

# Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica e strutturale

## **Workshop**

**Progetto DPC\_ReLUIS 2019-2021**  
**Roma 5 luglio 2022**

*WP6 – Monitoraggio e Dati Satellitari*

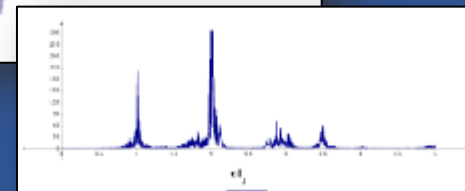
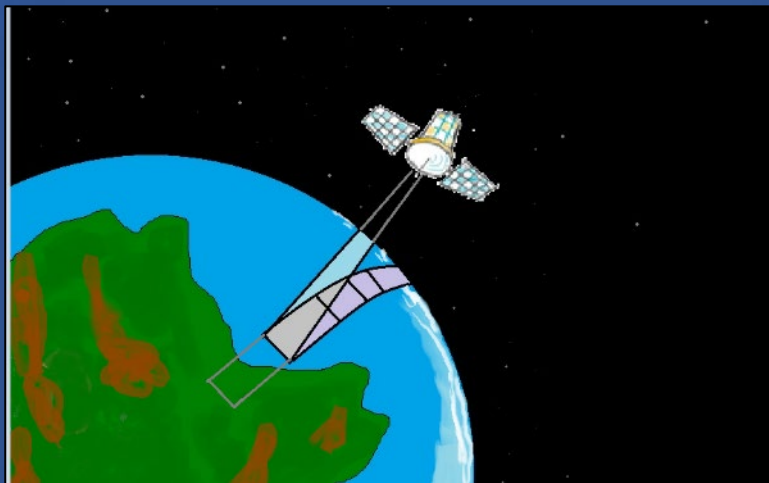
*Coordinatori:*

*Prof. Marco Savoia – Università degli Studi di Bologna*

*Prof. Felice Carlo Ponzo – università degli Studi della Basilicata*

# Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica e strutturale

## OBIETTIVI COMPLESSIVI DEL WP6



### OBIETTIVI:

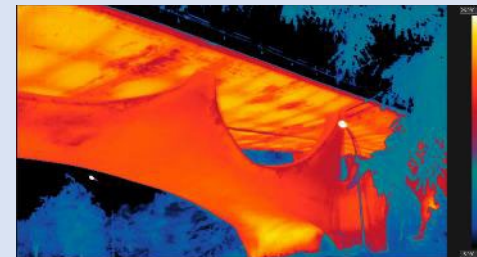
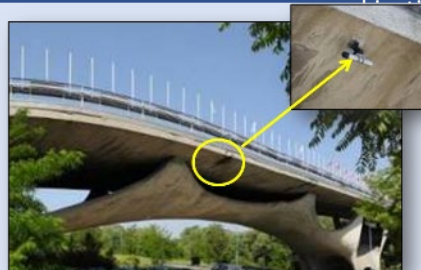
- messa a punto di metodologie per il monitoraggio di strutture, infrastrutture di interesse strategico in grado di integrare dati acquisiti direttamente sulle strutture monitorate mediante tecniche e metodologie diagnostiche non distruttive a bassa invasività con quelli acquisiti via satellite, e di sviluppare una piattaforma per l'interoperabilità con gli Enti gestori e la Protezione Civile.
- Identificazione precoce di eventuali stati di danno strutturale o malfunzionamenti, in modo più affidabile rispetto alle tradizionali operazioni di sorveglianza, al fine di una corretta e più efficace gestione di eventuali emergenze e per la manutenzione programmata.

# Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica e strutturale

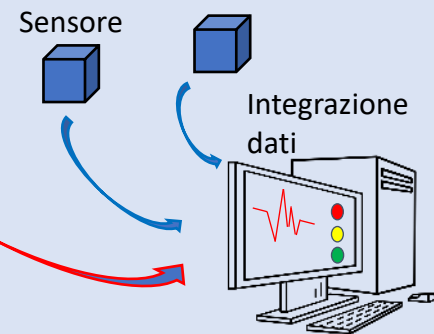
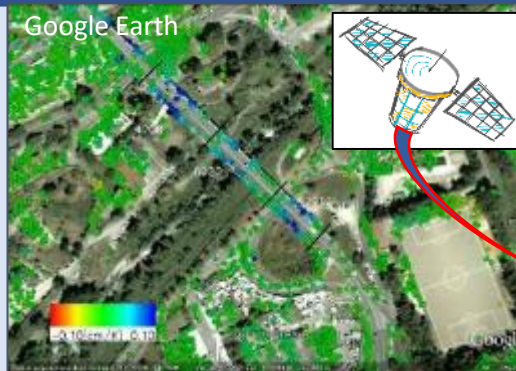
## OBIETTIVI COMPLESSIVI DEL WP6

### Ambiti di utilizzo di sistemi integrati di monitoraggio on-site e satellitari:

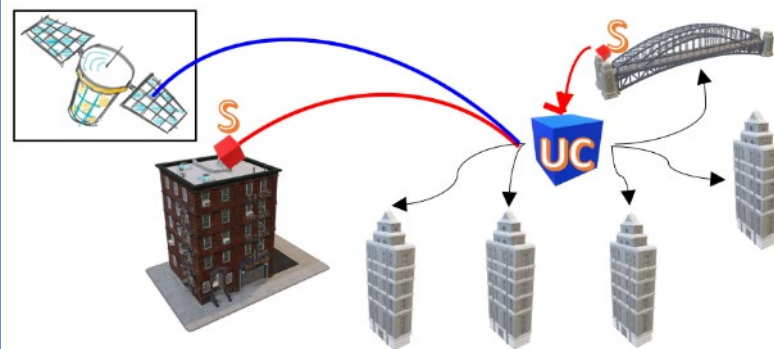
**O1** - Monitoraggio delle strutture ed infrastrutture nelle normali condizioni di esercizio.



**O2** - Monitoraggio, in real-time e quasi real-time, delle strutture ed infrastrutture a valle di eventi calamitosi.



**O3** - Integrazione dati provenienti dai sistemi di monitoraggio on site e satellitari in sistemi Early Warning per l'allertamento e la gestione delle emergenze (terremoti, Frane, Alluvioni ecc...).



# Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica e strutturale

## OBIETTIVI COMPLESSIVI DEL WP6

Favorire l'integrazione tra le diverse tecniche di monitoraggio considerando differenti tipologie di strutture o infrastrutture

**WP 6.1: Edifici ordinari e di importanza strategica**

**Edifici**



**Impianti Strategici**



**WP 6.2: Infrastrutture rilevanti (ponti, viadotti)**



**Ponti**



**Viadotti**

**WP 6.3: Edifici di interesse storico-monumentale ed aree archeologiche**



**Edifici Monumentali**

# Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica e strutturale

## UNITA' PARTECIPANTI

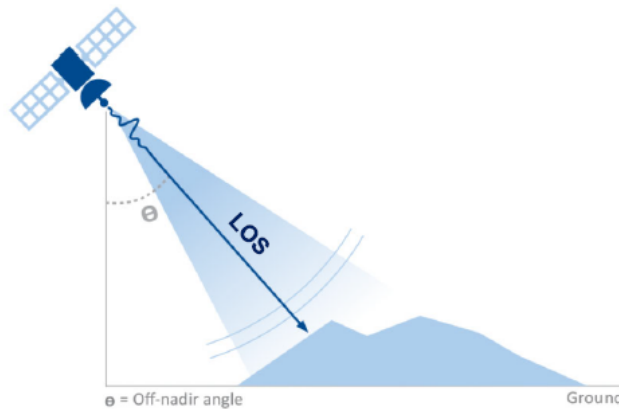
	Responsabile U.R.	Unità di Ricerca	Dip.	WP 6.1	WP 6.2	WP 6.3
1	Savoia Marco	Università di Bologna (Coord. WP6)	DICAM		X	
2	Ponzo Felice Carlo	Università degli Studi della Basilicata (Coord. WP6)	SI	X	X	
3	Prota Andrea/Verderame	Università degli Studi di Napoli "Federico II"	Di.St.	X	X	X
4	Fabbrocino Giovanni	Università degli Studi del Molise	DiBT	X	X	X
5	Limongelli M.Giuseppina	Politecnico di Milano	ABC	X	X	
6	Saetta Anna	Università IUAV di Venezia	DACC			X
7	Ceravolo Rosario	Politecnico di Torino	DISEG	X		X
8	Meda Alberto	Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"	DICII		X	
9	Da Porto Francesca	Università degli Studi di Padova	ICEA		X	X
10	Chioccarelli Eugenio	Università Mediterranea		X		
11	Cattari Serena	Università degli Studi di Genova	DICCA	X		
12	Gattulli Vincenzo	"Sapienza" Università di Roma	DISG		X	
13	Belleri Andrea	Università degli Studi di Bergamo	DISA	X		
14	Gara Fabrizio	Università Politecnica delle Marche	DICEA		X	
15	Castaldo Paolo	Politecnico di Torino	DISEG		X	
16	Vincenzi Loris	Univesità di Modena e Reggio Emilia	DIEF	X		
17	Foti Dora	Poitecnico di Bari	DICAR			X
18	Bozzano Francesca	"Sapienza" Università di Roma	DIST	X	X	X
19	Lanari Riccardo	CNR IREA Napoli	IREA	X	X	X

# Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica e strutturale

## OBIETTIVI COMPLESSIVI DEL WP6

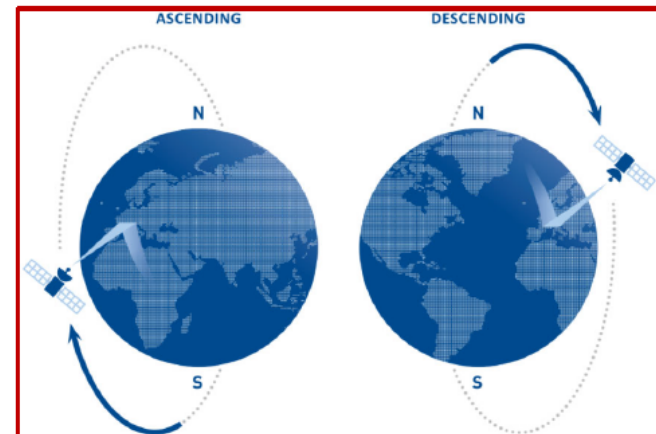


### La tecnologia radar satellitare



Il satellite emette il segnale lungo una direzione denominata «linea di vista» o **LOS** (*Line of sight*), caratterizzata da una certa **inclinazione  $\theta$**  rispetto alla **verticale**.

In particolare, il satellite può osservare il medesimo bersaglio a terra percorrendo un'**orbita ascendente** oppure un'**orbita discendente**.



I satelliti **SAR** (*Synthetic Aperture Radar*) sono equipaggiati con emettitori ed antenne che permettono di **acquisire immagini radar della superficie terrestre**.

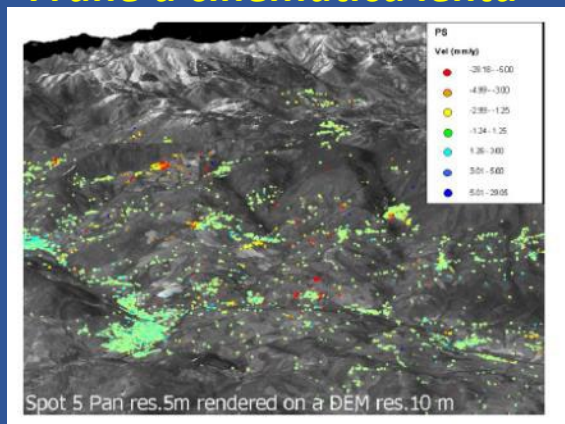
Il principio di funzionamento è analogo a quello del radar terrestre. Un segnale viene emesso dal satellite verso la superficie della terra ed **una parte di esso viene riflessa e acquisita** dall'antenna montata sul satellite.

La **fase del segnale** rilevato dipende dalla **distanza tra il satellite ed il bersaglio a terra**, oltre che da una serie di disturbi legati alle condizioni atmosferiche e al rumore.

# Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica e strutturale

## OBIETTIVI COMPLESSIVI DEL WP6

### Frane a cinematica lenta

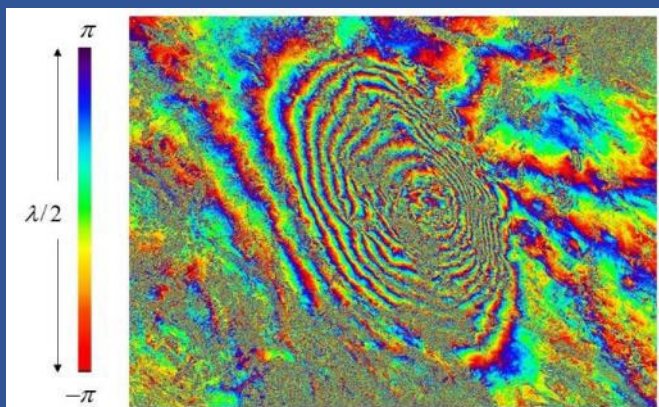


Progetto SLAM (Service for Landslide Monitoring) Finanziato dall'ESA (2005)

### Subsidenza

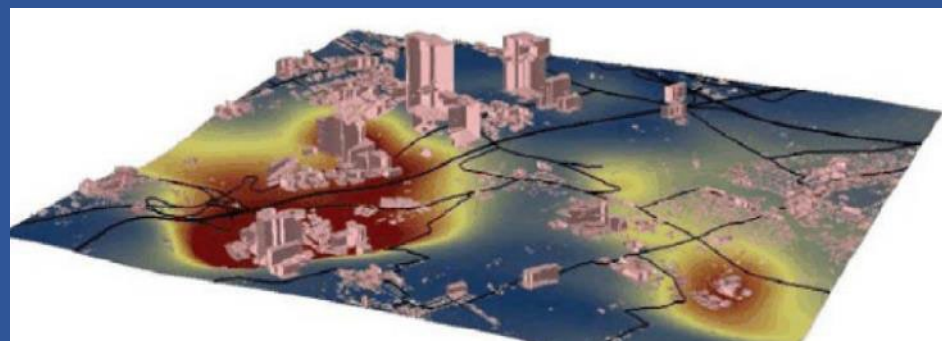


### Effetti del Sisma



Interferogramma co-sismico relativo al terremoto de L'Aquila del 6 aprile 2009, ottenuto con immagini SAR COSMO-Sky-Med, acquisite il 4 e il 12 aprile 2009 lungo orbite ascendenti

### Sinkholes



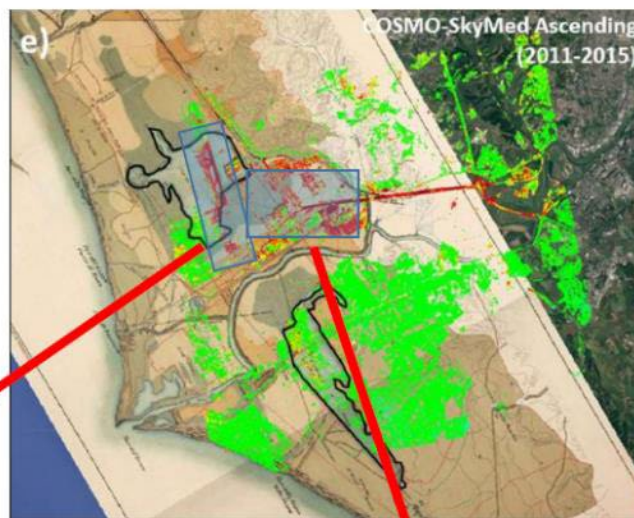
Fonte immagini: Linee Guida per l'analisi di dati interferometrici satellitari in aree soggette a dissesti idrogeologici, MATMTM, 2009 – PS-InSAR Manuale d'uso, Telerilevamento Europa, 2008

# Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica e strutturale

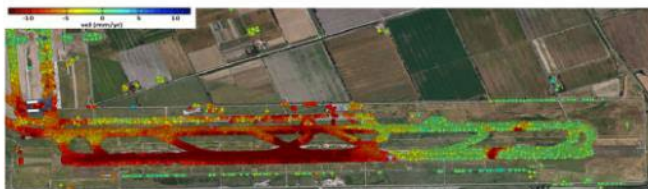
## OBIETTIVI COMPLESSIVI DEL WP6



### Ambiti di applicazione consolidati dei dati satellitari



Velocità media di spostamento / anno



Rome "La Sapienza" e NHAZCA (2015)





# Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica e strutturale

## OBIETTIVI COMPLESSIVI DEL WP6

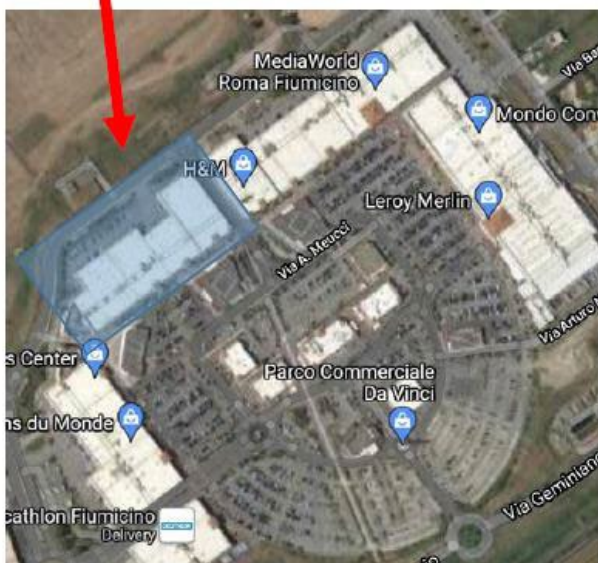
La sfida – passaggio da analisi territoriali a studi su singole costruzioni

- Quali tipi di movimenti possono essere rilevati?
- Quali tipi di costruzioni possono essere monitorate?
- Quali fenomeni di danno sulle costruzioni possono essere seguiti?

**Movimenti Differenziali**



**Danni**

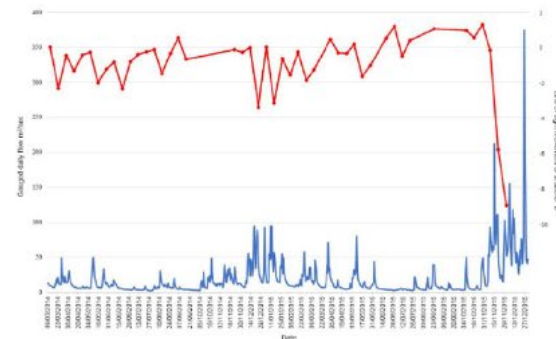
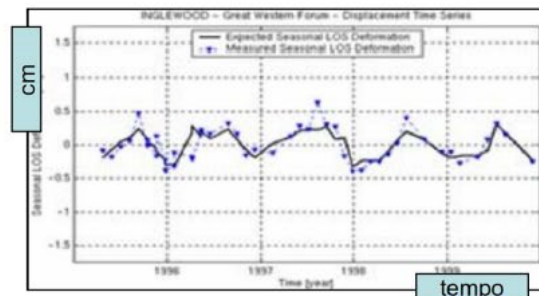
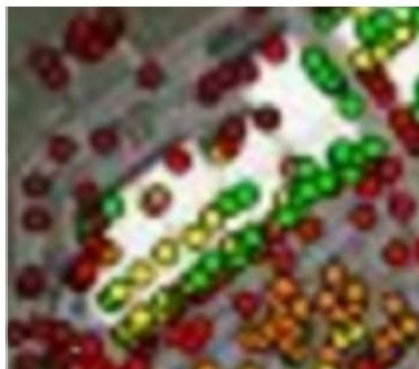


# Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica e strutturale

## OBIETTIVI COMPLESSIVI DEL WP6

La sfida – passaggio da analisi territoriali a studi su singole costruzioni

- Quali punti sono effettivamente rilevati come Permanent Scatters (sono punti sull'edificio o sul terreno?)
- Quale componente di spostamento sto visualizzando?
- Quale l'affidabilità del risultato che sto visualizzando?
- Se evidenzio uno spostamento medio annuo, quale l'effettivo andamento nel tempo?
- Quali spostamenti hanno un andamento stagionale?



# Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica e strutturale

## OBIETTIVI RAGGIUNTI nel triennio 2019-2021

### CASI STUDIO

Sono stati considerati casi per i quali sono disponibili sia dati satellitari sia dati acquisiti con sistemi di monitoraggio on-site. Definire i criteri per il trattamento e l'utilizzo dei dati satellitari ed effettuare comparazioni con le informazioni ricavate da Dati GPS, Dati vibrazionali, Ispezioni visive, Modelli numerici, Informazioni sulle strutture, Informazioni Geologiche e Geotecniche.

### AREA DI STUDIO



Dati ASI - Dataset Roma: orbita ascendente e discendente

# Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica e strutturale

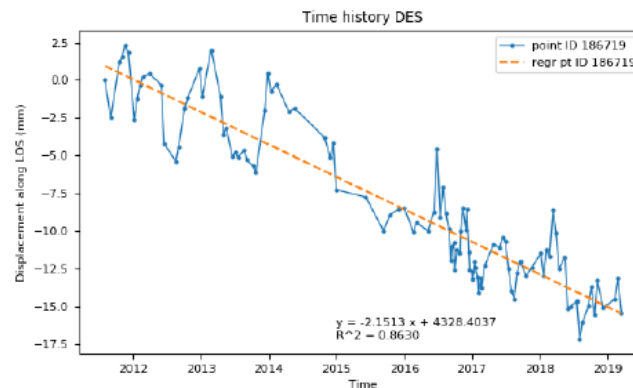
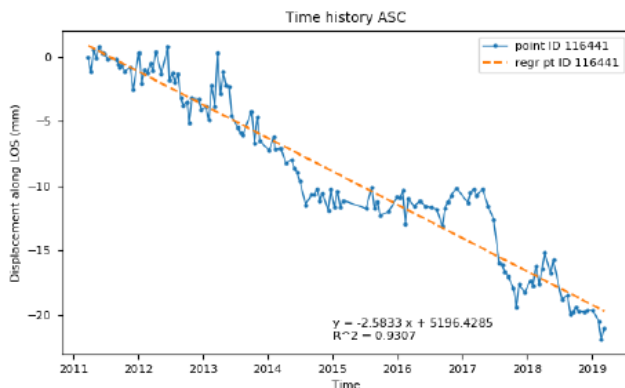
## OBIETTIVI RAGGIUNTI nel triennio 2019-2021

### Serie temporali di spostamento lungo la LOS:



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)



# Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica e strutturale

## OBIETTIVI RAGGIUNTI nel triennio 2019-2021

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

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



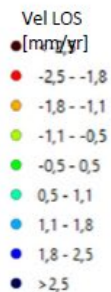
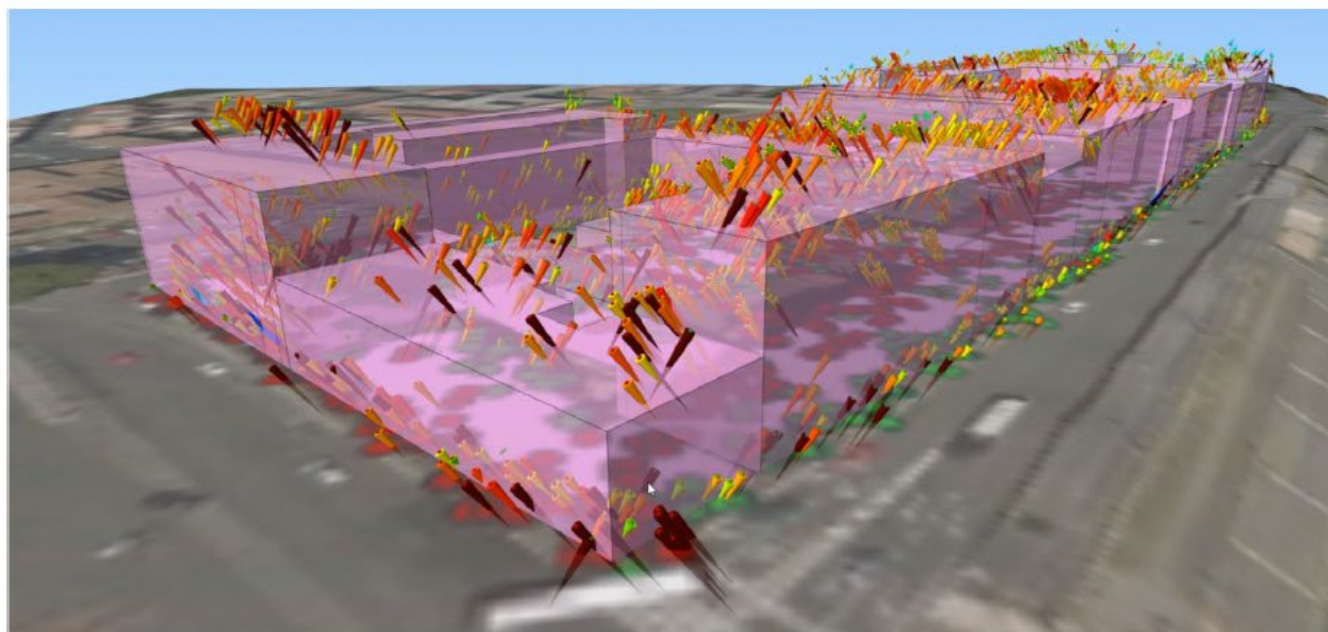
Vettori di velocità dei punti di misura delle due orbite ASC e DES

# Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica e strutturale

## OBIETTIVI RAGGIUNTI nel triennio 2019-2021

### 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

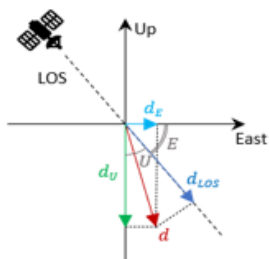
# Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica e strutturale

## OBIETTIVI RAGGIUNTI nel triennio 2019-2021



### Tecniche di combinazione dati ascendenti e discendenti

#### componenti dello spostamento



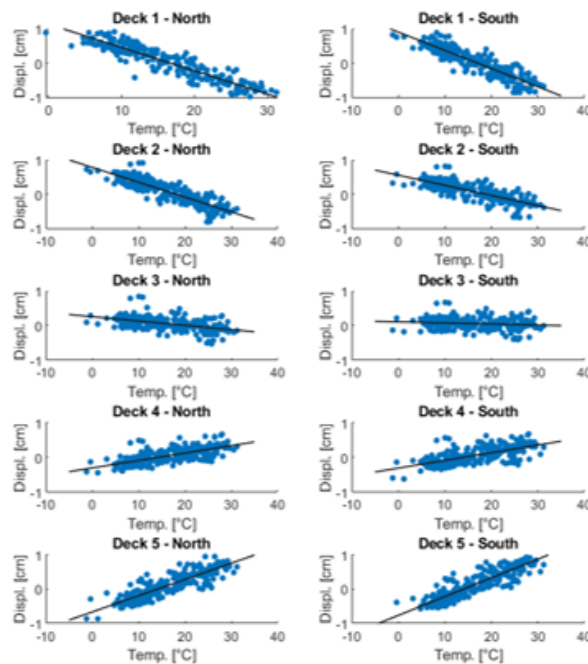
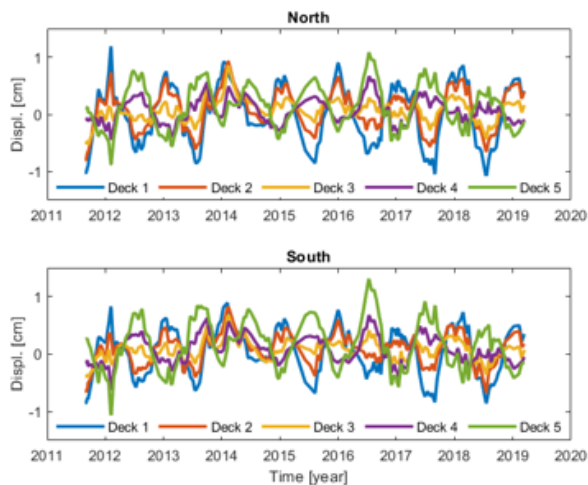
- Combinazione dati dalle due orbite:

$$\begin{cases} d_{LOS}^A = d_E \cdot \cos(E^A) + d_U \cdot \cos(U^A) \\ d_{LOS}^D = d_E \cdot \cos(E^D) + d_U \cdot \cos(U^D) \end{cases}$$

$d_E$ : spostamento direzione East

$d_U$ : spostamento verticale

#### Spostamenti longitudinali (East-Ovest)



PONTE PALATINO:



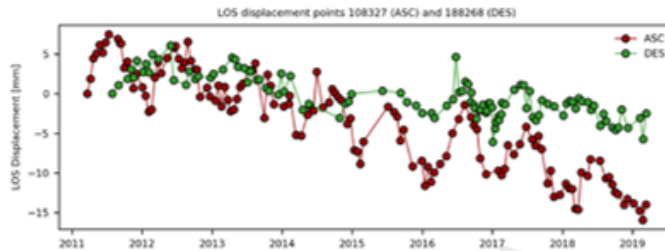
Politecnico di Milano

# Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica e strutturale

## OBIETTIVI RAGGIUNTI nel triennio 2019-2021

### Tecniche di raggruppamento dei pixel

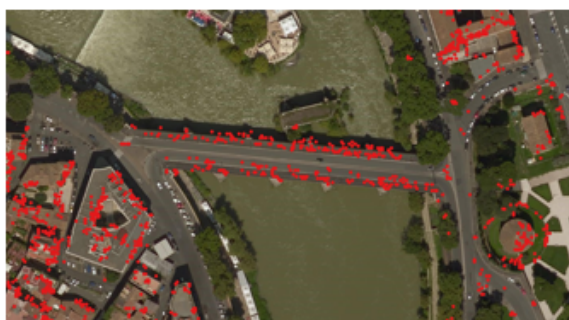
#### Ricampionamento temporale



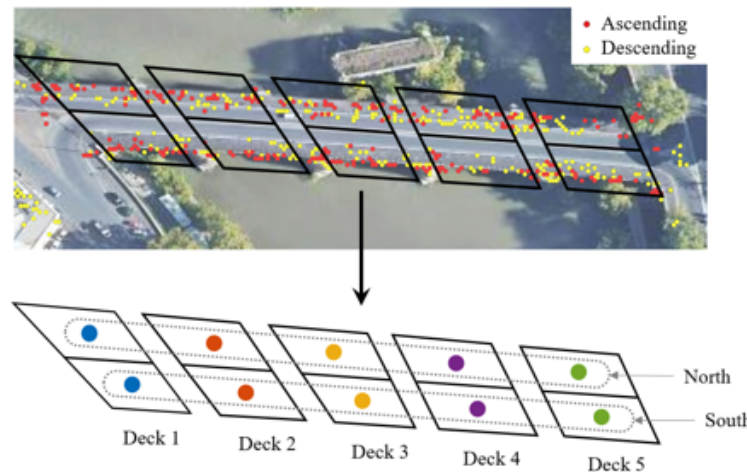
Pixel orbita ascendente



Pixel orbita discendente



#### Ricampionamento spaziale



#### PONTE PALATINO:



Politenico di Milano

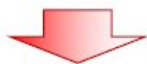
Le tecniche di ricampionamento spaziale possono essere impiegate per ottenere un insieme di punti referenziati spazialmente, cui sono associate le informazioni sugli spostamenti lungo la LOS per entrambe le geometrie di acquisizione



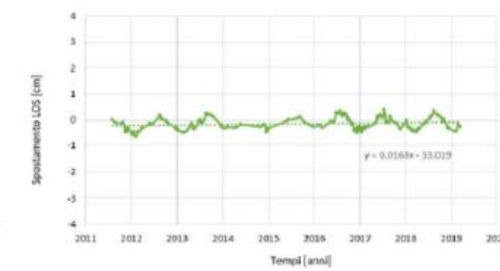
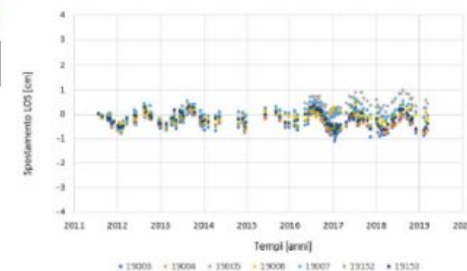
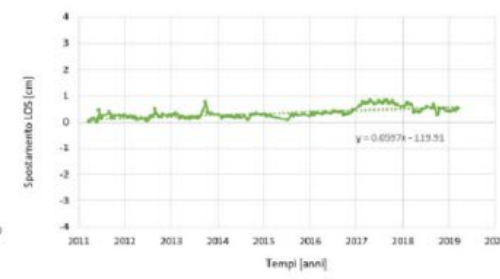
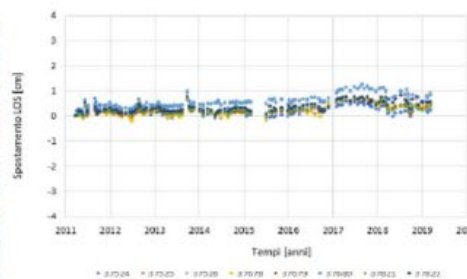
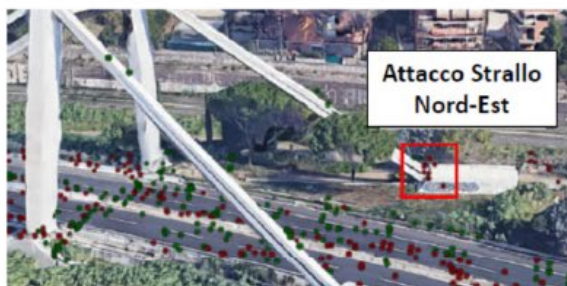
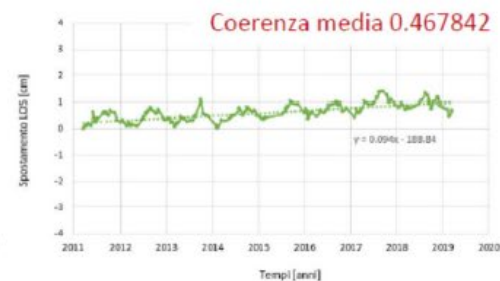
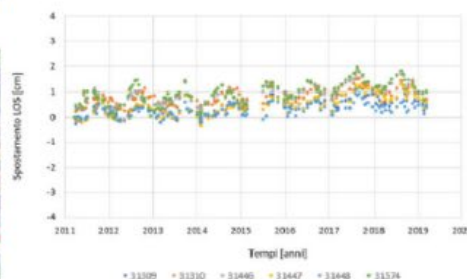
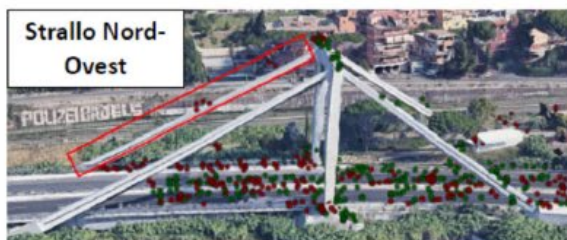
# Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica e strutturale

## OBIETTIVI RAGGIUNTI nel triennio 2019-2021

### Serie temporale di spostamento lungo la LOS:



#### 7. Viadotto Ansa del Tevere "Ponte Morandi"



# Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica e strutturale

## OBIETTIVI RAGGIUNTI nel triennio 2019-2021

Elaborazione interferometrica multitemporale SBAS-DInSAR a piena risoluzione spaziale di due dataset ascendenti (punti di misura verdi) e discendenti (punti di misura rossi)

100-400 punti/kmq in caso di utilizzo di sensori in banda C (ERS/ENVISAT),  
circa 8000 punti/kmq in caso di utilizzo di sensori in banda X (COSMO-SkyMed),



### Limiti derivanti dalla procedura interferometrica

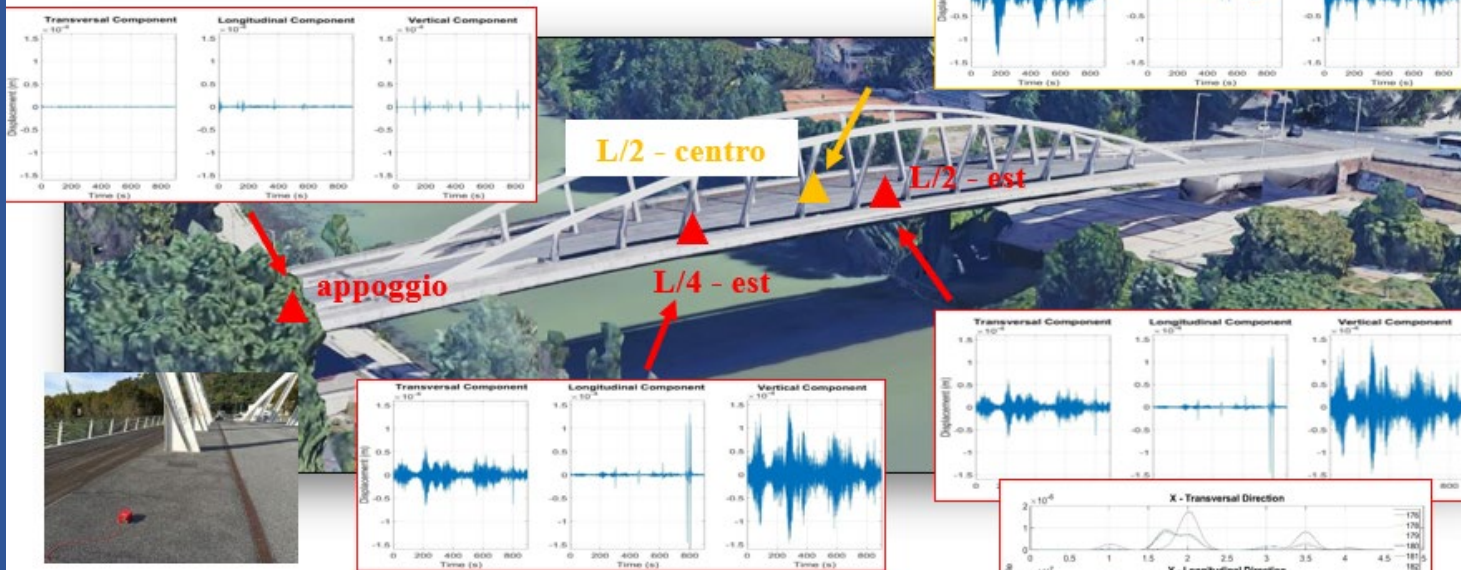
Presenza di possibili zone di «ombra» di punti di misura.

La causa potrebbe essere la poca coerenza dei punti riflettenti

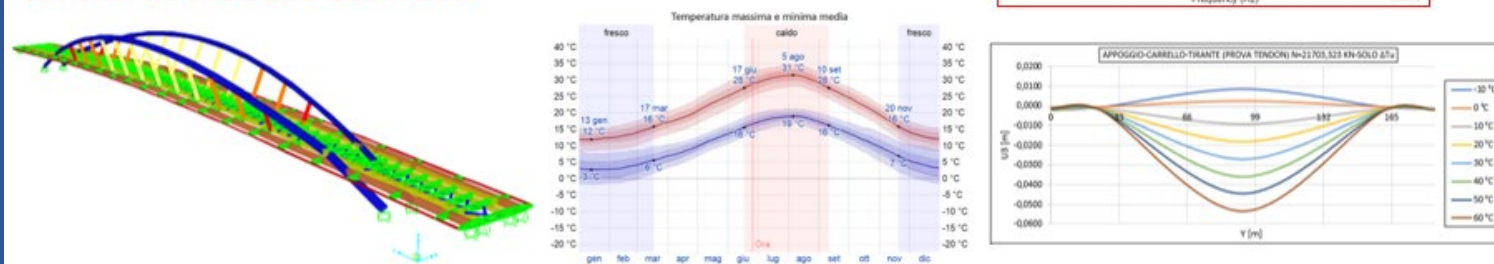
# Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica e strutturale

## OBIETTIVI RAGGIUNTI nel triennio 2019-2021

### Integrazione con sistemi on site di Identificazione dinamica



### Simulazione delle deformazioni indotte da fenomeni termici su modello calibrato



# Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica e strutturale

## OBIETTIVI RAGGIUNTI nel triennio 2019-2021

### Discriminazione tra effetti fisiologici ed effetti patologici

- Azioni e loro effetti sulle costruzioni
- **Fenomenologie che possono determinare spostamenti** (verticali/subverticali o orizzontali) nelle costruzioni, con particolare attenzione alla tipologia (c.a. e c.a.p., acciaio e acciaio-cl, muratura, legno, ponti stradali, ferroviari ecc..) agli schemi strutturali;
- **Situazioni fisiologiche** (ad es.: fenomeni viscosi – creep, variazioni di temperatura, etc.) – Caratteristiche principali (nel tempo, etc.) e riconoscibilità;
- **Situazioni patologiche** (ad es.: cedimenti di fondazione, subsidenze con spostamenti differenziali, rotture progressive di elementi strutturali, rilassamento cavi di pretensione, danni post sisma etc.).

### Danni alle strutture legati a moti lenti del terreno



# Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica e strutturale

## OBIETTIVI RAGGIUNTI nel triennio 2019-2021

### - Diagnosi sulla base dei dati interferometrici

- Prima interpretazione e formulazione di ipotesi possibili sulla base dei soli dati interferometrici;
- Informazioni accessorie da reperire immediatamente (analisi della storia recente della costruzione guardando a un intervallo temporale derivante dall'andamento degli spostamenti, ispezioni visive di facile esecuzione, etc.);
- Eventuali Criticità e/o vantaggi riguardanti l'utilizzo dei dati satellitari per la tipologia strutturale specifica;
- Integrazione dei dati satellitari con sistemi di monitoraggio in situ.

### - Azioni e provvedimenti da mettere in campo

- Indagini accessorie più complesse di immediata esecuzione (ispezioni visive più complesse, monitoraggi di breve termine - strumenti di misura e relative elaborazioni finalizzate alla determinazione dello stato della costruzione);
- Indagini accessorie più complesse di lungo termine (monitoraggi di lungo termine, indagini sui materiali e/o sui terreni, calibrazione modelli, modellazione numerica etc.);
- Definizione di una scala di livelli di allertamento rispetto al dato interferometrico e alle indagini successive di breve e di lungo termine. A ciascun grado di allerta dovrebbero corrispondere delle azioni.

# Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica e strutturale

## OBIETTIVI RAGGIUNTI nel triennio 2019-2021

- Possibilità di monitorare **grandi porzioni di territorio**.
- Possibilità di utilizzare **storie temporali pregresse** (almeno 10 anni) utili per comprendere l'evoluzione di un fenomeno di interesse.

### TUTTAVIA

- **Per un utilizzo nel campo dell'ingegneria strutturale** è necessaria una piena consapevolezza di quali informazioni possono essere estratte:
  - **Possono essere rilevati movimenti lenti e non fenomeni in rapida evoluzione**, data l'incertezza di misura sui singoli dati ed il tempo di campionamento;
  - **I riflettori non sono oggetti sempre fisicamente identificabili** con oggetti reali, e possono essere diversi per le orbite ascendenti e discendenti;
  - **Una perdita di coerenza di un segnale** può essere un problema di identificazione del ricevitore, oppure di uno spostamento improvviso.
- **la componente dello spostamento (ovvero della velocità media) restituito è diretta lungo la LOS**. Nel caso peggiore in cui lo spostamento reale fosse perpendicolare alla LOS, la misura ottenuta dall'esame dei dati SAR risulterebbe nulla.
- **la LOS** di entrambe le orbite ascendenti e discendenti è sostanzialmente **contenuta nel piano verticale E-W**, in generale non si possono stimare eventuali spostamenti/velocità in direzione N-S.

### PERTANTO

**Il monitoraggio tramite dati satellitari può essere uno strumento importante che deve essere affiancato da misurazioni «più tradizionali» sulle singole opere di interesse.**

# Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica e strutturale

## Prodotti

**Dipartimento Protezione Civile**



PROTEZIONE CIVILE  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile

**ReLuis**



**IREA-CNR**



IREA-CNR  
Istituto per il rilevamento  
elettronico  
dell'ambiente

**LINEE GUIDA PER L'UTILIZZO DEI DATI INTERFEROMETRICI  
SATELLITARI AI FINI DELL'INTERPRETAZIONE DEL  
COMPORAMENTO STRUTTURALE DELLE COSTRUZIONI**

**WP6 – Monitoraggio e dati satellitari**

**BOZZA – Agosto 2021**

**Versione 1 (Capitoli 1, 2, 3 e 4)**

1 INTRODUZIONE

1 NOZIONI FONDAMENTALI PER LA  
CORRETTA INTERPRETAZIONE DEL  
DATO INTERFEROMETRICO

3 ELABORAZIONE DEI RISULTATI  
DELL'INTERFEROMETRIA  
SATELLITARE NEL CAMPO DELLE  
COSTRUZIONI ESISTENTI

3 INTERPRETAZIONE DEL  
COMPORAMENTO STRUTTURALE  
ATTRAVERSO L'UTILIZZO DEI DATI  
SATELLITARI