

Prove di permeabilità a portata controllata

G. SEMBENELLI, G. ANGELONI*

Le prove di permeabilità a portata controllata furono messe a punto e utilizzate per la prima volta da OLSEN [1965, 1966], nell'intento di eliminare gran parte degli errori connessi con le prove di permeabilità convenzionali. Il problema che Olsen doveva analizzare era l'apparente deviazione dalla legge di Darcy riscontrata da alcuni autori, su provini argillosi e a tale scopo si rendeva necessario l'impiego di apparecchiature particolarmente precise. La determinazione con controllo sulle portate è, oltre che precisa, estremamente rapida, tanto da divenire interessante anche dal punto di vista della comune pratica geotecnica di laboratorio [OLSEN, 1985]. Attualmente queste prove vengono correntemente utilizzate anche in alcuni laboratori italiani, per determinazioni di permeabilità non necessariamente legate alla ricerca.

Il principio di funzionamento della prova di permeabilità con controllo sulle portate è basato, come per le prove convenzionali, sulla Legge di Darcy, ovvero si determinano le condizioni che mantengono un flusso stazionario all'interno del provino. A differenza delle prove convenzionali, tuttavia, in questo caso il processo di filtrazione è prodotto dall'iniezione di una portata nota, anziché dall'applicazione di un carico idraulico.

La Fig. 1 illustra la tipica risposta, in termini di carico idraulico, di tre materiali a permeabilità differente: sabbia limosa, limo sabbioso debolmente argilloso e argilla limosa. All'applicazione del flusso, il carico idraulico progressivamente aumenta fino a stabilizzarsi. L'intervallo di tempo necessario alla stabilizzazione, ovvero al raggiungimento delle condizioni stazionarie, dipende in primo luogo dalla permeabilità del materiale, potendo variare da minuti, per le sabbie, fino a qualche ora, per le argille. Si osservi che in ogni caso i tempi richiesti per una singola determinazione risultano molto inferiori rispetto a quelli necessari nelle prove convenzionali, specialmente nel caso di materiali poco permeabili. Le portate vengono scelte opportunamente in base alle caratteristiche del materiale, in modo da generare gradienti idraulici modestissimi.

Per l'immissione delle portate, nell'ordine di frazioni di m^3/s e assolutamente disaerate, si utilizzano apparecchiature del tipo in genere impiegato per la somministrazione endovena di alcuni farmaci (come

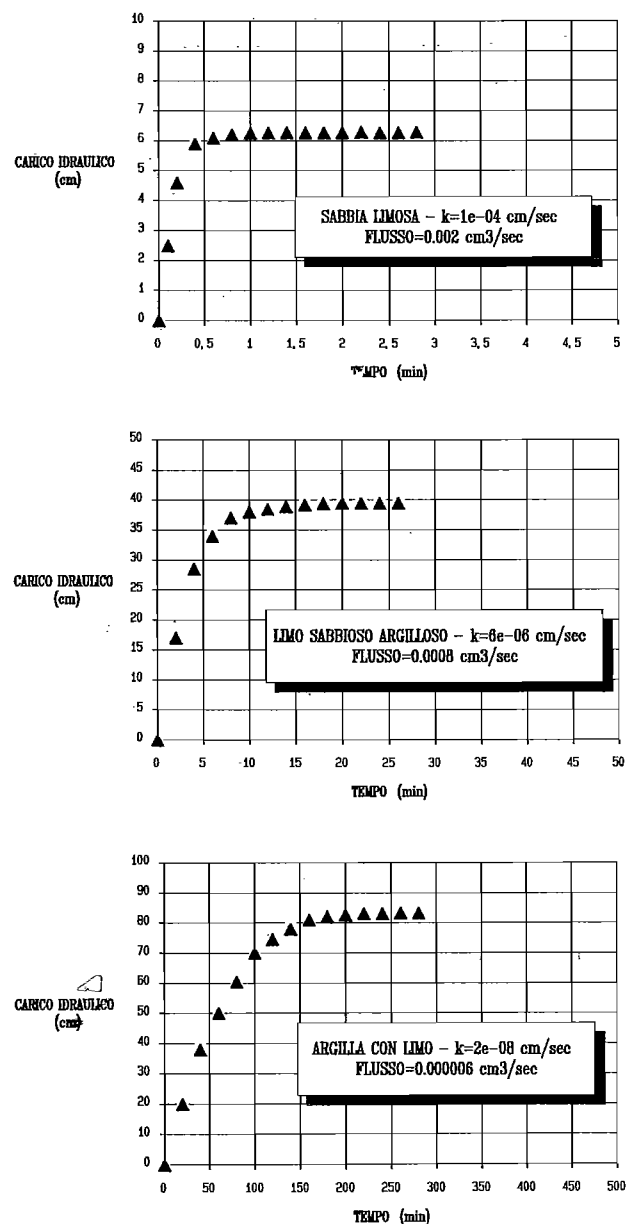


Fig. 1 - Prove di Permeabilità a Portata Controllata su materiali differenti. Le condizioni di flusso stazionario sono raggiunte in pochi minuti in una sabbia limosa e in meno di 4 ore in un'argilla con limo di permeabilità 10^{-4} volte inferiore.

* Giuseppe Sembenelli, PIERO SEMBENELLI CONSULTANT, Milano. Giuseppe Angeloni, ISMES, Bergamo.

l'insulina). L'apparecchiatura, che in genere viene chiamata 'pompa' (*flow pump*), è costituita di fatto da un attuatore di precisione che muove a velocità costante il pistone di una siringa. Variando la velocità di avanzamento o le dimensioni della siringa, si può ottenere un ampio spettro di portate che consente di operare su sabbie fini sporche, limi e argille. In genere la prova viene impiegata su materiali con coefficiente di permeabilità compreso tra $k = 10^{-4}$ a 10^{-9} cm/s.

Il carico idraulico generato dal flusso imposto può risultare inferiore a 10 cm di colonna d'acqua (1 kPa) e viene rilevato con trasduttori differenziali di tipo a riluttanza variabile. Il principale vantaggio di questi strumenti è che il loro fondoscala meccanico può essere modificato mediante la semplice sostituzione della parte sensibile, costituita da una membrana in acciaio, senza alcun intervento sulla parte elettrica. In questo modo è possibile adeguare la sensibilità e la precisione dello strumento all'entità effettiva delle pressioni da misurare. Il trasduttore differenziale opera tra le teste del provino in modo da rilevare direttamente il carico idraulico, indipendentemente dalla contropressione. In questo modo, è possibile operare su pressioni modeste e sfruttare in pieno le caratteristiche di precisione precedentemente elencate. Grazie a queste due possibilità, i trasduttori differenziali a riluttanza variabile forniscono misure estremamente precise e risultano gli strumenti più adatti per le misure del carico idraulico nelle determinazioni di permeabilità a portata controllata.

Pompa e trasduttore differenziale vengono assemblati in modo da realizzare un circuito idraulico secondario, che si inserisce in quello principale dell'apparecchiatura di prova utilizzata. Ciò può essere fatto, con piccoli adeguamenti del circuito idraulico, sia su provini confinati rigidamente che su provini confinati da una membrana flessibile.

La Fig. 2 illustra un esempio di assemblaggio per provini confinati rigidamente. La cella è di tipo triassiale, modificata per l'esecuzione di prove edometriche a deformazione controllata (tipo CRS). L'iniezione di fluido avviene dalla base del provino, mentre il carico idraulico viene misurato tra la base del provino e la cella (la pressione di cella è in pratica una contropressione). In questo tipo di prove la determinazione di permeabilità può essere condotta sia prima della prova, per impostare correttamente i parametri della prova edometrica, che nel corso della prova, se i materiali sono particolarmente permeabili.

La Fig. 3 presenta un tipico assemblaggio del si-

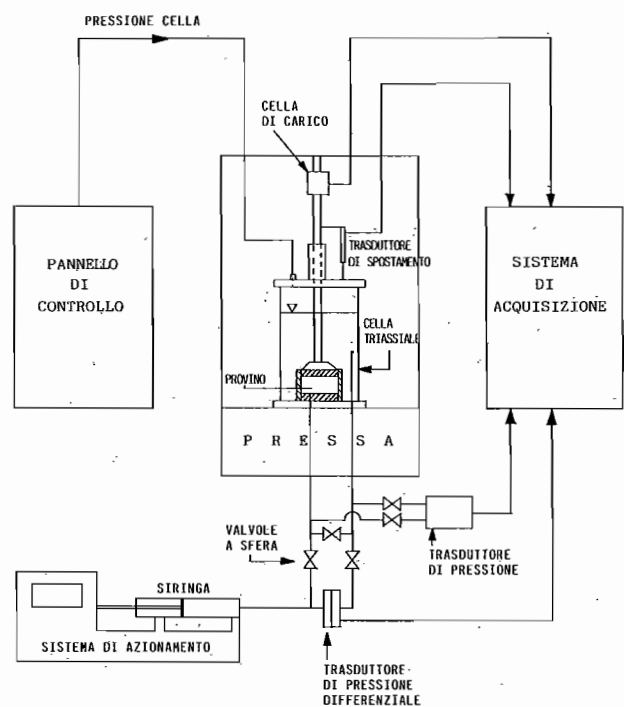


Fig. 2 - Schema di applicazione del sistema Pompa-Trasduttore differenziale per la determinazione del coefficiente di permeabilità a portata controllata su un provino confinato rigidamente (Prove Edometriche a Deformazione Controllata CRS).

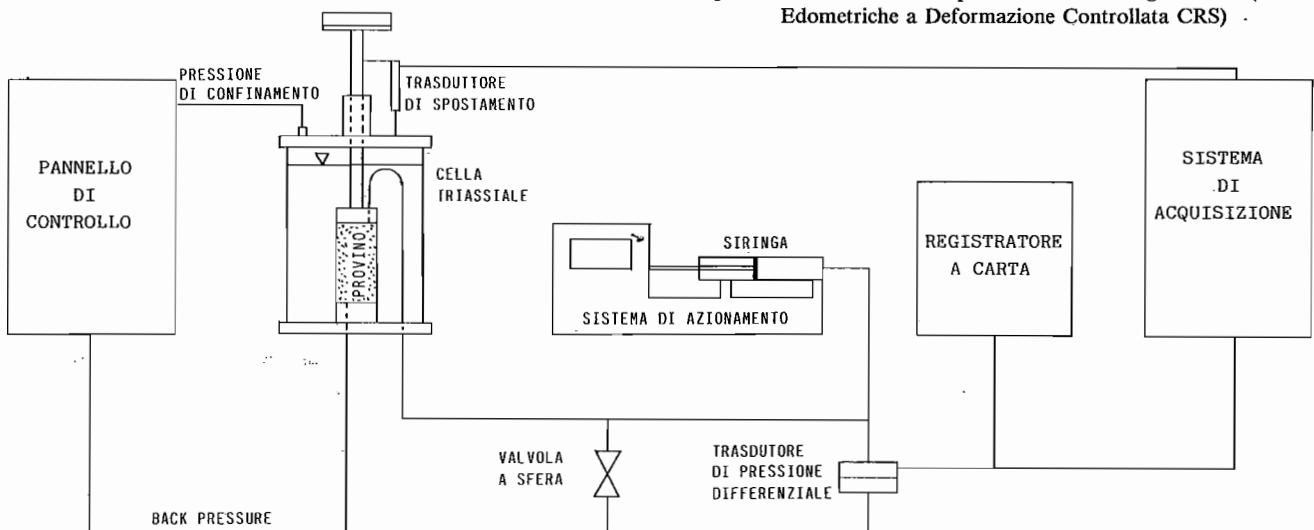


Fig. 3 - Schema di applicazione del sistema Pompa-Trasduttore differenziale per la determinazione del coefficiente di permeabilità a portata controllata su un provino triassiale (Prove di Permeabilità Diretta in Cella Triassiale).

stema pompa-trasduttore differenziale, applicato a provini confinati da una membrana flessibile, in cella triassiale. In questo caso si sfrutta la doppia linea di drenaggio principale, dalla base e dalla testa del provino, sia per l'iniezione del fluido che nella misura del carico idraulico indotto. La cella non va modificata sostanzialmente, se non nelle basi, in modo da poter alloggiare una pietra porosa sufficientemente grande da distribuire uniformemente la portata sull'intera sezione del provino. Questo assemblaggio viene preferenzialmente utilizzato per prove di permeabilità vere e proprie, non associate ad altri tipi di determinazioni.

Le prove di permeabilità su provino triassiale costituiscono l'applicazione più interessante. La procedura di prova non si differenzia da quella di una comune prova triassiale nelle fasi iniziali di preparazione e saturazione e nella consolidazione. L'altezza del provino è in genere da 1.5 a 2 volte il diametro. La determinazione del coefficiente di permeabilità viene in genere condotta a diverse pressioni di consolidazione, corrispondenti a diversi indici dei vuoti. La singola determinazione viene in genere condotta mediante semplice iniezione di fluido dalla base o dalla testa del provino. Per prove in cui sia richiesta una particolare precisione, come ad esempio a scopo di ricerca, si usa in genere una procedura leggermente più complessa, con imposizione del flusso nei due sensi [OLSEN *et al.*, 1985].

La precisione delle determinazioni di permeabilità con il flusso controllato deriva principalmente dalla elevata qualità delle misure di pressione e del controllo delle portate. La possibilità di applicare gradienti modesti fa sì che il processo di filtrazione induca solo una moderata redistribuzione dei vuoti all'interno del provino, riducendo la differenza tra

indice dei vuoti medio e indice dei vuoti effettivo. Ciò consente di ridurre gli errori nella definizione del legame tra coefficiente di permeabilità e indice dei vuoti. Questa determinazione consente inoltre di eliminare alcuni problemi pratici come la crescita di batteri, nel corso di prove di permeabilità di lunga durata su materiali fini, o la contaminazione tra fluidi differenti a contatto nelle burette.

La rapidità della prova di permeabilità con controllo sulle portate è un altro aspetto estremamente importante sia per il laboratorio, che può aumentare considerevolmente la sua produttività senza diminuire la qualità delle determinazioni, sia per il progettista che può avere una considerevole quantità di dati attendibili in tempi ristretti. Ciò sembra estremamente interessante in progetti di discariche o di sistemi di tenuta, per i quali sono richieste in genere molte determinazioni del coefficiente di permeabilità.

BIBLIOGRAFIA

- AIBAN S.A., ZDINARCIC D. (1989) - *Evaluation of the flow pump and constant head techniques for permeability measurements*. Géotechnique, vol. XXXIX, n. 4.
- OLSEN H.W. (1965) - *Deviations from Darcy's Law in saturated clays*. Proc. Soil Sci. Soc. Am. 29, n. 2.
- OLSEN H.W. (1966) - *Darcy's Law in saturated kaolinite*. Water Resour. Res. 2, n. 6.
- OLSEN H.W., NICHOLS R.W., RICE T.L. (1985) - *Low gradient permeability measurements in a triaxial system*. Géotechnique, vol. XXXV, n. 2.
- PANE V., CROCE P., ZDINARCIC D., KO H.Y., OLSEN H.W., SCHIFFMANN R.L. (1983) - *Effects of consolidation on permeability measurements for soft clays*. Géotechnique, vol. XXXIII, n. 1.
- PANE V. (1985) - *Sedimentation and consolidation of clays*. Ph.D. Thesis, Department of Civil Engineering, University of Colorado, Boulder (Colorado).
- ZDINARCIC D., LIU J.C. (1989) - *Consolidation characteristics determination for dredged materials*. 10th Annual Conference of the Western Dredging Association, Tacoma (Washington).