

**Accordo tra il CSLP ed il Consorzio ReLuis
attuativo dei DM 578/2020 e DM 204/2022**

Attività di formazione per i tecnici degli Enti Locali

Modulo III - Modelli informativi digitali e tecnologie innovative

coordinatori Proff. Edoardo Cosenza e Mauro Dolce

Napoli

Lezione 4

**L'utilizzo dei dati interferometrici satellitari ai fini dell'interpretazione del
comportamento strutturale delle infrastrutture**

Andrea Prota, Manuela Bonano, Diego Alejandro Talledo, Andrea Miano, Fabio Di Carlo, Antonio Sandoli



TASK 5.6 – Monitoraggio strutturale di ponti con dati satellitari
Coordinatore: Prof. Andrea Prota, UniNa

**L'UTILIZZO DEI DATI INTERFEROMETRICI SATELLITARI AI FINI
DELL'INTERPRETAZIONE DEL COMPORTAMENTO STRUTTURALE DELLE
INFRASTRUTTURE**

Accordo CSLLPP_ RELUIS attuativo DM 578/2020 e DM 204/2022

La sperimentazione delle Linee Guida per i ponti esistenti

Formazione EE.LL. ex art. 4 DM 204/2022

22/11/2024



TASK 5.6 – Monitoraggio strutturale di ponti con dati satellitari

Coordinatore: Prof. Andrea Prota, UniNa

Sub-Task 5.6.1 - Metodologie avanzate di rilievo e monitoraggio di ponti, attraverso l'uso integrato di dati satellitari e sistemi on site

Sub-Task 5.6.2 - Monitoraggio strutturale di ponti utilizzando dati satellitari e metodologie di intelligenza artificiale

Unità coinvolte: *UniBas, UniBo, UniGe, UniMolise, UniNa, UniRomaTV, UniPd, Iuav, CNR-IREA, CNR-ITC*



L'UTILIZZO DEI DATI INTERFEROMETRICI SATELLITARI AI FINI DELL'INTERPRETAZIONE DEL COMPORTAMENTO STRUTTURALE DELLE INFRASTRUTTURE

Organizzazione del seminario:

9:30-10:00 Prof. Ing. Andrea Prota: Presentazione del seminario di formazione ed introduzione alla tematica

10:00-10:30 Ing. Manuela Bonano: Processamento dei dati satellitari

10:30-11:00 Ing. Diego Talledo: Elaborazione dei dati satellitari



L'UTILIZZO DEI DATI INTERFEROMETRICI SATELLITARI AI FINI DELL'INTERPRETAZIONE DEL COMPORTAMENTO STRUTTURALE DELLE INFRASTRUTTURE

Organizzazione del seminario:

11:00-11:30 Prof. Ing. Andrea Miano: Applicazione di monitoraggio di infrastrutture alla larga scala

11:30-12:00 Prof. Ing. Fabio Di Carlo: Applicazione di monitoraggio alla scala di singola infrastruttura

12:00-12:30 Ing. Antonio Sandoli: Interpretazione dei dati interferometrici ai fini della valutazione degli spostamenti di servizio di ponti in c.a.

22/11/2024

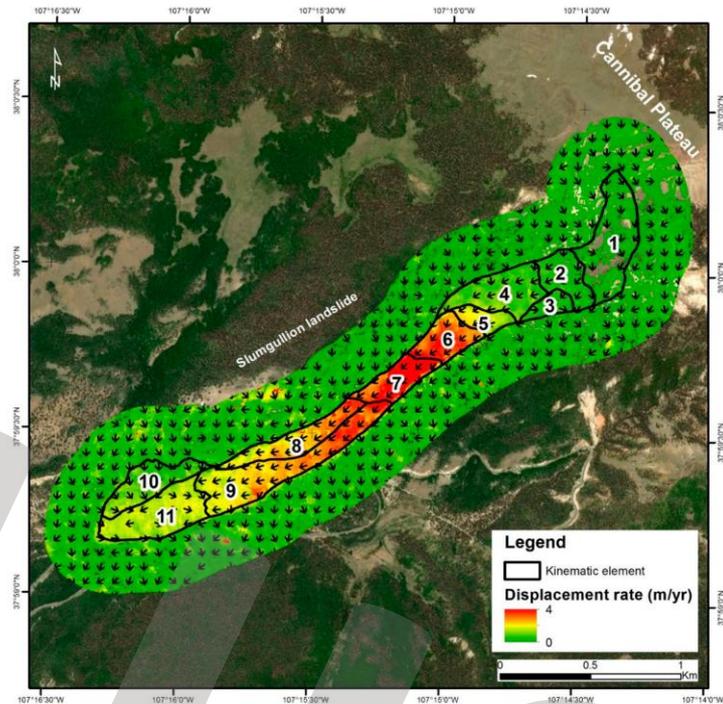
INTRODUZIONE

Stato dell'arte e obiettivi

- Monitoraggio delle costruzioni esistenti: un tema attuale
- Prime applicazioni dell'utilizzo di dati satellitari per studiare fenomeni di instabilità del terreno a scala territoriale (frane, subsidenza)
- Apertura verso l'utilizzo di tali dati ai fini del monitoraggio strutturale, con diversi vantaggi, tra cui:
 - Non invasività della tecnica
 - Possibilità di osservare contemporaneamente costruzioni in aree vaste
 - Costi bassi



- ✓ Metodologie di elaborazione dei dati satellitari
- ✓ Nuovi approcci per l'utilizzo dei dati satellitari finalizzato al monitoraggio e alla diagnosi di costruzioni esistenti



Amitrano D, et al. Long-Term Satellite Monitoring of the Slumgullion Landslide Using Space-Borne Synthetic Aperture Radar Sub-Pixel Offset Tracking. *Remote Sensing*. 2019.

DATI DA TELERILEVAMENTO RADAR SATELLITARE

PRINCIPI DELLA TECNICA

Emissione onde elettromagnetiche



Ricezione onde elettromagnetiche riflesse



Individuazione del bersaglio elettromagnetico e calcolo della distanza sensore-bersaglio



Immagine SAR

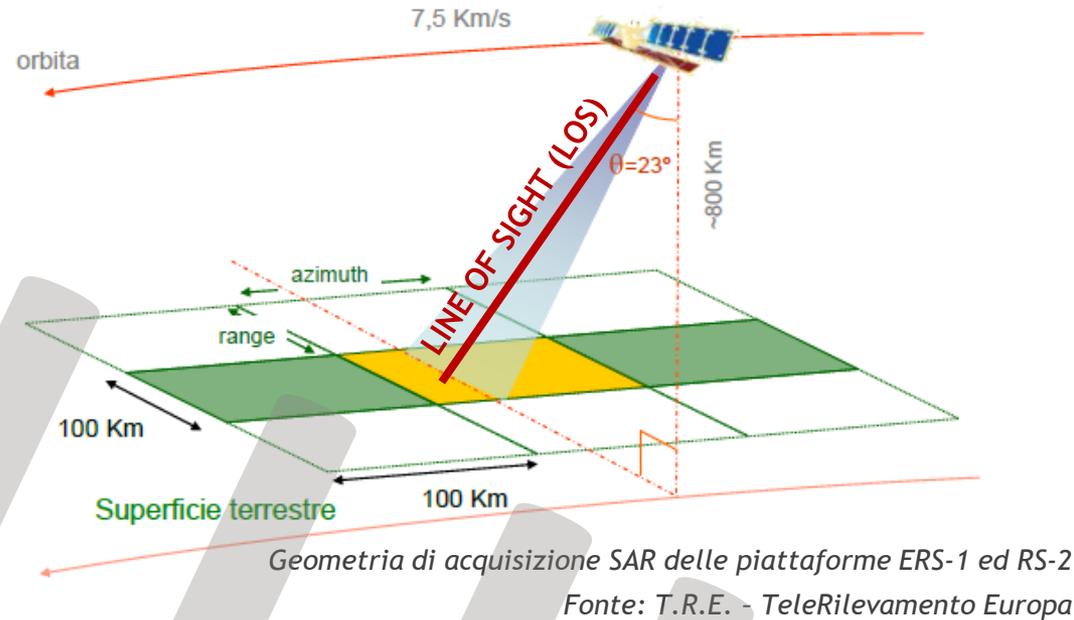
Orbita ripercorsa dopo il tempo di rivisitazione del satellite



Differenza di fase tra le immagini
Interferometria SAR differenziale
(DInSAR)



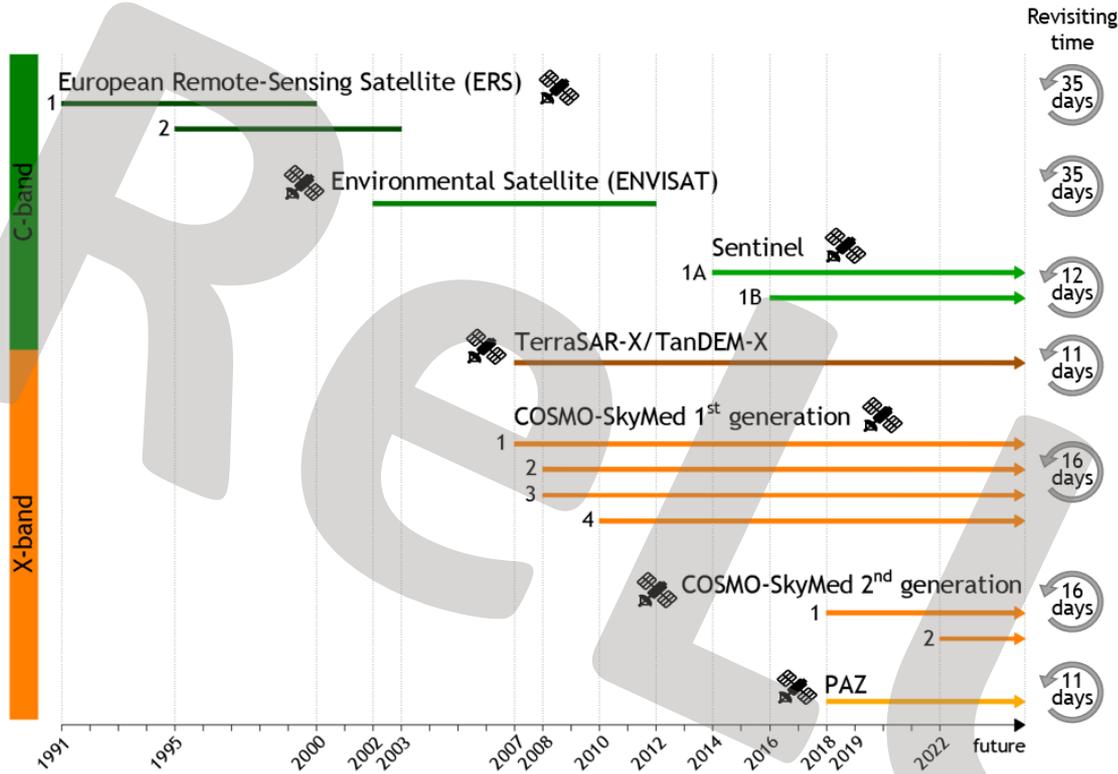
Individuazione di eventuali movimenti superficiali lungo la LOS per i punti di misura (**permanent scatterers, PS**)



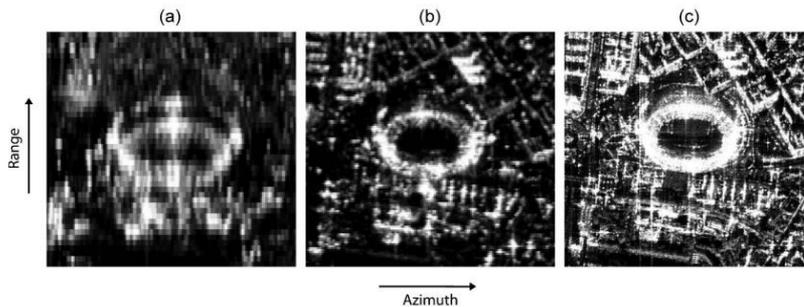
Fonte: Centre for Remote imaging, sensing & processing

DATI DA TELERILEVAMENTO RADAR SATELLITARE

PRINCIPALI COSTELLAZIONI DI SATELLITI



- Lunghezza d'onda (banda C, L, X)
- Risoluzione
- Revisiting time
- Angolo di incidenza



M. Bonano et al., "From previous C-band to new X-band SAR systems: Assessment of the DIn-SAR mapping improvement for deformation time-series retrieval in ur-ban areas," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 51, no. 4, pp. 1973-1984, 2013

Fig. 8. Zoomed view of the San Paolo stadium, located in the Fuorigrotta quarter of the city of Napoli, as seen through the amplitude SAR images taken by (a) the ENVISAT sensor, (b) the RADARSAT-1 sensor, and (c) the CSK sensor.

DATI DA TELERILEVAMENTO RADAR SATELLITARE

PRINCIPALI COSTELLAZIONI DI SATELLITI



Uno degli approcci con cui è possibile processare le immagini SAR al fine di ottenere le informazioni di deformazione al suolo dell'area indagata è l'approccio **Small Baseline Subset DInSAR** sviluppato presso il CNR IREA.

L'approccio SBAS-DInSAR consente di generare mappe di velocità di deformazione media estese per diverse centinaia di migliaia di km², a due diverse scale di risoluzione spaziale: regionale o locale.



Incertezze sulle misure (tecnica SBAS, Small BAseline Subset):

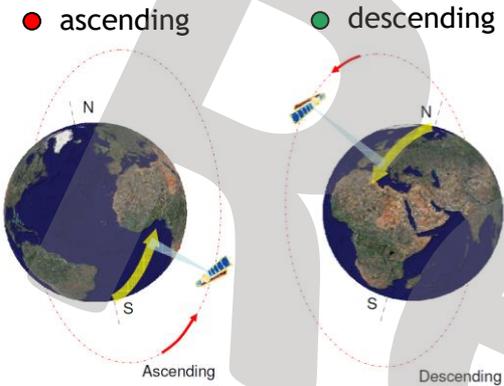
- 1-2 mm/anno sulla velocità
- 5-10 mm sulla singola misura di spostamento

Accuratezza nella posizione dei PS:

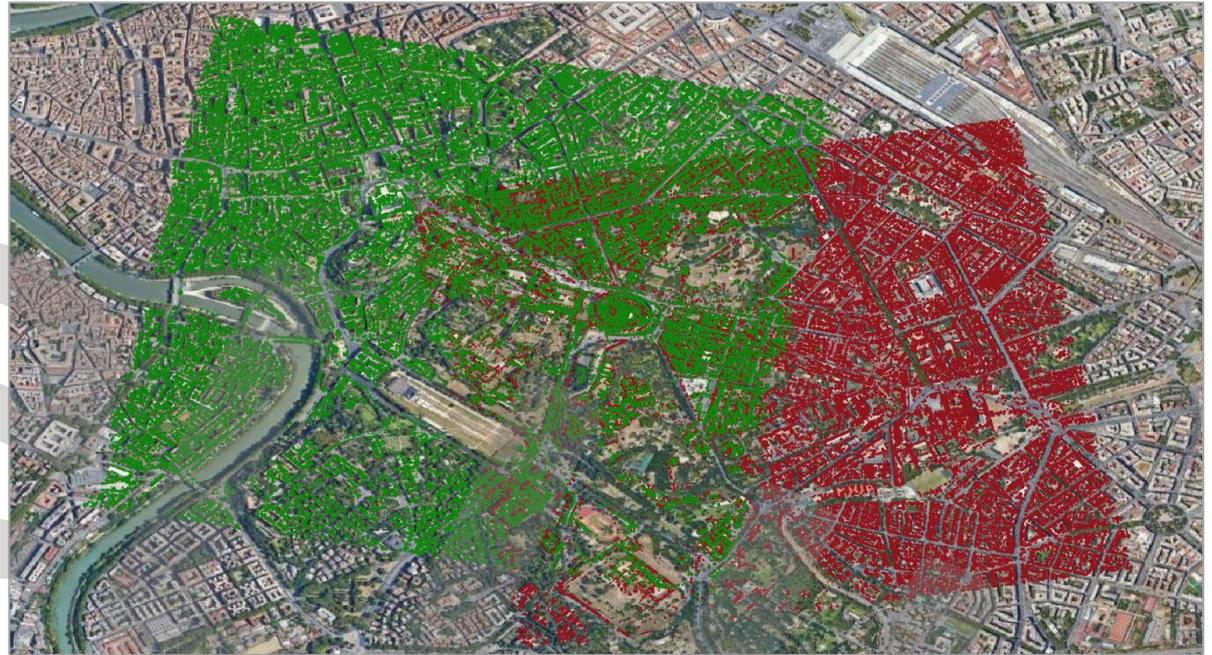
- East-West direction: 2-3 m
- North-South direction: 1-2 m
- Vertical direction: 1-2 m

DATI DA TELERILEVAMENTO RADAR SATELLITARE

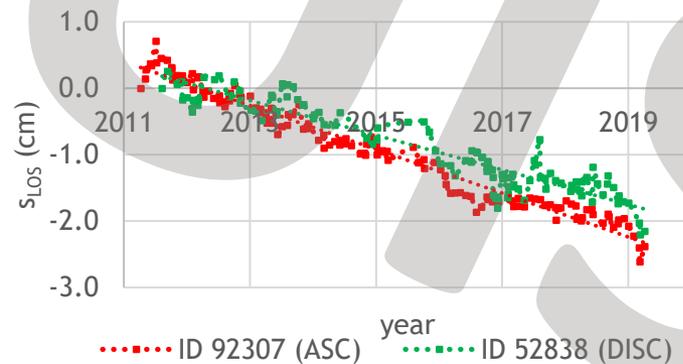
TECNICA “DIFFERENTIAL SYNTHETIC APERTURE RADAR INTERFEROMETRY” (DInSAR)



Source: T.R.E. – TeleRilevamento Europa



- ID
- Coordinate
- Topografia
- Velocità media di deformazione
- Coerenza
- Coseni direttori della LOS
- Serie storiche di spostamento (componente lungo la LOS)



Dati processati dal CNR IREA nell’ambito del progetto RELUIS WP6 – «Monitoraggio dati satellitari per la definizione di linee guida per l’utilizzo di prodotti InSAR per la comprensione dei fenomeni deformativi di edifici ed infrastrutture»

DATI DA TELERILEVAMENTO RADAR SATELLITARE

POTENZIALITÀ E LIMITI DELLA TECNICA

POTENZIALITÀ

- Possibilità di osservare vaste aree;
- Possibilità di acquisire informazioni indipendentemente dalle condizioni atmosferiche/di luce;
- Elevata frequenza di campionamento dei dati;
- Ampi periodi di indagine;
- Strumentazione a terra non necessaria;
- Costi contenuti.

LIMITI

- Assenza di punti di misura in aree prive di oggetti riflettenti (es. aree vegetate o innevate);
- Impossibilità di stabilire il numero di PS a priori;
- Impossibilità di stabilire la distribuzione di PS;
- Perdita di informazioni in caso di fenomeni a cinematica rapida;
- Componente Nord-Sud dello spostamento non rilevabile con precisione.



Dati processati dal CNR IREA

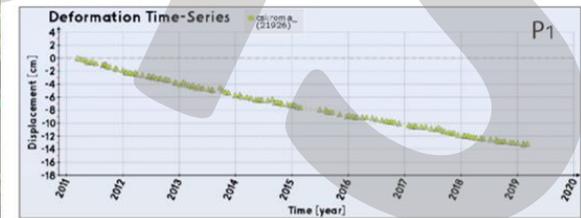
DATI DA TELERILEVAMENTO RADAR SATELLITARE

CHI FORNISCE I DATI?



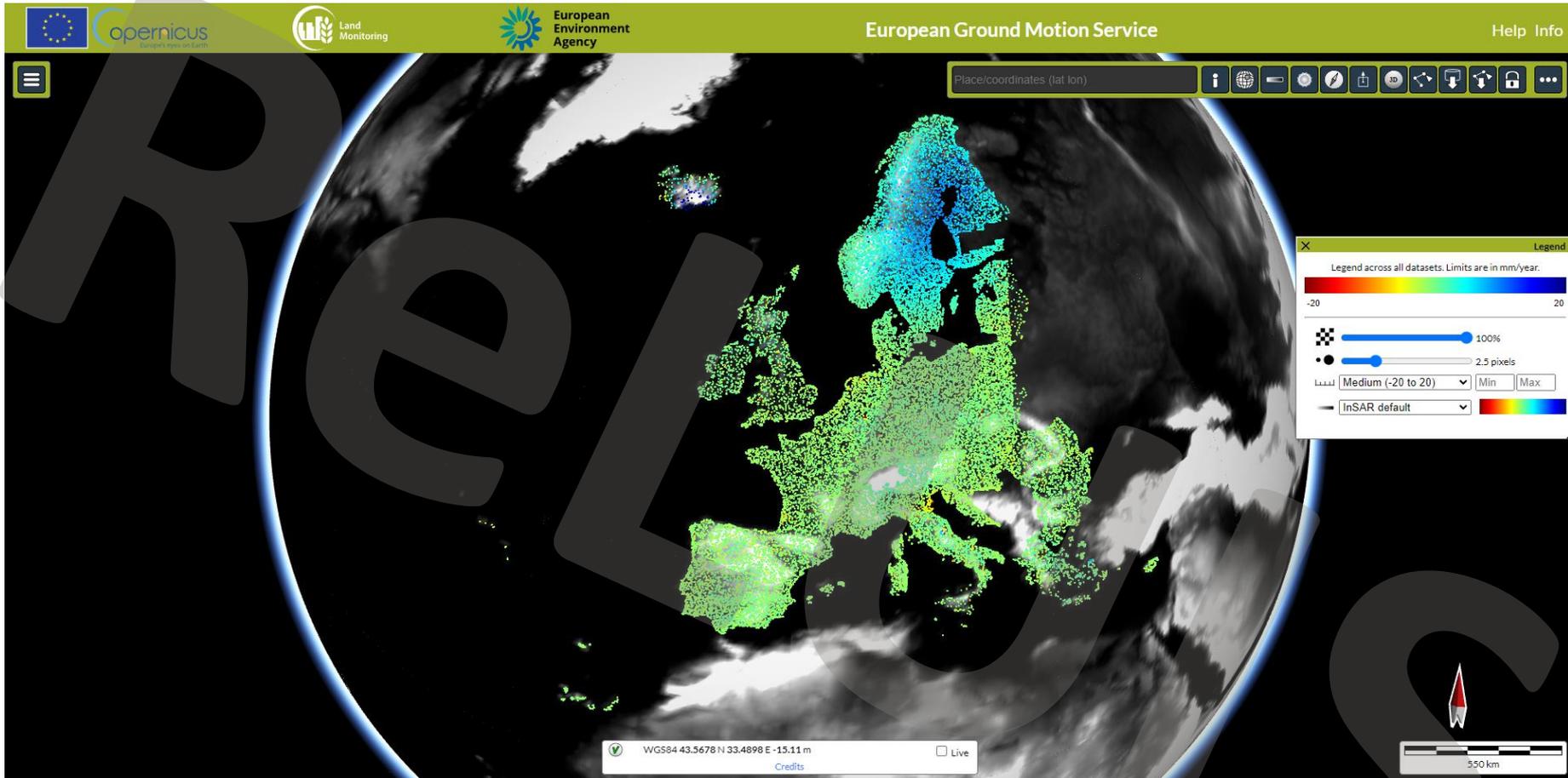
Dati processati dal CNR IREA nell'ambito del progetto RELUIS WP6 «Monitoraggio dati satellitari per la definizione di linee guida per l'utilizzo di prodotti InSAR per la comprensione dei fenomeni deformativi di edifici ed infrastrutture»

- Dati ottenuti da immagini COSMO-SkyMed: risoluzione spaziale di circa 3 m x 3m
- Periodo: 2011-2019
- Area: Roma



DATI DA TELERILEVAMENTO RADAR SATELLITARE

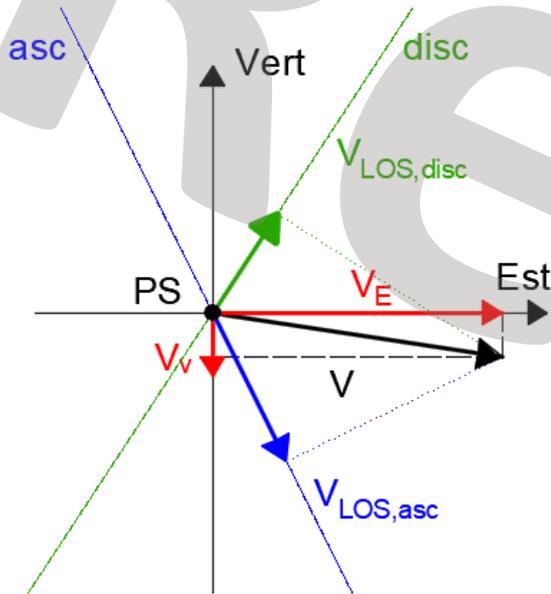
CHI FORNISCE I DATI?



- Dati ottenuti da immagini SENTINEL: risoluzione spaziale di circa 15 m lungo l'*azimuth* e circa 4 m lungo la direzione *range*
- Periodo: 2015-2020

<https://egms.land.copernicus.eu/>

SCOMPOSIZIONE VETTORIALE DEL VETTORE VELOCITA' DI DEFORMAZIONE



Convenzione segni:
(+) avvicinamento
(-) allontanamento

$$\begin{cases} V_{LOS,A} = V_{E-W} \cdot n_{E-W,A} + V_{N-S} \cdot n_{N-S,A} + V_V \cdot n_{V,A} \\ V_{LOS,D} = V_{E-W} \cdot n_{E-W,D} + V_{N-S} \cdot n_{N-S,D} + V_V \cdot n_{V,D} \end{cases}$$

IPOTESI

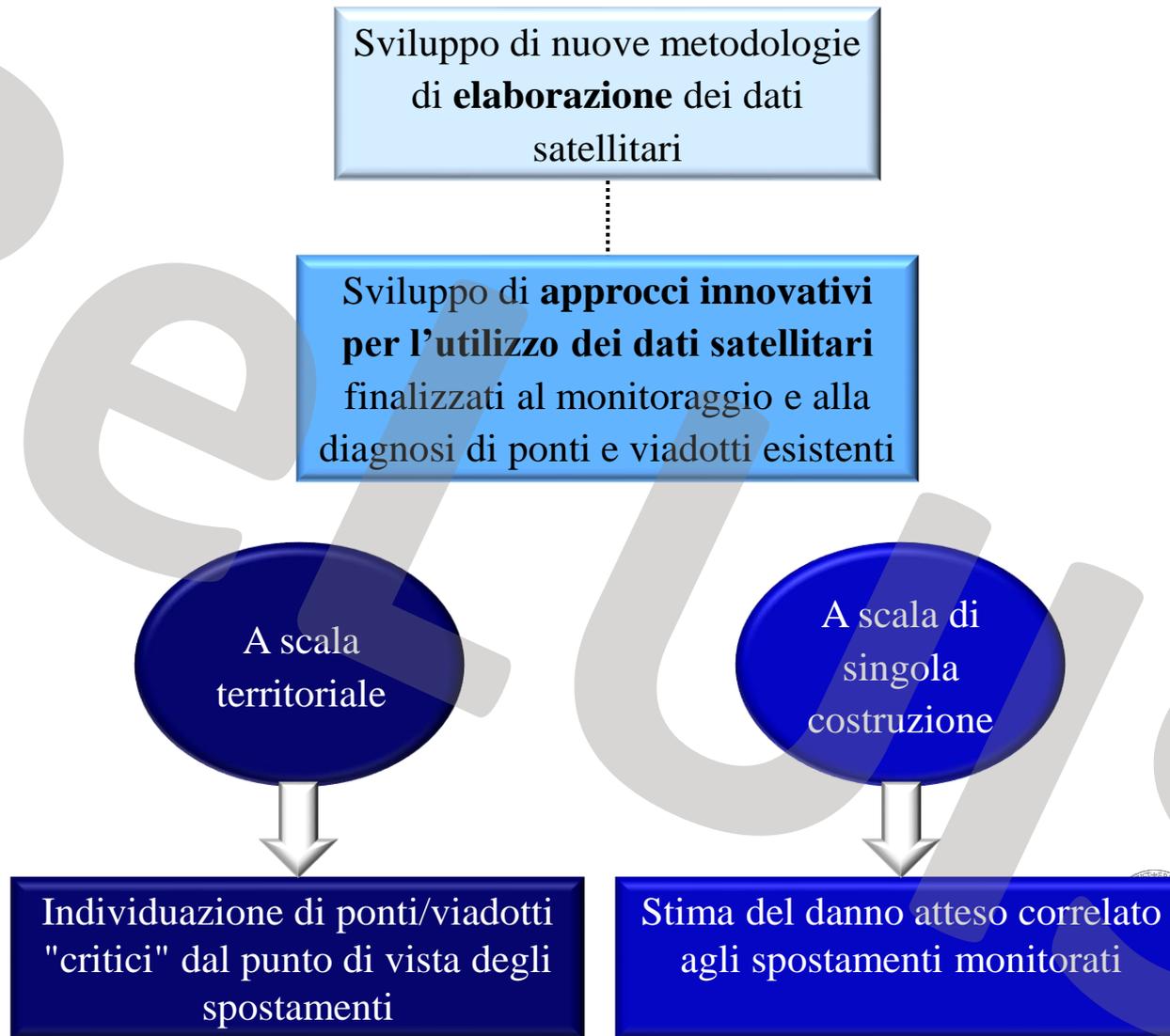
- 1) dati A e D si riferiscono allo stesso bersaglio radar
- 2) spostamenti nulli in direzione Nord-Sud

$$\begin{cases} V_{LOS,A} = V_{E-W} \cdot n_{E-W,A} + V_V \cdot n_{V,A} \\ V_{LOS,D} = V_{E-W} \cdot n_{E-W,D} + V_V \cdot n_{V,D} \end{cases}$$

V_V - Componente verticale

V_{E-W} - Componente Est-Ovest

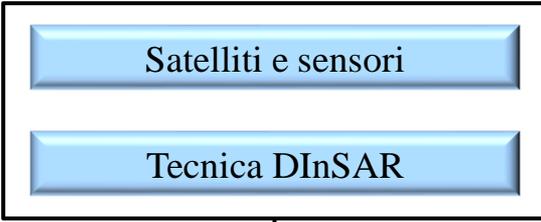
POSSIBILI APPLICAZIONI



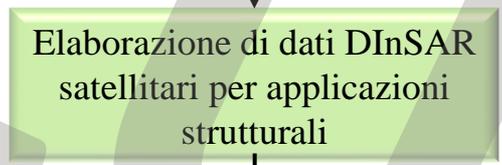
MONITORAGGIO CON DATI DInSAR SATELLITARI PER APPLICAZIONI STRUTTURALI

SCALA TERRITORIALE

**DATI DA
TELERILEVAMENTO
SATELLITARE**



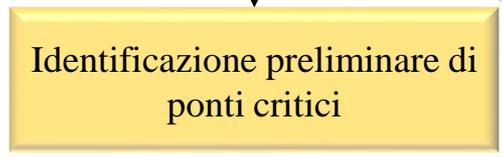
**ELABORAZIONE DEI
DATI SATELLITARI
PER APPLICAZIONI
STRUTTURALI**



**POTENZIALITA'
DELL'UTILIZZO DI
DATI SATELLITARI PER
MONITORAGGIO
STRUTTURALE A
SCALA TERRITORIALE**

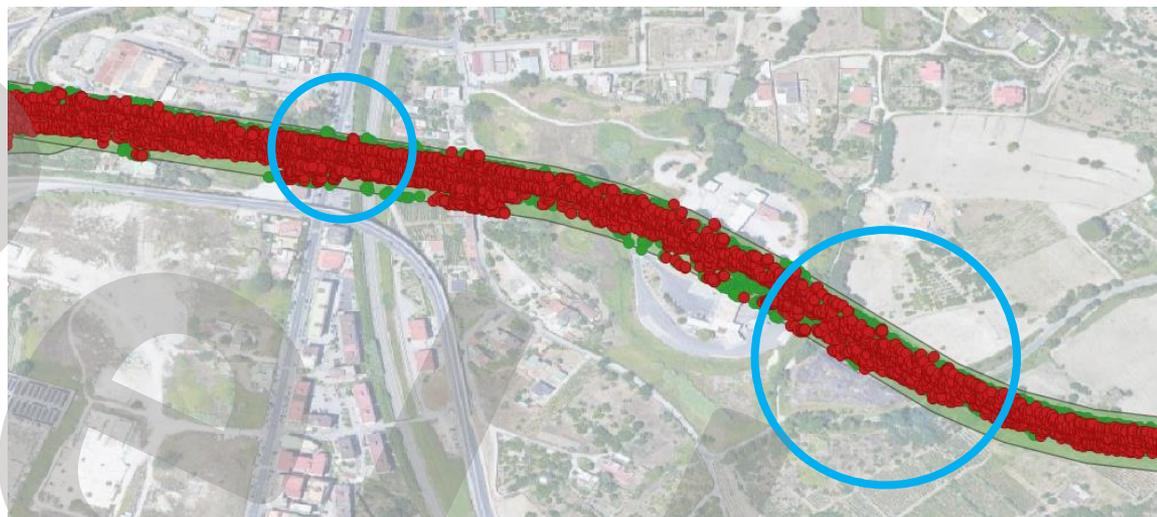


Algoritmi di intelligenza artificiale/tools



MONITORAGGIO CON DATI DI SAR SATELLITARI PER APPLICAZIONI STRUTTURALI

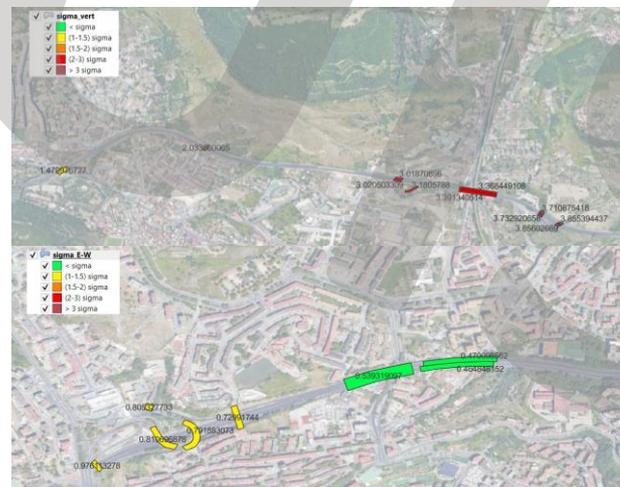
Dati satellitari relativi alla rete



Selezione di punti relativi ai ponti di interesse



Derivazione delle componenti di velocità ed identificazione di viadotti critici



APPLICAZIONE

Selezione di ponti potenzialmente critici sulla base delle componenti verticali ed orizzontale Est-Ovest di velocità di spostamento, ottenute attraverso dati satellitari



La possibilità di ottenere mappe su scala territoriale consente di definire un quadro complessivo delle condizioni di deformazione dell'ambiente costruito, comprese intere reti di strade e ponti. Sulla base di queste mappe, è possibile definire i ponti potenzialmente più critici (o campate di essi), considerando sia i fenomeni territoriali che locali del singolo ponte, creando delle classifiche sulla base delle velocità media annuali.

APPLICAZIONE

Selezione di ponti potenzialmente critici sulla base delle componenti verticali ed orizzontale Est-Ovest di velocità di spostamento, ottenute attraverso dati satellitari



(a)



(b)

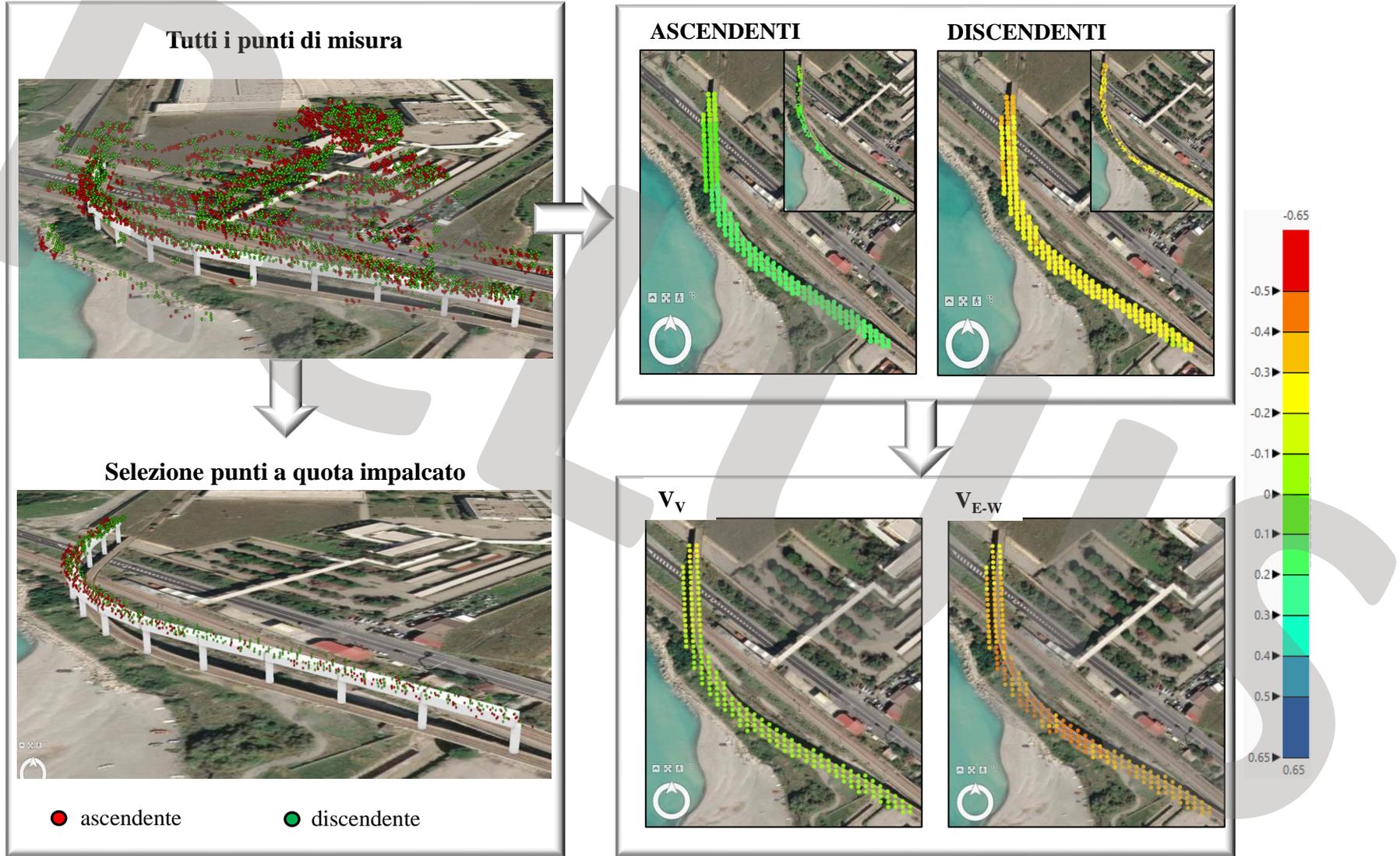
Legend
Global Risk Classes

- LOW
- MEDIUM-LOW
- MEDIUM
- MEDIUM-HIGH
- HIGH



MONITORAGGIO CON DATI DI SAR SATELLITARI PER APPLICAZIONI STRUTTURALI

SCALA DI SINGOLO PONTE: PONTE FERROVIARIO IN CALABRIA



SCALA DI SINGOLO PONTE: PONTE FERROVIARIO IN CALABRIA

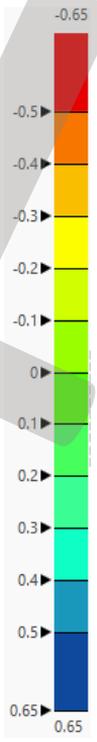
ASCENDENTI

DISCENDENTI



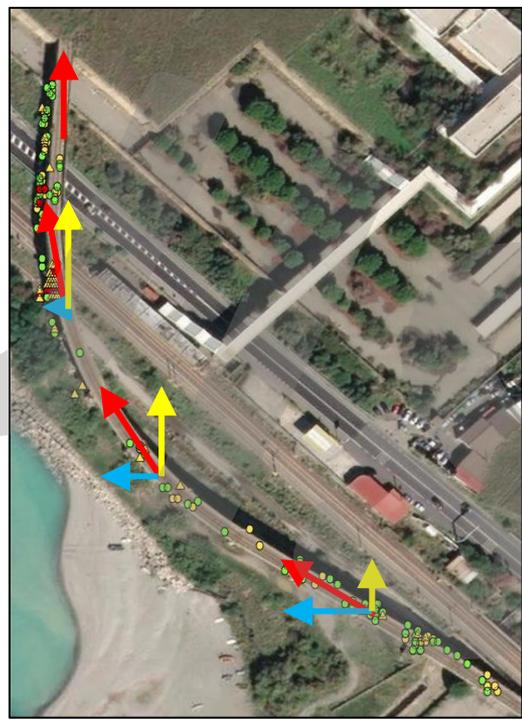
V_V

V_{E-W}



CONSIDERAZIONI DEDOTTE DALLE MAPPE

Analizzando la componente del vettore velocità in direzione Est-Ovest, che è prevalente rispetto alla verticale, gli spostamenti sembrano diretti lungo l'asse longitudinale del viadotto



VALUTAZIONI PRELIMINARI A SCALA DI SINGOLO VIADOTTO

Descrizione dell'opera

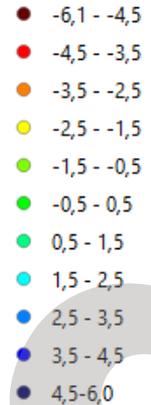
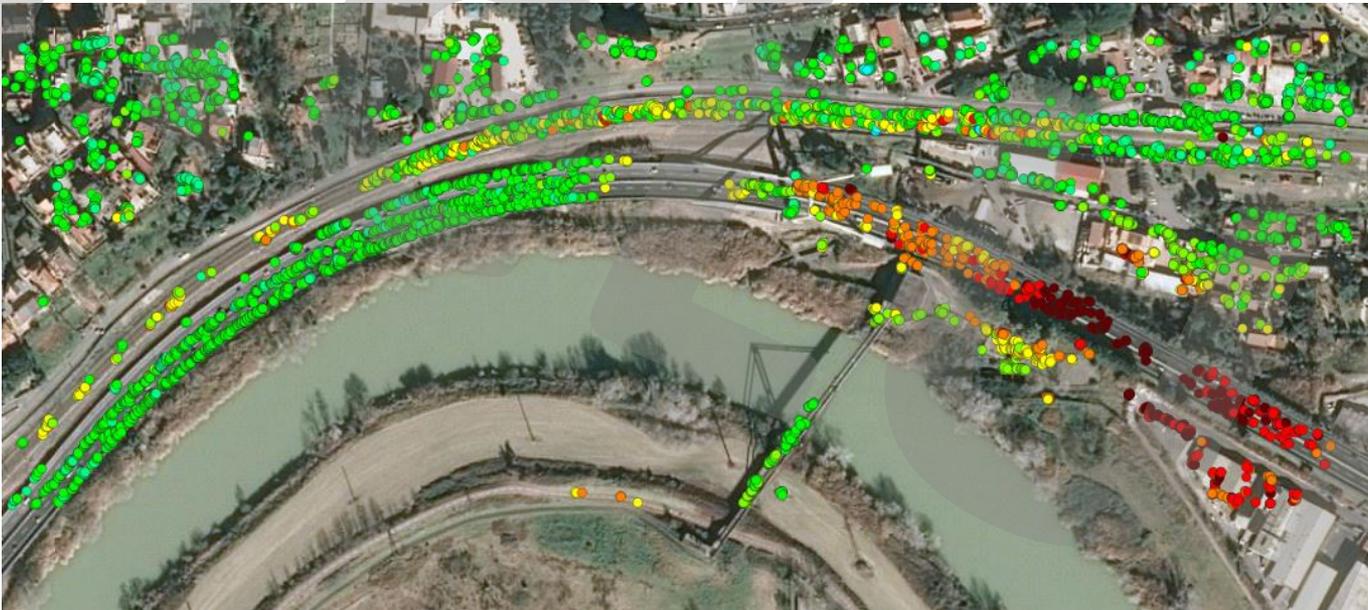


Il viadotto Ansa del Tevere, progettato da Riccardo Morandi nel 1965 per l'autostrada Roma-Fiumicino, è il primo ponte strallato in cemento armato precompresso realizzato a Roma e l'unico, tra i viadotti strallati di Morandi, che sostiene un tratto stradale curvilineo. La soluzione strallata fu adottata in seguito ad una frana che trascinò con sé alcuni piloni dell'autostrada Roma-Fiumicino, allora in costruzione.

VALUTAZIONI PRELIMINARI A SCALA DI SINGOLO VIADOTTO

Risultati

Si evidenzia un cedimento verticale della zona cerchiata in rosso con una velocità media di deformazione di 2.5 mm/anno



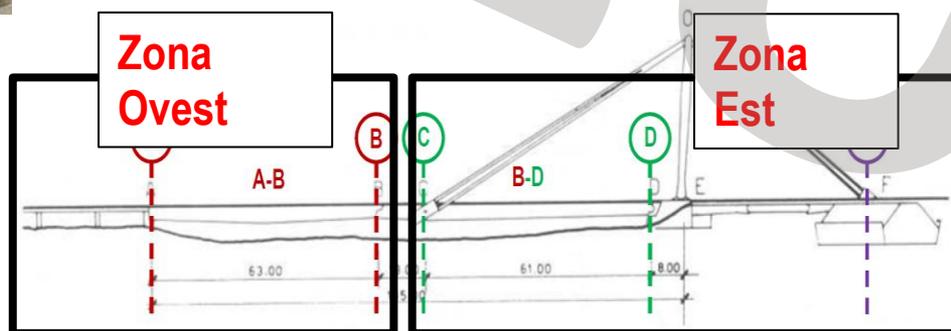
Elaborazione Università IUAV combinazioni punti vicini

MONITORAGGIO CON DATI DInSAR SATELLITARI PER APPLICAZIONI STRUTTURALI

Diagnosi e monitoraggio strutturale preliminare

VALUTAZIONI PRELIMINARI A SCALA DI SINGOLO VIADOTTO

Tecniche di interpolazione



CONCLUSIONI

CONCLUSIONI GENERALI

- L'utilizzo dei dati satellitari per il monitoraggio strutturale è molto promettente, soprattutto per indagare gli spostamenti indotti da **fenomeni lenti** (es. frane, subsidenza)
- Lo studio delle mappe di velocità di deformazione a **scala territoriale** permette di capire se l'area di interesse è stabile o influenzata da spostamenti, e di circoscrivere le zone in cui si trovano le costruzioni più esposte a spostamenti potenzialmente dannosi
- Le applicazioni a larga scala possono rappresentare un supporto nelle fasi decisionali degli enti, per l'individuazione delle zone più deformabili (“critiche”) su cui porre l'attenzione (ad esempio, prevedendo ispezioni in situ e installazione di specifici strumenti di monitoraggio);
- Nell'ipotesi di spostamenti che evolvono linearmente nel tempo, possono essere fatte **previsioni future** degli spostamenti (e, di conseguenza, dei suoi effetti sulle strutture) o **analisi retrospettive** per ricostruire la serie storica di spostamento nel passato;
- La tecnica può essere applicata anche per il monitoraggio di **singolo edificio o infrastruttura**, da remoto e in maniera non invasiva.

CONCLUSIONI

VANTAGGI

- Costi bassi, possibilità di acquisire informazioni indipendentemente dalle condizioni atmosferiche/di luce;
- Capacità di osservare estese porzioni della superficie terrestre in un arco temporale breve e con regolarità;
- Possibilità di analisi retrospettive e previsioni future degli spostamenti;
- Non è necessaria strumentazione a terra.

LIMITI

- Impossibilità di stabilire numero e distribuzione dei bersagli radar a priori;
- Assenza di punti di misura in aree prive di oggetti riflettenti (es. Aree vegetate o innevate);
- Difficoltà di applicazione della tecnica in caso di movimenti a cinematica rapida;
- Impossibilità di quantificare gli spostamenti in direzione Nord-Sud.



TASK 5.6 – Monitoraggio strutturale di ponti con dati satellitari
Coordinatore: Prof. Andrea Prota, UniNa

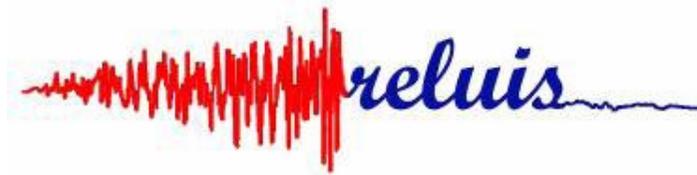
GRAZIE PER L'ATTENZIONE!

Accordo CSLLPP_RELUIS attuativo DM 578/2020 e DM 204/2022

La sperimentazione delle Linee Guida per i ponti esistenti

Formazione EE.LL. ex art. 4 DM 204/2022

22/11/2024



TASK 5.6 – Monitoraggio strutturale di ponti con dati satellitari
Coordinatore: Prof. Andrea Prota, UniNa

**L'UTILIZZO DEI DATI INTERFEROMETRICI SATELLITARI AI FINI
DELL'INTERPRETAZIONE DEL COMPORTAMENTO STRUTTURALE DELLE
INFRASTRUTTURE**

Accordo CSLLPP_RELUIS attuativo DM 578/2020 e DM 204/2022

La sperimentazione delle Linee Guida per i ponti esistenti

Formazione EE.LL. ex art. 4 DM 204/2022



TASK 5.6 – Monitoraggio strutturale di ponti con dati satellitari
Coordinatore: Prof. Andrea Prota, UniNa

**ELABORAZIONE DEI DATI SATELLITARI CON TECNICHE DI
INTERFEROMETRIA SAR DIFFERENZIALE (DInSAR)**

Manuela Bonano

*Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente (IREA)
Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR)
Via Diocleziano, 328, Napoli*

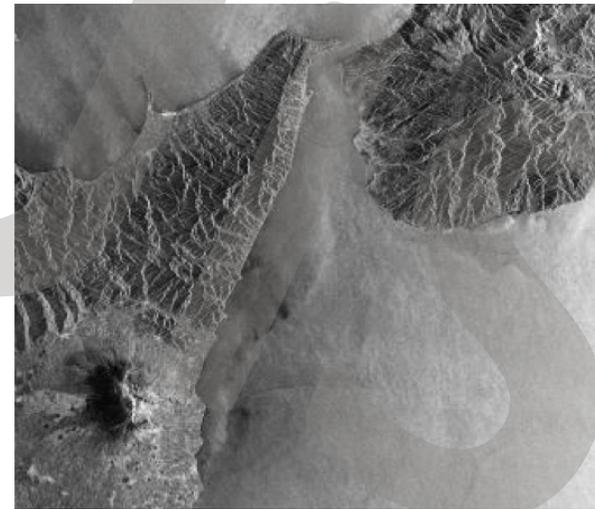
email: bonano.m@irea.cnr.it

Basic Principles

- **Radar** is an acronym for **RA**dio **D**etection **A**nd **R**anging;
- An object detection system that transmits **electromagnetic (EM) waves** and analyses the **echoes coming from the objects**;
- Why use radar?
 - ❑ *Radar can operate in **any weather conditions** (e.g. darkness, fog, rain, clouds);*
 - ❑ *Radar can perform its function **at long and short ranges**;*
 - ❑ *Radar can provide measurements in **high accuracy**.*



Optical image



Microwave image

Key points of Radar (SAR) Imaging from space

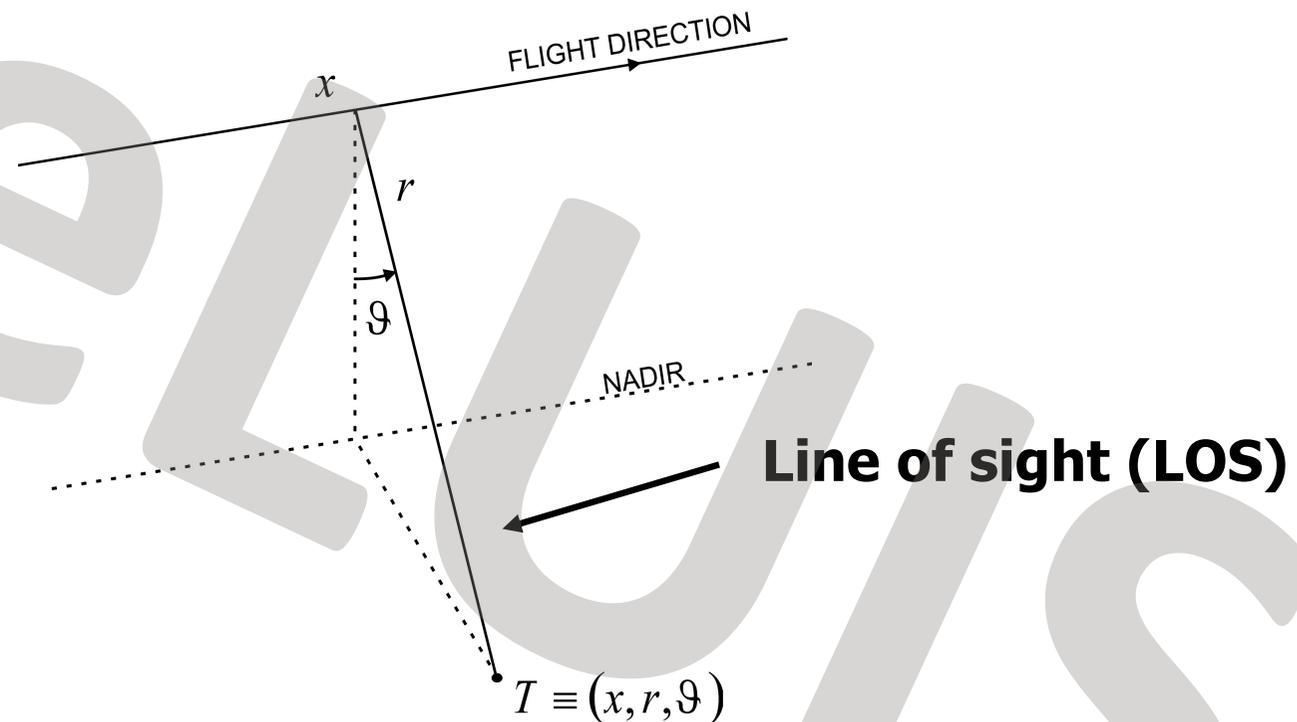
Active sensors: capability to "observe" during day and night

Microwave sensors: capability to "observe" even in presence of clouds

Coherent sensors: capability to preserve both amplitude and "phase" information (SAR Interferometry)

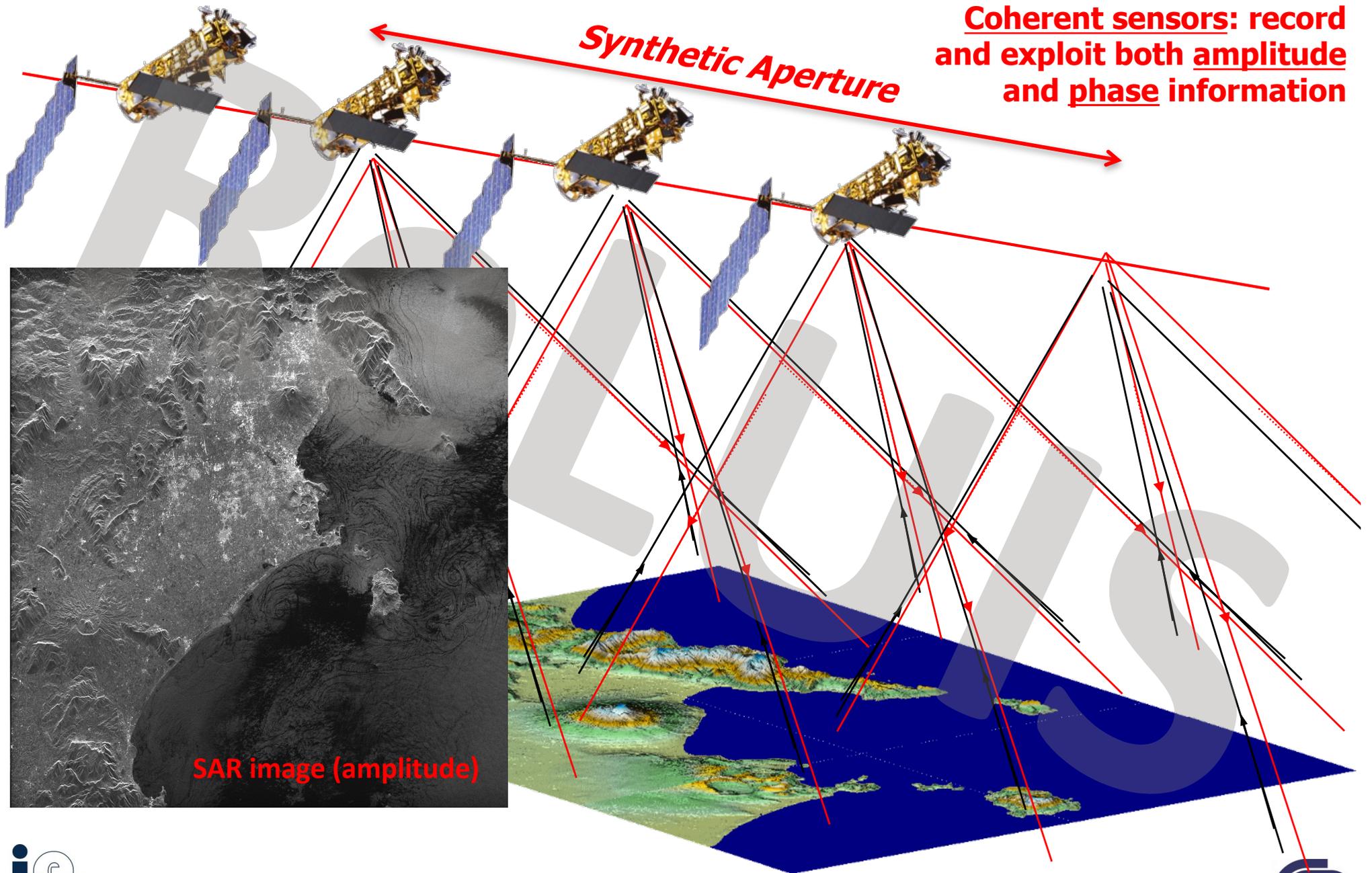
SAR reference system

Typically, in the SAR case the cylindrical coordinates (x, r, ϑ) are considered, referred to as azimuth, range (or slant range) and look angle, respectively.

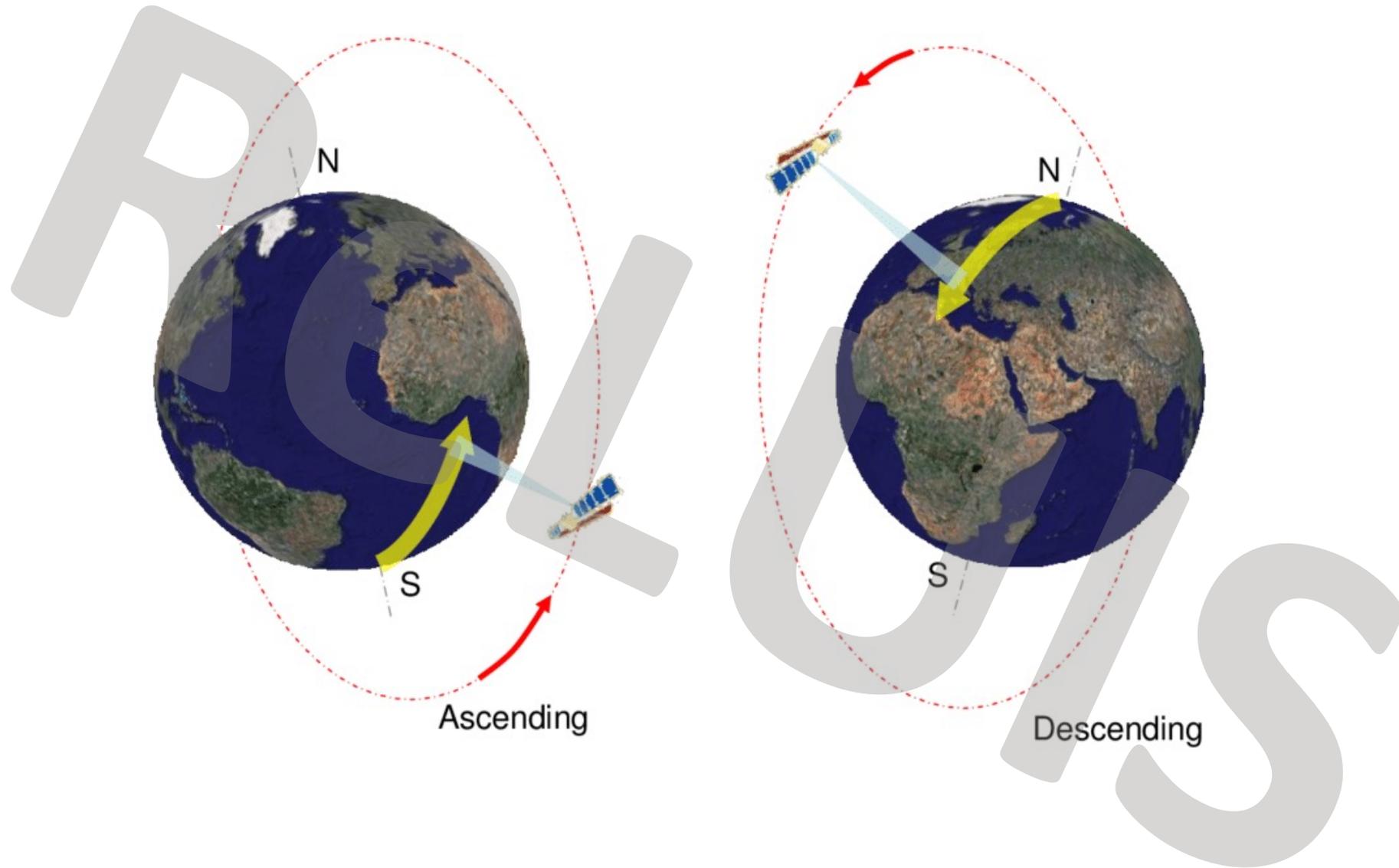


The range and azimuth resolution concepts are illustrated in the following.

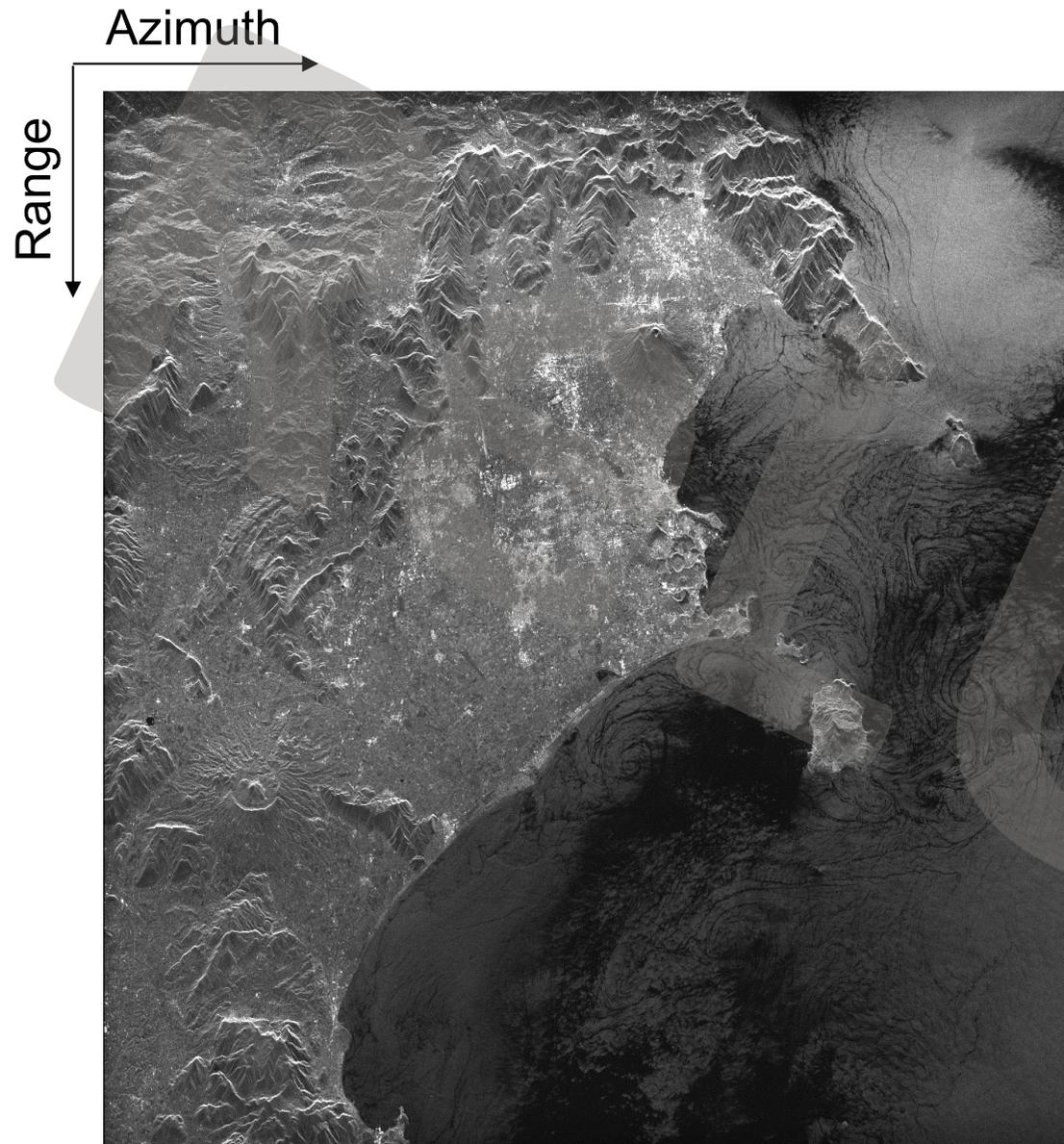
Key points of Synthetic Aperture Radar (SAR) systems



Satellite SAR Acquisition Modes



SAR image representation



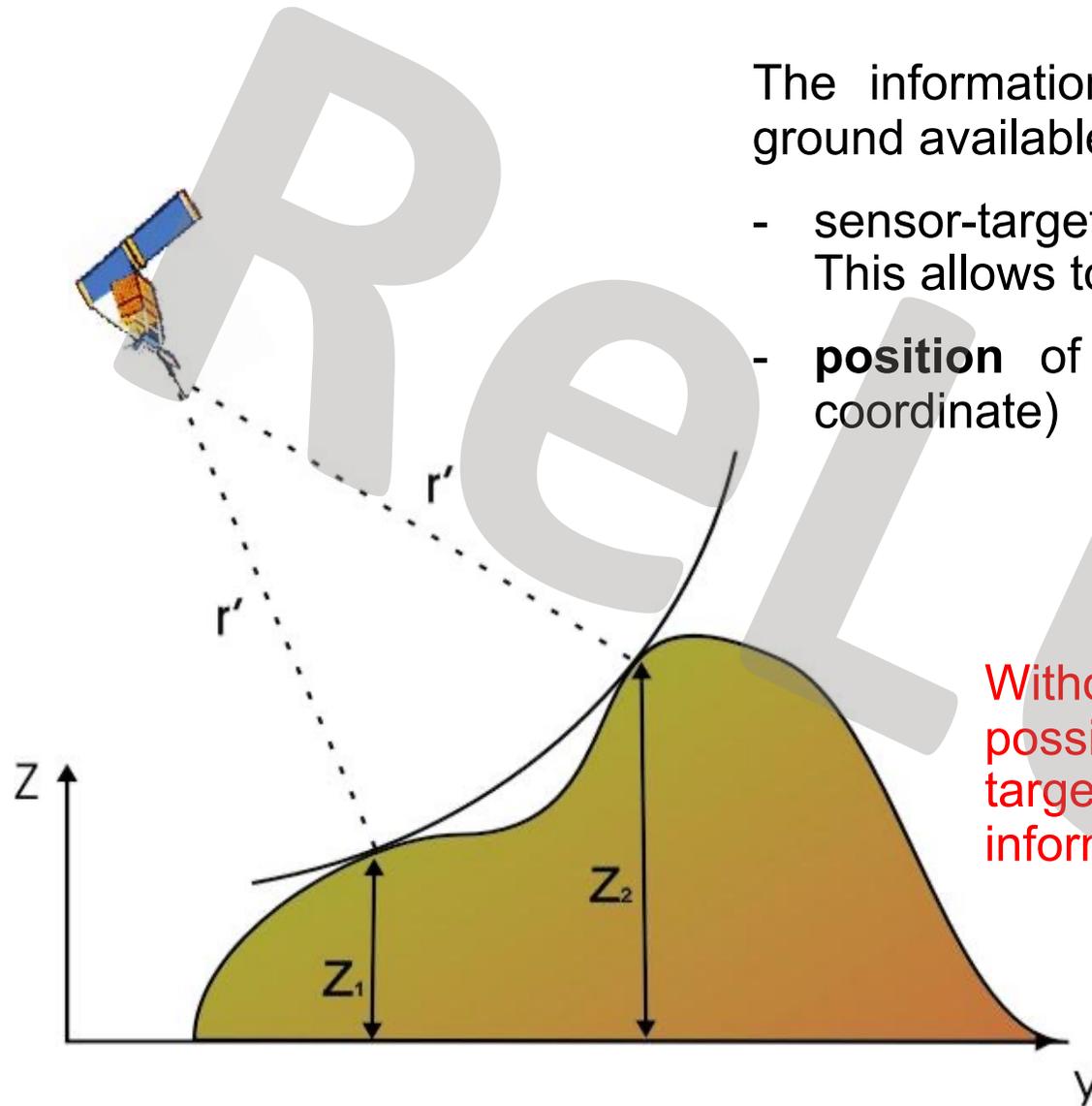
$$\Delta r \approx \frac{c}{2\Delta f} \quad \Delta x \approx \frac{L}{2}$$

The SAR images are complex entities whose phase component is crucial in SAR Interferometry (InSAR).

From 2D to 3D

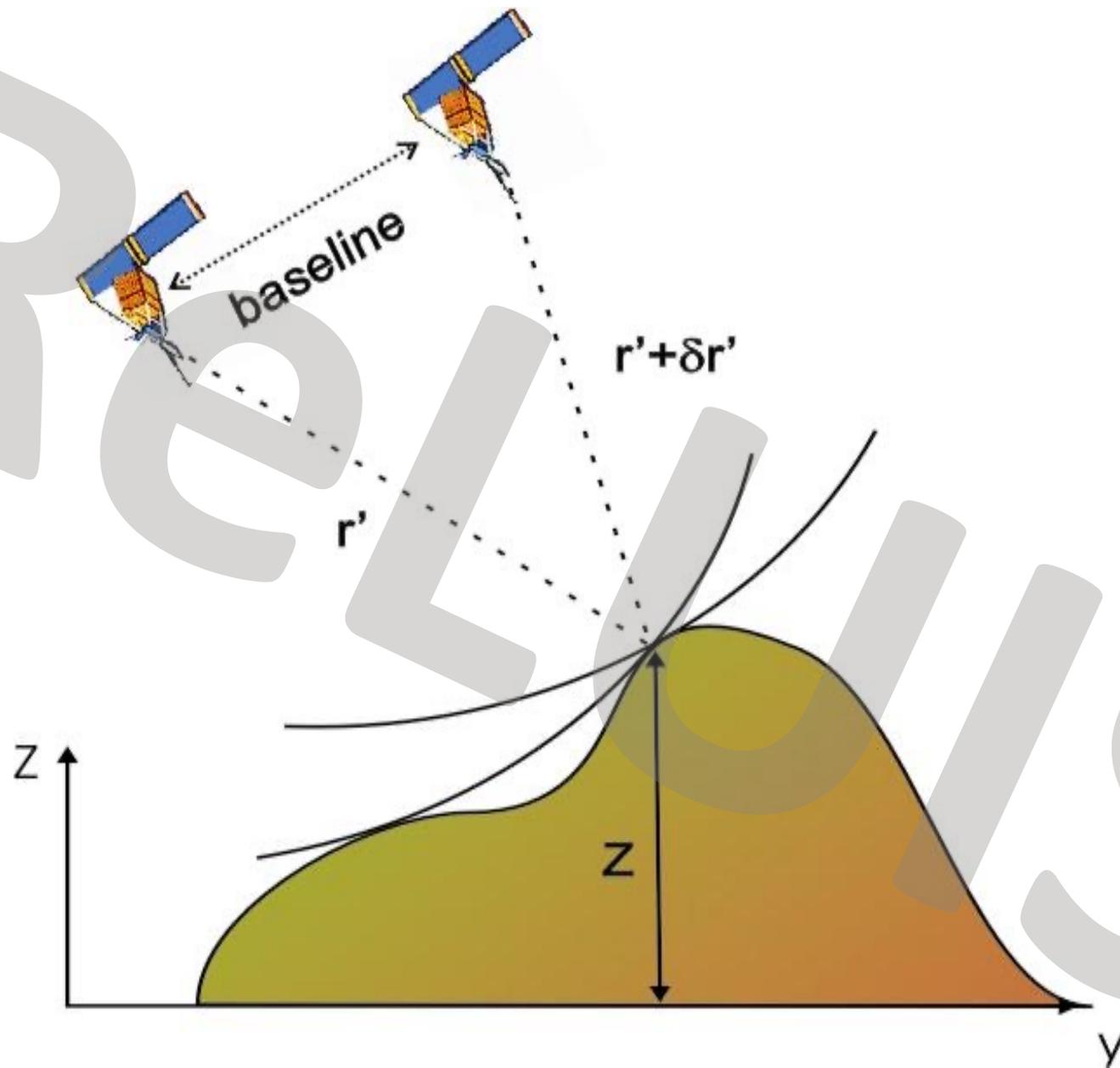
The information relevant to a single target on the ground available **with one SAR image** are:

- sensor-target **distance** (slant-range coordinate). This allows to localize the target over a sphere
- **position** of the target along the orbit (azimuth coordinate)



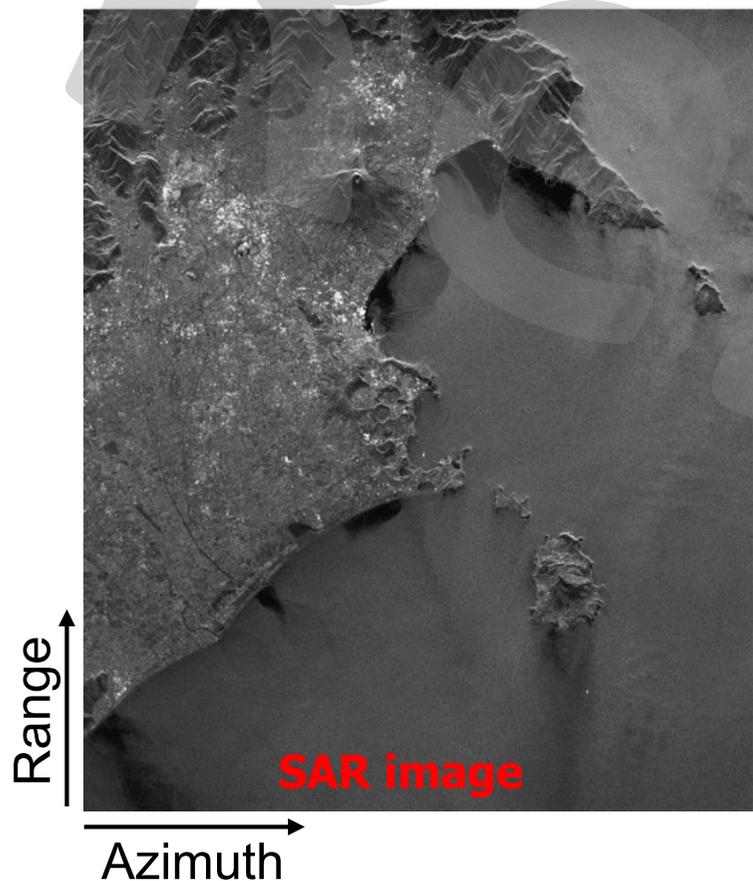
Without additional information it is not possible to unambiguously localize the target within a 3D space (we cannot have information about the **height** of the target)

From 2D to 3D



How can we retrieve δr ?

$$|\gamma(x, r)|$$



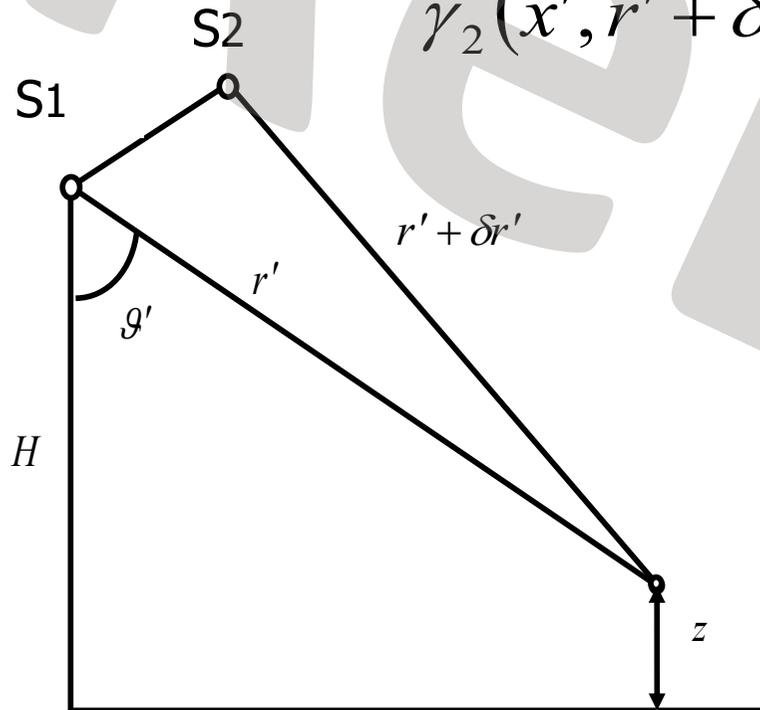
$$\text{SAR Image} = \gamma(x, r) e^{j \frac{4\pi}{\lambda} r}$$

SAR interferometry (InSAR)

$$\hat{\gamma}_1(x', r') = \gamma(x', r') \exp\left[-j \frac{4\pi}{\lambda} r'\right]$$



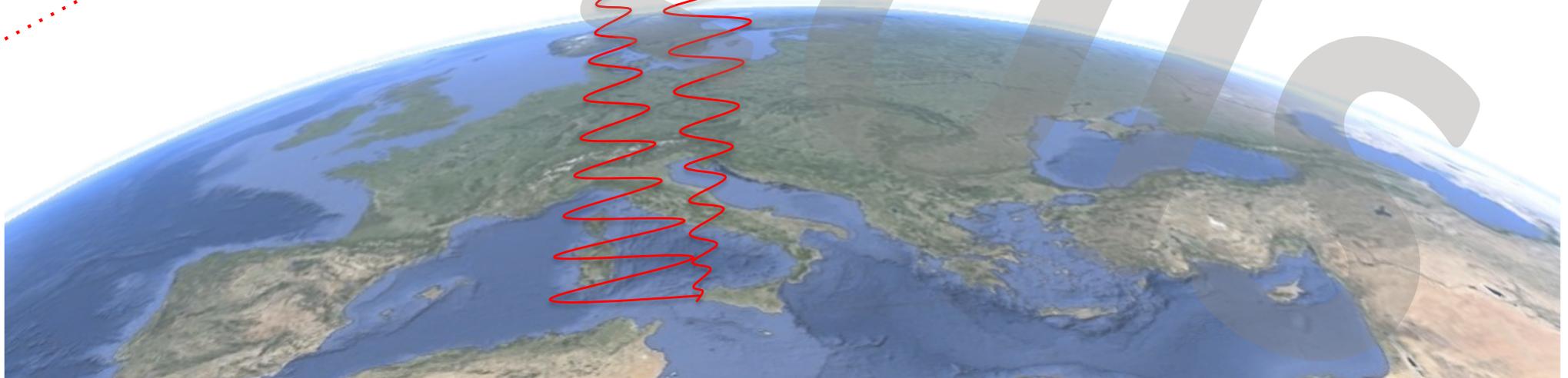
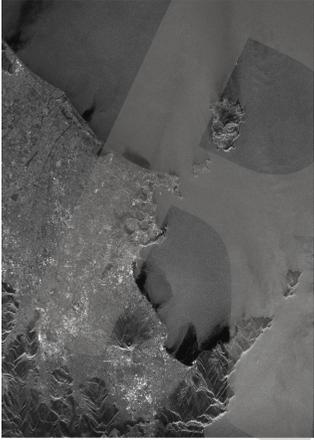
$$\hat{\gamma}_2(x', r' + \delta r') = \gamma(x', r') \exp\left[-j \frac{4\pi}{\lambda} (r' + \delta r')\right]$$



In this case, we assume that the two SAR scenes S1 and S2 have the same reflectivity function $\gamma(x', r')$

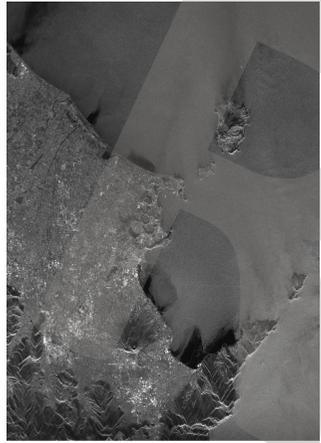
Differential SAR Interferometry (DInSAR)

SAR scene @ T₀



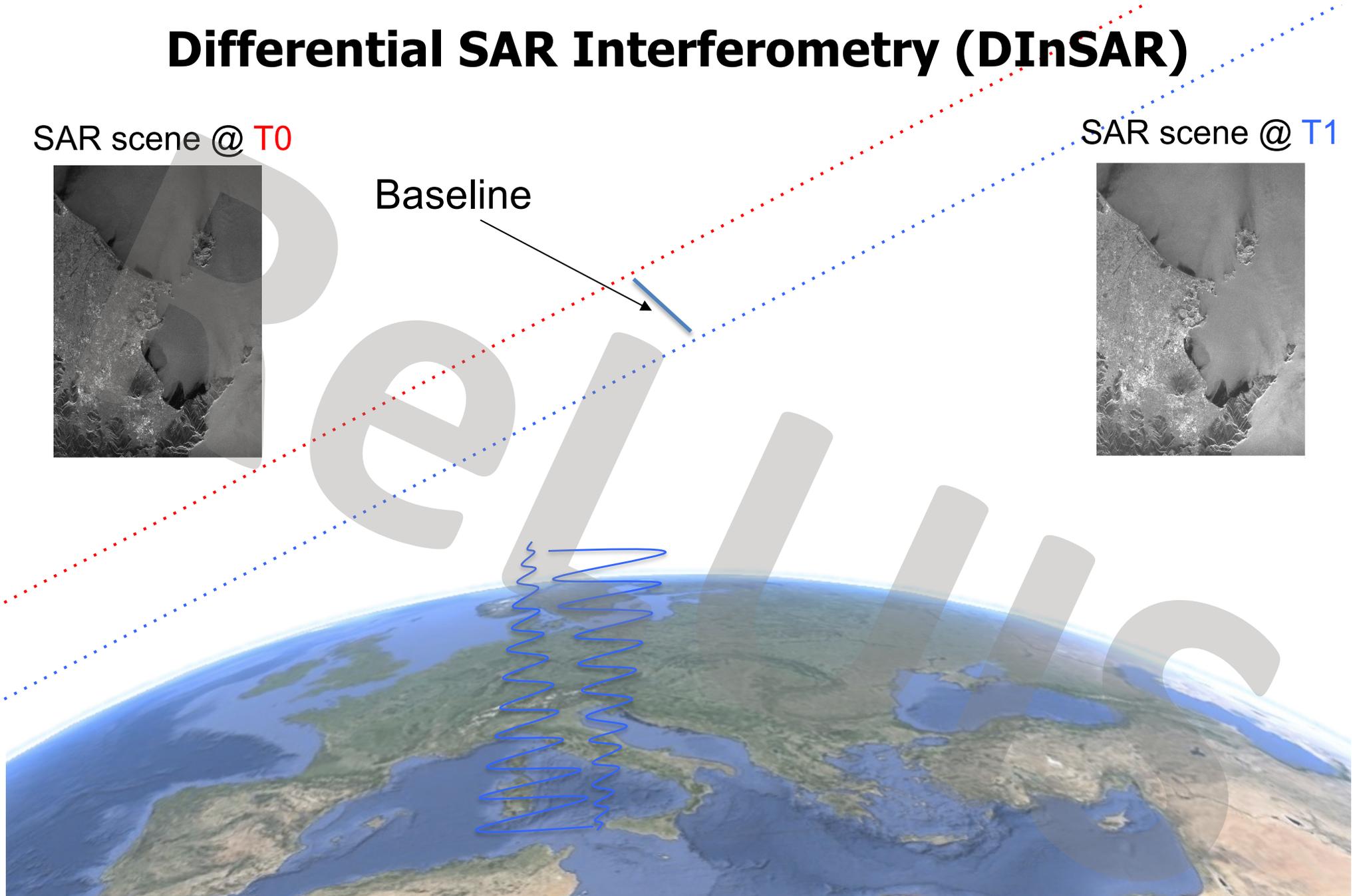
Differential SAR Interferometry (DInSAR)

SAR scene @ T₀



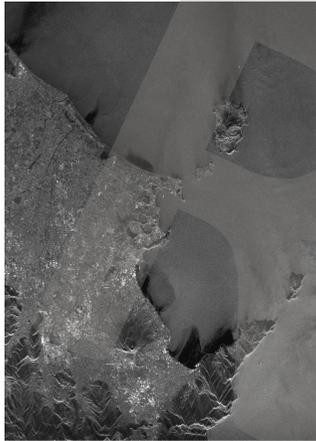
Baseline

SAR scene @ T₁

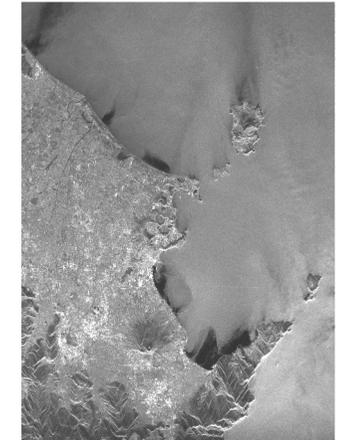


Differential SAR Interferometry (DInSAR)

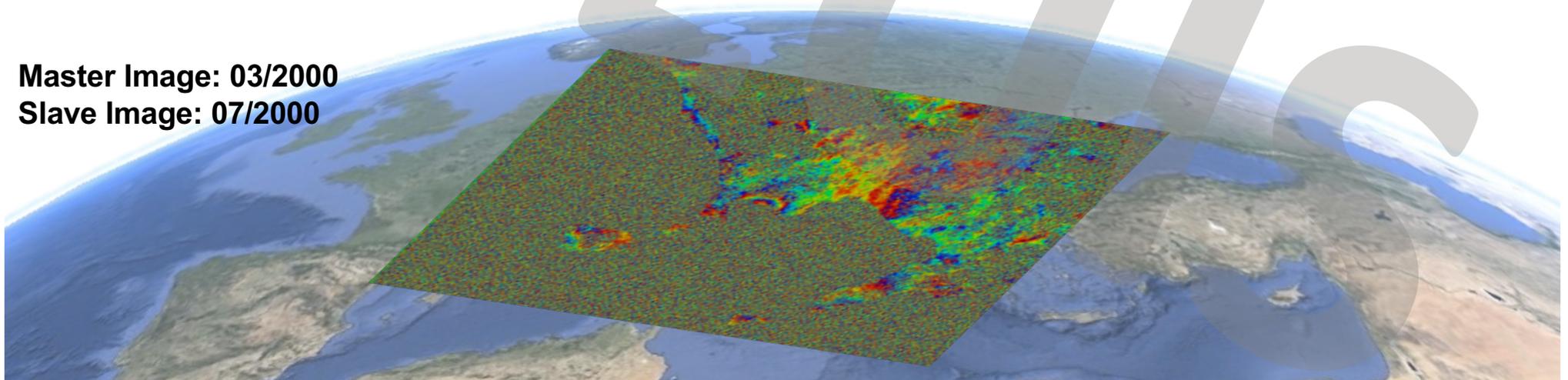
SAR scene @ T₀



SAR scene @ T₁

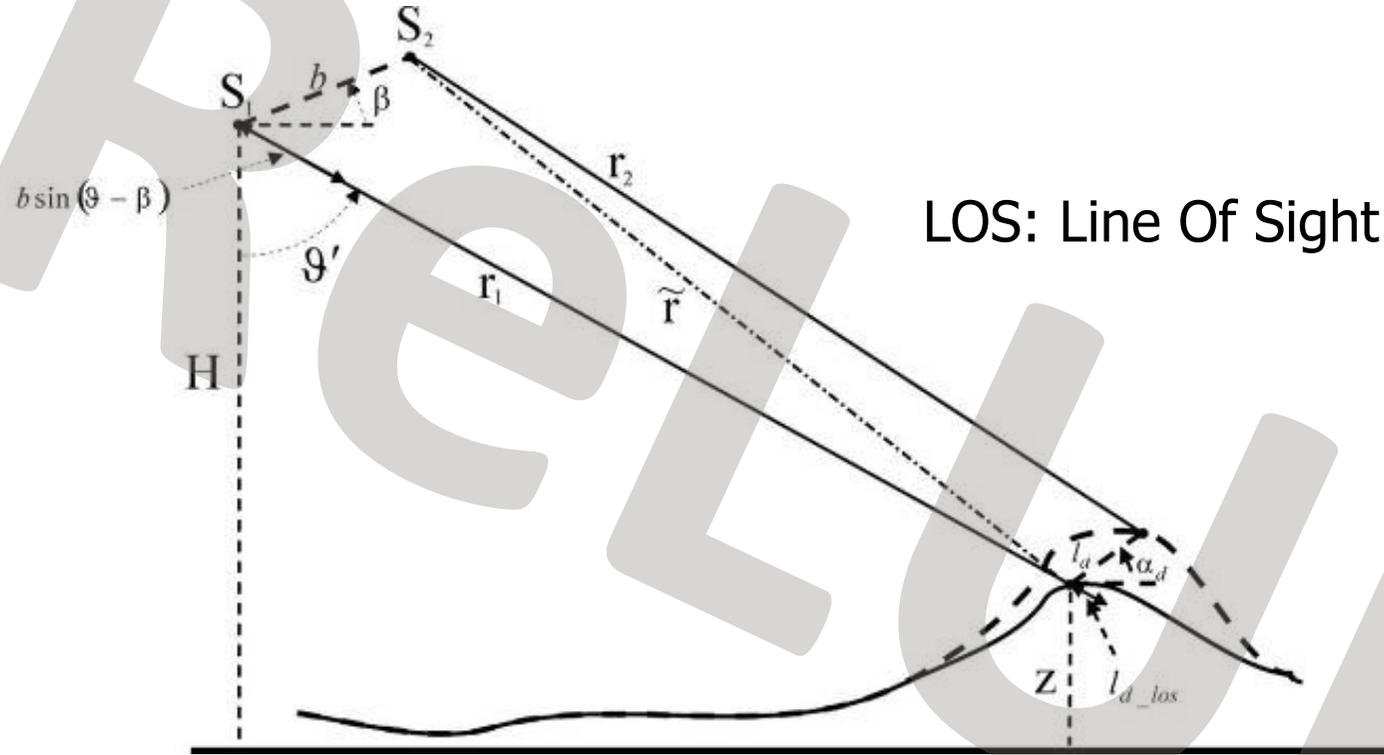


Master Image: 03/2000
Slave Image: 07/2000



Differential SAR Interferometry (DInSAR)

Observations are done at different epochs and from different orbital positions (real case)

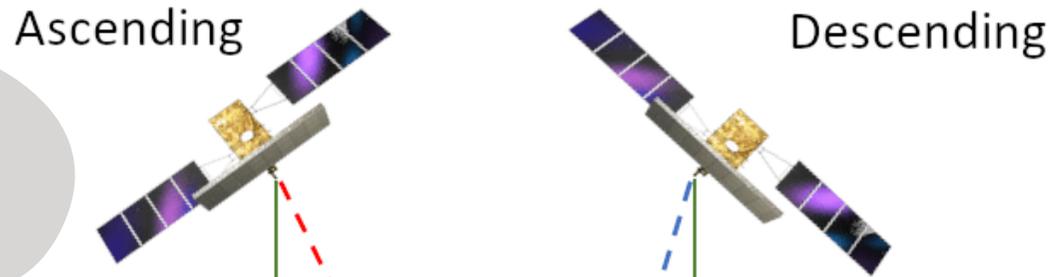


$$\delta\varphi = -\frac{4\pi}{\lambda}(r_2 - r_1) = -\frac{4\pi}{\lambda}(\tilde{r} - r_1) - \frac{4\pi}{\lambda}(r_2 - \tilde{r}) \approx -\frac{4\pi}{\lambda}b \sin(\vartheta' - \beta) - \frac{4\pi}{\lambda}l_{d_los} = \varphi_t + \varphi_d$$

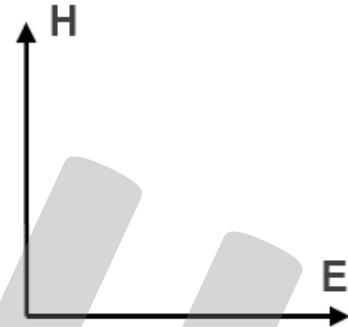
Topographic Phase

Deformation Phase

Radar Line Of Site (LOS)

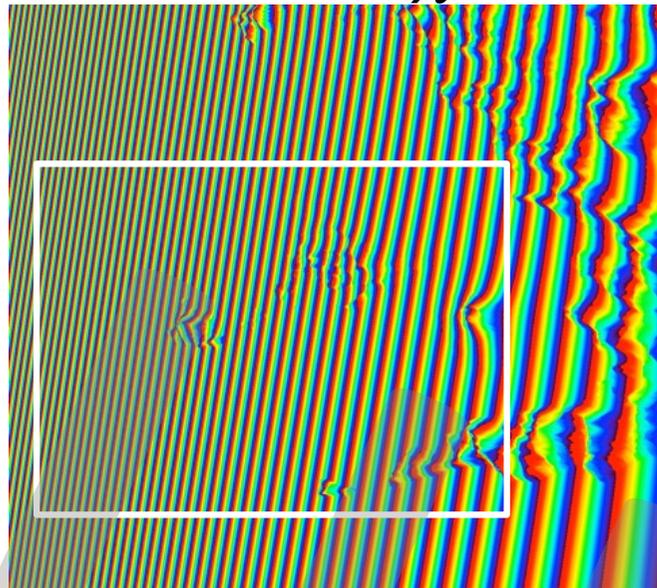
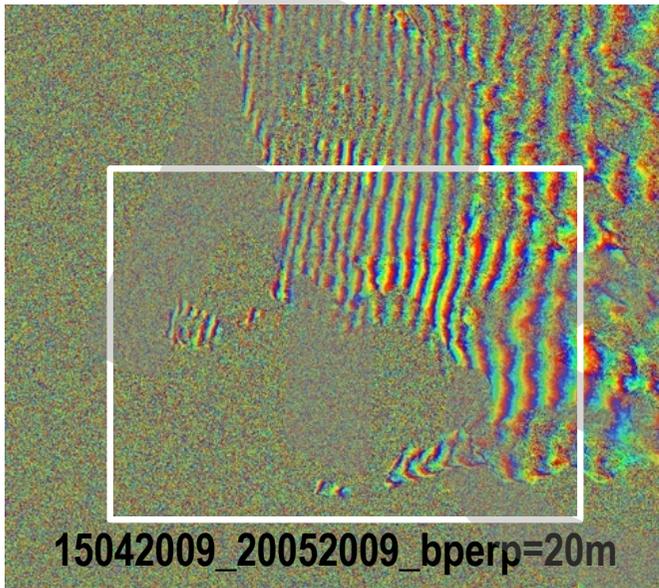


- Real movement
- Displacement measured in the ascending analysis
- Displacement measured in the descending analysis
- - - Vertical component of the displacement
- - - East-West component of the displacement



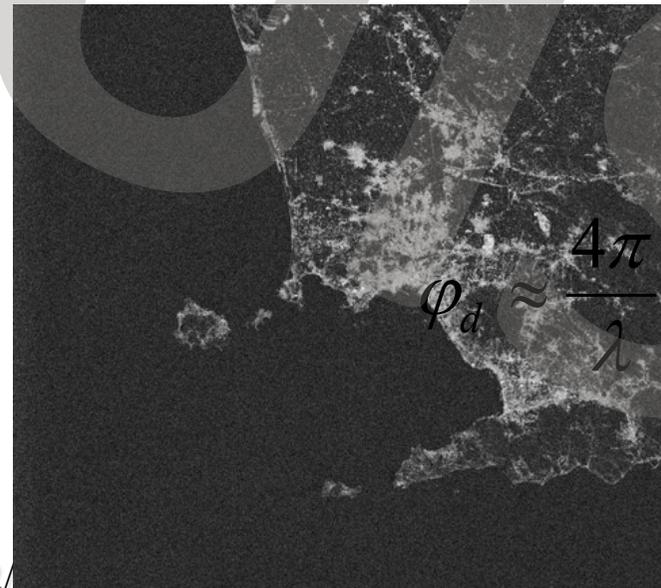
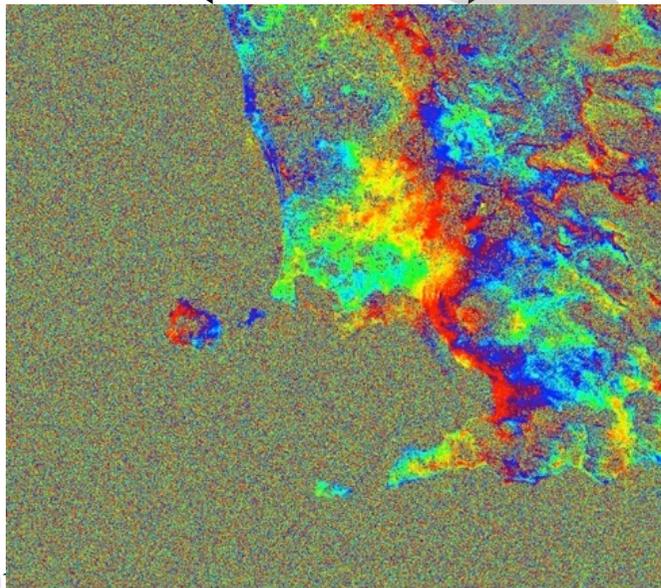
Differential SAR Interferometry (DInSAR)

$$\delta\varphi = \text{Arg}[\hat{\gamma}_1(x, r) \hat{\gamma}_2^*(x, r + \delta r)] \approx \frac{4\pi}{\lambda} \delta r + \varphi_{N\&A}$$



Topographic Interferogram (DEM & orbital information are needed)

DInSAR Interferogram Generation (Flattening)



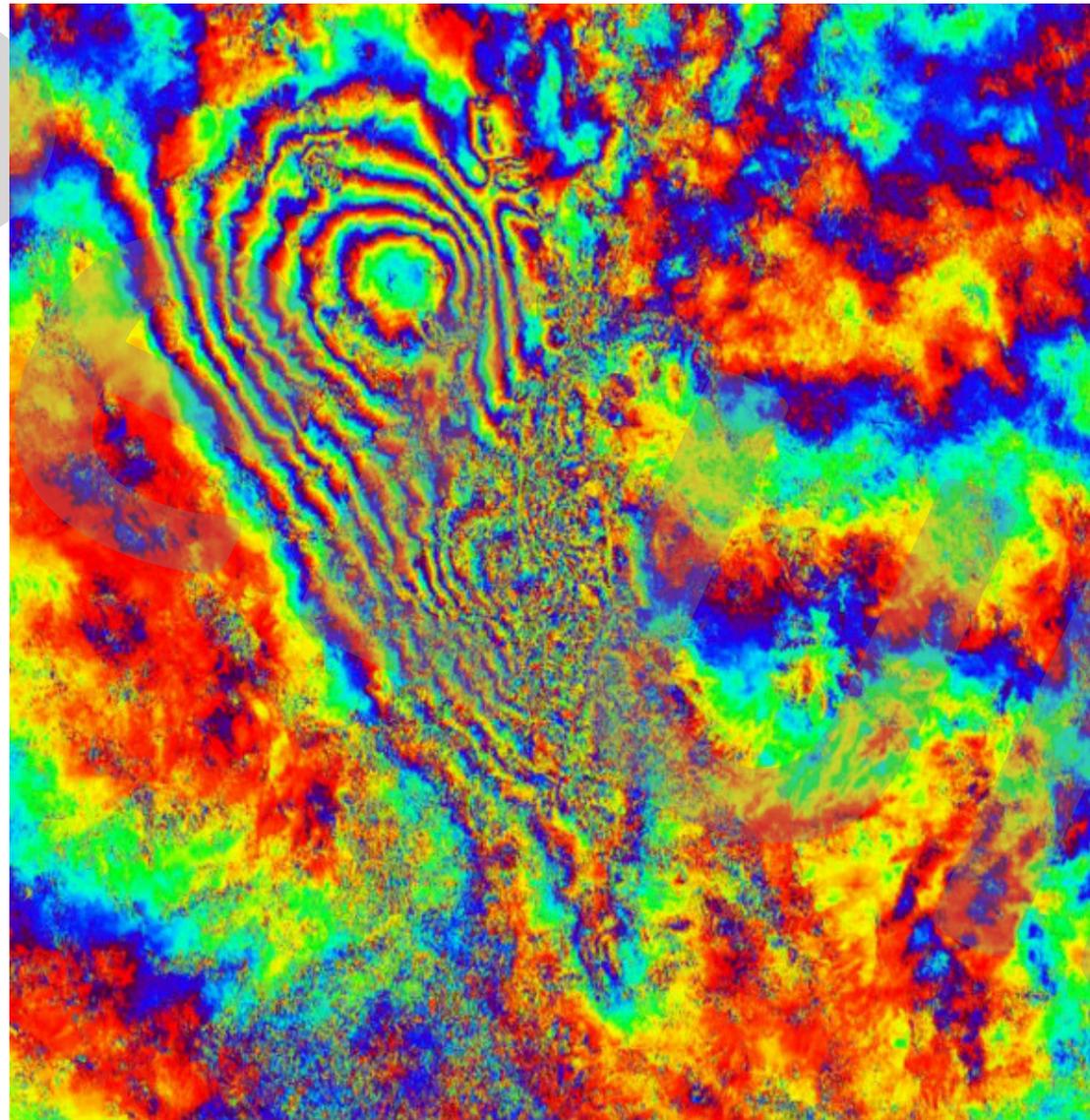
Coherence Map

$$\varphi_d \approx \frac{4\pi}{\lambda} d_{los}$$

Fringe analysis (Amatrice EQ 24/08/2016)

Sentinel-1: 15082016–27082016

C-band:
 $\lambda = 5.5 \text{ cm}$

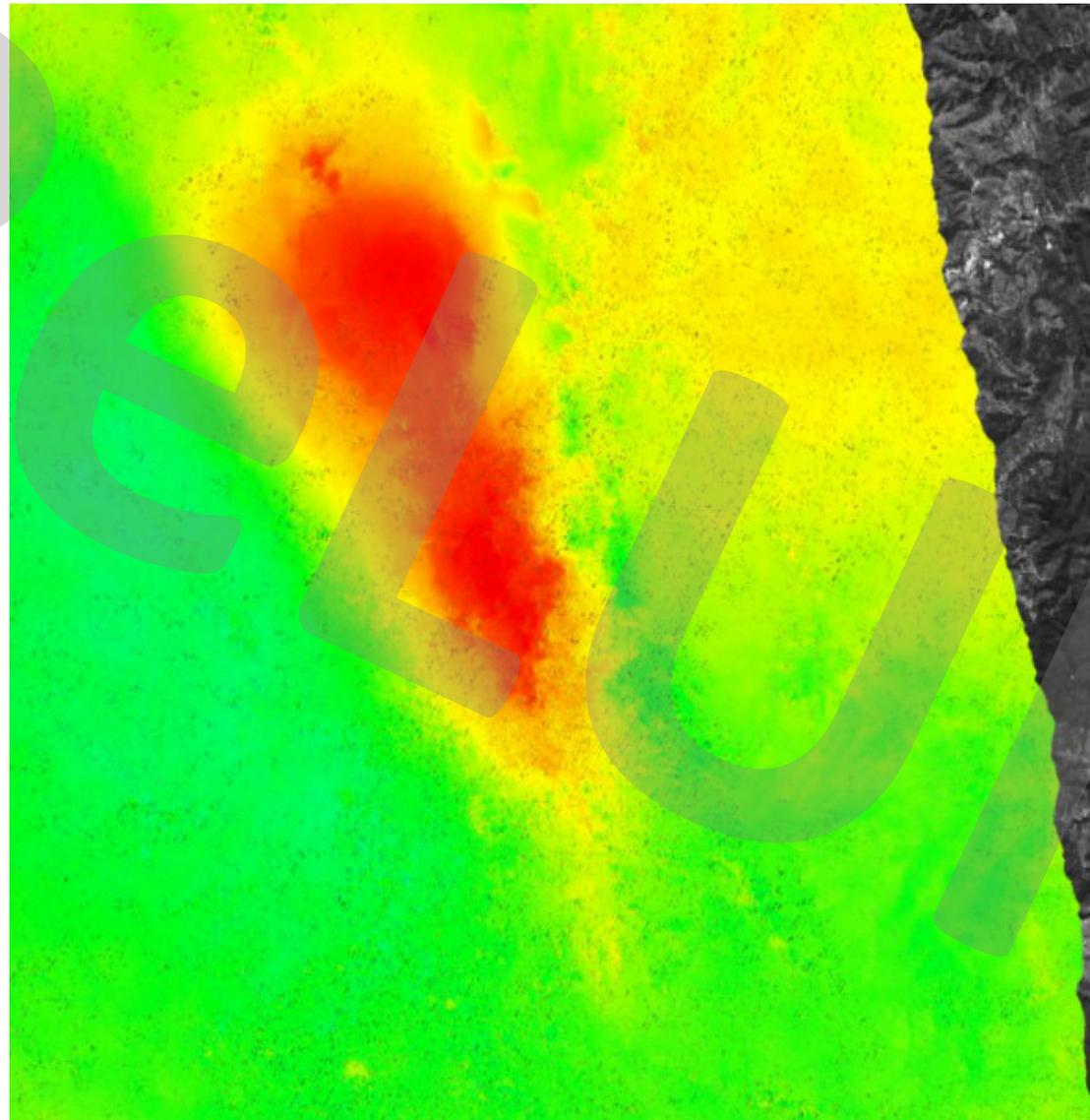


Fringe analysis (Amatrice EQ 24/08/2016)

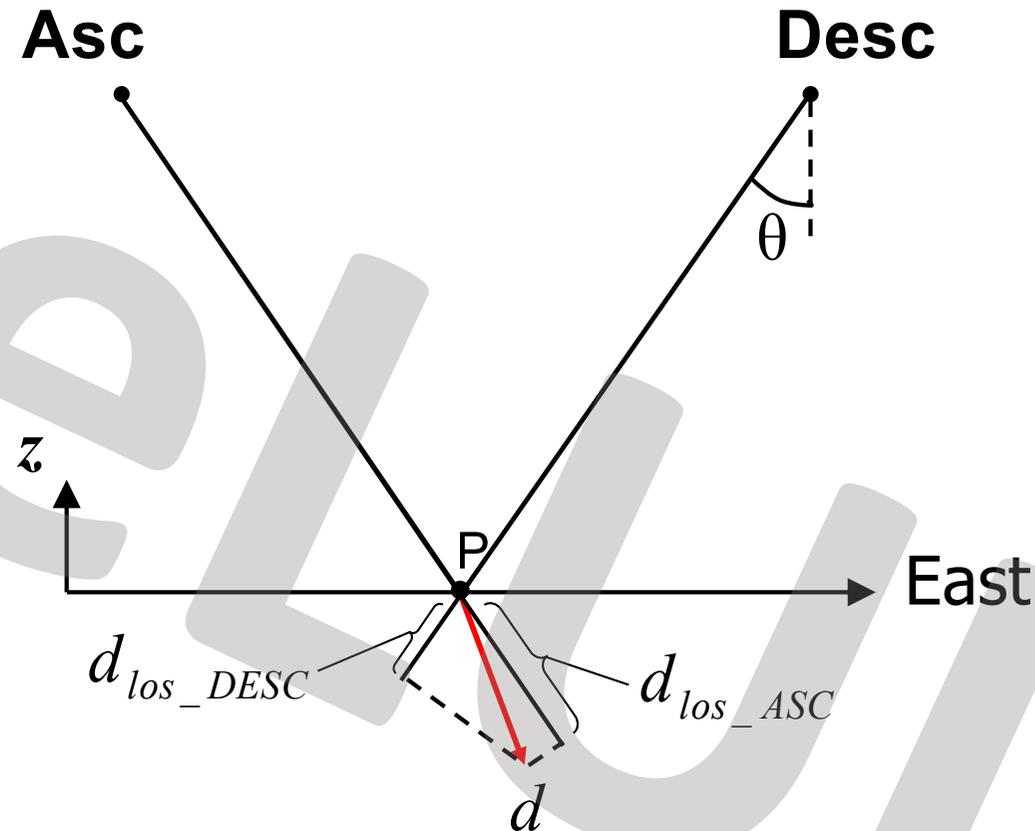
Sentinel-1: 15082016–27082016

C-band:
 $\lambda = 5.5 \text{ cm}$

Ascending 

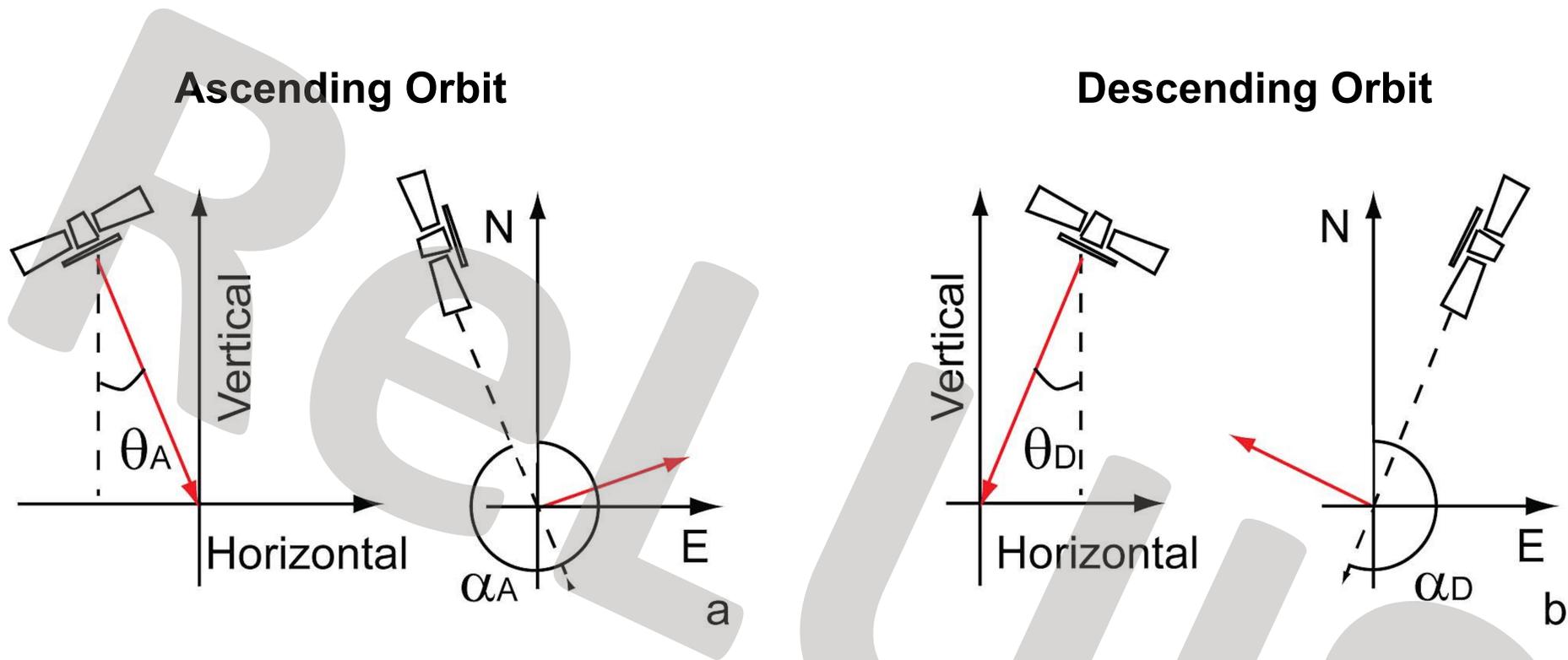


Multi-orbit LOS displacement combination



$$d_{los} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \cos \alpha & \sin \theta \sin \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d_U \\ d_E \\ d_N \end{pmatrix}$$

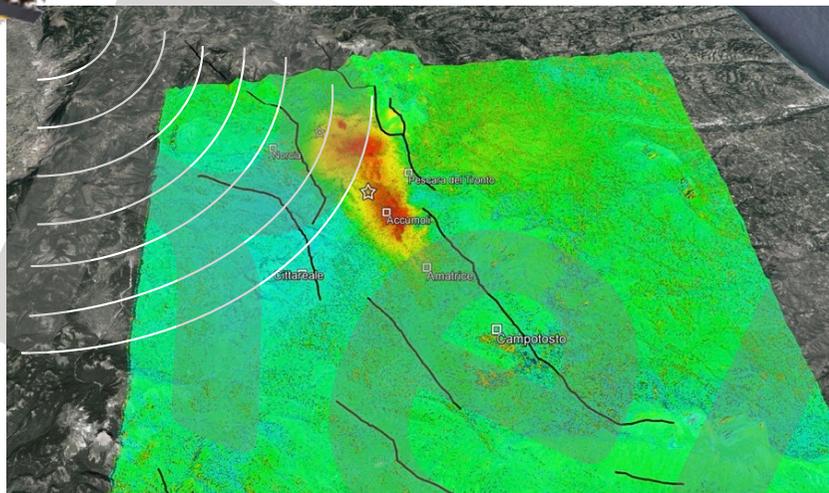
Multi-orbit LOS displacement combination



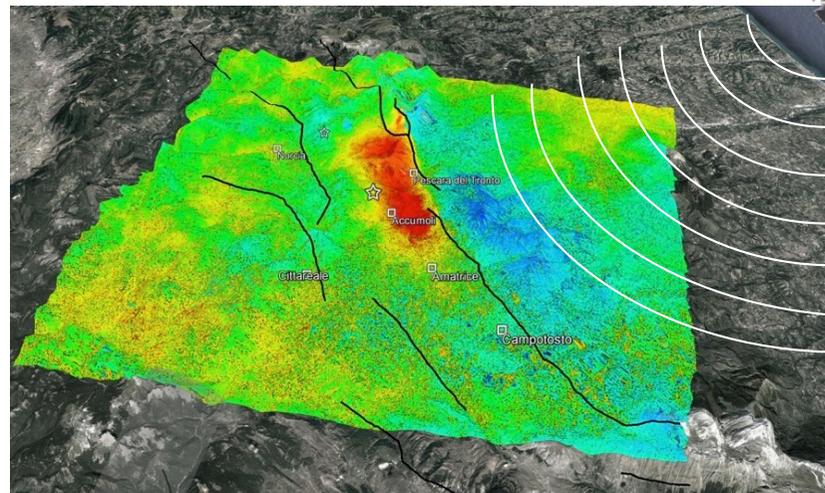
$$\begin{cases} d_{losA} = d_U \cos \theta_A - d_E \sin \theta_A \cos \alpha_A - d_N \sin \theta_A \sin \alpha_A \\ d_{losD} = d_U \cos \theta_D - d_E \sin \theta_D \cos \alpha_D - d_N \sin \theta_D \sin \alpha_D \end{cases}$$

Amatrice earthquake (24/08/2016): DInSAR analysis

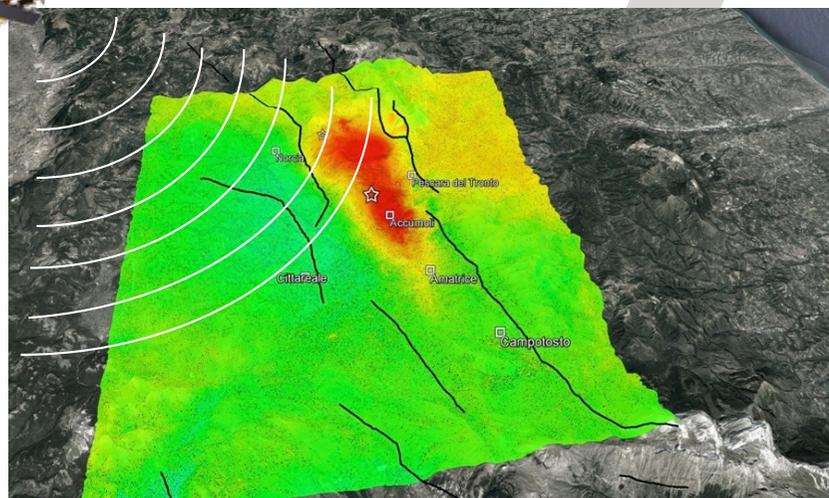
ALOS-2 ASC (09092015 – 24082016)



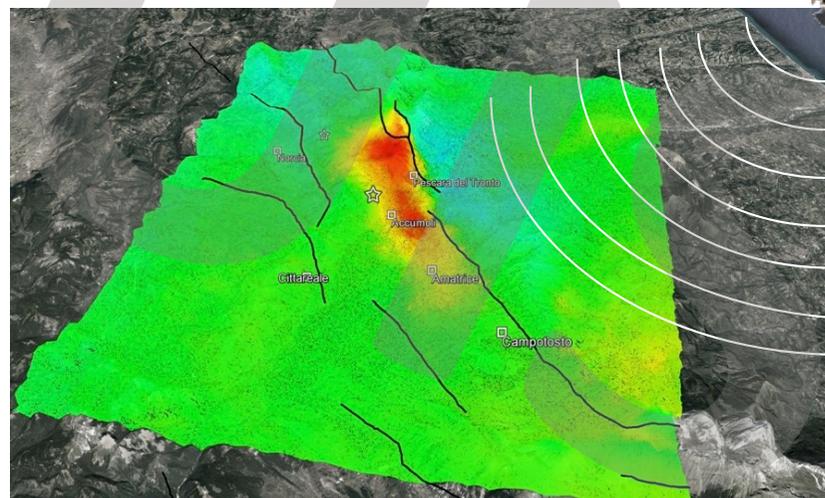
ALOS-2 DESC (25052016 – 31082016)



Sentinel-1 ASC (15082016 – 27082016)

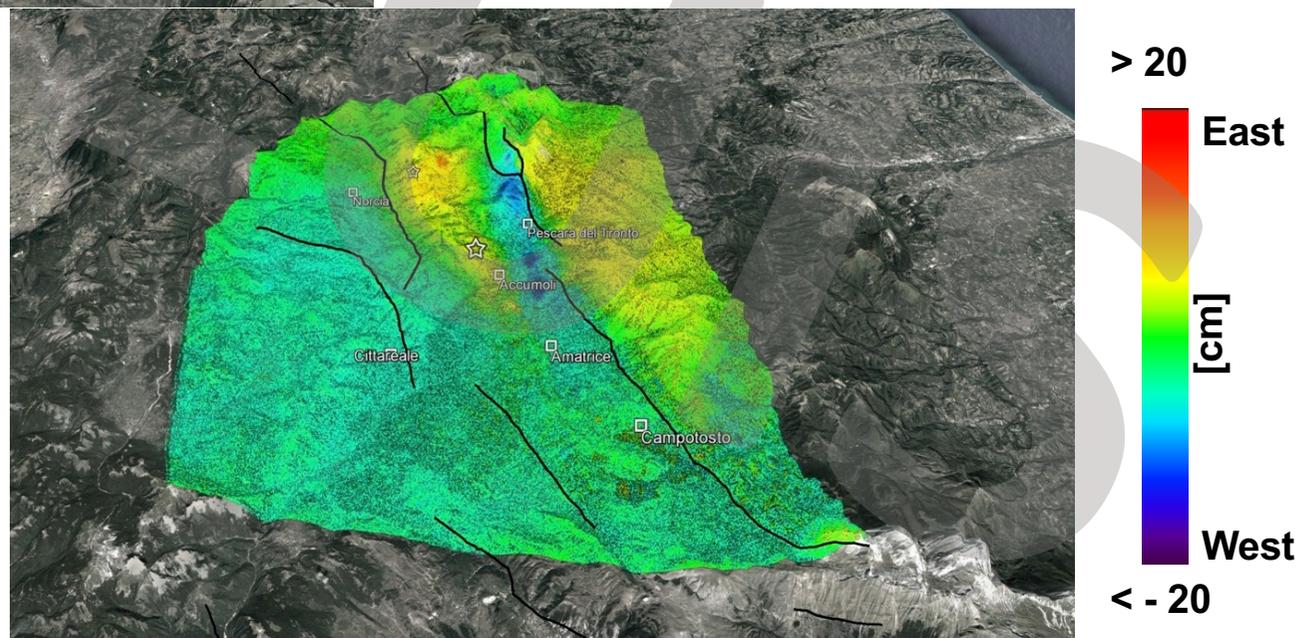
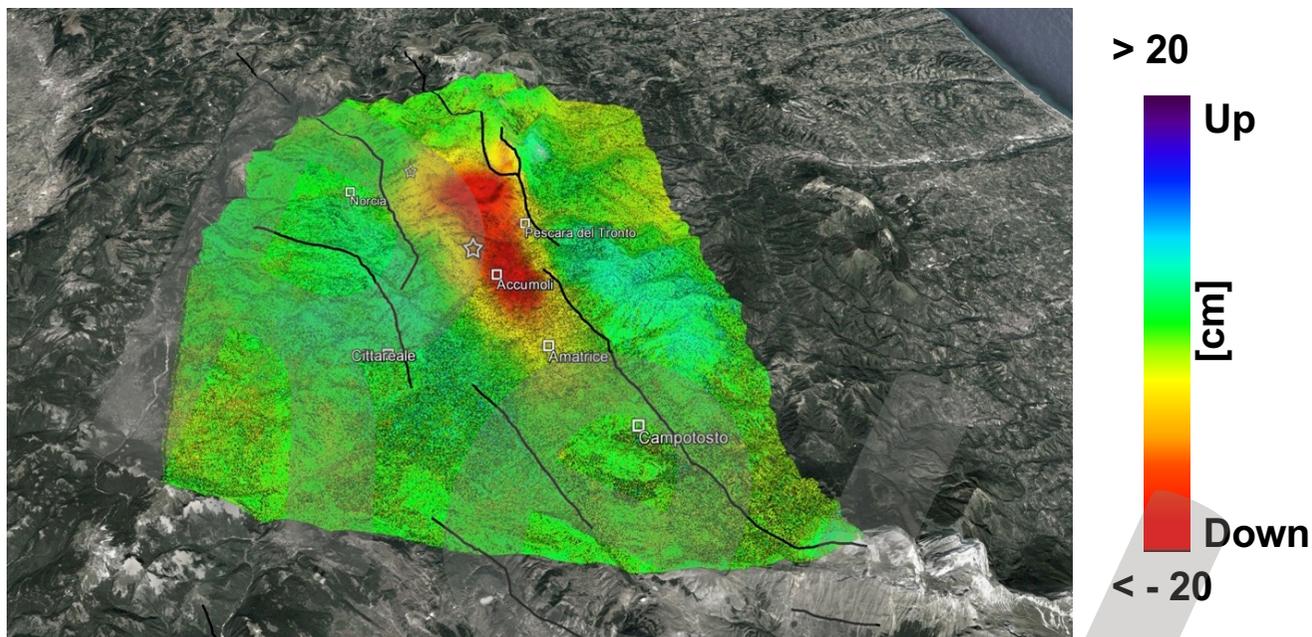


Sentinel-1 DESC (21082016 – 27082016)

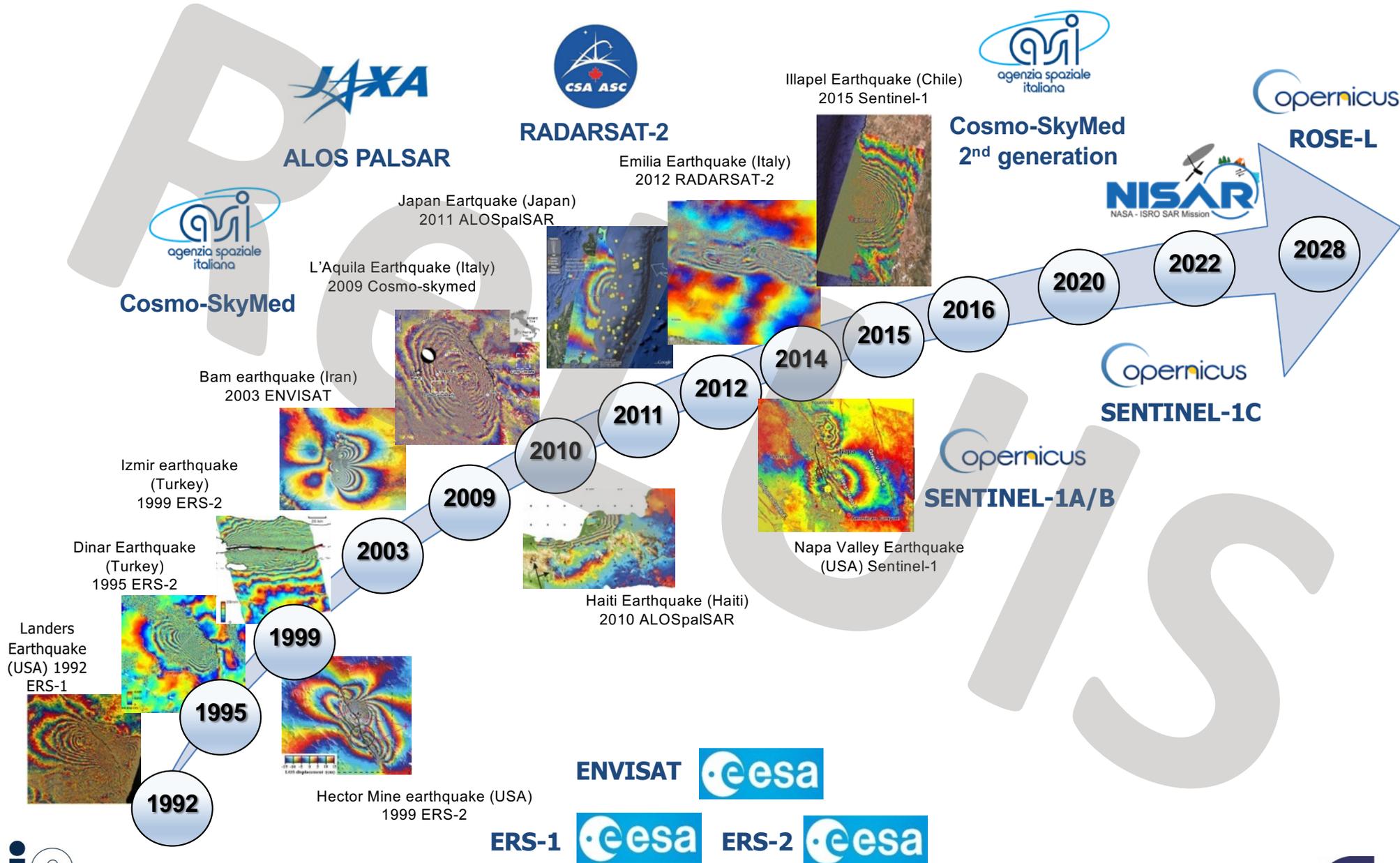


<-20 **LOS Deformation [cm]** >20

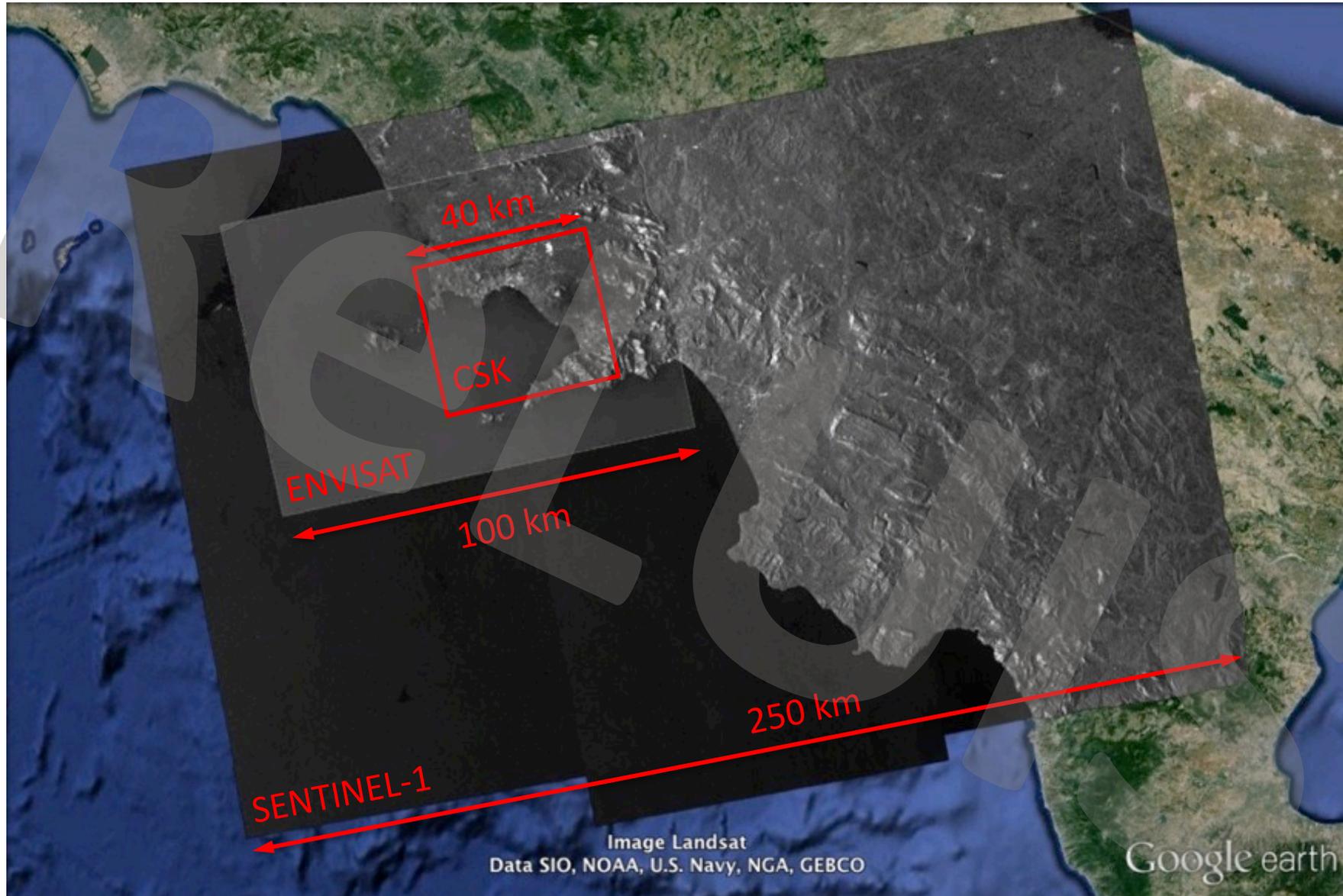
Amatrice earthquake: Vertical and East-West components



Past and present SAR satellites

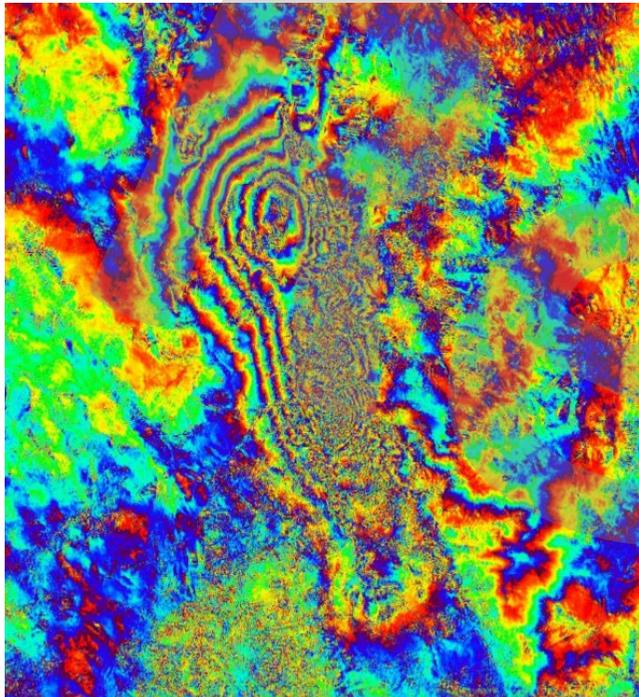


SAR Data Scenario: Coverage Comparison



Frequency impact on fringe pattern

Sentinel-1



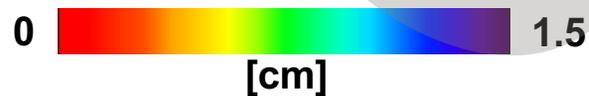
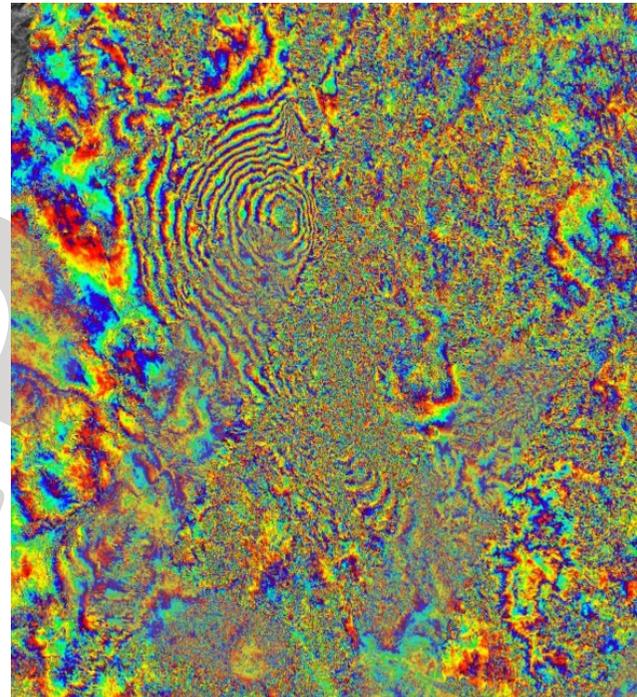
C-band:

$\lambda = 5.5 \text{ cm}$

$\Delta t = 6 \text{ days}$

$b_{\perp} = 79 \text{ m}$

COSMO-SkyMed



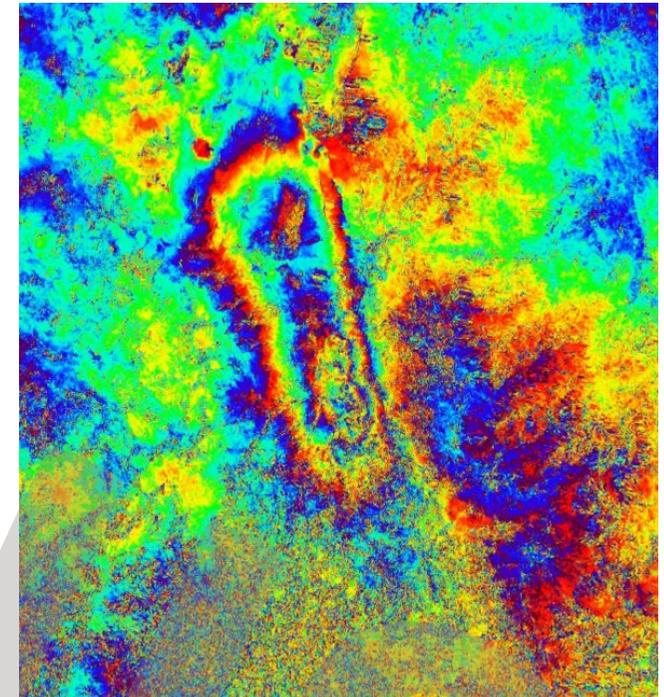
X-band:

$\lambda = 3.1 \text{ cm}$

$\Delta t = 8 \text{ days}$

$b_{\perp} = 101 \text{ m}$

ALOS-2



L-band:

$\lambda = 23 \text{ cm}$

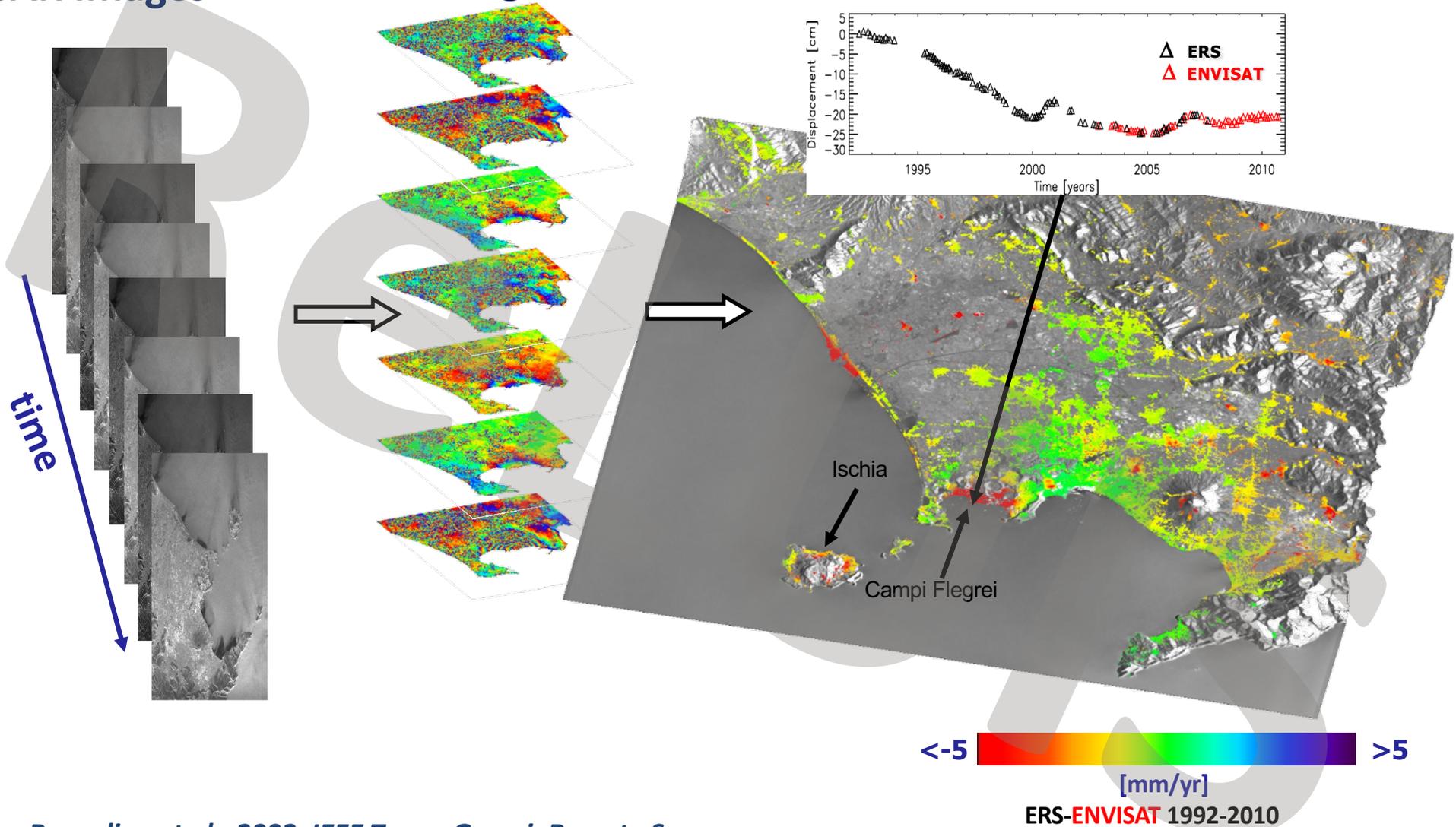
$\Delta t = 98 \text{ days}$

$b_{\perp} = 88 \text{ m}$

Multi-temporal DInSAR techniques: the Small Baseline Subset (SBAS)

SAR Images

SB Interferograms



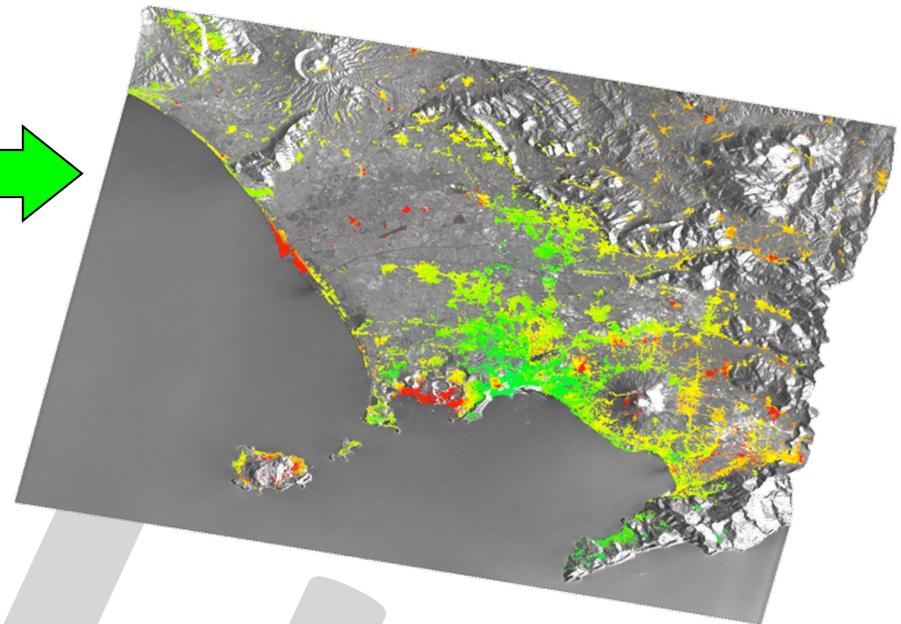
Berardino et al., 2002, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.

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

The two-scale SBAS-DInSAR approach

Regional scale analysis

(pixel size: ~30 m for the
CSK stripmap case)



Local scale analysis

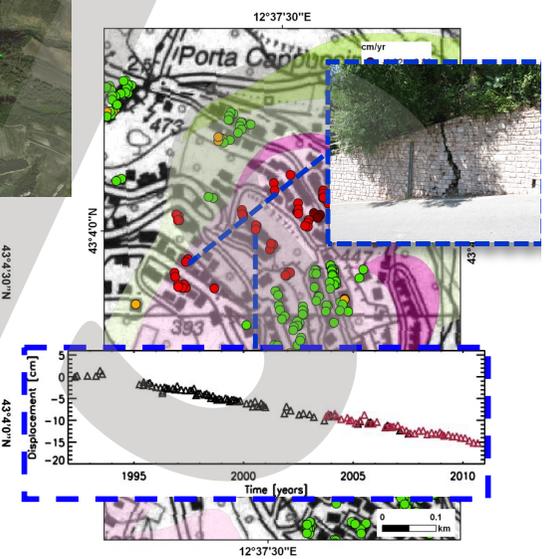
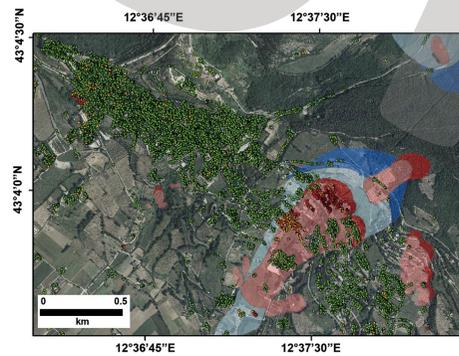
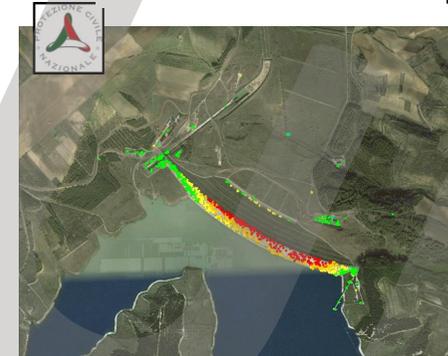
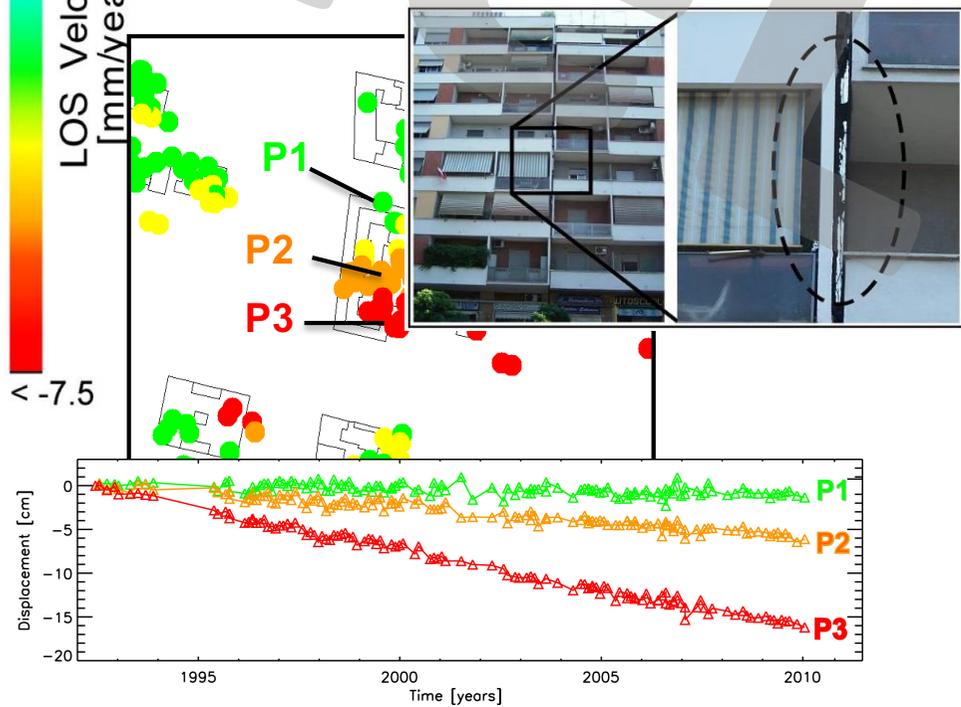
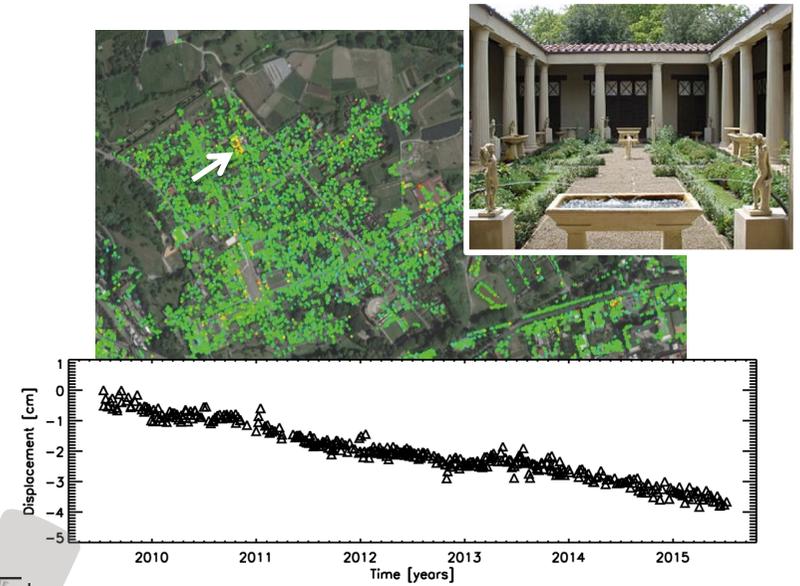
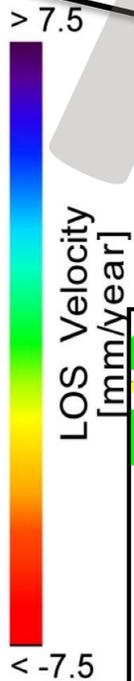
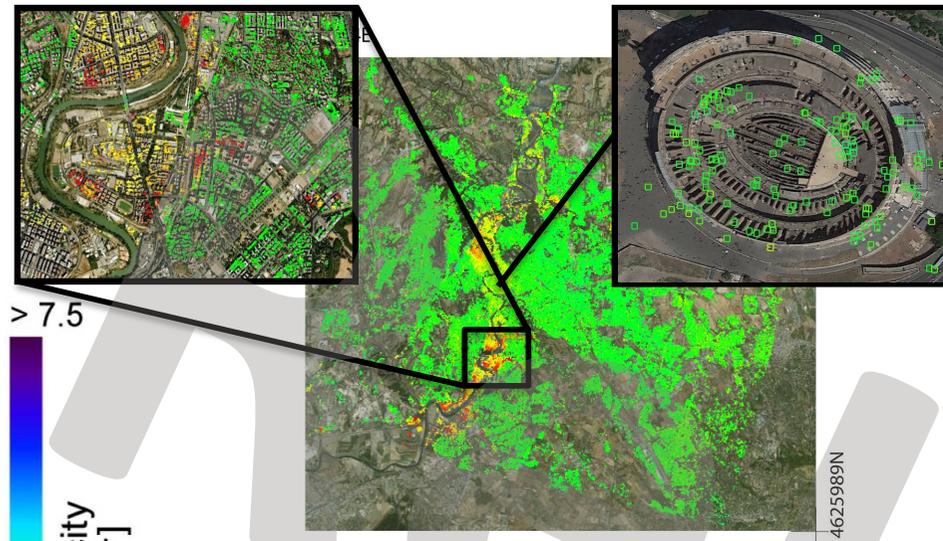
(pixel size: ~2-3 m for the
CSK stripmap case)



Lanari et al., 2004, IEEE Trans. Geosci. Rem Sens.

Bonano et al., 2012, Int. Jour. Remote Sensing.

The Full Resolution SBAS-DInSAR technique: main applications



The spatial resolution comparison: S1 vs CSK

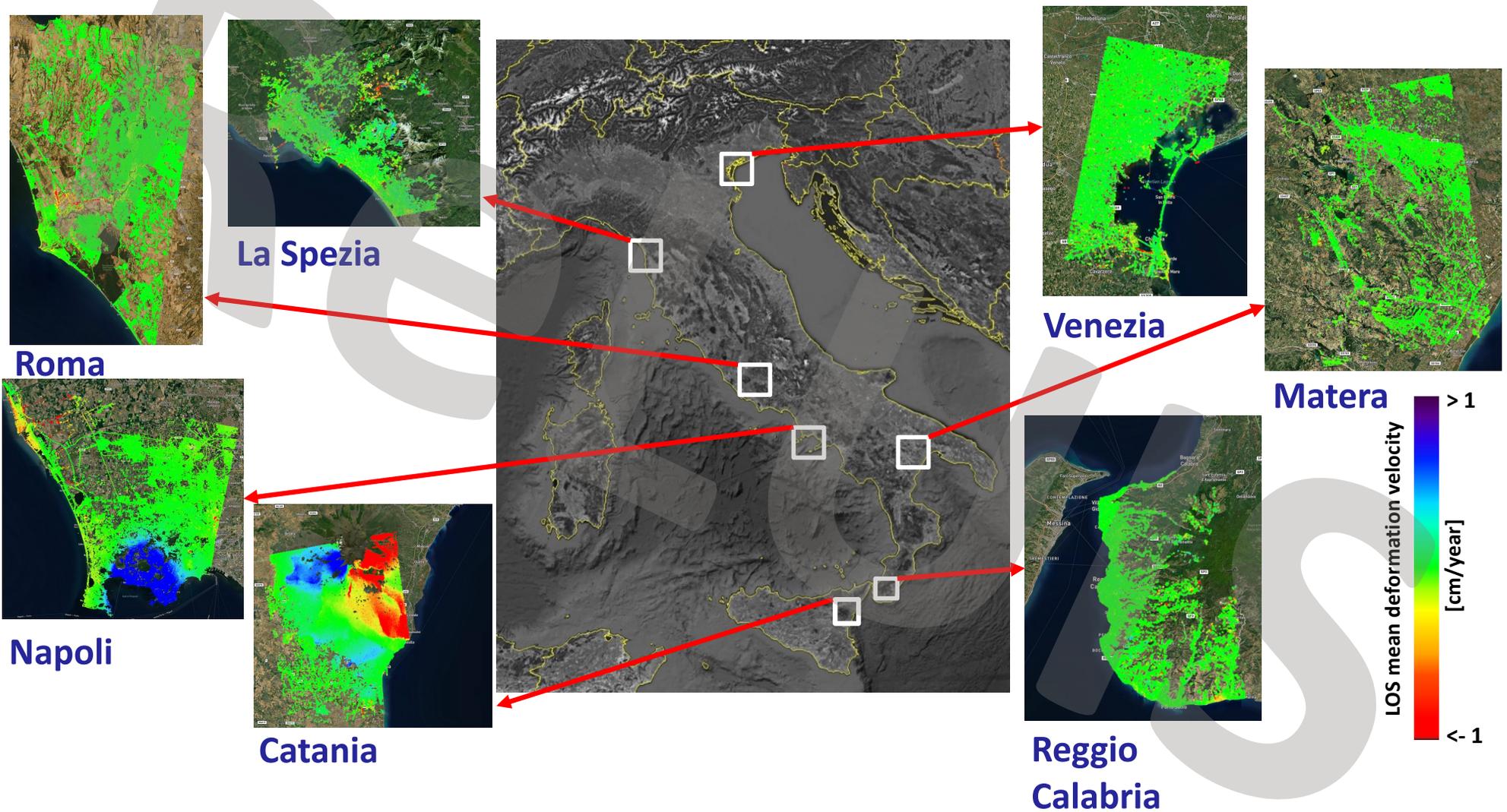


Spatial resolution: 20 m x 4 m
(Sentinel-1, C-band)

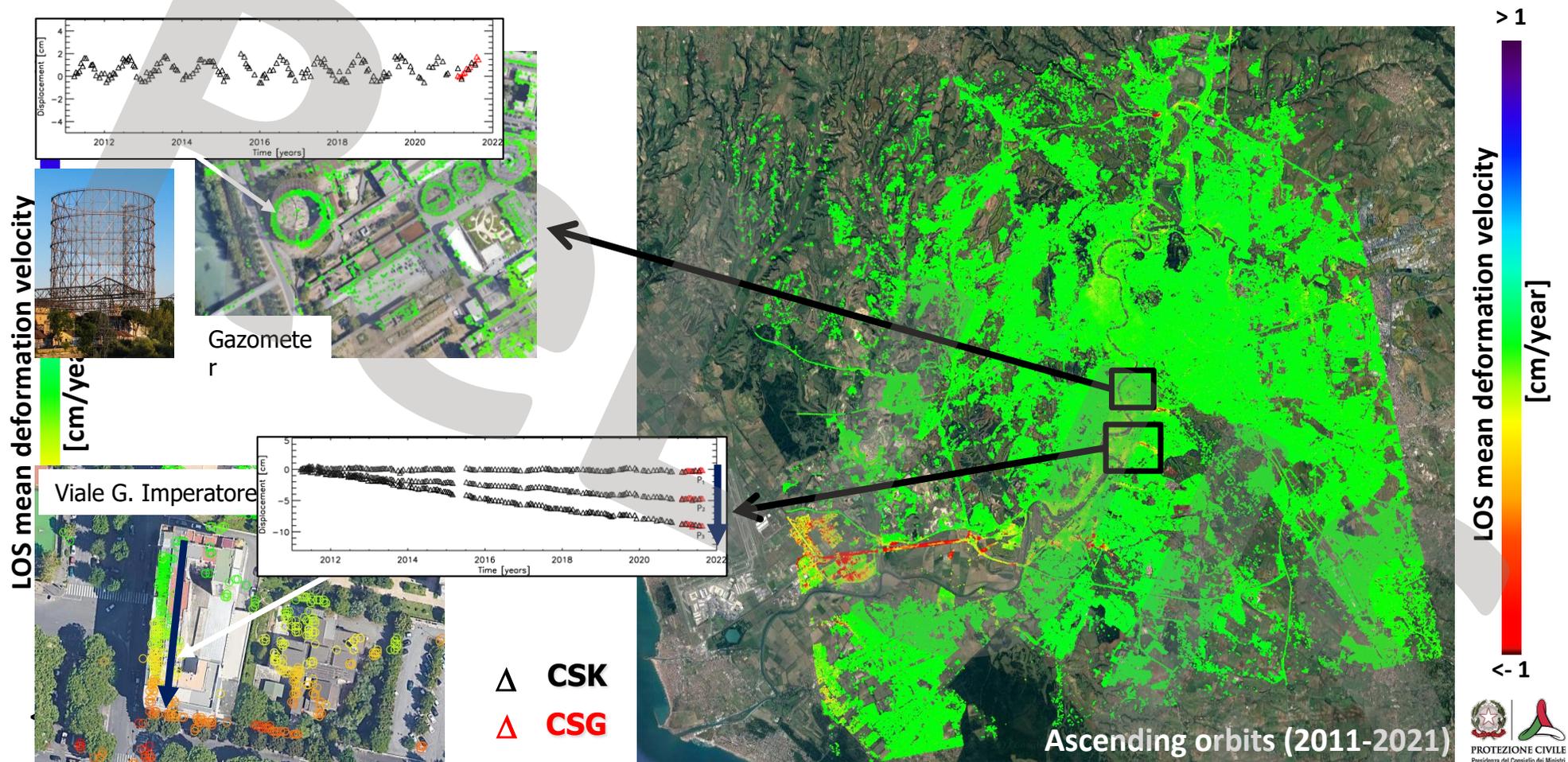


Spatial resolution: 3 m x 3 m
(CSK-CSG, X-band)

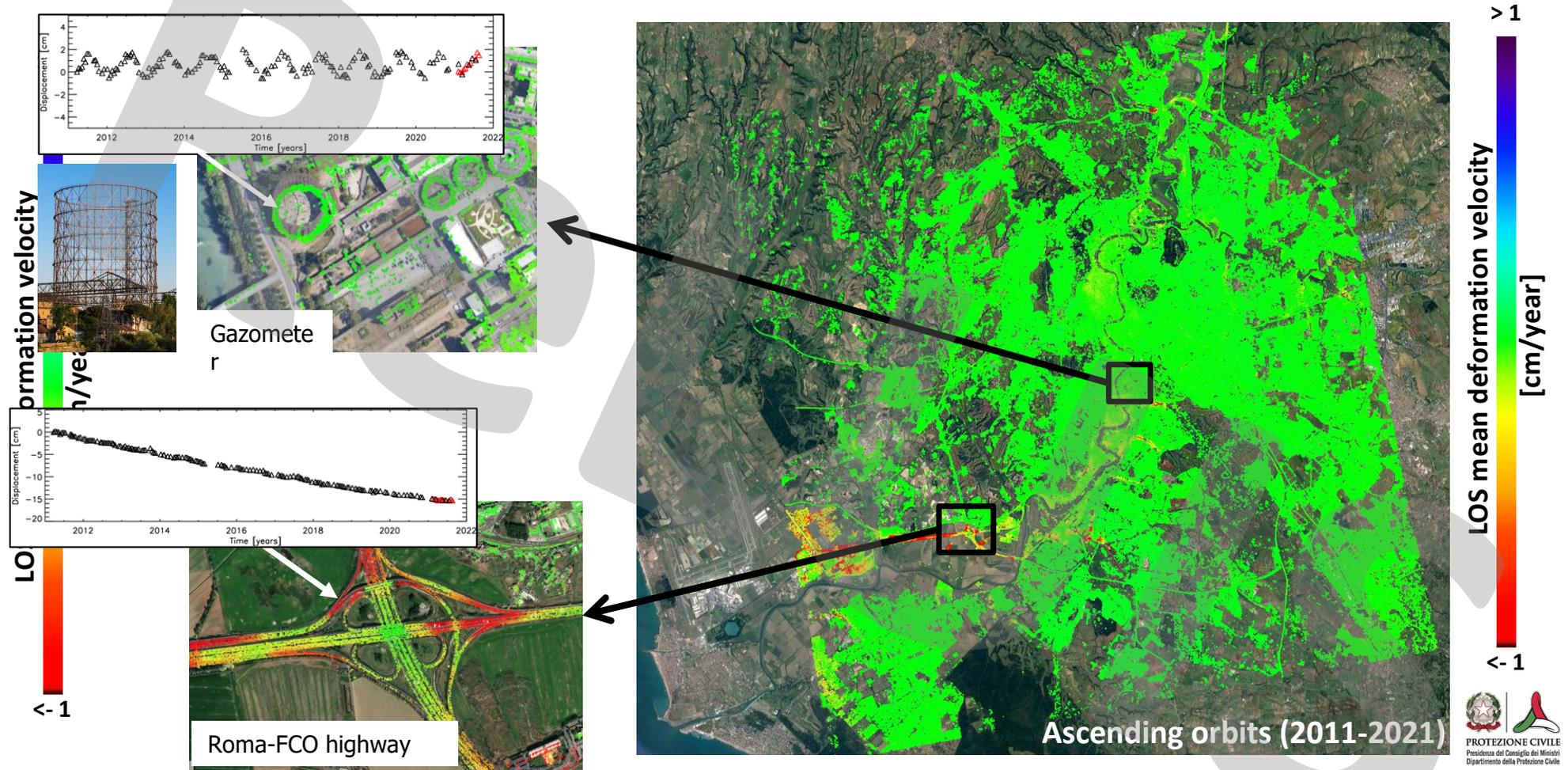
Extensive FR P-SBAS analysis over the Italian territory: CSK/CSG data



FR P-SBAS analysis with CSK/CSG SAR data: the Roma case study



FR P-SBAS analysis with CSK/CSG SAR data: the Roma case study

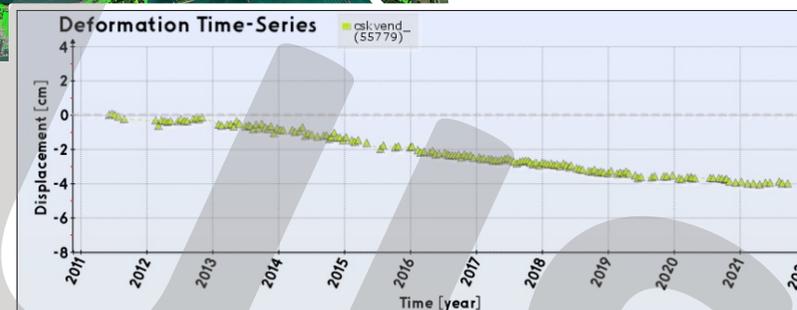
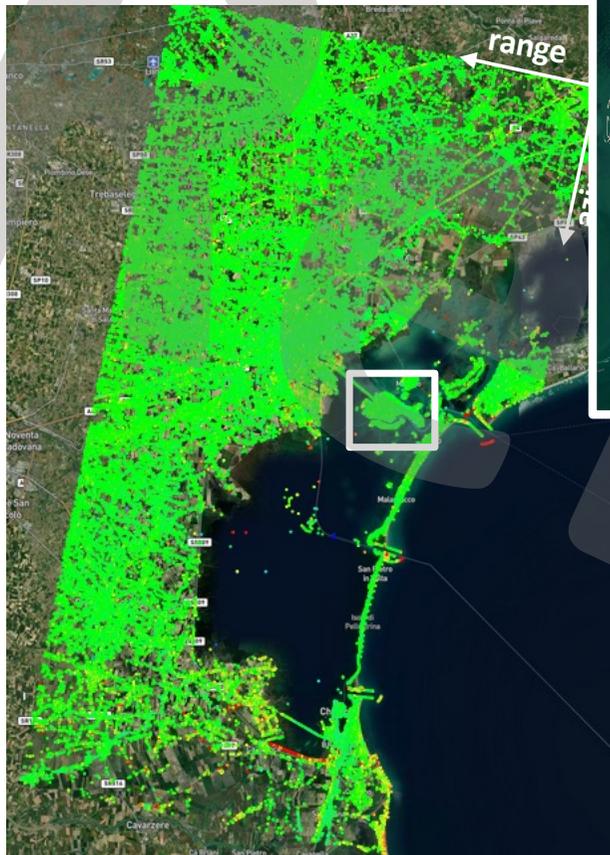


FR P-SBAS analysis with CSK/CSG SAR data: the Venezia case study

LOS mean deformation velocity
[cm/year]

> 1

< -1



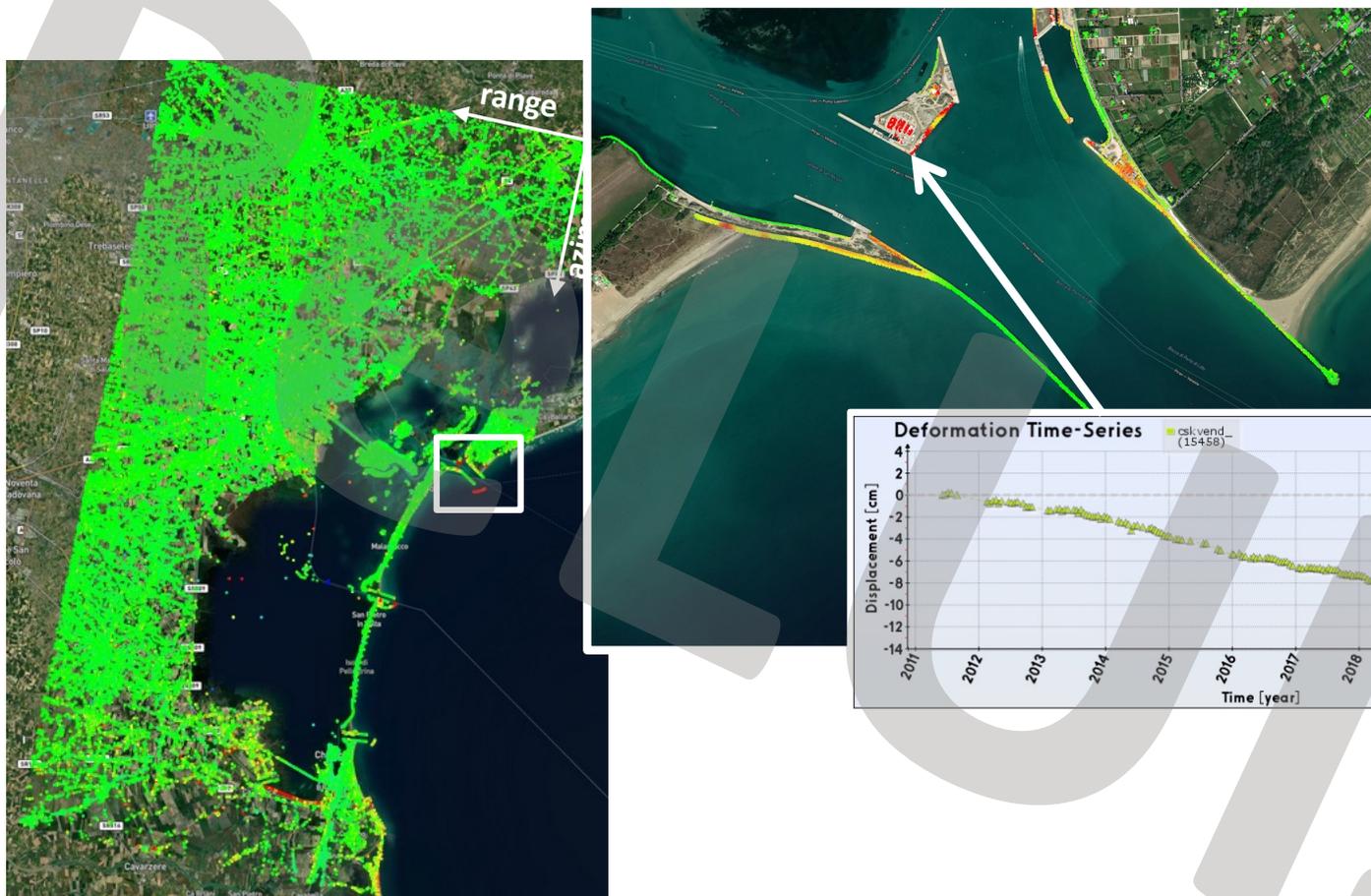
165 CSK images (descending orbits, 2011-2021)

FR P-SBAS analysis with CSK/CSG SAR data: the Venezia case study

LOS mean deformation velocity
[cm/year]

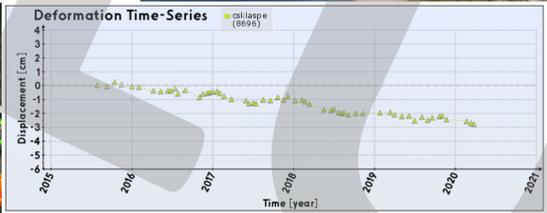
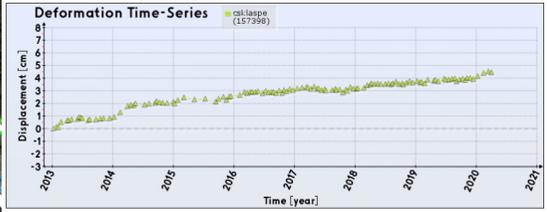
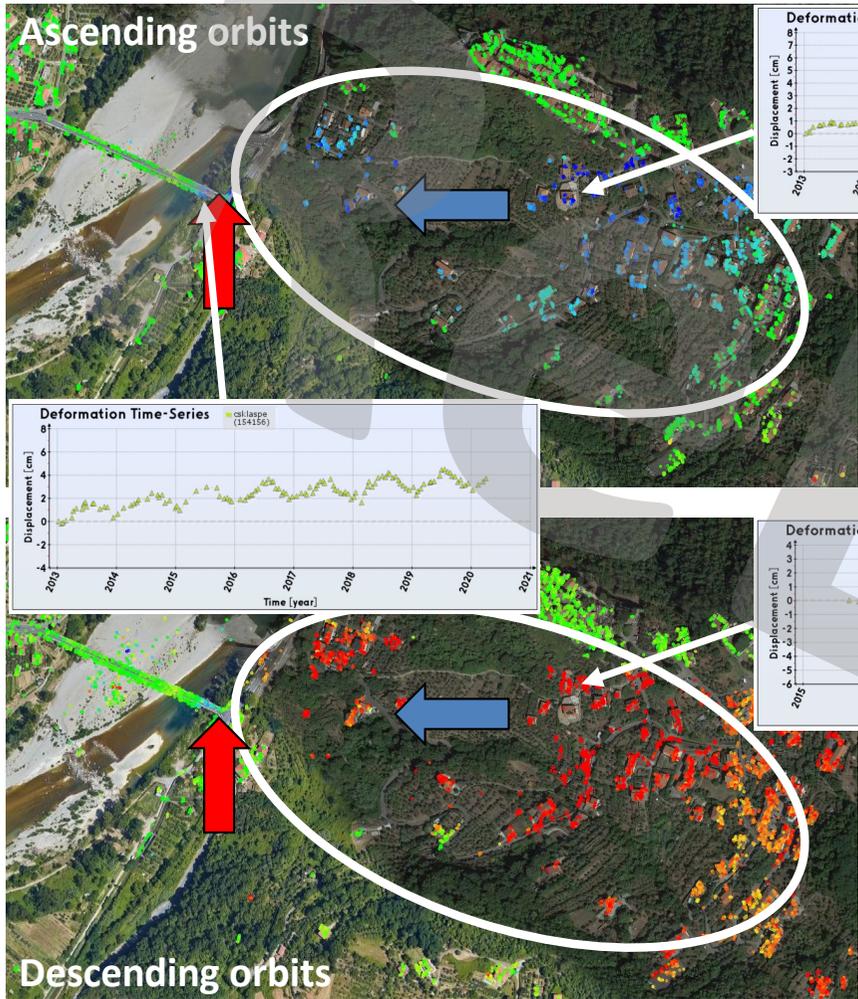
> 1

< -1

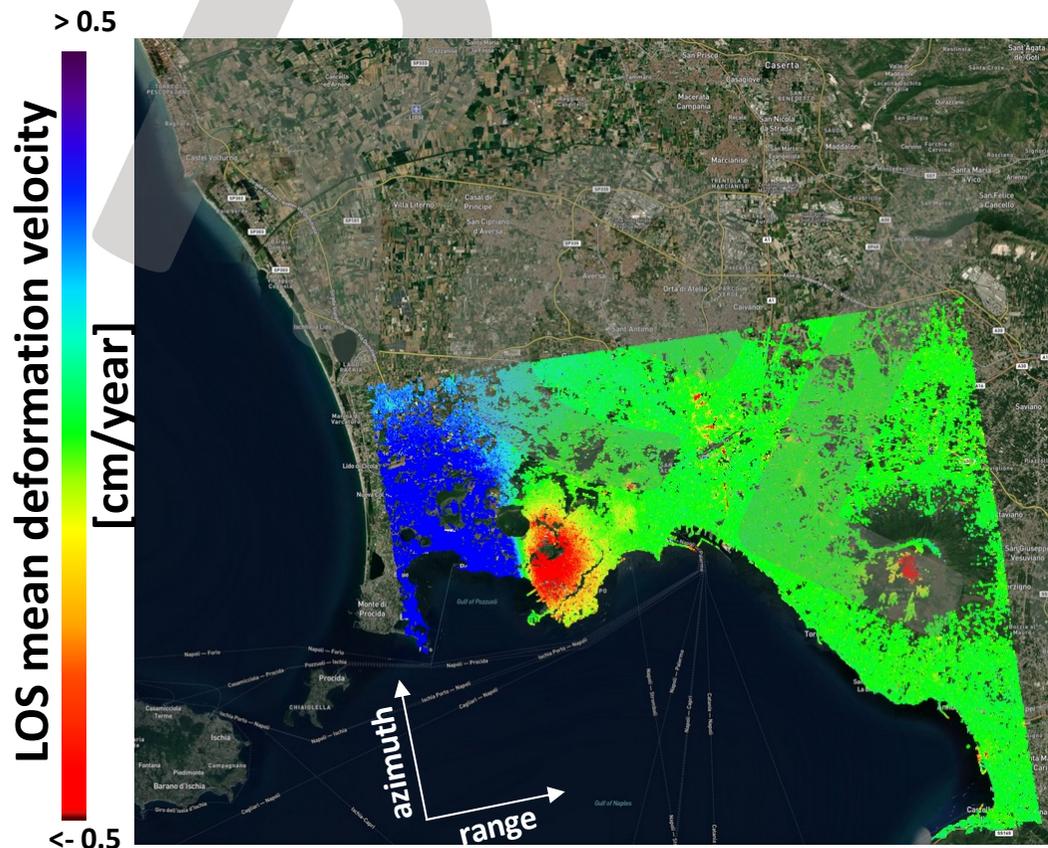


165 CSK images (descending orbits, 2011-2021)

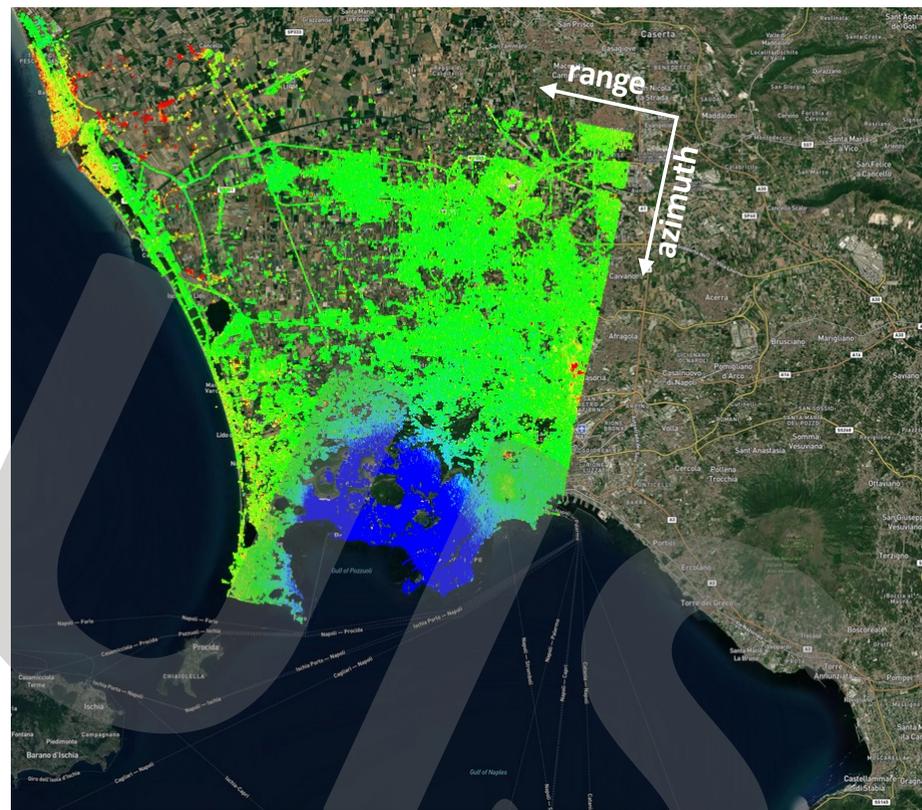
FR P-SBAS analysis (CSK data): the Ponte Magra (La Spezia) case study



FR P-SBAS analysis with CSK/CSG SAR data: the Napoli case study

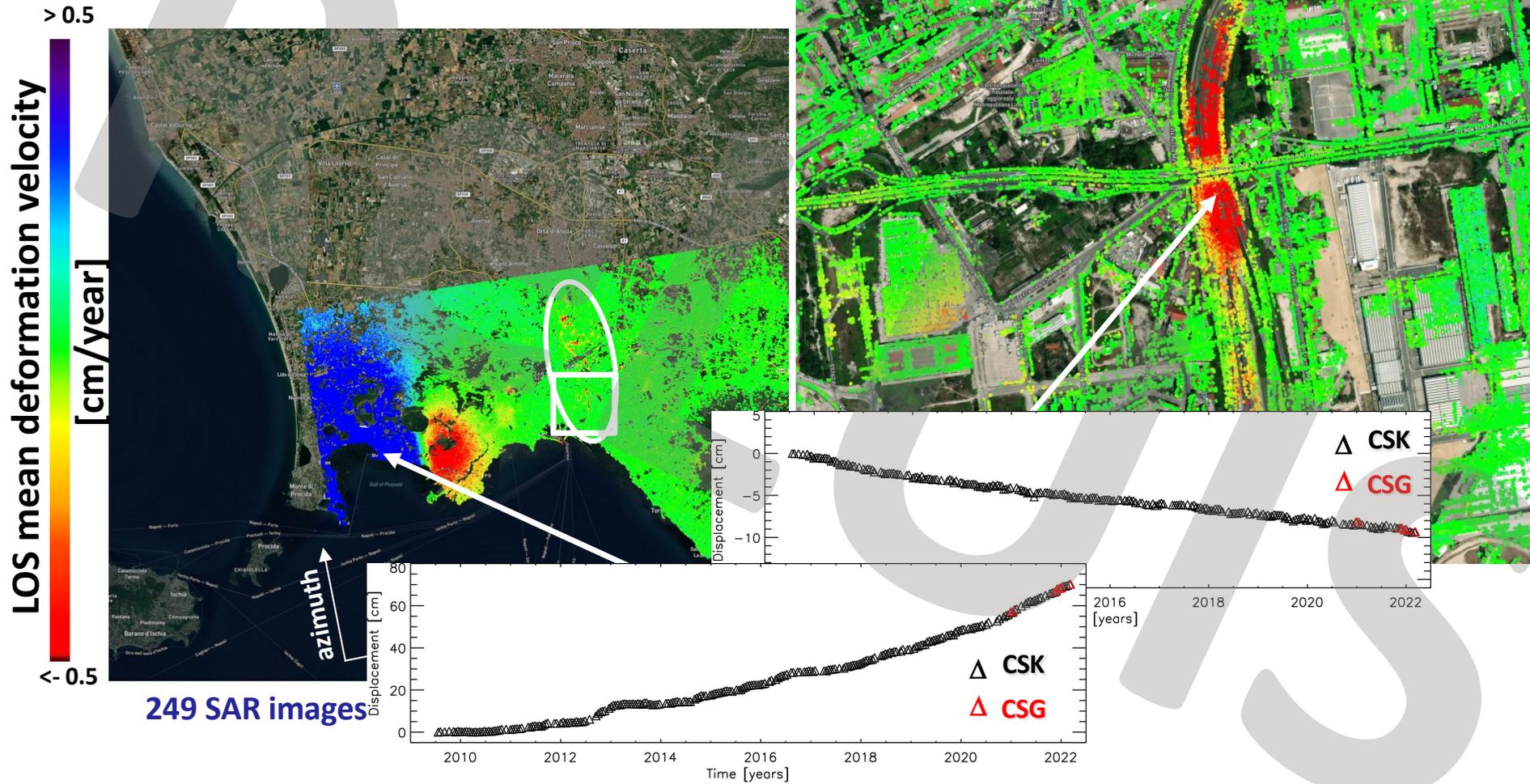


249 SAR images (ascending orbits, 2009-2022)

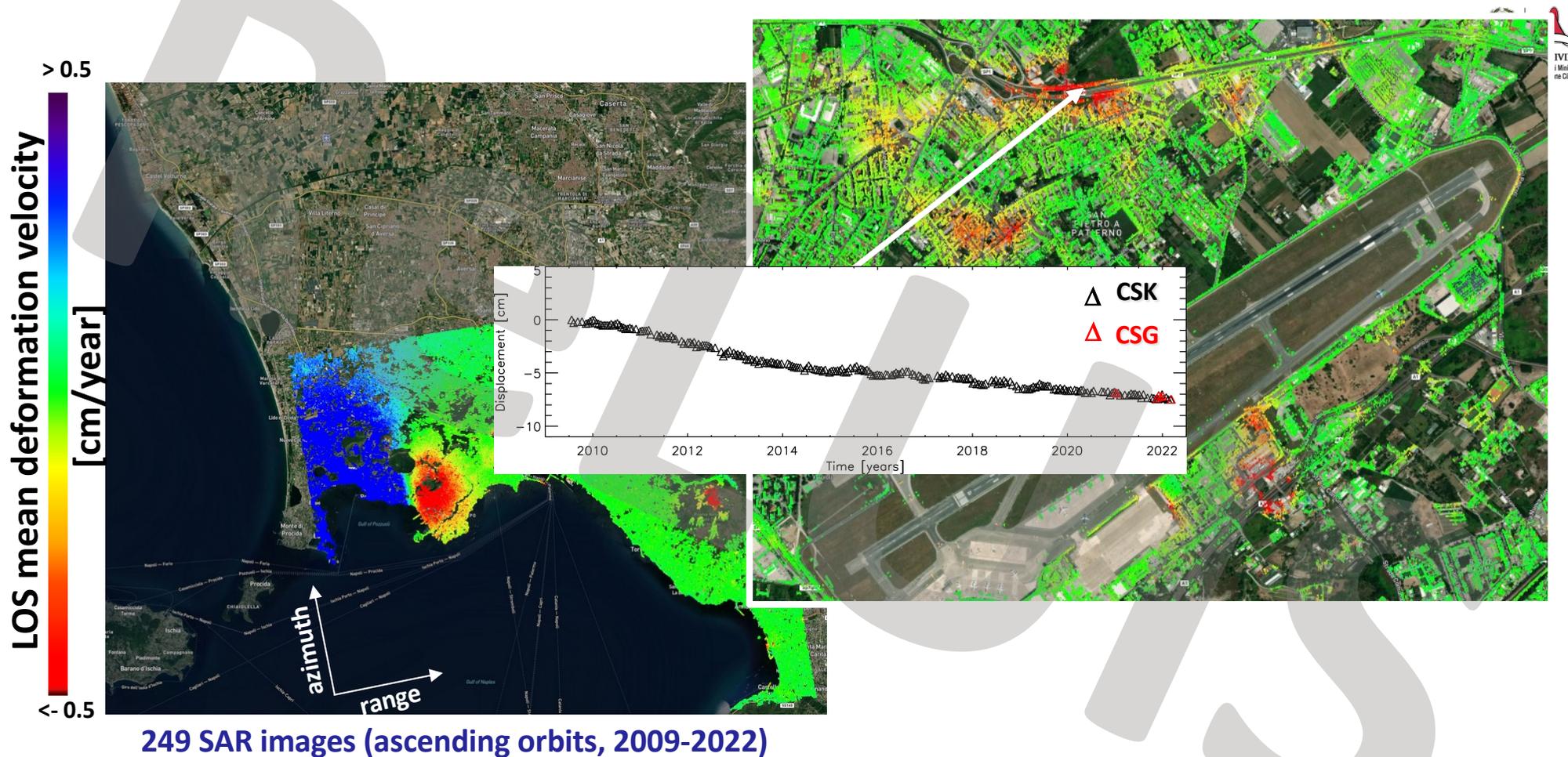


144 SAR images (descending orbits, 2011-2022)

FR P-SBAS analysis with CSK/CSG SAR data: the Napoli case study



FR P-SBAS analysis with CSK/CSG SAR data: the Napoli case study



FR P-SBAS analysis over the "Ponte della Musica" (Roma): CSK-CSG

CSK-CSG 2011-2021 X-Band ($\lambda \sim 3.1$ cm)



UIS

FR P-SBAS analysis over the "Ponte della Musica" (Roma): CSK-CSG vs SAOCOM-1

CSK-CSG 2011-2021 X-Band ($\lambda \sim 3.1$ cm)



LOS mean deformation CSK-CSG velocity



SAOCOM-1 2020-2023 L-Band ($\lambda \sim 23.5$ cm)



LOS mean deformation SAOCOM-1 velocity



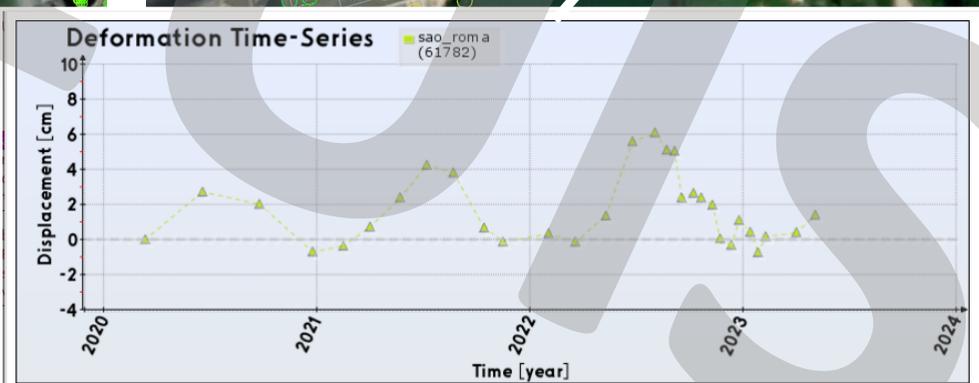
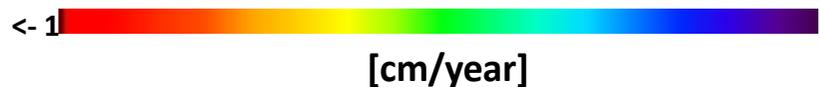
FR P-SBAS analysis over the "Ponte della Musica" (Roma): CSK-CSG vs SAOCOM-1

CSK-CSG 2011-2021 X-Band ($\lambda \sim 3.1$ cm)

SAOCOM-1 2020-2023 L-Band ($\lambda \sim 23.5$ cm)



LOS mean deformation CSK-CSG velocity



RELUIS

Grazie per l'attenzione!



TASK 5.6 – Monitoraggio strutturale di ponti con dati satellitari
Coordinatore: Prof. Andrea Prota, UniNa

**L'UTILIZZO DEI DATI INTERFEROMETRICI SATELLITARI AI FINI
DELL'INTERPRETAZIONE DEL COMPORTAMENTO STRUTTURALE DELLE
INFRASTRUTTURE**

ELABORAZIONE DEI DATI SATELLITARI

Accordo CSLLPP_ RELUIS attuativo DM 578/2020 e DM 204/2022

La sperimentazione delle Linee Guida per i ponti esistenti

Formazione EE.LL. ex art. 4 DM 204/2022

I
- - -
U
- - -
A
- - -
V

Università IUAV di Venezia

Diego Talledo
diego.talledo@iuav.it

22/11/2024

RELUIS

DATI OTTENIBILI DAL PROCESSO INTERFEROMETRICO

PUNTI DI MISURA DEI DATASETS ASCENDENTE E DISCENDENTE

Come abbiamo visto, le immagini radar di una certa zona di interesse (AOI, area of interest) acquisite dal satellite in orbita ascendente (**ASC**) e in orbita discendente (**DES**) vengono elaborate separatamente e vengono resi disponibili **due datasets distinti di punti di misura** in un certo arco temporale.

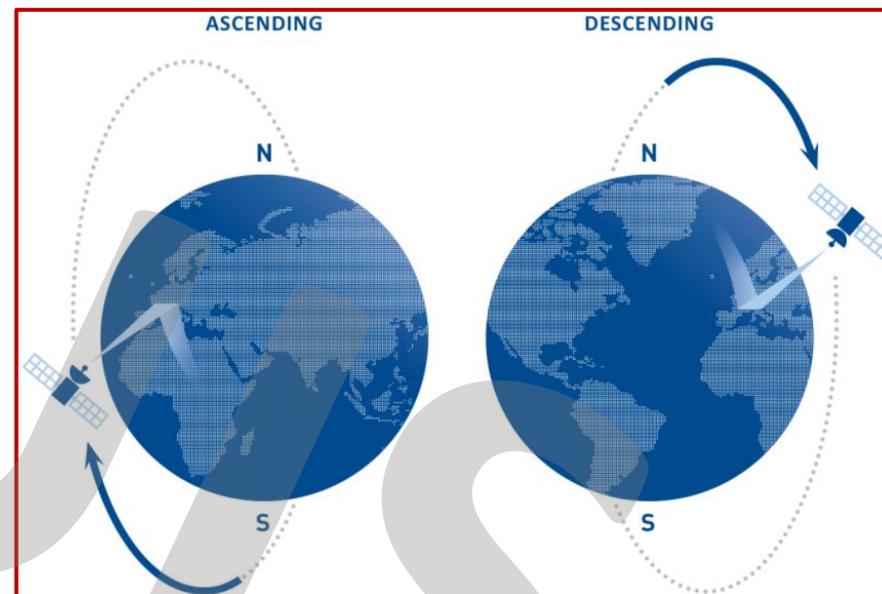
Le aree per cui vengono forniti i risultati delle elaborazioni su dati ascendenti e discendenti tipicamente **possono essere diverse**.



Esempio di aree in cui sono forniti i dati dell'orbita ascendente (ROSSO) e dell'orbita discendente (VERDE)

reference points (diversi per ogni elaborazione ASC e DES) sono scelti in generale in una zona ritenuta stabile

Area di elaborazione di un frame di 40 km circa da costellazione CosmoSkyMed nella zona di Roma, Gruppo CNR-IREA responsabile Ing. Riccardo Lanari

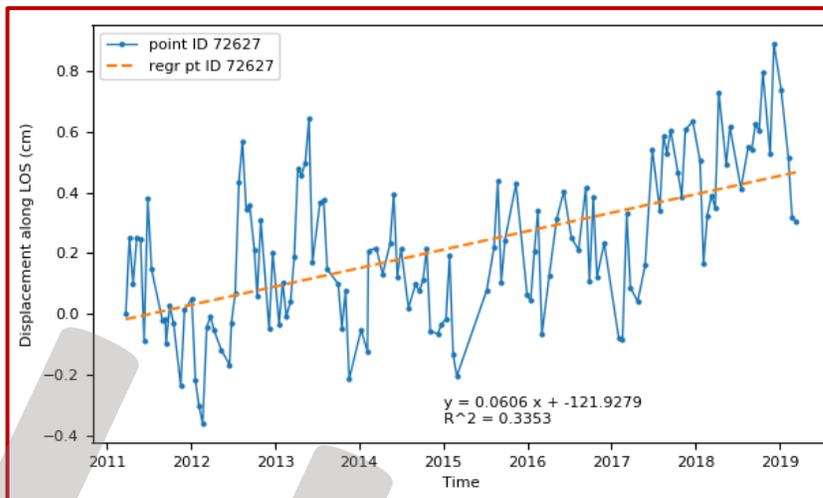


I punti di misura (anche noti come PS, persistent scatterers) ottenuti per le elaborazioni sui dati ascendenti e sui dati discendenti **non sono generalmente coincidenti**.

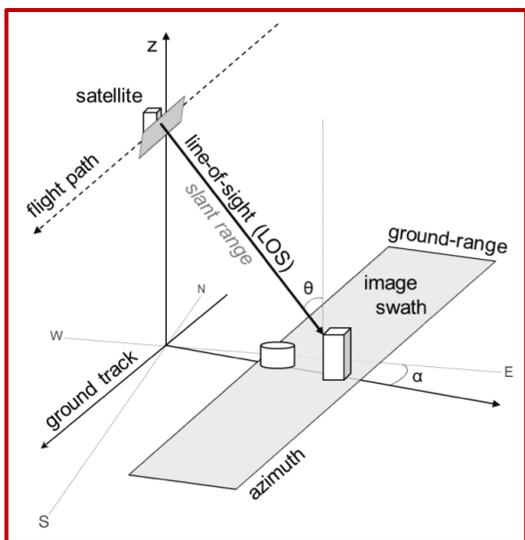
PUNTI DI MISURA DEI DATASETS ASCENDENTE E DISCENDENTE



Per ciascun punto di misura viene fornita la storia temporale della componente di spostamento lungo la LOS.



Storia temporale della componente di spostamento lungo la LOS dell'orbita discendente (DES) e **retta di regressione lineare**



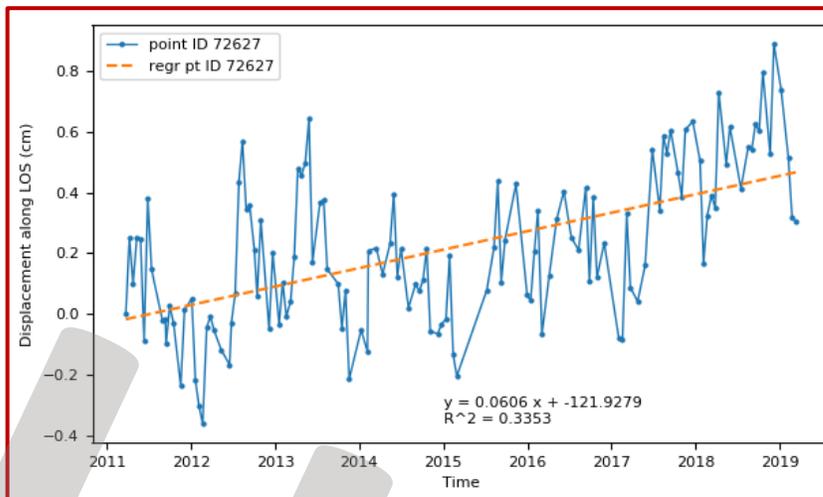
linea di vista del satellite (LOS, *Line of Sight*), ovvero la direzione congiungente il sensore con il bersaglio a terra.

I punti di misura (anche noti come **Scatteratori persistenti, PS**) contengono informazioni sulla geo-localizzazione sia in pianta che in altezza, la storia temporale di spostamento e la velocità annua media lungo la **LOS**, oltre a informazioni legate alla coerenza e alla direzione LOS (in particolare generalmente vengono forniti i coseni direttori c_N , c_E , c_U)

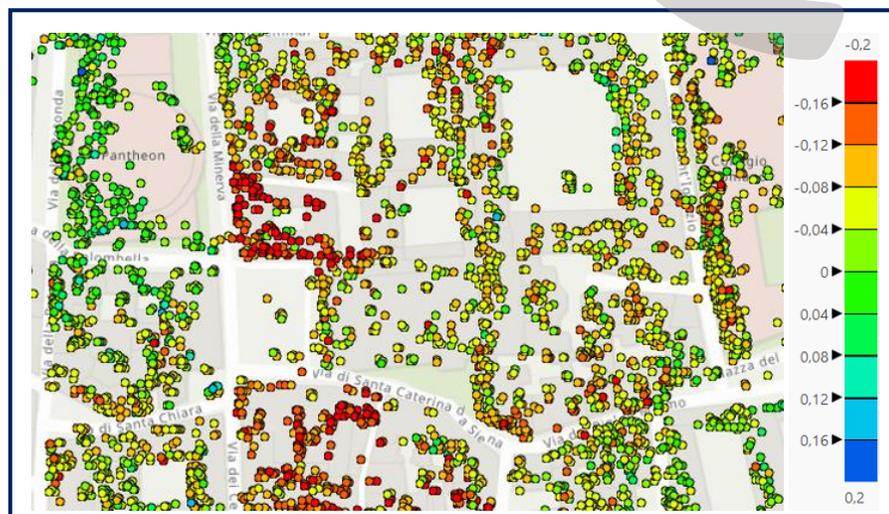
PUNTI DI MISURA DEI DATASETS ASCENDENTE E DISCENDENTE



Per ciascun punto di misura viene fornita la storia temporale della componente di spostamento lungo la LOS.



Storia temporale della componente di spostamento lungo la LOS dell'orbita discendente (DES) e **retta di regressione lineare**



Punti di misura colorati a seconda del valore di velocità media lungo la LOS (tradizionalmente si usa una scala di colori rosso-verde-blu dove il rosso indica **allontanamento** dal satellite – valori negativi – il blu indica **avvicinamento** al satellite – valori positivi – mentre il verde indica sostanziale stabilità

la pendenza della retta di regressione lineare dei valori di spostamento (linea rossa), fornisce **la velocità media lungo la LOS** con cui il punto di misura si è spostato nell'intervallo temporale analizzato.

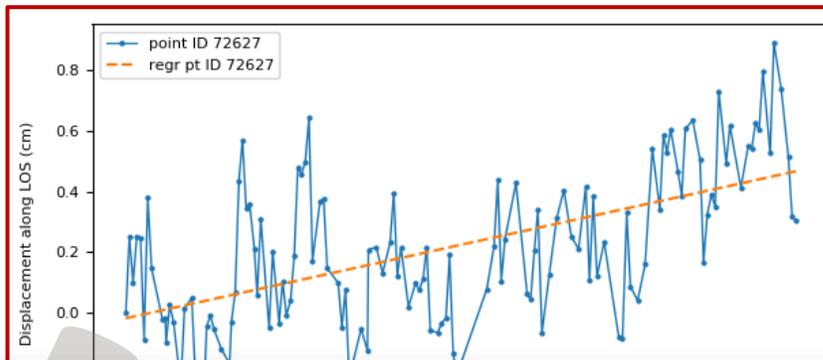
È possibile ad esempio realizzare mappe di velocità media.

Ad ogni punto di misura è associato un colore che indica **la velocità media lungo la LOS**.

PUNTI DI MISURA DEI DATASETS ASCENDENTE E DISCENDENTE



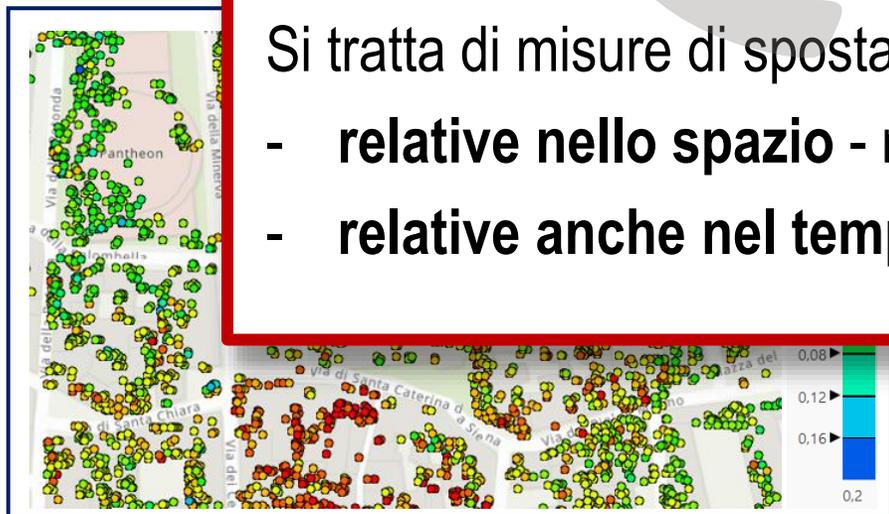
Per ciascun punto di misura viene fornita
la storia temp
spostamento



Misure di spostamento e velocità media lungo la LOS

Si tratta di misure di spostamento e velocità media:

- **relative nello spazio** - rispetto al reference point
- **relative anche nel tempo** - rispetto all'istante iniziale dell'acquisizione



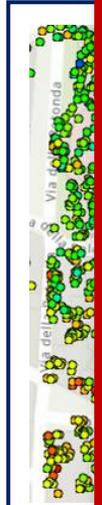
Punti di misura colorati a seconda del valore di velocità media lungo la LOS
(tradizionalmente si usa una scala di colori rosso-verde-blu dove il rosso
indica **allontanamento** dal satellite – valori negativi – il blu indica
avvicinamento al satellite – valori positivi – mentre il verde indica
sostanziale stabilità

È possibile ad esempio realizzare mappe di velocità media.

Ad ogni punto di misura è associato un colore che indica
la velocità media lungo la LOS.



Per capire
la storia
sposta



Punti di misura
(tradizionalmente grigi e verdi) e punti di misura per la direzione N-S
indica **allontanamento** dal satellite – valori negativi – il blu indica
avvicinamento al satellite – valori positivi – mentre il verde indica
sostanziale stabilità



Esempio di accuratezza nelle misure

Tecnica SBAS-DInSAR e dati COSMO-SkyMed (CSK)

Accuratezza delle misure lungo la LOS:

Velocità media: $\pm 1-2$ mm/anno

Spostamento: $\pm 5-10$ mm

Accuratezza nella geolocalizzazione dei punti di misura:

Direzione N-S $\pm 1.5-2$ m

Direzione verticale $\pm 1.5-2$ m

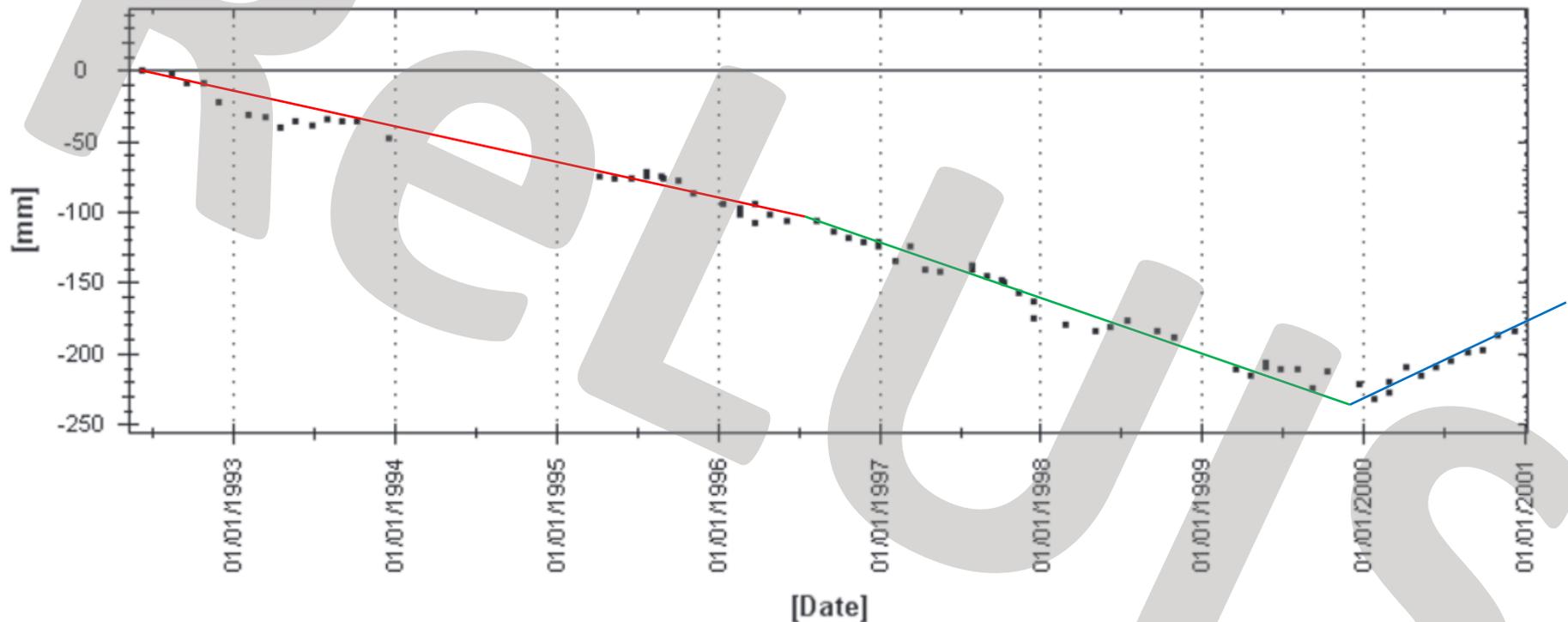
Direzione E-W $\pm 2-3$ m

Tabella 2.2. Precisione delle misure (1σ) per la tecnica SBAS-DInSAR a piena risoluzione spaziale applicata a dati COSMO-SkyMed con look angle di circa 33°

Posizionamento del punto in direzione N-S	$\pm 1 - 2$ m
Posizionamento del punto in direzione E-W	$\pm 2 - 3$ m
Posizionamento del punto in quota	$\pm 1 - 2$ m
Velocità annua media di spostamento	$\pm 1 - 2$ mm/anno
Misure differenziali di spostamento	$\pm 5 - 10$ mm

STORIA TEMPORALE DI SPOSTAMENTO LUNGO LA LOS:

In alcuni casi può essere opportuno valutare la **velocità media** come regressione eseguita «a tratti» su intervalli temporali diversi



Questo è particolarmente importante quando la storia di spostamento mostra dei significative campi di comportamento. Attenzione: alcune tecniche MT-InSAR assumono una storia di spostamento lineare. Se lo spostamento non risultasse lineare, come nel caso mostrato, in questi casi avremmo la perdita dell'informazione sul punto di misura per coerenza troppo bassa. È fondamentale quindi avere una certa conoscenza del metodo MT-InSAR utilizzato per l'elaborazione delle immagini satellitari che ha prodotto il dataset considerate.

PUNTI DI MISURA: CARATTERISTICHE E COERENZA DEL DATO

Ad ogni punto di misura è poi associata **un'informazione sull'affidabilità della misura** che tiene conto di una affinità tra segnale deformativo di partenza ed il modello adottato.

COERENZA TEMPORALE

Valori di coerenza temporale troppo bassi (< 0.3) sono indice di poca affidabilità del dato



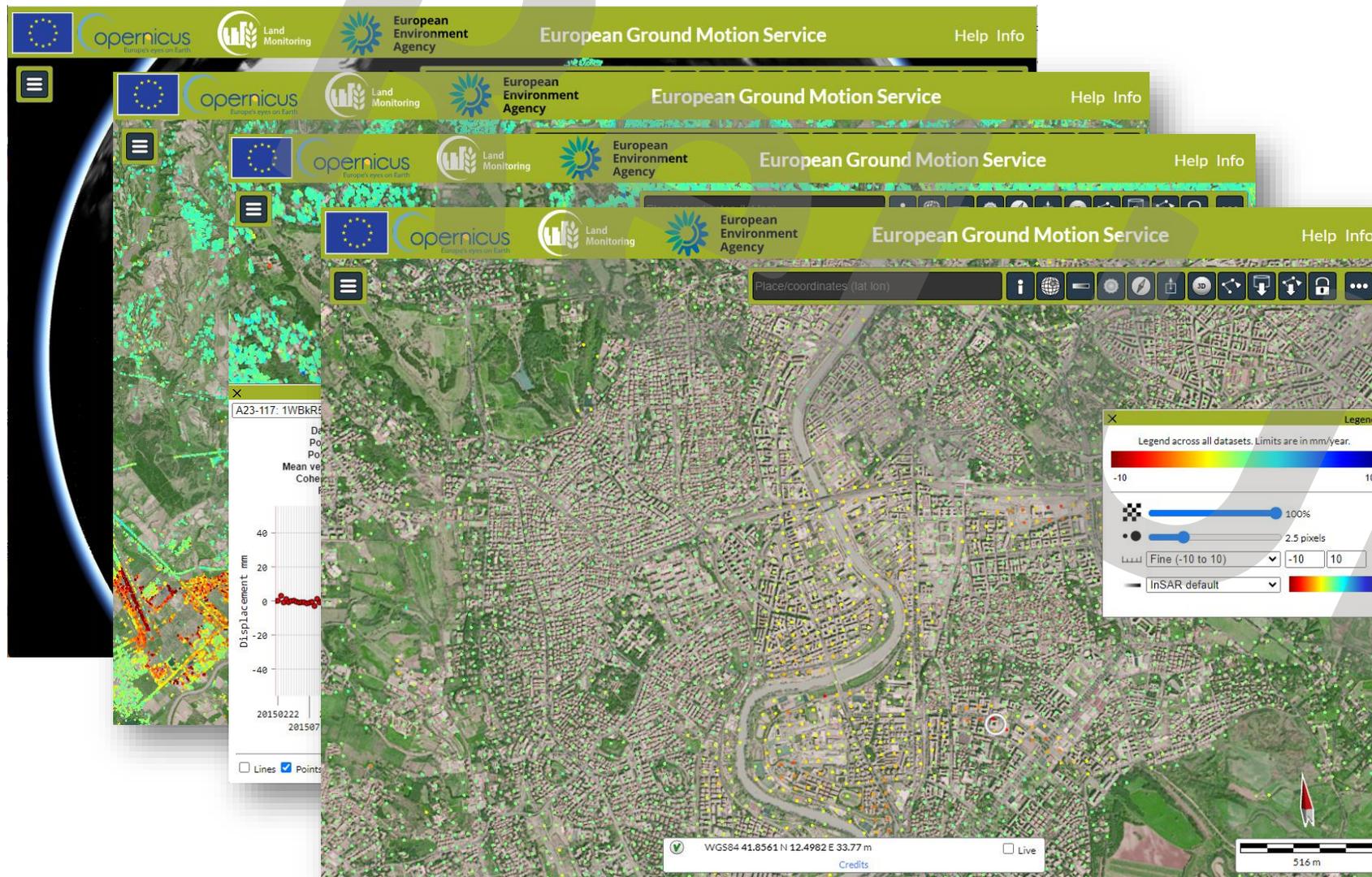
Coerenza 0.35 1.00

Mappa di coerenza temporale a livello di quartiere (Roma)

Lo **spostamento massimo** misurabile tramite interferometria satellitare, senza incorrere in problemi di ambiguità delle misure, è **compatibile con fenomeni a cinematica lenta**.

<https://egms.land.copernicus.eu/>

Da costellazione Sentinel 1 (risoluzione circa 5 m x 20 m)



Tre livelli di prodotti aggiornati annualmente:

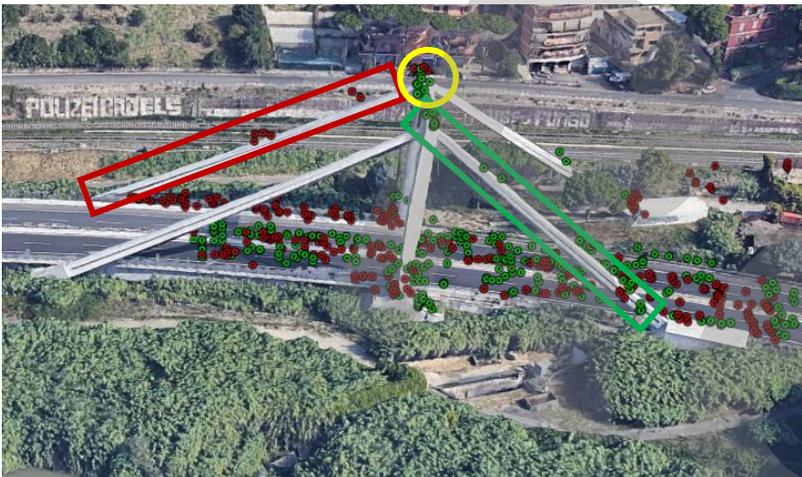
- **Basic:** informazioni lungo la LOS per orbite ascendenti e discendenti riferite a un punto di riferimento locale
- **Calibrated:** informazioni lungo la LOS per orbite ascendenti e discendenti corrette da informazioni GNSS (informazioni assolute, non più relative)
- **Ortho:** informazioni lungo le componenti verticale ed orizzontale (su una griglia sottocampionata di 100 m di lato)

RELUIS

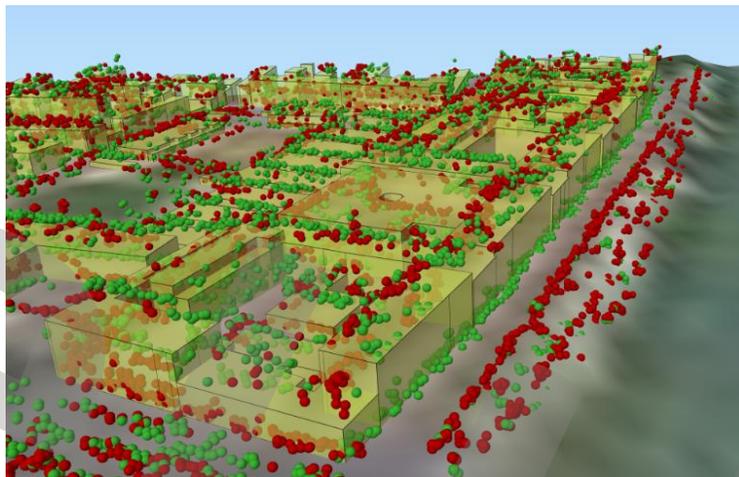
ELABORAZIONE ED UTILIZZO DEI DATI SATELLITARI IN AMBITO STRUTTURALE

USO DI UN SINGOLO DATASET

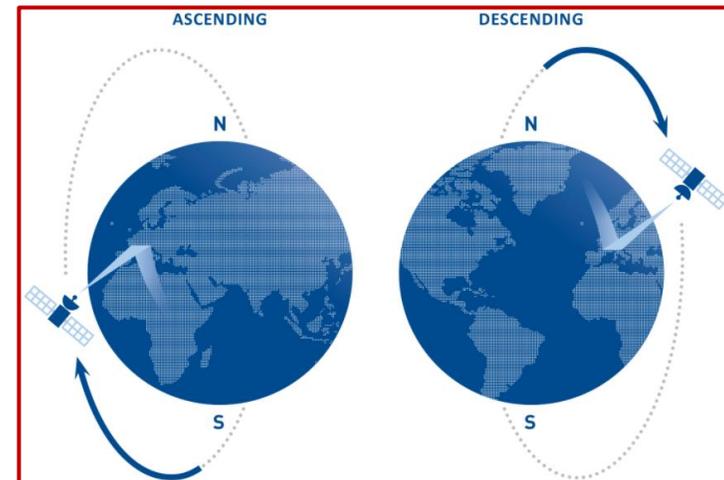
Vi possono essere situazioni in cui per un certo "oggetto" (edificio, ponte, struttura in generale) si hanno a disposizione prevalentemente punti di misura di un solo dataset (ascendente o discendente). Questo può accadere per molte ragioni, come zone d'ombra, perdita di coerenza, etc.



Stralli del Ponte Morandi (Roma): in uno si hanno solo dati dell'orbita ascendente (ROSSO) nell'altro dell'orbita discendente (VERDE)
Elaborazioni unità di Roma Tor Vergata – prof. Alberto Meda



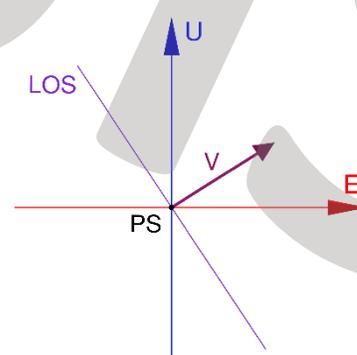
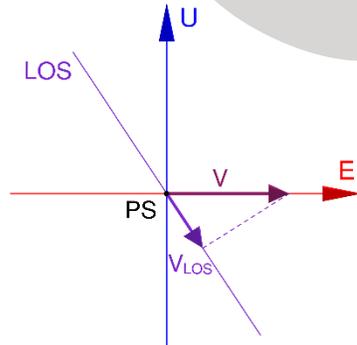
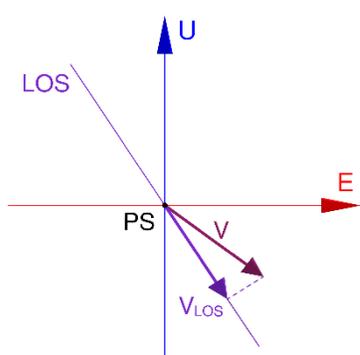
Edifici: spesso si hanno punti delle due orbite solo sul tetto e su poche altre parti. Orbita ascendente (VERDE) e discendente (ROSSO)



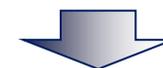
L'analisi dei dati ottenuti dall'elaborazione di una singola orbita (**dataset ascendente o discendente**) può fornire certamente **informazioni preliminari** in relazione a fenomeni deformativi in atto, **ma non consente di trarre considerazioni definitive.**

Le informazioni di un singolo dataset forniscono solo le componenti di spostamento/velocità lungo la LOS

$$V_{LoS} = \text{vel misurata lungo LoS} - V = \text{vel reale}$$



Se la direzione del vettore di spostamento/velocità reale si discosta dalla linea di vista, la componente rilevata dal satellite è minore



Nel caso in cui la direzione del vettore di spostamento/velocità reale sia perpendicolare alla LOS, la componente misurata dal sensore risulta essere nulla

USO DI UN SINGOLO DATASET

Vi possono essere situazioni in cui per un certo "oggetto" (edificio, ponte, struttura in generale) si hanno a disposizione prevalentemente punti di misura di un solo dataset (ascendente o discendente). Questo può accadere per molte ragioni, come zone d'ombra, perdita di coerenza, etc.



Un valore elevato di velocità media ovvero di spostamento lungo la LOS è segnale di un processo deformativo in atto; viceversa, un basso valore di velocità media ovvero di spostamento lungo la LOS non è garanzia dell'assenza di fenomeni deformativi in atto.

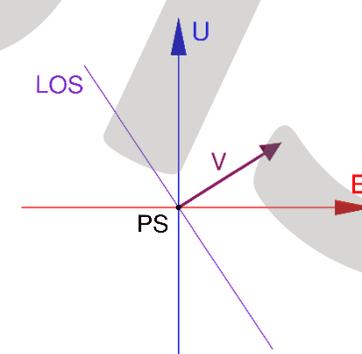
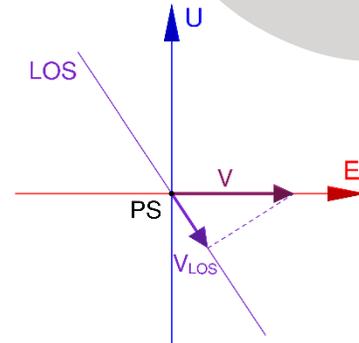
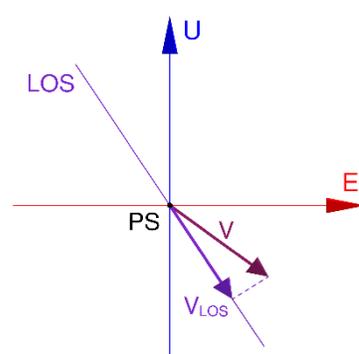
Stralli del Ponte Morandi (Roma): in uno si hanno solo dati dell'orbita ascendente (ROSSO) nell'altro dell'orbita discendente (VERDE)
Elaborazioni unità di Roma Tor Vergata – prof. Alberto Meda

Edifici: spesso si hanno punti delle due orbite solo sul tetto e su poche altre parti. Orbita ascendente (VERDE) e discendente (ROSSO)

L'analisi dei dati ottenuti dall'elaborazione di una singola orbita (**dataset ascendente o discendente**) può fornire certamente informazioni preliminari in relazione a fenomeni deformativi in atto, **ma non consente di trarre considerazioni definitive.**

Le informazioni di un singolo dataset forniscono solo le componenti di spostamento/velocità lungo la LOS

$$V_{LoS} = \text{vel misurata lungo LoS} - V = \text{vel reale}$$



Se la direzione del vettore di spostamento/velocità reale si discosta dalla linea di vista, la componente rilevata dal satellite è minore



Nel caso in cui la direzione del vettore di spostamento/velocità reale sia perpendicolare alla LOS, la componente misurata dal sensore risulta essere nulla

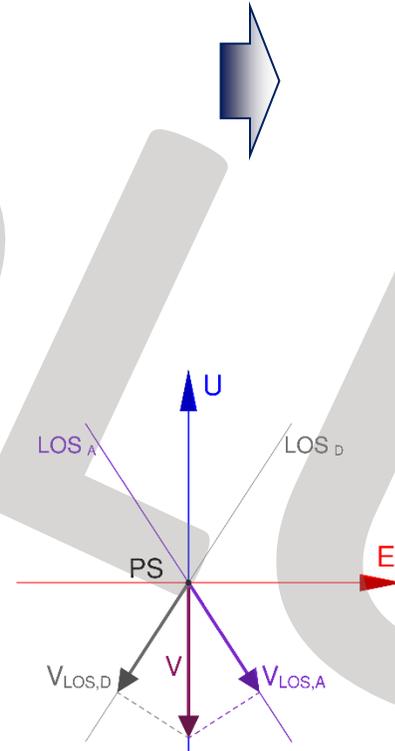
USO DI DUE DATASETS – ASCENDENTE E DISCENDENTE

Il piano contenente le due direzioni di vista del satellite (LOS ascendente e LOS discendente) è sostanzialmente ortogonale alla direzione N-S.

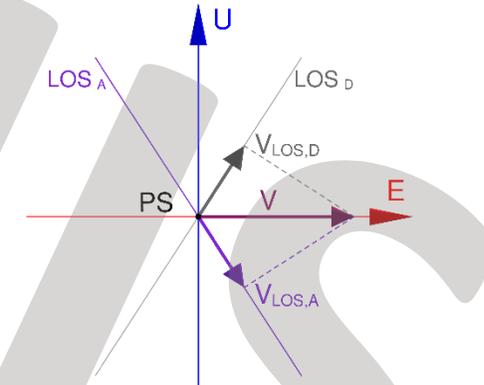
Note le componenti di velocità media ovvero di spostamento (indicate con δ) lungo la LOS delle due orbite ASC e DES in un punto

È possibile il calcolo

- ✓ della componente di velocità/spostamento verticale
- ✓ e della componente lungo la direzione E-W (con meno precisione perché l'orbita dei satelliti è leggermente inclinata e quindi c'è una piccola componente N-S)



Non si possono avere informazioni sulla componente di velocità/spostamento in direzione N-S



USO DI DUE DATASETS – ASCENDENTE E DISCENDENTE

Il piano contenente le due direzioni di vista del satellite (LOS ascendente e LOS discendente) è sostanzialmente ortogonale alla direzione N-S.

Note le **componenti di velocità media ovvero di spostamento** (indicate con δ) lungo la LOS delle due orbite **ASC** e **DES** in un punto



$$\delta_{LOS,A} = \delta_E \cdot c_{E,A} + \delta_N \cdot c_{N,A} + \delta_U \cdot c_{U,A} \cong \delta_E \cdot c_{E,A} + \delta_U \cdot c_{U,A}$$

$$\delta_{LOS,D} = \delta_E \cdot c_{E,D} + \delta_N \cdot c_{N,D} + \delta_U \cdot c_{U,D} \cong \delta_E \cdot c_{E,D} + \delta_U \cdot c_{U,D}$$



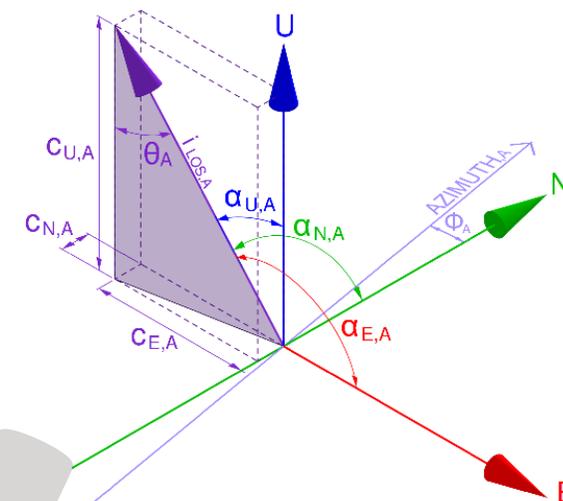
Noti i coseni direttori del satellite nelle due geometrie

IPOTIZZANDO CHE LA COMPONENTE IN DIREZIONE N-S SIA NULLA

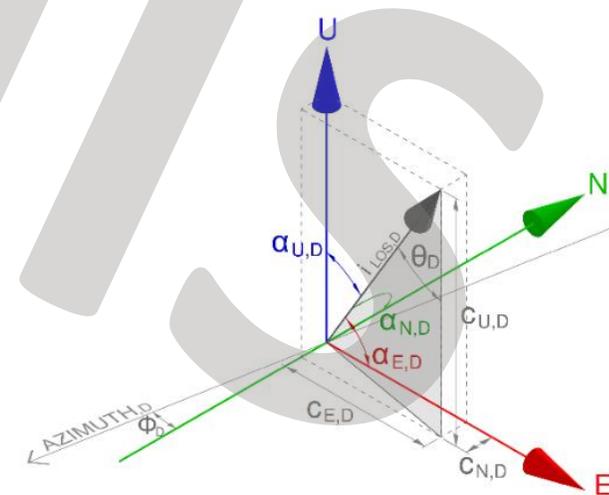
è possibile calcolare le componenti verticale ed orizzontale in direzione E-W, del vettore spostamento / velocità media

δ_U

δ_E



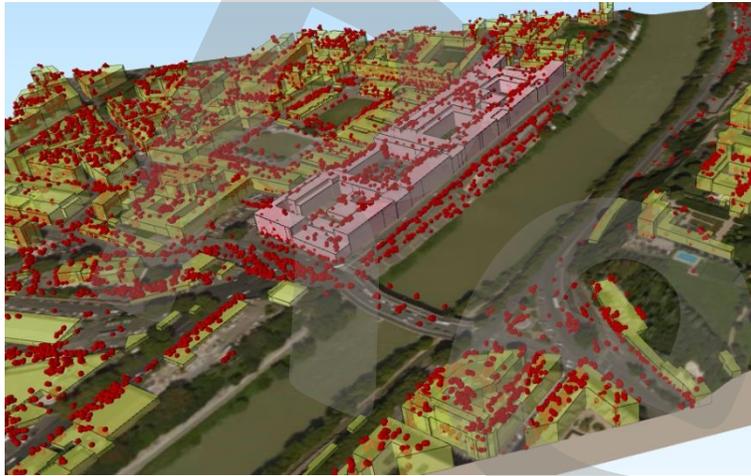
Geometria orbita ASC



Geometria orbita DES

MAPPE DI VELOCITÀ MEDIA LUNGO LA LOS - LIVELLO TERRITORIALE

Punti di misura osservati dall'orbita ascendente (ASC)



Punti di misura osservati dall'orbita discendente (DES)



Vel (mm/anno)

ALLONTANAMENTO

- ✓ ● -5,1 - -2,5
- ✓ ● -2,5 - -1,8
- ✓ ● -1,8 - -1,1
- ✓ ● -1,1 - -0,5
- ✓ ● -0,5 - 0,5
- ✓ ● 0,5 - 1,1
- ✓ ● 1,1 - 1,8
- ✓ ● 1,8 - 2,5
- ✓ ● 2,5 - 5,0

AVVICINAMENTO

Mappa di vel media dall'orbita ascendente (ASC)

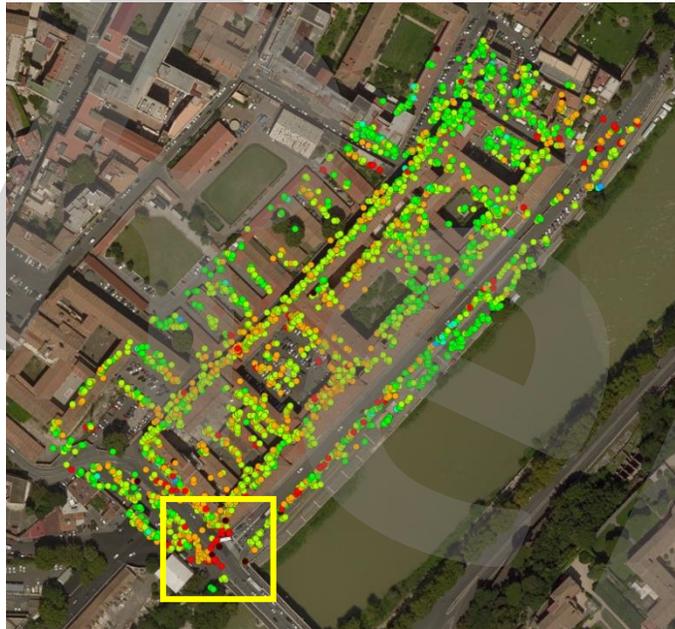


Mappa di vel media dall'orbita discendente (DES)



MAPPE DI VELOCITÀ MEDIA LUNGO LA LOS - LIVELLO DI MANUFATTO

Velocità Medie lungo la LOS ASCENDENTE



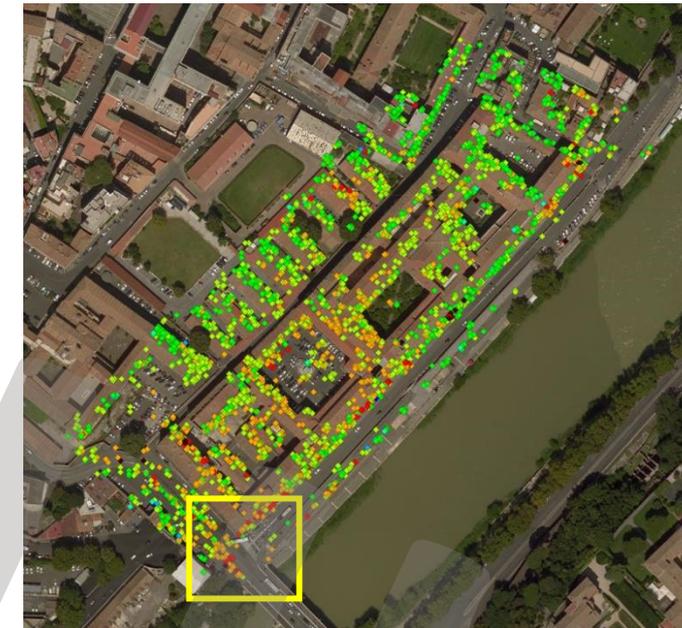
Vel (mm/anno)

ALLONTANAMENTO

- ✓ ● -5,1 - -2,5
- ✓ ● -2,5 - -1,8
- ✓ ● -1,8 - -1,1
- ✓ ● -1,1 - -0,5
- ✓ ● -0,5 - 0,5
- ✓ ● 0,5 - 1,1
- ✓ ● 1,1 - 1,8
- ✓ ● 1,8 - 2,5
- ✓ ● 2,5 - 5,0

AVVICINAMENTO

Velocità Medie lungo la LOS DISCENDENTE

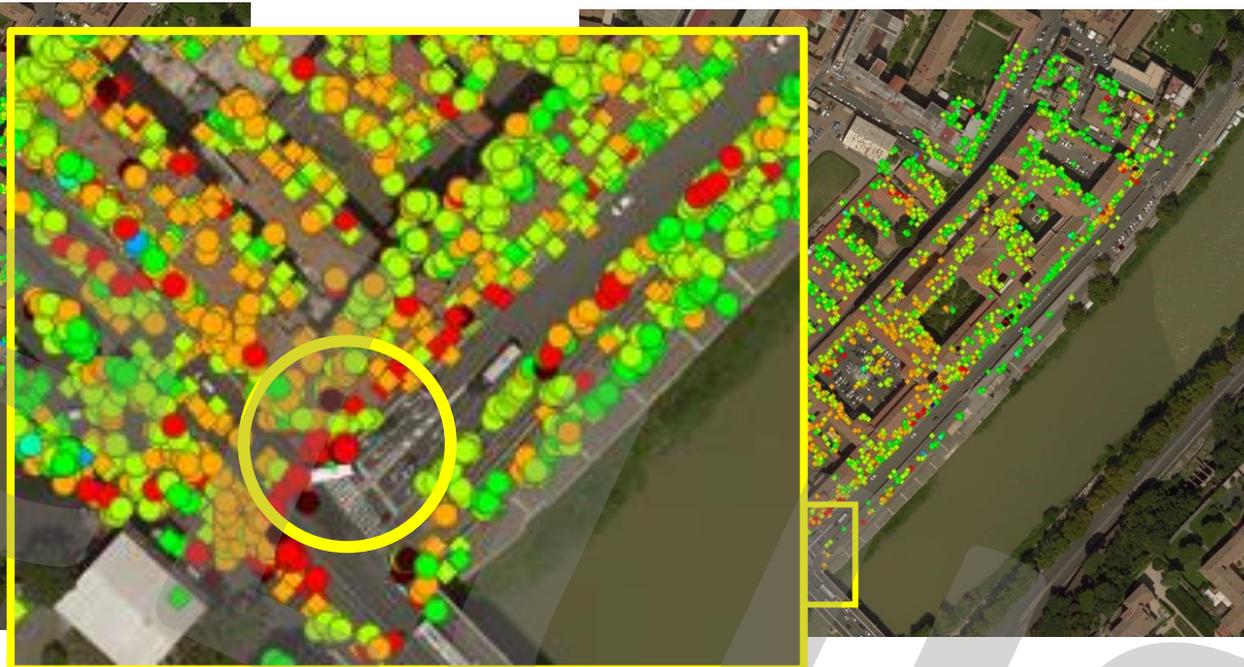


MAPPE DI VELOCITÀ MEDIA LUNGO LA LOS - LIVELLO DI MANUFATTO

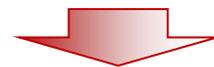
Velocità Medie lungo la LOS ASCENDENTE



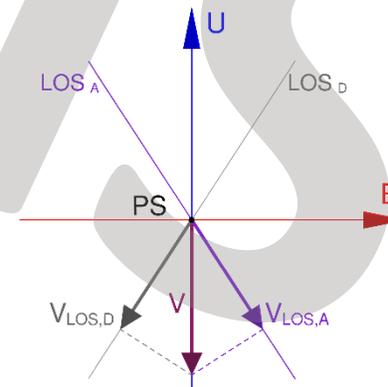
Velocità Medie lungo la LOS DISCENDENTE



USO DI DUE DATASETS: INFORMAZIONI PRELIMINARI

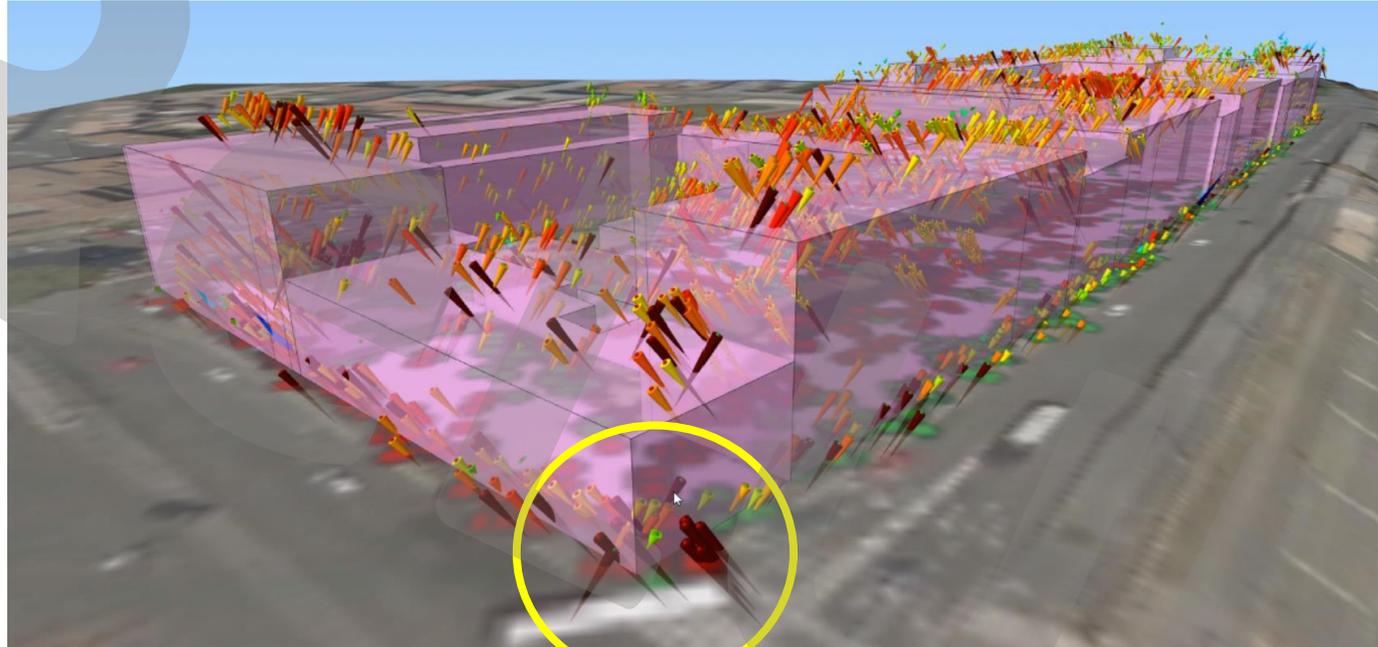


Dai due datasets si ricava una **velocità media annua molto simile** (-2.6 mm/anno e -2.2 mm/anno rispettivamente per ASC e DES), Questo **è indice che il movimento reale ha direzione prevalentemente verticale e rivolta verso il basso.**

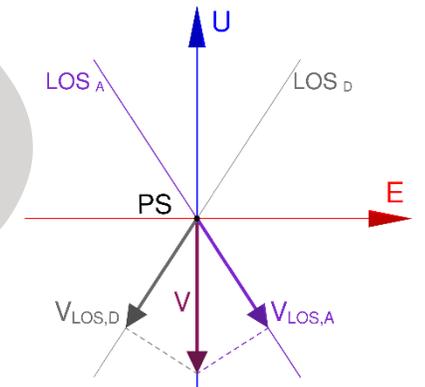


RAPPRESENTAZIONE VETTORIALE DELLA VELOCITÀ MEDIA LUNGO LA LOS – ASC E DES

Consente di cogliere meglio l'effettiva direzionalità delle velocità e la loro intensità



Vettori di velocità dei punti di misura delle due orbite ASC e DES



USO DI DUE DATASETS – ASCENDENTE E DISCENDENTE

Problema:

La combinazione delle velocità medie ovvero degli spostamenti dai datasets **ascendente** e **discendente** è complicata dal fatto che difficilmente si hanno gli stessi punti di misura nei due datasets.

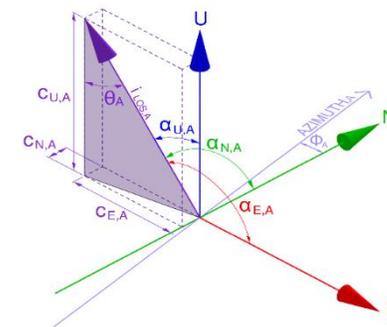


Combinazione di punti “sufficientemente” vicini. Approccio Nearest Neighbours

Tecniche di sottocampionamento

Clustering

Tecniche di interpolazione



$$\delta_{LOS,A} \cong \delta_E \cdot c_{E,A} + \delta_U \cdot c_{U,A}$$

$$\delta_{LOS,D} \cong \delta_E \cdot c_{E,D} + \delta_U \cdot c_{U,D}$$

USO DI DUE DATASETS – ASCENDENTE E DISCENDENTE

Problema:

La combinazione delle velocità medie ovvero degli spostamenti dai datasets **ascendente** e **discendente** è complicata dal fatto che difficilmente si hanno gli stessi punti di misura nei due datasets.



Combinazione di punti “sufficientemente” vicini. Approccio Nearest Neighbours

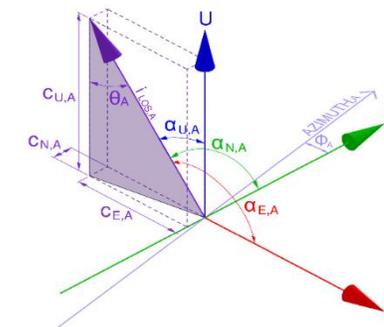
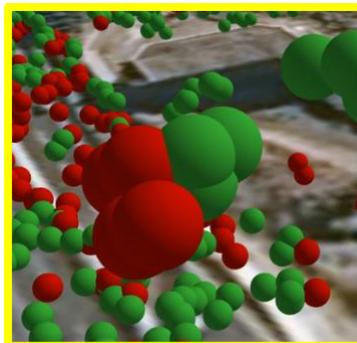
Precisione posizionamento in pianta e in quota:

Tabella 2.2. Precisione delle misure (1σ) per la tecnica SBAS-DInSAR a piena risoluzione spaziale applicata a dati COSMO-SkyMed con look angle di circa 33°

Posizionamento del punto in direzione N-S	$\pm 1 - 2 \text{ m}$
Posizionamento del punto in direzione E-W	$\pm 2 - 3 \text{ m}$
Posizionamento del punto in quota	$\pm 1 - 2 \text{ m}$
Velocità annua media di spostamento	$\pm 1 - 2 \text{ mm/anno}$
Misure differenziali di spostamento	$\pm 5 - 10 \text{ mm}$

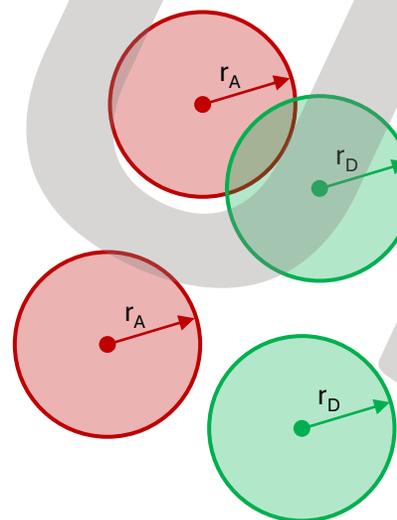
concetto di **punti “sufficientemente vicini”** basato sul dato dell’errore di posizionamento, definito in questo modo:

fatte due sfere nell’intorno di ciascun punto di raggio pari a 1.5 metri, due punti delle orbite ascendenti e discendenti li definiamo sufficientemente vicini se le due sfere almeno si toccano, o meglio si intersecano



$$\delta_{LOS,A} \cong \delta_E \cdot c_{E,A} + \delta_U \cdot c_{U,A}$$

$$\delta_{LOS,D} \cong \delta_E \cdot c_{E,D} + \delta_U \cdot c_{U,D}$$



Distanza minore della soglia: $d \leq r_A + r_D$
Punti sufficientemente vicini (sono combinati)

Distanza Maggiore della soglia: $d > r_A + r_D$
Punti lontani (sono scartati)

USO DI DUE DATASETS – ASCENDENTE E DISCENDENTE

Problema:

La combinazione delle velocità medie ovvero degli spostamenti dai datasets **ascendente** e **discendente** è complicata dal fatto che difficilmente si hanno gli stessi punti di misura nei due datasets.

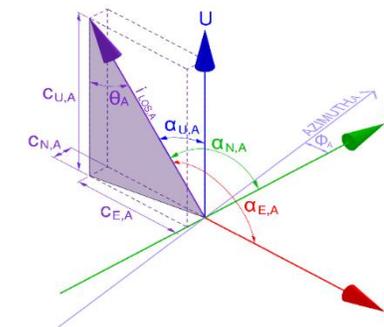


Combinazione di punti “sufficientemente” vicini. Approccio Nearest Neighbours

I valori di velocità media dei punti ASC e DES sono combinati per i punti ritenuti sufficientemente vicini.

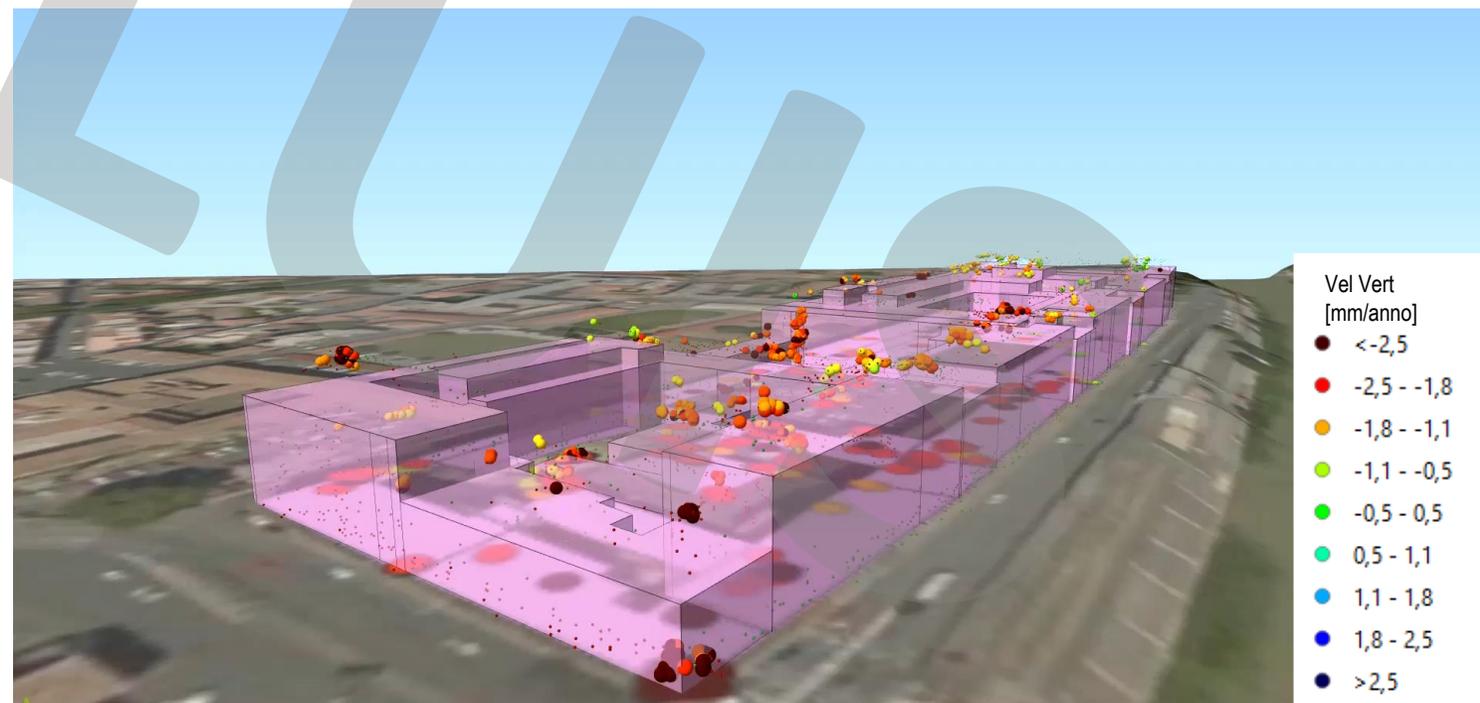
Si mantiene la informazione di elevazione (i.e. si mantiene la natura tridimensionale del dato) combinando punti che sono non soltanto vicini in pianta, ma anche in elevazione.

Risulta semplice estendere al caso di storie di spostamento (richiede comunque un ricampionamento temporale)



$$\delta_{LOS,A} \cong \delta_E \cdot c_{E,A} + \delta_U \cdot c_{U,A}$$

$$\delta_{LOS,D} \cong \delta_E \cdot c_{E,D} + \delta_U \cdot c_{U,D}$$

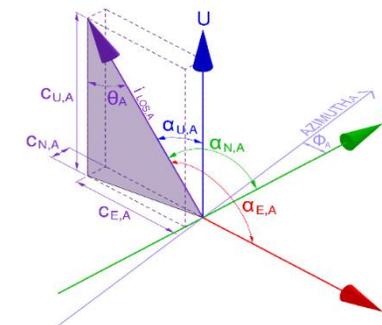


Esempio di combinazione di punti sufficientemente vicini in rappresentata in termini di velocità media di spostamento verticale.

USO DI DUE DATASETS – ASCENDENTE E DISCENDENTE

Problema:

La combinazione delle velocità medie ovvero degli spostamenti dai datasets **ascendente** e **discendente** è complicata dal fatto che difficilmente si hanno gli stessi punti di misura nei due datasets.



$$\delta_{LOS,A} \cong \delta_E \cdot c_{E,A} + \delta_U \cdot c_{U,A}$$

$$\delta_{LOS,D} \cong \delta_E \cdot c_{E,D} + \delta_U \cdot c_{U,D}$$

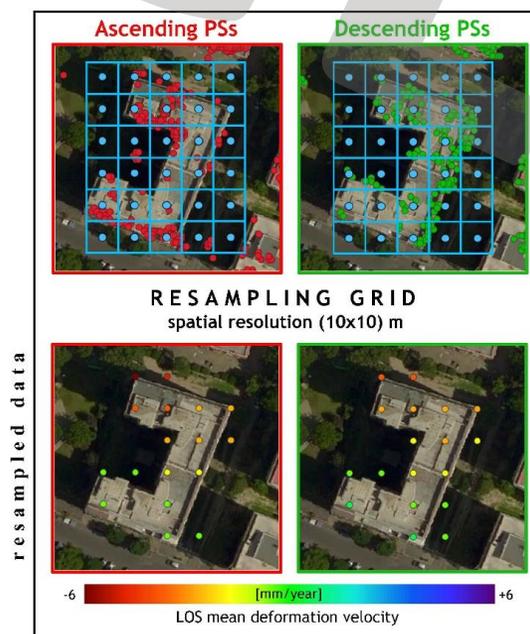
Combinazione di punti "sufficientemente" vicini. Approccio Nearest Neighbours

Rimando nello spazio vettoriale dei punti (quindi senza operazioni di rasterizzazione), i dati sono sott-campionati su una griglia regolare.

Tecniche di sottocampionamento

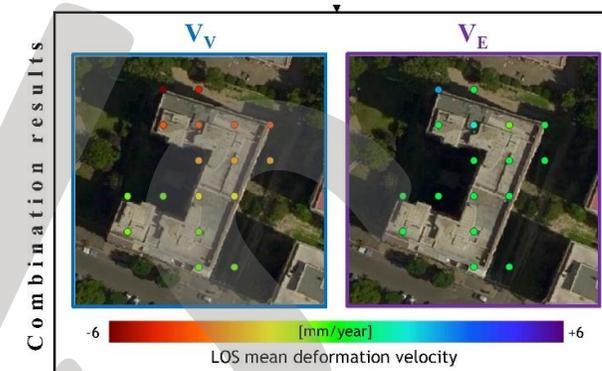
Clustering

Tecniche di interpolazione



Si sceglie una griglia regolare comune ai due dataset.

La velocità dei punti dentro ogni quadrato è mediata e assegnato al punto medio della griglia.



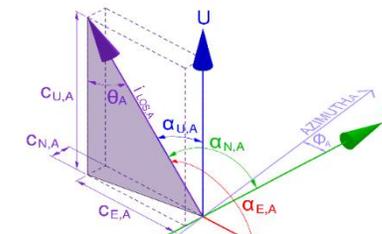
Si possono quindi combinare le velocità ASC e DES per tutti i punti della griglia

(semplice estendere al caso di storie di spostamento; si perde l'informazione sull'altezza)

USO DI DUE DATASETS – ASCENDENTE E DISCENDENTE

Problema:

La combinazione delle velocità medie ovvero degli spostamenti dai datasets **ascendente** e **discendente** è complicata dal fatto che difficilmente si hanno gli stessi punti di misura nei due datasets.



Clusterizzazione dei punti in famiglie di punti tenendo conto della posizione e del comportamento. Ciò è possibile mediante un processing automatico dei dati disponibili, eventualmente supportato da tecniche di Machine Learning.

Combinazione di punti "sufficientemente" vicini



Velocità
[cm / anno]



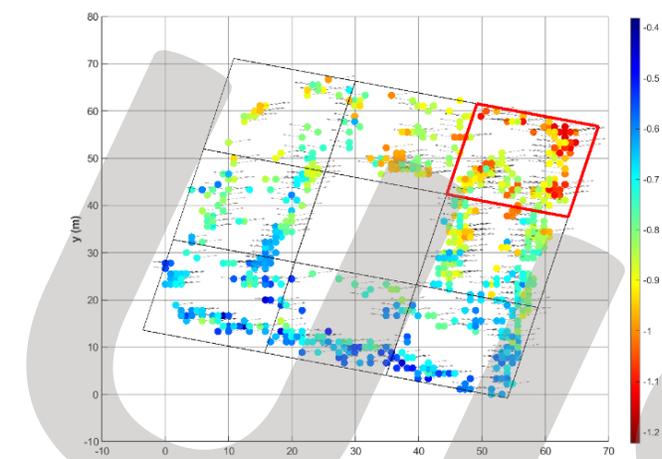
Tecniche di sottocampionamento

Clustering

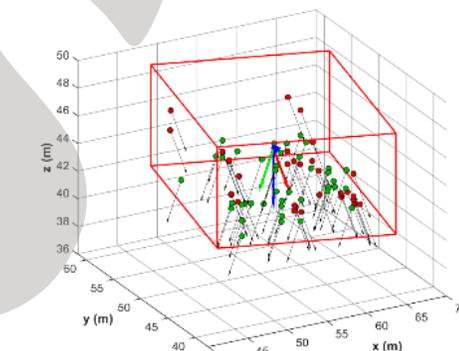
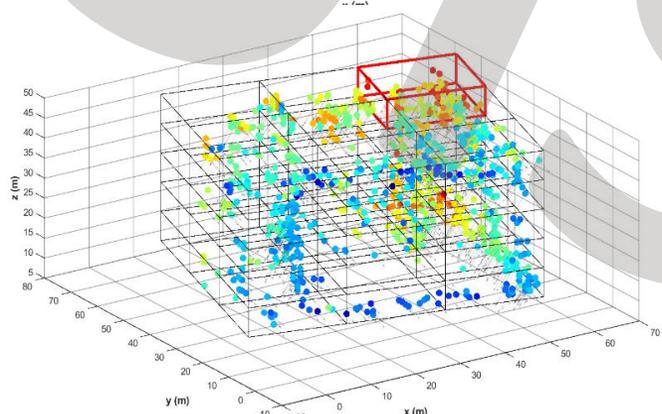
Tecniche di interpolazione



Edificio c.a. Viale Giustiniano Imperatore
(Roma) – area circa 60x60 m²
Elaborazione Università del Molise, prof.
Giovanni Fabbrocino



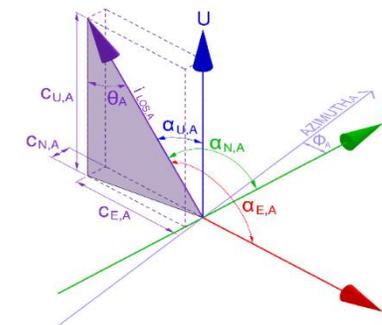
Numero di cluster	45
Dimensione dei cluster	19x19x7 (m)
PS totali	1008
PS ricampionati e utilizzati nella combinazione	93%
Serie temporali di spostamento generate (Est e Verticali)	29



USO DI DUE DATASETS – ASCENDENTE E DISCENDENTE

Problema:

La combinazione delle velocità medie ovvero degli spostamenti dai datasets **ascendente** e **discendente** è complicata dal fatto che difficilmente si hanno gli stessi punti di misura nei due datasets.



$$\delta_{LOS,A} \cong \delta_E \cdot C_{E,A} + \delta_U \cdot C_{U,A}$$

$$\delta_{LOS,D} \cong \delta_E \cdot C_{E,D} + \delta_U \cdot C_{U,D}$$

Combinazione di punti "sufficientemente" vicini. Approccio Nearest Neighbours

Si possono adottare diverse tecniche di interpolazione: deterministiche (e.g. TIN, IDW) o probabilistiche (e.g. Kriging)

Tecniche di sottocampionamento

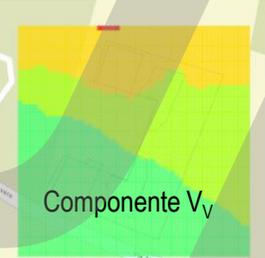
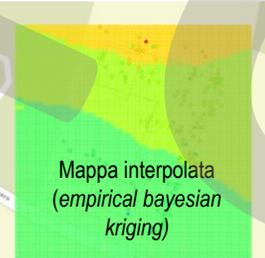
Clustering

Tecniche di interpolazione

Edificio c.a. Viale Giustiniano Imperatore (Roma) – area circa 60x60 m²
Elaborazione Università di Napoli, prof. Andrea Prota



Mappa dati in orbita ascendente



Mappa dati in orbita discendente



vel (cm/y)

- ≤ -0,5
- ≤ -0,3
- ≤ -0,1
- ≤ 0,1
- ≤ 0,3
- ≤ 0,5

Si interpolano i valori di velocità ASC e DES spazialmente con risoluzione scelta (si rasterizzano così i dati). Si combinano i valori di velocità ASC e DES su tutti i pixel della griglia.

Risulta importante la densità di punti presenti in un'area: interpolazione vs. estrapolazione

In genere si perde l'informazione in altezza. Complesso estendere al caso della storia di spostamento.

USO DI DUE DATASETS – ASCENDENTE E DISCENDENTE

Problema:

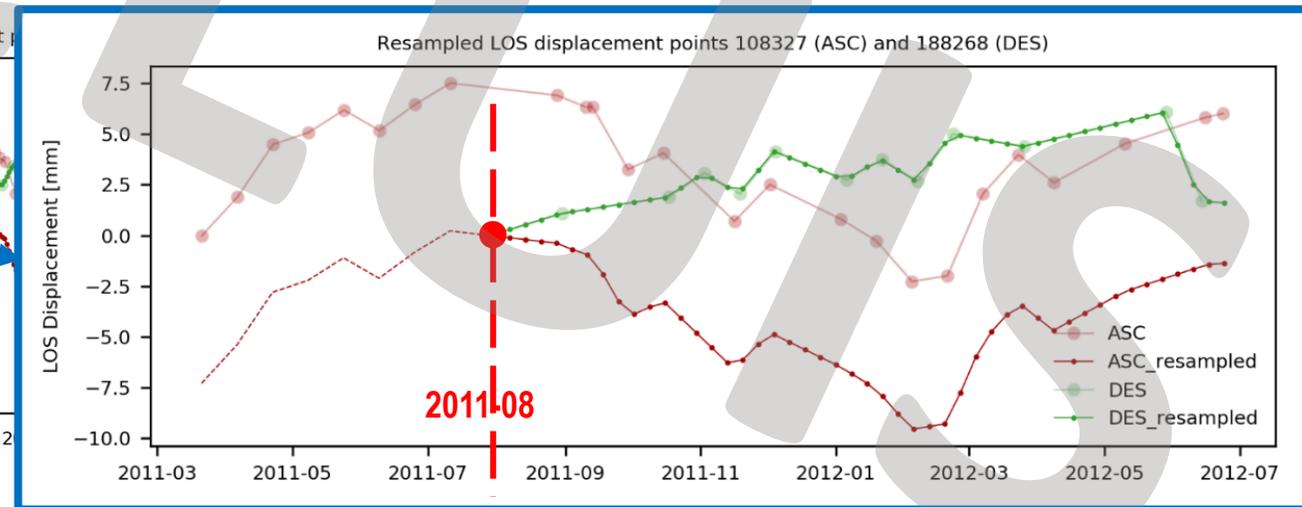
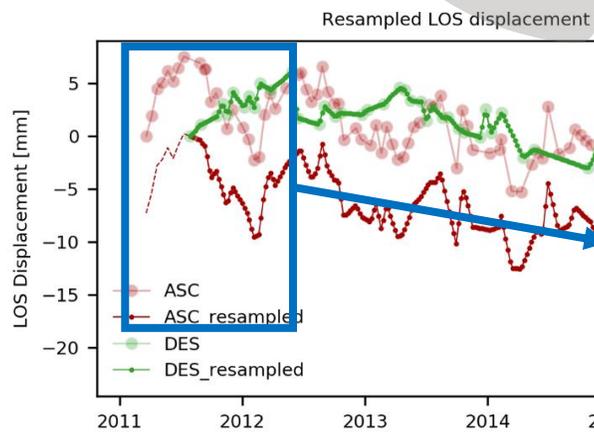
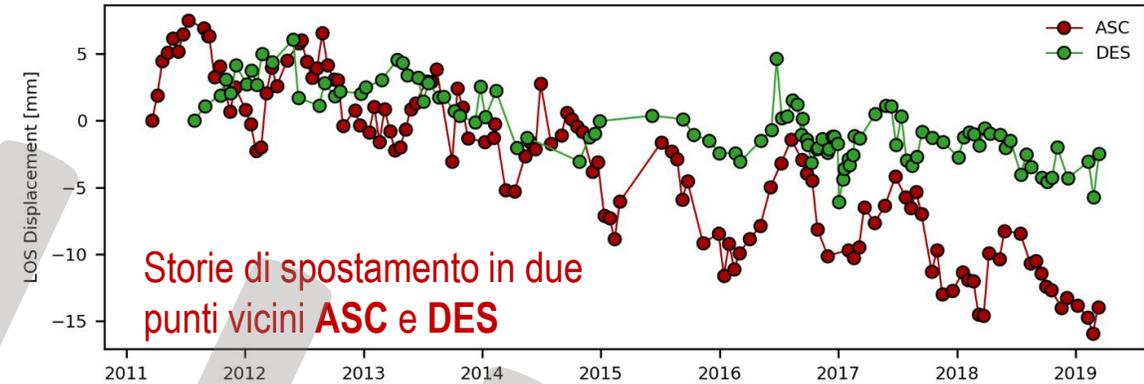
La combinazione delle **STORIE DI SPOSTAMENTO** dai datasets ascendente e discendente è complicata dal fatto che:

- I datasets **non hanno la stessa frequenza di campionamento**
- I datasets **non hanno lo stesso istante iniziale**



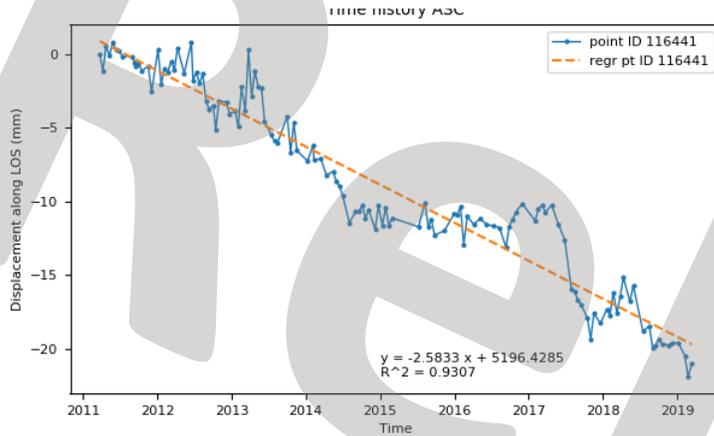
- **Ricampionamento temporale**

LOS displacement points 108327 (ASC) and 188268 (DES)

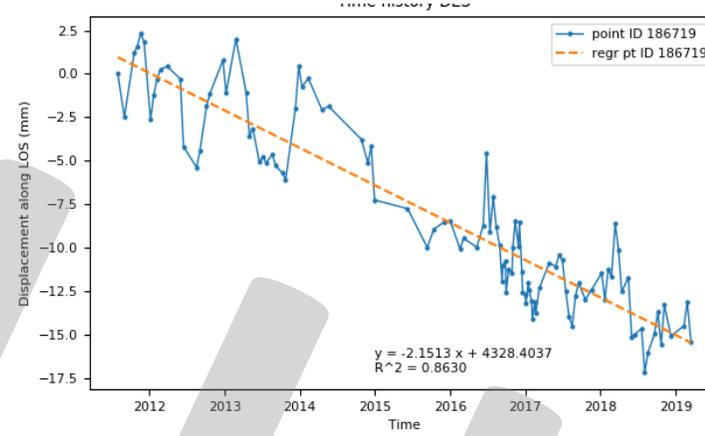


USO DI DUE DATASETS – ASCENDENTE E DISCENDENTE

Storia di spostamento lungo la LOS ASC

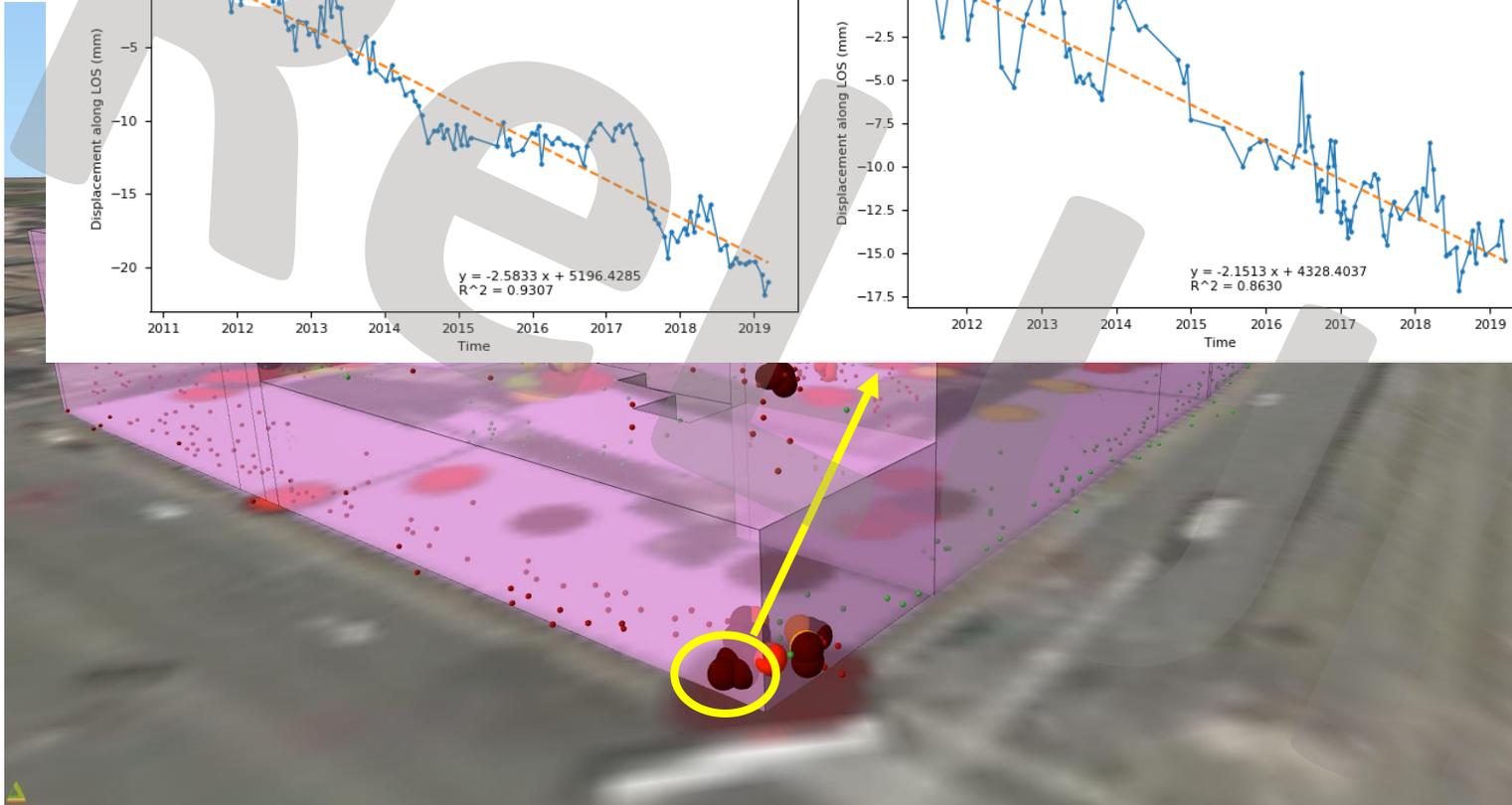


Storia di spostamento lungo la LOS DES



Vel Vert
[mm/yr]

- <-2,5
- -2,5 - -1,8
- -1,8 - -1,1
- -1,1 - -0,5
- -0,5 - 0,5
- 0,5 - 1,1
- 1,1 - 1,8
- 1,8 - 2,5
- >2,5

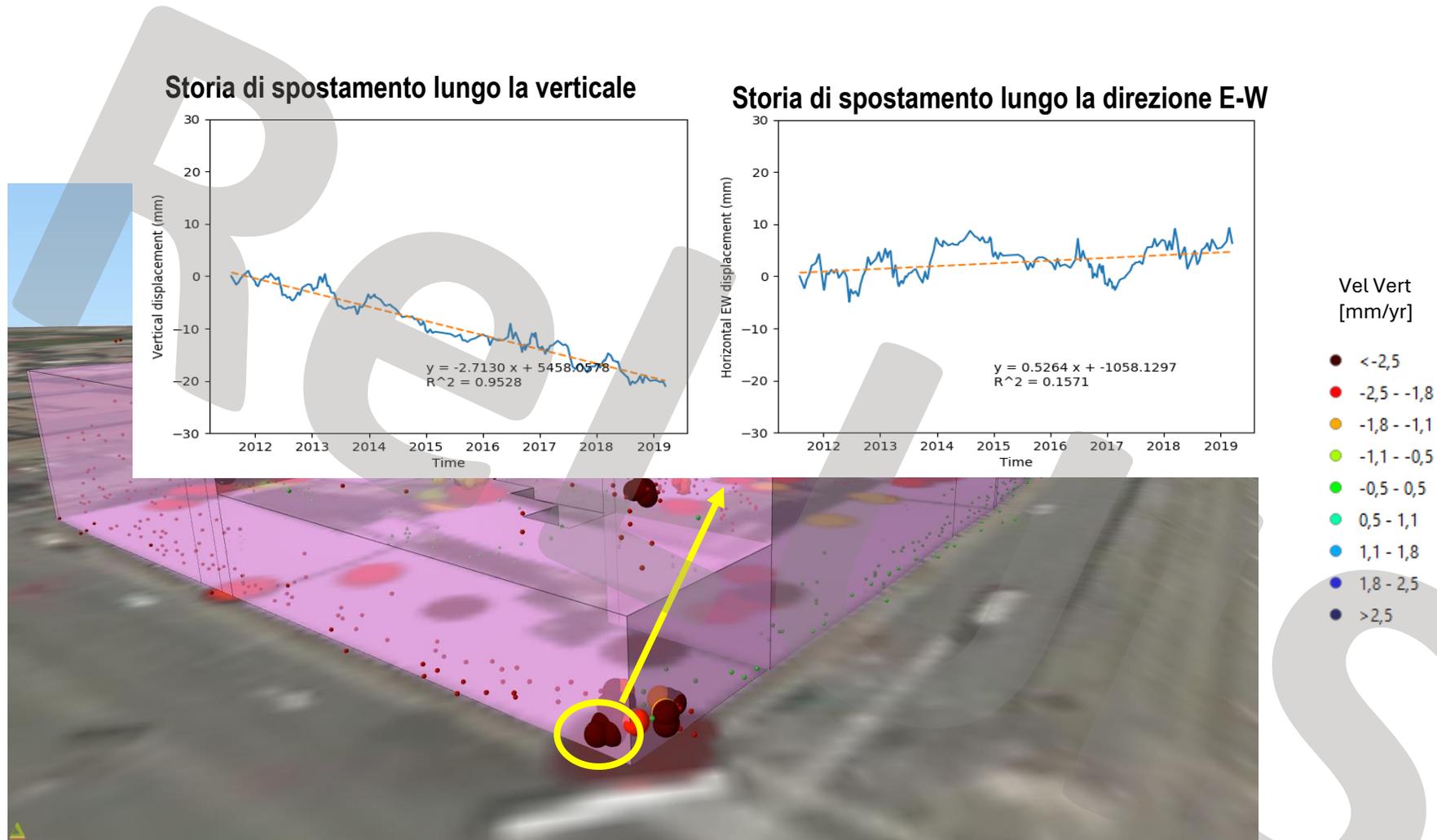


Scelti due punti
sufficientemente vicini
(uno del dataset ASC e
uno del dataset DES)



Plot delle storie di spostamento lungo la LOS ASC e LOS DES

USO DI DUE DATASETS – ASCENDENTE E DISCENDENTE



Scelti due punti sufficientemente vicini
(uno del dataset ASC e uno del dataset DES)



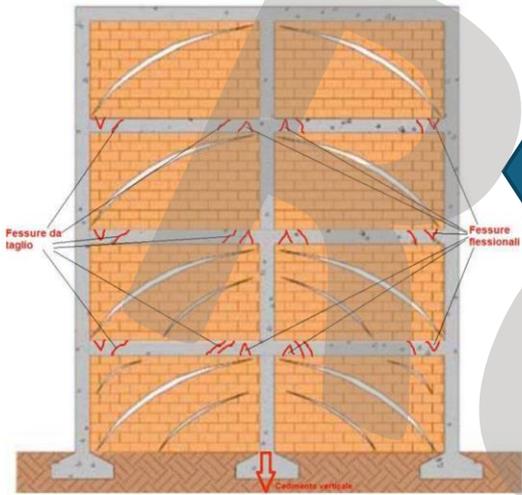
Ricampionamento temporale e poi combinazione per ottenere:
Plot delle storie di spostamento lungo la verticale e E-W

RELUIS

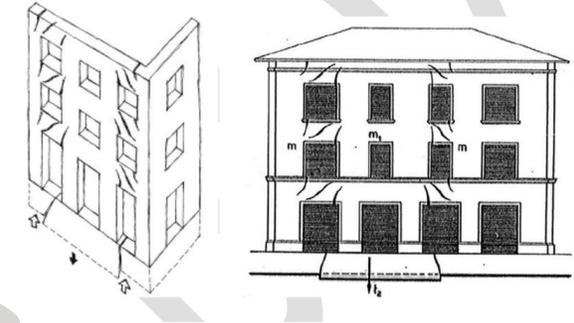
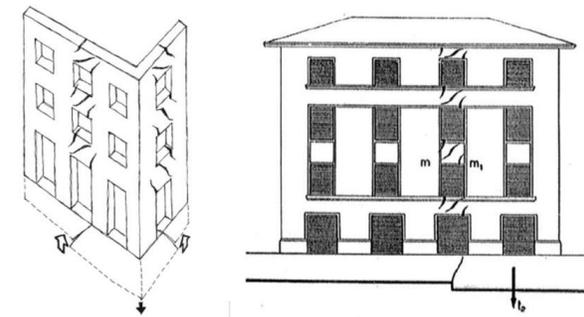
VALUTAZIONE PRELIMINARE DEL DANNO STRUTTURALE

SPOSTAMENTI CHE CAUSANO DANNO STRUTTURALE

Cedimenti differenziali possono causare distorsioni e quindi danni agli edifici (specialmente ad edifici rigidi come quelli in muratura)



REINFORCED CONCRETE BUILDING



MASONRY BUILDING

Primi studi

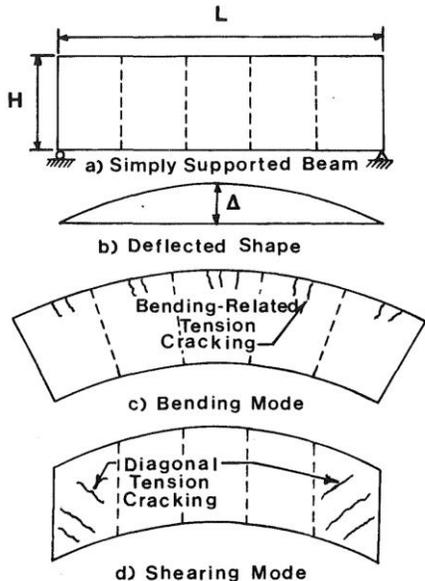


FIG. 1. Deep Beam Model

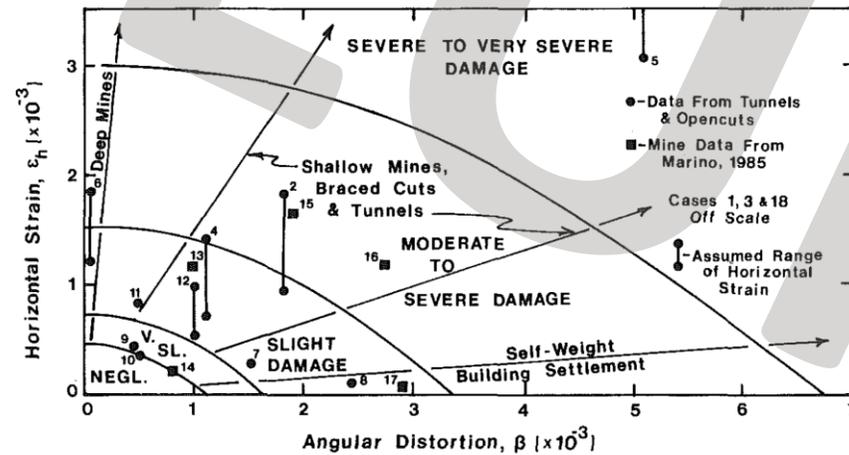
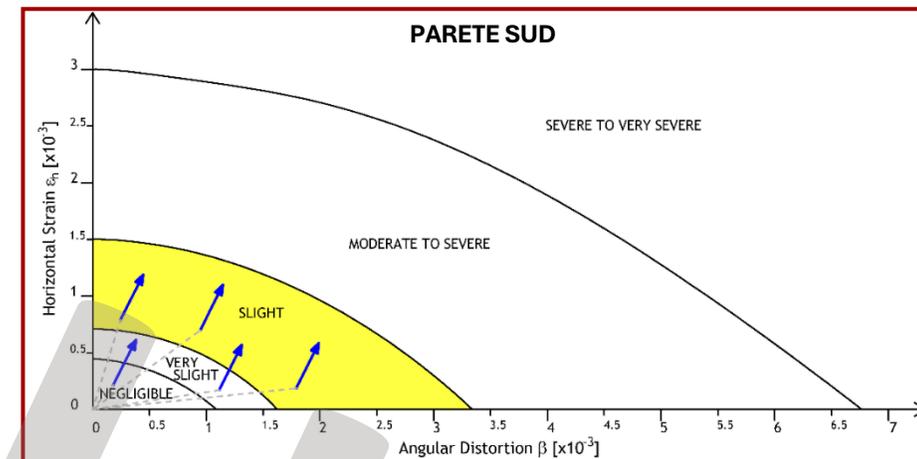
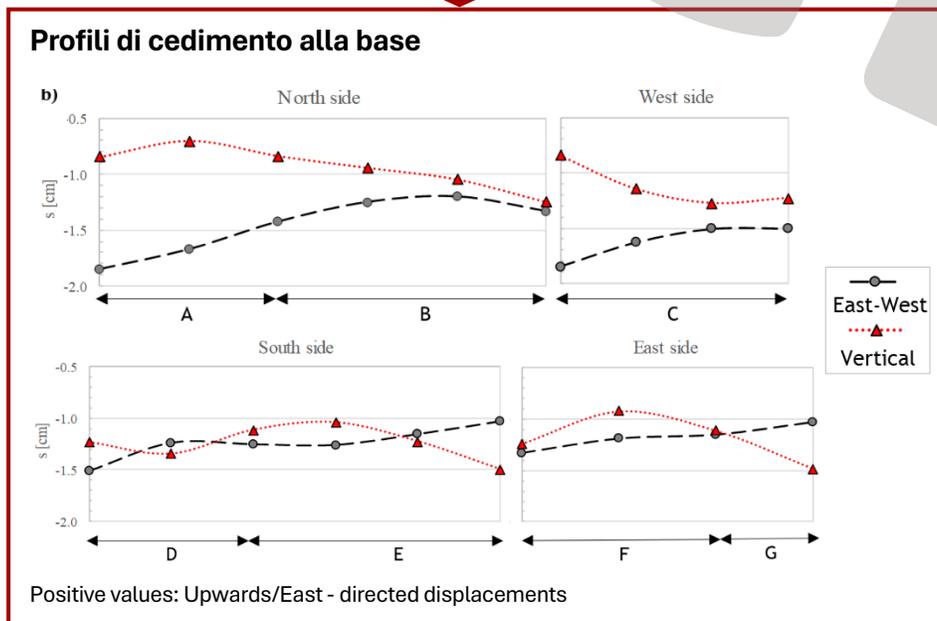
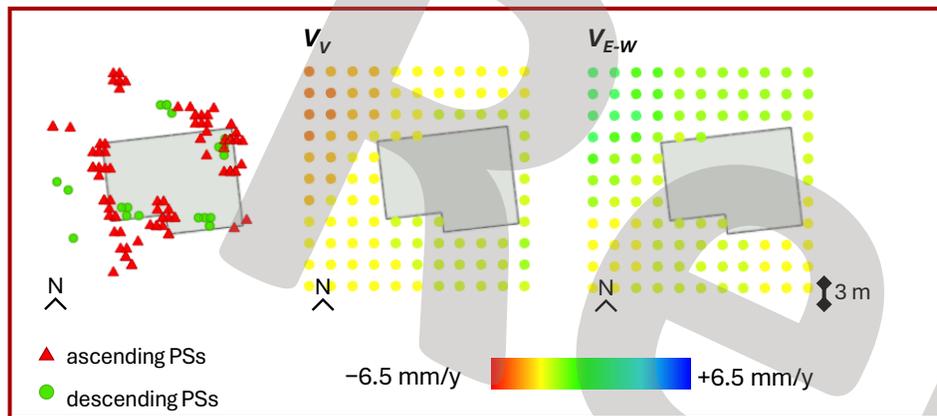


FIG. 4. Relationship of Damage to Angular Distortion and Horizontal Extension Strain

ESEMPIO DI VALUTAZIONE PRELIMINARE DEL DANNO STRUTTURALE

Manufatto di scarico n.7 (fine '800)



Boscardin, M. D., and Cording, E. G.: Building Response to Excavation Induced Settlement. J. Geotech. Eng.-ASCE, 115, 21, (1989).

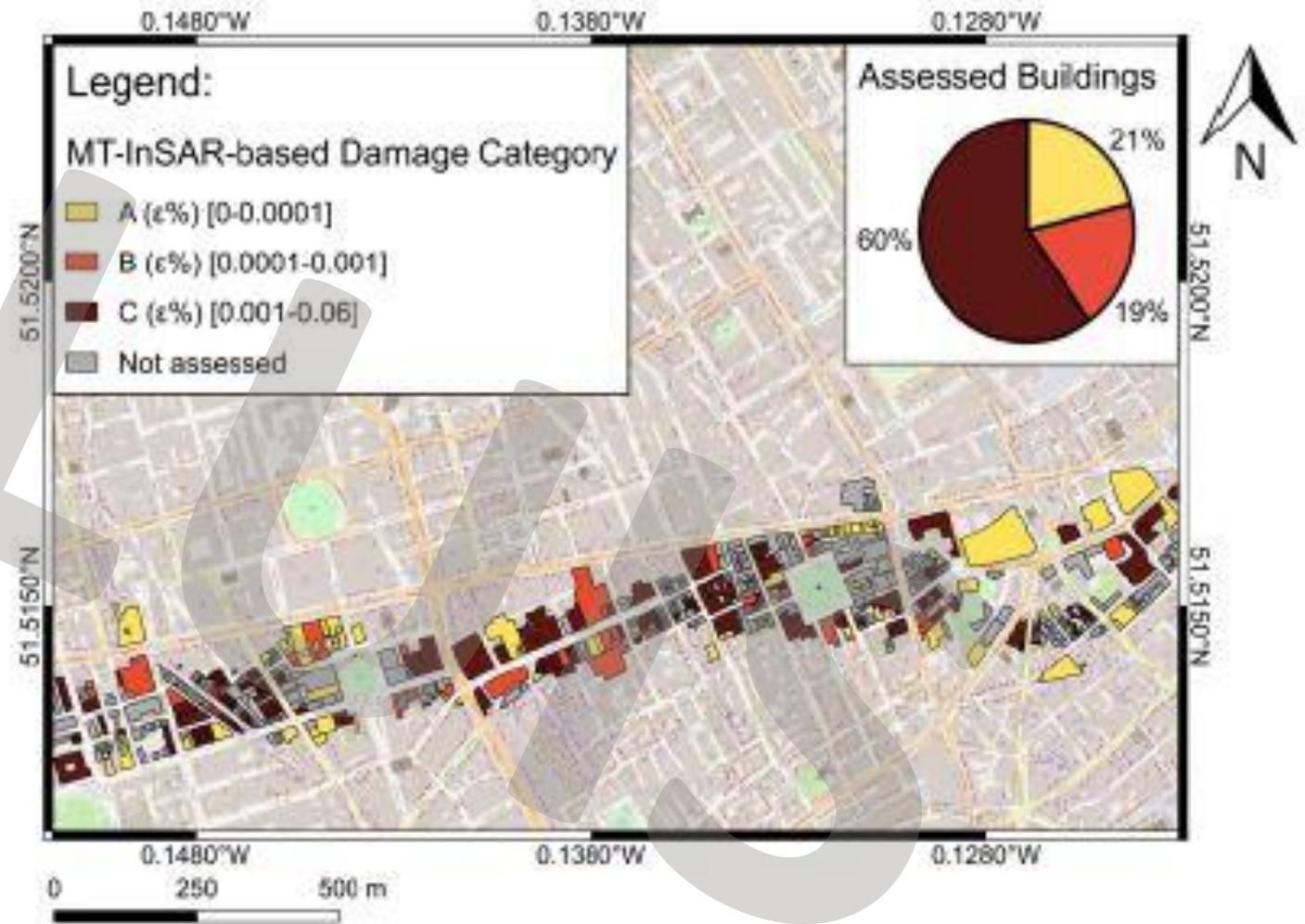
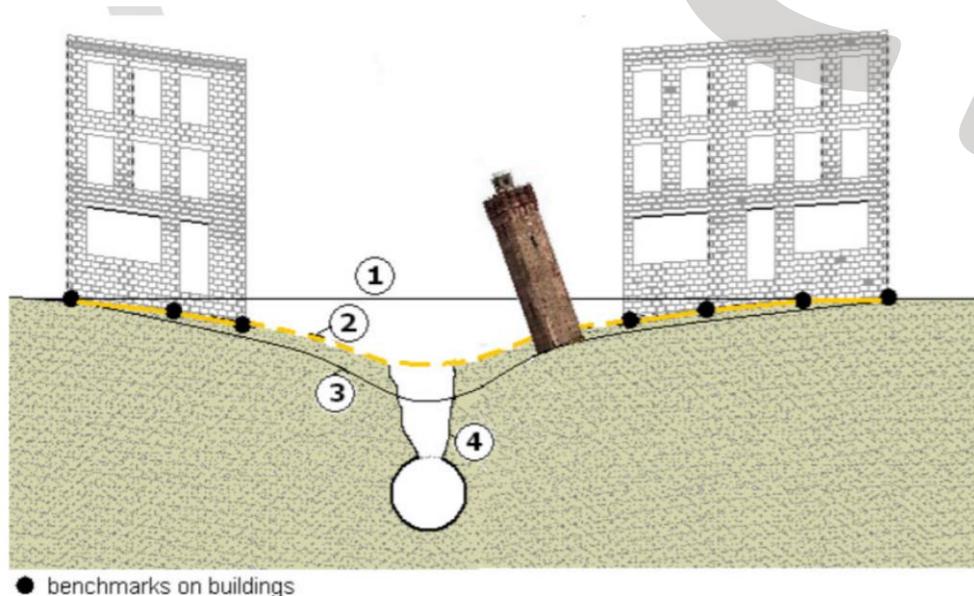


Parete Sud
(parallela alla
direzione E-W):
SLIGHT DAMAGE
(Dicembre 2020)

ESEMPIO DI VALUTAZIONE PRELIMINARE DEL DANNO STRUTTURALE

UNDERGROUND RAILWAY LINE IN LONDON

Estimate of potential damages due to excavation activities, based on differential settlements from SAR data
(Macchiarulo et al. 2019)



RELUIS

CASO STUDIO - Complesso Monumentale del San Michele (Roma)

Università IUAV di Venezia - Responsabile scientifico: prof.ssa Anna Saetta

Università degli Studi di Napoli "Federico II" - Responsabile scientifico: prof. Andrea Prota

Università degli Studi di Roma Tor Vergata - Responsabile scientifico: prof. Alberto Meda



Situato lungo il fiume Tevere in corrispondenza del porto di Ripa Grande costruito tra la fine del XVII e l'inizio del XVIII secolo, oggi di proprietà demaniale

- ✓ Introduzione al caso studio
- ✓ Prime possibili considerazioni dall'esame dei dataset ASC e DES
- ✓ Confronto tra diverse tecniche di combinazione per determinare le velocità in direzione verticale e in direzione E-W
 - *Tecniche di interpolazione*
 - *Combinazione di punti sufficientemente vicini*
 - *Grid subsampling*



Interpretazione del comportamento strutturale a partire dai dati satellitari: prime ipotesi

CASO STUDIO - Complesso Monumentale del San Michele (Roma)

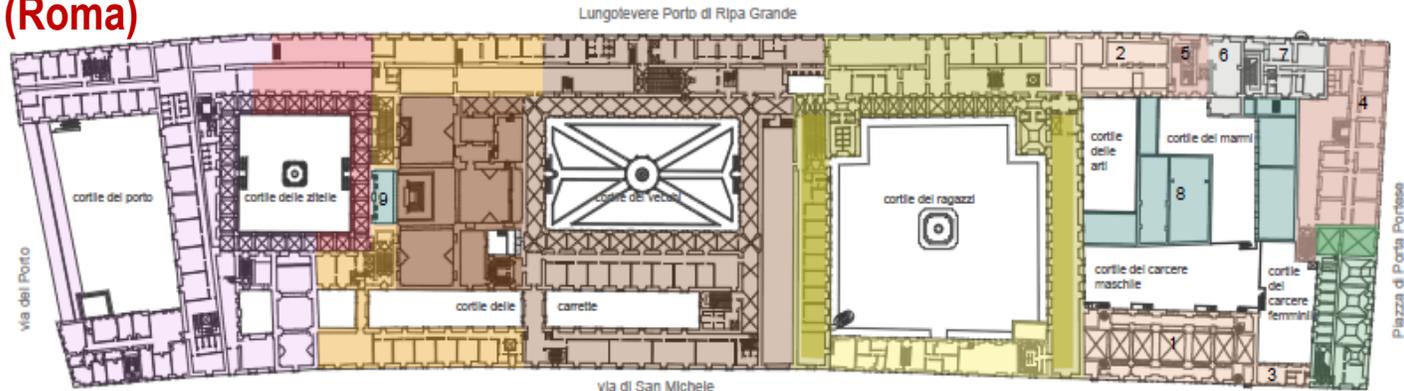
CASO STUDIO - Complesso San Michele (Roma)

Importanza dell'analisi storica e delle trasformazioni per la comprensione del comportamento strutturale



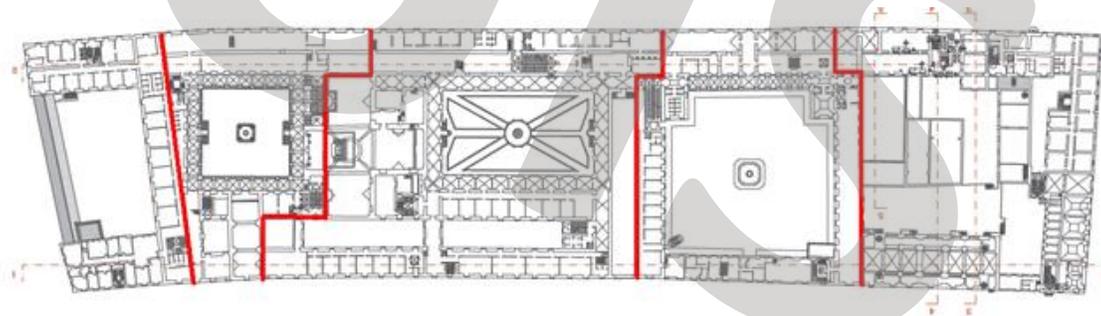
complesso realizzato in più fasi e che successivamente ha subito numerose trasformazioni e, a partire dal 1973, consistenti interventi di restauro

Il fabbricato può essere suddiviso in 5 macro-unità, sostanzialmente coincidenti con i cortili interni



FASI COSTRUTTIVE DEL COMPLESSO DI SAN MICHELE A RIPA GRANDE

1886-1889	fabbrica odescalchi	M. De Rossi, C. Fontana	1710-1715	chiesa grande del S. Michele	Carlo Fontana
1883-1701	sopraelevazione delle ali della fabbrica odescalchi	M. De Rossi, C. Fontana	1714-1717	ricovero delle vecchie	Nicola Michetti
1883-1701	lanificio	M. De Rossi, C. Fontana	1719-1729	parte del portico e del conservatorio delle zitelle	Nicola Michetti
1701-1705	1. carcere di correzione 2. granai 3. tintoria	Carlo Fontana	1734-1735	carcere femminile	Ferdinando Fuga
1708-1709	4. caserma dei doganieri 5. scala accanto ai granai	Carlo Fontana	dal 1760	ampliamento carcere femminile	Ferdinando Fuga
1708-1713	ricovero dei vecchi	Carlo Fontana	dal 1790	proseguimento lavori conservatorio ragazze	Nicolò Forti
1710-1714	6. chiesa della madonna del buona viaggio 7. magazzini	C. Fontana, G. Ricalcati	1831-1834	8. fabbricati cortile delle arti 9. abside chiesa grande	Luigi Poletti



Tutte queste informazioni devono essere tenute in conto per la valutazione del comportamento dell'edificio in seguito a possibili spostamenti evidenziati dall'elaborazione dei dati satellitari

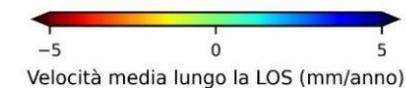
Alcuni controlli e correzioni dei dataset preliminari

Può accadere che i due dataset, ascendente e discendente (ad esempio a causa della posizione scelta per i due punti di riferimento), presentino uno sfasamento in termini di traslazione rigida verticale..



Per sovrapporre i punti dei dataset a strumenti di supporto (quali i DEM, i modelli 3d, etc.), è necessario considerare tale aspetto ed eventualmente correggere la quota dei punti mediante una traslazione rigida.

Mappa delle velocità medie annue lungo la LOS dei PS ASC e DES in un'area di circa 6 km² attorno al San Michele



ASC



DES

N

Alcuni controlli e correzioni dei dataset preliminari

Può accadere che i due dataset, ascendente e discendente (ad esempio a causa della posizione scelta per i due punti di riferimento), presentino uno sfasamento in termini di traslazione rigida verticale..



Per sovrapporre i punti dei dataset a strumenti di supporto (quali i DEM, i modelli 3d, etc.), è necessario considerare tale aspetto ed eventualmente correggere la quota dei punti mediante una traslazione rigida.

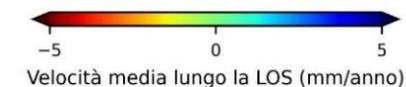
Nel caso in esame una prima operazione da compiere per rendere compatibili i due dataset consiste quindi nella traslazione rigida del dataset ASC di 5 m verso il basso



Si sono estratte le altezze topografiche (TOPO) dei punti di misura nei due dataset e si è calcolato un istogramma di frequenze normalizzate.

Si osserva come le altezze nei due dataset presentino un evidente shift pari a circa 5 m: il dataset ASC (in nero) è traslato in alto di circa 5 m rispetto al dataset in rosso (DES)

Mappa delle velocità medie annue lungo la LOS dei PS ASC e DES in un'area di circa 6 km² attorno al San Michele

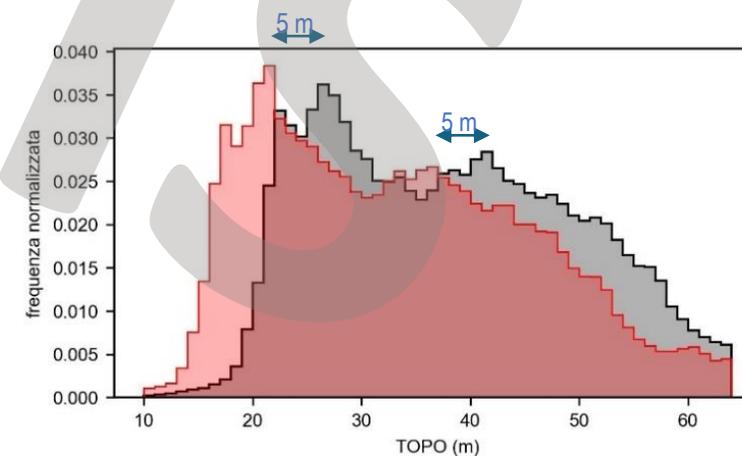


ASC



DES

N

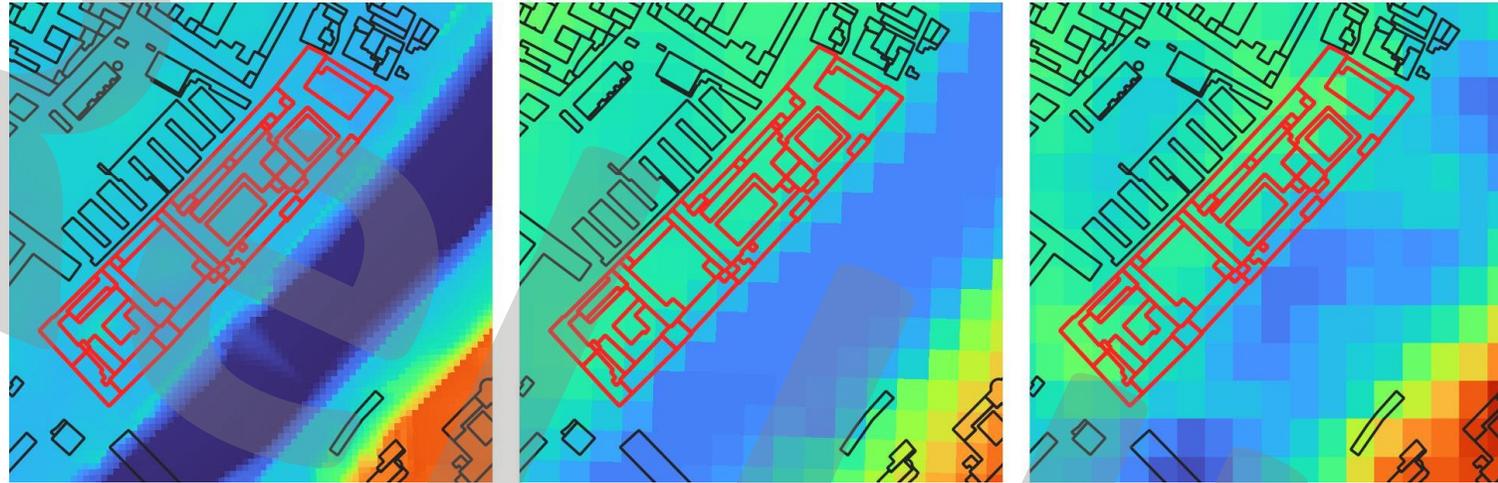


CASO STUDIO - Complesso Monumentale del San Michele (Roma)

Strumenti a supporto della rappresentazione, elaborazione ed interpretazione dei dati interferometrici

E' importante conoscere bene l'accuratezza dello strumento di supporto che utilizziamo.

Confronto tra diversi DTM
nella zona del caso studio
(individuato in rosso)



Vista 3D



CTRN 2002-2003
risoluzione circa 5 metri – da CTR

EU-DEM v.1.1 Copernicus
risoluzione circa 20 metri

SRTM 1 arcsec risoluzione di 1 secondo d'arco (circa 30 m
all'equatore, 20-25 m alle nostre latitudini)

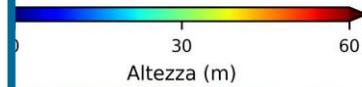
Strumenti a supporto della rappresentazione, elaborazione ed interpretazione dei dati interferometrici

E' importante conoscere

Confronto tra div
nella zona del ca
(individuato

Questi aspetti sono tutti essenziali e propedeutici per una corretta interpretazione del dato interferometrico (si pensi ad esempio alla necessità di poter individuare i punti di misura appartenenti al suolo, piuttosto che in copertura o in facciata dell'edificio, con una approssimazione nota).

Solo in questo modo la successiva fase di interpretazione del comportamento strutturale alla scala dell'edificio può essere effettuata con un grado di affidabilità adeguato



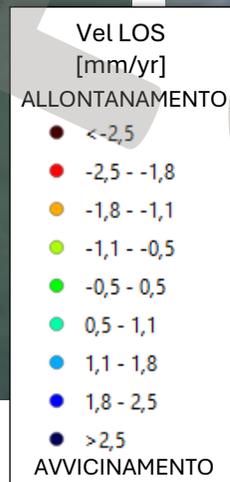
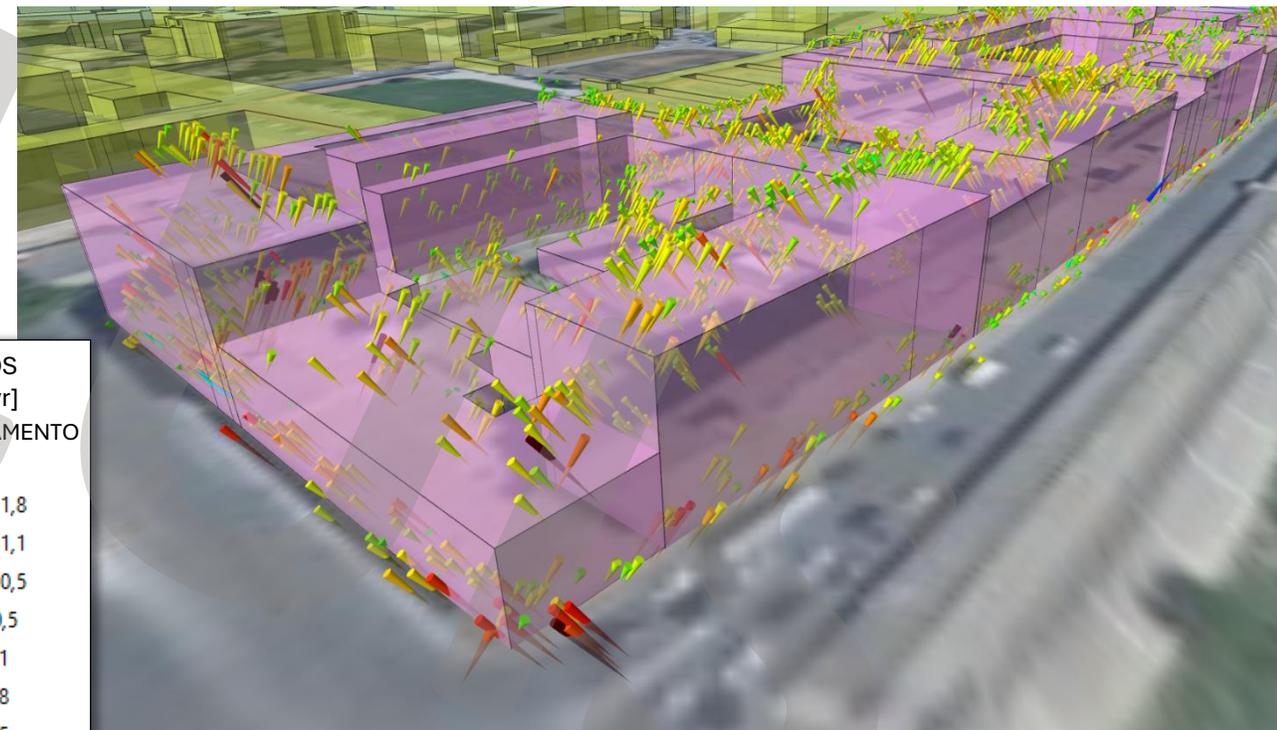
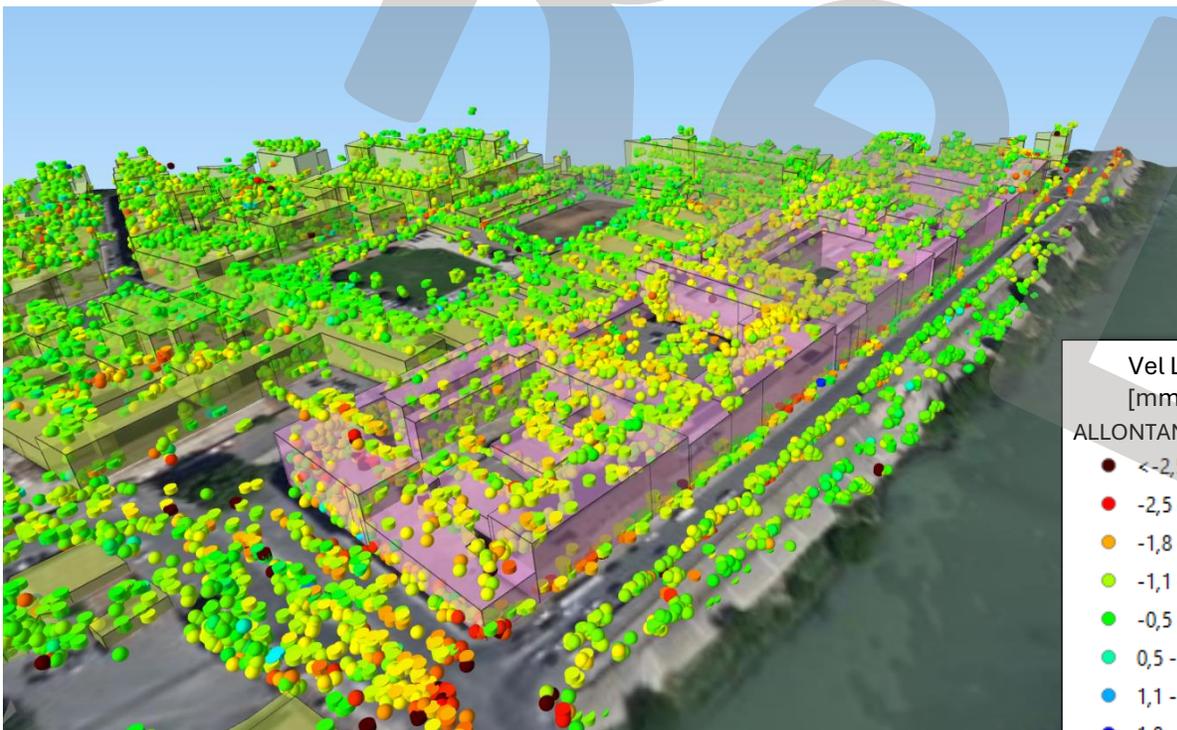
o (circa 30 m
tre latitudini)

Strumenti a supporto della rappresentazione, elaborazione ed interpretazione dei dati interferometrici

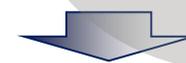
RAPPRESENTAZIONI DELLA VELOCITÀ MEDIA LUNGO LA LOS – ASC E DES

Velocità lungo le LOS per le due orbite ASC e DES

Vettori di velocità dei punti di misura delle due orbite ASC e DES

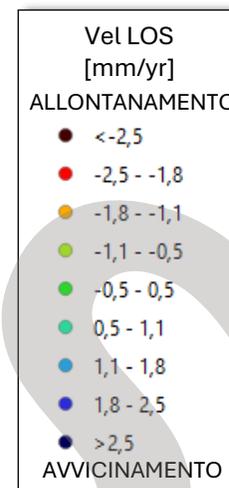
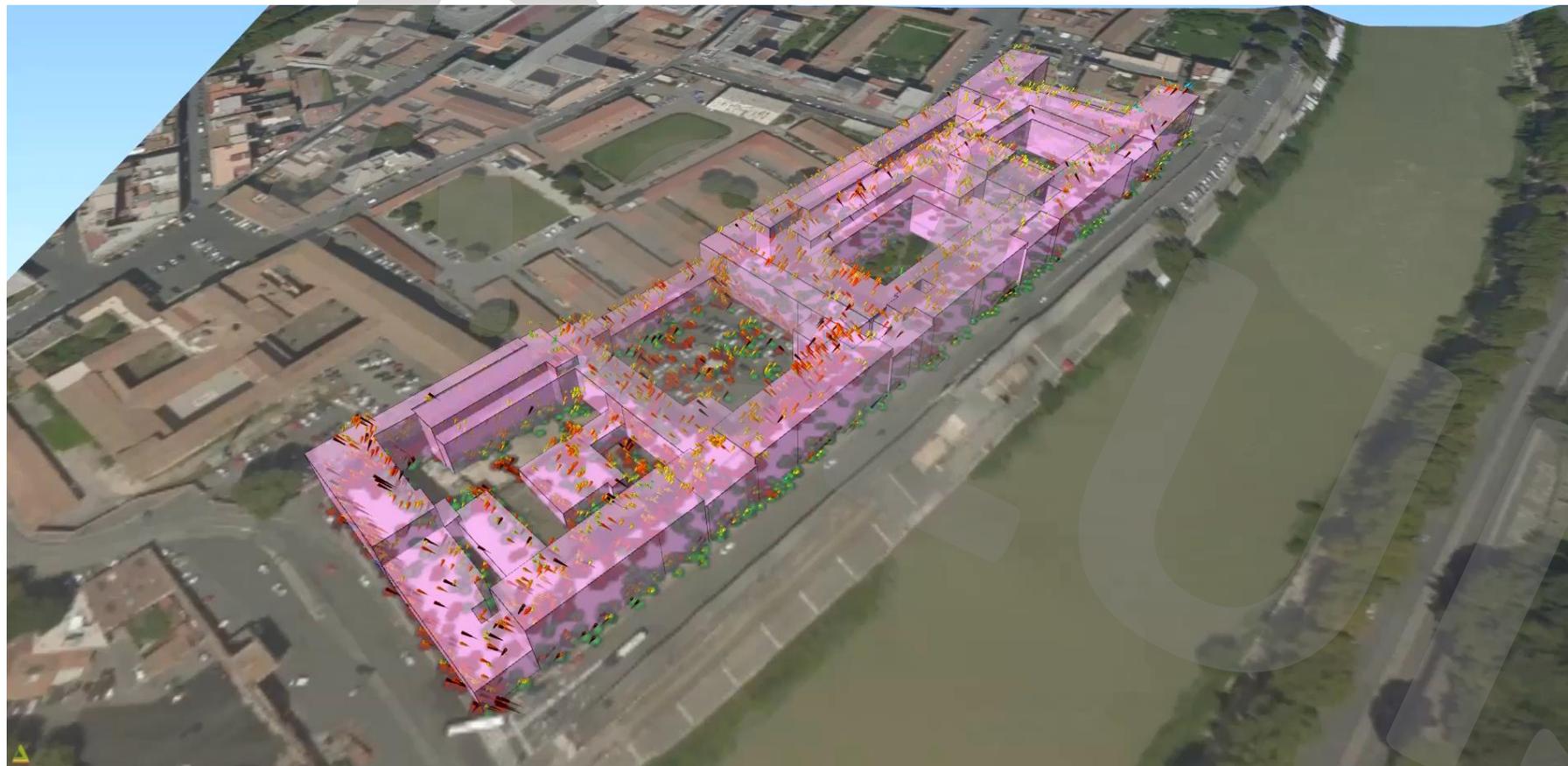


Cilindri: ASC – Sfere: DES



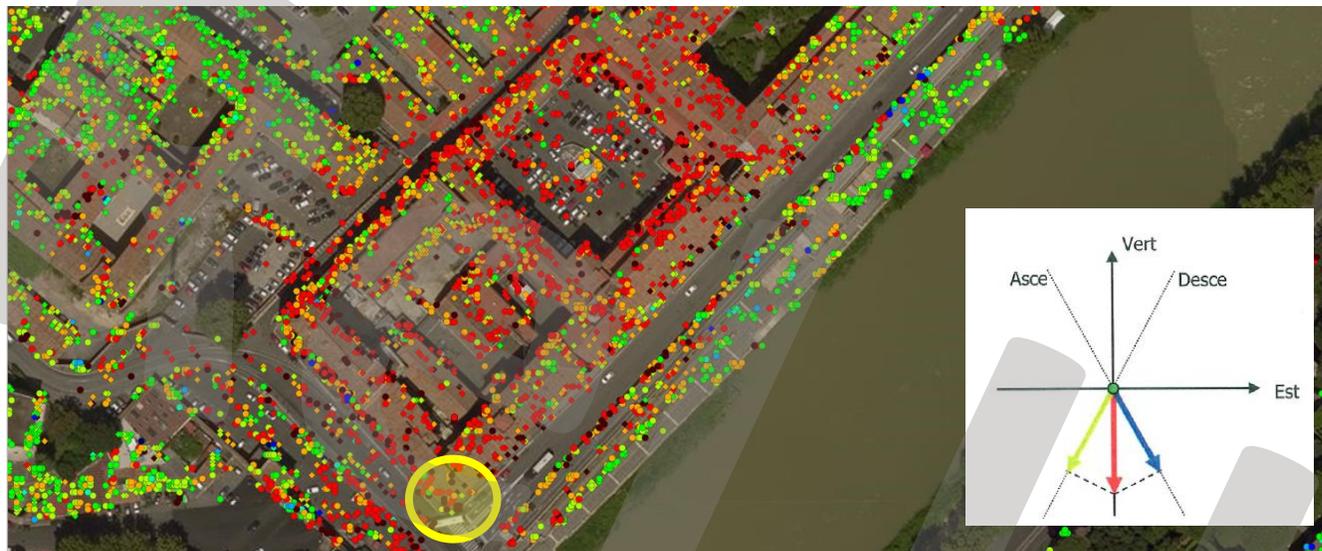
Consente di cogliere meglio l'effettiva direzionalità delle velocità e la loro intensità

Consente di cogliere meglio l'effettiva direzionalità delle velocità e la loro intensità

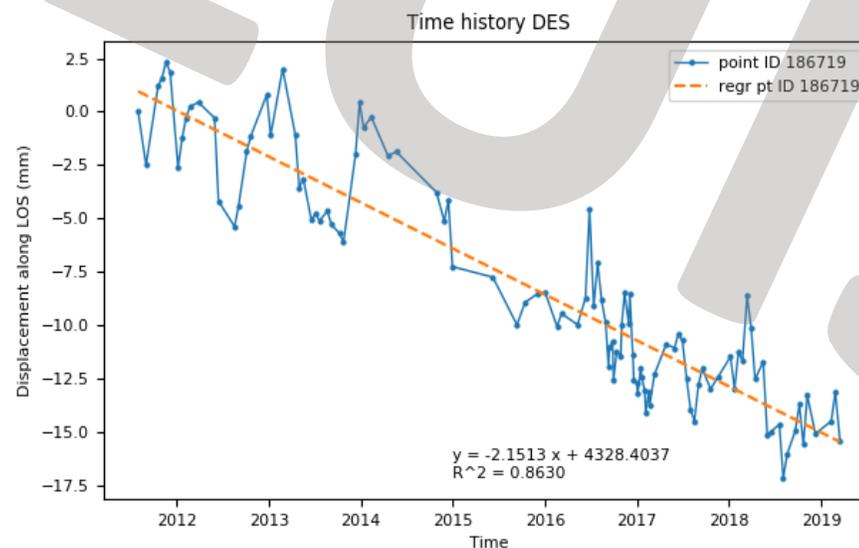
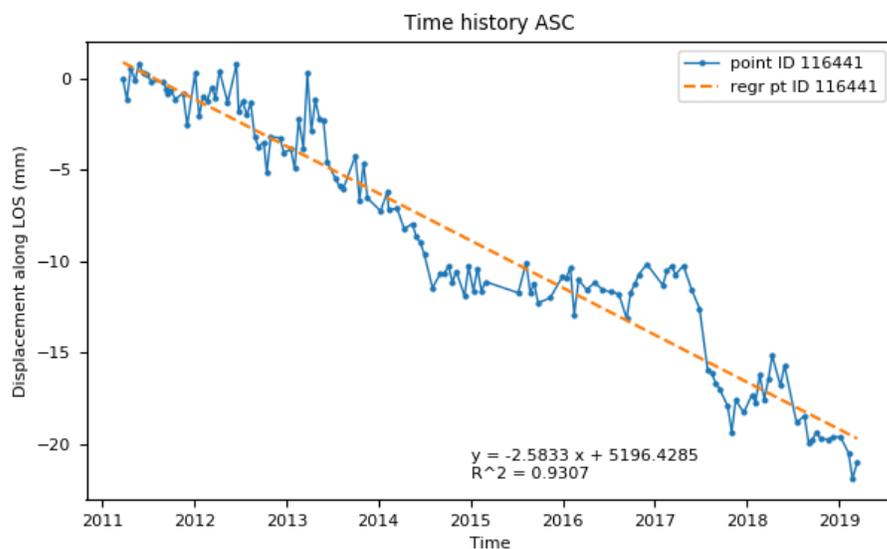


Vettori di velocità dei punti di misura delle due orbite ASC e DES

Serie temporali di spostamento lungo la LOS: RAPPRESENTAZIONE E PRIME INTERPRETAZIONI

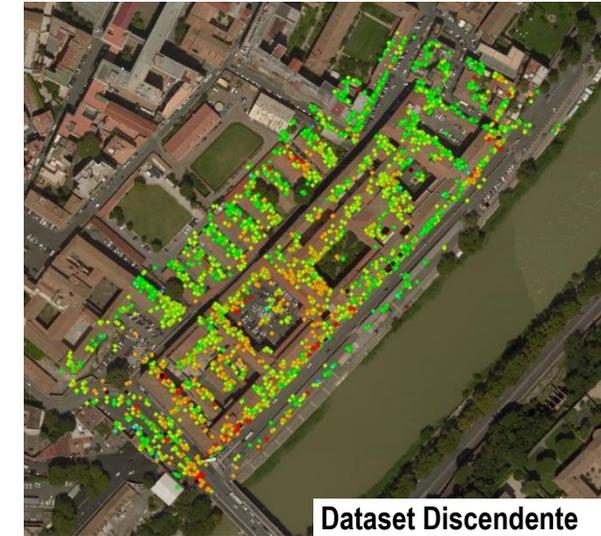
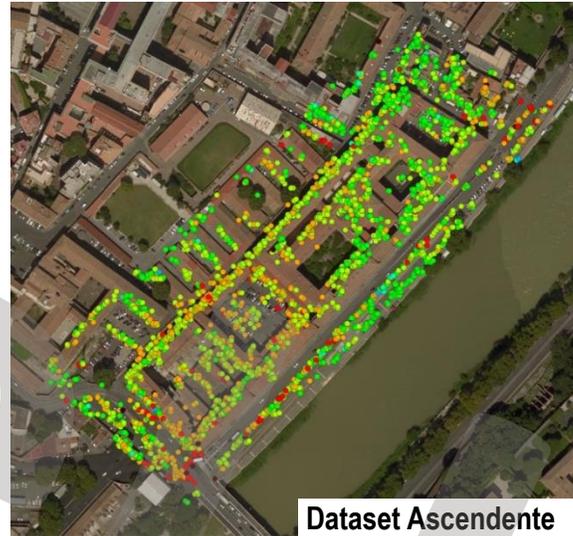
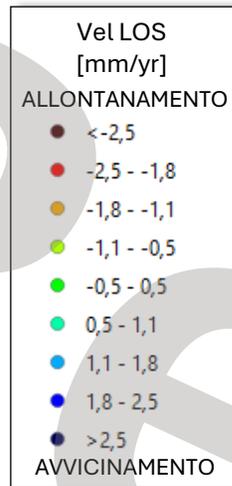


Dai due dataset si ricava una velocità media annua molto simile (-2.2 mm/anno e -2.6 mm/anno rispettivamente per DES e ASC), Questo è indice che il movimento reale ha direzione prevalentemente verticale e rivolta verso il basso.



Plot delle storie di spostamento lungo la LOS di due punti molto vicini nella zona cerchiata di giallo (uno del dataset ASC e uno del dataset DES)

Ricampionamento spaziale



Tecniche di Interpolazione



Si adotta una tecnica di interpolazione spaziale probabilistica - Empirical Bayesian Kriging - disponibile nel software ArcGIS Pro, che restituisce per ciascun pixel (di dimensione scelta dall'utente) le mappe della velocità media ASC e DES)

Tecniche di sottocampionamento



Restando nello spazio vettoriale, si sottocampionano i punti su una griglia regolare

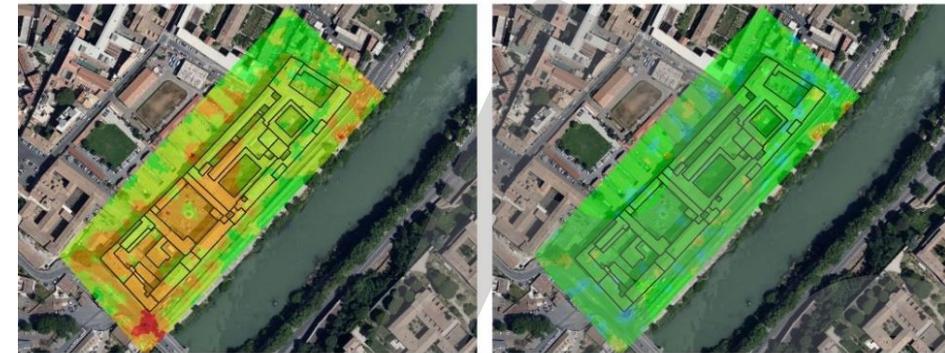
Tecniche Nearest Neighbors



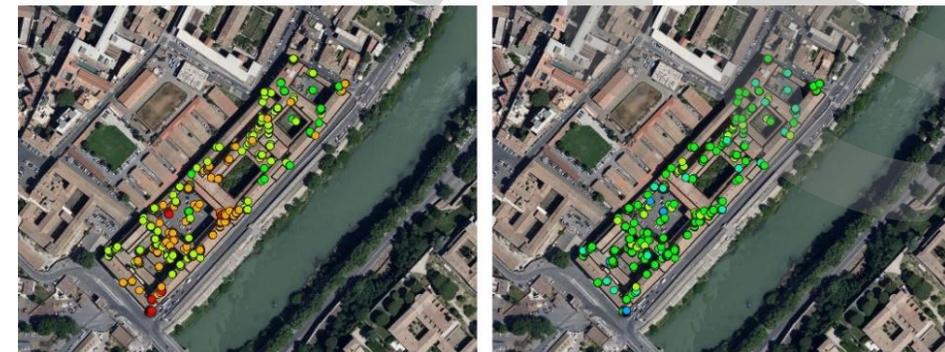
Restando nello spazio vettoriale, si selezionano solo i punti sufficientemente vicini (entro un valore soglia)

CASO STUDIO - Complesso Monumentale del San Michele (Roma)

Interpolation (Empirical Bayesian Kriging)



Nearest neighbors

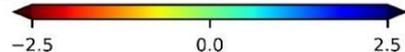
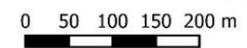


Grid subsampling (20 m)



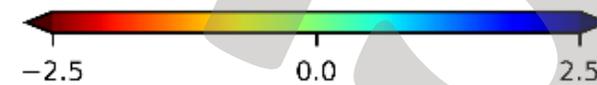
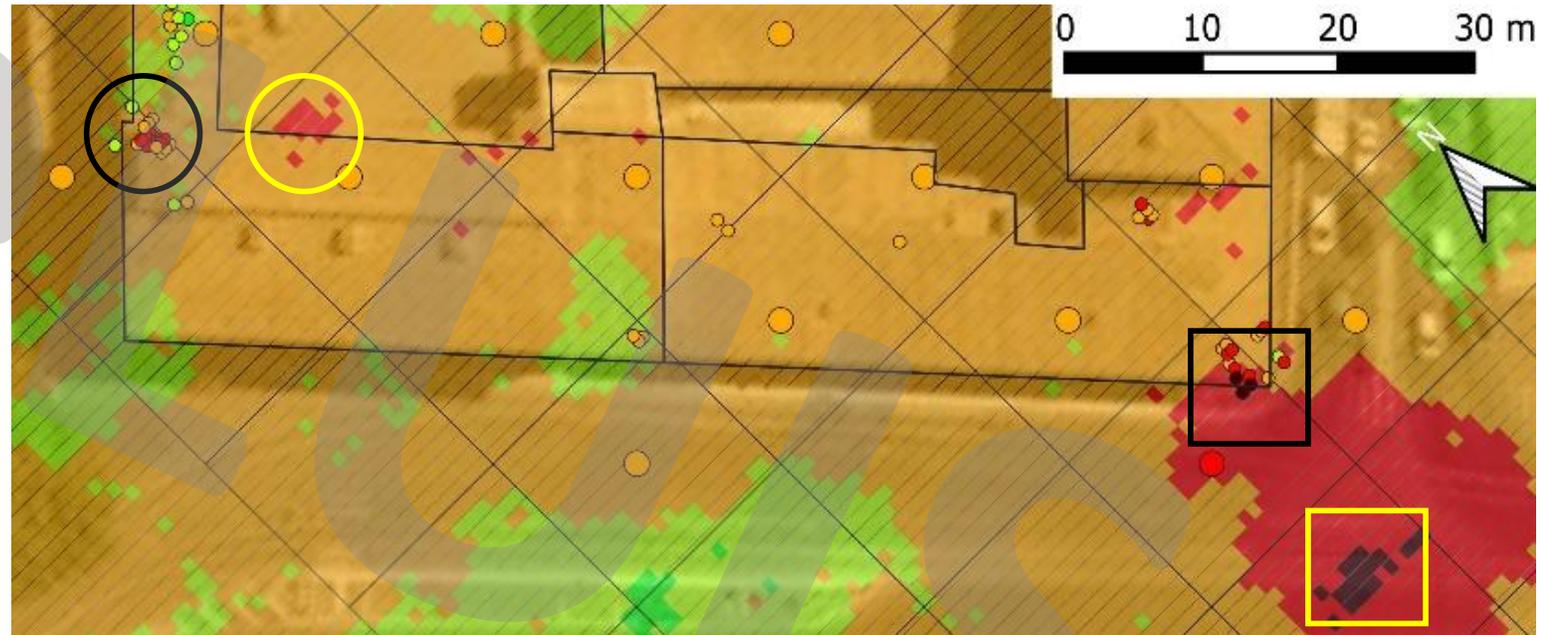
Vertical

Horizontal E-W



Mean velocity (mm/yr)

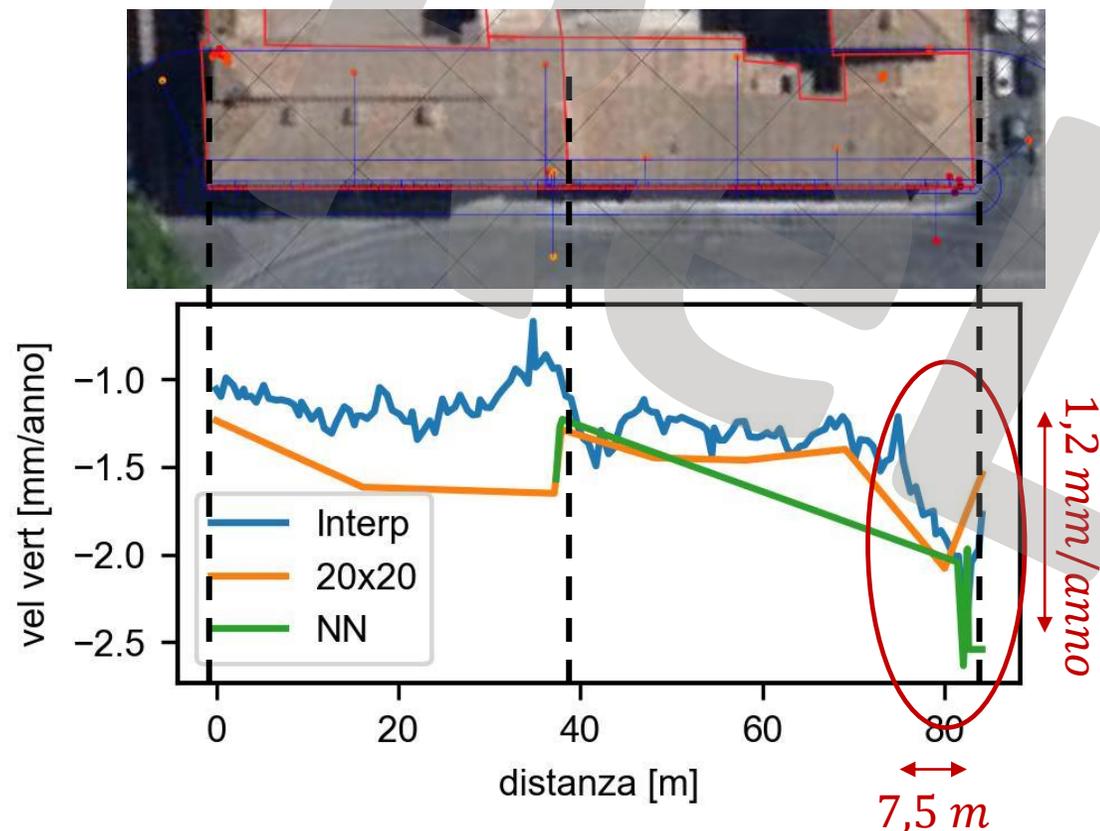
dettaglio dell'angolo SUD – Ovest del complesso



Mean velocity (mm/yr)

Profilo di velocità lungo la parete sud ovest del complesso

Velocità verticale



rateo di deformazione
angolare medio annuo

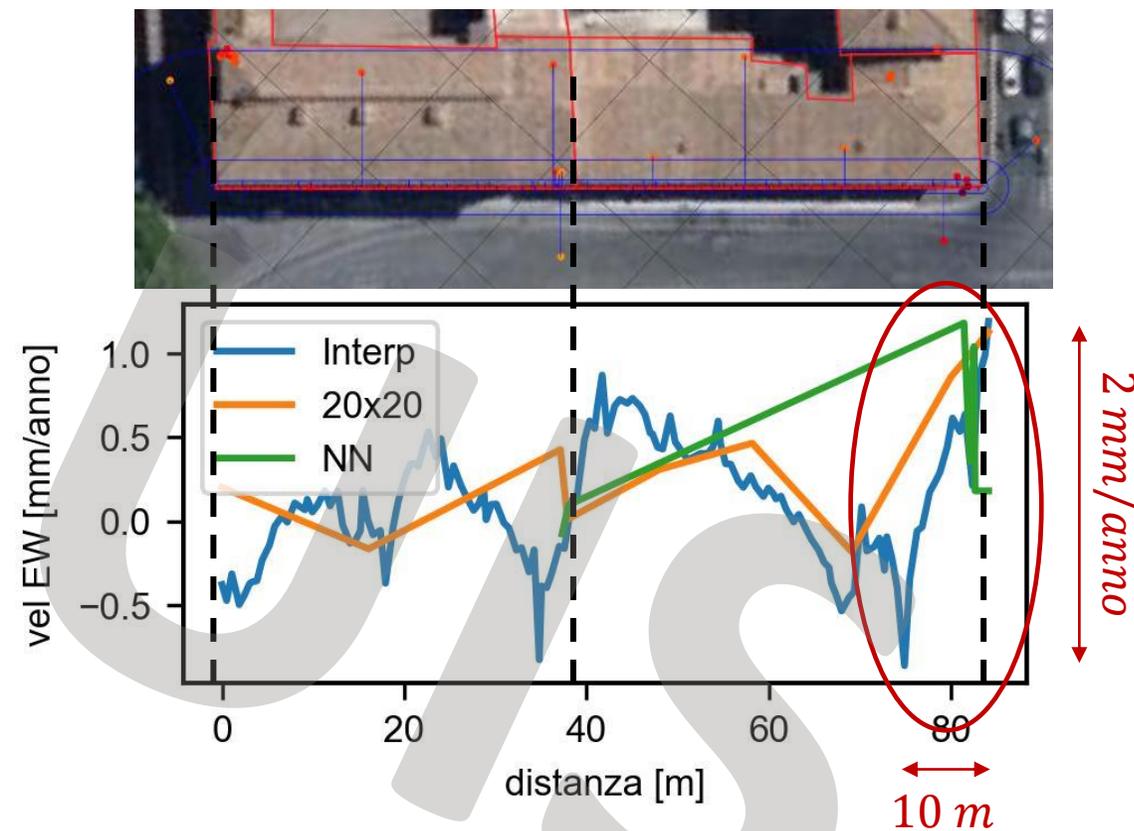
$$\dot{\beta}_{max} = 1,6 \times 10^{-4} \frac{1}{anno}$$



deformazione angolare

$$\beta_{max} = 1,3 \times 10^{-3}$$

Velocità orizzontale est-ovest



rateo di deformazione
orizzontale medio annuo

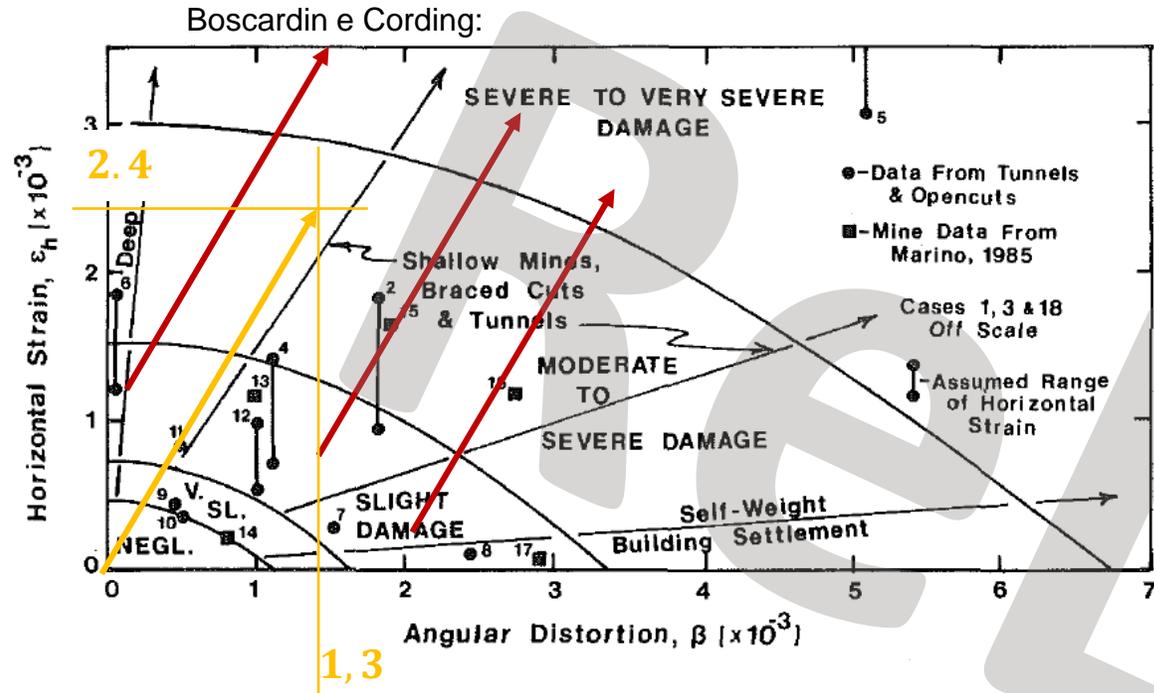
$$\dot{\varepsilon}_{H,max} = 2,97 \times 10^{-4} \frac{1}{anno}$$



deformazione orizzontale

$$\varepsilon_{H,max} = 2,4 \times 10^{-3}$$

CASO STUDIO - Complesso Monumentale del San Michele (Roma)



Work in progress:
Necessità di integrazione con tecniche di controllo e monitoraggio on site



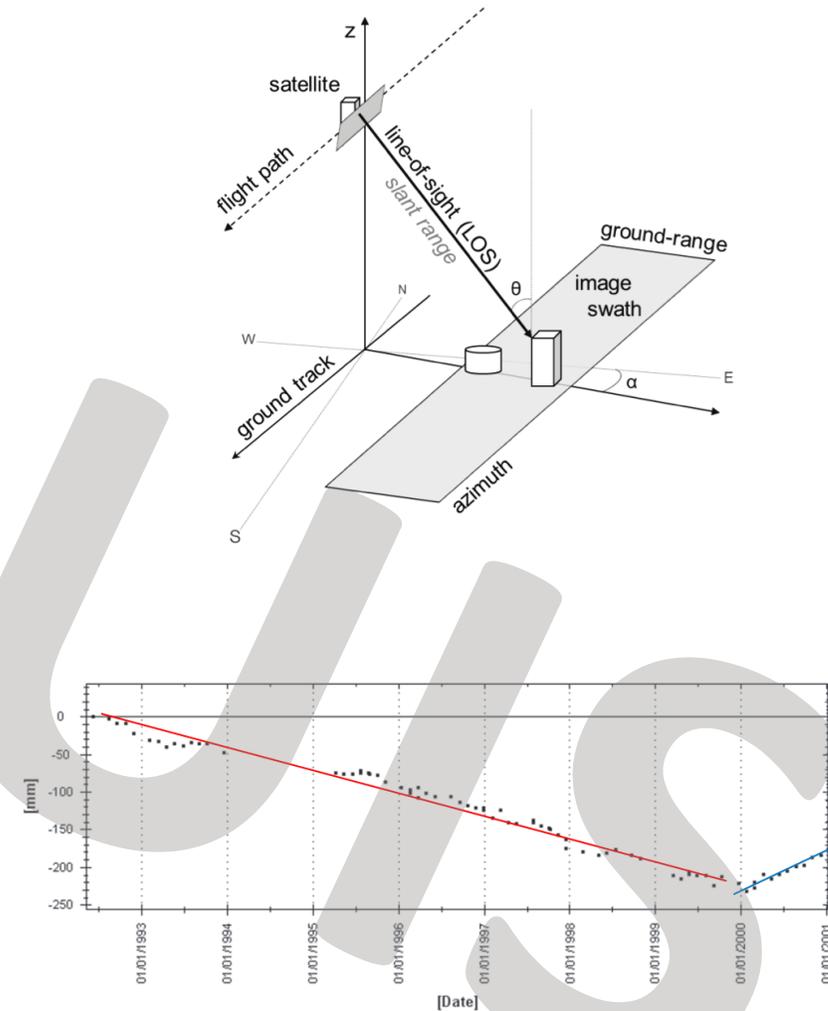
Obiettivo correlare le misure da dati InSar con quelli OnSite per una valutazione del comportamento strutturale



RELUUS

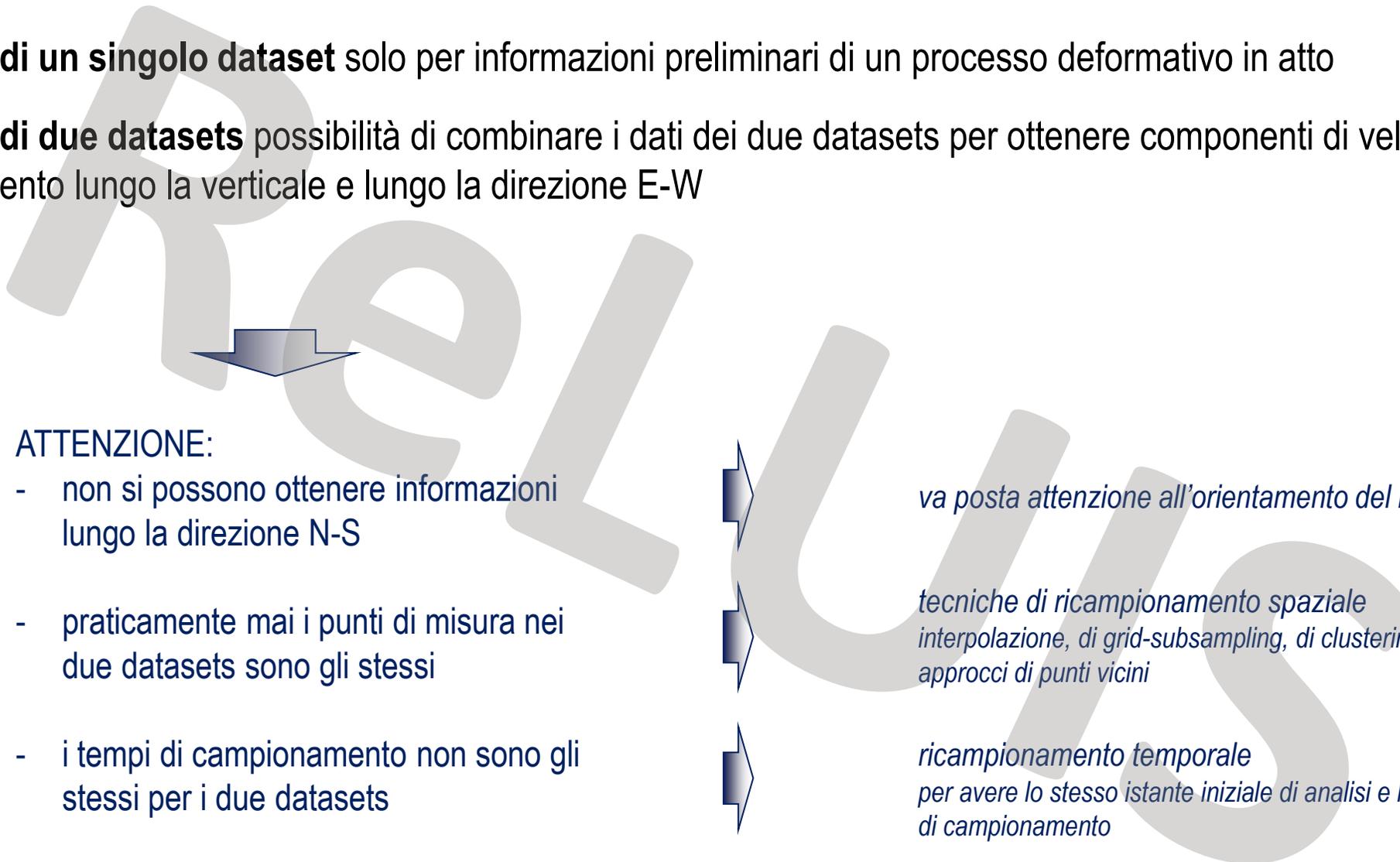
CONCLUSIONI:

- La componente dello spostamento (ovvero della velocità media) restituito è diretta lungo la linea di vista del satellite (LOS);
- Particolare attenzione deve essere posta quando si adottano tecniche di interpolazione spaziale, soprattutto per quanto riguarda la scelta dell'estensione dell'area di interpolazione e la selezione dei punti da interpolare;
- Nei casi in cui i manufatti subiscano trasformazioni importanti durante il periodo di analisi è possibile che si abbiano punti di misura afferenti a porzioni che non sono presenti durante tutto il periodo di analisi (es. porzioni demolite di un manufatto);
- Le storie temporali di spostamento possono evidenziare cambi di trend medio.



CONCLUSIONI:

- **Utilizzo di un singolo dataset** solo per informazioni preliminari di un processo deformativo in atto
- **Utilizzo di due datasets** possibilità di combinare i dati dei due datasets per ottenere componenti di velocità e di spostamento lungo la verticale e lungo la direzione E-W



ATTENZIONE:

- non si possono ottenere informazioni lungo la direzione N-S
- praticamente mai i punti di misura nei due datasets sono gli stessi
- i tempi di campionamento non sono gli stessi per i due datasets



va posta attenzione all'orientamento del manufatto



*tecniche di ricampionamento spaziale
interpolazione, di grid-subsampling, di clustering o mediante
approcci di punti vicini*



*ricampionamento temporale
per avere lo stesso istante iniziale di analisi e lo stesso passo
di campionamento*

SCELTA DEI PUNTI DI MISURA E DELLA TECNICA DI RICAMPIONAMENTO SPAZIALE

- **La scelta dei punti di misura da utilizzare deve essere valutata caso per caso**, a seconda di:
 - analisi da svolgere (larga scala o singolo edificio), in termini di interpretazione strutturale;
 - grado di correlazione spaziale dei fenomeni deformativi a livello di terreno e di costruzione (ad es. spostamenti dell'impalcato di un ponte, non correlati a quelli del terreno);
- **È necessario avere ben chiare le condizioni ed i limiti di applicabilità delle diverse tecniche di ricampionamento spaziale**, al fine di evitare di incorrere in possibili errate interpretazioni di un fenomeno deformativo;
- **Tutte le misure satellitari di spostamento sono di tipo differenziale e quindi sono di fatto misure relative sia nel tempo - rispetto all'istante iniziale - che nello spazio - rispetto al punto di riferimento**. Quindi tutte le analisi strutturali, basate sugli spostamenti, sono relative soltanto al periodo di osservazione e non si riferiscono all'intera storia pregressa dell'edificio;
- **Particolare attenzione va posta laddove si vogliono fare previsioni future o analisi retrospettive** ed è, quindi, sempre buona norma integrare i dati satellitari con informazioni specifiche ricavabili da campagne di indagini in sito.



TASK 5.6 – Monitoraggio strutturale di ponti con dati satellitari
Coordinatore: Prof. Andrea Prota, UniNa

**L'UTILIZZO DEI DATI INTERFEROMETRICI SATELLITARI AI FINI
DELL'INTERPRETAZIONE DEL COMPORTAMENTO STRUTTURALE DELLE
INFRASTRUTTURE**

ELABORAZIONE DEI DATI SATELLITARI

Grazie per l'attenzione!!!

Accordo CSLLPP_ R

La sperimentazione d

Formazione EE.LL. ex art. 4 DM 204/2022

I
-
U
-
A
-
V

Università IUAV di Venezia

Diego Talledo
diego.talledo@iuav.it

22/11/2024



TASK 5.6 – Monitoraggio strutturale di ponti con dati satellitari
Coordinatore: Prof. Andrea Prota, UniNa

**L'UTILIZZO DEI DATI INTERFEROMETRICI SATELLITARI AI FINI
DELL'INTERPRETAZIONE DEL COMPORTAMENTO STRUTTURALE DELLE
INFRASTRUTTURE**

Accordo CSLLPP_ RELUIS attuativo DM 578/2020 e DM 204/2022

La sperimentazione delle Linee Guida per i ponti esistenti

Formazione EE.LL. ex art. 4 DM 204/2022

22/11/2024



TASK 5.6 – Monitoraggio strutturale di ponti con dati satellitari
Coordinatore: Prof. Andrea Prota, UniNa

**L'UTILIZZO DEI DATI INTERFEROMETRICI SATELLITARI AI FINI
DELL'INTERPRETAZIONE DEL COMPORTAMENTO STRUTTURALE DELLE
INFRASTRUTTURE**

Applicazione di monitoraggio di infrastrutture alla larga scala

22/11/2024

POSSIBILI APPLICAZIONI



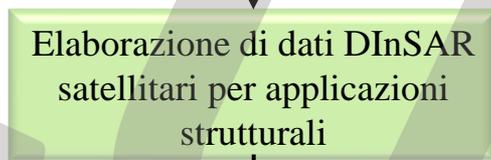
MONITORAGGIO CON DATI DInSAR SATELLITARI PER APPLICAZIONI STRUTTURALI

SCALA TERRITORIALE

**DATI DA
TELERILEVAMENTO
SATELLITARE**



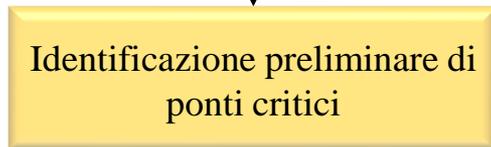
**ELABORAZIONE DEI
DATI SATELLITARI
PER APPLICAZIONI
STRUTTURALI**



**POTENZIALITA'
DELL'UTILIZZO DI
DATI SATELLITARI PER
MONITORAGGIO
STRUTTURALE A
SCALA TERRITORIALE**

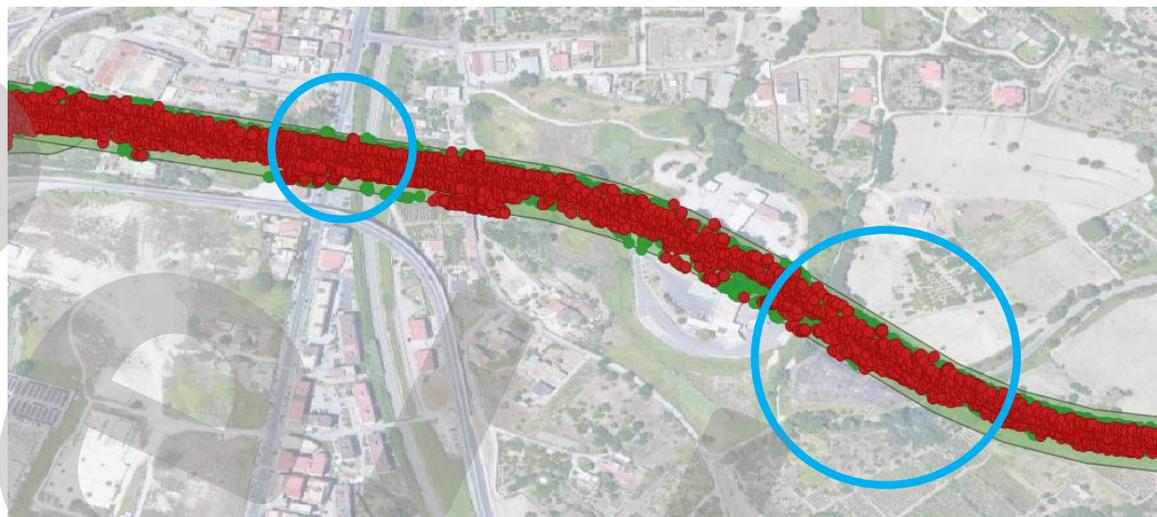


Algoritmi di intelligenza artificiale/tools



MONITORAGGIO CON DATI DI SAR SATELLITARI PER APPLICAZIONI STRUTTURALI

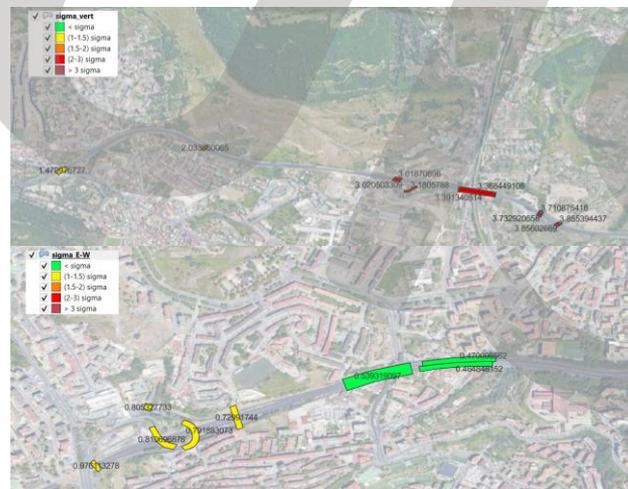
Dati satellitari relativi alla rete



Selezione di punti relativi ai ponti di interesse

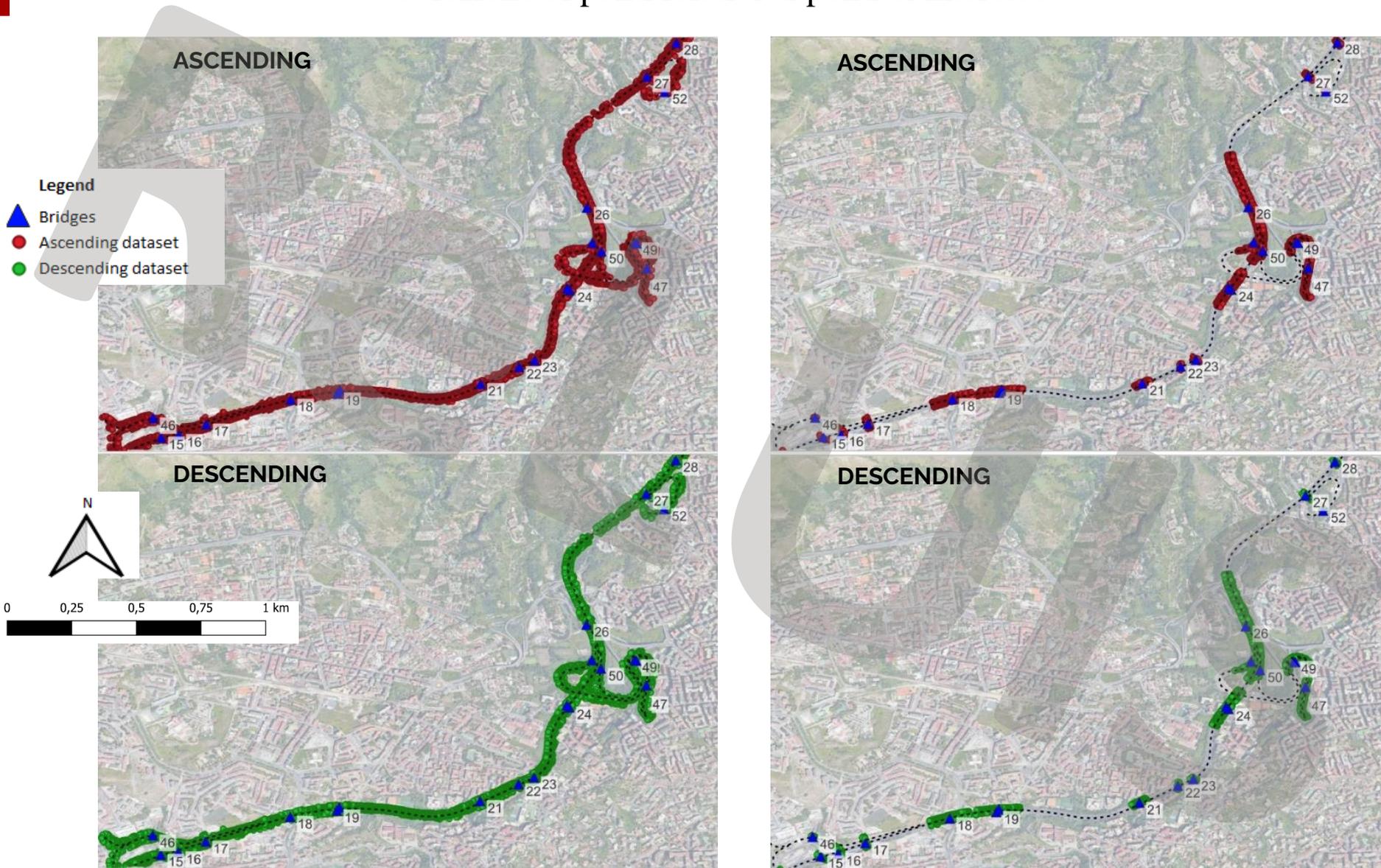


Derivazione delle componenti di velocità ed identificazione di viadotti critici



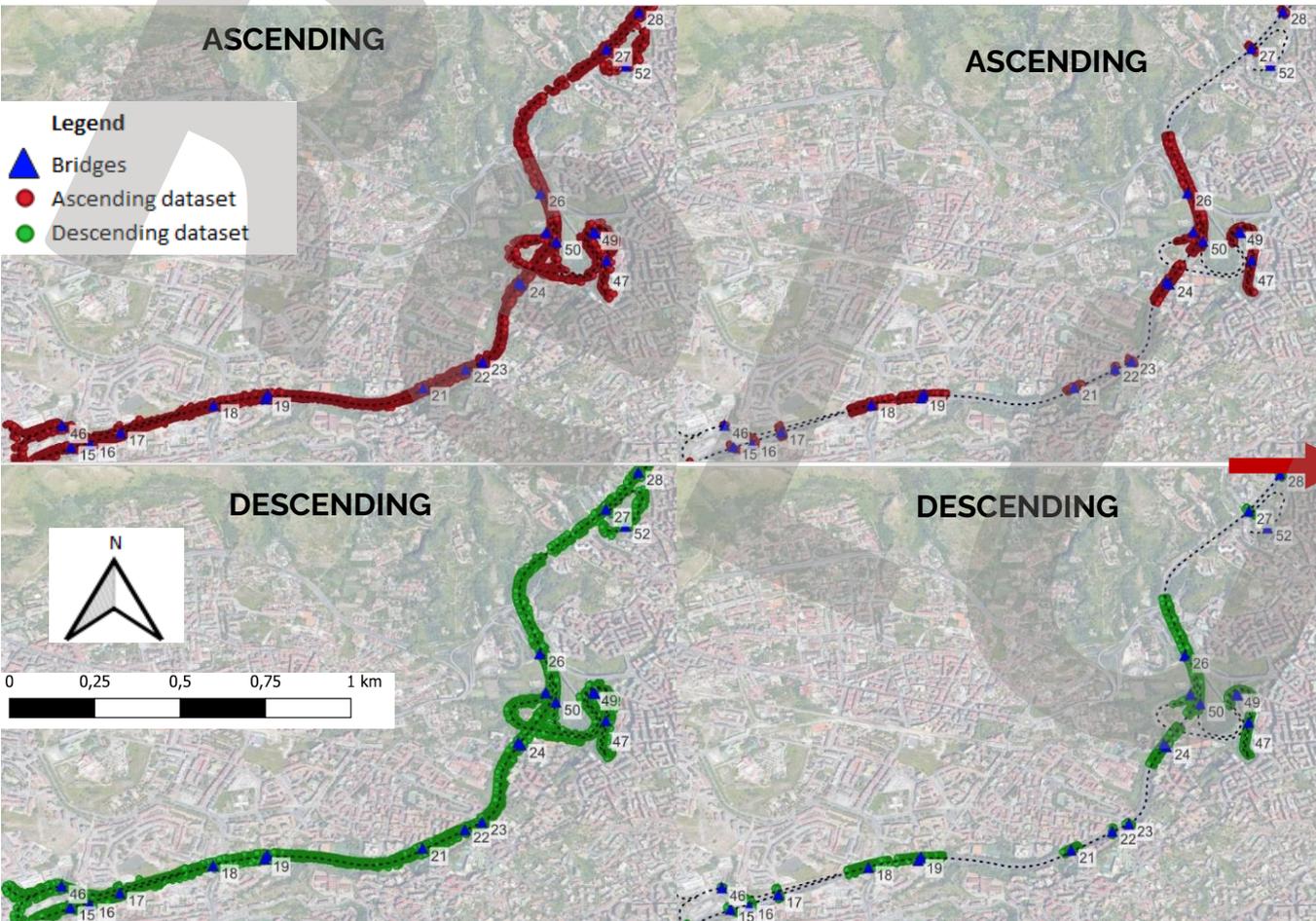
MONITORAGGIO CON DATI DI SAR SATELLITARI PER APPLICAZIONI STRUTTURALI

Selezione di punti relativi ai ponti di interesse



MONITORAGGIO CON DATI DI SAR SATELLITARI PER APPLICAZIONI STRUTTURALI

Selezione di punti relativi ai ponti di interesse



Da questo, è possibile conservare solo i valori di velocità media dei punti e le loro statistiche, riducendo notevolmente la quantità di dati necessari.



È possibile definire i ponti più critici (o le campate dei ponti), considerando sia i fenomeni territoriali che quelli locali che possono influenzare i ponti

METODOLOGIA PROPOSTA

Importare i dataset ASC e DESC dell'area di studio considerata in un software GIS

Utilizzo di due parametri statistici per la distribuzione delle velocità medie di deformazione dei PSs dell'intero campione di ponti

$$\bar{x} = \frac{\sum_i^n x_i}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

Criterio n.1

Criterio n.2

Tutti i PS inclusi nell'area di impronta del ponte i-esimo e nel suo buffer (senza tenere conto della loro posizione nella topografia) sono considerati.

Sono considerati solo i PS la cui topografia permette di riferirli all'impalcato del ponte

METODOLOGIA PROPOSTA

Critero n.1

$$V_{E-W,i}$$

$$V_{U,i}$$

$$\sigma_{V_U} = \sqrt{\frac{\sum_i^n (V_{U,i} - \bar{V}_U)^2}{n}}$$

Classification of bridges in Territorial Risk Classes based on $V_{E-W/U,i}$

Low	$ V_{E-W/U,i} < 1.0 \cdot \sigma_{V_{E-W/U}}$
Medium-Low	$1.0 \cdot \sigma_{V_{E-W/U}} < V_{E-W/U,i} < 1.5 \cdot \sigma_{V_{E-W/U}}$
Medium	$1.5 \cdot \sigma_{V_{E-W/U}} < V_{E-W/U,i} < 2.0 \cdot \sigma_{V_{E-W/U}}$
Medium-High	$2.0 \cdot \sigma_{V_{E-W/U}} < V_{E-W/U,i} < 2.5 \cdot \sigma_{V_{E-W/U}}$
High	$ V_{E-W/U,i} > 2.5 \cdot \sigma_{V_{E-W/U}}$

Critero n.2

$$V_{E-W,deck,i} = V_{E-W,d,i} - V_{E-W,g,i}$$

$$V_{U,deck,i} = V_{U,d,i} - V_{U,g,i}$$

$$\sigma_{V_{E-W}} = \sqrt{\frac{\sum_i^n (V_{E-W,i} - \bar{V}_{E-W})^2}{n}}$$

Classification of bridges in local risk classes based on $V_{E-W/U,deck,i}$

Low	$ V_{E-W/U,deck,i} < \sigma_{V_{E-W/U,deck}}$
Medium-Low	$1.0 \cdot \sigma_{V_{E-W/U,deck}} < V_{E-W/U,deck,i} < 1.5 \cdot \sigma_{V_{E-W/U,deck}}$
Medium	$1.5 \cdot \sigma_{V_{E-W/U,deck}} < V_{E-W/U,deck,i} < 2.0 \cdot \sigma_{V_{E-W/U,deck}}$
Medium-High	$2.0 \cdot \sigma_{V_{E-W/U,deck}} < V_{E-W/U,deck,i} < 2.5 \cdot \sigma_{V_{E-W/U,deck}}$
High	$ V_{E-W/U,deck,i} > 2.5 \cdot \sigma_{V_{E-W/U,deck}}$

Global Risk Class

APPLICAZIONE

Selezione di ponti potenzialmente critici sulla base delle componenti verticali ed orizzontale Est-Ovest di velocità di spostamento, ottenute attraverso dati satellitari



La possibilità di ottenere mappe su scala territoriale consente di definire un quadro complessivo delle condizioni di deformazione dell'ambiente costruito, comprese intere reti di strade e ponti. Sulla base di queste mappe, è possibile definire i ponti potenzialmente più critici (o campate di essi), considerando sia i fenomeni territoriali che locali del singolo ponte, creando delle classifiche sulla base delle velocità media annuali.

APPLICAZIONE

Selezione di ponti potenzialmente critici sulla base delle componenti verticali ed orizzontale Est-Ovest di velocità di spostamento, ottenute attraverso dati satellitari



(a)



(b)

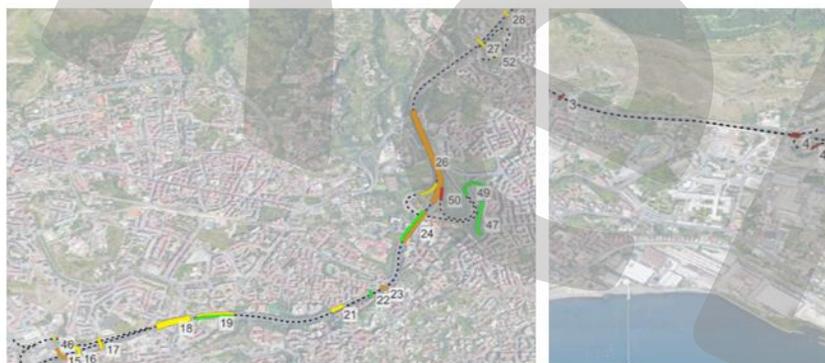
Legend
Global Risk Classes

- LOW
- MEDIUM-LOW
- MEDIUM
- MEDIUM-HIGH
- HIGH



APPLICAZIONE

Selezione di ponti potenzialmente critici sulla base delle componenti verticali ed orizzontale Est-Ovest di velocità di spostamento, ottenute attraverso dati satellitari



(a)

(b)

Legend

Global Risk Classes

- LOW
- MEDIUM-LOW
- MEDIUM
- MEDIUM-HIGH
- HIGH

0 0,25 0,5 0,75 1 km



BRIDGE ID	Territorial Risk Class	Local Risk Class	Global Risk Class
1	HIGH	MEDIUM-LOW	HIGH
2	HIGH	MEDIUM-LOW	HIGH
3	HIGH	LOW	HIGH
4	HIGH	HIGH	HIGH
5	HIGH	MEDIUM-HIGH	HIGH
6	HIGH	MEDIUM	HIGH
7	HIGH	MEDIUM-LOW	HIGH
---	---	---	---
30	LOW	LOW	LOW
31	LOW	LOW	LOW
---	---	---	---
67	LOW	MEDIUM-LOW	MEDIUM-LOW
68	LOW	HIGH	HIGH

MONITORAGGIO CON DATI DI SAR SATELLITARI PER APPLICAZIONI STRUTTURALI

UR IUAV, UniBO – Applicazione di algoritmi per analisi alla larga scala di stock di ponti

UTILIZZO DI UN DATABASE CON TUTTI I PONTI DEL VENETO



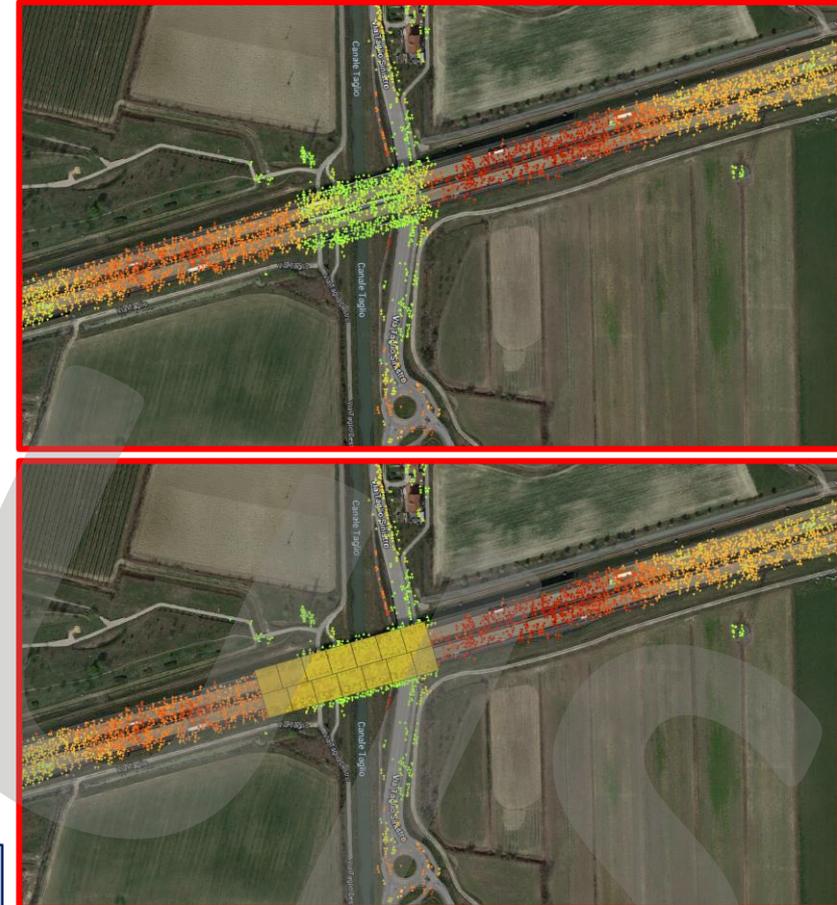
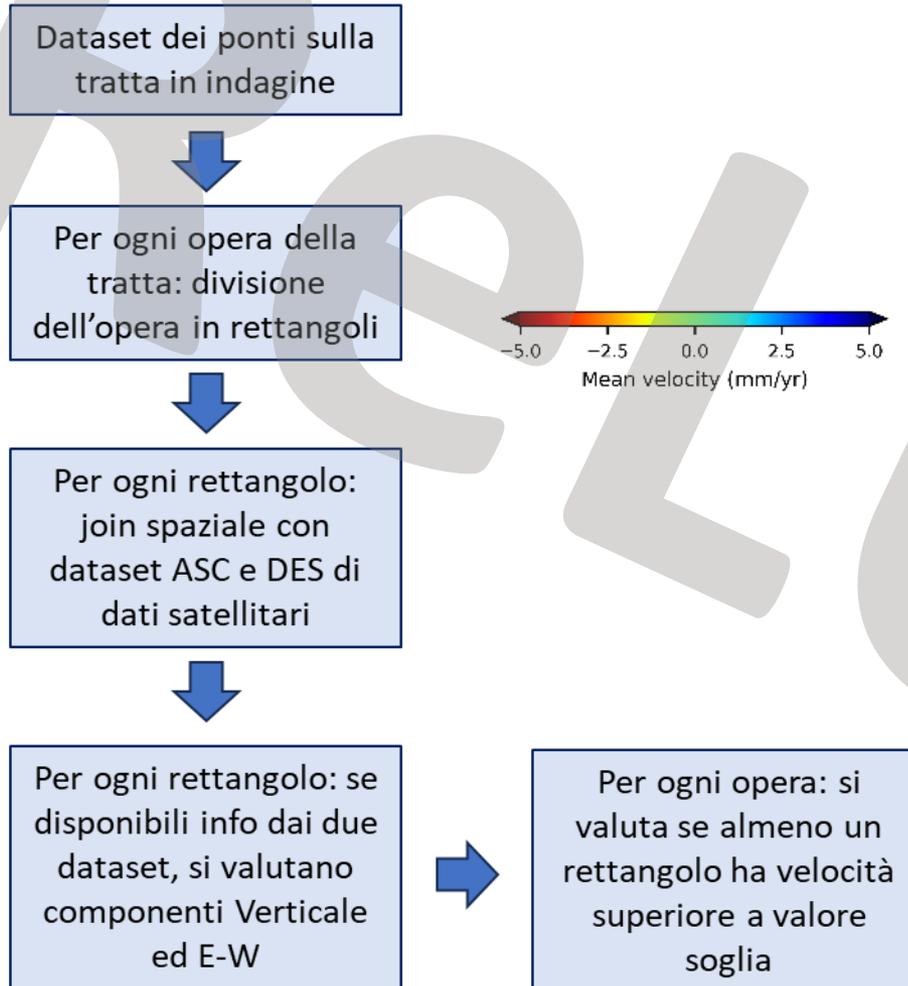
Sono presenti tutti i ponti, autostradali e non

Repository open con mappe create dagli utenti della comunità
OpenDataSicilia: mappa dei ponti a partire dalle informazioni di
OpenStreetMaps divisi per regione:

MONITORAGGIO CON DATI DInSAR SATELLITARI PER APPLICAZIONI STRUTTURALI

UR IUAV, UniBO – Applicazione di algoritmi per analisi alla larga scala di stock di ponti

METODOLOGIA

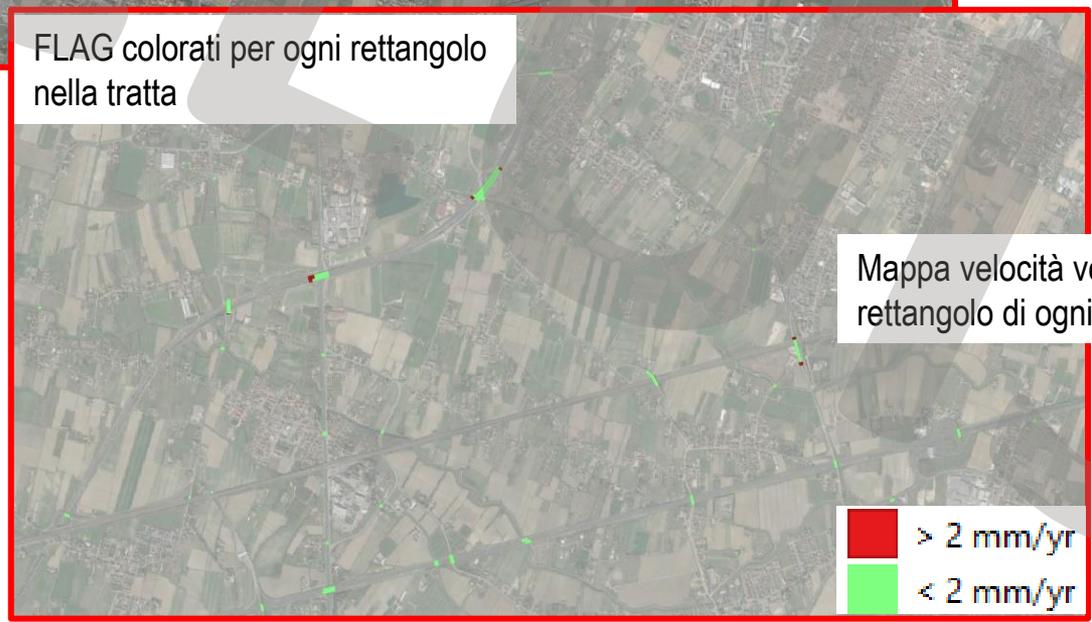


MONITORAGGIO CON DATI DiNSAR SATELLITARI PER APPLICAZIONI STRUTTURALI

UR IUAV, UniBO – Applicazione di algoritmi per analisi alla larga scala di stock di ponti



FLAG colorati per ogni rettangolo nella tratta



Mappa velocità verticali per ogni rettangolo di ogni ponte

- > 2 mm/yr
- < 2 mm/yr

MONITORAGGIO CON DATI DInSAR SATELLITARI PER APPLICAZIONI STRUTTURALI

UR IUAV, UniBO – Applicazione di algoritmi per analisi alla larga scala di stock di ponti

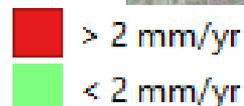
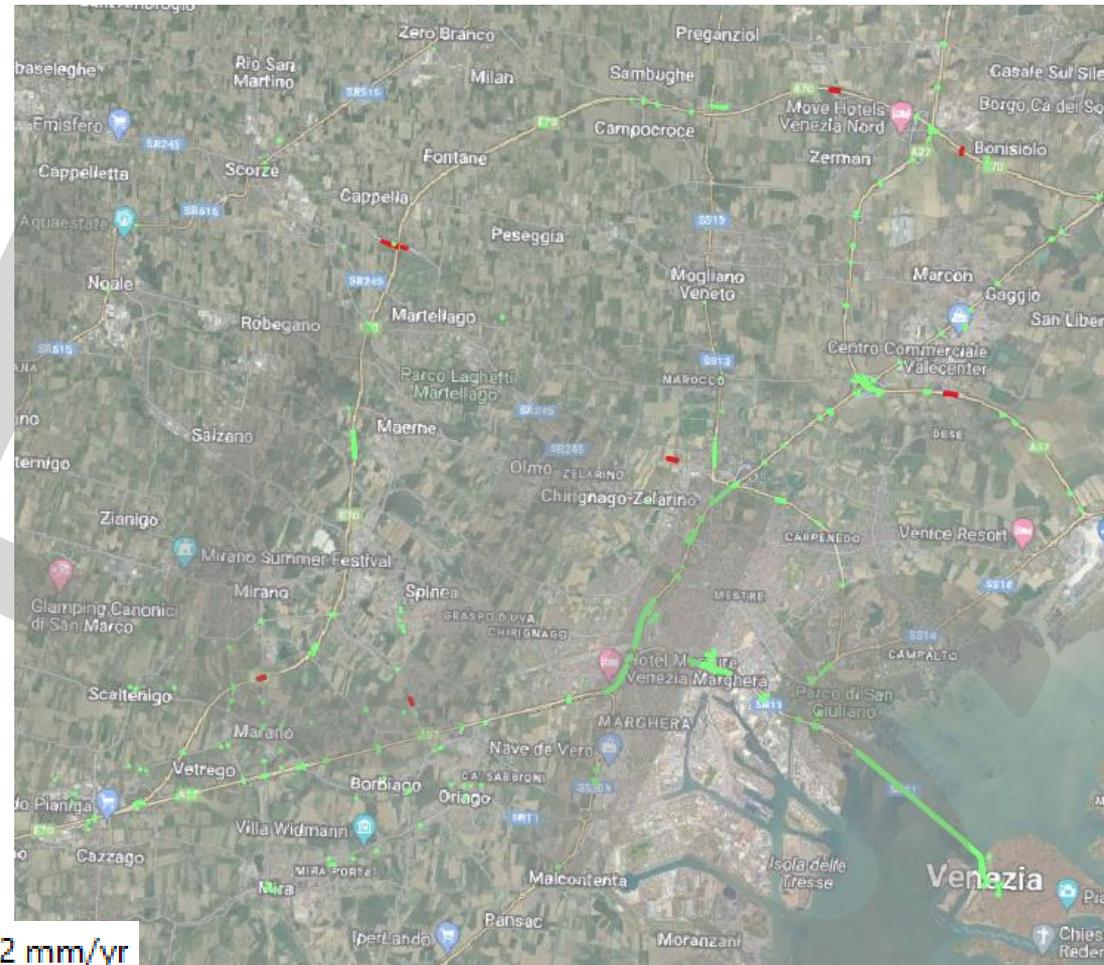
APPLICAZIONE: DATI CSK

Dati CSK Utilizzati (periodo 2011-2021)
(in collaborazione con CNR – IREA Riccardo Lanari)

Mappa delle diverse opere colorate:
in **rosso** se almeno un rettangolo in cui l'opera è stata divisa ha il FLAG rosso (velocità media annua > 2 mm/yr)
in **verde** se tutti i rettangoli hanno il FLAG verde (velocità media annua < 2 mm/yr).

Il FLAG non indica uno stato di danno, ma indica la necessità di approfondire le analisi con algoritmi e tecniche più accurate, possibilmente alla scala di singolo manufatto.

Numero di opere con FLAG rosso: 27
Numero di opere con FLAG verde: 547



MONITORAGGIO CON DATI DInSAR SATELLITARI PER APPLICAZIONI STRUTTURALI

UR IUAV, UniBO – Applicazione di algoritmi per analisi alla larga scala di stock di ponti

CONFRONTO CON DATI EGMS

Nota:

1. Alcuni ponti non vengono visti da EGMS probabilmente a causa della minore risoluzione.
2. L'area coperta (e quindi il numero di ponti) è invece utilizzando dati EGMS.
3. Alcune differenze significative si evidenziano (ponti con FLAG verde con dati CSK e con FLAG rosso con dati EGMS, e.g. Ponte Libertà)

Mappa delle diverse opere colorate:

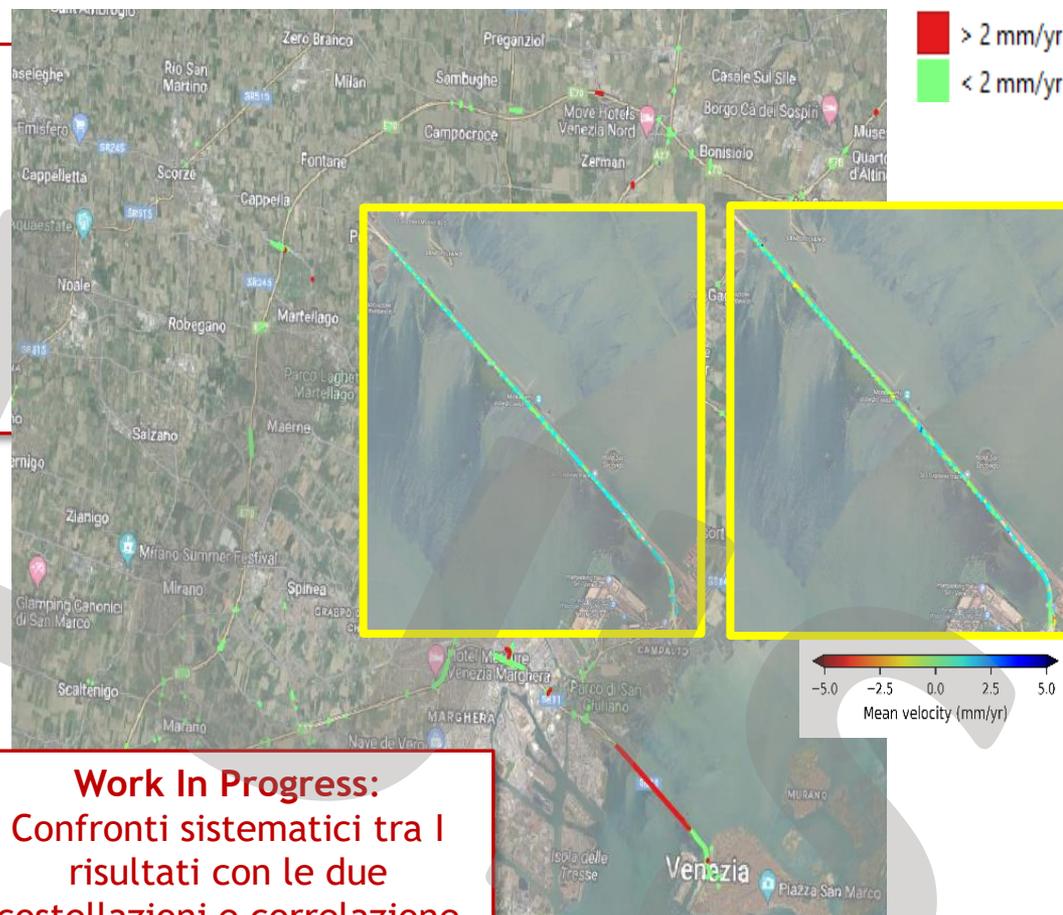
in **rosso** se almeno un rettangolo in cui l'opera è stata divisa ha il FLAG rosso (velocità media annua > 2 mm/yr)

in **verde** se tutti i rettangoli hanno il FLAG verde (velocità media annua < 2 mm/yr).

Il FLAG non indica uno stato di danno, ma indica la necessità di approfondire le analisi con algoritmi e tecniche più accurate, possibilmente alla scala di singolo manufatto.

Numero di opere con FLAG rosso: 44

Numero di opere con FLAG verde: 530



Work In Progress:
Confronti sistematici tra i risultati con le due costellazioni e correlazione per alcuni casi studio nelle tratte delle UR con dati in situ.

UTILIZZO DEI DATI DiNSAR SATELLITARI AI FINI DELLO SHM A SCALA TERRITORIALE

Identificazione preliminare delle strutture critiche sulla base di algoritmi di intelligenza artificiale

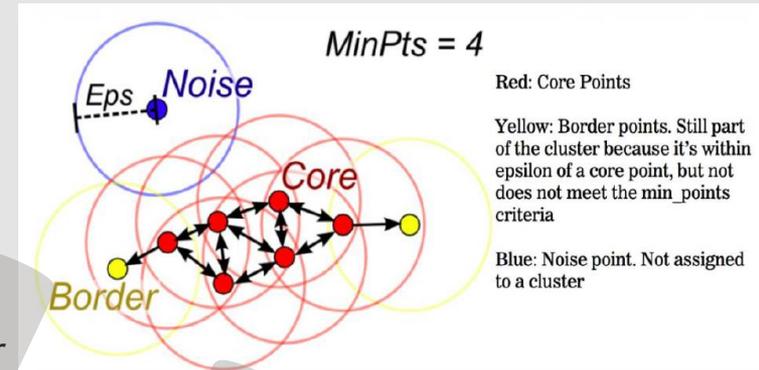
DENSITY-BASED SPATIAL CLUSTERING OF APPLICATIONS WITH NOISE (DBSCAN)

Iperparametri del DBSCAN:

- *Eps* (raggio)
- *Min_Pts* (numero minimo di punti inclusi nel raggio specificato)

Eventuali parametri aggiuntivi per la clusterizzazione:

- Quota dei punti rispetto al modello digitale del terreno (DEM)
- Numero minimo di punti in un cluster/area minima di un cluster



FINALITA':

Implementare un algoritmo che, a partire dai dati di input, consenta di:

- Individuare la posizione degli edifici a partire solo dai dati SAR (clusterizzazione);
- Per ogni edificio, cioè per ogni cluster, fornire delle prime informazioni su quanto e come si sta deformando;
- Automatizzare il processo di creazione di mappe di deformazione a scala territoriale.

→ ALGORITMI IN CODICE PYTHON



ambiente di sviluppo

UTILIZZO DEI DATI DiNSAR SATELLITARI AI FINI DELLO SHM A SCALA TERRITORIALE

Identificazione preliminare delle strutture critiche sulla base di algoritmi di intelligenza artificiale

Selezione delle aree di studio

Area 1



Area 2



Area 3



UTILIZZO DEI DATI DInSAR SATELLITARI AI FINI DELLO SHM A SCALA TERRITORIALE

Identificazione preliminare delle strutture critiche sulla base di algoritmi di intelligenza artificiale

- I datasets ASC e DISC sono stati uniti al fine di massimizzare la densità dei punti in corrispondenza degli edifici;
- Esclusione dei punti a quota terreno (noise PSs);
- DBSCAN hyper-parameters:
 - ✓ $minPoints = 4$ (Ester et al. 1996)
 - ✓ Neighbourhood radius eps

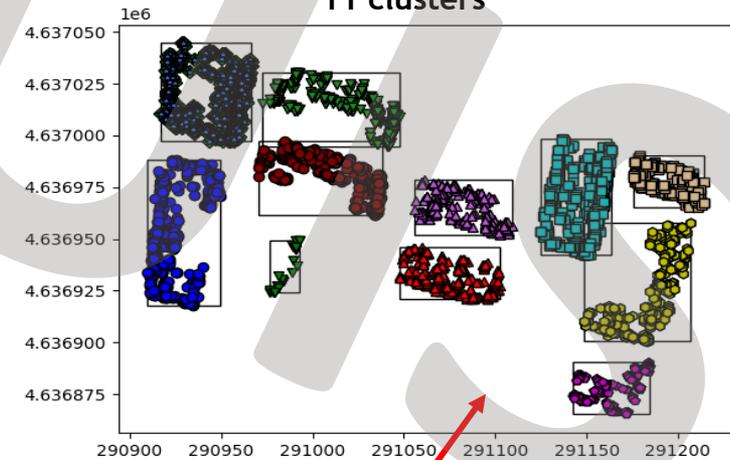
Area 1



12 buildings



11 clusters

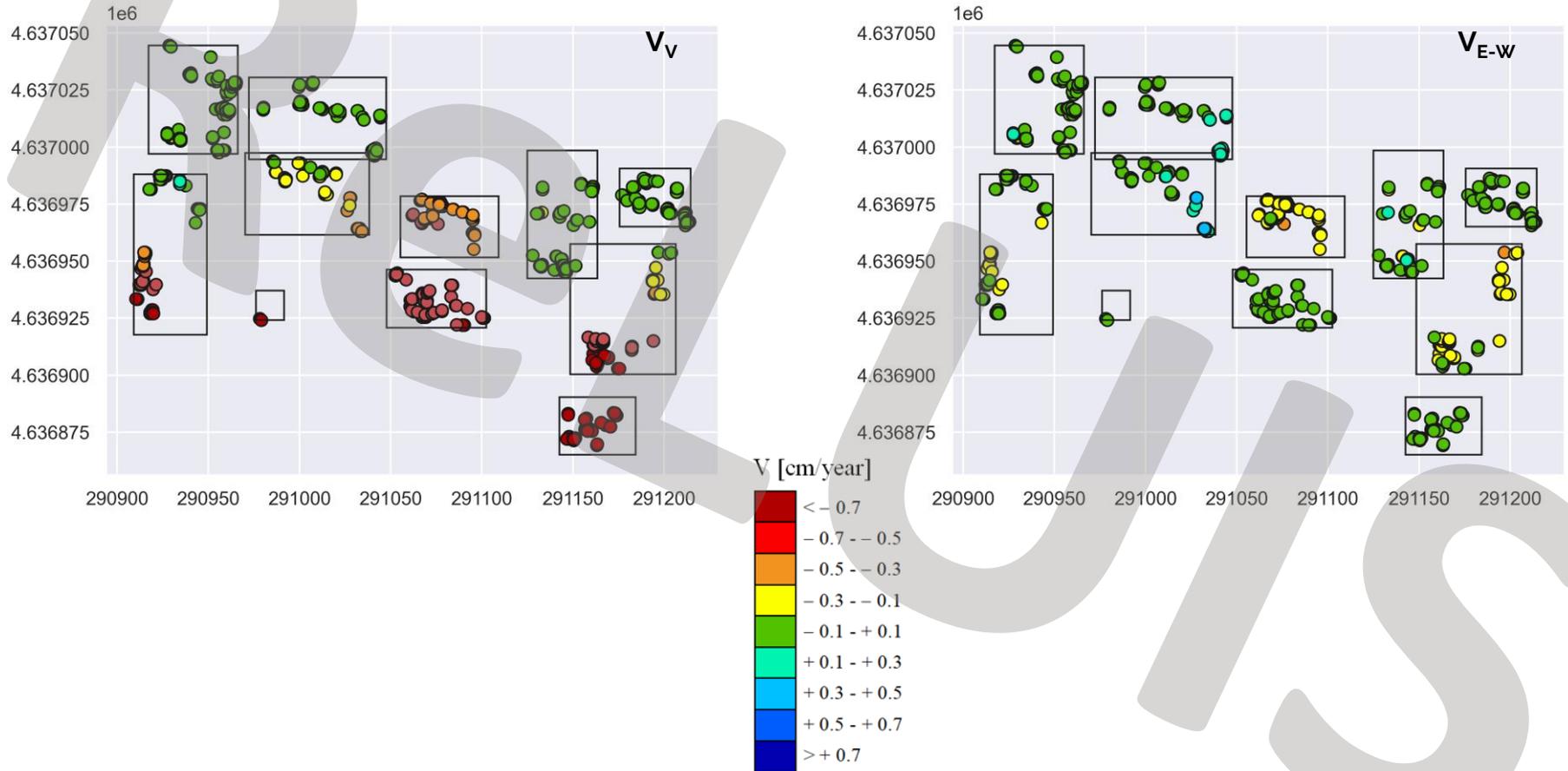


On the joint exploitation of satellite DInSAR measurements and DBSCAN-based techniques for preliminary identification and ranking of critical constructions in a built environment
A. Mele, A. Vitiello, M. Bonano, A. Miano, R. Lanari, G. Acampora and A. Prota

UTILIZZO DEI DATI DInSAR SATELLITARI AI FINI DELLO SHM A SCALA TERRITORIALE

MAPPE DI VELOCITA' DI DEFORMAZIONE

AREA 1

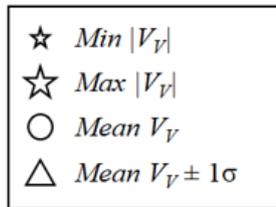
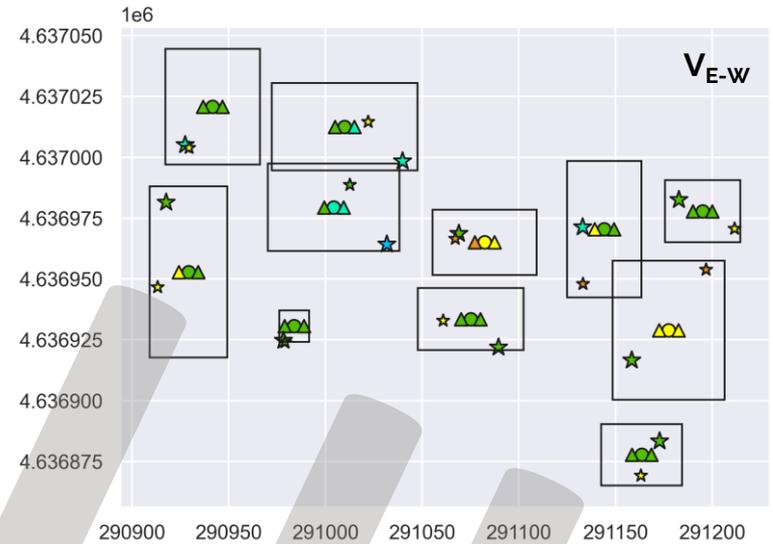


On the joint exploitation of satellite DInSAR measurements and DBSCAN-based techniques for preliminary identification and ranking of critical constructions in a built environment
A. Mele, A. Vitiello, M. Bonano, A. Miano, R. Lanari, G. Acampora and A. Prota

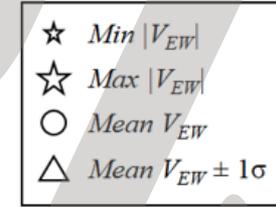
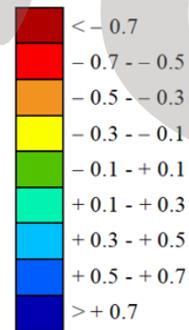
UTILIZZO DEI DATI DInSAR SATELLITARI AI FINI DELLO SHM A SCALA TERRITORIALE

MAPPE DI VELOCITA' DI DEFORMAZIONE

AREA 1



V [cm/year]



On the joint exploitation of satellite DInSAR measurements and DBSCAN-based techniques for preliminary identification and ranking of critical constructions in a built environment
A. Mele, A. Vitiello, M. Bonano, A. Miano, R. Lanari, G. Acampora and A. Prota

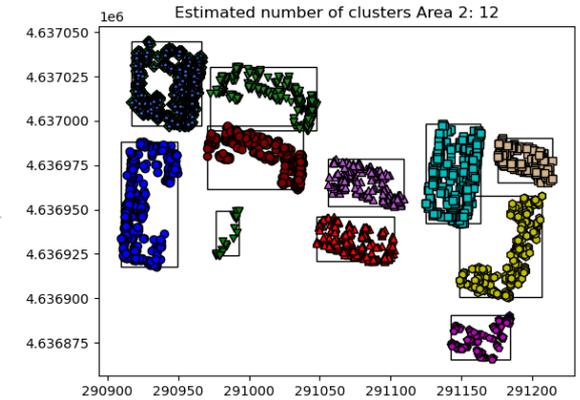
UTILIZZO DEI DATI DInSAR SATELLITARI AI FINI DELLO SHM A SCALA TERRITORIALE

Identificazione preliminare e classificazione delle strutture critiche sulla base del DBSCAN

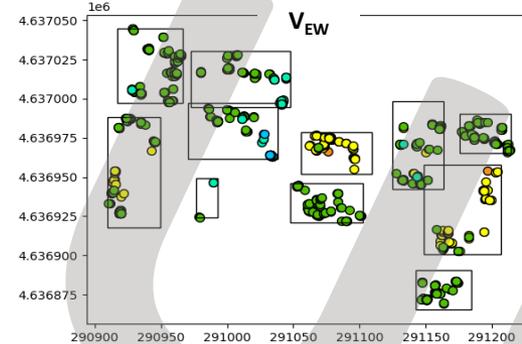
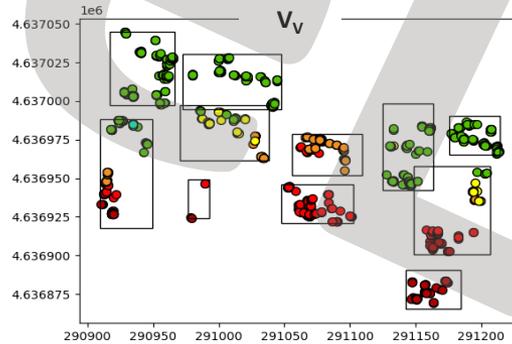
Quartiere Valco San Paolo, Roma



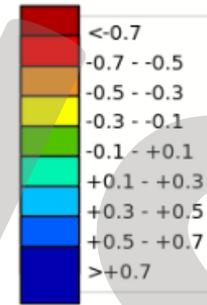
Dati COSMO-SkyMed [2011-2019]



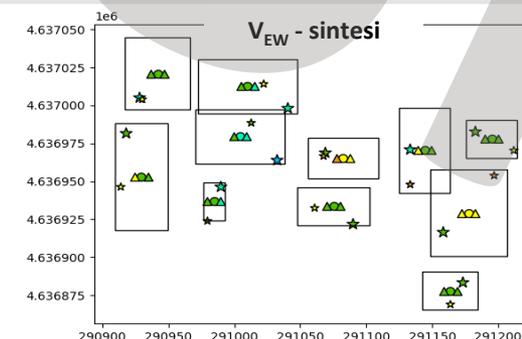
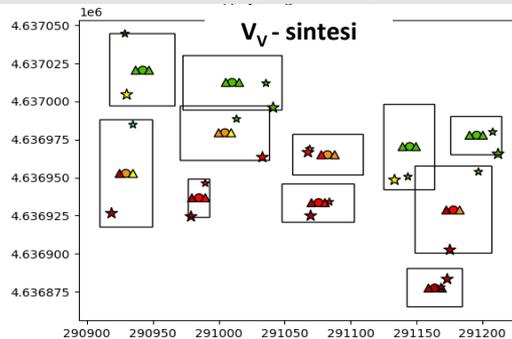
Componenti di velocità V_V e V_{E-W} per tutte le coppie "combinabili" di ciascun cluster



V_V/V_{E-W} [cm/year]



Riepilogo: valori più significativi di V_V e V_{E-W} per ogni cluster

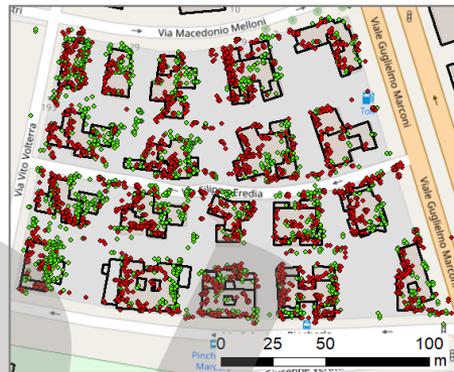


- ☆ Min V_V/V_{E-W}
- ☆ Max V_V/V_{E-W}
- Mean V_V/V_{E-W}
- △ Mean $V_V/V_{E-W} \pm 1 \sigma$

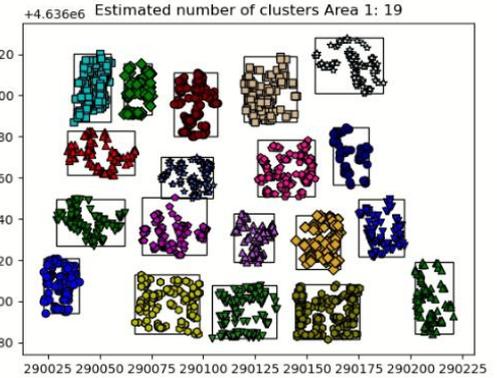
UTILIZZO DEI DATI DInSAR SATELLITARI AI FINI DELLO SHM A SCALA TERRITORIALE

Identificazione preliminare e classificazione delle strutture critiche sulla base del DBSCAN

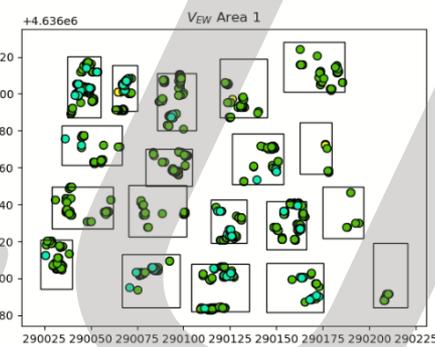
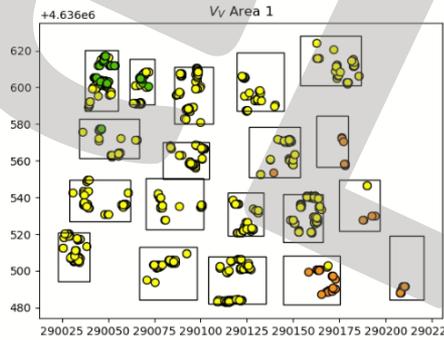
AREA 2



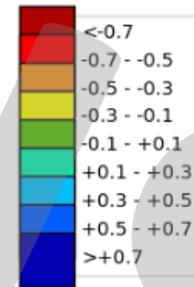
- Ascending PSs
- Descending PSs



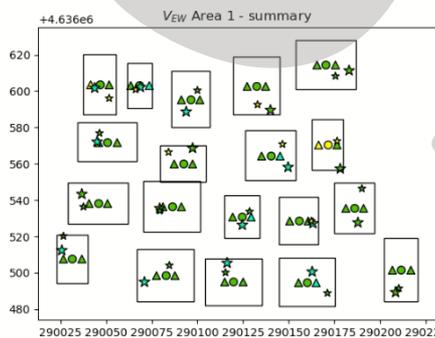
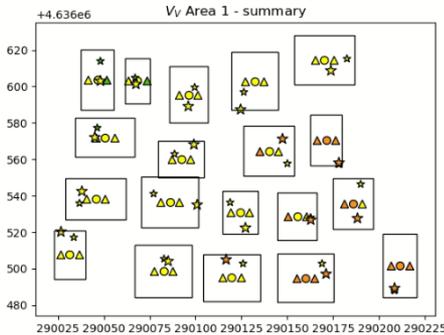
Componenti di velocità V_V e V_{E-W} per tutte le coppie "combinabili" di ciascun cluster



V_V/V_{E-W}
[cm/year]



Riepilogo: valori più significativi di V_V e V_{E-W} per ogni cluster

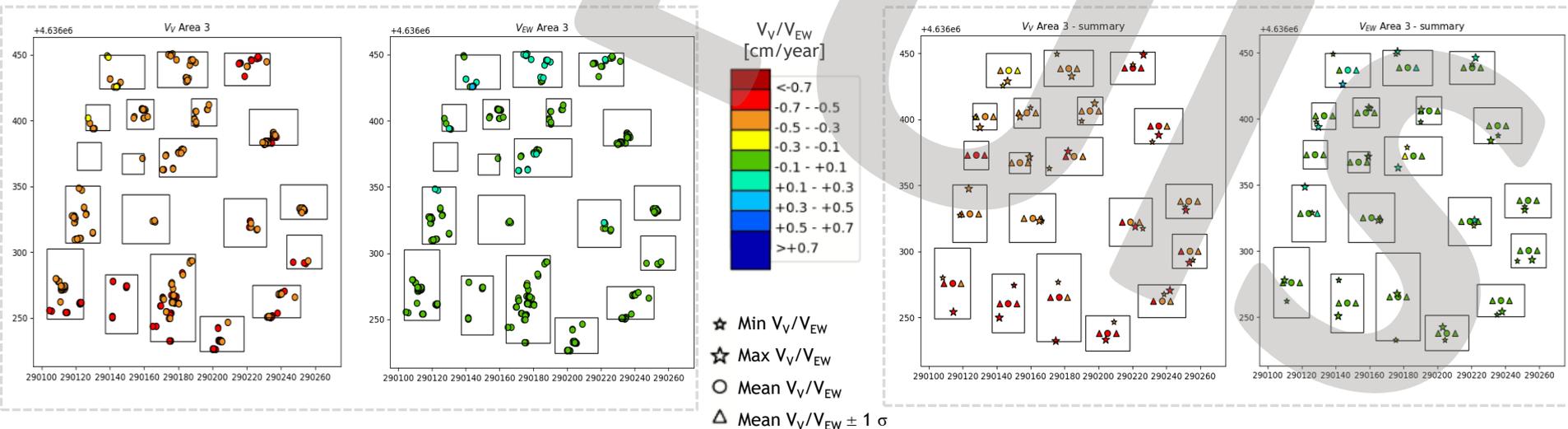
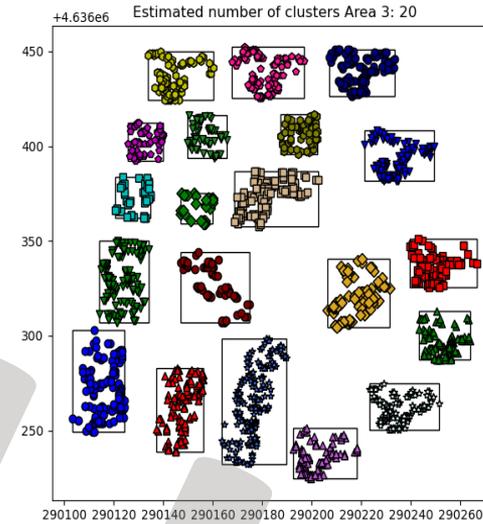


- ☆ Min V_V/V_{E-W}
- ☆ Max V_V/V_{E-W}
- Mean V_V/V_{E-W}
- △ Mean $V_V/V_{E-W} \pm 1 \sigma$

UTILIZZO DEI DATI DInSAR SATELLITARI AI FINI DELLO SHM A SCALA TERRITORIALE

Identificazione preliminare e classificazione delle strutture critiche sulla base del DBSCAN

AREA 3

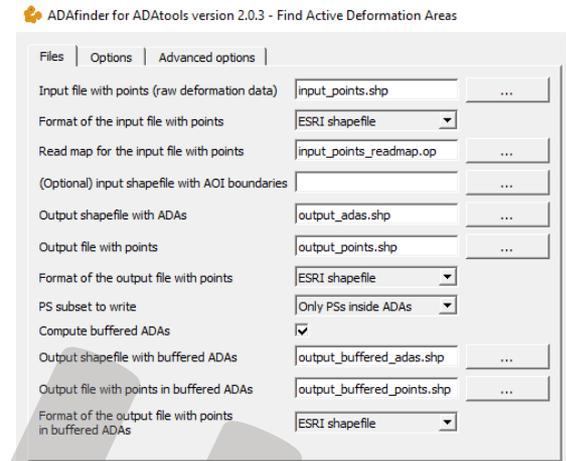
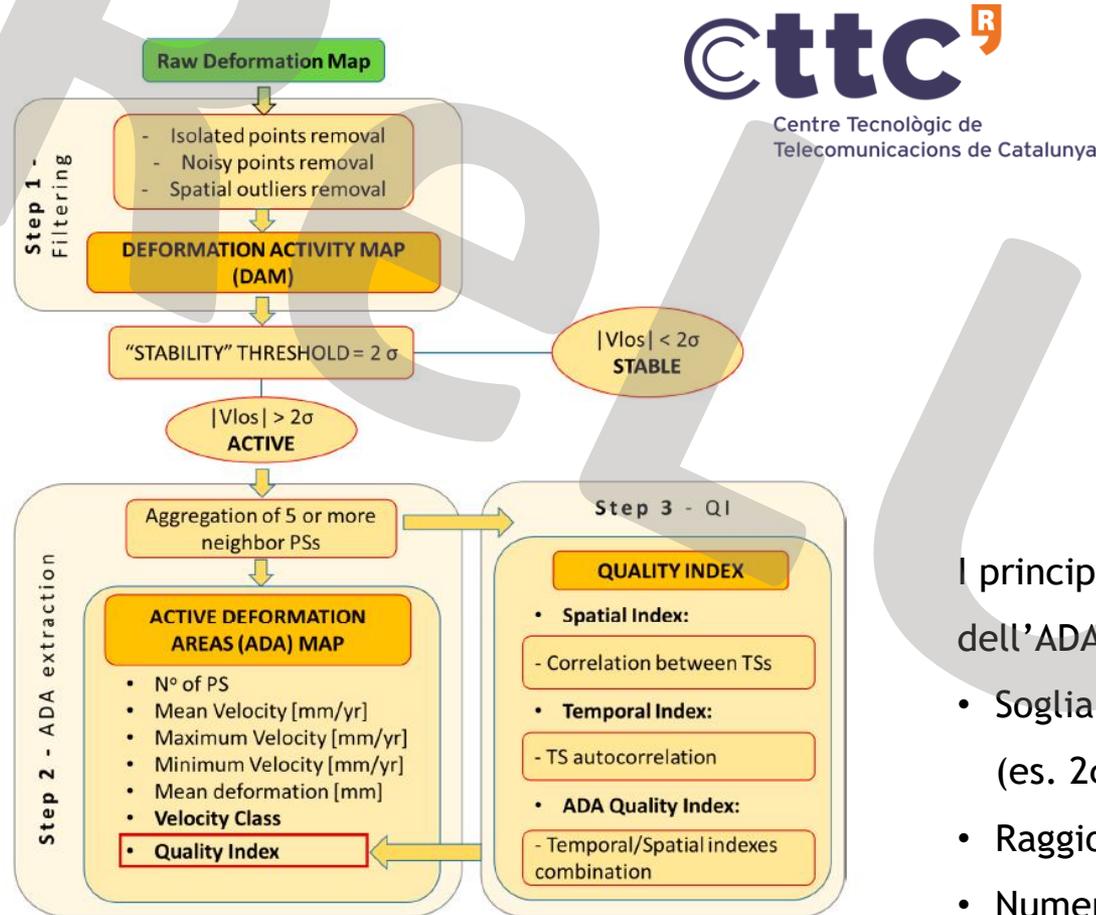


UTILIZZO DEI DATI DI SAR SATELLITARI AI FINI DELLO SHM A SCALA TERRITORIALE

ADAFinder tool per SHM di insediamenti urbani

Tool sviluppato dal Centre Tecnològic de Telecomunicacions de Catalunya

OBIETTIVO: individuare 'ADA' (Active Deformation Areas) a partire dai dati satellitari.



I principali parametri per l'applicazione dell'ADAFINDER tool sono:

- Soglia di stabilità per la V_m in funzione della σ (es. 2σ se $V_m < \sigma$, 1σ se $V_m > \sigma$)
- Raggio dell'ADA
- Numero minimo di PSs in un ADA

Barra, A. et al. A Methodology to Detect and Update Active Deformation Areas Based on Sentinel-1 SAR Images. Remote Sens. 2017, 9, 1002.

UTILIZZO DEI DATI DInSAR SATELLITARI AI FINI DELLO SHM A SCALA TERRITORIALE

ADAFinder tool per SHM di insediamenti urbani

Tool sviluppato dal Centre Tecnològic de Telecomunicacions de Catalunya

Dati European Ground Motion Service (EGMS) BARCELLONA 2015-2020

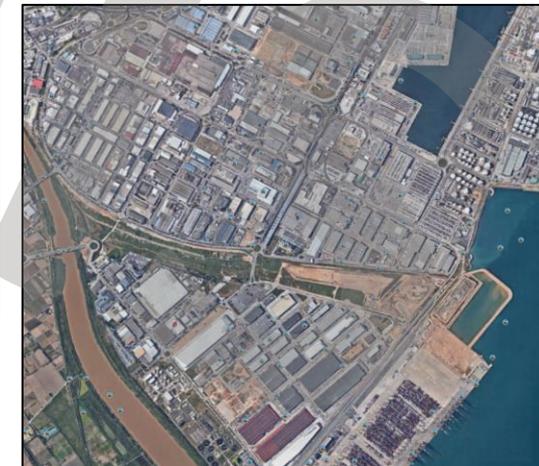


-20  Velocità media (mm/anno) 20

Eixample e Barrio Gotico



Zona Franca

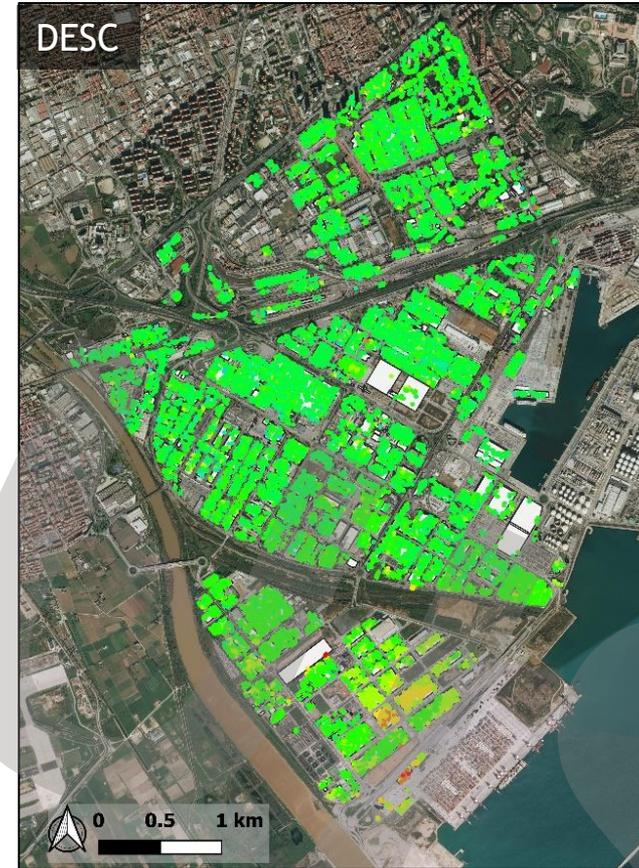
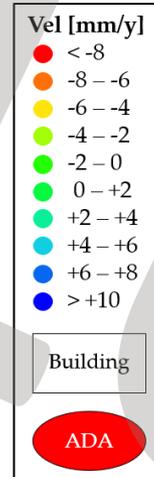
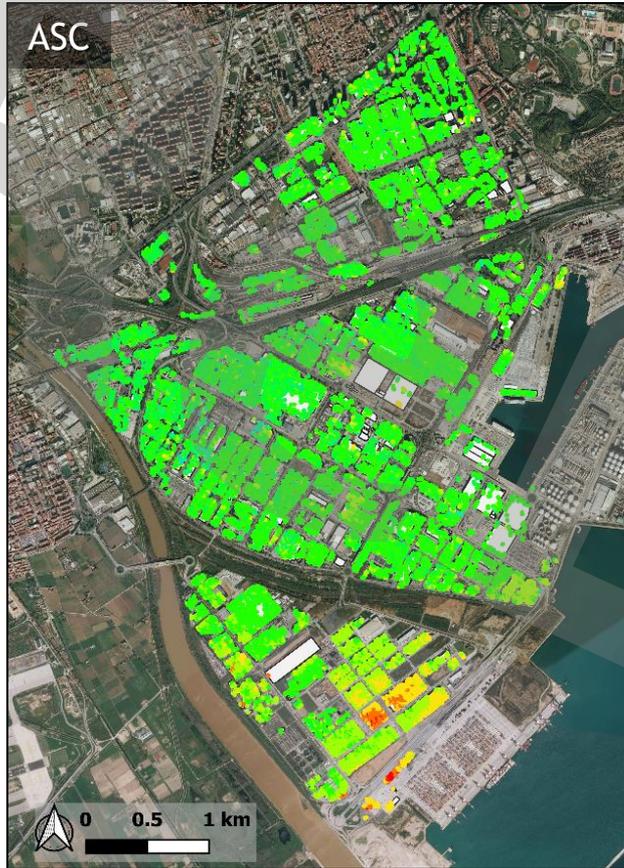


UTILIZZO DEI DATI DInSAR SATELLITARI AI FINI DELLO SHM A SCALA TERRITORIALE

ADAFinder tool per SHM di insediamenti urbani

[2015-2020]

Zona Franca (Barcellona) - 17 km²



	Num. punti	Minima V_m	Massima V_m	Media V_m	σ
Asc	33965	-10.5	6.9	-0.90	1.54
Des	19333	-8.6	7.7	-0.12	1.35

Total number of buildings	1358
% of buildings with no ASC PSs	12%
% of buildings with no DESC PSs	18%
% of monitorable buildings	77% (1046)

UTILIZZO DEI DATI DInSAR SATELLITARI AI FINI DELLO SHM A SCALA TERRITORIALE

ADAFinder tool per SHM di insediamenti urbani

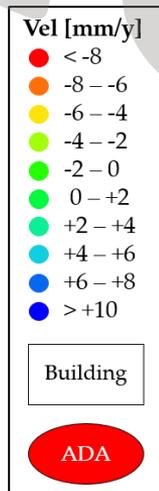
[2015-2020]

Zona Franca (Barcellona) - 17 km²

Mappe delle componenti di velocità LOS

Applicazione ADAfinder tool

- Soglia per V_m : 2σ
- Raggio dell'ADA: 25m
- Numero minimo di PSs in un ADA: 3



	Num. punti	Minima V_m	Massima V_m	Media V_m	σ
Asc	6333	-10.5	6.8	-2.82	2.15
Des	2248	-8.6	7.7	-1.50	2.49

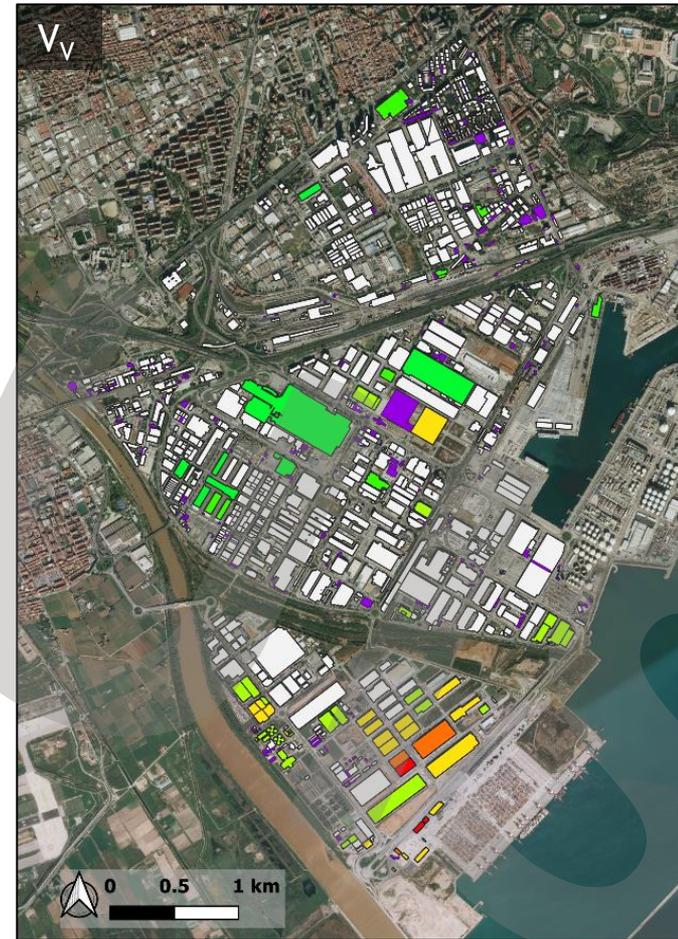
UTILIZZO DEI DATI DInSAR SATELLITARI AI FINI DELLO SHM A SCALA TERRITORIALE

ADAFinder tool per SHM di insediamenti urbani

[2015-2020]

Zona Franca (Barcellona) - 17 km²

Mappe delle componenti di velocità orizzontale e verticale



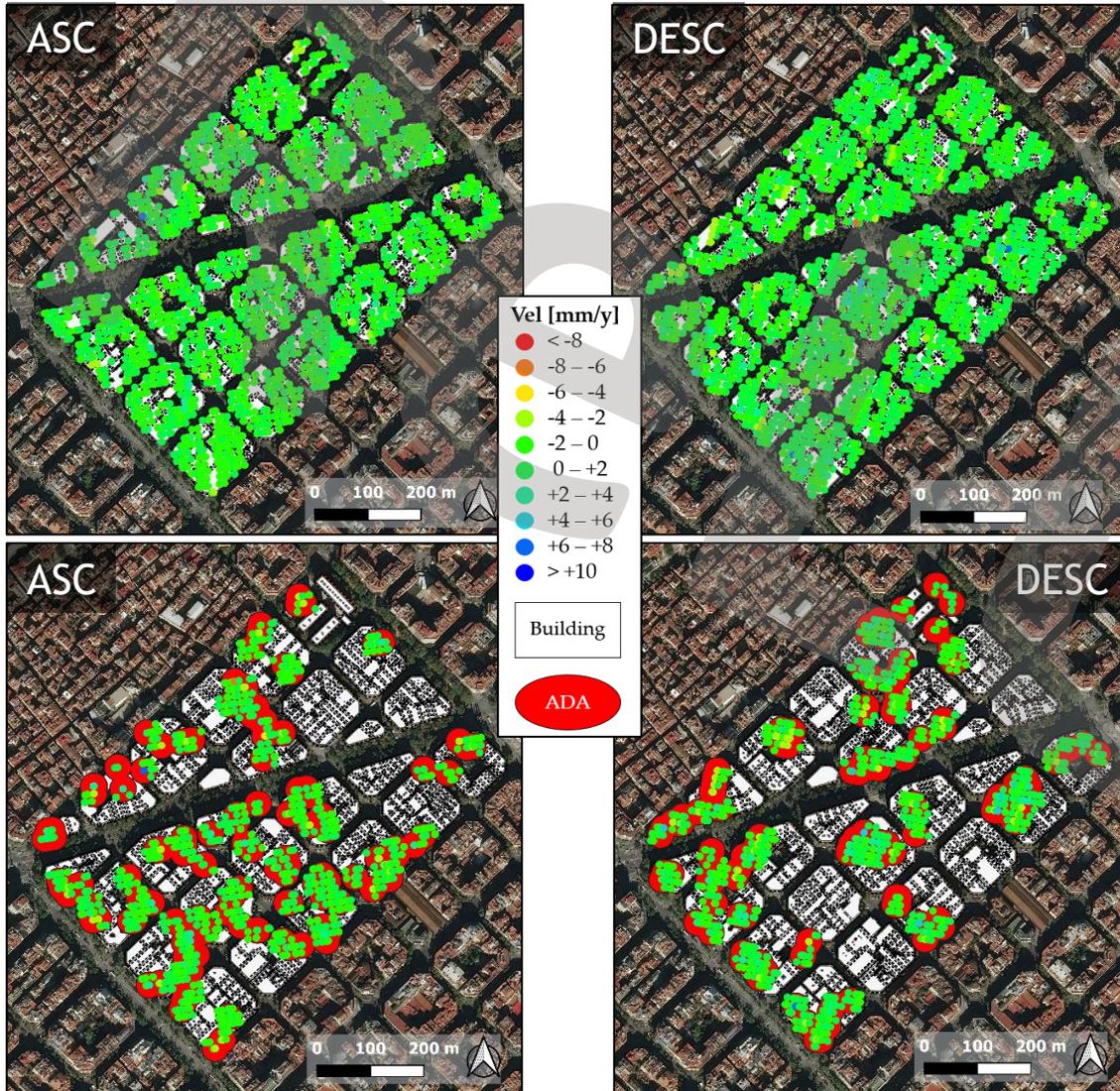
Edifici monitorati: 10% del totale

UTILIZZO DEI DATI DInSAR SATELLITARI AI FINI DELLO SHM A SCALA TERRITORIALE

ADAFinder tool per SHM di insediamenti urbani

[2015-2020]

Eixample(Barcellona) - 0.45 km²



	Num. punti	Minima V_m	Massima V_m	Media V_m	σ
Asc	6389	-7.30	6.60	0.11	0.82
Des	4347	-6.20	7.30	0.15	0.94

Total number of buildings	540
% of buildings with no ASC PSs	3%
% of buildings with no DESC PSs	1%
% of monitorable buildings	96% (518)

Applicazione ADAfinder tool

- Soglia per V_m : 2σ
- Raggio dell'ADA: 25m
- Numero minimo di PSs in un ADA: 3

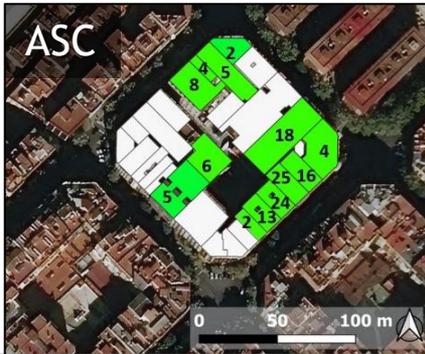
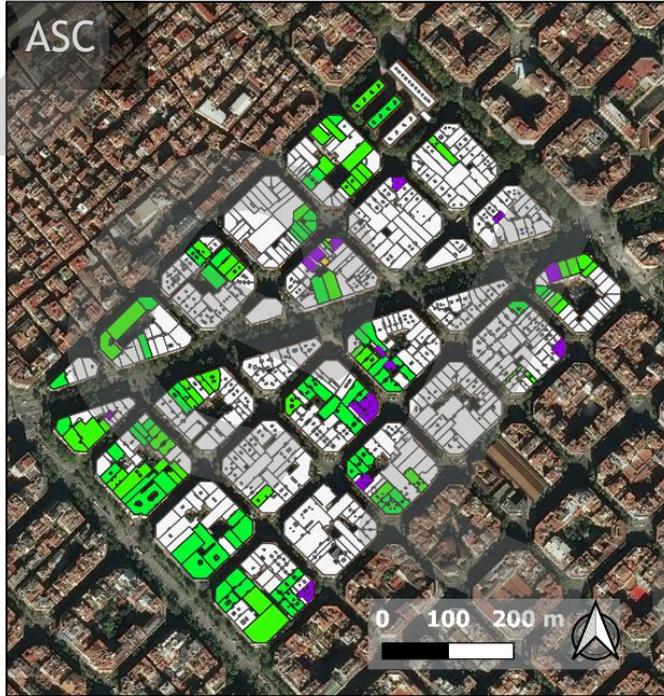
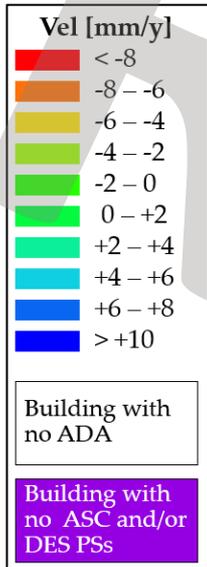
	Num. punti	Minima V_m	Massima V_m	Media V_m	σ
Asc	4800	-7.30	6.90	0.12	1.06
Des	1624	-6.20	7.30	0.15	1.28

UTILIZZO DEI DATI DInSAR SATELLITARI AI FINI DELLO SHM A SCALA TERRITORIALE

ADAFinder tool per SHM di insediamenti urbani - Eixample

Eixample(Barcellona) - 0.45 km²

Mappe delle componenti di velocità LOS



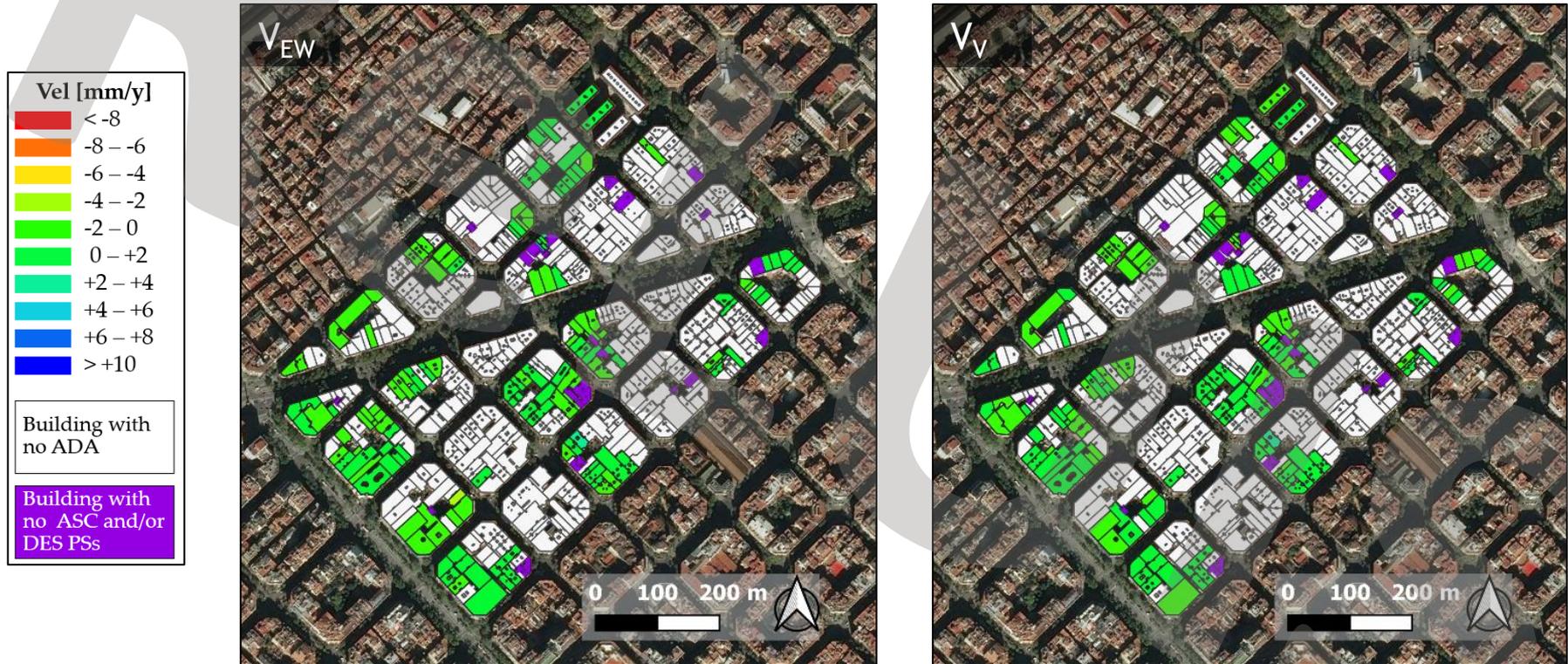
Total number of buildings	540
% of buildings included in an ASC ADA	54%
% of buildings included in a DESC ADA	53%

UTILIZZO DEI DATI DInSAR SATELLITARI AI FINI DELLO SHM A SCALA TERRITORIALE

ADAFinder tool per SHM di insediamenti urbani - Eixample

Eixample(Barcellona) - 0.45 km²

Mappe delle componenti di velocità orizzontale e verticale



Edifici monitorati: 26% del totale

APPLICAZIONE CON DBSCAN

- L'approccio proposto fornisce mappe di deformazione in cui tutti gli edifici, stabili o soggetti a cedimenti, sono individuati;
- L'approccio proposto può essere applicato ad aree urbane senza distinzione di schema strutturale, materiale, dimensioni e forma degli edifici inclusi;
- I risultati variano sensibilmente al variare dei valori assegnati agli iper-parametri del DBSCAN;
- Occorre prestare attenzione ai casi di edifici molto vicini, ad esempio separati da un giunto, e agli edifici molto bassi (come quelli ad 1 piano).

APPLICAZIONE CON ADAFINDER TOOL

- La metodologia proposta consente di creare mappe di velocità che mettono in risalto solo le aree a deformazione attiva;
- Uno degli input della procedura è la conoscenza degli edifici presenti nell'area;
- Se un solo edificio sta subendo un cedimento locale, ma si trova in una zona stabile, questo approccio lo identifica;
- Questo “filtraggio” rende questo approccio molto appropriato per applicazioni a scala molto ampia (comune, municipalità, regione...).

CONCLUSIONI

CONCLUSIONI GENERALI

- L'utilizzo dei dati satellitari per il monitoraggio strutturale è molto promettente, soprattutto per indagare gli spostamenti indotti da **fenomeni lenti** (es. frane, subsidenza)
- Lo studio delle mappe di velocità di deformazione a **scala territoriale** permette di capire se l'area di interesse è stabile o influenzata da spostamenti, e di circoscrivere le zone in cui si trovano le costruzioni più esposte a spostamenti potenzialmente dannosi
- Le applicazioni a larga scala possono rappresentare un supporto nelle fasi decisionali degli enti, per l'individuazione delle zone più deformabili (“critiche”) su cui porre l'attenzione (ad esempio, prevedendo ispezioni in situ e installazione di specifici strumenti di monitoraggio);
- Nell'ipotesi di spostamenti che evolvono linearmente nel tempo, possono essere fatte **previsioni future** degli spostamenti (e, di conseguenza, dei suoi effetti sulle strutture) o **analisi retrospettive** per ricostruire la serie storica di spostamento nel passato;
- La tecnica può essere applicata anche per il monitoraggio di **singolo edificio o infrastruttura**, da remoto e in maniera non invasiva.



TASK 5.6 – Monitoraggio strutturale di ponti con dati satellitari
Coordinatore: Prof. Andrea Prota, UniNa

GRAZIE PER L'ATTENZIONE!

Accordo CSLLPP_RELUIS attuativo DM 578/2020 e DM 204/2022

La sperimentazione delle Linee Guida per i ponti esistenti

Formazione EE.LL. ex art. 4 DM 204/2022

22/11/2024



TASK 5.6 – Monitoraggio strutturale di ponti con dati satellitari
Coordinatore: Prof. Andrea Prota, UniNa

Monitoraggio alla scala della singola infrastruttura:

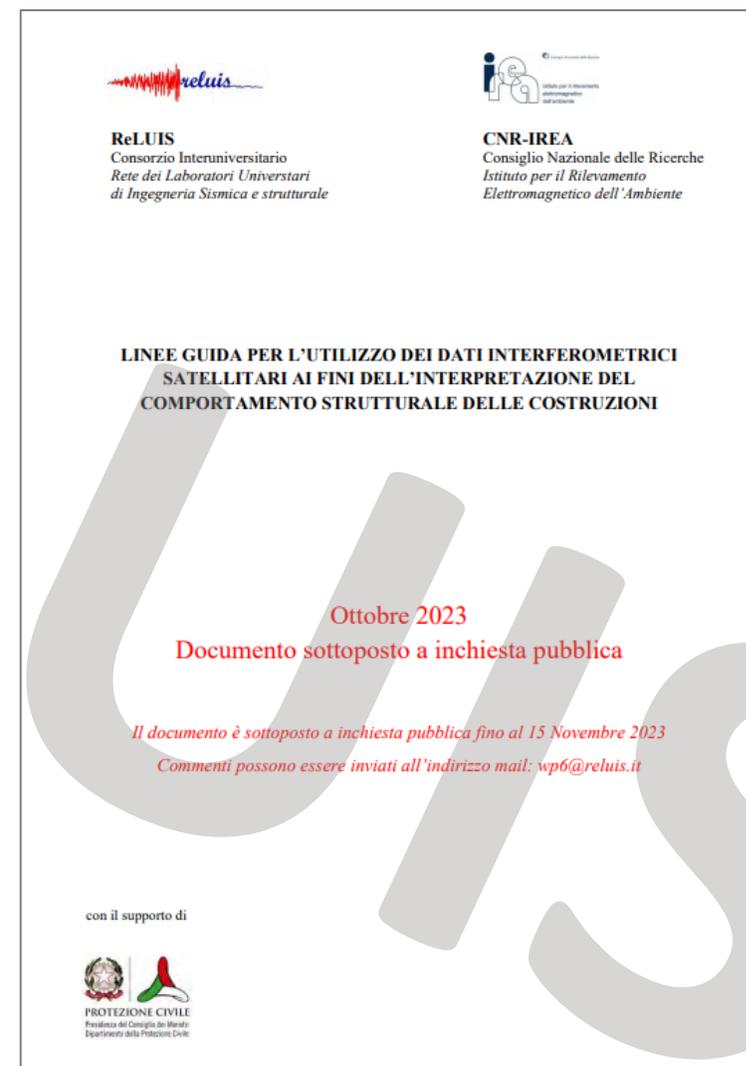
Applicazioni relative all'utilizzo dei dati interferometrici satellitari per l'interpretazione del comportamento di infrastrutture quali ponti o viadotti

Prof. Fabio Di Carlo

Università degli Studi di Roma «Tor Vergata»



«Linee Guida per l'utilizzo dei dati interferometrici satellitari ai fini dell'interpretazione del comportamento strutturale delle costruzioni»



Organizzazione del capitolo 7

7	INFRASTRUTTURE RILEVANTI (PONTI, VIADOTTI, GALLERIE)	127
7.1	STATO DELL'ARTE.....	127
7.2	DANNI CHE POSSONO INTERESSARE LE STRUTTURE	132
7.2.1	Azioni legate alle deformazioni dei terreni e azioni delle acque.....	132
7.2.2	Azione sismica.....	135
7.2.3	Altre azioni e variazioni termiche	135
7.3	RIFERIMENTI.....	137

Danni che possono interessare le strutture

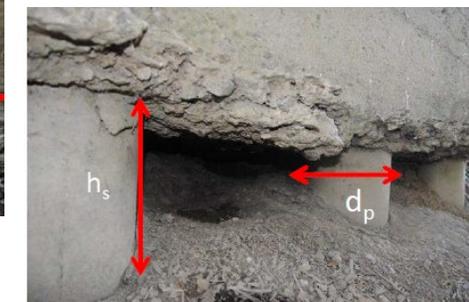
Spostamenti caratterizzati da evoluzione a cinematica lenta

Azioni legate alle deformazioni dei terreni e azioni delle acque

- Scalzamento delle fondazioni
- Dilavamento o dissesto del rilevato di approccio
- Movimenti della fondazione (rotazioni, spostamenti orizzontali o verticali)



“Linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti” (C.S.LL.PP., 2022)



Danni che possono interessare le strutture

Spostamenti caratterizzati da evoluzione a cinematica lenta

Danneggiamenti che interessano i dispositivi di appoggio

- **Es. bloccaggio appoggio, chiusura appoggio gerber**

Chiusura dei giunti

- **Spostamenti lungo la direzione longitudinale dell'opera**

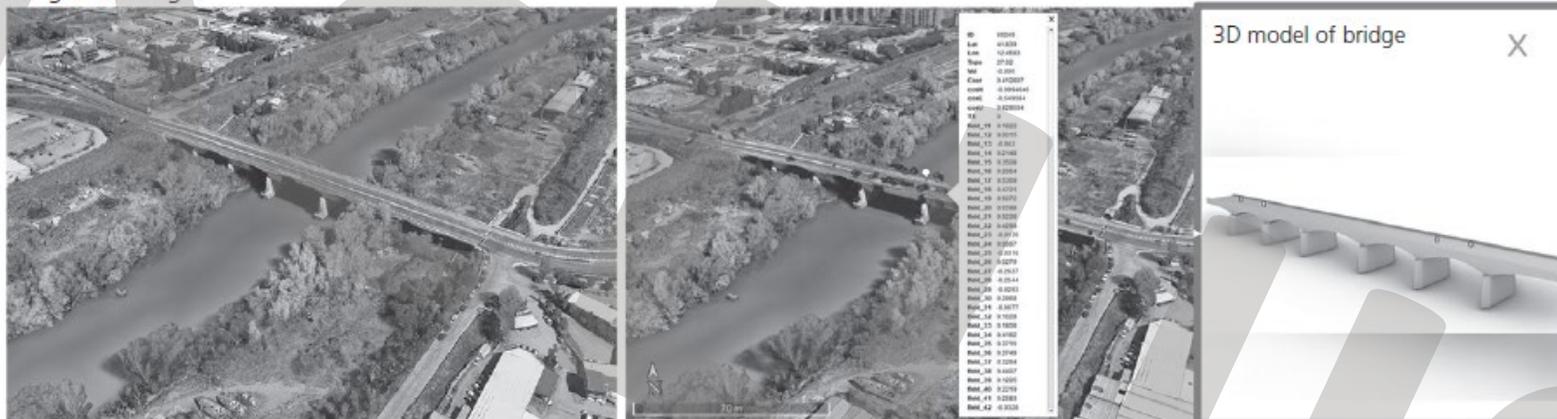


“Linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti” (C.S.LL.PP., 2022)

Posizionamento dei punti di misura

Integrazione in ambiente GIS di un modello geometrico tridimensionale accurato per una corretta visualizzazione dei punti di misura

Magliana Bridge



Marconi Bridge



Descrizione del caso studio (§ 10.4 delle Linee Guida)



Viadotto Ansa del Tevere, “Ponte o Viadotto Morandi”

Descrizione del caso studio



Progettista: Riccardo Morandi

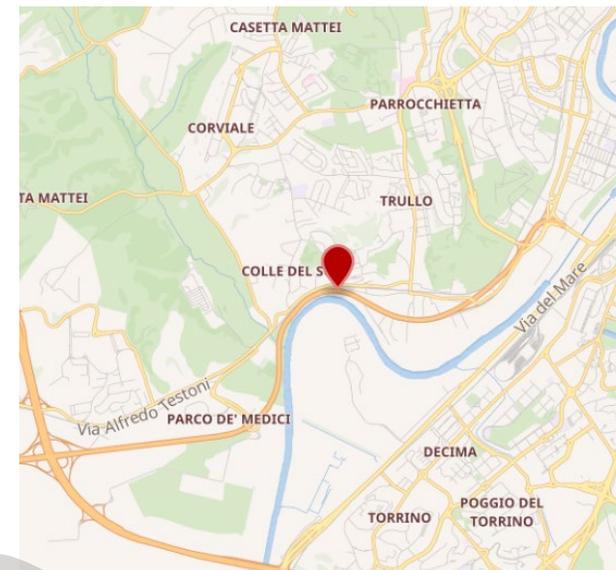
Costruzione: 1965-1967

Infrastruttura: Autostrada A91 Roma-Fiumicino

Tipologia: Ponte strallato

Lunghezza: 145 m

Larghezza: 24.20 m



Primo ponte strallato in cemento armato precompresso realizzato a Roma e l'unico, tra i viadotti strallati di Morandi, che sostiene un tratto stradale curvilineo.

La soluzione strallata fu adottata in seguito ad uno smottamento che interessò l'area in cui ANAS stava realizzando un viadotto lungo 640 m, parte della strada statale 201 dell'Aeroporto di Fiumicino, allora in costruzione.

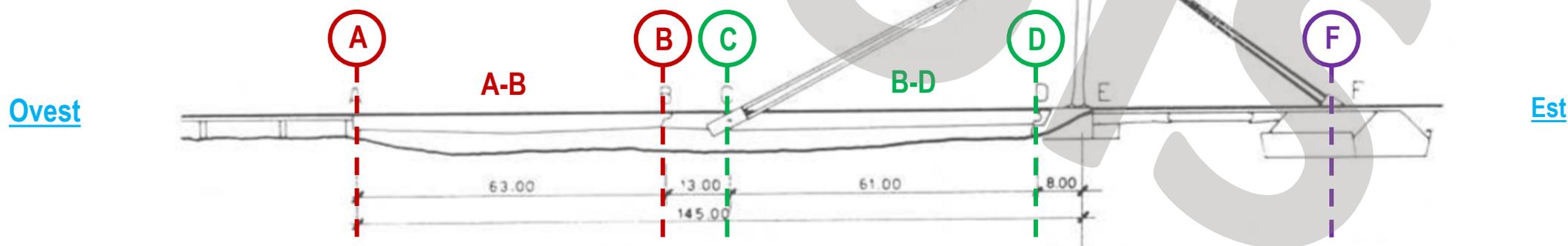
Descrizione del caso studio

Lunghezza: 145 m

Larghezza: 24.20 m

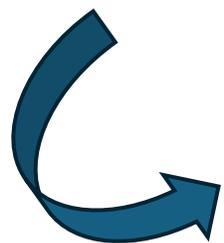
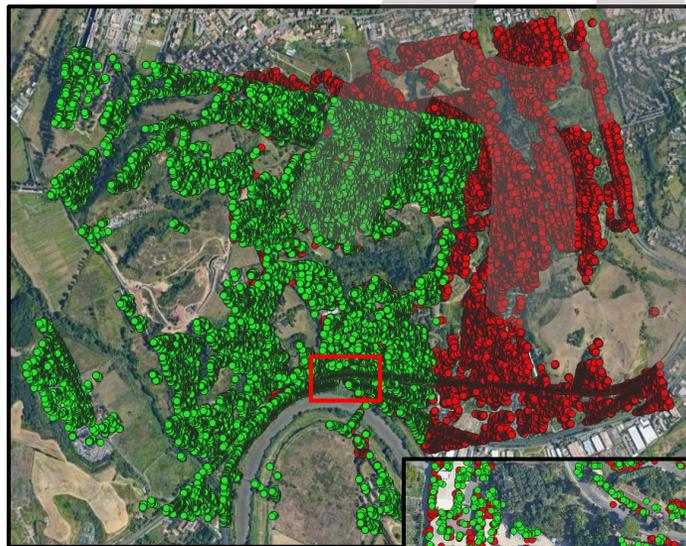
Prima travatura A-B: lunghezza di 63 m, schema di trave su due appoggi, in corrispondenza della pila terminale **(A)** del tratto di viadotto non interessato dallo smottamento e della sella Gerber **(B)** ricavata nella testata della seconda travatura **B-D**

Seconda travatura B-D: lunghezza di 74 metri, incernierata all'estremità **(D)** e sostenuta in **(C)** da una coppia di tiranti in cemento armato precompresso. I tiranti rivolti a est si divaricano e sono ancorati al suolo **(F)** mentre i tiranti rivolti a ovest agganciano la carreggiata nel punto centrale dell'avvallamento creatosi a seguito dello smottamento **(C)**.



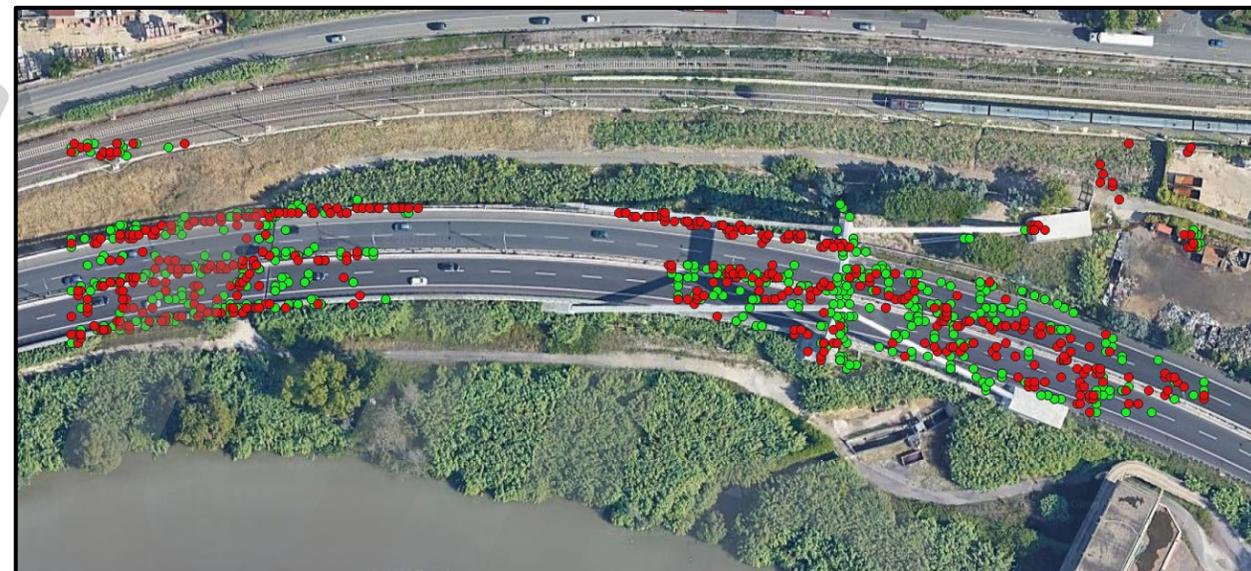
Schema strutturale

Dati di base del caso studio



Area di
interesse

Isolamento punti dell'opera



Dati satellitari,
DATASET ASCENDENTE e
DATASET DISCENDENTE

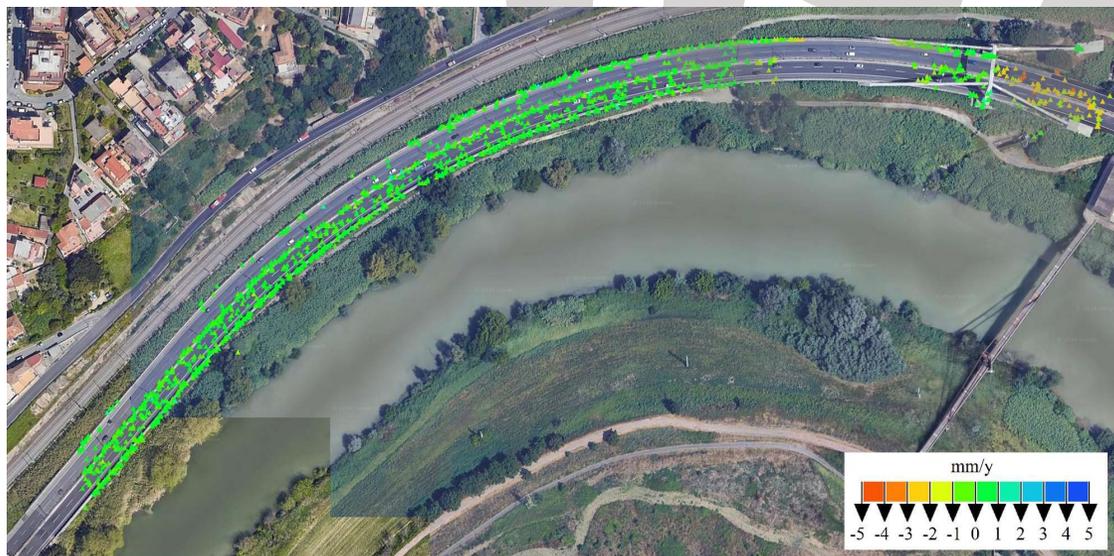
Dati forniti da CNR-IREA

satelliti COSMO-SkyMed
[2011-2019]

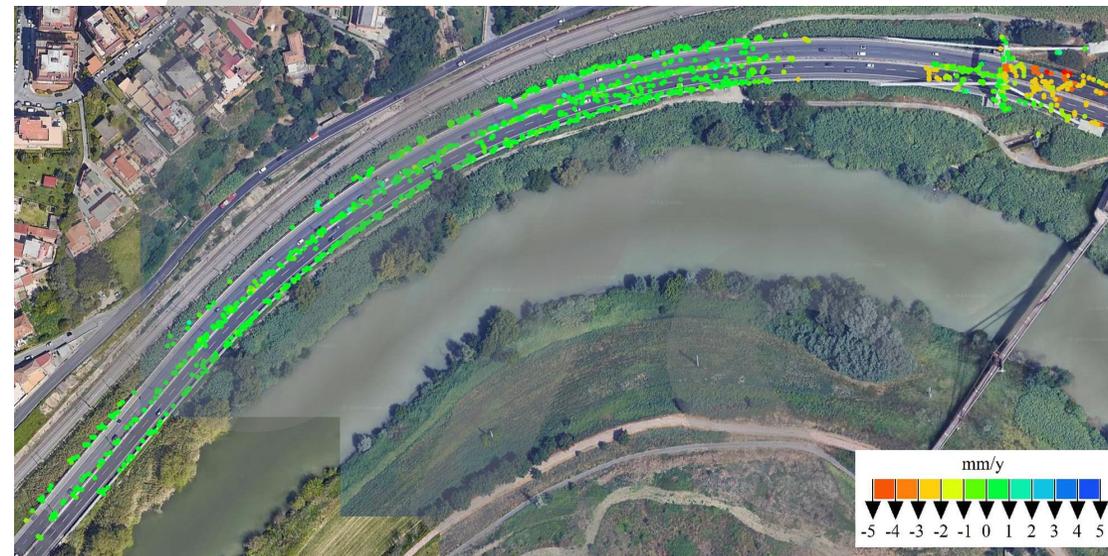
Dati di base del caso studio

Velocità media di spostamento lungo la LOS

Dataset
ascendente



Dataset
discendente



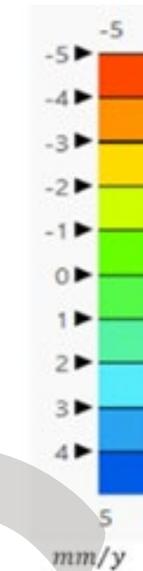
Dati di base del caso studio

Velocità media di spostamento lungo la LOS

**Dataset
ascendente**



**Dataset
discendente**



Rappresentazione ed elaborazione dei dati interferometrici

Presenza di un'area della struttura caratterizzata dall'assenza di punti di misura



Dataset ascendente

Dataset discendente



Le motivazioni alla base di tale fenomeno non sono sempre univocamente identificate

- *quasi totale assenza di oggetti sufficientemente retrodiffondenti all'interno dell'area di interesse*
- *fenomeni tempo-varianti di deformazione delle strutture, di ampiezza significativa rispetto alla lunghezza d'onda del segnale radar utilizzato, la cui ricostruzione attraverso l'utilizzo degli algoritmi DInSAR multi-temporali più diffusi in letteratura risulta attualmente inefficace, con una conseguente diminuzione dei valori del parametro di coerenza temporale*

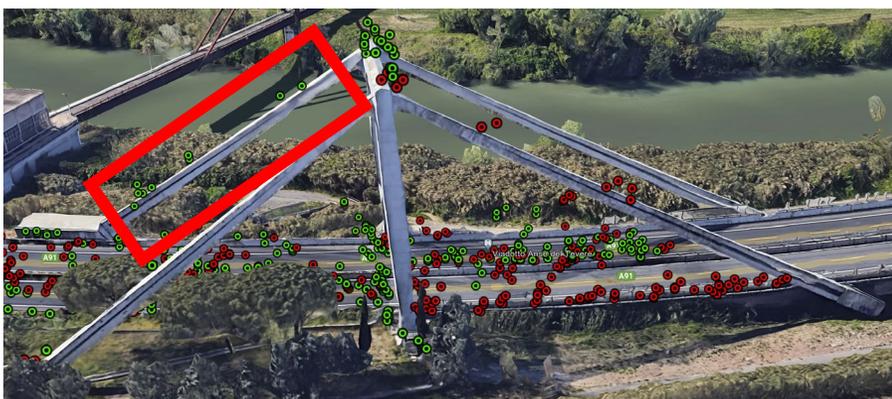
Rappresentazione ed elaborazione dei dati interferometrici

Dataset ascendente
Dataset discendente

Strallo Nord-Ovest

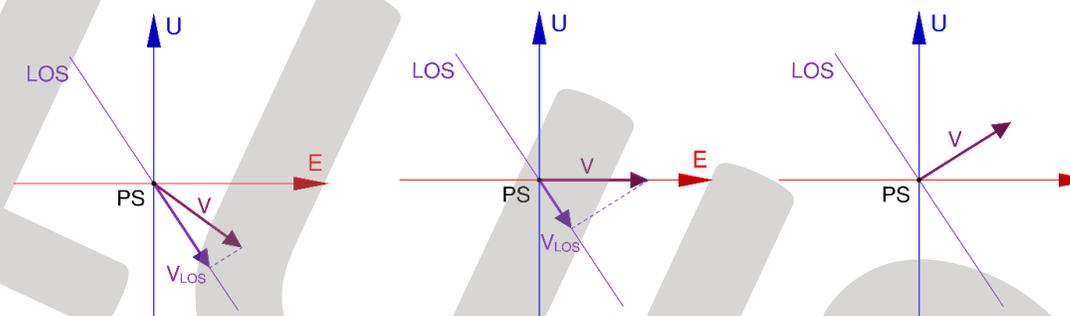


Strallo Sud-Est



Esempi di aree con punti di misura appartenenti ad un singolo dataset

V_{LoS} = vel misurata lungo LoS - V = vel reale



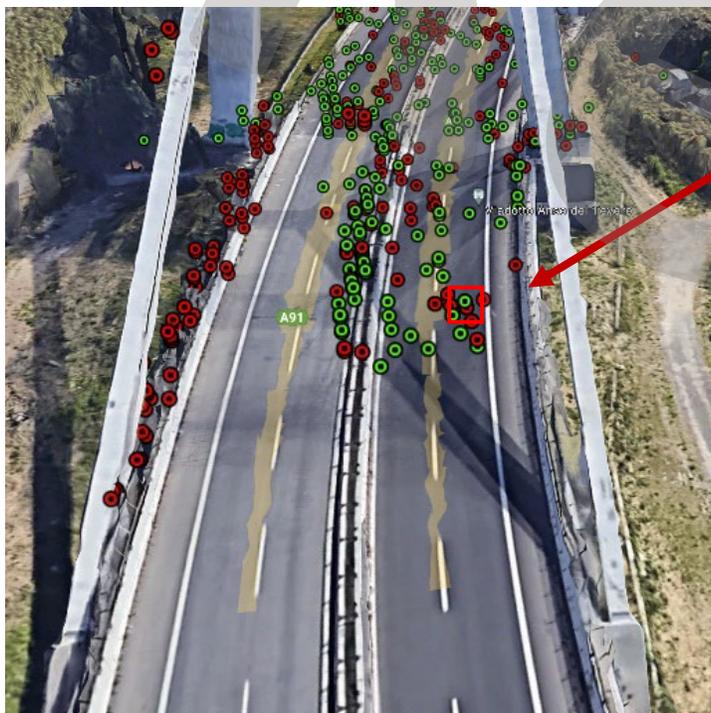
Un valore elevato di velocità media o di spostamento lungo la LOS è segnale di un processo di spostamento in atto.

Viceversa un basso valore di velocità media o di spostamento lungo la LOS non è garanzia dell'assenza di spostamenti in atto.

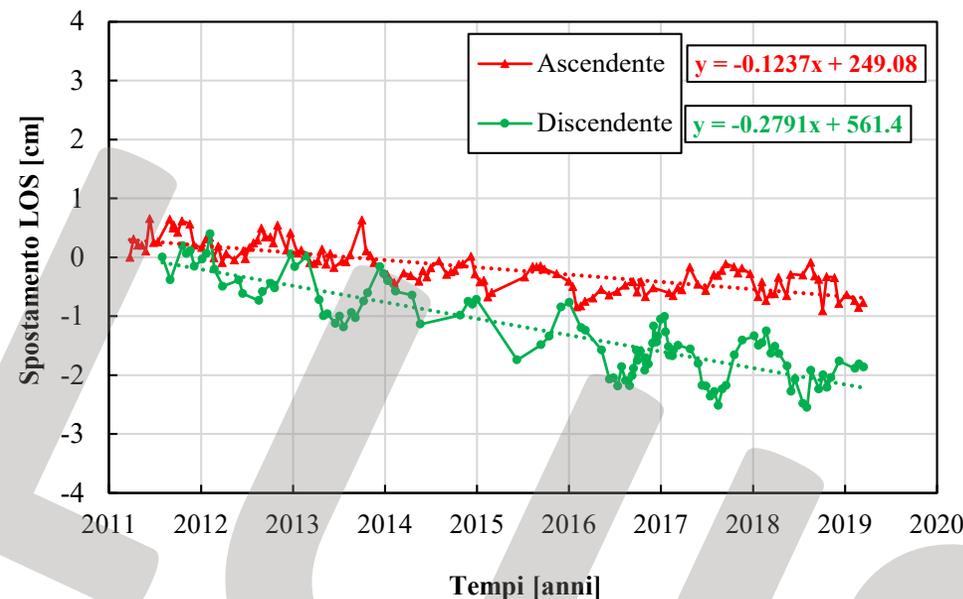
Possibilità di ricavare solo informazioni preliminari e non considerazioni definitive riguardo i fenomeni deformativi in atto

Rappresentazione ed elaborazione dei dati interferometrici

Approccio Nearest Neighbors – Punti «sufficientemente» vicini



Punto Impalcato Ovest



Dataset ascendente
Dataset discendente

Taglio/Ricampionamento temporale

(sovrapposizione dei periodi di osservazione dei due datasets, eliminando le acquisizioni precedenti o successive al periodo di acquisizione comune, ...)

Metodo 1.a

Velocità media tabellata

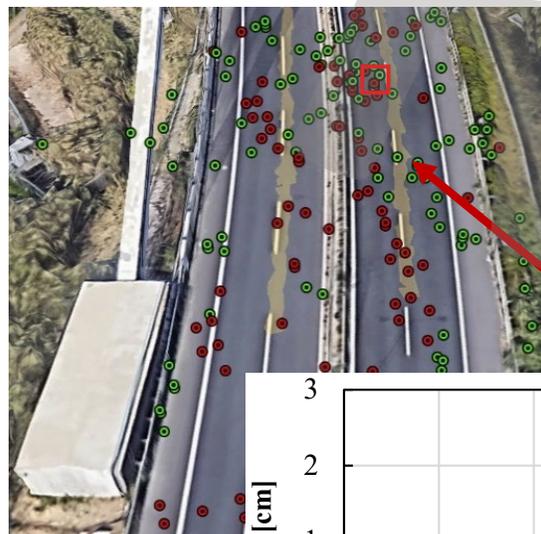
Metodo 1.b

Velocità media da regressione lineare

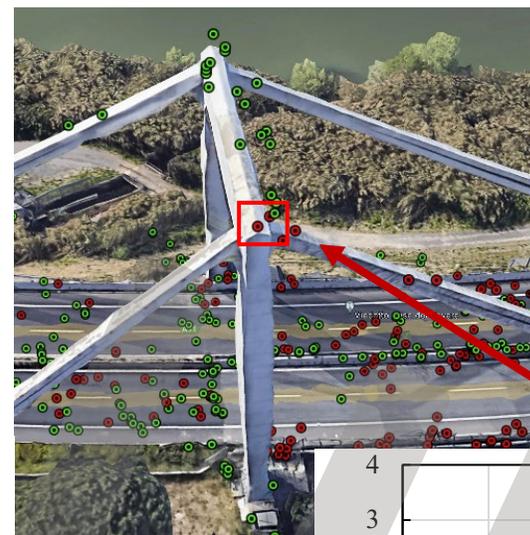
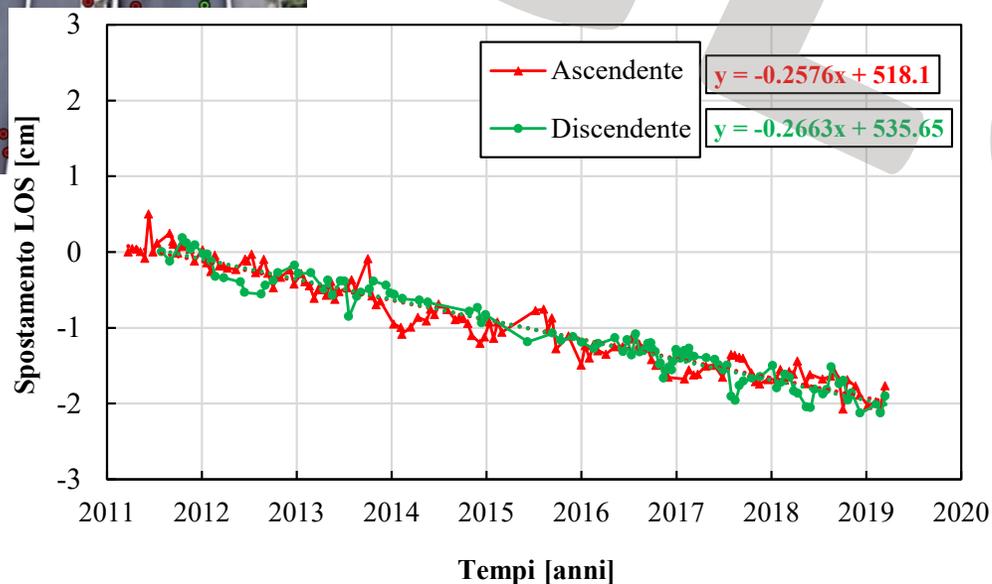
Stima dello spostamento del punto di misura

Rappresentazione ed elaborazione dei dati interferometrici

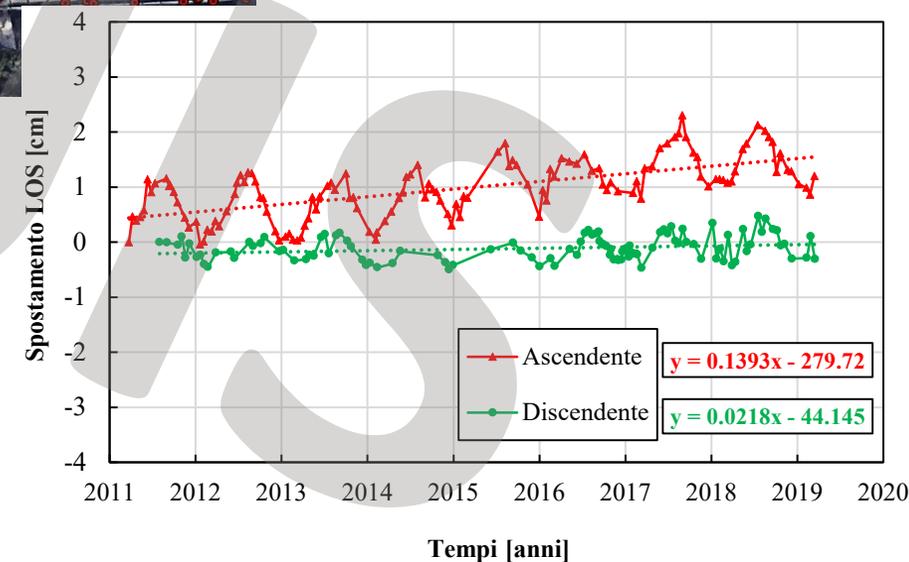
Approccio Nearest Neighbors



Punto Impalcato
Est



Punto sommità
pila



Dataset ascendente
Dataset discendente

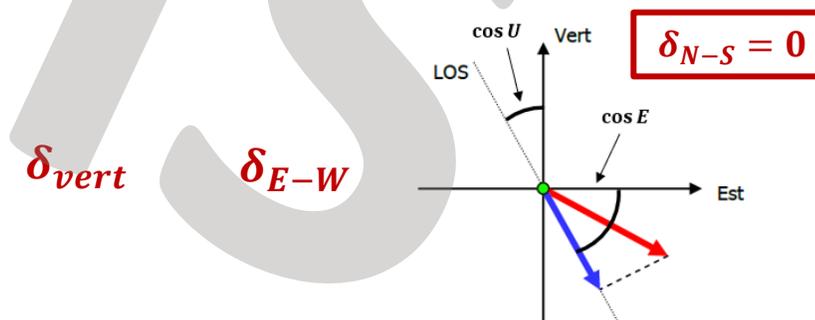
Rappresentazione ed elaborazione dei dati interferometrici

Approccio Nearest Neighbors

	Impalcato Ovest		Impalcato Est		Testata Pila	
	Metodo 1.a	Metodo 1.b	Metodo 1.a	Metodo 1.b	Metodo 1.a	Metodo 1.b
V_{vert} [cm/anno]	-0.246	-0.242	-0.31	-0.307	0.078	0.089
V_{E-W} [cm/anno]	-0.141	-0.142	0.023	0.005	-0.086	-0.119

$$\delta_{LOS,A} = \delta_{E-W} \cdot c_{E,A} + \delta_{N-S} \cdot c_{N,A} + \delta_{vert} \cdot c_{U,A} \cong \delta_{E-W} \cdot c_{E,A} + \delta_{vert} \cdot c_{U,A}$$

$$\delta_{LOS,D} = \delta_{E-W} \cdot c_{E,D} + \delta_{N-S} \cdot c_{N,D} + \delta_{vert} \cdot c_{U,D} \cong \delta_{E-W} \cdot c_{E,D} + \delta_{vert} \cdot c_{U,D}$$



Rappresentazione ed elaborazione dei dati interferometrici

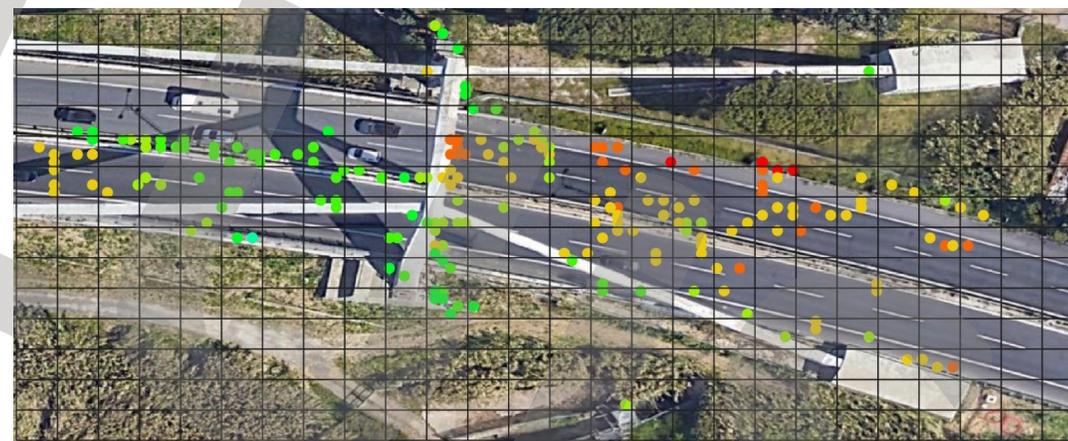
Approccio sotto-campionamento su griglia

**Celle di ricampionamento
quadrate di dimensione 6 x 6 m**

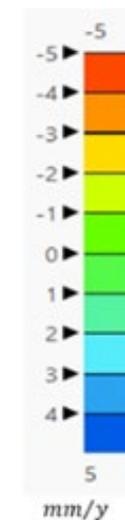
**Selezione dei punti appartenenti
all'impalcato**



Dataset ascendente



Dataset discendente

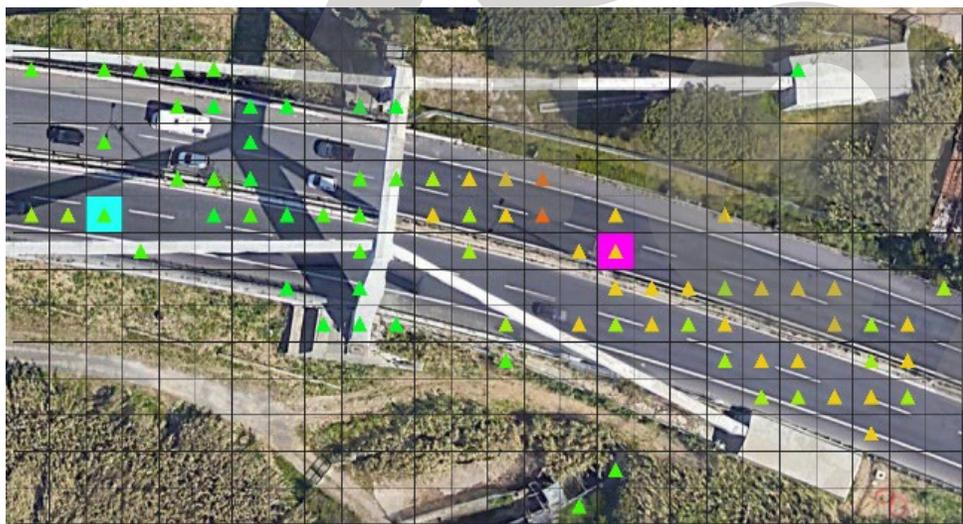


La dimensione della maglia è stata definita tenendo in considerazione la larghezza dell'impalcato del ponte, pari a circa 24 m

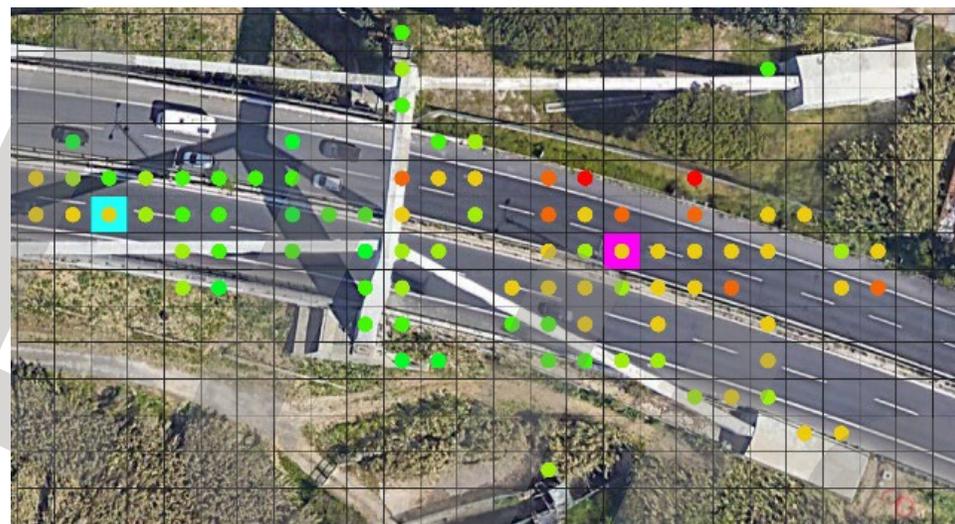
Rappresentazione ed elaborazione dei dati interferometrici

Approccio sotto-campionamento su griglia

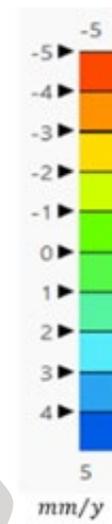
Individuazione dei punti di misura che ricadono all'interno della cella stessa



Dataset ascendente



Dataset discendente



*Velocità di spostamento
del baricentro di
ciascuna cella*



Metodo 2.a

dai valori di velocità media tabellata

Metodo 2.b

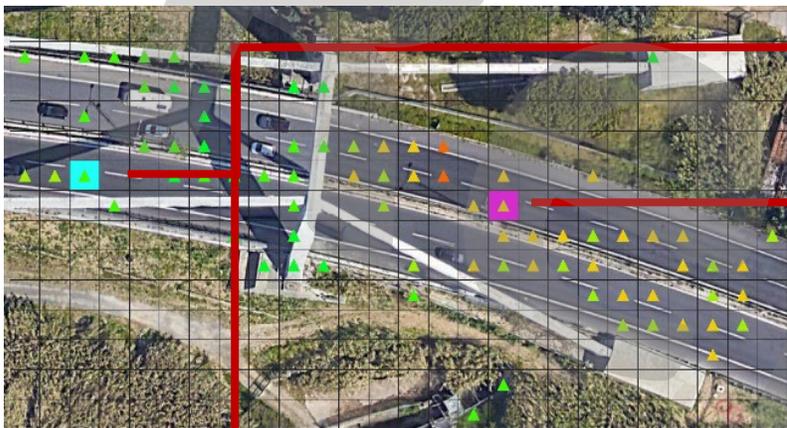
da regressione lineare della media delle serie di spostamento

Rappresentazione ed elaborazione dei dati interferometrici

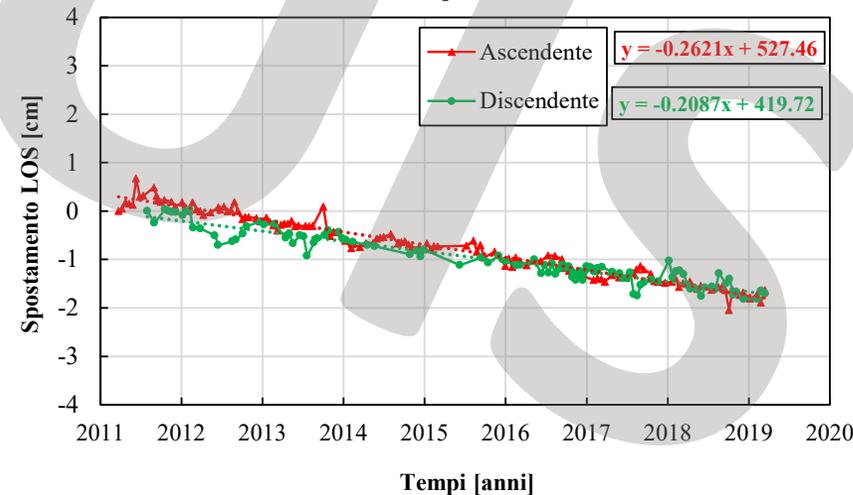
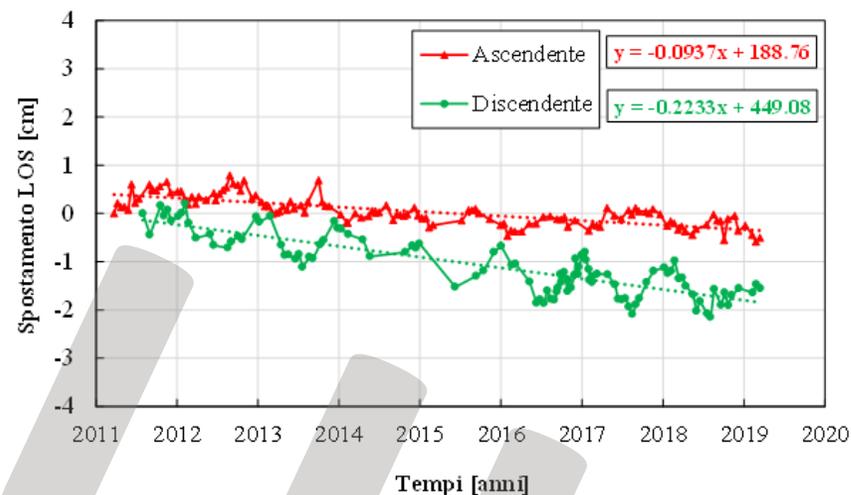
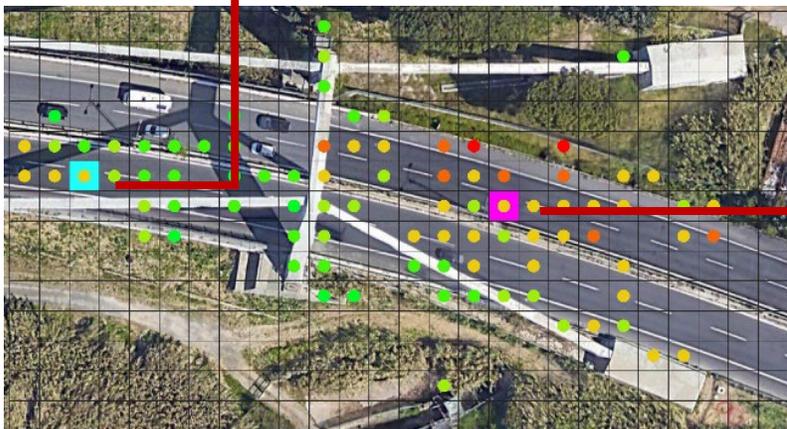
Individuazione dei punti di misura che ricadono all'interno della cella stessa

Approccio sotto-campionamento su griglia

Dataset
ascendente



Dataset
discendente



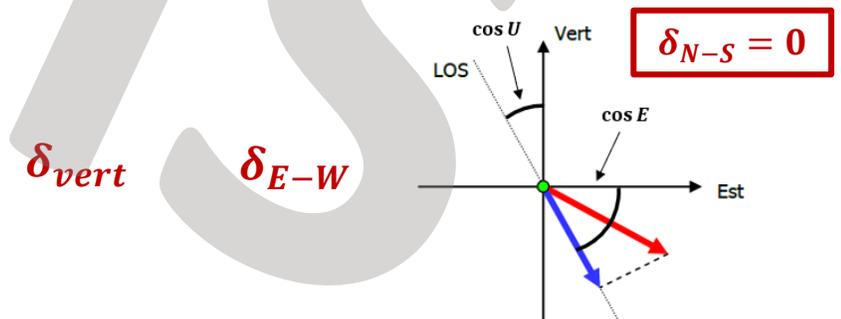
Rappresentazione ed elaborazione dei dati interferometrici

Approccio sotto-campionamento su griglia

	Impalcato Ovest		Impalcato Est	
	Metodo 2.a	Metodo 2.b	Metodo 2.a	Metodo 2.b
V_{vert} [cm/anno]	-0.187	-0.191	-0.274	-0.273
V_{E-W} [cm/anno]	-0.131	-0.119	0.073	0.064

$$\delta_{LOS,A} = \delta_{E-W} \cdot c_{E,A} + \delta_{N-S} \cdot c_{N,A} + \delta_{vert} \cdot c_{U,A} \cong \delta_{E-W} \cdot c_{E,A} + \delta_{vert} \cdot c_{U,A}$$

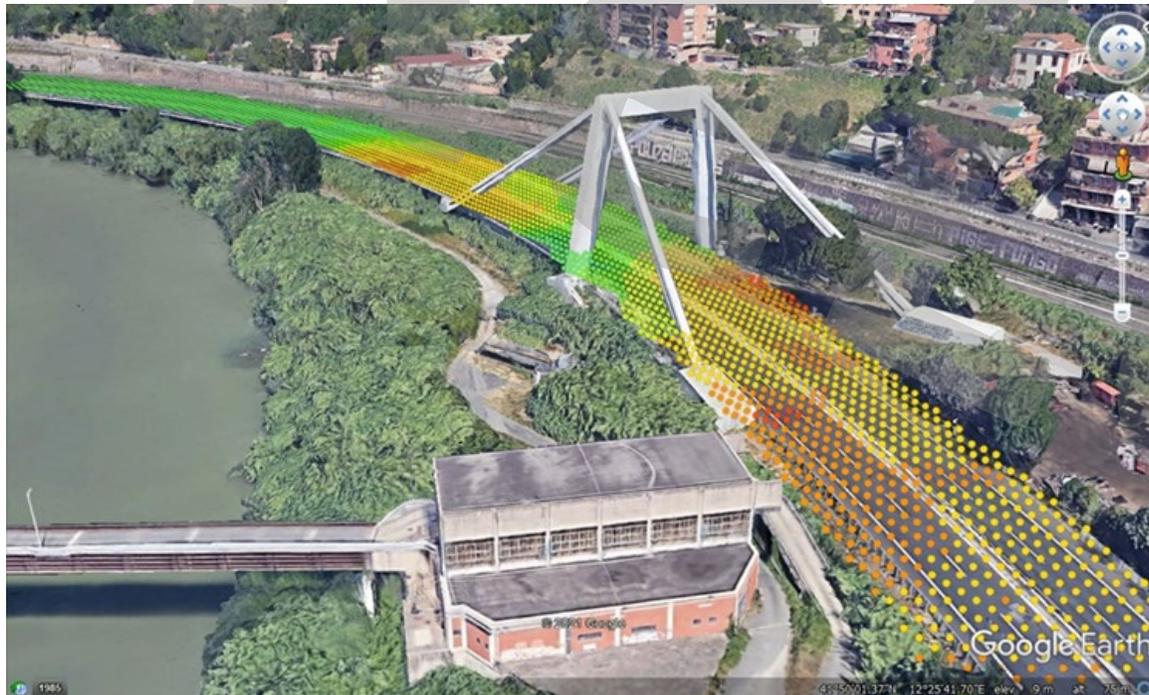
$$\delta_{LOS,D} = \delta_{E-W} \cdot c_{E,D} + \delta_{N-S} \cdot c_{N,D} + \delta_{vert} \cdot c_{U,D} \cong \delta_{E-W} \cdot c_{E,D} + \delta_{vert} \cdot c_{U,D}$$



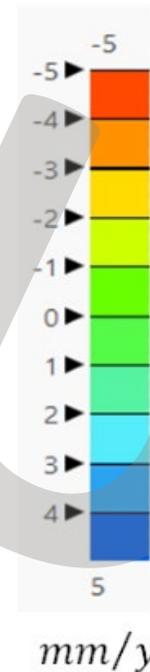
Rappresentazione ed elaborazione dei dati interferometrici

Interpolazione spaziale

**Celle di ricampionamento
quadrate di dimensione 3 x 3 m**



Mappa della velocità media lungo la direzione verticale
Tecnica di interpolazione Kriging Empirico Bayesiano (EBK)



**Selezione dei punti appartenenti
all'impalcato**



Tecnica di interpolazione spaziale



**Costruzione di mappe interpolate
delle componenti della velocità
media di spostamento nelle
direzioni verticale e E-W**

Rappresentazione ed elaborazione dei dati interferometrici

Interpolazione spaziale

**Celle di ricampionamento
quadrate di dimensione 3 x 3 m**



**Selezione dei punti appartenenti
all'impalcato**



Tecnica di interpolazione spaziale



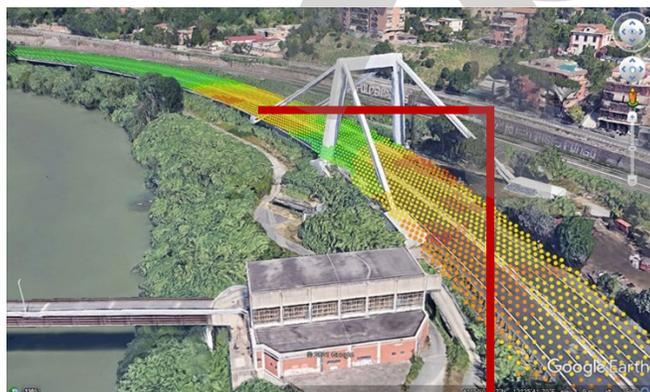
**Costruzione di mappe interpolate
delle componenti della velocità
media di spostamento nelle
direzioni verticale e E-W**

Mapa della velocità media lungo la direzione Est-Ovest
Tecnica di interpolazione Kriging Empirico Bayesiano (EBK)

Rappresentazione ed elaborazione dei dati interferometrici

Interpolazione spaziale

*Celle di ricampionamento
quadrate di dimensione 3 x 3 m*



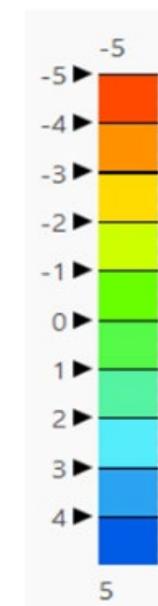
*Interpolazione separata in ciascuna
delle due parti del ponte*

*evitare interpolazioni dei valori
nella parte priva di dati*



discendente

ascendente



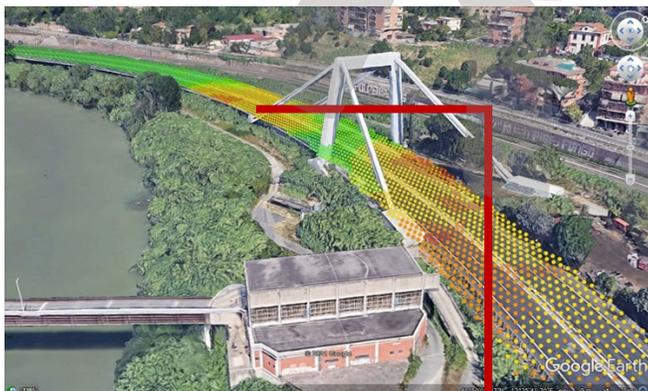
mm/y

*Mapa della velocità media lungo le orbite discendente e ascendente
Tecnica di interpolazione Kriging Empirico Bayesiano (EBK)*

Rappresentazione ed elaborazione dei dati interferometrici

Interpolazione spaziale

*Celle di ricampionamento
quadrate di dimensione 3 x 3 m*



*Interpolazione separata in ciascuna
delle due parti del ponte*

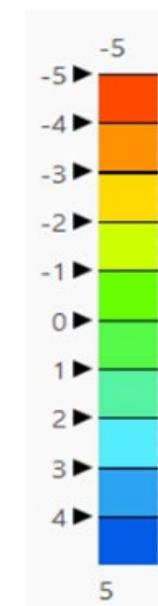
*evitare interpolazioni dei valori
nella parte priva di dati*



Est-Ovest



Verticale



mm/y

*Mapa della velocità media lungo le direzioni est-ovest e verticale
Tecnica di interpolazione Kriging Empirico Bayesiano (EBK)*

Interpretazione dei dati interferometrici

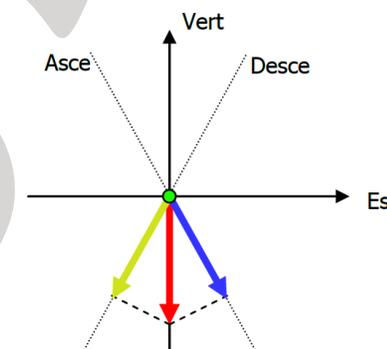
Confronto dei risultati

	Impalcato Ovest				Impalcato Est			
	Metodo 1.a	Metodo 1.b	Metodo 2.a	Metodo 2.b	Metodo 1.a	Metodo 1.b	Metodo 2.a	Metodo 2.b
V_{vert} [cm/anno]	-0.246	-0.242	-0.187	-0.191	-0.31	-0.307	-0.274	-0.273
$V_{\text{E-W}}$ [cm/anno]	-0.141	-0.142	-0.131	-0.119	0.023	0.005	0.073	0.064

Prevalenza della componente verticale della velocità media di spostamento



la velocità media di spostamento lungo la LOS presenta lo stesso segno sia in geometria ascendente sia discendente



Interpretazione dei dati interferometrici

Confronto dei risultati

	Impalcato Ovest				Impalcato Est			
	Metodo 1.a	Metodo 1.b	Metodo 2.a	Metodo 2.b	Metodo 1.a	Metodo 1.b	Metodo 2.a	Metodo 2.b
V_{vert} [cm/anno]	-0.246	-0.242	-0.187	-0.191	-0.31	-0.307	-0.274	-0.273
$V_{\text{E-W}}$ [cm/anno]	-0.141	-0.142	-0.131	-0.119	0.023	0.005	0.073	0.064

Il fenomeno di spostamento, prevalentemente riscontrabile lungo la direzione verticale, è di maggiore intensità nell'area relativa all'impalcato Est.

Una possibile causa potrebbe essere identificata nell'esistenza di un fenomeno di subsidenza.

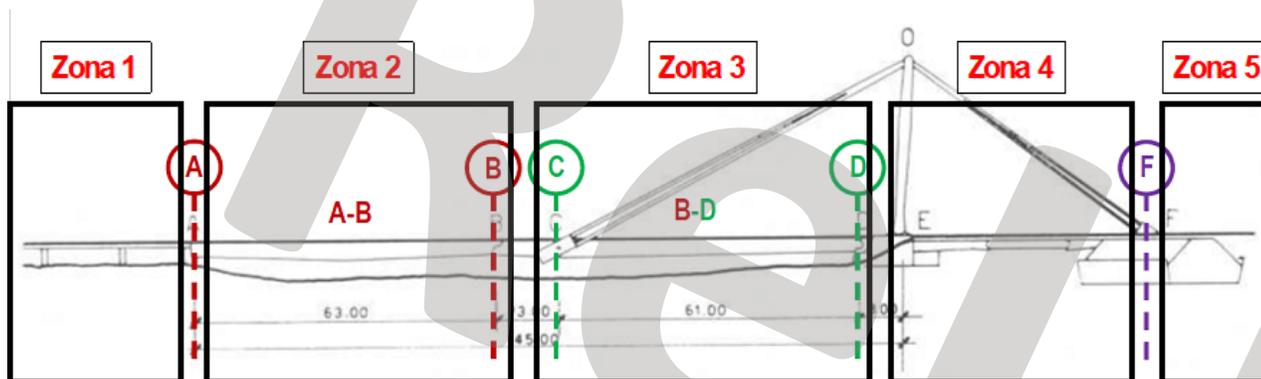
Interpretazione dei dati interferometrici

Confronto dei risultati

	Impalcato Ovest				Impalcato Est			
	Metodo 1.a	Metodo 1.b	Metodo 2.a	Metodo 2.b	Metodo 1.a	Metodo 1.b	Metodo 2.a	Metodo 2.b
V_{vert} [cm/anno]	-0.246	-0.242	-0.187	-0.191	-0.31	-0.307	-0.274	-0.273
$V_{\text{E-W}}$ [cm/anno]	-0.141	-0.142	-0.131	-0.119	0.023	0.005	0.073	0.064

il Metodo 1, di tipo locale, fornisce un valore più alto della velocità media di spostamento rispetto al Metodo 2, che considera una media dei valori della velocità di spostamento dei punti che ricadono all'interno del quadrante della griglia considerato

Influenza dello schema strutturale sul ricampionamento spaziale



Gli spostamenti delle diverse parti della struttura potrebbero non essere direttamente correlati tra loro a causa del complesso schema strutturale



Esecuzione di un ricampionamento spaziale distinto per ogni porzione omogenea della struttura, considerando i punti appartenenti ai singoli tratti in modo separato rispetto al resto dell'opera, poiché caratterizzati da uno stesso tipo di comportamento

Conclusioni

Il caso studio presentato rientra all'interno del quadro dei possibili danni valutabili mediante tecniche SAR presentato nelle Linee Guida, evidenziando un quadro di spostamento compatibile con un cedimento del terreno

Tutti gli approcci utilizzati evidenziano un processo di spostamento localizzato nella zona Est del viadotto, prevalentemente lungo la direzione verticale

Approfondimento della tecnica impiegata in funzione dello schema strutturale

Approccio basato su coppie di punti fornisce un valore puntuale della componente di spostamento o di velocità, e quindi può fornire un'analisi più dettagliata del comportamento strutturale (non sempre è facile però trovare coppie vicine)

Approcci basati su interpolazioni su una zona ampia potrebbero fornire una informazione non esaustiva (distribuzione non sufficientemente omogenea dei punti di misura, schema strutturale,...)



TASK 5.6 – Monitoraggio strutturale di ponti con dati satellitari
Coordinatore: Prof. Andrea Prota, UniNa

Grazie per l'attenzione

Prof. Fabio Di Carlo

Università degli Studi di Roma «Tor Vergata»



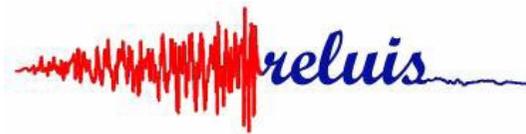
TOR VERGATA
UNIVERSITY OF ROME

Accordo CSLLPP_ RELUIS attuativo DM 578/2020 e DM 204/2022

La sperimentazione delle Linee Guida per i ponti esistenti

Formazione EE.LL. ex art. 4 DM 204/2022

22/11/2024



TASK 5.6 – Monitoraggio strutturale di ponti con dati satellitari
Coordinatore: Prof. Andrea Prota, UniNa

**INTERPRETAZIONE DEI DATI INTERFEROMETRICI AI FINI DELLA VALUTAZIONE DEGLI
SPOSTAMENTI DI SERVIZIO DI PONTI IN C.A.**

A. Sandoli & G. Fabbrocino

Accordo CSLLPP_RELUIS attuativo DM 578/2020 e DM 204/2022

La sperimentazione delle Linee Guida per i ponti esistenti

Formazione EE.LL. ex art. 4 DM 204/2022

22/11/2024

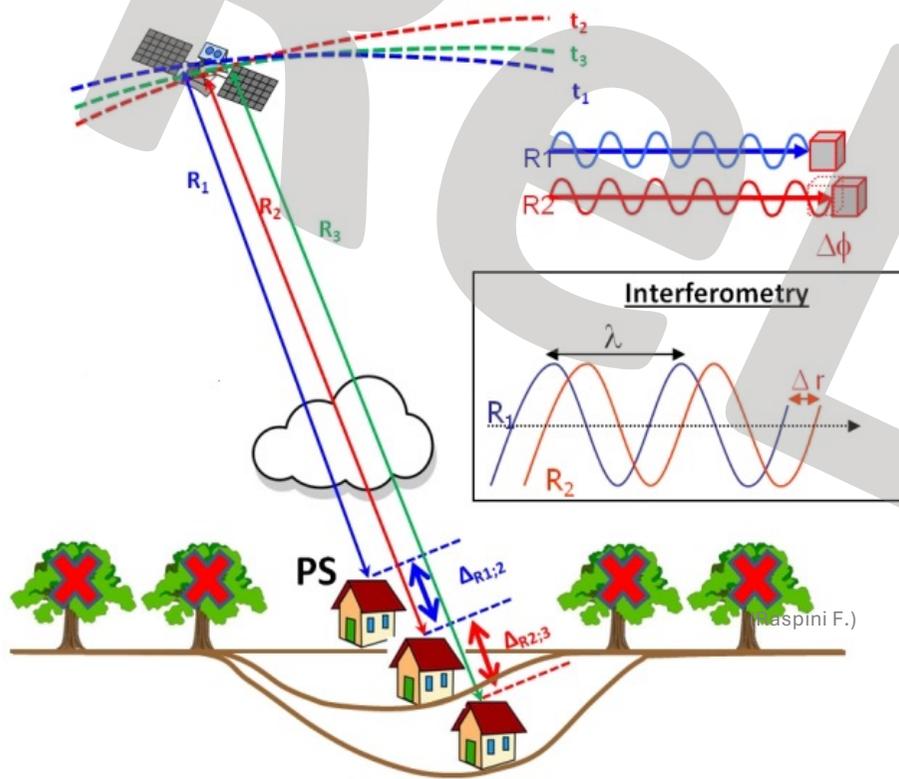


Contenuto della presentazione

- *Interpretazione e verifica* del dato satellitare per il monitoraggio strutturale (SHM) da remoto di ponti esistenti in c.a. in condizioni operative di servizio :
 - analisi dello stato di sussistenza dei punti di misura (PS), anche in funzione della risoluzione satellitare a disposizione
 - saggiare la compatibilità strutturale degli spostamenti misurati
 - supporto di strumenti semplificati per l'analisi dei dati SAR
 - interpretazione (razionale) dei dati in relazione alla lunghezze di banda
- Valutazione dell'effetto di differenti componenti di spostamento (verticale):
 - Carichi da traffico
 - Variazioni di temperatura (carichi termici)
 - Effetti geologici/geotecnici
- Analisi di casi studio: Ponte Settimia Spizzichino e Ponte di Tor di Quinto (Roma)



Lettura interferometrica



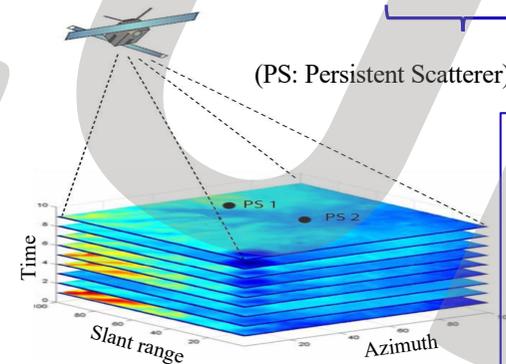
Con la tecnica Din-SAR due immagini sono acquisite da differenti posizioni (spatial baseline) relativi a differenti istanti di tempo (temporal baseline). Gli spostamenti lungo la LOS sono misurati usando interferogrammi differenziali. Il ritardo di fase tra due immagini SAR è:

$$\Delta\phi = \frac{4\pi}{\lambda} \cdot \Delta r$$

Lo spostamento Δr può essere espresso come:

$$\Delta r = \frac{\Delta\phi}{2\pi} \cdot \frac{\lambda}{2}$$

wavelength (λ)
C-band= 5.66 cm
X-band= 3.10 cm
L-band= 24.0 cm



(PS: Persistent Scatterer)

L'accuratezza con cui è possibile misurare gli spostamenti è legata:

- una frazione della lunghezza d'onda (cioè $\lambda/4$).
- srotolamento di fase $\Delta\phi$.

Lavorando nel campo delle microonde è possibile raggiungere accuratze di pochi millimetri.



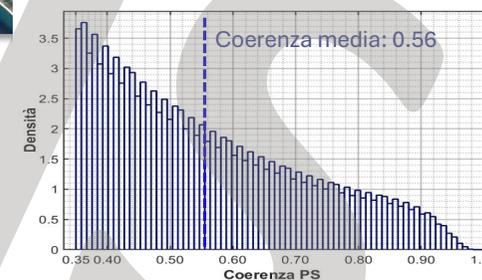
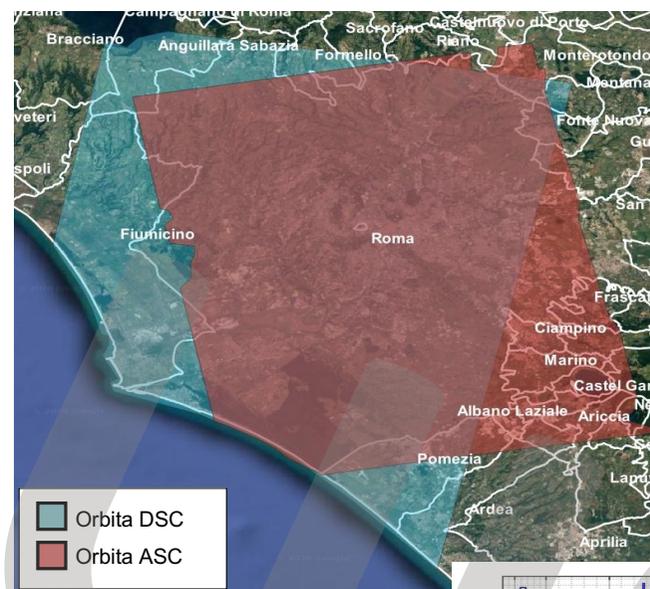
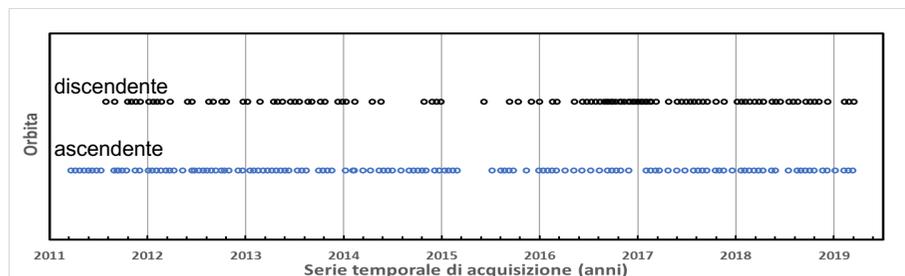
Dataset interferometrico di riferimento



I dati interferometrici satellitari forniti nell'ambito del progetto di ricerca ReLUIS dall'Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente (CNR-IREA) hanno le seguenti caratteristiche:

- **Tecnica di elaborazione:** Parallel Small Baseline Subset (P-SBAS) ;
- **Piattaforma di acquisizione satellitare:** COSMO-SkyMed (CSK);
- **Sensore:** banda-X, $\lambda = 3.1$ cm;
- **Risoluzione:** 3 x 3 m;
- **Numero di PS:** 40.8 milioni;

Orbita	Data di inizio misurazioni	Data di fine misurazioni	Intervallo temporale medio di misura (giorni)	Numero misurazioni	Angolo di incidenza medio	Angolo di azimut medio
Ascendente	21/03/2011	11/03/2019	22.7	129	34.26°	79.78°
Discendente	29/07/2011	13/03/2019	26.2	107	28.90°	-79.24°





Distribuzione spaziale e sussistenza dei dati



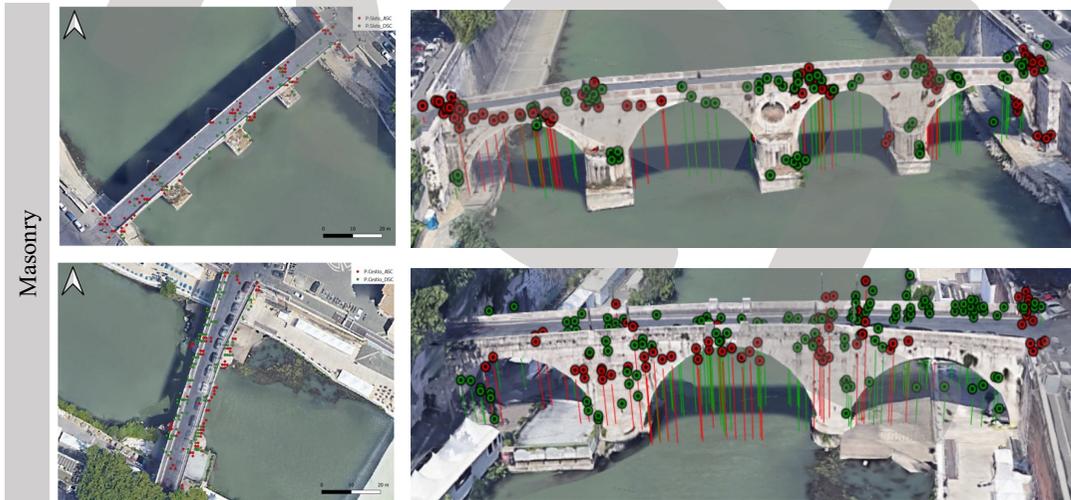
Duca D'Aosta
Bridge

Risorgimento
Bridge

BASIC REFERENCE DATA	
NAME OF THE BRIDGE	Duca D'Aosta Bridge
Coordinate system	WGS84
Ellipsoid	WGS85
Geographic coordinates (center)	41°55'52.53"N 12°27'38.16"E
Date of construction	1936
GEOMETRICAL FEATURES	
Total length [m]	222,3
Span of the arch [m]	100
Width of the central span [m]	30
Width [m]	10
Overall deck surface [m ²]	7395
STRUCTURAL FEATURES	
Structural type	Through arch bridge
Construction material	Reinforced concrete
Number of spans	1
Span length [m]	100
Lateral spans	2
Lateral span length [m]	25
Width of the central span [m]	0,65
DECK	
Roadway width [m]	21
Bridge route	Straight
Presence of vertical elements	YES
Side barriers	Masonry parapets
DINSAR - MEASUREMENT RELEVANT DATA	
Azimuth of the bridge roadway axis	118°
ascending orbit persistent scatterers	88
descending orbit persistent scatterers	134
persistent scatterers <u>density</u> [MP/m ²]	7,4



Distribuzione spaziale e sussistenza dei dati



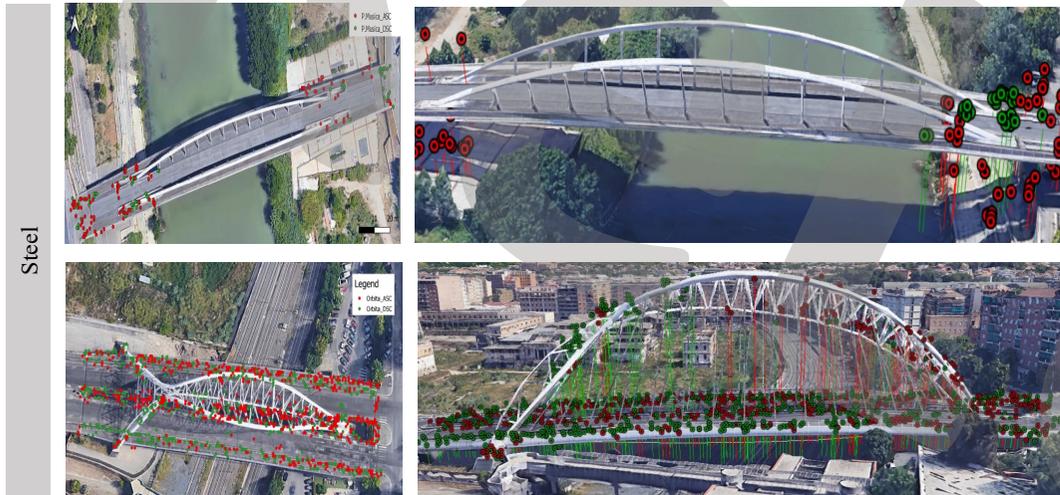
Sisto
Bridge

Cestio
Bridge

BASIC REFERENCE DATA	
NAME OF THE BRIDGE	Sisto bridge
Coordinate system	WGS84
Ellipsoid	WGS85
Geographic coordinates (center)	41°53'32.65"N 12°28'14.92"E
Date of construction	1479
Date of the enlargement works	1877
GEOMETRICAL FEATURES	
Total length [m]	99
Total width [m]	8
Overall deck surface [m ²]	716
STRUCTURAL FEATURES	
Structural type	Upper deck arch
Construction material	Masonry
Number of spans	4
Span length [m]	17 - 22
DECK	
Roadway width [m]	6
Bridge route	Straight
Presence of vertical elements	Yes - lamp posts
Side barriers	Travertine & brick parapet
DINSAR - MEASUREMENT RELEVANT DATA	
Azimuth of the bridge roadway axis	47°
Ascending orbit persistent scatterers	79
Descending orbit persistent scatterers	65
Persistent scatterers density [MP/m ²]	0,20



Distribuzione spaziale e sussistenza dei dati



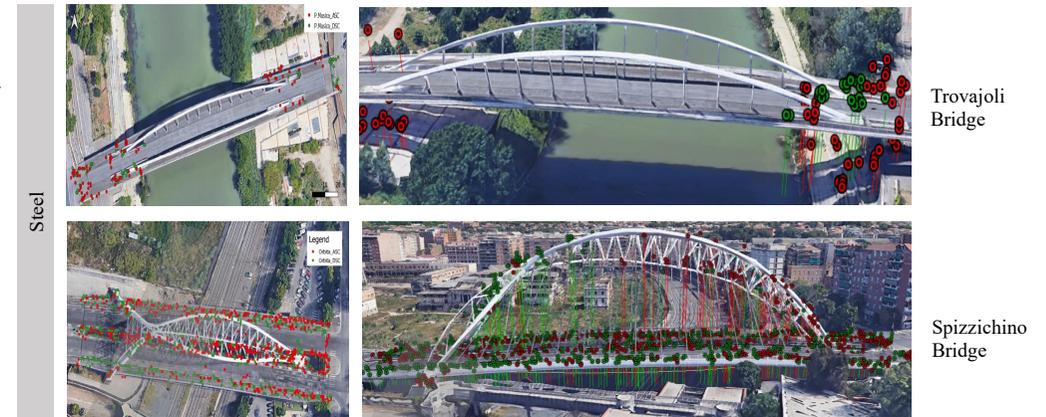
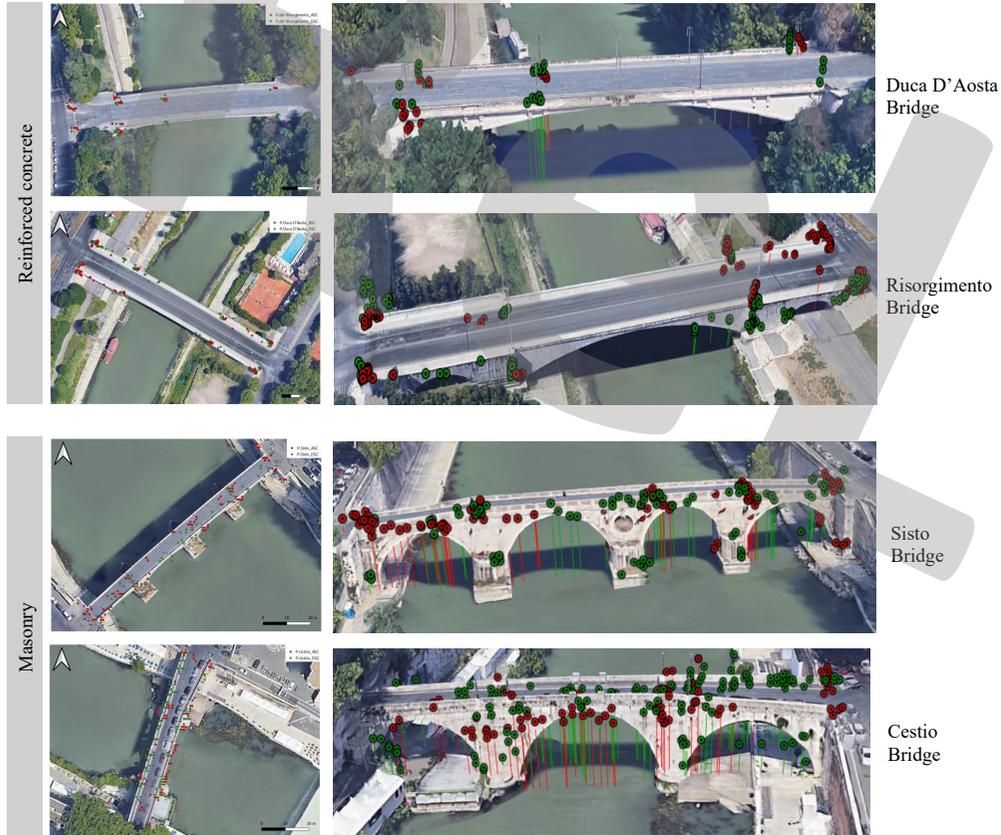
Trovajoli
Bridge

Spizzichino
Bridge

BASIC REFERENCE DATA	
NAME OF THE BRIDGE	Spizzichino Bridge
Coordinate system	WGS84
Ellipsoid	WGS85
Geographic coordinates (center)	41°52'02.28"N 12°28'58.98"E
Date of construction	2009-2012
GEOMETRICAL FEATURES	
Total length [m]	160
Span of the arch [m]	125
Width of the central span [m]	31,5 - 40
Width [m]	36
Overall deck surface [m ²]	6358
STRUCTURAL FEATURES	
Structural type	Through arch bridge
Construction material	Structural steel
Number of spans	3
Span length [m]	19 - 125 - 15
Number of tie rods	58
DECK	
Roadway width [m]	22
Bridge route	Straight
Presence of vertical elements	No
Side barriers	Steel parapet and guardrail
DINSAR - MEASUREMENT RELEVANT DATA	
Azimuth of the bridge roadway axis	74°
Ascending orbit persistent scatterers	78
Descending orbit persistent scatterers	42
Persistent scatterers density [MP/m ²]	0,03



Distribuzione spaziale e sussistenza dei dati



Perché alcuni ponti non sono coperti da PS?

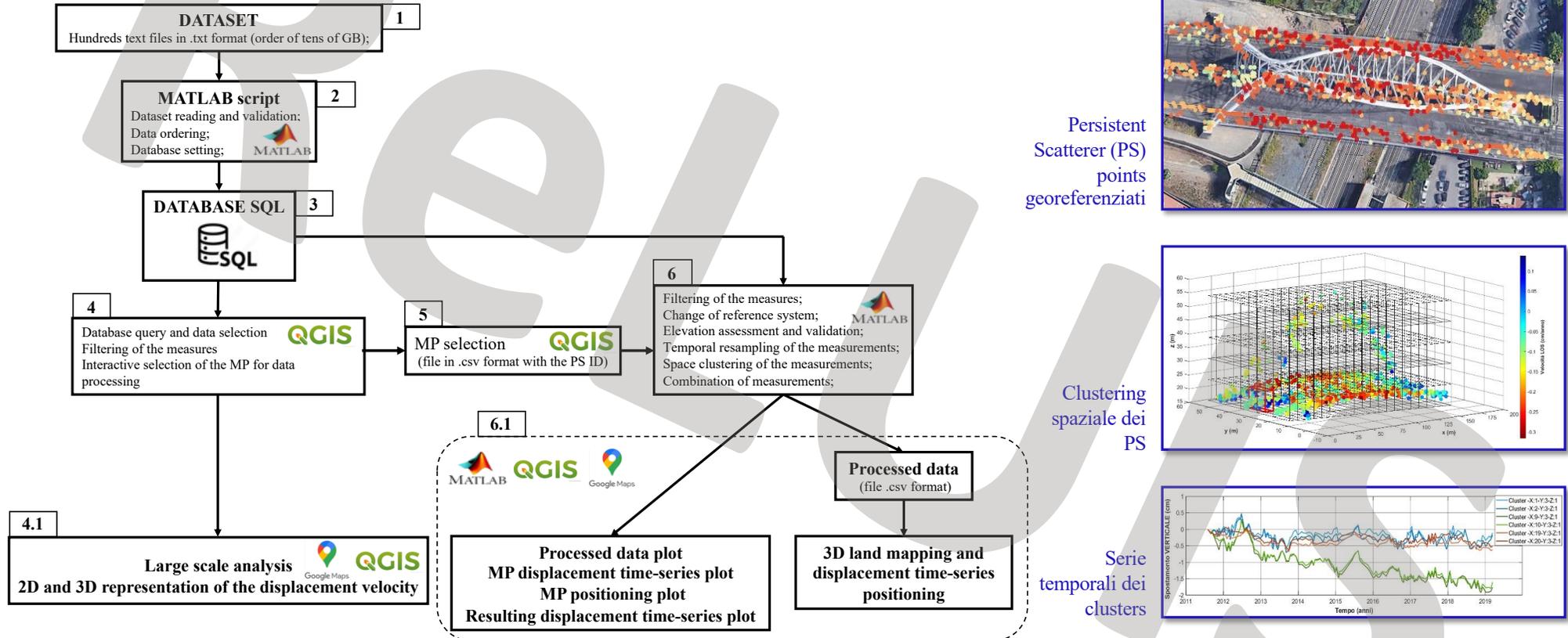
Quali sono le problematiche connesse all'assenza/presenza di PS?



Il post-processamento dei dati



Workflow



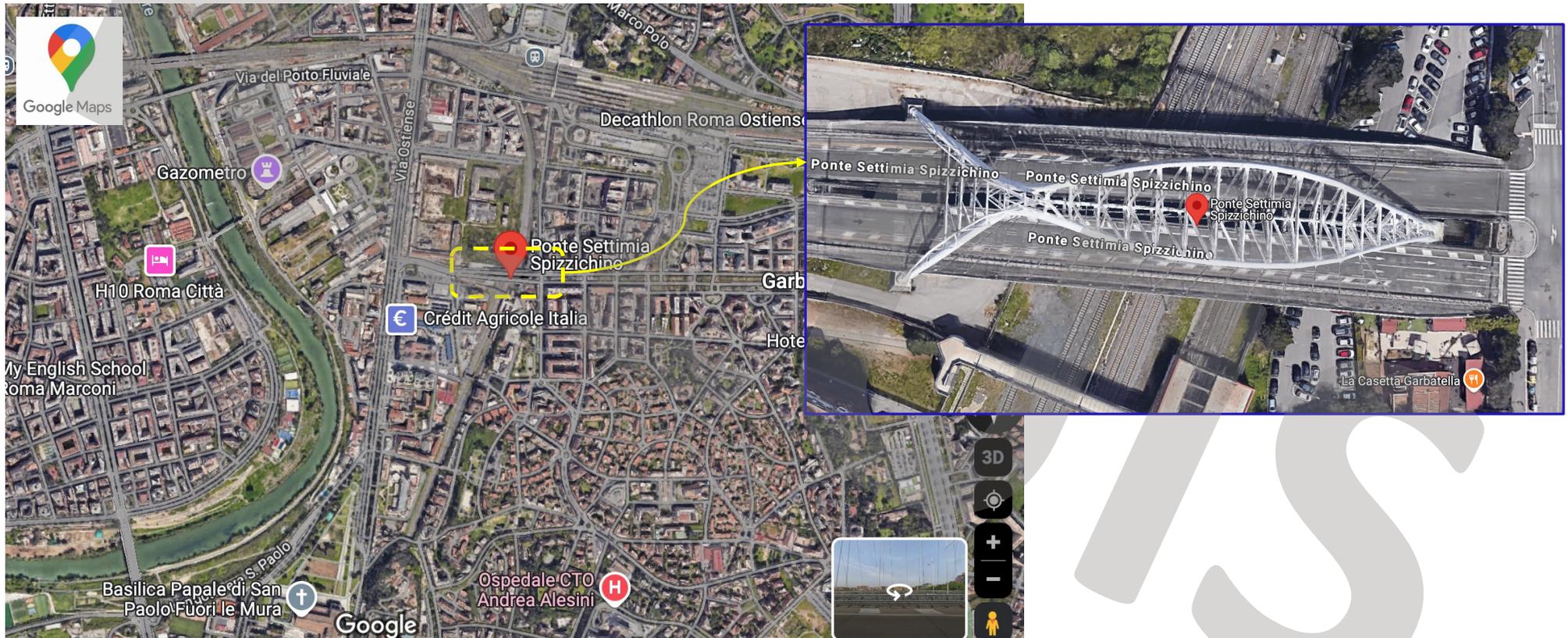
Sandoli A, Petracca E, Rainieri C, Fabbrocino G. *Operation of interferometric SBAS-DInSAR data for remote structural monitoring of existing bridges.* Journal of Bridge Engineering ASCE29(11),2024; doi: 10.1061/JBENF2.BEENG-6850



Il ponte Settimia Spizzichino



Inquadramento e caratteristiche

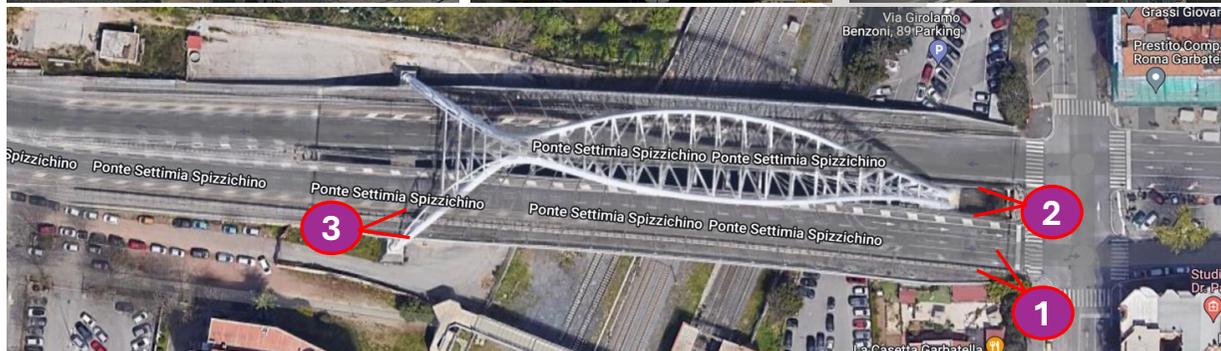




Il ponte Settimia Spizzichino



Inquadramento e caratteristiche



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE	
Lunghezza tot.	160 m
Lunghezza campate	19 m; 125 m; 15 m
Larghezza impalcato	31,5m – 40 m
Altezza arco	36 m
Altezza impalcato	9 m
Luce arco	125 m
Numero stralli	58



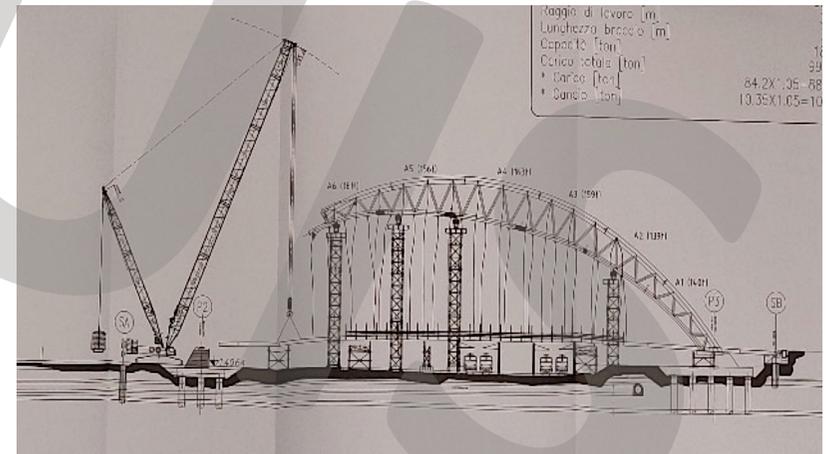
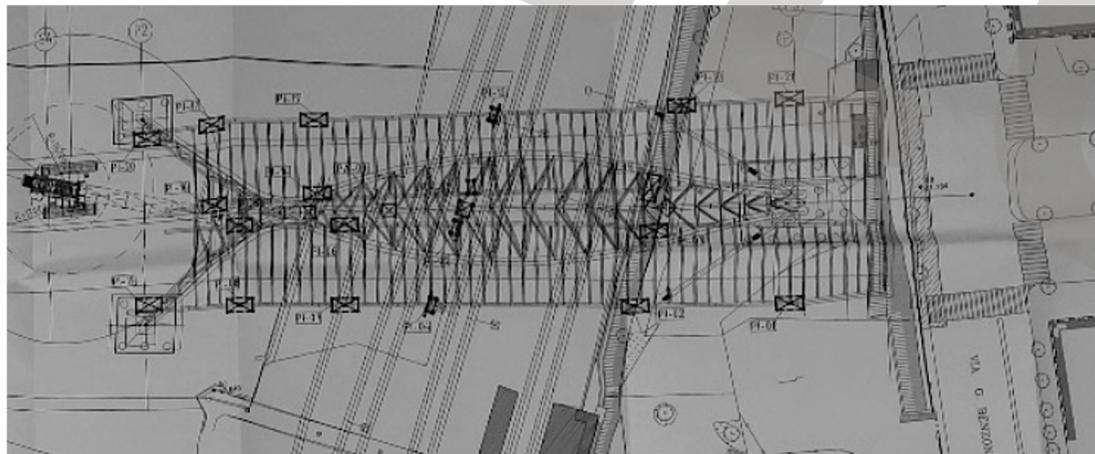
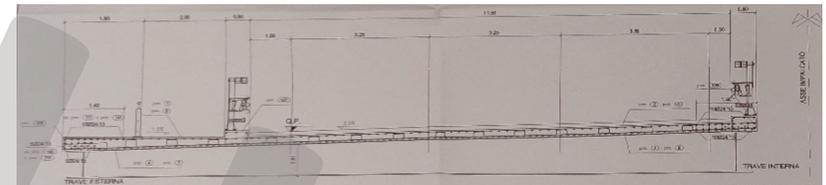
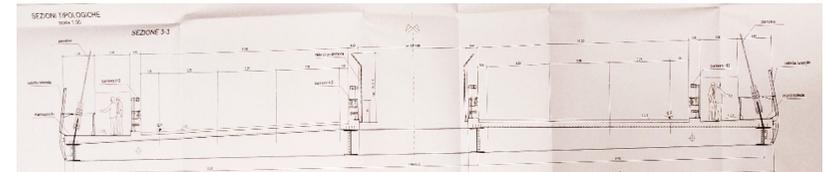
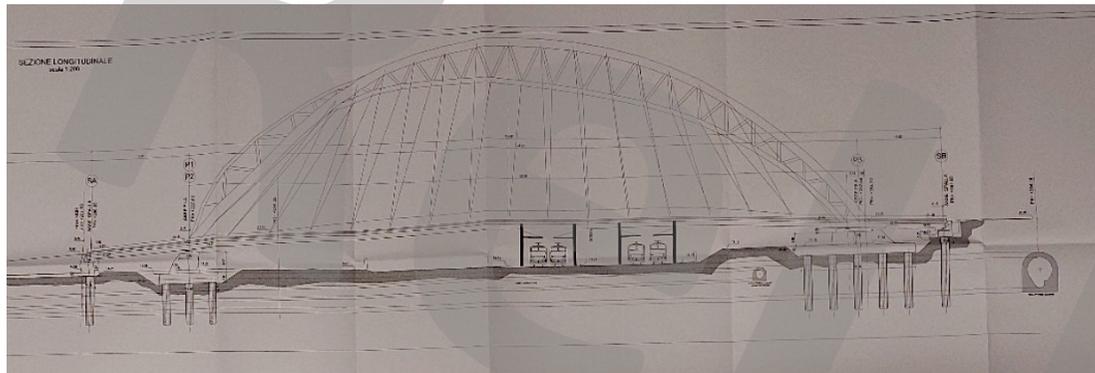
UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DEL MOLISE



Il ponte Settimia Spizzichino



Inquadramento e caratteristiche



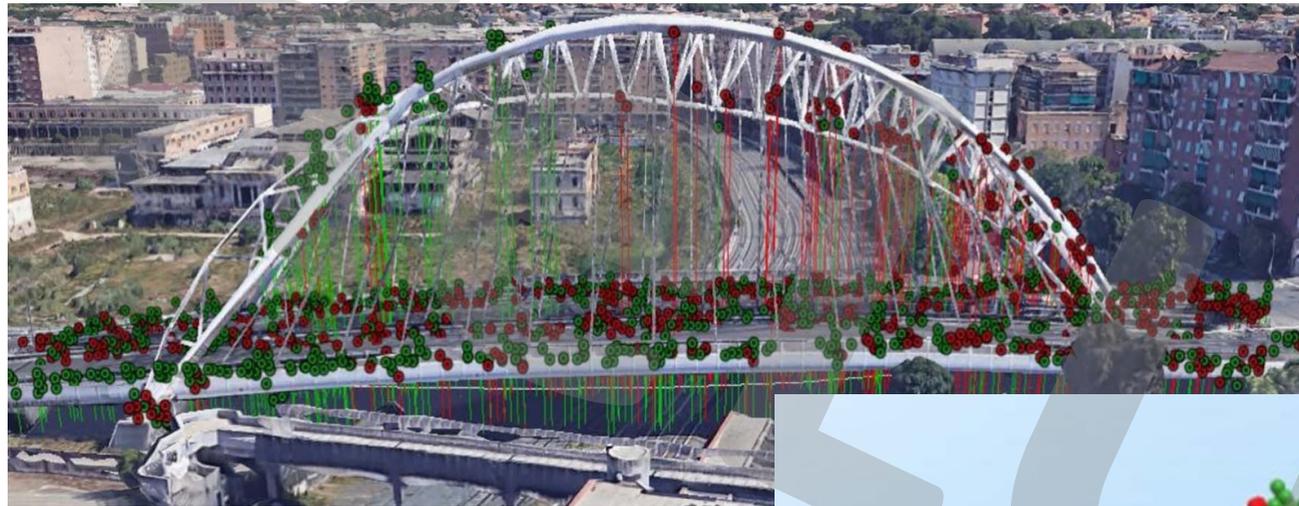
Interpretazione dei dati interferometrici ai fini della valutazione degli spostamenti di servizio di ponti in c.a. | A. Sandoli & G. Fabbrocino



Il ponte Settimia Spizzichino

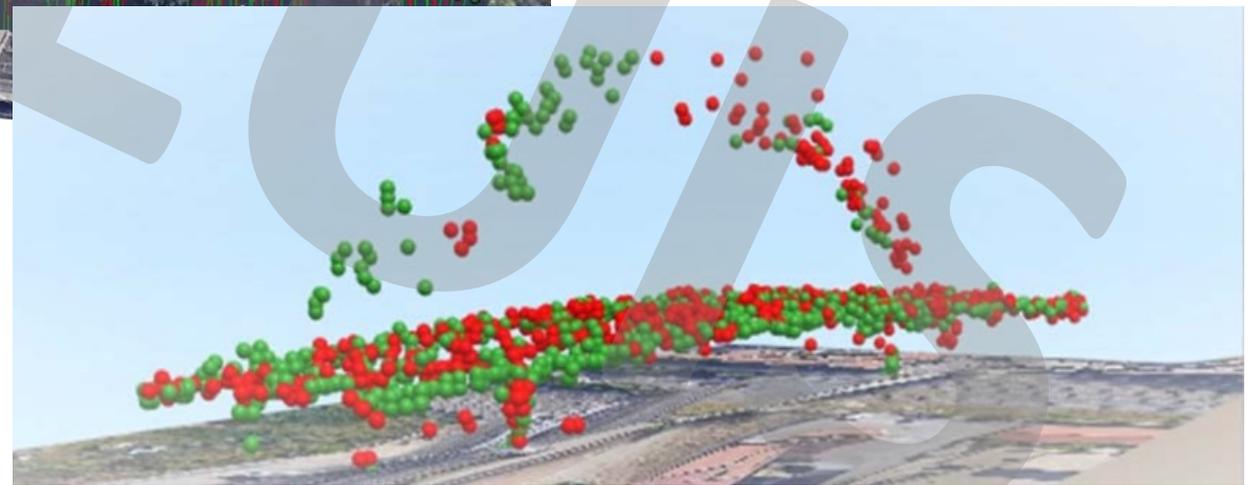


Persistent scatterers in ambiente Q-GIS



E' possibile visualizzare i punti (PS) in **3D** e scartare quelli non significati ai fini dell'analisi degli spostamenti. Questo è particolarmente utile come il caso del ponte in esame.

- Orbita ascendente
- Orbita discendente





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DEL MOLISE

Il ponte Settimia Spizzichino



Velocità di spostamento lungo la LOS



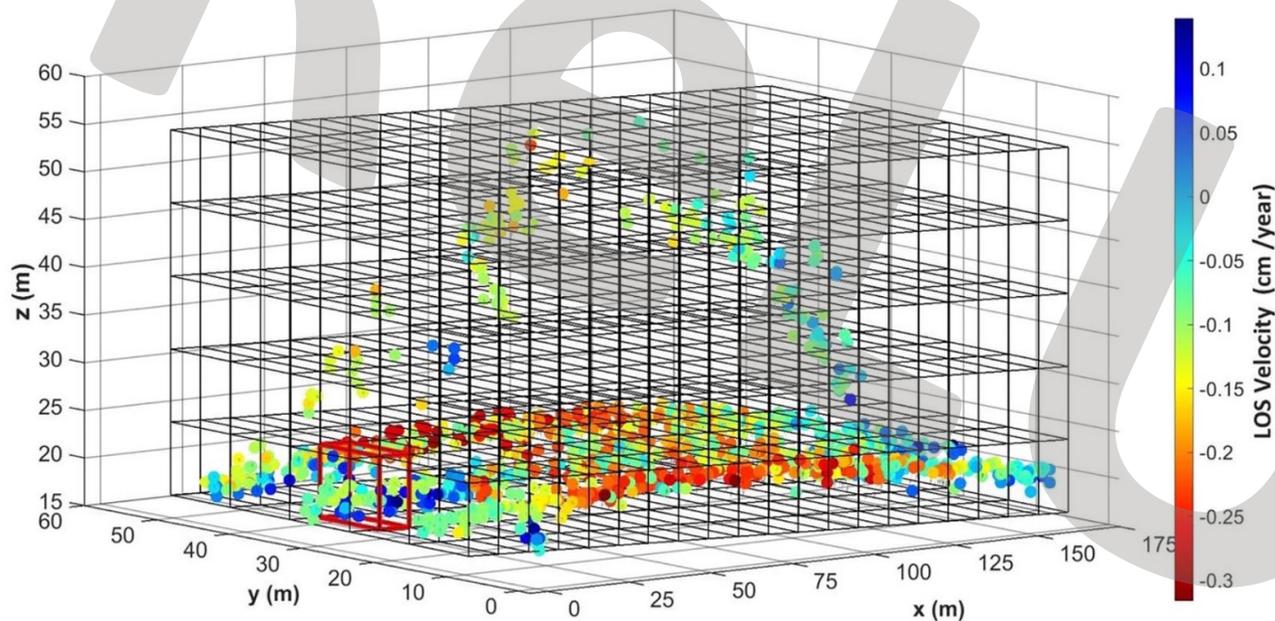
Interpretazione dei dati interferometrici ai fini della valutazione degli spostamenti di servizio di ponti in c.a. | A. Sandoli & G. Fabbrocino



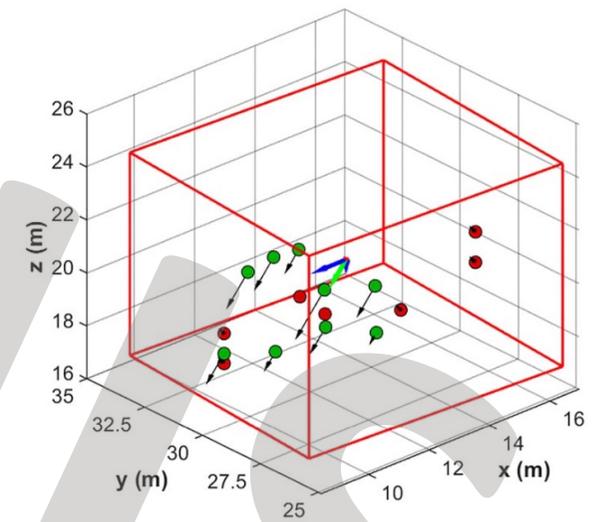
Il ponte Settimia Spizzichino



Ricampionamento spaziale



Vettore medio singola cella



Il vettore medio è assunto come medio-rappresentativo per la rappresentazione delle storie di spostamento temporale

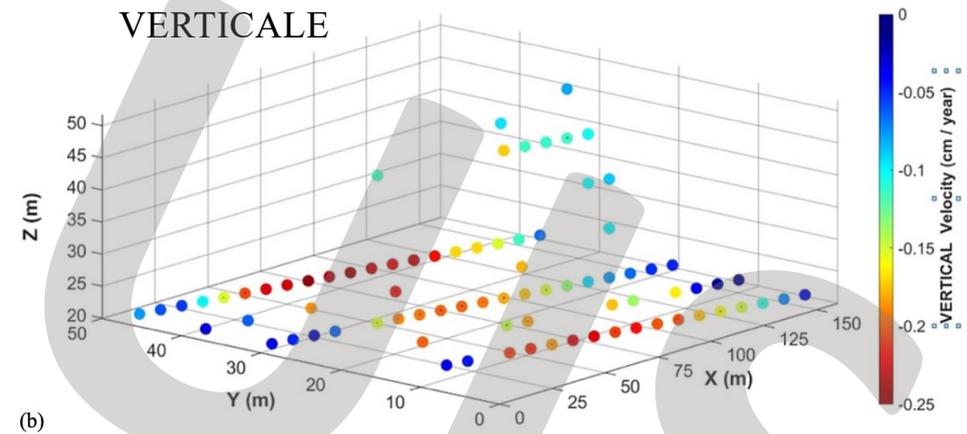
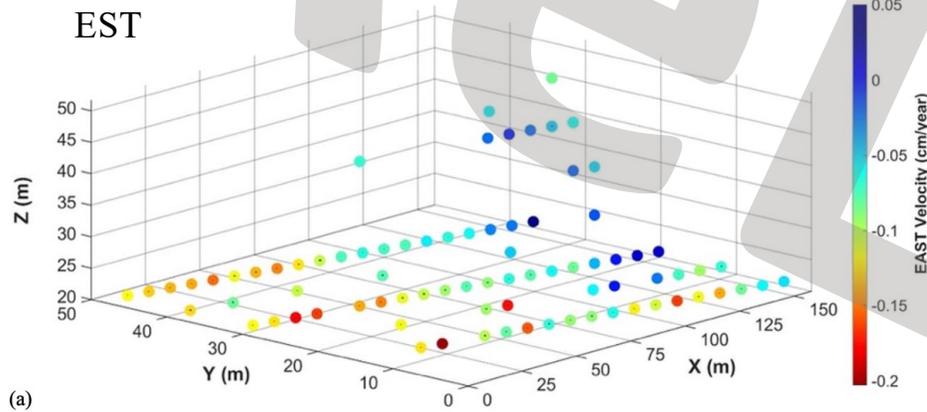


Il ponte Settimia Spizzichino



Ricampionamento spaziale

Mappa degli spostamenti del vettore medio in direzione EST e VERTICALE



Il vettore medio è assunto come medio-rappresentativo per la rappresentazione delle storie di spostamento temporale

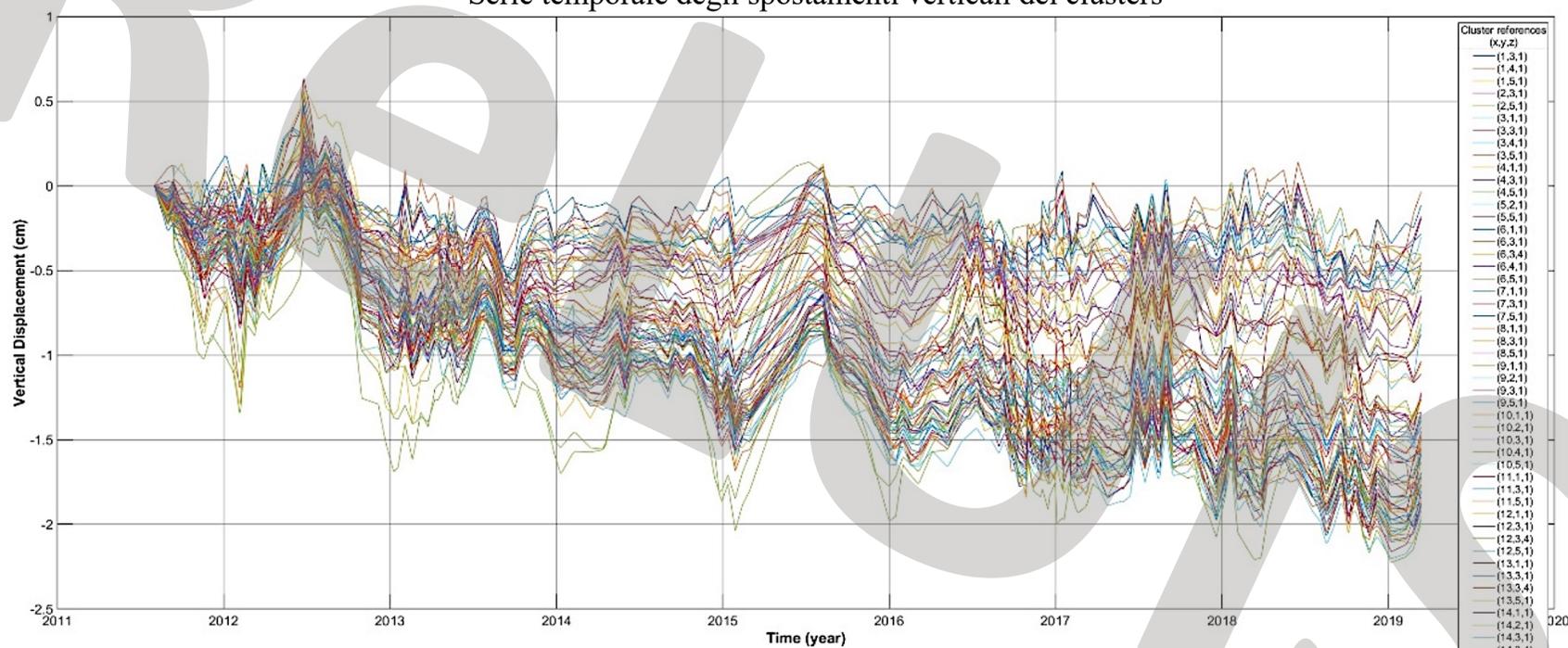


Il ponte Settimia Spizzichino



Ricampionamento temporale

Serie temporale degli spostamenti verticali dei clusters

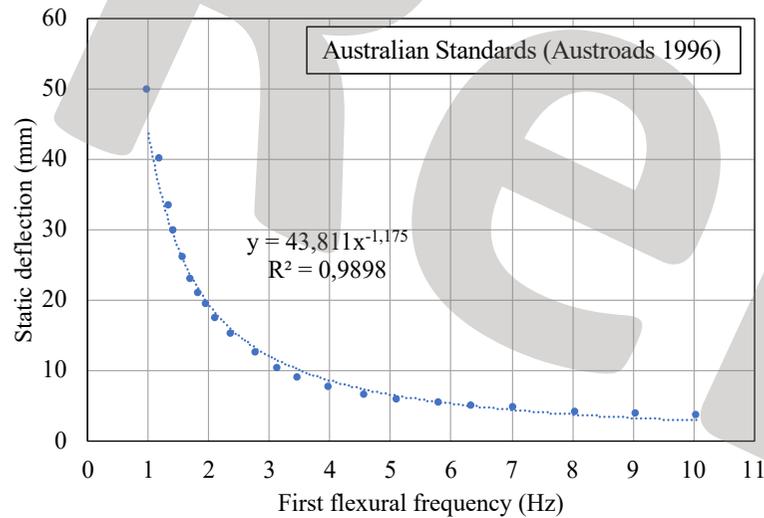
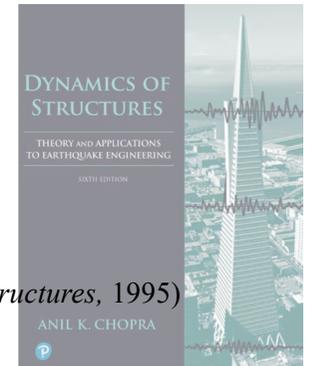


Serie di spostamento sincronizzate tramite algoritmi di sincronizzazione



Il ponte Settimia Spizzichino

Stima degli spostamenti di servizio



Stima della *prima* frequenza di vibrazione (A. Chopra – *Dynamic of Structures*, 1995)

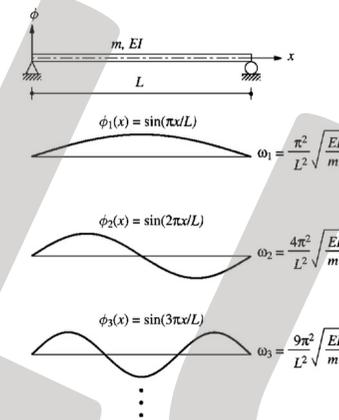


Figure 16.3.1 Natural vibration modes and frequencies of uniform simply supported beams.

$$m(x) \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left[EI(x) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right] = 0$$



$$\beta^4 = \frac{\omega^2 m}{EI}$$

Stima di un upper-bound di spostamento statico:

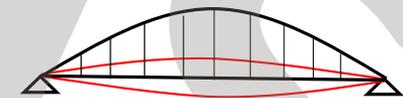
$$\delta = 43,811 \omega_1^{-1,175}$$

Carichi da traffico

da tests in-situ (OMA) o analitico

$$\omega = \beta^2 \sqrt{\frac{EI}{\mu}}$$

Rigidezza flessionale (EI)
 Massa distribuita (μ)
 Condizioni di vincolo (β)



Il primo modo di vibrare della soletta è quello della trave appoggiata



Il ponte Settimia Spizzichino



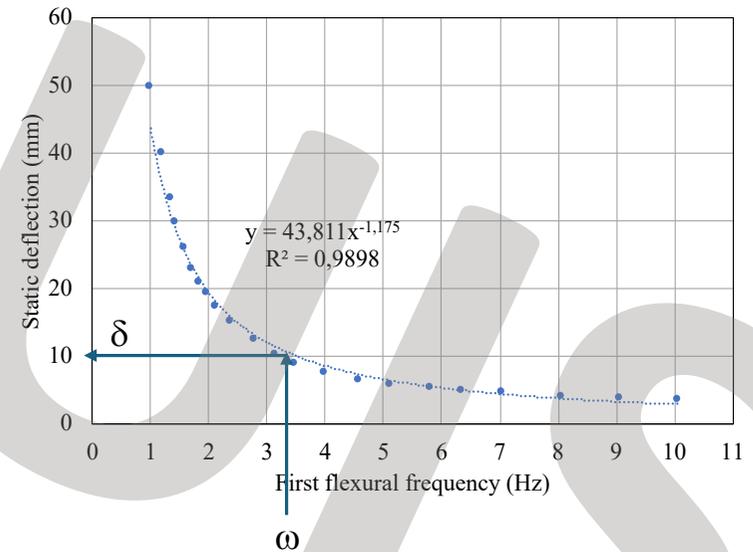
Stima degli spostamenti di servizio

Stima della *prima* frequenza di vibrazione: un calcolo manuale semplice per scorporare ω_T

$$\omega_{pp} = \sqrt{\frac{k}{m_{pp}}} \quad \omega_T = \sqrt{\frac{k}{m_T}}$$

m_{pp} = masse peso proprio
 m_T = masse sovr. traffico

$$\frac{\omega_{pp}}{\omega_T} = \frac{\sqrt{k/m_{pp}}}{\sqrt{k/m_T}} \quad \rightarrow \quad \omega_T = \omega_{pp} \sqrt{\frac{m_{pp}}{m_T}}$$



Per quantificare l'ordine di grandezza degli spostamenti letti dal satellite occorre determinare le frequenze associate ai sovraccarichi



Il ponte Settimia Spizzichino



Stima degli spostamenti di servizio

Il caso dello Spizzichino

Area di impalcato = 6358 m²

Peso propri: soletta = 600 kg/m²

pavimentazione stradale = 210 kg/m²

Peso proprio totale: = 3814800 kg

20% pp travi = 763000 kg

$C_{pp} = 4600000$ kg

Sovraccarico da collaudo

(distesa di betoniere a pino carico): $C_T = 980000$ kg

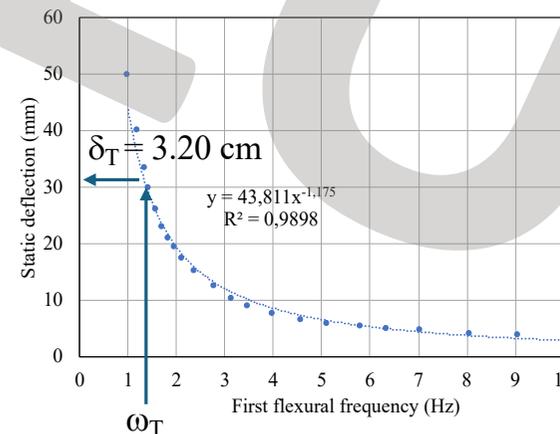
$$\frac{C_T}{C_{pp}} \cong 20\%$$



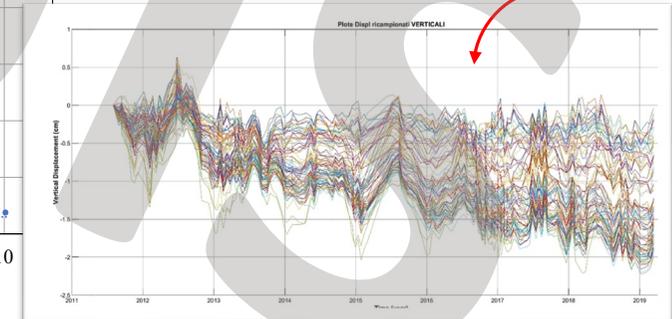
$$m_{pp} \cong 5 m_T$$

$$\omega_{pp} = \sqrt{\frac{k}{m_{pp}}} \begin{cases} 0,63 \text{ Hz} \\ 0,59 \text{ Hz (valore sperimentale Essebi s.r.l.)} \end{cases}$$

$$\omega_T = \omega_{pp} \sqrt{\frac{m_{pp}}{m_T}} \cong \omega_{pp} \sqrt{5} \begin{cases} 0,63 \sqrt{5} = 1.319 \text{ Hz} \\ 0,59 \sqrt{5} = 1.408 \text{ Hz} \end{cases}$$

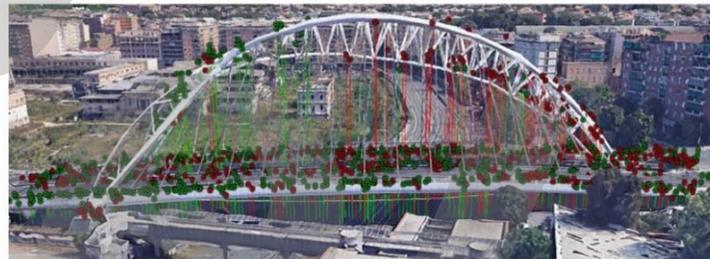


Bridge	ζ^2	ω_{pp} (Hz)	ω_T (Hz)	δ_{pp} (cm)	δ_T (cm)
Spizzichino	5.00	0.59	1.319	>5.0	3.20
Trovajoli	5.00	0.97	2.168	5.00	1.80
Risorgimento	3.33	2.04	3.72	1.80	0.85





Analisi spaziale della distribuzione dei PS



Bridge	ζ^2	ω_{PP} (Hz)	ω_T (Hz)	δ_{PP} (cm)	δ_T (cm)
Spizzichino	5.00	0.59	1.319	>5.0	3.20
Trovajoli	5.00	0.97	2.168	5.00	1.80
Risorgimento	3.33	2.04	3.72	1.80	0.85

Rientrano nei limiti di banda X
(anche massimizzando C_T)

- Sembra potersi escludere la perdita di segnale dovuta alla deformabilità dei ponti.
- La presenza di PS dipende dalle bande di frequenza e tecniche di srotolamento
- Satellite SAOCOM a più alta risoluzione in banda di frequenza (fornisce PS)

SUPERFICIE	ALBEDO
Neve fresca	0,81 - 0,88
Neve accumulata	0,65 - 0,81
Ghiaccio	0,30 - 0,50
Rocce	0,20 - 0,25
Legno	0,05 - 0,15
Terreno	0,35
Calcestruzzo	0,20 - 0,40
Asfalto	0,05 - 0,15

Le caratteristiche di riflettività dei materiali possono influenzare la presenza di punti (Albedo)

- L'acqua è poco retroriflettente



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DEL MOLISE

Analisi spaziale della distribuzione dei PS



Ponti ferroviari: zona Ponte San Paolo



Interpretazione dei dati interferometrici ai fini della valutazione degli spostamenti di servizio di ponti in c.a. | A. Sandoli & G. Fabbrocino



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DEL MOLISE

Analisi spaziale della distribuzione dei PS



Ponti ferroviari: zona Ponte San Paolo



Interpretazione dei dati interferometrici ai fini della valutazione degli spostamenti di servizio di ponti in c.a. | A. Sandoli & G. Fabbrocino



Ponte del Risorgimento



Le rappresentazioni 3D sono fondamentali per una corretta interpretazione del dato

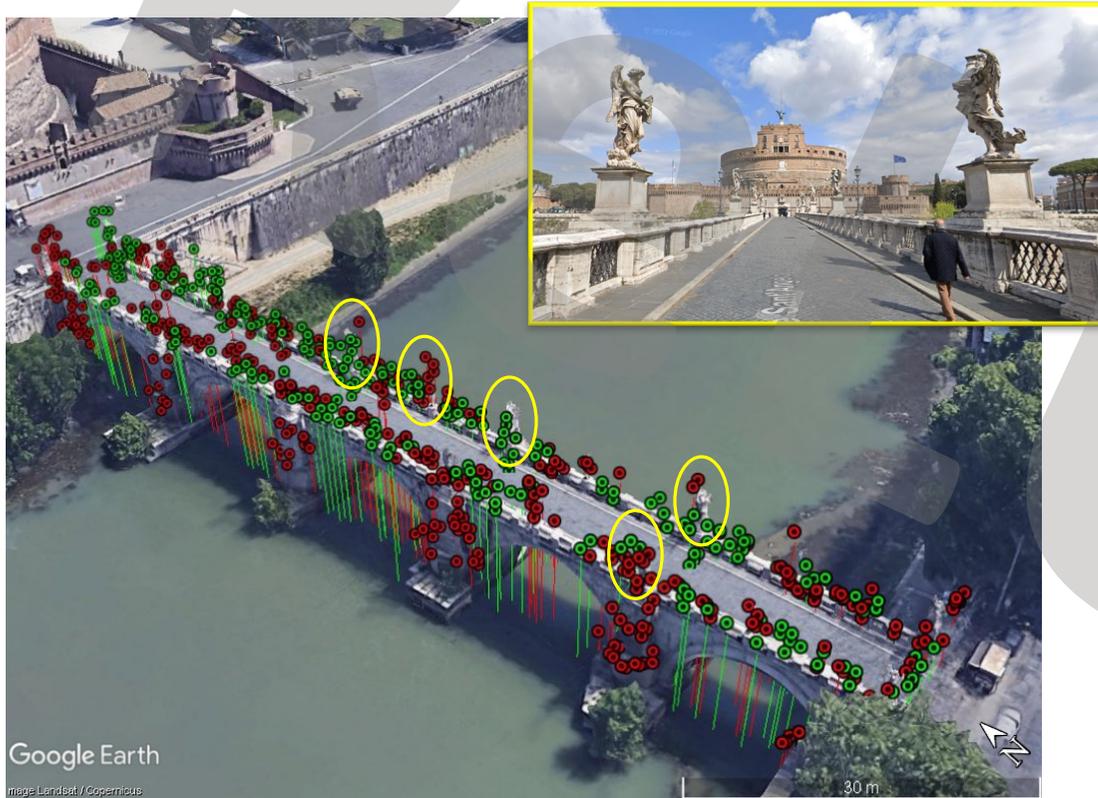




Analisi spaziale della distribuzione dei PS



Ponte Sant'Angelo



Le rappresentazioni 3D sono fondamentali per una corretta interpretazione del dato



La rappresentazione 2D è poco significativa



Cause di spostamento



Come valutare separatamente le varie componenti di spostamento?



Ordinary traffic loads



Thermal effects



Geotechnical/hydraulic
problems



Aging of materials



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DEL MOLISE

Ponte di Tor di Quinto



Il caso di studio



Il ponte attraversa il fiume Tevere (Roma) ed è localizzato tra i quartieri Parioli e Tor di Quinto



Sandoli A, Scocola S, Rainieri C, Fabbrocino G. *Reinforced concrete bridge serviceability displacement estimation for DInSAR data interpretation.*
Proc. of The New Boundaries of Structural Concrete – ACI Italy Chapter, 7° Workshop Rome, September 2024

Interpretazione dei dati interferometrici ai fini della valutazione degli spostamenti di servizio di ponti in c.a. | A. Sandoli & G. Fabbrocino



Ponte di Tor di Quinto



Identificazione delle caratteristiche geometriche in remoto



Alcune caratteristiche:

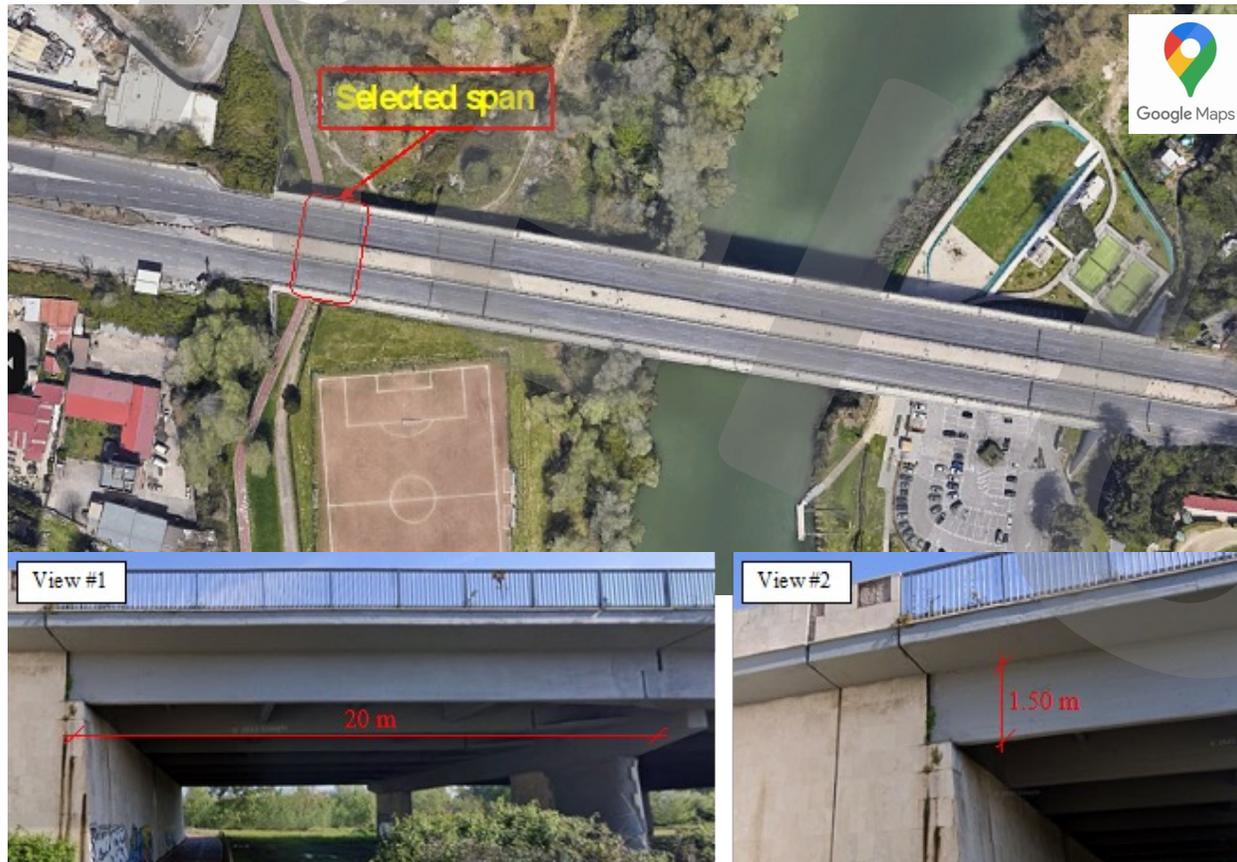
- Epoca di costruzione: anni '60
- Progettista: Ing. Vito Camiz (Ancona 1907- Roma (1987))
- Materiale: c.a.
- Lunghezza totale: 300 m
- Larghezza: 30 m
- Numero di campate: 7
- Campata principale: 72 m
- Numero di carreggiate: 4



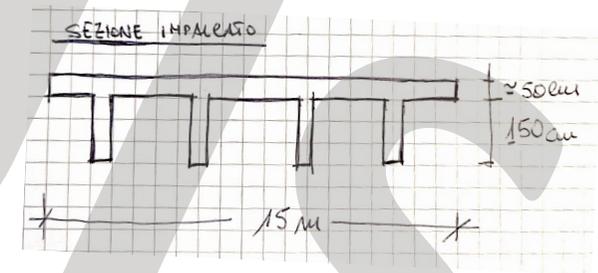
Ponte di Tor di Quinto



Identificazione delle caratteristiche geometriche in remoto



Caratteristiche della campata investigata

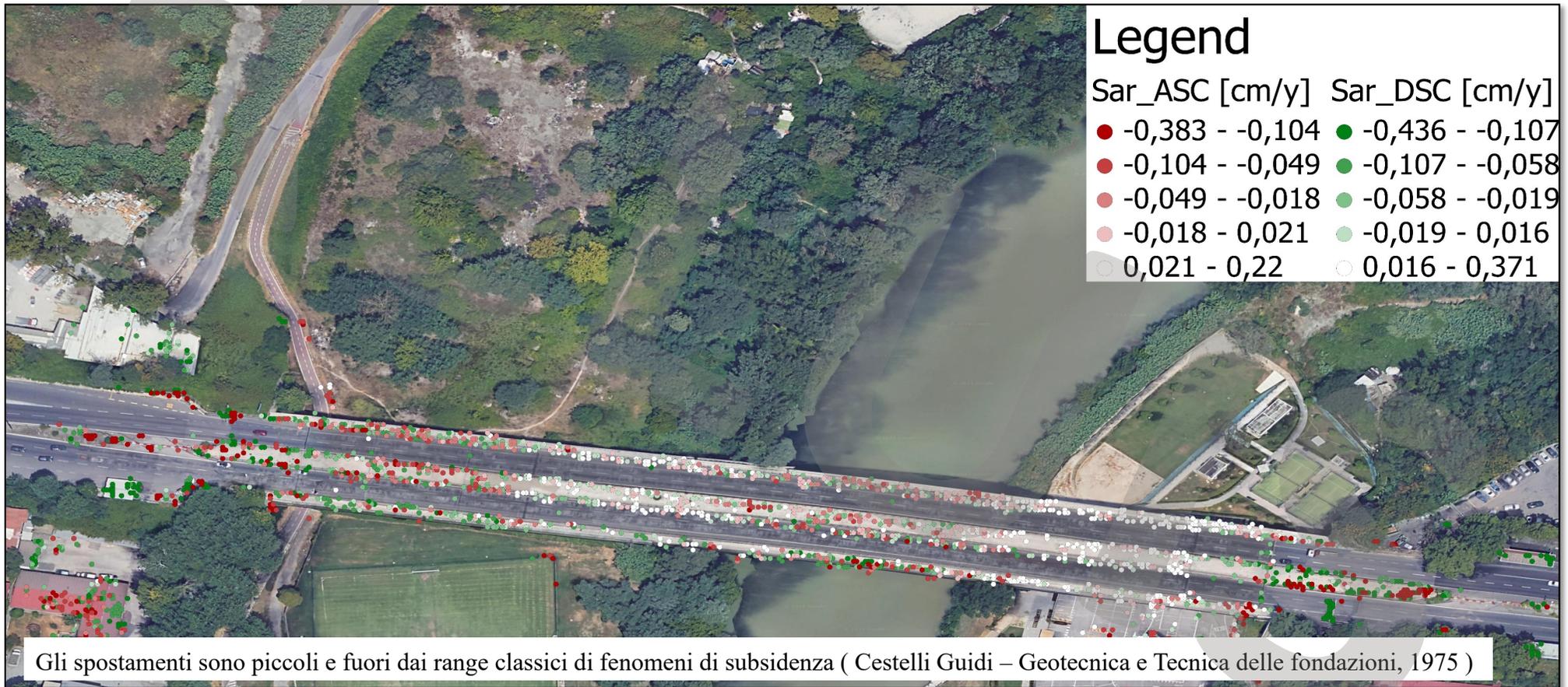




Ponte di Tor di Quinto



Mappa delle velocità di spostamento (orbite ascendenti e discendenti)

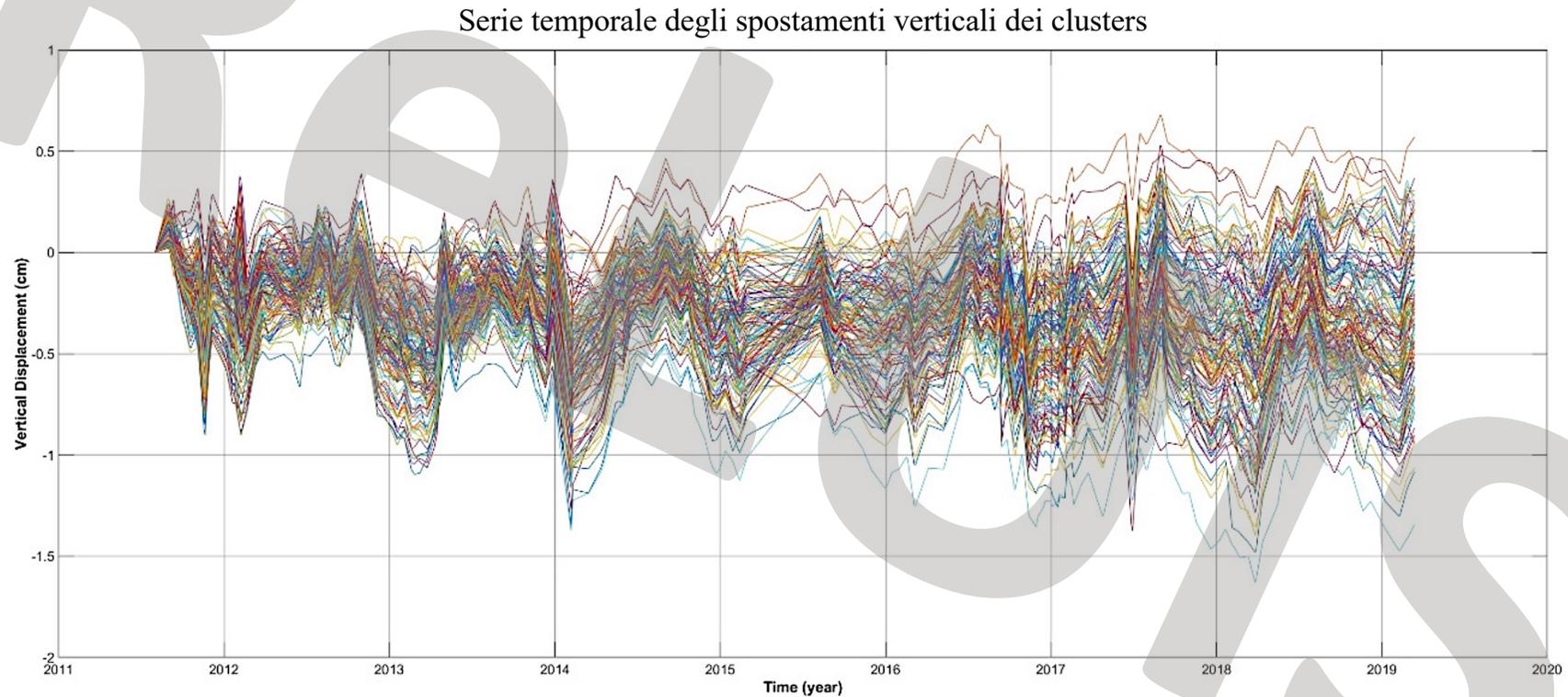




Ponte di Tor di Quinto



Mappa delle velocità di spostamento (orbite ascendenti e discendenti)

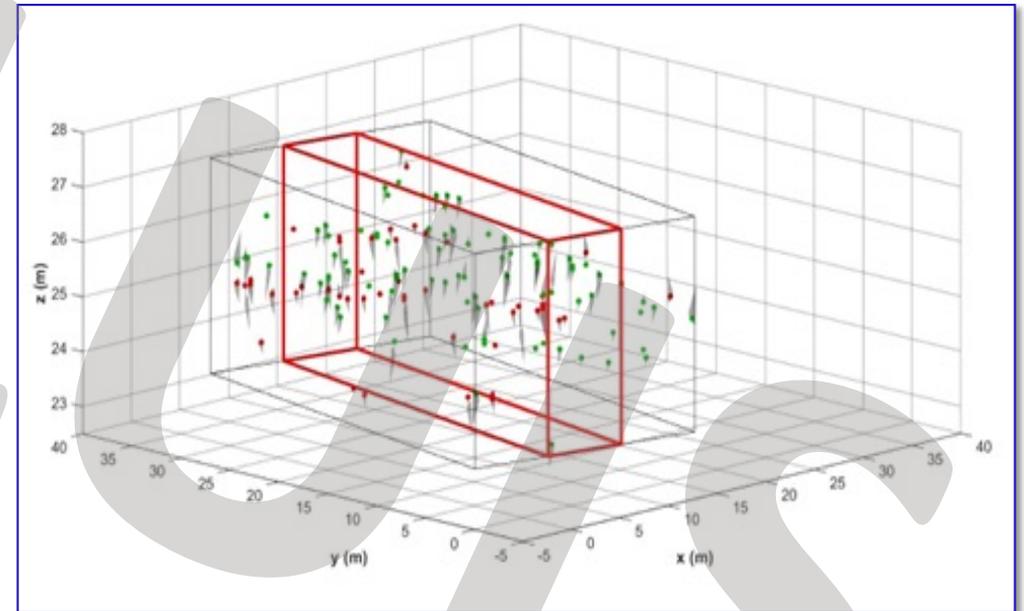
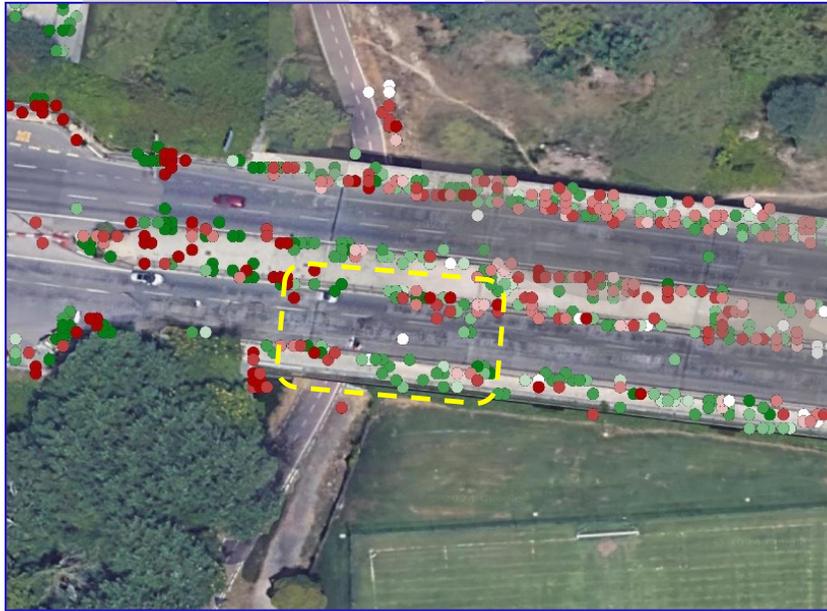




Ponte di Tor di Quinto



Mappa delle velocità di spostamento (orbite ascendenti e discendenti)



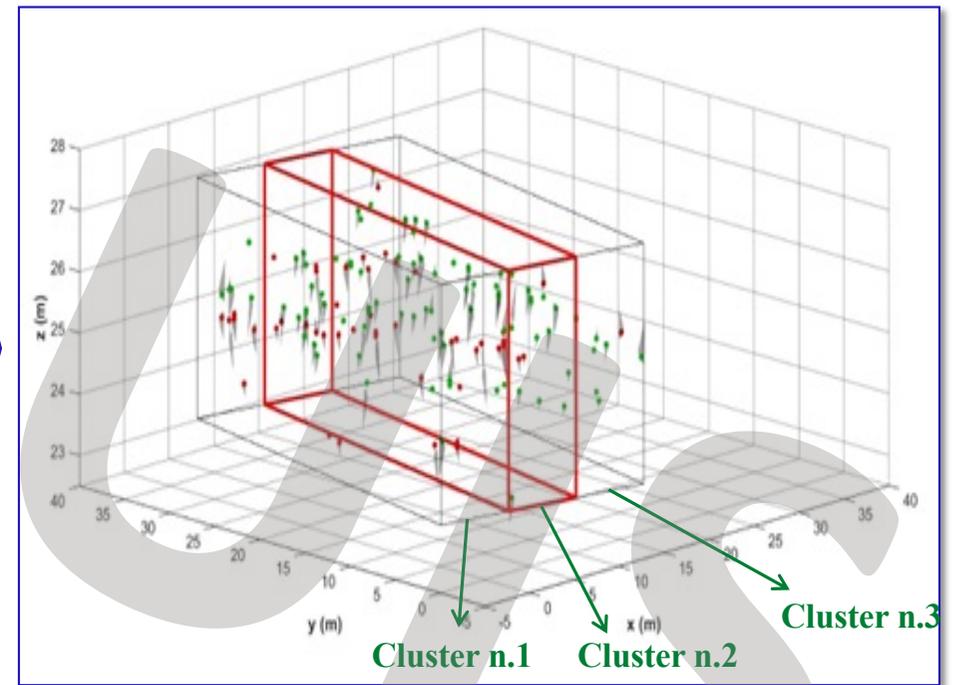
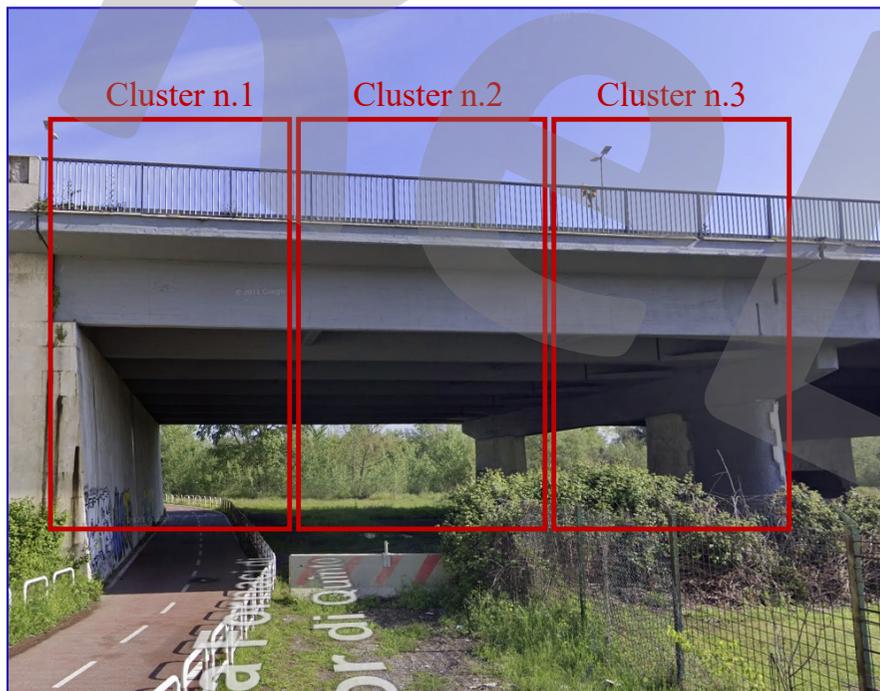
- Orbita ascendente
- Orbita discendente



Ponte di Tor di Quinto



Mappa delle velocità di spostamento (orbite ascendenti e discendenti)

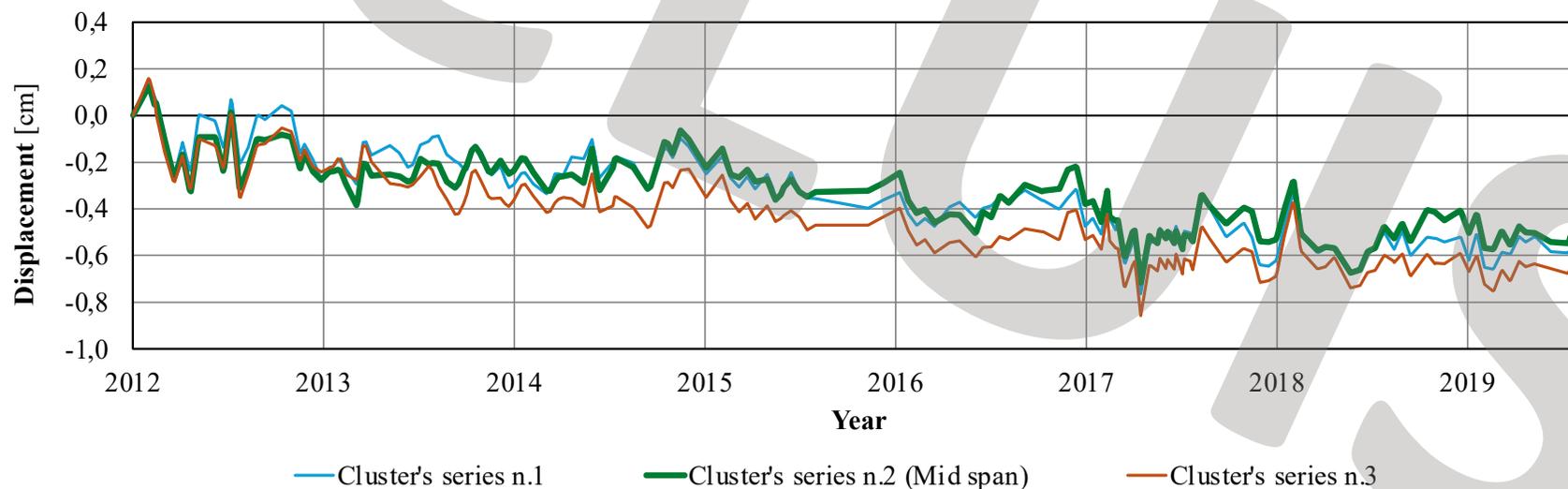
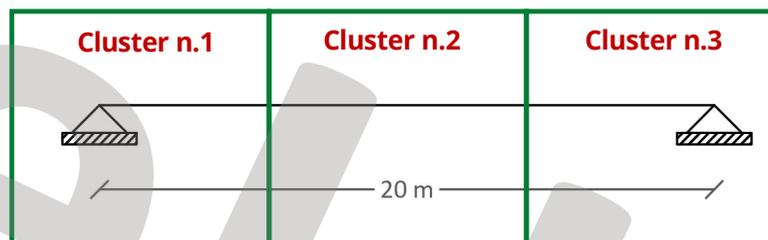




Ponte di Tor di Quinto



Serie temporali di spostamento dei clusters

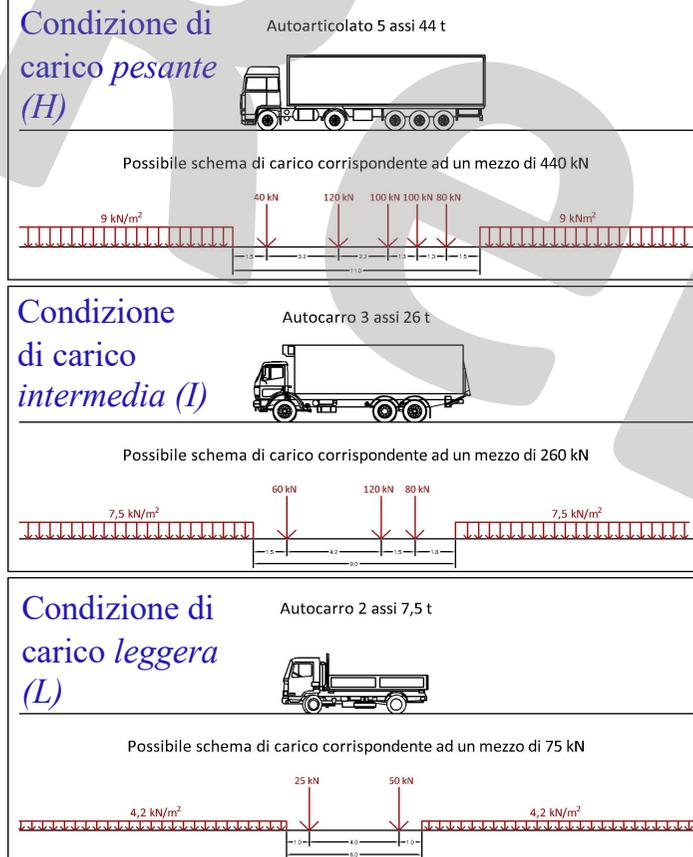




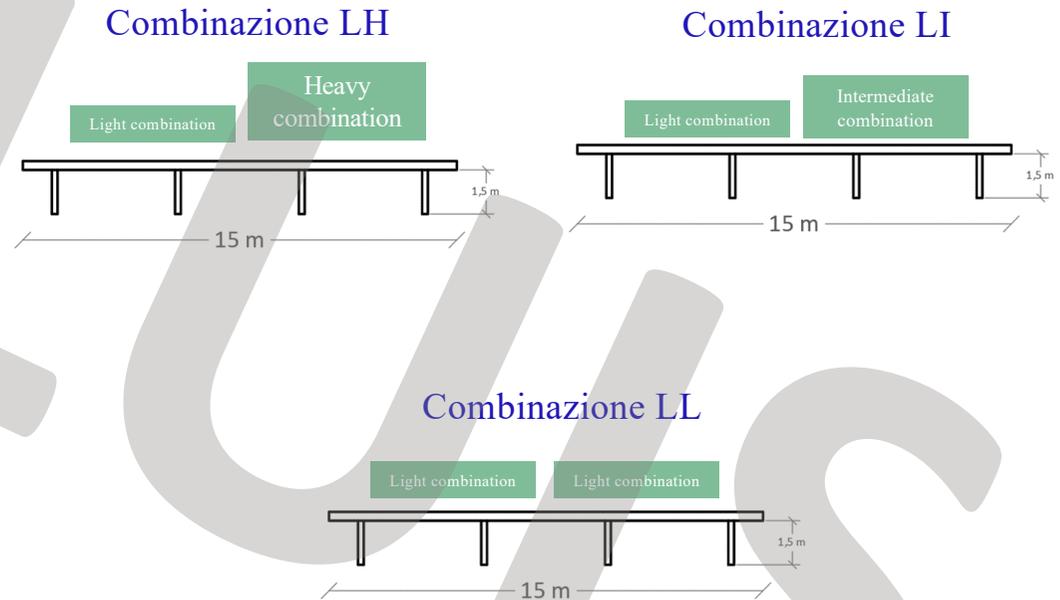
Ponte di Tor di Quinto



Carichi da traffico



Condizioni di carico da LL GG Ponti 2022* per verifiche di transitabilità



*DM 204, 1 luglio 2022. Linee Guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti. Ministero delle infrastrutture e dei trasporti

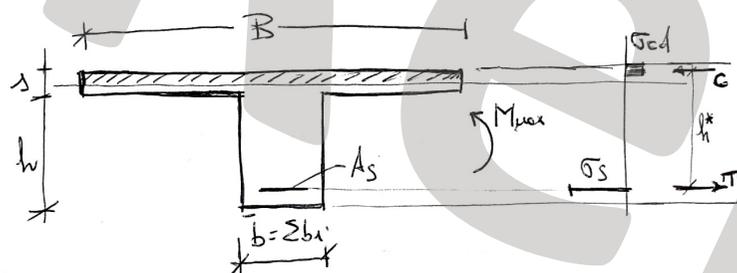


Ponte di Tor di Quinto



Carichi da traffico

Dimensionamento delle armature



Momento massimo $M_{\max} = 2000 \text{ kNm}$

Armatura a flessione per trave: $10\phi 20$

Momenti di inerzia:

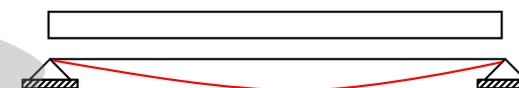
sezione tutta reagente $I_1 = 1.28 \text{ m}^4$

sezione parzializzata $I_2 = 0.185 \text{ m}^4$

Calcolo delle frecce massime

Con riferimento alle 3 condizioni di carico, le frecce massime attese sono state stimate come da Normativa (NTC/18 – cap. 4):

$$f = \xi f_1 + (1 - \xi) f_2$$



$$f = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI}$$

f_1 = freccia con sezione fessurata

f_2 = freccia con sezione tutta reagente

$$\xi = (1 - c\beta^2)$$

$$\beta = M_{cr}/M$$

M_{cr} = momento di prima fessurazione

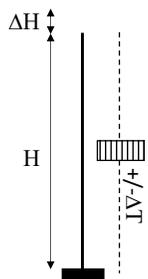
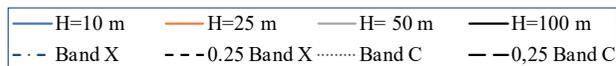
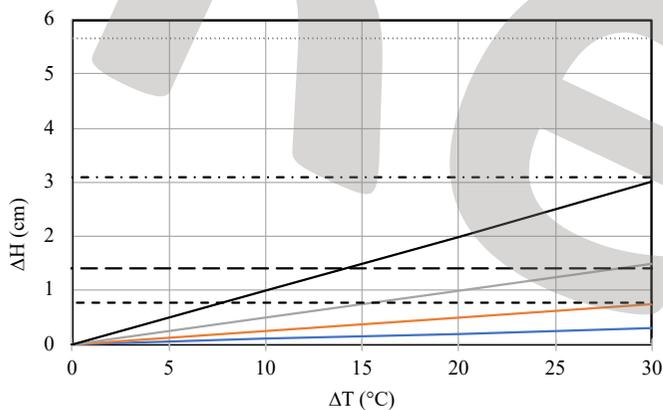


Ponte di Tor di Quinto



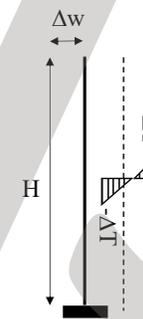
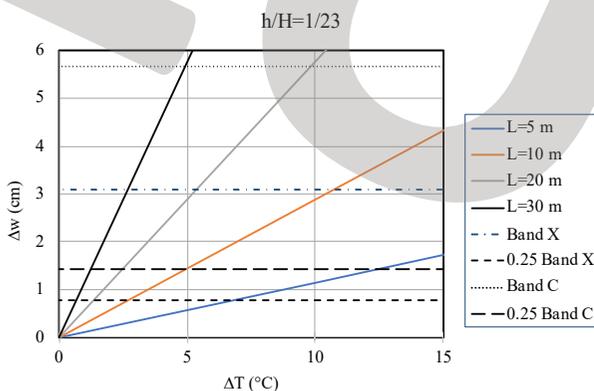
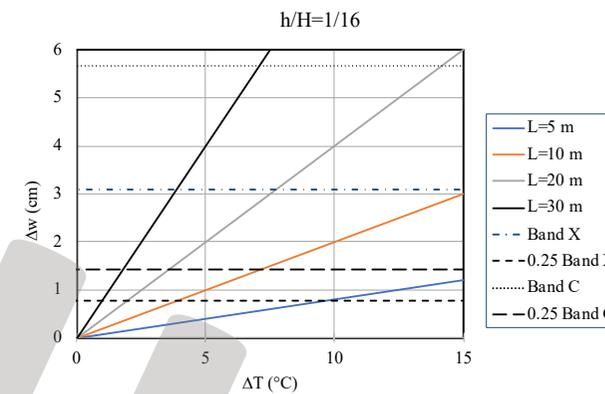
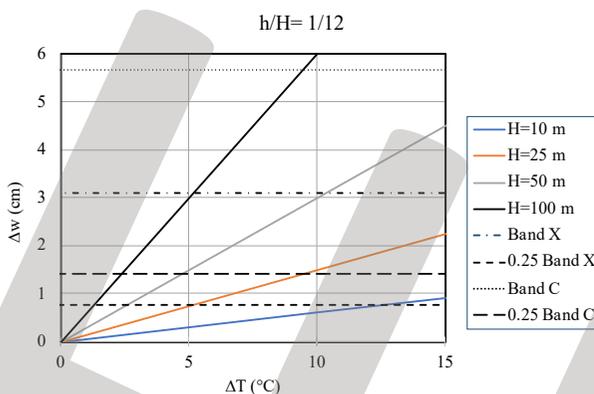
Abachi per la previsione degli spostamenti termici

Pila con variazione di temperatura uniforme



$$\Delta H = \alpha H \Delta T$$

Pila con variazione di temperatura lineare



$$\Delta w = \alpha \Delta T \frac{H^2}{2h}$$

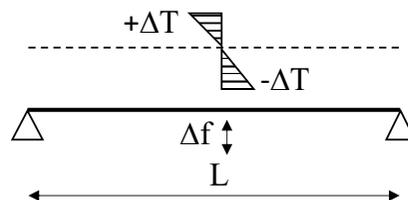
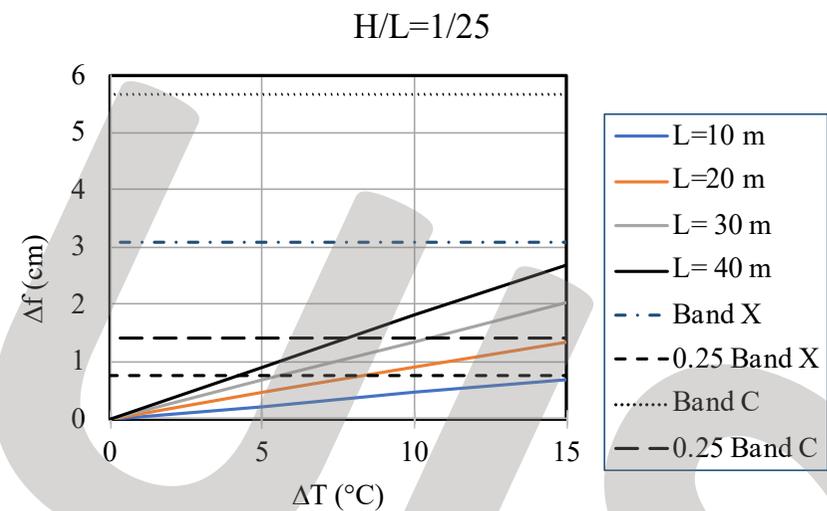
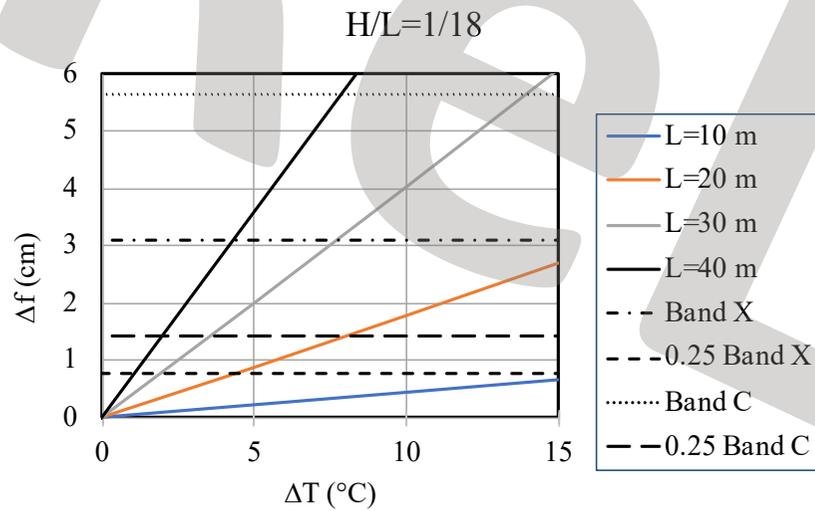


Ponte di Tor di Quinto



Abachi per la previsione degli spostamenti termici

Trave appoggiata con variazione di temperatura lineare



$$\Delta f = \alpha \Delta T \frac{L^2}{8H}$$



Carichi termici

Structural configuration	Displacement vs. Temperature variation schedules																																	
Three-hinges arch with uniform load temperature 	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="4">f/L</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>1/2</th> <th>1/3</th> <th>1/4</th> <th>1/8</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">L (m)</td> <td>50</td> <td>5,00E-03</td> <td>5,42E-03</td> <td>6,25E-03</td> <td>1,06E-02</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>1,00E-02</td> <td>1,08E-02</td> <td>1,25E-02</td> <td>2,13E-02</td> </tr> <tr> <td>150</td> <td>1,50E-02</td> <td>1,63E-02</td> <td>1,88E-02</td> <td>3,19E-02</td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>2,00E-02</td> <td>2,17E-02</td> <td>2,50E-02</td> <td>4,25E-02</td> </tr> </tbody> </table>			f/L						1/2	1/3	1/4	1/8	L (m)	50	5,00E-03	5,42E-03	6,25E-03	1,06E-02	100	1,00E-02	1,08E-02	1,25E-02	2,13E-02	150	1,50E-02	1,63E-02	1,88E-02	3,19E-02	200	2,00E-02	2,17E-02	2,50E-02	4,25E-02
		f/L																																
		1/2	1/3	1/4	1/8																													
L (m)	50	5,00E-03	5,42E-03	6,25E-03	1,06E-02																													
	100	1,00E-02	1,08E-02	1,25E-02	2,13E-02																													
	150	1,50E-02	1,63E-02	1,88E-02	3,19E-02																													
	200	2,00E-02	2,17E-02	2,50E-02	4,25E-02																													
Three-hinge arch with linear load temperature 	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="4">f/L</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>1/2</th> <th>1/3</th> <th>1/4</th> <th>1/8</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">L (m)</td> <td>50</td> <td>-3,02E-02</td> <td>-2,56E-02</td> <td>-2,37E-02</td> <td>-2,16E-02</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>-1,21E-01</td> <td>-1,02E-01</td> <td>-9,46E-02</td> <td>-8,63E-02</td> </tr> <tr> <td>150</td> <td>1,50E-01</td> <td>-2,30E-01</td> <td>-2,13E-01</td> <td>-1,94E-01</td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>-4,84E-01</td> <td>-4,09E-01</td> <td>-3,78E-01</td> <td>-3,45E-01</td> </tr> </tbody> </table>			f/L						1/2	1/3	1/4	1/8	L (m)	50	-3,02E-02	-2,56E-02	-2,37E-02	-2,16E-02	100	-1,21E-01	-1,02E-01	-9,46E-02	-8,63E-02	150	1,50E-01	-2,30E-01	-2,13E-01	-1,94E-01	200	-4,84E-01	-4,09E-01	-3,78E-01	-3,45E-01
		f/L																																
		1/2	1/3	1/4	1/8																													
L (m)	50	-3,02E-02	-2,56E-02	-2,37E-02	-2,16E-02																													
	100	-1,21E-01	-1,02E-01	-9,46E-02	-8,63E-02																													
	150	1,50E-01	-2,30E-01	-2,13E-01	-1,94E-01																													
	200	-4,84E-01	-4,09E-01	-3,78E-01	-3,45E-01																													
Two-hinge arch with uniform load temperature 	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="4">f/L</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>1/2</th> <th>1/3</th> <th>1/4</th> <th>1/8</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">L (m)</td> <td>50</td> <td>4,40E-03</td> <td>4,55E-03</td> <td>5,11E-03</td> <td>8,38E-03</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>8,80E-03</td> <td>9,10E-03</td> <td>1,02E-02</td> <td>1,68E-02</td> </tr> <tr> <td>150</td> <td>1,32E-02</td> <td>1,37E-02</td> <td>1,54E-02</td> <td>2,52E-02</td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>1,76E-02</td> <td>1,82E-02</td> <td>2,05E-02</td> <td>3,37E-02</td> </tr> </tbody> </table>			f/L						1/2	1/3	1/4	1/8	L (m)	50	4,40E-03	4,55E-03	5,11E-03	8,38E-03	100	8,80E-03	9,10E-03	1,02E-02	1,68E-02	150	1,32E-02	1,37E-02	1,54E-02	2,52E-02	200	1,76E-02	1,82E-02	2,05E-02	3,37E-02
		f/L																																
		1/2	1/3	1/4	1/8																													
L (m)	50	4,40E-03	4,55E-03	5,11E-03	8,38E-03																													
	100	8,80E-03	9,10E-03	1,02E-02	1,68E-02																													
	150	1,32E-02	1,37E-02	1,54E-02	2,52E-02																													
	200	1,76E-02	1,82E-02	2,05E-02	3,37E-02																													
Two-hinge arch with linear load temperature 	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="4">f/L</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>1/2</th> <th>1/3</th> <th>1/4</th> <th>1/8</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">L (m)</td> <td>50</td> <td>-3,99E-03</td> <td>-3,32E-03</td> <td>-3,00E-03</td> <td>-2,46E-03</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>-1,60E-02</td> <td>-1,34E-02</td> <td>-1,22E-02</td> <td>-1,07E-02</td> </tr> <tr> <td>150</td> <td>-3,61E-02</td> <td>-3,03E-02</td> <td>-2,76E-02</td> <td>-2,44E-02</td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>-6,41E-02</td> <td>-5,38E-02</td> <td>-4,91E-02</td> <td>-4,35E-02</td> </tr> </tbody> </table>			f/L						1/2	1/3	1/4	1/8	L (m)	50	-3,99E-03	-3,32E-03	-3,00E-03	-2,46E-03	100	-1,60E-02	-1,34E-02	-1,22E-02	-1,07E-02	150	-3,61E-02	-3,03E-02	-2,76E-02	-2,44E-02	200	-6,41E-02	-5,38E-02	-4,91E-02	-4,35E-02
		f/L																																
		1/2	1/3	1/4	1/8																													
L (m)	50	-3,99E-03	-3,32E-03	-3,00E-03	-2,46E-03																													
	100	-1,60E-02	-1,34E-02	-1,22E-02	-1,07E-02																													
	150	-3,61E-02	-3,03E-02	-2,76E-02	-2,44E-02																													
	200	-6,41E-02	-5,38E-02	-4,91E-02	-4,35E-02																													

I coefficienti in tabella vanno moltiplicati per:

$$\beta_{\text{linear}} = \frac{\Delta T}{H}$$

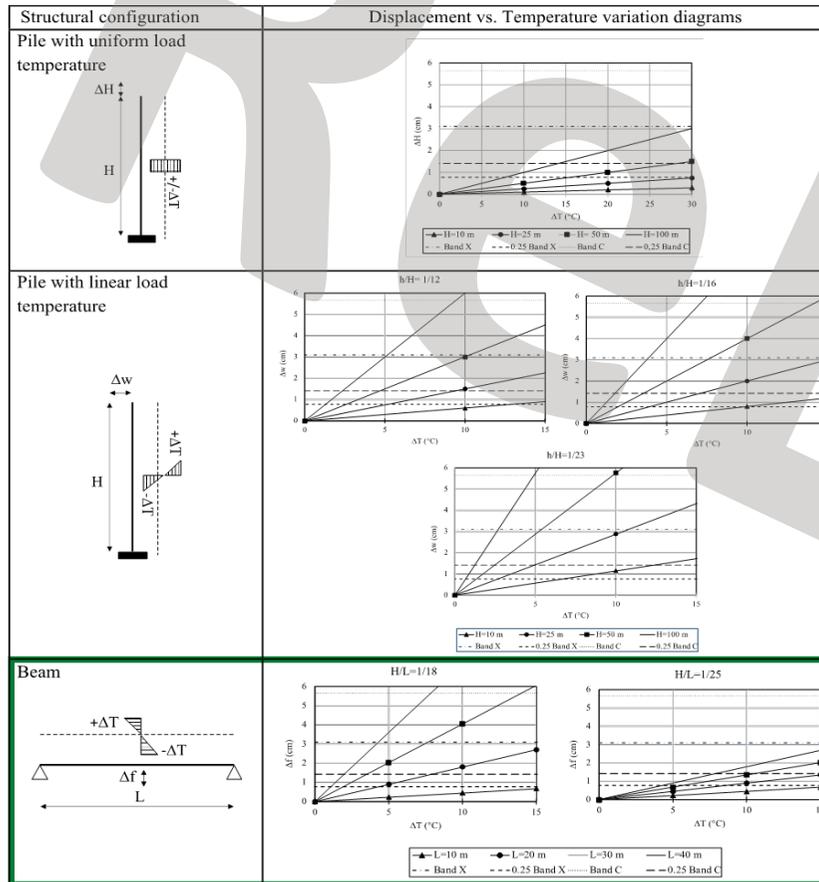
$$\beta_{\text{uniform}} = \Delta T$$



Ponte di Tor di Quinto

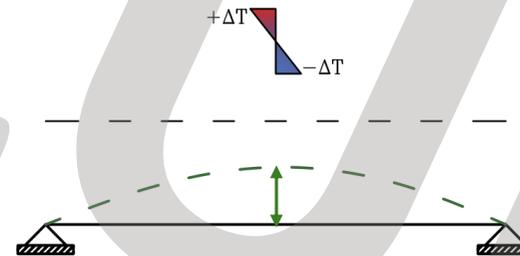


Carichi termici



Gradienti di temperatura:

- $\Delta T = 2^\circ\text{C}$
- $\Delta T = 4^\circ\text{C}$
- $\Delta T = 6^\circ\text{C}$



$$\Delta f = \alpha \Delta T \frac{L^2}{8H}$$

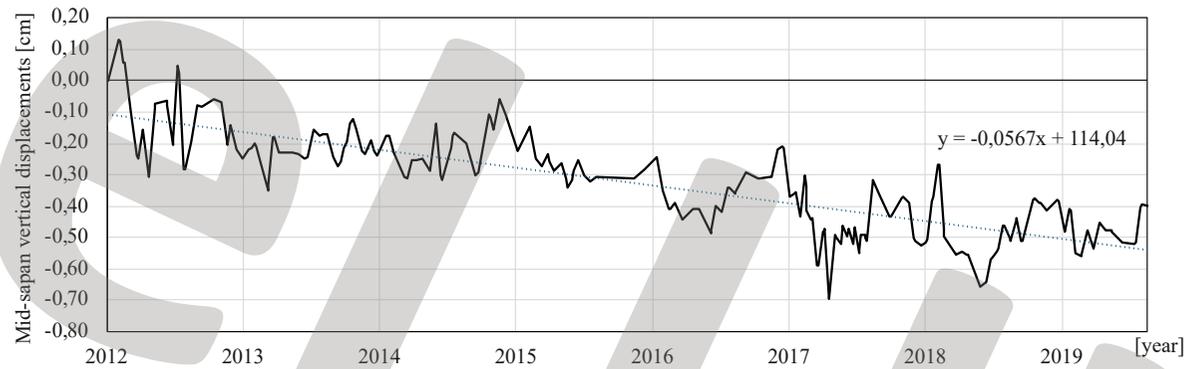


Ponte di Tor di Quinto

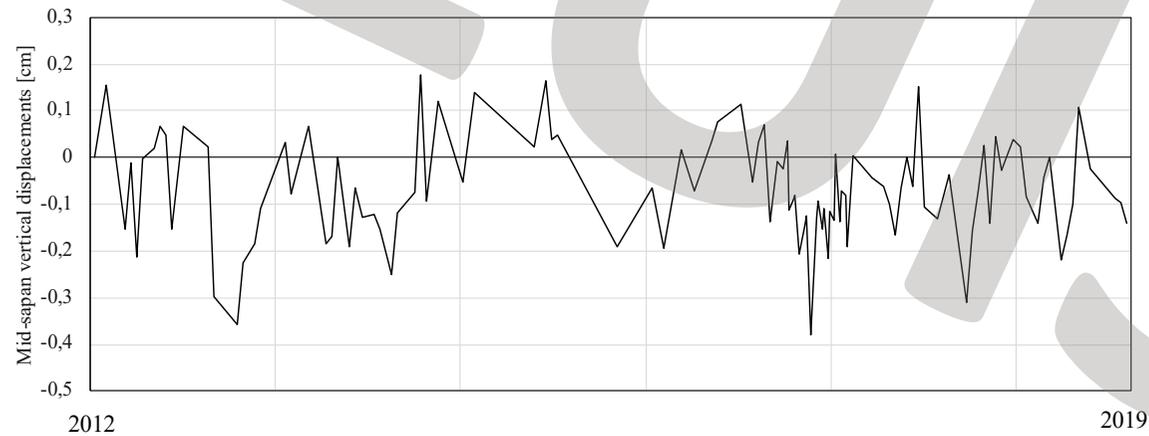


Fenomeni di subsidenza

Serie temporale pura



Serie temporale depurata
da fenomeni di subsidenza

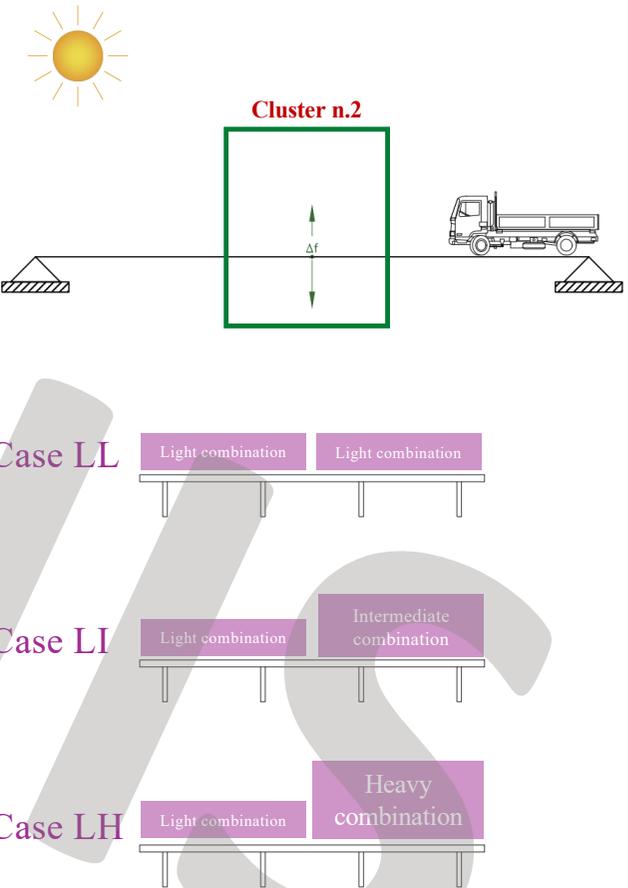
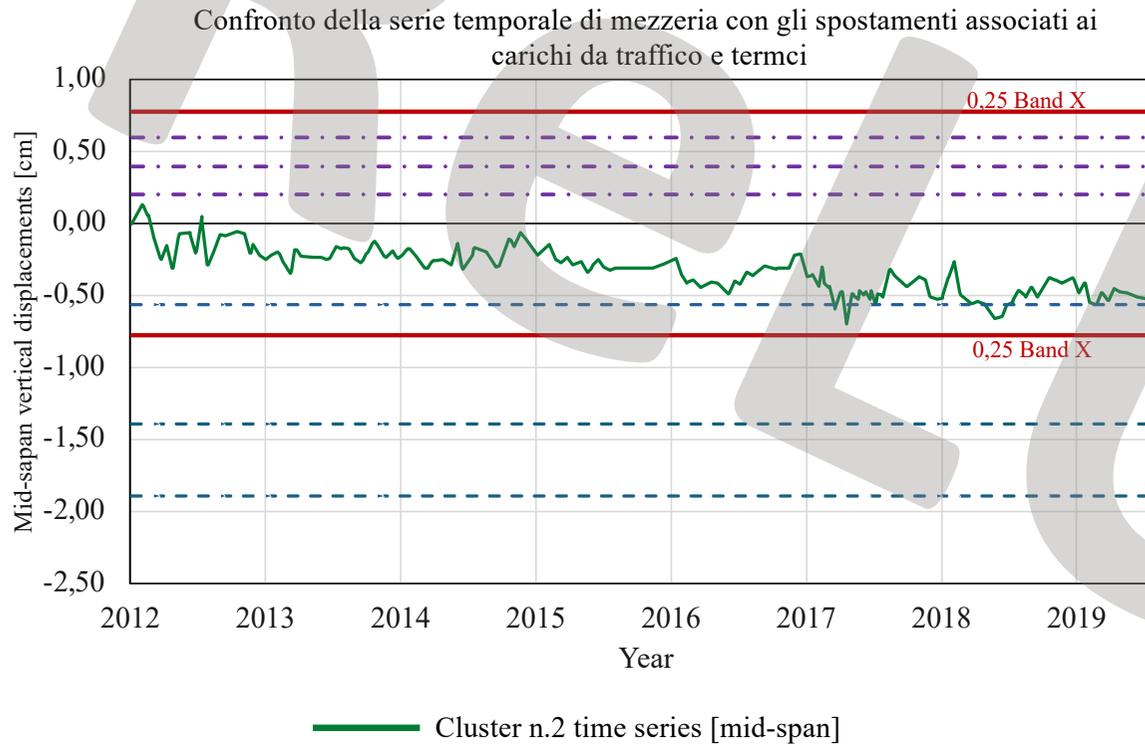




Ponte di Tor di Quinto



Alcuni risultati





GRAZIE PER L'ATTENZIONE