

GRUPPO NAZIONALE DI INGEGNERIA GEOTECNICA



ATTI DELL'INCONTRO ANNUALE DEI  
RICERCATORI DI GEOTECNICA



GAETA - 4 ÷ 6 SETTEMBRE 2024

**Editori:** Paolo Croce, Giuseppe Modoni, Erminio Salvatore, Michela Arciero

Edizioni AGI, Roma  
ISBN: 9 788897 517191



## DEFORMAZIONI E SCORRIMENTI DI FRANE LENTE IN ARGILLE VARICOLORI

Roberto Vassallo, Caterina Di Maio, Vincenzo Caputo  
[roberto.vassallo@unibas.it](mailto:roberto.vassallo@unibas.it), [caterina.dimaio@unibas.it](mailto:caterina.dimaio@unibas.it), [vincenzo.caputo@unibas.it](mailto:vincenzo.caputo@unibas.it)  
*Università della Basilicata*

Gianvito Scaringi  
*Charles University, Praga*  
[gianvito.scaringi@natur.cuni.cz](mailto:gianvito.scaringi@natur.cuni.cz)

### Sommario

In questa nota si descrivono sinteticamente le tipologie di deformazione e spostamenti superficiali e profondi evidenziate nel corso di un monitoraggio di lungo termine in estesi e complessi sistemi franosi in argille del substrato dell'Appennino lucano. I profili inclinometrici mostrano che i corpi di frana maggiori sono caratterizzati da scorrimenti basali concentrati in sottili bande, da modeste deformazioni interne al di sotto di 2÷3 m di profondità, e da deformazioni significativamente dannose per gli elementi urbani negli strati più superficiali. Le serie storiche di spostamenti inclinometrici, GPS e DInSAR mostrano che, nella maggior parte del versante, le velocità annue, sia basali che superficiali, sono rimaste pressoché costanti negli ultimi venti anni, in coerenza con la piovosità dello stesso periodo. Alla costanza annuale si contrappongono notevoli variazioni stagionali delle velocità che si verificano in sincronia con le serie storiche di piogge giornaliere cumulate. La correlazione spostamenti-piogge è coerente con le misure piezometriche lungo le bande di scorrimento profonde che rilevano una risposta veloce delle pressioni interstiziali alle piogge, nonostante l'influenza trascurabile di queste ultime all'interno del corpo di frana a partire da pochi metri di profondità. Di fatto, come verificato sperimentalmente, i valori di permeabilità in tali bande, evidentemente connesse con l'atmosfera, risultano molto maggiori di quelli del corpo di frana e della formazione in posto.

### 1. Introduzione

Il versante indagato si estende per circa 4 km in sinistra idraulica del fiume Basento, a Potenza, elevandosi per circa 330 m dal letto del fiume (a circa 600 m s.l.m.). Si tratta di una zona abbastanza urbanizzata, attraversata dalla maggiore superstrada della regione, dalla linea ferroviaria nazionale, dall'acquedotto che serve la città. L'impianto di potabilizzazione e il serbatoio dell'acquedotto, il principale collettore fognario, edifici pubblici e molte case private sono interessati dai movimenti di frane di diverse tipologie e dimensioni.

Nel versante affiorano le formazioni geologiche delle Argille Varicolori e di Corleto Perticara (Figura 1). La successione litologica delle Argille Varicolori è costituita da un'alternanza di argille scagliose e di marne argillose, subordinatamente da calcari e marne calcaree. Il complesso litologico di Corleto Perticara è costituito da banchi di calcare, marne calcaree e livelli di argilla. Le formazioni sono interessate da importanti sistemi di faglie che hanno fortemente condizionato la struttura del colle e la sua evoluzione morfologica. Intorno alle faglie si sviluppano tre sistemi franosi principali: le Mattine, Costa della Gaveta e Varco d'Izzo. In particolare, il sistema franoso di Costa della Gaveta, omonimo dell'intero versante, si contraddistingue per un grande corpo di colata in fase di scorrimento molto lento e per un'ampia zona di alimentazione in fase di retrogressione, interessata da piccole frane per scorrimento, da colate e anche da crolli di roccia. Gli accumuli dei sistemi franosi interagiscono con il fiume condizionandone l'andamento. Il fiume a sua volta erode il piede delle frane innescando

instabilità locali che minacciano direttamente la linea ferroviaria e le sue opere d'arte. L'intero versante, quasi senza soluzione di continuità, è interessato in superficie da considerevoli deformazioni da taglio per 2-3 m di profondità.

I corpi di frana principali dei tre sistemi franosi si presentano come un miscuglio caotico di materiali diversi: la matrice fine limo-argillosa ingloba frammenti di roccia e lito-relitti della formazione argillosa originaria di dimensioni variabili da frazioni di millimetro fino a grossi blocchi e strati. La frazione argillosa della matrice fine è compresa tra 25% e 50%; la sua composizione mineralogica è variabile: caolinite, illite e minerali espansivi sono presenti in percentuali diverse nel versante. Il terreno è classificabile come argilla inorganica con plasticità da media ad alta. Il grado di saturazione è unitario per profondità maggiori di 2÷3 m; il contenuto medio d'acqua è circa 25% nella zona satura in frana e 15% nella formazione in posto. L'indice di consistenza medio è circa pari a 1 nei corpi di frana e abbastanza maggiore di 1 nella formazione in posto.

Di Maio et al. (2014), Picarelli et al. (2021) e Ghalamzan et al. (2022) hanno mostrato l'influenza dei processi d'interazione chimico-fisici fra scheletro solido e fluido interstiziale sulle attuali caratteristiche fisiche e sul decadimento delle proprietà meccaniche dei terreni che costituiscono il sottosuolo del versante in esame. Questa nota si sofferma su un'analisi del comportamento idromeccanico delle frane del versante negli ultimi venti anni.

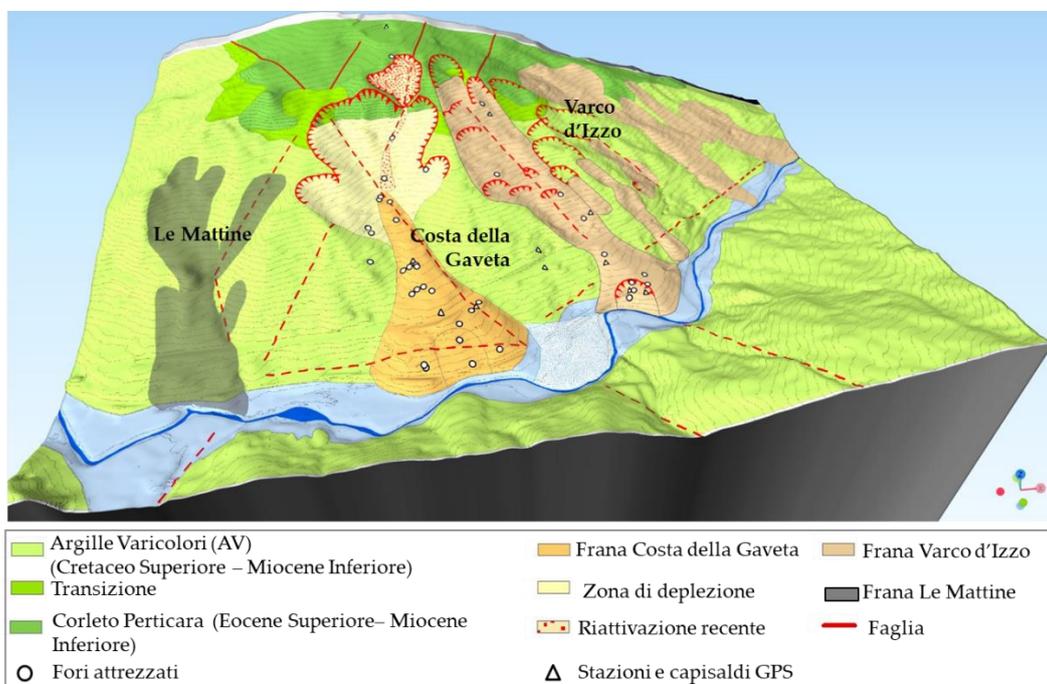


Fig 1. Mappa geologica essenziale del versante di Costa della Gaveta su DTM con ubicazione dei fori di sondaggio

## 2. Profili inclinometrici, spostamenti GPS e DInSAR

Nel tempo, su commissione di Rete Ferroviaria Italiana, ANAS, Regione Basilicata e ISPRA, oltre che in vari progetti scientifici dell'Università della Basilicata, sono state eseguite numerose campagne di indagine, sono stati installati piezometri, tubi inclinometrici con sonde fisse, stazioni GPS fisse e mobili, celle di pressione totale, tensiometri, sistemi di elettrodi per le ERT da foro. Sono stati inoltre eseguiti ripetuti rilievi LiDaR e analizzati i dati DInSAR. Sono state rilevate con Tecnologia Laser Scanner e monitorate con fessurimetri, GPS e fibre ottiche le principali infrastrutture.

Grazie alle misure inclinometriche e all'elaborazione dei dati geomorfologici, è stato possibile ricostruire l'andamento delle superfici di scorrimento che raggiungono circa 40 m di profondità. I corpi principali dei tre sistemi franosi risultano abbastanza continui: non si notano infatti importanti scarpate o rotture intermedie, tranne che negli accumuli dove si sviluppano frane locali attivate dal fiume Basento o da interventi antropici.



La Figura 2 mostra l'ipotesi sulla geometria in asse della superficie di scorrimento del corpo di frana principale del sistema di Costa della Gaveta e la tipologia di profilo inclinometrico prevalente. Nella frana prevalgono gli scorrimenti basali concentrati in bande molto sottili (spostamenti AB), le deformazioni interne del corpo di frana danno luogo a spostamenti (BC) di entità molto minore. Le deformazioni aumentano nello strato superficiale degradato, dando luogo a spostamenti relativi (CD) non trascurabili. La figura riporta gli andamenti temporali degli spostamenti basali AB (Figura 2a) e cumulati in superficie AD (Figura 2b) valutati con misure inclinometriche e GPS (Figura 2c).

Grazie all'esistenza di tali numerose e lunghe serie di dati, sono stati interpretati anche i dati DInSAR, altrimenti non facilmente utilizzabili. Come noto, infatti, l'elaborazione dei dati DInSAR fornisce le componenti di spostamento lungo la LOS (Line Of Sight) del sistema satellitare. Nell'area considerata, gli spostamenti, in direzione prevalente Nord-Sud, hanno una componente lungo la LOS piccola, spesso nell'ordine di grandezza dell'errore di misura. Per minimizzare tale problema, sono stati analizzati e trattati statisticamente i dati satellitari relativi ad aree in cui la direzione degli spostamenti è nota grazie agli altri sistemi di misura. La Figura 3 riporta gli andamenti temporali di spostamento di alcuni riflettori ottenuti integrando i risultati di diverse costellazioni satellitari.

L'insieme dei dati ha permesso di ricostruire la storia cinematica del versante negli ultimi 20 anni, indicando che, tranne che in alcune zone del coronamento e in altre piccole zone degli accumuli, le velocità annue sono risultate pressoché costanti. È probabile che il versante si trovi in questo stato "stazionario" da almeno 70 anni, da quando cioè non si riscontrano apprezzabili cambiamenti geomorfologici nella cartografia IGM. A questo proposito, è in corso uno studio idrologico esteso all'ultimo secolo. Alle velocità di spostamento annue costanti si contrappone una notevole variazione stagionale, con valori dell'ordine dei mm/mese in inverno, che tendono ad annullarsi in estate, in sincronia con le variazioni delle pressioni interstiziali lungo le superfici di scorrimento, come si mostra nel paragrafo seguente.

### 3. Piogge, pressioni interstiziali, spostamenti basali

La correlazione esistente fra le diverse serie temporali degli spostamenti basali valutati in verticali diverse evidenziata dal confronto fra le serie storiche degli spostamenti e delle piogge cumulate (Figura 4), è stata quantificata tramite l'algoritmo genetico EPRMOGA, basato su regressioni polinomiali (Vassallo et al., 2016; 2020; 2021). I risultati dell'analisi mostrano che: 1) le velocità di spostamento nei diversi punti della frana sono correlate fra loro, e gli andamenti temporali degli spostamenti sono sincroni; 2) l'andamento temporale degli spostamenti è in fase con quello delle piogge cumulate.

La correlazione piogge-spostamenti così stretta non è normalmente attesa per frane in terreni argillosi (Conte e Troncone, 2012; Vassallo et al., 2015), oltretutto interessati da una coltre rammollita fino a 2÷3 dal p.c. con grado di saturazione minore di 1. Per comprendere come la pioggia influenza gli spostamenti, il sistema di monitoraggio già attivo dal 2005 è stato integrato con ulteriori piezometri Casagrande, tubi aperti, celle elettriche a corda vibrante, installati a diverse profondità nel corpo di frana, nella formazione in posto e nella zona di scorrimento. I dati indicano variazioni trascurabili e non stagionali delle pressioni interstiziali nel corpo di frana e nella formazione in posto, anche a piccole profondità (Figura 5). Al contrario, le pressioni nella fascia di scorrimento mostrano ampie variazioni regolari, stagionali. I dati in Figura 6a si riferiscono ai piezometri Casagrande installati nella zona di testa e nel corpo principale a circa 8 e 24 m di profondità rispettivamente e a numerosi fori sostenuti da tubazioni sfinestate fino a 3 m dalla superficie. Le notevoli e veloci risposte alle piogge delle pressioni interstiziali sulla superficie di scorrimento, molto simili nei diversi punti di misura, possono essere spiegate con l'elevata permeabilità della zona di scorrimento e la sua connessione con l'atmosfera.

La conducibilità idraulica è stata valutata mediante prove a carico variabile nei piezometri Casagrande, e con prove di filtrazione localizzate eseguite con continuità lungo fori sostenuti da tubazioni sfinestate con un permeametro realizzato *ad hoc*. I risultati di vari tipi di elaborazioni (Di Maio et al., 2020; 2021) mostrano che la banda di scorrimento è molto più permeabile (Figura 4) e più sensibile alle piogge delle altre regioni del sottosuolo. Di fatto, l'andamento stagionale delle velocità di spostamento basale nei diversi punti di misura è in fase con le pressioni interstiziali nella fascia di scorrimento, come mostrato dalla Figura 6b e dal confronto con la Figura 6a.

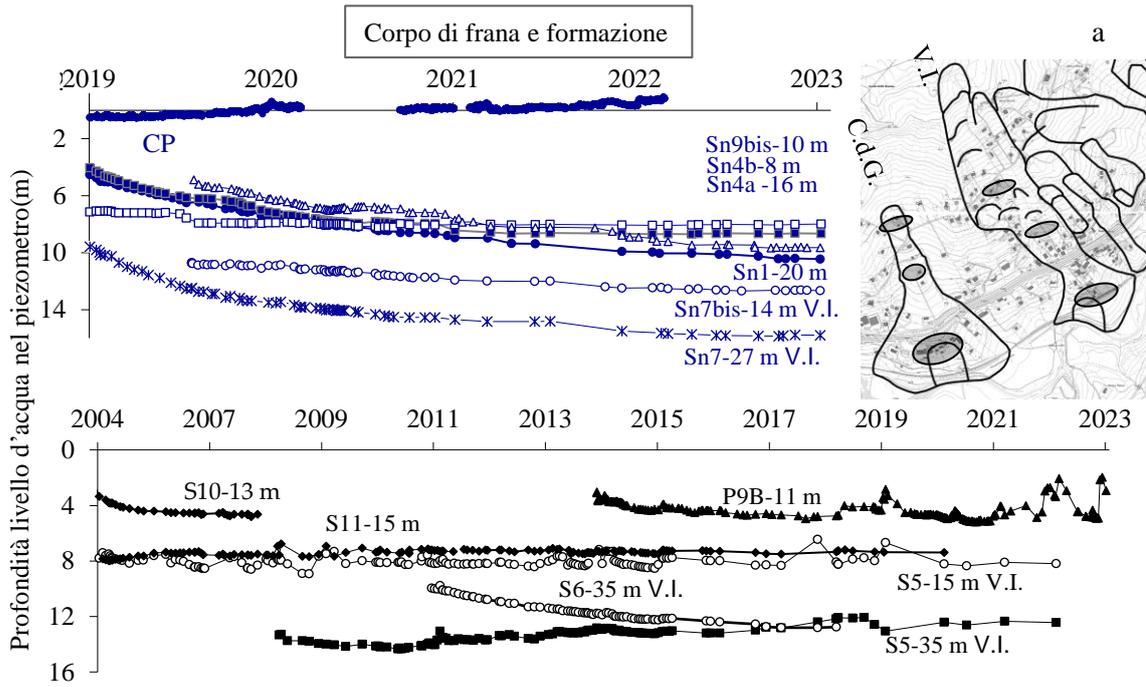


Fig 5. Andamento nel tempo delle pressioni dell'acqua nei corpi di frana e nella formazione in posto (aggiornato da Di Maio et al., 2021)

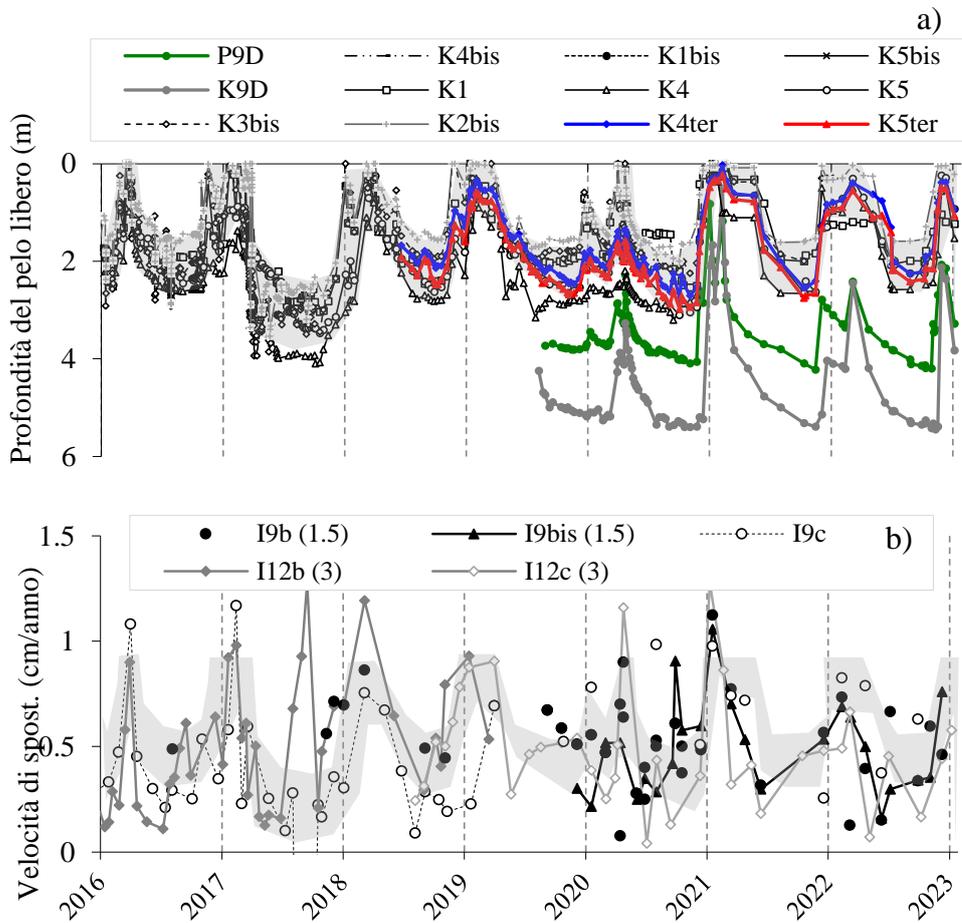


Fig 6. Andamento nel tempo delle pressioni dell'acqua lungo le bande di scorrimento (a) e delle velocità di spostamento basale (b)(modificato da Di Maio et al., 2023)

## Conclusioni

I risultati del monitoraggio ventennale delle grandi frane del versante di Costa della Gaveta mostrano che le velocità annue di scorrimento basale e le velocità degli spostamenti cumulati in superficie sono rimaste pressoché costanti nel periodo di osservazione. Praticamente costanti sono rimaste anche la pioggia annuale (~800 mm/anno) e le escursioni piezometriche nei punti di misura, con effetti dei cambiamenti climatici non evidenziabili in venti anni. Alle scale temporali inferiori, le velocità hanno esibito notevoli variazioni a carattere stagionale, passando da alcuni mm/mese nei periodi piovosi a valori quasi nulli in estate. Le curve spostamenti-tempo e delle piogge cumulate sono in fase, la risposta cinematica alle piogge è quindi veloce, pur essendo le superfici di scorrimento profonde, i corpi di frana governati dalla matrice argillosa, e trascurabili le variazioni di pressioni interstiziali già a pochi metri di profondità dal piano campagna. Le variazioni di velocità sono indotte dalle variazioni delle pressioni interstiziali lungo le superfici di scorrimento perché queste, a loro volta, influenzano la resistenza a taglio. La rapida risposta delle pressioni alle piogge è spiegabile con l'elevata permeabilità della zona di scorrimento, molto maggiore che nel corpo di frana e nella formazione in posto, e con la sua connessione con l'atmosfera. L'elevata permeabilità della zona di scorrimento è probabilmente dovuta alla persistenza del movimento e dei suoi effetti su porosità e struttura, ed è accresciuta dalla presenza di blocchi e frammenti di consistenza lapidea che possono provocare una rete di solchi di materiale allentato (Di Maio et al., 2021).

Le tipologie di frana del versante di Costa della Gaveta sono molto diffuse nella valle del Basento e ovunque affiorino le formazioni argillose del substrato (Urciuoli et al., 2016; Picarelli et al., 2021a; 2021b), pertanto si ritiene che anche le caratteristiche idrauliche siano simili a quelle mostrate. Ciò sembra essere confermato anche dai primi studi eseguiti in altri sistemi franosi della valle del Basento (Vassallo et al., 2023). I dati sembrano quindi proporre risvolti applicativi sia per la comprensione della cinematica di tale tipologia di frane che per la progettazione degli interventi di stabilizzazione e, in particolare, dei drenaggi profondi. Si può infatti dimostrare che la maggiore permeabilità delle zone di scorrimento, connesse con l'atmosfera, può ridurre molto l'efficienza dei sistemi drenanti rispetto a quanto auspicato.

## Bibliografia

- Conte E., Troncone A. (2012). A method for the analysis of soil slips triggered by rainfall. *Géotechnique* 62 (3), 187–192.
- 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., 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*, 292, 106263.
- Di Maio C., De Rosa J., Vassallo R., Cutrera G., Murtas R. (2023). Earthflows in the Basento valley: hydraulic characteristics influencing their kinematics. Atti CNRIG2023, 5-7 luglio 2023, Palermo, 495–502
- Ghalamzan E, F., De Rosa, J., Gajo, A., Di Maio, C. (2022). Swelling and swelling pressure in a clayey landslide: experimental data and model simulations. *Engineering Geology*. 297, 106512.
- Picarelli L., Di Maio C., Tommasi P., Urciuoli G., Comegna L. (2021a) Pore water pressure measuring and modeling in stiff clays and clayey flysch deposits: a challenging problem. *Engineering Geology*. 292, 106442.
- Picarelli L., Di Maio C., De Rosa J. (2021b). 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 understanding the mechanics of earthflows. *Rivista Italiana di Geotecnica* 1(2016), 14 - 33.
- Vassallo, R., Grimaldi, G.M., Di Maio, C. (2015). Pore water pressures induced by historical rain series in a clayey landslide: 3D modeling. *Landslides*, 12, 731-744.
- Vassallo R., Doglioni A., Grimaldi G.M., Di Maio C., Simeoni V. (2016). Relationships between rain and displacements of an active earthflow: a data-driven approach by EPRMOGA. *Natural Hazards*, 81, 1467-1482.
- 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* 2020, 10(3), 102 -114.
- 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., De Rosa J., Di Maio C., Pandiscia G.V., Trillo F., Cutrera G., Murtas R., Lacovara B. (2023). DInSAR data for landslides in Basilicata region: geotechnical calibration and interpretation. Atti CNRIG 2023, 5-7 luglio 2023, Palermo, 283–291.