

USO DI UNA APPARECCHIATURA INNOVATIVA PER LA PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA FINALIZZATA A VERIFICHE DI STABILITÀ DELLE COPERTURE DETRITICHE

Nicola Nenci*¹ (nicola.nenci@yahoo.it); Yuri Galanti*¹ (yuri.galanti@gmail.com); Giacomo D'Amato Avanzi*¹ (damato@dst.unipi.it); Roberto Giannecchini*¹ (roberto.giannecchini@unipi.it); Piera Paola Capilleri*¹ (piera.capilleri@unipi.it); Diego Carlo Lo Presti*¹ (d.lopresti@ing.unipi.it).

*¹ Università di Pisa

ABSTRACT. On November 2014 a very intense rainfall caused several shallow landslides in the area of Leivi (Liguria, Northern Italy). The considered slope consists of shallow debris overlying an impermeable bedrock. Debris characterization was carried out by means of direct shear tests: large samples were carried out using a large shear box (300 × 300 × 100 mm). The samples were reconstituted in the laboratory using the materials collected just above the sliding surface of two landslides. The direct shear tests were performed to determine the effective strength parameters (cohesion and friction angle) according to different water content. The results of direct shear tests showed that the friction angle values decrease and the cohesion increases, as water content increases. The reconstructed geotechnical parameters were used to perform stability analyses along longitudinal slope sections. The characteristic of the slope were reconstructed by geological, geomorphological and seismic surveys. The stability analyses were carried out using the limit equilibrium method.

1. INTRODUZIONE

L'evento pluviometrico che ha colpito la Liguria il 9-11 novembre 2014 (247 mm di pioggia al pluviometro di Panesi) ha causato numerose frane superficiali e allagamenti nell'area del Tigullio (GE). Sette di queste frane (Fig. 1) hanno interessato le coperture detritiche di un versante nel Comune di Leivi (Cevasco et al., 2015, 2017), dove affiorano le Argille a Palombini e gli Scisti Manganesiferi dell'Unità Gottero (Domino Ligure Interno).

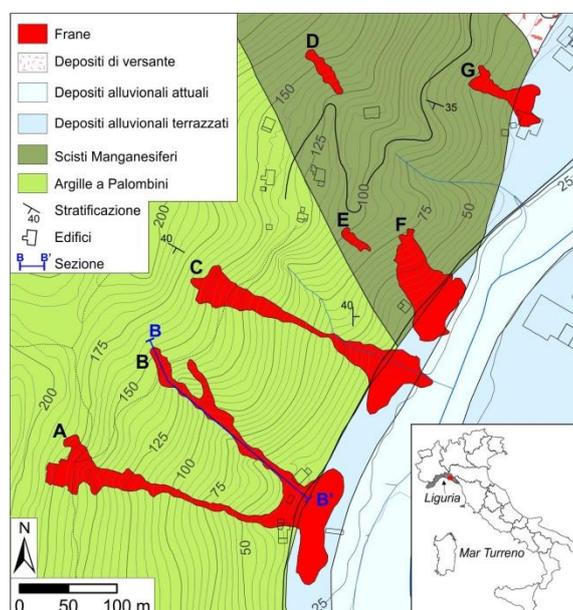


Figura 1. Carta geologica del versante di studio (da Vannucci et. Al. 2019, modificata).

Tali frane, essendo controllate da diversi fattori, risultano di difficile previsione spazio-temporale. Pertanto, per comprenderne meglio i loro meccanismi d'innescio e contribuire alla definizione della pericolosità, è necessario implementare le conoscenze sulle caratteristiche morfologiche dei versanti e sulle

caratteristiche geotecniche dei terreni. Nel versante di studio sono state svolte indagini atte alla definizione dei valori di coesione (c') e angolo di resistenza al taglio (ϕ') di materiali a comportamento attritivo (principalmente sabbia e ghiaia) e ad ipotizzare più modelli geologico-tecnici di pendio variando le condizioni idrogeologiche al contorno e i parametri geotecniche delle coperture.

In corrispondenza delle frane B e C, sono state effettuate prove per ricostruire le caratteristiche sismiche, geologico-tecniche e idrogeologiche del versante. Inoltre, sui coronamenti di tali frane sono stati prelevati campioni disturbati successivamente sottoposti a prove di taglio con macchina prototipale di grandi dimensioni. Su ogni campione sono state eseguite tre serie di prove: prova asciutta (Dry), prova umida (Wet; $W_{wet} = 12\%$); prova satura (Sat).

Le prove effettuate hanno permesso di ipotizzare due differenti modelli geologico-tecnici del pendio. Nel primo modello (Dry) la falda è stata considerata con una soggiacenza media di $-5,40$ e i parametri geotecniche sono stati ottenuti con taglio diretto su provini asciutti. Nel secondo modello (Sat) è stata considerata la falda a p.c. e i parametri di resistenza al taglio ricavati su provini saturi.

2. MATERIALI E METODI

2.1 *Macchina di taglio di grandi dimensioni*

La macchina di taglio diretto di grandi dimensioni (Modello Tecnotest ZZ700/L97) in dotazione al Laboratorio di Geologia Applicata e Geotecnica del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa, permette di testare campioni granulari (sabbie e ghiaie) aventi dimensioni di $300 \times 300 \times 100$ mm. Le norme ASTM D3080 (2011), per ridurre al minimo gli effetti di scala, prescrivono che il rapporto W o D (con W lato della scatola di taglio e D diametro della scatola) su D_{max} (diametro massimo delle particelle che costituiscono il campione) non deve essere inferiore al 10. Altri ricercatori suggeriscono di mantenere questo rapporto non inferiori a 6 (vedi Vannucci et al., 2019). Essendo il lato della scatola di taglio di 300 mm, potenzialmente possono essere testati campioni (senza incorrere in effetti di scala non più trascurabili) con dimensioni particellari massime di 30 mm secondo le norme ASTM D3080 (2011).

L'apparecchiatura di taglio utilizzata è costituita da due centraline che attivano il sistema di salita/discesa del carico verticale e lo spostamento orizzontale, e un corpo centrale che contiene la scatola di taglio. Per ulteriori informazioni sulle caratteristiche di tale apparecchiatura si rimanda allo studio di Vannucci et. Al. (2019).

2.2 *Analisi di stabilità*

Le caratteristiche morfologiche del versante sono state ricostruite attraverso stese sismiche a rifrazione in onde p eseguite a monte dei coronamenti delle frane B e C e consultando le stratigrafie di sondaggi geognostici eseguiti lungo il versante nell'ambito di precedenti studi. Tali indagini hanno permesso di ipotizzare un modello del versante a tre strati: coltre detritica (strato 1) con spessore medio di 2 m; porzione fratturata e alterata del substrato (Argille a palombini; strato 2) con spessore medio di 6 m; substrato intatto (strato 3).

Gli spessori sono stati considerati costanti lungo tutta la sezione in accordo con l'ipotesi di pendio indefinito. Nel primo modello (dry) per lo strato 1 sono stati utilizzati i parametri geotecniche ricavati da prove di taglio diretto su campione asciutto, mentre il coefficiente di permeabilità è stato ricavato da prove di permeabilità con infiltrometro ad anello singolo eseguita nel punto di prelievo del campione. I parametri degli strati 2 e 3 sono stati stimati a partire da analisi visive dell'affioramento roccioso e con l'ausilio di specifici abachi.

3. RISULTATI

3.1 *Prove di taglio diretto*

Per sinteticità sono stati riportati in seguito i risultati ottenuti sul campione prelevato in corrispondenza della frana B, classificato come *silty sand with gravel* secondo la norma ASTM D2406-06 (2006). Le figure 2a e 2b mostrano le curve τ -spostamenti orizzontali ottenute con tensioni verticali di 50, 100 e 150 kPa, rispettivamente in condizioni di materiale asciutto e saturo. La figura 2C riporta invece i possibili involuppi di

rottura residui ottenuti per i due campioni. La tabella 1 riassume i valori di sforzo di taglio a rottura normale e tangenziale e i valori di c' e ϕ' di picco e residui ottenuti per il campione B.

Analizzando i risultati ottenuti è possibile osservare che: all'aumentare del contenuto d'acqua l'angolo di resistenza al taglio si riduce, mentre si manifesta una certa coesione apparente, ciò può essere giustificato in termini di suzione; il provino saturo presenta bassi valori di angolo di resistenza al taglio sia in condizioni di picco che residue. Il medesimo andamento dei parametri di resistenza al taglio di cui al punto 1, è stato riscontrato anche da Vannucci et. al. (2019) per campioni provenienti dalla nicchia di distacco della frana A.

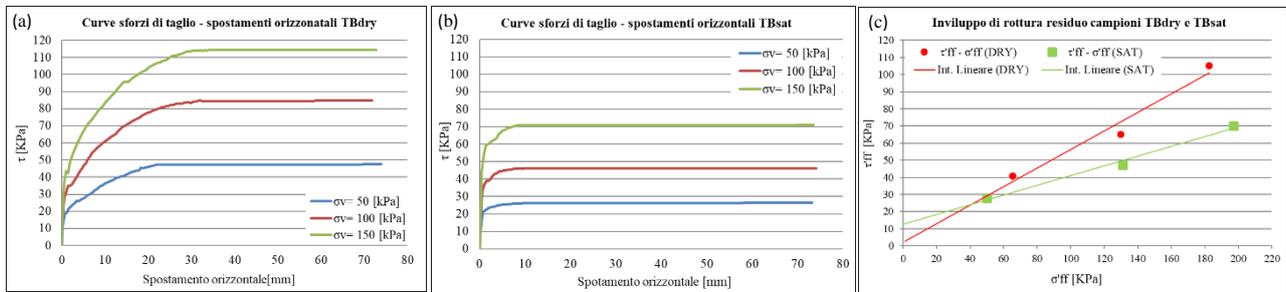


Figura 2. (a) Curve τ -spostamenti orizzontali del campione asciutto (TBdry); (b) curve τ -spostamenti orizzontali del campione saturo (TBSat); (c) involucri di rottura residuo campioni TBdry e TBSat.

Tabella 1. Valori di picco e residui della tensione di taglio a rottura e di coesione e angolo di resistenza al taglio ottenuti per diversi contenuti di acqua (W) per il campione prelevato in corrispondenza della frana B. In rosso i valori di c' e ϕ' usati per le analisi di stabilità.

W [%]	Valori di picco				Valori residui			
	τ'_{ff} [kPa]	σ'_{ff} [kPa]	c' [kPa]	ϕ' [°]	τ'_{ff} [kPa]	σ'_{ff} [kPa]	c'_R [kPa]	ϕ'_R [°]
Asciutto	49.8	54.1	20	29	40.8	65.4	2	29
	85.9	115.0			65.0	129.7		
	114.3	169.0			105.0	182.5		
Umido W=12%	45.8	61.8	17	27	45.4	63.6	29	17
	82.4	118.6			74.9	128.7		
	103.1	175.0			85.0	193.8		
Saturo	29.9	54.9	13	18	28.0	50.0	13	16
	49.0	109.2			47.0	131.0		
	74.0	191.5			70.0	197.0		

3.2 Analisi di stabilità

Anche in questo caso vengono riportati solamente i risultati delle analisi di stabilità eseguite lungo la sezione BB' della frana B (Fig. 1). I parametri geotecnici utilizzati sono quelli riportati in tabella 1. Nel modello (dry) la falda è stata posta a -5,40 m dal p.c. in accordo con i valori ottenuti dal monitoraggio piezometrico sul piezometro ubicato a monte della frana, mentre nel modello (Sat) la falda è stata posta a p.c.

In Figura 3a sono riportati i risultati dell'analisi di stabilità, i parametri geotecnici, idrogeologici e lo spessore degli strati 1, 2 e 3 utilizzati nell'analisi di stabilità del modello asciutto (Dry). Come mostrato nel modello, la superficie di rottura critica ha un $F_s = 1,32$ e interessa la copertura detritica per una lunghezza di circa 70 m.

Nel modello di pendio saturo (Sat) (Fig. 3b) i parametri geotecnici della copertura sono stati ottenuti dalle prove su campione saturo, mentre la falda è stata ipotizzata a p.c. Le caratteristiche geomeccaniche e lo spessore degli strati 2 e 3 sono identici per entrambi i modelli. La superficie di rottura critica ha un $F_s = 0,80$, il quale denota un pendio in condizioni di forte instabilità, dovuta a deficit di resistenza del materiale di copertura. La superficie critica di rottura, lunga circa 40 m, interessa in tutto il suo spessore la copertura detritica (strato 1) e in modo parziale lo strato 2 (bedrock fratturato e alterato), per una profondità massima di circa 4,5 m rispetto al p.c. La generale instabilità nel pendio passando da condizione di terreno asciutto a saturo, dovuta all'innalzamento della falda a p.c., è condizionata dal peggioramento delle caratteristiche geotecniche dello strato 1.

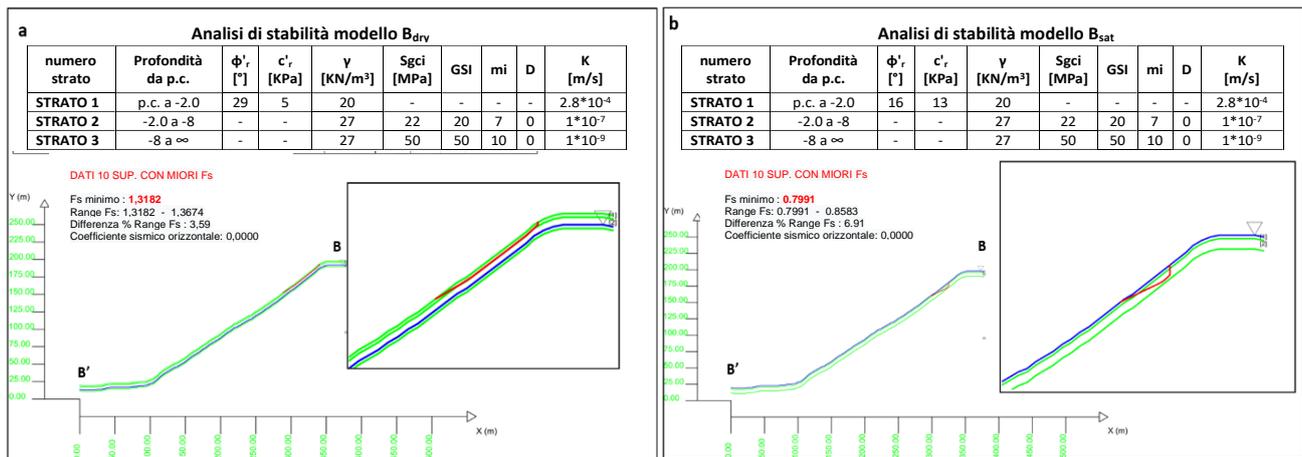


Figura 3a. Analisi di stabilità modello Dry. Figura 3b. Analisi di stabilità modello Sat. Legenda: ϕ' angolo di resistenza al taglio residuo [°]; c'_r Coesione residua [kPa]; γ peso di volume del campione [kN/m³]; sigci Uniaxial compressive strenght; GSI Geological strenght index; mi Costante litologica; D fattore di disturbo; K permeabilità [m/s]; linee verdi: limiti strati modello; linea blu: superficie piezometrica; linea rossa: superficie di rottura critica. Programma SSAP 2010.

4. COLCLUSIONI

I risultati ottenuti con la macchina di taglio grande, la cui validità è stata confermata dalle analisi di stabilità, come prevedibile, mettono in evidenza un forte peggioramento delle caratteristiche geotecniche del terreno con l'aumentare del contenuto di acqua.

L'apparecchiatura utilizzata per il taglio presenta alcuni vantaggi rispetto alla tradizionale scatola di taglio di Casagrande fra cui: ottenere in modo diretto valori affidabili di coesione e angolo di resistenza al taglio su materiali granulari con dimensioni massime delle particelle fino al campo della ghiaia; testare provini di terreno con dimensioni maggiori rispetto a quelli tradizionali e quindi statisticamente più rappresentativi del terreno esame.

Un ulteriore sviluppo di questo lavoro potrebbe chiarire meglio in che modo le diverse frazioni granulometriche ed il contenuto di acqua influenzano il comportamento meccanico di un terreno prevalentemente granulare.

5. BIBLIOGRAFIA

ASTM D2406-06 (2006). Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). ASTM International, West Conshohocken, PA.

ASTM D3080/D3080M (2011). Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained. ASTM International, West Conshohocken, PA. https://doi.org/10.1520/D3080_D3080M-11.

Cevasco A., Pepe G., D'Amato Avanzi G., Gianecchini R. (2017) Preliminary analysis of the 10 November 2014 rainstorm and the related landslides in the lower Lavagna Valley (Eastern Liguria). Italian Journal of Engineering Geology and Environment, Special Issue 1:5–15. <https://doi.org/10.4408/IJEGE.2017-01.S-01>

Cevasco A., Pepe G., D'Amato Avanzi G., Gianecchini R. (2015) A study on the 10 November 2014 intense rainfall and the related landslides in the lower Lavagna valley (eastern Liguria). Rend Online Soc Geol Ital 35:66–69. <https://doi.org/10.3301/ROL.2015.65>

Vannucci, S., Avanzi, G. A., Galanti, Y., Gianecchini, R., Presti, D. L., & Capilleri, P. P. (2019). Strength parameters of debris using a large shear box apparatus: application to a case history. Rock Mechanics and Rock Engineering, 52(11), 4421-4437.