

## **RESISTENZA A TAGLIO DI TERRENI PIROCLASTICI STABILIZZATI A CALCE**

Andrea Ferretti  
*Università degli Studi di Perugia*  
*andreaferretti84@gmail.com*

Manuela Cecconi  
*Università degli Studi di Perugia*  
*ceccon@unipg.it*

Vincenzo Pane  
*Università degli Studi di Perugia*  
*panev@unipg.it*

### **Sommario**

Nella nota si presentano alcuni dei risultati di un ampio studio sperimentale, tuttora in corso, mirato alla valutazione quantitativa degli effetti della stabilizzazione a calce sulle proprietà meccaniche di alcuni terreni di origine vulcanica tipici dell'Italia centro meridionale. L'indagine sperimentale è rivolta all'analisi dell'efficacia del trattamento in termini di caratteristiche di resistenza al taglio. In particolare, i risultati illustrati in questa nota sono quelli ottenuti dalla sperimentazione su una piroclastite della zona sud-orientale della città di Roma.

### **1. Introduzione**

La stabilizzazione a calce, nel caso di terreni non particolarmente idonei alla costruzione di rilevati stradali, consente il reimpiego dei terreni di scavo di qualità scadente altrimenti non utilizzabili nelle loro stato naturale. Nel caso delle grandi opere il trattamento a calce dei terreni può consentire un notevole risparmio economico dovuto ad una sostanziale riduzione delle spese di trasporto e di acquisto di materiali inerti. Tale lavorazione consente, inoltre, l'eliminazione dei problemi ambientali che possono insorgere a seguito dell'apertura delle cave di prestito. (Croce & Russo, 2002-2003). I terreni piroclastici, molto diffusi in alcune aree dell'Italia centro-meridionale, sono considerati terreni problematici a causa della loro natura, delle caratteristiche microstrutturali e per il complesso comportamento idromeccanico che li caratterizza. In particolare, aspetti quali il collasso strutturale in fase di saturazione (Pellegrino A., 1967; Cattoni E. et al., 2007; Nicotera M.V., 2008) rappresentano un serio limite al loro impiego in opere di terra, poiché possono comprometterne la funzionalità nel corso della vita utile.

Pertanto tali terreni possono non essere utilizzati come materiali per la formazione di rilevati e, nell'ambito della costruzione di grandi infrastrutture, potrebbero rientrare nella categoria di terreni destinati alla discarica. La prospettiva di un loro riutilizzo appare dunque interessante dal punto di vista tecnico (Russo et al., 2011; Cecconi et al., 2011).

### **2. La sperimentazione**

Il trattamento di stabilizzazione a calce dei terreni richiede un'attenta miscelazione di acqua,

calce e terreno in opportune proporzioni. Dopo una fase iniziale di idratazione della calce, si sviluppano reazioni chimiche di breve termine (reazioni di scambio ionico) e di lungo termine (reazioni pozzolaniche) che portano alla modifica della microstruttura nel tempo. Tali reazioni che si sviluppano contemporaneamente, ma su scale di tempi differenti, generano un miglioramento delle proprietà meccaniche del terreno trattato. In particolare lo sviluppo delle reazioni pozzolaniche, accompagnato dalla formazione di composti cementanti stabili quali i calcio-silicati idrati e gli alumino-silicati idrati, induce tipicamente un miglioramento delle proprietà meccaniche comprovato da un aumento di resistenza al taglio e da una riduzione della compressibilità.

L'indagine sperimentale è stata condotta sulla Pozzolana Nera di Roma (Cecconi e Viggiani, 2001). Il terreno è stato preliminarmente disgregato a mano ed essiccato in forno. La distribuzione granulometrica iniziale comune a tutti i provini non trattati è quella indicata in Figura 1 insieme alle curve granulometriche ottenute per il terreno stabilizzato a calce a diversi tempi di maturazione.

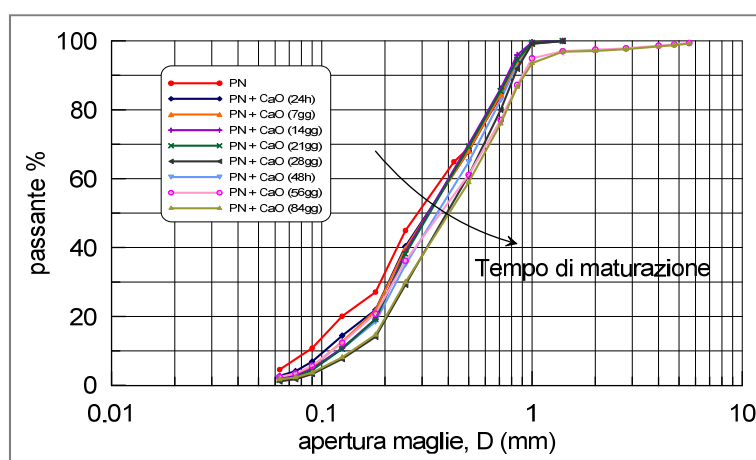


Figura 1. Curve granulometriche di campioni di Pozzolana Nera non trattati e stabilizzati a calce a diversi tempi di maturazione.

La preparazione dei provini stabilizzati a calce ha previsto l'impasto del terreno con l'aggiunta di una quantità fissa di calce CaO (10% in Peso) ed acqua distillata (contenuto d'acqua,  $w_0 = 20\%$ ). Il terreno è stato quindi compattato dinamicamente in modo tale da ottenere un valore dell'indice dei vuoti iniziale  $e_0$  prossimo all'unità.

Sono state condotte prove di taglio diretto convenzionali sia su provini non trattati che su provini stabilizzati a tempi di maturazione della miscela di 1, 7 e 28 giorni. Le prove sono state eseguite a valori della tensione verticale di prova  $\sigma_v$  compresi nell'ampio intervallo 15 ÷ 800 kPa.

Le Figure 2-5 mostrano i risultati ottenuti dalle prove di taglio diretto: l'influenza del tempo di maturazione è chiaramente osservabile dal confronto fra le diverse curve relative a provini stabilizzati con diversi tempi di maturazione. L'effetto è principalmente dovuto allo sviluppo – nel lungo termine – di legami stabili fra gli aggregati, derivanti dai prodotti delle reazioni pozzolaniche.

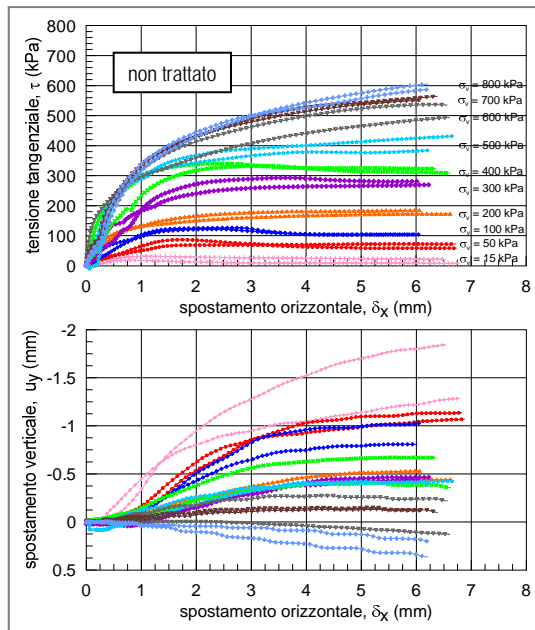


Figura 2. Risultati di prove di taglio diretto: Pozzolana Nera non stabilizzata.

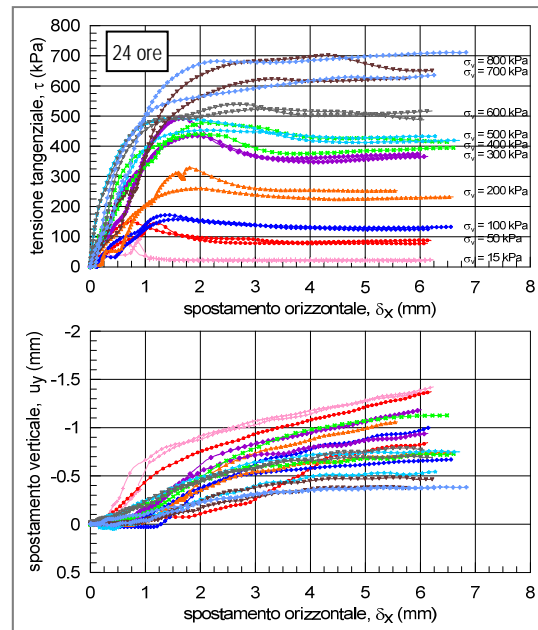


Figura 3. Risultati di prove di taglio diretto: Pozzolana Nera stabilizzata con calce - tempo di maturazione 24 ore.

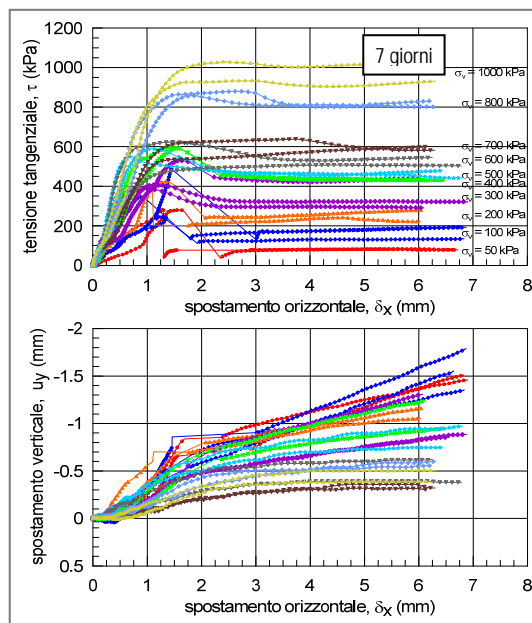


Figura 4. Risultati di prove di taglio diretto: Pozzolana Nera stabilizzata con calce - tempo di maturazione 7 giorni.

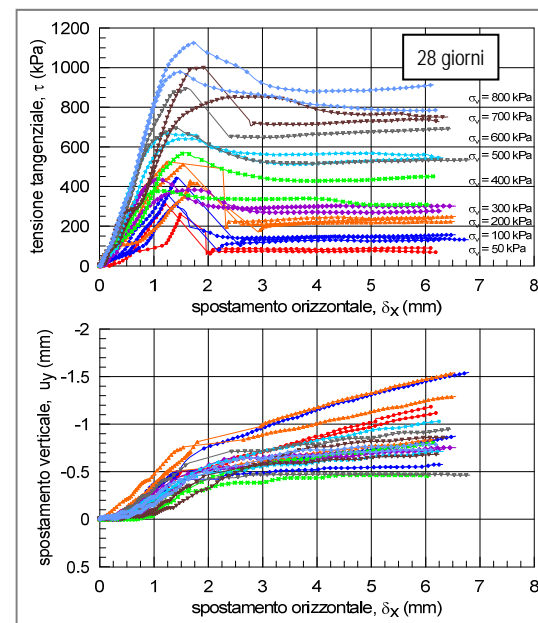


Figura 5. Risultati di prove di taglio diretto: Pozzolana Nera stabilizzata con calce - tempo di maturazione 28 giorni.

L'aumento di resistenza al taglio, e dunque l'effetto benefico dell'aggiunta della calce, è riscontrabile a tempi di maturazione maggiori di una settimana (7 giorni); tuttavia, già un discreto incremento di rigidità e resistenza si manifesta dopo le prime 24 ore di maturazione (immediatamente dopo il compattamento). Il terreno non trattato (Figura 2) ha esibito una rottura prevalentemente di tipo duttile, sebbene il comportamento osservato in termini di variazione di volume sia dilatante anche in corrispondenza delle tensioni di confinamento maggiori. Tuttavia, come del resto atteso, la tendenza a dilatare aumenta al diminuire della tensione verticale applicata. In corrispondenza di uno scorrimento relativo di 5÷6 mm, si può ragionevolmente affermare che le condizioni di stato ultimo a volume costante siano state

raggiunte (Figura 2). La Figura 3 mostra, d'altro canto, il comportamento tensio-deformativo esibito dai provini pozzolana preparati con l'aggiunta di calce, immediatamente dopo lo sviluppo delle reazioni di idratazione della calce (24 ore di maturazione). Il comportamento del terreno è duttile alle tensioni di confinamento maggiori, mentre in corrispondenza di livelli tensionali,  $\sigma_v < 200$  kPa, esso appare di tipo fragile. In termini di spostamenti osservati, a tale comportamento, si associa la dilatanza del terreno, quantitativamente confrontabile con quanto osservato in precedenza per i provini non trattati (cfr. Figura 2 - 3). Si osservino infine la Figura 4 e la Figura 5 ove sono rappresentati i risultati delle prove di taglio diretto eseguite sui provini stabilizzati a calce rispettivamente dopo 7 giorni e 28 giorni di maturazione. Nello stesso intervallo di tensioni di confinamento (15÷800 kPa), il comportamento del terreno è ora distintamente di tipo fragile, come evidente dalla repentina riduzione di resistenza che si manifesta immediatamente dopo il raggiungimento del picco, in corrispondenza di scorrimenti relativi non più controllabili, probabilmente a causa delle diverse caratteristiche di rigidità dei componenti il sistema apparecchiatura/terreno. Il comportamento del terreno è chiaramente dilatante. I valori della resistenza a taglio ( $\tau_{max}$ ) sono diagrammati convenzionalmente nel piano di Mohr-Coulomb. Sono stati quindi individuati gli involuipi di rottura (Figura 6 - 9) atti a definire le condizioni di resistenza di picco e di fine prova per i diversi tempi di maturazione. Nelle condizioni di picco, il contributo coesivo alla resistenza del terreno non trattato è pari approssimativamente a 40 kPa, mentre esso raggiunge il valore di 350 kPa per il terreno stabilizzato a calce dopo 28 giorni di maturazione. Il contributo attritivo alla resistenza in condizioni di picco è invece definito da un angolo di attrito,  $\phi' = 37.5^\circ$  per i provini non trattati e stabilizzati dopo 24 ore; tuttavia, per tempi di maturazione di 7 giorni e maggiori, l'angolo di attrito si riduce a  $33^\circ$ , denotando un comportamento più tipico di una roccia tenera, attribuibile alla formazione dei prodotti di cementazione vera tra i grani, questi ultimi derivanti dalle reazioni pozzolaniche di lungo termine. In tal caso, tuttavia, i risultati sperimentali appaiono più dispersi. Le Figure 6 - 9 rappresentano anche, nei medesimi piani di rottura, i risultati sperimentali relativi alle condizioni ultime di fine prova.

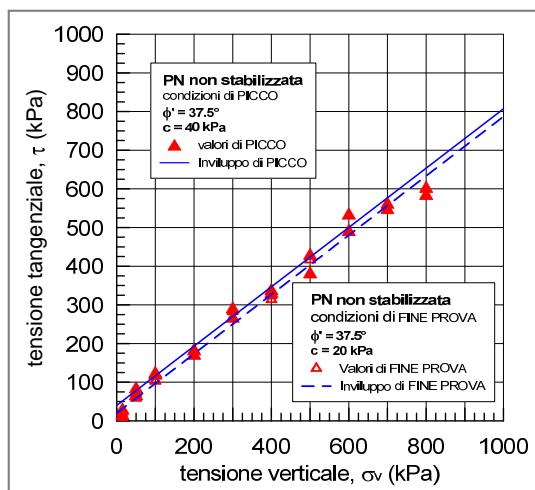


Figura 6. Pozzolana Nera non stabilizzata. Involuipi di rottura nelle condizioni di picco e di fine prova.

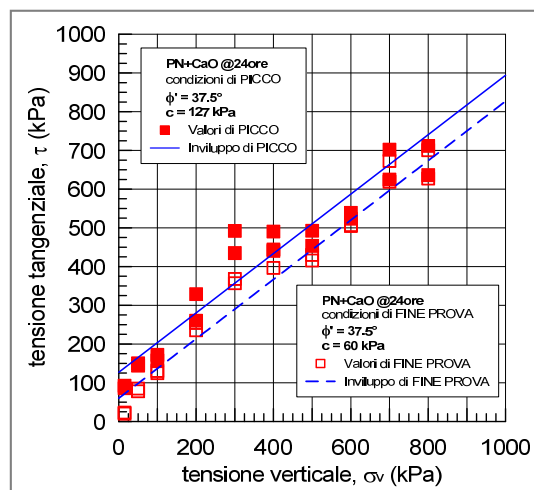


Figura 7. Pozzolana Nera stabilizzata con calce. Tempo di maturazione 24 ore. Involuipi di rottura nelle condizioni di picco e di fine prova.

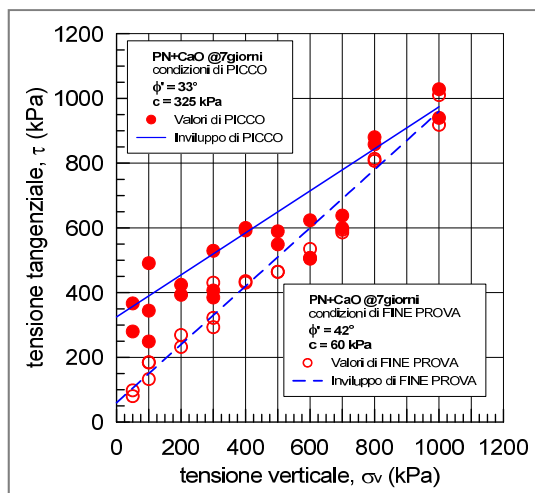


Figura 8. Pozzolana Nera stabilizzata con calce. Tempo di maturazione 7 giorni. Involuppi di rottura nelle condizioni di picco e di fine prova.

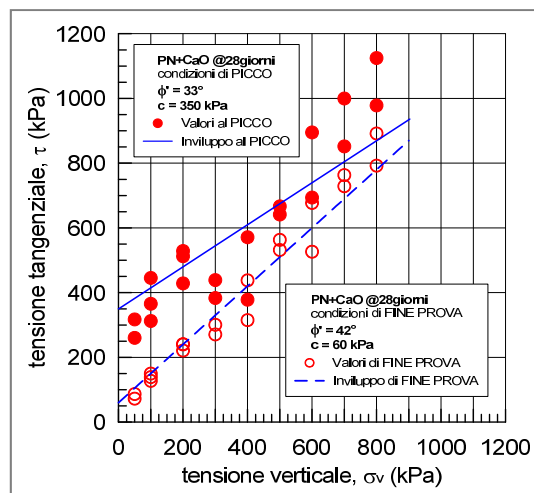


Figura 9. Pozzolana Nera stabilizzata con calce. Tempo di maturazione 28 giorni. Involuppi di rottura nelle condizioni di picco e di fine prova.

## 5. Osservazioni conclusive

Nell'articolo sono riportati alcuni risultati di un'ampia ricerca sperimentale volta a verificare l'idoneità dei terreni piroclastici alla stabilizzazione a calce. L'indagine è stata svolta su una pozzolana dell'area romana. L'attività di ricerca ha consentito di identificare i parametri di trattamento che permettono di ottenere un significativo miglioramento delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni considerati. Le percentuali di calce relativamente elevate (10% in peso di Calce) sono legate alla elevata dimensione caratteristica dei grani. In relazione ai risultati ottenuti dalle prove di taglio diretto, si è osservato un rilevante incremento della resistenza al taglio del terreno trattato. L'aggiunta di calce induce al crescere del tempo di maturazione un aumento significativo della coesione intercetta. Viceversa, l'angolo d'attrito del materiale nelle condizioni di picco, invariato nelle prime 24 ore, tende a diminuire per tempi di maturazione superiori. Questa tendenza è associata ad un'evoluzione della risposta meccanica del materiale, da tipo duttile a fragile/dilatante. Ulteriori indagini sono necessarie per stabilire l'effetto del trattamento a calce dei terreni piroclastici. Attualmente sono in corso ricerche su due aspetti principali, il primo legato alle modifiche indotte dall'aggiunta della calce sulla microstruttura dei terreni piroclastici, ed il secondo sulla risposta idro-meccanica dei terreni trattati in condizioni di parziale saturazione.

## Ringraziamenti

Gli Autori desiderano ringraziare Matteo Botarelli, Giacomo Tancetti, Marco Camilloni e Giovanni Iannantuoni per la loro collaborazione fornita nel corso della sperimentazione svolta presso il Laboratorio di Geotecnica dell'Università di Perugia.

Il presente lavoro si inserisce nella ricerca finanziata dal MIUR nell'ambito dei PRIN 2008.

## Bibliografia

Cecconi M., Ferretti A., Russo G., Capotosto A., (2011). Mechanical properties of two lime stabilised pyroclastic soils. *5th International Symposium on Deformation Characteristics of Geomaterials*, in stampa.

Cattoni E., Cecconi M., Pane V., (2007). Geotechnical properties of an unsaturated pyroclastic soil from Roma. *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 66: 403-414.

- Cecconi M., Pane V., Marmottini F., Russo G., Croce P., dal Vecchio S. (2010). Lime stabilisation of pyroclastic soils. *Proceeding of the Fifth International Conference on Unsaturated soils, Barcelona, 6-8 September 2010*, 537-541
- Cecconi M., Viggiani G.MB. (2001). Structural features and mechanical behaviour of a pyroclastic weak rock. *Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech.*, 25: 1525-1557.
- Croce P., Russo G. (2002). Reimpiego dei terreni di scavo mediante stabilizzazione a calce. *Proc. XXI CNG, L'Aquila, 2002*, 387-394, Patron Editore.
- Croce P., Russo G. (2003). Experimental investigation on lime stabilised soils. *Proc. XIII European Conference of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ECSMGE), Prague*.
- Nicotera M.V., Papa R., Urciuoli G., Russo G. (2008). Caratterizzazione in condizioni di parziale saturazione di una serie stratigrafica di terreni suscettibili di colata di fango. *Incontro Annuale dei Ricercatori di Geotecnica (IARG), Catania*.
- Pellegrino, A. (1967). Proprietà fisico-meccaniche dei terreni vulcanici del napoletano. *Proc. VIII CNG, Cagliari, 6-7 febbraio*, 3: 113-145. Napoli, ESI.
- Russo G., Croce P., Cecconi M., Pane V. (2011). Proprietà fisiche e meccaniche di terreni piroclastici stabilizzati a calce, *XXIV Convegno Nazionale di Geotecnica, Napoli, 22-24 Giugno 2011*, volume 2: 557-564, Edizioni AGI.