

CONVEGNO FINALE

Sperimentazione delle Linee Guida per i ponti esistenti

**Accordo Tecnico tra il Consiglio Superiore dei Lavori
Pubblici e il Consorzio Interuniversitario ReLUIS**



Roma, 19, 20 e 21 novembre 2025

**Monitoraggio strutturale di ponti con dati
satellitari**

Prof. Ing. Andrea Miano

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*

PUNTI DI MISURA DEI DATASETS ASCENDENTE E DISCENDENTE

Tradizionalmente, le immagini radar di una zona acquisite dal satellite in orbita ascendente (**ASC**) e in orbita discendente (**DES**) vengono elaborate separatamente e vengono resi disponibili **due datasets di punti di misura** in un certo arco temporale.

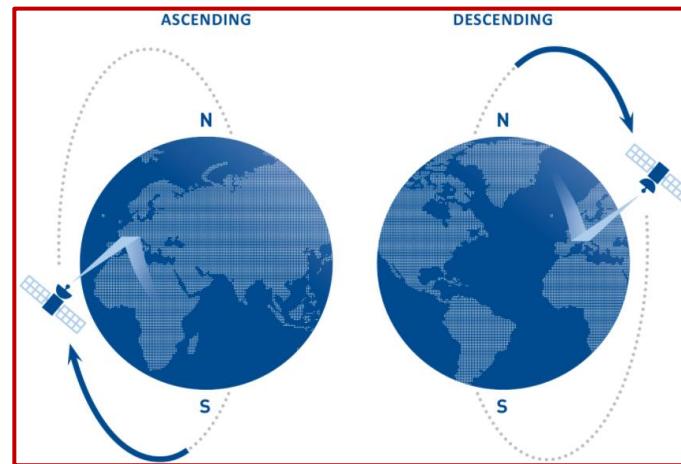
Le aree per cui vengono forniti i risultati delle elaborazioni su dati ascendenti e discendenti tipicamente **possono essere diverse**.



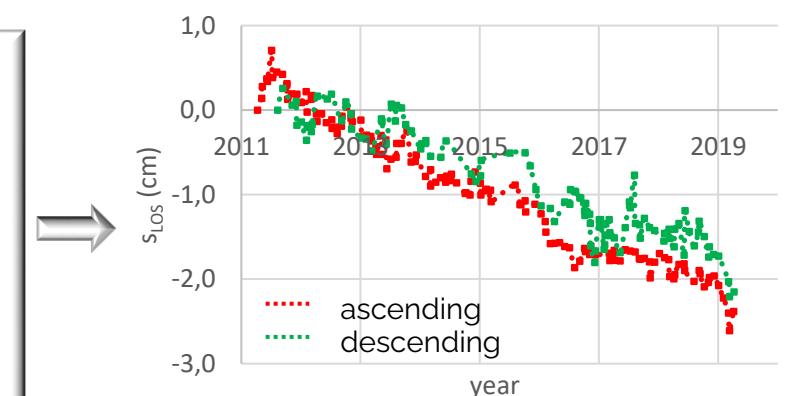
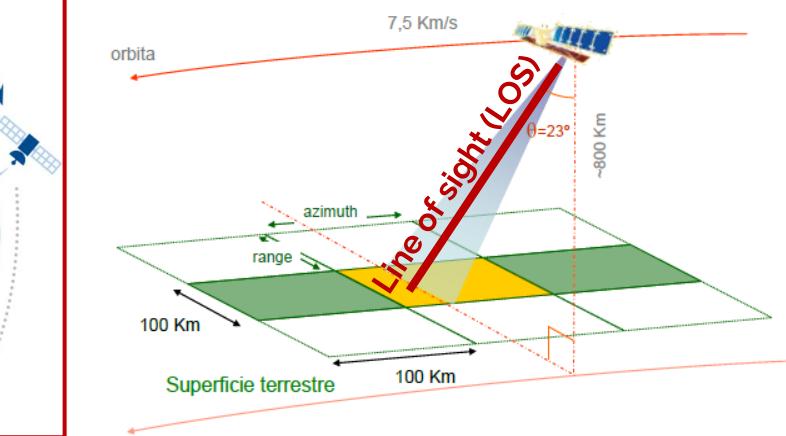
Esempio di aree in cui sono forniti i dati dell'orbita ascendente (ROSSO) e dell'orbita discendente (VERDE)

reference points scelti in generale in una zona ritenuta stabile

I punti di misura ottenuti per le elaborazioni sui dati ascendenti e sui dati discendenti **non sono generalmente coincidenti**.



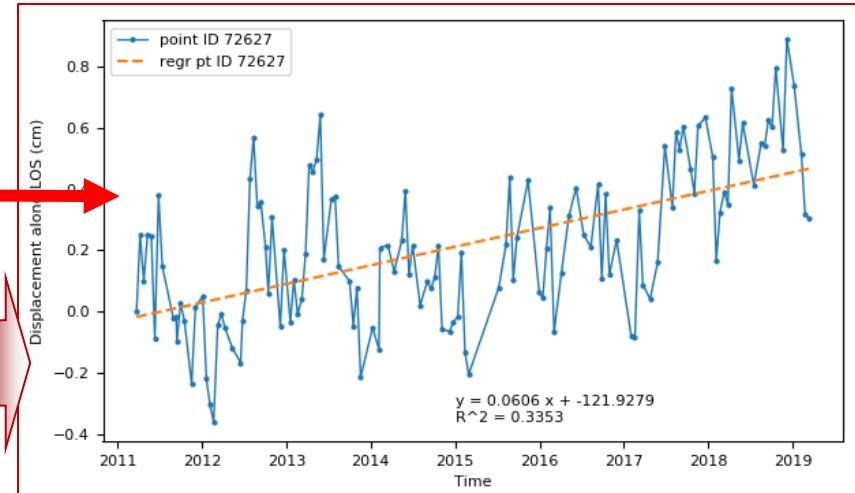
- ID
- Coordinate
- Topografia
- Velocità media di spostamento
- Coerenza
- Coseni direzionali LOS
- Storia-tempo di spostamento LOS



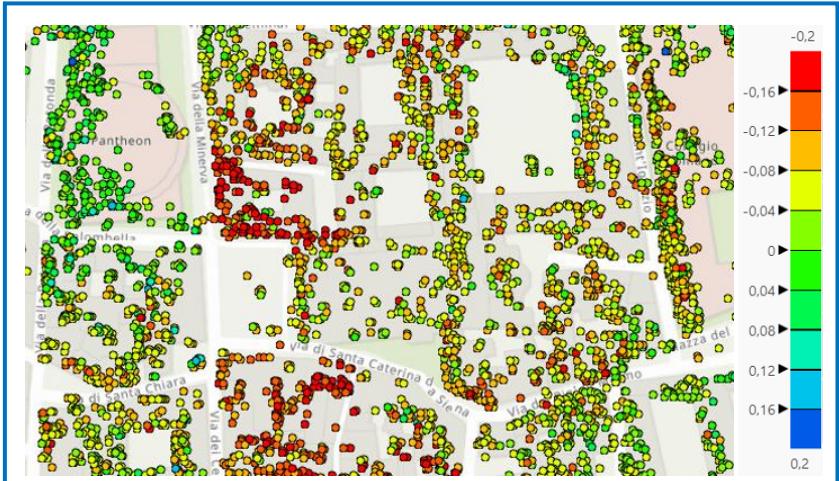
DATI OTTENIBILI DAL PROCESSO INTERFEROMETRICO



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

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

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

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



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

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



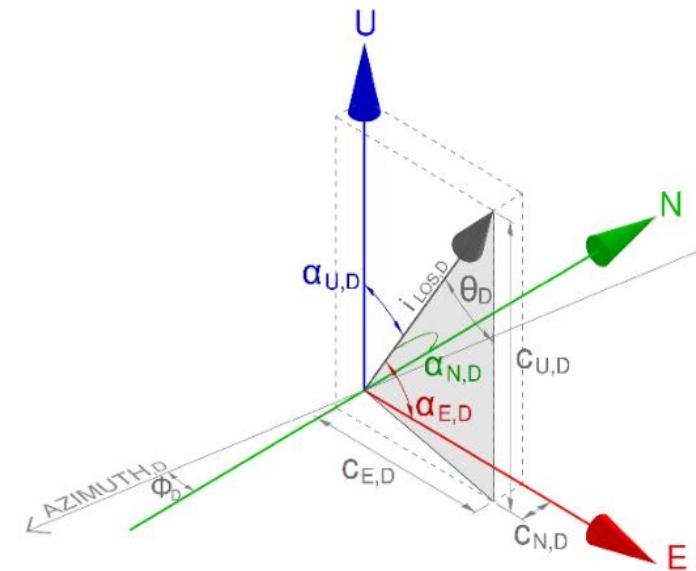
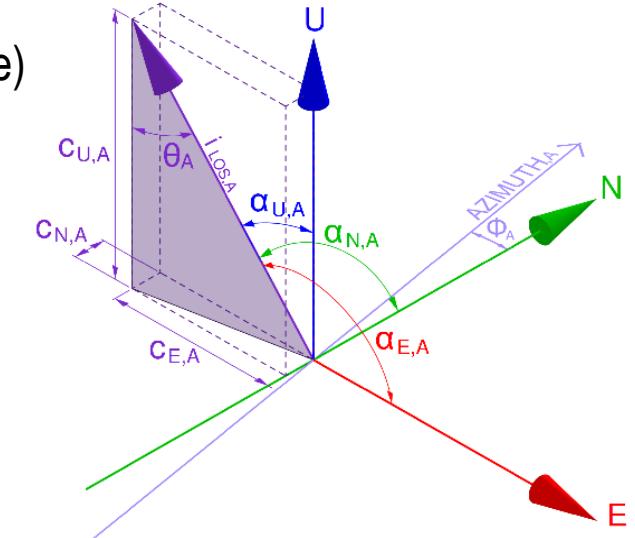
Noti i coseni direttori del satellite nelle due geometrie

IPOZZANDO 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



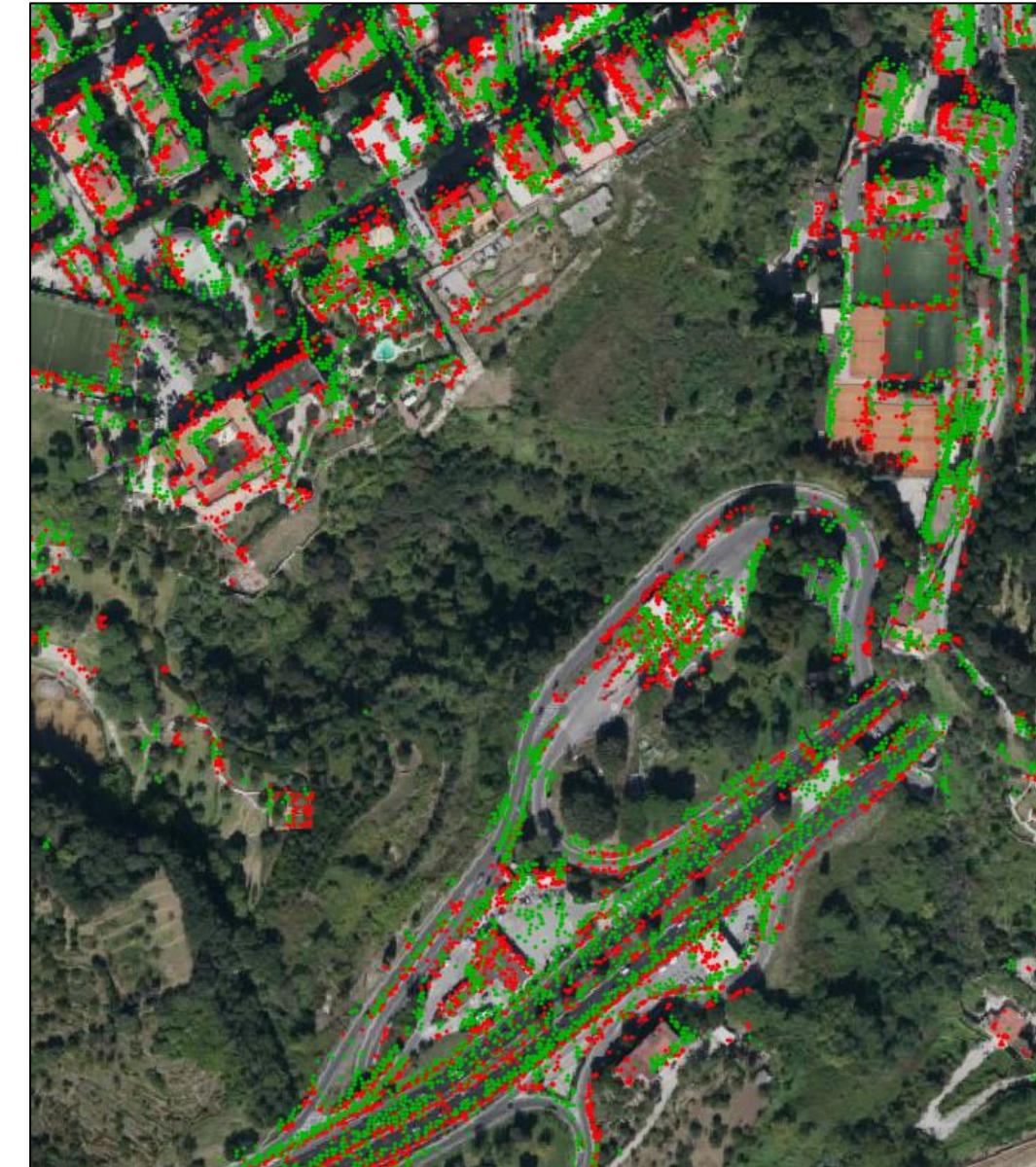
• POTENZIALITÀ E LIMITI DELLA TECNICA

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

TASK 5.6 – Monitoraggio strutturale di ponti con dati satellitari

Coordinatore: Prof. Andrea Prota, UniNa

Applicazione di algoritmi per analisi alla larga scala di stock di ponti

Contributo delle seguenti unità:

Iuav - Responsabili scientifici:

Prof.ssa Anna Saetta – Prof.ssa Luisa Berto

UniNa - Responsabile scientifico:

Prof. Andrea Prota

UniRM2 Tor Vergata - Responsabile scientifico:

Prof. Alberto Meda

UniBo - Responsabile scientifico:

Prof. Marco Savoia

UniPd - Responsabile scientifico:

Prof.ssa Francesca da Porto

UR: IUAV, UniNa, UniRM2, UniBO, UniPD – Applicazione di algoritmi per analisi alla larga scala di stock di ponti

UTILIZZO DI UN DATABASE CON TUTTI I PONTI DEL VENETO



Repository open con mappe create dagli utenti della comunità OpenDataSicilia: mappa dei ponti a partire dalle informazioni di OpenStreetMaps divisi per regione:
<https://github.com/SiciliaHub/mappe/tree/gh-pages/pontievadotti>

UR: IUAV, UniNa, UniRM2, UniBO, UniPD – Applicazione di algoritmi per analisi alla larga scala di stock di ponti

METODOLOGIA

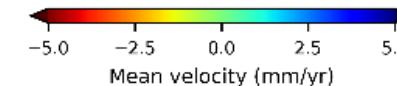
Dataset dei ponti sulla tratta in indagine



Per ogni opera della tratta: divisione dell’opera in rettangoli

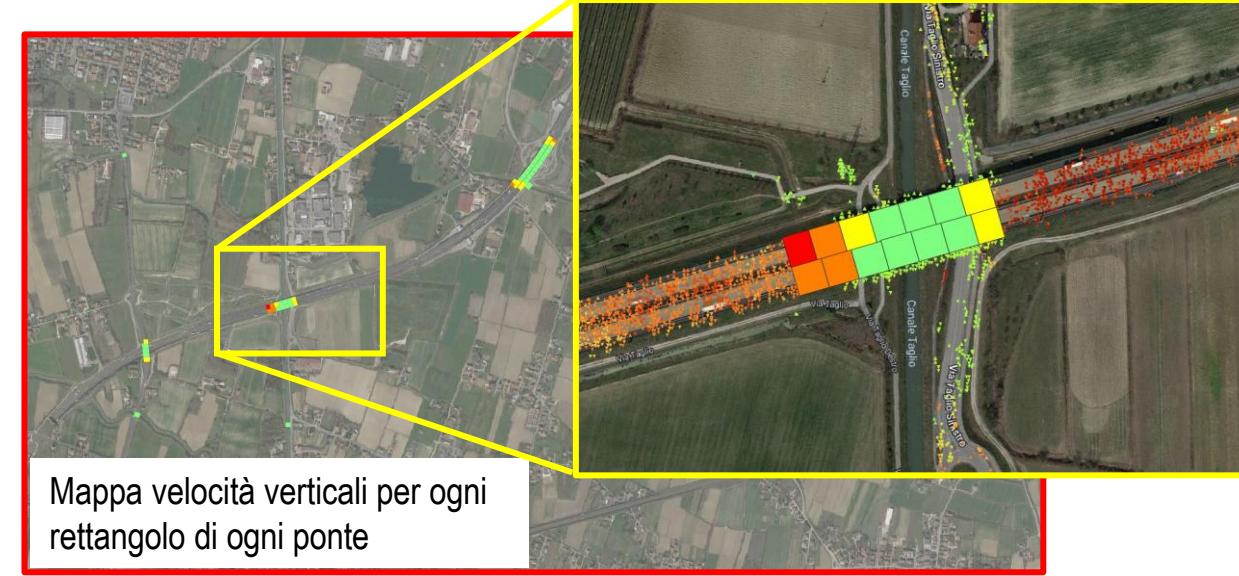


Per ogni rettangolo: join spaziale con dataset ASC e DES di dati satellitari



Per ogni rettangolo: se disponibili info dai due dataset, si valutano componenti Verticale ed E-W

Per ogni opera: si valuta se almeno un rettangolo ha velocità superiore a valore soglia



UR: IUAV, UniNa, UniRM2, UniBO, UniPD – Applicazione di algoritmi per analisi alla larga scala di stock di ponti

METODOLOGIA

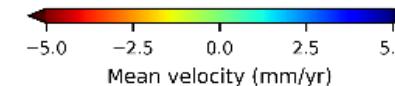
Dataset dei ponti sulla tratta in indagine



Per ogni opera della tratta: divisione dell’opera in rettangoli



Per ogni rettangolo: join spaziale con dataset ASC e DES di dati satellitari



Per ogni rettangolo: se disponibili info dai due dataset, si valutano componenti Verticale ed E-W

Per ogni opera: si valuta se almeno un rettangolo ha velocità superiore a valore soglia



UR: IUAV, UniNa, UniRM2, UniBO, UniPD – Applicazione di algoritmi per analisi alla larga scala di stock di ponti

APPLICAZIONE METODOLOGIA USANDO DATI EGMS

Costellazione Sentinel 1

risoluzione 5 m (range) x 20 m (azimut)

Si è applicata la metodologia anche al caso dei dati EGMS al fine di valutare cosa si riesce a monitorare con un sensore meno preciso, ma le cui elaborazione sono accessibili a tutti (professionisti, amministrazioni, stakeholder,...).

Mappa delle diverse opere colorate:

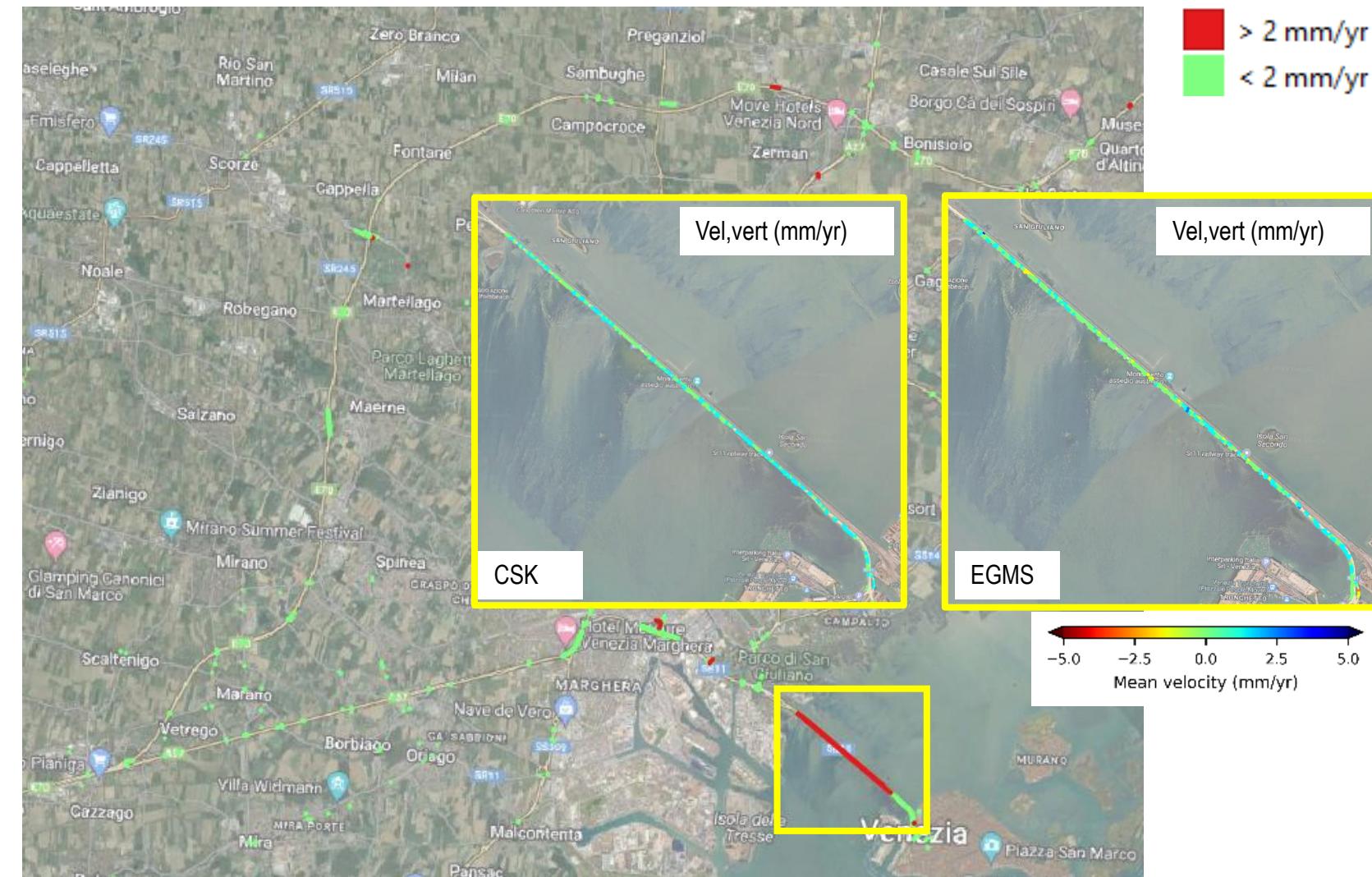
in **rosso** se almeno un rettangolo in cui l'opera è stata divisa ha il FLAG rosso (velocità media annua > 2 mm/yr)

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.

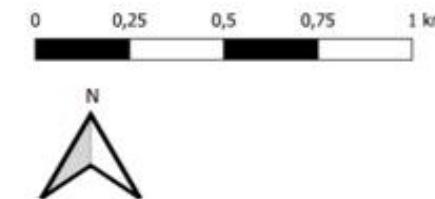
Numero di opere con FLAG rosso: 44

Numero di opere con FLAG verde: 530



UR: IUAV, UniNa, UniRM2, UniBO, UniPD – Applicazione di algoritmi per analisi alla larga scala di stock di ponti

Selezione dei ponti potenzialmente «critici» basandosi sulle componenti verticali e orizzontali est-ovest di velocità, ottenuta tramite dati satellitari



UR: IUAV, UniNa, UniRM2, UniBO, UniPD – Applicazione di algoritmi per analisi alla larga scala di stock di ponti

METODOLOGIA

Dataset dei ponti sulla tratta in indagine

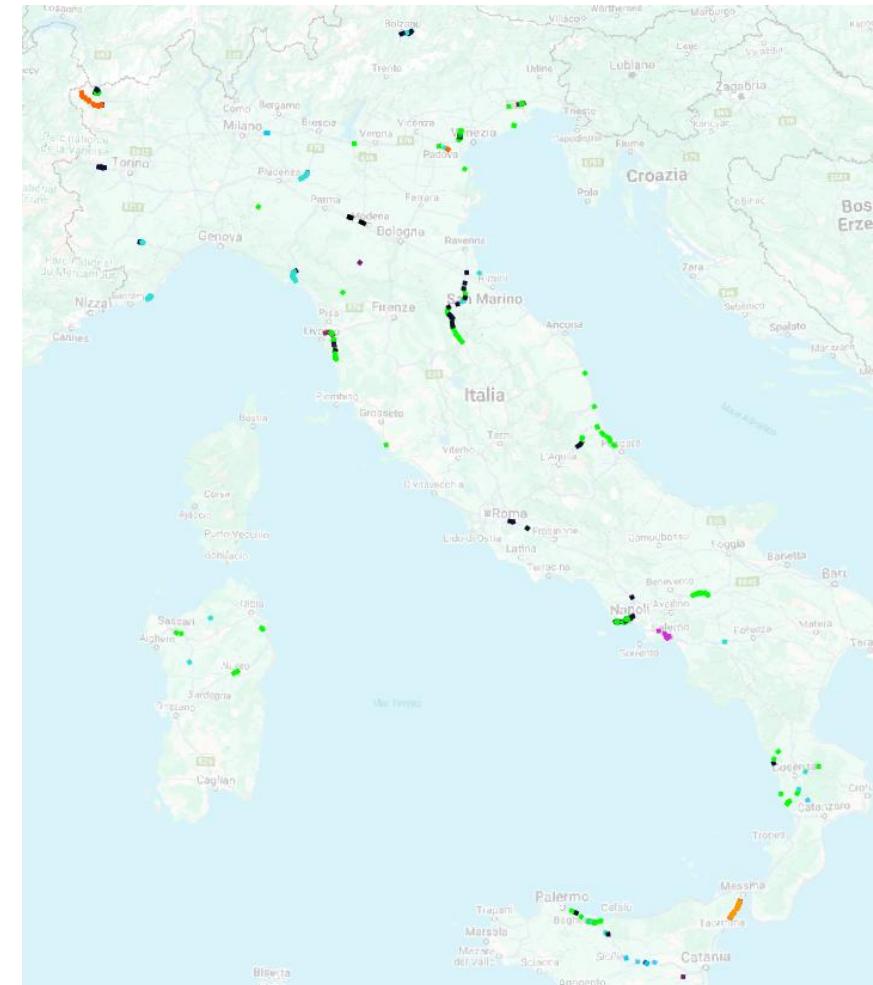
Per ogni opera della tratta:
divisione dell'opera in rettangoli

Per ogni rettangolo:
join spaziale con dataset ASC e DES di dati satellitari

Per ogni rettangolo:
se disponibili info dai due dataset, si valutano componenti
Verticale ed E-W

Per ogni opera della tratta:
si valuta se almeno un
rettangolo ha velocità superiore
ad un valore soglia

LA METODOLOGIA VIENE APPLICATA AI PONTI OGGETTO DELLA Sperimentazione NELL'AMBITO DEL WP2



Mappa dei 484 punti selezionati nel territorio nazionale. In verde i 190 punti in cui non si sono effettuate operazioni di correzione dei dati.

Le Ipotesi Principali di questa applicazione:

- ✓ si sono scartati i ponti per i quali non erano disponibili almeno i campi «coordinate iniziale» e «coordinate finale» (rimasti 484 punti su 530)
- ✓ si è riempito il campo «coordinate punto centrale» per quei ponti in cui non era disponibile come punto medio tra quello iniziale e finale
- ✓ si sono corretti errori facilmente individuabili in modo algoritmico (e.g. swap latitudine e longitudine, sistemi di riferimento errati, valori coordinate non compatibili con sistema di riferimento inserito)
- ✓ si sono corretti manualmente errori di localizzazione dei ponti (su un totale di circa 120 punti, circa il 25% del totale di ponti nel dataset).

UR: IUAV, UniNa, UniRM2, UniBO, UniPD – Applicazione di algoritmi per analisi alla larga scala di stock di ponti

METODOLOGIA

Dataset dei ponti sulla tratta in indagine

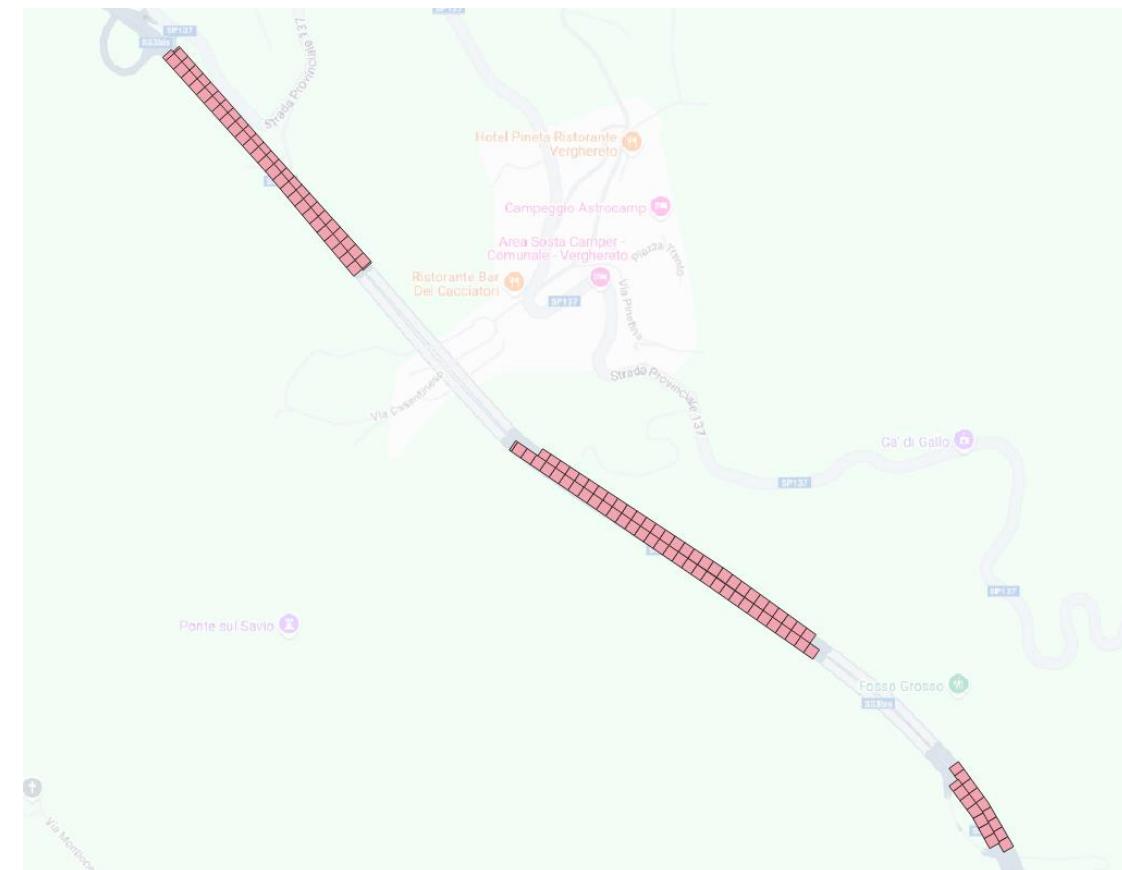
Per ogni opera della tratta:
divisione dell'opera in rettangoli

Per ogni rettangolo:
join spaziale con dataset ASC e DES di dati satellitari

Per ogni rettangolo:
se disponibili info dai due dataset, si valutano componenti
Verticale ed E-W

Per ogni opera della tratta:
si valuta se almeno un
rettangolo ha velocità superiore
ad un valore soglia

LA METODOLOGIA VIENE APPLICATA AI PONTI OGGETTO DELLA Sperimentazione nell'ambito del WP2



Esempio di discretizzazione in celle con dimensione di lato 20 m.

- ✓ Data la risoluzione dei dati Sentinel 1 disponibili nel EGMS, i ponti sono stati divisi in celle di lato massimo 20 m.

UR: IUAV, UniNa, UniRM2, UniBO, UniPD – Applicazione di algoritmi per analisi alla larga scala di stock di ponti

METODOLOGIA

Dataset dei ponti sulla tratta in indagine



Per ogni opera della tratta:
divisione dell'opera in rettangoli



Per ogni rettangolo:
join spaziale con dataset ASC e DES di dati satellitari

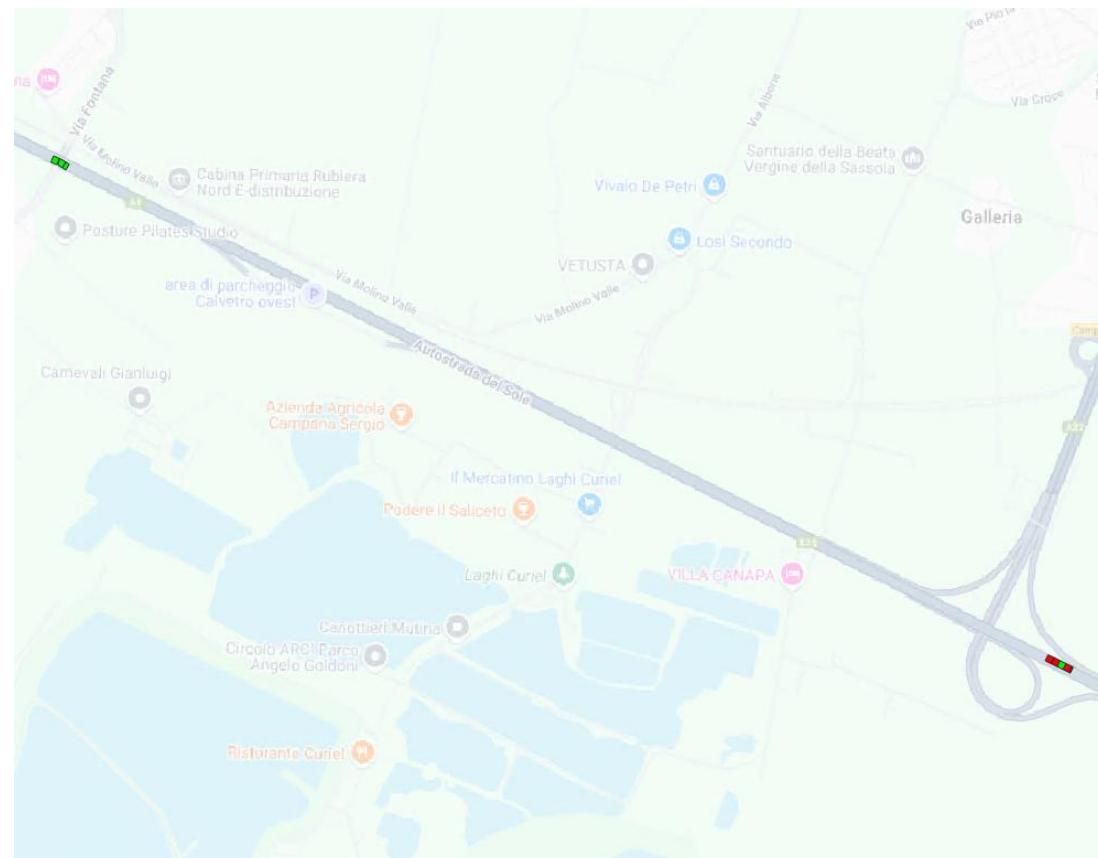


Per ogni rettangolo:
se disponibili info dai due dataset, si valutano componenti
Verticale ed E-W



Per ogni opera della tratta:
si valuta se almeno un
rettangolo ha velocità superiore
ad un valore soglia

LA METODOLOGIA VIENE APPLICATA AI PONTI OGGETTO DELLA Sperimentazione NELL'AMBITO DEL WP2



Flag attivato (in rosso) per celle con raggiungimento soglia velocità media annua verticale di 2 mm/anno.

A questo punto è possibile per ogni cella attivare diverse tipologie di flag:

- ✓ Superamento di una valore soglia di velocità annua media (e.g. 2 mm/yr)
- ✓ Superamento di valori soglia di velocità relativi a punti di riferimento localizzati nel singolo ponte (i.e. spostamenti relativi)
- ✓ Scostamento oltre una certa entità della velocità media sulla cella rispetto alle serie temporali precedenti (sfruttando i prodotti rilasciati ogni anno da EGMS con finestre temporali di 4 anni, si può implementare questo sistema come un sistema di monitoraggio continuo rilasciato ogni anno)

UR: IUAV, UniNa, UniRM2, UniBO, UniPD – Applicazione di algoritmi per analisi alla larga scala di stock di ponti

METODOLOGIA

Dataset dei ponti sulla tratta in indagine



Per ogni opera della tratta:
divisione dell'opera in rettangoli



Per ogni rettangolo:
join spaziale con dataset ASC e DES di dati satellitari

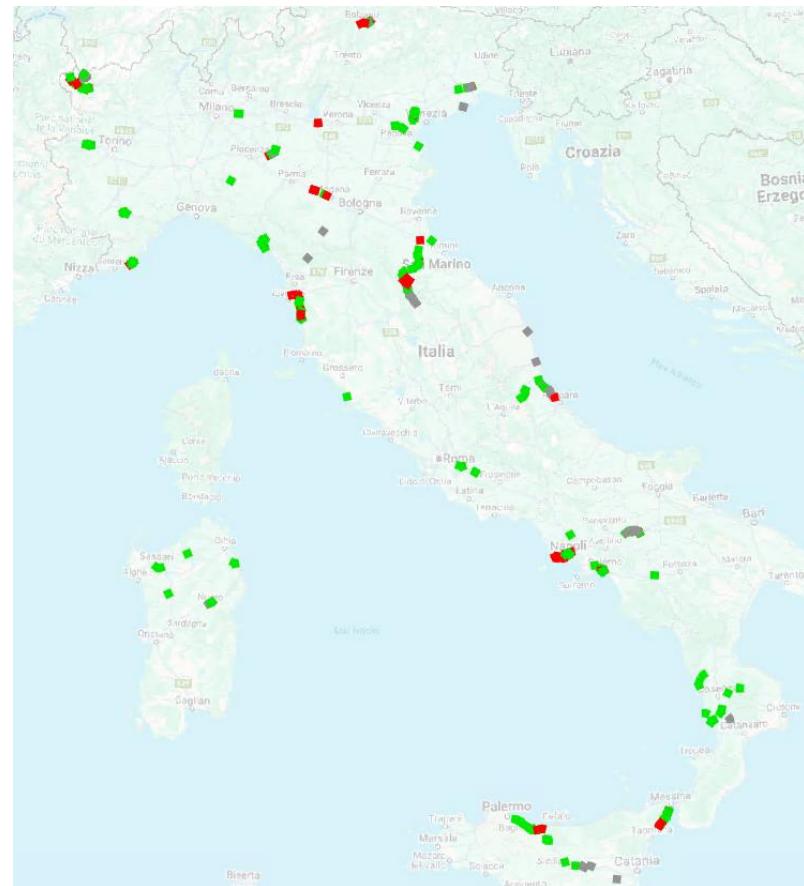


Per ogni rettangolo:
se disponibili info dai due dataset, si valutano componenti
Verticale ed E-W



Per ogni opera della tratta:
si valuta se almeno un
rettangolo ha velocità superiore
ad un valore soglia

LA METODOLOGIA VIENE APPLICATA AI PONTI OGGETTO DELLA Sperimentazione nell'ambito del WP2

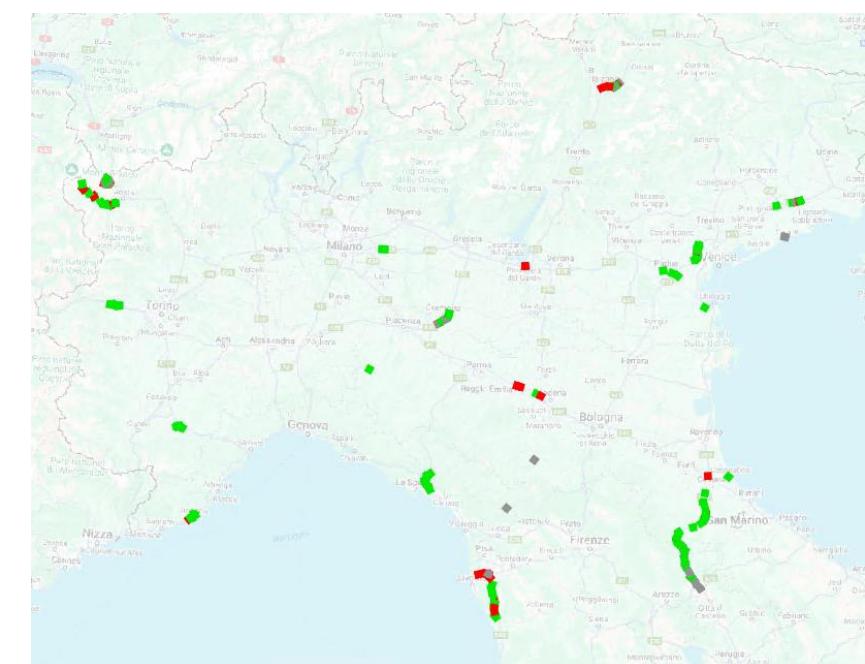


In rosso: ponti con flag attivato in almeno una cella

In grigio: ponti per cui non sono state ottenute informazioni dai dati EGMS.

Infine si colorano i ponti con un flag rosso, se almeno un flag viene attivato in una delle sue celle.

- ✓ Flag attivato (necessario approfondimento a maggior livello di dettaglio): 87 ponti
- ✓ Flag non attivato: 306 ponti
- ✓ Velocità verticale non disponibile per mancanza di dati ASC e/o DES: 91 ponti



TASK 5.6 – Monitoraggio strutturale di ponti con dati satellitari

Coordinatore: Prof. Andrea Prota, UniNa

Monitoraggio di singoli ponti utilizzando dati satellitari e/o sistemi on-site

Contributo delle seguenti unità:

UniGe

Prof.ssa Serena Cattari

UniMol

Prof. Giovanni Fabbrocino

UniBas

Prof. Angelo Masi

Prof. Felice Carlo Ponzo

Prof. Giuseppe Santarsiero

UniRM2 Tor Vergata - Responsabile scientifico:

Prof. Alberto Meda

Iuav - Responsabili scientifici:

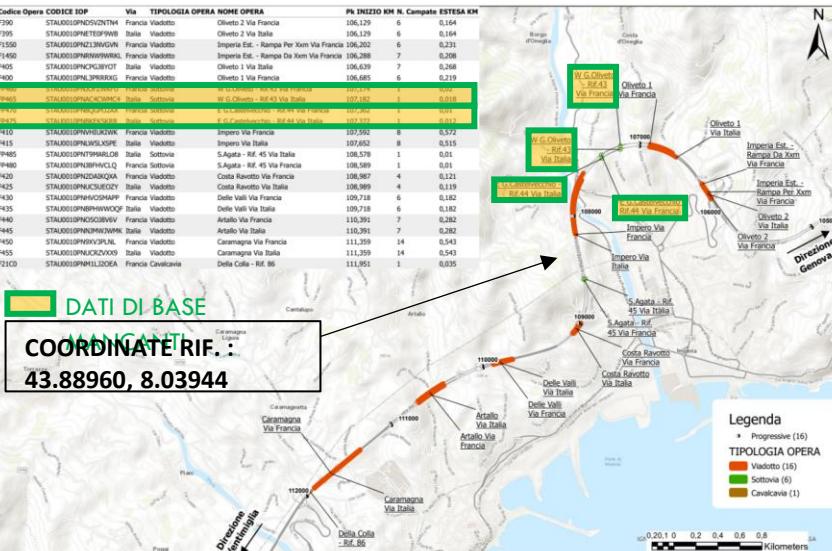
Prof.ssa Anna Saetta – Prof.ssa. Luisa Berto

UniNa - Responsabile scientifico:

Prof. Andrea Prota

Progetto ReLUIS Ponti WP5.6 – Liguria: coordinamento Prof. S. Cattari

- Ricognizione casi studio nella regione
- Analisi copertura dati satellitari per i casi studio:
Sentinel-1 2016-2022 (<https://egms.land.copernicus.eu/>)
- Casi studio ReLUIS Ponti WP2 – Liguria (coordinamento Prof. S. Lagomarsino)
Tratte assegnate sulla **A10 Savona-Ventimiglia (zona Imperia)**
 - 16 viadotti**
 - 6 sottovia** (di cui 4 DATI DI BASE MANCANTI)
 - 1 cavalcavia**
- Altri manufatti città metropolitana di Genova:
 - Ponte Paleggiali (c.a. e c.a.p, 7 campate, MEMS low-cost e spostamenti GNSS)**
 - Ponte Montebruno (cassone acciaio, campata unica, danneggiato)
 - Ponte Montoggio (ad arco in muratura, 4 campate)



Progetto ReLUIS Ponti WP5.6 – Liguria: coordinamento Prof. S. Cattari

- Altri manufatti città metropolitana Genova:

Ponte Paleggiani

- Busalla (GE) su fiume Scrivia
- C.a. e c.a.p., lunghezza 100m,
7 campate con luce massima 53m
- Buono stato di conservazione
- Monitoraggio dinamico:
sensori MEMS low-cost e trasmissione dato
tramite tecnologia 5G (attualmente disattivo)

- Monitoraggio statico :
3 stazioni GNSS + stazione meteo
(Prof. D. Sguerso)

- P001 e P003 in campata, P002 su pila,
misure di spostamento triassiali (orarie)
- Stazione meteo:
temperature e pressione @ 1Hz

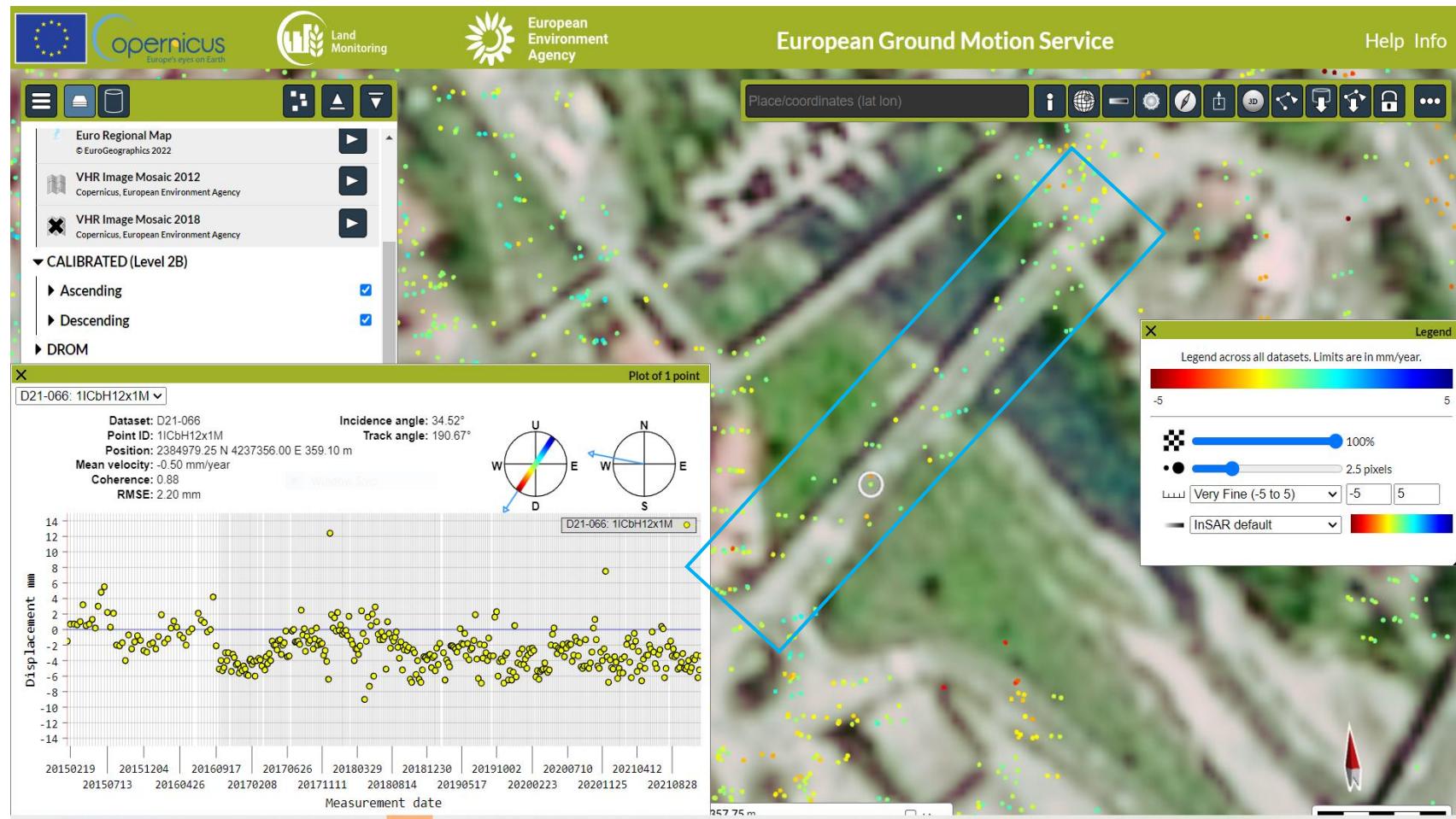


Stazioni GNSS



Progetto ReLUIS Ponti WP5.6 – Liguria: coordinamento Prof. S. Cattari

- Dati satellitari: Sentinel-1 2016-2023 (fonte: <https://egms.land.copernicus.eu/>)
- Buona copertura per entrambe le orbite, buona ricostruzione altezze dei PS
- **Confronto con i dati acquisiti on-site dal sistema di monitoraggio GNSS**



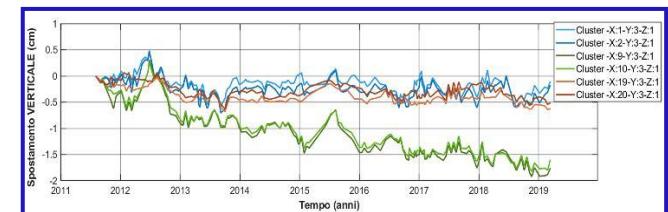
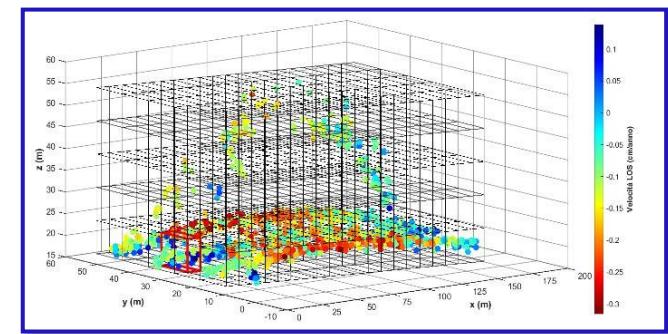
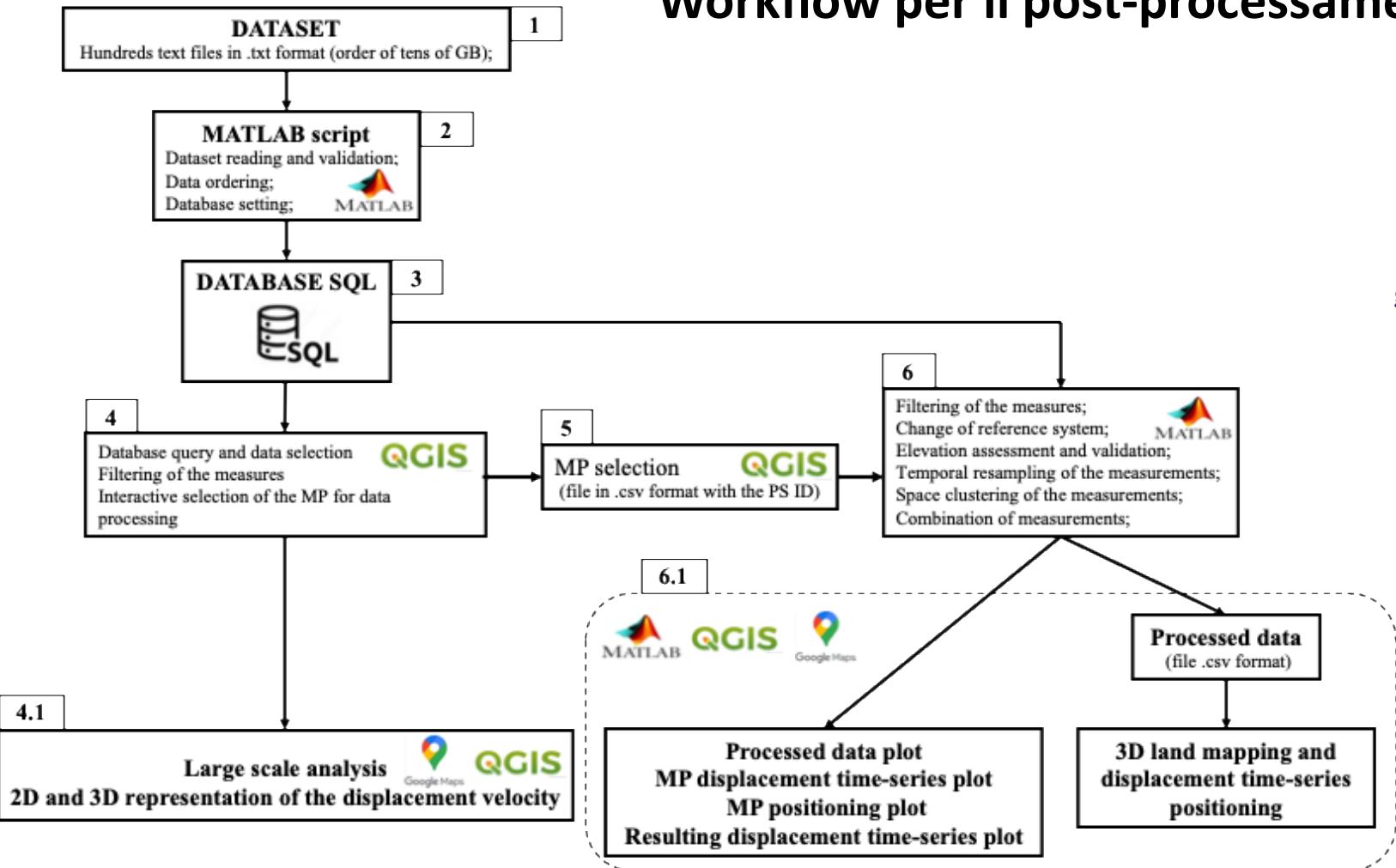
Obiettivi

Sviluppo di metodologie e procedure semplificate per l'interpretazione dei dati satellitari:

- ✓ Messa a punto di procedure per il monitoraggio (in remoto) di ponti con l'utilizzo di dati DInSAR
- ✓ Definizione di metodologie per la stima degli spostamenti in condizioni operative delle infrastrutture:
 - Spostamenti generati da veicoli in coda;
 - Effetti delle variazioni termiche giornaliere e stagionali.



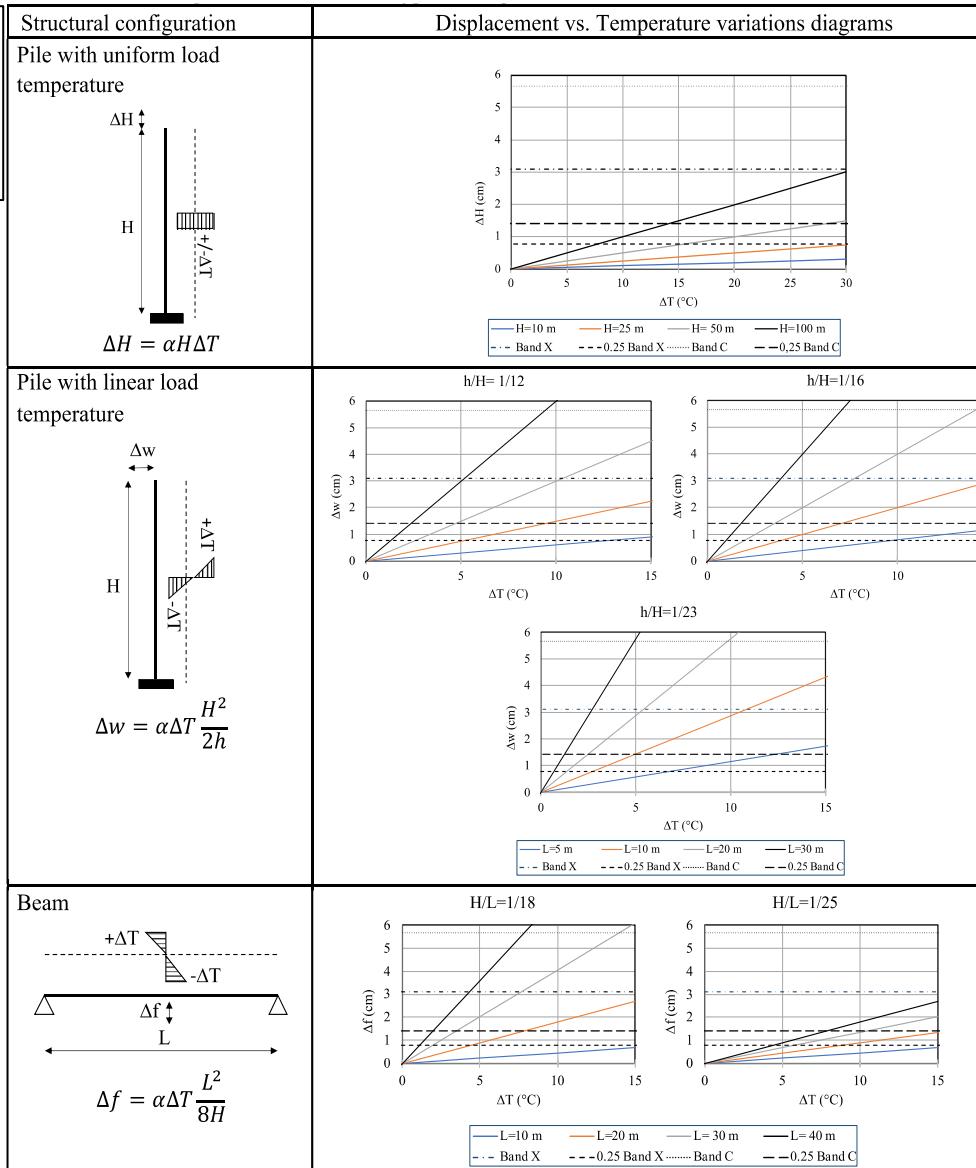
Workflow per il post-processamento



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

Abachi per la stima degli spostamenti termici

Pile e travi appoggiate in c.a.

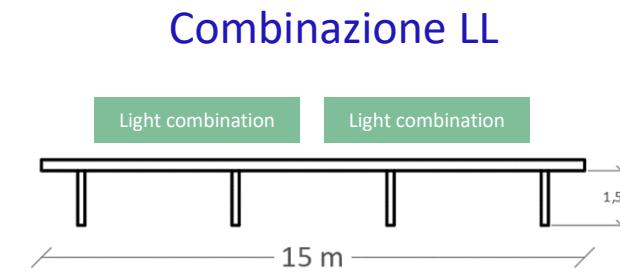
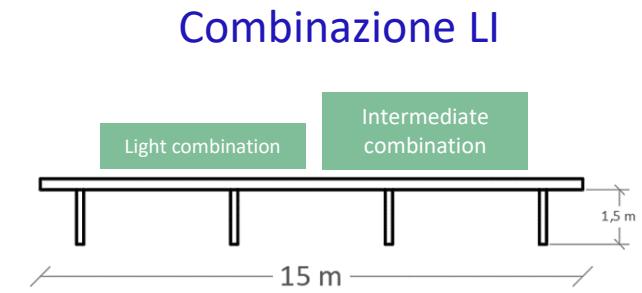
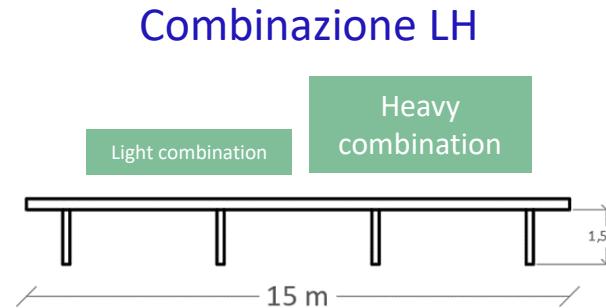
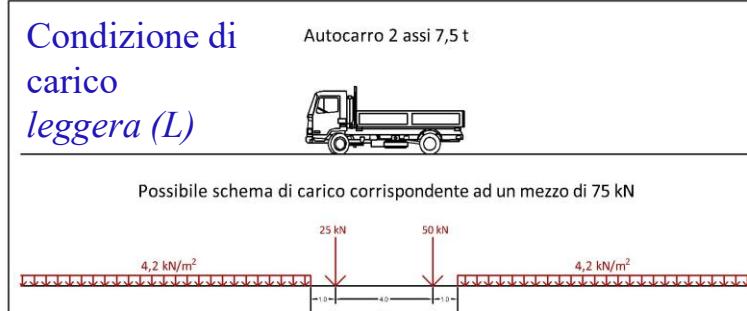
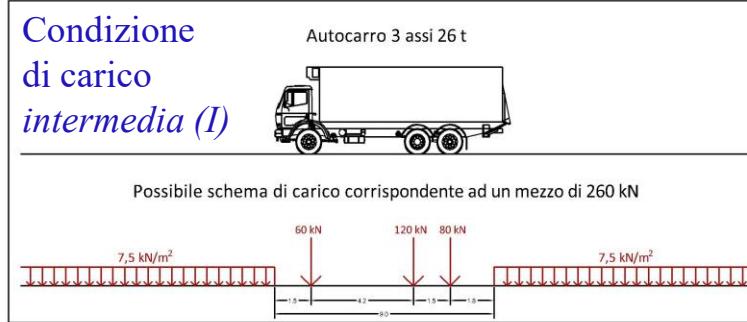
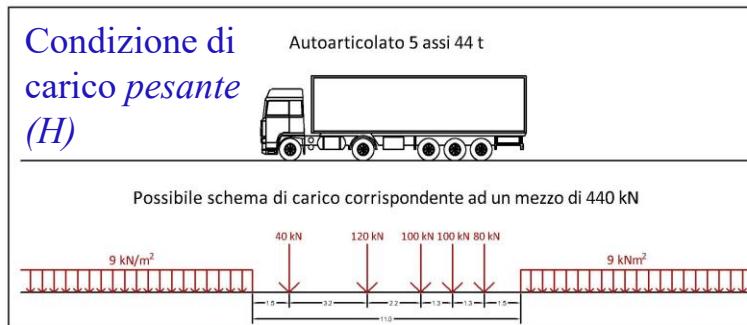


Archi in c.a.

		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	-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	4,73E-02	5,07E-02	5,82E-02	9,72E-02
	100	9,47E-02	1,02E-01	1,17E-01	1,98E-01
	150	1,42E-01	1,52E-01	1,75E-01	2,97E-01
	200	1,89E-01	2,03E-01	2,34E-01	3,97E-01
		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	-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

Stime delle frecce da traffico

Metodo 2_ Frecce a partire da LLGG Ponti 2022

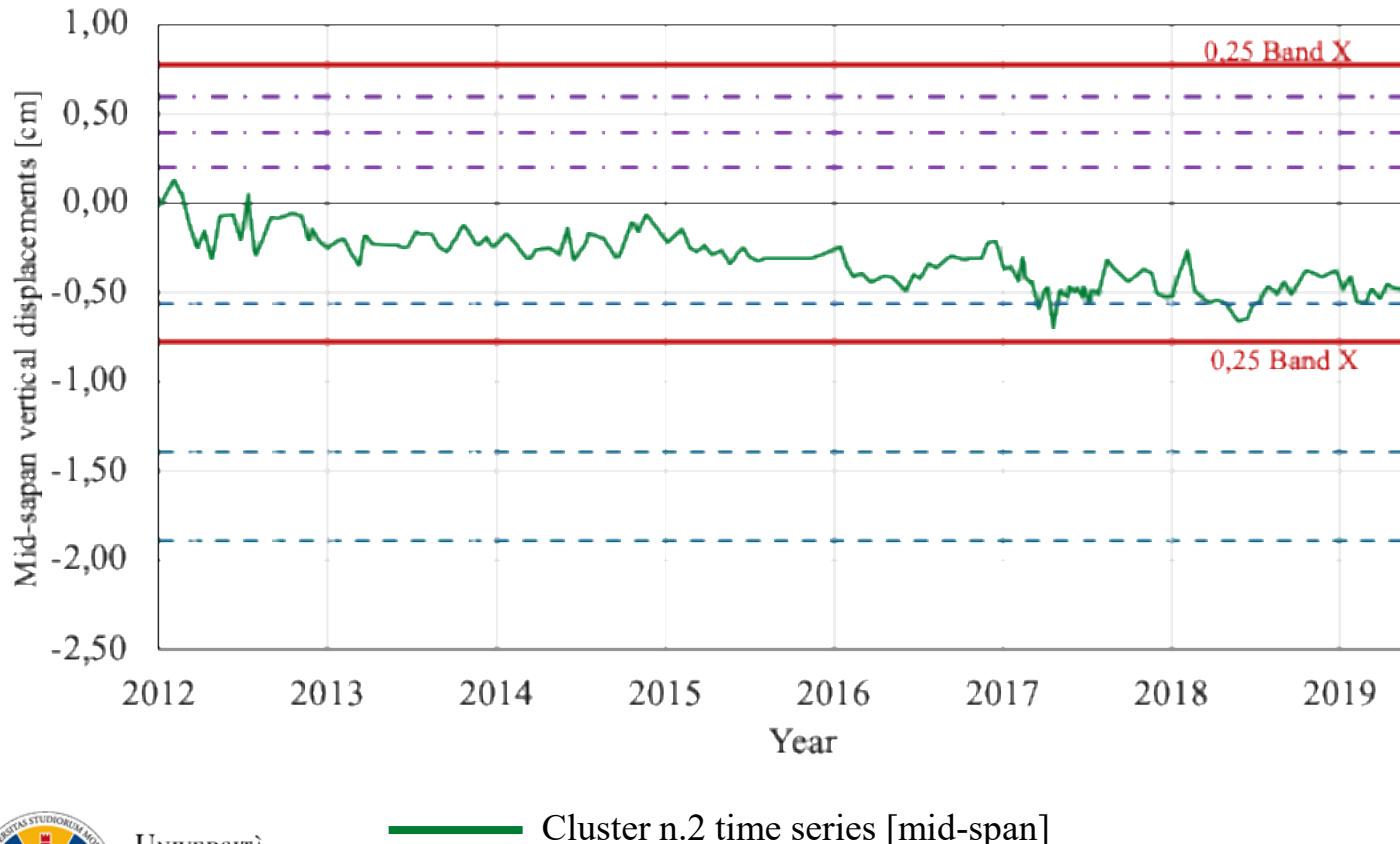


*Condizioni di carico da LL GG Ponti 2022 per verifiche di transitabilità

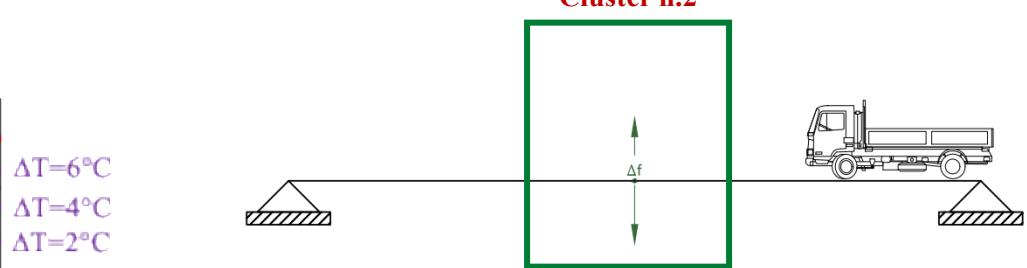
Stime delle frecce da traffico

Applicazione al ponte Tor di Quinto (Roma)

Confronto della serie temporale di mezzeria con gli spostamenti associati ai carichi da traffico e termici



Cluster n.2



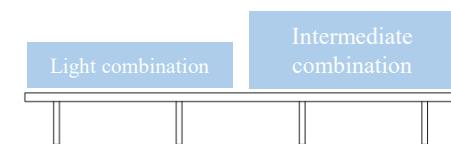
Case LL



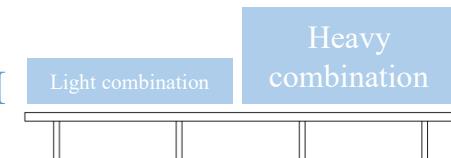
LI

LH

Case LI



Case LH



Progetto ReLUIS Ponti WP5.6: UNIBAS Prof. Masi, Ponzo, Santarsiero

VIADOTTO PLATANO: STRUTTURA AD ARCO-TELAIO CON VIADOTTI D'ACCESSO IN C.A.P.



L'opera, sita in Vietri di Potenza, è costituita da un **arco-telaio d'acciaio** di grande luce, che supera la profonda incisione del torrente Platano, e dai due **viadotti d'accesso iperstatici** realizzati con impalcati a travi prefabbricate in c.a. precompresso.

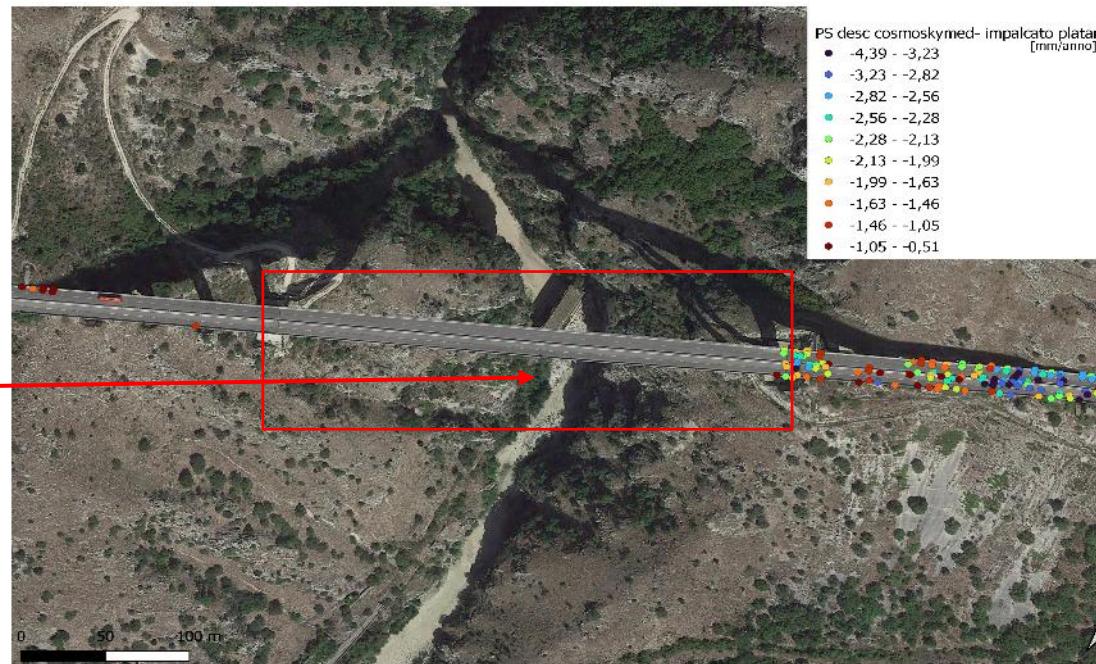
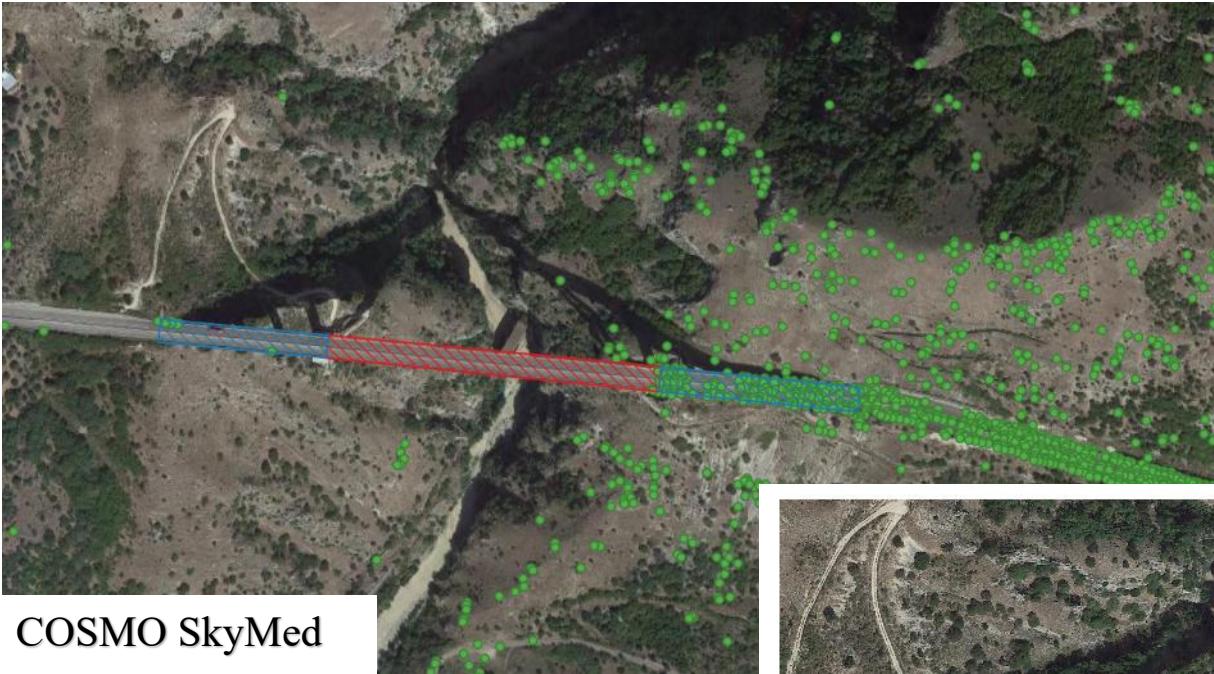
La lunghezza dell'arco-telaio è pari a 302m (81m+140m+81m), il viadotto d'accesso, lato Salerno, è pari a 142,35 m suddiviso in 4 campate mentre il viadotto d'accesso, lato Potenza, è pari a 177,75m suddiviso in 5 campate per una lunghezza complessiva di 630m

firma del ing. Silvano Zorzi e del Ing. Sabatino Procaccia della IN.CO. S.p.a. di Milano (1971) - realizzato dalle imprese "Cooperativa Muratori e Cementisti" e "Costruzioni Metalliche A. Cimolai"



CASO STUDIO: IL VIADOTTO PLATANO (VIETRI DI POTENZA-PZ)

PERSISTENT SCATTERERS E MAPPA DI VELOCITÀ DELLA COSTELLAZIONE COSMO SKYMED (DATI 2011-2013)



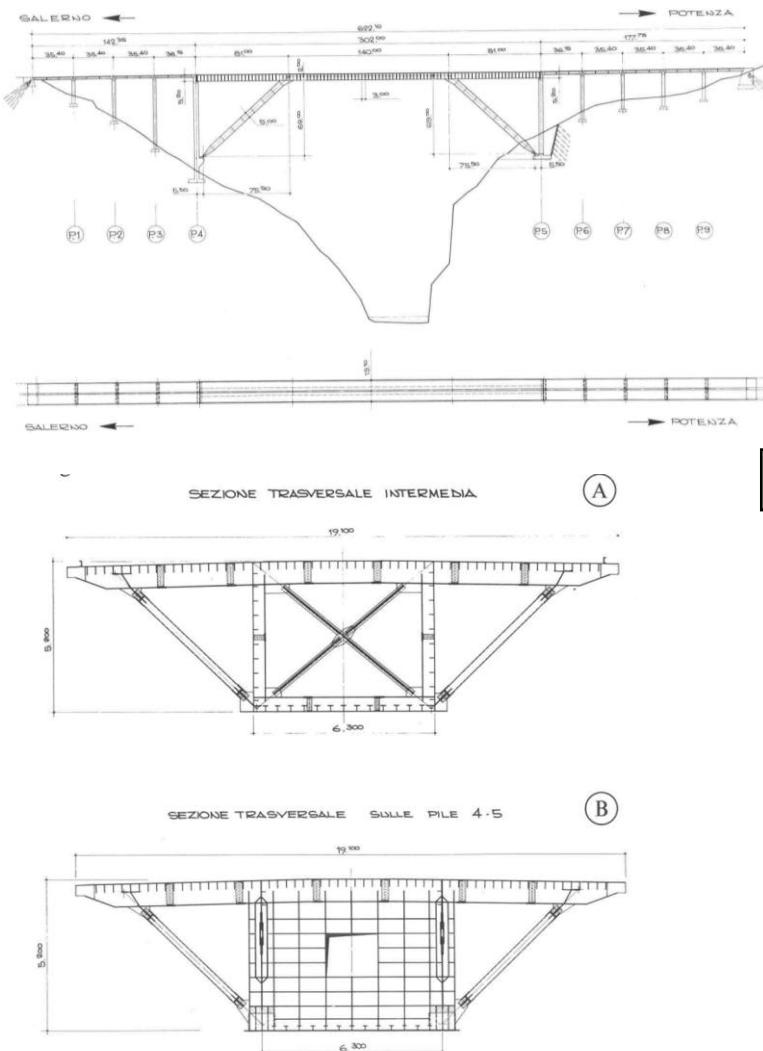
PROPRIETÀ:

- Sensori Radar in banda x con lunghezza d'onda 3.1 cm
- Primo satellite in funzione dal 2007 (in corso)
- Modalità stripmap HIMAGE con risoluzione spaziale 3x3 km
- Raccolte su lunghe strisce continue di 40 km
- Riving time: 16 giorni

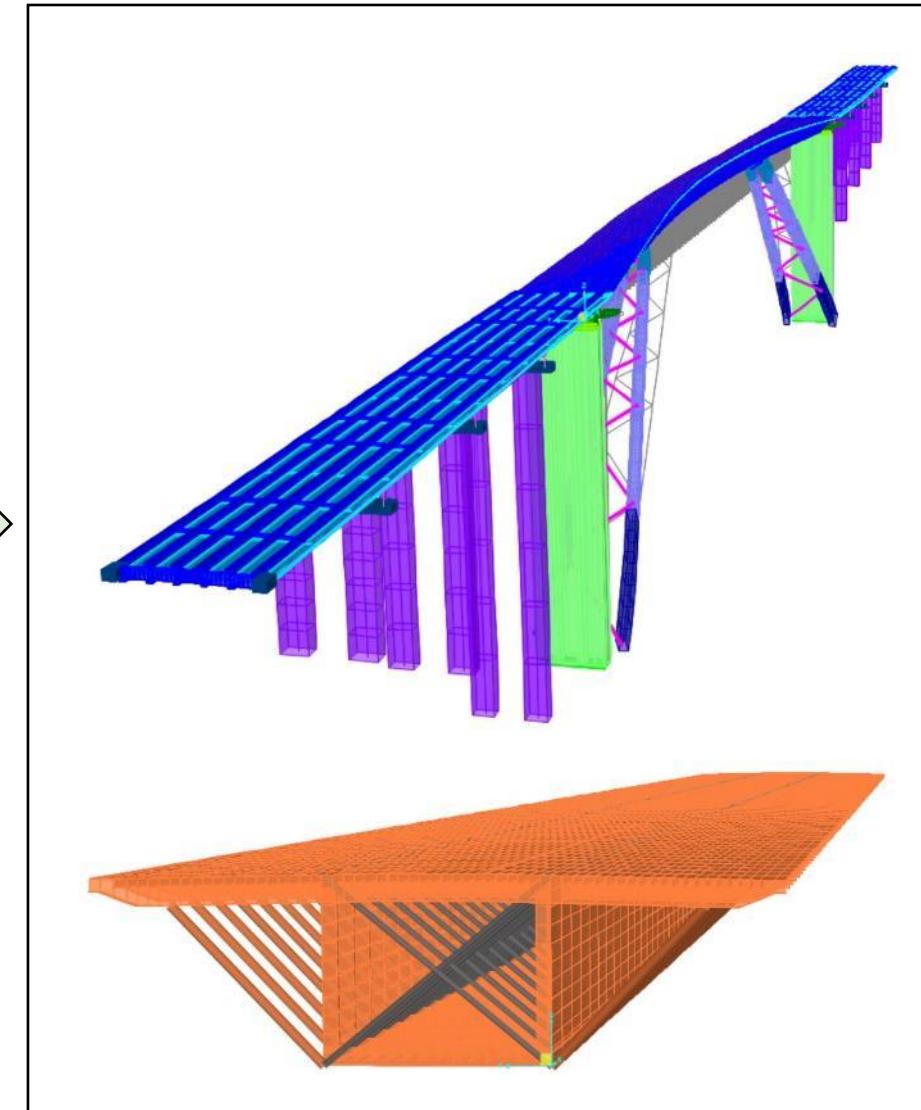
Dati forniti dal ministero dell'ambiente e territorio:
Costellazione COSMO Sky MED dal 2011 al 2013

CASO STUDIO: IL VIADOTTO PLATANO (VIETRI DI POTENZA-PZ)

➤ DOCUMENTAZIONE PROGETTUALE



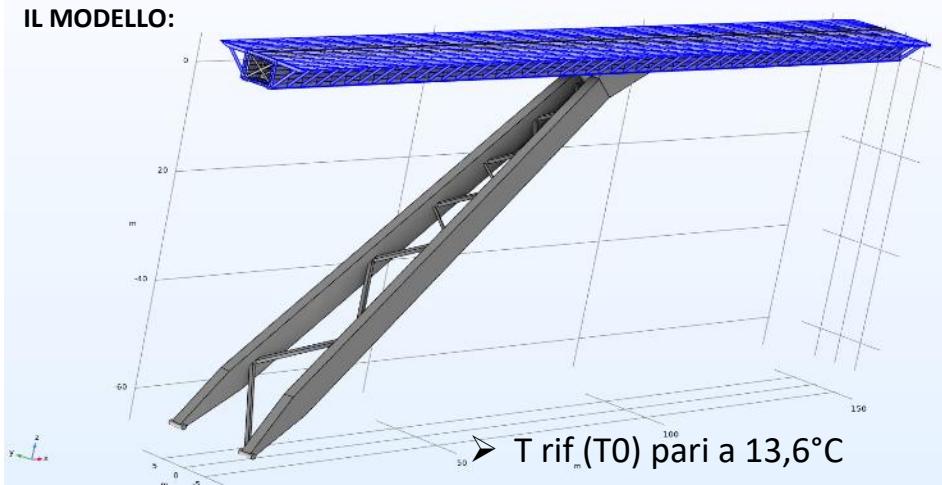
➤ MODELLO FEM – VIADOTTO PLATANO



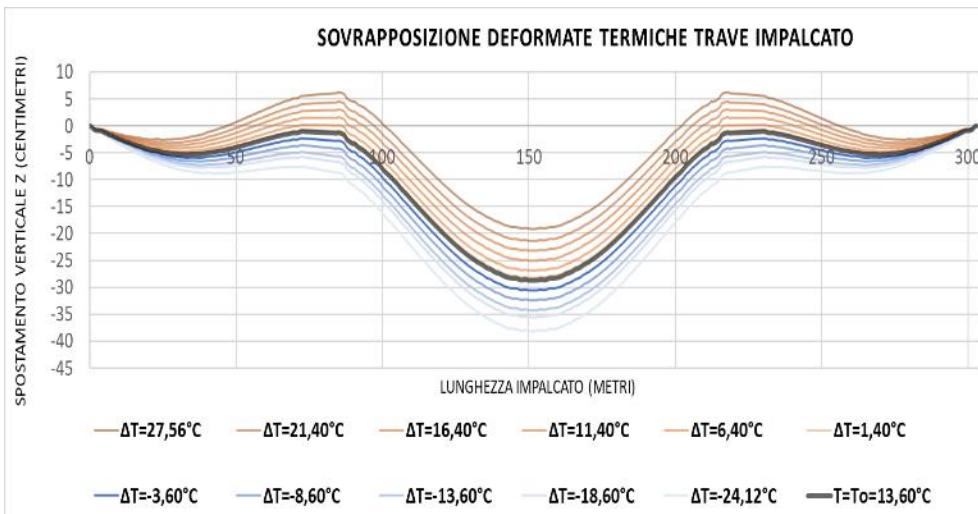
CASO STUDIO: IL VIADOTTO PLATANO (VIETRI DI POTENZA-PZ)

ANALISI TERMO-MECCANICHE

IL MODELLO:



I RISULTATI DELL'ANALISI: DEFORMATA PER EFFETTO DELL'AZIONE TERMICA E DEI CARICHI PERMANENTI



Con effetto dell'irraggiamento

ΔT (°C)	SENZA IRRAGGIAMENTO	CON IRRAGGIAMENTO
	Δ SPOSTAMENTO MAX IN MEZZERIA (cm)	Δ SPOSTAMENTO MAX IN MEZZERIA (cm)
27.56	9.58	12.95
21.4	7.35	10.69
16.4	5.51	8.84
11.4	3.67	7.00
6.4	1.83	5.16
1.4	0.52	-
0	0.00	-
-3.6	-1.86	-
-8.6	-3.70	-
-13.6	-5.54	-
-18.6	-6.86	-
-24.12	-9.42	-

Cosmo SkyMed $\lambda=3.1$ cm $\rightarrow \lambda / 4 = 0,775$ cm

Sentinel (Banda C) $\lambda=5.6$ cm $\rightarrow \lambda / 4 = 1,4$ cm

CASO STUDIO: IL VIADOTTO PLATANO (VIETRI DI POTENZA)-PZ

Monitoraggio Vibrazionale e caratterizzazione dinamica (18 Luglio 2024)



FASE DI CALIBRAZIONE DEI MODELLI,
CHE SI AVVARRA' DEI RISULTATI DI
ULTERIORI MISURAZIONI ON-SITE

Acquisizioni:

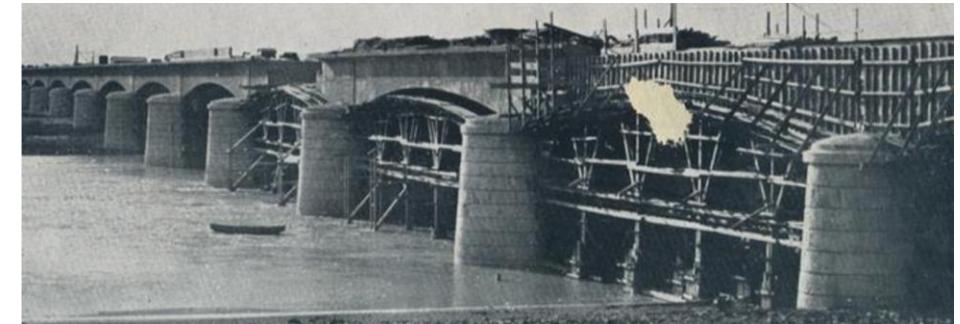
- Freq: 250 Hz
- 2 config.
- Durata: 30 min

UR: UniRM2, IUAV, UniNa, – Analisi storica e open BIM-3DGIS per il monitoraggio strutturale attraverso dati interferometrici satellitari

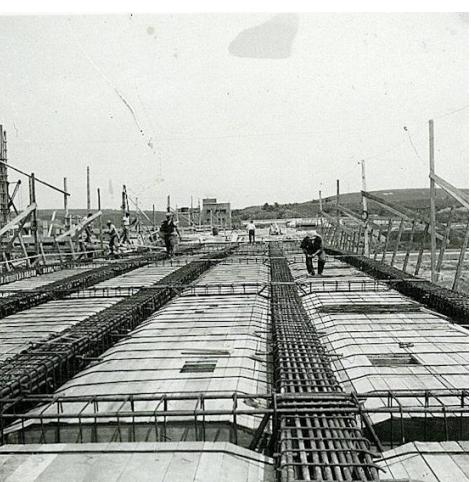
Il caso studio del ponte monumentale di Mezzocammino a Roma



L'opera è parte integrante del Grande Raccordo Anulare costituendo la rampa di accesso al GRA dalla via del Mare



Il progetto, 1937
La costruzione, 1938-43
Danni di guerra e ricostruzioni post-belliche, 1943-53
Classificazione monumento nazionale, 2003

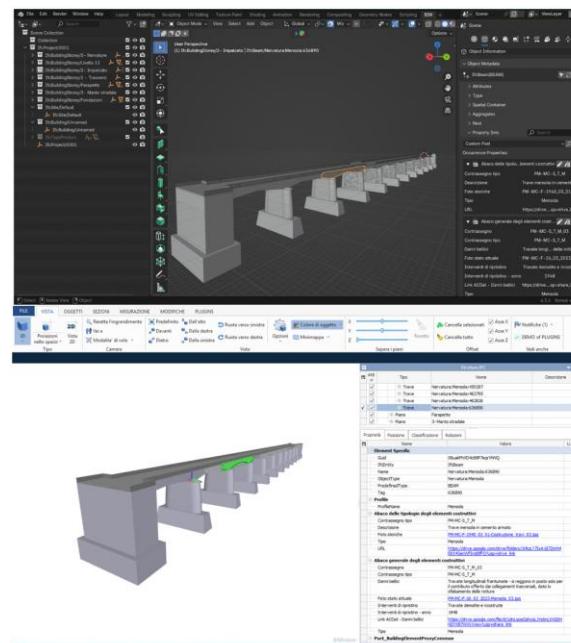


Analisi storica

UR: UniRM2, IUAV, UniNa, – Analisi storica e open BIM-3DGIS per il monitoraggio strutturale attraverso dati interferometrici satellitari

Il caso studio del ponte monumentale di Mezzocammino a Roma

Costruzione di un modello tridimensionale e informativo per la conoscenza del ponte



Costruzione del modello IFC in ambiente Blender-Bonsai e visualizzazione dello stesso modello nell'applicativo BIMVision (viewer IFC open-source)

Rappresentazione ed elaborazione dei dati interferometrici

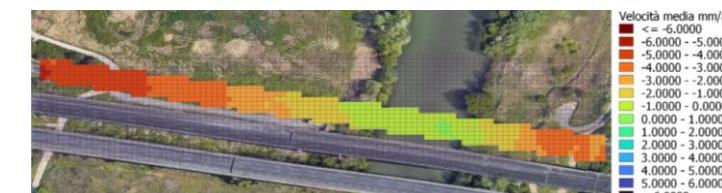
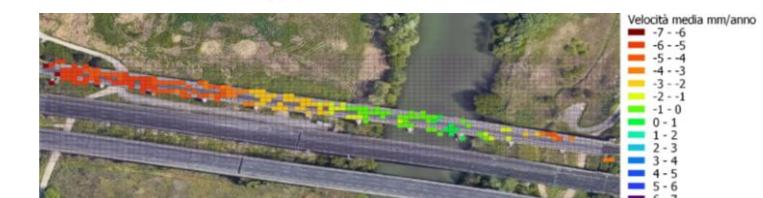
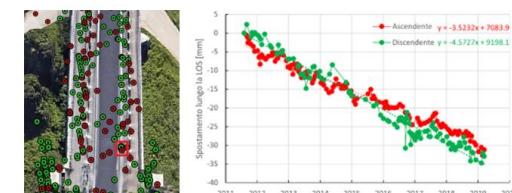


orbita ascendente (rosso)
orbita discendente (verde)



Diversi approcci utilizzati:

- Approccio Nearest Neighbors
- Approccio Grid-subsampling
- Interpolazione



UR: UniRM2, IUAV, UniNa, – Analisi storica e open BIM-3DGIS per il monitoraggio strutturale attraverso dati interferometrici satellitari

Il caso studio del ponte monumentale di Mezzocammino a Roma

Sviluppo di un ambiente di visualizzazione integrata del modello tridimensionale e informativo del ponte e dei dati interferometrici satellitari



visualizzazione del modello IFC del ponte di Mezzocammino, del DTM dell’area e del “layer” relativo ai punti di misura



Interfaccia di visualizzazione della piattaforma Cesium con il modello IFC del ponte di Mezzocammino e il DTM dell’area

Visualizzazione dei modelli IFC, conservando l’interrogazione interattiva dei metadati in ambiente 3DGIS

Visualizzazione dei dati SAR, sfruttando il formato GEOJson

TASK 5.6 – Monitoraggio strutturale di ponti con dati satellitari

Coordinatore: Prof. Andrea Prota, UniNa

Sviluppo di nuovi algoritmi e metodologie di Interferometria Radar ad Apertura Sintetica (SAR) Differenziale (DInSAR)

Contributo delle seguenti unità:

CNR-IREA

Responsabile Scientifico:

Dott. Ing. Riccardo Lanari

Task 5.6: Monitoraggio strutturale di ponti utilizzando dati satellitari

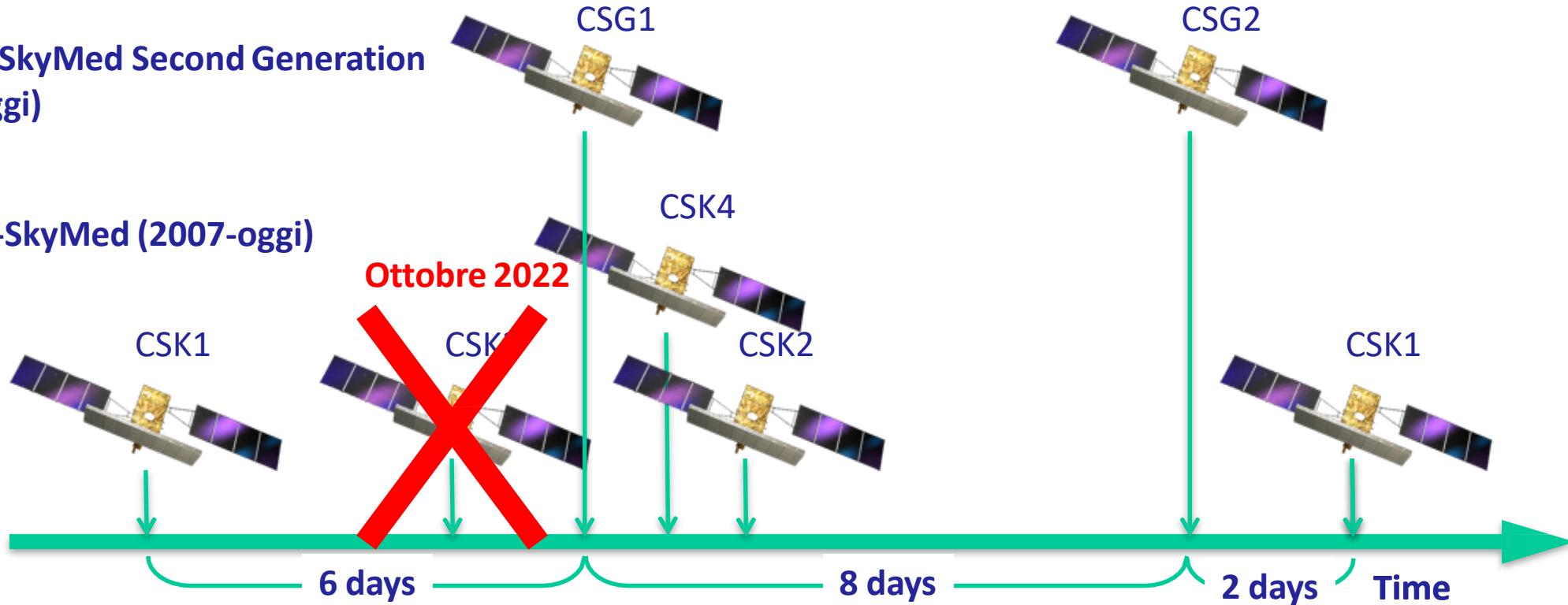
- ✓ Task 5.6.1 *Metodologie avanzate di rilievo e monitoraggio di ponti, attraverso l'uso integrato di dati satellitari e sistemi on site*
- ✓ Task 5.6.2 *Monitoraggio strutturale di ponti utilizzando dati satellitari e metodologie di intelligenza artificiale*

Sviluppo di nuovi algoritmi e metodologie di Interferometria Radar ad Apertura Sintetica (SAR) Differenziale (DInSAR) per la generazione di catene interferometriche avanzate ed efficienti, al fine di investigare e monitorare fenomeni deformativi molto localizzati associati ad infrastrutture viarie, ponti e viadotti, attraverso l'utilizzo di grandi set di dati SAR acquisiti dai sensori montati a bordo delle nuove costellazioni satellitari.

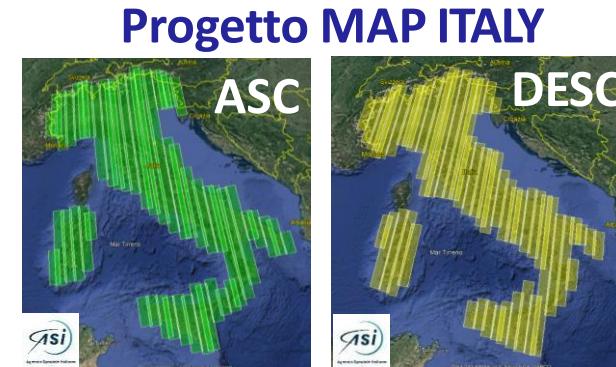
COSMO-SkyMed di Prima e Seconda Generazione (CSK/CSG)

COSMO-SkyMed Second Generation
 (2019-oggi)

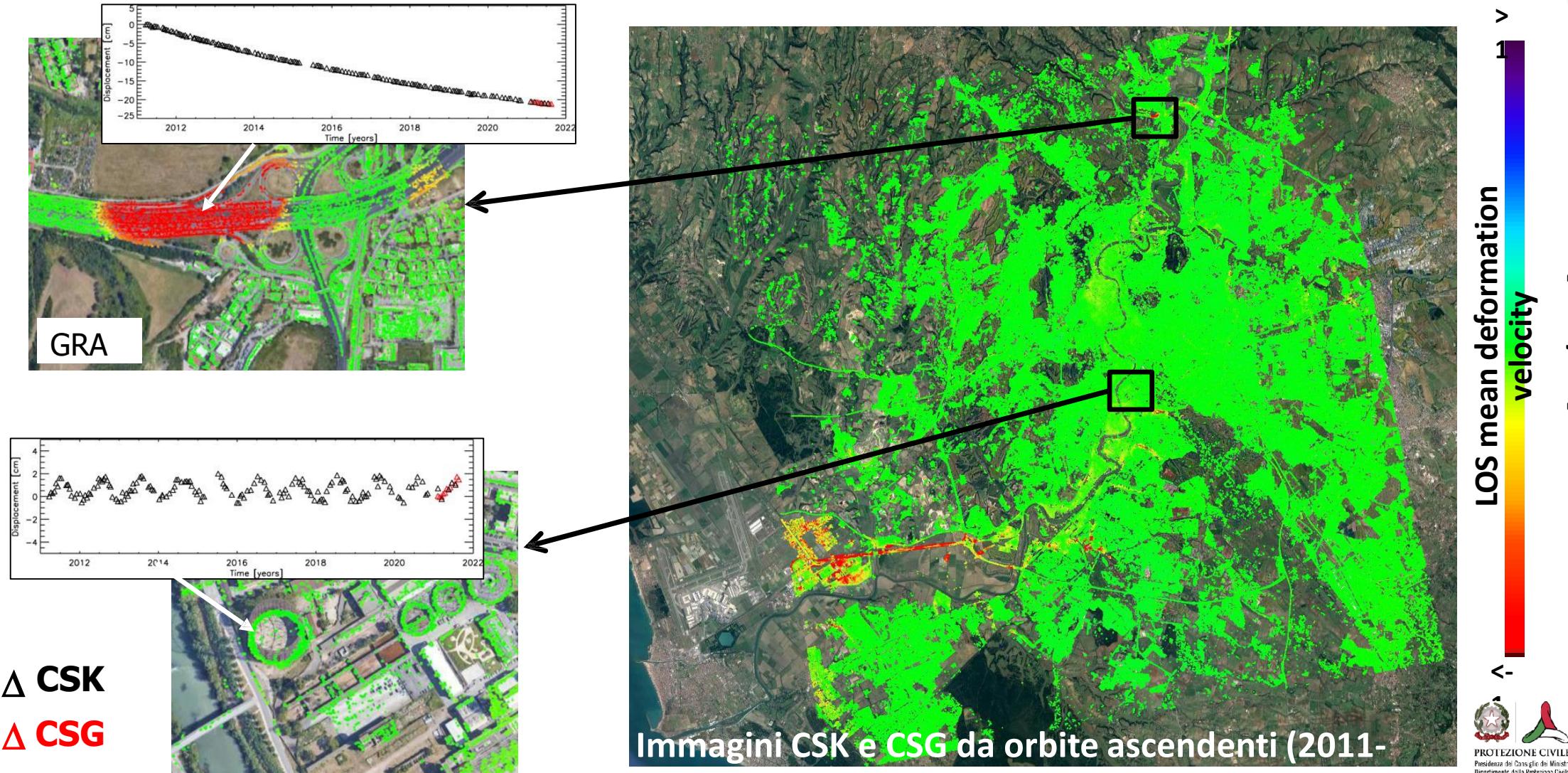
COSMO-SkyMed (2007-oggi)



- Risoluzione spaziale (StripMap): 3 m x 3 m
- Copertura (StripMap): 40 km x 40 km
- Banda X ($\lambda \sim 3.1$ cm)
- Missione duale (civile - militare)

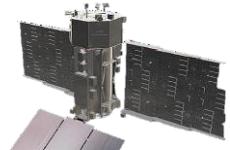


Analisi P-SBAS delle deformazioni del costruito con dati CSK+CSG: area urbana di Roma



Costellazione SAOCOM-1 (SAOCOM-1A e -1B)

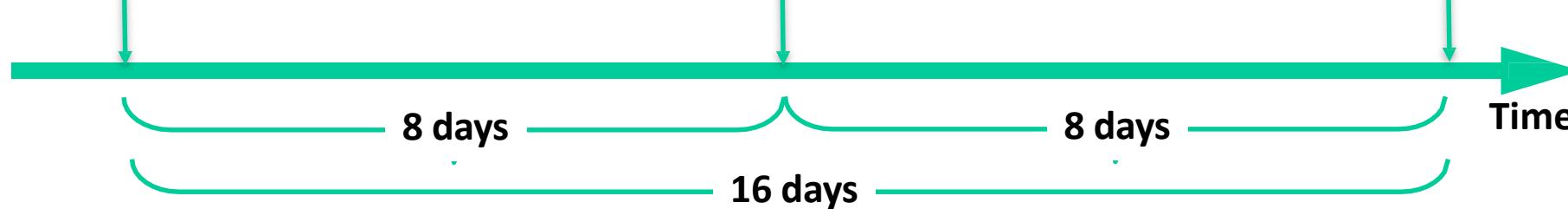
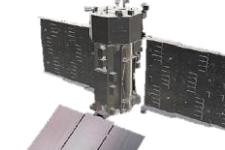
SAOCOM-1A



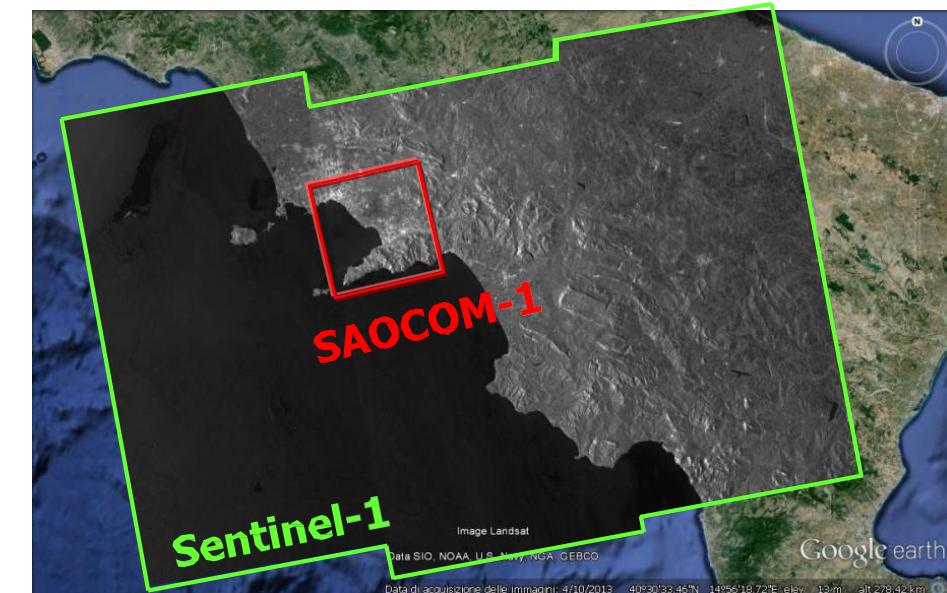
SAOCOM-1B



SAOCOM-1A



- La costellazione argentina SAOCOM-1A e 1B e quella italiana COSMO-SkyMed formano il sistema SIASGE.
- Risoluzione spaziale (stripmap mode): **5 m x 5 m** (Single e Dual Pol)
5 m x 6 m (Quad Pol)
- Copertura del suolo: **40-60 km** (Single e Dual Pol) **20-30 km** (Quad Pol)
- **Banda L ($\lambda \sim 23.5$ cm)**
- La regione di esclusività dell'ASI include tutta l'Europa
- **Lancio satelliti: 10/2018 (A) – 08/2022 (B)**



Analisi P-SBAS relativa al ponte della Musica (Roma): CSK-CSG vs SAOCOM-1

CSK-CSG 2011-2021 - Banda X ($\lambda \sim 3.1$ cm)**LOS mean deformation CSK-CSG velocity****SAOCOM-1 2020-2023 - Banda L ($\lambda \sim 23.5$ cm)****LOS mean deformation SAOCOM-1 velocity**

Opportunità future: la costellazione IRIDE

- All'interno del PNRR l'Italia svilupperà la costellazione IRIDE che include una componente SAR operante in banda X.
- IRIDE SAR (Sistema NIMBUS):
 - 12 Satelliti (6 + 6)
 - Banda X con capacità interferometrica (raggio tubo orbitale < 500 m)
 - Risoluzione spaziale (stripmap mode): ~3 m x 3m
 - Copertura del suolo: ~25 km
 - Duty cycle: ~1-2 min
 - Orbite Mid Inclination, MIO (min 44°) ~520 – 550 km di quota



Sono allo studio possibili scenari per un utilizzo interferometrico ottimizzato del primo batch NIMBUS.

Volume divulgativo inherente alle applicazioni di monitoraggio strutturale di ponti con dati satellitari

Applicazione n. 1: «*Applicazione di tecniche avanzate di interferometria SAR differenziale per il monitoraggio degli spostamenti delle infrastrutture e dei ponti nel territorio italiano*»

Applicazione n. 2: «*Monitoraggio alla larga scala di infrastrutture*»

Applicazione 3: «*Analisi storica e open BIM-3DGIS per il monitoraggio strutturale attraverso dati interferometrici satellitari: il caso studio del ponte monumentale di Mezzocammino a Roma*»

Applicazione 4: «*Metodi speditivi per la stima di spostamenti indotti sulle opere d'arte stradali da azioni dirette ed indirette*»

Applicazione 5: «*Modellazione e analisi del comportamento termo-meccanico del viadotto Platano ai fini della corretta interpretazione dei dati satellitari*»



**GRAZIE PER
L'ATTENZIONE**
