

Opera e ubicazione

COMUNE DI MACOMER

Provincia di NUORO

**P.T.E.S. 2018-2020 - INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA, PICCOLI AMPLIAMENTI E
MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEGLI EDIFICI SCOLASTICI - SCUOLA
SECONDARIA DI PRIMO GRADO "GIANNINO CARIA" VIA ARIOSTO - ARES
0910440308 - DIM n.87/2019 "Mutuo BEI" + Fondo Prog. Enti Locali MIT.
CUP: F86B19003920005**

Servizi tecnici

VERIFICA VULNERABILITA' SISMICA

Ente Appaltante

COMUNE DI MACOMER

Indirizzo

**MACOMER
Corso Umberto I°**

P.IVA

00209400910

Tel./Fax

0785 790880 / 0785 72895

E-Mail

serviziolavoripubblici@pec.comune.macomere.nu.it

Tecnico



Data	Elaborato	N°
19/02/2020	A - CAPITOLATO TECNICO	6
Archivio		Rev.

Il Tecnico
Geom. Giandomenico Salaris

Il Dirigente
Ing. Garau Sergio

A – CAPITOLATO

Art. 1 - PREMESSA

Il presente documento contiene le indicazioni tecniche per lo svolgimento delle verifiche di vulnerabilità sismica (**livello di conoscenza minimo LC2**) ai sensi dell'O.P.C.M. 3274/2003 dei seguenti edifici scolastici:

- **Scuola secondaria di primo grado sita in via Ariosto**

Art. 2 - OGGETTO DELL'INCARICO

- La prestazione si configura come appalto di *servizi attinenti all'architettura e all'ingegneria e gli altri servizi tecnici*, definiti dall'art. 3 lett. vvvv) del D.lgs 50/2016 e ss.mm.ii., "Codice degli appalti pubblici", come i "servizi riservati ad operatori economici esercenti una professione regolamentata ai sensi dell'articolo 3 della direttiva 2005/36/CE".
- L'incarico prevede l'espletamento delle analisi conoscitive, dei rilievi geometrici e strutturali, la pianificazione delle indagini sul terreno di fondazione e sulle strutture portanti necessarie a raggiungere il livello di conoscenza minimo richiesto (LC2), così come definito dalle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni N.T.C. 2018, la predisposizione della relazione geologica e geotecnica, la valutazione della Risposta Sismica Locale, la modellazione numerica e l'analisi strutturale, da condurre in ottemperanza alla O.P.C.M. 3274/2003 ed ai successivi atti di chiarimento, nonché la definizione degli interventi eventualmente necessari ai fini dell'adeguamento/miglioramento sismico dell'edificio scolastico e stima del relativo costo.

Art. 3 - IMPORTO DEL SERVIZIO

L'importo del servizio di valutazione della vulnerabilità sismica, calcolato secondo O.P.C.M. 3362/2004, per il raggiungimento del livello di conoscenza minimo richiesto (LC2), risulta pari a € **32.853,20**, costituente l'importo a base d'asta.

Tale importo risulta comprensivo delle seguenti attività

Cod.	Attività	Importo	di cui manodopera	%
A	Prestazioni d'ingegneria per studi, ricerche, analisi dati, elaborazione modelli, redazione di elaborati grafico-documentali, coordinamento delle indagini in sito, rilascio certificazioni	15.016,13	7.808,39	52,00
B1	Indagini diagnostiche delle strutture	12.445,00	3.749,18	30,12
B2	Indagini geologiche, geotecniche e sismiche	4.450,00	1.266,93	28,47
B3	Ripristini a seguito delle indagini	816,00	602,76	73,87
B4	Oneri di sicurezza (non soggetti a ribasso)	126,07	12,75	10,11
	TOTALE	32.853,20	13.440,01	40,91

Le attività di cui ai cod. B1, B2, B3 e B4 risultano quantificate su la base del computo metrico del piano di indagini.

L'importo per l'esecuzione del servizio di valutazione della vulnerabilità sismica, come sopra calcolato, comprende:

- l'attività di ricerca documentale, finalizzata all'acquisizione della documentazione necessaria ai fini dell'analisi storico-critica dell'edificio (reperibile presso l'archivio comunale, gli archivi storici, l'ex Genio Civile, ecc...), nonché ogni altro onere

eventualmente occorrente al raggiungimento della verifica di vulnerabilità sismica oggetto di affidamento;

- la redazione del "Piano di indagini" relativa alla caratterizzazione dei materiali costruttivi, le indagini geologiche e la caratterizzazione geotecnica a supporto della verifica di vulnerabilità sismica;

l'esecuzione delle prove, dei sondaggi e indagini strutturali, geologiche e di caratterizzazione geotecnica necessarie al raggiungimento del livello di conoscenza di cui alle "Norme tecniche per le costruzioni NTC aggiornate con il D.M. del 17/01/2018 (di seguito NTC 2018), compreso il ripristino estetico e funzionale delle superfici interessate da detti saggi e/o indagini;

la verifica della vulnerabilità sismica, contenente tutta la documentazione inerente le indagini e le prove di laboratorio e in situ, le certificazioni sui materiali, e ogni altra documentazione utile a definire i modelli e la metodologia di valutazione del rischio sismico in ottemperanza all'O.P.C.M. 3274/2003;

- scheda di rilevamento della verifica sismica di "livello 2", predisposta ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20/03/2003 e s.m.i., come recepita con Decreto del Dirigente Generale del Dipartimento Regionale della Protezione Civile n.1372 del 28/12/2005 con le modificazioni di cui al Decreto dello stesso Dipartimento n.455 del 03/06/2009;
- l'attribuzione della classe di rischio sismico ai sensi dell'allegato B del D.M. n.65 del 07/03/2017, con la quale, sulla base delle indagini e delle valutazioni effettuate, venga asseverata la Classe del Rischio Sismico dell'edificio scolastico, secondo il ed. "Metodo Convenzionale" dettagliato al par. 2.1 delle "Linee Guida per la classificazione del rischio sismico delle costruzioni" approvate con D.M. n.58 del 28/02/2017 e s.m.i.;
- lo studio dei scenari di intervento per il miglioramento/adequamento strutturale, che definiscano, oltre che gli interventi eventualmente necessari ai fini del raggiungimento dell'indice di vulnerabilità sismica pari ad almeno 0.8, anche la stima dei relativi costi.
- la redazione certificato di idoneità strutturale (CIS) per le parti prive di certificato di collaudo statico e reputate idonee all'uso.

Art.4 - ATTIVITA' OGGETTO DEL SERVIZIO

Le attività dovranno essere condotte in conformità alle vigenti norme tecniche statali e regionali, con particolare riferimento al D.M. 17/01/2018 (pubblicato nel suppl. G.U. del 20/02/2018), Norme tecniche per le costruzioni e s.m.i., alle Norme sulle opere pubbliche (D.Lgs n.50/2016 e DPR 207/10 per le parti vigenti), il D.Lgs. n.81/2008 e s.m.i e, in quanto compatibili.

Si riporta a seguire una descrizione dettagliata delle prestazioni oggetto di affidamento:

- **rilievo geometrico e strutturale dell'edificio.** È previsto lo svolgimento delle seguenti attività:
 - analisi storico-critica dell'edificio, definizione dei dati dimensionali e dello schema plano-altimetrico; caratterizzazione geomorfologica del sito;
 - rilievo del quadro fessurativo e/o di degrado; rilievo metrico e dei particolari costruttivi visibili;
 - descrizione della struttura e sintesi delle vulnerabilità riscontrate e/o possibili. Lo studio si concluderà con la predisposizione di una relazione, corredata di specifica documentazione fotografica e degli elaborati grafici descrittivi del rilievo geometrico, strutturale e del quadro fessurativo dell'edificio;
- **definizione di dettaglio del piano delle indagini (distruttive e/o non distruttive) sui materiali necessarie al raggiungimento del livello di conoscenza minimo richiesto LC2 e del piano delle indagini sul terreno di fondazione.** Il piano delle indagini (distruttive e/o non distruttive) sui materiali dovrà definire puntualmente tutti i saggi, i

prelievi e le indagini in sito ed in laboratorio che il professionista ritiene necessari per definire: la caratterizzazione geometrica; i dettagli costruttivi e le proprietà dei materiali. **Il numero delle prove e la loro localizzazione dovranno essere tali da pervenire ad un livello di conoscenza minimo LC2.**

- **definizione di dettaglio del piano delle indagini sul terreno di fondazione** propedeutiche alla costruzione del modello geologico e geotecnico del sito e alla valutazione della Risposta Sismica Locale. Dovrà essere effettuata l'analisi della vincolistica esistente sul sito, l'acquisizione di dati esistenti, geologici e geognostici, l'esecuzione delle prove, la ricostruzione stratigrafica del terreno, le tavole tematiche e la relazione geologica e geognostica. Per quanto concerne le prove in sito, dovranno essere eseguiti:
 - i sondaggi geognostici a carotaggio continuo;
 - il prelievo di campioni indisturbati di terreno;
 - le prove S.P.T. in fase di avanzamento della perforazione;
 - le indagini geofisiche per la definizione della categoria di sottosuolo così come richiesto dalla normativa vigente;
 - le prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati di terreno.
- I Suddetti piani di indagine dovranno essere corredati dagli elaborati grafici di rilievo recanti l'indicazione di tutte le indagini e da un computo metrico delle stesse, comprensivo delle opere accessorie per i saggi, i prelievi ed i ripristini. Si rammenta che i piani delle indagini dovranno essere concordati con la Stazione Appaltante;
- **elaborazione dei risultati delle indagini.** I risultati delle indagini sui materiali dovranno esser restituiti sotto forma di relazione specialistica di dettaglio corredata dei certificati di prova e completa della valutazione ed interpretazione dei risultati. A conclusione della relazione, dovrà essere certificato il livello di conoscenza raggiunto e definite le tipologie dei materiali e le relative caratteristiche meccaniche da utilizzare in sede di verifica, con l'indicazione dei fattori di confidenza e dei coefficienti parziali di sicurezza. Al termine della campagna di indagini sul terreno di fondazione, si provvederà all'elaborazione della relazione geologica e geotecnica ed alla valutazione della Risposta Sismica Locale ai sensi del D.M. 17/01/2018;
- **modellazione strutturale e verifiche di vulnerabilità.** Con riferimento alle informazioni dedotte dalle fasi precedenti, si definirà un modello numerico della struttura che ne rappresenti il più fedelmente possibile le distribuzioni di massa e di rigidezza reali, valutando altresì gli aspetti di regolarità, resistenza e rigidezza degli elementi costruttivi secondari in grado di condizionare il comportamento della struttura principale. Elaborato il modello, il tecnico dovrà eseguire l'analisi strutturale e le verifiche di vulnerabilità, formulando un giudizio in merito agli indicatori di rischio ottenuti, ai fini della definizione globale della vulnerabilità dell'edificio. Al termine di suddette operazioni, è prevista la redazione di una relazione tecnica in cui verranno illustrati i risultati delle verifiche svolte ed effettuata un'analisi critica degli stessi;
- **sintesi dei risultati.** È prevista la compilazione/predisposizione dei seguenti documenti:
 - scheda di sintesi della verifica sismica di "livello 2"
 - relazione sintetica contenente: la descrizione degli interventi ritenuti necessari, con riferimento alle carenze riscontrate, ai fini dell'adeguamento/miglioramento sismico dell'edificio, l'individuazione grafica degli stessi in uno o più elaborati da allegare alla relazione, la stima degli indicatori di rischio raggiungibili in seguito all'esecuzione di detti interventi rispetto alla condizione di salvaguardia della vita umana (SLV) o, in alternativa, alla condizione di collasso (SLC), e la valutazione dei costi necessari per l'adeguamento/miglioramento sismico dell'immobile.

Art. 5 - NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Si riportano di seguito a titolo meramente esemplificativo e non esaustivo alcune delle principali norme applicabili all'appalto:

- **Norme in materia di contratti pubblici**

- D.Lgs. 18 aprile 2016 n. 50 “*Codice dei contratti pubblici*” e ss.mm.ii.
- D.P.R. 5 ottobre 2010 n. 207 “*Regolamento di esecuzione ed attuazione del D.Lgs. 163/2006*”, in quanto applicabile
- D.M. 49/2018 “*Regolamento recante: «Approvazione delle linee guida sulle modalità di svolgimento delle funzioni del direttore dei lavori e del direttore dell’esecuzione »*”;
- L.R. n. 8/2018 “*Nuove norme in materia di contratti pubblici di lavori, servizi e forniture*” e ss.mm.ii.;
- Linee Guida ANAC di attuazione del D.Lgs. 18 aprile 2016, n. 50, recanti “Indirizzi generali sull’affidamento dei servizi attinenti all’architettura e all’ ingegneria” di cui alla Delibera ANAC n. 973 del 14 settembre 2016, poi aggiornate con delibera del Consiglio dell’Autorità n. 138 del 21 febbraio 2018 e, da ultimo, con delibera del Consiglio dell’Autorità n. 417 del 15 maggio 2019 e s.m.i.

- **Norme in materia urbanistica**

- D.P.R. 380/2001 *Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia* e ss.mm.ii.
- D.P.R. 160/2010

- **Norme in materia strutturale e antisismica**

- O.P.C.M. 3274 del 20/03/2003 e s.m.i.
- D.P.C.M. 21/10/2003
- O.P.C.M. 3431 del 03/05/2005 e s.m.i.
- D.M.I. 14/09/2005, D.M.I. 14/01/2008 e s.m.i. e Circolare 02/02/2009 n. 617
- Linee guida, Pareri e studi tecnici di carattere generale e normativo del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (C.S.LL.PP.)
- L. 77/2009 e s.m.i. di conversione del D.L. 39/2009
- D.M. 17/01/2018 *Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni*
- EUROCODICI (ove applicabili)

- **Criteri Ambientali minimi (CAM)**

- D.M. 11/10/2017

- **Norme in materia di processo Building Information Modeling**

- UNI 11337

Art. 6 - PRESTAZIONI DA EFFETTUARE NELL’AMBITO DELL’INCARICO PROFESSIONALE

La finalità dell’incarico è la valutazione della sicurezza del fabbricato, tenuto conto anche dell’interazione degli stessi durante l’azione sismica, nel loro insieme come definita dalle attuali norme, permettendo di stabilire se:

- l’uso della struttura possa continuare senza interventi;
- l’uso della struttura possa essere modificato (declassamento, cambio di destinazione e/o imposizioni di limitazioni e/o cautele nell’uso);
- sia necessario aumentare la sicurezza strutturale mediante interventi.

Occorre determinare l'entità massima delle azioni (secondo le combinazioni di progetto previste) che la struttura è capace di sostenere con i margini di sicurezza richiesti dalle nuove NTC.

Gli esiti delle verifiche cui è chiamato il professionista devono permettere di stabilire quali provvedimenti adottare affinché l'uso della struttura possa essere conforme ai criteri di sicurezza delle nuove NTC.

In sintesi, il tecnico ha il compito di:

A) sotto le azioni controllate dall'uomo e quelle ambientali (vento, neve, temperatura), ovvero carichi permanenti e variabili:

- verificare se l'uso della costruzione possa continuare senza interventi;
- indicare se l'uso debba essere modificato (declassamento, cambio di destinazione e/o imposizione di limitazioni e/o cautele nell'uso);
- indicare se è necessario procedere ad aumentare o ripristinare la capacità portante.

B) sotto le azioni sismiche:

- verificare se il livello di sicurezza posseduto della costruzione è conforme alle richieste delle nuove NTC, in subordine, in caso di non conformità, valutare un parametro di stima della vulnerabilità sismica in grado di misurare in maniera omogenea il grado di sicurezza rispetto alle azioni sismiche.

In particolare, l'incarico di valutazione del grado di vulnerabilità delle strutture deve confluire in una relazione di sintesi, come meglio precisato a seguire, nella quale deve essere esplicitato, sia in ambito statico che in quello sismico, il rapporto (numerico) domanda/capacità della struttura (azione/resistenza), con l'indicazione specifica dell'ammissibilità (o meno) delle sollecitazioni cui la struttura è chiamata a rispondere e, se del caso (rapporto maggiore o uguale all'unità) indicare le criticità (elementi che non soddisfano le verifiche).

C) Piano di indagine e prove sull'esistente:

- elaborare una relazione tecnica relativa ad un piano di indagine, volta a raggiungere un livello di conoscenza LC2, in riferimento alla tipologia di prove e di sondaggi necessari, per la modellazione della struttura, (per i materiali costruttivi, per il sottosuolo e per i dettagli costruttivi), la posizione degli stessi, i computi metrici estimativi degli stessi, la realizzazione nonché le lavorazioni di ripristino conseguenti nel caso di indagini distruttive. Dovrà inoltre elaborare un capitolato tecnico con indicazione delle modalità di effettuazione delle prove e sondaggi. Il professionista dovrà inoltre eseguire l'esecuzione degli stessi alla regola dell'arte, anche con ditte specializzate e laboratori ufficiali.

D) certificato di idoneità strutturale (CIS) per le parti prive di certificato di collaudo statico:

- verificare il comportamento e le prestazioni delle parti di opera esistenti, che non hanno avuto in passato un collaudo statico e che svolgono una funzione portante e che interessano la sicurezza dell'opera e, conseguentemente la pubblica incolumità;
- eseguire, eventualmente, prove di carico in situ che ritiene necessarie per valutare il comportamento dell'opera;
- compilare la scheda di sintesi allegata al CIS;
- rilasciare il certificato di collaudo statico.

Oltre agli elementi strutturali, devono essere presi in considerazione gli elementi non strutturali, quali ad esempio controsoffitti, impianti, scaffali, ..., facendo riferimento a quanto indicato nelle linee guida per il rilevamento della vulnerabilità degli elementi non strutturali nelle scuole (intesa della conferenza unificata del 28.01.2009 - scheda di rilievo degli elementi non strutturali).

Art. 6.1 Contenuti minimi della relazione di vulnerabilità

I contenuti minimi della relazione sono elencati in breve e dovranno comunque fare riferimento alla normativa vigente:

- analisi storico-critica
- rilievo geometrico-strutturale
- caratterizzazione meccanica dei materiali e del terreno di fondazione
- livelli di conoscenza e fattori di confidenza
- azioni
- analisi e valutazione dei risultati

La prima parte della relazione deve essere volta alla conoscenza della struttura, e il processo di valutazione della sicurezza necessita l'acquisizione della conoscenza delle caratteristiche geometriche dell'organismo strutturale cui è affidata la resistenza, incluse le parti non strutturali che possono avere influenza significativa (soprattutto ai fini sismici, se del caso) sulla risposta.

Gli elementi di conoscenza necessari alla valutazione riguardano:

- geometria dell'organismo strutturale
- dettagli costruttivi
- proprietà meccaniche dei materiali, comprese le prove in situ del terreno di fondazione (prove penetrometriche N_{spt} e $Masw$)

Gli elementi di conoscenza possono provenire da:

- analisi storico-critica mirante a ricostruire il processo di realizzazione e le successive modificazioni subite nel tempo dal manufatto, nonché gli eventi che lo hanno interessato
- documenti di progetto relativi alla realizzazione e alle successive modificazioni
- rilievo geometrico-strutturale riferito alla geometria complessiva dell'organismo nonché a quella degli elementi costruttivi, comprendendo i rapporti con le eventuali strutture in aderenza, alle fondazioni, alla qualità e allo stato di conservazione dei materiali e degli elementi costitutivi
- indagini sperimentali, da motivare, per tipo e quantità, in base al loro effettivo uso nelle verifiche, volte a completare il quadro informativo relativo alle proprietà meccaniche dei materiali.

La relazione deve pertanto contenere i seguenti documenti:

- relazione generale, comprendente i seguenti capitoli:
- relazione geotecnica e risultanze della relazione geologica redatta e firmata da professionista abilitato;
- relazione sulle indagini e prove sui materiali (distruttive e non distruttive con relativi certificati emessi da laboratorio autorizzato ai sensi delle nuove NTC vigenti), con definizione dell'opportuno livello di conoscenza e fattore di confidenza;
- relazione di calcolo e relativi allegati (tabulati *software*), contenente indicazioni circa l'idoneità (o meno) strutturale (statica e, se del caso sismica) della struttura da parte del tecnico;
- documentazione fotografica
- elaborati grafici architettonici, elaborati grafici strutturali (carpenterie, piante, sezioni, dettagli costruttivi)
- scheda di sintesi.

La relazione quindi è l'elemento conclusivo che consente il giudizio motivato sull'idoneità della struttura che si concretizza a valle del protocollo di indagine tracciato dall'aggiornamento delle NTC 2018.

Art. 6.1.1 Descrizione delle strutture

La descrizione del fabbricato deve riferire circa la posizione geografica e l'identificazione dello stesso in riferimento all'indirizzo, al piano urbanistico del comune e ai dati catastali, alla proprietà, nonché la destinazione d'uso dello stesso, definendo la classe d'uso specifica.

Deve quindi essere precisato come le strutture oggetto di esame si comportino sismicamente in quanto connesse tra loro.

Devono essere riportati i dati dimensionali circa la geometria della struttura (dimensioni in pianta e in altezza, altezza e superficie media di piano), il numero di piani entro e fuori terra e, se noti, l'anno di progettazione e di costruzione, nonché di eventuali modifiche successive (sopraelevazioni, ampliamenti, ecc.).

Devono quindi essere indicati i materiali costituenti la struttura portante verticale e quella orizzontale, del sistema fondazionale (specificando la tipologia fondazionale) e dati di natura geomorfologica (morfologia e topografia del sito).

Infine devono essere riportate indicazioni circa palesi fenomeni di dissesto e patologie, con ipotesi circa la natura (se fisiologiche per normale "invecchiamento" dell'opera o denotanti possibili criticità).

Analogamente agli elementi strutturali dovranno essere individuati anche i dettagli costruttivi relativi agli elementi non strutturali di interesse per una verifica di vulnerabilità sismica, quali ad esempio la tipologia e la geometria delle tamponature, delle finestre a nastro, delle connessioni tamponature - strutture, dei controsoffitti e loro connessioni ai solai, degli ancoraggi alle strutture di elementi impiantistici e arredi quali librerie e scaffalature. Anche in questo caso i risultati del rilievo devono essere riportati in piante, prospetti, sezioni nonché i particolari costruttivi con un opportuna scala di rappresentazione e secondo le informazioni fornite dalla Stazione Appaltante.

Art. 6.1.2 Esito dell'analisi storico-critica

L'analisi storico-critica, è volta a:

- ricostruire le fasi e la storia progettuale e costruttiva, con individuazione delle eventuali fasi di trasformazione edilizia;
- ricostruire la storia sismica;
- definire le norme tecniche applicate in sede di progetto e reperire le relative informazioni circa i materiali, le prescrizioni ai tempi in cui vi fu la costruzione (quantitativi minimi di armatura, particolari circa i dettagli esecutivi, ecc.).

Il tutto è finalizzato alla corretta individuazione del sistema strutturale e delle sue peculiarità.

L'indagine può essere effettuata sia tramite il reperimento diretto della documentazione progettuale ove disponibile (ed eventualmente amministrativa, quali ad esempio depositi al Genio Civile, rilascio permesso di costruire, ecc., sia tramite la ricostruzione storica edificatoria dell'edificio, sulla base delle conoscenze tipiche impiegate all'epoca della realizzazione della costruzione, nonché degli eventuali eventi pregressi (ad esempio scuotimenti da terremoti pregressi e loro intensità).

Con riferimento a questo ultimo punto diventa di particolare importanza l'analisi degli eventuali fenomeni di degrado e stati fessurativi, al fine di comprendere la relazione di questi con gli eventi sismici pregressi e valutare la presa in conto di una diminuzione della capacità resistente della struttura. Particolare attenzione deve essere dedicata all'analisi della trasformazione edilizia e strutturale dei due edifici, nel momento in cui quello più recente è stato realizzato in adiacenza a quello storico.

Art. 6.1.3 Descrizione ed esito del rilievo geometrico strutturale

In esito ai passi sopra esposti, sarà sufficientemente noto il funzionamento strutturale dell'opera, identificando e classificando le strutture resistenti per carichi verticali e azioni orizzontali. Sarà

quindi possibile procedere con il rilievo geometrico-strutturale e con il rilievo degli eventuali degradi osservati.

Il grado di dettaglio del rilievo sarà funzione di molteplici fattori, quali la bontà e la completezza degli elaborati grafici e, soprattutto, la loro rispondenza al costruito. Sarà comunque compito del tecnico la restituzione di un rilievo geometrico strutturale, come sotto indicato.

Il mero rilievo geometrico può essere utilmente integrato con indagini non distruttive (termografia, georadar, ecc.) che consentano la messa a nudo di parti strutturali (solaio, fondazioni) senza l'esecuzione di operazioni invasive (asportazioni di intonaco, esecuzioni di fori di sondaggio, ecc.).

Il rilievo geometrico strutturale deve riguardare tanto l'insieme (dimensioni complessive, ecc.) quanto i singoli elementi strutturali (travi, pilastri, solai, ecc.), con indicazioni delle modifiche occorse durante la vita pregressa della struttura.

Il dettaglio del rilievo strutturale è quello indicato nella circolare per il livello LC2.

Circa il rilievo di eventuali danni è importante comprendere se il danno (ad esempio quadro fessurativo) sia ancora in evoluzione, interessi elementi non strutturali o sì, e se sia individuabile la causa. Si dovrà classificare, se del caso, ciascuna fessura secondo la tipologia del meccanismo associato (distacco, rotazione, scorrimento, spostamenti fuori piano, ecc.).

Oltre al danno è importante anche il rilievo del possibile degrado (a titolo di esempio, per le strutture in c.a., espulsione di copriferro, ossidazione delle armature) o di errori in sede di costruzione (nidi di ghiaia, vespai, fuori piombo di elementi verticali, ecc.).

La finalità dell'analisi del quadro fessurativo è quella di consentire l'individuazione dell'origine e delle possibili evoluzioni delle problematiche strutturali dell'edificio e di valutare l'opportunità di un monitoraggio di spostamenti e/o fessure. I risultati del rilievo devono essere riportati in piante, prospetti, sezioni nonché i particolari costruttivi con un opportuna scala di rappresentazione e secondo le informazioni fornite dalla Stazione Appaltante.

Particolare attenzione dovrà essere posta alla rappresentazione degli eventuali fattori di vulnerabilità geometrica (piani sfalsati, disassamento, ecc.).

Nello specifico, in funzione della tipologia costruttiva devono essere raccolte e restituite le seguenti informazioni:

Strutture in calcestruzzo armato o in acciaio:

Geometria:

- identificazione del sistema resistente alle forze orizzontali in entrambe le direzioni;
- tessitura dei solai;
- dimensioni geometriche di travi, pilastri e pareti;
- identificazione della tipologia di struttura fondazionale e relative dimensioni geometriche;
- larghezza delle ali di travi a T;
- possibili eccentricità fra travi e pilastri ai nodi.

Dettagli costruttivi:

- quantità di armatura longitudinale in travi, pilastri e pareti;
- quantità e dettagli di armatura trasversale nelle zone critiche e nei nodi trave-pilastro;
- quantità di armatura longitudinale nei solai che contribuisce al momento negativo di travi a T;
- lunghezze di appoggio e condizioni di vincolo degli elementi orizzontali;
- spessore del copriferro;
- lunghezza delle zone di sovrapposizione delle barre.

Strutture in muratura:

Geometria:

- identificazione del sistema resistente alle forze orizzontali in entrambe le direzioni;
- tessitura dei solai;
- sviluppo di archi e volte;

- dimensioni geometriche delle pareti;
- identificazione della tipologia di struttura fondazionale e relative dimensioni geometriche.

Dettagli costruttivi:

- connessioni fra le pareti e gli orizzontamenti;
- presenza dei cordoli di piano;
- presenza di catene e loro efficienza strutturale;
- presenza di elementi strutturalmente efficienti atti ad eliminare le spinte eventualmente presenti;
- collegamenti trasversali (es. diatoni), in murature a cassa vuota;
- connessione e immorsamento porzioni d'angolo;
- forma e tipologia degli elementi componenti la tessitura, regolarità di sfalsamento dei giunti, ecc.

Strutture miste in muratura e calcestruzzo armato:

Vedere i punti precedenti.

Nel caso di strutture prefabbricate deve essere posta particolare attenzione alla valutazione e funzionalità dei collegamenti e delle connessioni, quali, ad esempio: trave-colonna, trave principale-secondarie, trave-tegoli e delle connessioni delle pareti di tamponamento agli elementi strutturali verticali o orizzontali.

Utile riferimento in tal senso è costituito dalle *Linee di indirizzo per interventi locali e globali su edifici industriali monopiano non progettati con criteri antisismici*, redatte da ReLuis e DPC, giugno 2009.

Dovranno essere presentate tavole recanti (requisiti minimi):

- inquadramento generale dell'edificio/aggregato;
- adeguata descrizione delle destinazioni d'uso dei diversi locali (mediante mappatura sintetica per piani);
- documentazione fotografica opportunamente referenziata;
- piante, prospetti e sezioni, in scala adeguata.

Detta documentazione grafica dovrà essere prodotta in formato cartaceo (3 copie) e su supporto digitale, in formato concordato con la stazione appaltante (dwg e pdf). Altri formati potranno essere eventualmente concordati con la stazione appaltante.

Art. 6.1.4 Caratterizzazione e descrizione del terreno di fondazione

La corretta valutazione della sicurezza della struttura non è riferita ovviamente alla sola struttura in elevazione e non può prescindere dalla presa in conto dell'interazione fra struttura e terreno di fondazione, pertanto deve essere considerato nelle indagini anche il volume significativo di terreno nel quale l'opera si innesta, per la valutazione del quale si può fare utile riferimento alle raccomandazioni AGI 1977. Il volume significativo è infatti funzione della tipologia di sistema fondazionale impiegato nell'opera.

Preliminarmente occorre individuare il quadro geologico nel quale detto volume si innesta, che comprenda i principali caratteri tettonici e litologici, nonché l'eventuale preesistenza di fenomeni di instabilità del territorio e predisposte: nello specifico, l'inquadramento geologico deve costituire una relazione geologica a firma di tecnico abilitato, i cui principali contenuti saranno riportati nella relazione tecnica a firma del professionista qui incaricato. La caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni sarà effettuata adottando i mezzi e le procedure di indagine più appropriati agli obiettivi delle verifiche di sicurezza e alle metodologie impiegate nelle analisi. Si evidenzia che la definizione dell'azione sismica rende necessaria la valutazione della risposta sismica locale mediante specifiche analisi delle NTC, attraverso indagini mirate all'accertamento degli elementi che influenzano la propagazione delle onde sismiche, quali le condizioni stratigrafiche e topografiche. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento

all'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (tab. 3.2.II - ANTC) e di categorie topografiche.

Il livello delle indagini sarà funzione dell'importanza dell'opera e tenendo conto delle informazioni pregresse scaturite dall'analisi storica e di quelle reperibili nell'area di localizzazione dell'opera (sempre con riferimento al volume significativo) per precedenti opere ivi presenti.

Si precisa che la definizione della tipologia dei parametri meccanici del terreno non è definibile a priori, in quanto funzione, oltre che della tipologia di terreno(i) presente(i), dello scenario considerato e quindi delle deformazioni possibili nel terreno stesso, poiché i parametri meccanici non sono univoci, ma funzione dello stato deformativo del terreno. Occorre procedere alla valutazione della suscettibilità del sottosuolo a fenomeni di liquefazione e di mobilità ciclica in occasione di un evento sismico. Nel caso in cui le verifiche mettano in luce rischio di liquefazione o di eccessivi spostamenti dovuti alla mobilità ciclica, si potranno prendere in considerazione interventi di prevenzione come ad esempio addensamento dei terreni a grana grossa o trattamenti colonnari nei terreni a grana fina, spesso abbinati a drenaggi profondi o abbassamenti permanenti della falda idrica, previo opportuno confronto con la stazione appaltante.

Oltre alle considerazioni sopra riportate, si specifica che le indagini minime da effettuarsi sono rappresentate da prove di tipo geofisico superficiale per la determinazione della velocità delle onde di taglio, ai fini della parametrizzazione, tramite la grandezza VS30 della classe del suolo a fini sismici.

Art. 6.1.5 Contestualizzazione della struttura in esame

Nel caso in cui la struttura in esame non sia singola e isolata, occorre che il tecnico pervenga alla definizione dell'organismo strutturale (unità strutturale-US) indipendente di cui è necessaria la valutazione globale.

Ancora ai sensi delle nuove NTC 2018, per la individuazione dell'US da considerare si terrà conto principalmente della unitarietà del comportamento strutturale di tale porzione di aggregato nei confronti dei carichi, sia statici che dinamici. A tal fine è importante rilevare la tipologia costruttiva ed il permanere degli elementi caratterizzanti, in modo da indirizzare il progetto degli interventi verso soluzioni congruenti con l'originaria configurazione strutturale. L'individuazione dell'US va comunque eseguita caso per caso, in ragione della forma del sistema edilizio di riferimento a cui appartiene l'US (composta da una o più unità immobiliari), della qualità e consistenza degli interventi previsti e con il criterio di minimizzare la frammentazione in interventi singoli.

L'US dovrà comunque avere continuità da cielo a terra per quanto riguarda il flusso dei carichi verticali e, di norma, sarà delimitata o da spazi aperti, o da giunti strutturali, o da edifici contigui costruiti, ad esempio, con tipologie costruttive e strutturali diverse, o con materiali diversi, oppure in epoche diverse.

Tra le interazioni strutturali con gli edifici adiacenti si dovranno considerare:

- carichi (sia verticali che orizzontali, in presenza di sisma) provenienti da solai o da pareti di US
- adiacenti; spinte di archi e volte appartenenti ad US contigue;
- spinte provenienti da archi di contrasto o da tiranti ancorati su altri edifici.
- La rappresentazione dell'US attraverso piante, alzati e sezioni permetterà di valutare la diffusione delle sollecitazioni e l'interazione fra le US contigue.

Oltre a quanto normalmente previsto per gli edifici non disposti in aggregato, dovranno essere valutati gli effetti di:

- spinte non contrastate causate da orizzontamenti sfalsati di quota sulle pareti in comune con le US adiacenti;
- effetti locali causati da prospetti non allineati, o da differenze di altezza o di rigidità tra US adiacenti;

- azioni di ribaltamento e di traslazione che interessano le pareti nelle US di testata delle tipologie seriali (schiere).

Dovrà essere considerato inoltre il possibile martellamento nei giunti tra US adiacenti.

Art. 6.1.6 Individuazione della tipologia costruttiva e pianificazione del piano di indagine

La struttura portante, suddivisa in orizzontale, copertura e verticale, nonché quella fondazionale, viene identificata tramite le azioni di cui ai punti precedenti, mentre l'esecuzione di saggi e sondaggi a campione permette l'individuazione dei materiali costituenti la stessa (e in seguito le caratteristiche meccaniche per la definizione dei parametri di calcolo).

Occorre quindi indicare le tipologie delle strutture verticali, quella degli orizzontamenti, considerando le peculiarità che hanno influenza sul comportamento sismico della struttura (funzionamento a lastra ed elevata rigidezza per deformazioni nel piano, efficace collegamento agli elementi verticali resistenti, e della copertura con indicazione circa la natura spingente o meno della stessa).

Per conseguire un'adeguata conoscenza delle caratteristiche dei materiali e del loro degrado, ci si baserà su documentazione già disponibile, su verifiche visive in situ e su indagini sperimentali e prove sui materiali in loco e/o da laboratori autorizzati. Un aiuto, non esaustivo, ai fini della definizione delle resistenze dei materiali può ricavarsi dalle norme dell'epoca della costruzione.

Il piano delle indagini, elaborato dal professionista, fa parte del progetto vero e proprio, e dovrà essere predisposto nell'ambito di un quadro generale volto a mostrare le motivazioni e gli obiettivi delle indagini stesse. I valori delle resistenze meccaniche dei materiali vengono valutati sulla base delle prove effettuate sulla struttura e prescindono dalle classi discretizzate previste nelle norme per le nuove costruzioni.

In funzione dei materiali impiegati nella struttura portante (costruzioni in muratura, legno, in cemento armato o acciaio, prefabbricato o gettato in opera, strutture miste) si dovrà effettuare la caratterizzazione meccanica, al fine di definirne la resistenza (C.8.5.3). Non è ammessa l'assenza di indagini dirette sui materiali, il cui numero e natura dovranno essere valutati anche in funzione dell'omogeneità del costruito (carote obbligatorie e estrazione di barre obbligatoria). Come già indicato il numero delle indagini dirette può essere diminuito a patto di eseguire indagini indirette in numero congruo.

Dovrà quindi essere redatto il piano di indagini diagnostiche necessarie per la valutazione delle caratteristiche geometriche e di resistenza dei materiali e del terreno di fondazione, anche in considerazione di quanto già precisato al precedente paragrafo 6.1.3. La definizione nel dettaglio del piano di indagine dovrà illustrare la tipologia di saggi, indagini, prelievi e prove in sito e di laboratorio ritenuto necessario per il raggiungimento del LC (livello di conoscenza) richiesto per l'offerta come meglio specificato dalla circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 emanata dal CSLPP inerente "Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Il piano dovrà essere completo, per ogni tipologia, dell'indicazione del numero di prove, indagini, ecc. e della loro posizione. Il piano delle indagini dovrà tenere conto (anche sulla base dello studio storico-analitico) dell'omogeneità della struttura e, come meglio chiarito al punto che segue, dovrà essere volto **alla minimizzazione dell'impatto delle indagini distruttive sulla struttura**, anche considerandone l'operatività (minimizzazione degli scassi, saggi diretti, ecc.) rispettando comunque **I MINIMI DA NORMATIVA**, in favore di indagini alternative e non invasive).

Qualora le indagini siano di tipo distruttivo il tecnico incaricato dovrà individuare le operazioni di ripristino e vigilare sul loro compimento da parte della ditta incaricata. Il professionista ha la facoltà di condurre la campagna di indagini nel modo e con i mezzi che ritiene più opportuni, essendo le indagini individuate né limitanti né esaustive per affrontare ogni casistica riscontrabile nelle costruzioni esistenti.

Il piano di indagine dovrà indicare e tenere in conto dell'operatività del fabbricato durante le operazioni in situ minimizzando le interferenze con gli stessi garantendo l'incolumità degli operatori addetti ai lavori e dei terzi in osservanza delle disposizioni vigenti in materia di prevenzioni degli infortuni e di salute sul luogo di lavoro (D.lgs. 81/2008).

Il piano di indagine, elaborato dalla professionista, sarà quindi approvato dalla stazione appaltante.

Gli oneri per l'esecuzione delle indagini e delle prove sono a cura e onere dell'affidatario del servizio, il quale potrà avvalersi di laboratori ufficiali autorizzati o di ditte specializzate. Sarà inoltre cura e onere del professionista seguire l'esecuzione dello stesso. L'importo delle indagini e delle prove è quantificato in **€ 17.711,00** (euro diciassettemilasettecentoundici/00) ed è soggetto a ribasso d'asta. Gli oneri di sicurezza, quantificati in **€ 126,07** (euro centoventisei/00), non sono soggetti a ribasso. **L'importo complessivo di € 17.837,07 pre-quantificato dalla Stazione Appaltante per l'appalto del servizio in oggetto costituirà l'importo massimo lordo del piano di dettaglio delle indagini redatto dall'aggiudicatario.**

Il professionista dovrà inoltre coordinare, supervisionare le indagini, interpretare i risultati delle prove per ottenere le informazioni necessarie relativamente ai materiali e ai dettagli costruttivi al fine di effettuare la modellazione strutturale.

Nel caso che il professionista intenda effettuare delle prove di carico sulle strutture, tali prove dovranno essere programmate secondo le procedure dallo stesso definite, seguite nel corso delle prove medesime ed infine interpretate le misurazioni per le quali il professionista dovrà valutare l'esito in apposita relazione.

Attività di supporto al servizio

Le attività di supporto al servizio di vulnerabilità sismica attengono ad attività strumentali alla verifica medesima (assistenza alle indagini geologiche e geotecniche, sondaggi, rilievi, prelievi, misurazioni e picchettazioni, analisi fisiche-chimiche, prove di carico, predisposizione di elaborati specialistici e di dettaglio, sono a carico e onere dell'affidatario del servizio. Il professionista dovrà quindi organizzare e dirigere tali attività anche con l'ausilio di ditte specializzate e/o con laboratori ufficiali previsti dal decreto.

Dovrà inoltre curare ed effettuare il ripristino dei luoghi nelle condizioni originarie nel caso di prove distruttive.

L'operatore economico deve altresì provvedere a sua cura e spese, e senza diritto ad ulteriore compenso, al montaggio, all'impiego e allo smontaggio di ponteggi, trabatelli, elevatori, eventualmente necessari per le attività. Di tali obblighi l'operatore economico dovrà tenere debito conto nel formulare la propria offerta.

Art. 6.1.7 Individuazione del livello della conoscenza

Le nuove NTC 2018 e in particolare la circolare esplicativa definiscono i cosiddetti Livelli di Conoscenza e i correlati fattori di confidenza, da impiegarsi nella definizione delle caratteristiche dei materiali, quale ulteriore riduzione oltre agli specifici coefficienti parziali di sicurezza, quando previsti. Si noti che per i differenti materiali costituenti la struttura, in virtù delle conoscenze acquisite, possono essere impiegati (se adeguatamente giustificati) Fattori di Confidenza differenziati.

Per le analisi di vulnerabilità oggetto del presente bando, il **Livello di conoscenza fissato è pari a LC2** con effettuazione delle indagini dirette e indirette ai sensi delle norme.

Particolare attenzione, nella pianificazione delle indagini, dovrà essere posta per le strutture portanti verticali, soprattutto per i primi livelli, pertanto su tali elementi è consigliabile l'esecuzione di indagini dirette e indirette anche ai fini della taratura delle ultime.

Con riferimento alle tipologie di indagini da effettuarsi, si fa riferimento a quanto specificato nella normativa vigente e alla relativa circolare, nonché alle specifiche indicazioni fornite in "*Linee guida per modalità di indagine sulle strutture e sui terreni per i progetti di riparazione, miglioramento e ricostruzione di edifici inagibili*", elaborate da ReLuis. Si riporta a seguire l'elenco di minima delle prove, così come contenute nel citato documento, precisando che prove specifiche, quali ad esempio quelle di carico, ecc., dovranno essere adeguatamente progettate.

Prove e indagini su calcestruzzo armato:

- Indagini pacometriche
- Prove sclerometriche

- Prove ultrasoniche
- Metodo combinato SONREB
- Prove di compressione su carote di calcestruzzo
- Prove di trazione su barre di armatura

Prove e indagini su murature:

- Prove soniche
- Prelievo e caratterizzazione fisico-chimica della malta
- Prove penetrometriche
- Prove termografiche
- Prove con martinetti piatti (singolo e/o doppio)
- Carotaggi
- Indagini endoscopiche

Prove e indagini su terreno:

- Indagini geofisiche non invasive basate sulla propagazione di onde superficiali (MASW)
- Prove penetrometriche dinamiche

Art. 6.1.8 Definizione delle azioni e combinazioni.

La Circolare esplicativa alle NTC chiarisce che i provvedimenti che scaturiscono alle verifiche di sicurezza sono “necessari e improcrastinabili nel caso in cui non siano soddisfatte le verifiche relative alle azioni controllate all'uomo, ossia prevalentemente ai carichi permanenti e alle altre azioni di servizio”.

Nell'ambito delle azioni sismiche le valutazioni di sicurezza, verranno condotte con riferimento agli SL prendendo in conto la combinazione sismica prevista al punto 2.5.3 delle nuove NTC 2018.

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali (§3.2.4 - NTC):

La Circolare precisa che, ai fini della determinazione dell'entità massima delle azioni sismiche sopportabili dalla struttura, si considereranno i carichi permanenti effettivamente riscontrati, e quelli variabili previsti dalla norma.

La domanda sismica relativa allo SL ultimo sismico considerato andrà valutata sulla base delle indicazioni contenute al punto 3.2 delle nuove NTC 2018, considerando (§2.4 - NTC):

- la vita nominale dell'opera VN;
- la classe d'uso e il relativo coefficiente d'uso CU;
- il periodo di riferimento $VR = CU \cdot VN$.

Con riferimento alla **Vita Nominale (VN)**, si richiama la definizione delle nuove NTC 2018 (par. 2.4.1) secondo cui essa deve essere intesa come “il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata” e la norma riporta indicazioni circa la VN, da assumere in fase di progetto, in funzione della tipologia di opera. Nel caso di specie, la VN deve essere assunta pari a **50 anni**.

Dovranno essere eseguite le seguenti analisi:

- valutare la vita nominale residua dell'opera, ovvero, nel caso di verifica in condizioni sismiche, determinare la massima azione sismica sopportabile dalla struttura e quindi, a ritroso, stimare la vita residua;
- imporre la vita nominale congruentemente con la tipologia di edificio in esame come per edificio nuovo in progetto (50 anni), azzerando di fatto al momento della verifica la nascita della struttura.

Con riferimento alla **Classe d'Uso (CU)**, richiamando la definizione delle NTC (par. 2.4.2) secondo cui le classi di riferimento per il caso di specie è individuata nella **CU IV** (Costruzioni con funzioni

pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della Protezione Civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente ...)

Art. 6.1.9 Tipologia di analisi scelta, indicazioni sulle ipotesi di calcolo e commento

Il tecnico deve giustificare la tipologia di analisi adottata: il Capitolo 8.7 della norma precisa le modalità di esecuzione delle analisi e delle verifiche in funzione alla tipologia costruttiva, considerando le costruzioni in murature (cap. 8.7.1), le costruzioni in calcestruzzo armato o in acciaio (entrambe trattate al paragrafo cap. 8.7.2) e gli edifici misti (cap. 8.7.3).

In particolare, nel primo caso, risulta fondamentale, oltre all'analisi sismica globale, anche l'analisi dei possibili meccanismi locali e, in taluni casi, la verifica globale è di fatto costituita da un insieme di verifiche locali, considerando una coerente ripartizione delle forze sismiche e di quelle scambiate tra i vari sottosistemi strutturali così considerati. La sicurezza della costruzione deve essere valutata nei confronti di entrambi i tipi di meccanismo.

Devono essere motivati i fattori di struttura considerati nel caso di analisi lineari, in conformità al paragrafo C.8.7.1.2, mentre le analisi sismiche globali e locali devono seguire i dettami di quanto rispettivamente precisato dai C.8.7.1.4 e C.8.7.1.6. Per le costruzioni in calcestruzzo armato o in acciaio riveste fondamentale importanza l'attivazione della capacità di elementi e meccanismi resistenti, di tipo duttile o fragile, e sono altresì definiti gli elementi strutturali primari o secondari.

Il modello per la valutazione della sicurezza dovrà essere definito e giustificato dal progettista, caso per caso, in relazione al comportamento strutturale atteso a seguito delle analisi effettuate.

Art. 6.1.10 Presentazione delle informazioni e dei risultati

Sono riportate a titolo esemplificativo le informazioni minime da presentare a cura del tecnico nella relazione generale:

Indagine storica e documentazione acquisita:

- elencare tutti i documenti reperiti (i quali devono essere allegati alla relazione);
- descrivere e datare le fasi salienti della progettazione e costruzione (epoca di progettazione, di inizio lavori e di completamento dei lavori);
- identificare le norme impiegate nei progetti originali e, se del caso, il valore delle azioni sismiche di progetto;
- identificare e descrivere le modifiche apportate successivamente, con particolare attenzione alle implicazioni di carattere strutturale (sopraelevazioni, ampliamenti, rimaneggiamenti, riorganizzazione interna e funzionale, ristrutturazioni, etc.).
- riportare le notizie e i dati relativi agli interventi di consolidamento, miglioramento o adeguamento sismico, riparazione o restauro eventualmente realizzati;
- riportare la storia sismica dell'edificio con riferimento agli eventi subiti ed agli eventuali dati ed ai danni rilevati o documentati.

Rilievo geometrico e strutturale

Per ogni unità strutturalmente indipendente, occorre:

- precisare i dati generali;
- identificare il sistema strutturale (geometria generale, tipologia della struttura, materiali costituenti le strutture verticali e orizzontali, sistema fondazionale);
- evidenziare eventuali difformità riscontrate nelle dimensioni degli elementi strutturali rispetto a quelle della documentazione progettuale.

Il rilievo geometrico deve essere restituito secondo le modalità descritte in precedenza.

Caratterizzazione del sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto deve essere definito il quadro geologico che comprenda i principali caratteri tettonici e litologici nonché l'eventuale preesistenza di fenomeni di instabilità. L'operatore economico dovrà, con adeguate procedure d'indagine, effettuare la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni. In ogni caso, la caratterizzazione geotecnica dei terreni deve consentire almeno la classificazione del sottosuolo secondo i criteri esposti nel capitolo 3.2.2 dell'NTC 2018.

Rilievo del dissesto e del degrado

Per ogni unità strutturalmente indipendente, occorre descrivere lo stato di conservazione, descrivendo l'eventuale stato fessurativo (con schematizzazioni e fotografie) e l'eventuale degrado dei materiali.

Saggi esplorativi

Occorre descrivere i saggi esplorativi effettuati, precisando le motivazioni delle scelte effettuate, gli obiettivi prefissati, e riassumendo i risultati ottenuti.

Piano delle indagini sulle strutture e sui materiali, risultati e relative elaborazioni

Si dovrà presentare il quadro generale in cui le indagini vanno a inserirsi, evidenziando le motivazioni e gli obiettivi delle indagini stesse. Le indagini dovranno essere motivate, per tipo e quantità, dal loro effettivo uso nelle verifiche. Si dovranno descrivere le indagini da eseguire, con particolare riguardo al progetto delle indagini, ai risultati delle stesse e alla loro elaborazione finalizzata alla valutazione delle resistenze dei materiali e alla individuazione/verifica dei particolari costruttivi.

Verifiche di sicurezza

Occorre:

- specificare e giustificare il tipo di analisi strutturale condotta ed il modello strutturale adottato;
- indicare con precisione l'origine e le caratteristiche dei codici di calcolo utilizzati riportando titolo, autore, produttore, eventuale distributore, versione, estremi della licenza d'uso o di altra forma di autorizzazione all'uso;
- indicare il metodo adottato per la risoluzione del problema strutturale e le metodologie seguite per la verifica o per il progetto-verifica delle sezioni;
- indicare chiaramente le combinazioni di carico adottate;
- riportare tutti i dati impiegati per l'implementazione del modello di calcolo e per le verifiche di sicurezza eseguite.

Modalità di presentazione dei risultati

La quantità di informazioni che usualmente accompagna l'utilizzo di procedure di calcolo automatico richiede un'attenzione particolare alle modalità di presentazione dei risultati, in modo che questi riassumano, in una sintesi completa ed efficace, il comportamento della struttura per quel particolare tipo di analisi sviluppata.

Pertanto, oltre ai tabulati di output del codice allegati, l'esito di ogni elaborazione deve essere sintetizzato in disegni, tabelle e schemi grafici contenenti, almeno per le parti più sollecitate della struttura, le configurazioni deformate, la rappresentazione grafica delle principali caratteristiche di sollecitazione o delle componenti degli sforzi, i diagrammi di inviluppo associati alle combinazioni dei carichi considerate, gli schemi grafici con la rappresentazione dei carichi applicati e delle corrispondenti reazioni vincolari.

Di tali grandezze, unitamente ai diagrammi e agli schemi grafici, vanno chiaramente evidenziate le convenzioni sui segni, i valori numerici e le unità di misura di questi nei punti o nelle sezioni significative ai fini della valutazione del comportamento complessivo della struttura, nonché i valori numerici necessari ai fini delle verifiche di misura della sicurezza.

A valle dell'esposizione dei risultati vanno riportate anche informazioni generali riguardanti l'esame e i controlli svolti sui risultati oltre a una valutazione complessiva dell'elaborazione dal punto di vista del corretto comportamento del modello.

Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

Spetta al progettista il compito di sottoporre i risultati delle elaborazioni a controlli che ne comprovino l'attendibilità. Tale valutazione consisterà nel confronto con i risultati di semplici calcoli, anche di larga massima, eseguiti con metodi tradizionali. Inoltre, sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si deve valutare la consistenza delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni. Nella relazione devono essere elencati e sinteticamente illustrati i controlli svolti, quali verifiche di equilibrio tra reazioni vincolari e carichi applicati, comparazioni tra i risultati delle analisi e quelli di valutazioni semplificate, etc.

Verifiche di sicurezza per le azioni controllate dall'uomo e per le azioni ambientali (neve, vento, variazioni di temperatura)

- dati di riferimento per il calcolo (analisi di carico, proprietà dei materiali, ...);
- modello di calcolo impiegato;
- metodi di analisi impiegati;
- risultati numerici delle verifiche effettuate negli elementi strutturali (taglio, pressoflessione, sforzo normale, torsione, agenti vs resistenti);
- tabelle riepilogative dei livelli di sicurezza nei diversi elementi strutturali;
- tabella degli elementi non verificati/deficitari, con indicazione del fattore di utilizzo (per le varie sollecitazioni);
- valutazioni circa possibili problemi di instabilità;
- verifica delle connessioni (bullonature, chiodature, connessioni travi-colonna, tegolo-trave, spinottature, ecc.);
- verifiche geotecniche (capacità portante, scorrimento, analisi di suscettibilità alla liquefazione, stabilità del pendio, ecc.).

Verifiche di sicurezza per le azioni sismiche

Dovrà essere fornito in primo luogo un giudizio qualitativo sulla vulnerabilità evidenziando chiaramente i dati di riferimento per il calcolo:

- coordinate geografiche, vita nominale, classe d'uso, categoria di sottosuolo, ...;
- spettri elastici di calcolo e fattori di struttura;
- modello di calcolo impiegato;
- metodi di analisi impiegati;
- i periodi fondamentali della struttura espressi in secondi.

Nel caso di analisi statica lineare e dinamica modale tali periodi sono intesi come quelli dei modi fondamentali (approssimati, nel caso di analisi statica). Nel caso di analisi statica non lineare i periodi sono quelli dell'oscillatore equivalente ad un grado di libertà. Sono anche richieste le masse partecipanti espresse come percentuale della massa totale dell'edificio. Nel caso di analisi dinamica modale si devono fornire i valori corrispondenti ai periodi fondamentali. Nel caso di analisi statica non lineare si devono fornire le masse efficaci nelle due direzioni.

Infine viene richiesta la rigidità flessionale e a taglio degli elementi trave, pilastro e muratura. In caso d'utilizzo della rigidità fessurata deve essere indicata anche la riduzione percentuale adottata nell'analisi.

Si dovranno descrivere le procedure ed i risultati numerici delle verifiche effettuate per il calcolo delle capacità dei singoli elementi strutturali e globali (tagli di piano, spostamenti di piano):

- risultati numerici delle verifiche effettuate negli elementi strutturali (taglio, pressoflessione, sforzo normale, torsione agenti vs resistenti);
- tabelle riepilogative dei livelli di sicurezza nei diversi elementi strutturali;
- tabella degli elementi non verificati/deficitari, con indicazione del fattore di utilizzo (per le varie sollecitazioni);
- spostamenti massimi e valutazioni circa il possibile martellamento in caso di giunti e/o più unità strutturali;
- valutazioni circa possibili problemi di instabilità;
- verifica delle connessioni (bullonature, chiodature, connessioni travi-colonna, tegolo-trave, spinottature, ecc.);
- verifiche geotecniche (capacità portante, scorrimento, analisi di suscettibilità alla liquefazione, stabilità del pendio, ecc.);
- coefficienti di vulnerabilità sismica/indicazione della PGA di norma e quella raggiungibile (come % di PGA) senza crisi di alcun elemento;
- indicazione, nel caso le verifiche non risultino soddisfatte, della VN residua, ovvero l'esplicitazione della VN per la quale tutte le verifiche risultano soddisfatte;
- giudizio circa la vulnerabilità degli elementi non strutturali (comignoli, cornicioni, parapetti, pensiline o aggetti, impianti, controsoffitti, lastre di facciata, pareti vetrate, ...) vulnerabili, ovvero non realizzati o installati a regola d'arte, che presentino debolezza nei collegamenti per effetto di degrado o danneggiati.

Tutti i risultati di cui sopra dovranno confluire nell'opportuna scheda di sintesi.

Al tecnico sarà richiesta la compilazione della "Scheda di sintesi della verifica sismica di edifici strategici ai fini della protezione civile o rilevanti in caso di collasso a seguito di evento sismico", secondo la scheda di "Livello 1-2" conforme all'OPCM 3274/2003 (allegato 1); sarà inoltre richiesta la compilazione della scheda di rilievo degli elementi non strutturali, allegata all'intesa della Conferenza unificata del 28.01.2009 (GURI n. 33 del 10.02.2009).

Art. 6.1.11 Valutazione della vulnerabilità degli elementi non strutturali

La valutazione della vulnerabilità degli elementi non strutturali, arredi e impianti deve essere condotta con riferimento alle citate Linee Guida della PC, del CSLLPP, le quali, a loro volta, riprendono i concetti di riferimenti e standard internazionali e nazionali.

Le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni emanate con il Decreto 17.01.2018, hanno dedicato specifici paragrafi ai criteri di progettazione degli elementi non strutturali (par. 7.2.3) e degli impianti (7.2.4). I principi in essi stabiliti, anche se riferiti alla progettazione sismica, sono utili per comprendere quali siano, più in generale, le cautele da adottare per evitare che si verifichino crolli anche parziali di elementi non strutturali ed impianti, in grado di mettere a rischio gli occupanti. In sostanza l'accento è posto alla appropriata esecuzione dei collegamenti fra detti elementi e la struttura, al controventamento ed alla vulnerabilità intrinseca degli elementi. Si richiamano inoltre i paragrafi C7.2.3 e C7.2.4 della Circolare 2.2.2009 n. 617 C.S.LL.PP, nonché le raccomandazioni riportate nella tabella C8A.9.1 di cui all'appendice di detta Circolare.

In particolare, le Linee Guida CSLP riportano specifiche indicazioni per le visite di sopralluogo ed elencano gli elementi (minimi) che devono essere considerati nella valutazione. A seguire si riporta un elenco esemplificativo e non esaustivo degli stessi:

- soffitti, controsoffitti ed elementi appesi ai solai (pesanti, fragili, stato dei pendini, apparecchiature di illuminazione appese ai controsoffitti, ecc...)

- parapetti ed altri aggetti verticali e orizzontali (tipologia costruttiva, stato di conservazione, ancoraggio alle strutture, presenza di eventuali insegne, camini, cornicioni, insegne, rivestimenti, pensiline, insegne interne)
- partizioni interne e tamponature (tipologia costruttiva, stato di conservazione, tipologia e stato di ancoraggio, presenza di ritegni antiribaltamento, ecc.)
- rivestimenti e infissi (stato di conservazione, ancoraggi, ecc.)
- arredi (scaffalature, apparecchi illuminanti, video e TV, masse appese e/o ancorate, ecc.)

Art. 6.1.12 Conclusioni circa l'idoneità della struttura

A conclusione della relazione devono essere chiaramente riassunti gli esiti delle valutazioni svolte, in particolare delle verifiche rispetto alle sole azioni controllate dall'uomo e a quelle ambientali e, deve essere indicato il livello di vulnerabilità sismica riscontrato. Nel caso di inidoneità della costruzione, avendo già proceduto alla valutazione del comportamento della costruzione (o di parte di essa), il tecnico dovrà fornire precise indicazioni circa gli elementi vulnerabili, ai fini dell'attività propedeutica alla progettazione contenente una relazione illustrativa motivata con elaborati tecnico-economici e una stima con computi metrici estimativi particolareggiati, per la successiva progettazione di interventi di riparazione locale/miglioramento/adequamento, come definiti al paragrafo 8.4 e C.8.4. Si veda in particolare quanto indicato al paragrafo successivo.

Dovrà inoltre essere compilata la scheda relativa al CIS (certificato di idoneità strutturale)

Il professionista fornirà inoltre la documentazione su supporto informatico di tali elaborati, comprensivi di quelli di calcolo e grafici.

Art. 6.1.13 Relazione di fattibilità tecnica ed economica degli interventi di riparazione o locali, di miglioramento/adequamento

In esito ai risultati ottenuti circa il grado di vulnerabilità della struttura, si chiede al professionista la redazione di una relazione alla fattibilità tecnica ed economica relativamente agli scenari descritti a seguire per il fabbricato:

- intervento di miglioramento sismico (il livello di sicurezza dovrà essere pari ad almeno il 80% della sicurezza richiesta ad una nuova costruzione, tramite il raggiungimento di almeno il 80% della capacità resistente di una nuova costruzione);
- intervento di adeguamento sismico;

In ogni caso, l'obiettivo minimo che persegue la stazione appaltante è il seguente:

- a) descrizione degli interventi necessari a porre rimedio alle carenze riscontrate, quantificazione degli stessi e giustificazione tecnica della proposta di intervento ai fini del miglioramento/adequamento strutturale;
- b) restituzione grafica schematica degli interventi suddetti in una o più planimetrie/sezioni;
- c) stima dei nuovi indicatori di rischio raggiungibili in seguito all'esecuzione degli interventi;
- d) stima dei costi necessari per l'esecuzione dei lavori a regola d'arte degli interventi.

Art. 7 INDAGINI DIAGNOSTICHE STRUTTURALI

Art. 7.1. Prove non distruttive

Nella determinazione delle proprietà meccaniche dei materiali, sono ammessi metodi di indagine non distruttiva che, non possono essere impiegati in completa sostituzione dei metodi distruttivi, ma sono consigliati a loro integrazione, purché i risultati siano tarati su quelli ottenuti con prove distruttive. Nel caso delle strutture in calcestruzzo armato, per esempio, è possibile ridurre il numero dei carotaggi secondo quanto suggerito dalla Circolare n. 617 per cui "Ai fini delle prove sui materiali è consentito sostituire alcune prove distruttive, non più del 50%, con un più ampio numero, almeno il triplo, di prove non distruttive, singole o combinate, tarate su quelle distruttive".

Art. 7.1.1 Prove non distruttive per le costruzioni in c.a.

Art. 7.1.2 Prova pacometrica

La prova pacometrica è finalizzata al rilievo delle armature su manufatti per i quali non è nota la disposizione delle armature e consente di conoscere la loro effettiva posizione e il loro numero, senza danneggiare la struttura in esame.

L'utilizzo del pacometro, come strumento di prova non distruttivo, è regolato dalla norme BS 1881-204:1988 "Testing concrete. Recommendations on the use of electromagnetic covermeters".

Il report delle prove pacometriche deve contenere una chiara indicazione delle aree di indagine su piante, sezioni e prospetti in una opportuna scala di rappresentazione. Inoltre, per ciascun elemento strutturale devono essere rappresentate in una opportuna scala di rappresentazione tutte le sezioni indagate con le misure delle sezioni di calcestruzzo e l'indicazione del copriferro e delle armature longitudinali e trasversali rilevate.

Art. 7.1.3 Prova sclerometrica

L'indagine sclerometrica, è finalizzata alla valutazione della durezza superficiale del calcestruzzo e può essere utilizzato per valutarne l'omogeneità in sito, per stimare le variazioni nel tempo delle proprietà meccaniche e per individuare zone di degrado del calcestruzzo. La resistenza del calcestruzzo può essere valutata in funzione dell'indice di rimbalzo utilizzando il diagramma fornito dal costruttore dello strumento.

La normativa di riferimento per le prove sclerometriche è la UNI EN 12504-2:2012 e s.m.i. "Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Prove non distruttive - Determinazione dell'indice sclerometrico".

Il report delle prove sclerometriche deve contenere una chiara indicazione delle aree di indagine su piante, sezioni e prospetti strutturali in una opportuna scala di rappresentazione. Per ciascuna area indagata devono essere riportati in forma tabellare l'eventuale codice identificativo dell'area di prova, l'elemento strutturale oggetto di prova, gli indici di rimbalzo di tutte le battute, il valore dell'indice di rimbalzo medio, la posizione dello strumento (verticale, orizzontale, inclinato) e la resistenza stimata del calcestruzzo.

Art. 7.1.4 Prova sonica

Nel caso del conglomerato cementizio il metodo ultrasonico è utilizzato per valutare l'omogeneità in situ e stimare la resistenza degli elementi strutturali.

Oltre che per la stima della resistenza meccanica del calcestruzzo, le prove ultrasoniche consentono di rilevare:

- il grado di omogeneità del materiale;
- la presenza di vuoti, lesioni o discontinuità delle strutture;
- i difetti di getto;
- le eventuali variazioni delle proprietà nel tempo causate dalla storia dell'elemento (manutenzione, sollecitazioni, degrado, ecc.).

La normativa di riferimento per le prove ultrasoniche è la UNI EN 12504-4:2005 e s.m.i. "Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 4: Determinazione della velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici".

In esito alle prove soniche il tecnico deve produrre una relazione contenere una chiara indicazione delle aree di indagine su piante, sezioni e prospetti strutturali in una opportuna scala di rappresentazione.

Per ciascuna area indagata devono essere riportati in forma tabellare l'eventuale codice identificativo dell'area di prova, l'elemento strutturale oggetto di prova, le velocità misurate e la resistenza stimata del calcestruzzo.

Art. 7.1.5 Metodo Sonreb

Il metodo Sonreb consiste nella combinazione dei risultati dell'indagine ultrasonica e sclerometrica con l'obiettivo di ottenere risultati più attendibili sulla stima della resistenza a compressione del calcestruzzo. Il metodo consente di superare gli errori che si ottengono utilizzando separatamente il metodo sclerometrico, che è un metodo di indagine superficiale, e il metodo ultrasonico, che invece è un metodo di indagine volumetrico. In pratica la combinazione delle due tecniche di indagine permette di correlare la resistenza meccanica misurata in superficie (prova sclerometrica) con la tessitura strutturale in profondità (trasmissione ultrasuoni), coinvolgendo in definitiva l'intero corpo della struttura indagata.

Per il report dei risultati si può far riferimento a quanto richiesto separatamente per le singole prove ma, in aggiunta deve essere indicata, per ogni area di indagine la resistenza stimata del calcestruzzo ottenuta combinando i risultati dei due metodi mediante formule di letteratura, di comprovata validità, di cui si dovrà indicare il riferimento bibliografico.

Art. 7.1.6 Prova di estrazione o pullout

La prova di estrazione o di pullout è finalizzata alla valutazione della resistenza media a compressione del calcestruzzo attraverso l'inserimento e la successiva estrazione di tasselli metallici ad espansione standardizzati.

La normativa di riferimento per le prove di estrazione è la UNI EN 12504-3:2005 e s.m.i. "Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Determinazione della forza di estrazione".

Il report delle prove di estrazione deve contenere una chiara indicazione delle aree di indagine su piante, sezioni e prospetti strutturali in una opportuna scala di rappresentazione. Per ciascuna area indagata devono essere riportati in forma tabellare l'eventuale codice identificativo dell'area di prova, l'elemento strutturale oggetto della prova, la forza di estrazione e la resistenza stimata del calcestruzzo.

Art. 7.1.7 Prova di penetrazione

La prova di penetrazione è finalizzata alla valutazione della resistenza a compressione del calcestruzzo. Per questa tipologia di prova si può fare riferimento alla norma statunitense ASTM C803/C803M - 03(2010) "Standard Test Method for Penetration Resistance of Hardened Concrete".

Il report delle prove di penetrazione deve contenere una chiara indicazione delle aree di indagine su piante, sezioni e prospetti strutturali in una opportuna scala di rappresentazione. Per ciascuna area indagata devono essere riportati in forma tabellare l'eventuale codice identificativo dell'area di prova, l'elemento strutturale oggetto della prova, la lunghezza emergente della sonda e la resistenza stimata del calcestruzzo.

Art. 7.1.8 Prove non distruttive per le costruzioni in muratura

Art. 7.1.9 Prova termografica

L'analisi termografica a raggi infrarossi condotta sugli strati più superficiali di una in muratura è finalizzata al rilievo di:

- vuoti e cavità;
- tessitura muraria;
- elementi metallici nella muratura (capochiave, catene);
- inclusioni di materiali differenti nella muratura;
- infiltrazioni di acqua;
- regime termoigrometrico;
- distacchi di intonaco;
- impianti (canne fumarie, colonne di scarico);
- vecchie aperture, vani e nicchie;

- eventuali precedenti interventi di rinforzo basati sulla tecnica delle iniezioni;
- informazioni su strati più interni con diversa composizione rispetto agli strati superficiali;
- altre anomalie.

La relazione finale dell'indagine termografica deve contenere una pianta in scala 1:100 con l'indicazione delle pareti murarie oggetto di indagine. Per ciascuna di esse dovranno essere riportate le immagini termografiche, in scala opportuna, con una legenda che associ ad ogni colore il corrispondente intervallo di temperatura. I risultati dovranno essere forniti anche in formato DWG.

La relazione, inoltre, dovrà contenere una descrizione dei risultati ottenuti e la loro interpretazione ai fini del rilievo di tutti gli aspetti di cui sopra in tutti gli elementi strutturali indagati.

Art. 7.1.10 Prova con radar

Il Georadar è un sistema di indagine geofisica che può essere utilizzato per le indagini su strutture murarie (adottando trasduttori con frequenze che generalmente superano i 900 MHz) al fine di individuare variazioni centimetriche all'interno del manufatto in esame, dunque di indagare lo stato di conservazione in generale. In particolare potranno essere rilevate:

- fratture e cavità,
- discontinuità,
- disomogeneità,
- altre anomalie.

La relazione finale delle indagini con georadar deve riportare su piante in una opportuna scala di rappresentazione l'indicazione delle murature indagate. Per ciascun prospetto devono essere fornite le scansioni radar 2D e 3D se disponibili. I risultati dovranno essere forniti alla committenza anche in formato DWG. Dovrà essere, inoltre, allegata la documentazione fotografica relativa alla prova su DVD.

Art. 7.1.11 Monitoraggio statico di fessure e spostamenti

Nel caso in cui il rilievo evidenzia un significativo quadro fessurativo e/o significativi spostamenti (ad esempio fuori piombo di pareti o pilastri) può essere opportuno procedere al monitoraggio delle fessure e/o degli spostamenti.

Nel primo caso si ricorre a strumenti di diversa tipologia che, posti a cavallo di ogni singola fessura di interesse variano la loro distanza al variare dell'ampiezza della fessura. La misura della variazione della distanza può essere eseguita con micrometri manuali che richiedono necessariamente sopralluoghi ad intervalli regolari (di massimo 2 mesi); la durata del monitoraggio deve in ogni caso consentire una precisa rappresentazione del fenomeno evolutivo e delle variazioni delle velocità di variazione nei diversi intervalli. In alternativa le misure possono essere eseguite con trasduttori di spostamento collegati in sito o in remoto a sistemi di acquisizione del dato in continuo. In ogni caso è di grande rilevanza l'adozione di trasduttori di spostamento poco sensibili alle deformazioni termiche in modo da ottenere risultati non influenzati dalle variazioni di lunghezza del trasduttore o dello strumento di misura con la temperatura.

Il monitoraggio deve avere durata non inferiore ai 12 mesi.

Il report finale del monitoraggio nel caso di letture in sito deve contenere una tabella con i valori misurati nelle date di sopralluogo e una rappresentazione grafica del quadro fessurativo con evidenza del fenomeno evolutivo, completa di documentazione fotografica.

La stessa rappresentazione deve essere fornita nel caso di acquisizione in continuo.

Nel caso del monitoraggio dell'evoluzione degli spostamenti si possono usare strumenti topografici o inclinometri analogici o digitali connessi a sistemi di acquisizione; in questo caso il report finale è analogo a quello da produrre nel caso di monitoraggio delle fessure.

Il tecnico dovrà includere nel report l'interpretazione dei risultati ottenuti.

Art. 7.1.12 Prove non distruttive per le costruzioni in acciaio

Art. 7.1.13 Controllo visivo sulle connessioni

Il controllo visivo dello stato dei nodi posizionati all'interno della struttura sia in elevazione sia alla base prevede, in generale, la verifica dei seguenti aspetti:

- stato superficiale,
- usura,
- danni dovuti alla corrosione,
- stato del dado o del bullone,
- serraggio del dado o del bullone con chiave dinamometrica,
- ingrassatura,
- periodo di servizio,
- condizioni del materiale base,
- fessure,
- segni di slittamento,
- rifollamento dei fori dei bulloni,
- pulizia.

Per i giunti di base in particolare si dovranno indagare, se possibile con metodi non distruttivi, i seguenti aspetti:

- profondità dell'ancoraggio,
- stato della barra dell'ancorante,
- rottura del legame chimico.

La relazione finale sui controlli visivi dei nodi in acciaio deve riportare su piante, sezioni e prospetti in una opportuna scala di rappresentazione l'indicazione dei nodi indagati. Per ciascuno nodo indagato dovrà essere descritto con riferimento alla geometria e ai dettagli e rappresentato in formato DWG in scala opportuna se non già disponibile. Dovrà essere, inoltre, allegata la documentazione fotografica.

Art. 7.1.14 Prova di durezza

La prova di durezza consente di misurare la resistenza del metallo alla deformazione plastica permanente. La durezza di un metallo è misurata comprimendo un penetratore sulla sua superficie.

Il tecnico valuterà la prova di durezza da condurre con riferimento alle norme seguenti:

- la UNI EN ISO 6506:2015 per la prova di durezza Brinell,
- la UNI EN ISO 6507:2006 per la prova di durezza di durezza Vickers,
- la UNI EN ISO 6508:2015 per la prova di durezza Rockwell.

Il report delle prove di durezza deve contenere una chiara indicazione su piante, sezioni e prospetti in una opportuna scala di rappresentazione dell'elemento strutturale oggetto di indagine e della posizione del punto di prova.

Per ciascuna area di indagine si dovranno riportare in tabella i valori degli indici misurati e il valore della resistenza stimata dell'acciaio per una delle tre metodologie di prova sopra descritte.

Art. 7.1.15 Controllo visivo delle saldature

L'esame visivo delle saldature ha come obiettivo il rilevamento di possibili difetti superficiali per la cui interpretazione e valutazione il tecnico si baserà su specifici parametri di accettabilità.

La norma di riferimento per il controllo delle saldature con il metodo visivo è la UNI EN 13018:2016.

Il report consiste in una descrizione di ogni saldatura indagata e del suo aspetto superficiale e dovrà essere redatto in conformità alla norma di riferimento. La relazione finale sulle prove deve contenere una chiara indicazione su piante, sezioni e prospetti una opportuna scala di rappresentazione delle posizioni delle saldature oggetto di indagine. Al rapporto di prova dovrà essere allegata la documentazione fotografica relativa a ogni saldatura.

Art. 7.1.16 Controlli radiografici

Il metodo radiografico consente di rilevare cricche longitudinali e trasversali, inclusioni di tungsteno e di scoria, presenza di porosità, aree non fuse, incisioni, eccessi di penetrazione, ecc..

La norma di riferimento per i controlli radiografici delle saldature è la UNI EN ISO 17636. La relazione finale sulle prove deve contenere una chiara indicazione su piante, sezioni e prospetti in una opportuna scala di rappresentazione delle posizioni delle saldature oggetto di indagine. Per ciascuna saldatura deve essere redatto un report in conformità alla norma di riferimento.

Art. 7.1.17 Prove ultrasoniche

L'ispezione delle saldature mediante ultrasuoni consente di evidenziare difetti superficiali e interni.

La norma di riferimento è l'UNI EN 16810:2014 e s.m.i..

L'indagine ultrasonora può essere utilizzata anche per la verifica dello spessore dei profilati in acciaio; in tal caso la norma di riferimento è la UNI EN 14127:2011 e s.m.i..

Il report delle prove ultrasoniche deve contenere una chiara indicazione su piante, sezioni e prospetti in una opportuna scala di rappresentazione dell'ubicazione delle saldature e dei profili metallici oggetto di indagine.

Per ciascuna saldatura e per ciascun profilo metallico indagato deve essere redatto un report conforme alla norma di riferimento.

Art. 7.1.18 Controlli magnetoscopici

I controlli magnetoscopici consentono di individuare la presenza di difetti superficiali in saldature a cordoni d'angolo, grazie all'alterazione dell'andamento delle linee di flusso del campo magnetico segnalata dallo strumento.

La norma di riferimento per il controllo delle saldature a cordoni d'angolo con magnetoscopio è la UNI EN ISO 17638:2010 e s.m.i..

Il report delle prove magnetiche deve contenere una chiara indicazione su piante, sezioni e prospetti in una opportuna scala di rappresentazione dell'ubicazione della saldatura oggetto di indagine. Per ciascuna saldatura deve essere redatto un report in conformità alla norma di riferimento.

Art. 7.1.19 Liquidi penetranti

Il metodo di indagine è adatto a rilevare difetti affioranti di qualunque tipo, a condizione che siano comunicanti con la superficie (fessure, cavità, difetti di fusione etc.).

La norma di riferimento per il controllo delle saldature con i liquidi penetranti è la UNI EN ISO 3452:2013 e s.m.i.. La scelta del liquido da usare e della sensibilità necessaria all'indagine è a discrezione del tecnico in funzione dell'obiettivo dell'indagine.

Il report deve contenere una chiara indicazione su piante, sezioni e prospetti in una opportuna scala di rappresentazione dell'ubicazione della saldatura oggetto di indagine e per la descrizione di ciascuna saldatura oggetto di indagine si dovranno seguire i criteri indicati nella norma di riferimento.

Art. 7.1.20 Prove non distruttive per le costruzioni in tecnica mista

Per edifici con tipologia costruttiva mista si intendono quelli individuati nelle NTC2018 e s.m.i.:

- edifici i cui muri perimetrali siano in muratura portante e la struttura verticale interna sia rappresentata da pilastri (per esempio, in c.a. o acciaio);
- edifici in muratura che abbiano subito sopraelevazioni, il cui sistema strutturale sia, per esempio, in c.a. o acciaio, o edifici in c.a. o acciaio sopraelevati in muratura; 2013.
- edifici che abbiano subito ampliamenti in pianta, il cui il sistema strutturale (per esempio, in c.a. o acciaio) sia interconnesso con quello esistente in muratura.

Per gli edifici misti si può far riferimento alle prove già descritte per gli edifici in c.a., in muratura e in acciaio.

Particolare attenzione dovrà essere dedicata alla verifica visiva della tipologia e dello stato di conservazione delle connessioni tra elementi strutturali di diversa tipologia.

Nell'ambito del procedimento di valutazione di vulnerabilità sismica, di una struttura mista si possono verificare due casi: il primo in cui si sceglie di affidare le azioni sismiche solo alla struttura muraria o solo a quelle in altra tecnologia oppure, il secondo in cui le azioni orizzontali sono affidate a tutti gli elementi strutturali considerando la collaborazione delle pareti in muratura e dei sistemi di diversa tecnologia (acciaio o c.a.). Nel primo caso le verifiche di resistenza sotto azioni sismiche potranno essere estese ai soli elementi strutturali di cui è costituita la tipologia strutturale primaria fermo restando la necessità di eseguire tutte le verifiche necessarie ad accertare la compatibilità degli spostamenti della struttura secondaria e la sua capacità di sostenere i carichi verticali.

Il report con la descrizione dei risultati delle prove deve contenere una chiara indicazione su piante, sezioni e prospetti in una opportuna scala di rappresentazione degli elementi strutturali indagati e della loro posizione; eventuali dettagli costruttivi devono essere rappresentati in una opportuna scala di rappresentazione.

Art. 7.1.21 Prove di carico

Le prove di carico cui si fa riferimento in questo paragrafo sono quelle eseguite su solai e rampe di scala e hanno come obiettivo la valutazione del comportamento del solaio sotto le azioni di esercizio secondo quanto previsto dalle NTC2018 e s.m.i..

La relazione finale sulla prova dovrà descrivere le modalità di esecuzione della stessa e indicare con chiarezza il campo di solaio o delle rampe di scala oggetto della prova su una pianta in una opportuna scala di rappresentazione; si dovrà rappresentare, inoltre, lo schema della prova e il grafico della curva carico spostamento ottenuta per ciascun punto di misura. In aggiunta, i risultati dovranno essere riportati in forma tabellare indicando lo step di carico, il valore del carico e le misure degli spostamenti rilevate da ogni strumento utilizzato.

Nella relazione dovranno essere indicate le date di taratura delle celle di carico (per le prove con carichi concentrati equivalenti) o dei conta-litri (se il carico viene applicato con serbatoi flessibili).

Alla relazione dovrà essere allegata, infine, la documentazione fotografica relativa a tutte le fasi di prova e alla disposizione degli strumenti.

Art. 7.2 Prove distruttive

La caratterizzazione delle proprietà meccaniche dei materiali è principalmente basata su prove meccaniche invasive generalmente classificate come distruttive. I paragrafi che seguono illustrano le più comuni tipologie di prove per la determinazione della resistenza a compressione del calcestruzzo in sito, della resistenza a trazione dell'acciaio da cemento armato e da carpenteria, della resistenza a compressione della muratura. Quando le prove sono eseguite su campioni prelevati in sito i prelievi devono essere eseguiti nelle zone di minor sollecitazione degli elementi strutturali interessati. Il tecnico dovrà valutare, sotto la sua responsabilità, l'opportunità di ricorrere al puntellamento fin quando i danni prodotti dal prelievo non saranno ripristinati.

Art. 7.2.1 Prove distruttive per le costruzioni in c.a.

Art. 7.2.2 Carotaggio e prova di compressione monoassiale

La valutazione della resistenza del calcestruzzo in opera si basa comunemente sulla determinazione della resistenza a compressione mediante una prova di compressione monoassiale eseguita in laboratorio su provini cilindrici estratti da elementi strutturali di edifici esistenti.

Per quanto riguarda le procedure per l'estrazione, la lavorazione dei campioni estratti per ottenere i provini e le relative modalità di prova a compressione si può fare riferimento alle norme UNI EN 12504-1:2009 "Prelievo sul calcestruzzo nelle strutture – Carote – Prelievo, esame e prova di compressione" e s.m.i..

L'operazione di carotaggio deve essere eseguita in modo tale da minimizzare l'influenza del carotaggio stesso sui risultati della prova di compressione.

I risultati delle prove devono essere riportati in rapporti di prova emessi da laboratori di cui all'art. 59 del D.P.R. n. 380/2001.

Noto il risultato delle prove di compressione, la restituzione della resistenza cubica e cilindrica del calcestruzzo in opera avviene mediante il ricorso a correlazioni di letteratura di comprovata validità; i risultati delle prove di compressione sulle carote saranno corretti tenendo conto dell'influenza della geometria del campione e di tutti i fattori perturbativi che caratterizzano il prelievo. Noti i valori medi delle resistenze in sito, i valori caratteristici delle resistenze cubiche e cilindriche si possono dedurre dalle correlazioni proposte nelle NTC2018 e s.m.i..

In esito alle prove di compressione il tecnico dovrà produrre una relazione con il procedimento adottato per la determinazione della resistenza in opera, le formule di correlazione adottate e i relativi riferimenti bibliografici.

Art. 7.2.3 Prova di carbonatazione

La prova di carbonatazione è finalizzata alla determinazione dello spessore carbonatato di calcestruzzo sulle carote appena estratte. Si può fare riferimento alle norme UNI 9944 "Corrosione protezione dell'armatura del calcestruzzo" e s.m.i..

I risultati della prova devono essere rappresentati in forma tabellare e contenere l'indicazione dell'elemento strutturale oggetto di prelievo, della posizione di prelievo del campione, della sigla identificativa del campione e degli spessori di calcestruzzo carbonatato misurati a partire dalle due estremità della carota.

Le ubicazioni delle aree di prova dovranno essere chiaramente indicati su piante, sezioni e prospetti in una opportuna scala di rappresentazione. L'indagine dovrà essere documentata da immagini fotografiche di ogni campione con particolare riferimento ai momenti prima e dopo l'esecuzione della prova.

Art. 7.2.4 Prove sull'acciaio per cemento armato

Salvo nel caso in cui siano disponibili certificati di prova di entità conforme a quanto richiesto per le nuove costruzioni nella normativa dell'epoca di edificazione del fabbricato in esame, l'identificazione della classe dell'acciaio in un edificio esistente si ottiene mediante estrazione di campioni di armatura su cui eseguire prove di trazione fino a rottura con determinazione della resistenza a snervamento e dell'allungamento a rottura.

Per l'esecuzione della prova di trazione si può far riferimento alle NTC2018 e alla norma UNI EN ISO 6892-1:2009 "Materiali metallici – prova di trazione" e s.m.i..

Per tutte gli spezzoni di armatura testati deve essere prodotto un rapporto ufficiale di prova emesso da laboratori di cui all'art. 59 del D.P.R. n. 380/2001.

Le ubicazioni degli elementi strutturali oggetto di prelievo e le posizioni dei campioni prelevati dovranno essere chiaramente indicati su piante, sezioni e prospetti in una opportuna scala di rappresentazione.

Alla relazione dovrà essere allegata la documentazione fotografica relativa a tutte le fasi di prova.

Art. 7.2.5 Misura del potenziale di corrosione

La mappatura del potenziale di corrosione consente in modo non distruttivo di valutare lo stato corrosivo delle armature di elementi in calcestruzzo armato.

Le norme di riferimento per le misure sono le UNI 10174:1993 "Istruzioni per l'ispezione delle strutture di cemento armato esposte all'atmosfera mediante mappatura di potenziale", le UNI 9535 "Determinazione del potenziale dei ferri di armatura" e le ASTM C876:09 "Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete" e s.m.i..

Le zone indagate dovranno essere individuate in piante, sezioni e prospetti in una opportuna scala di rappresentazione e, per ciascuna misura, dovranno essere riportate le mappe di potenziale. La relazione finale dovrà raccogliere, per ogni area di prova i risultati in forma tabellare con l'indicazione dei valori minimi, medi e massimi del potenziale. Sulla base della norma di riferimento utilizzata dovranno essere indicate per ogni area le probabilità di corrosione.

Art. 7.2.6 Prove distruttive per le costruzioni in muratura

Art. 7.2.7 Prova con martinetto piatto

La prova con martinetto piatto singolo permette di stimare lo stato di tensione locale presente nelle strutture murarie. La tecnica di prova si basa sulla variazione dello stato tensionale in un punto della struttura provocato da un taglio piano eseguito in direzione normale alla superficie della muratura.

La prova con martinetto piatto doppio consente di individuare le caratteristiche di resistenza della muratura. La prova richiede l'esecuzione di due tagli paralleli nella muratura e ortogonali alla direzione della resistenza che si vuole indagare (tipicamente la verticale).

Le prove con martinetti piatti sono normate dalle ASTM C1196 (In situ compressive strength within solid unit masonry estimated during flat-jack measurements) per quanto riguarda i martinetti singoli e dalle ASTM C1197 (In situ measurements of masonry deformability properties using the flat-jack measurements) per i martinetti doppi.

Come risultato di ogni singola prova si dovranno riportare le curve e le tabelle carico - spostamento verticale e carico-spostamento orizzontale per ciascuno dei trasduttori utilizzati con riferimento esclusivamente alla prova con martinetto doppio.

Nella prova con martinetto piatto singolo dovrà essere chiaramente indicato il valore del carico che annulla lo spostamento relativo tra le parti murarie inferiore e superiore al taglio dovuto al taglio stesso; la prova permette dunque la conoscenza dello stato tensionale presente nella muratura.

Le zone di prova scelte dal tecnico, dovranno essere individuate in piante, sezioni e prospetti in una opportuna scala di rappresentazione. Al report di prova dovrà essere allegato il certificato di taratura dei martinetti utilizzati e la documentazione fotografica relativa a ogni prova eseguita.

Art. 7.2.8 Carotaggi e endoscopie

Il carotaggio di elementi in muratura è finalizzato all'identificazione della tipologia muraria (tipi di malta, laterizio e pietra, spessore e conformazione dei paramenti murari, ecc.) attraverso l'esame del campione estratto, dunque la ricostruzione della sezione muraria. L'indagine endoscopica consente l'ispezione visiva diretta di cavità all'interno dello spessore murario e il rilevamento di eventuali discontinuità del tessuto murario.

I punti di indagine dei campioni dovranno essere indicati in piante, sezioni, prospetti e le sezioni murarie dovranno essere rappresentate in una opportuna scala di rappresentazione.

Art. 7.2.9 Prove distruttive per le costruzioni in acciaio

La misura delle caratteristiche meccaniche dell'acciaio da carpenteria in un edificio esistente, salvo nel caso in cui siano disponibili certificati di prova conformi a quanto richiesto per le nuove costruzioni all'epoca di costruzione della struttura, si ottiene mediante prelievo di provette su cui eseguire prove di trazione fino a rottura con determinazione della resistenza a snervamento e dell'allungamento a rottura. La provetta è generalmente ottenuta mediante lavorazione di un saggio prelevato da un profilato metallico.

Per la preparazione dei campioni si può fare riferimento alla EC 1-2015 UNI EN ISO 377:2013 "Acciaio e prodotti di acciaio - Prelievo e preparazione dei campioni e dei provini per prove meccaniche" e s.m.i..

Per l'esecuzione della prova di trazione si può far riferimento e alla norma UNI EN ISO 6892-1:2009 "Materiali metallici – prova di trazione" e s.m.i..

Le ubicazioni dei profili e le posizioni dei punti di prelievo dovranno essere chiaramente indicati su piante, sezioni e prospetti in una opportuna scala di rappresentazione.

Per tutti i campioni testati deve essere prodotto un certificato ufficiale di prova emesso da laboratori di cui all'art. 59 del D.P.R. n. 380/2001.

Art. 7.2.10 Prove distruttive per le costruzioni in tecnica mista

Per gli edifici misti si può far riferimento alle prove già descritte per gli edifici in c.a., in muratura e in acciaio.

Art. 8 INDAGINI SUI TERRENI

Le indagini sul terreno sono finalizzate all'identificazione delle categorie di suolo secondo quanto indicato nelle NTC2018 e s.m.i. e alla caratterizzazione geotecnica necessaria alle verifiche agli stati limite ultimi e di esercizio di un fabbricato, e, se del caso, alle analisi di risposta sismica locale (RSL). La caratterizzazione geotecnica richiede l'uso di:

- sondaggi;
- prove in sito tradizionali (CPT; SPT; DMT; ecc.);
- installazione di piezometri e misura delle pressioni interstiziali;
- prove geofisiche in sito (down hole; cross hole; cono sismico; SDMT; SASW-MASW, ecc.)
- prove geotecniche di laboratorio (prove per la determinazione di proprietà indice e di stato;
- prove edometriche, triassiali, RCTS, ecc.).

La quantità e la tipologia delle indagini geotecniche, in accordo con le NTC2018 e s.m.i., sono definite dal tecnico che se ne assume la responsabilità, in funzione del modello geologico riportato nella relazione geologica. Per la definizione delle categorie di edifici per i quali è necessario uno studio di risposta sismica locale si rimanda a eventuali Delibere delle Giunte Regionali relative al luogo in cui è situato l'edificio oggetto di valutazione di vulnerabilità sismica.

Quale che sia la metodologia impiegata, la caratterizzazione geotecnica deve essere estesa a un volume significativo legato alla natura delle sollecitazioni e al problema oggetto di studio. In sintesi, la caratterizzazione geotecnica deve avere come obiettivi minimi:

- l'identificazione della stratigrafia del sottosuolo;
- la conoscenza del regime delle acque sotterranee;
- la conoscenza delle proprietà fisiche e meccaniche dei terreni ricadenti nel volume significativo.

La valutazione dell'analisi della risposta sismica locale del sito, se necessaria, dovrà essere riferita alla quota di riferimento dell'edificio che secondo le NTC2018 e s.m.i. è per le fondazioni superficiali, il piano di imposta delle stesse; mentre, per le fondazioni su pali, il piano a livello della testa dei pali. Per la scelta del tipo di prove da eseguire, per le procedure di prova e le tecniche di interpretazione dei dati, si può far riferimento all'ampia letteratura scientifica sull'argomento (NTC2018 e s.m.i., Linee guida AGI; Norme ASTM e BS).

Programma esecutivo delle indagini

L'appaltatore esecutore delle indagini deve predisporre e consegnare alla Stazione Appaltante un programma esecutivo dei lavori, elaborato in relazione alle proprie tecnologie, alle proprie scelte imprenditoriali e alla propria organizzazione lavorativa.

Tale programma dovrà essere coerente con i tempi contrattuali di ultimazione e deve essere approvato dalla direzione dei lavori, mediante apposizione di un visto, entro cinque giorni dalla data di ricevimento.

Il Piano d'indagini predeterminato a base del servizio potrà essere variato a causa della indeterminatezza legata alle previsioni di studio di porzioni sconosciute di sottosuolo, il numero e il tipo di indagini programmate vanno considerati solamente indicativi e pertanto devono essere ritenuti modificabili in relazione alle informazioni geologiche e geotecniche man mano acquisite. In ogni caso, l'ammontare complessivo delle prestazioni non dovrà essere superato. L'Amministrazione non riconoscerà prestazioni eccedenti il limite prefissato. Nei prezzi si intendono sempre compresi e compensati anche i lavori e gli oneri della Ditta per ripristinare i terreni alle condizioni preesistenti alla esecuzione dei sondaggi.

Oneri a carico degli esecutori delle indagini

Sono a carico dell'appaltatore gli oneri per le pratiche presso amministrazioni ed enti per permessi, licenze, concessioni, autorizzazioni per opere di presidio, occupazioni temporanee di suoli pubblici o privati, apertura di cave di prestito, uso di discariche, smaltimento fanghi di perforazioni, interruzioni provvisorie di pubblici servizi, attraversamenti, cautelamenti, trasporti speciali nonché le spese ad esse relative per tasse, diritti, indennità, canoni, cauzioni, ecc.

In particolare se le indagini verranno effettuate in centri abitati o in vicinanza di essi, la Ditta dovrà assumere le relative informazioni per l'individuazione di cavi telefonici, elettrici, tubazioni di gas e acqua e quant'altro possa trovarsi sotto al piano di campagna.

Eventuali danni, in fase di preparazione ed esecuzione dei sondaggi, saranno a completo carico della Ditta per il ripristino funzionale di quanto danneggiato.

Art. 8.1 SONDAGGI

I sondaggi dovranno essere eseguiti secondo le procedure indicate nelle *“Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche” (AGI, 1977)*.

Nell'esecuzione delle indagini, dovranno essere seguite le seguenti modalità.

Art. 8.1.1 Perforazioni di sondaggio

I sondaggi sono finalizzati al raggiungimento dei seguenti obiettivi principali:

- **Prelievo di campioni indisturbati finalizzati alla determinazione dei parametri meccanici** necessari per le analisi di risposta sismica (modulo di taglio, rapporto di smorzamento, ...) tramite prove dinamiche di laboratorio. Il geologo assistente di cantiere può modificare in corso d'opera il programma preliminare in relazione al prelievo di campioni, laddove i terreni attraversati lo permettano, avendo premura di verificare anticipatamente l'idoneità dei campionatori in riferimento alle specifiche indicate nelle I.T. Il mancato prelievo di campioni in terreni idonei al campionamento sarà da addebitarsi al geologo assistente di cantiere, salvo mancanze e/o inadempienze da parte dell'impresa. Se tale procedura non verrà rispettata, per inadempienza da parte dell'Impresa, non sarà autorizzato il pagamento per tutta la profondità relativa al litotipo interessato dal prelievo. Inoltre il geologo assistente di cantiere dovrà premunirsi che i campioni prelevati vengano conservati a cura dell'Amministrazione Comunale in un luogo chiuso e protetto fino al momento della consegna al laboratorio geotecnico. Il laboratorio geotecnico verificherà la corretta paraffinatura e chiusura del campione, evidenziando eventuali mancanze da parte dell'impresa.

- **Esecuzione della prova Down-Hole** per la determinazione delle velocità delle onde P ed SH. Per assicurare la corretta esecuzione della prova geofisica dovrà essere eseguita una adeguata cementazione del foro di sondaggio, secondo quanto specificato nelle I.T. A tal fine il pagamento del sondaggio all'Impresa verrà effettuato solo dopo l'esecuzione della prova geofisica, potendo così verificare se le registrazioni acquisite sono di qualità e non disturbate dalla non continuità della cementazione. Il diametro del sondaggio dovrà essere sufficiente a garantire l'esecuzione della prova DH, secondo quanto prescrivono le I.T. nel paragrafo B.1.5.

- **Ricostruzione stratigrafica del terreno** mediante la campionatura completa dei litotipi attraversati dall'utensile di perforazione e attraverso la compilazione della colonna lito-stratigrafica,

l'identificazione dell'unità litotecnica (seguendo le linee guida indicate nelle I.T.), integrandole con l'interpretazione geologica del materiale estratto.

Nelle aree in frana, per misurare l'entità degli spostamenti, il sondaggio dovrà essere attrezzato con tubo inclinometrico.

A seconda degli scopi ai quali sono prevalentemente diretti, i sondaggi si distinguono convenzionalmente in:

a) *sondaggi stratigrafici*: servono per ricostruire il profilo stratigrafico del sottosuolo e per determinare la profondità di rinvenimento e di stabilizzazione di eventuali falde idriche.

b) *sondaggi geotecnici*: forniscono le stesse indicazioni dei sondaggi stratigrafici oltre alla possibilità di determinare le proprietà meccaniche dei terreni attraversati per mezzo di prelievi di campioni indisturbati e l'esecuzione di prove in foro.

Nel caso di sondaggi geotecnici nei quali saranno eseguiti indagini di tipo dinamico (vedi appendice B.1), si fa presente quanto segue:

- per la prova Cross-hole è necessario controllare la deviazione dalla verticale (come specificato in appendice B.1). A tal fine è necessario attrezzare il foro con tubo inclinometrico;
- per la prova Down-hole non si rendono necessari controlli di verticalità;
- deve essere attentamente eseguita la cementazione del tubo su tutta la lunghezza della perforazione.

L'impresa deve assicurare durante tutte le fasi di sondaggio (installazione cantiere, perforazione, cementazione etc.) l'assistenza costante di un proprio geologo che compilerà la stratigrafia su modulo regionale, che esaminerà i campioni di risulta ed imposterà il lavoro degli operai di macchina. Tale requisito è elemento fondamentale per l'aggiudicazione dei lavori. E' prevista inoltre durante tutte le fasi di sondaggio (installazione cantiere, perforazione, cementazione, ecc...) la presenza costante di un geologo incaricato dall'Amministrazione Appaltante che svolga il ruolo del geologo assistente di cantiere per l'intera durata del sondaggio. Si precisa che tale incarico sarà effettuato direttamente alla persona fisica (geologo professionista che seguirà personalmente il sondaggio) e non a persone giuridiche (Imprese). Il geologo incaricato dell'assistenza e direzione dei lavori del sondaggio geotecnico dovrà seguire costantemente i lavori e dovrà assicurare che questi vengano svolti secondo quanto prescritto dalle Istruzioni Tecniche Regionali ricordando che gli obiettivi principali e i compiti del **geologo assistente di cantiere** sono i seguenti:

1. ricostruzione del profilo stratigrafico e compilazione del modulo stratigrafico;
2. Controllare e verificare anticipatamente la dotazione della strumentazione di perforazione (sonda, carotieri, campionatori, corone, rivestimenti...) in relazione alla tipologia presunta dei terreni;
3. controllo e posizionamento della sonda sulla verticale esplorativa indicata dalla Stazione Appaltante: eventuali spostamenti per problemi logistici e/o per presenza di sottoservizi non valutati preventivamente devono essere tempestivamente comunicati e concordati con la Stazione Appaltante;
4. controllo continuo durante la fase di perforazione evidenziando, in accordo con il geologo dell'Impresa ed il sondatore, il tipo di carotiere da adottare, di volta in volta, in maniera da garantire il minor disturbo possibile nel terreno e la maggior percentuale di recupero;
5. direzione dei lavori di prelievo (profondità e tipo in relazione alla natura del terreno) dei campioni indisturbati finalizzati alla determinazione dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica tramite prove dinamiche di laboratorio. Il geologo Assistente di Cantiere può modificare in corso d'opera il programma preliminare in relazione al prelievo di campioni, laddove i terreni attraversati lo permettano, avendo premura di verificare anticipatamente l'idoneità dei campionatori in riferimento alle specifiche indicate nelle Istruzione Tecniche. Il mancato prelievo di campioni in terreni idonei al campionamento sarà da addebitarsi al geologo assistente di cantiere, salvo mancanze e/o inadempienze da parte dell'Impresa. Inoltre il geologo assistente di cantiere dovrà premunirsi che i campioni prelevati vengano conservati a cura dell'Amministrazione Comunale in un luogo chiuso e protetto fino al momento della consegna al laboratorio geotecnico;
6. controllo della regolare preparazione dei campioni (paraffinatura, etichettatura etc.) e del loro recapito presso la struttura indicata dall'Ente;
7. direzione dei lavori di esecuzione delle prove geotecniche (misure SPT, prove di assorbimento etc.);

8. effettuazione delle misure di falda durante e dopo la perforazione e comunque sempre all'inizio ed alla fine della giornata lavorativa;
9. Direzione dei Lavori di condizionamento del foro (tubo inclinometrico, tubo piezometrico, tubo per prove downhole) con particolare riguardo alle modalità di cementazione e successivo controllo della accessibilità del foro per tutta la profondità;
10. comunicazione tempestiva all'Amministrazione di eventuali inadempienze e/o mancanze da parte dell'Impresa appaltatrice;
11. redazione della Relazione Tecnica delle indagini.

Le perforazioni saranno eseguite generalmente con le modalità atte ad effettuare sondaggi a carotaggio continuo; si ricorrerà a procedimenti a distruzione di nucleo per eventuali fori integrativi da attrezzare con tubi inclinometrici, piezometri e in tratti non significativi a litologia uniforme e nota.

I sondaggi saranno misurati per metro lineare di foro eseguito; le profondità saranno misurate dal piano d'imposta dell'attrezzatura. Nel caso di rinvenimento di rocce o ammassi rocciosi si dovrà fare riferimento alle classifiche litologiche, distinguendo le rocce in base alle loro proprietà meccaniche ed al loro stato di continuità, come indicato nelle *"Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche"* (AGI, 1977) ed in quella dell'ISRM.

Durante la perforazione dovranno essere annotate le profondità rispetto al piano di campagna alle quali si hanno cambiamenti di natura del terreno, le quote di venuta d'acqua e del livello stabilizzato della falda, le eventuali perdite d'acqua. La profondità della falda acquifera incontrata e la quota di stabilizzazione dell'acqua in foro dovrà essere rilevata con misure giornaliere ad inizio e fine perforazione.

I sondaggi e le prove in sito devono essere in generale spinti fino ad incontrare la roccia "sana", attraversandola per uno spessore significativo. Si ricorda inoltre che la profondità del sondaggio viene indicata con un intervallo di 5 m (es. 15/20 m) in quanto viene stimata:

- in base all'interpretazione dei risultati delle indagini di sismica a rifrazione, il cui metodo comporta un'approssimazione che può variare nell'ordine di alcuni metri anche in relazione alle caratteristiche della formazione incontrata;
- in base alla necessità di caratterizzare il materiale in condizioni ottimali (non alterato e/o fratturato), tramite l'effettuazione di prove geofisiche per la determinazione della Vs (DH e CH) e di prove geotecniche di laboratorio (prelievo ed analisi di campioni), per la caratterizzazione geotecnica del materiale prelevato.

Il sondaggio quindi, dovrà essere spinto per almeno 5 m all'interno della formazione "sana".

La stabilità del fondo del foro deve essere assicurata con i mezzi che la tecnica operativa mette a disposizione. In particolare:

- le modalità di estrazione dell'attrezzo di perforazione, campionamento, ecc., devono essere eseguite con velocità molto bassa nel tratto iniziale per minimizzare l'effetto *"pistone"*;
- il battente di fluido in colonna deve essere mantenuto sempre più alto possibile, anche facendo sporgere fino ad un metro dal piano di lavoro l'estremità superiore del rivestimento da mantenersi pieno di fluido.

La stabilità delle pareti dovrà essere garantita da un rivestimento metallico provvisorio oppure mediante l'impiego di fanghi bentonitici, previa autorizzazione del geologo assistente di cantiere.

Nei terreni a grana grossa o nelle rocce fortemente fratturate, nel caso in cui si verifichi una perdita di fluidi di perforazione, occorrerà prevedere la cementazione e la riperforazione del foro di sondaggio.

Gli interventi di cementazione e riperforazione devono essere autorizzati dalla Stazione Appaltante previa richiesta da parte del geologo assistente di cantiere. La pulizia del fondo foro, prima di eseguire manovre di campionamento e/o prove in sito, deve essere assicurata eseguendo, se necessario, apposita manovra di pulizia o di lavaggio con attrezzo a fori radiali.

Si precisa che il sondaggio deve essere realizzato in maniera da permettere la posa in opera del rivestimento e relativa cementazione per l'effettuazione delle prove Cross-hole, delle prove Down-hole e della strumentazione di tipo accelerometrico.

Art. 8.1.2 Sondaggi a corotaggio continuo

I sondaggi saranno eseguiti con sistema a rotazione, impiegando i seguenti utensili di perforazione:

- carotieri semplici con valvola di testa a sfera e calice;
- carotiere doppio a corona sottile (T2, T6) con estrattore;
- carotiere triplo con portacampione interno estraibile ed apribile longitudinalmente (T6S) con estrattore e calice.

A seconda della natura litologica dei terreni si stabilirà quale tipo di carotiere utilizzare. Si richiederà il T6s o il triplo in tutti i casi in cui possono essere previsti prelievi di spezzoni di carota di roccia per prove meccaniche di laboratorio.

In linea generale si richiede sonda semovente cingolata o autocarrata in grado di fornire spinta massima, tiro, coppia massima e di essere attrezzata con aste di perforazione e rivestimento sufficienti a raggiungere profondità massime di 80 m. In fase di piazzamento della macchina operatrice dovrà essere curata al massimo la verticalità del foro, mediante controlli con livella torica sulla colonna di perforazione.

Per quanto riguarda il diametro del sondaggio, il diametro minimo a fondo foro dovrà essere sufficiente a prelevare campioni indisturbati del diametro non inferiore a 80 mm, e comunque ad attrezzare il foro con tubo in p.v.c. pesante o inclinometrico di diametro interno di 80 mm.

Nello specifico, nel caso di sondaggi profondi ($z > 50,0-60,0$ m) oppure laddove le condizioni del foro non garantiscano una perfetta prosecuzione della perforazione si potrà utilizzare, previo parere del geologo assistente di cantiere e sentita la Stazione Appaltante, l'impiego di doppi rivestimenti metallici provvisori, uno interno con diametro pari a 127mm e uno esterno con diametro pari a 152mm. L'impresa avrà cura di asportare, attraverso adeguate manovre di pulizia a fondo foro, tutto il materiale presente nell'intercapedine tra i due rivestimenti. L'impiego dei rivestimenti provvisori devono essere esplicitamente autorizzati dal geologo assistente di cantiere. La profondità che dovrà essere raggiunta verrà indicata dal geologo assistente di cantiere (incaricato dall'Appaltante) che segue il sondaggio sentito il parere della Stazione Appaltante e dei referenti scientifici prima dell'inizio del foro ed eventualmente durante la perforazione in relazione alla natura dei terreni incontrati.

In fase di esecuzione dei sondaggi dovrà essere assicurata la perfetta stabilità delle pareti e del fondo foro, operando in maniera tale da portare al terreno stesso il minimo disturbo. A tal fine, l'Impresa è tenuta a stabilizzare le pareti con un tubo di rivestimento provvisorio e/o mediante l'uso di acqua o opportune miscele in foro di fluido di stabilizzazione acquisito il parere favorevole del geologo assistente di cantiere e l'assenso della Stazione Appaltante. Le operazioni di cementazione e riperforazione del foro di sondaggio nel caso di perdita dei fluidi in foro, devono essere specificatamente richiesti dal geologo assistente di cantiere e concordati con la Stazione Appaltante. Il geologo assistente di cantiere segnala alla Stazione Appaltante la necessità di utilizzo della cementazione e acquisisce l'autorizzazione della stessa.

L'impresa ha l'obbligo di effettuare il carotaggio del foro o del tratto di foro precisato dal geologo assistente di cantiere, adottando tutte le cautele, le attrezzature e gli accorgimenti necessari per la massima percentuale di recupero. In nessun caso la manovra di carotaggio dovrà superare la lunghezza di 1,5m.

Per ottenere una migliore percentuale di recupero, si dovrà operare a secco se viene utilizzato il carotiere semplice, soprattutto nei terreni granulari o nei terreni fini poco consistenti. In altri tipi di terreno, sentito il geologo assistente di cantiere sarà possibile operare il carotaggio con fluido di circolazione.

Ovviamente, utilizzando carotieri doppi-tripli occorrerà prevedere la circolazione del fluido di perforazione, come anche nel caso di impiego del carotiere semplice in roccia. Il fluido di circolazione dovrà essere stabilito in ragione alla natura del terreno, sentito geologo assistente di cantiere. Questo sarà costituito generalmente da acqua. In alcuni tipi di terreno (argillosi e/o sabbioso – limoso), il geologo assistente di cantiere potrà autorizzare, l'utilizzo di acqua miscelata a polimeri e/o fanghi bentonitici adeguati per consentire un recupero di terreno più elevato.

Da notare però che l'utilizzo di tale miscela non deve assolutamente provocare un maggior disturbo nel prelievo dei campioni di terreno. Il recupero del materiale all'interno del carotiere semplice, nel caso in cui siano presenti terreni sciolti, deve essere effettuato mediante pistone o aria compressa per non pregiudicare lo stato di rimaneggiamento del materiale.

In particolare, con riguardo alla natura ed alle caratteristiche dei terreni attraversati le percentuali di recupero, valutate per ogni singola battuta di carotaggio¹ (in nessun caso di lunghezza superiore a 1,5 m), dovrebbero essere possibilmente essere superiori a:

- 70% per i terreni sciolti in genere (sabbia, ghiaia, ecc.);
- 80% per i terreni coesivi omogenei (argilla, argilla marnose, ecc.) ;
- 90% per rocce compatte in genere (calcari, calcari marnosi, arenarie, conglomerati, gessi, anidriti, rocce ignee, rocce metamorfiche, ecc).

Qualora tali percentuali di recupero non venissero realizzate per chiara negligenza dell'Impresa quei tratti di sondaggio non saranno contabilizzati nel computo complessivo.

L'attribuzione dei terreni incontrati alle classi sopra riportate è fatta dal geologo incaricato per l'assistenza di cantiere: qualora il recupero risulti inferiore alle percentuali sopra riportate, a giudizio insindacabile della Stazione Appaltante potrà essere richiesta la ripetizione del sondaggio senza alcun aggravio di spesa a carico dell'Appaltante. In ogni caso il tratto corrispondente alla percentuale di recupero inadeguata non sarà computata nella contabilità finale. Il carotaggio estratto dovrà essere sistemato in cassette catalogatrici aventi dimensioni adeguate, munite di scomparti divisorii (1 m di lunghezza con 4/5 compartii) e di coperchio. Sulle cassette dovrà essere indicato in modo indelebile il cantiere, il sondaggio e le quote di riferimento. Sugli scomparti interni dovrà essere chiaramente scritta la quota di riferimento di ciascuna manovra eseguita. I campioni di terreno non roccioso devono essere scorticati nella parte visibile della cassetta.

Durante il carotaggio, il geologo dell'Impresa appaltatrice, è sufficiente che compili una breve relazione tecnica riportando la stratigrafia desunta dal sondaggio con indicazione relativa agli spessori e alle litologie presenti sul log-stratigrafico redatto dalla Stazione Appaltante.

Il geologo incaricato per l'assistenza di cantiere deve compilare la stratigrafia di campagna e successivamente elaborarla nella versione definitiva.

I campioni indisturbati dovranno essere prelevati alle profondità indicate dalla Stazione Appaltante – Settore Servizio Sismico Regionale e comunque ogni qual volta venga rilevata una variazione delle caratteristiche del terreno attraversato, dove le caratteristiche dei terreni lo consentano, e dopo aver sentito il parere della Stazione Appaltante Settore Servizio Sismico Regionale.

I carotaggi contenuti nelle cassette dovranno essere tempestivamente trasportati a cura dell'Impresa e consegnati al Comune che li dovrà conservare in ambienti riparati dalle intemperie. Per ogni cassetta dovranno essere eseguite due fotografie a colori con angolazioni diverse, una perpendicolare e l'altra obliqua, in modo da individuare in maniera ottimale le variazioni litologiche. Nelle foto dovrà essere ben visibile l'etichetta dove sono apposte le indicazioni riguardanti il cantiere, il sondaggio e le quote di riferimento ed un metro per i riferimenti di scala. Le fotografie effettuate saranno consegnate in originale oppure, se realizzate con macchina fotografica digitale, su supporto magnetico e dovranno essere allegate nella relazione illustrativa finale a cura del geologo incaricato per l'assistenza al cantiere.

I carotaggi contenuti nelle cassette catalogatrici dovranno essere tempestivamente trasportati e conservati in ambienti riparati dalle intemperie. Rientra tra i compiti dell'Impresa:

- il trasporto dei carotaggi contenuti nelle cassette catalogatrici sino alla sede del Comune;
- la consegna delle stesse ai tecnici dell'Amministrazione Comunale.

Modalità di presentazione dei risultati.

Per questo tipo di indagine, oltre alla consegna del log stratigrafico, deve essere prevista una **relazione generale** comprendente:

- a) obiettivi delle indagini e contesto geologico delle aree investigate desunte dal programma preliminare redatto dalla Stazione Appaltante e fornito al Committente;
- b) Piano di sicurezza dell'Impresa (se richiesto dalla vigente normativa) e Piano di controllo di qualità qualora l'Impresa sia certificata;
- c) risultati delle indagini ed eventuali osservazioni. Devono essere riportate in particolare:
 - note in merito alla modalità di esecuzione della cementazione del foro e alla qualità della stessa;
 - dimensioni del foro;
 - presenza o meno di eventuali occlusioni in fase di perforazione;
 - rispondenza delle caratteristiche tecniche del sondaggio a quelle previste dalle Istruzioni Tecniche;

- eventuale presenza di acqua.

La relazione generale deve essere consegnata in triplice copia, di cui due copie rilegate e una copia non rilegata. Inoltre si richiedono due copie su CD.

Inoltre, deve essere prevista una relazione tecnica con documentazione, tabelle e grafici da cui risulti per ciascuna prova:

- a) la descrizione delle procedure seguite;
- b) la planimetria su base CTR 1: 2000 ingrandita in scala 1:1000 con il diametro e la profondità del foro;
- c) coordinate in Gauss- Boaga in metri del sito ove è ubicato il sondaggio;
- d) le modalità di esecuzione, di rivestimento e di cementazione adottate, ed in particolare le dimensioni geometriche del rivestimento, la composizione della miscela iniettata, la massima pressione di iniezione, la portata e l'attrezzatura utilizzata e soprattutto la quantità di miscela adoperata.
- e) la strumentazione adottata per la perforazione;

La relazione tecnica deve essere consegnata in triplice copia, di cui due copie rilegate e una copia non rilegata. Inoltre si richiedono due copie su CD.

Standard di valutazione dei risultati.

Sono state predisposte una serie di parametri per la valutazione della qualità dei dati acquisiti durante le fasi di perforazione ai fini di una loro possibile utilizzazione per un'attendibile interpretazione ai fini geologici. La valutazione dei risultati sarà effettuata dai componenti della Commissione di Collaudo nominata dalla Stazione Appaltante, i quali, a seguito della visione delle cassette catalogatrici, dei campioni prelevati e dei log-stratigrafici redatti, dovranno redarre un rapporto tecnico di valutazione, tenendo conto dei seguenti parametri:

- a) *Valutazione delle operazioni di carotaggio eseguite:* Verranno valutate in sede di sopralluogo, mediante la visione delle cassette catalogatrici, tutte le operazioni necessarie per ottenere la massima percentuale di recupero valutata per ogni singola battuta, il corretto utilizzo del carotiere in relazione alla tipologia di terreno incontrato, il corretto utilizzo del campionatore idoneo in relazione al materiale incontrato e la corretta suddivisione delle manovre di carotaggio;
- b) *Valutazione della ricostruzione del profilo stratigrafico desunto dalle carote e relativa interpretazione geologica:* Verranno valutate in sede di sopralluogo, attraverso la visione delle cassette catalogatrici, tutti i terreni campionati e le attribuzioni formazionali fornite.

Art. 8.1.3 Prelievo di campioni

Per la determinazione delle caratteristiche geotecniche dovranno essere estratti dai fori di sondaggio campioni in numero ed alle profondità prestabilite con procedure operative e con campionatori adeguati al programma d'indagini previsto e/o secondo le istruzioni dettate dal geologo di assistenza al cantiere (indicato dall'Appaltante) durante l'esecuzione del carotaggio.

Per i tratti di sondaggio in cui si richiede la ricostruzione stratigrafica del sottosuolo e la conoscenza delle sole caratteristiche fisiche dei terreni, è consentito:

- il prelievo di campioni disturbati o a disturbo limitato, mediante l'impiego di campionatori a pareti grosse da 100 mm e fustelle in pvc, da infiggere a percussione o a pressione, a seconda della natura geolitologica dei terreni stessi;
- il prelievo di campioni rimaneggiati e loro conservazione in contenitori trasparenti a chiusura ermetica.

Per i tratti in cui si richiede la ricostruzione stratigrafica del sottosuolo e la conoscenza delle sole caratteristiche fisiche dei terreni, è consentito il prelievo di campioni disturbati od a disturbo limitato.

I campioni indisturbati dovranno essere estratti mediante campionatori a pareti sottili infissi a pressione (campionatore a parete sottile tipo Shelby del diametro minimo di 80 mm), preferibilmente dotati di pistone (campionatore tipo Osterberg) od a rotazione a doppia o a tripla parete con scarpa avanzata tipo Denison o tipo Mazier modificato.

Per il campionatore semplice tipo Shelby la scarpa del tubo campionatore deve avere un tagliente con angolo non superiore a 6°. L'impresa dovrà produrre un'attestazione relativa all'uso di campionatori con i requisiti richiesti. I laboratori, incaricati di eseguire le indagini geotecniche sui campioni prelevati, verificheranno la conformità dei tubi campionatori con i requisiti prescritti

comunicandolo alla Stazione Appaltante. In via preliminare il geologo assistente di cantiere deve fornire una valutazione di massima, tramite acquisizione di informazione dall'Impresa e successiva valutazione in cantiere, circa la presenza e l'utilizzo in cantiere di campionatori con i requisiti richiesti. Inoltre, i campionatori a pareti sottili, con o senza pistone, dovranno avere un coefficiente di ingresso molto piccolo e certamente minore di 0.5 %.

E' prevista un'accurata pulizia del foro di sondaggio sempre previa accurata pulizia del foro di sondaggio con metodi adeguati (carotiere semplice e manovra finale a secco, utensile di spurgo a getto radiale e soprastante calice di raccolta del detrito, ecc.).

Nel caso di campionatori tipo Denison il campione sarà alloggiato in un tubo PVC interno al tubo non rotante e opportunamente paraffinato dopo il recupero.

L'entità della sporgenza del tubo interno va concordata con la direzione lavori.

Nel caso di campionatore Mazier modificato il campione sarà alloggiato in un tubo di acciaio inossidabile, cadmiato o comunque trattato. Anche in questo caso si procederà alla paraffinatura.

In ogni caso le ditte forniranno le caratteristiche del tubo campionatore in dotazione e quanto non espressamente indicato andrà concordato con il geologo assistente di cantiere.

Per il prelievo in terreni incoerenti sciolti il geologo assistente di cantiere potrà richiedere l'utilizzo di idonee resine.

I campioni indisturbati dovranno avere dimensioni non inferiori a 80 mm di diametro e 500mm di lunghezza.

I campioni dovranno essere prelevati alle profondità concordate con la Stazione Appaltante Settore Servizio Sismico Regionale.

L'introduzione del campionatore nel foro di sondaggio deve essere controllata con misure di profondità in modo che, posato il campionatore a fondo foro, si possa verificare la corrispondenza con la profondità precedentemente raggiunta dalla perforazione.

Eventuali discordanze tra le due profondità richiederanno un'ulteriore pulizia del foro e vanno comunque sempre annotate nel modulo di sondaggio.

Tutti i campioni prelevati dovranno essere perfettamente sigillati su entrambe le estremità della fustella (metallica o di plastica) mediante paraffinatura a caldo e chiusura con tappo.

Sul campione dovrà essere apposta un'etichetta (non degradabile per umidità) in cui sono indicati:

- designazione del cantiere - Committente - Esecutore;
- designazione del sondaggio;
- tipo di campione e numero d'ordine;
- profondità di prelievo (da/a);
- orientamento (alto/basso);
- data di prelievo.

Nel caso di campioni indisturbati dovranno essere riportati i dati relativi al campionamento eseguito con l'annotazione del:

- tipo di campionatore;
- metodo d'infissione del campionatore;
- condizioni di prelievo (presenza d'acqua, energia d'infissione, ecc.);

I campioni devono essere conservati, a cura dell'Amministrazione Comunale in locali idonei, in posizione orizzontale evitando scuotimenti ed urti e particolarmente protetti dai raggi del sole, dal gelo e da fonti di calore fino al momento della consegna al laboratorio geotecnico.

Rientra tra i compiti dell'Impresa:

- il trasporto e la consegna dei campioni al Comune;
- la successiva spedizione degli stessi al laboratorio geotecnico per le analisi.

Qualora il prelievo dei campioni non venga effettuato secondo le modalità previste nelle Istruzioni Tecniche, per inadempienza da parte dell'Impresa, per quanto segnalato dal geologo incaricato dell'assistenza al cantiere non verrà autorizzato il pagamento per tutta la profondità relativa al litotipo interessato dal prelievo.

Art. 8.1.4 Chiusura e sistemazione finale dei fori

Il foro di sondaggio dovrà essere attrezzato con tubi a sezione circolare in PVC, di spessore maggiore o uguale a 5.0 mm, lunghezza minima degli spezzoni di 6 metri, assemblati mediante filettatura a vite ed eventuali manicotti di giunzione e muniti di tappi di testa e fondo foro per l'effettuazione di misure sismiche in foro.

La posa in opera del tubo in p.v.c. pesante del diametro interno di 80 mm dentro il foro di sondaggio per l'effettuazione delle prove sismiche dovrà effettuarsi con le seguenti modalità operative:

- 1) lavaggio accurato del foro con acqua pulita e controllo della profondità;
- 2) calo della tubazione nel foro; i tubi saranno giuntati con manicotti incollati ma non rivettati (eventualmente fissati con viti autofilettanti non passanti), in modo da garantire la perfetta linearità interna e l'assenza di scalini nella tubazione;
- 3) cementazione dell'intercapedine foro-tubo con miscela acqua-bentonite-cemento nelle proporzioni indicate nelle Istruzioni Tecniche regionali ed esecuzione della stessa su tutta la lunghezza della perforazione, e procedendo dal basso verso l'alto, mediante iniezione da fondo foro con tubo ausiliario. La cementazione deve essere eseguita in modo da garantire la continuità del contatto terreno-tubazione su tutta la verticale per garantire registrazioni in P ed SH di qualità. E' possibile, prima ancora di collocare il rivestimento, chiudere il fondo del foro con un cappello (*packer*) dotato di valvola di controllo sferica *one-way*, in grado di accogliere un tubo del diametro di 38 mm; dopodiché, una volta posizionata la tubazione di rivestimento e centrata rispetto alle pareti del foro con l'ausilio di appositi distanziatori montati sul fondo, viene calato all'interno del foro, fino a raggiungere la valvola, un tubo in *PVC* del diametro di 38 mm, collegato in superficie ad una pompa convenzionale per mezzo della quale viene iniettata la miscela cementizia, che, una volta raggiunto il fondo del foro, inizia a riempire dal basso verso l'alto in maniera uniforme l'intercapedine tra foro e rivestimento, spazzando via il fango e i detriti eventualmente presenti (normativa ASTM). E' possibile altresì calare direttamente il tubo per l'iniezione nell'intercapedine fino al fondo del foro e quindi procedere alla cementazione dal basso verso l'alto, in modo da poter garantire al massimo la continuità del terreno –tubazione, con tutti quegli accorgimenti necessari. La miscela da utilizzare, in linea di massima, per la cementazione è costituita da una malta a ritiro controllato (acqua + cemento + bentonite), in particolare per la parte del foro che penetra nella roccia si consiglia il cemento di *Portland* convenzionale di densità pari a 2.2. mg/m³, mentre per la parte a contatto con terreni, sabbie e ghiaie si sceglie una miscela con una densità prossima a quella del terreno circostante (da 1.8 mg/m³ a 1.9 mg/m³), ottenuta mescolando 450 g di cemento di *Portland*, 450 g di bentonite a 2.8 kg di acqua. La pressione di iniezione non deve essere superiore a 2 atm (Norma ASTM). Questo in condizioni normali; qualora la situazione incontrata presentasse forti venute di acqua, fatturazione, scavarnamenti, etc., la composizione della miscela e la pressione d'iniezione potranno essere opportunamente variate sentita la Stazione Appaltante Servizio Sismico Regionale e tenuto conto che l'obiettivo è un contatto solidale tra terreno e tubo di rivestimento. In questo caso l'impresa dovrà comunicare la nuova composizione adottata. Al fine di garantire l'accuratezza della cementazione, il pagamento del sondaggio sarà effettuato solo dopo l'esecuzione della prova geofisica, se le registrazioni acquisite sono di qualità e non disturbate dalla non continuità della cementazione.

Una volta terminate le operazioni di rivestimento e cementazione l'interno dei tubi deve essere lavato con acqua pulita e lasciato pieno d'acqua.

Ciascun foro di sondaggio attrezzato nel modo anzidetto dovrà essere protetto in superficie da un pozzetto, in cls o in ferro ma comunque reso inamovibile e dotato di lucchetto che dovrà rispondere alle esigenze di sicurezza richieste dal comune. Ad esempio in una sede stradale o in un sito per il quale il Comune prevede la realizzazione di un pozzetto a raso, dovrà essere realizzato un doppio pozzetto, di cui quello esterno munito di coperchio carrabile di dimensioni adeguate, contenente al proprio interno un pozzetto dotato di lucchetto. La stazione Appaltante potrà decidere diverse metodologie di chiusura del foro di sondaggio.

Art. 8.2 PROVE IN SITO

Art. 8.2.1 Prove penetrometriche dinamiche S.P.T.

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.

La normativa di riferimento per l'esecuzione di prove S.P.T. è la seguente:

- A.G.I. - Associazione Geotecnica Italiana (1977). Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche;
- ASTM D1586-67 (74); D1586-84. Standard Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soil";
- ISSMFE Techn. Committee (1988). Standard Penetration Test (SPT): International Reference Test procedure.

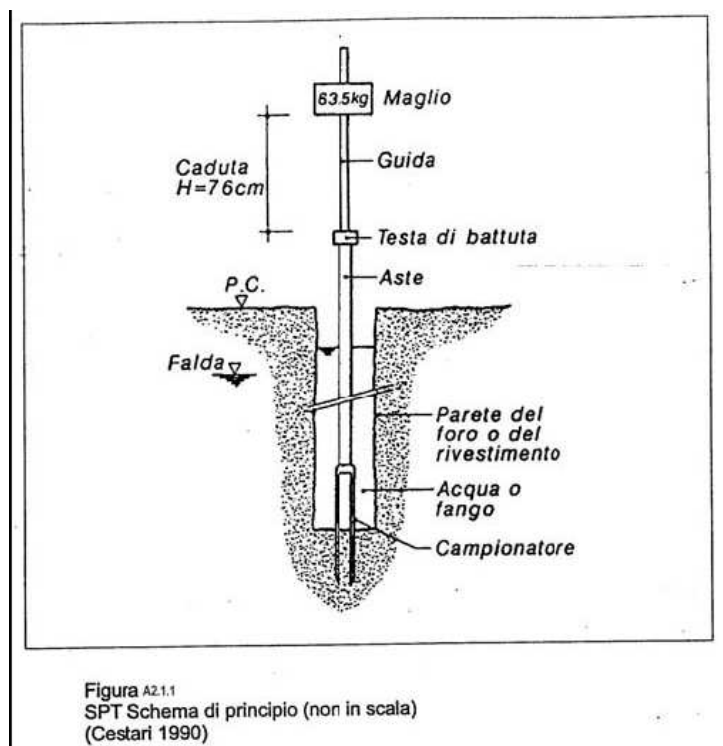
Scopo della prova

Lo scopo della prova è quello di determinare il numero di colpi (N) SPT necessari ad infiggere, per una profondità di 300 mm, un campionatore di dimensioni standard mediante battitura. I valori ottenuti consentono una stima qualitativa della consistenza del terreno. Inoltre è possibile stimare mediante correlazioni empiriche i seguenti parametri:

- la densità relativa, l'angolo di resistenza al taglio e la resistenza alla liquefazione dei terreni granulari.
- il modulo di taglio a piccole deformazioni sia nel caso di terreni a grana grossa che in quelli a grana fine.

Schema

La prova può essere effettuata in fori di sondaggio, oppure in fori appositamente eseguiti.



Sul fondo foro, opportunamente pulito, dovrà essere infisso a percussione un campionatore di forma e dimensioni standard. Viene determinato il numero di colpi necessari alla penetrazione di 45 cm, misurati separatamente in tre tratti di 15 cm ciascuno. Il materiale portato in superficie viene identificato e può essere successivamente classificato in laboratorio.

Campo di applicazione

La prova va preferibilmente realizzata in terreni granulari (sabbie e ghiaie fini). Tuttavia può essere eseguita in qualsiasi terreno sciolto ed anche nel caso di alcune rocce tenere. Unicamente in presenza di grossi elementi lapidei, la prova perde di significato.

Apparecchiatura

L'attrezzatura e la modalità di prova sono quelle indicate dalla norma ASTM D 1586-84.

Le raccomandazioni AGI e a quelle dell'ISSMGE (International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering) forniscono indicazioni a volte differenti e a volte in contrasto con quelle previste dalla citata norma ASTM. E' possibile fare riferimento alle raccomandazioni AGI o a quelle

dell'ISSMGE unicamente per quanto di seguito specificato. Eventuali deroghe alla norma prescritta andranno concordate con la DL.

Tubo campionatore:

Il tubo campionatore è di acciaio indurito con superfici esterne ed interne lisce.

La norma ASTM prevede l'impiego del tubo campionatore standard tipo Raymond. Questo tubo, oltre la quota della scarpa, presenta un allargamento del diametro interno da 35 a 38.1 mm. Ciò è previsto per l'alloggiamento di un cilindro portacampione generalmente di plastica. La norma ASTM tuttavia non impone l'obbligo di utilizzare tale cilindro.

E' possibile utilizzare il tubo campionatore delle raccomandazioni ISSMGE che non prevede il suddetto allargamento. Inoltre, il tubo campionatore può essere apribile longitudinalmente in due metà.

L'impiego di una punta conica di acciaio del diametro di 51 mm e angolo alla punta di 60° nei terreni ghiaiosi non è consentita né dalla norma ASTM né dalle raccomandazioni ISSMGE. La sostituzione del tubo campionatore standard con altro più idoneo ad attraversare ed eventualmente campionare i terreni a grana grossa deve essere preventivamente concordato con la DL.

L'impiego di tubi campionatori di dimensioni non standard come quelli utilizzati nella cosiddetta prova LPT (Large Penetration Test) va concordato con la DL.

Aste

La norma ASTM prescrive l'impiego di aste di acciaio che collegano la testa di battuta del maglio con il campionatore aventi rigidità non inferiore a quella delle aste di perforazione di tipo "A" (diametri 41.2/28.5 mm, modulo di resistenza $w=5.29 \times 10^{-6} \text{ m}^3$).

E' consentito l'impiego delle aste di perforazione di tipo "N" (ad es. diametro 67 mm, spessore 8 mm $w=19.4 \times 10^{-6} \text{ m}^3$, peso 12.7 kg/m).

Le aste devono essere dritte presentando un'inflexione inferiore all'1‰. Si raccomanda di avvitarle strettamente in corrispondenza dei giunti.

Dispositivo di battitura

Il dispositivo consiste di:

- testa di battuta in acciaio strettamente avvitata all'estremità della batteria di aste
- maglio $63.5 \pm 0.5 \text{ kg}$
- dispositivo di rilascio per una caduta libera del maglio di 760 mm.

Il dispositivo non deve superare il peso di 115 kg.

Occorre specificare il dispositivo di rilascio (Fune Manila da 25 mm e cabestano, Trip Monkey, Tombi o Tipo Giappone, Pilcon). Nel caso di dispositivo a fune e cabestano occorre specificare il numero di giri di fune (uno o due) e il diametro del cabestano (piccolo o grande).

Occorre inoltre specificare il tipo di maglio (Vicksburg, Donut, Safety, Old standard, Pilcon, Nenzi, Pinweight).

Le specifiche soprarichieste sono superflue nel caso in cui venga fornita una taratura del sistema con l'indicazione del suo rendimento (ER %).

Modalità di prova

Esecuzione del foro

1) nella perforazione a distruzione con circolazione diretta (wash boring) l'utensile deve avere lo scarico del fluido laterale anziché verso il basso.

2) gli utensili di perforazione accettabili sono elencati nella citata norma ASTM.

E' inaccettabile l'uso dell'elica cava nei terreni sotto falda ed è altresì inaccettabile l'impiego del campionatore tipo Raymond per l'esecuzione del foro in ogni caso.

3) il foro deve avere diametro compreso tra 63.5 e 150 mm. Il diametro interno del rivestimento, quando richiesto, deve essere compreso tra 56 e 162 mm. In presenza di un rivestimento provvisorio il diametro del foro non deve essere superiore al 90% del diametro interno di tale rivestimento.

Alcune raccomandazioni utili secondo l'ISSMGE:

- il carico idrostatico nel foro non deve essere minore di quello esterno
- la perforazione non va spinta oltre la quota prevista per la misura
- il rivestimento non va infisso a profondità superiori a quelle previste per la misura
- occorre evitare manovre che provochino l'estrazione del rivestimento

Esecuzione della prova

Il campionatore viene posizionato a fondo foro mediante la batteria di aste, dopodiché viene posizionato il dispositivo di battuta.

La penetrazione iniziale causata dal peso della strumentazione va annotata.

Si procede quindi all'infissione preliminare pari a 150 mm che viene interrotta al raggiungimento di 50 colpi annotando la penetrazione corrispondente (es: 50x11 = 50 colpi con 110 mm di penetrazione). Si passa quindi alla successiva infissione di 300 mm effettuata separatamente in due tratti di 150 mm ciascuno.

Questa seconda fase di infissione viene interrotta al raggiungimento di 100 colpi annotando la penetrazione corrispondente (es. 30 + 70x13=30 colpi per i primi 150 mm e 70 colpi con una penetrazione di 130 mm). Il numero di colpi necessari ad infiggere il campionatore di 300 mm è indicato come resistenza alla penetrazione. La procedura sopra descritta è quella suggerita dall'ISSMGE e si discosta da quanto indicato nella norma ASTM. La procedura di prova dell'ISSMGE è quella che di regola andrà applicata in quanto fornisce un'informazione più completa salvo diverso accordo con la DL.

La frequenza di battitura non deve essere superiore a 30 colpi al minuto.

Estrazione e conservazione del campione

Il campione estratto dal campionatore dovrà essere conservato, trasferendolo dal tubo campionatore in contenitori di plastica a tenuta d'aria, contrassegnati con etichetta recante le seguenti informazioni:

Cantiere, Numero di Sondaggio, Numero del Campione, Profondità di penetrazione, Lunghezza del campione, Data di prelievo, Valori N1, N2, N3 con le eventuali penetrazioni come specificato precedentemente.

Presentazione dei risultati

Documentazione della prova

Si riassumono di seguito le informazioni e la documentazione che deve accompagnare ciascuna prova:

- Cantiere
- Data di perforazione alla profondità di prova
- Data e ora di inizio e fine prova
- Numero del sondaggio
- Metodo di perforazione e dimensioni del rivestimento provvisorio se impiegato
- Dimensioni e peso delle aste impiegate per la prova
- Tipo di campionatore, specificando nel caso di campionatore ASTM se si è utilizzato o meno un portacampione. Specificare anche se il campionatore è apribile longitudinalmente
- Tipo di maglio e dispositivo di sgancio
- Altezza di caduta libera
- Profondità del fondo foro prima della prova
- Profondità della base (scarpa) del rivestimento se impiegato prima della prova
- Informazioni sulla falda e sul livello del fluido nel foro
- Penetrazione per peso proprio
- Resistenza alla penetrazione preliminare (primi 150 mm) con eventuale annotazione della penetrazione
- Resistenza alla penetrazione vera (successivi 300 mm) con eventuale annotazione della penetrazione
- Descrizione dei terreni recuperati col campionatore
- Eventuali note
- Eventuale taratura del rendimento energetico.

Art. 8.2.2 PROVA DOWN-HOLE (DH)

Scopo della prova

Lo scopo della prova consiste nel determinare la velocità di propagazione delle onde di volume, di compressione (onde P) e di taglio (onde S), calcolando il tempo ad esse necessario per spostarsi tra due o più punti (sorgente e ricevitori) di cui è nota la distanza.

Campo d'applicazione della prova

La prova down-hole per gli obiettivi di cui alle presenti IT dovrebbe essere effettuata quando la profondità delle coperture da esplorare sono superiori a qualche metro e si rende necessaria soprattutto quando non si voglia ricorrere a delle indagini eccessivamente costose, ma si richiedano dei risultati di qualità e precisione da media a buona.

È opportuno spingere la prova fino ad incontrare il bedrock attraversandolo per uno spessore significativo, tenendo comunque presente che in taluni contesti geologici l'affidabilità della prova con tecniche di interpretazione convenzionali oltre i 40 m di profondità è generalmente scarsa, l'energia generata dalla sorgente potrebbe non essere sufficiente all'univoca individuazione dei primi arrivi.

Ipotesi alla base della prova

Si suppone che il volume di terreno, interessato dalle indagini sia stratificato orizzontalmente e che all'interno di ogni strato il comportamento del terreno si possa considerare elastico, omogeneo ed isotropo. Qualora queste caratteristiche non siano verificate è necessario operare con più punti di energizzazione.

Schema della prova

La prova consiste nel produrre, sulla superficie del terreno, una sollecitazione orizzontale mediante una sorgente meccanica, e nello studiare il treno d'onde, P e S , che si propagano all'interno del terreno alle varie profondità in direzione verticale, con vibrazioni polarizzate nella direzione di propagazione (onde P), e dirette perpendicolarmente alla direzione di propagazione, polarizzate su un piano orizzontale (onde SH). Mediante due ricevitori (*geofoni tridimensionali*) disposti nel terreno, a profondità note, viene valutato l'istante di arrivo del treno di onde P e S , rispetto all'istante in cui vengono indotte le sollecitazioni alla sorgente; dividendo quindi per tali valori la distanza (nota) tra sorgente e ricevitori, si può ricavare la velocità delle onde P e S .

Apparecchiatura

L'apparecchiatura utilizzata per questo tipo di prove si deve comporre delle seguenti parti:

- sistema sorgente
- sistema di ricezione
- sistema di acquisizione dati
- trigger

Sorgente.

La sorgente deve essere in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali, cioè con la possibilità di ottenere prevalentemente onde di compressione e/o di taglio polarizzate su piani orizzontali (ed eventualmente anche verticali). Per generare le onde di compressione P , si utilizzeranno i metodi classici quali caduta di un grave, cannoncino, mazza, etc.. Per generare le onde SH la sorgente è generalmente costituita da un parallelepipedo di legno e di forma tale da potere essere colpito lateralmente ad entrambe le estremità con una massa. È importante che il parallelepipedo venga gravato di un carico statico addizionale in modo che possa rimanere aderente al terreno sia al momento in cui viene colpita sia successivamente, affinché l'energia prodotta non venga in parte dispersa. Con questo dispositivo è possibile generare essenzialmente delle onde elastiche di taglio polarizzate orizzontalmente, con uniformità nella polarizzazione e con una generazione di onde P anch'esso trascurabile.

Inoltre, data l'entità di energia generalmente prodotta, le deformazioni indotte nel terreno in prossimità della superficie sono inferiori a 10-2 % e decrescono con la profondità.

È necessario un buon accoppiamento fra parallelepipedo e terreno cosa che si ottiene facilmente in terreni a granulometria fine, nel caso viceversa di presenza di terreni a granulometria più grossolana sarà necessario approntare delle piazzole realizzando uno strato di materiale fine al contatto con il parallelepipedo energizzante. Sono da evitare come punti di energizzazione zone in cui affiorano rocce compatte e superfici bitumate.

Va tenuto conto che minore è la superficie di accoppiamento parallelepipedo -terreno, più pulito e ricco in alte frequenze sarà il segnale, d'altra parte soprattutto con superfici di contatto ridotte è necessario verificare che il parallelepipedo non si infossi nel terreno poiché in tal caso si produrrebbero onde di compressione.

Sistema di ricezione.

Tale sistema si deve comporre di due (o più) ricevitori, ciascuno dei quali è costituito da un trasduttore di velocità orientato secondo le componenti di una terna cartesiana ortonormale e collocati all'interno di un unico contenitore (preferibilmente di forma cilindrica) di lunghezza non

superiore ai 450 mm, in modo che uno dei tre trasduttori sia orientato secondo la lunghezza del contenitore (trasduttore verticale) e gli altri ad esso perpendicolari (trasduttori orizzontali). I trasduttori devono possedere appropriate caratteristiche di frequenza e sensibilità tali da potere ricevere in maniera adeguata il treno d'onde prodotto dalla sorgente. La risposta in frequenza dei trasduttori non deve variare più del 5% su un campo di frequenze compreso tra metà e due volte la frequenza predominante del treno d'onde che si propaga all'interno del mezzo. I ricevitori devono essere collegati, secondo la loro lunghezza, in modo di fissarne la distanza verticale (compresa tra 1 e 3 m) e l'orientazione relativa (in modo che i trasduttori orizzontali siano paralleli e concordi a due a due) e in modo tale da potere anche controllare dalla superficie l'orientazione assoluta.

Bisogna porre particolare attenzione al fatto che i sistemi previsti per mantenere costanti le distanze e per garantire l'isorientazione dei geofoni non producono interazione sismica tra i due sensori.

E' necessario adottare un adeguato sistema di ancoraggio per garantire un buon accoppiamento in foro tra i ricevitori e le pareti di rivestimento.

Trigger.

In genere il trigger consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui la sorgente viene attivata, consentendo a un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e di produrre un impulso che viene inviato ad un sensore collegato al sistema di acquisizione dati; in questo modo è possibile individuare e visualizzare l'esatto istante in cui la sorgente viene attivata e parte la sollecitazione dinamica.

L'attivazione del circuito per individuare l'istante di energizzazione deve, all'atto delle sollecitazioni ripetute, consentire una differenza di chiusura non superiore a 0.5 msec.

Il trigger deve essere posizionato in corrispondenza del boccaforo.

Sistema di acquisizione dati.

Si tratta di un sistema multicanale (24 canali) in grado di registrare su ciascun canale in forma digitale le forme d'onda e di conservarle su memoria di massa dinamica minimo a 16 bit.

Esso è collegato a ciascuno dei trasduttori di velocità e al sensore del trigger e consente quindi di registrare in forma numerica e visualizzare come tracce su un apposito monitor le vibrazioni a partire dall'impulso inviato dal trigger.

Il sistema deve avere anche le seguenti caratteristiche: lunghezza di registrazione pari a 1 sec, filtri per l'eliminazione delle interferenze derivanti da linee di tensione, filtri in acquisizione ed in uscita, stampante in grado di registrare simultaneamente le 24 tracce o tracce selezionate, registrazione su floppy disk o su HD.

Le registrazioni acquisite dovranno essere stampate in campagna subito dopo l'acquisizione. Si richiede pertanto che il sismografo sia dotato della funzionalità di stampa direttamente dall'acquisitore e non tramite l'utilizzo di stampanti esterne e/o periferiche di rete. Sarà necessario quindi accertarsi che la strumentazione sia settata correttamente per quanto riguarda l'ora e la data della registrazione. Nel caso in cui la stampa di campagna non permetta di risalire correttamente alla data e all'ora dell'acquisizione, la Stazione Appaltante procederà all'annullamento del pagamento alla ditta esecutrice. Inoltre è necessario che nella stampa di campagna sia riportato il numero degli stack effettuati. Nel caso in cui il sismografo utilizzato non prevede tale funzionalità il valore deve comunque essere specificato in relazione.

Per l'acquisizione in SH, poichè è necessario eseguire la differenza tra la traccia relativa alla battuta destra e quella della battuta sinistra è necessaria una strumentazione che preveda la funzione "*inversione di polarità*".

Modalità di preparazione della prova

L'esecuzione della prova down-hole deve essere preceduta da una fase preparatoria durante la quale viene realizzato il foro in cui alloggiare i ricevitori e vengono preparati gli strumenti di registrazione.

Esecuzione del foro.

Deve essere realizzato in corrispondenza del sito da investigare per alloggiarvi i ricevitori.

Durante la fase di perforazione, ogni cura deve essere posta per ridurre al minimo il disturbo sulle pareti e nelle zone di terreno circostanti il foro. La perforazione deve essere eseguita a rotazione ed è opportuno sostenere le pareti con fango bentonitico.

Rivestimento e cementazione.

Successivamente il foro deve essere rivestito con una tubazione in materiale ad alta impedenza alle vibrazioni. Si devono utilizzare tubi a sezione circolare in PVC, di spessore maggiore o uguale a 5.0 mm, lunghezza minima degli spezzoni di 6 metri, assemblati mediante filettatura a vite ed eventuali manicotti di giunzione e muniti di tappi di testa e fondo foro.

Infine il foro deve essere cementato in corrispondenza dello spazio anulare compreso tra le pareti e il tubo di rivestimento.

La cementazione deve essere eseguita in modo da garantire la continuità del contatto terrenotubazione. E' possibile, prima ancora di collocare il rivestimento, chiudere il fondo del foro con un cappello (*packer*) dotato di valvola di controllo sferica *one-way*, in grado di accogliere un tubo del diametro di 38 mm; dopodiché, una volta posizionata la tubazione di rivestimento e centrata rispetto alle pareti del foro con l'ausilio di appositi distanziatori montati sul fondo, viene calato all'interno del foro, fino a raggiungere la valvola, un tubo in PVC del diametro di 38 mm, collegato in superficie ad una pompa convenzionale per mezzo della quale viene iniettata la miscela cementizia, che, una volta raggiunto il fondo del foro, inizia a riempire dal basso verso l'alto in maniera uniforme l'intercapedine tra foro e rivestimento, spazzando via il fango e i detriti eventualmente presenti (normativa ASTM).

E' possibile, altresì, calare direttamente il tubo per l'iniezione nell'intercapedine fino al fondo del foro e quindi procedere alla cementazione dal basso verso l'alto, con tutti quegli accorgimenti necessari, in modo da potere garantire la continuità del contatto terrenotubazione.

La miscela da utilizzare per la cementazione, in linea di massima, è costituita da una malta a ritiro controllato (acqua + cemento + bentonite), in particolare per la parte del foro che penetra nella roccia si consiglia il cemento di *Portland* convenzionale di densità pari a 2.2 mg/m^3 , mentre per la parte a contatto con terreni, sabbie e ghiaie si sceglie una miscela con una densità prossima a quella del terreno circostante (da 1.8 mg/m^3 a 1.9 mg/m^3), ottenuta mescolando 450 g di cemento di *Portland*, 450 g di bentonite a 2.8 kg di acqua. La pressione di iniezione non deve essere superiore a 2 atm (normativa ASTM). Questo in condizioni normali; qualora la situazione incontrata presentasse forti venute di acqua, fratturazione, scavarnamenti, etc., la composizione della miscela e pressione d'iniezione potranno essere opportunamente variate sentita la Direzione Lavori e tenuto conto che l'obiettivo è un contatto solidale tra terreno e tubo di rivestimento.

Controllo di verticalità.

Questo tipo di prova è poco sensibile alla deviazione dell'asse del foro dalla verticale, per cui non si rendono necessari controlli di verticalità. Una volta terminata le operazioni di rivestimento e cementazione l'interno dei tubi deve essere lavato con acqua pulita e lasciato pieno d'acqua.

Modalità di esecuzione della prova

La prova si sviluppa secondo le seguenti fasi:

1. Dopo avere predisposto un opportuno piano d'appoggio la sorgente viene collocata sulla superficie in prossimità del foro ad una distanza dal centro in genere compresa tra 1 m e 5 m (da concordare con la direzione lavori) e orientata perpendicolarmente al raggio uscente dal foro. Per la produzione di onde P si energizza con massa battente ed impatto verticale; per la produzione di onde SH la sorgente (parallelepipedo, trave) viene fissata al terreno applicando sulla sua superficie un carico statico.
2. Il sistema, costituito dai due ricevitori (geofoni tridimensionali) equidistanti e con costante orientamento relativo viene calato alla profondità desiderata (1 m)
3. Il sistema dei ricevitori viene orientato dalla superficie in modo tale che uno dei trasduttori orizzontali di ciascun ricevitore sia orientato parallelamente all'asse della sorgente e quindi alla direzione di polarizzazione delle onde S in modo da massimizzarne l'ampiezza di ricezione ai ricevitori. Quindi i ricevitori vengono fissati alle pareti del tubo.
4. Viene attivata la registrazione (pre-trigger) delle vibrazioni rilevate e dai trasduttori che costituiscono i ricevitori con un opportuno anticipo rispetto all'attivazione della sorgente. Tale fase può essere evitata nel caso che la strumentazione consenta la registrazione del segnale all'istante di time-break cioè all'attivazione del segnale.
5. Viene attivata la sorgente, producendo una sollecitazione che, attivando il trigger, si propaga dalla sorgente verso i ricevitori con vibrazioni di tipo P; in seguito si generano vibrazioni di tipo S, dirette perpendicolarmente alla direzione di percussione e polarizzate sul piano orizzontale. Il tempo di registrazione deve essere tale da consentire la rappresentazione dei treni d'onda nella loro interezza. Poiché si debbono ricavare le onde SH, per la buona qualità dei dati si

debbono produrre alla sorgente due onde di polarità opposta e sommare le registrazioni di ogni singolo ricevitore, in modo da individuare meglio l'istante di primo arrivo (metodo *cross-over*). Detta operazione deve essere eseguita in campagna, in fase di acquisizione, se lo strumento prevede l'inversione di polarità. Può essere eseguita registrando separatamente i files battuta destra - battuta sinistra, ma in questo caso sarà necessario un bilanciamento spettrale prima di procedere alla differenza delle tracce. In ogni caso la lunghezza di registrazione deve essere non limitata al primo arrivo ma a tutto il segnale fino ad un decadimento dell'ampiezza del 90% rispetto all'ampiezza massima.

6. Viene riprodotta la sollecitazione e quindi ripetuta la prova ad una profondità inferiore (o superiore se si procede dal basso verso l'alto) di non più di 1 m, e non meno di 40-50 cm abbassando (o sollevando) i ricevitori.
7. Raggiunto il fondo (o la sommità) del foro la prova viene ripetuta questa volta procedendo nel verso opposto ad intervalli di 4-5 m. Relativamente ai punti 6 e 7 potranno essere indicate eventuali variazioni dalla Stazione Appaltante sentiti i referenti scientifici.

Determinazione delle velocità

Per quanto riguarda l'interpretazione dei tracciati registrati durante la prova per la determinazione della velocità di propagazione delle onde sismiche, esistono varie tecniche nel dominio del tempo e nel dominio della frequenza; di seguito verrà illustrata quella più semplice ed immediata, non escludendo però la possibilità di ricorrere ad altre tecniche purché già collaudate e sperimentate. In tal caso è necessario che insieme ai risultati della prova venga esplicitamente dichiarato il metodo adottato per la determinazione delle velocità, nonché i passi successivi secondo cui è stato applicato e le registrazioni delle vibrazioni, accoppiate con quella del segnale di trigger, a partire dalle quali sono stati ricavati i valori di velocità.

Per determinare il tempo di arrivo delle onde *P* e *S* ai ricevitori, si procede ad un'analisi visuale delle registrazioni delle vibrazioni rilevate dai trasduttori del ricevitore confrontate con il segnale di trigger (t_0) o inizio registrazione.

E' possibile operare con il sistema di pre-triggering analogamente a quanto visto per il Ch. Pur essendo possibile operare con il sistema di pre-triggering, analogamente a quanto visto per la prova cross-hole, nell'ambito del progetto VEL si deve operare con il doppio sistema di energizzazione, percussione verticale per le onde *P*, percussione orizzontale per le *SH*, nelle registrazioni energizzate in verticale si valuterà il primo arrivo in *P* (fig.B1.5.2.a); nelle registrazioni energizzate con percussione orizzontale, sottratte le registrazioni "battuta destra-battuta sinistra", il primo arrivo sarà costituito dalle onde di taglio *SH* poiché eventuali onde di compressione provocate durante l'energizzazione tenderanno, con la differenza "battuta destra-battuta sinistra" a ridursi in ampiezza laddove le *SH* (che invertono in polarità a seconda della direzione di battuta) tenderanno a sommarsi aumentando così d'ampiezza.

Si ipotizza che il percorso delle onde tra sorgente e ricevitori sia rettilineo, trascurando i fenomeni di rifrazione che ne modificano il percorso. Poiché le onde sismiche prodotte dalla sorgente non si propagano esattamente in direzione verticale rispetto ai ricevitori, data la posizione della sorgente, è necessario correggere i tempi di arrivo stimati per tenere conto dell'inclinazione del percorso effettivo.

Dividendo la profondità a cui viene collocato il ricevitore per il tempo corretto si ricavano i valori di velocità per ciascuno dei ricevitori, in corrispondenza di ciascuna delle profondità considerate.

E' anche possibile ricavare le velocità dividendo la differenza tra due profondità successive per la differenza tra i tempi determinati in corrispondenza di ciascuna delle profondità considerate e possono corrispondere allo stesso impulso (in tal caso le profondità corrispondono a quelle dei due o più ricevitori rigidamente collegati tra di loro e le velocità si definiscono velocità d'intervallo) o a due impulsi successivi (per cui le profondità sono quelle d'avanzamento della prova e le velocità calcolate si definiscono velocità di pseudointervallo).

Va rilevato che non sempre i tracciati registrati dai ricevitori sono chiari e univocamente interpretabili sia per l'eventuale presenza di rifratte di ampiezze non trascurabili che precedendo quelle dirette ingannano sui reali tempi d'arrivo indicando velocità intervallari anomale.

Va rilevato che talora in profondità l'istante di primo arrivo delle onde non è facilmente individuabile, sfruttando il fatto di disporre di più ricevitori, si può far riferimento ai tracciati registrati da ciascuno di essi ricercando dei punti caratteristici (picchi o valli) successivi al primo arrivo ritrovabili in entrambi i segnali e stimandone il ritardo e quindi ricavando la velocità d'intervallo (in

tal caso affinché ad ogni picco dell'una registrazione corrispondano rispettivamente i picchi o le valli dell'altra è necessario che sia stata precedentemente stimato l'effetto dell'orientazione dei trasduttori rispetto alla direzione di propagazione delle onde e che sia noto se i trasduttori siano orientati in maniera concorde o discorde).

Modalità di presentazione dei risultati

In questo tipo di prova è fondamentale fornire non solo il risultato finale, cioè la velocità di propagazione delle onde *S* e *P* al variare della profondità, ma anche il dato grezzo che è stato misurato dai trasduttori dei ricevitori e il criterio di elaborazione e interpretazione adottato.

Quindi questo tipo di prova deve essere accompagnato da una relazione comprendente:

1. Una relazione generale in cui sono specificati:

- a) obiettivi delle indagini e contesto geologico delle aree investigate desunte dal programma preliminare redatto dalla Stazione Appaltante e fornito al Committente;
- b) Piano di sicurezza dell'Impresa (se richiesto dalla vigente normativa) e Piano di controllo di qualità qualora l'Impresa sia certificata;
- c) risultati delle indagini ed eventuali osservazioni. Devono essere riportate in particolare:
 - note in merito alla modalità di esecuzione della cementazione del foro e alla qualità della stessa in relazione alla prova DH;
 - rispondenza delle caratteristiche tecniche della prova DH a quelle previste dalle Istruzioni Tecniche;

La relazione generale deve essere consegnata in triplice copia, di cui due copie rilegate e una copia non rilegata. Inoltre si richiedono due copie su CD.

2. Una relazione tecnica con documentazione, tabelle e grafici da cui risulti per ciascuna prova:

- a) la descrizione delle procedure eseguite e della strumentazione utilizzata;
- b) le modalità di esecuzione, di rivestimento e di cementazione adottate, ed in particolare le dimensioni geometriche del rivestimento, la composizione della miscela iniettata, la massima pressione di iniezione, la portata e l'attrezzatura utilizzata e soprattutto la quantità di miscela adoperata.
- c) la strumentazione adottata;
- d) le profondità a cui sono state effettuate le prove e la distanza superficiale tra sorgente e centro del foro;
- e) la planimetria CTR in scala 1:5000, ove esistente, per un inquadramento di massima e per una visione più generale del sito di indagine e della prova down-hole. In alternativa sarà utilizzata una planimetria CTR in scala 1: 10.000;
- f) la planimetria su base CTR 1:2000 ingrandita in scala 1:1000 con l'ubicazione della prova down-hole fornendo anche le coordinate Gauss-Boaga del foro, al fine di agevolare la georeferenziazione. Inoltre si richiede sulla planimetria anche il posizionamento del punto di energizzazione in superficie;
- g) i segnali registrati dai trasduttori dei ricevitori e il corrispondente segnale di trigger, specificando per ciascuno di essi la profondità di prova, la direzione relativa e assoluta dei trasduttori dei ricevitori e il ricevitore d'appartenenza; i segnali dovranno essere disponibili sia in forma cartacea, come grafici in cui sull'asse delle ascisse sia riportato il tempo (in *ms*) e sull'asse delle ordinate il segnale (in *mV*), sia in forma numerica su *floppy disk*;
- h) il criterio di elaborazione adottato per il calcolo delle velocità, riportando sia i tempi d'arrivo originali che quelli corretti;
- i) un diagramma che riporti le dromocrone ricavate, dove sull'asse delle ascisse è riportato il tempo di arrivo corretto (in *s*) e sull'asse delle ordinate la profondità di misura in funzione della profondità (in *m*), con indicazione dei segmenti interpolanti i punti di misura, dalla cui pendenza si ricava la velocità di propagazione (da riportare chiaramente);
- j) un diagramma ad istogrammi in cui vanno riportate le velocità calcolate (in *m/s*) in funzione della profondità (in *m*); in questo diagramma va indicata, in base ai valori di velocità intervallari ricavati, l'ascrizione litologica dei livelli sismostratigrafici determinati (colonna litostratigrafica);
- k) la documentazione fotografica relativa alle fasi di esecuzione della prova down-hole. Sarà opportuno che risulti visibile, gli strumenti di energizzazione e il contesto ambientale.

Nell'Appendice C.5 si riportano degli esempi relativi ai punti e), f), g), h), i) e j) sopra elencati.

La relazione tecnica di cui al punto 2. deve essere consegnata in triplice copia, di cui due copie rilegate e una copia non rilegata. Inoltre si richiedono due copie su CD. La documentazione

fotografica di cui al punto j) deve essere consegnata in triplice copia in originale o in digitale su floppy disk oppure su CD.

3. Le registrazioni di campagna

Si richiede, in triplice copia, la consegna dei dati di registrazione su floppy disk o CD.

Criteri per la valutazione delle indagini geofisiche in foro tipo downhole ed interpretazione geologica

Standard di valutazione dei risultati

Sono state predisposte una serie di definizioni per valutare la qualità dei dati acquisiti ai fini di una loro possibile utilizzazione per un'attendibile interpretazione ai fini geologici. La valutazione dei risultati sarà effettuata dai componenti della Commissione di Collaudo nominata dalla Stazione Appaltante, la quale dovrà rispettare, nella sua valutazione, i seguenti parametri:

a) *Valutazione delle registrazioni*: la chiara lettura del segnale costituisce l'elemento essenziale per procedere alle successive operazioni di interpretazione ed elaborazione, pertanto il segnale di tutte le registrazioni si deve leggere per tutte le tracce e per tutti i punti di misura.

b) *Valutazione della congruenza tra dromocrone ed i dati di registrazione*: il presupposto della congruenza è la buona individuazione del primo arrivo, pertanto le dromocrone devono essere perfettamente congruenti con i dati di registrazione, a seguito della correzione da tempi obliqui a tempi verticali.

c) *Valutazione della congruenza tra l'interpretazione sismostratigrafica e le dromocrone*: nella fase di interpretazione devono essere rispettati il numero degli strati evidenziati nelle dromocrone, pertanto l'interpretazione sismostratigrafica deve essere perfettamente congruente con le dromocrone.

d) *Valutazione della congruenza tra l'interpretazione litostratigrafica e le conoscenze geologiche della zona indagata*: dovrà essere valutata la congruenza tra i sismostrati individuati dalla prova down-hole e le unità geologiche individuate dal sondaggio eseguito.

Art. 8.3 PROSPEZIONI SISMICHE

Art. 8.3.1 Indagine sismica a rifrazione ad onde di compressione (onde p)

L'indagine sismica a rifrazione ad onde di compressione consiste nella energizzazione del sottosuolo e nella registrazione degli arrivi delle onde P, rifratte in corrispondenza di geofoni verticali, disposti secondo un allineamento con interassi tra i geofoni e lunghezza totale dello stendimento, tali da permettere un'adeguata profondità di indagine.

La misura dei tempi di arrivo delle onde P ai diversi geofoni permette di ricostruire l'andamento e la profondità del rifrattore e permette anche di calcolare le caratteristiche elastiche dinamiche dei terreni e degli ammassi rocciosi investigati.

Normative di riferimento

ASTM D 5777 - 95 - Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation

Attrezzature

L'attrezzatura di prova dovrà essere costituita da:

- sismografo a 24 canali, con possibilità di stack degli impulsi sismici, filtri analogici e digitali programmabili (filtri attivi tipo high pass, band pass e band reject), guadagno verticale del segnale (in ampiezza) e sensibilità tra 6 e 92 decibel, registrazione dei dati in digitale per elaborazioni successive con formato in uscita minimo a 16 bit;
- 24 geofoni verticali a frequenza propria variabile tra 8 e 14 Hz;
- sistema di energizzazione adeguato alla profondità di indagine; potrà essere costituito da cannoncino sismico calibro 8 oppure da cariche di esplosivo.

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 dal progetto delle indagini o dalla direzione dei lavori ed in ogni caso non dovranno essere in numero inferiore a 5, dei quali 3 interni alla base e 2 esterni.

Nel caso in cui il rilievo debba interessare profondità superiori a $30 \div 50$ m e sia prevista una elaborazione tomografica, i "tiri" non dovranno essere inferiori a 7 per base sismica, dei quali 5 interni e 2 esterni.

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).

Elaborazione tomografica dei dati

Se richiesto dal progetto delle indagini, l'elaborazione dovrà essere sviluppata tramite un'analisi con modellazione del sottosuolo su base anisotropica, la quale dovrà fornire, previa elaborazione con metodologie iterative R.T.C. (Ray Tracing Curvilineo) e algoritmi di ricostruzione tomografica (ad esempio con l'impiego di algoritmi ART - Algebraic Reconstruction Technique, SIRT - Simultaneous Iterative Reconstruction Technique o ILST - Iterative Least Square Technique), il campo delle velocità del sottosuolo ad elevata densità di informazioni: le celle unitarie, di forma rettangolare, potranno avere dimensioni orizzontali (asse x) e verticali (asse z) pari a, rispettivamente, $1/3 \div 1/5$ e $1/5 \div 1/10$ della spaziatura tra i geofoni.

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 che indichino i valori delle velocità delle onde di compressione (VP), calcolati per intervalli omogenei;
- elaborazione a isolinee o a campiture di colore delle velocità delle onde di compressione (VP) 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.

Rilievo topografico del piano completo di prospezione sismica

Ad integrazione dell'indagine sismica dovrà essere eseguito un rilievo topografico comprendente la determinazione planoaltimetrica delle ubicazioni dei geofoni delle basi sismiche a rifrazione, riferita a punti notevoli o ad elementi cartografici noti dell'area interessata. Le coordinate del rilievo topografico dovranno essere inquadrare in un sistema di coordinate generale di progetto fornito dalla Società.

Qualora quest'ultimo non risulti disponibile, il suddetto rilievo sarà fornito in coordinate relative. Tale rilievo dovrà essere corredato dai libretti di campagna dei rilievi ed informatizzazione dei dati nei formati digitali stabiliti dalla società o dalla direzione dei lavori.

Art. 8.3.2 Indagine sismica a rifrazione ad onde di taglio (onde s)

L'indagine consiste nella energizzazione del sottosuolo e nella registrazione degli arrivi delle onde di taglio (onde S) in corrispondenza di geofoni orizzontali, disposti secondo un allineamento con interassi tra i geofoni e lunghezza totale dello stendimento, tali da permettere un'adeguata profondità di indagine.

Attrezzature

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

- sismografo a 24 canali, con possibilità di stack degli impulsi sismici, filtri analogici e digitali programmabili (filtri attivi tipo high pass, band pass e band reject), guadagno verticale del segnale (in ampiezza) e sensibilità tra 6 e 92 decibel, registrazione dei dati in digitale per elaborazioni successive con formato in uscita minimo a 16 bit;
- 24 geofoni orizzontali a frequenza propria variabile tra 8 e 14 Hz;

- sistema di energizzazione adeguato alla profondità e alla natura dell'indagine; potrà essere costituito da massa battente (mazza da 10 kg), agente lateralmente su un blocco ancorato al terreno, da cannoncino sismico calibro 8, oppure da cariche di esplosivo.

Elaborazione tomografica dei dati

Se richiesto dal progetto delle indagini, l'elaborazione dovrà essere sviluppata tramite un'analisi con modellazione del sottosuolo su base anisotropica, la quale dovrà fornire, previa elaborazione con metodologie iterative R.T.C. (Ray Tracing Curvilineo) e algoritmi di ricostruzione tomografica (ad esempio con l'impiego di algoritmi ART - Algebraic Reconstruction Technique, SIRT - Simultaneous Iterative Reconstruction Technique o ILST - Iterative Least Square Technique), il campo delle velocità del sottosuolo ad elevata densità di informazioni: le celle unitarie, di forma rettangolare, potranno avere dimensioni orizzontali (asse x) e verticali (asse z) pari a, rispettivamente, $1/3 \div 1/5$ e $1/5 \div 1/10$ della spaziatura tra i geofoni.

Analisi della attenuazione anelastica e determinazione del fattore qualità

Consiste in un'elaborazione dei dati ottenuti da prospezioni sismiche a rifrazione ad onde di compressione (onde P) e onde di taglio (onde S) in grado di determinare i parametri di Attenuazione Anelastica e Fattore Qualità dei terreni o degli ammassi rocciosi investigati.

L'elaborazione dei dati dovrà essere realizzata mediante software ad elevata valenza diagnostica in grado di fornire i valori dei parametri di Attenuazione e Fattore Qualità, relativi ai rifrattori individuati e per ogni stazione geofonica utilizzando l'algoritmo del "Rapporto Spettrale".

Elaborazione tomografica dei dati

Se richiesto dal progetto delle indagini, l'elaborazione dovrà essere sviluppata tramite un'analisi con modellazione del sottosuolo su base anisotropica, la quale dovrà fornire, previa elaborazione con metodologie iterative R.T.C. (Ray Tracing Curvilineo) e algoritmi di ricostruzione tomografica, il campo delle velocità del sottosuolo ad elevata densità di informazioni: le celle unitarie, di forma rettangolare, potranno avere dimensioni orizzontali (asse x) e verticali (asse z) pari a, rispettivamente, $1/3 \div 1/5$ e $1/5 \div 1/10$ della spaziatura tra i geofoni.

Documentazione

La documentazione di ciascuna indagine dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- profili sismostratigrafici in scala adeguata che indichino i parametri dei Fattori Qualità calcolati per intervalli omogenei;
- elaborazione a isolinee o a campiture di colore in caso di elaborazione tomografica;
- 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;
- la caratterizzazione su base geofisica ottenuta da correlazione delle risultanze delle analisi ad onde di compressione (VP) e o taglio (VS) e Attenuazione onde di compressione (P) e di taglio (S) e Fattore Qualità delle onde di compressione (QP) e delle onde di taglio (QS);
- le risultanze finali ed interpretative.

Art. 8.3.3 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 condizionidinamiche.

Normative e specifiche di riferimento:

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

Art. 8.3.4 Prospezioni con georadar dalla superficie

L'indagine con georadar consente di individuare strutture o cavità sepolte a piccola profondità attraverso la trasmissione dalla superficie, mediante opportune antenne, di un segnale elettromagnetico di tipo radar e la registrazione degli echi di ritorno in un determinato periodo di tempo; il segnale riflesso è funzione della costante dielettrica dei mezzi indagati.

Tale indagine può essere utilizzata con successo nella definizione della geometria di plinti di fondazione, anche se bisogna tener presente che la metodologia descritta di seguito consente l'individuazione delle geometrie superiori del plinto, non essendovi la certezza che l'intensità dei segnali trasmessi, anche se potenziati, sia tale da permettere ulteriori riflessioni dalla base del plinto; in altri termini l'indagine radar non sempre consente, dalla superficie, di ottenere riflessioni discriminabili in termini di riflessioni primarie e secondarie al variare della profondità. Per poter quindi determinare dalla superficie lo spessore dell'oggetto indagato (ad es. plinto) occorre abbinare all'indagine radar un diverso tipo di rilevamento, ovvero quello tomografico di tipo elettrico, l'unico in grado di mantenere, risoluzioni apprezzabili del variare della resistività del semispazio indagato.

Attrezzature

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

- unità radar, in grado di operare con almeno due canali, dotato di funzione "stack"; l'unità dovrà essere collegata ad un computer dotato di monitor e stampante a colori;
- set di antenne bistatiche, T (trasmittenti) ed R (riceventi), dotate di amplificatore di potenza e con frequenza variabile da un minimo di 100 MHz sino ad un massimo di 500 MHz;
- cavo di collegamento tra l'unità radar e l'antenna.

Modalità esecutive

Le esatte modalità di configurazione in fase di prova saranno in ogni caso preventivamente concordate con la direzione dei lavori.

Art. 8.4 PROVE DI LABORATORIO

Art. 8.4.1 PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO TERRENI SCIOLTI

Le prove devono essere eseguite da laboratori ufficiali autorizzati ai sensi dell'art. 59 del DPR 380/01 ed inseriti nell'elenco depositato presso il Servizio Tecnico Centrale del Ministero delle Infrastrutture.

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 discarica, 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° 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.

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 I 0006;
- 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.

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.

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.

Determinazione delle caratteristiche fisiche

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

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.

Determinazione della massa volumica apparente (peso di volume naturale)

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

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 tomietto da laboratorio, al fine di minimizzare il disturbo al campione; l'uso del tomietto 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.

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

Modalità di prova

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

Le tolleranze dimensionali da rispettare sono le seguenti:

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

Per la determinazione del limite di liquidità si impiegherà di norma il metodo multipunto, con almeno tre punti di prova. 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.

Determinazione de/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.

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

Modalità di prova

L'analisi granulometrica per vagliatura si eseguirà in ogni caso per via umida, impiegando setacci e vagli della serie ASTM di diametro non inferiore ai 300 mm, scelti tra i seguenti termini in funzione della dimensione massima dei granuli: n° 200, 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, una volta essiccato e pesato, verrà immerso in acqua fino al completo distacco della frazione fine dai granuli e la completa disaggregazione 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. (1977) 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.

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- μ 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.

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.

Modalità di prova

L'analisi granulometrica per sedimentazione dovrà essere condotta effettuando letture della densità e 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. (1977) 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.

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^3 con indicazione di tre cifre decimali;
- valore medio del peso specifico dei grani;
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, manometro, termometro), non anteriore di sei mesi alla data di prova.

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

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

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

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.

Determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche

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.

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.

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 tomietto 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 tra il terreno e le pietre porose. La carta da filtro non dovrà essere utilizzata nel caso di prove su argille molto consistenti.

Successivamente si posizionerà la cella edometrica sul telaio di carico, applicando una pressione di serraggio pari a 5 kPa controllando le variazioni di altezza del provino e regolando la pressione iniziale per evitare rigonfiamenti o eccessive consolidazioni del provino. 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 σ'_{vo} esistente in situ comprendente tre gradini di scarico e tre di ricarico. 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_{α} , 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_{α} 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.

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 tomietto campionario 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 di serraggio pari a 5 kPa controllando le variazioni di altezza del provino e regolando la pressione iniziale per evitare rigonfiamenti o eccessive consolidazioni del provino.

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

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

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 σ'_{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_a e C_c 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_a 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 $C_a L$;
- 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.

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 tomietto 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 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 e 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.

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 σ - τ 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 eu;
- 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.

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.

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 tomietto 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 backpressure in diversi gradini di pressione di entità variabile, in funzione delle caratteristiche di consistenza dei terreni in prova e comunque mai superiori a 50 kPa; durante tutta la fase di saturazione si dovrà mantenere una differenza di pressione tra pressione di cella e back-pressure compresa tra 5 e 10 kPa, al fine di evitare premature consolidazioni dei provini.

Dopo ogni gradino di saturazione, una volta raggiunta la completa stabilizzazione delle pressioni, si provvederà alla misura del grado di saturazione raggiunto attraverso la determinazione del parametro B; la fase di saturazione potrà essere conclusa solo quando il parametro B 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:

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

H_c = altezza del provino al termine della fase di consolidazione

I valori di ε_r , funzione del tipo di materiale, risultano generalmente compresi tra un valore minimo del 2%, valido per terreni molto consistenti, sovraconsolidati, ad un valore massimo del 10-12%, valido per terreni coesivi teneri. Durante tutta la fase di rottura verranno monitorati e registrati, ad intervalli di tempo opportuni, i valori di sforzo deviatorico, deformazione assiale e 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 σ_1/σ_3 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 ϕ' ;
- 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 canco; manometri o trasduttori di pressione), non anteriore di sei mesi alla data di prova.

Prova di compressione triassiale consolidata isotropicamente - drenata

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 tomietto 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 backpressure in diversi gradini di pressione di entità variabile, in funzione delle caratteristiche di

consistenza dei terreni in prova e comunque mai superiori a 50 kPa; durante tutta la fase di saturazione si dovrà mantenere una differenza di pressione, tra pressione di cella e back-pressure, compresa tra 5 e 10 kPa, al fine di evitare premature consolidazioni dei provini.

Dopo ogni gradino di saturazione, una volta raggiunta la completa stabilizzazione delle pressioni, si provvederà alla misura del grado di saturazione raggiunto, attraverso la determinazione del parametro B; la fase di saturazione potrà essere conclusa solo quando il parametro B assume valori superiori a 0.95 in due successive determinazioni.

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 consolidazione e della deformazione attesa a rottura ED_r secondo la seguente equazione

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

H_c = altezza del provino al termine della fase di consolidazione

I valori di ϵ_r , funzione del tipo di materiale, risultano generalmente compresi tra un valore minimo del 2 %, valido per terreni molto consistenti, sovraconsolidati, ad un valore massimo del 10-7-12 %, 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-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 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 σ_h 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 ϕ' ;
- 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.

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.

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 tomietto 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. 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 O_r secondo la seguente equazione:

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

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

- 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 σ/r 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 ϕ' ;
- 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.

Art. 8.4.2 PROVE GEOMECCANICHE DI LABORATORIO (ROCCE)

Determinazione delle caratteristiche fisiche

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.

Determinazione del contenuto naturale d'acqua

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

Normative e specifiche di riferimento:

ISRM - Committee on laboratory tests - Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties and Swelling and Slake-Durability Index Properties (1977) - Part I - Test I - 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 alla data di prova (bilancia, termostato).

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. 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 (1977) - Part I - 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^3 con indicazione della seconda cifra decimale;
- documentazione di tutte le misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo, non antecedente di sei mesi la data di prova (bilancia).

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 (1977) - Part I - 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).

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 (1977) - Part I - 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).

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.

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 (1977) - Part I - 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).

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 (1977) - Part I - 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).

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 (1977) - Part I - 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).

Determinazione della massa volumica reale (peso specifico dei grani)

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

Normative e specifiche di riferimento:

ISRM - Committee on laboratory tests - Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties and Swelling and Slake-Durability Index Properties (1977) - Part I - 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 μ m del campione da analizzare.

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

Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

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

Art. 8.4.3 DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE

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 ϕ 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 mm², 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 mm², sottoposto ad almeno cinque diversi valori di carico normale.

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

La prova dovrà essere condotta adottando velocità di taglio non superiori a 0.1 mm/min. nella fase di determinazione della resistenza di picco e non superiori a 0.2 mm/min. nella fase di determinazione della resistenza residua. Le fasi di consolidazione precedenti ciascuna fase di taglio potranno essere concluse quando le deformazioni verticali assumano valori inferiori a 0.05 mm in 10 min.

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

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 crh 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.

Prove di compressione monoassiale

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

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

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 D4543 - 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 f.lm. 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 kPals. 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.

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.

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

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

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

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

Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- descrizione litologica del campione;
- indicazione della direzione dell'applicazione di carico rispetto alla struttura del campione;

- dimensioni del provino e tolleranze geometriche;
- velocità di incremento del carico;
- descrizione e schizzo del tipo di rottura;
- tabella con i valori di carico assiale, deformazione assiale e deformazione diametrale acquisiti durante la prova;
- grafico carico assiale - deformazione assiale e diametrale;
- valore della resistenza a compressione monoassiale;
- valore del modulo elastico tangente al 50% del carico di rottura E_{t50} ;
- valore del modulo elastico secante al 50% del carico di rottura E_{s50} ;
- valore del coefficiente di Poisson al 50% del carico di rottura;
- 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.

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.

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. 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 una coppia di manometri o, preferibilmente, da un trasduttore di pressione posizionati sulla linea idraulica di alimentazione della pressa, in grado comunque di assicurare una precisione di lettura non inferiore a 1 kN.

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

La rottura dei provini dovrà essere raggiunta incrementando il carico applicato con continuità; la velocità di incremento del carico dovrà essere scelta in modo che i provini giungano a rottura in un tempo compreso tra 2 e 15 min. In particolare si ritengono adeguate velocità di applicazione del carico comprese tra 200 e 400 kPa/s. La velocità scelta dovrà essere mantenuta costante per tutti i provini della serie, con una variazione massima del 10%.

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 (1980) espresso nel piano σ_1/σ_3 nella forma:

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

e nel piano τ nella forma:

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

σ_1 = tensione assiale di rottura (sforzo principale maggiore)

σ_3 = tensione di confinamento (sforzo principale minore)

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

C_0 = resistenza a compressione monoassiale T = sforzo di taglio σ = sforzo normale

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

Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione e dei provini sottoposti a prova;
- descrizione litologica del campione;
- indicazione della direzione dell'applicazione di carico rispetto alla struttura del campione;
- dimensioni dei provini e tolleranze geometriche;
- velocità di incremento del carico;
- descrizione e schizzo del tipo di rottura di ciascun provino;
- tabella con i valori di pressione di confinamento σ_3 e carico assiale di rottura σ_1 di ciascun provino;
- diagramma σ_1/σ_3 con tracciamento dell'involuppo di rottura calcolato e dei punti di prova;
- diagramma τ con tracciamento dell'involuppo di rottura calcolato 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 nel piano σ_1/σ_3 ;
- valore dei parametri A, B, T dell'involuppo di rottura nel piano τ ;
- 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.

Prova di compressione triassiale con rilievo delle deformazioni

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 25m.

L'attrezzatura di prova dovrà comprendere un sistema per la misura delle deformazioni assiali e diametrali del provino, 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 σ_1/σ_3 nella forma:

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

e nel piano τ/σ nella forma:

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

σ_1 = tensione assiale di rottura (sforzo principale maggiore)

σ_3 = tensione di confinamento (sforzo principale minore)

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

c_0 = resistenza a compressione

t sforzo di taglio

σ = sforzo normale

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

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 σ_3 e carico assiale di rottura σ_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_{ss} e del coefficiente di Poisson al 50% del carico di rottura per ciascun provino;
- diagramma σ_1/σ_3 con tracciamento dell'involuppo di rottura calcolato e di tutti i punti di prova;
- diagramma σ_1/σ_3 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 σ_1/σ_3 ;
- valore dei parametri A , B , T dell'involuppo di rottura nel piano σ_1/σ_3 ;
- 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.

Prova di compressione triassiale in controllo di deformazione 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 f.lm. L'attrezzatura di prova dovrà comprendere un sistema per la misura delle deformazioni assiali e diametrali del provino, che dovrà in ogni caso garantire una precisione di almeno 5 μm . 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^{-1} e/s; a tale scopo l'attrezzatura di prova dovrà comprendere un sistema di servocontrollo digitale che regoli la velocità di applicazione del carico in funzione della deformazione assiale misurata.

La prova dovrà essere protratta anche nella fase post-rottura, 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 pressione di confinamento al fine di controllarne la stabilità.

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

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

e nel piano τ nella forma:

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

σ_1 = tensione assiale di rottura (sforzo principale maggiore)

σ_3 = tensione di confinamento (sforzo principale minore)

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

c_0 = resistenza a compressione monoassiale

τ = sforzo di taglio

σ = sforzo normale

A, B, T = parametri dell'involuppo di rottura nel piano σ_1/σ_3

Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione e dei provini sottoposti a prova;
- descrizione litologica del campione;
- indicazione della direzione dell'applicazione di carico rispetto alla struttura del campione;
- dimensioni dei provini e tolleranze geometriche;
- velocità di deformazione adottata;
- descrizione e schizzo del tipo di rottura di ciascun provino;
- tabella con i valori di carico assiale, deformazione assiale e deformazione laterale acquisiti durante la prova per ciascun provino;
- grafico carico assiale - deformazione assiale e diametrale per ciascun provino;
- tabella con i valori di pressione di confinamento σ_3 , resistenza di picco e resistenza residua di ciascun provino;
- tabella con i valori del modulo elastico tangente al 50% del carico di rottura E_{50} , del modulo elastico secante al 50% del carico di rottura E_{ss} e del coefficiente di Poisson al 50% del carico di rottura ν_{50} per ciascun provino;

- diagramma σ_1/σ_3 con tracciamento degli inviluppi di rottura di picco e residuo calcolati e di tutti i punti di prova;
- diagramma σ con tracciamento degli inviluppi di rottura di picco e residuo calcolati e dei cerchi di Mohr relativi alle prove eseguite;
- valore della resistenza a compressione C_o calcolata;
- valore del parametro m_i dell'inviluppo di rottura di picco nel piano σ_1/σ_3 ;
- valore dei parametri A, B, T dell'inviluppo di rottura di picco nel piano σ_1/σ_3 ;
- valore del parametro m_i dell'inviluppo di rottura residuo nel piano σ_1/σ_3 ;
- valore dei parametri A, B, T dell'inviluppo di rottura residuo nel piano σ_1/σ_3 ;
- 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.