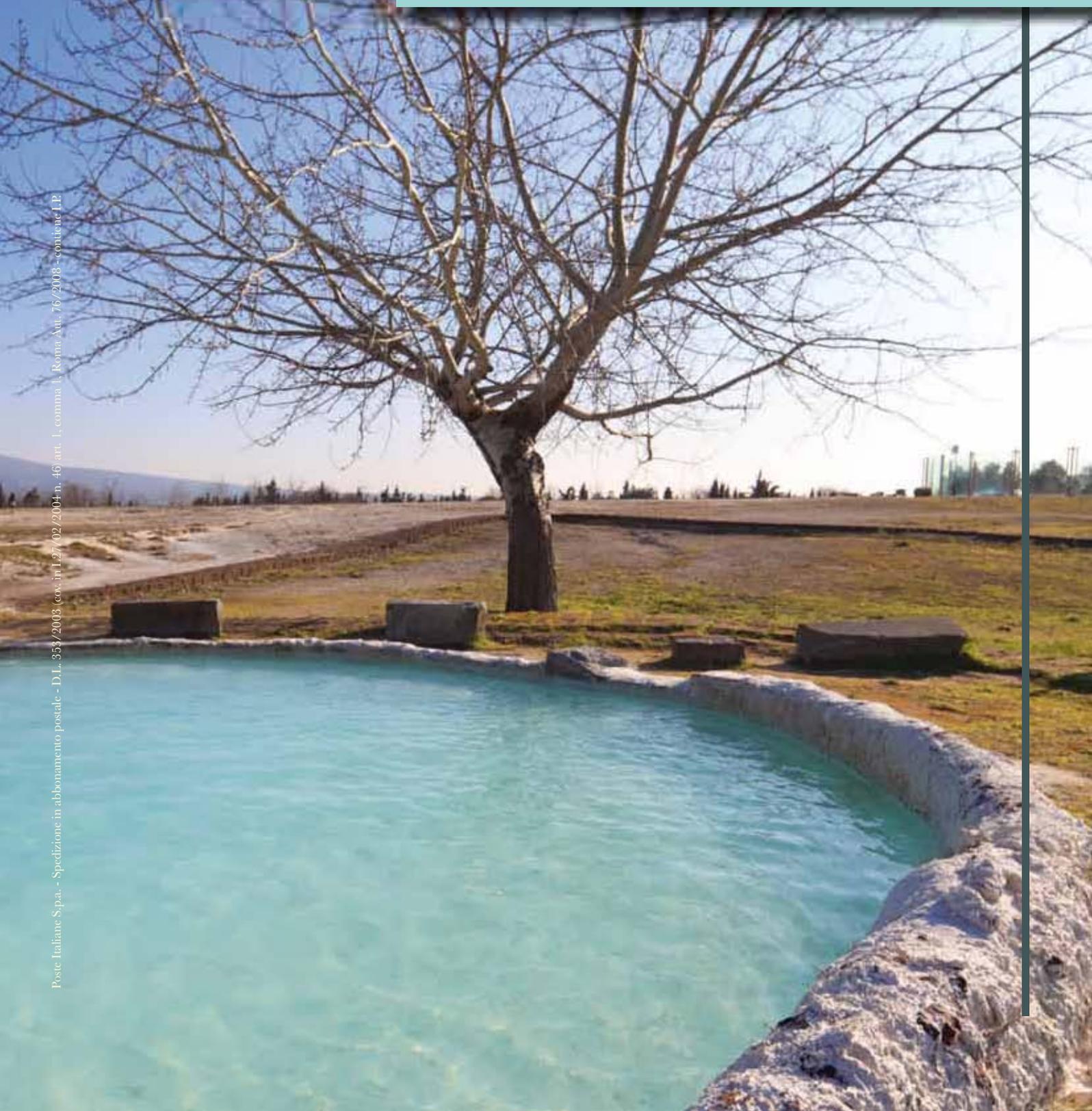


PROFESSIONE GEOLOGO

Notiziario dell'Ordine dei Geologi del Lazio

OTTOBRE 2011

NUMERO 29



PERMEAMETRO BOUTWELL

GIOVANNI CAPRIONI

Geologo, Tecnico sperimentatore Geoplanning Servizi per il Territorio S.r.l.

giovanni.caprioni@geoplanning.it

QUINTILIO NAPOLEONI

Ingegnere, Direttore Tecnico E&G S.r.l.

q.napoleoni@eandg.it

LUIGI TRAMONTI

Ingegnere, Libero professionista

luigitramonti@gmail.com

FABIO GARBIN

Geologo, Libero professionista

vicepresidente@geologilazio.it

MAURIZIO SCARAPAZZI

Geologo, Direttore di laboratorio Geoplanning Servizi per il Territorio S.r.l.

m.scarapazzi@geoplanning.it

I manti di impermeabilizzazione, così come definiti nei D.lgs. n. 152/2006 e dal D.lgs. n. 36/2003, hanno lo scopo di isolare i rifiuti dall'ambiente circostante e prevenire così la fuoriuscita dei contaminanti liquidi e gassosi. Questi sistemi sono barriere composte, in generale, da terreno disposto a strati (argilla) e materiale sintetico come i manti polimerici (geomembrane). Nelle discariche i manti si distinguono in manti di fondo e manti di copertura.

Il rischio principale delle discariche è l'inquinamento delle acque di falda, poiché l'interazione dei liquidi generati dalla decomposizione dei rifiuti, incrementati anche con l'eventuale infiltrazione delle acque meteoriche, forma il percolato. Questo può migrare all'esterno del corpo dei rifiuti, attraverso i sistemi barriera, fino a raggiungere le acque di falda. Per tale motivo il parametro geotecnico più importante per i manti argillosi è la conducibilità idraulica, la quale governa l'efficacia della barriera. La conducibilità idraulica è spesso misurata con prove di laboratorio su provini di piccole dimensioni estratti dalle barriere, ma l'esperienza ha dimostrato come la conducibilità in sito è sostanzialmente un parametro più affidabile in quanto le prove testano la macrostruttura del terreno influenzando volumi nettamente maggiori. Ciò è particolarmente importante nei manti argillosi costruiti artificialmente perché la stessa tecnica costruttiva (compattazione per strati) può determinare una forte anisotropia della barriera finita.

La permeabilità in sito su terreni a bassa permeabilità può essere ottenuta con diversi metodi; lo studio condotto in questo lavoro mostra come l'uso del Double Stage Boutwell Permeameter (TSB) rappresenta, ad oggi, la migliore tecnologia per una valida caratterizzazione della permeabilità delle barriere e una semplice valutazione dell'efficacia delle tecniche costruttive.

L'efficacia del metodo risiede nella possibilità di modificare nel corso della prova la geometria dell'area di assorbimento, ciò consente di studiare il

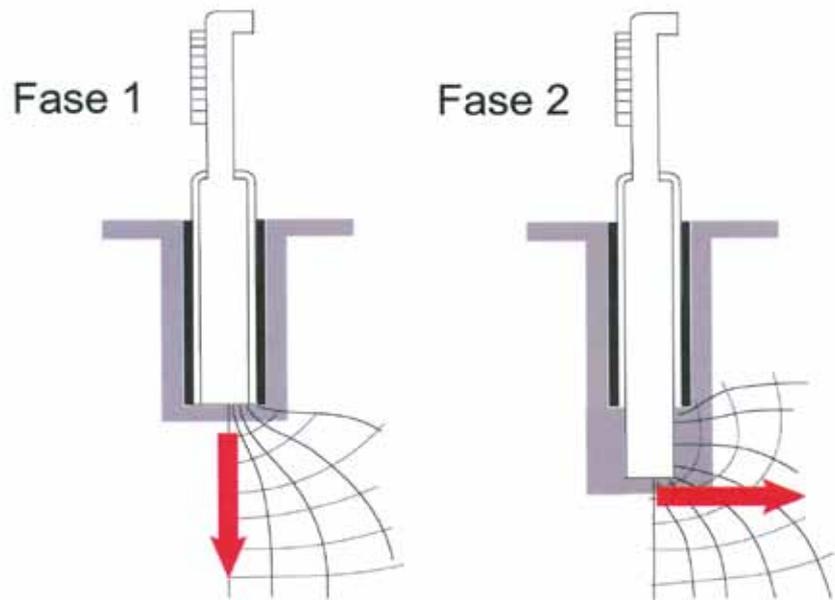


Fig. 1 Geometria di filtrazione nelle due fasi

comportamento della barriera rispetto sia alla filtrazione verticale sia alla filtrazione orizzontale (Fig. 1). Il rapporto di "anisotropia" che si ricava è un importante indice sulla qualità della messa in opera del materiale argilloso. Inoltre, la prova può essere eseguita su una barriera di prova costruita usando gli stessi materiali e tecniche costruttive della barriera definitiva (campo prove), verificando in tal modo se, con i materiali scelti e le tecniche di messa in opera adottate, gli standard normativi per la conducibilità idraulica siano raggiunti (Fig. 2).

METODOLOGIE

Per la misura della permeabilità in sito su manti di impermeabilizzazione, le prove più diffuse sono:

- 1 infiltrometro a singolo anello aperto o chiuso (O/SSRI);
- 2 infiltrometro a doppio anello aperto o chiuso (O/SDRI).

Nel loro complesso le prove O/SSRI e O/SDRI permettono di investigare grandi volumi di terreno, ma l'analisi è soggetta

a incognite che possono causare errori non trascurabili, come ad esempio le variazioni termiche nell'acqua o nello strumento e la valutazione dell'avanzamento del fronte umido che è soggetta all'impiego di tensiometri nel terreno con le ben note notevoli difficoltà nel loro uso. Un'altra limitazione importante di queste prove è l'impossibilità di distinguere il contributo alla permeabilità misurata della componente verticale e di quella orizzontale.

Infatti, tutti i test in sito sono ovviamente influenzati dall'anisotropia del terreno e, come è noto, se il flusso orizzontale non è impedito, l'effetto è di incrementare da 2 a 5 ordini di grandezza il valore reale di k_v . Per questa ragione, grazie alla possibilità di variare la geometria di filtrazione, la prova TSB può essere utilizzata per terreni naturali o compattati che hanno una conducibilità idraulica uguale o minore a 1×10^{-6} m/s, assumendo una filtrazione tridimensionale nella quale sia la conducibilità verticale che orizzontale sono determinate separatamente. Si può

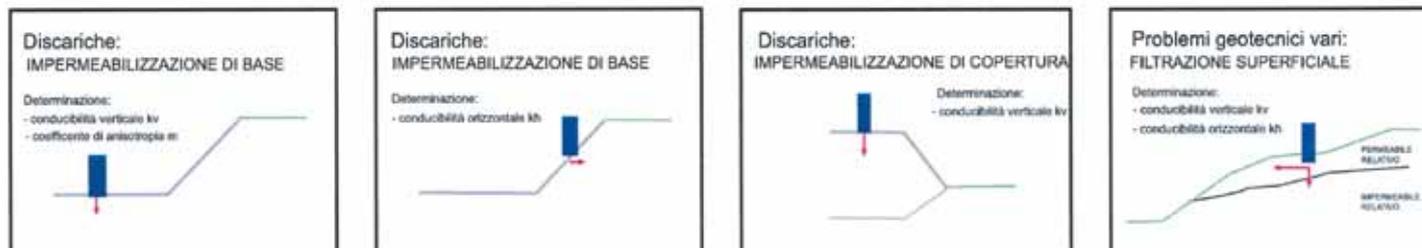


Fig. 2 Esempi di casi applicativi

dimostrare come questi valori ottenuti siano rispettivamente il valore massimo possibile della permeabilità in direzione verticale e il valore minimo possibile della permeabilità in direzione orizzontale (Boutwell, 1992). I valori reali sono poi ottenuti mediante un modello analitico abbastanza complesso (Boutwell, 1992).

La prova TSB è standardizzata attraverso la norma ASTM 6391 "Standard Test Method for Field Measurement of Hydraulic Conductivity of Porous Materials Using Two Stages of Infiltration from a Borehole". Nel corso degli anni sono state messe in luce una serie di limitazioni che la strumentazione originaria mostrava ed è stato sviluppato un nuovo tipo di permeametro che, pur nel rispetto del procedimento analitico di interpretazione e dell'impostazione generale della prova, ha consentito di migliorare sensibilmente sia l'assemblaggio della strumentazione sia la sua messa in opera.

L'analisi dei risultati è basata sull'equazioni di Hvorslev adattate a diverse condizioni al contorno con la tecnica del potenziale immagine (Carslaw & Jaeger 1959) con le ipotesi:

- 1 Terreno omogeneo
- 2 Pressione neutra nulla alla base del permeametro (nella fase 1) e al centro della parete del foro di approfondimento (nella fase 2)
- 3 Rigonfiamento completo al termine della prova
- 4 Mezzo indefinitamente esteso in orizzontale

ATTREZZATURE NECESSARIE PER ESEGUIRE UNA PROVA TSB

Attrezzatura di scavo - Deve permettere di avanzare il foro fino alle profondità desiderate. Normalmente è utilizzata una trivella.

Casing - È a tenuta stagna e in acciaio con diametro interno 10 cm, mentre nella parte superiore sono presenti gli elementi di connessione con l'apparato superiore. Ogni connessione è a tenuta stagna.

Apparato superiore - È composto da un tappo di acciaio avvitato al casing. È attrezzato con un sistema di controllo dei flussi. Solo per il TEG l'apparato superiore è provvisto di un alloggiamento per il termometro.

Sigillante anulare - Di solito è utilizzata la bentonite per sigillare lo spazio tra le pareti del foro e quelle del casing. Ma questo materiale può dare qualche problema di suzione alterando le misure.

Sistema del controllo dei flussi - È realizzato con componenti per la regolarizzazione dei flussi.

Buretta - È in PVC trasparente e graduate con risoluzione di 1 mm.

Sistema termico - È un termometro per la misura della temperatura dell'acqua durante le fasi della prova, le sue componenti devono avere una lunghezza tale da raggiungere la parte inferiore del TEG.

TEG - È un altro permeametro, identico al primo, ma avente la parte inferiore chiusa. La temperatura dell'acqua e l'effetto volumetrico delle variazioni termiche sul livello di acqua nella buretta sono entrambi monitorati dal TEG. Le fluttuazioni del TEG sono utilizzate per correggere le registrazioni poiché le fluttuazioni del livello dell'acqua nelle burette causate da variazioni termiche non possono essere attribuite ai flussi. Il problema delle variazioni termiche è molto pronunciato quando si usano diametri delle burette molto piccoli in terreni con conducibilità idraulica di 5×10^{-10} m/s o meno.

PROCEDURA D'INSTALLAZIONE

Ogni step deve essere eseguito con cura per ridurre il disturbo del terreno.

Inizialmente si scava un foro con un diametro di 30 cm (più grande del diametro del casing, circa 10 cm, in quanto deve contenere il sigillante tra l'infiltrometro e le pareti del foro) fino ad una profondità adeguata, poi si sigilla il permeametro nel terreno. Lo si inserisce sul fondo parallelo all'asse del foro e centrale. Il livello

inferiore del foro deve essere piano, libero da residui di scavo e non eccedente troppo il diametro del permeametro.

Al termine di questa fase il casing viene riempito d'acqua facendola defluire al suo interno ponendo attenzione a non erodere il terreno sul fondo del permeametro. È inoltre importante, in ogni stage, assicurarsi che non ci siano bolle d'aria intrappolate sotto l'apparato superiore o nel sistema dei flussi; lo spurgo dell'aria avviene attraverso una valvola.

Una volta che il casing è impostato e sigillato la prima fase può iniziare. Nello stage 1 il flusso in direzione orizzontale è minimo, per massimizzare l'effetto della filtrazione verticale, mentre nel secondo, data la forma allungata della camera di filtrazione, è massimo per esaltare l'influenza della filtrazione orizzontale. Ogni registrazione riporta la data, il tempo in cui è effettuata la misura, la lettura corrispondente alla parte inferiore del menisco dell'acqua nella buretta del permeametro e del TEG e la temperatura dell'acqua del TEG. La frequenza delle letture dipende dall'andamento del test. Quando il livello della buretta diventa troppo basso è possibile eseguire il refill allo stesso modo di come la buretta è riempita inizialmente e continuare nelle misure.

Il primo stage è considerato completo quando si raggiungono le condizioni stazionarie.

Nel secondo stage il foro è approfondito senza rivestimento per circa 1 o 2 volte il diametro del permeametro per massimizzare l'effetto del k_h (permeabilità orizzontale), poi il casing è ricollmato d'acqua e le misure azzerate per la fase 2. Nelle vicinanze del permeametro può essere installato un tensiometro per la misura della suzione in quanto questa, comportandosi come un carico idraulico aggiuntivo rispetto alla misura dei livelli nella buretta, può sovrastimare la permeabilità modificando anche il rapporto tra k_v/k_h .



Fig 3 Dettaglio. Affinché le geometrie siano rispettate è necessario porre cura all'installazione.

CONCLUSIONI

Questo test permette la misura separata della conducibilità idraulica verticale e orizzontale; in tal modo è possibile stimare il coefficiente di anisotropia e ricavare una valutazione attendibile anche sull'efficacia della metodologia di messa in opera degli strati argillosi. Ad esempio se la permeabilità orizzontale è più grande di 4-5 volte quella verticale, anche se quest'ultima è sufficientemente bassa, gli strati compattati non sono chiusi correttamente e questo può rappresentare una via di fuga dell'acqua attraverso la stratificazione. Il test è particolarmente suscettibile alla geometria della barriera impermeabile, quindi rappresenta un valido strumento per l'individuazione di situazioni che possono generare punti deboli al sistema di confinamento dei rifiuti. Il numero delle prove necessario dipende dalle dimensioni dell'area in esame. Ogni prova richiede approssimativamente un'area di 4x4m e le prove non dovrebbero essere posizionate ad una distanza inferiore a 40 volte il diametro del casing.

Boutwell e Derick (1986) affermano che l'affidabilità dei risultati e i valori di permeabilità determinati con questa prova sono paragonabili a quelli eseguiti in laboratorio su campioni di ottima qualità, ma più rappresentativi in quanto eseguiti su un volume 100 volte maggiore di un provino triassiale.



Fig 4 Strumentazione fissata. Si noti il TEG sul fondo e i due tensiometri posti alle profondità della fase 1 e 2.

BIBLIOGRAFIA

A.S.T.M.:D6391-99; "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);

Daniel, D.E. (1989), "In situ Hydraulic conductivity tests for compacted clay". Journal of geotechnical engineering , ASCE, Vol. 115, No. 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.

GeoTesting Express Corporation, (1998); "The Two-Stage Borehole Test for Clay Liners", sito internet della GeoTesting Express Corporation: www.geotest.com, Boxborough, Massachusetts (US);

Trautwein S.J., Boutwell G.P., (1994); "In situ Hydraulic Conductivity tests for compacted soil liners and caps", 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);