

Metodologie generali e focus sul sistema SELF CONTROL

Mattia Crespi

Area di Geodesia e Geomatica - DICEA
Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale
Sapienza Università di Roma

IL MONITORAGGIO GEOMATICO
DELLE INFRASTRUTTURE

CONVEGNO ANCEFERR - 27 FEBBRAIO 2019



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



IL CONTROLLO DELLE INFRASTRUTTURE - **ESIGENZE**

LA COSTRUZIONE DI RETI VIARIE/TECNOLOGICHE SEMPRE PIU' ESTESE PONE IL PROBLEMA DEL LORO MONITORAGGIO, PER VERIFICARNE LA RISPONDENZA AI REQUISITI DI PROGETTO IN TERMINI DI:



- ⊗ **Spostamenti/cedimenti**
- ⊗ **Risposta ai carichi** dovuti a peso proprio/traffico veicolare
- ⊗ **Risposta all'azione di interferenze** (terremoti, frane, subsidenze, eventi meteorologici intensi)



ALLE AZIONI ESTERNE POSSONO SOMMARSI:



- ⊗ Fenomeni di **Aging**
- ⊗ **Carenze nella progettazione**





IL CONTROLLO DELLE INFRASTRUTTURE - **ESIGENZE**

IL CONTROLLO DI UNA INFRASTRUTTURA PRESUPPONE

1.

**Il monitoraggio
dell'infrastruttura medesima**

2.

**Il monitoraggio dell'area su cui
l'infrastruttura insiste, se soggetta a criticità
(frane, subsidenza, dissesti in generale)**





IL CONTROLLO DELLE INFRASTRUTTURE

MONITORAGGIO GEOMATICO



INDIVIDUARE E QUANTIFICARE VARIAZIONI SIGNIFICATIVE DI POSIZIONE DI PUNTI APPARTENENTI ALL'INFRASTRUTTURA E/O ALL'AREA CIRCOSTANTE IN ASSEGNATI SISTEMI DI RIFERIMENTO DEFINITI IN OPPORTUNI AMBITI DIMENSIONALI (UNA O PIU' DIMENSIONI)

GNSS+Stazione Totale – Monitoraggio Metro C

Due fondamentali requisiti:

- **L'affidabilità o ridondanza**
le variazioni di posizione devono essere determinate tramite osservazioni e/o metodologie geomatiche indipendenti che si controllino reciprocamente
- **L'accuratezza**, definita in funzione delle minime variazioni di coordinate che si devono individuare a un prefissato livello di probabilità;
l'accuratezza ha significato solo se associata e garantita dall'affidabilità





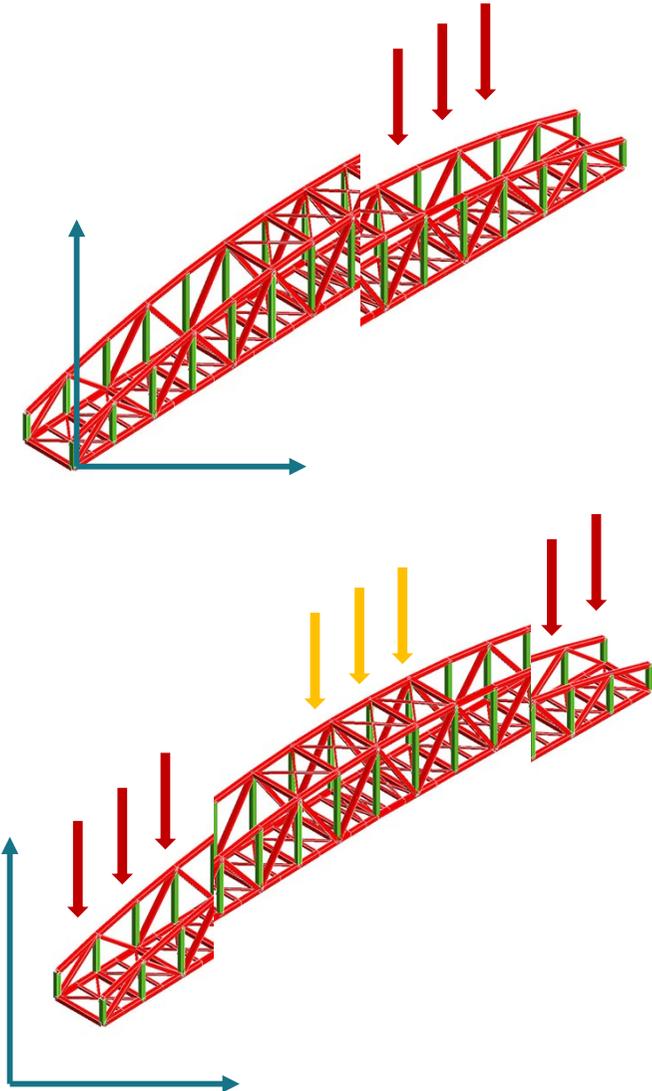
MONITORAGGIO GEOMATICO – SISTEMI DI RIFERIMENTO



DEVONO ESSERE DEFINITI I SISTEMI DI RIFERIMENTO RISPETTO AI QUALI FORNIRE I RISULTATI

Si possono individuare due esigenze di monitoraggio diverse, ma frequentemente concorrenti:

- **Il monitoraggio relativo (differenziale o interno)**
per evidenziare differenze di variazioni di posizione tra punti diversi appartenenti allo stesso oggetto (uno o più sistemi di riferimento interni all'oggetto)
- **Il monitoraggio assoluto (esterno)**
un unico riferimento esterno all'oggetto di monitoraggio





MONITORAGGIO GEOMATICO – **SENSORI | METODOLOGIE**

IN BASE ALL'UBICAZIONE DEL SENSORE

LE **METODOLOGIE DI MONITORAGGIO** SI POSSONO SUDDIVIDERE IN:

⊕ Metodologie **AERIAL/SATELLITE BASED (OUTDOOR)**

- GNSS
- SAR (Synthetic Aperture Radar)
- Laser Scanner
- Fotogrammetria



⊕ Metodologie **GROUND BASED (INDOOR E OUTDOOR)**

- Stazione Totale
- Livellazione geometrica
- Laser Scanner
- SAR terrestre
- Fotogrammetria|DIC
- Sensori speciali



LA SCELTA DEI SENSORI E DELLE METODOLOGIE DI MONITORAGGIO DIPENDE:

⊕ Dalle **finalità** del monitoraggio

- entità del fenomeno
- dimensione dell'oggetto/area da monitorare
- frequenza di monitoraggio necessaria

⊕ Dalla **necessità** di o meno di operare **indoor e/o outdoor**

⊕ Dalla **necessità** o meno di acquisire in **modalità automatica** le osservazioni



METODOLOGIE GROUND BASED

GNSS – GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM

- Utilizza ricevitori GNSS posizionati sui punti della struttura/infrastruttura che si vogliono monitorare
- Sfrutta le informazioni provenienti dalle costellazioni satellitari per la navigazione
GALILEO|GPS|GLONASS| BEIDOU
- Il ricevitore acquisisce segnali e informazioni dai satelliti visibili per stimare la propria posizione
- Le elaborazioni possono avvenire in tempo reale, con alta frequenza di aggiornamento (da 1 a 10 Hz)
- **Permette di spostamenti 3D di punti outdoor in un sistema di riferimento assoluto**

- **Accuratezza sulla posizione: 1-2 mm**
- **Accuratezza sulla velocità: 1 mm/anno**





METODOLOGIE AERIAL/SATELLITE BASED SAR (SYNTETHIC APERTURE RADAR)

- Sfrutta la differenza di fase (interferogramma) tra due immagini SAR

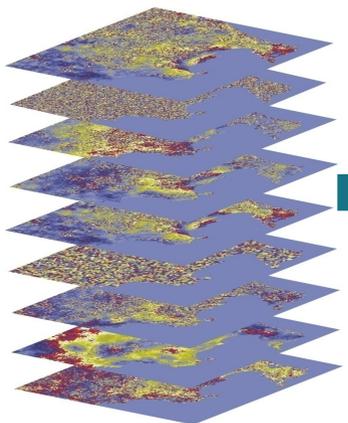
Permette di stimare :

- **Morfologia del terreno e deformazioni della superficie**
- **Posizione/velocità di punti (naturali/appositamente monumentati) in linea di vista detti**

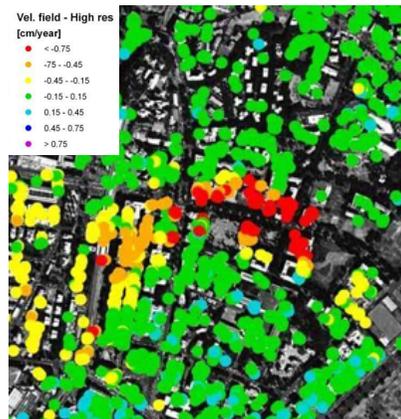
Persistent Scatterer

- **Accuratezza sulla velocità: qualche mm/anno**
- **Accuratezza sulla posizione: dipende dalla risoluzione delle immagini**

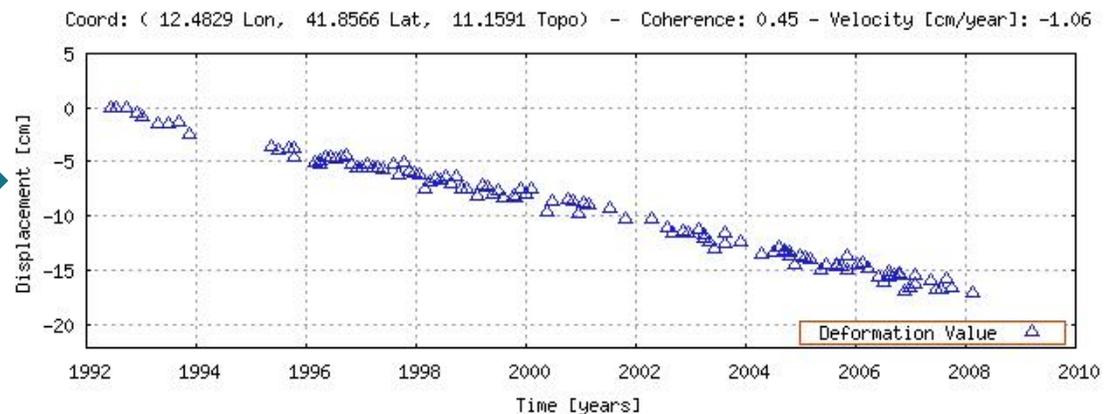
Stack di immagini



Persistent Scatterer



Serie storica di spostamento relativa ad un Persistent Scatterer



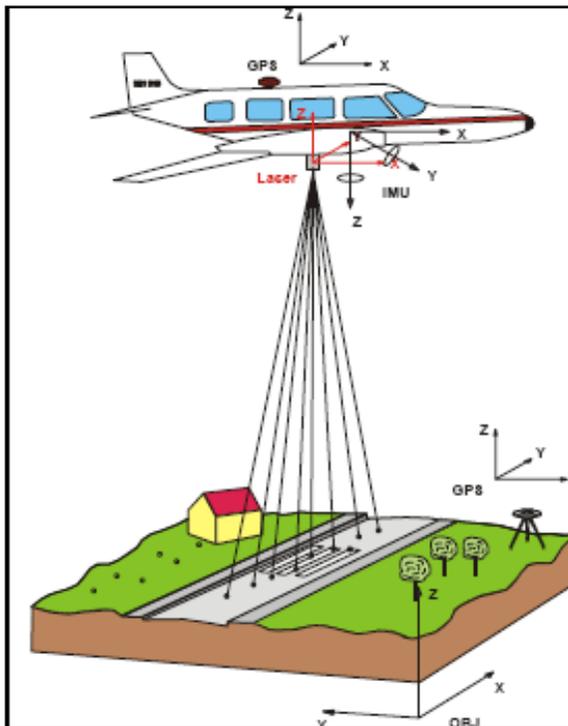


METODOLOGIE AERIAL/SATELLITE BASED LASER SCANNER

- Utilizza un laser montato su aeromobile
- Sfrutta il segnale riflesso dalla superficie su cui incide (una o più riflessioni)
- Consente di ottenere una nuvola di punti 3D da cui viene generato un modello tridimensionale

Permette di stimare **morfologia e deformazioni della superficie**

- **Accuratezza sulla posizione: alcuni cm**



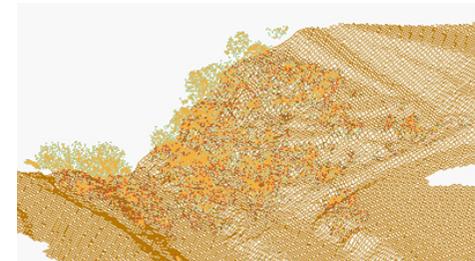
Nuvola di punti



Nuvola di punti classificata
(terreno e vegetazione)



Modello Digitale del
Terreno

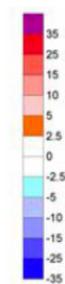
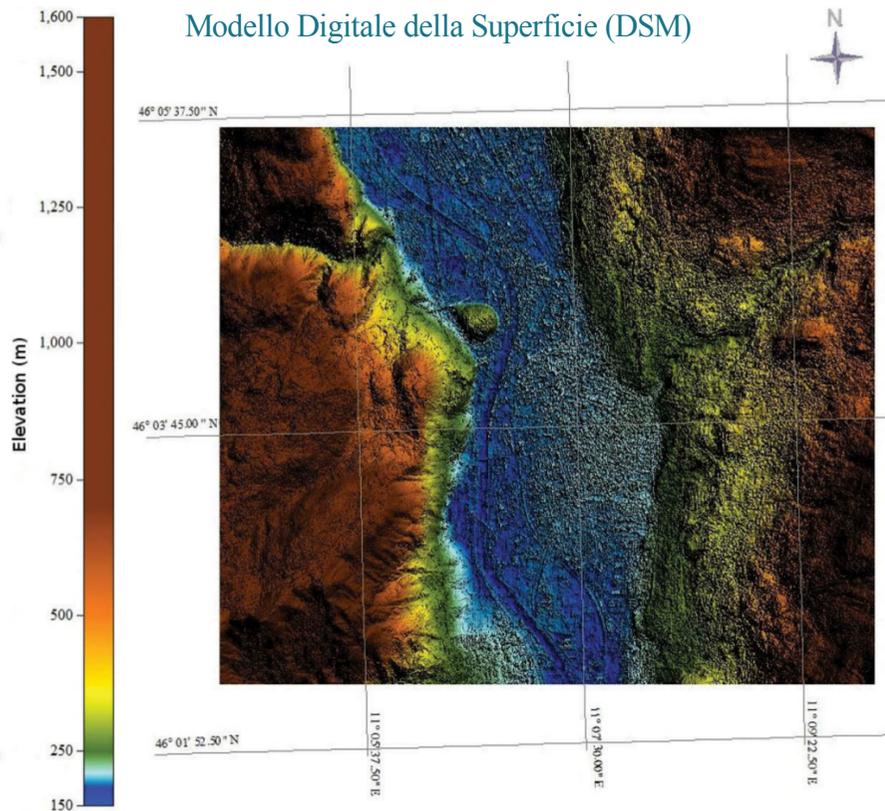




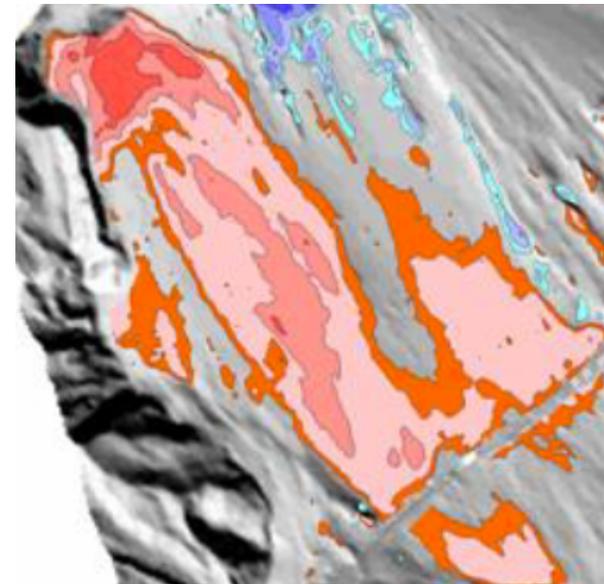
METODOLOGIE AERIAL/SATELLITE BASED FOTOGRAMMETRIA

- Utilizza sensori ottici su satellite/aeromobile
- Sfrutta una coppia di immagini con particolari caratteristiche per generare modelli digitali del terreno e di strutture tridimensionali.
- **Permette di stimare morfologia del terreno e deformazioni della superficie**

- **Accuratezza sulla posizione: alcuni cm**



Valutazione di volumi di frana attraverso
comparazione di DSM





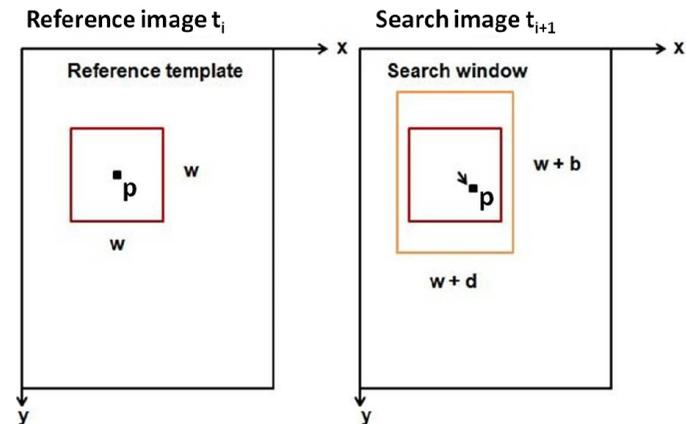
METODOLOGIE GROUND BASED

DIC - DIGITAL IMAGE CORRELATION

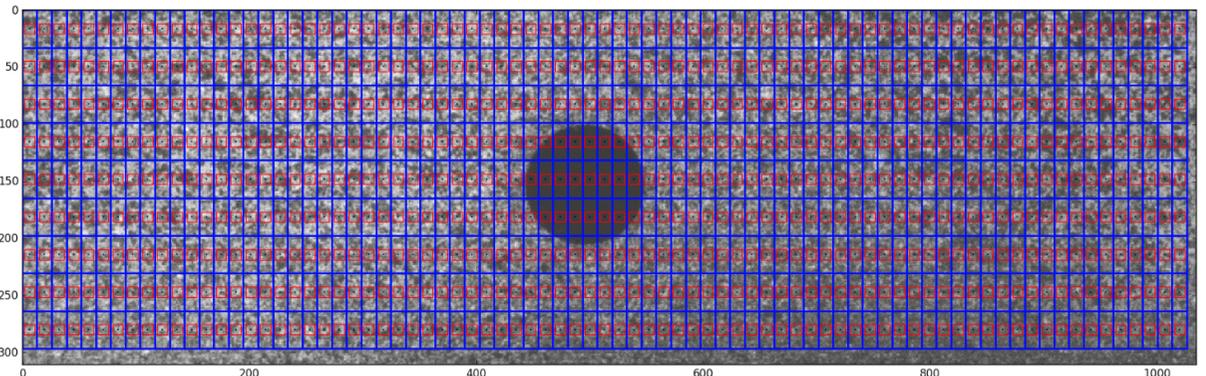
- Tecnica fotogrammetrica
- Vengono acquisite immagini in diversi istanti, corrispondenti a differenti stati di deformazione
- Spostamenti e deformazioni sono stimati tracciando lo stesso punto (pixel) nelle diverse immagini tramite algoritmo del template matching

Permette di stimare:

- **Spostamenti e campi di deformazione**



- Determinazione degli spostamenti con un livello di accuratezza del decimo di pixel (centesimo di mm)
- Il campo di deformazione è stimato sull'intero provino, a differenza delle misure puntuali fornite dagli estensimetri





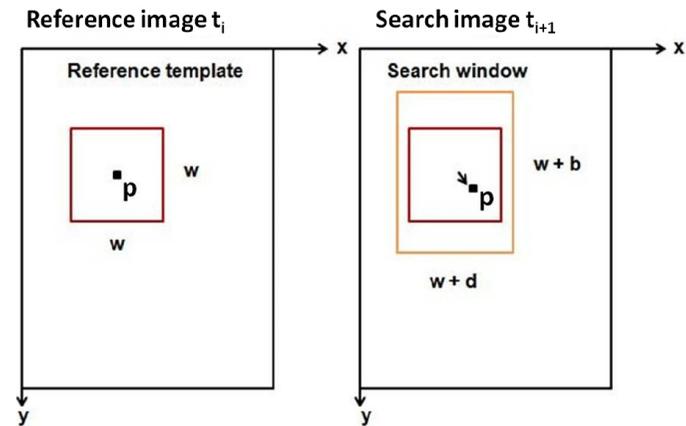
METODOLOGIE GROUND BASED

DIC - DIGITAL IMAGE CORRELATION

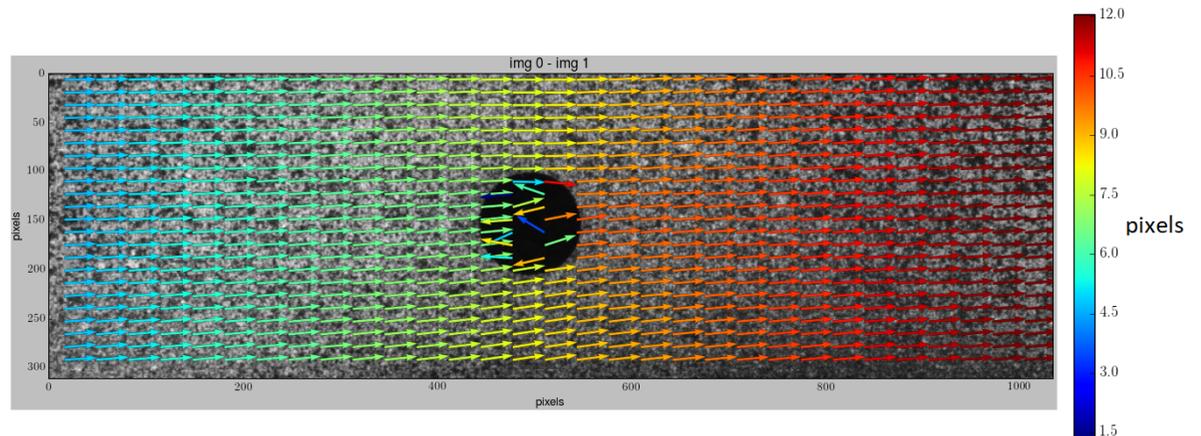
- Tecnica fotogrammetrica
- Vengono acquisite immagini in diversi istanti, corrispondenti a differenti stati di deformazione
- Spostamenti e deformazioni sono stimati tracciando lo stesso punto (pixel) nelle diverse immagini tramite algoritmo del template matching

Permette di stimare:

- **Spostamenti e campi di deformazione**



- Determinazione degli spostamenti con un livello di accuratezza del decimo di pixel (centesimo di mm)
- Il campo di deformazione è stimato sull'intero provino, a differenza delle misure puntuali fornite dagli estensimetri





METODOLOGIE GROUND BASED

STAZIONE TOTALE MOTORIZZATA

- Utilizza un laser che viene riflesso da prismi retroriflettenti monumentati sulla struttura
- Sfrutta il segnale di ritorno registrato da un sistema di ricezione integrato nello strumento
- Monitoraggio effettuato da operatori specializzati a cadenza variabile o in automatico
- **Permette di stimare spostamenti 3D dei punti monitorati nel tempo**

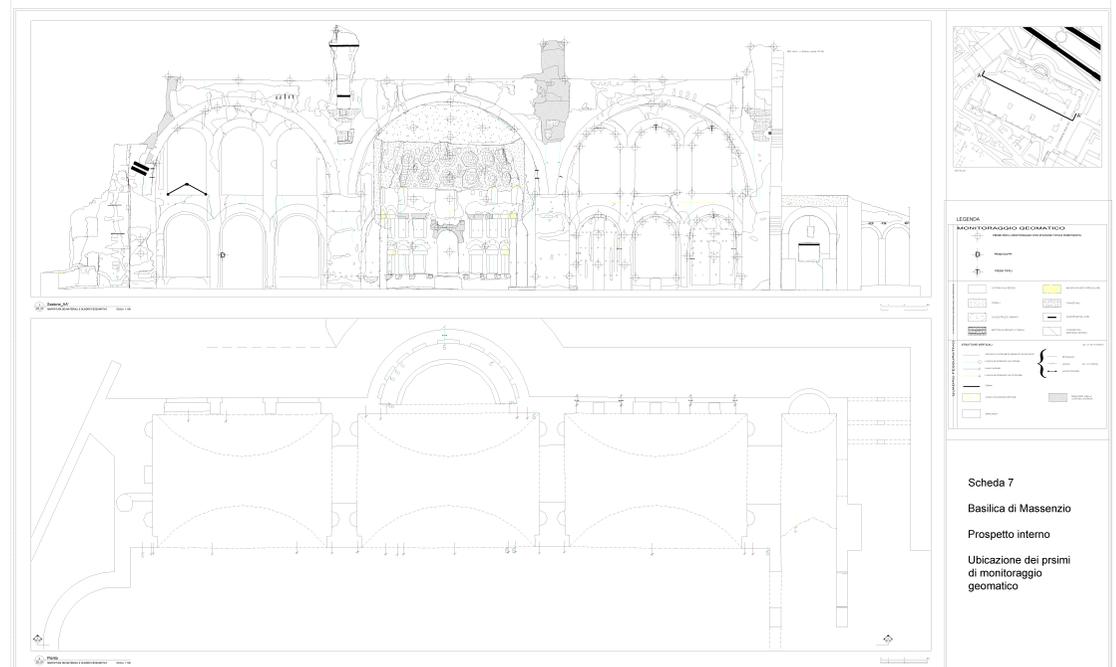
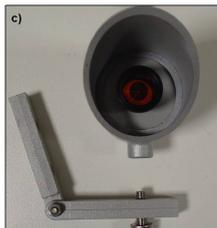
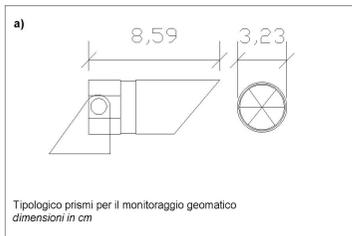
Accuratezza sulla posizione con centramento forzato e prismi: 1 mm



Microprismi posizionati sulla Basilica di Massenzio – Monitoraggio Metro C

Microprismi utilizzati per il monitoraggio geometrico degli edifici mediante Stazione Totale Robotizzata

- a) Dimensioni caratteristiche
- b) Microprisma con protezione metallica
- c) Microprisma con snodo





METODOLOGIE GROUND BASED

LIVELLAZIONE GEOMETRICA DI ALTISSIMA PRECISIONE

- Utilizza un **livello** che legge apposite **stadie** graduate posizionate sui punti da monitorare
- Monitoraggio effettuato da operatori specializzati a cadenza variabile, o in automatico
- **Permette di spostamenti altimetrici di punti monitorati nel tempo**

Accuratezza sulla determinazione della variazione di quota: 1/10 di mm

Monitoraggio ponte ferroviario Portella – per gentile concessione Geodesis





IL PROGETTO SELF CONTROL

Sistema di monitoraggio gEomatico Lowcost Finalizzato al CONTROLlo delle infrastrutture

Sviluppato da KUATERNION – StartUp dell’Area di Geodesia e Geomatica
Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale
Sapienza Università di Roma

Sistema low-cost per il controllo a bassa frequenza (ore/giorno) e ad alta frequenza ($\geq 1\text{Hz}$) degli spostamenti planoaltimetrici delle infrastrutture basato su sensori GNSS a basso costo e informazioni provenienti da costellazioni satellitari

SELF CONTROL

- ⊕ Integra sensori **GNSS** e **Big Data da Earth Observation**
- ⊕ **Aumenta la capacità di controllo di una infrastruttura**
- ⊕ Fornisce dati utili a prevenire e controllare **problemi strutturali** e di **stabilità**



SELF CONTROL

Sistema di monitoraggio geomattico Lowcost Finalizzato al CONTROLlo delle infrastrutture



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



Kuaternion

**Installazioni pilota in partnership con ETS ingegneria
su due ponti della linea ROMA – FORMIA - NAPOLI**

Ponte ad arco in muratura km 36



Ponte metallico località Monte San Biagio



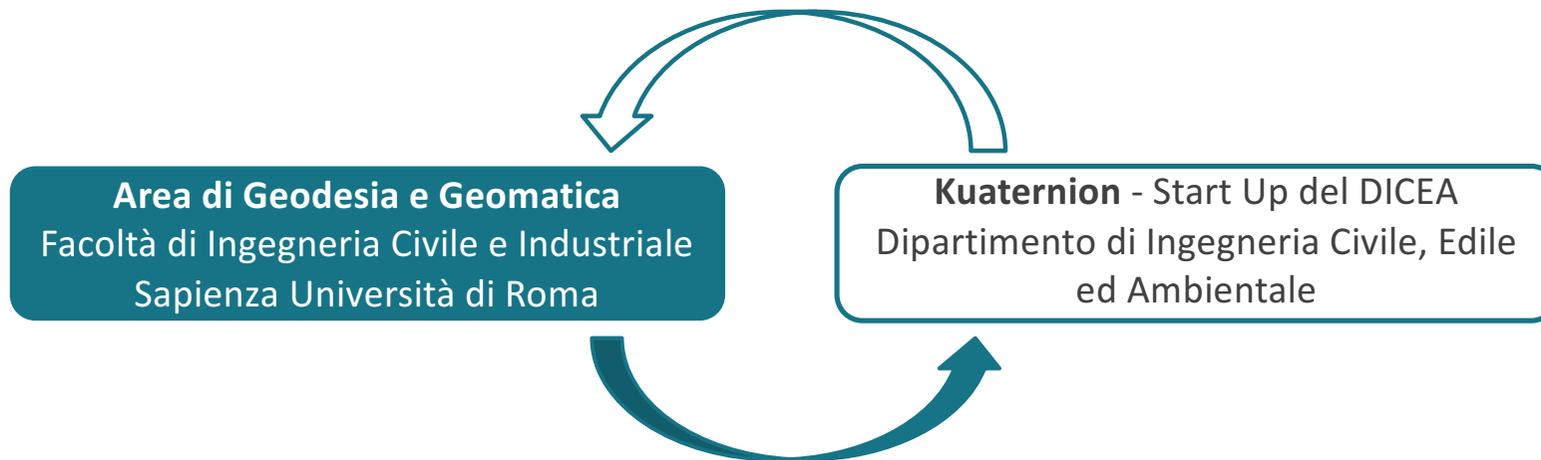


SC IMPLEMENTA I NOSTRI BREVETTI



VADASE® (Variometric Approach for Displacements Analysis StandAlone Engine)

Approccio innovativo per il trattamento dei dati GNSS, che consente la stima accurata in tempo reale degli spostamenti cosismici e delle forme d'onda di un terremoto, e in generale di **movimenti ad alta frequenza**, utilizzando le osservazioni di fase collezionate da un unico ricevitore **GNSS a basso costo** e le efemeridi broadcast



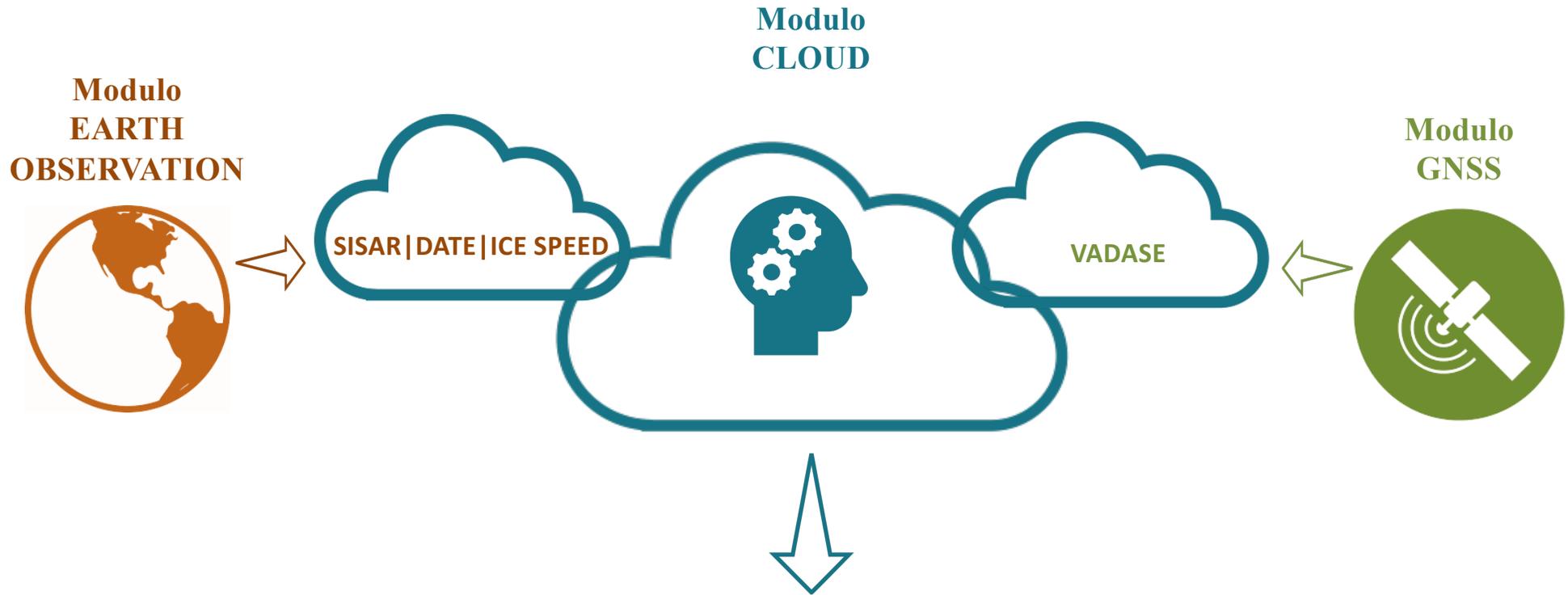
SISAR® (Software Immagini Satellitari ad Alta Risoluzione)

Software per la **modellizzazione digitale del terreno** mediante immagini stereoscopiche, con un approccio di matching originale che trova applicazione nell'ambito della **fotogrammetria** e della **radargrammetria**





IL PROGETTO SELF CONTROL



Monitoraggio **INTERFERENZE** e **INFRASTRUTTURE**





Modulo EARTH OBSERVATION

UTILIZZA
Dati OTTICI e/o SAR

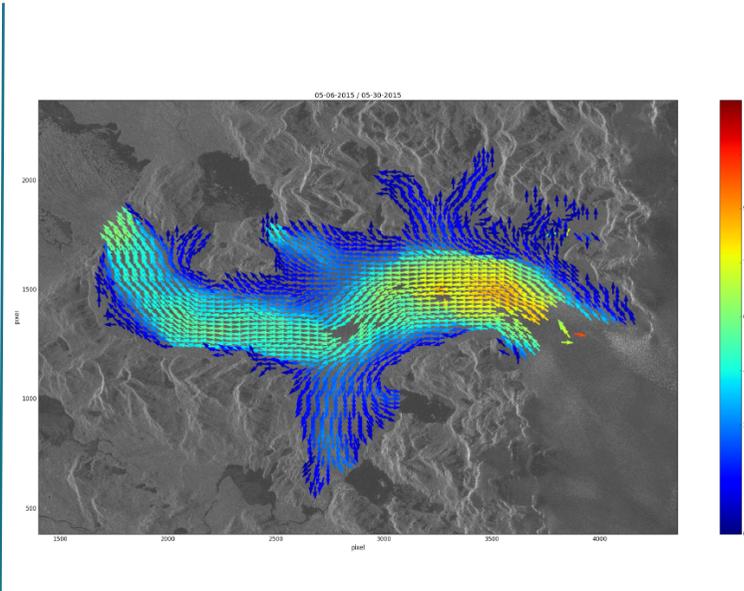
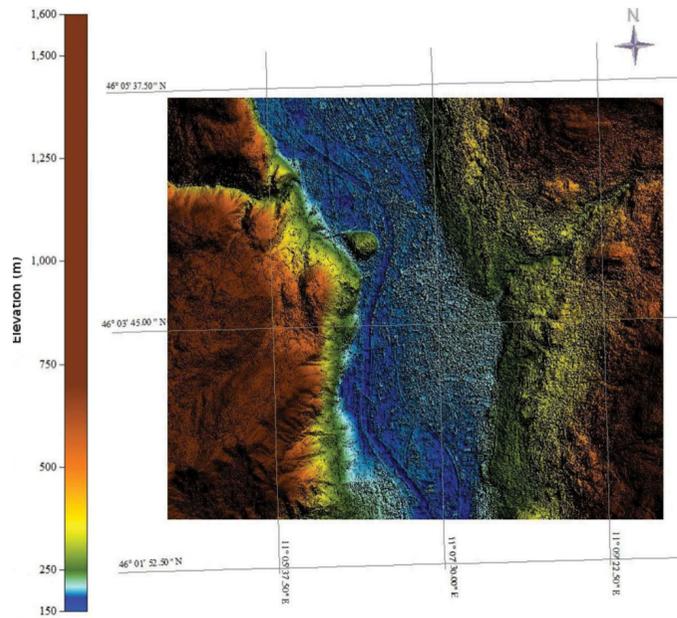
SI BASA SU
SISAR | DATE | ICE
SPEED

CONSENTE DI GENERARE

**Modelli Digitali
della Superficie**

**Serie temporali di spostamenti/velocità
del terreno**

**Serie temporali di
spostamenti/velocità di strutture**





Modulo EARTH OBSERVATION

UTILIZZA
Dati OTTICI e/o SAR

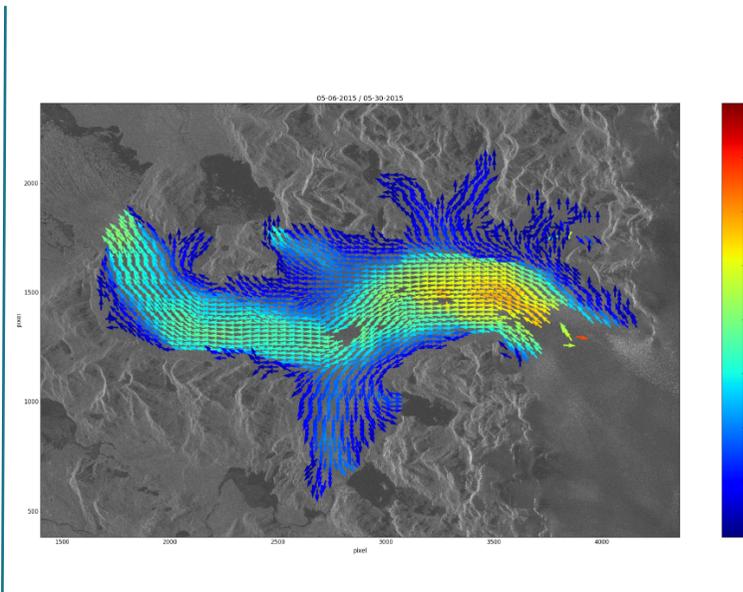
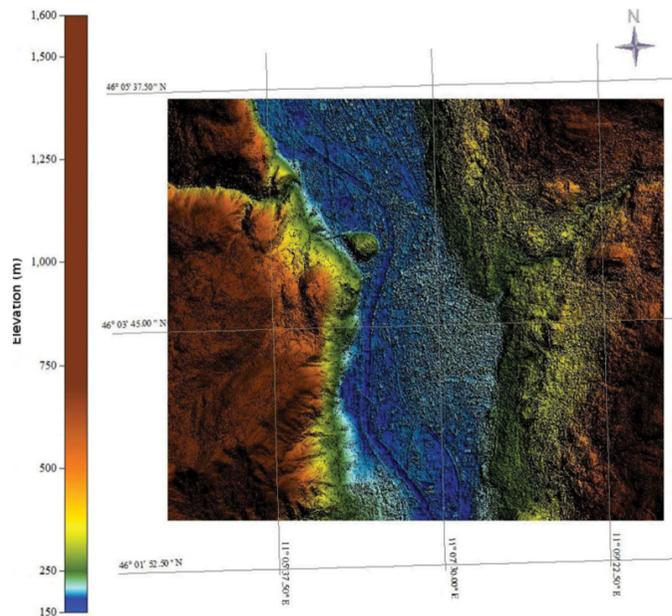
SI BASA SU
SISAR | DATE | ICE
SPEED

CONSENTE DI GENERARE

**Modelli Digitali
della Superficie**

**Serie temporali di spostamenti/velocità
del terreno**

**Serie temporali di
spostamenti/velocità di strutture**



**CONSENTE DI FOCALIZZARE L'ATTENZIONE SU UNA
PORZIONE DELL'INFRASTRUTTURA**

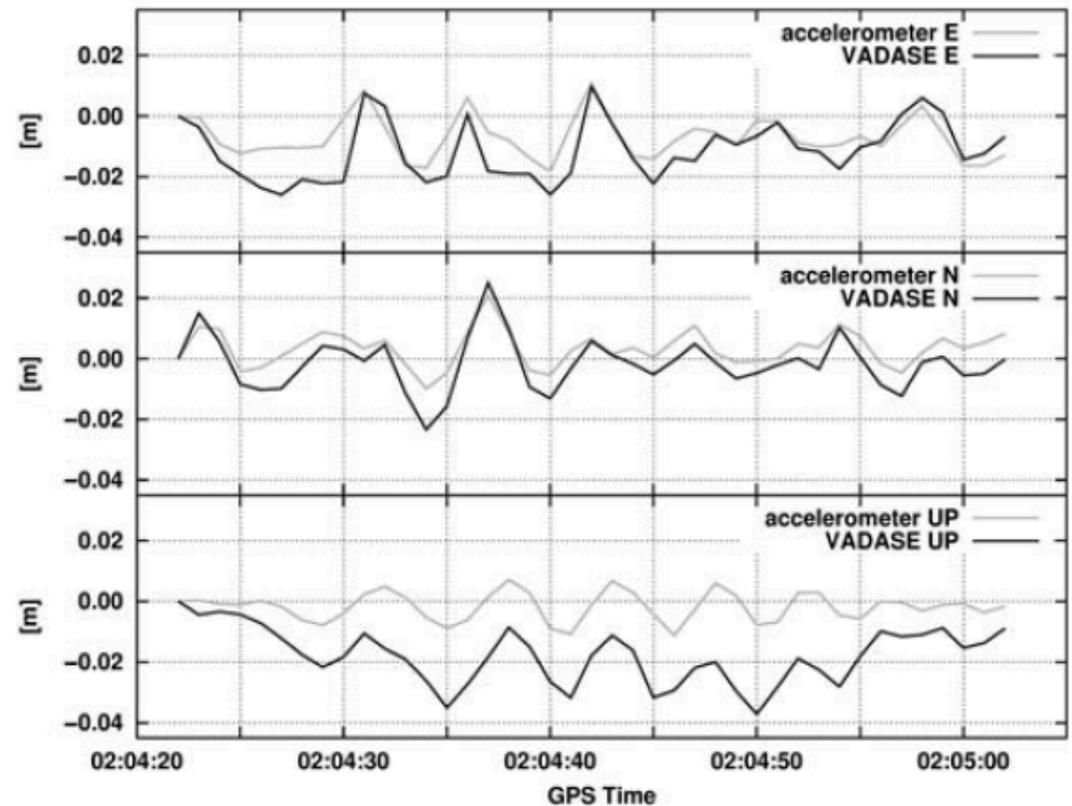


Modulo GNSS

IL MOTORE SOFTWARE - L'APPROCCIO VADASE

L'efficacia del metodo è stata validata sull'evento sismico che ha interessato il Giappone nel 2011
<http://supersites.earthobservations.org/sendai.php>

L'approccio VADASE è stato utilizzato con successo per la caratterizzazione degli eventi a media magnitudo che hanno interessato il territorio italiano nel corso del 2012 in Emilia, e la sequenza sismica del centro Italia nel 2016-2017





Modulo GNSS

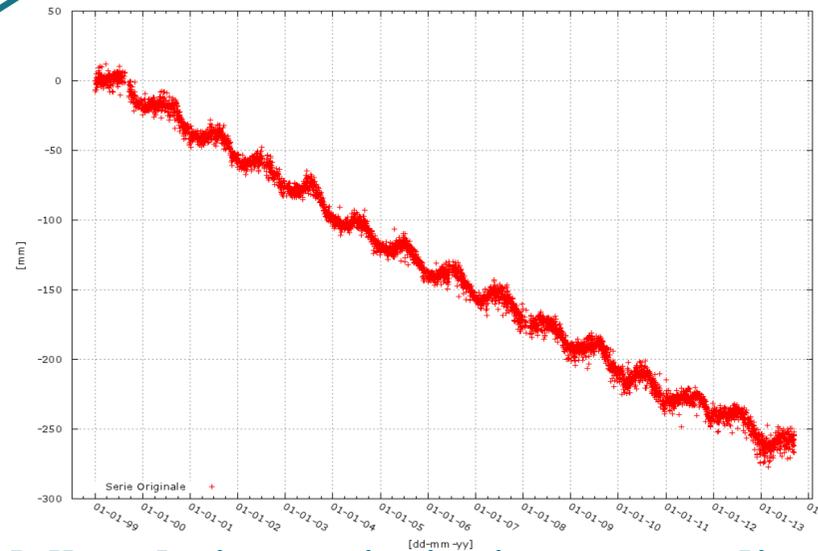
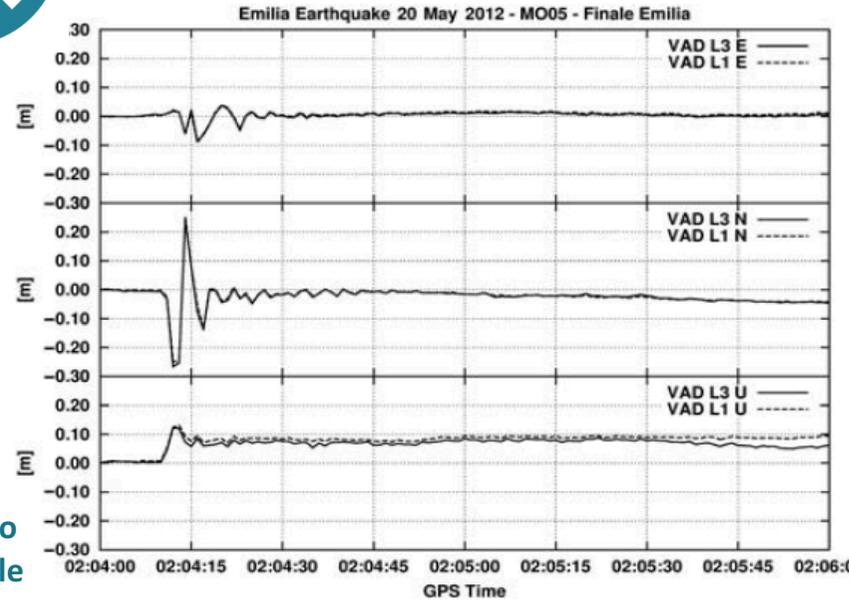
Si basa principalmente su sensori **GNSS low-cost** che forniscono le osservazioni di codice e fase su più frequenze provenienti da più costellazioni satellitari



Servizi in tempo reale/quasi reale



Serie storiche



Le metodologie di elaborazione sviluppate consentono di raggiungere accuratèzze nell'ordine del **millimetro nella stima delle coordinate** e misurare **velocità** in tempo reale a partire dal **alcuni millimetri/secondo**

L'analisi di questi parametri e delle relative variazioni permette di evidenziare movimenti delle strutture causati da eventi di dissesto di tipo naturale o dall'attività antropica



PRINCIPALI INNOVAZIONI

- ⊕ La stima delle posizioni del ricevitore **GNSS** basato sull'algoritmo **VADASE**[®] coperto da brevetto nazionale/internazionale
- ⊕ Trattamento dei **dati satellitari** implementato nei software/algoritmi proprietari **SISAR**[®] | **DATE**[®] | **ICE SPEED**[®], che permettono l'estrazione di modelli digitali del terreno e serie storiche di spostamento/velocità di punti
- ⊕ Consente **l'individuazione dei pattern di rischio**

Il sistema permette di ridurre il costo per l'utente di un ordine di grandezza (da una decina di migliaia di euro ad alcune centinaia per sensore utilizzato)

GRAZIE PER L'ATTENZIONE