

CAPITOLO 13: PROVE MECCANICHE IN SITO

Introduzione

Rispetto alle prove eseguite in laboratorio, quelle in sito presentano sia dei vantaggi che degli svantaggi.

1. Tra i vantaggi delle prove in sito si può dire che queste sono più rapide ed economiche, permettono di ottenere una descrizione più continua delle caratteristiche geotecniche con la profondità, permettono di esaminare un volume maggiore di terreno ed infine possono essere definiti in modo più attendibile i parametri di deformabilità, di permeabilità e di stato tensionale iniziale.
2. Tra gli svantaggi quello principale è la determinazione delle condizioni al contorno del problema in esame; sono difficili da determinare le condizioni di drenaggio nel terreno le quali possono influire sullo stato tensionale efficace. Inoltre i risultati che si ottengono non sono di agevole interpretazione in quanto l'esecuzione della prova può introdurre dei fattori di disturbo che falsano i risultati. Questo tipo di prove deve quindi essere correlato alle prove eseguite in laboratorio in modo tale da poter avere dei termini di confronto.

La cosa importante che deve essere messa in luce è che nessuna delle due tipologie di prova può essere preferita all'altra, dipende dalla situazione e dalle informazioni che si vogliono ottenere; comunque i due tipi di prova devono essere visti come delle procedure complementari che applicate in parallelo possono dare delle informazioni utili sul comportamento dei terreni.

Prove penetrometriche

Con queste prove viene misurata la resistenza alla penetrazione di un utensile standardizzato nel terreno.

Questa tipologia di prove può essere distinta in **PROVE STATICHE** e **PROVE DINAMICHE**.

Le prove statiche sono dette anche CPT “Cone Penetration Test”.

Le prove dinamiche sono dette SPT “Standard Penetration Test”.

Nella prima categoria l’utensile avanza a velocità costante e il dato che si misura è la pressione necessaria per permettere tale avanzamento nel secondo caso l’utensile è infisso a percussione e il dato misurato è il numero di colpi necessario per ottenere un determinato avanzamento. In base ai dati misurati durante la prova, attraverso delle relazioni empiriche è possibile risalire al profilo stratigrafico, alle caratteristiche di resistenza al taglio e alla deformabilità.

$$\text{PROVE PENETROMETRICHE} \left\{ \begin{array}{l} \text{STATICHE} = \text{CPT} = \text{misuro la resistenza di punta } R_p \\ \text{DINAMICHE} = \text{SPT} = \text{misuro il parametro } N_{SPT} \end{array} \right.$$

Prova statica CPT

Questa prova si definisce statica riferendosi alla modalità di applicazione del carico, perché l’utensile della prova avanza a velocità costante, pertanto questa prova viene impiegata per i terreni a medio–bassa consistenza. Tipicamente i terreni a grana fine. Si può fare questa prova con tutti i terreni eccetto quelli ghiaiosi. Se il terreno è troppo duro non è possibile far scendere il penetratore e può sverglarsi.

L’elemento di prova presenta alla sua estremità di infissione una punta conica con una apertura di 60° ed un’area di 10cm^2 . L’elemento presenta una pietra porosa collegata ad un trasduttore di pressione per la misura della pressione neutra.

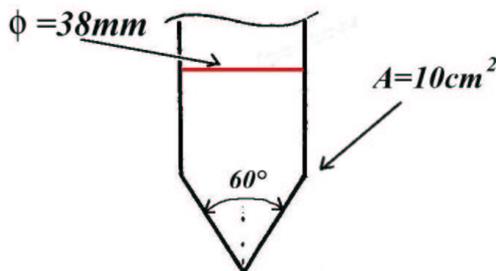


Figura 13.1

La prova eseguita può variare a seconda delle condizioni in cui viene condotta: le prove eseguite in terreni a grana fine (limo e argilla) che presentano un basso valore della permeabilità non permettono la dissipazione immediata dell’acqua, la rottura avviene in condizioni non drenate; mentre per quanto riguarda i terreni a grana grossa con elevata permeabilità questi permettono la dissipazione delle sovrappressioni in un tempo relativamente basso e quindi l’esecuzione della prova avviene in condizioni drenate.

Se con R_p indichiamo la resistenza alla punta, misurata mediante dei trasduttori di punta che registrano di continuo gli sforzi, allora è possibile risalire al coefficiente di coesione c_u :

$$q_c = \frac{R_p}{A}$$

Con $A = 10\text{cm}^2$ intendiamo l’area del cono.

Con q_c lo sforzo alla penetrazione.

Condizioni non drenate

Per un terreno in condizioni non drenate nel piano di Mohr l'involuppo di rottura è orizzontale. Il comportamento del terreno dipende sempre dalle pressioni efficaci, ma la determinazione delle pressioni interstiziali è di difficile misura e quindi si opera con le tensioni totali.

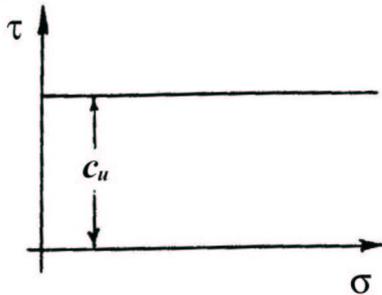
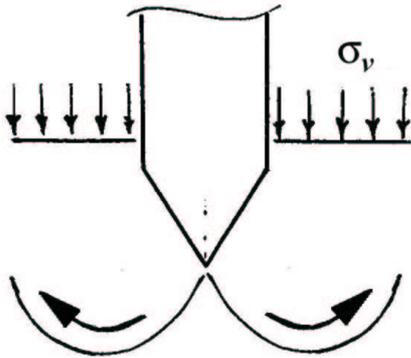


Figura 13.2

In corrispondenza della punta si genera un meccanismo di collasso.



Dal meccanismo di rottura:

$$q_c = c_u N_c + q N_q = c_u N_c + \sigma_v \cdot 1$$

Da cui ricaviamo:

$$c_u = \frac{q_c - \sigma_v}{N_c} = \frac{q_c - \sigma_v}{15 \div 25}$$

dove N_c è un coefficiente compreso tra 15 e 25 che dipende dal tipo di terreno e σ_v è la pressione preesistente in sito.

Si nota che esiste un elevato margine di errore nel valutare c_u , fino al 50%, e questo è dovuto alla grande variabilità del coefficiente che dipende dal tipo di materiale, questa è quindi una prova grossolana.

Figura 13.3

Condizioni drenate

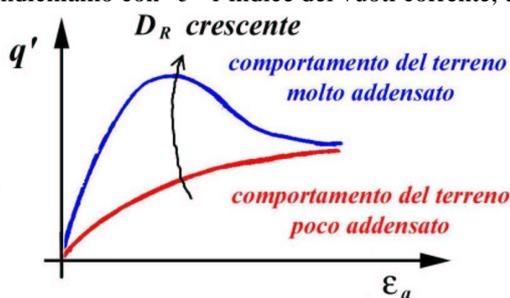
Con materiale grossolano.

Per un terreno con maggiori capacità drenanti (grana più grossa) la prova di penetrazione è tale che le sovrappressioni si dissipano e la rottura avviene in condizioni drenate.

Con queste prove viene messa in relazione la resistenza alla punta con la DENSITÀ RELATIVA. Per un materiale a grana grossa la resistenza al taglio e la rottura dipende dalla densità relativa del materiale.

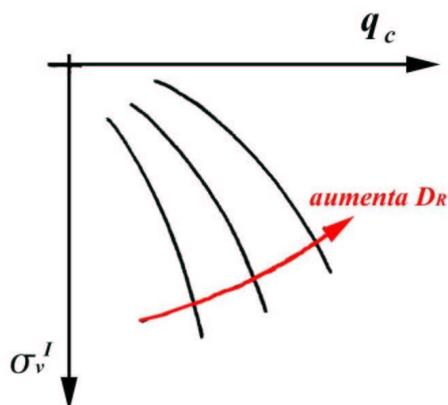
$$D_R = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$$

Indichiamo con "e" l'indice dei vuoti corrente, qui correlato al suo valore massimo e minimo.



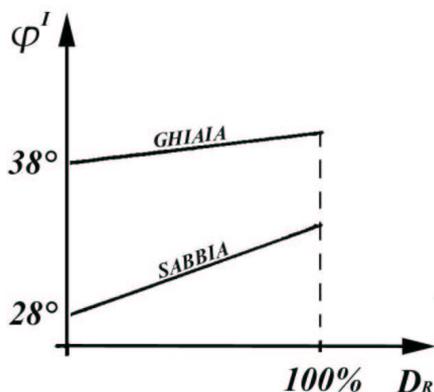
Aumentando l'addensamento aumenta la resistenza di picco.

Figura 13.4



Una volta misurata la tensione applicata all'estremità dello strumento (q_c) e noto lo stato tensionale σ_v^I in quella determinata posizione, è possibile dare attraverso questo diagramma una valutazione della densità relativa.

Figura 13.5



In funzione della densità relativa D_R è possibile esprimere l'angolo di attrito φ^I di picco a seconda del tipo di materiale.

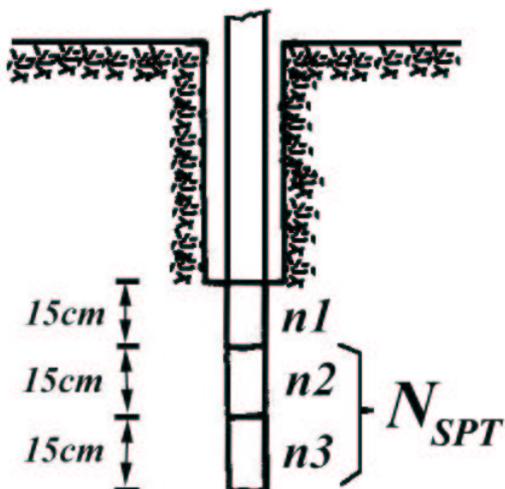
Figura 13.6

Prove dinamiche SPT

Per terreni a grana grossa.

Questa prova si definisce dinamica riferendosi alla modalità di applicazione dei carichi, si ha che l'utensile di prova avanza nel terreno sotto i colpi di un maglio di 72kg lasciato cadere da un'altezza di 70cm . Il penetrometro è a parete grossa e presenta il bordo sagomato a tagliente ed un diametro interno di 38mm .

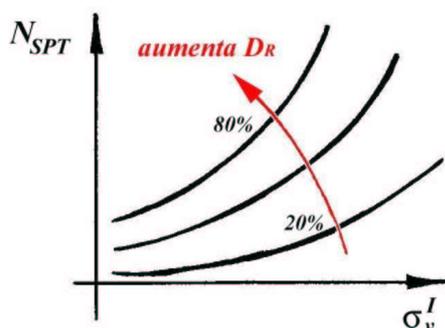
Per quanto riguarda le prove penetrometriche di tipo dinamico esse vengono eseguite misurando il numero di colpi necessario per far penetrare l'attrezzo per i primi, secondi e terzi 15cm .



L'indice misurato viene indicato con il simbolo N_{SPT} e rappresenta il numero di colpi per la penetrazione dei secondi e terzi 15cm .

Anche nel caso delle prove penetrometriche di tipo dinamico è necessario distinguere tra prove drenate e prove non drenate. È inoltre necessaria anche una taratura delle prove confrontando i risultati delle varie prove eseguite sui terreni.

Figura 13.7

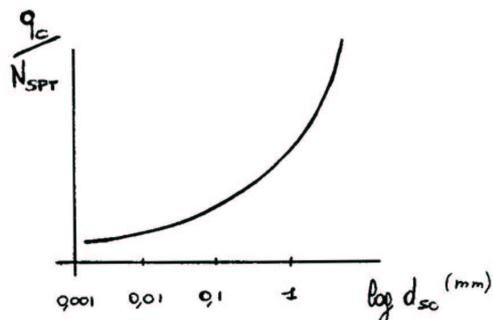


Dopo avere valutato σ_v^I e rilevato N_{SPT} posso calcolare D_R e quindi φ^I . Questo grafico mette in relazione l'indice di penetrazione N_{SPT} e la tensione efficace σ_v^I in funzione della densità relativa D_R per diverse tipologie di terreni.

Esistono però anche dei grafici che permettono di ricavare direttamente l'angolo di attrito dalla resistenza alla penetrazione.

Figura 13.8

Un'altra tipologia di grafico è quella che permette di collegare i risultati delle prove di tipo dinamico con quelle di tipo statico e la tipologia di materiale in esame.



Con d_{50} indichiamo il diametro corrispondente al passante del 50% nella curva granulometrica.

Figura 13.9

Prova scissometrica (Field Vane Test)

Questo tipo di prove sono utilizzate in terreni coesivi si bassa e media consistenza per la determinazione della resistenza al taglio non drenata c_u .

L'elemento di prova è costituito da quattro alette verticali ed ortogonali tra loro, mediante le quali viene provocata la rottura del terreno e misurato il momento torcente necessario.



Fig. 138

La prova viene eseguita in condizioni non drenate in quanto non esiste il tempo necessario per la dissipazione delle sovrattensioni che vengono indotte.

Durante l'esecuzione della prova avremo un momento torcente in funzione dell'angolo di rotazione; tale momento torcente sarà dato dalla tensione sviluppata lungo i lati delle ali dello strumento e lungo le relative basi.

Considero una aletta delle dimensioni B per H :



Fig. 139



Fig. 140

Contributo della resistenza laterale:

$$M_l = c_u (\pi B H) \frac{B}{2} = \frac{B^2}{2} H \pi c_u$$

Contributo della resistenza di una base:

$$dM_t = (2\pi r) r dr c_u$$

Da cui integrando:

$$M_b = \left[\frac{2}{3} \pi r^3 c_u \right]_0^{\frac{B}{2}} = \frac{\pi}{12} B^3 c_u$$

Per determinare il momento torcente totale è necessario sommare due contributi:

$$M_t = M_l + 2M_b = \frac{B^2}{2} \pi H c_u + 2 \left(\frac{\pi}{12} B^3 c_u \right)$$

Una volta misurato sperimentalmente il valore di M_t è possibile determinare la resistenza al taglio non drenata c_u .

Se $H = 2B$ allora $c_u = \frac{6}{7} \frac{M_t}{\pi B^3}$

In questo tipo di prova è importante la velocità di applicazione del carico, infatti deve essere inserito un termine correttivo¹¹ che tenga conto del coefficiente c_u misurato con lo scissometro relazionato al coefficiente c_u reale del terreno.

$$\mu = \frac{c_u(\text{terreno})}{c_u(\text{scissometro})}$$

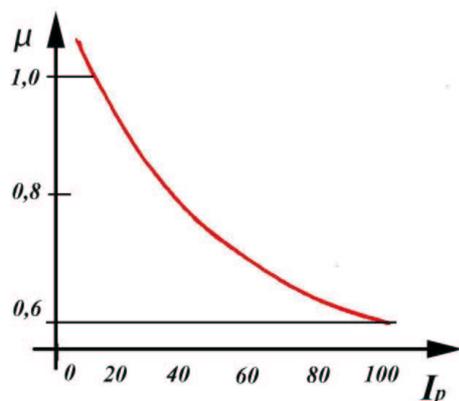


Fig. 141

11 Renato Lancellotta, *Geotecnica*, II ed., Zanichelli Editore S.p.a., Bologna, 1997. p.303

Prova pressiometrica

Sono delle prove di carico che vengono realizzate mediante l'espansione di una **sonda cilindrica**.

Esistono due metodi di prova, quello tradizionale e quello mediante delle **sonde autoperforanti**.

La prima tipologia di prova necessita della presenza di un foro preliminare all'interno del quale viene inserito lo strumento; le prove mediante sonde autoperforanti rimuovono una porzione di terreno pari al volume della sonda stessa che deve essere introdotta. Nel primo caso la preventiva esecuzione del foro può indurre uno stato di disturbo sul terreno stesso che poi si riflette sui risultati della prova; mentre con la seconda tipologia tali fattori di disturbo vengono ridotti al minimo; esistono comunque delle relazioni empiriche che permettono di correggere eventuali errori.

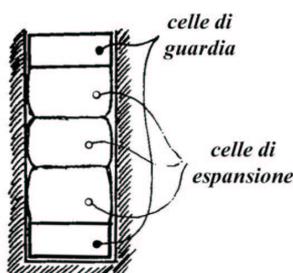


Fig. 142

In questa prova lo stato di sforzo e di deformazione può essere considerato indipendente dalla coordinata z inoltre può essere assunta la simmetria polare del problema.

Durante l'esecuzione della prova possono essere distinte 3 fasi:

1. fase di adattamento dello strumento al terreno;
2. fase pseudoelastica;
3. fase delle grandi deformazioni.

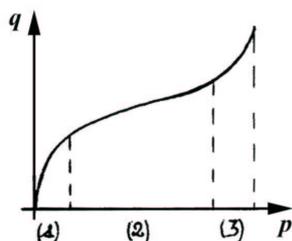


Fig. 143

In realtà la distribuzione delle pressioni in prossimità dello strumento non è uniforme, non lo saranno neanche le deformazioni e quindi non è possibile dedurre direttamente il legame sforzo-deformazione.

Pressiometro autoperforante: è uno strumento internamente cavo che all'estremità inferiore presenta delle alette per la frantumazione del terreno il quale viene fatto risalire attraverso la cavità. Lo strumento entra nel terreno durante la perforazione.

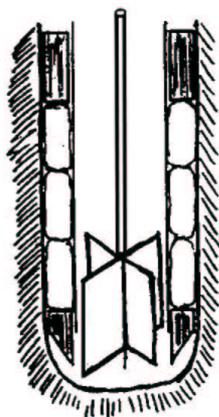
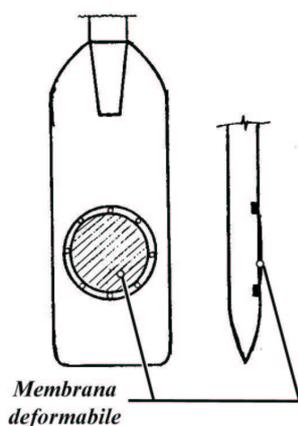


Fig. 144

Prova dilatometrica



Con il dilatometro di Marchetti (1975).

Questo tipo di prova si basa sulla dilatazione di una membrana piana di forma circolare posizionata su una faccia di una lama la quale viene infissa nel terreno con una procedura simile a quella delle prove penetrometriche statiche.

Le misure che vengono eseguite sono le seguenti:

1. P_1 : pressione in corrispondenza della quale la membrana comincia a muoversi in corrispondenza di uno spostamento nullo.
2. P_2 : pressione in corrispondenza della quale la membrana ha subito uno spostamento verso l'esterno pari a $\delta=1,1 \text{ mm}$.
3. P_3 : pressione in corrispondenza della quale la membrana ritorna nella posizione iniziale con $\delta=0 \text{ mm}$.

Una volta determinate queste misurazioni mediante delle relazioni empiriche è possibile risalire alla stratigrafia del terreno, alla sua storia tensionale, alle caratteristiche di deformazione e resistenza.

Prove di carico su piastra

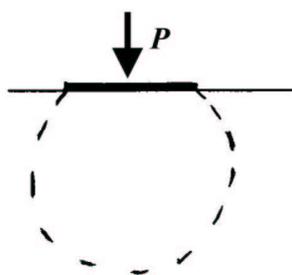


Fig. 146

Questa tipologia di prove è impiegata per determinare le caratteristiche di deformabilità del terreno. Per ottenere dei risultati attendibili le dimensioni della piastra dovrebbero essere rappresentative del problema in esame, infatti la zona interessata al carico applicato si estende in profondità per una distanza pari a $2 \div 3$ volte la dimensione minima della piastra.

In generale le piastre per motivi economici non sono molto estese e quindi i risultati della prova possono non essere rappresentativi per i problemi reali. In alcuni casi però questa tipologia di prove è molto interessante in quanto fornisce informazioni che non possono essere ottenute con altri tipi di prova; infatti è di notevole importanza nel caso di terreni sabbioso-ghiaiosi e nel caso di terreni coesivi compatti fessurati i cui risultati dipendono dal volume di terreno sottoposto alla prova (con altri tipi di prova il volume di terreno esaminato è molto minore).

Prova di taglio diretto in sito

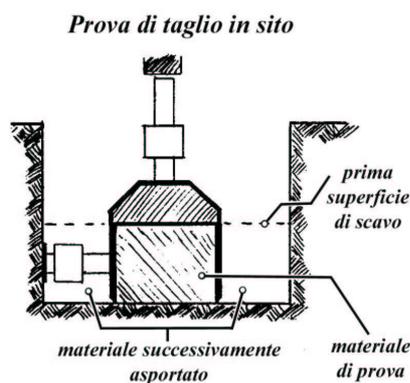


Fig. 147

Viene preventivamente realizzato uno scavo per raggiungere lo strato di terreno di cui si vogliono conoscere le caratteristiche meccaniche (in genere superficiali). Viene introdotta una fustella metallica delle dimensioni del campione da sottoporre alla prova. Successivamente viene asportato il materiale attorno al provino cercando di ridurre al minimo il disturbo sulla fustella. Viene introdotto un carico verticale N sopra il campione mediante un martinetto idraulico e contemporaneamente viene inserito uno strumento per la misura degli spostamenti verticali. Uno strumento dello stesso tipo viene introdotto in direzione orizzontale. Rispetto alle prove di laboratorio la lunghezza di drenaggio è 10 volte superiore e quindi i tempi necessari alla consolidazione aumentano con il quadrato dell'altezza (sono 100 volte più grandi). Questo tipo di prova quindi è adatta per i terreni a grana grossa.

Questo tipo di prova può essere effettuata anche all'interno di un cunicolo; comunque sono prove molto onerose dal punto di vista economico e quindi è

necessario valutare bene i vantaggi che esse portano prima di decidere la loro realizzazione.

L'indagine che deve essere eseguita va sempre riferita al tipo di terreno ed al problema che deve essere risolto; quindi la progettazione della campagna d'indagine deve essere strettamente correlata a questi fattori. Essenziale in questa fase è la collaborazione con il geologo, il quale può fornire notizie sul tipo di terreno e sulla sua storia geologica. L'informazione più importante che andiamo a ricercare è il valore del carico massimo che il terreno può sopportare e il corrispondente valore di spostamento.

(Questa pagina è intenzionalmente bianca.)