

# Recensioni

## La misura delle proprietà dei terreni nella "prova di compressione triassiale"

A. W. BISHOP - D. J. HENKEL: *The measurement of soil properties in the triaxial test* - Edward Arnold Ltd. Londra 1957.

Il Dr. ALAN W. BISHOP e il Dr. D. J. HENKEL hanno pubblicato nel 1957 un interessante trattato in cui illustrano chiaramente e con ampi particolari la attrezzatura di laboratorio necessaria per eseguire le prove triassiali, le modalità di prova e i vari problemi che insorgono durante la loro esecuzione.

L'importanza della sperimentazione in laboratorio non ha bisogno di essere sottolineata quando si pensi che il successo della meccanica del terreno, applicata alla risoluzione dei vari problemi d'ingegneria, consiste principalmente nella conoscenza delle caratteristiche del terreno interessato, fra le quali un posto importante è occupato dalla resistenza al taglio.

Attraverso l'uso dell'apparecchio di compressione triassiale e operando in maniera da avvicinarsi alle condizioni reali di sollecitazione del terreno, si può avere un quadro chiaro del probabile comportamento di questo; di conseguenza i metodi di analisi di stabilità ricevono una solida base sperimentale.

Il trattato di BISHOP e HENKEL sotto questo punto di vista presenta un sicuro interesse perché mette lo sperimentatore nelle condizioni ideali di ricerca con una guida quanto mai dettagliata e, in più, avallata da una solida esperienza acquistata dagli AA. in parecchi anni di lavoro svolto nel noto laboratorio di Meccanica del terreno dello *Imperial College* di Londra diretto dal prof. A. W. SKEMPTON.

Nella presentazione del lavoro verrà seguito l'ordine che gli AA. hanno dato alle varie parti in esso incluse.

### Introduzione

Il problema dello stato di tensione e deformazione di un terreno può ricondursi allo studio schematico

di un corpo compressibile costituito da particelle solide e da vuoti in esse racchiusi e riempiti in parte o completamente d'acqua. Le tensioni tangenziali di taglio possono logicamente essere sviluppate solo dallo scheletro delle particelle solide. D'altra parte la tensione normale  $\sigma$  su un qualsiasi elemento di superficie, è in generale, la somma di due componenti: l'una agente sulle particelle solide (pressione effettiva) e l'altra  $u$  sul fluido contenuto nei pori (pressione neutra).

La pressione effettiva ( $\sigma - u$ ) è quella che maggiormente interessa agli effetti della determinazione della resistenza al taglio di una terra. Infatti questa è chiaramente funzione solo dello sforzo normale sopportato dallo scheletro solido piuttosto che di tutto lo sforzo normale; la resistenza massima alle tensioni tangenziali su un piano qualsiasi  $\tau_f$ , è data quindi, per i problemi pratici, dalla espressione:

$$\tau_f = c' + (\sigma - u) \tan \varphi'$$

dove tutti i fattori sono espressi in termini di tensioni effettive.

Giova rilevare a questo punto che nell'espressione precedente, mentre il termine  $\sigma$ , cioè la pressione normale totale, è facilmente valutabile in base a considerazioni statiche, il termine  $u$ , cioè la pressione del fluido contenuto nei pori, è di valutazione molto difficile a causa dei numerosi fattori che la influenzano.

Per superare queste difficoltà gli AA. si avvalgono dei parametri  $A$  e  $B$  introdotti da SKEMPTON (1). Un aumento delle tre tensioni normali principali  $\Delta \sigma_1$ ,  $\Delta \sigma_2$ ,  $\Delta \sigma_3$  applicate ad un campione di terreno darà come conseguenza una diminuzione di volume del campione e un aumento della pressione neutra  $\Delta u$ . Nella ipotesi che  $\Delta \sigma_2 = \Delta \sigma_3$ , e che sia impedito il

(1) A. W. SKEMPTON: «*The pore-pressure coefficients A and B*» - Géotechnique, Vol. IV, 1954, pag. 143-147.

drenaggio del fluido stesso la variazione di pressione neutra può così essere espressa:

$$\Delta u = B [\Delta\sigma_3 + A (\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)]$$

Il valore di  $\Delta u$  è influenzato non solo dall'entità, ma anche dalle modalità di applicazione delle tensioni.

I parametri  $A$  e  $B$ , che sono valutabili con prove di laboratorio, servono non solo a distinguere i differenti tipi di prove possibili al triassiale, ma provvedono anche a dare una misura dell'entità della pressione neutra che si può verificare nei problemi applicativi.

Il tipo di prova triassiale più comunemente usato nelle prove di routine è quello di compressione cilindrica in cui la tensione secondo l'asse del cilindro è la tensione principale maggiore  $\sigma_1$ , mentre le tensioni laterali principali minore e intermedia  $\sigma_3$  e  $\sigma_2$  risultano eguali. L'applicazione delle tensioni principali viene a costituire due fasi della prova, mentre le condizioni di drenaggio del fluido contenuto nei pori vengono a classificare le prove secondo le tre categorie seguenti:

a) *Prova senza drenaggio* in cui non vi è possibilità di drenaggio nè durante l'applicazione della pressione laterale nè durante l'applicazione di quella assiale, maggiore della precedente.

b) *Prova con consolidazione e con drenaggio nullo* in cui è permesso il drenaggio durante l'applicazione della pressione laterale fino a completo consolidamento del campione, mentre esso è impedito durante la applicazione della pressione assiale.

c) *Prova con drenaggio* in cui il drenaggio è permesso in entrambe le fasi di prova con la conseguenza che non si verifica alcun aumento di pressione neutra.

E' interessante distinguere quale tipo di prova sia soddisfacente per la risoluzione dei principali problemi di ingegneria che coinvolgono calcoli e analisi di stabilità. I tipi di terreno, principalmente nella loro distinzione in terreni coerenti e incoerenti, e le condizioni di sollecitazione cui dovranno sottostare hanno in questo senso la loro importanza; come pure la pressione neutra, la cui entità può o meno dipendere dallo stato di tensione che interessa il terreno e dal tempo trascorso dalla messa in tensione.

#### *Le principali caratteristiche dell'apparecchio triassiale*

Gli AA. dedicano questo capitolo alla esposizione dei dettagli costruttivi e funzionali di una completa attrezzatura di laboratorio, facendo riferimento a quella installata all'Imperial College di Londra.

Generalmente i tipi più usati di camere triassiali sono quelle cilindriche le cui dimensioni variano col diametro dei campioni che può essere di 1/2" oppu-

re 4" a seconda del materiale usato: se contenente o meno elementi di grossa granulometria, che possono arrivare ai 3/4", se allo stato indisturbato o no, costipato o no.

Ma la parte più importante dell'attrezzatura è rappresentata dal sistema usato per il controllo della pressione laterale all'interno della camera. Detta pressione è esercitata generalmente da acqua, e, come è noto, viene mantenuta costante nelle prove di routine. Ottimi risultati in questo senso ha dato il principio di usare il mercurio come autocompensatore delle eventuali variazioni di pressione durante lo svolgimento delle prove.

Tale principio è schematizzato dalla Fig. 1: la pressione dell'acqua all'interno della camera di compressione risulta dalle differenze di livello assunte dal mercurio in due cilindretti — connessi fra di loro da

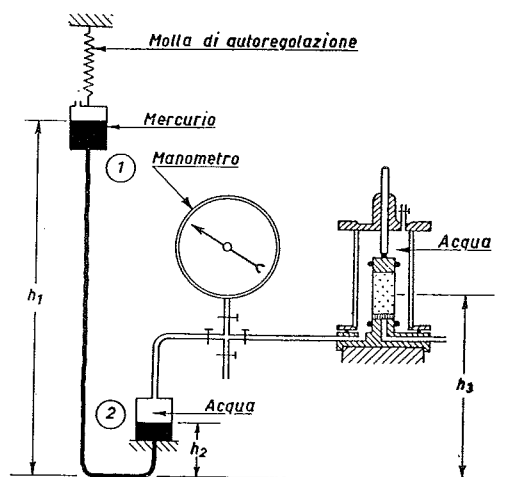


Fig. 1

un tubo flessibile — che formano in effetti i due menischi di un manometro. Tale pressione nel punto medio del campione viene così ad assumere il valore:

$$(h_1 - h_2) \gamma_m + (h_2 - h_3) \gamma_a$$

Quando, per effetto della diminuzione di volume del provino, dovuta al processo di consolidazione, ovvero a causa delle inevitabili perdite attraverso guarnizioni e simili, la pressione dell'acqua all'interno della camera di compressione tende a diminuire, diminuisce anche il dislivello  $(h_1 - h_2)$ . Si riduce allora il peso del mercurio contenuto nel cilindretto 1, la molla si accorcia ed  $(h_1 - h_2)$  si riporta all'incirca al valore iniziale. Naturalmente occorre che la molla sia opportunamente scelta e gli AA. danno tutte le relative indicazioni.

Per quel che riguarda la pressione neutra, gli AA. pongono in evidenza come la misura diretta, con un manometro in comunicazione col campione, non sia possibile a causa dell'acqua che dovrebbe fuoriuscire dal campione per agire direttamente sullo strumento di misura e che modificherebbe di conseguenza la entità della pressione effettivamente esistente.

Il dispositivo schematizzato in Fig. 2 elimina invece questi inconvenienti. Un aumento della pressione neutra del campione tende a deprimere il menisco *b* della cella di misura, immediatamente l'ope-

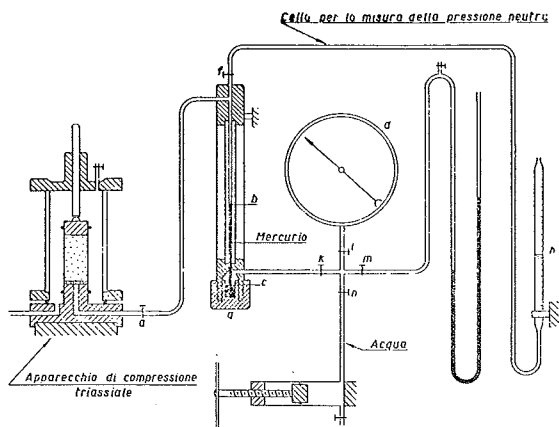


Fig. 2

ratore manovra il pistone di controllo *e* fino a riportare il menisco *b* nella sua primitiva posizione. Durante l'operazione la pressione dell'acqua della cella aumenta e questo aumento, che è uguale a quello che si verifica nel fluido dei pori del terreno, viene registrato con i manometri *d* o *i*. La sola possibilità di uscita del fluido dai pori del terreno è data da una deformazione elastica del tubo di connessione, che però, è trascurabile; oppure dalla compressione di aria che inavvertitamente può essere rimasta nello stesso tubo.

Una variazione della pressione laterale generalmente denota una variazione di volume nel campione. La misura di queste variazioni ha importanza nel determinare la compressibilità del campione stesso e per calcolare l'area trasversale al momento della rottura. A seconda del tipo di prova e del materiale esaminato sono tre i principali metodi di misura della variazione di volume, essi si basano: a) sul volume del

fluido che entra nella camera di compressione triassiale per compensare tale variazione di volume; b) sul volume di acqua espulso dai pori del campione; c) sulla misura diretta della variazione delle dimensioni del campione.

La rassegna dei dettagli termina con l'esame dei metodi che possono essere adottati per applicare la pressione assiale. Fra questi viene data la preferenza, nelle prove normali, al metodo secondo il quale viene controllata la velocità delle deformazioni del provino.

*Prove normali e prove speciali*

Due parti del trattato molto estese sono riservate alle applicazioni di laboratorio nello studio delle caratteristiche dei vari tipi di terreno.

La scelta e la preparazione dei campioni da esaminare, siano essi allo stato indisturbato o disturbato, assumono un importante ruolo nella tecnica di laboratorio; tali operazioni devono essere minuziosamente curate per rendere minime le variazioni di quei requisiti che condizionano le ipotesi di prova. La procedura per eseguire queste operazioni viene descritta dagli AA. in ogni particolare. Segue poi l'illustrazione di tutti i tipi di prova eseguibili. Le classiche prove triassiali elencate nella introduzione vengono qui descritte non solo nei loro particolari, ma vengono pure accompagnate da tabelle e diagrammi che danno i risultati tipici per ciascuna prova: in queste prove la misura della pressione neutra viene eseguita attraverso una pietra porosa posta ad una estremità del campione.

Gli AA. descrivono anche alcune prove speciali che servono a scopo di ricerca. In molti casi queste prove consistono in una estensione delle prove normali e quindi non hanno richiesto una spiegazione dettagliata.

Alla fine del volume, gli AA. dedicano un'appendice alla ricerca di tutti quei fattori che influiscono sui risultati delle prove indicando nello stesso tempo la maniera di correggere gli errori conseguenti.

G. Mateotti