

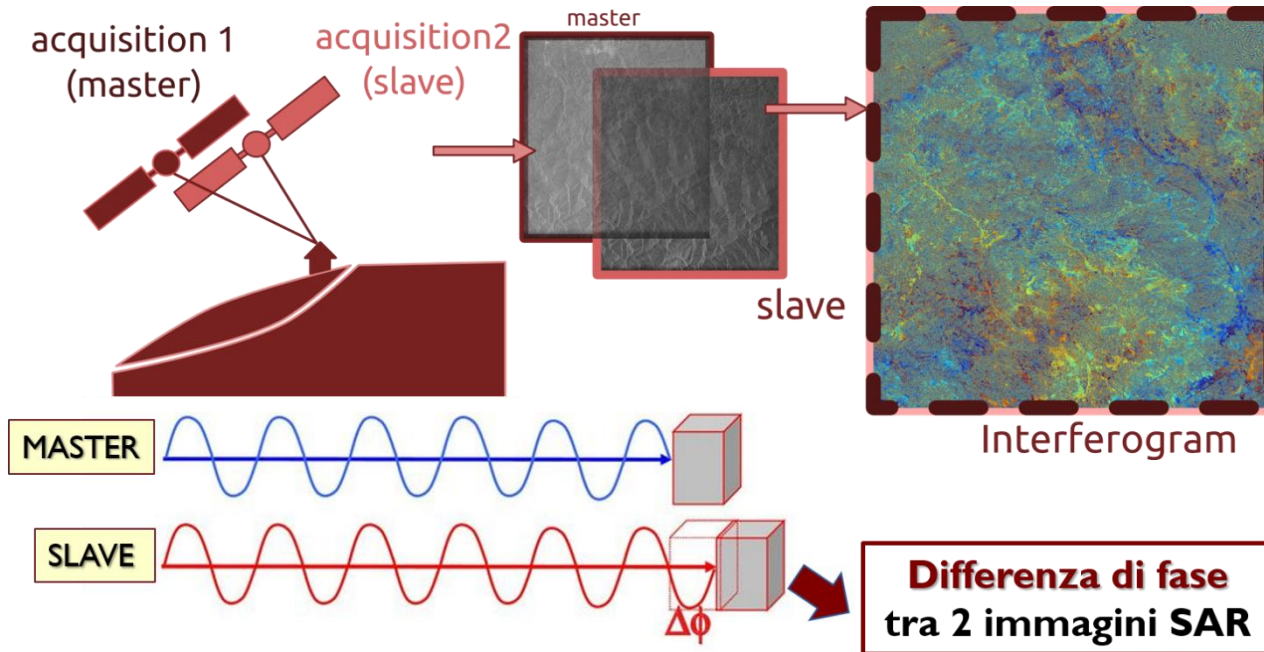
REMTECH Esonda 16 Settembre 2026

*"La manutenzione delle infrastrutture idroelettriche:
esperienze e nuove frontiere tecnologiche"*

**CONTROLLO SATELLITARE DI INFRASTRUTTURE
IDROELETTRICHE E VERSANTI**

Silvia Franceschini

Fragile srl



L'InSAR permette di rilevare spostamenti sub-centimetrici della superficie del terreno

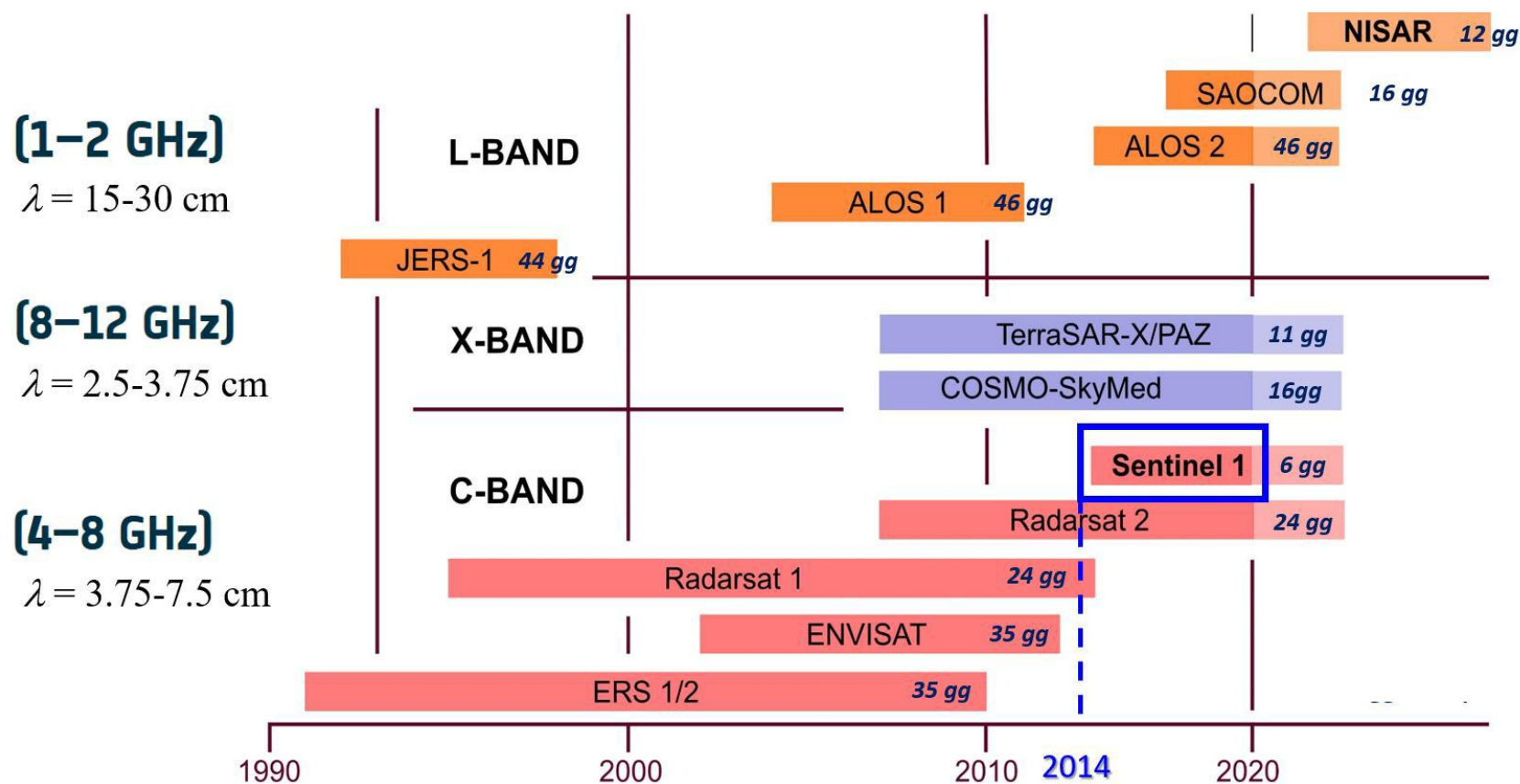
Il satellite passa periodicamente sull'area di interesse emettendo un'onda radar che successivamente viene riflessa ed acquisita dal satellite.

Se tra differenti acquisizioni in tempi successivi si osserva una differenza di fase nell'onda riflessa, allora l'oggetto monitorato potrebbe aver subito uno spostamento.

La differenza di fase tra due immagini SAR può essere dovuta a disturbi atmosferici ed artefatti topografici che devono essere attentamente rimossi per ottimizzare il segnale riconducibile a spostamento

L'InSAR è l'unico strumento di monitoraggio che permette di ottenere informazioni di spostamento nel passato

I dati InSAR sono disponibili dagli anni '90, ma la vera rivoluzione avviene nel **2014** con il lancio del **sistema satellitare Sentinel**



IMMAGINI SENTINEL-1

Punti di Forza

- ✓ Frequenza di rivisitazione teorica variabile tra 6 e 12 gg: possibile un monitoraggio degli spostamenti quasi in tempo reale
- ✓ Buona qualità in termini di coerenza: info utili in aree debolmente vegetate
- ✓ Gratuite e disponibili per l'intero globo

Limiti

- ✗ Risoluzione al suolo (5*20 m)
- ✗ Decorrelazione in caso di neve fresca o rapida crescita della vegetazione

Immagini Sentinel-1: strategie di elaborazione



InSAR multi-temporale, MT-SBA

VANTAGGI

- Numericamente preciso, confrontabile con dati rilevati dagli strumenti ground-based
- Provata affidabilità, tecnica diffusa commercialmente
- Algoritmi sofisticati per la riduzione contributi di errore

SVANTAGGI

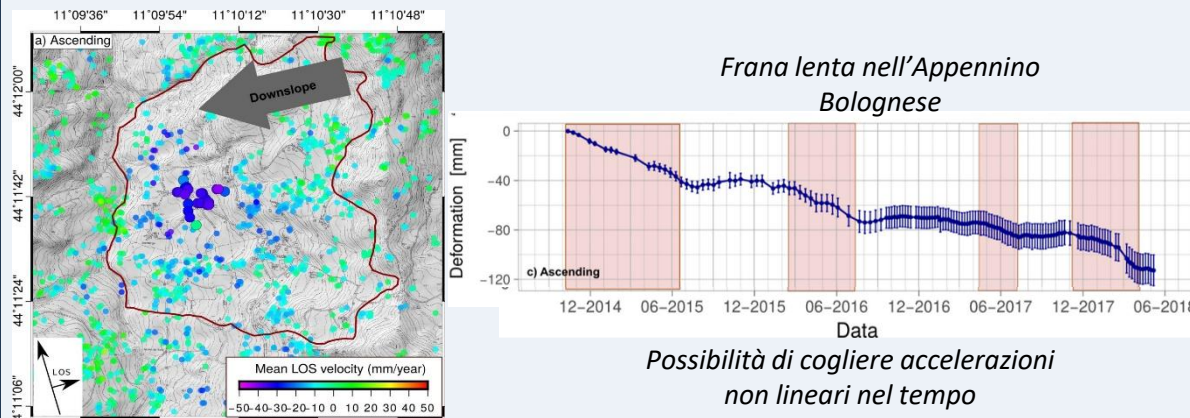
Scarse informazioni in aree rurali

APPLICABILITA'

Processi con velocità di spostamento tra 5 e 100 mm/anno

PRINCIPALI PRODOTTI

Mappe con valori di velocità (mm/anno) sui riflettori stabili in formato .shp. Per ogni riflettore è possibile ricostruire serie storiche di spostamento



InSAR tradizionale, RAINS

VANTAGGI

- Possibilità di perimetrare aree soggette a deformazione, e di seguirne l'evoluzione nel tempo, anche in zone scarsamente antropizzate e debolmente vegetate
- Commercialmente innovativa

SVANTAGGI

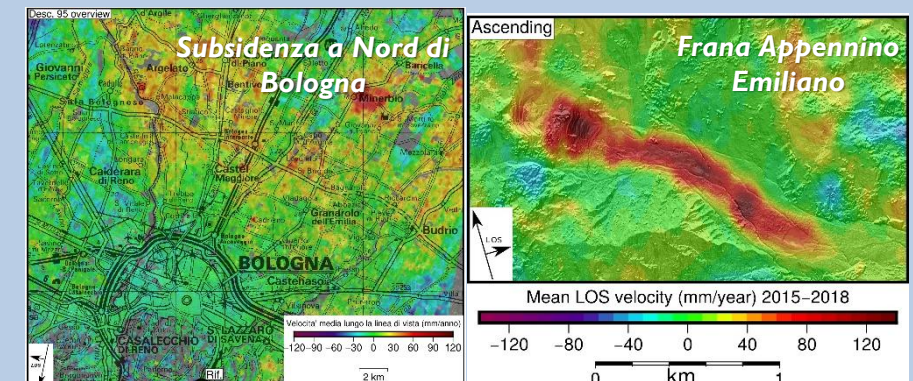
Qualitativa, necessaria interpretazione esperta del segnale

APPLICABILITA'

Processi con velocità di spostamento tra 30 mm/anno e 1 cm/settimana

PRINCIPALI PRODOTTI

Carte di velocità di spostamento (mm/anno) quasi continua nello spazio in formato raster. Ad ogni cella corrisponde un valore qualitativo di velocità media di spostamento

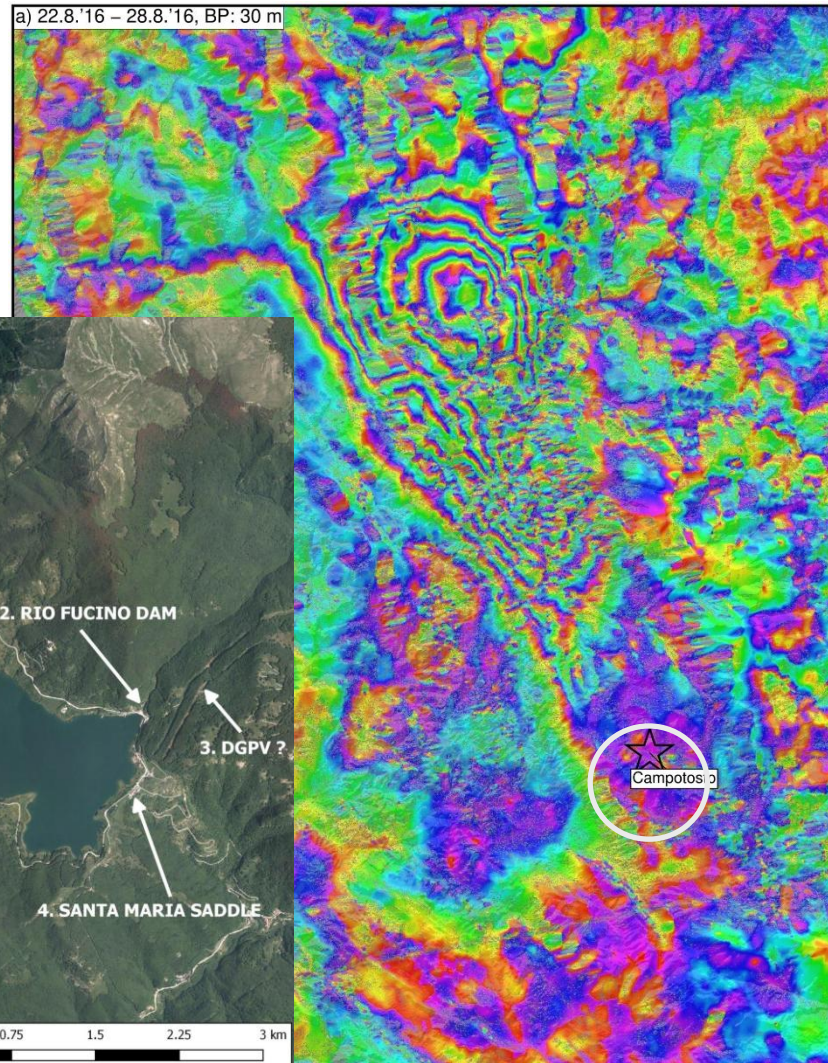


Casi applicativi: l'invaso di Campotosto (AQ)

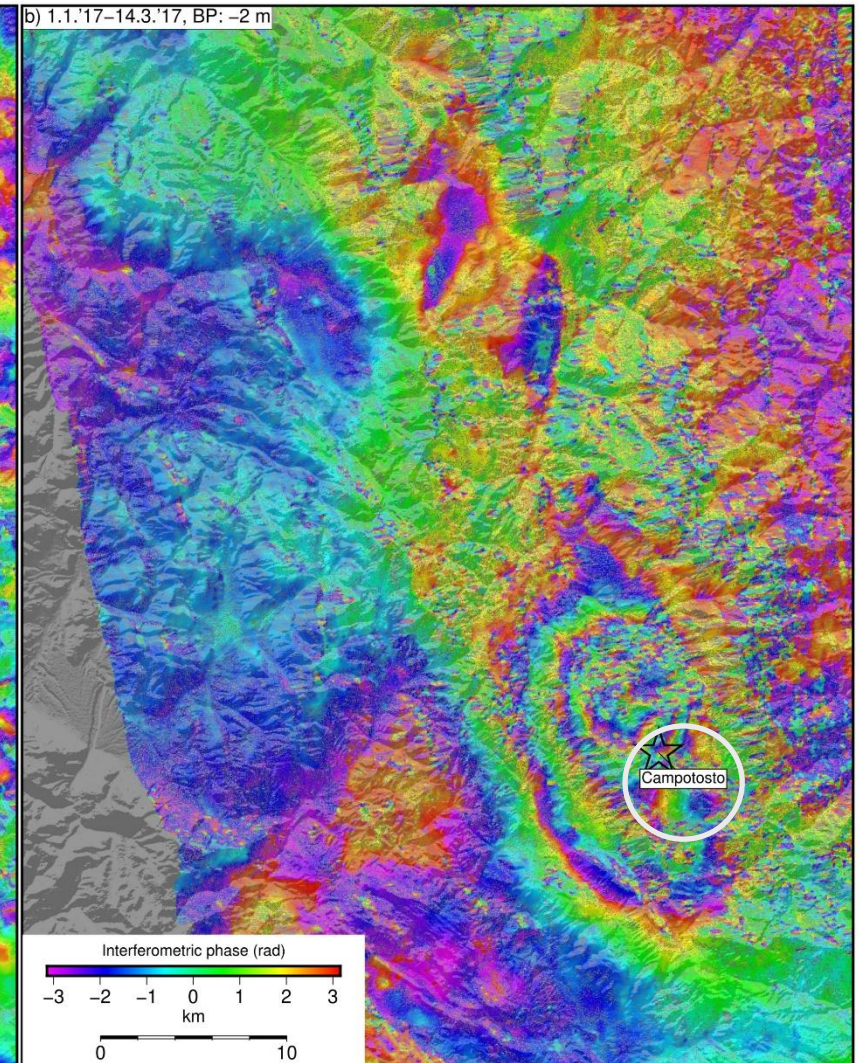


- È il secondo invaso artificiale per capacità in Europa;
- Capacità ridotta significativamente a seguito dello sciame sismico del '16-'17

Sisma Amatrice, 24 agosto '16
Interferogramma 22-28 agosto '16



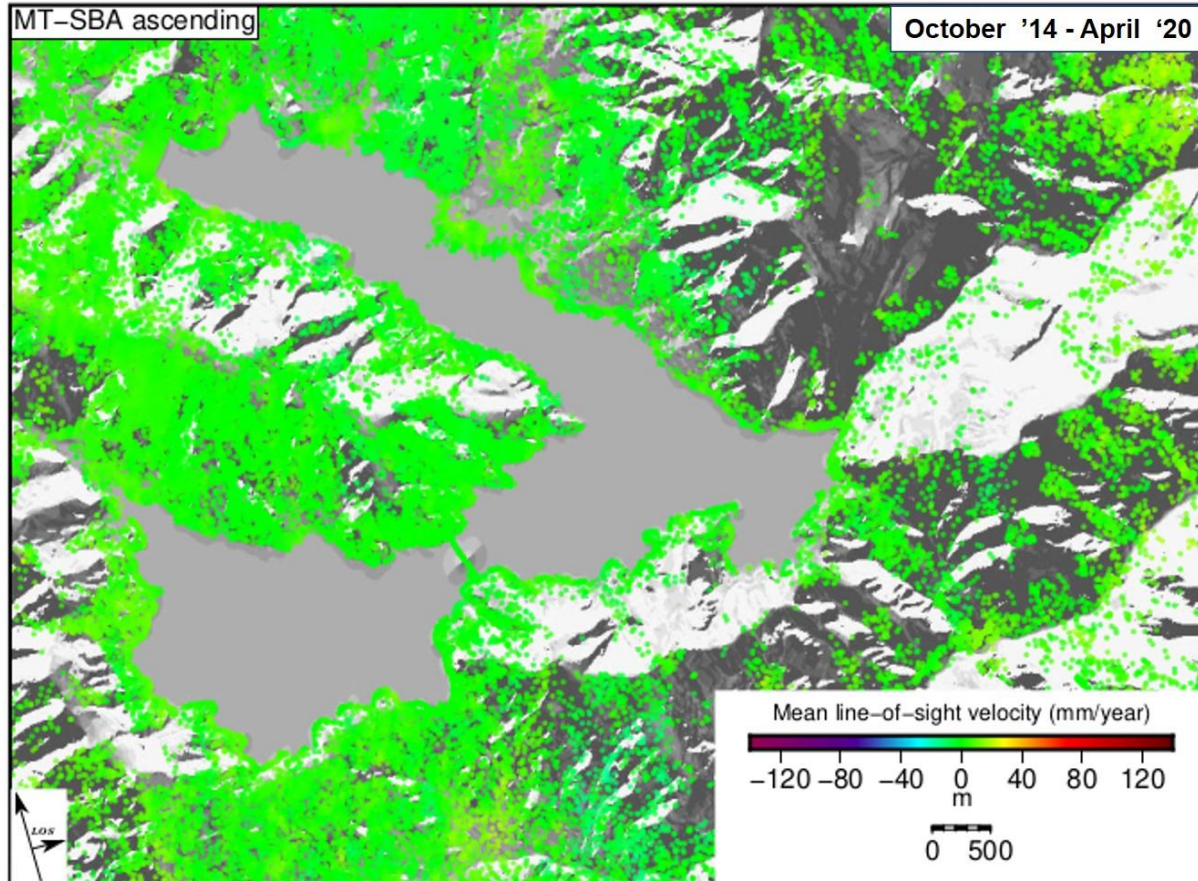
Sisma Campotosto, 18 gennaio '17
Interferogramma 1 gennaio-14 marzo '17



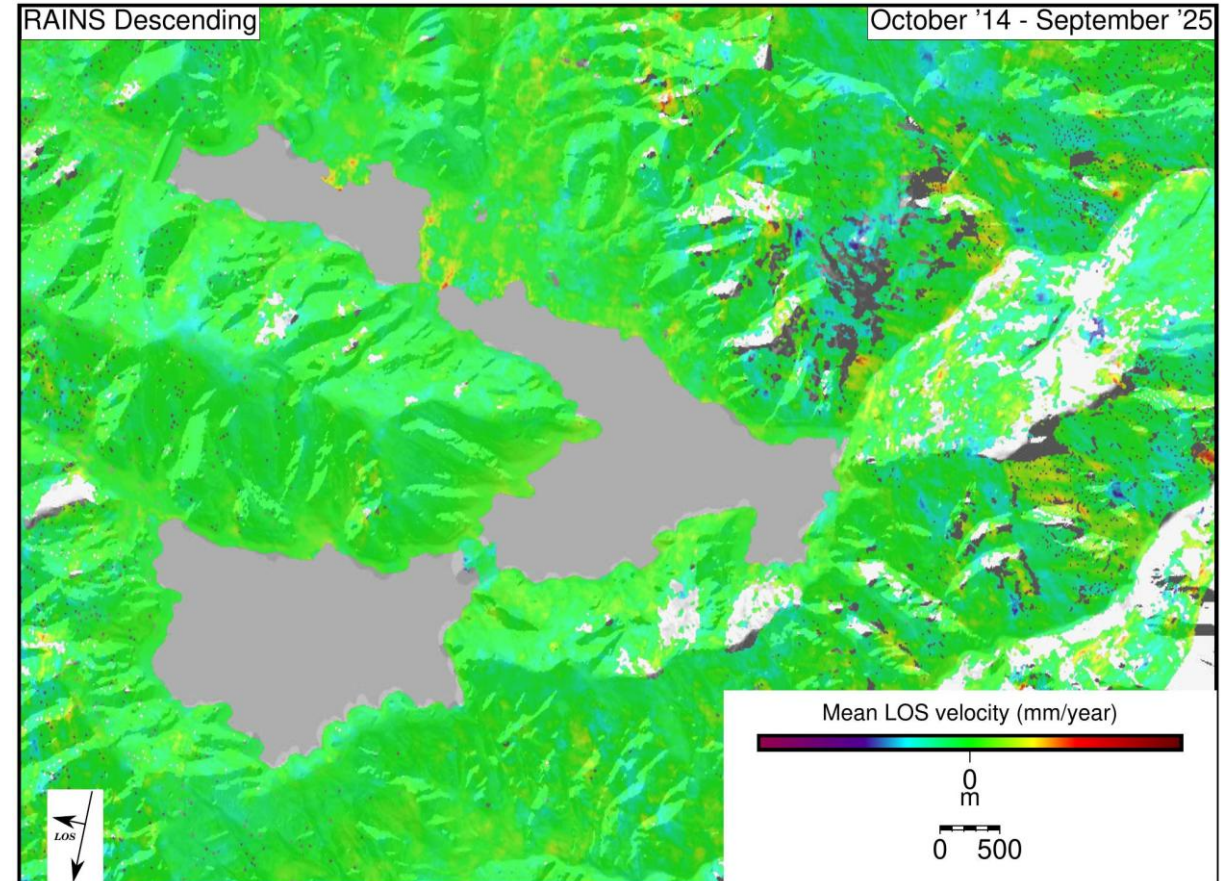
Casi applicativi: l'invaso di Campotosto (AQ)



Ricostruzione storica degli spostamenti a **scala areale**



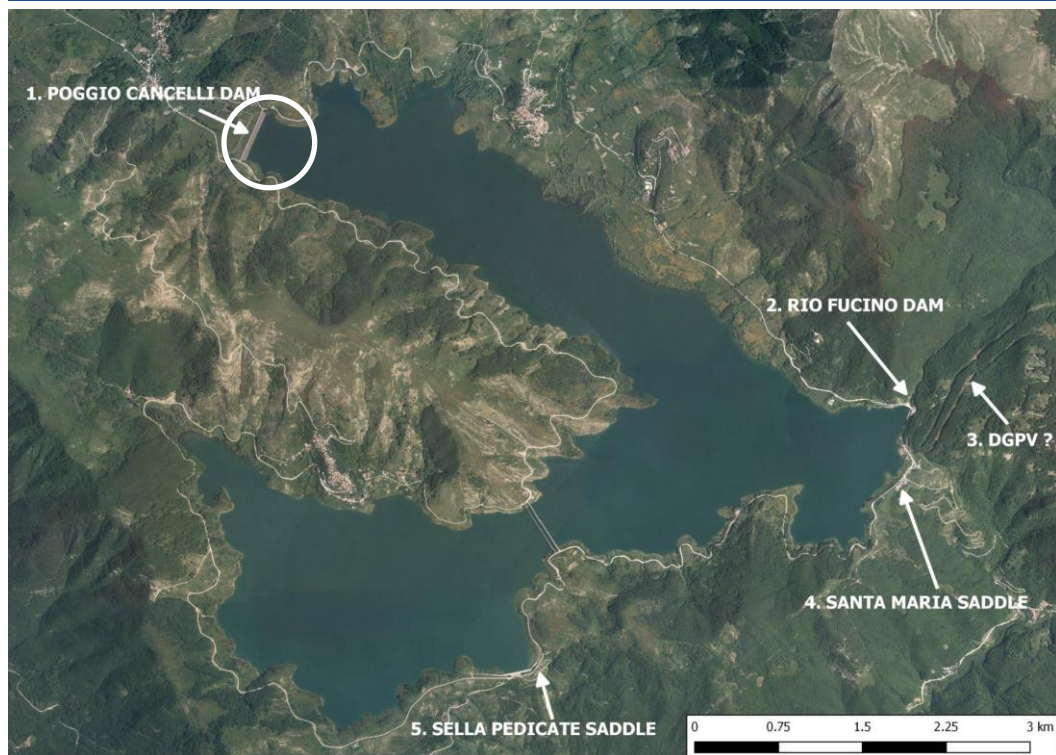
Tecnica multi-temporale: individuazione di riflettori stabili con associati valori di velocità media di spostamento (mm/anno)



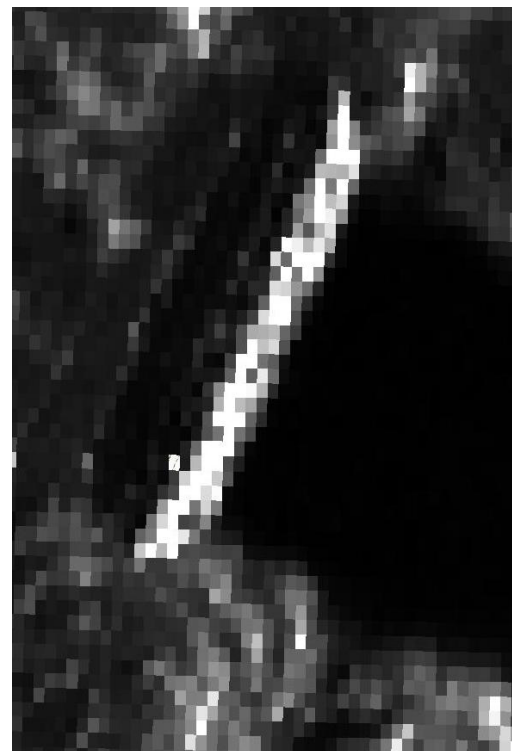
Tecnica tradizionale: copertura spaziale quasi-continua

Non sono state rilevate aree soggette a spostamenti significativi lungo le sponde dell'invaso

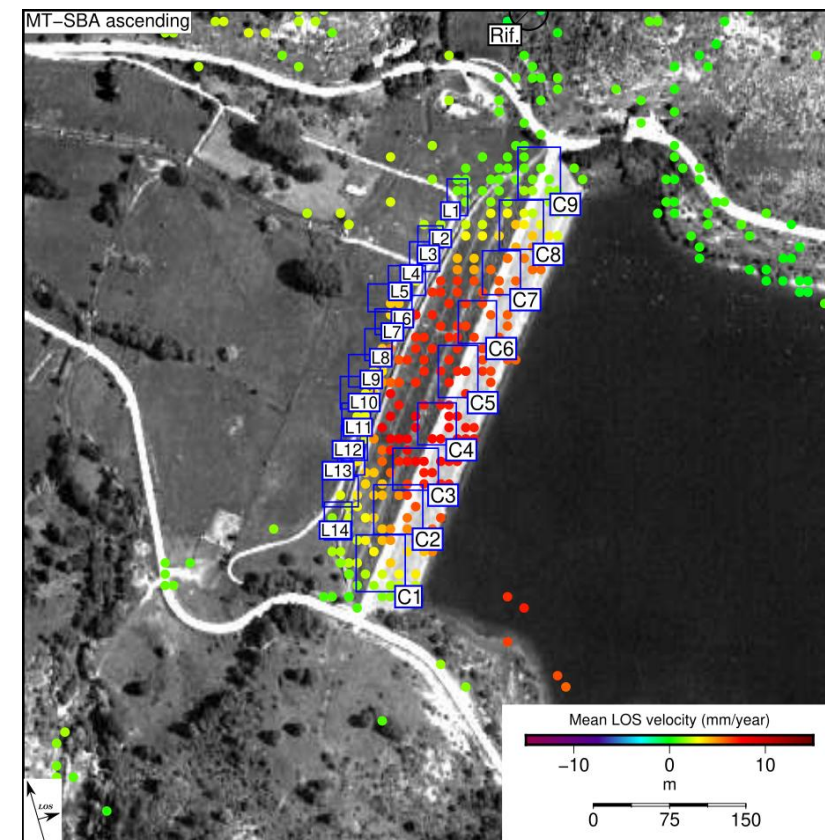
Casi applicativi: la diga di Poggio Cancelli (AQ)



Ricostruzione storica degli spostamenti a **scala sito-specifica**

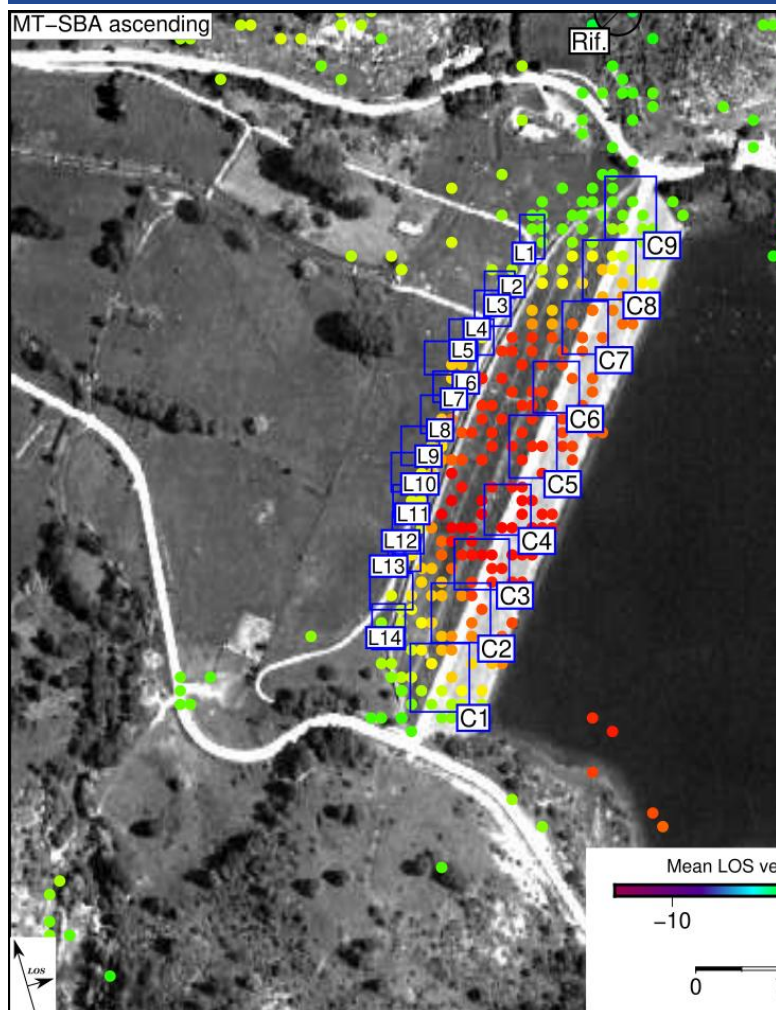


La diga vista dal satellite:
no distorsioni geometriche,
forte riflettività
riflettore ideale

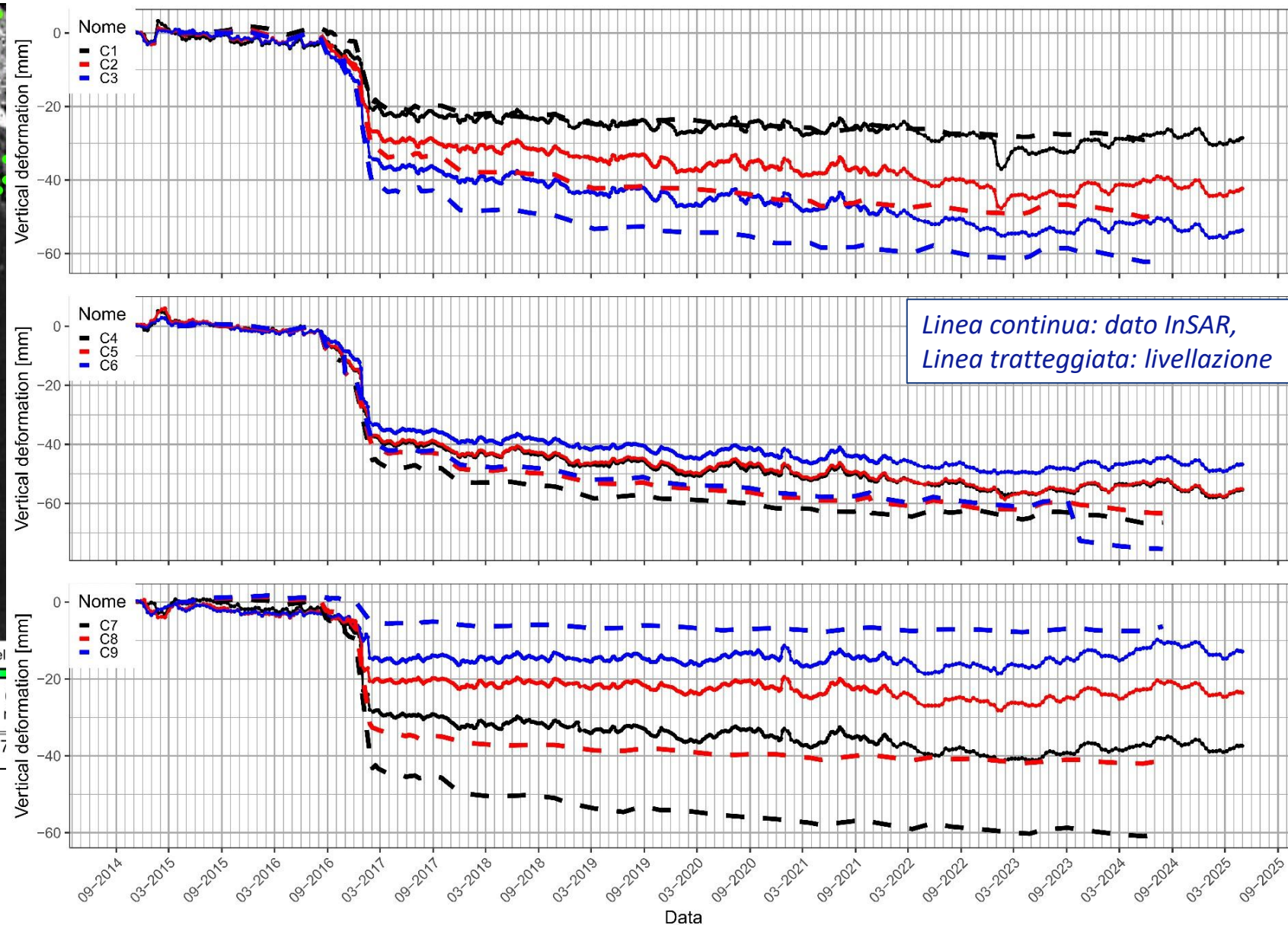


Distribuzione riflettori e valori di velocità
media di spostamento ('14-'20)

Casi applicativi: la diga di Poggio Cancelli (AQ)



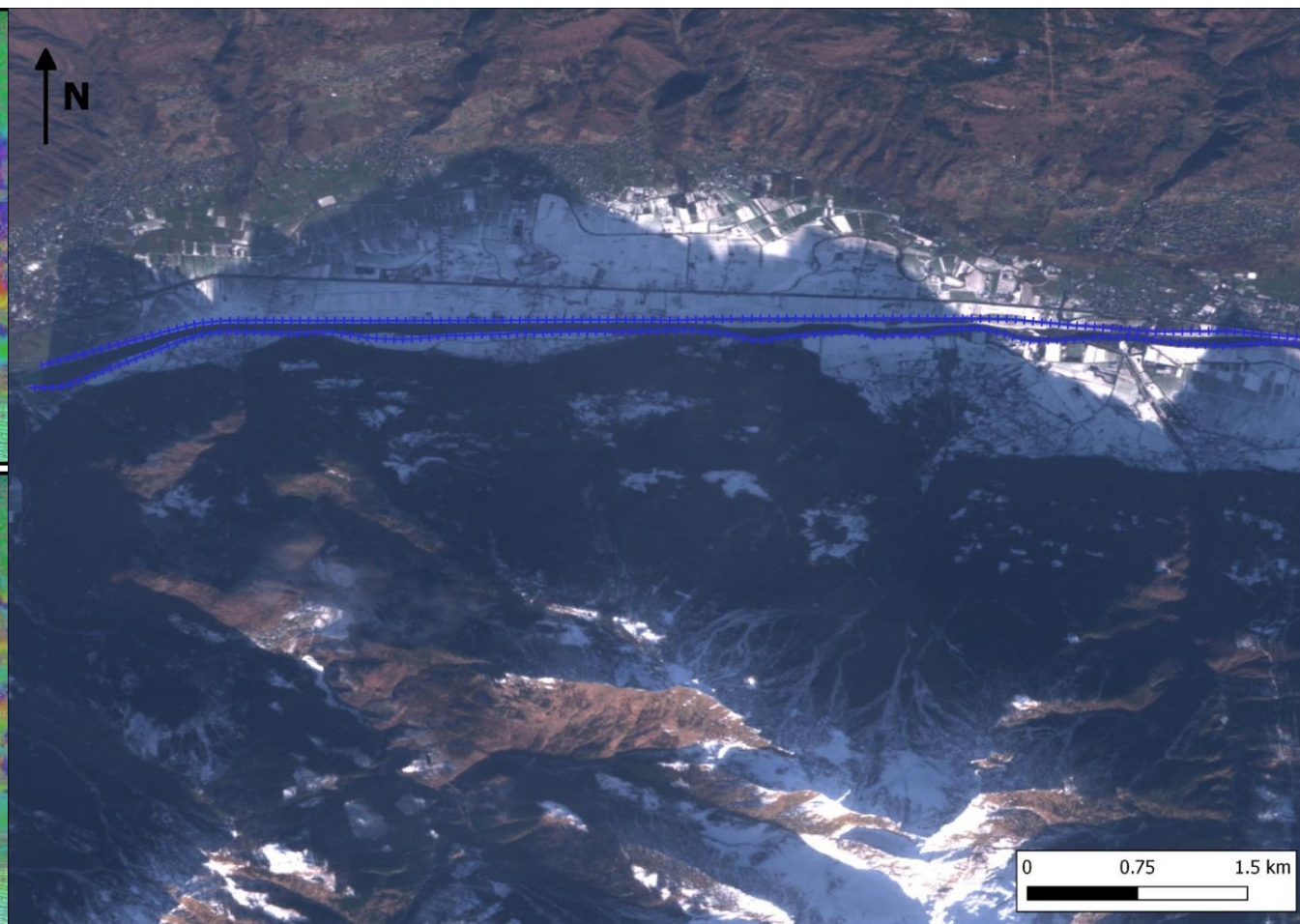
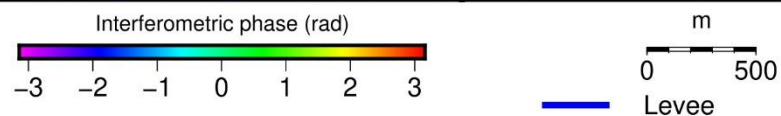
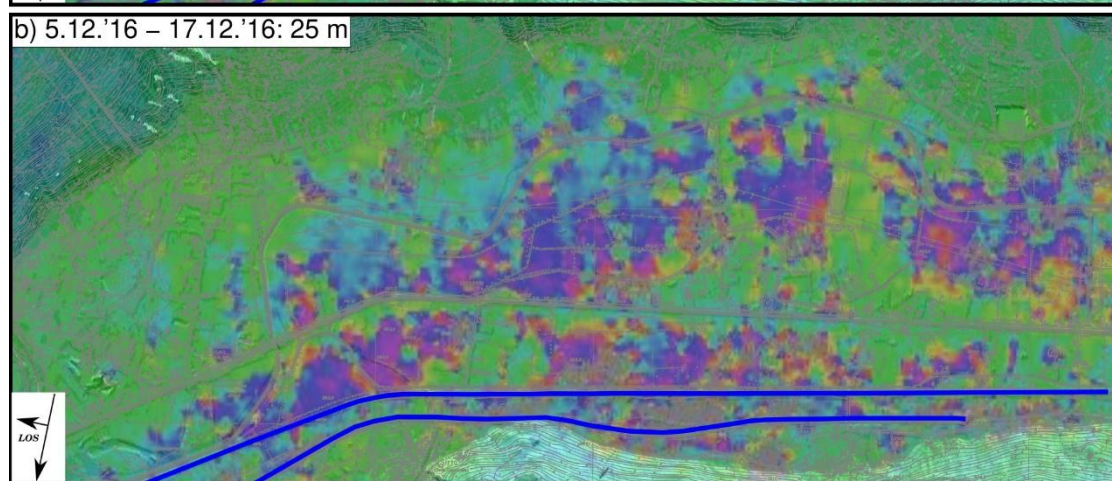
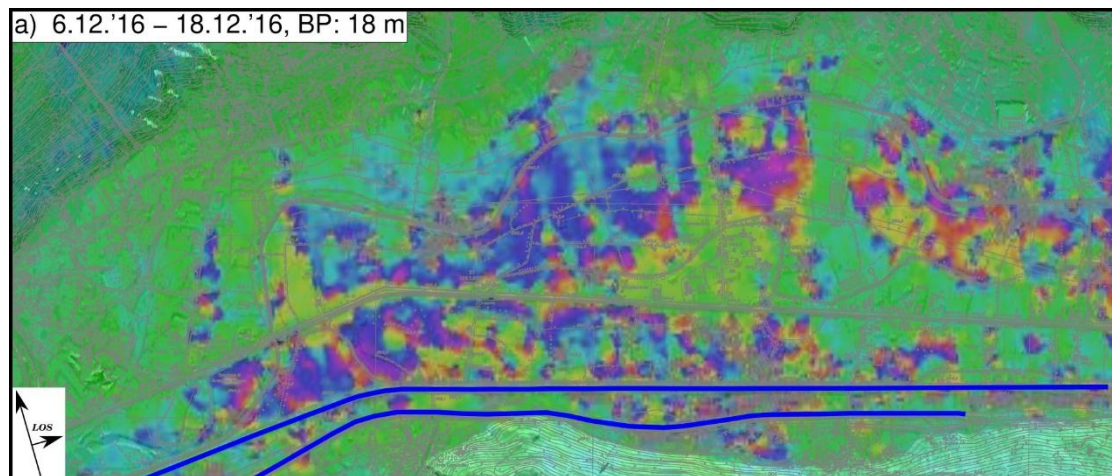
Parte centrale della diga ha subito un **cedimento** di ca 1 cm a seguito del sisma di Amatrice e di ca 3 cm dopo il sisma di Campotosto





- Indagati 4.7 km di argini dell'impianto idroelettrico di Monastero
- Dagli anni '60, ed in particolare a seguito dell'alluvione della Valtellina del 1987, interessati da lavori di rinforzo e monitoraggio
- Area interessata da processi di **subsidenza**
- Monitoraggio tradizionale attraverso letture topografiche periodiche

Casi applicativi: gli argini di Ardenno (SO)



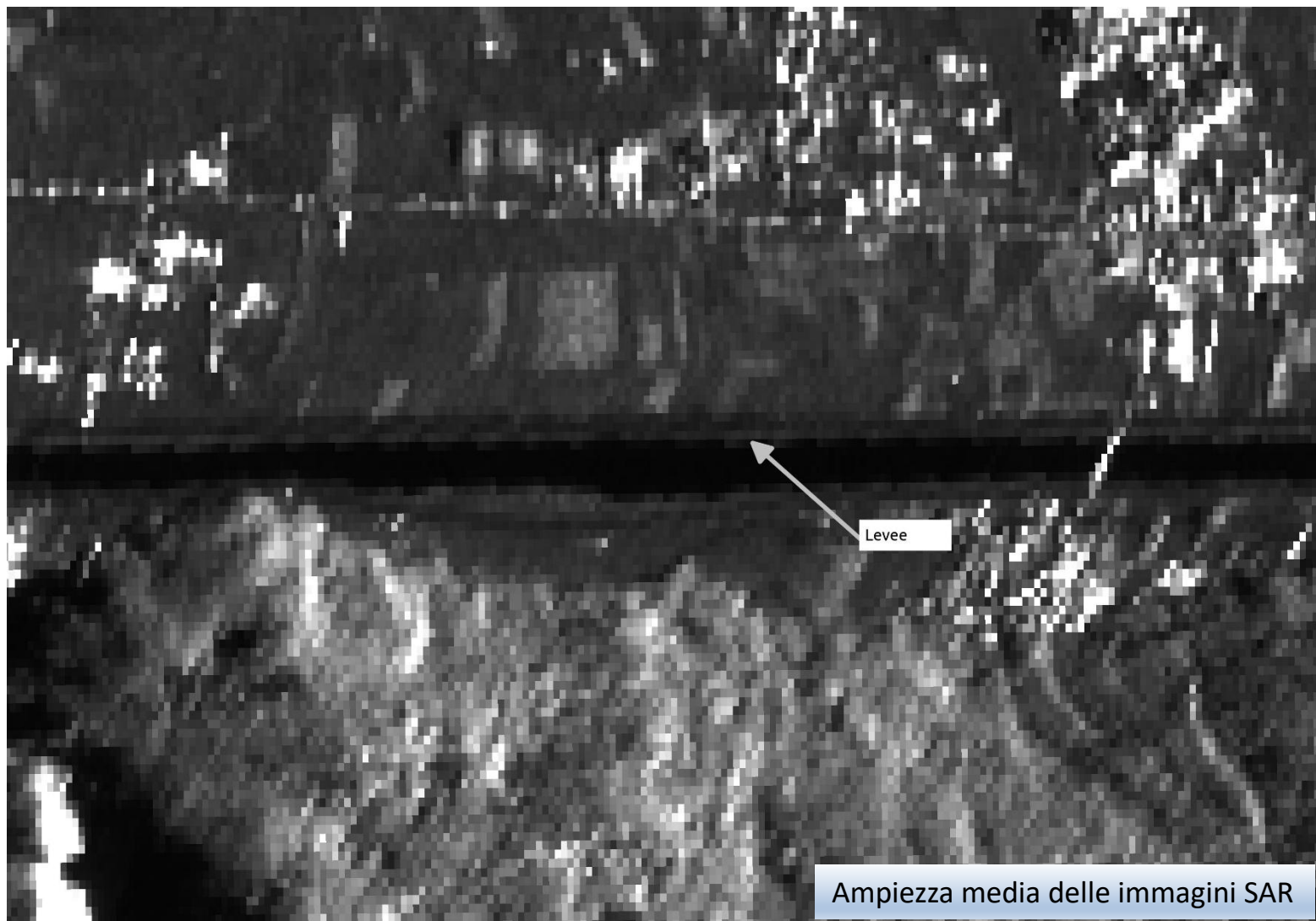
Corrispondente immagine [Sentinel-2](#) che mostra la diffusa e persistente presente di [brina](#) causata dall'ombra del versante a S sulla valle

Decorrelazione ricorrente sulla valla di difficile interpretazione
(prima metà di dicembre '16)

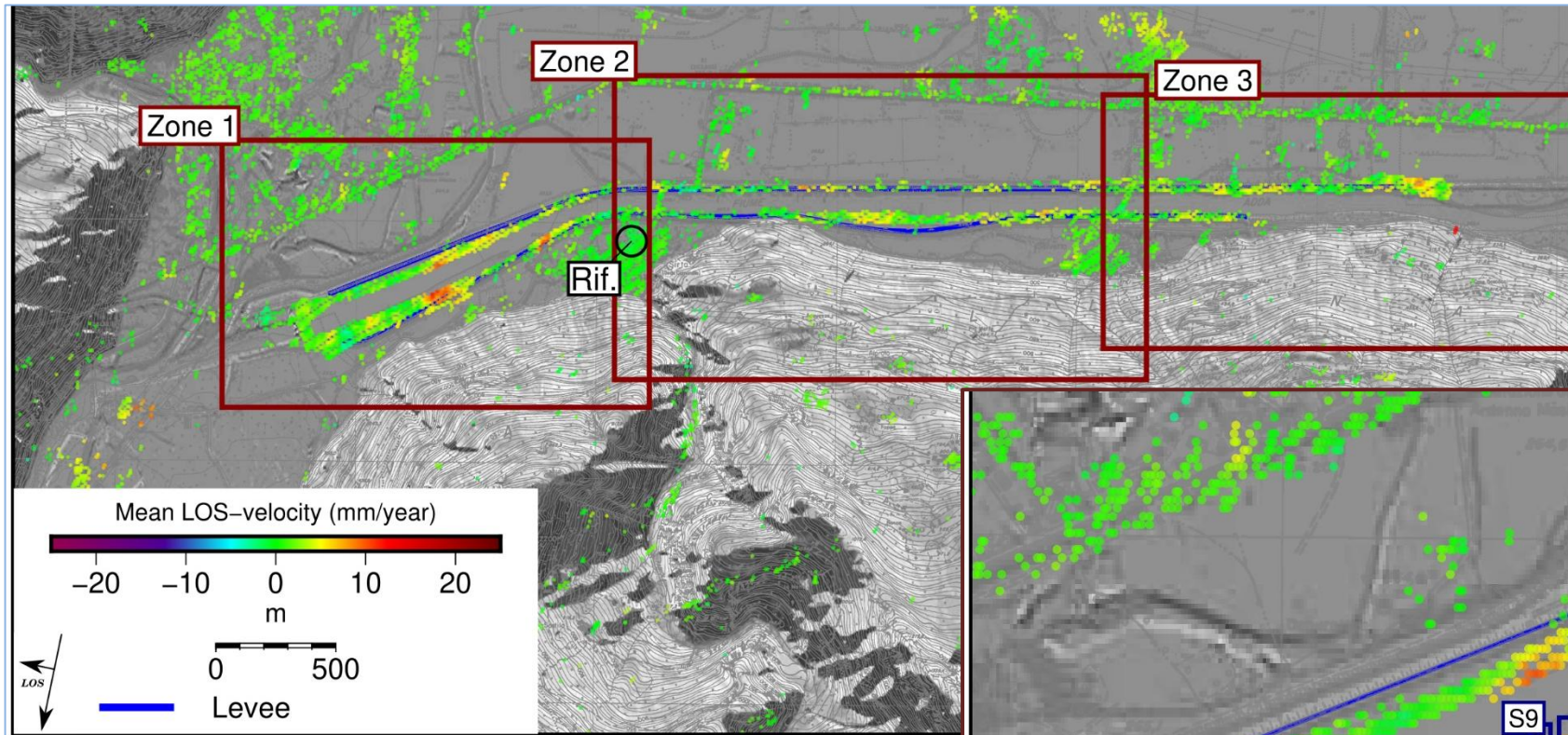
Casi applicativi: gli argini di Ardenno (SO)



Sopralluogo fondamentale per comprendere l'effettiva geometria degli argini e riconoscerla nelle immagini SAR

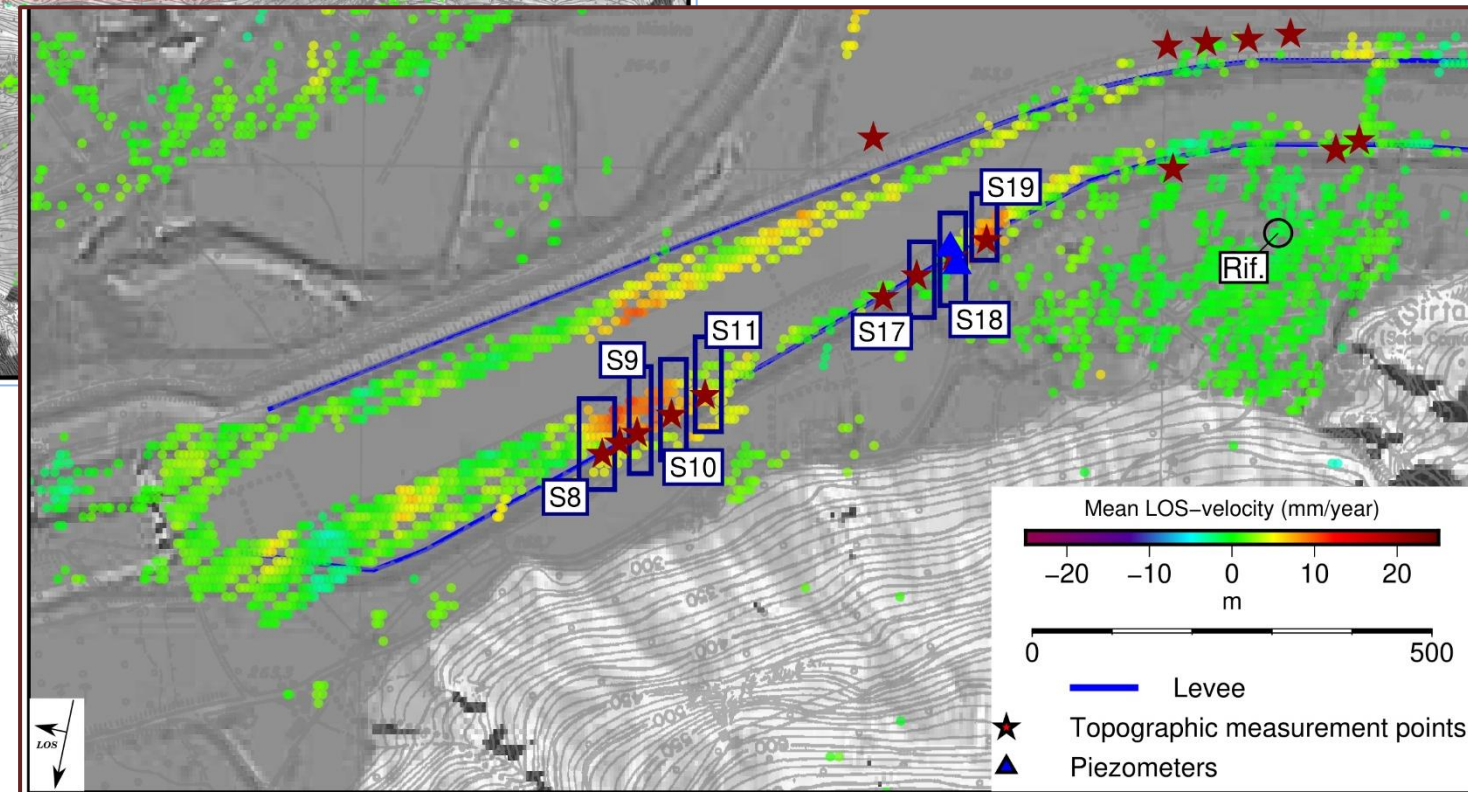


Casi applicativi: gli argini di Ardenno (SO)



Risultati analisi multi-temporale

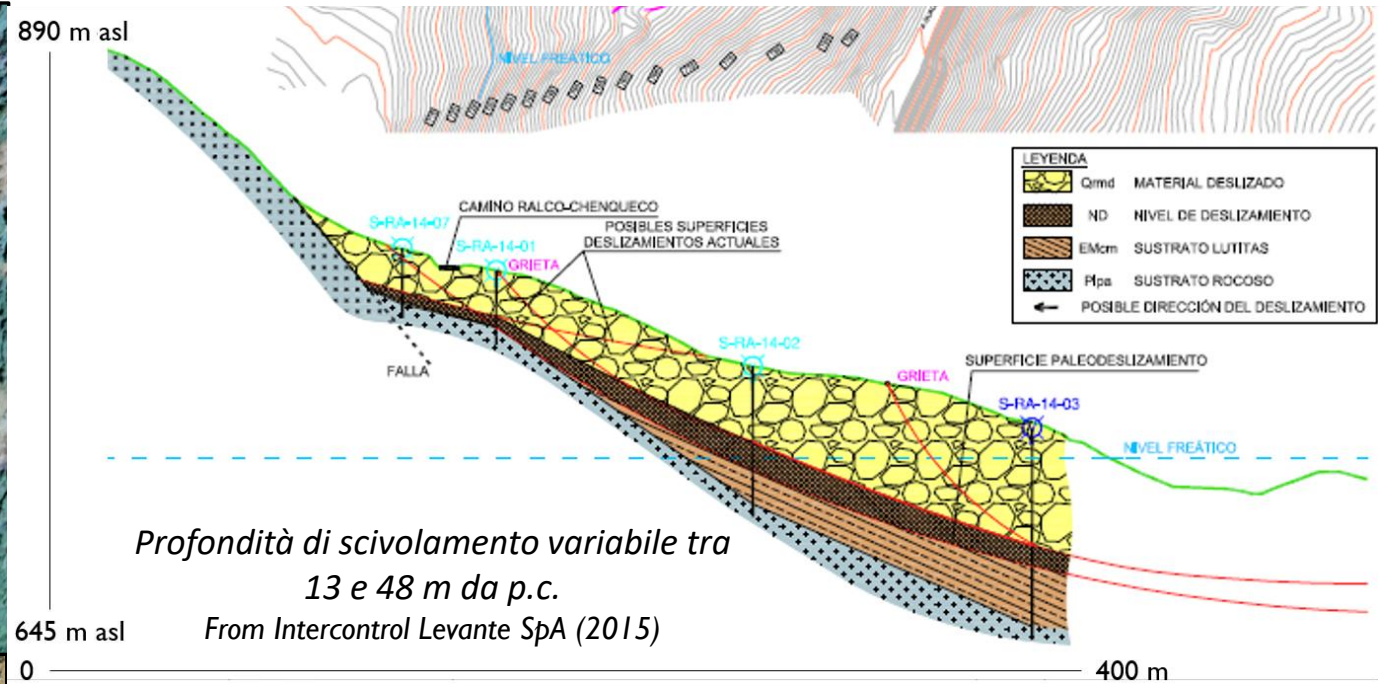
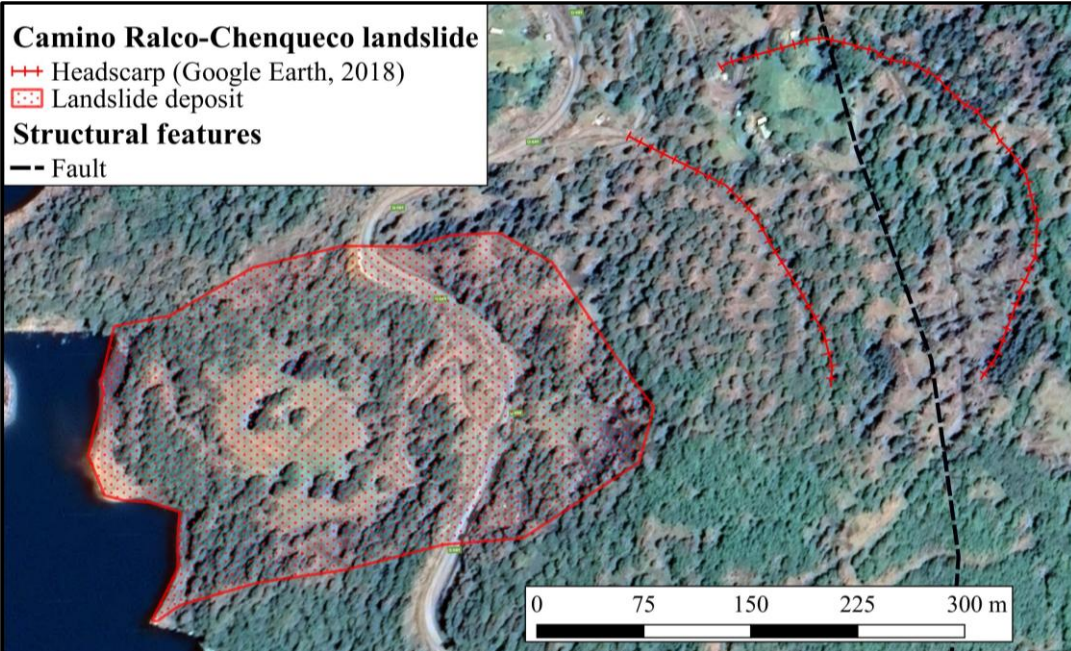
- Elevata densità riflettori stabili
- Evidenziati limitati tratti arginali soggetti a debole cedimento
- Tassi di spostamento ridotti, confrontabili con rilievi topografici



Casi applicativi: la frana di Ralco (Chile)



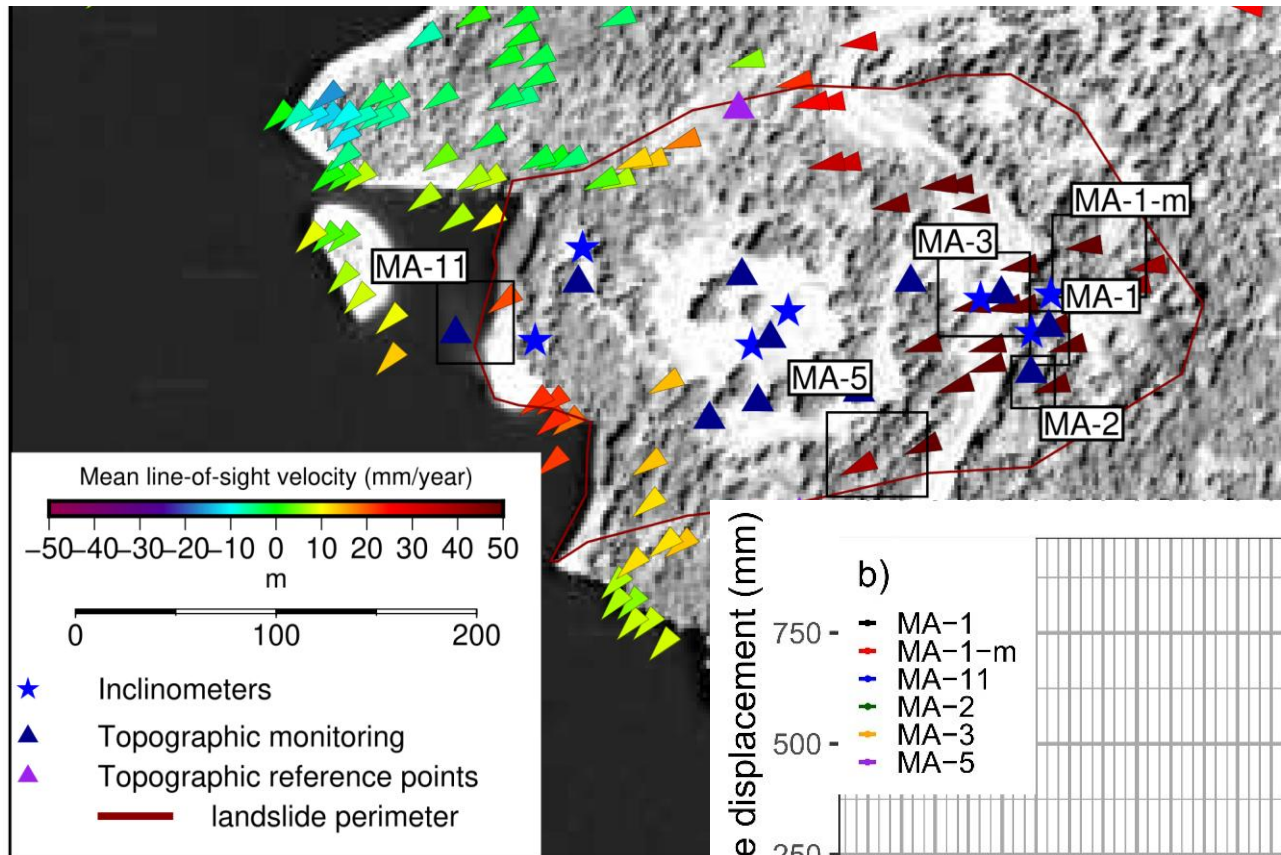
— Fault



From Intercontrol Levante SpA (2015)



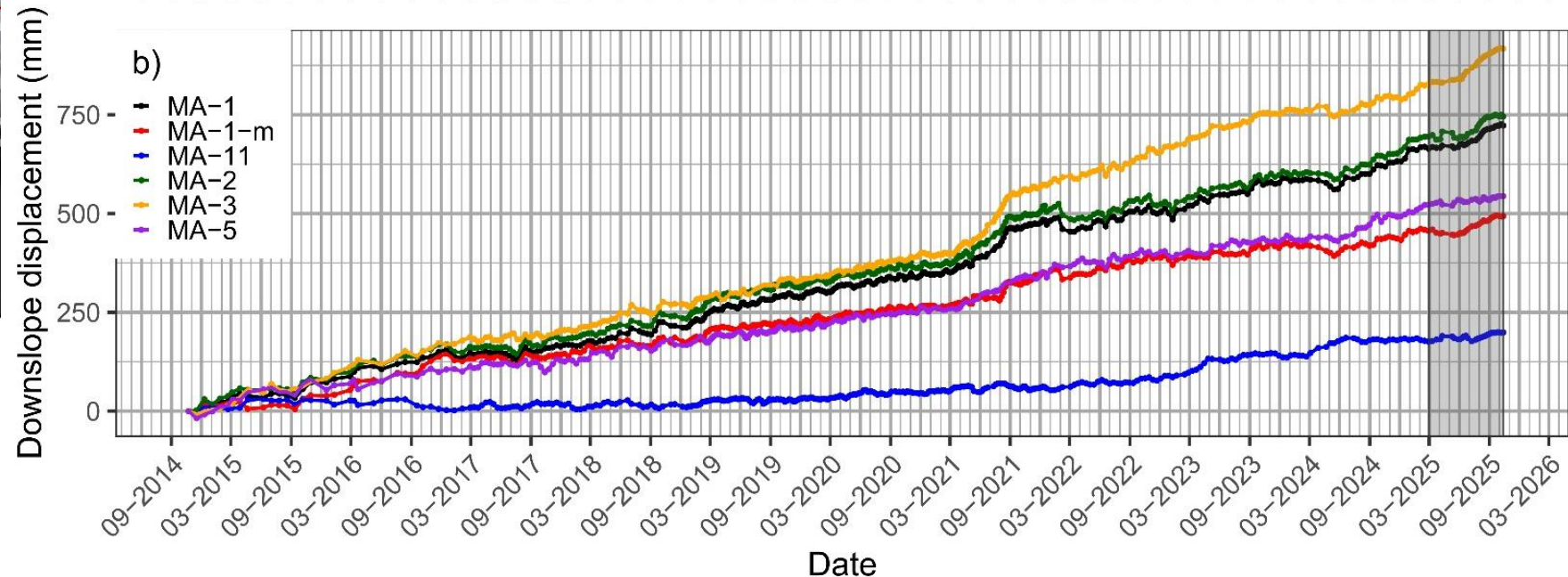
Frana sismo-indotta il 31/12/2006, riattivazioni periodiche per precipitazioni intense e rapido scioglimento della neve



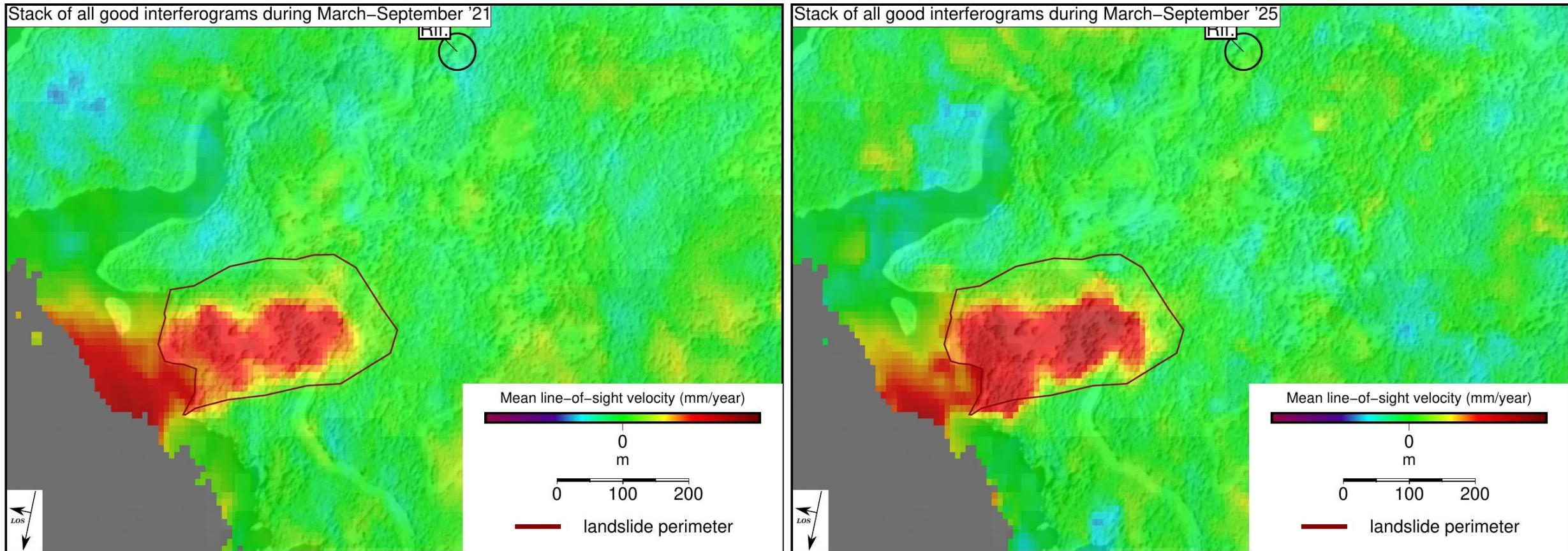
Attualmente monitorata con letture GPS periodiche

Risultati analisi InSAR multi-temporale

- Numerosi riflettori in prossimità della strada, alcuni al piede della frana
- Due chiare fasi di accelerazione: marzo-settembre '21 e marzo-settembre '25

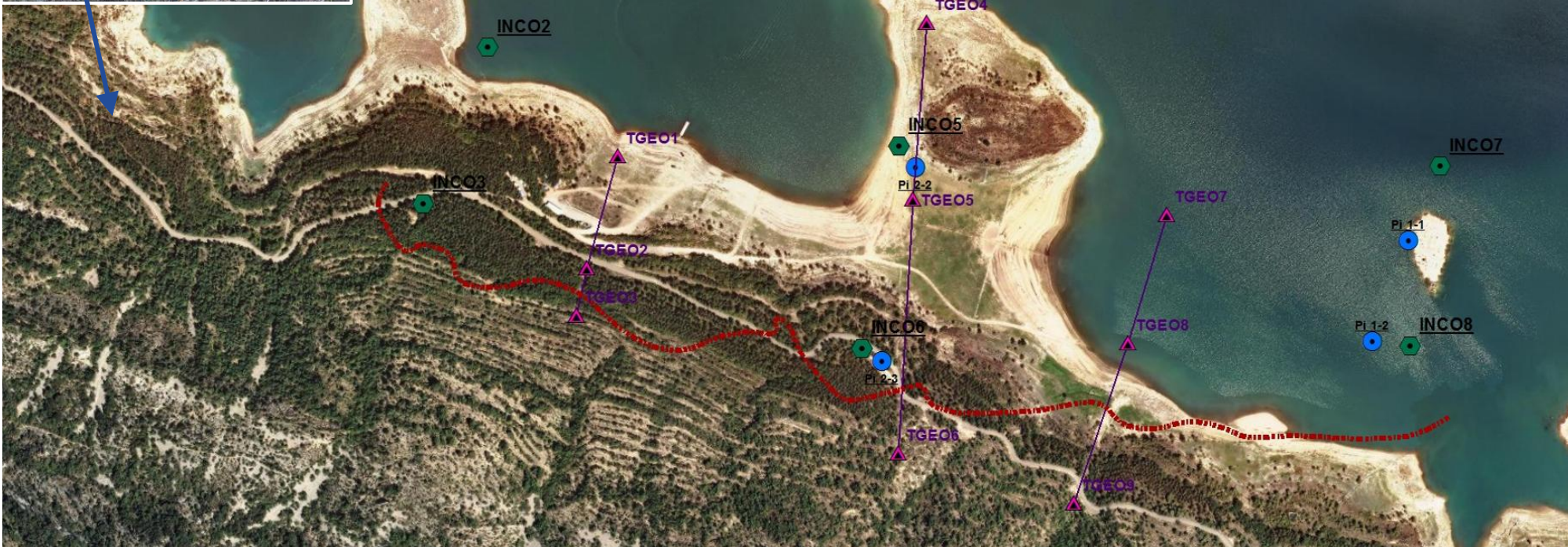


Risultati analisi InSAR tradizionale



Informazioni di spostamento anche in corrispondenza della parte centrale del corpo di frana su cui non ci sono riflettori stabili

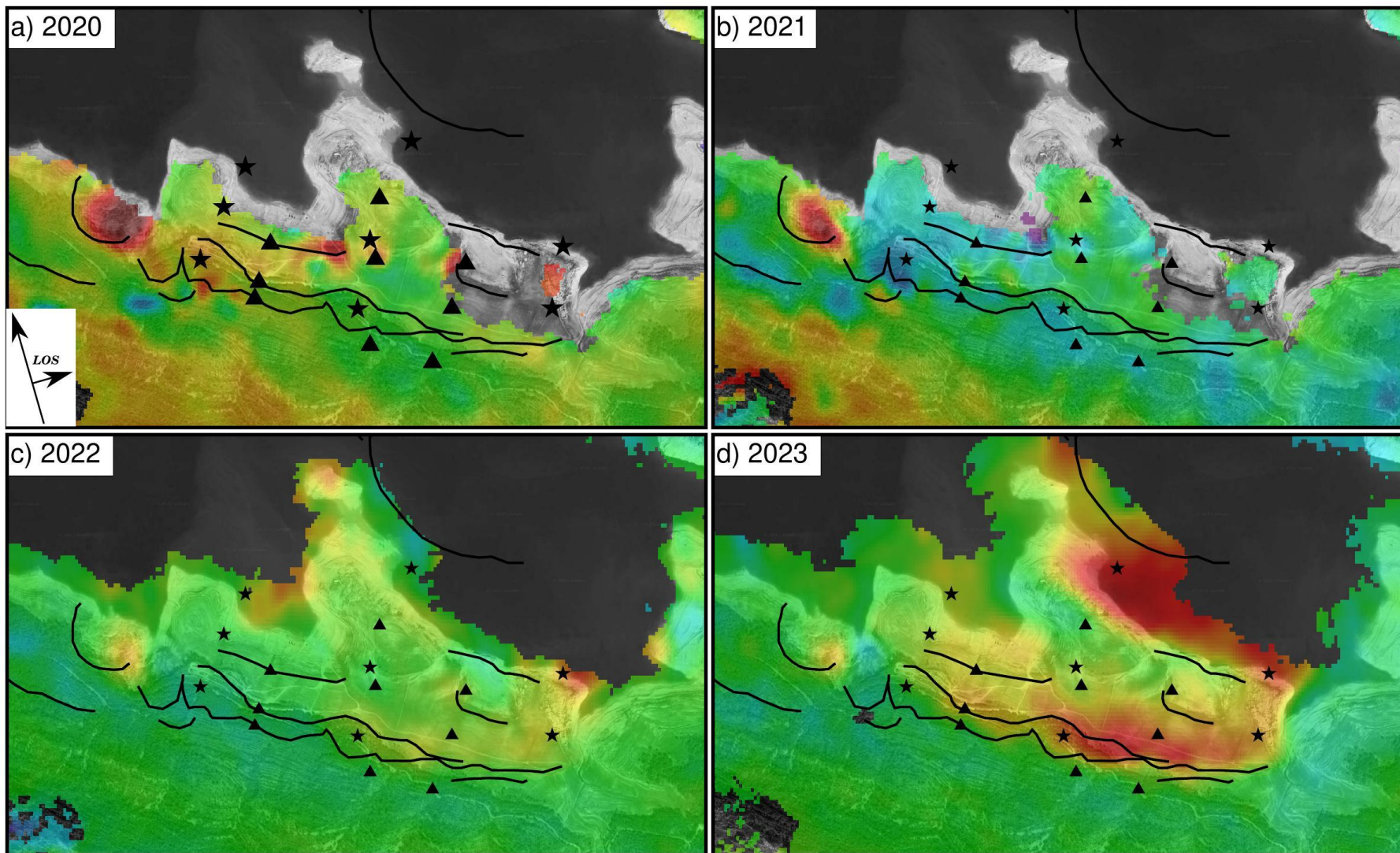
Casi applicativi: la frana di Canelles (Spagna)



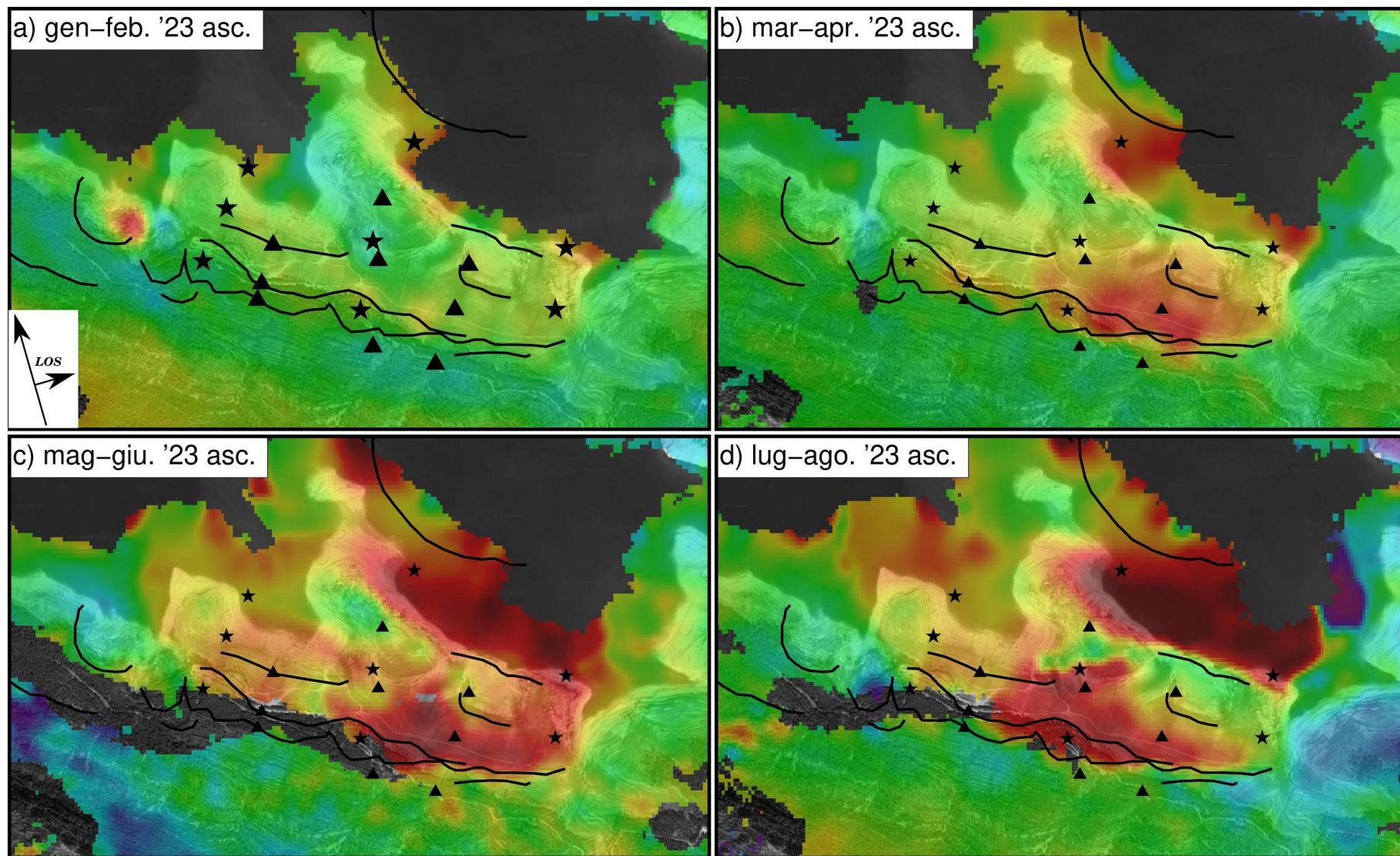
- Nel 2006, a seguito del rapido svasso, rilevata frattura nella parte alta del versante.
- Monitoraggio a terra complicato anche perché molti strumenti sono periodicamente sommersi
- Nel 2023 riattivazione



Risultati analisi InSAR tradizionale

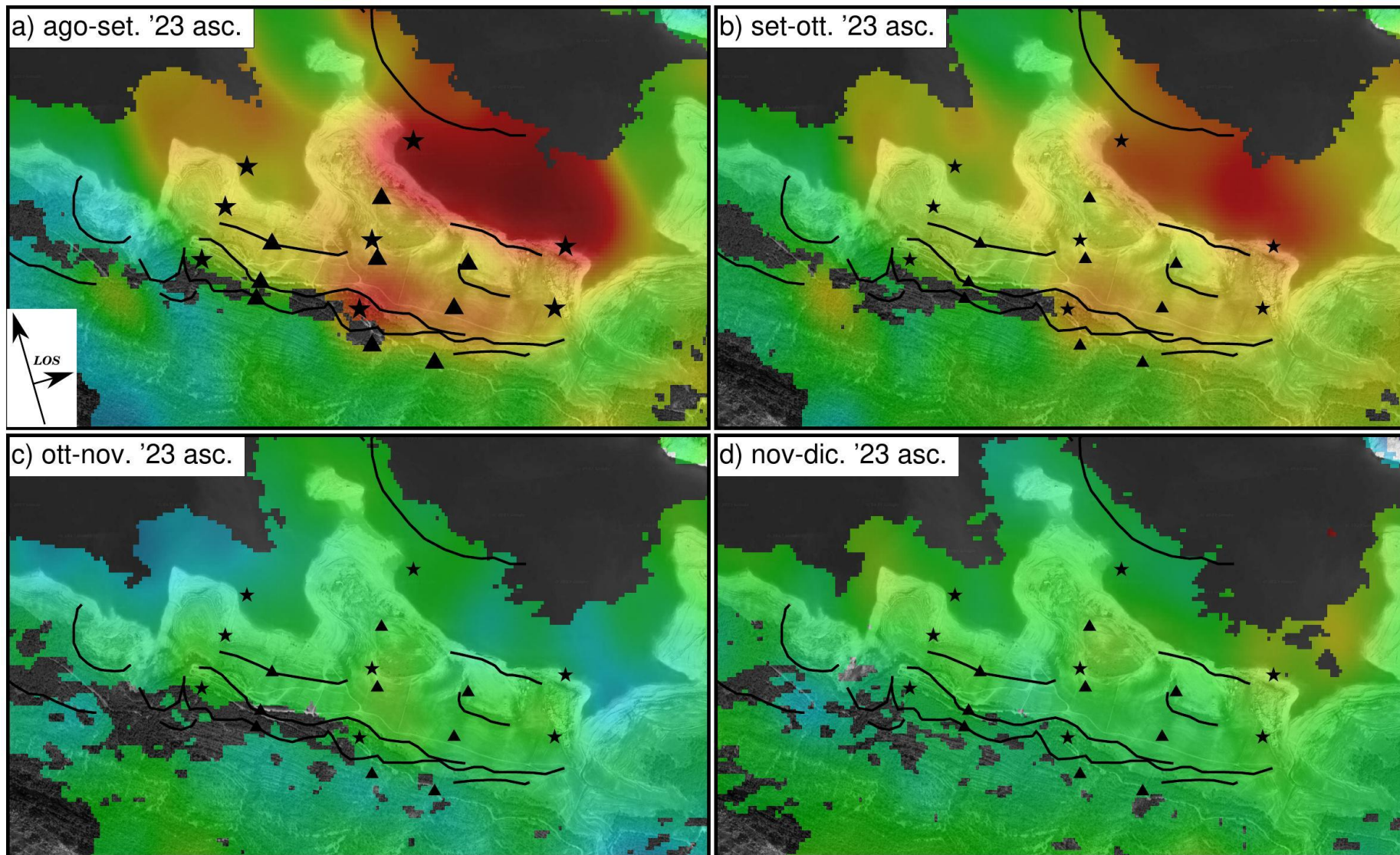


Risultati analisi InSAR tradizionale



Stack bimestrali

Casi applicativi: la frana di Canelles (Spagna)

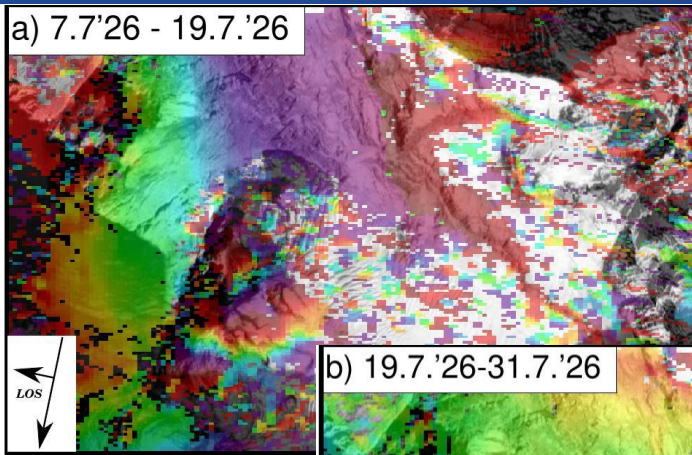


- L'InSAR è l'unico strumento che consente di ricostruire il passato ed offre un'imbattibile copertura spaziale
- La tecnica può efficacemente integrare i dati di monitoraggio a terra
- Ogni sito/infrastruttura è peculiare: per ottimizzare l'informazione telerilevata servono analisi sito-specifiche
- Nuovi sistemi satellitari (es. NISAR in banda L) permetteranno di ottenere informazioni sempre più dettagliate in aree vegetate

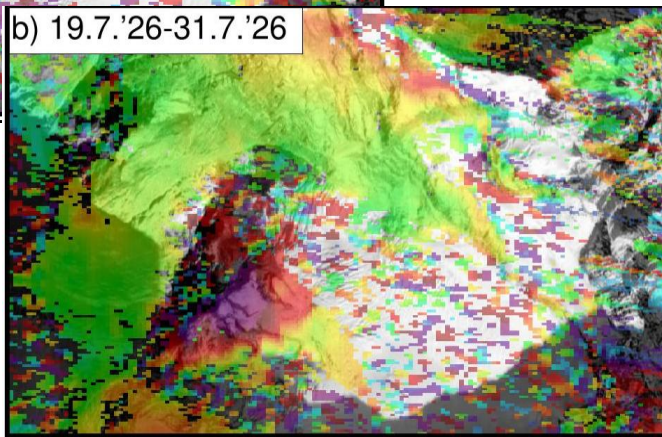
Evento alluvionale Nepal, agosto 2026



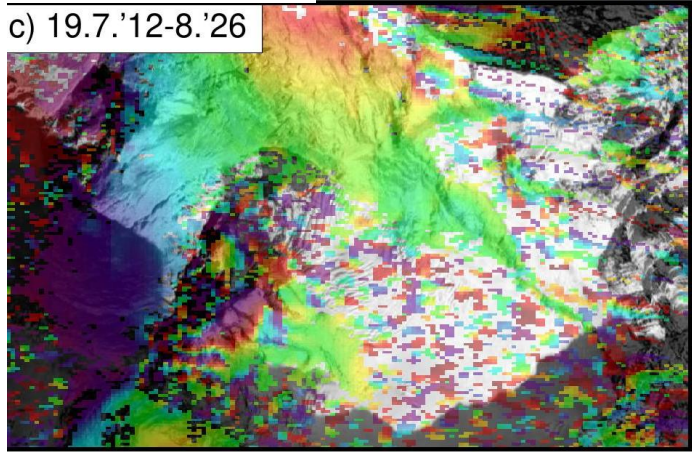
a) 7.7.'26 - 19.7.'26



b) 19.7.'26-31.7.'26



c) 19.7.'12-8.'26



d) Stack Gennaio -Agosto '26

