

FRANE A CINEMATICA ESTREMAMENTE LENTA IN UNA VALLE GLACIALE DELLE ALPI CENTRO-ORIENTALI

Lucia Simeoni

Università degli Studi dell'Aquila

lucia.simeoni@univaq.it

Luigi Mongiovì

Università degli Studi di Trento

luigi.mongiovi@unitn.it

Sommario

La valle dell'Isarco, di origine glaciale e ubicata nelle Alpi centro-orientali, ospita importanti infrastrutture di trasporto che collegano l'Italia all'Europa centrale: la SS12 Alemagna, l'autostrada A22 e la ferrovia RFI Verona-Brennero. Nella valle è prevista anche la realizzazione della linea ferroviaria ad Alta Capacità del Corridoio 1 del Trans-European Transport Network (TNT-T1), che collega Berlino a Palermo.

Nella parte meridionale, tra Bolzano (260 m s.l.m.) e Bressanone (560 m s.l.m.), la valle risulta particolarmente stretta perché derivante dall'erosione fluviale avvenuta nei periodi interglaciali e le infrastrutture di trasporto sono state spesso realizzate a ridosso di ripide pareti rocciose, sottoponendole a condizioni di pericolo associate a caduta massi e rock-avalanche. Di conseguenza, per lungo tempo l'attenzione è stata rivolta quasi esclusivamente alla mitigazione del rischio associato a queste tipologie di frana, soprattutto per evitare il ripetersi di vittime e feriti. Ad esempio, con lo spostamento in sotterraneo della ferrovia, negli anni '90, si è annullata questa condizione di rischio e si è evitata la gestione del sistema di Early Warning che era stato predisposto.

Nell'ultima decade, però, l'attenzione si è lentamente spostata verso lo studio delle grandi frane a cinematica estremamente lenta, che stanno interagendo con infrastrutture di trasporto e con centri abitati. Infatti, sebbene portino difficilmente ad una distruzione repentina, questi tipi di frana provocherebbero danni ingenti alle strutture se non fossero riconosciuti, studiati e gestiti per tempo. Per le opere esistenti sarà necessario individuare interventi di mitigazione dei danni, ma per le opere pianificate è possibile modificarne l'ubicazione rispetto all'estensione delle aree in movimento.

La memoria descrive tre casi di frane a cinematica estremamente lenta (velocità media di spostamento inferiore a 10 mm/anno) ubicati nella valle dell'Isarco, tra Bolzano e Bressanone. Le tre frane sono riattivazioni parziali di DGPV, sviluppatasi dopo l'ultima glaciazione in rocce vulcaniche o metamorfiche e si classificano come scorrimenti rotazionali profondi di roccia e detrito.

1. Inquadramento geografico e geologico

Il Fiume Isarco nasce nell'alta valle omonima, nei pressi del Passo del Brennero ed affluisce nel fiume Adige, presso Bolzano. La Valle dell'Isarco separa le Alpi Retiche Orientali dalle Alpi dei Tauri Occidentali e si inserisce nel contesto geologico regionale delle unità appartenenti al dominio Sudalpino. Tale dominio è delimitato a nord dal lineamento tettonico principale alpino, costituito dalla linea Insubrica ("Linea Periadriatica"), il quale lo separa dal dominio Austroalpino. La porzione meridionale delle alpi facente parte del dominio Sudalpino, è composta principalmente da una coltre di rocce sedimentarie permo-cenozoiche che ricoprono le unità più antiche rappresentate dalle rocce ignee appartenenti al Gruppo Vulcanico Atesino del Permiano inferiore e, ancora più in profondità, da rocce metamorfiche del Basamento Cristallino pre-Permiano.

Nell'area in cui sono stati individuati i tre casi-studio di frana a cinematica estremamente lenta

(velocità inferiore a 10 mm/anno) (Fig. 1), compresa tra Chiusa, a nord, e Bolzano, a sud, affiorano rocce metamorfiche del Basamento Cristallino (pre-Permiano) e rocce vulcaniche (associate ad un magmatismo di tipo acido-esplosivo) del Gruppo Vulcanico Atesino.

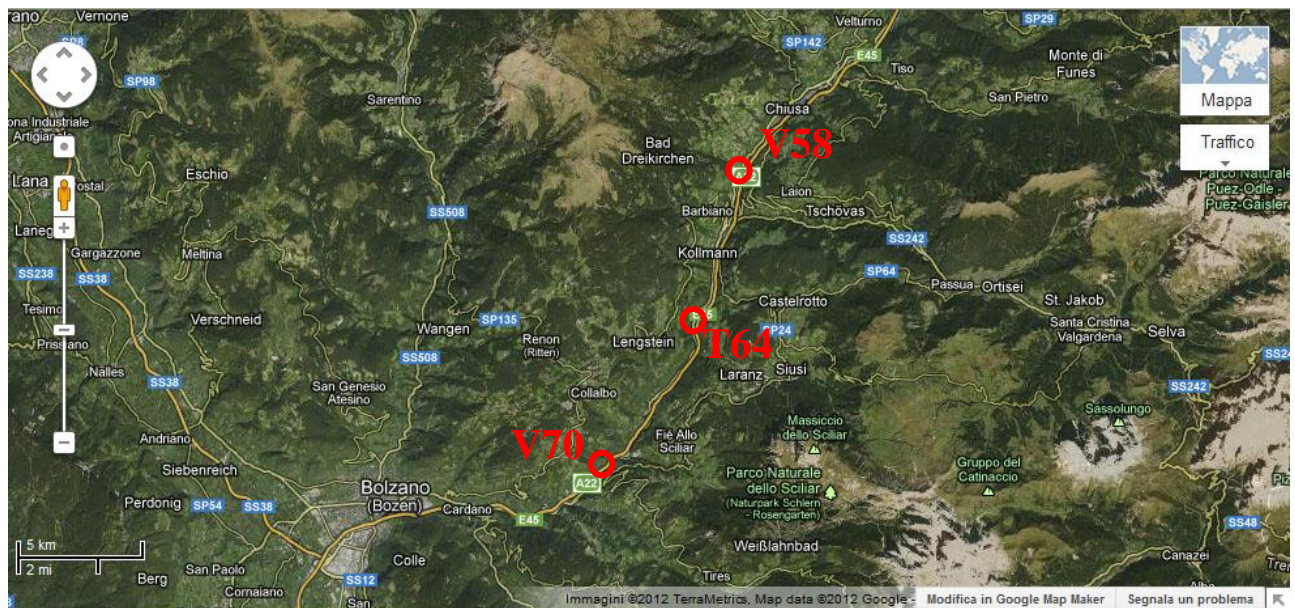


Fig. 1. Ubicazione dei tre siti studiati: V58 e V70 interagiscono con viadotti stradali, T64 coinvolge una galleria.

Il caso studio più settentrionale, denominato V58, è ubicato in sinistra idrografica ed è compreso tra le quote 475 m e 1000 m s.l.m.; anche il caso intermedio, T64, si trova in sinistra idrografica ed è compreso tra le quote 450 m e 700 m s.l.m.; il caso più meridionale, V70, si trova in destra idrografica ed è compreso tra le quote 340 m e 700 m s.l.m..

L'espansione glaciale Würmiana nella Valle dell'Isarco è stata ricostruita da Penck & Brückner (1909) in base alla distribuzione altimetrica dei depositi glaciali e delle morene laterali, evidenziando uno spessore tale da raggiungere la quota assoluta di 2000 m s.l.m. presso l'area su cui attualmente sorge l'abitato di Bolzano (260 m s.l.m.). Da tali stime, è possibile ipotizzare, che nei tre siti la coltre glaciale avesse uno spessore variabile tra 1000 e 1700 m. Secondo Fenti et al. (1981) diversi ordini di terrazzi possono essere raggruppati secondo tre "resti" di fondi-valle interglaciali, oggi riconoscibili, sulla base dei quali l'approfondimento vallivo nei pressi di Bolzano fu complessivamente di circa 130 m durante il Günz-Mindell, di circa 110 m nel Mindel-Riss e di circa 60 m nell'interglaciale Riss-Würm. I colleghi geologi dott. Ronchetti e dott. Corsini dell'Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia stanno definendo i modelli geologici dei tre siti e, durante i rilievi di campo, hanno individuato lembi di terrazzamenti glaciali e fluviali, che risultano dislocati a varie quote, quale conseguenza di movimenti post-glaciali di versante dovuti a deformazioni profonde e frane vere e proprie. In particolare, nei due siti V58 e V70 sono state riconosciute due DGPV (Deformazioni Gravitative Profonde di Versante), attivate successivamente alla deglaciazione ed all'interno delle quali sono state riconosciute diverse frane di scorrimento, a volte composite, più o meno profonde. In Fig. 2 si riporta, a titolo di esempio, un'immagine del fenomeno riconosciuto dai geologi nel sito V58.

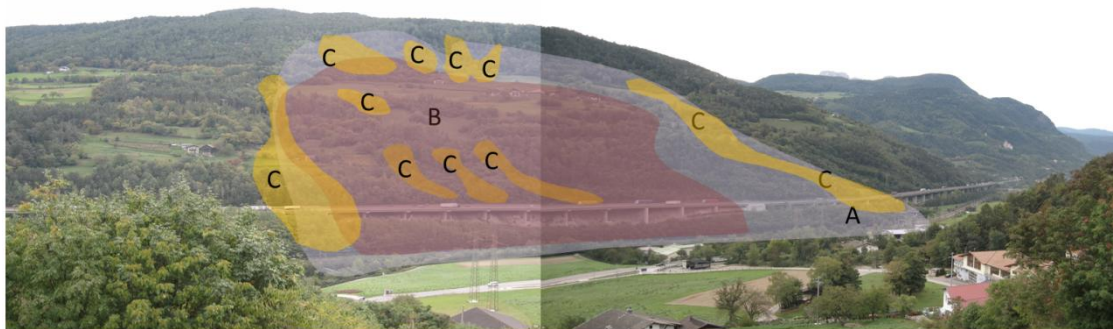


Fig. 2. Foto panoramica delle Unità di frana (unità A, Deformazione Gravitativa Profonda di Versante (DGPV), profonda; unità B, Scivolamenti di roccia e terra, medio-profonda; unità C, Scivolamenti di terra o detrito, superficiale) che compongono il dissesto complesso del caso studio V58.

2. L'interazione con le infrastrutture di trasporto

La valle dell'Isarco ospita importanti infrastrutture di trasporto che collegano l'Italia all'Europa centrale: la SS12 Alemagna, l'autostrada A22 e la ferrovia RFI Verona-Brennero. Nella valle è prevista anche la realizzazione della linea ferroviaria ad Alta Capacità del Corridoio 1 del Trans-European Transport Network (TNT-T1), che collega Berlino a Palermo. Tali infrastrutture scorrono in prossimità dei fondovalle e sono state spesso realizzate a ridosso di ripide pareti rocciose, sottoponendole a condizioni di pericolo associate a caduta massi e rock-avalanche. Di conseguenza, per lungo tempo l'attenzione è stata rivolta quasi esclusivamente alla mitigazione del rischio associato a queste tipologie di frana, soprattutto per evitare il ripetersi di vittime e feriti. Ad esempio, con lo spostamento in sotterraneo della ferrovia, negli anni '90, si è annullata questa condizione di rischio e si è evitata la gestione del sistema di Early Warning che era stato predisposto.

Nell'ultima decade, però, l'attenzione si è lentamente spostata verso lo studio delle grandi frane a cinematica estremamente lenta, che stanno interagendo con queste infrastrutture di trasporto e con centri abitati. Infatti, sebbene portino difficilmente ad una distruzione repentina, questi tipi di frana provocherebbero danni ingenti alle strutture se non fossero riconosciuti, studiati e gestiti per tempo. Per le opere esistenti sarà necessario individuare interventi di mitigazione dei danni, ma per le opere pianificate è ancora possibile modificarne l'ubicazione rispetto all'estensione delle aree in movimento.

3. I tre casi-studio

Lo studio dei tre casi di frana a cinematica estremamente lenta include, oltre al riconoscimento dell'area "potenzialmente" in frana e in accordo con Pellegrino (1986), la delimitazione dei volumi in movimento, la caratterizzazione geotecnica dei terreni coinvolti, la descrizione del regime delle pressioni interstiziali, la cinematica del fenomeno franoso, la modellazione del fenomeno e le verifiche di stabilità. La Tab. 1 riassume i risultati ottenuti per le unità riconosciute "attive" e potenzialmente interagenti con le infrastrutture di trasporto (ad esempio, l'unità B di Fig. 2).

È interessante notare che la resistenza al taglio mobilitata sulle superfici di scivolamento, riconosciute mediante l'analisi della stratigrafia e, soprattutto, mediante le misure inclinometriche, si colloca nell'intervallo dei valori di resistenza residua stimati mediante prove di taglio diretto in scatola di taglio su campioni ricostituiti con la frazione granulometrica inferiore a 2 mm (Tab. 1 e Fig. 3).

Caso-studio	V70	T64	V58
Spessore medio (m)	16-24	Zona Nord: 30 Zona Sud: 60	Zona Nord: 60 Zona Sud: 80
Larghezza (m)	200	600	450
Lunghezza (m)	100	500	450
Superficie in movimento (m ²)	20.000	150.000	157.000
Volume (m ³ x10 ⁶)	0.25	2.5	5.8
Geologia e caratteristiche della massa in movimento	Substrato: ignimbrite e tufo. Massa in movimento: roccia e detrito. Superficie di scivolamento: parte nell'ignimbrite e tufo e parte nel detrito.	Substrato: ignimbrite e tufo. Massa in movimento: detrito; tale massa può essere suddivisa in due zone: zona settentrionale e zona meridionale. Superficie di scivolamento: tra substrato e detrito.	Substrato: filladi. Massa in movimento: roccia e detrito; tale massa può essere suddivisa in due zone: zona settentrionale e zona meridionale. Superficie di scivolamento: parte nelle filladi e parte nel detrito.
Inclinazione media pendio (°)	40	30	30
Resistenza residua al taglio della superficie di scivolamento-laboratorio (°)	22-34	10-30	23-30
Resistenza residua al taglio della superficie di scivolamento -back analyses (c'=0) (°)	17-26	26-27	30
Profondità della falda (m)	Sotto la superficie di scivolamento	Occasionalmente sopra la superficie di scivolamento	Sopra la superficie di scivolamento
Interazione con manufatti	Viadotto autostrada, strada statale	Galleria e piano stradale dell'autostrada	Viadotto autostrada, ferrovia, abitazioni
Monitoraggio spostamenti	- Sovrastruttura con Stazione Totale e 19 targets, dal 2004 - Sovrastruttura con Pendolo diretto, dal 1997 - Sottosuolo con 15 inclinometri, dal 1993	- Sovrastruttura con Stazione Totale e 12 pilastri di cls+3 targets, dal 2004 - Sottosuolo con 7 inclinometri, dal 1997 - Sottosuolo con 7 IPIs (misure real-time), dal 2001 - Superficie con SAR satellitare: ERS (1992-2000); ENVISAT (2003-2008)	- Sovrastruttura con Stazione Totale e 20 targets, dal 2008 - Sottosuolo con 16 inclinometri, dal 2008 - Superficie con SAR satellitare: ERS (1992-2000); ENVISAT (2003-2008)
Monitoraggio pressioni interstiziali	8 Piezometri	10 Piezometri, dal 1997 4 trasduttori di pressione (misura automatica), dal 2004	9 Piezometri, dal 2009
Monitoraggio pioggia	-	2 pluviometri	-
Velocità di spostamento (mm/anno)	7-10	Zona Nord: 5-10 Zona Sud: 2-5	Zona Nord: 4-8 Zona Sud: 9
Fase di movimento	attiva	attiva	Attiva

Tab. 1. Sintesi delle caratteristiche principale dei tre casi-studio di frana a cinematica estremamente lenta.

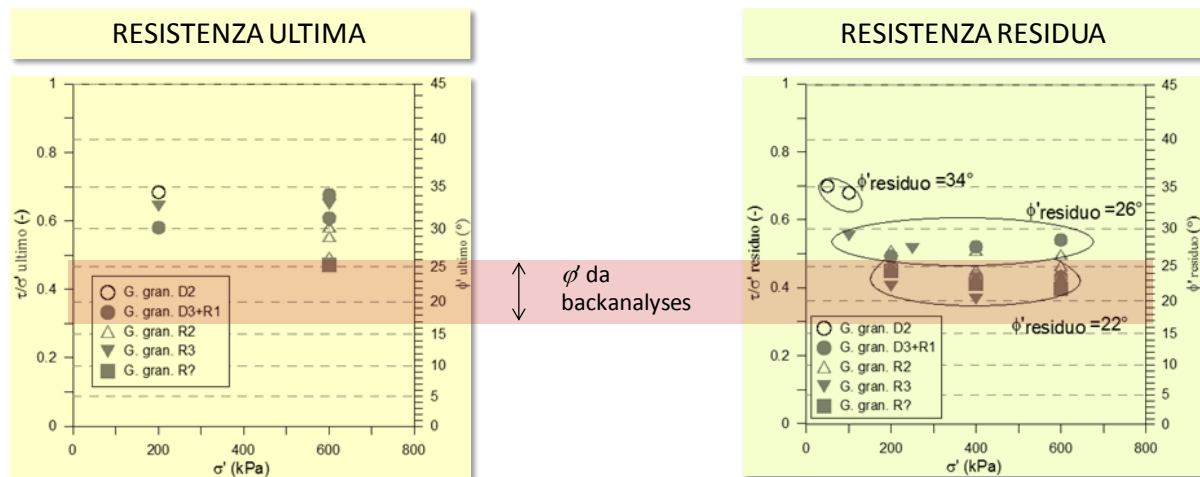


Fig. 3. Caso-studio V70: resistenza al taglio ultima (a volume costante) e residua stimate in laboratorio confrontate con la stima della resistenza al taglio mobilitata sulle superfici di scivolamento (da back-analyses mediante metodo dell'equilibrio limite globale).

4. Il ruolo fondamentale del monitoraggio degli spostamenti

Nelle frane a cinematica estremamente lenta è solitamente difficile ritrovare sul versante indizi naturali (fratture di trazione aperte, scarpate di frana prive di vegetazione, ecc.) sulla base dei quali definire l'attività della frana. Tali indizi, infatti, sono obliterati da altri fenomeni più superficiali ed a evoluzione più veloce. Per il riconoscimento delle zone in movimento possono essere di aiuto la presenza di manufatti, infrastrutture a rete, coltivazioni perenni a filare, ecc., che col trascorre di decenni sono in grado di esibire spostamenti rispetto alla posizione originaria. Anzi, quando le strutture sono pianificate e realizzate in assenza di un adeguato studio geomorfologico, sono proprio questi spostamenti a far sospettare l'esistenza di problemi d'instabilità di versante. È questo il caso dei tre siti qui descritti, per due dei quali, V70 e V58, è in corso il monitoraggio degli spostamenti delle pile dei viadotti, che ha evidenziato il progredire dei movimenti nel tempo e, quindi, la necessità di comprendere il meccanismo del fenomeno.

Lo studio delle frane a cinematica estremamente lenta richiede quindi il monitoraggio degli spostamenti del terreno in superficie e nel sottosuolo per:

- Definire l'estensione areale della frana;
- Identificare l'eventuale presenza delle superfici di scivolamento e, comunque, definire lo spessore delle masse di terreno in movimento;
- Descrivere l'evoluzione degli spostamenti nel tempo per consentire la comprensione del meccanismo di frana (Leroueil et al., 1996; Leroueil, 2001).

Per quest'ultimo punto sono interessanti anche i lavori di Bertini et al. (1986), Vulliet (1986), Vulliet et al. (1988a), Vulliet et al. (1988b), Van Asch et al. (2007), Puzrin et al. (2012).

La tecnica di misura degli spostamenti deve essere selezionata in modo che gli errori accidentali e sistematici (inclusi gli effetti ambientali), nonché quelli associati alla conformità degli strumenti, siano significativamente inferiori all'entità degli spostamenti che intercorrono in un ragionevole intervallo di tempo compatibile con le esigenze del gestore del territorio, strutture e infrastrutture.

Per i tre casi-studio sono stati adottati: inclinometri, per la misura degli spostamenti nel sottosuolo, Stazione Totale e prismi installati sulla sovrastruttura (V58 e V70) o su elementi solidali con il terreno (V58 e T64), pendolo diretto sulla sovrastruttura (V70), Interferometria InSAR (www.pcn.minambiente.it/GN). In tutti e tre i siti i sistemi di misura sono stati resi ridonanti per consentire la verifica dell'affidabilità delle misure e, in tal modo, si è constatata la necessità di

elaborare le misure in modo da riconoscere e correggere gli effetti degli errori sistematici (Simeoni et al., 2007; Tombolato et al., 2011). Così come è stato importante riconoscere le caratteristiche di conformità degli inclinometri, dipendenti dalle modalità di installazione, perché da esse dipende la capacità dello strumento di rilevare la presenza e l'ubicazione delle superfici di scivolamento (Simeoni et al., 2011).

5. Conclusioni

Sulla base dei risultati finora ottenuti dallo studio dei tre casi di frana a cinematica estremamente lenta in ambiente alpino post-glaciale si possono trarre le seguenti conclusioni:

- La resistenza mobilitata è quella residua, ovvero le frane erano attive e, quindi, riconoscibili ai tempi della pianificazione delle opere;
- Il monitoraggio degli spostamenti è fondamentale per definire l'estensione dei volumi di terreno in movimento, nonché per descrivere l'andamento degli spostamenti nel tempo al fine di individuare il modello di evoluzione degli stessi;
- Tecnica di misura, modalità di installazione degli strumenti e procedure di elaborazione dei dati devono essere definite in modo da minimizzare gli effetti degli errori, inclusi quelli associati alla conformità dello strumento;
- I sistemi di misura devono essere ridondanti per la verifica dell'affidabilità delle misure stesse.

Bibliografia

- Bertini T., Cugusu F., D'Elia B. and Rossi-Doria M. (1986) - "Lenti movimenti di versante nell'Abruzzo adriatico: caratteri e criteri di stabilizzazione.", XVI Convegno Nazionale di Geotecnica.
- Fenti V., Ruzzier D., Silvano S., Spagna V. (1981). I movimenti franosi della Valle Isarco tra Bolzano e Ponte Gardena (Alto Adige). Studi Trentini di Scienze Naturali, 58, 59-130.
- Leroueil S., Locat J., Vaunat J., Picarelli L., Lee H. and Faure R. (1996) - "Geotechnical characterization of slope movements." Proceedings of 7th International Symposium on Landslides, Rotterdam, 1:53-74.
- Leroueil S. (2001) - "Natural slopes and cuts: movement and failure mechanisms" Géotechnique 51, No. 3, 197-243.
- Pellegrino A. L'analisi dei movimenti franosi per la progettazione degli interventi di stabilizzazione. Atti del XVI Convegno Nazionale di Geotecnica, Bologna, 14-16 maggio 1986, Vol. III, pp. 121-149.
- Penck A. and Brückner E. (1909). Die alpen im Eiszeitalter. Vol. 3. Tauchnitz.
- Puzrin A.M. and Schmid A. (2012). Evolution of stabilised creeping landslides. Géotechnique 62, No. 6, 491 - 501.
- Simeoni L. and Mongiovì L. (2007) - "Inclinometer monitoring of the Castelrotto landslide in Italy". Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 133, No. 6, June 2007, pp. 653-666.
- Simeoni L. and Bosco G. (2011) - "Influenza del procedimento di cementazione dei tubi inclinometrici sulle misure". Atti del XXIV Convegno Nazionale di Geotecnica, Napoli, 22-24 giugno 2011.
- Tombolato S., Simeoni L., Pedrotti M. and Mongiovì L. (2011) - "Field monitoring system of a motorway viaduct moving on an extremely slow landslide". Proc. of the 8th International Symposium on Field Measurements in Geomechanics, Berlin, Germany, 12-16 September 2011.
- Van Asch T.W.J., Van Beek L.P.H., Bogaard T.A. (2007) - "Problems in predicting the mobility of slow-moving landslides." Engineering Geology, 91:46-55.
- Vulliet L. (1986) - "Modelisation des pentes naturelles en mouvement." Thesis No. 635, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Switzerland.
- Vulliet L. And Hutter K. (1988a). Viscous-type sliding laws for landslides. Canadian Geotechnical Journal, Vol 25, No. 3, pp. 467-477.
- Vulliet L. And Hutter K. (1988b). Continuum model for natural slopes in slow movement. Geotechnique 38, No. 2, 199-217.