

Integrazione di dati geotecnici e geomatici per la caratterizzazione cinematica di frane roto-traslative in roccia estremamente lente interagenti con infrastrutture viarie: un caso di studio in Valle Isarco (Bolzano, Italia)

Vincenzo Critelli*, Alessandro Corsini*, Francesco Ronchetti*, Giuseppe Ciccarese*, Marco Mulas*, Nicolas Rinaldi*, Edgar Ferro**, Lucia Simeoni**

* Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia, Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche

** Università degli studi di Trento, Dipartimento di Ingegneria Civile Ambientale e Meccanica



UNIVERSITÀ DI TRENTO

UNIMORE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MODENA E REGGIO EMILIA



1 – Introduzione

La caratterizzazione cinematica di grandi frane profonde estremamente lente è tradizionalmente perseguita attraverso l'interpretazione delle evidenze morfologiche di superficie e geologiche di sottosuolo e *datasets* derivanti dal monitoraggio geotecnico delle deformazioni di sottosuolo. Negli ultimi decenni, dati geomatici quali modelli digitali del terreno ad elevata risoluzione e serie temporali di spostamento ottenute con interferometria InSAR, si sono dimostrati di significativo supporto alla riduzione delle incertezze interpretative che fenomeni di tale complessità comportano. L'integrazione di dati geologici e di monitoraggio geotecnico e geodetico di lungo periodo è stata adottata per la caratterizzazione cinematica di un fenomeno roto-traslattivo profondo attivo ed estremamente lento sito lungo la Valle Isarco (BZ) interagente per un tratto della lunghezza di 600 m con un viadotto dell'autostrada A22.

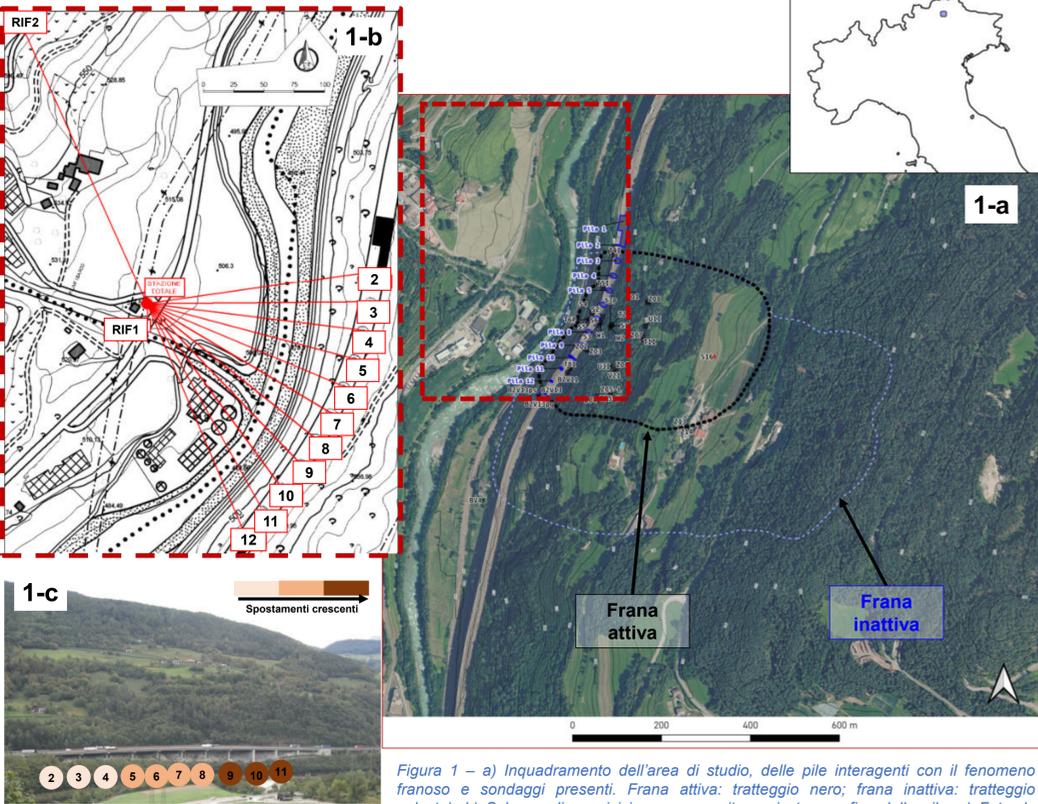


Figura 1 – a) Inquadramento dell'area di studio, delle pile interagenti con il fenomeno franoso e sondaggi presenti. Frana attiva: tratteggio nero; frana inattiva: tratteggio celeste. b) Schema di acquisizione per monitoraggio topografico delle pile. c) Foto da terra della frana di Belprato (i numeri si riferiscono alla pila corrispondente)

2 – Monitoraggio topografico e inclinometrico

Il Servizio Ispezione Opere d'Arte dell'Autostrada del Brennero esegue periodicamente le misure degli spostamenti di target installati sui fusti delle pile del viadotto utilizzando una stazione totale Leica (TCA2003 fino a luglio 2018, TM50 da luglio 2018) in una configurazione a stazione libera. Dalla pila 2 alla pila 11 sono installati due target ogni pila (uno sommitale l'altro basale), mentre nella pila 12 si eseguono le misure dal 16/03/2010 su un solo target (sommitale). Dal 2006 ad oggi sia Autostrade del Brennero S.p.A. che RFI-Italferr S.p.A. hanno inoltre commissionato letture inclinometriche nelle diverse verticali.

Il monitoraggio topografico evidenzia che le pile del viadotto afferiscono a tre classi di velocità di spostamento diverse: le pile 2, 3, 4 da velocità di spostamento quasi nulla (< 1 mm/anno); pile 5, 6, 7, 8, da velocità intermedie comprese tra 5 e 6 mm/anno mentre le pile 9, 10, 11 da velocità di circa 10 mm/anno

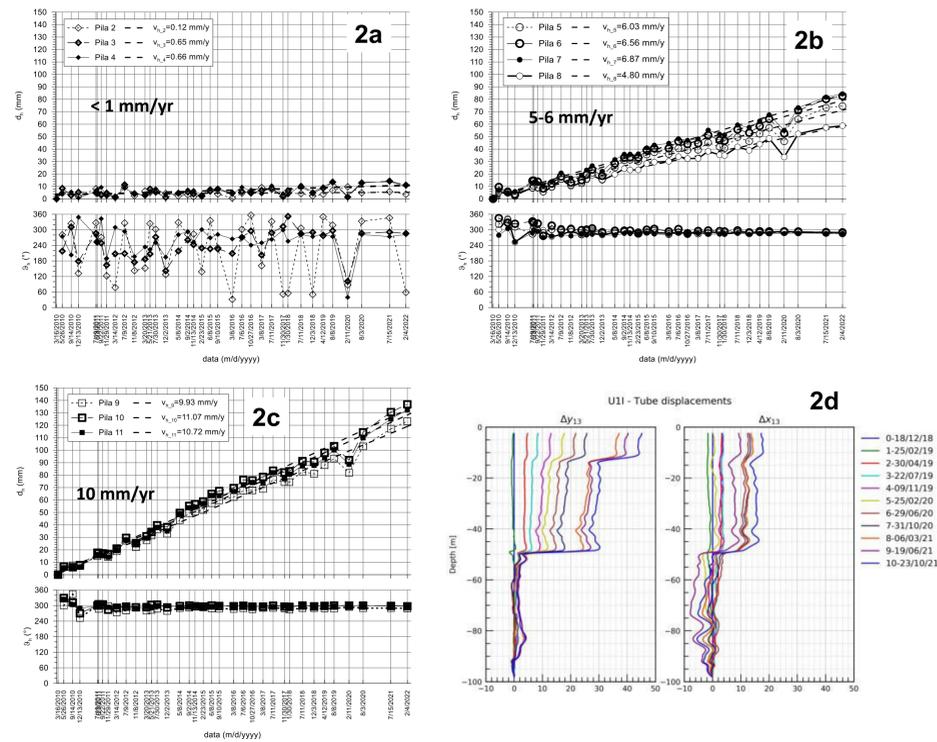


Figura 2 – Risultati del monitoraggio topografico delle pile del viadotto (figure 2a, b, c). Si possono notare tre diverse classi di velocità di spostamento. Figura 2d dati inclinometro U11, in cui si evidenzia la superficie di scorrimento principale a ~50 m dal piano campagna.

6 – Sezione rappresentativa del cinematicismo

Sulla base del modello geologico-geomorfologico, e avvalendosi di evidenze di sottosuolo da carote di sondaggio e misure inclinometriche, rilievi in tomografia elettrica e sismica a rifrazione, è stato elaborato un set di tre sezioni longitudinali rappresentative del cinematicismo di frana, una delle quali è rappresentata in Fig. 6a.

La parte attiva, nel suo insieme, è classificabile come *multiple rotational rock slide*, nella quale i diversi blocchi condividono una superficie di scivolamento basale profonda.

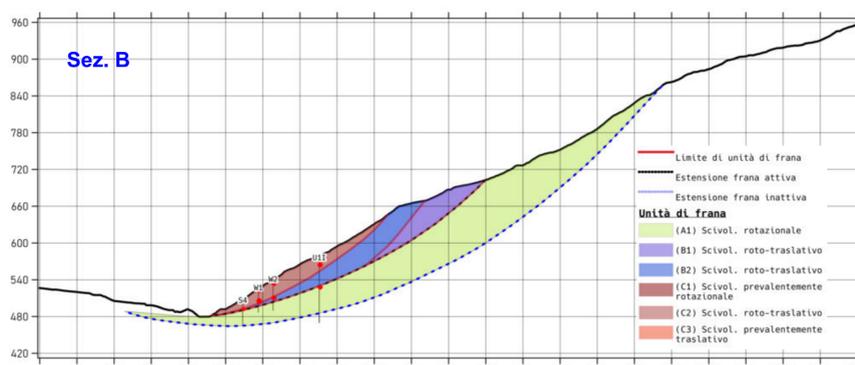
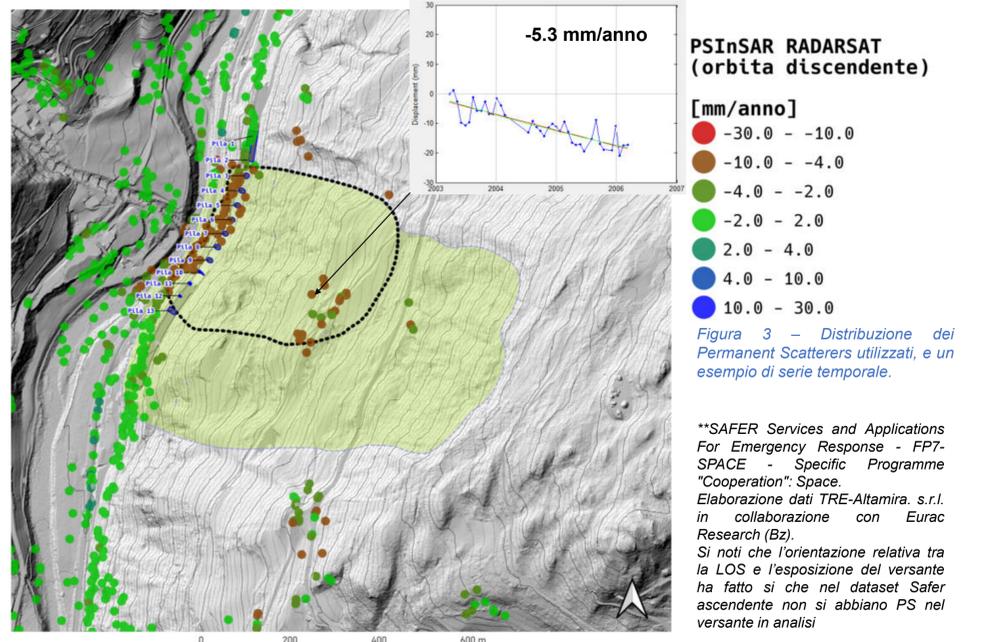


Figura 6a – Modello cinematico della frana di Belprato. I punti rossi evidenziano la posizione delle superfici di scivolamento.

Figura 6b – Rilievi geofisici condotti nell'area della frana di Belprato. I rilievi in tomografia elettrica sono indicati dalle linee rosse; i rilievi in tomografia sismica a rifrazione dalle linee blu.

3 – Monitoraggio interferometrico

La disponibilità di *datasets* PSInSAR, derivanti da progetto SAFER utilizzando dati RADARSAT acquisiti tra il 2001 e il 2006 in orbita discendente (**), ha reso possibile definire i tassi di spostamento delle diverse porzioni del versante, anche avvalendosi di algoritmi di post-processing volti a evidenziare, oltre alla significatività delle deformazioni rilevate, il comportamento spazio-temporale del processo di deformazione. Nel caso in oggetto la quasi totalità dei PS ricadenti nell'area di studio sono caratterizzati da un trend lineare.



PSInSAR RADARSAT (orbita discendente)

[mm/anno]
-30.0 - -10.0
-10.0 - -4.0
-4.0 - -2.0
-2.0 - 2.0
2.0 - 4.0
4.0 - 10.0
10.0 - 30.0

Figura 3 – Distribuzione dei Permanent Scatterers utilizzati, e un esempio di serie temporale.

**SAFER Services and Applications For Emergency Response - FP7-SPACE - Specific Programme "Cooperation": Space. Elaborazione dati TRE-Altamira s.r.l. in collaborazione con Eurac Research (Bz). Si noti che l'orientazione relativa tra la LOS e l'esposizione del versante ha fatto sì che nel dataset Safer ascendente non si abbiano PS nel versante in analisi

4 – Analisi di ridondanza tra dati

Gli spostamenti orizzontali delle pile sono stati confrontati con quelli forniti dagli inclinometri al fine di verificare la reciproca consistenza. Poiché le misure inclinometriche si riferiscono al periodo 2018-2021, sono state considerate solo le misure topografiche a partire da luglio 2018. Il confronto è stato eseguito per le tre pile ubicate nei pressi di inclinometri in funzione nel periodo di riferimento: la pila 5, vicina all'inclinometro T51; la pila 7, vicina all'inclinometro W1. Si osserva una buona coerenza tra gli spostamenti delle diverse serie temporali eccetto che per la pila 7 e inclinometro W1, che evidenzia velocità di spostamento di circa 3 mm/anno maggiori. Tale differenza è riconducibile alla parziale sovrapposizione tra la base della pila e la superficie di scivolamento.

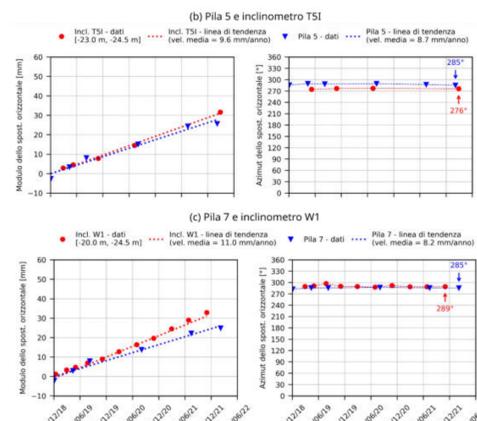


Figura 4 – Analisi di ridondanza tra dati tra monitoraggio topografico delle pile 5 e 7 e i dati inclinometrici relativi al sondaggio più vicino. Il confronto è stato basato sia sul modulo di spostamento orizzontale (grafici a sinistra), sia sulla direzione di spostamento (grafici a destra).

5 – Modello geologico / geomorfologico

L'identificazione delle principali unità ed elementi che costituiscono il fenomeno franoso è stata supportata dalla disponibilità di DEM LiDAR a risoluzione 2.5 m (che ha consentito la derivazione di isoipse ad equidistanza 5 m ed una visione a rilievo ombreggiato). La perimetrazione delle unità di frana tiene conto, oltre che degli aspetti geo-morfologici, anche della entità degli spostamenti evidenziati dal monitoraggio di tipo geotecnico e geomatico. Il fenomeno franoso si caratterizza da un'unità profonda inattiva (DPGV) che racchiude quasi interamente la porzione attiva del versante, nella

quale è possibile riconoscere diverse sub-unità, ognuna delle quali generata dalla rimobilizzazione del materiale dell'unità immediatamente più a monte.

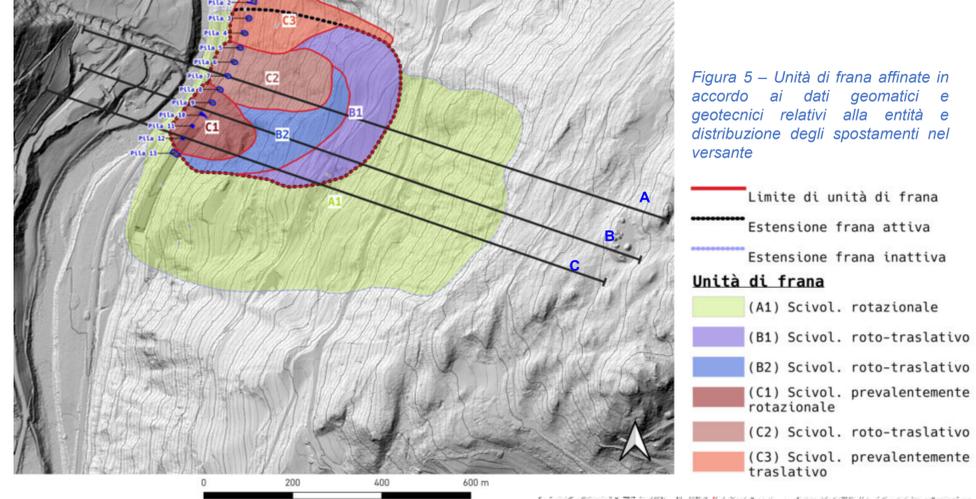


Figura 5 – Unità di frana affinate in accordo ai dati geomatici e geotecnici relativi alla entità e distribuzione degli spostamenti nel versante

— Limite di unità di frana
— Estensione frana attiva
— Estensione frana inattiva
Unità di frana
(A1) Scivol. rotazionale
(B1) Scivol. roto-traslattivo
(B2) Scivol. roto-traslattivo
(C1) Scivol. prevalentemente rotazionale
(C2) Scivol. roto-traslattivo
(C3) Scivol. prevalentemente traslattivo

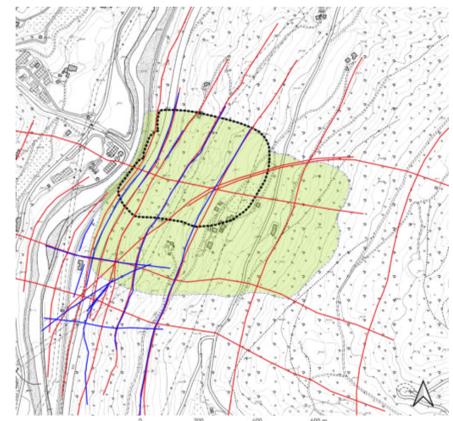


Figura 6b – Rilievi geofisici condotti nell'area della frana di Belprato. I rilievi in tomografia elettrica sono indicati dalle linee rosse; i rilievi in tomografia sismica a rifrazione dalle linee blu.