



Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Roma



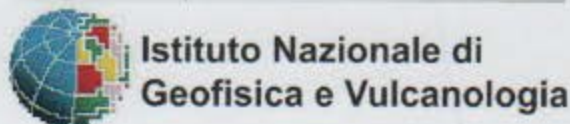
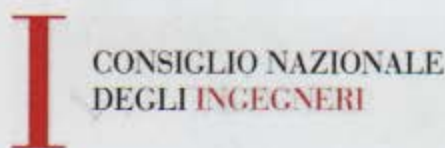
5° IAGIG

Incontro Annuale dei Giovani Ingegneri Geotecnici

22 e 23 Maggio 2015

Aula Magna, Università Europea,
Via degli Aldobrandeschi, 190 Roma

Patrocinato da:



CONFRONTO TRA PROVE BOUTWELL E PROVE DI PERMEABILITA' IN LABORATORIO

Luigi Tramonti (luigitramonti@gmail.com)

Ingegnere libero professionista

Fabio Garbin (fabio.garbin@geoplanning.it)

Geoplanning Servizi per il territorio S.r.l.

Francesca Tropeano (laboratorio@geoplanning.it)

Geoplanning Servizi per il territorio S.r.l.

Giovanni Caprioni (laboratorio@geoplanning.it)

Geoplanning Servizi per il territorio S.r.l.

Maurizio Scarapazzi (m.scarapazzi@geoplanning.it)

Geoplanning Servizi per il territorio S.r.l.

ABSTRACT

La caratterizzazione e la qualifica delle barriere argillose hanno come principale obiettivo la determinazione della conducibilità idraulica k . Tale grandezza può essere determinata sia mediante prove di laboratorio che in sito. Tra tutti i metodi di prova in sito (infiltrometri semplici e doppi, lisimetri, permeametri vari, ecc.) il Double Stage Boutwell Permeameter (TSB) è l'unico che permette di misurare separatamente le due componenti della conducibilità idraulica, verticale ed orizzontale, mentre gli altri metodi indagano prevalentemente la filtrazione in direzione verticale, fornendo indicazioni incomplete e non cautelative nella progettazione dei manti. La prova TSB è stata realizzata appositamente per barriere con permeabilità $1 \cdot E-10$ m/s o inferiori ed è normata dalla ASTM D6391. Nel presente articolo si pone attenzione al confronto tra la prova TSB e la prova di conducibilità idraulica in edometro.

1. Introduzione

Una limitazione generale e importante delle prove di permeabilità in sito consiste nell'impossibilità di definire il contributo della componente verticale da quella orizzontale. Come è noto questi test sono influenzati dall'anisotropia idraulica del terreno: sperimentalmente è stato osservato che se il flusso orizzontale non è impedito, l'effetto è quello di incrementare da 2 a 5 ordini di grandezza il valore di k_v (Boutwell, 1992). Il TSB al contrario, grazie alla possibilità di variare la geometria di filtrazione nella prova (Figura 1), può determinare separatamente la conducibilità in direzione sia verticale (Fase 1) che orizzontale (Fase 2) partendo dalle misure in sito e completando l'analisi mediante un modello analitico derivato da Hvorslev (Boutwell, 1992).

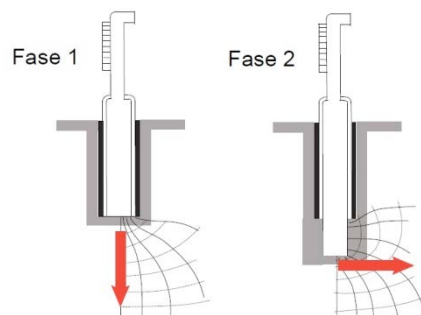


Figura 1. Schema di infiltrazione e direzione del flusso.

L'analisi dei risultati è sviluppata sulle equazioni di Hvorslev, adattate a diverse condizioni al contorno, mediante la tecnica del potenziale immagine (Carslaw & Jaeger, 1959) basata sulle seguenti ipotesi: terreno omogeneo e saturo, mezzo filtrante indefinitamente esteso in orizzontale, ecc.

La prova normalmente, ma non esclusivamente, viene eseguita a carico variabile poichè in tali condizioni essa trova un'importante applicazione su terreni a bassa conducibilità idraulica.

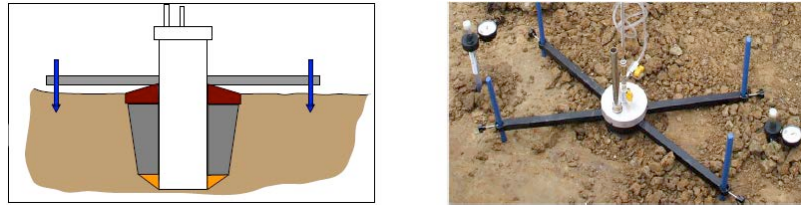


Figura 2. Schema di installazione.

2. Confronto delle prove in sito e in laboratorio

Da studi pregressi (Daniel, 1989) emerge che le prove di permeabilità in sito sono considerate più affidabili, quindi il loro valore più attendibile, rispetto alle prove di laboratorio. Questa affidabilità è data soprattutto dal volume coinvolto, 100 volte maggiore rispetto a quello di un provino triassiale e circa 200 volte rispetto ad un provino edometrico. Le prove di laboratorio eseguite su piccoli provini dipendono fortemente dalla microstruttura del campione; i risultati sono influenzati quindi maggiormente dalla granulometria del terreno piuttosto che dalla loro compattazione. Al contrario le prove in sito risentono della macrostruttura del terreno indagato, potendo quindi dare informazioni sulle giunture degli strati. Ipotizzando una barriera impermeabile con strati compattati ogni 20 cm, il TSB può indagare, creando una geometria di infissione adatta, 1 o 2 giunture simultaneamente. Un'altra differenza è che le prove in laboratorio avvengono secondo condizioni al contorno imposte, mentre le prove in sito risentono delle variazioni ambientali effettive del luogo. E' stato inoltre osservato che, se le prove di laboratorio sono eseguite su campioni di ottima qualità, si possono ottenere risultati confrontabili con le prove TSB per quanto inerente la permeabilità verticale. Al contrario la misura della conducibilità idraulica in direzione orizzontale non può prescindere dall'analisi dei giunti interstrato:

3. Caso studio

Il presente articolo espone i risultati provenienti da una campagna di indagine eseguita su un manto impermeabile, costituito da limi ed argille (passante al n° 200 compreso tra 85 - 95 %) inattive (Indice Plastico compreso tra 25 - 30 %) e compattato per strati di 0.2 m, costituente la barriera di fondo di una discarica per rifiuti non pericolosi. Su tale strato sono state eseguite n° 3 prove Boutwell e n° 20 prove di permeabilità in edometro. Quest'ultime, data la natura coesiva del materiale, sono state svolte con modalità a carico variabile su campioni prelevati in dieci verticali a differenti profondità. In riferimento al parametro di conducibilità idraulica, e solo a scopo esemplificativo, si mostrano i risultati di due prove eseguite su campioni prelevati alle quote di esecuzione delle due fasi della prova Boutwell. Nel dettaglio quindi la permeabilità del campione più superficiale, prelevato a circa 0.3 m dal piano finito, è stata studiata in laboratorio in direzione verticale (Figura 3) mentre l'altro campione, prelevato a circa 0.5 m e corrispondente alla quota della seconda fase di prova, in direzione orizzontale (Figura 3).

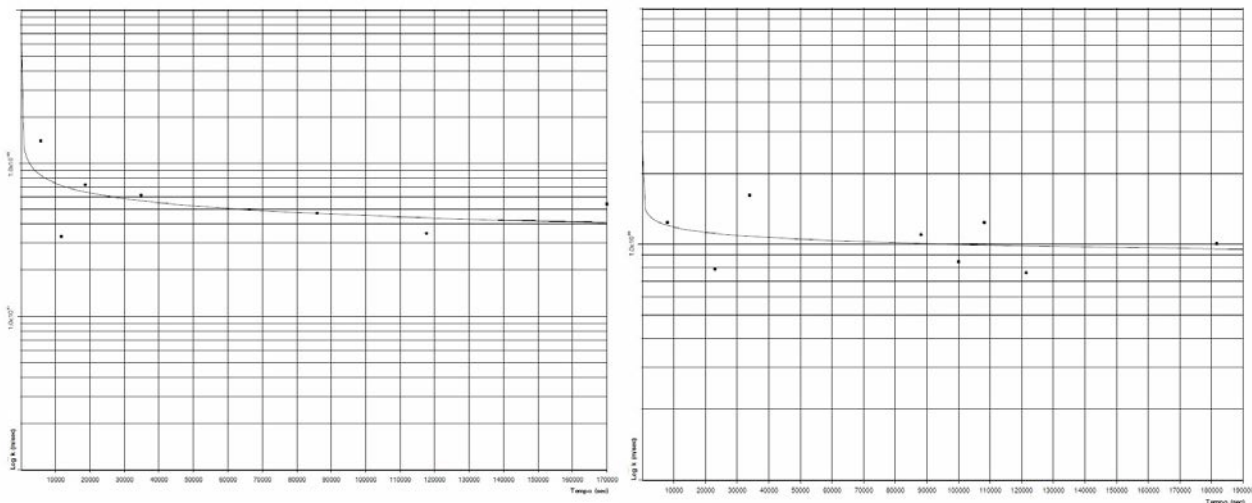


Figura 3. Curve di permeabilità in edometro in direzione verticale (destra) e orizzontale (sinistra).

Per confronto si riportano in Figura 4 i trend misurati nelle due fasi della prima prova Boutwell; si sottolinea che k_1 e k_2 non corrispondono a k_v e k_h ma sono comunque ad essi proporzionali secondo la teoria della prova. La scelta di visualizzare i risultati di questo specifico test è ancora una volta puramente didattica ed esemplificativa dell'andamento tipico di queste prove su terreni fini.

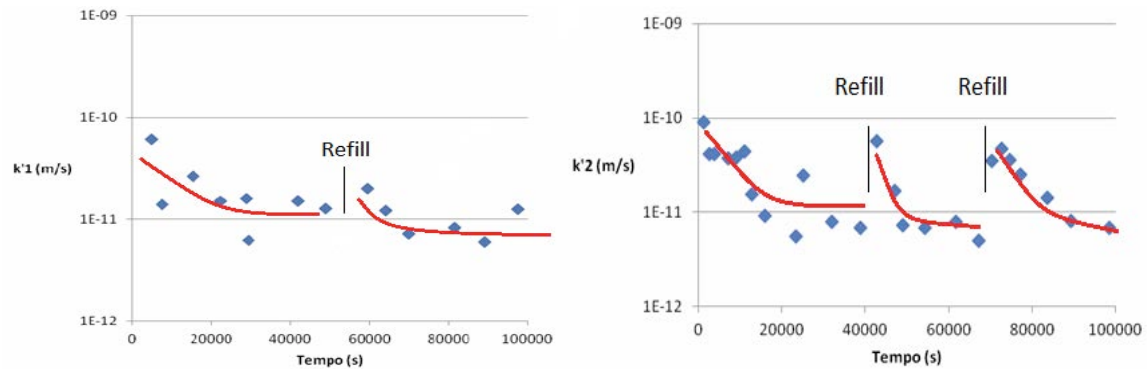


Figura 4. Curve di permeabilità in TSB in direzione verticale (destra) e orizzontale (sinistra).

La saturazione, come si evince dai grafici delle prove TSB ed in particolare dalla Fase 1, necessaria per l'ipotesi di mezzo saturo e stazionarietà dei flussi, è stata raggiunta in circa 48 ore congruamente con i dati di laboratorio in cui un provino circa 100 volte più piccolo del volume di terreno interessato dalla prova in sito evidenzia un tempo di stabilizzazione di compreso tra 24 e 36 ore. E' importante sottolineare che in questo caso sperimentale i campioni di laboratorio presentavano un Grado di Saturazione prossimo all'unità e pertanto si comprende che nel caso di terreni non saturi il processo di "stazionarietà" del flusso si riscontrerebbe solo per tempi maggiori. Da questa prima osservazione si può ricavare una prima importante conferma: le prove di permeabilità, sia in sito che in laboratorio e soprattutto su terreni coesivi, necessitano di tempi di prova medio-lunghi.

Analizzando invece i trend in laboratorio ed in sito si nota che la maggior parte delle prove di permeabilità in edometro, mostrano una tendenza asintotica con limitate oscillazioni al suo intorno. In sito, al contrario, sono presenti oscillazioni più marcate soprattutto nel caso delle misure di permeabilità orizzontale. Tale evidenza potrebbe essere dovuta alla eterogeneità della macrostruttura del terreno che influenza il reticolo di filtrazione modificandone nel tempo la velocità. Le oscillazioni sarebbero quindi dipendenti dall'irregolarità e dalle dimensioni del fronte umido che risultano maggiori nella Fase 2 di Boutwell. Di contro le dimensioni limitate del provino di laboratorio favoriscono in generale una maggiore omogeneità del materiale di prova e pertanto le suddette oscillazioni risultano dipendere essenzialmente dai vuoti intergranulari.

4. Conclusioni

Nella Tabella 1 i risultati delle prove di permeabilità in edometro considerate in questo studio, che si ricorda essere state scelte in quanto in generale rappresentative di tutta la campagna d'indagine, sono confrontate con i valori di conducibilità ottenuti dalle prove Boutwell.

Prova Boutwell	K_v (m/s)	K_h (m/s)	m
1	1,5E-11	5,2E-11	1.8
2	3,8E-12	3,9E-10	10
3	1,3E-11	4,0E-8	55
Prove di laboratorio	3.2E-11	9.8E-11	3.0

Tabella 1. Riassunto dei risultati delle prove.

Da tale confronto emerge la notevole congruenza tra i dati ottenuti in laboratorio e quelli della prova Boutwell n° 1. Ciò potrebbe essere giustificato in quanto la prova in sito è stata realizzata su una porzione di manto, con giunti ben compattati e chiusi, idraulicamente omogenea ($m = 1.8$) analogamente a quanto accade, come suddetto, normalmente nei provini di laboratorio. Al tempo stesso si nota che all'aumentare dell'anisotropia idraulica i valori di k_v e k_h cominciano a divergere in modo sensibile (prova Boutwell n° 2 – $m = 10$) fino a non risultare neppure confrontabili tra loro (prova Boutwell n° 3 – $m = 55$). E' stato comunque osservato che il valore della permeabilità verticale, rappresentativa sempre della microstruttura e poco o nulla della discontinuità macrostrutturale, delle prove in sito sia risultato comunque in linea con i valori delle prove in laboratorio.

Nel caso in esame i risultati di tale studio hanno suggerito di procedere ad un'analisi visiva del manto; tale indagine ha effettivamente mostrato problematiche nella procedura di stesa e di compattazione, in quanto eseguite su blocchi di terreno eccessivamente grandi piuttosto che su materiale idoneamente fresato. In questo caso si comprende che un giudizio complessivo del manto che si fosse basato solo su prove di laboratorio, sarebbe stato errato in quanto i valori di conducibilità idraulica in direzione orizzontale, ottenuti più correttamente da prove in sito, sono risultati non accettabili dalla normativa cogente. Da ciò si può affermare che nella realizzazione di barriere idrauliche, a prescindere dalla fase operativa (studio preliminare tramite campo prova, controllo durante la realizzazione o collaudo), sia sempre necessario integrare lo studio in laboratorio con prove in sito. Il primo risulta infatti sicuramente idoneo per la definizione delle caratteristiche microstrutturali tipiche del materiale impiegato, mentre le prove in sito risultano determinanti per indagare i caratteri macrostrutturali, in relazione a discontinuità o problematiche particolari di compattazione. Inoltre si ritiene non superfluo sottolineare l'importanza di una idonea durata delle prove, sia in laboratorio che in sito, in relazione al materiale impiegato. Un'attenzione particolare deve essere rivolta alle prove in sito che potrebbero interdire l'area in studio ai lavori di cantiere per un tempo indicativamente compreso tra 5 e 8 giorni. La realizzazione delle prove in sito è stata supportata da un'analisi della suzione del terreno mediante l'applicazione di alcuni tensiometri inseriti nel volume di prova. Ciò ha permesso di correggere talvolta anche in modo sensibile i dati misurati in quanto la condizione di saturazione nell'intorno del fronte umido, a differenza delle prove in laboratorio, non è verificata. Il potenziale di suzione (pressione negativa), che si sviluppa in un mezzo insaturo e con valori maggiori nei terreni fini, tende a far aumentare la velocità del flusso dell'acqua. Come conseguenza il fenomeno comporta una sovrastima della conducibilità idraulica che deve essere oggetto, mediante installazione di un certo numero di tensiometri, di valutazione ed eventuale correzione.

5. Bibliografia

- A.S.T.M.:D6391 (1999), *"Field measurement of hydraulic conductivity limits of porous materials using Two Stages of infiltration from a borehole"*.
- Boutwell G.P. (1992), *"The STEI Two-Stage Borehole field Permeability Test"*. Geotechnical Committee Houston Branch, ASCE: Containment liner Technology and Subtitle D, March 12, Houston, Texas (US).
- Boutwell G.P., Derick R.K. (1986), *"Groundwater protection for sanitary landfills in the saturated zone"*. Proc. NWWA Waste – Tech '86, Chicago.
- Caslaw H.S., Jaeger J.C. (1959), *"Conduction of heat in solids"*. 2nd ed., Oxford University Press, London, UK.
- Cianci S., Garbin F., Napoleoni Q., Scarapazzi M., Tramonti L. (2014), *"Il permeometro di Boutwell"*. N. 3-2014 Geologia Tecnica & Ambientale, quadrimestrale dell'Ordine Nazionale dei Geologi
- Daniel D.E. (1989), *"In situ Hydraulic conductivity tests for compacted clay"*. Journal of Geotechnical engineering , ASCE, Vol. 115, N. 9, Sept. 1989, pp.1205-1226.
- Daniel D.E. (1994), *"State of art: Laboratory Hydraulic Conductivity Test for Saturated Soils"*. Hydraulic Conductivity and Waste Contaminant Transport in Soil, ASTM STP 1142, David E. Daniel and Stephen J. Trautwein Eds., American Society for testing and Materials, Philadelphia (US).
- Hvorsel J. (1951), *"Time lag and soil permeability in ground water observations"*. Bulletin No. 36, USA/COE WES Vicksburg, MS.
- Trautwein S.J., Boutwell G.P. (1994), *"In situ Hydraulic Conductivity tests for compacted soil liners and caps"*.