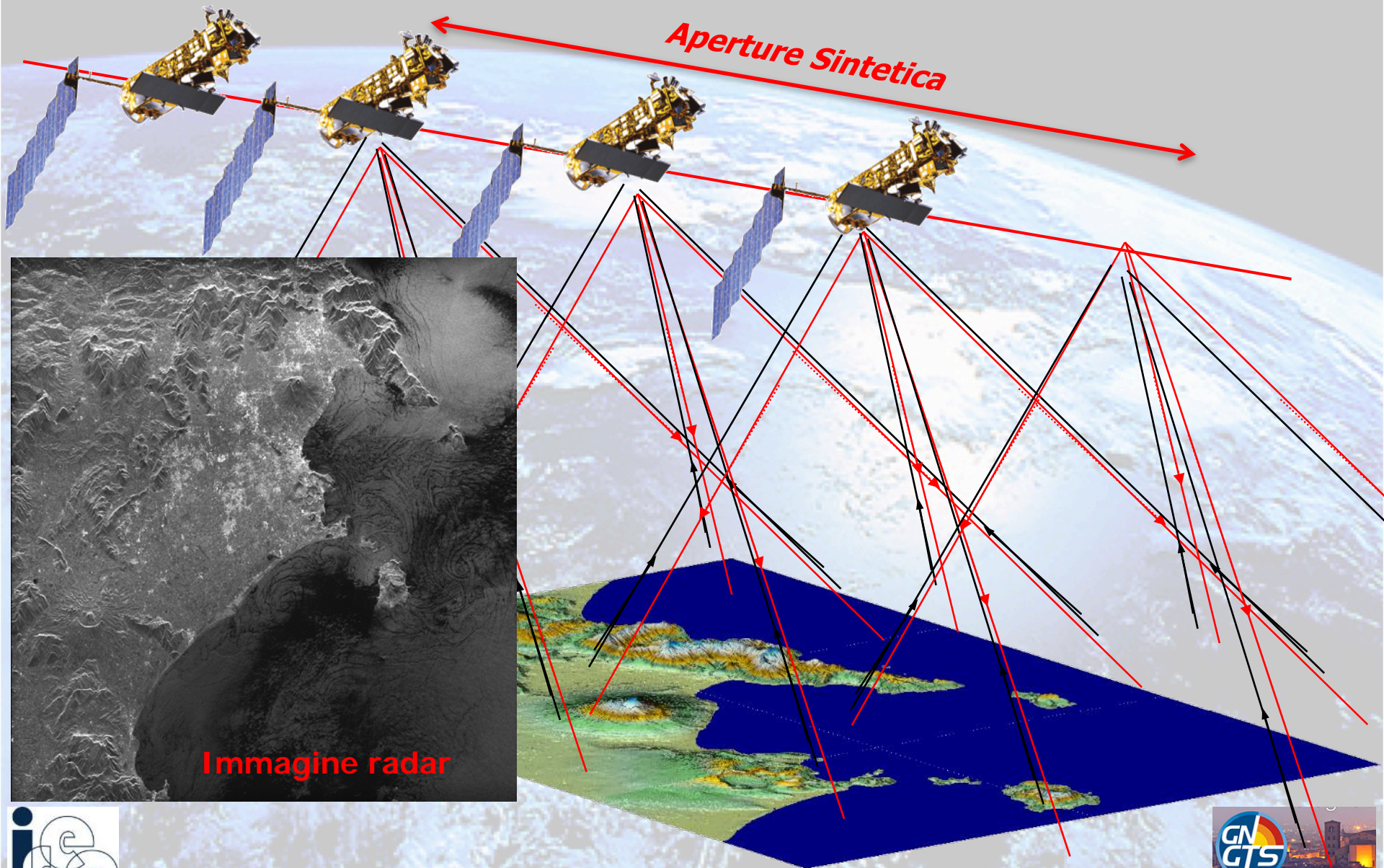


# Interferometria radar dallo spazio per lo studio delle deformazioni superficiali: 25 anni di sviluppi ed osservazioni

**Riccardo Lanari**

*Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente (IREA)  
Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR)  
Via Diocleziano, 328, 80124 Napoli  
e-mail: [lanari.r@irea.cnr.it](mailto:lanari.r@irea.cnr.it)*

# Radar ad apertura sintetica (SAR) satellitare: razionale



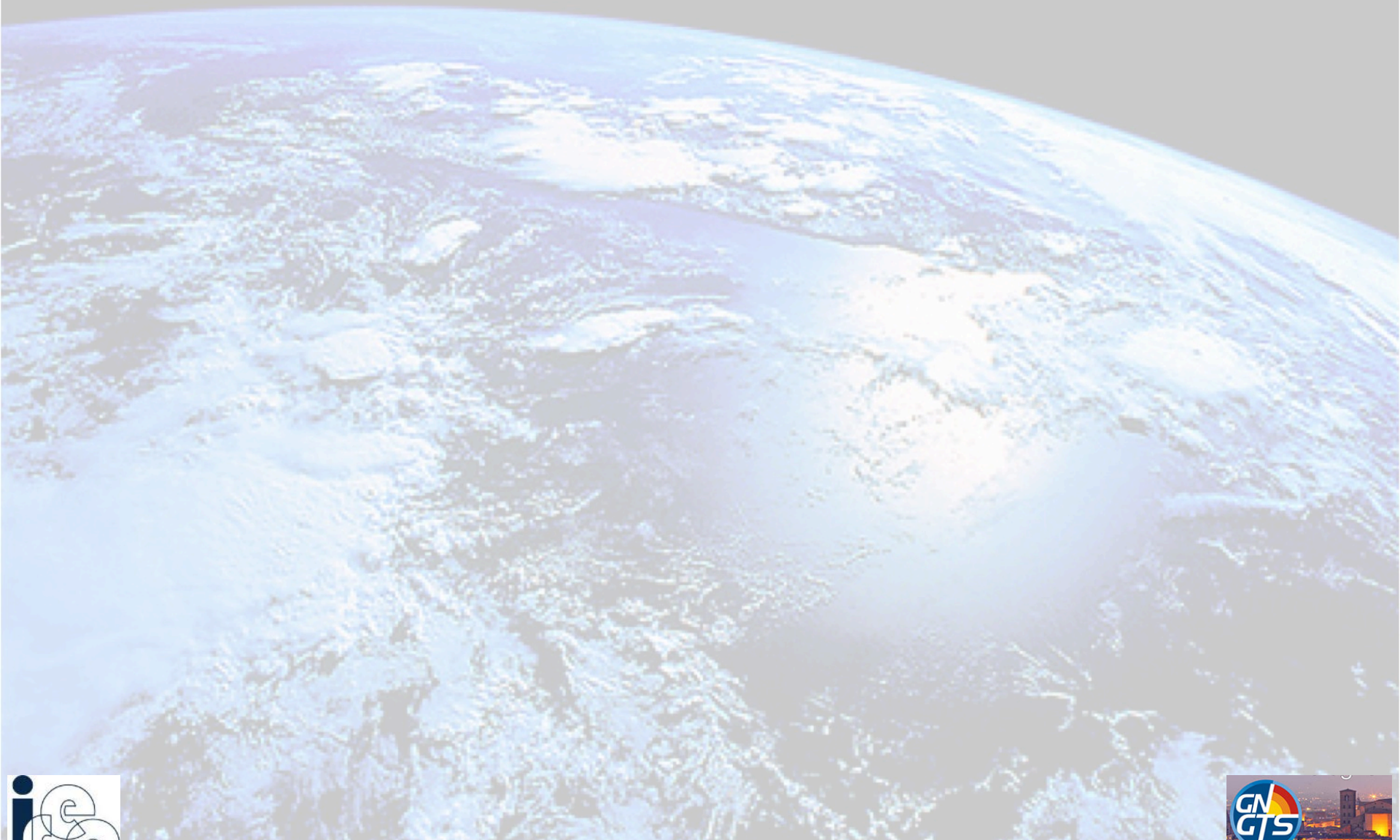
# Caratteristiche principali dei sistemi per l'imaging radar (SAR) dallo spazio

Sensori attivi: capacità di "osservare" sia di giorno sia di notte

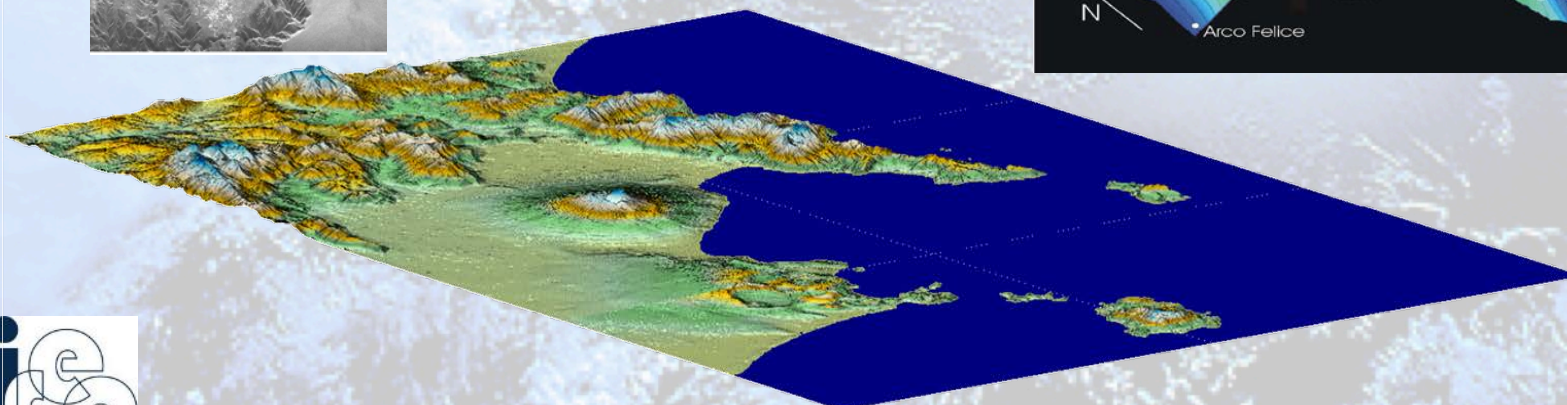
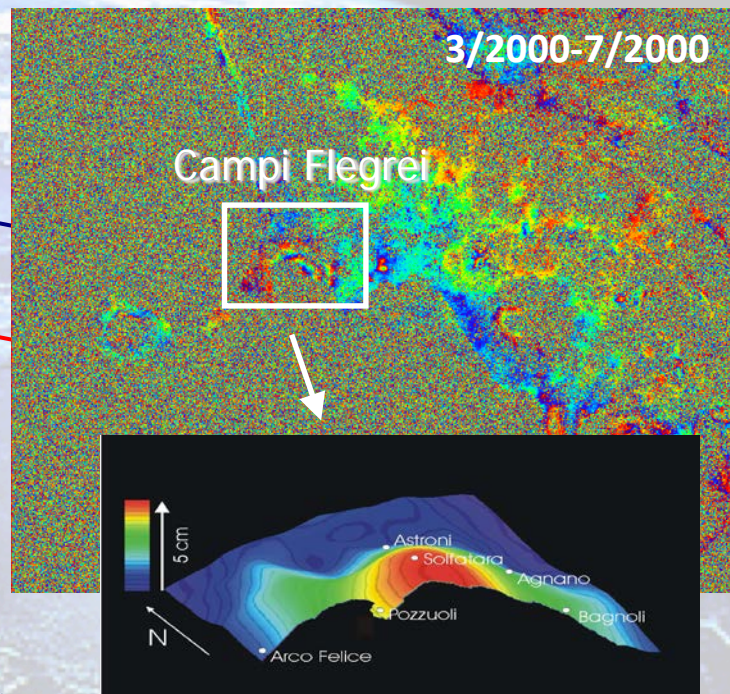
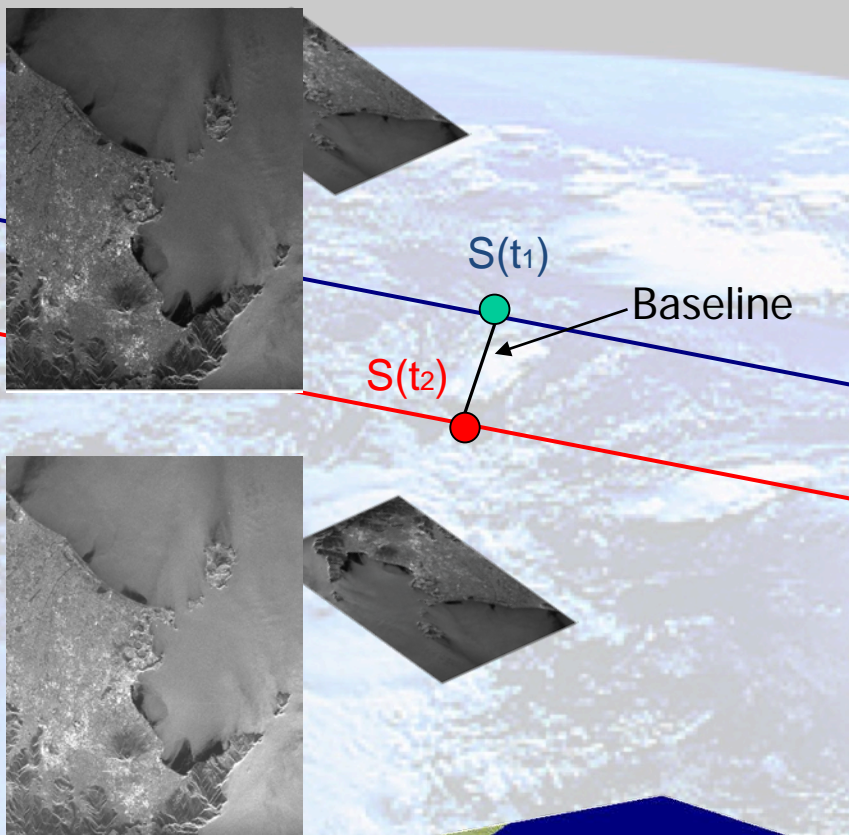
Sensori alle microonde: capacità di "osservare" anche in presenza di nuvole

Sensori coerenti: capacità di preservare informazioni sia di ampiezza sia di fase (Tecniche SAR e di Interferometria SAR)

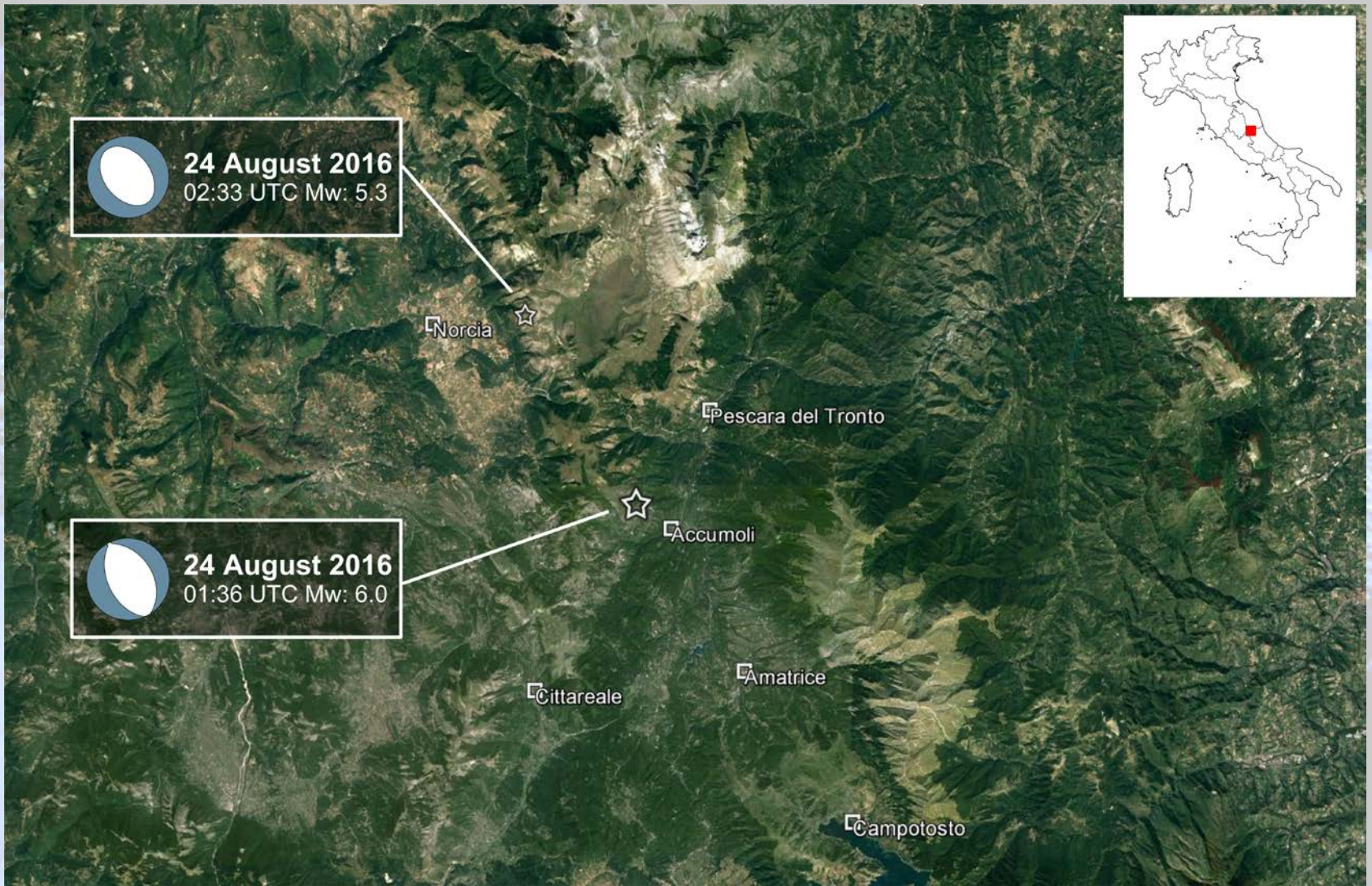
**Sensori Coerenti:** possiamo applicare tecniche di Interferometria SAR Differenziale (DInSAR)



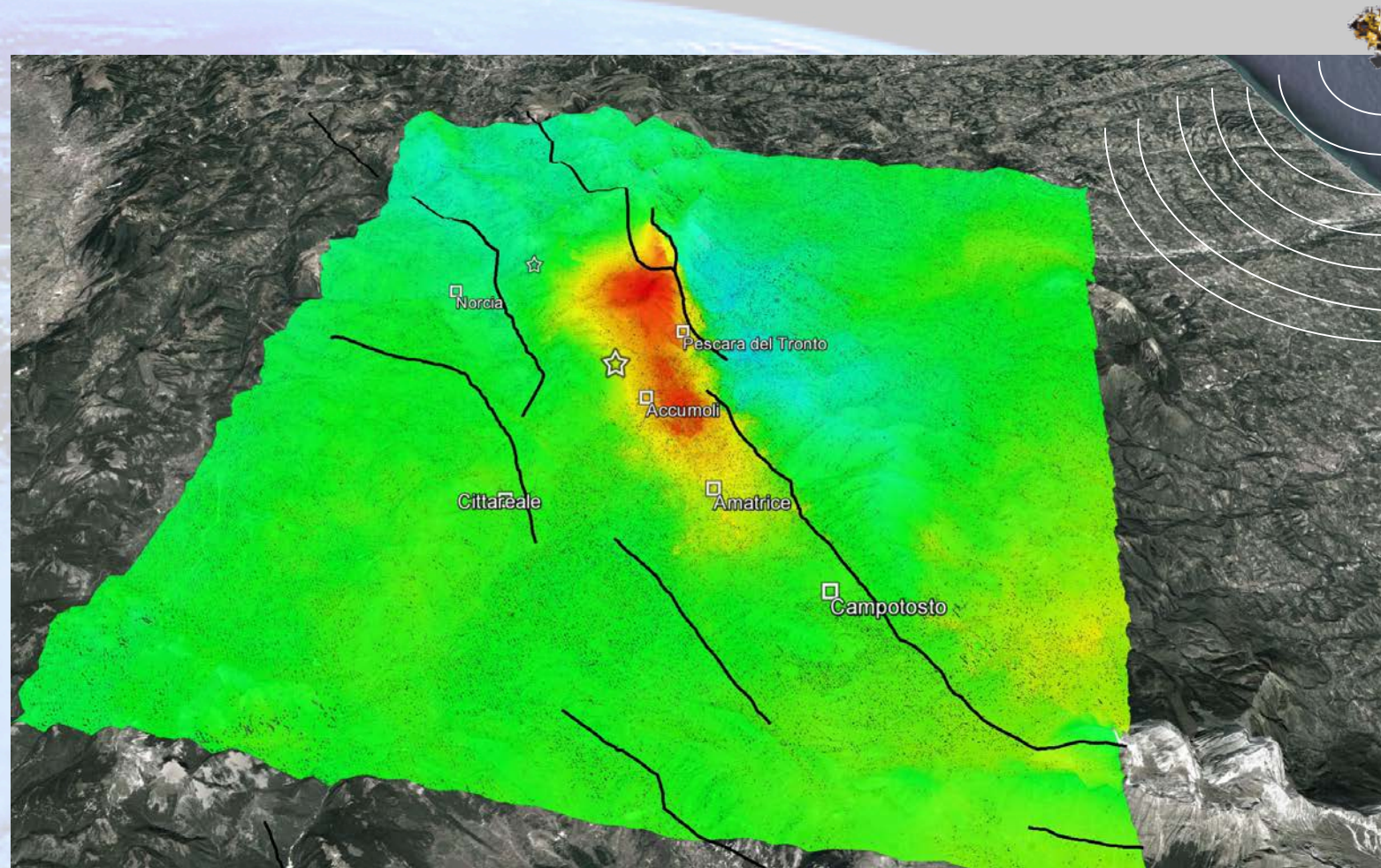
## Scenario DInSAR



# Terremoto di Amatrice (24/08/2016)



# Analisi DInSAR satellitari delle deformazioni del suolo a seguito del terremoto di Amatrice (24/08/2016)



<-20

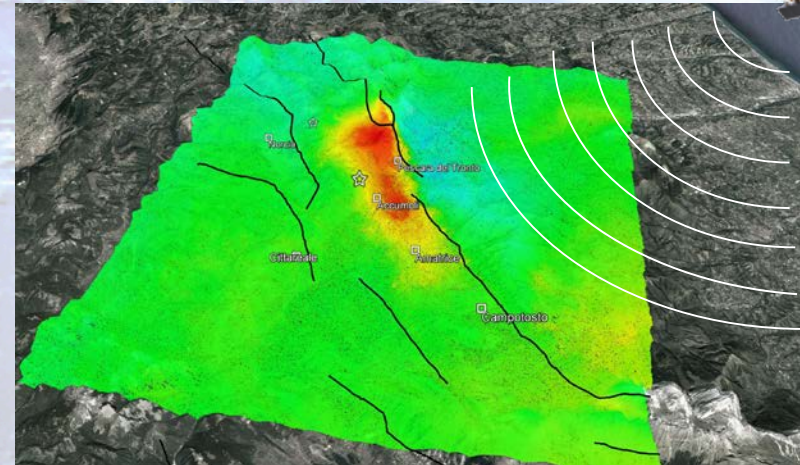
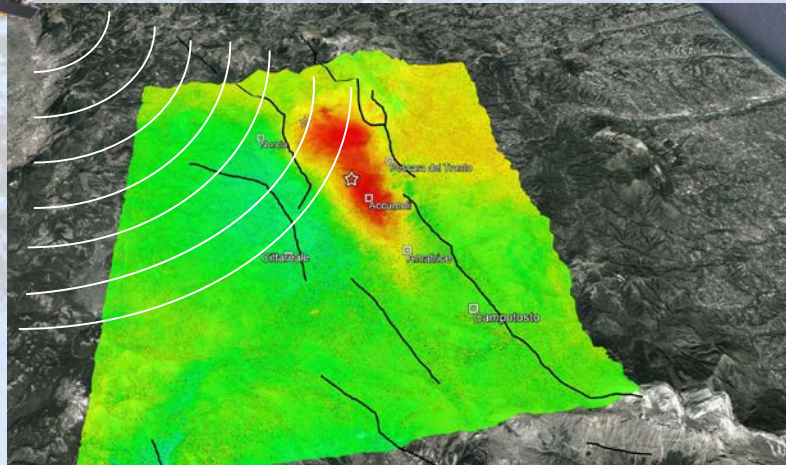
LOS Deformation [cm]

>20

# Analisi DInSAR: dalle **misure di deformazione in LOS ....**

Sentinel-1 ASC (15082016 – 27082016)

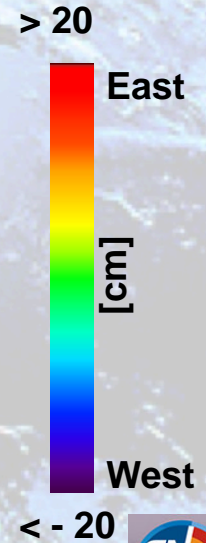
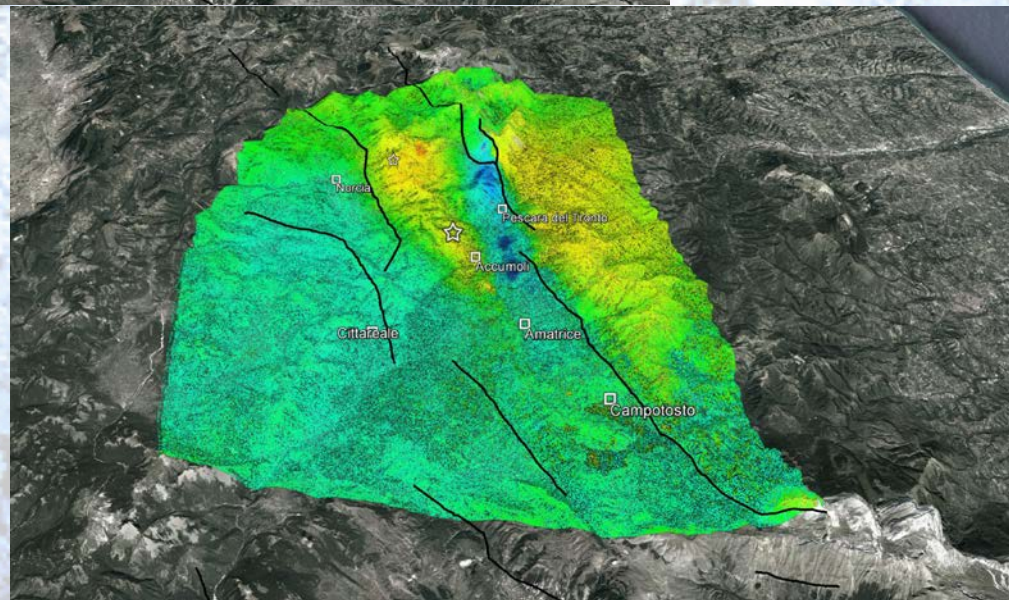
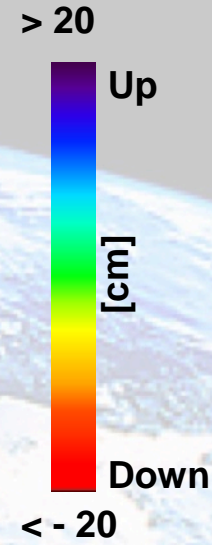
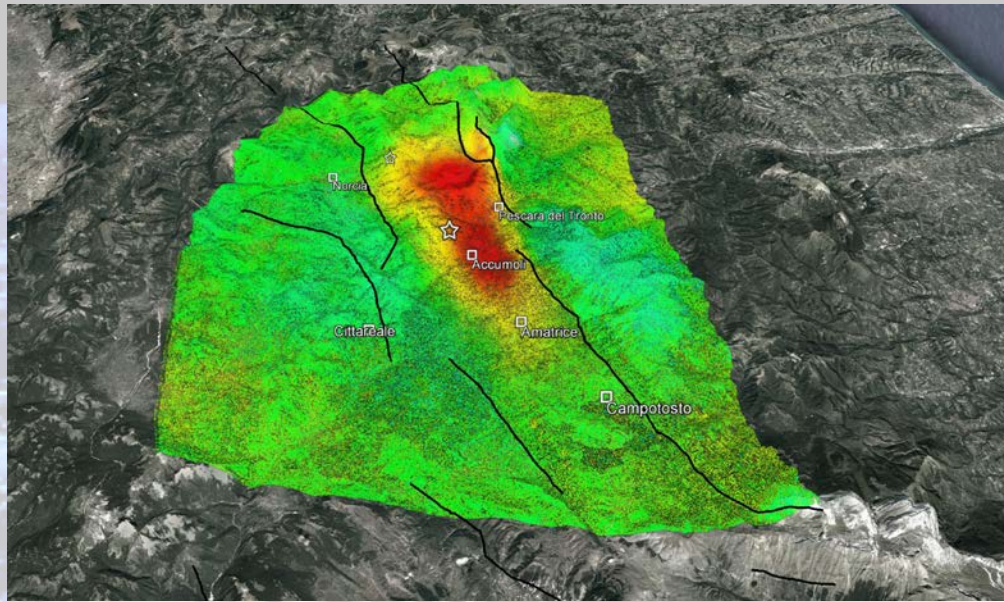
Sentinel-1 DESC (21082016 – 27082016)



**<-20**      **LOS Deformation [cm]**      **>20**



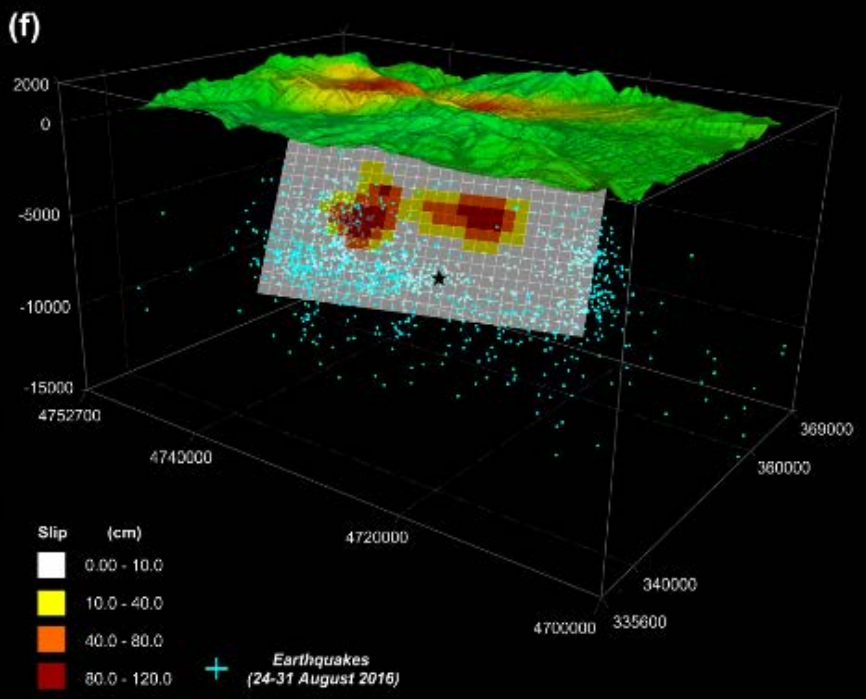
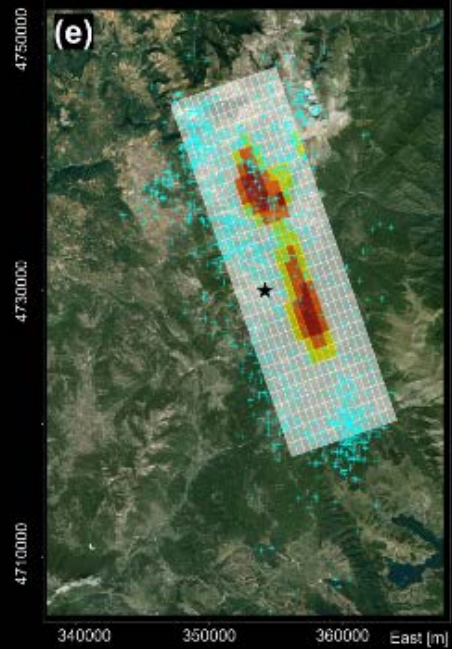
# .... alla stima delle componenti **Verticale ed Est-Ovest**



# Modello della sorgente del terremoto di Amatrice

(d)

	Length (km)	Width (km)	Top Depth (km)	Strike (°)	Dip (°)	Rake (°)	East (km)	North (km)	Average Slip (cm)
Single fault	38 (0.4)	14 (0.7)	0.5 (0.1)	161 (2)	46 (1)	-92 (2)	355.645 (1.0)	4732.150 (1.0)	60 (10)



# La tecnica DInSAR può essere utilizzata in numerosi contesti...

## SISMICO



## VULCANICO



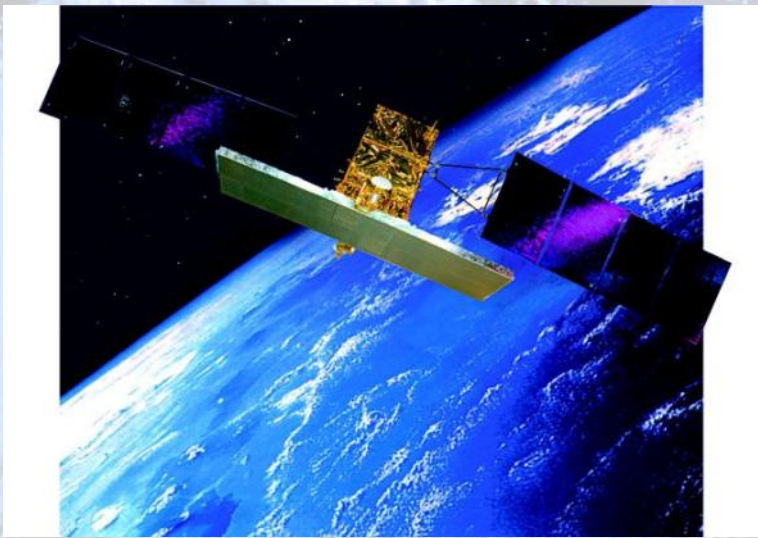
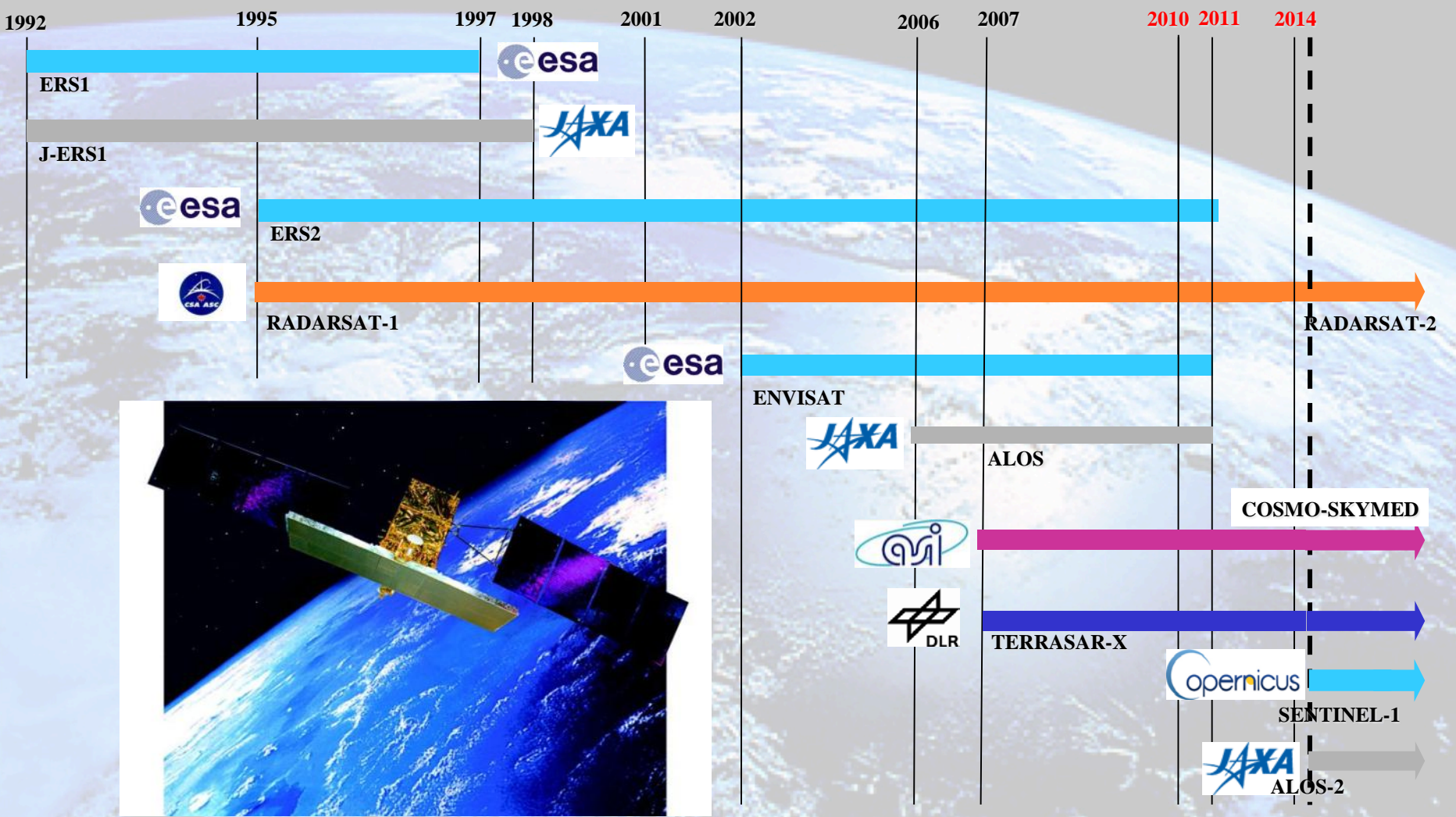
## URBANO



## IDROGEOLOGICO

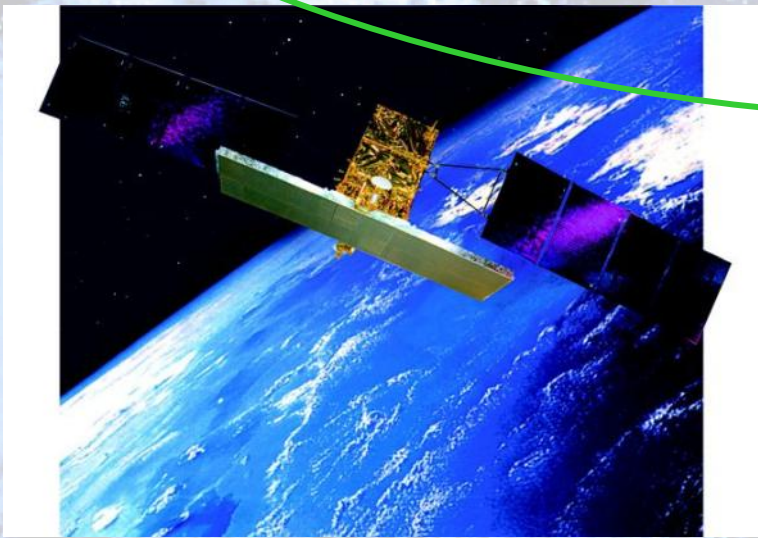
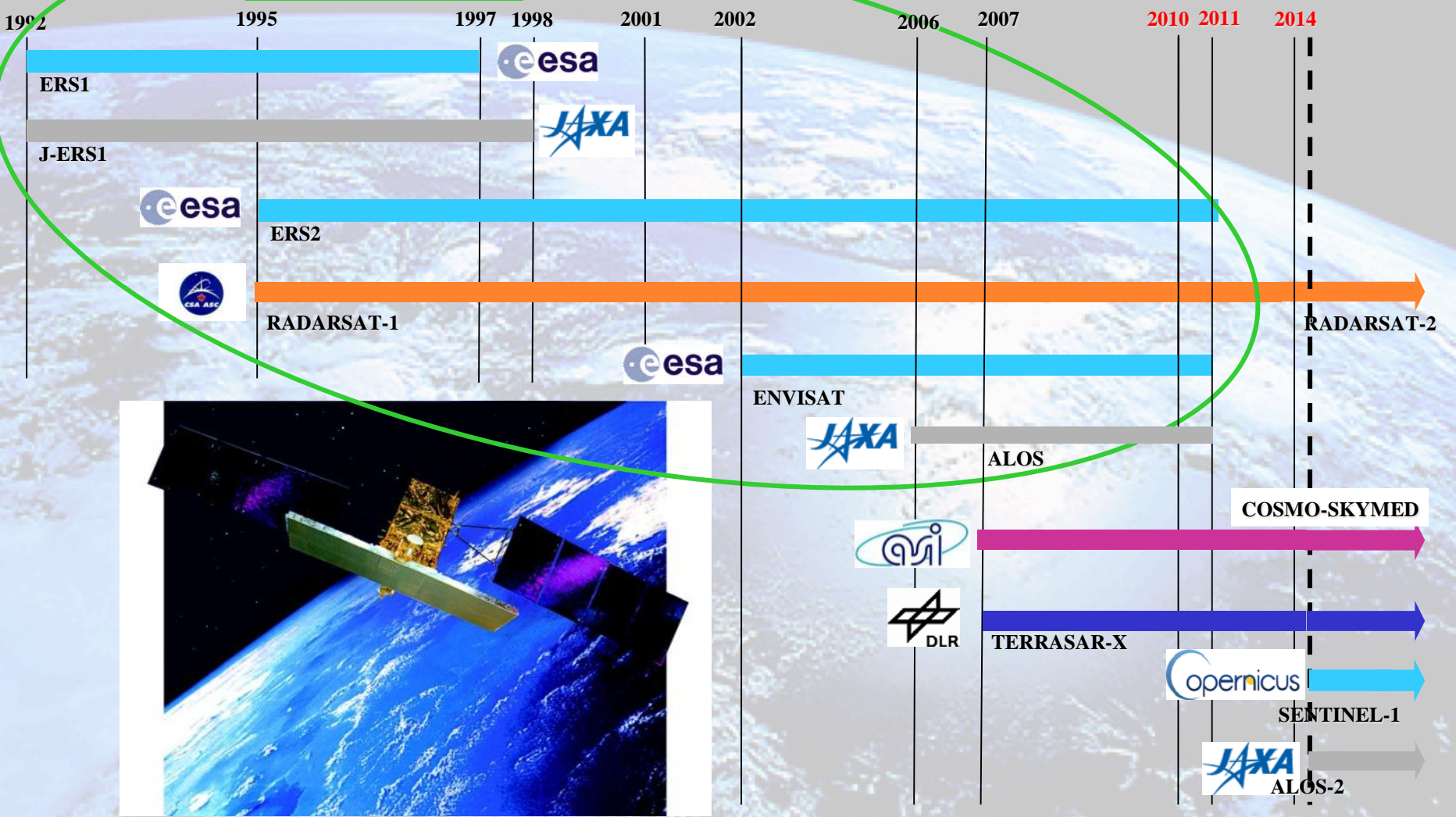


# Sviluppo temporale dei satelliti radar per l'Osservazione della Terra



# Sviluppo temporale dei satelliti radar per l'Osservazione della Terra

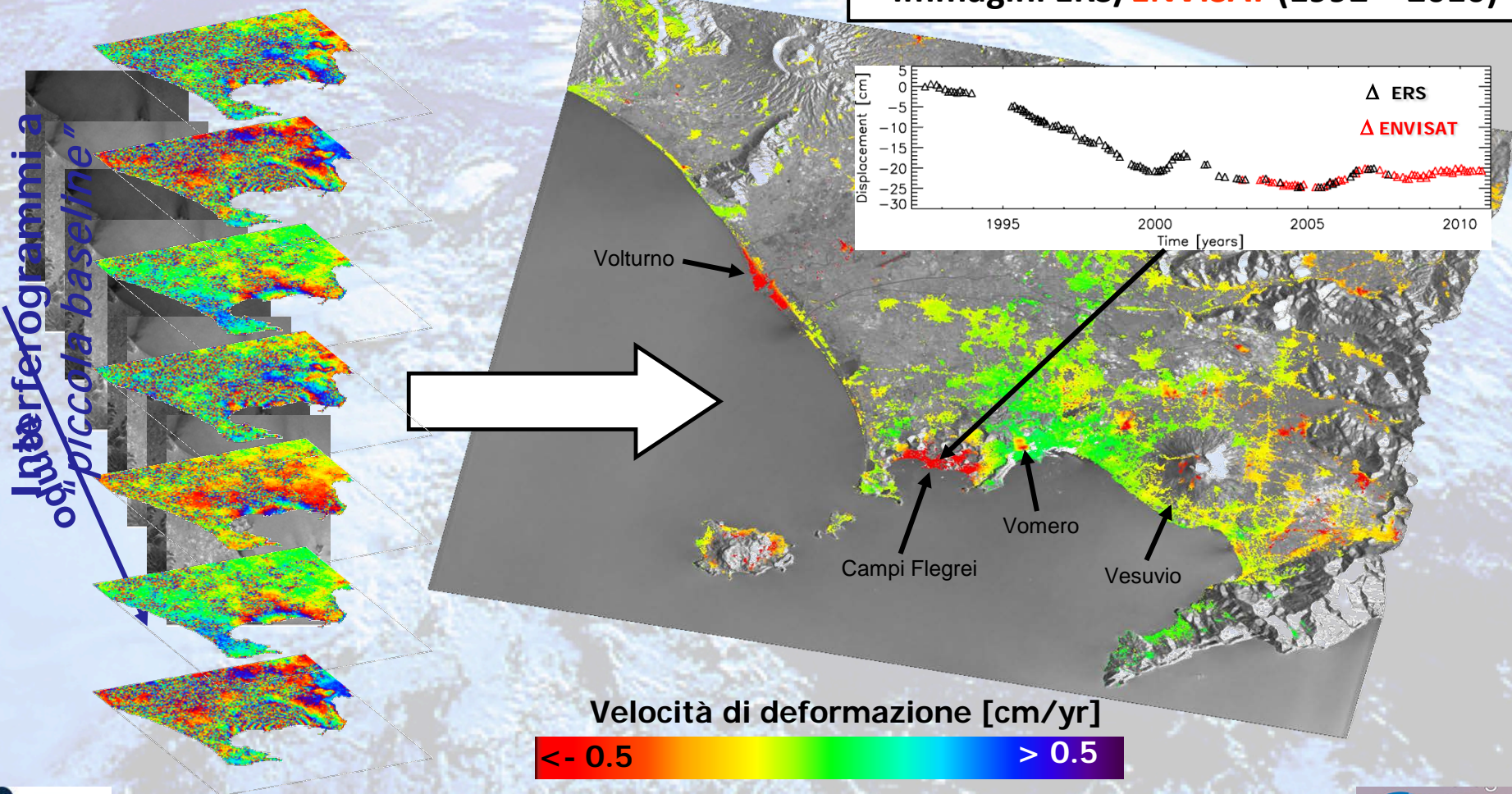
## Prima Generazione



# Analisi satellitare delle evoluzioni temporali delle deformazioni

Tecnica Small Baseline Subset (SBAS)

Immagini ERS/ENVISAT (1992 – 2010)



Velocità di deformazione [cm/yr]

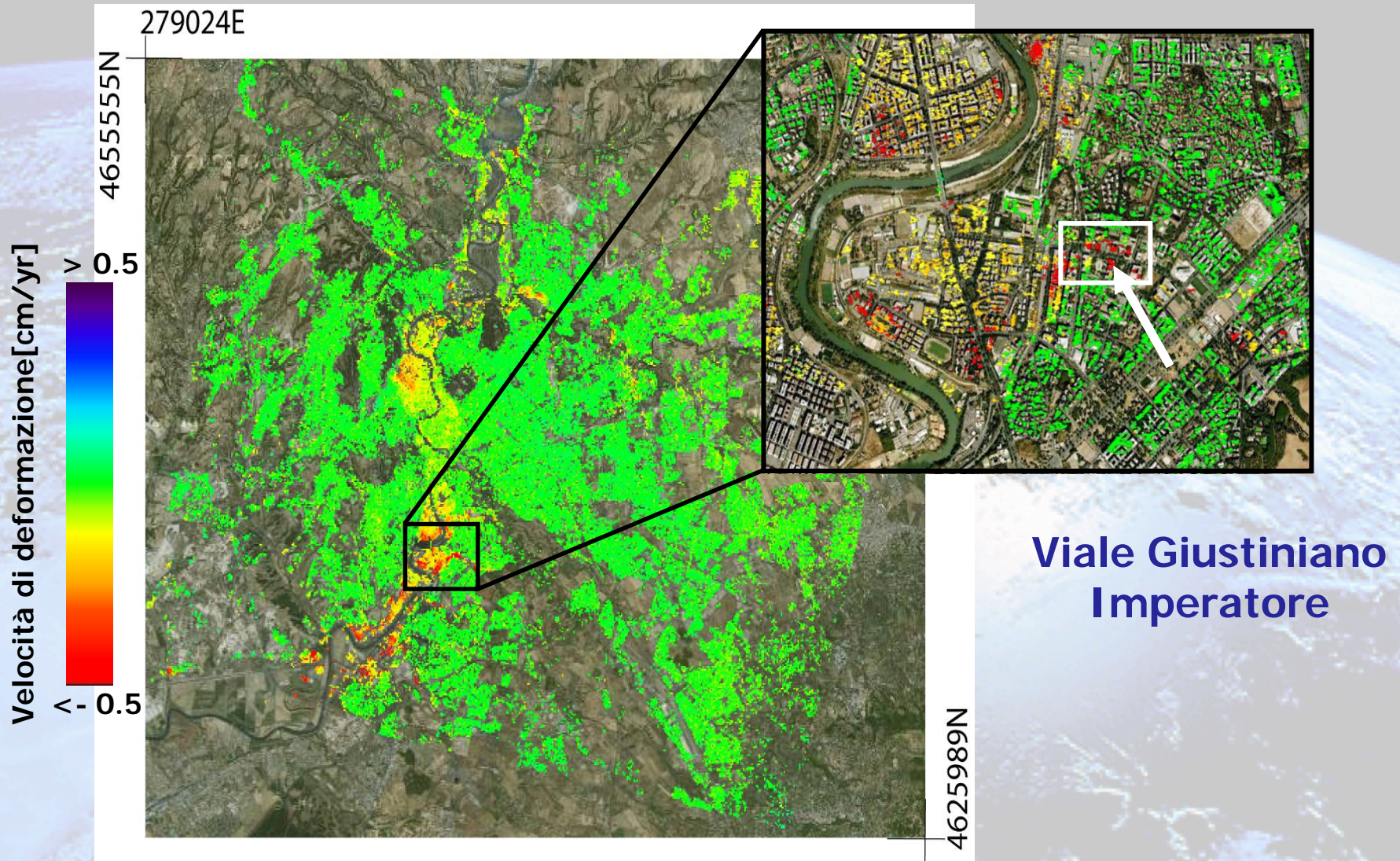
$< -0.5$

$> 0.5$

*Berardino et al., 2002, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*

*Pepe et al., 2005, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*

# Analisi DInSAR di fenomeni deformativi in aree urbane: Roma



Viale Giustiniano  
Imperatore

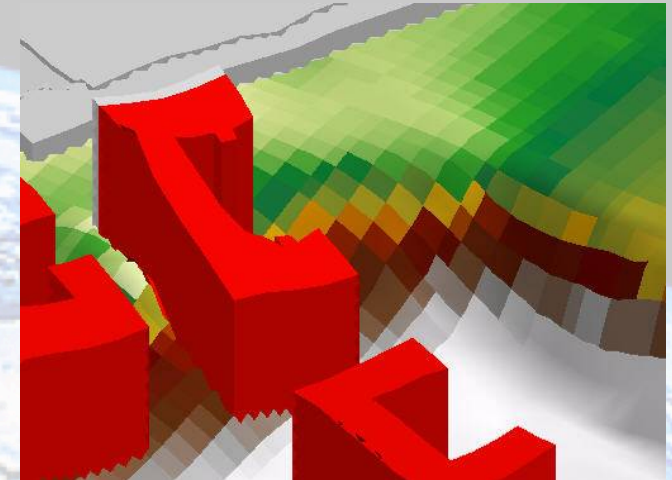
Immagine ERS/ENVISAT (1992 – 2010)

37° Convegno Nazionale del GNGTS, Bologna, 19 - 21 Novembre 2018

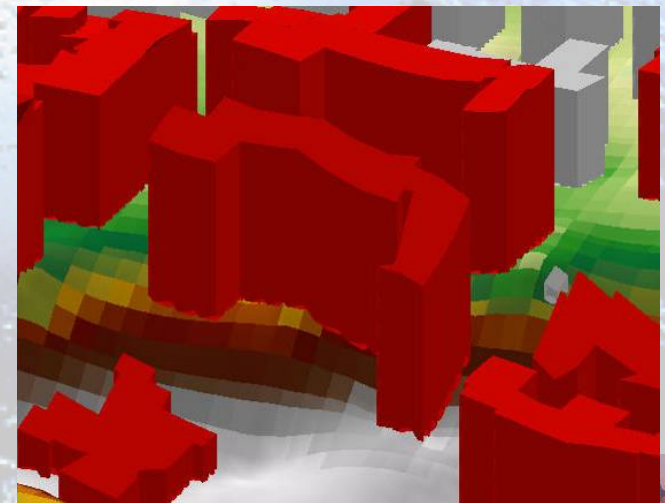
# Strutture affette da fenomeni deformativi



*Building 1*

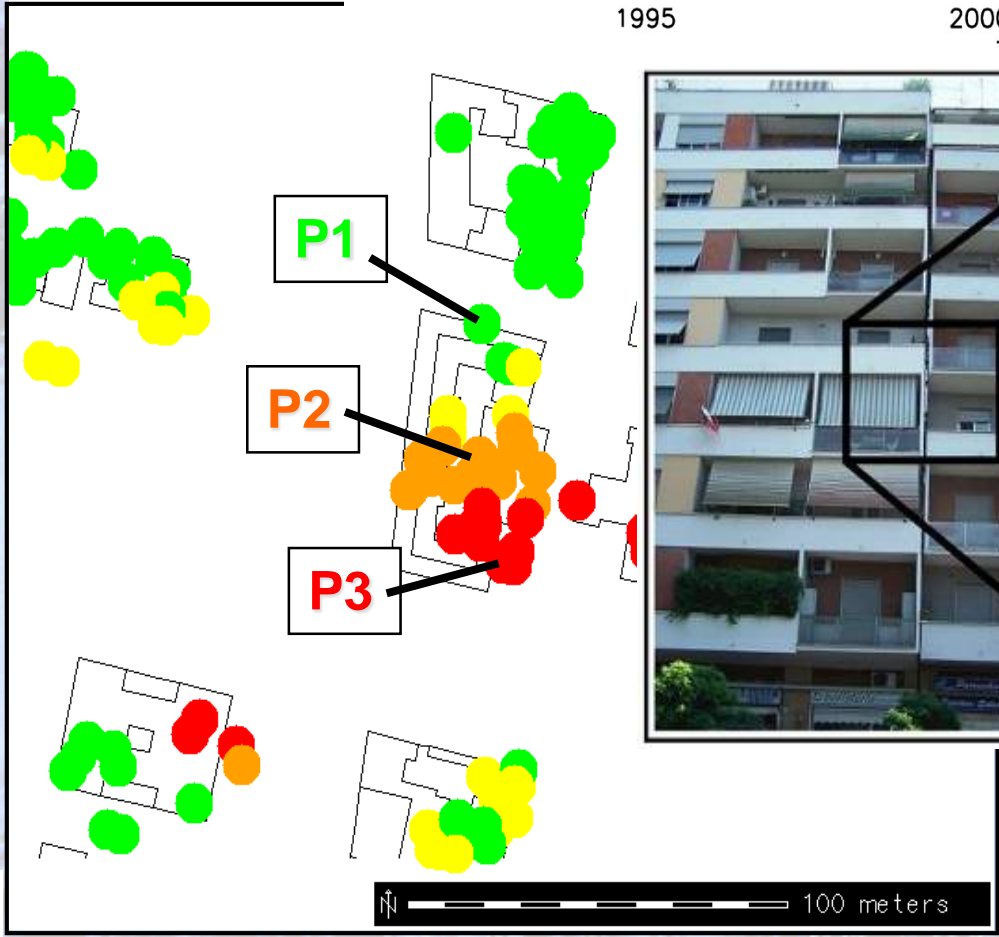
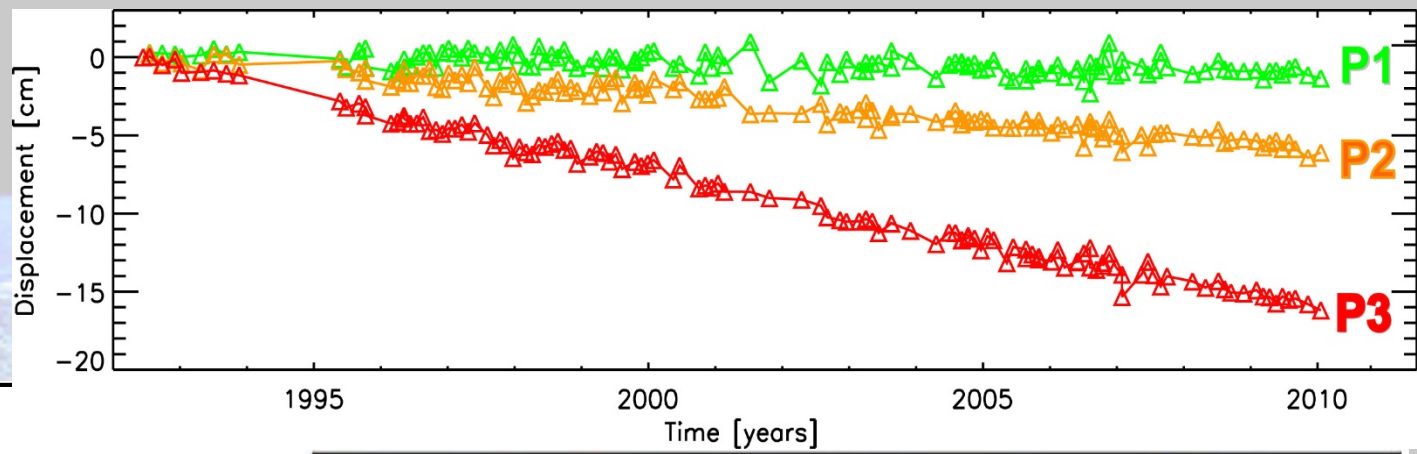


*Building 2*

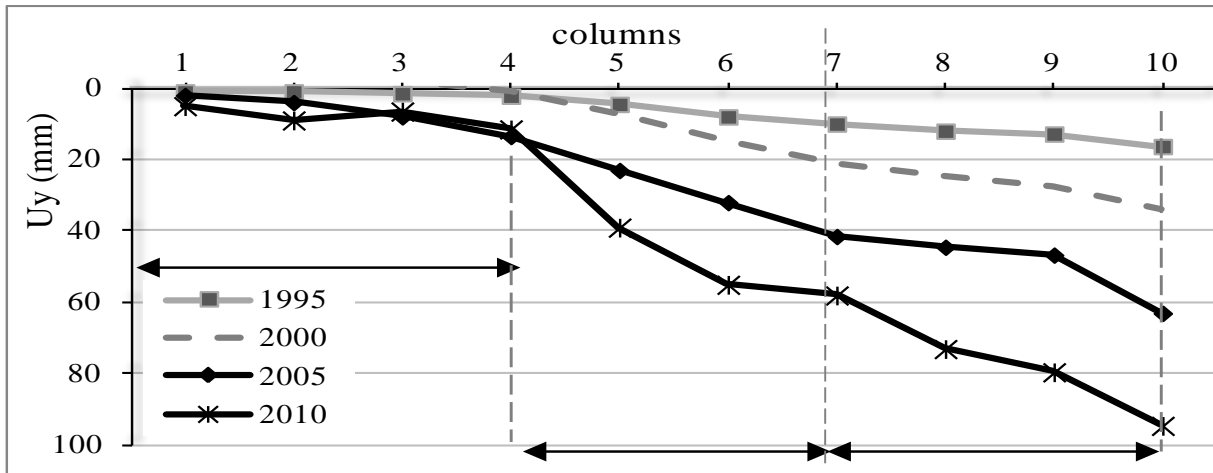
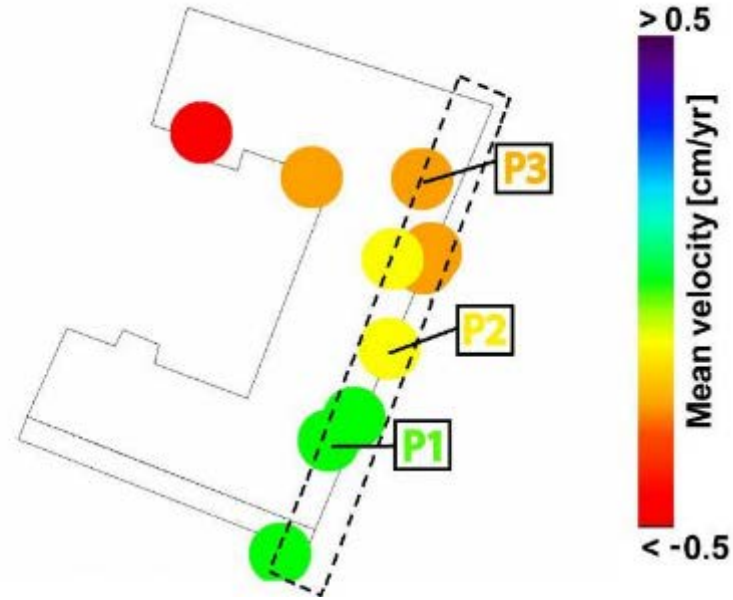




# Analisi DInSAR dei cedimenti degli edifici: Viale Giustiniano Imperatore

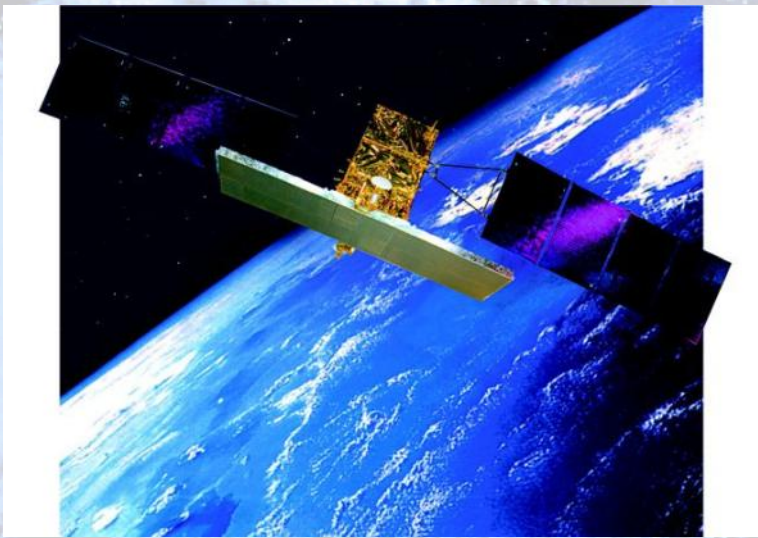
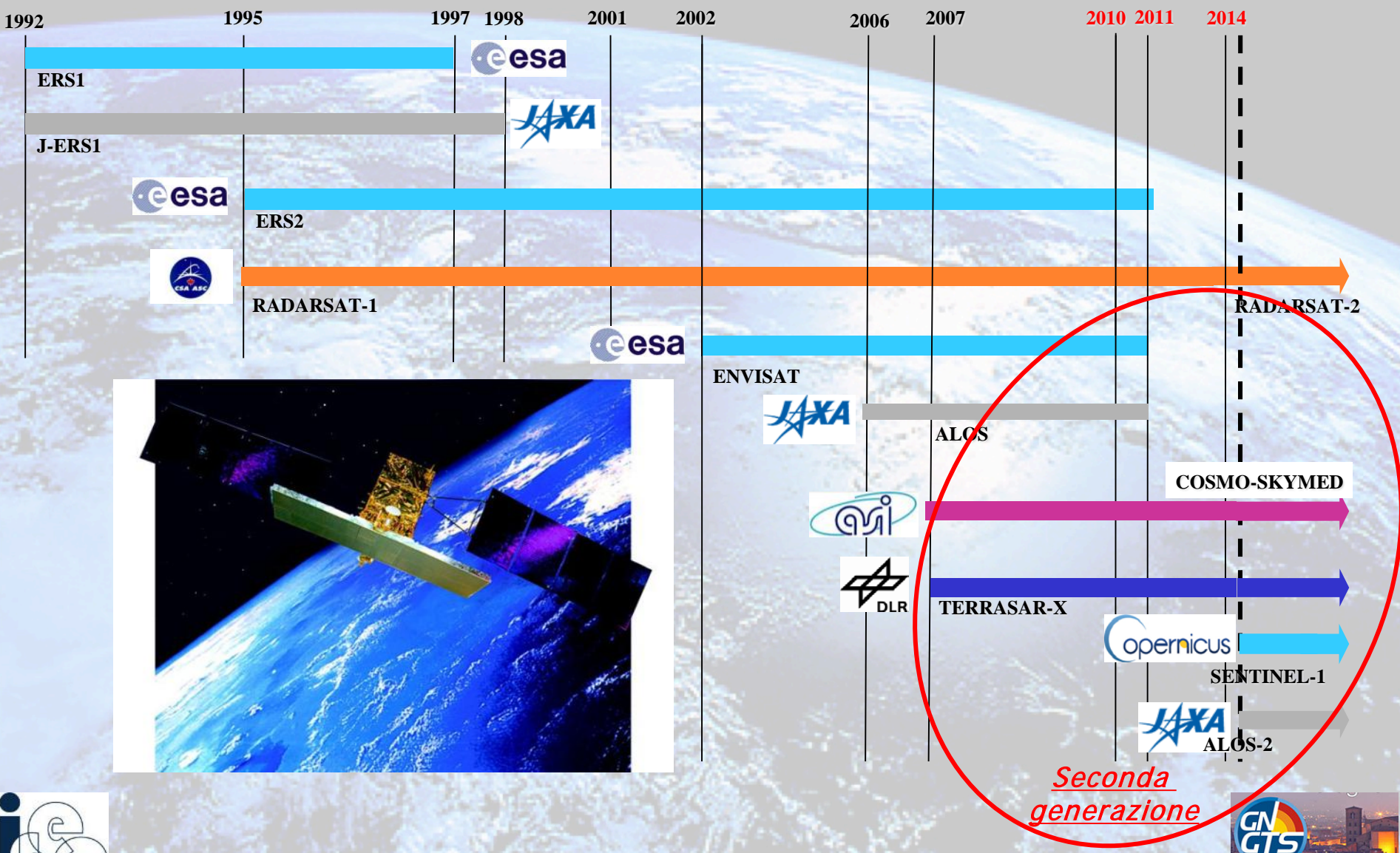


# Analisi DInSAR dei cedimenti strutturali degli edifici in aree di dissesto: Viale Giustiniano Imperatore



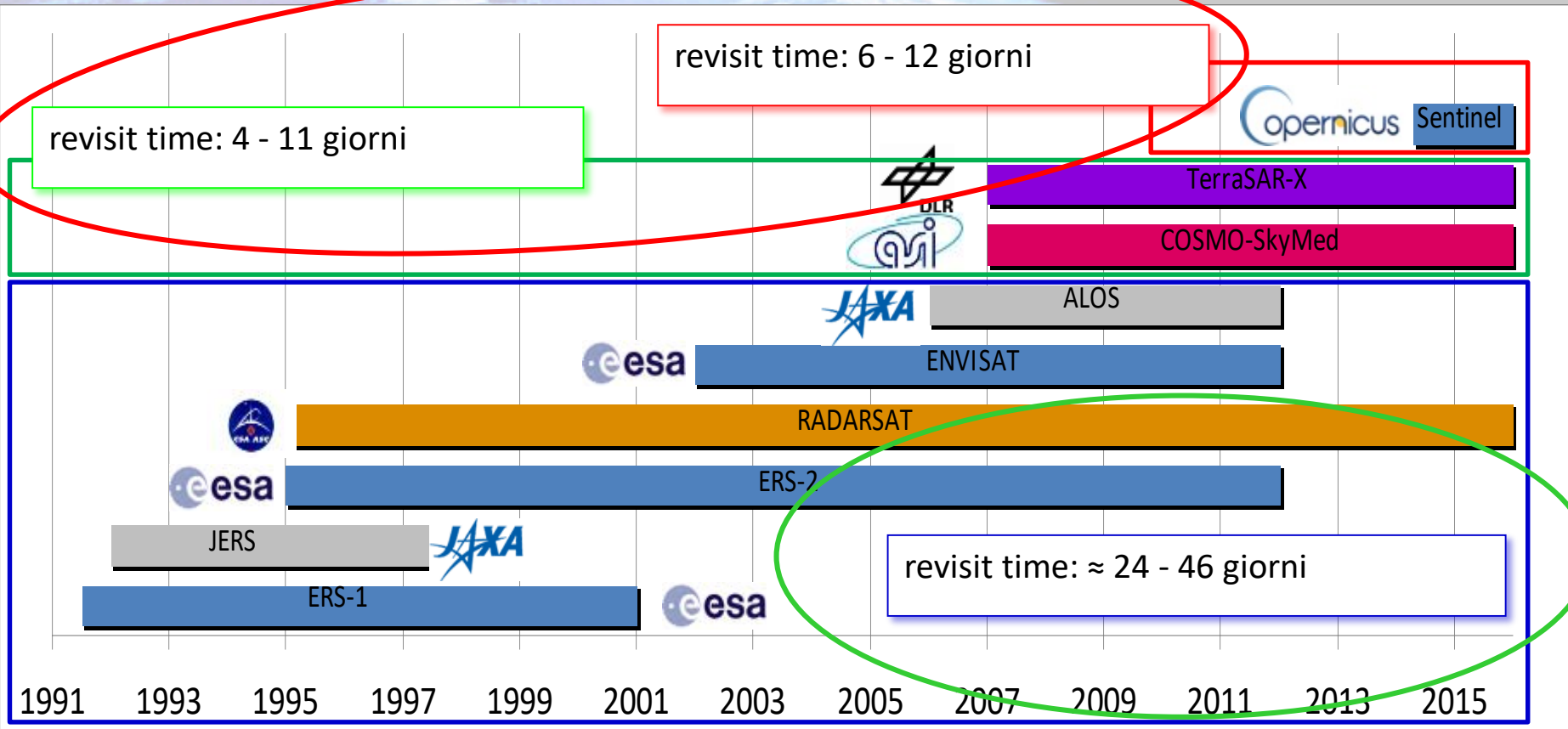
L'integrazione delle misure DInSAR con le informazioni sulle strutture può fornire una stima speditiva del danneggiamento

# Sviluppo temporale dei satelliti radar per l'Osservazione della Terra



# Sviluppo temporale dei satelliti radar per l'osservazione della Terra

*Seconda generazione*



Time

*Prima Generazione*



# Costellazione Sentinel-1 (S1)

Sentinel-1A



Sentinel-1B

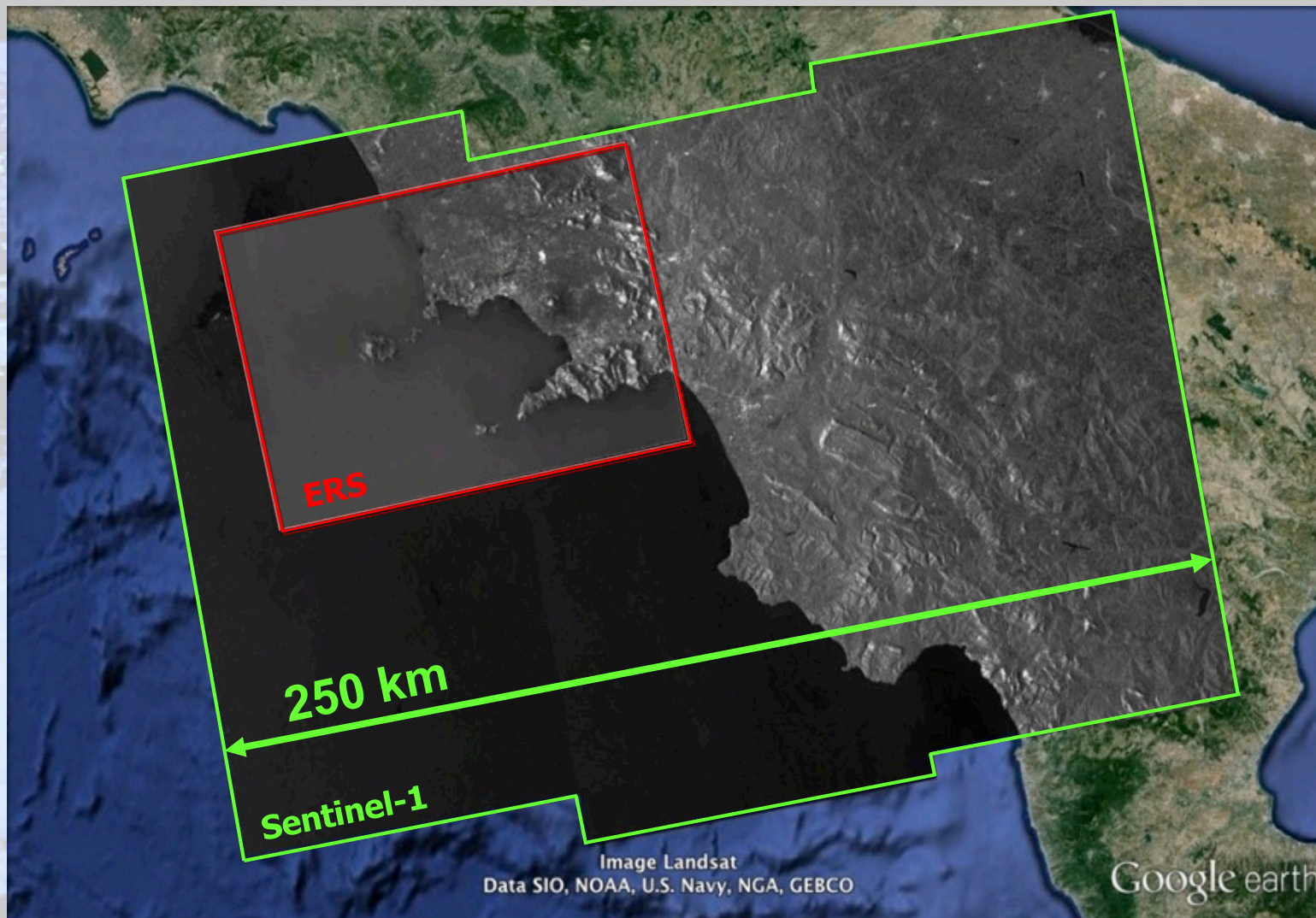


Sentinel-1A

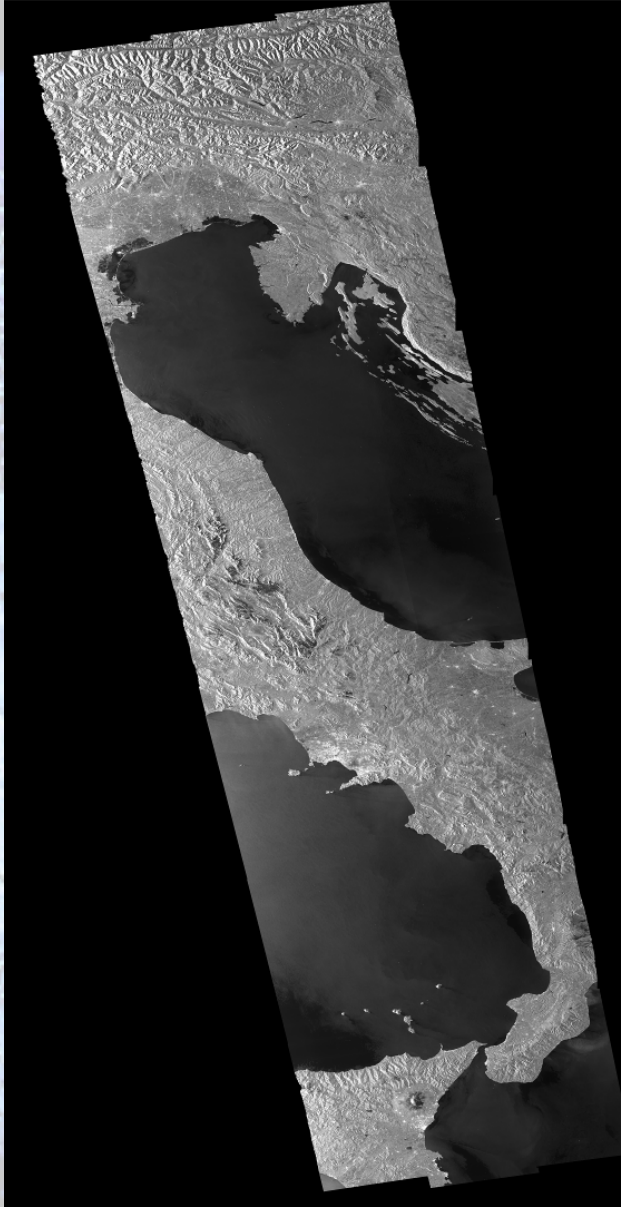


- Risoluzione spaziale: 15 m x 4 m
- Copertura del suolo: 250 km
- Banda C ( $\lambda \sim 5.6$  cm)
- Copertura globale
- Accesso ai dati S1 "free and open"
- Lancio satelliti: 4/2014- 4/2016

# Costellazione Sentinel-1: verso una copertura globale

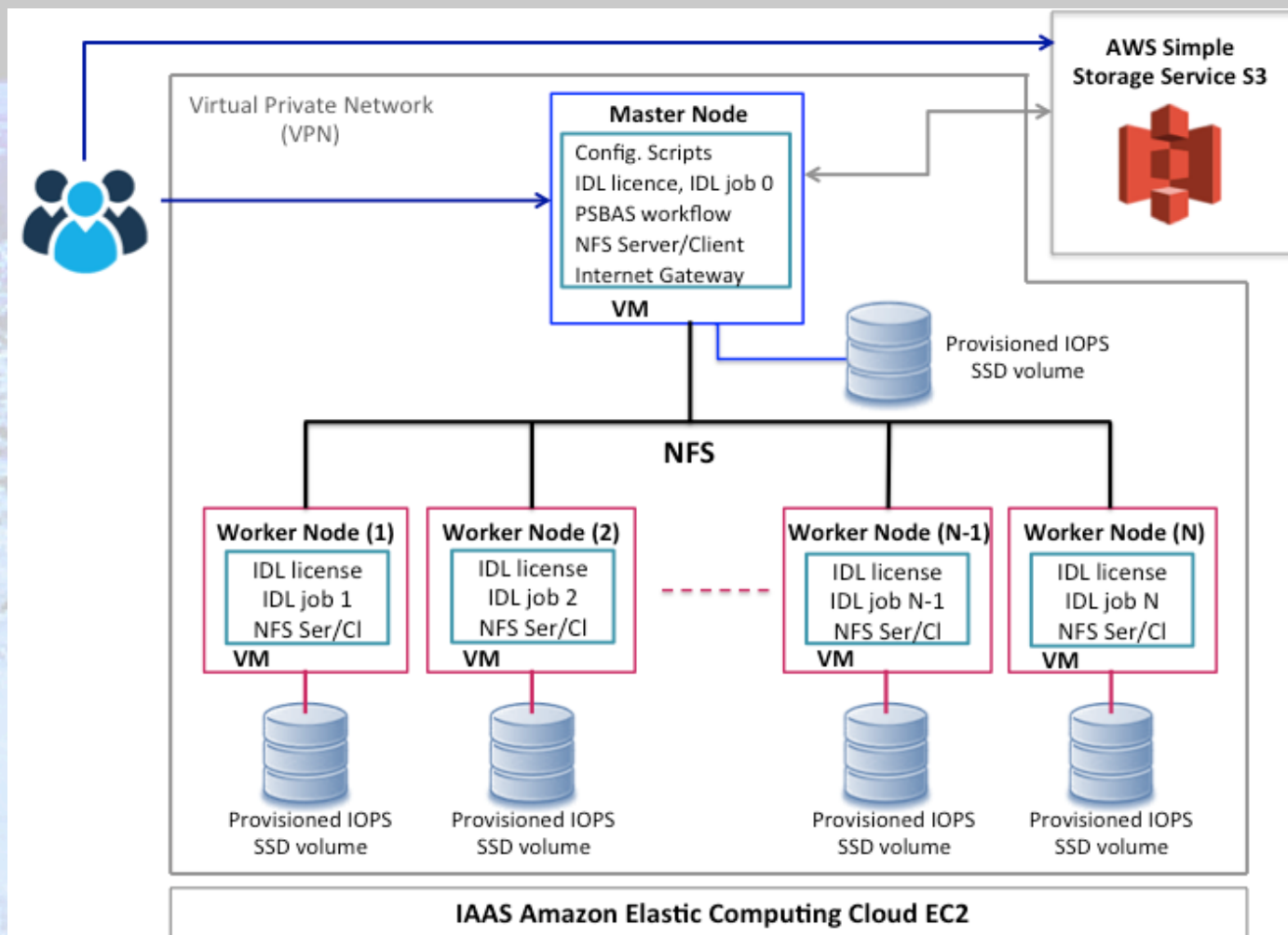


# Costellazione Sentinel-1: analisi DInSAR a scala nazionale



Possibilità di *mappare*  
l'intera Italia

# Elaborazione SBAS nel Cloud: Amazon Web Services (AWS)



Casu et al., 2014, *IEEE JSTARS*

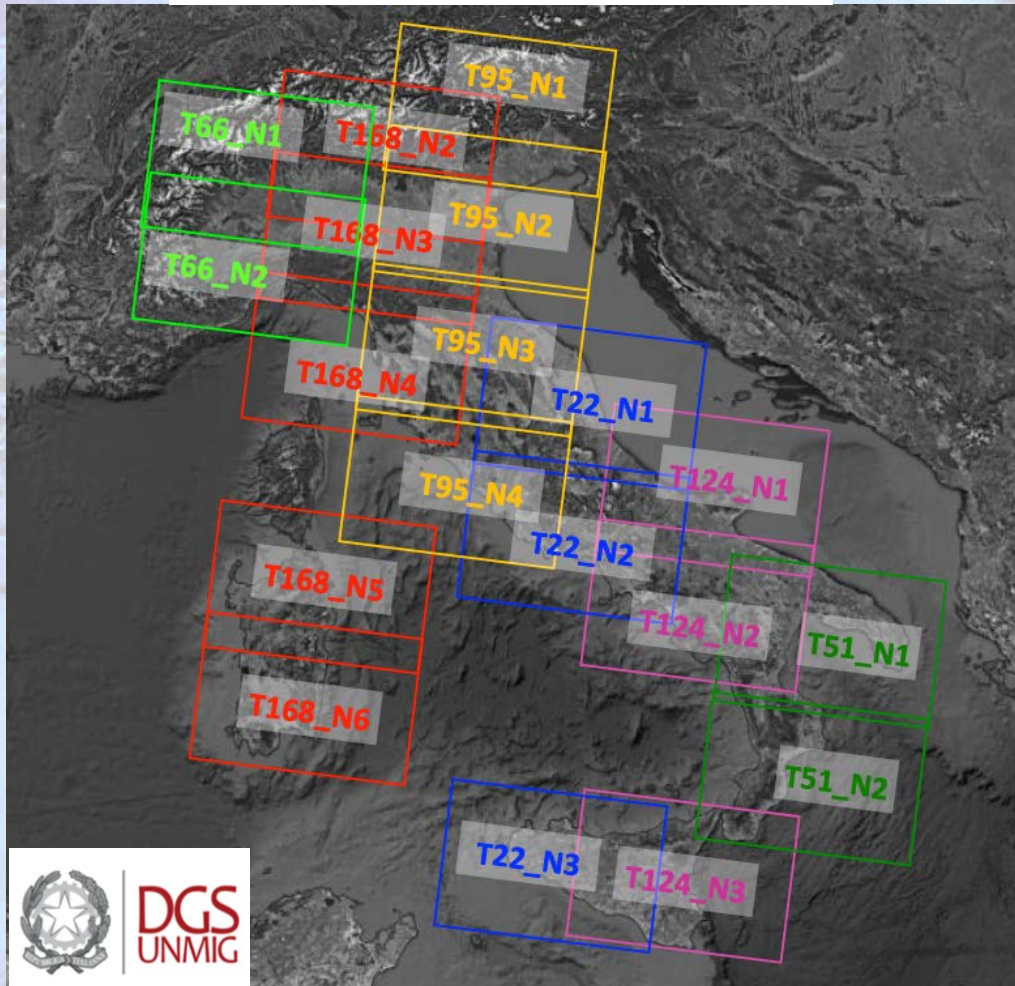
Zinno et al., 2015, *IEEE JSTARS*

Zinno et al., 2015, *IEEE Transaction Cloud Computing*



# Costellazione Sentinel-1: analisi DInSAR a scala nazionale

Orbite Discendenti (Marzo 2015 – Settembre 2018)



Frame	Number of S-1 slice	Number of S-1 acquisitions
T66_N1	292	139
T66_N2	391	153
T168_N2	286	138
T168_N3	286	150
T168_N4	303	149
T168_N5	319	149
T168_N6	279	128
T95_N1	290	145
T95_N2	308	145
T95_N3	295	144
T95_N4	289	138
T22_N1	327	145
T22_N2	330	145
T22_N3	288	137
T124_N1	300	150
T124_N2	359	150
T124_N3	353	144
T51_N1	361	144
T51_N2	375	144
<b>TOTAL</b>	<b>6031</b>	<b>2737</b>



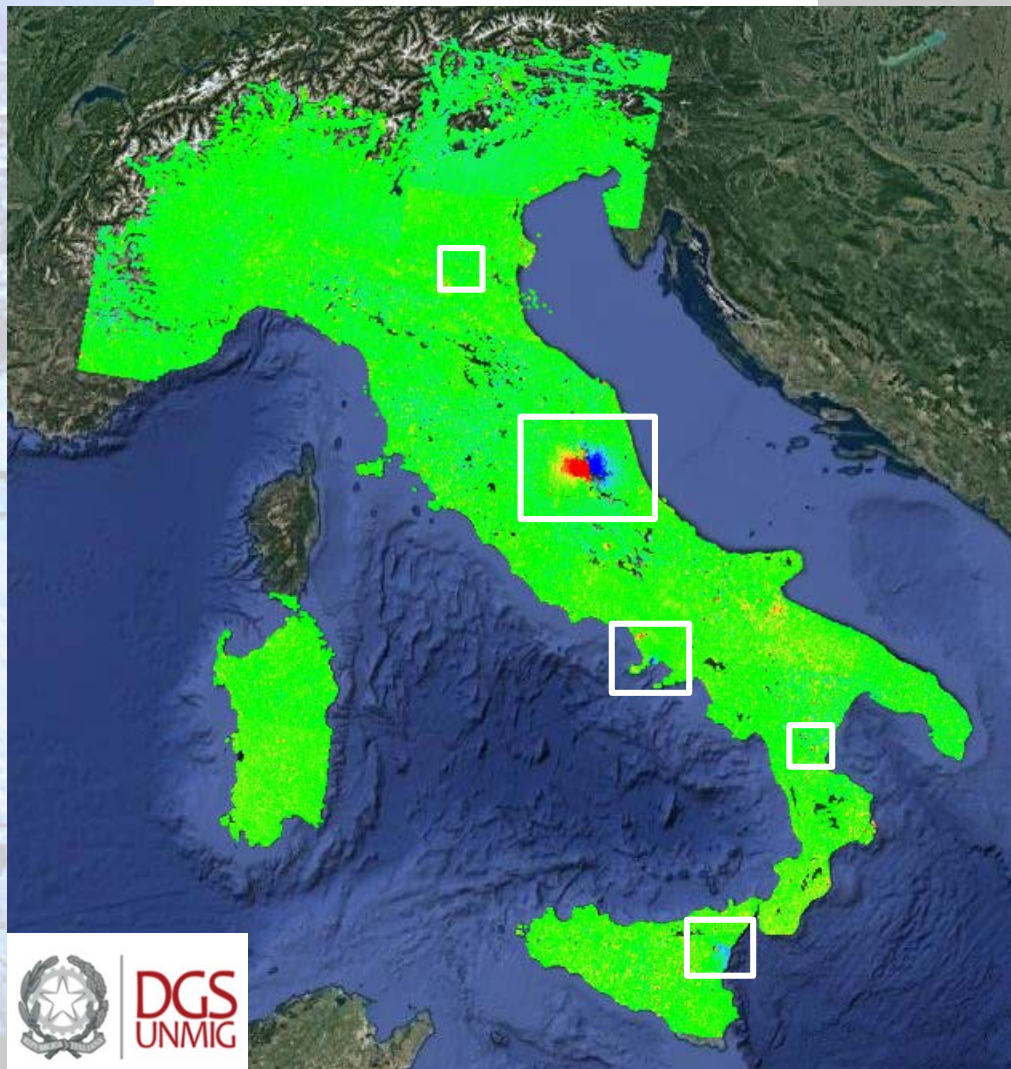
# Costellazione Sentinel-1: analisi DInSAR a scala nazionale

Orbite Discendenti (Marzo 2015 – Settembre 2018)

Velocità media di deformazione  
LOS [cm/year]

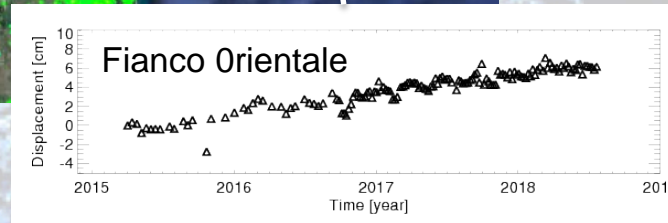
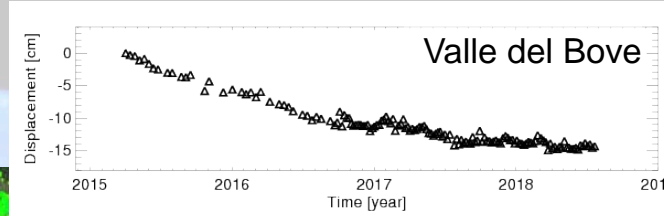
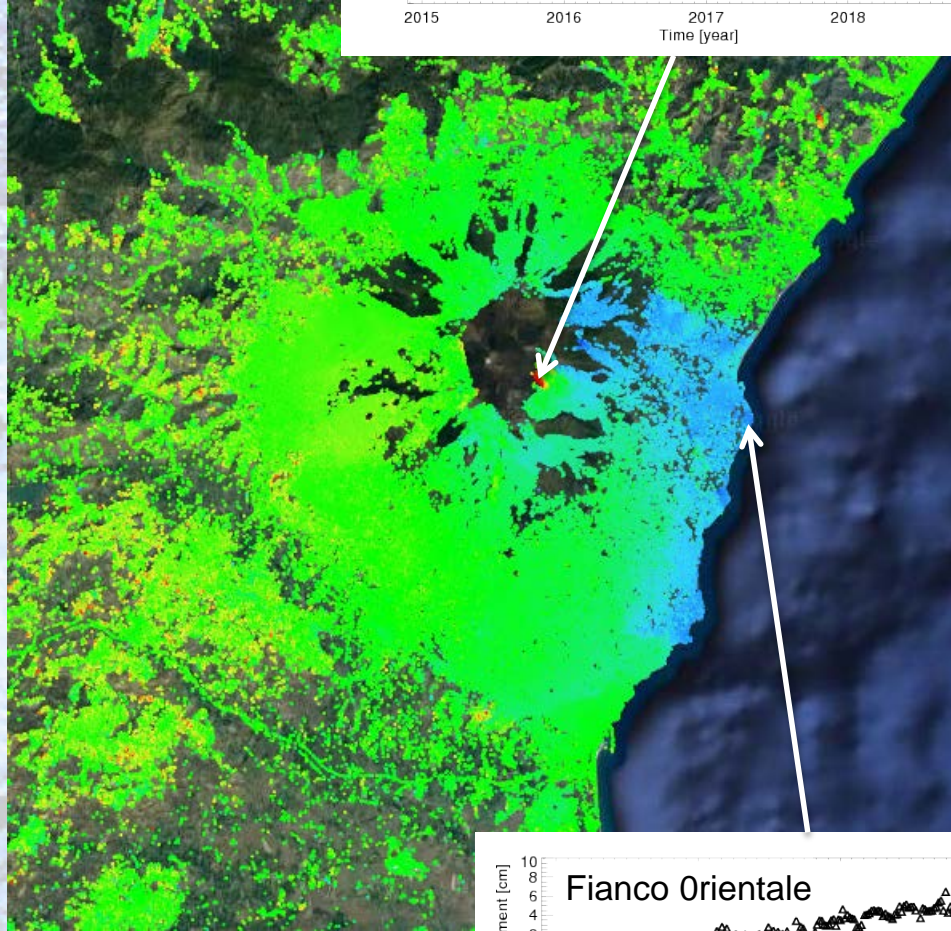
> 3

< -3



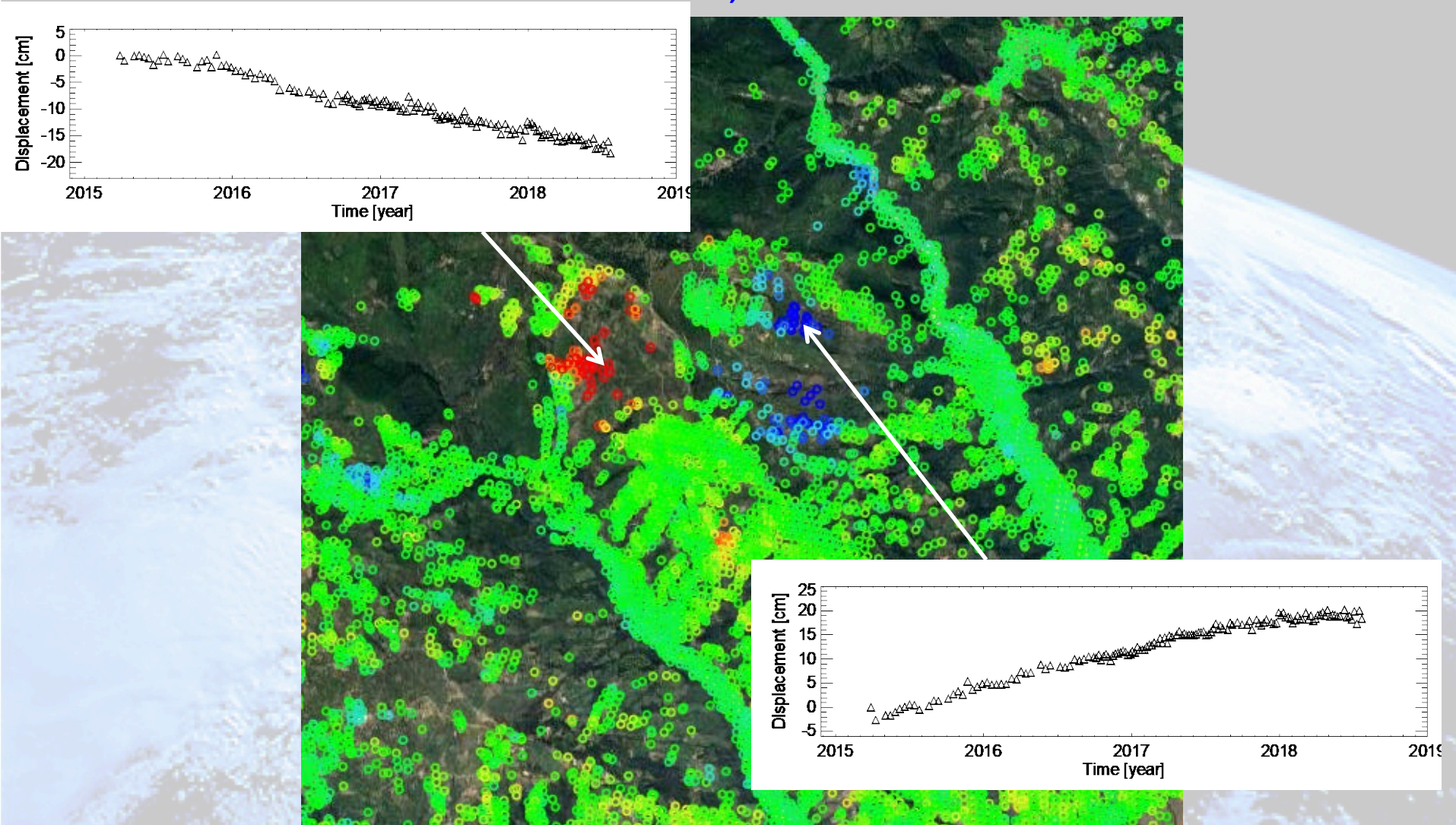
# Risultati dell'analisi DInSAR a scala nazionale (1)

Etna (Sicilia)



# Risultati dell'analisi DInSAR a scala nazionale (2)

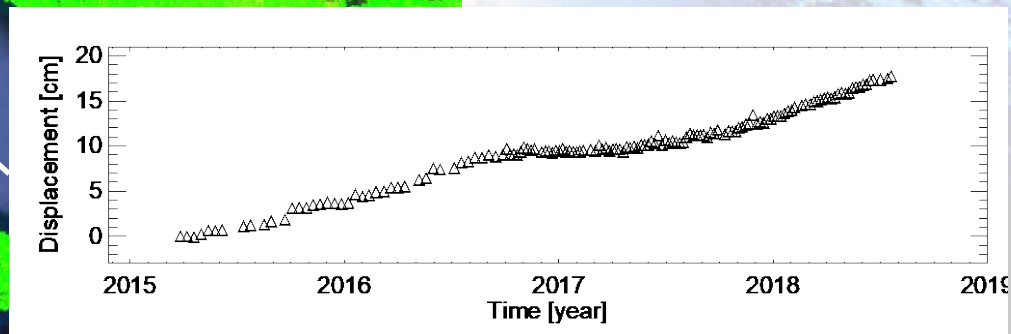
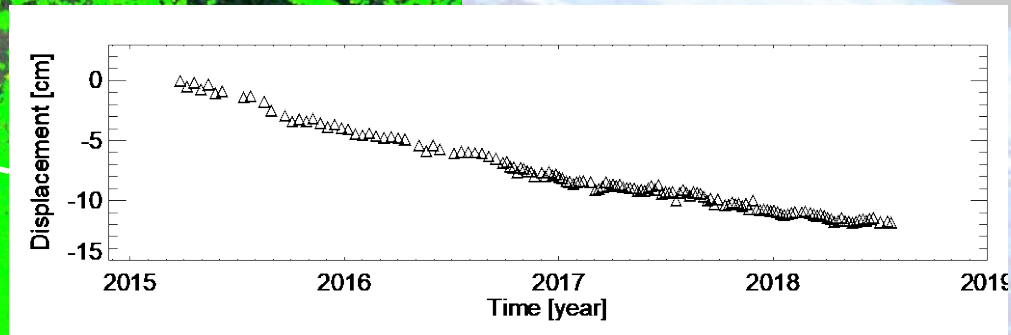
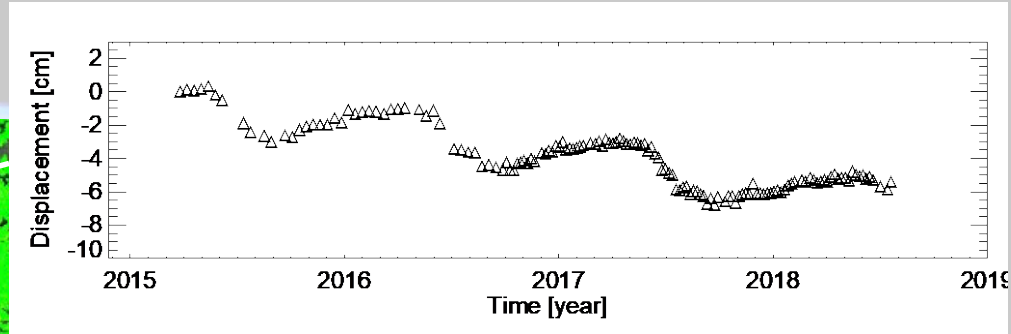
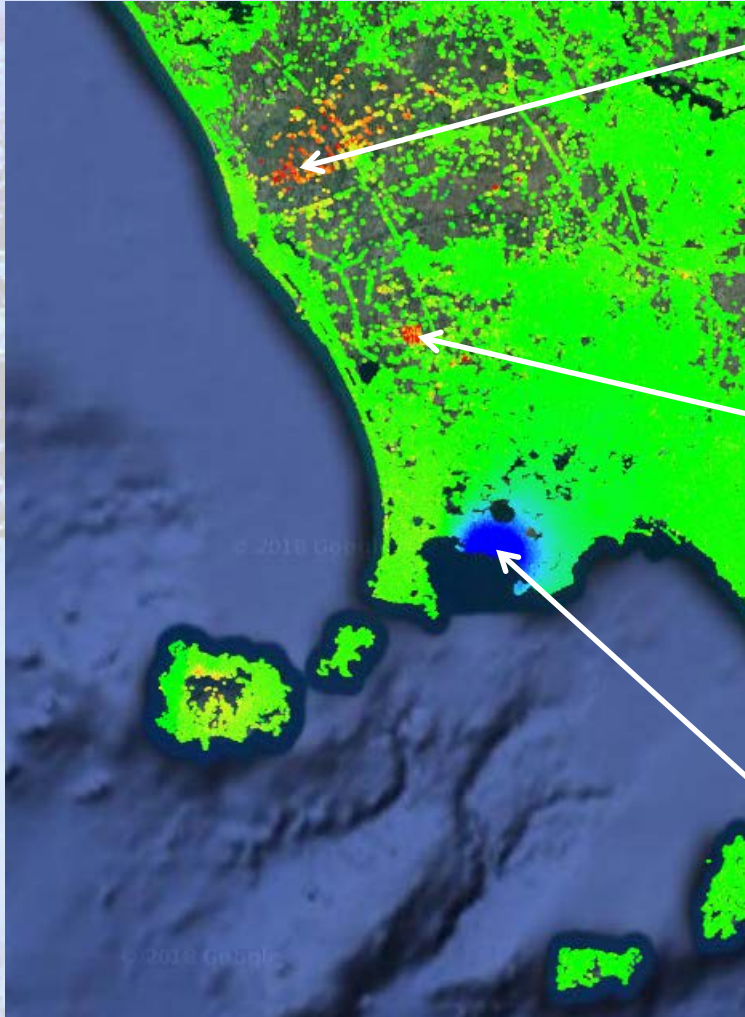
## Plataci, Calabria



<math>< -3</math>  > 3  
Mean Deformation Velocity LOS [cm/a]

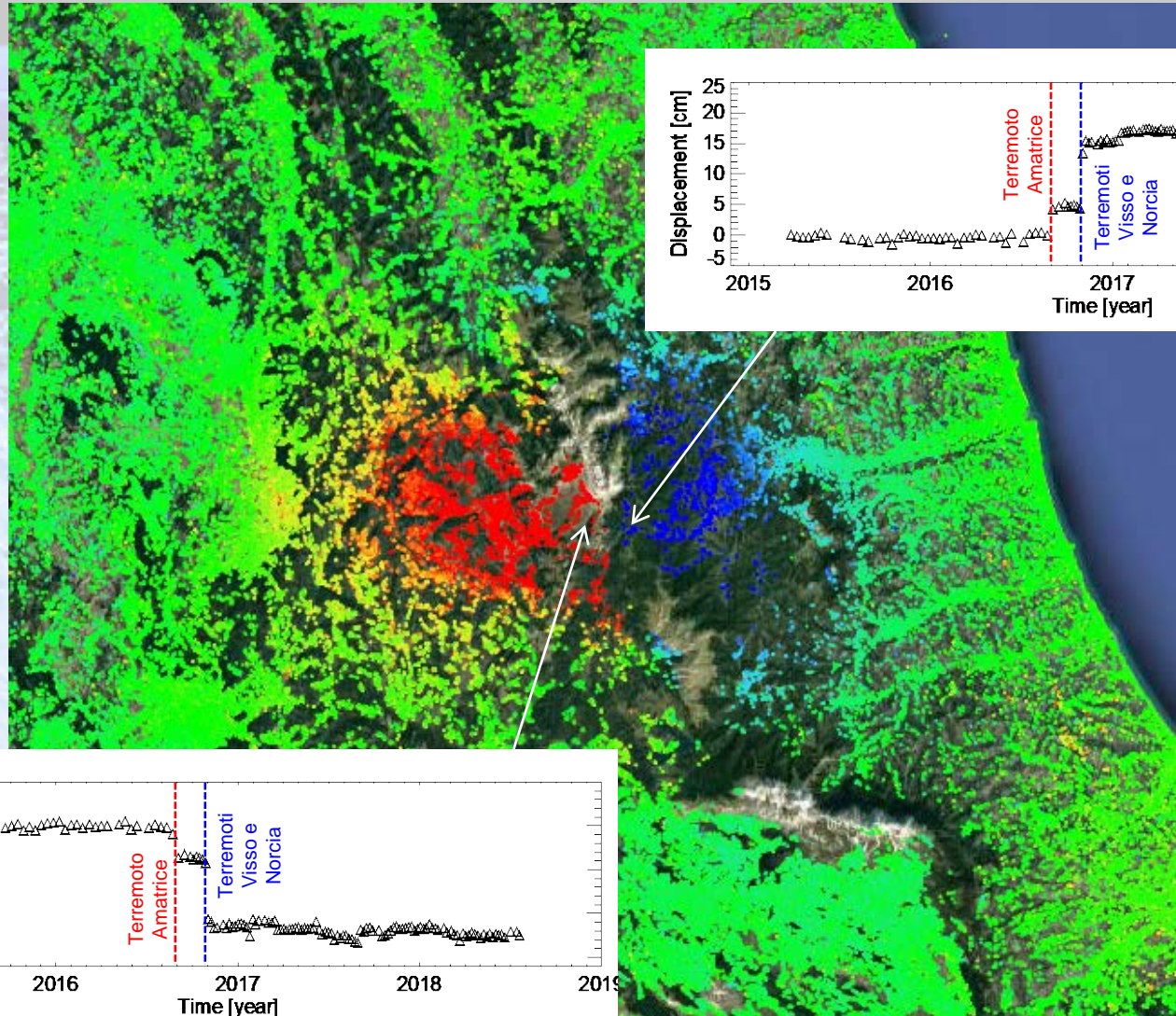
# Risultati dell'analisi DInSAR a scala nazionale (3)

## Golfo di Pozzuoli e foce del Volturno (Campania)



# Risultati dell'analisi DInSAR a scala nazionale (4)

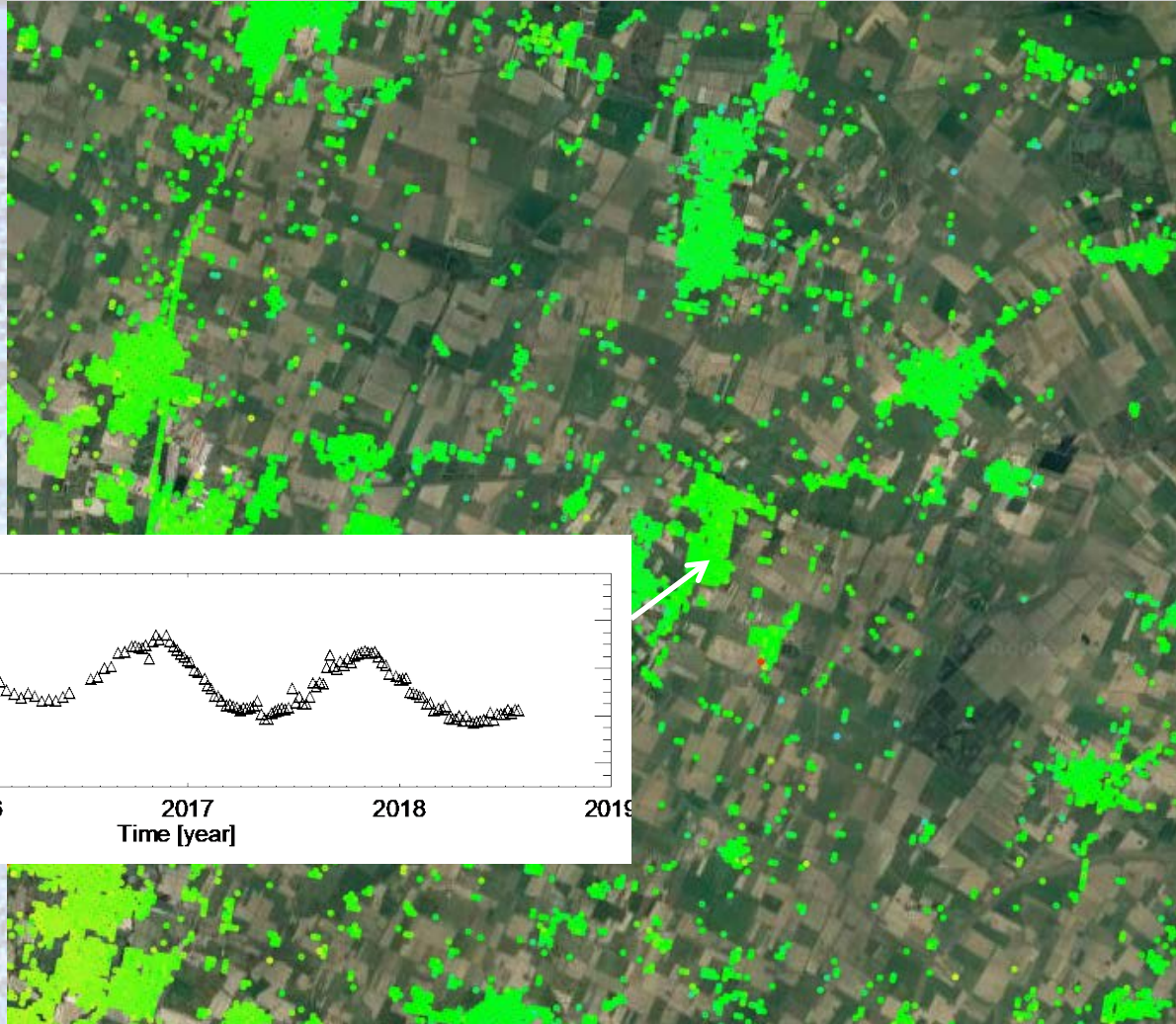
## Sequenza sismica 2016 del centro Italia



<-3 Mean Deformation Velocity LOS [cm/a] >3

# Risultati dell'analisi DInSAR a scala nazionale (5)

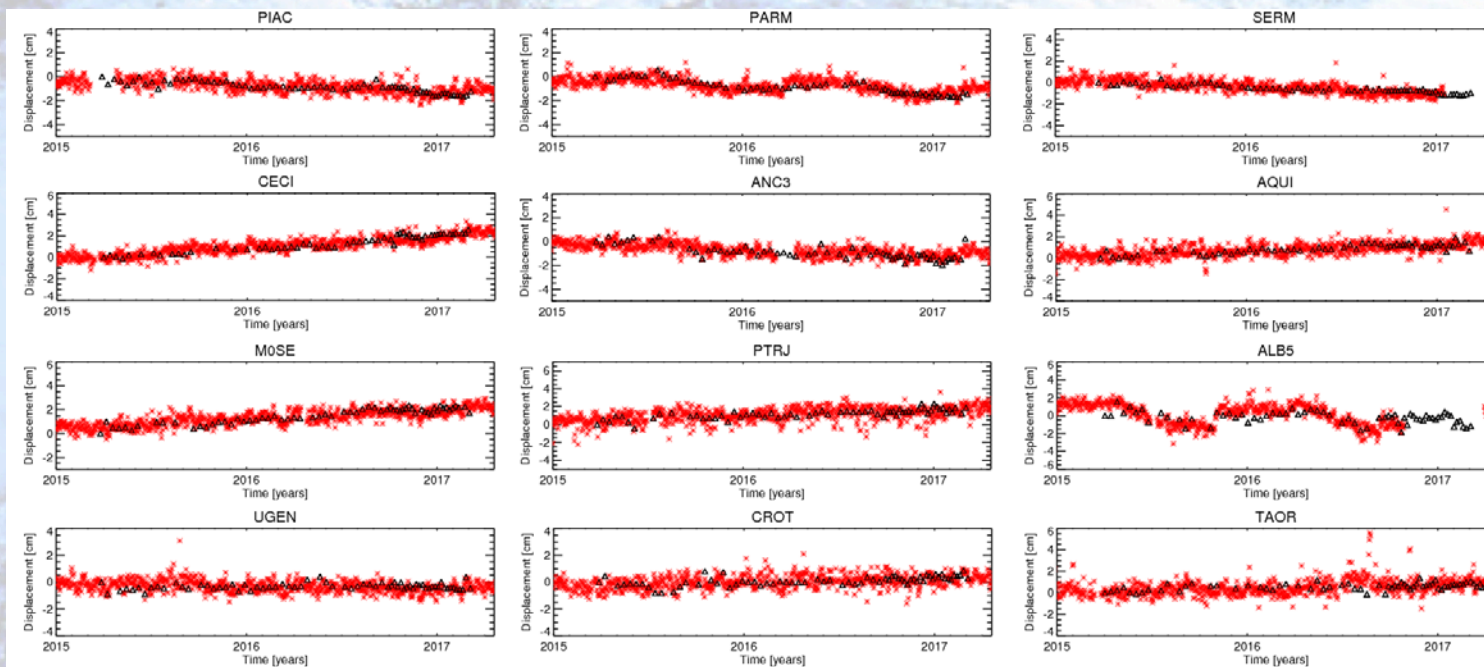
## Minerbio (Emilia Romagna)



# Confronto tra serie DInSAR e serie di 434 GPS (NGL)



$\sigma_{\text{def}} \sim 4 \text{ mm}$



$\Delta$  SAR

\* GPS



# Costellazione Sentinel-1: analisi DInSAR a scala nazionale

Orbite Discendenti (Marzo 2015 – Settembre 2018)

Orbite Ascendenti (Marzo 2015 – Settembre 2018)

*Scenario Operativo*  
*Risoluzione spaziale: 60 m*  
*Tempo elaborazione: 18-26 settimane*  
*Aggiornamento: 2-3 volte/anno*  
*Costo (elaboraz.) per anno: ~ 35.000 euro*



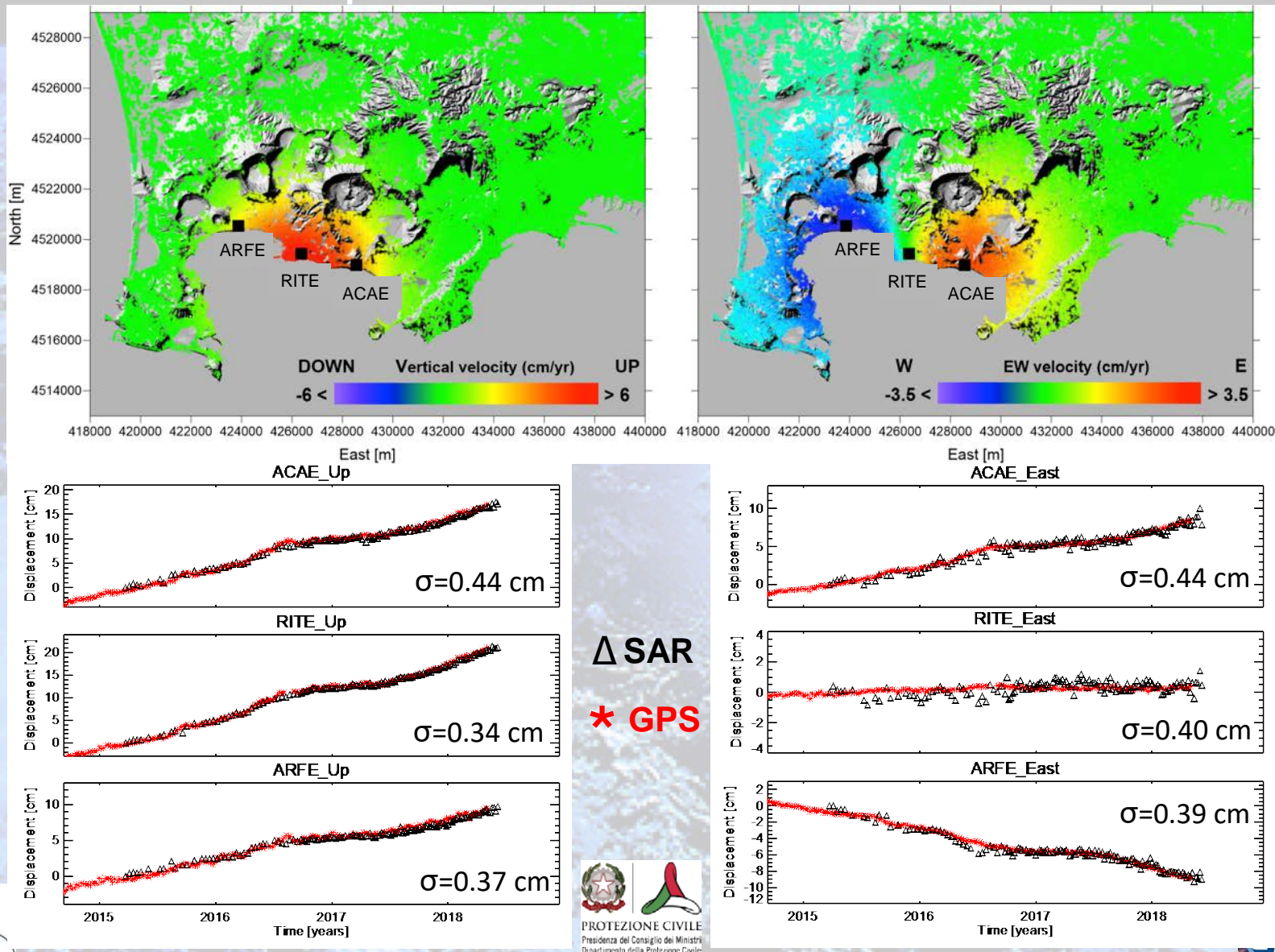
<-3  >3  
Velocità media di deformazione LOS [cm/year]

37° Convegno Nazionale del GNGTS, Bologna, 19 - 21 Novembre 2018



# Monitoraggio dei Campi Flegrei con Sentinel-1

## Componenti Verticale ed Est-Ovest

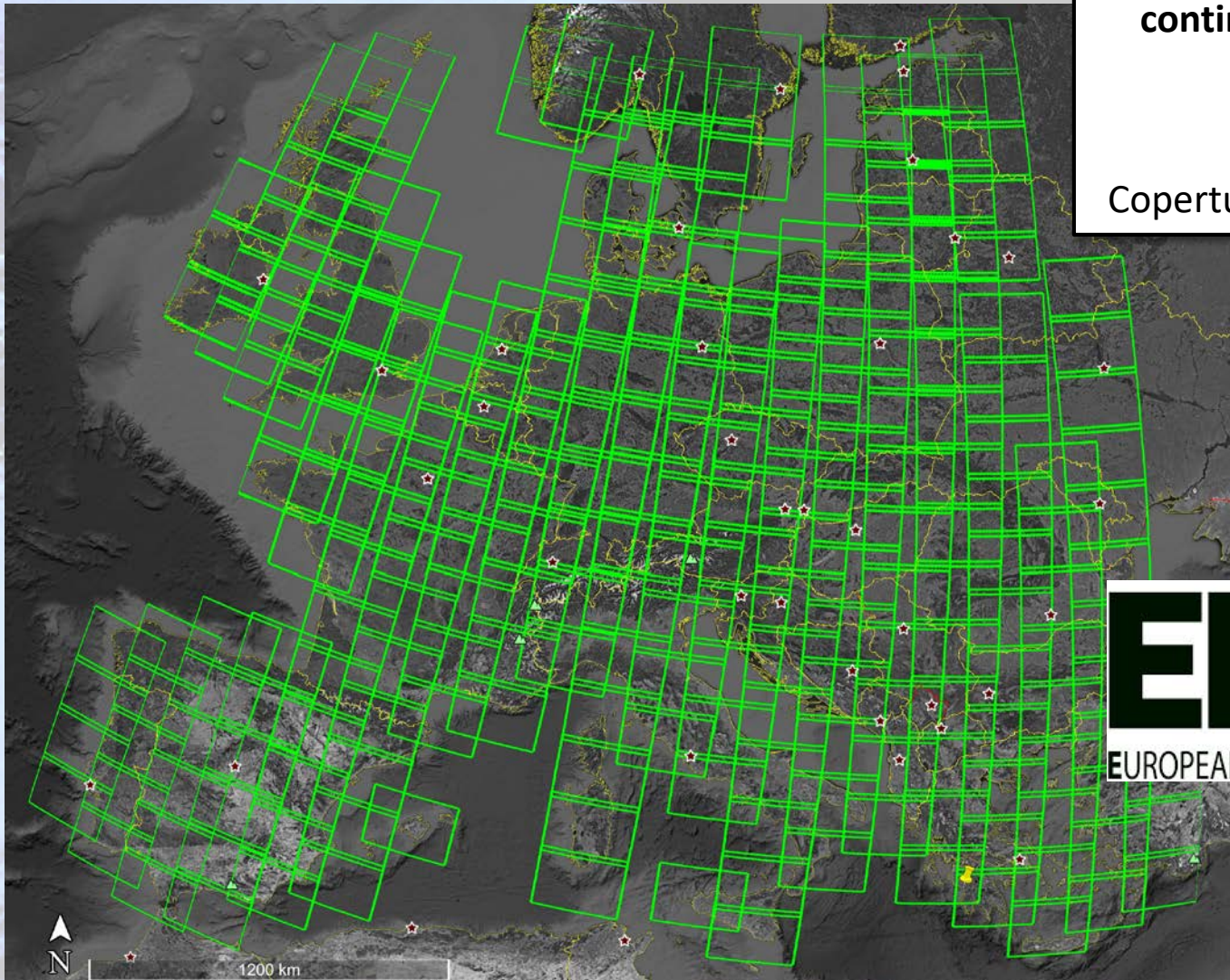


# Analisi DInSAR a scala continentale

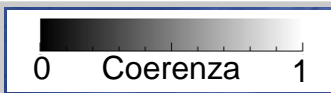
Elaborazione a scala  
continentale: **EUROPA**

**300 slices**

Copertura: **3,200,000 km<sup>2</sup>**.



**EPoS**  
EUROPEAN PLATE OBSERVING SYSTEM



**12-days Interferometric Coherence map of a large part of Europe**

↓

**300 slices**

June-July 2015

Coverage: **3,200,000 km<sup>2</sup>**.



**Grazie!**

