

MONITORAGGIO GEOTECNICO INTEGRATO CON INTERFEROMETRIA SAR DELL'AUTOSTRADA A2 DEL MEDITERRANEO AFFETTA DA FENOMENI DI INSTABILITA'

Silvia Autuori (s.autuori@stradeanas.it)
Anas S.p.A

Massimiliano Campanella (m.campanella@stradeanas.it)
Anas S.p.A

Giuseppe Cozzolino (gi.cozzolino@stradeanas.it)
Anas S.p.A

Claudio Ottavi (c.ottavi@stradeanas.it)
Anas S.p.A.

ABSTRACT. L'Autostrada A2 del Mediterraneo costituisce uno degli itinerari strategici del Sud Italia che attraversa la regione Campania, Basilicata e Calabria. Con una lunghezza complessiva di circa 432 km, è la quarta autostrada più lunga d'Italia, interamente gestita da Anas ed è classificata non a pedaggio.

Nel mese di marzo del 2022 si è innescato un evento franoso, causato dal repentino innalzamento del livello di falda, che ha comportato la chiusura al traffico in entrambi i sensi di marcia del un tratto autostradale compreso tra gli svincoli Falerna (km 305,330) e San Mango D'Aquino (km 295,743).

La presente nota è dedicata alla descrizione del sistema di monitoraggio geotecnico, che integrato con l'analisi interferometrica effettuata con la tecnica PSP-IFSAR, fornisce utili informazioni riguardo lo sviluppo temporale e spaziale dei fenomeni di instabilità del versante e la loro interazione con l'infrastruttura stradale e le opere di messa in sicurezza realizzate. Per maggiori approfondimenti si rimanda alla nota "Innesco di una frana a ridosso dell'Autostrada A2 del Mediterraneo" del presente convegno.

1. INTRODUZIONE

Il 21/03/2022 è stata rilevata la presenza di uno smottamento che ha provocato profonde lesioni sul versante, coinvolgendo anche il tratto di Autostrada A2 compreso tra lo svincolo di Falerna e quello di San Mango d'Aquino in prossimità del viadotto Sciabica. I tecnici Anas hanno accertato la presenza di lesioni significative tra le carreggiate autostradali nonché la presenza di scaturagini sia nel versante a monte della carreggiata nord sia nel versante posto a valle della carreggiata sud.

L'esigenza di controllare le condizioni di sicurezza dell'infrastruttura stradale ha richiesto l'avvio di un piano di monitoraggio geotecnico dell'area mediante l'installazione di piezometri, inclinometri, rilievi topografici e rilievi mediante laser scanner. Queste tecniche di monitoraggio forniscono delle misure di deformazione molto accurate in corrispondenza di singoli punti, che sono state correlate con un monitoraggio su larga scala dell'infrastruttura stradale effettuato da remoto mediante interferometria SAR (Lan et al., 2012) ad opera della società e- GEOS.

2. L'AREA DI STUDIO E IL SISTEMA DI MONITORAGGIO

Nella Figura 1 è raffigurata l'ubicazione della frana oggetto della presente nota e il modello stratigrafico in corrispondenza della sezione longitudinale. Gli interventi di messa in sicurezza sono stati finalizzati all'abbattimento della falda per il ripristino delle quote piezometriche precedenti al dissesto e al raggiungimento di un adeguato livello di sicurezza del versante.

L'area in esame è soggetta ad un'attenta attività di monitoraggio svolta in gran parte con strumenti a lettura manuale che si compone di inclinometri, piezometri, monitoraggio topografico, monitoraggio con laser scanner e analisi interferometriche.

La figura 2 mostra l'ubicazione dei sondaggi S1 e S2, opportunamente strumentati con inclinometri e piezometri, la posizione dei prismi ottici utilizzati per i rilievi topografici e l'indicazione della sezione trasversale all'asse stradale A-A'.

I fenomeni di dissesto del versante hanno provocato lesioni tra le carreggiate autostradali con un'apertura di circa 6 cm ed un analogo rigetto verticale. L'intera carreggiata sud ha manifestato un abbassamento cumulato di circa 10 cm, mentre per la carreggiata nord sono stati registrati spostamenti cumulati di circa 2 cm. Il monitoraggio topografico periodico di alta precisione eseguito tra il 30/03/2022 e il 09/01/2023, su n. 39 cicli di letture, ha evidenziato spostamenti in corso di stabilizzazione, mentre il monitoraggio laser scanner, eseguito fra il 09/06/2022 e il 05/01/2023 su n. 19 cicli di letture, ha evidenziato stabilità della pavimentazione stradale.

La figura 3 mostra l'andamento del livello piezometrico in corrispondenza del sondaggio S1 a valle della carreggiata da aprile 2022 a gennaio 2023. Dal grafico si evince l'effetto della trincea drenante e dei sistemi di dreni sub-orizzontali (per maggiori dettagli si rimanda alla nota "Innesco di una frana a ridosso dell'Autostrada A2 del Mediterraneo" del presente convegno) con un abbassamento del livello di falda di circa 7 m tra il 19 e il 21 aprile con successiva tendenza alla stabilizzazione. A gennaio si nota un lieve incremento del livello di falda di poco più di 1 m dovuto probabilmente alle attività connesse alla realizzazione di ulteriori opere drenanti al piede della scarpata a valle della carreggiata sud, al momento in fase di completamento.

In Figura 4 sono rappresentati i risultati salienti delle misure inclinometriche in corrispondenza della postazione S1. L'intervallo temporale delle misure va dal 29 marzo 2022 al 25 gennaio 2023, con frequenza delle misure man mano in diminuzione da giornaliere a mensili. Dal grafico si evince con chiarezza l'esistenza della banda della superficie di scorrimento compresa tra i 18 e i 24 metri di profondità da p.c. e la progressiva diminuzione della velocità dei movimenti in accordo con la tendenza alla stabilizzazione del livello di falda. Il massimo spostamento cumulato è stato misurato in testa ed è pari a 51 mm il 25 gennaio 2023, la direzione prevalente dello spostamento è da ovest verso est, con componente minima da sud verso nord. Gli spostamenti inclinometrici rilevati sono coerenti con i risultati del monitoraggio topografico e delle analisi interferometriche.

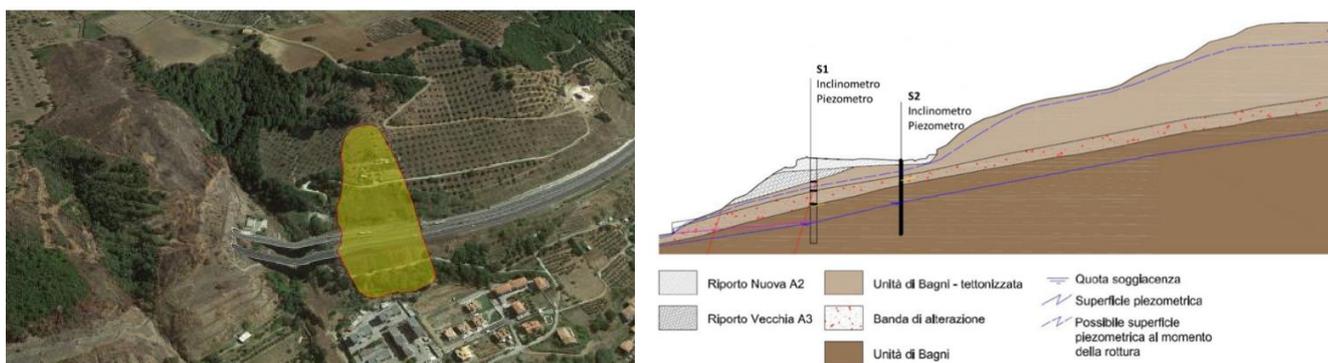


Figura 1: Ubicazione della frana e modello stratigrafico (Report di Monitoraggio)



Figura 2: Ubicazione dei sondaggi e dei punti di misura del monitoraggio topografico

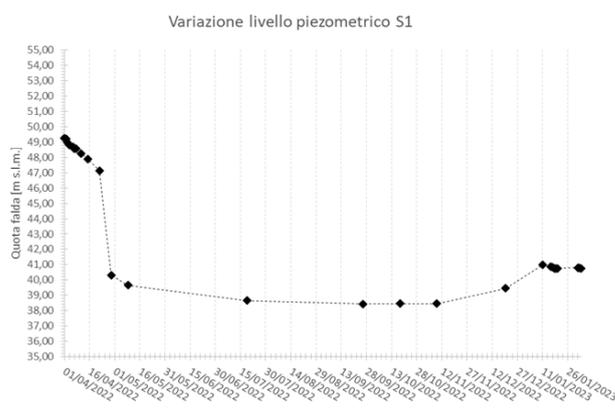


Figura 3. Variazione del livello piezometrico in S1

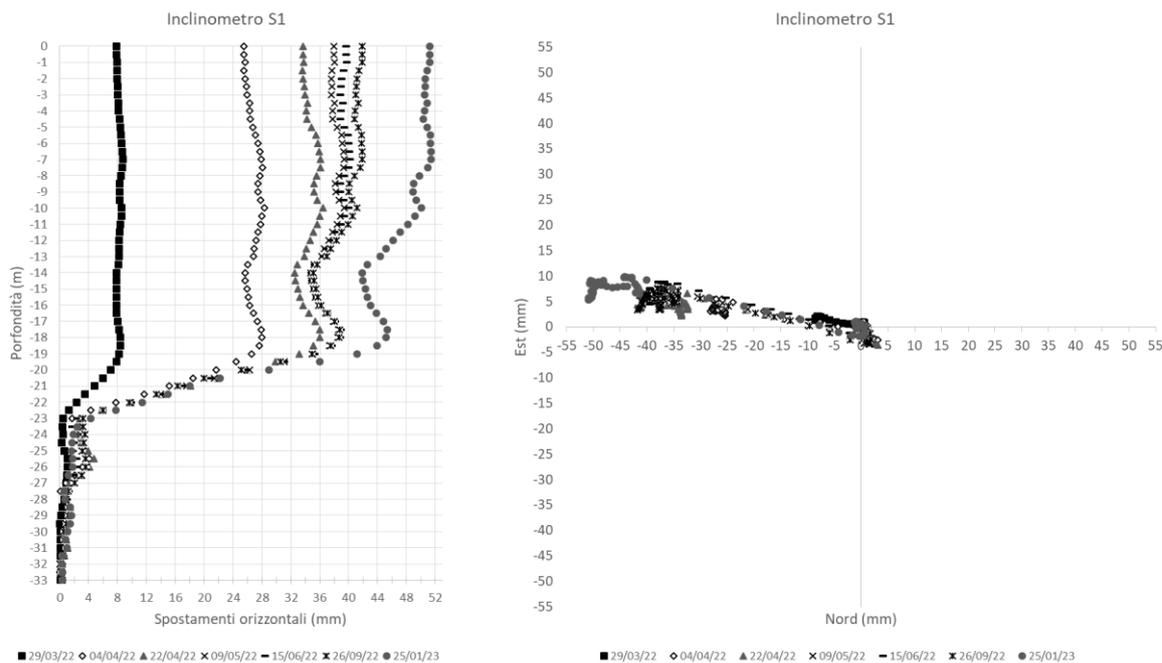


Figura 4. Grafico delle letture inclinometriche su S1

3. L'APPROCCIO ALL'ANALISI INTERFEROMETRICA

L'interferometria satellitare consente di ricostruire l'evoluzione storica delle deformazioni della superficie terrestre e di monitorare nel tempo i fenomeni deformativi con precisione millimetrica grazie all'utilizzo di immagini satellitari radar (SAR) disponibili presso le agenzie spaziali. I satelliti ruotano attorno alla Terra su traiettorie leggermente inclinate rispetto ai meridiani, percorrendo l'orbita discendente dal polo nord al polo sud e l'orbita ascendente dal polo sud al polo nord. Durante il volo i sensori radar montati sul satellite misurano la distanza tra il satellite e i punti della superficie terrestre lungo una direzione chiamata linea di vista del satellite (line of sight, LOS) in istanti temporali diversi.

Si fa presente che uno dei limiti intrinseci di tale tecnica è l'incapacità di rilevare gli spostamenti della superficie terrestre che avvengono lungo la direzione nord, coincidente con la direzione di spostamento dei satelliti.

Il caso in esame, per l'entità molto contenuta di suddetti spostamenti, si presta bene a questo tipo di analisi.

L'analisi interferometrica fornita dalla società e-GEOS è stata effettuata con la tecnica di elaborazione Persistent Scatter Pairs-InterFerometric Synthetic Aperture Radar (PSP-IFSAR) su immagini SAR provenienti dal sensore COSMO-SkyMed (Costantini et al., 2009), che consente di individuare e analizzare solo particolari coppie bersagli al suolo denominati diffusori permanenti (Persistent Scatter Pairs, PSP), che sono immuni da effetti di decorrelazione temporale e spaziale.

In Figura 6 sono riportate le mappe di velocità media (mm/anno) dello spostamento dei PS ottenute mediante elaborazione PSP-IFSAR delle immagini SAR provenienti dal sensore COSMO-SkyMed in direzione ascendente dal 17/02/2019 al 29/01/2023 e in direzione discendente dal 05/02/2019 al 19/11/2022.

I prodotti interferometrici presentano un numero elevato di pixels che caratterizza la buona qualità del dataset disponibile, tuttavia l'immagine ascendente mostra un numero inferiore di PSP rilevati rispetto all'immagine discendente. Dalla medesima analisi è possibile estrapolare il valore degli spostamenti. A titolo esemplificativo, in Figura 7 è stato rappresentato l'andamento degli spostamenti in corrispondenza della sezione A-A' la quale è stata suddivisa in segmenti da 5 m e larghi 10 m. In tal modo sono state ottenute delle aree in corrispondenza delle quali è stata calcolato il valore medio di spostamento dei PS in esse ricadenti, misurati a partire dal 26/01/2022.

2 CONCLUSIONI

Le verifiche e i monitoraggi posti in essere hanno consentito di individuare l'estensione del fenomeno e controllarne lo sviluppo. Le analisi interferometriche hanno confermato l'evoluzione dei fenomeni in atto fornendo

allo stesso tempo una visione d'insieme dell'interazione tra i movimenti del versante e gli spostamenti dell'infrastruttura stradale. In quest'ottica appare di fondamentale importanza la prosecuzione di una attenta attività di monitoraggio sia in sito che da remoto correlata agli interventi di messa in sicurezza realizzati e realizzandi

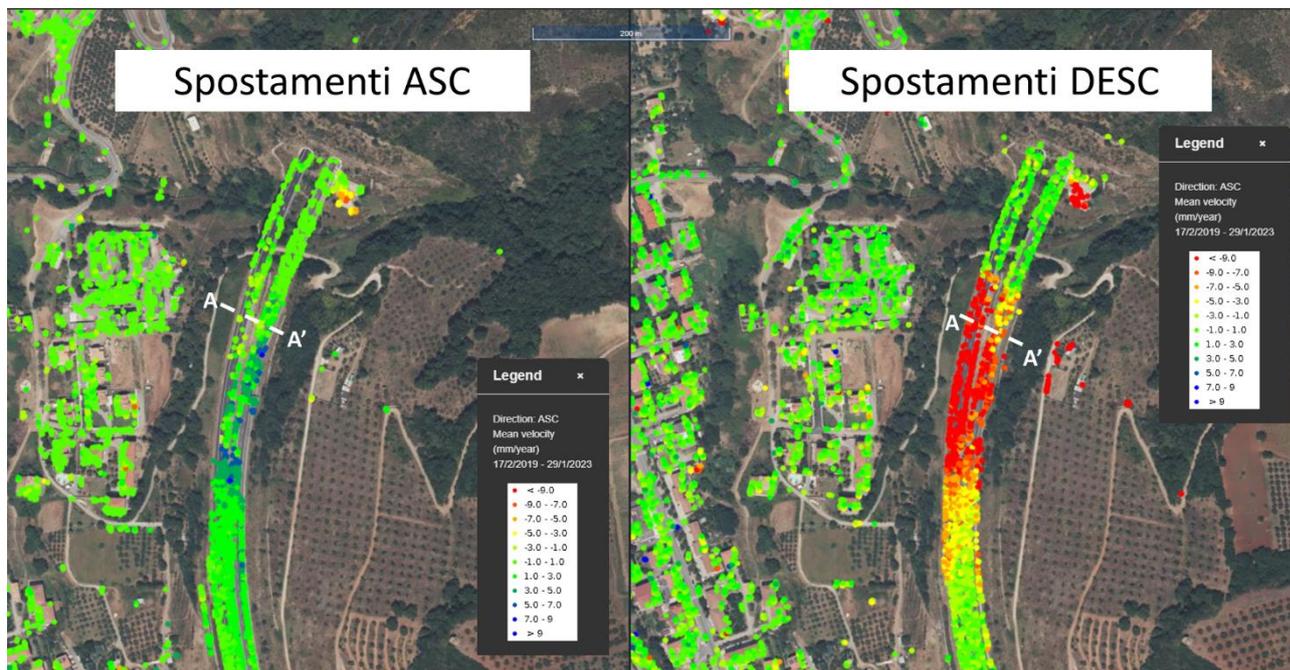


Figura 6. Mappe di velocità media dei PS ottenute mediante elaborazione PSP-IFSAR delle immagini SAR provenienti dal sensore COSMO-SkyMed per la geometria acedente e discendente

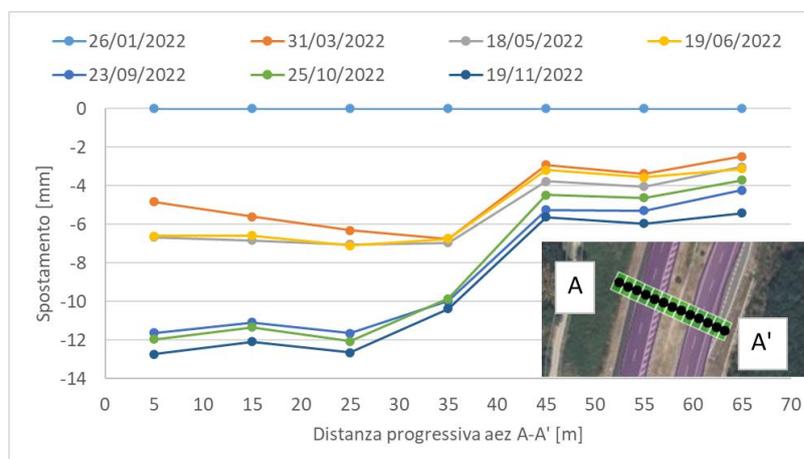


Figura 7. Spostamenti medi dei PS ottenute mediante elaborazione PSP-IFSAR delle immagini SAR per la geometria discendente discendenti in corrispondenza della sezione A-A' con lettura di zero il 26/01/2022

5. BIBLIOGRAFIA

Dipartimento di Protezione Civile, Irea-CNR ,ReLUIIS (2021). *Linee Guida per l'Utilizzo dei dati Interferometrici Satellitari ai fini dell'Interpretazione del Comportamento Strutturale delle Costruzioni*, Italia, <https://www.reluis.it/it/divulgazione/archivio-news/anno-2021>

M. Costantini, S. Falco, F. Malvarosa, F. Minati and F. Trillo (2009). *Method of persistent scatterer pairs (PSP) and high resolution SAR interferometry*. 2009 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Cape Town, South Africa, DOI: 10.1109/IGARSS.2009.5417918.

H. Lan, L. Li, H. Liu, Z. Yang (2012). *Complex Urban Infrastructure Deformation Monitoring Using High Resolution PSI*. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing ,5, 643-651.