

Tutela del patrimonio culturale e monitoraggio dei vulcani in Italia

Le attività di NHAZCA nell'ambito del programma spaziale europeo IRIDE

di Emanuela Valerio, Gianmarco Pantozzi, Andrea Chessa, Stefano Scancellà, Enrico Ciraci

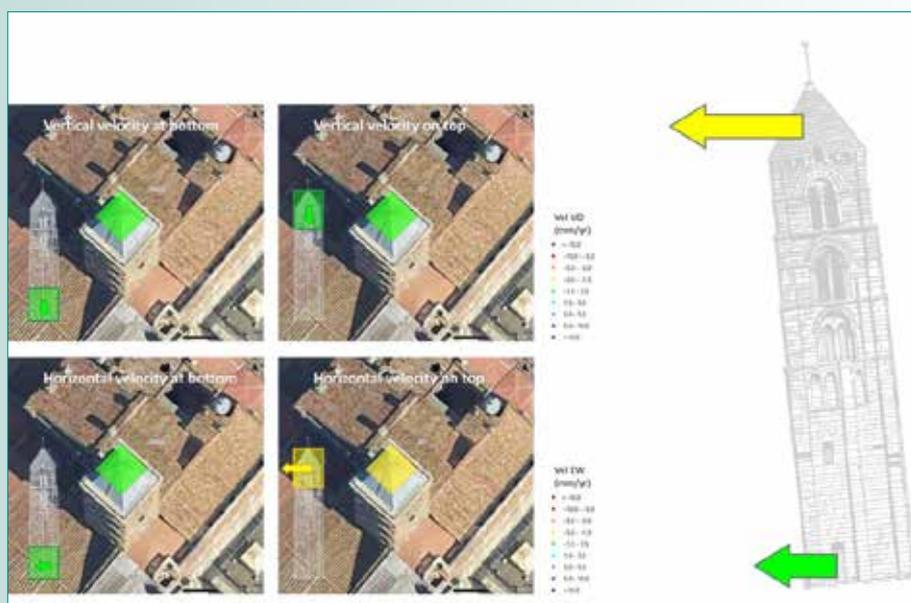


Fig. 1 - Esempio dell'applicazione dell'algoritmo che consente di calcolare le componenti di deformazione (verticale e orizzontale) che possono influenzare le strutture a prevalente sviluppo verticale, come il campanile qui riportato.

IRIDE rappresenta uno dei programmi spaziali europei più rilevanti nel campo dell'osservazione della Terra.

La sua attuazione avverrà in Italia su iniziativa del Governo, grazie alle risorse del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) integrate dai fondi del Piano Complementare Nazionale (PNC). In questo contesto, l'impegno di NHAZCA S.r.l. è focalizzato sulla tutela del patrimonio culturale nazionale e sul monitoraggio dei vulcani italiani.

L'Italia si contraddistingue a livello mondiale per le sue bellezze naturali ed il suo patrimonio culturale, che devono essere monitorati e tutelati con attenzione. È proprio in questo contesto di preservazione del territorio nazionale che si inserisce IRIDE, uno dei programmi spaziali europei più rilevanti nel campo dell'Osservazione della Terra. La sua attuazione avverrà in Italia su iniziativa del Governo, grazie alle risorse del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) integrate dai fondi del Piano Nazionale Complementare Nazionale (PNC). IRIDE è un sistema satellitare che sarà operativo entro giugno 2026, coordinato da ESA (Agenzia Spaziale Europea), con la partecipazione di ASI (Agenzia Spaziale Italiana), e offrirà un contributo per un'ampia gamma di servizi geospaziali. Questi servizi, progettati sulla base delle esigenze dell'Utente, forniscono informazioni relative al territorio e al mare attraverso l'elaborazione di dati di Osservazione della Terra acquisiti da costellazioni di satelliti, e mediante la loro integrazione con dati di altra natura, provenienti da modelli, reti terrestri, altri database pubblici disponibili o forniti dall'Utente stesso.

In quanto partner del consorzio industriale avente e-Geos S.p.a. come prime contractor, il lavoro

di NHAZCA S.r.l. si inserisce nel contesto delle *Service Value Chain* (SVC) S3-03 e S3-06 del Service Segment Lot 2, che ha come scopo generale quello di studiare le deformazioni del territorio nazionale, mediante la mappatura e il monitoraggio dei movimenti del suolo e delle infrastrutture, causati da dinamiche o eventi naturali quali terremoti, eruzioni vulcaniche, frane, fenomeni di subsidenza ed altri fenomeni naturali, e/o attribuibili ad attività antropiche.

In particolare, l'impegno di NHAZCA è focalizzato sulla tutela del Patrimonio Culturale nazionale (SVC-03) e sul monitoraggio dei vulcani italiani (SVC-06). A tal fine, il servizio si propone di migliorare la comprensione dei processi di spostamento del suolo che possono interessare le aree vulcaniche e che possono avere effetti diretti sul nostro patrimonio culturale, utilizzando dati SAR (Radar ad Apertura Sintetica) ad alta risoluzione, acquisiti dalle costellazioni Sentinel-1 (ESA), COSMO-SkyMed (ASI) e SAOCOM (CONAE - *Comisión Nacional de Actividades Espaciales*), e applicando ad essi una tecnica di Interferometria Differenziale SAR Avanzata (A-DInSAR). Partendo quindi dalle mappe di deformazione e dalle serie temporali ottenute, il passo successivo prevede di fornire alcuni tool che aiutino l'Utente nella comprensione e nell'interpretazione dei dati; questi riguarderanno la generazione di prodotti geospaziali specifici, che consisteranno in mappe di anomalie spazio-temporali, mappe di deformazione differenziale e altre informazioni statistiche utili. Inoltre, il servizio mira ad offrire le seguenti innovazioni:

- Lo sfruttamento di dati di movimento del suolo multibanda (X, C e/o L) per migliorare la comprensione del comportamento deformativo dell'area di interesse;
- La classificazione del territorio in base alla distribuzione spaziale delle deformazioni e dei fenomeni attivi (ad esempio, monitoraggio di eruzioni vulcaniche, fenomeni franosi, subsidenza etc.), grazie alla generazione di prodotti geospaziali specifici;
- Lo sviluppo di un algoritmo specifico per calcolare componenti di deformazione verticale ed orizzontale che potrebbero influenzare le strutture a prevalente sviluppo verticale (es., torri e campanili; Figura 1);
- La fusione dei dati PS/DS multi-geometria-multi-sensori per ricavare la componente di deformazione orizzontale e verticale e stimare della componente di deformazione Nord-Sud mediante integrazione con dati GNSS, se disponibili;
- La generazione di mappe di *trend change detection* e mappe di coerenza InSAR (particolarmente utili per il monitoraggio delle colate laviche durante un'eruzione vulcanica in atto) riferite a un intervallo di tempo che può essere definito dall'Utente stesso.

Dati satellitari, metodologia di analisi e prodotti geospaziali

Per effettuare le analisi e generare i prodotti geospaziali che verranno descritti più avanti, è necessario raccogliere dati di varia natura. Allo stato attuale i dati alla base delle analisi sono quelli acquisiti dalle costellazioni Sentinel-1 (banda C), COSMO-SkyMed (banda X) e SAOCOM (banda L) che consentono di produrre mappe e serie temporali della deformazione del

suolo; la futura disponibilità di dati IRIDE amplierà poi questa possibilità. Infatti, le differenze nelle principali caratteristiche dei satelliti considerati, come le lunghezze d'onda dei sensori SAR, la risoluzione spaziale, il tempo di rivisitazione, aiuteranno a fornire un servizio accurato e continuo agli Utenti Finali. I dati satellitari devono essere integrati da una serie di informazioni che descrivano in dettaglio il contesto geologico dell'area di studio. Tra questi è possibile annoverare:

- Layer di rischio geografico che includono:
 - Database della pericolosità delle frane (Inventario italiano delle frane – IFFI [1,2]);
 - Database della pericolosità sismica (Mappa nazionale della pericolosità sismica [3]);
 - Database sulla pericolosità delle alluvioni (ISPRA IdroGEO [4]);
 - Database sulla pericolosità delle valanghe [5];
- Database degli edifici e dei Beni Culturali italiani (es. Vincoli in Rete e Banca Dati di Sintesi Nazionale (DBSN));
- Mappa dei rischi italiana;
- Mappa dei vulcani italiani attivi;
- Dati GNSS (*Global Navigation Satellite System*).

Dopo aver raccolto tutti i dati, applichiamo la tecnica *Advanced Differential Interferometric* (A-DInSAR) sui dataset Sentinel-1, COSMO-SkyMed e SAOCOM. Questa analisi interferometrica multi-temporale viene effettuata utilizzando la nota tecnica *Persistent Scatterers Interferometry* (PSI) [6]. L'applicazione di questa tecnica consente la generazione di mappe di deformazione PS (*Persistent Scatterers*)/DS (*Distributed Scatterers*) che mostrano lo spostamento

del suolo durante l'intervallo di tempo considerato. A differenza delle tecniche DInSAR convenzionali, l'analisi multi-interferometrica A-DInSAR genera serie temporali di spostamento per ciascun PS/DS.

Per realizzare i nostri prodotti geospaziali, applichiamo due metodologie principali sulle misurazioni recuperate dal metodo sopra menzionato:

- **Analisi a scala territoriale:** questo metodo si pone l'obiettivo di classificare su scala territoriale tutte le deformazioni attive del suolo [7].
- **Analisi alla scala di singola struttura:** comprende più algoritmi che consentono l'interpolazione dei PS che interessano le singole strutture. Tali metodi consentiranno un'analisi dettagliata del singolo bene culturale/edificio con l'obiettivo di rilevare e misurare le deformazioni attive che agiscono su di esso [8].

Descrizione e scopo delle Single Value Chain (SVC)

La SVC-03 è incentrata sulla generazione di prodotti geospaziali che hanno come scopo finale quello di tutelare il Patrimonio Culturale nazionale, mediante l'analisi dei fenomeni di defor-

mazione che possono interessare i beni culturali e il territorio in cui sono inseriti. Il servizio, quindi, mira a migliorare la nostra comprensione dei processi di spostamento del terreno che colpiscono il patrimonio culturale (ad esempio, frane, subsidenza, eventi sismici, ecc.) utilizzando dati InSAR ad alta risoluzione e fornendo strumenti in grado di produrre mappe di anomalie spazio-temporali, mappe di deformazione differenziale ed altre informazioni statistiche (Fig. 2).

Le deformazioni misurate sono compatibili con le fratture ben evidenti sulla facciata del monumento.

I prodotti geospaziali che NHAZCA genera nell'ambito di questa SVC permettono di classificare i beni culturali sulla base dei rischi a cui sono esposti, con lo scopo di definire strategie di mitigazione per la conservazione del patrimonio culturale e individuare quali siano le strutture prioritarie da tutelare, intervenendo anche con sistemi di monitoraggio in situ. La SVC-06 ha lo scopo di fornire all'Utente Finale strumenti e prodotti geospaziali dedicati al supporto del monitoraggio vulcanico su scala locale,

collezionando quanti più dati possibili che consentano di avere una visione sinottica del comportamento deformativo di un vulcano (Figura 3). Il monitoraggio delle aree vulcaniche, con aggiornamenti trimestrali sistematici, supporterà gli Utenti Finali nell'identificazione di eventuali fenomeni precursori e nella caratterizzazione del comportamento deformativo del vulcano, migliorando significativamente la conoscenza degli eventi eruttivi. La disponibilità dei prodotti ottenuti dai dati acquisiti da diverse missioni spaziali, che lavorano con risoluzioni e tempi di rivisitazione diversi, può aumentare significativamente la completezza delle informazioni, consentendo anche l'integrazione e il confronto con altri dati in situ (es., GNSS, livellazioni, ecc.).

Conclusioni

IRIDE è il programma incentrato sulla osservazione della Terra nato grazie ai fondi del Programma Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), coordinato da ESA (Agenzia Spaziale Europea) con la partecipazione di ASI (Agenzia Spaziale Italiana), offrirà un contributo per un'ampia gamma di servizi geospaziali. Questi servizi, progettati sulla base delle esigenze dell'Utente, forniranno importanti informazioni relative al territorio e al mare attraverso l'elaborazione di dati acquisiti da costellazioni di satelliti che verranno messi in orbita a partire dal 2025, e mediante la loro integrazione con dati acquisiti da altre costellazioni e/o di altra natura. In tale contesto, NHAZCA S.r.l. è parte attiva nel servizio delle *Service Value Chain (SVC) S3-03 e S3-06 del Service Segment Lot 2*, per la tutela del patrimonio culturale nazionale e delle aree vulcaniche italiane.

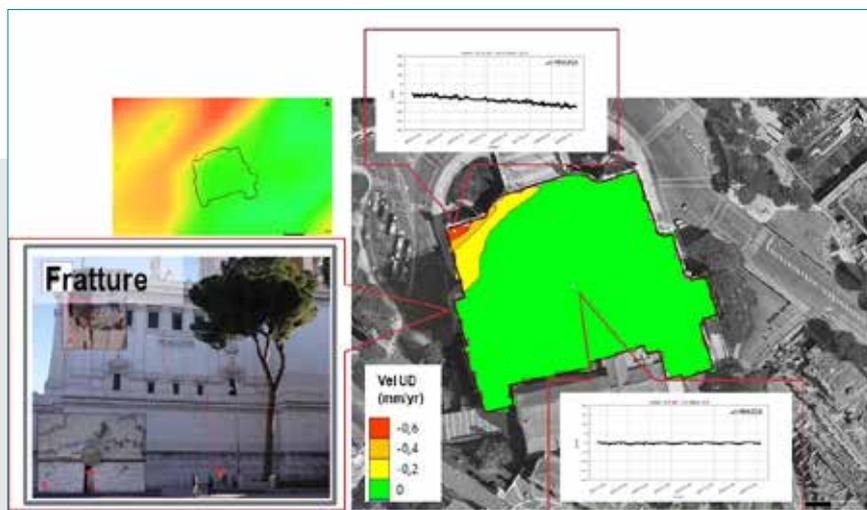


Fig. 2 Esempio di mappa di deformazione differenziale dell'edificio del Vittoriano (Roma), ottenuta utilizzando dati acquisiti dalla costellazione Sentinel-1 dal 2015 al 2018. Le deformazioni misurate sono compatibili con le fratture ben evidenti sulla facciata del monumento.

In conclusione, per gli scopi prefissati, IRIDE può sicuramente essere considerato il programma spaziale di osservazione della Terra più ambizioso degli anni recenti. A partire da giugno 2026, IRIDE permetterà una rivisitazione giornaliera di ogni località italiana e, insieme ad altri sistemi spaziali nazionali ed europei, supporterà le Pubbliche Amministrazioni, il Dipartimento di Protezione Civile, ed enti di ricerca pubblici e privati per contrastare il dissesto idrogeologico e gli incendi, tutelare il patrimonio culturale e le coste, monitorare le infrastrutture critiche, le aree vulcaniche e sismiche, la qualità dell'aria e le condizioni meteorologiche. IRIDE, quindi, sarà un potente strumento per il monitoraggio ed il controllo continuo al fine di identificare tempestivamente rischi, intervenire con efficienza e tutelare il territorio italiano e tutte le sue bellezze.

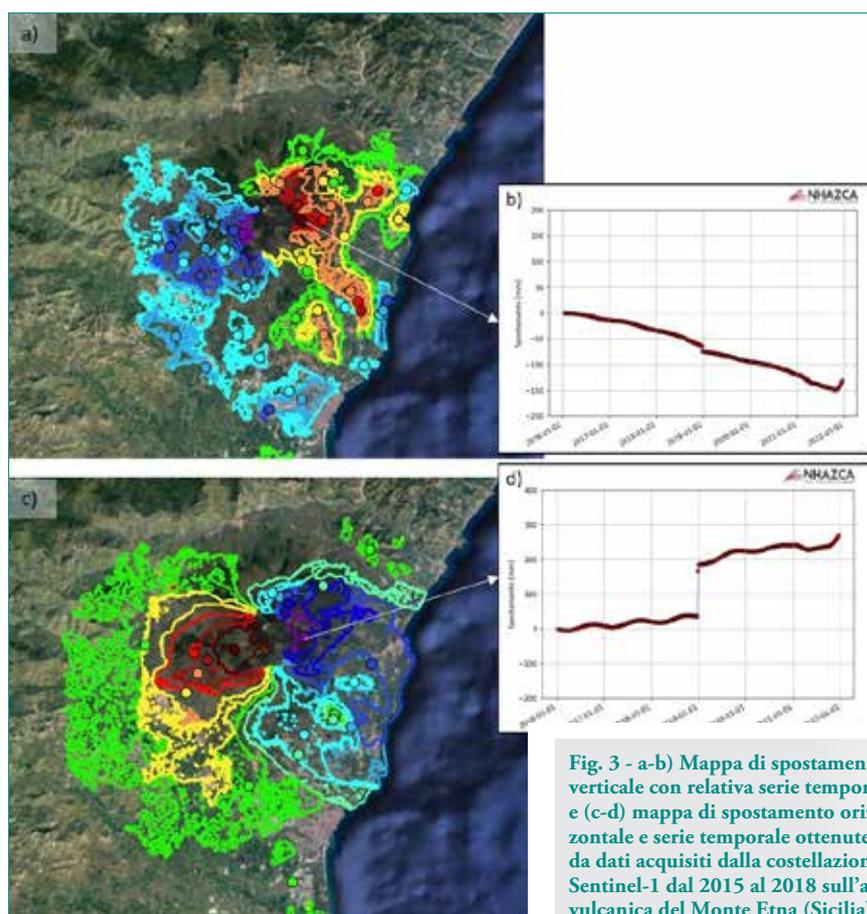


Fig. 3 - a-b) Mappa di spostamento verticale con relativa serie temporale e (c-d) mappa di spostamento orizzontale e serie temporale ottenute da dati acquisiti dalla costellazione Sentinel-1 dal 2015 al 2018 sull'area vulcanica del Monte Etna (Sicilia).

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Trigila, A., Iadanza, C., Spizzichino, D., 2010. Quality assessment of the Italian Landslide Inventory using GIS processing. *Landslides* 7, 455–470. <https://doi.org/10.1007/s10346-010-0213-0>.
- [2] ISPRA, 2018. Landslides and floods in Italy: hazard and risk indicators - Summary Report 2018. Technical report. The Institute for Environmental Protection and Research, Via Vitaliano Brancati, 48 - 00144 Rome, Italy. URL: <http://www.isprambiente.gov.it/287/bis/2018>.
- [3] Classificazione sismica dei comuni italiani al 2012 (http://wms.pcn.minambiente.it/ogc?map=/ms_ogc/WMS_v1.3/Vettoriali/Classificazione_sismica_2012.map).
- [4] Mosaicatura nazionale ISPRA (Elaborazione v. 5.0 - 2020) delle aree a pericolosità idraulica redatte dalle Autorità di Bacino Distrettuali sui 3 scenari definiti dal D. Lgs. 49/2010 (recepimento della Direttiva Alluvioni 2007/60/CE).
- [5] Trigila & Iadanza, 2016 Indicatore sulle valanghe in Italia, ISPRA, Luglio 2016.
- [6] Ferretti, A.; Prati, C.; Rocca, F. Permanent scatterers in SAR interferometry. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 2001, 39, 8–20.
- [7] Pratesi, Fabio, et al. "Rating health and stability of engineering structures via classification indexes of InSAR Persistent Scatterers." *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 40 (2015): 81–905.
- [8] Bozzano, Francesca, et al. "Satellite A-DInSAR monitoring of the Vittoriano monument (Rome, Italy): implications for heritage preservation." *Italian journal of engineering geology and environment* 2 (2020): 5–17.

NOTE

Il presente lavoro è stato finanziato dall'Unione Europea - NextGenerationEU, dalla Presidenza del Consiglio dei Ministri ai sensi dell'articolo 1, com-

ma 254, della Legge 160/2019' e dalla Presidenza del Consiglio dei Ministri dal Fondo Complementare. Le opinioni qui espresse non riflettono in alcun modo l'opinione ufficiale dell'Unione Europea/Commissione Europea/ESA/Presidenza del Consiglio dei Ministri della Repubblica Italiana. I punti di vista e le opinioni espressi sono esclusivamente quelli dell'autore(i) e l'Unione Europea/Commissione Europea/ESA/Presidenza del Consiglio dei Ministri della Repubblica Italiana non possono essere ritenute responsabile per qualsiasi uso che possa essere fatto delle informazioni in esso contenute.

PAROLE CHIAVE

IRIDE; PATRIMONIO CULTURALE; VULCANI; A-DInSAR; MONITORAGGIO

ABSTRACT

IRIDE represents one of the most relevant European space programs in the field of Earth observation. Its implementation will take place in Italy on the initiative of the Government, thanks to the resources of the National Recovery and Resilience Plan (PNRR) integrated by the funds of the National Complementary Plan (PNC). In this context, the commitment of NHAZCA S.r.l. is focused on the protection of the national cultural heritage and on the monitoring of Italian volcanoes. To this purpose, the service aims to improve the understanding of the ground displacement processes that affect volcanic areas and which can have direct effects on our cultural heritage, using high resolution SAR

(Synthetic Aperture Radar) data, acquired from the constellations Sentinel-1 (ESA), COSMO-SkyMed (ASI) and SAOCOM (CONAE - Comisión Nacional de Actividades Espaciales), and applying to them an Advanced SAR Differential Interferometry (A-DInSAR) technique. Therefore, starting from the deformation maps and time series obtained, the next step involves providing some tools that help the End-User in understanding and interpreting the data; these will involve the generation of specific geospatial products, which will consist of spatio-temporal anomaly maps, differential deformation maps and other useful statistical information.

AUTORE

EMANUELA VALERIO
EMANUELA.VALERIO@NHAZCA.COM
GIANMARCO PANTOZZI
GIANMARCO.PANTOZZI@NHAZCA.COM
ANDREA CHESSA
ANDREA.CHESSA@NHAZCA.COM
STEFANO SCANCELLA
STEFANO.SCANCELLA@NHAZCA.COM
NHAZCA S.R.L.,
VIA VITTORIO BACHELET 12,
00185, ROMA, ITALIA

ENRICO CIRACÌ
ENRICO.CIRACI@E-GEOS.IT
E-GEOS S.P.A.,
VIA TIBURTINA, 965,
00156 ROMA, ITALIA