



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

**CENTRO
PROTEZIONE
CIVILE**

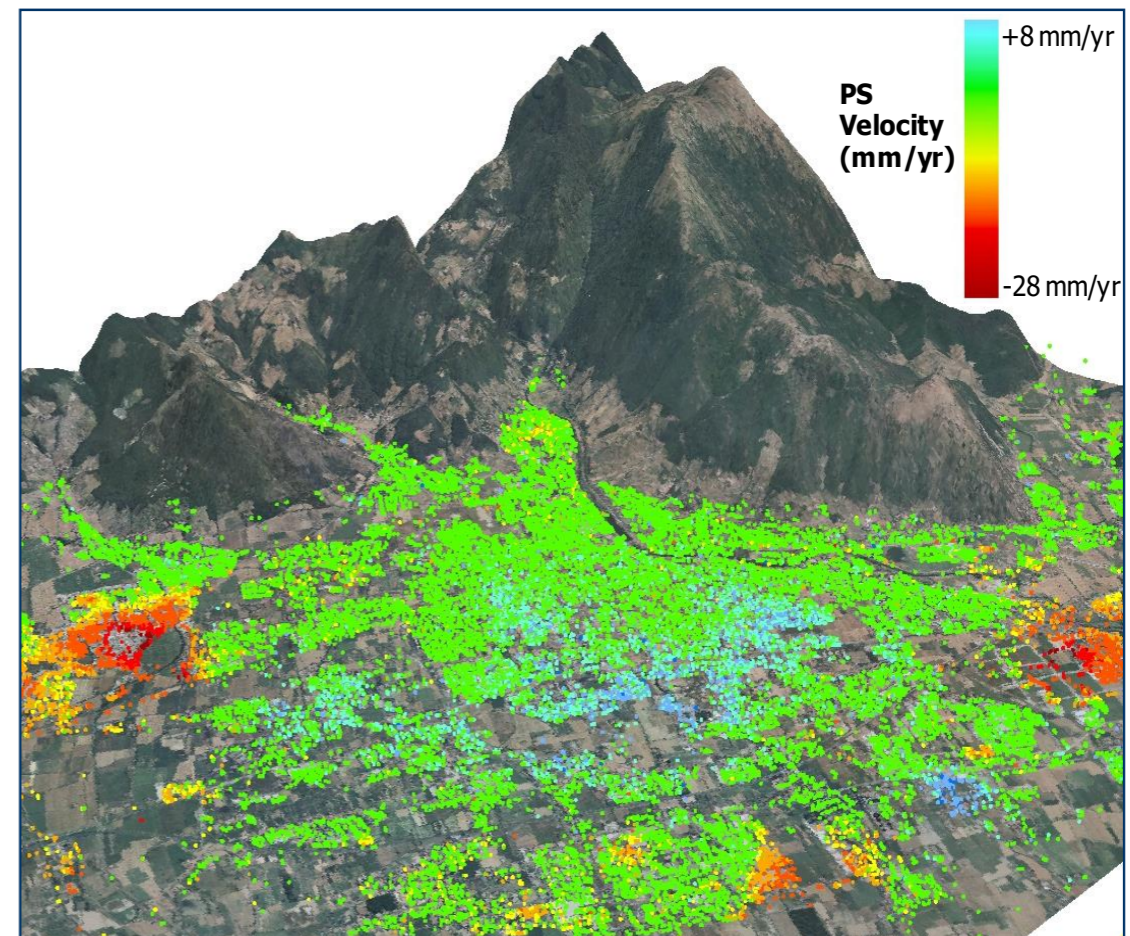
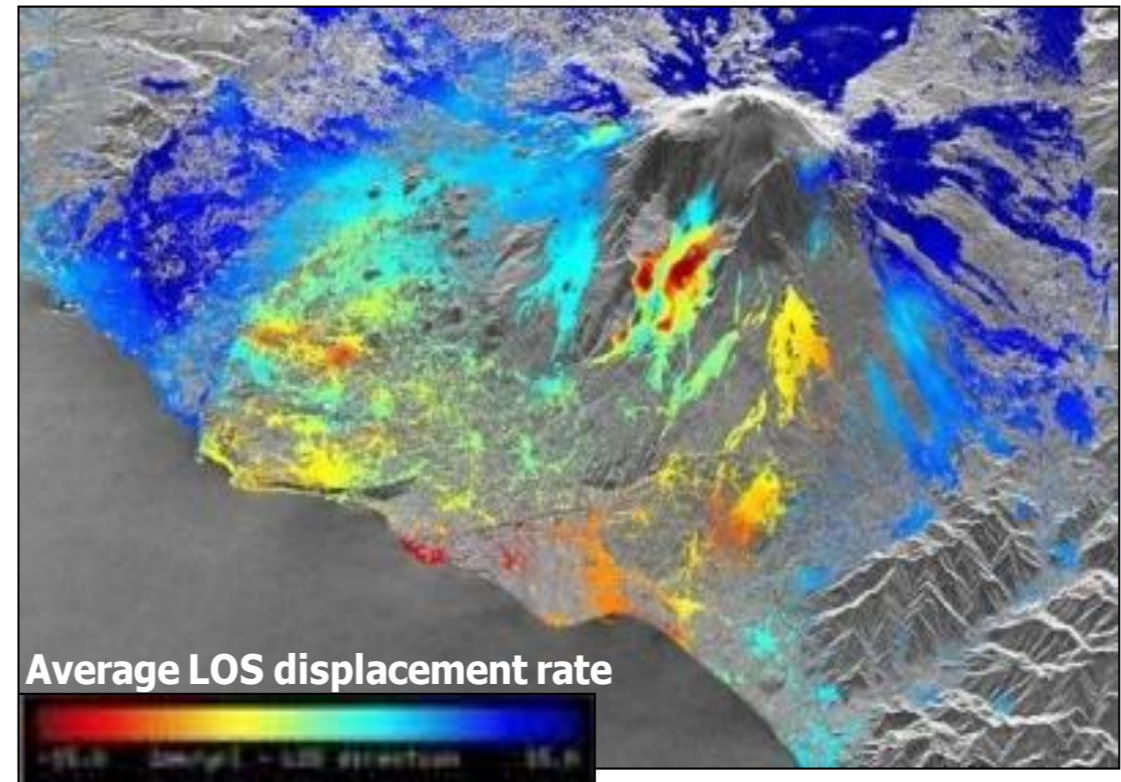
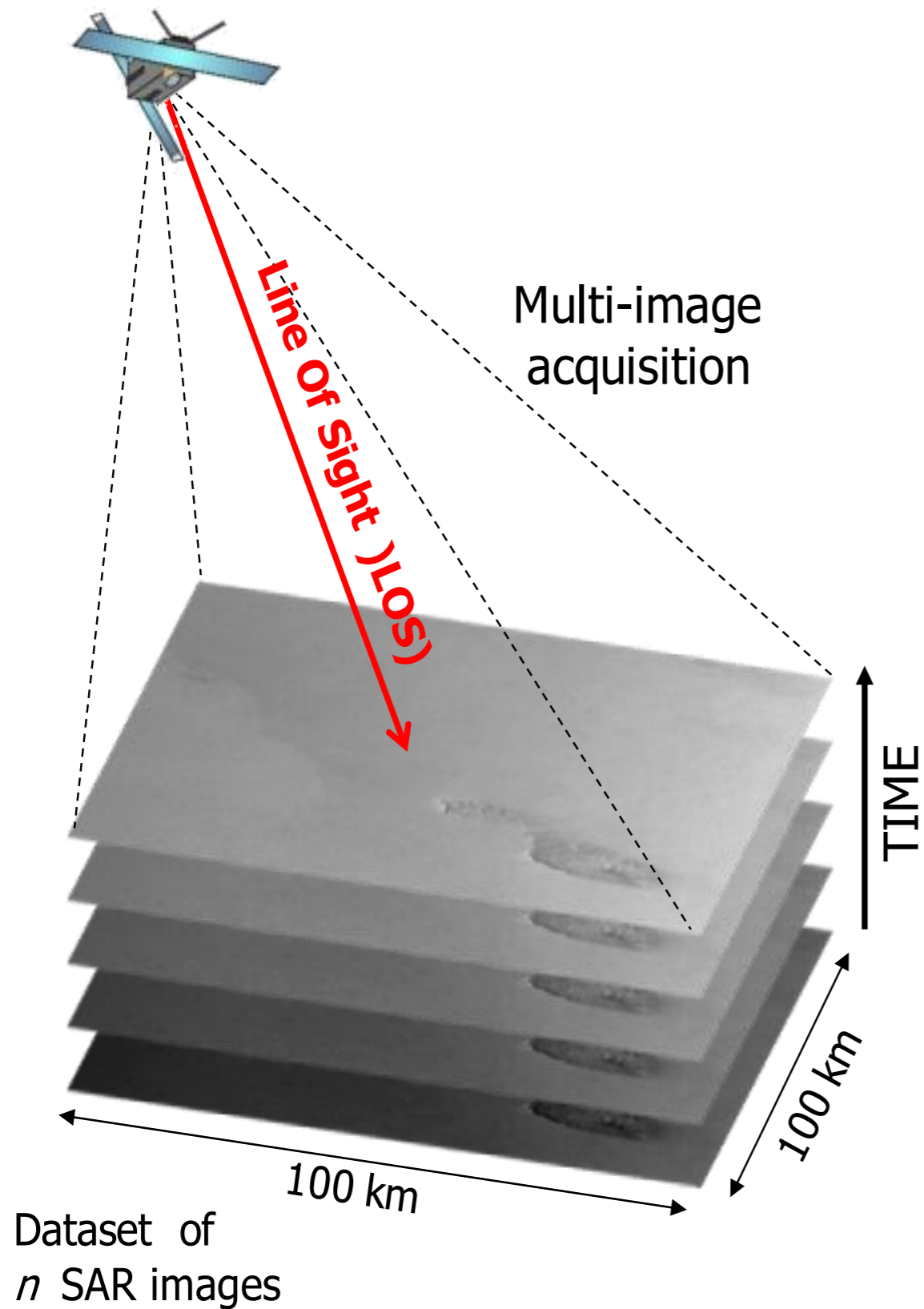


REGIONE DEL VENETO

Il monitoraggio radar satellitare: analisi ed interpretazione dei dati

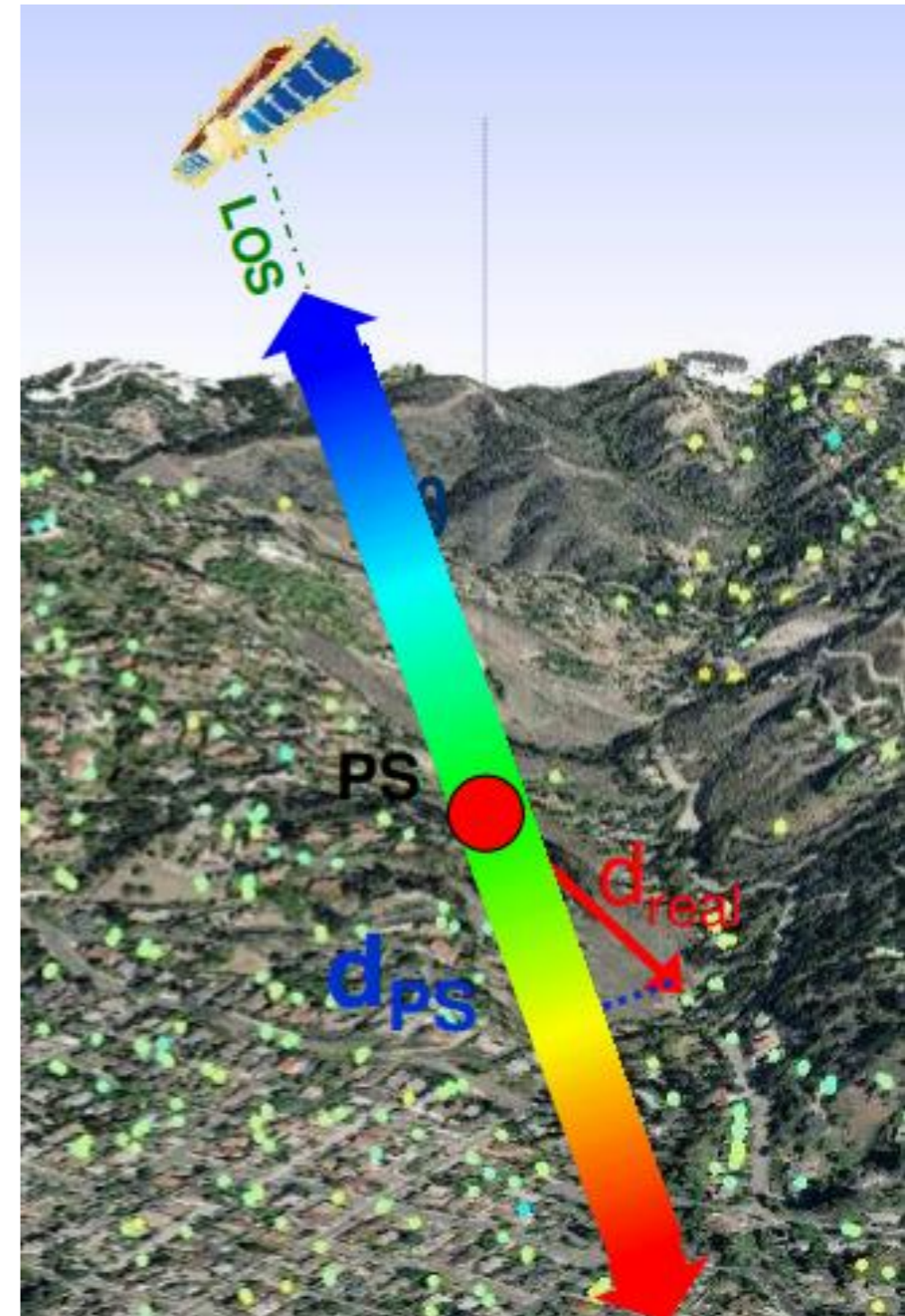
Pierluigi Confuorto

Interferometric radar satellite PSI

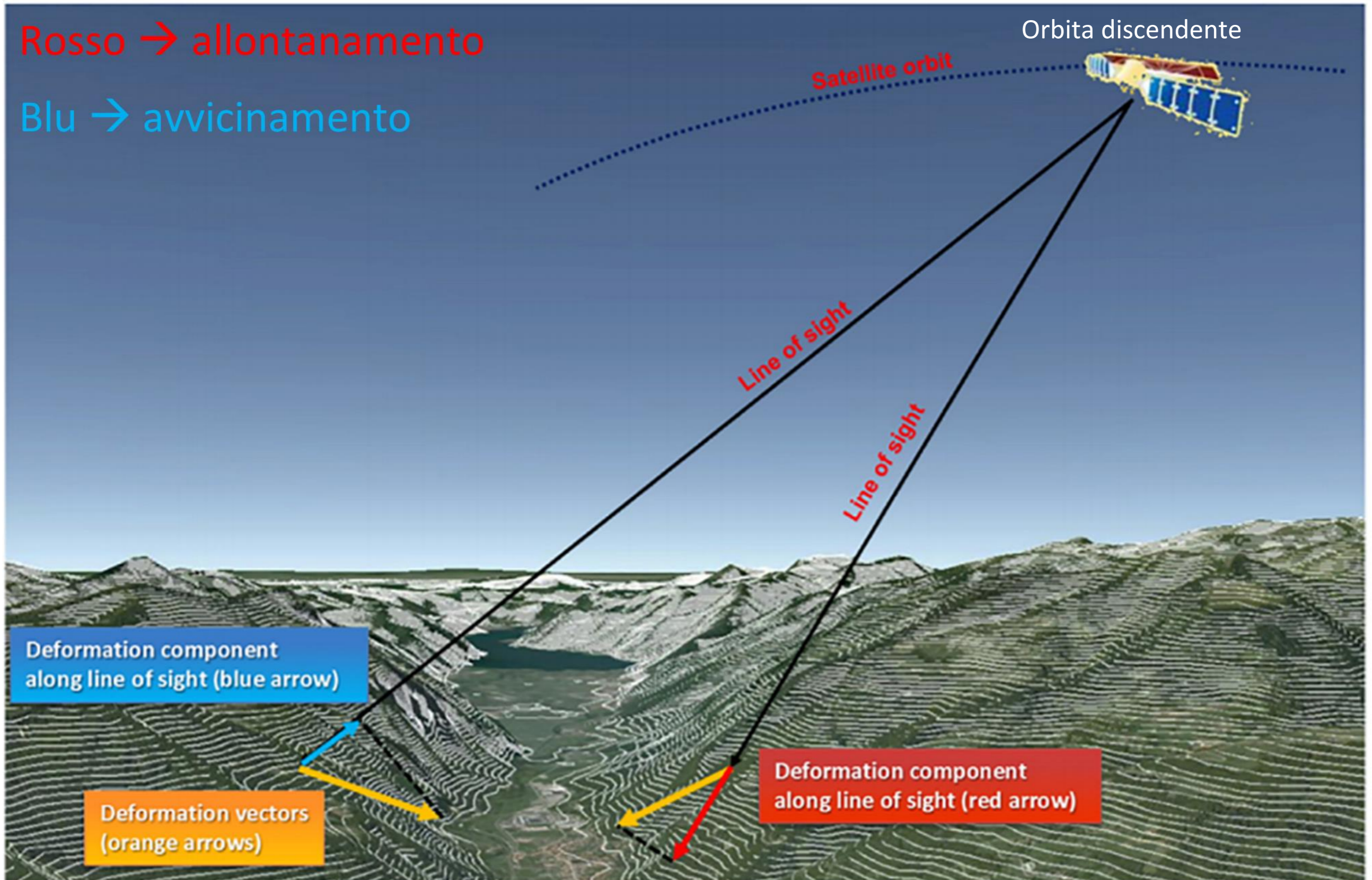


Cosa indica la scala colori

- Il colore **verde** indica la “stabilità” del punto. Il range (es. ± 2 mm/a) viene definito sulla base della *deviazione standard* del dato
- Il colore **rosso** indica un movimento in allontanamento rispetto al sensore (negativo)
- Il colore **blu** indica un movimento in avvicinamento al sensore (positivo)

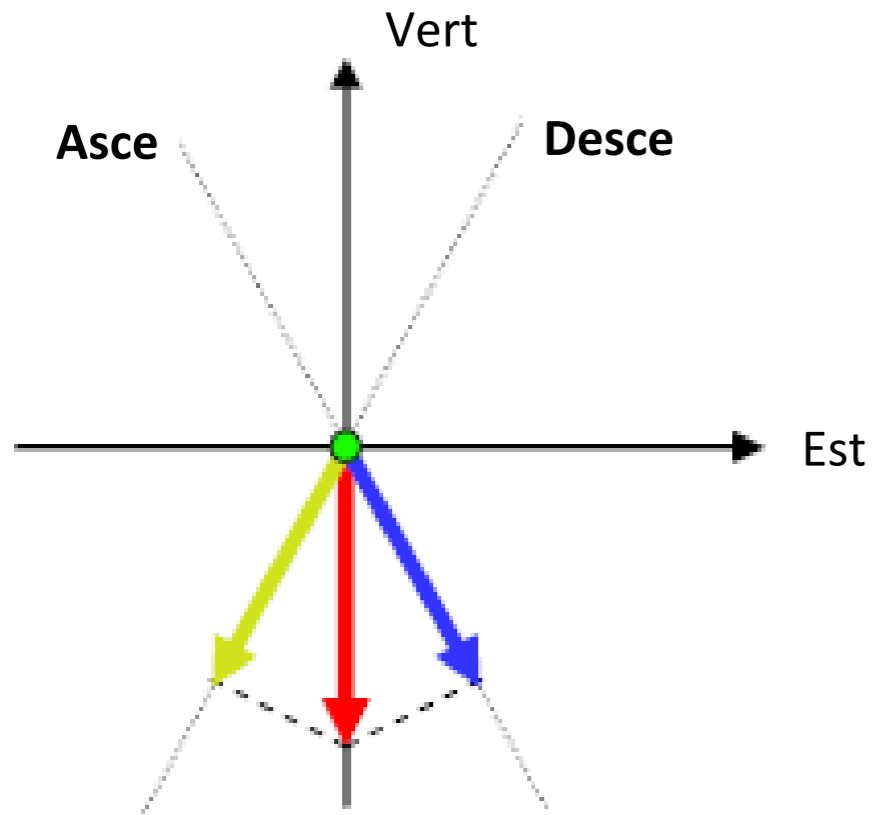


Interpretazione delle velocità

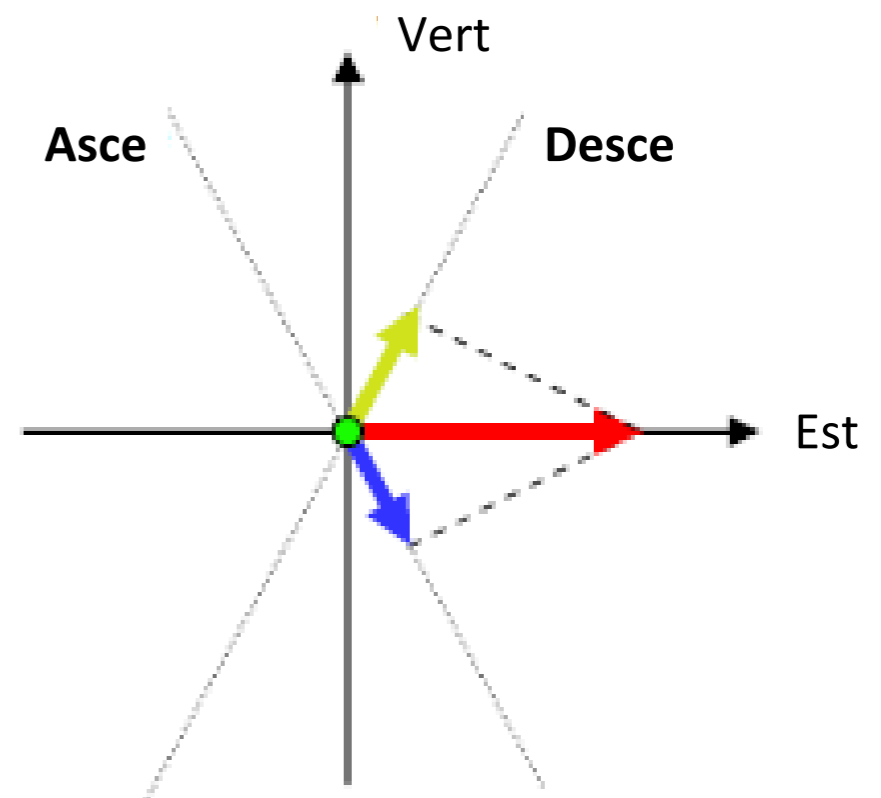


Interpretazione delle velocità

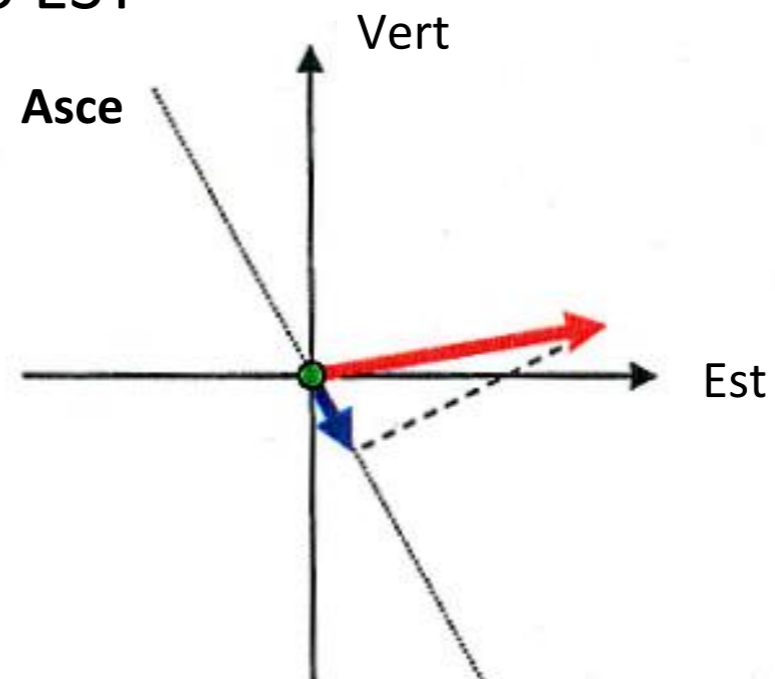
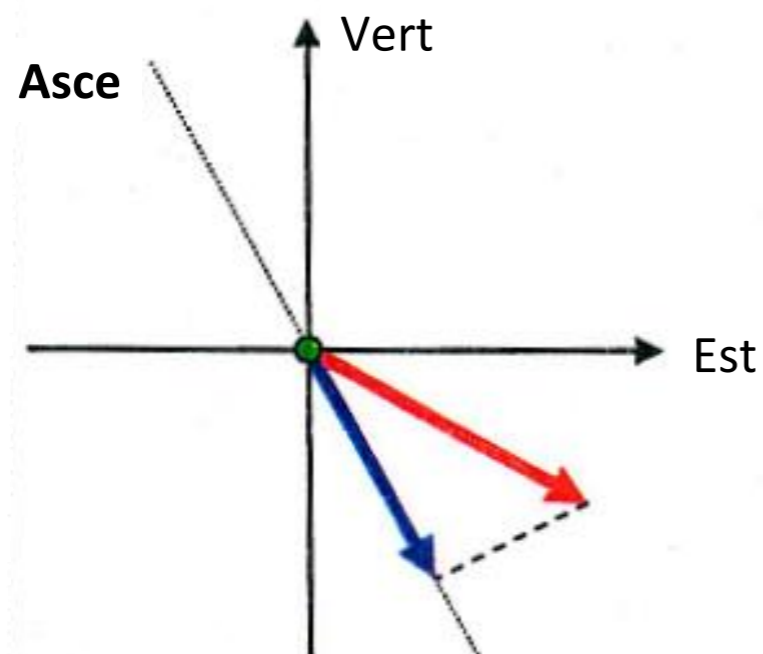
Moto puramente
VERTICALE



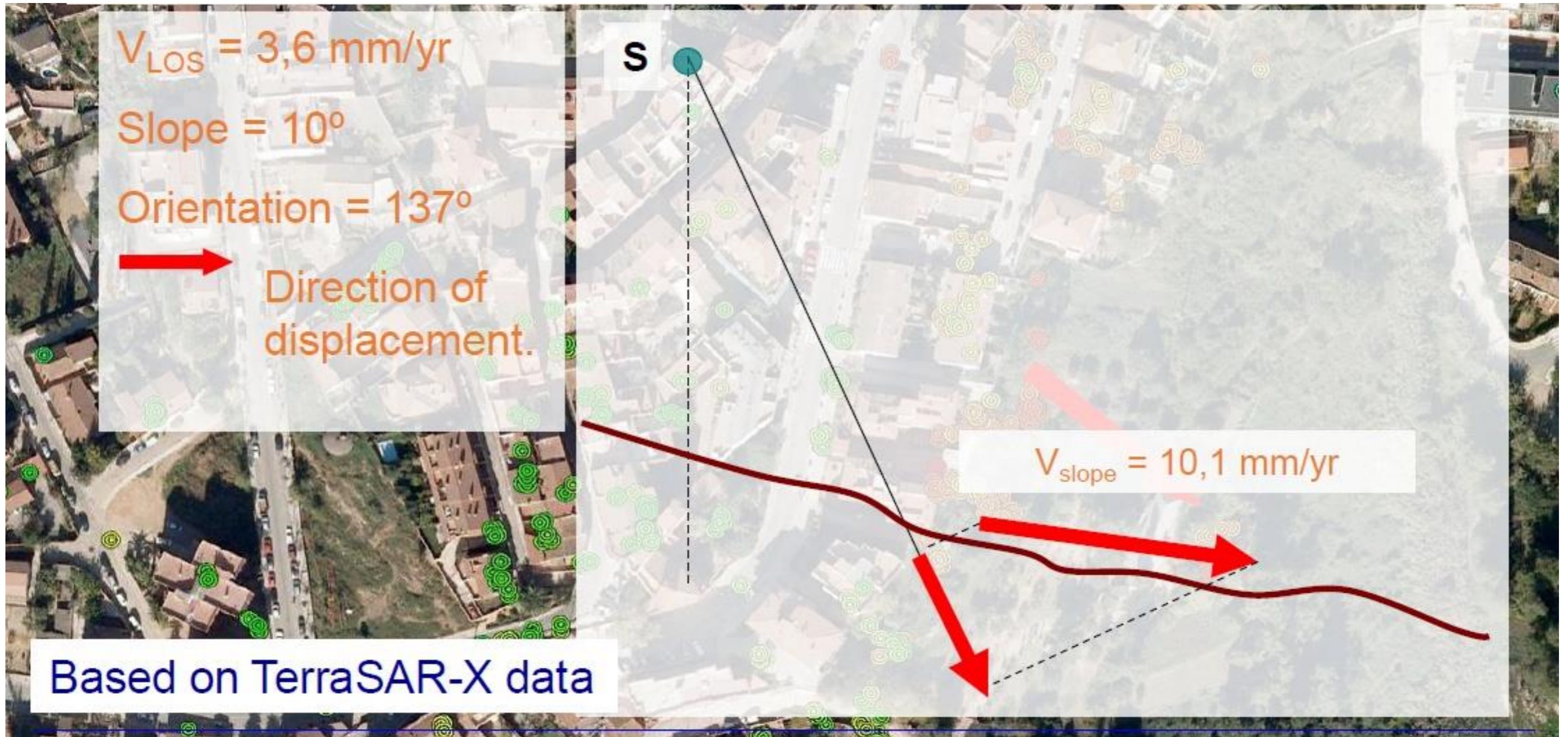
Moto puramente
ORIZZONTALE da Ovest a EST



Moto REALE verso EST



Interpretazione delle velocità

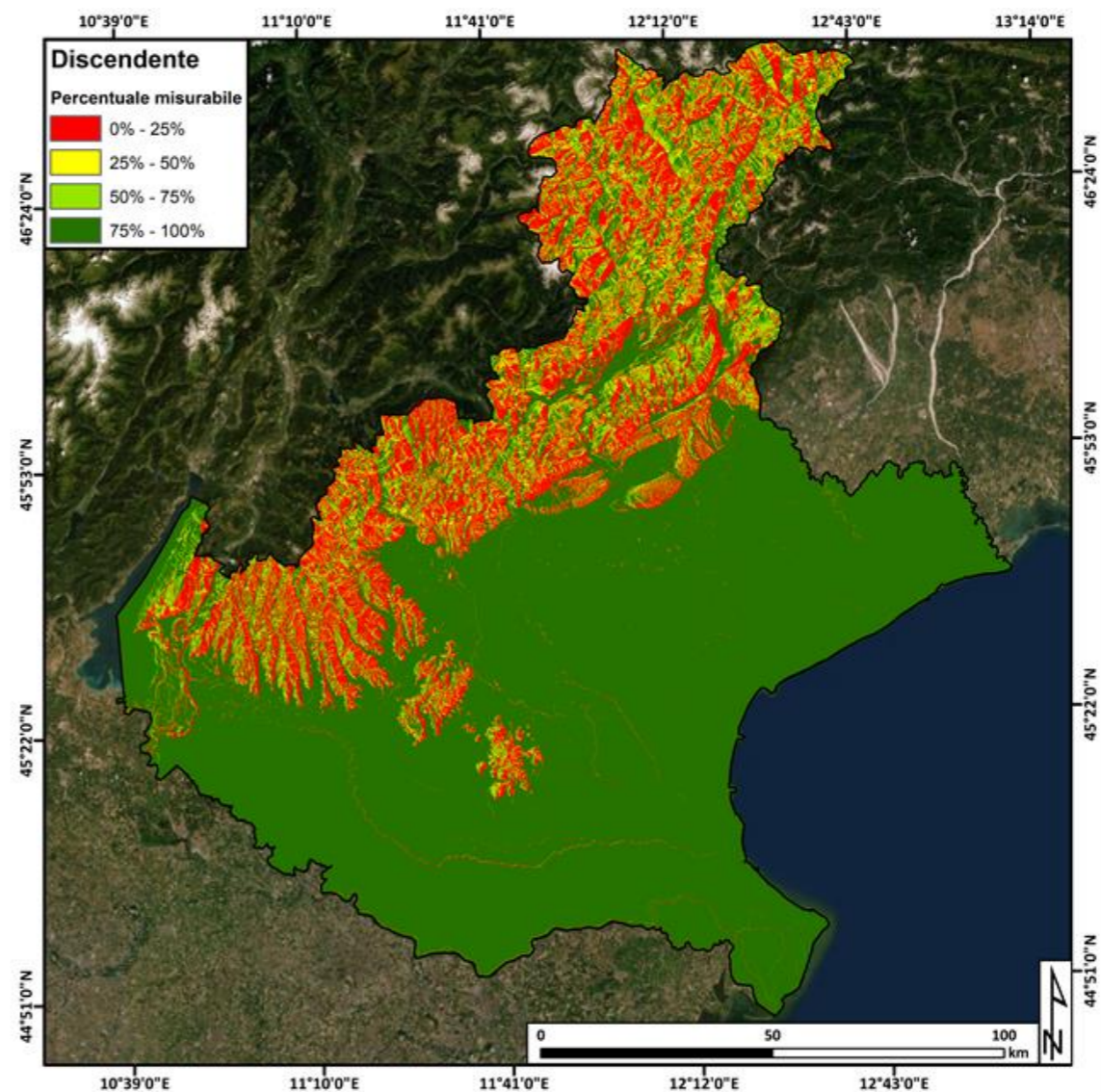
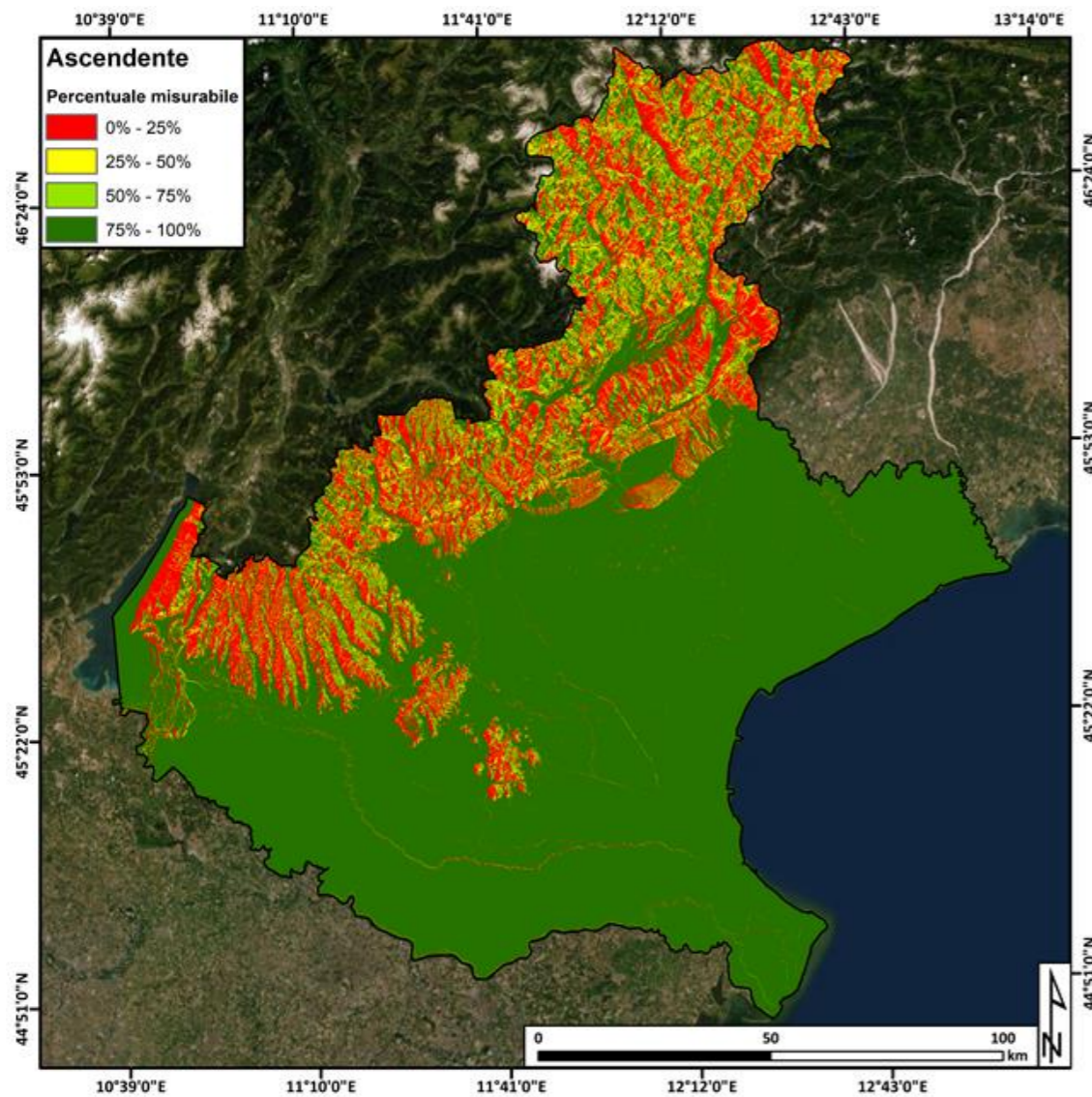


Spesso i valori di velocità sono una SOTTOSTIMA della realtà, soprattutto nel caso di movimenti a componente orizzontale quali le frane.

Nel caso di movimenti verticali (i.e. subsidenza) possiamo considerare che il movimento misurato è praticamente uguale a quello reale.

Fattore C - sottostima velocità

Attraverso un parametro, chiamato fattore C, possiamo stimare la percentuale della velocità che viene misurata da parte del satellite lungo la LOS (linea di vista)

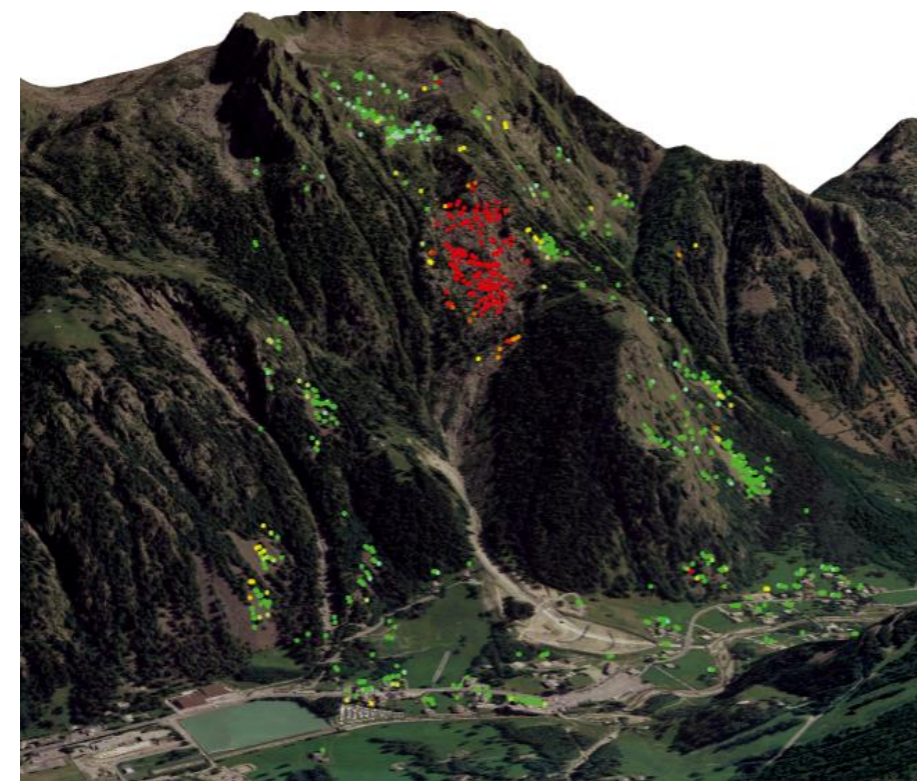


$$C = [N * \cos(S) * \sin(A - 1.571)] + [E * (-1 \cos(S) * \cos(A - 1.571))] + [H * \sin(S)]$$

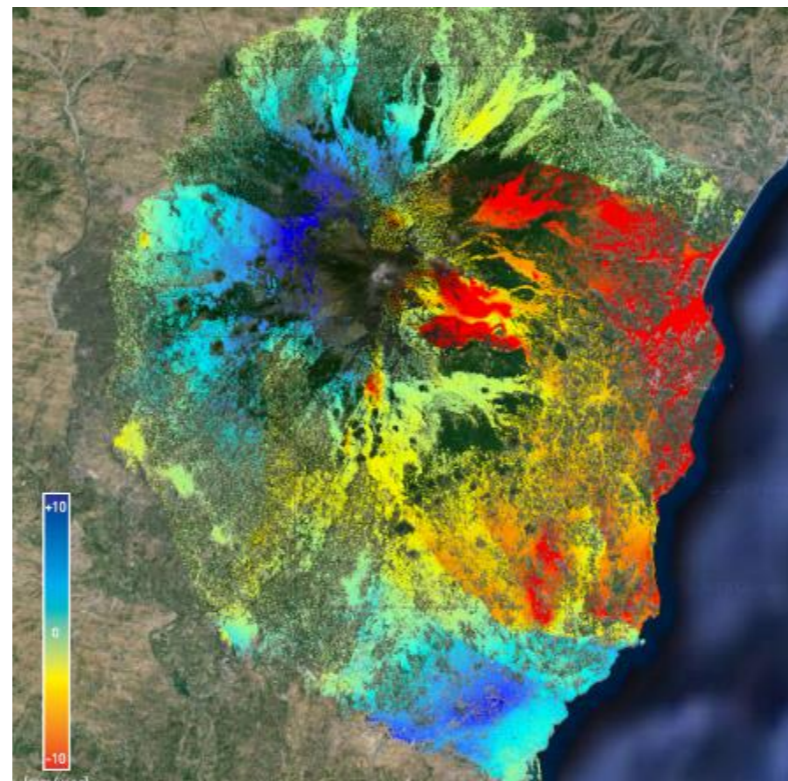
Dove:

- S è lo *slope* (ovvero la pendenza del versante);
- A è l'*aspect* (ovvero l'esposizione del versante rispetto ai punti cardinali);
- H , N , E sono i 3 coseni direttori, il cui valore dipende dai parametri geometrici dell'orbita del satellite calcolati con l'angolo azimutale rispetto alla LOS (θ) e l'angolo di incidenza (α).

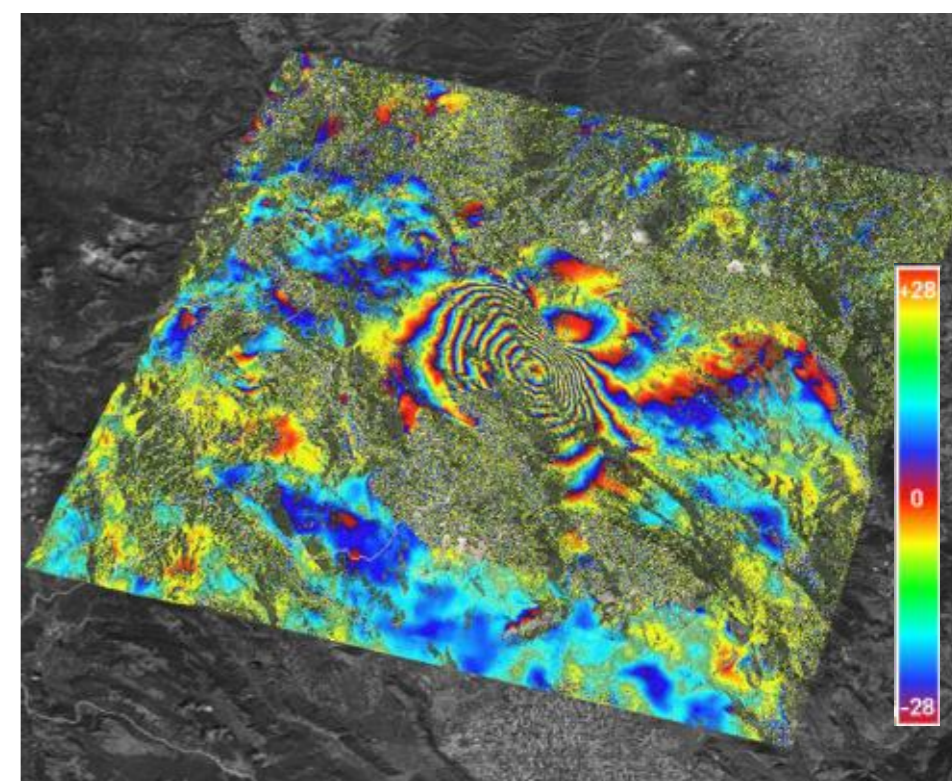
Campi di applicazione



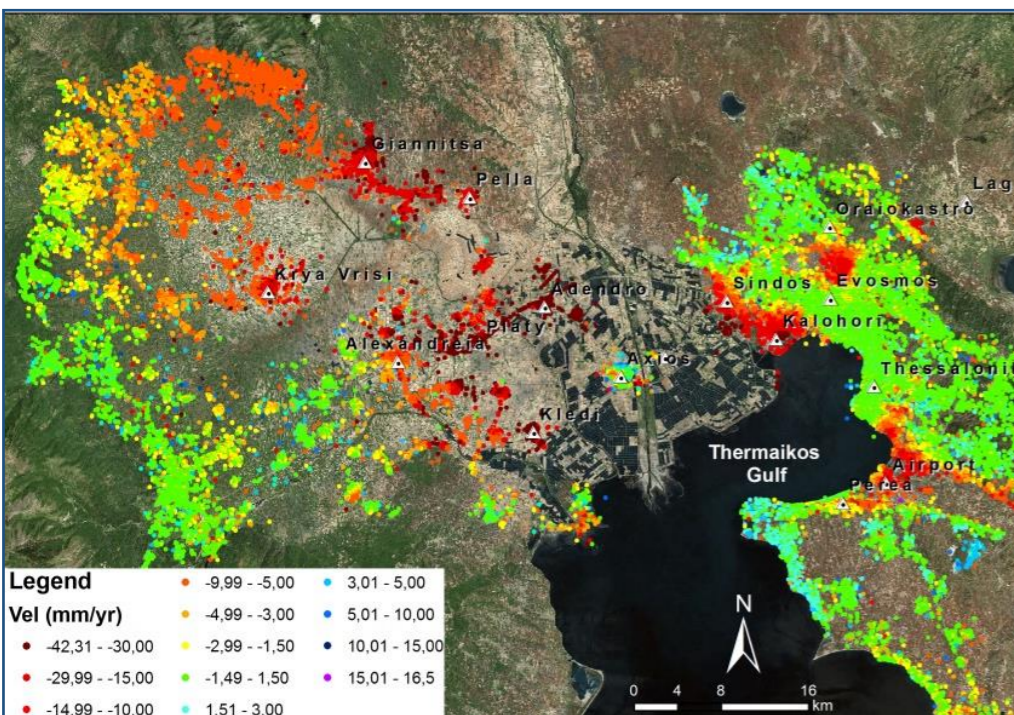
Frane a cinematica lenta



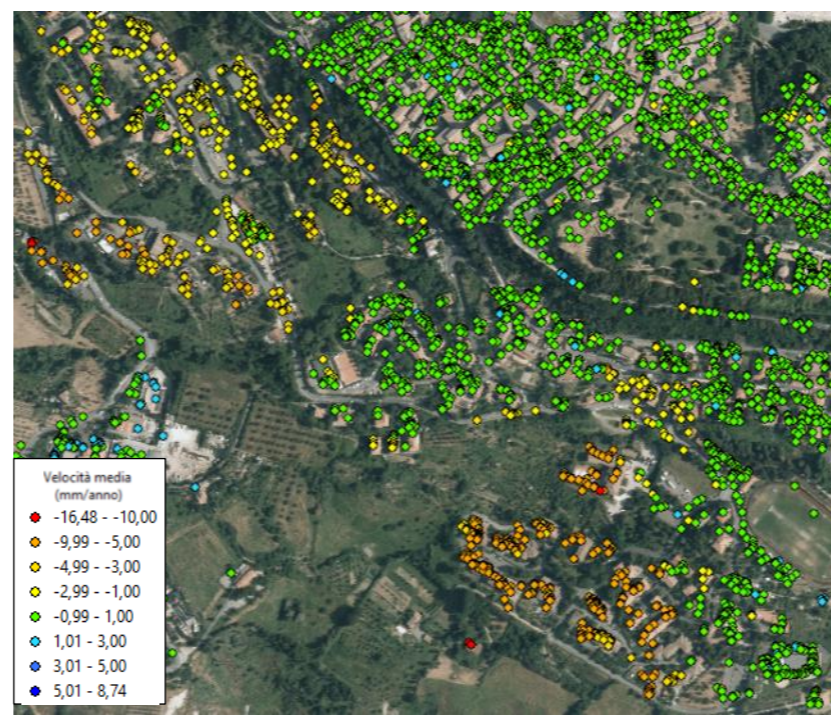
Deformazioni vulcaniche



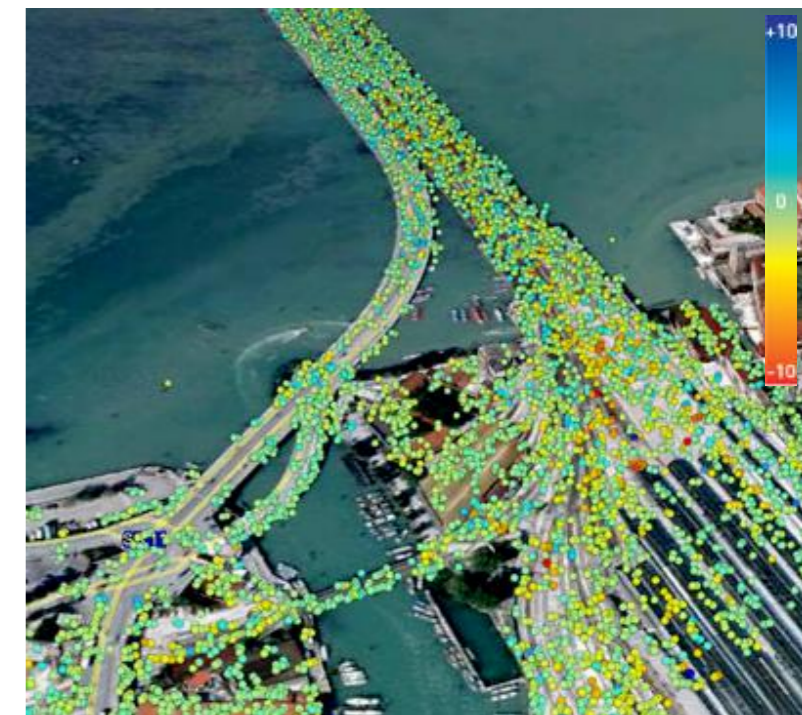
Terremoti



Subsidenza - Uplift



Aree urbane



Infrastrutture

Applicabilità alle frane

CLASSE	VELOCITA' <i>(Cruden & Varnes, 1996)</i>
<i>Estremamente lento</i>	< 16 mm/anno
<i>Molto lento</i>	0,016 – 1,6 m/anno
<i>Lento</i>	1,6 m/anno - 13 m/mese
<i>Moderato</i>	13 m/mese – 1,8 m/h
<i>Rapido</i>	1,8 m/h - 3 m/min
<i>Molto rapido</i>	3 m/min - 5 m/s
<i>Estremamente rapido</i>	> 5 m/s

Applicabilità - Tipo di frana e tipo di suolo

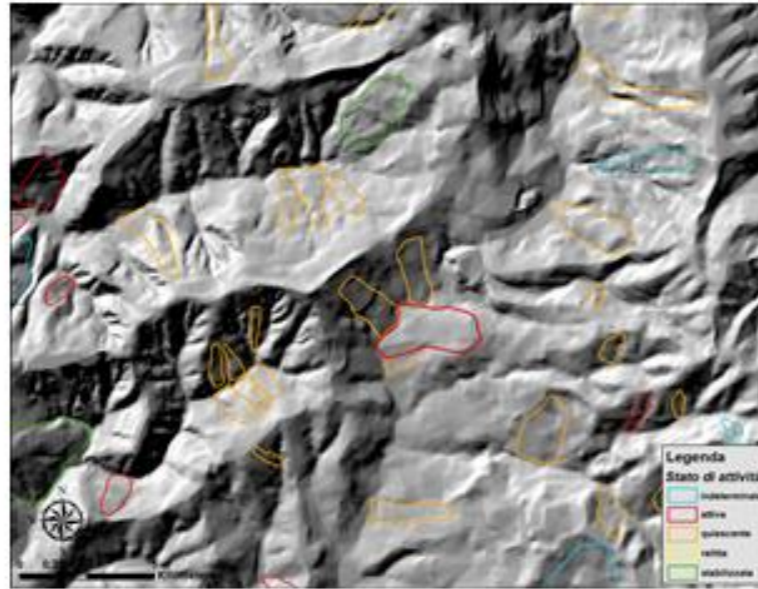
Tipo di movimento	Tipo di materiale	Applicabilità tecnica PSI
Crollo	Rock/debris/earth	NO
Ribaltamento	Rock/debris/earth	NO
Scivolamento	debris/earth	SI
	Rock	SI
Colamento	Earth	Parzialmente
	Debris	NO
Espansione laterale	Rock/debris/earth	Parzialmente

USO DEL SUOLO <i>(Livello1 del CORINE Land Cover, 2000)</i>	Tecnica PSI		
	Banda X (3.1 cm)	Banda C (5.6 cm)	Banda L (23 cm)
<i>Territori modellati artificialmente</i>	SI	SI	SI
<i>Territori con affioramenti rocciosi /agricoli</i>	SI	SI	SI
<i>Territori boscati e ambienti semi-naturali</i>	NO Bassa penetrazione segnale	NO Bassa penetrazione segnale	SI/ Parzialmente Media penetrazione segnale
<i>Zone umide e corpi idrici</i>	NO	NO	NO

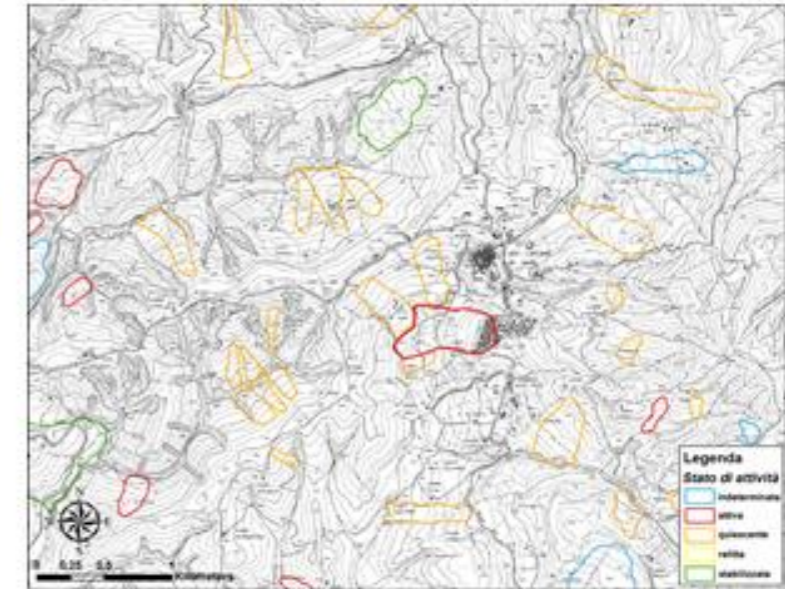
Radar-interpretazione

Dati ancillari

- Modello Digitale del Terreno (risoluzione 10 m)



- Carta Tecnica Regionale (scala 1:10.000)



- Ortofoto (risoluzione 1 m)



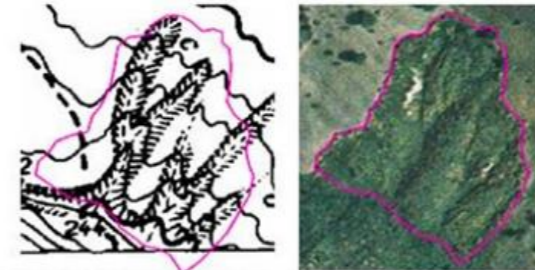
- Carta Geologica (scala 1:10.000)



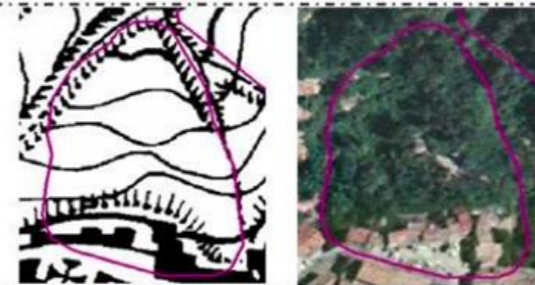
Foto interpretazione

Fotointerpretazione – Evidenze morfologiche di dissesti di versante

Evidenza di scarpate e crepacci con bordi netti



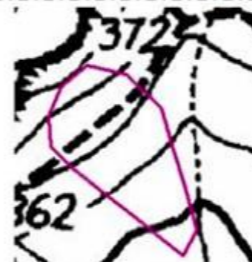
Nette variazioni di curvatura lungo il profilo longitudinale del versante



Sconvolgimento del sistema di drenaggio, ristagni d'acqua, depressioni a drenaggio interno, deviazioni dell'alveo fluviale



Assenza di sviluppo di suolo, affioramenti di substrato denudato



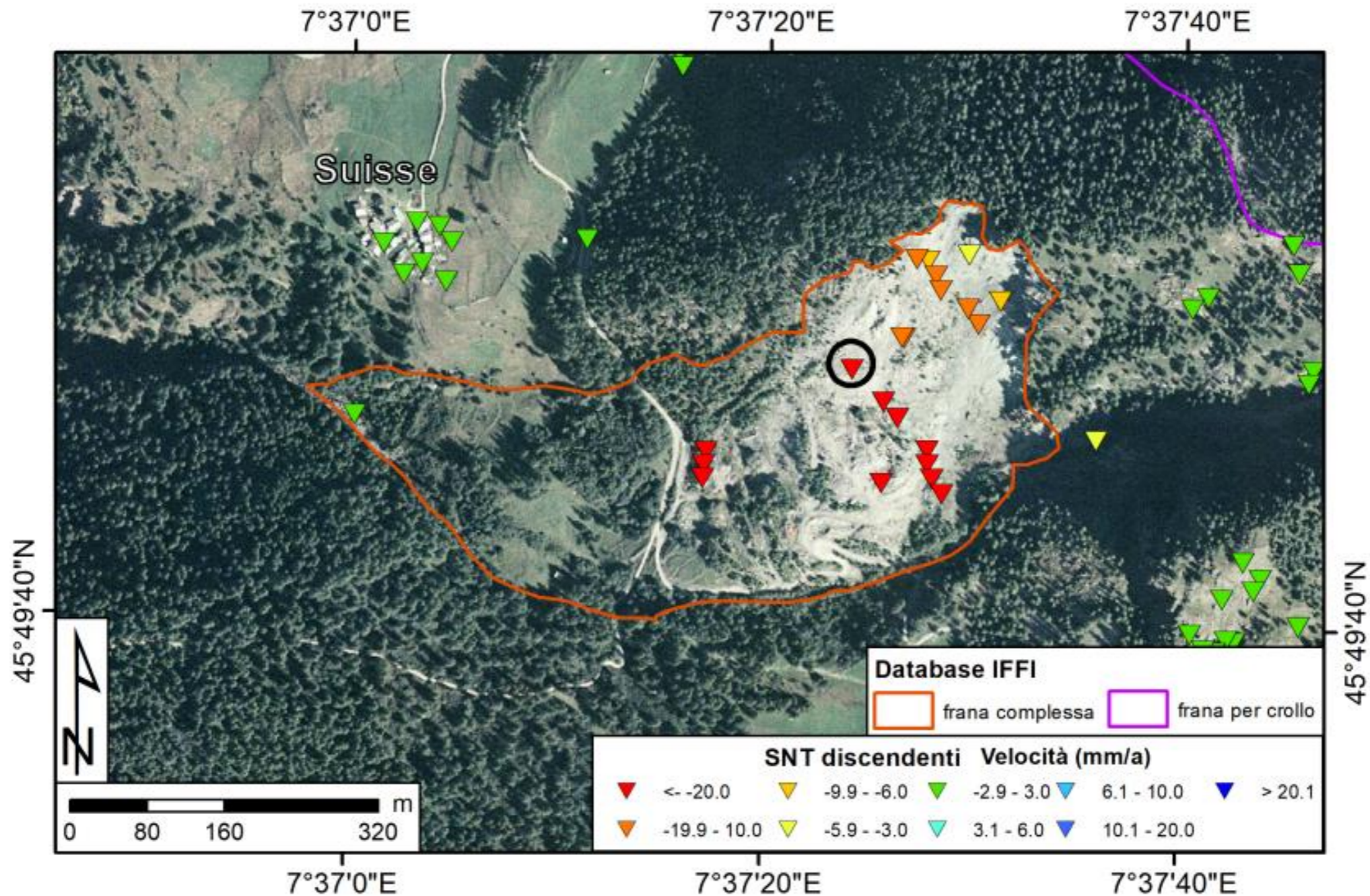
Presenza di vegetazione a crescita rapida



Differenze nette di vegetazione all'interno del perimetro della frana

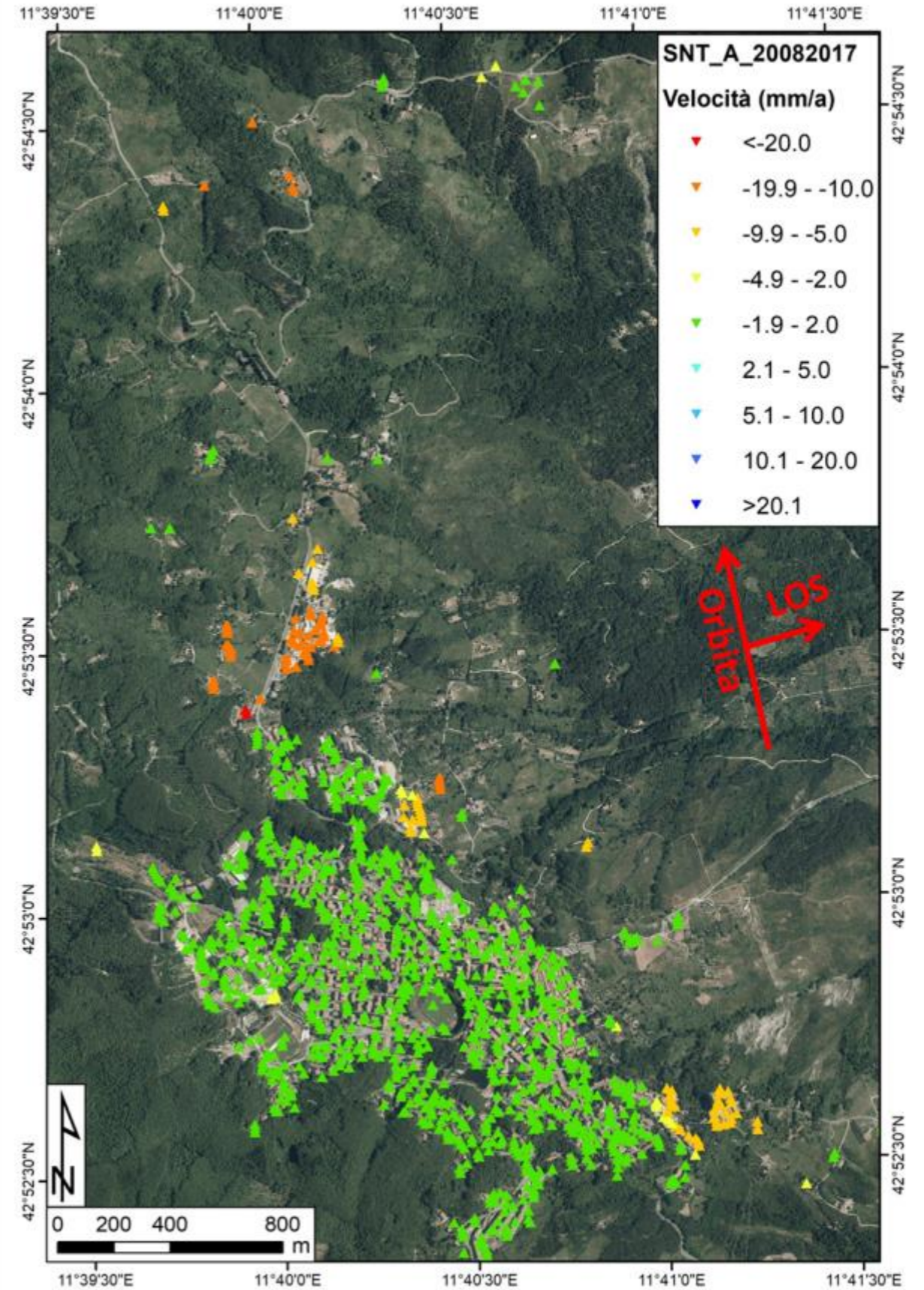
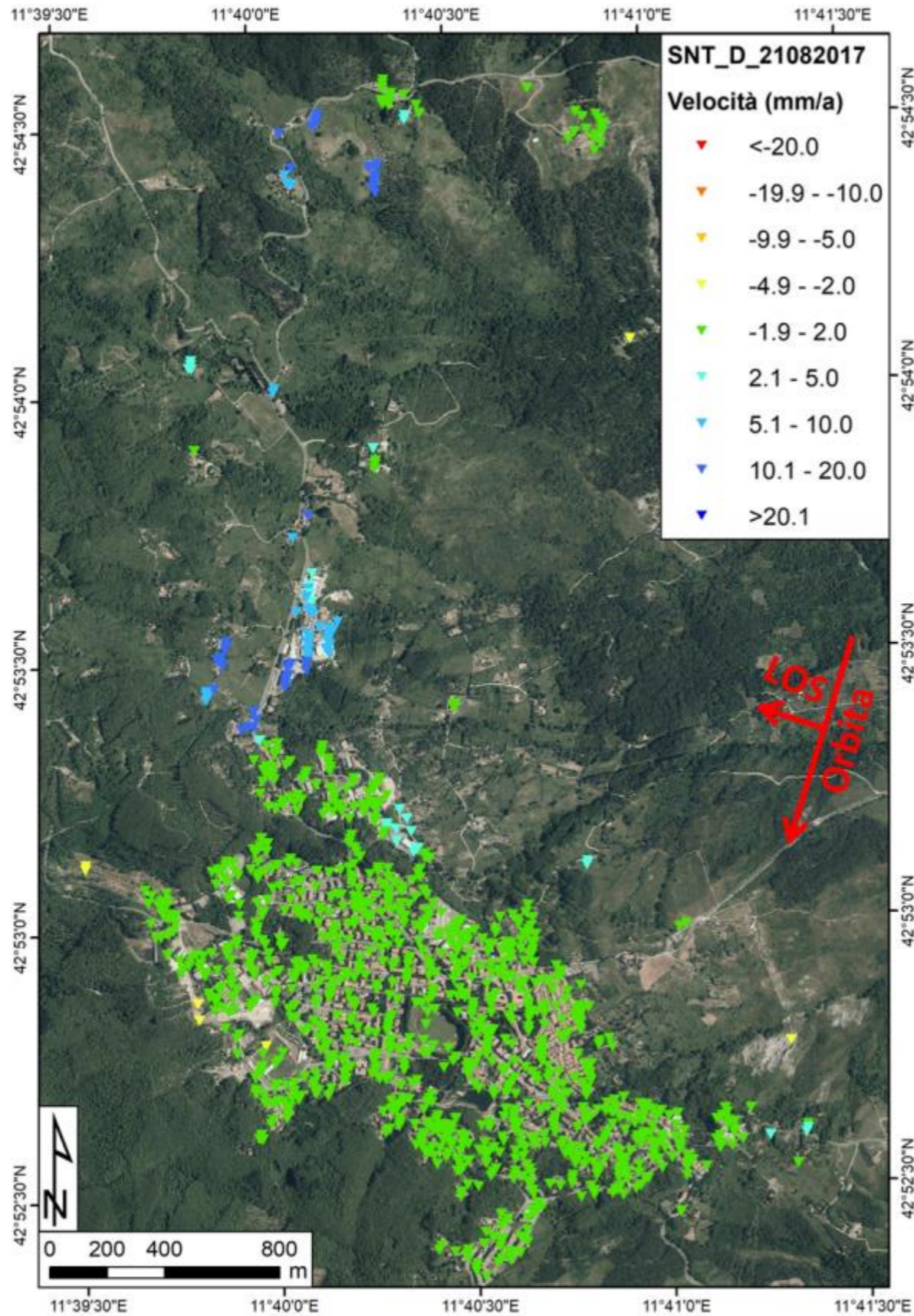


PS & frane

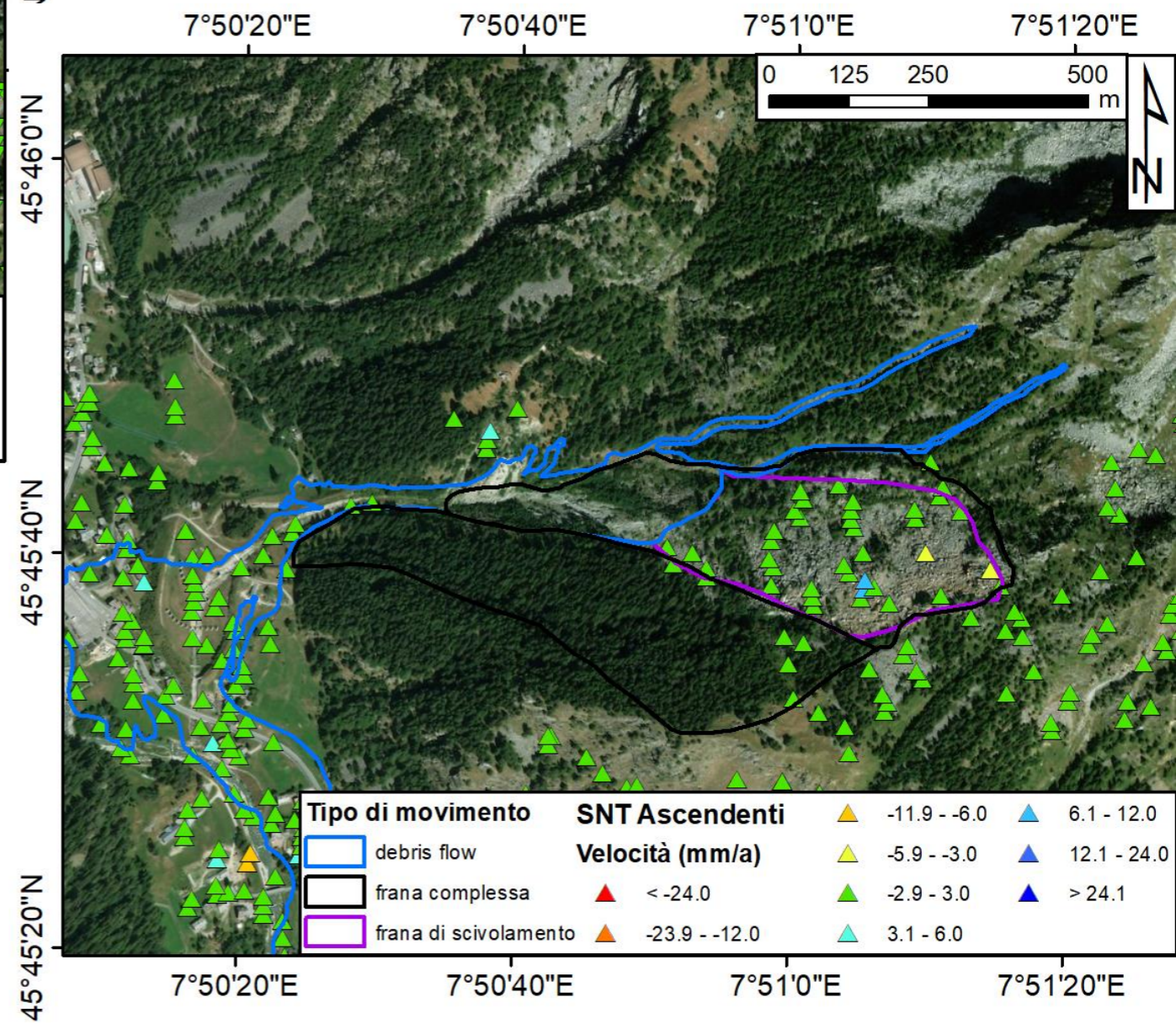
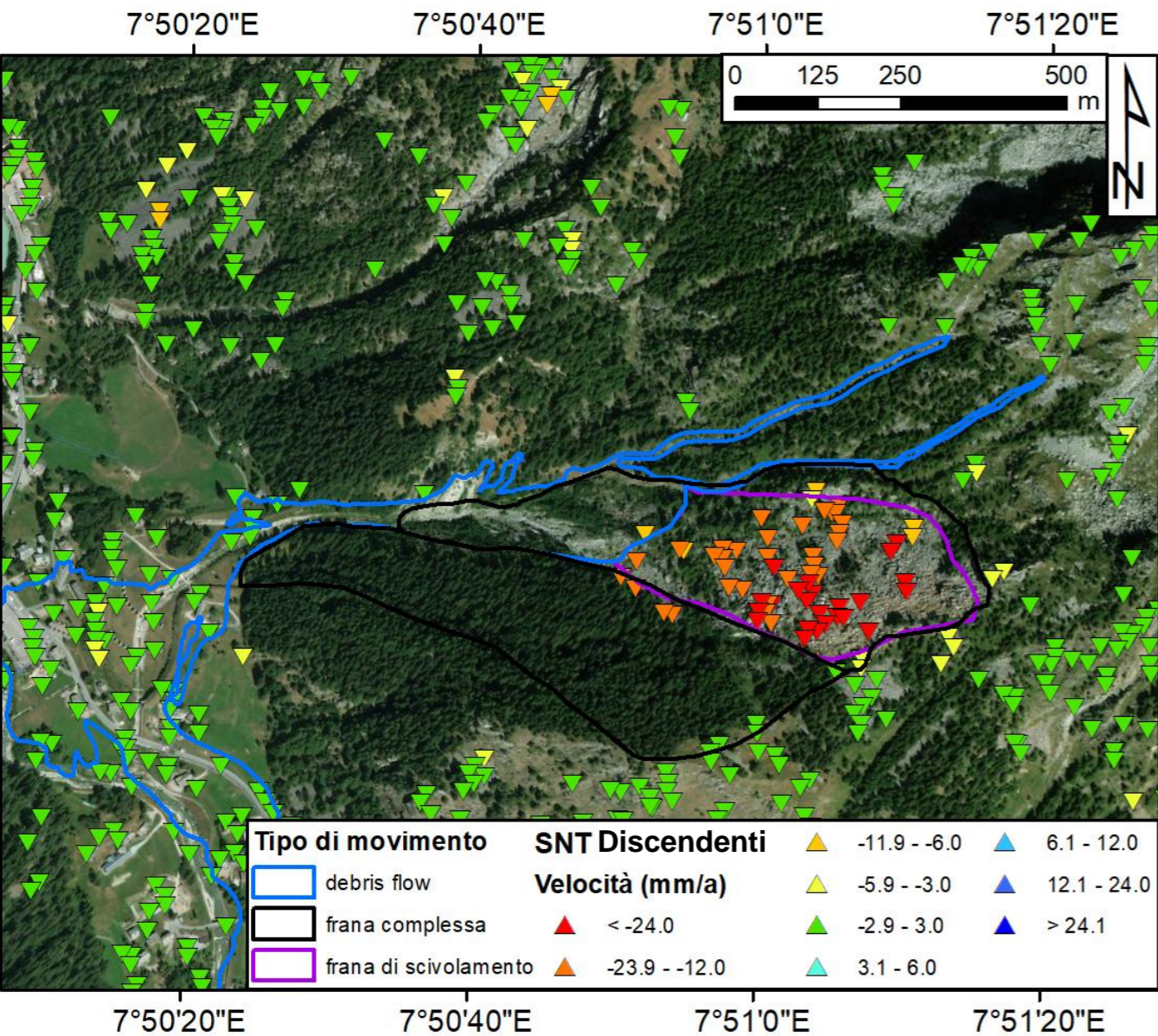


1. Valutare la coerenza tra velocità e versante
2. Controllare presenza di fenomeni mappati o con evidenza da ortofoto/DEM/CTR
3. Controllare la presenza di indicatori su edifici/strade attraverso street view
4. Valutare l'uniformità di velocità e TS su tutta l'area/frana
5. Se non si è sicuri pianificare sopralluoghi di verifica

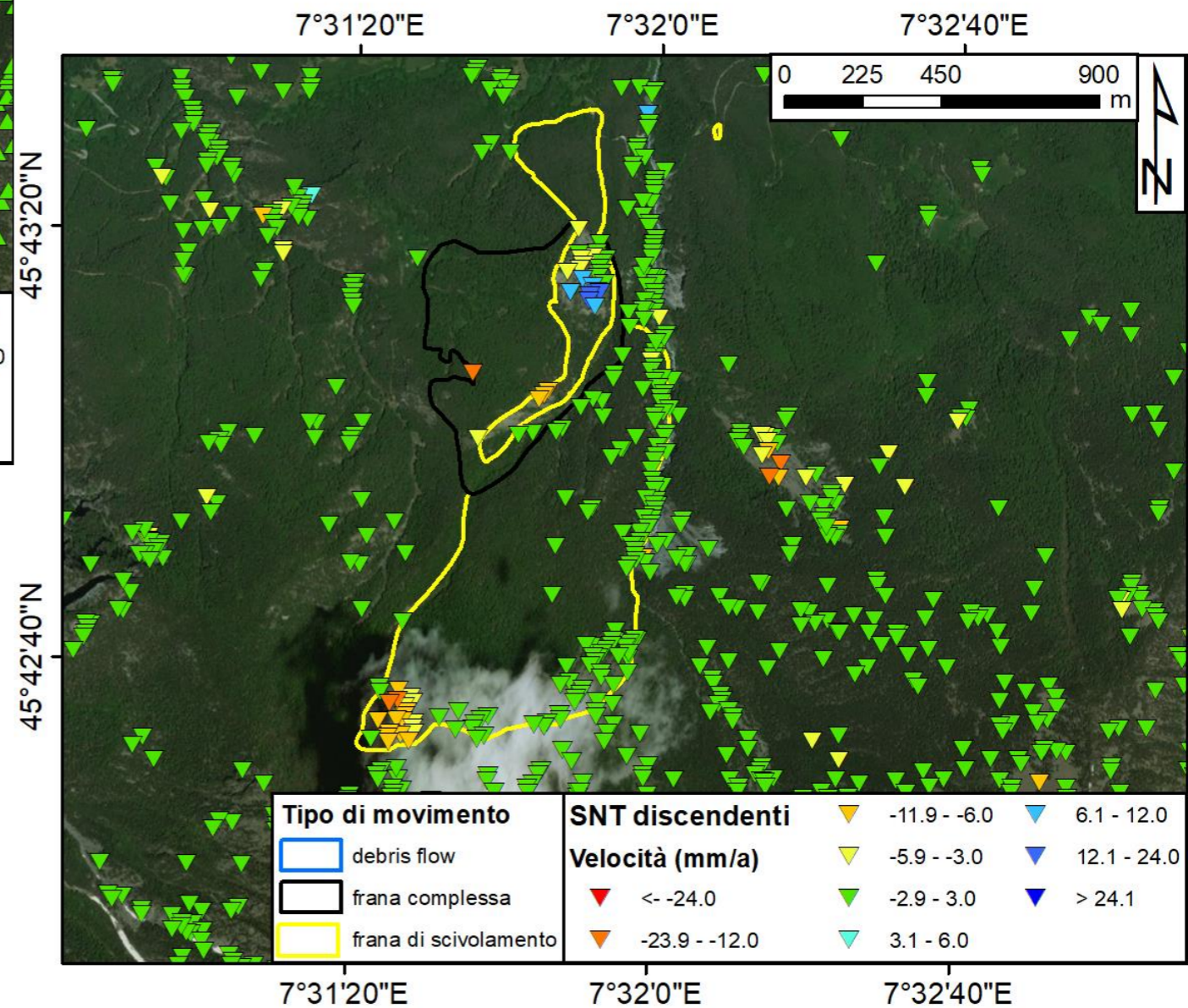
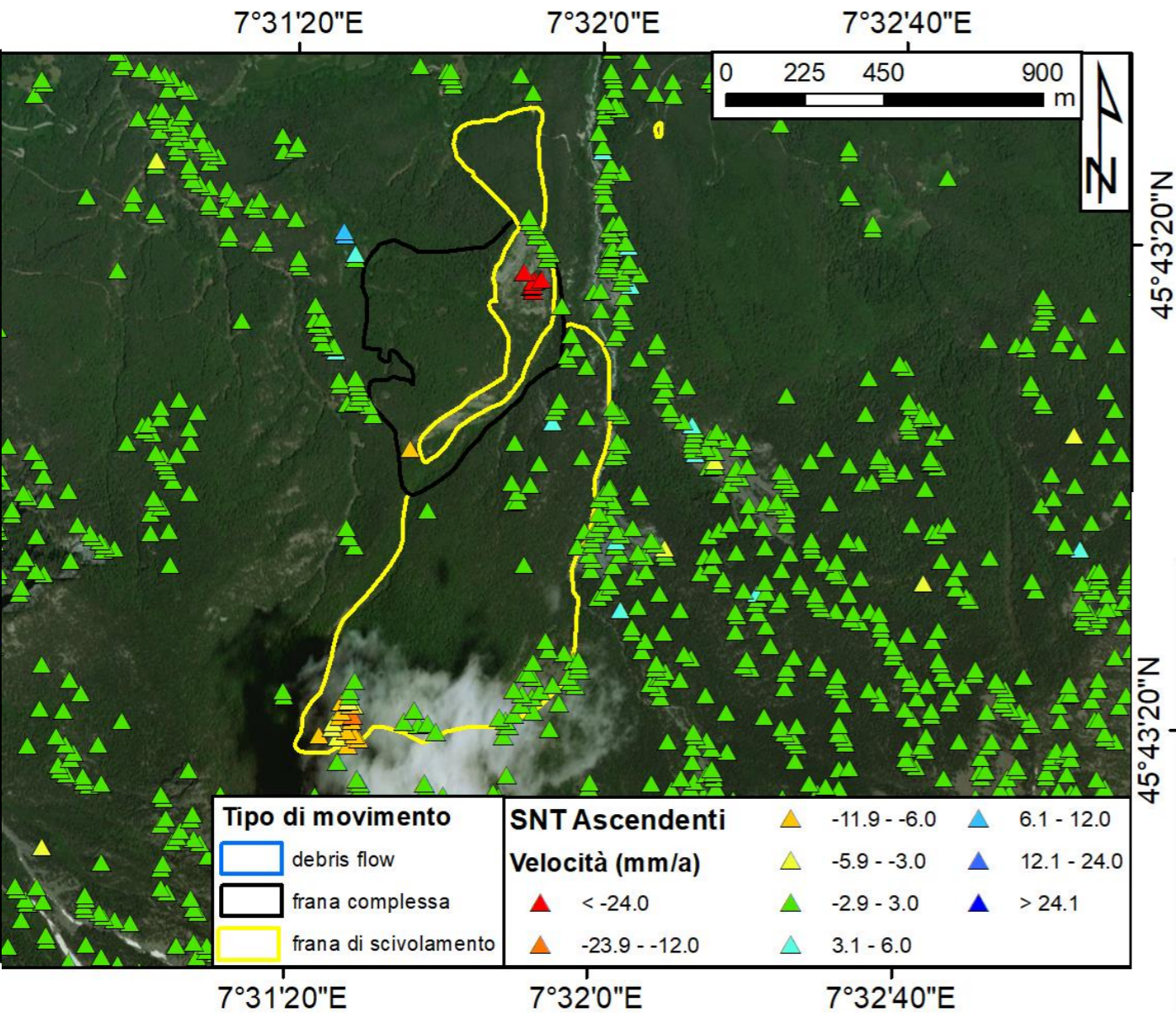
PS & frane



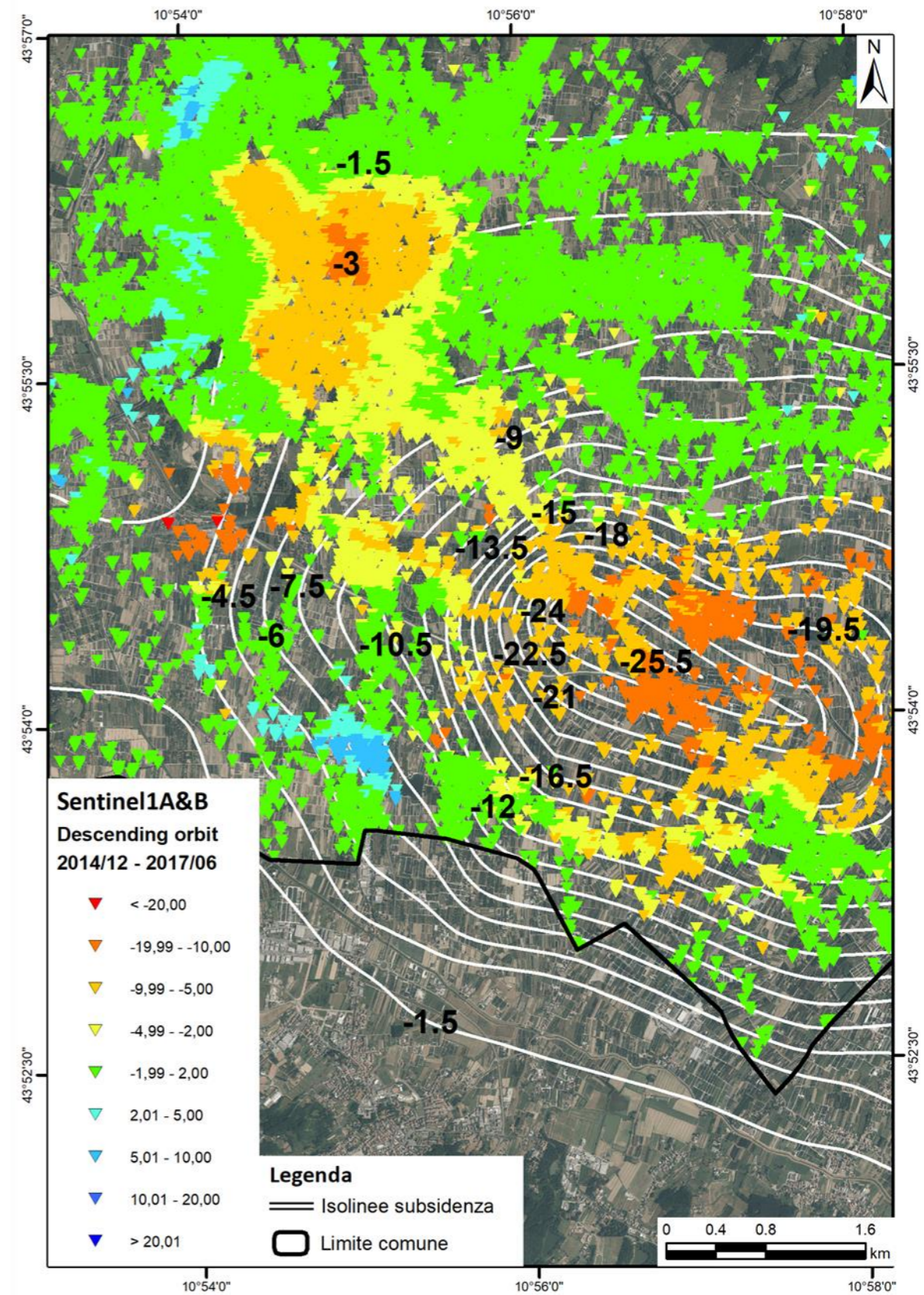
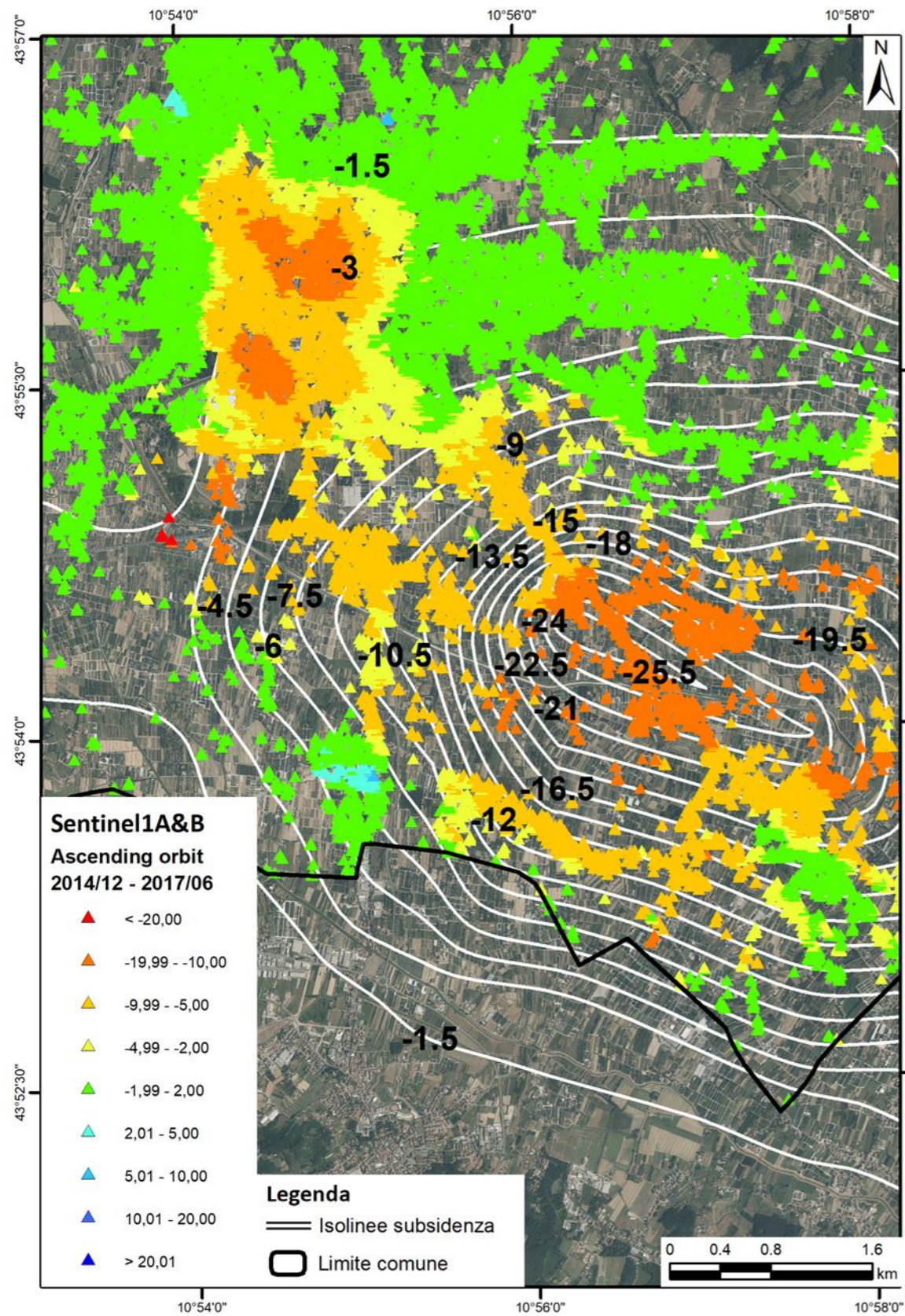
PS & frane



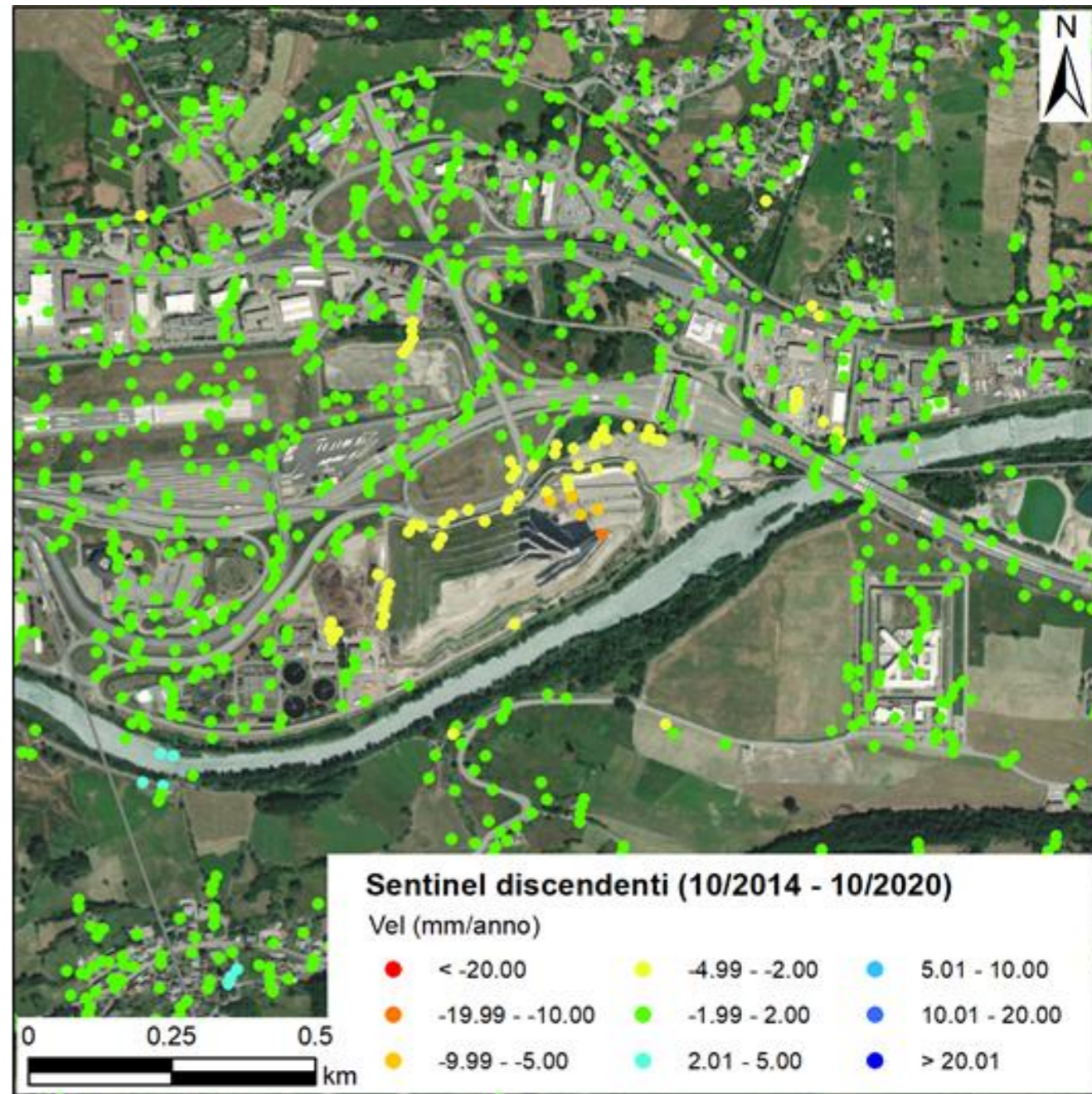
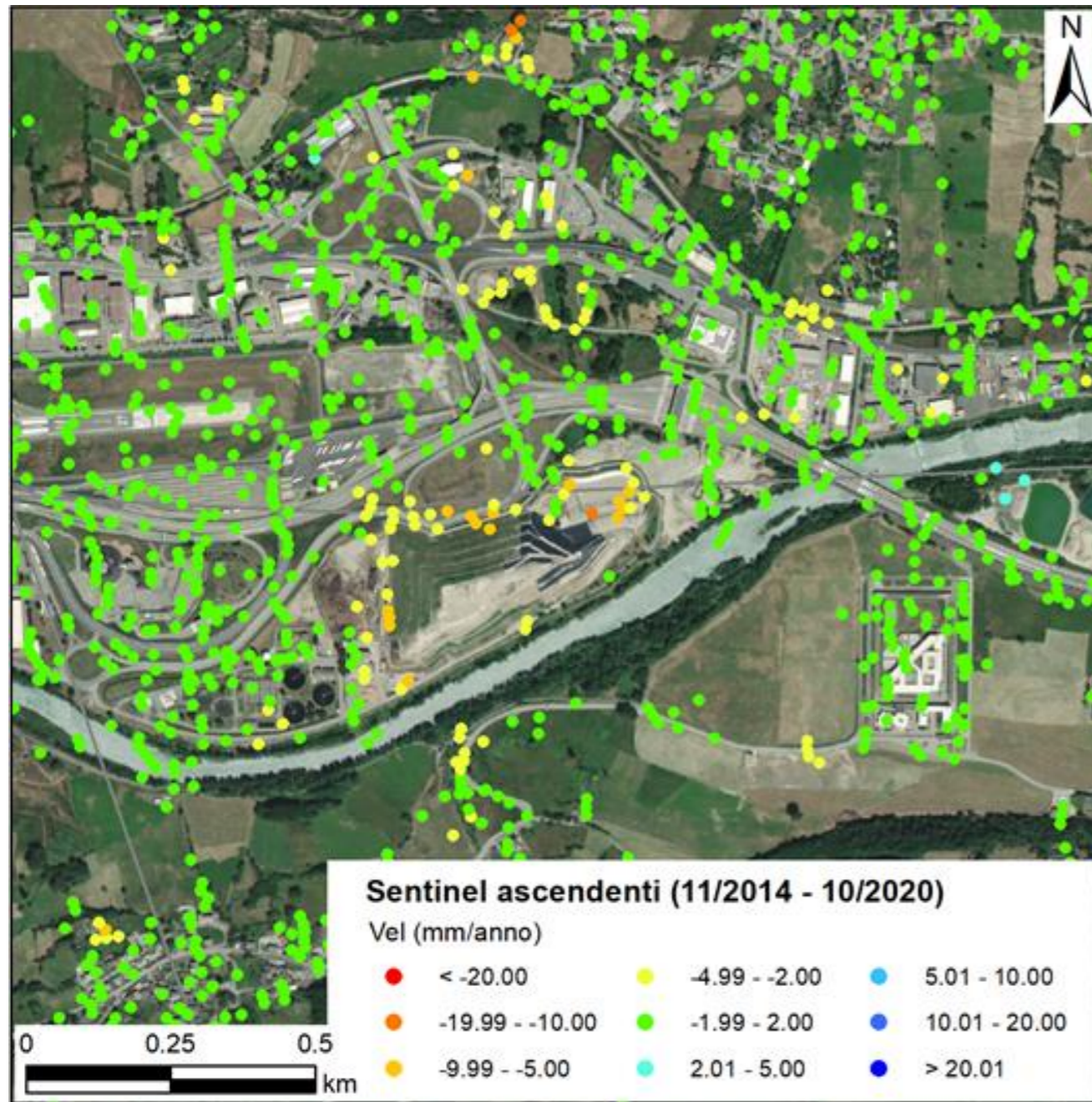
PS & frane



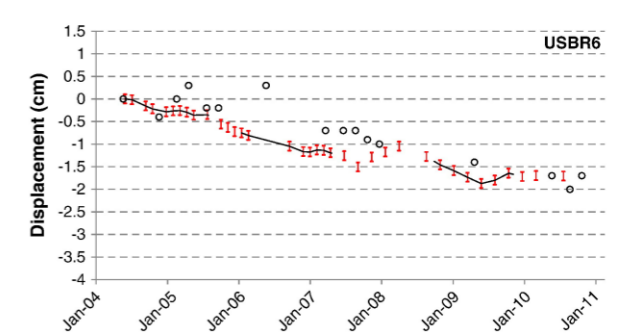
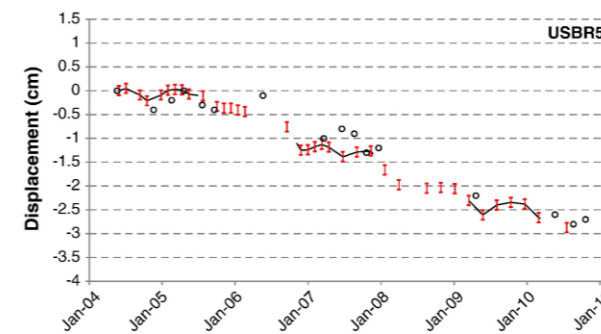
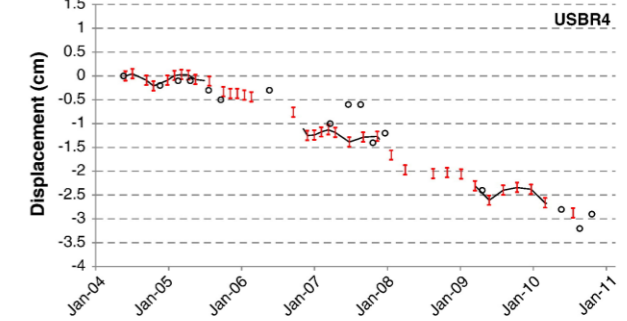
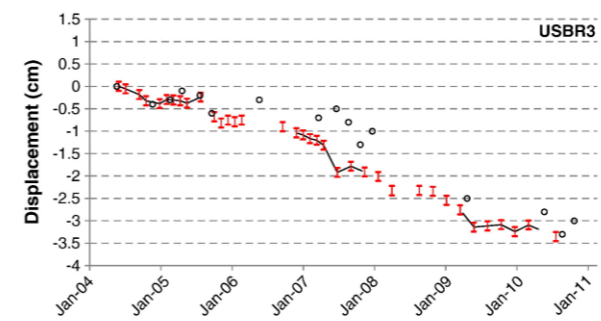
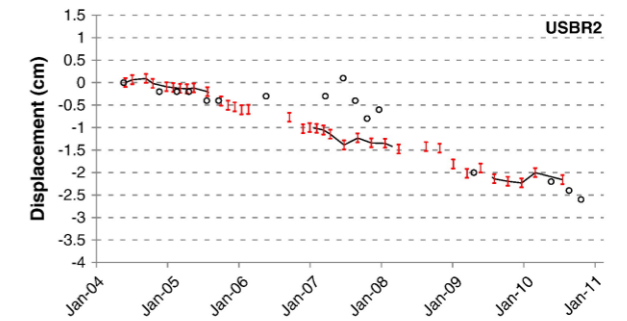
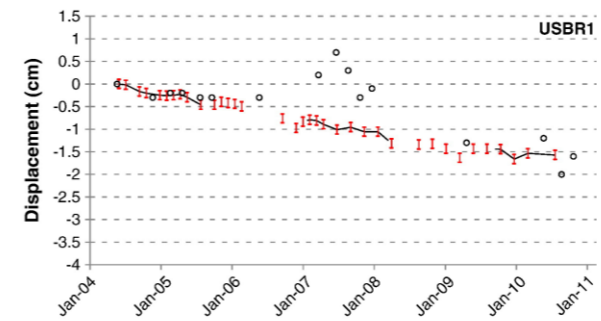
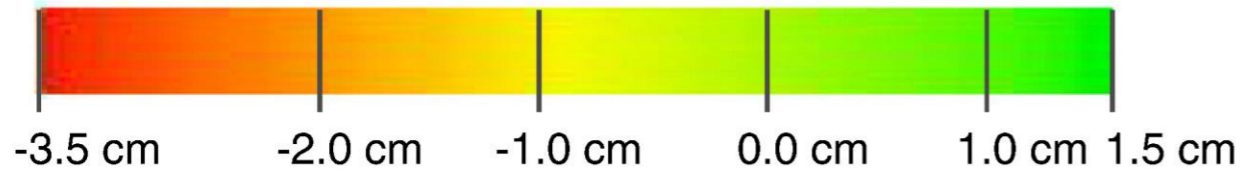
PS & subsidenza



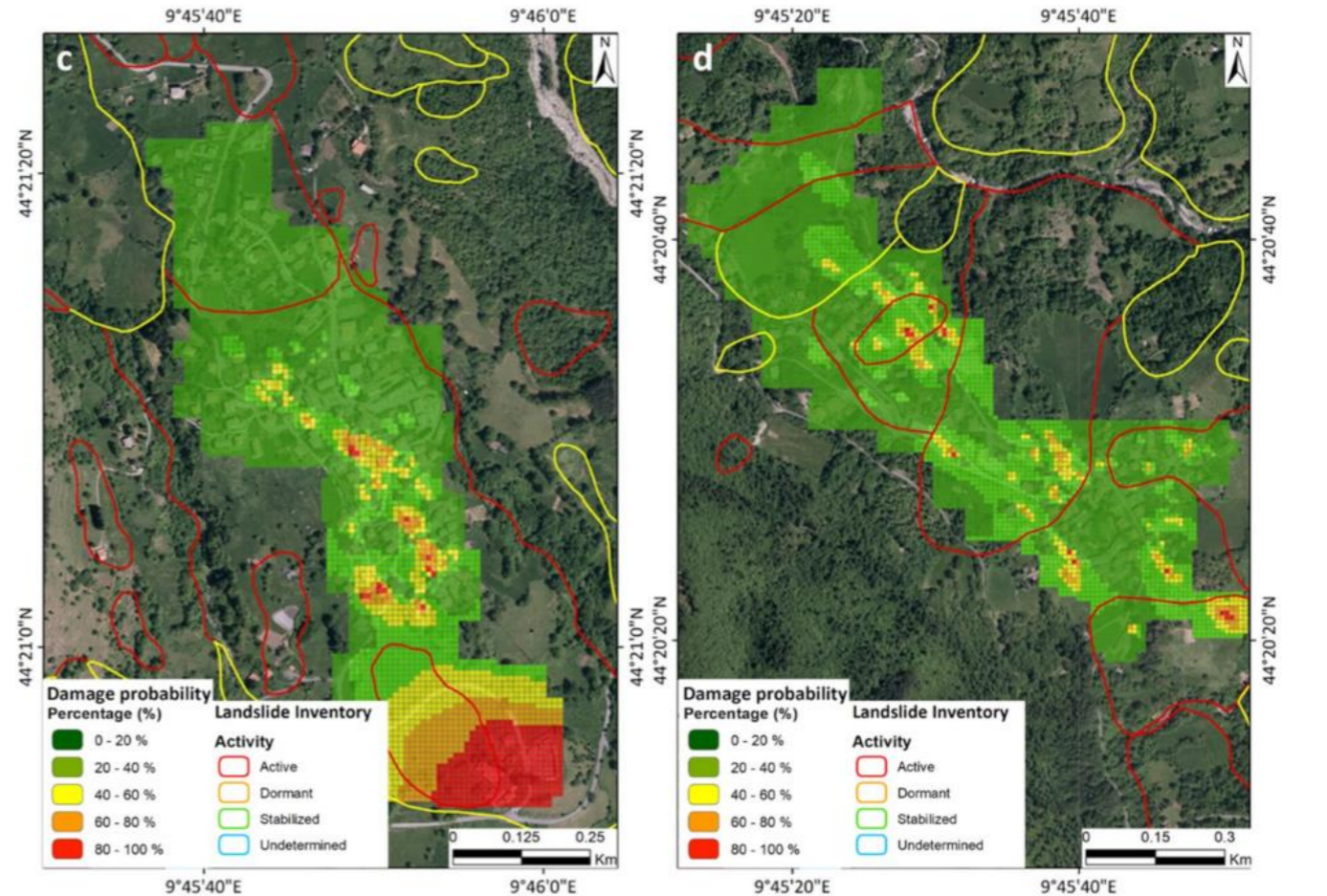
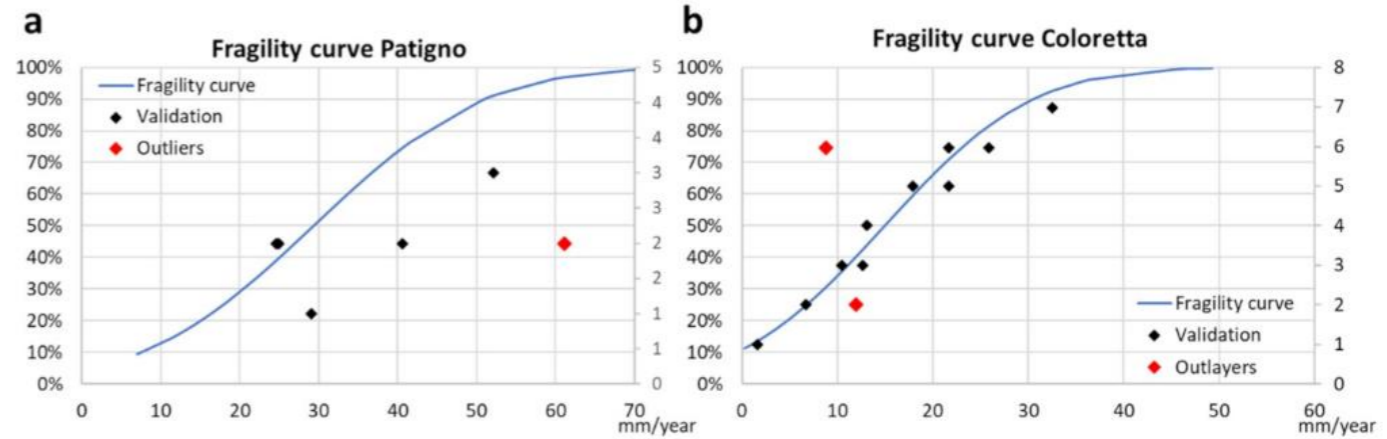
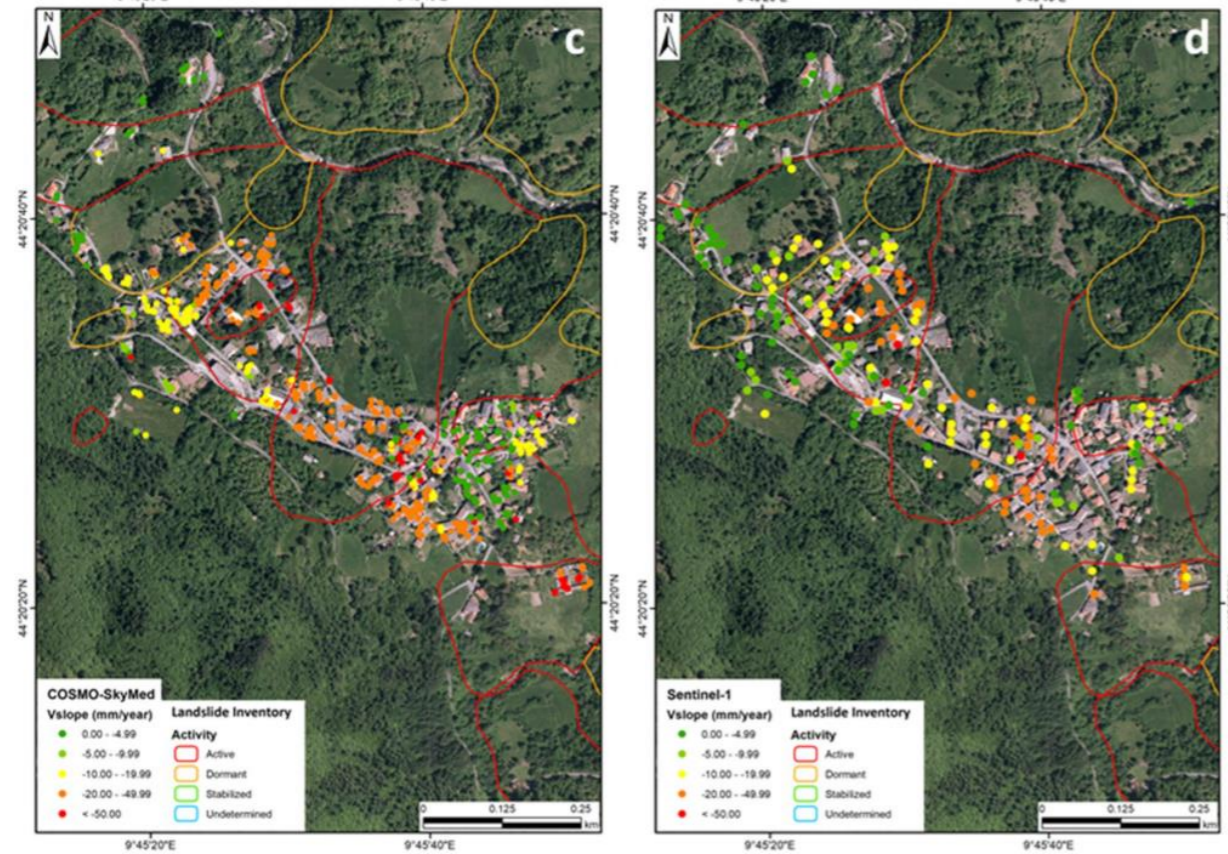
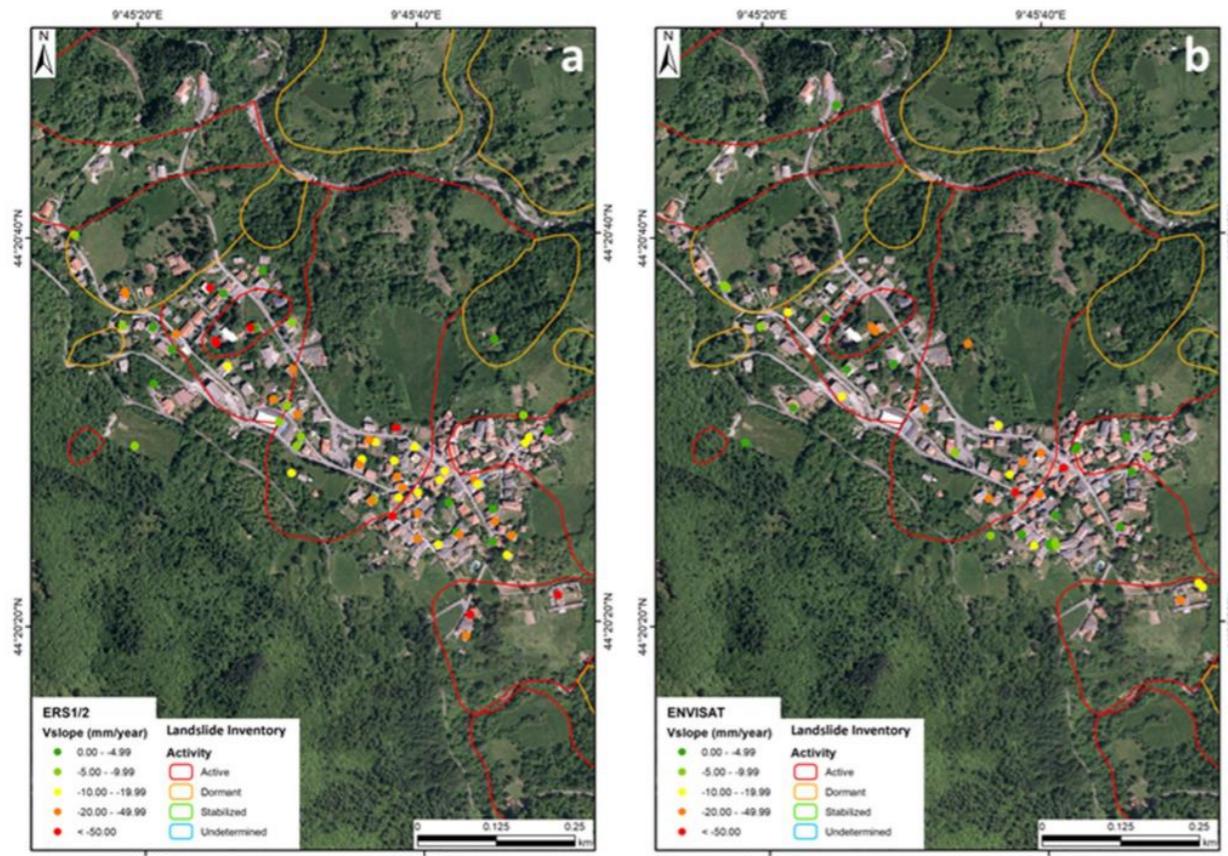
PS & subsidenza



PS & infrastrutture



PS & strutture



Pratiche da evitare

- Valutare l'integrità strutturale di singoli edifici o infrastrutture
- Utilizzo ed interpretazione di un singolo PS
- Utilizzo acritico del dato PS
- Monitoraggio di movimenti veloci o istantanei
- Interpretare il fenomeno deformativo sulla base delle sole velocità misurate
- Interpretare l'assenza di punti PS come assenza di movimenti
- Considerare la velocità rilevata da satellite uguale a quella misurabile sul terreno

Il progetto di monitoraggio deformazioni del suolo in Veneto

Accordo tra Veneto e Centro per la Protezione Civile UniFi

Accordo a partire dal luglio 2019 per l'attività di Monitoraggio radar satellitare continuo delle deformazioni del terreno della Regione Veneto con il Centro per la Protezione Civile dell'Università degli Studi di Firenze



Regione Veneto



Trasmissione delle informazioni acquisite dal monitoraggio radar satellitare per una loro diffusione presso Enti competenti, eventuali sopralluoghi e pubblicazione su piattaforma WebGIS del dato satellitare.

REGIONE DEL VENETO

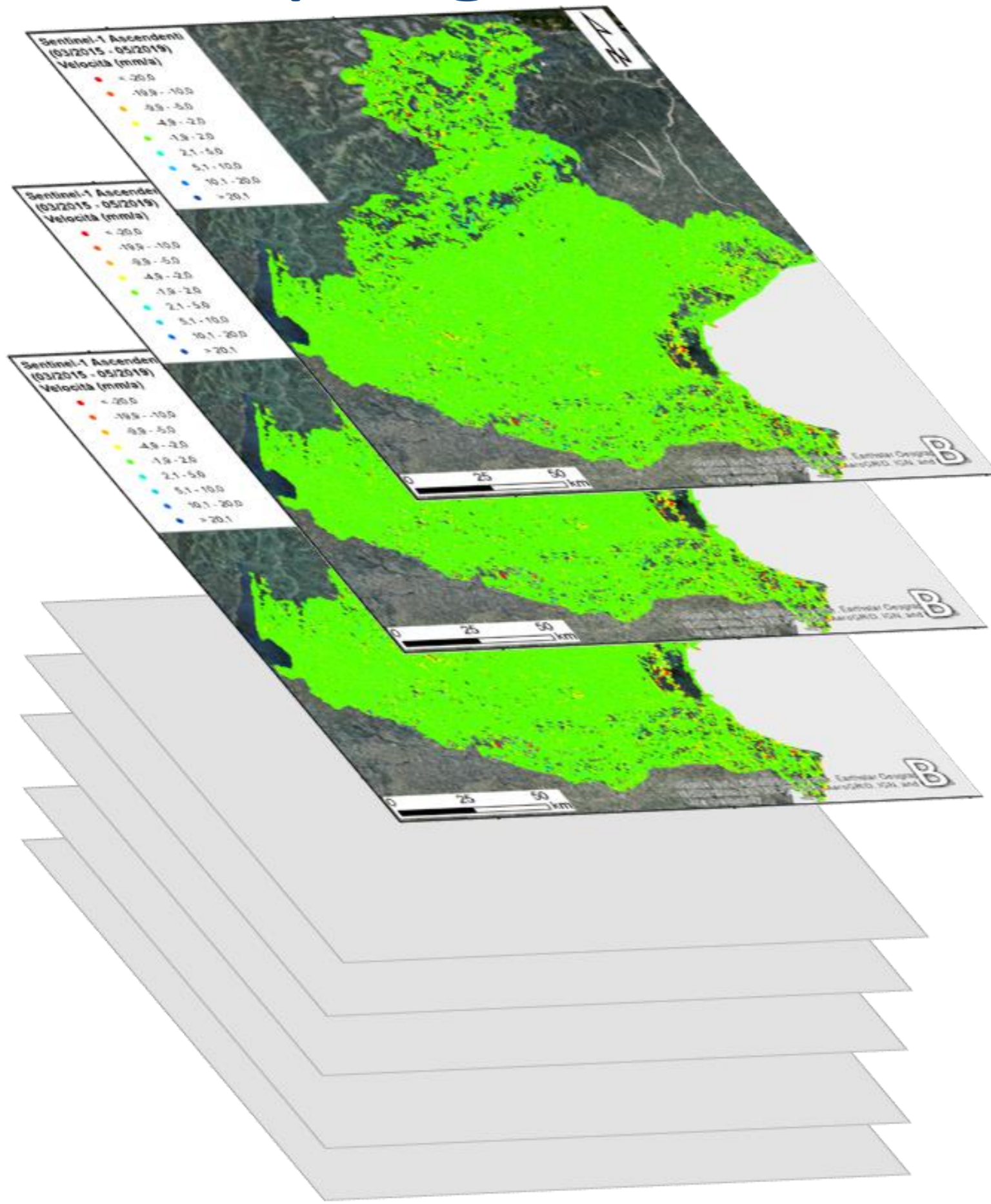


**CENTRO
PROTEZIONE
CIVILE** CPC
UNIFI



Interpretazione dati *radar* satellitari e monitoraggio in continuo dello scenario deformativo del territorio della Regione Autonoma Valle d'Aosta

Il progetto di monitoraggio

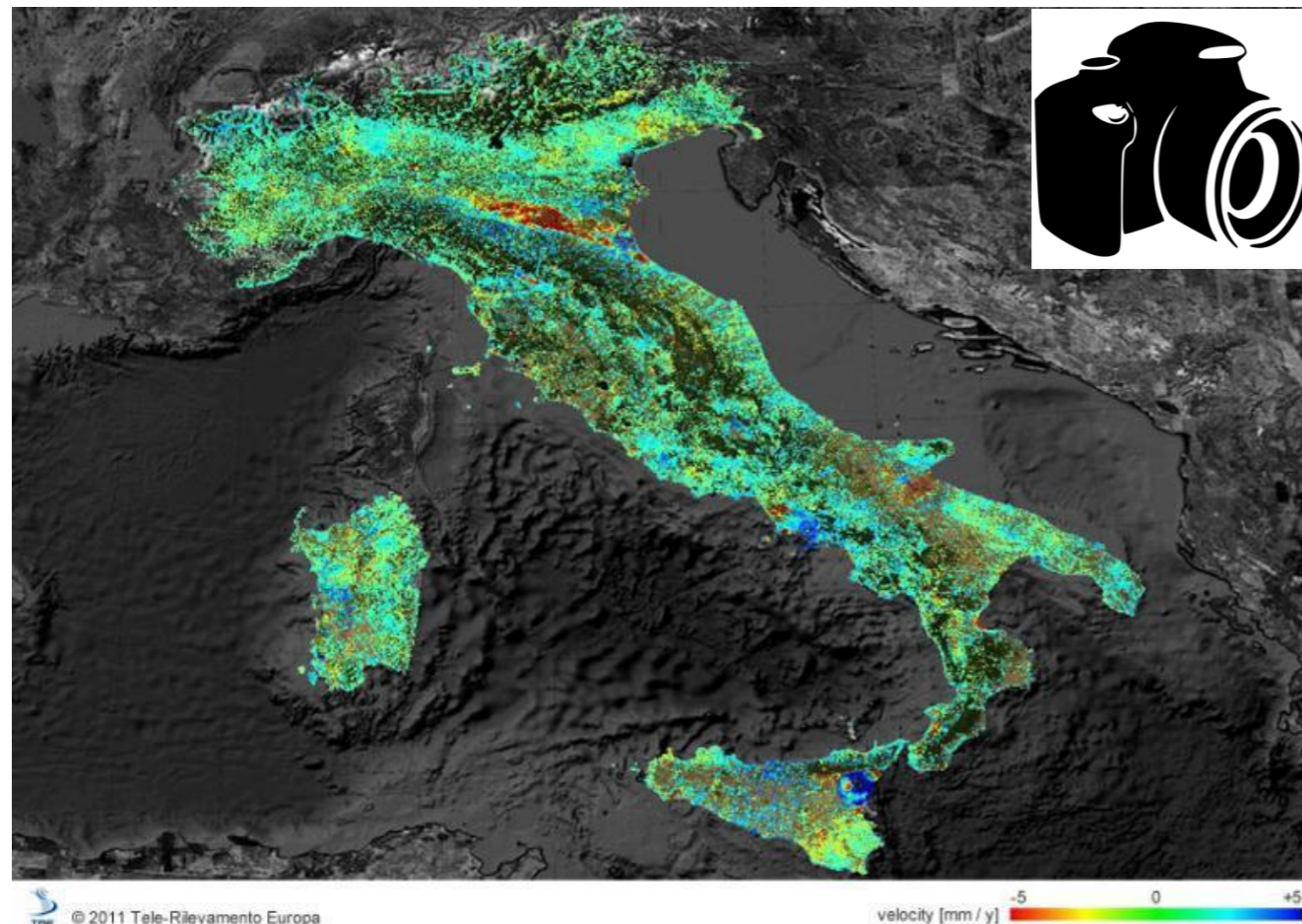


Perché è oggi possibile effettuare un monitoraggio continuo e sistematico delle deformazioni del suolo a scala regionale?

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.

Sentinel 1A e 1B



Satelliti gemelli operanti in banda C
con tempo di rivisitazione di 6 giorni

Il progetto di monitoraggio

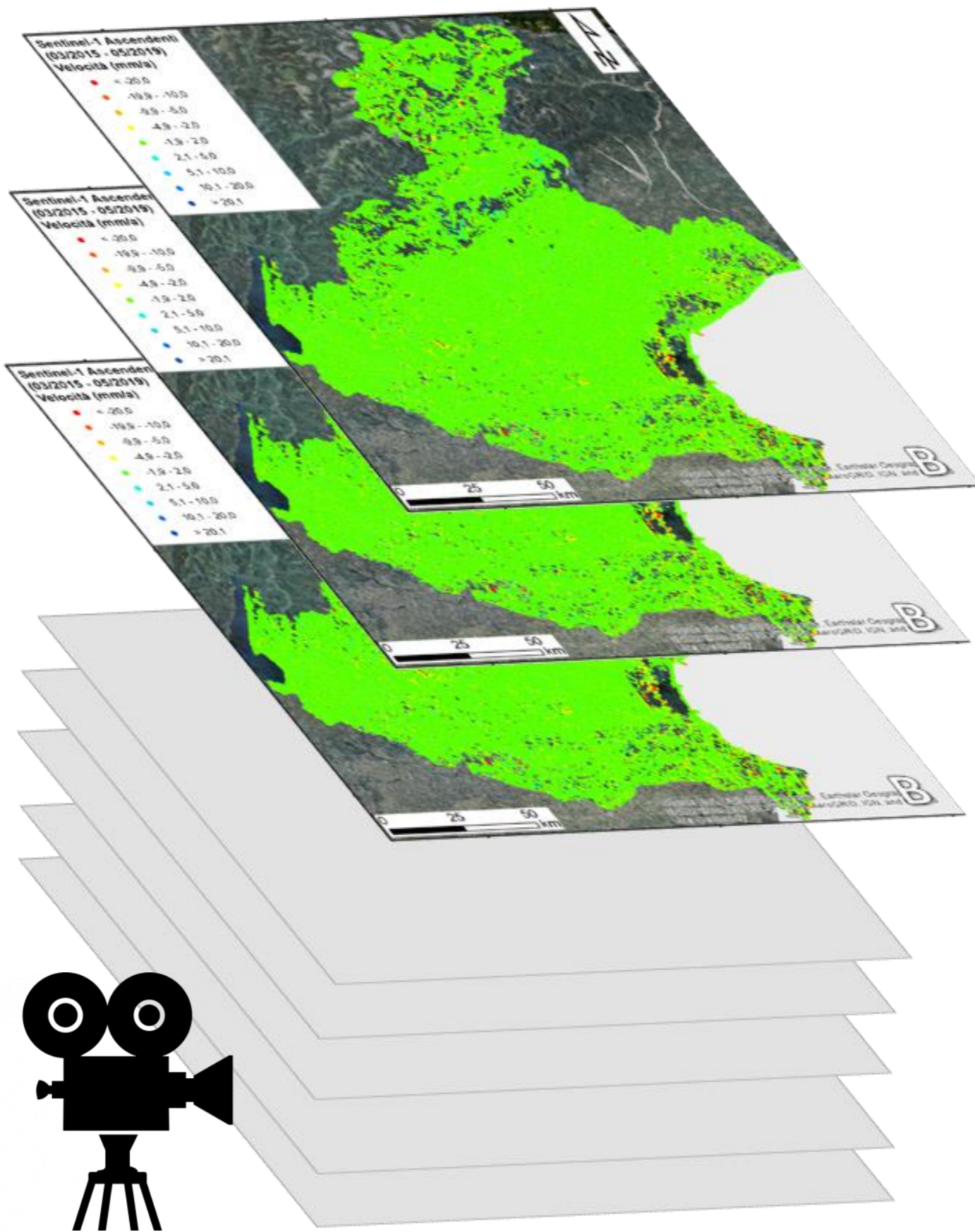
Tutte le tecnologie necessarie a creare strumenti di screening continuo a scala regionale (o nazionale) sono disponibili.



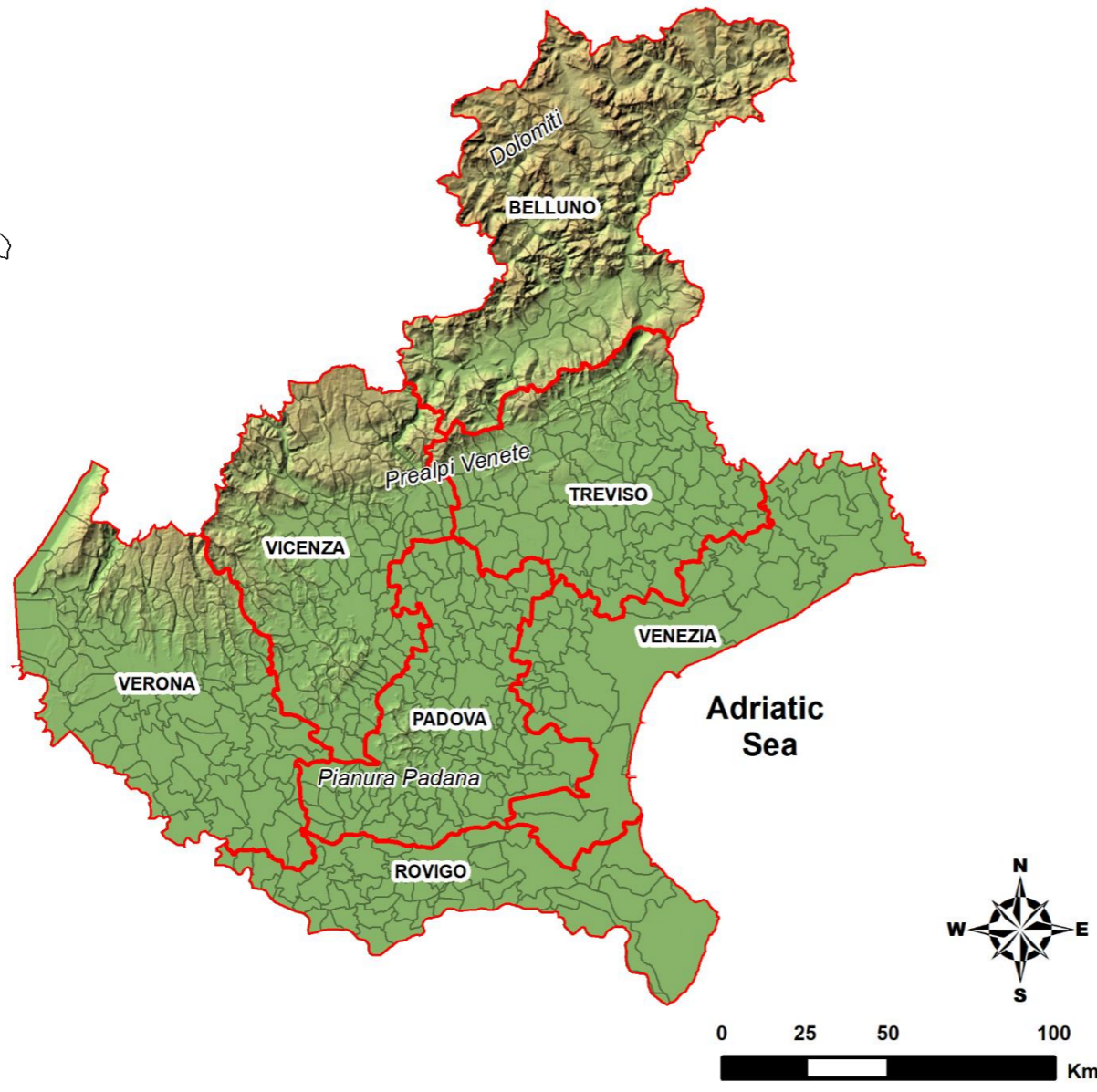
Passaggio da analisi «one-shot» basate elaborazioni di archivio ad un sistema operativo di monitoraggio in continuo.



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



Regione Veneto



Frana Tessina

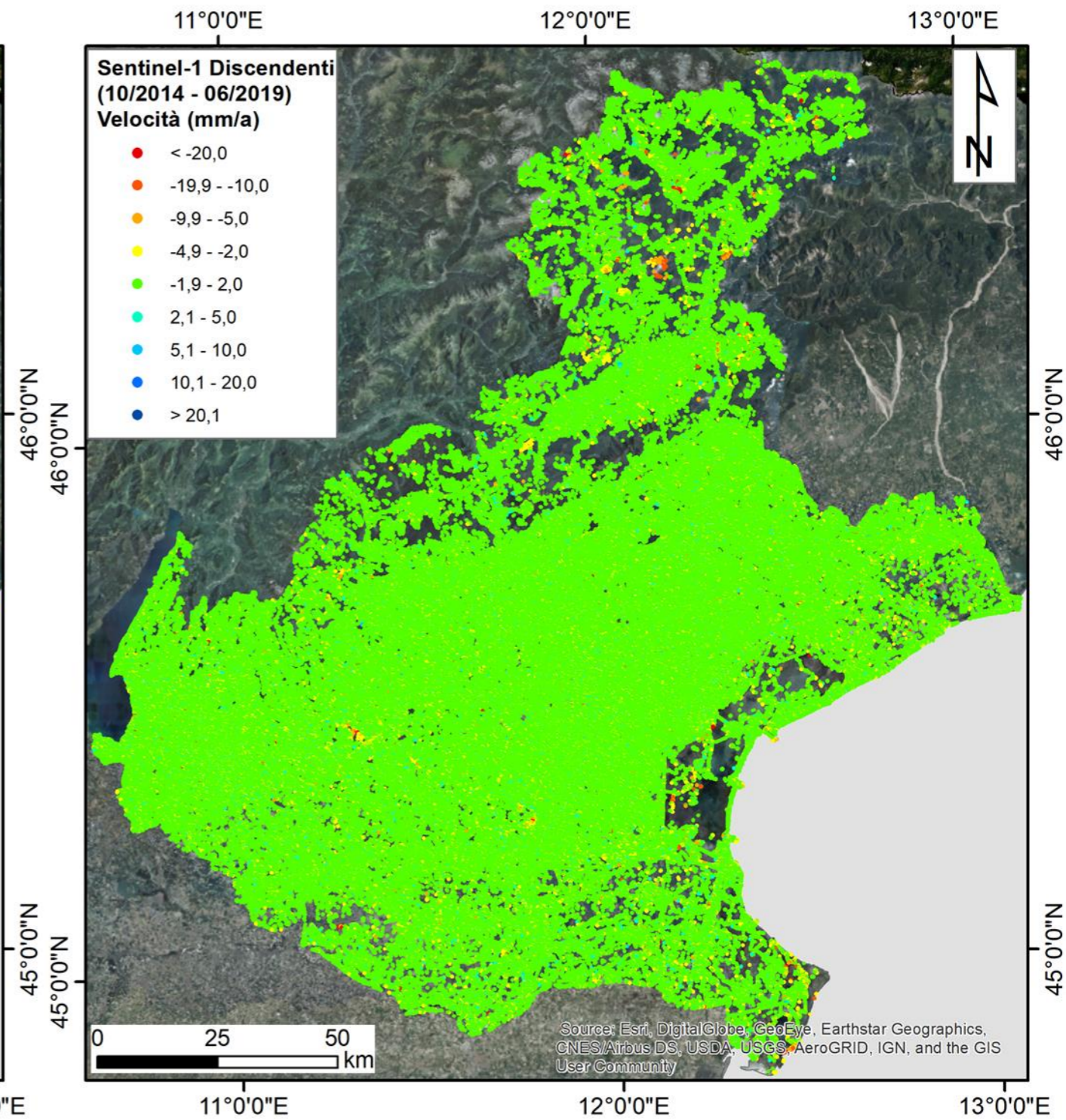
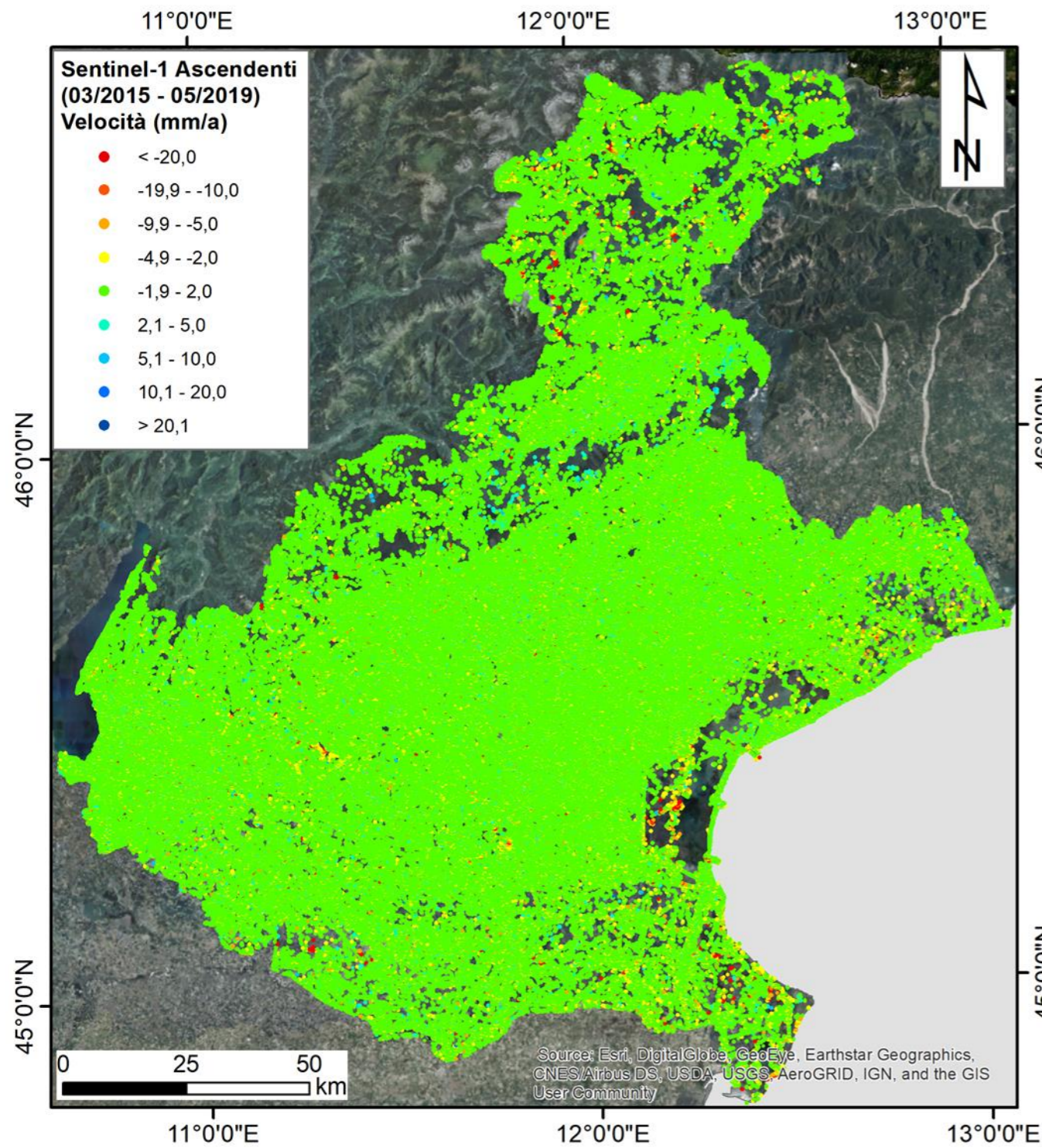


Frana Mt. Rotolon

Scivolamenti, colamenti,
frane complesse

- Circa 4400 frane mappate (inventario IFFI)
- Estese aree in subsidenza
- Paesaggio con forme carsiche

Copertura dati Sentinel-1

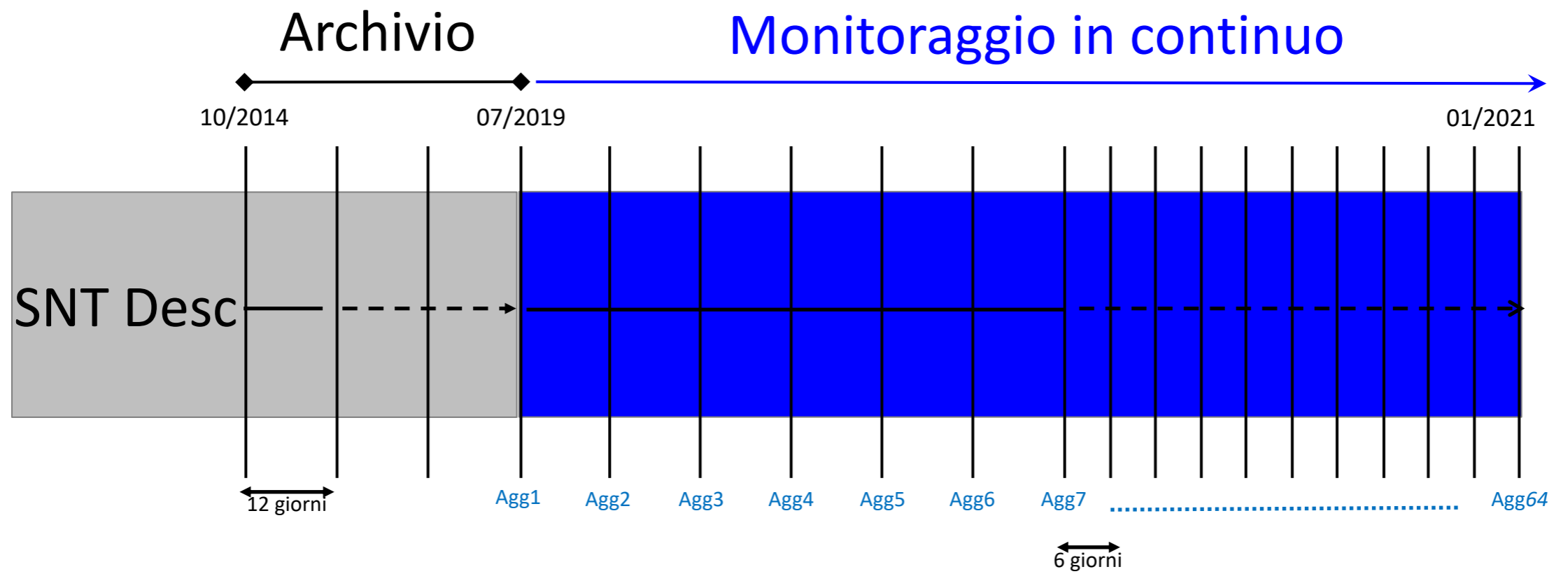
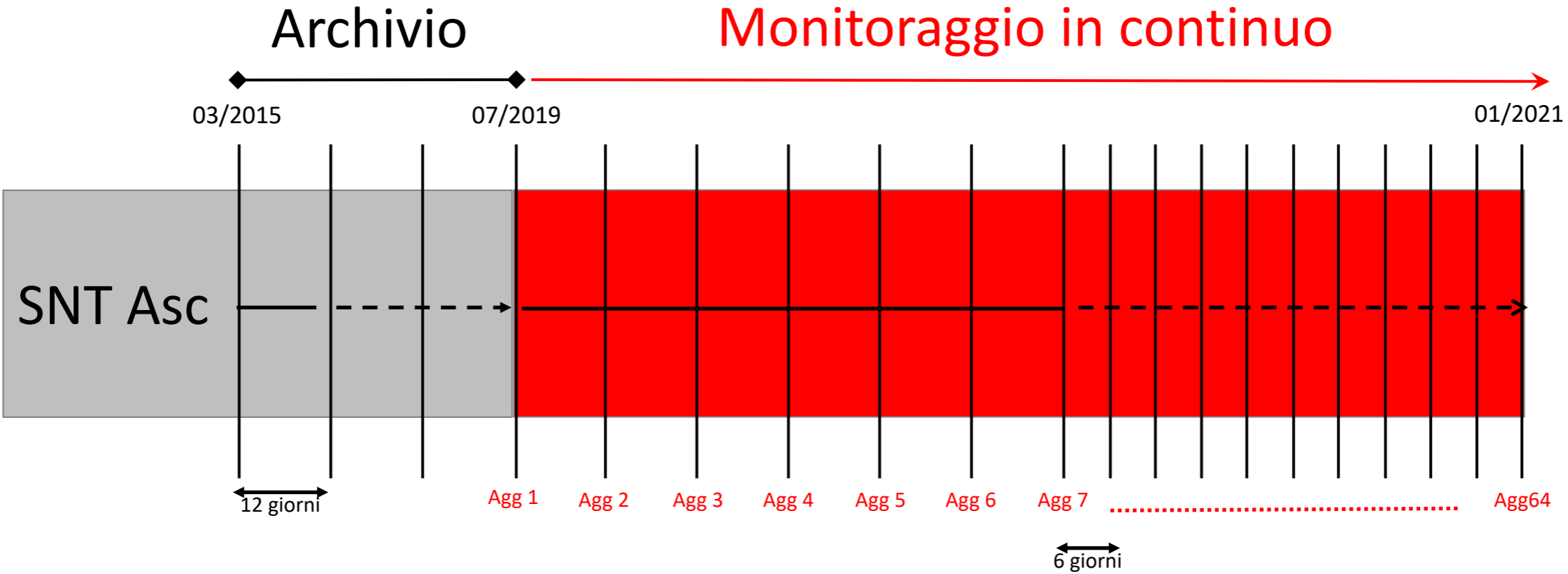


Geometria ascendente

Geometria discendente

≈ 3.000.000 punti PS

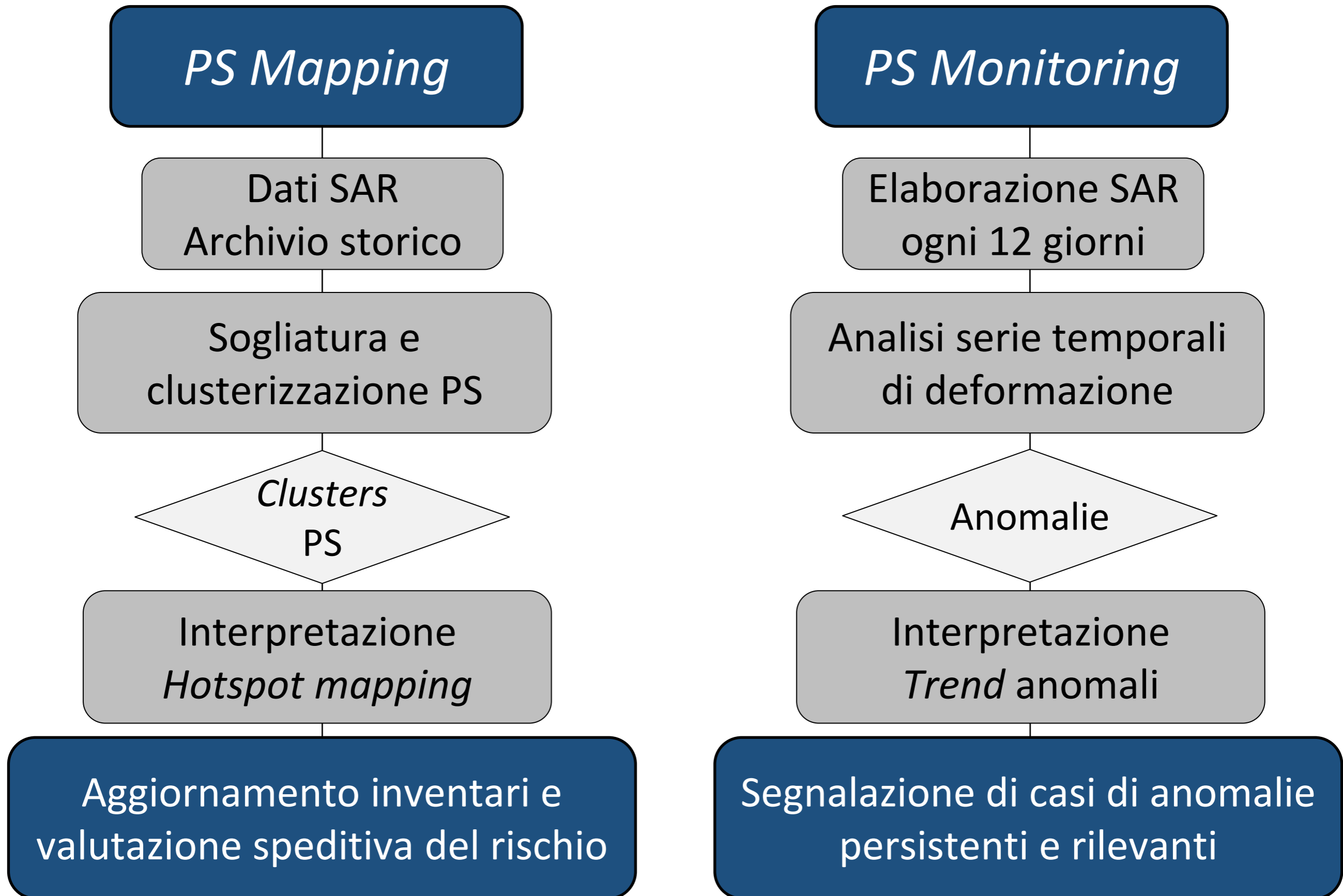
Piani di monitoraggio con Sentinel-1



Attività svolte

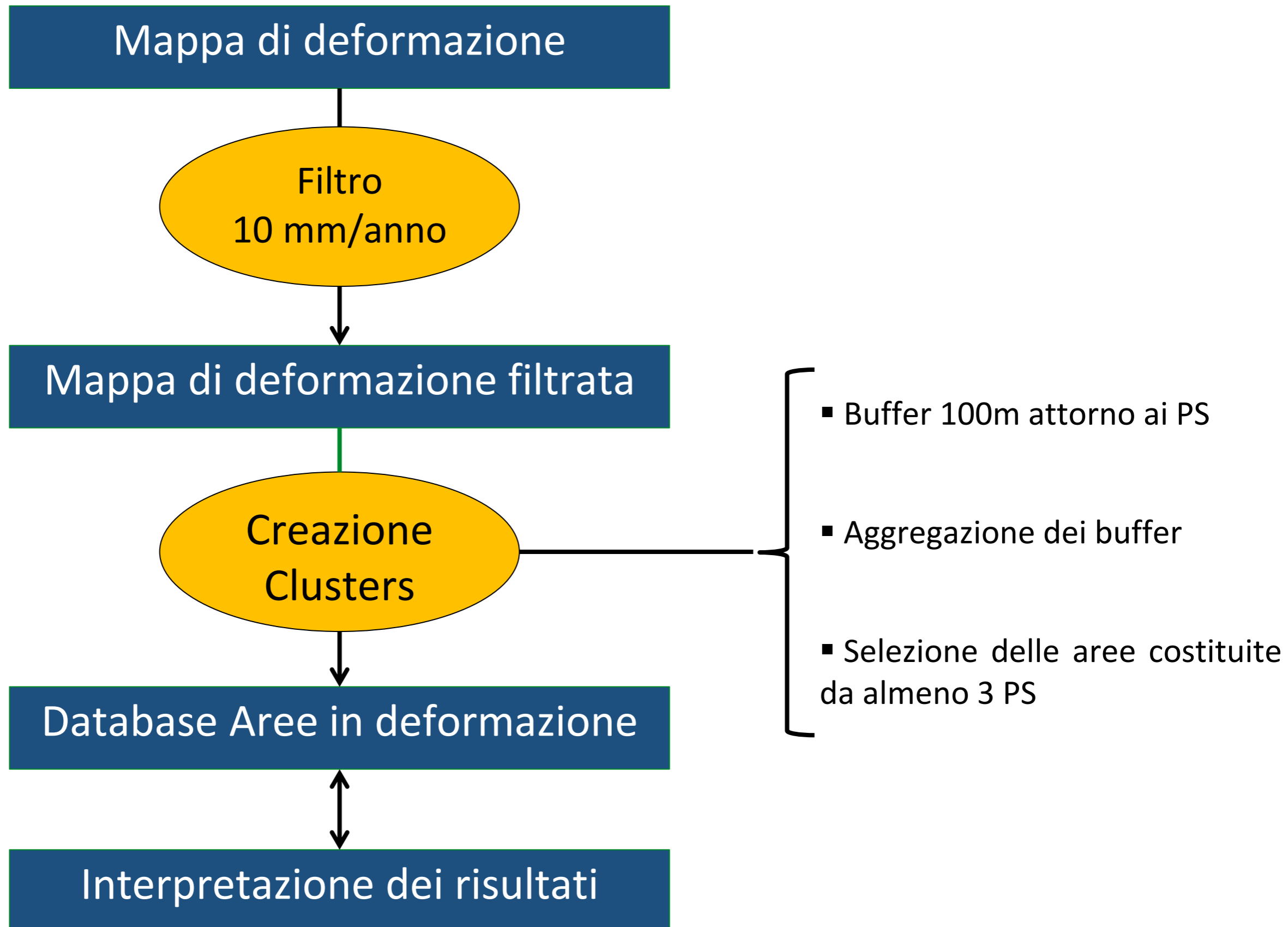
	PS Mapping	PS Monitoring
Tipologia	prodotto	servizio
Tempo	differito	reale
Aggiornamento	1 anno	12 giorni
Scopo	Aggiornamento mappe dei dissesti	Presidi territoriali

Flusso di lavoro



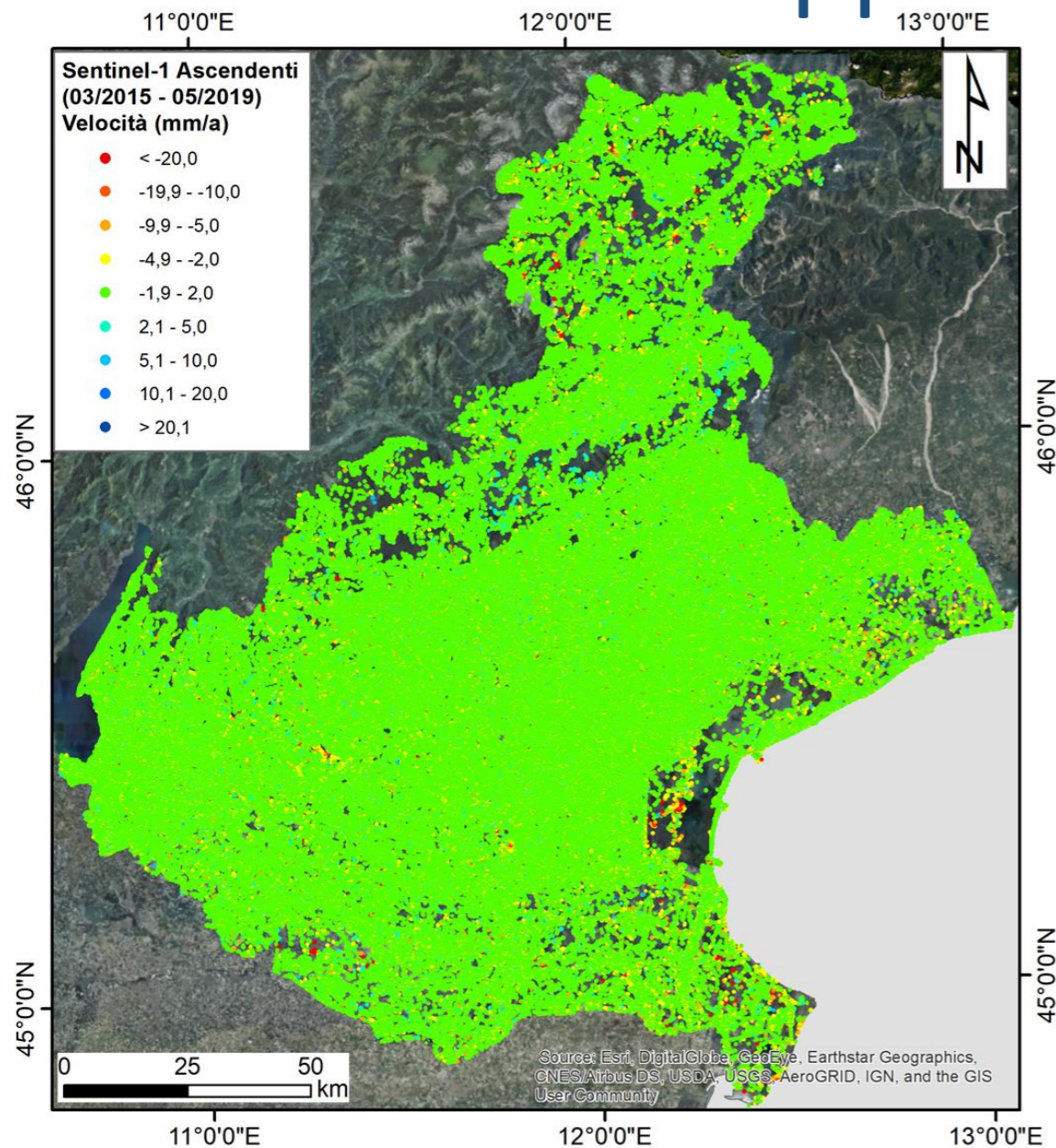
PS *Mapping*

PS Mapping – Procedura



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

Analisi delle mappe di deformazione di archivio



Procedure per il calcolo delle MAC (*Moving Area Clustering*)

Analisi sulla velocità dei PS per estrarre solo quei *cluster* di PS formati da minimo 3 punti misura a distanza inferiore ai 100m con una velocità lungo la LOS che supera i 10 mm/anno

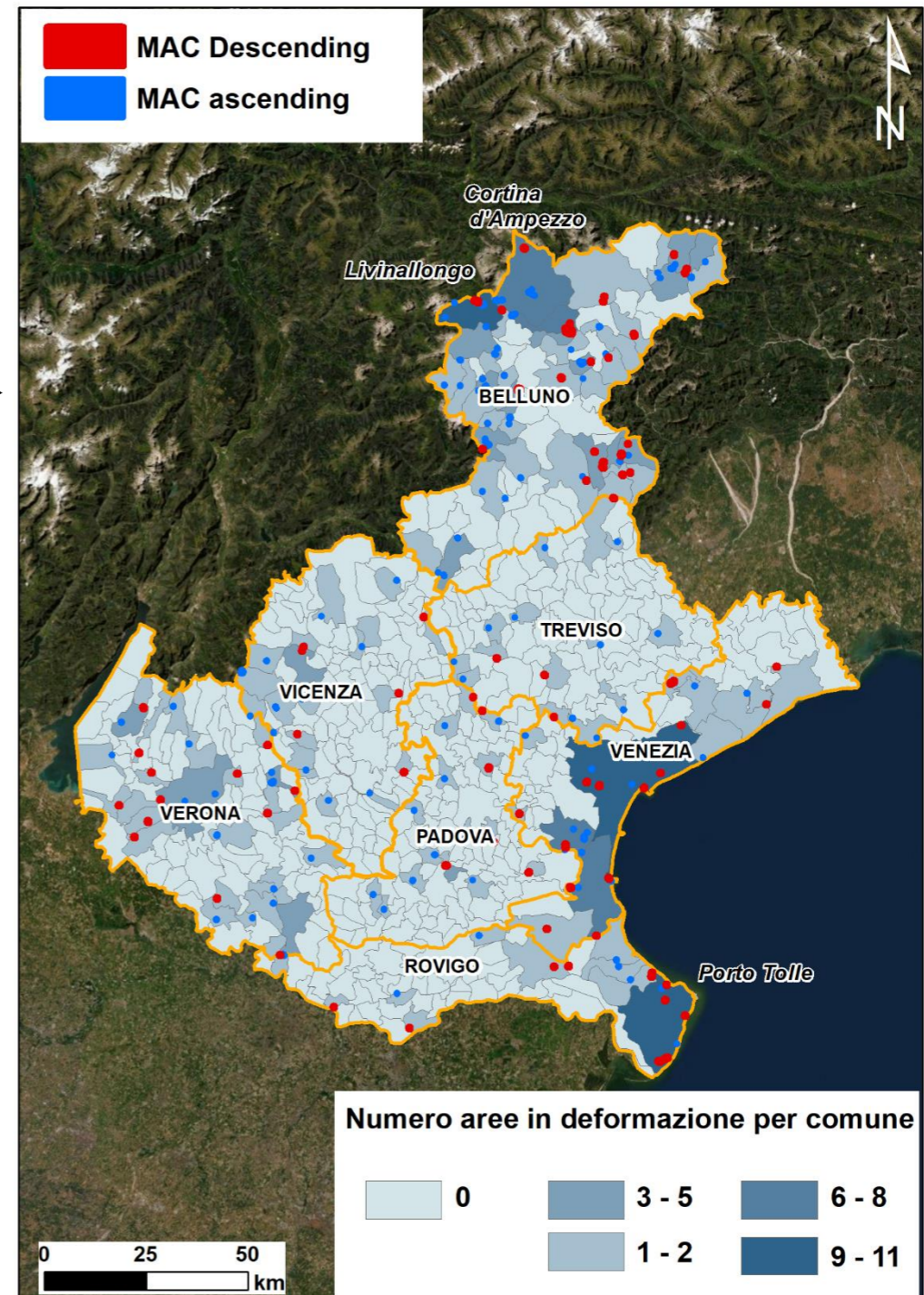
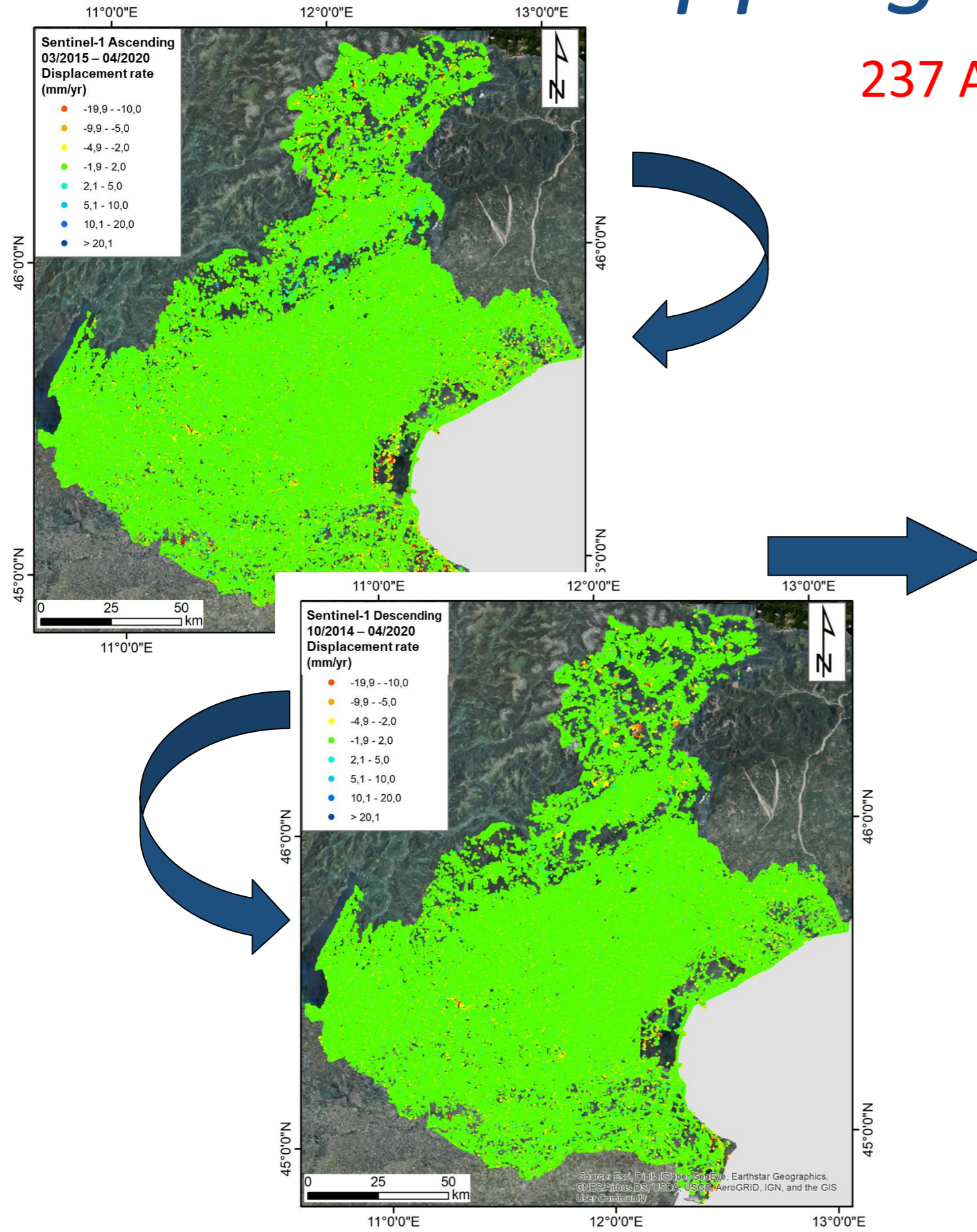
Punti misura (PS):
≈ 3.000.000 per orbita



Aree a maggior deformazione:
≈ 250 totali

PS mapping - Risultati

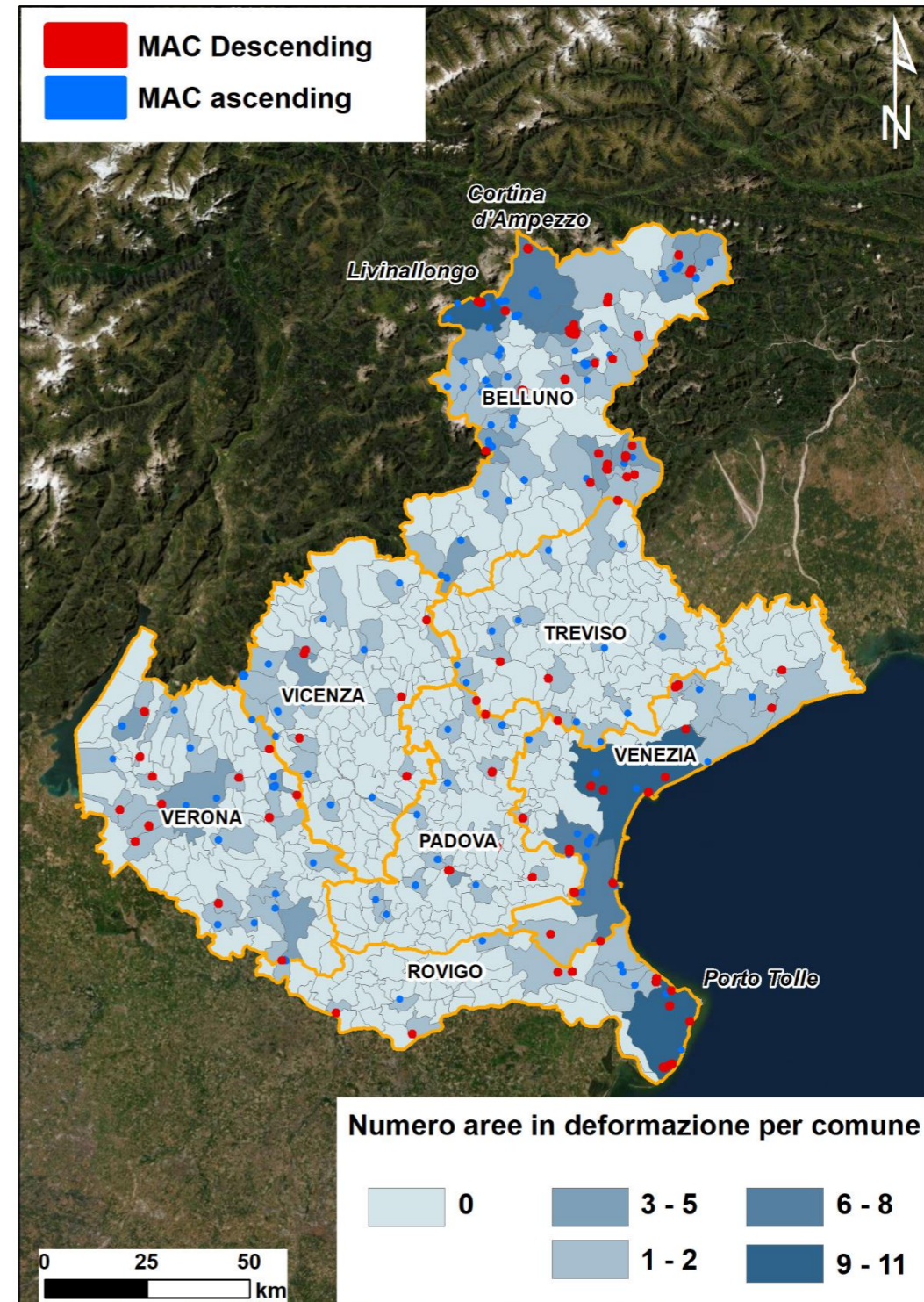
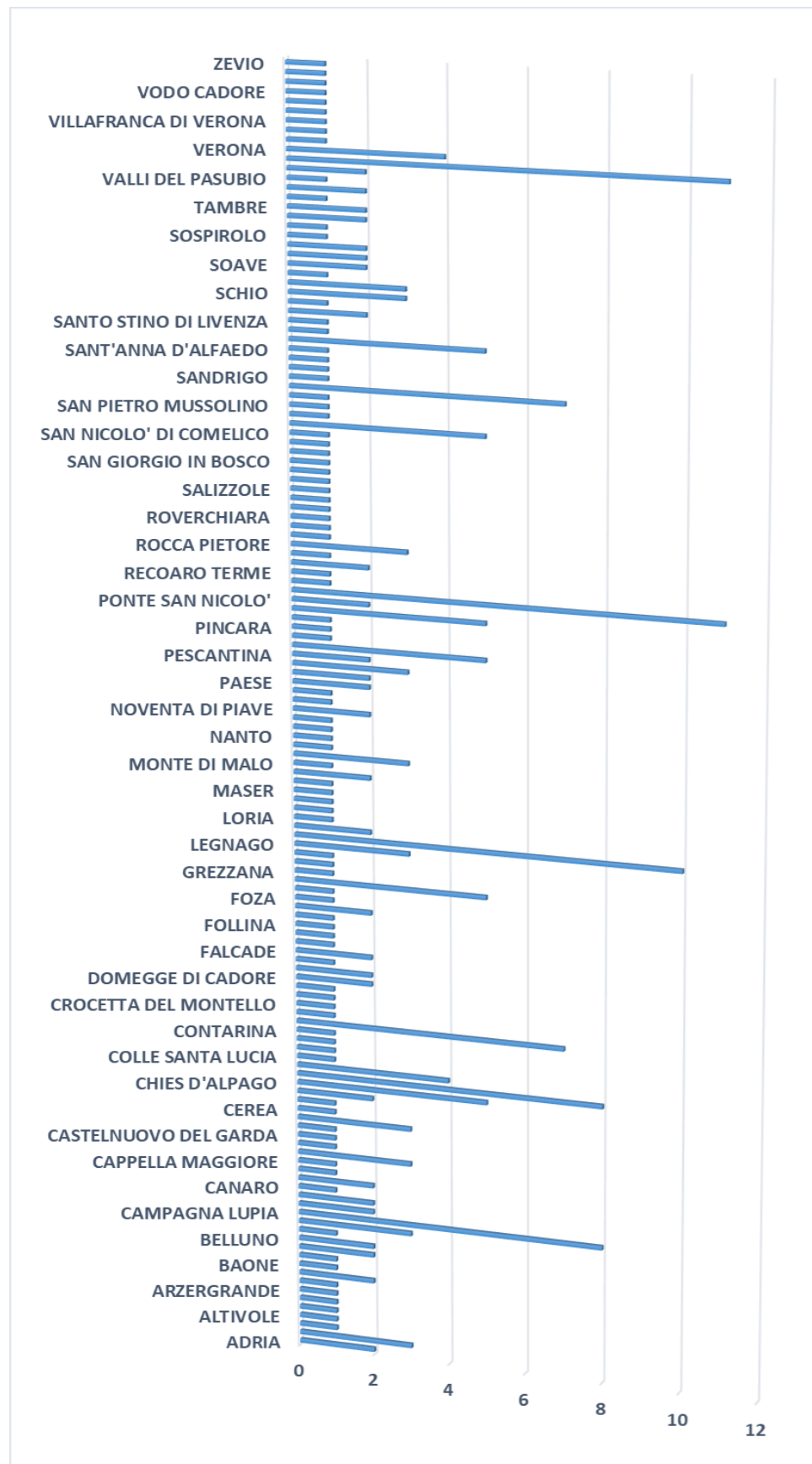
237 Aree a maggior deformazione:
150 ascendenti
87 discendenti



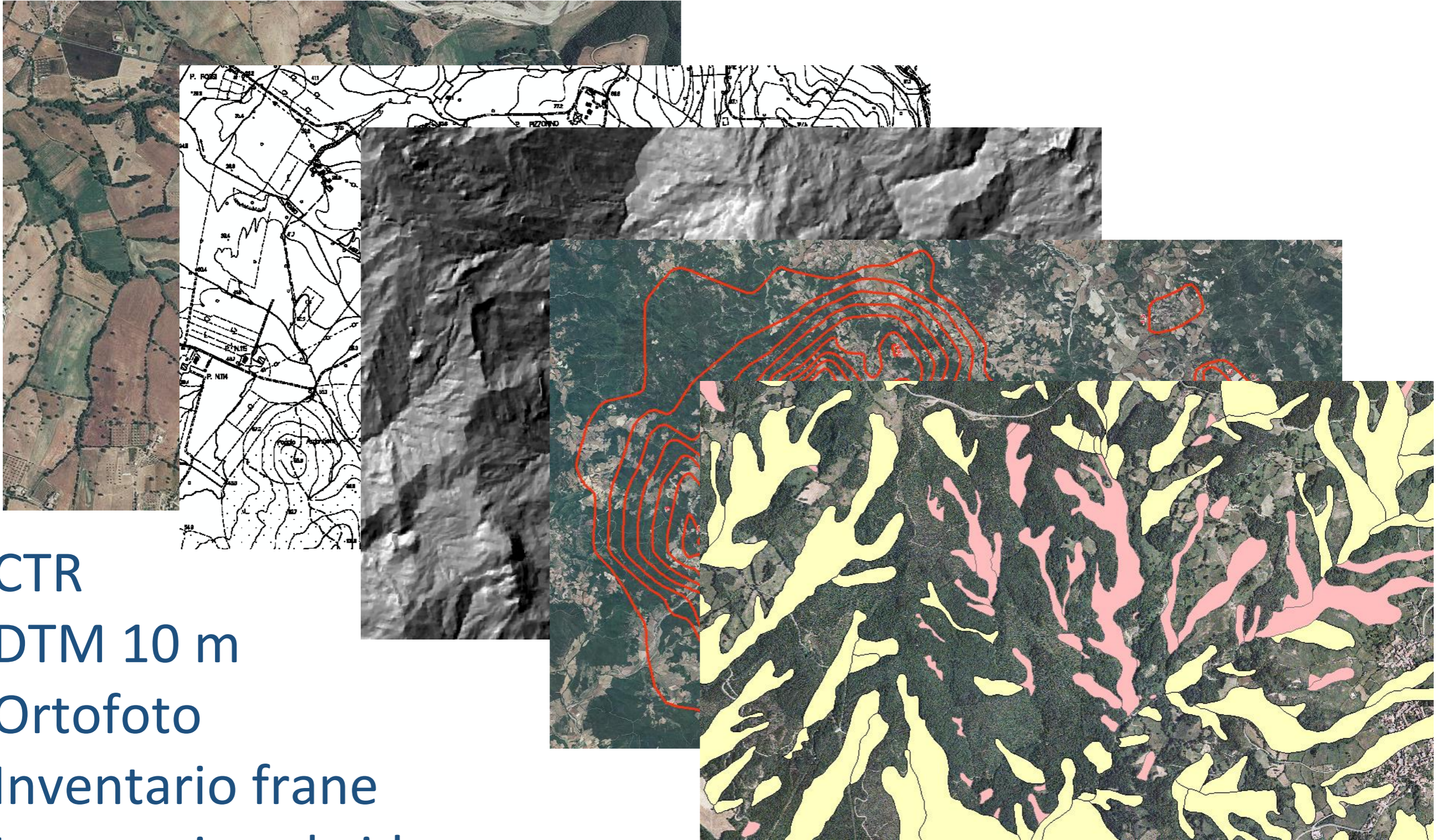
PS mapping - Risultati Dicembre 2020

142 Comuni con MAC

35 comuni hanno MAC sia in orbita ascendente che discendente

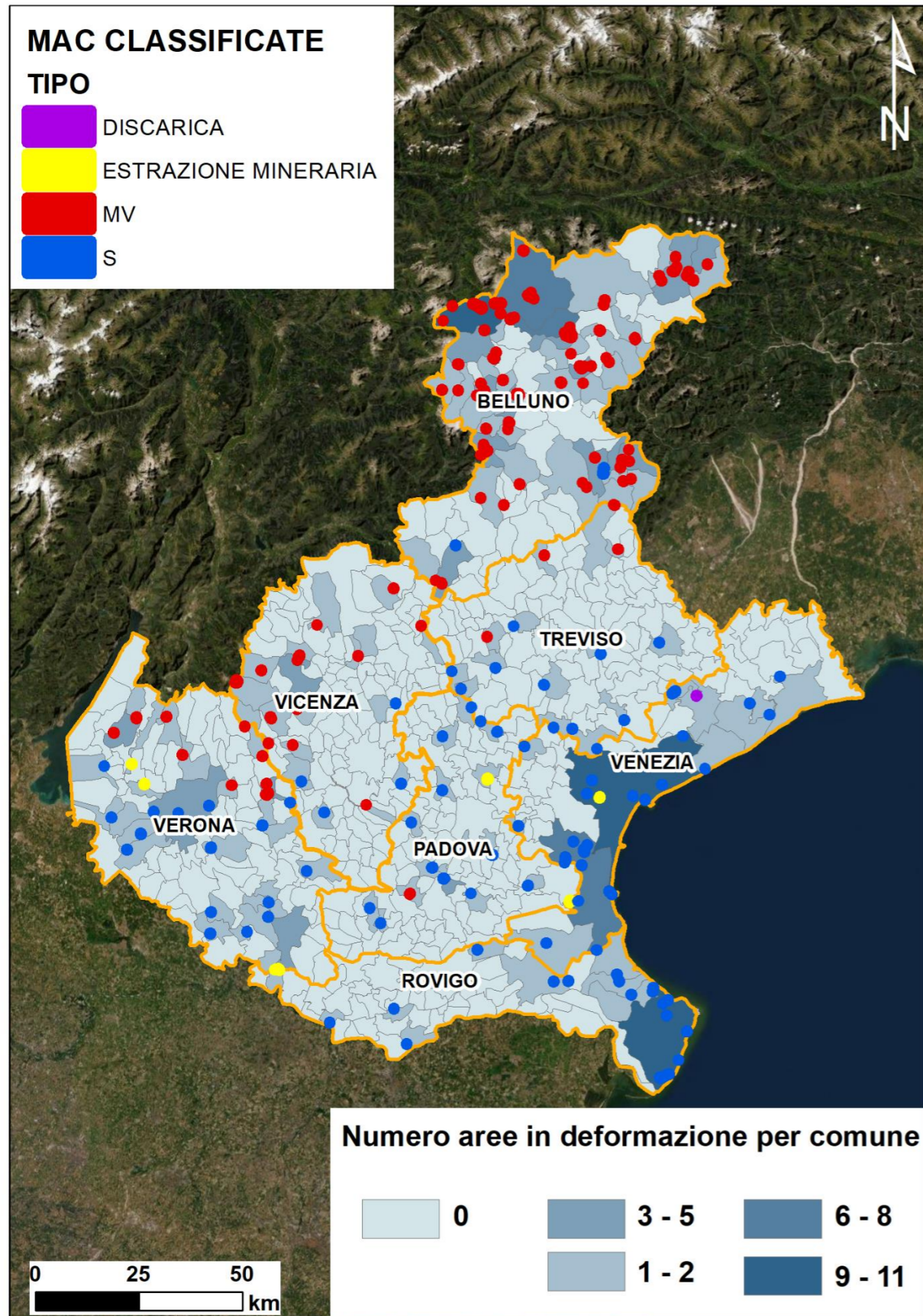


PS mapping - Interpretazione aree



- CTR
- DTM 10 m
- Ortofoto
- Inventario frane
- Inventario subsidenze
- Banche dati cave, pozzi geotermici, sorgenti

PS mapping – Classificazione automatica



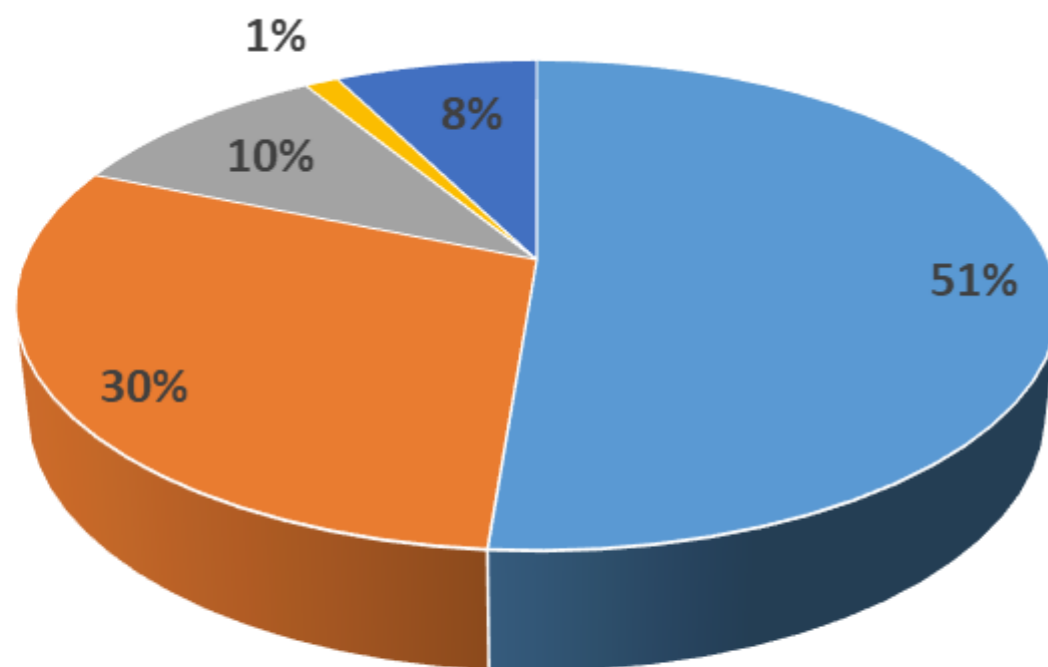
1 Discarica
11 Estrazione mineraria
116 Movimento di Versante
109 Subsidenza

Variabile	Importanza	Percentuale
Aspect	0,122311	17,95
Slope	0,097787	14,35
DEM	0,110438	16,21
Profile Curvature	0,093534	13,73
IFFI	0,148592	21,81
Subsidenza	0,108629	15,95

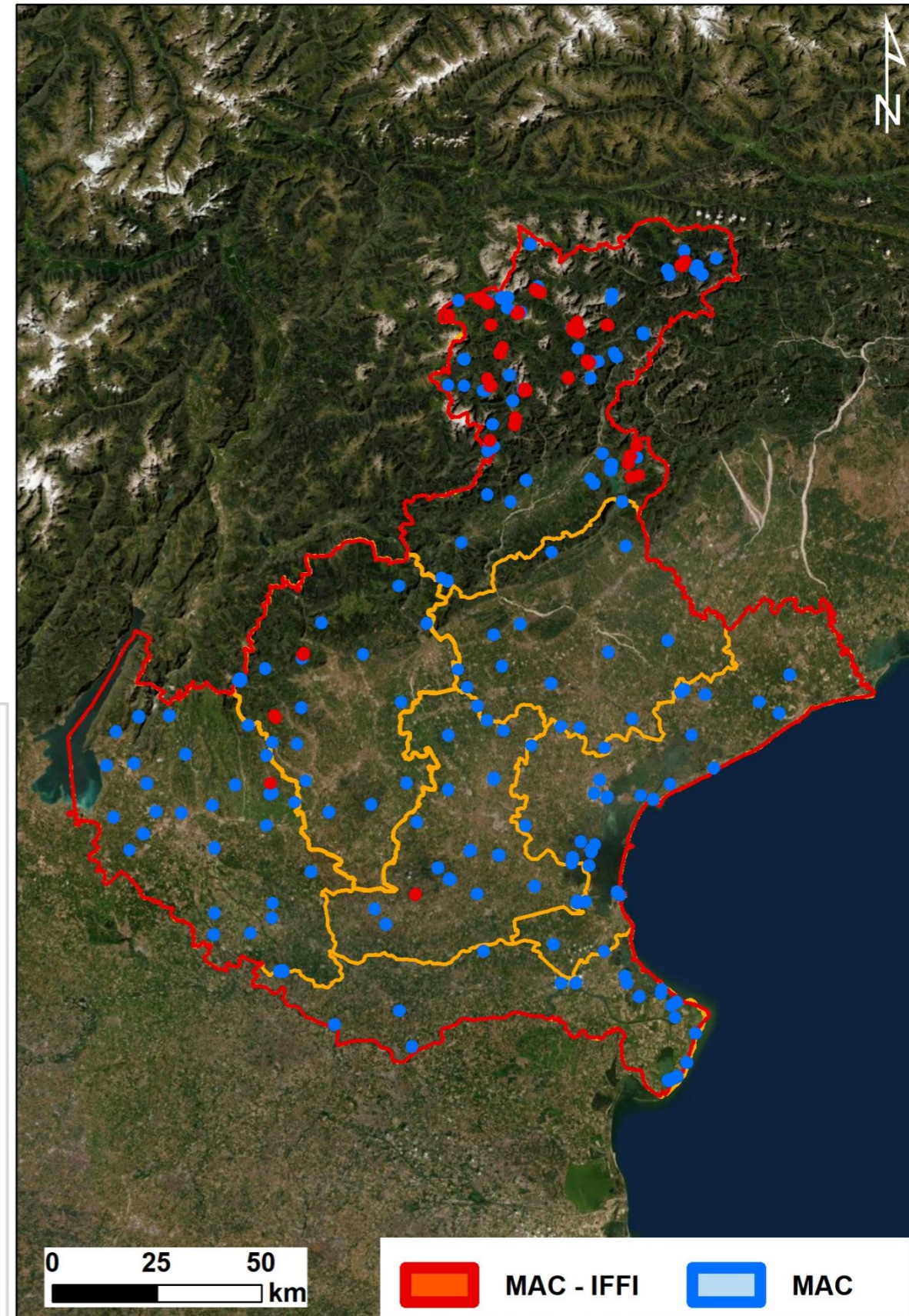
Comparazione con inventari

44 MAC intersecano frane IFFI
su un totale di 237 MAC

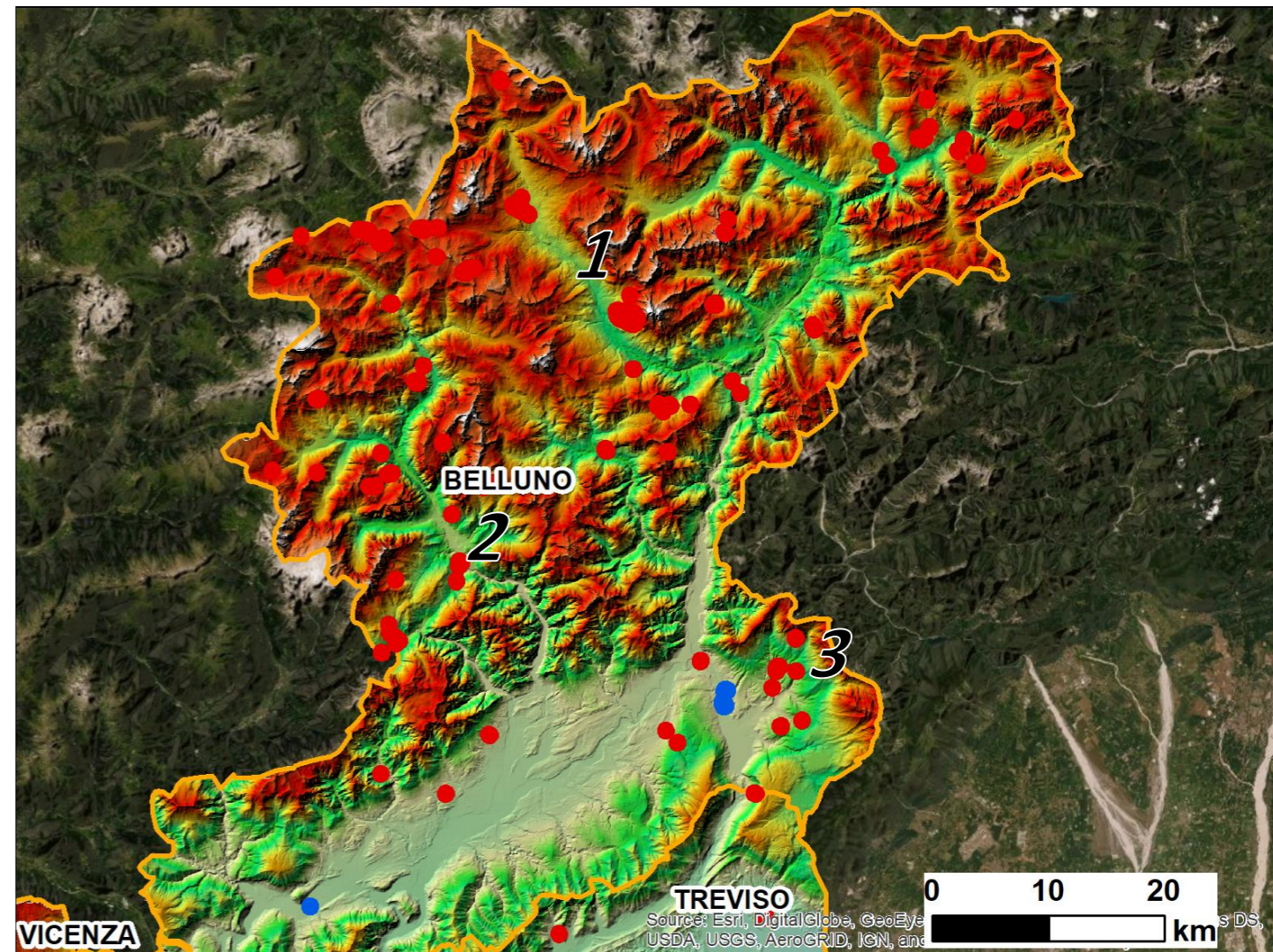
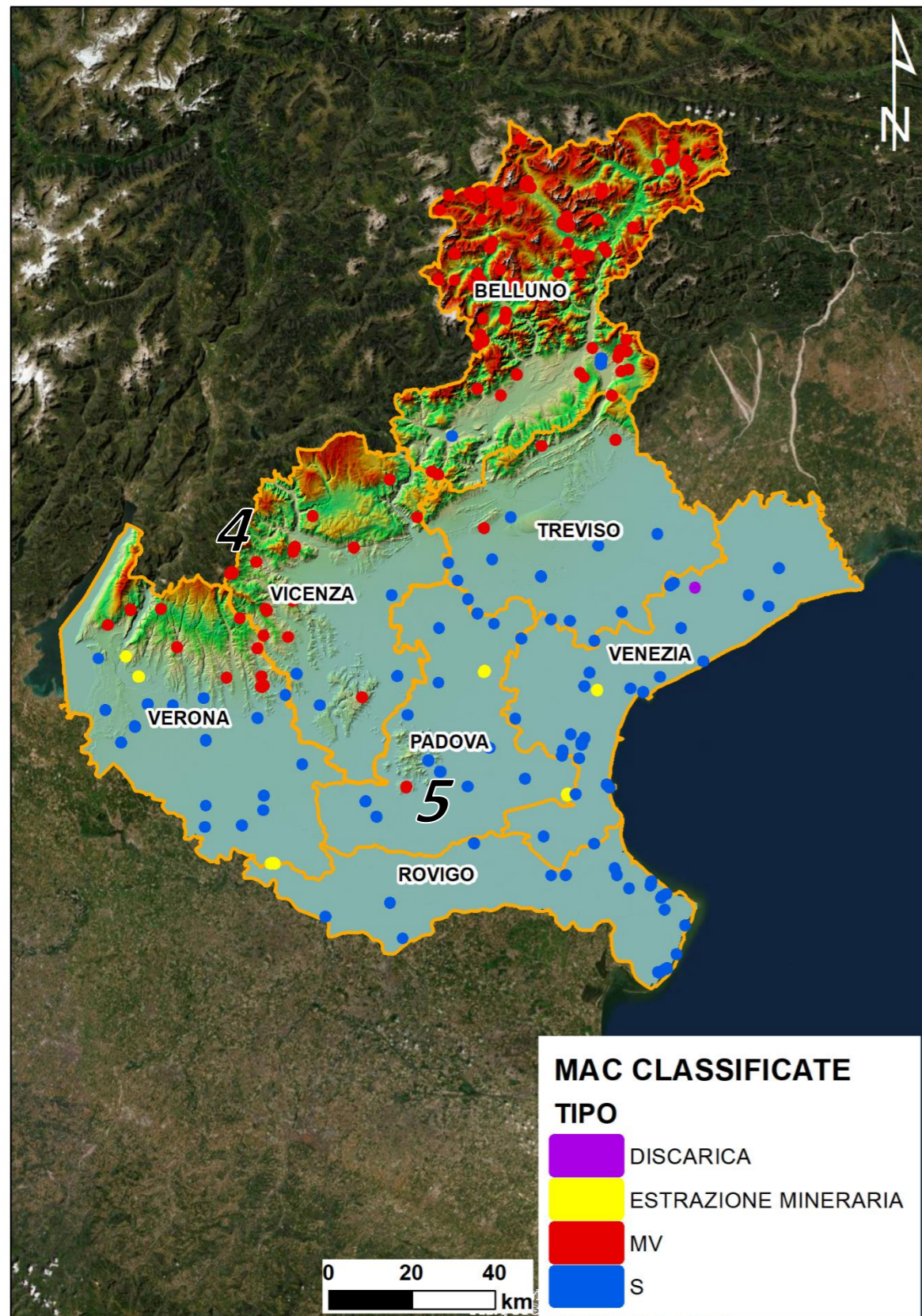
Clusters e tipo di frana



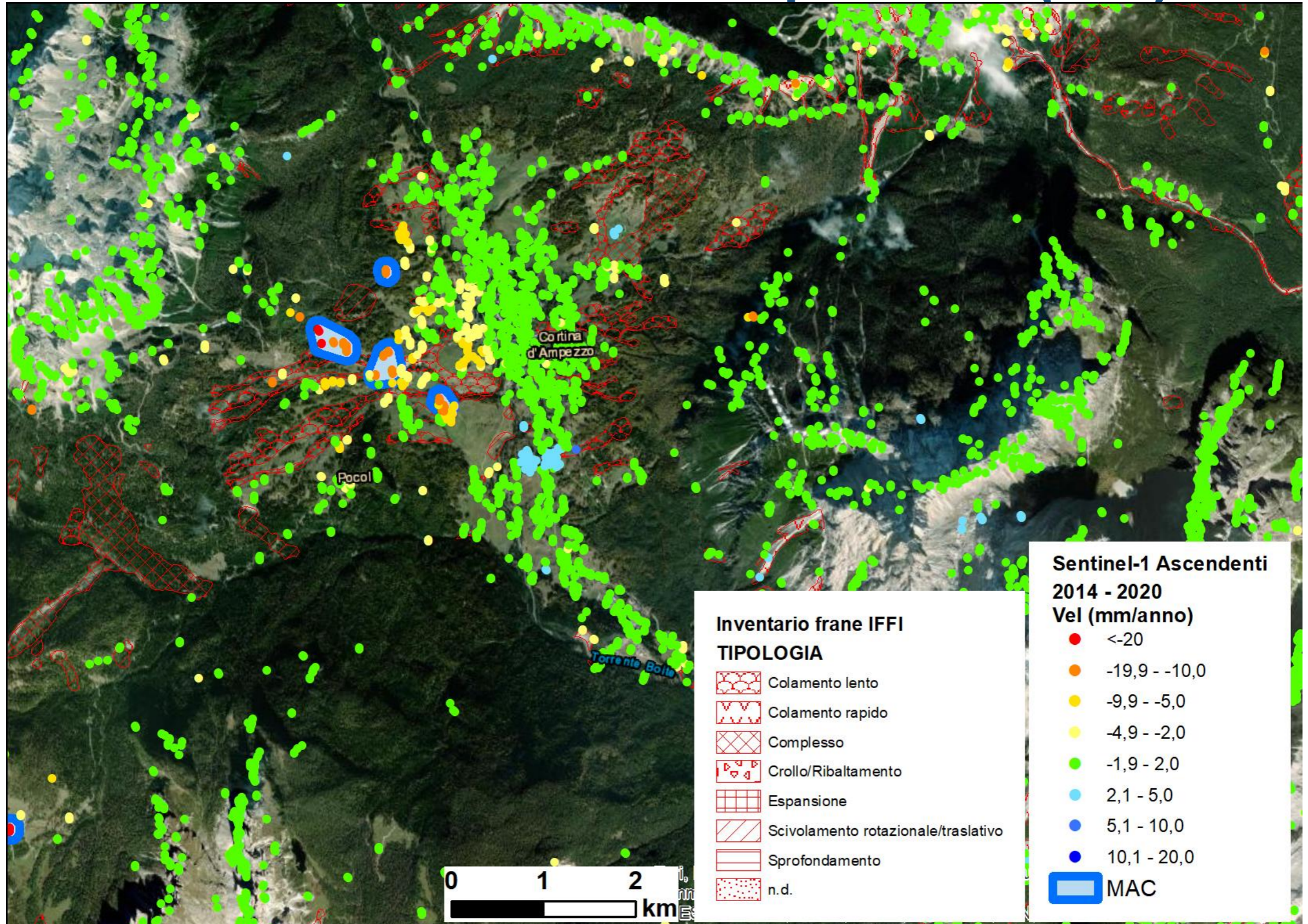
■ Colamento lento ■ Scivolamento ■ Colamento rapido
■ Crollo ■ Complesso



PS mapping - Aree in deformazione

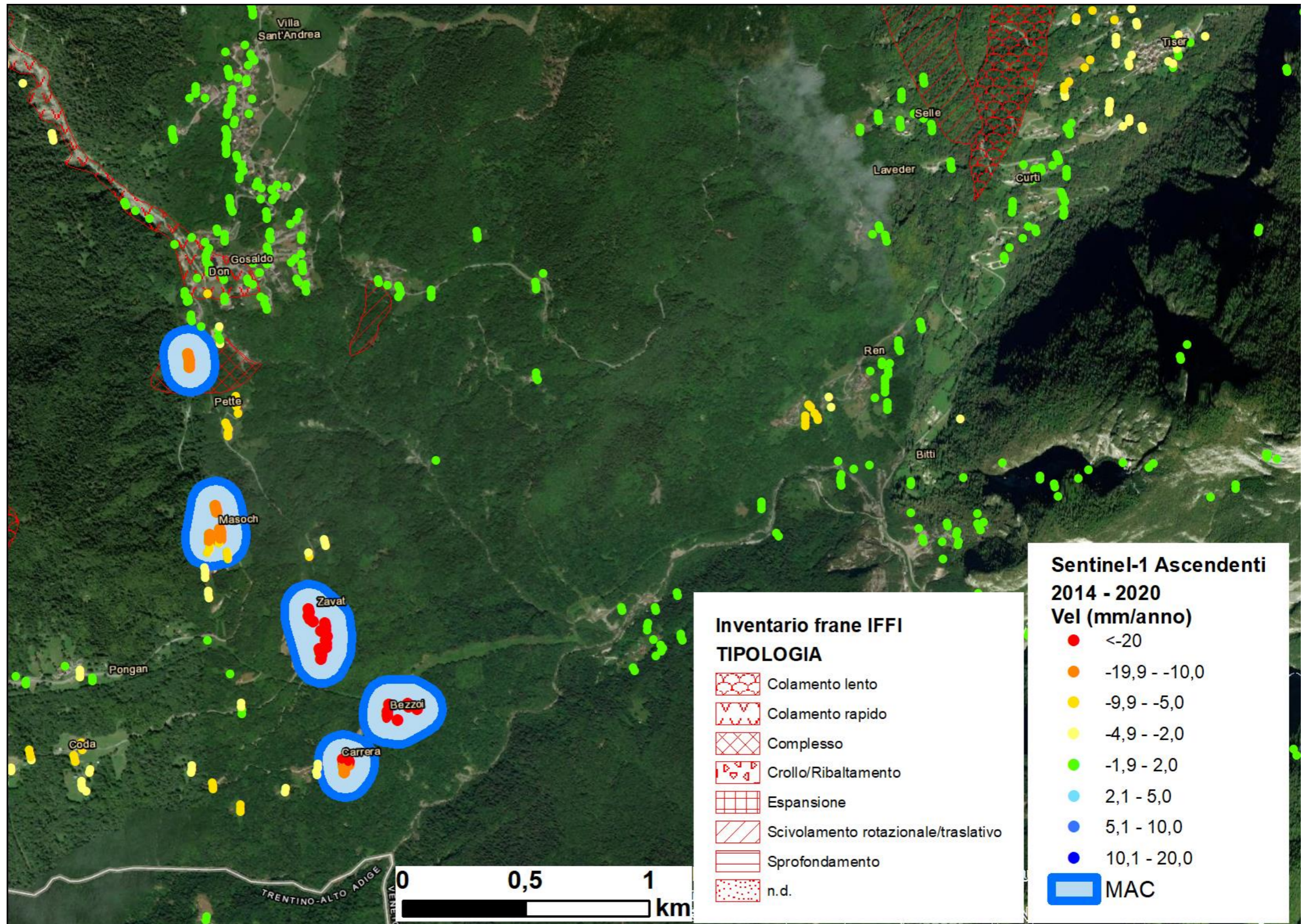


1 – Cortina d'Ampezzo (BL)



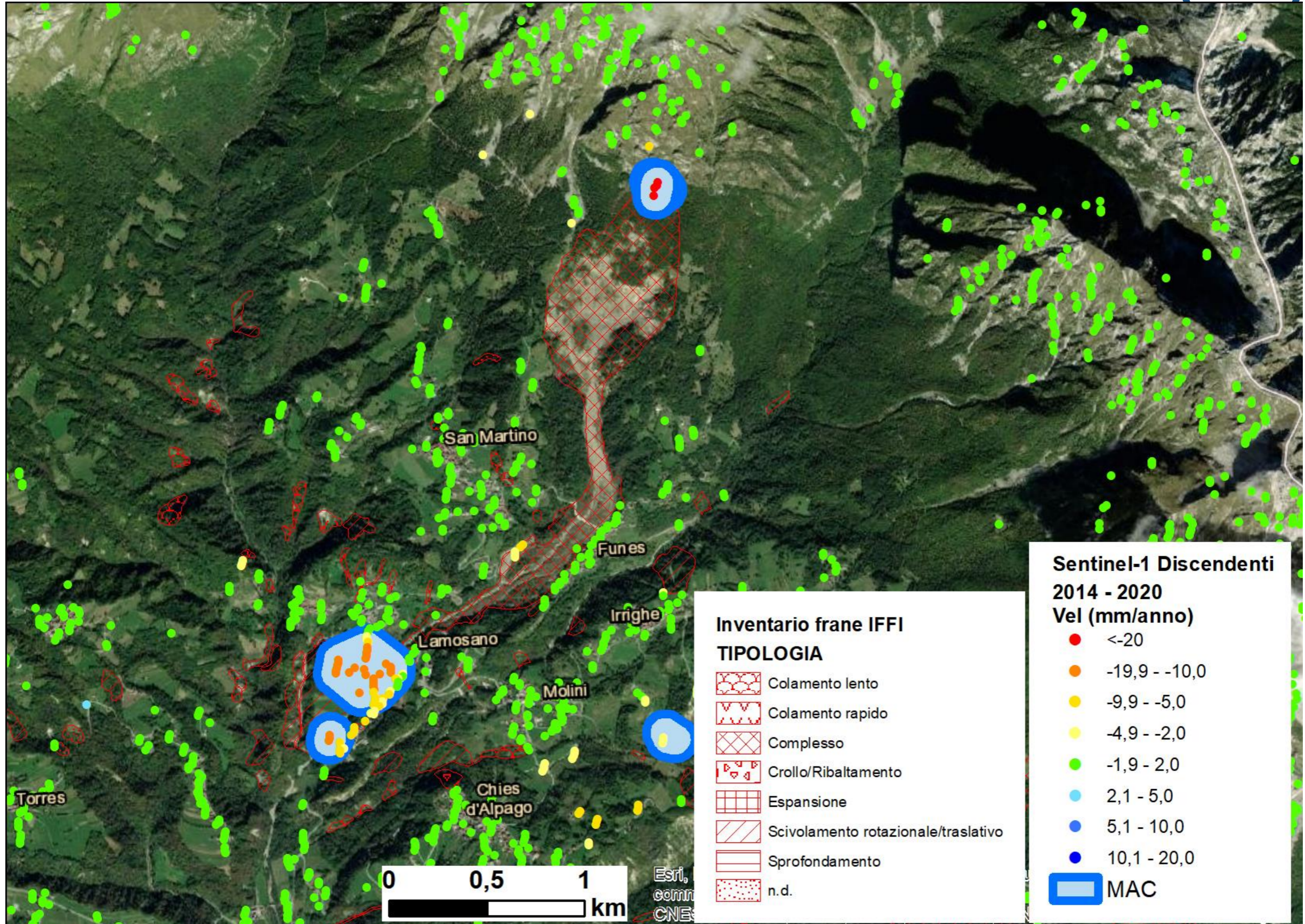
Diversi cluster di movimento in località Mortisa, alcuni in corrispondenza di frane IFFI

2 – Gosaldo (BL)



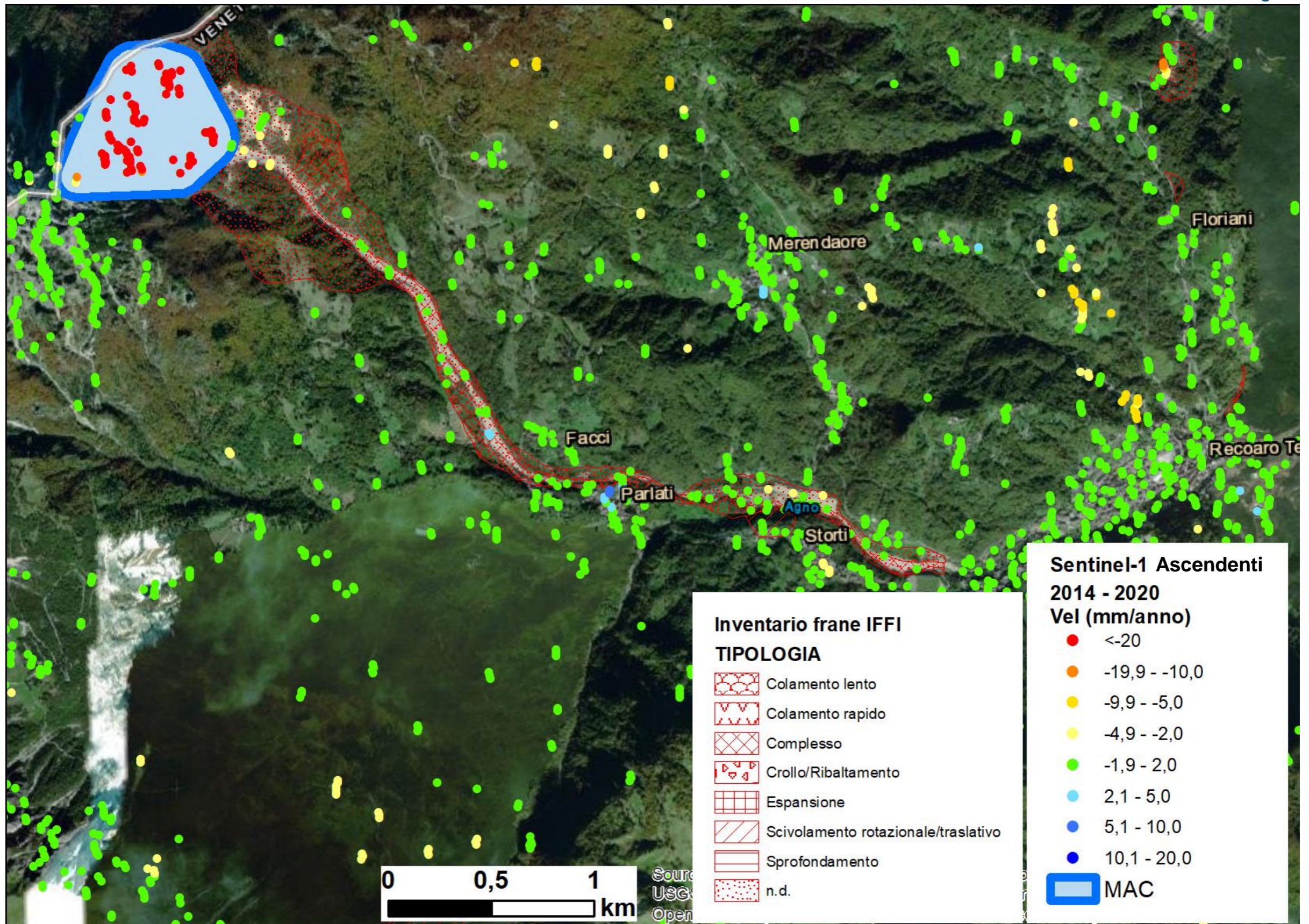
Diversi cluster con velocità > 20 mm/anno, non tutti corrispondenti a frane IFFI

3 – Lamosano – Frana Tessina (BL)



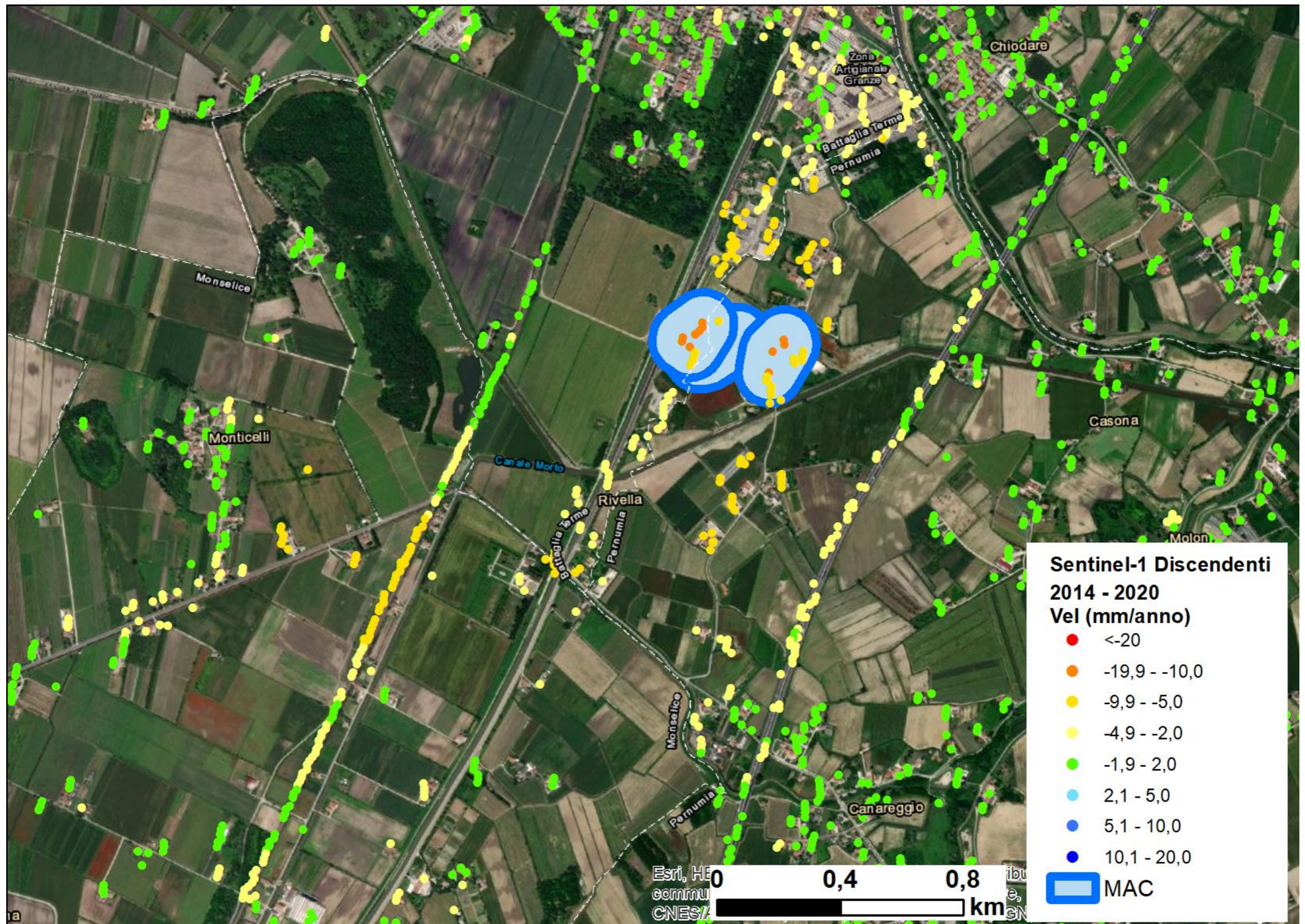
Cluster sia sul centro abitato di Lamosano che in cima alla frana del Tessina

4 – Mt. Rotolon – Recoaro Terme (VI)



Unico *cluster* nella scarpata di frana con velocità di oltre 20 mm/anno

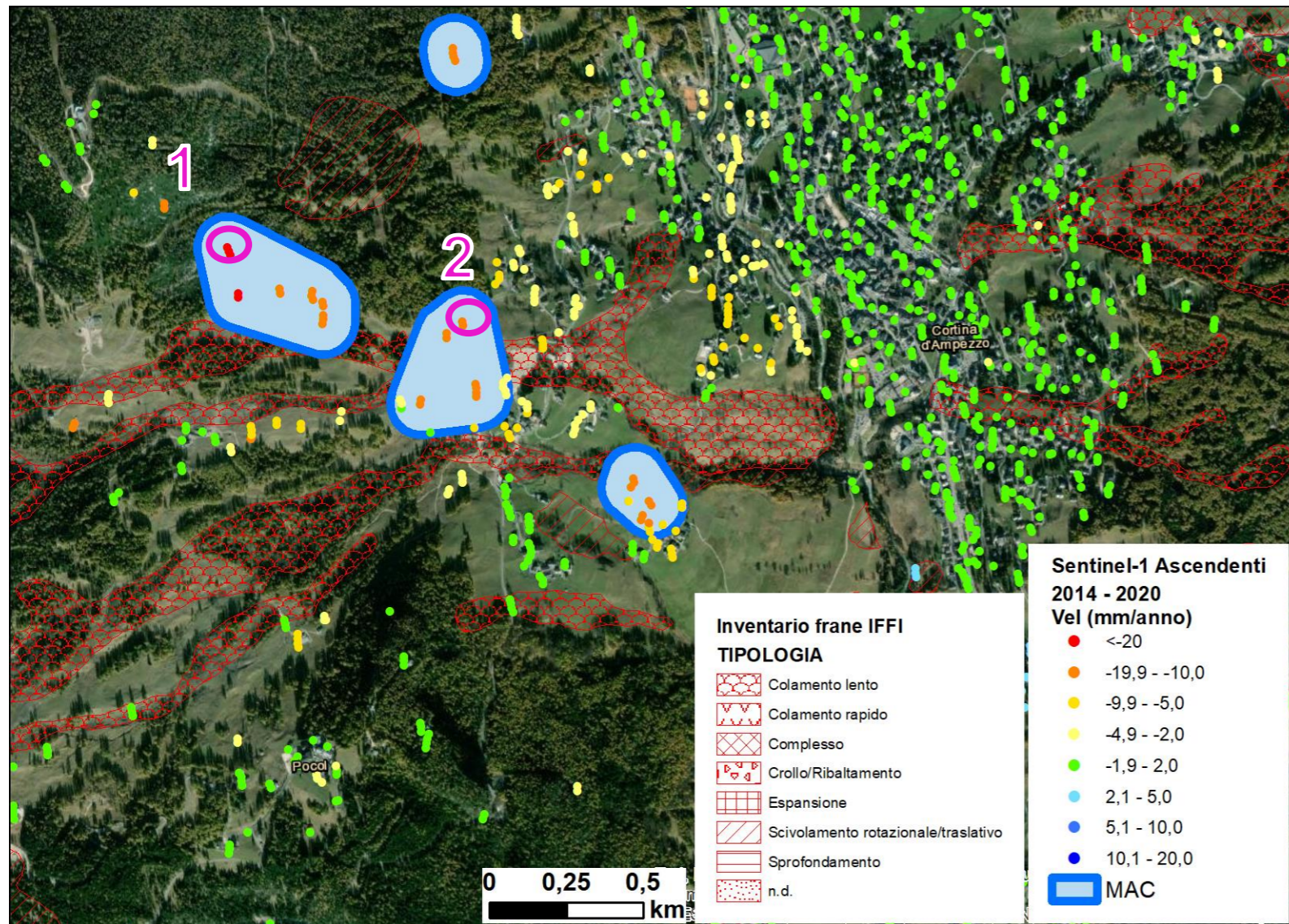
5 – Monselice – Battaglia Terme (PD)



Tre *cluster* di deformazione con velocità oltre i 10 mm/anno

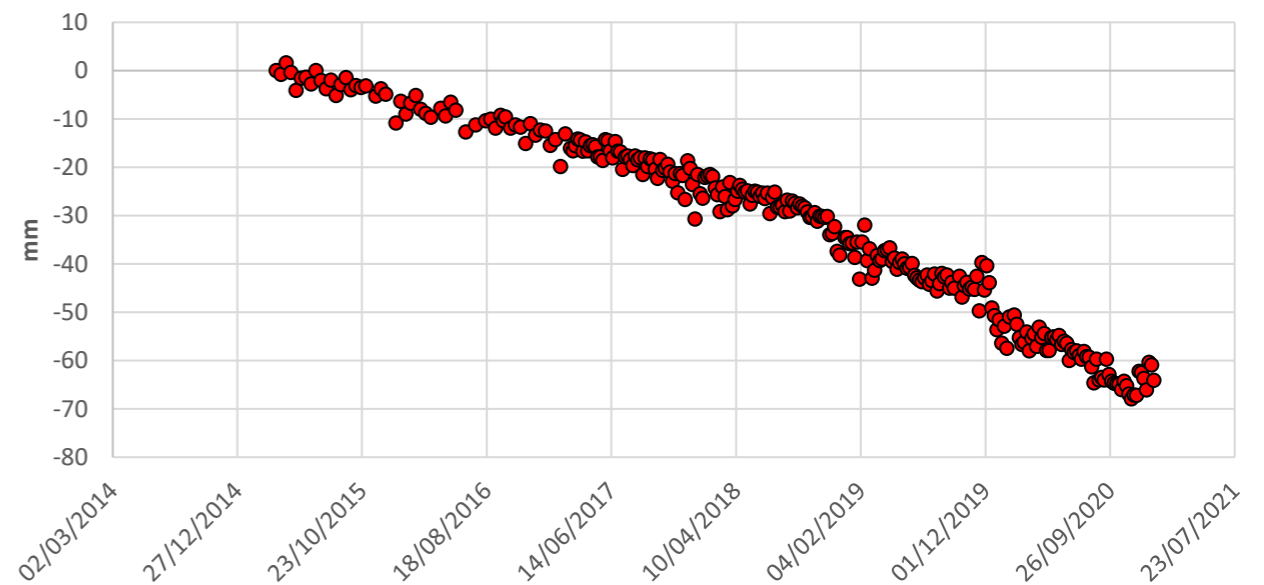
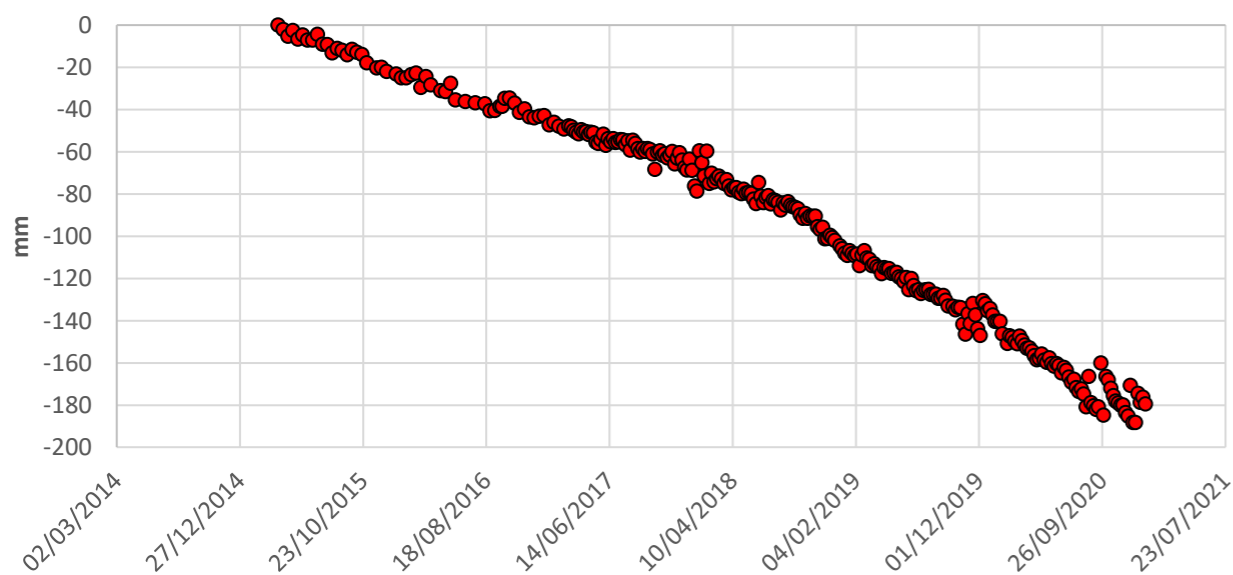
Time-series - Cortina

Serie di spostamento di Cortina che indicano un trend con velocità pressoché costante, ad eccezione di una leggera accelerazione nella seconda metà del 2018



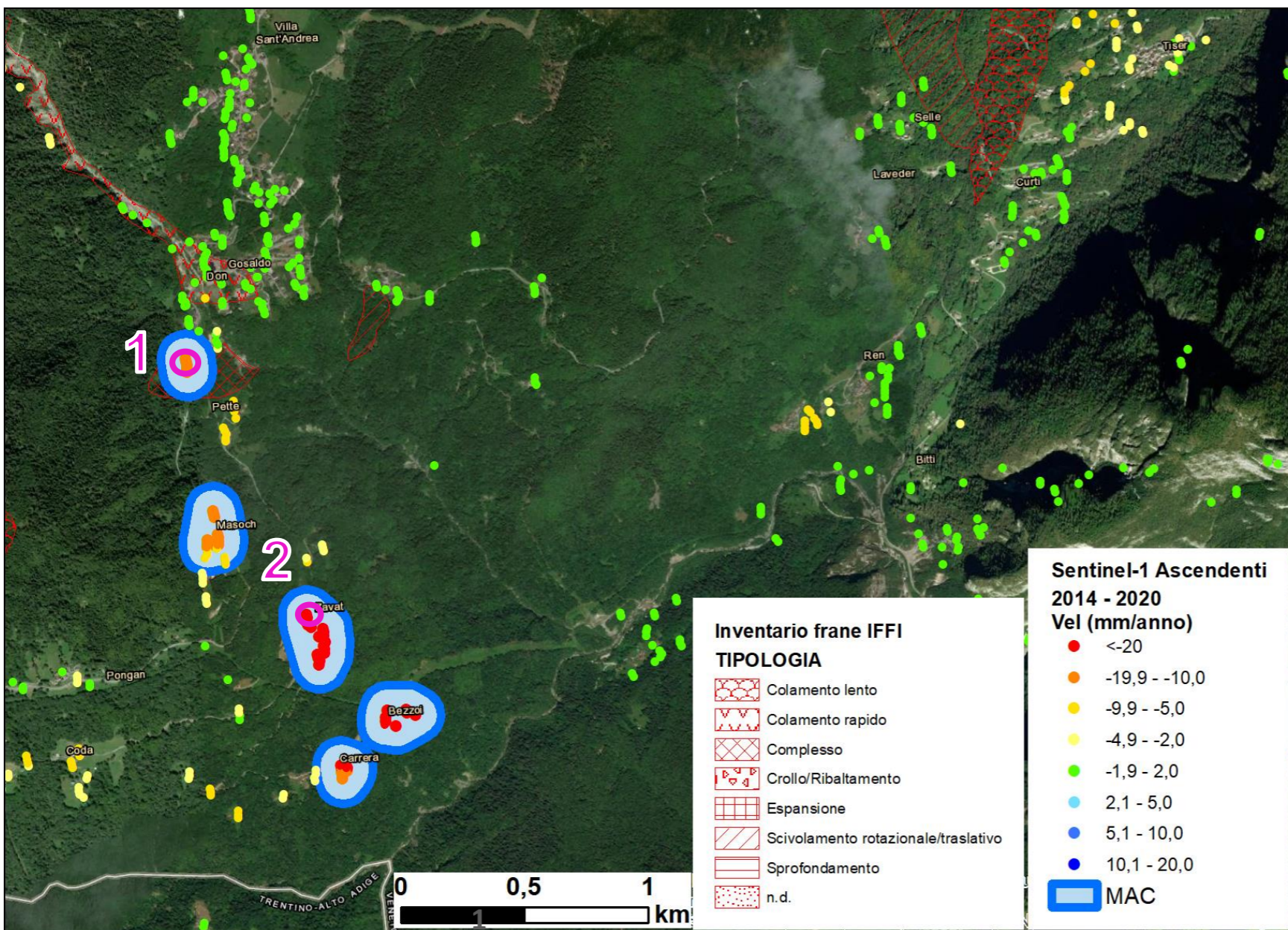
1

2

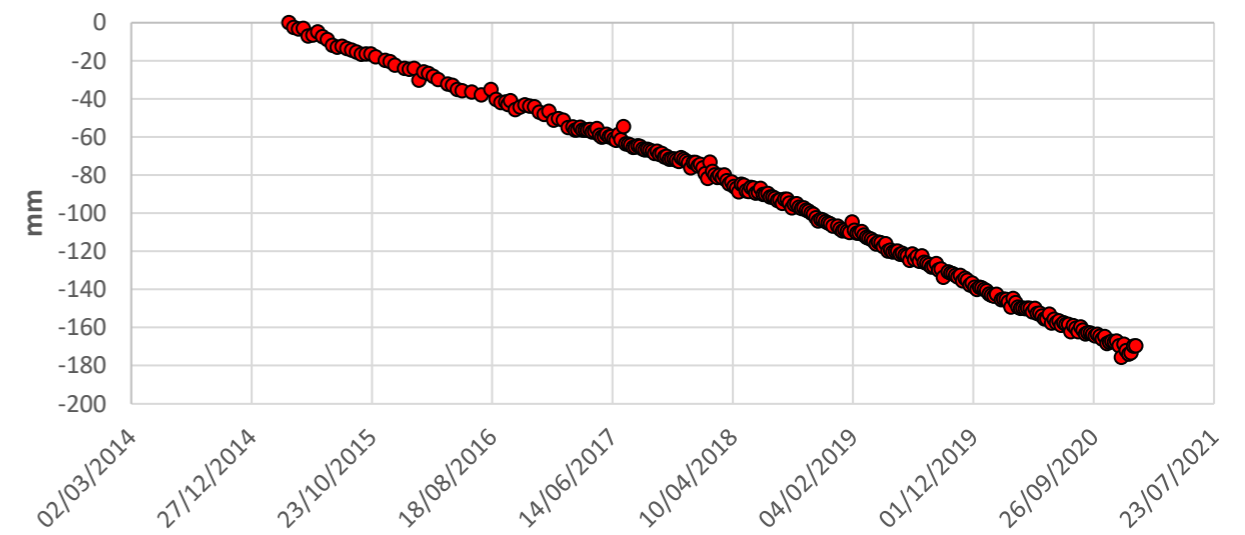
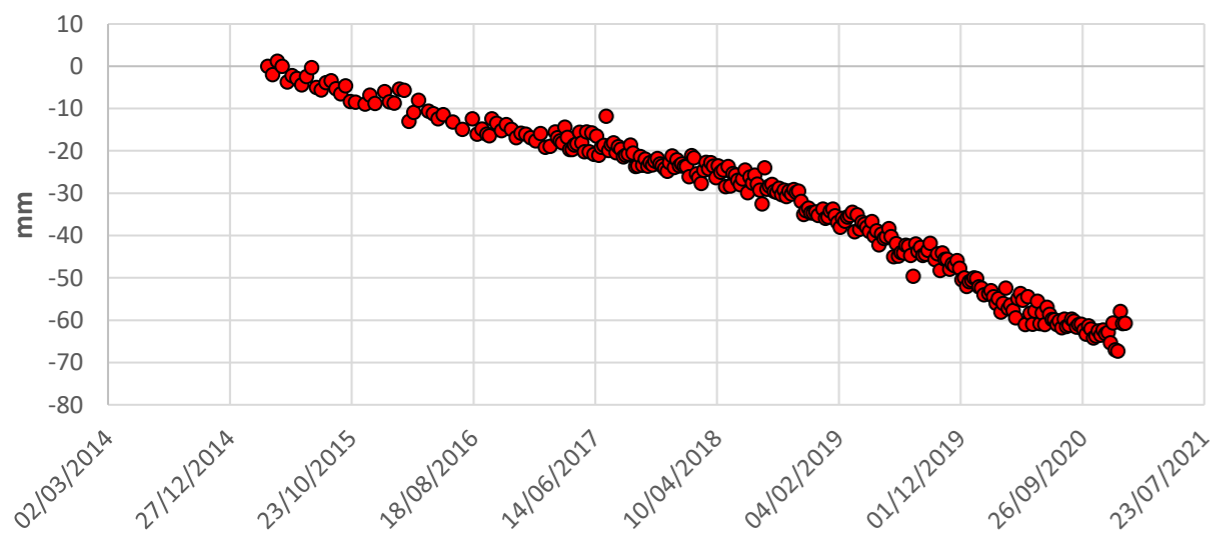


Time-series - Gosaldo

Serie di spostamento di Gosaldo indicano un trend in leggera accelerazione nella seconda metà del 2019 a Nord, mentre nel cluster a Sud il movimento è costante

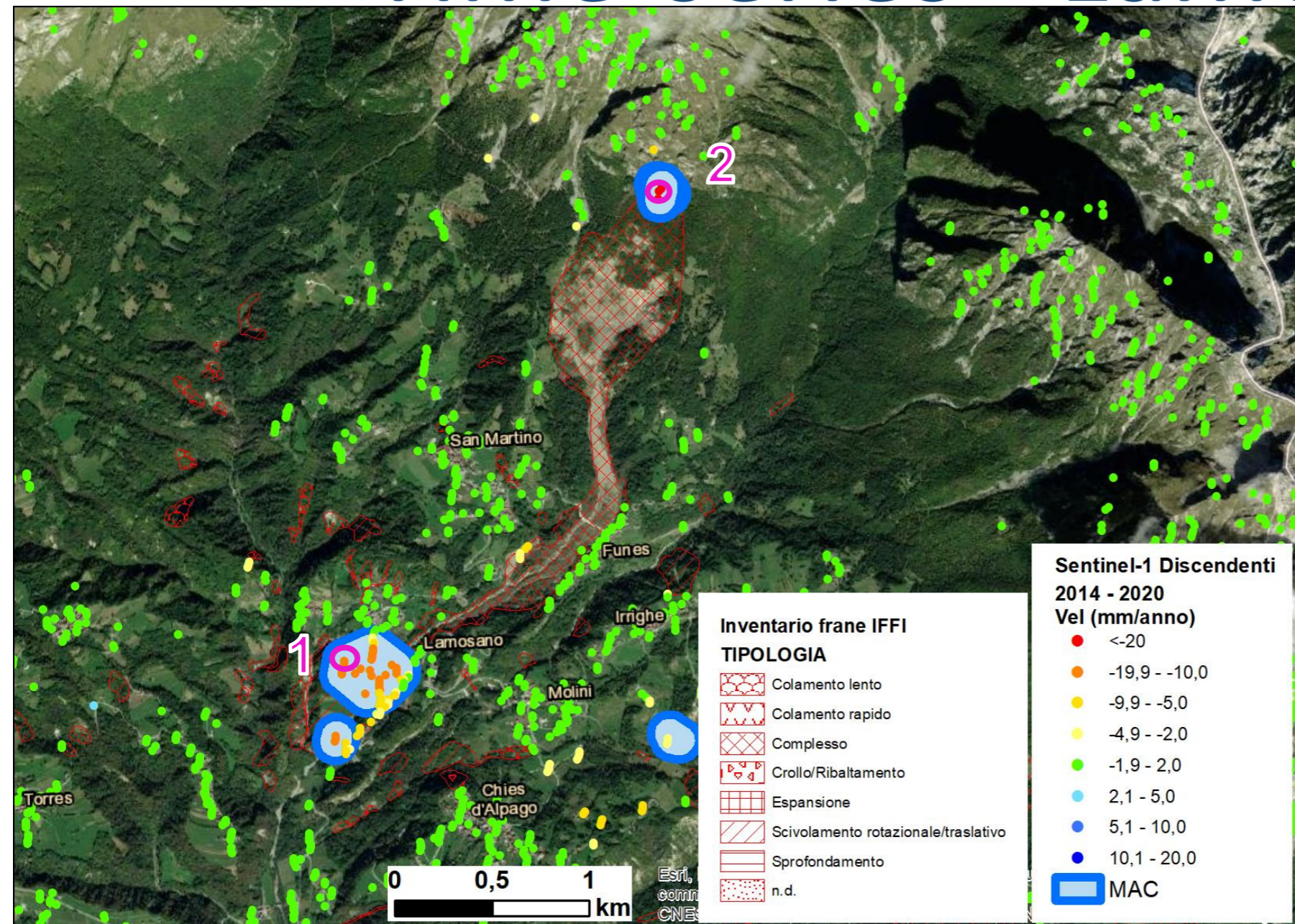


2

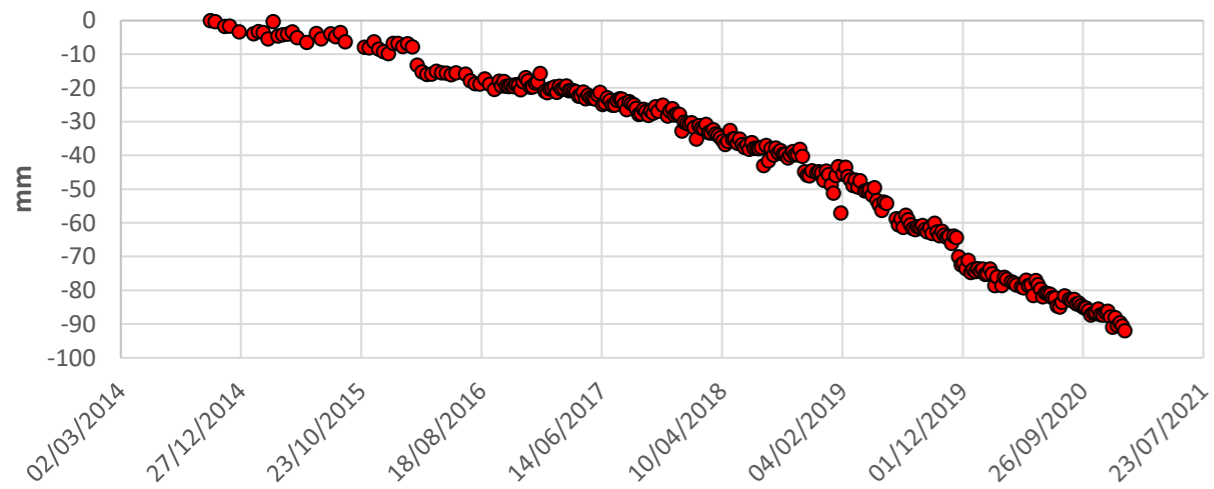


Time-series - Lamosano

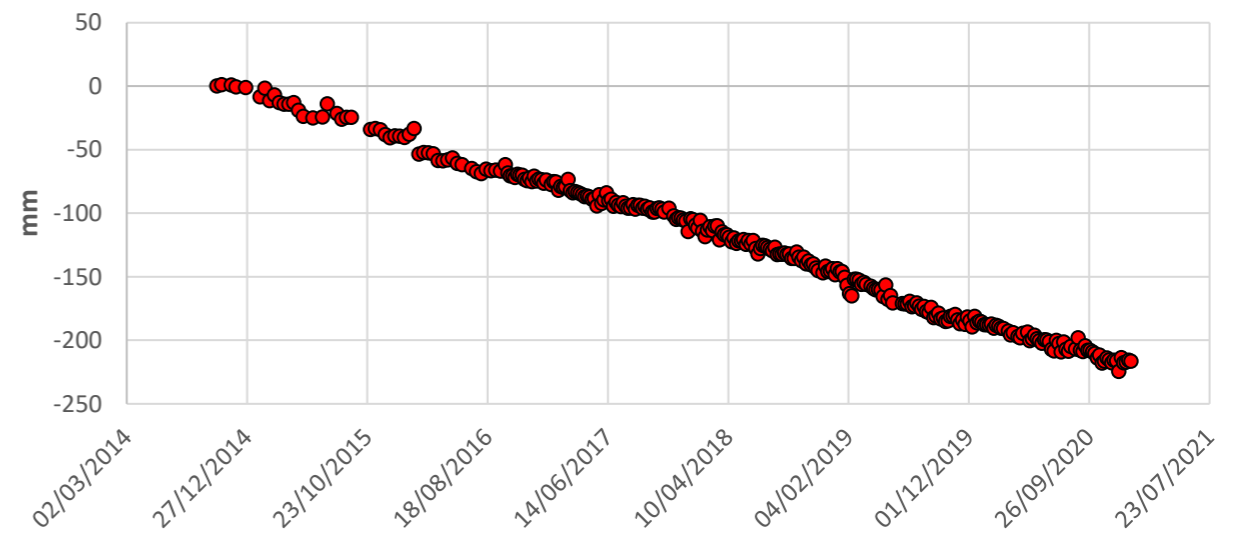
Il cluster di Lamosano mostra accelerazioni nel dicembre 2019, mentre quello sul Tessina un andamento costante



1

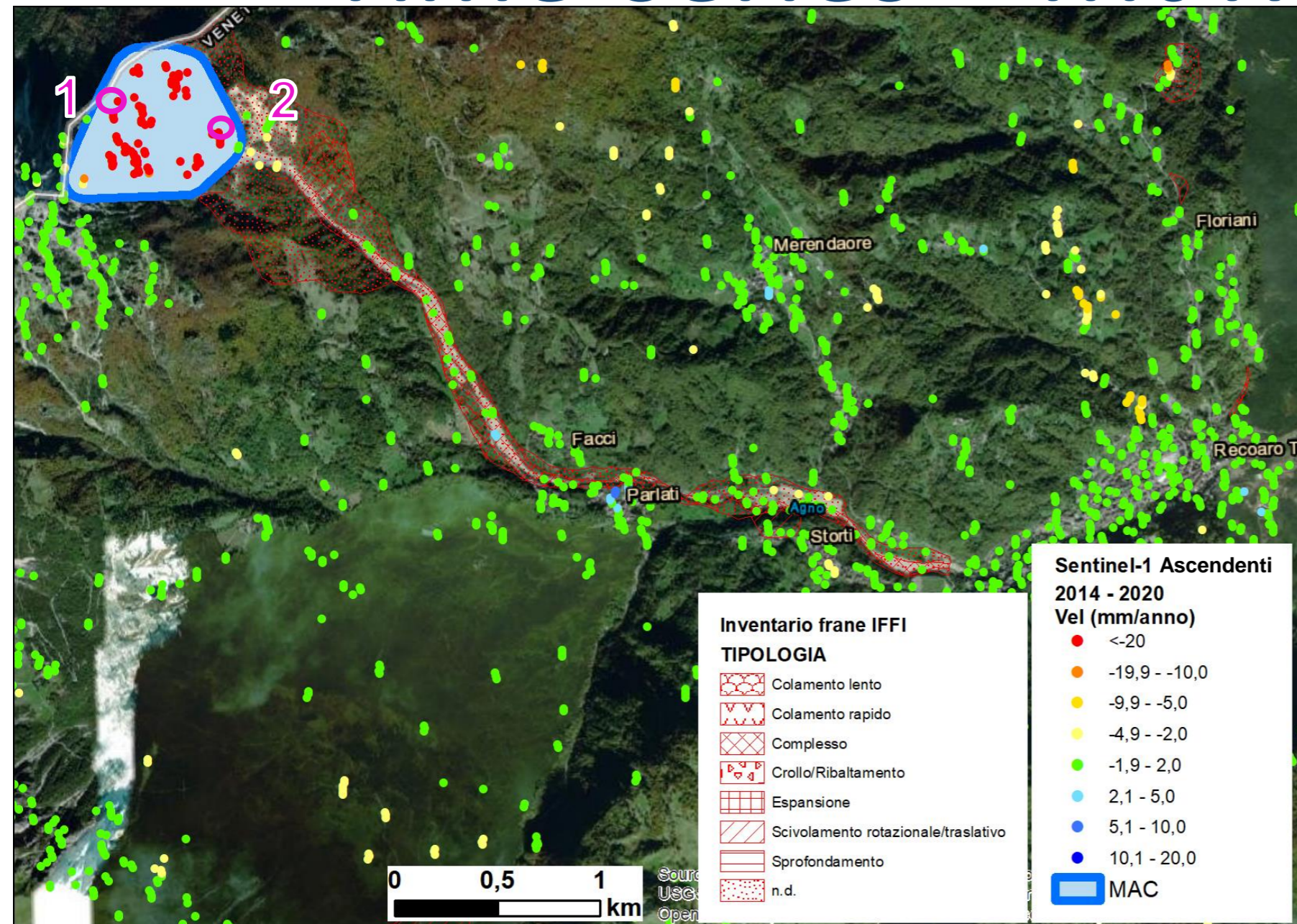


2

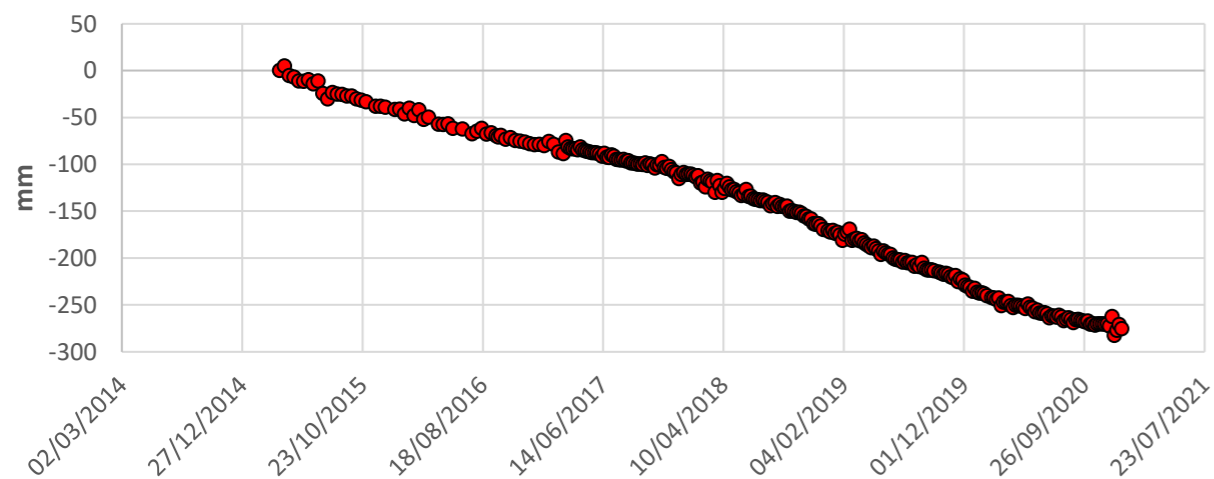


Time-series – Mt Rotolon

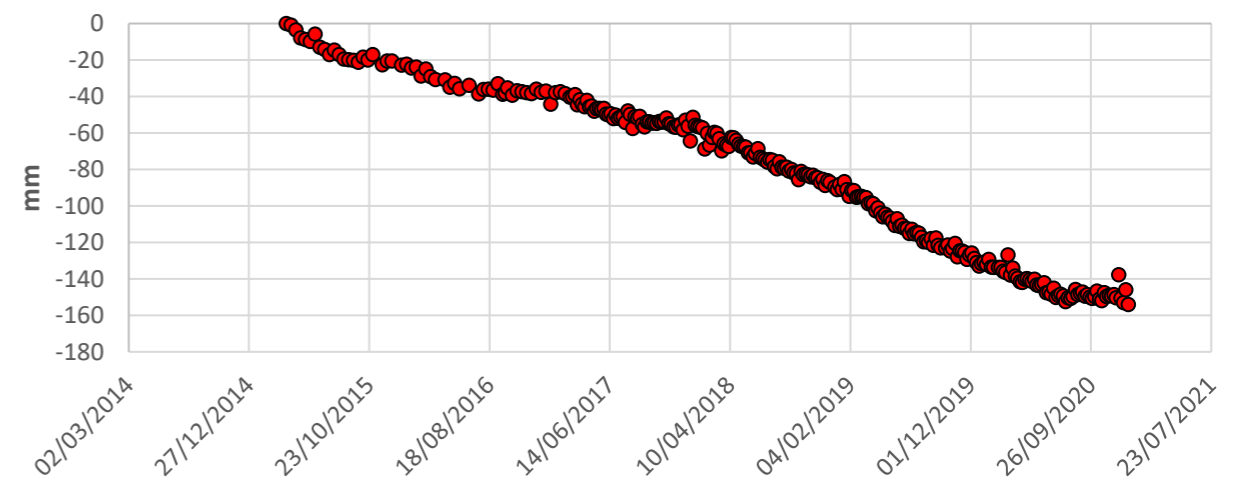
Il cluster in cima al Mt Rotolon mostra PS con un trend in rallentamento a partire dalla prima metà del 2020



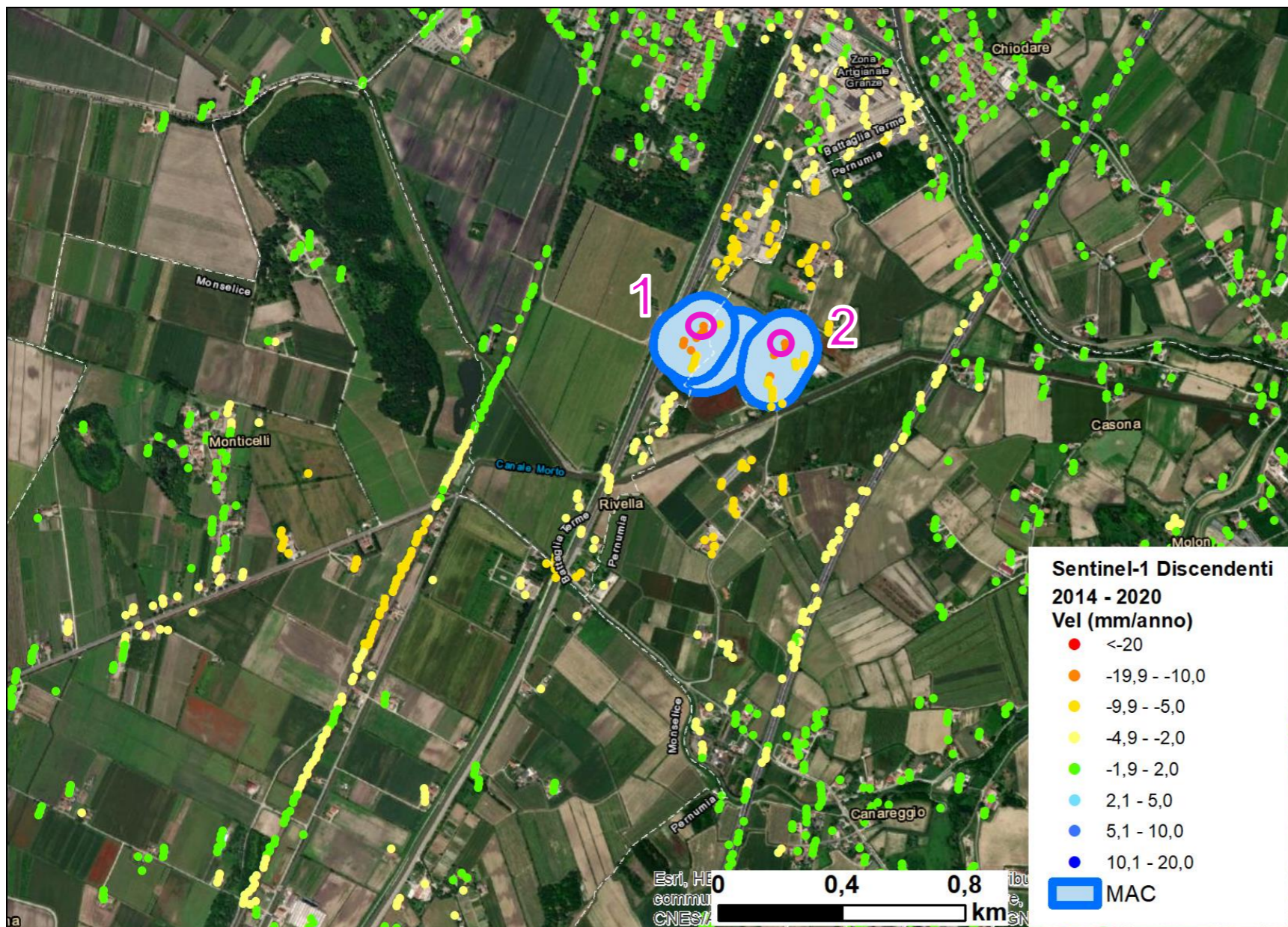
1



2

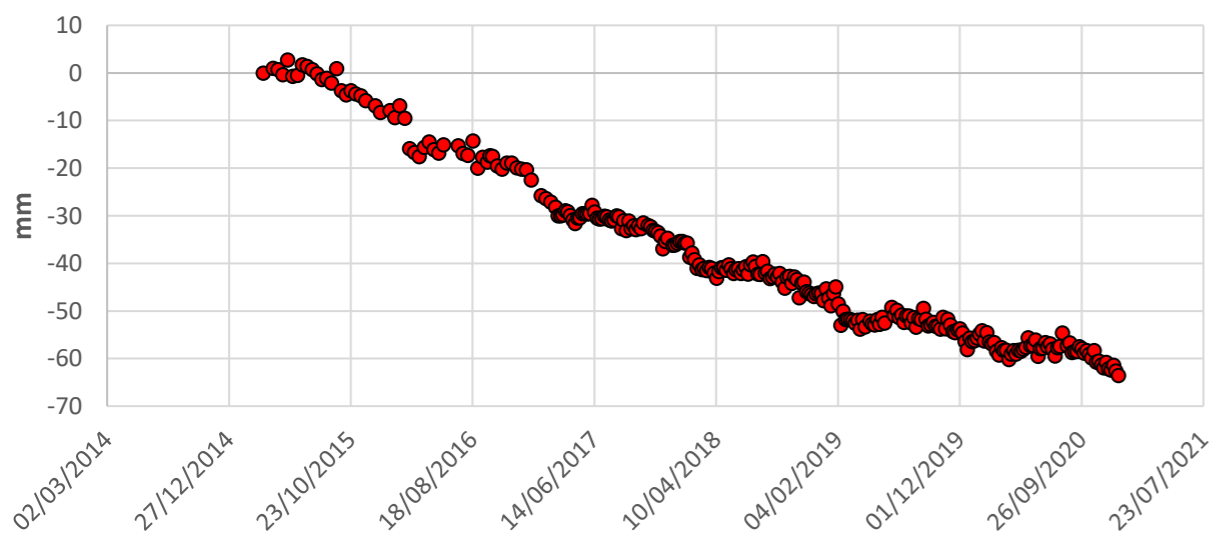


Time-series – Monselice

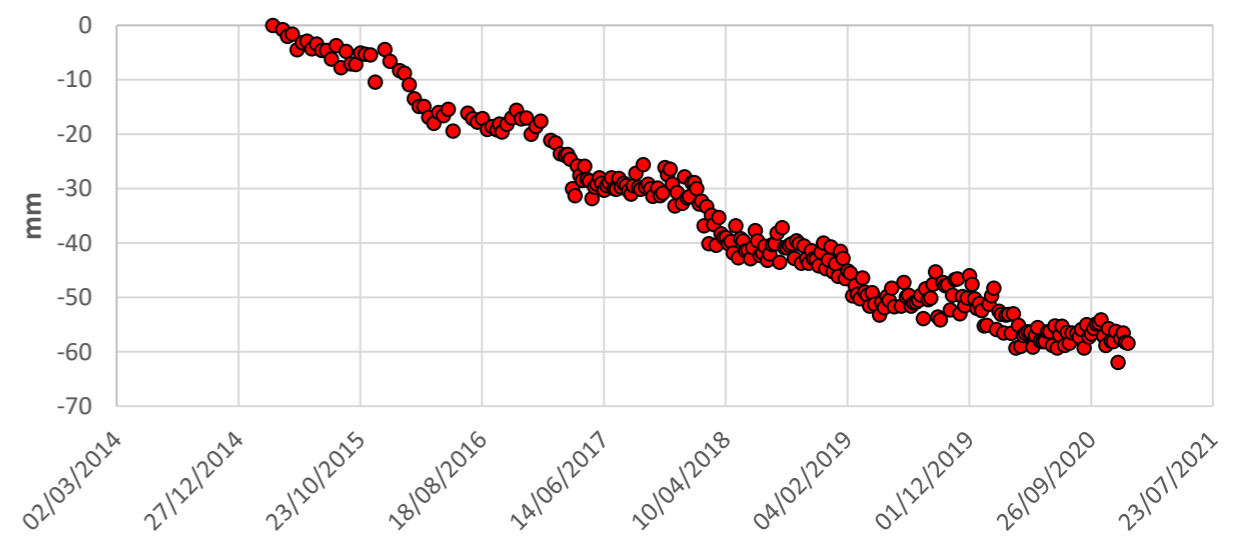


I cluster nell'area di Monselice – Battaglia Terme mostrano un trend in leggero rallentamento, con delle oscillazioni stagionali

1



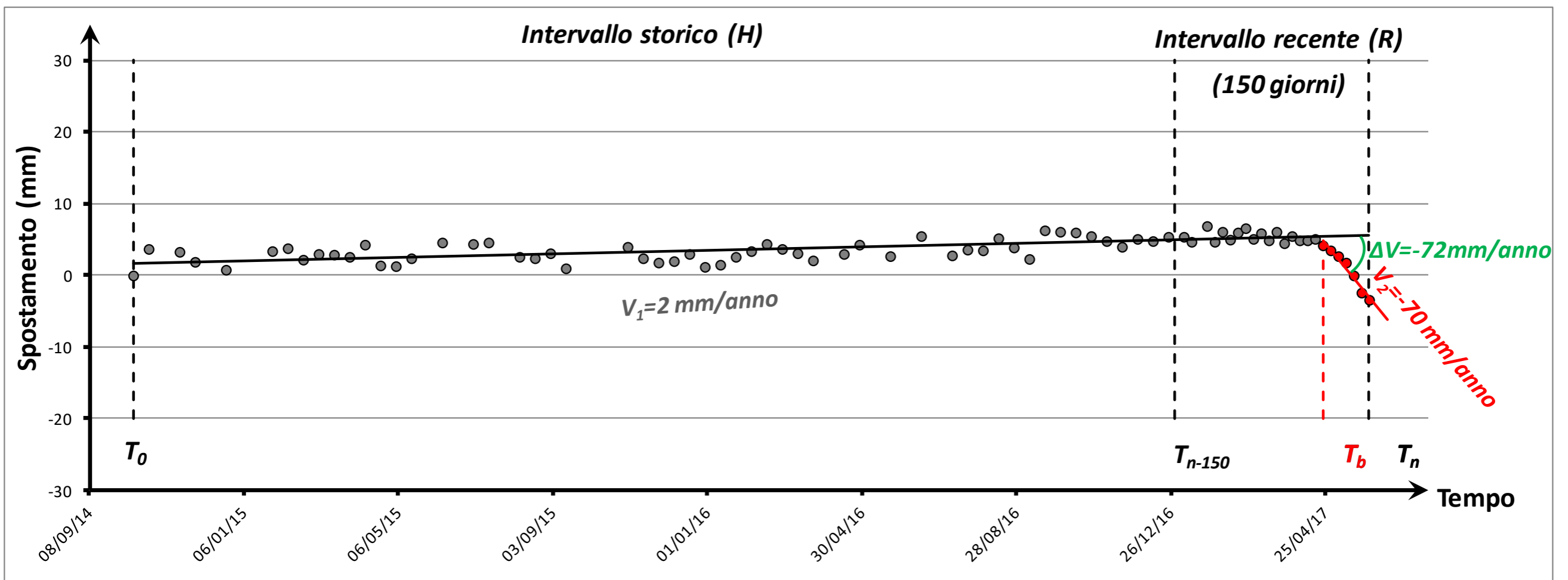
2



PS *Monitoring*

PS monitoring: monitoraggio “in tempo reale” (Dir. PCM 27/02/2004)

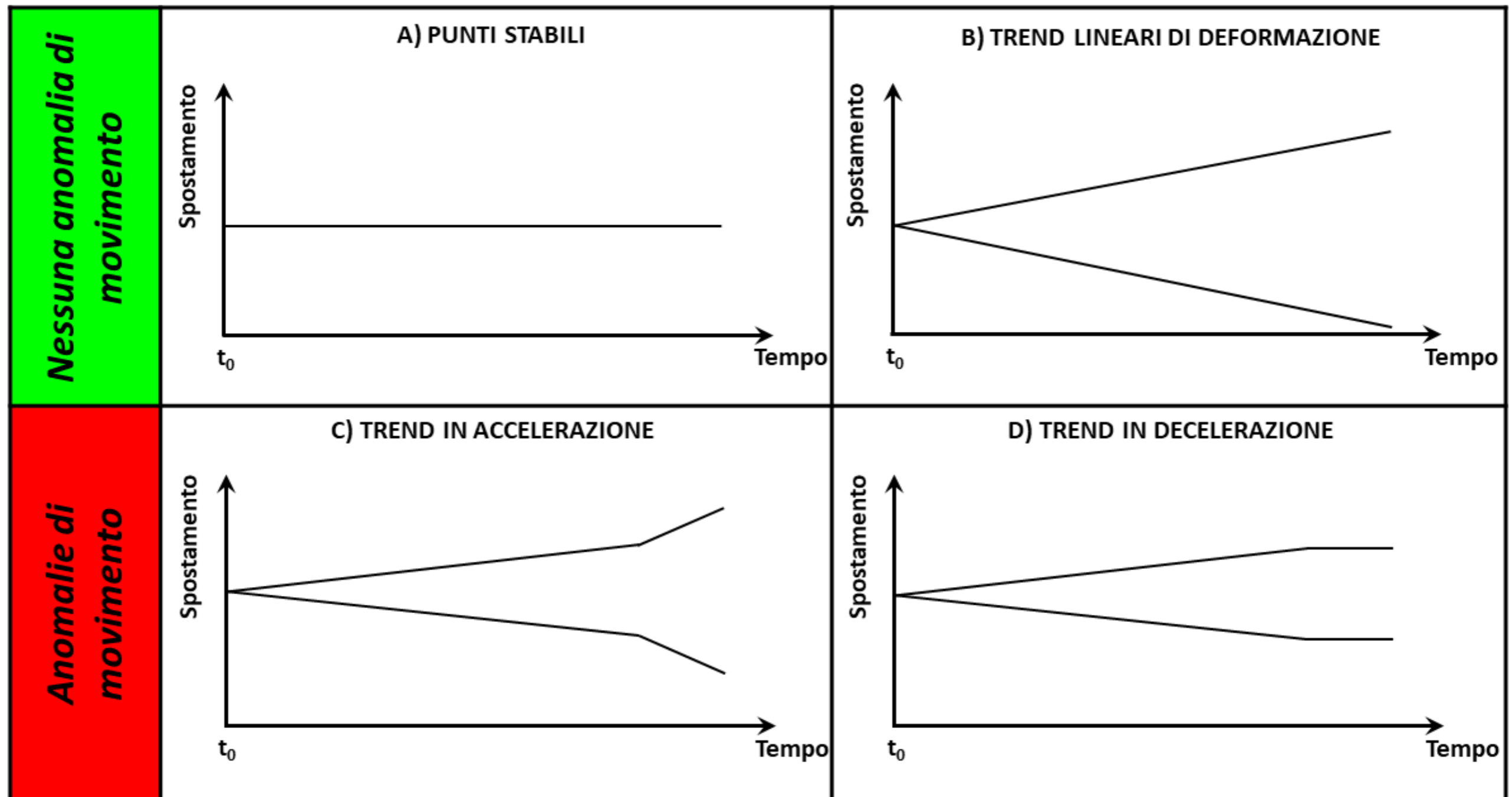
Analisi serie temporali di deformazione aggiornate



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

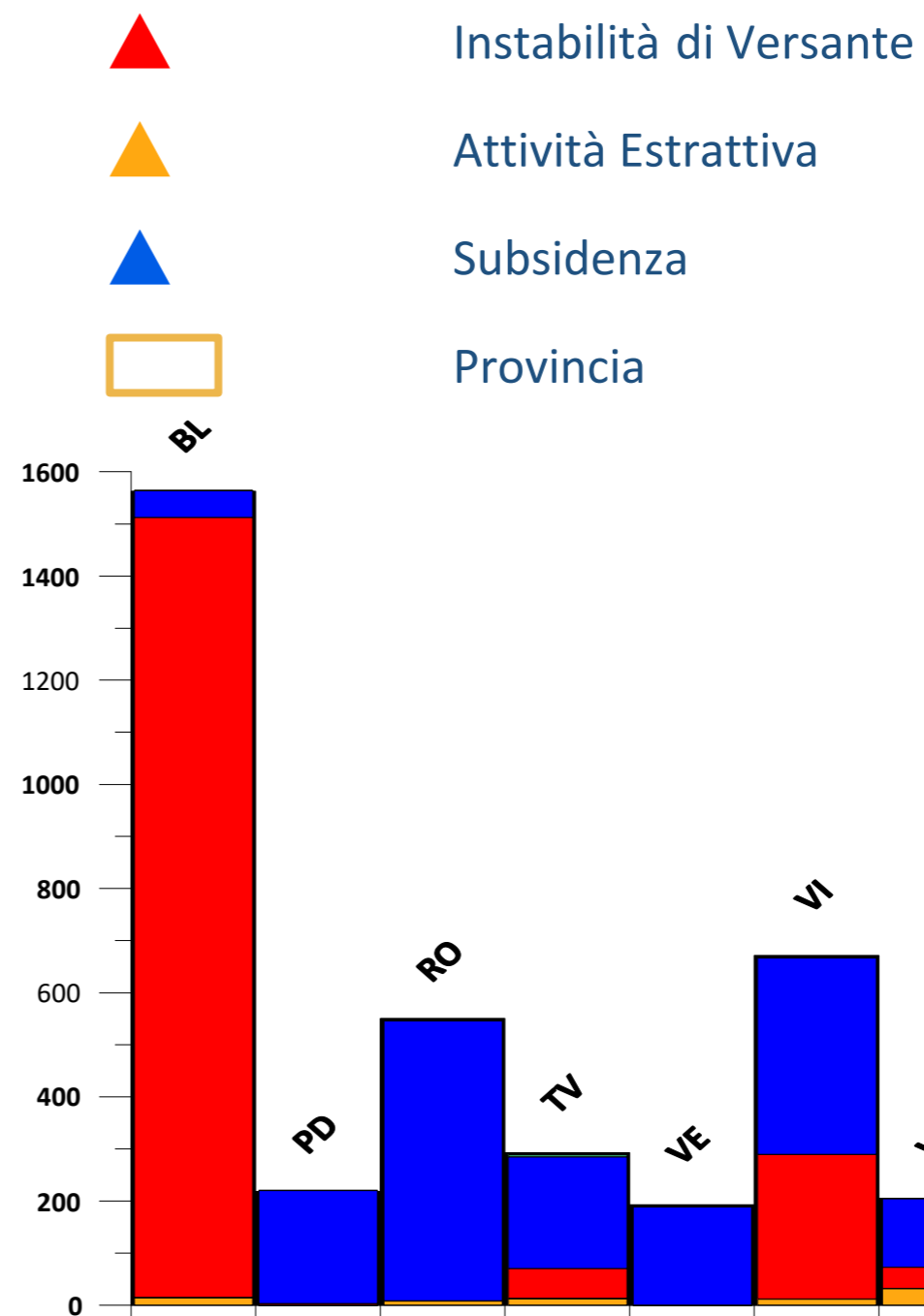
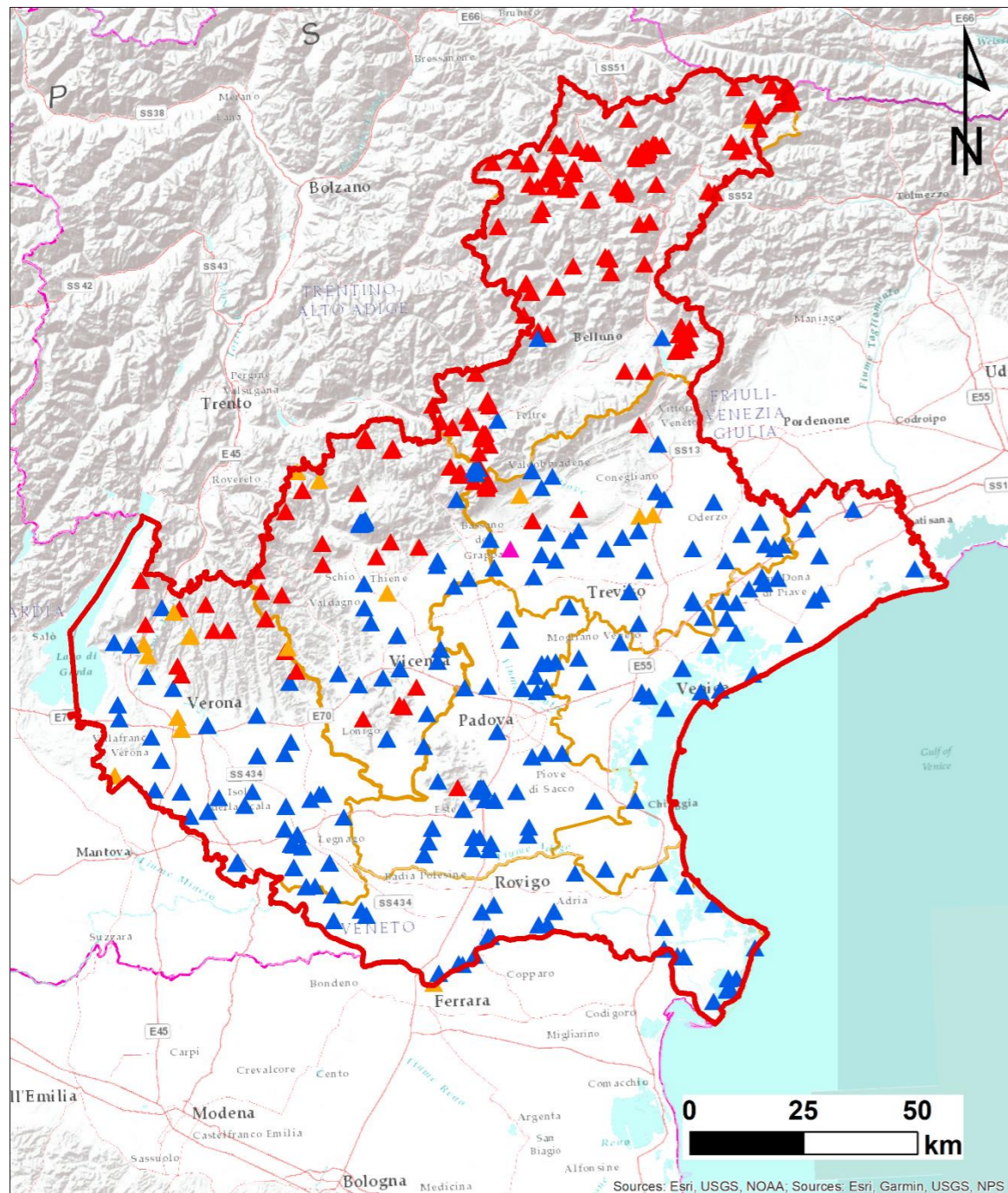
PS monitoring: monitoraggio “in tempo reale” (Dir. PCM 27/02/2004)

Trend di deformazione



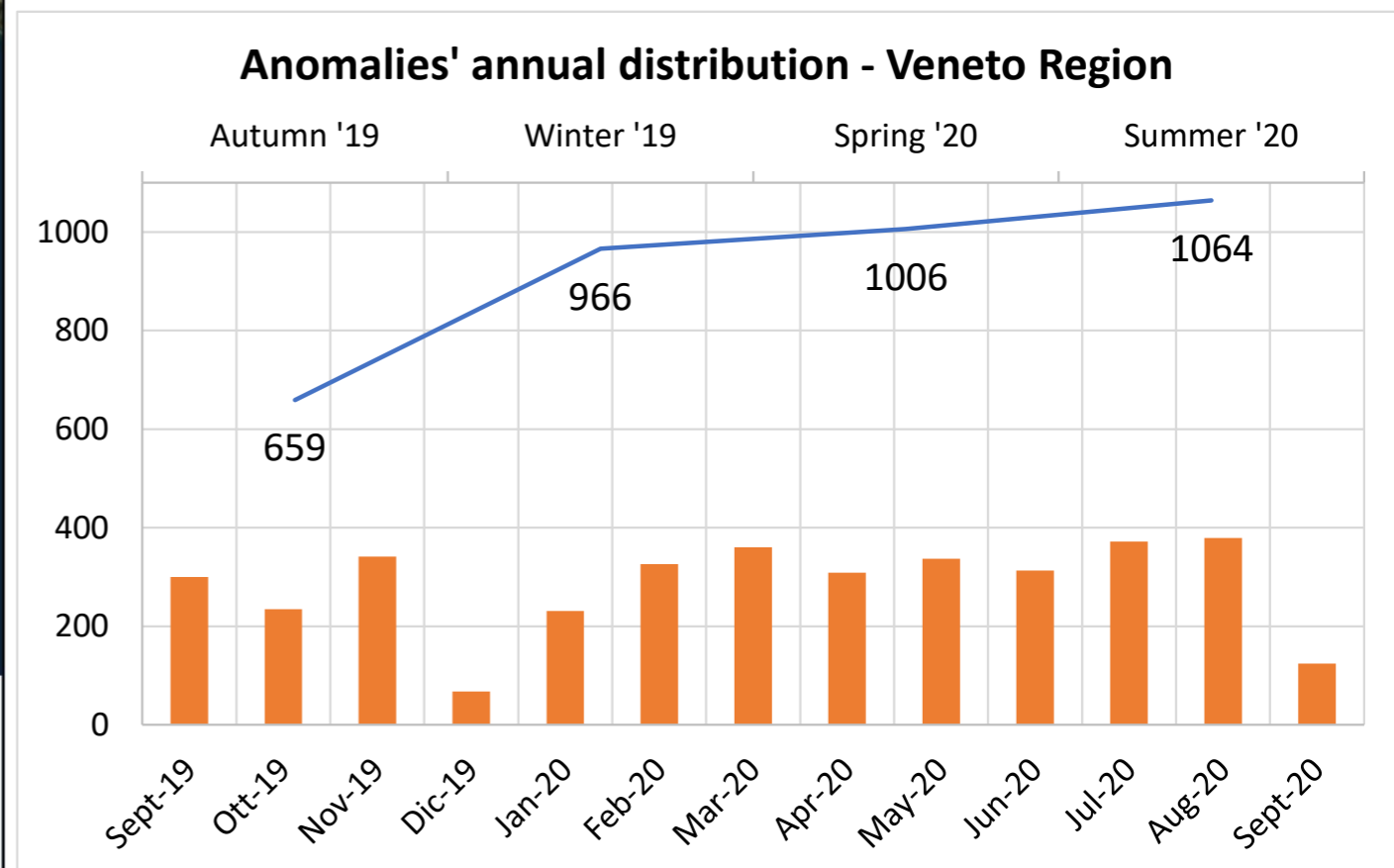
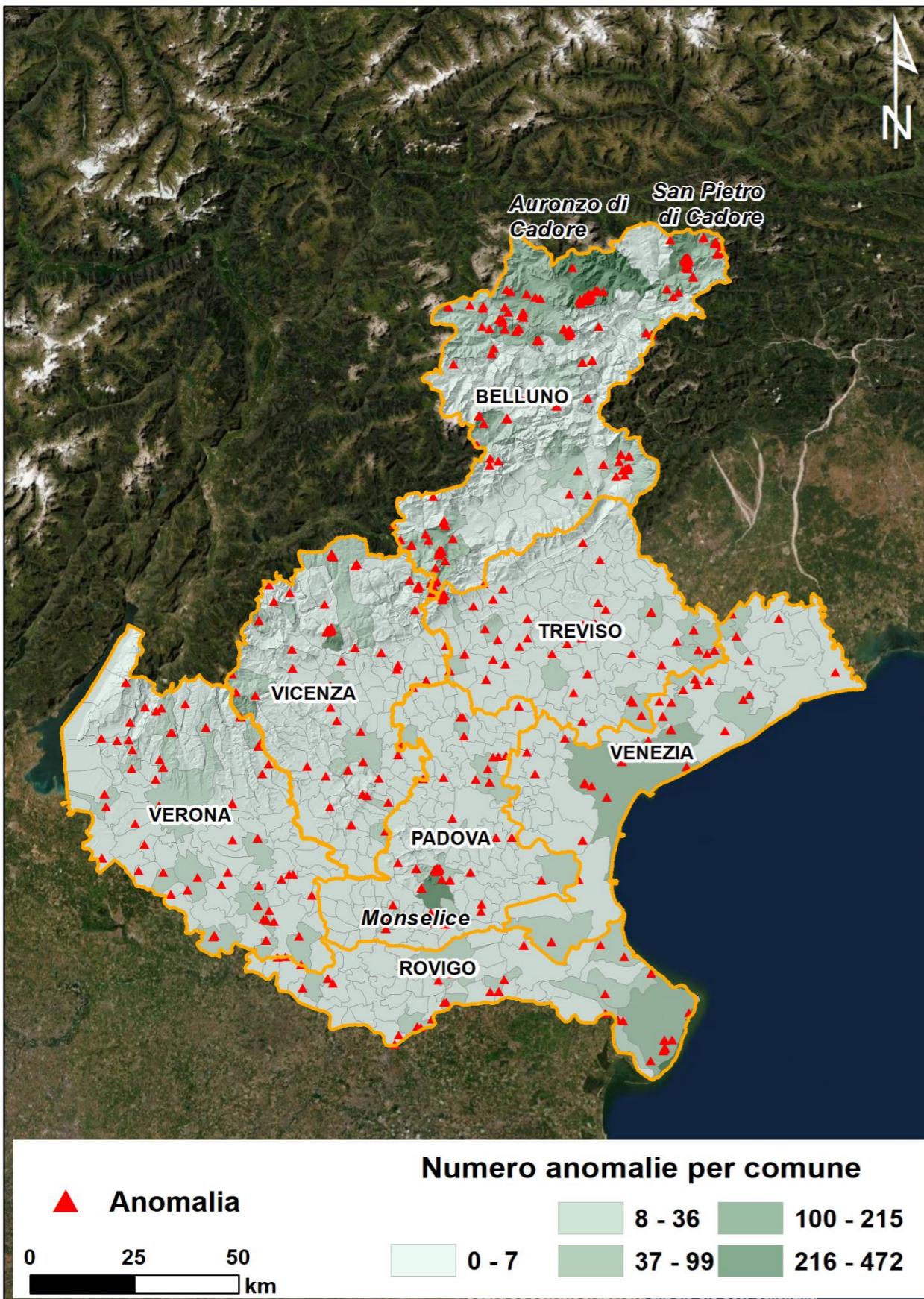
PS monitoring - Veneto

- Periodo Settembre 2019 – Settembre 2020
- 12413 anomalie totali
- 3695 a cui è stata assegnata la causa (1744 asc e 1951 desc)



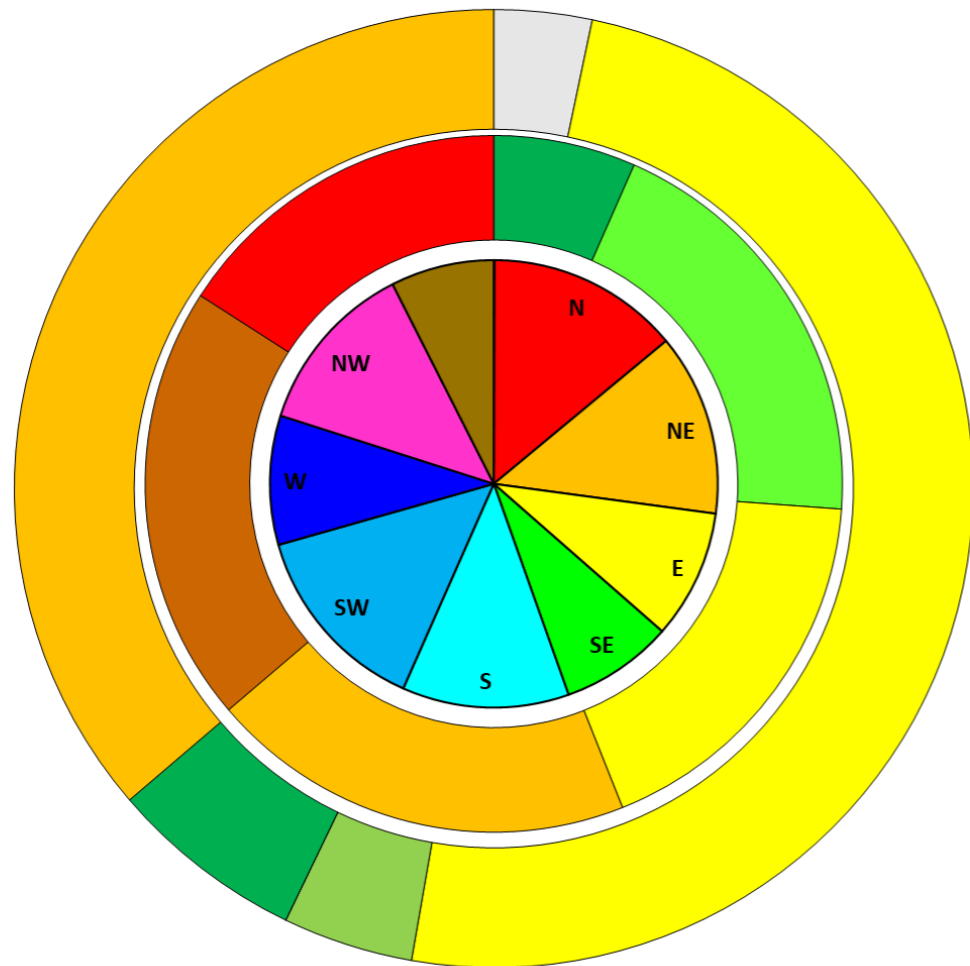
PS monitoring - Veneto

- Periodo Settembre 2019 – Settembre 2020
- Maggior numero di anomalie ad Agosto 2020
- Estate 2020 col maggior numero di anomalie



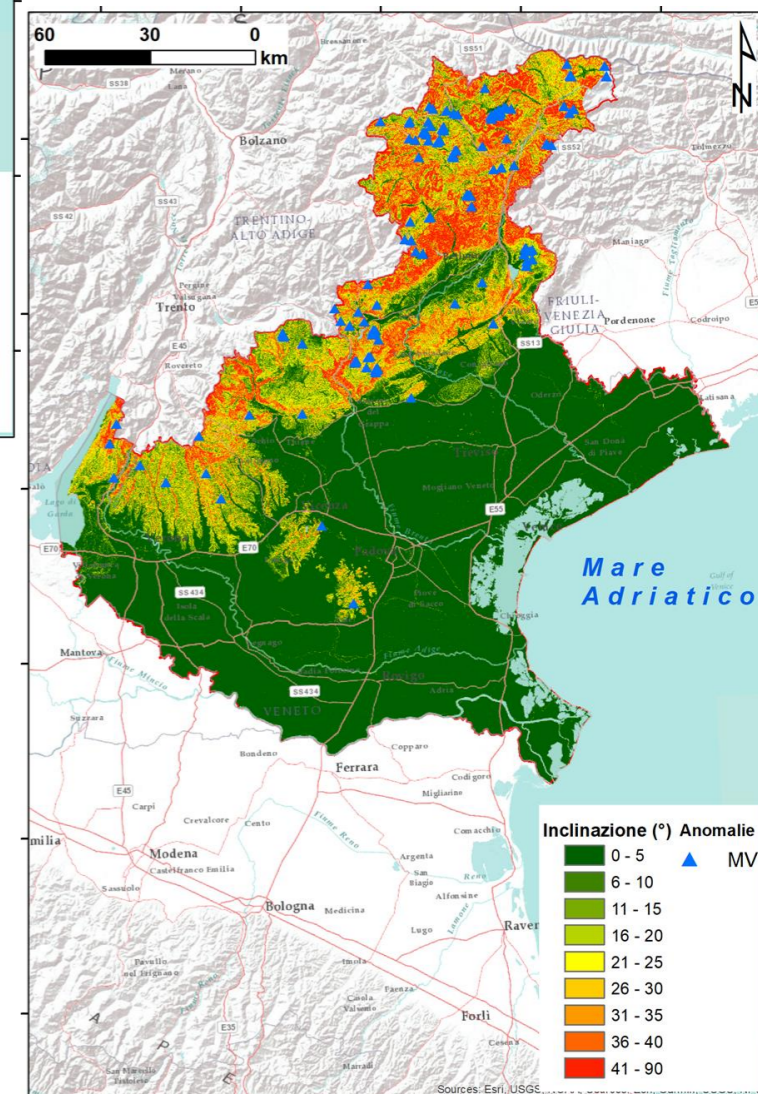
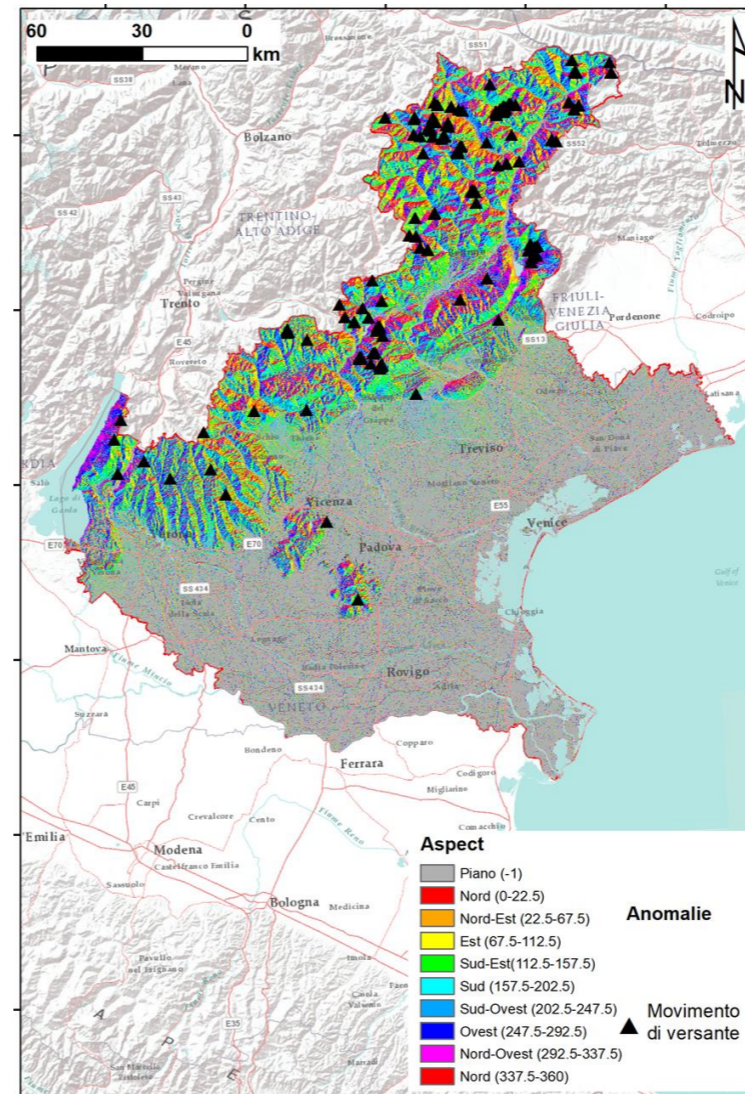
PS monitoring - Veneto

Anomalies vs IFFI, Slope & Aspect



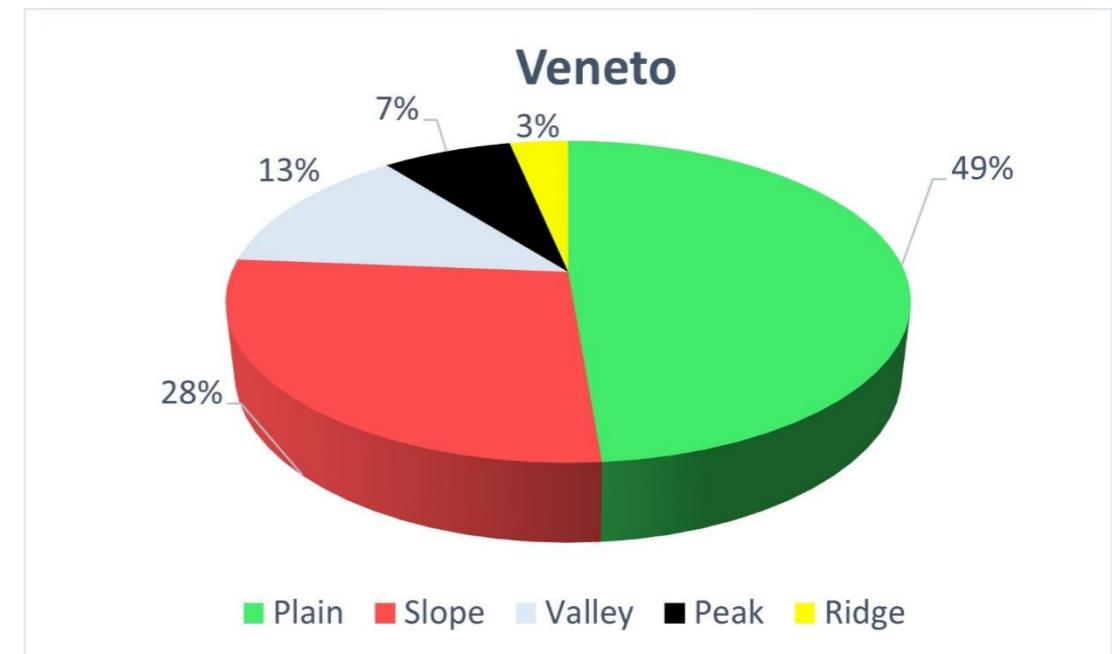
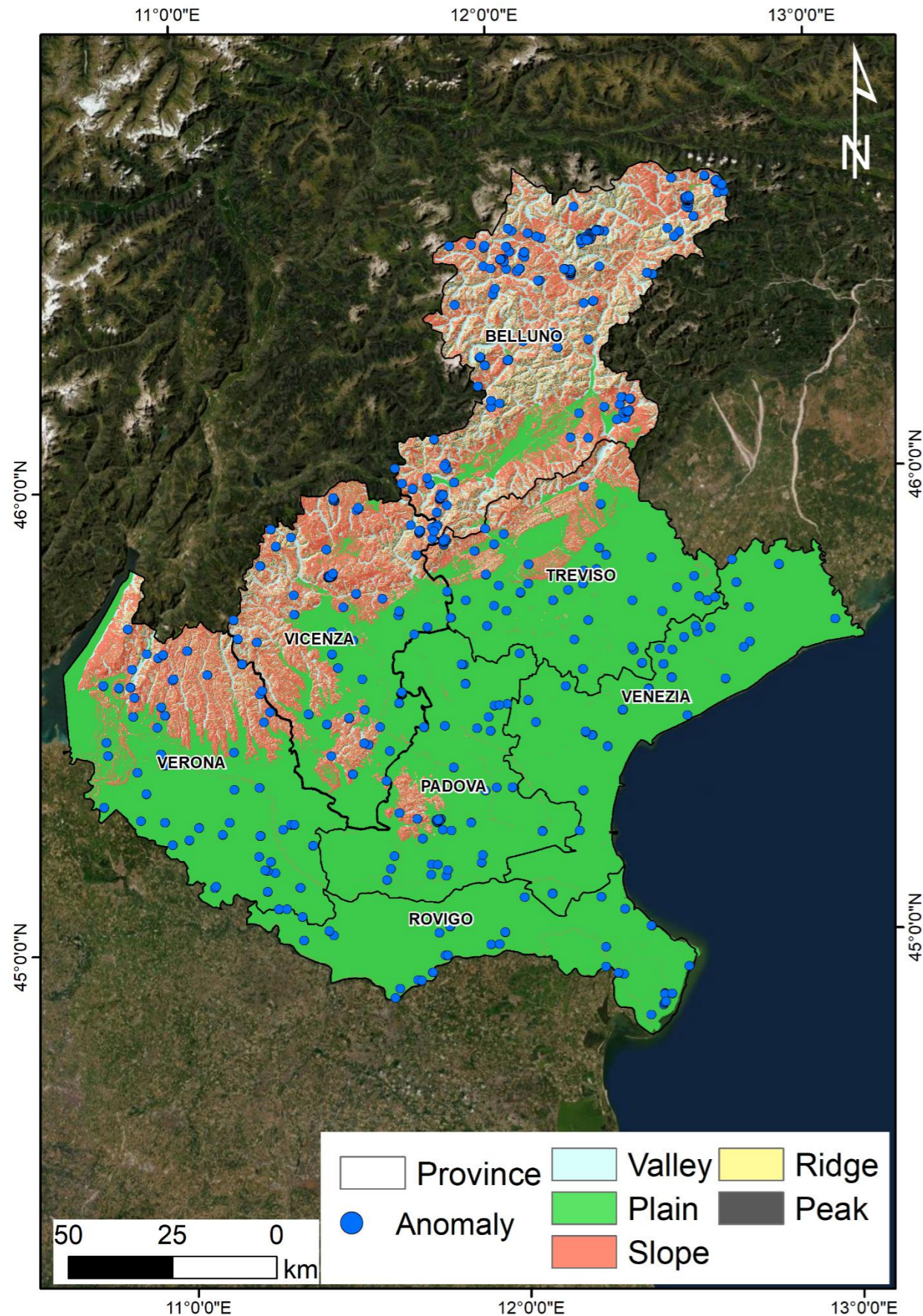
□ nd □ Rotational/translational □ Rapid flow □ Fall/topple □ Lateral expansion □ Slow flow □ Complex

■ <math>< 10^\circ</math> ■ $10^\circ - 20^\circ$ ■ $20^\circ - 30^\circ$ ■ $30^\circ - 40^\circ$ ■ $40^\circ - 50^\circ$ ■ $> 50^\circ$



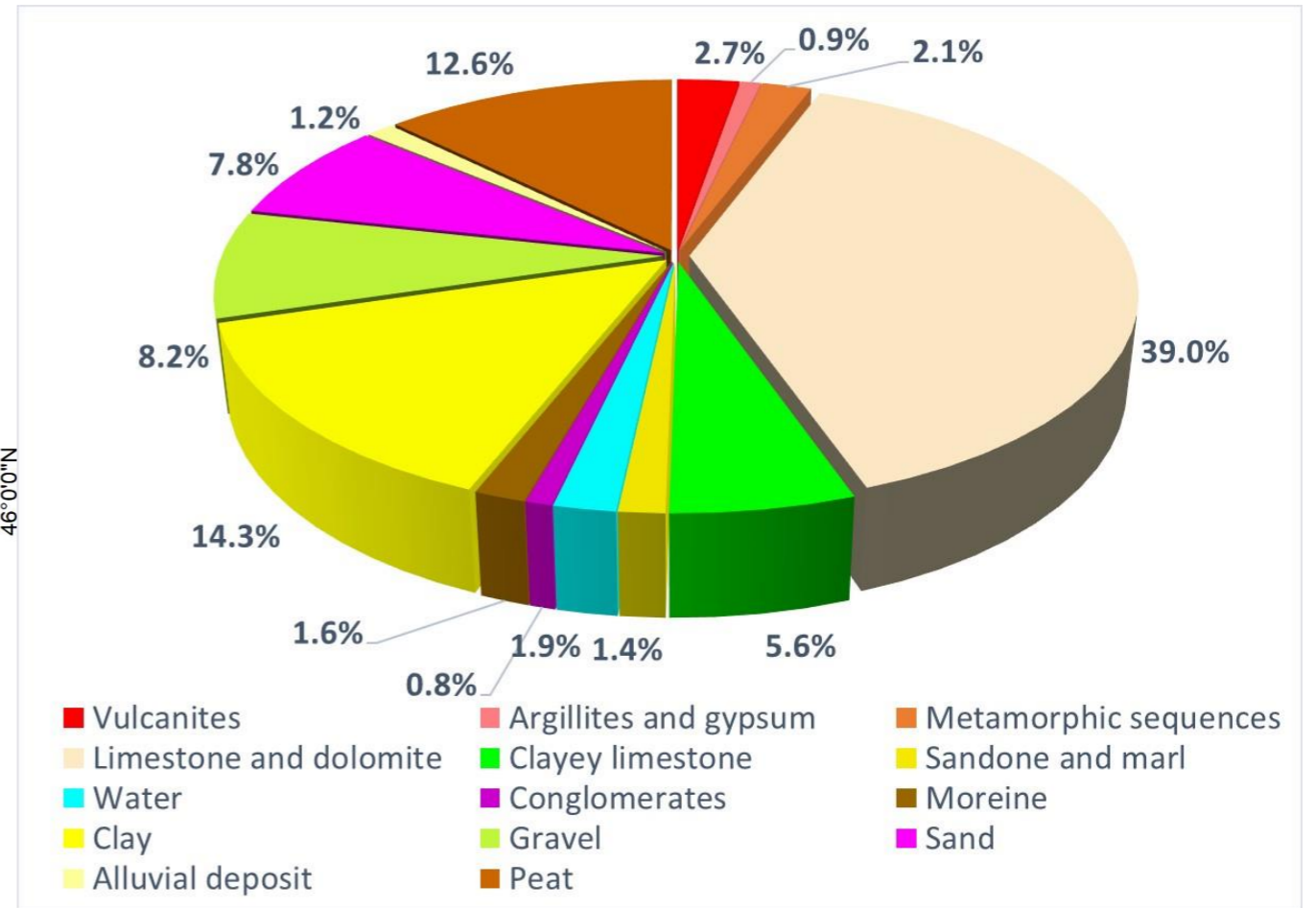
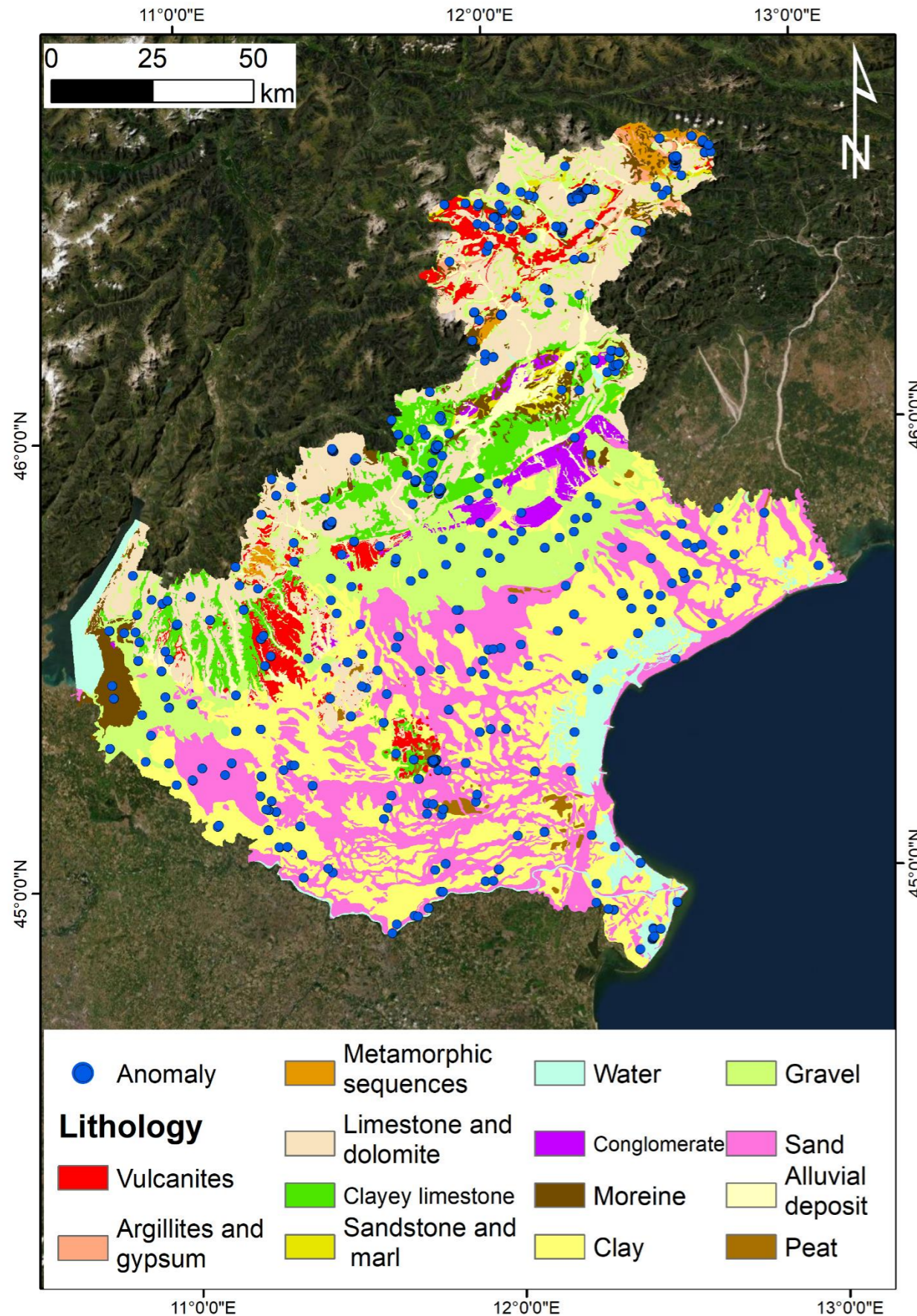
- 8% anomalie incrociano frane IFFI
- Anomalie distribuite in tutte le classi di slope
- 40% anomalie distribuite su versanti esposti a O

PS monitoring - Veneto



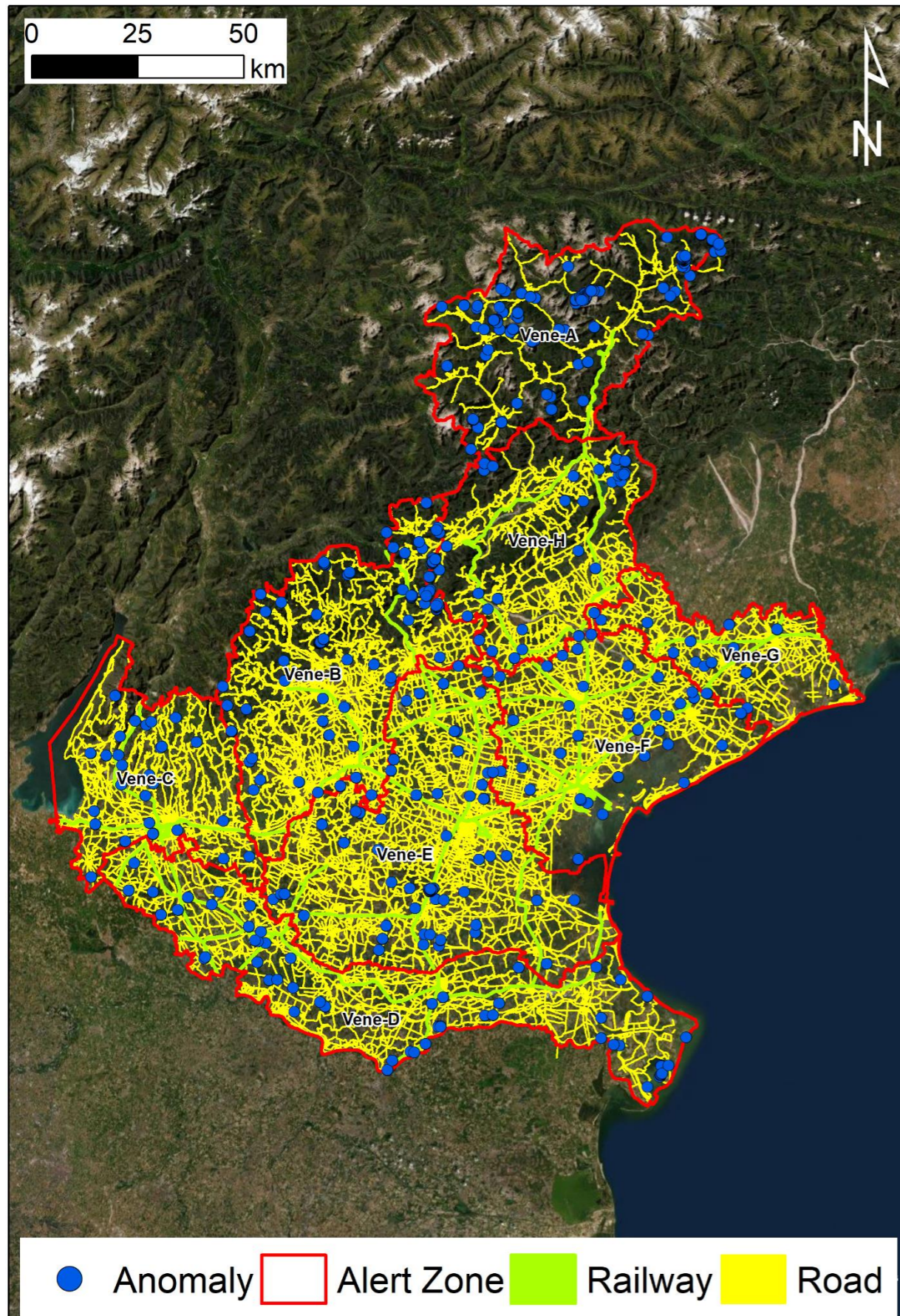
- 28% anomalie localizzate in area di versante
- La maggior parte delle anomalie (49%) localizzate in pianura

PS monitoring - Veneto



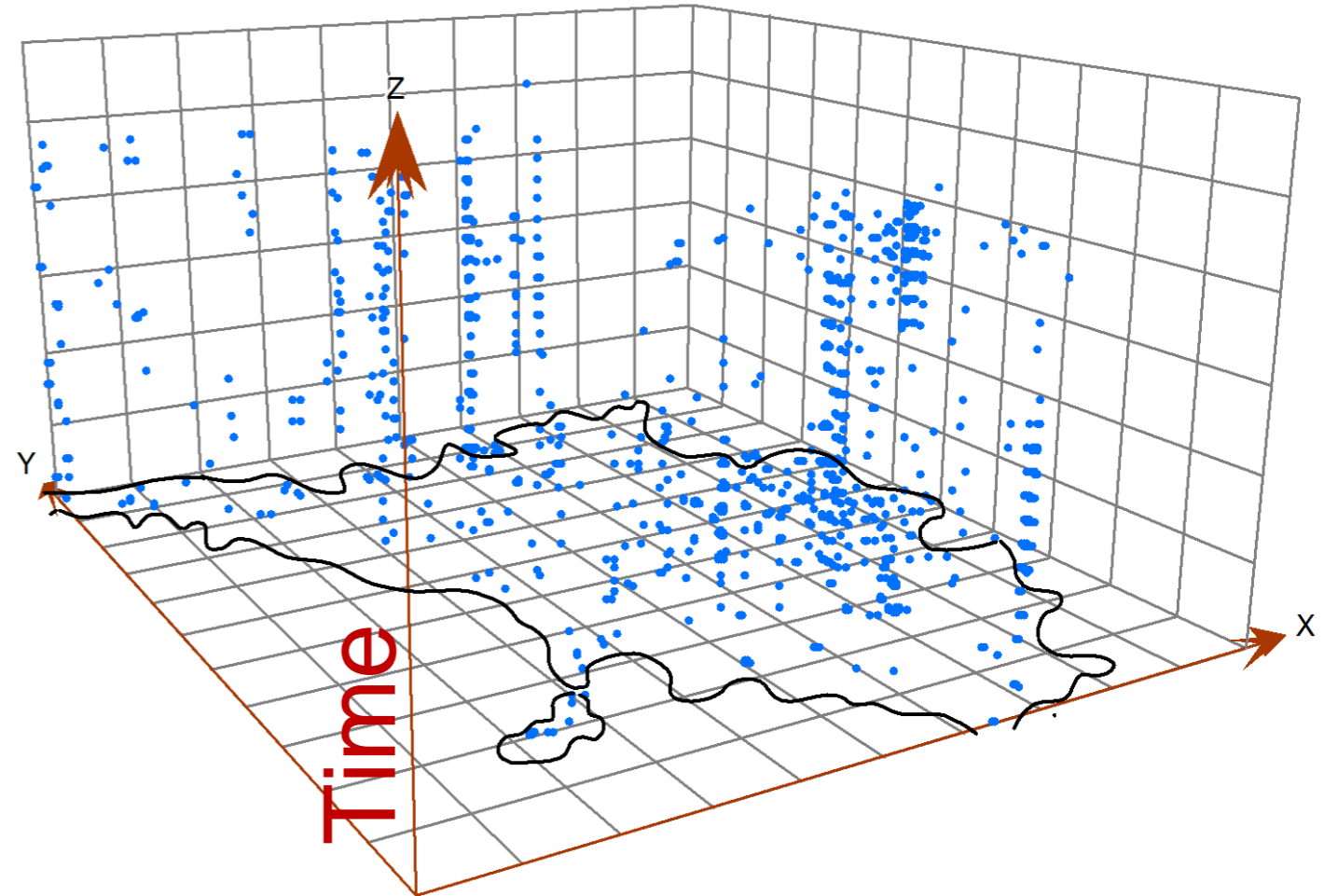
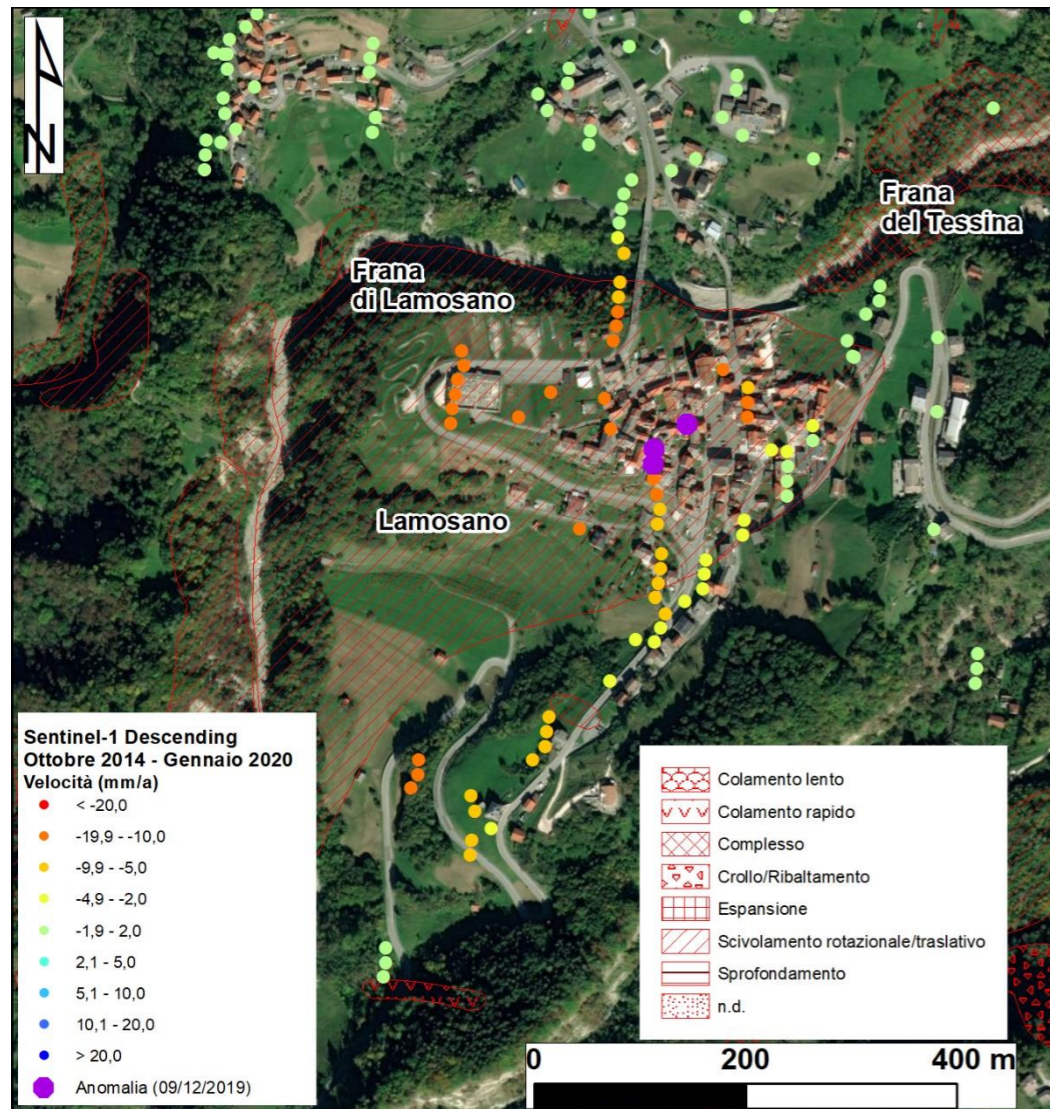
- La maggior parte delle anomalie (39%) localizzate su formazioni calcaree
- Il 14 e il 12 % delle anomalie localizzate su argille e torbe, rispettivamente

PS monitoring - Veneto



- 244 anomalie ricadono in un buffer di 50 m dagli edifici, di questi, 17 su edifici strategici (scuole, ospedali, edifici pubblici)
- 11% delle anomalie ricade lungo linee ferroviarie, 10% lungo arterie stradali

Anomalie persistenti e rilevanti

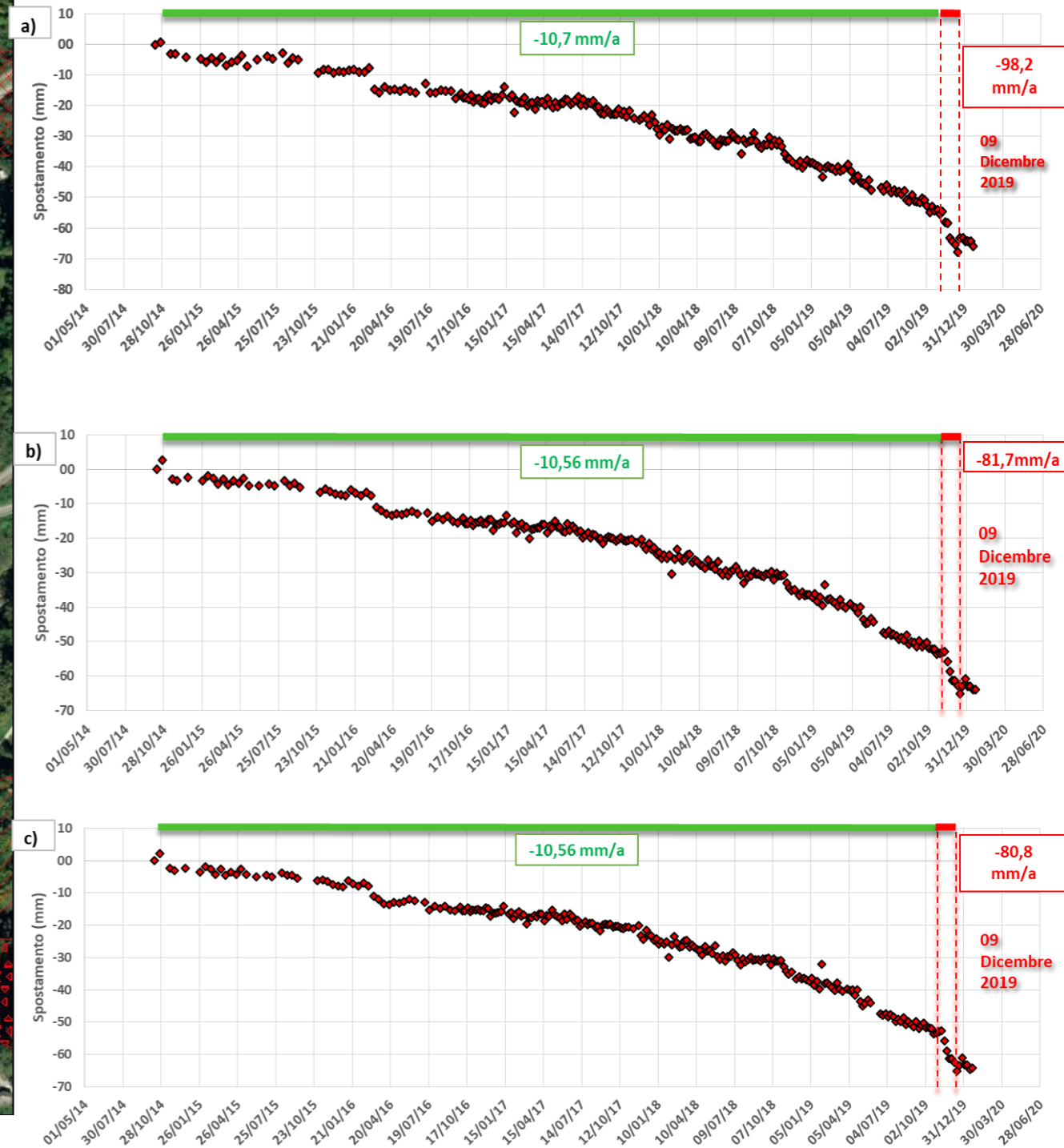
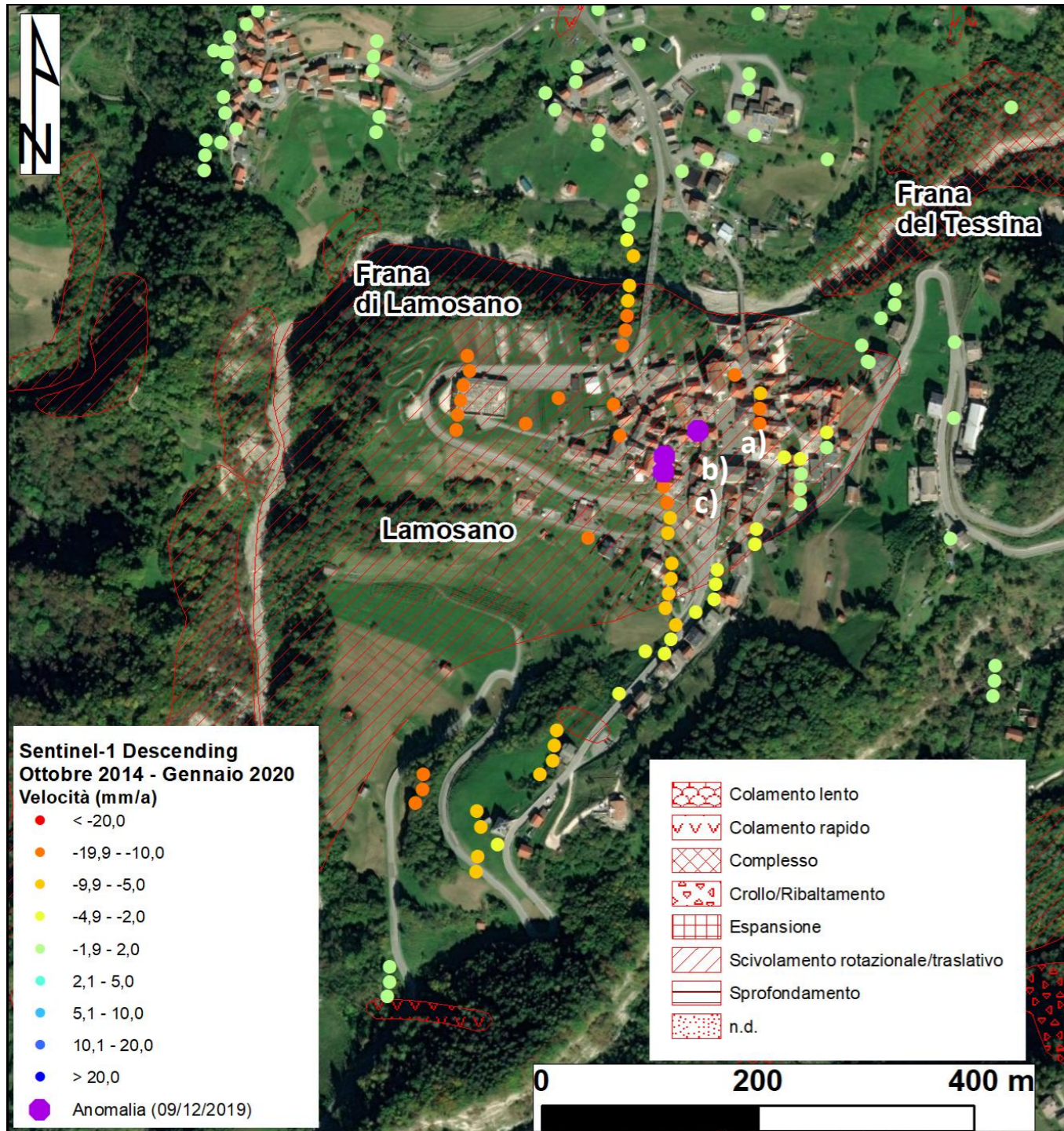


Persistenza temporale = anomalia si ripresenta più volte nello stesso punto o nel suo intorno in aggiornamenti successivi

Persistenza spaziale = anomalie presenti sullo stesso versante, riferite allo stesso fenomeno

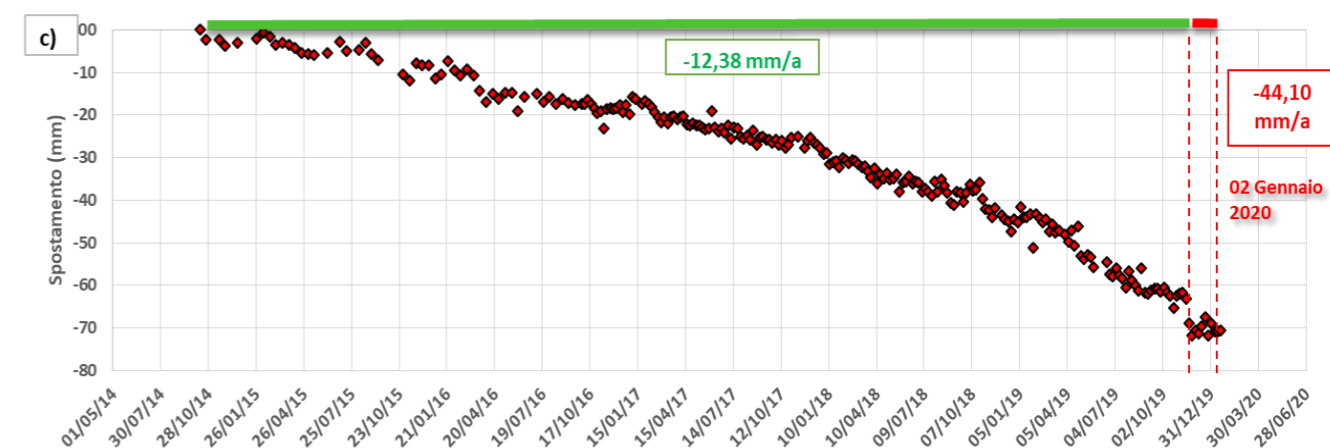
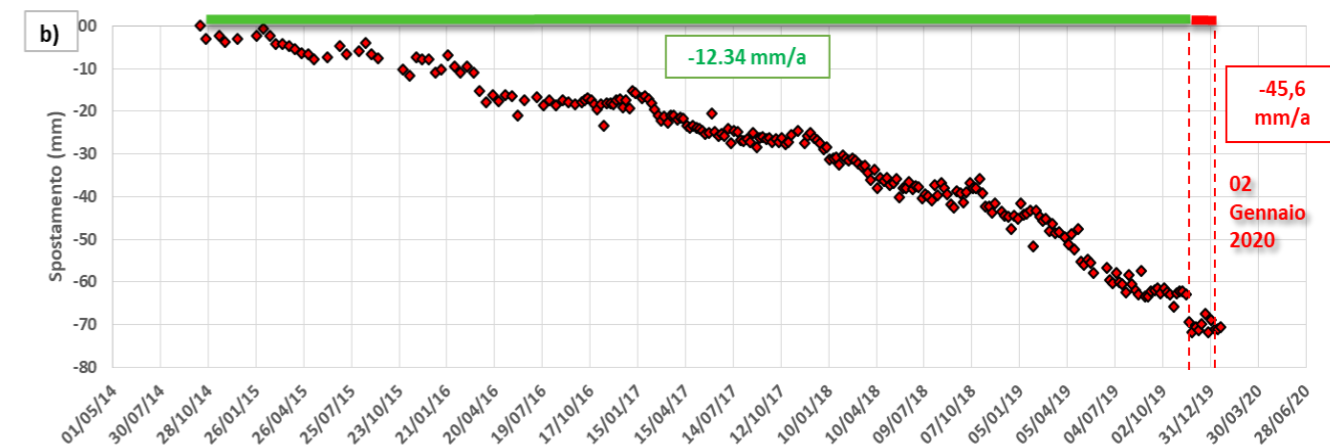
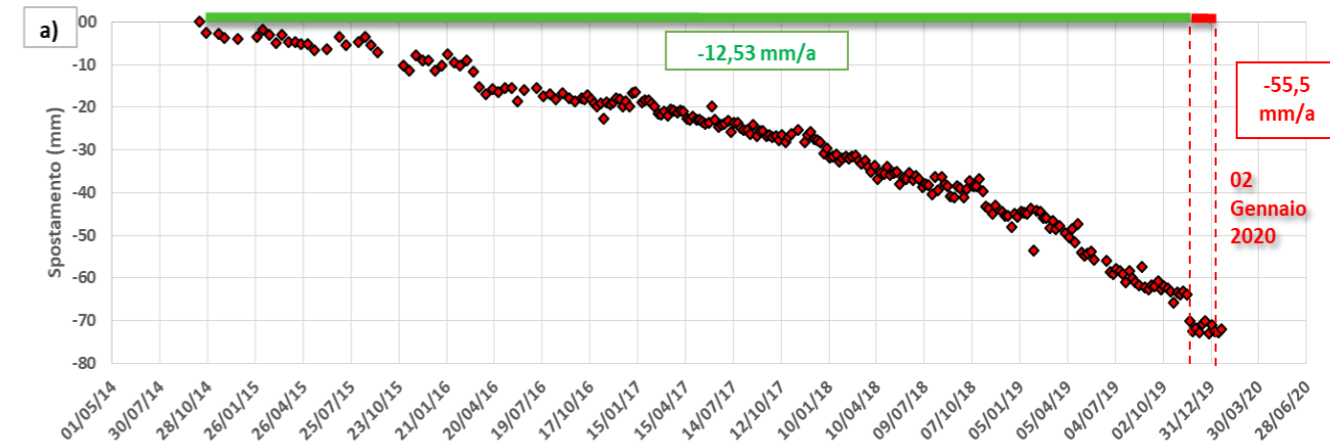
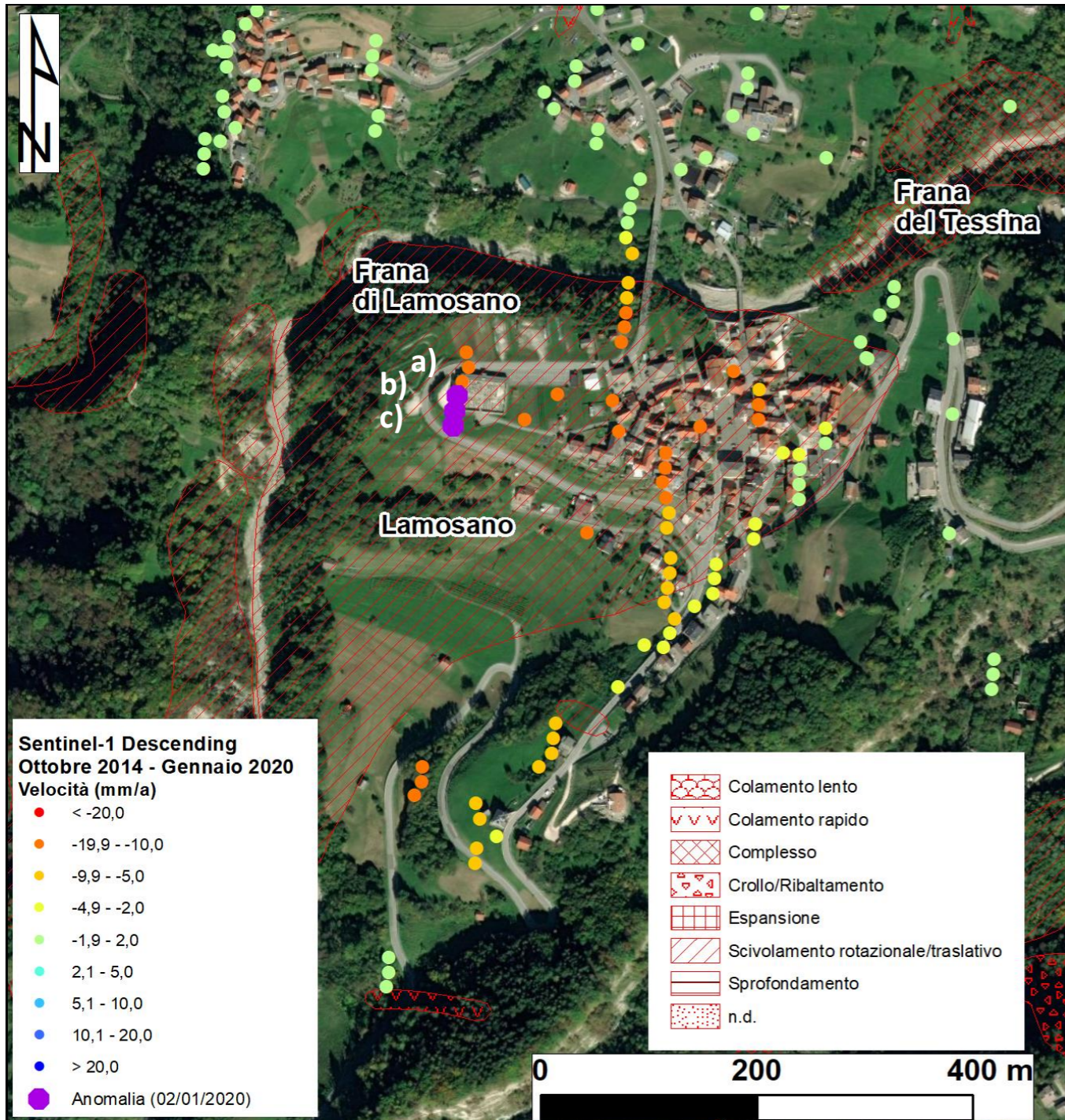
Anomalie in frana

Lamosano – Dataset descending



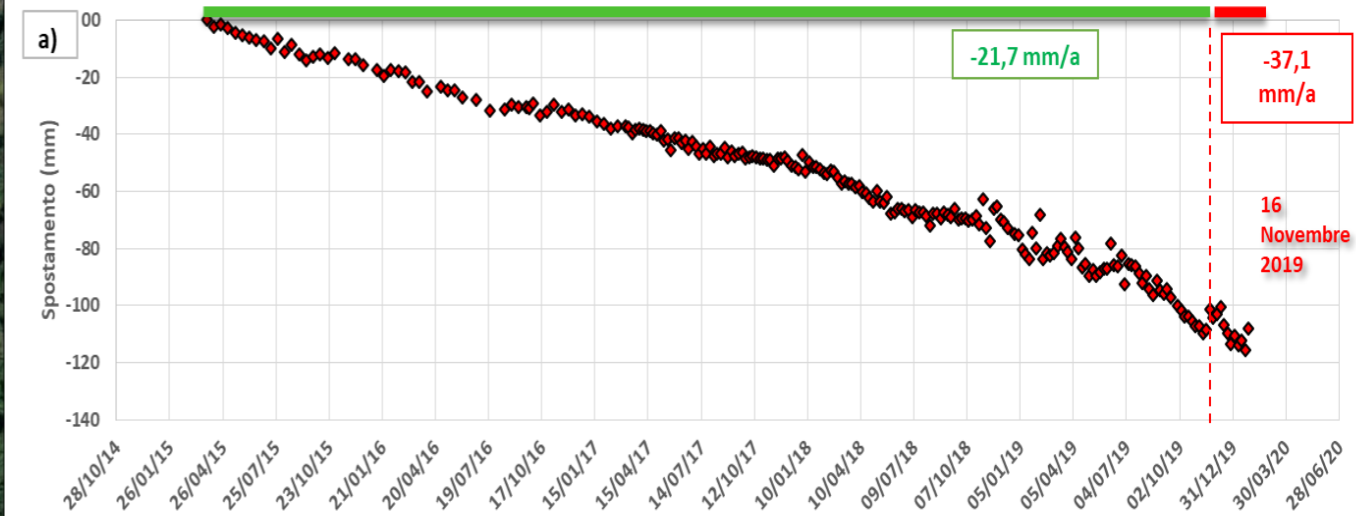
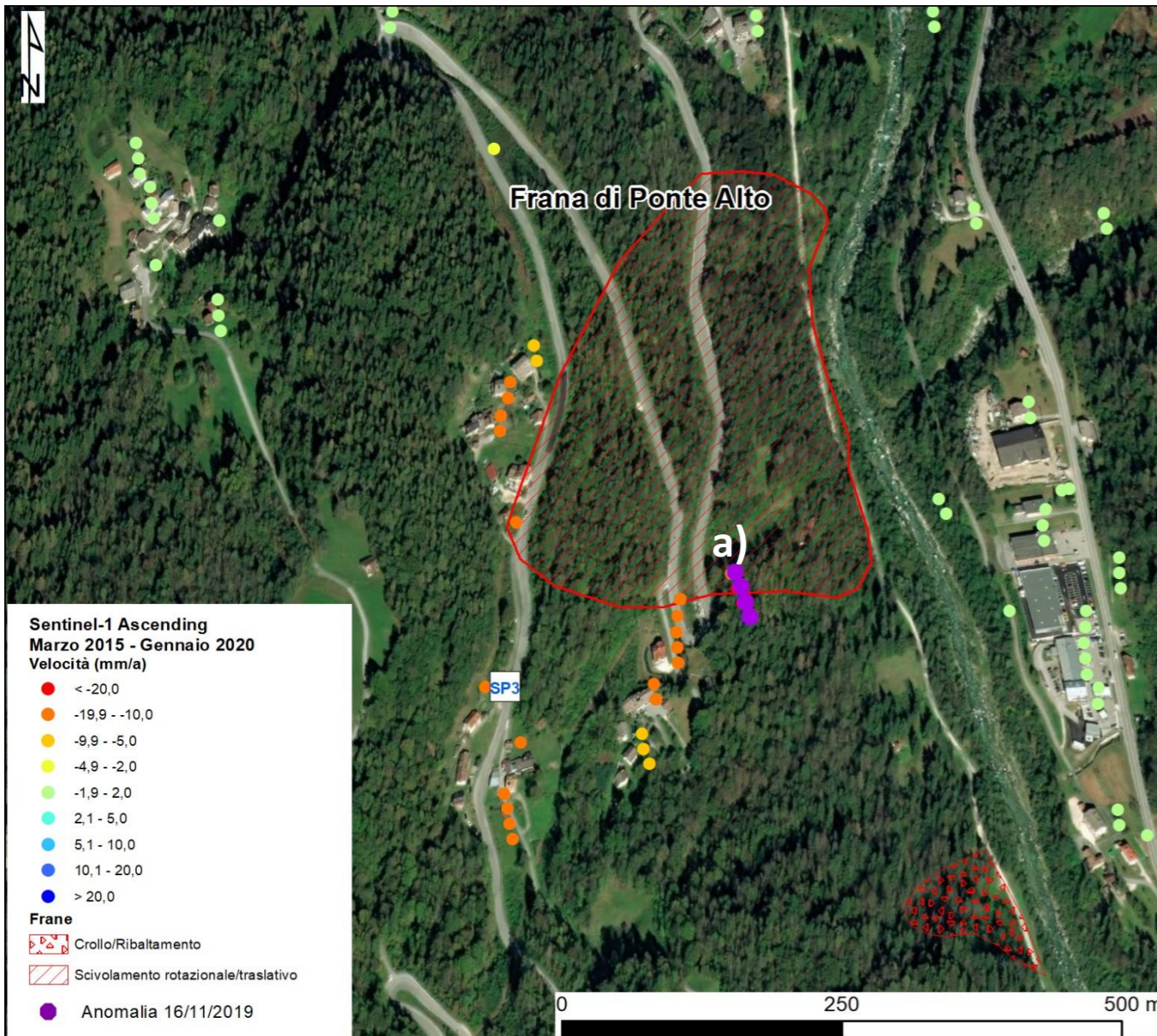
Anomalie in frana

Lamosano – Dataset descending



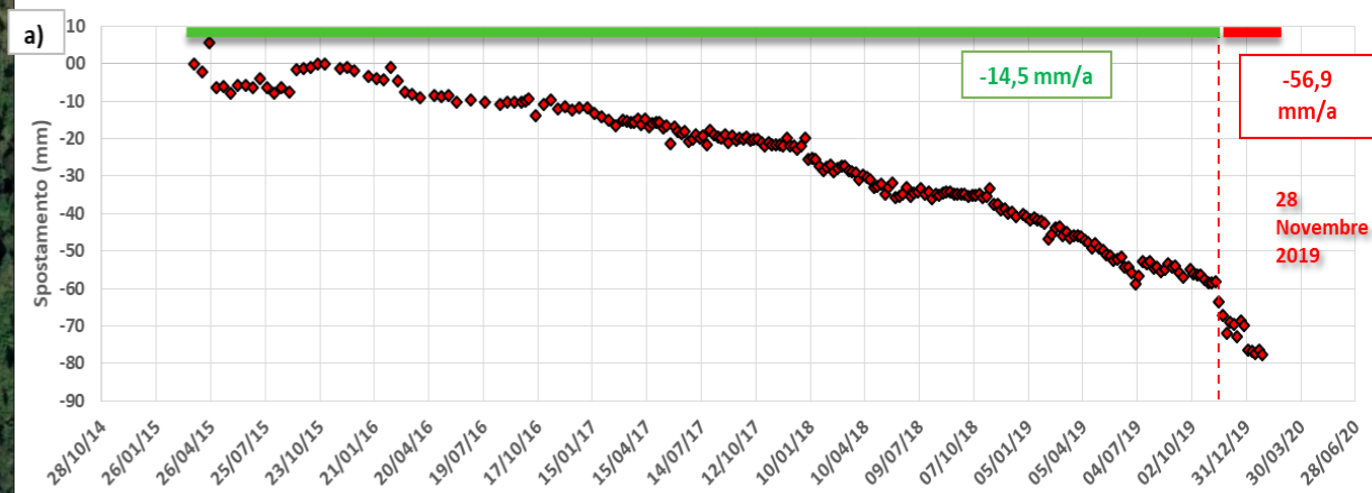
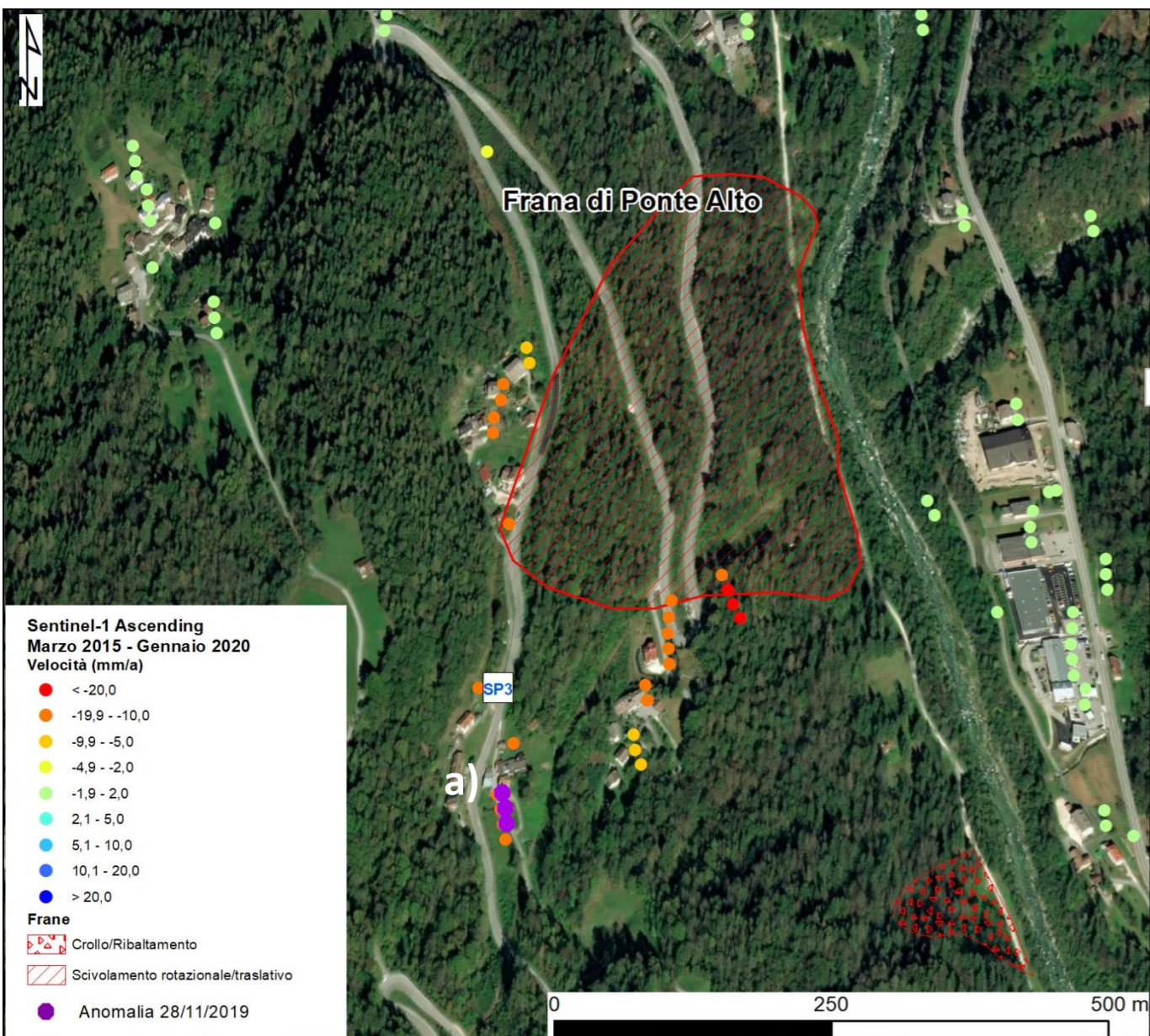
Anomalie in frana

Rivamonte Agordino – Dataset ascending



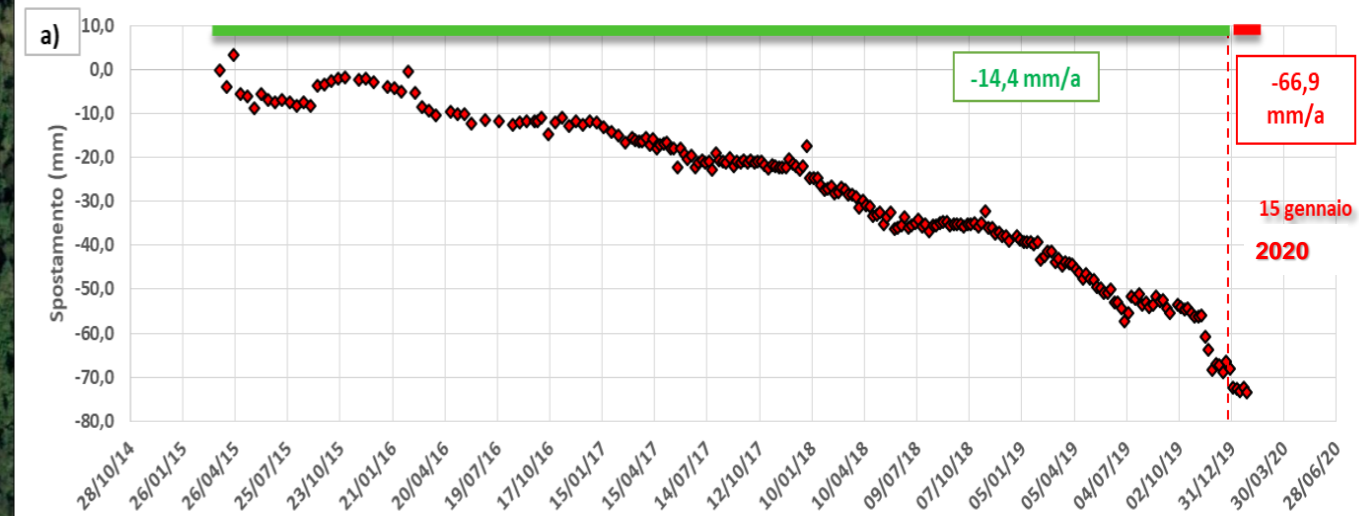
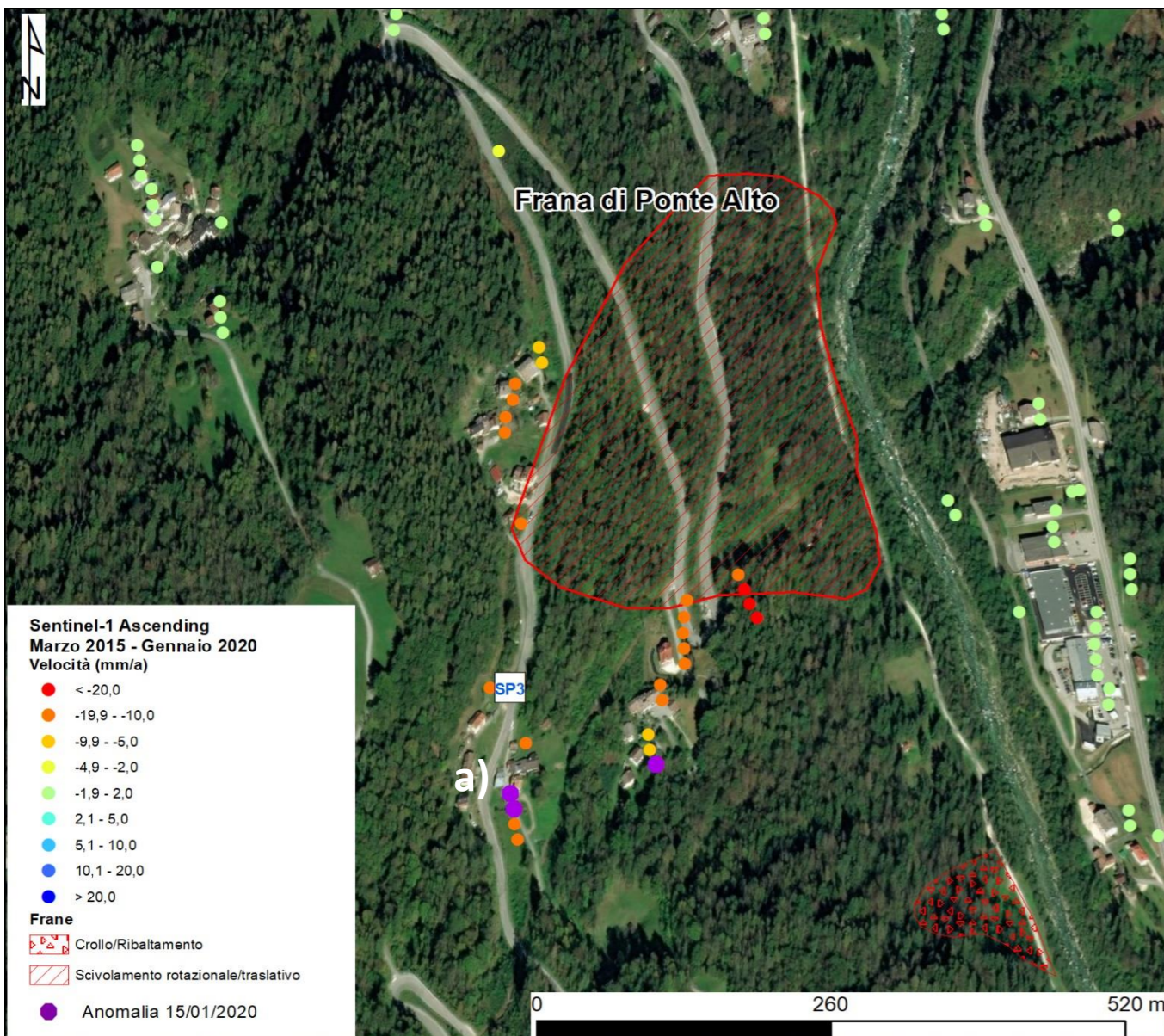
Anomalie in frana

Rivamonte Agordino – Dataset ascending



Anomalie in frana

Rivamonte Agordino – Dataset ascending



Conclusioni

- Il Centro per la Protezione Civile dell'Università di Firenze (CPC-UniFi) sta effettuando un monitoraggio satellitare in continuo delle deformazioni del terreno sul territorio regionale veneto.
- 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 anomale, 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.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

**CENTRO
PROTEZIONE
CIVILE**



REGIONE DEL VENETO

Grazie per l'attenzione

Pierluigi Confuorto
pierluigi.confuorto@unifi.it