

Webinar:

# LA RICERCA ITALIANA IN INGEGNERIA SISMICA E LE ATTIVITA' DI RELUIS A 40 ANNI DAL TERREMOTO CAMPANO-LUCANO

Lunedì 23 Novembre 2020



## MONITORAGGIO E USO DEI DATI SATELLITARI

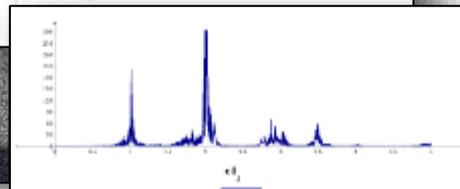
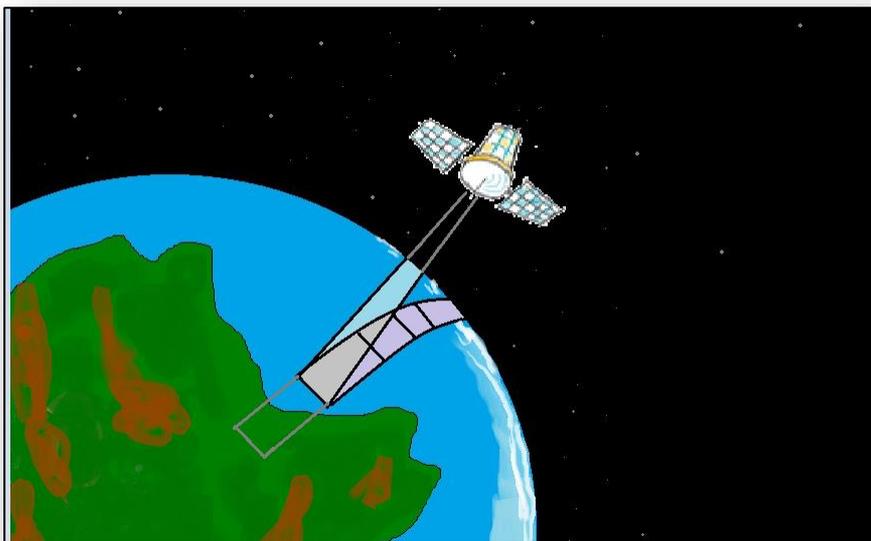
tmp1

c1<sub>j</sub>

Prof. Ing. Felice Carlo Ponzo – Prof. Marco Savoia

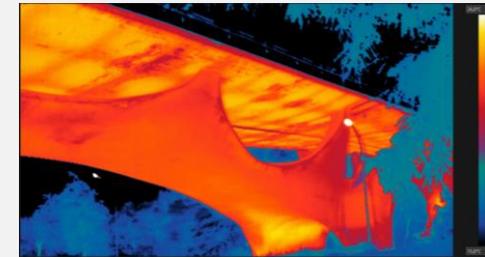
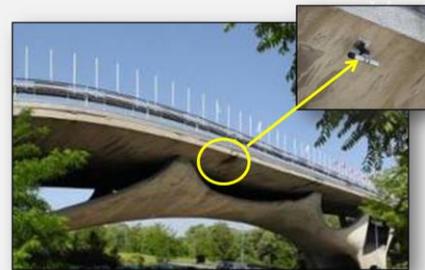
**Obiettivi:** messa a punto di metodologie per il **monitoraggio di strutture**, infrastrutture di interesse strategico in grado di integrare dati acquisiti direttamente sulle strutture monitorate mediante tecniche e metodologie diagnostiche non distruttive a bassa invasività con quelli acquisiti via satellite, e di sviluppare una piattaforma per l'interoperabilità con gli Enti gestori e la Protezione Civile.

**Identificare precocemente eventuali stati di danno strutturale o malfunzionamenti** e in modo affidabile rispetto alle tradizionali operazioni di sorveglianza per una corretta e più efficace **gestione** di eventuali **emergenze** e per la **manutenzione programmata**.

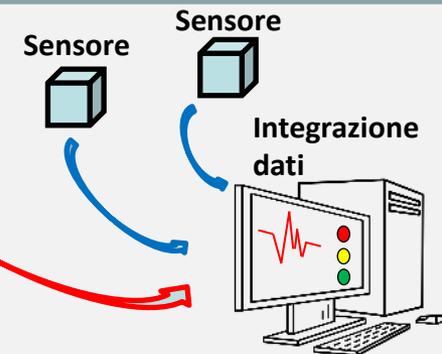
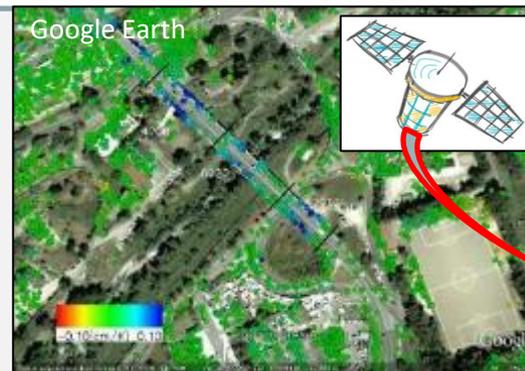


### Ambiti di utilizzo di sistemi integrati di monitoraggio on-site e satellitari:

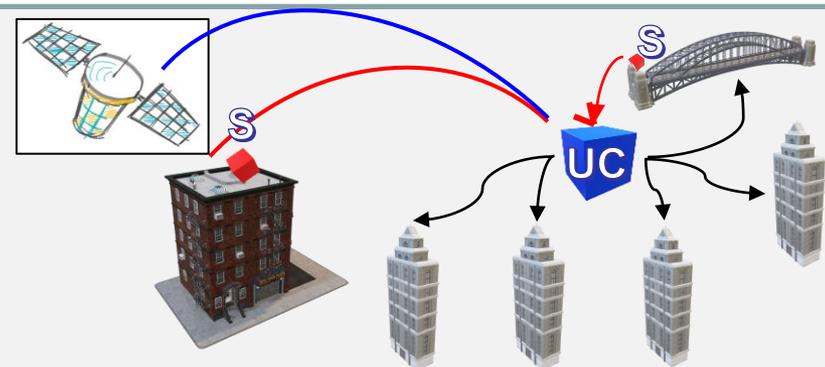
**01** - Monitoraggio delle strutture ed infrastrutture nelle normali condizioni di esercizio.



**02** - Monitoraggio, in real-time e quasi real-time, delle strutture ed infrastrutture a valle di eventi calamitosi, con integrazione dei dati on site con quelli satellitari.



**03** - 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...).



Il WP6 è articolato in 3 diversi Task. Allo scopo di favorire l'integrazione tra le diverse tecniche di monitoraggio, i task sono definiti in funzione della tipologia di strutture o infrastruttura di interesse e non in funzione del tipo di tecnologia.

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



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

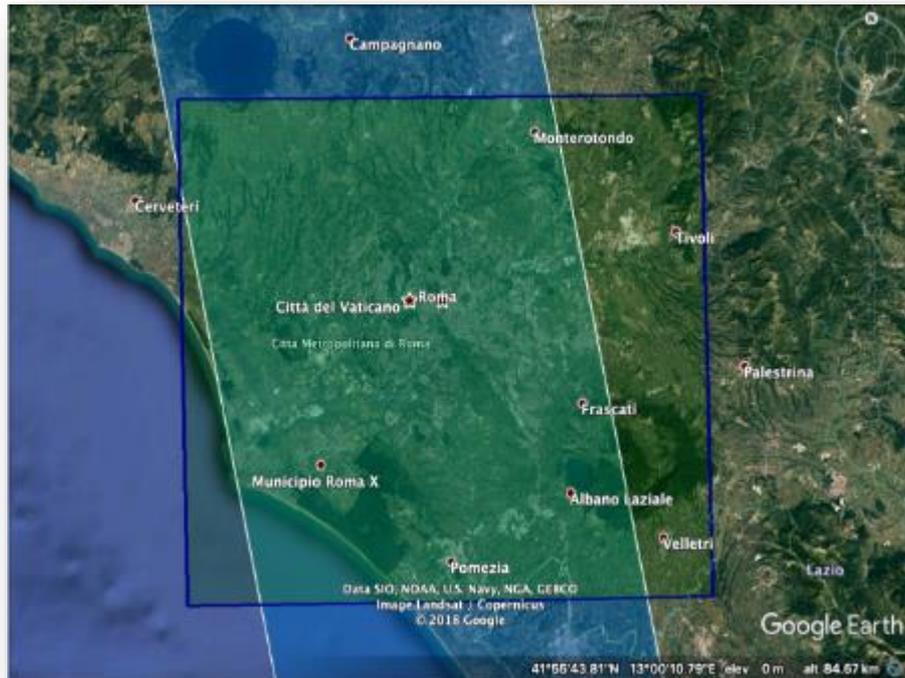


**WP 6.3: Edifici di interesse storico-monumentale ed aree archeologiche**



**CASI STUDIO** 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'uso 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



Dataset Roma: orbita ascendente e discendente



### 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.

**LINEE GUIDA PER:** Utilizzo dell'interferometria per il monitoraggio strutturale e del suolo, e ambiti in cui può essere utilizzato (fenomeni lenti, valutazione post sisma ecc....) quale metodo per individuare i possibili casi in cui procedere con monitoraggi più specifici in situ.

### Situazioni che possono interessare le strutture (Spostamenti verticali/subverticali, orizz.);

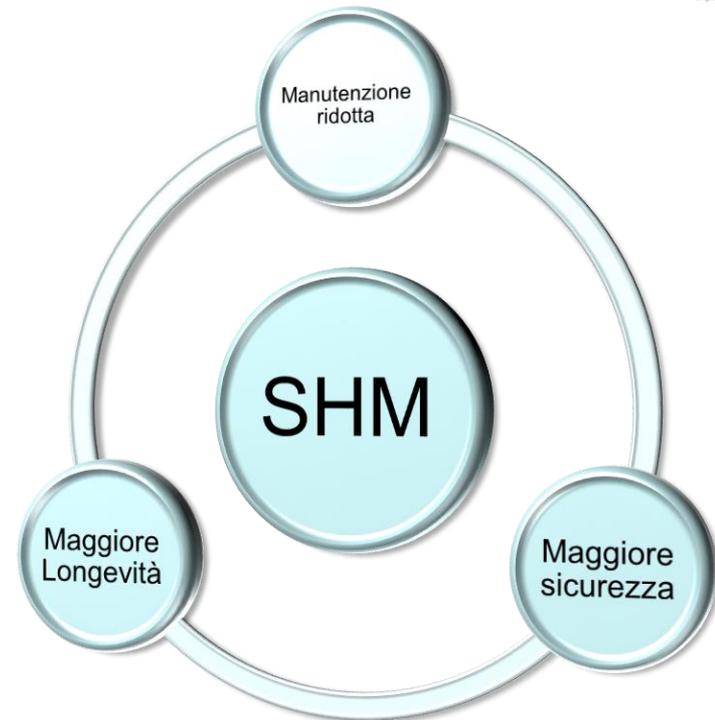
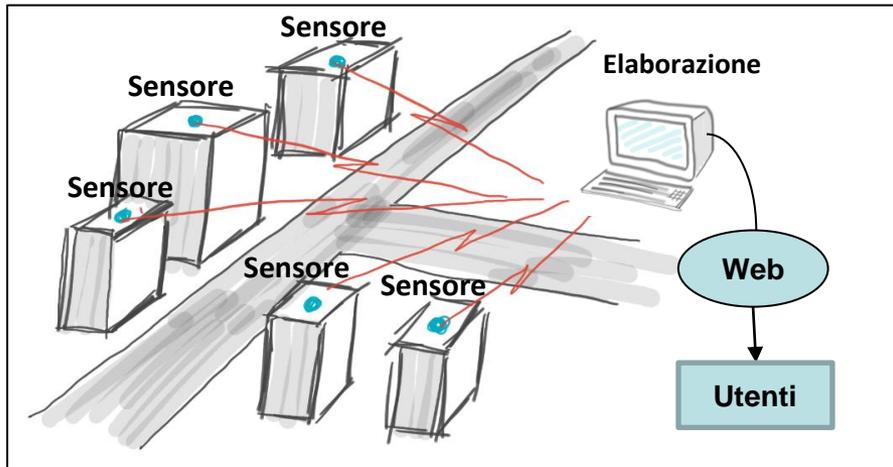
- **Situazioni fisiologiche:** ad es.: fenomeni viscosi – creep, variazioni di temperatura, etc.;
- **Situazioni patologiche:** ad es.: cedimenti di fondazione, frane, subsidenze con spostamenti differenziali, rotture progressive di elementi strutturali, rilassamento cavi di pretensione, danni post sisma etc..

### Unità di ricerca progetto 2019-2021

Savoia Marco Ponzo Felice Carlo Prota Andrea	Università di Bologna Università degli Studi della Basilicata Università degli Studi di Napoli "Federico II"
Fabbrocino Giovanni Limongelli Maria Giuseppina Saetta Anna Ceravolo Rosario Meda Alberto Da Porto Francesca Chioccarelli Eugenio Cattari Serena Gattulli Vincenzo Verderame Gerardo Mario Belleri Andrea Gara Fabrizio Castaldo Paolo Vincenzi Loris Foti Dora	Università degli Studi del Molise Politecnico di Milano Università IUAV di Venezia Politecnico di Torino Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" Università degli Studi di Padova Università Mediterranea Università degli Studi di Genova "Sapienza" Università di Roma Università degli Studi di Napoli "Federico II" Università degli Studi di Bergamo Università Politecnica delle Marche Politecnico di Torino Univesità di Modena e Reggio Emilia Politecnico di Bari
Riccardo Lanari	CNR IREA Napoli

**MONITORAGGIO: Progetti Reluis 2005-2008; 2010-2013; 2014-2016**

### TECNICHE DI IDENTIFICAZIONE DINAMICA E MONITORAGGIO



### Valutazione delle caratteristiche dinamiche delle strutture

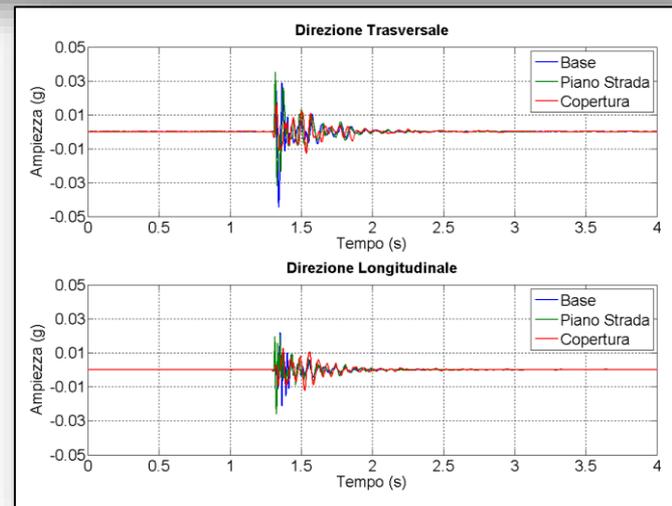
- Frequenze
- Deformate modali
- Caratteristiche dissipative globali

IMPRONTE DIGITALI DELLA STRUTTURA

### Variazione nel tempo

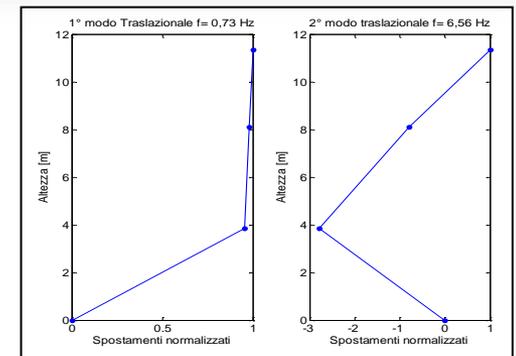
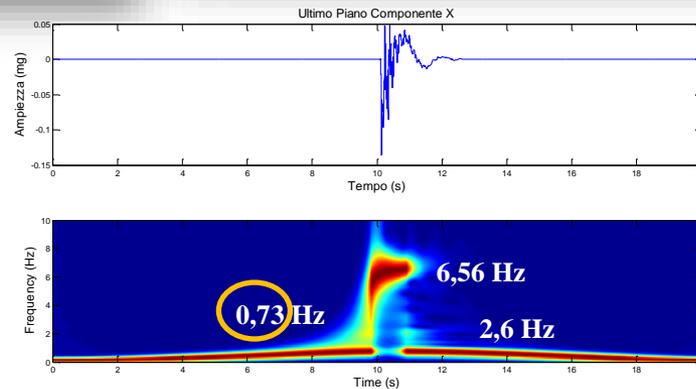
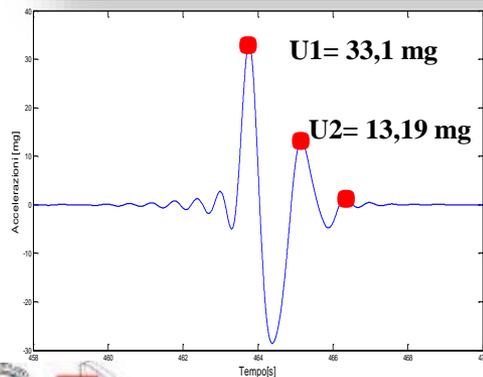
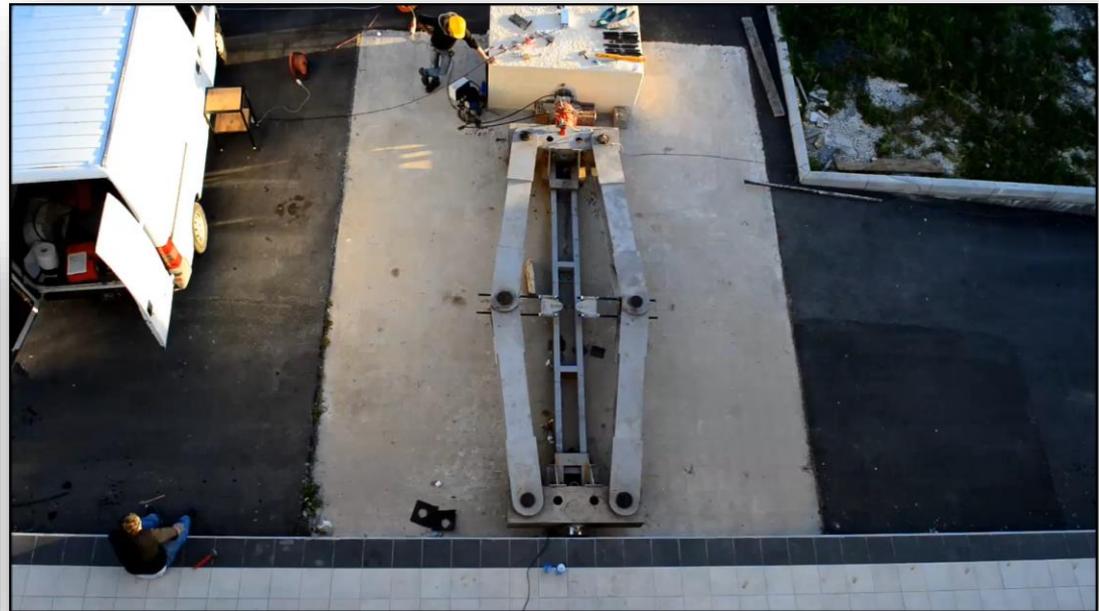
- Valutazione presenza di danno e della sua evoluzione

### MONITORAGGIO DINAMICO

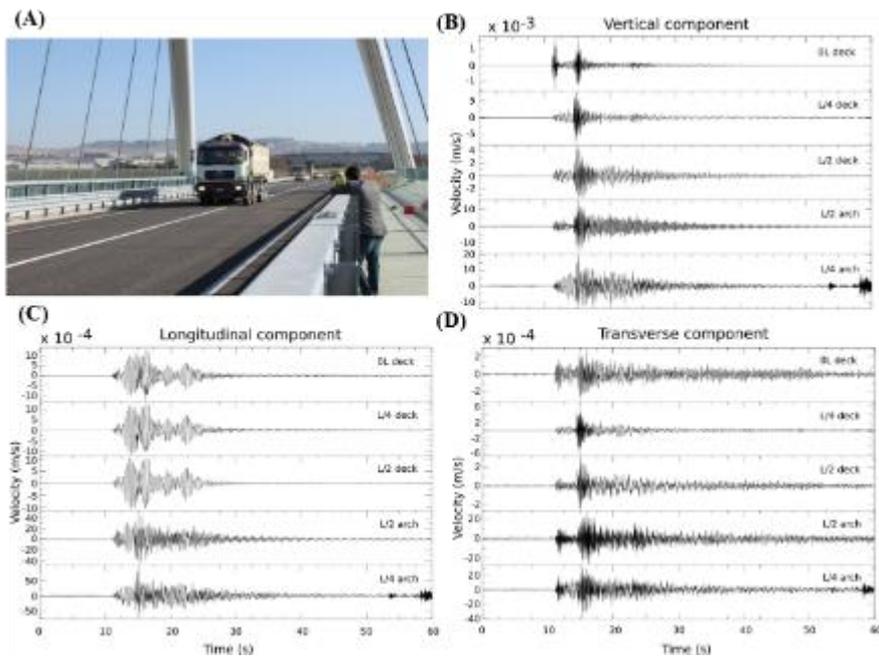


### MONITORAGGIO DINAMICO

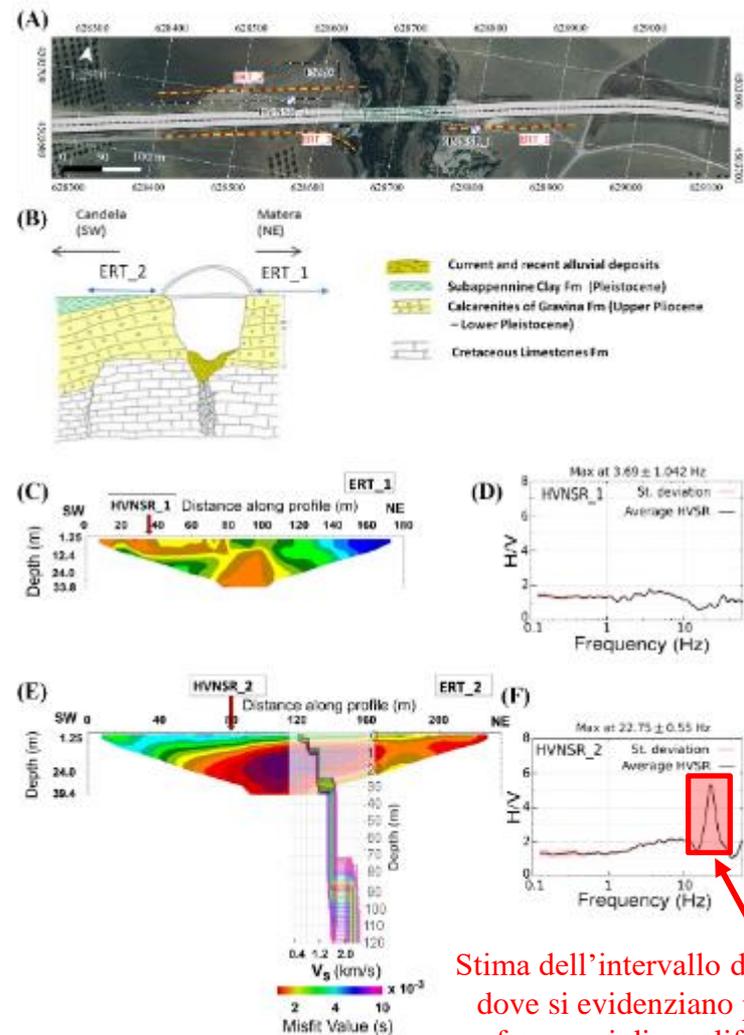
### Edificio Industriale - Augusta (SR)



#### Infrastrutture

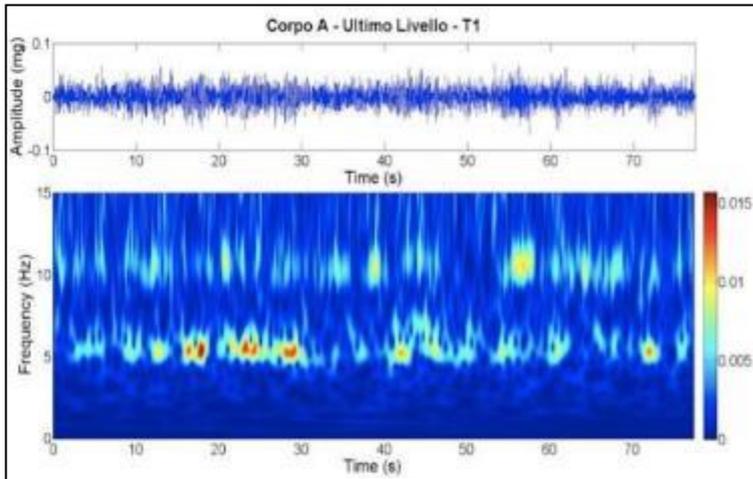


#### Terreni



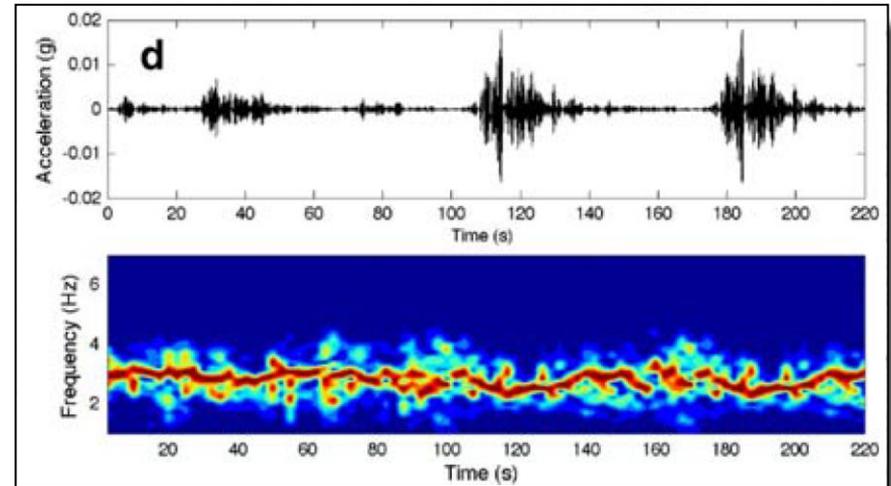
Stima dell'intervallo di frequenze dove si evidenziano potenziali fenomeni di amplificazione sismica di sito

### Comportamento Elastico-Lineare Parametri modali costanti



In queste condizioni le frequenze della struttura risultano sostanzialmente costanti nel tempo. Modeste variazioni possono essere attribuibili a fenomeni fisiologici o a fattori ambientali

### Comportamento Non Lineare Parametri modali variabili

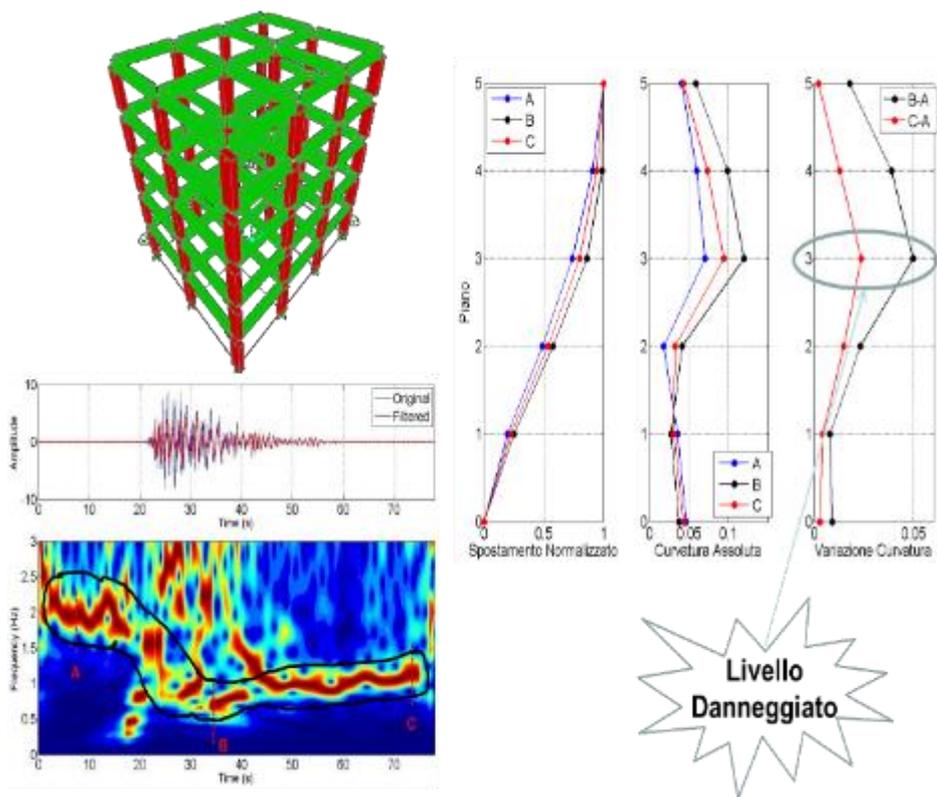


In queste condizioni le frequenze della struttura variano in funzione del livello di deformazione raggiunta durante le fasi strong-motion (la deformazione causa una riduzione della rigidità e, di conseguenza, una variazione della frequenza)

Nell'ambito del monitoraggio dinamico, utile a valutare i parametri globali della struttura monitorata, è possibile utilizzare diversi approcci per l'analisi dei dati acquisiti:

### PARAMETRI MODALI TEMPO-VARIABILI

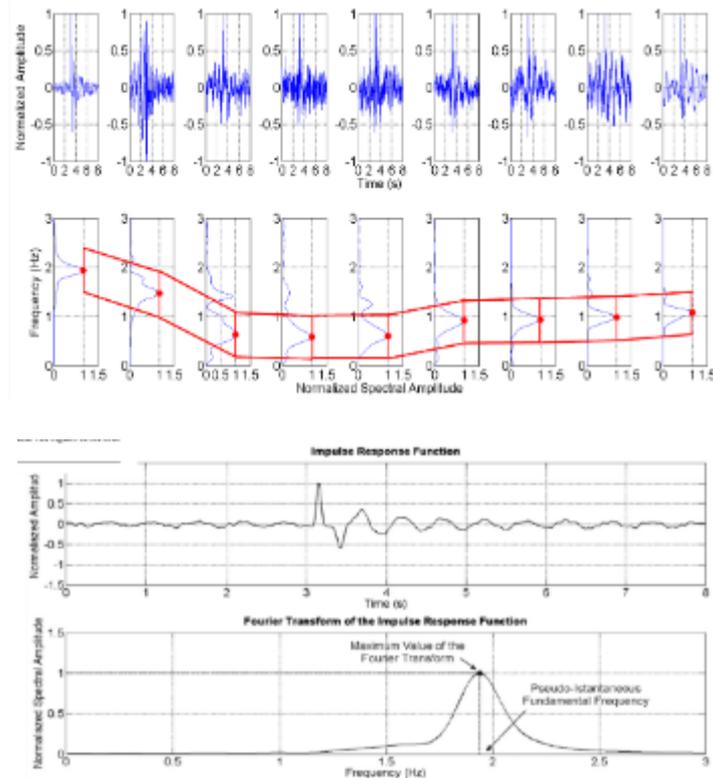
### VALUTAZIONE AUTOMATICA PARAMETRI IN CAMPO NON LINEARE



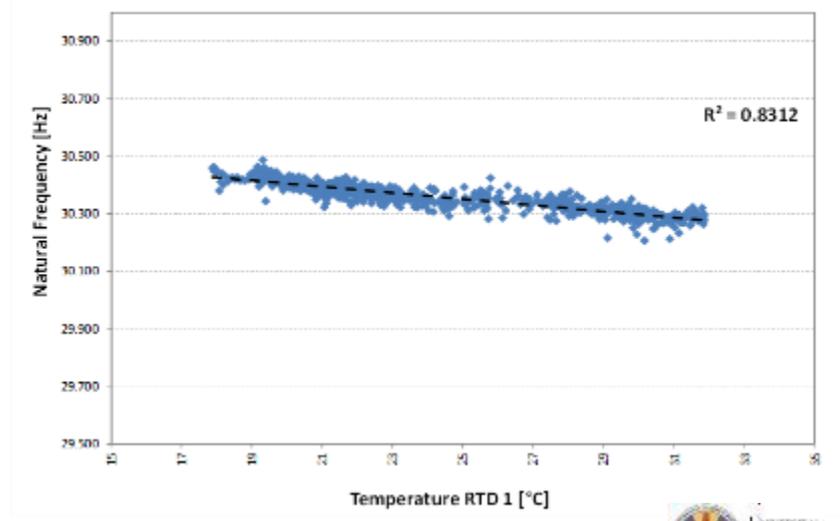
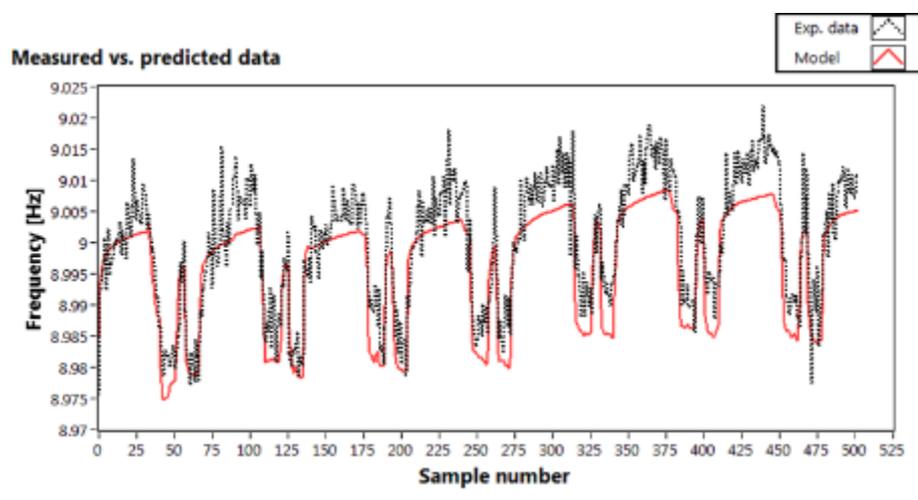
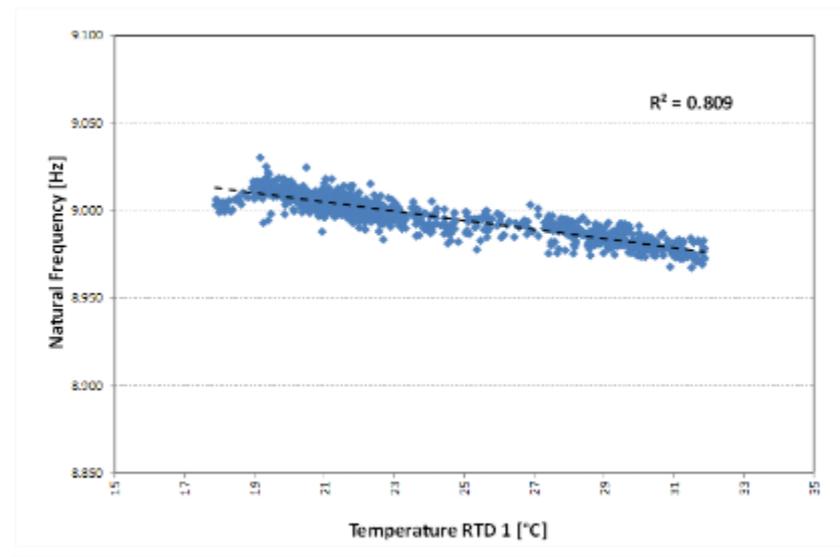
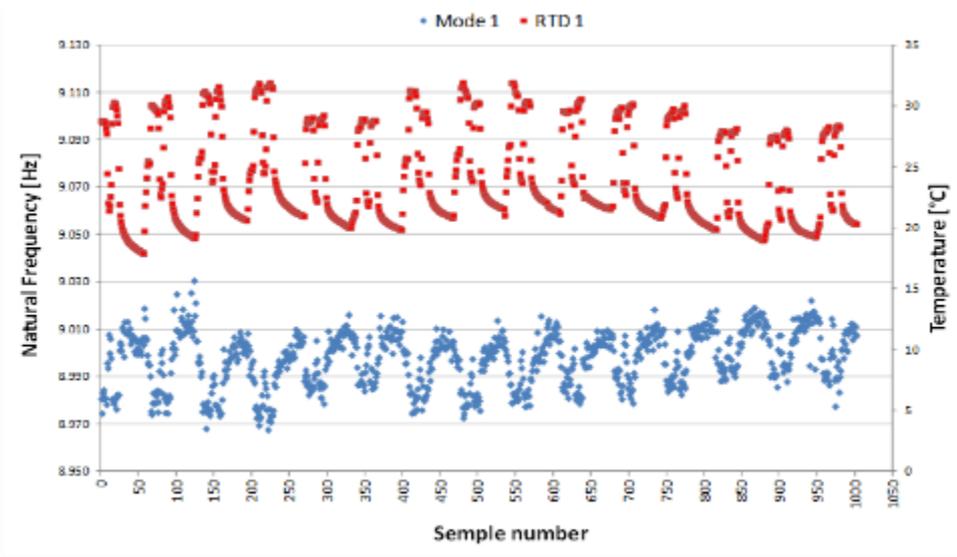
### Risposta all'impulso unitario (IRF)

IRF

SPETTRI IRF



### Monitoraggio continuo: Rimozione fattori ambientali



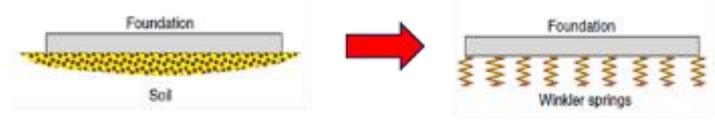
### Effetto irrigidente delle TAMPONATURE su strutture dotate anche di vano scala

Tipologia strutturale	Tipologia di progettazione	Telaio+Scala	Telaio+Tamponatura	Variazione
		[sec]	[sec]	
3L	a solo carichi verticali	0.40	0.34	15.00
	sismoresistente	0.43	0.35	18.60
5L	a solo carichi verticali	0.66	0.55	16.67
	sismoresistente	0.68	0.54	20.58
3R	a solo carichi verticali	0.43	0.32	25.58
	sismoresistente	0.42	0.40	4.76
5R	a solo carichi verticali	0.59	0.46	22.03
	sismoresistente	0.62	0.56	9.68

La presenza di componenti non strutturali, come i muri di tamponatura, produce una riduzione media del periodo fondamentale di vibrazione di circa il 20%

$\Delta T \approx 20\%$

### Effetto dell'INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA



$$k = \frac{q}{d} \quad \left[ \frac{kg}{cm^3} \right]$$

Roccia ( $2.5 \text{ Kg/cm}^3 \leq k_w \leq 3.0 \text{ Kg/cm}^3$ )

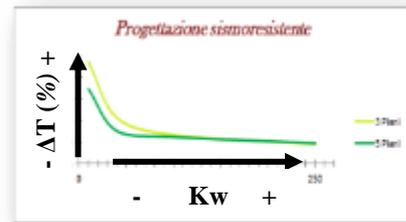
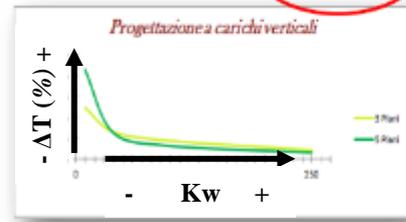
Sabbia Densa ( $0.64 \text{ Kg/cm}^3 \leq k_w \leq 1.28 \text{ Kg/cm}^3$ )

Sabbia Mediamente Addensata ( $0.096 \text{ Kg/cm}^3 \leq k_w \leq 0.8 \text{ Kg/cm}^3$ )

Sabbia Sciolta ( $0.048 \text{ Kg/cm}^3 \leq k_w \leq 0.16 \text{ Kg/cm}^3$ )

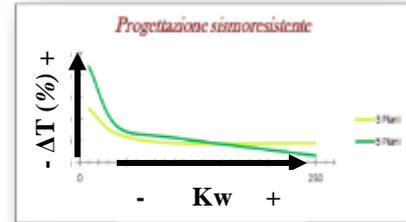
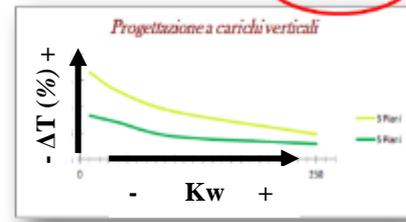
Pianta rettangolare

$\Delta T \approx 25\%$



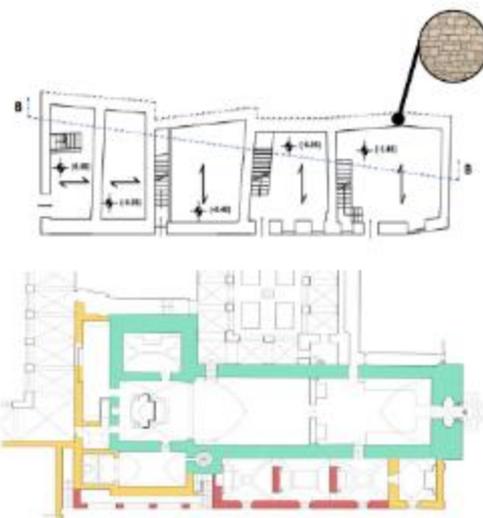
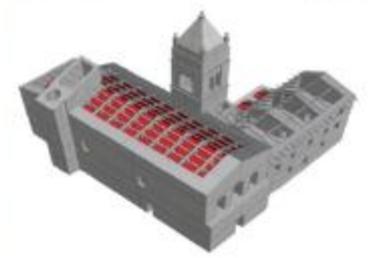
Pianta a L

$\Delta T \approx 20\%$



# EDIFICI IN MURATURA E STORICO MONUMENTALI

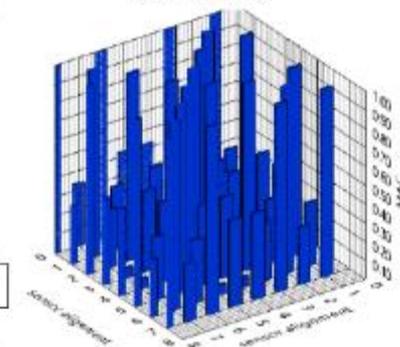
- Le strutture esistenti in muratura hanno caratteri assai complessi, per la loro configurazione e l'evoluzione temporale della fabbrica;
- Il tema della ricerca è la progettazione e gestione dei sistemi di monitoraggio delle strutture storiche
- Rilevante è il discriminare tra modi locali e modi globali della costruzione



## Approccio Basato su MAC (Modal Assurance Criterion)

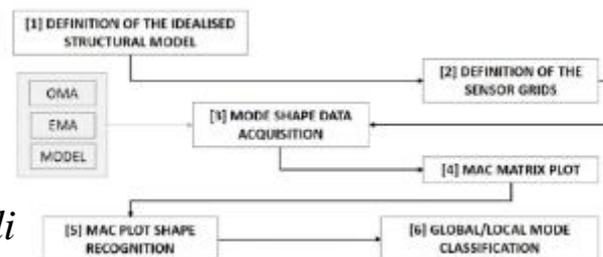
$$MAC(\{\phi_i\}, \{\phi_j\}) = \frac{|\{\phi_i\}^T \{\phi_j\}|^2}{(\{\phi_i\}^T \{\phi_i\})(\{\phi_j\}^T \{\phi_j\})}$$

$\{\phi\}$  Autovettore  
 $\{\phi_i\}; \{\phi_j\}$  Autovettori che si vogliono confrontare



*La procedura è basata sul confronto tra campi di spostamento modale associati a nodi di misurazione selezionati per ogni singolo modo individuato.*

*La matrice MAC consente di discriminare i modi globali da quelli locali (obiettivo primario).*



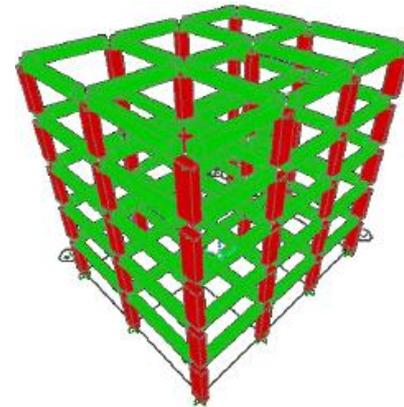
### Model Updating

Struttura  
Esistente



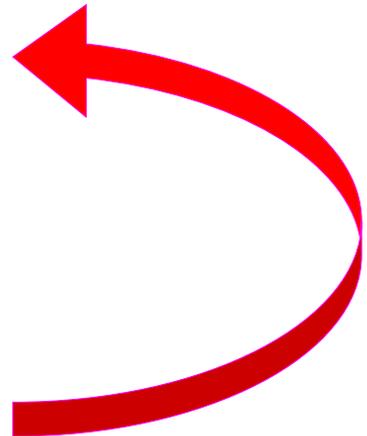
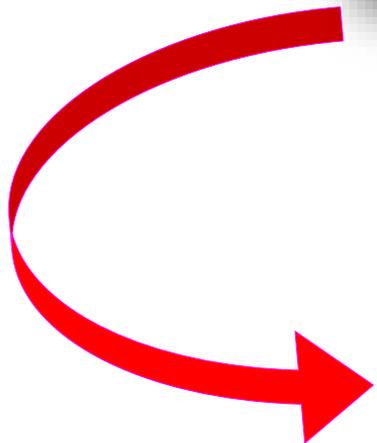
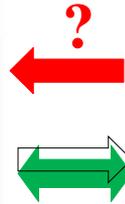
Valutazione delle  
caratteristiche  
dinamiche

Modello Numerico

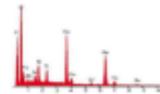


Parametri  
 $m, k, \xi$ , vincoli  
**unknown**

Calibrazione del  
modello numerico



Frequenze



Deformate Modali



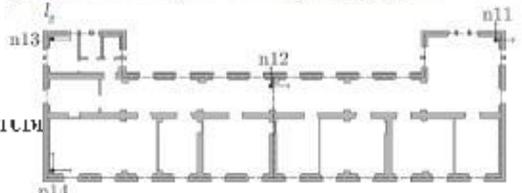
Capacità dissipativa



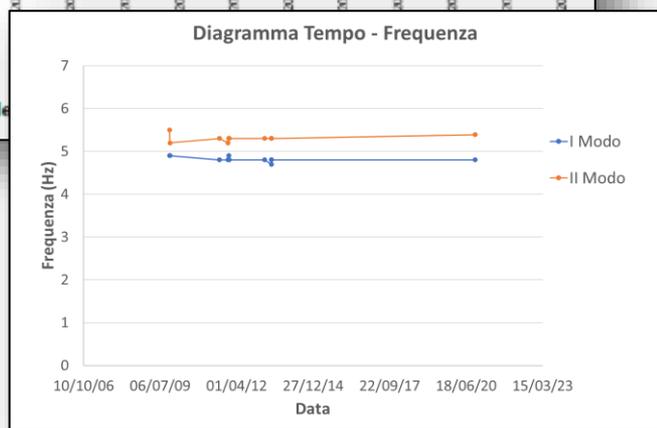
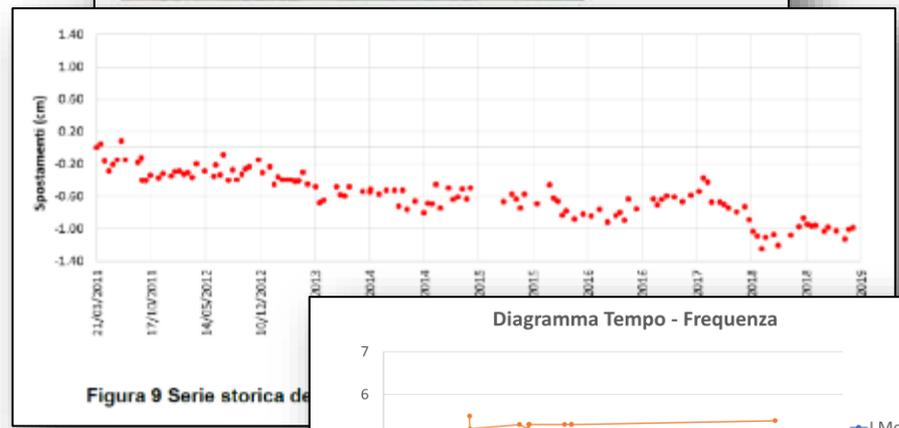
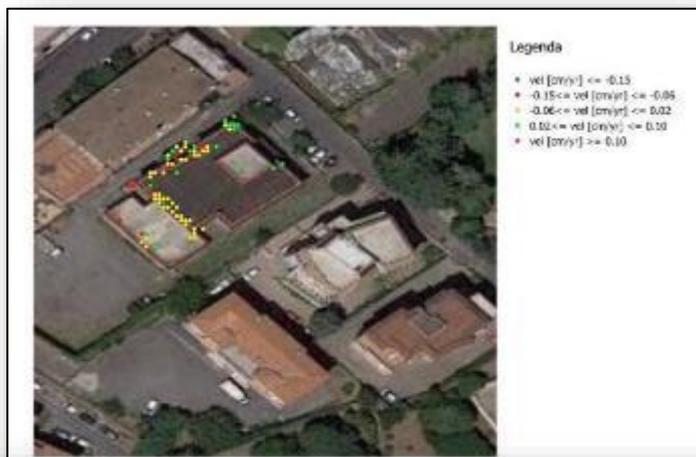
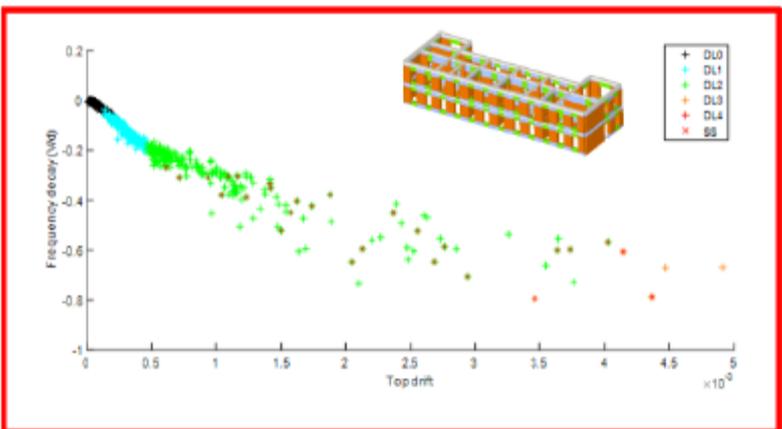
### Esempi di Integrazione Dati Satellitari e Monitoraggio Dinamico



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA



### Curve di decadimento



Sivori D, Lepidi M, Cattari S. Ambient vibration tools to validate the rigid diaphragm assumption in the seismic assessment of buildings. Earthquake Engng Struct Dyn. 2020;49:194–211. <https://doi.org/10.1002/eqe.3235>

**L'approccio multilivello** rappresenta la risposta razionale ad un problema complesso quale è quello della valutazione della sicurezza delle infrastrutture

### Rete Autostradale

Ponti e viadotti

Sviluppo totale

Sviluppo totale rete autostradale

1.608

1.013 Km

6.000 Km

Fonte: Centro Studi del Consiglio Nazionale degli INGEGNERI - dati Aiscat

### Rete Stradale (autostrade, statali, regionali, provinciali e comunali)

Ponti e viadotti

Sviluppo totale

Sviluppo totale rete autostradale

61.000

38.000 Km

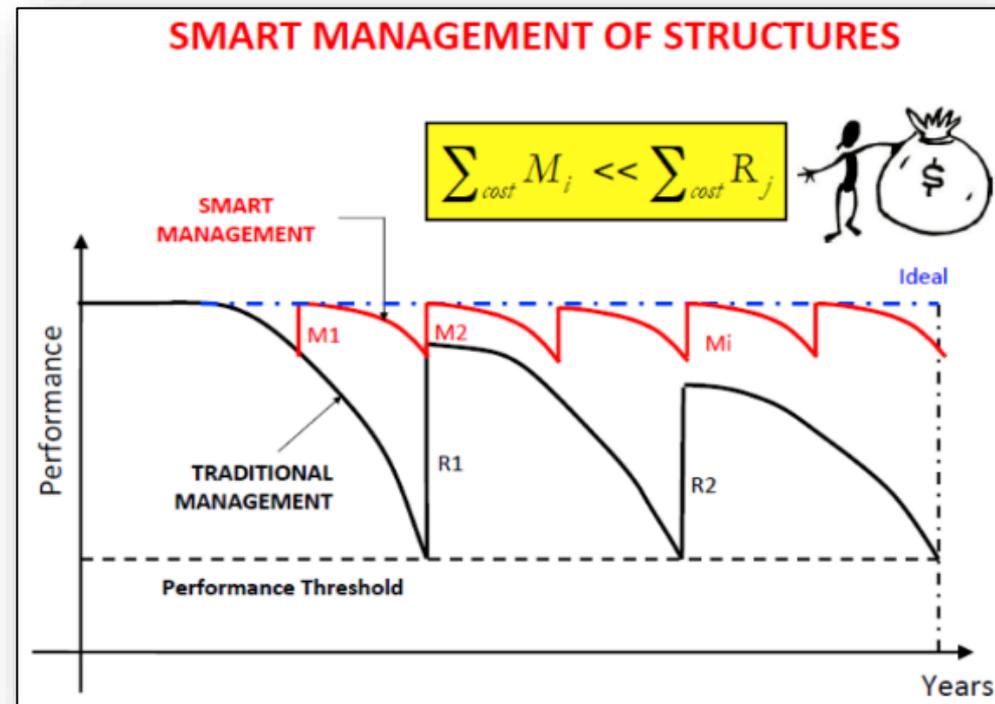
255.000 Km

Fonte: Ministero delle Infrastrutture e Trasporti

Il modello di sistema di sorveglianza proposto nelle «Linee Guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti» apre alle più moderne tecnologie di monitoraggio strumentale di cui è raccomandato l'impiego per le opere di Classe di Attenzione Medio-Alta e Alta e per alcune classi di opere ritenute a maggior rischio o di particolare interesse.

Integrazione di sistemi di monitoraggio on site e satellitare per:

- Valutare in continuo gli effetti del tempo e dei carichi sullo stato di salute di una costruzione
- Individuare precocemente anomalie comportamentali e, di conseguenza, ridurre al minimo rischi, interruzioni di servizio ed eventuali costi di intervento



Cuomo V., Soldovieri F., Ponzo F.C., Ditommaso R. (2018). [A holistic approach to long term SHM of transport infrastructures](#). International Emergency Management Society (TIEMS), ISSN 2033-1614, [Issue 33](#), July 2018.

# GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Si ringrazia l'Ing. Rocco Ditommaso per la collaborazione alla redazione della presentazione

# Monitoraggio e Uso dei Dati Satellitari

**Prof. Marco Savoia**  
**Università di Bologna**

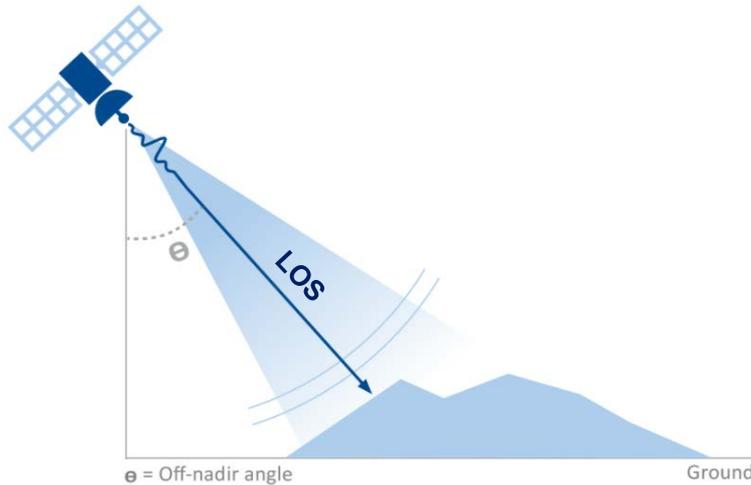
**Prof. Felice Ponso**  
**Università della Basilicata**

***Questa presentazione è frutto del lavoro delle Unità di ricerca afferenti  
al WP6 «Monitoraggio e dati satellitari» del Progetto Reluis 2019-21.***

## CONTENUTI DELLA PRESENTAZIONE

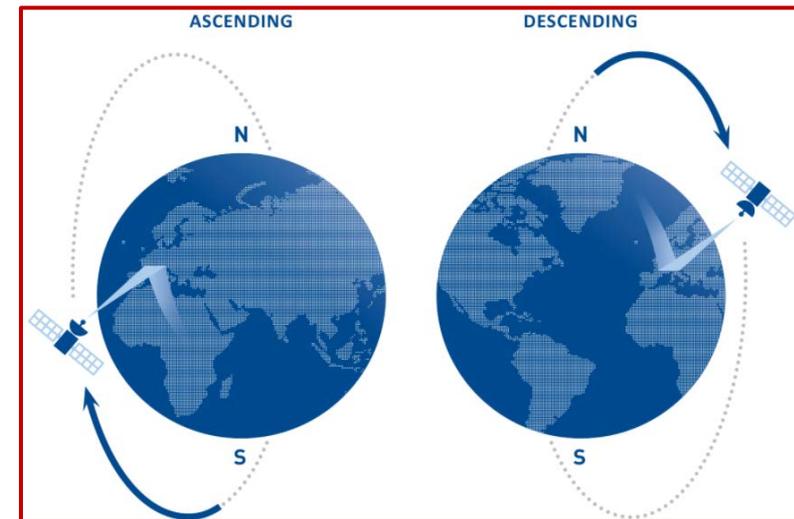
- **Cenni sulla tecnologia Radar Satellitare** e sulla Interferometria Satellitare differenziale DInSAR
- **Ambiti di applicazione consolidati** (ricerche petrolifere, valutazione di subsidenza, problemi idrogeologici, etc.)
- **Obiettivi futuri** (ingegneria strutturale)
- **Dati di monitoraggio** che possono essere ottenuti: Punti di misura e informazioni restituite per i punti di misura (storie temporali di spostamento e velocità medie)
- **Esempi** di applicazione

## 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**.

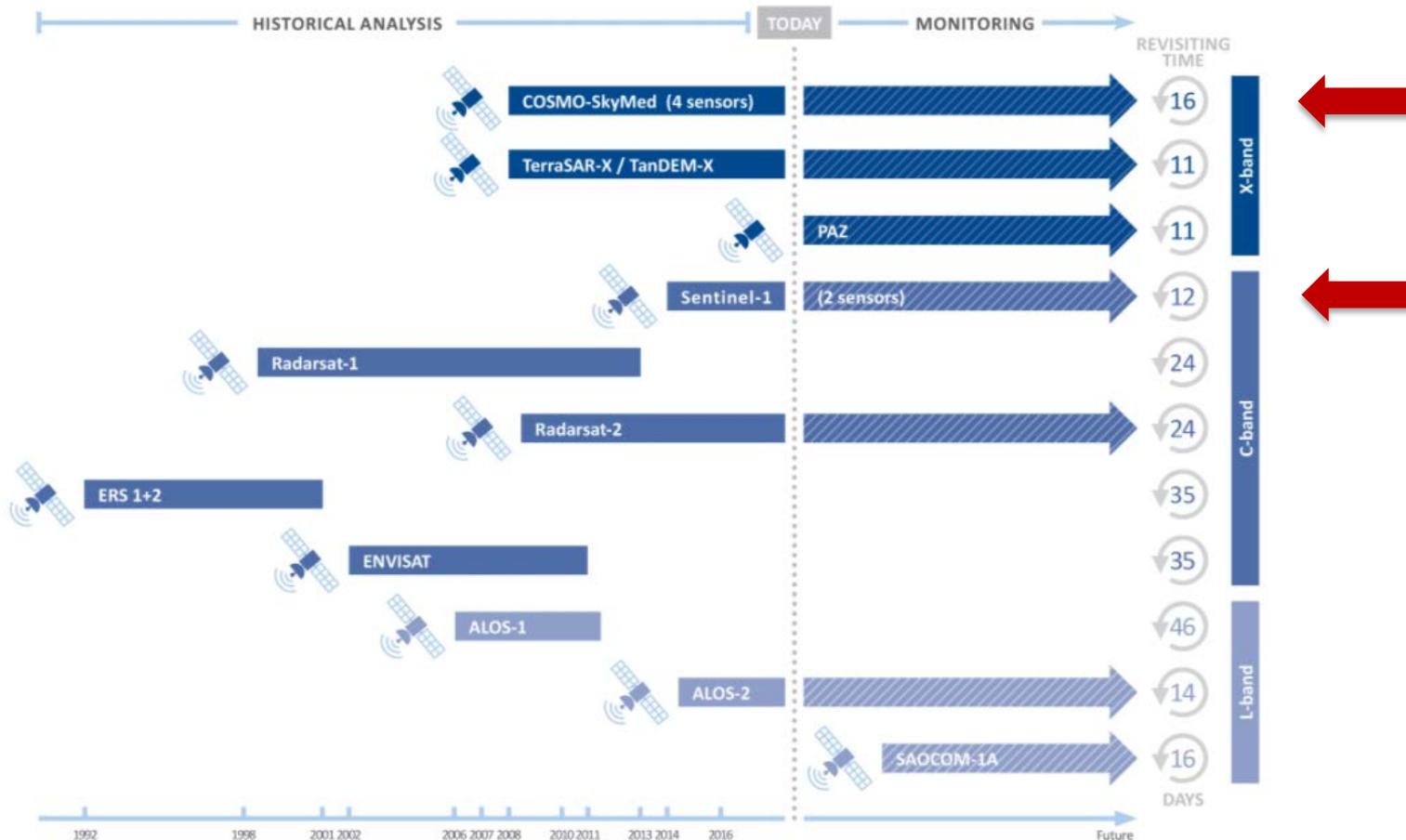


I satelliti **SAR** (*Synthetic Aperture Radar*) sono equipaggiati con emettitori ed antenne che permettono di **acquisire immagini radar della superficie terrestre**.

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.

## Costellazioni di satelliti SAR

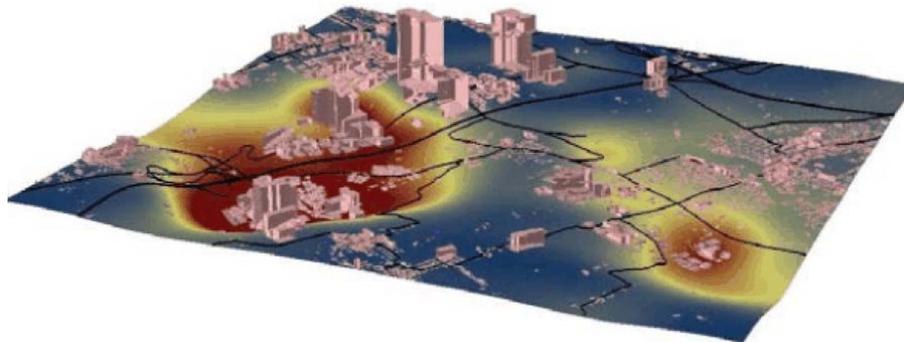


Per alcune area sono disponibili immagini radar registrate a partire dal 1992, anno di avvio della **missione ERS** (European Remote Sensing).

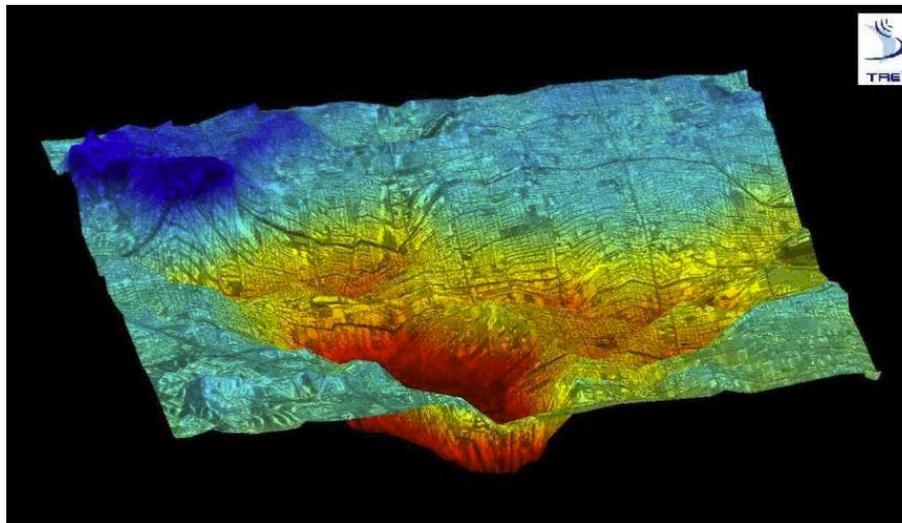
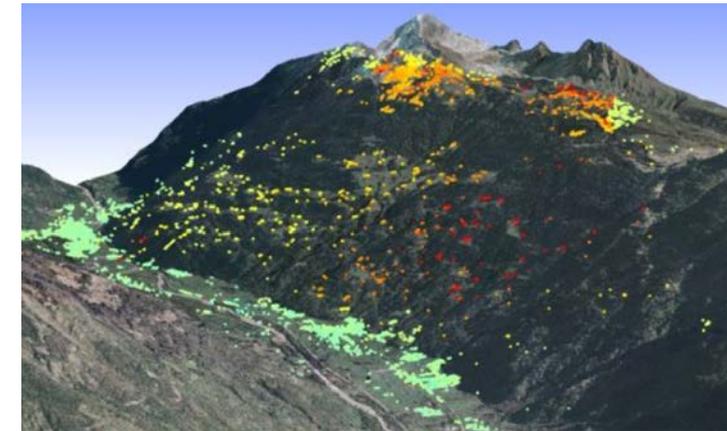
Fonte immagini: <https://site.tre-altamira.com/insar-solutions/insar-monitoring/>

## Ambiti di applicazione consolidati dei dati satellitari

### Subsidenza e Sinkholes



### Frane a cinematica lenta



Rappresentazione 3D della deformazione  
avvenuta presso Pomona (Los Angeles) tra il  
1992 e il 1999. Rosso -20 cm. Blu +6 cm.

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

## Danni alle strutture legati a moti lenti del terreno

### Danni indotti da subsidenza



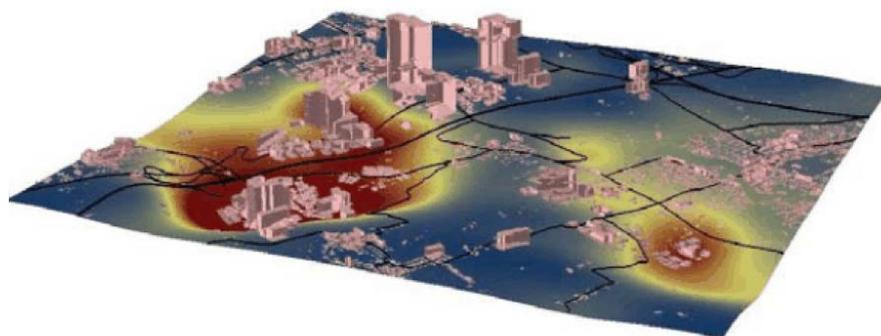
### Danni indotti da frane a cinematica lenta



Damages induced by Ancona landslide (Cotecchia, 2006)

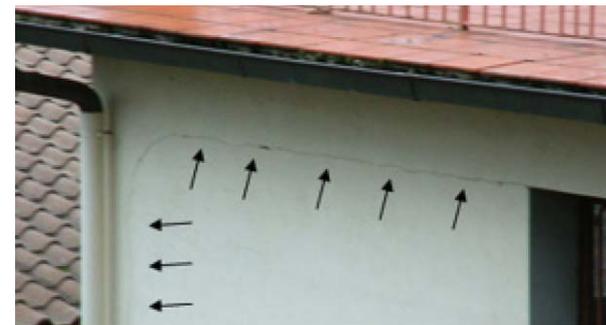
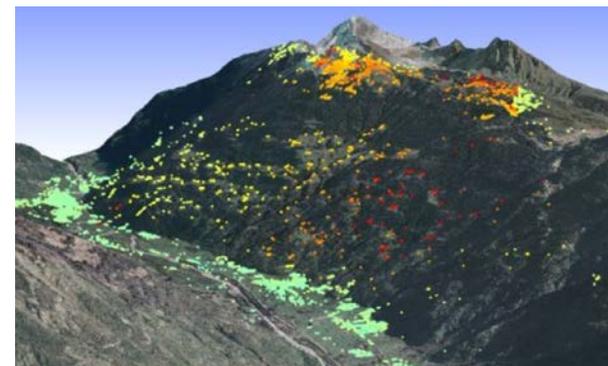
## Prospettive future per applicazioni dei dati satellitari

### Subsidenza e Sinkholes



*Sinkhole di Camaiole, 2005*

### Frane a cinematica lenta



*Fessure su un edificio nella zona di frana del bacino dell'Arno*

**NB: le immagini riportate sono puramente esemplificative degli obiettivi e non si corrispondono**

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

## Proprietà del segnale Sar (Synthetic Aperture Radar)

### Quali elementi riflettono?

**Strutture metalliche e oggetti solidi, quali manufatti e rocce esposte**, presentano una elevata capacità di riflessione del fascio radar illuminante e sono pertanto ben visibili in un'immagine radar.

Materiali quali legno, **campi coltivati e foreste**, hanno assai minore capacità di riflettere il segnale radar verso il sensore e, conseguentemente, generano dati SAR di bassa ampiezza

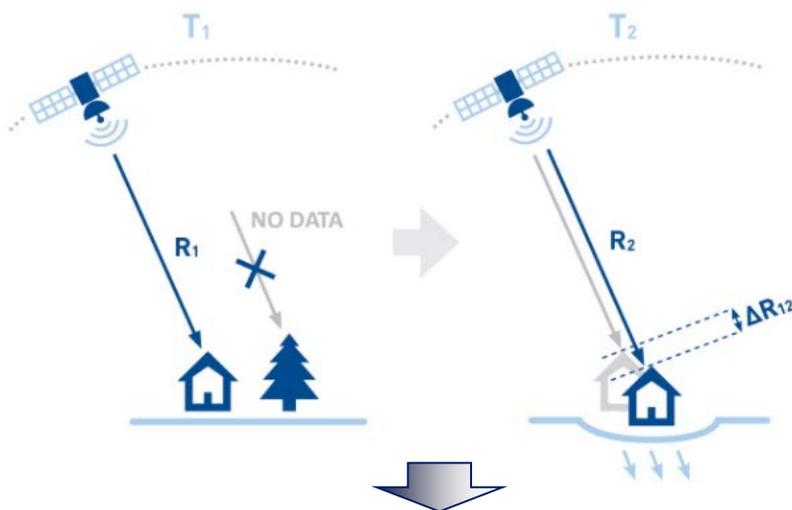
**Bacini d'acqua e strade** sono poco riflettenti: sono caratterizzati da fenomeni di riflessione speculare in cui la quota riflessa verso il satellite risulta molto contenuta

Immagine SAR e immagine ottica  
di una stessa area  
(aeroporto di Milano Linate)



# ELABORAZIONE DEL SEGNALE

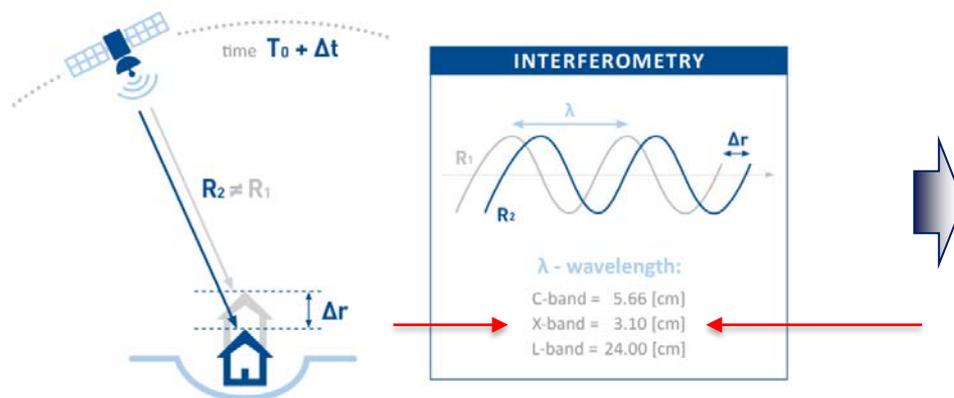
## Interferometria Satellitare differenziale DInSAR (Differential Synthetic Aperture Radar Interferometry)



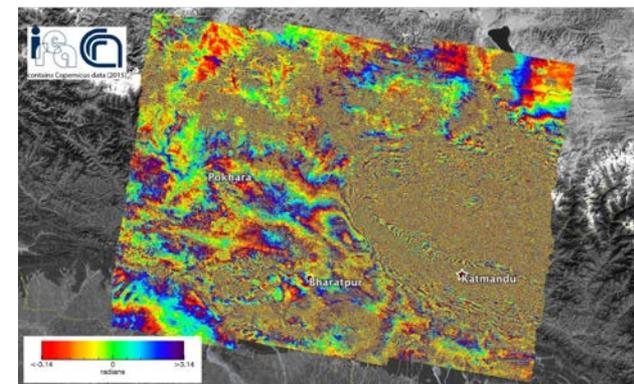
In orbite successive, il satellite **osserva più volte** la medesima area a terra, con una cadenza temporale - «**tempo di rivisitazione**». A ciascuna osservazione corrisponde un'immagine radar.

**Confrontando i valori della fase** relativi a due diverse immagini, è possibile generare un **interferogramma**, immagine che esprime **la differenza di fase** nella risposta degli oggetti a terra tra le due acquisizioni.

La differenza di fase osservata nella risposta di un bersaglio può essere dovuta ad un suo **spostamento**.

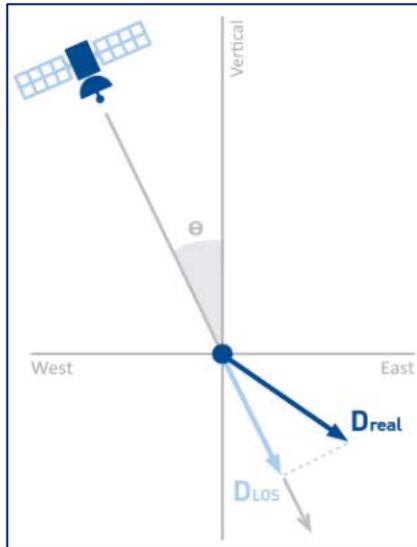


Esempio di interferogramma



Fonte immagini: <https://site.tre-altamira.com/insar-solutions/insar-monitoring/>  
[http://www.irea.cnr.it/index.php?option=com\\_k2&view=item&id=681:terremoto-in-nepal](http://www.irea.cnr.it/index.php?option=com_k2&view=item&id=681:terremoto-in-nepal)

## Interferometria Satellitare differenziale DInSAR (Differential Synthetic Aperture Radar Interferometry)

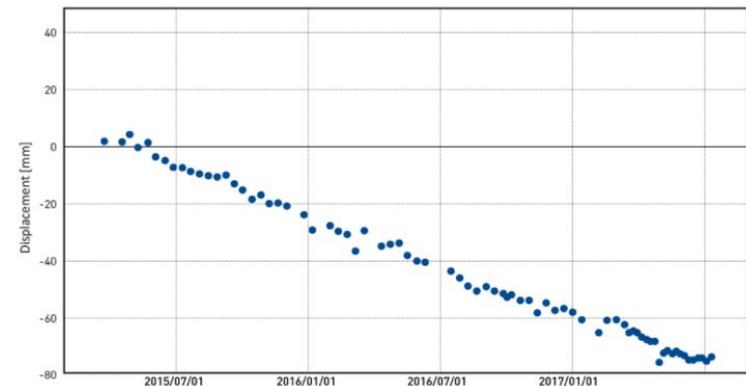
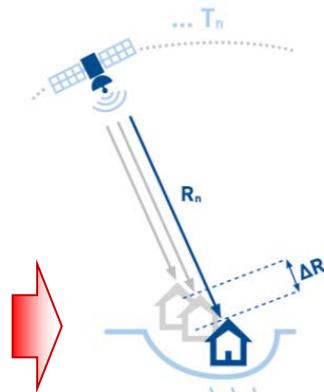


L'analisi interferometrica differenziale (DInSAR) permette di ricavare una **misura differenziale di spostamento del bersaglio tra due acquisizioni**.

La misura di spostamento calcolata è la **proiezione dello spostamento reale lungo la linea di vista (LOS)**.  
*Poiché lo spostamento reale non è parallelo alla LOS, la misura fornita dall'analisi interferometrica **rappresenta soltanto una sua componente**.*

Inoltre, il valore dello spostamento misurato è riferito all'intervallo temporale che intercorre tra le acquisizioni delle due immagini utilizzate

Da un set di immagini radar, mediante una procedura di analisi DInSAR è possibile costruire **la storia temporale della componente di spostamento lungo la linea di vista (LOS)**

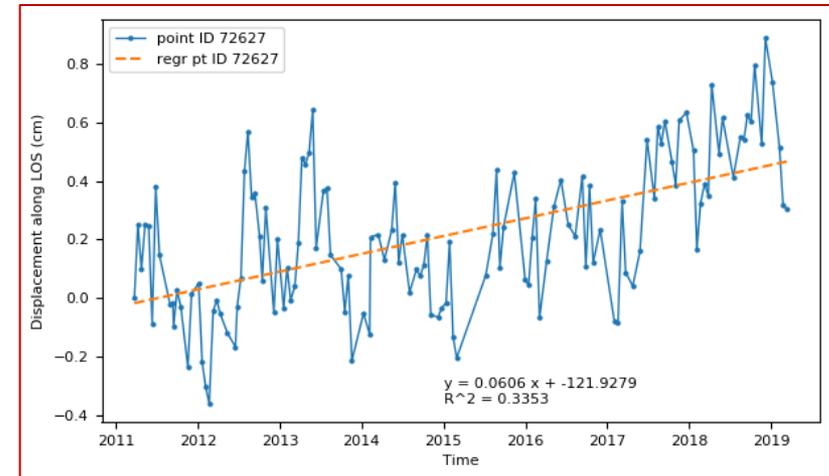


**Storia temporale della componente LOS dello spostamento del bersaglio**

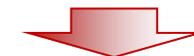
## Informazioni restituite per i punti di misura



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

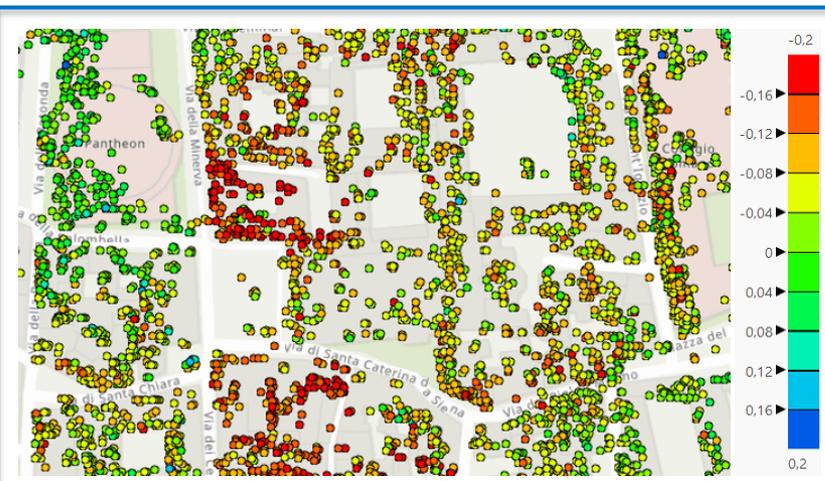


Storia temporale della componente di spostamento lungo la LOS dell'orbita Ascendente e retta di regressione lineare



la pendenza della retta rossa indica **la velocità media lungo la LOS** con cui il punto di misura si è spostato nell'intervallo temporale analizzato.

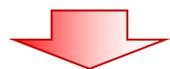
È possibile realizzare mappe di velocità media. Ad ogni punto di misura è associato un colore che indica **la velocità media lungo la LOS**.



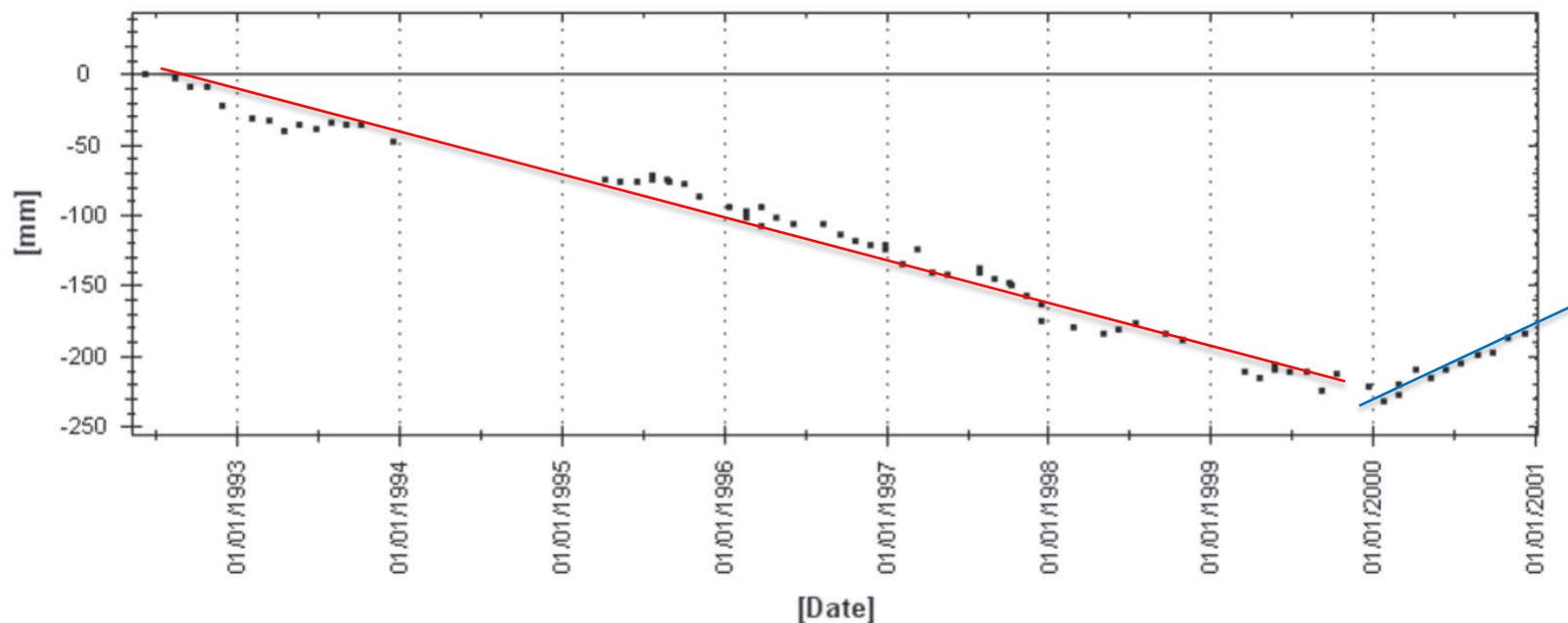
Punti di misura colorati a seconda del valore di velocità media lungo la LOS



## Serie temporale di spostamento lungo la LOS:



Si può valutare la **velocità media di spostamento** come regressione eseguita «a tratti» su intervalli temporali diversi



## Punti di misura: caratteristiche

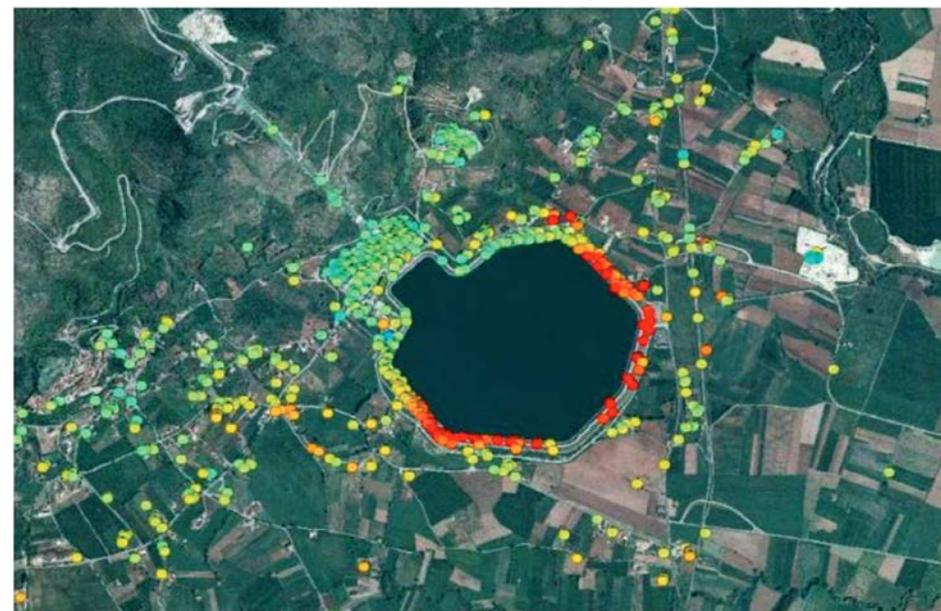
Per poter essere utilizzato nell'analisi multi-interferometrica (ossia facendo uso di un set di immagini radar), un pixel **deve risultare coerente** nelle diverse acquisizioni.

↓ *Dove in questo caso coerente significa che la risposta elettromagnetica è particolarmente stabile nel tempo.*

**Solo i pixel coerenti costituiscono i «punti di misura»**, ossia i punti per i quali è possibile calcolare la storia di spostamenti differenziali.

Specchi d'acqua e superfici lisce orizzontali non danno una buona risposta.

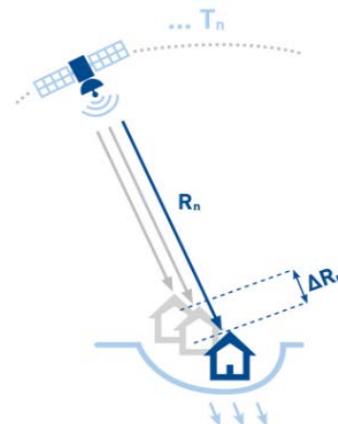
Si può avere poca coerenza anche per oggetti con buona riflettività, ma che variano significativamente la loro "firma radar" (risposta) nel tempo: è il tipico caso delle aree vegetate o dei campi agricoli



Lago artificiale di Vairano, presso Presenzano (CE)

## Coerenza dei punti di misura

### Coerenza di un dato



*La velocità di deformazione massima misurabile tramite interferometria satellitare, **senza incorrere in problemi di ambiguità delle misure**, è compatibile con fenomeni a cinematica lenta.*

**A seconda della tecnica utilizzata possono essere rilevati, senza incorrere in problemi di ambiguità delle misure, movimenti dell'ordine di 5-6 cm/anno, secondo altri fino a 80 cm/anno**

*Per questo motivo non risultano monitorabili i fenomeni ad evoluzione rapida o caratterizzati da accelerazioni repentine*

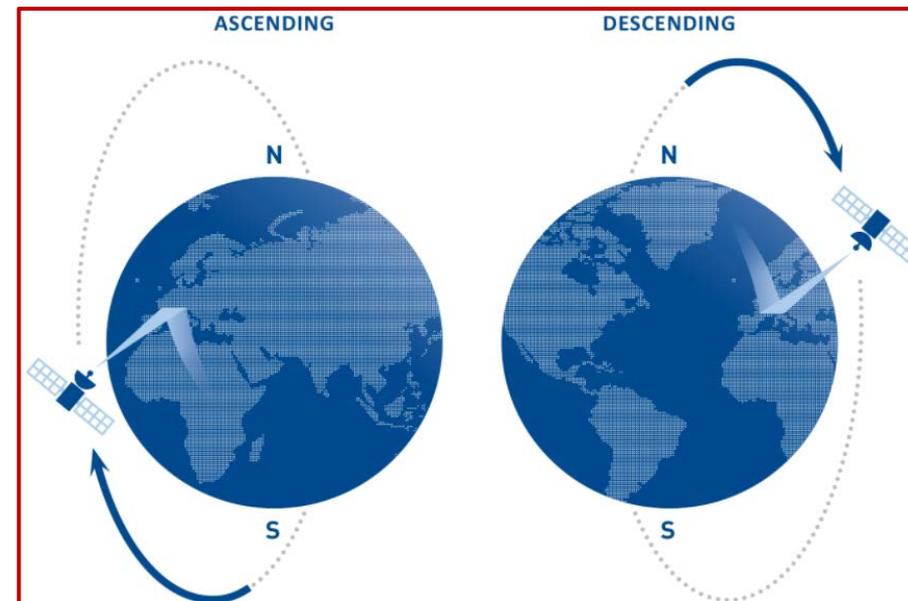
## Punti di misura dei dataset Ascendente e Discendente

Tradizionalmente, le immagini radar di una zona acquisite dal satellite in orbita ascendente (**ASC**) e in orbita discendente (**DES**) **vengono elaborate separatamente**.

Inoltre, **le aree per cui vengono forniti i risultati delle elaborazioni su dati ascendenti e discendenti possono essere diverse**.



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



**I punti di misura** ottenuti per le elaborazioni sui dati ascendenti e sui dati discendenti **non sono generalmente coincidenti**, sebbene possano essere riferiti ai medesimi oggetti.

## Mappe di VELOCITÀ MEDIA per i dataset

*Punti di misura osservati dall'orbita ascendente (ASC)*



*Mappa di vel media dall'orbita ascendente (ASC)*



ALLONTANAMENTO

Vel LOS (mm/anno)

- ◆ <-1,5
- ◆ -1,5 - -0,9
- ◆ -0,9 - -0,6
- ◆ -0,6 - -0,3
- ◆ -0,3 - 0,3
- ◆ 0,3 - 0,6
- ◆ 0,6 - 0,9
- ◆ 0,9 - 1,5
- ◆ >1,5

AVVICINAMENTO

*Mappa di vel media dall'orbita discendente (DES)*

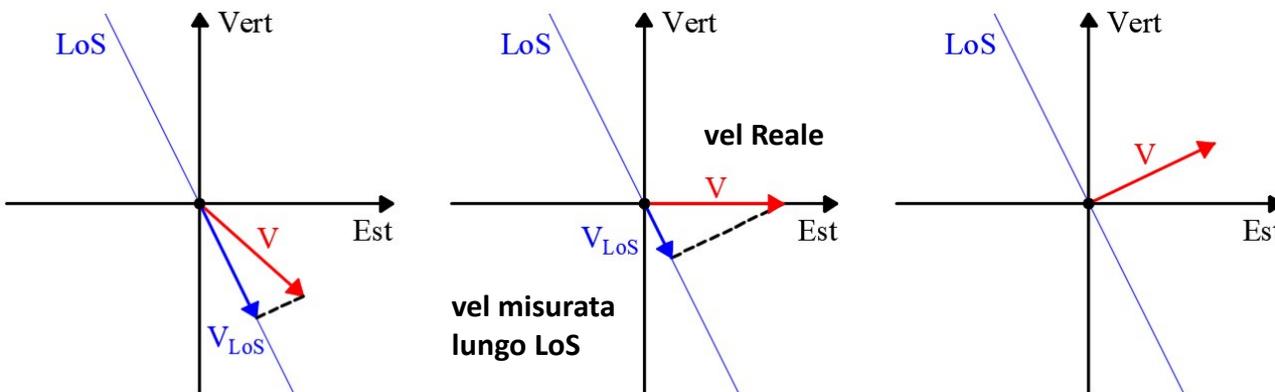


## Uso di un singolo dataset

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

Le informazioni di un singolo dataset **forniscono solo le componenti di spostamento/velocità lungo la LoS**, ovvero la direzione congiungente il sensore con il bersaglio a terra

**VLoS = vel misurata lungo LoS - V = vel reale**



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



**Nel caso in cui la direzione della deformazione reale sia perpendicolare alla LoS, la deformazione misurata dal sensore risulta essere nulla**

*Una elevata deformazione lungo la LOS è segnale di un processo deformativo in atto; viceversa, una bassa deformazione lungo la LOS non è garanzia della assenza di fenomeni deformativi in atto.*

## Uso di due dataset – ascendente e discendente

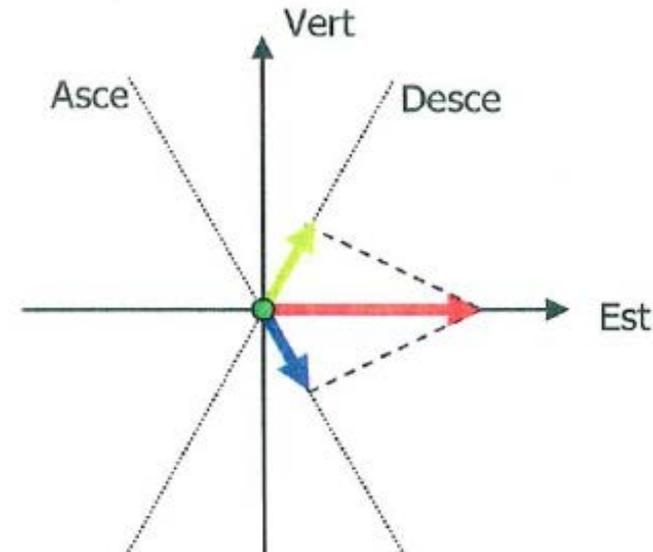
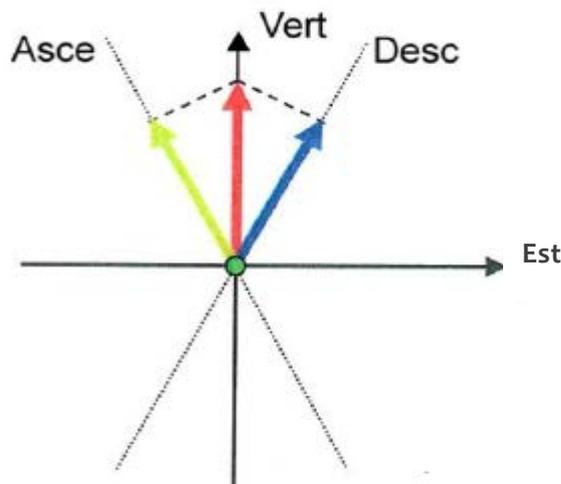
Il piano contenente le due direzioni di vista del satellite  
(LOS ascendente e LOS discendente)  
è sostanzialmente ortogonale alla direzione N-S.



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

**È possibile il calcolo**

- ✓ **esatto della componente di velocità-spostamento verticale**
- ✓ **sostanzialmente esatto lungo la direzioni E-W** (*l'orbita dei satelliti è leggermente inclinata e quindi c'è una piccola componente N-S*)



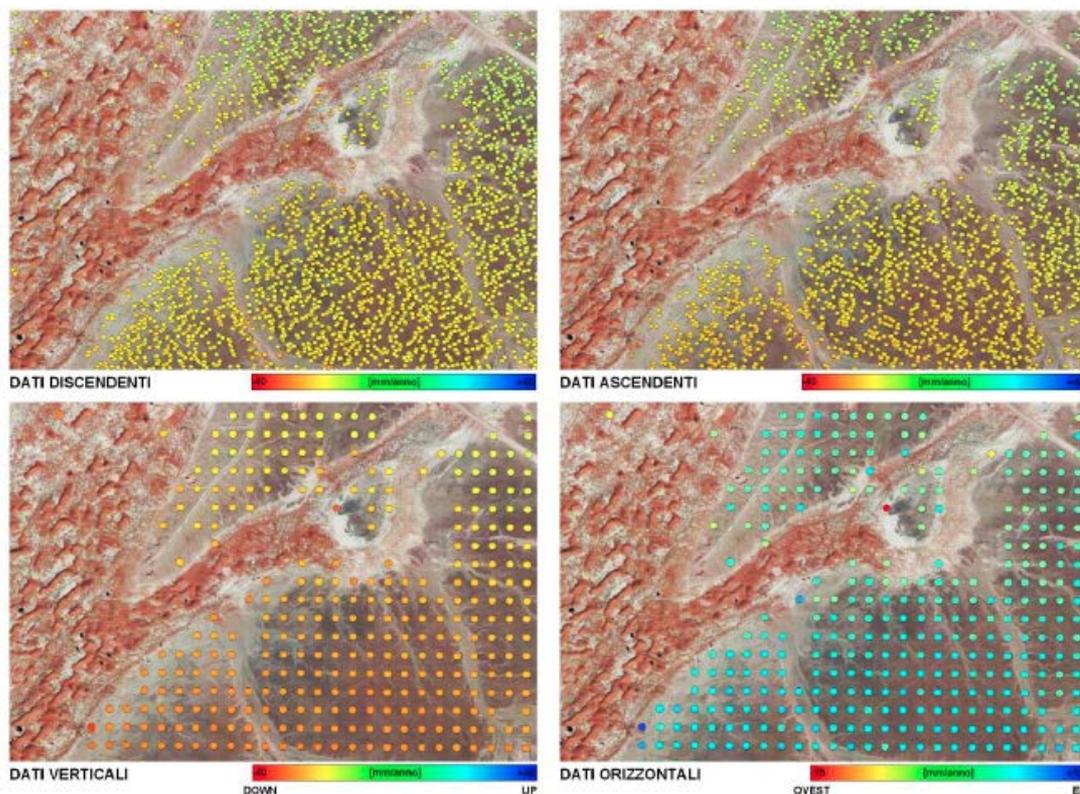
## Problema:

La combinazione delle deformazioni dal database **ascendente** e **discendente** è complicata dal fatto che raramente si hanno gli stessi punti di misura nei due dataset.



Possibili soluzioni:

## Tecniche di sottocampionamento:



Si sottocampionano i punti su una griglia geografica regolare a cui si assegna il valore medio dei punti di misura che ricadono nella cella regolare

## Problema:

La combinazione delle deformazioni dal database **ascendente** e **discendente** è complicata dal fatto che raramente si hanno gli stessi punti di misura nei due dataset.

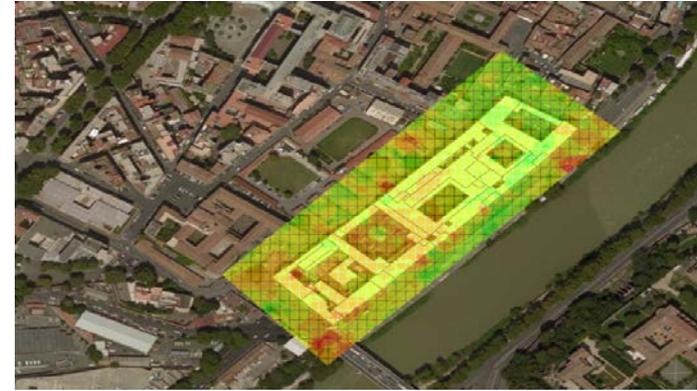


Possibili soluzioni:

**Tecniche di Interpolazione:** Si adotta una tecnica di interpolazione spaziale, deterministiche (e.g. IDW) oppure probabilistiche (e.g. Kriging)



**Velocità Medie LOS ascendenti** sui punti di interpolazione nell'area dell'edificio



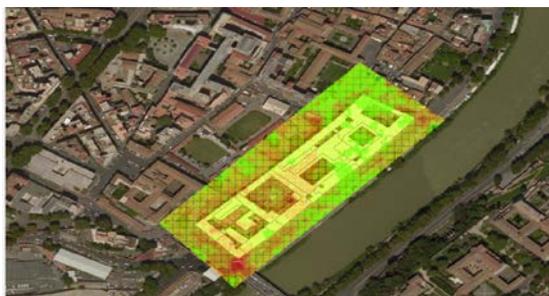
**Velocità Medie LOS discendenti** sui punti di interpolazione nell'area dell'edificio

**Questa tecnica si utilizza usualmente sulle misure di velocità media.  
Può essere utilizzata anche per misure di spostamento in diversi istanti temporali.**

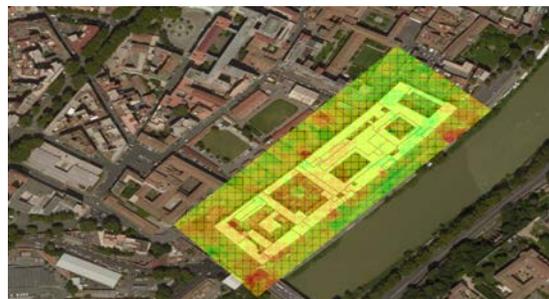


Nel caso di misure di spostamento, essendo gli istanti di osservazione diversi per dataset ascendente e discendente, bisogna procedere preliminarmente con un ricampionamento temporale dei dati di entrambi i dataset

## Mappe di velocità media



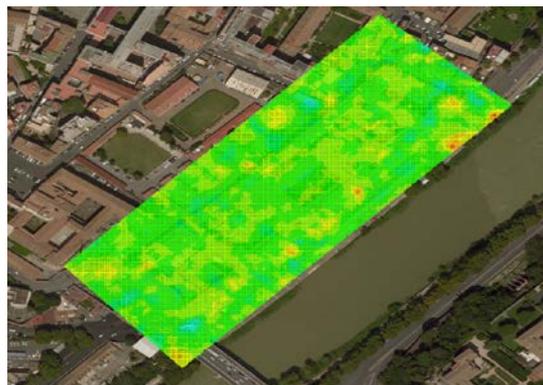
**Velocità Medie LOS ascendenti** sui punti di interpolazione



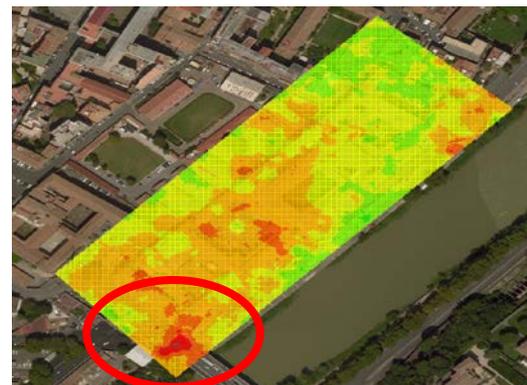
**Velocità Medie LOS discendenti** sui punti di interpolazione



**Si combinano le velocità ascendenti e discendenti in tutti i punti di interpolazione**

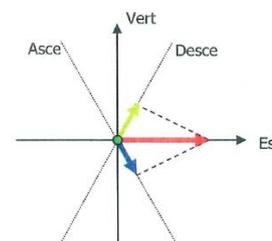


**Velocità Medie Est-West** sui punti della griglia di interpolazione

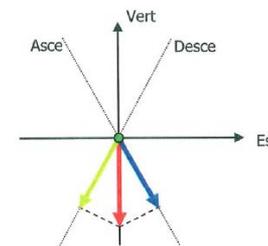


**Velocità Medie Verticali** sui punti della griglia di interpolazione

**Orizzontale E-W**

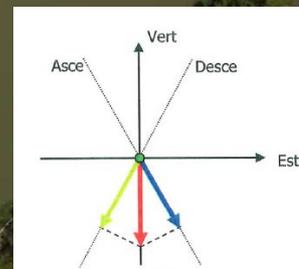


**Verticale**



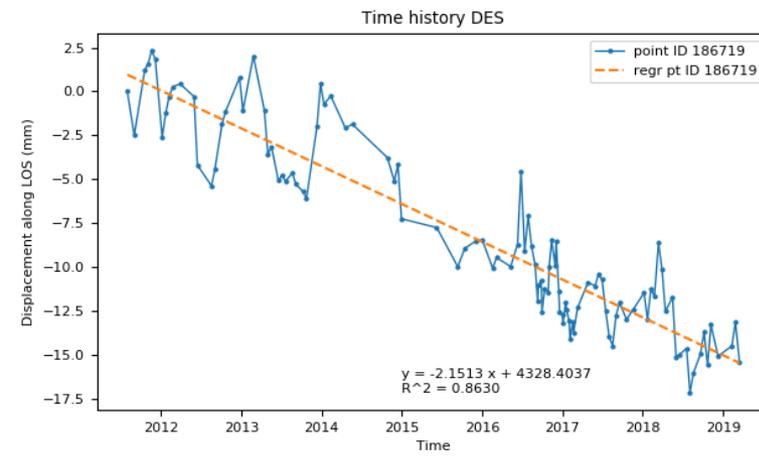
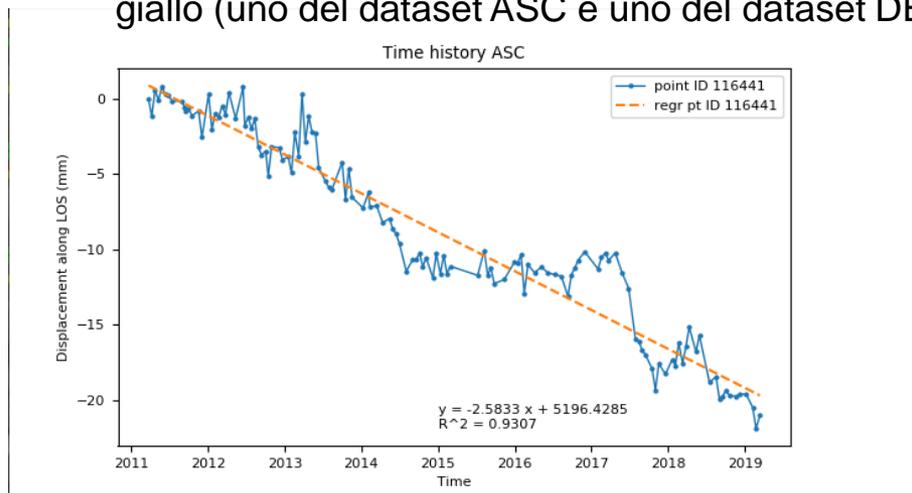
**Mappe di velocità media orizzontale E-W e verticale**

## 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)

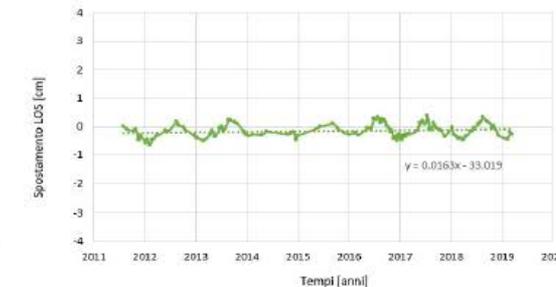
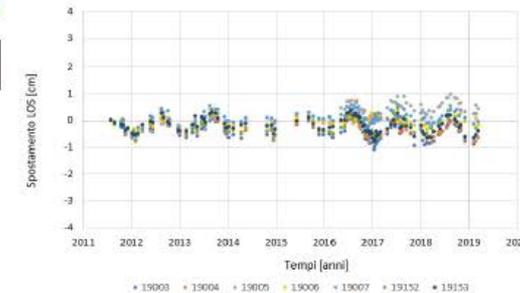
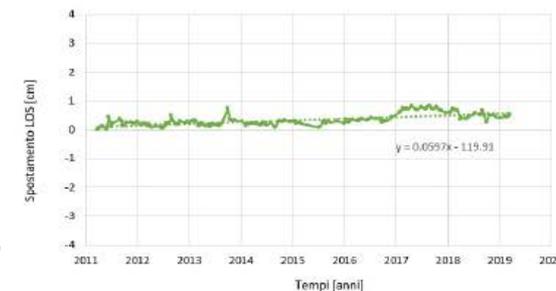
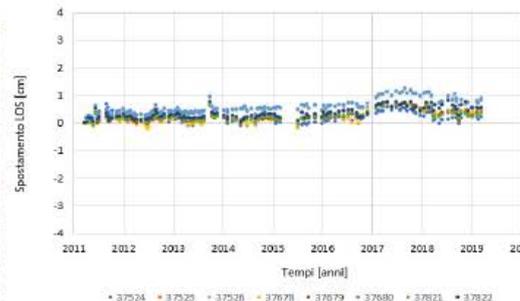
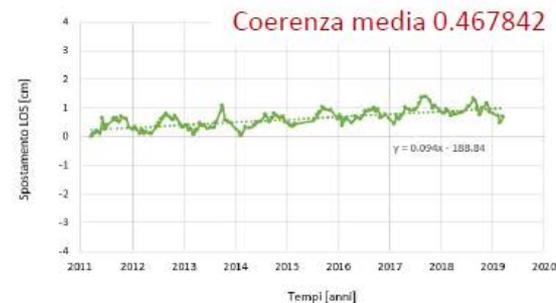
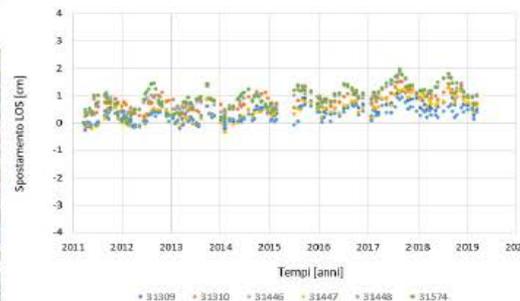
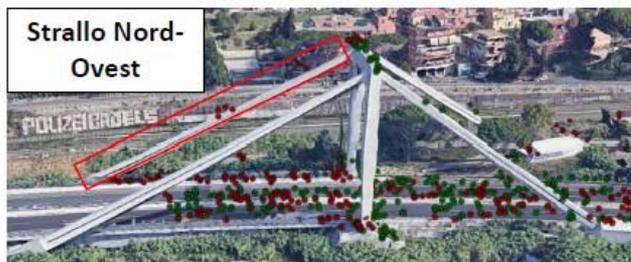


Fonte immagini: Progetto RELUIS 2019-2021 WP6 UR IUAV, Responsabile Prof. A. Saetta

## Serie temporale di spostamento lungo la LOS:



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



Fonte immagini: Progetto RELUIS 2019-2021 WP6 UR UniRoma2 Tro Vergata, Responsabile Prof. A. Meda

## 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



Fonte immagini: Progetto RELUIS 2019-2021 WP6 UR UniRoma2 Tro Vergata , Responsabile Prof. A. Meda

## POTENZIALITÀ E LIMITI - SINTESI

- I dati satellitari costituiscono una grande potenzialità e permettono di monitorare **grandi porzioni di territorio** con dati di origine satellitare che possono venire aggiornati.
- Consentono di utilizzare **storie temporali pregresse** (almeno 10 anni) di grande importanza per comprendere l'evoluzione di un fenomeno di interesse.

### TUTTAVIA

**Per un utilizzo nel campo dell'ingegneria strutturale** spesso necessitano di una piena consapevolezza di quali informazioni possono essere estratte in quanto:

- **Possono essere rilevati movimenti lenti** e, data l'incertezza di misura sui singoli dati ed il tempo di campionamento (dell'ordine delle 2 settimane), possono essere ricavati trends su archi temporali ampi e non fenomeni in rapida evoluzione;
- **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, pertanto può nascondere un fenomeno di potenziale interesse.

### PERTANTO

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

# GRAZIE PER L'ATTENZIONE

***Questa presentazione è frutto del lavoro delle Unità di ricerca afferenti al WP6 Monitoraggio e dati satellitari del Progetto Reluis 2019-21.***

***Si ringraziano tutto coloro che hanno messo a disposizione i dati delle ricerche tutt'ora in corso, ed in particolare coloro che anche hanno collaborato alla predisposizione di questa presentazione.***