



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

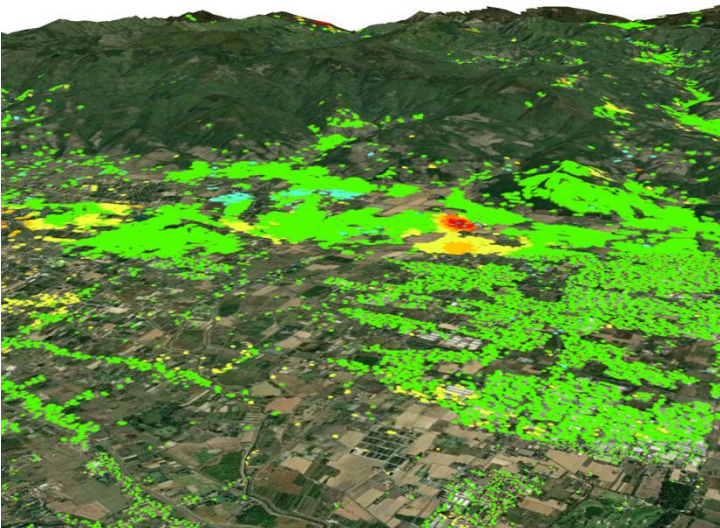
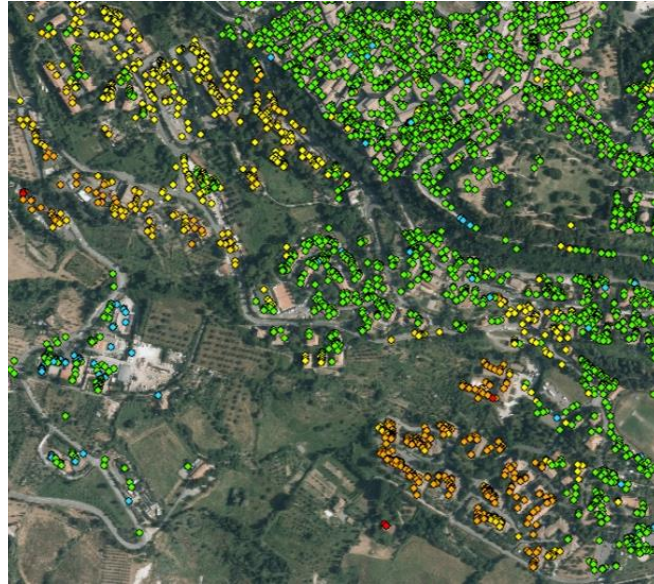
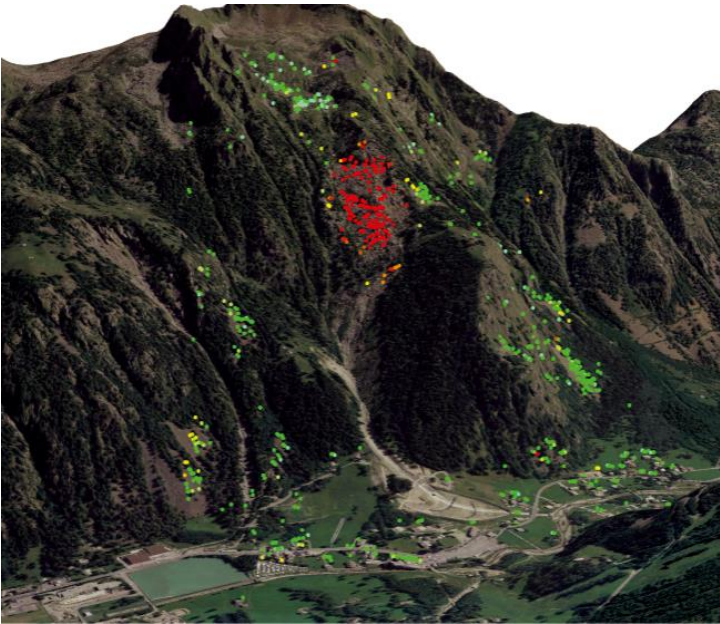
Dipartimento di
Scienze della Terra



Il ruolo chiave dei dati InSAR per l'identificazione e il monitoraggio della subsidenza: il caso studio dell'area di Montemurlo (Prato)

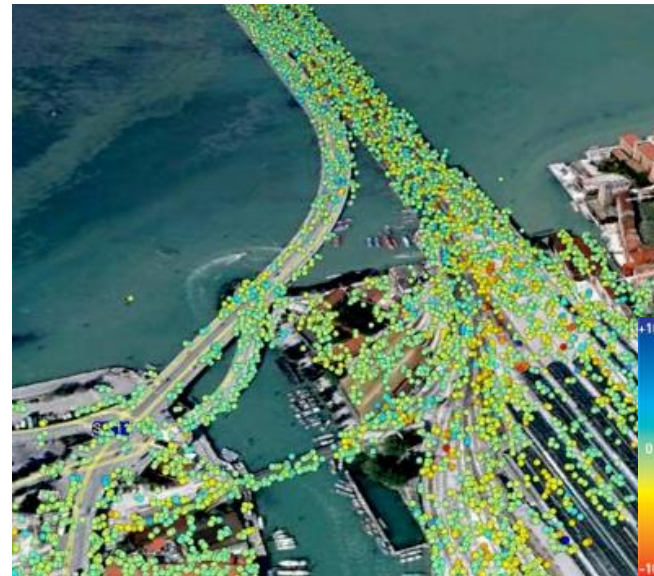
Camilla Medici, Matteo Del Soldato, Gabriele Fibbi, Lorenzo Bini, Pierluigi Confuorto, Gaddo Mannori, Alessandra Mucci, Vania Pellegrineschi, Silvia Bianchini, Federico Raspini, Nicola Casagli

MTInSAR - Interferometria radar satellitare multi temporale



PS velocity (mm/yr)

< -20.0	-9.9 - -5.0	-1.9 - 2.0	5.1 - 10.0	> 20.1
-19.9 - -10.0	-4.9 - -2.0	2.1 - 5.0	10.1 - 20.0	



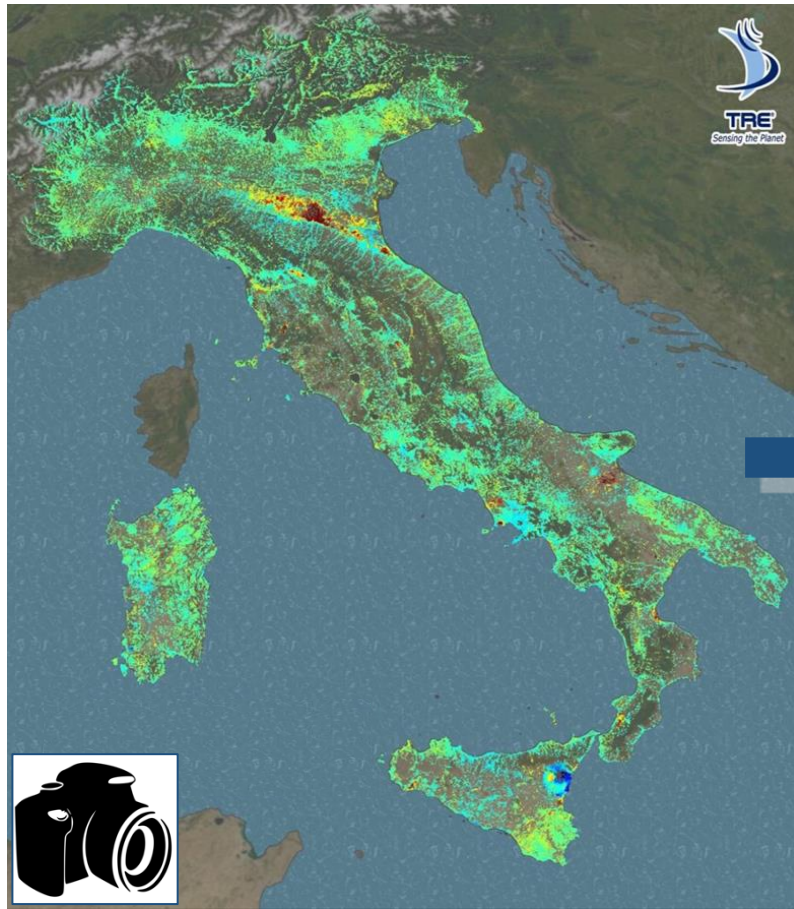
- Mappatura e monitoraggio delle deformazioni del terreno a movimento lento
- Scala millimetrica
- Strumento utile per la gestione del rischio



- Dati open access
- Copertura globale
- Revisiting time breve
- Capacità computazionali crescenti
- Tecniche avanzate di elaborazione

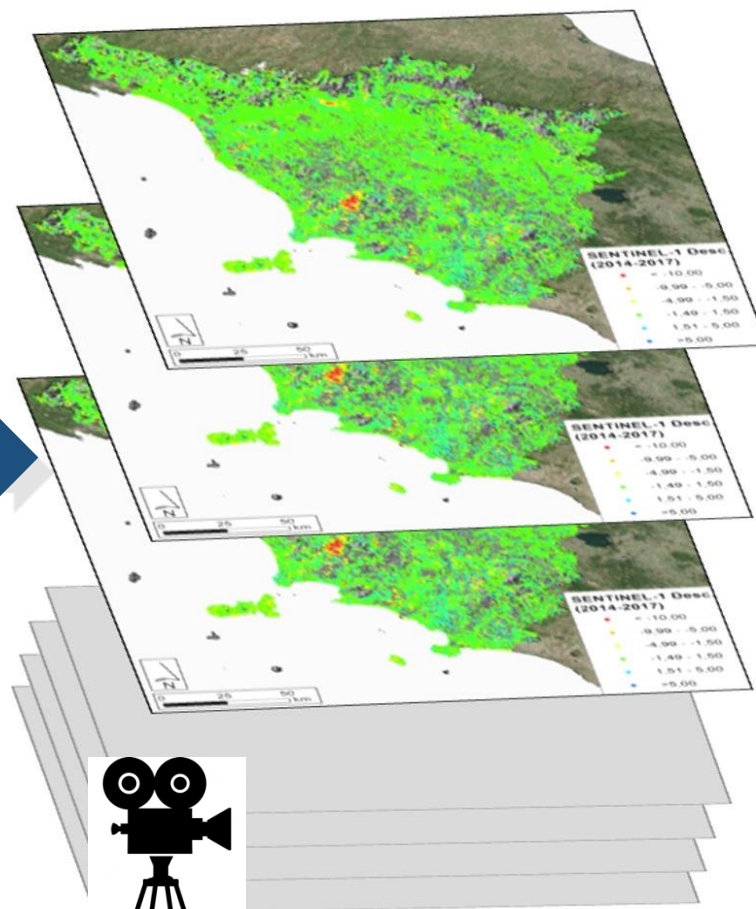
Monitoraggio radar satellitare continuo su scala regionale

ERS1/2 & ENVISAT



35 days revisiting time

Sentinel-1



6/12 days revisiting time

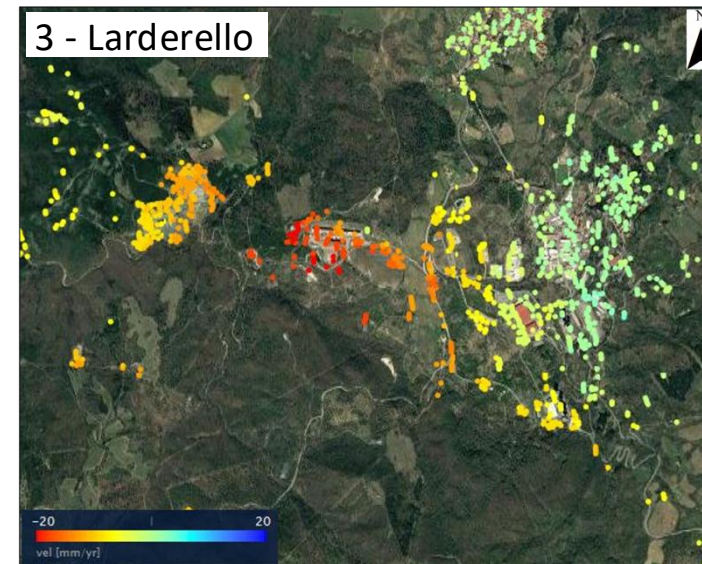
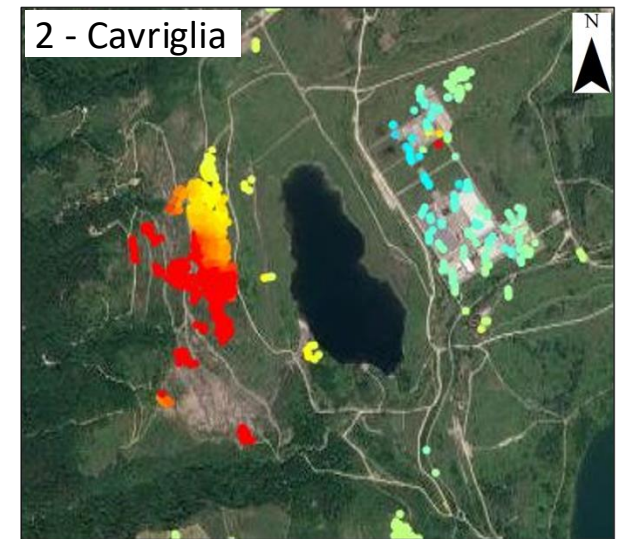
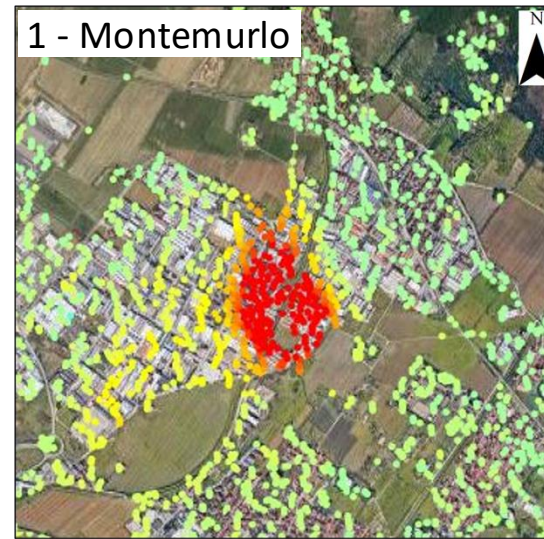
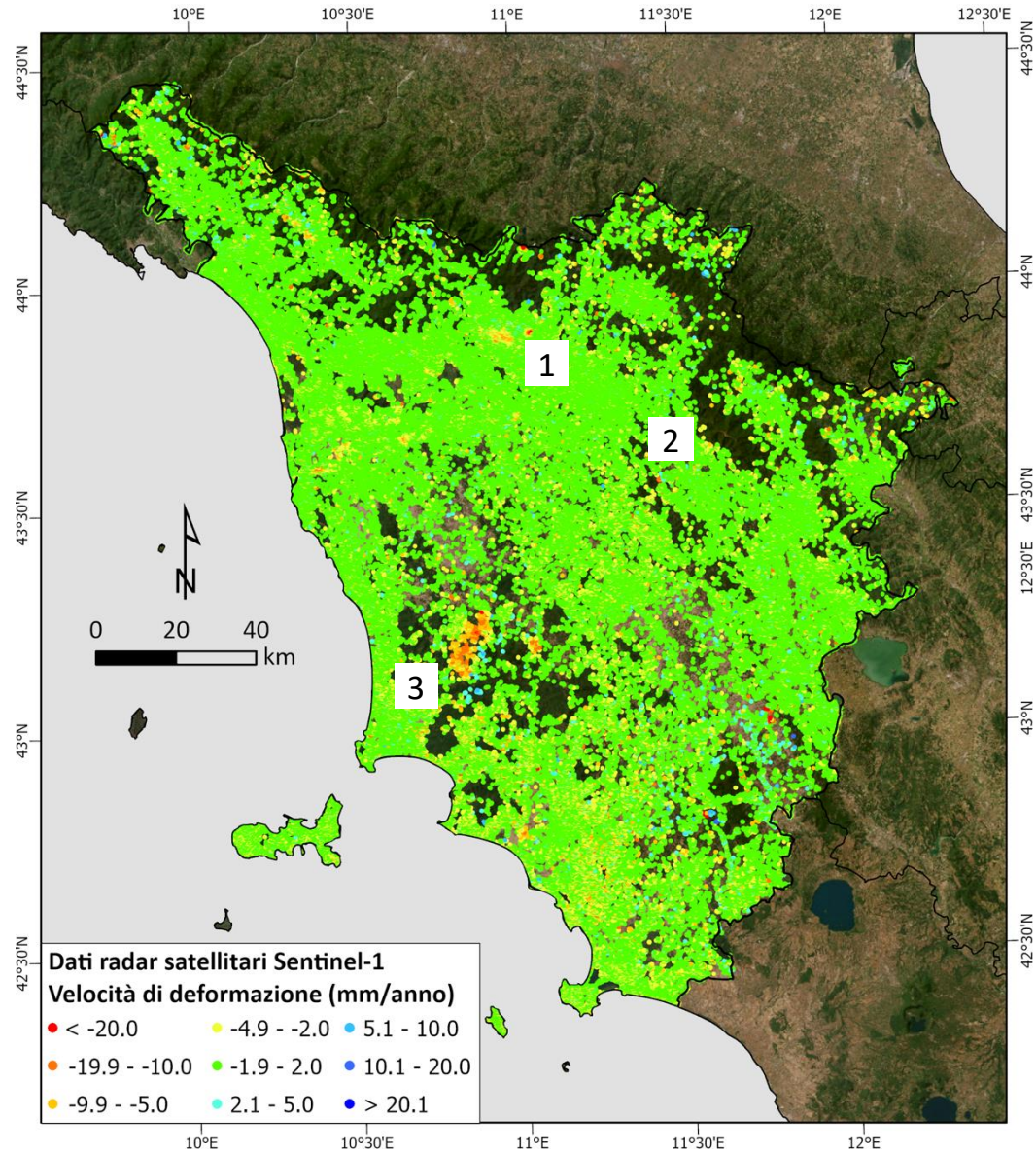
Dall'analisi satellitare statica, basata sull'analisi di immagini d'archivio, al monitoraggio dinamico degli spostamenti del terreno



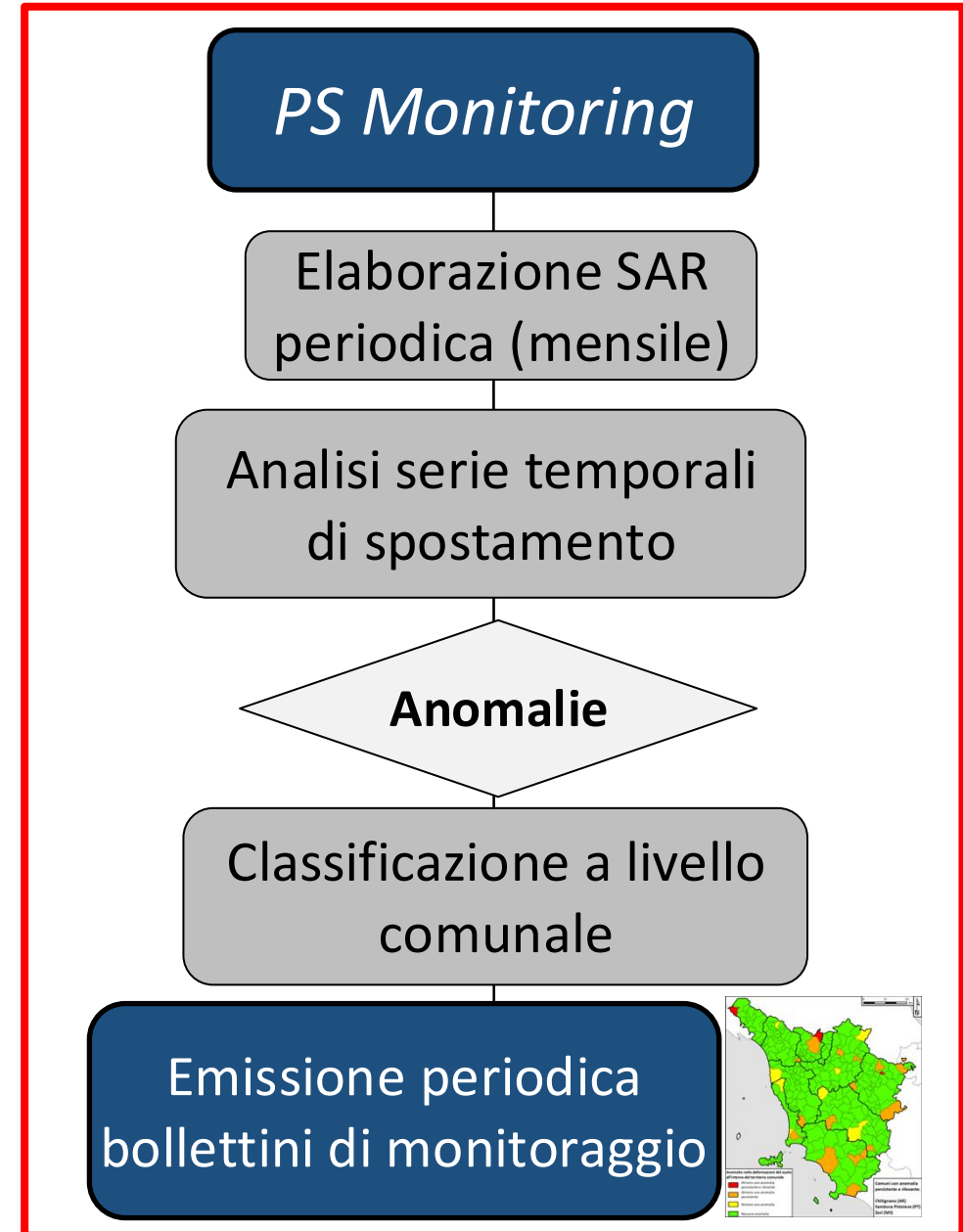
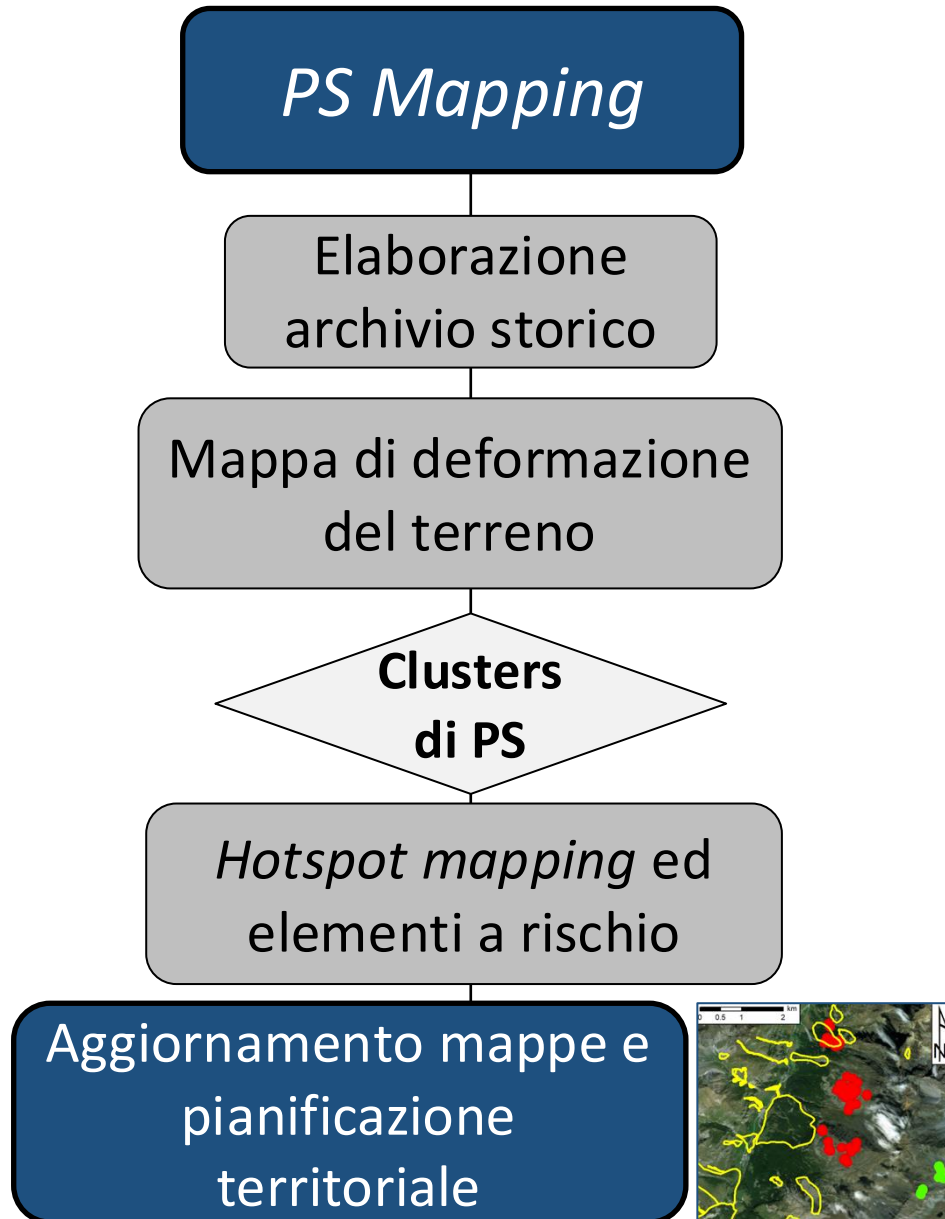
PS continuous streaming a scala regionale

- SqueeSAR
- Frequenza mensile

MTInSAR - Toscana

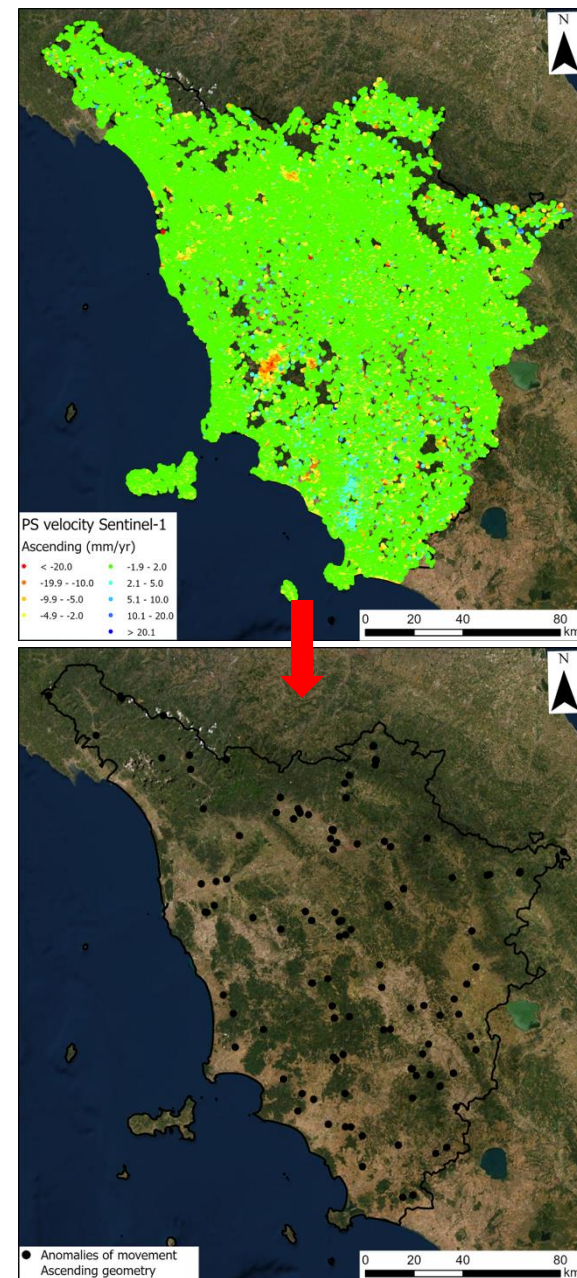
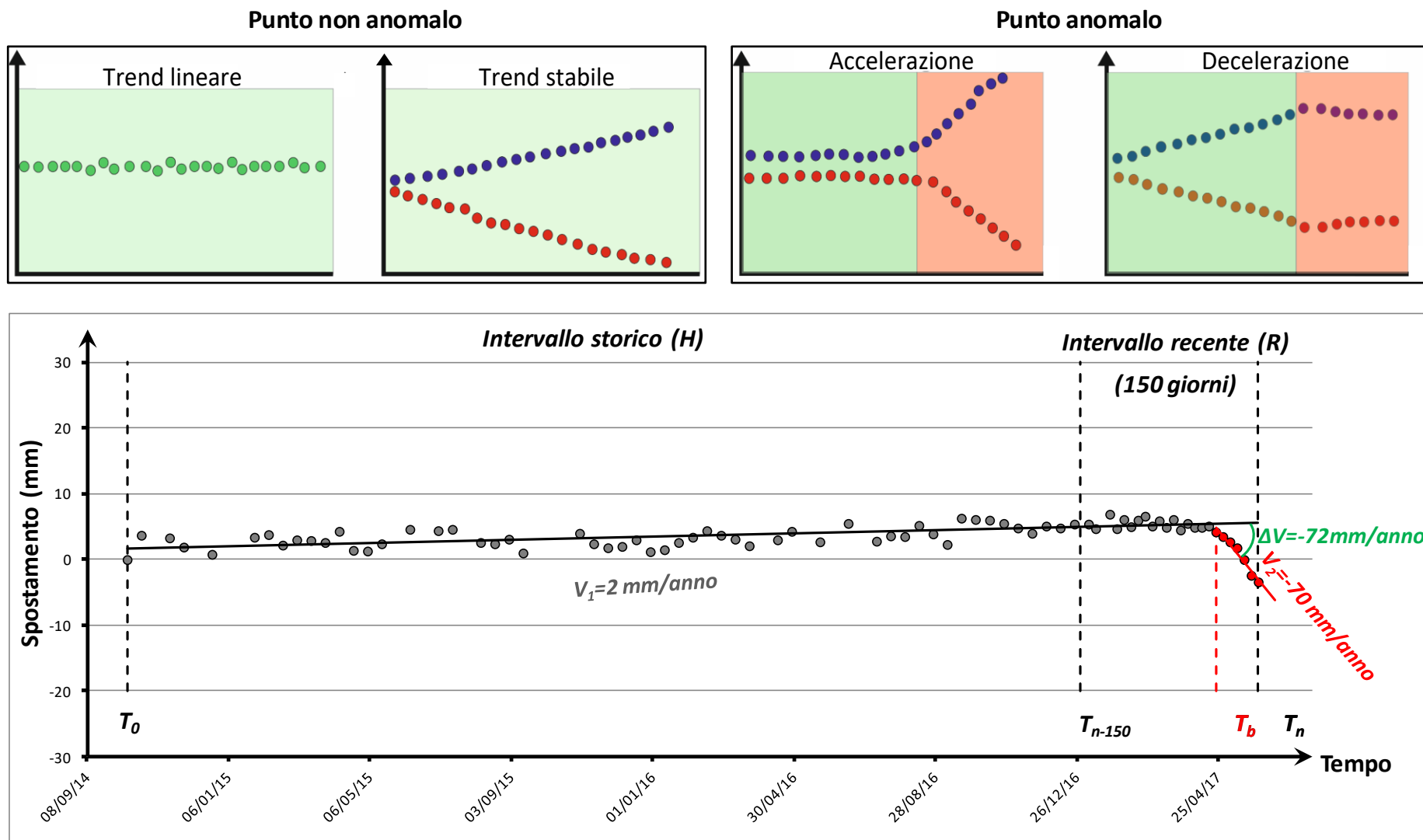


Usi operativi dei dati MTInSAR



Anomalie di movimento

Anomalia: variazioni di trend (accelerazione o decelerazione) nella serie temporale di spostamento dei bersagli radar. Variazione della velocità $\Delta V > 10$ mm/anno in un intervallo di tempo di 150 giorni.



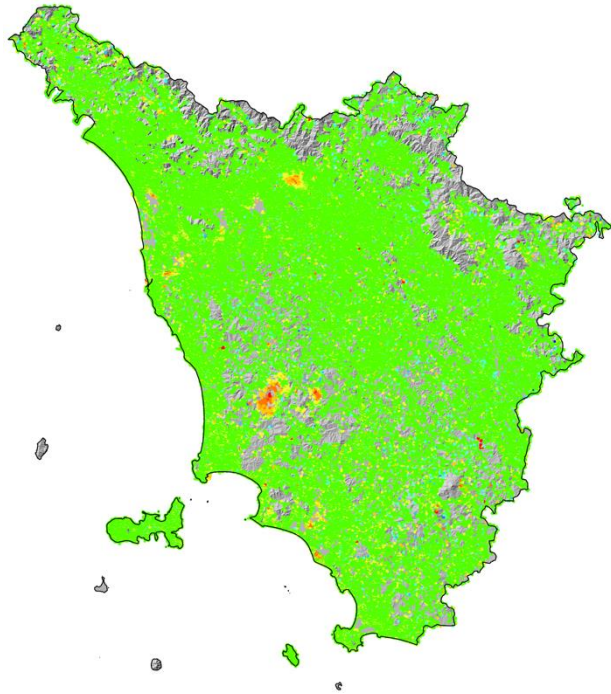
Monitoraggio radar satellitare

Dati InSAR
Sentinel-1

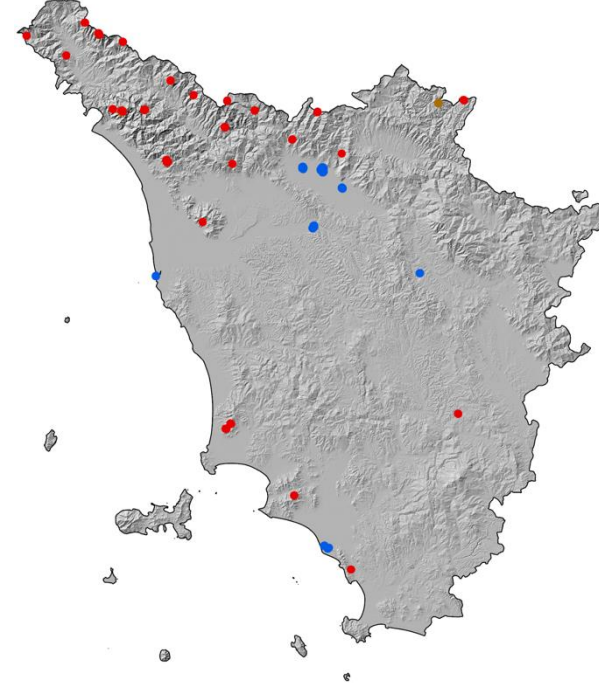
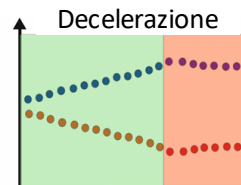
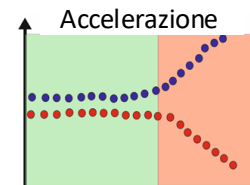
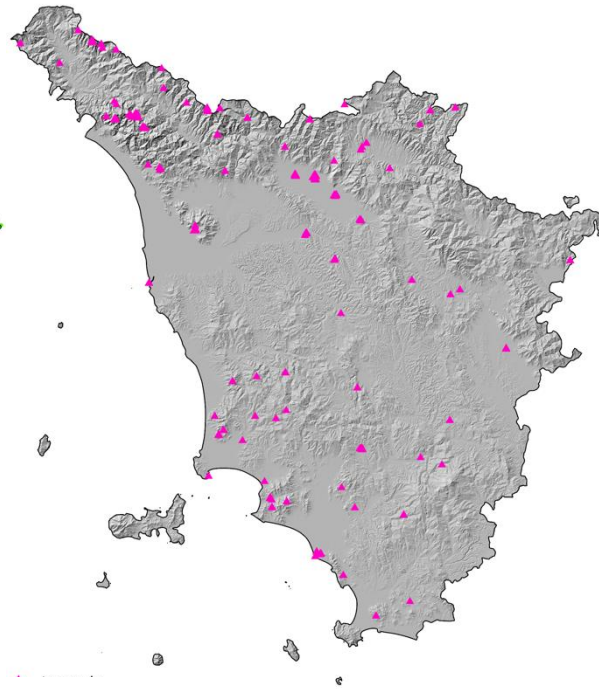
Anomalie di
movimento

Classificazione
delle anomalie

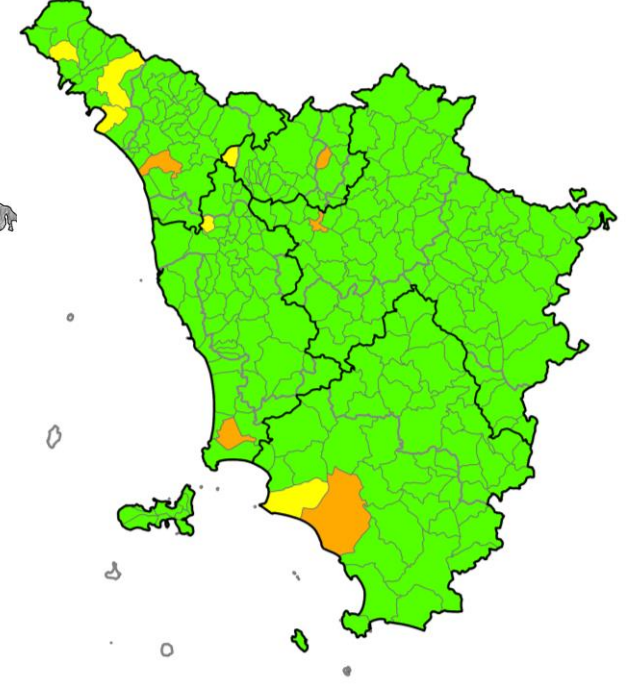
Bollettino
mensile



<-20 0 >20
Velocità (mm/anno)



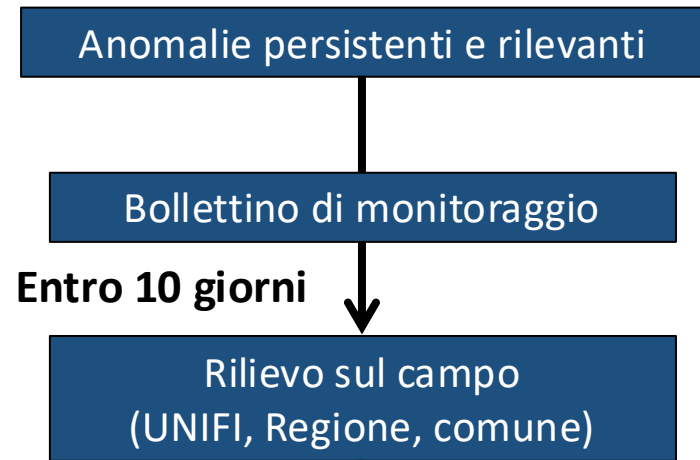
● Movimento di versante ● Attività geotermica
● Subsidenza ● Attività estrattiva



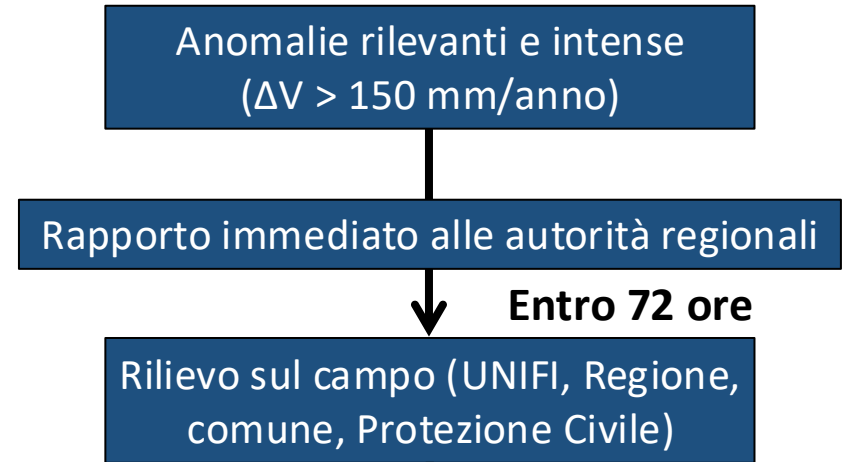
1	Nessuna anomalia
2	Almeno un'anomalia
3	Almeno un'anomalia persistente
4	Almeno un'anomalia persistente e rilevante

Procedure operative

PROCEDURA ORDINARIA



PROCEDURA URGENTE



Rapporto e programma di rilevamento sul campo:
Valutazione del rischio
Azioni suggerite

Il Comune si impegna ad agire e a seguire le proposte.
Azioni finanziate dalla Regione della Toscana (documento DODS)

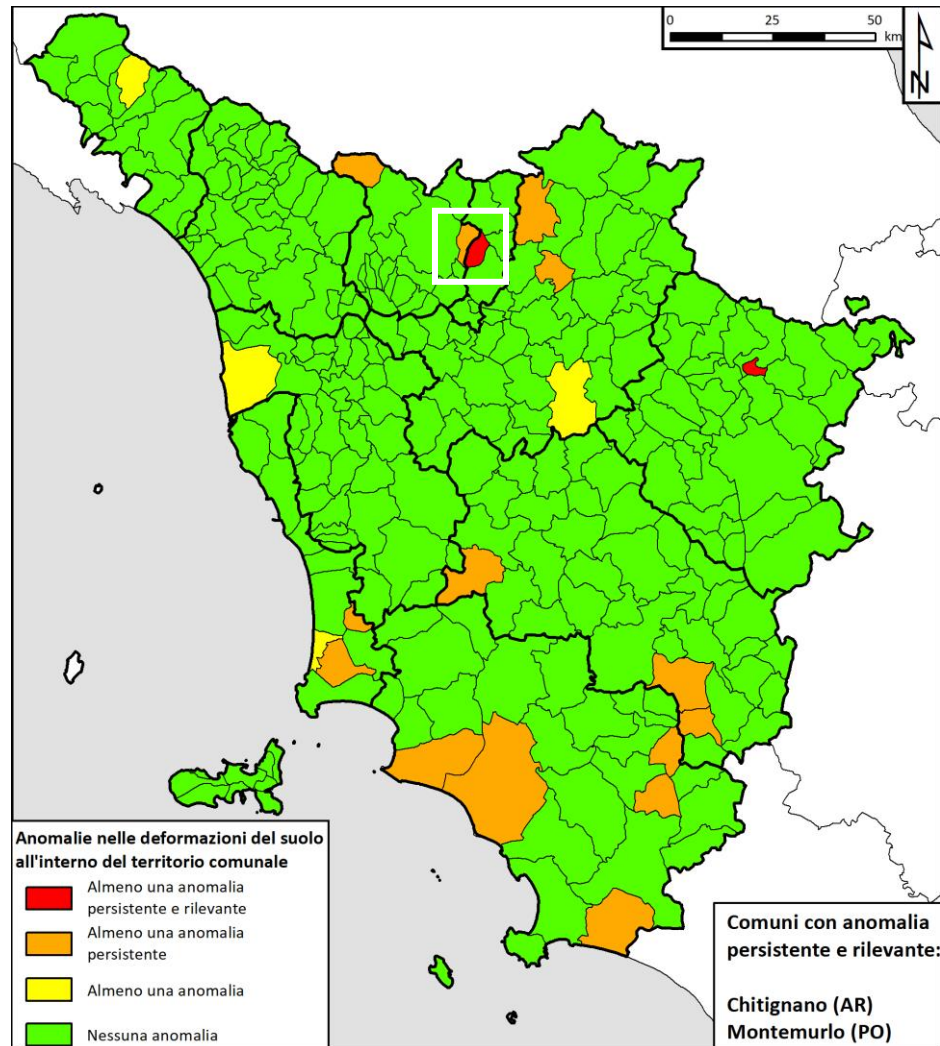
Consegna della documentazione al comune coinvolto

Il comune adotta misure immediate, inclusa l'interdizione, se necessario

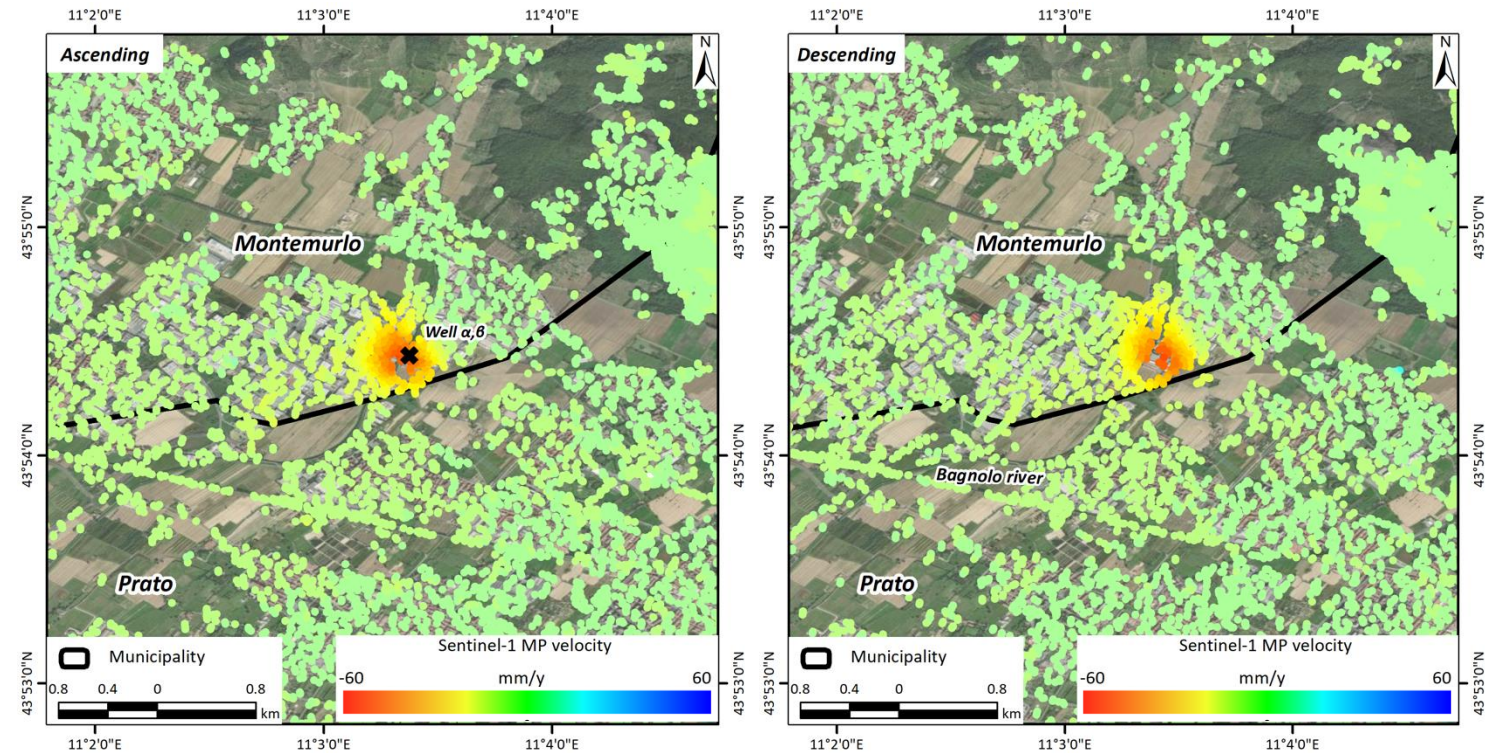


Caso di studio - area industriale di Prato

Accelerazione registrata a partire dal 2017 nell'area di Montemurlo

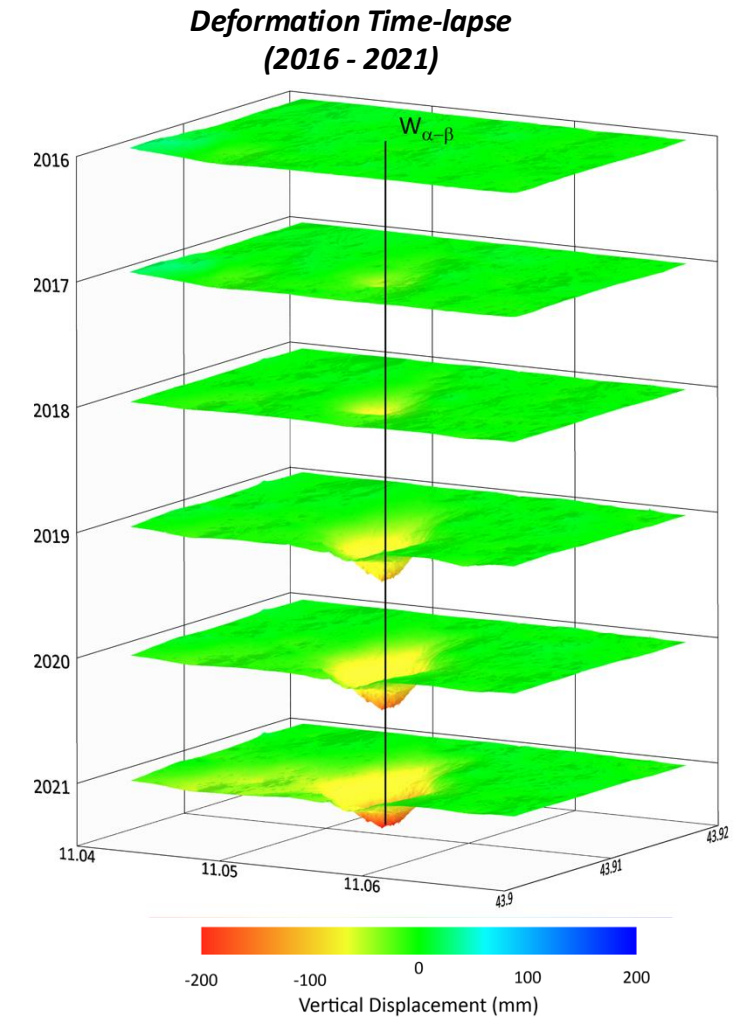
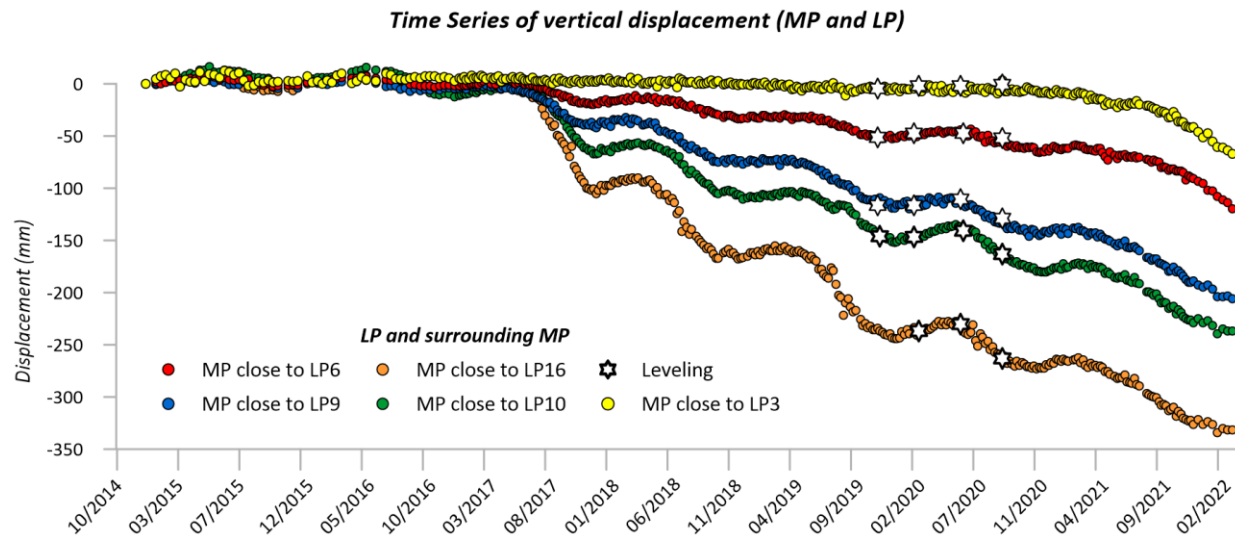
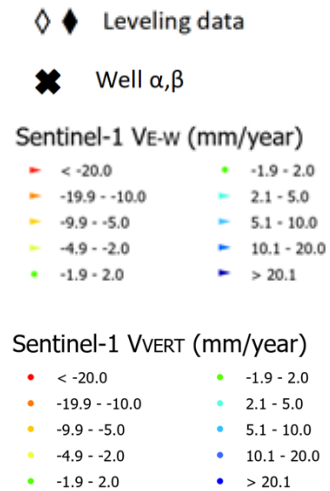
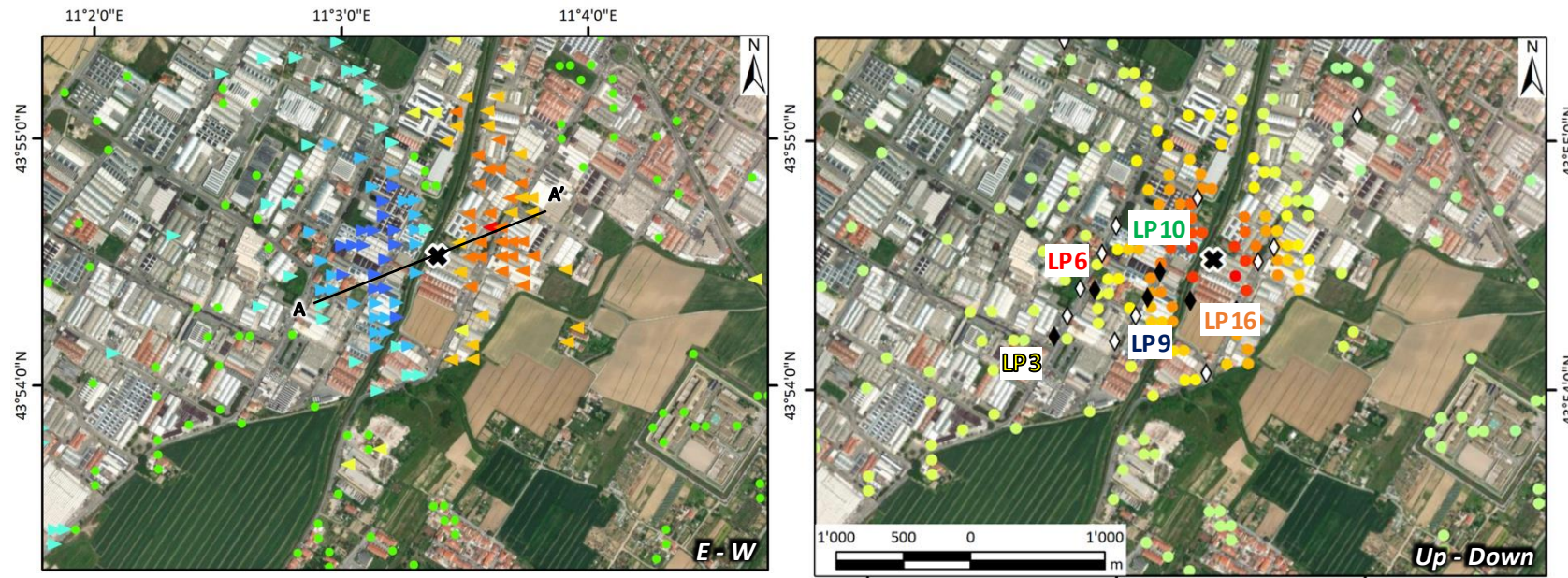


- Area storicamente soggetta a subsidenza e rebound a causa delle condizioni geologiche e dell'estrazione dell'acqua
- Recente espansione del settore manifatturiero con conseguente incremento dell'estrazione idrica



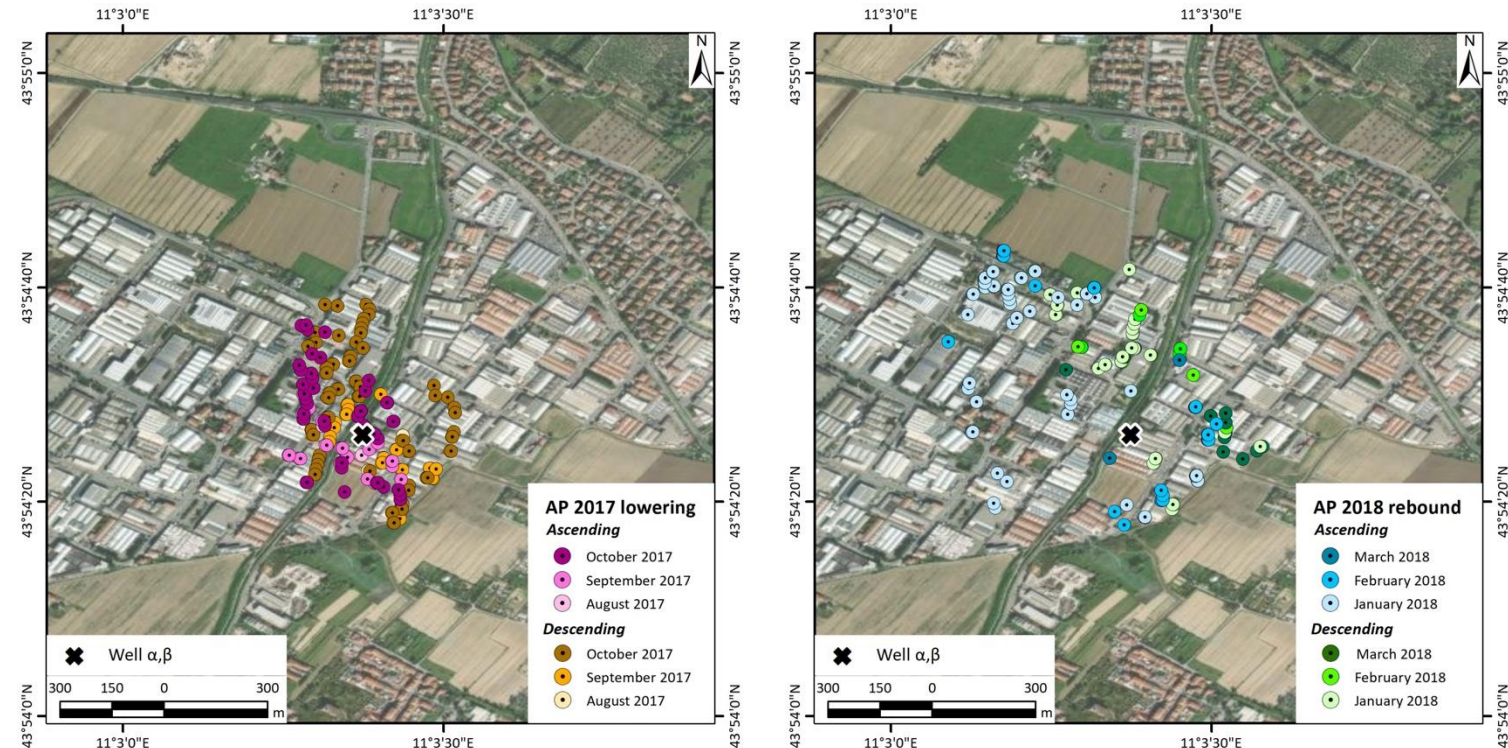
Analisi dettagliata dei dati Sentinel-1

MTInSAR: Caratterizzazione spazio-temporale



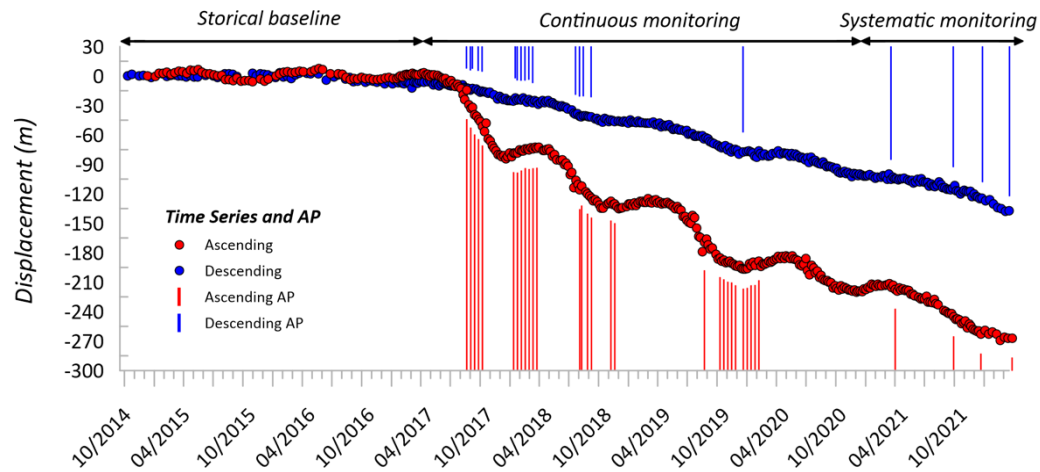
Validazione:
Rilievo *in situ* e campagna di livellazione

MTInSAR: Caratterizzazione spazio-temporale

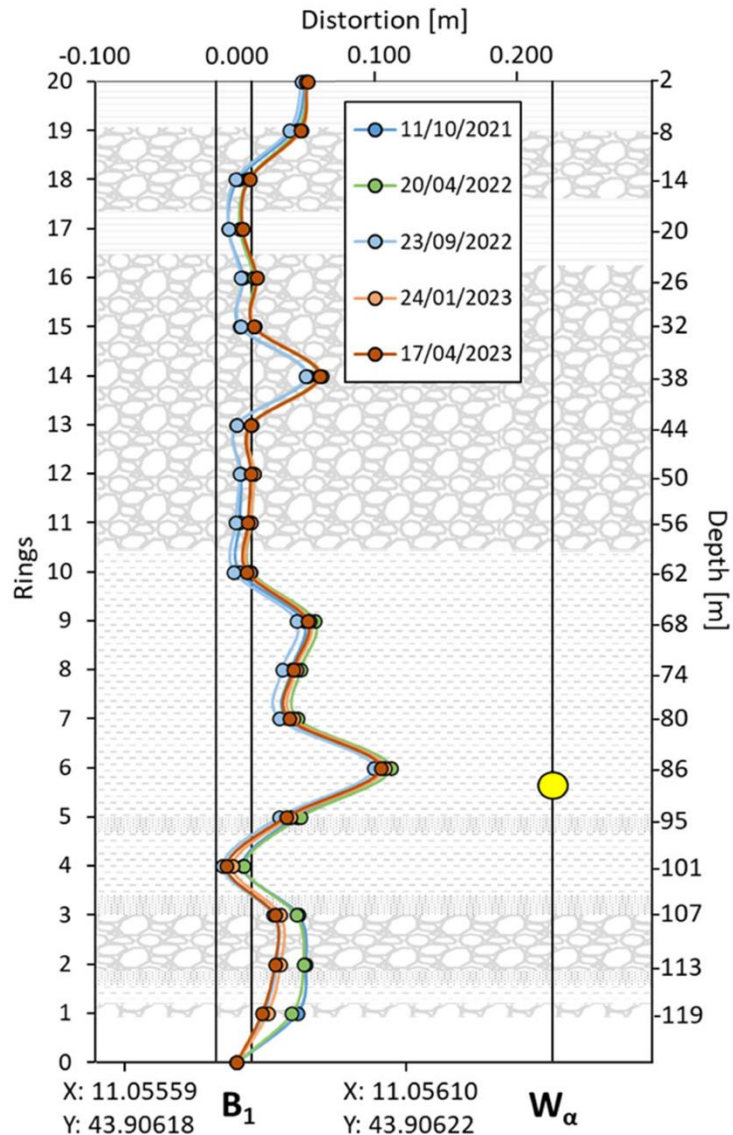


Distribuzione spazio-temporale delle anomalie di movimento identificate nell'area industriale di Montemurlo

- **Ottobre 2014 - luglio 2017:** stabilità
- **Agosto 2017:** prime anomalie per improvvisa accelerazione, subsidenza
- **Agosto - ottobre 2017:** > n° aggiornamenti con anomalie e l'area in subsidenza si è estesa
- **Gennaio - marzo 2018:** anomalie per rebound
- Medesima situazione nel **2018** e **2019** ma con accelerazioni inferiori
- A partire dal **2020**: dati ogni 3 mesi e anomalie (subsidenza e rebound) meno frequenti



Monitoraggio *in situ* e modello GBIS

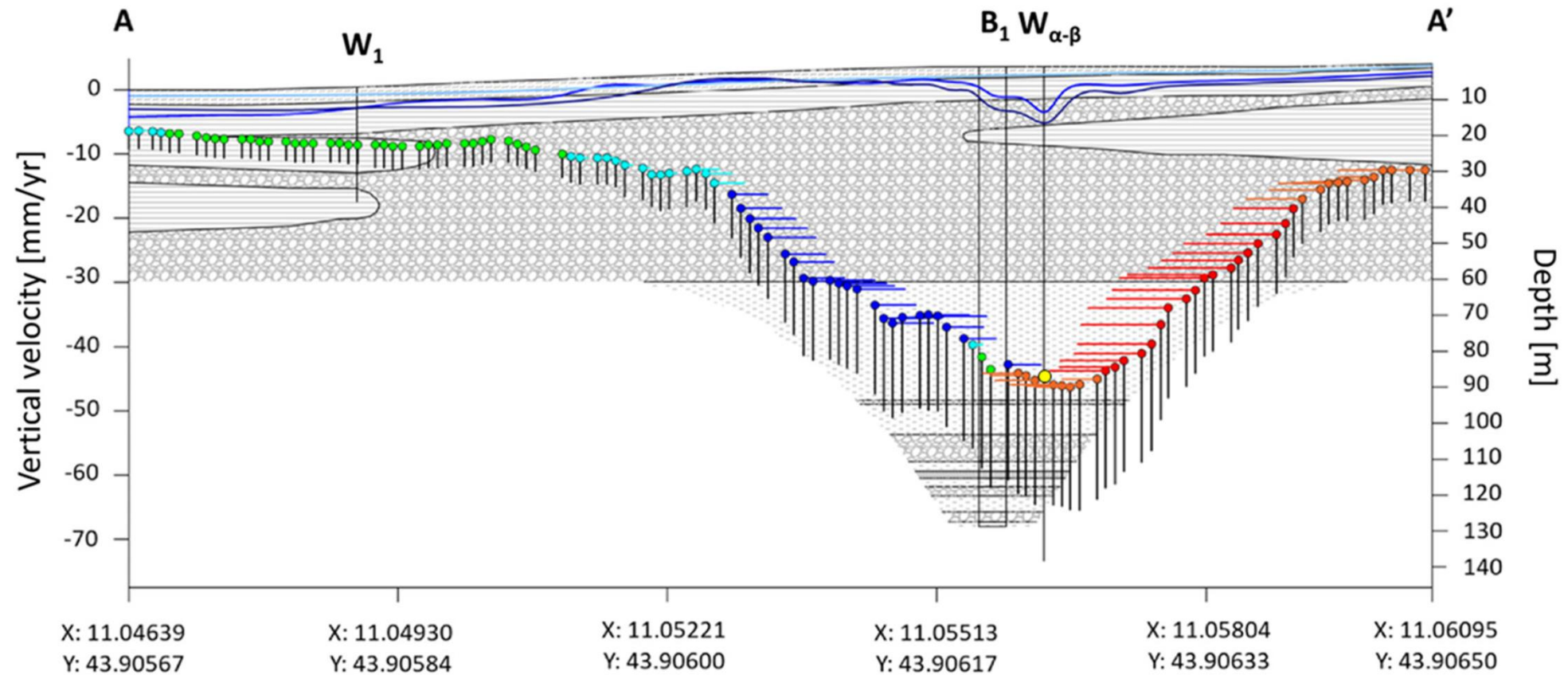


- **Campagne di livellazione topografica** tra novembre 2019 e settembre 2020 - dati coerenti con gli spostamenti rilevati da satellite
- **Livello piezometrico** 2010, 2019 e 2020
- Installazione di un **assestometro** nel 2019 in prossimità della possibile sorgente di deformazione: rilevati nel tempo spostamenti significativi a profondità di circa 38 m (sabbie e ghiaie) e 86 m (limo argilloso con abbondante ghiaia)
- Tra ottobre 2019 e ottobre 2021 raccolti **dati relativi al pompaggio e al livello idrico** dei due pozzi della lavanderia industriale
- **Software GBIS**: valutazione della profondità della sorgente di deformazione e stima della variazione di volume sulla base dei dati MTInSAR. Sorgente della deformazione rilevata a circa 88 m.



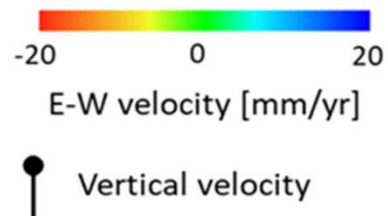
La combinazione di tutti i dati riconduce la causa della subsidenza al prelievo dal pozzo α della lavanderia industriale

Quadro integrato della deformazione



Legend

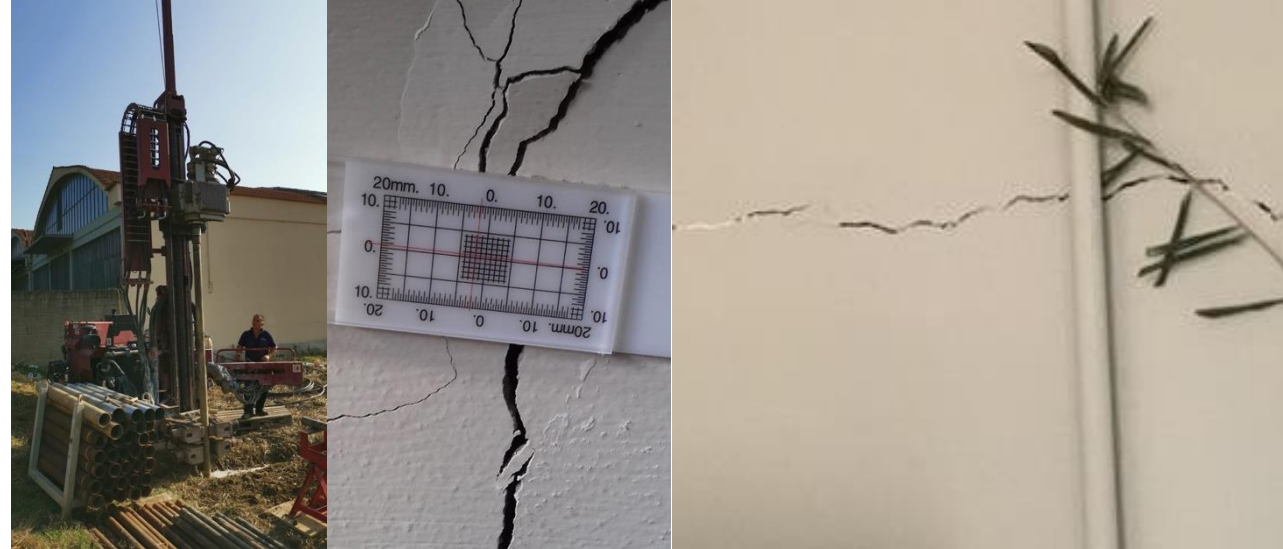
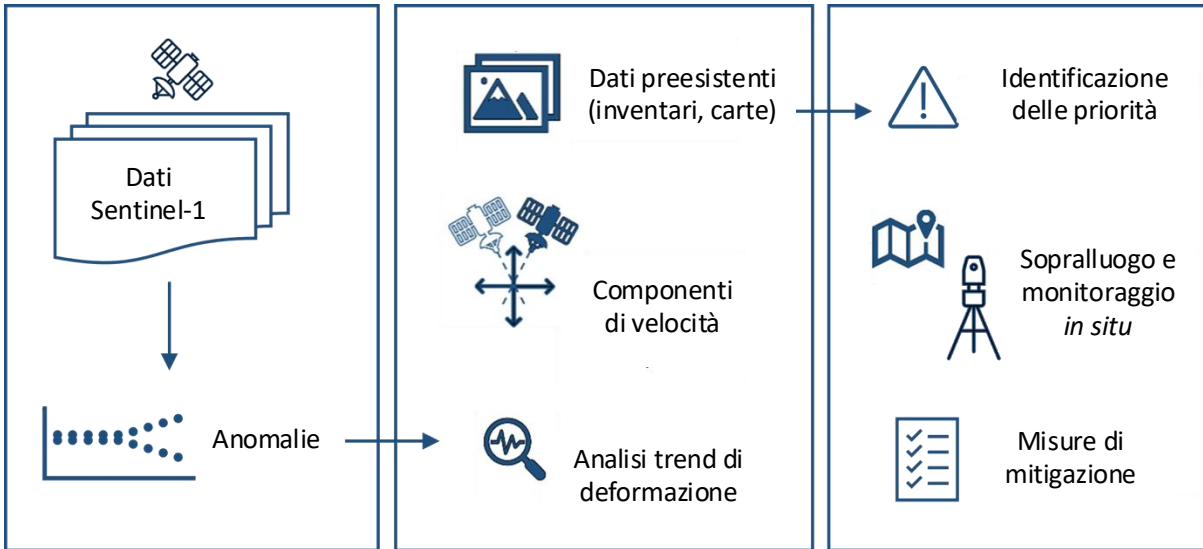
- 2010 piez. level
- 2019 piez. level
- 2020 piez. level



Lithology

- Ground level
- Silty clay
- Gravel with fine matrix
- Clayey silt with gravel
- Silty sand
- GBIS source depth

Dalla ricerca all'operatività: un protocollo replicabile



 **Analisi dati MTInSAR** —  **Sopralluogo** —  **Monitoraggio** —  **Identificazione causa** →  **Misure di mitigazione**

- Procedura per la caratterizzazione e il monitoraggio delle deformazioni registrate dai dati *radar* satellitari
- Dati MTInSAR: strumento importante per la gestione del rischio idrogeologico, soprattutto in contesti in cui il cambiamento climatico e l'uso intensivo delle risorse idriche accelerano i processi di instabilità del terreno



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

Dipartimento di
Scienze della Terra



Grazie!



(Medici et al., 2024)

camilla.medici@unifi.it