



LINEE GUIDA TECNICHE – L.G. 2

INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE

Sommario

1. SONDAGGI	3
2. PROVE E STRUMENTAZIONI NEL FORO DI SONDAGGIO	4
2.1 PROVA SPT	4
2.2 PROVA SCISSOMETRICA	5
2.3 MISURA DI PERMEABILITÀ.....	5
2.4 POSA DEL PIEZOMETRO	6
2.5 POSA DEL TUBO INCLINOMETRICO	6
2.6 PROVA PRESSIOMETRICA	7
2.7 PRELIEVO DEI CAMPIONI.....	8
3. PROVA PENETROMETRICA STATICA	9
3.1 PROVA DI PENETRAZIONE STATICA CON PUNTA MECCANICA	9
3.2 PROVA DI PENETRAZIONE STATICA CON PUNTA ELETTRICA	9
4. PROVA PENETROMETRICA CON PUNTA PIEZOMETRICA (PCPT)	10
5. PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA CON PUNTA CONICA (DP).....	10
6. PROVA DILATOMETRICA (DTM)	11
7. PROVA DI CARICO SU PIASTRA.....	12
8. PROVA C.B.R. (CALIFORNI BEARING RATIO)	12
9. PROVA DINAMICA DA FORO A FORO (CROSS-HOLE)	13
10. PROVA DINAMICA IN FORO (DOWN-HOLE)	13
11. CAMPIONAMENTO DI SUOLI CON ATTREZZATURE PORTATILI.....	14
12. ANALISI GRANULOMETRICA	14
13. PROVA EDOMETRICA	15
14. PROVA DI TAGLIO DIRETTO	16
15. PROVA DI COMPRESIONE TRIASSIALE SU TERRE COESIVE.....	17
16. ESECUZIONE DI PROSPEZIONI GEOFISICHE	18
17. RELAZIONE GEOTECNICA.....	20

1. SONDAGGI

Descrizione

Sono indagini dirette che permettono di raggiungere elevate profondità e di attraversare anche terreni sotto-falda. Consistono nella perforazione del terreno con recupero del materiale scavato.

I procedimenti impiegati per la perforazione possono suddividersi in metodi a percussione e metodi a rotazione. Nei sondaggi a percussione la sonda avanza per caduta o per battitura con un maglio.

Nella perforazione a rotazione è possibile avanzare a distruzione o a carotaggio continuo; la sonda avanza per effetto combinato di azione torcente e azione assiale.

Strumentazione

I metodi a percussione fanno ricorso ad utensili molto robusti (scalpello e curetta):

- lo scalpello, se il foro è di piccolo diametro, può essere collegato alla superficie con una batteria di aste cave e i detriti possono essere portati a giorno con circolazione di fango;
- la curetta è un tubo cilindrico munito di valvola al fondo per trattenere il materiale entrato durante l'avanzamento. I diametri normalmente usati variano da 100 a 600 mm.

L'attrezzatura di perforazione a rotazione è costituita da un tubo, semplice o doppio, che presenta una estremità munita di una corona dentata (tagliente). I diametri variano normalmente tra 75 e 150 mm.

Campo di applicazione

Le perforazioni di sondaggio possono sostanzialmente dividersi in due tipi principali:

- sondaggi stratigrafici, nei quali si richiede un campionamento rappresentativo e cioè tale da consentire un'accurata ricostruzione del profilo stratigrafico del terreno attraversato;
- sondaggi tecnici, nei quali si richiede una delle seguenti operazioni:
 - prelievo di campioni indisturbati per la determinazione in laboratorio delle proprietà fisiche e meccaniche;
 - prove in situ per la determinazione delle proprietà meccaniche;
 - prove di permeabilità o rilievi sull'idrologia sotterranea in genere;
 - eventuale posa in opera di particolari strumentazioni.

Con la perforazione a percussione non è possibile ottenere un campione indisturbato; inoltre, si avrà difficoltà a ricostruire l'andamento stratigrafico del terreno in terreni con fitte alternanze, a causa del forte rimescolamento prodotto dagli utensili di perforazione. Solo in terreni a grana grossa, i campioni prelevati possono ritenersi granulometricamente rappresentativi, perché negli altri casi, l'acqua di perforazione provoca il dilavamento del materiale con perdita delle frazioni fini e rigonfiamento di quelle coesive.

La perforazione a rotazione, laddove il terreno lo consente, può avvenire a secco. Escludendo i terreni ghiaiosi, per i quali si verifica una frantumazione con conseguente perdita di materiale, in tutti gli altri casi è possibile effettuare un carotaggio continuo, adattando la velocità di rotazione, la pressione al fondo, la portata del fluido di circolazione, il tipo di carotiere, alla natura del terreno.

Ad esempio, nel caso di terreni poco coesivi o coesivi teneri, per evitare fenomeni di dilavamento o rammollimento, si può sospendere l'immissione del fluido di perforazione e procedere con manovre a secco.

Gli inconvenienti dovuti alla presenza del fluido possono essere minimizzati con l'impiego del carotiere doppio, costituito da due pareti delle quali solo l'esterna ruota mentre quella interna accoglie il materiale, proteggendolo dall'azione dilavante del fluido. I tipi più perfezionati di questi carotieri rientrano nella categoria dei campionatori.

L'impiego delle trivelle è in genere limitato a sondaggi poco profondi e a terreni da coesivi a poco coesivi, senza inclusioni di elementi di grossa pezzatura se si è al di sopra della falda e solo terreni coesivi al di sotto. I campioni ottenuti con tali procedura sono fortemente disturbati e spesso anche dilavati se sottofalda.

2. PROVE E STRUMENTAZIONI NEL FORO DI SONDAGGIO

Vengono descritte le seguenti prove da effettuare nel foro di sondaggio:

- prova SPT;
- prova scissometrica;
- misura di permeabilità;
- posa di piezometro;
- posa di tubo inclinometrico;
- prova pressiometrica;
- prelievo di campioni.

2.1 Prova SPT

Descrizione

Consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di un campionatore a pareti grosse, infisso a percussione nel terreno secondo le modalità contenute nelle norme della "Standard Penetration Test".

L'infissione si attua sul fondo di un sondaggio, in terreni con granulometria da argilla a ghiaia, infiggendo il campionatore mediante un maglio di 63,5 kg, con altezza di caduta 760 mm. Il campionatore viene infisso per tre tratti consecutivi di 150 mm ciascuno; si definisce numero "N" la somma del numero di colpi relativi al 2° e 3° tratto.

Strumentazione

L'attrezzatura per l'esecuzione della prova SPT è costituita da:

- dispositivo per lo sganciamento automatico del maglio, che deve cadere liberamente senza possibilità di freni o attriti;
- campionatore.

Campo di applicazione

All'estrazione dello strumento, si ha nel campionatore un campione disturbato di terreno che serve per le prove di laboratorio su granulometria e limiti di Atterberg. Si associa cioè a N_{spt} granulometria e mineralogia.

Per caratterizzare un terreno è necessario conoscere oltre alla N_{spt} anche le tensioni efficaci agenti alla quota considerata. La SPT non dà informazioni sulle caratteristiche meccaniche di un terreno coesivo, poiché non è chiara la correlazione tra N_{spt} – c_u , visto che la sollecitazione del terreno è impulsiva e da disturbo.

Inoltre, la SPT può essere usata per stimare il cedimento di una fondazione superficiale in sabbia mediante metodi di calcolo basati su:

- teoria dell'elasticità;
- derivati da Terzaghi Peck;
- osservazione delle strutture in vera grandezza.

2.2 Prova scissometrica

Descrizione

Consiste nel far ruotare lo scissometro fino a raggiungere la rottura del terreno, ottenendo così il valore della resistenza di picco del terreno. Facendolo ruotare ulteriormente, la resistenza si riduce fino ad assumere un valore all'incirca costante che rappresenta la resistenza residua del terreno.

Strumentazione

La strumentazione per l'esecuzione della prova scissometrica è costituita da:

- scissometro; strumento costituito da 4 lame sottili rettangolari in acciaio unite ad un'asta centrale in modo da formare una croce greca;
- asta centrale dello scissometro; collegata ad uno strumento che misura il momento torcente necessario a provocare la rotazione stessa;
- palette; quelle usate per la prova avranno diametro compreso tra 45 e 65 mm, ed una altezza doppia del diametro. La scelta delle dimensioni andrà fatta in funzione della resistenza del terreno. Il rapporto tra la sezione del ferro e quella del cilindro di rotazione non deve superare il 10%.

Campo di applicazione

Dai valori del momento torcente è possibile dedurre il valore della resistenza al taglio e della coesione non drenata nelle due condizioni di resistenza di picco e resistenza residua.

2.3 Misura di permeabilità

Descrizione

Può essere effettuata mediante una prova di emungimento nel corso della perforazione di sondaggio, in più tratti dello stesso banco di terreno, sia a carico variabile che a carico costante, oppure mediante la prova "Lugeon".

- Prova di emungimento a carico variabile: si deprime il livello dell'acqua nella tubazione e si rileva l'andamento delle $h(t)$ e da questo si deduce il coefficiente di permeabilità.
- Prova di emungimento a carico costante: si deprime il livello di acqua nella tubazione fino ad una certa quota e lo si mantiene costante estraendo una portata q . Dalla misura di q è possibile risalire alla misura del coefficiente di permeabilità.
- Prova Lugeon: si inietta acqua a portata e pressione costante per una durata minima di 10' attraverso un pistoncino a tenuta installato entro il foro alla profondità desiderata.

Campo di applicazione

Per prove di carattere orientativo su volumi ridotti del sottosuolo e permeabilità da media ad elevata ($K > 10^{-6}$ m/s), si può ricorrere alle prove di emungimento nel corso delle perforazioni di sondaggio.

Per la valutazione della permeabilità degli ammassi rocciosi si ricorre alla prova "Lugeon".

2.4 Posa del piezometro

Descrizione

Consiste nella messa in opera di un elemento poroso cavo, eventualmente circondato da un filtro pieno di acqua, la cui pressione è uguale a quella dell'ambiente circostante.

Strumentazione

Gli strumenti necessaria per l'esecuzione della prova sono i seguenti:

- piezometro a tubo aperto: è un tubo di diametro minimo 105 mm immerso in un foro di sondaggio, circondato fino ad una certa quota da sabbia; sopra è posto un tappo impermeabile che circonda la zona di misura;
- piezometro tipo Casagrande: è costituito da un cilindro di pietra porosa con lunghezza pari a 200 – 300 mm e diametro 30 – 50 mm. L'estremità superiore è collegata a due tubicini in P.V.C. (rigidi) di diametro pari a 12,5 mm per il raccordo con la superficie.
- Trasduttori di pressione:
 - piezometro elettrico (strain - gage): la pressione sulla cavità agisce su un diaframma la cui inflessione è misurata tramite estensimetri elettrici;
 - piezometro pneumatico: la pressione sulla cavità agisce su un diaframma la cui inflessione è bilanciata dalla pressione di un gas;
 - piezometro a corda vibrante: la pressione sulla cavità agisce su un diaframma la cui inflessione è misurata tramite un estensimetro a corda vibrante (si opera una misura di frequenza);
- pozzetto in cls di forma quadrata di dimensioni minime 40 x 40 x 40 cm, interrato e cementato atto a proteggere la strumentazione dall'urto di mezzi;
- palina metallica di diametro minimo 50 mm e alta minimo 2 m dal piano campagna e verniciata a fasce bianche e rosse, per segnalare la presenza del pozzetto.

Campo di applicazione

Prima che il piezometro riesca a dare misure attendibili, deve entrare in equilibrio idraulico con la falda. Per misure sotto falda si può utilizzare il piezometro tipo Casagrande. Per misure non sicuramente sotto falda, si deve ricorrere ai trasduttori di pressione che riescono a misurare le variazioni di pressione interstiziale, che generano anche il breve passaggio dell'acqua di infiltrazione.

I trasduttori di pressione possono registrare modeste depressioni solo se hanno un elevato valore di ingresso d'aria. Se il filtro non riesce a restare saturo in depressione, si incorre in cavitazione da depressione e la misura è vanificata.

2.5 Posa del tubo inclinometrico

Descrizione

Consiste nella messa in opera di un tubo in alluminio cavo, dotato di scanalature per accogliere i piani ortogonali generati dall'asse del tubo.

Strumentazione

La strumentazione necessaria per l'esecuzione della prova è costituita da:

- tubo inclinometrico, generalmente di alluminio, provvisto di scanalature guida.
Le misure del tubo sono:
 - diametro interno: 75 mm;
 - diametro interno misurato al fondo delle scanalature: 82 mm;
- il tubo inclinometrico è dotato di valvola di fondo per non fare risalire l'acqua nel tubo che può sporcare o alterare le guide; la sonda di misura è costituita da un accelerometro;
- tubo metallico: l'estremità della strumentazione sarà protetta da un tubo metallico di diametro adeguato infisso e cementato nel terreno e chiuso da coperchio con lucchetto; verrà posto in opera un ulteriore pozzetto in cls di forma quadrata di dimensioni minime 40 x 40 x 40 cm anch'esso dotato di coperchio, interrato e cementato atto a proteggere la strumentazione dall'urto di mezzi;
- palina: per segnalare la presenza del pozzetto sarà utilizzata una palina metallica di diametro minimo 50 mm e alta minimo 2 m dal piano campagna e verniciata a fasce bianche e rosse; tale palina non dovrà essere a diretto contatto con il pozzetto in cls, ma a 20 – 30 cm di distanza.

Campo di applicazione

Monitoraggio degli spostamenti di terreno.

2.6 Prova pressiometrica

Descrizione

E' realizzata mediante l'espansione di una sonda cilindrica. Secondo il metodo di installazione, le attrezzature sono suddivise in tradizionali e autopercoranti. Le prime necessitano di un foro di sondaggio preliminare all'interno del quale è posizionata la sonda per l'esecuzione della prova.

La sonda è installata verticalmente ed è collegata, mediante tubi e cavi, alla superficie dove agisce una unità di controllo e di misura.

Strumentazione

La strumentazione per l'esecuzione della prova pressiometrica è costituita da:

- il pressiometro: è l'insieme delle attrezzature che comprende la sonda espandibile in grado di impartire pressioni dell'ordine di 10 MPa, i collegamenti con la superficie, l'unità che fornisce il fluido in pressione e registra i dati della pressione e della deformazione; ne esistono vari tipi:
 - menard (MPM): la sonda espandibile è installata in un foro precostituito;
 - auto-perforante (SBP): la sonda espandibile è capace di perforare il terreno a distruzione;
 - presso-pressiometro (PIP): la sonda espandibile è cava come un campionatore e viene infissa sul fondo di un foro precostituito;
 - pressio-cono (FDPM): la sonda espandibile è preceduta da una punta conica.

Campo di applicazione

Con la prova pressiometrica è possibile determinare i parametri che caratterizzano lo stato tensionale iniziale e il comportamento sforzi-deformazioni del terreno. La prova pressiometrica di tipo tradizionale, necessita di un foro preliminare all'interno del quale viene posizionata la sonda per l'esecuzione della prova. La tecnica della autopercorazione offre la possibilità di ridurre al minimo gli effetti di disturbo del terreno.

2.7 Prelievo dei campioni

Durante una fase di perforazione, è possibile prelevare campioni di terreno per determinarne le proprietà fisiche e meccaniche. Il campionatore è sostituito al carotiere alla quota di prelievo. Il campionamento non è continuo a differenza del carotaggio.

Strumentazione

Esistono diversi tipi di campionatori:

- il campionatore a rotazione (Denison, Mazier) è una evoluzione tecnologica del carotiere doppio:
 - il campionatore Denison ha la scarpa più avanzata della fustella per evitare disturbo ed entrata di acqua nel campione;
 - il campionatore Mazier dosa automaticamente lo sforzo con l'avanzamento tramite una molla di reazione. La spinta si commisura al grado di addensamento del terreno;
- il campionatore a infissione è a parete sottile, in acciaio temprato ed ha superfici lisce; il diametro esterno è di 51 ± 1 mm e quello interno 35 ± 1 mm., la lunghezza minima è 457 mm esclusa la scarpa tagliente iniziale, la scarpa ha lunghezza 76 ± 1 mm ed ha diametri identici a quelli del campionatore; nei 19 mm finali è rastremata a tagliente. L'avanzamento può avvenire a controllo di avanzamento o a controllo di pressione.

Il campionatore è dotato di valvola di sfiato, per far uscire l'aria e l'acqua durante l'avanzamento.

Campo di applicazione (AGI 1977)

- A) campionatore pesante infisso a percussione;
 B) campionatore a parete sottile-infisso a percussione;
 C) campionatore a parete sottile-infisso a pressione;
 D) campionatore a pistone-infisso a pressione;
 E) campionatore a rotazione a doppia parete con scarpa avanzata.

Tipo di terreno	Tipo di campionatore				
	A	B	C	D	E
Coesivi poco consistenti		Q.3	Q.4	Q.5	
Coesivi moderatamente consistenti o consistenti	Q.3(4)	Q.4	Q.5	Q.5	
Coesivi molto consistenti	Q.2(2)	Q.3(4)	Q.5*		Q.5
Sabbie fini al di sopra della falda	Q.2	Q.3	Q.3	Q.3(4)	
Sabbie fini in falda	Q.1	Q.2	Q.2	Q.2(3)	

N.B. Si indicano tra parentesi le classi di qualità Q raggiungibili con campionamento molto accurato.

(*) In terreni coesivi con resistenza alla penetrazione con penetrometro tascabile > 100 | 200 N/m² può risultare impossibile ottenere campioni indisturbati di lunghezza adeguata.

3. PROVA PENETROMETRICA STATICA

E' una prova, nel corso della quale si misura la resistenza del terreno alla penetrazione di un utensile standardizzato. Si definisce statica perché condotta a velocità di avanzamento costante (Cone Penetration Test: CPT). Con il penetrometro meccanico viene misurata la pressione esercitata sulle aste di manovra; con il penetrometro elettrico quella sull'utensile. Nessuna prova penetrometrica consente la valutazione della deformabilità.

Vengono descritte le seguenti prove penetrometriche statiche:

- prova di penetrazione statica con punta meccanica;
- prova di penetrazione statica con punta elettrica.

3.1 Prova di penetrazione statica con punta meccanica

Descrizione

E' eseguita mediante una punta di misura, inserita nel terreno attraverso aste. Il terreno si oppone e tale opposizione si esprime con q_c (resistenza alla punta) e f_s (resistenza d'attrito laterale). La misura è locale ed è fatta in corrispondenza del cono. E' una prova in avanzamento a velocità costante e la velocità è di 2 m/s. Le misure di resistenza sono normalmente eseguite ogni 20 cm. Si definisce Friction Ratio il parametro $f_r = 100 (f_s/q_c)$.

Strumentazione

La strumentazione necessaria per l'esecuzione della prova è costituita da:

- dispositivo idraulico di spinta (10 – 20 tonnellate), che agisce su una batteria di aste cave di diametro 36 mm e lunghezza 1 m, all'estremità delle quali è avvitata la "punta fissa";
- cono della punta fissa: presenta un angolo di 60° e l'area della superficie è pari a 10 cm²;
- manicotto per la misura dell'attrito laterale: è posizionato immediatamente dietro al cono e ha un'area di superficie laterale pari a 150 cm².

Campo di applicazione

La prova penetrometrica statica può essere utilizzata per identificare il terreno attraversato, per il quale sono stati proposti vari metodi di classificazione basati su parametri quali la resistenza alla punta q_c e il Friction Ratio. La prova C.P.T. sostituisce in parte i sondaggi, se viene tarata tramite un sondaggio per associare ai litotipi i vari valori di f_r .

3.2 Prova di penetrazione statica con punta elettrica

Descrizione

E' eseguita mediante una punta di misura, inserita nel terreno attraverso aste. Il terreno si oppone e tale opposizione si esprime con q_c (resistenza alla punta) e f_s (resistenza d'attrito laterale). La misura è locale ed è fatta in corrispondenza del cono. E' una prova in avanzamento a velocità costante e la velocità è di 2 m/s. Le misure di resistenza sono eseguite in continuo.

Strumentazione

La strumentazione necessaria per l'esecuzione della prova è costituita da:

- dispositivo di spinta 20 MN, che agisce sulla batteria di aste;
- aste di spinta, avvitate l'una all'altra a formare una batteria rigidamente collegata con asse rettilineo costante, all'estremità inferiore delle quali è avvitata la punta fissa;
- sensori: al cono e al manicotto di attrito sono collegati dei sensori che trasmettono i dati ad un sistema di registrazione;
- inclinometro: sopra la punta ed il manicotto è installato un inclinometro per il rilievo continuo della inclinazione rispetto alla verticale.

Campo di applicazione

La prova penetrometrica statica può essere utilizzata per identificare il terreno attraversato; sono stati proposti vari metodi di classificazione basati su parametri quali la resistenza alla punta q_c e il Friction Ratio.

4. PROVA PENETROMETRICA CON PUNTA PIEZOMETRICA (PCPT)

Descrizione

La prova è del tutto analoga ad una prova penetrometrica statica con punta elettrica.

Strumentazione

La strumentazione necessaria per l'esecuzione della prova è costituita da:

- punta munita di un filtro poroso cilindrico, collegato ad un trasduttore di pressione che trasmette in superficie valori continui della pressione interstiziale; la punta deve avere le caratteristiche geometriche del penetrometro statico standardizzato (area totale 10 cm², conicità 60°);
- il trasduttore di pressione deve essere a bassa variazione di volume;
- il fondo scala non deve essere inferiore a 10 bar.

Il sistema di misura deve essere in grado di registrare in continuo.

Campo di applicazione

Lo strumento consente di misurare la pressione dell'acqua durante il suo avanzamento. Poiché tale pressione è legata al tipo di terreno e alla sua consistenza, il valore misurato permette di ottenere una descrizione dettagliata del profilo stratigrafico e, se combinato con la resistenza alla penetrazione misurata con la punta, anche un indice della storia tensionale del deposito.

5. PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA CON PUNTA CONICA (DP)

Descrizione

Consiste nell'infiggere verticalmente nel terreno una punta conica metallica, posta all'estremità di un'asta di acciaio, prolungabile con l'aggiunta di aste successive. L'infissione avviene per battitura, facendo cadere da una altezza costante un maglio di un dato peso. Si contano i colpi necessari per la penetrazione di ciascun tratto di lunghezza stabilita. La resistenza del terreno è funzione inversa della penetrazione per ciascun colpo e, diretta, del numero di colpi per una data penetrazione.

Strumentazione

La strumentazione necessaria per l'esecuzione della prova è costituita da:

- dispositivo di infissione che comprende:
- il maglio;
- la testa di battuta;
- l'asta di guida;
- il dispositivo di sgancio;
- punte coniche: devono avere un angolo di apertura del cono di 90°; l'altezza del cono può ridursi al massimo di una quantità non superiore al 10% del diametro della punta.

Campo di applicazione

La prova è generalmente usata in terreni granulari. Nei terreni coesivi e a notevoli profondità, l'attrito sulle aste può costituire una importante frazione della resistenza misurata.

I risultati possono essere utilizzati per determinare i seguenti parametri geotecnici:

- densità relativa;
- compressibilità;
- resistenza al taglio;
- consistenza.

6. PROVA DILATOMETRICA (DTM)

Descrizione

La prova con dilatometro piatto consiste nell'infingere verticalmente nel terreno, mediante spinta di tipo statico, una lama di acciaio fino alla profondità voluta e quindi di espandere una membrana circolare di acciaio situata su un lato della lama usando del gas in pressione.

Strumentazione

La strumentazione necessaria per l'esecuzione della prova è costituita da:

- lama di acciaio: larga 95 mm, lunga 200 mm e spessa 14 mm, dotata in parete di una membrana di acciaio flessibile;
- membrana laterale gonfiabile: ha uno spessore di circa 0,2 mm e può essere tagliata o segnata profondamente da ghiaie e spigoli vivi, o increspata ai bordi per sforzi di penetrazione eccessivi.

Campo di applicazione

I dati rilevati nel corso della prova sono i valori della pressione corrispondente all'inizio del moto della membrana ed a uno spostamento prefissato e permettono, mediante correlazioni empiriche, di risalire alla stratigrafia del terreno, alla sua storia tensionale, alle caratteristiche di deformabilità e a quelle di resistenza. Il campo di applicabilità del dilatometro piatto è quello del penetrometro statico. Nei terreni con forti disuniformità nella consistenza dei componenti, la lama tende a deviare dalla verticalità. Deviando, le aste di spinta ed il raccordo tra le aste e la lama sono sottoposti a sforzi orizzontali pericolosi.

7. PROVA DI CARICO SU PIASTRA

Descrizione

Consiste nel caricare verticalmente una fondazione di piccole dimensioni e misurare il cedimento prodotto dal carico.

Strumentazione

Per la prova è impiegata l'attrezzatura V.S.S. descritta nella norma svizzera SNV 670312a.

Campo di applicazione

La prova di carico su piastra è usata per determinare le caratteristiche di deformabilità del terreno, supposto che le dimensioni della piastra stessa possano essere considerate rappresentative per il problema in esame. La zona influenzata dal carico risulta compresa entro una profondità pari circa alla dimensione minore della piastra. Quando la prova non innesca fenomeni di consolidazione, dai risultati si possono ricavare indicazioni sui cedimenti del terreno.

8. PROVA C.B.R. (CALIFORNI BEARING RATIO)

Descrizione

Consiste nella infissione nel terreno di un pistone standard alla velocità costante di 1,25 mm/minuto.

Strumentazione

La strumentazione necessaria per l'esecuzione della prova è costituita da:

- pistone: con diametro di 49,5 mm e lunghezza 150 mm;
- martinetto idraulico o meccanico per l'avanzamento nel terreno.

Campo di applicazione

La prova serve, in certe condizioni, a determinare la capacità di un terreno, naturale o compattato, a sopportare un carico.

9. PROVA DINAMICA DA FORO A FORO (CROSS-HOLE)

Descrizione

Consiste in una serie di misure della velocità di propagazione delle onde di taglio tra due perforazioni.

Strumentazione

La strumentazione necessaria per l'esecuzione della prova è costituita da:

- energizzatori:
 - meccanici;
 - elettrodinamici.
- sistema di ricezione:
 - geofoni;
 - amplificatori;
 - oscilloscopi.

Campo di applicazione

Il metodo fornisce informazioni pertinenti alla velocità di propagazione di onde sismiche. Questi dati possono essere utilizzati come input per le analisi statiche/dinamiche, come mezzo per calcolare il modulo di taglio, il modulo di Young, il coefficiente di Poisson, o per determinare eventuali anomalie esistenti tra i sondaggi.

10. PROVA DINAMICA IN FORO (DOWN-HOLE)

Descrizione

Consiste in una serie di misure della velocità di propagazione delle onde di taglio. La prova sarà condotta con sorgente di energia in superficie e ricevitori nel foro ultimato.

Strumentazione

La strumentazione necessaria per l'esecuzione della prova è costituita da:

- energizzatori:
 - meccanici;
 - elettrodinamici.
- sistema di ricezione:
 - geofoni;
 - amplificatori;
 - oscilloscopi.

La prova richiede l'esecuzione di un foro al cui interno sarà inserita una tubazione in PVC del diametro compreso tra 90 e 110 mm. L'intercapedine tra terreno e tubazione deve essere riempita con una miscela di acqua cemento e bentonite. È importante la perfetta aderenza tubazione-terreno.

Campo di applicazione

Scopo della prova è la determinazione dei parametri dinamici del terreno, necessari per il dimensionamento delle fondazioni di macchine vibranti o di strutture in zona sismica e per la determinazione dello spettro di risposta locale, relativamente a problemi sismici.

11. CAMPIONAMENTO DI SUOLI CON ATTREZZATURE PORTATILI

Strumentazione

Le attrezzature di campionamento portatili dovranno essere idonee ad operare in spazi ristretti ed in zone di difficile accesso.

Campo di applicazione

Si prelevano campioni di terreno per determinarne le proprietà fisiche e meccaniche.

12. ANALISI GRANULOMETRICA

Descrizione

L'analisi può essere effettuata per via secca o umida.

La procedura per via secca consiste nel vaglio della terra per mezzo di una serie di setacci, di apertura via via decrescente, che vengono sovrapposti e fatti vibrare, in modo da separare i granuli in frazioni di dimensioni pressoché uguali, ciascuna trattenuta al corrispondente setaccio.

La procedura per via umida consiste nell'immergere il materiale, precedentemente essiccato, in acqua per il tempo necessario perché avvenga il completo distacco della frazione fine dai granuli più grossi e la completa disgregazione dei grumi, favorendo l'operazione mediante agitazione. Si versa quindi il tutto su una pila di setacci disposti dall'alto verso il basso nel seguente ordine: setaccio da 2 mm, da 0,4 mm, da 0,075 mm, provvedendo a favorire il passaggio del materiale con getti di acqua e con l'azione di un pennello molto morbido.

La descrizione dei granuli di dimensioni inferiori a 0,075 mm (limo e argilla) viene effettuata con metodi indiretti, basati sui tempi di sedimentazione delle particelle in acqua distillata.

Strumentazione

La strumentazione occorrente per l'analisi è la seguente:

- una serie di crivelli UNI 2334 aventi le seguenti aperture in mm: 100-71-60-40-25-15-10-5 completi di coperchio e fondo di raccolta;
- i crivelli devono avere diametro non inferiore ai 300 mm. Per i ciottoli e i massi di dimensioni maggiori di 100 mm. si possono usare singoli anelli di vario diametro;
- una serie di setacci UNI 2332 aventi le seguenti aperture in mm: 2-1-0,425-0,18-0,075 completi di coperchio e fondo di raccolte;
- in alternativa a crivelli e setacci della serie UNI si possono utilizzare i setacci della serie ASTM: 4"- 3"- 2"-1.5" n° 4, 10, 20, 40, 80, 200;
- una bilancia avente portata pari a 10 Kg e sensibilità di 1g;
- una bilancia avente portata > 0,8 Kg e sensibilità di 0,01g;
- una stufa per essiccare il materiale a 105 - 110 °C;
- un essiccatore per contenere il materiale estratto dalla stufa prima di procedere con la prova;
- densimetro calibrato in acqua distillata a 20 °C;
- mescolatore elettrico dotato di paletta verticale ruotante a vuoto alla velocità minima di 1000 giri/min;
- un cilindro di vetro di diametro 63,5 mm ed altezza 457 mm con linea di fede in corrispondenza del volume di 1 litro;
- termometro con campo di temperature compreso tra 0 – 50 °C, provvisto di una sensibilità di 0,5 °C;
- bottiglia di vetro di forma conica ed apertura larga con capacità 1 litro;
- soluzione disperdente standard, costituita da 33 g di esametafosfato di sodio e 7 g di carbonato di sodio e da acqua distillata in quantità tale da formare 1 litro;

- imbuto di Buchner con carta da filtro tipo Whatman's n. 50;
- acqua distillata o demineralizzata;
- acqua ossigenata (soluzione 20 volumi);
- cronometro.

Campo di applicazione

L'analisi granulometrica serve a determinare le dimensioni delle particelle che compongono un campione di terreno e stabilire le percentuali in peso delle varie frazioni che rientrano entro i limiti prefissati (frazioni granulometriche).

13. PROVA EDOMETRICA

Descrizione

La prova edometrica riproduce in laboratorio le condizioni di consolidazione monodimensionale. Nella versione più semplice, quella a incrementi di carico (IL: incremental loading), consiste nell'applicare una sequenza di carichi a un provino confinato lateralmente, in modo che le deformazioni e il flusso dell'acqua avvengano solo in direzione verticale.

La prova può essere anche condotta nei seguenti modi:

- velocità di deformazione costante (CRS constant rate of strain);
- velocità di carico costante (CRL constant rate of load);
- gradiente idraulico controllato (CHG constant hydraulic gradient).

Strumentazione

La strumentazione necessaria per l'esecuzione della prova è costituita da:

- anello porta provino: rigido, fisso o flottante, con $\varnothing \geq 50$ mm;
- pietre porose: posizionate superiormente ed inferiormente all'anello;
- capitello rigido: collocato al di sopra della pietra porosa superiore, per l'applicazione del carico;
- contenitore d'acqua: per prevenire l'essiccamento del provino nel corso della prova e da fornire l'acqua di assorbimento durante la fase di scarico;
- micrometro: per la misura dei cedimenti collegato al basamento dello strumento con stelo appoggiato al di sopra del piano di carico.

Per assicurare l'assenza di deformazioni radiali, la sua rigidità deve essere tale che, in presenza del massimo carico applicato, la variazione di diametro risulti inferiore allo 0,03%.

Campo di applicazione

Tramite la prova edometrica si definiscono:

- parametri di consolidazione e coefficiente di permeabilità;
- parametri di compressibilità volumetrica;
- moduli di deformazione;
- pressione e grado di preconsolidazione;
- parametri di rigonfiamento.

14. PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Descrizione

Dato un elemento di terreno, lo si sottopone, tramite una apposita apparecchiatura, dapprima ad una sollecitazione normale, successivamente ad uno sforzo di taglio sino alla rottura del provino, misurando lo spostamento verticale e lo scorrimento orizzontale di quest'ultimo. La prova viene ripetuta su almeno 3 provini facendo variare la sollecitazione normale.

La prova può essere condotta nelle seguenti condizioni:

- drenate: è consentito il drenaggio del provino che subisce variazione di volume e di contenuto di acqua;
- non drenate: non è consentito il drenaggio del provino;
- consolidate non drenate: è consentito il drenaggio solo nella fase di applicazione del carico normale.

La prova può essere condotta sia a velocità di carico che di deformazione costante.

Strumentazione

La strumentazione necessaria per l'esecuzione della prova è costituita da:

- piastra superiore tronco-conica di ripartizione del carico, dotata di sede sferica su cui viene a gravare il telaio di carico;
- due piastre porose di drenaggio di testa e di base;
- due griglie perforate dotate di apposite scanalature, poste a diretto contatto del provino, aventi la funzione di favorire una distribuzione il più possibile uniforme delle tensioni tangenziali;
- piastra di base dotata di una serie di scanalature per favorire il drenaggio dell'acqua interstiziale.

La parte superiore della scatola è dotata di collegamento al sistema di misura di carico, mentre la parte inferiore viene inserita in una vaschetta, collegata al sistema di avanzamento orizzontale della macchina di taglio e poggiante su guide di scorrimento a sfere.

Campo di applicazione

La prova in scatola di taglio diretto può essere effettuata su campioni ricostruiti di materiali sabbiosi, su campioni indisturbati di materiale coesivo, su campioni ricostruiti di materiale coesivo.

Tale prova consente di ricavare la curva dell'involuppo di rottura ed i seguenti parametri di una terra:

- angolo di resistenza al taglio ϕ' ;
- coesione C' .

In base ai parametri di resistenza al taglio è possibile distinguere i terreni in:

- granulari, con valore pressoché nullo di C' e valore generalmente elevato di ϕ' ;
- coesivi, caratterizzati da entrambi i parametri.

Se si vogliono ottenere i parametri di resistenza residua di un terreno si esegue la prova di taglio come precedentemente descritta, fino a fondo corsa, quindi la si ripete sullo stesso provino per almeno 5 volte.

15. PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE SU TERRE COESIVE

Descrizione

Il campione di terreno, di forma cilindrica e dimensioni standard pari a $h = 76,2$ mm e $D = 38,1$ mm, è protetto da una sottile membrana di gomma ed è posto in una cella, all'interno della quale è possibile applicare una pressione σ_r . Tale pressione è isotropa e, per condurre a rottura il provino, è necessario agire sul carico assiale. Si applica dapprima una tensione normale di compressione idrostatica $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$, successivamente si incrementa la sola σ_1 fino a raggiungere la rottura.

Le estremità del provino sono collegate all'esterno, in modo che nelle fasi drenate è consentita l'espulsione di acqua ed è possibile misurare la variazione di volume subita dal provino, mentre nelle fasi non drenate gli stessi collegamenti servono per misurare la pressione dell'acqua interstiziale.

La prova può essere condotta nelle seguenti condizioni:

- drenate: è consentito il drenaggio del provino che subisce variazione di volume e di contenuto di acqua;
- non drenate: non è consentito il drenaggio del provino;
- consolidate non drenate: è consentito il drenaggio solo nella fase di applicazione del carico normale σ_1 .

Strumentazione

La strumentazione necessaria per l'esecuzione della prova è costituita da:

- apparecchiatura triassiale:
 - camera cilindrica;
 - flange metalliche;
 - pistone: per trasferire la deformazione assiale imposta da una pressa;
 - piastra rigida di ripartizione: che trasmette l'azione di compressione esercitata dal pistone al provino;
 - sfera di acciaio: mette a contatto il pistone e la piastra di carico;
 - valvola di sfiato: posizionata sulla flangia superiore e serve per lo sfiato della cella durante il riempimento ed un foro con tappo a tenuta per immettere olio lubrificante;
 - rubinetti: posizionati alla base della cella e servono per il collegamento delle tubazioni di alimentazione delle celle e il drenaggio del provino.

Campo di applicazione

La prova di compressione triassiale può essere condotta solamente su terre coesive sature, che presentano una resistenza a compressione semplice $\sigma_1 > 20$ kN/m².

Con tale prova si persegue l'intento di riprodurre un determinato stato tensionale su un provino e di seguire, attraverso la misura delle pressioni interstiziali, l'evoluzione delle tensioni efficaci fino alle condizioni di rottura.

16. ESECUZIONE DI PROSPEZIONI GEOFISICHE

L'Appaltatore deve presentare un programma di indagini geofisiche da svolgere in alcuni punti particolari del tracciato. Tale programma deve riportare la descrizione dettagliata delle indagini da eseguire, la relativa ubicazione su stralci planimetrici in scala 1:2000 e la pianificazione temporale. Il Committente si riserva di autorizzare, modificare od integrare quanto proposto dall'Appaltatore. Una volta autorizzato, l'Appaltatore deve procedere all'esecuzione delle prospezioni come da programma; le indagini devono essere eseguite e certificate da personale qualificato.

Elaborazione della relazione

L'Appaltatore deve redigere una relazione che illustri i risultati delle prospezioni geofisiche e caratterizzi l'area investigata dal punto di vista geologico e stratigrafico. La relazione deve illustrare i seguenti aspetti:

- inquadramento geologico, geomorfologico dell'area in esame;
- metodologia di lavoro e attrezzatura utilizzata per la campagna geofisica;
- caratterizzazione dell'area investigata dal punto di vista geofisico e geologico;
- elaborazione delle sezioni geologiche basate sulla interpretazione dei dati geofisici.

La relazione deve essere corredata da adeguata documentazione fotografica, da stralci planimetrici riguardanti l'ubicazione delle prospezioni eseguite, da sezioni geologiche basate sulla interpretazione dei dati geofisici ottenuti. La relazione deve essere firmata da professionista abilitato e regolarmente iscritto all'Albo professionale.

• PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE

Qualora il progettista ritenga opportuno acquisire una conoscenza più approfondita relativamente all'andamento nello spazio della superficie di scivolamento, agli spessori del corpo di frana, o alla ricostruzione stratigrafica delle unità sottostanti il terreno di copertura vegetale, può chiedere al Committente di eseguire una campagna geofisica di sismica a rifrazione.

La profondità dell'indagine sarà preventivamente concordata con il Committente.

Strumentazione

Dovrà essere previsto l'utilizzo di sismografo multicanale (12 o 24 canali) con tracce registrate in digitale su dischetti, playback cartaceo e magnetico, stack a gain adeguato in acquisizione; geofoni verticali, accessori e connessioni varie, il tutto in buono stato di efficienza e conservazione.

Energizzazione

Il terreno può essere energizzato con massa battente oppure con energizzatore a cartuccia esplosiva (raramente l'esplosivo).

Linee sismiche

Localizzazione, lunghezza, numero complessivo saranno concordati con il Committente. La distanza intergeofonica è da intendersi generalmente ogni 5 m. La sovrapposizione tra le basi dovrà avvenire tramite gli ultimi 2 geofoni. Il numero di tiri generalmente sarà di 5 per ogni base.

Elaborazione, interpretazione e restituzione

La relazione finale dovrà essere redatta e completata con:

- ricostruzione delle dromocrone relative ai percorsi sismici per linea sismica/per base;
- individuazione dei rifrattori presenti e campi di velocità;
- interpretazione con metodo G.R.M. (o altri se preferiti e comunque concordati);
- ricostruzione di sismosezioni (spessori/velocità dei sismostrati) lungo ogni linea sismica/ogni base;
- rapporto tecnico riepilogativo-descrittivo della prospezione e dei risultati ottenuti (su rapporto cartaceo e magnetico da concordare);
- restituzione dei dati di campagna su file (formato da concordare in funzione del tipo di sismografo utilizzato) e su supporto cartaceo (playback).

N.B. - Ogni elaborato dovrà essere fornito in un numero minimo di 4 copie.

• ESECUZIONE DI SONDAGGI ELETTRICI VERTICALI

Qualora il progettista ritenga opportuno acquisire una conoscenza più approfondita relativamente all'andamento del contatto tra unità litologiche e la superficie piezometrica, può chiedere al Committente di eseguire una campagna geofisica tramite sondaggi elettrici verticali con configurazione Schlumberger.

Strumentazione

Dovrà essere previsto l'utilizzo di georesistivimetro digitale/analogico con compensazione dei potenziali spontanei (automatica/manuale), ad alta impedenza d'ingresso. Cavi elettrici unipolari perfettamente isolati, picchetti in rame/ottone (per il circuito di misura della differenza di potenziale) ed acciai (per il circuito di energizzazione), il tutto in buono stato di efficienza e conservazione.

Energizzazione

Dovranno essere previste sorgenti adeguate di energia in corrente continua (batteria a secco).

ACQUISIZIONE DATI - Localizzazione, numero complessivo dei S.E.V., e le lunghezze massime di stendimento saranno concordati con il Committente (la lunghezza massima AB/2 è generalmente di 120 m).

La cadenza delle misure sarà di numero 8 misure per decade logaritmica.

La sovrapposizione dovrà avvenire su almeno 2 misure contigue.

Elaborazione, interpretazione e restituzione

La relazione finale dovrà contenere i seguenti dati:

- ricostruzione delle curve di resistività apparente in funzione della semidistanza degli elettrodi di energizzazione (AB/2) (copia di campagna);
- ricostruzione delle stesse curve (lisciate);
- ricostruzione pseudosezioni di resistività apparente;
- interpretazione manuale/automatica tramite abachi/opportuno software;
- ricostruzione sezioni elettrostratigrafiche (spessori/resistività degli elettrostrati);
- redazione rapporto tecnico riepilogativo-descrittivo della prospezione e dei risultati ottenuti;
- restituzione dei dati di campagna e delle interpretazioni numeriche e grafiche dei vari S.E.V. su supporto cartaceo e magnetico da concordare.

N.B. Ogni elaborato dovrà essere fornito in un numero minimo di 4 copie.

Per eventuali prospezioni geofisiche diverse da quelle sopra citate, quali prospezioni geoelettriche, tomografiche, georadar (G.P.R.), prospezioni sismiche a riflessione, si deve fare riferimento alle linee guida e alla normativa specifica del settore.

17. RELAZIONE GEOTECNICA

E' riferita ad un singolo sito ed esplicita i risultati ottenuti dalle indagini e prove geotecniche, descrive la caratterizzazione e la modellazione geotecnica dei terreni interagenti con l'opera. In essa si riassumono i risultati delle analisi svolte per la verifica delle condizioni di sicurezza e la valutazione delle prestazioni nelle condizioni d'esercizio del sistema costruzione - terreno.

La progettazione geotecnica dell'opera prevede la definizione del grado di sicurezza che si ottiene con il "Metodo semiprobabilistico dei Coefficienti parziali" di sicurezza tramite la disequazione:

$$E_d \leq R_d$$

- R_d = valore di progetto della resistenza del terreno (di pertinenza del geotecnico)
- E_d = valore di progetto dell'azione o degli effetti delle azioni nelle varie combinazioni di carico (di pertinenza del progettista delle strutture).

La resistenza del terreno R_d è determinata:

- Analiticamente (valori di progetto si ottengono dai valori caratteristici divisi per il coeff. parziale γ_m scelto);
- Con *misure dirette*, utilizzando le Tabelle del T.U. per i coefficienti parziali.

L'azione E_d

è determinata dal valore caratteristico amplificato mediante i coefficienti parziali γ_f (tali parametri devono essere forniti dallo strutturista). Da cui :

$$\frac{R_K}{\gamma_m} \geq E_K \cdot \gamma_f \quad \text{coefficienti parziali}$$

Per cui, partendo dalla modellazione geotecnica definita in funzione della caratterizzazione geologica e della successione litostratigrafica del volume significativo, si passa alla individuazione dei Parametri nominali in funzione dei quali definire i Parametri caratteristici ed i Parametri di progetto.

Con questi parametri vanno effettuate le verifiche allo SLU (Stato Limite Ultimo) e allo SLE (Stato Limite di Esercizio), in condizioni statiche, mentre in condizioni sismiche si effettueranno le verifiche allo SLV (Stato Limite Salvaguardia della Vita) e quelle allo SLD (Stato Limite di Danno).

Si riporta di seguito il format e i contenuti della relazione Geotecnica per l'attività prevista dalla specifica tecnica.

PREMESSA

- Ubicazione e caratteristiche generali dell'intervento;
- Quadro normativo di riferimento;
- Eurocodici e/o altri codici internazionali;
- Normativa Nazionale;
- Normativa Regionale e/o Provinciale;
- Normativa Comunale (norma di attuazione, RUEC "Regolamento Urbanistico Edilizio Comunale" o altra regolamentazione a scala locale);
- Sintesi dei dati relativi al modello geologico (con richiamo alla relazione geologica).

PROGRAMMA DELLE INDAGINI E DELLE PROVE GEOTECNICHE

- Illustrazione del programma d'indagine e definizione dello stesso in funzione dell'opera.
- Caratterizzazione delle problematiche geologiche individuate e definite nella relazione Geologica.

- Il piano delle indagini specifiche sui terreni e sulle rocce, nel sito di interesse, deve essere definito ed attuato sulla base dell'inquadramento geologico della zona ed in funzione dei dati che è necessario acquisire per pervenire ad una adeguata caratterizzazione dei terreni ai fini della modellazione geotecnica dell'individuazione del volume significativo.
- Criteri di indagine ed eventuali difficoltà incontrate ed illustrazione degli Standard di riferimento delle varie prove eseguite (AGI, ANISIG, ASTM, ecc. - Elaborazione della carta con ubicazione delle indagini in scala adeguata). Valutazione della qualità delle indagini.
- Stima della rappresentatività dei campioni prelevati e delle prove in sito in relazione all'opera in progetto.
- Esposizione dei risultati, compresi quelli delle indagini effettuate per la modellazione sismica del sito.

DEFINIZIONE DI EVENTUALI PROBLEMI GEOLOGICI ED ASPETTI GEOTECNICI LOCALI

Esplicitazione di un numero adeguato di sezioni stratigrafiche relative al volume significativo investigato definite anche in relazione alla modellazione geologica realizzata o assunte totalmente da questa. Indicazione dei profili delle grandezze misurate.

- Schema rappresentativo delle condizioni stratigrafiche;
- Regime delle pressioni interstiziali
- Aspetti connessi all'interazione con la falda (dewatering, sifonamento ecc).
- Problematiche connesse alla liquefazione degli orizzonti di interesse geotecnico.
- Aspetti connessi alla stabilità dei versanti.
- Aspetti connessi all'amplificazione sismica per effetti di sito (stratigrafia e topografia).
- Aspetti connessi alla presenza di anomalie non contemplate dal DM 14.1.2008 (eteropiedi facies, faglie, sinkholes ecc.).

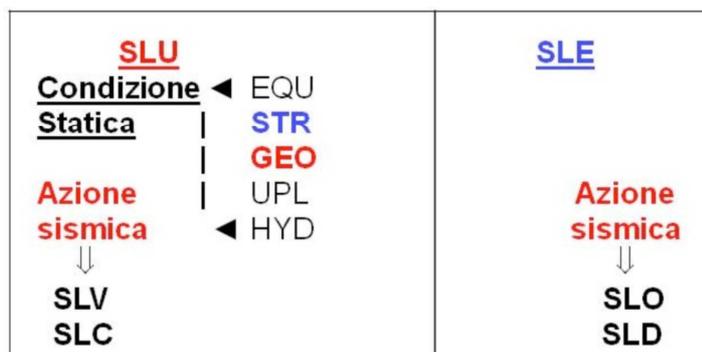
MODELLO GEOTECNICO

Consiste nella caratterizzazione fisica e meccanica dei terreni e delle rocce in particolare si dovrà effettuare:

- Interpretazione dei risultati della campagna geognostica ai fini della ricostruzione del modello geotecnico. Caratteristiche intrinseche delle singole unità litologiche (terreni o rocce) con particolare riguardo ad eventuali disomogeneità, discontinuità, stati di alterazione e fattori che possano indurre anisotropia delle proprietà fisiche dei materiali.
- Definizione dei valori caratteristici f_k dei parametri geotecnici.

VERIFICHE DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI

- Trattazione degli stati limite funzionali alle verifiche¹, con esplicitazione degli stati limite, approcci e combinazioni utilizzate nelle verifiche e nei dimensionamenti geotecnici delle opere (quadro sinottico opere/approcci).
- Verifiche di stabilità del pendio (da effettuare se non già contenute nella relazione geologica o se contenenti approfondimenti in funzione del dimensionamento delle opere).
- Opere di fondazione: criteri e scelte progettuali, verifica agli SLU (carichi), verifica agli SLE (cedimenti), aspetti costruttivi e relative prescrizioni.
- Opere di sostegno: criteri e scelte progettuali, verifiche di sicurezza agli SLU, verifiche di esercizio agli SLE, aspetti costruttivi e relative prescrizioni.
- Fronti di scavo e opere in materiali sciolti: criteri e scelte progettuali, verifiche di sicurezza agli SLU, verifiche in condizioni di esercizio agli SLE (per i fronti di scavo solo se pertinenti al caso specifico), aspetti costruttivi e relative prescrizioni.
- Identificazione degli stati limite di progetto in condizioni statiche e in condizioni sismiche. Le verifiche sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche fanno riferimento agli SL riportati nella tabella seguente, precisando che in presenza di azione sismica si considerano verificati per le NTC 08 gli SLU utilizzando lo stato limite SLV (q_{lim} sismica) e gli SLE utilizzando SLD (cedimenti sismici).



¹ - stati limite ultimi (SLU): *Combinazione fondamentale statica*

$$\gamma G1 + \gamma G2 + \gamma P + \gamma Q1 + \gamma Q2 + \gamma Q3 + \psi 02 \times Qk2 + \psi 03 \times Qk3 + \dots = Ed$$

(per q_{lim} statica; confronto tra Ed e Rd)

- stati limite di esercizio (SLE) irreversibili
verifiche alle tensioni ammissibili: *Combinazione caratteristica*

$$G1 + G2 + P + Qk1 + \psi 02 \times Qk2 + \psi 03 \times Qk3 + \dots$$

- stati limite di esercizio statici (SLE) reversibili
(cedimenti immediati): *Combinazione frequente*

$$G1 + G2 + P + \psi 11 \times Qk1 + \psi 22 \times Qk2 + \psi 23 \times Qk3 + \dots$$

- stati limite di esercizio statici (SLE)
(cedimenti a lungo termine): *Combinazione quasi permanente*

$$G1 + G2 + P + \psi 21 \times Qk1 + \psi 22 \times Qk2 + \psi 23 \times Qk3 + \dots$$

- stati limite ultimi (q_{lim} sismica) SLV
e di esercizio (cedimenti sismici) SLD: *Combinazione sismica*

$$E + G1 + G2 + P + \psi 21 \times Qk1 + \psi 22 \times Qk2 + \dots$$

- Approcci progettuali

La norma consente di scegliere tra due approcci di progetto diversi:



- Analisi delle attività svolte e dei risultati ottenuti ai fini della valutazione della disequazione $E_d \leq R_d$, con evidenziazione degli eventuali accorgimenti da utilizzare ai fini della stabilità dell'opera in condizioni statiche e dinamiche.

PIANO DI MONITORAGGIO

Ove ritenuto necessario o se obbligatorio in caso di scelta di metodo osservazionale, con l'individuazione della strumentazione di controllo e la definizione delle procedure di acquisizione, archiviazione ed elaborazione delle misure.

CONCLUSIONI

Nelle conclusioni, oltre ad una sintesi della attività svolte dovrà essere espresso un giudizio sulla fattibilità geotecnica dell'opera in progetto ed eventualmente degli accorgimenti utilizzati per rendere l'opera stabile sotto il profilo geotecnico stima dei costi sulla base dei prezzi provinciali o regionali esistenti aggiornati.

ALLEGATI

La relazione geotecnica dovrà essere corredata degli elaborati grafici (cartografie) e descrittivi (tabelle, figure ed allegati vari) utili a supportare il modello geotecnico relativo al volume significativo del manufatto in progetto ed a chiarire in modo inequivocabile gli aspetti legati alle verifiche da effettuare per garantire la stabilità dell'opera anche in chiave sismica.