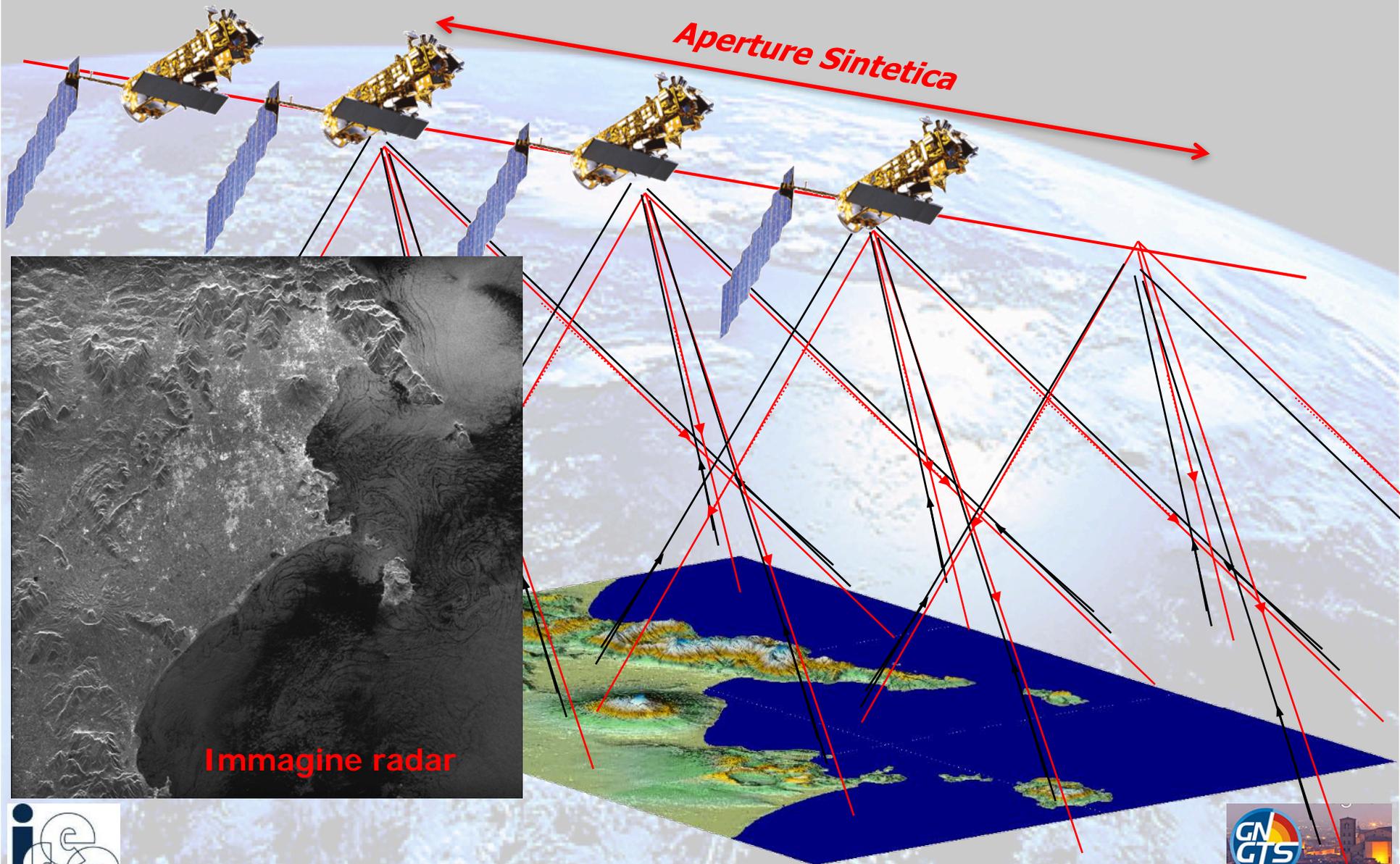


Interferometria radar dallo spazio per lo studio delle deformazioni superficiali: 25 anni di sviluppi ed osservazioni

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*

Radar ad apertura sintetica (SAR) satellitare: razionale



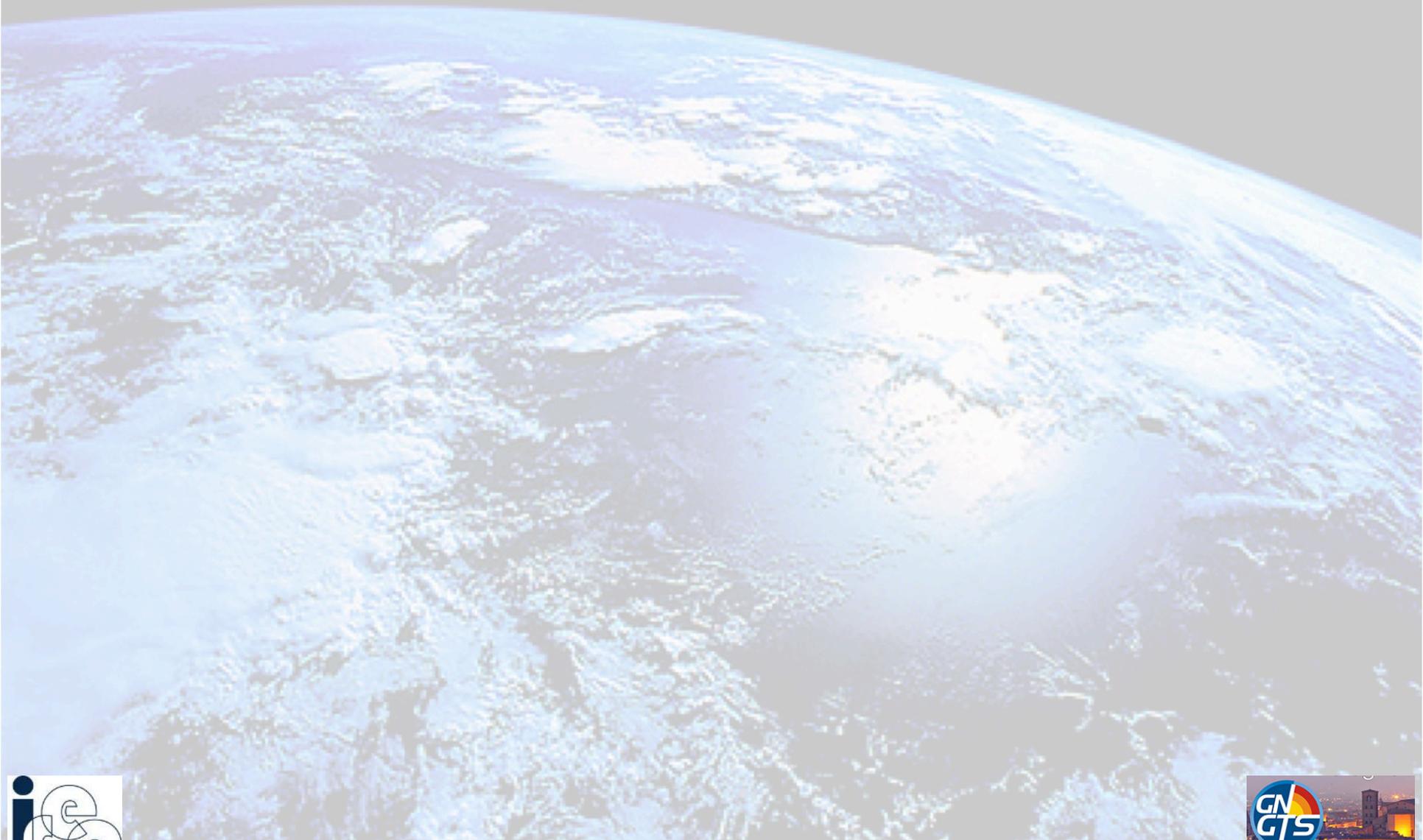
Caratteristiche principali dei sistemi per l'imaging radar (SAR) dallo spazio

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

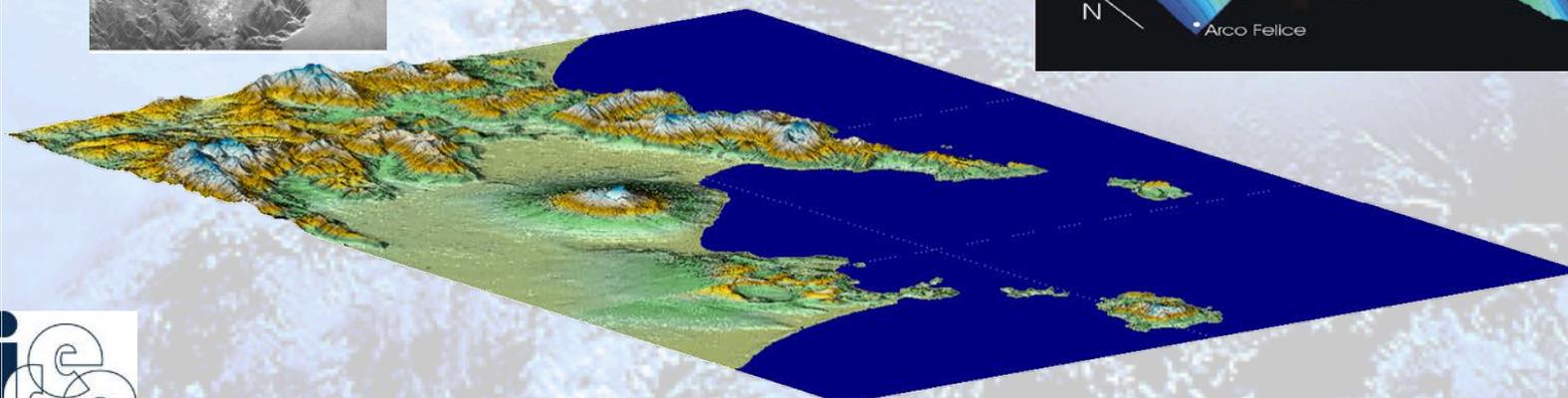
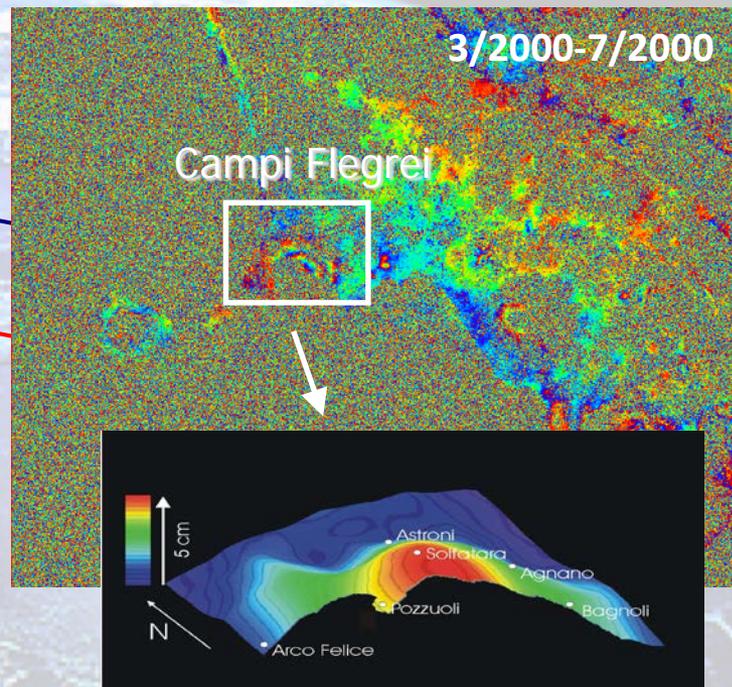
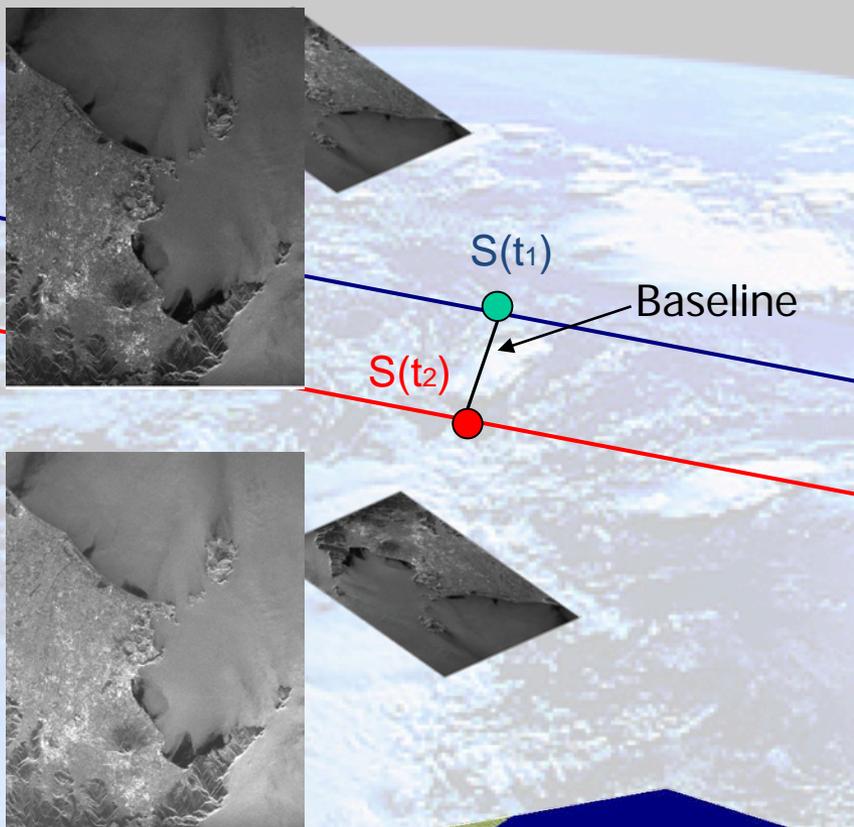
Sensori alle microonde: capacità di "osservare" anche in presenza di nuvole

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

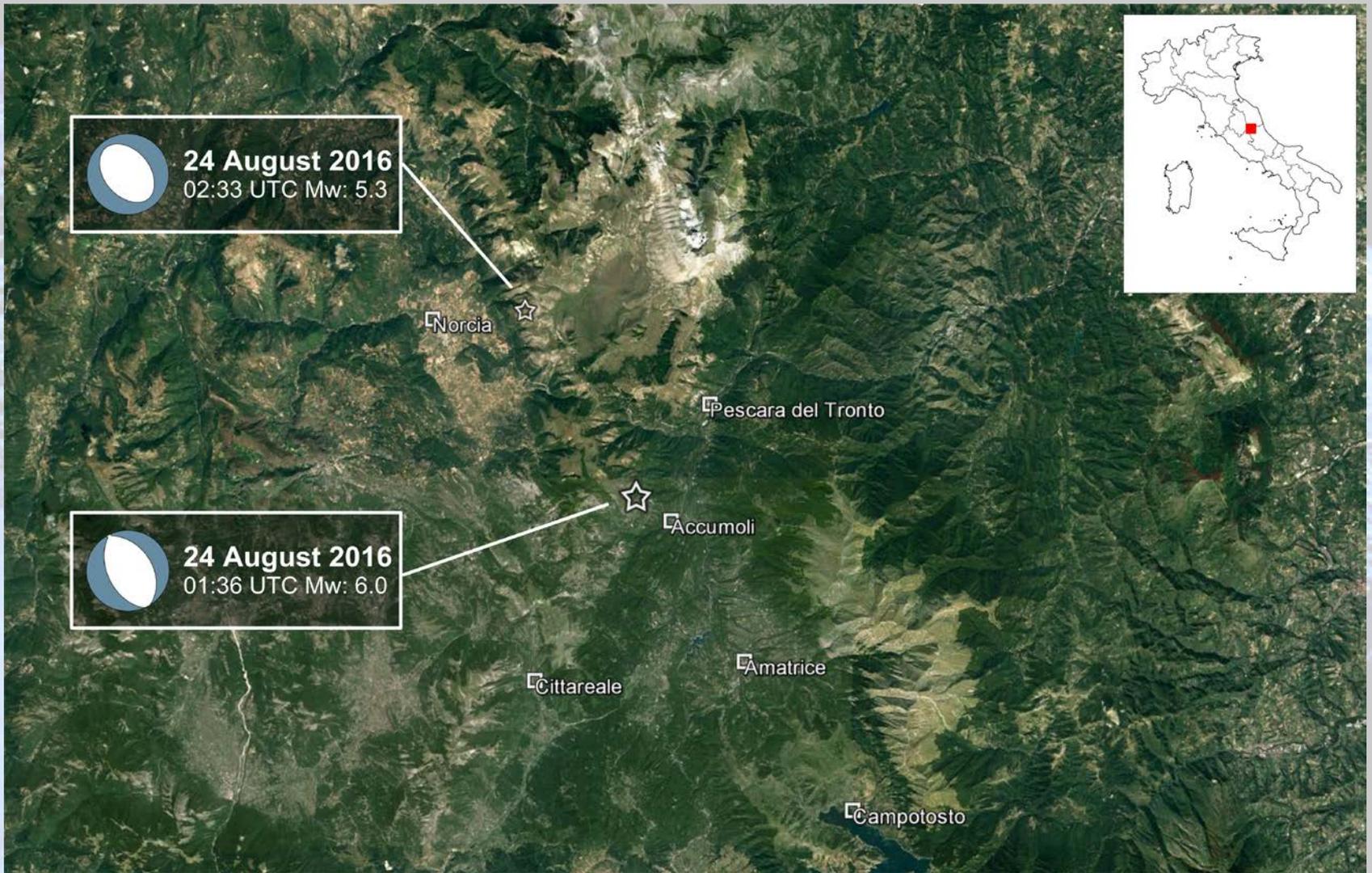
Sensori Coerenti: possiamo applicare tecniche di Interferometria SAR Differenziale (DInSAR)



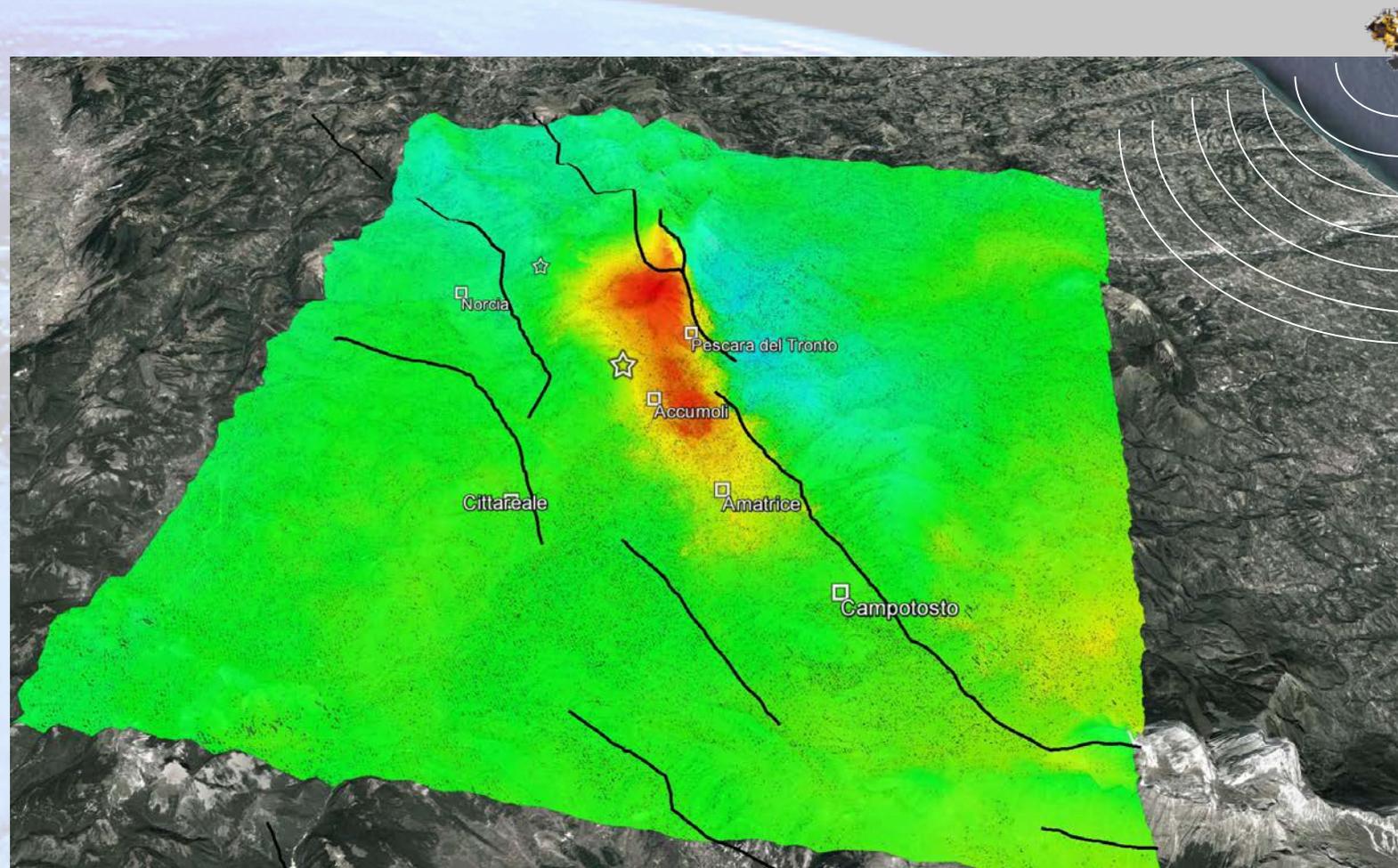
Scenario DInSAR



Terremoto di Amatrice (24/08/2016)



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



<-20

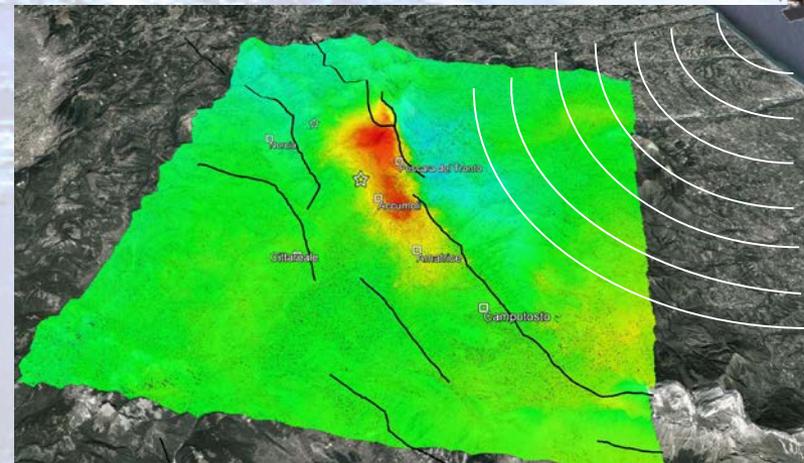
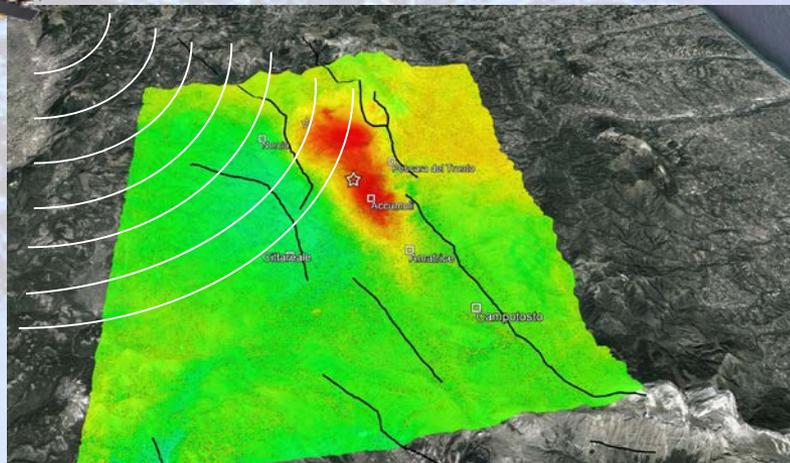
LOS Deformation [cm]

>20

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

Sentinel-1 ASC (15082016 – 27082016)

Sentinel-1 DESC (21082016 – 27082016)

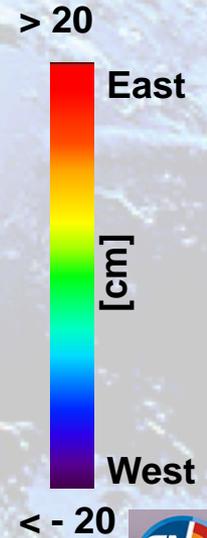
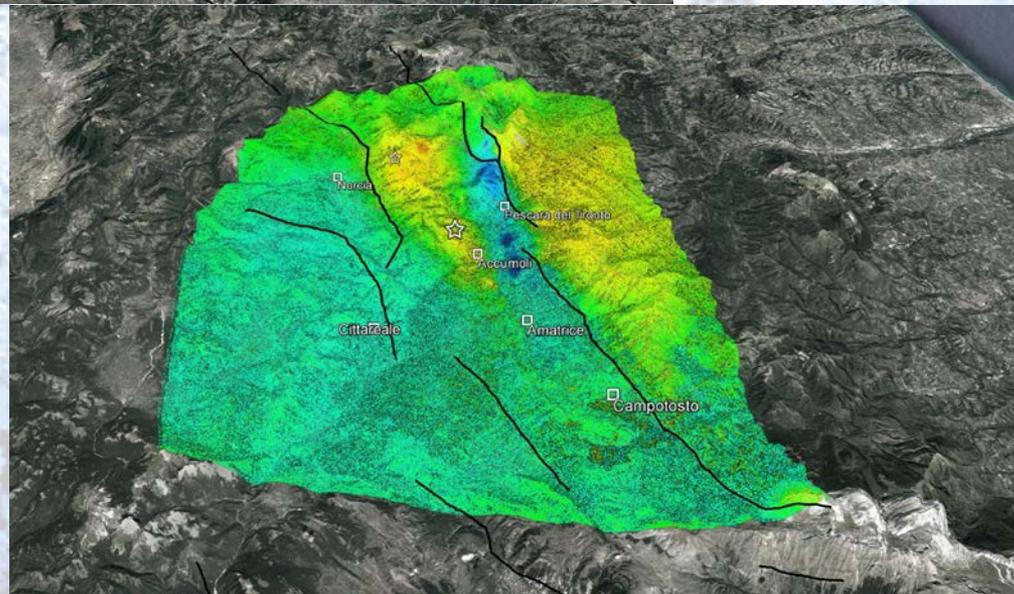
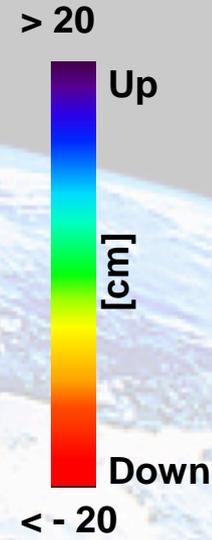
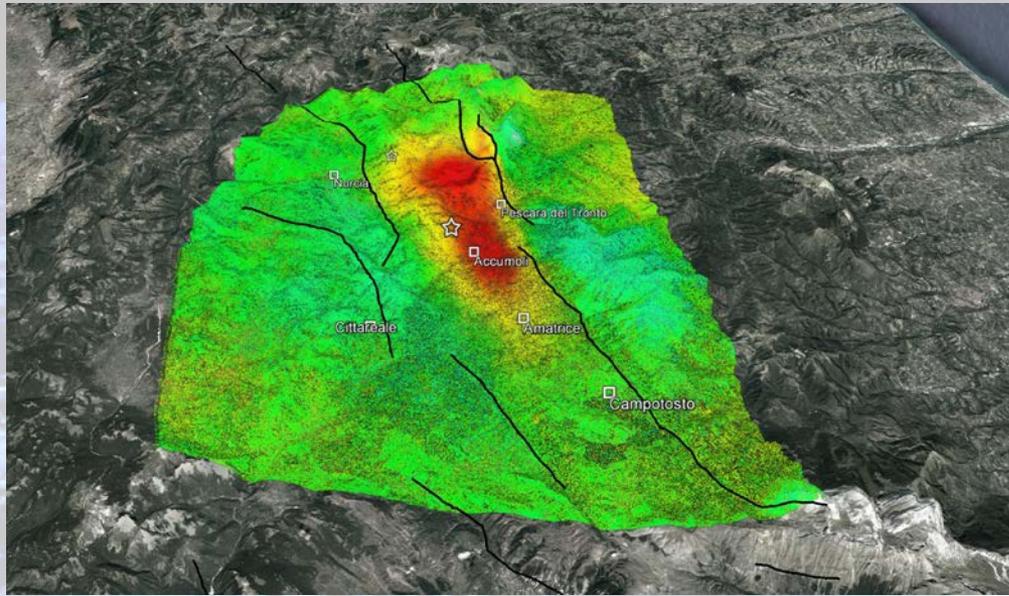


<-20

LOS Deformation [cm]

>20

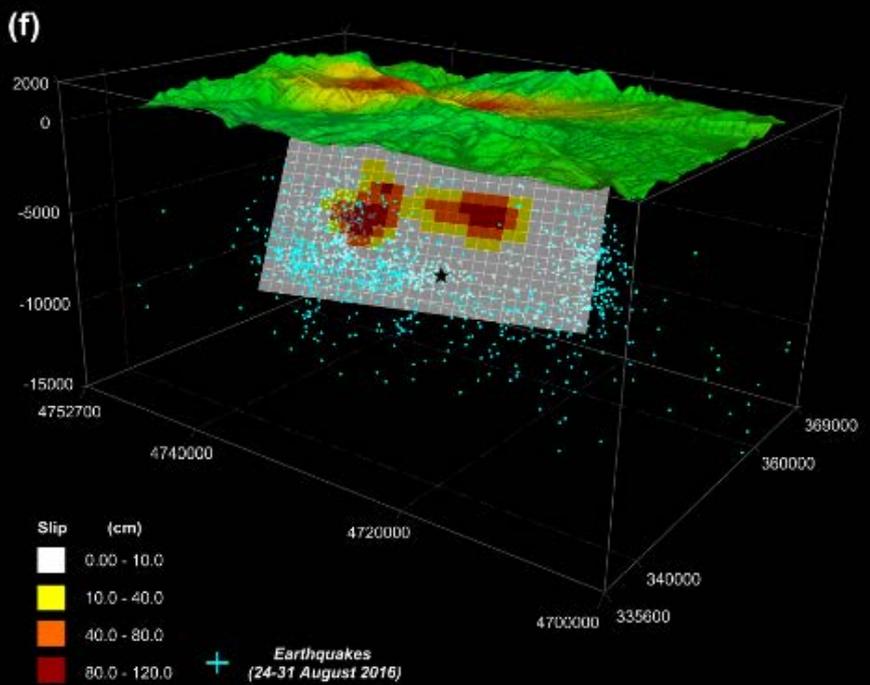
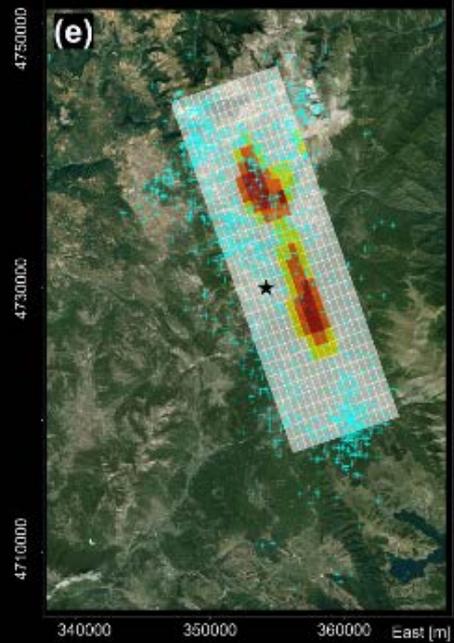
.... alla stima delle componenti **Verticale ed Est-Ovest**



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



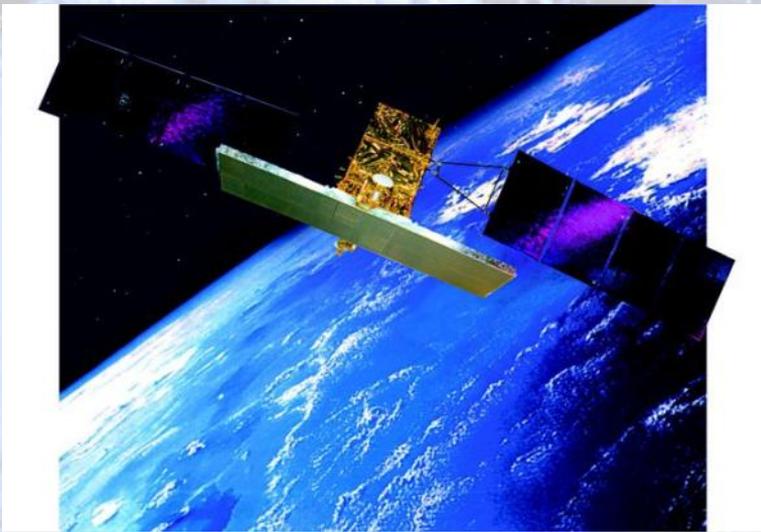
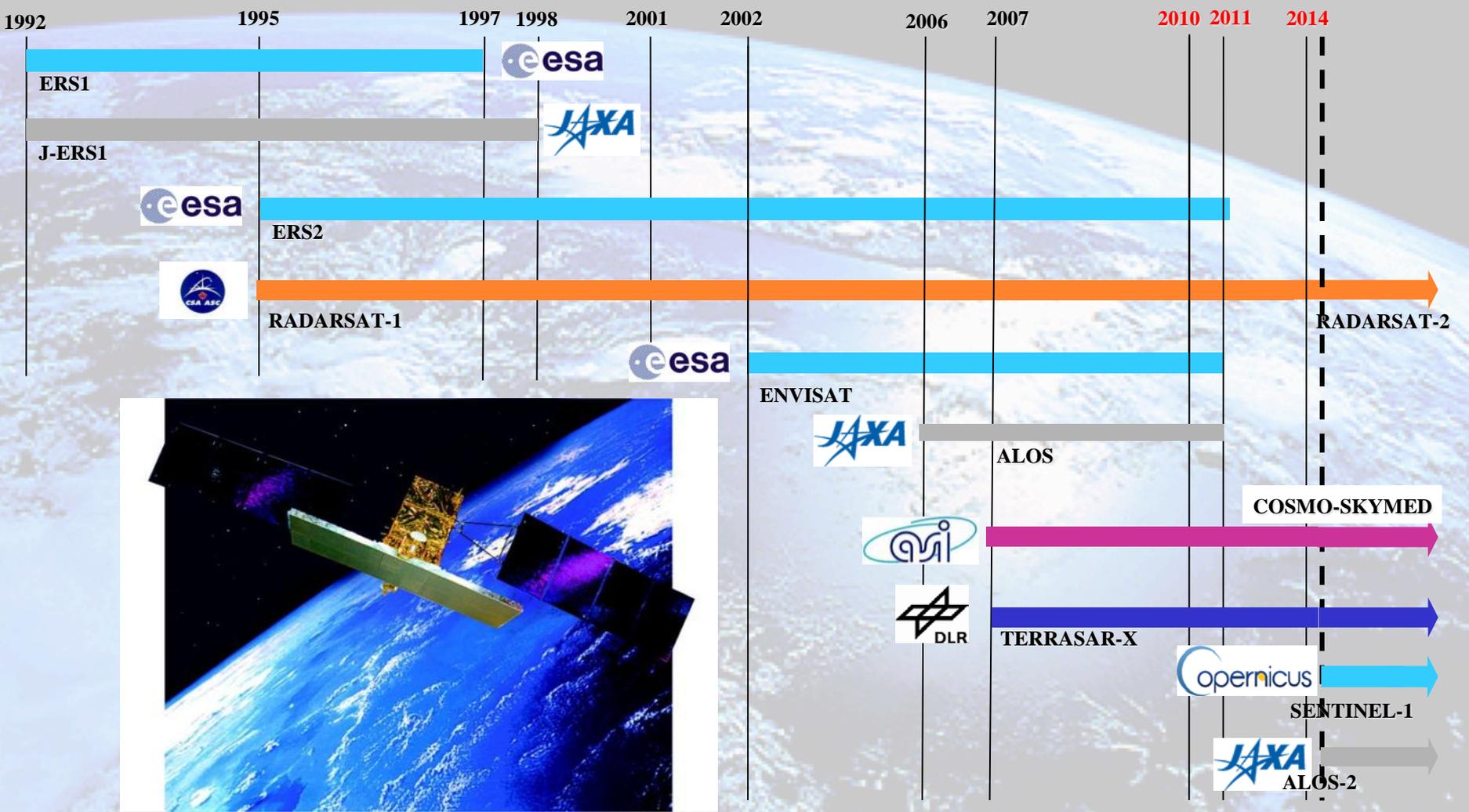
URBANO



IDROGEOLOGICO

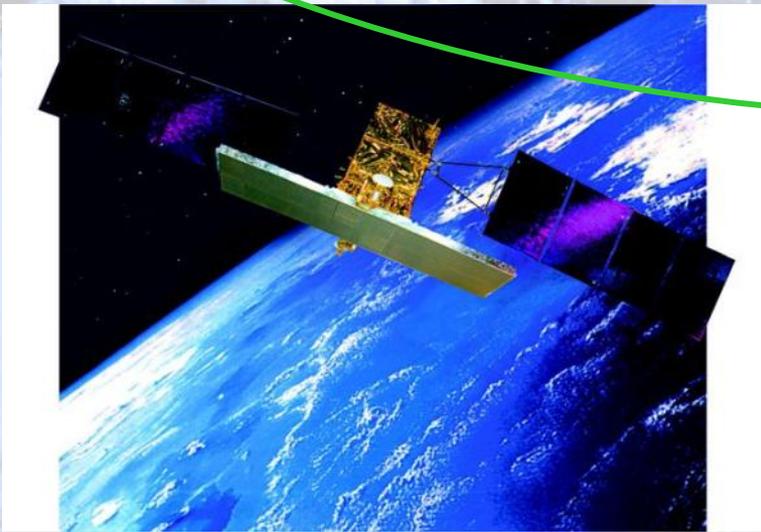
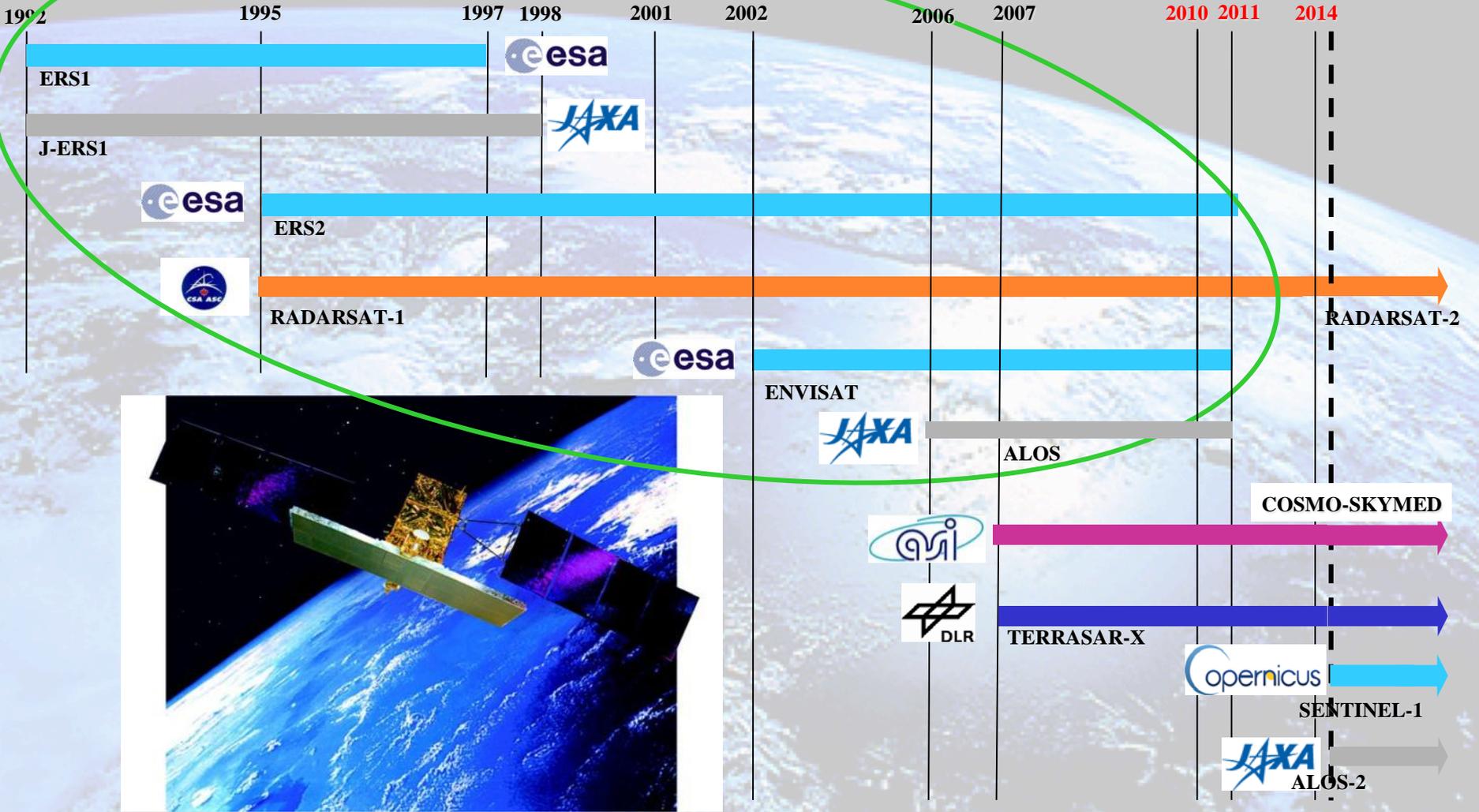


Sviluppo temporale dei satelliti radar per l'Osservazione della Terra



Sviluppo temporale dei satelliti radar per l'Osservazione della Terra

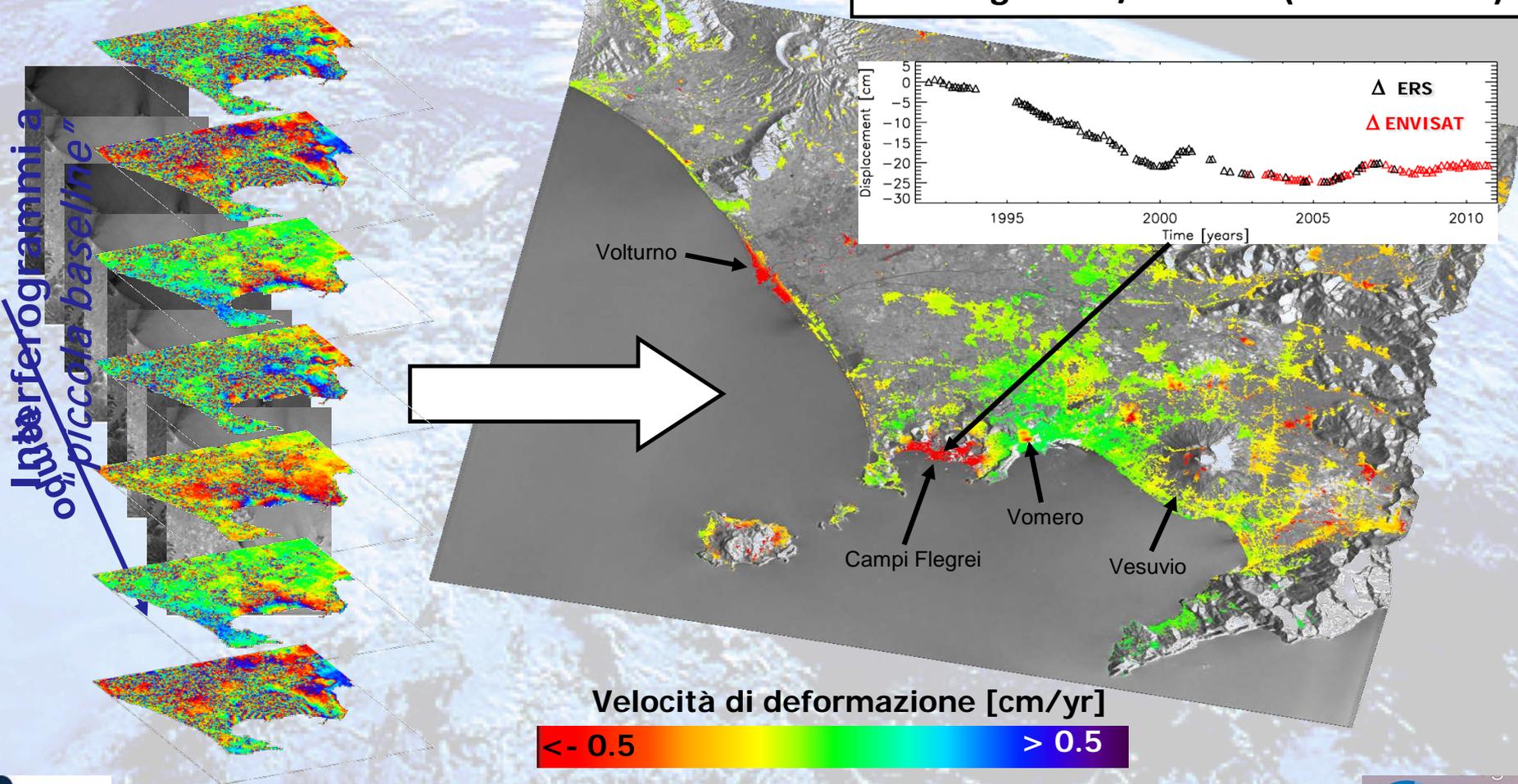
Prima Generazione



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

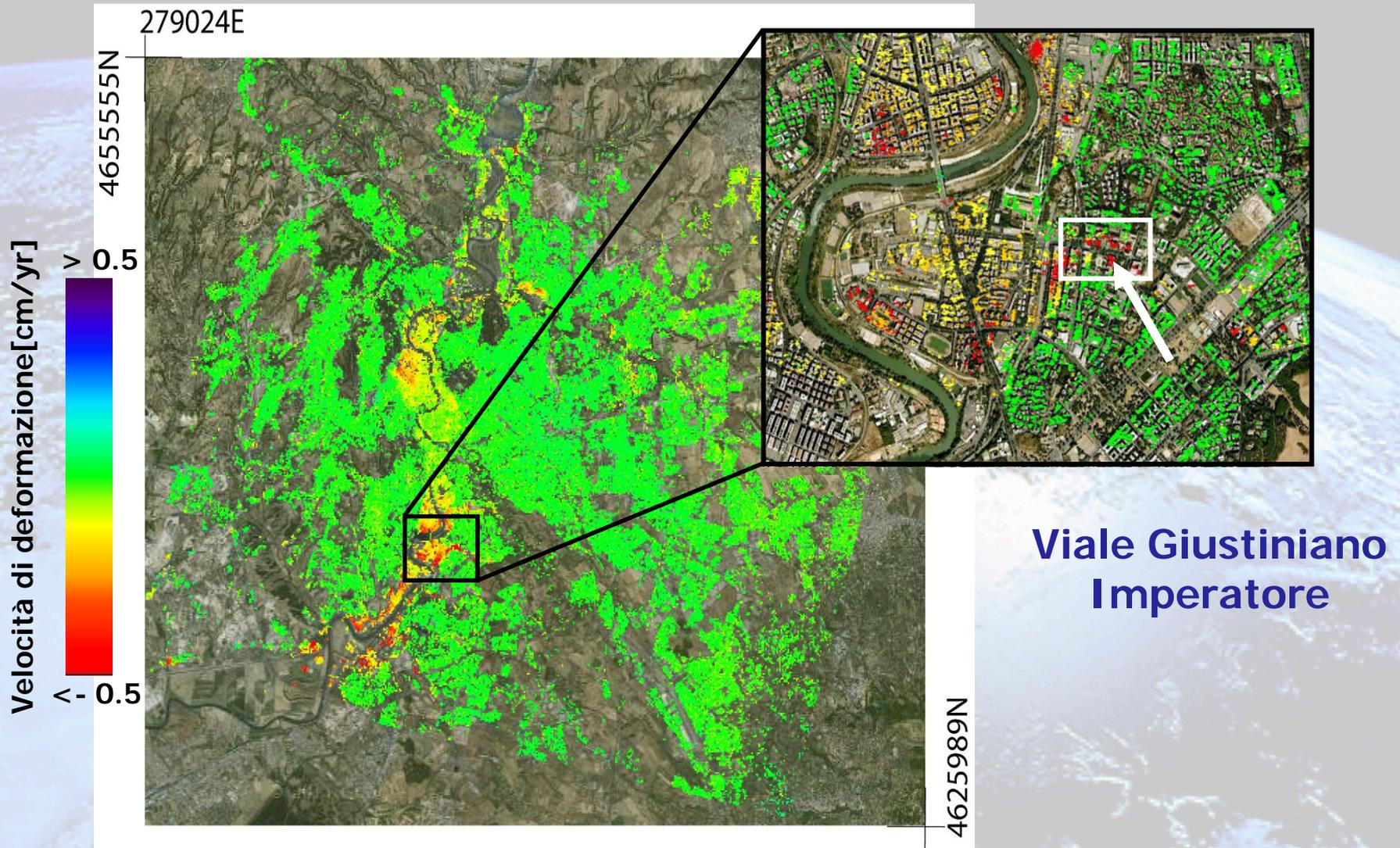
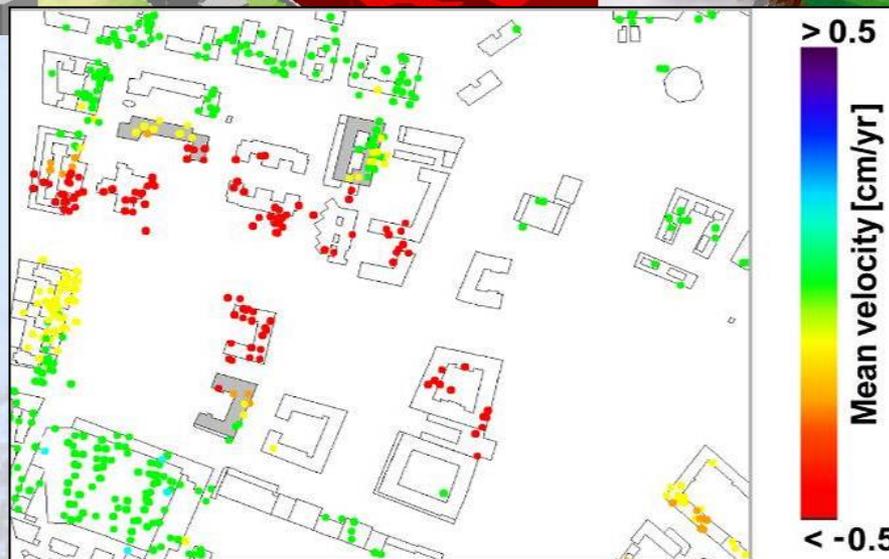
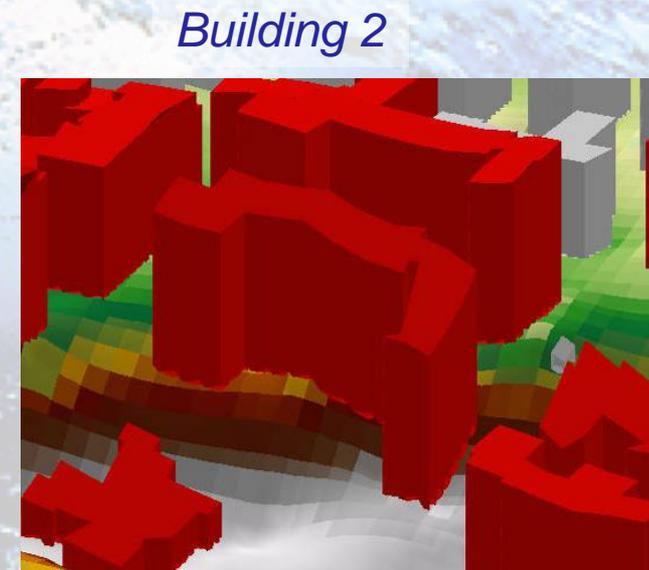
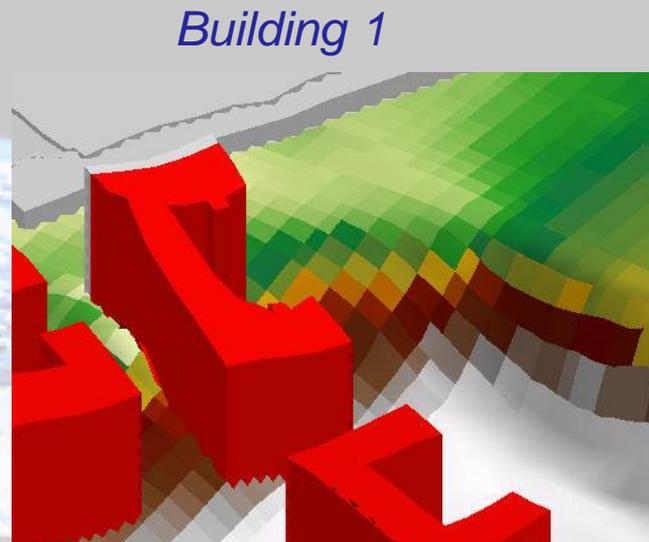


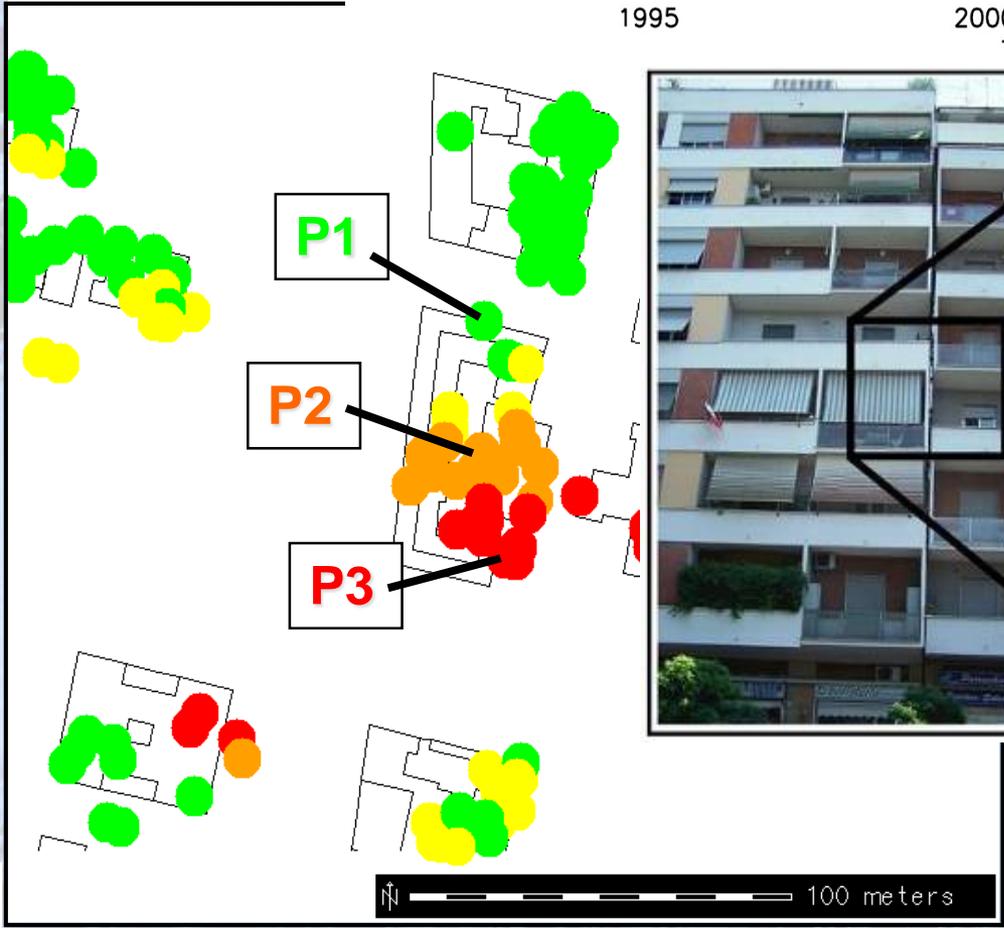
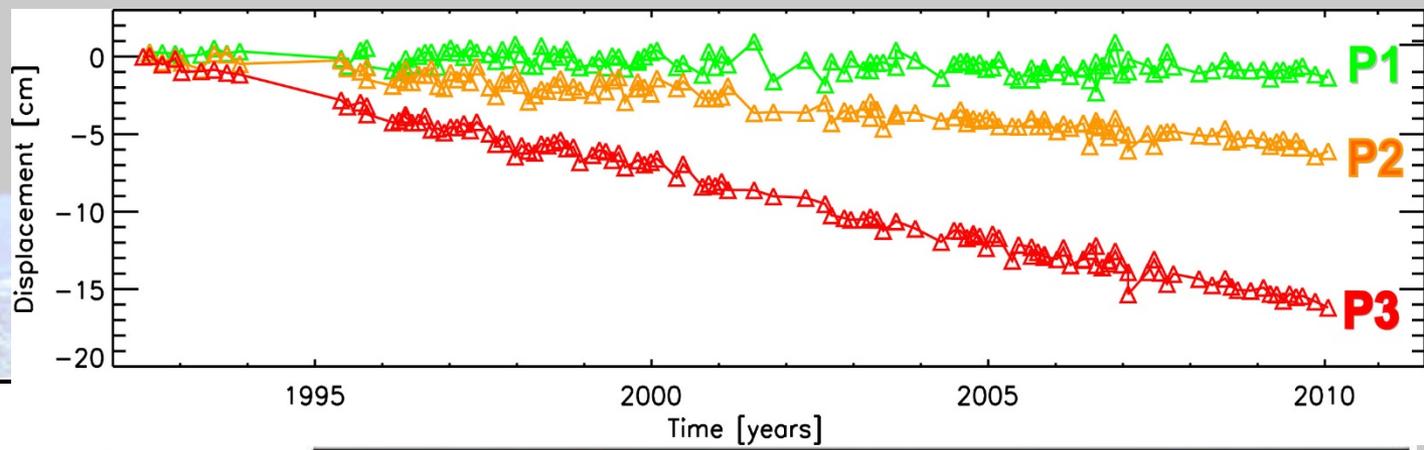
Immagine ERS/ENVISAT (1992 – 2010)

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

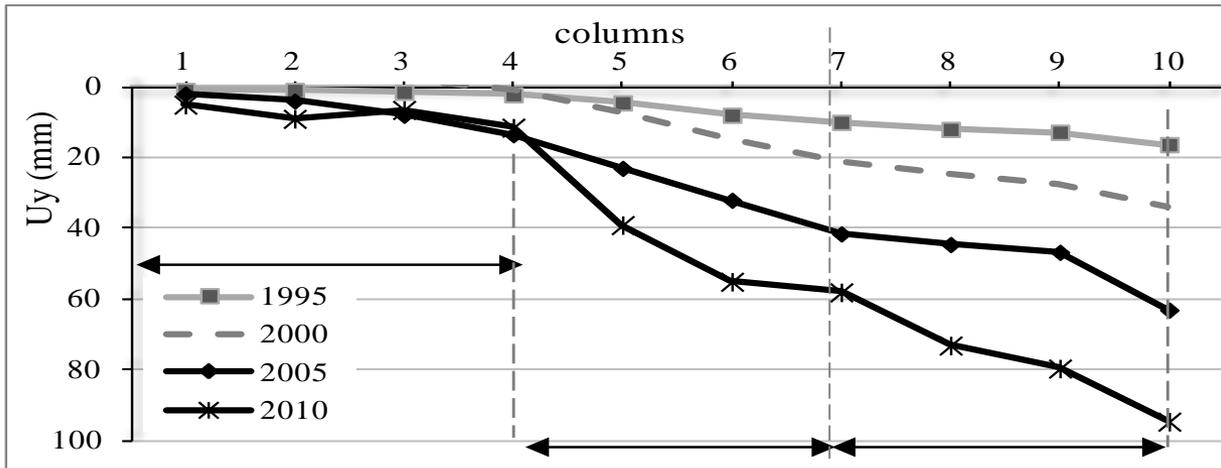
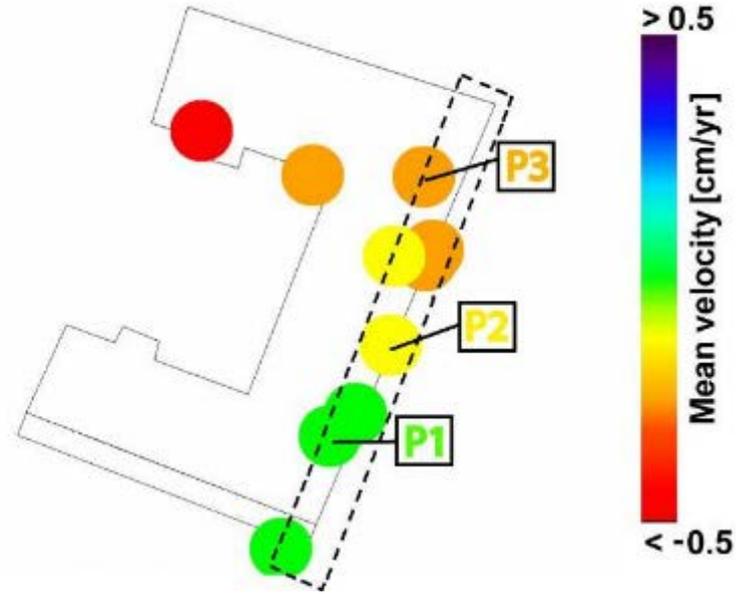
Strutture affette da fenomeni deformativi



Analisi DInSAR dei cedimenti degli edifici: Viale Giustiniano Imperatore

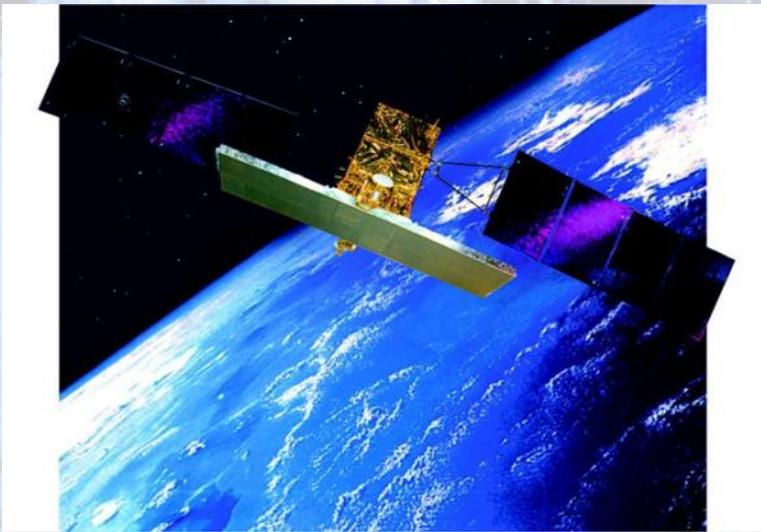
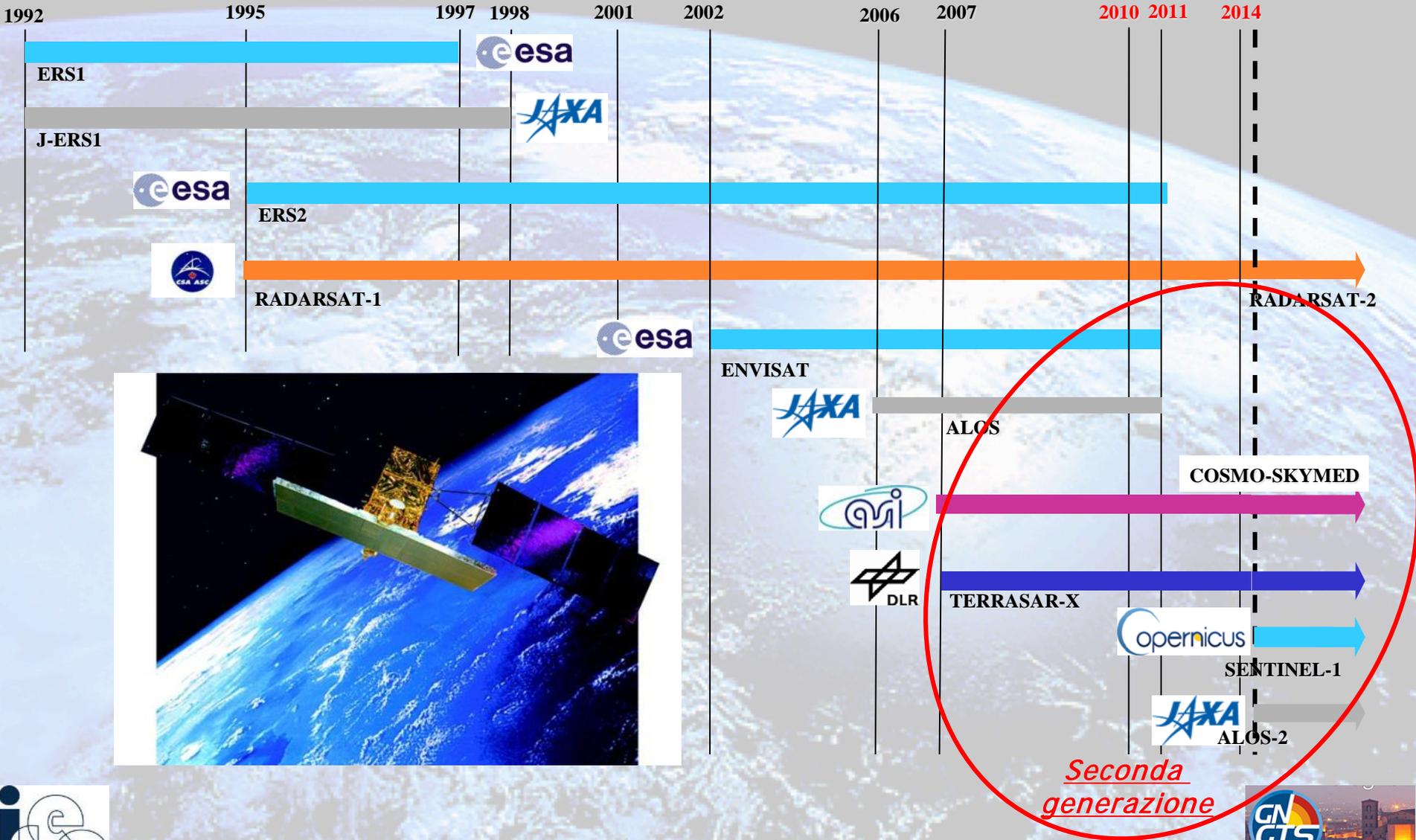


Analisi DInSAR dei cedimenti strutturali degli edifici in aree di dissesto: Viale Giustiniano Imperatore



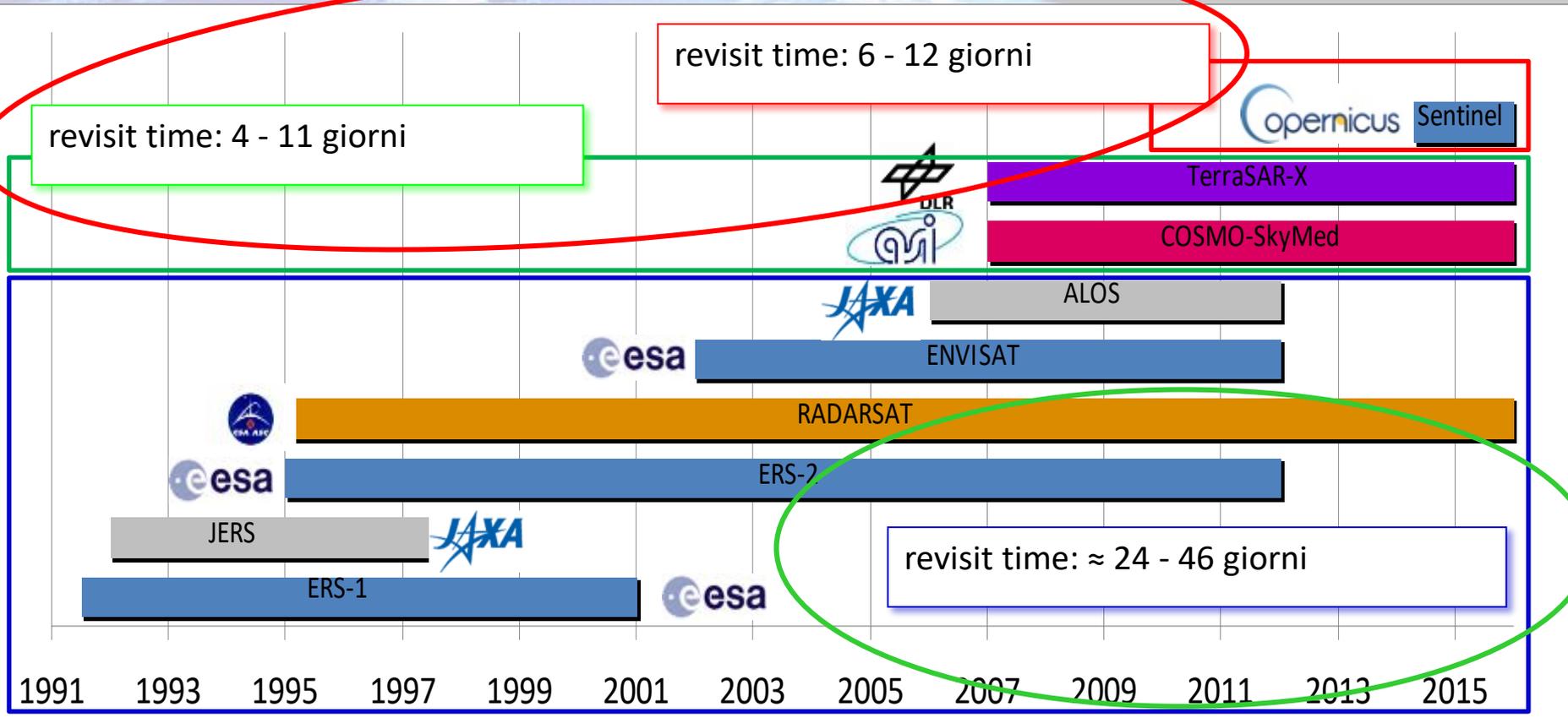
L'integrazione delle misure DInSAR con le informazioni sulle strutture può fornire una stima speditiva del danneggiamento

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

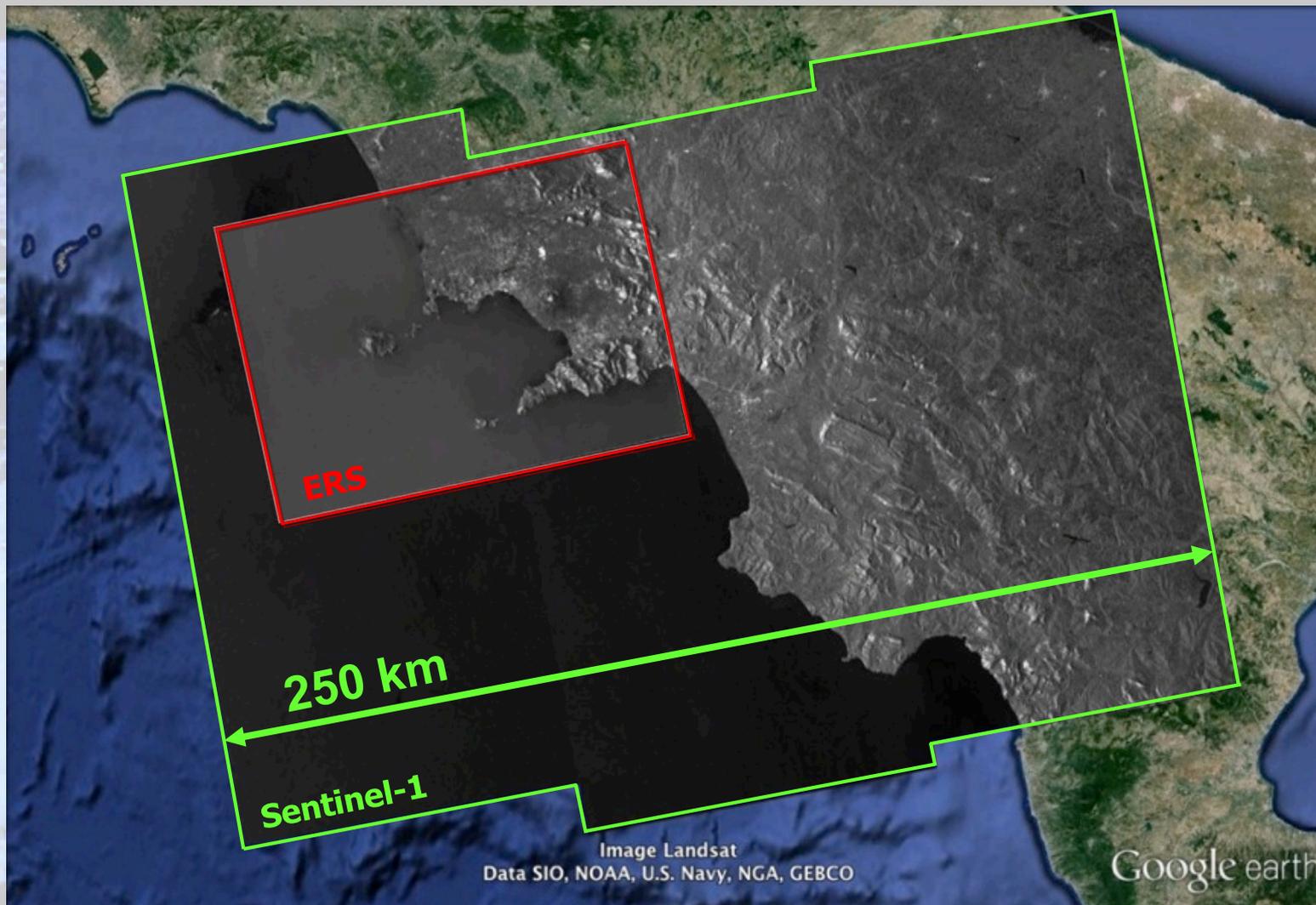


Sentinel-1A

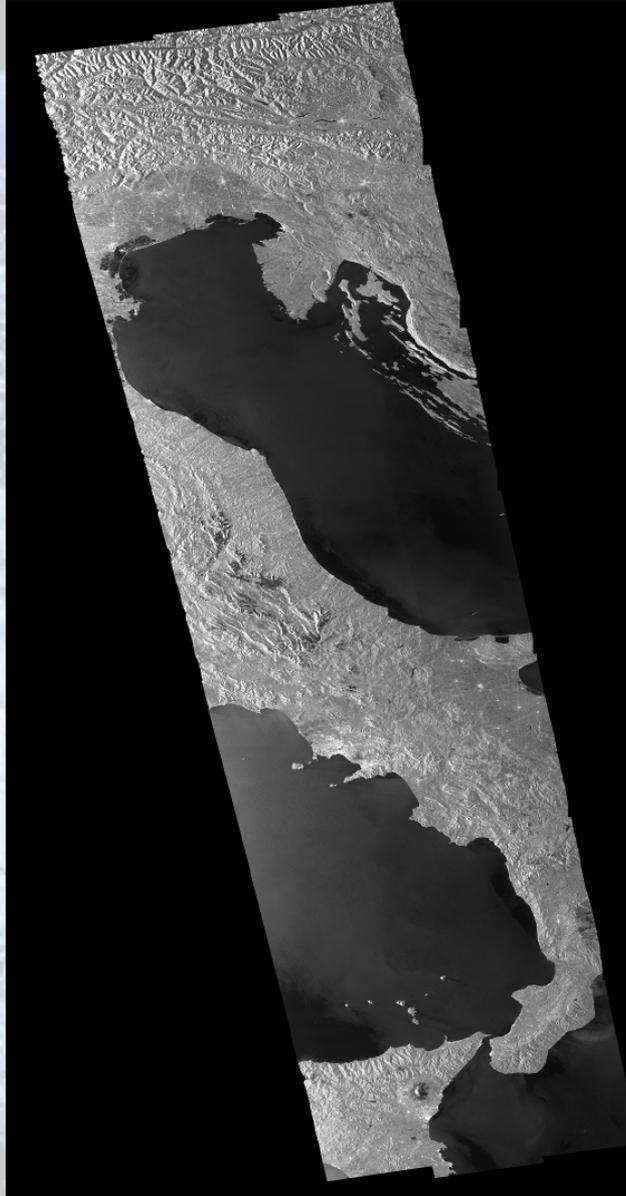


- Risoluzione spaziale: 15 m x 4 m
- Copertura del suolo: 250 km
- Banda C ($\lambda \sim 5.6$ cm)
- Copertura globale
- Accesso ai dati S1 "free and open"
- Lancio satelliti: 4/2014- 4/2016

Costellazione Sentinel-1: verso una copertura globale

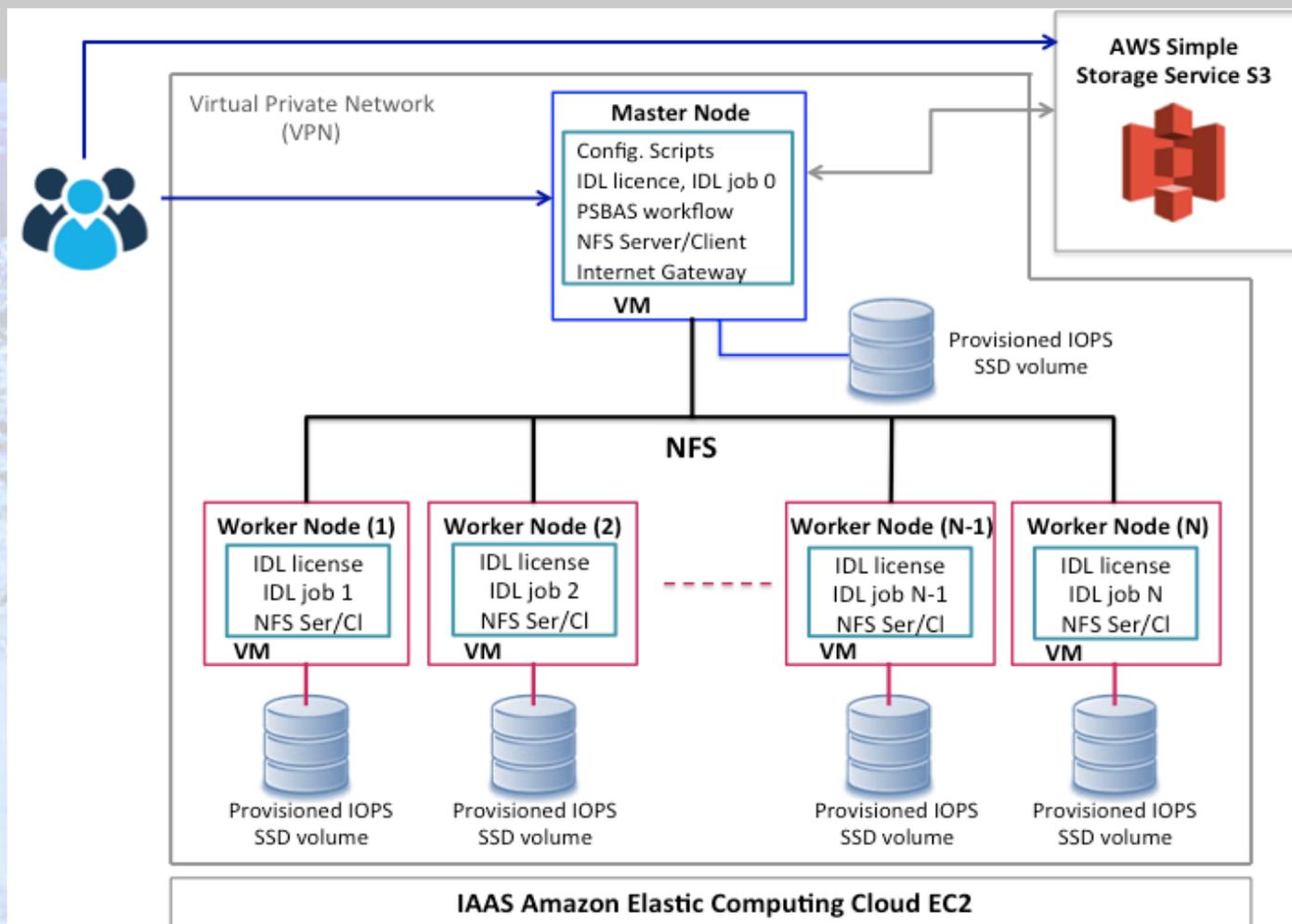


Costellazione Sentinel-1: analisi DInSAR a scala nazionale



Possibilità di *mappare*
l'intera Italia

Elaborazione SBAS nel Cloud: Amazon Web Services (AWS)



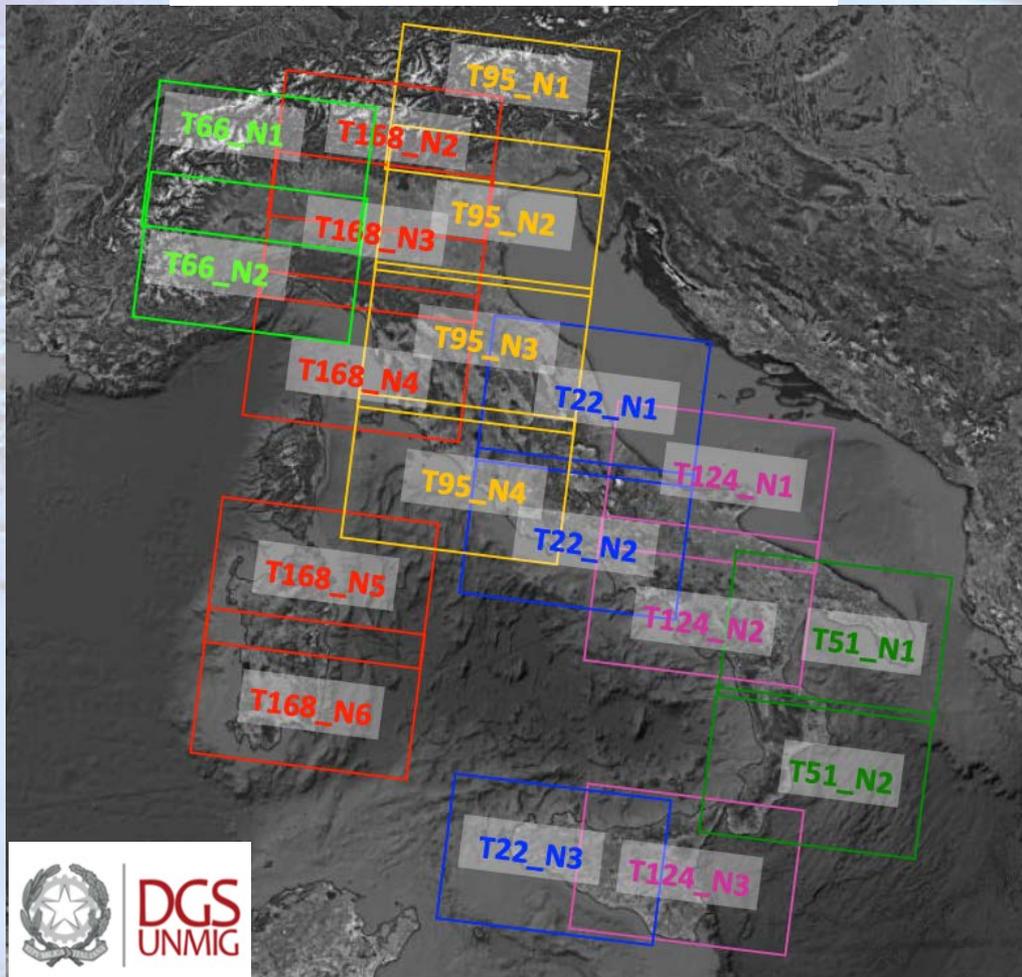
Casu et al., 2014, *IEEE JSTARS*

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
TOTAL	6031	2737



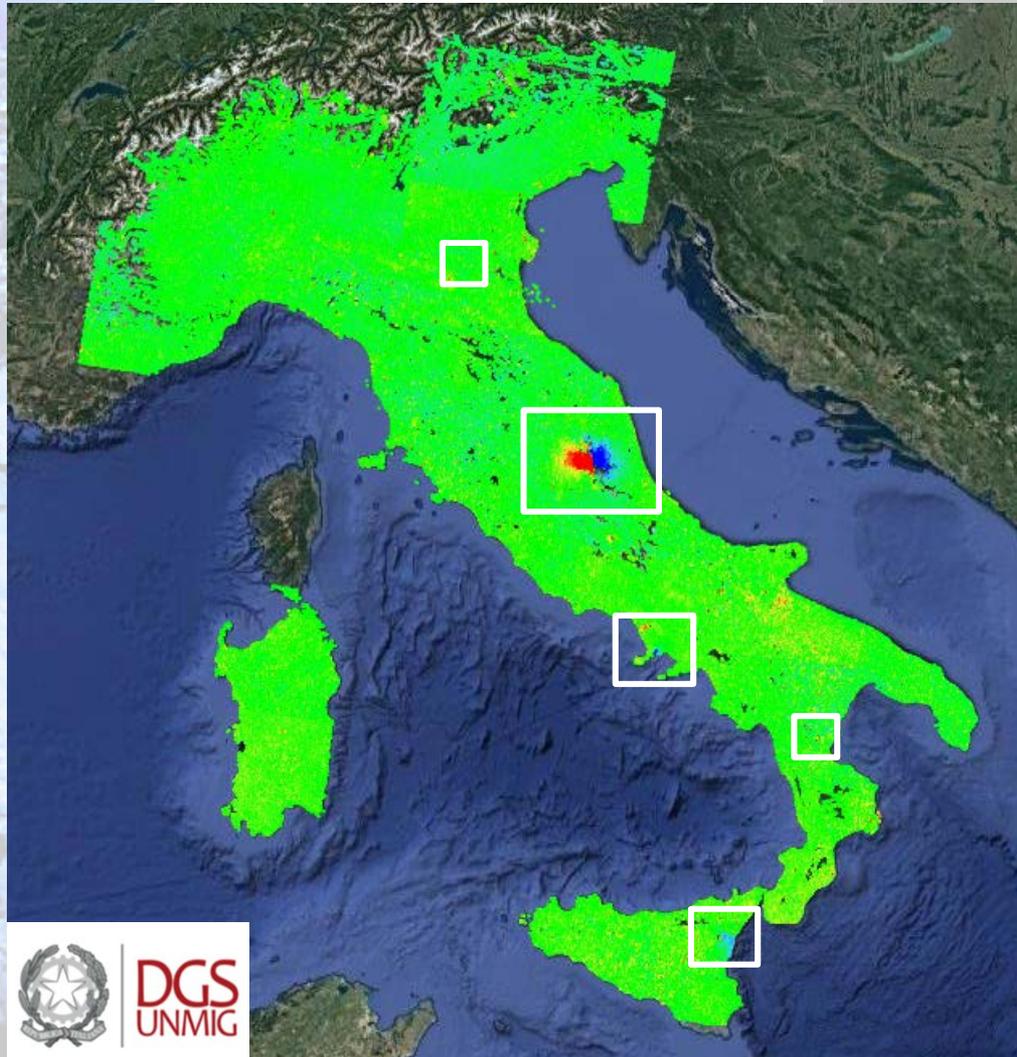
Costellazione Sentinel-1: analisi DInSAR a scala nazionale

Orbite Discendenti (Marzo 2015 – Settembre 2018)

Velocità media di deformazione
LOS [cm/year]

> 3

< -3



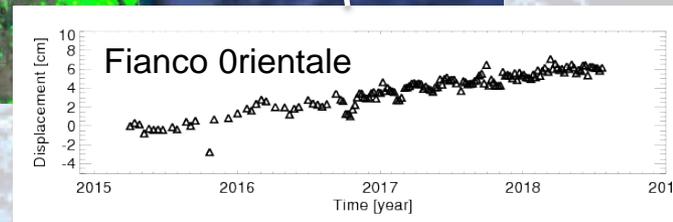
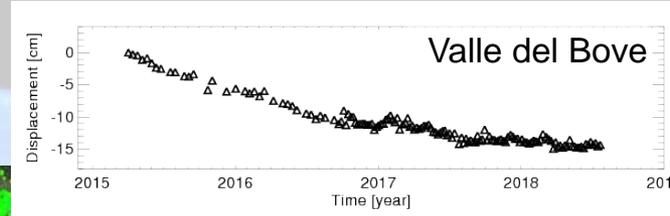
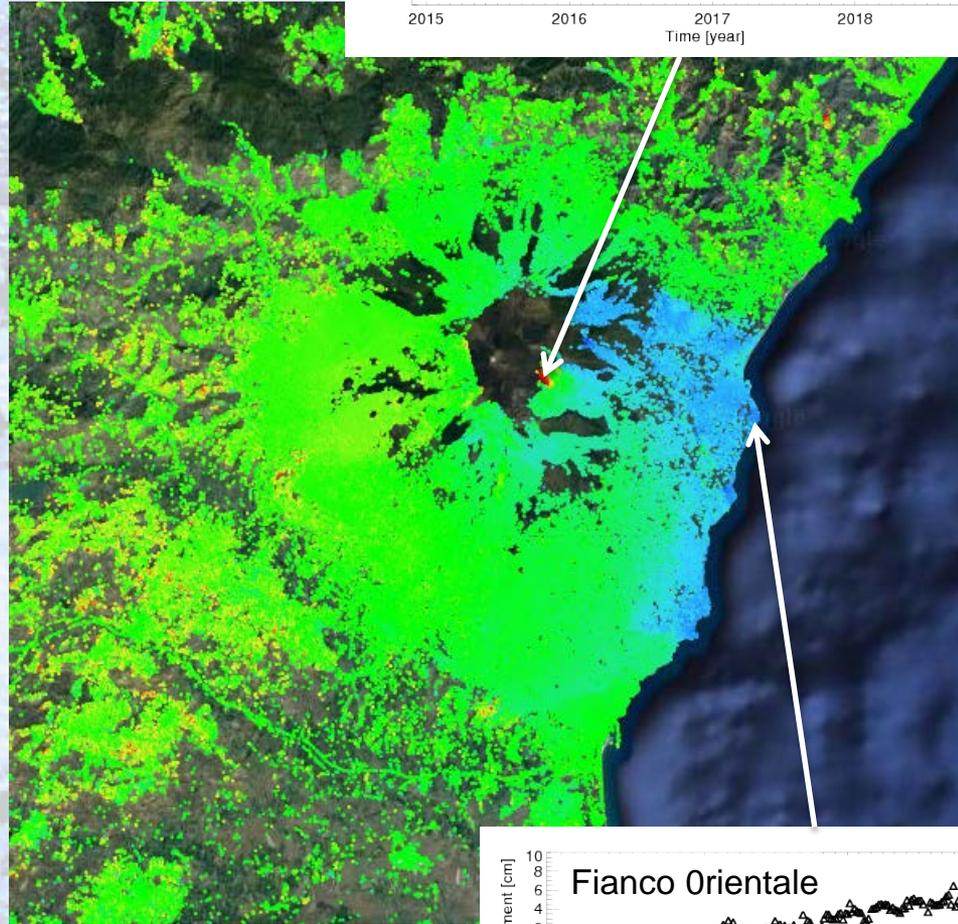
Risultati dell'analisi DInSAR a scala nazionale (1)

Velocità media di deformazione
LOS [cm/year]

> 3

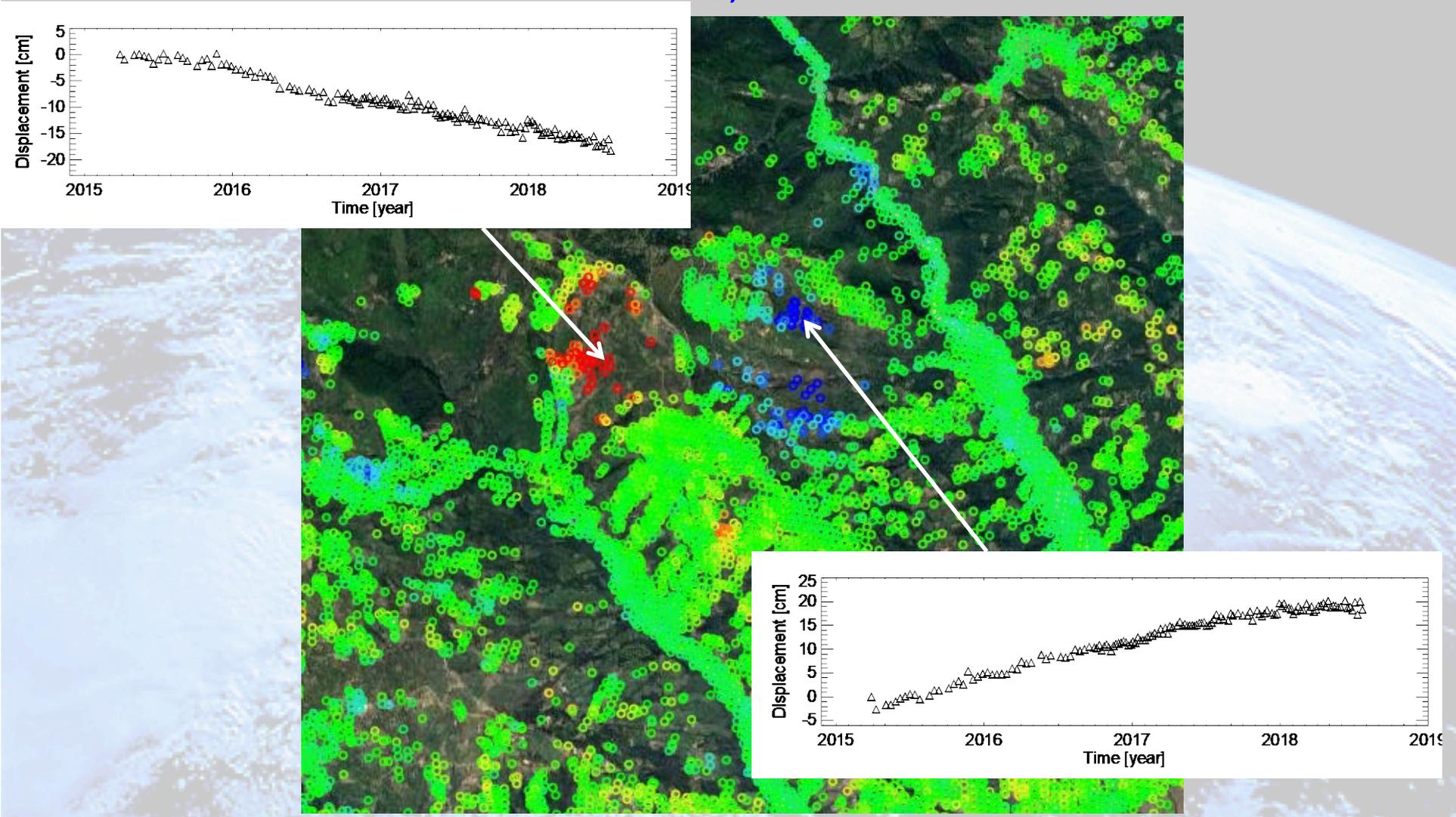
< -3

Etna (Sicilia)



Risultati dell'analisi DInSAR a scala nazionale (2)

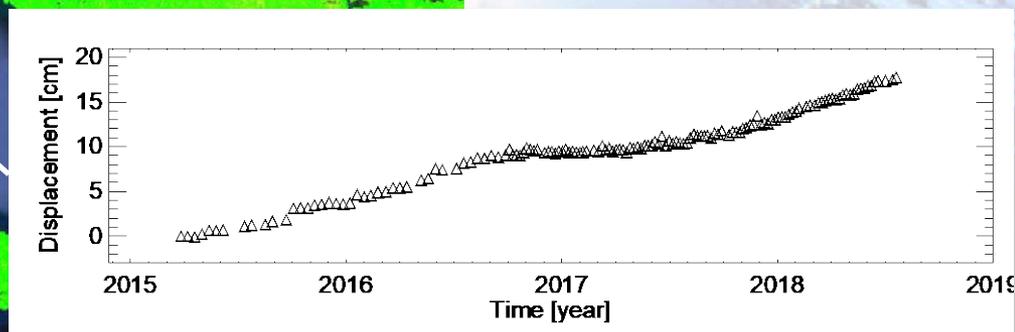
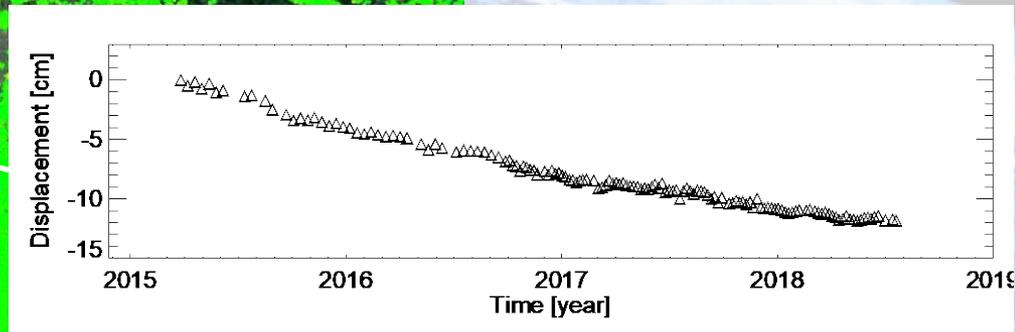
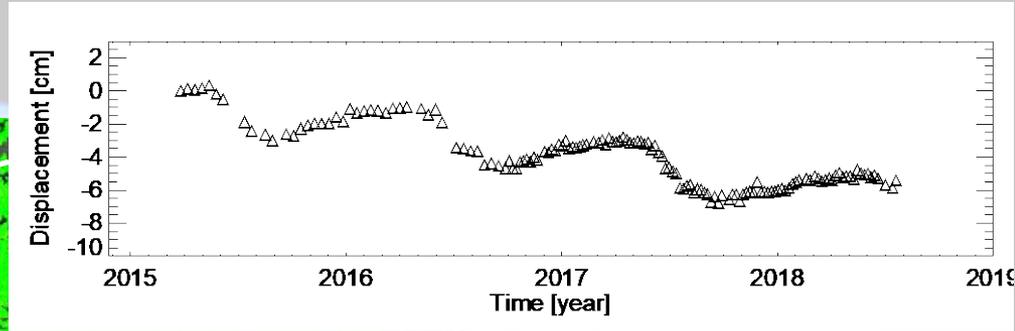
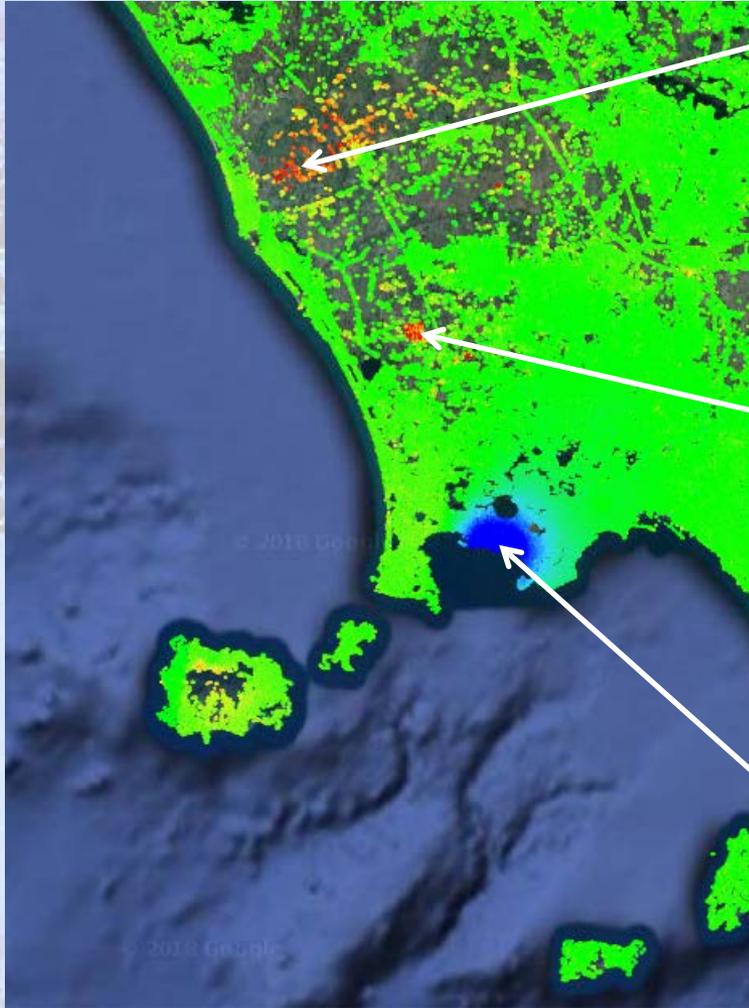
Plataci, Calabria



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

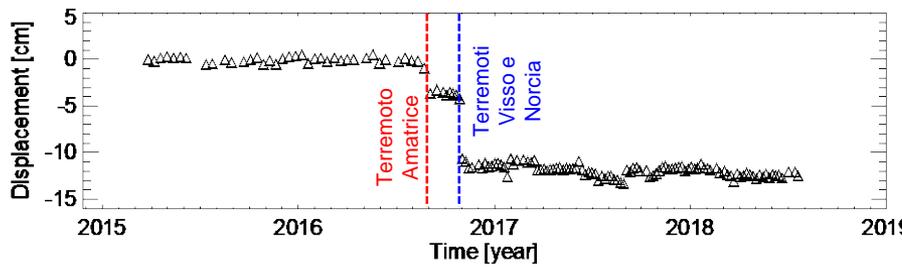
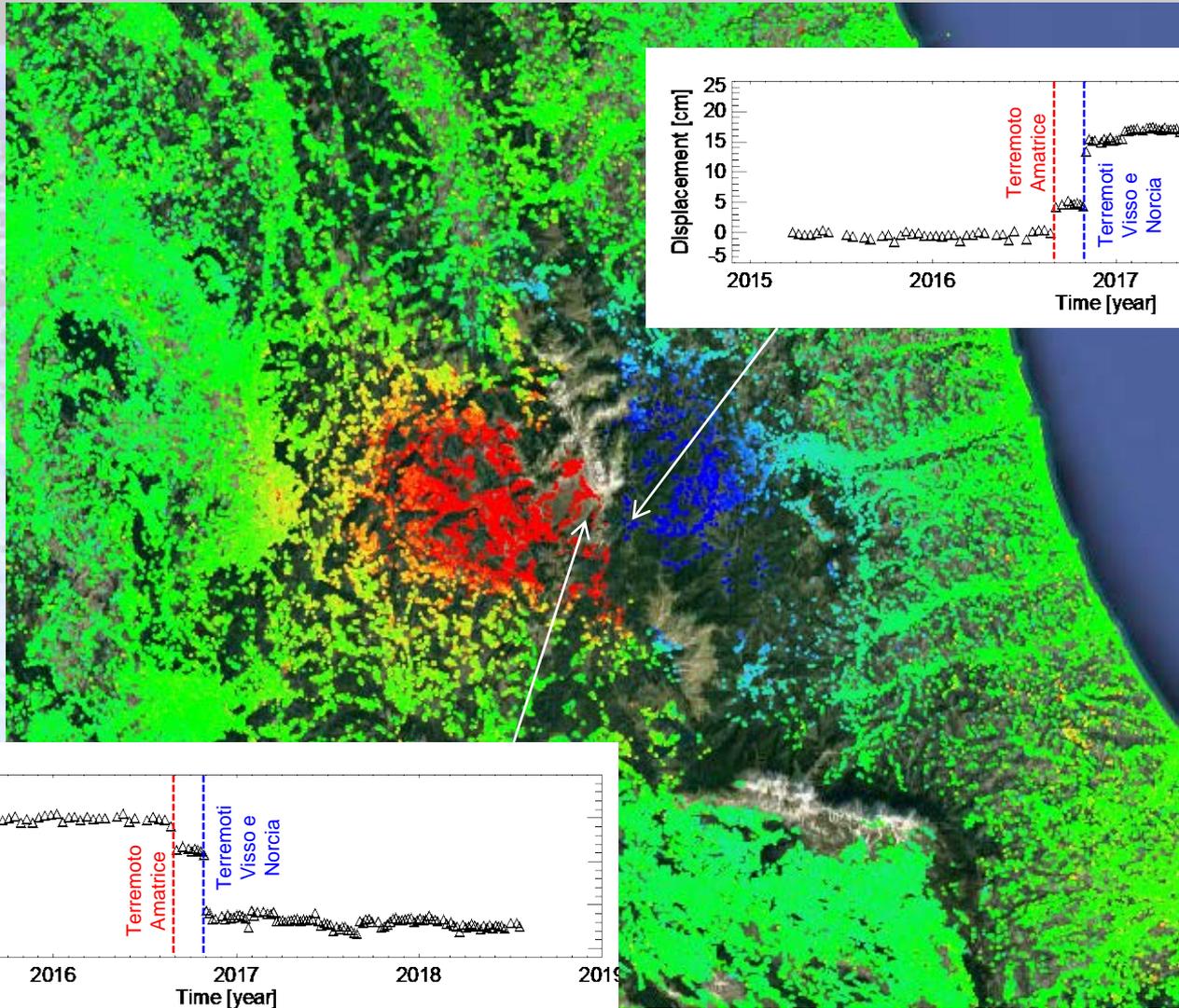
Risultati dell'analisi DInSAR a scala nazionale (3)

Golfo di Pozzuoli e foce del Volturno (Campania)



Risultati dell'analisi DInSAR a scala nazionale (4)

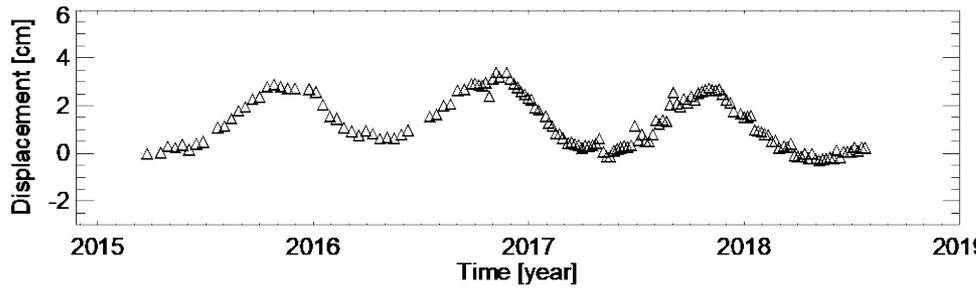
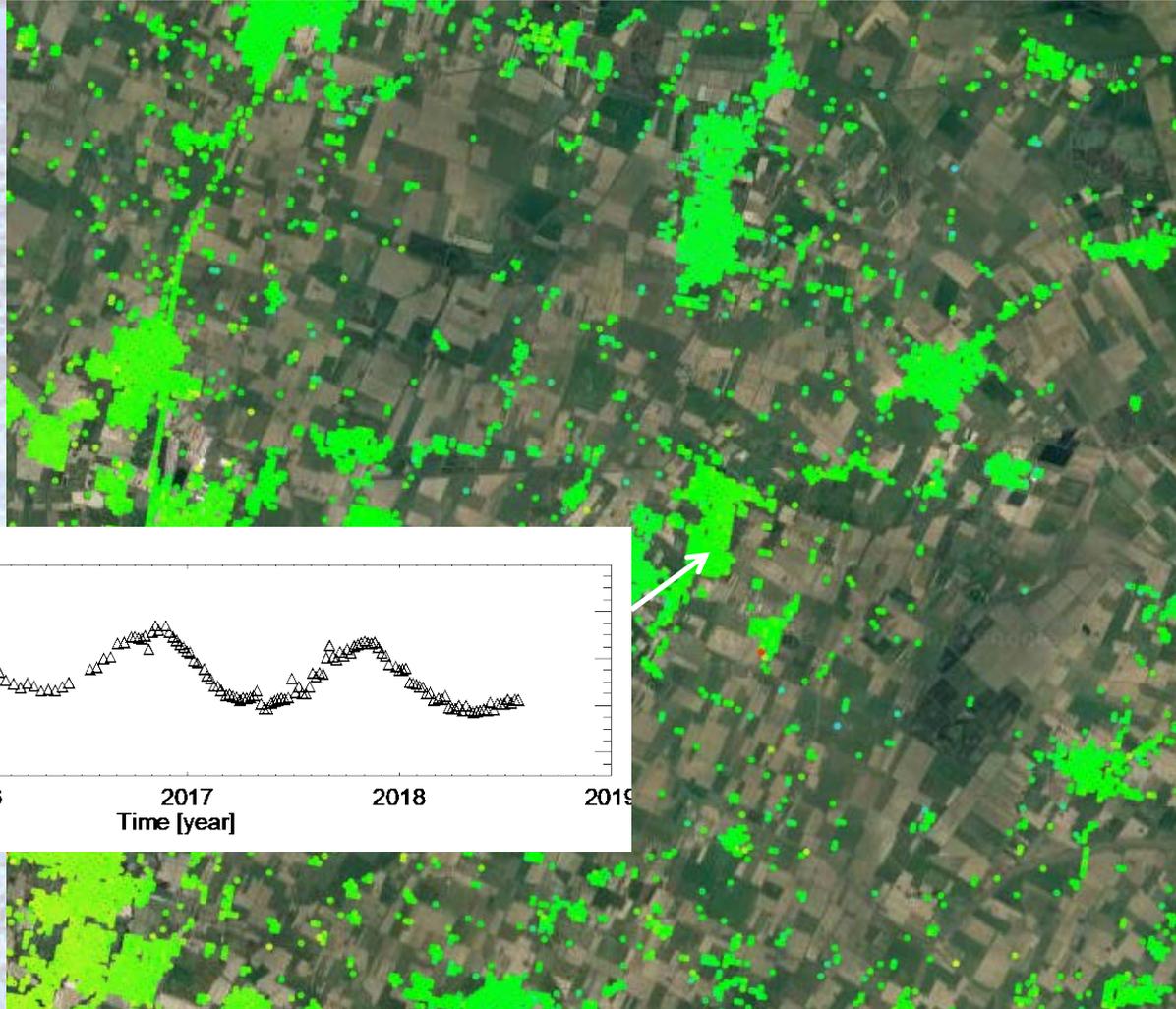
Sequenza sismica 2016 del centro Italia



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

Risultati dell'analisi DInSAR a scala nazionale (5)

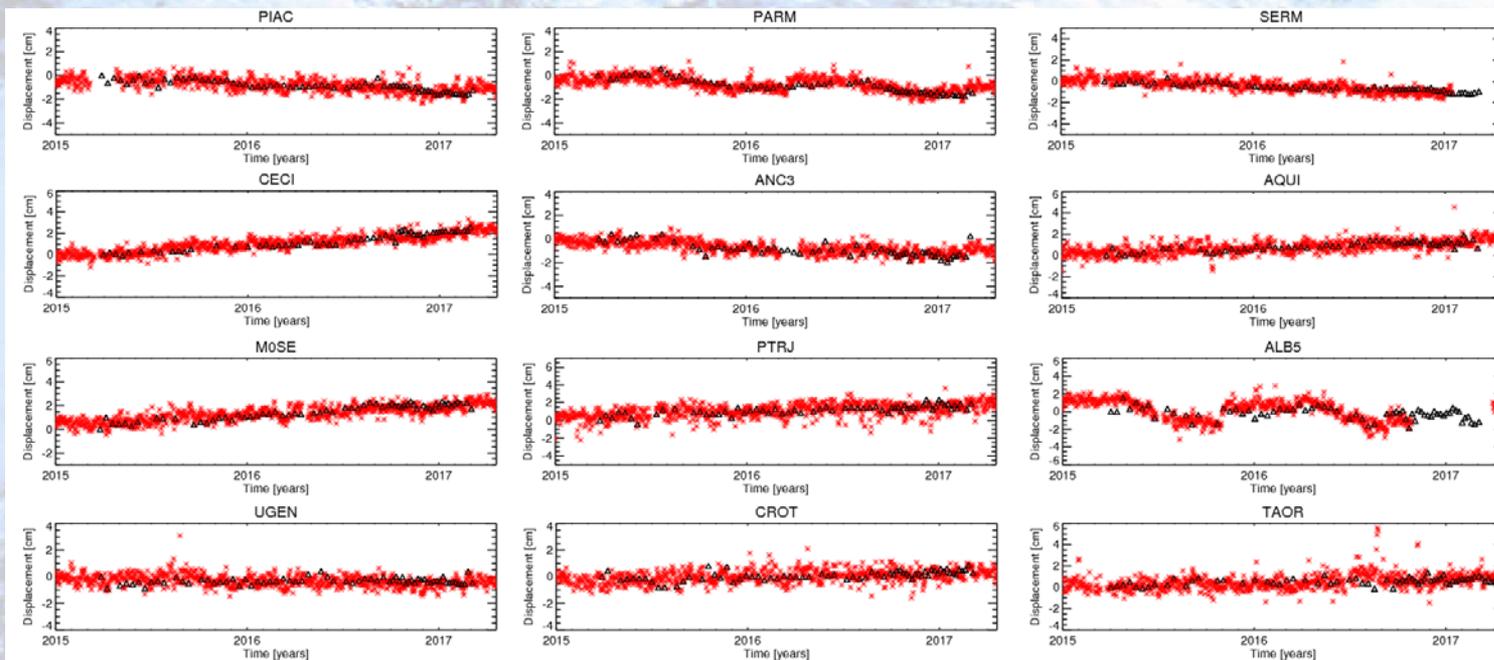
Minerbio (Emilia Romagna)



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



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



Δ 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



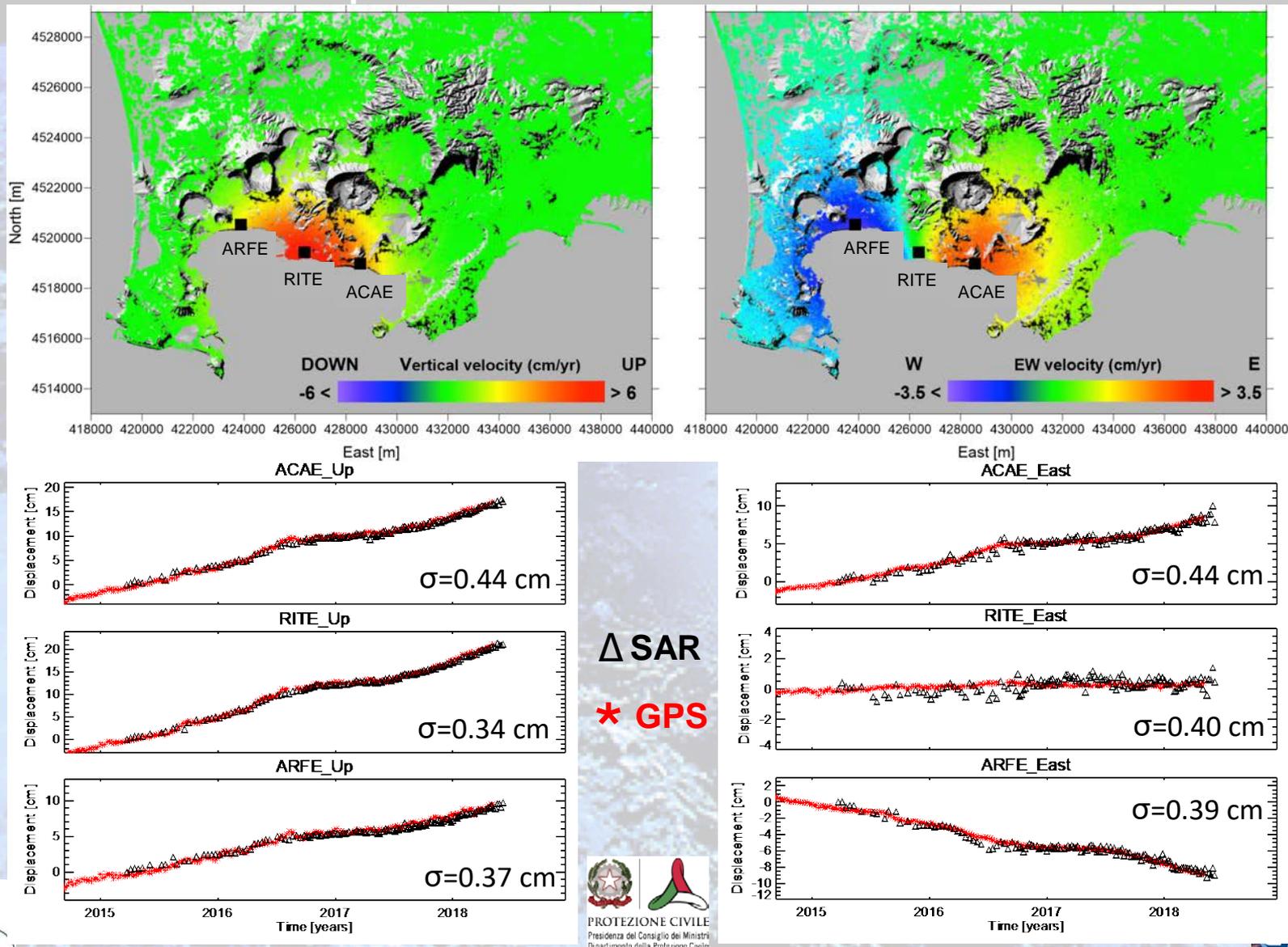
<-3  >3
Velocità media di deformazione LOS [cm/year]

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



Monitoraggio dei Campi Flegrei con Sentinel-1

Componenti Verticale ed Est-Ovest

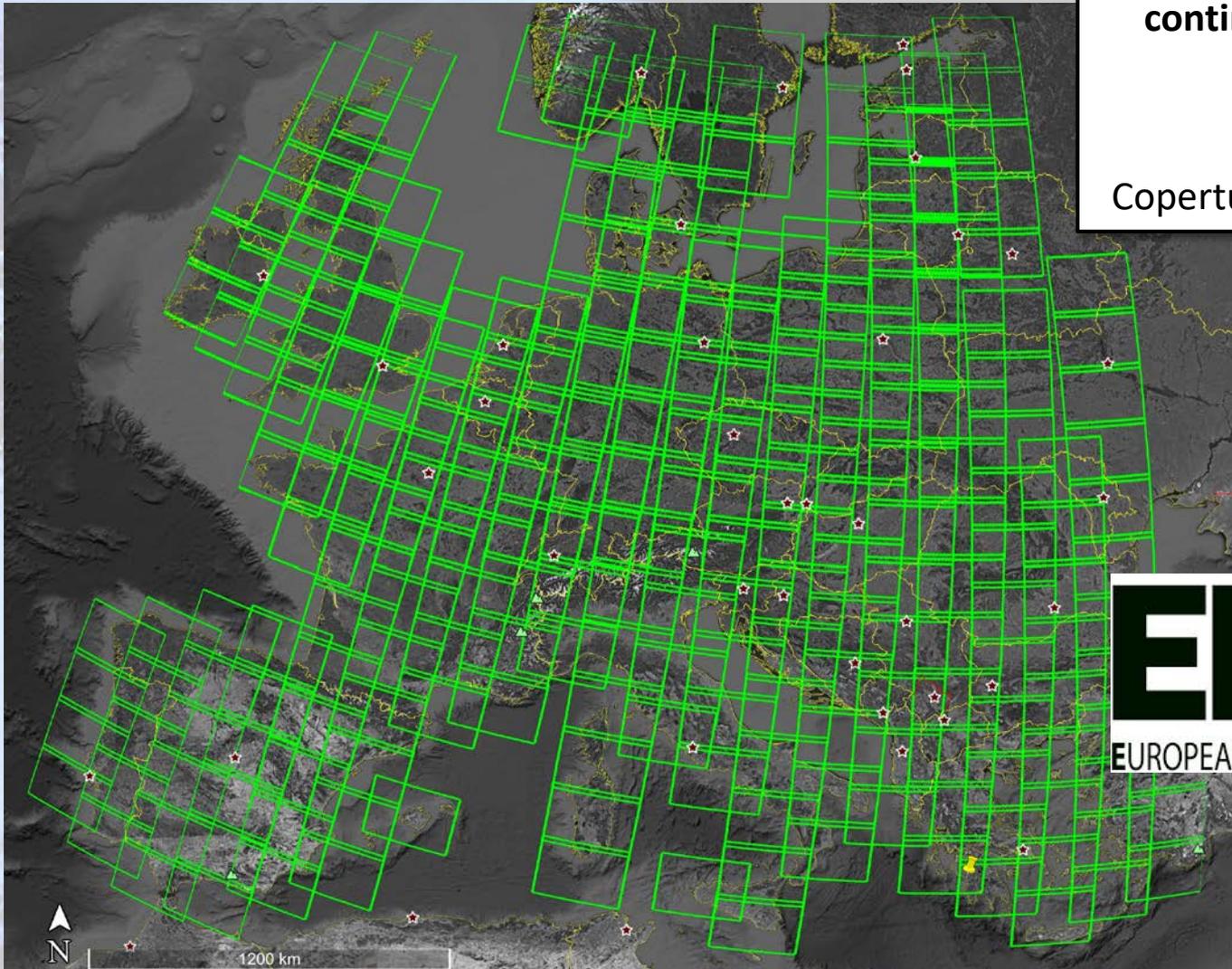


Analisi DInSAR a scala continentale

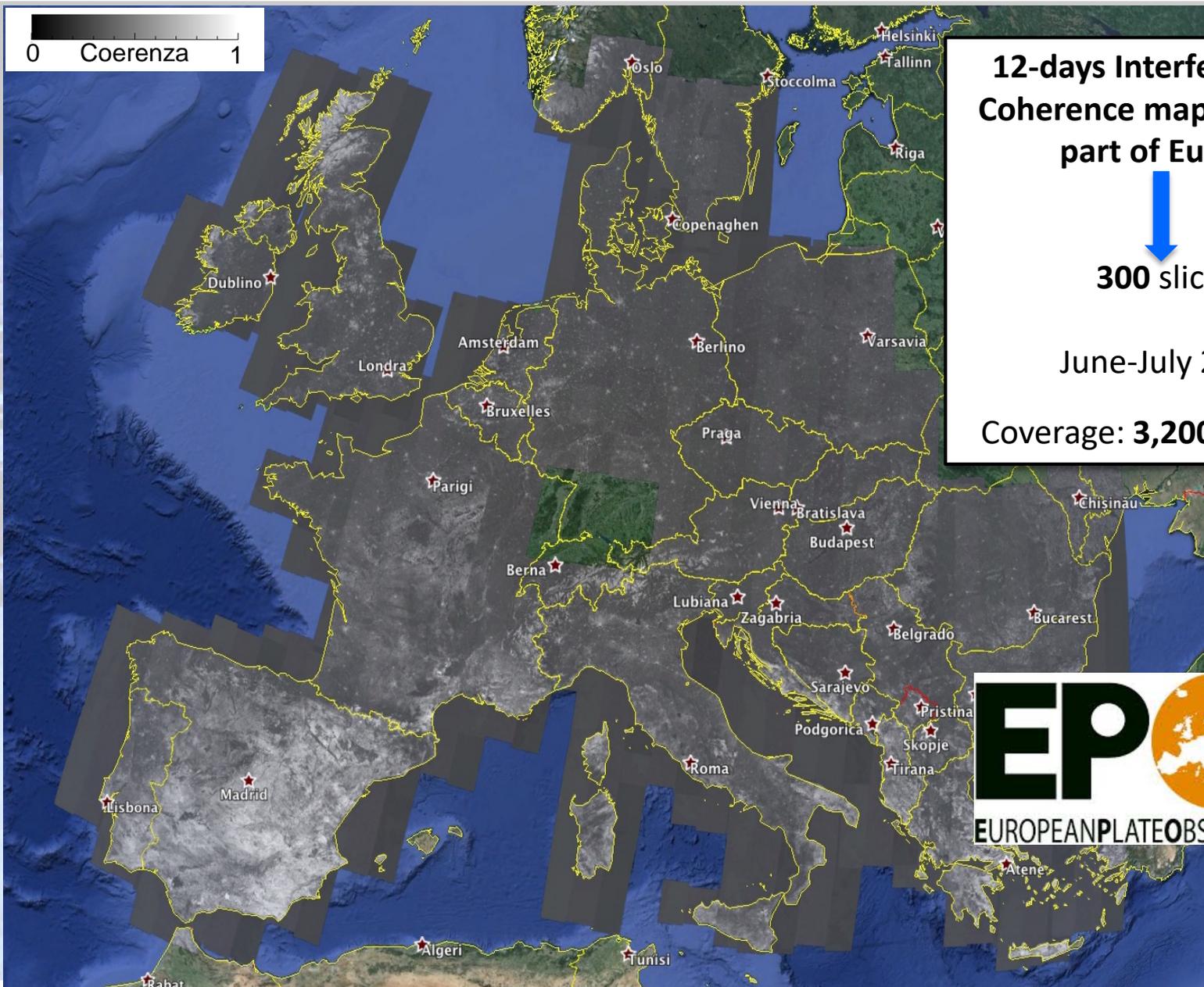
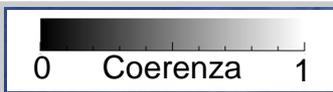
Elaborazione a scala
continentale: **EUROPA**

300 slices

Copertura: **3,200,000 km²**.



EPoS
EUROPEAN PLATE OBSERVING SYSTEM



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

↓

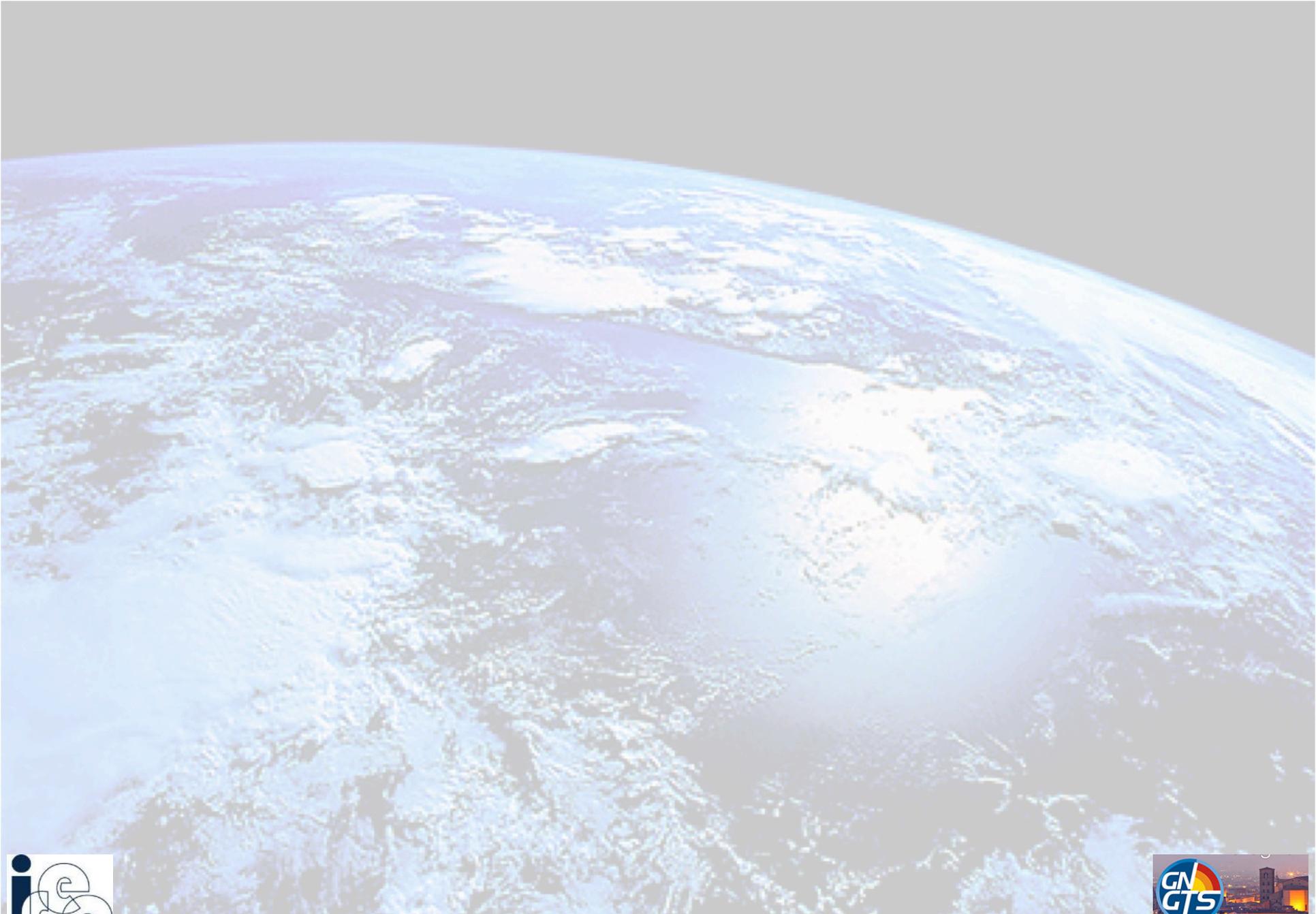
300 slices

June-July 2015

Coverage: **3,200,000 km²**.



Grazie!



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

