



CARATTERIZZAZIONE IDRO-MECCANICA DELLA COPERTURA PIROCLASTICA DEL SITO SPERIMENTALE DI SALERNO

Filomena Sabatino

*Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale
Università degli Studi di Napoli Federico II*

filomena.sabatino@unina.it

Giuseppe Vitiello, Marco Valerio Nicotera, Marianna Pirone

*Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale
Università degli Studi di Napoli Federico II*

giuseppe.vitiello3@unina.it, nicotera@unina.it, marianna.pirone@unina.it

Sommario

La nota descrive i risultati preliminari della caratterizzazione idro-meccanica della copertura piroclastica del sito sperimentale di Salerno. Tale attività di ricerca si inserisce nell'ambito del progetto PRIN 2022 "Integrated apPROach for MITigation of flowSlidE risk: fullscale test and advanced numerical modelling (PROMISE)" finalizzato allo sviluppo di soglie fisicamente basate per la previsione dell'innesco di colate di fango. In particolare, sono discussi i risultati di prove di evaporazione e di taglio diretto su campioni di terreno indisturbato prelevati in sito.

1. Introduzione

Una ampia porzione del territorio regionale campano è ricoperta da terreni piroclastici sciolti derivanti dalle eruzioni dei vulcani di Roccamonfina, dei Campi Flegrei e del Somma Vesuvio (Picarelli et al., 2008). Questi depositi li dove costituiscono le coperture di rilievi più o meno acclivi si trovano per gran parte dell'anno in condizioni di parziale saturazione e, in corrispondenza di eventi meteorici particolarmente intensi, possono essere interessati da fenomeni di colata rapida come quelli verificatisi a Sarno nel 1998, a Nocera nel 1997 e nel 2005, ad Ischia nel 2006 e nel 2022 (Pirone et al., 2015; Pagano et al., 2011). L'infiltrazione delle acque di pioggia produce, infatti, una diminuzione della suzione e, di conseguenza, della resistenza al taglio delle coltri parzialmente sature.

Il Progetto PRIN 2022 "Integrated apPROach for MITigation of flowSlidE risk: fullscale test and advanced numerical modelling (PROMISE)" propone di realizzare una prova di innesco in un sito sperimentale, scelto in un'area suscettibile a fenomeni di colata rapida e opportunamente strumentato; una pioggia artificiale di opportuna intensità e durata sarà utilizzata per produrre un fenomeno di instabilità al fine di studiarne i meccanismi d'innesco e di acquisire dati quantitativi utili a sviluppare modelli previsionali adeguati. Il campo sperimentale in provincia di Salerno è in via di allestimento. Parte dei risultati della caratterizzazione idro-meccanica della copertura piroclastica rinvenuta nel suddetto sito è discussa nella presente nota. In particolare, sono presentati risultati di prove idrauliche (i.e., prove in permeametro a carico costante e prove di evaporazione) e prove meccaniche (i.e., prove di taglio diretto) eseguite su campioni indisturbati. Sono state determinate le curve di ritenzione e i parametri di resistenza meccanica da utilizzare nelle analisi

numeriche volte alla progettazione della prova in sito.

2. Il sito sperimentale di Salerno e le proprietà fisiche dei terreni

Il sito sperimentale è ubicato nel comune di Salerno (Fig 1a) presso una cava della società *Italsud Salerno S.r.l.* ($40^{\circ}41'34.8''$ N, $14^{\circ}45'38.2''$ E, 235 m slm). Nel sito è stata selezionata e disboscata un'area con pendenza media pari a 32° e con valori locali di pendenza anche superiori a 35° (Fig 1b). All'interno dell'area disboscata saranno strumentati due campi sperimentali, di cui uno destinato all'esecuzione della prova con pioggia artificiale. L'area selezionata è stata investigata mediante carotaggi (n°11), fiorettature (n°78) e indagini geoelettriche (n°5) che, combinate tra loro, hanno permesso di determinare molteplici sezioni stratigrafiche ed in particolare di stimare con grande accuratezza lo spessore della copertura piroclastica che in media ha uno spessore di circa 1.6 m. La successione stratigrafica è analoga a quella identificata nel sito sperimentale del Monte Faito (Forte et al., 2019) dal momento che entrambi i siti sono stati ricoperti dai prodotti delle stesse eruzioni vulcaniche. La coltre piroclastica è prevalentemente costituita da terreni originatisi dall'eruzione vulcanica del 79 d.c., di seguito indicati come terreni A1 e A2, al di sotto dei quali si trovano, in maniera discontinua, terreni con una granulometria mediamente più fine appartenenti ad eruzioni più antiche, identificati con le sigle C1 e C2.

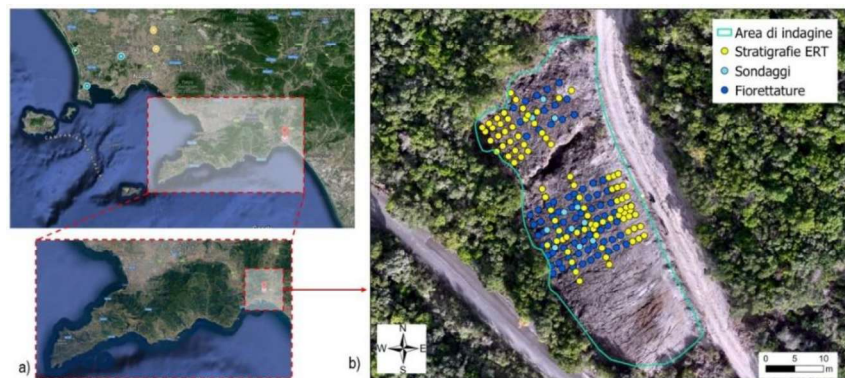


Fig 1. Ubicazione del campo sperimentale: a) ubicazione del sito sperimentale di Salerno; b) area scelta per l'allestimento del campo prove con l'indicazione della traccia delle indagini geologiche svolte

Le analisi granulometriche condotte sui campioni prelevati (n°=11) nella coltre piroclastica dell'area d'interesse sono mostrate in Fig 2. I terreni si identificano come sabbie limose con ghiaia, perfettamente sovrapponibili al fuso identificato dai terreni A1, A2 e C1 campionati presso il sito sperimentale del Monte Faito (Forte et al., 2019).

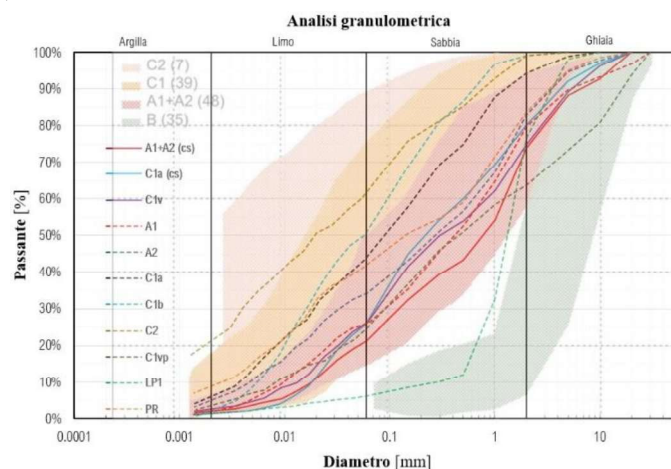


Fig 2. Curve granulometriche dei terreni del campo sperimentale di Salerno.

Le campagne di indagine finalizzate al prelievo di campioni indisturbati sono riportate in Tab 1.

Data	Campioni prelevati	Provini testati
31.01.2024	26	21
08.04.2024	17	7
29.04.2024	8	3

Tab 1. Campagne di indagine eseguite.

In Tab 2 sono riportati i valori medi delle principali proprietà fisiche dei terreni investigati. Per confronto sono riportati i valori medi delle medesime proprietà determinate per i terreni del sito sperimentale del Monte Faito (Dias et al., 2022).

Sito	Terreno	n (-)	G_s (-)	γ_d (kN/m³)
Salerno	A1 (n = 1)	0.646	2.679	9.30
	A2 (n = 6)	0.592	2.690	10.78
M.te Faito	A1 (n=6)	0.648	2.606	9.18
	A2 (n=7)	0.695	2.688	8.19

Tab 2. Confronto tra le proprietà fisiche di Salerno e del M.te Faito.

Dalla Tab 2 emerge che i valori medi di porosità del terreno A2 risultano minori di quelli determinati sul litotipo analogo campionato al Monte Faito, e di conseguenza quelli del peso secco dell'unità di volume, γ_d, risultano maggiori.

3. Caratterizzazione idraulica

Il valore di permeabilità satura K_{sat} e la curva di ritenzione in essiccamento sono stati determinati per due campioni indisturbati afferenti agli strati A1 e A2, prelevati rispettivamente a 0.40m e 0.80m dal p.c. Per la determinazione della permeabilità satura è stata adottata la procedura descritta da Papa (2007) adoperando un permeametro a circuito chiuso, in cui il provino (72x60 mm) è stato preliminarmente sottoposto a saturazione per filtrazione a carico costante. Successivamente, il medesimo provino è stato estratto dal permeametro e sottoposto ad una prova di evaporazione nell'apparecchiatura ku-pF Apparatus MP10 in accordo alla procedura illustrata da Nicotera et al., (2010). In questo modo è stato possibile investigare la curva di ritenzione e la funzione di permeabilità in un range di valori della suzione di matrice minori di circa 70 kPa che rappresenta il limite superiore per i valori della suzione misurabili con i mini-tensiometri impiegati nel ku-pF Apparatus. Per raggiungere valori più elevati della suzione di matrice, è stato necessario integrare queste prove di evaporazione con la determinazione del contenuto d'acqua ad un valore della suzione di matrice pari a circa 400 kPa utilizzando la piastra di Richards. I dati ottenuti dalla sperimentazione in termini di suzione di matrice e contenuto d'acqua sono stati interpretati mediante il modello teorico di Van Genuchten, 1980. In Tab 3 sono riportati i valori dei parametri derivanti dal best-fitting dei dati sperimentali, messi a confronto con quelli determinati per gli analoghi terreni campionati al Monte Faito da Dias et al., (2022). In Fig 3 sono mostrate le curve di ritenzione determinate per i terreni A1 e A2 del campo sperimentale di Salerno insieme all'involuppo delle curve di ritenzione degli stessi litotipi appartenenti al sito sperimentale del Monte Faito.

Sito	Terreno	K_{sat} (m/s)	θ_s (m ³ /m ³)	θ_r (m ³ /m ³)	α (1/kPa)	n (-)
Salerno	A1 (n=1)	1.03 E-06	0.529	0.044	0.118	1.77
	A2 (n=1)	4.24 E-06	0.502	0.170	0.080	1.85
M.te Faito	A1 (n=5)	4.96 E-07	0.582	0.110	0.090	1.59
	A2 (n=6)	1.60 E-06	0.554	0.100	0.118	1.59

Tab 3. Parametri del modello di Van Genuchten.

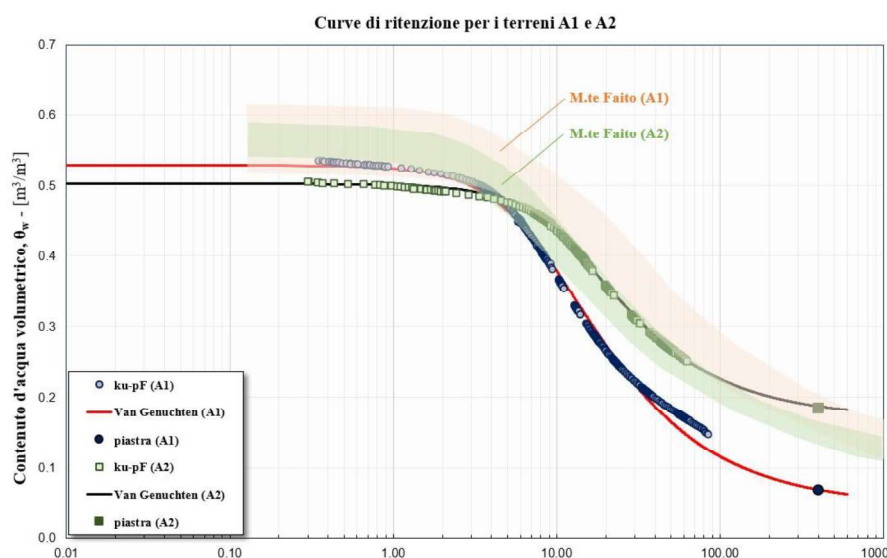


Fig 3. Curve di ritenzione per i terreni A1 e A2.

Dal confronto riportato emerge che le permeabilità dei terreni A1 e A2 del sito di Salerno sono superiori ai valori medi determinati per gli stessi terreni campionati presso il Monte Faito. La curva di ritenzione di A1 risulta al di fuori dell'involuppo definito per l'analogo terreno campionato nel sito del Monte Faito. Al contrario, la curva di ritenzione di A2 è completamente contenuta all'interno dell'involuppo delle curve di ritenzione definito per il terreno A2 del Monte Faito. Tuttavia, poiché al momento è disponibile una sola curva di ritenzione per ciascun litotipo, non è possibile trarre conclusioni definitive.

4. Caratterizzazione meccanica

Le prove di taglio diretto sono state eseguite con una velocità di scorrimento pari a 0.02 mm/min (Nicotera et al., 2015), su provini indisturbati di dimensioni pari a 6 x 6 x 2 cm prelevati dallo strato A2. In Tab 4 sono elencate le prove eseguite e le condizioni adottate: tensione normale applicata, velocità di prova e caratteristiche fisiche iniziali dei provini. La maggior parte delle prove di taglio diretto sono state condotte sommergendo con acqua il provino, inizialmente non saturo, durante la fase di consolidazione (ID.1-3 in Tab 4); una terna di prove è stata eseguita senza variare il contenuto d'acqua di campionamento che può essere assunto come "naturale" (ID.4 in Tab 4); infine ulteriori tre prove sono state condotte sommergendo con acqua i provini durante la fase di taglio dopo il raggiungimento del picco della tensione tangenziale (ID.5 in Tab 4).

ID.	Terreno e profondità di prelievo	Tipo di prova	Tensione verticale (kPa)	γ (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	w ₀ (-)	n ₀ (-)	S _{r,0} (-)
1	A2 1.00 m	sommersa	20	14.85	12.98	0.14	0.51	0.37
			50	14.71	12.51	0.18	0.53	0.42
			80	14.77	13.06	0.13	0.51	0.34
2	A2 0.45 m		30	13.68	11.47	0.19	0.57	0.39
			70	13.43	11.28	0.19	0.57	0.37
			120	14.75	12.49	0.18	0.53	0.43
3	A2 0.50 m	sommersa + sovraccons.	400-20	15.49	13.33	0.16	0.5	0.44
4	A1-A2 0.50 m	W _{nat} = cost	20	12.9	11.07	0.17	0.58	0.31
			50	13.64	11.49	0.19	0.56	0.38
			80	12.1	9.5	0.27	0.64	0.40
5	A2 0.80 m	W _{nat} + sommersa al picco	20	14.71	12.52	0.17	0.53	0.42
			50	14.77	12.53	0.18	0.53	0.43
			80	14.85	12.41	0.20	0.53	0.46

Tab 4. Prove di taglio diretto eseguite sui provini del terreno A2 a diverse profondità di prelievo.

I risultati delle prove di taglio diretto eseguite sul terreno A2, alle diverse tensioni normali elencate in precedenza, sono riportati in Fig 4. Il comportamento meccanico del terreno oggetto di studio è di tipo duttile e contraente. Si osserva un comportamento di tipo fragile e dilatante solamente per il provino al quale è stata applicata una tensione normale di 400 kPa successivamente ridotta a 20 kPa (condizioni di carico adoperate allo scopo di indurre una sovraconsolidazione del provino).

È utile sottolineare a seguito della sommersione del provino nel corso della fase di consolidazione, si registra un cedimento, riconducibile a un collasso volumetrico, dell'ordine di circa 0.7 mm. Questo stesso valore è stato mediamente registrato per tutti i provini testati durante la sperimentazione.

Dai risultati ottenuti dalle prove di taglio diretto è stato possibile ricavare l'involuppo di rottura nel piano τ - σ_v mostrato in Fig 5. L'involuppo di rottura dei provini sottoposti alla prova di taglio con sommersione in consolidazione fornisce un valore dell'angolo di attrito allo stato critico pari a 38.5°, valore paragonabile con quello ottenuto per lo stesso terreno campionato al sito del Monte Faito da prove di taglio diretto ($\phi'=38.4^\circ$) (Forte et al., 2019). Invece, i provini sottoposti a prova in condizioni naturali giungono a rottura in condizioni di parziale saturazione (ID. 4 in Tab 4), per questi non è stato ritenuto opportuno determinare un unico involucro di resistenza dal momento che si riferiscono a gradi di saturazione e porosità iniziali differenti.

I risultati delle prove condotte a contenuto d'acqua naturale sono stati interpretati considerando la tensione efficace definita da Bishop (1959) σ_v^* :

$$\sigma_v^* = \sigma_v + S_r \cdot s$$

dove σ_v è la tensione normale applicata, S_r il grado di saturazione a inizio prova mentre s è la suzione corrispondente ricavata dalla curva di ritenzione ottenuta per il terreno A2 (Fig 3) adottando il valore medio di porosità riportato in Tab 2.

I valori di τ , σ_v^* corrispondenti alle prove condotte a contenuto d'acqua naturale (ID.4 e i valori al picco-pre-sommersione della terna ID.5 in Tab 4) sono stati riportati con quelli ottenuti da prove con sommersione in consolidazione (ID.1-3 in Tab 4) in Fig 6. È possibile notare che, se tali valori sono inclusi nell'involuppo, risulta un angolo d'attrito allo stato critico di 37.5°, prossimo a quello determinato considerando solo i valori

derivanti dalle prove con sommersione in consolidazione.

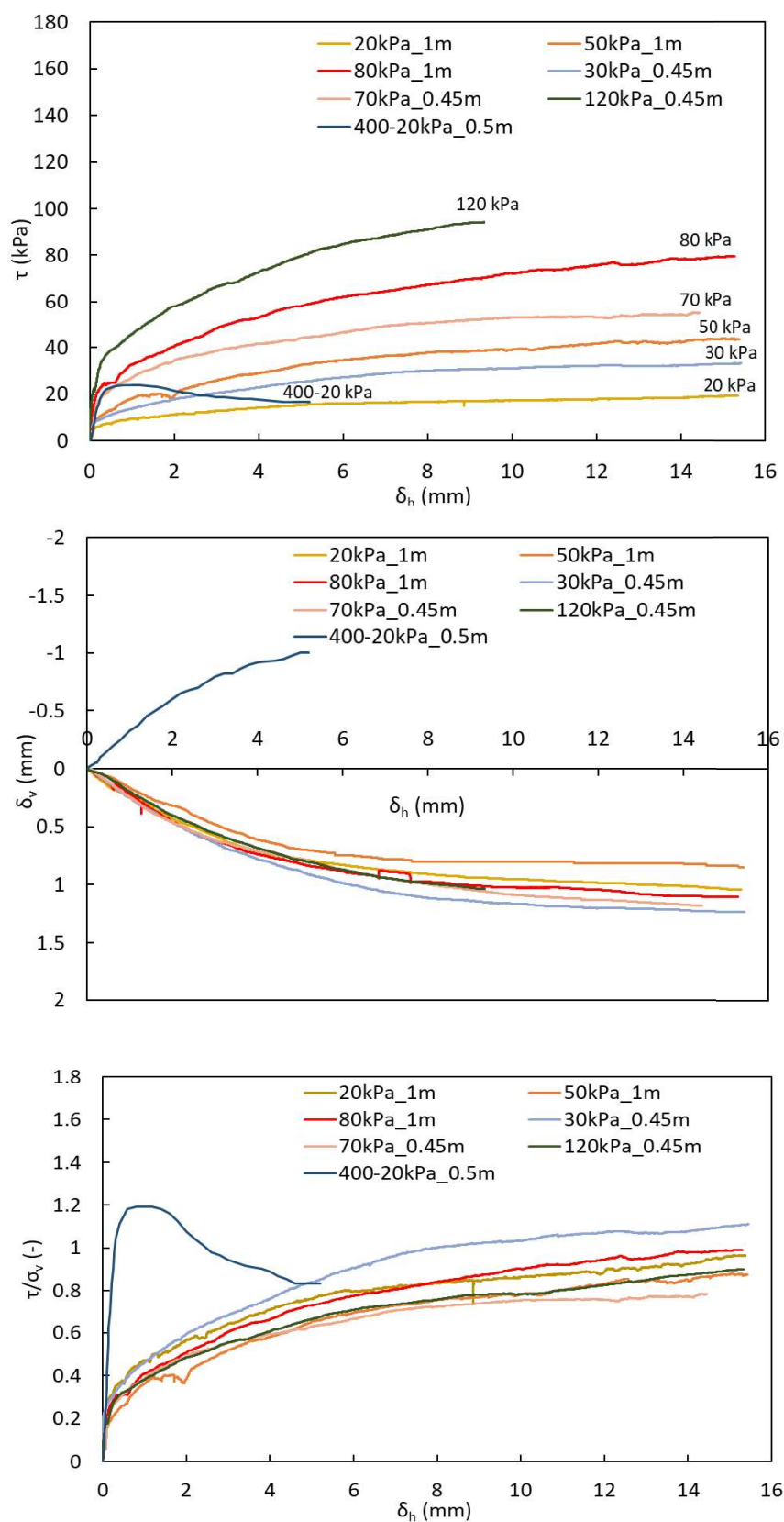


Fig 4. Risultati di prove di taglio diretto con sommersione in consolidazione su terreno A2.

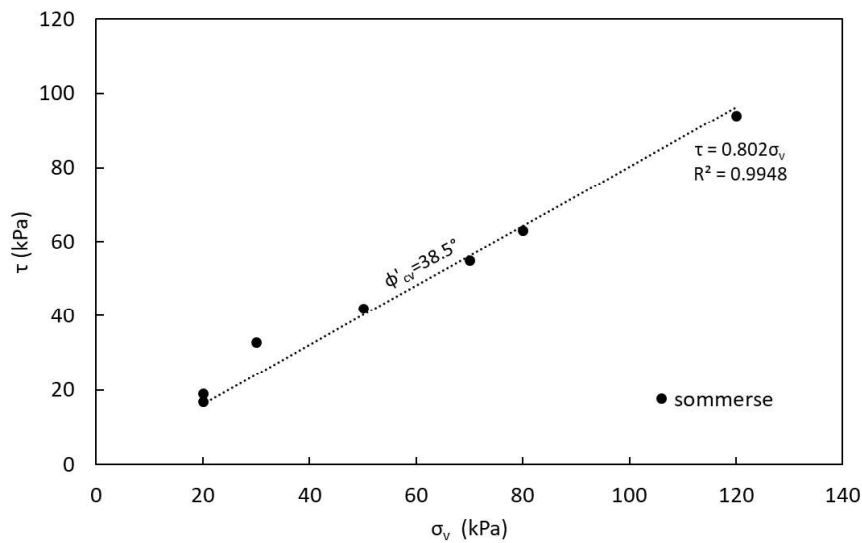


Fig 5. Involuppo di rottura allo stato critico.

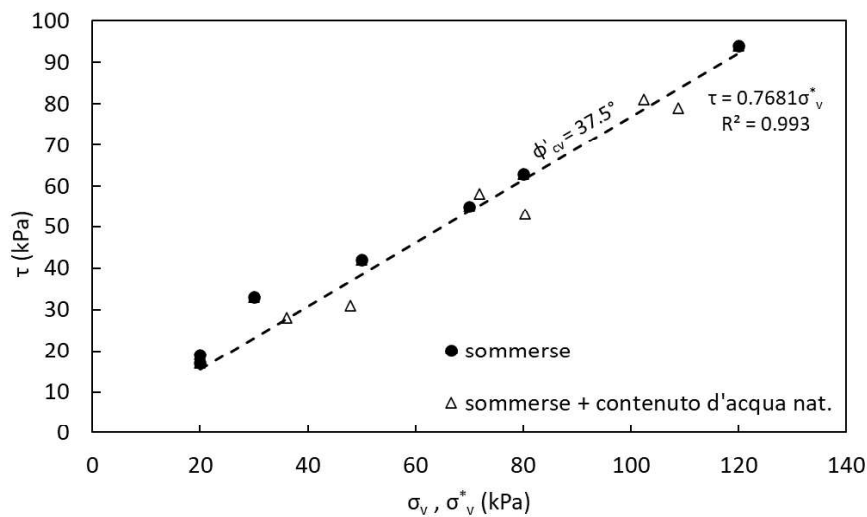


Fig 6. Involuppo di rottura allo stato critico, adottando la tensione efficace definita da Bishop.

6. Osservazioni conclusive

La presente nota descrive i risultati della caratterizzazione idro-meccanica della copertura piroclastica del sito sperimentale di Salerno. In particolare, sono state determinate le curve di ritenzione, la permeabilità satura, e l'angolo d'attrito allo stato critico. I valori ottenuti risultano confrontabili con quelli determinati per lo stesso litotipo campionato al sito sperimentale del Monte Faito.

I parametri ottenuti saranno adottati in un modello numerico volto alla progettazione della prova di simulazione della pioggia artificiale da eseguire in sito.

Ringraziamenti

Lo studio pubblicato è stato finanziato dall'Unione Europea – Next Generation EU, nell'ambito del progetto PRIN 2022 – “Integrated apPROach for MIItigation of flowSlidE risk: fullscale test and advanced numerical modelling (PROMISE)”, (CUP E53D23003430006).

Bibliografia

- Bishop, A. W. (1959). The principle of effective stress. *Teknisk Ukeblad*, 106(39), 859-863.
- Dias, A. S., Pirone, M., Nicotera, M. V., & Urciuoli, G. (2022). Hydraulic characterization of an unsaturated vegetated soil: The role of plant roots and hydraulic hysteresis. *Geomechanics for Energy and the Environment*, 30, 100235.
- Forte, G., Pirone, M., Santo, A., Nicotera, M. V., & Urciuoli, G. (2019). Triggering and predisposing factors for flow-like landslides in pyroclastic soils: the case study of the Lattari Mts. (southern Italy). *Engineering Geology*, 257, 105137.
- Nicotera, M. V., Papa, R., & Urciuoli, G. (2010). An experimental technique for determining the hydraulic properties of unsaturated pyroclastic soils. *Geotechnical Testing Journal*, 33(4), 263-285.
- Nicotera, M. V., Papa, R., & Urciuoli, G. (2015). The hydro-mechanical behaviour of unsaturated pyroclastic soils: An experimental investigation. *Engineering Geology*, 195, 70-84.
- Pagano, L., Rianna, G., Zingariello, M. C., Urciuoli, G. (2011). Un sistema di allarme preventivo per la previsione di fenomeni di colata in terreni piroclastici. Stabilità dei pendii parzialmente saturi. Sperimentazione in laboratorio e in sito. Modellazione. Urciuoli, Gianfranco.
- Papa, R. (2007). Indagine sperimentale sulla coltre piroclastica di un versante della Campania. Tesi di dottorato, Università degli Studi di Napoli Federico II.
- Pirone, M., Papa, R., Nicotera, M. V., & Urciuoli, G. (2015). In situ monitoring of the groundwater field in an unsaturated pyroclastic slope for slope stability evaluation. *Landslides*, 12, 259-276.
- Papa, R. (2007). Indagine sperimentale sulla coltre piroclastica di un versante della Campania. Tesi di dottorato, Università degli Studi di Napoli Federico II.
- Picarelli, L., Santo, A., Di Crescenzo, G., & Olivares, L. (2008). Macro-zoning of areas susceptible to flowslide in pyroclastic soils in Campania Region. *Landslides and Engineered Slopes. From the Past to the Future*, 2, 1951-1957.
- Van Genuchten, M. T. (1980). A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil science society of America journal*, 44(5), 892-898.