



Regione Toscana



PROTEZIONE CIVILE  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

**DST**  
DIPARTIMENTO DI  
SCIENZE DELLA TERRA

# Monitoraggio radar satellitare in continuo delle deformazioni del suolo in Toscana

Nicola Casagli, Federico Raspini

# Accordo tra RT - DPC – DST-UNIFI

Accordo del 24.10.2016 per l'attività di monitoraggio del rischio idrogeologico nel territorio della Regione Toscana

REGIONE TOSCANA



Trasmissione delle informazioni acquisite dal monitoraggio radar satellitare per una loro diffusione presso Enti competenti

DPC



Presidi territoriali e procedure di attivazione

DST-UNIFI



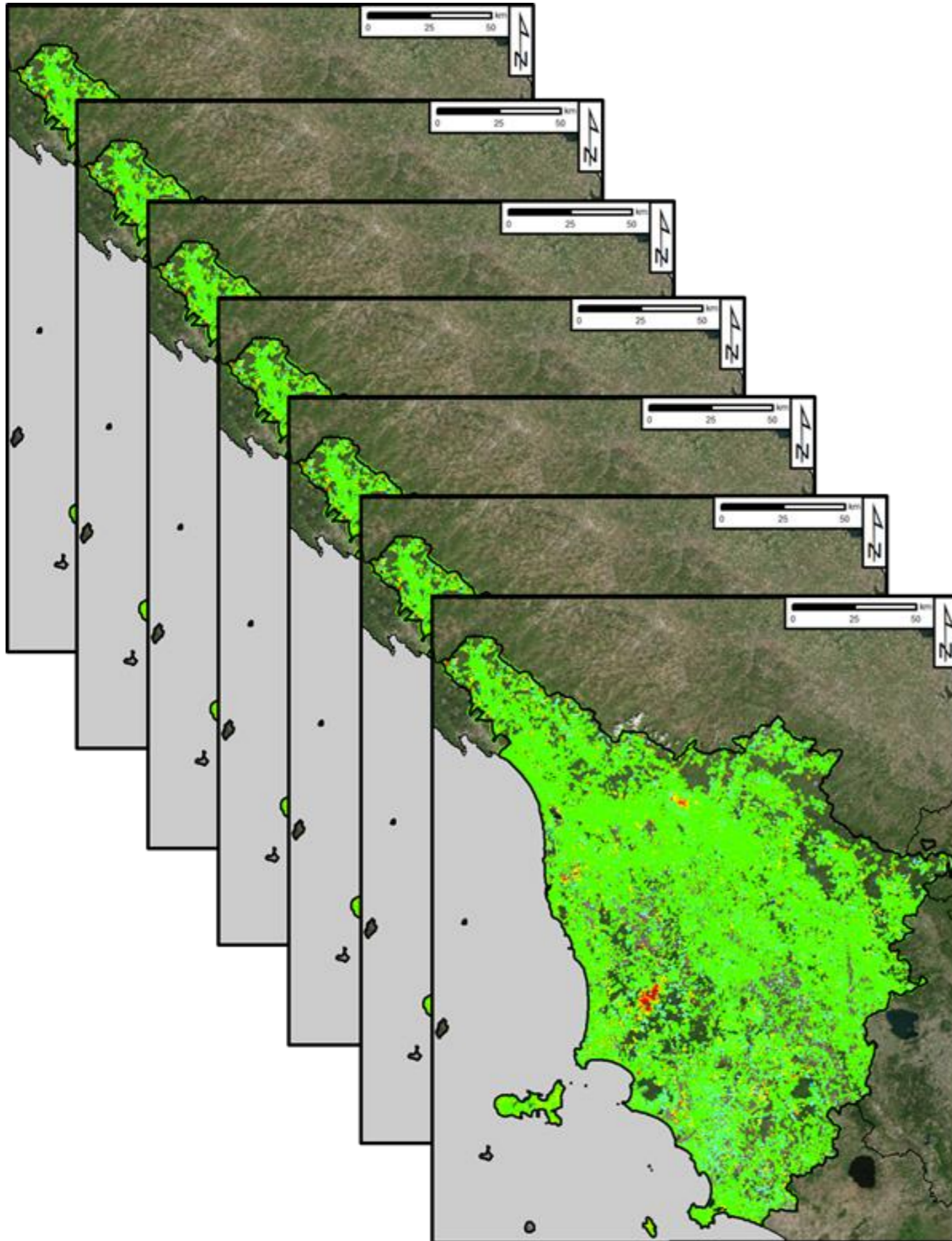
Interpretazione dati e monitoraggio in continuo dello scenario deformativo del territorio della Regione Toscana

LaMMA



Integrazione dati nel SIT regionale: gestione applicativo WebGIS

# Il progetto di monitoraggio

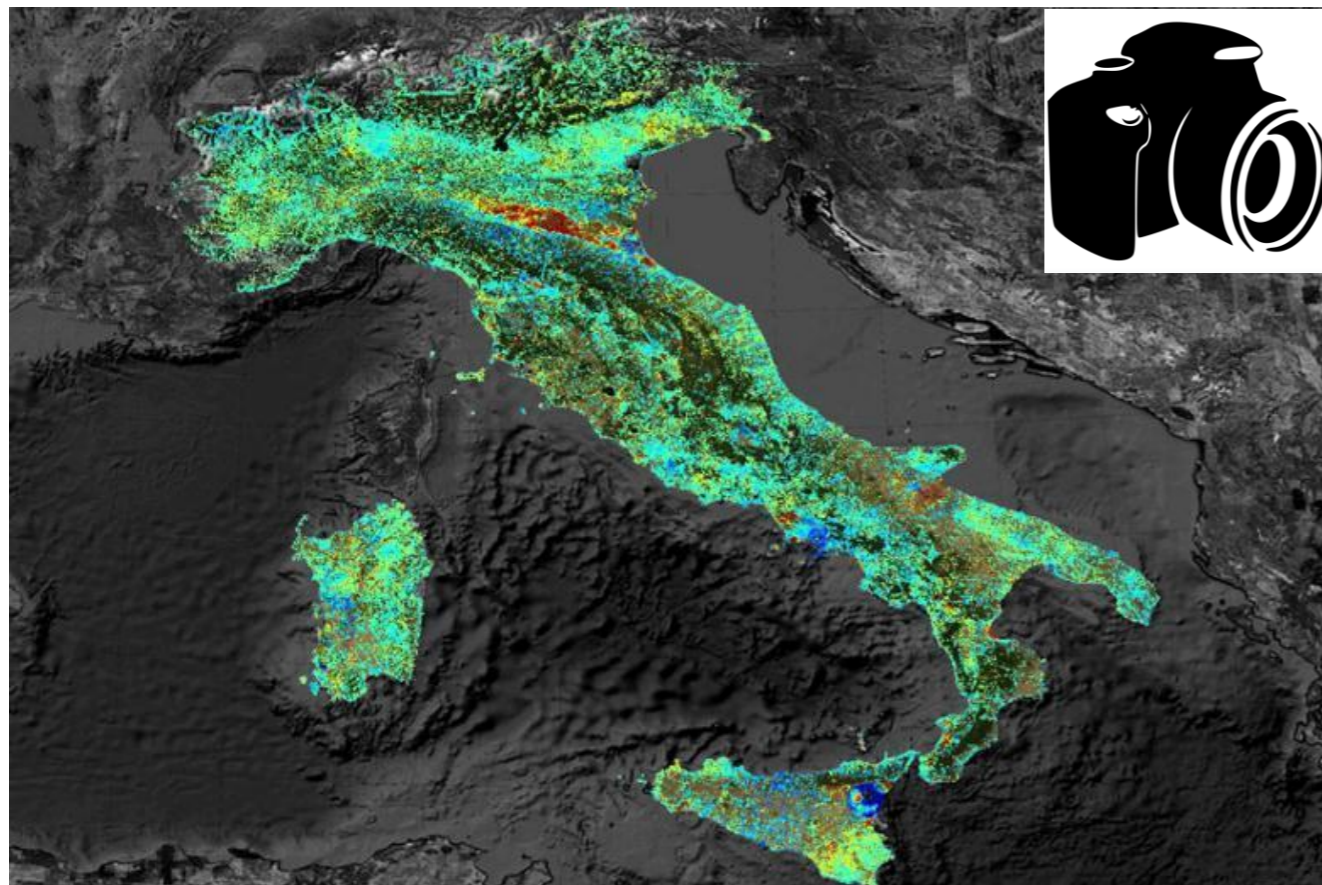


Perché è oggi possibile effettuare un monitoraggio continuo e sistematico delle deformazioni del suolo a scala regionale?

# La risposta



Il segmento spaziale è finalmente quello giusto: Sentinel-1 (ESA) è stato progettato per acquisire dati di deformazione in continuo su scala regionale e nazionale.



La tecnologia InSAR è matura e vede l'Italia all'avanguardia del panorama internazionale.

Progetti di mappatura a scala nazionale sono già stati realizzati.

# Il progetto di monitoraggio

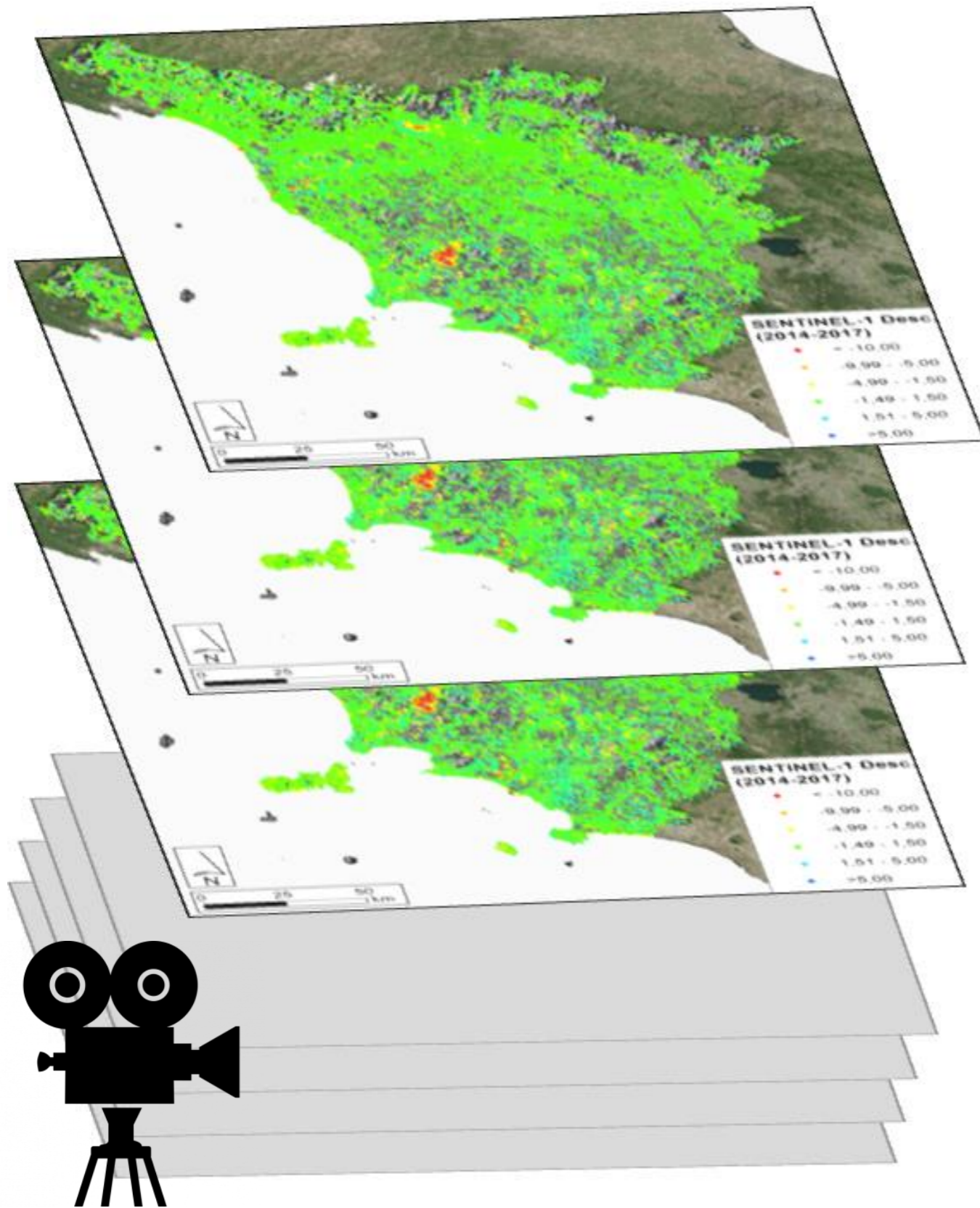
Tutte le tecnologie necessarie a creare strumenti di screening continuo a scala regionale (o nazionale) sono disponibili.



Passaggio da analisi «one-shot» basate su elaborazioni di archivio ad un sistema operativo di monitoraggio in continuo.



Stima del moto di milioni di punti di misura al suolo per mettere in evidenza dove, su tutta la Toscana, il terreno si sta muovendo in modo non consistente con il passato.



# Telerilevamento radar e i satelliti Sentinel-1

# Perché il telerilevamento radar?



1. È un sistema attivo: non ha bisogno di sorgenti esterne come il Sole
2. Può acquisire sempre
3. I sistemi radar montati su satelliti illuminano la scena con geometrie fisse o variabili (configurazioni side-looking)
4. Opera alla frequenza delle microonde che penetrano attraverso nuvole, pioggia o nebbia
5. È un sistema coerente: consente misure molto precise di variazioni di distanza dal radar per mezzo dell'interferometria

# Sentinel 1A e 1B

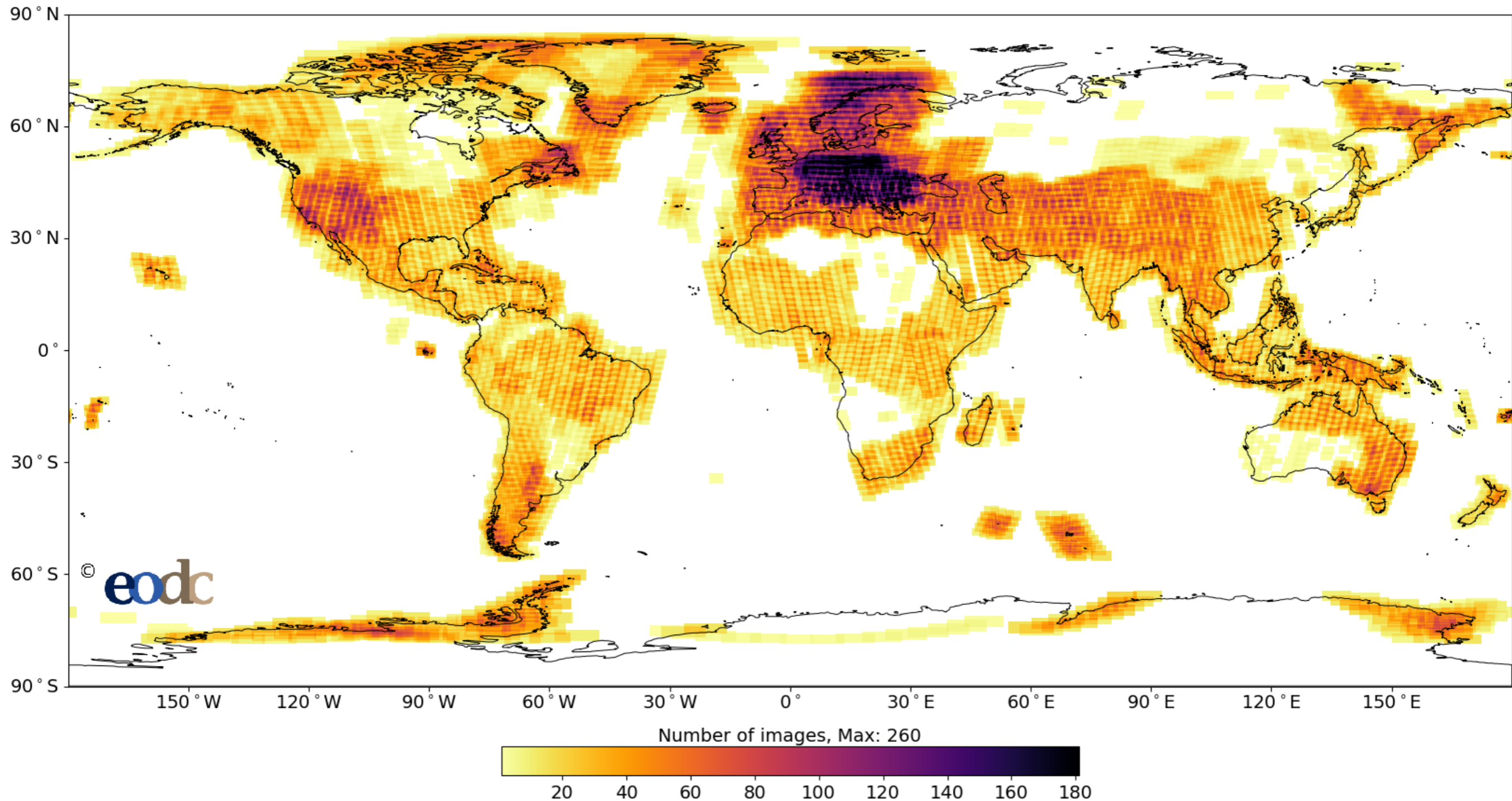


**Satelliti gemelli ad alta risoluzione  
operanti in banda C con tempo di  
rivisitazione di 6 giorni.**

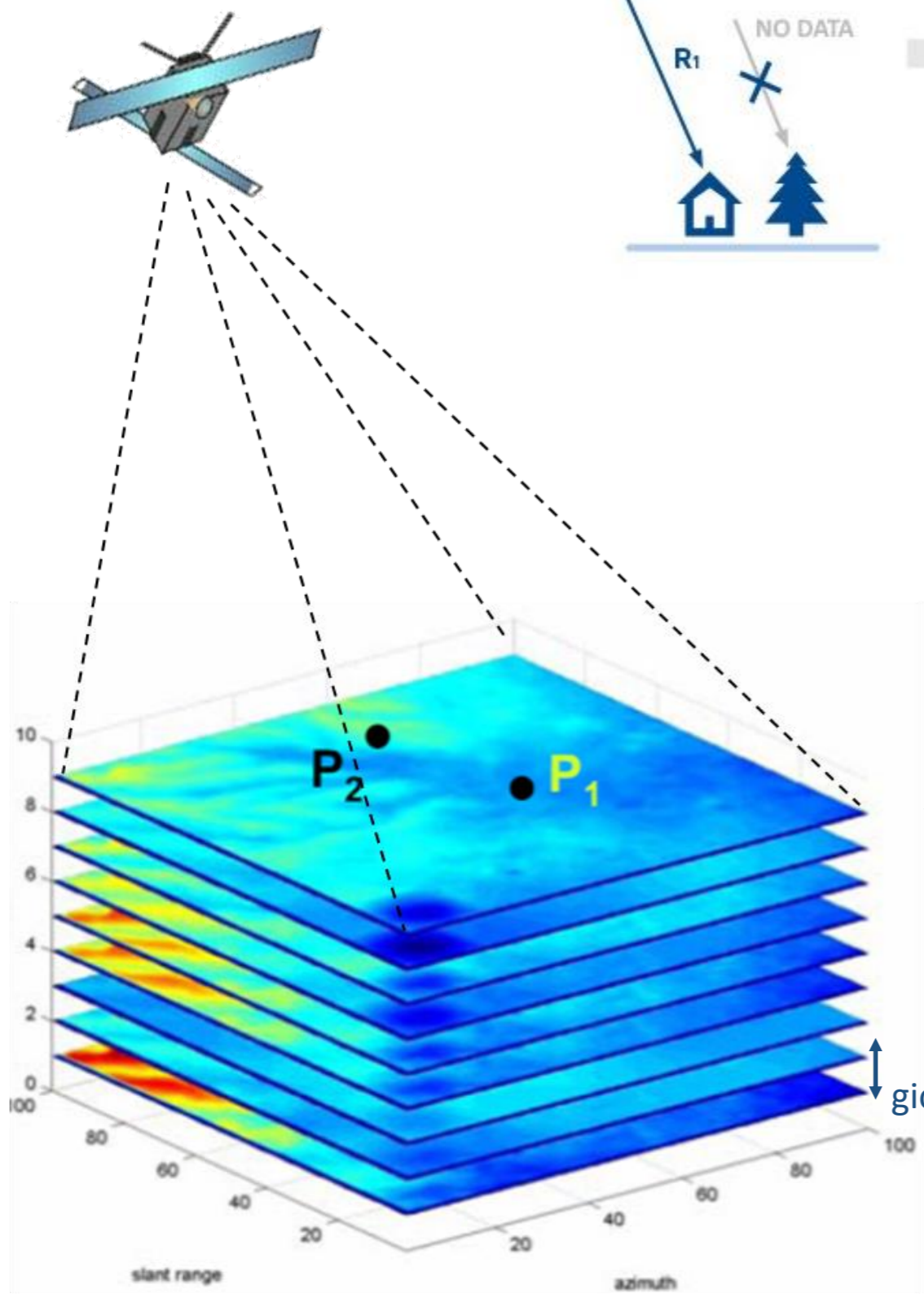
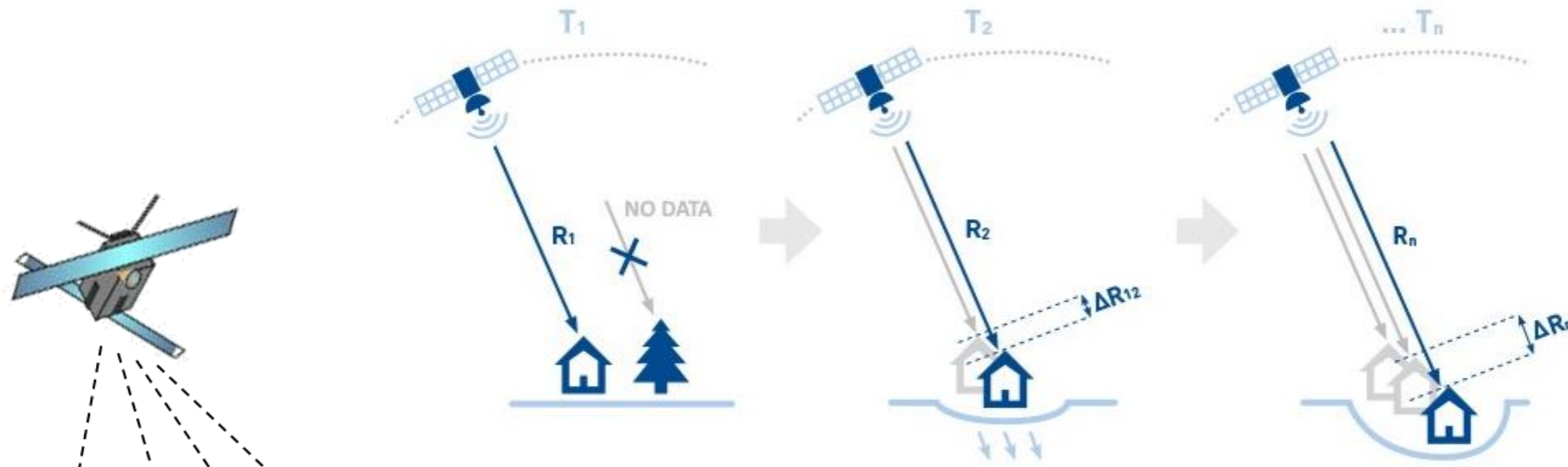


# Sentinel 1A e 1B

Copertura immagini (aprile 2014-aprile 2018)

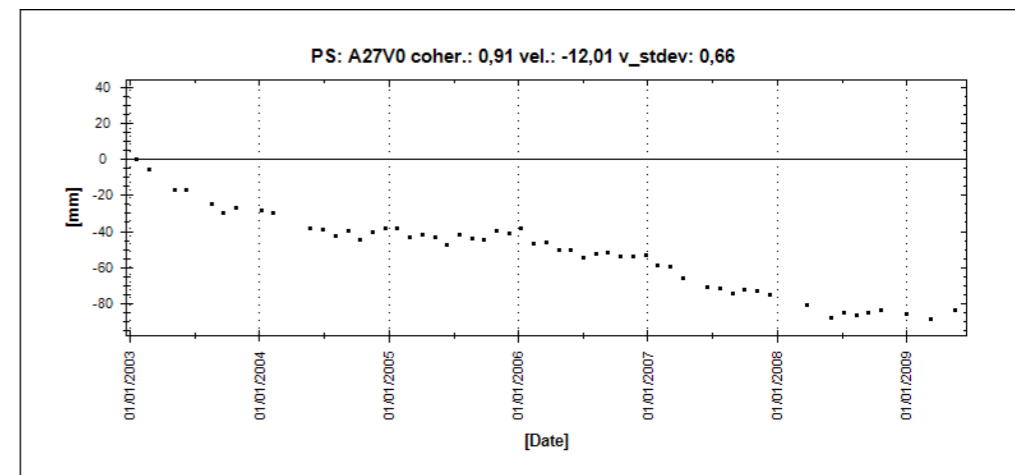
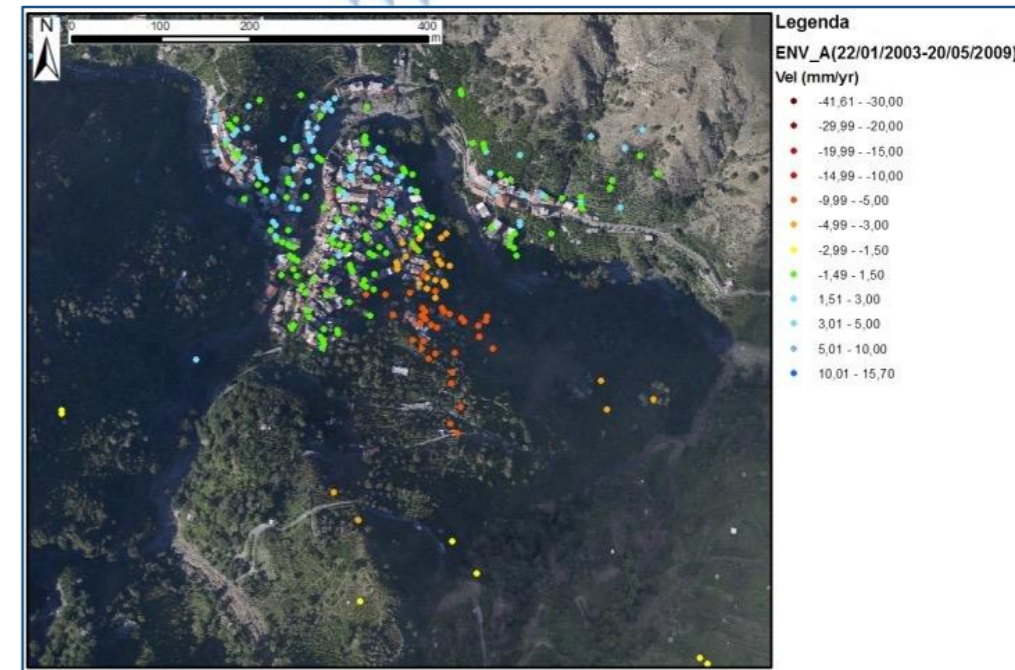


# Interferometria satellitare

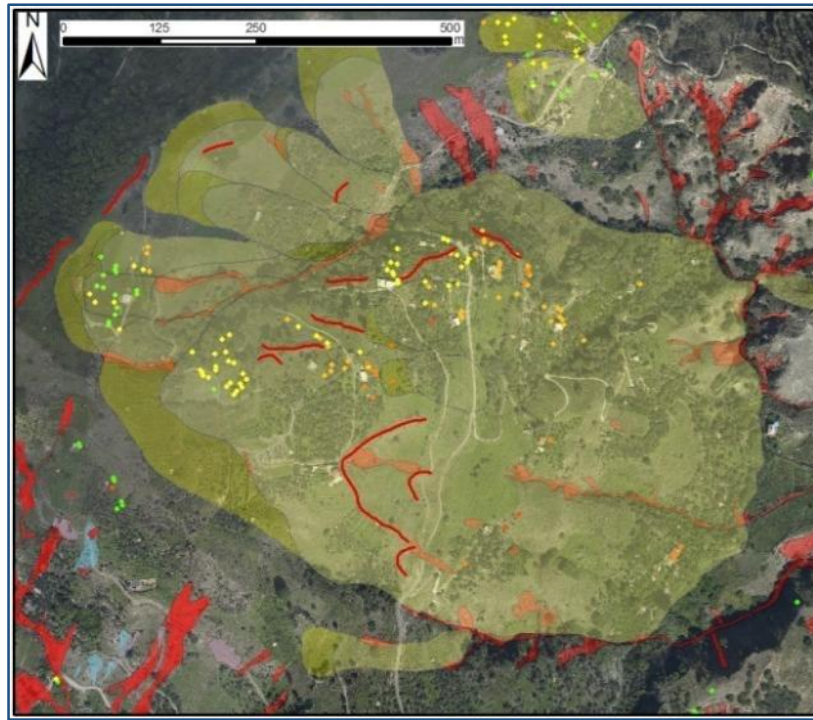


Velocità di  
deformazione

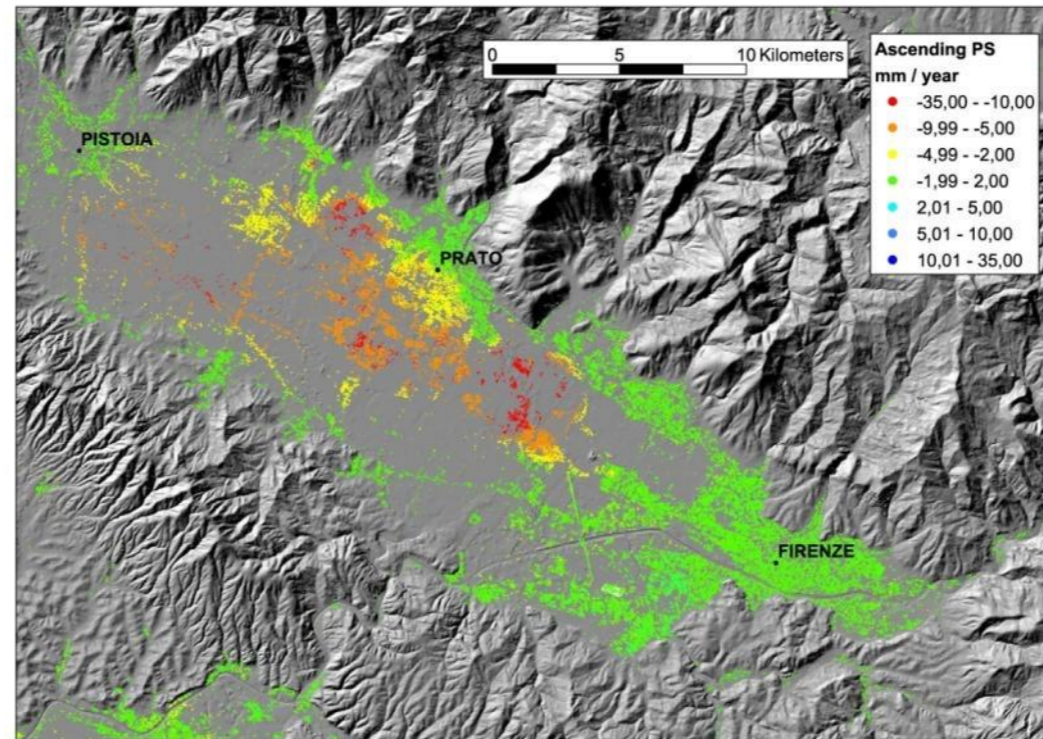
Serie temporali  
di deformazione



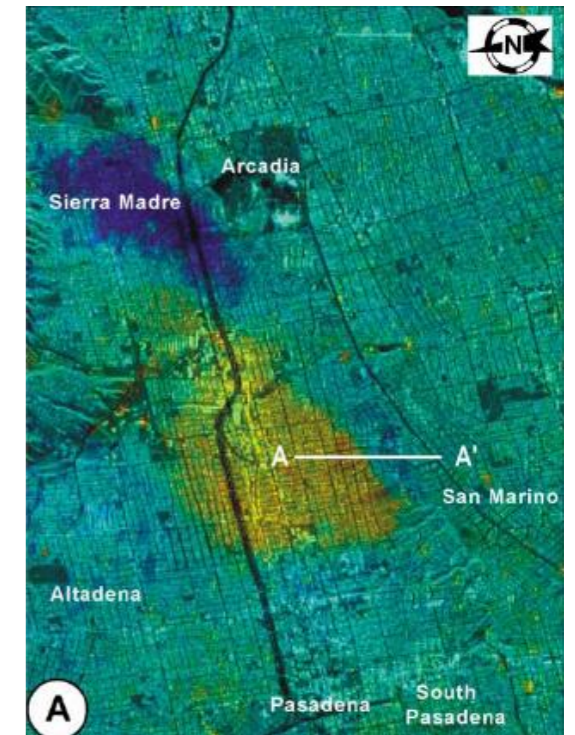
# Campi di applicazione



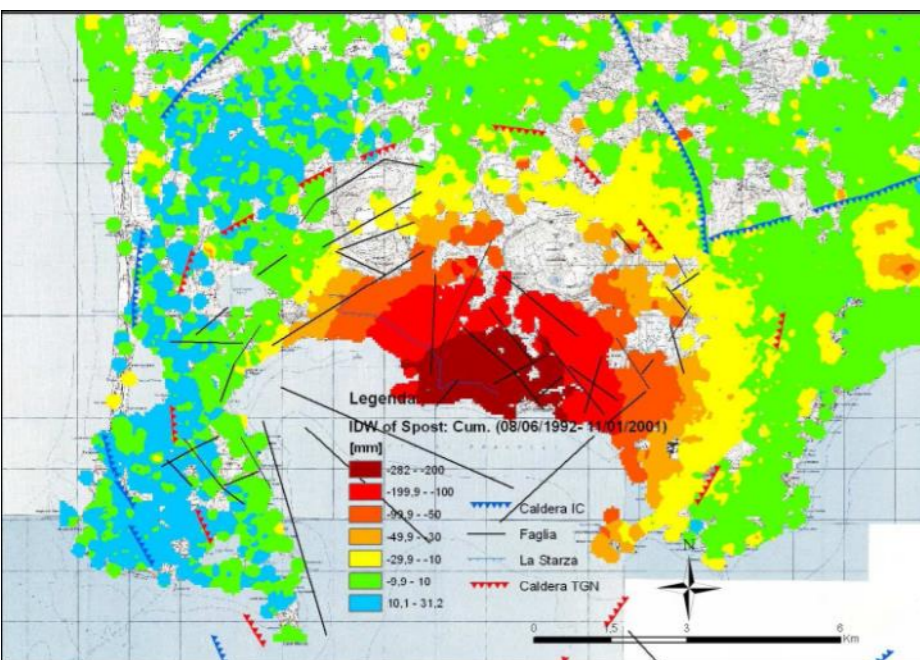
Frane a cinematica lenta



Subsidenza



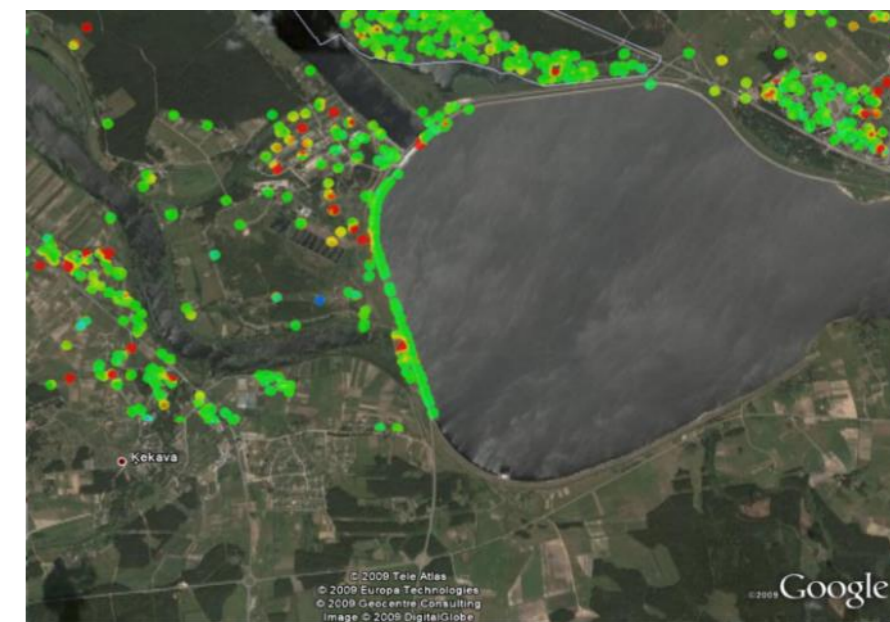
Movimenti tettonici



Attività vulcanica



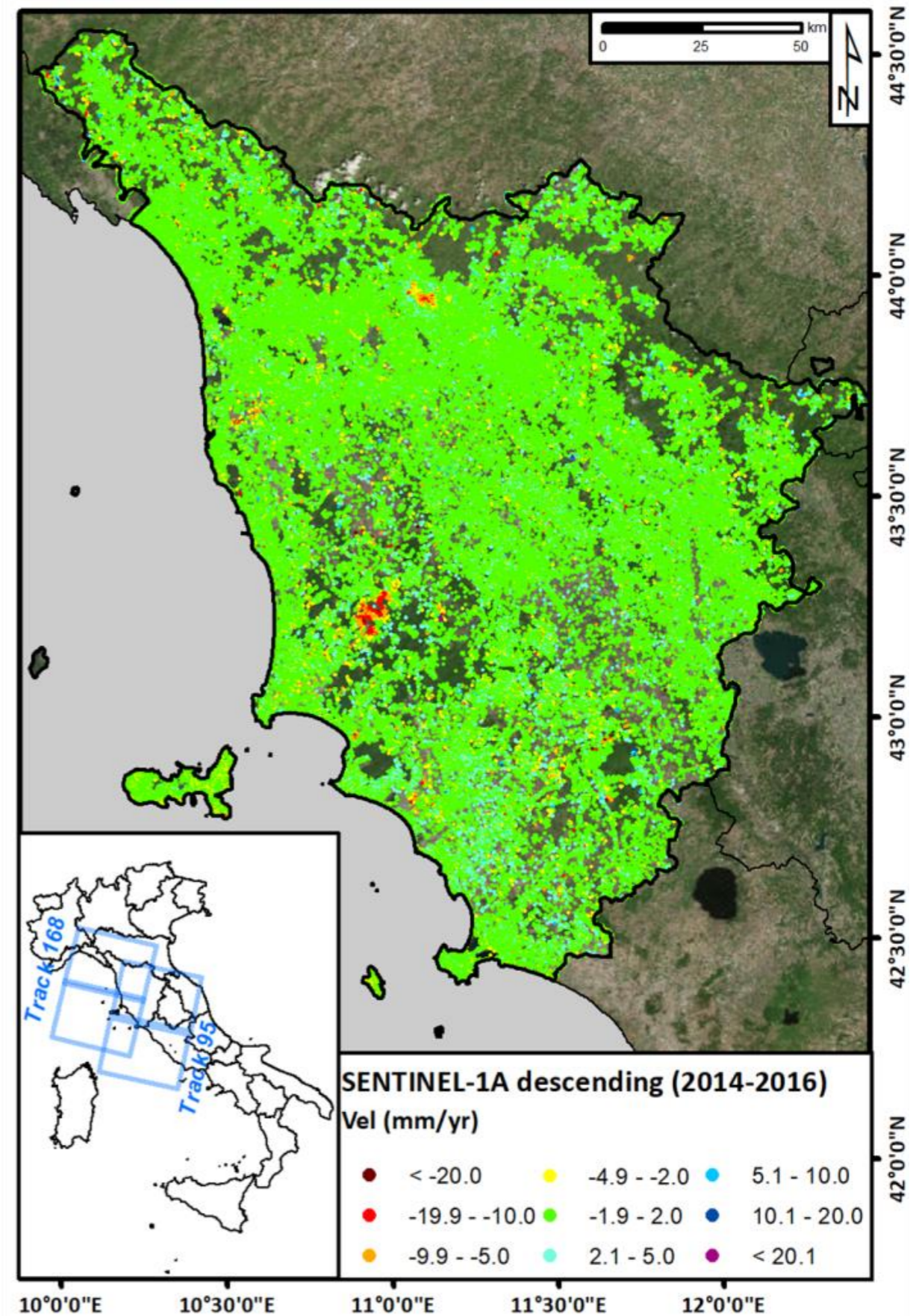
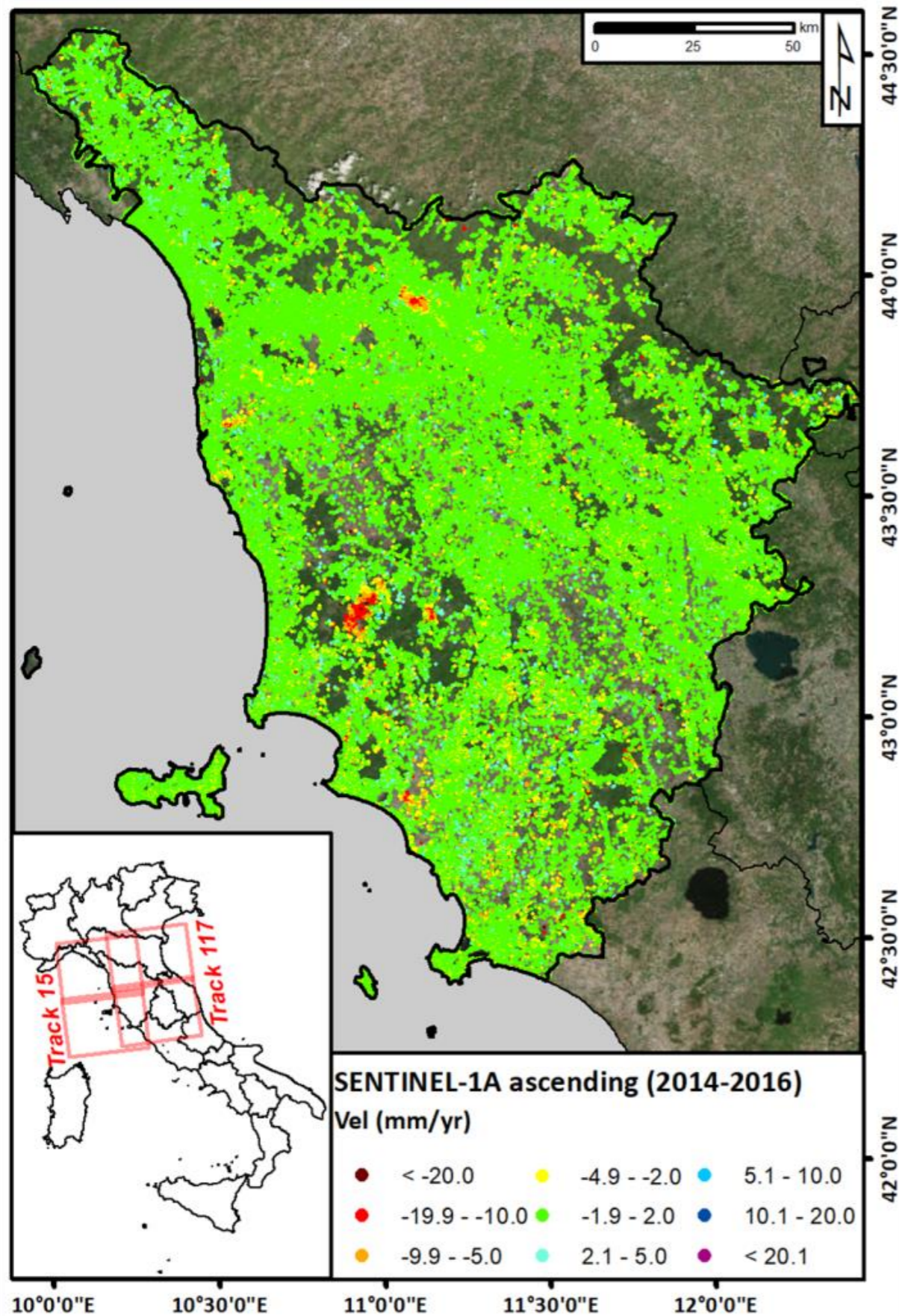
Analisi sul singolo edificio



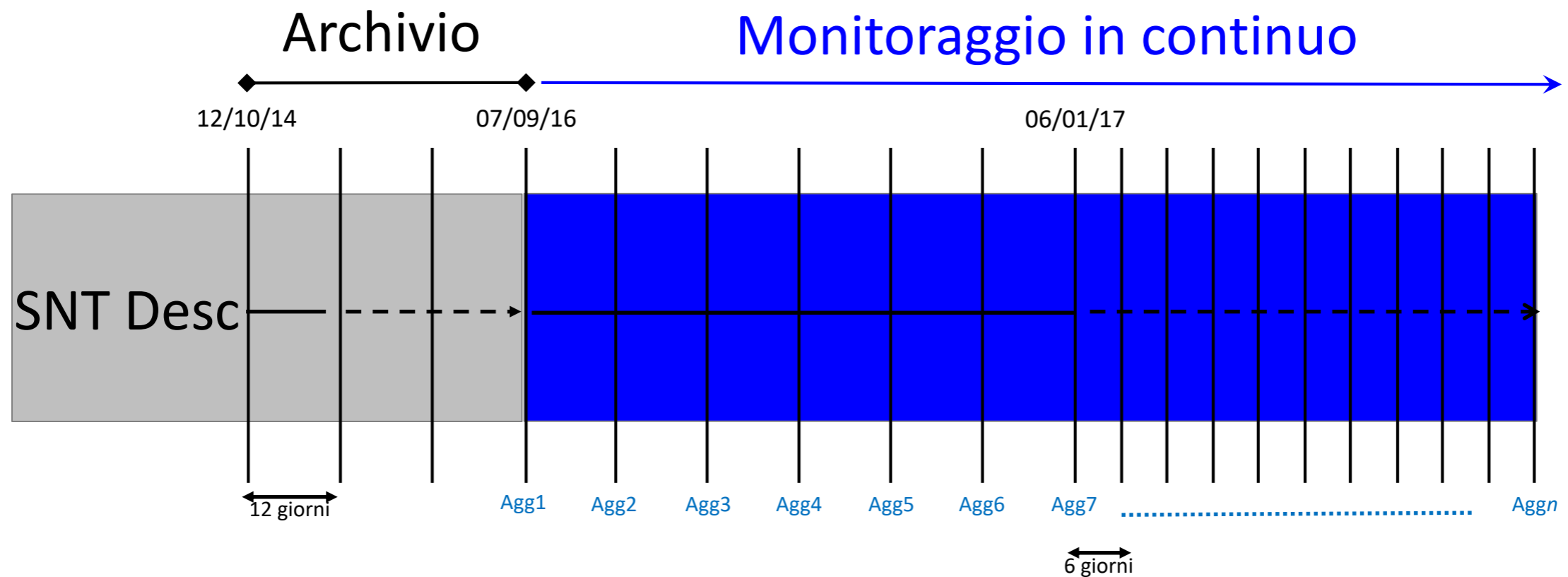
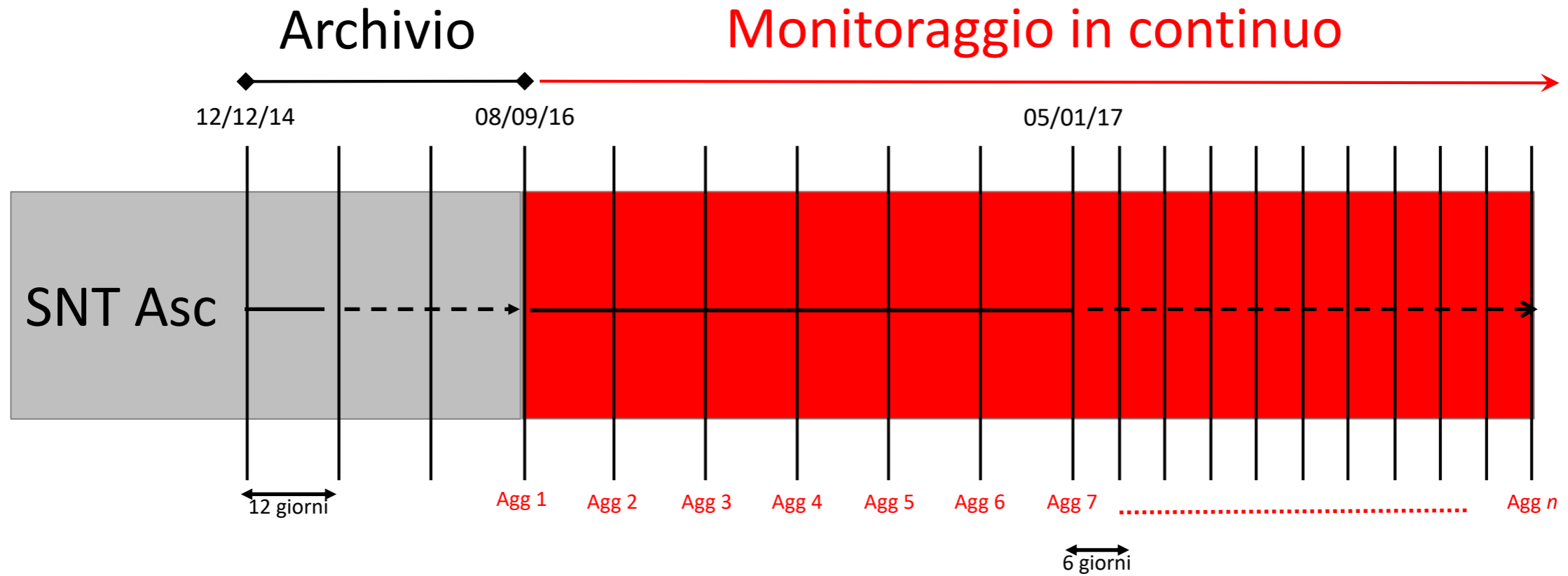
Monitoraggio di strutture arginali

# Il progetto di monitoraggio delle deformazioni del suolo in Toscana

# Copertura SAR Sentinel-1



# Piani di monitoraggio con Sentinel-1

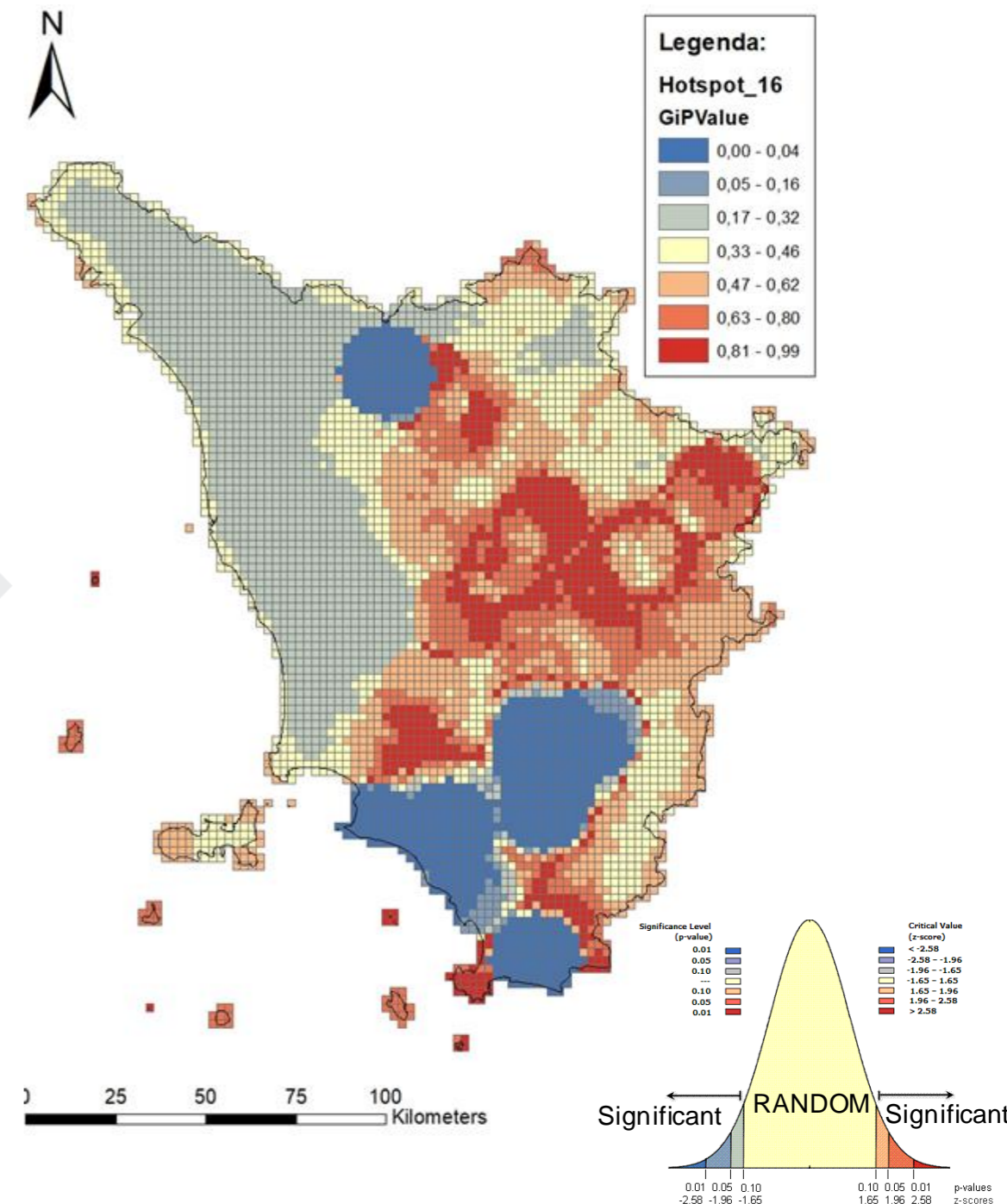
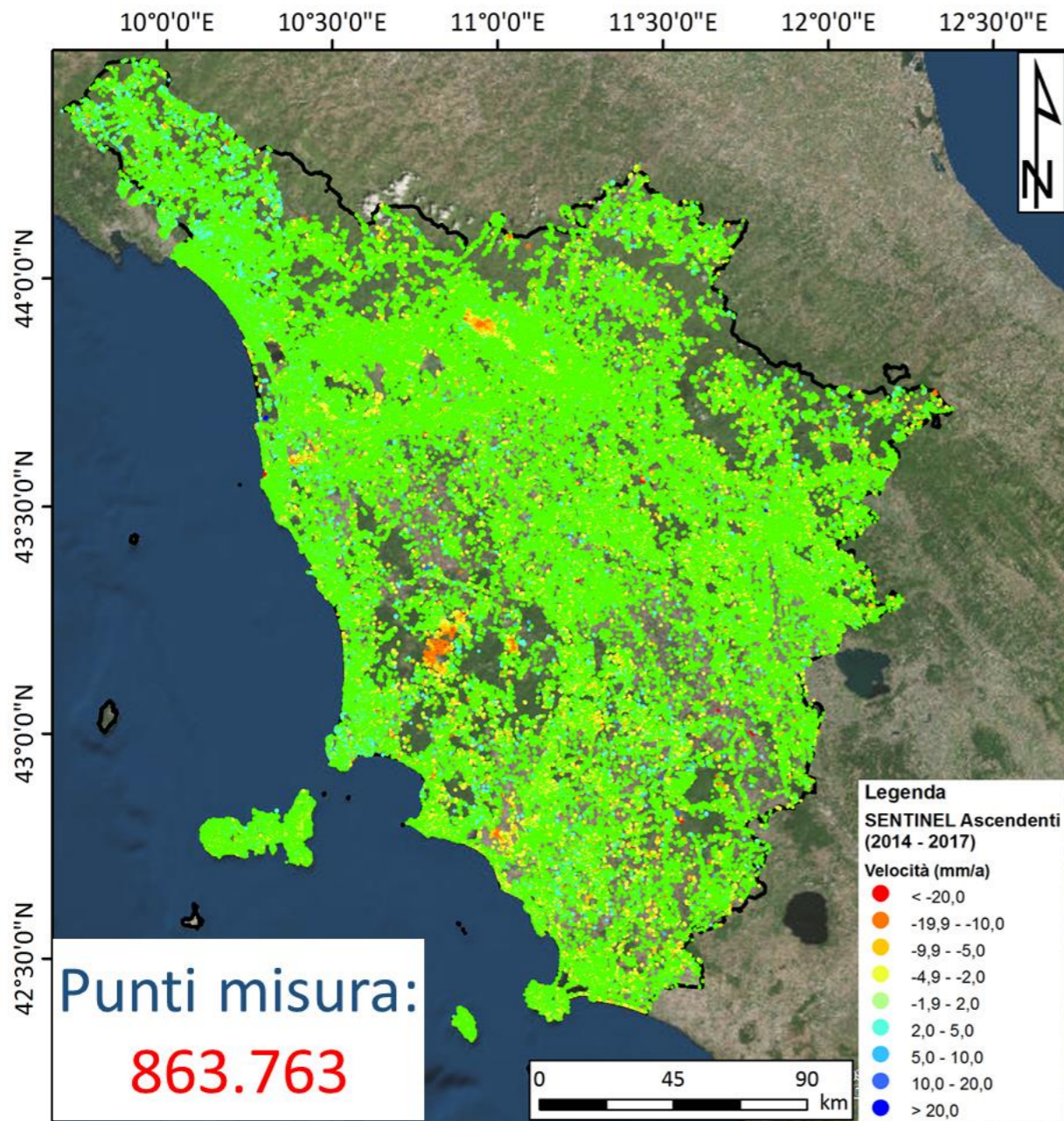


# Attività svolte

	PS Mapping	PS Monitoring
Tipologia	prodotto	servizio
Tempo	differito	reale
Aggiornamento	1 anno	12 giorni
Scopo	Aggiornamento mappe dei dissesti	Presidi territoriali

# PS mapping: mappatura in tempo differito (Dir. PCM 27/02/2004)

## Analisi delle mappe di deformazione di archivio

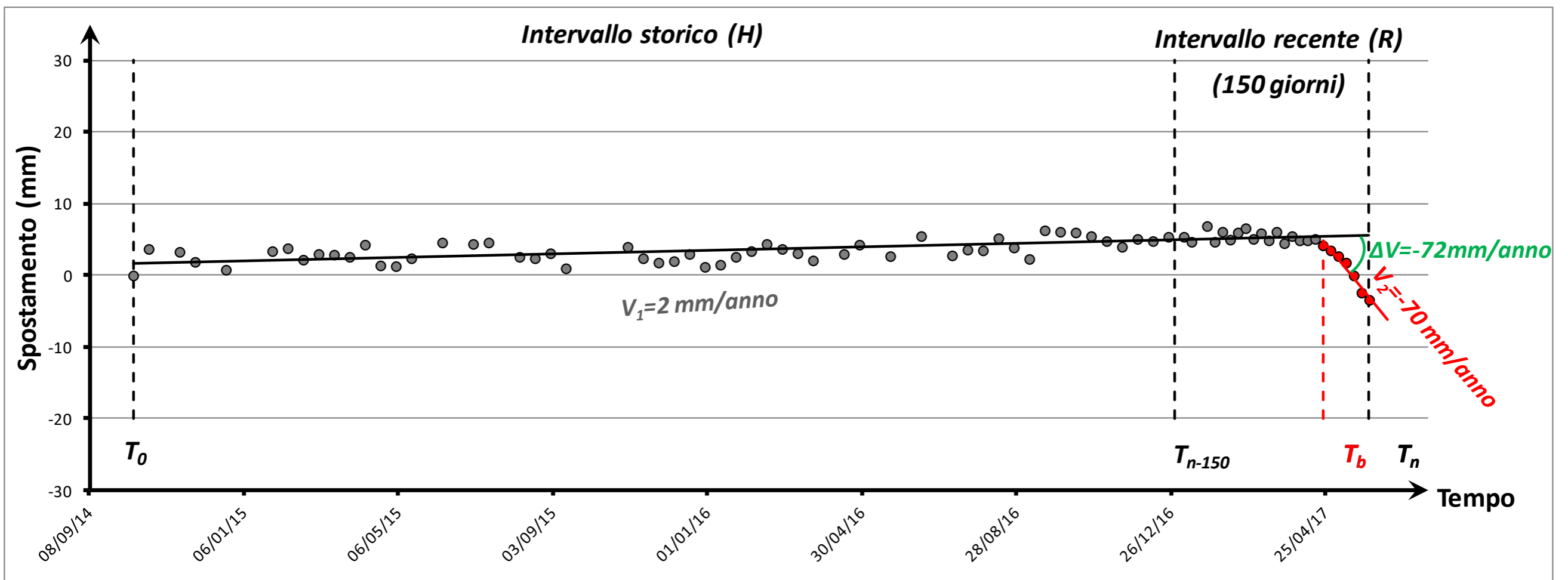


Are a maggior deformazione



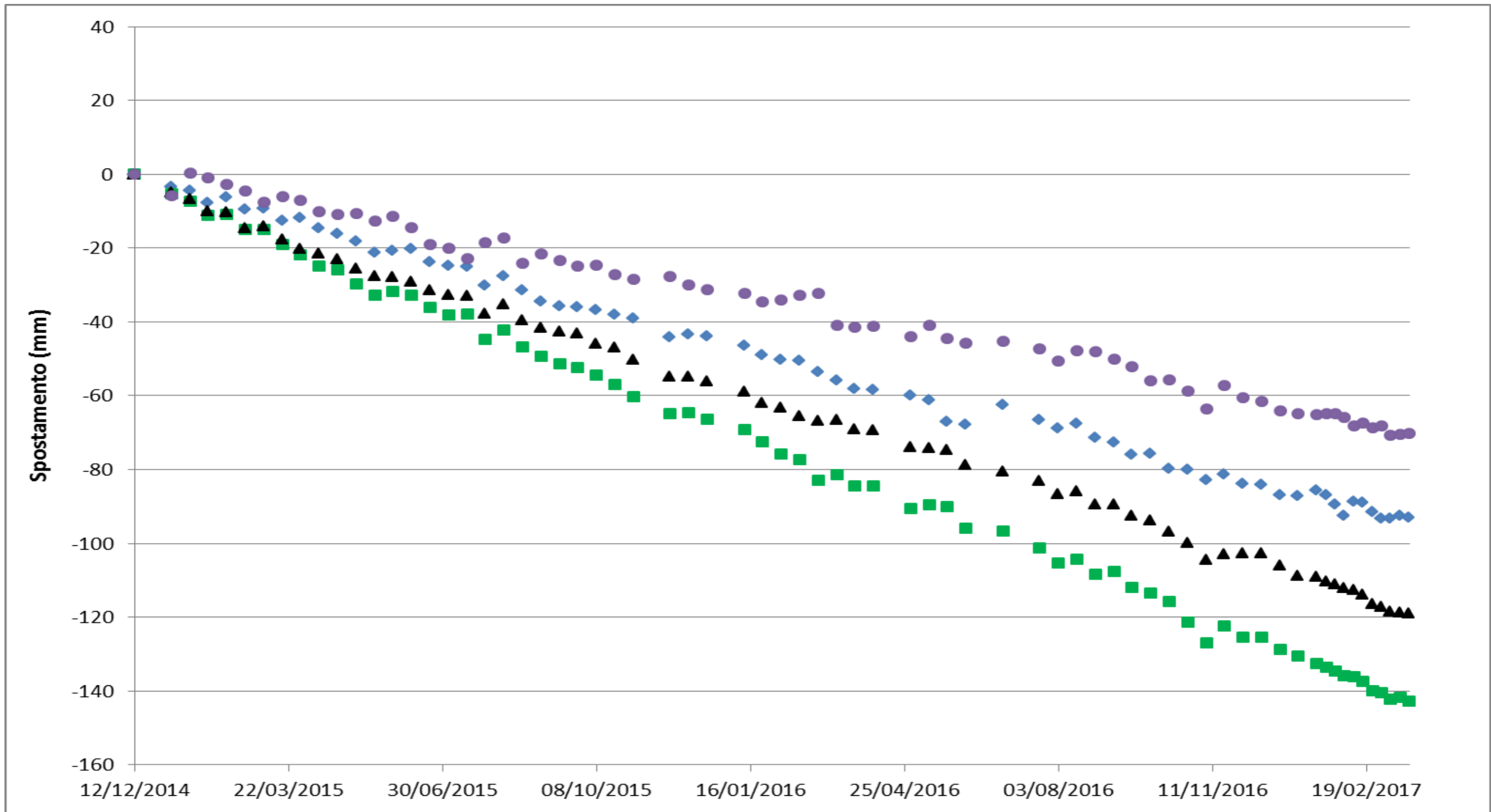
# PS monitoring: monitoraggio “in tempo reale” (Dir. PCM27/02/2004)

Analisi serie temporali di deformazione aggiornate



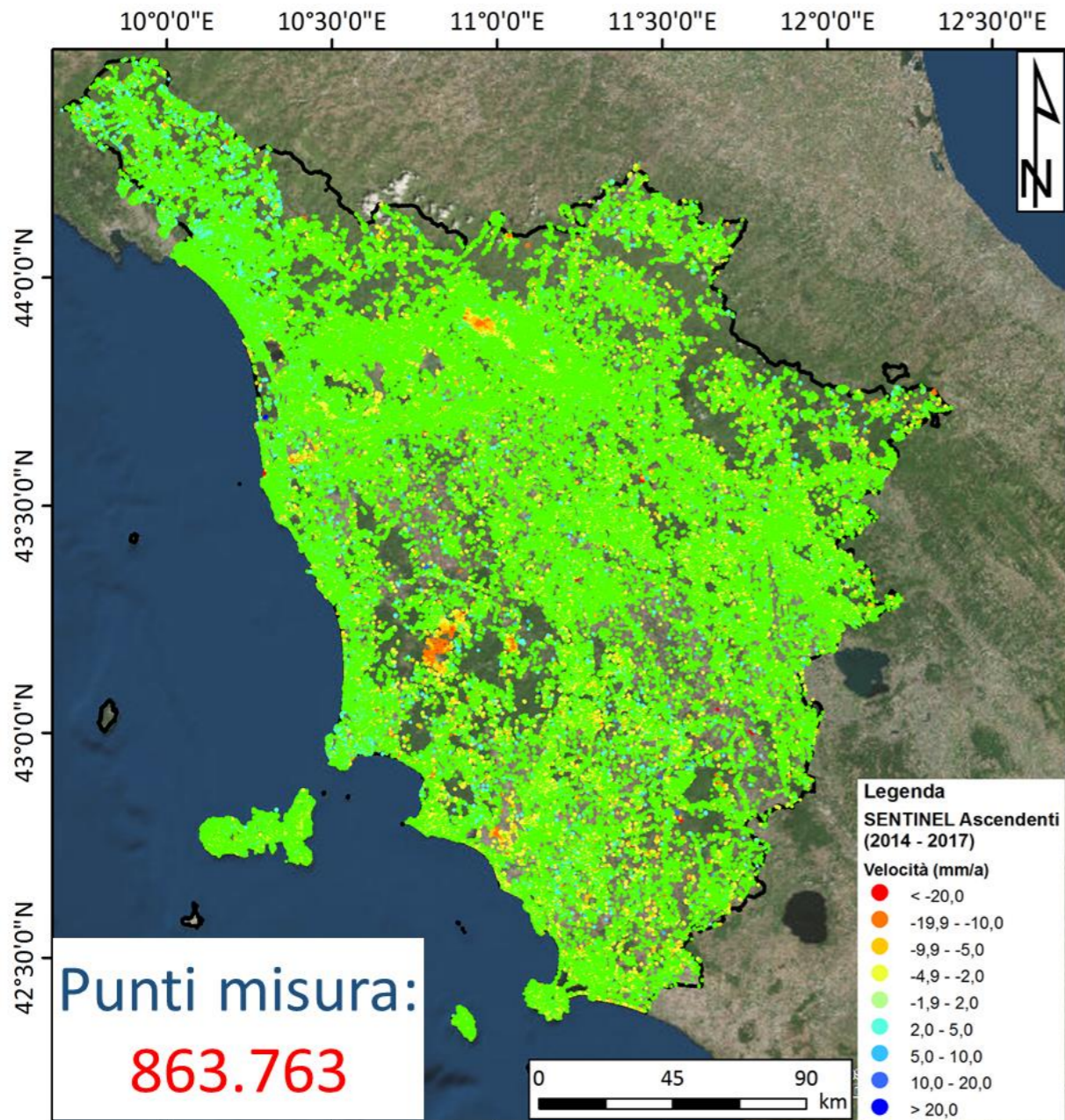
**Anomalia:** variazione di velocità  $\Delta V > 10 \text{ mm/anno}$   
in intervallo di tempo recente R

# Trend lineari - nessuna anomalia

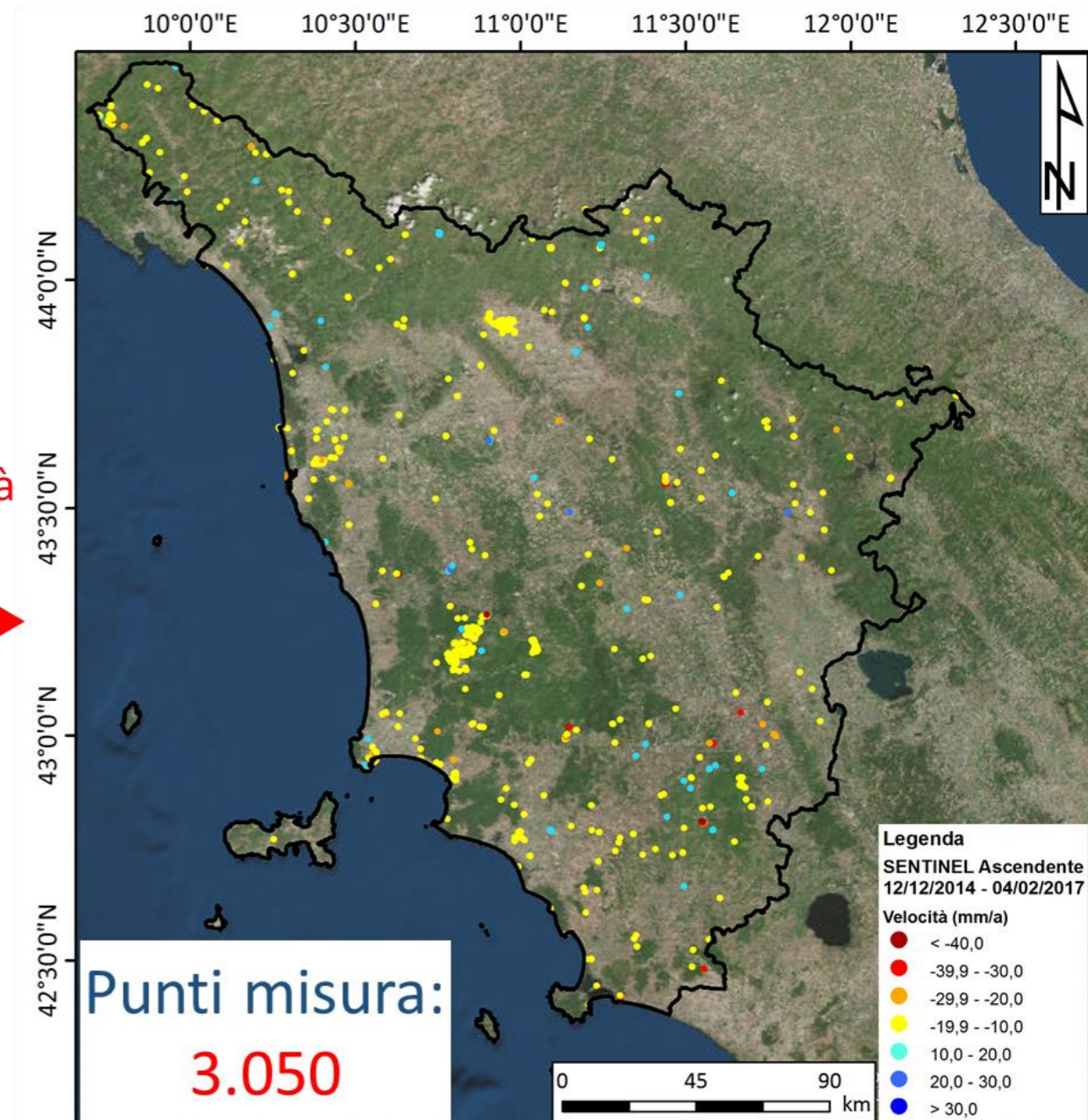


# Risultati delle attività: PS Mapping

# PS mapping: mappatura in tempo differito (Dir. PCM 27/02/2004)

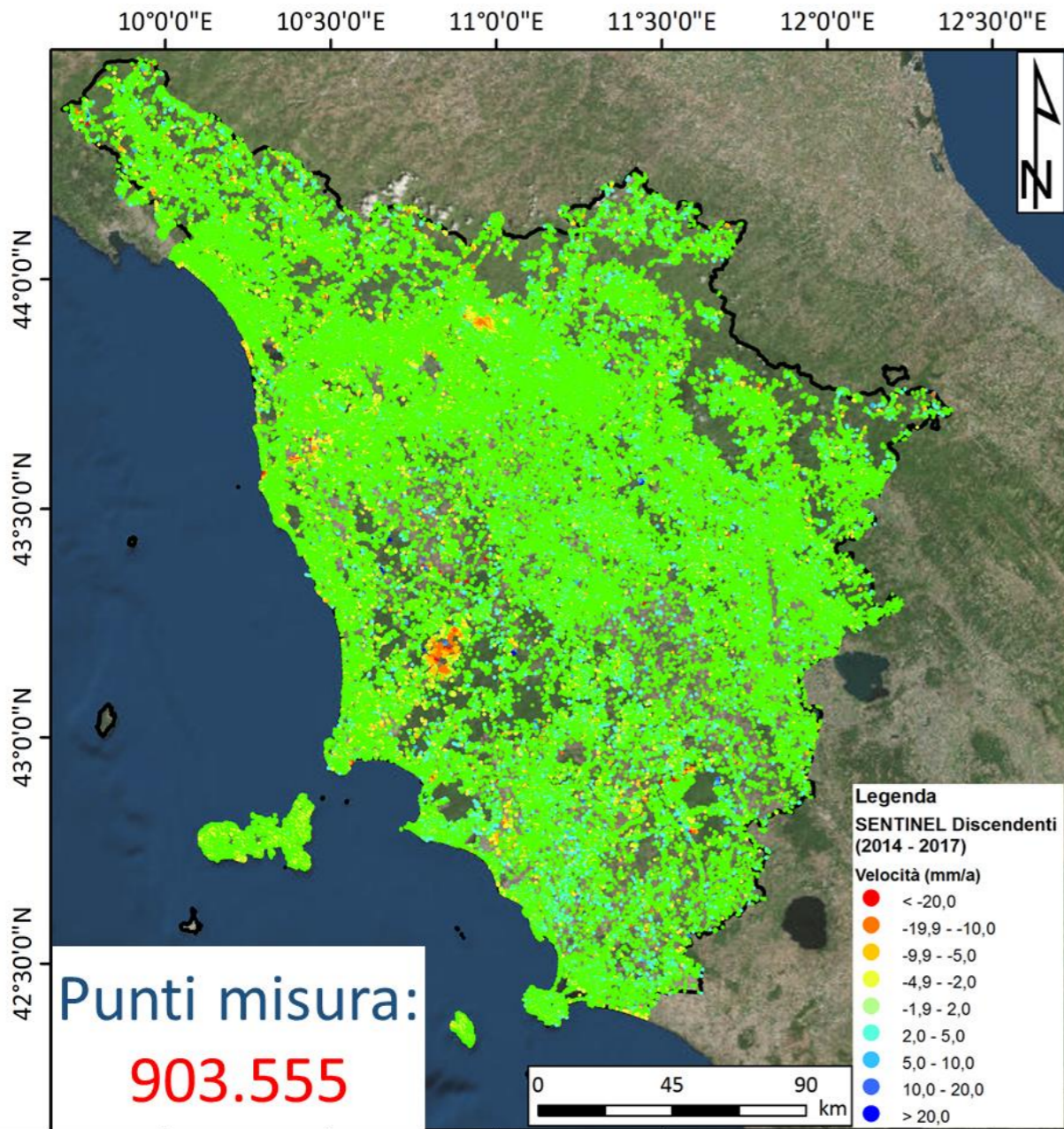


Soglia  
velocità

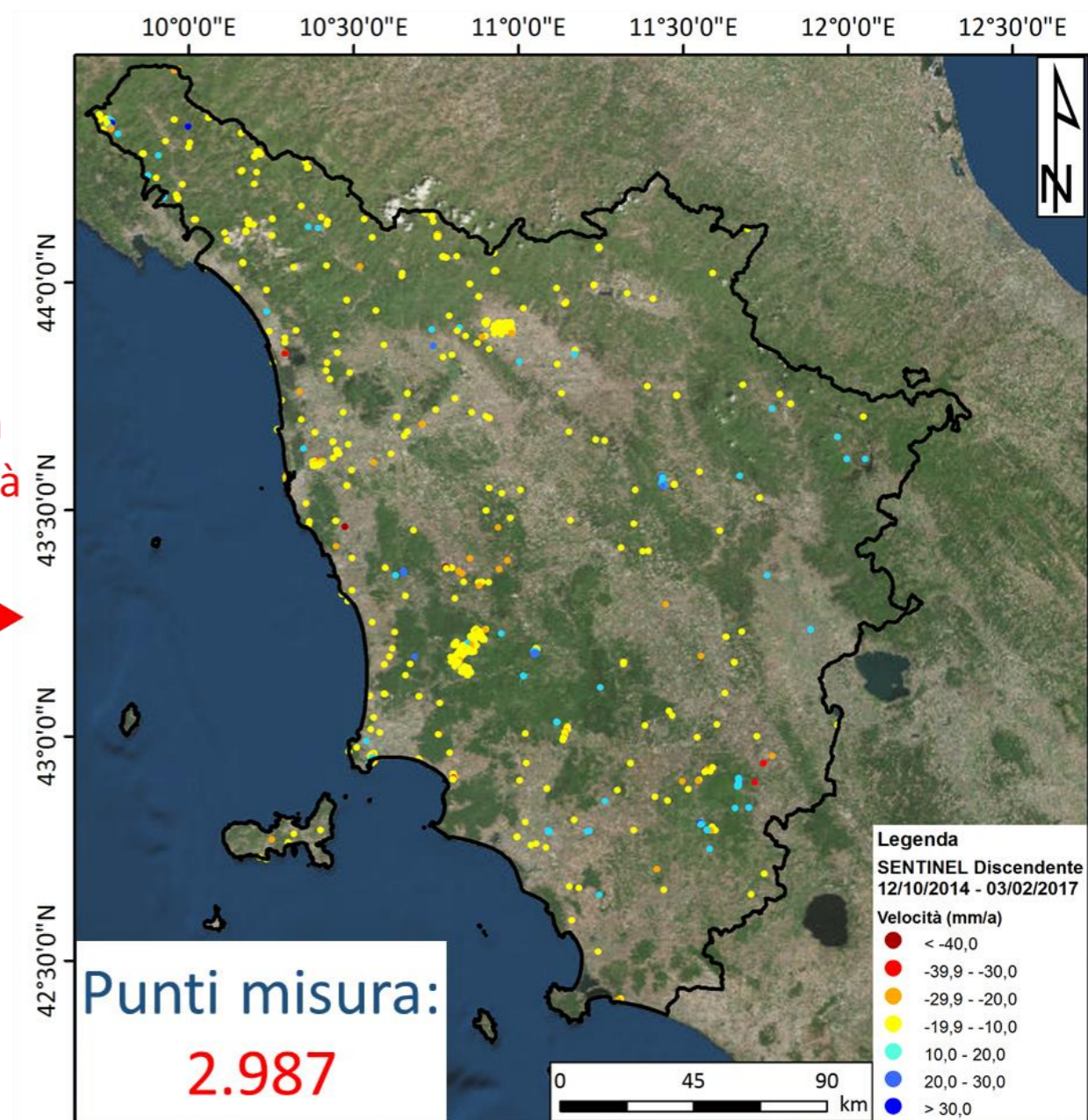


Geometria ascendente

# PS mapping: mappatura in tempo differito (Dir. PCM 27/02/2004)

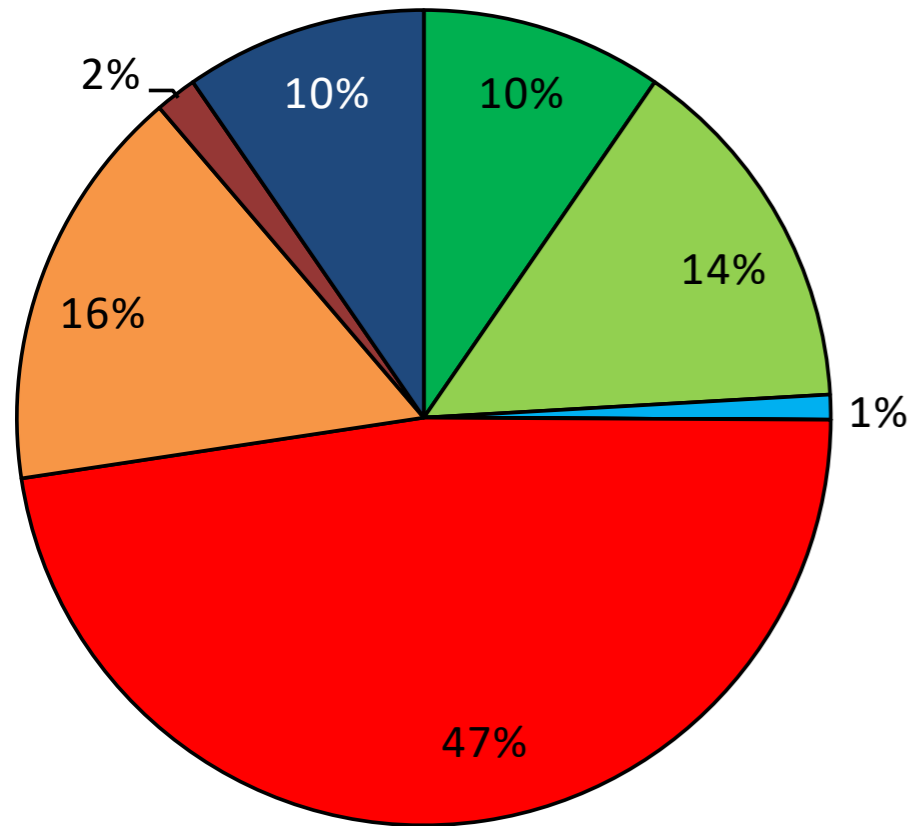


Soglia  
velocità



Geometria discendente

# PS mapping - Aree in deformazione

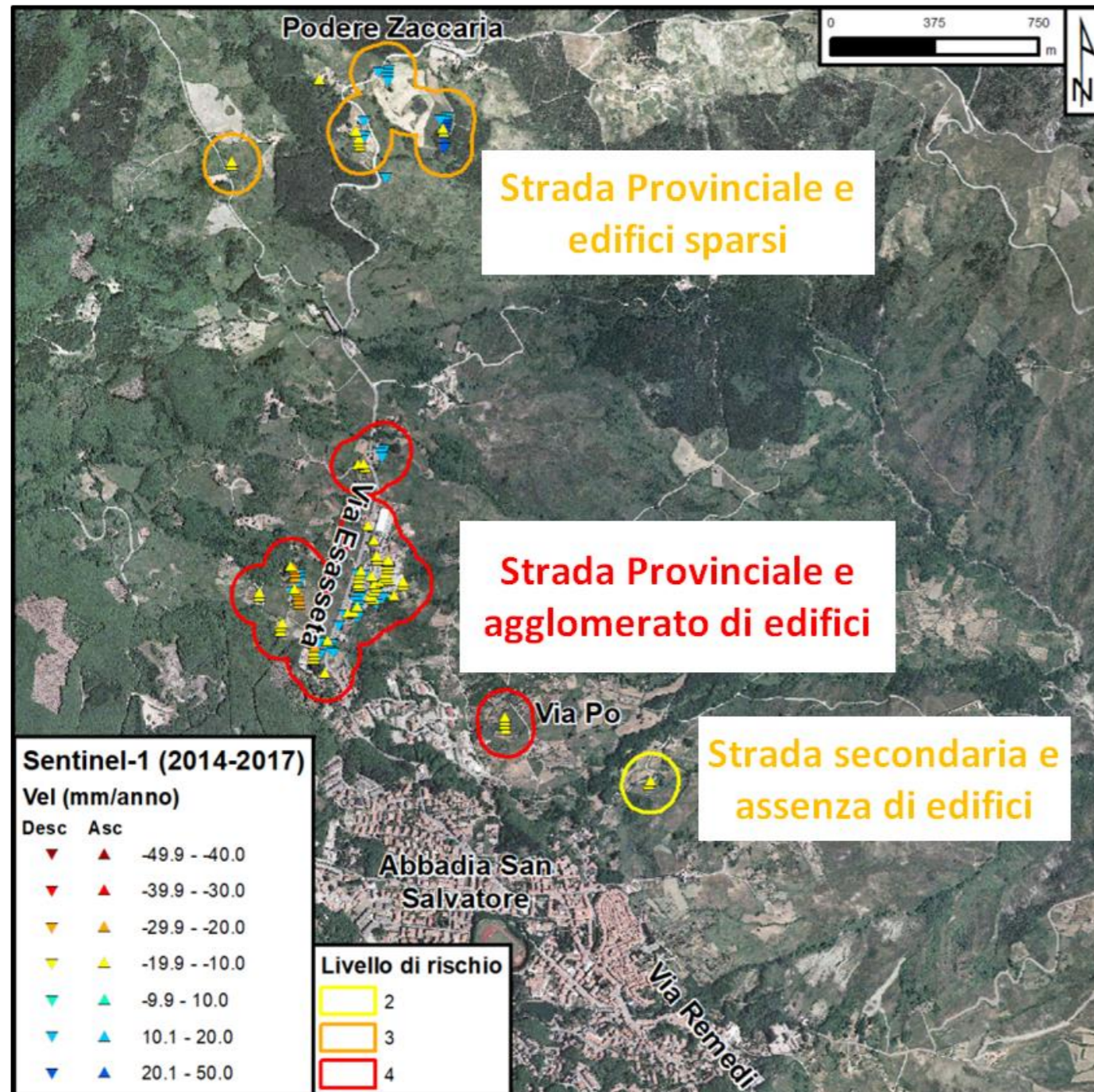


- Subsidenza Locale
- Subsidenza areale
- Uplift locale
- Uplift areale
- Movimento di versante
- Attività geotermica
- Disscarica
- Attività estrattiva

Provincia	SA	SL	UL	UA	MV	AG	D	AE	Totale
Pisa	10	3	0	0	8	36	0	7	64
Grosseto	9	5	1	0	24	10	3	8	60
Massa Carrara	0	0	0	0	37	0	0	3	40
Pistoia	15	1	1	0	10	0	0	0	27
Firenze	1	6	0	0	16	0	0	3	26
Siena	0	2	0	0	18	3	0	2	25
Livorno	8	10	1	0	1	0	0	5	25
Arezzo	0	2	0	0	15	0	2	2	21
Lucca	1	0	0	0	10	0	0	1	12
Prato	0	0	0	0	3	0	0	0	3
<b>Totale</b>	<b>44</b>	<b>29</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>142</b>	<b>49</b>	<b>5</b>	<b>31</b>	<b>303</b>

# Valutazione speditiva del rischio

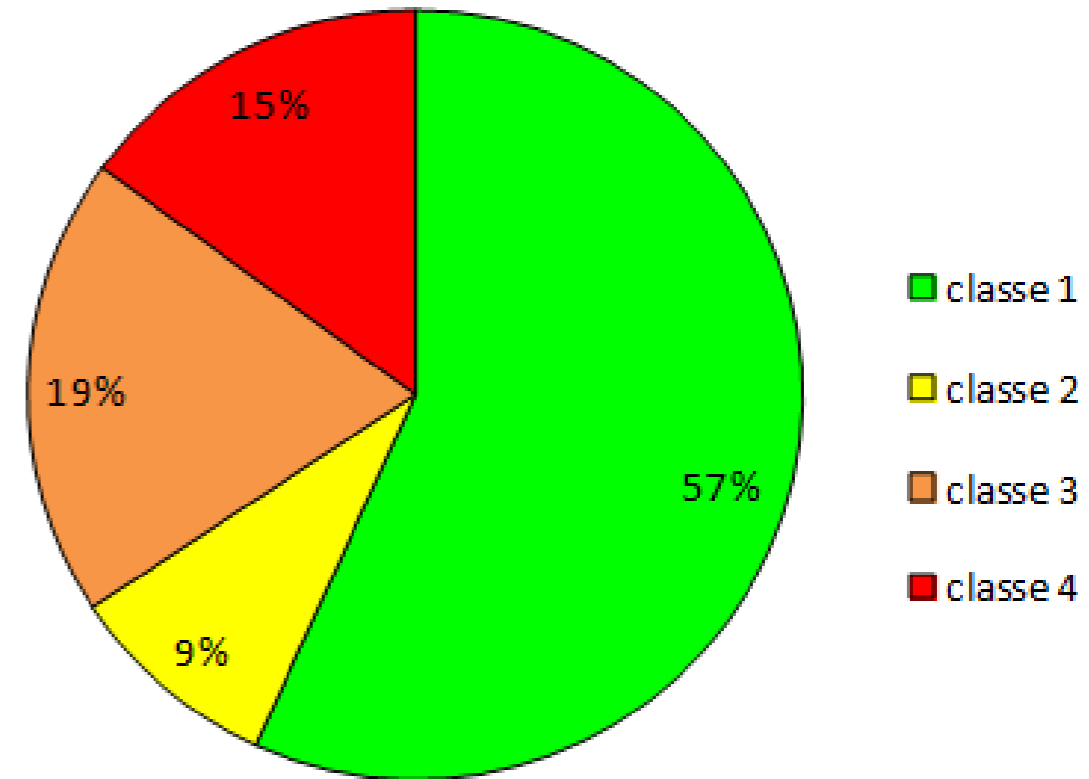
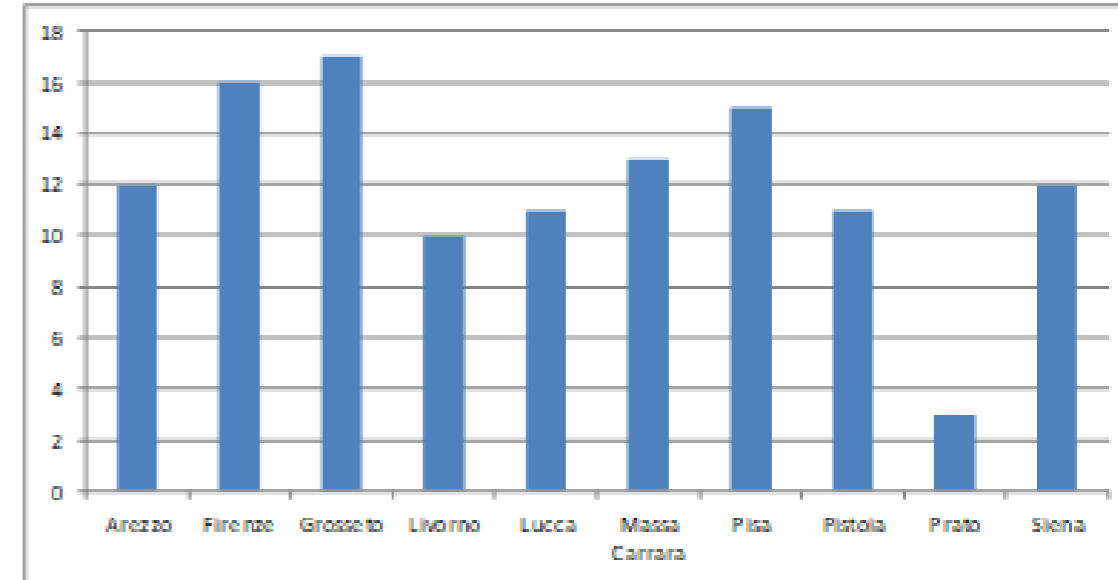
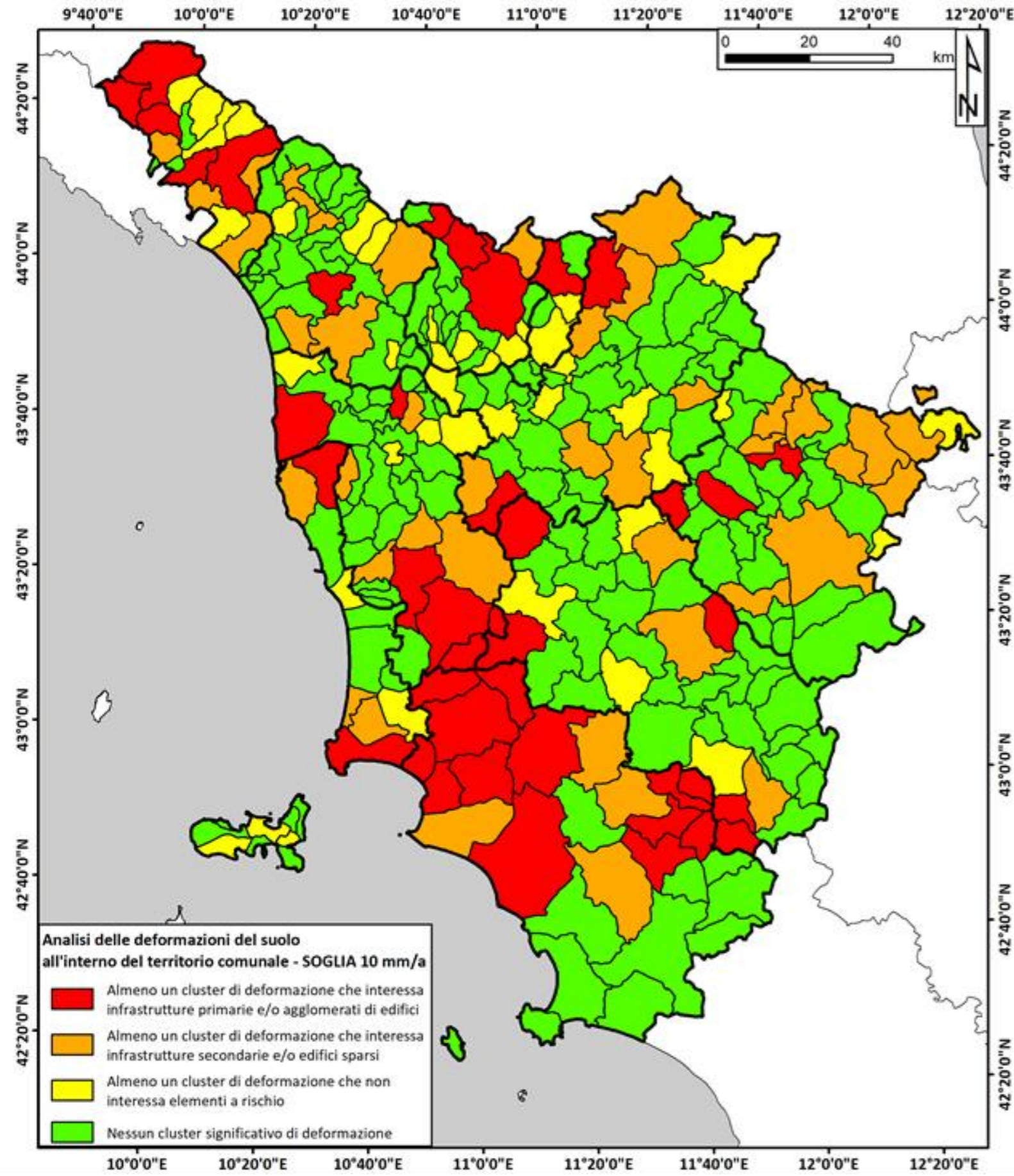
## PS Clusters di rilevanza statistica + Elementi a rischio



Abbadia San Salvatore (SI)

Classe	Descrizione
1	Nessun cluster significativo di deformazione
2	Presenza di elementi a rischio isolati (viabilità secondaria, edifici isolati) all'interno del cluster
3	Presenza di elementi a rischio distribuiti (viabilità principale, edifici sparsi) all'interno del cluster
4	Presenza di numerosi elementi a rischio (viabilità principale, centri abitati) all'interno del cluster

# PS mapping – Classificazione comuni





# Sopralluoghi di validazione – Abbadia (SI)

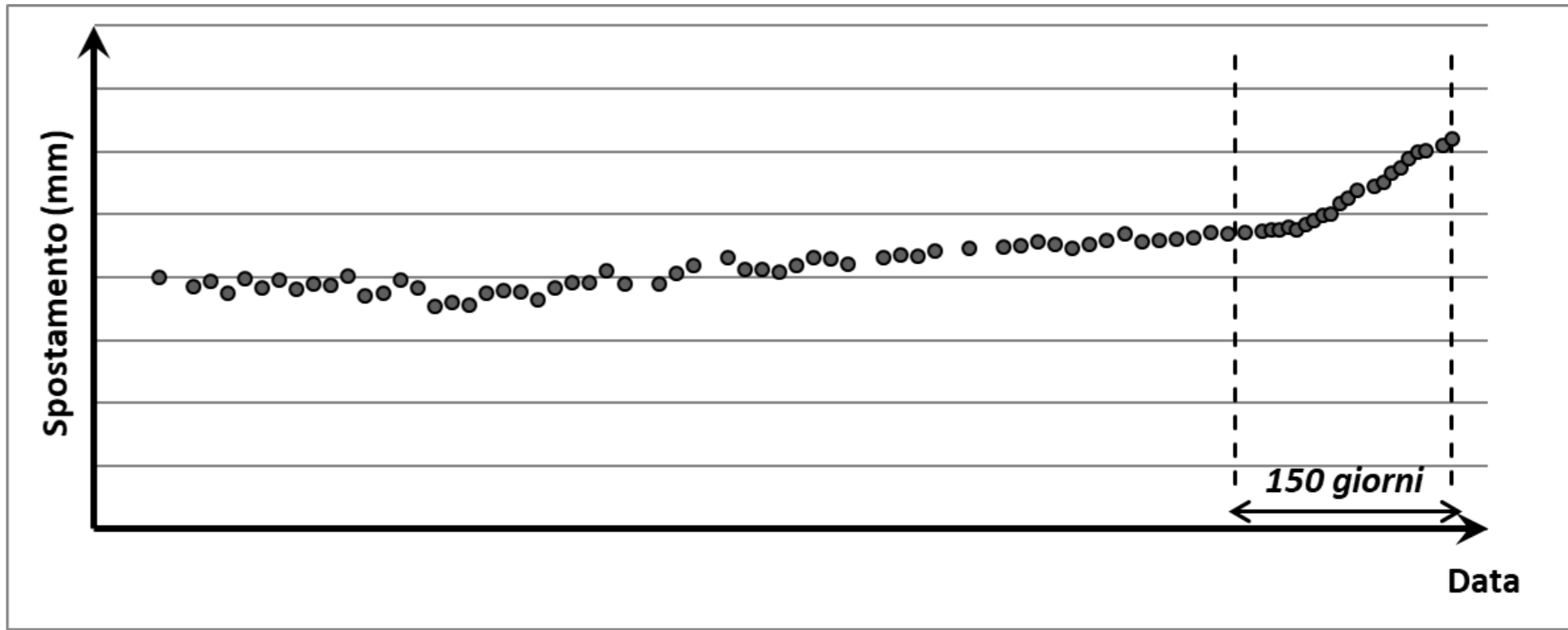
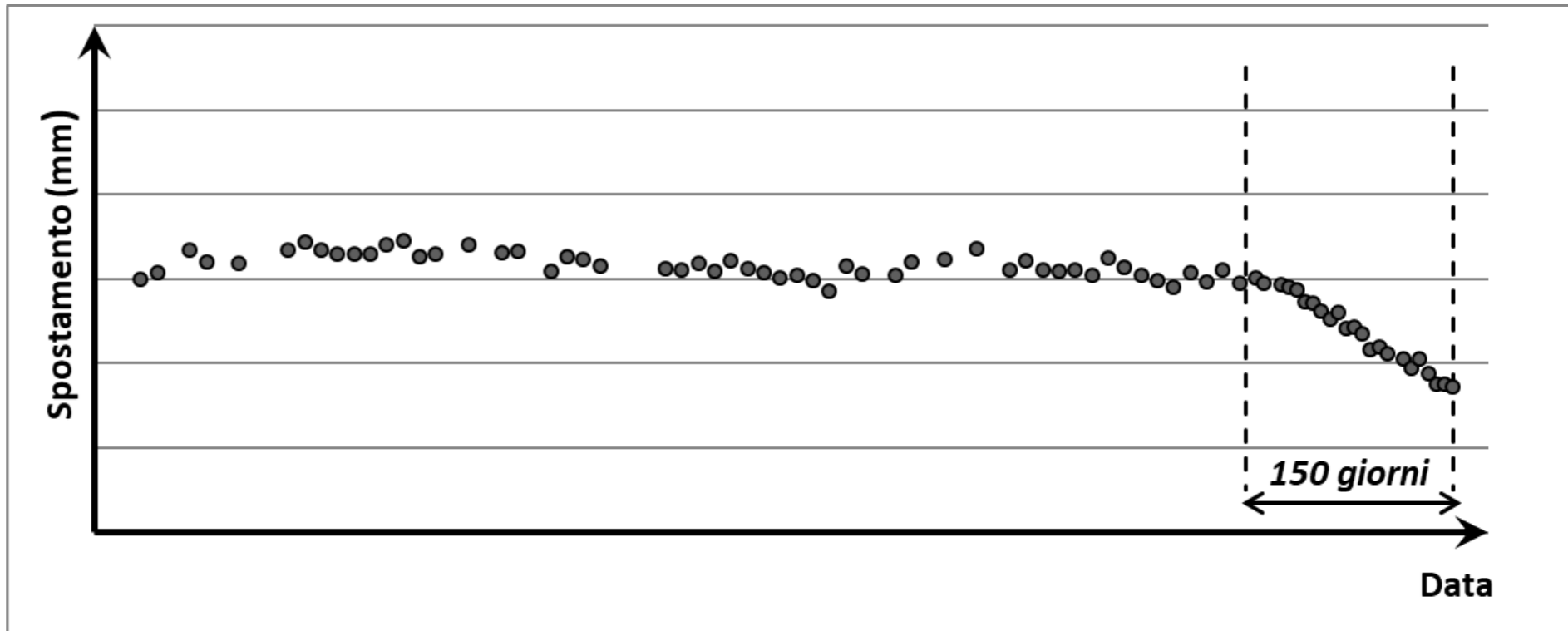
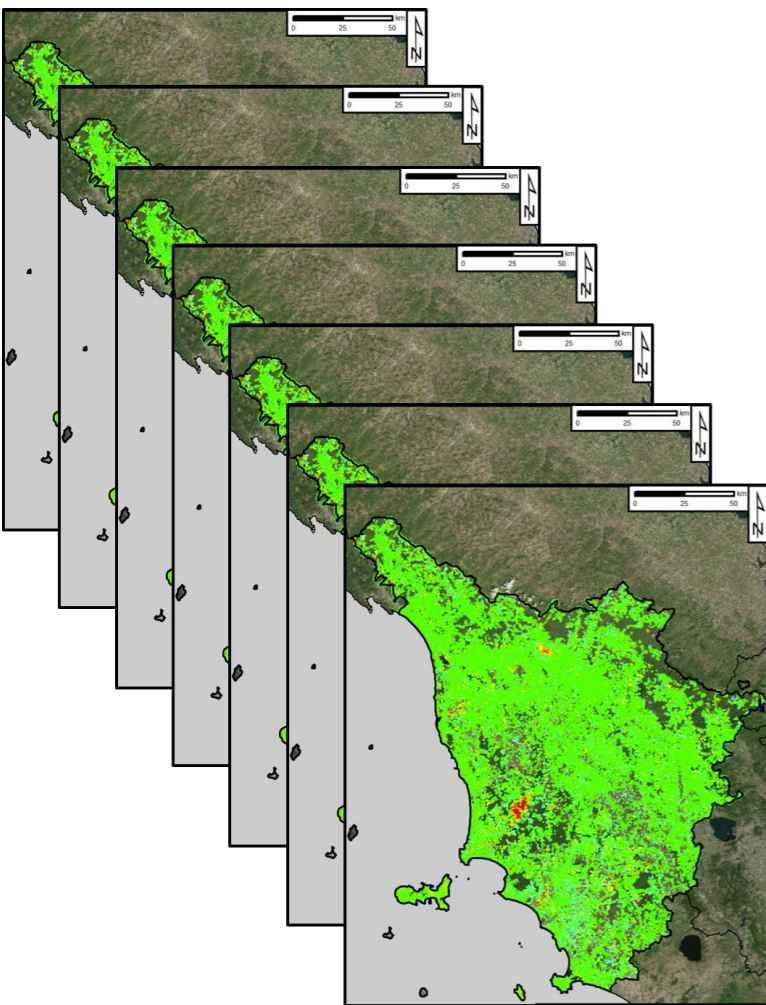


# Sopralluoghi di validazione – Abbadia (SI)

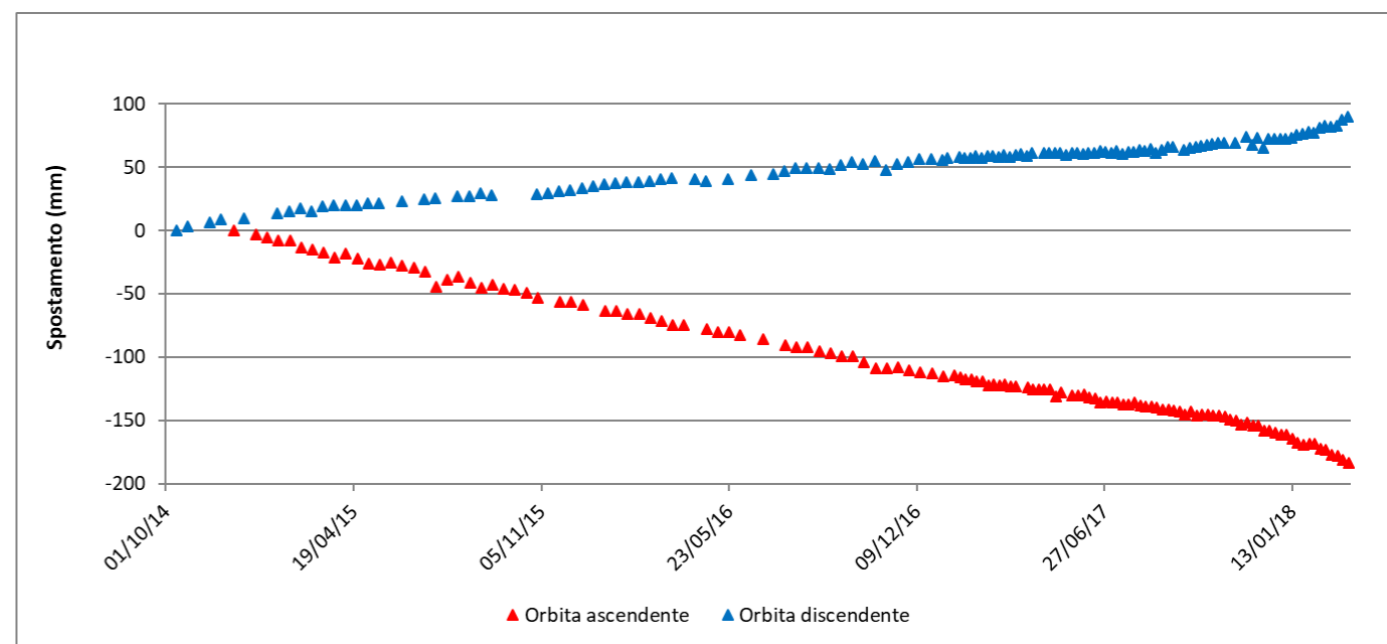
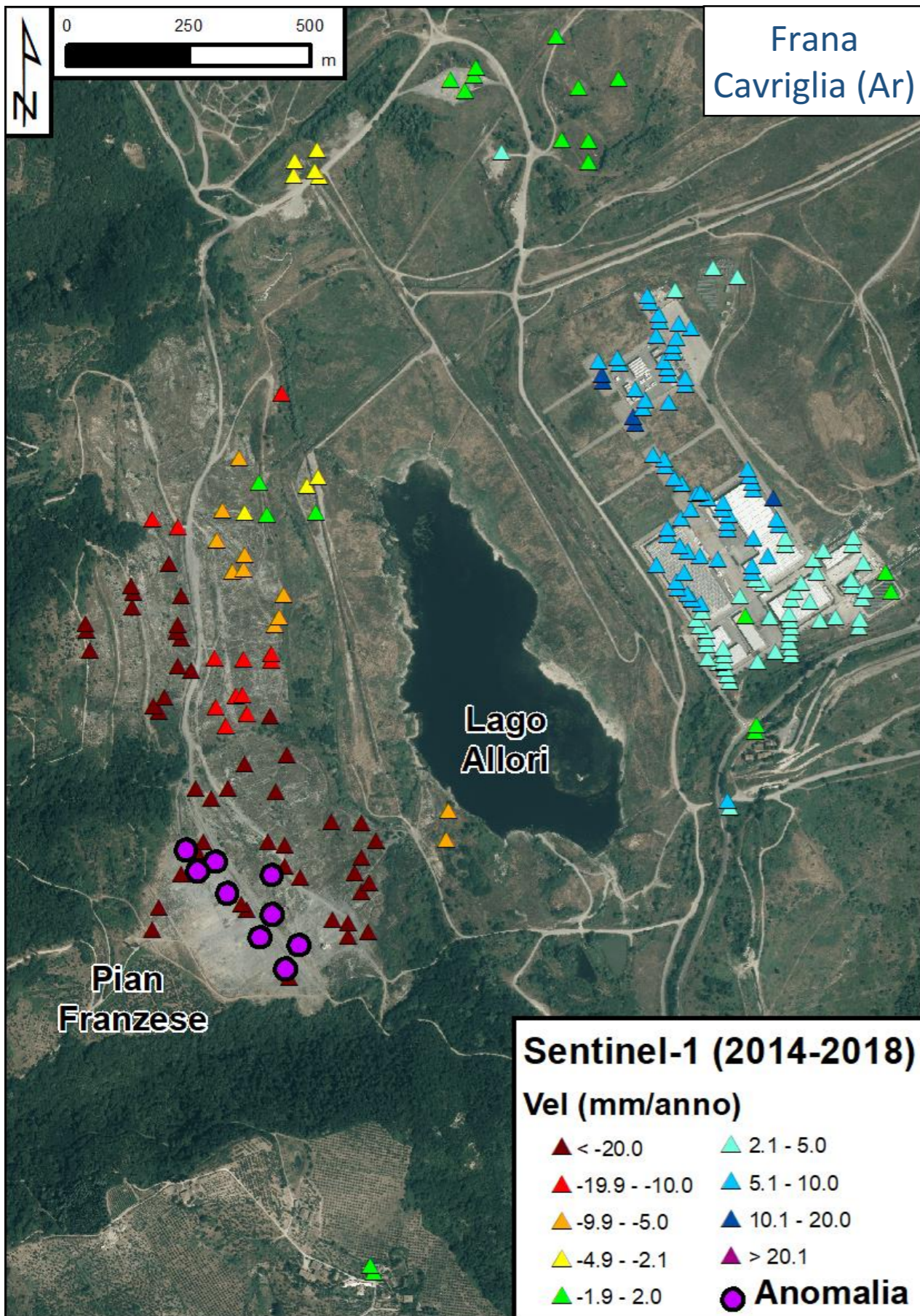


# Risultati delle attività: PS Monitoring

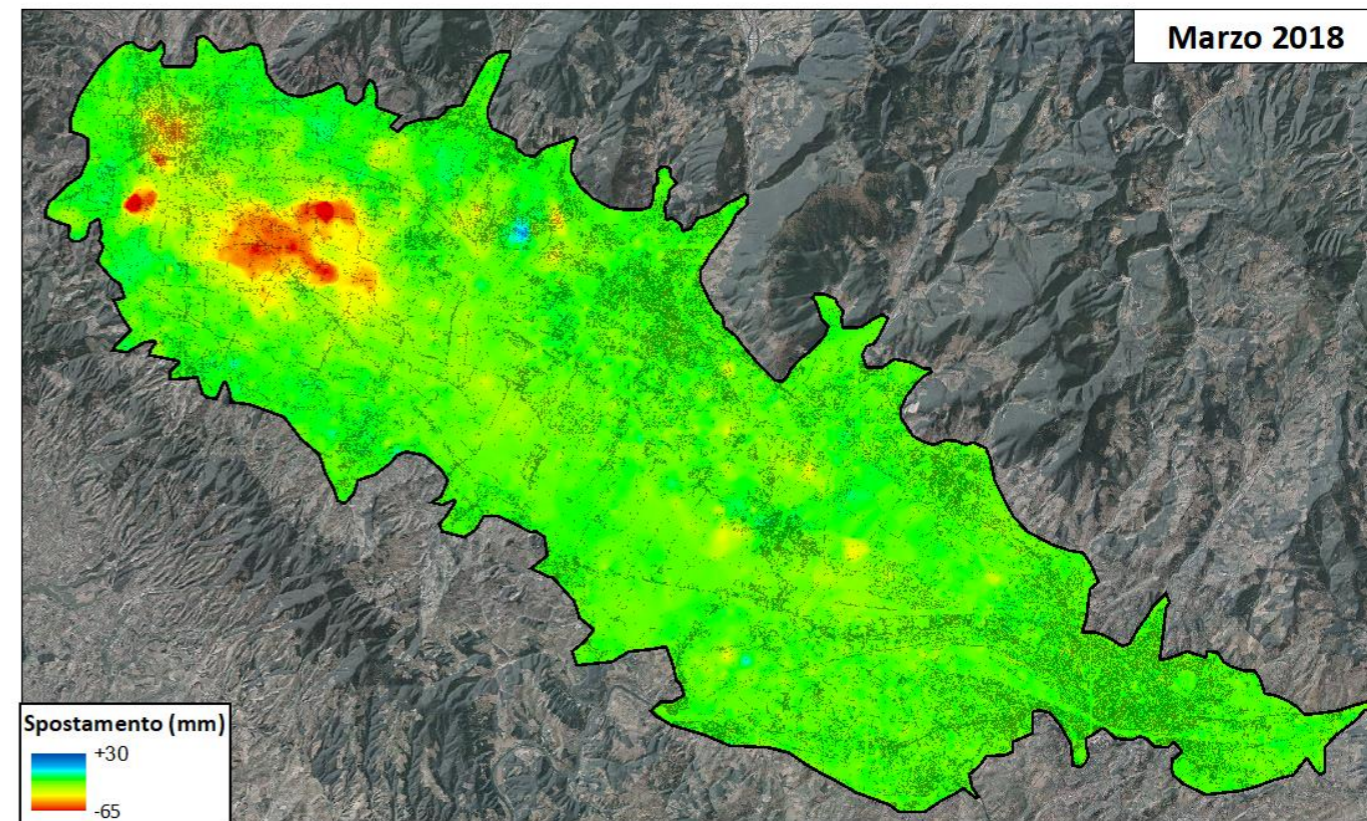
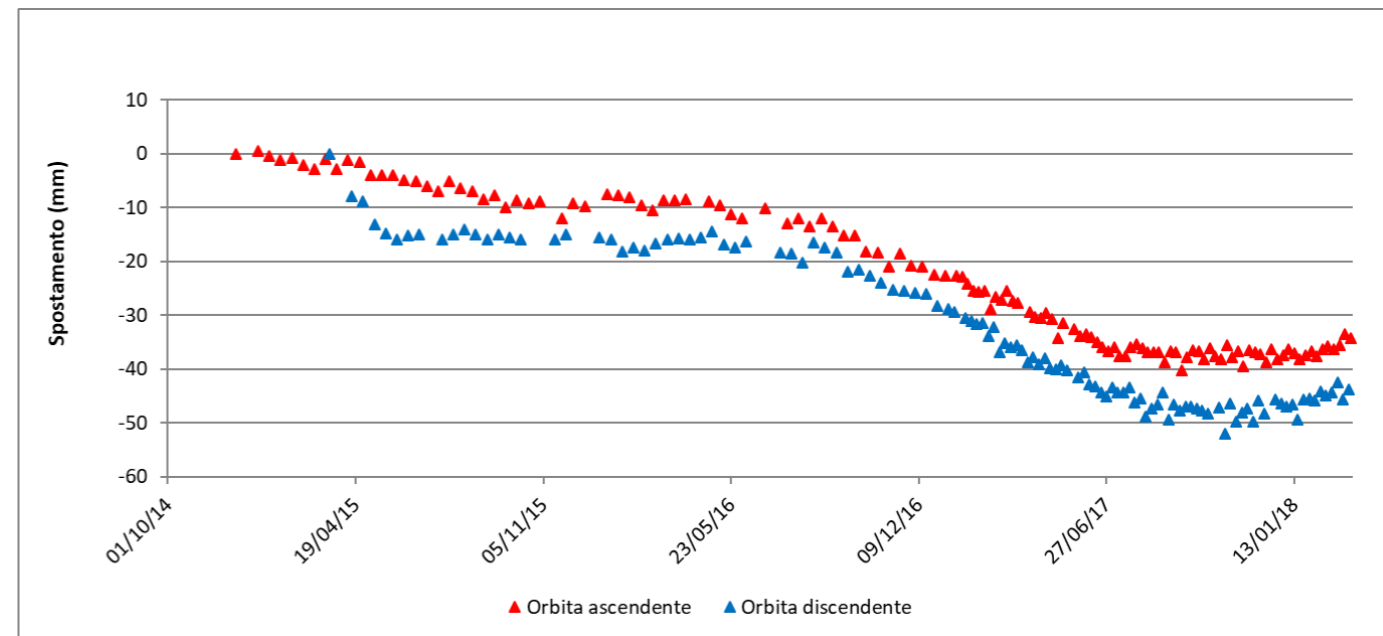
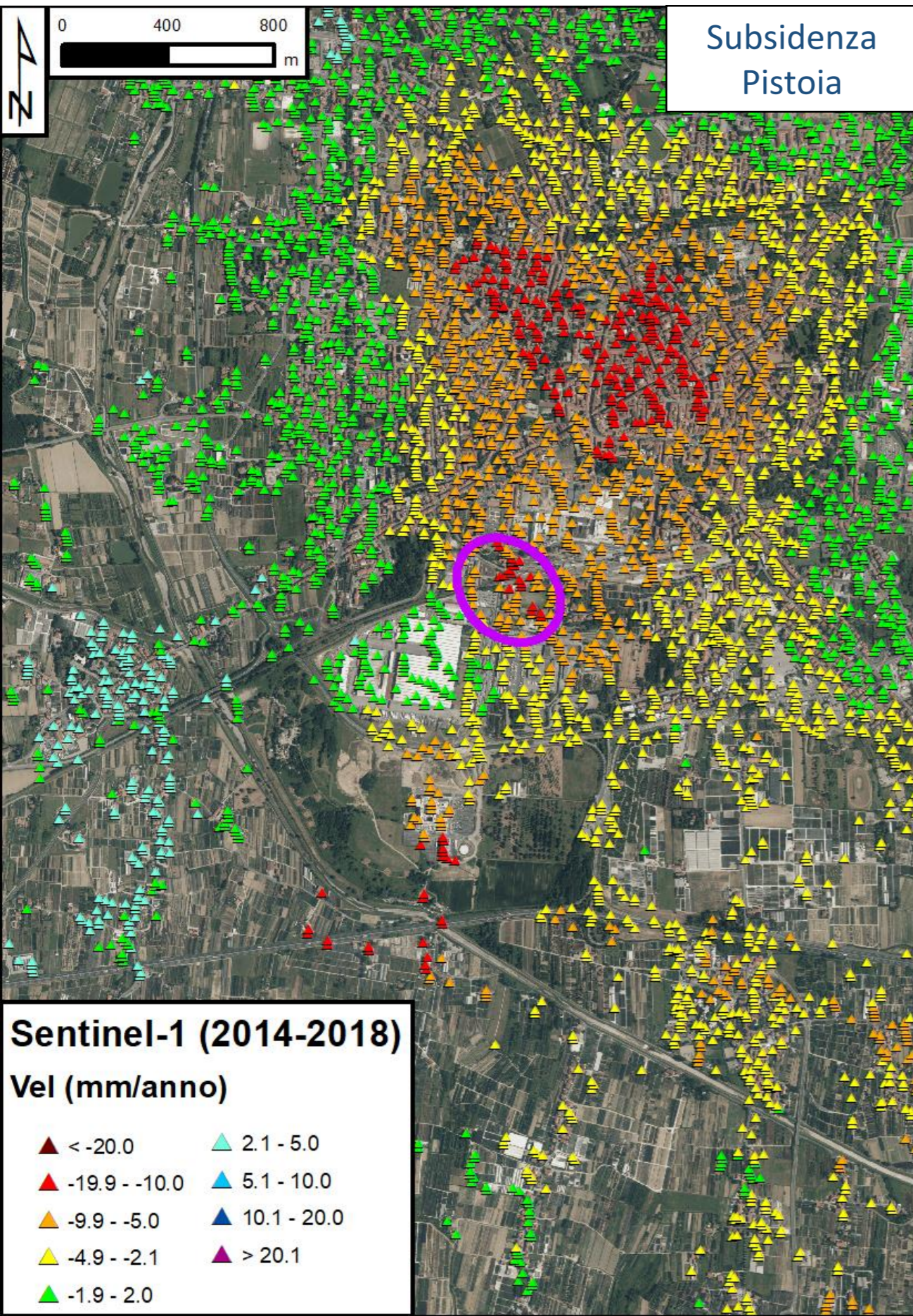
# PS monitoring: monitoraggio “in tempo reale” (Dir. PCM27/02/2004)



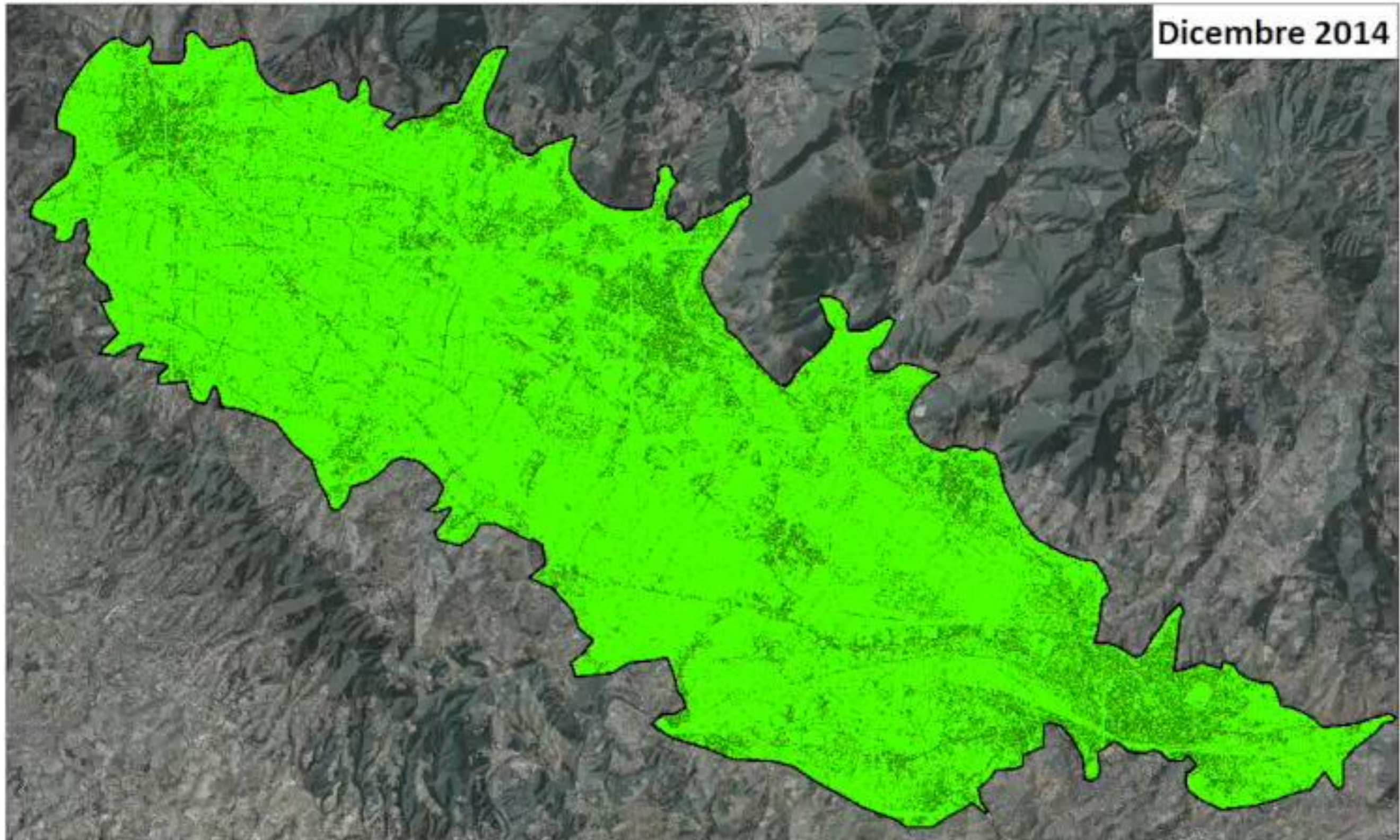
# Cause delle Anomalie



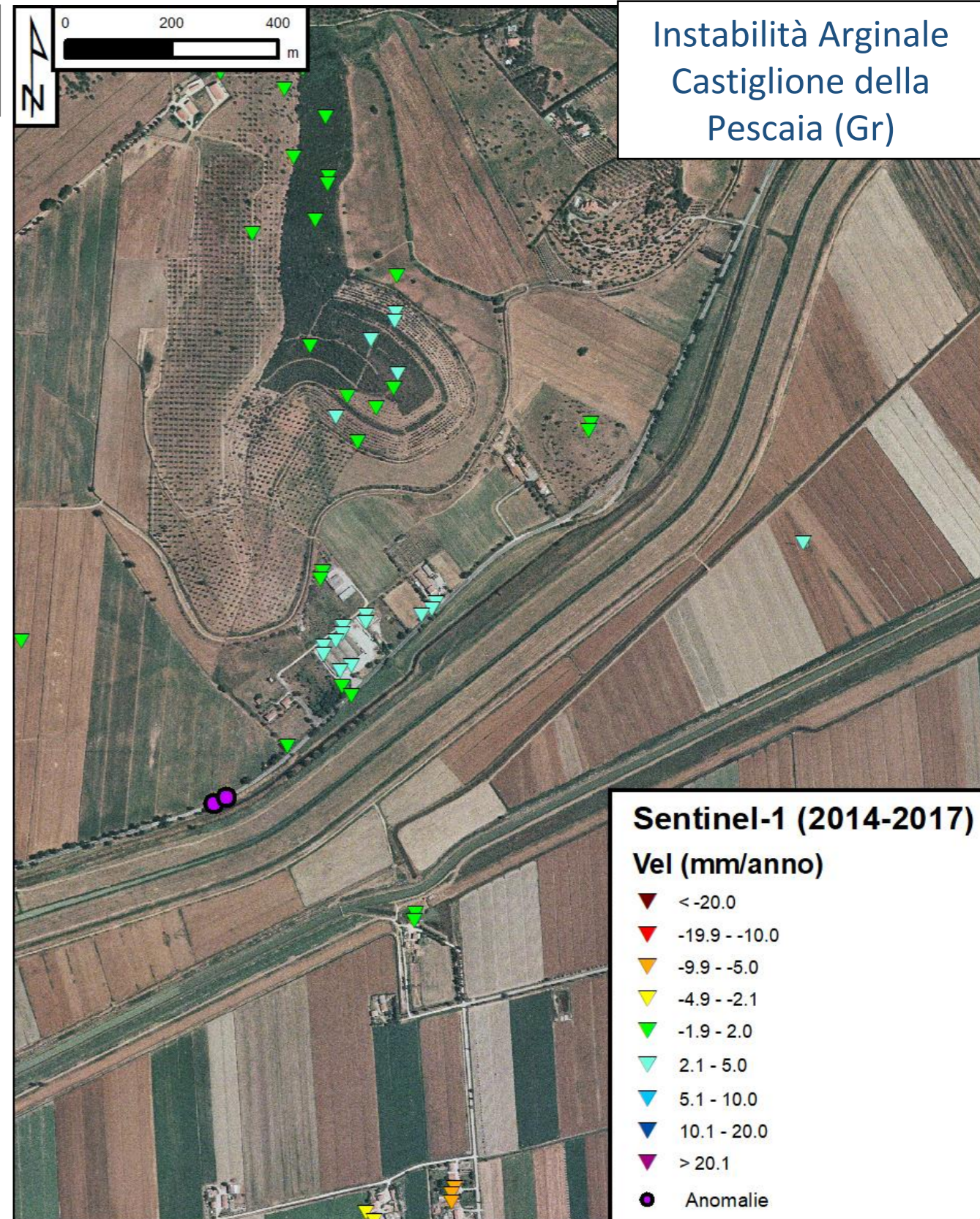
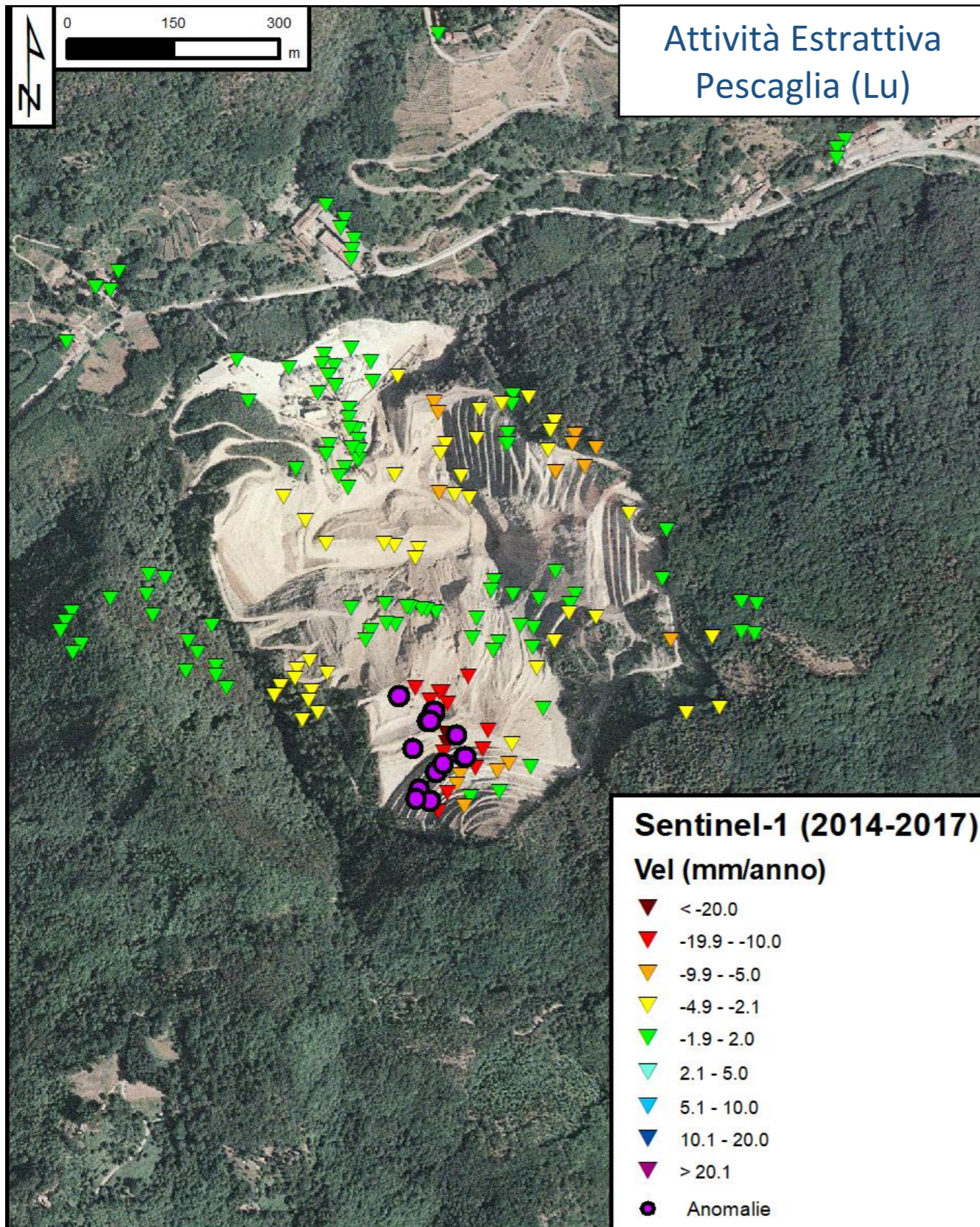
# Cause delle Anomalie



# Subsidenza piana Fi-PO-PT

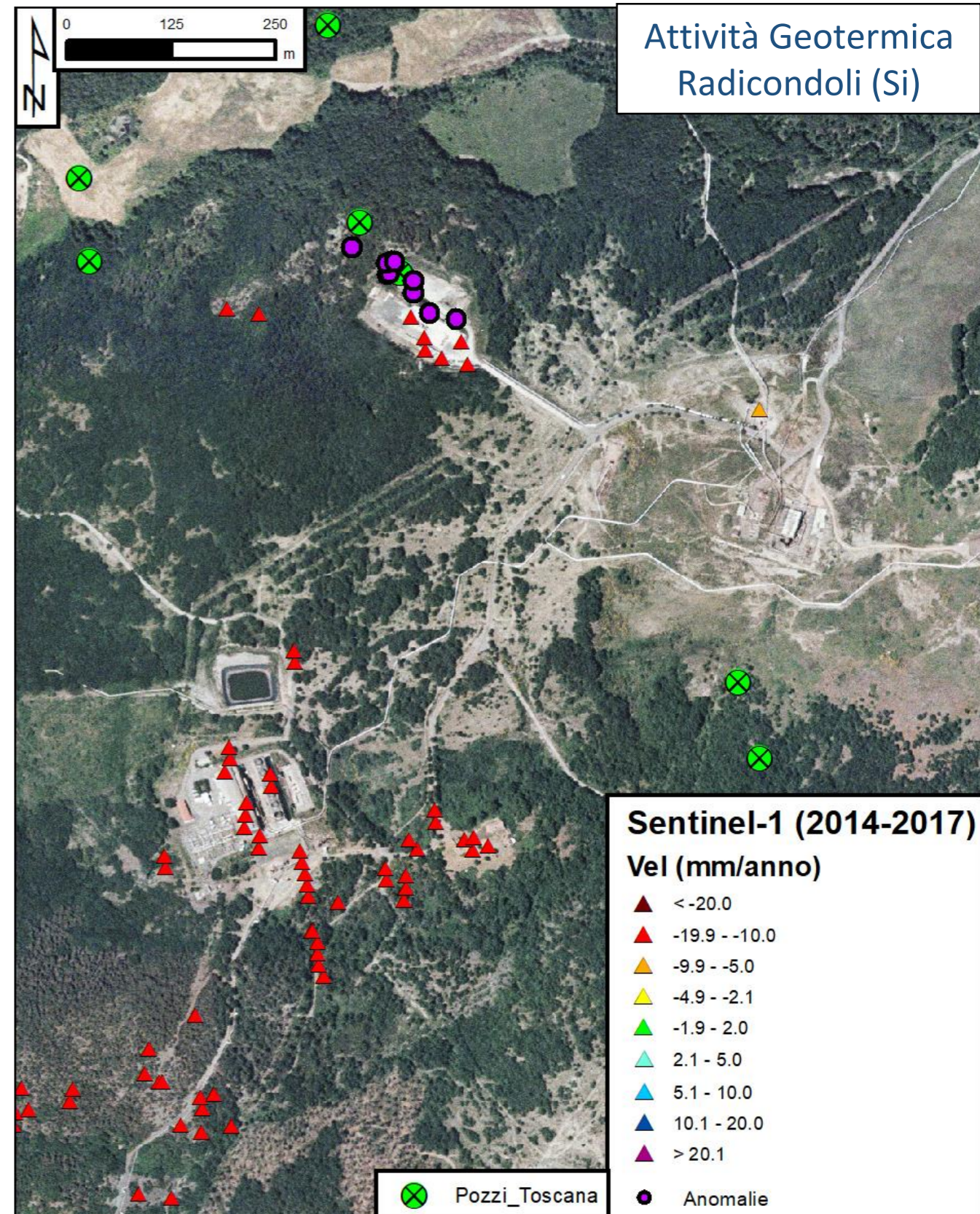
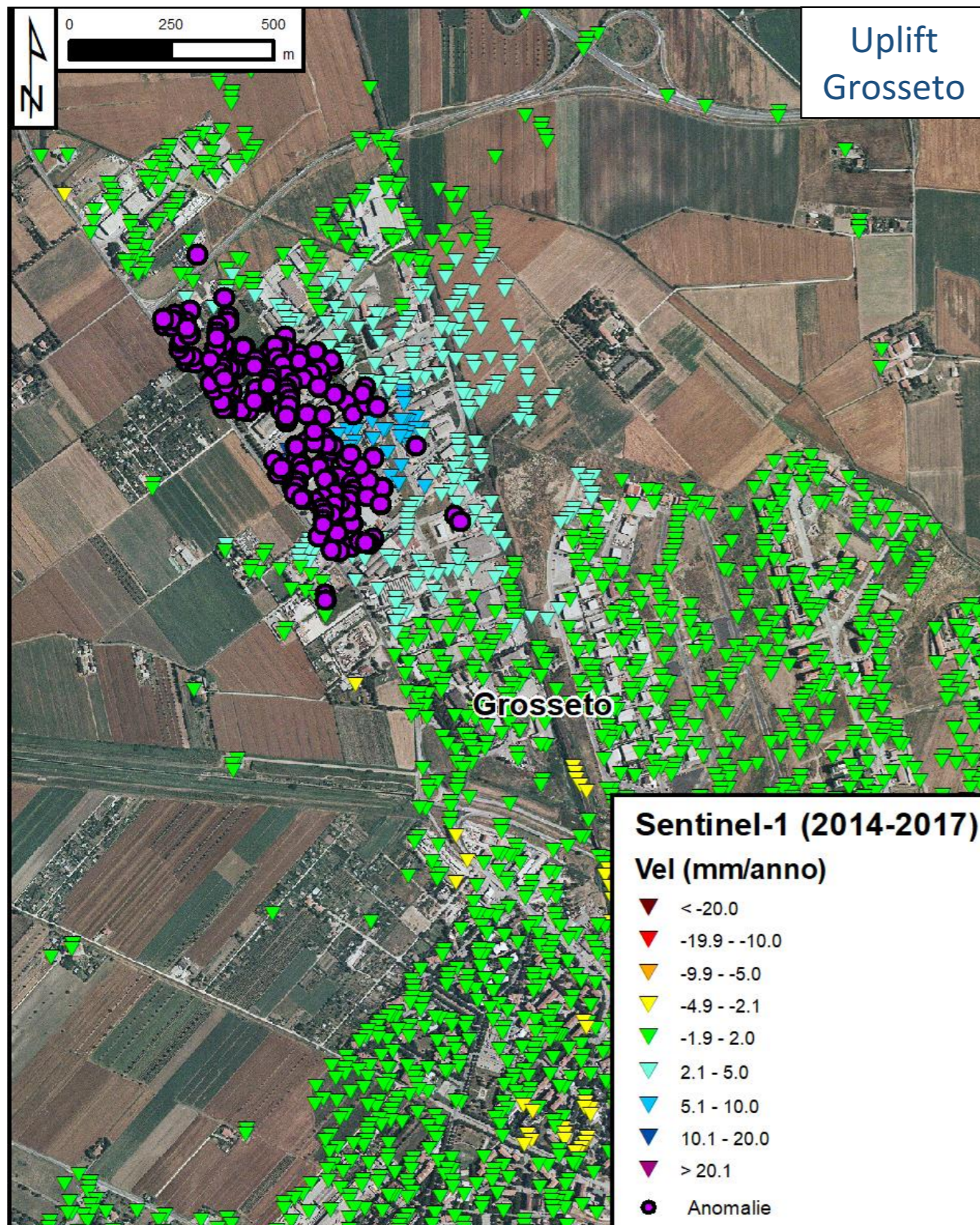


# Cause delle Anomalie

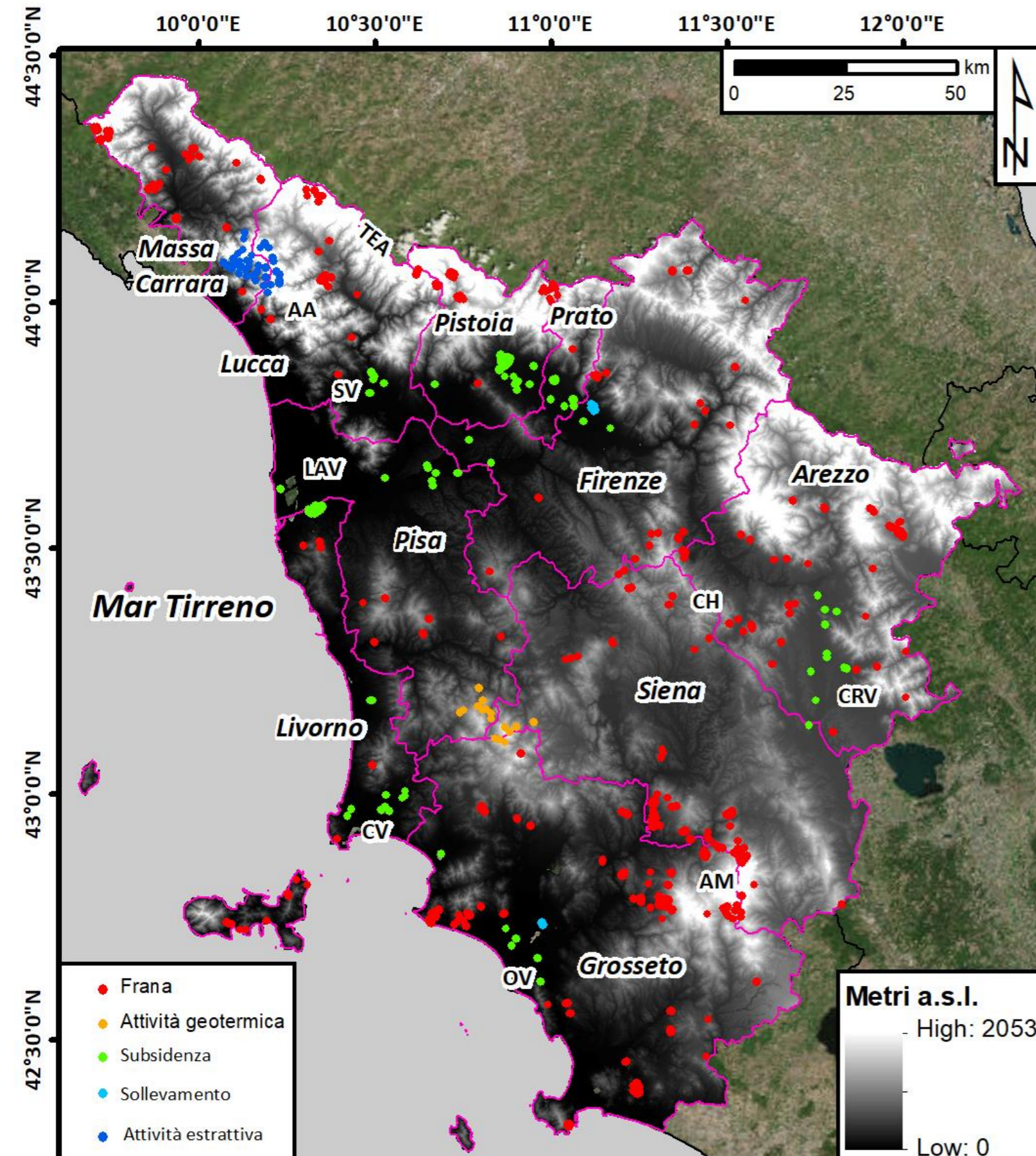




# Cause delle Anomalie

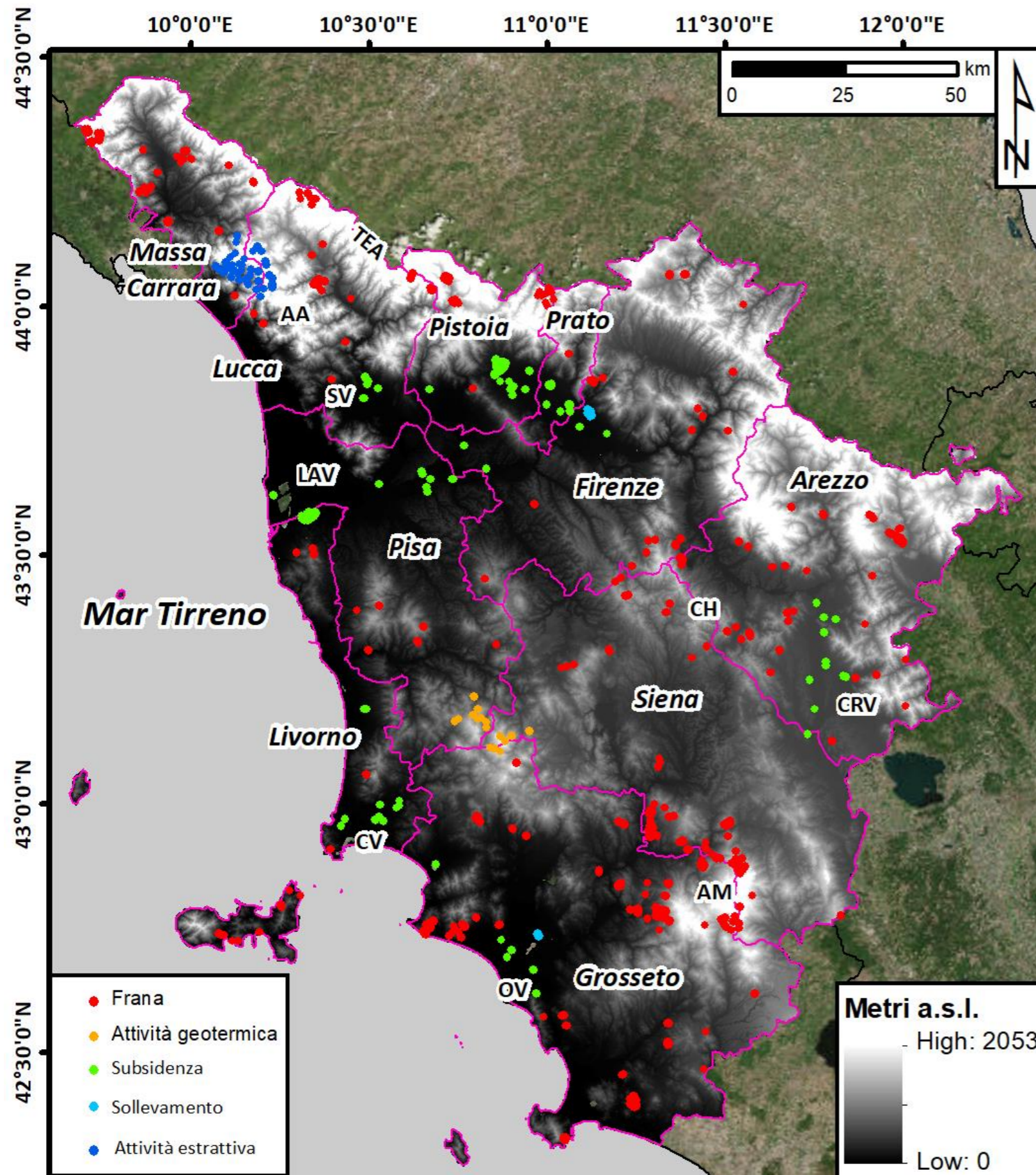


# Cause delle Anomalie

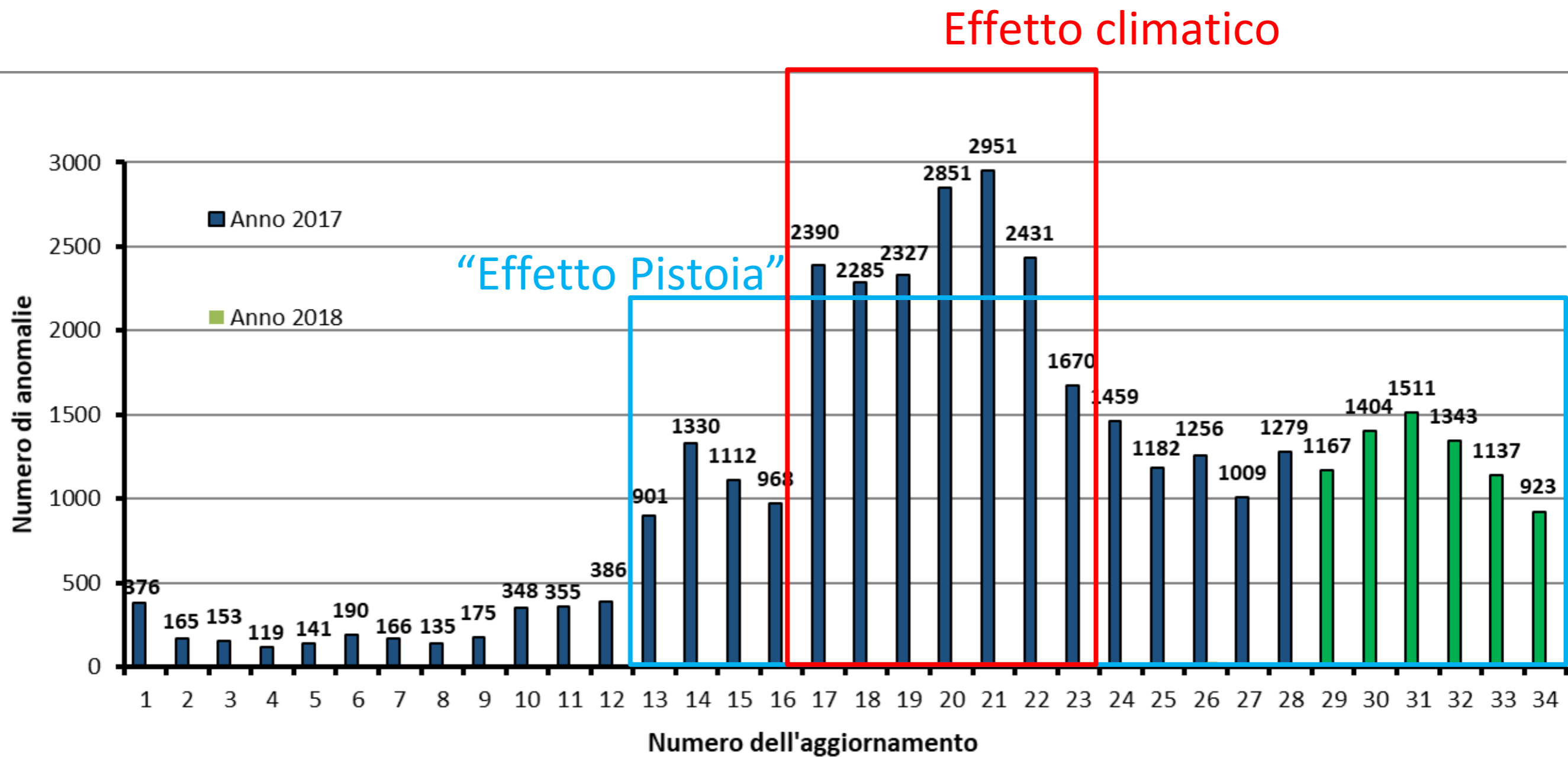


Causa	%
Subsidenza (areale e locale)	64.74
Movimento di versante	29.58
Uplift (areale e locale)	3.5
Attività estrattiva	1.63
Attività geotermica	0.48
Instabilità arginale	0.05
Instabilità in discarica	0.02

# Analisi cause anomalie per Provincia



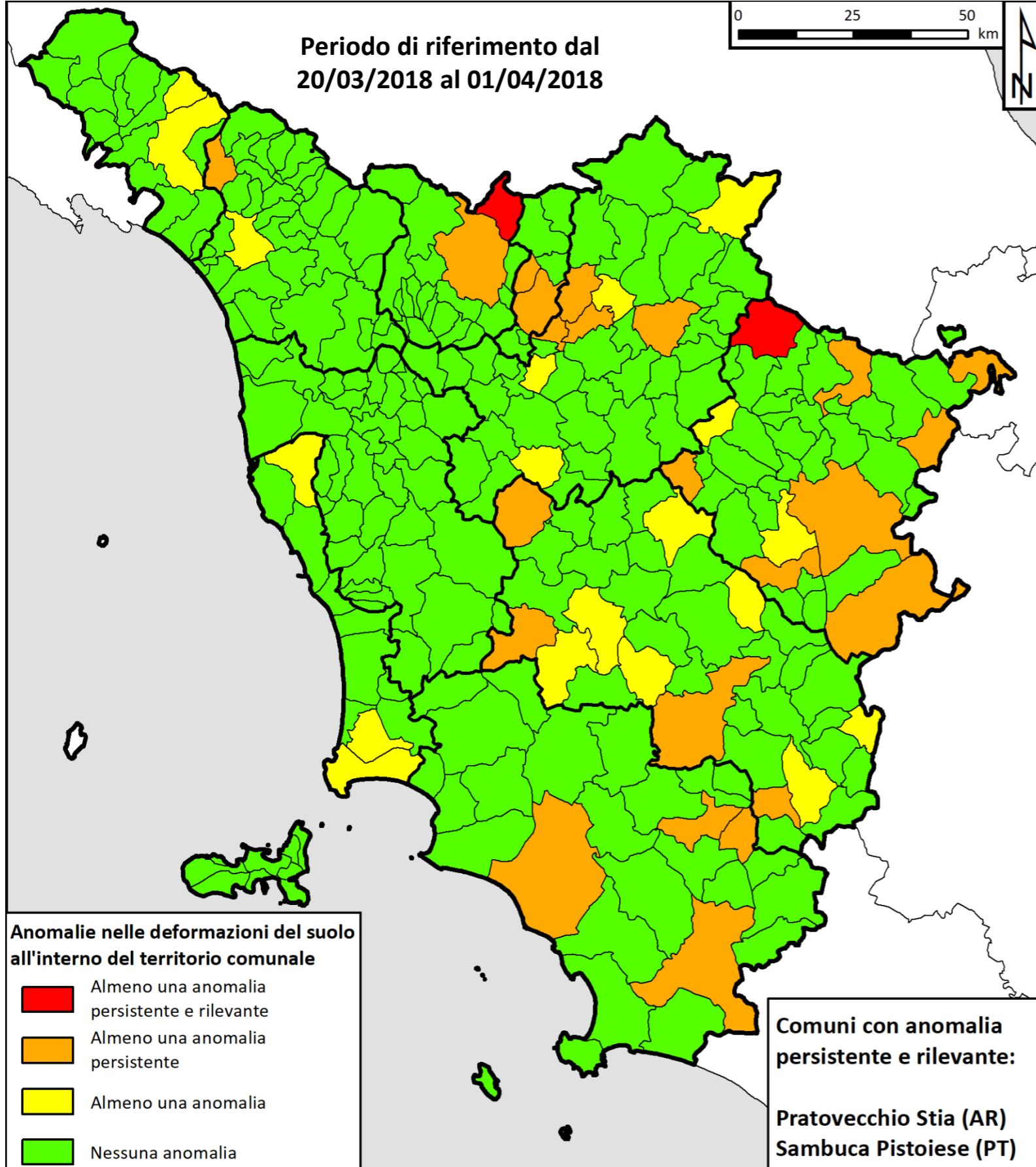
# Numero anomalie



# Bollettino di monitoraggio

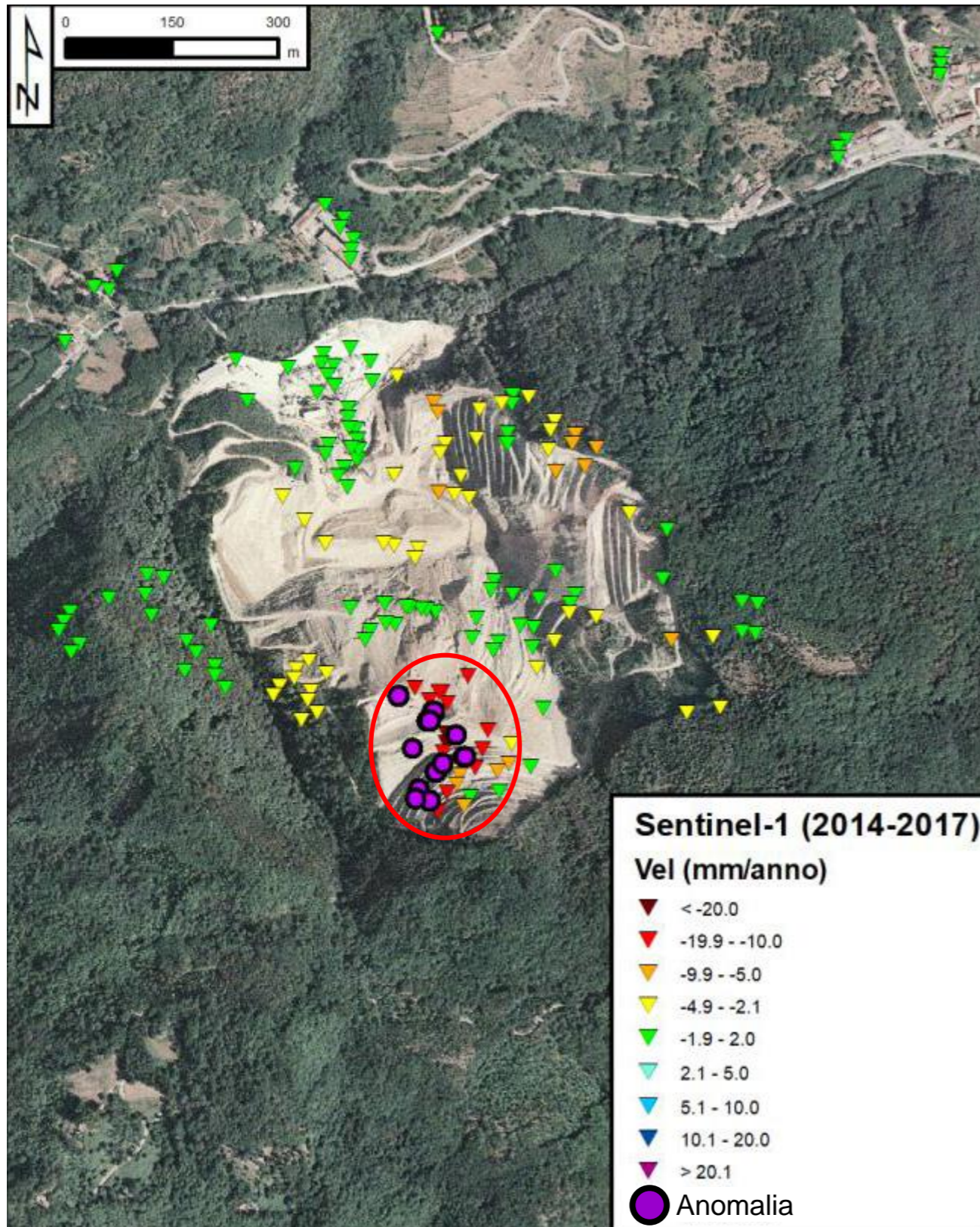
Periodo di riferimento dal  
20/03/2018 al 01/04/2018

0 25 50 km



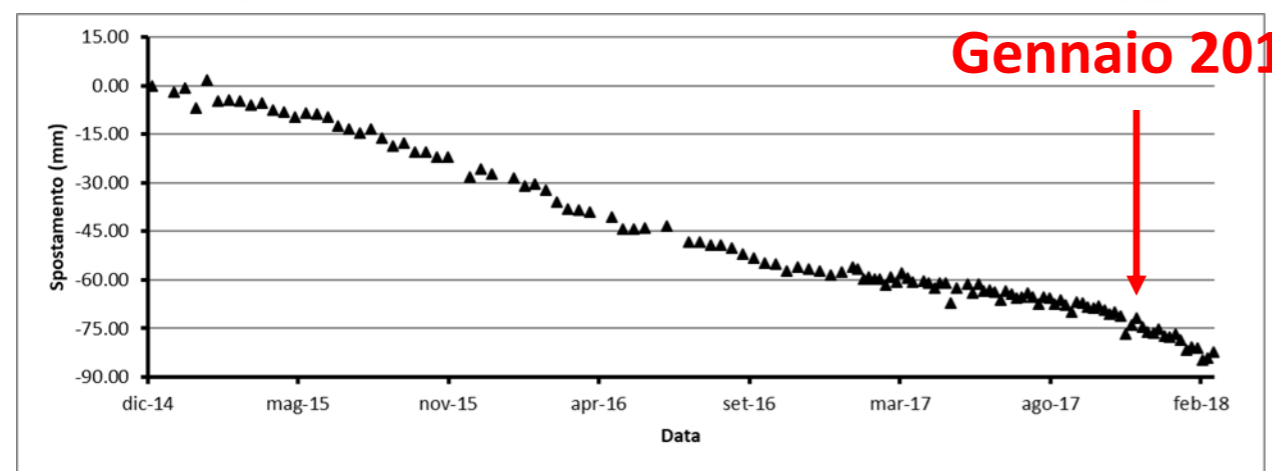
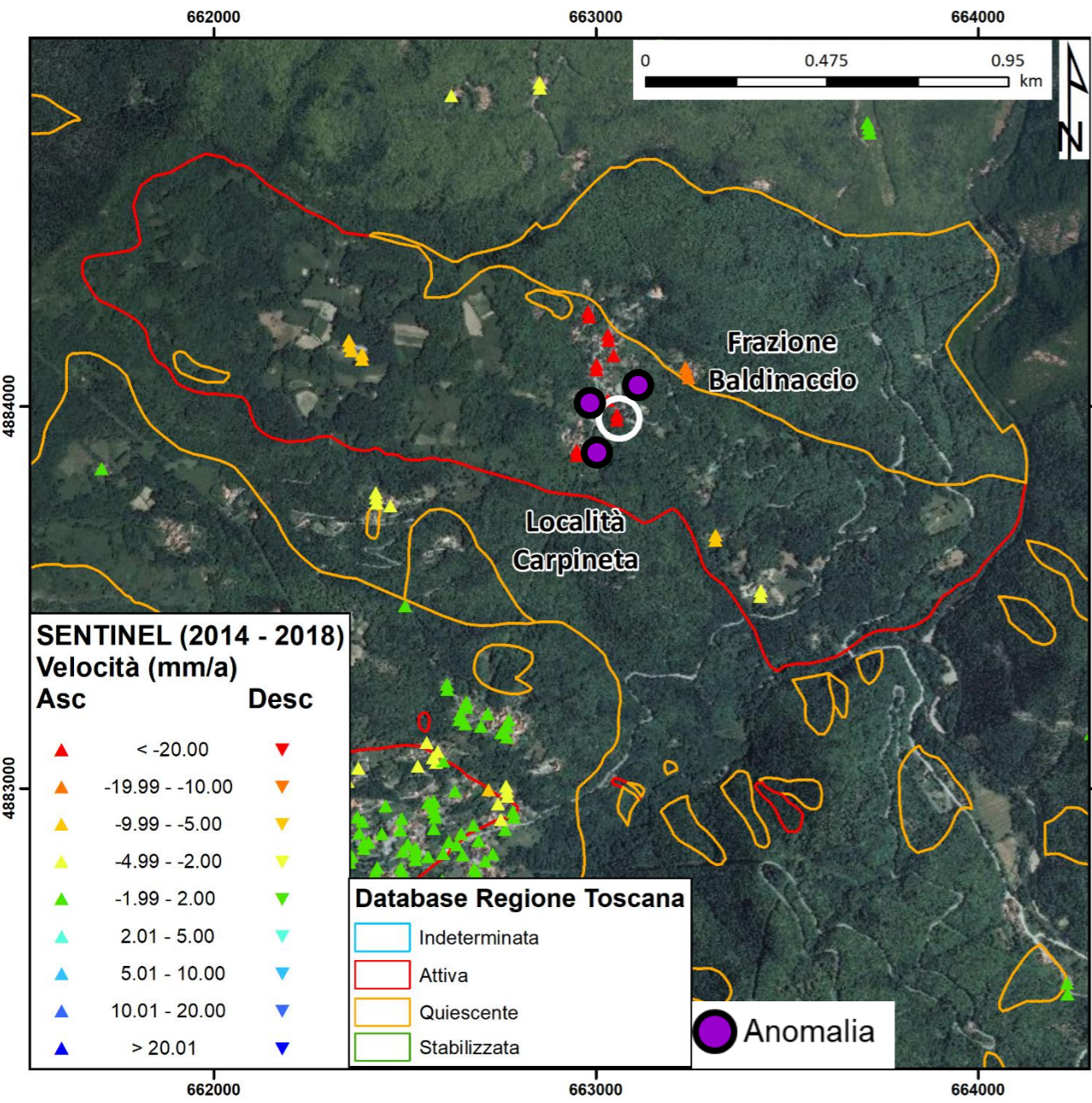
Classe	Descrizione
1	Nessuna anomalia all'interno del territorio comunale
2	Almeno una anomalia all'interno del territorio comunale
3	Almeno una anomalia persistente all'interno del territorio comunale
4	Almeno una anomalia persistente e rilevante all'interno del territorio comunale

# Sopralluoghi di validazione



Cave Pedogna (Pescaglia, LU)

# Sopralluoghi di validazione



Sambuca Pistoiese (PT)

Analisi dissesti recenti:  
Pian dei Sisi (PT) e San  
Gimignano (SI)



# La frana - 19 febbraio 2018

**LA NAZIONE** / Pistoia / Cronaca

**CRONACA**

## Frana a Pian dei Sisi, il paese resta off-limits

*Rimane chiusa anche la strada statale 12. Il sindaco Petrucci:  
"Provvedimenti necessari a scopo precauzionale"*



**R.it**

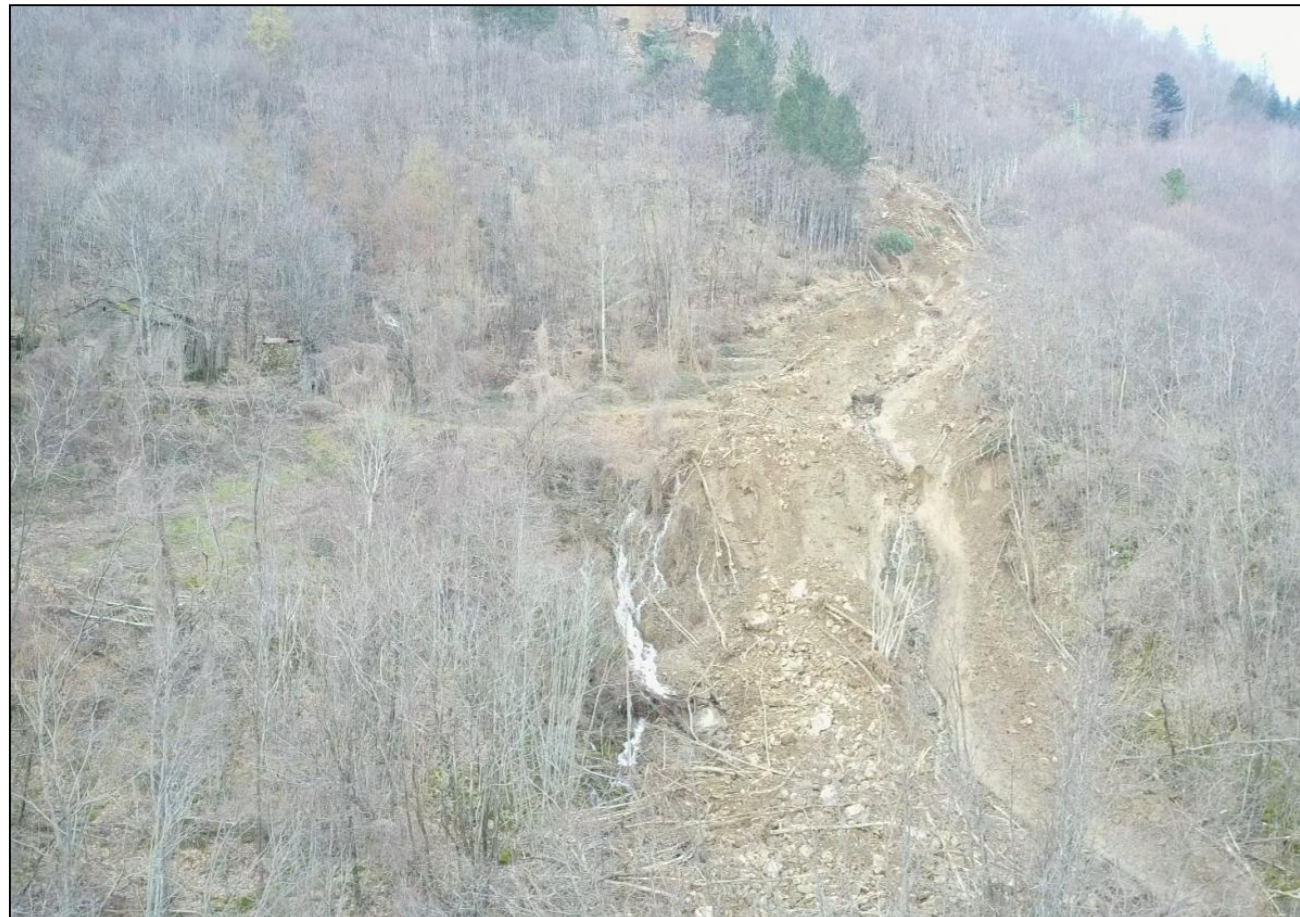
Firenze

## Frana nel Pistoiese, evacuate 23 persone

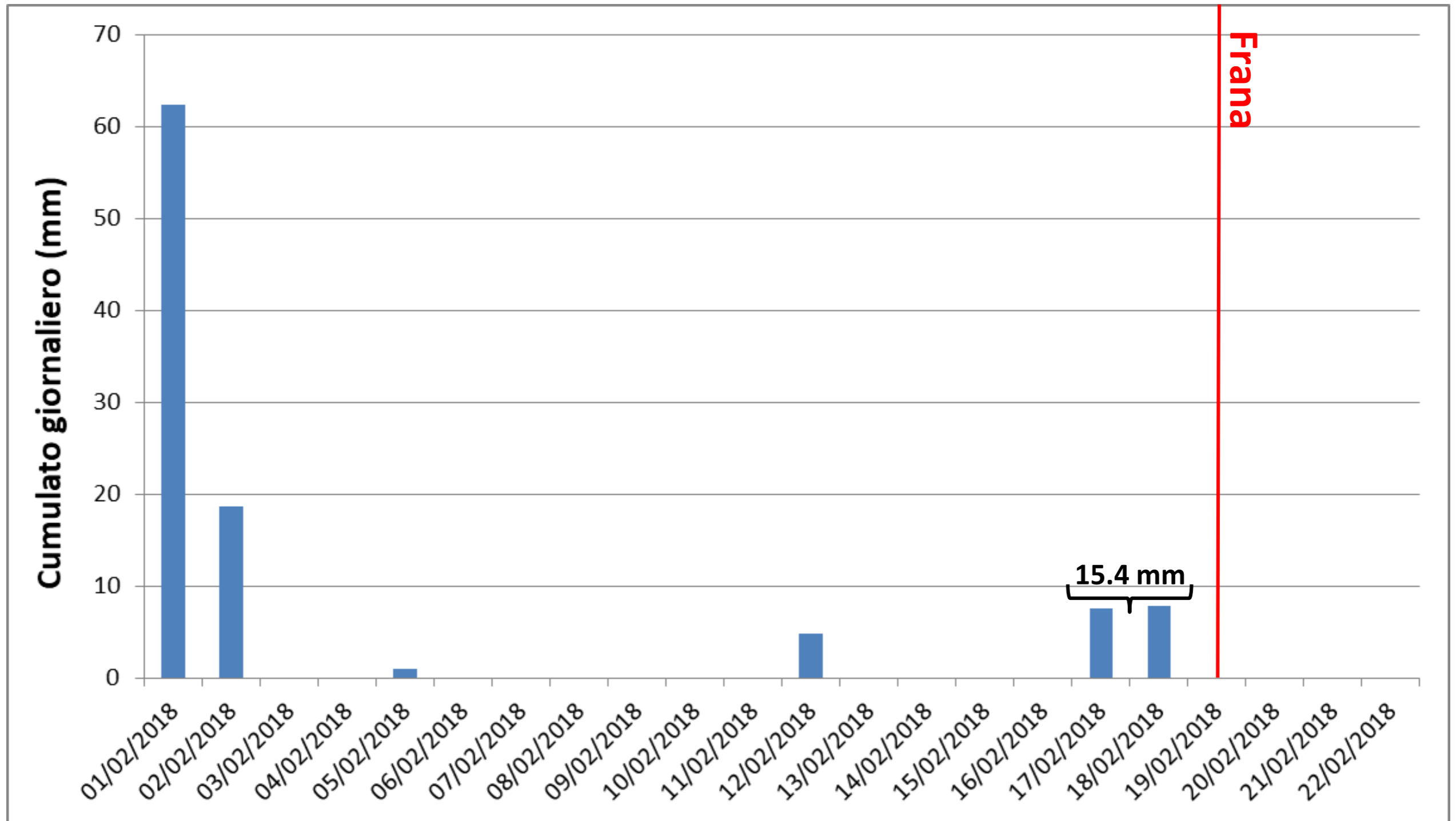
*Chiusa la strada statale 12 del Brennero che costeggia l'invaso di Pian dei Sisi*



# La frana - 19 febbraio 2018



# Piogge antecedenti



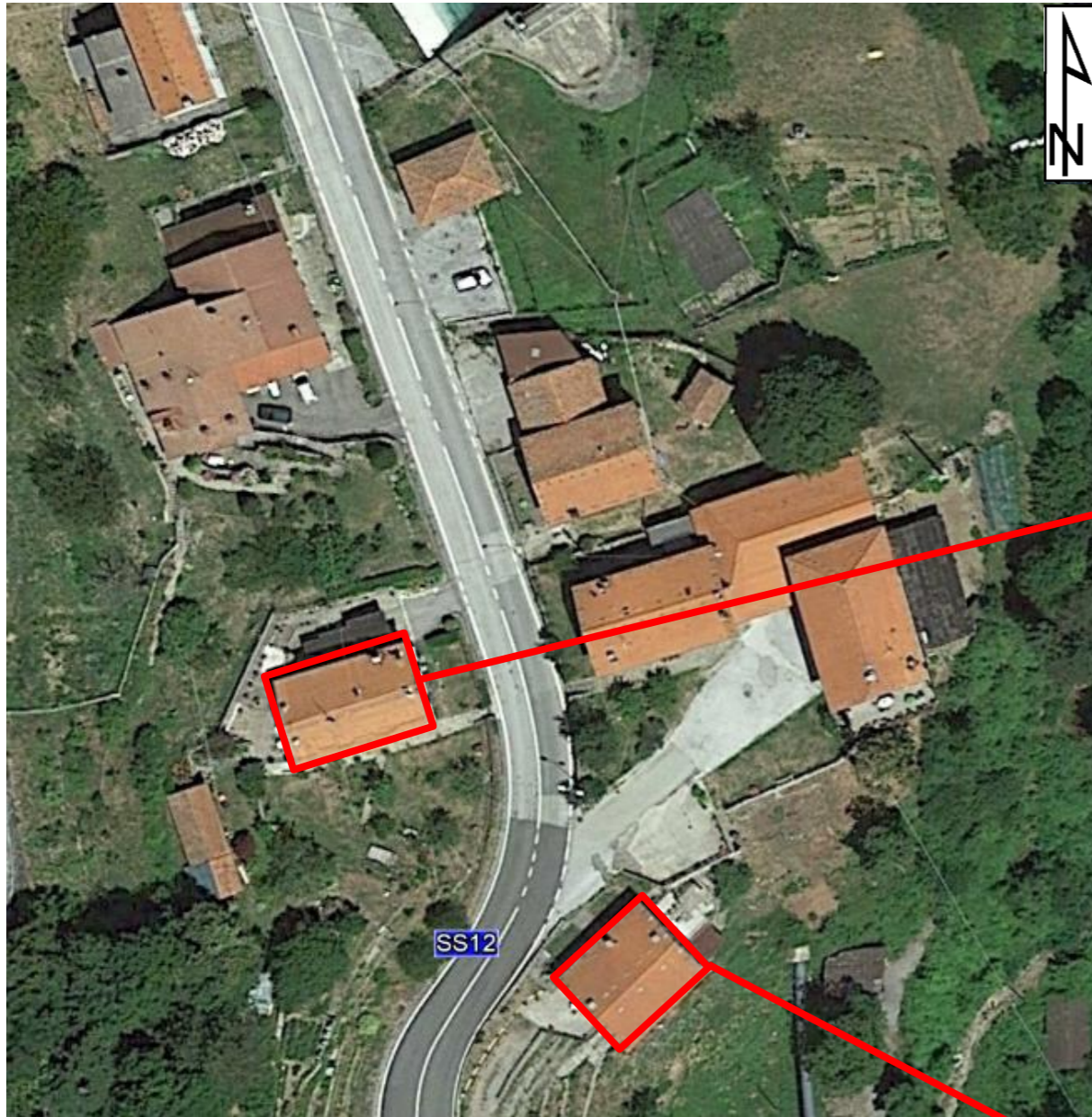
Dati della stazione pluviometrica di Melo  
(1.7km a NE da Pian dei Sisi)

# Verifica degli edifici



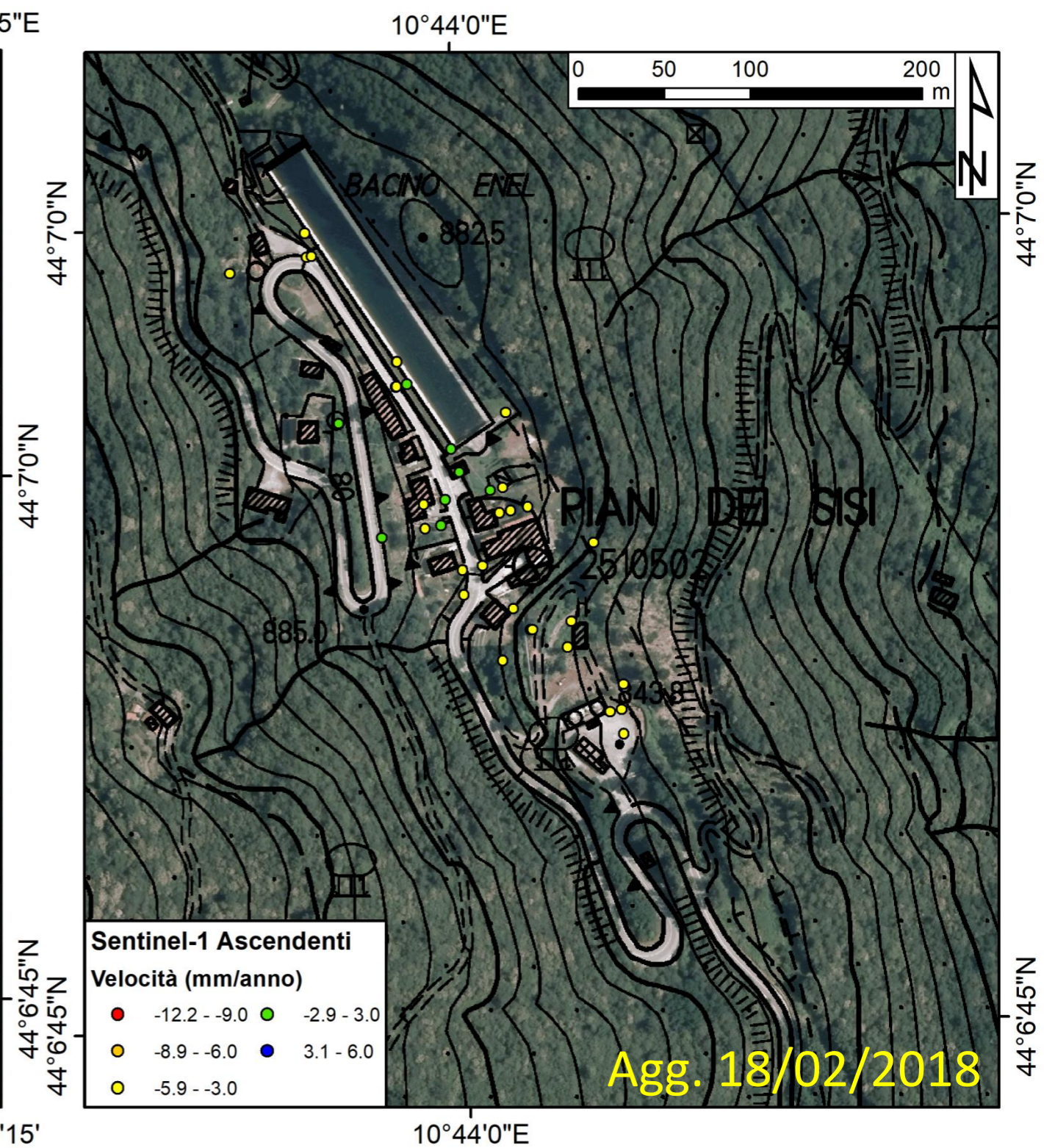
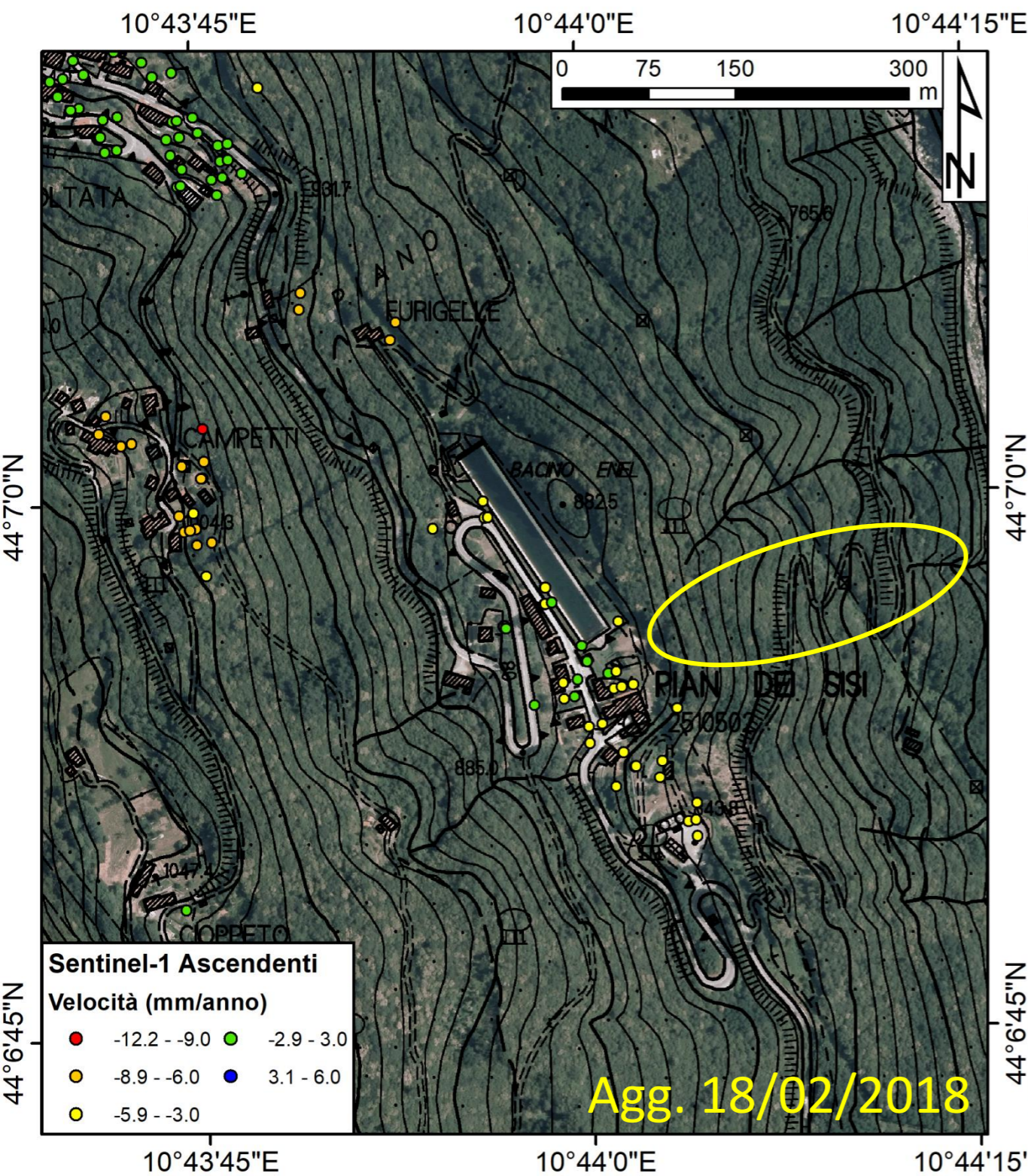
Sopralluoghi del Genio Civile  
Toscana Nord in data 20-21-  
26 febbraio 2018

# Verifica degli edifici



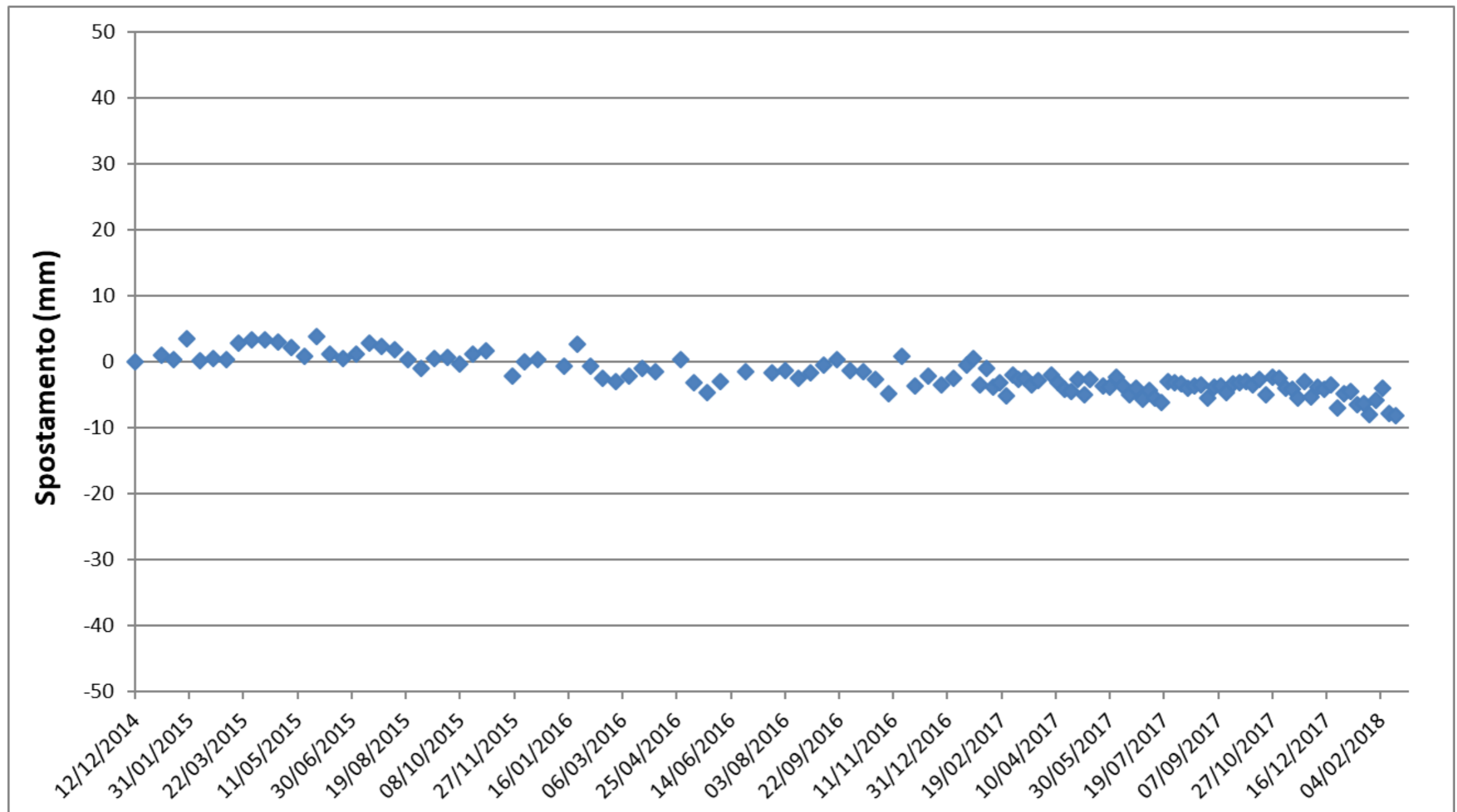
Sopralluoghi del Genio Civile  
Toscana Nord in data 20-21-  
26 febbraio 2018

# Dati PS Pre-evento

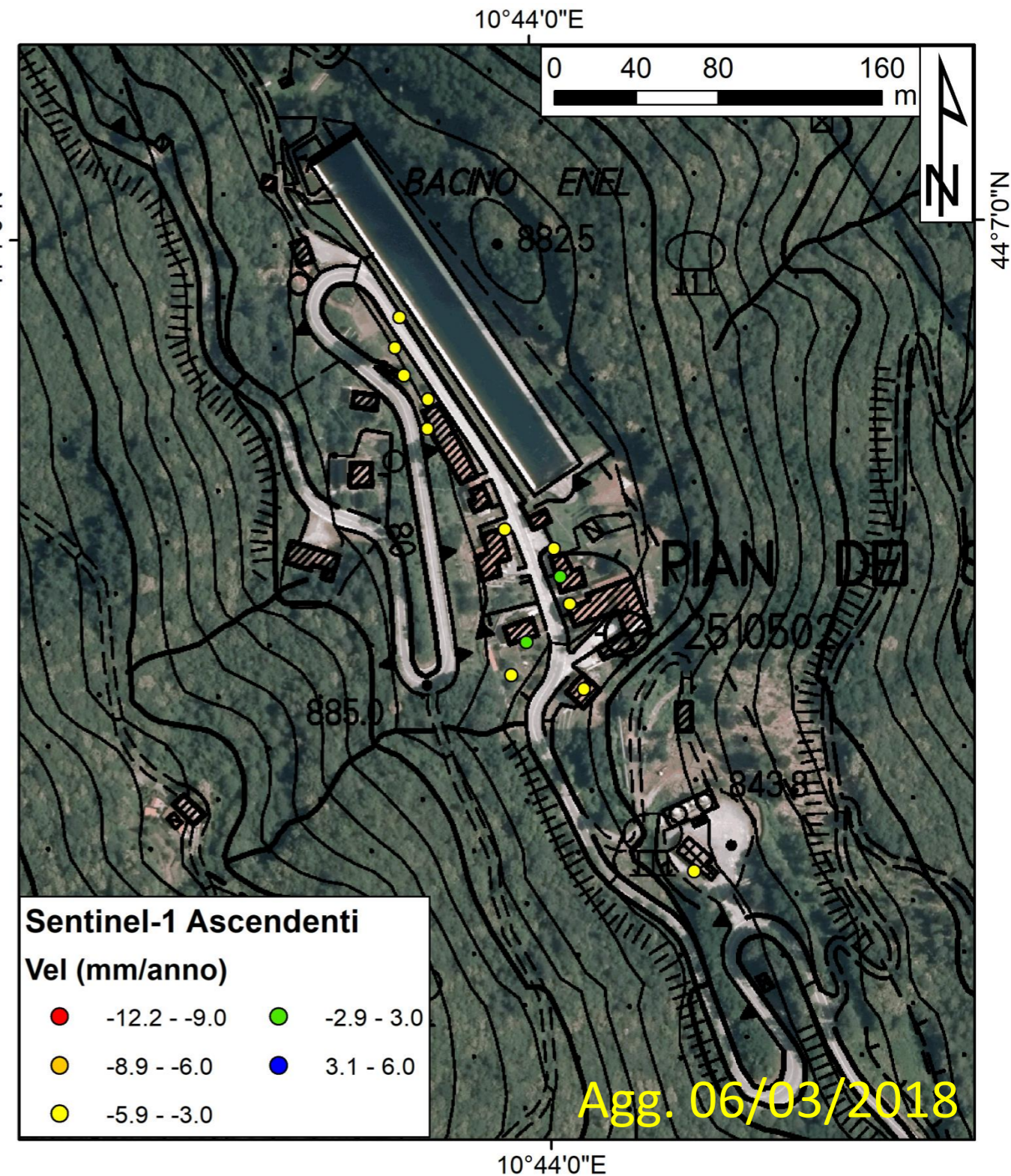
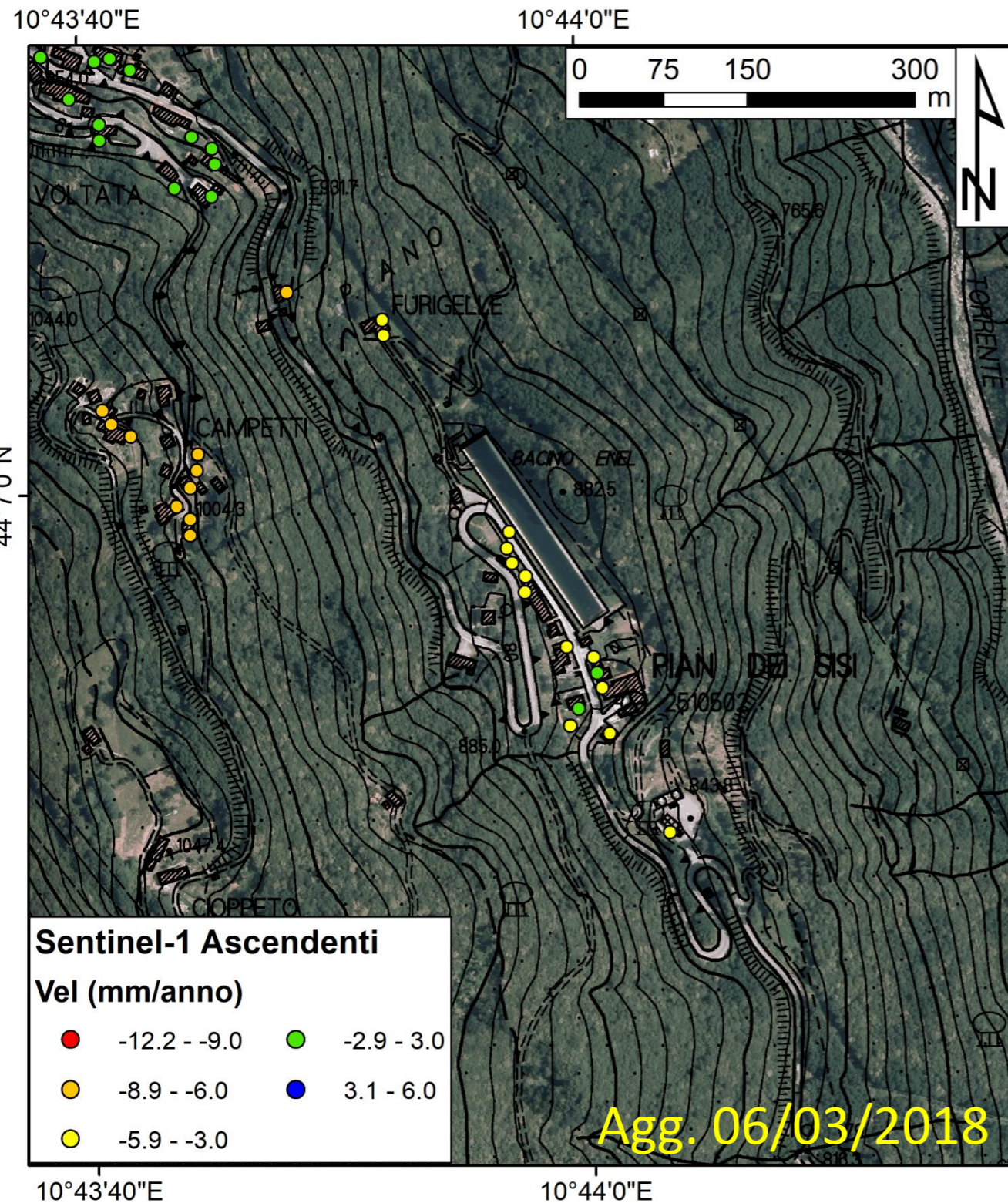


L'abitato di Pian dei Sisi ha registrato velocità di spostamento massime pari a 4 mm/anno.

# Serie temporale Pre-evento



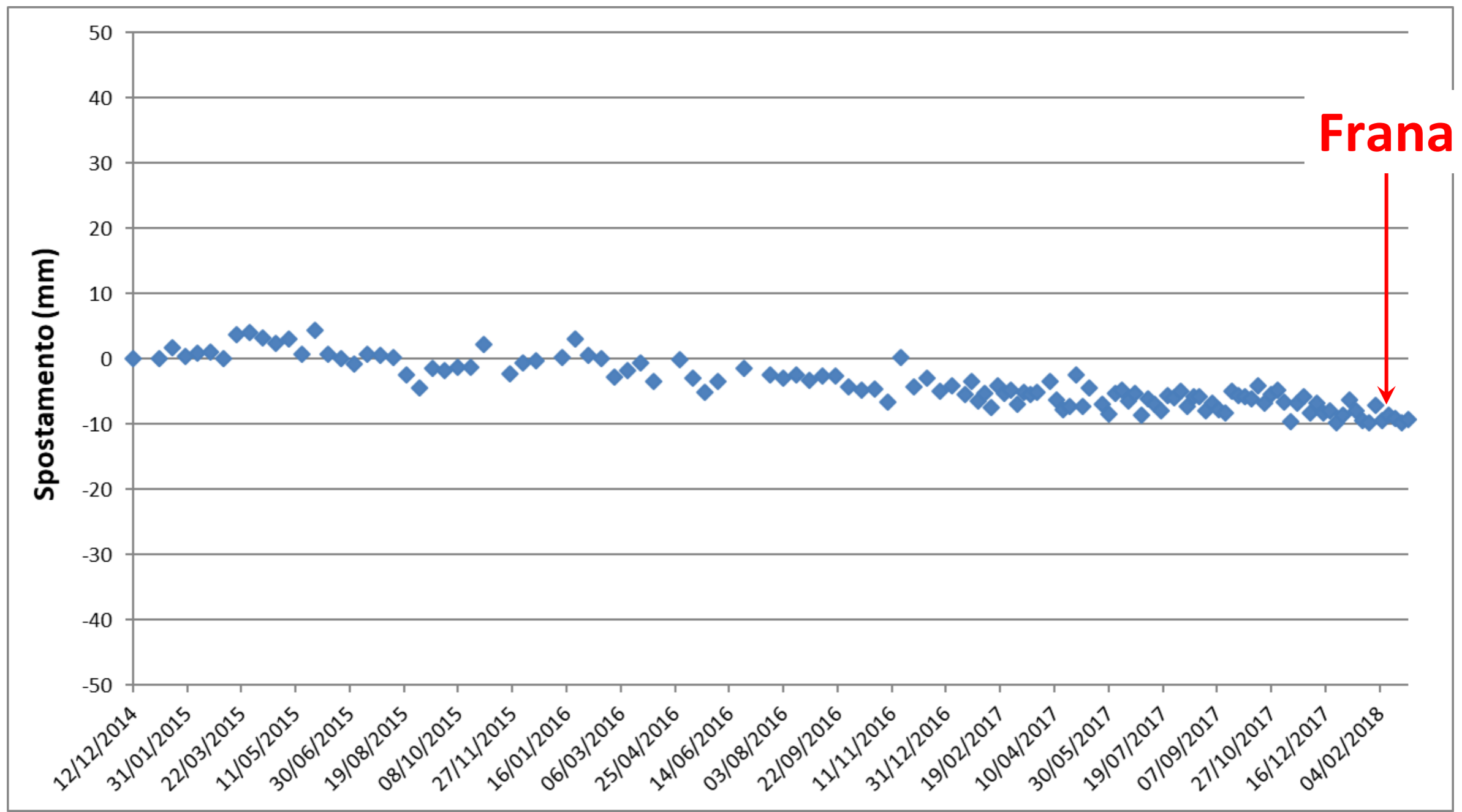
# Dati PS Post-evento



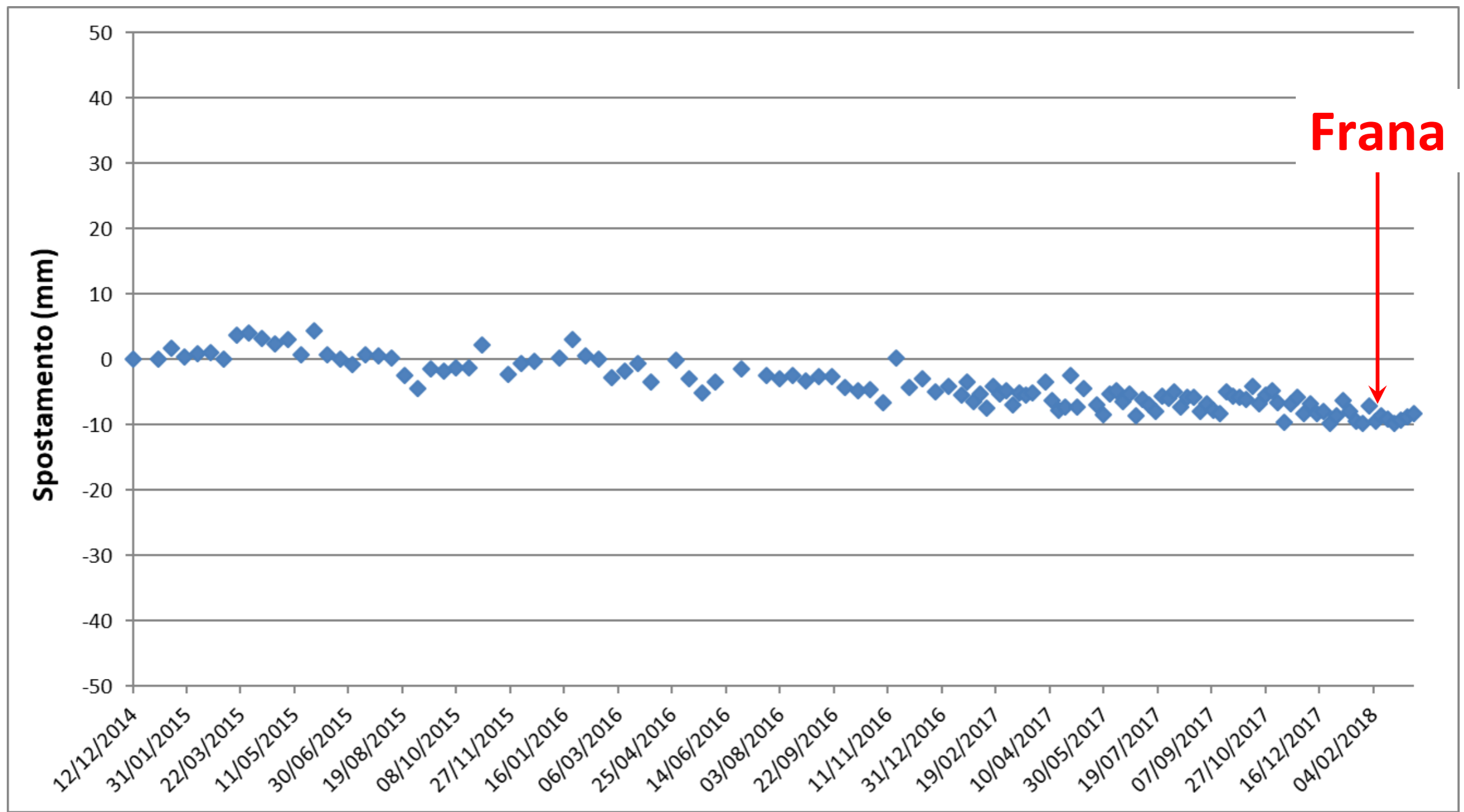
In seguito alla frana del 19/02/2018 non sono state registrate variazioni nelle velocità di spostamento misurate sull'abitato di Pian dei Sisi.



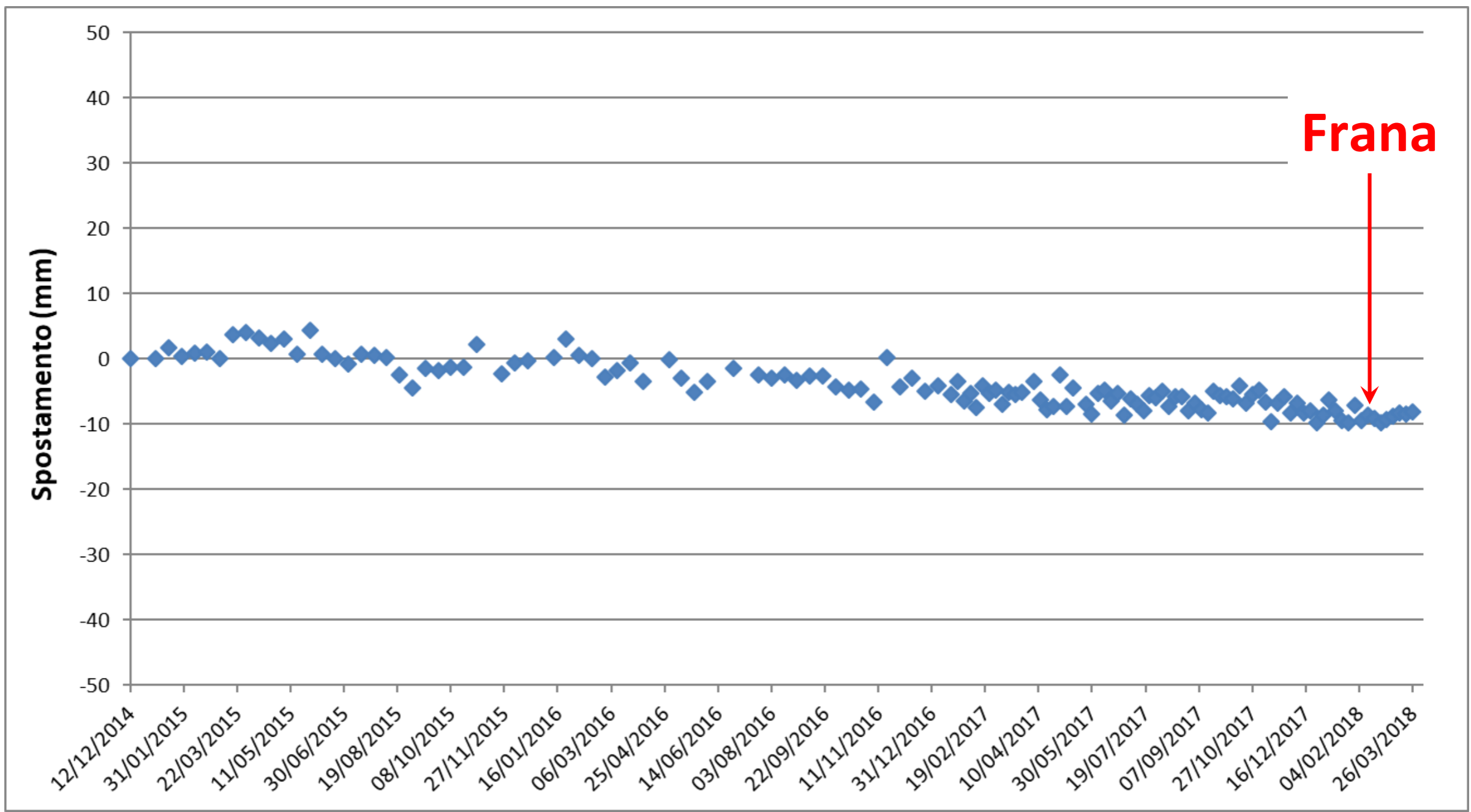
# Serie temporale Post-evento



# Serie temporale Post-evento



# Serie temporale Post-evento



# Il crollo delle mura – 3 aprile 2018



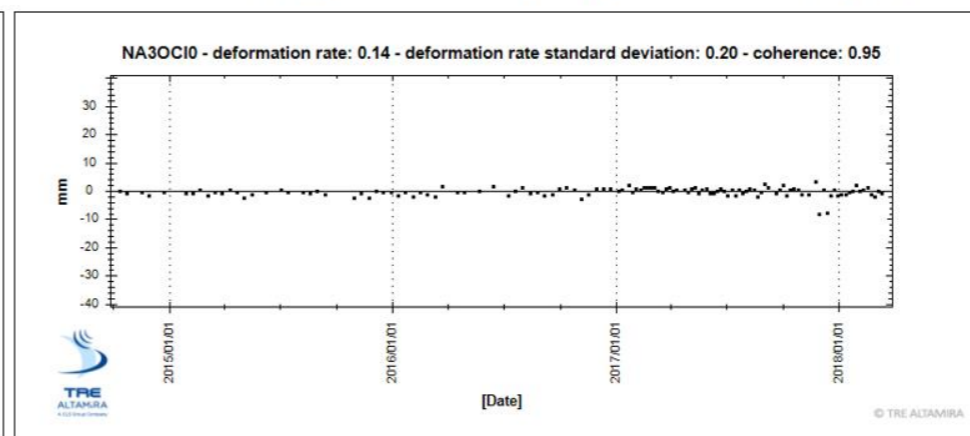
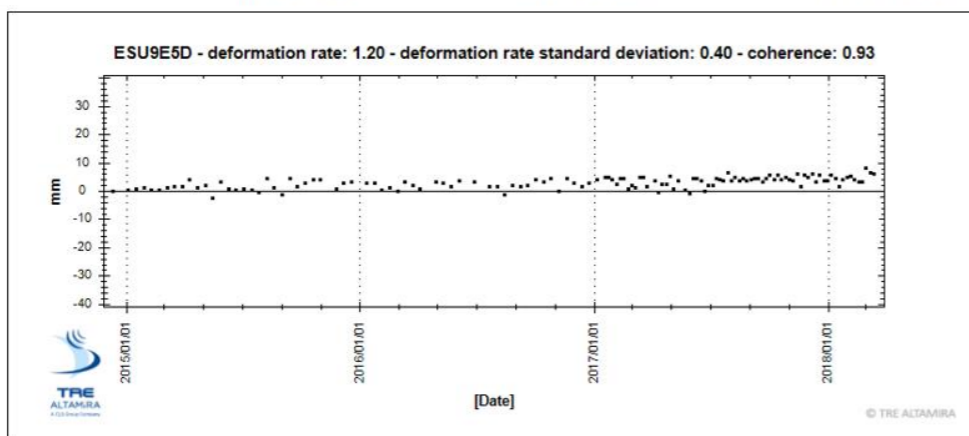
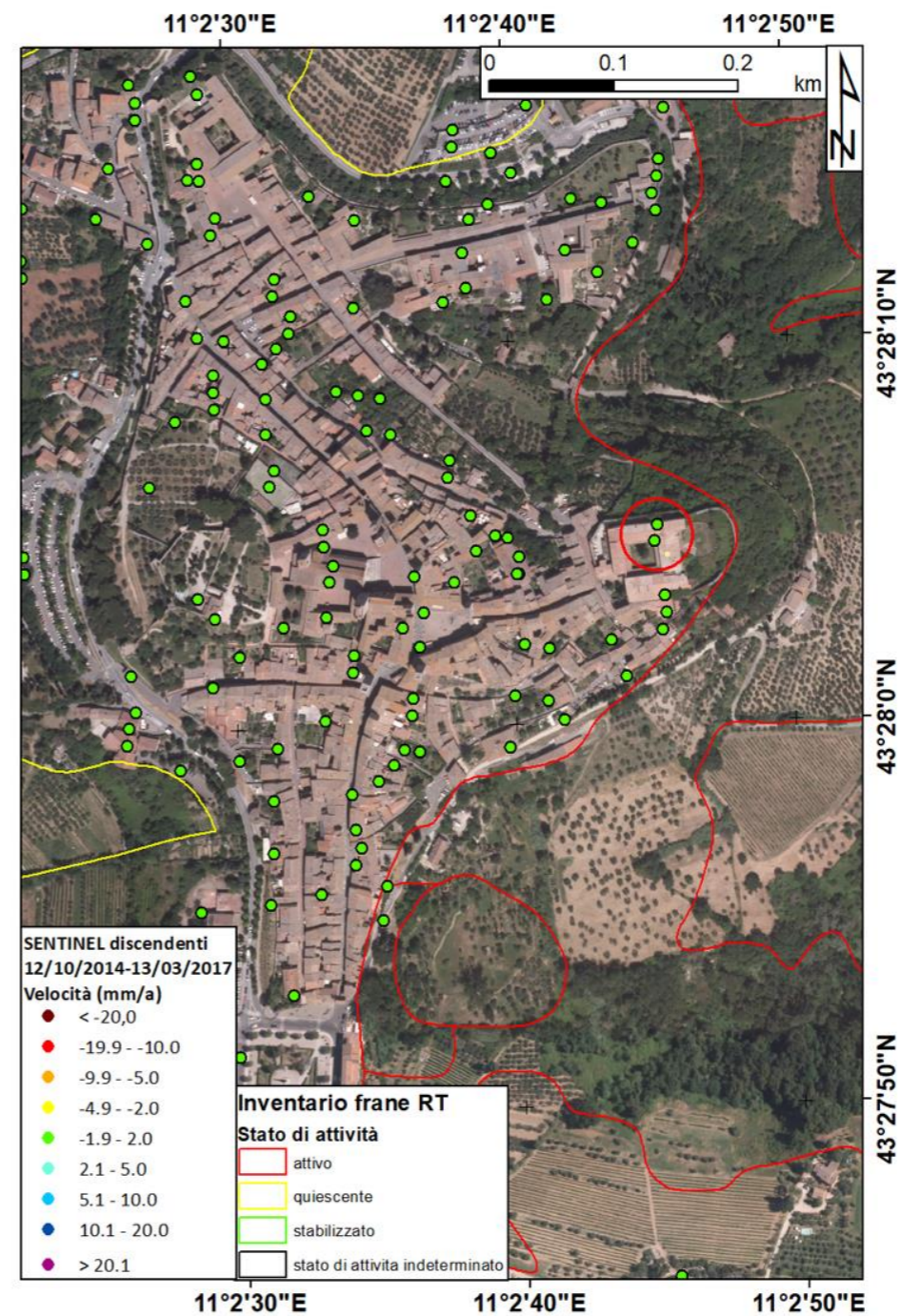
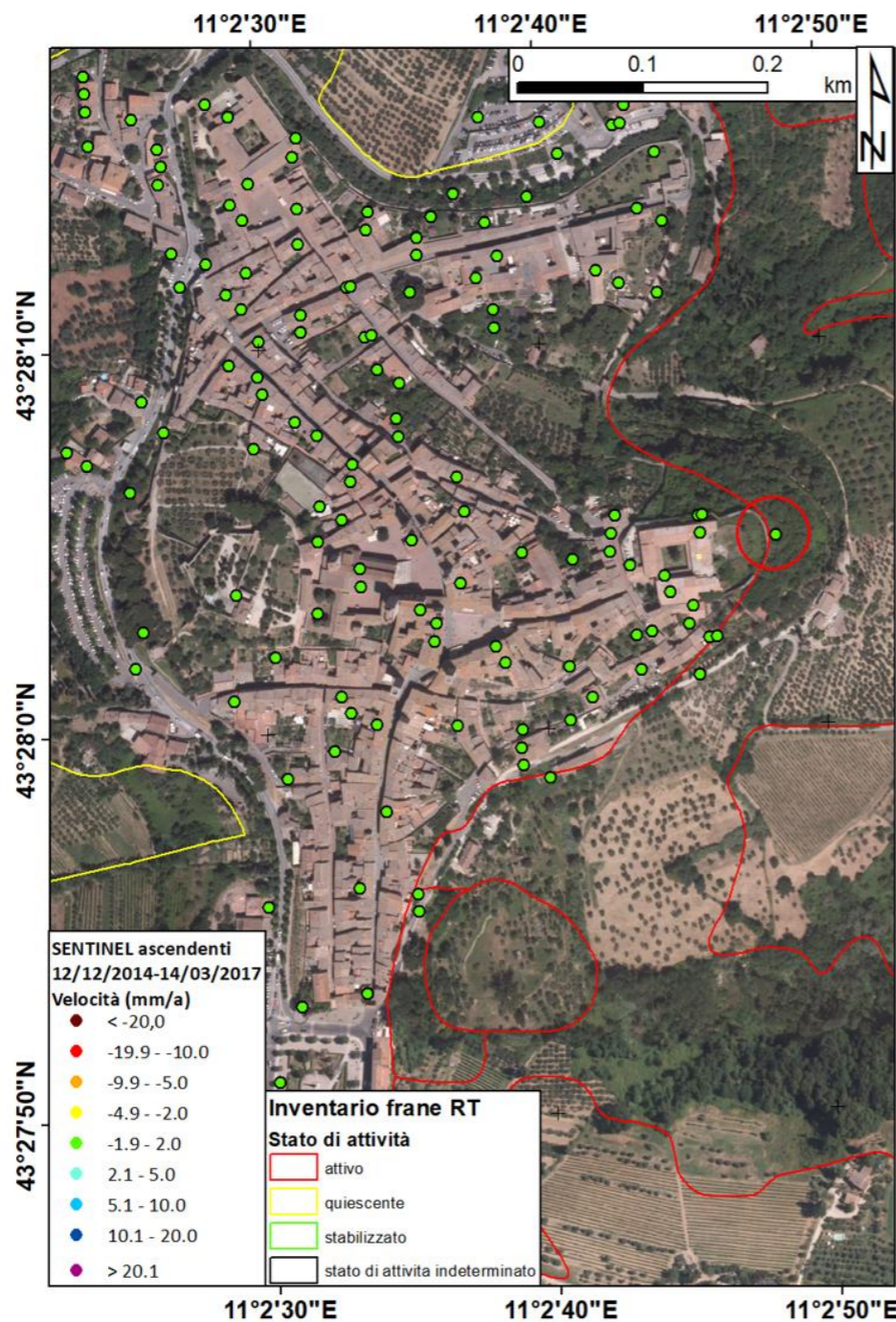
Firenze

## San Gimignano, crolla un tratto delle mura medievali

*È crollato un fronte di circa otto metri. Nessuna persona è rimasta ferita. Il sindaco Bassi: "Chiedo alle autorità regionali e nazionali una mano per gestire l'emergenza"*



# Dati PS Pre-evento



# Conclusioni

- Il DST sta effettuando un monitoraggio satellitare in continuo delle deformazioni del terreno sul territorio regionale toscano.
- L'obiettivo generale delle attività è l'aggiornamento dinamico del quadro conoscitivo per il rischio idrogeologico.
- L'analisi in continuo delle serie temporali di spostamento permette di rilevare tempestivamente aree anomali, ovvero quelle zone che si muovono in modo non consistente con il passato e che quindi necessitano di ulteriori indagini ed approfondimenti.
- Il sistema di monitoraggio costituisce uno strumento operativo in tempo reale che consente la previsione precoce di eventi e l'aggiornamento continuo in caso di dissesti fornendo indicazioni utili alla gestione dell'emergenza.