

Scarti Minerari: da rifiuto a risorsa

6/7 Ottobre 2022, Stava di Tesero (TN), Italy

Monitoraggio satellitare delle discariche di miniera



Giulia Tessari
giulia.tessari@sarmap.ch

Perché monitorare i siti minerari dallo spazio?

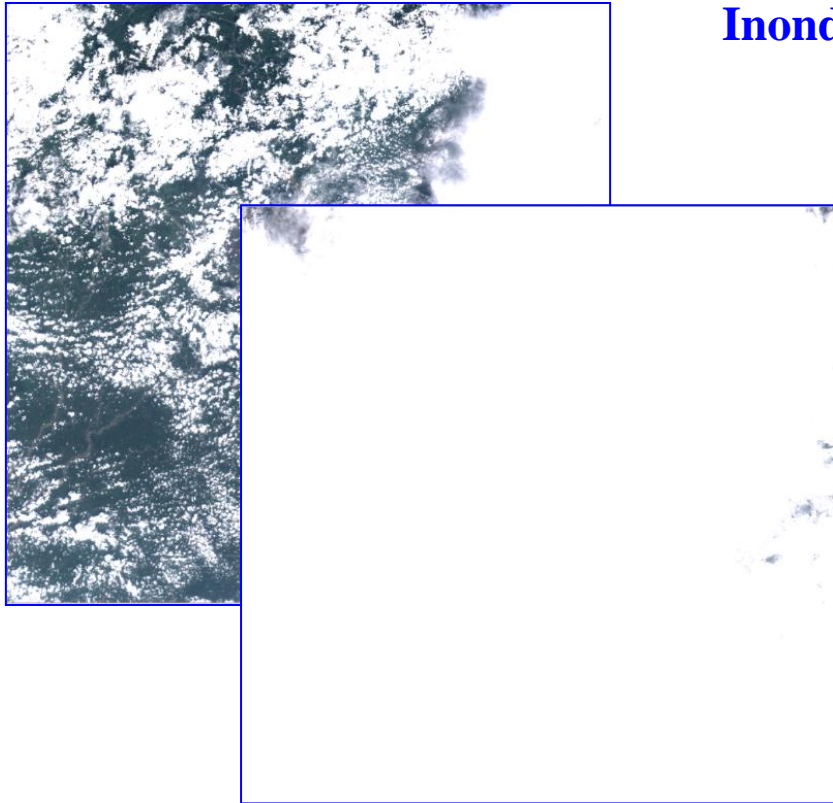
Lo scopo della presentazione è evidenziare il potenziale delle tecniche di analisi interferometrica multi-temporale di dati Radar ad Apertura Sintetica (SAR) al fine di monitorare siti minerari, con particolare attenzione alle discariche di miniera, supportando le tradizionali tecniche di monitoraggio.



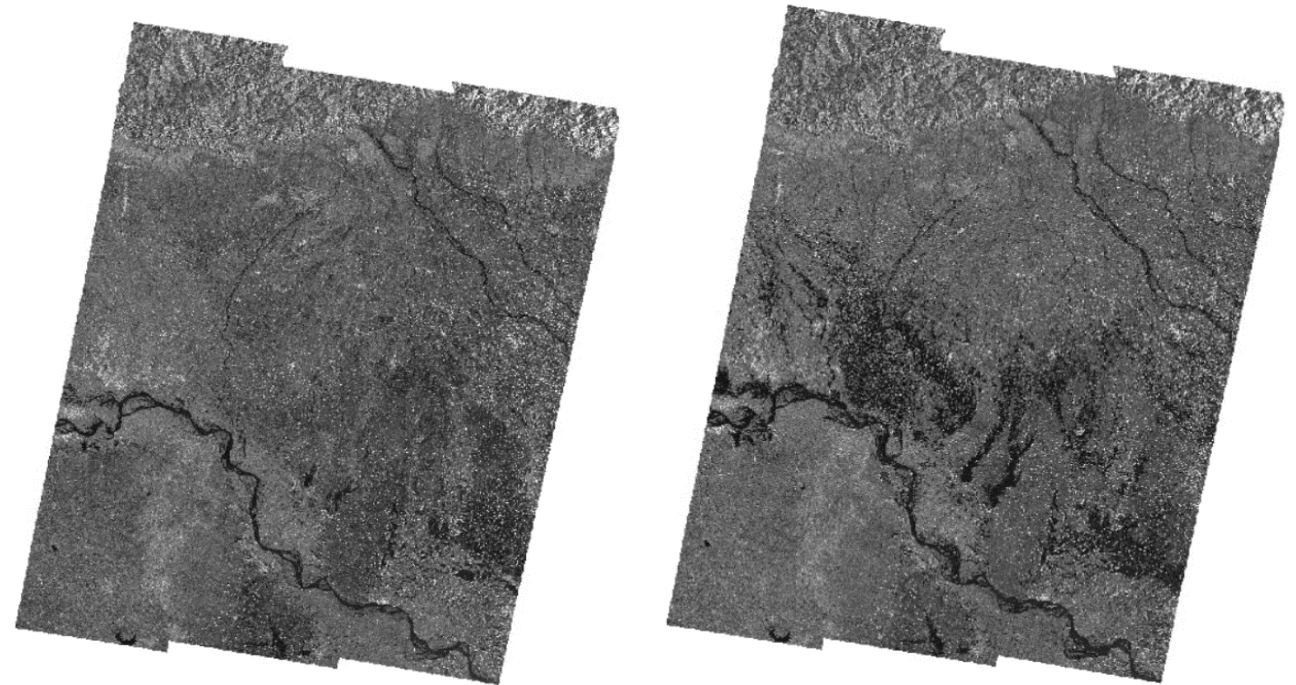


Perchè utilizzare dati RADAR ad Apertura Sintetica (SAR)?

Dati Ottici VS Dati RADAR ad Apertura Sintetica (SAR)

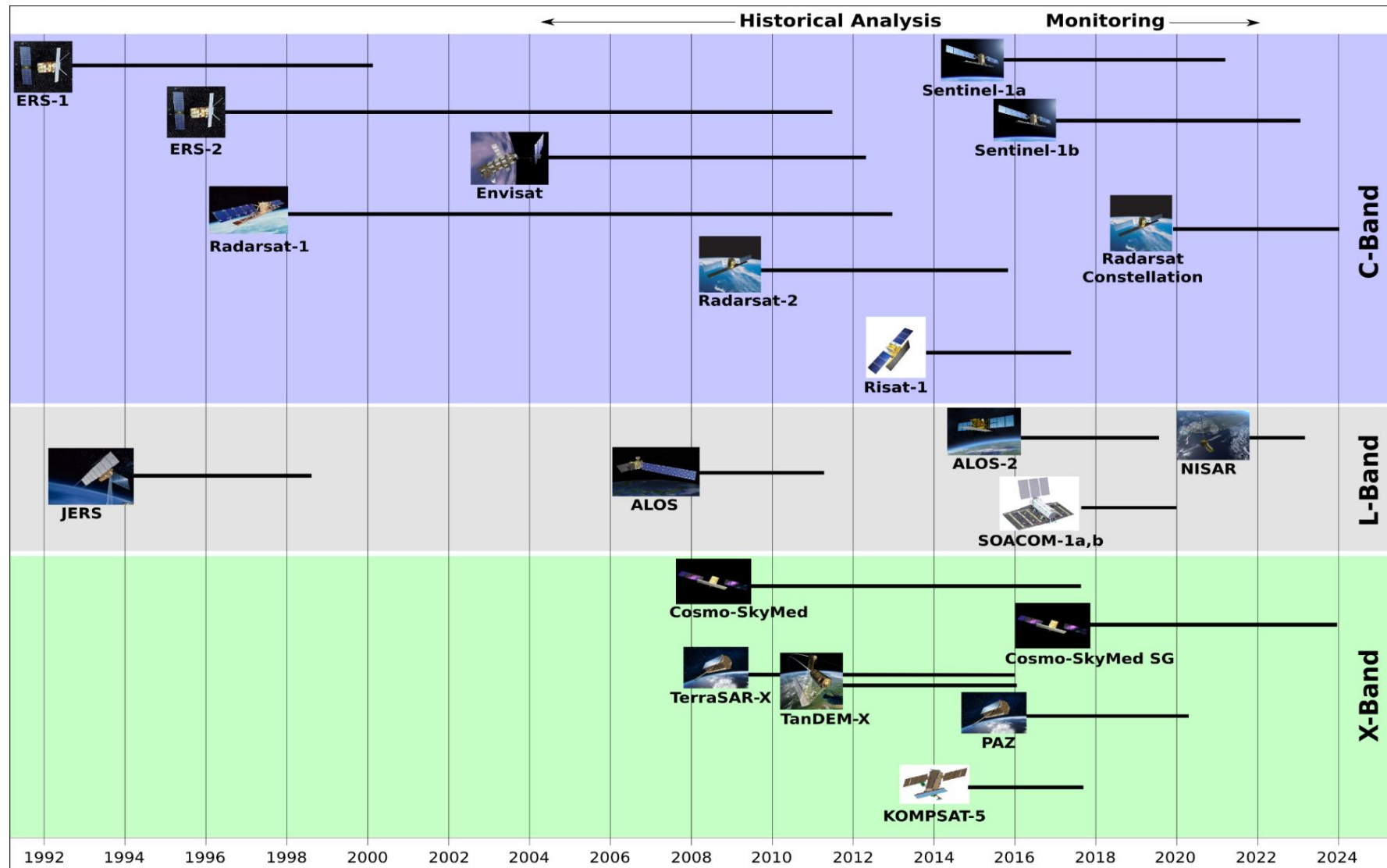


Inondazione in India (Bihar, 2017)



Perchè utilizzare dati RADAR ad Apertura Sintetica (SAR)?

Missioni SAR Satellitari

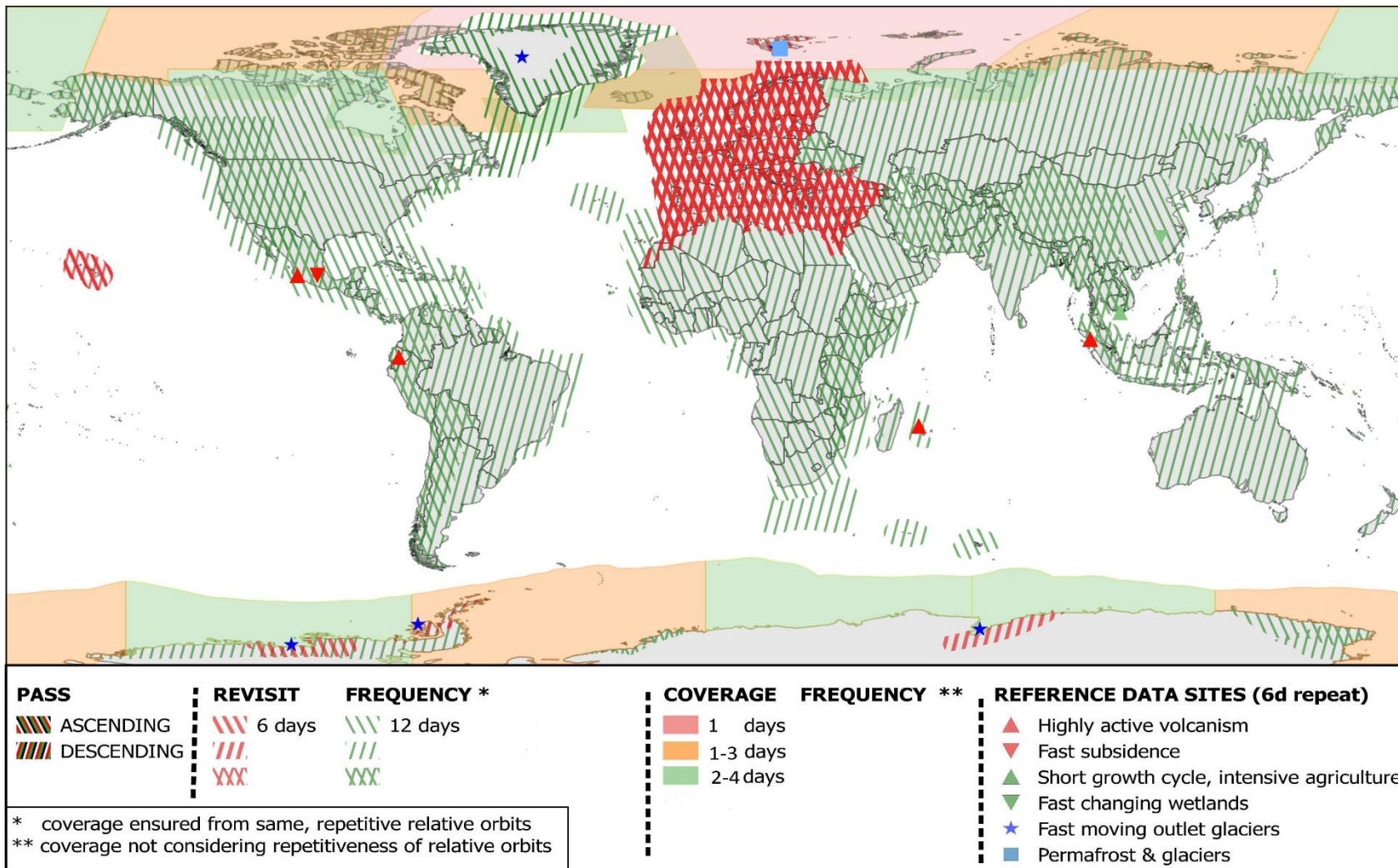


Perchè utilizzare dati SAR?

Sentinel-1 Constellation Observation Scenario: Revisit & Coverage Frequency



validity start: 05/2017



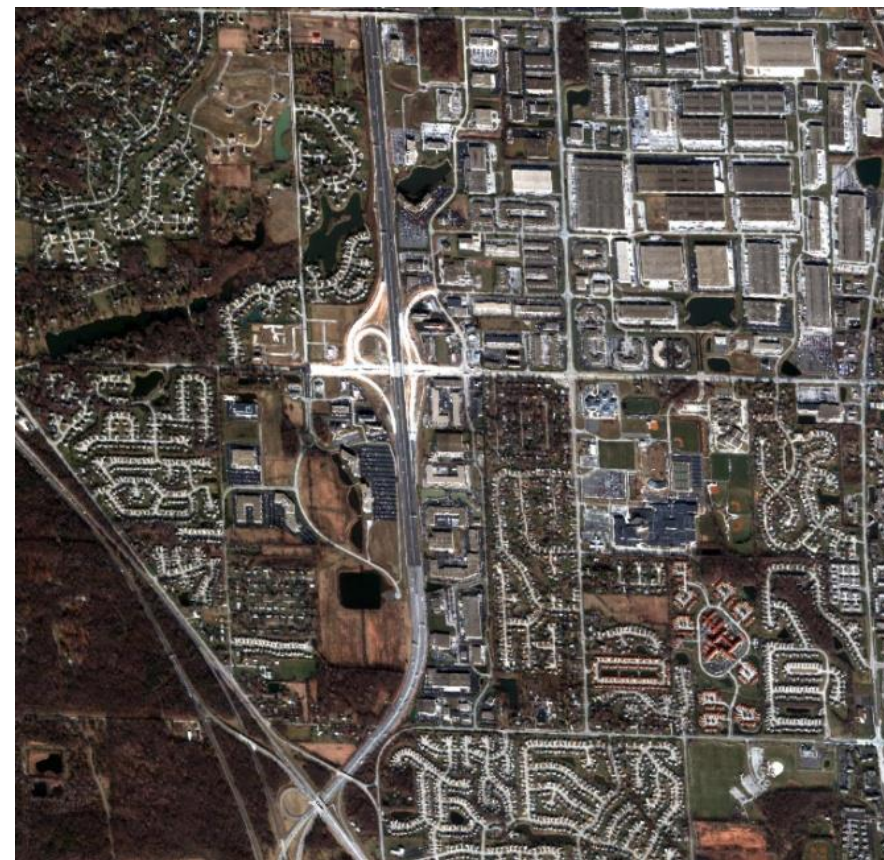
Perchè utilizzare dati SAR?

Dati Ottici versus Dati SAR



TerraSAR-X -Indianapolis

07/01/ 2007



QuickBird - Indianapolis

07/01/ 2007

L'interferometria RADAR Differenziale

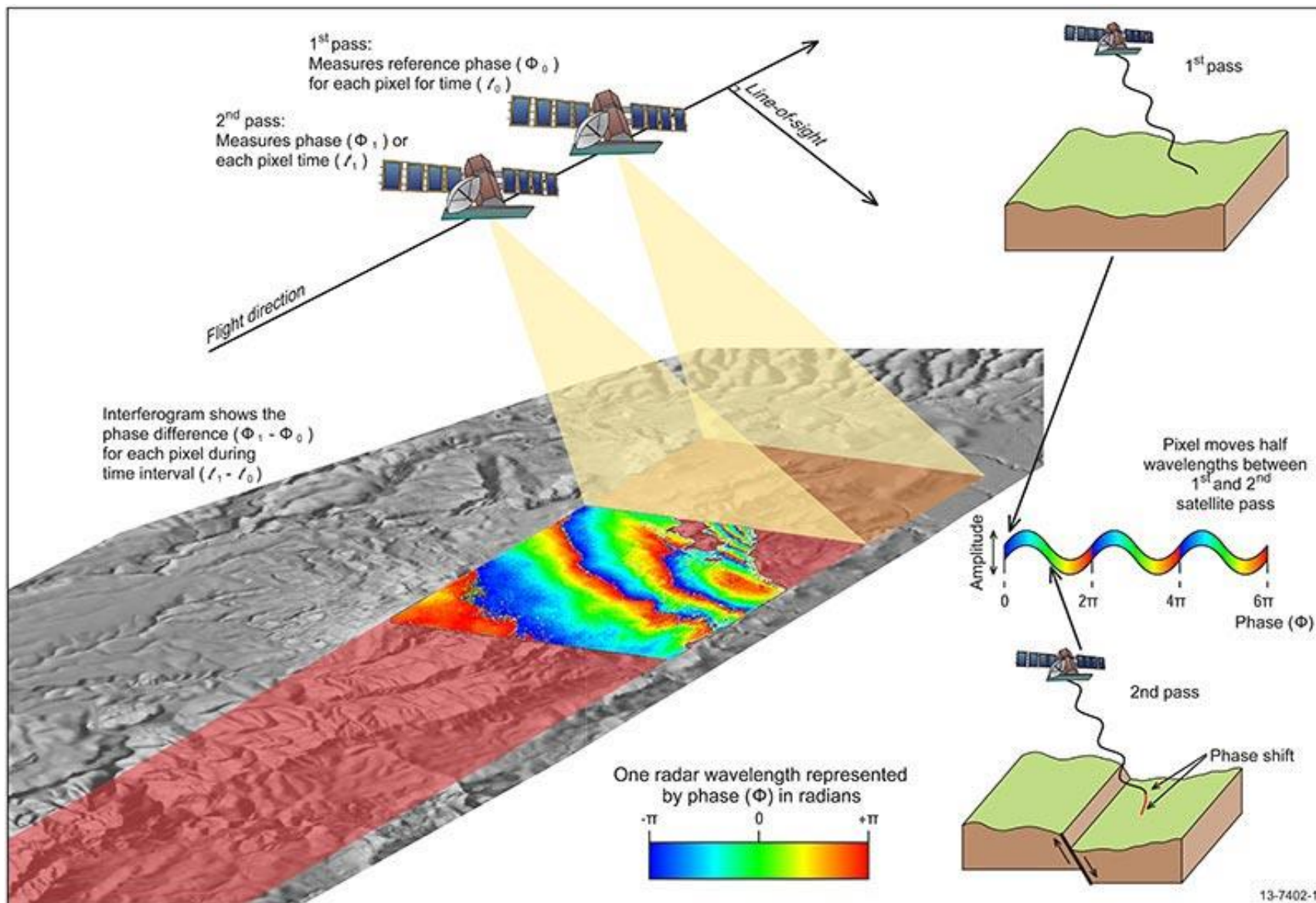
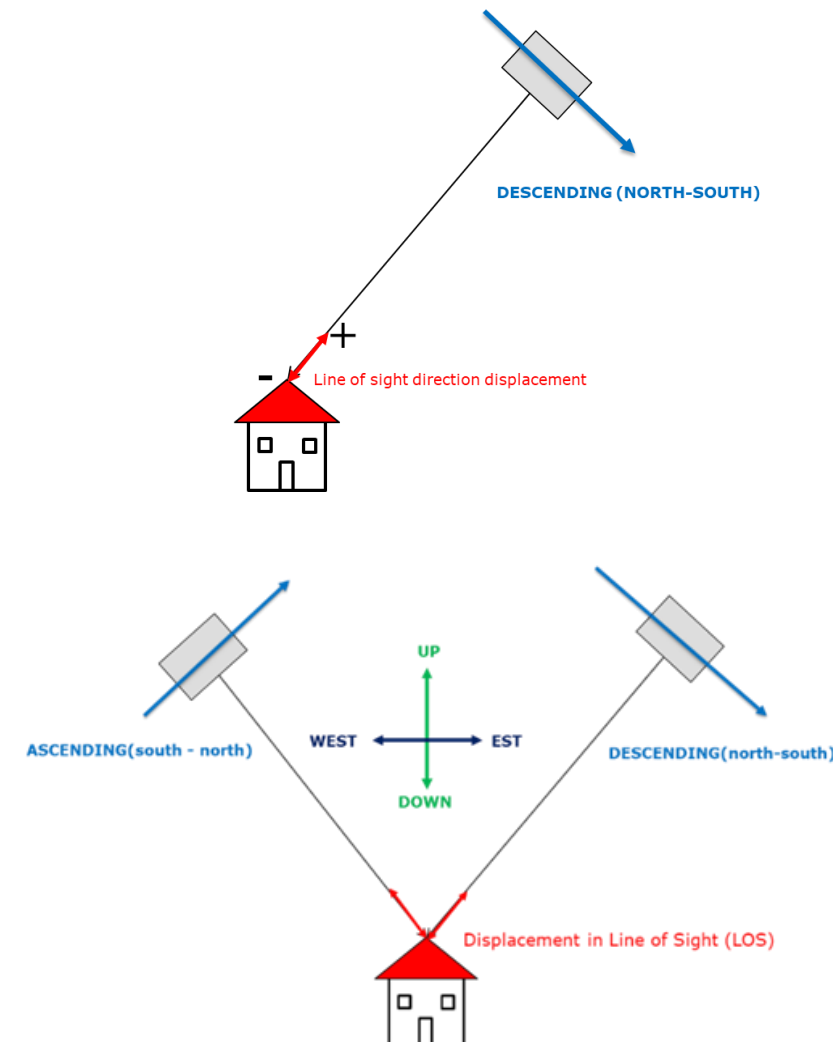
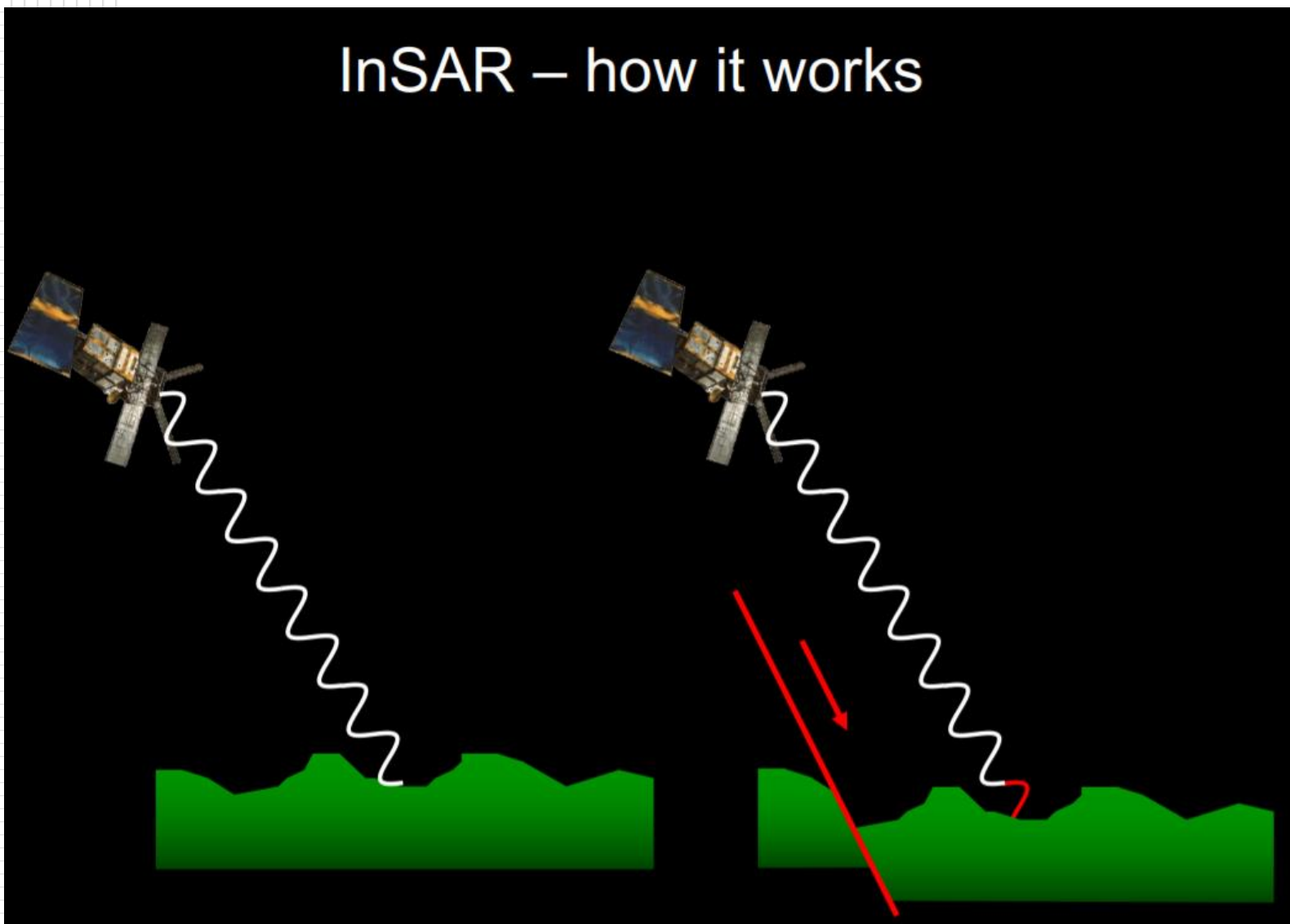


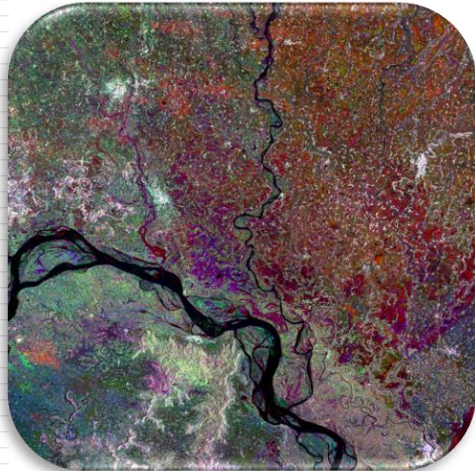
Image: Geoscience Australia

L'interferometria radar satellitare (InSAR)

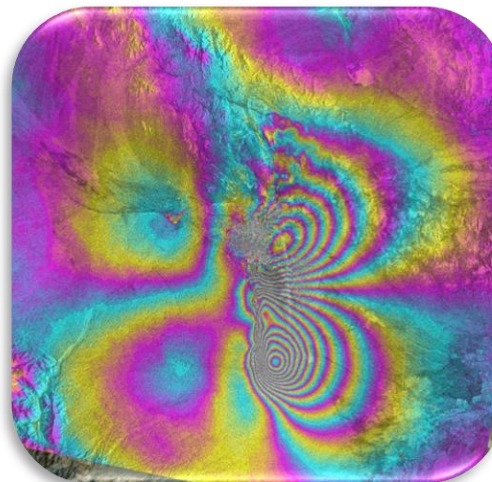
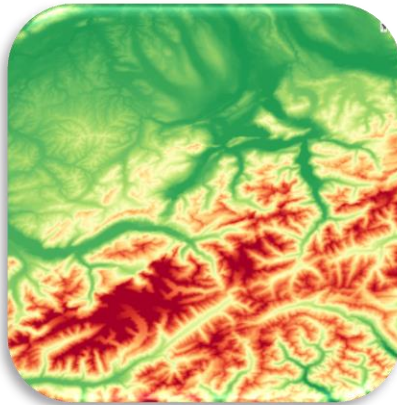
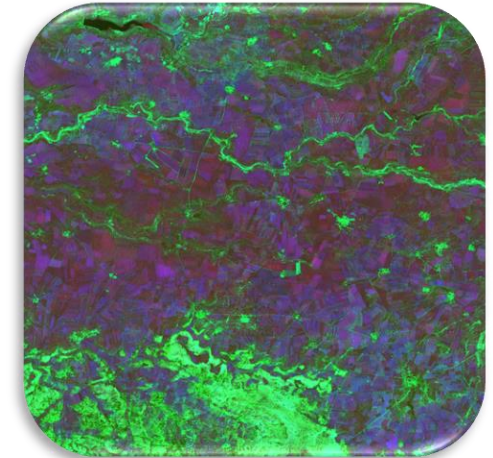
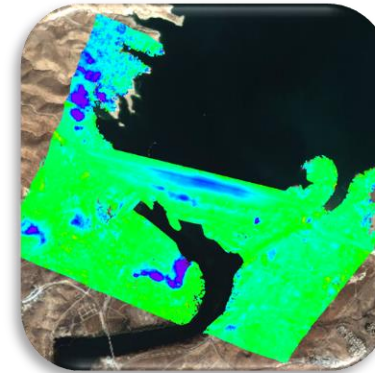
InSAR – how it works



Principali Applicazioni

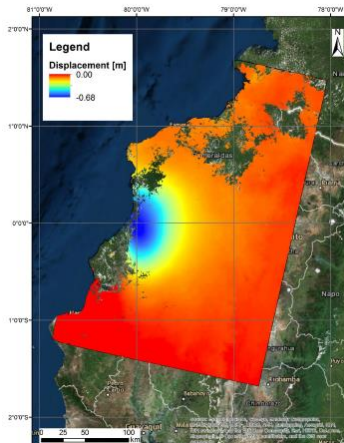


- Disastri Naturali
- Topografia – Modelli Digitali del Terreno
- Deformazioni del terreno
- Monitoraggio di infrastrutture
- Agricoltura
- Difesa e sicurezza
- Detezione di target

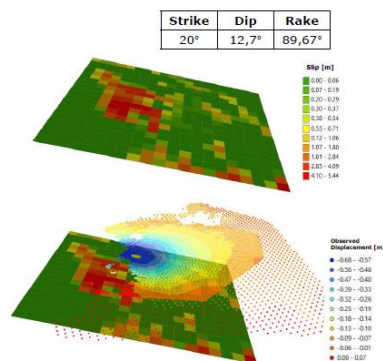


- Siti estattivi di gas e petrolio
- Deforestazione ed incendi
- Neve e ghiacciai
- Frane
- Subsidenza
- Monitoraggio costiero
- ...

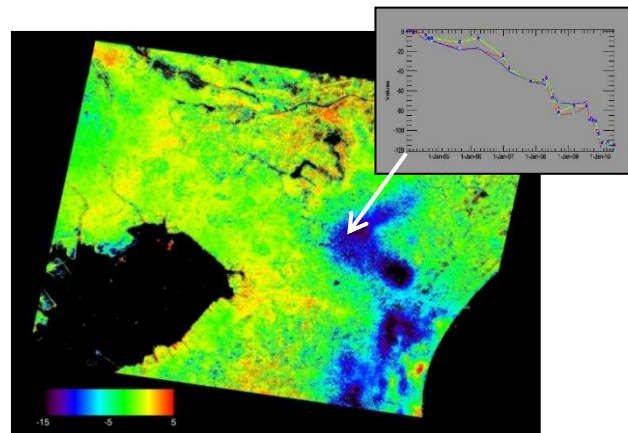
Monitoraggio di deformazioni del terreno e modellazione



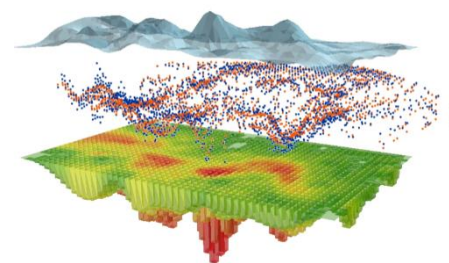
Mappa di deformazioni indotte del terremoto in Ecuador di Aprile 2016



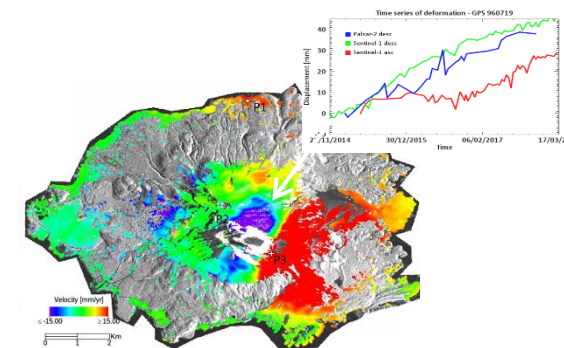
Modello della sorgente stimato da dati SAR



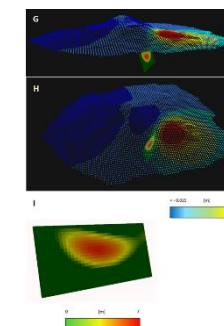
Spostamento e serie storiche di deformazione della pianura di Kanto (Giappone) dovute ad estrazioni di gas



Modello della variazione di volume del reservoir stimato da dati SAR



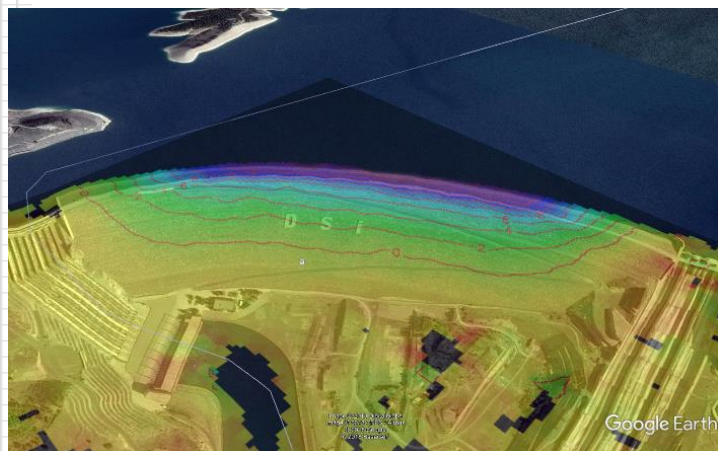
Spostamento e serie storiche di deformazione del vulcano Sakurajima (Giappone)



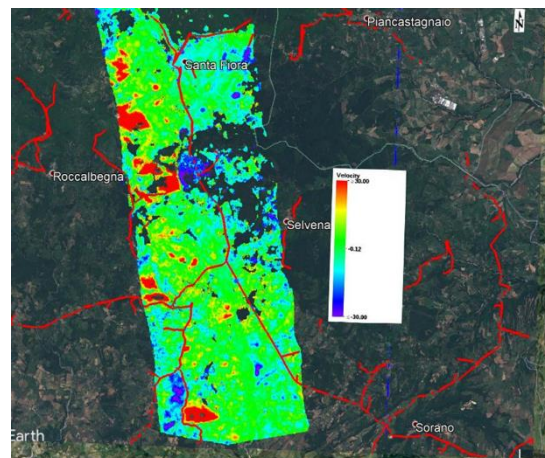
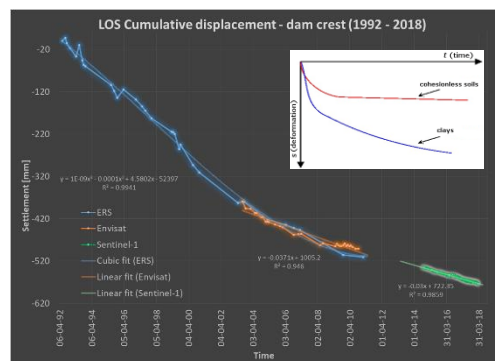
Modello dell'evento eruttivo del 2015 stimato da dati SAR

Le deformazioni del terreno possono essere misurate con un'accuratezza che può raggiungere 2 mm/anno

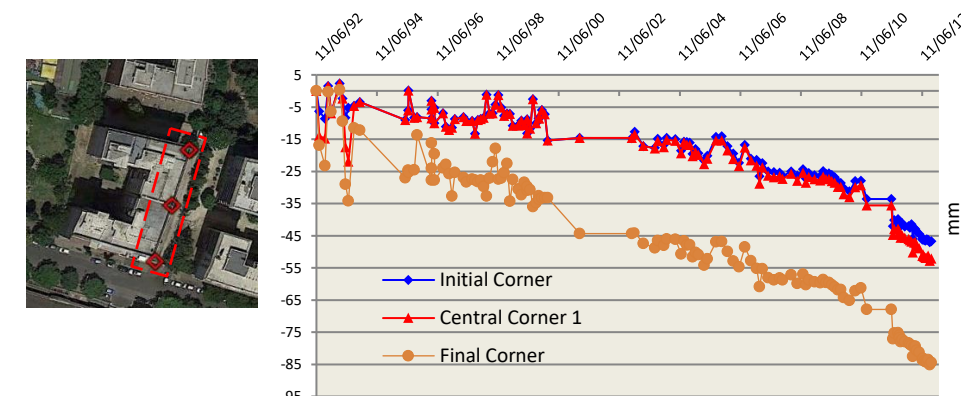
Misure di deformazione su infrastrutture



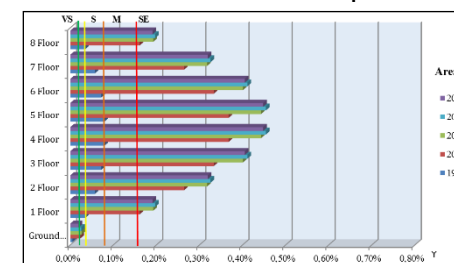
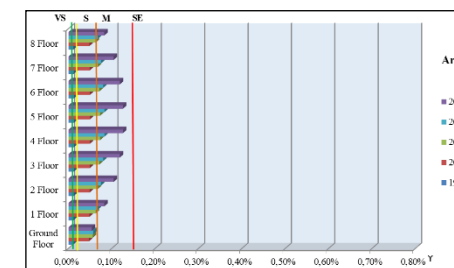
Spostamento e serie storiche di deformazione della diga di Atatürk



Deformazione del terreno dovute a frane che interessa delle condotte acquedottistiche

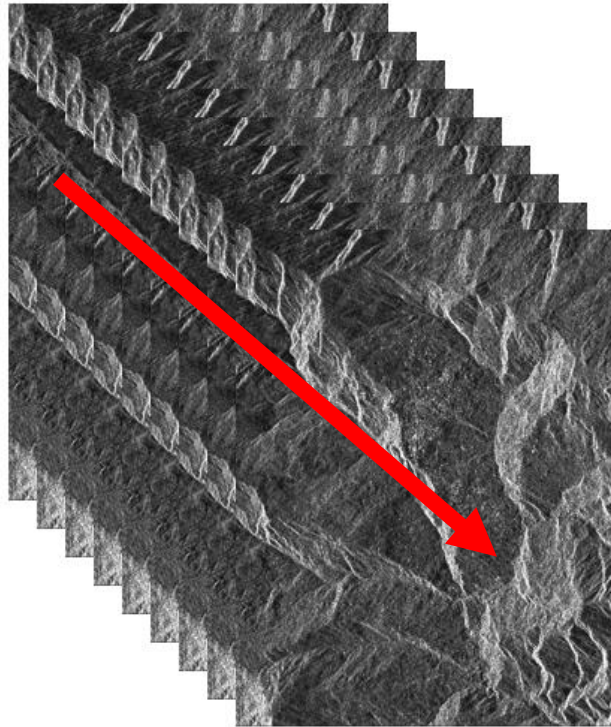


Serie storiche di spostamento di alcuni edifici di Roma interessati da subsidenza



Metodi – Tecniche Interferometriche multi-temporali

$$\phi_{Int} = \phi_{Topography} + \phi_{Change} + \phi_{Movement} + \phi_{Atmosphere}$$



- Persistent Scatterers (PS)
- Small Baseline Subset (SBAS)

PS	SBAS
Independent, uncorrelated motions	At best spatially correlated motions
Pixelwise continuous time series	Possibility of handling time series with temporal holes
Time interval between two acquisitions limited by displacement rate	Time interval between two acquisitions limited by temporal decorrelation
Very accurate on PS	Slightly less accurate
Linear displacements favoured	Larger variety of parametric models possible. Non-parametric modeling possible

Il crollo della miniera di Cadia Australia

La sito minerario di Cadia

- La sito minerario di Cadia è situato nella valle di Cadia, a circa 20 km a sud della città di Orange, New South Wales, Australia
- Serie di miniere sotterranee e a cielo aperto di oro e di rame
- La miniera è stata sviluppata negli anni '90
- Cadia è la seconda miniera a Cielo aperto piu' grande dell'Australia
- Una delle tailing dams di contenimento del materiale di scarto è collassata il 9 marzo 2018



Serie storica di dati ottici



Serie storica di dati ottici



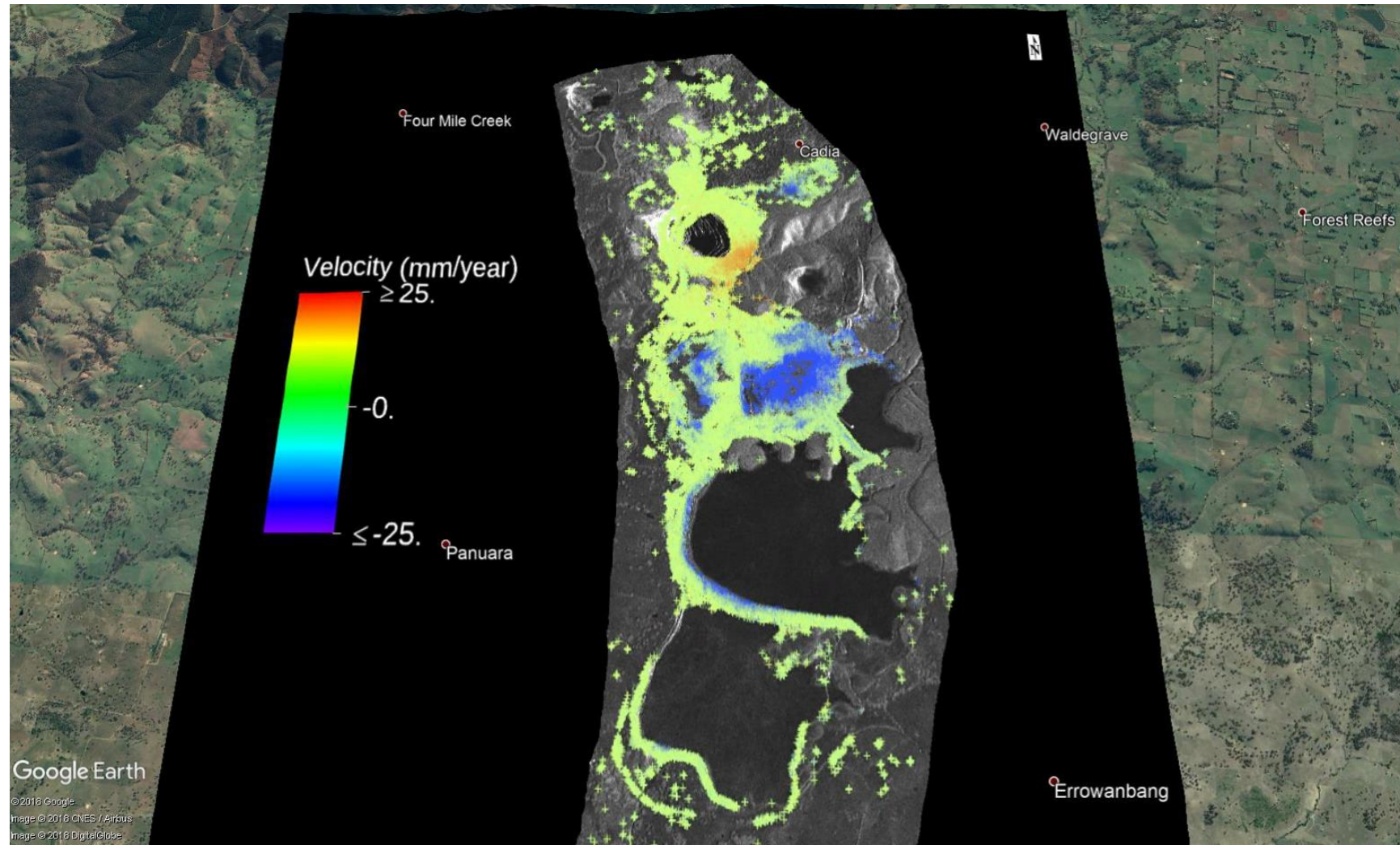
Serie storica di dati SAR



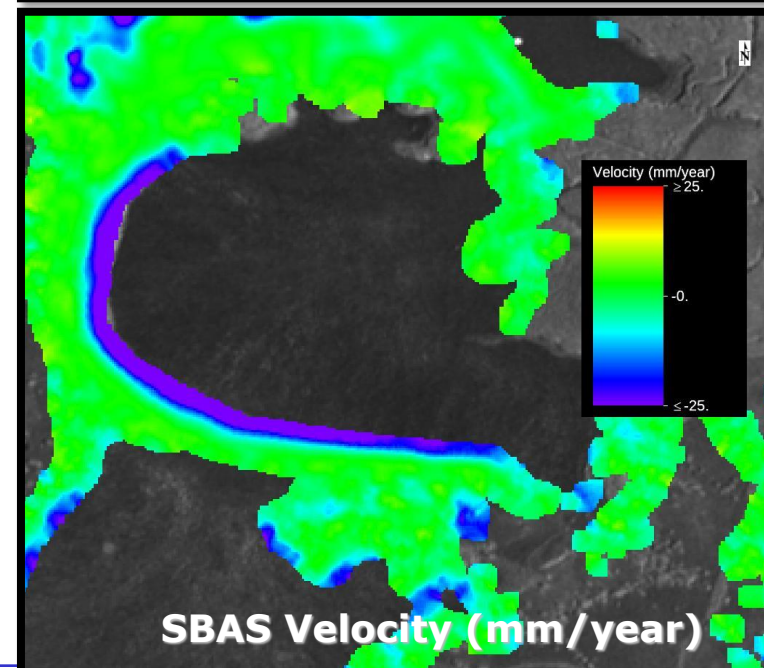
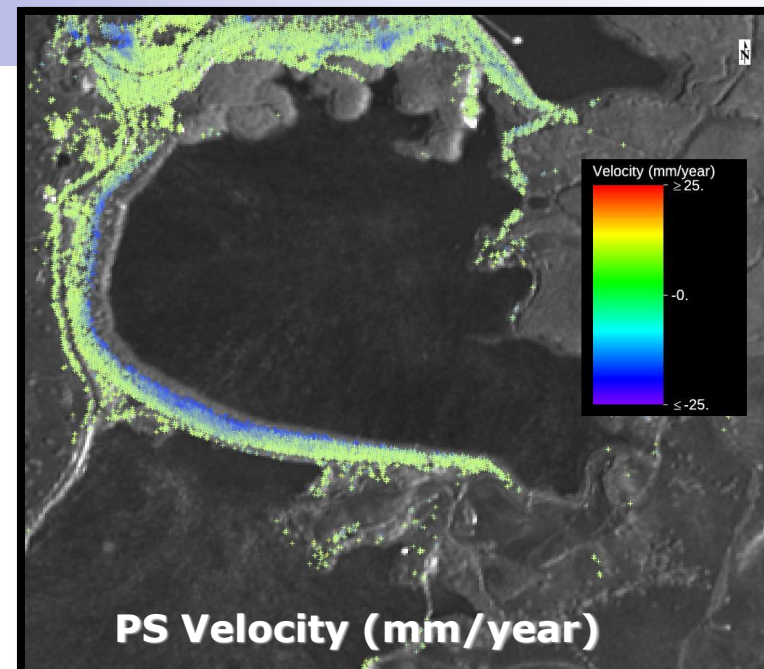
Serie storica di dati SAR



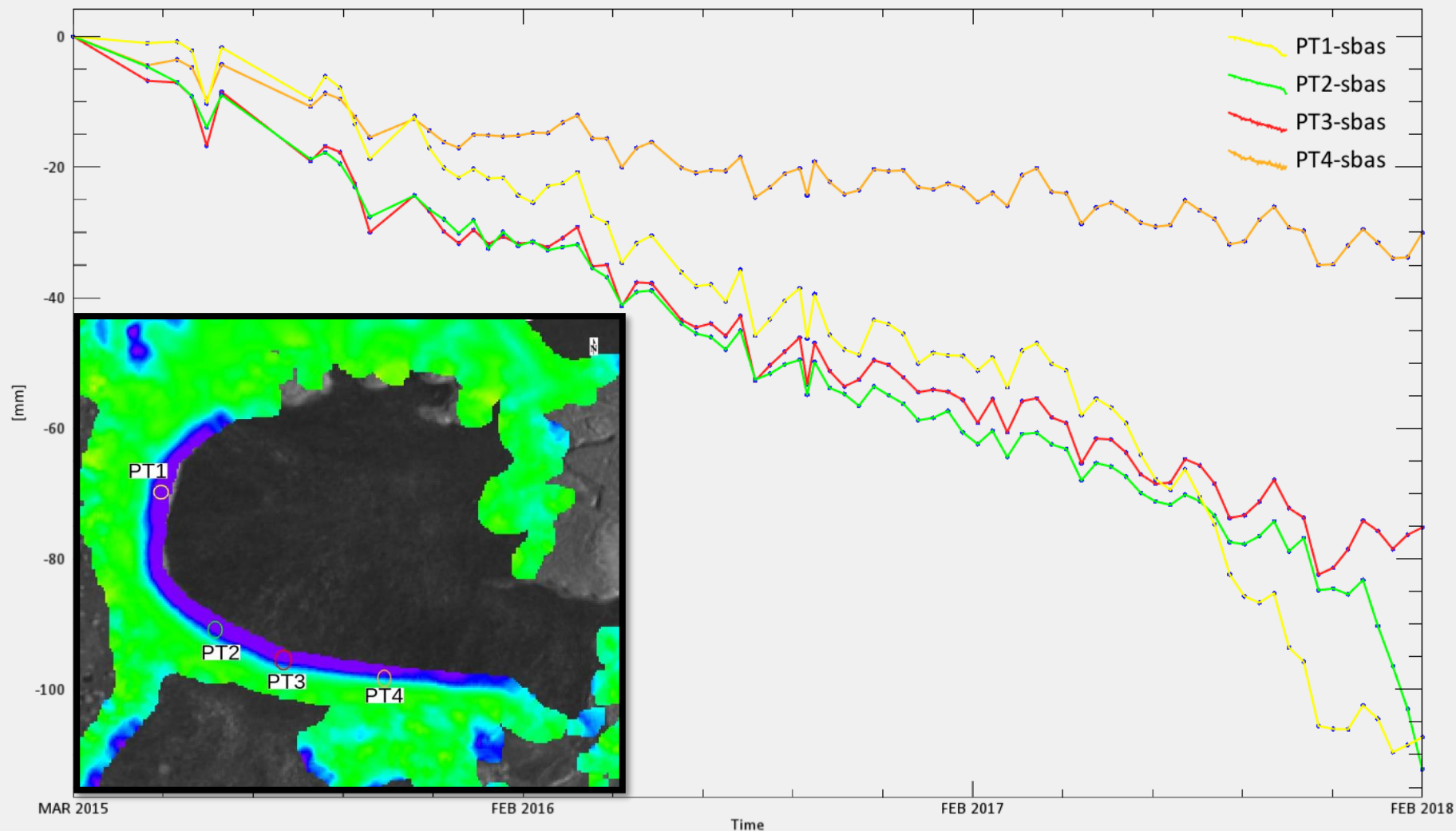
Velocità di deformazione (mm/year) ottenuta con la tecnica PS



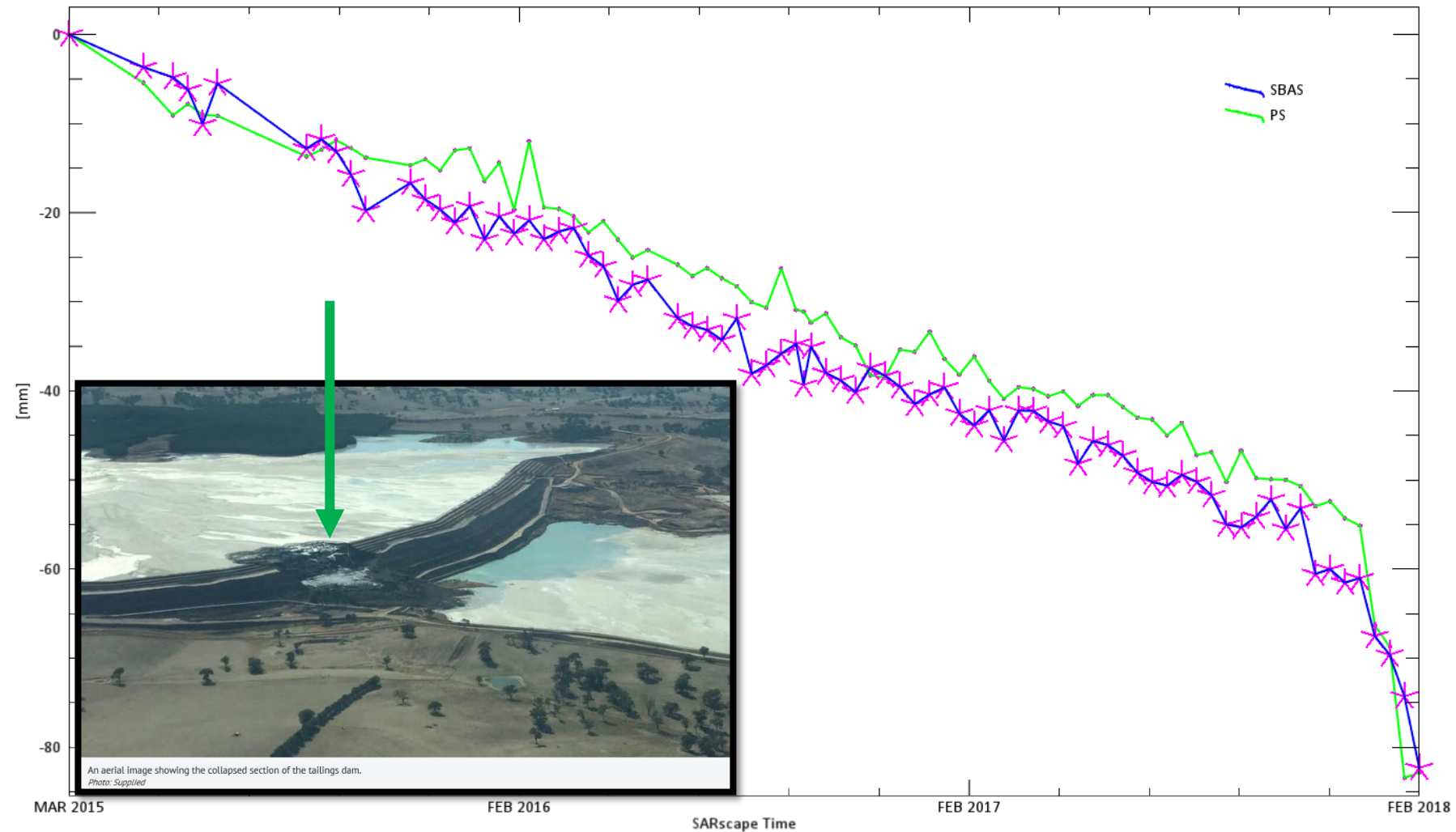
Risultati dell'analisi multi-temporale sulla tailing dam



Serie storiche di spostamenti (mm) ottenute con tecnica SBAS



Confronto delle serie storiche di spostamento su punto soggetto a collasso con tecniche PS ed SBAS (PT-2)



Il collasso della tailing dam Córrego de Feijão a Brumadinho, Brasile

Il collasso della tailing dam Córrego de Feijão a Brumadinho, Brasile

- ❑ Il collasso di un rilevato di contenimento degli scarti minerari è avvenuto il 25 Gennaio 2019
- ❑ 12 milioni di m3 di materiale hanno travolto la caffetteria dove gli operai stavano pranzando
- ❑ Il collasso ha causato 270 morti (di cui 11 dispersi)
- ❑ La stabilità del rilevato era stata certificata pochi mesi prima del collasso
- ❑ Sarebbe stato possibile identificare dei movimenti precursori prima del collasso tramite l'utilizzo di dati SAR?

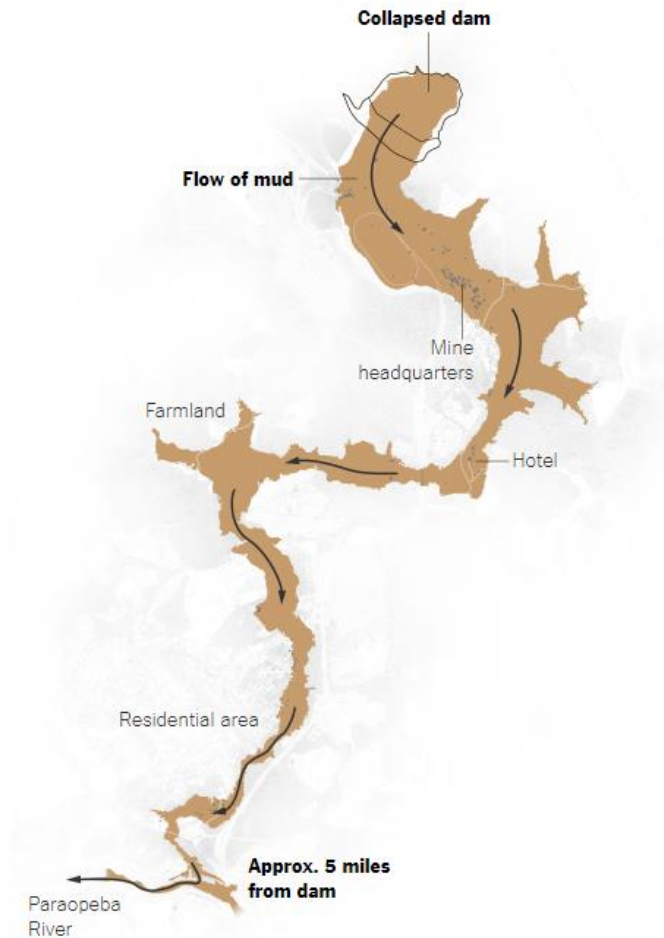




Image © 2019 DigitalGlobe

Google Earth

1086 m



2009

Imagery Date: 2/2/2019

23 K 589055.30 m E 7776135.77 m S elev 998 m

eye alt 5.47 km



1958 m

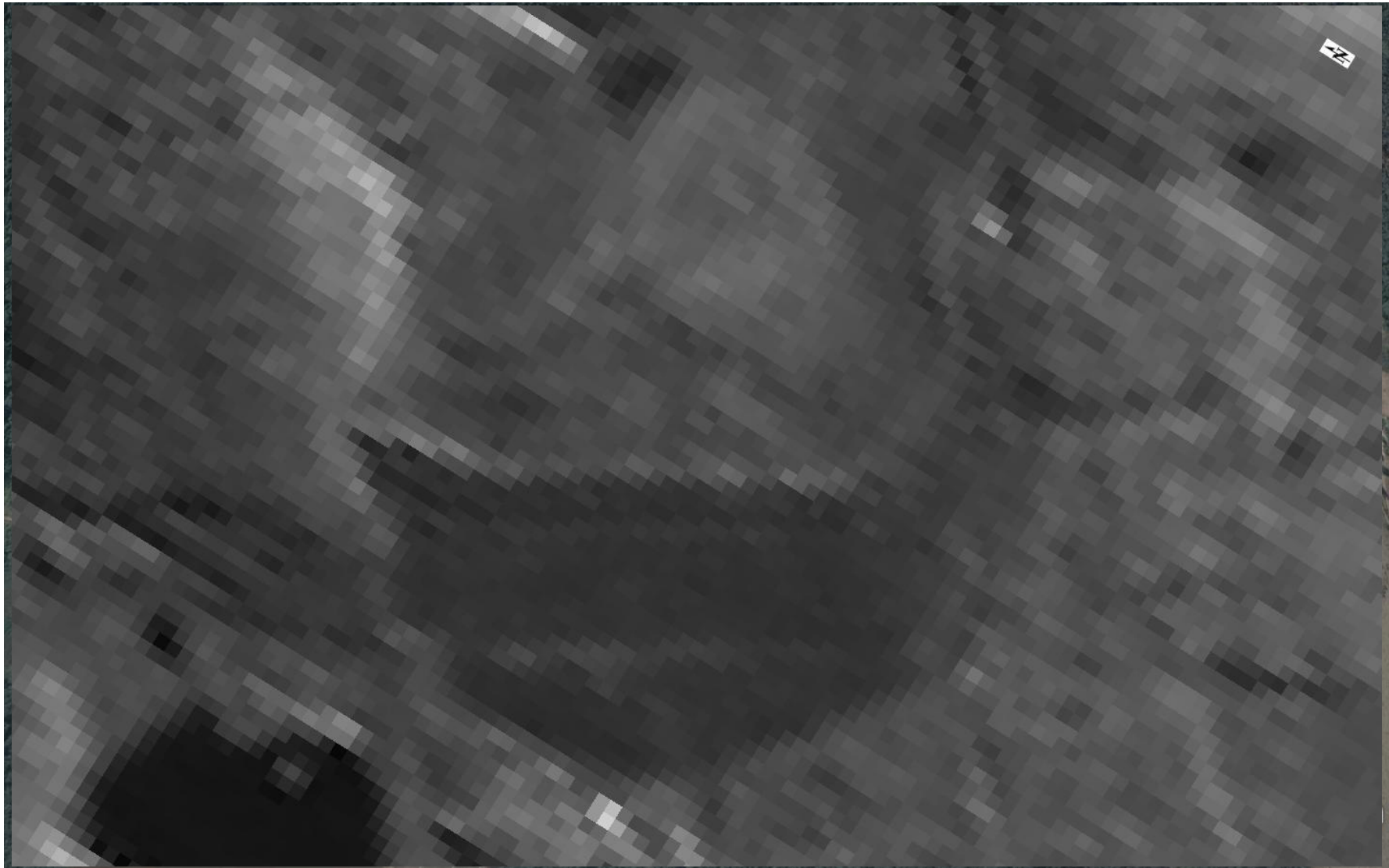
Image © 2019 DigitalGlobe

Google Earth

2009

Imagery Date: 2/2/2019 23 K 586150.53 m E 7776460.07 m S elev 907 m eye alt 9.43 km

La tailing dam vista da dati ottici e dati SAR



Dati SAR di input

108 dati **Sentinel-1** per ciascuna track

Risoluzione spaziale del dato = 15×15 m

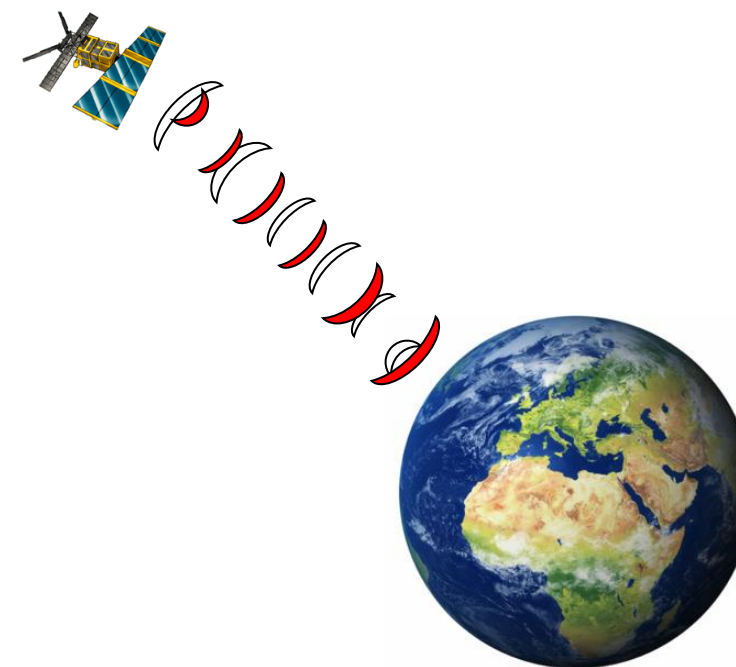
Lunghezza d'onda del segnale = 5,6 cm

Intervallo temporale tra le acquisizioni = 12 giorni

Geometria di acquisizione = DISCENDENTE (solo una geometria disponibile con due track sovrapposte sull'area di studio)

Angolo di Incidenza:

- Track 53 => 33°
- Track 155 => 43°

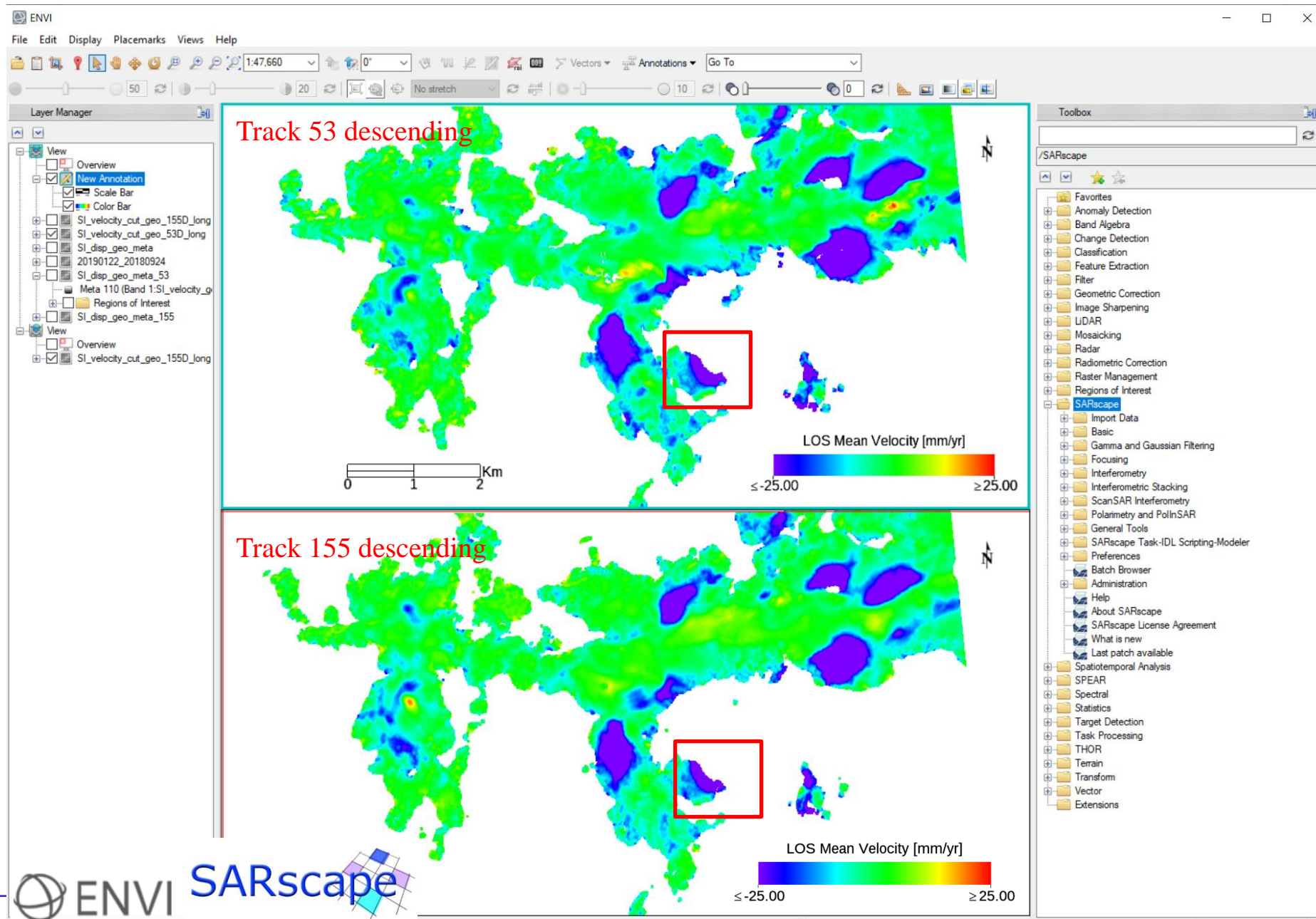


2015-05-08

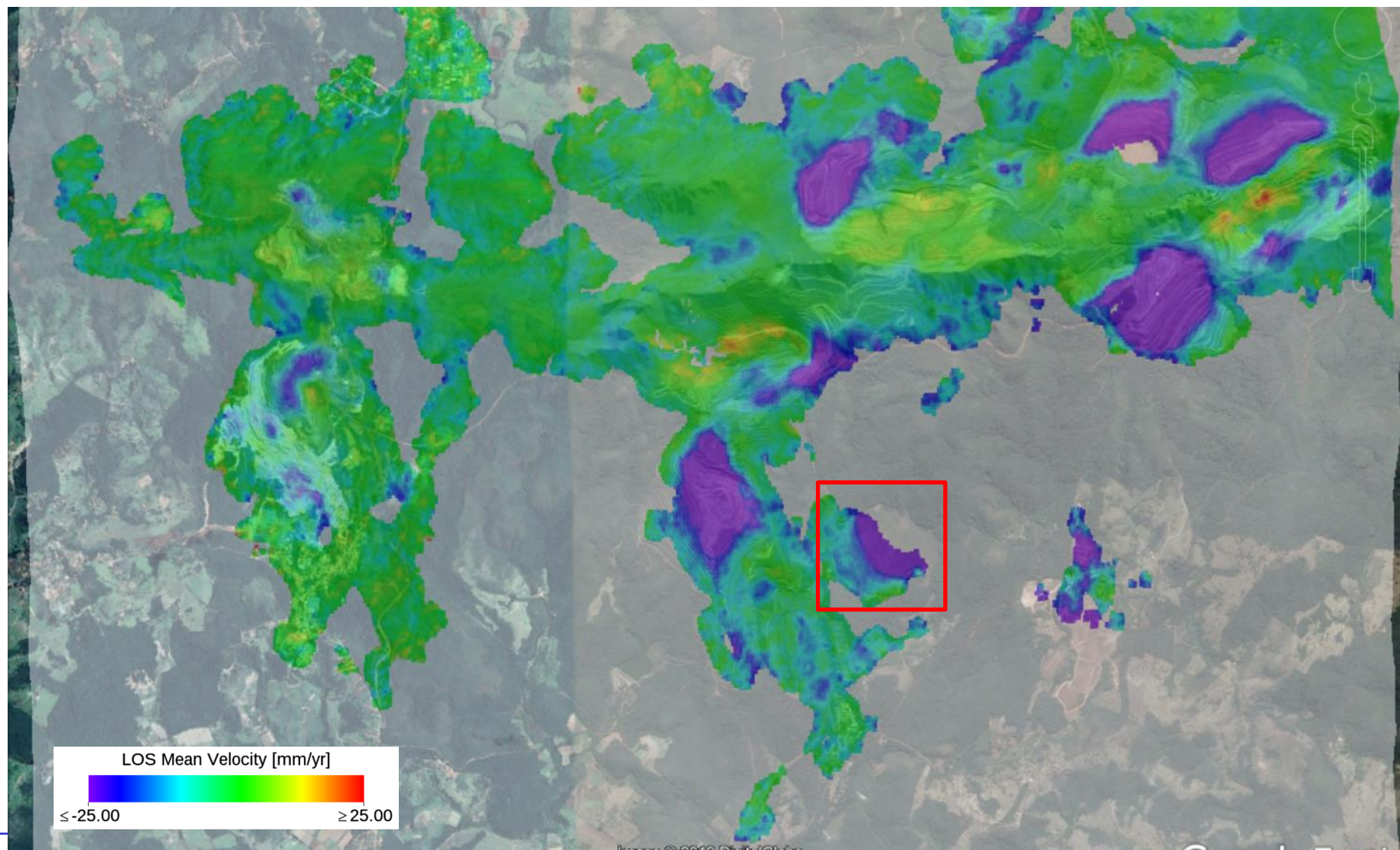
2019-01-22

t

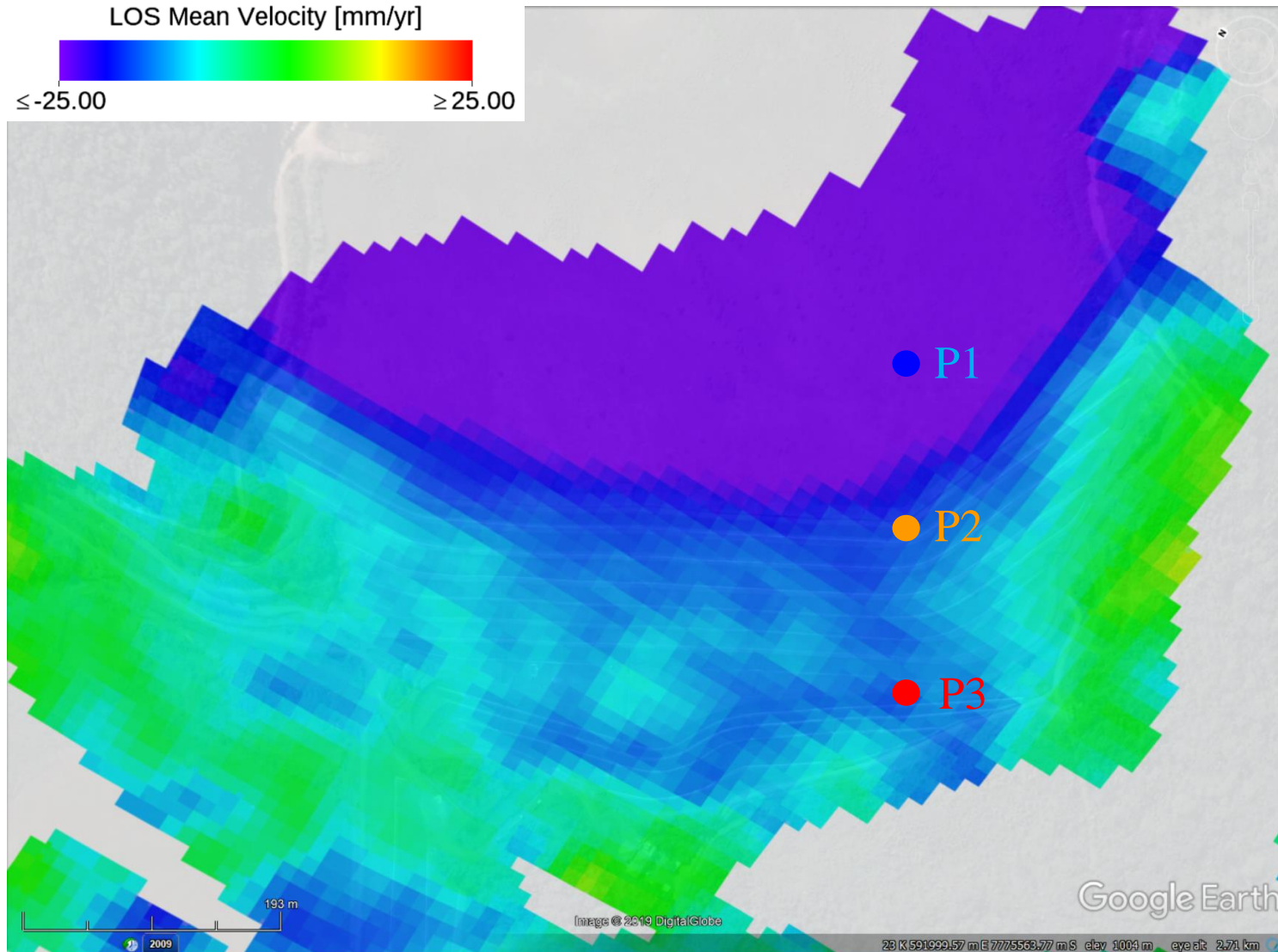
2019-01-25
Collasso!



Velocità di deformazione lungo la linea di vista del satellite (discendente)

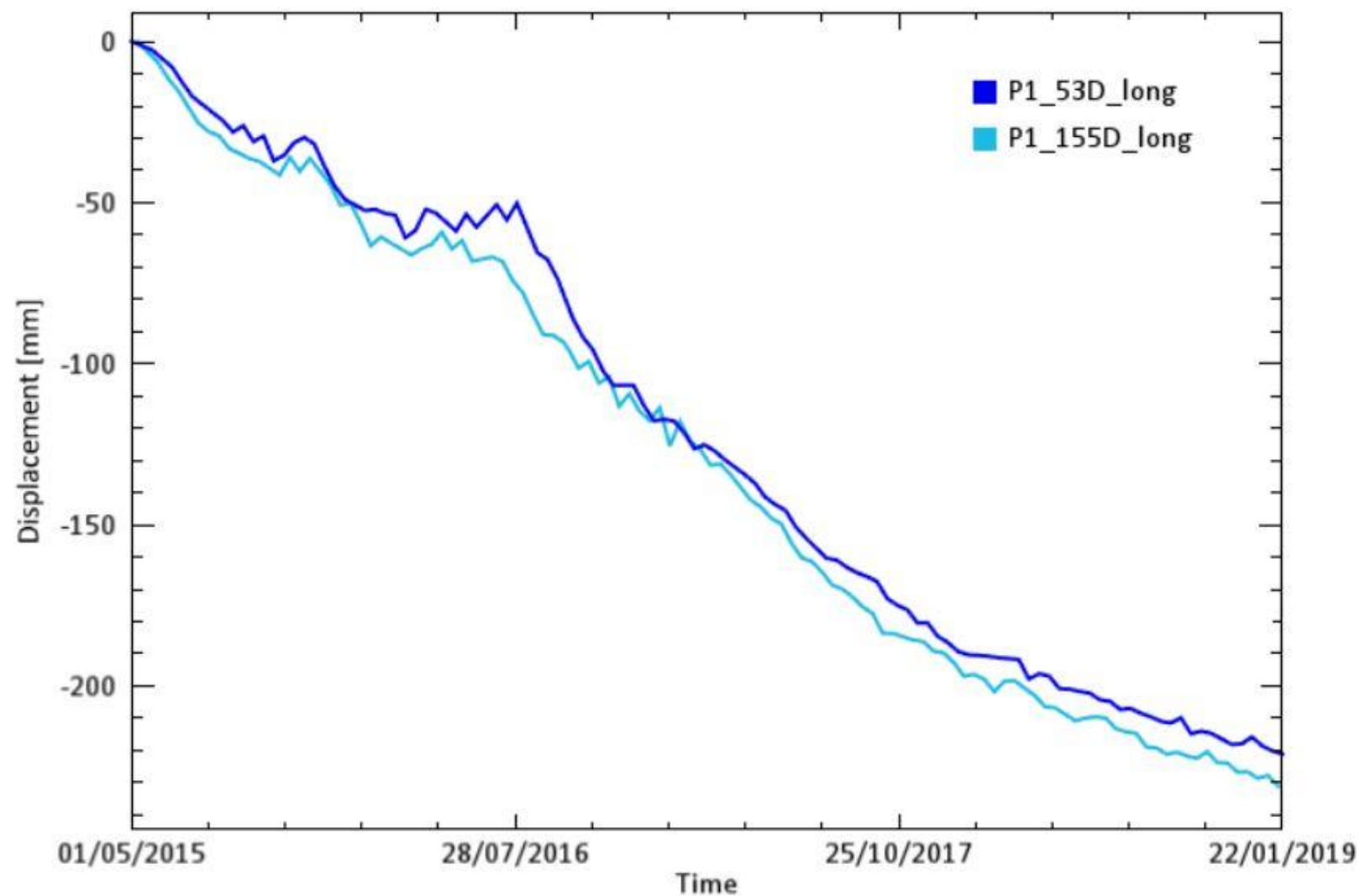
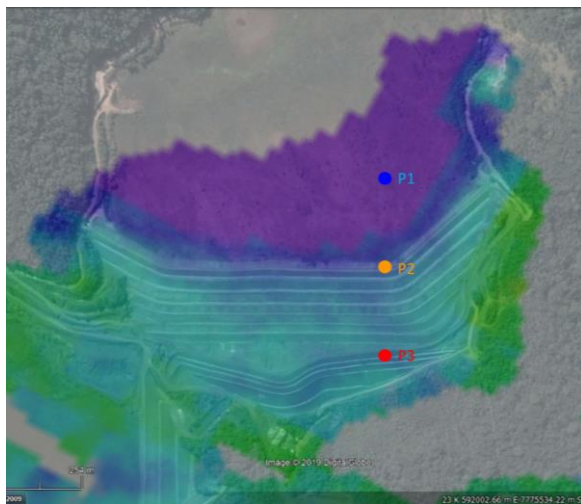


Serie storiche di deformazione lungo la LOS 2015-2019 [mm]

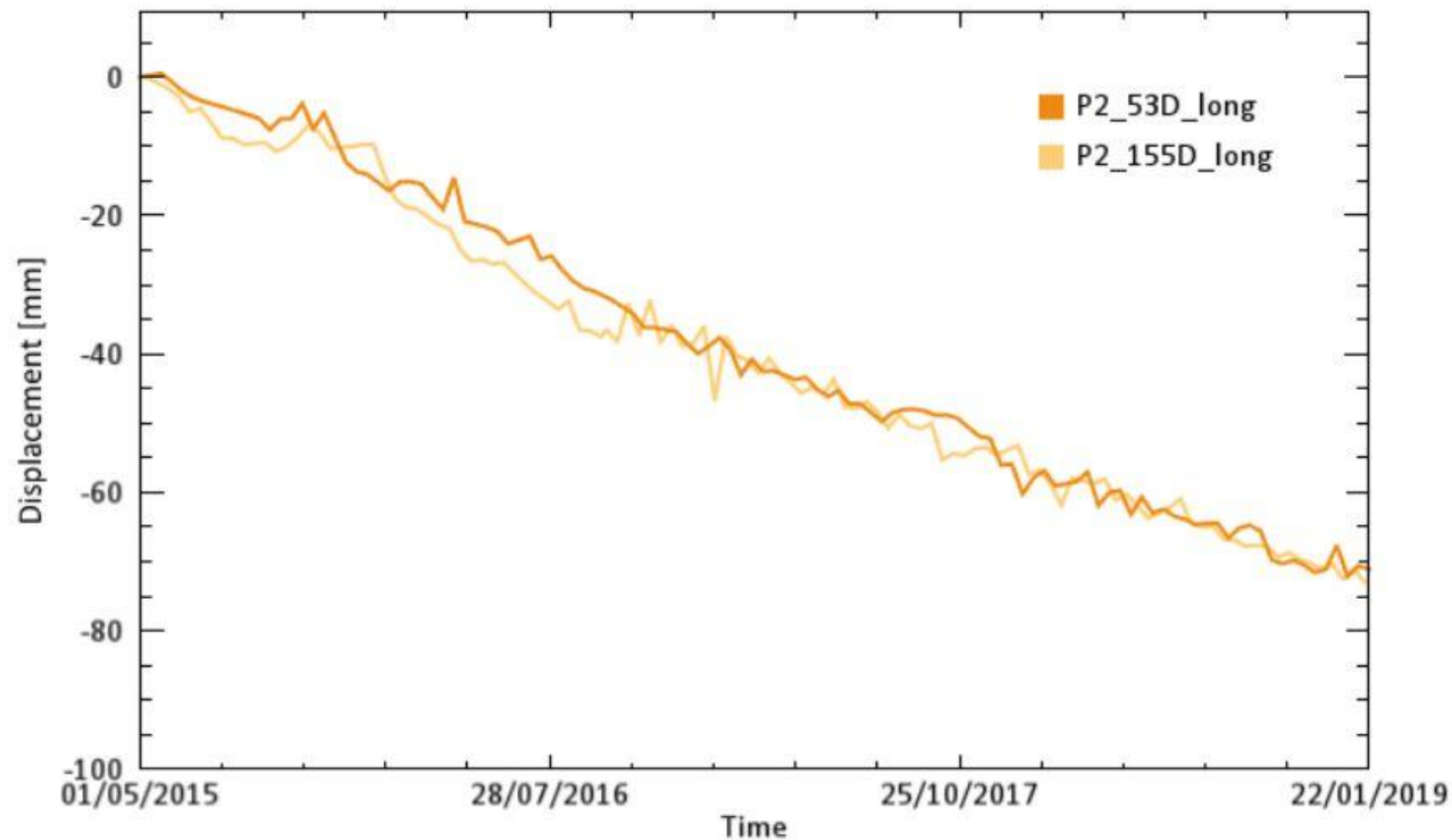
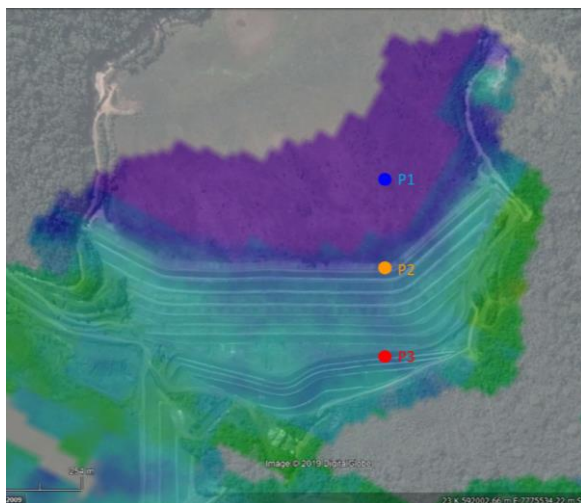


La validazione e verifica dei risultati ottenuti è basata sul confronto delle serie storiche di deformazione dei due dataset su tre punti significativi sulla struttura e sul materiale di scarto depositato.

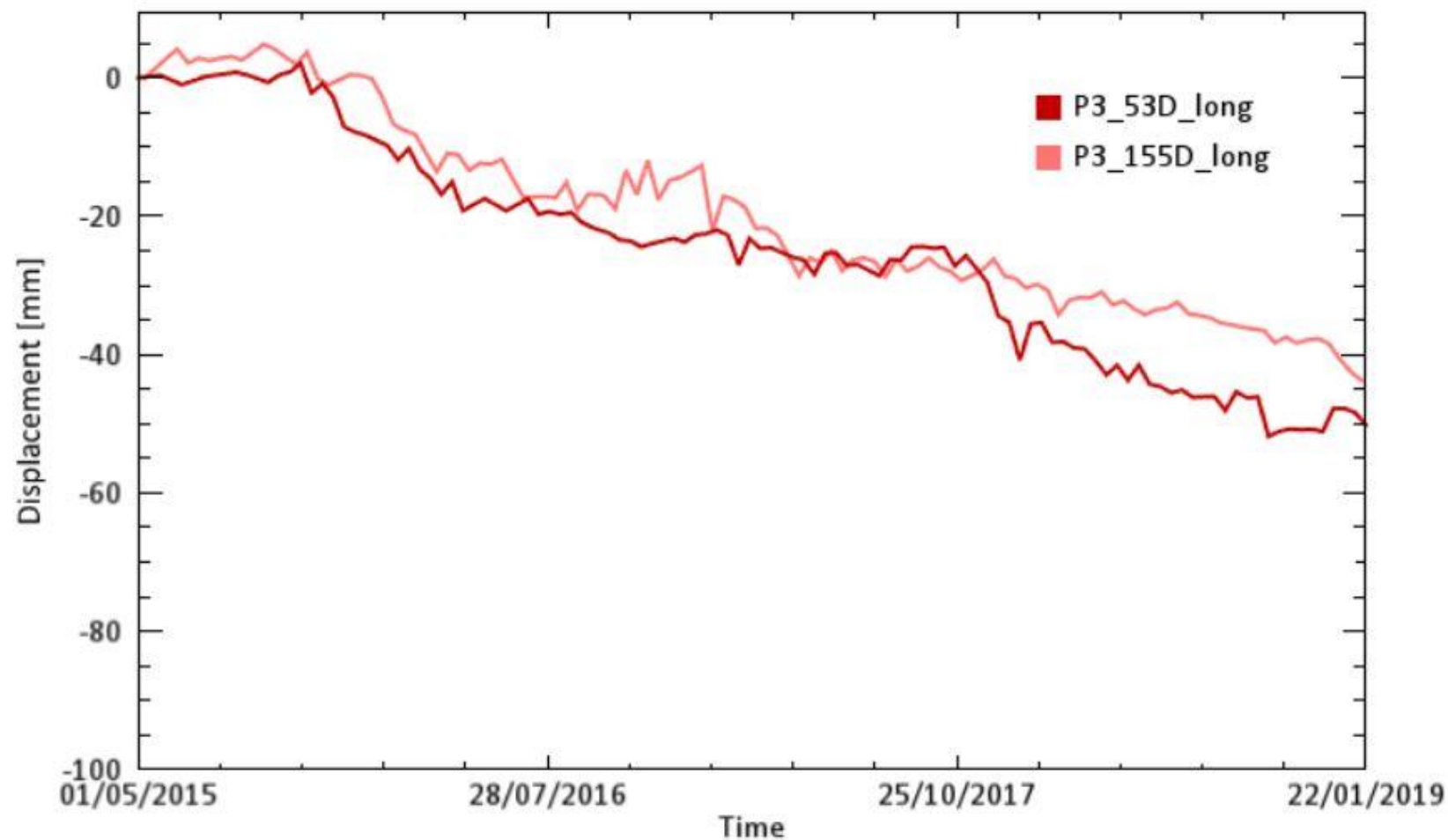
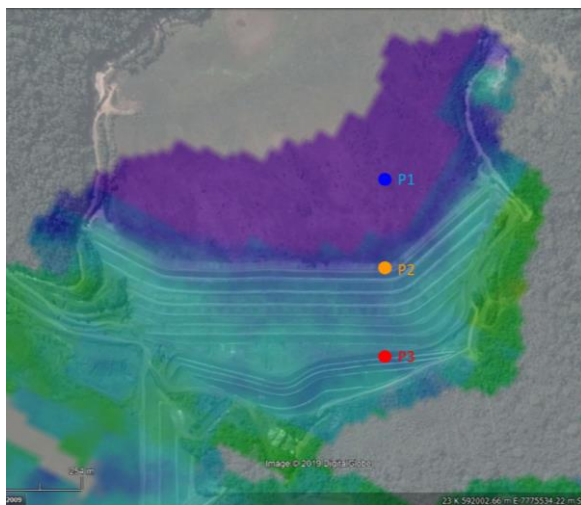
Serie storiche di deformazione lungo la LOS 2015-2019 [mm]



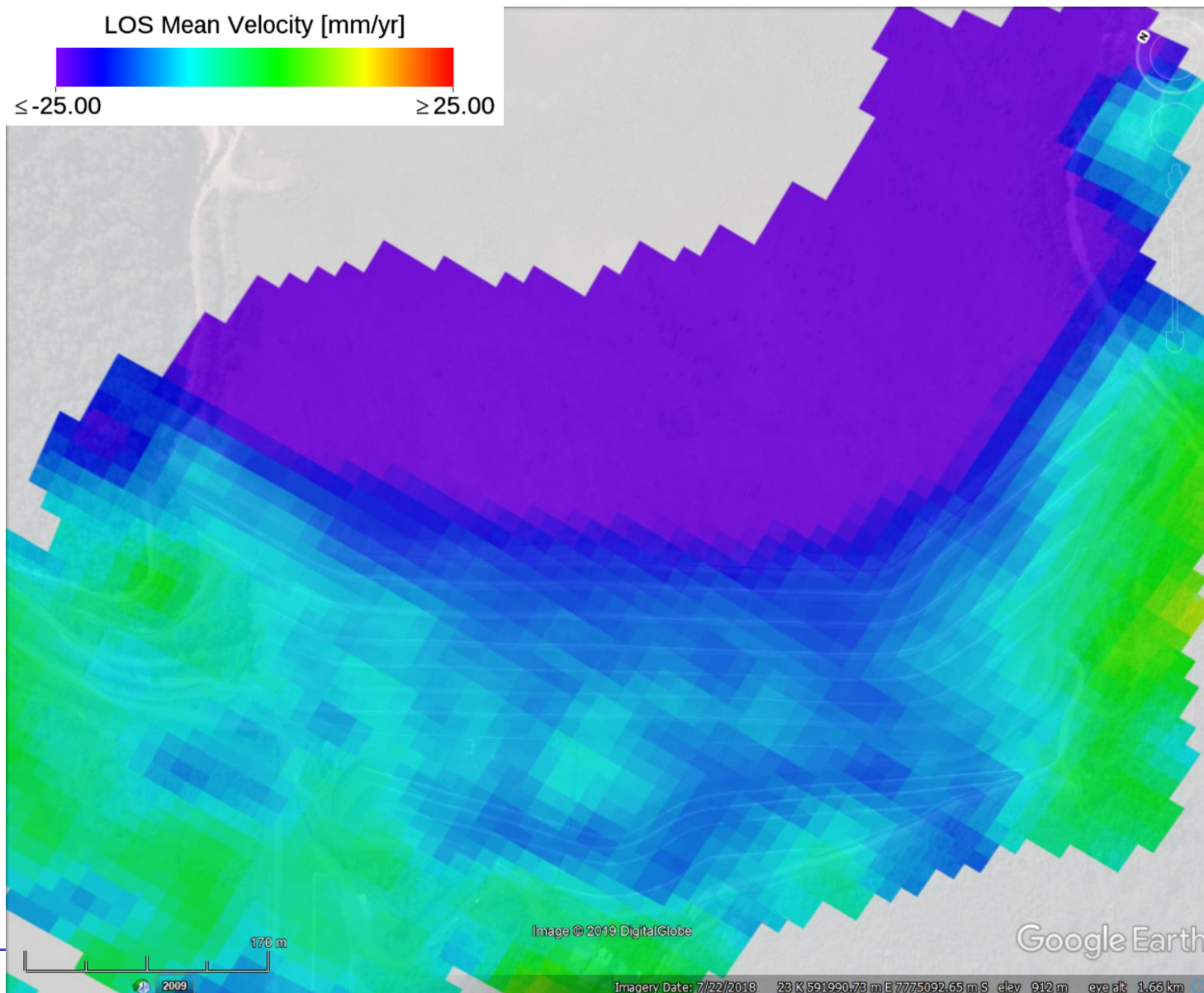
Serie storiche di deformazione lungo la LOS 2015-2019 [mm]



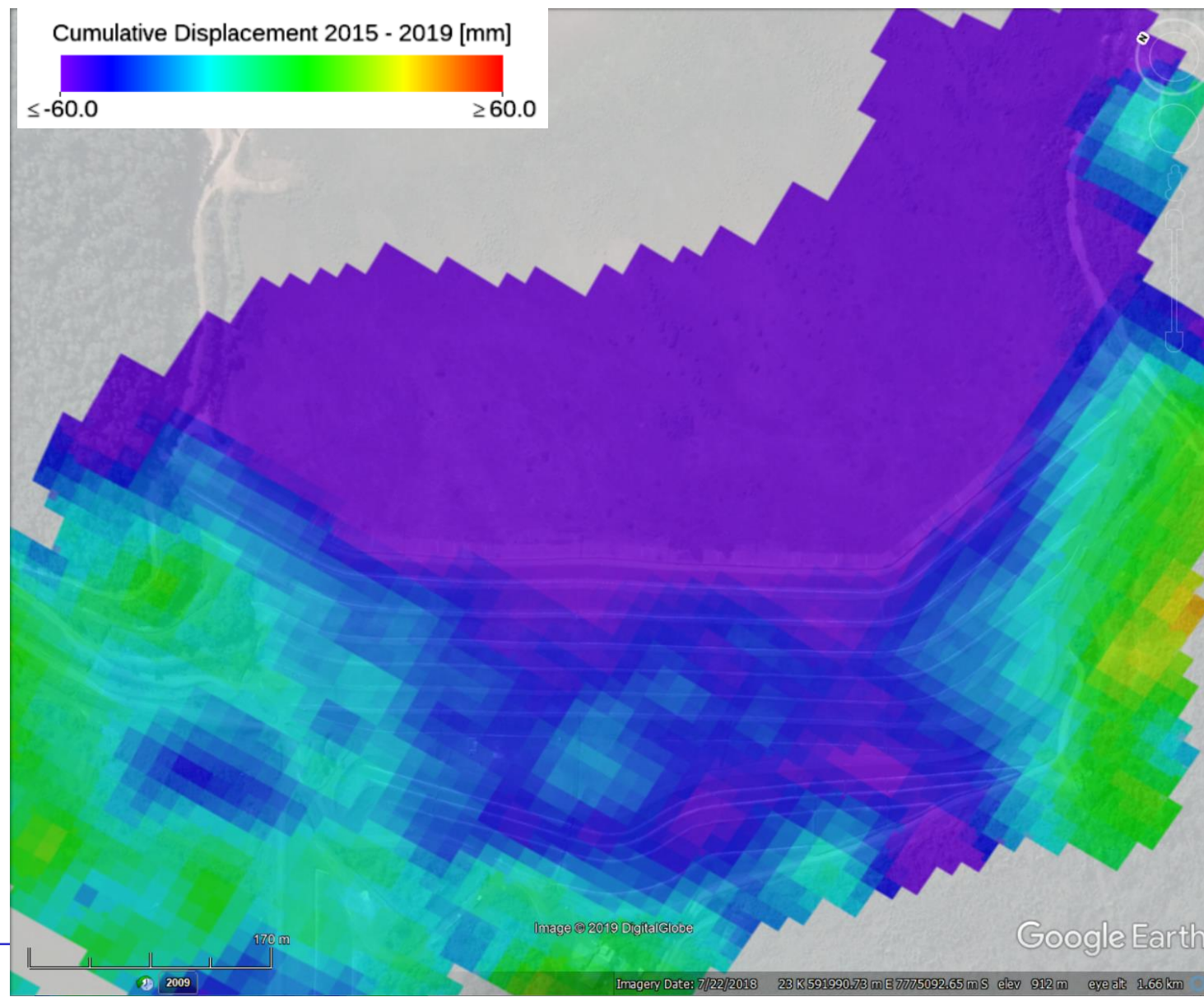
Serie storiche di deformazione lungo la LOS 2015-2019 [mm]



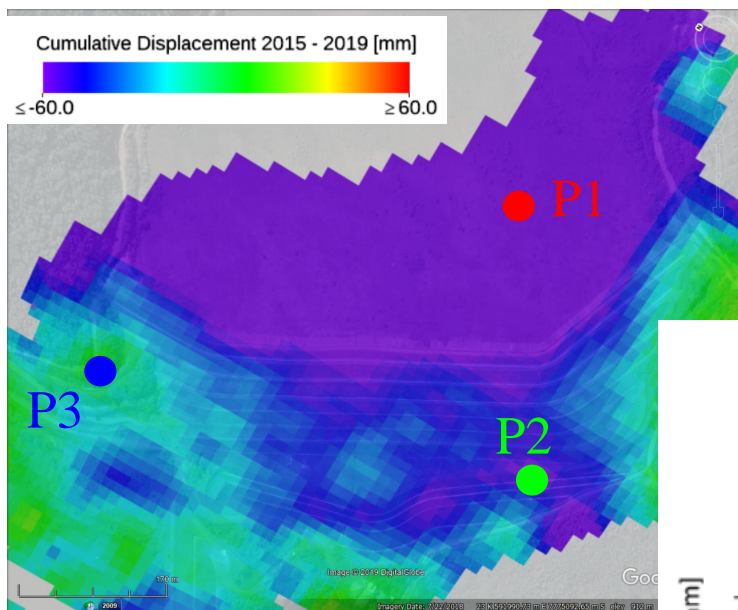
Velocità media di deformazione 2015-2019 lungo la LOS [mm]



Deformazione cumulata 2015-2019 lungo la LOS [mm]



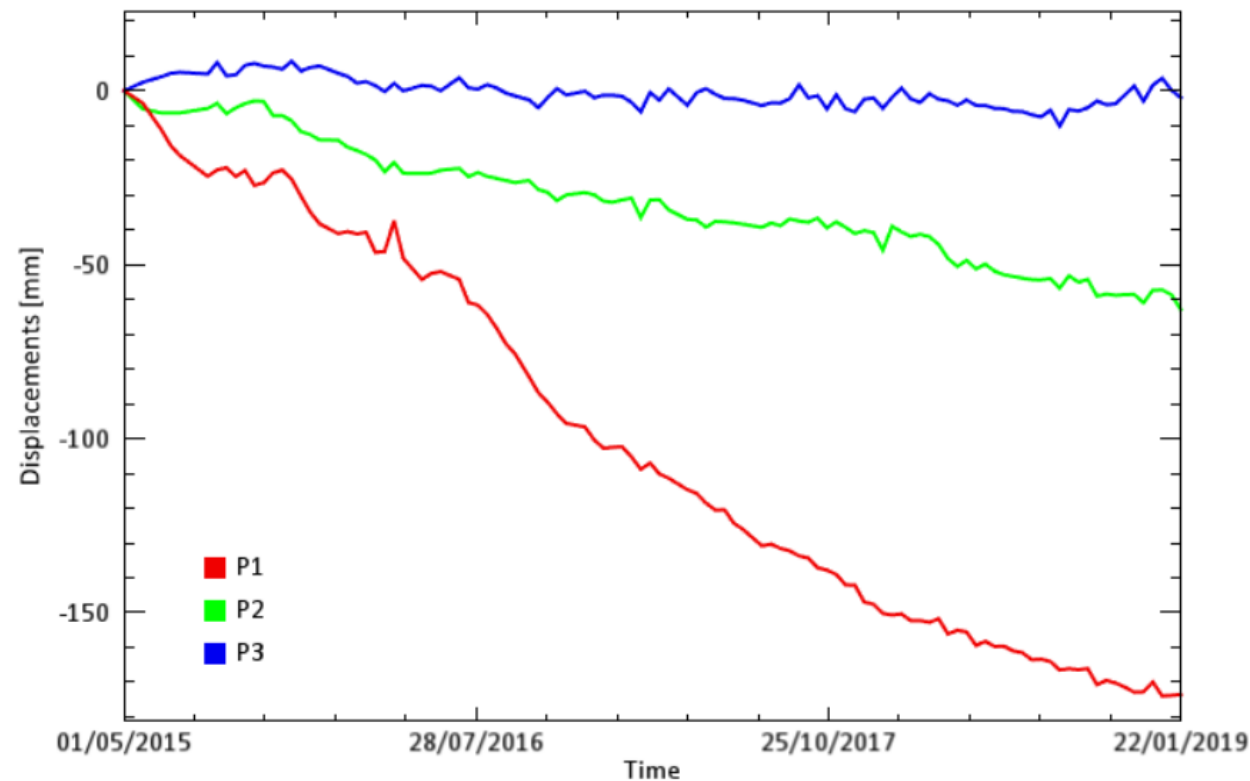
Deformazione cumulata 2015-2019 lungo la LOS [mm]



P2 e P3 sono entrambi localizzati nel rilevato di contenimento del materiale, rispettivamente in una zona affetta da deformazioni (P2) ed in una zona stabile (P3).

Il confronto tra serie storiche di deformazione su tre punti selezionati, P1, P2 e P3, mostra tassi di deformazione diversi.

Il tasso di deformazione massimo corrisponde agli scarti di materiale di scavo che mostra una riduzione del tasso di deformazione tipico della compattazione dei materiali.



Video del collasso

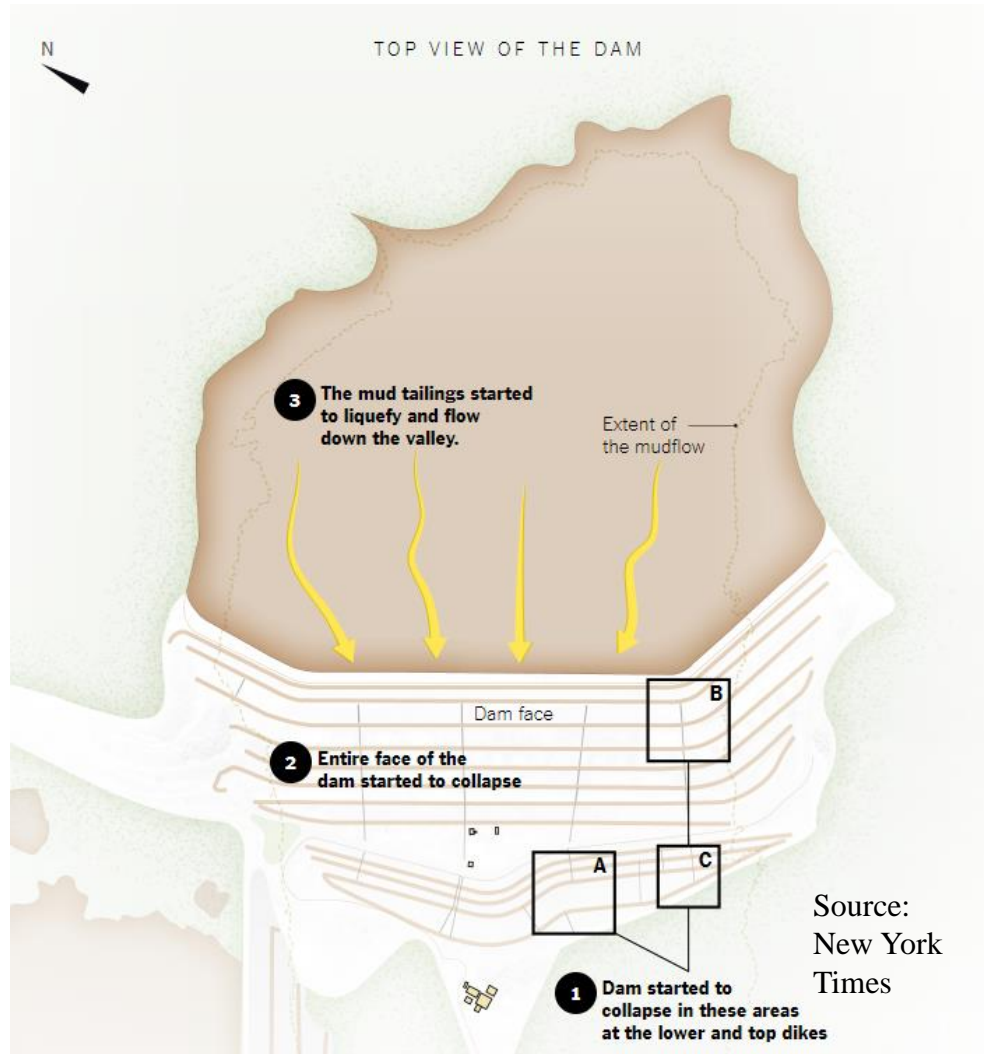


Frame iniziale del video del collasso



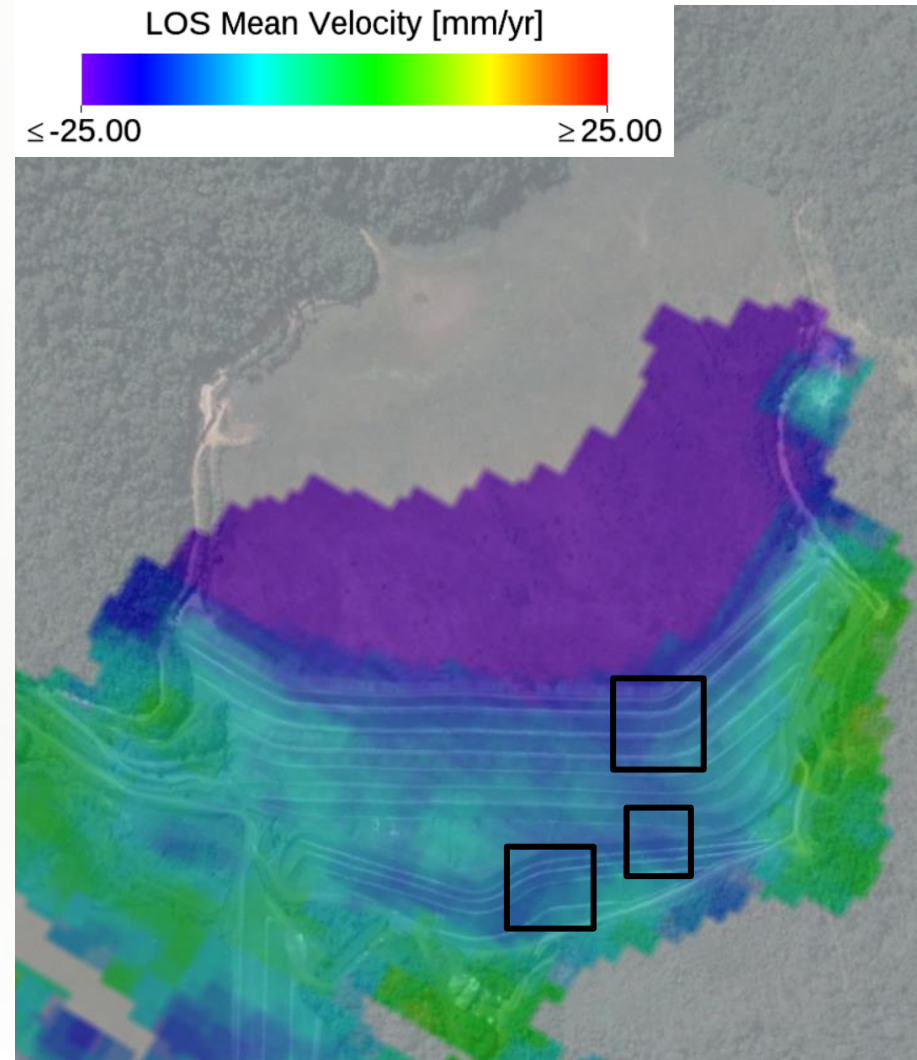
Source:
The Guardian

Sequenza del collasso

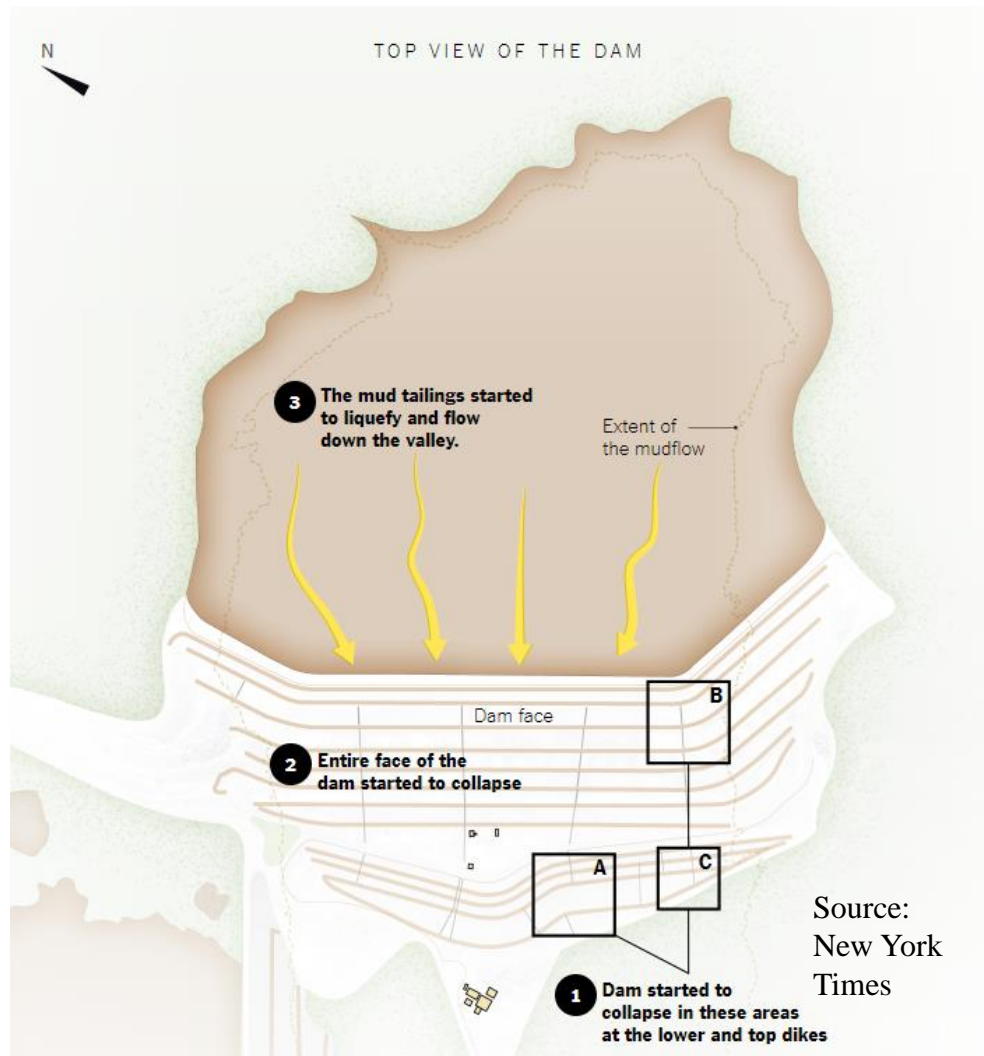


The New York Times | Note: Diagram is based on a 2010 master's thesis by Washington Pirete and a 2018 report by Tüv Süd.

Velocità media di deformazione

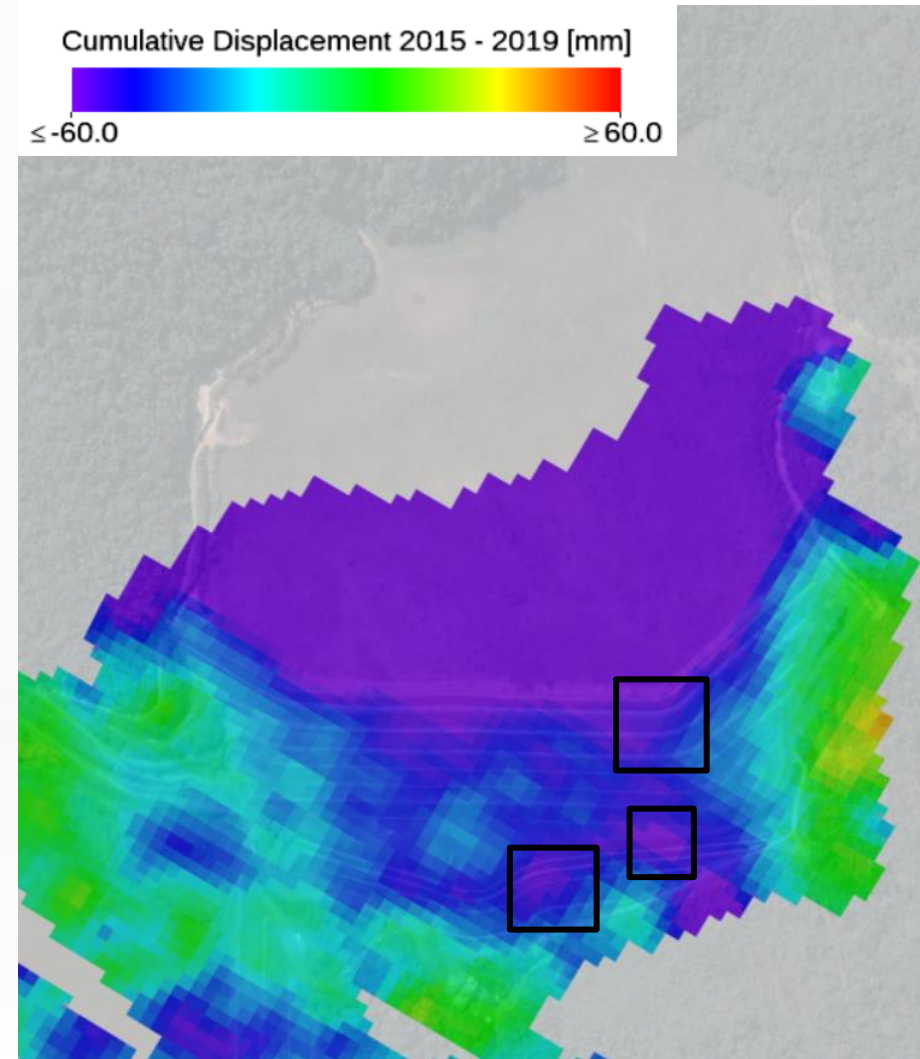


Sequenza del collasso



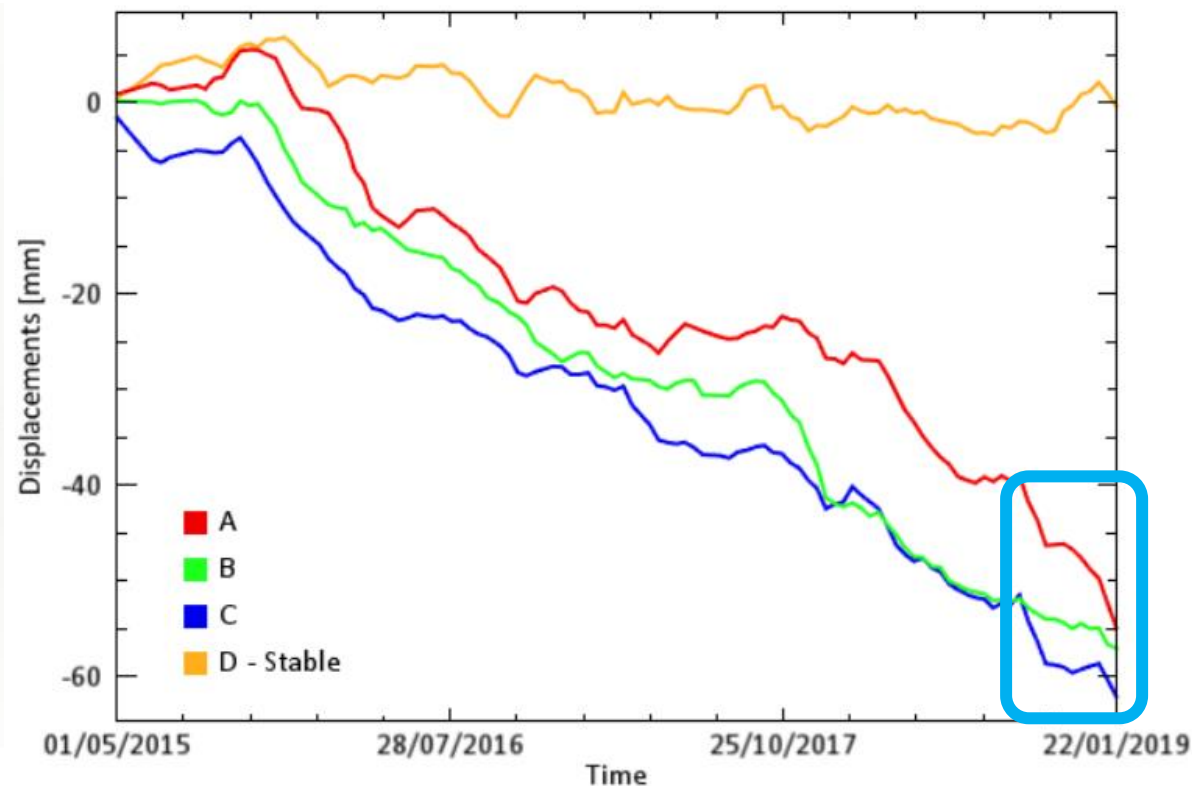
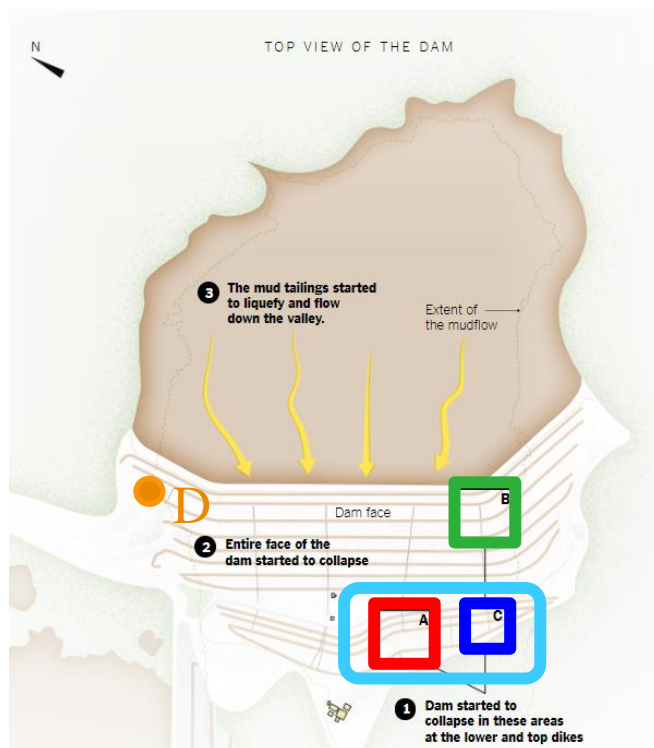
The New York Times | Note: Diagram is based on a 2010 master's thesis by Washington Pirete and a 2018 report by Tüv Süd.

Deformazione cumulata



Serie storiche di spostamento in tre punti della tailing dam

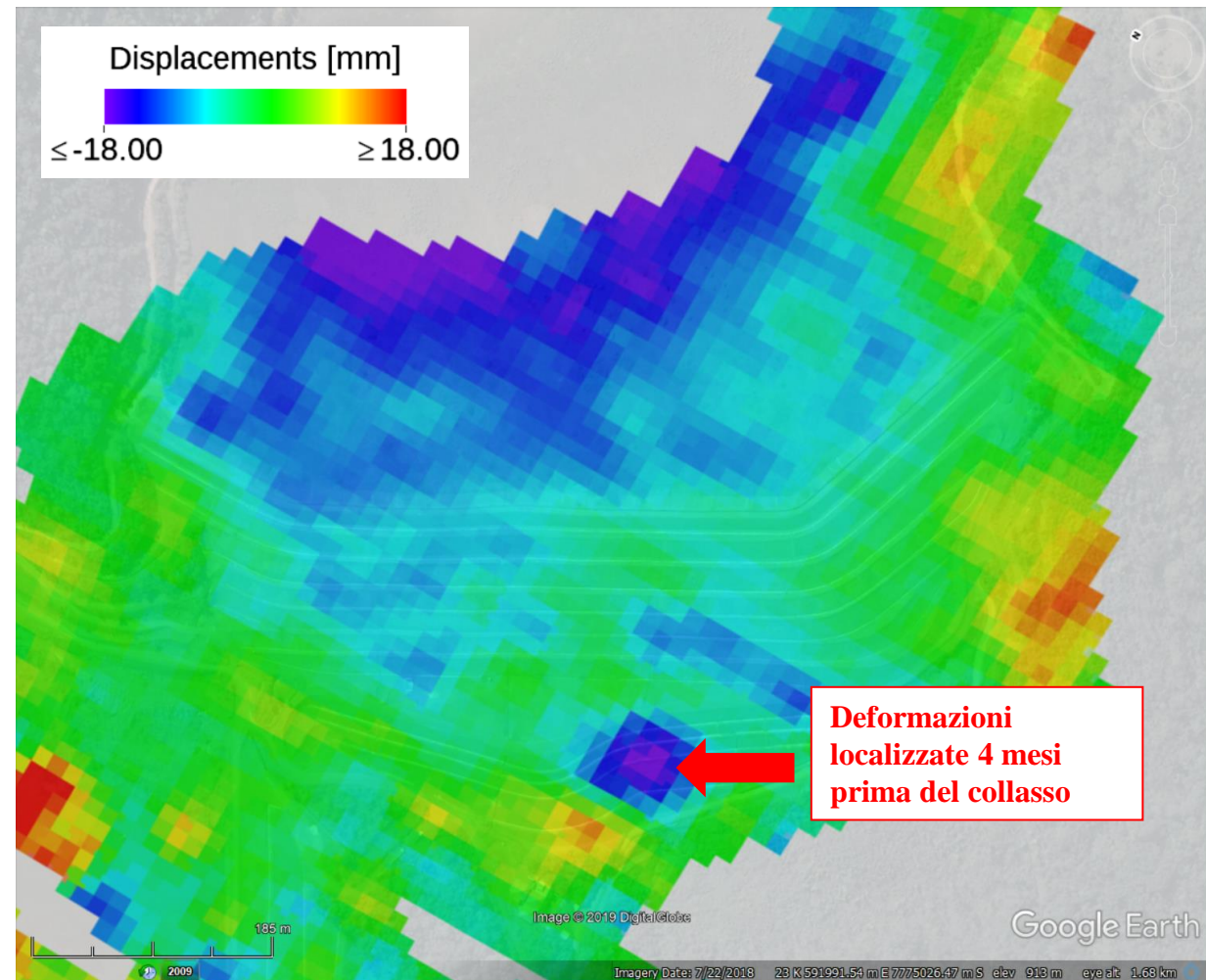
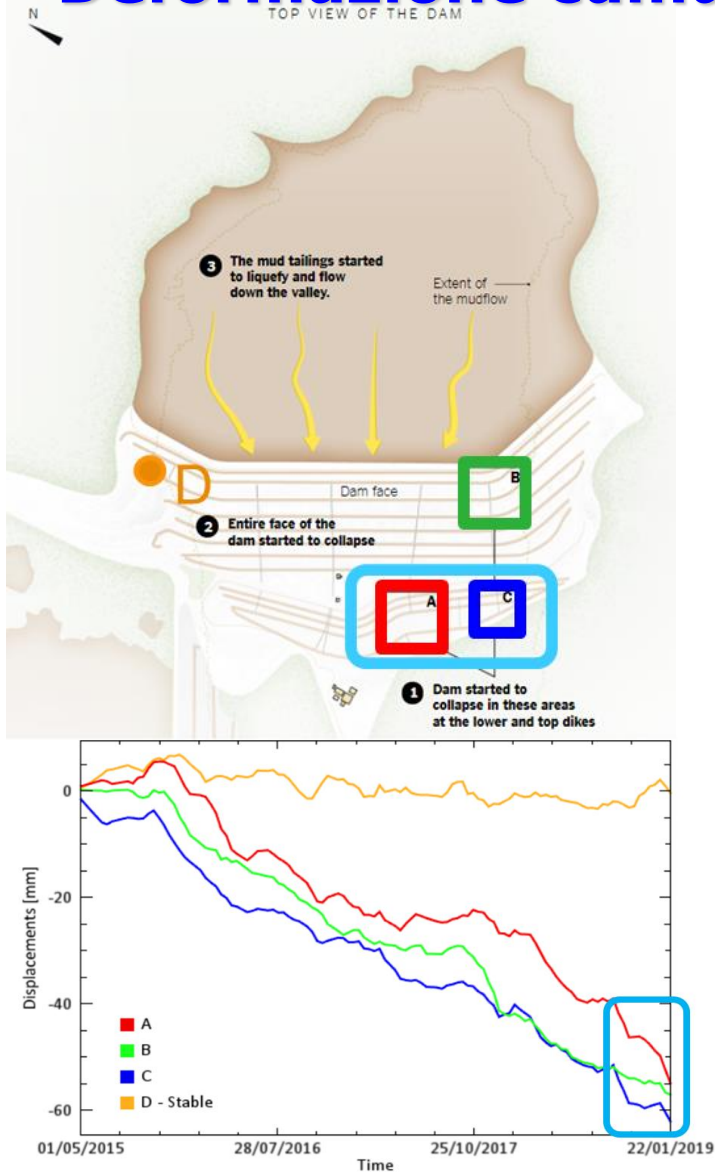
I rettangoli A, B and C evidenziano le aree dove il collasso si è sviluppato inizialmente (New York Times). Le serie storiche di deformazione corrispondono a punti all'interno dei tre rettangoli



Le deformazioni in corso hanno mostrato un'accelerazione tra Settembre 2018 e Gennaio 2019, particolarmente nei punti A e C.

Deformazione cumulata tra il 24/9/18 ed il 22/01/19 [mm]

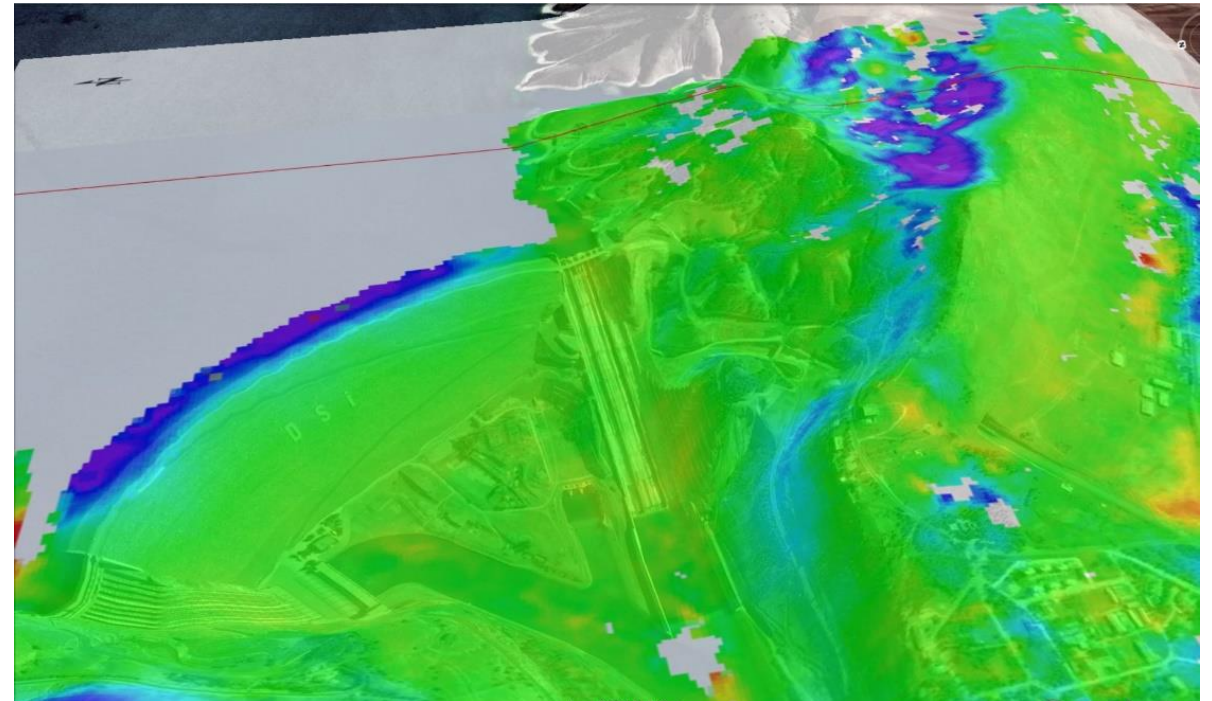
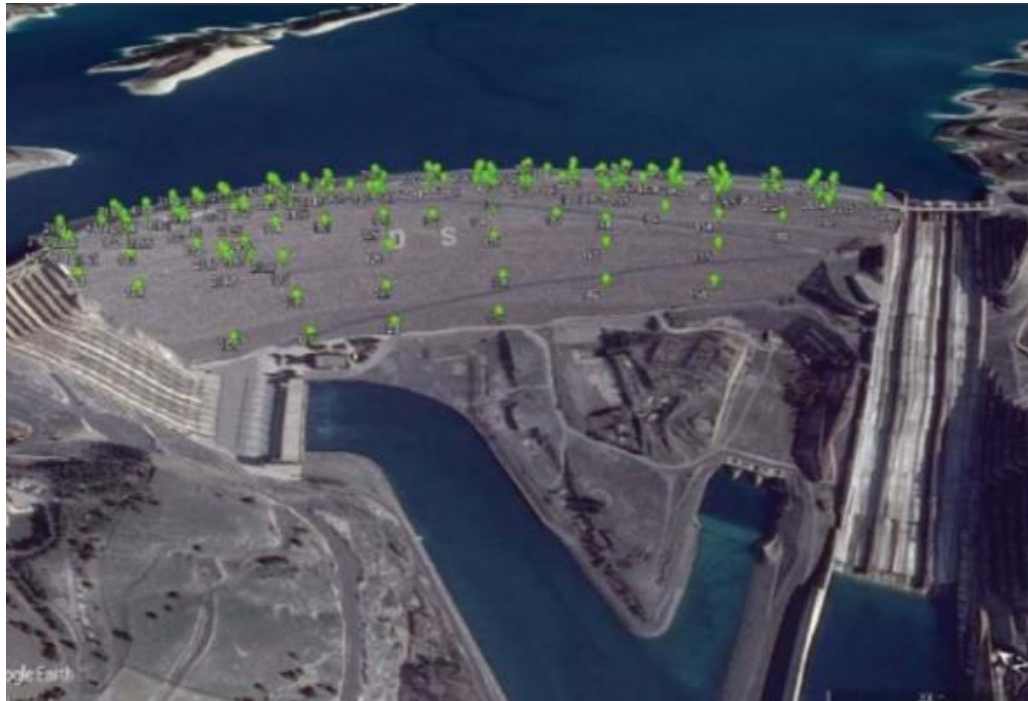
Le deformazioni in corso hanno mostrato un'accelerazione tra Settembre 2018 e Gennaio 2019, particolarmente nei punti A e C.



Conclusioni

- ❑ L'utilizzo di dati satellitari SAR e le consolidate tecniche interferometriche forniscono uno strumento di monitoraggio che permette di integrare le tradizionali tecniche di monitoraggio.
- ❑ La tecnica presentata permette di ottenere deformazioni su superfici estese, con frequenza di aggiornamento dell'analisi anche a pochi giorni di distanza (in funzione del tempo di rivisitazione del satellite)

Livellazioni e GPS VS dati RADAR ad Apertura Sintetica (SAR)

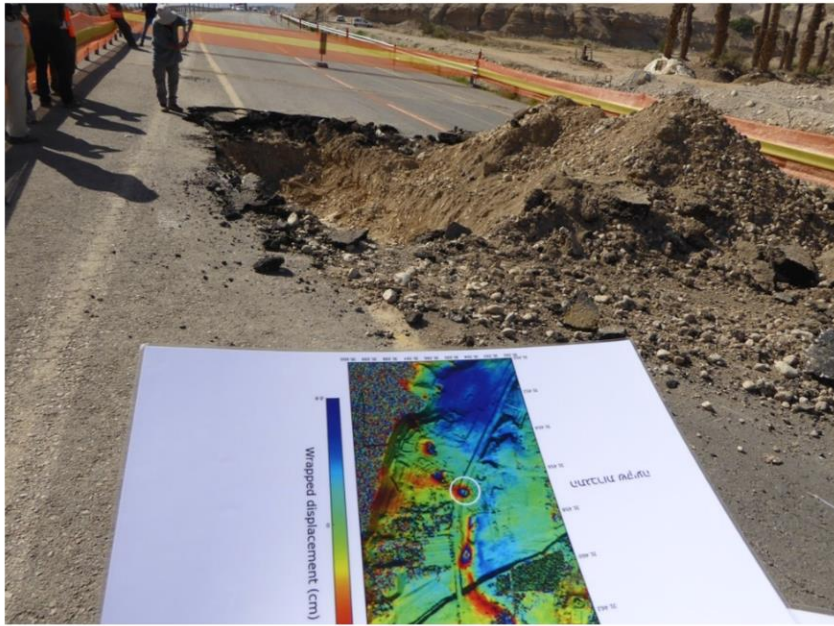


- Informazione spaziale distribuita
- Capacità di lavorare su aree molto estese
- Capacità di misurare deformazioni dell'ordine di pochi millimetric all'anno

Conclusioni

- ❑ L'utilizzo di dati satellitari SAR e le consolidate tecniche interferometriche forniscono uno strumento di monitoraggio che permette di integrare le tradizionali tecniche di monitoraggio.
- ❑ La tecnica presentata permette di ottenere deformazioni su superfici estese, con frequenza di aggiornamento dell'analisi anche a pochi giorni di distanza (in funzione del tempo di rivisitazione del satellite).
- ❑ Tali tecniche sono attualmente operazionali e hanno dimostrato la loro utilità nel monitoraggio di infrastrutture e nella prevenzione di catastrofi, grazie alla capacità di individuare possibili movimenti precursori di un collasso

Un reale contest operativo



Grazie alle mappe ottenute da dati SAR, una subsidenza localizzata è stata individuata nel 2012 in una delle strade principali lungo la costa Israelina del Mar Morto 2012 across the main Dead Sea coastal road.

Nel febbraio 2015, la compagnia Israeliana che gestiva la strada ha rimosso l'asfalto e scavato fino al livello della geogriglia, identificando una cavità di 7 x 9 m².

Gli strati di rinforzo stradale hanno evitato un catastrofico collasso, ma oggi la strada è stata completamente deviata.



Conclusioni

- ❑ L'utilizzo di dati satellitari SAR e le consolidate tecniche interferometriche forniscono uno strumento di monitoraggio che permette di integrare le tradizionali tecniche di monitoraggio.
- ❑ La tecnica presentata permette di ottenere deformazioni su superfici estese, con frequenza di aggiornamento dell'analisi anche a pochi giorni di distanza (in funzione del tempo di rivisitazione del satellite).
- ❑ Tali tecniche sono attualmente operazionali e hanno dimostrato la loro utilità nel monitoraggio di infrastrutture e nella prevenzione di catastrofi, grazie alla capacità di individuare possibili movimenti precursori di un collasso
- ❑ A seguito del disastro di Brumadinho i dati SAR sono stati utilizzati per valutare l'eventuale esistenza di deformazioni in corso e ICMM (International Council on Mining and Metals) ha formalmente introdotto le tecniche SAR interferometriche tra le tecniche di monitoraggio per i siti minerari e gli scarti di miniera



Grazie dell'attenzione

giulia.tessari@sarmap.ch