

SISTEMA MAGNETICO DI RILEVAMENTO FORMA/VOLUME IN CELLA TRIASSIALE DI GRANDI DIMENSIONI

Roberta Ventini (roberta.ventini@unina.it)

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale - Università degli Studi di Napoli Federico II

Alessandro Flora (flora@unina.it)

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale - Università degli Studi di Napoli "Federico II"

Stefania Lirer (s.lirer@unimarconi.it)

Dipartimento di Ingegneria della Sostenibilità - Università degli Studi Guglielmo Marconi

Claudio Mancuso (mancuso@unina.it)

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale - Università degli Studi di Napoli "Federico II"

ABSTRACT. Il comportamento dei materiali granulari è fortemente influenzato sia da parametri intrinseci (mineralogia e dimensione delle particelle, forma dei grani, assortimento granulometrico, ...) che da parametri di stato (densità relativa, stato tensionale, umidità relativa, ...). Presso l'Università degli Studi di Napoli Federico II un'apparecchiatura triassiale di grandi dimensioni ($D = 200$ mm, $H = 410$ mm) è stata potenziata con l'obiettivo di studiare la risposta meccanica di terreni a grana grossa. Nell'ambito delle operazioni di potenziamento è stato progettato ed installato un dispositivo magnetico di rilevamento forma/volume, concepito per la misura delle deformazioni assiali e radiali locali nonché delle deformazioni volumetriche globali. L'accuratezza di questo sistema è stata valutata in alcune prove triassiali su campioni di ghiaia debolmente sabbiosa compattati. I dati sperimentali mostrano chiaramente l'efficacia del sistema magnetico nella misurazione degli spostamenti assiali mentre la misurazione in direzione radiale sembra essere fortemente influenzata dalla non linearità del campo magnetico generato durante il test e richiede ulteriori verifiche.

1. INTRODUZIONE

La caratterizzazione meccanica dei terreni a grana grossa è stata tradizionalmente eseguita mediante prove di laboratorio in celle edometriche e/o triassiali. Nel corso degli anni, le apparecchiature hanno subito modifiche significative per consentire una realistica descrizione del comportamento meccanico sia in condizioni sature che in condizioni di parziale saturazione. Inoltre, sta diventando sempre più necessario modellare in maniera più accurata il comportamento deformativo prima della rottura, ed in particolare il comportamento a piccoli livelli di deformazione.

L'articolo descrive l'apparecchiatura triassiale usata nel laboratorio di Ingegneria Geotecnica dell'Università degli Studi di Napoli Federico II e i dettagli di un innovativo sistema magnetico locale realizzato per la misura delle deformazioni assiali e radiali. Le misure, eseguite con il sistema magnetico sono state confrontate con quelle ottenute utilizzando un sistema tradizionale. Il singolo test presentato in questo articolo è rappresentativo del trend osservato in una campagna di venti prove triassiali, ed evidenzia limiti e potenzialità del nuovo sistema.

2. CELLA TRIASSIALE

La cella triassiale in dotazione (Ventini et al. 2018) è un apparecchio triassiale di grandi dimensioni di tipo Bishop e Wesley (1975) con cella di carico immergibile posta nella parte superiore dell'apparecchiatura. Lo schema della cella è riportato in Figura 1.

L'apparecchiatura consente di studiare la risposta meccanica di provini saturi o parzialmente saturi con un diametro di 200 mm ed un'altezza di 410 mm. La cella consente l'applicazione di un carico assiale e di una pressione di cella massimi pari rispettivamente a 200 kN e 2 MPa.

Rispetto ad una cella triassiale convenzionale, la cella in dotazione consente l'applicazione del carico assiale mediante un pistone posto nella parte inferiore dell'apparecchiatura, che spinge il provino contro una cella di carico superiore fissa. La corsa massima del pistone è pari a 200 mm mentre il suo diametro è di 60 mm. Gli spostamenti assiali sono misurati da un trasduttore LVDT la cui corsa massima è pari a 3 mm con un'accuratezza dello 0.3%, direttamente collegato al pistone di carico.

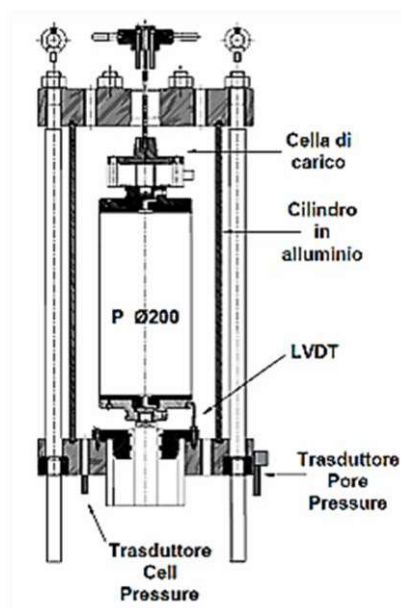


Figura 1. Schema della cella triassiale di grandi dimensioni

La cella triassiale High Pressure Stress Path (HPSP) è in grado di eseguire prove sia a carico che a deformazione controllata con controllo in retroazione automatica. Nel caso in cui il controllo è operato sul carico, il segnale di retroazione è fornito dalla cella di carico; nel caso in cui, invece, il controllo è sullo spostamento, il segnale di retroazione è fornito dall'LVDT dello spostamento assiale.

3. SISTEMA MAGNETICO DI RILEVAMENTO FORMA/VOLUME

Nella cella triassiale in dotazione la misura delle deformazioni volumetriche dei provini saturi avviene in modo classico mediante burette e un trasduttore differenziale di pressione (DPT). Gli stessi strumenti possono essere utilizzati per la determinazione delle deformazioni volumetriche del materiale testato in condizioni di parziale saturazione, misurando i volumi d'acqua scambiati dalla cella. Tuttavia, è ben noto che una misura accurata delle variazioni di volume in provini parzialmente saturi, che comprende le variazioni dei volumi di acqua e di aria nei pori, comporta maggiori difficoltà rispetto a quanto avviene in provini saturi.

Diverse tecniche, descritte in letteratura, consentono misure sia globali che locali, a seconda della posizione dei trasduttori. Una tecnica innovativa è stata sviluppata da Romero et al. (1997) e più recentemente da Messerklinger et al. (2004), i quali hanno utilizzato un sistema laser che misura le deformazioni radiali per tutta l'altezza del provino.

Sullo sfondo degli studi condotti in passato, è stato realizzato un innovativo sistema magnetico denominato Magnetic Shape Detector (MSD) che consente la misura delle deformazioni assiali e radiali locali nonché delle deformazioni volumetriche globali. Il sistema è stato concepito per analizzare la risposta volumetrica del materiale testato in condizioni di parziale saturazione ma è ugualmente idoneo al rilevamento delle variazioni di forma e di volume di provini saturi.

Il sistema MSD è costituito da sei magneti cilindrici N40 in lega di neodimio, ferro e boro (NdFeB), aventi diametro pari a 10 mm ed altezza di 40 mm (Fig. 2b) ed altrettanti involucri contenenti terne di sensori Hall. Immediatamente prima della chiusura della cella, i magneti vengono incollati sulla membrana in lattice che avvolge il provino nelle posizioni mostrate in Figura 2a. I sensori sono invece bloccati in posizioni fisse nella parte interna del cilindro esterno (in alluminio) della cella triassiale (Figura 1), in modo che, all'inizio della prova, i rispettivi baricentri siano perfettamente allineati con i baricentri dei magneti.

I sensori adoperati sono in grado di rilevare gli spostamenti assiali, radiali e le rotazioni dei magneti collocati nelle posizioni B, C, E, F (Fig. 2a) mentre dei magneti A e D vengono rilevati solo gli spostamenti in direzione assiale e radiale. Un software di elaborazione dati consente la registrazione degli spostamenti dei magneti durante la prova triassiale sfruttando le variazioni del campo elettromagnetico generato e restituisce la probabile variazione di posizione della superficie laterale del provino nel tempo. L'asse verticale lungo il quale si sviluppa tale superficie ha origine nel punto fisso in corrispondenza della piastra porosa superiore ed è diretto verso la base, mentre l'asse orizzontale ha origine in corrispondenza della superficie laterale iniziale del provino

ed è diretto verso l'esterno. Il profilo laterale del provino viene determinato interpolando le posizioni dei magneti posti alla stessa quota iniziale (F-C, D-A, B-E in Fig. 2a) e assumendo l'ipotesi di tangenti verticali in corrispondenza del centro e della base del provino, data la mancanza di informazioni relative alla rotazione in questi punti. Note le posizioni delle basi ed il profilo laterale, il volume corrente del provino è facilmente determinato attraverso un calcolo integrale.

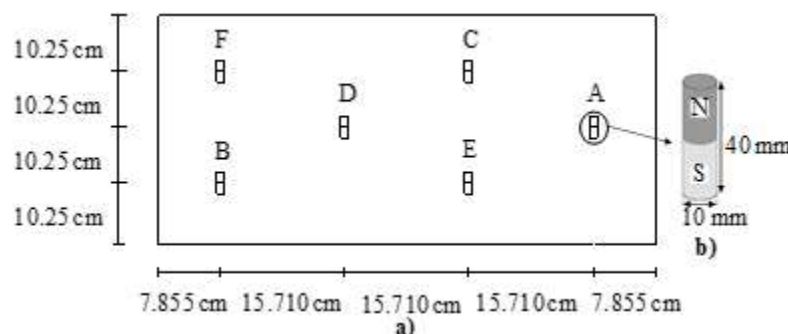


Figura 2. Sistema di rilevamento forma/volume: a) schema di posizionamento dei magneti sulla superficie esterna del provino; b) ingrandimento del magnete.

È ampiamente riconosciuto in letteratura che la regione di risposta lineare del magnete è limitata all'intorno del suo centro; le dimensioni di questa regione dipendono dal tipo di sensore e dall'intensità del campo magnetico generato. Al fine di realizzare un sistema accurato, gli errori legati alla non linearità del campo elettromagnetico sono stati ridotti utilizzando più di due sensori, magneti di grandi dimensioni ed una post-elaborazione implementata nel software per la correzione dell'errore residuo.

Il sistema proposto è stato testato con un dispositivo costituito da un'asta su cui viene posizionato il magnete, i cui spostamenti sono misurati per mezzo di due micrometri, rispettivamente in direzione orizzontale e verticale. Le calibrazioni eseguite hanno mostrato che in media il sistema registra un'accuratezza dello 0,2% in direzione verticale e dello 0,3% in quella radiale.

3.1 Risultati sperimentali

Per verificare le prestazioni del sistema di misurazione MSD è stata eseguita una campagna di prove triassiali. In particolare, i risultati di una prova triassiale di compressione isotropa eseguita su un campione di ghiaia debolmente sabbiosa proveniente dalla cava di Coreno (Frosinone, Italia (Fig. 3)) sono presentati di seguito. Il terreno testato presenta dimensione massima dei grani pari a 5 mm e massa specifica relativa G_s di 2,76 ($e_{\max} = 0,83$, $e_{\min} = 0,61$). Il provino, costipato ad una densità relativa iniziale $D_r = 0,70$, è stato saturato, compresso isotropicamente fino ad un valore della tensione media efficace p' pari a 700 kPa e successivamente scaricato.

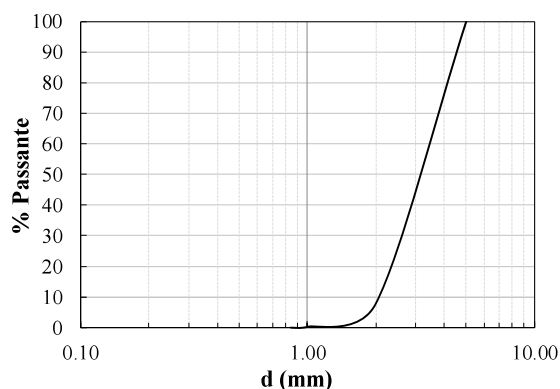


Figura 3. Curva granulometrica della ghiaia debolmente sabbiosa di Coreno (FR).

I confronti tra gli spostamenti radiali e assiali misurati dai sensori e quelli determinati con le tecniche tradizionali sono rappresentati in Figura 4.

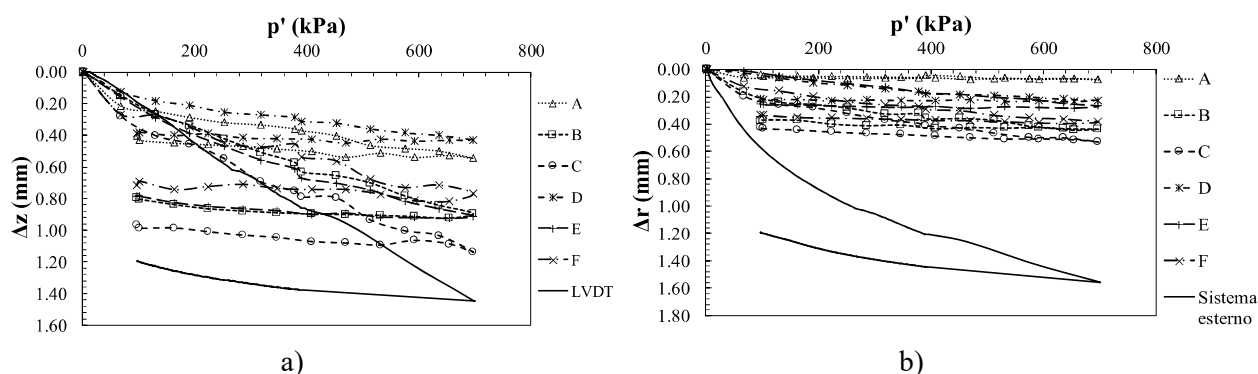


Figura 4. Confronto tra gli andamenti degli spostamenti assiali a) e radiali b) al variare della tensione media efficace misurati dal sistema MSD e dal sistema esterno

In particolare, in Figura 4a è mostrato il confronto tra gli spostamenti relativi Δz di ciascun magnete misurati dai sensori e lo spostamento Δz della base misurato dal trasduttore LVDT, tutti normalizzati rispetto alla posizione iniziale. I risultati mostrano un buon accordo tra i due differenti sistemi di misura. Inoltre, gli spostamenti assiali misurati dal sistema magnetico sono minori di quelli ottenuti dal sistema esterno, come ci si aspettava.

Gli spostamenti radiali Δr del provino sono tradizionalmente computati a partire dal volume corrente misurato utilizzando un trasduttore differenziale di pressione (DPT) e dall'altezza corrente del provino (LVDT). La Figura 4b mostra il confronto tra questa tipologia di misura esterna e quella interna effettuata dal sistema magnetico. Quest'ultimo registra spostamenti molto minori, chiara conseguenza della ridotta corsa del magnete in direzione radiale legata alla non linearità del campo elettromagnetico. Tale fenomeno aumenta progressivamente al crescere della tensione media efficace agente. Sono quindi indispensabili ulteriori operazioni di messa a punto necessarie a minimizzare gli errori legati alla complessa non linearità del campo elettromagnetico generato dai magneti nel corso di prove triassiali.

4. CONCLUSIONI

Partendo da una cella triassiale preesistente, progettata per testare terreni a grana grossa, sono stati realizzati dispositivi ausiliari e trasduttori per consentire all'apparecchiatura di funzionare anche in condizioni di parziale saturazione. In particolare, al fine di monitorare le deformazioni assiali e radiali locali, nonché le deformazioni volumetriche globali con un'adeguata accuratezza in condizioni sature ma soprattutto in condizioni di parziale saturazione, è stato sviluppato un innovativo sistema di rilevamento magnetico forma/volume.

La strumentazione è stata testata con successo attraverso calibrazioni che hanno dimostrato che questo sistema locale è uno strumento adeguato alla misura degli spostamenti assiali e radiali in celle triassiali di grandi dimensioni. Tuttavia, dalla prova di compressione isotropa effettuata su una ghiaia debolmente sabbiosa con dimensione massima dei grani di 5 mm, è emerso che il sistema magnetico sembra essere fortemente influenzato dalla risposta non lineare del magnete in un ampio intervallo di spostamento nella direzione radiale. Invece è stato applicato in modo soddisfacente per misurare la deformazione assiale del provino. Pertanto, il metodo di misurazione basato sul sistema magnetico richiede ulteriori operazioni di messa a punto.

5. BIBLIOGRAFIA

- Bishop A.W., Wesley L.D. (1975). A hydraulic triaxial apparatus for controlled stress path testing. *Géotechnique*, 25 (4): 657-670.
- Camacho J.M., Sosa V. (2013). Alternative method to calculate the magnetic field of permanent magnets with azimuthal symmetry. *Revista Mexicana de Física*, 59: 8-17.
- Messerklinger S., Bleiker E., Zweidler A., Springman S.M. (2004). Displacement measurement with laser scanning in triaxial testing apparatuses. *16th European Young Geotechnical Engineers Conference, Vienna*, 1-10.
- Romero E., Facio J.A., Lloret A., Gens A., Alonso E.E. (1997). A new suction and temperature controlled triaxial apparatus, *4th ICSMFE, Hamburg*, 1: 185-188.
- Ventini R., Flora A., Lirer S., Mancuso C. (2018). Cella triassiale con controllo dell'umidità relativa. Incontro annuale dei ricercatori di geotecnica, Genova.