

RITENZIONE IDRICA DI UN GEOMATERIALE A DOPPIA POROSITÀ

Marco Caruso, Donatella Sterpi
Dipartimento di Ingegneria Strutturale – Politecnico di Milano
caruso@stru.polimi.it, sterpi@stru.polimi.it

Sommario

La presente nota illustra le attrezzature impiegate e i risultati sperimentali ottenuti nel corso di una campagna sperimentale per la determinazione della curva di ritenzione idrica della perlite espansa. I risultati possono costituire una base di riferimento per un ulteriore contributo nel campo dello studio dei materiali a doppia porosità, sia sugli aspetti idraulici che sugli aspetti meccanici. Infatti, l'origine della doppia porosità, legata alla struttura del grano e non alla presenza di aggregati, sembra consentire la preparazione di campioni aventi caratteristiche di micro-scala che non dipendono dalle procedure adottate.

Introduzione

I terreni naturali e compattati possono presentare una struttura di tipo bimodale, ovvero è possibile identificare la compresenza di due sistemi di porosità aventi dimensioni caratteristiche differenti. Nella maggior parte dei casi, l'origine di tale configurazione è riconducibile al fatto che il terreno è costituito da un insieme di aggregati di grani solidi di piccole dimensioni (generalmente limo e argilla): il singolo aggregato è caratterizzato da un sistema di microporosità, o porosità intra-aggregato, mentre tra un aggregato e l'altro i vuoti (di dimensioni maggiori) costituiscono il sistema inter-aggregato. Numerosi lavori in letteratura hanno evidenziato e discusso gli effetti di tale configurazione sulla risposta idraulica e meccanica del terreno (di cui una sintesi è proposta in Tarantino, 2010), con riferimento, nella maggior parte dei casi, a terreni costipati in laboratorio.

In questo contesto, un'ulteriore condizione di osservazione di una struttura bimodale è rappresentata dalla possibile presenza di un sistema di vuoti quale parte integrante dei grani solidi. La perlite espansa è stata individuata come materiale che risponde a tale caratteristica. La perlite è una roccia vulcanica effusiva di colore variabile tra il grigio e il rosa, compresa nella categoria delle rioliti e delle daciti, ed è classificabile dal punto di vista chimico-fisico come vetro siliceo. La perlite espansa viene originata riscaldando a temperature comprese tra gli 850 e i 1000 °C la perlite preventivamente frantumata: la rapida espansione dell'acqua rimasta confinata nella roccia (per effetto del repentino raffreddamento in fase di fuoriuscita del magma) crea all'interno del grano un sistema di vuoti, alcuni dei quali interconnessi tra loro e con l'esterno. Tale struttura porosa è chiaramente evidenziata dalle rilevazioni mediante microscopio a scansione elettronica (fig. 1).

Nella presente comunicazione vengono presentati alcuni risultati di una campagna sperimentale, tutt'ora in corso, relativi ad alcune prove di classificazione e di caratterizzazione del comportamento idraulico in condizioni non sature (curva di ritenzione idrica) di campioni di perlite compattati in laboratorio. L'interesse nei confronti dello studio di questo tipo di geomateriale è legato sia alla possibilità di offrire un contributo nel campo della comprensione del comportamento idraulico e meccanico dei mezzi porosi che

presentano una doppia struttura, sia per gli stessi impieghi della perlite che può essere utilmente adoperata per la realizzazione di elementi di filtranti o di drenaggio, per il suo impiego come copertura superficiale del terreno o per il suo utilizzo nel campo dell'edilizia.

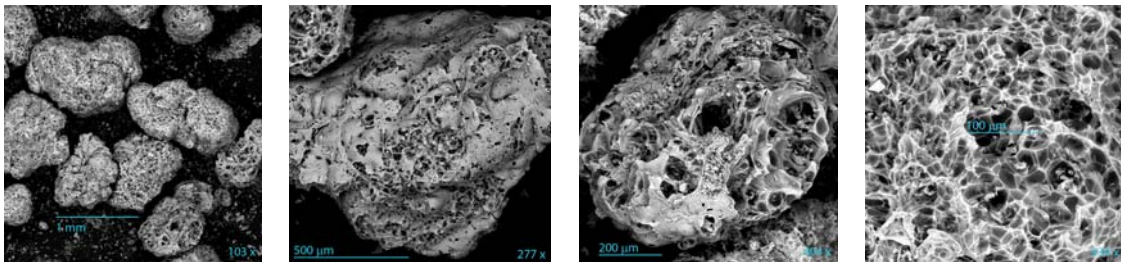


Figura 1. Immagini SEM del grano di Perlite (da Perlite Italiana, 2011), ove si evidenzia, all'aumentare del livello di ingrandimento, il sistema di pori che caratterizza il singolo grano.

Le tecniche per la determinazione della curva di ritenzione idrica

L'estrattore di volume

La determinazione della curva di ritenzione idrica con tecnica della traslazione degli assi è avvenuta mediante l'impiego di estrattori di volume (Richards, 1941) prodotti dalla Soilmoisture® e correntemente indicati con la dicitura modello 1250. Gli estrattori sono equipaggiati con pietre porose HAEV aventi valore di entrata dell'aria pari 500 kPa permeabili agli eventuali sali disciolti (misura della componente di matrice della suzione)

La strumentazione di base fornita dalla ditta costruttrice è stata integrata e completata con una serie di accessori dedicati alla risoluzione o alla mitigazione di alcuni problemi sperimentali che possono insorgere nell'esecuzione di questo tipo di prove, sviluppando ulteriormente quelli proposti da Caruso (2007). In particolare sono stati sviluppati sistemi per migliorare il controllo della regolazione della pressione applicata, per ridurre la possibilità di formazione di bolle d'aria nel circuito di misura dei volumi d'acqua scambiati e per rimuovere con maggiore facilità (*flushing*) quelle che eventualmente si formano in corso di prova, per incrementare la precisione del dato sperimentale rilevato e per introdurre la possibilità di effettuare rilevazioni sia con maggiore frequenza (quando necessario) che con maggiore continuità durante l'intero corso della prova.

Le prove sono effettuate su provini cilindrici aventi diametro 80 mm e altezza 15 mm, avendo cura di coprire la porzione di pietra porosa non a contatto con il campione così da prevenire un eventuale passaggio dell'acqua che si potrebbe condensare sulla stessa.

La carta da filtro

Le determinazioni in estrattore di volume sono state integrate mediante prove con carta da filtro. Per ogni campione (fig. 2) la misura è stata effettuata ponendo la carta da filtro a contatto (misura della suzione di matrice) e non a contatto con il campione (misura della suzione totale). La misura "a contatto" è stata effettuata racchiudendo un foglio di carta da filtro tra le due metà di un campione cilindrico confinato lateralmente mediante anelli appositamente realizzati. La

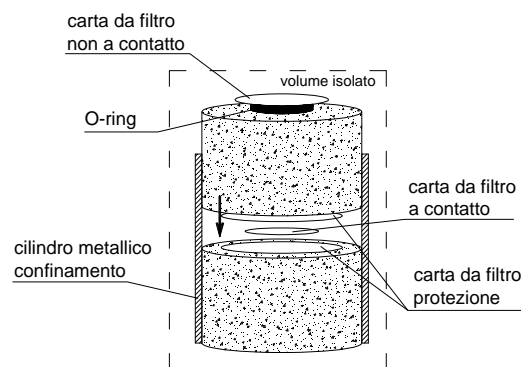


Figura 2. Configurazione adottata nell'esecuzione delle misure con carta da filtro.

misura “non a contatto” è stata effettuata interponendo un o-ring tra la base superiore del campione e la carta. Inoltre la carta in contatto è stata ulteriormente protetta inserendola tra ulteriori due fogli identici. Tale accorgimento al fine di prevenire l’eventuale deposito di frazione fine che potrebbe introdurre errori sulla successiva determinazione del contenuto in acqua o il danneggiamento in fase di inserimento e rimozione (Bulut et al., 2001).

La carta utilizzata è la Whatman n° 42, opportunamente calibrata impiegando la tecnica della tensione di vapore, implementata con soluzioni di KCl a differente concentrazione. Il risultato della calibrazione, confrontato con una serie di proposte di letteratura (Muñoz-Castelblanco et al., 2010, Cumbers et al., 2008), è riportato in figura 3. Nella stessa figura è riportato il campo di misura che si è ritenuto opportuno adottare.

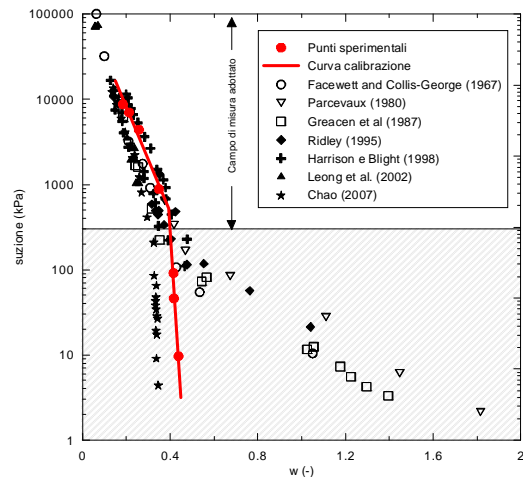


Figura 3. Calibrazione della carta da filtro e confronto con dati di letteratura.

Il materiale utilizzato e la preparazione dei campioni

I campioni sono stati preparati impiegando la perlite Peralit 13 (Perlite Italiana S.p.A.), avente caratteristiche granulometriche, ottenute tramite setacciatura, riportate in figura 4. La determinazione è stata effettuata su due campioni al fine di valutare l’eventuale frammentazione dei grani, che può facilmente avvenire anche a seguito del semplice maneggiamento.

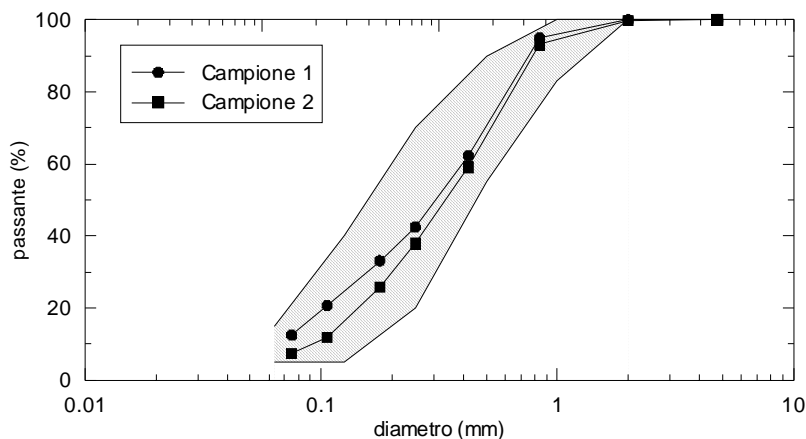


Figura 4. Curva granulometrica determinata sperimentalmente per la Perlite impiegata e fuso granulometrico di riferimento ricavato dalla scheda della casa produttrice (Perlite Italiana, 2011)

Sullo stesso materiale è stata inoltre eseguita la determinazione del peso specifico dei grani (secondo ASTM D854), sia prelevando un campione del materiale così come fornito, sia sulla frazione passante al setaccio ASTM n° 80 (0.177 mm) di un ulteriore campione preventivamente destrutturato mediante azione meccanica manuale. Sono stati rispettivamente ottenuti i valori $\gamma_{s,0} = 0.61 \text{ g/cm}^3$ e $\gamma_{s,1} = 2.47 \text{ g/cm}^3$ ed è da sottolineare come il primo valore tenga in conto l’effetto del sistema di porosità proprie di ogni singolo grano, mentre il secondo potrebbe essere maggiormente rappresentativo della sola matrice solida (Gironas et al., 2008, riportano valori compresi tra 0.3 to 1.5 g/cm^3 , ragionevolmente riferiti a $\gamma_{s,0}$).

Nell'assumere tali valori, inoltre, occorre tenere presente che il grano di perlite non destrutturato tende a galleggiare e una, sebbene piccola, porzione non è completamente immersa in acqua nel procedimento di misura del peso specifico.

I provini sono stati preparati miscelando preventivamente il materiale secco con la quantità di acqua necessaria a raggiungere il contenuto in acqua di preparazione e attendendo un periodo di tempo utile all'omogeneizzazione della miscela, con un massimo di 30 giorni per i provini aventi grado di saturazione unitario. Tale periodo di tempo è stato ritenuto necessario per consentire all'acqua di riempire omogeneamente il sistema dei pori presente all'interno del singolo grano. Successivamente la miscela è stata inserita all'interno di un contenitore cilindrico in acciaio avente diametro 80 mm e chiuso superiormente da un pistone mobile, così da poter raggiungere l'altezza di preparazione (pari a 20 mm) attraverso una procedura in controllo di carico. Il provino, dopo essere stato estruso, è stato ulteriormente campionato alle dimensioni di prova (diametro 80 mm e altezza 15 mm), e lasciato per ulteriori 24 ore in camera umida avendolo opportunamente isolato per impedire gli scambi idrici con l'ambiente circostante.

La curva di ritenzione idrica della perlite

La curva di ritenzione idrica della perlite ottenuta combinando le rilevazioni con estrattore di volume e con carta da filtro, ognuna applicata nell'intervallo di suzione identificato, è riportata in fig. 5. Le rilevazioni mediante estrattore di volume sono state condotte imponendo il valore di suzione obiettivo a provini compattati con contenuto in acqua prossimo alle condizioni sature. I campioni per le misure con carta da filtro sono stati invece compattati direttamente al contenuto in acqua di prova. Per ogni rilevazione, sia con carta da filtro che con estrattore di volume, è stato preparato un provino differente.

Inoltre nella medesima figura 5 sono riportate le informazioni distinguendo quelle relative alla componente di matrice e quelle relative alla suzione totale, quest'ultima rilevata esclusivamente mediante tecnica della carta da filtro.

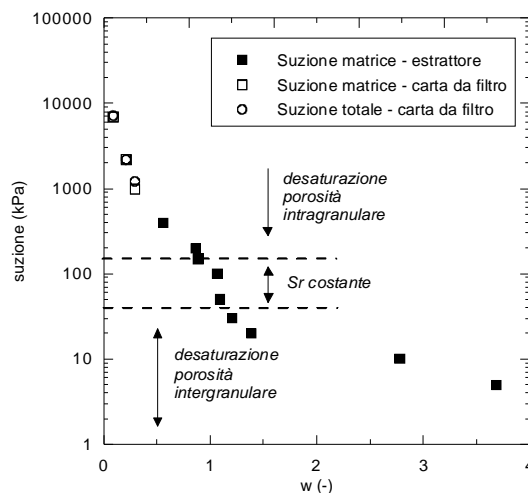


Figura 5. Curva di ritenzione idrica della perlite ottenuta con le differenti tecniche sperimentali adottate.

L'analisi dei dati sperimentali permette di osservare in primo luogo un buon accordo tra le due tecniche adottate. I punti ottenuti mediante tecnica della traslazione degli assi appaiono raccordarsi omogeneamente con quelli derivanti dalla rilevazione indiretta con carta da filtro e, in quest'ultimo caso, la componente di matrice risulta essere correttamente inferiore (o tutt'al più uguale) alla suzione totale.

Focalizzando l'attenzione sulla componente di matrice, s , per la quale si ha una quantità maggiore di informazioni, ed analizzando la curva nel suo complesso è possibile identificare chiaramente un andamento di tipo bimodale. Nel tratto iniziale della curva (intervallo 0-50 kPa) a piccoli incrementi di suzione corrispondono grandi variazioni di contenuto in acqua da attribuire principalmente alla progressiva desaturazione dei pori più grandi tra un grano di perlite e l'altro (porosità intergranulare). Successivamente, nell'intervallo 50-200 kPa, gli incrementi di suzione non provocano variazioni sostanziali del contenuto in acqua del terreno, mentre oltrepassato il valore di $s=200$ kPa, si ha nuovamente diminuzione del contenuto in acqua, sebbene con pendenza inferiore rispetto al primo tratto della curva. Tale diminuzione è invece ora da attribuire alla progressiva desaturazione dei pori facenti parte della struttura di ciascun grano (porosità intragranulare) purché questi siano in qualche modo connessi con l'esterno.

I punti sperimentali sono stati pertanto interpretati utilizzando l'estensione del modello di Van Genuchten (1980) proposta da Burger e Shackelford (2001):

$$w = \begin{cases} w_j + (w_s - w_j) \left[\frac{1}{1 + (\alpha_M s)^{\lambda_M}} \right]^{(1-1/\lambda_M)} & s < s_j \\ w_r + (w_j - w_r) \left[\frac{1}{1 + (\alpha_m s)^{\lambda_m}} \right]^{(1-1/\lambda_m)} & s \geq s_j \end{cases} \quad (1)$$

in cui con pedice M e m sono indicati i parametri (α e λ) che descrivono rispettivamente la porosità intergranulare e la porosità intragranulare, w_s e w_r rappresentano il contenuto in acqua saturo e in condizioni residue, e il punto (w_j, s_j) la condizione di completa desaturazione del sistema di vuoti tra un grano e l'altro. I parametri adottati sono riportati in tabella 1. Nella loro definizione si è assunto ($\gamma_{s-1} = 2.47 \text{ g/cm}^3$) e pertanto l'indice dei vuoti risulta essere una misura complessiva del sistema intergranulare e intragranulare. In conseguenza, poiché una parte dei pori all'interno del singolo grano non risulta essere connessa con l'esterno, non sarà possibile raggiungere un grado di saturazione unitario. Una quantificazione di massima dei pori "occlusi" è stata condotta a partire dalla differenza dei pesi specifici dei grani $\gamma_{s-0} \gamma_{s-1}$.

In figura 6 (a) è riportata la curva che interpola i dati sperimentali assumendo peso dell'unità di volume secco pari a $\gamma_d = 0.162 \text{ g/cm}^3$, media dei pesi dell'unità di volume dei singoli campioni impiegati per le prove in estrattore di volume. Per ogni punto sperimentale è, inoltre, indicato il valore di γ_d valutato a fine prova ed utilizzato come riferimento per la successiva valutazione della curva di ritenzione nel piano (Sr, s) presentata in figura 6 (b). In quest'ultima i punti appaiono dispersi su un'unica curva a differenza di quanto accade nel piano (w, s) , in cui la presenza del doppio sistema di pori può rendere ragionevole l'adozione di andamenti differenti al variare della densità secca, almeno nella zona governata dalla porosità intergranulare.

Osservazioni conclusive

I risultati presentati relativi all'analisi sperimentale del mezzo poroso perlite, sebbene ancora limitata alla caratterizzazione della curva di ritenzione idrica, hanno permesso di evidenziare una analogia di comportamento con quanto si osserva per i terreni a doppia porosità. A differenza dei terreni naturali, in cui la doppia porosità è dipendente dalla presenza di aggregati di particelle fini organizzati tra di loro a formare un sistema complesso, l'origine della doppia porosità della perlite è legata al processo di formazione dei singoli grani solidi che la compongono. Questa caratteristica appare rendere possibile una analisi degli effetti della particolare struttura porosa riducendo gli effetti della variabilità legata alla

conformazione che può essere assunta dagli aggregati a seguito della procedura di ricostruzione del campione stesso.

Tabella 1. Parametri del modello di Van Genuchten (1980) esteso da Burger Shackelford (2001).

w_s	5.78	α_M	0.179 kPa^{-1}
w_r	0.075	λ_M	2.46
w_j	1.03	α_m	0.0032 kPa^{-1}
		λ_m	2.5

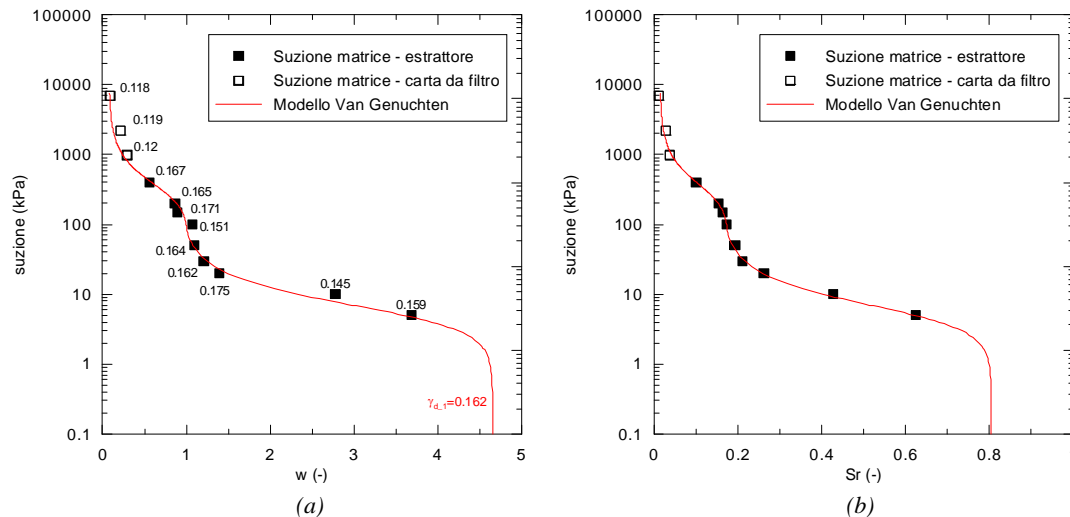


Figura 6. Modellazione della curva di ritenzione idrica della perlite nei piani (w - s) e (S_r - s).

Ringraziamenti

Si ringraziano A.Cividini per aver messo a disposizione il materiale Peralit 13 ed E.Tagliabue e A.Zavatta per il loro contributo all'attività sperimentale.

Bibliografia

- Bulut. R., Lytton R. L., Wray W. K., 2001. Soil suction measurements by filter paper. *Proc. of Geo-Institute Shallow Foundation and Soil Properties Committee Sessions at the ASCE 2001 Civil Engineering Conference, October 10-13, Houston, Texas*, 243-261
- Burger C.A., Shackelford C.D., 2001. Evaluating dual porosity of pelletized diatomaceous earth using bimodal soil-water characteristic curve functions, *Can. Geotech. J.* 38: 53-66
- Caruso M., 2007. *Una metodologia teorica sperimentale e numerica per la previsione del bilancio idrico nei terreni superficiali non saturi*. Tesi di Dottorato. Università degli Studi di Parma.
- Cumbers J. M., Nelson J. D., Chao K. C., Overton D. D., 2008. An evaluation of soil suction measurements using the filter paper method and their use in volume change prediction. *Proc. of E-UNSAT 2008, Durham, United Kingdom, 2-4 July*, 389-395.
- Gironas J., Adriasola J. M., Fernández B., 2008. Experimental analysis and modeling of a stormwater perlite filter. *Water environment research*, 80: 525-539
- Muñoz-Castelblanco J.A., Pereira J.-M., Delage P., Cui Y.-J., 2010 Suction measurements on a natural unsaturated soil: A reappraisal of the filter paper method. *Proc. of 5th Int. Conf. on Unsat. Soil, Barcelona, 6-8 Sept.*, 707-712.
- Richards L. A., 1941. A pressure membrane extraction apparatus for soil solution. *Soil Sci.*, 51: 377-386.
- Tagliabue E., Zavatta A., 2010. Caratterizzazione in laboratorio di un materiale granulare a doppia porosità. Tesi di Laurea, Politecnico di Milano.
- Tarantino A., 2010. Unsaturated soils: compacted versus reconstituted states. *Proc. of 5th Int. Conf. on Unsat. Soil, Barcelona, 6-8 Sept.*, 113-136.
- van Genuchten, M. Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 44:892-89