

OSSERVAZIONI SPERIMENTALI RELATIVE A COLATE RAPIDE DI FANGO RIPRODOTTE ATTRAVERSO UN MODELLO FISICO DI PENDIO

Luca Pagano, Maria Claudia Zingariello, Claudio Mancuso, Filippo Vinale

Università di Napoli Federico II

mczingar@unina.it, lupagano@unina.it

Sommario

L'articolo illustra alcuni risultati conseguiti simulando attraverso un modello fisico di pendio fenomeni di colata in coltri piroclastiche. Il modello fisico, ultimato da circa un anno, è stato sviluppato nell'ambito di un progetto di ricerca PON al quale il Dipartimento di Ingegneria Geotecnica dell'Università di Napoli "Federico II" ha collaborato con l'Ente proponente, Società Autostrade Meridionali. La sperimentazione ha evidenziato le potenzialità del modello fisico ed ha fornito alcuni risultati di utilità pratica.

Descrizione dell'attrezzatura e procedure sperimentali

L'attrezzatura, in tutte le sue componenti, è stata già descritta in precedenti lavori (Zingariello et al., 2005; Pagano et al., 2006). Essa è di seguito richiamata nei suoi elementi essenziali e sono inoltre descritte le procedure sperimentali seguite nel corso del primo anno di sperimentazione. Un campione di dimensioni massime pari a 6 m^3 ($3\text{m} \times 3\text{m} \times 0.7\text{m}$) può essere posto in opera in un cassone (tratto "A" di Fig. 1), inclinabile fino al valore limite di 70° ed imbibito attraverso la superficie superiore, a mezzo di una pioggia artificiale simulata

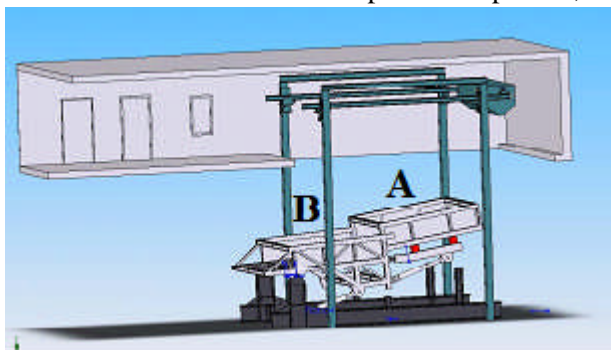


Figura 1. Configurazione delle componenti principali del modello fisico.

con 4 ugelli montati su altrettanti bracci che aggettano sul campione. Le condizioni di prova adottate nel primo anno di sperimentazione hanno interessato campioni di spessore pari a circa 40 cm sottoposti, per inclinazioni variabili tra 32° e 40° , ad una stessa intensità di pioggia (30 mm/h). I campioni sono stati "incollati" sul fondo in modo rendere il processo franoso controllato dall'angolo di attrito efficace del terreno, e vincolati

rigidamente nella direzione dello scorrimento in corrispondenza della superficie laterale di valle. Da un punto di vista idraulico il fondo è stato imposto impermeabile e la superficie laterale di valle è stata resa perfettamente drenante attraverso l'adozione di un panno geosintetico.

Il comportamento post-rottura si sviluppa lungo un tratto posto a valle del cassone "A" ("B" in Fig.1). Al tratto "B" è possibile conferire inclinazioni indipendenti da quelle imposte al campione. Nelle condizioni di prova adottate a questo tratto di transito della frana è stata associata una pendenza molto modesta. Osservando la rapidità di transito su un tratto sub-orizzontale si è infatti cercato di esaltare le potenzialità cinematiche conferite alla massa dal

processo d'innescò e di comprendere, seppur via qualitativa, il grado di fluidificazione associato alla massa stessa. Un terzo contenitore, posto a valle del tratto "B", funge esclusivamente da serbatoio di raccolta del materiale franato.

Al fine di rendere possibile la posa in opera di campioni in uno stato significativamente sciolto simile a quello che spesso si osserva nella realtà, è stato sviluppato un complesso sistema nel quale la massa di terreno viene dapprima disaggregata a mezzo di un vibrovaglio, quindi essiccata in movimento all'interno di un forno a tunnel, infine raccolta in una tramoggia e posta in opera per strati attraverso la tecnica della deposizione pluviale, movimentando la tramoggia dapprima in direzione verticale e quindi provocando la caduta del materiale dalla tramoggia durante la fase di movimentazione orizzontale al di sopra del tratto "A". Durante la sperimentazione realizzata si è cercato di indurre nel mezzo il massimo valore possibile di porosità. I valori ottenuti (Tab.1) sono tutti compresi tra il 65% e il 70%.

Durante le fasi di deposizione a strati sono stati installati alcuni strumenti all'interno del terreno per la misura della suzione e del contenuto d'acqua. Lo scopo delle prove è infatti quello di caratterizzare il comportamento idraulico del campione nel corso di un fenomeno meteorico virtuale e verificare se le grandezze fisiche menzionate siano o meno in grado di precorrere efficacemente l'innescò del fenomeno franoso. Sono stati installati 20 tensiometri convenzionali della Soil Moisture tipo small tip per la misura della suzione a tre diverse profondità dal piano limite, e 4 sonde TDR, ad una medesima profondità dal piano limite.

Attraverso 4 celle di carico su cui il tratto A è adagiato è stato possibile misurare nel corso delle prove le variazioni di peso del campione, tipicamente associabili o all'acqua immagazzinata dal campione o all'occorrenza di fenomeni franosi.

Gli spostamenti della superficie superiore del campione vengono acquisiti attraverso due tecniche diverse: un laser scanner ed un sistema di video ripresa per l'analisi di immagini sequenziali con la tecnica P.I.V. (Particle Image Velocimetry). Il laser scanner, movimentabile parallelamente al piano del cassone A, consente misure a bassa frequenza di acquisizione ed elevata accuratezza, ottimali per caratterizzare l'evoluzione della superficie del campione durante le fasi di prerottura. L'analisi P.I.V. consente invece di realizzare misure che, se confrontate con quelle del laser scanner, sono ad elevata frequenza di acquisizione e accuratezza modesta. Sono più indicate per caratterizzare l'evoluzione della superficie nella fase di innescò di un fenomeno franoso e per monitorare le fasi post-rottura.

Terreni sottoposti a prova e programma sperimentale realizzato

Il materiale utilizzato per la sperimentazione è stato prelevato in località Nocera Inferiore in una zona prossima a quella nella quale si è verificata la frana del marzo 2005. Le proprietà intrinseche dei terreni adottati nelle prove sono del tutto simili a quelle del materiale costituente il corpo frana. Si tratta (Fig. 2) di piroclastiti, ovvero di materiali di origine

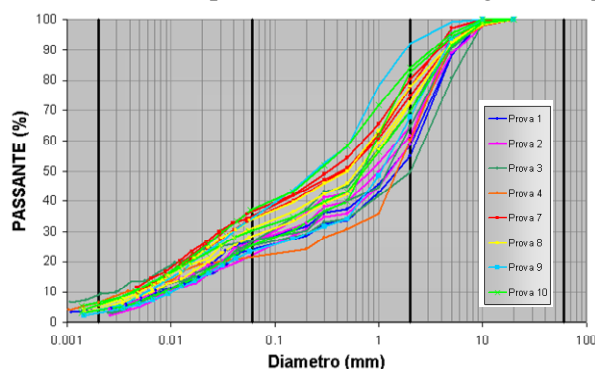


Figura 2. Fuso granulometrico del terreno utilizzato nella sperimentazione.

Prova N.	pendenza (°)	w_n^* (%)	porosità [†] (%)	S_r^* (%)
1	32	31.09	66.72	41.10
2	35	33.21	70.73	36.43
3	32	31.38	70.02	35.62
4	35	25.83	68.33	31.74
5	37	-	-	-
6	-	-	-	-
7	37	41.09	62.24	41.89
8	40	36.35	66.22	49.34
9	35	39.21	62.83	64.71
10	37.5	26.58	67.91	33.29

[†]valori medi

Tabella 1. Caratteristiche dei campioni utilizzati in tutte le prove effettuate.

vulcanica, con assortimento granulometrico assai vasto a prevalente componente sabbiosa e con significative frazioni di limo e ghiaia (pomici). La plasticità è pressoché nulla.

Come già accennato in precedenza, i campioni posti in opera nelle diverse prove sono tutti caratterizzati da porosità significative (Tabella 1). Il contenuto d'acqua medio del campione all'inizio della prova è stato variato a seconda dei casi, applicando processi di imbibizione diversi nel periodo temporale compreso tra la posa in opera del campione e l'esecuzione della prova stessa. (Tabella 1).

Sono state realizzate complessivamente 10 prove. Nel seguito si descrivono alcuni risultati.

Risultati

La figura 3 riporta per ciascuna prova l'evoluzione temporale delle variazioni del peso del campione rispetto all'istante di inizio prova misurate attraverso le celle di carico. Il graduale incremento di peso a derivata decrescente è associato all'incremento di acqua immagazzinata dal campione. Brusche cadute indicano invece la perdita improvvisa di materiale causata da movimenti franosi. Ovviamente, l'entità della caduta è proporzionale alla significatività del movimento franoso occorso. Le curve illustrano quindi sinteticamente ed efficacemente la storia della prova. Quasi tutte le prove hanno termine con una brusca caduta di peso, ovvero con un fenomeno d'instabilità che interessa la quasi globalità della massa del campione.

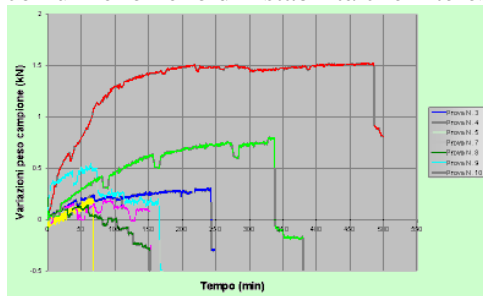


Figura 3. Variazione del peso del campione misurato nelle diverse prove effettuate.

Nella quasi totalità dei casi l'angolo di inclinazione del campione è inferiore all'angolo di attrito (pari a circa 37°). In queste condizioni il fenomeno di instabilità è associato teoricamente a valori positivi delle pressioni interstiziali. Valori positivi di pressione interstiziale possono prodursi localmente nel corso dell'avanzamento del fronte umido dall'alto verso il basso a causa delle disomogeneità del mezzo e alla non perfetta uniformità della pioggia, dando luogo a piccoli fenomeni di

instabilità che coinvolgono spessori modesti in aree limitate e che sono evidenziati da più o meno modeste riduzioni di peso. Valori positivi di pressione interstiziale dovrebbero in linea di principio svilupparsi e propagarsi dal basso verso l'alto in una fase avanzata della prova, a partire dal momento in cui il fronte umido raggiunge il fondo impermeabile. Il fenomeno d'instabilità dovrebbe pertanto innescarsi quando sul fondo vengono attinte le condizioni di stato tensionale di rottura e dovrebbe per questo coinvolgere improvvisamente l'intera massa del campione, evidenziandosi con una brusca e significativa variazione di peso.

Nell'unica prova (prova 8) eseguita adottando un angolo d'inclinazione maggiore dell'angolo di attrito le variazioni negative di peso associate a continui, piccoli smottamenti prevalgono sulle variazioni positive associate all'acqua immagazzinata. In questo caso è sufficiente che la suzione raggiunga valori prossimi allo zero affinché si determinino stati pensionali tali da

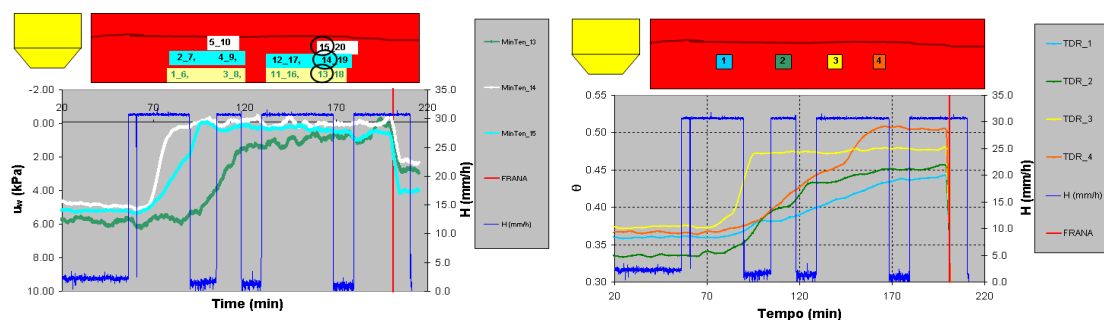


Figura 4. Prova N. 7: a) variazione di suzione; b) incremento del contenuto di acqua

determinare l'instabilità. Per tale motivo, le condizioni d'instabilità si propagano dall'alto verso il basso insieme alla propagazione del fronte umido che determina l'annullamento della suzione. Non si verifica allora un unico fenomeno d'instabilità che coinvolge l'intera massa ma si verificano fenomeni d'instabilità parziali degli spessori che di volta in volta vengono interessati dal processo di saturazione. Nel sistema il processo di trasformazione di energia potenziale in energia cinetica è progressivo e dilazionato nel tempo, e non più improvviso, come nei casi precedentemente esaminati.

Nelle prove l'avanzamento del fronte umido è stato monitorato attraverso le misure di suzione (Fig.4a) e di contenuto d'acqua (Fig.4b). Tali grandezze fisiche si sono mostrate anche discrete precorritrici del fenomeno d'instabilità globale. Quest'ultimo si è infatti verificato sempre entro un lasso di tempo non superiore all'ora a partire dall'istante di annullamento della suzione a tutte le profondità.

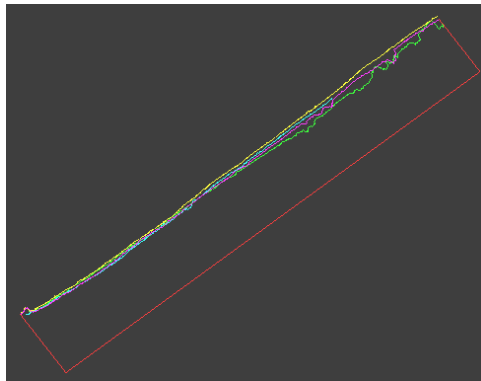


Figura 5. Variazioni di geometria del campione ottenute mediante la tecnica del laser scanner.

E' interessante notare come attraverso la tecnica laser scanner sia possibile visualizzare efficacemente in sezione le variazioni di geometria del campione. In particolare (Fig.5) è possibile notare come il campione nel corso della prova tenda per così dire a difendere la propria condizione di stabilità dall'azione instabilizzante del processo d'imbibizione riducendo la propria inclinazione.

In letteratura sono presenti relazioni che legano la durata dell'evento piovoso "scatenante" ovvero responsabile del fenomeno d'instabilità, all'intensità dell'evento stesso. Sono relazioni ricavate su base empirica, che trascurano svariati fattori tra cui lo stato iniziale del mezzo, ovvero le condizioni d'imbibizione in cui esso si trova prima dell'evento meteorico scatenante. L'influenza dello stato iniziale è invece evidenziata in modo significativo dalla relazione sperimentale ricavata (Fig.6) raccogliendo i risultati di alcune delle prove realizzate. Si nota che la durata della pioggia necessaria a causare il fenomeno d'instabilità globale ad un'intensità di 30 mm/h è funzione del valor medio di suzione iniziale. Lo stato iniziale può incrementare fino a otto volte la durata dell'evento scatenante. Ciò spiega su base sperimentale il motivo che rende rari i fenomeni franosi in piroclastici nei mesi (settembre, ottobre, novembre) preceduti dalla stagione "secca".

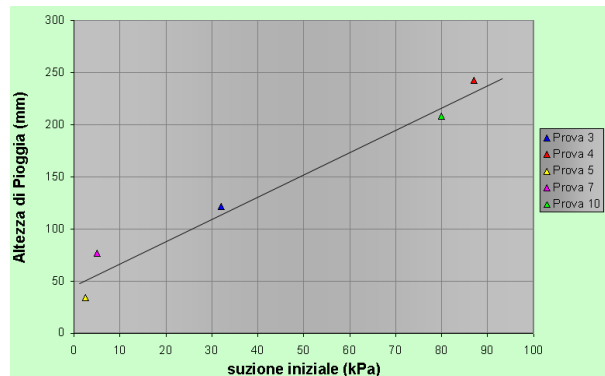


Figura 6. Altezza di pioggia critica in funzione della suzione iniziale media del campione.

Bibliografia

- M.C. Zingariello, L. Pagano, C. Mancuso (2005), *Experimental study of flowslide on reconstituted samples of pyroclastic soils: soil characterization and testing devices*, atti del International Symposium Advanced Experimental Unsaturated Soil Mechanics Experus 2005, 27-29 giugno 2005, Trento, pp.131-137.
- L. Pagano, M.C. Zingariello, C. Mancuso (2006), *Un modello fisico di pendio per la simulazione di fenomeni di colata rapida*, Incontro Annuale dei Ricercatori di Geotecnica 2006 - IARG 2006, Pisa, 26 – 28 giugno 2006.