

**INFRATRASPORTI.TO S.r.l.**

**Corso Novara 96 - Torino**

**Tel. +39.011/5592.711 – www.infrato.it**

**C. Au. APPALTO N. 1-A1/2024**

**PROCEDURA APERTA EX ARTT. 71 DEL D.LGS. N. 36/2023 E S.M.I.**

**OGGETTO: PROCEDURA DI GARA APERTA AI SENSI DEGLI ARTT. 71 DEL D.LGS. N. 36/2023 E S.M.I. PER I SERVIZI TECNICI DI VERIFICA DELLA VULNERABILITÀ SISMICA DELLA SEDE DELLA PREFETTURA “PALAZZO DELLE REGIE SEGRETERIE DI STATO” DI TORINO, DELLA SEDE DELL’ARMA DEI CARABINIERI DI VIGEVANO (PV) E DELLA SEDE DELL’ARMA DEI CARABINIERI DI VOGHERA (PV).**

**CAPITOLATO TECNICO**

## SOMMARIO

<b>1. PREMESSA</b> .....	6
<b>2. INDAGINI E PROVE SULLE STRUTTURE – SPECIFICHE TECNICHE</b> .....	6
<b>2.1 Strutture in cemento armato</b> .....	6
2.1.1 Rilievo delle barre di armatura e della sezione di carpenteria di elementi strutturali in calcestruzzo armato.....	6
2.1.2 Prelievo e prove di compressione su carote di calcestruzzo .....	7
2.1.3 Analisi chimiche sui calcestruzzi (carbonatazione) .....	7
2.1.4 Misura di mappatura di potenziale delle armature .....	8
2.1.5 Prove Sonreb .....	8
2.1.6 Metodo di estrazione (Pull-Out) .....	9
2.1.7 Prelievo e prove di trazione su barre di armatura .....	10
2.1.8 Misure durometriche in sito su barre di armatura $\varnothing \geq 20\text{mm}$ .....	11
<b>2.2 Strutture in carpenteria metallica</b> .....	12
2.2.1 Misure spessimetriche ultrasoniche in sito su elementi di carpenteria metallica .....	12
2.2.2 Verifica della coppia di serraggio dei bulloni ad attrito.....	12
2.2.3 Prelievo e prove di trazione su campioni di carpenteria metallica .....	12
2.2.4 Misure durometriche in sito su elementi in carpenteria metallica .....	12
2.2.5 Prelievo e prove di trazione su bulloni .....	13
2.2.6 Prove con liquidi penetranti .....	13
2.2.7 Prove magnetoscopiche .....	14
2.2.8 Prove dinamiche sulle catene metalliche.....	15
<b>2.3 Strutture in muratura</b> .....	17
2.3.1 Prove con martinetto piatto singolo .....	17
2.3.2 Prove con martinetto piatto doppio.....	17
2.3.3 Analisi chimiche su campioni di malta .....	18
2.3.4 Prove penetrometriche sulla malta.....	18
2.3.5 Analisi mineralogica e petrografica su campioni di malta .....	19
<b>2.4 Strutture in legno</b> .....	19
2.4.1 Misure igrometriche sugli elementi lignei .....	19
2.4.2 Prove penetrometriche sugli elementi lignei.....	20
2.4.3 Prove resistografiche sugli elementi lignei .....	20
<b>3. STRUTTURE DI FONDAZIONE</b> .....	21
<b>3.1 Identificazione delle strutture di fondazione</b> .....	21
<b>3.2 Prospezioni georadar</b> .....	21
<b>3.3 Pali di fondazione</b> .....	22
<b>4. INDAGINI E PROVE GEOTECNICHE E GEOFISICHE</b> .....	22
<b>4.1 Sondaggi geotecnici</b> .....	22
4.1.1 Attrezzature di perforazione.....	23

4.1.2	Perforazioni a distruzione di nucleo .....	23
4.1.3	Perforazioni a carotaggio continuo .....	24
4.1.4	Utensili di perforazione .....	24
4.1.5	Utensili di pulizia fondo del foro .....	24
<b>4.2</b>	<b>Stabilizzazione del foro di sondaggio .....</b>	<b>25</b>
4.2.1	Rivestimenti provvisori .....	25
4.2.2	Stabilizzazione con immissione di fanghi .....	26
4.2.3	Tale metodo è sconsigliato per fori destinati a misure e controlli sulle acque sotterranee. Stabilizzazione a mezzo di carico d'acqua .....	26
4.2.4	Stabilizzazione a mezzo di cementazione del foro .....	26
4.2.5	Stabilità al fondo del foro .....	26
4.2.6	Pulizia del fondo del foro .....	26
4.2.7	Campionamento in foro e prove geotecniche .....	26
4.2.8	Controllo della lunghezza delle batterie inserite in foro .....	27
4.2.9	Fluidi di circolazione .....	27
4.2.10	Perforazione in materiali litoidi .....	27
4.2.11	Strumenti di controllo e prova .....	27
4.2.12	Cassette catalogatrici e carote .....	28
<b>4.3</b>	<b>Rilievo stratigrafico .....</b>	<b>28</b>
4.3.1	Generalità .....	28
4.3.2	Dati generali e tecnici .....	28
4.3.3	Descrizione stratigrafica .....	29
4.3.3.1	Terreni non rocciosi .....	29
4.3.3.2	Terreni rocciosi e cementati .....	33
<b>4.4</b>	<b>Campionamento durante i sondaggi .....</b>	<b>40</b>
4.4.1	Generalità .....	40
4.4.2	Campioni rimaneggiati .....	41
4.4.3	Campioni indisturbati .....	41
4.4.4	Osservazioni aggiuntive .....	42
4.4.5	Campioni semidisturbati con campionatore a pressione/percussione .....	42
4.4.6	Campioni indisturbati con campionatore a pistone stazionario e rotativo .....	42
4.4.7	Spezzoni di carota lapidea e/o di strati cementati .....	43
4.4.8	Indicazioni sul campione .....	43
4.4.9	Imballaggio e trasporto dei campioni .....	43
<b>4.5</b>	<b>Prove penetrometriche .....</b>	<b>44</b>
4.5.1	Standard Penetration Test (SPT) .....	45
4.5.1.1	Attrezzatura .....	45

4.5.1.2	Metodologia di prova.....	45
<b>4.5.1.3</b>	<b>Documentazione .....</b>	<b>46</b>
4.5.2.	Prove Penetrometriche Dinamiche Continue Pesanti DPSH-SCPT .....	46
4.5.2.1	Attrezzatura .....	47
4.5.2.2	Metodologia della prova.....	48
4.5.2.3	Documentazione.....	48
4.5.3	Prove Penetrometriche Statiche CPT .....	48
4.5.3.1	Attrezzatura .....	49
4.5.3.2	Tarature e controlli .....	49
4.5.3.3	Metodologia di prova .....	50
4.5.3.4	Documentazione preliminare e definitiva .....	50
<b>4.6</b>	<b>Indagini geofisiche di profondita' per risposta sismica locale .....</b>	<b>50</b>
4.6.1	Prospezione sismica in foro di sondaggio (down-hole).....	50
4.6.1.1	Attrezzature .....	50
4.6.1.2	Modalità esecutive .....	51
4.6.1.3	Documentazione .....	51
4.6.2	Prospezione sismica tra fori di sondaggio (cross-hole).....	52
4.6.2.1	Attrezzature.....	52
4.6.2.2	Modalità esecutive .....	52
4.6.2.3	Documentazione.....	53
4.6.3	MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves).....	53
4.6.3.1	Generalità .....	53
4.6.3.2	Caratteristiche delle attrezzature.....	54
4.6.3.3	Modalità esecutive .....	54
4.6.3.4	Documentazione.....	54
<b>4.7</b>	<b>Prove geotecniche di laboratorio di terreni sciolti.....</b>	<b>54</b>
4.7.1	Conservazione dei campioni .....	54
4.7.2	Documentazione da fornire .....	55
4.7.3	Apertura e descrizione geotecnica di campioni indisturbati .....	56
4.7.4	Apertura e descrizione geotecnica di campioni rimaneggiati.....	56
4.7.5	Determinazione delle caratteristiche fisiche .....	56
4.7.5.1	Determinazione del contenuto naturale d'acqua .....	56
4.7.5.2	Determinazione della massa volumica apparente (peso di volume naturale).....	57
4.7.5.3	Determinazione dei limiti di consistenza.....	57
4.7.5.4	Determinazione del limite di ritiro .....	58
4.7.5.5	Analisi granulometrica per vagliatura.....	59

4.7.5.6	Determinazione del passante o trattenuto ad un singolo vaglio .....	60
4.7.5.7	Analisi granulometrica per sedimentazione .....	60
4.7.5.8	Determinazione della massa volumica reale (peso specifico dei grani) .....	61
4.7.5.9	Determinazione del contenuto in sostanze organiche .....	62
4.7.5.10	Determinazione del tenore in carbonati .....	62
4.7.6	Determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche .....	63
4.7.6.1	Prove edometriche .....	63
4.7.6.2	Prova edometrica a incrementi di carico controllati (il) .....	63
4.7.6.3	Prova edometrica a velocità di deformazione controllata (crs) .....	64
4.7.6.4	Prova di compressione monoassiale ad espansione laterale libera .....	66
4.7.6.5	Prova di compressione triassiale non consolidata - non drenata (uu) .....	67
4.7.6.6	Prova di compressione triassiale consolidata isotropicamente - non drenata (CIU) .....	67
4.7.6.7	Prova di compressione triassiale consolidata isotropicamente – drenata (Cid) .....	69
4.7.6.8	Prova di taglio diretto consolidata - drenata .....	71
<b>4.8</b>	<b>Prove geomeccaniche di laboratorio (rocce) .....</b>	<b>73</b>
4.8.1	Determinazione delle caratteristiche fisiche .....	73
4.8.1.1	Apertura e descrizione dei campioni .....	73
4.8.1.2	Determinazione del contenuto naturale d'acqua .....	73
4.8.1.3	Determinazione della massa volumica apparente (peso di volume naturale) .....	74
4.8.1.4	Determinazione della massa volumica apparente (peso di volume naturale) su provini di forma regolare .....	74
4.8.1.5	Determinazione della massa volumica apparente (peso di volume naturale) su provini di forma irregolare di rocce non sensibili all'immersione in acqua .....	75
4.8.1.6	Determinazione della massa volumica apparente (peso di volume naturale) su provini di forma irregolare di rocce sensibili all'immersione in acqua .....	75
4.8.2	Determinazione della porosità .....	76
4.8.2.1	Determinazione della porosità su provini di forma regolare di rocce non sensibili all'immersione in acqua .....	76
4.8.2.2	Determinazione della porosità su provini di forma irregolare di rocce non sensibili all'immersione in acqua .....	76
4.8.2.3	Determinazione della porosità su provini di forma irregolare di rocce sensibili all'immersione in acqua	77
4.8.3	Determinazione della massa volumica reale (peso specifico dei grani) .....	77
4.8.4	Determinazione delle caratteristiche meccaniche .....	78
4.8.4.1	Prova di taglio diretto su giunto .....	78
4.8.4.2	Prova di compressione monoassiale con rilievo del solo carico di rottura .....	79
4.8.4.3	Prova di compressione monoassiale con rilievo delle deformazioni assiali e diametrali e calcolo delle costanti elastiche .....	80

4.8.4.4	Prove di compressione triassiale in controllo di carico .....	81
4.8.4.5	Prova di compressione triassiale con rilievo del solo carico di rottura .....	81
4.8.4.6	Prova di compressione triassiale con rilievo delle deformazioni assiali e diametrali e calcolo delle costanti elastiche.....	83
4.8.4.7	Prova di compressione triassiale in controllo di deformazione con rilievo delle deformazioni assiali e diametrali anche nella fase post-rottura .....	85
<b>5.</b>	<b>SAGGI E LAVORI DI RIPRISTINO .....</b>	<b>87</b>
5.1	Prescrizioni generali .....	87
5.2	Fori di carotaggio .....	87
5.3	Prelievi di barre di armatura .....	87
5.4	Prelievi di spezzoni di strutture metalliche .....	88
5.5	Saggi e ripristini .....	88
<b>6.</b>	<b>RILIEVO GEOMETRICO .....</b>	<b>88</b>
6.1	Rilievo strumentale con laser scanner.....	88

## 1. PREMESSA

Il presente documento disciplina le attività di indagine da svolgere sui fabbricati, necessarie per l'esecuzione delle verifiche di Vulnerabilità sismica di alcuni edifici di competenza di INVIMIT SGR S.p.A. meglio specificati nel Disciplinare di Incarico.

L'iter principale da seguire nello svolgimento dell'incarico, descritto nel suddetto Disciplinare di Incarico, è conforme al § 8.5 del D.M. delle Infrastrutture del 17 Gennaio 2018 e specificato nella Circolare del Ministero delle Infrastrutture del 21 Gennaio 2019 n.7. Si dovrà inoltre tener conto sia dei D.P.C.M. del Dipartimento della Protezione Civile emanati in materia sia delle Istruzioni riportate nelle schedari di Vulnerabilità redatte dalla Protezione Civile stessa. Per gli immobili sottoposti a vincoli di tutela, occorrerà fare riferimento alla normativa specifica.

Il livello di conoscenza minimo, richiesto da INVIMIT SGR S.p.A., è definito nel Disciplinare di Incarico e sarà conforme ai Decreti precedentemente richiamati.

Il numero delle indagini sarà quello minimo previsto dalla norma al §8.5 della Circolare n.7 del 21 Gennaio 2019, privilegiando i rilievi non distruttivi a quelli distruttivi.

Nel caso in cui l'Operatore Economico affidatario dovesse eseguire attività/indagini, sostitutive ed equivalenti a quelle contemplate nel presente documento, dovrà presentare alla Committente, per approvazione, un Capitolato Tecnico Integrativo, che definisca, per ciascuna attività/indagine: una descrizione tecnica compiuta, le modalità di esecuzione, le norme di misurazione.

Prima dell'inizio della campagna di indagine, occorrerà presentare alla Committente, oltre ai nominativi dei tecnici coinvolti, anche le relative qualifiche/certificazioni, ove richiesto dalla normativa tecnica specifica.

## 2. INDAGINI E PROVE SULLE STRUTTURE – SPECIFICHE TECNICHE

Di seguito si riportano le specifiche relative ai tipi di controllo che risultano maggiormente impiegati e che quindi, a meno di problematiche specifiche dei singoli casi, dovrebbero essere esaustivi per l'ottenimento del risultato richiesto. Tutte le indagini devono essere corredate di apposita documentazione fotografica. La posizione di ciascuna zona indagata dovrà essere riportata su appositi elaborati grafici. Per ogni tipo di prova dovrà essere descritta la strumentazione utilizzata, la metodologia operativa e la normativa applicata.

### 2.1 Strutture in cemento armato

#### 2.1.1 Rilievo delle barre di armatura e della sezione di carpenteria di elementi strutturali in calcestruzzo armato

##### FINALITA'

Rilievo della sezione di carpenteria al netto degli intonaci e della posizione, del diametro e del copriferro delle barre di armatura.

##### DESCRIZIONE

Le misure saranno effettuate mediante pacometro che dovrà essere in grado di individuare con elevata attendibilità la posizione delle barre, il diametro e lo spessore del copriferro fino ad una profondità di almeno 15 cm dalla superficie dell'elemento. Sulle travi i rilievi saranno eseguiti sulle superfici laterali e di intradosso, in corrispondenza della sezione di mezzera e di una sezione di appoggio; sui pilastri saranno effettuati sulle superfici direttamente accessibili, in corrispondenza della sezione di spiccato e della sezione di metà altezza. Si procederà all'esecuzione a campione di un numero limitato di piccoli saggi locali di taratura con messa a nudo delle armature. I rilievi eseguiti saranno restituiti in apposite schede in cui verranno riportate dimensioni di carpenteria, posizioni e diametri delle barre individuate. Il rilievo comprenderà anche la misura del copriferro. Le norme di riferimento è la seguente:

BS 1881-204:1988 - Testing concrete. Recommendations on the use of electromagnetic covermeters.

### 2.1.2 Prelievo e prove di compressione su carote di calcestruzzo

#### FINALITA'

Determinazione della resistenza a compressione.

#### DESCRIZIONE

Nel caso di elementi strutturali in calcestruzzo, dovranno essere prelevate carote di diametro 100 mm e lunghezza utile pari ad almeno 200 mm. Su pilastri di ridotte dimensioni (inferiori a 40 x 40 cm) è preferibile non procedere al prelievo, o comunque limitarsi a carote di diametro 75 mm o inferiore e lunghezza 100 mm. Il prelievo di campioni cilindrici sarà eseguito mediante carotaggio continuo con corona diamantata e con circolazione d'acqua, in conformità con la norma UNI EN 12504-1:2021 "Prove su calcestruzzo nelle strutture – Carote – Prelievo, esame e prova di compressione". In occasione dell'estrazione dovranno essere scartati tutti quei provini danneggiati o che contengano corpi estranei e parti di armature che potrebbero pregiudicare il risultato finale. Le carote dovranno essere siglate in maniera univoca e indelebile con indicazione del punto di prelievo su opportuni elaborati grafici.

Documentazione fotografica delle prove: ogni carota deve essere disposta orizzontalmente su una superficie preferibilmente scura in maniera tale da mostrarne la sigla. A fianco delle carote, ed in parallelo, va adagiato un decimetro, preferibilmente di dimensioni tali che le tacche centimetriche e le relative cifre risultino ben visibili.

Trasporto delle carote presso un laboratorio ufficialmente riconosciuto dove saranno eseguite le operazioni di rettifica meccanica dei campioni e le prove di compressione a rottura con determinazione della resistenza a compressione e del peso specifico, con emissione del certificato ufficiale, in conformità alla norma UNI EN 12504-1:2021.

La valutazione della resistenza cubica equivalente deve essere preferibilmente eseguita secondo le indicazioni fornite dalle "Linee guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera" del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

L'ubicazione dei prelievi o carotaggi deve essere effettuata in maniera da non arrecare danno alla stabilità della struttura. I fori vanno sempre ripristinati con malte espansive, a ritiro compensato.

### 2.1.3 Analisi chimiche sui calcestruzzi (carbonatazione)

#### FINALITA'

Determinazione della profondità di carbonatazione.

#### DESCRIZIONE

Esecuzione di analisi chimiche per la valutazione della profondità dello strato di calcestruzzo interessato da fenomeni di carbonatazione. Lo spessore dello strato di calcestruzzo carbonatato sarà rilevato con il metodo del viraggio chimico, utilizzando come indicatore una soluzione di fenolftaleina all'1% in alcool etilico.

Le analisi verranno eseguite sulle carote estratte in conformità con la norma UNI EN 14630:2007: "Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della profondità di carbonatazione di un calcestruzzo indurito con il metodo della fenolftaleina".

Le misure dovranno essere eseguite seguendo la procedura sotto descritta:

- esecuzione del carotaggio;
- siglatura in maniera univoca ed indelebile del campione; individuazione del punto di prelievo sui documenti grafici a disposizione;
- esecuzione delle analisi chimiche;
- documentazione fotografica delle prove: ogni carota deve essere disposta orizzontalmente su una superficie preferibilmente scura in maniera tale da mostrarne la sigla. A fianco delle carote, ed in parallelo, va adagiato un decimetro, preferibilmente di dimensioni tali che le tacche centimetriche e

le relative cifre risultino ben visibili.

#### 2.1.4 Misura di mappatura di potenziale delle armature

##### FINALITA'

Determinazione della probabilità di fenomeni di corrosione in atto.

##### DESCRIZIONE

Il metodo si basa sulla misura locale del potenziale elettrochimico delle armature, e trae i suoi fondamenti fisico-chimici dai meccanismi che regolano i fenomeni di corrosione sulle armature immerse nel calcestruzzo. Tali meccanismi sono il risultato di due processi elettrochimici parziali: processo anodico, di ossidazione del ferro, che porta alla formazione di un film di ossido con liberazione di elettroni; processo catodico, di consumazione degli elettroni prodotti nel corso del processo anodico per la riduzione dell'ossigeno disciolto nell'acqua a contatto con le armature.

Tra le zone nelle quali avvengono i processi anodici e catodici si stabilisce una differenza di potenziale elettrico con un conseguente flusso di corrente nel calcestruzzo ed è quindi possibile individuare le zone di corrosione attraverso la misura delle differenze di potenziale elettrico, che si manifestano sulla superficie del calcestruzzo.

Le norme di riferimento sono:

UNI 10174: 2020 "Istruzioni per l'ispezione delle strutture di cemento armato esposte all'atmosfera mediante mappatura di potenziale".

ASTM C876: 09 "Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete".

Su ogni zona di prova saranno eseguite almeno 12 determinazioni utilizzando un elettrodo di riferimento Cu/CuSO<sub>4</sub>.

Per ogni zona di misura dovrà essere prodotta una scheda contenente: sigla di identificazione della zona di misura; ubicazione della zona di misura; tabella e diagramma a curve di livello dei valori di potenziale rilevati; documentazione fotografica della zona di misura.

#### 2.1.5 Prove Sonreb

##### FINALITA'

Valutazione non distruttiva delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo.

##### DESCRIZIONE

Il metodo Sonreb combina l'utilizzo dei 2 metodi non distruttivi: ultrasonico e sclerometrico, per ottenere una più attendibile valutazione delle caratteristiche meccaniche dei calcestruzzi:

Il metodo ultrasonico consiste essenzialmente nell'analisi della propagazione all'interno del calcestruzzo di onde elastiche longitudinali di compressione, di frequenza compresa tra 40 e 60 KHz. L'onda d'urto, generata da un opportuno emettitore in un punto dell'elemento viene captata da un ricevitore posizionato in un altro punto, e trasmessa sotto forma di segnale elettrico ad un oscilloscopio che ne permette la visualizzazione e la misura del tempo T intercorso tra emissione e ricezione. Dividendo la distanza D tra i due punti per il tempo T si ricava la velocità V delle onde elastiche nel materiale, che è funzione delle caratteristiche elastiche del mezzo (modulo di elasticità e rapporto di Poisson dinamici) e della sua densità.

Il metodo sclerometrico consiste nel misurare l'entità del rimbalzo di una massa battente che, azionata da una molla, impatta sulla superficie del calcestruzzo con un'energia nota. L'indice di rimbalzo S, misurabile mediante un cursore di lettura trascinato su una scala lineare alloggiata nella cassa dello strumento, permette di valutare la durezza superficiale del calcestruzzo e può essere utilizzato per valutarne l'omogeneità in sito, per stimarne le variazioni nel tempo delle proprietà e per delimitare regioni superficiali degradate.

Le norme di riferimento sono:

UNI EN 12504-2:2021 "Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Prove non distruttive - Determinazione dell'indice sclerometrico"

UNI EN 12504-4:2021 "Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 4: "Determinazione della velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici"

UNI EN 13791: 2019 "Valutazione della resistenza a compressione in sito nelle strutture e nei componenti prefabbricati di calcestruzzo"

Si procederà con l'individuazione delle zone di misura che consiste in: individuazione della zona dell'elemento sulla quale eseguire le misure ultrasoniche: la zona deve essere caratterizzata da una superficie esente da lesioni, microfessurazioni, vespai, distacchi, polveri, ecc.; rilievo delle barre di armatura mediante pacometro, con tracciamento delle stesse sulla superficie del calcestruzzo; siglare in maniera univoca e progressiva la zona di misura.

Le modalità di esecuzione delle prove ultrasoniche saranno le seguenti: tracciamento dei punti di misura; In ogni zona di indagine devono essere effettuate almeno 9 misure ultrasoniche; i punti di misura non devono sovrapporsi alle barre di armatura; pulire e spianare la superficie con la apposita pietra abrasiva; rilevare con la massima precisione possibile le distanze dei percorsi ultrasonici, utilizzando strumenti di misura idonei; documentazione fotografica della zona di misura.

Le modalità di esecuzione delle prove sclerometriche saranno le seguenti: individuare una zona di misura di dimensioni pari a circa 15 x 15 cm, inscritta all'interno di una maglia della griglia di armatura e caratterizzata da assenza di vespai, di irregolarità superficiale, di porosità, di umidità, ecc.; pulire e lisciare la superficie con la apposita pietra abrasiva; in alcuni casi può essere necessario utilizzare uno smerigliatore con mola di diametro di almeno 150 mm, per asportare lo strato superficiale di cls degradato o irregolare; eseguire 9 battute sclerometriche in direzione preferibilmente orizzontale all'interno della zona di misura, con lo sclerometro mantenuto perpendicolare alla superficie di misura; nel caso in cui tale superficie non sia verticale appuntare sul foglio di campagna l'angolo  $\alpha$  di inclinazione dello strumento rispetto all'orizzontale. I punti su cui si effettuano le battute devono risultare: non coincidenti con gli inerti affioranti: la misura deve essere eseguita sulla pasta di cemento; essere distanti almeno 30 mm dagli spigoli dell'elemento; essere distanti almeno 20 mm dalle barre di armatura individuate con il pacometro; essere distanti almeno 20 mm dagli altri punti di battuta.

Annotare sui fogli di campagna i 9 valori dell'indice di rimbalzo rilevati; effettuare la documentazione fotografica della zona di misura.

Gli strumenti devono essere tarati e la procedura di taratura deve essere eseguita all'inizio di ogni giornata lavorativa.

Per ogni zona sottoposta a prova Sonreb dovrà essere prodotta una scheda contenente: identificazione della zona di misura, ubicazione della zona di misura, per misure ultrasoniche sarà prodotta una tabella contenente i valori ognuno dei 9 punti di misura, nonché le velocità massima, minima, e media ed il coefficiente di variazione percentuale; per quanto concerne le misure sclerometriche, sarà prodotta una tabella contenente i valori per ognuno dei 9 punti di misura, nonché gli indici di rimbalzo massimo, minimo, e medio ed il coefficiente di variazione percentuale; valore stimato della resistenza  $R_{SONREB}$ ; documentazione fotografica della zona di misura.

#### 2.1.6 Metodo di estrazione (Pull-Out)

##### FINALITA'

Valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo.

##### DESCRIZIONE

La prova di estrazione (*pull-out*), che può considerarsi una prova di tipo semidistruttivo, è utilizzata per

determinare le proprietà meccaniche del calcestruzzo in opera; mediante l'impiego di una curva di taratura è possibile stimare la resistenza a compressione del calcestruzzo in opera. Le modalità operative sono le seguenti: rilevare la griglia di armatura mediante pacometro.

Ogni punto di estrazione deve avere le seguenti caratteristiche:

- essere distante almeno 80 mm dalle barre di armatura;
- essere distante almeno 150 mm dagli spigoli dell'elemento;
- essere distante almeno 200 mm da ogni altro punto di infissione;
- non coincidere con gli inerti affioranti: la misura deve essere eseguita sulla pasta di cemento;
- la superficie del calcestruzzo deve essere sufficientemente liscia e regolare, caratterizzata da assenza di vespai, di elevata irregolarità superficiale, di forte porosità, ecc.; in caso contrario pulire ed allisciare la superficie con la apposita pietra abrasiva per permettere il regolare posizionamento del martinetto.

Ogni prova deve essere costituita da 3 estrazioni. Ogni estrazione deve essere eseguita con la seguente procedura:

eseguire il foro il più possibile ortogonalmente alla superficie del calcestruzzo, approfondendolo fino a far toccare sulla superficie del calcestruzzo il fine-corsa conico della punta del trapano;

eseguire l'alesatura sottosquadro premendo con forza il fine-corsa conico della punta del trapano sulla superficie del calcestruzzo e facendo eseguire non più di 2 ampie rotazioni al trapano;

evacuare la polvere dal foro;

inserire il tassello per tutta la sua lunghezza e forzare la sua espansione utilizzando un martello e l'apposito punzone;

posizionare il martinetto sul calcestruzzo, quindi inserire il tirante nel foro del martinetto avvitandolo con forza nel tassello;

centrare il martinetto rispetto al tassello ed eseguire la prova di estrazione; la velocità di estrazione non deve superare 1kN/sec;

rilevare la forza F di estrazione, in kN; nel caso di mancata estrazione al raggiungimento della forza di fondo-scala sul manometro, annotare "F.S." sul foglio di campagna.

Effettuate le 3 estrazioni, calcolare la media tra i 3 valori di F. Qualora uno dei 3 valori si discosti di più del 20% dal valore medio, tale valore dovrà essere sostituito dal risultato di un'altra estrazione eseguita in prossimità; se anche in questo caso il criterio di accettazione non risulta verificato bisogna ripetere le 3 estrazioni in una nuova zona adiacente.

L'elaborazione delle prove Pull-Out consiste essenzialmente nel calcolo della media e del coefficiente di variazione percentuale dei valori di F di ciascuna zona. La media deve essere espressa con 1 cifra decimale, il coefficiente di variazione percentuale con 2 cifre decimali.

Le norma di riferimento è la UNI EN 12504-3:2005 "Prove sul calcestruzzo nelle strutture – Parte 3: Determinazione della forza di estrazione".

#### 2.1.7 Prelievo e prove di trazione su barre di armatura

##### FINALITA'

Determinazione della resistenza a trazione delle barre di armatura lenta di elementi strutturali in calcestruzzo armato.

##### DESCRIZIONE

Prelievo di spezzoni di barre di armatura in sito mediante esecuzione di scassi negli elementi in calcestruzzo armati e taglio delle barre con smerigliatore. Trasporto degli spezzoni presso un laboratorio ufficialmente

riconosciuto dove saranno eseguite le operazioni di rettifica meccanica e le prove di trazione a rottura con determinazione della resistenza allo snervamento, della resistenza a rottura e dell'allungamento % a rottura, con emissione del certificato ufficiale.

Ciascuno spezzone deve avere dimensione almeno pari a 450 mm. Nei pilastri in nessun caso devono essere prelevati campioni dalle barre d'angolo (reggistaffe); nelle barre non devono essere prelevati campioni dalle zone tese.

Le normative di riferimento sono:

UNI EN ISO 3834-2:2021 *“Requisiti di qualità per la saldatura per fusione dei materiali metallici – Parte 2: Requisiti di qualità estesi”*

UNI EN 6892-1:2020 *“Materiali metallici – Prova di trazione – Parte 1: Metodo di prova a temperatura ambiente”*.

UNI EN ISO 15630-1:2019 *“Acciaio per calcestruzzo armato e calcestruzzo armato precompresso – Metodi di prova – Parte 1: Barre, rotoli e fili per calcestruzzo armato”*.

UNI EN ISO 15630-2:2019 *“Acciaio per calcestruzzo armato e calcestruzzo armato precompresso. Metodi di prova. Parte 2: Reti saldate”*.

UNI EN ISO 15630-3:2019 *“Acciaio per calcestruzzo armato e calcestruzzo armato precompresso. Metodi di prova. Parte 3: Acciaio per calcestruzzo armato precompresso”*.

#### 2.1.8 Misure durometriche in sito su barre di armatura $\varnothing \geq 20\text{mm}$

##### FINALITA'

Valutazione delle caratteristiche fisico-meccaniche del metallo (omogeneità, durezza, resistenza a trazione).

##### DESCRIZIONE

Come è noto, la durezza definisce la resistenza che un materiale oppone a una deformazione permanente della sua superficie, provocata dalla penetrazione di un corpo. La prova di durezza Brinell degli acciai prevede l'uso di un penetratore a sfera, o di carburo di tungsteno (W), di diametro 10 mm, da comprimere ortogonalmente contro la superficie da provare con una forza (carico) di 3000 kgf. Il valore della durezza Brinell (HB) è dato dal rapporto tra il carico applicato e l'area della calotta dell'impronta lasciata sul saggio. La resistenza a trazione  $f_t$  è ricavabile dalla durezza Brinell HB mediante apposite tabelle di conversione.

Le misure di durezza Brinell saranno eseguite in sito sugli elementi interessati utilizzando un durometro portatile con indicatore digitale del valore di durezza rilevato.

Su ciascuna zona di misura saranno eseguite almeno 10 battute. I valori medi di durezza rilevati in ogni zona saranno correlati alla resistenza a trazione utilizzando le tabelle esistenti in letteratura.

Nel caso delle barre di armatura le misure saranno effettuate previo scoprimento di circa 15 cm di barra e successiva molatura a lucido della superficie per ottenere una superficie regolare spianata di dimensioni almeno pari a 100 x 5 mm. Nel caso degli elementi di carpenteria metallica le misure saranno effettuate previa rimozione della vernice di protezione e successiva molatura a lucido di una superficie di 60x60 mm circa.

La normativa di riferimento è la seguente

UNI EN 6506-1:2015 *“Materiali metallici – Prova di durezza Brinell – Metodo di prova”*.

Altre prove indicate nella Circolare STC 633/2019:

- Prove di carico statiche (impalcati, solai, elementi strutturali etc. - ACI 437.2M-13 *“Code Requirements for Load Testing of Existing Concrete Structures and Commentary – Metric”* o *“Linee Guida 2 - 2015 ReLUIS”*.)
- Prova penetrometrica - metodo Windsor (ASTM C803 / C803M - 18 *“Standard Test Method for Penetration Resistance of Hardened Concrete”*)
- Prova di adesione a strappo - ASTM D7234:12 *“Standard Test Method for Pull-Off Adhesion Strength of Coatings on Concrete Using Portable Pull-Off Adhesion Testers”*

- Monitoraggio delle strutture (UNI/TR 11634:2016 “Linee guida per il monitoraggio strutturale”)
- Termografia ad infrarossi (UNI EN 16714-1:2016 “Prove non distruttive - Prove termografiche – Parte 1: Principi generali”; UNI EN 16714-2:2016 “Prove non distruttive – Prove termografiche - Parte 2: Strumentazione”; UNI EN 16714-3:2016 “Prove non distruttive – Prove termografiche - Parte 3: Termini e definizioni”).

## **2.2 Strutture in carpenteria metallica**

### 2.2.1 Misure spessimetriche ultrasoniche in sito su elementi di carpenteria metallica

#### FINALITA'

Misura dello spessore di lamiere; individuazione di cricche e lesioni su elementi di carpenteria metallica, giunti di saldatura, chiodi, bulloni, ecc.

#### DESCRIZIONE

I principi del metodo ultrasonico sono gli stessi descritti nel § 3.3.

Le misure saranno effettuate, previa asportazione della vernice di protezione su superfici di dimensioni 80x80 mm, mediante un apparecchio dotato di oscilloscopio incorporato, sistema di lettura dei tempi sia manuale che automatico e sonde diritte bistatiche.

La norma di riferimento è la seguente:

UNI EN 16809:2019 “Prove non distruttive – Misurazione dello spessore mediante ultrasuoni”

### 2.2.2 Verifica della coppia di serraggio dei bulloni ad attrito

#### FINALITA'

Verifica della coppia di serraggio dei bulloni ad attrito.

#### DESCRIZIONE

La verifica della coppia di serraggio dei bulloni ad attrito sarà effettuata mediante chiave dinamometrica, impostando i valori della coppia in funzione del diametro e della classe (10.9 o 8.8) dei bulloni testati secondo quanto riportato nella norma UNI EN ISO 6789-1:2017 e al cap. 11 DM 17 gennaio 2018 e Circolare Esplicativa 21 gennaio 2019 n°7.

La norma di riferimento è la UNI EN 14831:2005 “Elementi di collegamento - Comportamento al serraggio - Metodo di prova semplificato coppia/angolo”

### 2.2.3 Prelievo e prove di trazione su campioni di carpenteria metallica

#### FINALITA'

Determinazione della resistenza a trazione dell'acciaio degli elementi di carpenteria.

#### DESCRIZIONE

Prelievo di campioni di carpenteria (di dimensioni circa 300 x 40 mm) da elementi strutturali in acciaio mediante taglio con mola elettrica. Trasporto degli spezzoni presso un laboratorio ufficialmente riconosciuto dove saranno eseguite le operazioni di rettifica meccanica e le prove di trazione a rottura con determinazione della resistenza allo snervamento, della resistenza a rottura e dell'allungamento % a rottura, con emissione del certificato ufficiale.

La norma di riferimento è la seguente

UNI EN ISO 6892-1:2020 “Materiali metallici - Prova di trazione - Parte 1: Metodo di prova a temperatura ambiente”.

### 2.2.4 Misure durometriche in sito su elementi in carpenteria metallica

#### FINALITA'

Valutazione delle caratteristiche fisico-meccaniche del metallo (omogeneità, durezza, resistenza a trazione).

#### DESCRIZIONE

Come è noto, la durezza definisce la resistenza che un materiale oppone a una deformazione permanente della sua superficie, provocata dalla penetrazione di un corpo. La prova di durezza Brinell degli acciai prevede l'uso di un penetratore a sfera, o di carburo di tungsteno (W), di diametro 10 mm, da comprimere ortogonalmente contro la superficie da provare con una forza (carico) di 3000 kgf. Il valore della durezza Brinell (HB) è dato dal rapporto tra il carico applicato e l'area della calotta dell'impronta lasciata sul saggio. La resistenza a trazione  $f_t$  è ricavabile dalla durezza Brinell HB mediante apposite tabelle di conversione.

Le misure di durezza Brinell saranno eseguite in sito sugli elementi interessati utilizzando un durometro portatile con indicatore digitale del valore di durezza rilevato.

Su ciascuna zona di misura saranno eseguite almeno 10 battute. I valori medi di durezza rilevati in ogni zona saranno correlati alla resistenza a trazione utilizzando le tabelle esistenti in letteratura.

Nel caso delle barre di armatura le misure saranno effettuate previo scoprimento di circa 15 cm di barra e successiva molatura a lucido della superficie per ottenere una superficie regolare spianata di dimensioni almeno pari a 100 x 5 mm. Nel caso degli elementi di carpenteria metallica le misure saranno effettuate previa rimozione della vernice di protezione e successiva molatura a lucido di una superficie di 60x60 mm circa.

La normativa di riferimento è la UNI EN ISO 6506-1:2015 *“Materiali metallici – Prova di durezza Brinell – Parte 1: Metodo di prova”*.

#### 2.2.5 Prelievo e prove di trazione su bulloni

##### FINALITA'

Determinazione delle caratteristiche meccaniche dei bulloni e relativa classificazione secondo le vigenti normative.

##### DESCRIZIONE

Prelievo di bulloni in sito e loro sostituzione con nuovi bulloni, identici a quelli prelevati e serrati al valore di coppia fornito dalla vigente normativa per la classe considerata.

Trasporto dei bulloni presso un laboratorio ufficialmente riconosciuto dove saranno eseguite le prove di trazione a rottura con determinazione della resistenza allo snervamento, della resistenza a rottura e dell'allungamento % a rottura, con emissione del certificato ufficiale.

Le normative di riferimento sono le seguenti:

UNI EN ISO 898-1:2013 *“Caratteristiche meccaniche degli elementi di collegamento di acciaio - Parte 1: Viti e viti prigioniere con classi di resistenza specificate - Filettature a passo grosso e a passo fine”*

UNI EN ISO 6892-1:2020 *“Materiali metallici - Prova di trazione - Parte 1: Metodo di prova a temperatura ambiente”*

#### 2.2.6 Prove con liquidi penetranti

##### FINALITA'

Individuazione di cricche e lesioni superficiali su elementi in materiale non poroso come acciaio, alluminio, materiali compositi, ghisa, etc.

##### DESCRIZIONE

Il metodo si basa sul fenomeno della capillarità, ossia sulla tendenza di un liquido a risalire all'interno di una cavità molto strette (tubi capillari), dipendente, oltre che dalle dimensioni della cavità anche da alcune caratteristiche fisiche del liquido come tensione superficiale, bagnatura e viscosità.

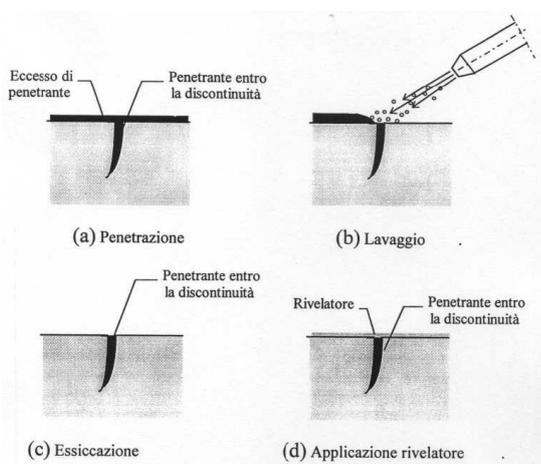
La prova viene eseguita con la seguente procedura:

Preparazione della superficie – Rimozione di ossidi e scaglie con spazzola in ferro e carta smeriglio;

Pulizia preliminare – Pulizia a freddo della superficie mediante solventi spray a rapida evaporazione;  
Applicazione del penetrante – Applicazione del liquido penetrante spray, rosso;  
Rimozione del penetrante - Asportazione del penetrante mediante un panno, successiva pulizia mediante solvente (vedi punto 2) ed asciugatura finale mediante un panno.

Applicazione sviluppatore bianco – La funzione dello sviluppatore bianco è quella di attirare verso la superficie il penetrante rosso rimasto nelle discontinuità dopo la rimozione e di espanderlo in superficie, con conseguente ingrandimento delle indicazioni relative alle discontinuità per quanto piccole siano e determinazione di un forte contrasto tra le indicazioni rosse ed il sottofondo bianco. Applicazione mediante spruzzatura di uno strato sottile ed uniforme dello sviluppatore spray a rapida evaporazione da una distanza di circa 15 - 20 cm.

Esame visivo sotto l'azione di una lampada alogena di potenza 500 W.



Le normative di riferimento sono le seguenti:

- 1) UNI EN ISO 3059:2013 "Prove non distruttive - Esame con liquidi penetranti e controllo magnetoscopico - Condizioni di visione"
- 2) UNI EN ISO 23277:2015 "Controllo non distruttivo delle saldature - Controllo mediante liquidi penetranti - Livelli di accettabilità".

### 2.2.7 Prove magnetoscopiche

#### FINALITA'

Individuazione di cricche e lesioni superficiali su collegamenti saldati ed elementi di carpenteria metallica.

#### DESCRIZIONE

Il metodo magnetoscopico si basa sull'analisi delle variazioni nel campo magnetico che si verificano su materiali ferromagnetici in presenza di difetti superficiali o subsuperficiali. In particolare, magnetizzando con un'ideale tecnica l'elemento in esame, in corrispondenza di una discontinuità si verifica una fuoriuscita di flusso magnetico di intensità sufficiente a produrre, mediante idoneo rivelatore, l'indicazione della discontinuità stessa sotto forma di una traccia chiaramente visibile ad occhio nudo.

La prova viene eseguita con la seguente procedura:

Preparazione della superficie – Rimozione di ossidi e scaglie con spazzola in ferro e carta smeriglio;

Applicazione del colore di fondo – Applicazione del colore di fondo spray, bianco, mediante spruzzatura uniforme sulla superficie da una distanza di circa 15 - 20 cm saturando l'area da esaminare, attesa di 15 minuti.

Magnetizzazione dell'elemento mediante utilizzo di un giogo magnetico permanente, disposto in maniera tale che la direzione di magnetizzazione sia compresa tra 45° e 90° rispetto alla direzione dei potenziali difetti (generalmente paralleli od ortogonali alla direzione principale della saldatura);

Applicazione del liquido magnetico – Applicazione del liquido magnetico spray, nero, mediante spruzzatura di uno strato sottile ed uniforme da una distanza di circa 15 - 20 cm.

Esame visivo sotto l'azione di una lampada alogena di potenza 500 W.

Le normative di riferimento sono le seguenti

UNI EN ISO 12707:2016 *“Prove non distruttive – Magnetoscopia”*

UNI EN ISO 9934-1:2017 *“Prove non distruttive - Magnetoscopia - Parte 1: Principi generali”*.

### 2.2.8 Prove dinamiche sulle catene metalliche

#### FINALITA'

Valutazione dello sforzo di trazione agente nelle catene metalliche.

#### DESCRIZIONE

La prova consiste nel rilevare le frequenze di vibrazione libera di una catena metallica opportunamente messa in oscillazione; mediante le relazioni classiche della dinamica dei fili tesi, note le caratteristiche geometriche, il modulo elastico e la frequenza del primo modo di vibrazione della catena è possibile risalire allo sforzo di trazione agente. Le prove saranno condotte con la seguente procedura:

- valutazione del modulo elastico dinamico della catena attraverso la misura della velocità di propagazione delle onde elastiche di compressione lungo l'elemento;
- esecuzione di tre prove dinamiche sulla catena, effettuate mettendo in oscillazione trasversale l'elemento mediante un impulso fornito in mezz'ora con un martello strumentato, e rilevando le vibrazioni smorzate attraverso un accelerometro posizionato di volta in volta ad 1/4, 1/2 e 3/4 della luce; tale procedura consentirà di rilevare le deformate modali e valutare, quindi, in maniera approssimata il grado di vincolo;
- analisi in frequenza dei segnali accelerometrici rilevati, con individuazione della deformata, della frequenza e dello smorzamento del primo modo di vibrazione;
- analisi numerica del comportamento dinamico della catena con determinazione dello sforzo di trazione agente.

Le normative di riferimento sono:

UNI ISO 5348:2007 *“Vibrazioni meccaniche e urti - Montaggio meccanico degli accelerometri”*

UNI 11568:2015 *“Vibrazioni - Strumentazione e analisi per la misura delle vibrazioni - Strumentazione di misura”*

Ulteriori prove indicate nella Circolare STC 633/2019:

- Ultrasuoni (UNI EN ISO 11666:2018 *“Controllo non distruttivo delle saldature – Controllo mediante ultrasuoni - Livelli di accettabilità”*; UNI EN ISO 22825:2017 *“Controllo non distruttivo delle saldature - Controllo con ultrasuoni - Controllo delle saldature di acciaio austenitico e leghe a base nichel”*; UNI EN 10308:2004 *“Prove non distruttive - Controllo con ultrasuoni delle barre di acciaio”*);
- Prova di durezza Vickers in situ (pertinenti parti della UNI EN ISO 6507 del 2018 *“Materiali metallici - Prova di durezza Vickers”*);
- Prova di durezza Rockwell in situ (pertinenti parti della UNI EN ISO 6508 del 2016 *“Materiali metallici - Prova di durezza Rockwell”*);
- Prova di durezza Leeb in situ (pertinenti parti della UNI EN ISO 16859 del 2015 *“Materiali metallici - Prova di durezza Leeb”*);
- Estensimetria (UNI 10478-1:1996 *“Prove non distruttive. Controllo mediante estensimetri elettrici a esistenza. Termini e definizioni”*, UNI 10478-2:1998 *“Prove non distruttive - Controllo mediante estensimetri elettrici a resistenza - Scelta degli estensimetri e dei componenti accessori”*, UNI 10478-

3:1998 “Prove non distruttive - Controllo mediante estensimetri elettrici a resistenza - Installazione estensimetrica e sua verifica”, UNI 10478-4:1998 “Prove non distruttive - Controllo mediante estensimetri elettrici a resistenza – Circuiti di misura, elaborazione e presentazione dei risultati”, UNI 10478-5:1998 “Prove non distruttive;

- Controllo mediante estensimetri elettrici a resistenza - Controllo delle caratteristiche”);
- Indagine spettrometrica in situ (ASTM E1086 - 14 “Standard Test Method for Analysis of Austenitic Stainless Steel by Spark Atomic Emission Spectrometry”, ASTM E415 – 17 “Standard Test Method for Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel by Spark Atomic Emission Spectrometry”);
- Monitoraggio delle strutture (UNI/TR 11634:2016 “Linee guida per il monitoraggio Strutturale”).

Per la caratterizzazione meccanica dei materiali, sia per quanto riguarda le strutture in c.a. sia per quanto riguarda le strutture in acciaio, si raccomandano i livelli minimi di rilievo e prova così come definiti rispettivamente nelle tabelle C8.5.V e C8.5.VI della Circolare esplicativa 2019, riportate nel seguito:

**Tabella C8.5.V – Definizione orientativa dei livelli di rilievo e prova per edifici di c.a.**

Livello di Indagini e Prove	Rilievo(dei dettagli costruttivi) <sup>(a)</sup>	Prove (sui materiali) <sup>(b)(c)(d)</sup>
	Per ogni elemento “primario” (trave, pilastro)	
<i>limitato</i>	La quantità e disposizione dell’armatura è verificata per almeno il 15% degli elementi	1 provino di cls. per 300 m <sup>2</sup> di piano dell’edificio, 1 campione di armatura per piano dell’edificio
<i>esteso</i>	La quantità e disposizione dell’armatura è verificata per almeno il 35% degli elementi	2 provini di cls. per 300 m <sup>2</sup> di piano dell’edificio, 2 campioni di armatura per piano dell’edificio
<i>esaustivo</i>	La quantità e disposizione dell’armatura è verificata per almeno il 50% degli elementi	3 provini di cls. per 300 m <sup>2</sup> di piano dell’edificio, 3 campioni di armatura per piano dell’edificio

**Tabella C8.5.VI – Definizione orientativa dei livelli di rilievo e prova per edifici di acciaio**

Livello di Indagini e Prove	Rilievo (dei collegamenti) <sup>(a)</sup>	Prove (sui materiali) <sup>(b)(c)(d)</sup>
	Per ogni elemento “primario” (trave, pilastro...)	
<i>limitato</i>	Le caratteristiche dei collegamenti sono verificate per almeno il 15% degli elementi	1 provino di acciaio per piano dell’edificio, 1 campione di bullone o chiodo per piano dell’edificio
<i>esteso</i>	Le caratteristiche dei collegamenti sono verificate per almeno il 35% degli elementi	2 provini di acciaio per piano dell’edificio, 2 campioni di bullone o chiodo per piano dell’edificio
<i>esaustivo</i>	Le caratteristiche dei collegamenti sono verificate per almeno il 50% degli elementi	3 provini di acciaio per piano dell’edificio, 3 campioni di bullone o chiodo per piano dell’edificio

**NOTE ESPLICATIVE ALLE TABELLE C8.5.V E C8.5.VI**

Le percentuali di elementi da indagare ed il numero di provini da estrarre e sottoporre a prove di resistenza riportati nelle Tabelle C8.5.V e C8.5.VI hanno valore indicativo e vanno adattati ai singoli casi, tenendo conto dei seguenti aspetti:

- (a) Nel controllo del raggiungimento delle percentuali di elementi indagati ai fini del rilievo dei dettagli costruttivi si tiene conto delle eventuali situazioni ripetitive, che consentano di estendere ad una più ampia percentuale i controlli effettuati su alcuni elementi strutturali facenti parte di una serie con evidenti caratteristiche di ripetibilità, per geometria e ruolo uguali nello schema strutturale.
- (b) Le prove sugli acciai sono finalizzate all’identificazione della classe dell’acciaio utilizzata con riferimento alla normativa vigente all’epoca di costruzione. Ai fini del raggiungimento del numero di prove sull’acciaio necessario per acquisire il livello di conoscenza desiderato è opportuno tener conto dei diametri (nelle strutture in c.a.) o dei profili (nelle strutture in acciaio) di più diffuso impiego negli elementi principali, con esclusione delle staffe.
- (c) Ai fini delle prove sui materiali è consentito sostituire alcune prove distruttive, non più del 50%, con almeno il triplo di prove non distruttive, singole o combinate, tarate su quelle distruttive.
- (d) Il numero di provini riportato nelle tabelle C8.5.V e C8.5.VI può esser variato, in aumento o in diminuzione, in relazione alle caratteristiche di omogeneità del materiale. Nel caso del calcestruzzo in opera, tali caratteristiche sono spesso legate alle modalità costruttive tipiche dell’epoca di costruzione e del tipo di manufatto, di cui occorrerà tener conto nel pianificare l’indagine. Sarà opportuno, in tal senso, prevedere l’effettuazione di una seconda campagna di prove integrative, nel caso in cui i risultati della prima risultino fortemente disomogenei.

## 2.3 Strutture in muratura

### 2.3.1 Prove con martinetto piatto singolo

#### FINALITA'

Valutazione dello stato di sollecitazione agente nella muratura.

#### DESCRIZIONE

La prova consiste nel produrre una deformazione locale nella muratura mediante l'esecuzione di utaglio in corrispondenza di un giunto di malta; successivamente viene inserito nel taglio un sottile martinetto la cui pressione viene incrementata gradualmente fino a ripristinare la situazione deformativa precedente al taglio: la pressione nel martinetto equilibra a questo punto lo stato di sollecitazione agente nella muratura.

La prova viene eseguita con la seguente procedura:

applicazione di 3 coppie di basi di riferimento di lunghezza 200 mm sulla superficie della muratura, disposte verticalmente a cavallo di un giunto di malta orizzontale, ad interasse 100 mm;

misura delle distanze su ciascuna coppia mediante deformometro meccanico millesimale;

esecuzione di un taglio perpendicolare alla superficie della muratura, in corrispondenza di un letto orizzontale di malta, effettuato mediante elettrosega con catena in Widia; il taglio provoca un rilascio delle tensioni con parziale chiusura del taglio stesso;

inserimento nel taglio di un sottile martinetto piatto di dimensioni 400 x 200 x 6 mm, e suo spessoramento con fogli di lamiera per eliminare eventuali giochi tra martinetto e taglio;

pompaggio graduale dell'olio nel martinetto, con incrementi di 1 bar sulla pressione, fino ad annullare la deformazione prodotta dal taglio; in queste condizioni la pressione all'interno del martinetto è uguale alla sollecitazione preesistente nella muratura in direzione normale al piano del martinetto.

La presentazione dei risultati avviene mediante diagrammi  $\sigma$ -  $\epsilon$  in cui sono graficizzate le deformazioni in funzione dello stato tensionale indotto nella muratura durante la prova; dalla curva dei valori si può ricavare la tensione di esercizio della muratura, che corrisponde all'annullamento della deformazione verificatasi dopo l'esecuzione del taglio.

La prova è codificata dalla norma statunitense ASTM C1196 *"In situ compressive strength within solid unit masonry estimated during flat-jack measurements"*.

Per ogni zona sottoposta a prova dovrà essere prodotta una scheda contenente: identificazione della zona di misura, ubicazione della zona di misura, elaborazione dei dati rilevati, documentazione fotografica della zona di misura.

### 2.3.2 Prove con martinetto piatto doppio

#### FINALITA'

Valutazione delle caratteristiche meccaniche.

#### DESCRIZIONE

L'indagine consiste nell'effettuare una prova di compressione in sito su un elemento di muratura parzialmente isolato mediante due tagli praticati su due giunti di malta paralleli; per mezzo di due sottili martinetti inseriti nei due tagli vengono applicati cicli di compressione sulla porzione di muratura considerata, rilevandone al contempo la deformazione in maniera tale da rilevare la curva  $\sigma$ -  $\epsilon$  del materiale.

La prova viene eseguita con la seguente procedura:

applicazione sulla superficie della muratura di 3 coppie di basi di riferimento verticale di lunghezza 300 mm ed interasse 100 mm, e di una coppia di basi di riferimento orizzontale di lunghezza 300 mm; misura delle distanze su ciascuna coppia mediante deformometro meccanico millesimale;

esecuzione due tagli orizzontali ortogonali alla superficie della muratura in corrispondenza di un letto orizzontale di malta e della linea mediana di un blocco di tufo, effettuati mediante elettrosega con catena in Widia; i tagli provocano un rilascio delle tensioni con parziale chiusura dei tagli stessi;

inserimento nei tagli di due sottili martinetti piatti di dimensioni 400 x 200 x 6 mm, e loro spessoramento con fogli di lamiera per eliminare eventuali giochi tra martinetto e taglio; pompaggio graduale dell'olio nel martinetto, con incrementi di 2 bar, fino a raggiungere una pressione al martinetto di 20 bar; successivo scarico e nuovo carico fino ad a provocare la rottura del campione murario. La presentazione dei risultati avviene mediante diagrammi  $\sigma$ -  $\epsilon$  in cui sono graficizzate le deformazioni in funzione dello stato tensionale indotto nella muratura durante la prova.

La prova è codificata dalla norma statunitense ASTM C1197 *"In situ measurements of masonry deformability properties using the flat-jack measurements"*.

Per ogni zona sottoposta a prova dovrà essere prodotta una scheda contenente: identificazione della zona di misura, ubicazione della zona di misura, elaborazione dei dati rilevati, documentazione fotografica della zona di misura.

### 2.3.3 Analisi chimiche su campioni di malta

#### FINALITA'

Determinazione della classe di appartenenza ai sensi delle NTC vigenti e relativa Circolare applicativa.

#### DESCRIZIONE

Le analisi chimiche saranno eseguite su campioni di malta prelevati in sito ed eseguite presso un laboratorio chimico qualificato.

Per ogni zona sottoposta a prova dovrà essere prodotta una scheda contenente: identificazione della zona di misura, ubicazione della zona di misura, elaborazione dei dati di analisi, documentazione fotografica della zona di prelievo.

La normativa di riferimento è la seguente

UNI 11176:2006 *"Beni culturali - Descrizione petrografica di una malta"*.

### 2.3.4 Prove penetrometriche sulla malta

#### FINALITA'

Valutazione della resistenza della malta.

#### DESCRIZIONE

La prova consiste nel valutare indirettamente la resistenza a compressione della malta misurando la profondità di penetrazione di una sonda metallica normalizzata, infissa mediante un propulsore meccanico dotato di molla precaricata ad una forza prefissata (Windsor pin system). La valutazione della resistenza a compressione della malta mediante apposite tabelle di correlazione sperimentale fornite dal costruttore che forniscono la resistenza in funzione della profondità di penetrazione della sonda: a minori profondità corrispondono maggiori resistenze della malta.

Su ciascun giunto di malta da investigare, saranno effettuate 9 prove penetrometriche: il valore da assegnare al giunto sarà pari alla media dei 7 valori superstiti dopo aver scartato il più alto ed il più basso. Le misure saranno restituite riportando su planimetrie delle mura in scala opportuna, i valori medi rilevati su ciascun giunto indagato.

Per ogni zona sottoposta a prova dovrà essere prodotta una scheda contenente: identificazione della zona di misura, ubicazione della zona di misura, elaborazione dei dati rilevati, documentazione fotografica della zona di misura.

La normativa di riferimento è la seguente

UNI EN 1015-11:2019 *"Metodi di prova per malte per opere murarie - Parte 11: Determinazione della resistenza a flessione e a compressione della malta indurita"*.

### 2.3.5 Analisi mineralogica e petrografica su campioni di malta

#### FINALITA'

Le indagini suddette permettono la caratterizzazione della matrice, la determinazione della tipologia e composizione degli aggregati, il tipo di impasto e lo stato di conservazione, nonché la classificazione delle malte sulla base del D.M. 20/11/87 e della UNI EN 12407:2019 "Metodi di prova per pietre naturali - Esame petrografico".

I Più diffusi metodi di indagine diretta sulle proprietà meccaniche della muratura sono i seguenti (NTC 2018 e Circolare esplicativa 2019):

- Prova di compressione diretta (su una porzione di parete muraria)
- Martinetto piatto doppio
- Prova di compressione e taglio (su un pannello isolato nella parete muraria) – prova tipo Sheppard
- Prova di compressione diagonale
- Prova di taglio diretto sul giunto
- Prove in laboratorio sui costituenti.

Ulteriori prove indicate nella Circolare STC 633/2019:

- Prove di carico statiche a compressione diagonale sulle murature (ASTM E519-10 "Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages")
- Monitoraggio delle strutture (UNI/TR 11634:2016 "Linee guida per il monitoraggio strutturale")
- Termografia ad infrarossi (UNI EN 16714-1:2016 "Prove non distruttive - Prove termografiche – Parte 1: Principi generali"; UNI EN 16714-2:2016 "Prove non distruttive – Prove termografiche - Parte 2: Strumentazione"; UNI EN 16714-3:2016 "Prove non distruttive – Prove termografiche - Parte 3: Termini e definizioni")
- indagini endoscopiche (UNI EN 13018:2016 "Prove non distruttive - Esame visivo – Principi generali Esame visivo remoto"; Raccomandazione NORMAL 42/93: "Criteri generali per l'applicazione delle PnD")
- Indagini georadar (RILEM TC 127-MS: "Tests for masonry materials and structures"; ASTM D6432-99 (R2005): "Standard Guide for Using the Surface Ground Penetrating Radar Method for Subsurface Investigation")
- Caratterizzazione meccanica delle malte per murature (RILEM TC 177-MDT o equivalente e RILEM 127 D.6 - "Shove test")

## **2.4 Strutture in legno**

### 2.4.1 Misure igrometriche sugli elementi lignei

#### FINALITA'

Determinazione del contenuto di umidità degli elementi lignei.

#### DESCRIZIONE

Le indagini proposte consistono in una serie di misure di umidità su elementi lignei allo scopo di individuare e valutare fenomeni di marcescenza del materiale; i rilievi potranno essere eseguiti sia in superficie sia in profondità (fino a 15 cm). Per le misure verrà impiegato un igrometro elettronico il cui principio di funzionamento si basa sulla conducibilità elettrica dei materiali, direttamente correlata al contenuto di umidità. L'igrometro è dotato di puntali per misure di umidità direttamente su materiali da costruzione ed in grado di misurare l'umidità relativa nel campo di valori tra 7-30% WME (Wood Moisture Equivalent) con precisione superiore a  $\pm 1\%$ . Su ciascuna zona di misura, vengono effettuate almeno 5 determinazioni di umidità.

Le normative di riferimento sono le seguenti:

UNI EN 13183-1:2003 *“Umidità di un pezzo di legno segato - Determinazione tramite il metodo per pesata”*;  
UNI EN 13183-2:2003 *“Umidità di un pezzo di legno segato - Stima tramite il metodo elettrico”*;  
UNI EN 13183-3:2005 *“Umidità di un pezzo di legno segato - Parte 3: Stima tramite il metodo capacitativo”*.

#### 2.4.2 Prove penetrometriche sugli elementi lignei

##### FINALITA'

Determinazione delle caratteristiche meccaniche degli elementi lignei.

##### DESCRIZIONE

Le prove penetrometriche saranno effettuate utilizzando un penetrometro *Profound Woodpecker*, equipaggiato con un ago di lunghezza 50 mm, diametro 5 mm e diametro frontale 4 mm che viene infisso con una forza di 61 N ed una velocità di impatto di 5 m/s.

La prova consiste nell' eseguire 3 infissioni nella zona di prova, rilevando le profondità medie di infissione *P*, a sua volta legata alla consistenza del materiale. In prima approssimazione, per una valutazione di massima dello stato di conservazione del materiale è possibile fare riferimento all' seguente scala sperimentale di valutazione:

$P < 3$  mm: materiale in ottime condizioni;

$3 \text{ mm} \leq P \leq 6$  mm: materiale in discrete condizioni;

$P > 6$  mm: materiale sottoposto a probabile deterioramento.

La normativa di riferimento è la seguente

UNI 11119:2004 *“Beni culturali - Manufatti lignei - Strutture portanti degli edifici - Ispezione in situ per la diagnosi degli elementi in opera”*.

#### 2.4.3 Prove resistografiche sugli elementi lignei

##### FINALITA'

Determinazione delle caratteristiche meccaniche degli elementi lignei.

##### DESCRIZIONE

La prova permette di individuare in profondità le variazioni di densità tra legno sano e legno decomposto ed effettuare una diagnosi sul posto di aree di decadimento interno del materiale ligneo in esame.

Il resistografo misura la resistenza opposta dal legno alla penetrazione di una punta azionata da un sofisticato trapano. La punta, che ha un diametro di 3 mm, è dotata di un movimento combinato di rotazione e di avanzamento a velocità costante. Dato che il foro lasciato dallo strumento ha un diametro relativamente piccolo rispetto alle normali sezioni degli elementi strutturali, il danno prodotto può essere considerato trascurabile.

La resistenza opposta alla perforazione dipende principalmente dalla densità del legno; quest'ultima rappresenta uno dei valori caratteristici più importanti del materiale e permette di trarre conclusioni sulla qualità del legno in una particolare sezione ed in ultima analisi il grado di tenuta che il legno può avere in quella stessa sezione. Lo strumento restituisce dei grafici, denominati *“profili”*, nei quali sull'asse delle ordinate è riportata la resistenza e sull'asse delle ascisse la profondità di penetrazione (espressa in millimetri).

La normativa di riferimento è la seguente

UNI 11119:2004 *“Beni culturali - Manufatti lignei - Strutture portanti degli edifici - Ispezione in situ per la diagnosi degli elementi in opera”*.

UNI 11035-1:2020 *“Legno strutturale - Classificazione a vista dei legnami secondo la resistenza meccanica - Parte 1: Terminologia e misurazione delle caratteristiche”*.

Ulteriori prove indicate nella Circolare STC 633/2019 (per tutte le strutture):

- Prove dinamiche sulle strutture di elevazione (UNI 11568:2015 Vibrazioni - Strumentazione e analisi per la misura delle vibrazioni - Strumentazione di misura, UNI 9916:2014 Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, UNI 9614:2017 Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo, UNI 10985:2002 Vibrazioni su ponti e viadotti - Linee guida per l'esecuzione di prove e rilievi dinamici).

### **3. STRUTTURE DI FONDAZIONE**

#### **3.1 Identificazione delle strutture di fondazione**

##### FINALITA'

Identificazione delle strutture di fondazione, previa esecuzione di saggi a campione e rilievo diretto degli elementi strutturali, con il fine di verificare i disegni di progetto esistenti o ricostruire l' carpenteria della fondazione della struttura.

##### DESCRIZIONE

Esecuzione delle opere di scavo necessarie per la messa a nudo della superficie di estradosso e di una superficie laterale delle strutture di fondazione, con rilievo diretto delle geometrie strutturali e della quota del piano di posa.

Per ogni elemento indagato, i rilievi saranno restituiti su un'apposita scheda contenente: descrizione della tipologia strutturale, restituzione grafica dei rilievi con esplicitazione delle dimensioni, delle quote del piano di posa rispetto al pavimento, l'identificazione della zona di rilievo, documentazione fotografica, ecc., con ricostruzione della carpenteria di fondazione serichiesto. Per le fondazioni in c.a., la determinazione delle caratteristiche meccaniche dei materiali e il rilievo delle barre d'armatura si seguiranno le prove descritte al p.to 2.1.

#### **3.2 Prospezioni georadar**

##### FINALITA'

Rilievo delle strutture di fondazione, con individuazione di barre di armatura, elementi in c.a. e in ferro, ecc.

##### DESCRIZIONE

Le prospezioni georadar consistono nell'immettere in un elemento strutturale onde elettromagnetiche ad alta frequenza, e nel ricevere le onde riflesse dalla presenza di discontinuità fisiche al suo interno. La profondità d'investigazione è funzione della frequenza delle onde elettromagnetiche trasmesse, unitamente alle caratteristiche fisiche dei litotipi attraversati. La risoluzione dell'indagine è inversamente proporzionale alla profondità di investigazione, per cui per investigare in profondità va impiegata un'antenna a bassa frequenza e bassa risoluzione, mentre per prospezioni superficiali si utilizza un'antenna caratterizzata da elevata risoluzione ma con profondità massima di esplorazione più limitata. La rappresentazione grafica del profilo georadar, definita "strisciata", è formata da una molteplicità di tracce ovvero da una serie di onde riflesse derivate dall'insieme degli impulsi generati dall'antenna durante il suo trascinarsi. Si ottengono così sezioni del substrato, nelle quali è possibile identificare la presenza di "bersagli" dovuti alle discontinuità riscontrate.

Le misure saranno eseguite utilizzando un'antenna di frequenza 1600 MHz, in grado di garantire una risoluzione centimetrica su una profondità di circa 0.8 m.

I rilievi acquisiti saranno analizzati mediante appositi programmi di elaborazione idonei a filtrare automaticamente e a decodificare i segnali registrati, in maniera tale da consentire l'individuazione di tutti i

cambi significativi di frequenza. La restituzione dei rilievi sarà effettuata mediante apposite schede contenenti: radargrammi delle fasce investigate, in cui in funzione della distanza vengono presentate le tracce costituite dalle onde elettromagnetiche riflesse acquisite dall'antenna durante il suo trascinarsi; schemi grafici sintetici in cui saranno indicate tipologie costruttive, spessori, variazioni di strato e di materiale, posizioni delle armature lente e tese, presenza di acqua, ecc.

### 3.3 Pali di fondazione

Per il rilievo dei pali di fondazione si procederà come segue:

#### FASE 1

Se si è in possesso dei disegni di carpenteria delle fondazioni costruttive originali e delle relative piante dei pali, si procederà alla verifica dei predetti elaborati di progetto con prospezioni georadar sul 40% dei plinti di fondazione; se non si è in possesso degli elaborati di progetto si procederà alla ricostruzione della carpenteria della fondazione secondo le procedure descritte al p.to 2.1.

#### FASE 2

Prove ecometriche sul 2% dei pali, con il fine di verificare o determinare la lunghezza dei pali. Il metodo ecometrico consiste nell'immettere onde elastiche di compressione nell'elemento da investigare mediante un impulso meccanico fornito con un apposito martello strumentato con una cella di carico, e nel rilevare la risposta dell'elemento stesso mediante un sensore di vibrazione. L'onda elastica che viene a generarsi percorre l'elemento con una velocità  $V$  che dipende dalla densità del mezzo attraversato e che diminuisce lungo il percorso per l'attrito molecolare interno del calcestruzzo e per dissipazione lungo la superficie di contatto palo - terreno. Quando l'onda elastica, nel suo percorso incontra una variazione di continuità si ha la riflessione di una parte dell'energia, mentre l'altra prosegue nel suo percorso. Misurando il tempo  $t$  tra l'istante di partenza dell'onda elastica e la sua ricezione, e nota la velocità di propagazione  $V$ , è possibile valutare la distanza  $L$  della variazione che ha prodotto la riflessione mediante la relazione:  $L = V \cdot t / 2$ .

Scapitozzatura di un plinto con l'individuazione della testa di un palo ed esecuzione di un carotaggio in asse palo con prelievo di una carota ogni 5 m a partire da 50 cm da intradosso del plinto di fondazione, con un minimo di 3 carote. Per le modalità di prelievo e di prova per la determinazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo si farà riferimento a quanto riportato al p.to 2.1, se si è in possesso dei disegni costruttivi di armatura dei pali si procederà alla verifica dei diametri dei ferri di testa palo, se non si è in possesso degli elaborati di progetto si procederà alla ricostruzione dell'armatura mediante l'esecuzione del progetto simulato applicando le norme tecniche e la destinazione d'uso dell'epoca della costruzione.

Riguardo alle fondazioni su micropali si procederà al rilievo dei tubolari in acciaio e alla loro caratterizzazione meccanica mediante prove durometriche.

## 4. INDAGINI E PROVE GEOTECNICHE E GEOFISICHE

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

- A.G.I. "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche".
- ANISIG - Analisi tipo dei prezzi per lavori di indagine geognostica - "Modalità tecnologiche per l'esecuzione di indagini geognostiche e l'installazione e la gestione di impianti di monitoraggio";
- EN 1997-2:2007 - Eurocodice 7 – Geotechnical Design – Part 2: Ground Investigation and testing. Requirements for the execution, interpretation and use of results of laboratory tests to assist in the geotechnical design of structures.

### 4.1 Sondaggi geotecnici

Le perforazioni finalizzate all'esecuzione di **sondaggi geotecnici** sono caratterizzate dalle seguenti modalità

esecutive:

- carotaggio integrale e rappresentativo del terreno attraversato, al fine di ricostruire il profilo stratigrafico mediante l'esame dei campioni estratti o "carote";
- prelievo di campioni indisturbati di terreno per la determinazione delle proprietà fisiche e meccaniche;
- prove in situ per la determinazione delle proprietà geotecniche;
- campionamento e rilievo del livello delle acque superficiali e sotterranee;
- descrizione stratigrafica in chiave geologica e geotecnica;
- annotazione di osservazioni atte alla caratterizzazione geotecnica del terreno.

Il dettaglio delle modalità esecutive, l'ubicazione e la profondità dei singoli sondaggi, le prove di laboratorio sui campioni indisturbati, le prove in situ e le relative quote sono precisati nel programma delle indagini.

#### 4.1.1 Attrezzature di perforazione

L'attrezzatura di perforazione deve essere costituita da:

- sonda a rotazione (testa idraulica) a tavola rotary, a mandrino, con la quale, tramite aste di perforazione montate su carotieri, si ottiene l'avanzamento nel terreno. I requisiti minimi sono indicati in tabella I:

Tabella I - Requisiti minimi sonda di perforazione

Velocità di rotazione	0 - 500	rpm
Coppia massima	≥ 400	kg/m
Corsa continua	≥ 150	cm
Spinta	≥ 4000	kg
Tiro	≥ 4000	g
Pressione pompa (gruppo energia autonomo)	≥ 70	bar
Argano a fune	presente	- - -

- pompa con circuito supplementare per il rabbocco del fluido alla testa del foro.
- impianto per la preparazione ed il recupero di eventuali fanghi di circolazione
- corredo della sonda, completo di tutti gli accessori, necessari per l'esecuzione del lavoro a norma di specifica, e degli utensili per la riparazione dei guasti di ordinaria entità.

#### 4.1.2 Perforazioni a distruzione di nucleo

Questo tipo di perforazione può essere eseguita per l'attraversamento di spessori di cui non interessi un'esatta conoscenza stratigrafica, per l'installazione di strumentazione geotecnica, per l'eventuale riperforazione o per l'esecuzione di prove in situ a determinate profondità. Prelevando campioni del cutting estratto dal foro può essere ricostruita una descrizione indicativa dei terreni attraversati.

Gli utensili utilizzati possono essere:

- triconi o scalpelli di vario tipo;
- martello rotopercolatore;
- punte distruttrici con eliche.

Per eseguire il foro è spesso necessario utilizzare fluidi di circolazione (acqua, fango o aria compressa) che vengono immessi nel foro in *circolazione diretta*, attraverso la batteria di aste, o in *circolazione inversa*, lungo

le pareti del foro stesso. Il foro sarà sostenuto, a seconda delle esigenze, da tubo di rivestimento, da fluidi di circolazione o tramite la cementazione del foro stesso.

#### 4.1.3 Perforazioni a carotaggio continuo

Le modalità esecutive del sondaggio saranno tali da rendere minimo il disturbo dei terreni attraversati consentendo il prelievo continuo di materiale rappresentativo (carote). La tecnica di perforazione deve essere adattata alla tipologia e alla natura del terreno, mediante la scelta appropriata dell'apparecchiatura, del tubo carotiere, della corona, della velocità di avanzamento, della portata e della pressione dell'eventuale fluido di circolazione.

Tale carotaggio integrale e rappresentativo del terreno attraversato deve essere caratterizzato da una percentuale di recupero  $\geq$  85 %.

Il carotaggio sarà eseguito a secco, senza fluido di perforazione, se con carotiere semplice (C.S.); con fluido di circolazione se si utilizzano carotieri doppi-tripoli (T2, T6 etc.).

I carotieri saranno azionati ad aste; è ammesso, in alternativa, l'uso di sistemi "wire-line" purchè si ottenga la richiesta percentuale di carotaggio e non si producano dilavamenti e/o rammollimenti del materiale. Qualora richiesto, l'impresa desisterà dall'uso di sistemi "wire-line" per proseguire con il tradizionale sistema ad aste.

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

In terreni scistosi o comunque in ammassi molto fratturati dovranno essere utilizzati carotieri apribili (T6S). L'eventuale impiego di corone speciali (al diamante) deve essere realizzato in terreni e rocce con durezza da "medio dure" a "molto abrasive".

#### 4.1.4 Utensili di perforazione

Gli utensili di perforazione devono essere costituiti da:

- *Carotieri semplici*, con valvola di testa a sfera e calice per perforazione a secco:
  - 3) Diametro nominale  $\geq$  est = 101  $\geq$  146 mm;
  - 4) Lunghezza utile L = 150  $\geq$  300 cm.
- *Carotiere doppio a corona sottile* (T2) o grossa (T6) con estrattore per perforazione con fluido:
  - 5) Diametro nominale  $\geq$  est = 101 mm;
  - 6) Lunghezza utile L = 150  $\geq$  300 cm.
- *Carotiere doppio con portacampione* interno apribile longitudinalmente (T6S), con estrattore a calice per perforazione con fluido.
  - 7) Diametro nominale  $\geq$  est  $\geq$  100 mm;
  - 8) Lunghezza utile L = 150 cm.
- *Cestello di ritenuta* alla base per il carotaggio dei tratti costituiti da materiali grossolani sciolti.
- *Corone* di perforazione in widia e diamante, del tipo adatto ai terreni incontrati.
- *Aste* di perforazione con filettatura tronco-conica; Diametro esterno  $\geq$  est = 60  $\geq$  76 mm.

Gli utensili di perforazione da utilizzare saranno comunque tali da consentire l'estrazione di tutto il materiale interessato dal sondaggio senza che avvengano fratturazioni e dilavamento.

Gli utensili di cui sopra dovranno essere disponibili in sito in tutti i casi in cui siano impiegabili.

#### 4.1.5 Utensili di pulizia fondo del foro

Gli utensili per la pulizia del foro devono essere costituiti da:

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

## 4.2 Stabilizzazione del foro di sondaggio

Durante le fasi lavorative, per evitare franamenti delle pareti del foro, la perforazione deve essere eseguita impiegando una tubazione metallica di rivestimento provvisoria o utilizzando fango di tipo bentonitico o a polimeri.

### 4.2.1 Rivestimenti provvisori

La necessità della posa di tubi di rivestimento provvisorio nel foro di sondaggio è da valutare in relazione alle reali caratteristiche del terreno: in particolare si adotteranno nei casi in cui sussista il rischio di franamenti delle pareti del foro stesso. Rappresenta il metodo più sicuro di stabilizzazione delle pareti. Vengono inoltre impiegati per fori nei quali si debbano eseguire prove sulle acque sotterranee.

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

- spessore tubo  $s = 8 \div 10$  mm
- diametro interno  $\varnothing_{\text{interno}} = 107 \div 162$  mm
- lunghezza spezzoni  $l = 150 \div 200$  cm

L'impresa potrà proporre l'impiego di rivestimenti con diverse caratteristiche, in relazione al tipo di attrezzatura di perforazione prescelta, subordinandone l'uso all'approvazione della direzione dei lavori.

L'infissione dei rivestimenti avviene di norma a rotazione con fluido di circolazione. Per garantire la stabilità di eventuali tratti di roccia intensamente fratturati, si ricorre alla cementazione del foro ed alla sua successiva riperforazione.

In particolare:

- la perforazione sarà seguita dal rivestimento provvisorio del foro solo in assenza di certo autosostentamento delle pareti, con l'uso di fluido in circolazione il cui livello deve essere sempre mantenuto mediante aggiunta opportuna fino ad una quota tale da bilanciare la pressione idrostatica nel terreno naturale (in particolare durante l'estrazione della batteria di aste);
- la pressione del fluido sarà minore possibile e controllata tramite manometro; il disturbo arrecato al terreno deve essere contenuto nei limiti minimi, fermando se necessario la scarpa del rivestimento a  $20 \div 50$  cm dal fondo del foro (con l'esclusione del metodo wire-line);
- nei tratti di perforazione seguiti da prelievo di campioni indisturbati e/o prove in situ al fondo del foro, l'infissione della tubazione di rivestimento, così come la perforazione quando eseguita con fluido di circolazione, deve avvenire evitando punte di pressione del fluido dovute a: infissione molto rapida, formazione di "anelli" all'esterno del rivestimento, formazione di tappi nel carotiere. A tal fine occorre operare (verificando sul manometro o sul display) in modo che la pressione del fluido, al piano lavoro, non superi mai quella naturale alla quota del fondo del foro (pari a circa 0.1 bar per ogni metro di profondità);
- al fine di minimizzare il disturbo al fondo del foro, il rivestimento può essere arrestato 0.5 m al di sopra della quota di campionamento e/o prova di sito prevista.

#### 4.2.2 Stabilizzazione con immissione di fanghi

I fanghi a base di bentonite esercitano un'efficace azione stabilizzante. Essi formano una sottile pellicola impermeabile, la quale esercita una pressione lungo le pareti del foro. Maggiore è la densità del fango e maggiore sarà l'efficacia della stabilizzazione.

#### 4.2.3 Tale metodo è sconsigliato per fori destinati a misure e controlli sulle acque sotterranee. Stabilizzazione a mezzo di carico d'acqua

In assenza di falde artesiane o di gas, mantenendo il livello dell'acqua nel foro al di sopra del livello della falda freatica si può ottenere la stabilizzazione delle pareti del foro.

Nei terreni non saturi però, l'acqua contenuta nel foro può causare uno squilibrio nelle pressioni interstiziali provocando possibili rigonfiamenti ed ammorbidimenti.

#### 4.2.4 Stabilizzazione a mezzo di cementazione del foro

La cementazione del foro o di parte dello stesso può essere utile per l'attraversamento di intervalli molto fessurati o franosi, per la stabilizzazione e tamponamento delle pareti e per evitare infiltrazioni d'acqua non desiderate. La cementazione può avvenire sia in fase di perforazione che a sondaggio ultimato.

Il riempimento del foro avverrà fino ad una quota superiore di 2.00 m. rispetto al tetto dello strato da contenere o bonificare.

#### 4.2.5 Stabilità al fondo del foro

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

Il battente di fluido in colonna deve essere mantenuto prossimo alla bocca del foro, mediante rabbocchi progressivi, specialmente durante l'estrazione del carotiere e delle aste, oppure occorre mantenerlo sempre più alto possibile, anche facendo sporgere fino a 1.0 m dal piano di lavoro l'estremità superiore del rivestimento, da mantenersi pieno di fluido.

L'estrazione degli utensili o dei campionatori deve avvenire con velocità iniziale molto bassa (1÷2 cm/sec), eventualmente intervallata da pause di attesa, al fine di ristabilire la pressione idrostatica del fluido sul fondo del foro. Ciò riguarda le fasi di estrazione del carotiere e delle fustelle dei campionatori ad infissione conclusa.

Indesiderabili effetti di risucchio (effetto "pistone") possono anche verificarsi nel caso di brusco sollevamento della batteria di rivestimento, qualora occlusa all'estremità inferiore del terreno per insufficiente circolazione di fluido durante l'infissione.

#### 4.2.6 Pulizia del fondo del foro

La quota del fondo del foro sarà misurata con *scandaglio a filo graduato* prima di ogni manovra di campionamento indisturbato, di prova geotecnica SPT o prima dell'esecuzione di qualunque prova.

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

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

#### 4.2.7 Campionamento in foro e prove geotecniche

In tutti i casi nei quali non si verificano repentini collassi del foro nel tratto non rivestito, il prelievo di campioni in foro o l'esecuzione di prove geotecniche SPT deve seguire la manovra di perforazione con carotiere, precedendo il rivestimento a fondo del foro, il quale sarà, se necessario, eseguito a campionamento/prova SPT ultimati.

#### 4.2.8 Controllo della lunghezza delle batterie inserite in foro

La lunghezza esatta delle batterie inserite nel foro sarà misurata e riportata a cura del geologo responsabile della sonda in una apposita tabella.

#### 4.2.9 Fluidi di circolazione

Il fluido di circolazione può essere costituito da:

- acqua;
- fango bentonitico;
- fanghi polimerici o addittivati;
- agenti schiumogeni.

L'utilizzo di sola acqua è tassativamente prescritto nel caso si eseguano prove di permeabilità inforo.

Nel caso di installazione di piezometri, è ammesso l'uso di acque o di fanghi polimericibiodegradabili entro 72 h.

L'impresa potrà proporre, salvo approvazione, l'utilizzo di fluidi diversi dai sopra elencati, con la condizione che in ogni caso il fluido prescelto, oltre ad esercitare le funzioni di raffreddamento, asportazione dei detriti ed eventuale sostentamento, debba essere in grado di non pregiudicare la qualità del carotaggio, l'esito delle prove geotecniche ed il funzionamento della strumentazione.

La pompa utilizzata per la circolazione dei fanghi dovrà avere una potenza atta a sviluppare una adeguata velocità di fuoriuscita dei fanghi stessi dal foro, onde impedire la decantazione dei detriti nel foro di sondaggio.

Il fango bentonitico dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- viscosità, misurata con viscosimetro Marsh, > 35° Marsh;
- acqua libera ≤ 2%.

La confezione e la circolazione del fango bentonitico devono essere eseguite mediante l'utilizzo di adeguati mescolatori, pompe, vasche di decantazione ed eventuali additivi di appesantimento o intasanti.

La composizione del fango bentonitico, prima dell'impiego, deve possedere i requisiti di uniformità, costanza e stabilità richiesti; durante l'impiego non deve dar luogo a fenomeni di flocculazione.

Può essere autorizzato e/o espressamente richiesto l'impiego di acqua anziché fango bentonitico. Possono essere inoltre utilizzati fanghi polimerici o altri fanghi speciali (ad esempio biodegradabili) subordinati all'approvazione della direzione dei lavori.

#### 4.2.10 Perforazione in materiali litoidi

La perforazione a carotaggio continuo di materiali litoidi verrà eseguita a mezzo di carotiere doppio T2 o similari, con diametro non inferiore a 85 cm, utilizzando acqua pulita come fluido di circolazione.

Prima di ogni operazione di carotaggio, l'operatore si accerterà dell'ottimo funzionamento del meccanismo che permette la rotazione autonoma del carotiere esterno.

L'uso di bentonite e/o polimeri sarà permesso solo in presenza di roccia molto fratturata e dietro autorizzazione della direzione dei lavori.

#### 4.2.11 Strumenti di controllo e prova

Devono far parte del corredo della sonda i seguenti strumenti:

- scandaglio a filo graduato, per misura della quota reale di fondo del foro;
- freatimetro;
- penetrometro tascabile, fondo scala ≥ 5 kg/cm<sup>2</sup>;
- Vane Test, fondo scala 2 kg/cm<sup>2</sup>.

#### 4.2.12 Cassette catalogatrici e carote

Le carote estratte nel corso della perforazione verranno sistemate in apposite cassette catalogatrici munite di setti divisorii e coperchio, che consentano la conservazione di 5 m di carotaggio. Gli scomparti dovranno essere rivestiti con un foglio di plastica continuo che deve poi proseguire come coperchio. Dentro i singoli setti dovranno poi essere inserite delle canalette in PVC, di uguale lunghezza (1 metro) che conterranno tutto ciò che fuoriesce dal carotiere a fine manovra.

Le cassette catalogatrici dovranno essere di plastica o, se approvate dalla D. L., di materiali diversi quali metallo o legno, e a patto che siano sufficientemente robuste da poter essere impilate una sull'altra per il loro immagazzinamento senza esserne danneggiate.

Le carote di terreno coesivo verranno scortecciate, le lapidee lavate. Dei setti separatori suddivideranno i recuperi delle singole manovre, recando indicate le quote rispetto al piano campagna. Negli scomparti inoltre dovranno essere inseriti blocchetti di legno o simili ad indicare i campioni prelevati ed asportati per il laboratorio con le quote di inizio e fine prelievo.

Sul coperchio e su almeno un lato di ciascuna cassetta dovranno essere indicati i dati di identificazione della parte di carotaggio contenuta così come specificato:

- cantiere e/o località in cui è stato eseguito il sondaggio;
- sigla e numero del foro;
- quota, riferita al piano campagna, di inizio e fine della parte di carotaggio contenuta;
- Data di esecuzione;
- numero progressivo della cassetta catalogatrice.

Le singole cassette verranno fotografate entro 24 ore dal loro completamento. Si richiede la completa leggibilità di tutte le indicazioni esistenti sulla cassetta ed una visione chiara delle carote contenute.

Tale documentazione fotografica verrà allegata in stratigrafia o in relazione tecnica.

### **4.3 Rilievo stratigrafico**

#### 4.3.1 Generalità

Il geologo responsabile del cantiere realizzerà un profilo stratigrafico del sondaggio, inteso come rappresentazione della successione dei terreni attraversati dai mezzi di indagine; tale profilo sarà composto dagli elementi descritti nei punti seguenti.

#### 4.3.2 Dati generali e tecnici

I dati generali e tecnici dovranno riportare:

Denominazione del Cantiere;

Committente;

Impresa esecutrice;

Numero del sondaggio;

Quota;

Inclinazione del sondaggio rispetto la verticale:

- date di perforazione (inizio e fine).
- metodi di perforazione utilizzati nei diversi spessori.
- attrezzatura impiegata.
- utensili di perforazione (carotieri).
- diametro di perforazione.
- diametro e lunghezza del rivestimento.

- fluido di circolazione.

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

Profondità di prelievo dei campioni indisturbati e rimaneggiati

#### 4.3.3 Descrizione stratigrafica

La descrizione stratigrafica deve riportare:

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

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

##### 4.3.3.1 Terreni non rocciosi

#### 1) Recupero % di carotaggio

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

$$\text{Recupero} = 100 \cdot L_c / L_b$$

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

#### 2) Tipo di terreno

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

Tabella II - Tipo di terreno

Definizione		Diametro deigrani (mm)	Criteri di identificazione
Blocchi		>200	Visibili ad occhio nudo
Ciottoli		200÷60	
Ghiaia	grossamedia	60÷20	
	fine	20÷6	
		6÷2	

Sabbia	grossamedia fine	2÷0.6 0.6÷0.2 0.2÷0.06	
Limo		0.06÷0.002	Solo se grossolano è visibile a occhio nudo, poco plastico, dilatante, lievemente granulare al tatto, si disgrega velocemente in acqua, si essicca velocemente, possiede coesione ma può essere polverizzato fra le dita.
Argilla		<0.002	I frammenti asciutti possono essere rotti ma non polverizzati fra le dita, si disgrega in acqua lentamente, liscia al tatto, plastica, non dilatante, appiccica alle dita, asciuga lentamente, si ritira durante l'essiccazione
Terreno agrario organico o vegetale			Contiene una rilevante percentuale di sostanze organiche vegetali
Torba			Predominano resti lignei non mineralizzati, colore scuro, bassa densità

La descrizione dovrà essere conforme alle raccomandazioni AGI.

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

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

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

Tabella III - Arrotondamento

Definizione	Arrotondamento	Descrizione
Angolare	0-0.15	Nessun smussamento
Sub-angolare	0.15-0.25	Mantiene forma originale con evidenze di smussamento
Sub-arrotondata	0.25-0.40	Smussamento considerevole e riduzione dell'area di superficie del clasto
Arrotondata	0.40-0.60	Rimozione delle superfici originali, con qualche superficie piatta

Ben-arrotondata	0.60-1	Superficie interamente compresa da curve ben arrotondate
-----------------	--------	--

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

### 3) Condizioni di umidità naturale

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

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

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

### 4) Consistenza e addensamento

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

La consistenza dei terreni coesivi e semicoesivi sarà descritta con riferimento alla tabella IV, misurando la resistenza al penetrometro tascabile sulla carota appena estratta dopo averla scortecciata ed applicando lo strumento nel nucleo; la frequenza di esecuzione della misura lungo una carota è di 20 ÷ 30 cm.

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

Tabella IV - Consistenza terreni coesivi

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

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

Tabella V. - Addensamento terreni granulari

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

### 5) Colore

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

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

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

### 6) Particolarità aggiuntive

Per particolarità aggiuntive si intendono tutte quelle caratteristiche non inserite in alcuna descrizione precedente che siano significative ai fini di una schematizzazione geotecnica.

Si segnala a titolo di esempio la presenza di quanto segue:

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

## 7) Simboli grafici per rappresentare terre e rocce

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

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

Nel corso della perforazione verrà rilevato in forma sistematica il livello dell'acqua nel foro.

Le misure verranno eseguite tramite sondina piezometrica o freatimetro in particolare prima ed ogni interruzione di lavoro (sera, mattina, altre pause), con annotazione di quanto segue:

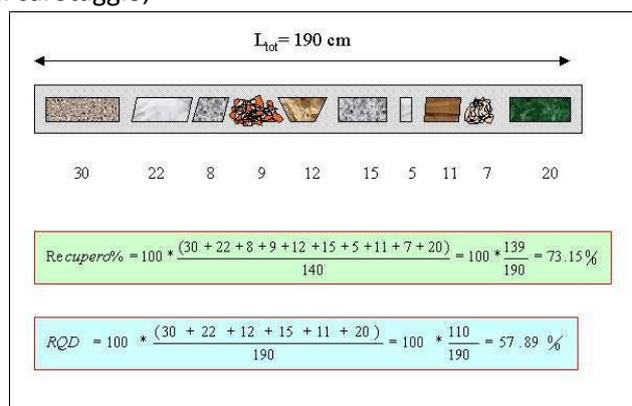
- livello acqua nel foro rispetto al p.c.;
- quota del fondo del foro;
- quota della scarpa del rivestimento;
- data ed ora della misura;

Tali annotazioni devono comparire nella documentazione definitiva del lavoro.

### 4.3.3.2 Terreni rocciosi e cementati

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

- recupero % di carotaggio;



- RQD;
- dimensione degli spezzoni di roccia;
- natura e caratteri strutturali;
- grado di alterazione;
- tipo di discontinuità;
- natura delle superfici;
- inclinazione delle superfici di debolezza;
- scabrezza delle superfici di discontinuità (JRC);
- riempimento;
- spaziatura;
- apertura;
- persistenza.

### 1) Recupero % di carotaggio

Per i materiali rocciosi viene definito come il rapporto percentuale tra la sommatoria delle lunghezze dei

singoli spezzoni di carota  $L_{sp}$  e la lunghezza perforata  $L_c$  presa in considerazione:

$$\text{Recupero} = 100 \cdot \Sigma(L_{sp}) / L_c$$

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

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

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

$$\text{Recupero} = 100 \cdot \Sigma(L_{100}) / L_c$$

Per lunghezza del tratto perforato si intende l'effettivo avanzamento, anche se minore della lunghezza del carotiere. Tale valore va calcolato considerando solo le discontinuità naturali della roccia, apprezzando la lunghezza di ciascun spezzone lungo l'asse di carote aventi diametro  $\geq 53.10$  mm, estratte utilizzando carotieri doppi. Nell'eventualità di una rottura accidentale della carota in fase di estrazione dal carotiere o al momento della disposizione in cassetta catalogatrice, le parti risultanti devono essere conteggiate come unico pezzo.

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

- Recupero % di carotaggio e RQD

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

Tabella VI. - Qualità della roccia attraverso RQD

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

## 3) Dimensione degli spezzoni di roccia

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

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

## 4) Natura e caratteri strutturali

Le rocce, riferendosi alle classifiche litologiche, vengono riconosciute riportando i principali costituenti e descrivendo i caratteri strutturali relativi al loro stato di aggregazione, alle dimensioni dei granuli costituenti

ed alla loro forma.

Si definiscono:

- struttura compatta: se non è possibile distinguere i componenti della roccia ad occhio nudo;
- struttura granulare: se è possibile distinguere i componenti della roccia ad occhio nudo.

A tale tipo di struttura appartiene la:

- struttura cristallina: i singoli elementi sono costituiti da individui cristallini (es. granitoidi);
- struttura clastica: i singoli elementi sono costituiti da frammenti di rocce o minerali cementati.
- struttura orientata: i singoli elementi di roccia sono allineati secondo una direzione.

A tale tipo di struttura appartiene la:

- struttura laminata: la roccia si divide in frammenti con forma di lamine o scaglie
- struttura scistosa: la distribuzione dei minerali micacei avviene secondo superfici piano-parallele; la roccia è divisibile secondo tali superfici.

## 9) Stratificazione

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

Tabella VII - Stratificazione

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

Dovrà essere indicata anche la presenza di eventuali strutture sedimentarie, quali stratificazioni o laminazioni incrociate.

Regolari alternanze di diversi tipi litologici (es.: sabbie ed argille, marne e calcareniti) possono essere definite con il termine di "interstratificazione":

- scistosità, piani di taglio: indicare la presenza, la spaziatura e le caratteristiche della scistosità (orientazione visiva della roccia dovuta a minerali lamellari e prismatici) e di piani di taglio (in terreni coesivi, granulari o rocciosi).

- strutture particolari: indicare la presenza e le caratteristiche di strutture particolari legate a processi di alterazione o trasporto, quali la presenza di clasti in matrice soffice o isole di materiale poco alterato in matrice profondamente alterata, e simili.

## 5) Grado di alterazione

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

Per una determinazione quantitativa si ricorrerà, quando richiesto dalla Direzione Lavori, alla prova Point Load o alla prova con martello di Schmidt (vedi norme ASTM).

Tabella VIII - Grado di alterazione

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

### 6) Tipo di discontinuità

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

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

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

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

### 7) Natura delle superfici

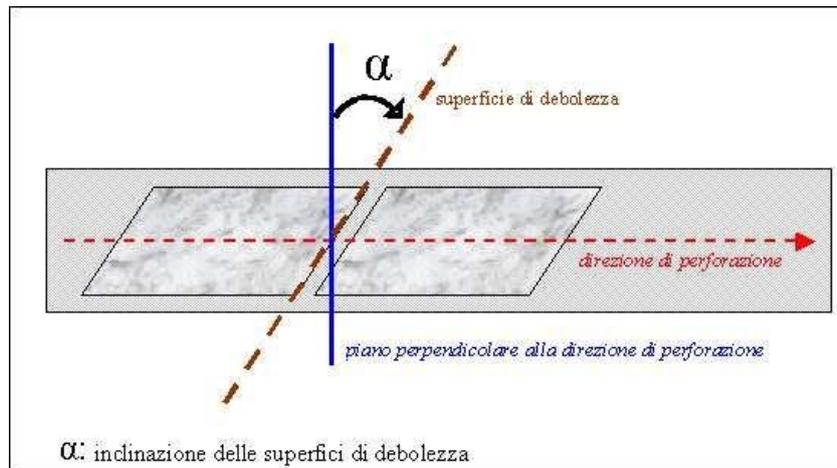
Per le superfici di discontinuità prive di riempimento è necessario fornire la resistenza di parete utilizzando lo sclerometro di Schmidt; tale strumento consente di determinare un indice JCS correlabile, in funzione della densità della roccia, alla resistenza a compressione.

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

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

### 8) Inclinazione delle superfici di debolezza

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



Inclinazione delle superfici di debolezza

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

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

### 10) Riempimento

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

### 11) Spaziatura

Indicare la spaziatura dei giunti con riferimento alla tabella IX.

Tabella IX - Spaziatura e fratturazione

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

### 12) Apertura

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

### 13) Persistenza

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

#### 14) Colore

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

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

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

10)

#### 15) Particolarità aggiuntive

Per particolarità aggiuntive si intendono tutte quelle caratteristiche non inserite in alcuna descrizione precedente che siano significative ai fini di una schematizzazione geotecnica.

Si segnala a titolo di esempio la presenza di quanto segue:

- radici;
- manufatti, riporti, materiali di discarica;
- fossili o residui organici vegetali;
- sostanze deperibili, friabili, solubili;
- cementazione più o meno regolare e relativo grado;
- effervescenza all'acido HCl in soluzione diluita al 5%.

#### 16) Litologia ed origine

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

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

Tabella X - Rocce sedimentarie terrigene carbonatiche - Termini di transizione

Granulometria clasticostituenti	Definizione	
	Clasti terrigeni	Clasti carbonatici

Argilla		Argillite		Calcilutite	
Limo		Siltite		Calcsiltite	
Sabbia	fine	Arenaria	fine	Calcarenite	fine
	media		media		media
	grossa		grossolana		grossolana
Ghiaia	fine	Conglomerato Breccia	fine	Calcirudite	fine
	media		media		media
	grossa		grossolana		grossolana

Tabella XI - Depositi sedimentari terrigeni e carbonatici

CaCO <sub>3</sub> (%)	Definizione
0 - 5	argilla - argillite
5 - 15	argilla debolmente marnosa
15 - 25	argilla marnosa
25 - 35	marna argillosa
35 - 65	marna
65 - 75	marna calcarea
75 - 85	calcarea marnoso
85 - 95	calcarea debolmente marnoso
95 - 100	calcilutite

Note: è opportuno specificare il grado di cementazione che, spesso, è funzione della percentuale di CaCO<sub>3</sub>, anche se non necessariamente. Il contenuto di CaCO<sub>3</sub> può essere stimato in base alla effervescenza dell'acido cloridrico diluito al 5%

Tabella XII - Depositi vulcanici piroclastici

Granulometria clasticostituenti	Definizione	
	Tufo	Tufite
Argilla	Cinerite	Tufite argillosa
Limo	Tufo cineritico	Tufite limosa

Sabbia	Tufo e lapilli	Tufite sabbiosa o arenacea
Ciottoli e blocchi	Agglomerato	Tufite conglomeratica
<p>Note:</p> <p>Tufo = deposito piroclastico primario</p> <p>Tufite = deposito piroclastico primario commisto a sedimenti non vulcanici</p> <p>Specificare il grado di saldatura o cementazione dei depositi, che può anche essere nullo.</p>		

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

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

#### **17) Simboli grafici per rappresentare terre e rocce**

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

#### **18) Rilievo del livello dell'acqua nel foro**

Nel corso della perforazione verrà rilevato in forma sistematica il livello dell'acqua nel foro.

Le misure verranno eseguite tramite sonda piezometrica in particolare prima e dopo ogni interruzione di lavoro (sera, mattina, altre pause), con annotazione di quanto segue:

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

Tali annotazioni devono comparire nella documentazione definitiva del lavoro.

### **4.4 Campionamento durante i sondaggi**

#### **4.4.1 Generalità**

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

- a) "*campioni rimaneggiati*", raccolto fra i testimoni del carotaggio di qualsiasi litologia;
- b) "*campioni indisturbati*", prelevato con campionatore a pistone, fune, rotativo, in terreni coesive semicoesive;
- c) "*spezzoni di carota lapidea*", prelevati dal carotaggio in terreni rocciosi.

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

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

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

#### 4.4.2 Campioni rimaneggiati

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

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

#### 4.4.3 Campioni indisturbati

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

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

$$c_p = \frac{D_{est}^2 - D_i^2}{D_i^2} \cdot 100 = 9,13 \quad \%$$

- coefficiente di spoglia interna:

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

11) secondo necessità.

- diametro utile  $\varnothing 85$  mm

dove:

L = lunghezza utile della fustella

$D_i$  = diametro interno della fustella

$D_{est}$  = diametro esterno della fustella

D = diametro all'imboccatura della fustella.

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

- a.1) campionatore a pistone, tipo Osterberg;
- a.2) campionatore a fune, tipo RODIO - NENZI (RO-NE);
- a.3) campionatore rotativo a pareti sottili, tipo CRAPS;
- a.4) altri campionatori (in tutti i casi subordinandone l'uso alla preventiva autorizzazione della direzione dei lavori).

Il campionatore Osterberg, a parete sottile, è il più comune dei tipi a pistone; può essere utilizzato con profitto in terreni a grana fine o coesivi, con consistenza da tenera a media ed aventi resistenza al taglio  $\varnothing 20$

t/mq, in relazione alla potenza della pompa utilizzata. Funziona bene anche in sabbie, fino a quelle mediamente addensate.

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

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

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

#### 4.4.4 Osservazioni aggiuntive

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

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

Nel campionatore rotativo, la sporgenza della fustella dal carotiere esterno può essere regolata a priori fra 0,5 e 3 cm, ma deve poi rimanere costante durante ciascun prelievo.

Il prelievo di campioni indisturbati deve seguire la manovra di perforazione e precedere quella di rivestimento a quota; nel caso l'autosostentamento del foro nel tratto scoperto non esista anche per il breve lasso di tempo necessario al prelievo, si rivestirà prima di campionare avendo cura di fermare l'estremità inferiore del rivestimento metallico provvisorio 0,2 ÷ 0,5 m più in alto della quota di inizio prelievo, ripulendo quindi il fondo del foro.

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

#### 4.4.5 Campioni semidisturbati con campionatore a pressione/percussione

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

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

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

#### 4.4.6 Campioni indisturbati con campionatore a pistone stazionario e rotativo

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

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

- in terreni coesivi aventi resistenza al taglio fino a 30 t/mq;

- in sabbie da sciolte a mediamente addensate.

Per terreni di compattezza superiore a quella di utilizzazione dell'Oersterberg, l'impresa impiegherà possibilmente il campionatore a pareti sottili a pistone trattenuto da fune, oppure quello a pareti sottili rotativo con scarpa avanzata, entrambi spinti meccanicamente dal "pull down" della sonda agente sulla batteria di aste.

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

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

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

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

#### 4.4.7 Spezzoni di carota lapidea e/o di strati cementati

In terreni cementati e rocciosi si prelevano dal carotaggio spezzoni di lunghezza  $\approx$  15 cm, purchè rappresentativi del tipo litologico perforato. Gli spezzoni di carota devono essere puliti, paraffinati ed inseriti in un involucro rigido di protezione (contenitori cilindrici di PVC); l'intercapedine tra la carota ed il cilindro verrà riempita con paraffina fusa che verrà impiegata anche per sigillare le due estremità. A maggiore protezione delle estremità verrà applicato nastro adesivo. Sui contenitori dovrà essere applicata una targhetta adesiva sulla quale viene indicato il cantiere di lavoro, il numero del sondaggio, la quota del prelievo, la data e il tipo di carotiere usato. Tali dati dovranno essere riportati anche sulla stratigrafia del sondaggio.

#### 4.4.8 Indicazioni sul campione

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

- 1) committente;
- 2) cantiere;
- 3) numero del sondaggio;
- 4) numero del campione;
- 5) profondità di prelievo;
- 6) tipo di campionatore impiegato;
- 7) data di prelievo;
- 8) parte alta (per campioni indisturbati e spezzoni di carota).

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

Le due estremità dei campioni indisturbati devono essere sigillate subito dopo il prelievo con uno strato di paraffina fusa e tappo di protezione, previa accurata pulizia della testa e della coda del campione.

#### 4.4.9 Imballaggio e trasporto dei campioni

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

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

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

Il trasporto verrà effettuato con tutte le precauzioni necessarie per evitare il danneggiamento dei campioni sotto la diretta responsabilità dell'impresa esecutrice.

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

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

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

- diametro interno non inferiore a 85 mm;
- lunghezza utile  $\geq$  60 cm.

Le dimensioni del campione rotativo a tripla parete devono essere:

- diametro interno  $\geq$  65 mm;
- lunghezza da 60 a 100 cm.

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

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

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

#### 4.5 Prove penetrometriche

#### 4.5.1 Standard Penetration Test (SPT)

Questa prova consiste nell'infissione a percussione di una speciale punta conica o di un particolare campionatore a pareti grosse (*Campionatore Raymond – split spoon*), i quali consentono di valutare la resistenza meccanica del terreno alla penetrazione, in base al numero di colpi infissi da un apposito maglio per un dato avanzamento (30 cm  $N_{SPT}$ ). La normativa di riferimento per l'esecuzione di prove SPT è la seguente:

A.G.I. - Associazione Geotecnica Italiana. Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche;

ASTM D1586-67; D1586-84. Standard Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soil";

12) ISSMFE Techn. Committee. Standard Penetration Test: International Reference Test procedure.

##### 4.5.1.1 Attrezzatura

Le dimensioni del campionatore, il peso delle aste e del maglio, l'altezza di caduta dello stesso, vengono indicati nella normativa sopra citata.

Tali dati sono riassunti nella tabella XIV

Tabella XIV - Parametri per prove S.P.T.

Tubo campionatore apribile longitudinalmente	$\varnothing_{est} = 50.8 \text{ mm}$ ; $\varnothing_{int} = 35 \text{ mm}$ ; $L_{minima}$ (escluso tagliente principale) $> 457 \text{ mm}$ ; $L_{utile} = 630 \text{ mm}$ ; $L_{scarpa}$ tagliente terminale (con rastremazione negli ultimi 19mm) = 76 mm; il campionatore sarà munito di valvola a sfera alla sommità e aperture di scarico e sfiato
Massa battente	di peso 63,4 kg che cada da 75 cm di altezza
Aste collegate al campionatore	aventi peso per metro lineare 6.5 kg ( $\pm 0.5 \text{ kg/ml}$ ). Le aste saranno diritte, ben avvitate in corrispondenza dei giunti e con flessione totale della batteria pronta per la prova $< 1^\circ$ .

La caduta del maglio deve essere libera; pertanto, deve essere adottato un dispositivo di sganciamento automatico che svincoli il maglio dal cavo, o altro dispositivo di sollevamento, all'altezza voluta.

Fra la testa di battuta in sommità delle aste ed il piano campagna deve essere installato almeno un centratore di guida ed irrigidimento delle aste stesse.

La differenza fra il diametro esterno delle aste e diametro interno della tubazione metallica provvisoria di rivestimento non deve superare di norma i 6 cm.

Qualora ciò avvenga devono essere predisposte, lungo la batteria delle aste ad intervalli di 3 m, opportune alette di irrigidimento, di dimensioni adeguate al diametro interno effettivo della tubazione di rivestimento provvisoria.

##### 4.5.1.2 Metodologia di prova

La prova consiste nell'infiggere nel terreno alla base del sondaggio il campionatore, per 3 tratti consecutivi, ciascuno di 15 cm, rilevando il numero di colpi (N) necessario per la penetrazione di ciascun tratto di 15 cm. Il valore di  $N_{spt}$  è dato dalla somma dei colpi ottenuti per il 2° e 3° tratto.

La prova viene sospesa quando il numero dei colpi N, per un tratto di 15 cm, supera 50. In tal caso si annota la penetrazione (in cm) ottenuta con 50 colpi: tale valore rappresenta il "Rifiuto".

Le fasi da seguire sono le seguenti:

- prima di eseguire la prova è necessario controllare con scandaglio la quota del fondo del foro, confrontandola con quella raggiunta con la manovra di perforazione o di pulizia precedentemente eseguita. Può risultare dal controllo che la quota misurata sia più alta per effetto di reflussi del fondo del foro o per decantazione di detriti in sospensione del fluido. Se tale differenza supera 7 cm la prova non può essere eseguita; si deve pertanto procedere ad un'ulteriore manovra di pulizia;
- calare a fondo del foro la batteria di prova. La quota di inizio della prova S.P.T. deve corrispondere a quella misurata mediante il controllo di cui sopra che, come detto, può coincidere con quella di perforazione o pulizia ma può anche essere (fino a 7 cm) superiore. L'eventuale affondamento del campionatore, per peso proprio e delle aste, deve essere annotato ma è già parte integrante dei 45 cm complessivi di infissione;
- procedere all'infissione contando ed annotando il numero dei colpi del maglio, fino ad un massimo di 50 colpi per ogni tratto di 15 cm. Il ritmo di percussione deve essere compreso tra i 10 ed i 30 colpi al minuto;
- ad estrazione avvenuta il campione prelevato viene misurato, descritto, trascurando l'eventuale parte alta costituita da detriti, sigillato in adatto contenitore ed inviato al laboratorio;
- in presenza di materiali molto compatti o ghiaie grossolane si adotterà la particolare punta conica.

#### **4.5.1.3 Documentazione**

La documentazione preliminare e quella definitiva devono comprendere:

1) per ciascuna prova eseguita:

- quota della tubazione provvisoria di rivestimento del foro;
- quota raggiunta con la manovra di perforazione o pulizia;
- quota del fondo del foro controllata prima di iniziare la prova;
- penetrazione (per peso proprio e delle aste) del campionatore;
- N per infissione di ciascuno dei 3 tratti di 15 cm;
- eventuale "rifiuto";
- peso per metro lineare delle aste impiegate;
- lunghezza e descrizione geotecnica del campione estratto;
- tipo di campionatore (aperto o chiuso) impiegato.

2) per ciascuna verticale indagata:

- grafico  $N_{spt}$  in funzione della profondità.

Nel caso sia disponibile il dispositivo per la determinazione dell'energia trasmessa al campionatore, le caratteristiche del sistema di misure ed i risultati determinati saranno parte integrante della documentazione.

#### **4.5.2. Prove Penetrometriche Dinamiche Continue Pesanti DPSH-SCPT**

La prova consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica infissa nel terreno per battitura. La prova fornisce informazioni di tipo continuo poiché le misure della resistenza alla penetrazione vengono eseguite durante tutta l'infissione.

Secondo la terminologia ISSMFE, la prova descritta rientra nel tipo "superpesante" (DPSH: Dynamic Probing Super Heavy) in quanto il maglio pesa più di 60 kg.

L'attrezzatura da utilizzarsi sarà conforme ad una delle due norme sopracitate per penetrometri dinamici di classe superpesante o comunque rientrerà nelle tolleranze elencate nel successivo paragrafo.

Le modalità esecutive non differiscono e sono specificate nel seguito.

Normativa di riferimento:

- A.G.I. Associazione Geotecnica Italiana. Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.
- ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing.
- Dynamic Probing (DP): International Reference Test Procedure.

#### 4.5.2.1 Attrezzatura

L'attrezzatura necessaria per la realizzazione di prove penetrometriche dinamiche SCPT secondo la normativa AGI è costituita da:

- Batteria di aste interne ad una seconda batteria di tubi esterni di rivestimento con scarpa sagomata a tagliente alla base:
  - Diametro delle aste interne: 32 mm
  - Peso lineare delle aste interne: 5,60 kg/m ( $\pm 0.5$  kg/m)
  - Lunghezza delle aste: 1,50 m
  - Massa delle aste: 7 kg/m
  - Diametro esterno delle aste: 34 mm
  - Diametro interno delle aste: 18 mm
  - Diametro esterno dei tubi di rivestimento: 48 mm
  - Diametro interno dei tubi di rivestimento: 38 mm
  - Peso lineare dei tubi di rivestimento: 5,30 kg/m

L'intercapedine tra il diametro interno della scarpa tagliente e il diametro delle aste interne non deve superare  $0,2 \div 0,3$  mm, mentre al di sopra della scarpa tale intercapedine deve aumentare rapidamente fino a 2 mm.

- Punta conica collegata alla base delle aste interne:

angolo apertura:  $\alpha = 60^\circ$

diametro base:  $\varnothing_b = 51$  mm

altezza complessiva:  $h = 70$  mm

L'asta alla cui estremità inferiore è avvitata la punta conica deve essere perfettamente liscia e calibrata negli ultimi 50 cm; il massimo accorciamento della punta conica per usura non dovrà essere superiore a 5 mm;

- Dispositivo di infissione con sollevamento e sganciamento automatico con le seguenti caratteristiche:
  - 1) massa battente  $M = 72,50 \pm 0,50$  kg.
  - 2) massa passiva  $M_p = 0,7$  kg
  - 3) altezza di caduta  $h = 750 \pm 2$  mm.
  - 4) penetrazione standard 30 cmcentratore tra la testa di battuta e il piano campagna, con funzioni di guida e irrigidimento.

L'altezza di caduta nel corso dell'infissione dei rivestimenti non è vincolante.

Al fine di ridurre l'attrito laterale sulle aste potrà essere consentito l'impiego di fango (possibile solo con l'utilizzo di aste cave) o del rivestimento.

L'attrezzatura conforme alla procedura di riferimento ISSMFE per la realizzazione di prove penetrometriche dinamiche DPSH dovrà consistere di:

Lunghezza delle aste: 1,20 m

Massa delle aste: 6,20 kg/m  
Diametro esterno della batteria delle aste:  $32 \pm 0,30$  mm  
Diametro della punta conica:  $50,50 \pm 0,50$  mm  
Angolo di apertura della punta conica:  $90^\circ$   
Altezza complessiva della punta conica (con una parte cilindrica al di sopra del cono di altezza pari al diametro della punta e una parte tronco-conica, al di sopra della parte cilindrica, anch'essa di altezza pari al diametro della punta): 126,3 mm  
Peso della massa battente:  $63,0 \pm 0,50$  kg  
Massa passiva: 0,70 kg  
Altezza di caduta:  $0,75 \pm 0,02$  m  
Penetrazione standard: 20 cm  
Diametro esterno dei tubi di rivestimento: 48 mm  
Diametro interno dei tubi di rivestimento: 38 mm  
Peso lineare dei tubi di rivestimento: 5,30 kg/m

#### 4.5.2.2 Metodologia della prova

La prova consiste nell'infingere la punta conica nel terreno, per tratti consecutivi di 20 cm, misurando il numero di colpi (NPD) necessari.

Dopo 20 cm di penetrazione della punta viene infisso il rivestimento rilevando ancora il numero di colpi (NRV).

La prova viene sospesa per raggiunto rifiuto quando NPD o NRV superano il valore di 100. Di norma le prove vengono iniziate alla quota del piano campagna.

La punta conica deve sporgere dal rivestimento non più di 20 cm. in qualsiasi fase della prova; ciò per evitare che attriti laterali sulle aste alterino i dati di resistenza NPD misurati.

Le due batterie, aste collegate alla punta e rivestimenti, devono essere reciprocamente libere per tutta la durata della prova. Nel caso di blocco delle due colonne, a seguito di infiltrazione di materiale nell'intercapedine, la prova dovrà essere sospesa; prima di rimuovere la batteria l'operatore deve mettere in atto tutti gli accorgimenti dettati dall'esperienza atti a sbloccare le colonne; ad esempio:

- iniezione di acqua in pressione nell'intercapedine;
- bloccaggio di una delle due colonne ed infissione o estrazione dell'altra;
- azione combinata dei due interventi sopra descritti.

Fra testa di battuta alla sommità della batteria ed il piano campagna deve essere installato almeno 1 centratore con funzioni di guida e di irrigidimento.

#### 4.5.2.3 Documentazione

La documentazione deve comprendere, oltre alle informazioni generali:

- tabulazione dei dati rilevati per ciascuna prova (NPD ed NRV) per ciascuna verticale di prova;
- descrizione dettagliata delle caratteristiche dell'attrezzatura impiegata;
- grafico di NPD in funzione della profondità;
- grafico di NRV in funzione della profondità;
- altezza di caduta media del maglio durante l'infissione del rivestimento.

#### 4.5.3 Prove Penetrometriche Statiche CPT

Normativa di riferimento:

- A.G.I. - Associazione Geotecnica Italiana: Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione

delle indagini geotecniche.

- ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing (1988) - Cone Penetration Test (CPT): International Reference Test Procedure ASTM D3441-86 "Deep, quasi-static, cone and friction cone penetration tests of soil". L'attrezzatura di prova e le modalità esecutive saranno conformi a quanto specificato nel seguito.

L'impresa potrà proporre l'impiego di attrezzature con caratteristiche rispondenti ad una delle norme sopracitate, subordinandone l'uso all'approvazione della direzione dei lavori.

#### 4.5.3.1 Attrezzatura

La prova consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica di dimensioni e caratteristiche standard, infissa a velocità costante nel terreno tramite un dispositivo di spinta che agisce alternativamente su una batteria di aste esterna e su una interna, alla cui estremità inferiore è connessa la punta.

Le attrezzature sono le seguenti:

##### 1) Dispositivo di spinta

Martinetto idraulico in grado di esercitare sulla duplice batteria di aste la spinta precisata nel programma delle indagini (10÷20 t). La corsa deve essere pari a 1,00 m. La velocità di infissione della batteria di aste sarà di 2 cm/s, costante nel corso della prova, indipendentemente dalla resistenza offerta dal terreno.

Il dispositivo di spinta deve essere ancorato e/o zavorrato in forma tale da poter usufruire per intero della propria capacità di spinta totale.

##### 2) Punta conica

Punta conica telescopica, che possa essere entro certi limiti infissa indipendentemente dalla batteria di aste esterne a cave, con le seguenti dimensioni:

- 5) diametro di base del cono: 37,5 mm.
- 6) angolo di apertura del cono: 60° La punta permetterà la misura di:
- 7) resistenza alla punta (qc)
- 8) resistenza per attrito laterale (fs)

Il parametro fs sarà relativo ad un manicotto con superficie laterale di 150-200 cmq.

##### 3) Aste

- 9) aste di tipo cavo, del diametro esterno di 36 mm.
- 10) astine interne a sezione piena, di diametro inferiore di 0,5÷1,0 mm. rispetto a quello interno delle aste cave.

##### 4) Dispositivo di misura

Un manometro con fondo scala massimo da 100 kg/cmq ed uno con fondo scala superiore, collegati in modo tale che il primo sia escluso automaticamente dal circuito oleodinamico in caso di depressioni troppo elevate.

La precisione di lettura deve essere contenuta entro i seguenti limiti massimi:

- 10% del valore misurato;
- 2% del valore di fondo scala.

#### 4.5.3.2 Tarature e controlli

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

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

I manometri del dispositivo di misura devono essere corredati da un certificato di taratura rilasciato da un laboratorio ufficiale, non anteriore a due mesi dall'inizio della prova.

#### 4.5.3.3 Metodologia di prova

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

Le misure  $q_c$  e  $f_s$  saranno discontinue, con annotazione ogni 20 cm di penetrazione.

La prova sarà quindi eseguita fino al raggiungimento dei limiti strumentali di resistenza o fino alla profondità massima prevista dal programma delle indagini.

#### 4.5.3.4 Documentazione preliminare e definitiva

La documentazione preliminare comprenderà:

- informazioni generali;
- data di esecuzione;
- caratteristiche dell'attrezzatura;
- caratteristiche della punta;
- fotocopia delle tabelle di cantiere, con indicazione dei fattori moltiplicativi di interpretazione delle letture.

La documentazione definitiva comprenderà:

- informazioni generali;
- data di esecuzione;
- grafici di  $q_c$  e  $f_s$  in funzione della profondità;
- quota assoluta del punto di prova;
- certificati di taratura.

## 4.6 Indagini geofisiche di profondità per risposta sismica locale

### 4.6.1 Prospezione sismica in foro di sondaggio (down-hole)

La prova consiste nella misurazione dei tempi di arrivo di impulsi sismici generati in superficie ad un ricevitore posto all'interno di un foro di sondaggio verticale, adeguatamente rivestito con apposita tubazione.

La prova consente la misura diretta delle velocità di propagazione VP delle onde di compressione (onde P) e VS delle onde di taglio (onde S) e la determinazione dei parametri elastici dei terreni in condizioni dinamiche.

Normative e specifiche di riferimento:

- ISRM Commission on Testing Method – Suggested Methods for Seismic Testing Within and Between Boreholes – Part 2: Suggested Method for Seismic Testing Within a Borehole.

#### 4.6.1.1 Attrezzature

L'attrezzatura di prova dovrà essere costituita dai seguenti componenti: tubazione con sezione circolare in PVC, con spessore > 3 mm e diametro interno compreso fra 75 e 100 mm, in spezzoni di 3 metri da assemblare mediante filettatura M/F oppure mediante manicotti di giunzione; sistema di energizzazione costituito da una massa battente manovrata a mano (mazza da 10 kg), agente a percussione in diverse direzioni su un massello di legno o calcestruzzo, ben saldato al terreno e posto nelle adiacenze della testa del foro; potranno essere utilizzati anche un percussore oleodinamico agente all'interno di una piccola cassaforma interrata,

oppure altri dispositivi concordati con la direzione dei lavori; è onere e responsabilità dell'impresa dimensionare correttamente il sistema di energizzazione, in funzione della natura e delle caratteristiche dei terreni, che sono da considerarsi noti, in quanto le misure sono successive alla perforazione dei sondaggi entro i quali si eseguono le stesse; la sorgente di energia superficiale dovrà essere collocata ad una distanza adeguata dalla bocca del foro in funzione della migliore risoluzione dell'indagine stessa; se richiesto dalla direzione dei lavori, nelle adiacenze della testa del foro, si dovrà realizzare un cubo in calcestruzzo di lato 50 cm, inserito nel terreno per 20 cm e reso ben solidale con il medesimo; il cubo deve, a presa ed indurimento avvenuti, essere resistente alla percussione manuale con mazza da 10 kg e deve essere privo di lesioni, fratture, fessure da ritiro; in alternativa al cubo, sempre se richiesto, dovrà essere realizzato un alloggiamento interrato in cls per l'uso di un percussore idraulico; geofono da foro tridimensionale, a frequenza compresa fra 8 e 14 Hz, e di diametro minore o uguale a 70 mm, da calare nel foro a profondità prefissate, in grado di registrare i tempi di arrivo delle onde di compressione e di taglio; il ricevitore deve potere essere reso solidale con la tubazione di rivestimento del foro tramite un dispositivo di bloccaggio meccanico o pneumatico; sismografo registratore a 12 canali, in grado di realizzare campionature di segnali tra 0.025 e 2 millisecondi e dotato di filtri high pass, band pass e band reject, di "Automatic Gain Control" e di convertitori A/D del segnale campionato ad almeno 16 bit; apposito software per l'elaborazione dei dati, in grado di fornire i valori di velocità delle onde di compressione e di taglio per ogni stazione di misura, impiegando iterativamente algoritmi di calcolo adeguati (es. ART, SIRT, e ILSP), previo controllo dei tragitti dei raggi sismici (Ray Tracing Curvilineo).

#### 4.6.1.2 Modalità esecutive

Le modalità di esecuzione della prova dovranno essere le seguenti:

- posizionamento e bloccaggio del ricevitore in corrispondenza del primo punto di prova, in accordo con il progetto delle indagini;
- generazione dell'impulso (è ammessa anche la somma di più impulsi) e registrazione dei tempi di arrivo delle onde di compressione e delle onde di taglio;
- ripetizione delle medesime operazioni lungo tutta la verticale d'indagine.

Le misure saranno relative all'intervallo di profondità e avranno frequenza non inferiore ad una misura ogni metro di sondaggio.

#### 4.6.1.3 Documentazione

La documentazione di ciascuna indagine dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- le modalità esecutive del foro;
- lo schema geometrico di ogni tubazione installata;
- la quota assoluta o relativa della testa della tubazione di misura;
- le caratteristiche della tubazione installata;
- modalità di iniezione, quantità e composizione della miscela iniettata nell'intercapedine;
- sismogrammi in originale delle registrazioni di campagna su supporto magnetico;
- relazione conclusiva, elaborata in base ai risultati delle indagini svolte in cui saranno indicati:
- gli algoritmi di calcolo impiegati, tabelle e tavole ad integrazione e chiarimento delle analisi;
- diagrafie riportanti:
- stratigrafia del sondaggio;
- tempi di arrivo delle onde di compressione e di taglio;
- velocità delle onde di compressione e di taglio per ogni stazione;

- velocità intervallari delle onde di compressione e di taglio;
- attenuazione e fattore qualità;
- coefficiente di Poisson dinamico;
- modulo di elasticità dinamico;
- modulo di taglio dinamico;
- modulo di compressibilità dinamico;
- tracce sismografiche onde di compressione;
- tracce sismografiche onde di taglio;
- risultanze finali ed interpretative.

#### 4.6.2 Prospezione sismica tra fori di sondaggio (cross-hole)

La prova consiste nella misurazione dei tempi di arrivo di impulsi sismici generati in profondità all'interno di un foro di sondaggio verticale ad un ricevitore posto all'interno di un secondo foro di sondaggio verticale. I fori, paralleli e adeguatamente rivestiti con apposita tubazione, dovranno essere ad una distanza reciproca compresa tra 5 e 20 m.

La prova consente la misura diretta delle velocità di propagazione VP delle onde di compressione (onde P) e VS delle onde di taglio (onde S) e la determinazione dei parametri elastici dei terreni in condizioni dinamiche.

Normative e specifiche di riferimento:

- ASTM D 4428/D 4428M – 91 – Standard Test Method for Crosshole Seismic Testing

##### 4.6.2.1 Attrezzature

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

- tubazione con sezione circolare in PVC, con spessore > 3 mm e diametro interno compreso fra 90 e 100 mm, in spezzoni di 3 metri da assemblare mediante filettatura M/F, oppure mediante manicotti di giunzione;
- sistema di energizzazione costituito da cannoncino sismico fondo del foro, microcariche di esplosivo o da capsule detonanti, oppure da un generatore elettrodinamico, in grado di fornire energia in quantità sufficiente alla generazione di impulsi in modo che risultino leggibili; è onere e responsabilità dell'impresa dimensionare correttamente il sistema di energizzazione, in funzione della natura e delle caratteristiche dei terreni che sono da considerarsi noti, in quanto le misure sono successive alla perforazione dei sondaggi entro i quali si eseguono le stesse;
- geofono da foro tridimensionale, a frequenza compresa fra 8 e 14 Hz, di diametro minore o uguale a 70 mm, da calare nel foro a profondità prefissate, in grado di registrare i tempi di arrivo delle onde di compressione e di taglio; il ricevitore deve potere essere reso solidale con la tubazione di rivestimento del foro, tramite un dispositivo di bloccaggio meccanico o pneumatico;
- sismografo registratore a 12 canali, in grado di realizzare campionature di segnali tra 0.025 e 2 millisecondi e dotato di filtri high pass, band pass e band reject, di "Automatic Gain Control" e di convertitori A/D del segnale campionato ad almeno 16 bit;
- apposito software per l'elaborazione dei dati, in grado di fornire i valori di velocità delle onde di compressione e di taglio per ogni stazione di misura, impiegando iterativamente algoritmi di calcolo adeguati (es. ART, SIRT, e ILSP), previo controllo dei tragitti dei raggi sismici (Ray Tracing Curvilineo).

##### 4.6.2.2 Modalità esecutive

Le modalità di esecuzione della prova dovranno essere le seguenti:

- posizionamento e bloccaggio di sorgente (in un foro) e ricevitore (nell'altro foro) in corrispondenza

della prima coppia di posizioni coniugate, in accordo con il progetto delle indagini; sorgente e ricevitore dovranno essere posizionati alla medesima profondità, in modo da realizzare un percorso delle onde orizzontale;

- generazione dell'impulso (è ammessa anche la somma di più impulsi) e registrazione dei tempi di arrivo delle onde di compressione e delle onde di taglio;
- ripetizione delle medesime operazioni per ciascuna coppia di punti coniugati lungo le due verticali d'indagine.

Le misure saranno relative all'intervallo di profondità e avranno frequenza non inferiore a 1 misura ogni metro.

#### 4.6.2.3 Documentazione

La documentazione di ciascuna indagine dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- modalità esecutive del foro;
- lo schema geometrico di ogni tubazione installata;
- la quota assoluta o relativa della testa della tubazione di misura;
- caratteristiche della tubazione installata;
- modalità di iniezione, quantità e composizione della miscela iniettata nell'intercapedine;
- grafici e tabulati del rilievo della verticalità presentati in modo che risulti facilmente determinabile la distanza fra i fori alle diverse profondità;
- sismogrammi in originale delle registrazioni di campagna su supporto magnetico;
- relazione conclusiva, elaborata in base ai risultati delle indagini svolte in cui saranno indicati:
- gli algoritmi di calcolo impiegati, tabelle e tavole ad integrazione e chiarimento delle analisi;
- diagrafie riportanti:
- stratigrafie dei sondaggi;
- tempi di arrivo delle onde di compressione e di taglio;
- velocità delle onde di compressione e di taglio per ogni stazione;
- coefficiente di Poisson dinamico;
- modulo di elasticità dinamico;
- modulo di taglio dinamico;
- modulo di compressibilità dinamico;
- tracce sismografiche delle onde di compressione;
- tracce sismografiche delle onde di taglio;
- misure inclinometriche;
- risultanze finali ed interpretative.

#### 4.6.3 MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)

##### 4.6.3.1 Generalità

Il metodo MASW è una tecnica che consente la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ . Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che si trasmettono con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde.

#### 4.6.3.2 Caratteristiche delle attrezzature

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

- \* sismografo a 24 canali con registrazione dei dati in digitale per elaborazioni successive con formato in uscita minimo a 16 bit;
  - \* 24 geofoni orizzontali a bassa frequenza, tipicamente uguale a 4.5 Hz;
- sistema di energizzazione adeguato alla profondità e alla natura dell'indagine che, per la natura delle indagini, potrà essere costituito da massa battente (10-40kg) agente lateralmente su un blocco adeguatamente ancorato al terreno.

#### 4.6.3.3 Modalità esecutive

La "copertura" dei tiri sulle basi sismiche dovrà essere tale da consentire una corretta e dettagliata ricostruzione del campo di velocità locale fino alle profondità stabilite dalla Direzione Lavori, e comunque, ai fini della caratterizzazione sismica del sottosuolo, fino ad almeno 30 m i.e.: utilizzo di uno streamer di 24 geofoni con interasse 2m ed energizzazione mediante massa battente ogni 40-50m circa.

L'elaborazione dei dati dovrà essere realizzata mediante software ad elevata valenza diagnostica in grado di fornire i valori dei parametri di velocità, relativi ai rifrattori individuati, per ogni stazione geofonica (ad esempio software che utilizzi il metodo "GRM" - Generalized Reciprocal Method, Palmer '80).

#### 4.6.3.4 Documentazione

La documentazione di ciascuna indagine dovrà comprendere:

- \* informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- sismogrammi originali sia su supporto cartaceo che digitale;
- profili sismostratigrafici in scala adeguata con indicati i valori di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) calcolati per intervalli omogenei;
- elaborazione a isolinee o a campiture di colore delle velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) in caso di elaborazione tomografica;
- relazione conclusiva, elaborata in base ai risultati delle indagini svolte in cui saranno indicate le strumentazioni utilizzate, le metodologie operative, gli algoritmi di calcolo impiegati, tabelle e tavole ad integrazione e chiarimento delle analisi, procedure applicate, le risultanze finali ed interpretative;
- documentazione fotografica.

### **4.7 Prove geotecniche di laboratorio di terreni sciolti**

L'attività del laboratorio di prova dovrà essere condotta in accordo alla norma *UNI-CEI-EN 45001 - Criteri generali per il funzionamento di laboratori di prova* - con particolare riferimento al punto 5 - Competenza tecnica.

Le prove devono essere eseguite da laboratori ufficiali autorizzati ai sensi dell'art. 59 del DPR380/01 ed inseriti nell'elenco depositato presso il Servizio Tecnico Centrale del Ministero delle Infrastrutture. 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 Direzione Lavori.

#### 4.7.1 Conservazione dei campioni

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

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

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

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

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

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

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

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

In linea di principio, l'inizio delle analisi o prove programmate dovrà immediatamente seguire l'apertura dei campioni; nel caso in cui l'inizio delle attività di prova debba essere necessariamente procrastinato, i provini già confezionati, opportunamente siglati e sigillati, dovranno essere conservati nel locale ad atmosfera controllata utilizzato per la conservazione dei campioni. Durante le fasi di montaggio e di avvio delle prove dovrà essere garantito il mantenimento delle condizioni originarie dei campioni, segnalando le eventuali variazioni connesse alle procedure di prova ed evitando ogni tipo di modificazione incontrollata.

#### 4.7.2 Documentazione da fornire

Alla consegna dei certificati di prova dovrà essere fornita anche una sintesi che riporterà i risultati principali ottenuti dalle singole prove. Tale sintesi, espressa in un quadro riepilogativo generale, dovrà contenere:

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

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

- il nome e l'indirizzo del laboratorio di prova;
- l'identificazione univoca del rapporto di prova, di ciascuna sua pagina e del numero totale delle pagine;
- il nome ed indirizzo del committente;
- l'identificazione dei campioni;
- la data di ricevimento dei campioni e la data di prova;

- lo standard di riferimento seguito per l'esecuzione delle prove;
- tutte le misure, gli esami e i loro risultati, corredati di tabelle, grafici, disegni e fotografie e tutte le anomalie individuate;
- la firma del responsabile del rapporto di prova e la data di emissione.

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

#### 4.7.3 Apertura e descrizione geotecnica di campioni indisturbati

L'estrusione dalle fustelle o cassette di alloggiamento dovrà avvenire in modo da minimizzare il disturbo arrecato al campione tramite l'utilizzo di un estrusore idraulico.

L'estrusione del campione 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 scorticatura e ripulitura delle estremità e si procederà alla descrizione geotecnica visivo-manuale del materiale, 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 in accordo allo standard ASTM D2488-93 (Standard Practice for Description and Identification of Soils - Visual-Manual Procedure). 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.

Successivamente si procederà, ove possibile, all'esecuzione di prove speditive con penetrometro e scissometro tascabile ad intervalli regolari, per la determinazione dello stato di consistenza del materiale campionato. 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. 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. Al termine dell'esame sarà redatto un apposito modulo contenente tutte le osservazioni e le misure condotte, l'indicazione delle prove da eseguire e dei relativi provini, le indicazioni sullo stato di qualità del campione e della fustella, le dimensioni della fustella e del campione estruso. Il modulo sarà corredato dalla documentazione fotografica del campione.

#### 4.7.4 Apertura e descrizione geotecnica di campioni rimaneggiati

L'estrazione di un campione rimaneggiato dal contenitore di alloggiamento (sacchetto, barattolo, vasetto, etc.) sarà seguita dalla descrizione geotecnica visivo-manuale del materiale, condotta in accordo allo standard ASTM D2488-93 (Standard Practice for Description and Identification of Soils - Visual-Manual Procedure). Il materiale campionato sarà sottoposto a ripresa fotografica a colori, 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.

Al termine delle operazioni, si procederà alla redazione di un modulo contenente la descrizione geotecnica del campione, l'indicazione delle prove da eseguire e l'eventuale documentazione fotografica.

#### 4.7.5 Determinazione delle caratteristiche fisiche

##### 4.7.5.1 Determinazione del contenuto naturale d'acqua

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

- ASTM D 2216 - 92 - Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture)

Content of Soil and Rock.

- UNI EN ISO 17892-1:2022 – Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni - Parte 1: Determinazione del contenuto in acqua.

#### *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.

#### *Documentazione*

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- 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), non anteriore di sei mesi alla data di prova.

#### 4.7.5.2 Determinazione della massa volumica apparente (peso di volume naturale)

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

Normative e specifiche di riferimento:

- BS 1377 (1990) - Methods of test for soils for civil engineering purposes - Part 2: Classification tests.

#### *Modalità di prova*

La prova dovrà essere effettuata unicamente su provini indisturbati, 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.

#### *Documentazione*

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- risultato della determinazione espresso in unità SI 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), non anteriore di sei mesi alla data di prova.

#### 4.7.5.3 Determinazione dei limiti di consistenza

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).

Normative e specifiche di riferimento:

- ASTM D 4318 - 84 - Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.
- UNI EN ISO 17892-12:2022 – Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni - Parte 12: Determinazione dei limiti liquidi e plastici.

#### *Modalità di prova*

Prima dell'inizio della determinazione del limite liquido si procederà alla regolazione dell'altezza di caduta della cucchiaia di Casagrande, si controllerà lo stato di usura della Cucchiaia 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:  $10 \pm 0.2$  mm;
- profondità del solco di usura sulla cucchiaia:  $< 0.1$  mm;
- larghezza della punta del solcatore:  $2 \pm 0.1$  mm;
- profondità della punta del solcatore:  $8 \pm 0.1$  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. 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 direzione dei lavori.

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

#### *Documentazione*

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- 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), non anteriore di sei mesi alla data di prova.

11)

#### 4.7.5.4 Determinazione del limite di ritiro

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

Normative e specifiche di riferimento:

- ASTM D 427 - 93 - 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 - 95.

#### *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.

#### *Documentazione*

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- 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), non anteriore di sei mesi alla data di prova.

#### 4.7.5.5 Analisi granulometrica per vagliatura

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

Normative e specifiche di riferimento:

- ASTM D 422 - 63 (90) - Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils;
- ASTM D 421 - 85 (93) - Standard Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soils Constants.
- \* UNI EN ISO 17892-4:2017 - Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni - Parte 4: Determinazione della distribuzione granulometrica;
- \* A.G.I. (1994) - Raccomandazioni sulle Prove Geotecniche di Laboratorio - Analisi granulometrica di una terra.
- \* CNR B.U. n. 23 – Analisi granulometrica di una terra mediante crivelli e setacci.

#### Modalità di prova

L'analisi granulometrica per vagliatura si eseguirà in ogni caso per via umida, impiegando setaccie 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, n° 100, n° 60, n° 40, n° 20, n° 10, n° 4,3/8", 3/4", 1", 1.5", 2" e 3". E' ammesso l'uso di serie di setacci equivalenti a quella sopra indicata.

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

Massa minima da analizzare

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

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, unavolta 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.

Si procederà quindi all'essiccazione in forno termostato a 105° e alla determinazione delle masse trattenute a ciascun setaccio.

Il materiale analizzato dovrà essere classificato in accordo alle raccomandazioni A.G.I. e, qualora sia stata eseguita anche la determinazione dei limiti di consistenza, anche in accordo allo Standard ASTM D 2487-93 - Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System) e alla Classificazione delle terre CNR-UNI 10006.

#### *Documentazione*

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- 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 % di trattenuto - diametro;
- classificazione granulometrica del materiale analizzato;
- documentazione delle pesate eseguite;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, termostato), non anteriore di sei mesi alla data di prova.

#### 4.7.5.6 Determinazione del passante o trattenuto ad un singolo vaglio

Normative e specifiche di riferimento:

- ASTM D 1140 - 92 - Standard Test Method for Amount of Material in Soils Finer Than the No.200 (75- $\mu$ m) Sieve;
- ASTM D 422 - 63 (90) - Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils;
- ASTM D 421 - 85 (93) - Standard Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soils Constants.

#### *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 in Tab. 23 e a quanto riportato nelle specifiche di riferimento.

#### *Documentazione*

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- 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), non anteriore di sei mesi alla data di prova.

#### 4.7.5.7 Analisi granulometrica per sedimentazione

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

Normative e specifiche di riferimento:

- ASTM D 422 - 63 (90) - Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils;
- ASTM D 421 - 85 (93) - 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 - Analisi granulometrica di una terra

#### *Modalità di prova*

L'analisi granulometrica per sedimentazione dovrà essere condotta effettuando letture della densità della temperatura di una sospensione, preparata con 50 gr di materiale passante al setaccio ASTM n° 200, 125 ml di soluzione disperdente (esametafosfato di sodio in soluzione pari a 40g/L, confezionata non più di 30 gg prima della data di impiego) e acqua distillata fino ad ottenere un volume pari a 1000 ml, 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°. Il materiale analizzato dovrà essere classificato in accordo alle raccomandazioni A.G.I. e, qualora sia stata eseguita anche la determinazione dei limiti di consistenza, anche in accordo allo Standard ASTM D 2487-93 - Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System) e alla Classificazione delle terre CNR-UNI 10006.

#### *Documentazione*

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- quantità di materiale analizzato;
- data di preparazione della soluzione disperdente;
- tabella con indicazione della percentuale di materiale trattenuto in corrispondenza di ciascun diametro;
- diagramma semilogaritmico % - diametro;
- classificazione granulometrica del materiale analizzato;
- documentazione delle letture di densità e temperature eseguite;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, termostato, termometro), non anteriore di sei mesi alla data di prova.

#### 4.7.5.8 Determinazione della massa volumica reale (peso specifico dei grani)

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

Normative e specifiche di riferimento:

- ASTM D 854 - 92 - Standard Test Method for Specific Gravity of Soils.

#### *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.

#### *Documentazione*

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;

- quantità di materiale analizzato;
- risultato delle due determinazioni eseguite espresso in Mg/m<sup>3</sup> 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), non anteriore di sei mesi alla data di prova.

#### 4.7.5.9 Determinazione del contenuto in sostanze organiche

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

Normative e specifiche di riferimento:

- ASTM D 2974 - 87 (95) - Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils.

#### *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.

#### *Documentazione*

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- quantità di materiale analizzato;
- contenuto in sostanza organica, espresso in percentuale, con indicazione della prima cifra decimale ed 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), non anteriore di sei mesi alla data di prova.

#### 4.7.5.10 Determinazione del tenore in carbonati

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

Normative e specifiche di riferimento:

- ASTM D 4373 - 84 (90) - Standard Test Method for Calcium Carbonate Content of Soils.

#### *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 1g di terreno polverizzato con 20 ml di acido cloridrico in soluzione 1N.

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.

#### *Documentazione*

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- 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 sei mesi alla data di prova.

#### 4.7.6 Determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche

##### 4.7.6.1 Prove edometriche

La prova edometrica consiste nella determinazione dell'entità e della velocità della consolidazione di terreni coesivi soggetti ad incrementi tensionali. La prova può essere condotta ad incrementi di carico controllati (prova IL) o a velocità di deformazione controllata (prova CRS).

Nel corso della prova edometrica, oltre ai parametri normalmente calcolati, è possibile eseguire determinazioni dirette di permeabilità.

##### 4.7.6.2 Prova edometrica a incrementi di carico controllati (il)

Normative e specifiche di riferimento:

- ASTM D 2435 - 90 - Standard Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils.
- A.G.I. (1994) - Raccomandazioni sulle Prove Geotecniche di Laboratorio - Prove Edometriche

##### *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 preparati con apposito tornietto campionatore, a partire da campioni indisturbati; per materiali poco consistenti si potrà infiggere l'anello portacampione a pressione direttamente nel campione da analizzare; in nessun caso sarà possibile infiggere a mano l'anello portacampione. 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 portacampione, si procederà al montaggio della cella edometrica, inserendo le pietre porose inferiore e superiore e carta da filtro tipo Whatman's n. 54 trail 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 diserraggio pari a 5 kPa controllando le variazioni di altezza del provino e regolando la pressione iniziale per evitare rigonfiamenti o eccessive consolidazioni del provino. Al fine di evitare rigonfiamenti del terreno in prova, si procederà all'inserimento dell'acqua nella cella edometrica, solo dopo aver raggiunto un carico verticale pari alla tensione geostatica esistente in situ.

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. Per ciascun gradino di carico si procederà alla registrazione delle deformazioni secondo uno schema temporale in successione geometrica, mantenendo il carico almeno per un tempo sufficiente all'individuazione del tempo di fine consolidazione ( $t_{100}$ ); qualora il diagramma non consentisse una chiara individuazione del  $t_{100}$ , il gradino di carico dovrà essere mantenuto per almeno 24 h. Si procederà poi alla costruzione del diagramma deformazione verticale - logaritmo del carico verticale ( $\epsilon_v - \log \sigma'_v$ ), costruito impiegando i valori di cedimento corrispondenti ai  $t_{100}$ , in modo da valutare l'andamento del processo di consolidazione. Qualora tale diagramma evidenziasse una pressione massima applicata insufficiente (assenza di tre punti allineati dopo la massima curvatura), si procederà all'applicazione di ulteriori incrementi di carico sino ad ottenere chiaramente la retta di compressione.

In seguito, 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  $\sigma'_{v0}$  esistente in situ comprendente tre gradini di scarico e tre di ricarica. Ove richiesto, si procederà anche alla determinazione dei valori del coefficiente di consolidazione verticale  $c_v$ , del coefficiente di permeabilità  $k$  e del coefficiente di consolidazione secondaria  $c_{\alpha}$ , in corrispondenza di livelli di carico indicati dalla

direzione dei lavori.

#### *Documentazione*

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- 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;
- tabella riassuntiva riportante i valori di deformazione verticale percentuale e di indice dei vuoti per ciascun livello di carico ed i valori del modulo edometrico nei tratti di carico;
- tabella con i valori di  $c_v$ ,  $k$  e  $c$  ove richiesto;
- diagramma indice dei vuoti - logaritmo del carico verticale efficace ( $e - \log \sigma'v$ ) costruito sulla base dei cedimenti corrispondenti ai  $t_{100}$  di fine consolidazione;
- 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;
- 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), non anteriore di sei mesi alla data di prova.

#### 4.7.6.3 Prova edometrica a velocità di deformazione controllata (crs)

Normative e specifiche di riferimento:

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

#### *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 portacampione a pressione direttamente nel campione da analizzare; in nessun caso sarà possibile infiggere a mano l'anello portacampione. 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 portacampione, si procederà al montaggio della cella edometrica, inserendo le pietre porose inferiore e superiore preventivamente saturate e 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, 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 diserraggio 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.

In tabella, si riportano dei valori indicativi delle velocità di deformazione da adottare in funzione del limite liquido del campione in esame.

- Velocità di deformazione

Limite liquido [%]	Velocità di deformazione [%/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  $\sigma'_{vo}$  e sino alla tensione minima pari a  $\sigma'_{vo}/4$ .

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  $c_\alpha$  in corrispondenza di livelli di carico indicati dalla direzione dei lavori, interrompendo la progressione di carico e consentendo la completa dissipazione delle pressioni interstiziali.

#### Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- 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  $c_\alpha$  ove richiesto;
- diagramma dell'indice dei vuoti - logaritmo del carico verticale efficace ( $e - \log \sigma'v$ );
- diagramma della deformazione verticale percentuale - logaritmo del carico verticale efficace;
- diagramma del logaritmo del modulo edometrico - logaritmo del carico verticale efficace;

- diagramma del coefficiente di consolidazione verticale - logaritmo del carico verticale efficace;
- diagramma del cedimento - logaritmo del tempo per i soli livelli tensionali per i quali è richiesta la determinazione di  $\alpha$ ;
- 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), non anteriore di sei mesi alla data di prova.

#### 4.7.6.4 Prova di compressione monoassiale ad espansione laterale libera

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.

Normative e specifiche di riferimento:

- ASTM D 2166 - 91 - Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil.

#### *Modalità di prova*

La prova sarà eseguita su provini cilindrici di diametro non inferiore a 35 mm e rapporto altezza/diametro compreso tra 2 e 2.5, preparati con apposito tornietto campionario a partire da campioni indisturbati; 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 ambiente ad umidità controllata, in modo da evitare qualsiasi variazione al contenuto d'acqua iniziale.

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%.

#### *Documentazione*

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- 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 del 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), non anteriore di sei mesi alla data di prova.

#### 4.7.6.5 Prova di compressione triassiale non consolidata - non drenata (uu)

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.

Normative e specifiche di riferimento:

- ASTM D 2850 - 95 - Standard Test Method for Unconsolidated, Undrained Compressive Strength of Cohesive Soils in Triaxial Compression.

#### *Modalità di prova*

La prova sarà eseguita su tre provini cilindrici, di diametro non inferiore a 35 mm e rapporto altezza/diametro compreso tra 2 e 2.5, preparati con apposito tornietto campionario a partire da campioni indisturbati; 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 ambiente ad umidità controllata, in modo da evitare qualsiasi variazione al contenuto d'acqua iniziale.

La prova sarà condotta senza saturazione preliminare adottando tre diversi valori della tensione di confinamento (tensione di cella) stabiliti dalla direzione dei lavori. 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 %.

#### *Documentazione*

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- 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 dello 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  $\sigma/\tau$  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), non anteriore di sei mesi alla data di prova.

#### 4.7.6.6 Prova di compressione triassiale consolidata isotropicamente - non drenata (CIU)

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.

Normative e specifiche di riferimento:

- ASTM D 4767 - 88 - Standard Test Method for Consolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils.
- A.G.I. (1994) - Raccomandazioni sulle Prove Geotecniche di Laboratorio - Prove di compressione triassiale su terre coesive.

### Modalità di prova

La prova sarà eseguita su tre provini cilindrici, di diametro non inferiore a 35 mm e rapporto altezza/diametro compreso tra 2 e 2.5, preparati con apposito tornietto campionatore a partire da campioni indisturbati; 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 ambiente ad umidità controllata, in modo da evitare qualsiasi variazione al contenuto d'acqua iniziale.

La prova verrà condotta attraverso le seguenti fasi:

**Fase di saturazione:** la saturazione preliminare sarà condotta attraverso l'applicazione di back-pressioni 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-pressioni 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.

**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 direzione dei lavori. 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 della variazione di volume - logaritmo del tempo, o in alternativa da quello della 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.

**Fase di rottura:** 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 sarà stabilita sulla base del  $t_{100}$  di fine consolidazione e della deformazione attesa a rottura  $v_r$ , secondo la seguente relazione:

$$v_r = \frac{H_c * \epsilon_r}{15 * t_{100}}$$

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

I valori di  $\epsilon_r$ , 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 pressione interstiziale.

### Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- 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;
- 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 della 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;
- dimensioni dei provini al termine della fase di consolidazione;
- 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 dello sforzo deviatorico - deformazione assiale per ciascun provino;
- diagramma della pressione interstiziale - deformazione assiale per ciascun provino;
- diagramma del rapporto degli sforzi principali efficaci - deformazione assiale per ciascun provino;
- diagramma del 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  $p'/q$  con indicazione dell'involuppo di rottura;
- rappresentazione dello sforzo a rottura in termini di sforzi efficaci nel piano  $\sigma/\tau$  a mezzo di cerchi di Mohr con indicazione dell'involuppo di rottura;
- indicazione del valore di resistenza al taglio del campione esaminato, espresso in termini di tensioni efficaci dai parametri  $c'$  e  $\phi'$ ;
- 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), non anteriore di sei mesi alla data di prova.

#### 4.7.6.7 Prova di compressione triassiale consolidata isotropicamente – drenata (Cid)

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.

Normative e specifiche di riferimento:

- A.G.I. (1994) - Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio - Prove di compressione triassiale su terre coesive.

#### Modalità di prova

La prova sarà eseguita su tre provini cilindrici di diametro non inferiore a 35 mm e rapporto altezza/diametro

compreso tra 2 e 2.5, preparati con apposito tornietto campionatore a partire da campioni indisturbati; 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 ambiente ad umidità controllata, in modo da evitare qualsiasi variazione al contenuto d'acqua iniziale.

La prova verrà condotta attraverso le seguenti fasi:

*Fase di saturazione:* la saturazione preliminare sarà condotta attraverso l'applicazione di back-pressioni 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-pressioni, 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.

*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 direzione dei lavori. 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 della variazione di volume - logaritmo del tempo, o in alternativa da quello della 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.

*Fase di rottura:* 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

$$v_r = \frac{H_c * \epsilon_r}{15 * t_{100}}$$

consolidazione e della deformazione attesa a rottura  $\epsilon_r$  secondo la seguente equazione:

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

I valori di  $\epsilon_r$ , 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.

#### Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- 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-pressione adottati durante la fase di saturazione, con indicazione del valore assunto dal parametro B al termine di ciascun gradino;
- valori della back-pressione 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 della variazione di volume - logaritmo del tempo, o in alternativa della 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;
- dimensioni dei provini al termine della fase di consolidazione;
- 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 dello sforzo deviatorico - deformazione assiale per ciascun provino;
- diagramma della variazione volumetrica - deformazione assiale per ciascun provino;
- diagramma del 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  $p'/q$ , con indicazione dell'involuppo di rottura;
- rappresentazione dello sforzo a rottura in termini di sforzi efficaci nel piano  $\sigma/\tau$  a mezzo di cerchi di Mohr, con indicazione dell'involuppo di rottura;
- indicazione del valore di resistenza al taglio del campione esaminato, espresso in termini di tensioni efficaci dai parametri  $c'$  e  $\phi'$ ;
- 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), non anteriore di sei mesi alla data di prova.

#### 4.7.6.8 Prova di taglio diretto consolidata - drenata

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

Normative e specifiche di riferimento:

- ASTM D 3080 - 90 - Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions.
- A.G.I. (1994) - Raccomandazioni sulle Prove Geotecniche di Laboratorio - Prove di taglio diretto

#### Modalità di prova

La prova sarà eseguita su tre provini cilindrici o a sezione quadrata di diametro o lato non inferiore a 50 mm e rapporto diametro/altezza compreso tra 2 e 2.5 preparati con apposito tornietto campionario a partire da campioni indisturbati; 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 ambiente ad umidità controllata in modo da evitare qualsiasi variazione al

contenuto d'acqua iniziale.

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 direzione dei lavori 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 iniziale del provino. 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  $\delta_r$  secondo la seguente equazione:

$$v_r = \frac{\delta_r}{10 \cdot t_{100}}$$

Per quanto riguarda i valori dello scorrimento a rottura, funzione del tipo di materiale in prova, si forniscono in tabella XV alcuni valori indicativi.

Tab. XV - Scorrimento a rottura

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

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).

#### Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- 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 della 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 della resistenza al taglio - scorrimento orizzontale per ciascun provino;
- diagramma della deformazione verticale - scorrimento orizzontale per ciascun provino;
- eventuale diagramma cumulato della 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  $\sigma/\tau$  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  $\phi'$ ;
- 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), non anteriore di sei mesi alla data di prova.

#### **4.8 Prove geomeccaniche di laboratorio (rocce)**

##### **4.8.1 Determinazione delle caratteristiche fisiche**

###### **4.8.1.1 Apertura e descrizione dei campioni**

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

###### **4.8.1.2 Determinazione del contenuto naturale d'acqua**

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

Normative e specifiche di riferimento:

- ISRM - Committee on laboratory tests - Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties and Swelling and Slake-Durability Index Properties - Part 1 - Test 1 - Suggested method for determination of the water content of a rock sample.

#### *Modalità di prova*

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

#### *Documentazione*

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

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

#### 4.8.1.3 Determinazione della massa volumica apparente (peso di volume naturale)

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

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

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 - Part 1 - Test 2 - Suggested method for porosity/density determination using saturation and caliper techniques.

#### *Modalità di prova*

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

#### *Documentazione*

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

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

12)

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

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 - Part 1 - Test 3 - Suggested method for porosity/density determination using saturation and buoyancy techniques.

*Modalità di prova*

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

*Documentazione*

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- numero e massa dei provini;
- valore medio della massa volumica apparente espressa in  $Mg/m^3$ , 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, non antecedente di sei mesi la data di prova (bilancia, manometro).

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

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 - Part 1 - Test 4 - Suggested method for porosity/density determination using mercury displacement and grain specific gravity techniques.

*Modalità di prova*

La determinazione dovrà essere condotta su almeno 10 frammenti lapidei, aventi massa non inferiore a 50 g e dimensioni minime non inferiori a 10 volte il diametro massimo dei grani costituenti il materiale in esame. Il volume di ciascun frammento dovrà essere determinato a mezzo spostamento di mercurio, mentre per la determinazione della massa si impiegherà una comune bilancia centesimale.

*Documentazione*

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- numero e massa dei provini esaminati;
- valore medio della massa volumica apparente espressa in  $Mg/m^3$  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, non antecedente di sei mesi la data di prova (bilancia, termostato, manometro).

#### 4.8.2 Determinazione della porosità

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

I diversi metodi di prova vengono descritti in funzione del tipo di campione da analizzare.

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

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 - Part 1 - Test 2 - Suggested method for porosity/density determination using saturation and caliper techniques.

##### *Modalità di prova*

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

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

##### *Documentazione*

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

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

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

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 - Part 1 - Test 3 - Suggested method for porosity/density determination using saturation and buoyancy techniques.

##### *Modalità di prova*

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

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

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

##### *Documentazione*

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

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

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

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 - Part 1 - Test 4 - Suggested method for porosity/density determination using mercury displacement and grain specific gravity techniques.

#### *Modalità di prova*

La determinazione dovrà essere condotta su almeno 10 frammenti lapidei, aventi massa non inferiore a 50 g e dimensioni minime non inferiori a 10 volte il diametro massimo dei grani costituenti il materiale in esame. Il volume di ciascun frammento dovrà essere determinato a mezzo spostamento di mercurio, mentre per la determinazione della massa si impiegherà una comune bilancia centesimale.

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

#### *Documentazione*

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

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

#### 4.8.3 Determinazione della massa volumica reale (peso specifico dei grani)

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

Normative e specifiche di riferimento:

- ISRM - Committee on laboratory tests - Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties and Swelling and Slake-Durability Index Properties - Part 1 - Test 4 - Suggested method for porosity/density determination using mercury displacement and grain specific gravity techniques.

#### *Modalità di prova*

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

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

#### Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- quantità di materiale analizzato;
- risultato delle due determinazioni eseguite espresso in Mg/m<sup>3</sup> con indicazione di due cifre decimali;
- valore medio del peso specifico dei grani;
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, manometro), non antecedente di sei mesi la data di prova.

#### 4.8.4 Determinazione delle caratteristiche meccaniche

##### 4.8.4.1 Prova di taglio diretto su giunto

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  $\phi_b$  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.

Normative e specifiche di riferimento:

- ASTM D 5607 - 94 - Standard Test Method for Performing Laboratory Direct Shear Strength Tests of Rock Specimens Under Constant Normal Stress.

#### 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 2.500 mm<sup>2</sup>, ciascuno sottoposto ad almeno tre diversi valori di carico normale, comunicati dalla direzione dei lavori, 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 2.500 mm<sup>2</sup>, 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.

#### *Documentazione*

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- 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 dello sforzo di taglio - scorrimento orizzontale per ciascun provino e per ciascuna fase di taglio;
- diagrammi della deformazione verticale - scorrimento orizzontale per ciascun provino e per ciascuna fase di taglio;
- rappresentazione nel piano  $\sigma/\tau$  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), non antecedente di sei mesi la data di prova.

#### 4.8.4.2 Prova di compressione monoassiale con rilievo del solo carico di rottura

Normative e specifiche di riferimento:

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

#### *Modalità di prova*

La prova dovrà essere eseguita su provini cilindrici ottenuti con operazioni di carotaggio, taglio e rettifica da spezzoni di carota o da campioni di forma irregolare in accordo allo standard ASTM D 4543 - 85 (91) - Standard Practice for Preparing Rock Core Specimens and Determining Dimensional and Shape Tolerances. I provini dovranno avere diametro non inferiore a 10 volte la dimensione massima dei grani costituenti la roccia e comunque non inferiori a 50 mm, con rapporto altezza/diametro compreso tra 2 e 3. La superficie laterale dei provini dovrà essere liscia e priva di irregolarità superiori a 0.5 mm; le facce laterali dovranno essere perpendicolari all'asse del provino, con tolleranza massima di 0.25°, e lappate con una tolleranza non superiore a 25  $\mu\text{m}$ . Il provino così preparato dovrà essere portato a rottura impiegando una pressa di carico idraulica di adeguata rigidità e capacità di carico, in ogni caso non inferiore a 1500 kN, dotata di un giunto sferico sul piatto superiore.

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

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

variazione massima non superiore al 10%.

#### *Documentazione*

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

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

#### 4.8.4.3 Prova di compressione monoassiale con rilievo delle deformazioni assiali e diametrali e calcolo delle costanti elastiche

Normative e specifiche di riferimento:

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

#### *Modalità di prova*

La prova dovrà essere eseguita su provini cilindrici ottenuti con operazioni di carotaggio, taglio e rettifica da spezzoni di carota o da campioni di forma irregolare in accordo allo standard ASTM D 4543 - 85 (91) - Standard Practice for Preparing Rock Core Specimens and Determining Dimensional and Shape Tolerances. I provini dovranno avere diametro non inferiore a 10 volte la dimensione massima dei grani costituenti la roccia e comunque non inferiori a 50 mm, con rapporto altezza diametro compreso tra 2 e 3. La superficie laterale dei provini dovrà essere liscia e priva di irregolarità superiori a 0.5 mm; le facce laterali dovranno essere perpendicolari all'asse del provino, con tolleranza massima di 0.25°, e lappate con una tolleranza non superiore a 25 µm.

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

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

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

La rottura del provino dovrà essere raggiunta incrementando il carico applicato con continuità; la velocità di incremento del carico dovrà essere scelta in modo che il campione giunga a rottura in un tempo compreso

tra 2 e 15 min. In particolare, si ritengono adeguate velocità di applicazione del carico comprese tra 200 e 400 kPa/s. La velocità di carico prescelta dovrà essere mantenuta costante per tutta la prova, con una variazione massima non superiore al 10%.

Durante tutta la prova si dovranno registrare i valori di carico assiale applicato, deformazione assiale e deformazione diametrale in numero sufficiente a descrivere compiutamente l'intera prova.

Al termine della prova si procederà al calcolo del modulo elastico tangente e secante al 50% del carico di rottura e del relativo coefficiente di Poisson.

#### *Documentazione*

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

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

#### 4.8.4.4 Prove di compressione triassiale in controllo di carico

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, nè 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. In ogni caso il numero di provini da sottoporre a prova non dovrà essere inferiore a cinque.

#### 4.8.4.5 Prova di compressione triassiale con rilievo del solo carico di rottura

Normative e specifiche di riferimento:

- ASTM D 2664 - 86 (95) - Standard Test Method for Triaxial Compressive Strength of Undrained Rock Core Specimens Without Pore Pressure Measurements.

#### *Modalità di prova*

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

I provini dovranno avere diametro non inferiore a 10 volte la dimensione massima dei grani costituenti la roccia e comunque non inferiori a 50 mm, con rapporto altezza diametro compreso tra 2 e 3. La superficie laterale dei provini dovrà essere liscia e priva di irregolarità superiori a 0.5 mm; le facce laterali dovranno essere perpendicolari all'asse del provino, con tolleranza massima di 0.25°, e lappate con una tolleranza non superiore a 25 µm. 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, in ogni caso non inferiore a 1500 kN, 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 gradocomunque di mantenere costante la pressione applicata per tutta la durata della prova, e di capacità non inferiore a 70 MPa.

Il sistema per il rilevamento e la lettura del carico assiale applicato dovrà essere costituito da una coppia di manometri o, preferibilmente, da un trasduttore di pressione posizionati sulla lineaidraulica 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 diversofondo 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%.

Al termine della serie di prove, si dovrà procedere alla determinazione dei parametri dell'inviluppodi rottura di picco della roccia in esame impiegando il criterio di rottura non lineare di Hoek & Brown (1980) espresso nel piano  $\sigma_1 / \sigma_3$  nella forma:

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

e nel piano  $\sigma/\tau$  nella forma:

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

$\sigma_1$  = tensione assiale di rottura (sforzo principale maggiore)

$\sigma_3$  = tensione di confinamento (sforzo principale minore)

$m_i$  = parametro dell'inviluppo di rottura nel piano  $\sigma_1/\sigma_3$ , dipendente dalla natura litologica delcampione

$c_0$  = resistenza a compressione monoassiale

$\tau$  = sforzo di taglio

$\sigma$  = sforzo normale

A, B, T = parametri dell'inviluppo di rottura nel piano  $\sigma/\tau$

#### Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione e dei provini sottoposti a prova;
- descrizione litologica del campione;
- indicazione della direzione dell'applicazione di carico rispetto alla struttura del campione;
- dimensioni dei provini e tolleranze geometriche;
- velocità di incremento del carico;

- descrizione e schizzo del tipo di rottura di ciascun provino;
- tabella con i valori di pressione di confinamento  $\sigma_3$  e carico assiale di rottura  $\sigma_1$  di ciascun provino;
- diagramma  $\sigma_1/\sigma_3$  con tracciamento dell'involuppo di rottura calcolato e dei punti di prova;
- diagramma  $\sigma/\tau$  con tracciamento dell'involuppo di rottura calcolato e dei cerchi di Mohr relative prove eseguite;
- valore della resistenza a compressione  $C_o$  calcolata;
- valore del parametro  $m_i$  dell'involuppo di rottura nel piano  $\sigma_1/\sigma_3$ ;
- valore dei parametri A, B e T dell'involuppo di rottura nel piano  $\sigma/\tau$ ;
- documentazione di tutte le misure eseguite;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo (comparatori centesimali, manometri, trasduttori di pressione), non antecedente di sei mesi la data di prova.

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

Normative e specifiche di riferimento:

- ASTM D 5407 - 93 - Standard Test Method for Elastic Moduli of Undrained Intact Rock Core Specimens in Triaxial Compression Without Pore Pressure Measurements.

#### Modalità di prova

La prova dovrà essere eseguita su provini cilindrici ottenuti con operazioni di carotaggio, taglio e rettifica da spezzoni di carota o da campioni di forma irregolare in accordo allo standard *ASTM D 4543 - 85 (91) - Standard Practice for Preparing Rock Core Specimens and Determining Dimensional and Shape Tolerances*. I provini dovranno avere diametro non inferiore a 10 volte la dimensione massima dei grani costituenti la roccia e comunque non inferiori a 50 mm, con rapporto altezza diametro compreso tra 2 e 3. La superficie laterale dei provini dovrà essere liscia e priva di irregolarità superiori a 0.5 mm; le facce laterali dovranno essere perpendicolari all'asse del provino, con tolleranza massima di 0.25°, e lappate con una tolleranza non superiore a 25  $\mu\text{m}$ .

L'attrezzatura di prova dovrà comprendere un sistema per la misura delle deformazioni assiali e diametrali del provino, che dovrà in ogni caso garantire una precisione di almeno 5  $\mu\text{ε}$  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 come media delle misure rilevate con due estensimetri diametralmente opposti e su lunghezze non inferiori a 10 volte la dimensione media dei grani costituenti la roccia. Per le deformazioni diametrali si potranno adottare due estensimetri diametralmente opposti di lunghezza non inferiore a 10 volte la dimensione media dei grani costituenti la roccia o, in alternativa, un unico estensimetro che copra l'intero diametro del provino. In alternativa agli estensimetri elettrici è consentito l'utilizzo di qualsiasi altro sistema che soddisfi comunque i prescritti requisiti di precisione e risoluzione.

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, in ogni caso non inferiore a 1500 kN, 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 non inferiore a 70 MPa.

Il sistema per il rilevamento e la lettura del carico assiale applicato dovrà essere costituito da un trasduttore di pressione posizionato sulla linea idraulica di alimentazione della pressa, in grado di assicurare una

precisione di lettura non inferiore a 1 kN. Il sistema per il rilevamento e la lettura della pressione di confinamento applicata dovrà essere costituito da un trasduttore di pressione 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%.

Durante tutta la prova si dovranno registrare i valori di carico assiale applicato, deformazione assiale e deformazione diametrale in numero sufficiente a descrivere compiutamente l'intera prova. Si dovrà inoltre controllare la stabilità della pressione di confinamento.

Al termine della prova si procederà al calcolo del modulo elastico tangente e secante al 50% del carico di rottura e del relativo coefficiente di Poisson di ciascun provino. Al termine della serie di prove, si dovrà procedere alla determinazione dei parametri dell'involuppo di rottura di picco della roccia in esame, impiegando il criterio di rottura non lineare di Hoek & Brown espresso nel piano  $\sigma_1/\sigma_3$  nella forma:

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

e nel piano  $\sigma/\tau$  nella forma:

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

$\sigma_1$  = tensione assiale di rottura (sforzo principale maggiore)

$\sigma_3$  = tensione di confinamento (sforzo principale minore)

$m_i$  = parametro dell'involuppo di rottura nel piano  $\sigma_1/\sigma_3$ , dipendente dalla natura litologica del campione

$c_0$  = resistenza a compressione monoassiale

$\tau$  = sforzo di taglio

$\sigma$  = sforzo normale

A, B, T = parametri dell'involuppo di rottura nel piano  $\sigma/\tau$

#### Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione e dei provini sottoposti a prova;
- descrizione litologica del campione;
- indicazione della direzione dell'applicazione di carico rispetto alla struttura del campione;
- dimensioni dei provini e tolleranze geometriche;
- velocità di incremento del carico;
- descrizione e schizzo del tipo di rottura di ciascun provino;
- tabella con i valori di carico assiale, deformazione assiale e deformazione laterale acquisiti durante la prova per ciascun provino;
- grafico del carico assiale - deformazione assiale e diametrale per ciascun provino;
- tabella con i valori di pressione di confinamento  $\sigma_3$  e carico assiale di rottura  $\sigma_1$  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  $\nu$  per

ciascun provino;

- diagramma  $\sigma_1/\sigma_3$  con tracciamento dell'involuppo di rottura calcolato e di tutti i punti di prova;
- diagramma  $\sigma/\tau$  con tracciamento dell'involuppo di rottura calcolato e dei cerchi di Mohr relativi alle prove eseguite;
- valore della resistenza a compressione  $C_o$  calcolata;
- valore del parametro  $m_i$  dell'involuppo di rottura nel piano  $\sigma_1/\sigma_3$ ;
- valore dei parametri A, B e T dell'involuppo di rottura nel piano  $\sigma/\tau$ ;
- documentazione di tutte le misure eseguite;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo (comparatori centesimali, manometri, trasduttori di pressione), non antecedente di sei mesi la data di prova.

#### 4.8.4.7 Prova di compressione triassiale in controllo di deformazione con rilievo delle deformazioni assiali e diametrali anche nella fase post-rottura

La prova di compressione triassiale in controllo di deformazione con rilievo delle deformazioni assiali e diametrali consiste nella determinazione dell'involuppo di rottura di picco residuo e dei parametri elastici di deformabilità di campioni omogenei di roccia. Tenuto conto della curvatura che caratterizza l'involuppo di rottura delle rocce, una sua completa e corretta definizione può essere ottenuta sottoponendo a prova un numero adeguato di provini omogenei in diverse condizioni di confinamento laterale. In ogni caso il numero di provini da sottoporre a prova non dovrà essere inferiore a cinque.

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.

Normative e specifiche di riferimento:

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

#### Modalità di prova

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

I provini dovranno avere diametro non inferiore a 10 volte la dimensione massima dei grani costituenti la roccia e comunque non inferiori a 50 mm, con rapporto altezza diametro compreso tra 2 e 3. La superficie laterale dei provini dovrà essere liscia e priva di irregolarità superiori a 0.5 mm; le facce laterali dovranno essere perpendicolari all'asse del provino, con tolleranza massima di 0.25°, e lappate con una tolleranza non superiore a 25  $\mu$ m.

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

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

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

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

Al termine della prova, si procederà al calcolo del modulo elastico tangente e secante al 50% del carico di rottura e del relativo coefficiente di Poisson di ciascun provino. Al termine della serie di prove si dovrà procedere alla determinazione dei parametri dell'involuppo di rottura di picco e residuo della roccia in esame, impiegando il criterio di rottura non lineare di Hoek & Brown, espresso nel piano  $m_1/m_3$  nella forma:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + (m_i C_0 \sigma_3 + C_0^2)^{0.5}$$

e nel piano  $\sigma/\tau$  nella forma:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + (m_i C_0 \sigma_3 + C_0^2)^{0.5}$$

e nel piano  $\sigma/\tau$  nella forma:

$$\tau = A C_0 (\sigma/C_0 - T)^B$$

$\sigma_1$  = tensione assiale di rottura (sforzo principale maggiore)

$\sigma_3$  = tensione di confinamento (sforzo principale minore)

$m_i$  = parametro dell'involuppo di rottura nel piano  $\sigma_1/\sigma_3$ , dipendente dalla natura litologica del campione

$C_0$  = resistenza a compressione monoassiale

$\tau$  = sforzo di taglio

$\sigma$  = sforzo normale

A, B, T = parametri dell'involuppo di rottura nel piano  $\sigma/\tau$

#### Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione e dei provini sottoposti a prova;
- descrizione litologica del campione;
- indicazione della direzione dell'applicazione di carico rispetto alla struttura del campione;
- dimensioni dei provini e tolleranze geometriche;
- velocità di deformazione adottata;
- descrizione e schizzo del tipo di rottura di ciascun provino;
- tabella con i valori di carico assiale, deformazione assiale e deformazione laterale acquisiti durante la prova per ciascun provino;
- grafico carico assiale - deformazione assiale e diametrale per ciascun provino;
- tabella con i valori di pressione di confinamento  $\sigma_3$ , resistenza di picco e resistenza residua di ciascun provino;
- tabella con i valori del modulo elastico tangente al 50% del carico di rottura  $E_{t50}$ , del modulo elastico secante al 50% del carico di rottura  $E_{s50}$  e del coefficiente di Poisson al 50% del carico di rottura  $\mu$  per

ciascun provino;

- diagramma  $\sigma_1/\sigma_3$  con tracciamento degli involuipi di rottura di picco e residuo calcolati e di tutti i punti di prova;
- diagramma  $\sigma/\tau$  con tracciamento degli involuipi di rottura di picco e residuo calcolati e dei cerchi di Mohr relativi alle prove eseguite;
- valore della resistenza a compressione  $C_0$  calcolata;
- valore del parametro  $m_i$  dell'involuppo di rottura di picco nel piano  $\sigma_1/\sigma_3$ ;
- valore dei parametri A, B e T dell'involuppo di rottura di picco nel piano  $\sigma/\tau$ ;
- valore del parametro  $m_i$  dell'involuppo di rottura residuo nel piano  $\sigma_1/\sigma_3$ ;
- valore dei parametri A, B e T dell'involuppo di rottura residuo nel piano  $\sigma/\tau$ ;
- documentazione di tutte le misure eseguite;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo (comparatori centesimali, trasduttori di pressione, trasduttori di spostamento), non antecedente di sei mesi la data di prova.

## 5. SAGGI E LAVORI DI RIPRISTINO

### 5.1 Prescrizioni generali

L'impresa esecutrice dovrà adottare, a propri a cura e spese, tutte le misure e le accortezze necessarie per non arrecare alcun danno al contenuto dell'edificio, incluso lo spostamento di arredi, la protezione di arredi e dispositivi elettronici dalla polvere derivante dalle operazioni di indagine sulle strutture; la protezione di pavimenti ed altri elementi dall'acqua di raffreddamento degli strumenti di carotaggio; la posa di tubi di adduzione di forniture di acqua e di energia elettrica.

Inoltre, dovrà ridurre al minimo gli effetti della produzione di rumore, di polvere e detriti edili, in particolare nei locali ove è prevista la presenza di personale ed eventualmente in quelli ad accesso limitato.

L'impresa esecutrice dovrà altresì consegnare, per ciascun materiale utilizzato per i ripristini, la documentazione attestante l'idoneità del materiale stesso (es: schede tecniche, marcature CE, certificati, etc.).

### 5.2 Fori di carotaggio

Nella giornata stessa del prelievo dei campioni, i fori dovranno essere riempiti con malta cementizia fibrorinforzata a ritiro compensato a mezzo di apposita dima fissata all'elemento in cemento armato tramite tasselli a vite; detta dima dovrà essere tale da permettere la costipazione del materiale nel foro senza lasciare alcun vuoto, con particolare attenzione alla parte superiore della cavità; a solidificazione avvenuta e comunque non prima di 7 giorni, si potrà procedere alla rimozione della dima ed al taglio della parte debordante dal filo dell'elemento.

### 5.3 Prelievi di barre di armatura

Il ripristino delle barre tranciate (per il prelievo dei campioni o per altro motivo) deve avvenire dopo aver verificato preliminarmente la saldabilità delle barre in opera, adottando l'opportuno tipo di elettrodo ed effettuando la saldatura tra il nuovo spezzone e la barra esistente con cordoni d'angolo di adeguata lunghezza, in ogni caso non mediante saldatura di testa e successivo ripristino del copriferro, comprese le sagomature degli angoli.

In caso di esito negativo della prova di saldabilità il ripristino dovrà avvenire utilizzando opportuni connettori meccanici.

#### **5.4 Prelievi di spezzoni di strutture metalliche**

Prima del prelievo degli spezzoni di profilati metallici si deve procedere alla saldatura di uno o più spezzoni di piatto di spessore uguale o superiore, in affiancamento all'elemento oggetto del prelievo, e di lunghezza tale da sovrapporre almeno 50 cm per ciascuna estremità, oltre le sezioni di taglio.

#### **5.5 Saggi e ripristini**

L'esecuzione di saggi dovrà essere effettuata, oltre che per permettere le operazioni di prova o indagine, anche in maniera tale da facilitare il ripristino della componente edilizia interessata.

Il ripristino dovrà avvenire con materiale dello stesso tipo e qualità di quello preesistente, ovvero con esso compatibile.

Le lavorazioni dovranno essere eseguite da personale specializzato, dotato delle necessarie qualifiche e certificazioni, ove richiesto dalla normativa tecnica specifica (es: saldature, etc.).

### **6. RILIEVO GEOMETRICO**

#### **6.1 Rilievo strumentale con laser scanner**

L'incarico dovrà essere espletato secondo le seguenti fasi:

- 1) **Acquisizione dei dati:** il rilievo strumentale dovrà essere effettuato tramite laser scanner, stazione totale per rete topografica e rilievo fotogrammetrico con macchina fotografica calibrata. Le scansioni dovranno essere eseguite con le seguenti modalità:
  - scansioni a terra;
  - scansioni in quota, le quote dovranno essere determinate in modo da ottenere una perfetta rappresentazione dell'immobile. L'eventuale piattaforma aerea per l'esecuzione delle scansioni in quota dovrà essere fornita dall'Affidatario.

I requisiti da raggiungere saranno:

- Una risoluzione ottenuta impostando una distanza minima tra due punti di 1 cm;
- Una accuratezza della procedura di registrazione delle scansioni, ovvero gli scarti stimati tra i target identificati nelle scansioni e le loro coordinate note, di 2 cm (RMSE).

- 2) **Elaborazione dei dati:** elaborazione della nuvola di punti in formato importabile in Autocad.

- 3) **Restituzione grafica:** la restituzione finale consisterà nella consegna di:

- prodotti vettoriali;
- rappresentazioni bidimensionali (profili, piante, prospetti, sezioni);
- rappresentazioni tridimensionali (modelli solidi);
- prodotto raster;
- ortofoto (finalizzato alla rappresentazione delle materie e al rilievo del degrado).

Gli elaborati richiesti sono i seguenti:

- piante a diverse quote, compreso il piano sottotetto e/o scantinato;
- tutti i prospetti esterni;
- pianta della copertura;
- per ogni edificio, almeno due sezioni longitudinali;
- per ogni edificio, almeno due sezioni trasversali;
- particolari /dettagli decorativi/strutturali.

La restituzione planimetrica dovrà riportare le quote lineari principali nette di ogni singolo ambiente, gli spessori dei muri interni ed esterni e le quote lorde dell'intero fabbricato. Dovranno altresì essere indicate le quote altimetriche (riferite ad un unico piano quotato comune a tutte le rappresentazioni verticali quali prospetti e sezioni), le altezze interne e le superfici dei singoli vani.

I prospetti e le sezioni-prospetto dovranno estendersi alla rappresentazione dei profili dei fabbricati circostanti a quello oggetto del rilievo se necessario a chiarire il complesso edilizio.

Le scale di rappresentazione saranno comunque non inferiore alla scala 1:100 (piante, sezioni, prospetti dell'immobile) e 1:20 per le parti che dovranno essere oggetto di particolari e 1:50 per zone di difficile lettura grafica.

Gli elaborati sopra descritti saranno consegnati sia in formato cartaceo (tre copie per ogni tavola) sia in formato digitale .dwg.

Le nuvole di punti saranno consegnate in formato importabile in Autocad, le fotografie sia in formato .tiff che .jpeg.



