# L'uso dell' Interferometria Differenziale SAR nel monitoraggio dell'attività di frana lenta

Relatore

Prof. Paolo Budetta

Correlatore

Dott. Giovanni Forte

Candidato

Federica Carbone

Anno Accademico 2018/2019

# Definizione di frana



Una frana si definisce come lo spostamento naturale di masse rocciose, sciolte o lapidee, che avviene lungo superfici di scorrimento, con velocità variabili sotto l'influenza del campo gravitazionale.

A fare da motore del distacco e del movimento è, in primo luogo, la forza di gravità, alla quale le rocce oppongono una resistenza al taglio lungo la superficie di scorrimento.

Quando le forze agenti prevalgono su quelle resistenti, si innesca il fenomeno franoso.

# Come noto la classificazione delle frane, ormai adottata a livello internazionale, è quella proposta da Varnes (1978).....

			Tipo di Materiale		
	Tipo di moviment	0	ROCCIA Bedrock	<b>DETRITO</b> Debris	<b>TERRA</b> Earth
	Crolli (Falls)		rockfall debris fall soil fa		
R	ibaltamenti (Toppl	es)	rock topple	debris topple soil toppl	
Sainatamanti	Rotazionale (Rotazional)		Rock Slump	Debris Slump	Soil Slump
Scivolamenti (Slides)					
	Translazionale	non rotazionale	block slide	block slide	slab slide
	(Translational)	planare	rock slide	debris slide	mud slide
Espansioni (o Espandimenti) Laterali (Lateral spreading)			rock spreading	debris spreading	Soil (debris) Spreading
Colamenti (Flow)		Rock flow Sackung	debris flow	soil flow	
	Complesse (Complex)		rock avalanche	e slide slump-earthflow	

# ... alla quale si associa quella basata sulle velocità, proposta da Cruden e Varnes (1996)

Velocity class	Description	Velocity (mm/sec)	Typical velocity	Human response
7	Extremely Rapid	5x10 <sup>3</sup>	5 m/sec	Nil
6	Very Rapid			Nil
5	Rapid	5x10 <sup>1</sup>	3 m/min	Evacuation
4	Moderate	5x10 <sup>-1</sup>	1.8 m/hr	Evacuation
3	Slow	5x10 <sup>-3</sup>	13 m/month	Maintenance
3		5x10 <sup>-5</sup>	1.6 m/year	ividii iterrarice
2	Very Slow	5x10 <sup>-7</sup>	16 mm/year	Maintenance
1	Extremely Slow	3810	10 mm/year	Nil

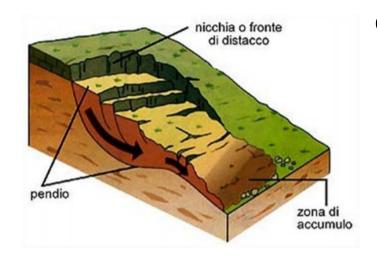
Frane lenti ed intermittenti

# ... queste ultime...

- Interessano versanti a bassa pendenza, generalmente in terreni coesivi e/o flyshoidi;
- Il movimento può durare per periodi molto lunghi, talora con periodi di stasi, e la velocità del movimento è fortemente condizionata dalla presenza e dalle oscillazioni della falda idrica;
- Sebbene la pericolosità può essere elevata, in generale il rischio per la vita umana è basso, in quanto è possibile l'evacuazione della popolazione. I danni sono soprattutto patrimoniali e riguardano le strutture e le infrastrutture.

# Tipologie di fenomeni lenti e intermittenti

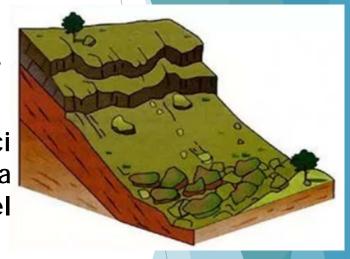
### scorrimenti rotazionali:



la massa slitta lungo una superficie curvilinea, a generatrice cilindrica.

### <u>scorrimenti traslativi</u>:

la massa si muove lungo superfici di discontinuità con disposizione a franapoggio, meno inclinate del pendio.



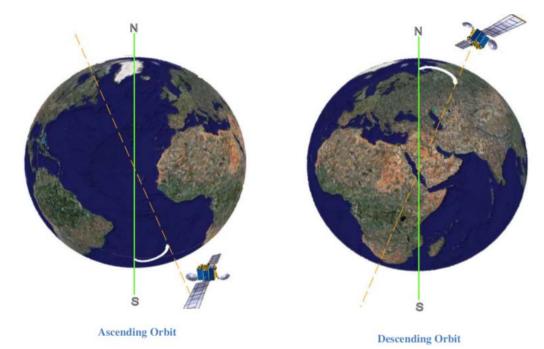


### colamenti:

il materiale cola lungo il pendio con velocità variabili, dipendenti dal suo contenuto d'acqua. Una tecnica recente di telerilevamento, che ha conferito ottimi risultati concernenti la valutazione della velocità di deformazione dei pendii e che utilizza il confronto di immagini satellitari rilevate in tempi successivi è:

I'Interferometria Differenziale SAR.





1992 1995 2001 2003 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012

ERS1 – ERS2

ENVISAT

Sentinel-1

Sentinel-2

ALSO-PALSAR

Cosmo Sky-Med Constellation

TerrasAR-X

Tandem-X

RCM Constellation

Il sensore attivo è l'<u>antenna</u> montata su un satellite che si muove lungo la sua orbita attorno alla Terra.

L'angolo tra la direzione Nord-Sud e l'orbita del satellite con sensore SAR si colloca nell'intervallo di 10°.

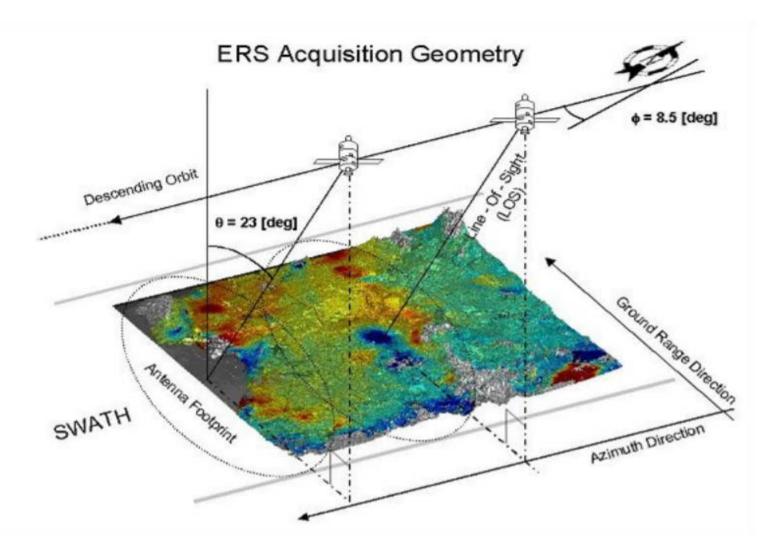
I satelliti acquisiscono dati percorrendo due tipologie di orbite: *Ascendente*, da sud verso nord, e *Discendente*, da nord a sud.

Satelliti che forniscono informazioni radar

# Frequenze utilizzate nel telerilevamento radar

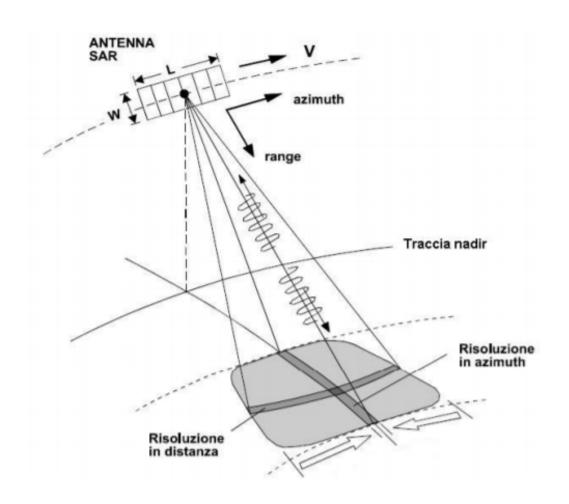
Bande	Frequenza nominale (GHz)	Frequenza radar (GHz)	Lunghezza d'onda (cm)	Piattaforma
L	1-2	1.22-1.4	24.57-21.41	ALOS
C	4-8	5.25-5.93	5.71-5.06	ERS, Radarsat, ENVISAT
X	8-12	8.5-10.68	3.53-2.81	COSMO-Skymed, TerraSAR X

# Principio di funzionamento



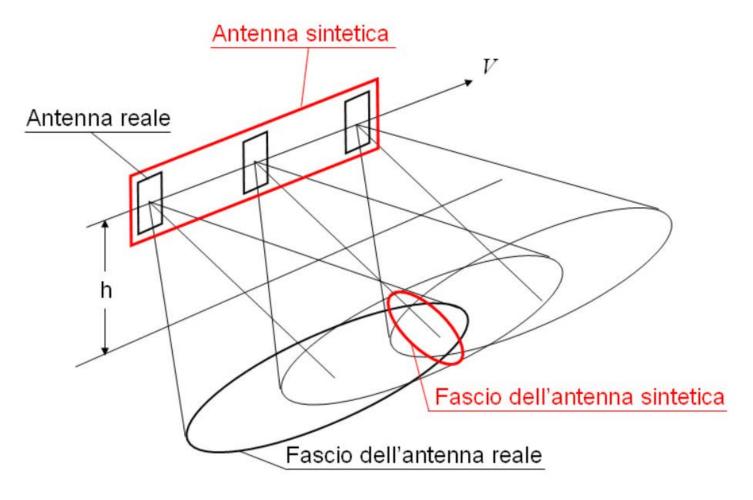
- Un <u>trasmettitore</u> genera dei segnali radar a microonde.
- Il fascio di microonde illumina un'area sulla superficie terrestre (<u>swath</u>). La direzione della traccia è <u>l'Azimuth</u> <u>Direction</u>.
- Alcuni segnali subiscono un fenomeno di riflessione disordinata (scattering).
- Un <u>ricevitore</u> integra i segnali retrodiffusi, li filtra e li amplifica in modo da misurarne e registrarne le caratteristiche, attraverso un <u>registratore</u>.

# Immagini SAR



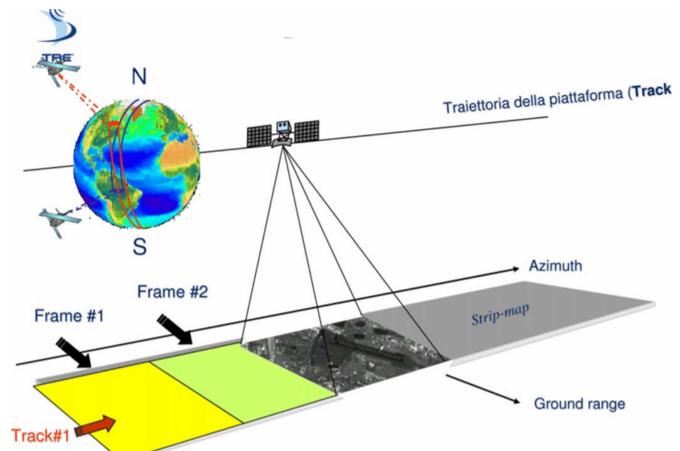
Le immagini acquisite dal sensore radar vengono registrate in un sistema di riferimento di coordinate range-azimuth.

- La <u>risoluzione in range</u> o LOS
   (Line Of Sight) è legata al tempo impiegato dall'impulso di energia per compiere il doppio percorso sensore-bersaglio; la sua proiezione al suolo è detta risoluzione in ground-range.
- La <u>risoluzione in azimuth</u>, ossia secondo la direzione del moto del satellite su cui è posto il sensore, è inversamente proporzionale alla lunghezza L dell'antenna.



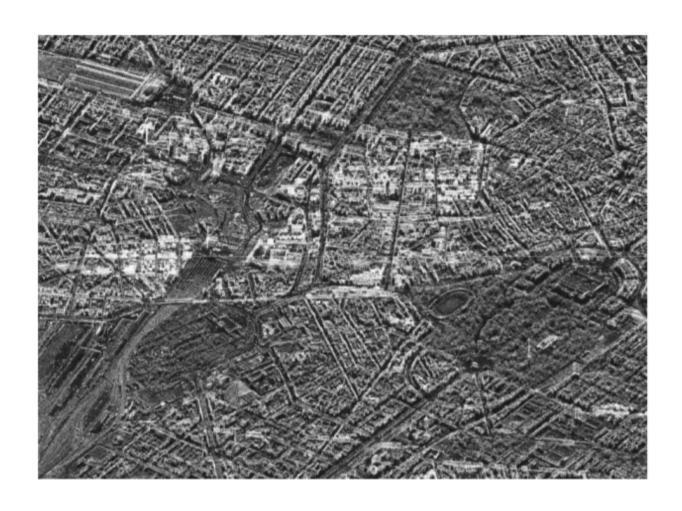
Per garantire una buona risoluzione anche nella direzione di azimuth è stato sviluppato un approccio secondo cui, sfruttando il moto del satellite, si memorizzano le immagini riflesse raccolte in posizioni successive e combinandole in modo coerente si sintetizza un'antenna virtuale molto più grande di quella reale, detta ad apertura sintetica.

# Immagini SAR



L'immagine radar è formata da una matrice di pixel caratterizzati da valore di fase e ampiezza: ogni pixel contiene la somma dei segnali riflessi verso il radar da tutti gli oggetti presenti nella cella di risoluzione al suolo.

# Immagini SAR

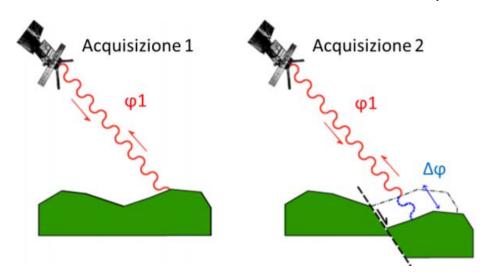


L'intensità del segnale retrodiffuso dipende dal tipo di oggetti presenti nella cella di risoluzione.

### Tipicamente:

- aree urbane o rocciose sono caratterizzate da alta intensità (pixel bianchi)
- superfici vegetate mostrano media intensità (pixel grigi)
- superfici lisce (ad es. bacini d'acqua calma) mostrano bassa intensità (pixel neri).

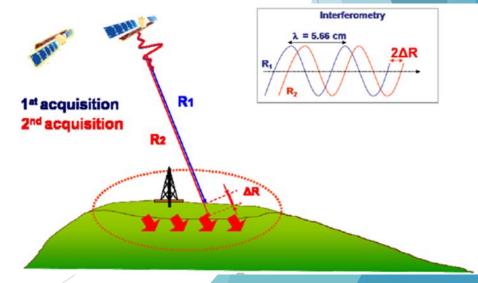
# Interferometria SAR (InSAR)



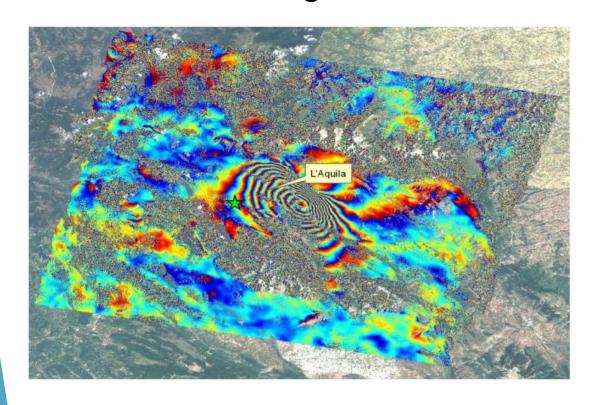
Metodologia che elabora i dati acquisiti dal sensore SAR, per rilevare le deformazioni del suolo. Quando un punto sul terreno si sposta, anche la distanza tra il sensore e quel punto cambia. Di conseguenza si modifica il valore di fase  $(\phi)$  acquisito.

# Interferometria differenziale (DInSAR)

Per interferometria differenziale SAR si intende lo studio della differenza di fase e di ampiezza del segnale retrodiffuso presente tra due immagini SAR che osservano la stessa scena da angoli di vista diversi.



## Interferogramma



$$\Delta \varphi = \Delta \varphi_{geom} + \Delta \varphi_{top} + \Delta \varphi_{mov} + \Delta \varphi_{atm} + \Delta \varphi_{err}$$

Sovrapponendo due immagini SAR, una presa come riferimento (master) e l'altra detta slave, sarà possibile calcolare la variazione di fase relativa ad ogni cella di risoluzione. Si ottiene così un Interferogramma, ovvero la rappresentazione digitale delle trasformazioni del suolo nell'area di interesse.

In esso per ogni pixel si confronta la differenza di fase del segnale, la quale è influenzata dai seguenti fattori:

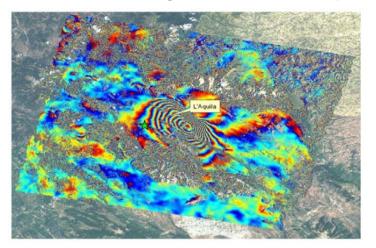
- Topografia
- Eventuali spostamenti del terreno
- Disturbi dell'atmosfera
- Geometria di acquisizione
- Rumore di fondo

# Interferogramma

L'obiettivo dell'interferometria è quello di isolare i contributi di fase dovuti al movimento del bersaglio che non sia associato a disturbi, stimando la differenza delle distanze sensorebersaglio percorse dal segnale, relative a due acquisizioni successive.

Traducendo l'interferogramma in una mappa di spostamento si assumono:

- I cerchi concentrici di colore blu come le aree che hanno subito sollevamenti;
- I cerchi colorati di rosso come le aree interessate da abbassamenti;
- Zone colorate a chiazze, invece, indicano delle aree dove il rumore di decorrelazione, legato principalmente alla presenza di vegetazione, impedisce di estrarre informazioni utili.

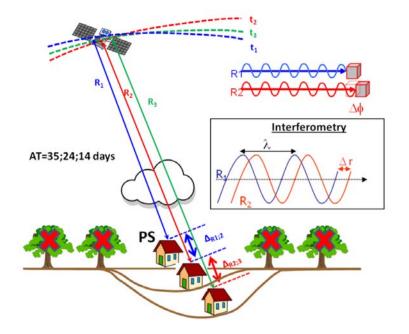


A partire dagli anni '90 sono state introdotte <u>tecniche interferometriche avanzate</u>

(A-DInSAR, "<u>Advanced DInSAR"</u>):

Si basano sull'analisi di una lunga serie multi-temporale di immagini SAR relative ad una certa area e ad un ampio intervallo temporale, in modo da studiare tutta l'evoluzione temporale delle deformazioni e spostamenti del suolo.

### La tecnica PSInSAR™



L'analisi si concentra così su un insieme di bersagli radar, i *Permanent Scatterers* (PS), elementi all'interno di celle di risoluzione al suolo, con caratteristiche di retrodiffusione pressoché costanti al variare della geometria di acquisizione e delle condizioni climatiche: mantengono proprietà di ampiezza stabili e fase del segnale coerente.

# Interferometry AT=35;24;14 days

### La tecnica PSInSAR™

Da un'analisi statistica dei valori di ampiezza e di fase di una serie multi-temporale di immagini SAR acquisite in momenti diversi, è possibile individuare i diffusori permanenti:

- l'ampiezza, dà informazioni sulla riflettività del bersaglio, quindi permette di individuare i PS nell'area di interesse;
- la fase, dà informazioni circa la distanza sensore-bersaglio e consente di effettuare misure degli spostamenti dei PS.

In ogni dataset le misure, effettuate lungo la Line of Sight (LOS) del satellite, sono <u>relative</u>, ovvero riferite a un punto di riferimento «reference point» considerato stabile.

Le informazioni sono rilevate su una griglia di punti, a ciascuno dei quali viene associato la posizione del diffusore permanente e la velocità media di spostamento.

Col segno (-) si indicano velocità in allontanamento dal sensore Col segno (+) si indicano velocità in avvicinamento al sensore





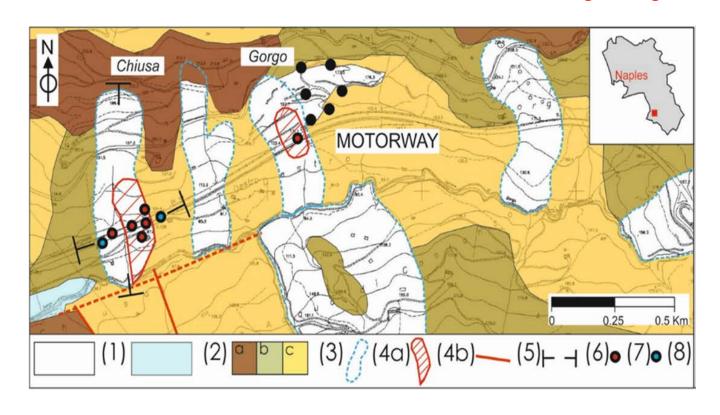
### **UN CASO DI STUDIO**

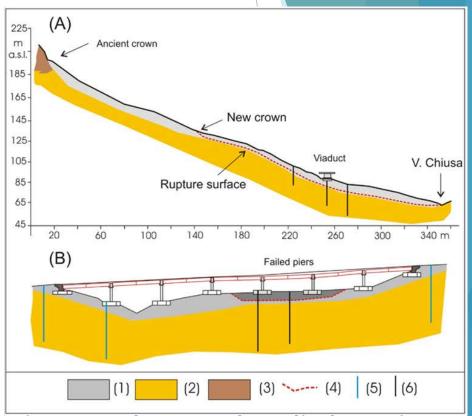


Tale tecnologia è stata applicata ad una frana lenta che ha interessato il vallone Chiusa, attraversato da un viadotto della strada regionale Tirrenia Inferiore nel comune di Agropoli (SA).

Nel gennaio 2014 si è riattivata parte di una frana quiescente, classificata come scorrimento roto-traslativo evoluto in colata, caratterizzata da velocità di spostamento dell'ordine di alcuni centimetri al giorno. Essa ha coinvolto il viadotto in corrispondenza di due pile, le quali hanno subito cedimenti differenziali, al punto che si è ritenuto necessaria la demolizione e la ricostruzione dell'opera.

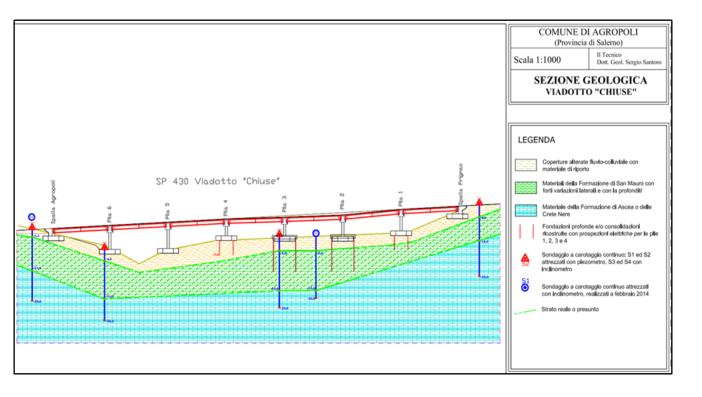
### Assetto geologico

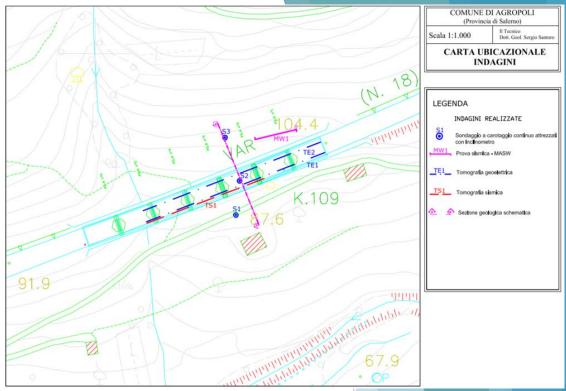




L'area è costituita dalla <u>formazione flyschioide di San Mauro</u>, ricoperta da una <u>coltre di alterazione</u> (depositi alluvionali di natura argillosa).

In concomitanza di piogge abbondanti si sono riattivate alcune frane i cui cumuli detritici erano già fortemente rimaneggiati.

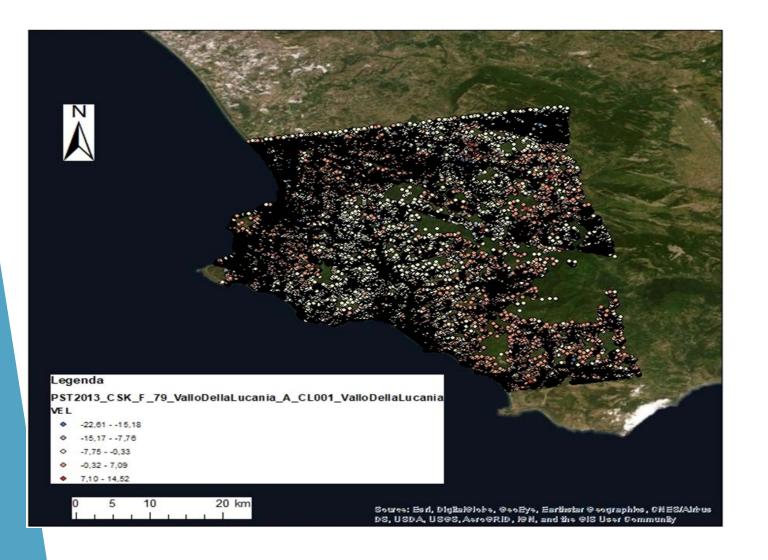




Le indagini geognostiche (sondaggi a carotaggio continuo, tomografie elettriche e sismiche) hanno permesso di inquadrare l'area interessata nel contesto geologico e geomorfologico. A favorire l'innesco della frana ha contribuito la particolare conformazione geologica dell'area.

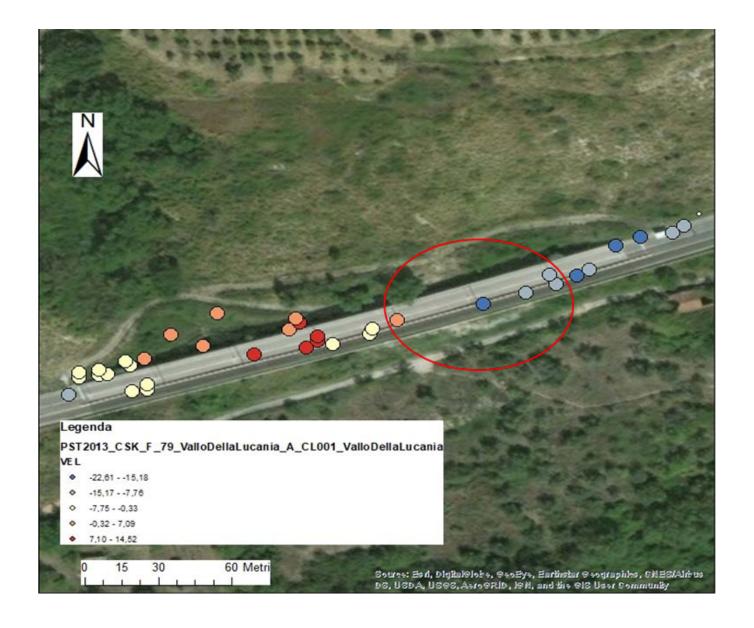
L'utilizzo di dati inclinometrici ha reso possibile il monitoraggio topografico della zona. Essi però hanno cessato di funzionare a seguito dello spostamento ulteriore del corpo di frana che ha comportato la notevole deformazione degli inclinometri.

### Si è quindi ritenuto opportuno utilizzare la tecnica DinSAR

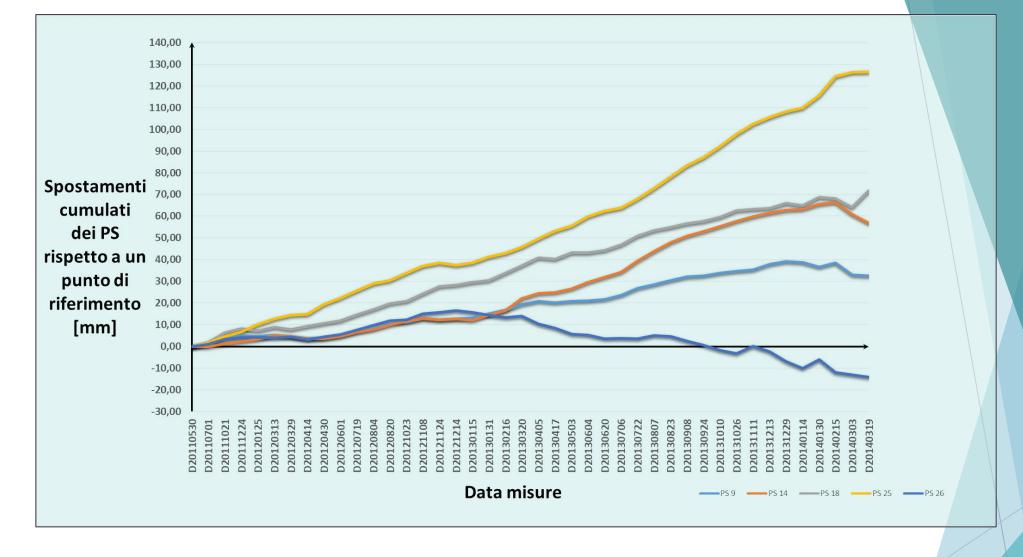


Grazie ai dati interferometrici acquisiti dal satellite Cosmo Sky-Med secondo l'orbita ascendente e fornitici dal Ministero dell'Ambiente, è stato possibile garantire continuità al monitoraggio topografico dell'area.

A ciascun punto raffigurato è associata la posizione e velocità media dei diffusori permanenti PS individuati, così come i valori di spostamento degli stessi rispetto a un punto di riferimento e misurati in diverse date nell'arco temporale considerato.



In particolare, attraverso l'uso del programma ArcGis, sono stati evidenziati i dati relativi ai PS posti in corrispondenza dei piloni del viadotto in fase di deformazione, per poter calcolare gli spostamenti cumulati nell'arco temporale analizzato (2011-2014).



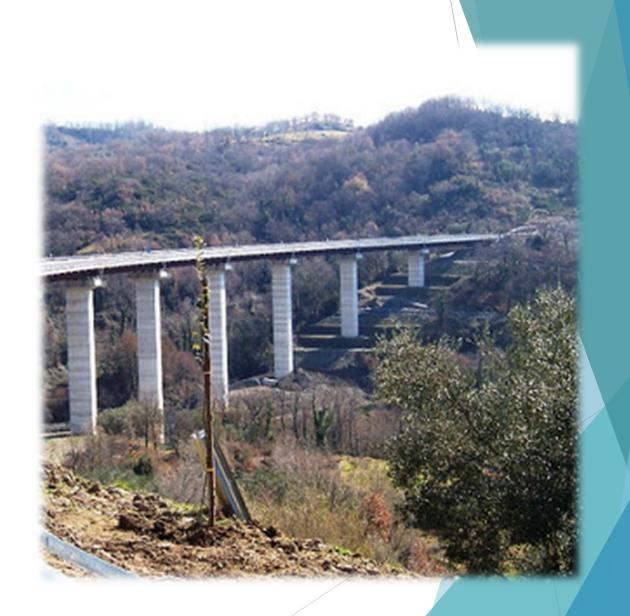
Il grafico ottenuto mostra l'evoluzione degli spostamenti misurati nel periodo temporale in cui sono state effettuate le acquisizioni.

l valori positivi di spostamento stanno ad indicare sollevamenti del terreno; <mark>valori negativi</mark> indicano abbassamenti dello stesso.

### In conclusione:

- grazie ai dati interferometrici è stato possibile continuare il monitoraggio per periodi non coperti dai dati inclinometrici (a causa della rottura degli inclinometri);
- effettuare una verifica complessiva della stabilità del viadotto e definire più dettagliatamente il progetto di recupero e ripristino dello stesso.

Si è ritenuto opportuno procedere al consolidamento e approfondimento del sistema fondale per tutti gli appoggi, al fine di garantire il recupero funzionale dell'intero viadotto.



# Grazie per l'attenzione!