

INFLUENZA DELLE PIOGGE SUL COEFFICIENTE DI SICUREZZA DI UNA FRANA LENTA IN ARGILLE VARICOLORI

Margherita Vallario, Roberto Vassallo, Caterina Di Maio

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

Sommario

Si riportano i risultati preliminari di uno studio sull'influenza delle piogge sulle pressioni interstiziali e di queste sul coefficiente di sicurezza per una frana lenta che si sviluppa alle porte della città di Potenza in formazioni argillose strutturalmente complesse. L'analisi tenta anche di evidenziare l'influenza della geometria 3D sul valore del coefficiente di sicurezza che si determina con i metodi dell'equilibrio limite globale, mediante analisi 2D di due sezioni longitudinali: una in asse e l'altra in prossimità di uno dei canali laterali di frana.

Introduzione

La frana in esame si sviluppa nella valle del Basento, nella periferia orientale della città di Potenza, in un versante in Argille Varicolori. Fra il 2004 e il 2005 furono eseguiti fori di sondaggio, nei quali furono installati piezometri e inclinometri, e iniziò lo studio geotecnico del versante. I principali risultati della caratterizzazione geometrica e cinematica della frana sono riportati in Di Maio et al. (2010). In particolare, la velocità degli spostamenti profondi è risultata decrescente da monte verso valle. Le misure inclinometriche con sonde fisse e acquisizione in continuo hanno consentito di verificare che la frana è in continuo movimento, con piccole accelerazioni e decelerazioni. Allo stato delle conoscenze, sembra probabile che tali variazioni di velocità siano associate alle pressioni interstiziali, a loro volta influenzate dalle condizioni meteorologiche. In questo studio si è inteso valutare l'influenza delle piogge sulle pressioni interstiziali e di queste ultime sul coefficiente di sicurezza determinato con i metodi dell'equilibrio limite globale in due sezioni significative del corpo di frana. In particolare è stata considerata la sezione longitudinale in asse e una sezione longitudinale che si sviluppa a circa 20 m dal canale laterale in destra idraulica. Lo studio si è avvalso di misure in sito e modelli teorici, tenendo conto della serie storica delle piogge registrate a Potenza, in prossimità della zona in frana.

Misure piezometriche e prove di permeabilità

Nel 2004, in ciascun foro di sondaggio indicato in Fig. 1 con "S" sono stati installati due piezometri Casagrande, alle profondità di circa 15 e 35 m. Soltanto nel foro S9

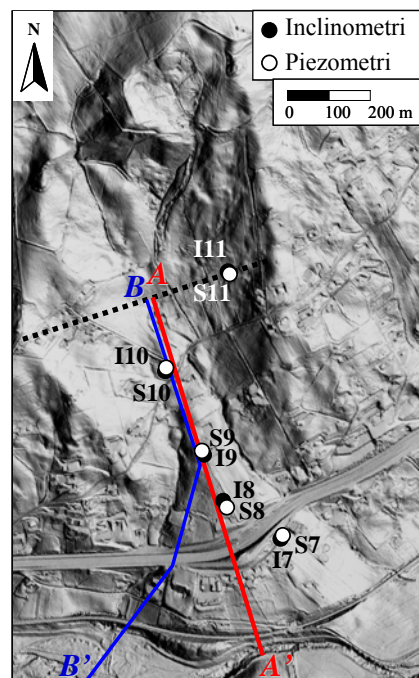


Figura 1. DTM con ubicazione dei fori di sondaggio strumentati con tubi inclinometrici e piezometri. Traccia della sezione trasversale passante per S11 e delle sezioni longitudinali A-A' e B-B'.

sono state installate due celle piezometriche elettroresistive, di cui quella inferiore non ha mai funzionato e quella superiore lo ha fatto solo per un breve periodo. In Fig. 2 sono riportate le misure piezometriche eseguite finora. Nei piezometri di monte S10 e S11 le quote piezometriche h sono risultate poco variabili nel tempo, mentre le altre hanno subito notevoli oscillazioni. Le maggiori oscillazioni si sono verificate nei piezometri del sondaggio S8, risultati in comunicazione idraulica fra loro e con il piano campagna. Per tale ragione, le oscillazioni, in particolare i massimi, non sono state ritenute significative.

Per stimare la conducibilità idraulica, sono state eseguite prove a carico variabile tramite i piezometri Casagrande, facendo innalzare il livello dell'acqua nei tubi e seguendo il transitorio di equalizzazione delle pressioni. Interpretando i risultati nell'ipotesi di mezzo indeformabile e adottando il coefficiente di forma relativo allo schema di filtro cilindrico in terreno uniforme ed isotropo (Wilkinson, 1968), sono stati ottenuti i valori di conducibilità idraulica riportati in Fig. 3a. Nella stessa figura sono anche riportati i valori di k ottenuti interpretando con la teoria della consolidazione monodimensionale di Terzaghi le curve di consolidazione edometrica ottenute per campioni indisturbati. Si può osservare che i valori edometrici sono minori di quelli ricavati dalle prove *in situ* di almeno due ordini di grandezza.

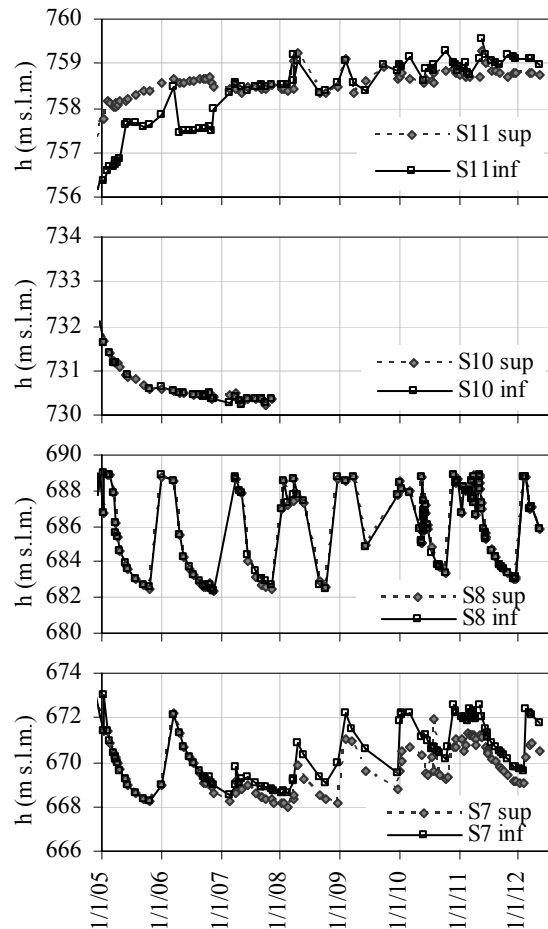


Figura 2. Quote piezometriche rilevate nei piezometri Casagrande.

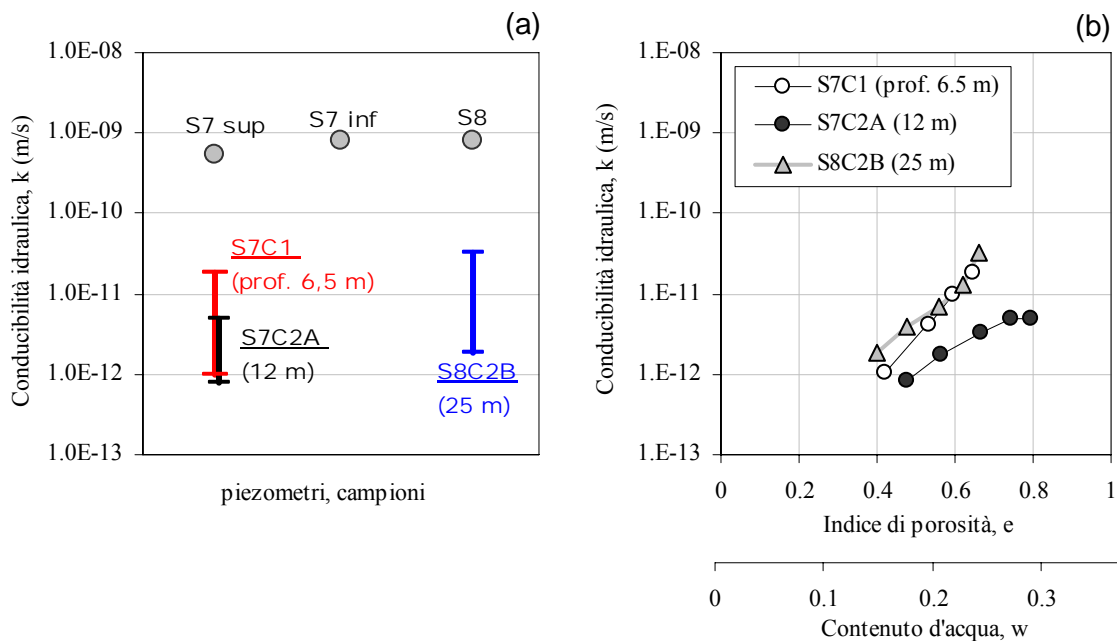


Figura 3. Valori di k ricavati da prove di permeabilità *in situ* per i diversi piezometri e confronto con il campo di variazione dei k edometrici (a). Valori di k desunti da prove di compressione edometrica (b).

Analisi teorica delle pressioni interstiziali e calcolo del coefficiente di sicurezza allo scorrimento

Le analisi teoriche della distribuzione delle pressioni interstiziali sono state condotte mediante il programma agli elementi finiti SEEP/W (di Geoslope International Ltd.), per problema piano. Per valutare l'influenza della tridimensionalità, i calcoli sono stati eseguiti su diverse sezioni della frana. In particolare è stato considerato un dominio di filtrazione relativo alla sezione longitudinale A-A' in asse alla frana ed un altro relativo ad una sezione B-B' posta a circa 20 m dal canale laterale di frana in destra idraulica. Entrambi i domini di calcolo si estendono dalla sezione trasversale per S11 fino al fiume Basento (Fig. 1). I calcoli sono stati eseguiti per condizioni idrauliche al contorno sia stazionarie che variabili nel tempo.

Condizioni stazionarie

Il calcolo è stato eseguito inizialmente nell'ipotesi di mezzo omogeneo ed isotropo e successivamente per mezzo disomogeneo. In Fig. 4 sono riportati i risultati relativi alla sola sezione A-A' per il mezzo omogeneo. Sul contorno di valle A'A'', che passa per il fiume, è stata assegnata quota piezometrica costante, pari al livello dell'acqua nel fiume; sui contorni inferiore A''A''' e di monte AA''' sono state assegnate le distribuzioni teoriche ottenute da Vallario (2012). Sul piano campagna sono state considerate due condizioni limite: pressioni interstiziali nulle ($u=0$) e flusso nullo ($q_n=0$). L'analisi con $u=0$ fornisce quote piezometriche in corrispondenza dei piezometri molto diverse da quelle massime misurate, al contrario l'analisi con $q_n=0$ fornisce differenze minori di 1 m tra quote piezometriche calcolate e minime misurate.

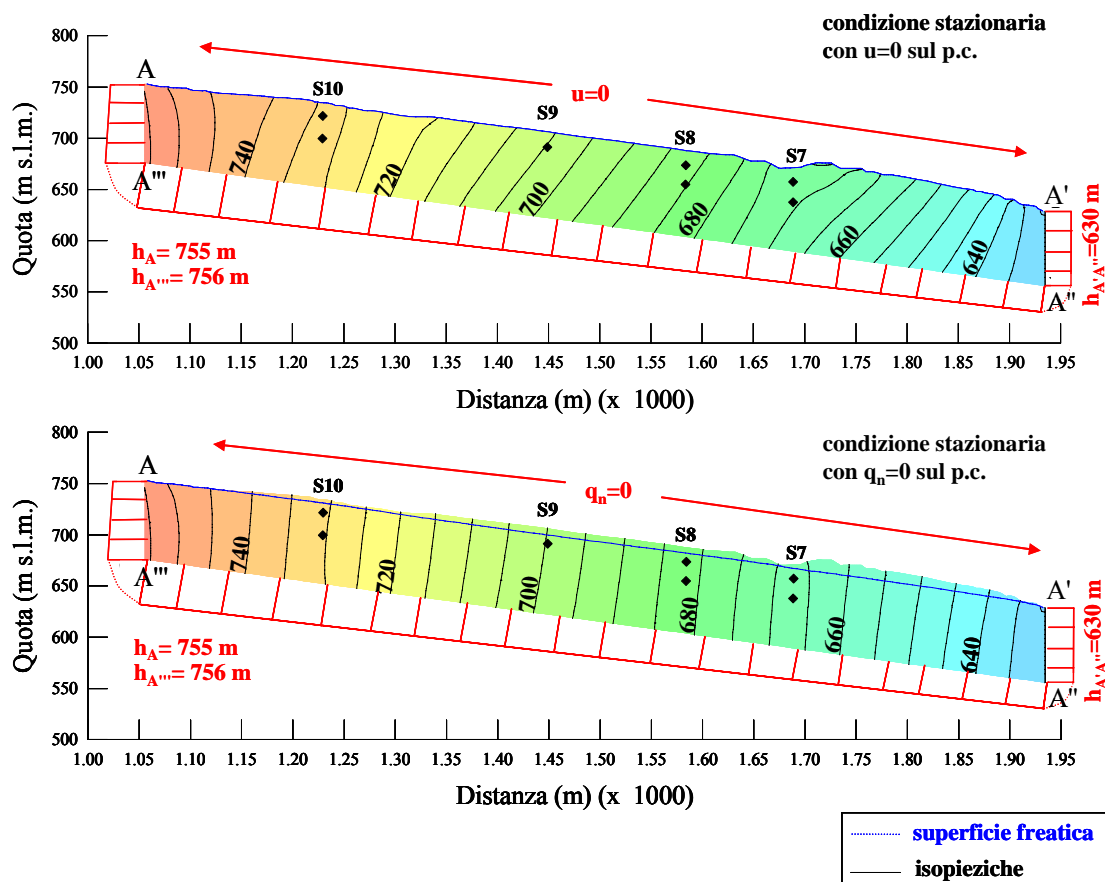


Figura 4. Dominio di filtrazione relativo alla sezione longitudinale A-A' con indicazione delle condizioni al contorno, delle isopieziche e della posizione della superficie freatica.

Condizioni transitorie

Sono state inizialmente condotte analisi del transitorio tra le due condizioni limite di $q_n=0$ e $u=0$ sul p.c. Queste due condizioni matematiche sono state considerate corrispondenti alle condizioni fisiche di tempo asciutto e di pioggia continua rispettivamente. Per il passo temporale di calcolo si è posto $\Delta t_1 = 1$ giorno e i successivi $\Delta t_i = \Delta t_{i-1} \cdot 1,2$. Sono stati adottati i parametri di permeabilità e compressibilità ricavati da prove in sito e prove di compressione edometrica.

In Fig. 5 sono mostrati gli andamenti nel tempo delle quote piezometriche calcolate

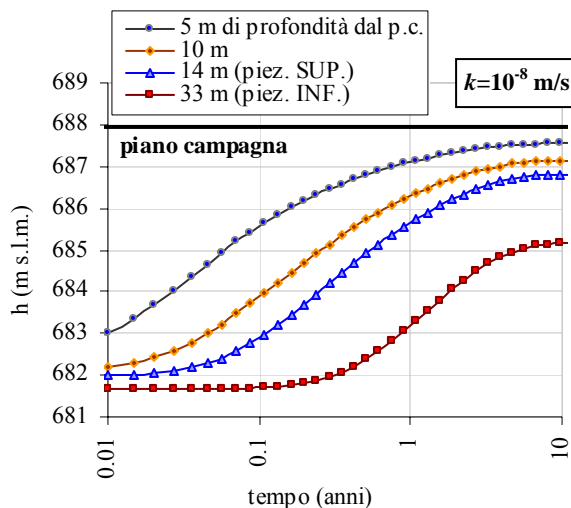


Figura 5. Quote piezometriche in funzione del tempo per punti a diverse profondità nella verticale per S8.

in corrispondenza di punti posti a diverse profondità lungo la verticale passante per il foro S8, nell'ipotesi di permeabilità $k=10^{-8}$ m/s e di coefficiente di compressibilità $m_v=1,2 \cdot 10^{-4}$ kPa $^{-1}$. Come era da attendersi, i tempi del processo sono molto influenzati dalla profondità del punto considerato. Si osserva inoltre che alle profondità alle quali sono stati installati i piezometri in sito il processo risulta molto più lento di quello determinato sperimentalmente. Questo risultato potrebbe essere considerato come la conferma teorica che le oscillazioni registrate nei piezometri di S8 non corrispondano a effettive variazioni delle pressioni interstiziali. D'altro canto, gli stessi risultati di Fig. 5 mostrano che entro i primi 10 m di profondità dal p.c. si verificano variazioni significative di quote piezometriche in tempi brevi. Ampie zone della superficie di scorrimento si trovano a profondità inferiori a 10 m; in queste zone pertanto, anche in tempi brevi, si potrebbero verificare variazioni di quote piezometriche significative. La Fig. 6 riporta, per la sezione A-A', le variazioni di pressioni interstiziali Δu calcolate sulla superficie di scorrimento rispetto alle pressioni interstiziali di tempo asciutto, in diversi tempi del transitorio tra tempo asciutto e pioggia continua. Le Figg. 6c e 6d riportano il coefficiente di sicurezza in funzione del tempo rispettivamente per il transitorio tra le due condizioni limite e per il transitorio relativo alla serie storica di piogge registrata nella stazione pluviometrica di Potenza a pochi km dall'area in esame. La funzione di pioggia è stata ottenuta considerando piovosi i periodi in cui la pendenza mensile della curva della pioggia cumulata fosse maggiore di $2 \cdot 10^{-8}$ m/s; in questi periodi si è posto $u=0$ sul piano campagna soltanto nei giorni in cui l'altezza di pioggia è risultata maggiore di 2 mm. Si è adottato $\Delta t = 1$ giorno. Il coefficiente di sicurezza, valutato con i metodi dell'equilibrio limite mediante il programma di calcolo SLOPE/W, si avvicina alle condizioni di pioggia continua oscillando nel periodo considerato nell'intervallo 0,91-0,93 per $k=10^{-8}$ m/s. Il calcolo effettuato per la sezione B-B' mostra che le Δu sono minori rispetto al caso precedente e che il coefficiente di sicurezza medio è minore, con variazioni nel tempo quasi doppie (Fig. 7).

Come suggerito da Pagliuca et al. (2012), considerare il sottosuolo come omogeneo potrebbe essere una semplificazione eccessiva. Infatti ai due diversi valori di contenuti d'acqua medi determinati nella sezione trasversale per l'inclinometro I9 ($w=0,25$ e $w=0,15$) potrebbe corrispondere una variazione di k di due ordini di grandezza, come mostra la Fig. 3b. Per tener conto di questa disomogeneità, sono stati eseguiti ulteriori calcoli, i cui risultati principali sono stati riportati in Fig. 8. Tali risultati mostrano che la sezione B-B' è poco influenzata dalla disomogeneità perché la superficie di scorrimento si sviluppa quasi interamente nello strato superiore. La sezione A-A', in cui la superficie di scorrimento attraversa entrambi gli strati, risente maggiormente di queste variazioni.

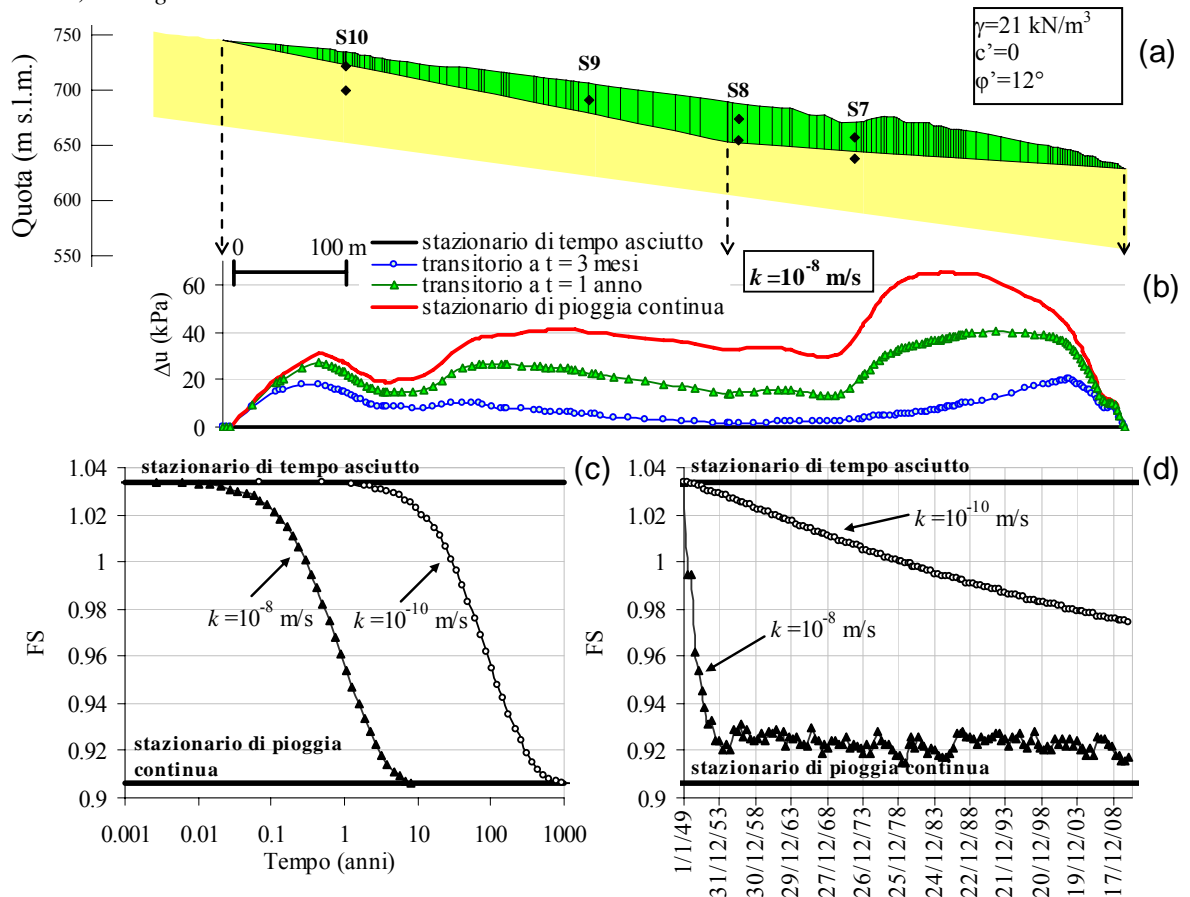


Figura 6. Sezione longitudinale A-A' (a): incremento delle pressioni interstiziali sulla superficie di scorrimento (b) e coefficiente di sicurezza FS in funzione del tempo per varie condizioni al contorno (c, d).

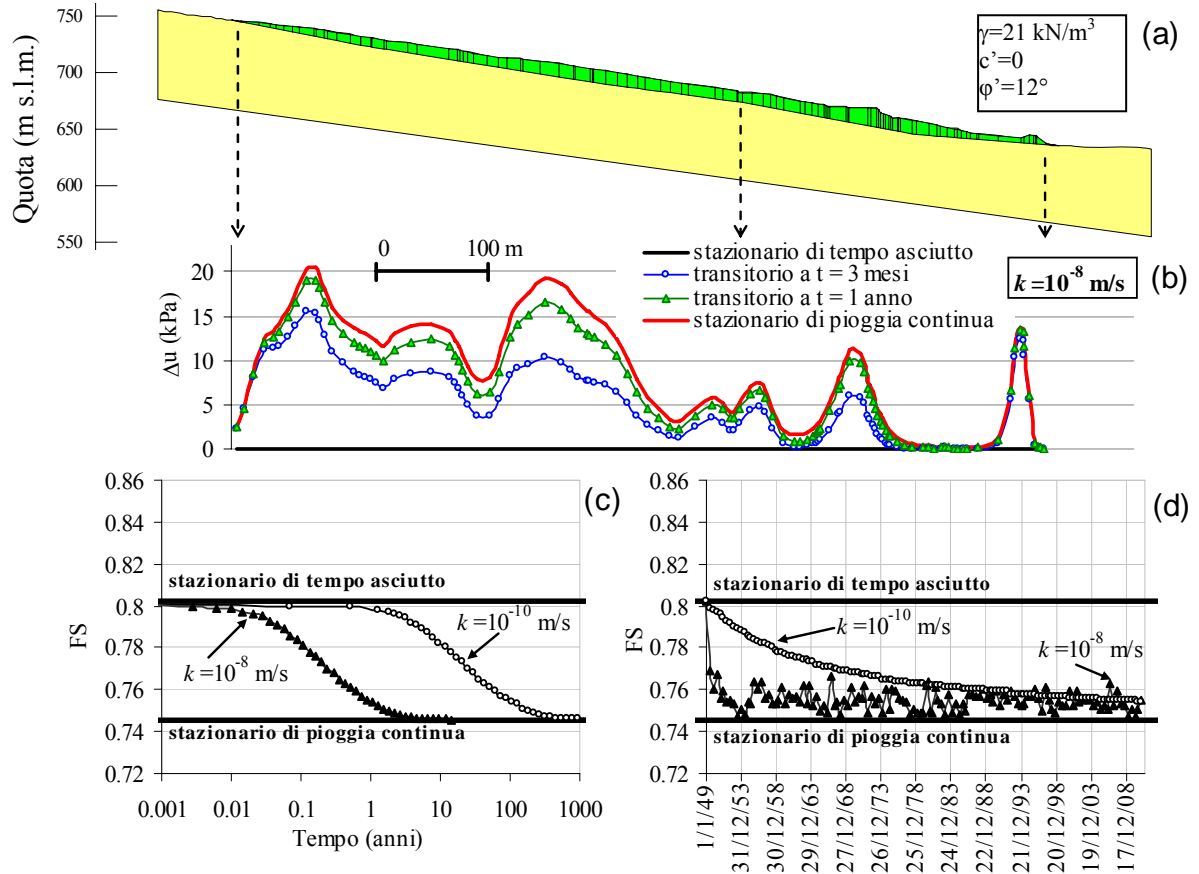


Figura 7. Sezione longitudinale B-B' (a): incremento delle pressioni interstiziali sulla superficie di scorrimento (b) e coefficiente di sicurezza FS in funzione del tempo per varie condizioni al contorno (c, d).

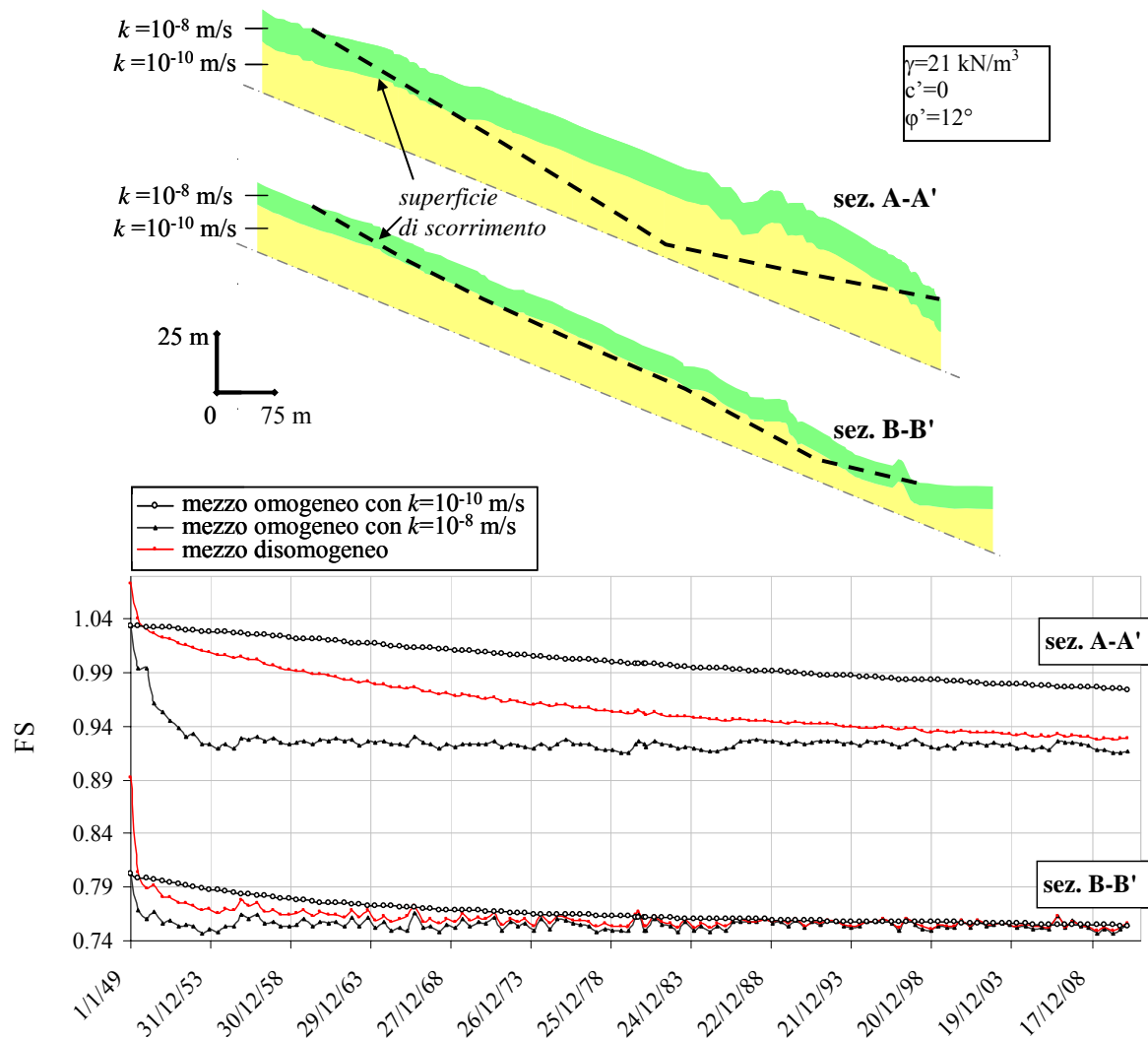


Figura 8. Domini di calcolo delle sezioni A-A' e B-B': mezzo disomogeneo ed isotropo. FS in funzione del tempo per mezzo omogeneo e disomogeneo.

Conclusioni

Il calcolo delle pressioni interstiziali e del coefficiente di sicurezza è stato eseguito per due sezioni longitudinali della frana di Costa della Gaveta, una in asse e l'altra secondo una traccia che si sviluppa a 20 m di distanza dal canale laterale di frana in destra idraulica. I risultati mostrano che i coefficienti di sicurezza relativi alle diverse condizioni al contorno considerate sono minori nella sezione laterale. L'angolo d'attrito mobilitato passa da valori tra 11° e 12° a valori tra 14° e 15° per lo stazionario di tempo asciutto. Le variazioni del coefficiente di sicurezza tra le condizioni limite di $u=0$ e $q_n=0$ diminuiscono dall'asse verso il canale ma, al contrario, le oscillazioni dovute alla serie storica delle piogge aumentano.

Bibliografia

- Di Maio, C., Vassallo, R., Vallario, M., Pascale, S. e Sdao, F. (2010). Structure and kinematics of a landslide in a complex clayey formation of the Italian Southern Apennines. *Engineering Geology*, 116: 311 – 322.
- Pagliuca, R., Vassallo, R., Di Maio, C. (2012). Analisi degli spostamenti di una frana lenta in argille consistenti. Incontro Annuale dei Ricercatori di Geotecnica – IARG2012, Padova, 2-4 Luglio 2012.
- Vallario, M. (2012). Cinematica di due frane in Argille Varicolori e analisi dei principali fattori instabilizzanti. Tesi di dottorato. Facoltà di Ingegneria - Università degli Studi della Basilicata.
- Wilkinson W.B. (1968). Constant head *in situ* permeability tests in clay strata. *Geotechnique*, 18(2): 172–194.