



Mitigazione dei Rischi Naturali per la Sicurezza
e la Mobilità nelle Aree Montane del Mezzogiorno
PNR 2015-2020

Area di Specializzazione *Smart, Secure and Inclusive Communities*



Obiettivi Realizzativi 2, 4 e 5

Valutazione del rischio idrogeologico

Sviluppo di un sistema integrato di monitoraggio

Soluzioni per la mitigazione del rischio idrogeologico

SPOSTAMENTI SUPERFICIALI E PROFONDI DELLA FRANA DI COSTA DELLA GAVETA (PZ)

Caterina Di Maio *, Roberto Vassallo *, Jacopo De Rosa *, Vincenzo Caputo*, Maurizio
Belvedere*, Roberto Murtas**

*Università degli Studi della Basilicata

**Rete Ferroviaria Italiana

Febbraio 2022



UNIONE EUROPEA
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



© 2022 Università degli Studi della Basilicata

Editrice Universosud – Potenza

ISBN 9788899432874



Questa pubblicazione è stata realizzata con il cofinanziamento dell'Unione Europea – FESR, PON Ricerca e Innovazione 2014-2020.

www.ponricerca.gov.it



UNIONE EUROPEA
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Ministero dell'Università
e della Ricerca



PON
RICERCA
E INNOVAZIONE
2014 - 2020

Mitigazione dei Rischi Naturali
per la Sicurezza e la Mobilità nelle
Aree Montane del Mezzogiorno



INDICE

Sommario.....	2
1. Premessa.....	3
2. Geometria e spostamenti della frana di Costa della Gaveta	4
Conclusioni.....	11
Bibliografia.....	11



SPOSTAMENTI SUPERFICIALI E PROFONDI DELLA FRANA DI COSTA DELLA GAVETA (PZ)

Di Maio Caterina*, Vassallo Roberto*, De Rosa Jacopo*, Roberto Murtas**

*Università degli Studi della Basilicata, Potenza

**Rete Ferroviaria Italiana (Gruppo Ferrovie dello Stato), Bari

SOMMARIO

Il versante di Costa Gaveta occupa il limite occidentale dell'area della Basilicata di interesse per il progetto MITIGO (Figura 1), si sviluppa a est della città di Potenza, in sinistra idrografica del fiume Basento. Su questo versante sono previsti numerosi rapporti di divulgazione scientifica e di disseminazione dei risultati nella comunità territoriale. In questo primo rapporto si descrivono geometria e cinematica di una delle frane del versante: la "frana di Costa della Gaveta". Le deformazioni e gli spostamenti della frana sono stati valutati mediante misure inclinometriche, topografiche, GPS e mediante elaborazione delle immagini acquisite dai sistemi satellitari ERS, Envisat e COSMO-SkyMed. Nel lungo periodo di monitoraggio da terra, le velocità medie annue della frana sono rimaste costanti nel tempo, pur risultando variabili nello spazio fra qualche cm/anno nella zona della testa e pochi mm/anno in alcune zone dell'accumulo. Alla costanza della velocità annua si associa una notevole variabilità stagionale delle velocità mensili che risultano influenzate dalle pressioni dell'acqua presente lungo le superfici di scorrimento. L'attuale conoscenza della cinematica della frana permette di prevedere la sua evoluzione temporale e i suoi effetti sull'abitato e sulle infrastrutture.

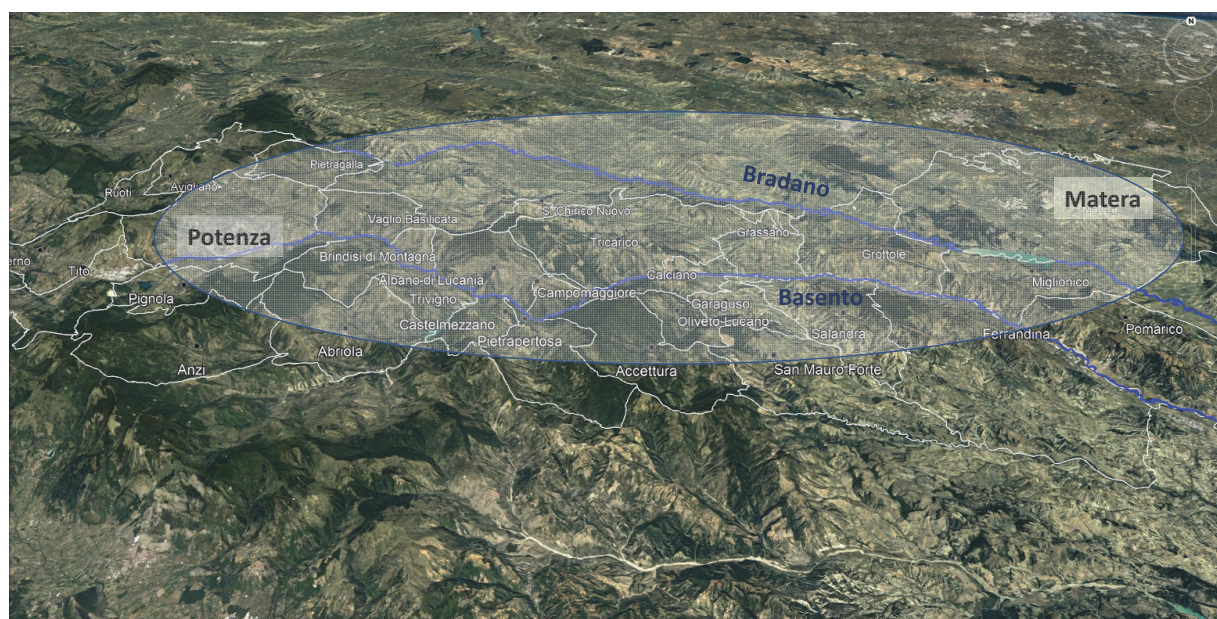


Figura 1. Area d'interesse per il progetto MITIGO.

1. Premessa

Il progetto MITIGO propone soluzioni di mitigazione dei rischi idrogeologico e sismico per i collegamenti viari e per le strutture strategiche delle aree urbane montane interessate da frane e terremoti, carenza di servizi, difficoltà di mobilità e fenomeni di spopolamento. Con approccio interdisciplinare il progetto mira a proporre modelli di indagine e intervento a scala territoriale. Il caso di studio è rappresentato da un'area della Regione Basilicata che si estende fra le città di Potenza e Matera e si sviluppa lungo le valli dei fiumi Basento e Bradano (Figura 1). Nel tratto della Catena Appenninica intorno alla valle del Basento, l'area di studio comprende le sub-aree da Potenza a Trivigno (aree verde in Figura 2), delle Dolomiti Lucane (area marrone) di Tricarico e Calciano (area gialla). In questo rapporto si mostrano alcuni risultati relativi alla parte più occidentale dell'area, dove si sviluppa il versante di Costa della Gaveta, a est della città di Potenza, in sinistra idraulica del fiume Basento. Lungo il fiume corrono la strada statale Basentana, una delle maggiori arterie della Regione, e la linea ferroviaria Potenza – Metaponto delle Ferrovie dello Stato. Entrambe le linee di comunicazione attraversano l'accumulo di tutte le maggiori frane del versante. Queste appartengono a tipologie molto diffuse in Basilicata, nei rilievi dell'Appennino e in molte altre parti del pianeta, pertanto il loro studio è di grande interesse generale. Il versante di Costa della Gaveta è diventato di fatto un grande laboratorio a cielo aperto in cui si studiano le frane in formazioni argillose strutturalmente complesse. In questa prima relazione si riportano le principali caratteristiche geometriche e i risultati del monitoraggio degli spostamenti superficiali e profondi per la sola frana di Costa della Gaveta, rinviando a successivi rapporti l'analisi dell'intero versante. In particolare, si riporta una sintesi dei risultati ottenuti in precedenti progetti di ricerca (PRIN -MIUR), convenzioni con ISPRA (interventi realizzati con la Legge 3 agosto 1998 n.267-Legge Sarno), Regione Basilicata e RFI (Rete Ferroviaria Italiana), e dei risultati più recenti ottenuti nell'ambito del progetto MITIGO.

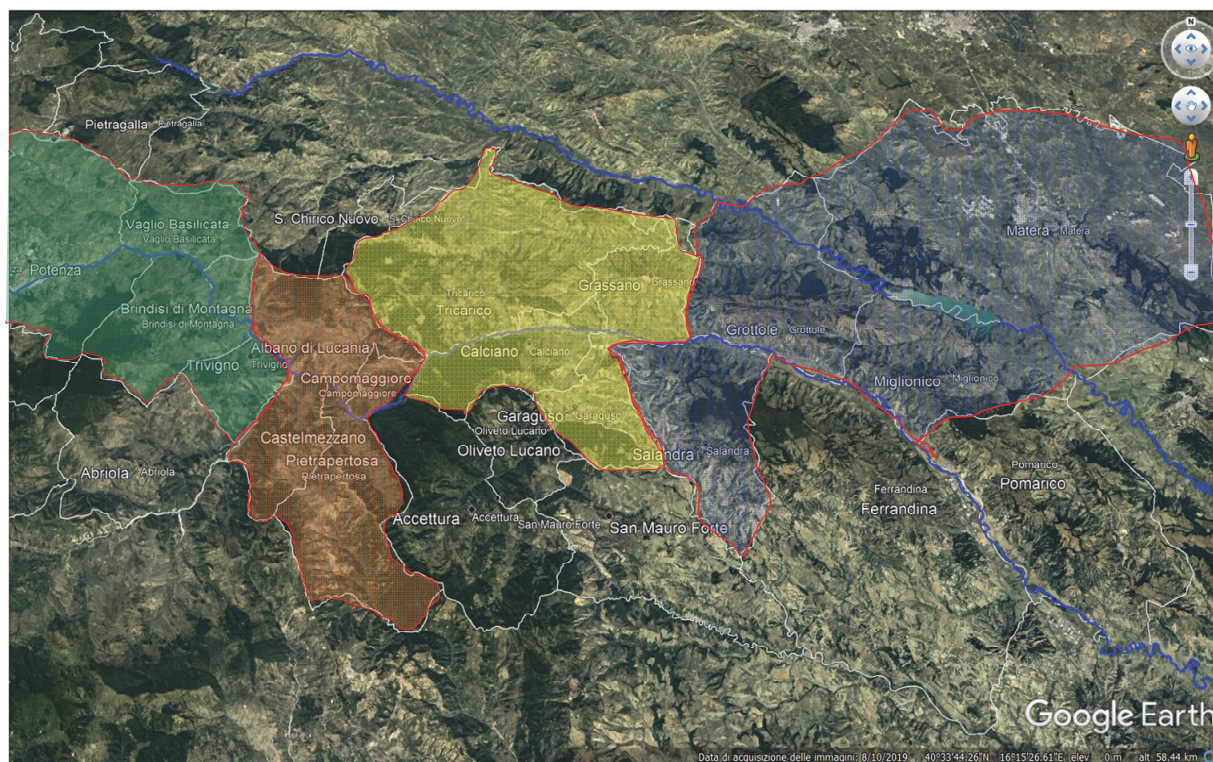


Figura 2. Area d'interesse per il progetto MITIGO lungo la valle del Basento.

2. Geometria e spostamenti della frana di Costa della Gaveta

La frana di Costa della Gaveta è attraversata dalla strada statale Basentana, dalla linea ferroviaria Potenza - Metaponto e da varie altre infrastrutture lineari. I suoi movimenti sono stati valutati mediante misure inclinometriche, topografiche con stazione totale, GPS con antenne fisse e mobili, nonché mediante elaborazione di immagini satellitari DinSAR. La frana è risultata lenta o estremamente lenta; negli ultimi 15 anni di monitoraggio, le velocità di scorrimento medie annue sono risultate costanti nel tempo ma variabili lungo l'asse della frana da qualche cm/anno in testa a pochi mm/anno in gran parte dell'accumulo (Di Maio et al., 2010; 2013; 2017; Vassallo et al., 2020; 2021).

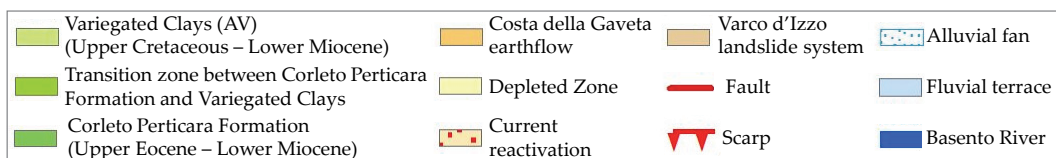
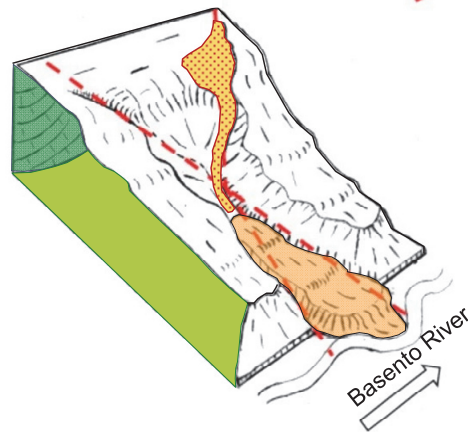
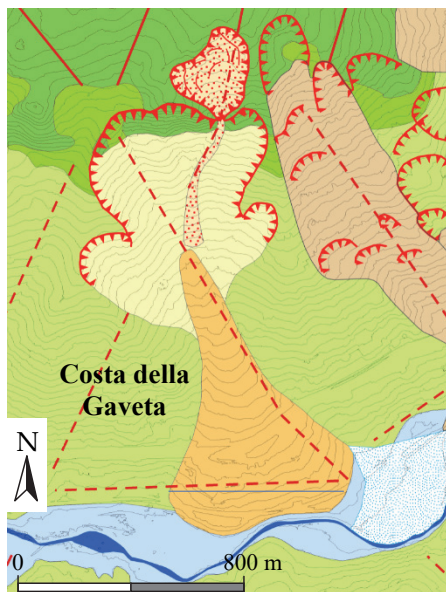
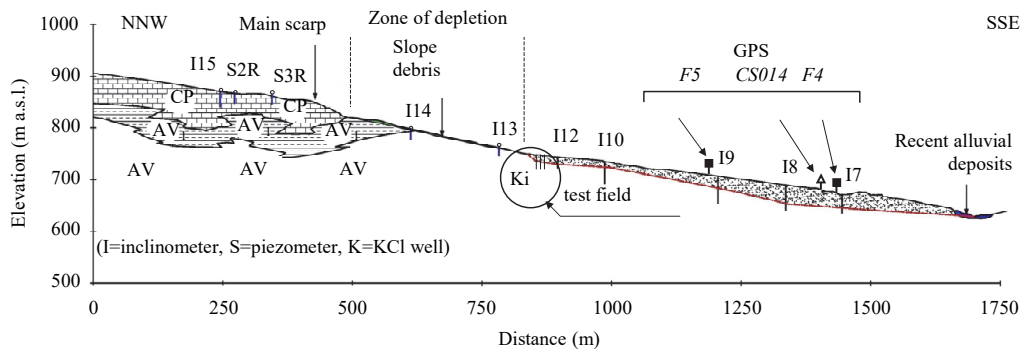


Figura 3: La frana di Costa della Gaveta: sezione geologica, mappa geologica e modello geologico (Di Maio et al., 2017; 2021).

La successione litologica del versante su cui si sviluppa la frana è formata da due principali complessi sovrapposti stratigraficamente: il complesso argilloso–marnoso delle Argille Varicolori che si sviluppa dal fondovalle fino alla quota di 815m s.l.m., ed il complesso calcareo marnoso della formazione Corleto Perticara da 815 s.l.m. fino a quota 920 s.l.m. Il passaggio stratigrafico tra Argille Varicolori e Corleto Perticara avviene gradualmente mediante un orizzonte litologico di circa 30-50 m di spessore nel quale frequenza e spessore degli strati calcarei e calcareo-marnosi aumentano progressivamente verso l’alto. La Figura 3 mostra il sistema franoso di Costa della Gaveta con la delimitazione della frana principale e della zona di alimentazione. Nella parte orientale del coronamento, lungo una linea di faglia, si sviluppa la frana di Masseria Romaniello, la cui analisi sarà presentata in un rapporto successivo.

A partire dal 2005 sono stati terebrati numerosi fori di sondaggio e sono stati installati nella frana di Costa della Gaveta numerosi piezometri e tubi inclinometrici (Figura 4). Le misure inclinometriche sono state eseguite inizialmente in modo manuale con sonde mobili e successivamente, una volta nota la profondità della fascia di scorrimento, con sonde inclinometriche fisse.

Grazie all’elevato numero di fori inclinometrici e all’elaborazione degli elementi stratigrafici e geomorfologici (Di Maio et al., 2010; 2013), è stato possibile ricostruire la geometria del corpo di frana. La rappresentazione schematica delle Figure 5 e 6 mostra che la frana raggiunge una profondità di circa 40 m in corrispondenza dell’inclinometro I8. I profili inclinometrici riportati in Figura 5 mostrano che nel lungo periodo di monitoraggio le deformazioni del corpo di frana in corrispondenza delle verticali monitorate si sono concentrate in una sottile banda nella quale si sviluppa la “superficie di scorrimento”. Le deformazioni interne del corpo di frana sono risultate più accentuate in una parte superficiale di 2 ÷ 3 m di terreno.



Figura 4: Ubicazione dei fori di sondaggio attrezzati con tubi inclinometrici. I fori In-i e il foro I9bis sono stati realizzati da R.F.I., gli altri fori da UniBas.

Nel 2006 è stata installata, a cura dell'Area di Geofisica di ISPRA, una rete di 14 capisaldi per misure GPS periodiche. Nel 2007, il sistema è stato integrato con un segmento di rete GNSS in continuo composto di 6 stazioni di misura e una stazione di riferimento installata in un edificio del serbatoio di Acquedotto Lucano.

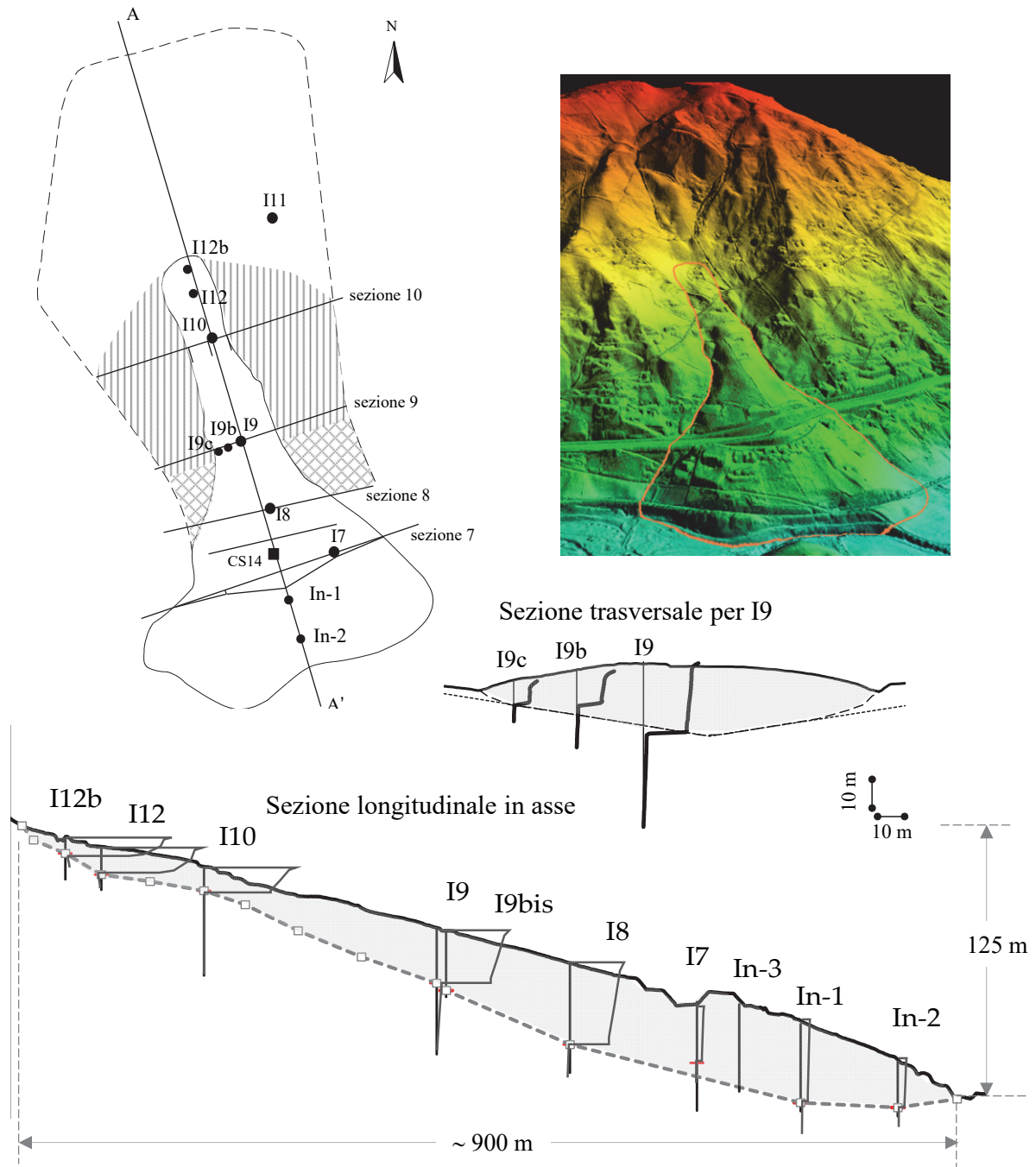


Figura 5: Ricostruzione della geometria della frana: contorno in pianta della frana; DTM ottenuto mediante elaborazione dei dati LIDAR, sezioni verticali trasversali e longitudinali con profili inclinometrici.

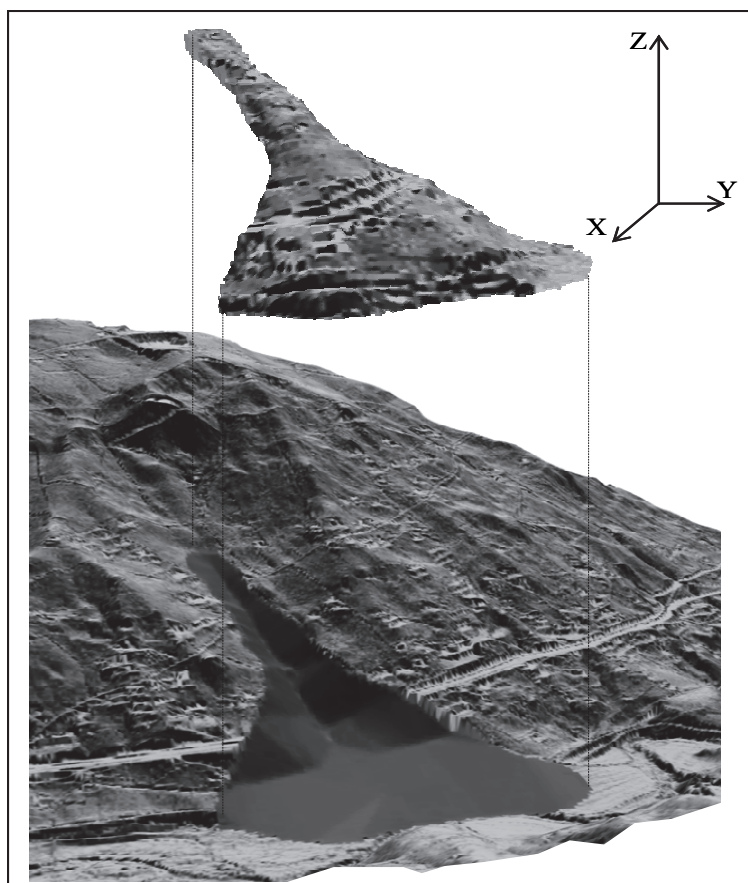


Figura 6: Superficie di scorrimento della frana di Costa della Gaveta ipotizzata sulla base di misure inclinometriche ed elaborazione di dati geomorfologici

La Figura 6 mostra il modello 3D della superficie di scorrimento che è stato ricostruito grazie ai numerosi dati sperimentali e che viene utilizzato nelle analisi numeriche di simulazione e previsione del comportamento della frana.

La Figura 7 riporta gli andamenti nel tempo degli spostamenti basali valutati con le misure inclinometriche (spostamenti AB) e degli spostamenti superficiali valutati con inclinometri (spostamenti AD) e con il sistema di antenne GPS. Il confronto mostra una notevole coerenza fra i due tipi di dati, con gli spostamenti GPS leggermente maggiori, come era da attendersi sulla base del tipo di installazione (Calcaterra et al., 2012). I dati GPS si riveleranno molto utili soprattutto quando i tubi inclinometrici non saranno più ispezionabili (normalmente, a Costa della Gaveta questo avviene per spostamenti basali di circa 10 cm) in quanto potranno essere acquisiti indefinitamente nel tempo.

La disponibilità di lunghe serie di dati inclinometrici e GPS permette anche di utilizzare le serie satellitari DInSAR che altrimenti, nella zona di Costa della Gaveta, sarebbe molto problematico interpretare. Infatti, in questa zona, la direzione degli spostamenti ha una notevole componente nella direzione Nord-Sud, e quindi una piccola componente lungo la linea di osservazione da satellite (LOS), spesso nell'ordine di grandezza dell'errore di misura. Infatti, la LOS, per gli attuali sistemi satellitari SAR, ha tipicamente direzione Ovest-Est con un angolo di incidenza che va da circa 20° a circa 50°, a seconda del sensore e della modalità di rilievo. L'operazione di filtraggio dei dati diventa quindi un'operazione essenziale che viene facilitata dal confronto con le serie di dati valutati da terra.

I dati DInSAR analizzati per Costa della Gaveta sono quelli ottenuti dall'elaborazione delle immagini delle costellazioni ERS, Envisat e CSK (COSMO-SkyMed). I dati ERS (1992 – 2000) e Envisat (2003 – 2010), relativi a orbite discendenti e ascendenti rispettivamente, sono quelli processati nell'ambito del piano straordinario di telerilevamento PST-A del MATTM (Costantini et al. 2017). I dati CSK, relativi a 100 immagini acquisite in modalità H-Image nel periodo 2012 – 2020 su orbita ascendente, sono stati processati da Vassallo et al (2021) con la tecnica tomografica SAR (Fornaro et al., 2014; Noviello et al., 2020). In Figura 8 sono riportati i dati CSK e Envisat in termini di velocità media annua nel periodo di osservazione nella direzione della LOS. Si può osservare che la componente della velocità di spostamento lungo tale direzione è inferiore a 5 mm/anno.

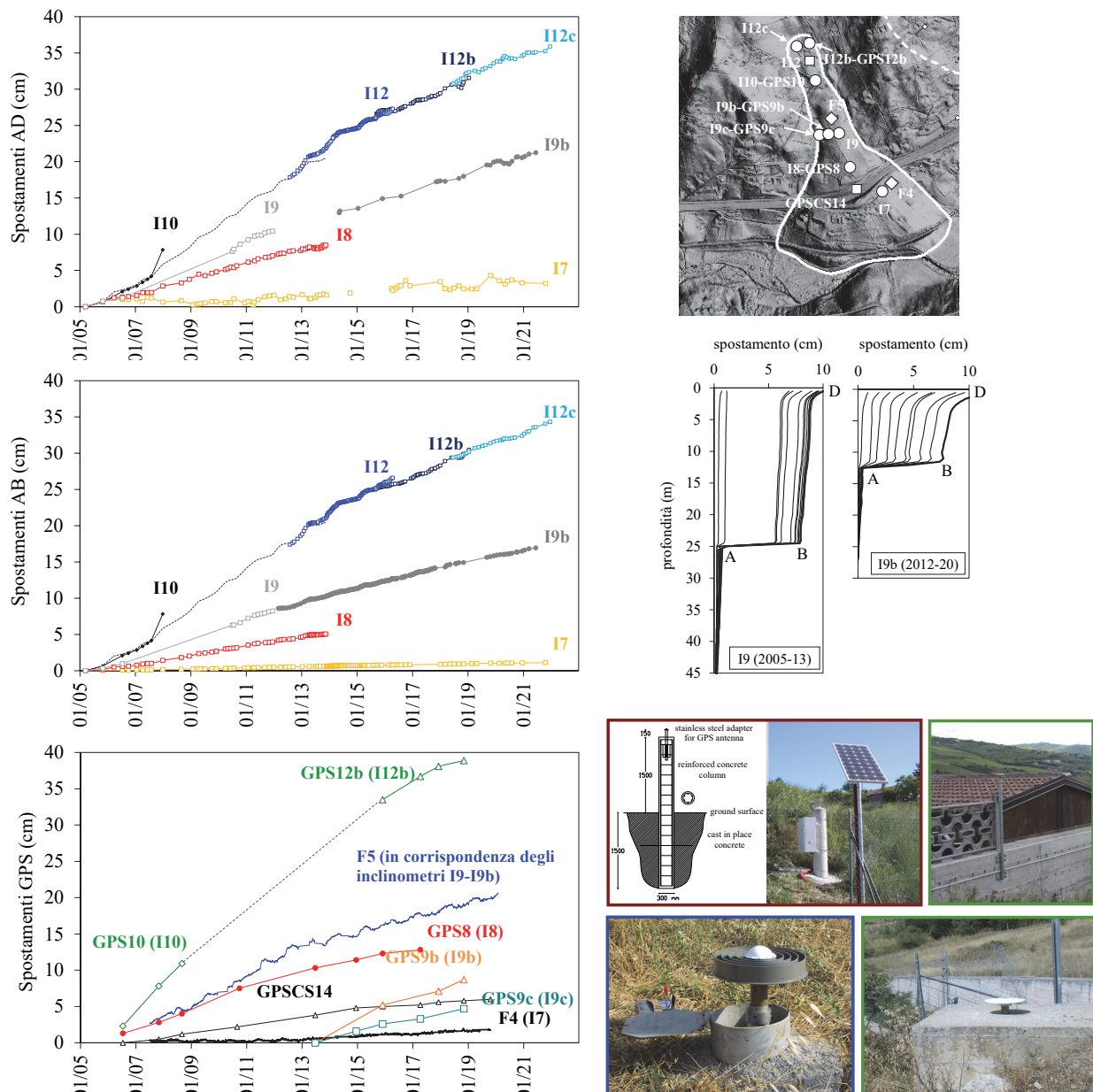


Figura 7: Andamento nel tempo degli spostamenti inclinometrici superficiali AD, basali AB, e spostamenti GPS superficiali (aggiornamento dei dati di Vassallo et al., 2020).

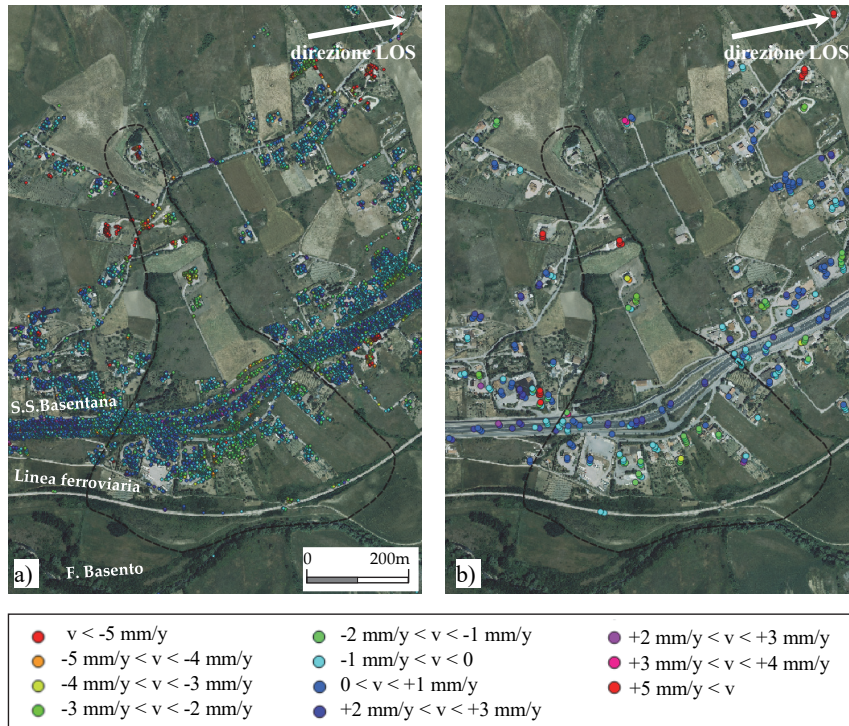


Figura 8: Velocità media lungo la linea di osservazione satellitare (LOS): dati CSK (a) e ENVISAT (b).

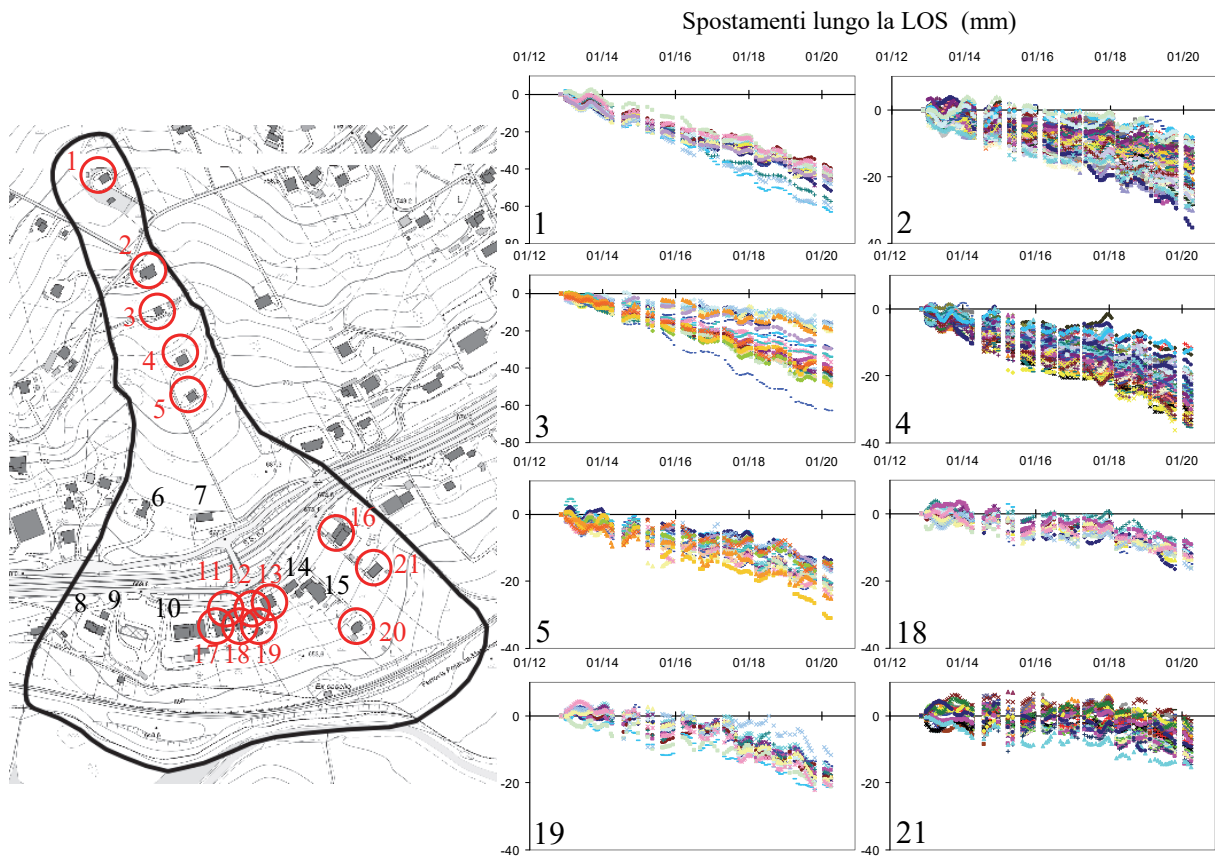


Figura 9: Dati CSK: evoluzione temporale degli spostamenti lungo la linea di osservazione del satellite (LOS) in di alcuni elementi riflettori ubicati sulla frana di Costa della Gaveta.

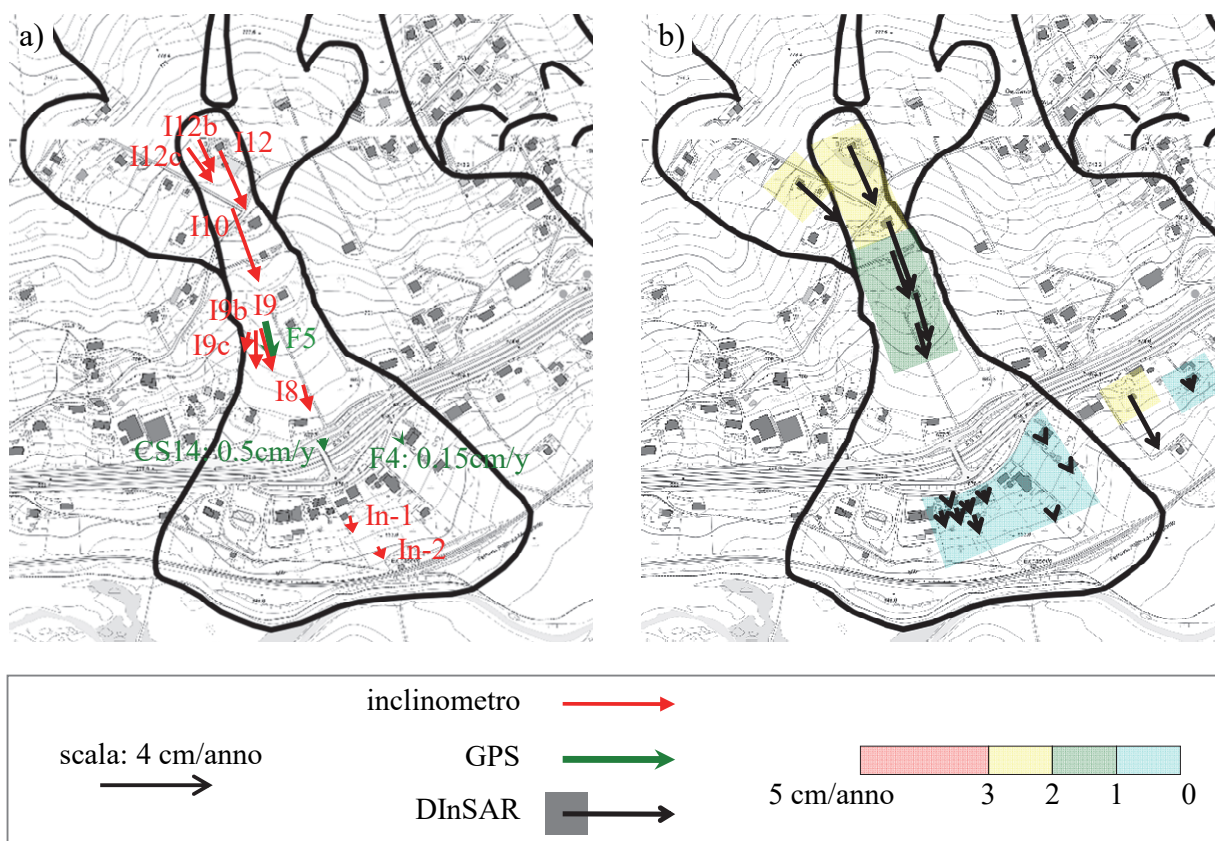


Figura 10: Velocità di spostamento orizzontale in superficie ottenute con dati inclinometrici, GPS e satellitari DinSAR CSK.

In Figura 9 sono riportate le serie temporali degli spostamenti CSK per alcuni elementi riflettenti (edifici, muri) che sorgono entro i confini della frana.

La trasformazione dei dati lungo la LOS in dati di spostamenti assoluti è stata eseguita grazie al confronto zona per zona fra i dati DinSAR e i dati da terra (inclinometrici e GPS). Il confronto ha permesso di determinare i coefficienti per i quali moltiplicare i dati CSK per convertirli in dati di spostamento a terra.

L'insieme dei dati ottenuti con sistemi di misura diversi ha permesso di ricostruire il campo dei vettori velocità di spostamento orizzontale rappresentativo dell'intero corpo di frana. La Figura 10 confronta i dati da terra e da satellite. La Figura 10a riporta le velocità di spostamento medie annue ricavate dalle misure inclinometriche e GPS; si tratta di misure puntuali, valide a rigore soltanto nei punti in cui sono state determinate. L'elevato numero di elementi riflettenti satellitari fa sì che, invece, in Figura 10b siano rappresentate le aree della frana che si muovono con velocità medie annue che ricadono negli intervalli riportati in legenda. I dati satellitari, una volta tarati, possono quindi essere utilizzati per ampliare le zone di monitoraggio. La Figura 11 mostra come gli stessi dati siano utili anche per estendere le serie temporali. La figura, che riporta infatti varie serie inclinometriche e i dati ENVISAT e CSK in una zona centrale della frana, mostra la coerenza dei vari tipi di dati che quindi nel complesso costituiscono un'unica lunga e robusta serie temporale.

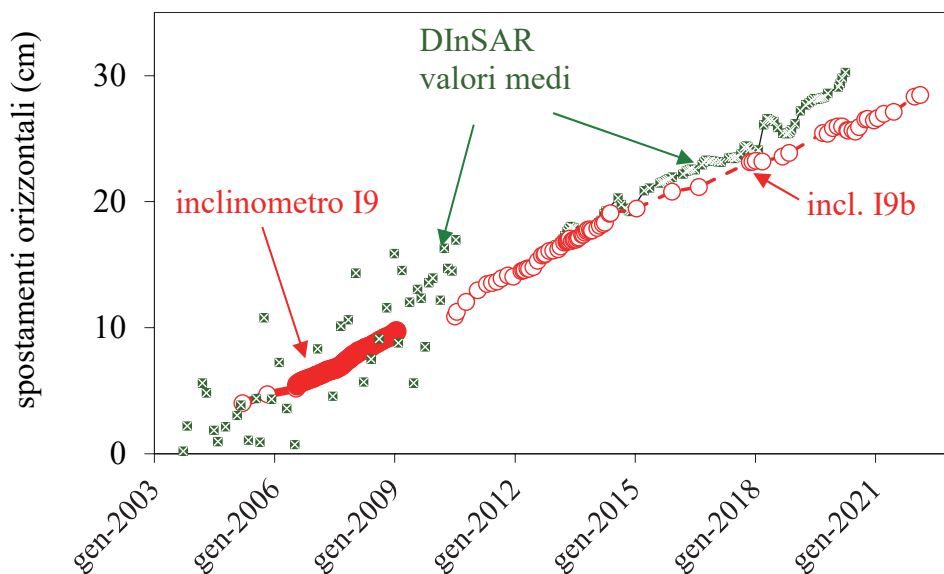


Figura 11. Spostamenti nel tempo ottenuti per l'area intorno a I9 mediante misure inclinometriche e DinSAR (da Vassallo et al., 2021)

CONCLUSIONI

Il monitoraggio di lungo termine degli spostamenti della frana di Costa della Gaveta con sistemi inclinometrici e GPS fissi e mobili, e l'elaborazione di dati DinSAR hanno permesso di ricostruire il campo di velocità media annua esteso a tutto il volume in frana. I dati mostrano che le velocità di scorrimento medie annue sono risultate costanti negli ultimi 20 anni, ma variabili lungo l'asse della frana da qualche cm/anno in testa a pochi mm/anno in parte dell'accumulo. In particolare, nelle aree laterali dell'accumulo le velocità di scorrimento sono risultate praticamente nulle. Nella parte centrale, dove si sviluppa un movimento rototraslazionale locale che coinvolge un'opera di difesa spondale a gravità, le velocità sono risultate di 7 mm/anno nella parte più superficiale di terreno allentato e 4 mm/anno alle maggiori profondità. Nei rapporti che seguiranno si analizzeranno le possibili cause dei movimenti e si mostreranno le possibili strategie di riduzione delle velocità di spostamento con sistemi e/o procedure innovativi.

Bibliografia

Calcaterra S., Di Maio C., Gambino P., Vallario M., Vassallo R. (2012) Surface displacements of two landslides evaluated by GPS and inclinometer systems: a case study in Southern Apennines, Italy. *Nat. Haz.* 2012, 61, 257–266.

De Rosa J, Di Maio C., Vassallo R., Coviello R., Macchia G. (2021). Pore water pressures and hydraulic conductivity and in a clayey earthflow: experimental data in the landslide body, in the slip band and in the stable soil. XIII International Symposium on Landslides. Cartagena, Colombia, online library <https://www.issmge.org/uploads/publications/105/106/ISL2020-154.pdf>

De Rosa J., Pontolillo D.M., Caputo V., Di Maio C., Scaringi G. (2019) Evaluation of hydraulic conductivity in the slip zone of an earthflow in clay shales. *Proc. XVII Europ. Conf. Soil Mech. and Geotech. Eng.*, 546–552.

Di Nocera S., Fenelli G.B., Pellegrino A., Ramondini M. (1996) Geological and Geotechnical problems in slopes involved in large old landslides. Proc. VII Int. Symposium on Landslides, Trondheim, 1–6.

Di Maio C., De Rosa J., Vassallo R. (2021). Pore water pressures and hydraulic conductivity in the slip zone of a clayey earthflow: experimentation and modelling. *Engineering Geology*, vol. 292, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106263>.

Di Maio C., De Rosa J., Vassallo R., Coviello R., Macchia G. (2020). Hydraulic conductivity and pore water pressures in a clayey earthflow: experimental data. *Geosciences* 2020, 10(3), 102 -114.

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 Italia Southern Apennines. *Eng. Geol.* 2010, 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. *Eng. Geol.* 2013, 162, 53–66.

Di Maio C., Scaringi G., Vassallo R. (2015) Residual strength and creep behaviour on the slip surface of specimens of a landslide in marine origin clay shales: Influence of pore fluid composition. *Landslides* 2015, 12, 657–667.

Di Maio C., Vassallo R., Scaringi G., De Rosa J., Pontolillo D.M., Grimaldi G.M. (2017) Monitoring and analysis of an earthflow in tectonized clay shales and study of a remedial intervention by KCl wells. *Riv. Ital. Geotec.* 2017, 51, 48–63.

Di Maio C., De Rosa J., Vassallo R., Coviello R., Macchia G. (2020) Hydraulic conductivity and pore water pressures in a clayey earthflow: Experimental data. *Geosciences* 2020, 10, 102.

Ghulamzan F., De Rosa J., Gajo A., Di Maio C. (2021). Swelling and swelling pressure in a clayey landslide: experimental data and model simulations. *Engineering Geology*. Vol. 297, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106512>

Fornaro G., Noviello C., Pauciullo A., Reale D., Sansosti E., Verde S., Zamparelli V., Cascini L., Cascini L., D'Agostino N., Di Maio C., Giuliani R., Gullà G., Nicodemo G., Peduto D. (2021). Very High Resolution and Frequent Revisiting SAR Systems Applied to the Environmental Protection: a contribution based on the use of COSMO-SkyMed Interferometric Data. *EUSAR 2021 - 13th Europ. Conf. on Synthetic Aperture Radar*, 1-5.

Picarelli L., Olivares L., Di Maio C., Silvestri F., Di Nocera S., Urciuoli G. (2002) Structure, properties and mechanical behaviour of the highly plastic, intensely fissured Bisaccia clay shale. Proc. Int. Workshop on Charact. and eng. prop. of nat. soils, 2, 947–982.

Picarelli, L., Di Maio, C., De Rosa, J. (2021). Processes and mechanism governing the transition of slides in tectonized clay shales into rapid earthflows. *Rivista Italiana di Geotecnica*, anno LV, 4, 53-67.

Urciuoli G., Comegna L., Di Maio C., Picarelli L. (2016) The Basento Valley: a natural laboratory to understand the mechanics of earthflows. *Riv. Ital. Geotec.* 2016, 50(1): 71-90.

Vassallo, R., De Rosa, J., Di Maio, C., Reale, D., Verde, S., Fornaro, G. (2021). In situ and satellite long-term monitoring of slow clayey landslides and of the structures built on them. *Rivista Italiana di Geotecnica*, anno LV, 4, 77-95.

Vassallo R., Grimaldi G.M., Di Maio C., Di Nocera S. (2016) An earthflow in structurally complex formations of the Italian Southern Apennines: Geological structure and kinematics. Proc. XII Int.



Symp. on Landslides, 2, 813–820.

Vassallo R., Calcaterra S., D'Agostino N., De Rosa J., Di Maio C., Gambino P. (2020) Long-term displacement monitoring of slow earthflows by inclinometers and GPS, and wide area surveillance by COSMO-SkyMed data. *Geosciences*, 10, 171.



UNIONE EUROPEA
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Ministero dell'Università
e della Ricerca



Mitigazione dei Rischi Naturali
per la Sicurezza e la Mobilità nelle
Aree Montane del Mezzogiorno





www.mitigoinbasilicata.it

Obiettivi Realizzativi 2, 4 e 5
 Valutazione del rischio idrogeologico
 Sviluppo di un sistema integrato di monitoraggio
 Soluzioni per la mitigazione del rischio idrogeologico

Questa pubblicazione è stata realizzata con il cofinanziamento dell'Unione Europea - FESR, PON Ricerca e Innovazione 2014-2020.

www.ponricerca.gov.it

Responsabile della pubblicazione:
 Università degli Studi della Basilicata
 Scuola di Ingegneria
 Via dell'Ateneo Lucano 10
 85100 Potenza



UNIONE EUROPEA
 Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Mitigazione dei Rischi Naturali
 per la Sicurezza e la Mobilità nelle
 Aree Montane del Mezzogiorno

