




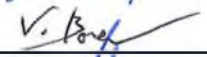



ISTRUZIONE TECNICA
PPR1 – REALIZZAZIONE PROGETTUALE
LAVORI DI INDAGINE GEOTECNICA
NORME TECNICHE D'APPALTO
PROVE DI LABORATORIO

Rif: IT-PPR1-GEO-004
Rev: 0
Data: 05/07/2021

LAVORI DI INDAGINE GEOTECNICA
NORME TECNICHE D'APPALTO
PROVE DI LABORATORIO

Il presente documento è di proprietà di Tecne Gruppo Autostrade per l'Italia S.p.A. e, pertanto, viene diffuso a condizione che né lo stesso, né qualsiasi informazione contenuta sia riprodotta o usata, anche solo in parte, senza l'autorizzazione della Società.

NRO REVISIONE	DATA REVISIONE	CAUSALE REVISIONE
0	05/07/2021	Emissione

	RUOLO	NOME	DATA	FIRMA
REDATTO	MSG	MARANINI	7/7/2021	
	RU GEO	BOERIO	07/07/2021	
APPROVATO	TDM	TANZI	08/07/21	
	RDSGQ	RONCONI	12/7/21	
EMESSO	AD	SUSANI	19/7/21	

MSQX-MSD-Rev0

La sola edizione controllata del documento è quella diffusa attraverso la rete Informatica.
Tutte le copie disponibili su carta o su qualsiasi altro supporto, escluso l'originale, non sono soggette a controllo e il loro stato di aggiornamento deve essere verificato prima dell'uso.

SOMMARIO

1	PRESCRIZIONI DI CARATTERE GENERALE.....	5
1.1	PREMESSA	5
1.2	REQUISITI GENERALI DEL LABORATORIO	6
1.2.1	Locali di prova	6
1.2.2	Apparecchiature di prova.....	6
1.3	CONSERVAZIONE DEL MATERIALE OGGETTO DI INDAGINE.....	8
1.3.1	Identificazione dei campioni	8
1.3.2	Conservazione dei campioni	8
1.3.3	Condizioni di trattamento dei campioni	8
1.4	PROGETTO DELLE INDAGINI	10
1.4.1	Programma prove	10
1.4.2	Rapporti con la Società	10
1.4.3	Normative di riferimento	10
1.4.4	Subappalto	11
1.5	DOCUMENTAZIONE DELLE PROVE	12
1.5.1	distinta di accompagnamento dei campioni	12
1.5.2	Minute di prova.....	12
1.5.3	Certificati ufficiali	12
1.5.4	Quadro di sintesi	13
2	PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO.....	15
2.1	CRITERI GENERALI	15
2.1.1	Caratteristiche dei campioni oggetto di prova.....	15
2.2	DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE FISICHE (PROVE DI IDENTIFICAZIONE).....	18
2.2.1	Apertura e descrizione geotecnica dei campioni	18
2.2.2	Determinazione del contenuto naturale d'acqua	21
2.2.3	Determinazione della massa volumica apparente (peso di volume naturale)	22
2.2.4	Determinazione dei limiti di consistenza	23
2.2.5	Determinazione del limite di ritiro	25
2.2.6	Analisi granulometrica per vagliatura	26
2.2.7	Determinazione del passante o trattenuto ad un singolo vaglio	29
2.2.8	Analisi granulometrica per sedimentazione	30
2.2.9	Classificazione delle terre	32
2.2.10	Determinazione della massa volumica reale (peso specifico dei grani)	37
2.2.11	Determinazione delle densità minima e massima	38
2.2.12	Determinazione del contenuto in sostanze organiche	41
2.2.13	Determinazione del tenore in carbonati.....	42
2.2.14	Determinazione del consumo iniziale di calce	44
2.3	DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DI COMPRESSIBILITÀ	46
2.3.1	Prova edometrica a incrementi di carico controllati (IL)	46
2.3.2	Prova edometrica a velocità di deformazione controllata (CRS).....	49
2.3.3	Misura della permeabilità per via diretta in edometro	52
2.3.4	Determinazione del rigonfiamento libero	53
2.3.5	Determinazione della pressione di rigonfiamento.....	55

2.3.6	Determinazione del rigonfiamento Huder Amberg	57
2.4	DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DI RESISTENZA E DEFORMABILITÀ.....	59
2.4.1	Prova di taglio con scissometro da laboratorio	59
2.4.2	Prova di compressione monoassiale ad espansione laterale libera	60
2.4.3	Prova di compressione triassiale non consolidata - non drenata (UU)	62
2.4.4	Prova di compressione triassiale consolidata - non drenata (CU)	64
2.4.5	Prova di compressione triassiale consolidata drenata (CD)	67
2.4.6	Prova in cella triassiale con misura locale delle deformazioni	70
2.4.7	Prova di taglio diretto consolidata - drenata.....	72
2.4.8	Prova di taglio anulare	75
2.4.1	taglio semplice monotono (DSS)	77
2.5	PROVE DINAMICHE E CICLICHE	79
2.5.1	Misura delle velocità delle onde di taglio e di compressione.....	79
2.5.2	Prova triassiale ciclica	81
2.5.3	Prova di colonna risonante (RC).....	84
2.5.4	Prova di taglio torsionale ciclico (TCS).....	87
2.5.5	taglio semplice ciclico (DSScy).....	89
2.6	PROVE DI COSTIPAMENTO E PORTANZA DELLE TERRE	91
2.6.1	Generalità	91
2.6.2	Trattamento delle terre con leganti idraulici	91
2.6.3	Prova di costipamento tipo Proctor AASHTO Standard.....	92
2.6.4	Prova di costipamento tipo Proctor AASHTO Modificato.....	94
2.6.5	Prova CBR.....	96
2.7	PROVE DI PERMEABILITÀ	98
2.7.1	Prova di permeabilità diretta con permeametro a carico idraulico costante	98
2.7.2	Prova di permeabilità in cella triassiale	100
3	PROVE GEOMECCANICHE DI LABORATORIO.....	102
3.1	DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE FISICHE	102
3.1.1	Apertura e descrizione dei campioni	102
3.1.2	Determinazione del contenuto naturale d'acqua	103
3.1.3	Determinazione della massa volumica apparente (peso di volume naturale)	104
3.1.4	Determinazione della porosità.....	107
3.1.5	Determinazione della massa volumica reale (peso specifico dei grani)	110
3.1.6	Misura della velocità sonica	111
3.1.7	Analisi mineralogica di sezione sottile	113
3.1.8	Analisi diffrattometrica	114
3.2	DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE	116
3.2.1	Prova di taglio diretto su giunto.....	116
3.2.2	Prove di compressione monoassiale.....	118
3.2.3	Prove di compressione triassiale in controllo di carico o di spostamento.....	122
3.2.4	Prova di compressione triassiale in controllo di deformaz. con rilievo deformaz. assiali e diametrali	128
3.2.5	Prova di resistenza a carico puntuale (Point Load Strength Test)	131
3.2.6	Prova di trazione indiretta (brasiliiana)	134
3.2.7	Slake Durability Test.....	136
3.3	ANALISI CHIMICHE.....	138
3.3.1	Determinazione del tenore in carbonati.....	138
3.3.2	Determinazione del tenore in solfati	139
3.3.3	Determinazione del tenore in silice	140

4 PROVE SUGLI AGGREGATI PER LA CONFEZIONE DI CALCESTRUZZI... 141

4.1 DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE PETROGRAFICHE E FISICHE 142

4.1.1 Esame petrografico..... 142

4.1.2 Determinazione dell'equivalente in sabbia di un aggregato fine 143

4.1.3 Determinazione del valore di blu di un aggregato fine 144

4.1.4 Determinazione dei coefficienti di forma e appiattimento 145

4.2 DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE CHIMICHE 146

4.2.1 Determinazione della degradabilità mediante solfati..... 146

4.2.2 Determinazione del contenuto di solfati 147

4.2.3 Determinazione del contenuto di cloruri solubili in acqua 148

4.2.4 Determinazione colorimetrica del contenuto di sostanze organiche negli aggregati fini 149

4.2.5 Determinazione della potenziale reattività di aggregati in presenza di alcali - metodo chimico..... 150

4.2.6 Determinazione di potenziale reattività di aggregati in presenza di alcali - metodo prisma di malta 151

4.3 DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE 152

4.3.1 Determinazione della perdita di massa degli aggregati con apparecchio 'Los Angeles' 152

4.3.2 Determinazione della sensibilità al gelo e disgelo degli aggregati grossi 153

5 PROVE AMBIENTALI DI LABORATORIO..... 154

5.1.1 Requisiti dei laboratori 154

5.1.2 Conservazione dei campioni 154

5.1.3 Programma di analisi 154

6 ANALISI CHIMICHE SULLE ACQUE..... 155

6.1 GENERALITÀ 155

6.1.1 Determinazione del tenore in solfati 155

6.1.2 Determinazione del tenore in cloruri 156

7 GESTIONE RISCHI..... 157

7.1 AREA COGENTE/NORMATIVA 157

7.2 AREA ETICA AZIENDALE 157

7.3 AREA OPERATIVA 157

1 PRESCRIZIONI DI CARATTERE GENERALE

1.1 PREMESSA

Fanno parte integrante del contratto di appalto disciplinato dalle presenti Norme Tecniche la dichiarazione del fornitore di aver preso conoscenza del progetto delle indagini predisposto dalla Società, di concordare sui risultati finali, di riconoscerlo perfettamente realizzabile e di assumere infine piena ed intera responsabilità della sua esecuzione.

Il fornitore dovrà comunque eseguire le lavorazioni in ottemperanza alle Leggi, ai regolamenti vigenti ed alle prescrizioni delle Autorità competenti, in conformità alle disposizioni che i competenti Uffici della Società ritengano di disporre.

Pertanto, ferma restando ogni altra responsabilità del fornitore a termini di Legge, esso rimane unico e completo responsabile dell'esecuzione delle lavorazioni.

Le presenti Norme Tecniche determinano in modo prioritario le modalità di esecuzione e di valutazione dei lavori di indagine geotecnica - prove di laboratorio; in altre parole, nel caso di discrepanze e difformità tra Norma Tecnica e descrizione del prezzo contenuta nell'Elenco Prezzi, dovrà essere seguito quanto previsto dalle Norme Tecniche.

Il presente documento è complementare alle Norme Tecniche d'Appalto - Indagini in Sito, per le quali si farà riferimento per tutte le lavorazioni da svolgersi in sito in ambito geotecnico e geomeccanico.

1.2 REQUISITI GENERALI DEL LABORATORIO

L'attività del laboratorio di prova dovrà essere condotta in accordo alla norme seguenti:

- *UNI CEI EN ISO/IEC 17025:2018 - Requisiti generali per la competenza dei laboratori di prova e taratura*, con particolare riferimento al punto 6.2 Personale..
- *UNI ENV 1997-2:2007 - Eurocodice 7 - Progettazione Geotecnica - Parte 2: Progettazione Assistita con Prove di Laboratorio [EN 1997-2 - Eurocode 7 - Geotechnical Design - Part 2: Geotechnical Design assisted by laboratory testing]*.

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

1.2.1 LOCALI DI PROVA

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

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

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

1.2.2 APPARECCHIATURE DI PROVA

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

Prima dell'inizio delle attività o dietro richiesta il fornitore dovrà rendere disponibile l'elenco dei macchinari e delle attrezzature di proprietà, con l'indicazione della marca o tipologia, delle specifiche prestazionali e/o caratteristiche, e quantità disponibili.

Più in particolare, per i macchinari e 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 specifica prestazionale di tutte le principali componenti installate sull'apparecchiatura;
- 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;
- taratura di data non anteriore di 6 mesi alla data di prova.

Qualora l'impresa sia autorizzata al rilascio di certificati ufficiali in accordo alla circolare 7618/STC del 2010 rilasciata dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, l'elenco suddetto dovrà essere

conforme a quello conservato presso il Servizio Tecnico Centrale dell'Ente suddetto, fatti salvi eventuali aggiornamenti successivi.

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

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 a un anno. 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.

La taratura annuale dovrà essere effettuata da centro autorizzato SIT, o da un Laboratorio Ufficiale ai sensi dell'art. 20 della Legge 1086-1971.

Il laboratorio dovrà inoltre dimostrare, dietro richiesta, di possedere un efficace sistema interno di verifica e calibrazione delle apparecchiature di cui sopra, con registrazione delle verifiche di taratura interna almeno quadrimestrale

Dietro richiesta della Società, copia dei certificati di taratura delle apparecchiature e degli strumenti di misura utilizzati per l'esecuzione delle prove, di data non anteriore di un anno la data di prova, dovrà accompagnare il rapporto di prova emesso dal laboratorio.

1.3 CONSERVAZIONE DEL MATERIALE OGGETTO DI INDAGINE

1.3.1 IDENTIFICAZIONE DEI CAMPIONI

Il laboratorio presso cui saranno effettuate le prove e le analisi geotecniche dovrà essere dotato di un sistema per l'identificazione dei campioni e delle parti di campioni da sottoporre a prova. Al momento del ricevimento dei campioni si dovrà controllare la corrispondenza con le distinte di accompagnamento dell'impresa, segnalando immediatamente qualsiasi difformità alla Società.

Tutti i campioni e le relative porzioni da sottoporre a prova (provini) dovranno essere chiaramente identificati da una sigla o un codice che accompagnerà il campione o il provino in tutte le fasi dell'attività di laboratorio (conservazione, preparazione dei provini da sottoporre a prova, esecuzione delle prove, preparazione della documentazione di prova e del rapporto finale di prova).

E' raccomandata una codifica che corrisponda alla denominazione del campione adottata in sito e riportata sulla distinta di accompagnamento dell'impresa. Tale codifica dovrà essere indicata nei certificati finali di prova.

Contestualmente all'arrivo dei campioni dovrà essere redatto e trasmesso alla Società la distinta di accompagnamento dei campioni, in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.5.1 e, dietro richiesta, una scheda sinottica comprendente 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 ed il programma temporale di attuazione.

1.3.2 CONSERVAZIONE DEI CAMPIONI

I campioni consegnati al laboratorio dovranno essere conservati in modo da non alterarne le caratteristiche originarie.

All'atto della consegna si verificheranno le condizioni di sigillatura dei campioni e si segnaleranno tempestivamente alla Società eventuali danni alle fustelle che potrebbero aver alterato le condizioni originarie dei campioni (ovalizzazioni, deformazioni anomale, etc.).

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

- temperatura : 20 °C \pm 2 °C
- umidità relativa > 95%

Condizioni particolari di conservazione (temperatura 4°C; congelamento; immersione in fluidi aventi determinate caratteristiche) potranno essere richiesti e rendersi necessari per la realizzazione di alcune categorie di prove o per certe tipologie di campioni.

Al termine delle attività di prova i campioni residui non sottoposti a prova dovranno essere conservati per almeno sei mesi in ambiente ad atmosfera controllata. Trascorsi i sei mesi, e solo a fatturazione avvenuta, i campioni potranno essere avviati a discarica previa autorizzazione della Società, unitamente ai campioni ed ai provini sottoposti a prova.

1.3.3 CONDIZIONI DI TRATTAMENTO DEI CAMPIONI

In tutte le fasi dell'attività di laboratorio i campioni e le relative porzioni da sottoporre a prova dovranno essere trattati e manipolati in modo di minimizzare il disturbo ad essi arrecato e alterarne

MSQX-MSD-Rev0

La sola edizione controllata del documento è quella diffusa attraverso la rete informatica.

Tutte le copie disponibili su carta o su qualsiasi altro supporto, escluso l'originale, non sono soggette a controllo e il loro stato di aggiornamento deve essere verificato prima dell'uso.

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, salvo condizioni particolari, 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; ciò dovrà avvenire adottando tutte le precauzioni del caso al fine di prevenire eventuali detensionamenti o variazioni nelle caratteristiche fisiche e proprietà naturali; ad esempio utilizzando fustelle o tubi rigidi a misura.

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.

1.4 PROGETTO DELLE INDAGINI

1.4.1 PROGRAMMA PROVE

Le prove di laboratorio dovranno essere eseguite secondo il programma di prove di laboratorio indicato dalla Società nel corso delle lavorazioni; tale programma potrà differire anche in maniera consistente rispetto a quanto contenuto nel progetto iniziale delle indagini.

Se in fase di apertura dei campioni si dovessero riscontrare incongruenze tra il tipo di materiale campionato e le prove richieste, il laboratorio interromperà il programma di prova e comunicherà immediatamente alla Società 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 Società 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 Società.

1.4.2 RAPPORTI CON LA SOCIETÀ

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

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

In caso di controversie o di perplessità relative alle modalità operative del laboratorio la Società 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.

1.4.3 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Le prove saranno eseguite, salvo diversa indicazione della Società, in accordo agli standard di prova indicati nelle presenti norme tecniche.

Nei capitoli seguenti, per ciascuna prova elencata, viene riportata la normativa di riferimento a cui il laboratorio dovrà di regola attenersi nell'esecuzione delle prove, unitamente alle indicazioni sulle modalità di prova; l'eventuale esecuzione delle prove secondo standard o normative alternative a quelle indicate nelle presenti norme tecniche dovrà essere preventivamente autorizzato dalla Società.

Nei capitoli relativi alle modalità di prova delle presenti norme tecniche non si forniscono istruzioni operative dettagliate, per le quali si rimanda agli standard di riferimento o alle indicazioni che verranno fornite direttamente dai tecnici della Società, ma si sottolineano aspetti dei procedimenti di prova ritenuti particolarmente significativi per la corretta conduzione delle stesse.

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

nel rapporto di prova.

1.4.4 SUBAPPALTO

Qualora non diversamente specificato, non è consentito l'affidamento dell'esecuzione delle prove ad un laboratorio diverso da quello indicato dalla Società. È consentito l'affidamento ad un laboratorio esterno di prove particolarmente sofisticate, non routinarie, e per le quali il laboratorio non sia adeguatamente attrezzato, solo previa autorizzazione della Società.

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

1.5 DOCUMENTAZIONE DELLE PROVE

La documentazione preliminare del lavoro svolto verrà progressivamente aggiornata nel corso dei lavori e sarà resa disponibile e trasmessa alla Società in forma e nei modi riportati di seguito. La documentazione in forma definitiva sarà presentata non oltre 20 giorni solari dal completamento dei lavori, salvo diversa prescrizione.

Ogni laboratorio incaricato all'esecuzione delle prove dovrà redigere una distinta di accompagnamento dei campioni e predisporre le minute di prova, fino a giungere alla consegna dei certificati ufficiali, in bozza e definitivi.

1.5.1 DISTINTA DI ACCOMPAGNAMENTO DEI CAMPIONI

All'atto del ricevimento dei campioni, il laboratorio è tenuto a compilare una distinta di accompagnamento dei campioni che dovrà definire: l'elenco dei campioni pervenuti al laboratorio.

Tale documento, di cui una copia sarà inviata immediatamente alla Società, dovrà contenere almeno:

- la provenienza,
- la data di consegna,
- il nome identificativo del campione in accordo a quanto indicato nel capitolo 1.3.1;
- il tipo di campione e il tipo di contenitore nel quale i campioni erano conservati;
- la profondità reale riportata sul contenitore
- eventuali osservazioni sullo stato di conservazione e qualità del contenitore;

Le distinte saranno rese disponibili alla consultazione ed inviati alla Società dietro specifica richiesta.

Laddove il laboratorio sia certificato ai sensi della circolare 7618/STC, dietro richiesta dovrà inoltre trasmettere una copia del verbale di accettazione, compilato secondo quanto richiesto dalla circolare stessa.

1.5.2 MINUTE DI PROVA

Durante l'esecuzione delle prove il laboratorio è tenuto a compilare e conservare le minute relative ad ogni singola prova effettuata.

La minuta di prova sarà costituita da un foglio di lavoro sul quale verranno riportate: indicazioni relative al laboratorio, al committente, al campione ed alla singola prova eseguita, la data di esecuzione (di inizio e fine prova), le misure effettuate durante la prova, un numero o una sigla identificativa delle apparecchiature utilizzate, le eventuali osservazioni. Qualora l'acquisizione delle misure venga effettuata in automatico, la minuta dovrà contenere un riferimento univoco e identificativo del file di dati di acquisizione.

Tutte le minute di prova dovranno essere conservate presso il laboratorio. Dovranno essere disponibili alla consultazione e, dietro richiesta, consegnate in copia alla Società.

1.5.3 CERTIFICATI UFFICIALI

I singoli certificati ufficiali di prova dovranno contenere almeno, indistintamente per qualunque tipo di prova o indagine:

- l'identificazione della società esecutrice e del committente;
- identificazione dell'oggetto della commessa di riferimento
- una identificazione univoca del certificato (con un numero progressivo di serie e la data di emissione) e di ciascuna sua pagina ed il numero totale delle pagine;
- il corrispondente numero della distinta o verbale di accettazione;
- la descrizione e l'identificazione del campione da provare;
- la data di esecuzione della prova o indagine (inizio e fine prova);
- l'identificazione della specifica tecnica di riferimento o del metodo o della procedura di prova;
- tutte le variazioni, le aggiunte o le esclusioni rispetto alla specifica di prova, che comunque dovranno essere preventivamente autorizzate dalla Società;
- l'identificazione di tutti i metodi o le procedure non normalizzate che siano state utilizzate, che comunque dovranno essere preventivamente autorizzate dalla Società;
- le eventuali anomalie riscontrate;
- la firma e il titolo o un contrassegno equivalente delle persone che hanno assunto la responsabilità tecnica del rapporto di prova.

I certificati dovranno essere predisposti non appena completate le singole indagini, e resi disponibili in qualunque momento per un qualsivoglia controllo (anche tramite invio, in copia, presso la Società).

Al completamento della commessa i certificati ufficiali saranno inviati alla Società nel numero di copie previste dal contratto. Una copia dei certificati ufficiali dovrà essere conservata e archiviata dal laboratorio.

Per quelle prove la cui acquisizione sia avvenuta con automatismo per via elettronica, sarà reso disponibile anche il file sorgente contenente i dati acquisiti (non elaborati) in formato testo.

1.5.4 QUADRO DI SINTESI

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 (eventualmente fornito dalla Società), dovrà contenere:

- la sigla identificativa del campione e la profondità di prelievo,
- le percentuali delle diverse frazioni granulometriche (indicando i relativi passanti di riferimento),
- i valori dei limiti di consistenza e dell'indice di plasticità,
- le classificazioni richieste,
- il contenuto d'acqua
- il peso di volume naturale,
- i valori di c' e j' ottenuti dalle prove di taglio diretto
- i valori di c_u , c' e j' ottenuti dalle prove triassiali,
- i valori di modulo edometrico, permeabilità, coefficiente di consolidazione verticale e coefficiente

di consolidazione secondaria per una determinata pressione di riferimento, per le prove edometriche;

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

2 PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

2.1 CRITERI GENERALI

Le prove geotecniche di laboratorio descritte nei capitoli successivi sono state raggruppate in funzione delle proprietà che vengono misurate:

- caratteristiche fisiche;
- caratteristiche di compattazione;
- caratteristiche di compressibilità;
- caratteristiche di resistenza e deformabilità;
- caratteristiche di permeabilità.

Salvo diversa indicazione della Società, l'esecuzione delle prove geotecniche avverrà nel rispetto dei criteri e delle procedure descritte, e laddove non diversamente specificato, in accordo alle seguenti normative generali di riferimento:

- A.G.I. (1977) - Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche
- A.G.I. (1994) - Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio
- UNI ENV 1997-2:2007 - Eurocodice 7 - Progettazione Geotecnica - Parte 2: Progettazione Assistita con Prove di Laboratorio [EN 1997-2 - Eurocode 7 - Geotechnical Design - Part 2: Geotechnical Design assisted by laboratory testing].

2.1.1 CARATTERISTICHE DEI CAMPIONI OGGETTO DI PROVA

Per la determinazione delle caratteristiche fisiche e di compattazione possono utilizzarsi campioni indisturbati o disturbati, con grado di disturbo ammissibile variabile in relazione al tipo di prova. Per la realizzazione degli ultimi tre gruppi di prove dovrebbero essere utilizzati campioni non disturbati (classi di Qualità 1).

Il laboratorio dovrà pertanto segnalare alla Società l'eventuale disturbo o la non idoneità del campione assegnato per l'esecuzione della prova specifica, indipendentemente dal fatto che il disturbo sia imputabile alle condizioni di prelievo del campione, al trasporto, alla conservazione o anche alla sola preparazione del provino di prova. In relazione all'entità del disturbo la Società darà indicazioni circa l'esecuzione della prova.

Per alcuni tipi di terreni o per fini particolari, dietro esplicita autorizzazione o indicazione della Società, le prove appartenenti a tutti i gruppi potranno comunque essere condotte su porzioni di carota a disturbo limitato, o su provini rimaneggiati in laboratorio, eventualmente ricostruiti o ricompattati secondo le modalità descritte di seguito o concordate con la Società.

2.1.1.1 Prove con campioni rimaneggiati in laboratorio

Il rimaneggiamento del materiale in laboratorio potrà eseguirsi inserendo il terreno di prova in un sacchetto di plastica, dove verrà manipolato con le mani dall'esterno per alcuni minuti. Il contenuto d'acqua dovrà risultare invariato e pari al contenuto d'acqua naturale originario.

Il materiale verrà quindi rimodellato dentro uno stampo, il più rapidamente possibile, eventualmente esercitando una lieve compressione con un pestello ed evitando accuratamente la formazione di cavità. Una volta riempito lo stampo, l'estrusione e la preparazione dei provini per le prove richieste avverrà seguendo lo stesso procedimento utilizzato per i campioni indisturbati.

2.1.1.2 Prove con campioni ricompattati

Il terreno disturbato o appositamente preparato in laboratorio sarà ricompattato in modo da formare provini conformi

Prima di procedere alla compattazione sarà necessario verificare il contenuto d'acqua naturale e la distribuzione granulometrica del terreno.

Qualora si richieda di effettuare la compattazione a un contenuto d'acqua superiore a quello originario, precedentemente alla compattazione si dovrà miscelare bene al terreno la quantità di acqua necessaria, e lasciare riposare la miscela per almeno 24 ore in un contenitore sigillato.

Se appositamente richiesto, la distribuzione granulometrica dovrà essere tale per cui, in relazione alla prova da eseguire e alle dimensioni del provino, tutte le frazioni eccedenti le dimensioni derivanti dallo schema seguente, dovranno essere rimosse mediante setacciatura (da EN 1997-2):

<i>tipo di prova</i>	<i>Dimensioni massime particelle</i>
consolidazione edometrica	H/5
Taglio diretto	H/10
Resistenza a compressione	D/5
Permeabilità	D/12

dove D = diametro del provino, H = altezza del provino.

La compattazione potrà avvenire in uno stampo di dimensioni maggiori dei provini desiderati, oppure nello stesso stampo, anello o fustella impiegato per la realizzazione della prova.

La prima soluzione è preferibile, e raccomandata qualora si debbano eseguire prove con più provini aventi le stesse caratteristiche di compattazione. Una volta compattato il materiale nello stampo, l'estrusione e la preparazione dei provini avverrà seguendo lo stesso procedimento utilizzato per i campioni indisturbati.

La seconda procedura potrà utilizzarsi per materiali sabbiosi o per la preparazione di un singolo provino di piccole dimensioni per la realizzazione di una prova di taglio diretto, prova edometrica o di compressione. Durante la compattazione si dovrà utilizzare un pestello adatto, a misura, e si dovrà fare molta attenzione a evitare la formazione di cavità all'interno della fustella.

In entrambi i casi la compattazione potrà avvenire secondo uno dei seguenti criteri:

- A. compattazione realizzata a una determinata energia di compattazione e contenuto d'acqua: per tale condizione si rimanda a quanto descritto nei capitoli corrispondenti alle compattazioni Proctor standard e modificato, che rappresentano le modalità di compattazione comunemente usate, anche per materiali eventualmente additivati con leganti idraulici.

B. compattazione realizzata a una determinata densità secca e contenuto d'acqua: il terreno sarà compattato posizionando il terreno per strati all'interno dello stampo di riferimento, applicando all'occorrenza un carico statico o dinamico (eventualmente anche tramite tavola vibrante) che eserciti la compressione uniforme necessaria allo scopo. Pesature di controllo e misurazioni volumetriche dovranno essere eseguite dopo aver posizionato ogni strato, per assicurarsi che si ottenga la densità desiderata. Prove preliminari per tentativi potranno realizzarsi con lo stesso materiale per determinare il metodo e le soluzioni più appropriate.

2.1.1.3 Prove con campioni ricostruiti

In presenza di sabbie la ricostruzione dei provini avverrà tramite "deposizione pluviale" del materiale secco all'interno dello stampo di prova, generalmente in aria. Ad essa potrà seguire l'eventuale saturazione del provino, se richiesta.

In presenza di terreno disturbato coesivo sarà necessario preparare una miscela fino a formare un fango (slurry) omogeneo, con contenuto d'acqua maggiore del limite liquido; eventuali separazioni granulometriche preliminari del materiale di partenza (lavaggio al passante n.4, n.40, o n.200), potranno rendersi necessarie in relazione al tipo di materiale, o dietro richiesta della Società.

- la preparazione dello slurry inizierà preferibilmente aggiungendo acqua partendo dal contenuto di acqua naturale, senza essiccazione del terreno (fatte salve eventuali setacciature preliminari);
- la quantità di acqua presente nello slurry varierà normalmente da 1.5 a 2 volte il limite liquido del terreno, secondo indicazione della Società. L'acqua dovrà essere distillata o deionizzata, salvo necessità particolari;
- la miscela verrà inserita in un consolidometro, di dimensioni sufficienti per poter fornire il provino necessario per la realizzazione della prova richiesta; lo stampo sarà provvisto di sistema di drenaggio, per consentire la fuoriuscita dell'acqua senza dispersione delle particelle di terreno;
- il consolidamento iniziale avverrà applicando superiormente la sola piastra di copertura, lasciata fino a quando le estremità del provino siano sufficientemente indurite da impedire perdita di materiale previa applicazione di ulteriore carico;
- la tensione applicata successivamente sarà quella indicata dalla Società; dovrà essere mantenuta per un tempo sufficiente ad assicurare che il consolidamento sia omogeneo.
- Una volta terminata la consolidazione, l'estrusione e la preparazione del provino avverrà seguendo lo stesso procedimento utilizzato per i campioni indisturbati. Per la realizzazione di prove edometriche o prove di taglio, l'inserimento dello slurry e la successiva consolidazione potrà avvenire nella stessa cella di prova.

2.2 DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE FISICHE (PROVE DI IDENTIFICAZIONE)

2.2.1 APERTURA E DESCRIZIONE GEOTECNICA DEI CAMPIONI

2.2.1.1 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D2488 - Standard Practice for Description and Identification of Soils - Visual-Manual Procedure.
- EN ISO 14688-1:2017 - Geotechnical Investigation and Testing - Identification and Classification of Soil - Part I: Identification and Description.
- EN ISO 14688-2:2017 - Geotechnical Investigation and Testing - Identification and Classification of Soil - Part II: Principle for a Classification.

2.2.1.2 Campioni indisturbati alloggiati in fustelle cilindriche

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

Dopo l'estrusione il campione sarà sottoposto a scoticatura e ripulitura delle estremità e si procederà alla descrizione geotecnica visivo-manuale del materiale campionato indicando natura, colore, strutture, inclusioni, frammenti di conchiglie, resti organici, eventuale odore ed ogni altro elemento ritenuto significativo. La descrizione geotecnica visivo-manuale dovrà essere condotta rappresentando separatamente gli eventuali livelli che presentino caratteristiche differenti, in accordo allo standard ASTM, e tenendo conto di quanto riportato nel capitolo 2.1.8 ("Rilievo Stratigrafico") delle Norme Tecniche di Appalto Tecne - Lavori di Indagine Geotecnica - Indagini In Sito.

Successivamente si procederà, ove possibile, in relazione alla natura litologica del campione, all'esecuzione di prove speditive con penetrometro tascabile (avente fondo scala non inferiore a 4.5 kg/cm²) e scissometro tascabile (0 - 2 kg/cm²), ad intervalli regolari, per la determinazione dello stato di consistenza del materiale campionato lungo l'intera lunghezza della carota.

Si effettuerà quindi una ripresa fotografica a colori del campione avendo cura che l'immagine risulti nitida e chiaramente leggibile; la foto comprenderà anche una scala colorimetrica e una scala metrica di riferimento e riporterà la completa identificazione del campione e del suo alto. Nella definizione del colore è raccomandata l'utilizzo della carta colorimetrica Munsell con definizione del colore dominante e della sua gradazione (*hue*), della luminosità relativa (*value*) e del tono (*chroma*).

Da ultimo si procederà alla selezione delle porzioni del campione da sottoporre a prova, avendo particolare cura di escludere dal confezionamento dei provini da sottoporre a prova le porzioni disturbate per rammollimento o deformazione eccessiva, e di scegliere porzioni omogenee del campione per l'esecuzione di prove che richiedano la preparazione di una serie di provini. E' raccomandata l'esecuzione di misure di pocket e scissometro tascabile anche sulle superfici trasversali che si saranno prodotte isolando le porzioni del campione.

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

2.2.1.3 Campioni indisturbati cubici

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

Una volta estratto il campione si procederà in analogia a quanto indicato al paragrafo precedente, avendo cura di eseguire, lungo ogni faccia del campione, la descrizione geotecnica visivo manuale, ripresa fotografica orientata, esecuzione di prove speditive, selezione delle parti da sottoporre a prova, valutazione dello stato di qualità.

2.2.1.4 Spezzoni di carota di terreno a disturbo limitato

L'estrazione degli spezzoni di carota alloggiati in contenitori rigidi a tenuta dovrà avvenire con cautela. In presenza di materiale essiccato, molto disturbato o male conservato si darà immediata comunicazione alla Società; particolarmente laddove sia prevista l'esecuzione di prove di caratterizzazione meccanica.

Una volta estratto il campione, si procederà in analogia a quanto indicato al paragrafo 2.2.1.2 per i campioni indisturbati, avendo cura di eseguire la descrizione geotecnica visivo manuale, ripresa fotografica orientata, esecuzione di prove speditive, selezione delle parti da sottoporre a prova, valutazione dello stato di qualità.

2.2.1.5 Campioni rimaneggiati

L'estrazione del campione rimaneggiato dal contenitore di alloggiamento (sacchetto, barattolo, vasetto, etc.) sarà seguita dalla descrizione geotecnica visivo-manuale del materiale, condotta in accordo a quanto indicato nel paragrafo 2.2.1.2 per i campioni indisturbati, escluse le prove speditive con pocket o torvane.

Solo se richiesto il materiale campionato sarà sottoposto a ripresa fotografica a colori.

2.2.1.6 Documentazione

La documentazione da fornire in seguito all'apertura di campioni sarà costituita da un certificato di apertura e descrizione, comprendente almeno:

Per campioni indisturbati o spezzoni di carota a disturbo limitato:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- sondaggio o indagine in sito di riferimento, e profondità di prelievo dichiarata;
- tipo e condizioni del contenitore
- fotografia digitalizzata del campione, di dimensioni non inferiori a 9 cm x 13 cm, comprensiva di scritte identificative (n. campione, profondità min-max), scala metrica di confronto, scala colorimetrica;
- lunghezza reale e diametro (o base, larghezza, altezza) del campione;
- descrizione geotecnica visivo manuale, con indicazione degli intervalli di lunghezza (o profondità assoluta) aventi caratteristiche litologiche differenti;
- classe di qualità del campione,
- singoli valori di resistenza al penetrometro e allo scissometro tascabile, riportati con riferimento alla lunghezza reale (o profondità assoluta) del campione;
- indicazione delle prove eseguite, con riferimento alla porzione di campione (in termini di lunghezza reale o profondità assoluta) utilizzata allo scopo.

Per campioni rimaneggiati:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- sondaggio o indagine in sito di riferimento, e profondità di prelievo dichiarata;
- tipo e condizioni del contenitore;
- eventuale fotografia digitalizzata del campione, laddove esplicitamente richiesta, di dimensioni non inferiori a 9 cm x 13 cm, comprensiva di scritte identificative (n. campione, profondità min-max), scala metrica di confronto, scala colorimetrica;
- descrizione geotecnica visivo manuale, con eventuale indicazione degli intervalli di lunghezza (o profondità assoluta) aventi caratteristiche litologiche differenti;
- classe di qualità del campione,
- indicazione delle prove eseguite.

2.2.2 DETERMINAZIONE DEL CONTENUTO NATURALE D'ACQUA

2.2.2.1 Generalità

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

2.2.2.2 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 2216 - Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock
- CEN ISO/TS 17892-1:2015 - Geotechnical Investigation and Testing - Laboratory Testing of Soil - Part 1: Determination of water content.

2.2.2.3 Modalità di prova

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

La determinazione del contenuto d'acqua andrà realizzata preferibilmente su una porzione di materiale appositamente selezionato durante l'apertura del campione, e non dai provini sottoposti a eventuali prove meccaniche, tranne quando esplicitamente autorizzato o concordato con la Società. In quest'ultimo caso si dovrà fornire una tabella riepilogativa riportante tutte le determinazioni di contenuto d'acqua dei singoli provini sottoposti alle prove meccaniche.

2.2.2.4 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- valore percentuale del contenuto d'acqua espresso alla prima cifra decimale;
- documentazione delle pesate eseguite;
- note sulla eventuale disomogeneità del campione ed indicazione della porzione a cui si riferisce la determinazione;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, termostato) di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

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

2.2.3.1 Generalità

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

2.2.3.2 Normative e specifiche di riferimento

- BS 1377-1:2016 - Methods of test for soils for civil engineering purposes - Part 2: Classification tests

Quando espressamente richiesto potrà anche farsi riferimento alla seguente specifica tecnica:

- CEN ISO/TS 17892-2:2014 - Geotechnical Investigation and Testing - Laboratory Testing of Soil - Part 2: Determination of bulk density.

2.2.3.3 Modalità di prova

La prova dovrà essere effettuata su campioni di classe di qualità Q4 e Q5, avendo cura di non alterare in alcun modo le caratteristiche del campione durante il confezionamento del provino.

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

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

La determinazione della massa volumica apparente andrà realizzata preferibilmente su un provino appositamente preparato durante l'apertura del campione, e non dai provini sottoposti a eventuali prove meccaniche, tranne quando esplicitamente autorizzato o concordato con la Società. In quest'ultimo caso si dovrà fornire una tabella riepilogativa riportante tutte le determinazioni della massa volumica apparente dei singoli provini sottoposti alle prove meccaniche.

2.2.3.4 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- risultato della determinazione con definizione della seconda cifra decimale;
- documentazione delle pesate eseguite e delle dimensioni dei provini;
- note sulla eventuale disomogeneità del campione ed indicazione della porzione a cui si riferisce la determinazione;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia) di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

2.2.4 DETERMINAZIONE DEI LIMITI DI CONSISTENZA

2.2.4.1 Generalità

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

2.2.4.2 Normative e specifiche di riferimento

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

Solo quando espressamente richiesto dalla Società potrà anche farsi riferimento alla seguente specifica tecnica:

- CEN ISO/TS 17892-12:2018 - Geotechnical Investigation and Testing - Laboratory Testing of Soil - Part 12: Determination of liquid and plastic limits..

2.2.4.3 Modalità di prova

Limite Liquido

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

Le tolleranze dimensionali da rispettare sono le seguenti:

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

Per la determinazione del limite di liquidità si impiegherà di norma il metodo multipunto, con almeno tre punti di prova, da determinarsi nell'intervallo compreso tra 15 e 35 colpi.

Solo nel caso di quantità insufficienti di materiale si potrà adottare il metodo a punto singolo, con esecuzione di almeno due determinazioni, e previo preventivo assenso della Società.

Limite plastico

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

2.2.4.4 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione sottoposto a prova;

- risultato delle determinazioni espresse come valori percentuali con indicazione della prima cifra decimale;
- documentazione delle pesate eseguite;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, termostato) di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

2.2.5 DETERMINAZIONE DEL LIMITE DI RITIRO

2.2.5.1 Generalità

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

2.2.5.2 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 427 - Test Method for Shrinkage Factors of Soils by the Mercury Method

Tenuto conto della tossicità del mercurio utilizzato nel metodo è consentito l'uso dello standard alternativo:

- ASTM D 4943 - Standard Test Method for Shrinkage Factors of Soils by the Wax Method.

2.2.5.3 Modalità di prova

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

2.2.5.4 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- risultato espresso come valore percentuale con indicazione della prima cifra decimale, calcolato come media delle due determinazioni effettuate;
- documentazione delle pesate eseguite;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, termostato) di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

2.2.6 ANALISI GRANULOMETRICA PER VAGLIATURA

2.2.6.1 Generalità

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

2.2.6.2 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 422) - Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils
- ASTM D 421 - Standard Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soils Constants
- A.G.I. (1994) - Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio
- CNR - B.U. n 23 (1971) - Analisi granulometrica di una terra mediante crivelli e setacci.

Quando espressamente richiesto potrà anche farsi riferimento alle seguenti specifiche tecniche:

- CEN ISO/TS 17892-4:2016 - Geotechnical Investigation and Testing - Laboratory Testing of Soil - Part 4: Determination of particle size distribution.

Salvo diversa esplicita indicazione si farà riferimento alle Raccomandazioni AGI e CNR-BU. In ogni caso il laboratorio dovrà attenersi a quanto riportato di seguito.

2.2.6.3 Modalità di prova

L'analisi granulometrica per vagliatura si eseguirà per via umida secondo lo Standard di riferimento indicato dalla Società. Non è ammesso operare esclusivamente per via secca, se non quando espressamente e preventivamente autorizzato dalla Società (e comunque mai in presenza di terreni contenenti più del 10% di materiale fine).

Verranno impiegati setacci e vagli della serie ASTM di diametro non inferiore ai 300 mm, scelti tra i seguenti termini in funzione della dimensione massima dei granuli: n° 200 (0.075 mm), n° 100 (0.150 mm), n° 60 (0.250 mm), n° 40 (0.425 mm), n° 20 (0.850 mm), n° 10 (2 mm), n° 4 (4.75 mm), 3/8" (9.5 mm), 3/4" (19 mm), 1" (25.4 mm), 1.5" (38.1 mm), 2" (50.8 mm) e 3" (76.2 mm).

Dietro autorizzazione della società è ammesso l'uso di serie di setacci equivalenti a quella sopra indicata.

Il numero di setacci andrà concordato con la Società e valutato in relazione alla dimensione massima dei granuli; in ogni caso non sarà mai inferiore a sei nell'intervallo compreso tra 2 mm e 0.075 mm.

Il quantitativo minimo da sottoporre a prova sarà stabilito indicativamente sulla base delle dimensioni massime dei granuli presenti in quantità significativa (non inferiore al 10%) secondo il seguente schema:

MASSA MINIMA DA ANALIZZARE

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

Qualora il quantitativo di materiale disponibile non sia sufficiente rispetto allo schema precedente il laboratorio dovrà darne immediata comunicazione alla Società al fine di concordare le modalità esecutive.

Prima dell'esecuzione dell'analisi granulometrica si dovrà procedere ad un controllo dell'integrità dei setacci, sostituendo immediatamente i setacci lesionati.

Il campione da sottoporre ad analisi, una volta essiccato e pesato, verrà immerso in acqua fino al completo distacco della frazione fine dai granuli e la completa disgregazione dei grumi, favorendo l'operazione mediante agitazione meccanica.

Successivamente, evitando qualsiasi perdita di materiale, si procederà alle operazioni di setacciatura favorendo il passaggio del materiale con getti d'acqua e con l'azione meccanica di un pennello molto morbido, avendo cura di non forzare il materiale tra le maglie dei setacci; l'operazione di lavaggio potrà essere conclusa solo quando l'acqua che fuoriesce dall'ultimo setaccio sia perfettamente limpida.

La setacciatura verrà effettuata secondo uno dei seguenti Standard di riferimento, in accordo a quanto indicato dalla Società. In assenza di specifiche indicazioni si utilizzerà lo standard AGI.

- Secondo lo standard ASTM dovrà realizzarsi sempre la setacciatura meccanica unitamente all'analisi per sedimentazione (paragrafo 2.2.8): si eseguirà dapprima la separazione a secco del materiale (preventivamente essiccato e disgregato) attraverso il setaccio n° 10 (2.00 mm); il materiale trattenuto verrà successivamente setacciato a secco con la batteria di setacci e crivelli di diametro maggiore; il materiale passante il setaccio n° 10 subirà il processo di sedimentazione per areometria (v. paragrafo 2.2.8), verrà quindi lavato al setaccio n° 200 (0,075 mm), essiccato nella parte trattenuta e setacciato per via meccanica utilizzando l'intera batteria di setacci compresa tra i diam. 2,00 mm e 0,075 mm;
- per setacciatura realizzata secondo lo standard AGI e CNR-B.U., si eseguirà il prelavaggio per via umida utilizzando i setacci n° 10 (2 mm), n° 40 (0.4 mm) e n° 200 (0.075 mm); potrà utilizzarsi il solo setaccio n° 200 solo in presenza di materiali omogenei e prevalentemente fini. Al termine della setacciatura umida, il materiale trattenuto dai setacci verrà essiccato a 105°; dopodiché verrà raccolto e nuovamente setacciato a secco con l'intera batteria di setacci. La successiva setacciatura a secco verrà effettuata mediante vagli o crivelli, fino all'apertura di 5

mm compreso (vaghiatura); oppure mediante setacci al di sotto di 5 mm di diametro (setacciatura). Le operazioni potranno avvenire mediante apparecchio meccanico o manualmente, imprimendo un movimento tale che il materiale sia portato a muoversi su tutta la superficie dei vaghi. L'operazione potrà ritenersi conclusa quando separando i singoli vaghi e continuando la setacciatura sopra un foglio di carta per la durata di 30 secondi non si evidenzia una presenza apprezzabile di materiale al passante. Il materiale passante al setaccio 0.075 verrà calcolato per differenza tra la massa totale del materiale utilizzato prima del lavaggio e il materiale essiccato dopo il lavaggio.

2.2.6.4 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- diametro massimo del campione analizzato;
- quantità di materiale analizzato;
- tabella con indicazione della percentuale di materiale trattenuto a ciascun setaccio;
- diagramma semilogaritmico riportante in ordinata la percentuale di trattenuto o cumulativa del passante e in ascissa il diametro corrispondente;
- documentazione delle pesate eseguite;
- eventuali note e osservazioni, per es. relativamente a quantità insufficienti di materiale;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, termostato) di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

2.2.7 DETERMINAZIONE DEL PASSANTE O TRATTENUTO AD UN SINGOLO VAGLIO

2.2.7.1 Normative e specifiche di riferimento

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

Quando espressamente richiesto potrà anche farsi riferimento alla seguente specifica tecnica:

- CEN ISO/TS 17892-4:2016 - Geotechnical Investigation and Testing - Laboratory Testing of Soil - Part 4: Determination of particle size distribution.

Salvo diversa esplicita indicazione si farà riferimento alle Raccomandazioni AGI.

2.2.7.2 Modalità di prova

Il quantitativo minimo di materiale da sottoporre ad analisi dovrà essere stabilito in funzione delle dimensioni massime dei granuli costituenti il campione in esame, in analogia a quanto indicato al paragrafo precedente delle presenti Norme Tecniche e a quanto riportato nelle specifiche di riferimento.

2.2.7.3 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- diametro massimo del campione analizzato;
- quantità di materiale analizzato;
- percentuale di materiale trattenuto o passante al setaccio impiegato espresso con la prima cifra decimale, riferita alla massa complessiva del materiale analizzato;
- documentazione delle pesate eseguite;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, termostato) di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

2.2.8 ANALISI GRANULOMETRICA PER SEDIMENTAZIONE

2.2.8.1 Generalità

La prova consiste nella determinazione della distribuzione granulometrica della frazione fine di un terreno.

2.2.8.2 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 422 - Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils
- ASTM D 421 - Standard Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soils Constants
- A.G.I. (1994) - Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio

Quando espressamente richiesto potrà anche farsi riferimento alla seguente specifica tecnica:

- CEN ISO/TS 17892-4:2016 - Geotechnical Investigation and Testing - Laboratory Testing of Soil - Part 4: Determination of particle size distribution.

Salvo diversa esplicita indicazione il laboratorio si farà riferimento alle Raccomandazioni AGI. In ogni caso il laboratorio dovrà attenersi a quanto riportato di seguito.

2.2.8.3 Modalità di prova

L'analisi granulometrica per sedimentazione dovrà essere condotta effettuando letture della densità e della temperatura di una sospensione. La prova verrà effettuata secondo lo Standard di riferimento indicato dalla Società. In assenza di specifiche indicazioni si utilizzerà lo standard AGI.

- Per analisi per sedimentazione secondo lo standard ASTM, il materiale da utilizzarsi avrà subito una precedente separazione granulometrica al passante n. 10 (2,00 mm) (v. paragrafo 2.2.6). La prova verrà realizzata utilizzando un quantitativo variabile da 50 g circa (per terreni prevalentemente limoso argillosi) a 100 g circa (per terreni prevalentemente sabbiosi). Al termine della prova di sedimentazione tutto il materiale dovrà essere successivamente lavato per via umida al setaccio n. 200 (0,075 mm); la parte trattenuta verrà essiccata e sarà oggetto di successiva setacciatura meccanica (v. paragrafo 2.2.6)
- Secondo lo standard AGI l'analisi per sedimentazione si eseguirà su 50 g di materiale ottenuto come passante della vagliatura per via umida al setaccio n. 200 e successiva essiccazione. Il lavaggio al setaccio n. 200, il recupero per decantazione e l'essiccamento sono da considerarsi come operazioni preliminari e integranti della prova di sedimentazione.

L'analisi granulometrica per sedimentazione vera e propria dovrà essere condotta effettuando letture della densità e della temperatura di una sospensione, preparata utilizzando il corretto quantitativo di terreno, in accordo allo standard di riferimento utilizzato.

La sospensione sarà preparata con 125 ml di soluzione disperdente (esametafosfato di sodio in soluzione pari a 40g/L, confezionata non più di 30 giorni prima della data di impiego) e acqua distillata fino ad ottenere un volume pari a 1000 ml. Si eseguiranno letture di densità dopo 1', 2', 4', 8', 15', 30', 60', 120', 240', 480' e 1440' dal termine dell'agitazione preliminare; si precisa che l'analisi potrà considerarsi conclusa solo quando la densità della sospensione risulta prossima a quella dell'acqua pura (circa 48 ore per i terreni francamente argillosi).

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

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

2.2.8.4 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- quantità di materiale analizzato;
- tabella con indicazione della percentuale di materiale trattenuto in corrispondenza di ciascun diametro;
- diagramma semilogaritmico % - diametro;
- documentazione delle letture di densità e temperature eseguite;
- data di preparazione della soluzione disperdente qualora richiesto;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, termostato, termometro) di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

2.2.9 CLASSIFICAZIONE DELLE TERRE

Il materiale sottoposto alla determinazione della granulometria e/o degli indici di consistenza dovrà sempre e comunque essere classificato in accordo ai sistemi di classificazione indicati dalla Società.

2.2.9.1 Normative e specifiche di riferimento

- A.G.I. (1977) - Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche
- AASTHO M145-82 - The Classification of Soils and Soil Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes [ripresa anche da: ASTM D 3282 - Standard Practice for Classification of Soils and Soil Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes]
- ASTM D 2487 - Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System - USCS)
- UNI EN 13242:2008- Aggregati per materiali non legati e legati con leganti idraulici per l'impiego in opere di ingegneria civile e nella costruzione di strade
- UNI EN 13285:2018 - Miscele non legate - Specifiche

Quando espressamente richiesto potrà anche farsi riferimento alla seguente specifica tecnica:

- UNI EN ISO 14688-1:2018 - Geotechnical Investigation and Testing - Identification and Classification of soils - Part 1: Identification and description
- UNI EN ISO 14688-2:2018 - Geotechnical Investigation and Testing - Identification and Classification of soils - Part 2: Principles for a Classification
-

Ci si dovrà comunque attenere a quanto riportato di seguito.

2.2.9.2 Presentazione dei risultati e criteri di classificazione

Per ogni campione analizzato attraverso "l'analisi granulometria per vagliatura" dovranno essere indicate le classi granulometriche principali, in relazione alle percentuali di materiale contenute tra una delle seguenti classi granulometriche (o entrambe, se esplicitamente richieste):

	<i>AASTHO.</i>	<i>ASTM D2487 (USCS)</i>
ciottoli	$f > 75 \text{ mm}$	$f > 75 \text{ mm}$
ghiaie	$75 \text{ mm} > f > 2 \text{ mm}$	$75 \text{ mm} > f > 4.75 \text{ mm}$
sabbie	$2 \text{ mm} > f > 0.075 \text{ mm}$	$4.75 \text{ mm} > f > 0.075 \text{ mm}$
limi + argille	$f < 0.075 \text{ mm}$	$f < 0.075 \text{ mm}$

[Per semplicità e comodità di calcolo non sono presi a riferimento i seguenti diametri suggeriti da AGI (1977): ciottoli>60 mm>ghiaie; sabbie>0.06mm>limi+argille]

Laddove sia stata eseguita anche una "Analisi granulometrica per sedimentazione", in sostituzione del contenuto di fine (limi + argille) verrà riportato separatamente il contenuto di argille e di limi, in relazione ai diametri seguenti.

limi	$0.075 \text{ mm} > f > 0.002 \text{ mm}$
argille	$f < 0.002 \text{ mm}$

Il campione sarà quindi classificato secondo i seguenti standard di riferimento:

- Classificazione descrittiva granulometrica, adottando la terminologia raccomandata da AGI (1977), in base alle classi sopra indicate (si considerino i passanti 75 mm - 2 mm - 0.075 mm - 0.002 mm per l'individuazione delle classi granulometriche, fatte salvo diverse indicazioni).
- Classificazione AASTHO M145-82 / ASTM D3282 (similare a ex UNI 10006), attraverso l'indicazione del gruppo/sottogruppo di appartenenza
- Classificazione ASTM D 2487 - USCS attraverso l'indicazione del simbolo di gruppo di appartenenza

La Società si riserva di chiedere, in alternativa, la classificazione del terreno secondo diametri differenti o secondo altri sistemi internazionali in uso, per i quali trasmetterà gli opportuni riferimenti normativi.

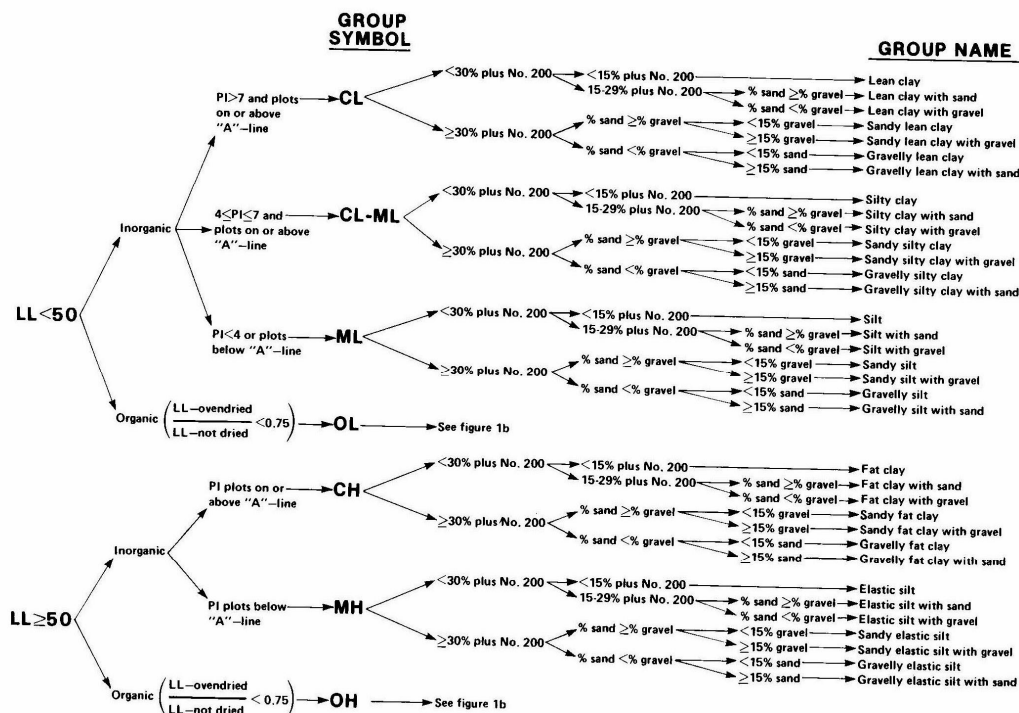


FIG. 1 Flow Chart for Classifying Fine-Grained Soil (50 % or More Passes No. 200 Sieve)

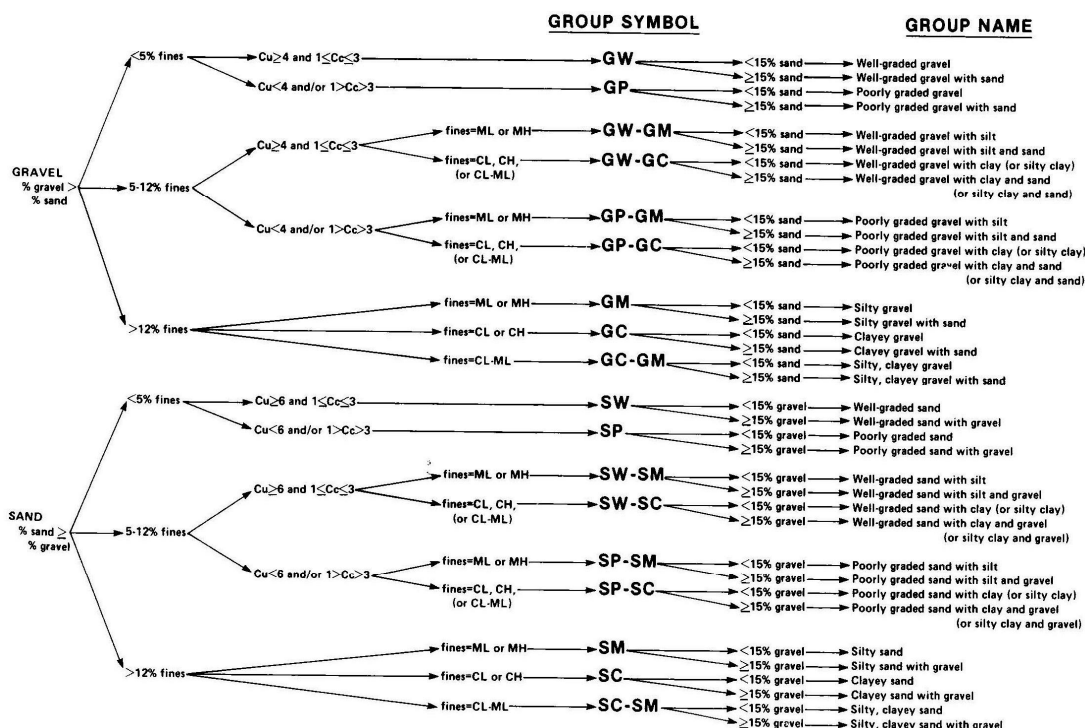
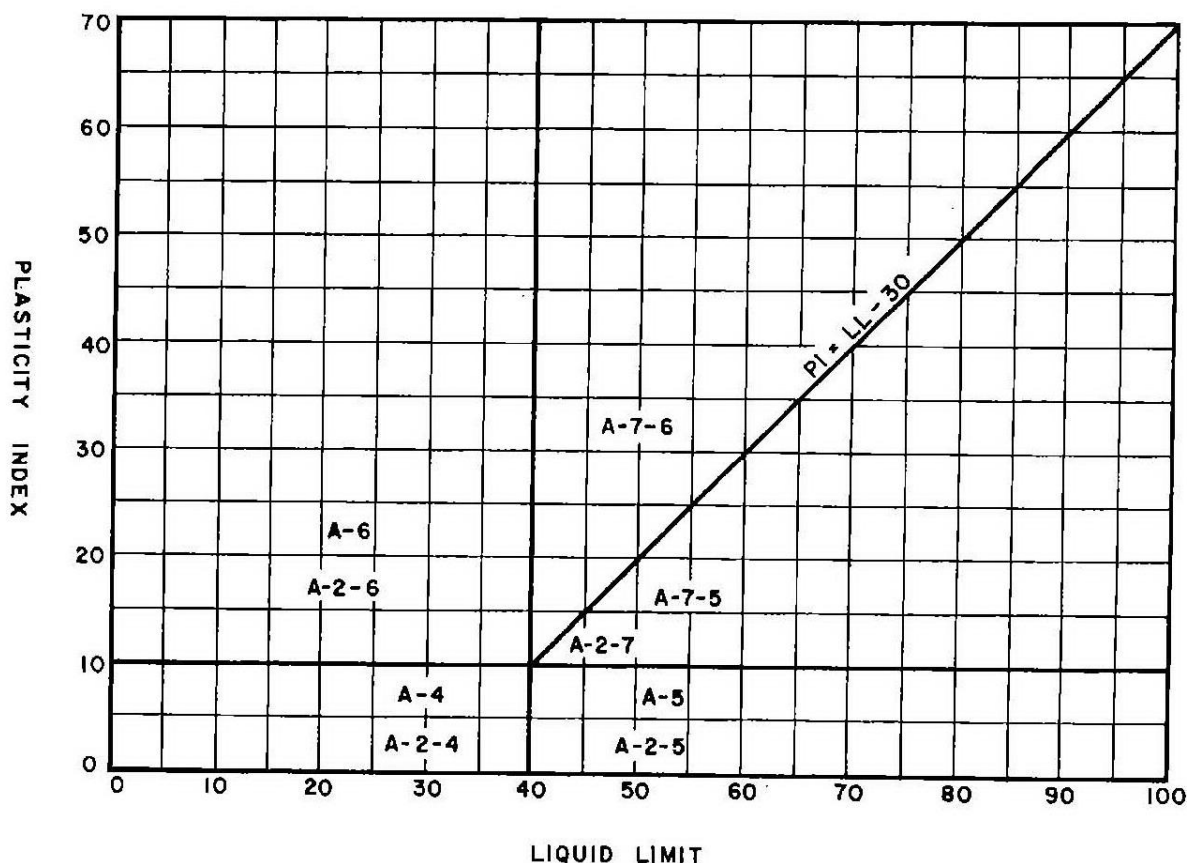


FIG. 3 Flow Chart for Classifying Coarse-Grained Soils (More Than 50 % Retained on No. 200 Sieve)

Schemi di classificazione delle terre secondo ASTM D2487 (USCS), validi rispettivamente per materiali prevalentemente fini e per materiali prevalentemente granulari.

General Classification	Granular Materials (35 % or less passing No. 200)							Silt-Clay Materials (More than 35 % passing No. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Group classification	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5, A-7-6
Sieve analysis, % passing:											
No. 10 (2.00 mm)	50 max	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425 µm)	30 max	50 max	51 min	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75 µm)	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
Characteristics of fraction passing No. 40 (425 µm):											
Liquid limit	...	...	...	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min
Plasticity index	6 max	...	N.P.	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min ^A
Usual types of significant constituent materials	Stone Fragments, Gravel and Sand		Fine Sand	Silty or Clayey Gravel and Sand				Silty Soils		Clayey Soils	
General rating as subgrade	Excellent to Good							Fair to Poor			

⁴Plasticity index of A-7-5 subgroup is equal to or less than LL minus 30. Plasticity index of A-7-6 subgroup is greater than LL minus 30 (see Fig. 1).
Reprinted with permission of American Association of State Highway and Transportation Officials.



NOTE 1—A-2 soils contain less than 35 % finer than 200 sieve.
FIG. 1 Liquid Limit and Plasticity Index Ranges for Silt-Clay Materials

Schema di classificazione delle terre secondo AASTHO M145 e ASTM D3282

CLASSIFICAZIONE DELLE TERRE - TABELLA C.N.R. - UNI 10006

Classificazione generale	Terre ghiaio-argillose Frazione passante al setaccio 0,075 UNI 2332 < 35%							Terre limo-argillose Frazione passante al setaccio 0,075 UNI 2332 > 35%					Torbe e terre organiche palustri	
Gruppo	A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7		A8	
Sottogruppo	A1-a	A1-b		A2-4	A2-5	A2-6	A2-7				A7-5	A7-6		
Analisi granulometrica Frazione passante al setaccio 2 UNI 2332 % 0,4 UNI 2332 % 0,075 UNI 2332 %	≤ 50 ≤ 30 ≤ 15	≤ 50 ≤ 25	≤ 50 ≤ 10	≤ 35 ≤ 35 ≤ 35	≤ 35 ≤ 35 ≤ 35	≤ 35 ≤ 35 ≤ 35	≤ 35 ≤ 35 ≤ 35	≤ 35 ≤ 35 ≤ 35	≤ 35 ≤ 35 ≤ 35	≤ 35 ≤ 35 ≤ 35	≤ 35 ≤ 35 ≤ 35	≤ 35 ≤ 35 ≤ 35		
Caratteristiche della frazione passante al setaccio 0,4 UNI 2332 Limite liquido Indice di plasticità	≤ 6	≤ 6	N.P.	≤ 40 ≤ 10	> 40 ≤ 10	≤ 40 ≤ 10	> 40 ≤ 10	≤ 40 ≤ 10	> 40 ≤ 10	≤ 40 ≤ 10	> 40 ≤ 10 IP≤1.1.-30	> 40 ≤ 10 IP>1.1.-30		
Indice di gruppo	0		0	0				≤ 4		≤ 8	≤ 12		≤ 16	≤ 20
Tipi usuali dei materiali caratteristici costituenti il gruppo	Ghiaia o breccia, ghiaia o breccia sabbiosa, sabbia grossa, pomice, scorie vulcaniche, pozzolane		Sabbia fine	Ghiaia e sabbia limosa o argillosa				Limo poco compressib.	Limo fortemente compressibili	Argille poco compressib.	Argille fortemente compressibili mediamente plastiche	Argille fortemente compressibili fortemente plastiche	Torbe di recente o remota formazione, detriti organici di origine palustre	
Qualità portanti quale terreno di sottofondo in assenza di gelo	Da eccellente a buono							Da mediocre a scadente					Da scartare come sottofondo	
Azione del gelo sulle qualità portanti del terreno di sottofondo	Nessuna o lieve			Media				Molto elevata		Media	Elevata	Media		
Ritiro o rigonfiamento	Nullo			Nullo o lieve				Lieve o medio		Elevato	Elevato	Molto elevato		
Permeabilità	Elevata			Media o scarsa				Scarsa o nulla						
Identificazione del terreno in sito	Facilmente individuabile a vista	Aspri al tatto incoerenti allo stato asciutto	La maggior parte dei granuli sono individuabili ad occhio nudo Aspri al tatto Una tenacità media o elevata allo stato asciutto indica la presenza di argilla	Reagiscono alle prove di scuotimento * Polverulenti o poco tenaci allo stato asciutto. Non facilmente modellabili allo stato umido				Non reagiscono alla prova di scuotimento * Tenaci allo stato asciutto Facilmente modellabili in bastoncini sottili allo stato umido					Fibrosi di colore bruno o nero Facilmente individuabili a vista	
* Prova di cantiere che può servire a distinguere i limi e le argille. Si esegue scuotendo nel palmo della mano un campione di terra bagnata e comprimendolo successivamente fra le dita. La terra reagisce alla prova se, dopo lo scuotimento, apparirà sulla superficie un velo lucido di acqua libera, che scomparirà comprimendo il campione fra le dita.														

* Prova di cantiere che può servire a distinguere i limi e le argille. Si esegue scuotendo nel palmo della mano un campione di terra bagnata e comprimendolo successivamente fra le dita. La terra reagisce alla prova se, dopo lo scuotimento, apparirà sulla superficie un velo lucido di acqua libera, che scomparirà comprimendo il campione fra le dita.

Schema di classificazione delle terre secondo UNI 10006:2002 e CNR-UNI10006:1963.

2.2.9.3 Documentazione

Le classificazioni eseguite potranno essere documentate nel certificato prodotto relativamente alle analisi granulometriche o in quello relativo ai limiti di Atterberg; o potranno essere contenute in un certificato a parte.

In ogni caso la documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- classe di appartenenza del campione in analisi in relazione ai sistemi di classificazione adottati.

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

2.2.10.1 Generalità

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

2.2.10.2 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 854 - Standard Test Method for Specific Gravity of Soils
- CEN ISO/TS 17892-3:2015 - Geotechnical Investigation and Testing - Laboratory Testing of Soil - Part 3: Determination of particle density - Pycnometer method.

2.2.10.3 Modalità di prova

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

Tutte le misurazioni di massa necessarie alla determinazione del peso specifico dei grani dovranno essere effettuate utilizzando una bilancia con sensibilità pari a 0.001 g.

2.2.10.4 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- quantità di materiale analizzato;
- risultato delle due determinazioni eseguite espresso in Mg/m^3 con indicazione di tre cifre decimali;
- valore medio del peso specifico dei grani;
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, manometro, termometro) di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

2.2.11 DETERMINAZIONE DELLE DENSITÀ MINIMA E MASSIMA

2.2.11.1 Generalità

La determinazione dei valori di densità massima e densità minima di un terreno granulare si esegue attraverso due prove separate, ed è finalizzata al calcolo della densità relativa del terreno.

2.2.11.2 Determinazione della Densità massima con tavola vibrante

2.2.11.2.1 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 4253 - Standard Test Methods for Maximum Index Density and Unit Weight of Soils Using a Vibratory Table.

2.2.11.2.2 Attrezzatura di prova

La prova andrà realizzata utilizzando uno stampo metallico di volume normalmente pari a 2830 cm³, anche in relazione alla granulometria del materiale di prova (v. tabulato ASTM).

Stampi di volume ridotto potranno utilizzarsi dietro autorizzazione della Società, in particolare qualora il materiale di prova non sia sufficiente per riempire la fustella di volume maggiore.

In ogni caso non dovrebbero utilizzarsi fustelle o stampi aventi diametro inferiore a 70 mm, e la cui altezza dovrà essere compresa tra 0.7 e 1.3 volte il diametro.

Per tali tipi di recipienti il peso minimo del materiale di prova (M_s) sarà dato dalla relazione:

$$M_s \text{ [kg]} = 0.0024 V_m$$

dove V_m rappresenta il volume dello stampo o fustella (cm³).

Lo stampo dovrà disporre di un sovraccarico di diametro corrispondente, tale da produrre un carico di 13.8 ± 0.1 kPa.

Durante la prova un comparatore o lvdt dovrà essere posizionato in modo da misurare la differenza in altezza tra la superficie dello stampo e il sovraccarico adagiato sul terreno di prova durante l'addensamento.

Il tavolo vibrante dovrà essere di dimensioni e massa opportuna in accordo alla normativa di riferimento: normalmente un piano di acciaio di base quadrata 760x760 mm, montato su telaio, in grado di produrre una vibrazione a 50-60 Hz di ampiezza variabile; il sistema di applicazione delle vibrazioni potrà essere di tipo eccentrico o elettromagnetico.

2.2.11.2.3 Modalità esecutive

Il metodo produce tipicamente la massima densità secca ottenibile per terreni non coesivi.

La prova potrà eseguirsi su terreni che contengano fino a un massimo del 15% in peso di frazione passante al setaccio 200 ASTM (0,075 mm), e terreni nei quali si abbia il 100% di passante al crivello da 75 mm di diametro.

La prova consiste nel riempire la fustella con il materiale di prova, preventivamente essiccato, nell'applicarle il sovraccarico uniforme e sottoporla a una vibrazione verticale di determinata ampiezza per un tempo stabilito (normalmente pari a 8-10 minuti). Al termine della prova si misurerà l'abbassamento del livello di terreno all'interno della fustella.

Per le esatte modalità di prova e di preparazione del materiale si rimanda a quanto indicato nella normativa di riferimento.

Al termine della prova verrà calcolata la densità massima secca $g_{d \max}$ espressa come il rapporto tra il peso secco del materiale analizzato e il volume finale misurato.

Qualora sia noto il peso specifico dei grani del materiale oggetto di prova sarà calcolato anche l'indice dei vuoti minimo e_{\min} .

2.2.11.2.4 Documentazione

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- quantità di materiale analizzato;
- tipo e caratteristiche delle attrezzature impiegate (tavola vibrante, fustella, sovraccarico, misuratore di spostamento);
- documentazione delle misure effettuate (letture iniziali e finali degli abbassamenti);
- densità massima calcolata ed eventuale indice dei vuoti minimo
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, comparatore manuale o elettrico) di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

2.2.11.3 Determinazione della Densità minima

2.2.11.3.1 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 4254 - Standard Test Methods for Minimum Index Density and Unit Weight of Soils and Calculation of Relative Density.

2.2.11.3.2 Attrezzatura di prova e modalità esecutive

la prova andrà realizzata con lo stesso materiale utilizzato per la determinazione della densità massima.

E' raccomandato l'utilizzo dello stesso stampo di prova usato per la densità massima.

Il riempimento dello stampo potrà avvenire attraverso un mestolo, paletta o cazzuola, o un recipiente di volumetria pari a 1.5 - 2 volte il volume della fustella di prova, con apertura ad imbuto nella parte inferiore con tubo di diametro variabile in relazione al diametro massimo delle particelle di terreno (tecnica di deposizione pluviale).

Il quantitativo di materiale necessario alla prova sarà definito dall'espressione:

$$M_s \text{ [kg]} = 0.0024 V_m$$

dove V_m rappresenta il volume dello stampo o fustella (cm^3).

La prova consiste nel riempire la fustella con il materiale in esame in modo da realizzare il minimo addensamento.

Il riempimento dovrà avvenire in maniera uniforme, mantenendo il più possibile costante l'altezza di caduta delle particelle di terreno (normalmente da 25 mm sopra la superficie).

Per le esatte modalità di prova e di preparazione del materiale si rimanda a quanto indicato nella normativa di riferimento.

Al termine della prova verrà calcolata la densità minima secca $g_{d\ min}$ espressa come il rapporto tra il peso secco del materiale analizzato e il volume finale misurato.

Qualora sia noto il peso specifico dei grani sarà calcolato anche l'indice dei vuoti massimo e_{max} .

2.2.11.3.3 Documentazione

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- quantità di materiale analizzato;
- tipo e caratteristiche delle attrezzature impiegate (fustella, mestolo o contenitore a imbuto);
- documentazione delle misure effettuate (pesi e volumi);
- densità minima calcolata
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia) di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

2.2.12 DETERMINAZIONE DEL CONTENUTO IN SOSTANZE ORGANICHE

2.2.12.1 Generalità

La prova consiste nella determinazione del contenuto di sostanze organiche di un campione di terreno.

2.2.12.2 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 2974 - Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils

2.2.12.3 Modalità di prova

La determinazione del quantitativo di sostanze organiche si eseguirà attraverso l'incenerimento in forno a muffola alla temperatura di 440°C di due provini precedentemente essiccati in forno alla temperatura di 105°C.

La percentuale di sostanza organica dovrà essere riferita alla massa essiccata del campione.

2.2.12.4 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- quantità di materiale analizzato;
- contenuto in sostanza organica espresso in percentuale con indicazione della prima cifra decimale e ottenuto come media di due determinazioni su materiale omogeneo;
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, termostato) di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

2.2.13 DETERMINAZIONE DEL TENORE IN CARBONATI

2.2.13.1 Generalità

La prova consiste nella determinazione del quantitativo di carbonato di calcio presente in un campione di terreno.

2.2.13.2 Normative e specifiche di riferimento

- UNI 11140:2004 - Beni culturali - Malte Storiche - Determinazione del contenuto di anidride carbonica - [Metodo Gasvolumetrico di Dietrich-Fruheling].
- ASTM D 4373 - Standard Test Method for Calcium Carbonate Content of Soils

Salvo quando diversamente specificato si farà riferimento alla norma UNI11140.

2.2.13.3 Modalità di prova

2.2.13.3.1 Prova secondo Standard UNI 11140

il contenuto in carbonati si effettua come media di due determinazioni attraverso un attacco acido per HCl del campione di terreno in analisi, e successiva misura della CO₂ sviluppata (calcimetria) utilizzando l'apparecchiatura di Dietrich-Fruhling.

Prima della determinazione del tenore in carbonati occorrerà preparare e calibrare l'apparecchio di prova secondo quanto indicato dalla norma di riferimento.

2.2.13.3.2 Prova secondo Standard ASTM D4373

Secondo lo Standard ASTM la determinazione del tenore in carbonati sarà effettuata come media di due determinazioni misurando la pressione sviluppata in un cilindro a tenuta stagna (calcimetro) dalla reazione di 1 g di terreno polverizzato con 20 ml di acido cloridrico in soluzione 1 N.

Prima della determinazione del tenore in carbonati del terreno in esame si dovrà procedere alla calibrazione del calcimetro attraverso la determinazione della pressione corrispondente a quantitativi di carbonato di calcio puro pari a 0.2 g, 0.4 g, 0.6 g, 0.8 g e 1.0 g ottenute come media di due determinazioni e riportate in una curva di calibrazione.

2.2.13.4 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- apparecchiatura utilizzata e norma di riferimento;
- quantità di materiale analizzato;
- tenore in carbonati espresso in percentuale con indicazione della prima cifra decimale e ottenuto come media di due determinazioni su materiale omogeneo;
- documentazione delle misure effettuate;
- curva di calibrazione del calcimetro impiegato (per prove realizzate secondo lo standard ASTM);

- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, eventuale manometro) di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

2.2.14 DETERMINAZIONE DEL CONSUMO INIZIALE DI CALCE

2.2.14.1 Generalità

La determinazione del consumo iniziale di calce rappresenta una delle prove utilizzabili allo scopo di verificare l'idoneità di un terreno al trattamento con calce, in quanto fornisce indicazioni circa il quantitativo minimo di calce che sarebbe necessario additivare per il tipo di terreno in esame.

2.2.14.2 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM C 977 - Standard Specification for Quicklime and Hydrated Lime for Soil Stabilisation. Appendix: Test Method for Determining Stabilisation Ability of Lime.
- ASTM D 6276 - Standard Test Method for using Ph to Estimate the Soil Lime Proportion Requirement for Soil stabilisation.

Salvo quando diversamente specificato si farà riferimento alla norma ASTM D 6276. In ogni caso ci si dovrà attenere a quanto riportato di seguito.

2.2.14.3 Modalità esecutive

La determinazione del consumo di calce si eseguirà sul terreno preventivamente setacciato al passante n° 40 ASTM (0.425 mm). Tale setacciatura è parte integrante della prova.

Dal materiale così ottenuto saranno preparati una serie di provini (minimo 4) di peso pari a $25 \pm 0,5$ g ($20 \pm 0,05$ g secondo ASTM C 977) cadauno, inseriti in altrettanti contenitori (in plastica o in vetro) di capacità non inferiore a 150 ml, provvisti di coperchio a tenuta.

Saranno quindi preparati altrettanti porzioni di calce viva, corrispondenti rispettivamente (almeno) al 2%, 3%, 4% , 6% in peso dei provini di terreno, con una accuratezza di 0,01 g.

Le porzioni di calce così preparate saranno addizionate ai rispettivi provini di terreno contenuti nei recipienti e mescolati accuratamente, a secco, avendo cura di non disperdere materiale. Ogni recipiente sarà etichettato e identificato con il corrispondente contenuto % di calce.

Ad ogni recipiente verranno quindi addizionati 100 ml di acqua distillata, con temperatura pari a 25 ± 1 °C (21 °C secondo ASTM C 977). I contenitori verranno sigillati e i tre componenti ivi contenuti saranno mescolati agitando i recipienti.

L'agitazione dei recipienti dovrà avvenire per 30 secondi continuativi ogni 10 minuti, da protrarsi per il tempo complessivo di 1 ora.

Dopo aver mescolato ogni recipiente per 1 ora, lo si agita energicamente un'ultima volta, e si trasferisce parte del contenuto in un beaker.

Se è necessario, scaldare o raffreddare la miscela per mantenere la temperatura richiesta. Entro 15 minuti dall termine dell'agitazione si misura quindi il pH della miscela con un pHmetro che sia stato preventivamente tarato al valore di 12,45 attraverso uno slurry (miscela) di calcio idrossidrato in acqua.

2.2.14.4 Elaborazione dei risultati

- Laddove il pH misurato per alcune miscele sia uguale o superiore a 12,40, la miscela contenente il minore contenuto di calce che dia un pH di 12,40 rappresenta quella la cui percentuale di calce è quella richiesta per la stabilizzazione del terreno in esame.
- Se il pH misurato nelle varie miscele non eccede il valore di 12,30, e più di una miscela fornisce tale valore di pH, quella contenente il minore contenuto di calce rappresenta quella la cui percentuale di calce è quella richiesta per la stabilizzazione del terreno in esame.
- Se il pH misurato nelle varie miscele non eccede il valore di 12,30 e solo la miscela contenente la maggior percentuale di calce restituisce un pH pari a 12,30, sarà necessario realizzare nuovi test preparando nuovi provini, usando maggiori percentuali di calce.

2.2.14.5 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- numero di provini preparati e percentuale corrispondente di calce utilizzata;
- documentazione delle misure di pH effettuate su ogni provino;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

2.3 DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DI COMPRESSIBILITÀ

Le prove edometriche consistono nella determinazione dell'entità e della velocità della consolidazione di terreni coesivi soggetti ad incrementi tensionali. Le prove possono essere condotte ad incrementi di carico controllati (prove IL) o a velocità di deformazione controllata (prove CRS). Nel corso della prova edometrica, oltre ai parametri normalmente calcolati, è possibile eseguire determinazioni dirette di permeabilità. Le attrezzature edometriche possono inoltre essere utilizzate per valutare gli indici e le proprietà di rigonfiamento del terreno.

2.3.1 PROVA EDOMETRICA A INCREMENTI DI CARICO CONTROLLATI (IL)

2.3.1.1 Normative e specifiche di riferimento

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

Quando espressamente richiesto potrà anche farsi riferimento alla seguente specifica tecnica:

- CEN ISO/TS 17892-5:2017 - Geotechnical Investigation and Testing - Laboratory Testing of Soil - Part 5 - Incremental Loading Oedometer Test.

2.3.1.2 Modalità di prova

La prova di compressione edometrica ad incrementi di carico controllati dovrà essere condotta su provini cilindrici di diametro non inferiore a 50 mm e rapporto diametro/altezza compreso tra 2.5 e 6.

Per prove da realizzarsi su campioni indisturbati i provini saranno preparati con apposito tornietto campionatore per materiali poco consistenti si potrà infiggere l'anello porta campione a pressione direttamente nel campione da analizzare; in nessun caso sarà possibile infiggere a mano l'anello porta campione. L'altezza dei provini dovrà in ogni caso essere maggiore di 10 volte il diametro massimo delle particelle costituenti il materiale in prova. La preparazione del provino dovrà avvenire in ambiente ad umidità controllata in modo da evitare qualsiasi variazione al contenuto d'acqua iniziale.

Per prove da realizzarsi su provini rimaneggiati, ricompattati o ricostruiti si seguiranno le indicazioni della Società, in accordo a quanto riportato nel capitolo 2.1.1

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

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

La prova sarà condotta applicando la seguente successione di carico: 12 kPa, 25 kPa, 50 kPa, 100 kPa, 200 kPa, 400 kPa, 800 kPa, 1600 kPa, 3200 kPa.

L'applicazione dei carichi più bassi potrà indurre rigonfiamento nel provino; qualora ciò avvenisse si passerà immediatamente al gradino di carico successivo.

In seguito, al termine della prova, si eseguirà la fase di scarico finale con esecuzione di almeno 3

gradini di scarico.

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

All'applicazione del primo carico, tale per cui il provino non mostri tendenza al rigonfiamento, si aggiungerà acqua nella cella edometrica, fino a che provino e pietra porosa superiore siano completamente sommersi.

Solo se e quando richiesto dalla Società si procederà all'inserimento dell'acqua nella cella dopo aver raggiunto un carico verticale pari alla tensione geostatica esistente in sito.

Per ciascun gradino di carico si procederà alla registrazione delle deformazioni secondo uno schema temporale in successione geometrica, mantenendo il carico per almeno 24 ore, qualora questo intervallo di tempo sia sufficiente per consentire una chiara individuazione del tempo di fine consolidazione (t_{100}). Qualora ciò non avvenga il gradino di carico dovrà essere mantenuto per tutto il tempo tecnicamente necessario.

In alcune determinate circostanze potrà essere richiesto di effettuare prove di creep o aging, mantenendo costante un determinato carico per più giorni consecutivi.

Durante l'esecuzione della prova si procederà alla costruzione del diagramma deformazione verticale - logaritmo del carico verticale ($\epsilon_v - \log s'_v$), costruito impiegando i valori di cedimento corrispondenti ai t_{100} , in modo da valutare l'andamento del processo di consolidazione. La prova dovrà essere condotta fino al carico massimo previsto, pari normalmente a 3200 kPa; salvo diversa autorizzazione della Società.

Quando espressamente richiesto, o qualora il diagramma relativo alla pressione massima applicata non fosse sufficiente a identificare tre punti allineati dopo la massima curvatura, la prova dovrà essere condotta fino al carico massimo di 6400 kPa.

Si procederà anche alla determinazione dei valori del coefficiente di consolidazione verticale c_v , del coefficiente di permeabilità k e (e laddove possibile) del coefficiente di consolidazione secondaria c_a in corrispondenza di tutti i livelli di carico, salvo quando la Società richieda esplicitamente la determinazione dei suddetti parametri per un numero ridotto di gradini. Laddove sia stato esplicitamente richiesto di calcolare c_a in corrispondenza di determinati valori di tensione applicata, tali gradini di carico dovranno essere prolungati per tutto il tempo necessario a identificare con chiarezza la curva di cedimento secondario.

La determinazione di c_v dovrà avvenire preferibilmente con il metodo di Casagrande. Laddove si renda necessario adottare il metodo di Taylor, occorrerà restituire il corrispondente grafico cedimenti - radice quadrata del tempo.

2.3.1.3 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- dimensioni iniziali e finali del provino;
- contenuto d'acqua iniziale e finale del provino;
- indice dei vuoti iniziale e finale del provino;
- peso di volume iniziale e finale del provino;

- grado di saturazione iniziale e finale del provino (qualora sia stato determinato il peso specifico dei grani del campione);
- tabella riassuntiva riportante i valori di deformazione verticale percentuale e di indice dei vuoti (qualora sia stato determinato il peso specifico dei grani del campione) per ciascun livello di carico ed i valori del modulo edometrico nei tratti di carico;
- tabella con i valori di c_v , k e c_a ;
- diagramma indice dei vuoti - logaritmo del carico verticale efficace ($e - \log s'_v$) costruito sulla base dei cedimenti corrispondenti ai t_{100} di fine consolidazione e dietro richiesta, anche al termine dei gradini di carico;
- diagramma logaritmo del carico - logaritmo del modulo edometrico;
- tabelle cedimento - tempo per ciascun gradino di carico o scarico;
- diagramma cedimento - logaritmo del tempo per tutti i gradini di carico; e in aggiunta, diagramma cedimento - radice quadrata del tempo per i gradini di carico per i quali sia stato determinato c_v con il metodo di Taylor;
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, comparatori o trasduttori di spostamento lineari, eventuali trasduttori di carico) di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

2.3.2 PROVA EDOMETRICA A VELOCITÀ DI DEFORMAZIONE CONTROLLATA (CRS)

2.3.2.1 Normative e specifiche di riferimento

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

2.3.2.2 Modalità di prova

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

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

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

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

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

La prova sarà quindi condotta incrementando i carichi applicati in modo che l'eccesso di pressione interstiziale generato sia in ogni momento compreso tra il 3% ed il 20% del carico verticale applicato.

Di seguito si riportano dei valori indicativi delle velocità di deformazione da adottare in funzione del limite liquido del campione in esame.

VELOCITÀ DI DEFORMAZIONE

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

In nessun caso è consentito variare la velocità di deformazione nel corso della prova.

Durante la prova si procederà al monitoraggio e alla registrazione ad intervalli di tempo appropriati del carico assiale applicato, della pressione interstiziale e della deformazione indotta.

La prova dovrà essere protratta sino ad ottenere chiaramente l'andamento rettilineo dopo la massima curvatura; in seguito si eseguirà la fase di scarico finale. Tenuto conto che nella fase di scarico l'eccesso di pressione interstiziale diventa negativo, il valore iniziale di back-pressure applicato dovrà essere scelto in modo che la pressione neutra misurata alla base del provino non scenda mai al di sotto della pressione atmosferica.

Durante la fase di carico si eseguirà inoltre un ciclo di scarico ricarico a partire dalla tensione geostatica s'_{vo} e sino alla tensione minima pari a $s'_{vo}/4$.

Nel corso della prova si procederà inoltre alla determinazione di almeno 10 valori del coefficiente di consolidazione verticale c_v e del modulo edometrico.

Ove richiesto si procederà anche alla determinazione dei valori di c_a in corrispondenza di livelli di carico indicati dalla Società interrompendo la progressione di carico e consentendo la completa dissipazione delle pressioni interstiziali.

2.3.2.3 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- dimensioni iniziali e finali del provino;
- contenuto d'acqua iniziale e finale del provino;
- indice dei vuoti iniziale e finale del provino;
- peso di volume iniziale e finale del provino;
- grado di saturazione iniziale e finale del provino;
- velocità di deformazione adottata;
- valore di back-pressure applicato;
- tabella riassuntiva riportante i valori misurati di deformazione verticale, di pressione interstiziale, di carico verticale applicato ed i relativi tempi;

- tabella riassuntiva con i valori calcolati di deformazione verticale percentuale, indice dei vuoti, carico verticale efficace, modulo edometrico e coefficiente di consolidazione verticale c_v ;
- tabella con i valori di c_a ove richiesto;
- diagramma indice dei vuoti - logaritmo del carico verticale efficace ($e - \log s'_v$);
- diagramma deformazione verticale percentuale - logaritmo del carico verticale efficace;
- diagramma logaritmo del modulo edometrico - logaritmo del carico verticale efficace;
- diagramma coefficiente di consolidazione verticale - logaritmo del carico verticale efficace;
- diagramma cedimento - logaritmo del tempo per i soli livelli tensionali per i quali è richiesta la determinazione di c_a ;
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, comparatori o trasduttori di spostamento lineari, anelli dinamometrici o trasduttori di carico; trasduttori di pressione; regolatore di velocità della pressa di carico) di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

2.3.3 MISURA DELLA PERMEABILITÀ PER VIA DIRETTA IN EDMETRO

2.3.3.1 Modalità di prova

La determinazione del coefficiente di permeabilità verticale k potrà essere eseguita per via diretta a carico idraulico variabile in edometro nel corso di una prova edometrica o ad un particolare livello di carico utilizzando una attrezzatura edometrica fornita di apposita buretta graduata per l'applicazione di un carico idraulico al provino; nel corso dell'assemblaggio della cella si dovrà porre particolare attenzione alla completa disaerazione e saturazione di tutti i circuiti idraulici evitando in particolare di intrappolare aria tra provino, filtri in carta e pietre porose. E' opportuno che il flusso idraulico avvenga dal basso verso l'alto al fine di consentire una migliore saturazione del provino.

Prima della misura della permeabilità si dovrà controllare che il processo di consolidazione conseguente l'applicazione del carico verticale sia esaurito, al fine di evitare che il gradiente idraulico generato dal processo di consolidazione interferisca con il flusso idraulico impiegato per la prova alterando i valori di permeabilità misurati.

Le misure di permeabilità dovranno essere protratte sino alla completa stabilizzazione del valore del coefficiente k .

2.3.3.2 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- dimensioni iniziali e finali del provino;
- contenuto d'acqua iniziale e finale del provino;
- indice dei vuoti iniziale e finale del provino;
- peso di volume iniziale e finale del provino;
- grado di saturazione iniziale e finale del provino;
- valore del carico idraulico iniziale applicato al provino;
- sezione della buretta di prova;
- tabella riassuntiva riportante i valori misurati di deformazione verticale, di carico idraulico ed i relativi tempi;
- tabella riassuntiva con i valori di permeabilità calcolati;
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, comparatori o trasduttori di spostamento lineari) di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

2.3.4 DETERMINAZIONE DEL RIGONFIAMENTO LIBERO

2.3.4.1 Generalità

La prova consiste nella determinazione dell'entità del rigonfiamento libero di un terreno conseguente a rilascio tensionale ed assorbimento d'acqua.

2.3.4.2 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 4546 - 90 - Standard Test Methods for One-Dimensional Swell or Settlement Potential of Cohesive Soils - Method A

2.3.4.3 Modalità di prova

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

Durante la preparazione del provino sarà opportuno inserire un disco in materiale rigido (plastico o metallico) alla base dell'anello, di spessore pari indicativamente a 2,0 mm, tale da ottenere un provino di altezza ridotta della stessa entità. In tal modo, durante l'esecuzione della prova vera e propria, ogni eventuale rigonfiamento del provino potrà avvenire garantendo comunque il confinamento laterale in ogni fase.

Per l'esecuzione della prova si potrà impiegare la normale attrezzatura edometrica.

Nella preparazione della cella edometrica si impiegheranno pietre porose e filtri in carta non saturati, al fine di evitare prematuri rigonfiamenti del provino.

La prova sarà condotta previo raggiungimento a secco di un carico verticale pari alla tensione geostatica efficace esistente in sito o a qualunque altro valore comunicato dalla Società; successivamente si scaricherà completamente il provino, ad eccezione di un carico di serraggio pari a 5 kPa e si inonderà il provino con acqua registrando le conseguenti variazioni di altezza in funzione del tempo.

Il valore della deformazione di rigonfiamento sarà individuato dall'intersezione della retta di rigonfiamento primario con la retta di rigonfiamento secondario.

2.3.4.4 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- dimensioni iniziali e finali del provino;
- contenuto d'acqua iniziale e finale del provino;
- indice dei vuoti iniziale e finale del provino;

- peso di volume iniziale e finale del provino;
- grado di saturazione iniziale e finale del provino;
- valore del carico massimo applicato al provino;
- tabella riassuntiva riportante i valori misurati di deformazione verticale ed i relativi tempi;
- diagramma deformazione verticale - logaritmo del tempo;
- diagramma indice dei vuoti - logaritmo del tempo;
- valore del rigonfiamento libero espresso in percentuale rispetto all'altezza del provino corrispondente al carico verticale iniziale applicato;
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, comparatori o trasduttori di spostamento lineari) di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

2.3.5 DETERMINAZIONE DELLA PRESSIONE DI RIGONFIAMENTO

2.3.5.1 Generalità

La prova consiste nella determinazione della pressione di rigonfiamento di un terreno conseguente ad assorbimento d'acqua.

2.3.5.2 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 4546 - 90 - Standard Test Methods for One-Dimensional Swell or Settlement Potential of Cohesive Soils

2.3.5.3 Modalità di prova

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

Per l'esecuzione della prova si potrà impiegare la normale attrezzatura edometrica.

Nella preparazione della cella edometrica si impiegheranno pietre porose e filtri in carta non saturati, al fine di evitare prematuri rigonfiamenti del provino.

2.3.5.3.1 Prova condotta in accordo allo standard ASTM

L'esecuzione della prova avverrà normalmente in accordo allo standard D 4546 - method C, fatto salvo quando diversamente specificato.

La prova sarà condotta previo raggiungimento a secco di un carico verticale pari alla tensione geostatica efficace esistente in sito o a qualunque altro valore comunicato dalla Società; successivamente si scaricherà completamente il provino, ad eccezione di un carico di serraggio pari a 5 kPa o di qualunque altro valore indicato dalla Società, si inonderà il provino con acqua e si incrementerà il carico verticale attraverso successivi incrementi di 5 kPa (salvo diversa necessità) impedendo qualsiasi rigonfiamento del provino. In questa fase le deformazioni del provino non dovranno superare 0.01 mm.

Quando il provino comincia a manifestare apprezzabili cedimenti di consolidazione si procederà ad aumentare ulteriormente il carico in incrementi di 5 kPa, o in progressione geometrica (12, 25, 50, ecc, kPa), secondo le indicazioni della società, fino ad ottenere almeno tre punti allineati dopo la massima curvatura, così da poter determinare la pendenza della curva di compressione vergine.

Se richiesto la prova potrà proseguire come una normale prova edometrica.

Al termine della prova si procederà allo scarico finale, con le stesse modalità di una normale prova edometrica.

Il valore della pressione di rigonfiamento sarà individuato sul diagramma deformazione o indice dei vuoti - logaritmo del carico verticale efficace dall'intersezione tra il prolungamento del tratto

rettilineo individuato dopo la massima curvatura del diagramma e la bisettrice dell'angolo formato dalla tangente e dalla retta orizzontale passanti per il punto di massima curvatura del diagramma.

2.3.5.3.2 Altre modalità di prova

A richiesta della società si potrà procedere secondo la procedura seguente, non codificata da ASTM.

La prova sarà condotta previo raggiungimento a secco di un carico verticale pari alla tensione geostatica efficace esistente in sito o a qualunque altro valore comunicato dalla Società; l'inondazione del provino con acqua potrà avvenire ad inizio prova, simultaneamente all'incremento del carico o al raggiungimento del carico previsto, secondo indicazioni da concordare in relazione al tipo di materiale e alle tensioni previste. Successivamente si incrementerà il carico verticale attraverso successivi incrementi tensionali, impedendo qualsiasi rigonfiamento del provino.

Gli incrementi tensionali potranno essere pari a 12-25 kPa, o potranno essere via via differenti in relazione allo stato tensionale del provino e alle condizioni di prova imposte. In questa fase le deformazioni del provino non dovranno superare 0.01 mm.

Quando il provino comincerà a manifestare apprezzabili cedimenti di consolidazione, senza ulteriore rigonfiamento, si procederà alla diminuzione del carico per giungere allo scarico finale, con modalità simili a quella di una normale prova edometrica; in particolare, qualora si osservi una marcata e prolungata tendenza al recupero delle deformazioni, ogni gradino dovrà prolungarsi per almeno 24 ore, e lo scarico verrà frazionato in un numero maggiore di gradini di scarico.

2.3.5.4 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- dimensioni iniziali e finali del provino;
- contenuto d'acqua iniziale e finale del provino;
- indice dei vuoti iniziale e finale del provino;
- peso di volume iniziale e finale del provino;
- grado di saturazione iniziale e finale del provino;
- valore del carico massimo applicato al provino;
- tabella di sintesi comprendente i carichi applicati e le relative deformazioni verticali;
- diagramma indice dei vuoti - logaritmo del carico;
- valore della pressione di rigonfiamento calcolata con indicazione della procedura adottata;
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, comparatori o trasduttori di spostamento lineari) di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

2.3.6 DETERMINAZIONE DEL RIGONFIAMENTO HUDER AMBERG

2.3.6.1 Generalità

La prova consiste nel riprodurre il comportamento rigonfiante di un terreno fortemente sovraconsolidato, in seguito all'effetto combinato alla riduzione delle tensioni geostatiche applicate e dell'incremento del contenuto d'acqua.

2.3.6.2 Normative e specifiche di riferimento

La prova non è attualmente normata negli standards internazionali di riferimento. La prova riporta il nome degli autori che l'hanno ideata e pubblicata nel testo seguente:

- Huder J., Amberg G. (1970) - Quelling in Mergel. opalinuston und Anhydrit. Schweizerische Bauzeitung. Heft 43.

2.3.6.3 Modalità esecutive

La prova dovrà essere condotta su provini cilindrici di diametro non inferiore a 50 mm e rapporto diametro/altezza non inferiore a 2.5 preparati con apposito tornietto campionatore a partire da campioni indisturbati. Per materiali poco consistenti si potrà infiggere l'anello porta campione a pressione direttamente nel campione da analizzare. In nessun caso sarà possibile infiggere a mano l'anello porta campione.

L'altezza dei provini dovrà in ogni caso essere maggiore di 10 volte il diametro massimo delle particelle costituenti il materiale in prova. La preparazione del provino dovrà avvenire in ambiente ad umidità controllata in modo da evitare qualsiasi variazione al contenuto d'acqua iniziale.

Per l'esecuzione della prova si potrà impiegare la normale attrezzatura edometrica.

Nella preparazione della cella edometrica si impiegheranno pietre porose e filtri in carta non saturati, al fine di evitare prematuri rigonfiamenti del provino.

La prima parte della prova consisterà nell'applicazione al provino di una progressione geometrica dei carichi sino a raggiungere la tensione verticale stimata in sito, o altro valore indicato dalla Società. Durante questa prima fase non verrà aggiunta acqua in cella. Una pellicola di plastica avvolta sopra la cella edometrica eviterà l'essiccazione del campione. Ogni carico sarà applicato per un tempo relativamente breve (30 - 180 minuti), fino a quando la velocità di ulteriore cedimento sia praticamente trascurabile. Qualora il provino manifesti tendenza al rigonfiamento durante l'applicazione della data tensione si passerà all'applicazione della successiva.

Seguirà un primo ciclo di scarico ricarico, da eseguirsi sempre a secco, con le stesse modalità, e comprendente almeno tre gradini di scarico e tre di ricarico. La pressione massima raggiunta al termine del ciclo completo sarà normalmente uguale al carico già raggiunto durante il primo carico iniziale.

Durante tutte le fasi di prova a secco verranno monitorate le deformazioni verticali, e verranno registrate quelle ottenute al termine di ogni gradino di carico/scarico.

Raggiunto il carico richiesto ed esauriti i cedimenti, si eseguirà la prova vera a propria: la cella verrà riempita d'acqua ed inizierà la fase di scarico della tensione verticale, sempre secondo la stessa progressione geometrica.

Ogni gradino a carico costante verrà mantenuto per tutto il periodo di tempo necessario ad esaurire completamente il rigonfiamento (anche più di 24 ore per ogni singolo gradino). La prova sarà considerata terminata una volta raggiunto lo scarico totale del provino.

Durante tutte le fasi di prova in immersione verranno acquisite e registrate tutte le deformazioni verticali in funzione del tempo, con progressione geometrica.

2.3.6.4 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- dimensioni iniziali e finali del provino;
- contenuto d'acqua iniziale e finale del provino;
- indice dei vuoti iniziale e finale del provino;
- peso di volume iniziale e finale del provino;
- massima tensione raggiunta e tensione alla quale è stata aggiunta l'acqua in cella edometrica;
- diagramma deformazione verticale - logaritmo del carico verticale efficace ($e - \log s'_v$) costruito sulla base dei cedimenti corrispondenti al termine di ogni gradino di carico scarico, con indicazione univoca dei punti appartenenti al primo carico, al ciclo di scarico/ricarico a secco, e allo scarico terminale in saturazione;
- tabelle riportanti il tempo e la deformazione finale registrata al termine di ogni gradino di carico-scarico-ricarico avvenuti in assenza di saturazione;
- tabelle riportanti tutte le letture rigonfiamento - tempo per ciascun gradino di scarico avvenuto in saturazione;
- diagramma cedimento - logaritmo del tempo per tutti i gradini di scarico avvenuti in saturazione;
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, comparatori o trasduttori di spostamento lineari, eventuali trasduttori di carico) di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

2.4 DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DI RESISTENZA E DEFORMABILITÀ

2.4.1 PROVA DI TAGLIO CON SCISSOMETRO DA LABORATORIO

2.4.1.1 Generalità

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

2.4.1.2 Normative e specifiche di riferimento

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

2.4.1.3 Modalità di prova

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

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

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

2.4.1.4 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- dimensioni del provino;
- dimensioni delle palette di prova;
- velocità di rotazione adottata;
- valore della resistenza di picco e della resistenza residua espresse in kPa;
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo (trasduttori di torsione) o della curva di calibrazione delle molle di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

2.4.2 PROVA DI COMPRESSIONE MONOASSIALE AD ESPANSIONE LATERALE LIBERA

2.4.2.1 Generalità

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

2.4.2.2 Normative e specifiche di riferimento

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

Quando espressamente richiesto potrà anche farsi riferimento alla seguente specifica tecnica:

- CEN ISO/TS 17892-7:2018 - Geotechnical Investigation and Testing - Laboratory Testing of Soil - Part 7 - Unconfined Compression Test.

Nel caso in cui il materiale oggetto di prova sia stato preventivamente costipato (per es. secondo la procedura Proctor), su materiale naturale o stabilizzato, la prova potrà essere eseguita, dietro richiesta, in accordo alla seguente normativa:

- ASTM D 5102 - Standard Test Methods for Unconfined Compression Strength of Compacted soil Lime mixtures

2.4.2.3 Modalità di prova

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

Nel caso si operi con materiale preventivamente costipato e trattato con leganti idraulici, dietro richiesta o autorizzazione della Società, la prova potrà essere effettuato su provini avente rapporto altezza/diametro pari a 1.15 (quanto risulta per es. dal costipamento Proctor in fustella da 6"). In tal caso il valore di resistenza a compressione determinato a fine prova non sarà direttamente confrontabile con quello risultante da provini aventi rapporto H/D pari a 2..

Il provino così preparato sarà posizionato nella pressa di carico previa lubrificazione delle piastre di carico, al fine di evitare attriti tra le estremità del provino e le piastre di carico; in tale fase si avrà cura di centrare perfettamente il provino rispetto alle piastre di carico.

La velocità di deformazione adottata nella prova dovrà essere compresa tra 0.5 e 2 %/min.; durante l'applicazione del carico si procederà alla registrazione ad intervalli di tempo regolari del carico applicato e della corrispondente deformazione assiale, in modo da avere almeno 15 coppie di valori.

La prova dovrà in ogni caso essere protratta sino ad ottenere una deformazione assiale pari ad almeno il 15%.

2.4.2.4 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- dimensioni del provino;
- peso di volume naturale;
- contenuto d'acqua iniziale;
- velocità di deformazione adottata;
- carico di rottura e corrispondente deformazione assiale;
- tabella di sintesi con i valori di carico e deformazione assiale registrati;
- diagramma carico assiale - deformazione assiale;
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo (bilancia, comparatori millesimali o trasduttori lineari di spostamento, anelli dinamometrici o trasduttori di carico) di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

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

2.4.3.1 Generalità

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

2.4.3.2 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 2850 - Standard Test Method for Unconsolidated, Undrained Compressive Strength of Cohesive Soils in Triaxial Compression.
- CEN ISO/TS 17892-8:2018 - Geotechnical Investigation and Testing - Laboratory Testing of Soil - Part 8 - Unconsolidated Undrained Triaxial Test.

2.4.3.3 Modalità di prova

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

La prova sarà condotta senza saturazione preliminare adottando i valori della tensione di confinamento (tensione di cella) stabiliti dalla Società. Solo quando espressamente richiesto, la prova potrà condursi previa saturazione preliminare, che sarà da realizzarsi secondo le modalità indicate dalla Società.

La fase di compressione assiale sarà condotta adottando velocità di deformazioni comprese tra 0.3 e 1 %/min. in funzione delle caratteristiche di plasticità del materiale e sarà in ogni caso protratta sino al raggiungimento di valori della deformazione assiale non inferiori al 15 %.

2.4.3.4 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione e dei provini sottoposti a prova;
- dimensioni dei provini;
- peso di volume naturale;
- contenuto d'acqua iniziale dei provini;
- velocità di deformazione adottata;
- valore della pressione di cella adottata per ciascun provino;
- tabella di sintesi con i valori di sforzo deviatorico e deformazione assiale registrati per ciascun provino;

- diagramma sforzo deviatorico - deformazione assiale per ciascun provino;
- valori dello sforzo deviatorico e della deformazione assiale a rottura per ciascun provino;
- rappresentazione dello stato di sforzo a rottura espresso in termini di sforzi totali nel piano s/t a mezzo cerchi di Mohr con indicazione dell'involuppo di rottura;
- indicazione del valore di resistenza al taglio del campione esaminato espresso in termini di tensioni totali dal parametro c_u ;
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo (bilancia, comparatori millesimali o trasduttori lineari di spostamento, anelli dinamometrici o trasduttori di carico; manometri o trasduttori di pressione) di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

2.4.4 PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE CONSOLIDATA - NON DRENATA (CU)

2.4.4.1 Generalità

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

2.4.4.2 Normative e specifiche di riferimento

- A.G.I. (1994) - Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio
- ASTM D 4767 - Standard Test Method for Consolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils
- CEN ISO/TS 17892-9:2018 - Geotechnical Investigation and Testing - Laboratory Testing of Soil - Part 9 - Consolidated Triaxial Compression Test on water Saturated Soil.

2.4.4.3 Modalità di prova

La prova sarà eseguita provini cilindrici, nel numero indicato dalla Società, di diametro non inferiore a 35 mm e rapporto altezza/diametro normalmente compreso tra 2 e 2.5.

Per prove da realizzarsi su campioni indisturbati i provini saranno preparati con apposito tornietto campionatore; per materiali poco consistenti si potrà infiggere a pressione direttamente nel campione da analizzare apposita fustella calibrata; in nessun caso sarà possibile infiggere a mano la fustella. Il diametro dei provini dovrà in ogni caso essere maggiore di 6 volte il diametro massimo delle particelle costituenti il materiale in prova. Particolare importanza assume la preparazione delle facce terminali dei provini che dovranno essere perfettamente piane e perpendicolari all'asse dei provini. La preparazione del provino dovrà avvenire in modo da evitare qualsiasi variazione al contenuto d'acqua iniziale.

Per prove da realizzarsi su provini rimaneggiati, ricompattati o ricostruiti si seguiranno le indicazioni della Società, in accordo a quanto riportato nel capitolo 2.1.1. In presenza di campioni sabbiosi la preparazione del provino potrà avvenire con l'ausilio di uno stampo (mould) apribile longitudinalmente montata direttamente nella cella di prova.

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

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

Dopo ogni gradino di saturazione, una volta raggiunta la completa stabilizzazione delle pressioni, si provvederà alla misura del grado di saturazione raggiunto attraverso la determinazione del parametro B; la fase di saturazione potrà essere conclusa solo quando il parametro B assumerà valori superiori a 0.95 in due successive determinazioni. Valori inferiori di B saranno considerati accettabili solo laddove sia documentato che ad un aumento del 50% del valore di BP non corrisponda alcun incremento del valore di B.

La determinazione di B avverrà applicando, a drenaggi chiusi, una pressione di cella normalmente

compresa tra 25 kPa e 50 kPa e misurando il conseguente incremento di pressione dei pori. La misura dell'incremento di D_u dovrà avvenire normalmente entro max 2 minuti dall'applicazione di D_s , o, in alcune circostanze particolari, in tempi comunque mai superiori a 10 minuti.

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

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

La consolidazione sarà normalmente di tipo isotropo. Consolidazione anisotropa potrà essere richiesta dalla Società; in tal caso l'apparecchiatura di prova dovrà garantire il mantenimento del corretto rapporto tra carico assiale a trasversale per tutta la durata della consolidazione.

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

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

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

I valori di ϵ_r (da riportare in percentuale), funzione del tipo di materiale, risultano generalmente compresi tra un valore minimo del 2%, valido per terreni molto consistenti, sovraconsolidati, ad un valore massimo del 10, 12% valido per terreni coesivi teneri.

Durante tutta la fase di rottura verranno monitorati e registrati ad intervalli di tempo opportuni, i valori di sforzo deviatorico, deformazione assiale e pressione interstiziale.

Dietro richiesta della società la rottura potrà realizzarsi secondo diversi percorsi tensionali, quali:

- *compressione per scarico*, mantenendo costante il carico assiale s_v e diminuendo la pressione laterale s_H ;
- *estensione per carico*, mantenendo costante il carico assiale s_v e aumentando la pressione laterale s_H ;
- *estensione per scarico*, mantenendo costante la pressione laterale s_H , e diminuendo il carico assiale s_v .

In tali casi la prova potrà eseguirsi solo tramite sistema di servocontrollo dei segnali associati alla trasmissione dello sforzo assiale e delle tensioni laterali. Il sistema pressa + cella triassiale dovrà all'occorrenza essere in grado di lavorare con sforzi deviatorici assiali negativi.

2.4.4.4 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione e dei provini sottoposti a prova;
- dimensioni iniziali dei provini;
- peso di volume naturale, contenuto d'acqua e grado di saturazione iniziale dei provini;
- tabella riassuntiva con i valori delle pressioni di cella e della back-pressure adottati durante la fase di saturazione, con indicazione del valore assunto dal parametro B al termine di ciascun gradino; eventuale tabulato, anche in minuta, dei valori acquisiti: tempo / pressione dei pori misurata / acqua assorbita;
- valori della back-pressure e della pressione di cella adottati durante la fase di consolidazione per ciascun provino;
- tabella con i valori della variazione volumetrica e dei relativi tempi di acquisizione durante la fase di consolidazione per ciascun provino;
- diagramma variazione di volume - logaritmo del tempo, o in alternativa variazione di volume - radice quadrata del tempo, durante la fase di consolidazione per ciascun provino;
- valore del tempo di fine consolidazione t_{100} di ciascun provino;
- peso di volume, contenuto d'acqua e grado di saturazione di ciascun provino al termine della fase di consolidazione, qualora richiesti;
- dimensioni dei provini al termine della fase di consolidazione, qualora richiesto;
- velocità di deformazione adottata nella fase di rottura;
- peso di volume, contenuto d'acqua e grado di saturazione di ciascun provino al termine della fase di rottura;
- tabella di sintesi con i valori di sforzo deviatorico, deformazione assiale e pressione interstiziale registrati per ciascun provino in fase di rottura;
- diagramma sforzo deviatorico - deformazione assiale per ciascun provino;
- diagramma pressione interstiziale - deformazione assiale per ciascun provino;
- diagramma rapporto degli sforzi principali efficaci - deformazione assiale per ciascun provino;
- diagramma parametro A delle pressioni interstiziali - deformazione assiale per ciascun provino;
- valori dello sforzo deviatorico e della deformazione assiale a rottura per ciascun provino;
- rappresentazione del percorso di sollecitazione di tutti i provini sottoposti a prova espresso in termini di sforzi efficaci nel piano $(s'_1 + s'_3)/2$ vs $(s'_1 - s'_3)/2$ con indicazione dell'involuppo di rottura;
- rappresentazione dello sforzo a rottura in termini di sforzi efficaci nel piano s/t a mezzo di cerchi di Mohr con indicazione dell'involuppo di rottura e del valore di resistenza al taglio espresso in termini di tensioni efficaci dai parametri c' e j' ;
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo (bilancia, comparatori millesimali o trasduttori lineari di spostamento, anelli dinamometrici o trasduttori di carico; manometri o trasduttori di pressione) di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

2.4.5 PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE CONSOLIDATA DRENATA (CD)

2.4.5.1 Generalità

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

2.4.5.2 Normative e specifiche di riferimento

- A.G.I. (1994) - Raccomandazioni sulle Prove Geotecniche di Laboratorio - Prove di compressione triassiale su terre coesive
- CEN ISO/TS 17892-9:2018 - Geotechnical Investigation and Testing - Laboratory Testing of Soil - Part 9 - Consolidated Triaxial Compression Test on Saturated Soil.

2.4.5.3 Modalità di prova

La prova sarà eseguita su provini cilindrici, nel numero indicato dalla Società, di diametro non inferiore a 35 mm e rapporto altezza/diametro normalmente compreso tra 2 e 2.5.

Per prove da realizzarsi su campioni indisturbati i provini saranno preparati con apposito tornietto campionatore; per materiali poco consistenti si potrà infiggere a pressione direttamente nel campione da analizzare apposita fustella calibrata; in nessun caso sarà possibile infiggere a mano la fustella. Il diametro dei provini dovrà in ogni caso essere maggiore di 6 volte il diametro massimo delle particelle costituenti il materiale in prova. Particolare importanza assume la preparazione delle facce terminali dei provini che dovranno essere perfettamente piane e perpendicolari all'asse dei provini. La preparazione del provino dovrà avvenire in modo da evitare qualsiasi variazione al contenuto d'acqua iniziale.

Per prove da realizzarsi su provini rimaneggiati, ricompattati o ricostruiti si seguiranno le indicazioni della Società, in accordo a quanto riportato nel capitolo 2.1.1. In presenza di campioni sabbiosi la preparazione del provino potrà avvenire con l'ausilio di uno stampo (mould) apribile longitudinalmente montata direttamente nella cella di prova.

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

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

Dopo ogni gradino di saturazione, una volta raggiunta la completa stabilizzazione delle pressioni, si provvederà alla misura del grado di saturazione raggiunto attraverso la determinazione del parametro B; la fase di saturazione potrà essere conclusa solo quando il parametro B assume valori superiori a 0.95 in due successive determinazioni. Valori inferiori di B saranno considerati accettabili solo laddove sia documentato che ad un aumento del 50% del valore di BP non corrisponda alcun incremento del valore di B.

La determinazione di B avverrà applicando, a drenaggi chiusi, una pressione di cella normalmente compresa tra 25 kPa e 50 kPa e misurando il conseguente incremento di pressione dei pori. La

misura dell'incremento di D_u dovrà avvenire normalmente entro max 2 minuti dall'applicazione di D_s , o, in alcune circostanze particolari, in tempi comunque mai superiori a 10 minuti.

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

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

La consolidazione sarà normalmente di tipo isotropo. Consolidazione anisotropa potrà essere richiesta dalla Società; in tal caso l'apparecchiatura di prova dovrà garantire il mantenimento del corretto rapporto tra carico assiale a trasversale per tutta la durata della consolidazione.

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

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

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

In ogni caso, per le sabbie, la velocità di deformazione non dovrà eccedere lo 0,2 % per minuto.

I valori di ϵ_r , funzione del tipo di materiale, risultano generalmente compresi tra un valore minimo del 2 %, valido per terreni molto consistenti, sovraconsolidati, ad un valore massimo del 10÷12 % valido per terreni coesivi teneri.

Durante tutta la fase di rottura verranno monitorati e registrati, ad intervalli di tempo opportuni, i valori di sforzo deviatorico, deformazione assiale e variazione volumetrica. Durante tutta la fase di rottura si monitorerà inoltre la pressione interstiziale al fine di controllare che non subisca variazioni superiori al 5 % rispetto al valore assunto al termine della fase di consolidazione. Qualora ciò avvenisse la velocità di deformazione v_r dovrà essere conseguentemente ridotta. In tal caso andrà riportata opportuna segnalazione nel modulo di prova

Dietro richiesta della società la rottura potrà realizzarsi secondo diversi percorsi tensionali, quali:

- *compressione per scarico*, mantenendo costante il carico assiale s_v e diminuendo la pressione laterale s_H ;
- *estensione per carico*, mantenendo costante il carico assiale s_v e aumentando la pressione laterale s_H ;
- *estensione per scarico*, mantenendo costante la pressione laterale s_H , e diminuendo il carico

assiale s_v.

In tali casi la prova potrà eseguirsi solo tramite sistema di servocontrollo dei segnali associati alla trasmissione dello sforzo assiale e delle tensioni laterali. Il sistema pressa + cella triassiale dovrà all'occorrenza essere in grado di lavorare con sforzi deviatorici assiali negativi.

2.4.5.4 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione e dei provini sottoposti a prova;
- dimensioni iniziali dei provini;
- peso di volume naturale, contenuto d'acqua e grado di saturazione iniziale dei provini;
- tabella riassuntiva con i valori delle pressioni di cella e della back-pressure adottati durante la fase di saturazione, con indicazione del valore assunto dal parametro B al termine di ciascun gradino; eventuale tabulato, anche in minuta, dei valori acquisiti: tempo / pressione dei pori misurata / acqua assorbita;
- valori della back-pressure e della pressione di cella adottati durante la fase di consolidazione per ciascun provino;
- tabella con i valori della variazione volumetrica e dei relativi tempi di acquisizione durante la fase di consolidazione per ciascun provino;
- diagramma variazione di volume - logaritmo del tempo, o in alternativa variazione di volume - radice quadrata del tempo per ciascun provino;
- valore del tempo di fine consolidazione t_{100} di ciascun provino;
- peso di volume, contenuto d'acqua e grado di saturazione di ciascun provino al termine della fase di consolidazione, qualora richiesti;
- dimensioni dei provini al termine della fase di consolidazione, qualora richiesto;
- velocità di deformazione adottata nella fase di rottura;
- tabella di sintesi con i valori di sforzo deviatorico, deformazione assiale, variazione volumetrica e pressione interstiziale registrati per ciascun provino in fase di rottura;
- peso di volume, contenuto d'acqua e grado di saturazione di ciascun provino al termine della fase di rottura;
- diagramma sforzo deviatorico - deformazione assiale per ciascun provino;
- diagramma variazione volumetrica - deformazione assiale per ciascun provino;
- diagramma rapporto degli sforzi principali efficaci - deformazione assiale per ciascun provino;
- valori dello sforzo deviatorico e della deformazione assiale a rottura per ciascun provino;
- rappresentazione del percorso di sollecitazione di tutti i provini sottoposti a prova espresso in termini di sforzi efficaci nel piano $(s'_1 + s'_3)/2$ vs $(s'_1 - s'_3)/2$ con indicazione dell'involuppo di rottura;
- rappresentazione dello sforzo a rottura in termini di sforzi efficaci nel piano s/t a mezzo di cerchi di Mohr con indicazione dell'involuppo di rottura e del valore di resistenza al taglio espresso in termini di tensioni efficaci dai parametri c' e j' ;
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo (bilancia, comparatori millesimali o trasduttori lineari di spostamento, anelli dinamometrici o trasduttori di carico; manometri o trasduttori di pressione) di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

2.4.6 PROVA IN CELLA TRIASSIALE CON MISURA LOCALE DELLE DEFORMAZIONI

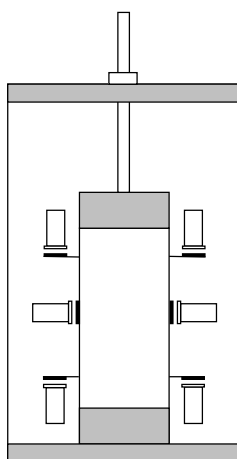
La prova consiste nella misura delle deformazioni di un provino inserito all'interno di una cella triassiale, utilizzando trasduttori di non contatto. Le misurazioni potranno avvenire durante l'esecuzione di una prova triassiale, da effettuarsi secondo le modalità o i percorsi di carico concordati con la Società, in conformità a quanto già riportato nei capitoli 2.4.4 o 2.4.5.

2.4.6.1 Caratteristiche delle attrezzature

I trasduttori di spostamento di non contatto sono strumenti che vanno montati a ridosso del provino attraverso dei basamenti scorrevoli solidali alla cella triassiale.

In relazione alle configurazioni adottate i trasduttori possono essere utilizzati per la misura di deformazioni assiali o radiali; si può prevedere la presenza di un numero di trasduttori variabile fino a 4 per la misura delle deformazioni assiali, e fino a due (diametralmente opposti rispetto alla mezzeria del provino) per le deformazioni radiali.

Il riferimento per la lettura di ogni trasduttore è costituito da un sottile target di alluminio delle dimensioni di 10x10mm, fissato alla membrana avvolgente il provino con un apposito legante.



Schema tipo di provino montato in cella triassiale e strumentato con trasduttori di spostamento di non contatto. Configurazione con 4 trasduttori per la misura delle deformazioni verticali e 2 trasduttori in mezzeria per la misura delle deformazioni orizzontali.

I trasduttori avranno le seguenti caratteristiche:

- campo di lettura compreso tra 250 mm e 2500 mm e risoluzione di 0.1 mm;
- fondo scala di 2 mm,
- classe di precisione pari a 1% del fondo scala e risoluzione di 0.0001 mm;

Il condizionamento del segnale in uscita avverrà con tensione di uscita 5 Vac e frequenza 5 kHz, la classe di accuratezza sarà migliore dello 0.1% del valore di uscita.

Il fornitore potrà indicare trasduttori di spostamento aventi caratteristiche differenti, purché preventivamente approvati dalla Società.

2.4.6.2 Modalità esecutive

Per tutto ciò che attiene alle modalità di preparazione e assemblaggio dei provini, montaggio dei trasduttori e acquisizione dei dati durante la prova la Società trasmetterà e concorderà con il fornitore tutte le indicazioni tecniche e operative necessarie.

2.4.6.3 Documentazione

La documentazione da fornire dovrà essere conforme a quella indicata per le prove triassiali; ad essa si dovrà aggiungere:

- caratteristiche dei trasduttori di non contatto;
- configurazione di prova adottata;
- diagramma dei cedimenti rispetto alla tensione verticale per ogni trasduttore di spostamento di non contatto (verticale e radiale) durante le fasi di consolidazione e rottura ;
- diagramma del modulo di Young secante rispetto alla deformazione assiale
- stessi diagrammi già indicati per le prove triassiali, contenenti, per ciascun provino, le deformazioni assiali e/o radiali misurate con i trasduttori di non contatto.

2.4.7 PROVA DI TAGLIO DIRETTO CONSOLIDATA - DRENATA

2.4.7.1 Generalità

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

2.4.7.2 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 3080 - Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions
- CEN ISO/TS 17892-10:2018 - Geotechnical Investigation and Testing - Laboratory Testing of Soil - Part 10 - Direct shear Test.

2.4.7.3 Modalità di prova

La prova sarà eseguita su provini cilindrici o a sezione quadrata, nel numero indicato dalla Società, di diametro o lato non inferiore a 50 mm e rapporto diametro/altezza compreso tra 2 e 2.5.

Per prove da realizzarsi su campioni indisturbati i provini saranno preparati con apposito tornietto campionatore; per materiali poco consistenti si potrà infiggere a pressione direttamente nel campione da analizzare apposita fustella calibrata; in nessun caso sarà possibile infiggere a mano la fustella. L'altezza dei provini dovrà in ogni caso essere maggiore di 6 volte il diametro massimo delle particelle costituenti il materiale in prova. Particolare importanza assume la preparazione delle facce terminali dei provini che dovranno essere perfettamente piane e perpendicolari all'asse dei provini. La preparazione del provino dovrà avvenire in modo da evitare qualsiasi variazione al contenuto d'acqua iniziale.

Per prove da realizzarsi su provini rimaneggiati, ricompattati o ricostruiti si seguiranno le indicazioni della Società, in accordo a quanto riportato nel capitolo 2.1.1.

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

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

Fase di rottura: nella fase di rottura verrà gradualmente incrementato il carico orizzontale fino ad ottenere deformazioni orizzontali non inferiori al 20% del diametro o lato iniziale del provino. E' comunque raccomandato il proseguimento della prova fino a fine corsa.

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

$$v_r = d_r / t_f$$

laddove t_f rappresenta il minimo tempo di rottura, ossia il tempo necessario alla mobilitazione della massima resistenza del provino; t_f sarà calcolato con la formula seguente:

$$t_f = 12,7 \cdot t_{100}$$

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

SCORRIMENTO A ROTTURA

<i>Tipo di terreno</i>	<i>Scorrimento a rottura [mm]</i>
argille tenere	8
argille sovraconsolidate	2 ÷ 5
argille molto sovraconsolidate	1 ÷ 2
sabbie	1 ÷ 5

In ogni caso la velocità di prova non dovrà mai essere superiore ai valori seguenti:

- per le sabbie pulite 0,5 mm/min.
- per sabbie limose e limi sabbiosi 0,01 mm/min
- per limi argillosi 0,006 mm/min.
- per le argille limose e argille 0.003 ÷ 0.001 mm/min

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

Ove indicato, al termine della fase di rottura si procederà alla determinazione della resistenza residua effettuando almeno cinque cicli completi di andata e ritorno della scatola di taglio fino a fondo corsa alla medesima velocità di scorrimento adottata per la determinazione della resistenza di picco (procedura completa), controllando in ogni caso che si sia raggiunta la completa stabilizzazione della curva resistenza al taglio - scorrimento orizzontale.

La resistenza residua può essere determinata anche attraverso l'esecuzione di 5 cicli di taglio veloci, condotti a velocità di scorrimento compresa tra 1 e 2 mm/min. fino a deformazioni del 20% per ciascun ciclo, e di un ciclo di taglio finale con misura della resistenza al taglio in funzione dello scorrimento orizzontale, condotto alla medesima velocità di scorrimento adottata per la determinazione della resistenza di picco (procedura semplificata).

2.4.7.4 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;

MSQX-MSD-Rev0

- identificazione completa del campione e dei provini sottoposti a prova;
- dimensioni iniziali dei provini;
- peso di volume naturale, contenuto d'acqua e grado di saturazione iniziale e finale dei provini;
- tabella con la progressione di carico adottata in fase di consolidazione per ciascun provino;
- tabella con i valori della variazione di altezza e dei relativi tempi di acquisizione durante la fase di consolidazione per ciascun provino;
- diagramma deformazione verticale - logaritmo del tempo, o in alternativa deformazione verticale - radice quadrata del tempo per ciascun provino;
- valore del tempo di fine consolidazione t_{100} di ciascun provino;
- altezza dei provini al termine della fase di consolidazione;
- velocità di deformazione adottata nella fase di rottura;
- tabella di sintesi con i valori di resistenza al taglio, scorrimento orizzontale e deformazione verticale registrati per ciascun provino in fase di rottura;
- diagramma resistenza al taglio - scorrimento orizzontale per ciascun provino;
- diagramma deformazione verticale - scorrimento orizzontale per ciascun provino;
- eventuale diagramma cumulato resistenza al taglio - scorrimento orizzontale per la determinazione della resistenza residua;
- valori della resistenza al taglio e dello scorrimento orizzontale a rottura per ciascun provino;
- eventuali valori della resistenza al taglio residua e del relativo scorrimento orizzontale per ciascun provino;
- rappresentazione dello stato di sollecitazione a rottura ed eventualmente allo stato residuo di tutti i provini sottoposti a prova espresso in termini di sforzi efficaci nel piano s/t con indicazione dell'involuppo di rottura;
- indicazione del valore di resistenza al taglio di picco ed eventualmente residua del campione esaminato espresso in termini di tensioni efficaci dai parametri c' e j' ;
- documentazione delle misure effettuate;
- eventuale copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo (bilancia, comparatori millesimali o trasduttori lineari di spostamento, anelli dinamometrici o trasduttori di carico) di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

2.4.8 PROVA DI TAGLIO ANULARE

2.4.8.1 Generalità

La prova consiste nella determinazione della resistenza al taglio residua di campioni di terreno sottoposti a sforzi di taglio torsionale.

2.4.8.2 Normative e specifiche di riferimento

- BS 1377-1:2016 - Methods of test for soils for civil engineering purposes - General requirements and sample preparation
- CEN ISO/TS 17892-10:2018 - Geotechnical Investigation and Testing - Laboratory Testing of Soil - Part 10 - Direct shear Test.

2.4.8.3 Modalità di prova

La prova di taglio anulare sarà eseguita su materiale rimaneggiato con apparecchiatura tipo Bromhead con l'esecuzione sul medesimo provino di almeno 4 punti di prova a diversi valori della pressione di consolidazione.

Il provino da sottoporre a prova, costituito da materiale passante al setaccio ASTM n° 40, sarà sottoposto ad un preventivo trattamento di rimaneggiamento, saturazione ed omogeneizzazione e sarà quindi assemblato nella cella anulare dell'apparecchio di taglio.

Successivamente si realizzerà la prima fase di consolidazione con applicazione del carico verticale indicato dalla Società, registrando le deformazioni assiali in funzione del tempo al fine di individuare il termine della fase di consolidazione primaria.

Si incrementerà quindi progressivamente la sollecitazione torsionale in maniera sufficientemente lenta per evitare l'insorgere di pressioni interstiziali raggiungendo valori di deformazione angolari sufficientemente elevati, tali in ogni caso da ottenere la completa stabilizzazione della resistenza torsionale registrata.

Al termine della fase di rottura relativa al primo livello di tensione di consolidazione si incrementerà la tensione verticale ripetendo i passi descritti in precedenza per tutti i punti di prova previsti.

2.4.8.4 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione e del provino sottoposto a prova;
- dimensione iniziale del provino;
- peso di volume naturale, contenuto d'acqua e grado di saturazione iniziale e finale del provino;
- tabella con i valori della variazione di altezza e dei relativi tempi di acquisizione durante la fase di consolidazione per ciascun punto di prova;
- diagramma deformazione verticale - logaritmo del tempo, o in alternativa deformazione verticale - radice quadrata del tempo per ciascun gradino di consolidazione;
- valore del tempo di fine consolidazione t_{100} ;
- altezza del provino al termine di ciascun gradino di consolidazione;
- velocità di deformazione angolare adottata nella fase di taglio;

MSQX-MSD-Rev0

- tabella di sintesi con i valori di resistenza al taglio, deformazione angolare e deformazione verticale registrati per ciascuna fase di taglio;
- diagramma resistenza al taglio - deformazione angolare per ciascuna fase di taglio;
- valori della resistenza al taglio e della deformazione angolare finale per ciascuna fase di taglio;
- rappresentazione in termini di sforzi efficaci nel piano s/t di tutti i punti di prova con indicazione dell'involuppo di resistenza;
- indicazione del valore di resistenza al taglio residua del campione esaminato espresso in termini di tensioni efficaci dal parametro j'_r ;
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo (bilancia, comparatori millesimali o trasduttori lineari di spostamento, anelli dinamometrici o trasduttori di carico) di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

2.4.1 TAGLIO SEMPLICE MONOTONICO (DSS)

2.4.1.1 Descrizione della prova

La prova di taglio semplice monotonica consiste nella determinazione dei parametri di resistenza al taglio di campioni di terreno sottoposti a deformazioni di taglio in condizioni di volume costante. Il mantenimento delle condizioni a volume costante durante il taglio equivale a condizioni non drenate per campioni saturi.

2.4.1.2 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 6528 - Standard Test Method for Consolidated Undrained Direct Simple Shear Testing of Cohesive Solids.

La prova qui descritta riguarda esclusivamente condizioni di completa e totale saturazione del campione oggetto di prova. Pertanto dovrà essere conforme a quanto di seguito specificato.

2.4.1.3 Caratteristiche delle attrezzature

Per garantire la completa saturazione del campione occorrerà utilizzare un'apparecchiatura equipaggiata con dei sistemi di applicazione e misura della pressione di confinamento e della pressione interstiziale (cella di confinamento a tenuta; traduttori di pressione).

Sarà quindi necessario disporre dei seguenti strumenti di misura:

- trasduttore di spostamento avente fondo scala + 6 mm, classe di accuratezza 0.25% del fondo scala;
- cella di carico orizzontale avente fondo scala 2500 N, accuratezza migliore di 0.1% del fondo scala;
- cella di carico verticale avente fondo scala 10 kN, accuratezza migliore di 0.1% del fondo scala;
- sistema di servo controllo in grado di garantire una velocità di deformazione costante.
- valvola proporzionale per l'applicazione dello sforzo di taglio;
- traduttore di pressione per la misura della pressione di cella;
- traduttore di pressione per la misura delle pressioni neutre, collegato alle vie di drenaggio presenti rispettivamente in posizione superiore e inferiore al provino di prova.

2.4.1.4 Modalità esecutive

La prova dovrà eseguirsi su un provino cilindrico avente rapporto diametro altezza maggiore di 2,5. Il minimo diametro del provino è pari a 45,4 mm. L'altezza minima del provino è pari a 12 mm.

La prova potrà realizzarsi su provini indisturbati o compattati secondo determinate caratteristiche (energia di compattazione; contenuto d'acqua, peso di volume). In ogni caso la preparazione del provino di prova avverrà con apposito tornietto campionatore.

Il provino sarà inserito nell'apparecchiatura di taglio fra il ripartitore di carico superiore e quello inferiore, entrambi dotati di spilli o interfaccia scabrosa in relazione alla tipologia di terreno. Tra il provino e ripartitori sarà interposto un disco di carta filtro.

Il provino sarà isolato mediante l'applicazione laterale di una membrana in lattice e anelli di tenuta o-ring. Successivamente sarà confinato lateralmente mediante anelli che impediscono le deformazioni radiali, ma permettono le deformazioni a taglio.

Una volta assemblata l'apparecchiatura, e azzerati gli strumenti di misura, il provino sarà caricato assialmente con un carico di serraggio di 5 kPa.

La prova si articola nelle fasi di saturazione, consolidazione e taglio.

Fase di saturazione: il provino sarà portato a saturazione applicando una back-pressure (min. 50 kPa). Durante questa fase un eventuale carico assiale dovrà essere applicato per prevenire qualunque rigonfiamento.

Si provvederà alla misura del grado di saturazione raggiunto attraverso la determinazione del parametro B. La fase di saturazione potrà ritenersi conclusa quando B assume valori superiori a 0.95.

Fase di consolidazione: il carico assiale sarà applicato gradualmente fino al raggiungimento della pressione di consolidazione indicata dalla Società. Durante tale fase si monitoreranno le deformazioni assiali in funzione del tempo. La consolidazione proseguirà per il tempo indicato dalla Società, o fino al raggiungimento del 90% della consolidazione totale per quel determinato livello di stress.

Fase di taglio: il provino sarà sottoposto a taglio applicando una velocità di spostamento assiale costante, fino a quando non sarà raggiunta una deformazione laterale di taglio pari ad almeno il 20%.

Durante l'intera fase di taglio dovranno essere garantite le condizioni di volume costante del provino. Il carico assiale dovrà pertanto variare conseguentemente per impedire qualunque variazione in altezza.

Durante la prova si registreranno le sovrappressioni interstiziali, la resistenza al taglio sviluppata, le variazioni di carico assiale.

2.4.1.5 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione e del provino sottoposto a prova;
- dimensione iniziale del provino;
- peso di volume naturale, contenuto d'acqua e grado di saturazione iniziale e finale del provino;
- tabella con la progressione di carico adottata in fase di consolidazione per ciascun provino;
- tabella con i valori della variazione di altezza e dei relativi tempi di acquisizione durante la fase di consolidazione del provino;
- altezza dei provini al termine della fase di consolidazione;
- velocità di spostamento adottato nella fase di rottura;
- sforzo di taglio in funzione del carico assiale;
- il rapporto carico assiale /sforzo di taglio in funzione della deformazione di taglio;
- sovrappressioni interstiziali U in funzione della deformazione di taglio;
- sforzo di taglio in funzione della deformazione di taglio;
- eventuale copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo, di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

2.5 PROVE DINAMICHE E CICLICHE

2.5.1 MISURA DELLE VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO E DI COMPRESSIONE

La prova consiste nella generazione di onde elastiche attraverso un campione di prova, utilizzando coppie di trasduttori piezoelettrici posti simmetricamente alle estremità del provino.

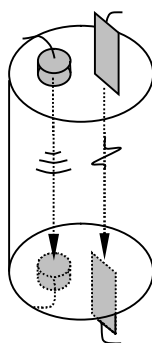
Per ogni trasduttore posto ad una estremità del campione viene generata un'onda elastica e si misura il tempo di percorrenza (t) necessario ad attraversare il provino utilizzando un secondo trasduttore situato all'estremità opposta. Conoscendo la distanza relativa dei trasduttori (s), si giunge al calcolo della velocità attraverso la relazione $V = s/t$.

Le misurazioni potranno avvenire durante l'esecuzione di una prova triassiale, da effettuarsi secondo le modalità o i percorsi di carico concordati con la Società, in conformità a quanto già riportato nei capitoli 2.4.4 o 2.4.5.

2.5.1.1 Caratteristiche delle attrezzature

In relazione alla tipologia e orientazione dei trasduttori si potranno misurare onde di taglio piane o onde di compressione, caratterizzate da differente direzione di propagazione e vibrazione:

- per la misura di onde di compressione in direzione assiale (P_V), si usano dischi piezoelettrici (compression elements) posizionati rispettivamente alla base del provino e presso il ripartitore di carico sommitale; quando sollecitato da un segnale di frequenza opportuna, il disco trasmettitore genera impulsi di natura compressionale, captati dal disco trasmettitore;
- per la misura di onde di taglio propaganti in direzione assiale (S_{VH}) si utilizzano coppie di trasduttori costituiti da una lamella di 2 cm di larghezza e 2 mm di spessore (bender elements), posizionati rispettivamente alla base del provino e presso il ripartitore di carico sommitale, e che penetrano nel provino per 2 mm; il bender trasmettitore flette a seguito di una sollecitazione elastica, trasmettendo un moto oscillatorio all'interno del provino;



Schema tipo di provino strumentato con coppie di trasduttori piezoelettrici per la misura della velocità di propagazione delle onde elastiche. Configurazione con 2 coppie di trasduttori per la misura delle onde di compressione P_V e di taglio S_V in direzione verticale.

Il fornitore potrà indicare trasduttori di trasmissione e ricezione delle onde aventi caratteristiche differenti, purché idonei al tipo di materiale e preventivamente approvati dalla Società.

Per l'esecuzione della prova è necessario utilizzare le seguenti attrezzature:

- generatore di onde piane per la produzione dell'input cui sollecitare il trasduttore piezoelettrico;
- amplificatore di segnale in entrata ed uscita delle onde;
- oscilloscopio digitale per la visualizzazione del segnale in output e la determinazione del tempo di percorso, con possibilità di memorizzazione del segnale acquisito;

Per tutto ciò che attiene alle modalità di preparazione e assemblaggio dei provini, montaggio dei trasduttori, acquisizione dei dati durante la prova, e restituzione dei risultati, la Società trasmetterà e concorderà con il fornitore tutte le indicazioni tecniche e operative necessarie.

2.5.1.2 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione e del provino sottoposto a prova;
- eventuali condizioni di pressione alle quali è condotta la prova;
- caratteristiche dei trasduttori e loro orientazione;
- frequenza di riferimento adottata per le misurazioni delle onde P e delle onde S;
- distanza di riferimento adottata per la misura delle onde P e delle onde S;
- velocità calcolata delle onde P e delle onde S all'interno del provino di prova;
- eventuali note e osservazioni.

2.5.2 PROVA TRIASSIALE CICLICA

La prova triassiale ciclica si esegue applicando a uno o più provini in cella triassiale un carico sinusoidale di ampiezza costante. Il carico è tarato prima dell'inizio di ogni prova mediante un apposito sistema di calibrazione.

La prova triassiale ciclica "standard" o a liquefazione, è finalizzata alla determinazione della curva "stress ratio - numero dei cicli", ed eventualmente fino al raggiungimento della liquefazione.

La prova triassiale ciclica tipo "Property" permette di determinare il valore del modulo di Young (E) in funzione della deformazione, nonché il valore dello smorzamento (D) in funzione della deformazione assiale nella singola ampiezza a fronte dell'applicazione di una serie di cicli di carico assiale.

2.5.2.1 Caratteristiche della Strumentazione

Per la rilevazione dei parametri di prova l'attrezzatura impiegata dovrà essere provvista dei seguenti strumenti elettronici:

- trasduttore di spostamento avente fondo scala di 25 mm, classe di accuratezza migliore di 0.3% del fondo scala;
- trasduttori di pressione aventi fondo scala 10-50 bar, classe di accuratezza migliore di 0.2% del fondo scala;
- cella di carico avente fondo scala 1 kN, accuratezza migliore di 0.1% del fondo scala;
- condizionatori di segnale avente tensione di uscita 5 Vac e frequenza 5 kHz, classe di accuratezza migliore di 0.1% del valore di uscita;
- personal computer con scheda e software idoneo per acquisizioni ad alte frequenze.
- box elettropneumatico per il controllo del carico dinamico con generatori di onde di carico ad una frequenza variabile da 0.05 a 2 Hz e un range di carico di 1 kN.

Il fornitore potrà proporre strumentazioni aventi caratteristiche differenti, purché idonee all'esecuzione delle prove secondo gli standard richiesti, e purché preventivamente approvati dalla Società.

2.5.2.2 Modalità esecutive ed elaborazione dei risultati

Ogni provino viene saturato e posto in consolidazione secondo le procedure standard ai valori di tensione efficace isotropa o anisotropa previsti. Al termine della consolidazione, a drenaggio chiuso, sono applicati i carichi assiali ciclici previsti, secondo le indicazioni trasmesse dalla Società e in relazione alle diverse finalità della prova:

2.5.2.2.1 prova triassiale ciclica "standard" o a Liquefazione

La prova triassiale ciclica "standard", o a sforzo controllato a liquefazione, o finalizzata alla determinazione della curva "stress ratio - numero dei cicli", sarà condotta su più provini (minimo 3), ognuno dei quali sarà sottoposto ad un carico ciclico prestabilito, crescente passando tra un provino e il successivo.

La determinazione del carico da applicare ad ogni provino viene definita e valutata sulla base del fattore di sforzo SR, inteso come sforzo deviatorico normalizzato con la pressione di

consolidazione media ($SR = s_{dev}/2s'_3$). Normalmente si opererà con valori di SR compresi tra 0.1 e 0.5.

La prova è eseguita a carico controllato; l'applicazione del carico ciclico è impostata con una frequenza costante per ogni provino, normalmente compresa tra 0.1 Hz e 2 Hz.

Salvo diversa necessità il carico ciclico applicato sarà di tipo two way (compressione/estensione).

La prova è protratta fino al raggiungimento della liquefazione, o per almeno 100 cicli, qualora la liquefazione non sia raggiunta.

La liquefazione può ritenersi raggiunta quando:

- si perde la forma sinusoidale del carico ciclico applicato,
- si supera il 20% di deformazione assiale di doppia ampiezza del provino
- si ottiene un incremento massimo di pressione neutra normalizzata $RU = 1$ ($RU = DU_{max}/2s'_3$)

2.5.2.2.2 prova triassiale ciclica "Property"

La prova ciclica tipo "Property" è realizzata su un unico provino, che sarà sottoposto ad una serie tra 2 e 10 cicli, secondo una procedura per step, a valori di carico sempre crescenti.

Per ogni step si imposta l'ampiezza del carico assiale o della deformazione assiale da applicare, e si esegue la variazione ciclica mantenendo costante la frequenza.

Dopo ogni gradino (step) il provino viene riconsolidato per il tempo necessario a dissipare la pressione interstiziale indotta; le variazioni dimensionali misurate sono utilizzate per il calcolo delle dimensioni del provino relative al ciclo successivo.

Durante ogni step si definisce e si visualizza l'ellisse di isteresi carico assiale / deformazione assiale, sul quale potrà calcolarsi il modulo di elasticità longitudinale E (pendenza dell'ellisse) e lo smorzamento D (area sottesa tra semiasse dell'ellisse e l'ascissa).

La prova sarà protratta fino al raggiungimento di una deformazione assiale complessiva compresa tra 0.1% e 1%

2.5.2.3 Documentazione

La documentazione minima da fornire sarà concordata con la Società, in relazione alle modalità e alle finalità della prova.

In linea di principio la documentazione da restituire comprenderà;

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione e del provino sottoposto a prova;
- condizioni di prova e condizioni di pressione alle quali è condotta la prova;
- caratteristiche della strumentazione utilizzata;

Inoltre

- per le prove triassiali cicliche "standard" o a Liquefazione
 - rapporto Ru ($RU = DU_{max}/2s'_3$) fra pressione interstiziale sviluppatasi e tensione efficace di consolidazione;
 - le deformazioni assiali cicliche in singola ampiezza in funzione del numero di cicli applicati;
 - le deformazioni assiali cicliche in doppia ampiezza in funzione del numero di cicli applicati;
 - la tensione ciclica in funzione del numero di cicli applicati;

- il fattore di sforzo SR ($SR = s_{dev} / 2s'_3$) in funzione del numero di cicli applicati;
- per le prove triassiali cicliche "Property"
 - rapporto R_u fra pressione interstiziale sviluppata e tensione efficace di consolidazione;
 - smorzamento assiale k ;
 - l'andamento delle deformazione in funzione del tempo (cicli) per ogni serie di cicli;
 - l'andamento della sovrappressione in funzione del tempo (cicli) per ogni serie di cicli.
 - il valore del modulo di Young (E) in funzione della deformazione assiale nella singola ampiezza;
 - il valore dello smorzamento (D) in funzione della deformazione assiale nella singola ampiezza.

2.5.3 PROVA DI COLONNA RISONANTE (RC)

La prova di colonna risonante consiste nell'applicare a un provino in cella cilindrica una sollecitazione pulsante torsionale ciclica, ad una frequenza tale da mandare in risonanza il sistema provino - oscillatore.

La prova RC è normalmente eseguita utilizzando una apparecchiatura del tipo "fixed-free", cioè con la base del provino fissa e la testa libera di ruotare. L'apparecchiatura impiega un sistema elettromagnetico per applicare una torsione ciclica alla testa del provino.

La prova di colonna risonante permette di determinare il valore del modulo di taglio (G) e il valore dello smorzamento (D), entrambi in funzione della deformazione di taglio (g), in campo elastico.

2.5.3.1 Normative e specifiche di riferimento

ASTM D 4015 - Standard Test Methods for Modulus and Damping of Soils by the Resonant-Column Method.

2.5.3.2 Caratteristiche della Strumentazione

Per la rilevazione dei parametri di prova l'attrezzatura impiegata dovrà essere provvista dei seguenti strumenti elettronici:

- accelerometro piezoelettrico, range 0.1 - 5 g;
- amplificatore di carica,
- trasduttore di spostamento (lvdt) con corsa ± 5 mm, classe di accuratezza 0.5% del fondo scala;
- trasduttore di pressione, fondo scala 35 bar, classe di accuratezza 0.2% del fondo scala;
- oscilloscopio digitale, range 1 - 5000 mV,
- generatore di segnale programmabile, range di frequenza 0.1%5 MHz, 4 forme d'onda, massimo errore + 1%;
- multimetro, range da 1 mV a 300 Vac;
- timer-counter programmabile, 10 digits display range 0.1%120 MHz, risoluzione $\frac{1}{2}$ digit.
- buretta di capienza e gradazione adeguata per misurare le variazioni di volume

Alle apparecchiature suddette si aggiungono i tradizionali sistemi di applicazione e misura della pressione di confinamento e della pressione interstiziale.

Il fornitore potrà proporre strumentazioni aventi caratteristiche differenti, purché idonee all'esecuzione delle prove secondo gli standard richiesti, e purché preventivamente approvati dalla Società.

2.5.3.3 Modalità esecutive

La prova si esegue su un provino di terreno, coesivo o incoerente, di forma cilindrica, con diametro compreso fra 50 e 71 mm e rapporto altezza diametro pari normalmente a 2. Durante il montaggio nella cella di prova si assembla il sistema di eccitazione (oscillatore) nella parte superiore del provino, pilotato da una tensione variabile in ampiezza e frequenza.

Il provino viene saturato e consolidato isotropicamente secondo le procedure standard previste per le prove triassiali, fino ai valori di pressione prefissati.

Raggiunto il valore di tensione efficace prestabilito, si produce, in condizioni non drenate, la sollecitazione torsionale di forma sinusoidale, con una frequenza variabile, normalmente maggiore di 10 Hz, in direzione normale all'asse longitudinale.

Il sistema elettromagnetico impiegato per applicare la torsione in testa al provino è alimentato dal generatore di onde sinusoidali.

L'ampiezza del sollecitazione torsionale è fissata preventivamente, e viene aumentata progressivamente, per step.

Per ogni singolo step (ad ampiezza di sollecitazione costante) si fa variare la frequenza alla quale viene sollecitato il provino, fino al raggiungimento della condizione di risonanza del sistema provino - oscillatore.

In tale situazione, componendo sugli assi X-Y dell'oscilloscopio il segnale elettrico utilizzato per produrre la torsione e il segnale di uscita dell'accelerometro (che misura il moto della testa, da cui la deformazione), si ottiene la visualizzazione della configurazione ellittica verticale di risonanza, nella quale si individua la massima deformazione in condizioni di oscillazioni forzate. Successivamente, interrompendo la torsione, si misura il decadimento della deformazione (smorzamento) per oscillazioni libere nel tempo.

Il procedimento va ripetuto per gli step successivi (in numero variabile, ma di norma non inferiore a 8-10), con ampiezza torsionale crescente.

2.5.3.4 Elaborazione dei risultati

Lo sforzo di taglio t (relativo ad ogni step) è ricavato attraverso la misura della tensione di sollecitazione delle bobine.

La deformazione di taglio g (relativa ad ogni step) viene ricavata dalla misura di accelerazione di un punto dell'oscillatore strumentato con l'accelerometro.

Il modulo di taglio G (relativo ad ogni step) è calcolato applicando la legge di propagazione delle onde elastiche attraverso i valori della frequenza di risonanza misurata.

La curva di decadimento (relativa ad ogni step) prodotta interrompendo l'eccitazione torsionale in risonanza, permette di valutare lo smorzamento del materiale, espresso come percentuale dello smorzamento critico. Il valore di smorzamento D (*Damping*) viene calcolato osservando la diminuzione di ampiezza delle oscillazioni libere nel tempo tra cicli prefissati.

La determinazione complessiva del modulo e del damping del terreno sono estese ai vari step di misura, con valori crescenti di deformazione di taglio, fino ai massimi valori consentiti dal sistema.

I valori di modulo, smorzamento e deformazioni calcolati sono tutti riferiti alle dimensioni e alla massa volumica del provino al termine della relativa consolidazione.

Ulteriori eventuali dettagli riguardanti tutto ciò che attiene alle modalità di preparazione e assemblaggio dei provini, modalità di acquisizione dei dati durante la prova, ed elaborazione dei risultati, saranno trasmessi dalla Società e concordati con il fornitore.

2.5.3.5 Documentazione

La documentazione da fornire dovrà comprendere, salvo diversa indicazione della Società:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione e del provino sottoposto a prova;
- tabella riassuntiva con i valori del modulo di taglio G , del rapporto G/G_{max} , della deformazione di taglio g , del rapporto di smorzamento D e dell'incremento delle pressioni neutre D_u durante le varie fasi della prova (step) e nella fase di decadimento,
- grafico del modulo di taglio G (o del rapporto G/G_{max}) in funzione della deformazione di taglio g ,
- grafico dello smorzamento D in funzione della deformazione di taglio g

2.5.4 PROVA DI TAGLIO TORSIONALE CICLICO (TCS)

La prova di taglio torsionale ciclico consiste nell'applicare a un provino in cella triassiale una sollecitazione pulsante ciclica, ad una frequenza prefissata.

La prova TCS si esegue con la stessa attrezzatura della prova di colonna risonante (tipo "fixed free"), integrata da una coppia di trasduttori di spostamento di non contatto posizionati in corrispondenza della testa del provino, libera di ruotare.

La prova di taglio torsionale ciclico permette di determinare le stesse grandezze illustrate nella prova di colonna risonante: modulo di taglio (G) e smorzamento (D), entrambe in funzione della deformazione di taglio. Nella prova TCS si può operare a livelli deformativi più piccoli della prova RC, per valutare gli effetti di "pre-straining" sul modulo G.

Laddove la prova TCS sia contenuta per piccoli livelli deformativi e non si sia prodotto alcun danneggiamento del provino, lo stesso provino potrà essere eventualmente sottoposto a una successiva prova di colonna risonante.

In tal caso la prova RC potrà effettuarsi solo dopo un opportuno intervallo di tempo (generalmente pari a 24 ore) necessario al riequilibrio delle pressioni; durante tale periodo verrà permesso il drenaggio del provino e verrà mantenuta costante la pressione isotropa di confinamento.

2.5.4.1 Caratteristiche della Strumentazione

Oltre alle attrezzature già elencate per la prova di colonna risonante, per le quali si rimanda al capitolo corrispondente, dovranno essere impiegati in aggiunta i seguenti strumenti:

- trasduttori di spostamento di non contatto, aventi fondo scala di 2 mm, classe di precisione 1% del fondo scala e risoluzione di 0.1 mm; con relativo acquisitore dati.

I trasduttori di non contatto permettono di determinare direttamente l'angolo di torsione del provino sottoposto a prova.

2.5.4.2 Modalità esecutive

La prova si esegue su un provino di terreno, coesivo o incoerente, di forma cilindrica, con diametro non inferiore a 50 mm, e rapporto altezza diametro pari normalmente a 2

Il montaggio e l'assemblaggio del provino e del sistema di eccitazione ciclica è conforme a quanto indicato per la prova di colonna risonante. A ciò va aggiunto il montaggio di uno-due trasduttori di spostamento di non contatto posizionati alla testa del provino, per la misura diretta delle deformazioni di taglio.

Il provino viene saturato e consolidato isotropicamente secondo le procedure previste per le prove triassiali, fino ai valori di pressione prefissati.

Raggiunto il valore di tensione efficace prestabilito, e fissata una frequenza fissa e costante (di norma compresa tra 0.1 Hz e 2 Hz), si producono in condizioni non drenate le sollecitazioni torsionali di forma sinusoidale, crescenti in ampiezza, per step, in direzione normale all'asse longitudinale.

Il sistema elettromagnetico impiegato per applicare la torsione in testa al provino è alimentato dal generatore di onde sinusoidali.

Fissata la frequenza costante di sollecitazione torsionale, si esegue uno step ad una determinata ampiezza di sollecitazione, applicando più cicli, fino ad evidenziare la configurazione ellittica di isteresi tra deformazione e momento torcente.

Gli step successivi (in numero variabile, ma di norma non inferiori a 8-10) si eseguono con pari modalità, ad ampiezze di sollecitazione torsionali progressivamente crescenti.

Durante ogni step di carico ciclico sono visualizzate, sugli assi X-Y dell'oscilloscopio, le configurazioni ellittiche di risonanza tra il segnale elettrico utilizzato per produrre la torsione e il segnale deformativo elaborato dal trasduttore di non contatto. Elaborando opportunamente le suddette configurazioni geometriche si calcolano i moduli di taglio G e i valori di smorzamento D.

2.5.4.3 Elaborazione dei risultati

Lo sforzo di taglio t relativo ad ogni step è ricavato attraverso la misura della tensione di sollecitazione delle bobine.

Il valore della deformazione di taglio g relativo ad ogni step è calcolato dalle misure effettuate con i trasduttori di non contatto.

I valori del modulo di taglio G e dello smorzamento D vengono determinati, per ogni step, calcolando la pendenza e l'area dei cicli di isteresi sforzi - deformazioni rappresentati sul piano $t - g$ (G =pendenza dell'ellisse, D =area sottesa tra semiasse dell'ellisse e l'ascissa).

La determinazione complessiva del modulo e del damping del terreno sono estese ai vari step di misura.

Ulteriori eventuali dettagli riguardanti tutto ciò che attiene alle modalità di preparazione e assemblaggio dei provini, modalità di acquisizione dei dati durante la prova, ed elaborazione dei risultati, saranno trasmessi dalla Società e concordati con il fornitore.

2.5.4.4 Documentazione

La documentazione da fornire dovrà comprendere, salvo diversa indicazione della Società:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione e del provino sottoposto a prova;
- tabella riassuntiva con i valori del modulo di taglio G, del rapporto G/G_{max} , della deformazione di taglio g , del rapporto di smorzamento D e dell'incremento delle pressioni neutre D_u
- grafico del modulo di taglio G in funzione della deformazione di taglio g ;
- grafico dello smorzamento D in funzione della deformazione di taglio g ;
- grafico dell'incremento delle sovrappressioni D_u in funzione della deformazione di taglio g ;
- la tabella e i grafici di G e D in funzione del numero di cicli esaminati;
- i grafici della sovrapposizione di tutti i cicli analizzati per i vari step nel piano $t - g$.

2.5.5 TAGLIO SEMPLICE CICLICO (DSSCY)

2.5.5.1 Descrizione della prova

La prova di taglio semplice ciclico si esegue applicando un carico sinusoidale di ampiezza costante a uno provino assemblato in apparecchiatura di taglio semplice.

La prova di taglio semplice ciclico è finalizzata alla determinazione della curva "stress ratio - numero dei cicli", ed eventualmente fino al raggiungimento della liquefazione.

2.5.5.2 Caratteristiche della strumentazione

La prova si esegue utilizzando un'attrezzatura di taglio semplice, opportunamente modificata per consentire l'applicazione di uno sforzo ciclico di taglio. Per la rilevazione dei parametri di prova l'attrezzatura dovrà quindi essere provvista dei seguenti strumenti:

- cilindro a doppia camera (tipo Bellofran) a controllo pneumatico, per l'applicazione dello sforzo ciclico di taglio;
- generatore di segnale programmabile, range di frequenza 0.1 - 5 MHz, 4 forme d'onda, massimo errore + 1%;
- trasduttore piezoelettrico

2.5.5.3 Modalità esecutive

Per le modalità di preparazione del provino e montaggio nell'apparecchiatura di prova si rimanda a quanto descritto per la prova di taglio semplice monotonic.

La prova si articola nelle fasi di saturazione, consolidazione e taglio.

Per le fasi di saturazione e taglio si rimanda a quanto già descritto per la prova di taglio semplice monotonic.

Fase di taglio (prova a carico controllato): il provino sarà sottoposto a uno sforzo ciclico di taglio, con l'obiettivo di determinare la curva "stress ratio - numero dei cicli". La prova sarà protratta fino al raggiungimento della liquefazione.

La determinazione del carico ciclico da applicare ad ogni provino sarà definita e valutata sulla base del fattore di sforzo SR, inteso come sforzo deviatorico normalizzato con la pressione di consolidazione ($SR = t / s'_a$).

Durante l'intera fase di taglio dovranno essere garantite le condizioni di volume costante del provino. Il carico assiale dovrà pertanto variare conseguentemente per impedire qualunque variazione in altezza.

Durante la prova si registreranno le sovrappressioni interstiziali, la resistenza a taglio ciclica misurata durante ogni ciclo, nonché le variazioni di carico assiale.

2.5.5.4 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione e del provino sottoposto a prova;
- dimensione iniziale dei provino;
- peso di volume naturale, contenuto d'acqua e grado di saturazione iniziale e finale del provino;
- tabella con la progressione di carico adottata in fase di consolidazione per ciascun provino;
- tabella con i valori della variazione di altezza e dei relativi tempi di acquisizione durante la fase di consolidazione del provino;
- altezza dei provini al termine della fase di consolidazione;
- velocità di spostamento adottato nella fase di rottura;
- sforzo di taglio ciclico in funzione del carico assiale;
- deformazioni cicliche di taglio in singola ampiezza in funzione del numero di cicli applicati;
- deformazioni cicliche di taglio in doppia ampiezza in funzione del numero di cicli applicati;
- sforzo di taglio ciclico in funzione del numero di cicli applicati
- fattore di sforzo $SR = t / s'_a$ in funzione del numero di cicli applicati;
- sovrappressioni interstiziali DU in funzione del numero di cicli applicati
- cicli di isteresi sul piano t, g
- eventuale copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo, di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

2.6 PROVE DI COSTIPAMENTO E PORTANZA DELLE TERRE

2.6.1 GENERALITÀ

Le prove di costipamento consistono nella determinazione delle caratteristiche ottimali di compattazione di materiali naturali o trattati con leganti idraulici, e possono essere eseguite con diverse energie di compattazione.

Le prove di portanza consistono nella determinazione delle caratteristiche di portanza dei terreni compattati, naturali o trattati con leganti.

2.6.1.1 Caratteristiche dei campioni di terreno

Il campione disponibile presso il laboratorio per la realizzazione di sole prove di costipamento e prove di portanza (CBR) su materiale naturale dovrà avere una massa non inferiore a 100 kg; quantitativi maggiori potranno rendersi necessari qualora si preveda il trattamento del materiale con leganti idraulici.

Quantitativi ancora maggiori (> 150 - 200 kg) serviranno qualora si voglia realizzare la caratterizzazione completa con diverse percentuali di legante, o qualora si voglia eseguire una caratterizzazione CBR completa su materiale naturale con tre diverse energie di compattazione e almeno 5 contenuti d'acqua.

2.6.2 TRATTAMENTO DELLE TERRE CON LEGANTI IDRAULICI

Qualora si richieda o si renda necessaria la stabilizzazione della terra con leganti (calce, cemento, o loro combinazioni), la Società trasmetterà preventivamente al laboratorio tutte le indicazioni relative alle modalità di trattamento del terreno e alle caratteristiche dei leganti da utilizzare.

L'esecuzione di prove di costipamento e portanza sulle terre stabilizzate sarà normalmente preceduto da una caratterizzazione analoga sul materiale naturale, non trattato.¹

Il laboratorio dovrà pertanto essere fornito di un numero di attrezzature adeguate al carico di lavoro richiesto, con particolare riferimento agli strumenti di compattazione, fustelle Proctor e CBR.

2.6.2.1 Normative e specifiche di riferimento

Per il trattamento delle terre, con particolare riguardo alla calce, si prenderanno a riferimento le seguenti norme tecniche di base, oltre a eventuali aggiornamenti e indicazioni specifiche:

- CNR B.U. n°36 (1973) - Stabilizzazione delle Terre con Calce;
- R.D. 2231/1939 - Norme per l'Accettazione delle Calci.
- ASTM C 977 - Standard Specification for Quicklime and Hydrated Lime for Soil Stabilisation.

2.6.3 PROVA DI COSTIPAMENTO TIPO PROCTOR AASHTO STANDARD

2.6.3.1 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 698 - Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (600 kNm/m³)
- UNI EN 13286-2:2010 - Miscele non legate e legate con leganti idraulici - Parte 2: Metodi di prova per la determinazione della massa volumica e del contenuto di acqua di riferimento di laboratorio - Costipamento Proctor (in sostituzione di C.N.R. B.U.n° 69 (1978))

Salvo quando diversamente specificato il laboratorio dovrà attenersi a quanto riportato di seguito, con riferimento allo standard ASTM.

2.6.3.2 Modalità di prova

La prova per la determinazione delle condizioni ottimali di compattazione di materiali naturali, condotta con la determinazione di almeno 5 punti significativi a diverso contenuto d'acqua, dovrà essere eseguita con energia di compattazione unitaria pari a 589 kJ/m³ in fustella di volume pari a 2124 ± 25 cm³. Dietro autorizzazione della Società, in presenza di materiali aventi particelle di diametro massimo inferiore a 5 mm, è consentito l'utilizzo di fustelle di diametro pari a 10.16 ± 0.02 cm e volume pari a 943 cm³ (secondo standard CNR-B.U.).

Quando richiesto potrà realizzarsi una prova di compattazione Proctor su provino singolo, preparato con le stesse modalità e con contenuto d'acqua indicato dalla Società; la compattazione sarà finalizzata alla successiva esecuzione di prove meccaniche specifiche.

La prova verrà eseguita compattando il materiale in 3 strati successivi con 56 colpi per ciascun strato; il compattatore impiegato, manuale o motorizzato, dovrà essere dotato di una massa battente del peso di 2.49 ± 0.01 kg con altezza di caduta pari a 304.8 ± 1.6 mm.

Prima di procedere alla fustellazione e compattazione il materiale dovrà essere opportunamente essiccato e polverizzato, in accordo alle normative di riferimento. L'eventuale aggiunta di legante (calce o cemento), laddove richiesta, dovrà avvenire per miscelazione a secco, fino ad ottenere un prodotto omogeneo, senza grumi di calce o terra.

Durante la compattazione particolare cura dovrà essere posta nell'assicurare una omogenea distribuzione dei colpi del compattatore.

Il materiale da sottoporre a prova dovrà preventivamente essere setacciato impiegando i setacci ASTM n° 4, 3/4" e 3" al fine di individuare la metodologia di preparazione da adottare secondo il seguente schema:

PREPARAZIONE MATERIALE

<i>Setaccio ASTM</i>	<i>Trattenuto [%]</i>	<i>Preparazione materiale</i>
4	≤ 7	Eliminare il trattenuto al setaccio ASTM n° 4
3/4"	≤ 10	Eliminare il trattenuto al setaccio ASTM 3/4"
3/4"	≤ 30	Setacciare il trattenuto al 3/4" al 3"; eliminare il trattenuto al 3" e sostituire il materiale passante al 3" e trattenuto al 3/4" con un analogo quantitativo di materiale passante al 3/4" e trattenuto al n° 4. Correggere i risultati ottenuti in conformità a quanto riportato nello Standard ASTM D 4718-87.
3/4"	> 30	Prova non eseguibile; necessità di fustelle speciali.

Nella fase di preparazione particolare cura dovrà essere posta al fine di garantire una omogenea distribuzione dell'acqua progressivamente aggiunta e alla miscelazione del materiale.

La successiva aggiunta di acqua dovrà avvenire preferibilmente tramite appositi nebulizzatori; nel calcolo dei quantitativi di acqua si dovrà tener conto dell'umidità naturale del terreno acquisita dall'ambiente di laboratorio durante la preparazione.

L'attrezzatura di prova dovrà periodicamente (indicativamente ogni 1000 prove) essere sottoposta a calibrazione con controllo e verifica delle tolleranze dimensionali relative a dimensioni della fustella massa battente ed altezza di caduta.

2.6.3.3 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- caratteristiche dell'attrezzatura impiegata;
- dimensioni della fustella e data dell'ultima calibrazione eseguita;
- metodologia di preparazione adottata;
- tabella riassuntiva con l'indicazione dei valori di peso di peso di volume e contenuto d'acqua di ciascun punto di prova;
- valori ottimali di densità secca e di umidità di compattazione;
- diagramma densità secca - umidità;
- curva di saturazione;
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo (bilancia, termostato) di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

2.6.4 PROVA DI COSTIPAMENTO TIPO PROCTOR AASHTO MODIFICATO

2.6.4.1 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 1557 - Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (2700 kNm/m³)
- UNI EN 13286-2:2010 - Miscele non legate e legate con leganti idraulici - Parte 2: Metodi di prova per la determinazione della massa volumica e del contenuto di acqua di riferimento di laboratorio - Costipamento Proctor (in sostituzione di C.N.R. B.U.n° 69 (1978))

Salvo quando diversamente specificato il laboratorio dovrà attenersi a quanto riportato di seguito, con riferimento allo standard ASTM.

2.6.4.2 Modalità di prova

La prova per la determinazione delle condizioni ottimali di compattazione di materiali naturali, condotta con la determinazione di almeno 5 punti significativi a diverso contenuto d'acqua, dovrà essere eseguita con energia di compattazione unitaria pari a 2682 kJ/m³ in fustella di diametro pari a 15.24 ± 0.02 cm e volume pari a 2124 ± 25 cm³. Dietro autorizzazione della Società, in presenza di materiali aventi particelle di diametro massimo inferiore a 5 mm, è consentito l'utilizzo di fustelle di diametro pari a 10.16 ± 0.02 cm e volume pari a 943 cm³ (secondo standard CNR-B.U.).

Quando richiesto potrà realizzarsi una prova di costipamento su provino singolo, preparato con le stesse modalità e con contenuto d'acqua indicato dalla Società; finalizzato alla successiva esecuzione di prove meccaniche specifiche.

La prova verrà eseguita compattando il materiale in 5 strati successivi con 56 colpi per ciascun strato; il compattatore impiegato, manuale o motorizzato, dovrà essere dotato di una massa battente del peso di 4.54 ± 0.01 kg con altezza di caduta pari a 457.2 ± 1.6 mm.

Prima di procedere alla fustellazione e compattazione il materiale dovrà essere opportunamente essiccato e polverizzato, in accordo alle normative di riferimento. L'eventuale aggiunta di legante (calce o cemento), laddove richiesta, dovrà avvenire per miscelazione a secco, fino ad ottenere un prodotto omogeneo, senza grumi di calce o terra.

Durante la compattazione particolare cura dovrà essere posta nell'assicurare una omogenea distribuzione dei colpi del compattatore.

Il materiale da sottoporre a prova dovrà preventivamente essere setacciato impiegando i setacci ASTM n° 4, 3/4" e 3" al fine di individuare la metodologia di preparazione da adottare secondo il seguente schema:

PREPARAZIONE MATERIALE

<i>Setaccio ASTM</i>	<i>Trattenuto [%]</i>	<i>Preparazione materiale</i>
4	≤ 7	Eliminare il trattenuto al setaccio ASTM n° 4
3/4"	≤ 10	Eliminare il trattenuto al setaccio ASTM 3/4"
3/4"	≤ 30	Setacciare il trattenuto al 3/4" al 3"; eliminare il trattenuto al 3" e sostituire il materiale passante al 3" e trattenuto al 3/4" con un analogo quantitativo di materiale passante al 3/4" e trattenuto al n° 4. Correggere i risultati ottenuti in conformità a quanto riportato nello Standard ASTM D 4718-87.
3/4"	> 30	Prova non eseguibile; necessità di fustelle speciali.

Nella fase di preparazione particolare cura dovrà essere posta al fine di garantire una omogenea distribuzione dell'acqua progressivamente aggiunta e alla miscelazione del materiale.

La successiva aggiunta di acqua dovrà avvenire preferibilmente tramite appositi nebulizzatori; nel calcolo dei quantitativi di acqua si dovrà tener conto dell'umidità naturale del terreno acquisita dall'ambiente di laboratorio durante la preparazione.

L'attrezzatura di prova dovrà periodicamente (indicativamente ogni 1000 prove) essere sottoposta a calibrazione con controllo e verifica delle tolleranze dimensionali relative a dimensioni della fustella massa battente ed altezza di caduta.

2.6.4.3 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- caratteristiche dell'attrezzatura impiegata;
- dimensioni della fustella e data dell'ultima calibrazione eseguita;
- metodologia di preparazione adottata;
- tabella riassuntiva con l'indicazione dei valori di peso di peso di volume e contenuto d'acqua di ciascun punto di prova;
- valori ottimali di densità secca e di umidità di compattazione;
- diagramma densità secca - umidità;
- curva di saturazione;
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo (bilancia, termostato) di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

2.6.5 PROVA CBR

2.6.5.1 Generalità

La prova consiste nella determinazione delle caratteristiche di portanza quale sottofondo di materiali compattati, espressa a mezzo dell'indice di portanza californiano (CBR).

Con modalità analoghe a quelle indicate di seguito per la determinazione dell'indice CBR, la Società potrà richiedere la determinazione dell'Indice di Portanza Immediata (CBR-IPI), differente dall'indice CBR in quanto eseguito senza sovrapposizione del disco metallico forato previsto nella prova CBR.

2.6.5.2 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 1883 - Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted Soils

Qualora si esegui la prova CBR con terreni stabilizzati a calce si prenderà a riferimento anche il seguente standard:

- ASTM D 3668 - Standard Test Method for Bearing ratio of Laboratory Compacted Soil-Lime Mixtures.
- UNI EN 13286-47:2012 - Miscele non legate e legate con leganti idraulici - Parte 47: Metodo di prova per la determinazione dell'indice di portanza CBR, dell'indice di portanza immediata e del rigonfiamento (in sostituzione di CNR UNI 10009)

2.6.5.3 Modalità di prova

La prova CBR potrà realizzarsi al variare dell'energia e dell'umidità di costipamento (iso-CBR procedura completa), oppure potrà essere analizzata la variabilità dell'indice CBR per un'unica energia di costipamento al variare delle condizioni di umidità operando su 5 punti di prova, o potrà essere determinato il valore dell'indice CBR su uno o più provini a prefissate condizioni di umidità e densità.

Le modalità di esecuzione della prova saranno stabilite nel programma delle indagini.

Il materiale da sottoporre a prova dovrà essere preliminarmente preparato sostituendo l'eventuale frazione trattenuta al setaccio ASTM 3/4" con un analogo quantitativo di materiale passante al 3/4" e trattenuto al setaccio ASTM n° 4.

Nella preparazione del materiale, eventuale aggiunta di legante (calce o cemento) laddove richiesto, e aggiunta di acqua, si adotteranno le stesse precauzioni indicate per le compattazioni Proctor.

I test di penetrazione dovranno seguire ciascuna fase di compattazione.

Dove richiesto, i test di penetrazione dovranno essere eseguiti anche dopo saturazione in acqua di durata non inferiore a 96 ore. La penetrazione dovrà essere condotta ad una velocità pari a 1.27 mm/min. fino ad un valore massimo di 12.7 mm impiegando un pistone del diametro di 49.63 ± 0.13 mm; durante la penetrazione si effettueranno ad intervalli regolari letture di penetrazione e corrispondente livello di carico raggiunto.

Da ogni curva di penetrazione, eventualmente corretta in caso di iniziale concavità verso l'alto, si

otterrà il carico corrispondente alla penetrazione di 2.54 mm che, rapportato al carico di riferimento di 13.24 kN, fornisce il valore dell'indice CBR. Come controllo si dovrà calcolare anche l'indice CBR relativo alla penetrazione di 5.08 mm (carico di riferimento = 19.96 kN) che dovrà risultare inferiore a quello relativo alla penetrazione di 2.54 mm; in caso contrario si dovrà ripetere il test e se dovesse permanere la medesima situazione si assumerà come indice CBR quello relativo alla penetrazione di 5.08 mm.

Nei casi in cui si renda necessario analizzare l'influenza delle diverse variabili in gioco la prova CBR si eseguirà su materiale compattato con 3 diverse energie di compattazione e con almeno 5 valori di contenuto d'acqua, impiegando fustelle di volume pari a $2124 \pm 25 \text{ cm}^3$, compattando il materiale in 5 strati successivi con compattatore, manuale o motorizzato, dotato di una massa battente del peso di $4.54 \pm 0.01 \text{ kg}$ con altezza di caduta pari a $457.2 \pm 1.6 \text{ mm}$. I tre diversi livelli energetici di compattazione saranno realizzati utilizzando rispettivamente 56, 25 e 10 colpi per ciascuno strato. Le modalità di compattazione saranno analoghe a quelle adottate per le prove Proctor.

Tutti i valori dell'indice CBR così ottenuti (almeno 15) saranno poi diagrammati in funzione della densità secca e del contenuto d'acqua del campione.

Si indicherà poi come indice CBR di riferimento il valore minore ottenuto per valori di densità secca maggiori o pari al 95% della densità ottimale ottenuta con la massima energia di compattazione.

2.6.5.4 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- caratteristiche dell'attrezzatura impiegata;
- dimensioni della fustella e data dell'ultima calibrazione eseguita;
- metodologia di preparazione adottata;
- tabella riassuntiva con l'indicazione dei valori di peso di volume e contenuto d'acqua di ciascun punto di prova;
- valori ottimali di densità secca e di umidità di compattazione per ciascuna energia di compattazione;
- curve di penetrazione relative a ciascun punto di prova;
- diagramma indice CBR - umidità
- diagramma indice CBR - densità secca
- diagramma densità secca - umidità;
- valore dell'indice CBR di riferimento.
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo (bilancia, comparatori millesimali o trasduttori lineari di spostamento, anelli dinamometrici o trasduttori di carico) di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

2.7 PROVE DI PERMEABILITÀ

2.7.1 PROVA DI PERMEABILITÀ DIRETTA CON PERMEAMETRO A CARICO IDRAULICO COSTANTE

2.7.1.1 Generalità

La prova consiste nella determinazione del coefficiente di permeabilità di terreni granulari rimaneggiati ottenuto per via diretta in apparecchiatura a carico costante.

2.7.1.2 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 2434 - 68 (94) - Standard Test Method for Permeability of Granular Soils (Constant Head)

2.7.1.3 Modalità di prova

La prova sarà eseguita su materiali granulari rimaneggiati con frazione passante al setaccio ASTM n° 200 inferiore al 10% e completamente passanti al setaccio ASTM 3/4".

Il diametro della cella di permeabilità da utilizzare sarà stabilito in funzione delle dimensioni massime dei grani costituenti il campione in esame e della sua distribuzione granulometrica in accordo a quanto indicato nella seguente tabella:

DIAMETRO DELLA CELLA DI PROVA

<i>Diametro massimo [mm]</i>	<i>Trattenuto al setaccio ASTM n° 10 [%]</i>	<i>Trattenuto al setaccio ASTM 3/8" [%]</i>	<i>Diametro cella [mm]</i>
9.5	< 35	-	76
9.5	≥ 35	-	114
19.0	-	< 35	152
19.0	-	≥ 35	229

Il materiale da sottoporre a prova dovrà essere posto nel permeametro in strati sottili aventi spessore dopo compattazione pari alla dimensione massima delle particelle; la deposizione del materiale dovrà avvenire col metodo della deposizione pluviale a secco, o eventualmente in acqua.

Dopo la deposizione ciascuno strato sarà portato alla densità stabilita per la prova con compattazione dinamica o per vibrazione.

Prima dell'esecuzione della prova si dovrà poi operare la completa disaerazione e saturazione del campione applicando a mezzo pompa a vuoto un flusso di acqua disaerata dal basso verso l'alto del campione.

Successivamente, stabilito un carico idraulico h , si darà inizio alla prova misurando ad intervalli di tempo regolari la quantità di flusso Q che attraversa il campione fino alla completa stabilizzazione;

MSQX-MSD-Rev0

La sola edizione controllata del documento è quella diffusa attraverso la rete informatica.

Tutte le copie disponibili su carta o su qualsiasi altro supporto, escluso l'originale, non sono soggette a controllo e il loro stato di aggiornamento deve essere verificato prima dell'uso.

la prova sarà poi ripetuta per almeno altri quattro valori di carico idraulico al fine di individuare correttamente la regione a flusso laminare, caratterizzata dalla relazione lineare di proporzionalità diretta tra velocità di flusso v e gradiente idraulico i .

Il valore del coefficiente di permeabilità k da indicare nel rapporto finale sarà determinato nella regione di flusso laminare e stazionario attraverso l'equazione:

$$k = v/i$$

con: $v = Q/At$

$$i = h/L$$

dove

Q = quantità d'acqua filtrata

A = sezione del campione

t = tempo

h = carico idraulico

L = lunghezza di filtrazione

2.7.1.4 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- caratteristiche dell'attrezzatura impiegata;
- dimensioni della cella di prova;
- metodologia di preparazione adottata;
- tabella riassuntiva con l'indicazione di tutti i valori registrati nel corso della prova;
- diagramma velocità di filtrazione - gradiente idraulico;
- valore del coefficiente di permeabilità k riferito alla temperatura di 20 °C;
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

2.7.2 PROVA DI PERMEABILITÀ IN CELLA TRIASSIALE

La prova consiste nella determinazione del coefficiente di permeabilità di terreni indisturbati coesivi o granulari, ottenuto per via diretta in apparecchiatura triassiale. La prova potrà avvenire con gradiente idraulico o portata imposta.

Per l'esecuzione della prova sarà necessario disporre di una cella triassiale idonea ad alloggiare provini di diametro non inferiore a 50 mm, integrata da strumenti per la generazione e la misura dei carichi idraulici applicati

2.7.2.1 Attrezzatura di prova

La cella triassiale dovrà avere la possibilità di convogliare separatamente i flussi di acqua provenienti dal drenaggio posto alla base del provino (bottom) da quello in testa al provino (top).

Per la determinazione del coefficiente di permeabilità è necessario l'utilizzo di una pompa di precisione (flow-pump) che muovendo lo stantuffo di una siringa permette di introdurre nel provino un flusso di acqua costante (prova a flusso costante o portata imposta).

La pompa avrà possibilità di regolazione della velocità di avanzamento dello stantuffo; la calibrazione del complesso pompa-siringa consentirà la esatta definizione delle portate corrispondenti ad ogni posizione.

All'attrezzatura di prova saranno collegati dei trasduttori differenziali di pressione aventi fondo scala 0 - 550 kPa, e un sistema di condizionamento del segnale avente tensione e accuratezza idonea.

In accordo e dietro autorizzazione della Società il laboratorio potrà indicare altre soluzioni praticabili con il sistema triassiale in uso, purché di provata affidabilità; ad esempio applicando un gradiente idraulico tra il drenaggio di base e quello di testa del provino e misurando il conseguente quantitativo di acqua in flussaggio (con buretta di precisione).

In tali casi si concorderanno con la Società le esatte condizioni di prova e le modalità di elaborazione dei risultati.

2.7.2.2 Modalità di prova

Il provino sarà assemblato, saturato ed eventualmente consolidato secondo le modalità già descritte relativamente alle prove triassiali.

Nel montaggio del provino si dovrà evitare di inserire la carta filtro lungo la superficie laterale del provino, che sarà quindi a diretto contatto con la membrana impermeabile.

Una volta raggiunto il valore di consolidazione al quale eseguire la prova di permeabilità, si applicherà un flusso idraulico generato dalla flow pump.

Si rileverà la differenza di pressione conseguente alla immissione del flusso costante, e i carichi idraulici, tra le estremità del provino. La portata da utilizzare durante la prova verrà scelta in modo tale da generare un incremento di pressione trascurabile rispetto al valore di pressione di consolidazione agente sul provino.

2.7.2.3 Documentazione

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- dimensioni iniziali dei provini;
- peso di volume naturale, contenuto d'acqua e grado di saturazione iniziale dei provini;
- tabella riassuntiva con i valori delle pressioni di cella e della back-pressure adottati durante la fase di saturazione, con indicazione del valore assunto dal parametro B al termine di ciascun gradino;
- valori della back-pressure e della pressione di cella adottati durante la prova di permeabilità
- caratteristiche delle attrezzature impiegate per la realizzazione della prova di permeabilità;
- valore del carico idraulico rilevato alle estremità provino in funzione del tempo trascorso dall'inizio della fase di prova;
- calcoli e trasformazioni eseguite per il calcolo del coefficiente di permeabilità, e valore del coefficiente di permeabilità calcolato in funzione della tensione media di consolidazione applicata.

3 PROVE GEOMECCANICHE DI LABORATORIO

3.1 DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE FISICHE

3.1.1 APERTURA E DESCRIZIONE DEI CAMPIONI

L'eventuale estrazione degli spezzoni di carota alloggiati in contenitori rigidi dovrà avvenire con cautela.

La descrizione preliminare dei campioni dovrà comprendere una esauriente descrizione geologica del materiale con indicazione di litologia, colore, reattività con HCl, 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.

Quale riferimento per gli aspetti litologici e tessiturali da riportare nella descrizione del materiale, si rimanda a quanto riportato nel capitolo 2.1.8 ("Rilievo Stratigrafico") delle Norme Tecniche di Appalto Tecne - Lavori di Indagine Geotecnica - Indagini In Sito.

La descrizione dovrà essere completata da una documentazione fotografica del campione, in cui compaiano una scala metrica ed una scala colorimetrica di riferimento, oltre alla completa identificazione del campione e del suo alto (se individuabile).

3.1.1.1 Documentazione

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- sondaggio o indagine in sito di riferimento, e profondità di prelievo dichiarata;
- tipo e condizioni dell'eventuale contenitore
- fotografia digitalizzata del campione, di dimensioni non inferiori a 9 cm x 13 cm, comprensiva di scritte identificative (n. campione, profondità min-max), scala metrica di confronto, scala colorimetrica;
- descrizione visivo manuale, con eventuale indicazione degli intervalli di lunghezza (o profondità assoluta) aventi caratteristiche litologiche differenti;
- indicazione delle prove eseguite, con riferimento alla porzione di campione (in termini di lunghezza reale o profondità assoluta) utilizzata allo scopo.

3.1.2 DETERMINAZIONE DEL CONTENUTO NATURALE D'ACQUA

3.1.2.1 Generalità

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

3.1.2.2 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

3.1.2.3 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.

3.1.2.4 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- 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 di data non antecedente di sei mesi la data di prova (bilancia, termostato) , qualora richiesto.

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

3.1.3.1 Generalità

La prova consiste nella determinazione del rapporto tra la massa totale di un campione di roccia ed il suo volume. Di seguito sono descritti diversi metodi di prova in funzione del tipo di campione da analizzare.

3.1.3.2 Determinazione della massa volumica apparente (peso di volume naturale) su provini di forma regolare

3.1.3.2.1 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

3.1.3.2.2 Modalità di prova

La determinazione dovrà essere condotta su un provino cilindrico di forma regolare, preparato in accordo allo standard ASTM D 4543 - Standard Practice for Preparing Rock Core Specimens and Determining Dimensional and Shape Tollerances - 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.

3.1.3.2.3 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- 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 di data non antecedente di sei mesi la data di prova (bilancia) , qualora richiesto.

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

3.1.3.3.1 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

3.1.3.3.2 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.

3.1.3.3.3 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- numero e massa dei provini;
- valore medio della massa volumica apparente espressa in Mg/m^3 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 di data non antecedente di sei mesi la data di prova (bilancia, manometro), qualora richiesto.

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

3.1.3.4.1 Normative e specifiche di riferimento

Qualora il laboratorio sia in possesso delle necessarie autorizzazioni, attrezzature e dispositivi di protezione per poter operare con mercurio si farà riferimento alla normativa seguente:

- 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

In caso contrario la prova dovrà eseguirsi secondo procedura non codificata dagli standards internazionali di riferimento, previa preventiva immersione dei provini di prova in paraffina liquida e successiva immersione in acqua. In tal caso la Società trasmetterà preventivamente tutti i dettagli tecnici e operativi necessari alla realizzazione delle misure e calcoli conseguenti.

3.1.3.4.2 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 di ciascun frammento, in accordo allo standard ISRM (qualora ammesso), dovrà essere determinato a mezzo spostamento di mercurio, mentre per la determinazione della massa si impiegherà una comune bilancia centesimale.

3.1.3.4.3 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- numero e massa dei provini esaminati;
- valore medio della massa volumica apparente espressa in Mg/m^3 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 di data non antecedente di sei mesi la data di prova (bilancia, termostato, manometro), qualora richiesto.

3.1.4 DETERMINAZIONE DELLA POROSITÀ

3.1.4.1 Generalità

La prova consiste nella determinazione del rapporto tra il volume dei vuoti ed il volume totale di un campione di roccia. Di seguito sono descritti diversi metodi di prova in funzione del tipo di campione da analizzare.

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

3.1.4.2.1 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

3.1.4.2.2 Modalità di prova

La determinazione dovrà essere condotta su almeno tre provini cilindrici di forma regolare, preparati in accordo allo standard ASTM D 4543 - 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.

3.1.4.2.3 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- 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 di data non antecedente di sei mesi la data di prova (bilancia, termostato, manometro), qualora richiesto.

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

3.1.4.3.1 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

3.1.4.3.2 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.

3.1.4.3.3 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- 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 di data non antecedente di sei mesi la data di prova (bilancia), qualora richiesto.

3.1.4.4 Determinazione della porosità su provini di forma irregolare di rocce sensibili all'immersione in acqua

3.1.4.4.1 Normative e specifiche di riferimento

Qualora il laboratorio sia in possesso delle necessarie autorizzazioni, attrezzature e dispositivi di protezione per poter operare con mercurio si farà riferimento alla normativa seguente:

- 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

In caso contrario la prova dovrà eseguirsi secondo procedura non codificata dagli standards internazionali di riferimento, previa preventiva immersione dei provini di prova in paraffina liquida e successiva immersione in acqua. In tal caso la Società trasmetterà preventivamente tutti i dettagli tecnici e operativi necessari alla realizzazione delle misure e calcoli conseguenti.

3.1.4.4.2 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 di ciascun frammento, in accordo allo standard ISRM (qualora ammesso), 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.

3.1.4.4.3 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- 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 di data non antecedente di sei mesi la data di prova (bilancia, termostato), qualora richiesto.

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

3.1.5.1 Generalità

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

3.1.5.2 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

3.1.5.3 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 mm 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).

3.1.5.4 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- quantità di materiale analizzato;
- risultato delle due determinazioni eseguite espresso in Mg/m^3 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) di data non antecedente di sei mesi la data di prova, qualora richiesto.

3.1.6 MISURA DELLA VELOCITÀ SONICA

3.1.6.1 Generalità

La prova consiste nella misura della velocità di propagazione delle onde elastiche longitudinali e di taglio in provini regolari di roccia e nella determinazione delle sue costanti elastiche dinamiche.

3.1.6.2 Normative e specifiche di riferimento

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

3.1.6.3 Modalità di prova

La determinazione della velocità di propagazione delle onde longitudinali e di taglio sarà condotta su provini cilindrici rettificati e con facce piane e parallele perpendicolari all'asse del provino, preparati in accordo allo standard ASTM D 4543. In particolare le facce laterali del provino, su cui dovranno essere posizionati gli elementi trasmettenti e riceventi, dovranno essere sottoposte a lappatura al fine di ottenere superfici perfettamente piane, con una tolleranza non superiore a 25 mm.

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:

$$D \geq 5 * (V_P / f) \geq 15 * d$$

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 riceventi, 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.

3.1.6.4 Calcolo delle costanti elastiche

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

$$E = [g V_S^2 (3V_P^2 - 4V_S^2)] / (V_P^2 - V_S^2)$$

$$G = g V_S^2$$

$$K = g (3V_P^2 - 4V_S^2) / 3$$

$$m = (V_P^2 - 2V_S^2) / [2(V_P^2 - V_S^2)]$$

dove:

- E = modulo di Young
- G = modulo di taglio
- K = modulo volumetrico
- m = rapporto di Poisson
- g = peso di volume
- V_P = velocità di propagazione delle onde di compressione
- V_S = velocità di propagazione delle onde di taglio

3.1.6.5 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- 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 m)
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura della strumentazione di data non antecedente di sei mesi la data di prova, qualora richiesto.

3.1.7 ANALISI MINERALOGICA DI SEZIONE SOTTILE

3.1.7.1 Generalità

L'analisi consiste nella determinazione della composizione mineralogica e nella classificazione petrografica di un campione di roccia.

3.1.7.2 Normative e specifiche di riferimento

- ISRM - Committee on laboratory tests - Suggested Methods for Petrographic Description of Rocks

3.1.7.3 Modalità di prova

L'analisi mineralogica, eseguita al microscopio su sezione sottile, dovrà essere finalizzata alla determinazione della composizione mineralogica quantitativa, della granulometria, della cementazione, della tessitura, della microfratturazione e dell'alterazione del campione in esame.

3.1.7.4 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- classificazione petrografica del campione;
- risultati di tutte le osservazioni condotte;
- almeno una fotografia significativa della sezione analizzata.

3.1.8 ANALISI DIFFRATTOMETRICA

3.1.8.1 Generalità

L'analisi consiste nel far incidere un fascio di raggi X monocromatici e di opportuna lunghezza d'onda su un preparato della roccia da analizzare ridotta in polvere e nel misurare la dispersione angolare (2θ) e l'intensità (I) dei raggi diffratti.

Attraverso il confronto del diffrattogramma ottenuto dall'analisi con diffrattogrammi e tabelle di riferimento è possibile determinare la composizione mineralogica del campione di roccia.

3.1.8.2 Caratteristiche delle attrezzature

Lo strumento impiegato sarà costituito da un diffrattometro, che consiste essenzialmente delle seguenti parti:

- generatore in grado di fornire una potenza della potenza dell'ordine dei 3 kW, con elevata tensione (da 20 a 100 kV) e bassa corrente (da 5 a 80 mA);
- goniometro del raggio di $15 \div 30$ cm, al cui centro è collocata una lastrina piana portacampione, che ruota con una velocità di circa $0,5^\circ$ al minuto;
- tubo a raggi X a finestra laterale, dotato di collimatore e filtro monocromatore, fisso;
- rilevatore allo stato solido, che ruota con una velocità angolare doppia rispetto alla lastrina portacampione, dotato di collimatore, che trasforma i raggi diffratti in impulsi elettrici;
- sistema di amplificazione, registrazione e stampa del segnale elettrico.

3.1.8.3 Modalità di prova

Il campione di roccia dovrà essere frantumato e polverizzato fino ad ottenere dimensioni delle particelle inferiori a circa 10 mm e lo strato di polvere ottenuta dovrà essere disposto sulla lastrina portacampione in modo da ridurre gli orientamenti preferenziali dei cristalli.

Al fine di evidenziare più chiaramente il tipo di minerali argillosi presenti nel campione in esame si dovranno eseguire quattro analisi su altrettante frazioni dello stesso campione ed in particolare:

- campione tal quale;
- frazione argillosa separata per sedimentazione e non trattata;
- frazione argillosa separata per sedimentazione e trattata con attacco di vapori di glicole etilenico a 60° C per 8, 12 ore, avendo cura di evitare il contatto diretto tra campione e reagente;
- frazione argillosa separata per sedimentazione e sottoposta a riscaldamento a 600° C per 2 ore.

Solo quando espressamente richiesto dalla Società l'analisi diffrattometrica potrà essere eseguita in unica soluzione sul campione tal quale, previa frantumazione e polverizzazione.

3.1.8.4 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

MSQX-MSD-Rev0

La sola edizione controllata del documento è quella diffusa attraverso la rete informatica.
Tutte le copie disponibili su carta o su qualsiasi altro supporto, escluso l'originale, non sono soggette a controllo e il loro stato di aggiornamento deve essere verificato prima dell'uso.

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione sottoposto ad analisi;
- diffrattogrammi;
- relazione interpretativa dell'analisi eseguita con indicazioni sul tipo e sulla quantità relativa dei minerali presenti.

3.2 DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE

3.2.1 PROVA DI TAGLIO DIRETTO SU GIUNTO

3.2.1.1 Generalità

La prova consiste nella determinazione dei parametri di resistenza al taglio di picco e residui di giunti e discontinuità naturali.

La prova può anche essere condotta per la determinazione dell'angolo d'attrito di base j_b operando su superfici lisce ottenute mediante taglio con sega al diamante su provini di roccia intatta; in questo caso particolare cura dovrà essere posta nell'allineamento del piano di prova con l'asse orizzontale della scatola di taglio.

3.2.1.2 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 5607 - Standard Test Method for Performing Laboratory Direct Shear Strength Tests of Rock Specimens Under Constant Normal Stress

3.2.1.3 Modalità di prova

La prova per la determinazione della resistenza al taglio lungo giunti naturali dovrà essere eseguita su almeno cinque provini aventi superficie di taglio non inferiore a 2500 mm², ciascuno sottoposto ad almeno tre diversi valori di carico normale, comunicati dalla Società, con determinazione di cinque valori di resistenza di picco e quindici valori di resistenza residua.

I valori di resistenza residua saranno ottenuti con la tecnica *multistage*; in particolare per ciascun campione sottoposto a prova il primo valore sarà ottenuto, dopo il raggiungimento della resistenza di picco, proseguendo la prova fino a registrare incrementi nella resistenza inferiori al 5% per scorrimenti superiori a 10 mm; i successivi due valori saranno ottenuti incrementando il carico normale e, una volta esauriti i cedimenti di consolidazione, aumentando lo sforzo di taglio fino ad ottenere incrementi nella resistenza inferiori al 5% per scorrimenti superiori a 10 mm.

Nella preparazione dei provini dovrà essere posta particolare cura nell'evitare qualsiasi movimento lungo il giunto in esame, preservando l'integrità del campione mediante sigillatura delle due estremità con nastro adesivo o filo di ferro, da rimuovere appena prima dell'esecuzione della prova.

La prova per la determinazione dell'angolo d'attrito di base su superficie liscia dovrà essere eseguita con tecnica *multistage* su un unico provino avente superficie di taglio non inferiore a 2500 mm², sottoposto ad almeno cinque diversi valori di carico normale.

I provini dovranno essere inglobati in una matrice di resina (o cemento) e sabbia, preparata in uno stampo di dimensioni uguali a quelle della scatola di taglio, avendo cura di lasciare una zona di separazione di spessore non inferiore a 10 mm in corrispondenza del giunto in esame.

La prova dovrà essere condotta adottando velocità di taglio non superiori a 0.1 mm/min. nella fase di determinazione della resistenza di picco e non superiori a 0.2 mm/min. nella fase di determinazione della resistenza residua.

Le fasi di consolidazione precedenti ciascuna fase di taglio potranno essere concluse quando le deformazioni verticali assumano valori inferiori a 0.05 mm in 10 min.

Durante l'esecuzione delle fasi di taglio si dovranno registrare ad intervalli regolari ed in numero adeguato i valori di resistenza al taglio e di spostamento orizzontale e si controllerà la stabilità dello sforzo normale applicato. Al fine di garantire una sufficiente stabilità dello sforzo normale applicato la macchina di taglio dovrà essere equipaggiata con un idoneo stabilizzatore di pressione pneumatico, atto a ridurre le variazioni di pressioni indotte dalle deformazioni del provino.

3.2.1.4 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- rugosità del giunto di prova, da rilevare con profilografo a pettine e da esprimere con il valore di JRC;
- tabella riassuntiva con i valori di scorrimento orizzontale, deformazione verticale, sforzo di taglio e carico normale per ciascuna fase di taglio;
- diagrammi sforzo di taglio - scorrimento orizzontale per ciascun provino e per ciascuna fase di taglio;
- diagrammi deformazione verticale - scorrimento orizzontale per ciascun provino e per ciascuna fase di taglio;
- rappresentazione nel piano s/t di tutti i punti di prova con indicazione dell'involuppo di rottura di picco e residuo;
- valore dell'angolo d'attrito di base (per la sola prova su superficie lisciata);
- documentazione di tutte le misure eseguite;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo (comparatori centesimali o trasduttori lineari di spostamento, manometri o trasduttori di carico) di data non antecedente di sei mesi la data di prova, qualora richiesto.

3.2.2 PROVE DI COMPRESSIONE MONOASSIALE

3.2.2.1 Generalità

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

La prova può essere impiegata anche per la determinazione delle costanti elastiche statiche del materiale in esame, qualora condotta con la misura delle deformazioni assiali e diametrali.

3.2.2.2 Prova di compressione monoassiale con rilievo del solo carico di rottura

3.2.2.2.1 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 2938 - Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens
- ASTM D 4543 - Standard Practice for Preparing Rock Core Specimens and Determining Dimensional and Shape Tolerances
- ISRM - 1978 - Suggested Methods for Determining the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials - Part I. Suggested methods for determination of the Uniaxial Compressive strength.

3.2.2.2.2 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. I provini dovranno avere diametro non inferiore a 10 volte la dimensione massima dei grani costituenti la roccia e comunque non inferiori a 50 mm, con rapporto altezza/diametro normalmente pari a 2. 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 mm.

Il provino così preparato dovrà essere portato a rottura impiegando una pressa di carico idraulica di adeguata rigidità e capacità di carico, 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 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%.

Quando richiesto, la prova potrà essere condotta a controllo di spostamento, impostando una velocità di spostamento costante attraverso un trasduttore di spostamento (lvdt) che monitorerà l'avanzamento del piatto della pressa agendo sul sistema di servocontrollo. Normalmente si ritengono adeguate velocità di spostamento assiali pari a 0,1-0,2 mm/min.

3.2.2.2.3 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- 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;
- modalità di prova e velocità di incremento del carico o dello spostamento assiale;
- 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) di data non antecedente di sei mesi la data di prova, qualora richiesto.

3.2.2.3 Prova di compressione monoassiale con rilievo delle deformazioni assiali e diametrali (o sole deformazioni assiali) e calcolo delle costanti elastiche

3.2.2.3.1 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 3148 - Standard Test Method for Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens in Uniaxial Compression
- ASTM D 4543 - Standard Practice for Preparing Rock Core Specimens and Determining Dimensional and Shape Tolerances.
- ISRM - 1978 - Suggested Methods for Determining the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials - Part II. Suggested Methods for Determining Deformability of Rock Materials in Uniaxial Compression

3.2.2.3.2 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. I provini dovranno avere diametro non inferiore a 10 volte la dimensione massima dei grani costituenti la roccia e comunque non inferiori a 50 mm, con rapporto altezza diametro normalmente pari a 2. 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 mm.

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 µm, costituito da estensimetri elettrici (strain gages) 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 dalla lettura delle singole misure rilevate con due estensimetri diametralmente opposti e su lunghezze non inferiori a 10 volte la dimensione media dei grani costituenti la roccia; in ogni caso gli estensimetri non dovranno essere collocati o non dovranno oltrepassare una distanza inferiore a D/2 (D=diametro) dalle basi del provino. 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.

In alternativa agli estensimetri elettrici è consentito l'utilizzo di altro sistema di misura (tipo lvdt verticale e castello di 3 lvdt laterali, catena radiale), purché soddisfi comunque i prescritti requisiti di precisione.

Quando concordato o richiesto dalla Società, (per es. in presenza di materiali particolarmente problematici ai fini dell'incollaggio di estensimetri elettrici), la prova potrà eseguirsi con una procedura semplificata che prevede la misura della sola deformazione assiale, attraverso l'accoppiamento di un lvdt al sistema di prova.

Il provino dovrà essere portato a rottura impiegando una pressa di carico idraulica di adeguata rigidità e capacità di carico, 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 prova potrà essere condotta a controllo di carico o a controllo di spostamento, a discrezione della Società.

In ogni caso, la velocità di prova prescelta dovrà essere mantenuta costante per tutta la prova, con una variazione massima non superiore al 10%, e dovrà essere scelta in modo che il campione giunga a rottura in un tempo compreso tra 2 e 15 min.

Nel caso di prova eseguita a controllo di spostamento l'aumento del carico avverrà impostando una velocità di spostamento costante su un trasduttore di spostamento (lvdt), che monitorerà l'avanzamento del piatto della pressa agendo sul sistema di servocontrollo. Normalmente si ritengono adeguate velocità di spostamento assiali pari a 0,1-0,2 mm/min.

In caso di prove eseguite a controllo di carico si imposterà un incremento di carico assiale costante; normalmente si ritengono adeguate velocità di applicazione del carico comprese tra 100 e 400 kPa/s.

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. Salvo situazioni particolari un minimo di 10 punti di misura distribuiti equamente tra l'inizio della prova e la rottura del provino è da ritenersi il limite inferiore per l'accettabilità della prova.

Qualora si registri un malfunzionamento o il disaccoppiamento di uno degli estensimetri verticali o orizzontali prima della sopraggiunta rottura del provino, la prova potrà proseguire e ritenersi valida, purché i restanti estensimetri forniscano valori di deformazione attendibili in entrambe le direzioni verticali e orizzontali, e fino alla rottura. In caso contrario, terminata la prova, si dovrà avvertire immediatamente la Società, trasmettendo i dati di prova ottenuti, al fine di valutare la necessità di un eventuale rifacimento della prova.

Al termine della prova si procederà al calcolo della deformazione volumetrica $\epsilon_v = \epsilon_1 + 2\epsilon_3$, del modulo elastico tangente e secante al 50% del carico di rottura e del relativo coefficiente di Poisson. Laddove la prova sia stata eseguita con lvdt per la misura della sola deformazione assiale si procederà al calcolo del solo modulo elastico tangente e secante al 50% del carico di rottura.

3.2.2.3.3 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- 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;
- modalità di prova e velocità di incremento del carico o dello spostamento assiale;
- descrizione ed eventualmente schizzo del tipo di rottura;
- tabella con i valori di carico assiale, deformazioni assiali e deformazioni diametrale acquisiti da tutti i singoli estensimetri durante la prova;
- grafico carico assiale - deformazione assiale media / deformazione diametrale media / deformazione volumetrica per ciascun provino;
- 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) di data non antecedente di sei mesi la data di prova, qualora richiesto.

3.2.3 PROVE DI COMPRESSIONE TRIASSIALE IN CONTROLLO DI CARICO O DI SPOSTAMENTO

3.2.3.1 Generalità

La prova di compressione triassiale in controllo di carico consiste nella determinazione dell'involuppo di rottura di picco di campioni omogenei di roccia e, qualora condotta con rilievo delle deformazioni assiali e diametrali, anche dei parametri elastici di deformabilità. La prova non consente di indagare il comportamento della roccia nella fase post-rottura né di determinare l'involuppo di rottura residuo.

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, secondo quanto indicato dalla Società.

3.2.3.2 Prova di compressione triassiale con rilievo del solo carico di rottura

3.2.3.2.1 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 2664 - Standard Test Method for Triaxial Compressive Strength of Undrained Rock Core Specimens Without Pore Pressure Measurements.
- ASTM D 4543 - Standard Practice for Preparing Rock Core Specimens and Determining Dimensional and Shape Tolerances

3.2.3.2.2 Modalità di 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. I provini dovranno avere diametro non inferiore a 10 volte la dimensione massima dei grani costituenti la roccia e comunque non inferiori a 50 mm, con rapporto altezza diametro normalmente pari a 2. 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 mm.

I provini così preparati dovranno essere alloggiati in una cella triassiale tipo Hoek per l'applicazione della pressione di confinamento e portati a rottura impiegando una pressa di carico idraulica di adeguata rigidità e capacità di carico, dotata di un giunto sferico sul piatto superiore. Il sistema per l'applicazione della pressione di confinamento potrà essere costituito da una pompa manuale dotata di stabilizzatore di pressione o, preferibilmente, da un sistema motorizzato, in grado comunque di mantenere costante la pressione applicata per tutta la durata della prova, e di capacità adeguata.

Ad inizio della fase di rottura dovrà essere raggiunta una condizione di pressione di tipo idrostatico ($s_1 = s_3$); pertanto dovrà essere applicato un carico assiale tale da bilanciare ed eguagliare la pressione di confinamento laterale.

Il sistema per il rilevamento e la lettura del carico deviatorico 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.

Il sistema per il rilevamento e la lettura della pressione di confinamento applicata dovrà essere costituito da un trasduttore di pressione o, in alternativa, da una coppia di manometri a diverso fondo scala (10 e 70 MPa), con precisione non inferiore a 0.1 MPa nel campo 0÷10 MPa e a 0.5 MPa nel campo 10÷70 MPa.

La rottura dei provini dovrà essere raggiunta incrementando il carico applicato con continuità; la velocità di incremento del carico dovrà essere scelta in modo che i provini giungano 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 scelta dovrà essere mantenuta costante per tutti i provini della serie, con una variazione massima del 10%.

Quando richiesto, la prova potrà essere condotta a controllo di spostamento, impostando una velocità di spostamento costante attraverso un trasduttore di spostamento (lvdt) che monitorerà l'avanzamento del piatto della pressa agendo sul sistema di servocontrollo. Normalmente si ritengono adeguate velocità di spostamento assiali pari a 0,1-0,2 mm/min.

Al termine di una serie di prove realizzate su più provini a diverse pressioni di confinamento, qualora richiesto, si procederà alla determinazione dei parametri dell'involuppo di rottura di picco della roccia in esame impiegando il criterio di rottura non lineare di Hoek & Brown (1980) espresso nel piano s_1 / s_3 nella forma:

$$s_1 = s_3 + (m_i * C_o * s_3 + C_o^2)^{0.5}$$

e nel piano s / t nella forma:

$$t = A * C_o * (s / C_o - T)^B$$

dove:

- s_1 = tensione assiale di rottura (sforzo principale maggiore)
- s_3 = tensione di confinamento (sforzo principale minore)
- m_i = parametro dell'involuppo di rottura nel piano s_1 / s_3 , dipendente dalla natura litologica del campione
- C_o = resistenza a compressione monoassiale
- t = sforzo di taglio
- s = sforzo normale
- A, B, T = parametri dell'involuppo di rottura nel piano s / t

3.2.3.2.3 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- 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;
- caratteristiche della pressa utilizzata, modalità di prova e velocità di incremento del carico (o di spostamento assiale);
- descrizione ed eventuale schizzo del tipo di rottura di ciascun provino;

- tabella con i valori di pressione di confinamento s_3 e carico assiale di rottura s_1 di ciascun provino;
- diagramma s_1 / s_3 con tracciamento dell'involuppo di rottura calcolato e dei punti di prova;
- diagramma s / t con tracciamento dell'involuppo di rottura calcolato e dei cerchi di Mohr relativi alle prove eseguite;
- eventuale valore della resistenza a compressione C_o calcolata;
- eventuale valore del parametro m_i dell'involuppo di rottura nel piano s_1 / s_3 ;
- eventuale valore dei parametri A, B e T dell'involuppo di rottura nel piano s / t ;
- documentazione di tutte le misure eseguite;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo (comparatori centesimali, manometri, trasduttori di pressione) di data non antecedente di sei mesi la data di prova, qualora richiesto.

3.2.3.3 Prova di compressione triassiale con rilievo delle deformazioni assiali e diametrali e calcolo delle costanti elastiche

3.2.3.3.1 *Normative e specifiche di riferimento*

- ASTM D 5407 - Standard Test Method for Elastic Moduli of Undrained Intact Rock Core Specimens in Triaxial Compression Without Pore Pressure Measurements.
- ASTM D 4543 - Standard Practice for Preparing Rock Core Specimens and Determining Dimensional and Shape Tolerances.

3.2.3.3.2 *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. I provini dovranno avere diametro non inferiore a 10 volte la dimensione massima dei grani costituenti la roccia e comunque non inferiori a 50 mm, con rapporto altezza diametro normalmente pari a 2. 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 mm.

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 μm , costituito da estensimetri elettrici (strain gages) 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 dalla lettura delle singole misure rilevate con due estensimetri diametralmente opposti, di lunghezze non inferiori a 10 volte la dimensione media dei grani costituenti la roccia; in ogni caso gli estensimetri non dovranno essere collocati o non dovranno oltrepassare una distanza inferiore a $D/2$ (D =diametro) dalle basi del provino. 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. In alternativa agli estensimetri elettrici è consentito l'utilizzo di altro sistema di misura (tipo lvdt verticale e castello di 3 lvdt laterali, catena radiale), purché soddisfi comunque i prescritti requisiti di precisione.

I provini così preparati dovranno essere alloggiati in una cella triassiale (es. tipo Hoek) per

l'applicazione della pressione di confinamento e portati a rottura impiegando una pressa di carico idraulica di adeguata rigidità e capacità di carico, dotata di un giunto sferico sul piatto superiore. Il sistema per l'applicazione della pressione di confinamento potrà essere costituito da una pompa manuale dotata di stabilizzatore di pressione o, preferibilmente, da un sistema motorizzato, in grado comunque di mantenere costante la pressione applicata per tutta la durata della prova, e di capacità adeguata.

Il sistema per il rilevamento e la lettura del carico deviatorico 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 o, in alternativa, da una coppia di manometri a diverso fondo scala (10 e 70 MPa), con precisione non inferiore a 0.1 MPa nel campo 0÷10 MPa e a 0.5 MPa nel campo 10÷70 MPa.

Ad inizio della fase di rottura dovrà essere raggiunta una condizione di pressione di tipo idrostatico ($s_1 = s_3$); pertanto dovrà essere applicato un carico assiale tale da bilanciare ed eguagliare la pressione di confinamento laterale.

La prova potrà essere condotta a controllo di carico o a controllo di spostamento, a discrezione della Società.

In ogni caso, la velocità di prova prescelta dovrà essere mantenuta costante per tutta la prova, con una variazione massima non superiore al 10%, e dovrà essere scelta in modo che il campione giunga a rottura in un tempo compreso tra 2 e 15 min.

Nel caso di prova eseguita a controllo di spostamento l'aumento del carico avverrà impostando una velocità di spostamento costante su un trasduttore di spostamento (lvdt) che monitorerà l'avanzamento del piatto della pressa agendo sul sistema di servocontrollo. Normalmente si ritengono adeguate velocità di spostamento assiali pari a 0,1-0,2 mm/min.

In caso di prove eseguite a controllo di carico si imposterà un incremento di carico assiale costante; normalmente si ritengono adeguate velocità di applicazione del carico comprese tra 200 e 400 kPa/s.

Durante tutta la prova si dovranno registrare i valori di carico deviatorico assiale applicato, deformazione assiale e deformazione diametrale in numero sufficiente a descrivere compiutamente l'intera prova. Si dovrà inoltre controllare la stabilità della pressione di confinamento. Salvo situazioni particolari un minimo di 10 punti di misura distribuiti equamente tra l'inizio della prova e la rottura del provino è da ritenersi il limite inferiore per l'accettabilità della prova.

Qualora si registri un malfunzionamento o il disaccoppiamento di uno degli estensimetri verticali o orizzontali prima della sopraggiunta rottura del provino, la prova potrà proseguire e ritenersi valida, purché i restanti estensimetri forniscano valori di deformazione attendibili in entrambe le direzioni verticali e orizzontali, e fino alla rottura. In caso contrario, terminata la prova, si dovrà avvertire immediatamente la Società, trasmettendo i dati di prova ottenuti, al fine di valutare la necessità di un eventuale rifacimento della prova.

Al termine della prova si procederà al calcolo della deformazione volumetrica $e_v = e_1 + 2e_3$, del modulo elastico tangente e secante al 50% del carico di rottura e del relativo coefficiente di Poisson di ciascun provino.

Al termine di una serie di prove realizzate su più provini a diverse pressioni di confinamento, qualora richiesto, si dovrà procedere alla determinazione dei parametri dell'involuppo di rottura di picco della roccia in esame impiegando il criterio di rottura non lineare di Hoek & Brown espresso nel piano s_1 / s_3 nella forma:

$$s_1 = s_3 + (m_i * C_o * s_3 + C_o^2)^{0.5}$$

e nel piano s / t nella forma:

$$t = A * C_o * (s / C_o - T)^B$$

dove:

- s_1 = tensione assiale di rottura (sforzo principale maggiore)
- s_3 = tensione di confinamento (sforzo principale minore)
- m_i = parametro dell'involuppo di rottura nel piano s_1 / s_3 , dipendente dalla natura litologica del campione
- C_o = resistenza a compressione monoassiale
- t = sforzo di taglio
- s = sforzo normale
- A, B, T = parametri dell'involuppo di rottura nel piano s / t

3.2.3.3.3 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3.;
- 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;
- modalità di prova e velocità di incremento del carico o dello spostamento assiale;
- descrizione ed eventualmente schizzo del tipo di rottura di ciascun provino;
- tabella con i valori di carico deviatorico assiale, deformazione assiale e deformazione laterale acquisiti da tutti i singoli estensimetri durante la prova;
- grafico carico deviatorico assiale - deformazione assiale media / deformazione diametrale media / deformazione volumetrica per ciascun provino;
- tabella con i valori di pressione di confinamento s_3 e carico assiale di rottura s_1 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 μ per ciascun provino;
- diagramma s_1 / s_3 con tracciamento dell'involuppo di rottura calcolato e di tutti i punti di prova;
- diagramma s / t con tracciamento dell'involuppo di rottura calcolato e dei cerchi di Mohr relativi alle prove eseguite;
- eventuale valore della resistenza a compressione C_o calcolata;
- eventuale valore del parametro m_i dell'involuppo di rottura nel piano s_1 / s_3 ;
- eventuale valore dei parametri A, B e T dell'involuppo di rottura nel piano s / t ;
- documentazione di tutte le misure eseguite;

- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo (comparatori centesimali, manometri, trasduttori di pressione) di data non antecedente di sei mesi la data di prova, qualora richiesto.

3.2.4 PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE IN CONTROLLO DI DEFORMAZ. CON RILIEVO DEFORMAZ. ASSIALI E DIAMETRALI

3.2.4.1 Generalità

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 e dei parametri elastici di deformabilità di campioni omogenei di roccia. La prova potrà utilizzarsi anche per l'osservazione del percorso sforzo - deformazioni post-picco, fino all'eventuale determinazione dei parametri di resistenza residui.

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, secondo quanto indicato dalla Società.

3.2.4.2 Normative e specifiche di riferimento

- ISRM - Suggested Methods for Determining the Strength of Rock Materials in Triaxial Compression : revised version (1983) - Procedure type II - multiple failure state test
- ASTM D 4543 - Standard Practice for Preparing Rock Core Specimens and Determining Dimensional and Shape Tolerances.

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 dovrà essere condotta su diversi provini con pressione di confinamento costante per ciascun provino.

3.2.4.3 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. I provini dovranno avere diametro non inferiore a 10 volte la dimensione massima dei grani costituenti la roccia e comunque non inferiori a 50 mm, con rapporto altezza / diametro normalmente pari a 2. 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 mm.

L'attrezzatura di prova dovrà comprendere un adeguato sistema per la misura delle deformazioni assiali e diametrali del provino (per es. lvdt verticale e castello di 3 lvdt laterali, catena radiale), che dovrà in ogni caso garantire una precisione di almeno 5 mε. Non è generalmente ammesso l'uso di estensimetri elettrici (strain gage), se non in particolari condizioni e solo dietro esplicita autorizzazione della Società.

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, 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 adeguata.

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 partendo dalla condizione idrostatica impostata precedentemente, mantenendo la pressione laterale s_3 costante ed incrementando il carico deviatorico assiale in modo da avere per tutta la durata della prova una velocità di deformazione assiale compresa tra 10^{-2} e 10^{-5} e/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, laddove possibile: il decremento del carico assiale avverrà con la medesima velocità di deformazione assiale. Se non sarà sopraggiunta la rottura del provino, la prova proseguirà fino a deformazioni tali da consentire la determinazione della resistenza residua, e comunque non inferiori al 3%.

In presenza di sistemi di controllo e misura affidabili e sofisticati e la prova potrà essere condotta utilizzando la deformazione radiale quale segnale di feedback per l'incremento - decremento del carico.

Durante tutta la prova si dovranno registrare i valori di carico deviatorico assiale applicato, deformazione assiale e deformazione diametrale in numero sufficiente a descrivere compiutamente l'intera prova, sia nella fase pre-picco, sia nella eventuale fase post-picco. Si dovrà inoltre registrare il valore della pressione di confinamento al fine di controllarne la stabilità e invariabilità.

Al termine della prova si procederà al calcolo della deformazione volumetrica $e_v = e_1 + 2e_3$, nonché al calcolo del modulo elastico tangente e secante al 50% del carico di rottura e del relativo coefficiente di Poisson.

Al termine di una serie di prove realizzate su più provini a diverse pressioni di confinamento, qualora richiesto, si dovrà procedere alla determinazione dei parametri dell'involuppo di rottura di picco (ed eventualmente residuo) della roccia in esame impiegando il criterio di rottura non lineare di Hoek & Brown espresso nel piano s_1 / s_3 nella forma:

$$s_1 = s_3 + (m_i * C_o * s_3 + C_o^2)^{0.5}$$

e nel piano s / t nella forma:

$$t = A * C_o * (s / C_o - T)^B$$

dove:

- s_1 = tensione assiale di rottura (sforzo principale maggiore)
- s_3 = tensione di confinamento (sforzo principale minore)
- m_i = parametro dell'involuppo di rottura nel piano s_1 / s_3 , dipendente dalla natura litologica del campione
- C_o = resistenza a compressione monoassiale
- t = sforzo di taglio
- s = sforzo normale
- A, B, T = parametri dell'involuppo di rottura nel piano s / t

3.2.4.4 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3
- 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 ed eventualmente schizzo del tipo di rottura di ciascun provino;
- tabella con i valori di carico deviatorico assiale, deformazione assiale e deformazione laterale acquisiti da tutti gli strumenti di misura durante la prova;
- grafico carico deviatorico assiale - deformazione assiale media, deformazione diametrale media, deformazione volumetrica;
- tabella con i valori di pressione di confinamento s_3 , resistenza di picco ed eventuale resistenza residua;
- 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 mper ciascun provino;
- diagramma s_1 / s_3 con tracciamento degli inviluppi di rottura di picco (ed eventualmente residuo) calcolati e di tutti i punti di prova;
- diagramma s / t con tracciamento degli inviluppi di rottura di picco (ed eventualmente residuo) calcolati e dei cerchi di Mohr relativi alle prove eseguite;
- eventuale valore della resistenza a compressione C_o calcolata;
- eventuale valore del parametro m_i dell'inviluppo di rottura di picco nel piano s_1 / s_3 ;
- eventuale valore dei parametri A, B e T dell'inviluppo di rottura di picco nel piano s / t ;
- eventuale valore del parametro m_i dell'eventuale inviluppo di rottura residuo nel piano s_1 / s_3 ;
- eventuale valore dei parametri A, B e T dell'eventuale inviluppo di rottura residuo nel piano s / t ;
- 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) di data non antecedente di sei mesi la data di prova, qualora richiesto.

3.2.5 PROVA DI RESISTENZA A CARICO PUNTUALE (POINT LOAD STRENGTH TEST)

3.2.5.1 Generalità

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.

3.2.5.2 Normative e specifiche di riferimento

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

3.2.5.3 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.

Salvo diversa indicazione della Società, 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);
- $D \geq 30$ 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;
- $D \geq 30$ 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 $L > 0.5 D$;
- $D \geq 30$ 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 (diametrica, assiale, su spezzatura irregolare);
- diametro della carota per prove assiali o larghezza media del piano di rottura per prove su spezzature 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 diametriche 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 2500 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 espressione:

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

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.

3.2.5.4 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3;
- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- descrizione litologica del campione;

MSQX-MSD-Rev0

- 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) di data non antecedente di sei mesi la data di prova, qualora richiesto.

3.2.6 PROVA DI TRAZIONE INDIRETTA (BRASILIANA)

3.2.6.1 Generalità

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

3.2.6.2 Normative e specifiche di riferimento

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

3.2.6.3 Modalità di prova

Salvo diversa indicazione della Società la prova dovrà essere condotta su almeno 10 provini discoidali ottenuti con operazioni di taglio e rettifica a partire da spezzoni di carota aventi diametro non inferiore a 50 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 s_t attraverso la seguente espressione:

$$s_t = (2 * P) / (p * L * D)$$

dove

s_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.

3.2.6.4 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3;

- 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) di data non antecedente di sei mesi la data di prova, qualora richiesto.

3.2.7 SLAKE DURABILITY TEST

3.2.7.1 Generalità

La prova consiste nella determinazione di un indice di durabilità correlato alle caratteristiche di alterabilità e degradabilità di rocce deboli per effetto di azioni meccaniche e di cicli umido-secco.

3.2.7.2 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 4644 - Standard Test Method for Slake Durability of Shales and Similar Weak Rocks

3.2.7.3 Modalità di prova

La prova dovrà essere eseguita su un campione avente massa complessiva compresa tra 450 e 550 g costituito da 10 frammenti lapidei equidimensionali, di forma il più possibile regolare e di massa compresa tra 40 e 60 g ciascuno, preventivamente sottoposto ad essiccazione in forno termostato a 105 ± 5 °C fino a massa costante.

La prova sarà eseguita sottoponendo il campione a due cicli di 10 min. di rotazione all'interno di un tamburo costituito da una rete a maglia quadrata con apertura di 2 mm, che ruota alla velocità di 20 giri al minuto in una vasca riempita d'acqua fino ad un livello inferiore di 20 mm rispetto all'asse del tamburo. Il tamburo dovrà avere diametro di 140 mm e lunghezza di 100 mm.

Dopo ogni ciclo di rotazione il campione dovrà essere sottoposto ad essiccazione in forno termostato a 105 °C fino a massa costante.

Al termine dei due cicli di rotazione si dovrà calcolare l'indice di durabilità (Slake Durability Index) al secondo ciclo $I_{d(2)}$ attraverso la seguente espressione:

$$I_{d(2)} = [(W_F - C)/(B - C)] * 100$$

dove:

W_F = massa del tamburo e del materiale trattenuto dopo il secondo ciclo

C = massa del tamburo

B = massa del tamburo e del campione all'inizio della prova, dopo essiccazione preliminare

La prova dovrà essere completata con l'indicazione del tipo di frammenti trattenuti nel tamburo al termine della prova secondo il seguente schema:

Tipo I - il materiale in prova non ha subito apprezzabili variazioni

Tipo II - il materiale trattenuto è costituito da frammenti di piccole e grandi dimensioni

Tipo III - il materiale trattenuto è costituito esclusivamente da frammenti minuti e scaglie.

3.2.7.4 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3;
- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- descrizione litologica del campione;
- massa complessiva iniziale del campione e dei singoli frammenti;

- temperatura media dell'acqua e sue variazioni;
- valore percentuale dell'indice di durabilità (Slake Durability Index) al secondo ciclo $I_{d(2)}$ con indicazione della prima cifra decimale;
- descrizione del tipo di frammenti trattenuti nel tamburo al termine della prova;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo (bilancia, termostato) di data non antecedente di sei mesi la data di prova, qualora richiesto.

3.3 ANALISI CHIMICHE

3.3.1 DETERMINAZIONE DEL TENORE IN CARBONATI

3.3.1.1 Generalità

La prova consiste nella determinazione del quantitativo di carbonato di calcio presente in un campione di roccia o di terreno, preventivamente frantumato e polverizzato laddove necessario.

3.3.1.2 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 4373 - Standard Test Method for Calcium Carbonate Content of Soils

3.3.1.3 Modalità di prova

La determinazione del tenore in carbonati sarà effettuata come media di due determinazioni misurando la pressione sviluppata in un cilindro a tenuta stagna (calcimetro) dalla reazione di 1 g di roccia polverizzata con 20 ml di acido cloridrico in soluzione 1 N.

Prima della determinazione del tenore in carbonati del campione di roccia in esame si dovrà procedere alla calibrazione del calcimetro attraverso la determinazione della pressione corrispondente a quantitativi di carbonato di calcio puro pari a 0.2 g, 0.4 g, 0.6 g, 0.8 g e 1.0 g ottenute come media di due determinazioni e riportate in una curva di calibrazione.

3.3.1.4 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3;
- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- quantità di materiale analizzato;
- tenore in carbonati espresso in percentuale con indicazione della prima cifra decimale e ottenuto come media di due determinazioni su materiale omogeneo;
- documentazione delle misure effettuate;
- curva di calibrazione del calcimetro impiegato;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, manometro) di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

3.3.2 DETERMINAZIONE DEL TENORE IN SOLFATI

3.3.2.1 Generalità

La prova consiste nella determinazione del quantitativo di solfati presente in un campione di roccia o di terreno.

3.3.2.2 Normative e specifiche di riferimento

- UNI EN 1744-1:2013- Prove per determinare le proprietà chimiche degli aggregati - Parte 1: Analisi chimica.

3.3.2.3 Modalità di prova

La determinazione del tenore in solfati dovrà essere effettuata per via gravimetrica su campioni di roccia o di terreno, preventivamente frantumati e polverizzati laddove necessario.

3.3.2.4 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3;
- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- quantità di materiale analizzato;
- tenore in solfati espresso in percentuale con indicazione della prima cifra decimale;
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

3.3.3 DETERMINAZIONE DEL TENORE IN SILICE

3.3.3.1 Generalità

La prova consiste nella determinazione del quantitativo di silice presente in un campione di roccia o di terreno.

3.3.3.2 Modalità di prova

La determinazione del tenore in silice dovrà essere effettuata su campioni di roccia o di terreno, preventivamente frantumati e polverizzati laddove necessario. Il metodo prevede la disaggregazione mediante fusione alcalina e solubilizzazione acida delle perle di fusione. Il contenuto in silice viene poi determinato per via gravimetrica.

3.3.3.3 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.5.3;
- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- quantità di materiale analizzato;
- tenore in silice espresso in percentuale con indicazione della prima cifra decimale;
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

4 PROVE SUGLI AGGREGATI PER LA CONFEZIONE DI CALCESTRUZZI

Nel caso in cui i risultati delle prove descritte di seguito debbano essere utilizzati non nelle diverse fasi della progettazione ma nel corso dei lavori, tali prove dovranno essere eseguite presso un Laboratorio Ufficiale autorizzato dal Ministero dei Lavori Pubblici, ai sensi della Legge 5/11/71 n.1086 e dei successivi D.M. 14/2/92, D.M. 9/1/96, nonché ai sensi della circolare 7617/STC.

Normative generali di riferimento

Le prove descritte nei capitoli successivi, laddove richieste, verranno realizzate in conformità alle normative vigenti che saranno trasmesse dalla Società.

In linea di principio le normative di riferimento saranno date da:

- UNI 8520-1:2015 - Aggregati per calcestruzzo - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 12620. Parte 1: designazione e criteri di conformità.
- UNI 8520-2:2016) - Aggregati per calcestruzzo - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 12620. Parte 2: requisiti.

Tali norme contengono le istruzioni e i riferimenti operativi necessari per l'esecuzione delle singole prove e determinazioni.

La Società trasmetterà e concorderà di volta in volta con il fornitore tutte le indicazioni tecniche e operative necessarie volte alla realizzazione delle prove richieste.

4.1 DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE PETROGRAFICHE E FISICHE

4.1.1 ESAME PETROGRAFICO

4.1.1.1 Generalità

L'esame petrografico consiste nel determinare le proprietà fisiche e chimiche, nel descrivere e classificare i costituenti dell'aggregato e nel determinarne le quantità relative per valutarne l'influenza ai fini della qualità.

4.1.1.2 Normative e specifiche di riferimento

Si rimanda ai riferimenti normativi indicati nel capitolo 4. Ulteriori dettagli verranno trasmessi dalla Società in sede di affidamento.

4.1.1.3 Documentazione

Il rapporto finale dovrà consistere di due parti: un *rapporto riassuntivo*, dove saranno elencati i dati essenziali per l'identificazione del campione e della sua origine e che conterrà una breve descrizione della composizione e delle proprietà del materiale, e un *rapporto completo*, dove saranno riportati i procedimenti e le prove effettuate, i dati sulla composizione del materiale, la descrizione della natura e delle caratteristiche di composizione di ciascun costituente importante. In particolare, per ogni tipo petrografico, dovranno essere riportati:

- forma;
- dimensioni;
- tessitura e struttura, con osservazioni su porosità, compattezza e cementazione dei granuli
- colore;
- composizione mineralogica;
- eterogeneità significative;
- stato di alterazione superficiale;
- presenza di costituenti che possano causare reazioni chimiche nel calcestruzzo;
- diagrammi o fotografie che illustrino la composizione e le condizioni fisiche delle varie classi granulometriche e la distribuzione dei diversi componenti.

4.1.2 DETERMINAZIONE DELL'EQUIVALENTE IN SABBIA DI UN AGGREGATO FINE

4.1.2.1 Generalità

La prova consente di determinare la percentuale volumetrica di sabbia (equivalente in sabbia, *ES*) di un aggregato fine

4.1.2.2 Normative e specifiche di riferimento

Si rimanda ai riferimenti normativi indicati nel capitolo 4. Ulteriori dettagli verranno trasmessi dalla Società in sede di affidamento.

4.1.2.3 Documentazione

Il rapporto di prova dovrà contenere i seguenti dati:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- valore dell'equivalente in sabbia (*ES*);
- documentazione delle misure effettuate;

4.1.3 DETERMINAZIONE DEL VALORE DI BLU DI UN AGGREGATO FINE

4.1.3.1 Generalità

La prova consente di determinare il contenuto di materiale limoso-argilloso colloidale, nocivo per il calcestruzzo, in un aggregato fine.

4.1.3.2 Normative e specifiche di riferimento

Si rimanda ai riferimenti normativi indicati nel capitolo 4. Ulteriori dettagli verranno trasmessi dalla Società in sede di affidamento.

4.1.3.3 Documentazione

Il rapporto di prova dovrà contenere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- valore di blu (VB) [cm^3/g];
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

4.1.4 DETERMINAZIONE DEI COEFFICIENTI DI FORMA E APPIATTIMENTO

4.1.4.1 Generalità

La prova consente di determinare i coefficienti di forma (rapporto tra il volume dei granuli ed il volume delle sfere ad essi circoscrivibili) e appiattimento (percentuale in massa degli elementi passanti ad un dato vaglio a fessura) di un aggregato da impiegarsi nella confezione di calcestruzzi.

4.1.4.2 Normative e specifiche di riferimento

Si rimanda ai riferimenti normativi indicati nel capitolo 4. Ulteriori dettagli verranno trasmessi dalla Società in sede di affidamento.

4.1.4.3 Documentazione

Il rapporto di prova dovrà contenere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- metodo utilizzato per il calcolo del volume delle sfere (diagramma o calibro) circoscritte ai granuli;
- numero di granuli;
- coefficiente di forma;
- quantità di materiale utilizzato per la determinazione del coefficiente di appiattimento;
- coefficiente di appiattimento di ciascuna classe granulometrica e coefficiente di appiattimento totale dell'aggregato;
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

4.2 DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE CHIMICHE

4.2.1 DETERMINAZIONE DELLA DEGRADABILITÀ MEDIANTE SOLFATI

4.2.1.1 Generalità

La prova consente di determinare la resistenza degli aggregati alla disgregazione generata da soluzioni sature di solfato di sodio e di solfato di magnesio, fornendo utili indicazioni sulla stabilità degli aggregati in condizioni ambientali particolarmente difficili.

Dato che i risultati che si ottengono con i due sali sono differenti tra loro dovrà essere comunicata preventivamente alla D.L. quale prova verrà eseguita.

4.2.1.2 Normative e specifiche di riferimento

Si rimanda ai riferimenti normativi indicati nel capitolo 4. Ulteriori dettagli verranno trasmessi dalla Società in sede di affidamento.

4.2.1.3 Documentazione

Il rapporto di prova dovrà contenere, per ogni tipo di aggregato, i seguenti dati:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- composizione granulometrica dell'aggregato prima della prova, in passanti parziali percentuali;
- quantità di materiale utilizzato;
- massa M_1 di ogni singola frazione prima della prova [g];
- massa M_2 di ogni singola frazione dopo la prova [g];
- perdita percentuale per ogni singola frazione [%];
- perdita percentuale ponderale per ogni singola frazione [%];
- perdita percentuale ponderale totale [%];
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati di data non anteriore di un anno alla data di prova.

4.2.2 DETERMINAZIONE DEL CONTENUTO DI SOLFATI

4.2.2.1 Generalità

La prova consente di determinare, mediante attacco con acido cloridrico, il contenuto di solfati solubili negli aggregati da impiegarsi nella confezione di calcestruzzi.

4.2.2.2 Normative e specifiche di riferimento

Si rimanda ai riferimenti normativi indicati nel capitolo 4. Ulteriori dettagli verranno trasmessi dalla Società in sede di affidamento.

4.2.2.3 Documentazione

Il rapporto di prova dovrà contenere i seguenti dati:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- metodologia impiegata per la prova;
- quantità di materiale utilizzato;
- concentrazione percentuale di SO_3 dell'aggregato in esame, con indicazione della prima cifra decimale [%];
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

4.2.3 DETERMINAZIONE DEL CONTENUTO DI CLORURI SOLUBILI IN ACQUA

4.2.3.1 Generalità

La prova consente di determinare il contenuto di cloruri solubili in acqua degli aggregati da impiegarsi nella confezione di calcestruzzi.

4.2.3.2 Normative e specifiche di riferimento

Si rimanda ai riferimenti normativi indicati nel capitolo 4. Ulteriori dettagli verranno trasmessi dalla Società in sede di affidamento.

4.2.3.3 Documentazione

Il rapporto di prova dovrà contenere i seguenti dati:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- metodologia impiegata per la prova;
- quantità di materiale utilizzato;
- concentrazione percentuale di cloruri solubili in acqua dell'aggregato in esame, con indicazione della prima cifra decimale [%];
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

4.2.4 DETERMINAZIONE COLORIMETRICA DEL CONTENUTO DI SOSTANZE ORGANICHE NEGLI AGGREGATI FINI

4.2.4.1 Generalità

La prova consente di determinare approssimativamente per via colorimetrica il contenuto di sostanze organiche presenti negli aggregati fini da impiegarsi nella confezione di calcestruzzi.

4.2.4.2 Normative e specifiche di riferimento

Si rimanda ai riferimenti normativi indicati nel capitolo 4. Ulteriori dettagli verranno trasmessi dalla Società in sede di affidamento.

4.2.4.3 Documentazione

Il rapporto di prova dovrà contenere i seguenti dati:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- metodologia impiegata per la prova (soluzione di riferimento oppure serie di vetrini);
- risultati della prova (colore più chiaro o più scuro del colore di riferimento);
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

4.2.5 DETERMINAZIONE DELLA POTENZIALE REATTIVITÀ DI AGGREGATI IN PRESENZA DI ALCALI - METODO CHIMICO

4.2.5.1 Generalità

La prova consente di determinare la potenziale reattività di aggregati contenenti alcune forme di silice al fine di stabilire la loro idoneità all'impiego nel calcestruzzo.

La prova si esegue quando l'esame petrografico (di cui al capitolo corrispondente) accerti la presenza negli aggregati dei seguenti minerali reattivi verso gli alcali: silice amorfa (opale), silice criptocristallina e fibrosa (calcedonio), quarzo cristallino in stato di alterazione o tensione, con cristalli che presentano angolo di estinzione ondulata maggiore di 15° oppure contengono inclusioni di miche, ossidi o solfuri metallici.

4.2.5.2 Normative e specifiche di riferimento

Si rimanda ai riferimenti normativi indicati nel capitolo 4. Ulteriori dettagli verranno trasmessi dalla Società in sede di affidamento.

4.2.5.3 Documentazione

Il rapporto di prova dovrà contenere i seguenti dati:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- risultati dell'esame petrografico secondo UNI 8520/5, con indicazioni sulla necessità di proseguire le indagini;
- risultato numerico della prova con collocazione del punto risultante sul grafico, con indicazione sulla necessità o meno di prosecuzione delle indagini;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

4.2.6 DETERMINAZIONE DI POTENZIALE REATTIVITÀ DI AGGREGATI IN PRESENZA DI ALCALI - METODO PRISMA DI MALTA

4.2.6.1 Generalità

La prova consente di determinare la potenziale reattività di aggregati contenenti alcune forme di silice al fine di stabilire la loro idoneità all'impiego nel calcestruzzo.

La prova si esegue quando la prova chimica (di cui alla voce precedente) consenta di situare l'aggregato nella zona incerta od a maggior ragione nella zona pericolosa del diagramma.

4.2.6.2 Normative e specifiche di riferimento

Si rimanda ai riferimenti normativi indicati nel capitolo 4. Ulteriori dettagli verranno trasmessi dalla Società in sede di affidamento.

4.2.6.3 Documentazione

Il rapporto di prova dovrà contenere i seguenti dati:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- risultati dell'esame petrografico secondo UNI 8520/5, con indicazioni sulla necessità di proseguire le indagini;
- risultato numerico della prova con collocazione del punto risultante sul grafico, con indicazione sulla necessità o meno di prosecuzione delle indagini;
- risultato della prova di espansione del prisma di malta [%];
- conclusioni relative alla reattività dell'aggregato in esame o della miscela cemento/aggregato;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

4.3 DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE

4.3.1 DETERMINAZIONE DELLA PERDITA DI MASSA DEGLI AGGREGATI CON APPARECCHIO 'LOS ANGELES'

4.3.1.1 Generalità

La prova consente di determinare la perdita di massa degli aggregati grossi da impiegarsi nella confezione di calcestruzzi sottoposti ad azione di rotolamento ed urto nell'apparecchiatura "Los Angeles".

4.3.1.2 Normative e specifiche di riferimento

Si rimanda ai riferimenti normativi indicati nel capitolo 4. Ulteriori dettagli verranno trasmessi dalla Società in sede di affidamento.

4.3.1.3 Documentazione

Il rapporto di prova dovrà contenere i seguenti dati:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- classe granulometrica provata;
- perdita di massa per urto e rotolamento [%];
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

4.3.2 DETERMINAZIONE DELLA SENSIBILITÀ AL GELO E DISGELO DEGLI AGGREGATI GROSSI

4.3.2.1 Generalità

La prova consente di determinare la sensibilità al gelo di un aggregato con diametro maggiore di 4 mm da impiegarsi nella confezione di calcestruzzi. La prova consiste nel sottoporre l'aggregato saturo di umidità ad un determinato numero di cicli di gelo-disgelo.

4.3.2.2 Normative e specifiche di riferimento

Si rimanda ai riferimenti normativi indicati nel capitolo 4. Ulteriori dettagli verranno trasmessi dalla Società in sede di affidamento.

4.3.2.3 Documentazione

Il rapporto di prova dovrà contenere i seguenti dati:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- classe granulometrica provata;
- indice di sensibilità al gelo del campione di aggregato sottoposto a prova [%];
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

5 PROVE AMBIENTALI DI LABORATORIO

Per quanto concerne i criteri generali di funzionamento del laboratorio di prova e le modalità di registrazione, conservazione e manipolazione dei campioni si rimanda a quanto già indicato nella parte generale delle presenti Norme Tecniche, con l'aggiunta della seguenti specifiche indicazioni.

5.1.1 REQUISITI DEI LABORATORI

I laboratori che eseguiranno le analisi sia dei suoli che delle acque dovranno essere certificati da un organismo di controllo che agisca secondo lo standard UNI EN 45001 "Criteri generali per il funzionamento dei laboratori di prova", e dunque accreditati ACCREDIA per tutte le prove contemplate nel D.M. 471/99, D.L. 152/2006 e s.m.i..

5.1.2 CONSERVAZIONE DEI CAMPIONI

I campioni dovranno essere conservati in locali a temperatura controllata in modo da garantire la temperatura di 4°C.

5.1.3 PROGRAMMA DI ANALISI

Le prove e analisi di laboratorio dovranno essere eseguite secondo il programma contenuto nel progetto delle indagini e le eventuali indicazioni integrative fornite dalla Società.

Per qualsiasi tipologia di suolo e di acqua da analizzare si farà riferimento alla seguente normativa, secondo le indicazioni che verranno fornite dalla committente:

- D.M. 471/99 - Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati.
- D.Leg.152/2006 - Norme in materia ambientale e s.m.i.
- D.P.R. 120/2017- Disciplina semplificata per la gestione delle terre e rocce da scavo

Per le metodiche analitiche sull'analisi dei suoli si forniscono i seguenti riferimenti tecnici e normativi:

- Manuale UNICHIM 196/2 - 2004;
- Metodi elaborati dalla US-EPA;
- "Raccolta metodi di analisi del suolo 2000" ANPA.

Per le metodiche analitiche sull'analisi delle acque si forniscono i seguenti riferimenti tecnici e normativi:

- Metodi IRSA;
- Metodi elaborati dalla US-EPA;

6 ANALISI CHIMICHE SULLE ACQUE

6.1 GENERALITÀ

Per quanto concerne i criteri generali di funzionamento del laboratorio di prova e le modalità di registrazione, conservazione e manipolazione dei campioni si rimanda a quanto già indicato al punto 6.1 delle presenti Norme Tecniche.

6.1.1 DETERMINAZIONE DEL TENORE IN SOLFATI

6.1.1.1 Generalità

La prova consiste nella determinazione del quantitativo di solfati presenti in un campione d'acqua.

6.1.1.2 Normative e specifiche di riferimento

- IRSA C.N.R. D 014 - 1979 - Metodo A: Determinazione dei solfati per via gravimetrica

6.1.1.3 Modalità di prova

La prova si esegue facendo precipitare in ambiente acido per acido cloridrico i solfati disciolti nell'acqua come solfato di bario. Il precipitato, filtrato, lavato, seccato e calcinato viene quindi pesato e si determina la concentrazione dello ione solfato espressa in mg/l.

6.1.1.4 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- quantità di materiale analizzato;
- tenore in solfati espresso in mg/l con indicazione della prima cifra decimale;
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

6.1.2 DETERMINAZIONE DEL TENORE IN CLORURI

6.1.2.1 Generalità

La prova consiste nella determinazione del quantitativo di cloruri presenti in un campione d'acqua.

6.1.2.2 Normative e specifiche di riferimento

- IRSA C.N.R. D 009 - 1974 - Metodo A: Determinazione dei cloruri per titolazione argentometrica

6.1.2.3 Modalità di prova

La determinazione del tenore in cloruri consiste nella titolazione degli ioni cloruro disciolti nell'acqua con una soluzione di nitrato d'argento in ambiente neutro o leggermente basico, in presenza di cromato di potassio come indicatore. La concentrazione dello ione cloruro viene espressa in mg/l.

6.1.2.4 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- quantità di materiale analizzato;
- tenore in cloruri espresso in mg/l con indicazione della prima cifra decimale;
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

7 GESTIONE RISCHI

7.1 AREA COGENTE/NORMATIVA

L'adozione della presente istruzione tecnica costituisce evidenza del rispetto delle modalità di esecuzione e di valutazione dei lavori di indagine geotecnica - prove di laboratorio - stabilite delle Norme Tecniche di Appalto. Inoltre, costituisce evidenza del seguente requisito della norma UNI EN ISO 9001:2015:

- § 8.4 Controllo dei processi, prodotti e servizi forniti dall'esterno;
- § 8.5.1 Controllo della produzione e dell'erogazione dei servizi.

7.2 AREA ETICA AZIENDALE

L'adozione della presente istruzione tecnica costituisce evidenza del rispetto dei principi di "Trasparenza e professionalità" (impegno a svolgere i compiti e le responsabilità assegnate in modo diligente, con chiarezza e adeguato alla natura degli stessi) enunciati nel Codice Etico.

7.3 AREA OPERATIVA

L'adozione della presente procedura attenua o mitiga i seguenti rischi:

- produzione di elaborati progettuali (di tipo funzionale, tecnico, ambientale, economico) difformi dalle specifiche tecniche, contenute nell'incarico di progettazione.