

ANALISI DEGLI SPOSTAMENTI DI UNA COLATA LENTA IN ARGILLE VARICOLORI E DEL LORO LEGAME CON LE PIOGGE

Roberto Vassallo, Giuseppe Maria Grimaldi, Caterina Di Maio

Università della Basilicata

roberto.vassallo@unibas.it; grimaldi.gm@gmail.com; caterina.dimaio@unibas.it

Angelo Doglioni, Vincenzo Simeone

Politecnico di Bari

angelo.doglioni@poliba.it; vincenzo.simeone@poliba.it

Sommario

La nota riporta i risultati di un'analisi dei dati di spostamento della frana di Costa della Gaveta a Potenza, una lenta colata monitorata dall'unità di ricerca dell'Università della Basilicata da circa un decennio. Gli spostamenti sono fondamentalmente localizzati lungo una superficie di scorrimento con profondità massima di circa 40 m la cui geometria è stata ricostruita nelle tre dimensioni. Gli spostamenti, determinati tramite misure inclinometriche in varie verticali, appaiono fortemente correlati tra loro per l'intera durata del monitoraggio. Di fatto, la cinematica è approssimativamente quella di un fluido viscoso che scorre a portata costante nel canale di frana. Le velocità di spostamento mostrano variazioni stagionali legate all'alternarsi di periodi asciutti e piovosi. Gli studi finora condotti hanno portato a una modellazione del legame tra piogge e pressioni interstiziali tramite analisi 3D in condizioni transitorie. Si sta ancora lavorando alla messa a punto di modelli per la previsione della risposta alle variazioni di pressioni interstiziali in termini di spostamenti. In questo lavoro si propone una rilettura, tramite analisi semi-quantitativa, dei dati sperimentali disponibili. Il legame tra gli spostamenti rilevati in punti diversi della superficie di scorrimento e fra questi e le piogge è studiato mediante un approccio *data driven*, basato su un'analisi dei dati tramite regressione polinomiale ottimizzata.

1. La frana di Costa della Gaveta: legame tra gli spostamenti e dipendenza dalle piogge

La frana di Costa della Gaveta è una colata che si sviluppa in Argille Varicolori in un versante prospiciente il fiume Basento (Di Maio et al. 2010, Di Maio et al. 2013, Vassallo et al. 2014). La frana ha velocità medie molto basse che diminuiscono significativamente da monte verso valle per effetto di un meccanismo a portata di terra sostanzialmente costante nel canale. Gli spostamenti hanno come componente prevalente uno scorrimento alla base lungo una superficie la cui geometria è stata ricostruita nelle tre dimensioni. L'andamento temporale degli spostamenti è stato determinato grazie a misure inclinometriche particolarmente frequenti nel tempo o anche, in vari casi, grazie alle misure di sonde inclinometriche fisse con acquisizione continua durante periodi di uno o più anni. In ogni verticale strumentata si osservano variazioni di velocità stagionali, anche negli inclinometri dove la superficie di scorrimento è più profonda, che sembrano legate alle precipitazioni meteoriche.

Le osservazioni di seguito riportate riguardano due allineamenti di inclinometri (fig. 1), uno lungo l'asse longitudinale (I12, I10, I9 e I8) e l'altro lungo una sezione trasversale (I9, I9b e I9c) del canale di frana. Di tali inclinometri, tre (I10, I9 e I8) sono stati operativi tra il 2005 e il 2013 e gli altri tre (I12, I9b e I9c) sono stati installati nel 2012 e sono ancora in funzione. Le sonde inclinometriche fisse sono state installate in corrispondenza delle superfici di scorrimento e hanno funzionato in I9 nel periodo 2006-2009, in I12 da febbraio 2014 e in I9b da maggio 2014.



Fig 1. Planimetria della frana e ubicazione dei fori inclinometrici

La fig. 2 riporta l'andamento temporale degli spostamenti profondi derivante da misure inclinometriche, da cui è possibile osservare:

- la dipendenza delle velocità di scorrimento medie dalla posizione degli inclinometri nel pendio, con valori che diminuiscono spostandosi da monte verso valle;
- una corrispondenza abbastanza forte tra i periodi di accelerazione e decelerazione nei vari inclinometri;
- l'andamento dell'inclinometro I9b in sostanziale prosecuzione di quello di I9 (i due inclinometri si trovano sulla stessa sezione trasversale);
- l'andamento di I9c, molto simile a quello di I9b, seppure con velocità leggermente inferiori. Come si commenterà di seguito, la differenza di velocità tra i due inclinometri sembra diminuire all'aumentare del tempo dall'installazione;
- l'andamento dell'inclinometro I12 in sostanziale accordo con quello di I10, ed entrambi pari a circa quattro volte I8.

Come discusso da Di Maio et al. (2013) per il gruppo I10, I9, I8, la correlazione tra gli spostamenti inclinometrici è evidente se si confrontano gli andamenti delle velocità di scorrimento, in particolar modo considerando per I9 i dati della sonda inclinometrica fissa. Analogamente, in fig. 3 vengono paragonate le misure di velocità in I9b, I9c e I12, utilizzando per quest'ultimo una diversa scala delle ordinate per facilitare il confronto. I dati di I9b e I12, in parte derivanti da misure continue con sonda fissa, sono stati campionati nelle stesse date delle misure effettuate in I9c con sonda manuale. L'accordo tra i tre andamenti temporali sembra notevole e appare piuttosto chiara la dipendenza dalle piogge, riportate nella stessa figura. Per quanto riguarda gli inclinometri I9b e I9c, si osserva che gli spostamenti sono molto simili, coerentemente con quanto ipotizzato da Di Maio et al. (2010) e poi da Di Maio et al. (2013) portando in conto il contributo delle deformazioni viscose del corpo di frana. Si può comunque osservare che, essendo gli spostamenti in I9c ancora molto piccoli (ad oggi di circa un paio di cm) è estremamente probabile che le misure risentano ancora di una non perfetta cementazione del tubo inclinometrico. Ciò sembra confermato dal fatto che la piccola differenza tra le velocità in I9b e I9c sta diminuendo con il procedere del tempo (fig. 3).

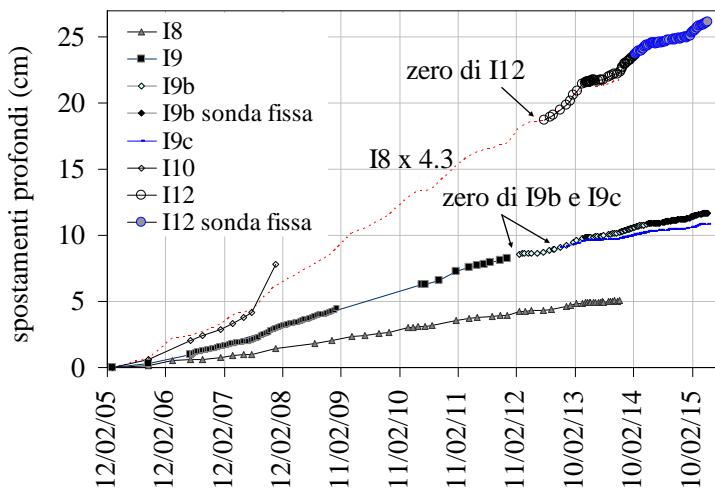


Fig 2. Spostamenti relativi lungo la superficie di scorrimento

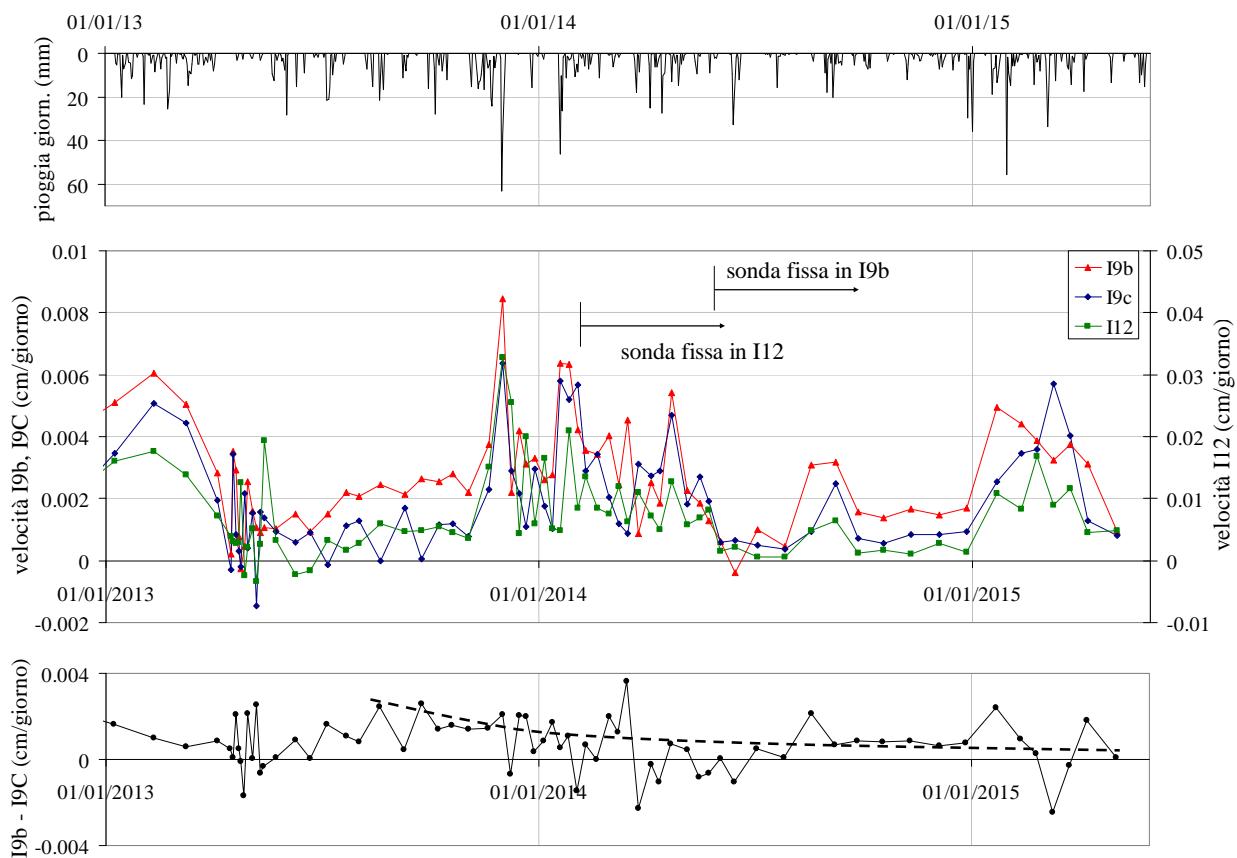


Fig 3. Pioggia giornaliera, velocità degli spostamenti profondi di I9b e I12 in corrispondenza delle stesse date delle misure effettuate in I9c con sonda mobile, differenza tra le velocità di I9b e I9c.

Allo scopo di analizzare il legame piogge-spostamenti, la fig. 4 confronta gli andamenti temporali degli spostamenti profondi negli inclinometri I8, I9b e I12 con quelli della pioggia cumulata. Gli spostamenti, che sono stati divisi per una costante per facilitare il confronto, sembrano essere in buon accordo con la pioggia, suggerendo che quest'ultima sia la principale responsabile delle accelerazioni e decelerazioni osservate nei vari inclinometri (si veda a tal proposito la modellazione 3D proposta da Vassallo et al. 2014).

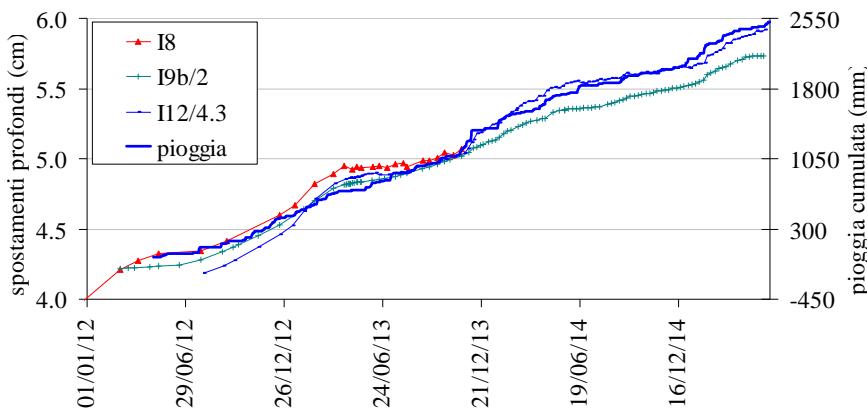


Fig. 4. Confronto tra gli andamenti temporali degli spostamenti profondi e della pioggia cumulata

2. Modellazione *data-driven* attraverso la tecnica EPRMOGA

Gli studi finora condotti sulla frana di Costa della Gaveta hanno portato a una modellazione di dettaglio del legame tra piogge e pressioni interstiziali tramite analisi 3D in condizioni transitorie. Si sta ancora lavorando alla messa a punto di modelli per la previsione della risposta alle piogge/pressioni interstiziali in termini di spostamenti. In attesa del perfezionamento di modelli fisicamente basati si è provato a modellare le relazioni esistenti fra gli spostamenti rilevati in punti diversi della superficie di scorrimento e fra questi e le piogge mediante la tecnica *data driven* EPRMOGA. Si tratta di una tecnica di modellazione multiobiettivo di regressione polinomiale (Giustolisi e Savic 2009) che si presta molto bene alla modellazione di fenomeni ambientali caratterizzati da forte non linearità, anche in casi di difficile caratterizzazione dinamica (Doglioni et al. 2010, Doglioni et al. 2014). EPRMOGA lavora in due fasi distinte, con le quali a) identifica la struttura del modello sulla base di un Algoritmo Genetico, b) valuta i coefficienti delle relazioni polinomiali con un approccio ai minimi quadrati.

EPRMOGA è stato utilizzato per l'analisi dei dati sperimentali sopra brevemente descritti ricercando un legame fra:

- velocità di spostamento profonde nelle postazioni di misura inclinometrica;
- spostamenti e piogge;
- pressioni interstiziali e piogge.

Per quanto riguarda le relazioni (a) e (b), sono stati considerati come dati di input velocità medie e altezze di pioggia cumulate su intervalli di 10 giorni. Il software restituisce relazioni polinomiali ottimizzando tre funzioni obiettivo (scarto quadratico medio, numero di termini del polinomio, e numerosità dell'input) e scegliendo in base a ciò le variabili coinvolte e il numero di termini. Nell'analisi della relazione piogge – spostamenti, le variabili candidate includono le velocità v_{t-1} e v_{t-2} relative a 10 e 20 giorni precedenti la previsione, e le piogge P_t , P_{t-1} , P_{t-2} , ..., P_{t-6} , ossia da contemporanee alla previsione fino a 60 giorni prima. Per limitare la complessità del modello, gli esponenti delle variabili sono assunti pari a 0, 0,5 (corrispondente a un effetto di attenuazione), 1 (relazione lineare) e 2 (effetto di amplificazione). Date le scelte di ottimizzazione che opera il modello, non tutte le variabili fornite appaiono nelle relazioni di output.

Tutti i dati di input, quando possibile, sono stati suddivisi in due sottoinsiemi, uno di calibrazione costituito da 2/3 dei dati disponibili totali e l'altro di verifica, costituito dal restante 1/3. Il primo set è utilizzato da EPRMOGA per identificare e costruire i modelli, mentre il secondo viene utilizzato per verificare la capacità simulativa del modello. L'efficacia della simulazione è controllata tramite il coefficiente di determinazione (*CoD*):

$$CoD = 1 - \frac{N-1}{N} \frac{\sum_n (v_{EPR} - v_{exp})^2}{\sum_n (v_{exp} - \bar{v}_{exp})^2} \quad (1)$$

con N numerosità del campione di dati, v_{EPR} e v_{exp} velocità rispettivamente calcolate da EPRMOGA e misurate e \bar{v}_{exp} media delle velocità misurate.

La fig. 5 mostra, a titolo d'esempio, i risultati che si ottengono con le relazioni trovate da EPRMOGA tra le velocità dell'inclinometro I9b e quelle degli inclinometri I9c e I12. In particolare, in figura, le velocità misurate in I9b vengono confrontate con quelle calcolate tramite le seguenti espressioni:

$$v_t^{I9b} = 0,84919v_t^{I9c} + (0,011123 \text{ cm/10gg}) \quad (2)$$

$$v_t^{I9b} = 0,24305v_t^{I12} + (0,010252 \text{ cm/10gg}) \quad (3)$$

Il fatto che le relazioni lineari (2) e (3) risultino tra quelle statisticamente più valide per descrivere il legame tra gli inclinometri (si veda il CoD riportato in figura) sembra avvalorare l'ipotesi di una sostanziale contemporaneità di spostamento nelle varie sezioni del canale.

La fig. 6 mostra il risultato trovato da EPRMOGA per la relazione tra l'inclinometro I12 e la serie storica di pioggia, descritta dall'equazione:

$$v_t^{I12} = 0,00080424P_t + 0,74568v_{t-1}^{I12} \quad (4)$$

in cui le velocità sono espresse in cm/10gg e le piogge in mm.

La velocità di I12 dipende dalla pioggia dello stesso intervallo di tempo e dalla velocità dello stesso inclinometro nei 10 giorni precedenti. Si osserva quindi una risposta piuttosto rapida agli eventi di pioggia, a cui si somma una sorta di effetto memoria/inerziale legato alle velocità calcolate dal modello al passo di calcolo precedente. Analoghe relazioni sono state trovate per gli altri inclinometri. Il confronto e il valore del CoD riportati in figura suggeriscono che il legame velocità di spostamento - pioggia non è colto in modo altrettanto soddisfacente che il legame fra gli spostamenti dei diversi inclinometri. Al contrario, Vassallo et al. (2015), analizzando la relazione (c), trovano un ottimo accordo tra l'andamento temporale delle pressioni interstiziali descritto da EPRMOGA sulla base delle misure di una cella piezometrica con acquisizione continua e lo stesso andamento determinato con modellazione 3D, mediante il codice MODFLOW, dei transitori di consolidazione e rigonfiamento indotti dalla serie storica di pioggia.

2. Considerazioni conclusive

Il monitoraggio di lungo termine eseguito sulla colata di Costa della Gaveta e le modellazioni numeriche finora eseguite hanno consentito di valutare il legame tra piogge e pressioni interstiziali tramite analisi 3D in condizioni transitorie e di formulare ipotesi ragionevoli sui caratteri fondamentali della cinematica. Manca tuttavia una modellazione fisicamente basata degli spostamenti. In questo lavoro si è presentato un tentativo di analisi dei dati sperimentali disponibili utilizzando un approccio *data driven*, tramite regressione polinomiale ottimizzata. I risultati mostrano una buona capacità del modello di descrivere l'andamento temporale degli spostamenti in un punto della superficie di scorrimento in funzione di quello in altri punti. La descrizione degli effetti delle piogge sugli spostamenti è meno soddisfacente. Ciò suggerisce che altri fenomeni oltre la pioggia possano concorrere al condizionamento della cinematica della frana e/o che il corpo di frana, con i suoi processi di consolidazione e rigonfiamento, sia capace di modificare la struttura matematica dell'input. Allo scopo di comprendere quale delle ipotesi sia più verosimile, potrà essere utile analizzare il terzo tipo di relazione indagato con EPRMOGA, cioè quello fra piogge e pressioni interstiziali.

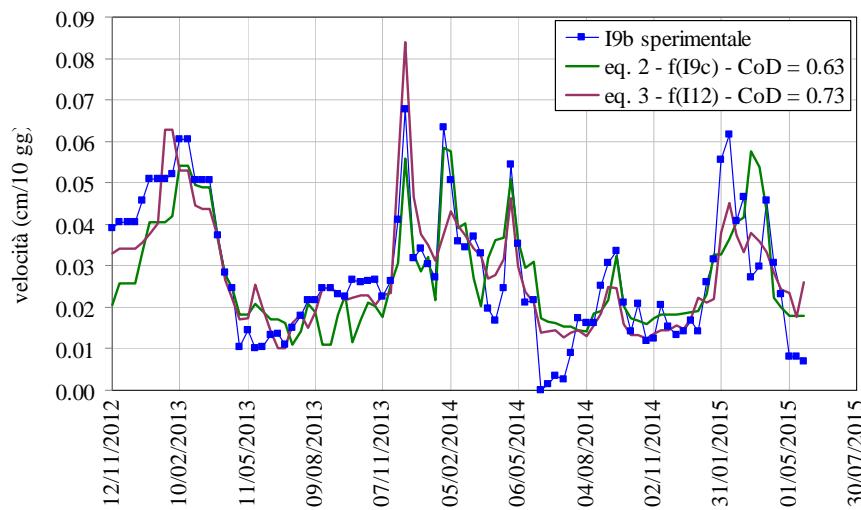


Fig 5. Velocità di I9b misurate e dedotte mediante EPRMOGA dalle velocità di I9b e I12

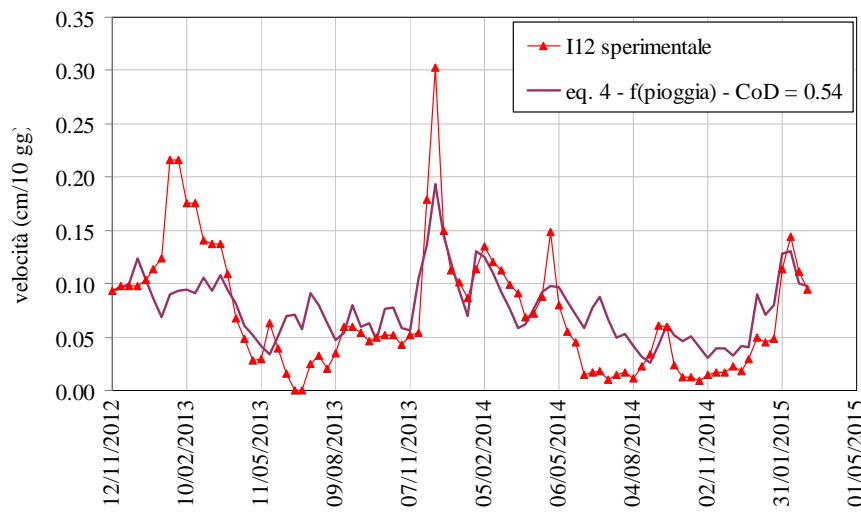


Fig 6. Velocità di I12 misurate e dedotte mediante EPRMOGA dalla serie storica di piogge

Bibliografia

- 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. *Engineering Geology*, 116, 311-322.
- Di Maio C., Vassallo R., Vallario M. (2013). Plastic and viscous displacements of a deep and very slow landslide in stiff clay formation. *Engineering Geology*, 162, 53-66.
- Doglioni A., Mancarella D., Simeone V., Giustolisi O. (2010). Inferring groundwater system dynamics from time series data. *Hydrological Science Journal*, 55(4): 593-608.
- Doglioni A., Crosta G.B., Frattini P., Melidoro N.L., Simeone V. (2014) Predicting Landslide displacements by Multi-Objective Evolutionary Polynomial Regression. *Engineering Geology for Society and Territory*, 5, ISBN: 978-3-319-09047-4; doi: 10.1007/978-3-319-09048-1_127
- Giustolisi O., Savic D.A. (2009). Advances in data-driven analyses and modelling using EPR-MOGA. *Journal of Hydroinformatics*, 11(3-4): 225–236.
- Vassallo R., Grimaldi G.M., Di Maio C. (2014). Pore pressures induced by historical rain series in a deep-seated clayey landslide: 3D modeling. *Landslides*, pubblicato on-line.
- Vassallo R., Grimaldi G.M., Di Maio C., Doglioni A., Simeone V. (2015). Relationship between rain and displacements of an active very slow earthslide: a data driven approach. Articolo su rivista, in preparazione.