

CAPITOLATO SPECIALE D'APPALTO
QUALITÀ E PROVENIENZA DEI MATERIALI

CONDIZIONI GENERALI DI ACCETTAZIONE DI MATERIALI, COMPONENTI E MANUFATTI

In materia di condizioni generali di accettazione dei materiali e manufatti, fatto salvo quant'altro specificato e prescritto nel presente Capitolato Speciale, si applica quanto previsto dal Capitolato Generale D.M. 145/2000, al quale si rimanda.

Materiali, componenti e manufatti possono provenire da quelle località e fabbriche che l'Impresa ritiene di sua convenienza, purché siano riconosciuti delle migliori qualità e prodotti da primarie Ditte costruttrici nazionali ed estere, a condizione inoltre che rispondano ai requisiti specificatamente richiesti e, in generale, alle vigenti norme tecniche e prescrizioni di legge.

A richiesta della Direzione Lavori, prima della fornitura od impiego di materiali, componenti e apparecchiature, l'Impresa deve produrre relativa e idonea documentazione (certificati di provenienza, caratteristiche tecniche, prove d'officina, etc.) atta ad attestarne la qualità e conformità.

Materiali e manufatti, prima del loro impiego, devono essere riconosciuti, da parte della Direzione Lavori, idonei e rispondenti alle norme e requisiti fissati da Organi e Istituti preposti e dal presente Capitolato.

Qualora la Direzione Lavori rifiuti una qualsiasi provvista riconoscendola inadatta all'impiego, l'Impresa deve sostituirla con altra che corrisponda alle caratteristiche richieste, restando onere dell'Impresa l'allontanamento dal cantiere di quanto rifiutato. L'Impresa è obbligata a prestarsi in ogni tempo alle prova dei materiali e manufatti impiegati o da impiegare, facendosi carico delle spese per il prelievo, la formazione e l'invio dei campioni ai laboratori.

I campioni vengono prelevati in contraddittorio e vanno conservati in appositi locali, previa apposizione di sigilli e firme delle parti e nei modi più adatti a garantirne l'autenticità e la conservazione.

Le disposizioni dei Produttori dei materiali e manufatti sul loro trasporto, deposito, installazione, e posa in opera avranno valore di norma.

In ogni caso saranno osservate le norme di cui agli articoli 15, 16 e 17 del Capitolato Generale.

L'Appaltatore resta totalmente responsabile della buona riuscita delle opere, anche per quanto può dipendere dai materiali impiegati, nonostante l'accettazione degli stessi da parte della Direzione dei Lavori, ed ha l'obbligo di eseguire tutti i controlli necessari sui materiali volti ad accertarne l'idoneità all'uso e di adottare le più corrette modalità di conservazione e tecnologie di impiego.

CAPITOLATO SPECIALE D'APPALTO MODO DI ESECUZIONE DELLE CATEGORIE DI LAVORO
--

Sondaggi geognostici

Il tipo di attrezzatura per l'esecuzione dei sondaggi deve essere adeguato al raggiungimento delle posizioni e delle profondità prefissate, ovvero che si renderanno necessarie, in funzione dei risultati dell'indagine fino a quel momento svolta. Pertanto, qualora le condizioni morfologiche lo richiedano dovrà essere utilizzata una sonda montata su cingoli.

Le perforazioni, siano esse a carotaggio continuo o a distruzione di nucleo, comunque inclinate, dovranno essere eseguite con diametro idoneo a garantire l'introduzione e la messa in opera di apparecchiature di misura (es.: piezometri tipo Casagrande o altri, inclinometri, estensimetri, ecc.) nei fori di sondaggio indicati dalla Direzione dei Lavori.

Perforazione a carotaggio continuo

Le modalità di perforazione e il diametro dei fori saranno tali da rendere minimo il disturbo dei terreni attraversati. La perforazione dovrà consentire la massima percentuale di recupero delle carote in funzione del tipo di terreno attraversato; il recupero dovrà essere ritenuto idoneo dalla Direzione Lavori.

Le carote prelevate durante il corso della perforazione verranno conservate in apposite cassette catalogatrici sulle quali verranno riportati in perfetta evidenza e in modo indelebile il numero di sondaggio e la profondità del rilievo. Il compenso per la fornitura delle cassette catalogatrici verrà riconosciuto solo per quelle utilizzate per la conservazione temporanea, per il periodo richiesto dalla Direzione Lavori, delle carote. L'impresa potrà recuperare le cassette al termine dei lavori, con l'onere del trasporto a discarica del materiale estratto.

Dopo aver completato ogni singola cassetta, l'impresa è tenuta ad eseguire a proprie cure e spese, almeno una fotografia su stampa a colori del contenuto, in cui sia visibile, oltre alle carote, l'indicazione del cantiere, il numero del sondaggio, la profondità dal piano di campagna cui corrisponde la cassetta e un comparatore colorimetrico. Le stampe dovranno essere fornite alla Direzione Lavori insieme alla relazione tecnica, al termine dei lavori.

In terreni teneri la perforazione sarà eseguita con carotiere semplice ed assolutamente a secco. In presenza di terreni consistenti, o in particolari condizioni stabilite dalla Direzione Lavori, la perforazione dovrà essere eseguita con carotiere doppio o altra attrezzatura ritenuta idonea dalla Direzione Lavori; in ogni caso si dovrà limitare l'uso dell'acqua.

Per evitare il franamento delle pareti dei fori di sondaggio saranno impiegati rivestimenti metallici il cui avanzamento seguirà quello della perforazione. Il diametro dei rivestimenti sarà tale da permettere l'uso dei campionatori previsti e di quant'altro necessario per effettuare le prove in sito. In presenza di foro poco stabile l'operatore dovrà mettere in atto tutti gli accorgimenti necessari ad assicurarne la stabilità.

Eventuali deformazioni di fori non rivestiti o franamenti delle pareti comportano l'esecuzione di perforazioni sostitutive, a distanza di 2-3 m, sino alla quota precedentemente raggiunta, senza che la Ditta appaltatrice possa chiedere compensi o sovrapprezzi.

Nel corso dei sondaggi sarà rilevata la stratigrafia del terreno attraversato; in essa dovranno comparire tutti gli elementi relativi ai campioni rimaneggiati ed indisturbati.

Per ogni sondaggio eseguito in terreni sciolti e/o coesivi dovrà essere descritto:

- ubicazione e denominazione del cantiere;
- committente ed Impresa esecutrice;
- quota dei sondaggi;

- orientamento del sondaggio e inclinazione rispetto alla verticale;
 - data di inizio e fine della perforazione;
 - metodi di perforazione impiegati nei diversi tratti;
 - caratteristiche dell'attrezzatura di perforazione e diametro di perforazione del carotiere;
 - eventuali metodi di stabilizzazione del foro adottati;
 - tipo e diametro degli eventuali rivestimenti;
 - profilo stratigrafico rilevato durante la perforazione con denominazione e rappresentazione simbolica della natura e consistenza dei terreni attraversati, con profondità dal piano di campagna e spessore dei diversi tipi litologici.
 - profondità di prelievo dei campioni disturbati e/o indisturbati;
 - note relative a perdite di fluidi di circolazione, eventuali franamenti delle pareti, rifluimenti dal fondo e quant'altro possa essere rilevato in campagna;
 - profondità di ogni manifestazione acquifera incontrata, da semplici perdite ai livelli freatici, di cui dovrà essere fornita la quota massima e minima rilevate nel corso del sondaggio fino a stabilizzazione o diversamente, a richiesta della Direzione Lavori. Le misurazioni inoltre andranno sempre effettuate all'inizi, alla fine di ogni turno di lavoro e alla sospensione antimeridiana, avendo cura che il foro sia libero da eventuali materiali che impediscano alla falda di raggiungere, durante la notte, il livello statico.
- Il sondaggio, se non utilizzato per la posa in opera di strumentazione geotecnica, dovrà essere riempito con idoneo materiale, secondo le indicazioni della Direzione Lavori, con onere dell'Impresa.

Per sondaggi in roccia o in strati cementati, il diametro di perforazione sarà tale da ottenere carote del diametro di almeno 85 mm.

Non è consentito l'uso di attrezzi quali triconi, scalpelli o altri che operino "a distruzione", a meno che ciò non sia, per fini particolari, esplicitamente richiesto. Il loro uso è consentito per alesare un foro in cui siano già state prelevate le carote con le modalità sopra indicate.

Perforazione a distruzione di nucleo

Tale perforazione dovrà essere eseguita per l'installazione dei tubi inclinometrici.

Per ogni sondaggio eseguito in terreni sciolti e/o coesivi dovrà essere descritto:

- ubicazione e denominazione del cantiere;
- committente ed Impresa esecutrice;
- quota dei sondaggi;
- orientamento del sondaggio, inclinazione rispetto alla verticale e suo orientamento;
- data di inizio e fine della perforazione;
- metodi di perforazione impiegati nei diversi tratti;
- caratteristiche dell'attrezzatura di perforazione e diametro di perforazione del carotiere;
- tipo e diametro degli eventuali rivestimenti.

Durante la perforazione potranno essere prelevati campioni di detrito uscente dal foro (cutting) mediante i quali dovrà essere ricostruita una approssimata descrizione dei terreni attraversati, fornendo inoltre notizie riguardanti:

- perdite di fluidi di circolazione, eventuali franamenti delle pareti, rifluimenti dal fondo e quant'altro possa essere rilevato in campagna;
- misurazioni del livello della falda sia a fine prova che a livello stabilizzato o diversamente, a richiesta della Direzione Lavori. Le misurazioni inoltre andranno sempre effettuate all'inizio e alla fine di ogni turno di lavoro, avendo cura che il foro sia libero da eventuali materiali che impediscano alla falda di raggiungere, durante la notte, il livello statico.

La perforazione sarà condotta mediante utensili del tipo triconi o scalpelli di vario tipo oppure con altro metodo ritenuto idoneo dalla Direzione Lavori. Le pareti del foro

saranno sostenute a seconda delle esigenze da normali fluidi di perforazione o da rivestimenti.

Eventuali deformazioni di fori non rivestiti o franamenti delle pareti comportano l'esecuzione di perforazioni sostitutive, a distanza di 2-3 m, sino alla quota precedentemente raggiunta, senza che la Ditta appaltatrice possa chiedere compensi o sovrapprezzi.

Il sondaggio, se non utilizzato per la posa in opera di strumentazione geotecnica, dovrà essere riempito con idoneo materiale, secondo le indicazioni della D.L. con onere dell'impresa.

Fornitura di cassette per campioni indisturbati

I campioni di terreno o carote prelevati nel corso dei sondaggi saranno custoditi in apposite cassette catalogatrici, munite di setti divisori e coperchio, recanti l'indicazione del cantiere, il numero del sondaggio e profondità dal piano di campagna dei prelievi conservati.

Le cassette catalogatrici contenenti i materiali prelevati verranno tenute in cantiere, a disposizione della Direzione Lavori, fino al termine delle indagini, in un luogo asciutto e riparato. Al termine dei lavori le cassette potranno essere recuperate dalla Ditta appaltatrice che avrà l'onere del trasporto a scarica delle carote in esse contenute.

Prelievo di campioni indisturbati

Nei terreni coesivi e semi coesivi (limo, argilla, limo sabbioso, ecc.) incontrati durante la perforazione del sondaggio, verranno prelevati campioni indisturbati secondo le indicazioni della Direzione Lavori impiegando, secondo la consistenza del terreno, i seguenti tipi di campionatore:

1) campionatore a pareti sottili (tipo Osterberg) munito di pistone, avente un diametro interno non inferiore ad 80 mm., spessore da 1,5 a 2 mm e lunghezza maggiore di 600 mm;

2) campionatore rotativo a doppia parete con inserito contenitore del tipo Mazier oppure Denison con lunghezza interna maggiore di 600 mm. e diametro interno maggiore di 67 mm.

L'impresa potrà proporre alla Direzione Lavori anche altri tipi di campionatori il cui utilizzo sarà subordinato all'approvazione della Direzione Lavori stessa.

I contenitori a fustelle potranno essere di plastica o di acciaio (inox, plastificato o zincato) a seconda del tipo di campionatura usato, e dovranno risultare in ottimo stato di conservazione prima di essere usati per il prelievo.

La fornitura dei campionatori è a totale carico della Ditta aggiudicataria e, dopo che saranno state eseguite le analisi di laboratorio richieste, questi resteranno di proprietà della Ditta stessa.

I prelievi di campioni indisturbati devono essere effettuati subito dopo una preventiva e accurata pulizia, con metodi adeguati, del fondo del foro. I campioni così prelevati devono essere immediatamente sigillati con paraffina fusa, repertoriati e sistemati in idonei contenitori con accurato imballo che li preservi da ogni danneggiamento.

Sia sul campione che sul contenitore verrà applicata una etichetta in cui saranno indicati in modo indelebile:

- designazione del cantiere
- designazione del foro di sondaggio
- eventuale numero di ordine del campione
- profondità del prelievo (da/a)
- orientamento (alto/basso)
- data di prelievo.

Nel rapporto da consegnare alla Direzione Lavori devono essere riportati i dati relativi al campionamento eseguito con le seguenti annotazioni:

- tipo di campionatore e sue dimensioni;
- metodo di infissione del campionatore;
- condizioni di prelievo;
- lunghezza del campione.

Tutti i campioni di cui ai commi precedenti devono essere indicati, con le rispettive quote di prelievo, nel profilo stratigrafico di ogni sondaggio da consegnare alla Direzione Lavori.

I campioni devono risultare della lunghezza utile necessaria per l'esecuzione delle analisi di laboratorio. L'impresa dovrà quindi scegliere il tipo di campionatore in relazione alla consistenza e durezza del terreno da campionare.

Non potranno essere contabilizzati campioni che non presentano una lunghezza utile pari ad almeno 40 cm (con particolare riferimento ai terreni coesivi).

Piezometri

Le pressioni interstiziali saranno misurate mediante piezometri da installare lungo tutte le verticali di sondaggio.

Dovranno almeno essere installati piezometri del tipo Casagrande a capsula porosa e a doppio condotto.

Per la sistemazione esterna del piezometro si dovrà prevedere un pozzetto di protezione di profondità e caratteristiche tali da non consentire infiltrazione di acque superficiali e manomissioni; nel pozzetto sarà installato un tubo esterno munito di lucchetto.

Le misure piezometriche dovranno eseguirsi almeno a intervalli di circa 3 ore al giorno per tutta la durata dei lavori.

L'installazione di questo tipo di strumentazione consiste nel porre in opera entro un foro le cui pareti sono rivestite con una tubazione di manovra, una o più colonne in P.V.C. o metallo, opportunamente fessurate per la parte in falda e cieche per quella restante, rivestite con calza in tessuto non tessuto.

Una volta eseguita la pulizia del foro, vengono immessi i tubi piezometrici della lunghezza stabilita dalla Direzione Lavori, quindi si provvede ad immettere materiale granulare fino a formare, nell'intercapedine tra piezometro e colonna di manovra, un filtro poroso. Tale operazione va eseguita ritirando la colonna di manovra mano a mano che si procede con l'immissione dall'alto del materiale filtrante, curando di controllarne la quota con idonei sistemi di misura (cordelle metriche, etc.).

Al termine della formazione del filtro si procederà all'esecuzione di un tappo impermeabile formato generalmente da palle d'argilla e bentonite o cemento opportunamente pestellate, onde isolare la zona filtrante dal resto del foro che verrà poi cementato, oppure riempito con materiale di risulta, secondo le indicazioni della Direzione Lavori.

Qualora il filtro sia posto ad una quota indicata dalla Direzione Lavori, il tampone impermeabile dovrà essere eseguito sia nella parte inferiore che in quella superiore al filtro stesso.

Lo spessore della zona filtrante verrà stabilito dalla Direzione Lavori, quello del tampone dovrà avere uno spessore non inferiore a 60 cm, salvo diversa indicazione della Direzione Lavori.

In superficie si provvederà quindi ad eseguire un idoneo pozzetto con chiusino, per il contenimento della testa del piezometro.

Tubi inclinometrici

La colonna inclinometrica sarà costituita da elementi di tubo in alluminio a quattro scanalature, giuntati tra di loro con manicotti speciali e rivettati.

Prima dell'installazione del tubo inclinometrico, l'Impresa deve verificare che la colonna di rivestimento provvisorio del foro sia libera e possa essere recuperata senza

rotazione con semplice sollevamento, ad evitare spiratura e deformazioni del tubo stesso.

Una volta pulito il foro, si procederà all'installazione della colonna inclinometrica, formata da spezzoni di tubo man mano collegati tra loro.

I rivetti saranno disposti a 120 gradi e le giunzioni dovranno anche essere sigillate con mastice.

In caso si renda necessario tagliare un modulo di tubo inclinometrico, gli spezzoni dovranno essere di lunghezza pari a multipli di 0,5 metri.

Qualora la spinta idrostatica contrastasse l'infissione della colonna, questa potrà essere appesantita con liquido di idoneo peso specifico, tale da non richiedere l'esercizio di pressioni di qualsiasi tipo sulla colonna stessa.

Estrema attenzione va posta durante tutte le fasi di posa in opera della colonna inclinometrica onde non tranciare i sistemi di collegamento dei vari spezzoni di tubo ed evitare piegamenti e torsioni dei tubi stessi.

La cementazione dell'intercapedine tra il foro di sondaggio e la colonna inclinometrica verrà effettuata attraverso aste innestate nella valvola applicata al tappo di fondo della tubazione inclinometrica.

Se richiesto dalla Direzione Lavori, la cementazione potrà essere eseguita mediante iniezione della miscela direttamente nell'intercapedine foro-colonna inclinometrica o attraverso un tubicino non metallico a perdere legato all'esterno della colonna stessa, oppure attraverso aste mobili da recuperare man mano che l'intasamento progredisce dal fondo verso l'alto.

Dovrà essere evitato in modo assoluto lo scuotimento dell'asta inclinometrica allo scopo di favorire la discesa della boiaccia.

Le giunzioni tra le singole aste inclinometriche e le valvole di fondo devono essere eseguite con la massima cura allo scopo di evitare il rifluimento delle boiacche all'interno del tubo inclinometrico.

Durante l'estrazione del rivestimento, la eventuale diminuzione di livello della miscela deve essere compensata con ulteriori aggiunte della stessa.

Controlli del livello della miscela e successivi rabbocchi, se necessari, verranno eseguiti anche a 12, 24 e 48 ore dalla fine della estrazione del rivestimento.

Il rabbocco di boiaccia dall'alto dovrà essere fatto utilizzando gli stessi tubicini utilizzati per l'iniezione sul fondo che andranno collocati tra la parete del foro e l'asta inclinometrica.

Nel caso si renda necessario, per il rabbocco potrà essere utilizzata boiaccia più densa. Terminato il rabbocco, l'inclinometro dovrà essere ripetutamente lavato all'interno con circolazione d'acqua.

In presenza di rocce altamente fratturate o altamente porose l'asta inclinometrica potrà essere fissata anche mediante l'utilizzo di sabbia pulita da veicolare dall'alto con acqua fino ad intasare completamente lo spazio tra rivestimento e tubo inclinometrico. Il rivestimento andrà estratto con le stesse modalità sopra descritte.

Nel caso la fratturazione sia particolarmente beante, prima dell'introduzione di sabbia o di boiaccia dovranno essere immessi nel foro miscele intasanti.

Un pozzetto di ispezione e un dispositivo di protezione provvisto di idonea chiusura, vanno posti in opera alla sommità del tubo. La distanza tra la sommità del tubo inclinometrico e la sommità della colonna protettiva dovrà essere minore o uguale a 10 cm..

L'inclinometro messo in opera dovrà risultare facilmente percorribile per tutta la sua lunghezza dalla sonda testimone utilizzata dalla Amministrazione o dalla Impresa esecutrice, senza che quest'ultima incontri ostacoli o sia soggetta a rimbalzi.

Nel caso che la sonda testimone risalga bagnata di boiaccia, l'Impresa dovrà procedere all'ulteriore lavaggio dell'inclinometro.

I tubi inclinometrici non dovranno presentare fuori piombo superiore al 3% della lunghezza anche su tratti parziali.

Per inclinometri di lunghezza superiore ai 33 metri il fuori piombo non dovrà superare comunque complessivamente il metro.

L'inclinometro dovrà risultare di lunghezza utile pari a quella del relativo sondaggio fissata dalla D.L.; è tollerata una minore lunghezza del tubo inclinometrico pari al 4% massimo della lunghezza prevista per il relativo sondaggio.

Non saranno contabilizzati e liquidati i lavori relativi alle forniture e messa in opera di aste inclinometriche che risulteranno completamente o parzialmente inutilizzabili, qualora la compromissione fosse tale da rendere non significative le letture di esercizio, ovvero che risultino di lunghezza inferiore più del 4% rispetto alla lunghezza del sondaggio o eccessivamente fuori piombo; in tal caso, tra i lavori non contabilizzabili e liquidabili, devono intendersi ricompresi, oltre la fornitura e posa in opera delle aste inclinometriche, anche il compenso per la relativa perforazione a carotaggio continuo o a distruzione nonché il compenso per la installazione della sonda.

La prova di verticalità sul tubo inclinometrico, per determinare l'entità del fuori piombo e la direzione di vergenza, verrà seguita dalla stazione appaltante con propria sonda, ovvero da ditta specializzata scelta dalla stazione appaltante, con oneri a carico della ditta appaltatrice, prima della contabilizzazione del tubo stesso.

Standard Penetration Test (S.P.T.)

Sul provvisorio fondo foro opportunamente pulito, dovrà essere infisso a percussione un campionatore di forma e dimensioni standard (tipo Raymond), attraverso il quale, in base al numero dei colpi (N) necessari alla penetrazione di 45 cm, misurati separatamente in tre tratti di 15 cm ciascuno, sia possibile valutare orientativamente lo stato di consistenza dei terreni, in genere sabbiosi o limo-argillosi.

La percussione dovrà essere effettuata secondo le modalità contenute nella norma ASTM n° D1586/67 salvo quanto specificato di seguito.

Deroghe alla norma ASTM n° D 1586/67:

Se la prova interesserà terreni molto compatti o ghiaiosi, su parere del geologo di cantiere, l'Impresa potrà impiegare, al posto della scarpa del campionatore sopra descritto, una punta conica del diametro di 51 mm e di 60° di apertura angolare;

Per la prova dovrà essere usato un campionatore Raymond di lunghezza 711 mm, diametro esterno di 50,8 mm, diametro interno 34,9 mm ed un dispositivo di guida e di sgancio automatico del maglio, di peso 63,5 kg, che assicuri una corsa a caduta libera di 0,76 m.

Le aste di perforazione non dovranno superare il peso di 10 kg/ml.

L'Impresa è tenuta a conservare il campione estratto dal campionatore trasferendolo dal tubo di campionamento in contenitori di plastica, contrassegnati con etichetta.

PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

Generalità

Requisiti generali del laboratorio

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

Locali di prova

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

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

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

Apparecchiature di prova

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

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

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

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

Copia delle schede di registrazione delle apparecchiature da utilizzare nell'ambito della Commessa dovrà essere fornita su richiesta alla Direzione Lavori.

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

Identificazione dei campioni

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

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

Conservazione dei campioni

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

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

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

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

Al termine delle attività di prova i campioni residui non sottoposti a prova dovranno essere conservati in ambiente ad atmosfera controllata e potranno essere avviati a scarica unitamente ai campioni ed ai provini sottoposti a prova, idoneamente conservati, solo previa autorizzazione della Direzione Lavori.

Condizioni di trattamento dei campioni

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

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

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

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

In linea di principio l'inizio delle analisi o prove programmate dovrà immediatamente seguire l'apertura dei campioni; nel caso in cui l'inizio delle attività di prova debba essere necessariamente procrastinato, i provini già confezionati, opportunamente siglati e sigillati, dovranno essere conservati nel locale ad atmosfera controllata utilizzato per la conservazione dei campioni.

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

Modifiche al programma di prove

Le prove di laboratorio dovranno essere eseguite secondo il programma di prove di laboratorio contenuto nel presente capitolato d'Appalto. Se tuttavia in fase di apertura dei campioni si dovessero riscontrare incongruenze tra il tipo di materiale campionato e le prove indicate in programma o qualora la qualità del campione rendesse poco attendibili i risultati delle prove previste (eccessivo rammollimento, essiccazione, deformazione evidente) il laboratorio interromperà il programma di prova e comunicherà immediatamente alla Direzione Lavori gli inconvenienti riscontrati in modo da adeguare il programma di prove alla effettiva qualità e tipologia dei campioni disponibili.

A tale proposito il laboratorio dovrà comunicare alla Direzione Lavori il programma temporale delle attività in modo che sia possibile presenziare all'apertura dei campioni al fine di concordare eventuali modifiche al programma di prove.

In nessun caso il laboratorio potrà proseguire nel programma di prove o modificare il programma di prove senza la preventiva autorizzazione della Direzione Lavori.

Rapporti con la Direzione Lavori

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

Normative di riferimento

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

Di seguito, per ciascuna prova elencata, viene riportata la normativa di riferimento a cui il laboratorio dovrà di regola attenersi nell'esecuzione delle prove, unitamente ad alcune indicazioni sulle modalità di prova; l'eventuale esecuzione delle prove secondo standard o normative alternative a quelle indicate nelle presenti norme tecniche dovrà in ogni caso essere preventivamente autorizzato dalla Direzione Lavori.

Nei capitoli relativi alle modalità di prova delle presenti norme tecniche non si forniscono istruzioni operative dettagliate, per le quali si rimanda agli standard di riferimento, ma si sottolineano aspetti dei procedimenti di prova ritenuti particolarmente significativi per la corretta conduzione delle stesse.

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

Documentazione da consegnare

Alla consegna dei certificati di prova dovrà essere fornita anche una sintesi che riporterà i risultati principali ottenuti dalle singole prove. Tale sintesi, espressa in un quadro riepilogativo generale, dovrà contenere la sigla identificativa del campione e la profondità di prelievo, le percentuali delle diverse frazioni granulometriche, i valori dei limiti di consistenza e dell'indice di plasticità, le classificazioni AGI, USCS e CNR-UNI 10006, il contenuto d'acqua e il peso di volume naturale, i valori di c e ϕ ottenuti dalle prove di taglio diretto e dalle prove triassiali.

Nei capitoli seguenti delle presenti norme tecniche viene indicata la documentazione minima da fornire per ciascuna prova o analisi eseguita.

In ogni caso il rapporto finale di 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.

DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE FISICHE (PROVE DI IDENTIFICAZIONE)

Apertura e descrizione Geotecnica di campioni indisturbati alloggiati in fustelle cilindriche.

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

Dopo l'estrusione il campione sarà sottoposto a scoticatura e ripulitura delle estremità e si procederà alla descrizione geotecnica visivo-manuale del materiale campionato indicando natura, colore, strutture, inclusioni, frammenti di conchiglie, resti organici, eventuale odore ed ogni altro elemento ritenuto significativo. La descrizione geotecnica visivo-manuale dovrà essere condotta 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 alla 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 misure condotte, l'indicazione delle prove da eseguire e dei relativi provini, 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.

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 da consegnare

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) di data 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 tornietto da laboratorio, al fine di minimizzare il disturbo al campione; l'uso del tornietto potrà essere evitato per terreni a bassa consistenza, per i quali è possibile l'infissione a pressione di una fustella tarata mediante l'impiego di un idoneo campionatore.

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

Documentazione da consegnare

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- risultato della determinazione espresso in unità SI [Mg/m³] con definizione della seconda cifra decimale;
- documentazione delle pesate eseguite e delle dimensioni dei provini;
- note sulla eventuale disomogeneità del campione ed indicazione della porzione a cui si riferisce la determinazione;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia) di data non anteriore di 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 Lavori.

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

Documentazione da consegnare

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) di data 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 il seguente schema:

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

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

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

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

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 da consegnare

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) di data 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 le 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 da consegnare

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

DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE

Prova di compressione edometrica (IL)

La prova edometrica consiste nella determinazione dell'entità e della velocità della consolidazione di terreni coesivi soggetti ad incrementi tensionali. Nel corso della prova edometrica, oltre ai parametri normalmente calcolati, è possibile eseguire determinazioni dirette di permeabilità.

Normative e specifiche di riferimento

ASTM D 2435 - 90 - Standard Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils

A.G.I. (1994) - Raccomandazioni sulle Prove Geotecniche di Laboratorio – Prove edometriche

Modalità di prova

La prova di compressione edometrica ad incrementi di carico controllati dovrà essere condotta su provini cilindrici di diametro non inferiore a 50 mm e rapporto diametro/altezza compreso tra 2.5 e 6 preparati con apposito tornietto campionatore a partire da campioni indisturbati; per materiali poco consistenti si potrà infiggere l'anello portacampione a pressione direttamente nel campione da analizzare; in nessun caso sarà possibile infiggere a mano l'anello portacampione.

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

Una volta inserito il terreno nell'anello portacampione si procederà al montaggio della cella edometrica inserendo le pietre porose inferiore e superiore e della carta da filtro tipo Whatman's n. 54 tra il terreno e le pietre porose.

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 sito.

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, se richiesto, si eseguirà inoltre un ciclo di scarico ricarico a partire dalla tensione geostatica σ'_{vo} esistente in sito 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 α in corrispondenza di livelli di carico indicati dalla Direzione Lavori

Documentazione da consegnare

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;
- 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;
- diagramma cedimento - logaritmo del tempo per i gradini di carico richiesti;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, comparatori o trasduttori di spostamento lineari, eventuali trasduttori di carico) di data non anteriore di sei mesi alla data di prova.

Prova di taglio diretto consolidata - drenata ciclica

La prova consiste nella determinazione dell'angolo di attrito residuo con restituzione delle curve sforzo di taglio/deformazione e sforzo di taglio/spostamento orizzontale 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 - 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 tornietto campionatore a partire da campioni indisturbati; per materiali poco consistenti si potrà infiggere a pressione direttamente nel campione da analizzare apposita fustella calibrata; in nessun caso sarà possibile infiggere a mano la fustella. 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 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 δ_r secondo la seguente equazione:

$$v_r = \delta_r / (10 \cdot t_{100})$$

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

SCORRIMENTO A ROTTURA	
<i>Tipo di terreno</i>	<i>Scorrimento a rottura [mm]</i>
argille tenere	8
argille sovraconsolidate	$2 \div 5$
argille molto sovraconsolidate	$1 \div 2$
sabbie	$1 \div 5$

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.

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 da consegnare

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 deformazione verticale - logaritmo del tempo, o in alternativa deformazione verticale - radice quadrata del tempo per ciascun provino;
- valore del tempo di fine consolidazione t_{100} di ciascun provino;
- altezza dei provini al termine della fase di consolidazione;
- velocità di deformazione adottata nella fase di rottura;
- tabella di sintesi con i valori di resistenza al taglio, scorrimento orizzontale e deformazione verticale registrati per ciascun provino in fase di rottura;
- diagramma resistenza al taglio - scorrimento orizzontale per ciascun provino;
- diagramma deformazione verticale - scorrimento orizzontale per ciascun provino;
- eventuale diagramma cumulato resistenza al taglio - scorrimento orizzontale per la determinazione della resistenza residua;
- valori della resistenza al taglio e dello scorrimento orizzontale a rottura per ciascun provino;
- eventuali valori della resistenza al taglio residua e del relativo scorrimento orizzontale per ciascun provino;
- rappresentazione dello stato di sollecitazione a rottura ed eventualmente allo stato residuo di tutti i provini sottoposti a prova espresso in termini di sforzi efficaci nel piano σ/τ 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.

PROSPEZIONI GEOFISICHE

Tomografia geoelettrica

Questo tipo di indagine, eseguita con diverse configurazioni (Wenner, dipolo-dipolo o Schlumberger), può essere utilizzata con successo nella definizione della geometria e dello spessore di strutture sepolte a piccola profondità come ad es. plinti di fondazione; volta per volta verrà definita la profondità dell'indagine e quindi le caratteristiche delle geometrie impiegate.

Caratteristiche delle attrezzature

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

- strumentazione di acquisizione multicanale (fino a 96) e che dovrà eseguire in automatico le seguenti operazioni:
- cancellazione automatica dei potenziali spontanei;
- sommatoria automatica del segnale ("stacking") programmabile;
- possibilità di impostare "finestre" di misura;
- risoluzione di misura fino a 30 nV.
- elettrodi definiti "intelligenti", dotati, cioè, di elettronica interna (smart electrodes), montati permanentemente sul cavo elettrico;
- cavi di collegamento vari ed accessori.

Modalità esecutive

Le esatte modalità di configurazione in fase di prova saranno preventivamente concordati con la Direzione Lavori.

In ogni caso la tomografia elettrica dovrà essere eseguita con una configurazione Wenner, dipolo-dipolo e Schlumberger, dovranno comunque essere utilizzati stendimenti base composti da 48/72/96 elettrodi ubicati ad intervallo regolare lungo il profilo con passo di 5 metri, per uno sviluppo massimo di 475 metri lineari.

In relazione al dettaglio richiesto ed alla profondità di indagine potranno variare sia la spaziatura degli elettrodi che la dimensione finale dello stendimento di base.

La suddetta strumentazione di acquisizione dovrà essere in grado di gestire, acquisire e memorizzare automaticamente le misure, tramite opportuno software e sarà costituita da tre elementi principali: unità di controllo, sistema automatico di commutazione degli elettrodi, set di cavi multicanale con elettrodi dotati di elettronica interna (smart electrodes). Il ricoprimento tra due basi contigue verrà acquisito secondo la modalità del "roll along", ripetute secondo passo regolare con spostamenti successivi dello stendimento principale e sarà definito dalla profondità d'indagine richiesta, secondo il rapporto $AB / Pf = 6$.

La posizione degli elettrodi dovrà essere oggetto di adeguato rilievo planoaltimetrico.

L'elaborazione dei dati seguirà due fasi successive:

- ricostruzione di "pseudosezioni" di resistività tramite l'utilizzo di software di definizione delle linee di contorno ("countouring") tipo Surfer;
- inversione mono e bidimensionale per lo sviluppo di un adeguato modello di distribuzione della resistività del sottosuolo; il software d'inversione dovrà essere in grado di applicare l'eventuale correzione topografica (tipo RES2D inv).

Documentazione

La documentazione di ciascuna indagine dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- planimetrie con ubicazione di tutte le stazioni e stese elettriche;
- listati di: voltaggio, corrente, deviazione standard e resistività apparente, per ogni singola misura;

- pseudosezioni di resistività per ogni base unitaria;
- copia dei rapporti giornalieri delle operazioni di campagna;
- risultati dell'inversione e modellizzazione dei dati unitamente al completo data base utilizzato per la valutazione geoelettrica e il calcolo della distribuzione della resistività;
- copia di tutti i dati di campagna e di elaborazione su CD per PC Windows.
- relazione riassuntiva con descrizione dettagliata delle attrezzature impiegate, delle modalità operative e dei metodi di interpretazione.

Prospezione sismica in foro di sondaggio (Down-hole)

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

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

Caratteristiche delle attrezzature

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

- tubazione con sezione circolare in PVC o ABS, con spessore > 3 mm e diametro interno compreso fra 75 e 100 mm, in spezzoni di 3 metri da assemblare mediante filettatura M/F oppure mediante manicotti di giunzione;
- sistema di energizzazione costituito da una massa battente manovrata a mano (mazza da 10 kg), agente a percussione in diverse direzioni su un massello di legno o calcestruzzo, ben saldato al terreno e posto nelle adiacenze della testa foro; potranno essere utilizzati anche un percussore oleodinamico agente all'interno di una piccola cassaforma interrata, oppure altri dispositivi concordati con la Direzione Lavori; è onere e responsabilità dell'Impresa dimensionare correttamente il sistema di energizzazione, in funzione della natura e delle caratteristiche dei terreni, che sono da considerarsi noti, in quanto le misure sono successive alla perforazione dei sondaggi entro i quali si eseguono le stesse; la sorgente di energia superficiale dovrà essere collocata ad una distanza adeguata dalla bocca del foro in funzione della migliore risoluzione dell'indagine stessa;
- se richiesto dalla Direzione Lavori, nelle adiacenze della testa del foro, si dovrà realizzare un cubo in calcestruzzo di lato 50 cm, inserito nel terreno per 20 cm e reso ben solidale con il medesimo; il cubo deve, a presa ed indurimento avvenuti, essere resistente alla percussione manuale con mazza da 10 kg e deve essere privo di lesioni, fratture, fessure da ritiro; in alternativa al cubo, sempre se richiesto, dovrà essere realizzato un alloggiamento interrato in cls per l'uso di un percussore idraulico;
- geofono da foro tridimensionale, a frequenza compresa fra 8 e 14 Hz, e di diametro minore o uguale a 70 mm, da calare nel foro a profondità prefissate, in grado di registrare i tempi di arrivo delle onde di compressione e di taglio; il ricevitore deve potere essere reso solidale con la tubazione di rivestimento del foro tramite un dispositivo di bloccaggio meccanico o pneumatico;
- sismografo registratore a 12 canali, in grado di realizzare campionature di segnali tra 0.025 e 2 millisecondi e dotato di filtri high pass, band pass e band reject, di "Automatic Gain Control" e di convertitori A/D del segnale campionato ad almeno 16 bit;
- apposito software per l'elaborazione dei dati, in grado di fornire i valori di velocità delle onde di compressione e di taglio per ogni stazione di misura impiegando interattivamente algoritmi di calcolo adeguati (es. ART, SIRT, e ILSP) previo controllo dei tragitti dei raggi sismici (Ray Tracing Curvilineo).

Controlli preliminari

In cantiere, prima dell'installazione, dovrà essere controllato quanto segue:

- i tubi e i manicotti non devono avere lesioni o schiacciature dovute al trasporto, soprattutto

nelle parti terminali;

- le estremità dei tubi e dei manicotti non dovranno avere sbavature che possano compromettere il buon accoppiamento dei tubi;
- l'efficienza dell'eventuale tubo per l'iniezione della miscela di cementazione da applicare all'esterno della tubazione;
- la composizione della miscela di cementazione che dovrà essere costituita da acqua, cemento e bentonite rispettivamente in proporzione di 100, 30 e 5 parti in peso;
- gli utensili per l'installazione ed in particolare l'efficienza della morsa di sostegno.

Installazione della tubazione di guida e rivestimento

La perforazione deve essere condotta con circolazione di fanghi e con modalità esecutive tali da evitare scavamenti e rifluimenti.

In generale il foro deve essere rivestito con rivestimento metallico provvisorio. Tale rivestimento dovrà avere un unico diametro in modo che il foro abbia diametro costante per tutta l'altezza. Ove ciò fosse impossibile a causa della profondità del foro un secondo rivestimento telescopico al primo potrà essere utilizzato. Il rivestimento metallico provvisorio deve essere installato in modo da consentire la sua estrazione senza l'aiuto della rotazione.

La posa in opera della tubazione di prova dovrà avvenire in accordo con le seguenti modalità:

- lavaggio accurato con acqua pulita del foro di sondaggio;
- preassemblaggio dei tubi in spezzoni di 6 m. La realizzazione dei giunti dovrà avvenire nel modo seguente:
 - montaggio del tappo di fondo sul primo spezzone di tubo e fissaggio dell'estremità inferiore del tubo per l'iniezione della miscela cementizia; nel caso in cui il tappo di fondo sia provvisto di apposita valvola unidirezionale per l'iniezione della miscela tale operazione non sarà necessaria;
 - inserimento del primo spezzone di tubo nel foro (in terreni sotto falda riempire il tubo di acqua per contrastare la spinta di Archimede e favorirne l'affondamento);
 - bloccaggio del tubo mediante apposita morsa, in modo che dal foro fuoriescano circa 40 ÷ 50 cm di tubo;
 - inserimento dello spezzone successivo; incollaggio e sigillatura del giunto con mastice e nastro adesivo;
 - allentamento della morsa per permettere di calare il tubo nel foro (riempiendolo d'acqua se necessario) fissando nel contempo il tubo di iniezione;
 - bloccaggio del tubo con la morsa, in modo che dal foro fuoriescano circa 40 ÷ 50 cm di tubo;
 - prosecuzione delle operazioni descritte fino al completamento della colonna, annotando la lunghezza dei tratti di tubo;
 - cementazione del tubo, da eseguire a bassa pressione (200 kPa) attraverso il tubo di iniezione o attraverso la valvola di fondo, osservando la risalita della miscela cementizia all'esterno del tubo; il rivestimento di perforazione dovrà essere estratto, operando solo a trazione e senza rotazione, non appena la miscela appare in superficie; nella fase di estrazione del rivestimento il rabbocco della miscela potrà essere eseguito da testa foro, per mantenere il livello costante a p.c.; qualora si noti l'abbassamento del livello della miscela il rabbocco dovrà continuare nei giorni successivi; nella fase finale della cementazione, ove siano presenti al piano di campagna pavimentazioni o fondazioni rigide, si provvederà a sostituire la miscela cementizia con sabbia sciolta attorno alla tubazione.
- accurato lavaggio con acqua pulita dell'interno del tubo mediante attrezzo a fori radiali;
- dopo il lavaggio ed a presa avviata, verifica della continuità e dell'integrità della tubazione calando sul fondo e ritirando un attrezzo di dimensioni analoghe al geofono;
- installazione a testa foro di un chiusino di protezione in acciaio verniciato; il chiusino di protezione, di diametro interno minimo di 120 mm, dovrà sporgere di almeno 15 cm dalla sommità del tubo e dovrà aver una lunghezza di almeno 1 m; il chiusino dovrà essere provvisto di un coperchio con chiusura antigelo, di lucchetto e chiavi che dovranno essere consegnate alla Direzione Lavori.

Modalità esecutive

Le modalità di esecuzione della prova dovranno essere le seguenti:

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

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

Documentazione

La documentazione di ciascuna indagine dovrà comprendere:

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

Misura di microtremoni

Il comportamento dei siti conseguentemente ad un input sorgente è inteso in termini di differente energia e/o diversa distribuzione in frequenza della stessa a causa degli effetti di amplificazione o attenuazione selettiva di determinate frequenze, in funzione delle caratteristiche fisico - geometriche dei mezzi attraversati (litologici e strutturali), da un'onda meccanica (es. sismica).

Questo parametro è fondamentale per la scelta, in fase di progettazione, dei periodi propri di oscillazione dei manufatti, onde evitare fenomeni di risonanza suolo - struttura (casi in cui sono sufficienti basse energie per provocare danni).

Il fenomeno della risonanza avviene quando un sistema oscillante riceve una perturbazione esterna con frequenza simile a quella propria; in queste condizioni l'ampiezza dell'oscillazione diventa molto grande; pertanto, anche terremoti di bassa magnitudo possono dar luogo a notevoli danni se il periodo proprio di oscillazione della struttura è confrontabile con quello del suolo.

La caratterizzazione della risposta in frequenza di un'area, quando sottoposta ad una sollecitazione sismica, può essere affrontata valutando le modificazioni che l'onda sismica subisce nel raggiungere la superficie libera del terreno, in funzione delle caratteristiche (litologia, spessore degli strati, morfologia, presenza di falde acquifere, et.) delle formazioni giacenti sul basamento, attraverso il campionamento di "microtremori", al fine di quantizzare, tramite analisi dei rapporti spettrali tra la componente orizzontale e verticale, gli effetti di amplificazione sismica locale.

L'efficacia dei microtremori nella determinazione degli effetti di sito è stata comprovata da diversi studi indirizzati al confronto delle risposte spettrali ottenute dall'analisi di eventi sismici e di microtremore. Recentemente è stato dimostrato, sia sperimentalmente che matematicamente, che la risposta in frequenze del sito, ottenuta con il metodo dei rapporti spettrali delle componenti orizzontali del moto del suolo sulla componente verticale, è confrontabile con quella ricavata da eventi sismici.

MODALITA' TECNICO ESECUTIVE

Per la valutazione dell'amplificazione sismica locale è necessario campionare i microtremori sulle tre componenti del moto del suolo: Z, NS, EW.

A tal fine la strumentazione idonea deve essere costituita da:

- a) trasduttore (Velocimetro) del moto del suolo 3D (tre componenti), avente periodo fondamentale di 1s.;
- b) stazione sismometrica digitale avente:
 - _ "sample rate" non inferiore a 100 c/sec,
 - _ converter A/D min. 24 bit $\pm$ 10 V bipolare
 - _ registrazione in continuo per almeno 1800 secondi,
 - _ controllo dei "gain" di amplificazione,
 - _ possibilità di visualizzare i segnali in sito e verificarne la qualità (mediante video & software dedicato).

Per la corretta registrazione dei microtremori bisogna seguire le seguenti raccomandazioni:

- Posizionare il sensore direttamente sul terreno evitando parti morbide o terreni saturi per la pioggia;
- Evitare di posizionare il sensore sull'asfalto reso morbido dalla temperatura;
- Evitare terreni erbosi
- Evitare di posizionare il sensore vicino edifici e/o alberi;
- Evitare giornate ventose e/o piovose;
- Assicurarsi di eventuali sorgenti monocromatiche;
- Campionare finestre temporali della durata min. di 20' per rimuovere eventuali fenomeni transitori;
- Fissare il massimo livello di amplificazione evitando la saturazione del segnale.

La procedura analitica di elaborazione deve essere eseguita secondo come segue:

Il segnale ricavato nel dominio del tempo deve essere processato nel seguente modo :

- 1) suddivisione della serie temporale acquisita in finestre di 40 sec;
- 2) ogni serie temporale deve essere corretta mediante una funzione "base - line" al fine di eliminare off - set e trend anomali;
- 3) filtro band - pass tra 0.1 e 20 Hz;
- 4) applicare alle serie temporale funzioni del tipo "hamming" per evitare l'insorgenza di effetti di "bordo";
- 4) il segnale dovrà essere analizzato nel dominio delle frequenze tramite funzione F.F.T. (Fast Fourier Transform), per tutte le finestre temporali campionate (t=40 sec);
- 5) applicare funzioni di smoothing;

- 6) media aritmetica e s.d. degli spettri ottenuti per tutte le componenti ;
- 7) rapporto spettrale tra la componente risultante delle due orizzontali (NS – EW) e quella verticale (Z);
- 8) calcolo della s. d. dello spettro finale;
- 9) calcolo della eventuale polarizzazione nell' arco 180° del rapporto H/V.
- 9) confronto tra il dato sperimentale ottenuto e modelli teorici.