

RIFLESSIONI SULLA CINEMATICA DI UNA GRANDE COLATA ATTIVA DELLA VALLE DEL BASENTO

Roberto Vassallo, Caterina Di Maio

Dipartimento di Strutture, Geotecnica, Geologia applicata, Università della Basilicata
roberto.vassallo@unibas.it; caterina.dimaio@unibas.it

Luca Comegna, Luciano Picarelli

Dipartimento di Ingegneria Civile, Seconda Università di Napoli
luca.comegna@unina2.it; luciano.picarelli@unina2.it

Sommario

La nota riporta alcune considerazioni sul meccanismo di spostamento di una grande e lenta colata attiva della valle del fiume Basento, in Basilicata. Le principali caratteristiche cinematiche sono: uniformità di spostamento nelle sezioni trasversali del canale, velocità sensibilmente decrescente da monte verso valle, modeste variazioni stagionali di velocità. Tra le potenziali cause di spostamento, qui si esamina il possibile ruolo dell'erosione al piede esercitata dal corso d'acqua con l'ausilio di analisi numeriche 2D basate su metodi dell'equilibrio limite e agli elementi finiti.

Introduzione

La frana di Costa della Gaveta è una frana antica ed attiva che si sviluppa in sinistra idraulica del fiume Basento (fig. 1), in una zona a est dell'abitato di Potenza. Di Maio et al. (2010) ne hanno descritto le principali caratteristiche cinematiche, mostrando che è soggetta a continui e lenti spostamenti con leggere variazioni stagionali. La velocità di spostamento non si è mai annullata in numerosi anni di osservazione (Pagliuca et al., IARG 2012), quindi si può dire che il fattore di sicurezza sia costantemente attorno all'unità.

Secondo alcuni Autori (tra cui Vulliet 1986, Ledesma et al. 2009) fenomeni lenti di questo tipo possono essere originati da spostamenti di tipo viscoso nel corpo di frana o lungo la superficie di scorrimento. Altri Autori (Picarelli et al. 2005) ritengono che almeno parte dello spostamento sia da attribuire a deformazioni interne al corpo di frana il cui fattore di sicurezza potrebbe anche essere maggiore dell'unità. Questo è ciò che probabilmente accade in molte colate a causa della ridotta rigidità del corpo di frana.

In genere, ha un ruolo di rilievo la zona d'accumulo, caratterizzata da pendenze modeste, che spesso si sviluppa nella zona inferiore di una valle fluviale. Una volta formatosi, l'accumulo ha un effetto stabilizzante sul corpo di frana, contrastandone i successivi movimenti. In alcuni casi, gli spostamenti di una colata possono continuare per effetto dell'apporto dalla zona di alimentazione. Un'eventuale interruzione dell'alimentazione da monte può indurre un rallentamento, ma non è detto che gli spostamenti si arrestino del tutto. Variazioni di pressioni interstiziali, deformazioni viscosi, effetti dell'erosione fluviale al piede sono difatti tutte possibili cause del perdurare dei movimenti. Per la frana di Costa della Gaveta, l'erosione al piede sembra avere un ruolo di rilievo. Per approfondire tale aspetto sono state effettuate analisi numeriche con i metodi dell'equilibrio limite e degli elementi finiti.

Proprietà fisiche e meccaniche dei terreni

La frana di Costa della Gaveta si sviluppa in Argille Varicolori, estremamente scagliose ed

eterogenee (Picarelli et al. 2000). La matrice argillosa è altrettanto eterogenea, per composizione e struttura. Per ulteriori dettagli si rimanda a Di Maio et al. (2010). Data la presenza di numerosi elementi di consistenza lapidea, è stato possibile prelevare pochi campioni indisturbati. Su questi si è determinata la resistenza di picco tramite prove consolidate – non drenate, stimando $c' = 50$ kPa e $\phi' = 14^\circ$ (fig. 2). La resistenza residua è stata determinata con prove di taglio diretto sul materiale indisturbato e ricostituito ed è caratterizzata da $c'_r = 0$ e ϕ'_r di circa 10° (Di Maio et al. 2010). La notevole differenza di resistenza tra picco e residuo giustifica, secondo Di Maio et al. (2010) e Vassallo et al. (2011) le caratteristiche cinematiche della frana, descritte di seguito.

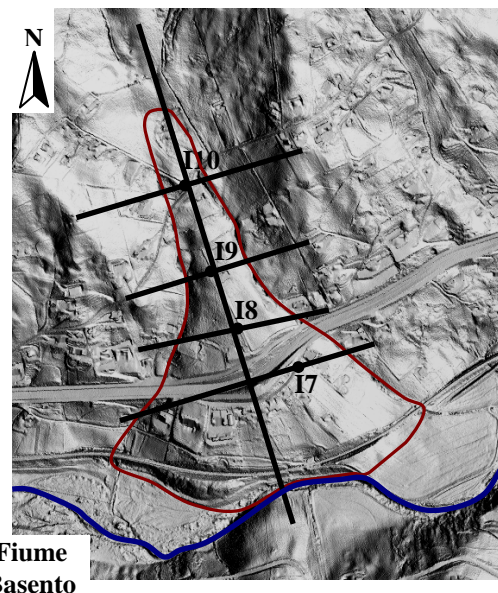
Geometria e cinematica

Di Maio et al. (2010) hanno mostrato che le aree delle sezioni trasversali della frana aumentano significativamente da monte verso valle (fig. 3b). Inoltre hanno evidenziato come i profili di spostamento di ogni inclinometro possano essere considerati in prima approssimazione uniformi dalla superficie di scorrimento fino al piano campagna (fig. 3a).

Anche D'Elia (1975) e Van Asch & Van Genuchten (1990) hanno notato, in situazioni analoghe per resistenza a taglio e stati tensionali, assenza di significative deformazioni da creep nel corpo di frana. Le condizioni della frana oggetto di studio sono state analizzate in vari modi. Essendo le tensioni tangenziali mobilitate significativamente inferiori ai valori limite consentiti dalla resistenza di picco (Vassallo et al. 2011), gli stati tensionali nel corpo di frana risultano plausibilmente al di fuori del dominio di creep intenso (Ter Stepanian 1963, Yen 1969).

Le misure inclinometriche mostrano un significativo aumento della velocità media di spostamento da monte verso valle (figg. 3a e 4). Nel canale, il rapporto tra gli spostamenti profondi nelle diverse postazioni di misura è praticamente costante in tutto il periodo di osservazione. In fig. 4 si nota come la serie storica di I8 moltiplicata per 2 sia quasi coincidente con quella di I9, costituita dai risultati di misure con sonde fisse (tra il 2006 e il 2009) e con sonda mobile. Nell'ipotesi di spostamenti uniformi in ciascuna sezione trasversale, Di Maio et al. (2010) hanno stimato una portata di terreno praticamente costante da monte fino a valle. L'effetto delle piogge sull'andamento degli spostamenti è analizzato da Vallario et al. (IARG 2012).

Per quanto riguarda il ruolo dell'erosione al piede, esaminato in questa nota, è fondamentale osservare che la parte centrale della zona d'accumulo sembra esser stata



Fiume Basento

Figura 1. DTM con indicazione dei contorni di frana, della posizione degli inclinometri e delle sezioni longitudinali e trasversali considerate.

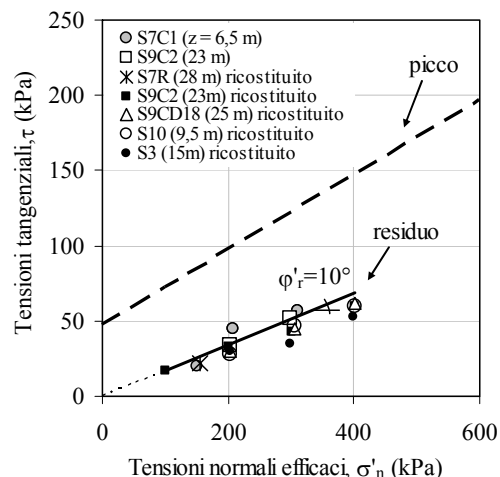


Figura 2. Resistenza residua da prove di taglio diretto e di picco da prove triassiali CIU su materiale indisturbato del corpo di frana.

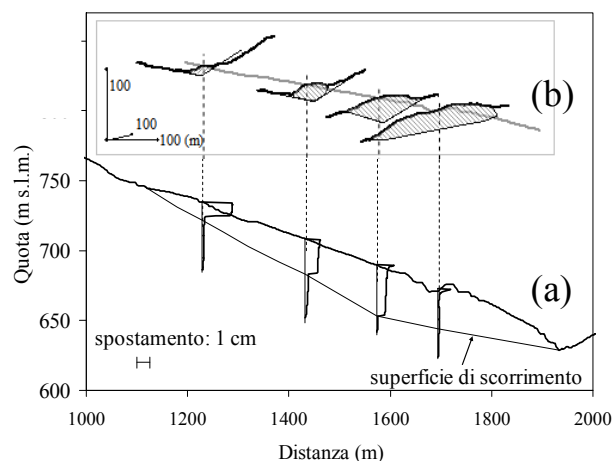


Figura 3. Superficie di scorrimento nella sezione longitudinale (a) e in alcune sezioni trasversali (b).

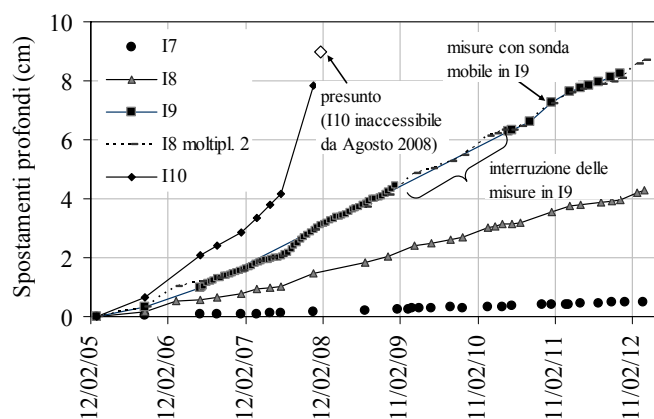


Figura 4. Spostamenti relativi lungo la superficie di scorrimento in funzione del tempo.

interessata da intensa erosione fluviale, probabilmente a causa della deviazione del fiume dovuta a una grande frana del versante opposto. L'erosione ha rimosso parte dell'accumulo, modificandone profondamente la geometria, come mostrato dalla fig. 5. In conseguenza di ciò si è attivato un fenomeno franoso locale, caratterizzato da una scarpata grossomodo circolare, che ha prodotto la geometria attuale al piede (fig. 5c). La fig. 5b riporta una possibile superficie di scorrimento locale, basata su osservazioni geomorfologiche. Tale superficie si ricongiunge a valle con quella globale. Le analisi di equilibrio limite sono state effettuate su entrambe le superfici, come riportato di seguito.

Analisi di stabilità con metodi dell'equilibrio limite

Sono state effettuate analisi piane, con riferimento alla sezione longitudinale di fig. 3a, tramite il software SLOPE/W (Geoslope International Ltd), basato sui metodi delle strisce.

Dato che la frana ha subito grandi scorrimenti lungo una superficie regolare, è lecito ipotizzare $c' = 0$. La distribuzione di pressioni interstiziali, in condizioni stazionarie, è stata stimata per condizioni corrispondenti a flusso nullo in superficie (Vallario et al., IARG 2012). I risultati (fig. 6a) mostrano che $FS = 1$ sulla superficie di scorrimento globale per φ' compreso tra 11° e 12° , quindi prossimo al residuo stimato da prove di laboratorio. Invece, per la superficie locale al piede, nell'attuale configurazione della frana, FS è unitario con φ' tra 14° e 15° . Si sono condotte anche analisi riferite a un possibile profilo del piano campagna precedente la fase di erosione fluviale. Le superfici di scorrimento globale e locale sono state estese fino alla probabile posizione che il fiume aveva nel passato, come riportato in fig. 5d.

I risultati (fig. 6b) mostrano che la rimozione di materiale al piede causa una riduzione di coefficiente di sicurezza lungo la superficie di scorrimento globale ($\Delta FS \approx 0,05$) molto

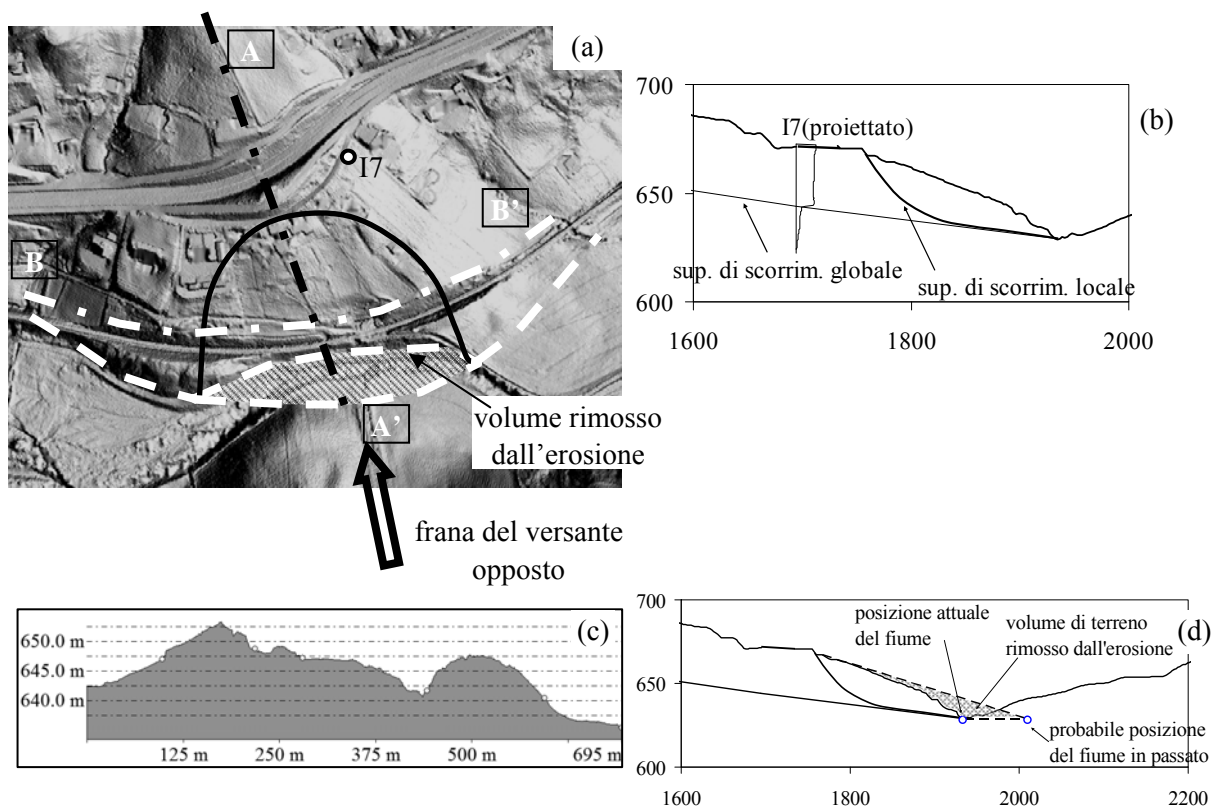


Figura 5. Zona d'accumulo: dettaglio del DTM (a); sezione longitudinale A-A' (b); sezione trasversale B-B' (c); profilo della zona d'accumulo prima della fase d'erosione (ipotizzato) e dopo (effettivo) (d).

minore rispetto a quella locale ($\Delta FS \approx 0,2$).

Al fine di valutare, seppure in forma semplificata, gli effetti tensio-deformativi dell'instabilità al piede sulla parte di monte, sono state implementate alcune analisi agli elementi finiti.

Analisi numeriche agli elementi finiti

La superficie di scorrimento di una colata ha tipicamente pendenze più basse nella zona d'accumulo, a volte anche nulle (nel caso studiato, di circa 4°). Il fattore di sicurezza locale della sola zona d'accumulo sarebbe quindi, in genere, maggiore dell'unità. Perciò durante le fasi di attività della frana, un coefficiente di sicurezza globale unitario si può avere solo se si porta in conto la spinta che il materiale di monte esercita sull'accumulo. Quest'ultimo si comporta come un ostacolo naturale che si oppone al movimento quando non c'è più alimentazione da monte. In tali condizioni, che sembrano essere quelle del caso in analisi, i movimenti possono continuare per effetto dell'erosione al piede. Ciò è stato simulato tramite un'analisi numerica semplificata agli elementi finiti, avente come obiettivo principale quello di analizzare in prima approssimazione la complessa interazione tra canale, accumulo e fiume (Vassallo et al. 2012). L'analisi è stata effettuata con PLAXIS 2D. La discretizzazione agli elementi finiti è riportata in fig. 7. Il terreno è considerato saturo anche al di sopra della superficie freatica, omogeneo ed isotropo. Il legame costitutivo adottato è elastico lineare - perfettamente plastico, con $E' = 50 \text{ MPa}$ e $\nu' = 0,40$. La resistenza del corpo di frana è caratterizzata dai valori di picco ($\varphi' = 14^\circ$, $c' = 50 \text{ kPa}$) derivanti dai risultati delle prove di laboratorio. La superficie di scorrimento è stata simulata con elementi interfaccia caratterizzati da $\varphi'_r = 11,7^\circ$, corrispondente a $FS = 1$ nell'analisi all'equilibrio limite. La massa di terreno effettivamente rimossa dall'erosione fluviale (fig. 5) è stata inizialmente considerata parte integrante del profilo della zona d'accumulo (fig. 7a) per poi essere rimossa nelle successive fasi di calcolo (fig. 7b).

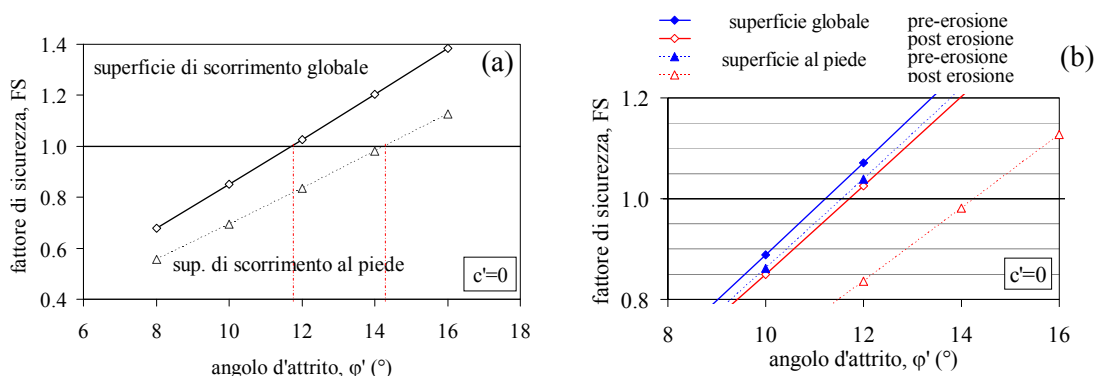


Figura 6: Fattore di sicurezza in funzione dell'angolo d'attrito da analisi all'equilibrio limite relative: alla geometria attuale dell'accumulo (a); alla geometria pre- e post- erosione (b).

Da ogni fase dell'analisi numerica è stata ottenuta la distribuzione del coefficiente di spinta $K = \sigma'_h / \sigma'_v$, rapporto tra le tensioni efficaci normali in direzione orizzontale e verticale, lungo la linea P-P' di fig. 7a. Obiettivo dell'analisi è, di fatto, ricavare la distribuzione di K corrispondente a una condizione di mobilitazione incipiente dell'accumulo.

La prima fase è consistita nell'applicazione del peso proprio (il cosiddetto *gravity loading*), considerando una superficie freatica leggermente sottoposta a quella delle analisi di fig. 5, al fine di ottenere una condizione iniziale di equilibrio ($FS=1,05$ da una corrispondente analisi all'equilibrio limite). I valori di K riportati in fig. 7c mostrano un picco nella zona in cui c'è una brusca variazione dello spessore del corpo di frana. Questo effetto potrebbe scomparire in un'analisi 3D, che terrebbe conto del fatto che in questa stessa zona c'è un forte aumento delle dimensioni trasversali del corpo di frana.

Le fasi successive hanno puntato alla stima della distribuzione di K per la quale FS diventa unitario. Per ottenere ciò, la superficie freatica è stata innalzata di 20 cm, provocando una parziale attivazione della superficie di scorrimento (fig. 7a). I valori di K (fig. 7c) diventano più alti nella zona d'accumulo per effetto dell'aumento della spinta da monte. Comunque, è possibile constatare che non si raggiunge la resistenza passiva, vista l'elevata resistenza (di picco) disponibile nel corpo di frana rispetto a quella (residua) disponibile lungo la superficie di scorrimento. Si può anche notare che da monte fino alla sezione Q-Q' (fig. 7a) i valori calcolati sono molto simili a quelli ottenibili a ritroso da un'analisi all'equilibrio limite. K risulta invece più elevato nella zona di valle, che si oppone allo scorrimento.

Il possibile effetto dell'erosione al piede è stato a questo punto introdotto rimuovendo la parte di valle della zona di accumulo soggetta a erosione fluviale. A causa di tale rimozione (fig. 7b), si riduce l'effetto di contenimento da parte dell'accumulo. Il rilascio tensionale di valle fa diminuire i valori dei coefficienti di spinta K, che diventano ovunque praticamente uguali a quelli dell'analisi all'equilibrio limite (fig. 7c).

In definitiva, tenuto conto della modesta inclinazione della superficie di scorrimento e della sua lunghezza nella zona d'accumulo, lo schema considerato suggerisce che una mobilitazione globale può avere origine dalla combinazione di tensioni orizzontali relativamente elevate nel corpo di frana e del rilascio tensionale causato dall'erosione.

Conclusioni

Vari segni geomorfologici indicano che l'erosione del Basento ha provocato una frana locale nella zona d'accumulo e che il fiume ha rimosso parte del piede. In accordo con ciò, le analisi all'equilibrio limite mostrano che tale rimozione ha indotto riduzioni di fattore di sicurezza significative nella zona al piede e minori, ma non trascurabili, per la superficie di scorrimento globale.

I risultati dell'analisi 2D agli elementi finiti mostrano che l'erosione fluviale può essere la

causa della mobilitazione del piede (segnalata dalle misure dell'inclinometro I7) e, probabilmente, anche della riattivazione dell'intera frana.

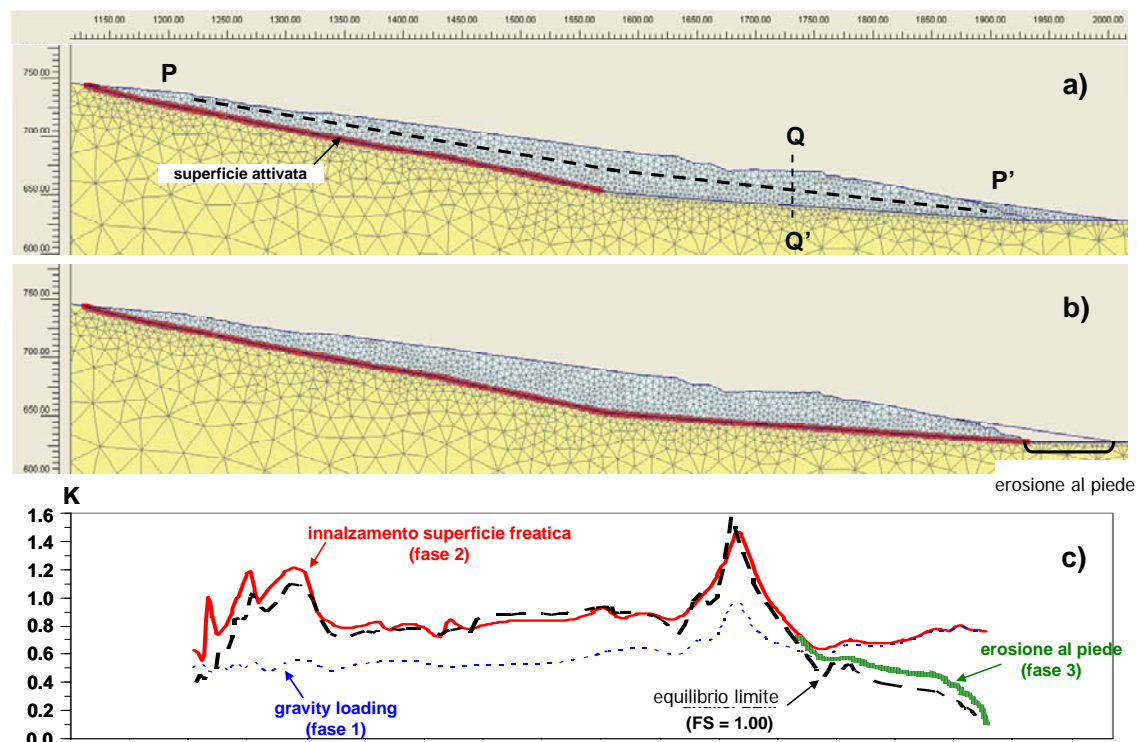


Figura 7. Risultati dell'analisi agli elementi finiti: superficie di scorrimento (in rosso) attivata dopo l'innalzamento considerato per la superficie freatica (a); e dopo la fase di erosione al piede (b); valori di K (rapporto tra tensioni normali efficaci in direzione orizzontale e verticale) lungo la linea P-P' (c).

Bibliografia

- D'Elia, B. 1975. Aspetti meccanici delle frane tipo "colata". Italian Geotechnical Journal 1: 32-42.
- Di Maio, C., Vassallo, R., Vallario, M., Pascale, S. & Sdao, F. 2010. Structure and kinematics of a landslide in a complex clayey formation of the Italian Southern Apennines. Eng. Geol. 116: 311-322.
- Ledesma, A., Corominas, J., González, D.A. & Ferrari, A. 2009. Modelling slow moving landslides controlled by rainfall. Proc. 1st Italian Workshop on Landslides, Naples, June 2009.
- Pagliuca, R., Vassallo, R., Di Maio, C. 2012. Analisi degli spostamenti di una frana lenta in argille consistenti. IARG, Padova, 2-4 luglio 2012.
- Picarelli, L., Olivares, L., Di Maio, C., Urciuoli, G. 2000. Properties and behaviour of tectonized clay shales in Italy. Proc. The Geotechnics of Hard Soils- Soft Rocks, Balkema, 1211-1241.
- Picarelli, L., Urciuoli, G., Ramondini, M. & Comegna, L. 2005. Main features of mudslides in tectonized highly fissured clay shales. Landslides 2 (1): 15-30.
- Ter Stepanian, G. 1963. On the long-term stability of slopes. NGI, Oslo, publication 52: 1-14.
- Van Asch, Th.W.J. & Van Genuchten, P.M.B. 1990. A comparison between theoretical and measured creep profiles of landslides. Geomorphology 3: 45-55.
- Vallario, M., Vassallo, R., Di Maio, C., 2012. Influenza delle piogge sulle velocità di spostamento di una frana lenta in argille consistenti. IARG, Padova, 2-4 luglio 2012.
- Vassallo, R., Di Maio, C., Vallario, M. 2011. A possible mechanism of movement of an ancient clayey landslide. Proc. of the 2nd World Landslide Forum, Rome, 3-7 October 2011, in press.
- Vassallo, R., Di Maio, C., Comegna, L., Picarelli, L. 2012. Some considerations on the mechanics of a large earthslide in stiff clays. Proc. 11th Int. Symp. On Landslides, Banff, Canada.
- Vulliet 1986. Modélisation des pentes naturelles en mouvement. PhD Thesis, École Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- Yen, B.C. 1969. Stability of slopes undergoing creep deformation. Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering Division 4: 1075-1096.