

# RELAZIONI TRA PRECIPITAZIONI E SVILUPPO DI FALDE SOSPENSE IN VERSANTI TERRAZZATI

CAMERA CORRADO<sup>1</sup>, APUANI TIZIANA<sup>1</sup>, MASETTI MARCO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Scienze della Terra 'A. Desio' – Università degli Studi di Milano, corrado.camera@unimi.it

## RIASSUNTO

Il lavoro vuole contribuire alla comprensione delle dinamiche di infiltrazione e circolazione idrica, in un versante terrazzato con muretti a secco, per capire i meccanismi di formazione di falde sospese temporanee, il loro rapporto con gli eventi di precipitazione e con la stabilità dei muri. Sulla base di dati di precipitazione e misure piezometriche recenti è stata proposta una soglia pluviometrica di sviluppo di falde sospese e un'analisi degli eventi meteorologici dal 1980 ad oggi. Si è poi costruito un modello numerico che riesce a riprodurre la formazione e lo sviluppo di falde sospese sul versante.

**Parole chiave:** falde sospese, muri a secco, soglie pluviometriche

## INTRODUZIONE

La formazione di falde sospese, come conseguenza finale del processo di infiltrazione, può essere considerato uno dei principali fattori di controllo riguardo la stabilità di un versante terrazzato (Crosta et al. 2003). I terrazzi sono tipicamente formati da terreni di riempimento, costituiti da depositi sciolti con conducibilità idraulica medio alta, sopra un substrato roccioso rigido poco permeabile; situazione geologica che dato l'alto contrasto di conducibilità idraulica tra i due mezzi si presta alla formazione di una falda sospesa immediatamente a tetto del substrato roccioso (Huat et al. 2006). Nei versanti terrazzati l'instabilità di un singolo terrazzo può evolvere inducendo il franamento dei terrazzi a valle ed eventualmente innescando un effetto domino con formazione di debris flow (Azzola & Tuia 1983). In particolare lo studio si è concentrato sull'area a monte dell'abitato di Tresenda, nella media Valtellina, dove nel maggio 1983 si sono verificate tre colate detritiche che causarono 18 vittime e diversi danni ad abitazioni ed infrastrutture (Cancelli & Nova 1985). Sempre nella stessa zona nel novembre 2002 si è verificato un ulteriore evento dello stesso tipo che in questo caso ha comportato la chiusura temporanea di una strada provinciale. Lo studio, volto alla comprensione dei meccanismi di formazione delle falde sospese si è avvalso di: i) rilievi sul terreno, prove geotecniche e idrogeologiche in sito e laboratorio; ii) monitoraggio piezometrico; iii) analisi dei caratteri delle precipitazioni e relazioni con le altezze di falda misurate; iv) modellazione numerica del processo di infiltrazione e circolazione idrica.

## CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO-TECNICA

L'attività di rilevamento è stata innanzitutto diretta a definire le caratteristiche geologiche e geomorfologiche del versante, focalizzandosi sui caratteri geometrici dei muretti a secco, sull'uso del suolo, sullo spessore dei terreni di riporto e sulla geometria del substrato roccioso. Successivamente sono state svolte prove geotecniche ed idrogeologiche in sito e in laboratorio; si è poi proceduto all'installazione di sette piezometri, due dei quali strumentati con sonde per l'acquisizione in continuo, e due tensiometri per il monitoraggio idrogeologico. I rilievi svolti hanno evidenziato che la geometria dei muri è molto varia: l'altezza può variare tra 70 cm e 5 m ma i valori più ricorrenti sono compresi tra 1.40 m e 2.50 m; la lunghezza e larghezza del terrazzo dipendono invece dalle caratteristiche del versante, in particolare dalla sua pendenza puntuale. Sono state riconosciute otto diverse classi di uso del suolo, con netta predominanza di vigneti e vigneti abbandonati. Lo spessore del suolo è stato ricavato da interpolazione lineare di misure dirette effettuate in sito. Il rilievo geomorfologico, realizzato alla scala 1:5000, ha evidenziato la presenza di terrazzi morfologici, trincee e contro-scarpate che sottolineano una generale situazione di instabilità. Da un punto di vista litologico il substrato è formato da micascisti (Scisti di

Edolo) che spesso affiorano alla base dei muretti a secco e sono molto fratturati fino a mostrare fasce cataclastiche. I terreni di copertura hanno invece varie origini: glaciale, fluvio-glaciale, colluviale e sui terrazzi anche antropica. Il drenaggio delle acque superficiali è consentito attraverso una rete di canali artificiali (*valgelli*). Dopo gli eventi del 1983 lungo il versante sono state costruite strade cementate che hanno il doppio compito di facilitare l'accesso ai terrazzi e di funzionare come canali di gronda nel caso di eventi di precipitazione particolarmente intensi.

Sul terreno sono state svolte prove infiltrometriche con doppio anello, prove infiltrometriche in foro e prove con volumometro a sabbia, oltre al campionamento per le prove di laboratorio. I terreni di riempimento a tergo dei muri investigati hanno: peso di volume naturale ( $\gamma_0$ ) tra 13.5-15.8 kN/m<sup>3</sup>, peso di volume secco  $\gamma_d = 12.8 - 15.7$  kN/m<sup>3</sup>, porosità  $n = 40\% - 52\%$ , con una densità delle particelle solide  $G_s = 24.2 - 26.9$  kN/m<sup>3</sup> e un contenuto d'acqua in peso al momento del campionamento  $W_0 = 1.2\% - 14.4\%$ , corrispondente ad un grado di saturazione  $S_r = 10\% - 38\%$ . La conducibilità idraulica satura ( $k_s$ ) dalle prove in sito risulta compresa tra  $1.1 \cdot 10^{-4} - 5.4 \cdot 10^{-6}$  m/s mentre da quelle di laboratorio tra  $1.4 \cdot 10^{-5} - 2.1 \cdot 10^{-6}$  m/s, valori confrontabili considerando l'effetto scala. Secondo il *Unified Soil Classification System* (U.S.C.S), i terreni analizzati sono SM (*silty sand with gravel*) o GM (*silty gravel with sand*) con un coefficiente di uniformità CU tra 20 e 157 a significare terreni ben assortiti.

## ANALISI PRECIPITAZIONI – FALDE SOPPESE

Dall'agosto 2009, per un anno, si sono registrati attraverso i piezometri installati i livelli delle falde sospese formatesi sul versante a seguito delle precipitazioni. Le precipitazioni sono state registrate dalla stazione meteorologica di Teglio-Somasassa, posizionata poco a monte dell'area di studio. Tutte le precipitazioni di durata maggiore o uguale alle due ore sono state analizzate, considerando terminato un evento quando seguito da almeno 12 ore di assenza di pioggia, per un totale di 62 eventi.

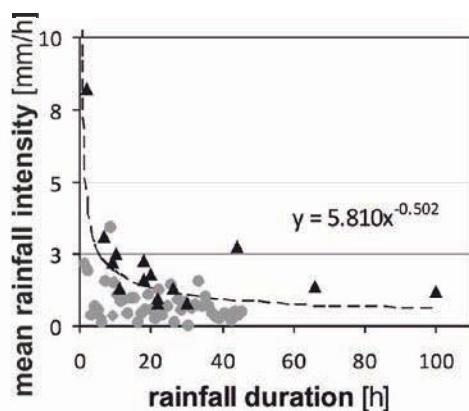


Figura 1 - Soglia intensità-durata per l'insorgenza di falde sospese su un versante terrazzato. I triangoli indicano gli eventi con formazione di falda, i cerchi quelli senza.

Gli eventi sono stati caratterizzati da durata, altezza totale di precipitazione e intensità media e a partire da questi dati, incrociati con quelli registrati dai piezometri, si è determinata una soglia empirica per l'occorrenza di falde sospese nel contesto analizzato (Figura 1).

Il principio su cui si basa la curva ottenuta è lo stesso utilizzato da vari autori per determinare soglie di innesco di fenomeni franosi (vedere Dahal & Hasegawa 2008, Guzzetti et al. 2008 per un'estesa bibliografia). Per la stessa stazione meteorologica, si sono avuti a disposizione anche tutti i dati orari per i due periodi 1980-2002 e 2007-2010. La lacuna temporale è causata dal passaggio dall'acquisizione attraverso pluviografo a quello con stazione automatica.

Va inoltre notato che il pluviografo nella stagione invernale veniva rimosso e per cui le analisi successivamente presentate sono basate su un periodo di tempo poco superiore ai sei mesi,

che va indicativamente dal 20 di marzo al 10 di ottobre di ciascun anno. Per ogni anno si sono calcolati dati quali: numero di precipitazioni, pioggia totale nell'anno, altezza di precipitazione media per ogni evento, ore totali di precipitazione, intensità totale media, intensità massima media, durata media e numero di precipitazioni con caratteristiche sopra la soglia determinata precedentemente (Figure 2 e 3).

Questi dati sono stati analizzati per individuare degli andamenti nel tempo delle citate caratteristiche, da cui è emerso che altezze di precipitazione totale annue e medie per evento nell'anno, numero di precipitazioni totali e numero di precipitazioni sopra soglia, nonché intensità sia medie che massime medie hanno trend confrontabili, con un leggero aumento tra l'inizio e la fine degli anni ottanta a cui è seguito un costante lieve decremento. Le durate mostrano un andamento analogo, ad eccezione del lieve incremento che sembra in atto nei tempi recenti. Tra tutti questi dati si è trovato significativo osservare

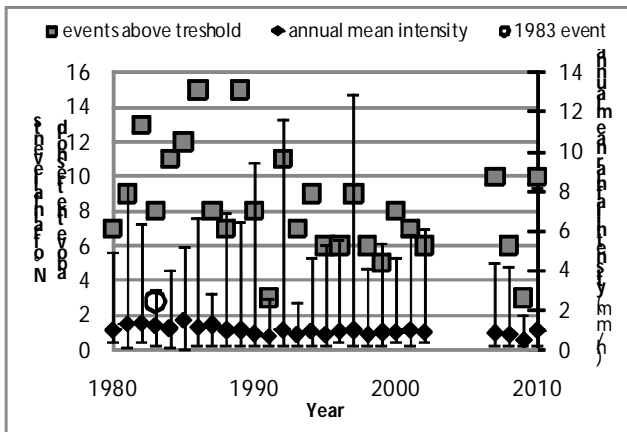


Figura 2 - Relazione tra intensità medie annuali e numero di precipitazioni sopra soglia. Le barre indicano il range di variazione delle intensità medie di evento nell'anno

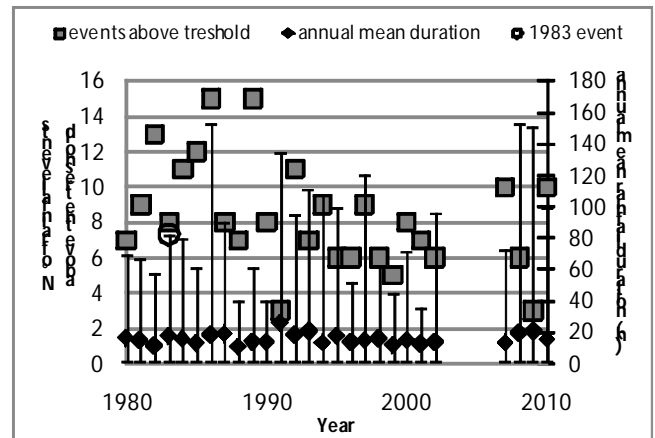


Figura 3 - Relazione tra durate medie annuali e numero di precipitazioni sopra soglia. Le barre indicano il range di variazione delle durate di evento nell'anno.

l'andamento del numero di precipitazioni sopra soglia rispetto ad intensità e durata media all'interno del loro range di variazione annuale. Dai grafici di Figure 2 e 3 si può notare come i parametri medi, seppur con oscillazioni limitate, riescano a riprodurre meglio dei massimi l'andamento del numero di precipitazioni sopra soglia, questo perché la formazione di una falda è resa possibile sia da eventi estremi di breve durata ma più facilmente anche da eventi di elevata intensità media e media durata, come si può notare dai punti sopra la curva in Figura 1. Le condizioni invece che sembrano doversi verificare per l'innescò di fenomeni franosi (Figure 2 e 3 – evento 1983) sono quelle di un'intensità elevata, comunque superiore alla media, per durate elevate-estreme, siamo intorno ai tre giorni e mezzo di precipitazione.

### MODELLAZIONE

Dalle prove in sito e in laboratorio sono state stimate le caratteristiche idrogeologiche da attribuire al modello. La conducibilità idraulica satura  $k_s$  è pari a  $1.10^{-5}$  m/s (terreno),  $5.10^{-4}$  m/s (muri) e  $1.10^{-8}$  m/s (substrato). La curva di ritenzione idrica del terreno è stata invece stimata con il metodo di Gupta & Larson (1979) dalle analisi granulometriche eseguite, mentre quelle di muro e substrato sono state considerate costanti. Le funzioni di conducibilità sono valutate con il metodo di Green & Corey (1971) Il modello è stato calibrato e validato sulla base delle misure effettuate in sito e di due eventi di precipitazione reali. Il modello validato ha poi analizzato gli effetti di piogge di durata fissa (72 ore) ed altezze totali calcolate per tempi di ritorno di 10, 50 e 100 anni. In

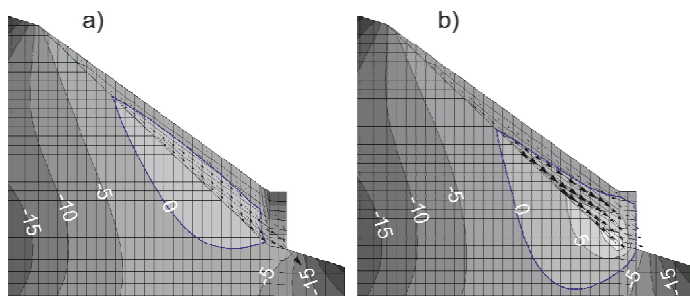


Figura 4 - Curve di ugual pressione dei pori (kPa) per una precipitazione di 72 ore con tempo di ritorno di 50 anni con muro ben mantenuto e drenante (a) e muro a drenaggio limitato (b).

confrontabile con quella dell'evento del 1983, e diversi valori della conducibilità idraulica del muro a secco.

Nella Figura 4a  $k_s$  del muro è pari al valore di calibrazione ( $5.10^{-4}$  m/s), mentre nella Figura 4b è stata diminuita a  $1.10^{-6}$  m/s per simulare la condizione di un muretto non ben mantenuto con difficoltà di drenaggio. Si evince che eventi come quello del 1983 possono innescarsi non solo a causa di determinati livelli di precipitazione ma anche per cause legate al mantenimento dei muri.

## CONCLUSIONI

L'analisi delle precipitazioni degli ultimi 30 anni ha reso possibile l'individuazione di andamenti temporali di alcune caratteristiche pluviometriche medie che possono essere correlate al numero di fenomeni di insorgenza di falde sospese sul territorio in esame, rilevando una seppur debole tendenza alla riduzione del numero di eventi pluviometrici potenzialmente in grado di generare falde sospese. Va comunque considerato che l'innesco di fenomeni di instabilità non è necessariamente direttamente proporzionale al numero di insorgenze, che è comunque un indicatore dalla maggior probabilità di accadimento. Dalla modellazione dei processi di infiltrazione e circolazione idrica in questo contesto è inoltre emerso che i livelli di falda che si possono raggiungere non sono solo funzione dell'intensità e della durata della precipitazione, ma anche delle caratteristiche di drenaggio dei muretti a secco in relazione al loro stato di conservazione e manutenzione.

Quella che interviene è quindi una concomitanza di fattori che dipende anche da variabili di difficile determinazione. In quest'ottica il monitoraggio continuo dei processi, associato alla modellazione numerica, fornisce un utile supporto alla comprensione qualitative e quantitativa dei fenomeni di instabilità in esame.

## BIBLIOGRAFIA

- Azzola, M., Tuia, T., (1983). *Osservazione sui fenomeni franosi che hanno interessato i vigneti terrazzati a monte di Tresenda nel maggio 1983*. Geologia Tecnica, 4, 23-35.
- Cancelli, A., Nova, R., (1985). *Landslides in soil debris cover triggered by raistorms in Valtellina (Central Alps – Italy)*. Proceedings of the IV international conference and field workshop on landslides, Tokio, agosto 1985, 267–272.
- Crosta, G.B., Dal Negro, P., Frattini, P., (2003). *Soil slips and debris flows on terraced slopes*. Nat Hazards Earth Syst Sci, 3, 31-43.
- Dahal, R.K., Hasegawa, S., (2008). *Rainfall thresholds for landslides in the Nepal Himalaya*. Geomorphology, 100(3-4), 429-443.
- Green, R.E., Corey, J.C., (1971). *Calculation of hydraulic conductivity: a further evolution of some predictive methods*. Soil Science Society of America Proceeding, 35, 3-8.
- Gupta, S.C., Larson, W.E., (1979). *Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter percent, and bulk density*. Water Res Res, 15, 1633-1635
- Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., Stark, C.P., (2008). *The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows: an update*. Landslides, 5(1), 3–17.
- Huat, B.B.K., Ali, F.H., Low, T.H., (2006). *Water infiltration characteristics of unsaturated soil slope and its effect on suction and stability*. Geotech Geol Eng, 24, 1293-1306.