

MESSA A PUNTO DI UN NUOVO MINITENSIOMETRO AD ALTA CAPACITÀ

C. Mancuso, M.V. Nicotera, R. Papa, M.C. Di Gregorio

*Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Geotecnica ed Ambientale, Università degli Studi di
Napoli Federico II*

mancuso@unina.it; nicotera@unina.it, rafpapa@unina.it;
m.cristinadigregorio@studenti.unina.it

Sommario

In questa comunicazione si descrivono il progetto e la messa a punto di un nuovo minitensiometro ad alta capacità. Lo strumento è stato sviluppato con un finanziamento dell'Università Federico II e della Fondazione San Paolo (Finanziamento per l'Avvio di Ricerche Originali FARO 2009) a partire da un precedente prototipo progettato e realizzato qualche anno fa da alcuni ricercatori dell'allora Dipartimento di Ingegneria Geotecnica e del Dipartimento di Scienze Fisiche dell'Università Federico II. Le principali innovazioni introdotte hanno riguardato: il disegno meccanico ed elettrico dei trasduttori e dei sistemi di condizionamento; la procedura di saturazione e calibrazione.

1 Introduzione

I fattori che principalmente qualificano un minitensiometro sono il massimo valore della suzione che lo strumento può misurare e la massima durata dell'intervallo temporale durante il quale è in grado di fornire tale misura senza che si verifichi la cavitazione. Gli elementi che regolano tali fattori sono fortemente legati: alla camera di misura (dimensioni, assenza di irregolarità, perfetta saturazione); alla pietra porosa (valore di ingresso d'aria almeno 5 bar, perfetta saturazione); ai materiali adoperati per le restanti parti dello strumento. In linea teorica per un minitensiometro ad alta capacità (HCT) perfettamente saturato con acqua distillata e deaerata, la suzione massima misurabile è limitata solo dal valore d'ingresso d'aria della pietra porosa. In pratica, altri fattori di natura sub-sperimentale ne rendono difficile la messa a punto, tant'è che solo pochi centri di ricerca internazionali custodiscono gelosamente alcuni promettenti prototipi di HCT.

Il disegno meccanico di un minitensiometro assume pertanto un ruolo cruciale poiché ne condiziona le prestazioni: sensibilità, facilità di saturazione, velocità di risposta e stabilità delle misure nel tempo.

2 Primo prototipo UniNa

Il primo prototipo di minitensiometro, derivato dallo strumento progettato da Ridley e Burland (1993), presentava alcune varianti utili alla risoluzione dei problemi di misura. In particolare lo strumento era composto da diverse parti (fig. 1): un filtro poroso ceramico intercambiabile dello spessore 6 mm inserito in un corpo in acciaio inossidabile; una camera di misura del volume di 3 mm³; un sensore di misura, collocato all'interno di un secondo corpo di acciaio, alle spalle del diaframma; un "tappo" di protezione dei collegamenti elettrici.

La camera di misura ispezionabile permetteva di eliminare un maggior numero di imperfezioni; le due casse d'acciaio garantivano un buon isolamento tra il sensore e l'esterno; la conformazione del porta filtro permetteva di eseguire diverse misurazioni cambiando

agevolmente la pietra porosa. Le misure, eseguite con uno strain-gauge, erano acquisite attraverso un amplificatore indicatore di tensione statica (letteralmente: bridge amplifier static strain indicator) e archiviate in formato digitale in una semplice memoria di massa per poi essere trasferite attraverso una porta USB ad un PC.

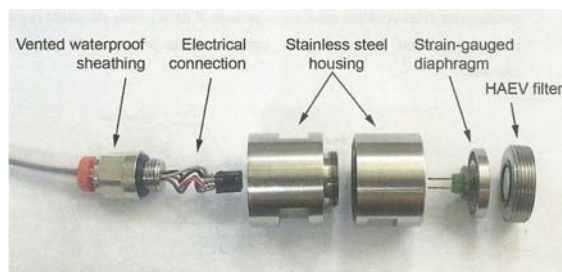


Figura 1. Primo prototipo di minitensimetro

La procedura di saturazione utilizzata per il primo prototipo era ispirata, in parte, alle indicazioni fornite da Take e Bolton (2003). In particolare presso il DIGA era stato realizzato un sistema per il condizionamento del minitensimetro che permetteva l'esecuzione di una successione di fasi di essiccazione e saturazione senza soluzione di continuità. Il sistema ideato, rappresentato in figura 2, consente l'applicazione combinata di elevate temperature e pressioni di vuoto, in modo da migliorare l'efficacia della fase di essiccazione della pietra porosa e della camera di misura. In particolare la procedura di condizionamento comportava l'esecuzione delle seguenti fasi: applicazione del vuoto con contemporaneo riscaldamento della camera c2 allo scopo di favorire l'essiccazione della pietra porosa (16ore); sommersione del tensimetro con acqua deareata fatta passare dalla camera c1 alla camera c2 (4ore); riempimento della camera c2 ed applicazione di una pressione di 800kPa (72ore). Terminata la fase di pressurizzazione si eseguiva una prova di evaporazione i cui risultati dimostravano che il solo ciclo iniziale di preconditionamento era insufficiente ad ottenere un grado di saturazione dello strumento sufficiente a raggiungere il valore limite di misura della suzione. Pertanto, per cercare di raggiungere tale limite si eseguiva una serie di cicli di pressurizzazione che permetteva di incrementare progressivamente il grado di saturazione della pietra porosa e conseguentemente il massimo valore di suzione misurabile. Infine veniva eseguita la taratura dello strumento incrementando progressivamente la pressione dell'acqua che saturava lo strumento; la taratura così ottenuta veniva poi adoperata anche nel campo delle pressioni negative. A questo punto lo strumento era pronto e venivano eseguite ulteriori verifiche sulla sua prontezza e capacità con una procedura che sarà descritta in seguito perchè adoperata anche per il nuovo prototipo.

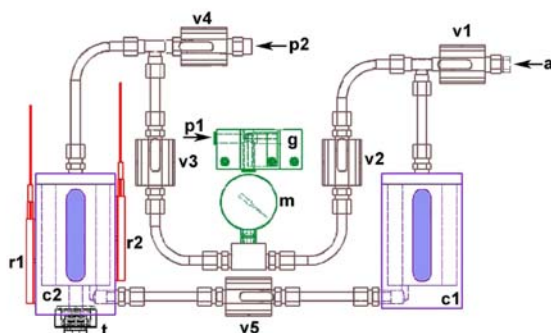


Figura 2. Primo dispositivo di saturazione

3 Nuovo prototipo di minitensiometro

Grazie al contributo derivante dal finanziamento FARO 2009 (Finanziamento per l'Avvio di Ricerche Originali) è stato possibile apportare alcune modifiche meccaniche ed elettriche al primo prototipo di minitensiometro rendendo più rapido e funzionale l'assemblaggio dei vari componenti (fig. 3a) aspetto che costituiva il "punto debole" della precedente versione dello strumento. In tal modo il microtrasduttore è più agevolmente riproducibile.

Il nuovo prototipo (figura 3b) è stato sviluppato in collaborazione tra il Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Geotecnica ed Ambientale e la società Megaris srl che ha contribuito: alla progettazione della meccanica e del sensore nel suo complesso; alla realizzazione delle parti meccaniche dei prototipi; al reperimento dei componenti del sensore; alla integrazione degli estensimetri; alla esecuzione dei test di pressione e temperatura dei singoli componenti; alla integrazione delle pietre porose ad elevato valore di ingresso di aria.

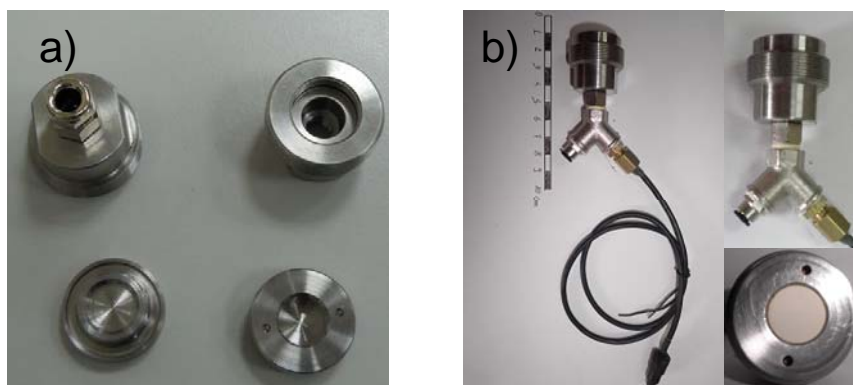


Figura 3. a) Componenti nuovo minitensiometro; b) Minitensiometro assemblato

Rispetto al primo prototipo si notano esteriormente delle modifiche significative. In particolare, nel nuovo tensiometro è presente un condotto a tergo della membrana, tramite il quale è possibile pressurizzare la camera posteriore dello strumento allo scopo di eseguire la taratura "in negativo" del trasduttore. Pertanto in tali condizioni la membrana viene inflessa nel medesimo verso in cui si infletterebbe nel corso di una misura di suzione e quindi la taratura è ottenuta direttamente senza che sia necessario estrapolarla. Altra modifica ben visibile è la presenza di una filettatura, esterna al corpo del tensiometro, che ne consente l'installazione avvitanolo ad altre apparecchiature. La principale modifica meccanica riguarda l'eliminazione della possibilità di ispezionare la camera di misura. L'alloggiamento della pietra porosa è stato realizzato nello stesso corpo metallico in cui è stata ricavata la membrana sensibile; in questo modo è stato possibile eliminare l'O-ring di tenuta che nel primo prototipo dava luogo a fenomeni di isteresi meccanica che influenzavano le misure.

4 Procedure sperimentali

Oltre alle modifiche meccaniche ed elettriche sono stati modificati anche il sistema di saturazione e la procedura di condizionamento. In particolare è stato realizzato un dispositivo di saturazione (fig. 4a) di dimensioni molto più ridotte che garantendo le stesse funzionalità del precedente consente però di raggiungere valori di pressione decisamente più elevati in fase di condizionamento (circa 2MPa). Questo dispositivo è inoltre di semplice ed economica realizzazione.

Le modifiche apportate alla procedura di saturazione, rispetto alla procedura precedentemente descritta, riguardano invece più punti ed in particolare:

- si è eliminata la fase di riscaldamento inizialmente prevista (figura 4b.); purtroppo l'innalzamento della temperatura sembrerebbe produrre delle deformazioni

irreversibili della resina impiegata per l'incollaggio dello strain-gauge sulla membrana deformabile;

- la pressurizzazione per saturare la pietra porosa e la camera di misura è stata condotta applicando una pressione positiva di circa 1300 kPa all'acqua nella camera di misura dello strumento ed una pressione di circa 800kPa all'aria presente alle spalle della membrana; in tal modo durante la fase di pressurizzazione della durata di 72 ore la membrana è sollecitata da una differenza di pressione tra la camera anteriore e la camera posteriore di circa 500 kPa e pertanto le sue deformazioni si mantengono in campo elastico;
- si sono ripetuti cicli di pressurizzazione allo scopo di inflettere la membrana in entrambi i versi in modo tale da minimizzare l'eventuale isteresi nella risposta della membrana.

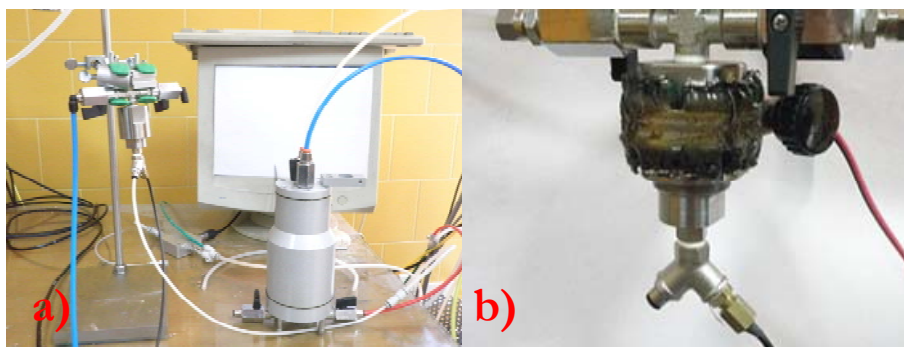


Figura 4. a) Nuovo sistema di saturazione; b) Sistema di riscaldamento circolare

5 Taratura del minitensiometro e primi risultati

Completata la saturazione dello strumento si è proceduto alla sua taratura. Lo strumento collegato al dispositivo di pressurizzazione è stato sottoposto a valori crescenti di pressione dapprima nella camera anteriore (taratura per pressioni positive) e successivamente nella camera posteriore (taratura per pressioni negative). In figura 5 i valori della differenza di pressione tra la camera anteriore e la camera posteriore sono diagrammati in funzione della misura fornita dallo strain-gauge al termine del processo di equalizzazione conseguente a ciascun incremento di pressione. Il diagramma riportato in figura 5 mostra come la risposta dello strumento sia perfettamente lineare e, inoltre, che la retta di taratura è indipendente dal verso di inflessione della membrana. Questo risultato conferma che, nel caso del nuovo tensiometro unina, una taratura ottenuta applicando pressioni positive nella camera anteriore può essere adoperata anche nel campo di usuale funzionamento dello strumento (i.e. quando la membrana si inflette nel verso opposto) senza commettere errori significativi. Dopo la fase di taratura il minitensiometro è stato sottoposto a cicli di evaporazione ed immersione al fine di valutarne la prontezza. I risultati ottenuti sono riportati in figura 6. Si osserva come la procedura di saturazione adottata permette di ottenere una prontezza soddisfacente; poche decine di secondi sono sufficienti a misurare valori elevati di suzione; immergendo lo strumento in acqua l'azzeramento della lettura si verifica in circa 7-8 secondi. Il valore massimo di suzione misurabile è stato determinato prolungando il test di evaporazione fino alla cavitazione. Si è osservato che il valore di cavitazione è risultato sistematicamente maggiore del valore nominale della pressione di ingresso d'aria della pietra porosa (500 kPa). Questo risultato conferma ulteriormente che una accurata saturazione dello strumento ne incrementa le potenzialità.

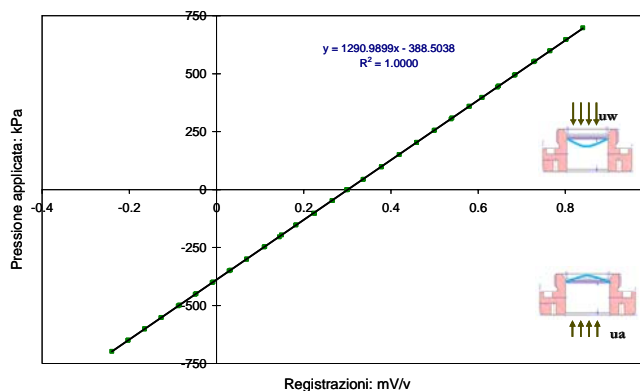


Figura 5. Taratura minitensiometro

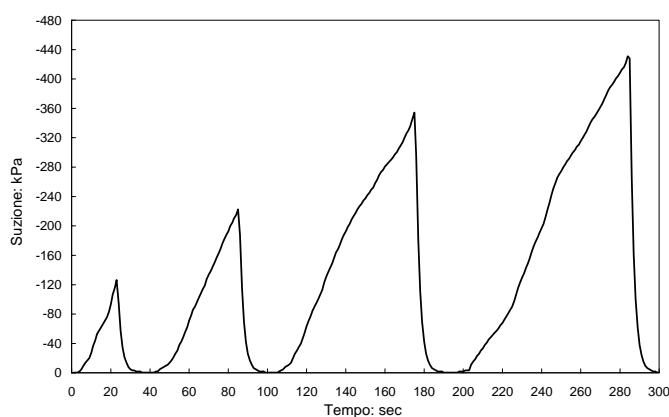


Figura 6. Cicli di evaporazione ed immersione

Terminata la fase preliminare di test dello strumento si è proceduto all'esecuzione di una serie di misure su campioni di terreno ricostituito. Il materiale impiegato è una piroclastite proveniente da San Pantaleone; i provini sono stati ricostituiti con la tecnica Proctor le caratteristiche fisiche ottenute sono $n=0.480$; $w=22.9\%$. Per l'esecuzione delle misure ciascun provino è stato disposto all'interno di un contenitore in plexiglas dotato di un alloggiamento per il minitensiometro. Il perfetto contatto tra il provino e lo strumento di misura è garantito disponendo sulla pietra porosa un sottile strato di pasta di terreno, ottenuta miscelando il passante allo staccio 0.074 mm con acqua distillata. Il sistema di misura così assemblato è stato posizionato in una campana di vetro all'interno della quale, allo scopo di minimizzare i processi di evaporazione, è stato inserito anche un recipiente contenente acqua. Infine la campana di vetro è stata collocata in un ambiente a temperatura ed umidità controllata. I dati sono stati registrati con lo stesso dispositivo indicato in precedenza. L'andamento nel tempo della misura è riportato nel diagramma di figura 7, (curva in nero). Si osserva che: sono stati necessari circa 1100 secondi perché la misura si equalizzasse (il tempo di risposta è stato valutato con la procedura suggerita da Oliveira e Marinho, 2008); la misura si è poi mantenuta stabile per circa 10 giorni, trascorsi i quali la misurazione è stata interrotta a causa di un guasto all'impianto elettrico del laboratorio. Questi primi risultati confermano l'elevata stabilità della misura ottenibile con il nuovo prototipo. Un ulteriore esempio della capacità dello strumento è ricavabile dal diagramma in rosso di figura 7. In questo caso prima di eseguire la misura il campione è stato disposto in stufa per circa quattro ore allo scopo di incrementarne la suzione al suo interno; si osserva che la misura è cresciuta rapidamente nel tempo e ha raggiunto un valore massimo di circa 600 kPa; a questo punto il tensiometro è

stato rimosso ed immerso in acqua per evitare che si verificasse la cavitazione.

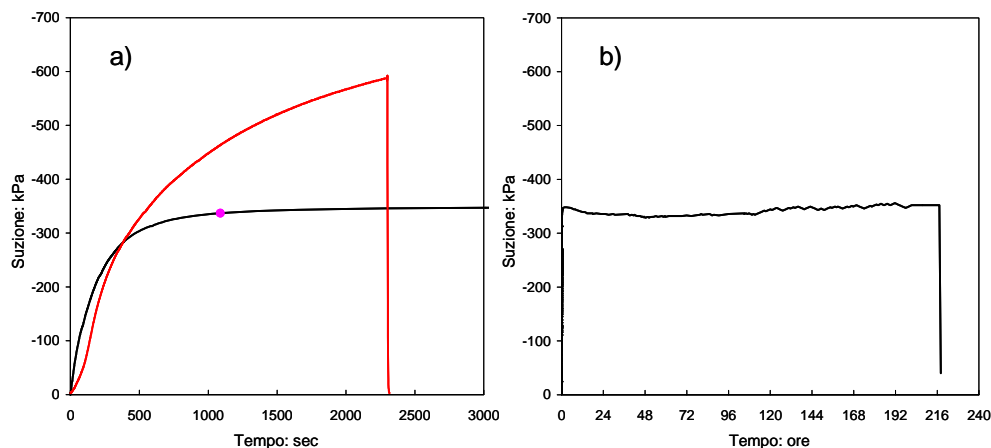


Figura 7. a) Capacità del minitensiometro; b) Stabilità della misura nel tempo

6 Conclusioni e Sviluppi futuri

I risultati della fase di messa a punto e della sperimentazione preliminare indicano soddisfacenti prestazioni del nuovo prototipo in termini di prontezza e stabilità della misura e sembrano estremamente promettenti in vista del futuro impiego dello strumento nell'ambito di sperimentazioni sia in laboratorio sia in sito.

Bibliografia

- Lourenço, S.D.N., Gallipoli, D., Toll, D.G., Evans, F.D. (2006), Development of a commercial tensiometer for triaxial testing of unsaturated soils, Atti del 4th Int. Conference on Unsaturated Soils, 2-6 aprile 2006 Phoenix, vol. 2, pp. 1875-1886.
- Marinho, F.A.M. & Chandler R.J. (1994). A new instrument for the measurement of soil moisture suction: discussion. *Geotechnique* 44(3): 551-556.
- Marinho, F.A.M. & Pinto, C.d.S. (1997). Soil suction measurement using a tensiometer. In Almeida (ed). *Recent developments in Soil and Pavement Mechanics 1*: 249-254. Rotterdam: Balkema.
- Oliveira O.M. & Marinho, F.A.M. (2008). Suction equilibration time for a high capacity tensiometer. *Geotechnical Testing Journal*, vol31, n.1: 1-5.
- Ridley, A.M. & Burland, J.B. (1993). A new instrument for the measurement of soil moisture suction. *Geotechnique* 43: 321-324.
- Rojas, J.C., Pagano, L., Zingariello, M.C., Mancuso, C., Giordano G., Passeggio, G. (2006). Un minitensiometro ad alta capacità: primi risultati. *Incontro annuale ricercatori geotecnica, IARG 2006*, 24-28 giugno 2006, Pisa.
- Rojas, J.C., Pagano, L., Zingariello, M.C., Mancuso, C., Giordano G., Passeggio, G. (2008). A new high capacity tensiometer: first results. *First European Conference on Unsaturated Soils*, 2-4 July 2008, Durham.
- Take, W.A., Bolton, M.D. (2003), Tensiometer saturation and the reliable measurement of soil suction, *Geotechnique* 53, No.2, 159-172.
- Tarantino, A. & Mongiovì, L. (2001). Experimental procedures and cavitation mechanisms in tensiometer measurements. *Geotechnical and Geological Engineering* 19: 189-210.
- Tarantino, A. & Mongiovì, L. (2002). Design and construction of a tensiometer for direct measurement of matric suction. In Jucà, de Campos & Marinho (eds). *Unsaturated Soils: Proc. 3rd inter. Conf. Recife, 10-13 March 2002*. vol 1: 319-324. Lisse: Balkema.
- Tarantino, A. & Mongiovì, L. (2003). Calibration of tensiometer for direct measurement of matric suction. *Geotechnique* 53 (1): 137-141.