



United Nations  
Educational, Scientific and  
Cultural Organization



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

• UNESCO Chair on the Prevention and  
• Sustainable Management of Geo-Hydrological Hazards,  
• University of Florence, Italy



# Nuove tecnologie di monitoraggio per un antico problema

Filippo Catani

Cattedra UNESCO in “Prevenzione e gestione sostenibile dei rischi geo-idrologici”  
Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Firenze

# Un antico problema Italico



## Dante, Inferno Canto XII

“Qual è quella ruina che nel fianco  
di qua da Trento l’Adice percosse,  
o per tremoto o per sostegno manco,

che da cima del monte, onde si mosse,  
al piano è sì la roccia discoscesa,  
ch’alcuna via darebbe a chi sù fosse ”

*Frana degli slavini di Marco (Rovereto) o di  
Calliano (Trento)*

# Un antico problema Italice



1. S. Johann
2. Des Beccanen Schloß
3. Peter Mosen Cathedra
4. S. Maren Kirch
5. Caschens garten
6. Wndermans hain
7. Abt. Bodeh Palast
8. Podesta Palast
9. Die Aldey
10. S. Gallen Haupt Kirch
11. S. Anthony in Senege
12. S. Abundia
13. Vizey-Juvenen Kirch auff Puffe
14. Vestemans Palast in Rompala
15. Sommerhaus in Suisano
16. Vestemans Castgasten

Eigentlich Vorbildung des schönen Fleckens Piuro, vnd wie derselbe nach seinem schrecklichen vndergang beschaffen. 1618.



Frana di Piuro, Sondrio (1618) – Polaris CNR  
Circa 6 Mm<sup>3</sup>, 1200 morti

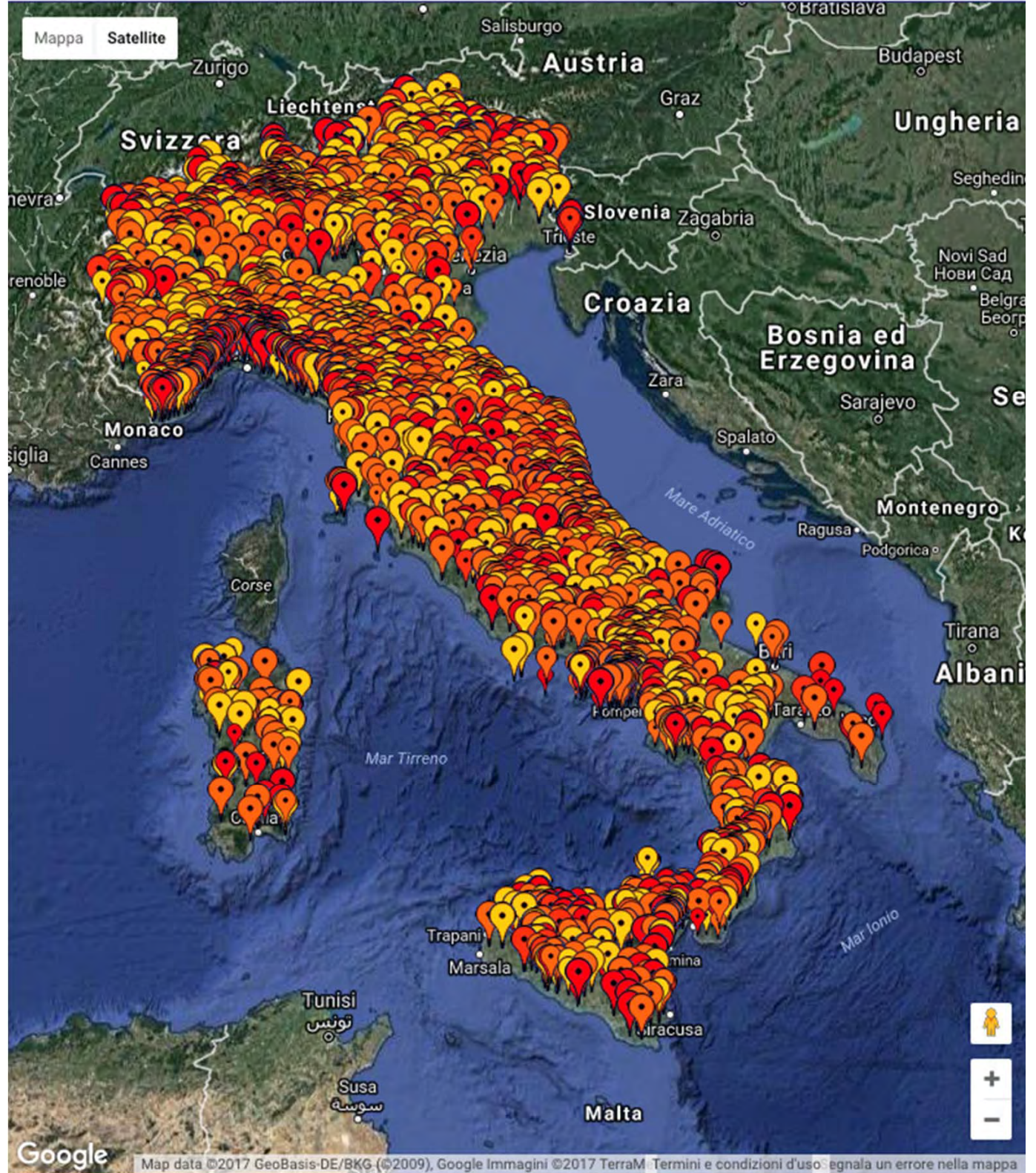
9200+  
frane 2011-  
2016

1500+ per anno

4+ al giorno

Legenda

	Score < 40	40 ≤ Score < 60	60 ≤ Score < 90	Score ≥ 90
news = 1				
news = 2				
3 ≤ news ≤ 20				
news > 20				



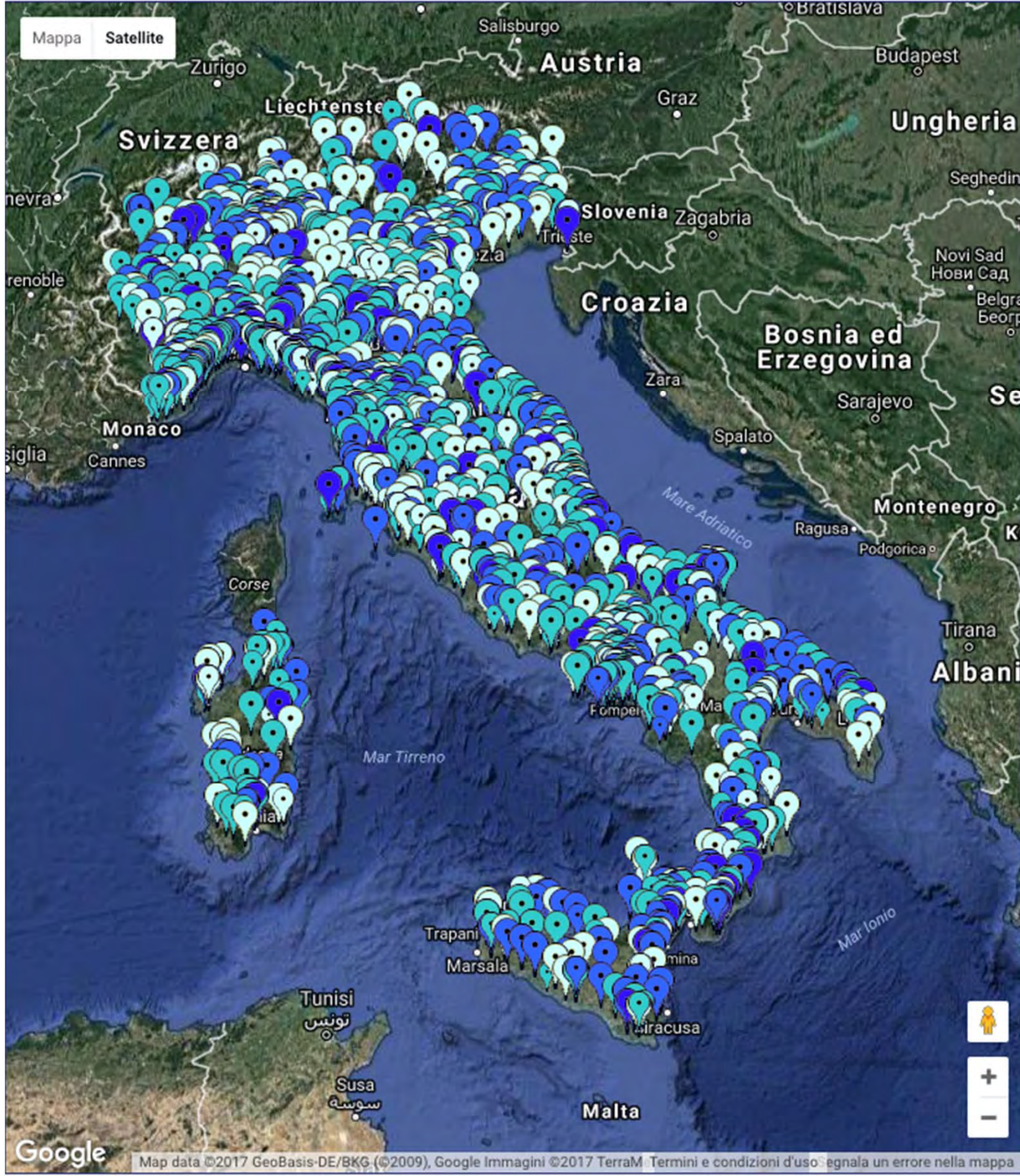
**7100+**  
alluvioni 2011-  
2016

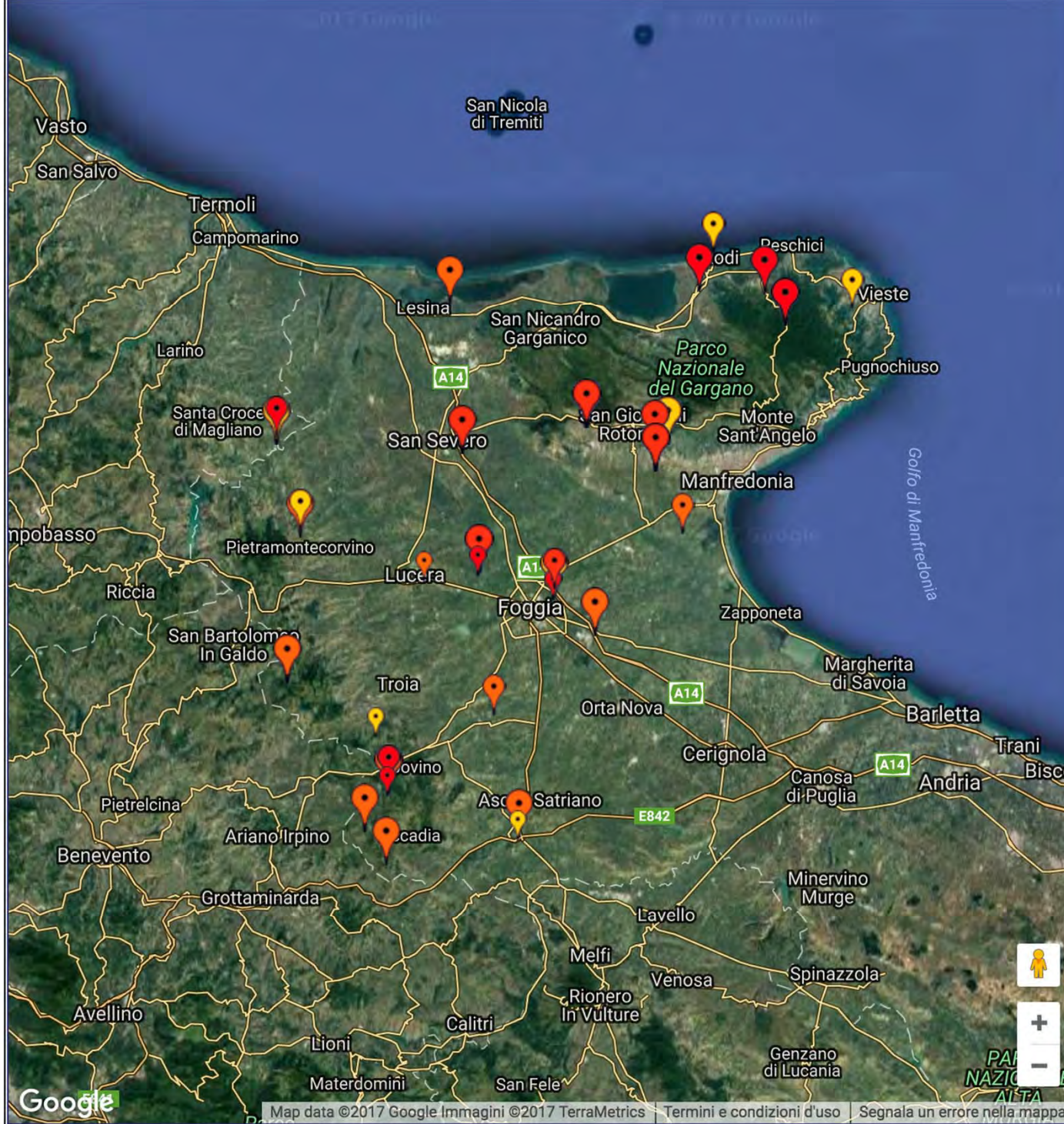
**1100+** per anno

**3+** per giorno

Legenda

	Score < 40	40 ≤ Score < 60	60 ≤ Score < 90	Score ≥ 90
news = 1				
news = 2				
3 ≤ news ≤ 20				
news > 20				





- Tutti i notiziari
- ANSA

73 news found

Mostra Lista Notizie

**Legenda**

	Score < 40	40 ≤ Score < 60	60 ≤ Score < 90	Score ≥ 90
news = 1				
news = 2				
3 ≤ news ≤ 20				
news > 20				

Mostra Filtri Notizie

**Filtri**

**Filtro spaziale:**  
 Regione= PUGLIA  
 Provincia= FOGGIA

**Filtro temporale:**  
 da Lun 05 Giu 2005  
 a Lun 05 Giu 2017

**Filtri su parametri:**  
 non visualizzare notizie con luogo indefinito, con luogo estero, riferiti a una regione, riferiti a una zona geografica, con luogo incerto, il cui fatto è incerto, il cui fatto è lontano dalla data di pubblicazione

Info Mappa				
Coordinate Cursore	42.193934	14.655762	Centro Mappa	41.593021 15.566965
Livello Zoom	9			

Cronaca

# Dissesto idrogeologico a Candela, il Comune interviene sulle frane

Il sindaco: «il territorio è oggetto di interventi importanti per la messa in sicurezza e prevenzione». 5 milioni di euro per i dissesti idrogeologici non sono chiacchiere



Agenzia giornalistica "Press For You"

09 GENNAIO 2012 19:51

2

 Condivisioni

**Nota** - Questo comunicato è stato pubblicato integralmente come contributo esterno.

Questo contenuto non è pertanto un articolo prodotto dalla redazione di FoggiaToday

Il **dissesto idrogeologico** è da sempre tra le prime priorità del Comune di **Candela**. Una realtà che si può toccare con mano e che rende poco credibili le frenetiche attività di raccolte firme, al fine di evitare chissà cosa. Sull'argomento parlano i numeri e i progetti, che ad oggi sono stati cantierizzati e finanziati per la messa in sicurezza del territorio, da sempre martirizzato da frane e dissesti per motivi orografici.

**GENNAIO 2012**

» Corriere Del Mezzogiorno > Napoli > Cronaca > *Roseto Valfortore, Frana Una Strada Il Paese È Isolato Dalla Campania*



IL CASO

## Roseto Valfortore, frana una strada Il paese è isolato dalla Campania

*Appello alla Regione Puglia del sindaco Apicella  
«Servono risorse ingenti di cui noi non disponiamo»*

FOGGIA - La strada comunale che da Roseto Valfortore conduce a Foiano, in provincia di Benevento, è sprofondata di quattro metri. L'arteria è stata praticamente «divorata» da una frana che continua pericolosamente ad avanzare. Il sindaco di Roseto, Nicola Apicella, ha emesso un'ordinanza per l'immediata chiusura al traffico dell'unica via di comunicazione non solo con Foiano ma anche con alcune masserie che insistono sul territorio comunale rosetano.

**L'APPELLO** - «La situazione di questa strada comunale è molto seria – ha dichiarato il primo cittadino –.La frana è imponente, estesa, e continua a far sprofondare progressivamente quella che per noi è un'importante via di comunicazione sia con la provincia di Benevento sia con le masserie che insistono sul nostro territorio comunale. Per



La strada franata

VETRINA PROMOZIONI

**FEBBRAIO 2012**

PUBBLICITÀ



 Consiglia 98   Tweet  7  LinkedIn 0

# Maltempo: pioggia e frane sul Gargano, cresce l'allerta. Ritrovata l'auto del giovane disperso



*Sgomberate 15 famiglie a San Giovanni Rotondo. Continuano le ricerche del 24enne che era andato in campagna a controllare i danni nella masseria di famiglia. Disagi sulle strade*

di MARIA GRAZIA FRISALDI e PIERO RUSSO

**SETTEMBRE 2014**



Lo leggo dopo 05 settembre 2014

Articoli Correlati



Maltempo, il fango cancella le spiagge del Gargano

Ancora piogge, nubifragi e temporali sul Gargano, strade percorribili "a

 TrovaRistorante a Bari

Scegli una città

Bari

Scegli un tipo di locale

# Nubifragi in Puglia: frane e allagamenti specie in provincia di Foggia – video

20 ottobre 2015 - 08:20

**Maltempo e nubifragi ieri, 19 ottobre, in Puglia, specie in provincia di Foggia, dove si sono verificate frane e allagamenti.**



Maltempo e nubifragi ieri, 19 ottobre, in Puglia, specie in provincia di Foggia, dove si sono verificate frane e allagamenti. Fonte: [foggiatoday.it](http://foggiatoday.it)

**Nubifragi in Puglia: frane e allagamenti specie in provincia di Foggia – video – 20 ottobre 2015** – Durante la giornata di ieri, lunedì 19 ottobre, una nuova ondata di maltempo, l'ennesima di questa prima parte d'autunno, ha iniziato a portare rovesci e temporali

intensi sulle regioni meridionali, con le precipitazioni che continueranno ancora per tutta la giornata odierna [->leggi qui](#). In particolare nel pomeriggio di ieri si sono abbattuti degli autentici **nubifragi** sulla zona appenninica tra Molise, Campania e **Puglia**, con più di **80 mm caduti in sole 3 ore**: i danni e i disagi conseguenti a questi **nubifragi** sono stati diversi, con **frane** e **allagamenti** diffusi, soprattutto in

## ULTIMA ORA

- 05/06 19:40 Meteo domani 6 Giugno 2017:...
- 05/06 17:12 Previsioni METEO: caldo con...
- 05/06 17:01 METEO ESTATE 2017: stagione...
- 05/06 16:02 Meteo prossimi giorni: anco...
- 05/06 15:07 LIVE: maltempo intenso tra ...
- 05/06 11:05 METEO LUGLIO 2017 – m...
- 05/06 10:16 MALTEMPO / temporali localm...
- 05/06 08:06 Analisi GFS 00Z: tempo inst...
- 05/06 07:38 METEO live: maltempo al Nor...
- 05/06 07:18 METEO ITALIA – Maltem...

Seguici su:



# OTTOBRE 2015



**SETTEMBRE 2016**

(ansa)

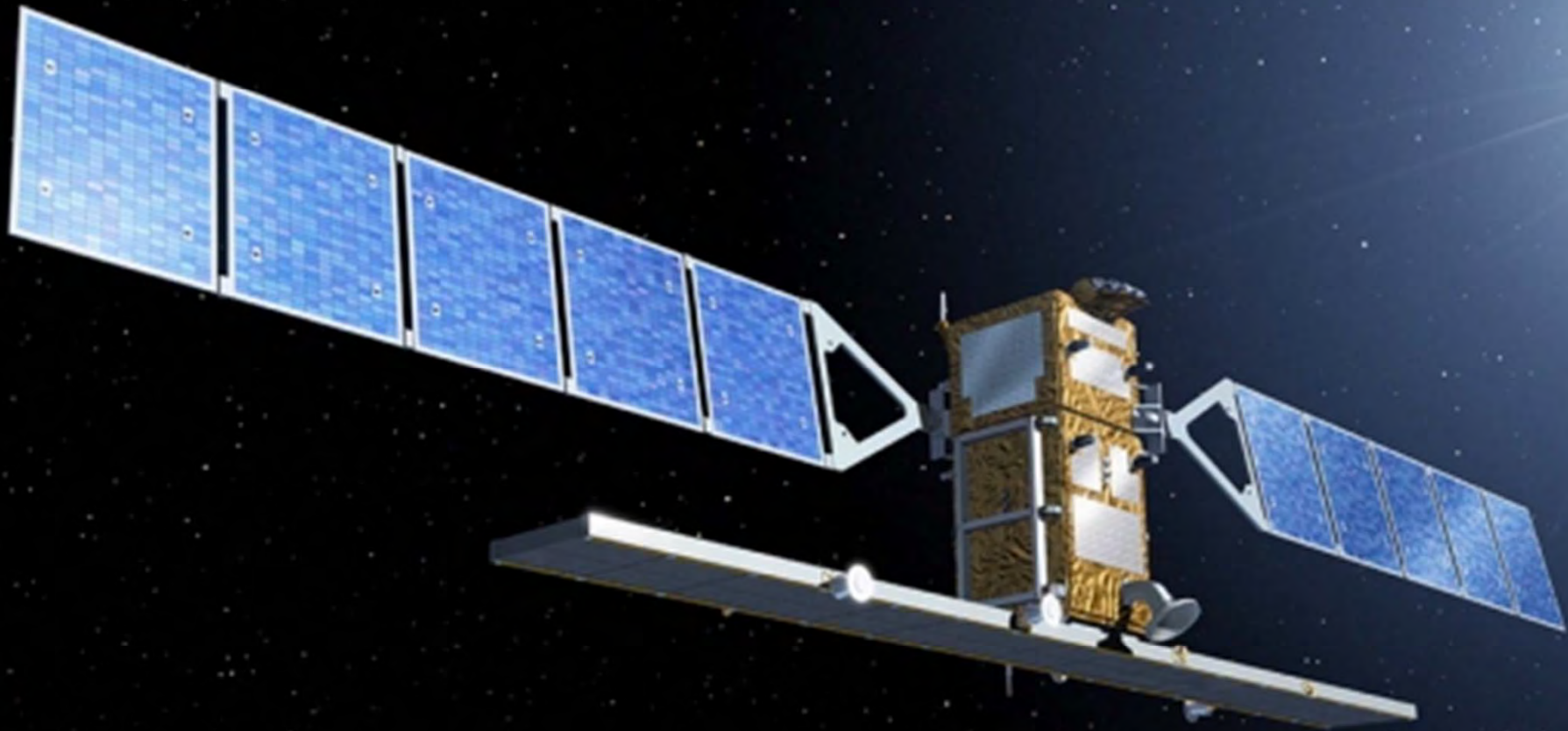
La provincia di Foggia e il nord Barese sono le aree più colpite dal maltempo che ha investito la puglia nelle ultime ore. E' esondato il fiume Candelaro tra San Marco Lamis e San Severo. Proprio a San Severo un uomo di 65 anni è morto annegato, travolto con la sua auto da acqua e fango fuoriusciti dal corso d'acqua Radicosa.

Necessità di monitoraggio a  
più scale e a più livelli

Da mm/anno a m/s

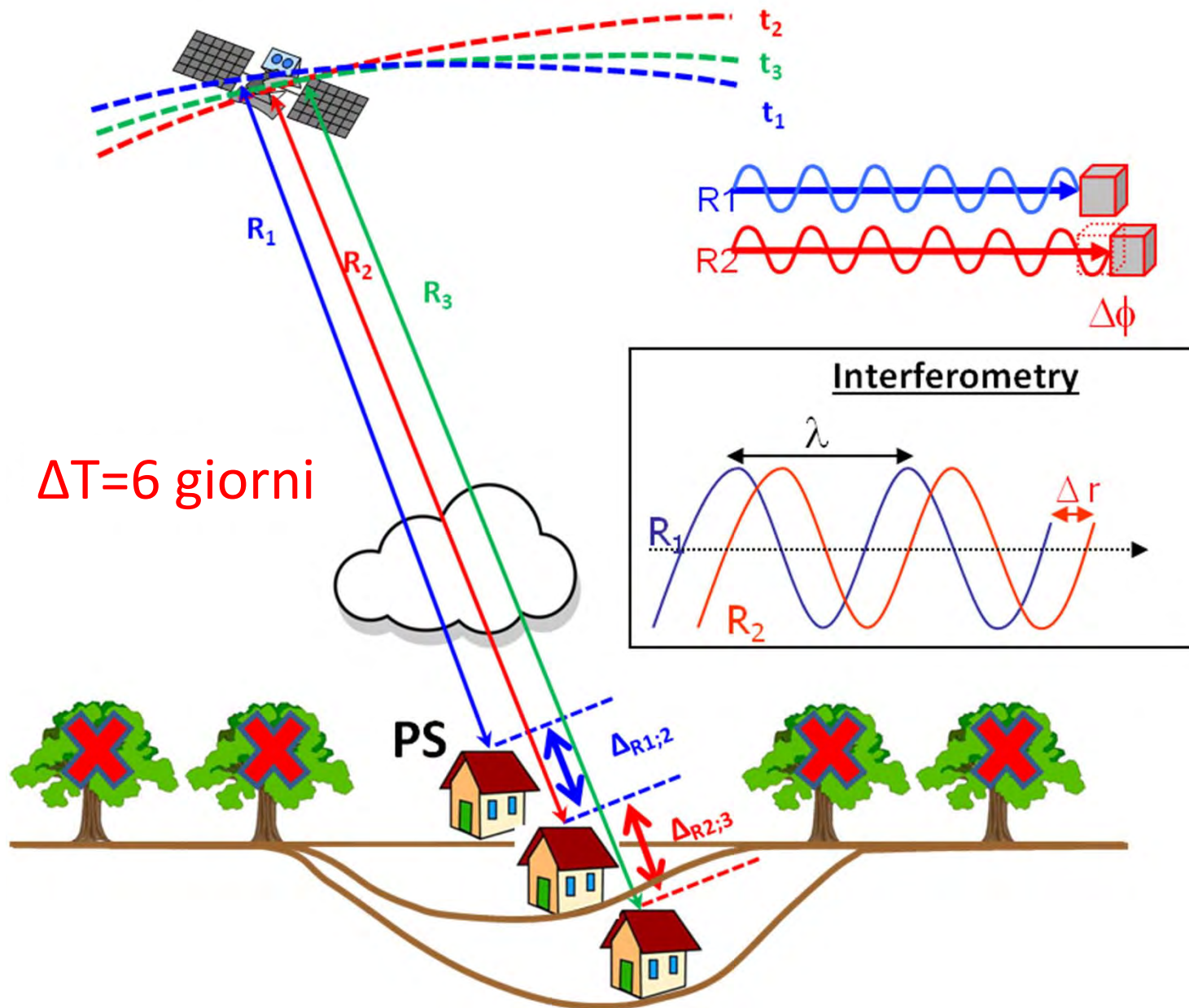
Da m<sup>2</sup> a km<sup>2</sup>

# Sentinel 1A e 1B



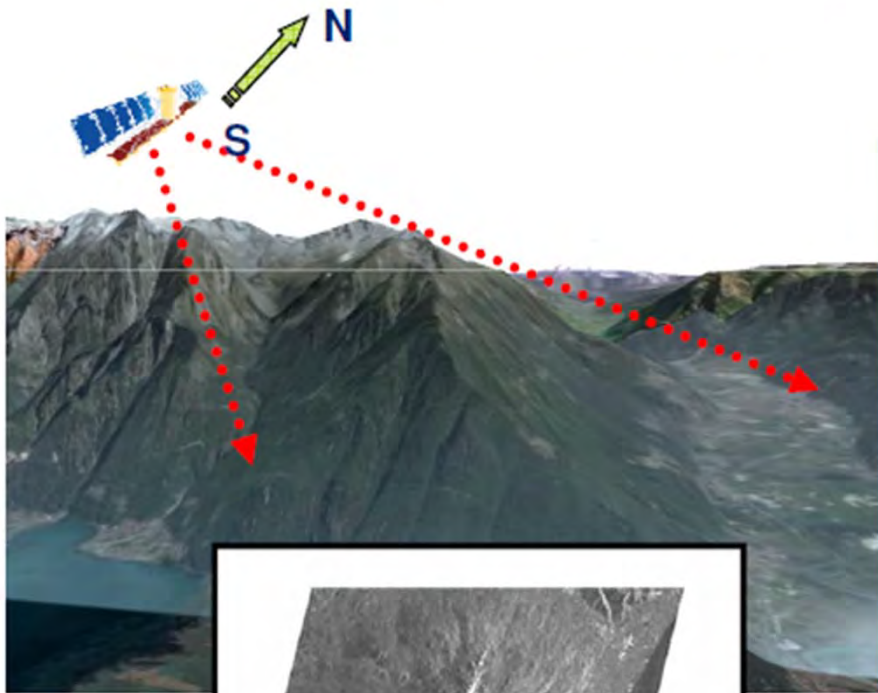
Satelliti gemelli operanti in banda C su di un'orbita eliosincrona (693 km di altezza) con tempo di rivisitazione di 6 giorni.

# Persistent Scatterers

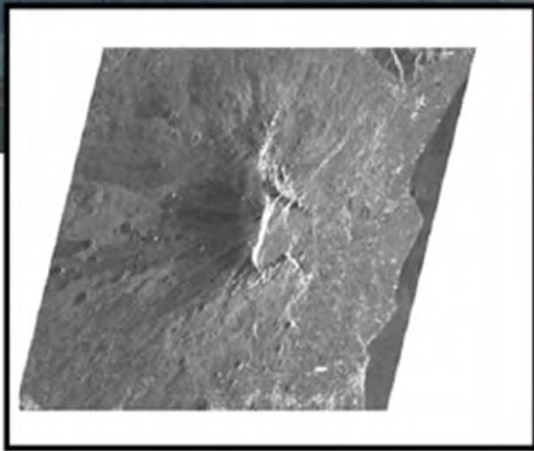


# Geometria di acquisizione

Orbita ascendente

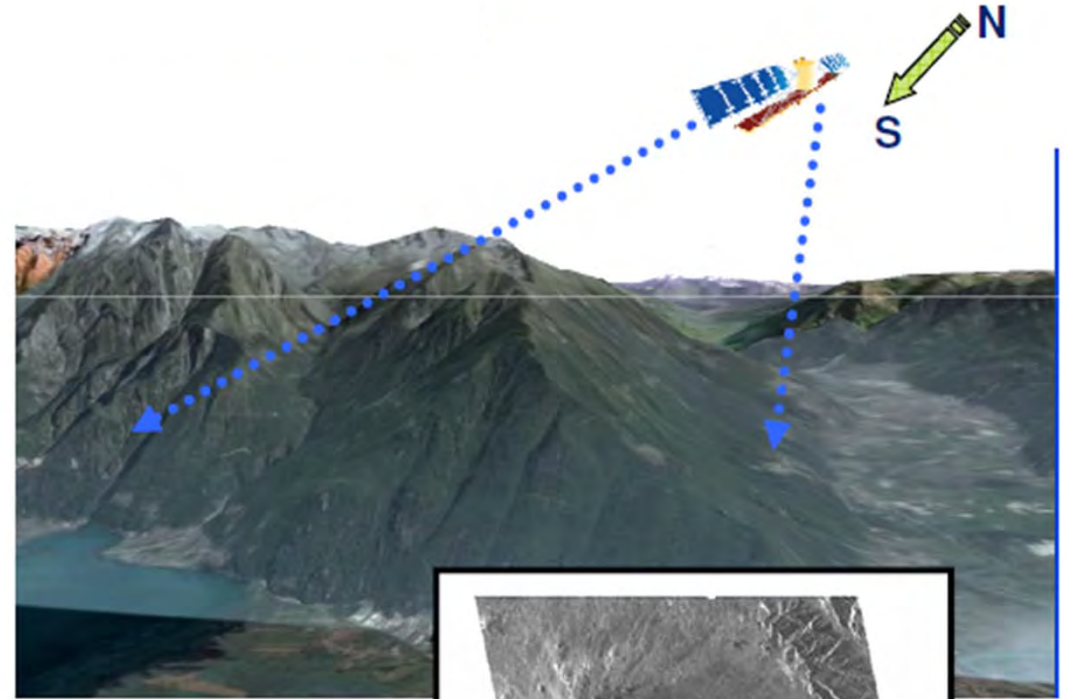


Ovest

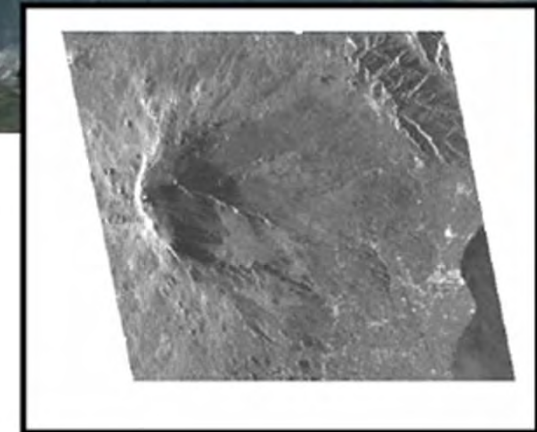


Est

Orbita discendente



Ovest

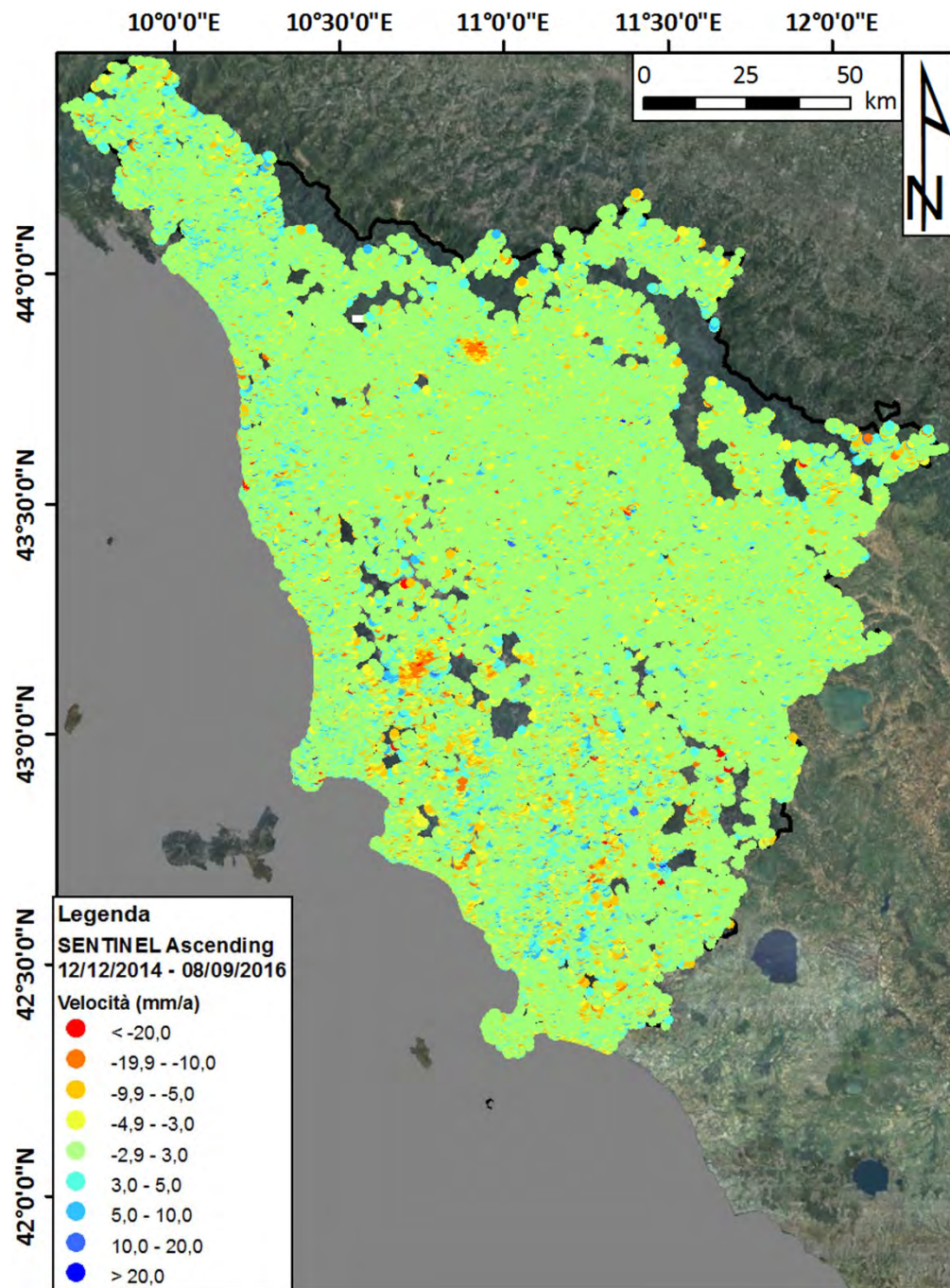


Est

# Elaborazione dell'archivio storico Sentinel



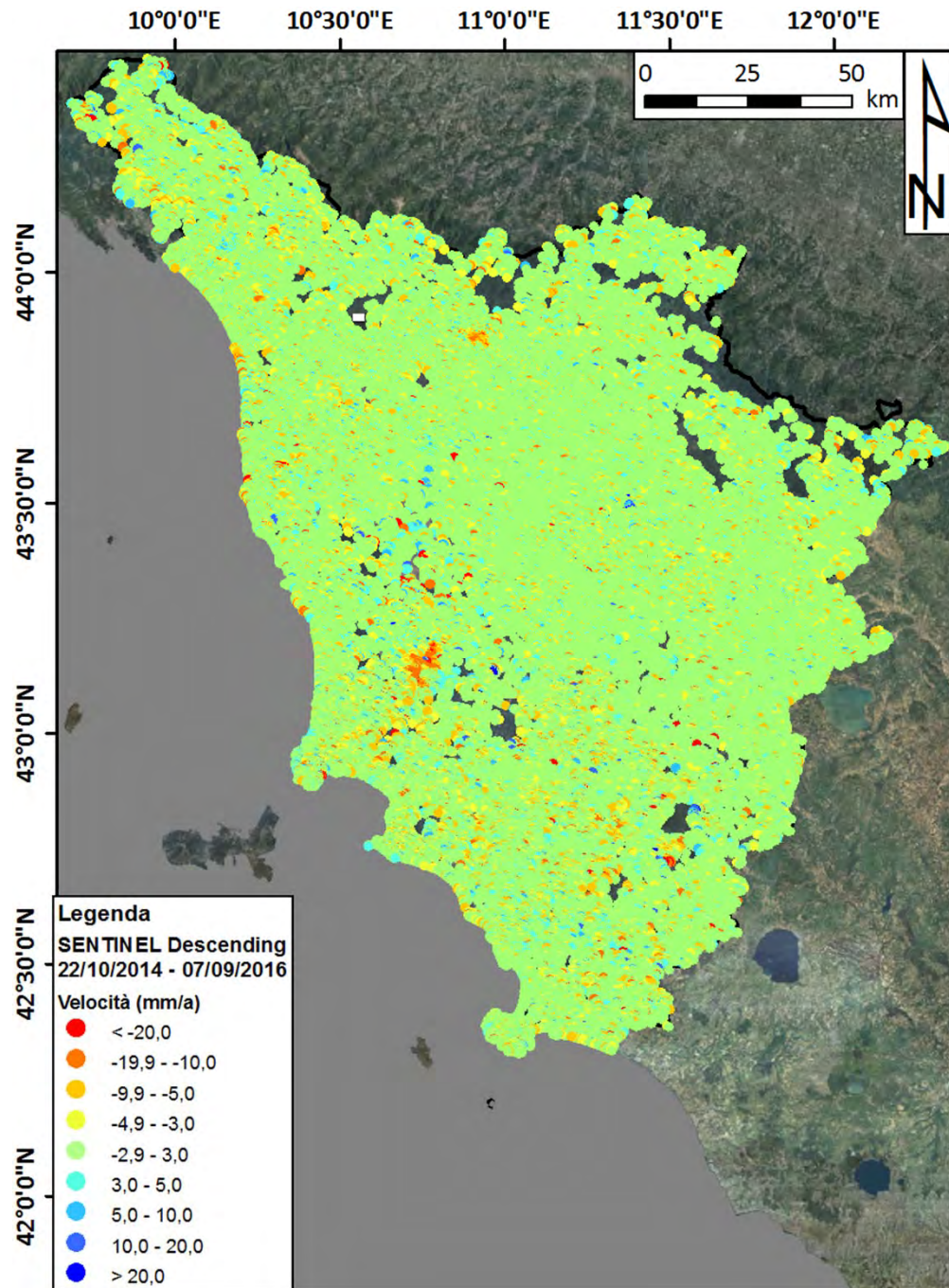
# Storico: Sentinel-1 ascendente



Dataset	Geometria	Numero immagini	Periodo
Toscana EST	Ascendente	66	12/12/2014-08/09/2016
Toscana OVEST	Ascendente	56	23/03/2015-01/09/2016

Dataset	Numero punti di Misura (PM)	Area (km <sup>2</sup> )	Densità (PM/km <sup>2</sup> )
Toscana EST	632.091	19.816	31,9
Toscana OVEST	259.516	2.901	89,5

# Storico: Sentinel-1 discendente



Dataset	Geometria	Numero immagini	Periodo
Toscana EST	Discendente	64	22/10/2014-07/09/2016
Toscana OVEST	Discendente	60	22/03/2015-12/09/2016

Dataset	Numero punti di Misura (PM)	Area (km <sup>2</sup> )	Densità (PM/km <sup>2</sup> )
Toscana EST	471.807	7.342	64,3
Toscana OVEST	470.531	15.376	30,6

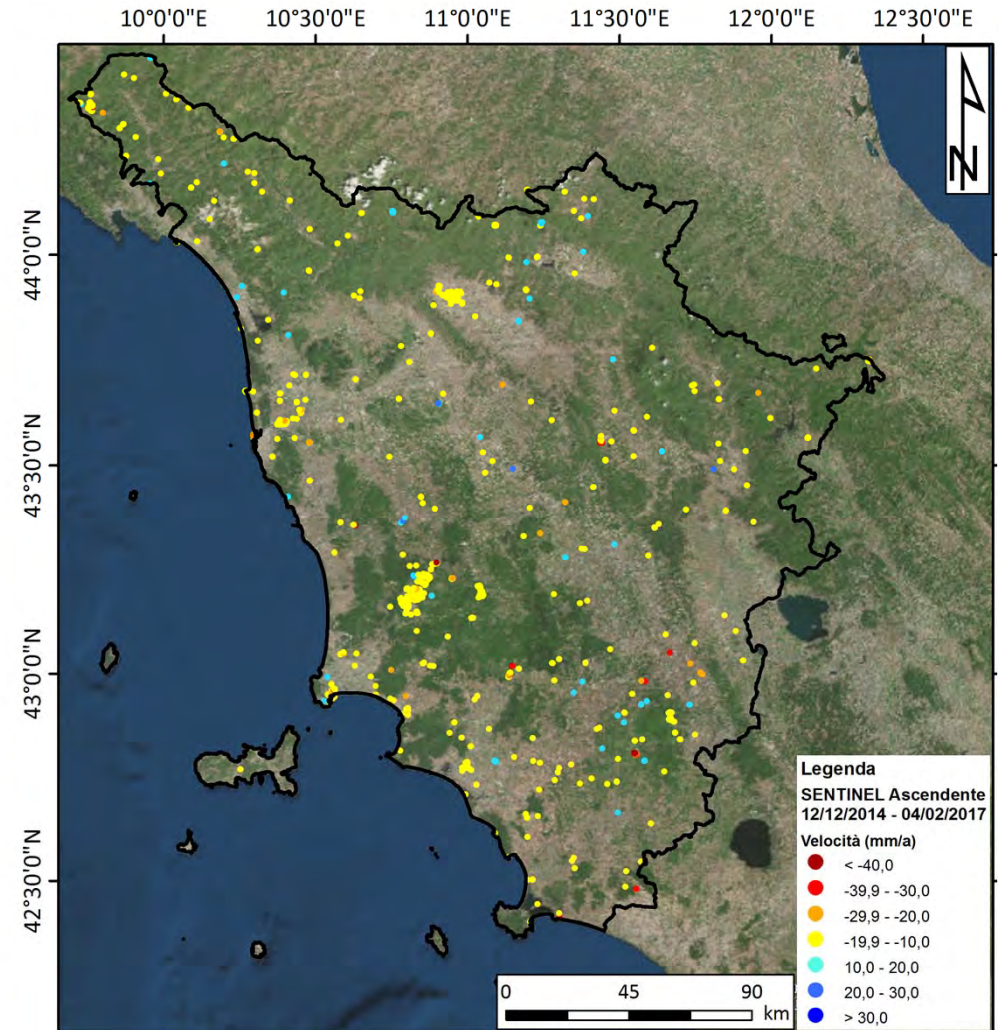
# PS Mapping vs PS Monitoring

	PS Mapping	PS Monitoring
Tipologia	prodotto	servizio
Tempo	differito	reale
Aggiornamento	1 anno	6 / 12 giorni
Scopo	Aggiornamento mappe dei dissesti	Presidio territoriale

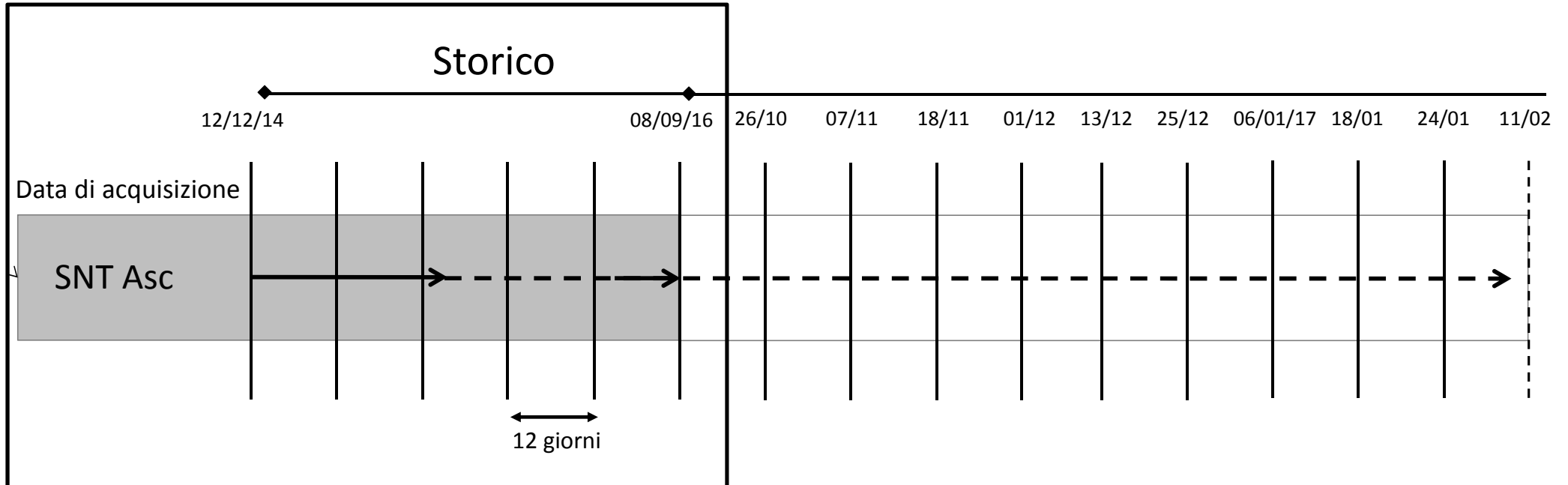
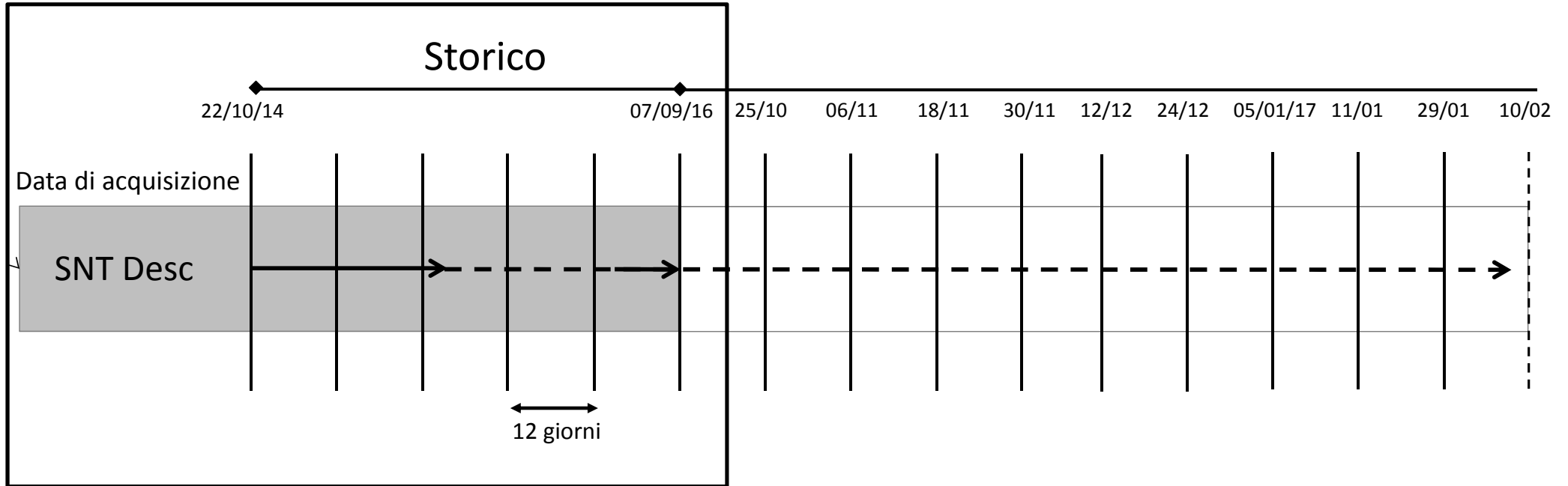
# PS Mapping

# PS Mapping

- **Tempo differito** ai sensi della Direttiva 27/02/2004 *Indirizzi operativi per la gestione del sistema di allertamento nazionale per il rischio idrogeologico e idraulico*
- Strumento di pianificazione, programmazione e realizzazione di interventi, volte a garantire condizioni di salvaguardia della vita umana e dei beni, nonché di tutela e uso sostenibile del territorio
- Mappatura delle aree in deformazione con VLOS significativa i.e., **> + 10 mm/anno** oppure **< - 10 mm/anno**)

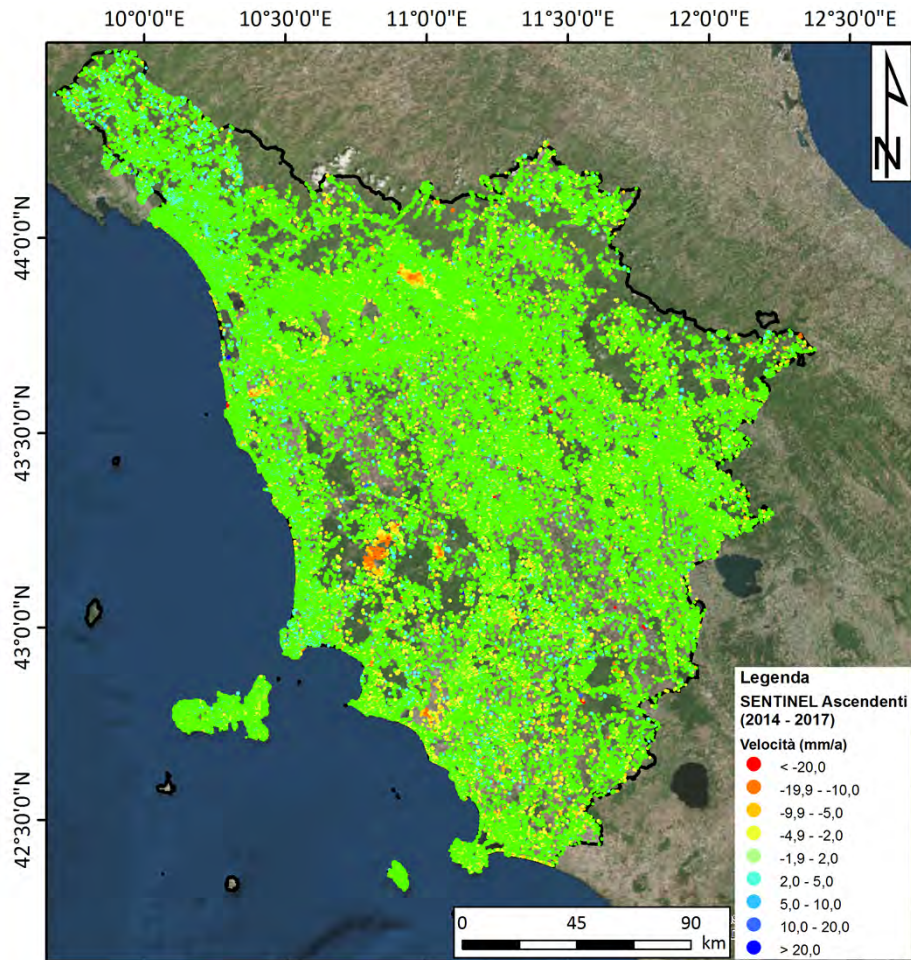


# Copertura temporale PS mapping

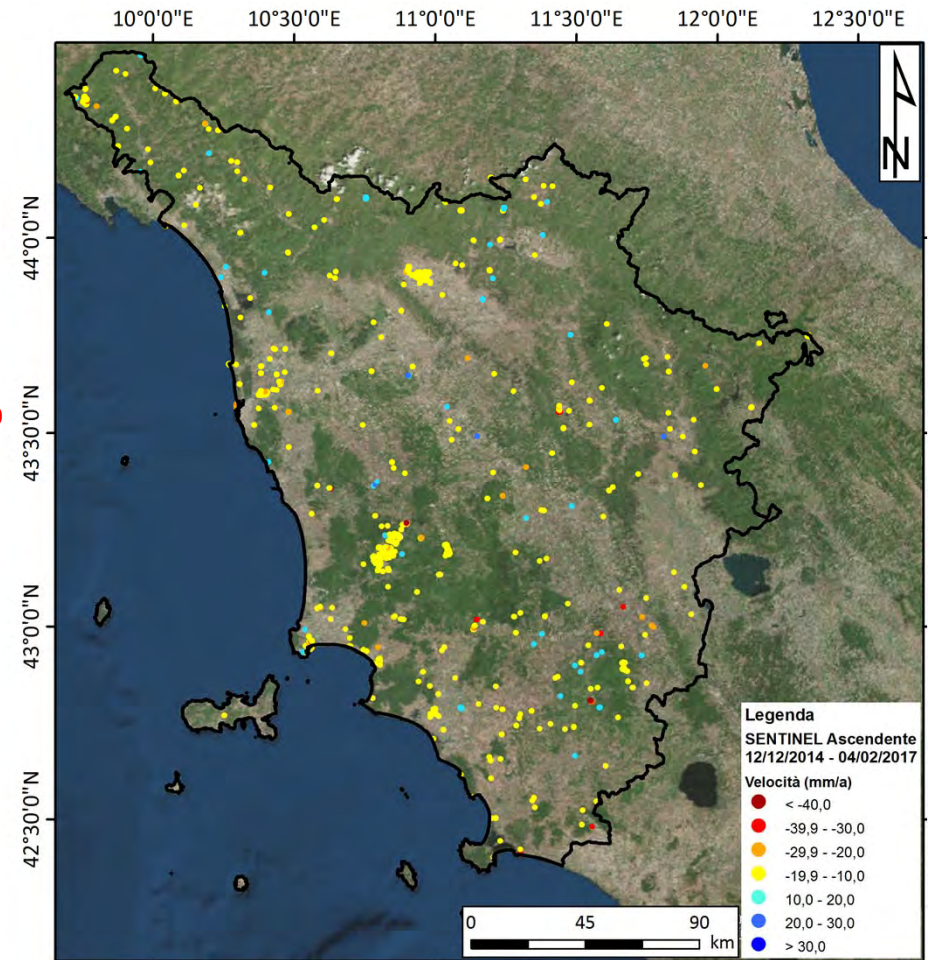


# PS Mapping

## Geometria ascendente



Soglia  
10 mm/anno

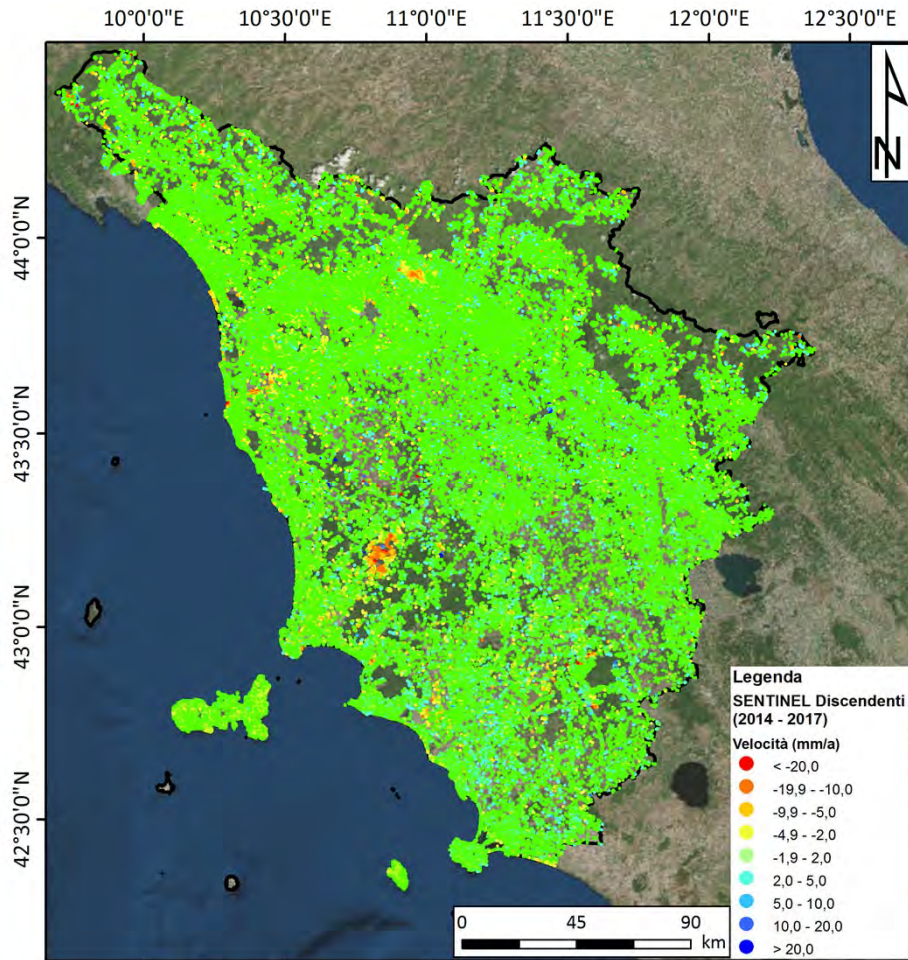


Punti di misura: **863.763**

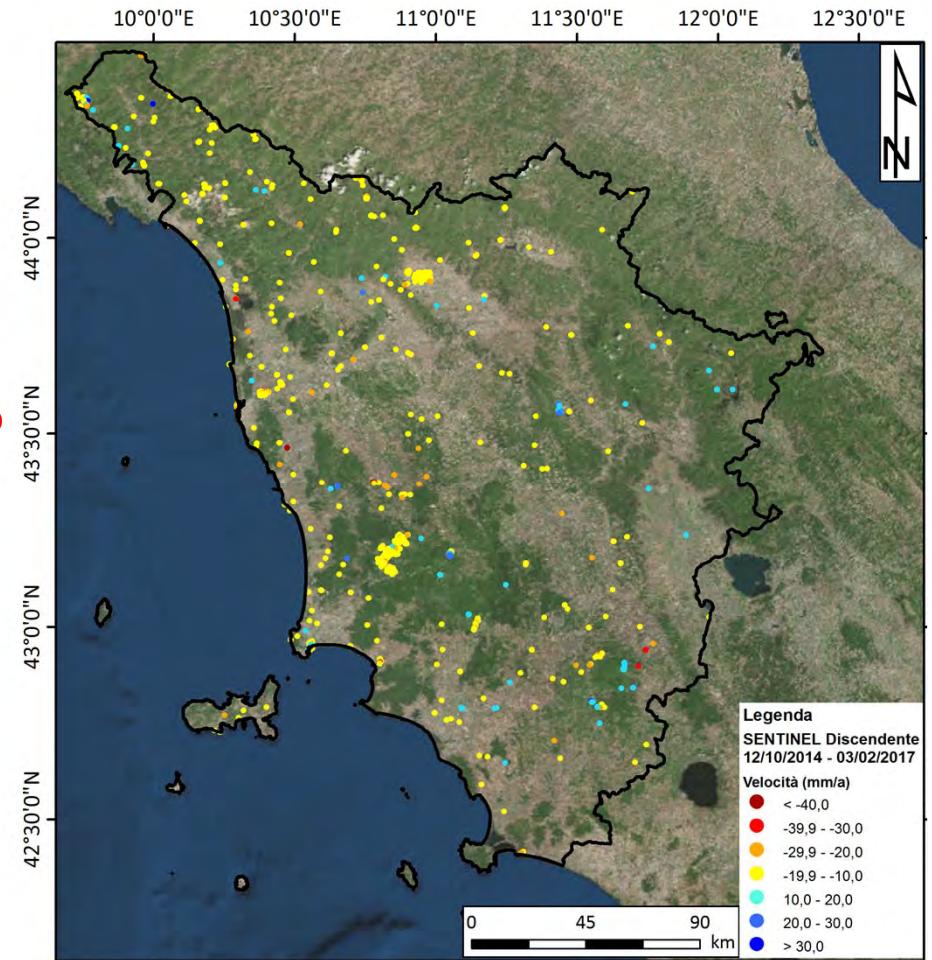
Punti di misura: **3053**

# PS Mapping

## Geometria discendente



Soglia  
10 mm/anno

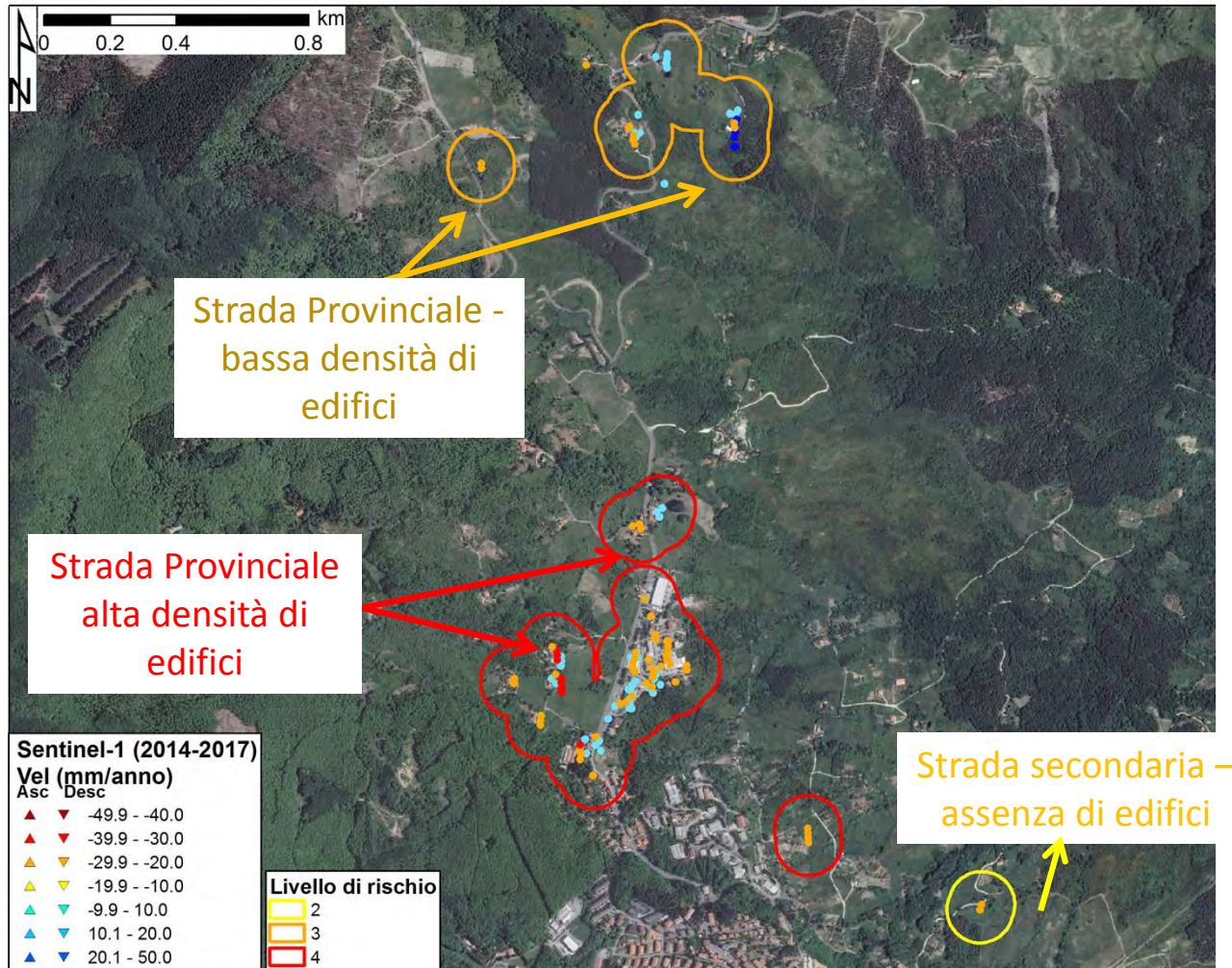


Punti di misura: 903.555

Punti di misura: 2987



# PS Risk mapping



## Metodologia per clusters

- Buffer circolare (100 m) intorno ai punti significativi
- Fusione dei buffer sovrapposti
- Classificazione sulla base degli elementi a rischio contenuti

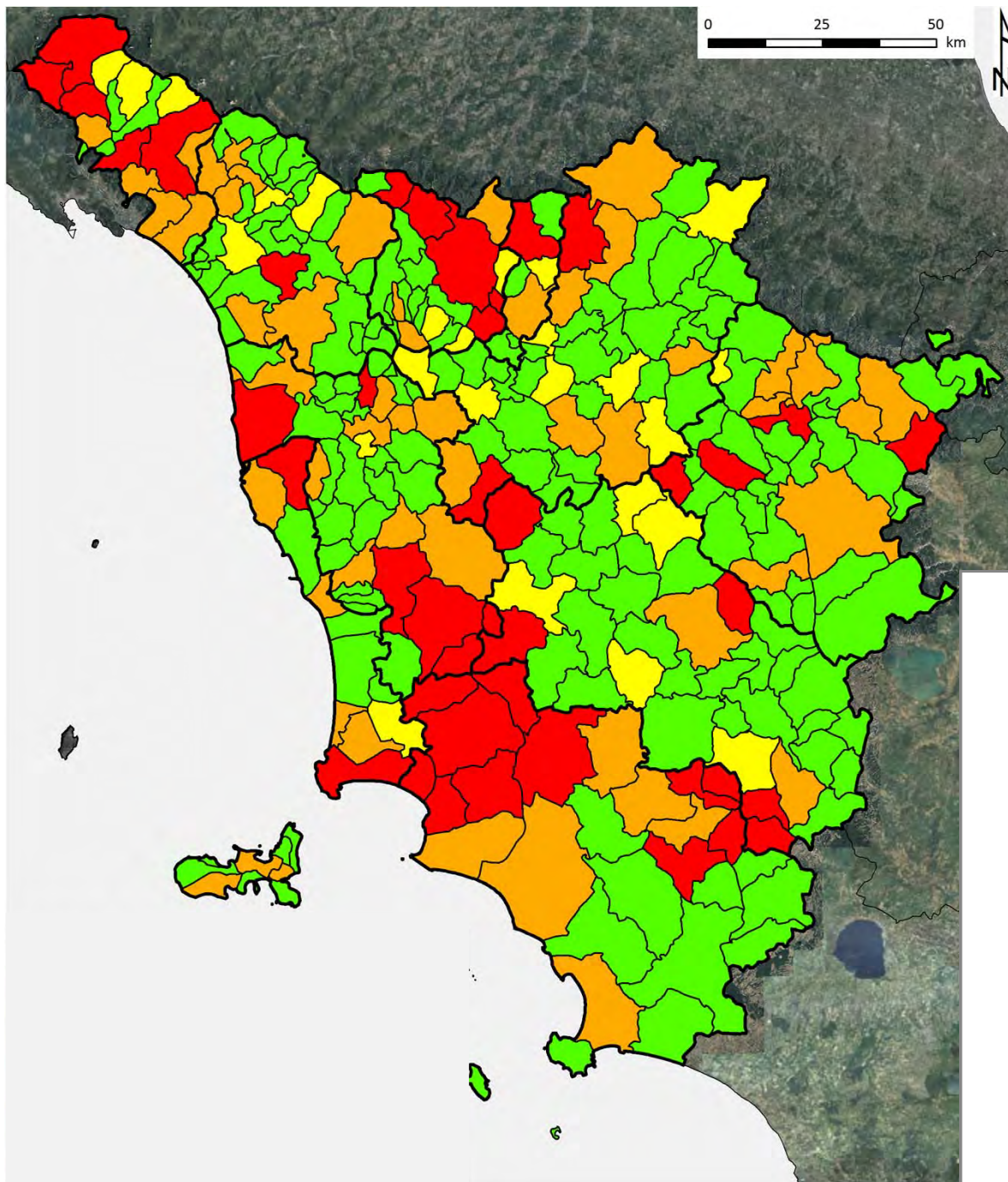
1 Nessun cluster significativo di deformazione

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

# Classificazione del rischio



Nessun cluster significativo di deformazione



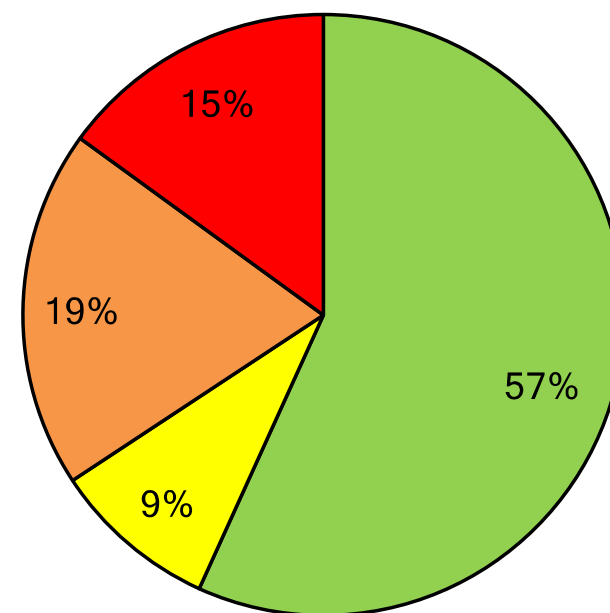
Almeno un cluster di deformazione con presenza di elementi a rischio isolati



Almeno un cluster di deformazione con presenza di elementi a rischio distribuiti



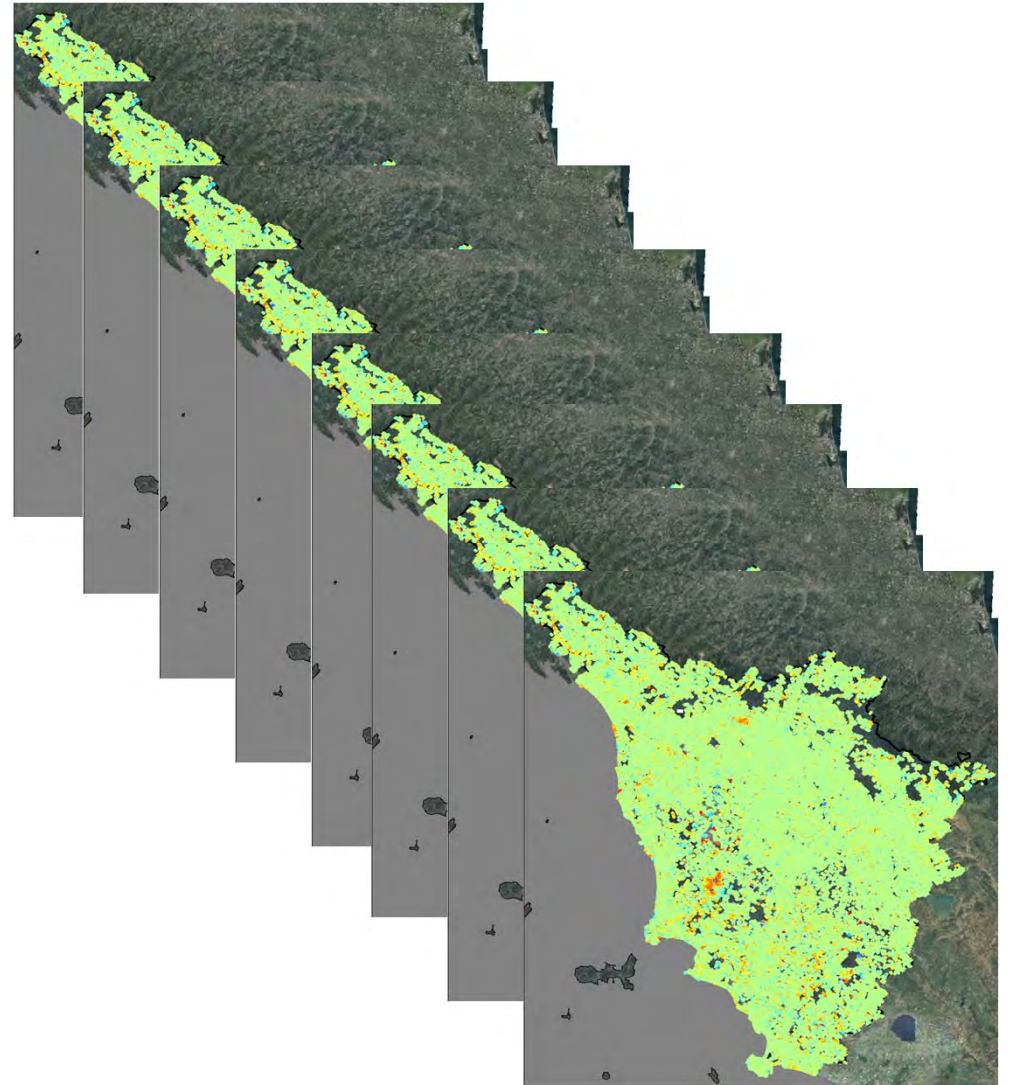
Almeno un cluster di deformazione con presenza di numerosi elementi a rischio



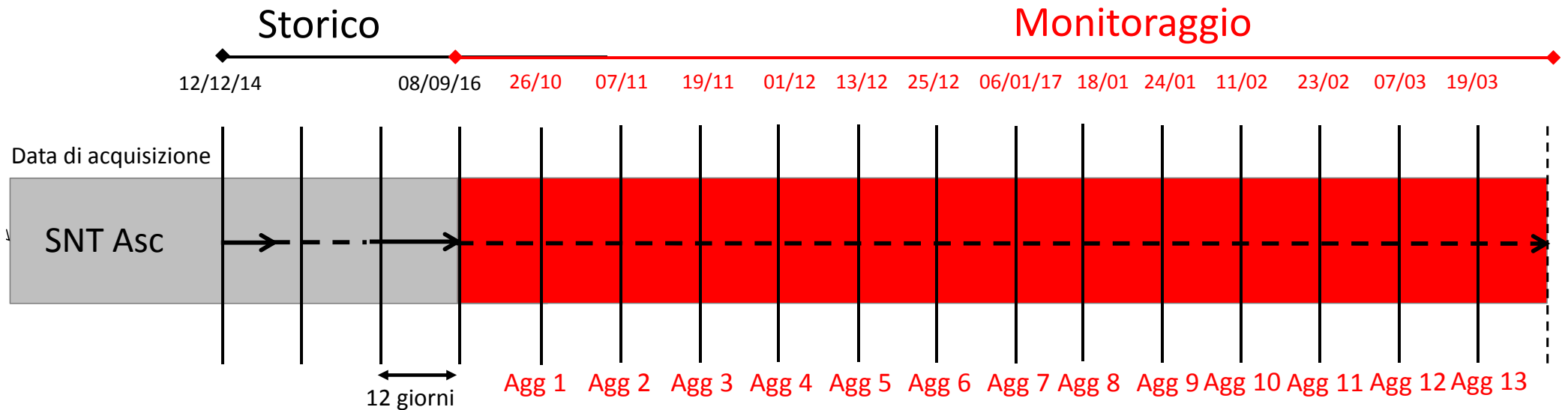
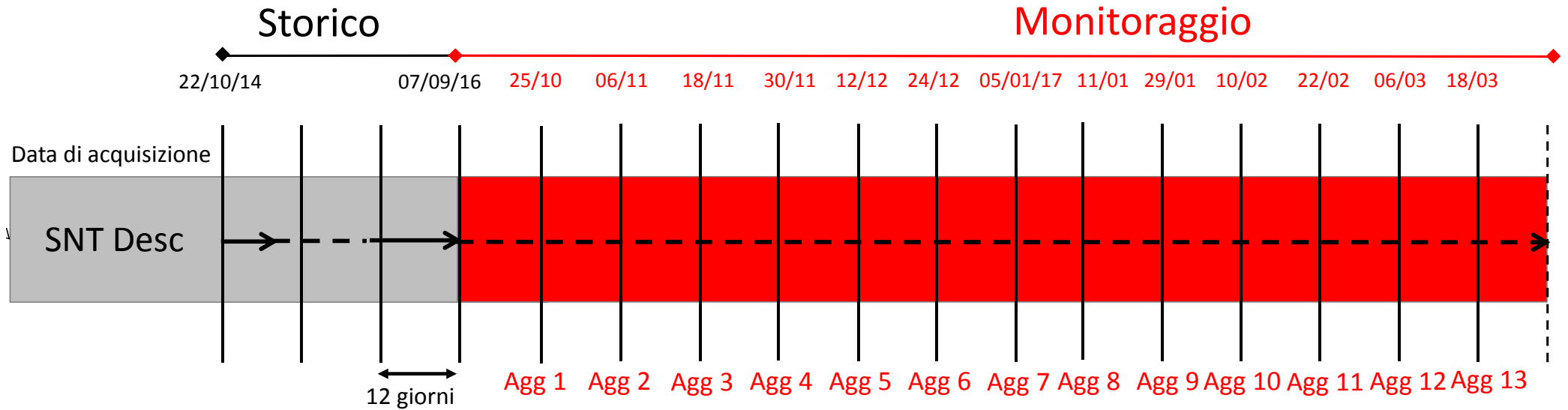
# PS Monitoring

# PS Monitoring

- **Tempo reale** ai sensi della Direttiva 27/02/2004 *Indirizzi operativi per la gestione del sistema di allertamento nazionale per il rischio idrogeologico e idraulico*
- Osservazione diretta, quantitativa e continua delle deformazioni del terreno
- Frequenza di aggiornamento dei dati inferiore al mese (attualmente ogni **12 giorni**) su tutto il territorio regionale
- Dati PSI SENTINEL-1 elaborati per mettere in evidenza eventuali cambi di *trend*, variazioni repentine, accelerazioni (**anomalie**) nelle serie storiche di deformazione



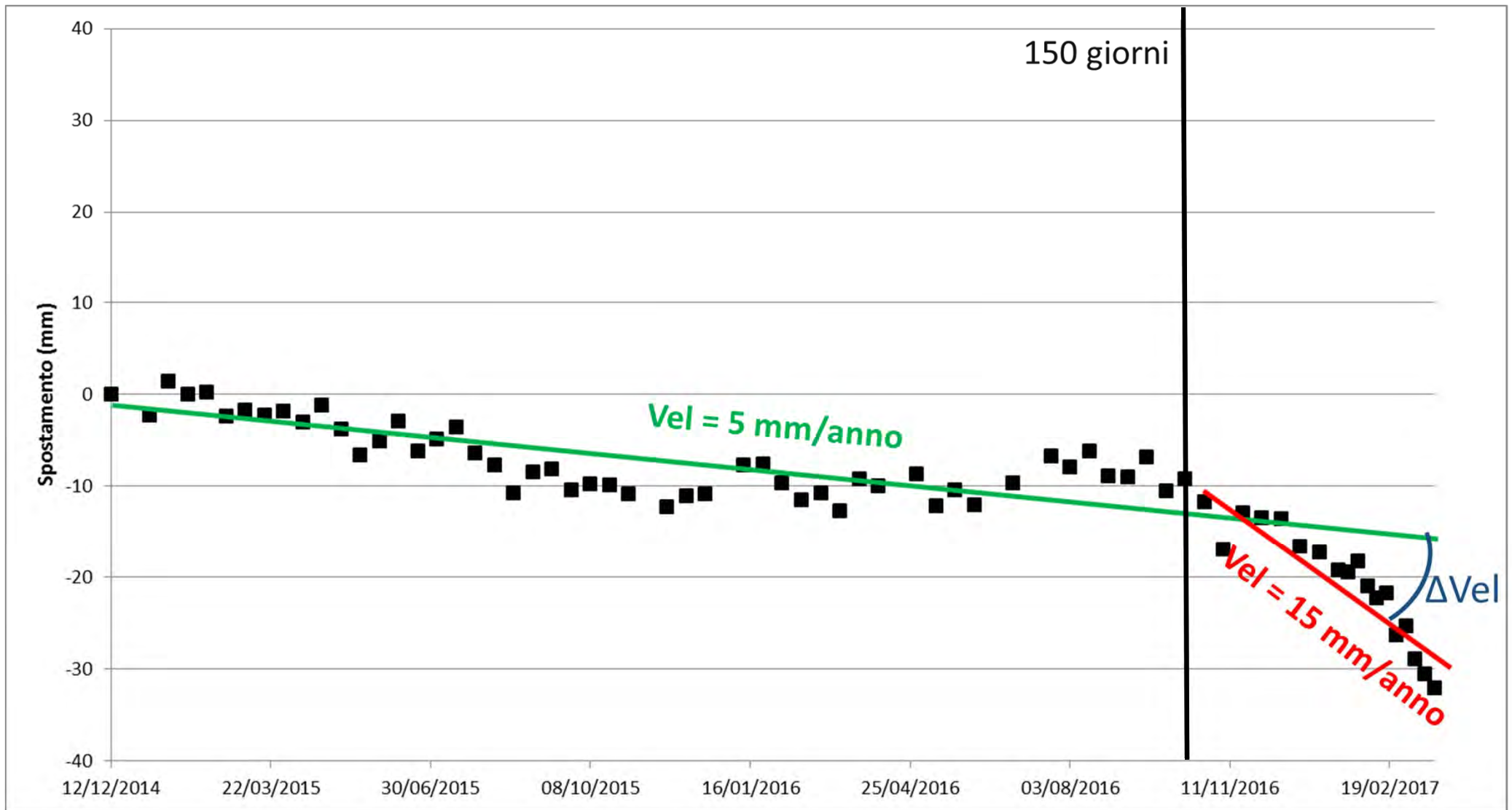
# Piano di monitoraggio PS monitoring



# Individuazione di anomalie

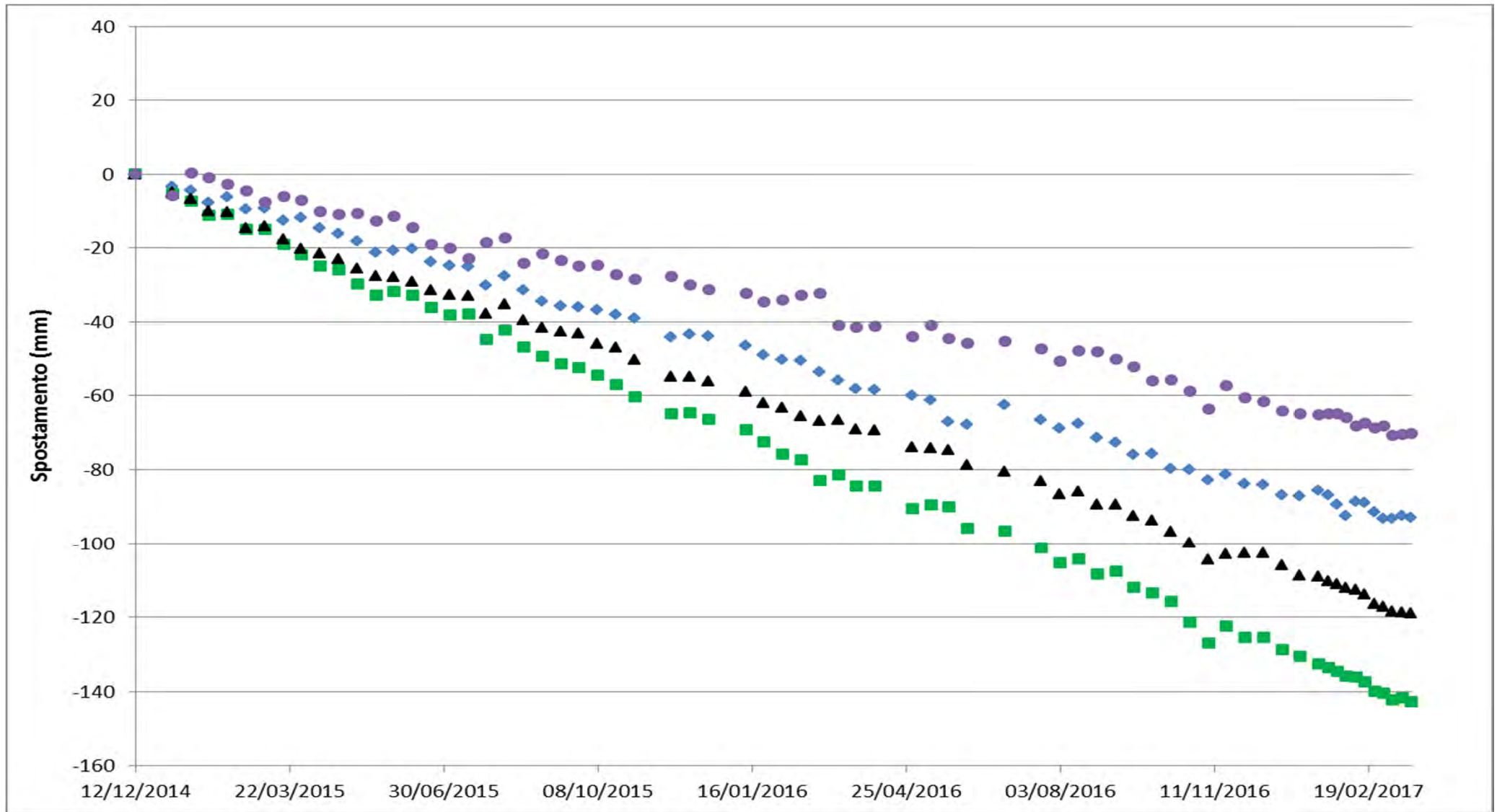
- Punto di misura che mostra **accelerazioni e/o trend anomali** e/o variazioni nella serie temporale di deformazione
- Analisi delle serie temporali di spostamento di tutti i punti di misura, sia in orbita ascendente che discendente, per individuare variazioni di velocità negli ultimi **150 giorni** della serie
- Se la variazione di velocità (TS-Change,  **$\Delta Vel$** ) è maggiore di **10 mm/anno**, il punto di misura viene segnalato come anomalo

# Esempio di anomalia



Variazione ( $\Delta Vel$ ) > 10 mm/anno all'interno degli ultimi 150 giorni

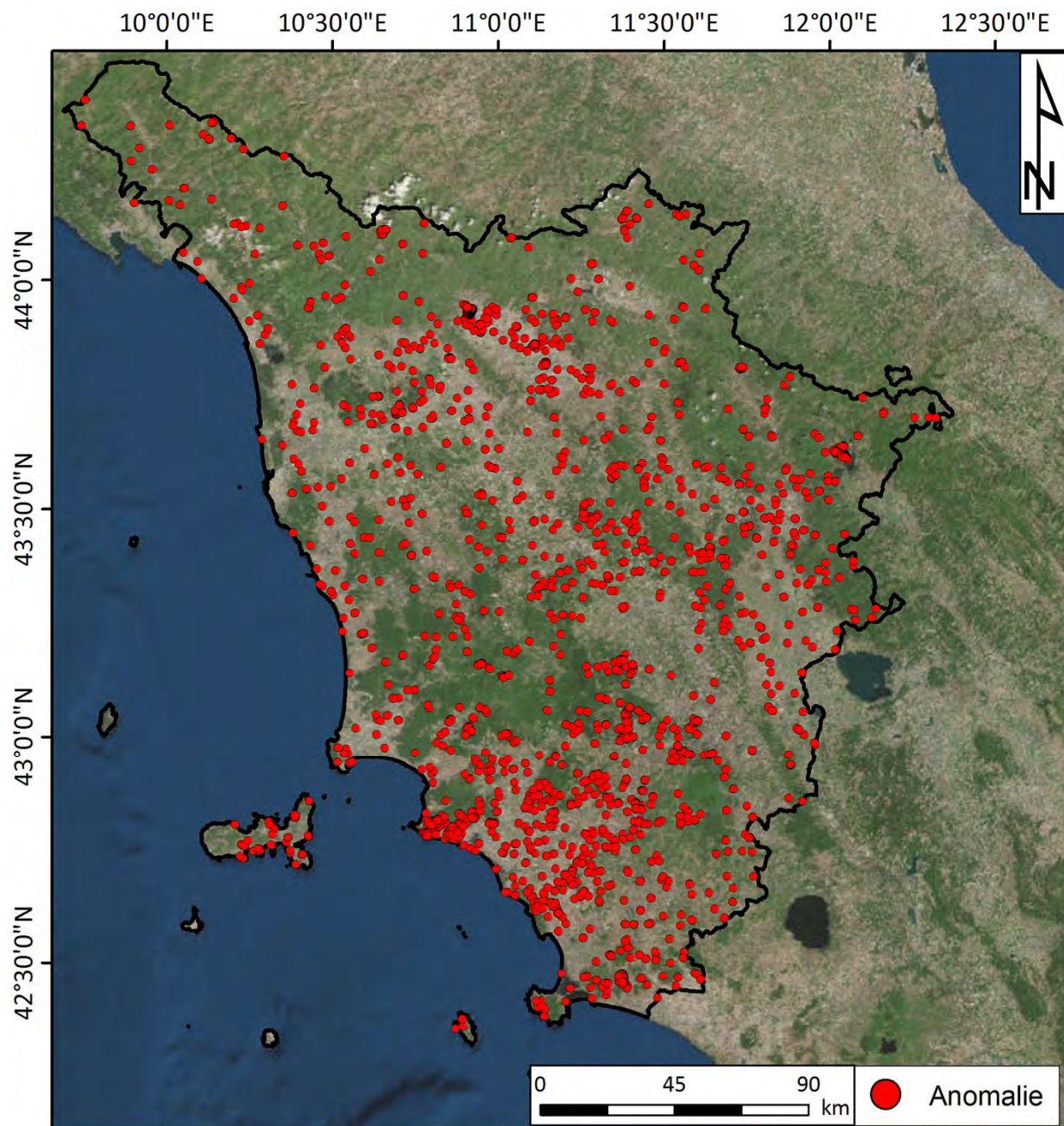
# Trend lineari - nessuna anomalia



Velocità > 30 mm/a, nessun cambio di trend

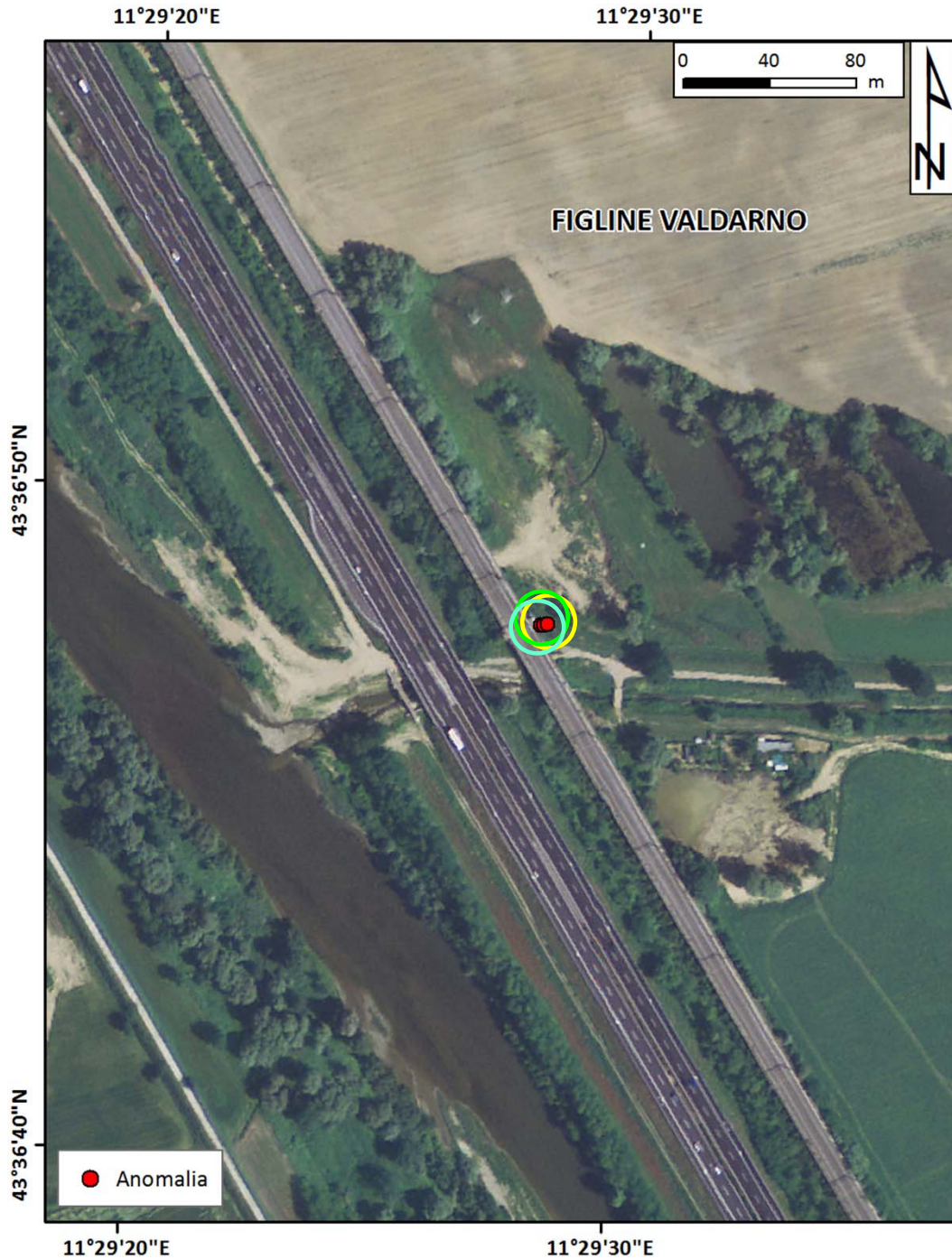


# Anomalie per aggiornamento

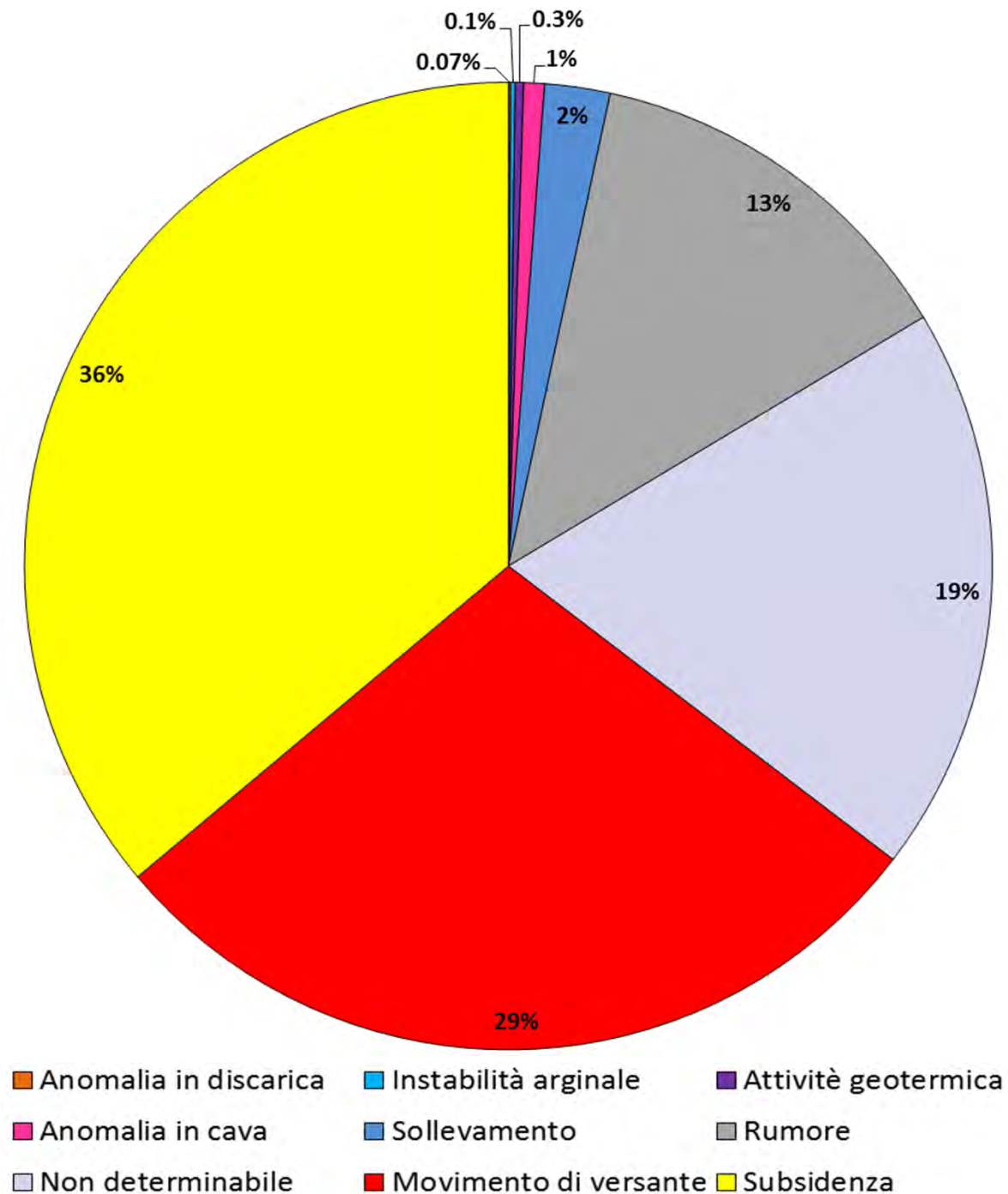


Aggiornamento	Periodo	N° anomalie
1	12/12/2014-26/10/2016	525
2	12/12/2014-07/11/2016	278
3	12/12/2014-19/11/2016	260
4	12/12/2014-01/12/2016	290
5	12/12/2014-13/12/2016	356
6	12/12/2014-25/12/2016	450
7	12/12/2014-06/01/2017	377
8	12/12/2014-18/01/2017	250
9	12/12/2014-29/01/2017	296
10	12/12/2014-11/02/2017	451
11	12/12/2014-23/02/2017	418
12	12/12/2014-07/03/2017	457
13	12/12/2014-19/03/2017	978
<b>Totale</b>	12/12/2014-19/03/2017	5354 33.7 % orbita ascendente e 66.7% orbita discendente

# Anomalia persistente



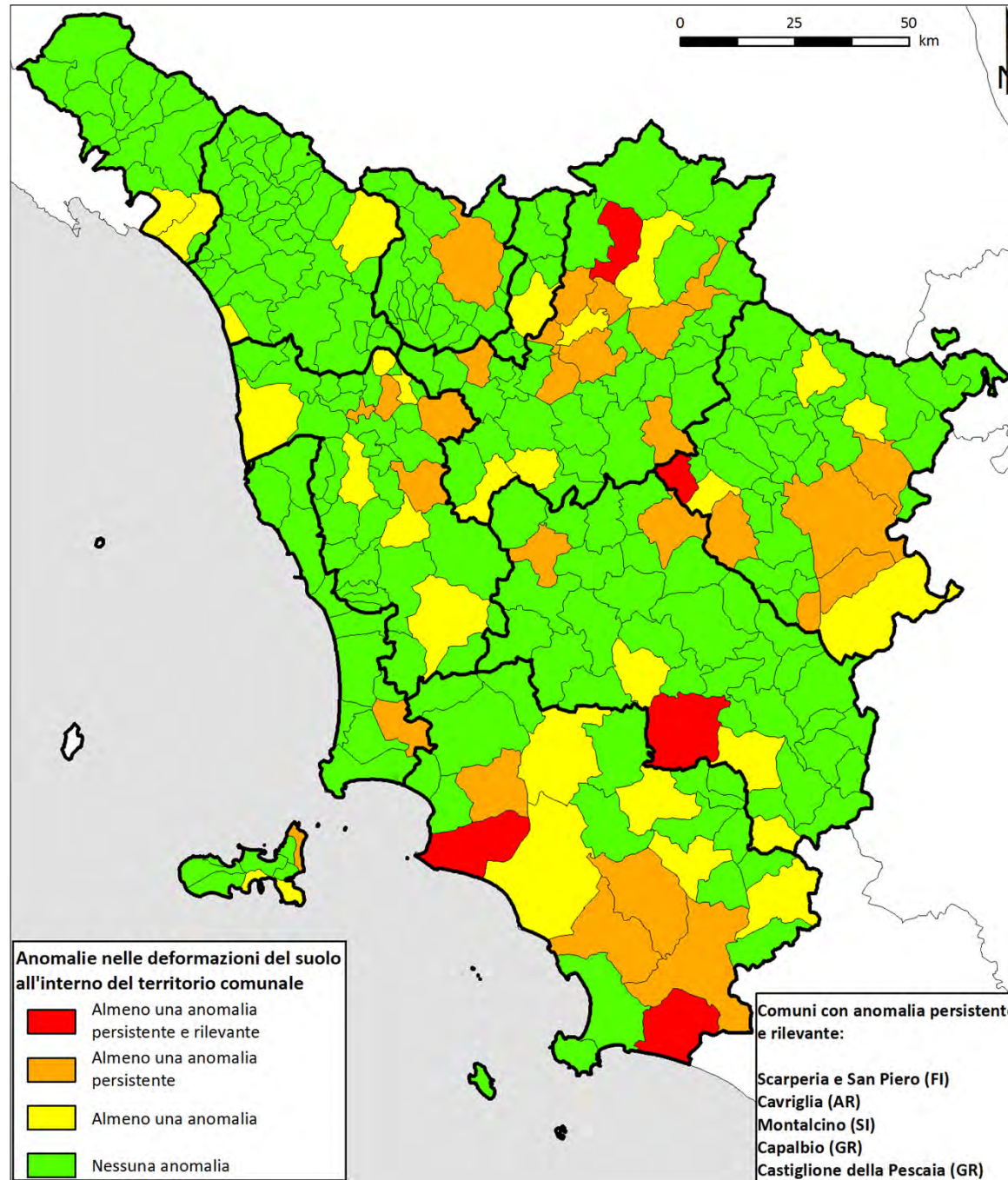
# Analisi dei cambi di trend - Cause



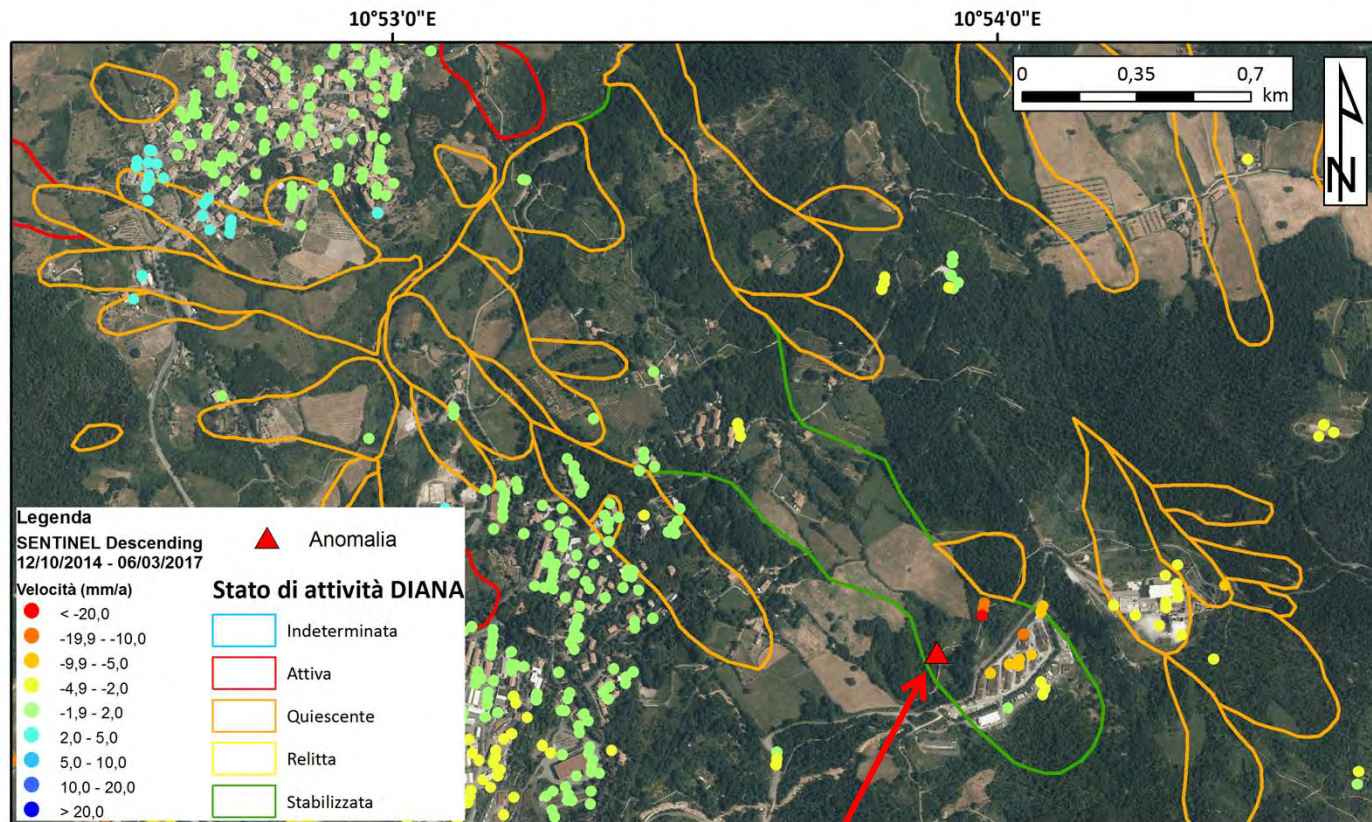
CAUSA	Numero anomalie
Anomalia in discarica	4
Instabilità arginale	8
Attività geotermica	15
Anomalia in cava	37
Sollevamento	117
Rumore	697
Non determinabile	1016
Movimento di versante	1527
Subsidenza	1933
TOTALE	5354

# Bollettino di monitoraggio radar satellitare

Periodo di riferimento dal 11/01/2017 al 23/01/2017



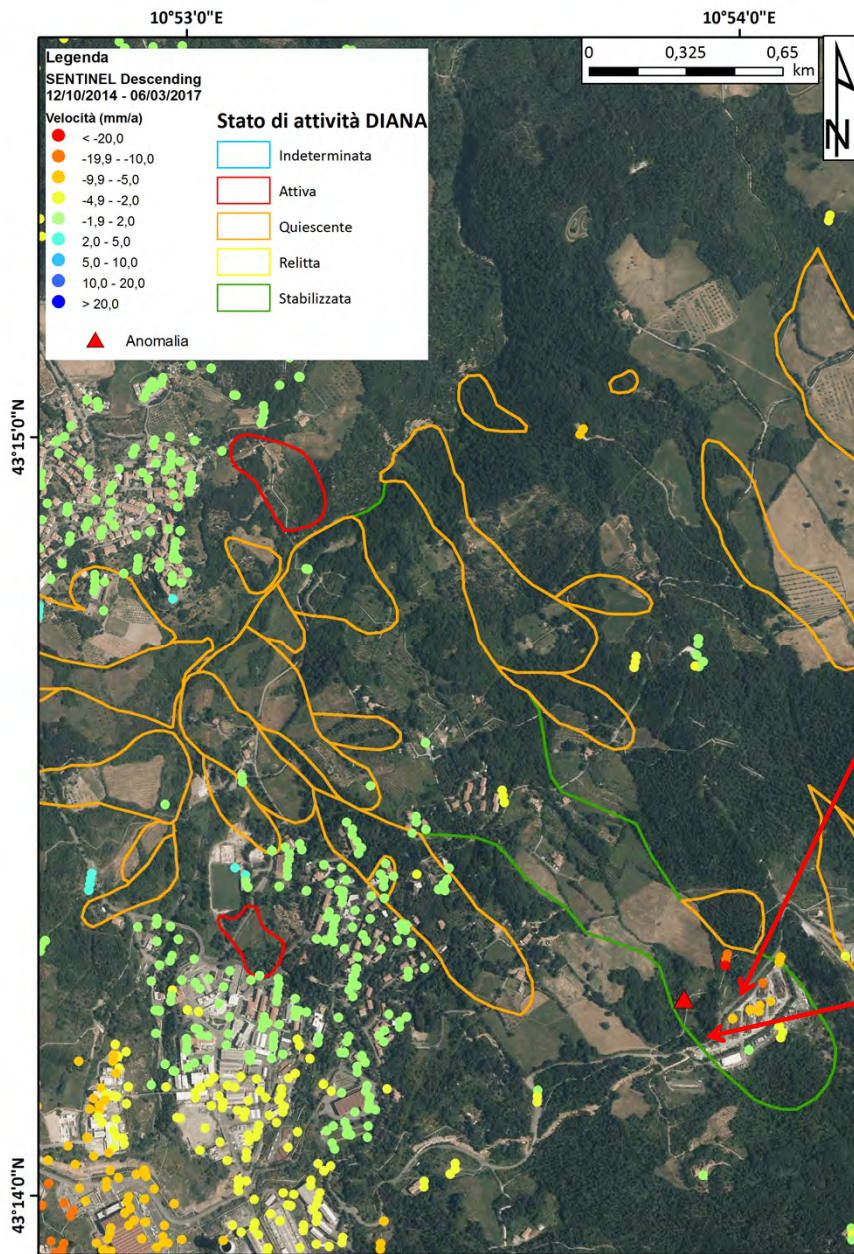
# Sopralluogo Larderello (PI)



Data anomalie  
05/01/2017  
29/01/2017

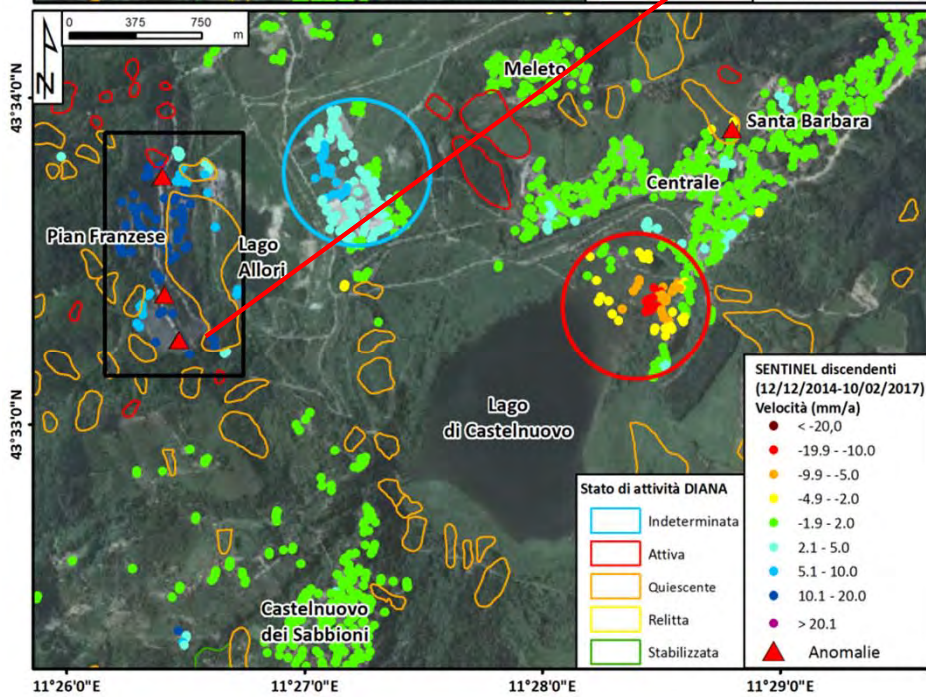
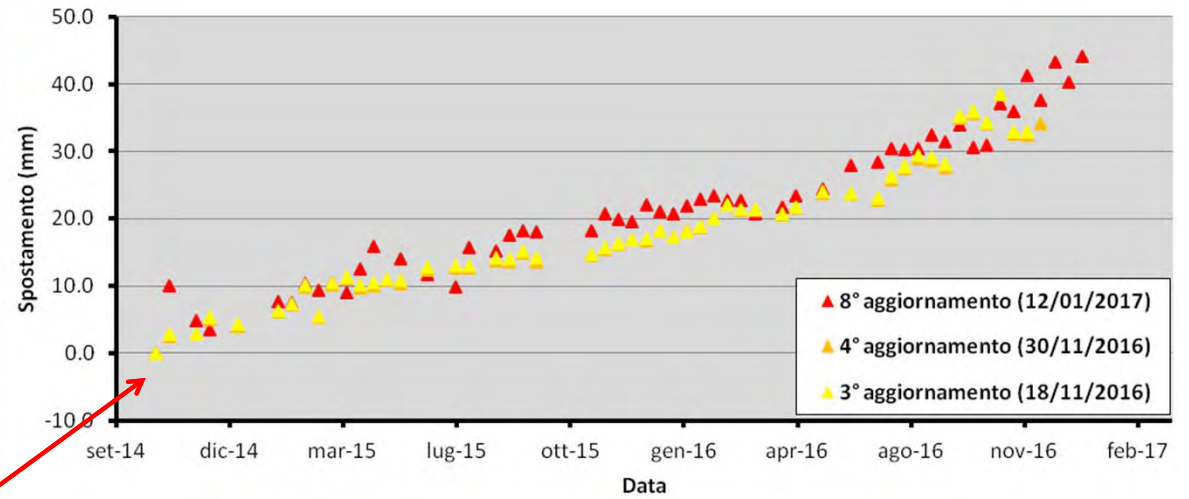
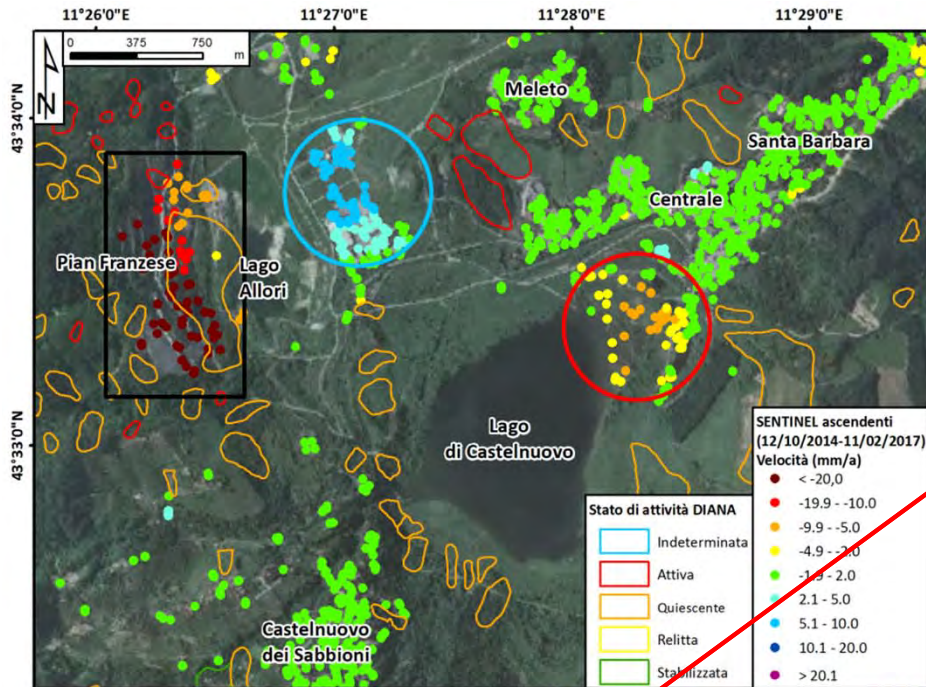


# Sopralluogo Larderello (PI)

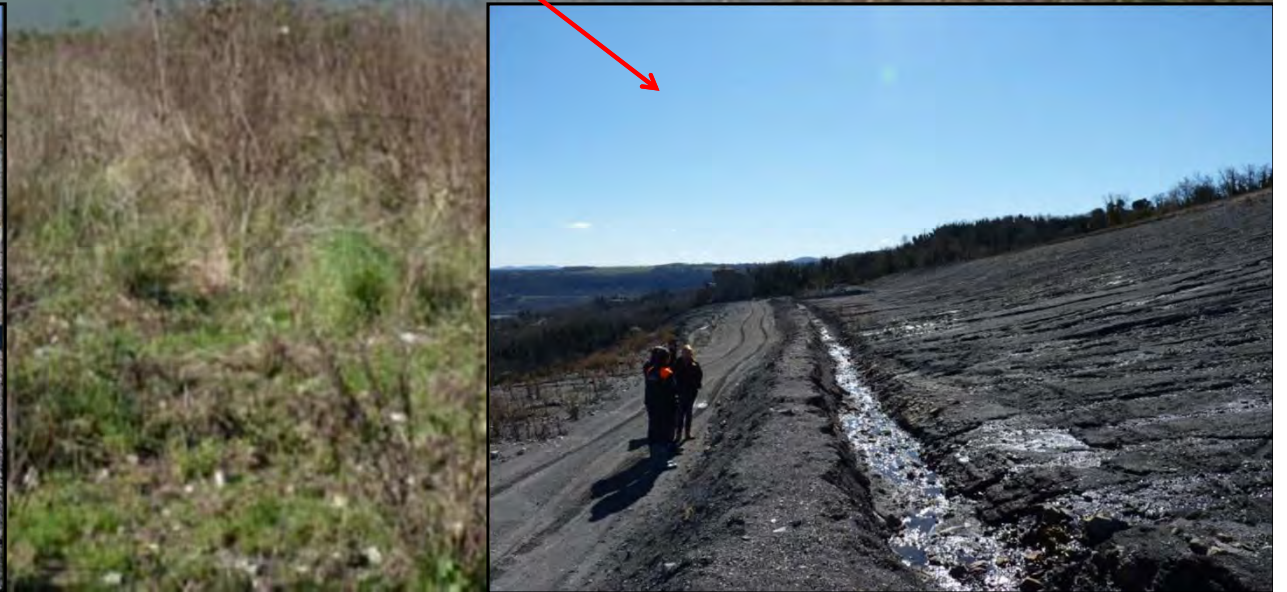


Data anomalie 05/01/2017 e 29/01/2017

# Sopralluogo Cavriglia (AR)



# Sopralluogo Cavriglia (AR)





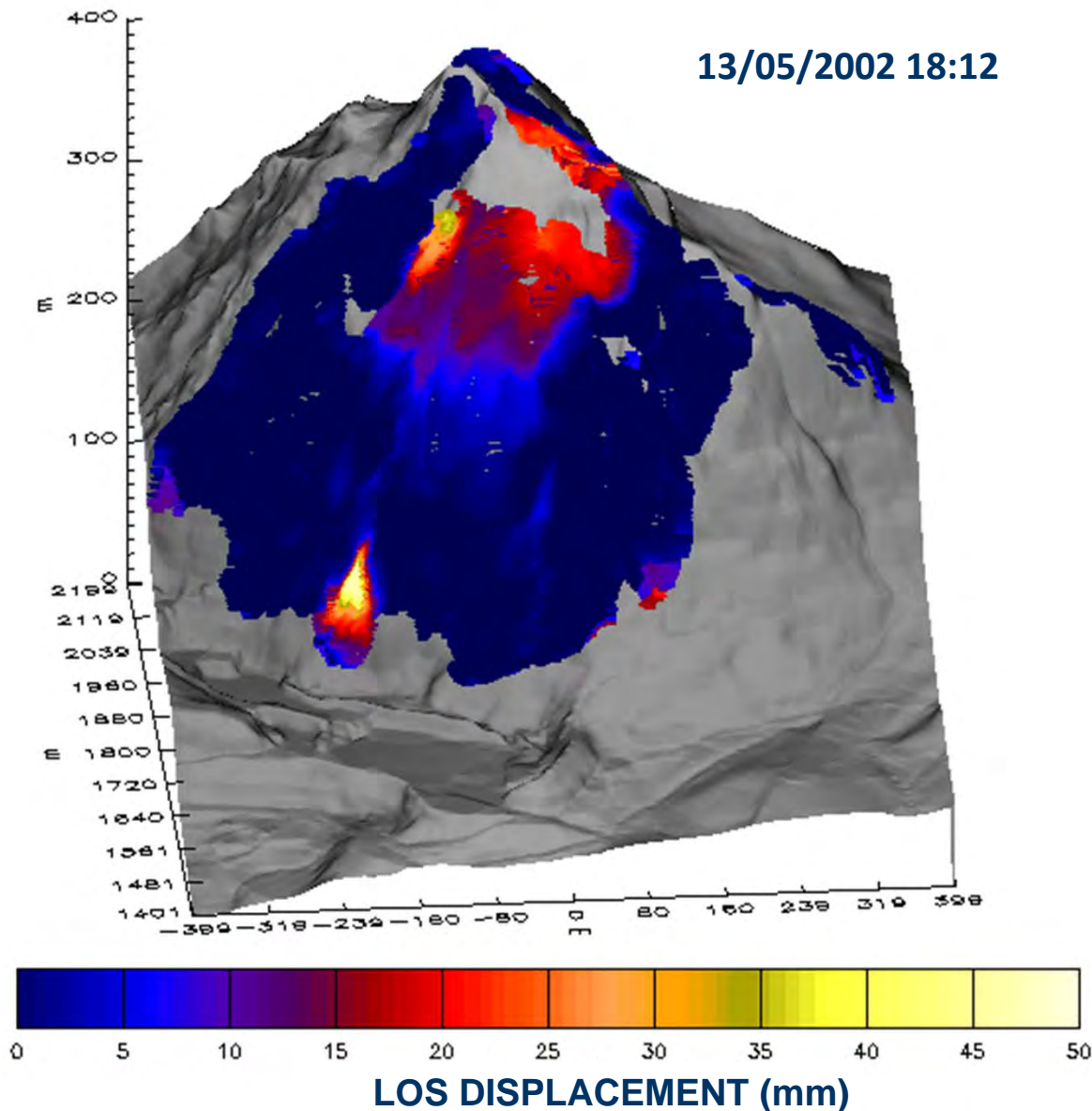
# Monitoraggio di dettaglio

Prima applicazione GB-InSAR al monitoraggio di frane (2000)

LiSAMobile™ 5<sup>th</sup> generation  
(Linear Synthetic Aperture Radar)



# Montebeni landslide



**Start: 8/5/2002 13:59**

**End: 13/5/2002 18:12**

**Interval: 124 h**

**Acquisition time: 40 min**

**Peak velocity: 0.48 mm/h**

**Mean Velocity: 0.16 mm/h**

**First operational application of GB-InSAR for landslide monitoring (2002)**

# Siti di monitoraggio



PROTEZIONE CIVILE  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

**DST**  
DIPARTIMENTO DI  
SCIENZE DELLA TERRA

11 attivi ad  
oggi



Stromboli



Castagnola



Montaguto



Tizzano



Rio Marina



San Leo



San Fratello



Roccalbegna



Volterra



Vetto



Panicaglia



San Miniato



Barga



Stazzema



A22



Ricasoli

# Firenze, 25 maggio 2016

The New York Times

EUROPE

## *Giant Sinkhole Swallows Dozens of Cars in Florence*

By HANNAH OLIVENNES MAY 25, 2016



A spokeswoman for the Florence mayor's office described the scene after a pipe burst beneath a road alongside the Arno River in Florence, Italy, early on Wednesday, near the famous Ponte Vecchio. By MEGAN SPECIA and BEN LAFFIN on May 25, 2016. Photo by Maurizio Degli' Innocenti/European Pressphoto Agency. [Watch in Times Video »](#)

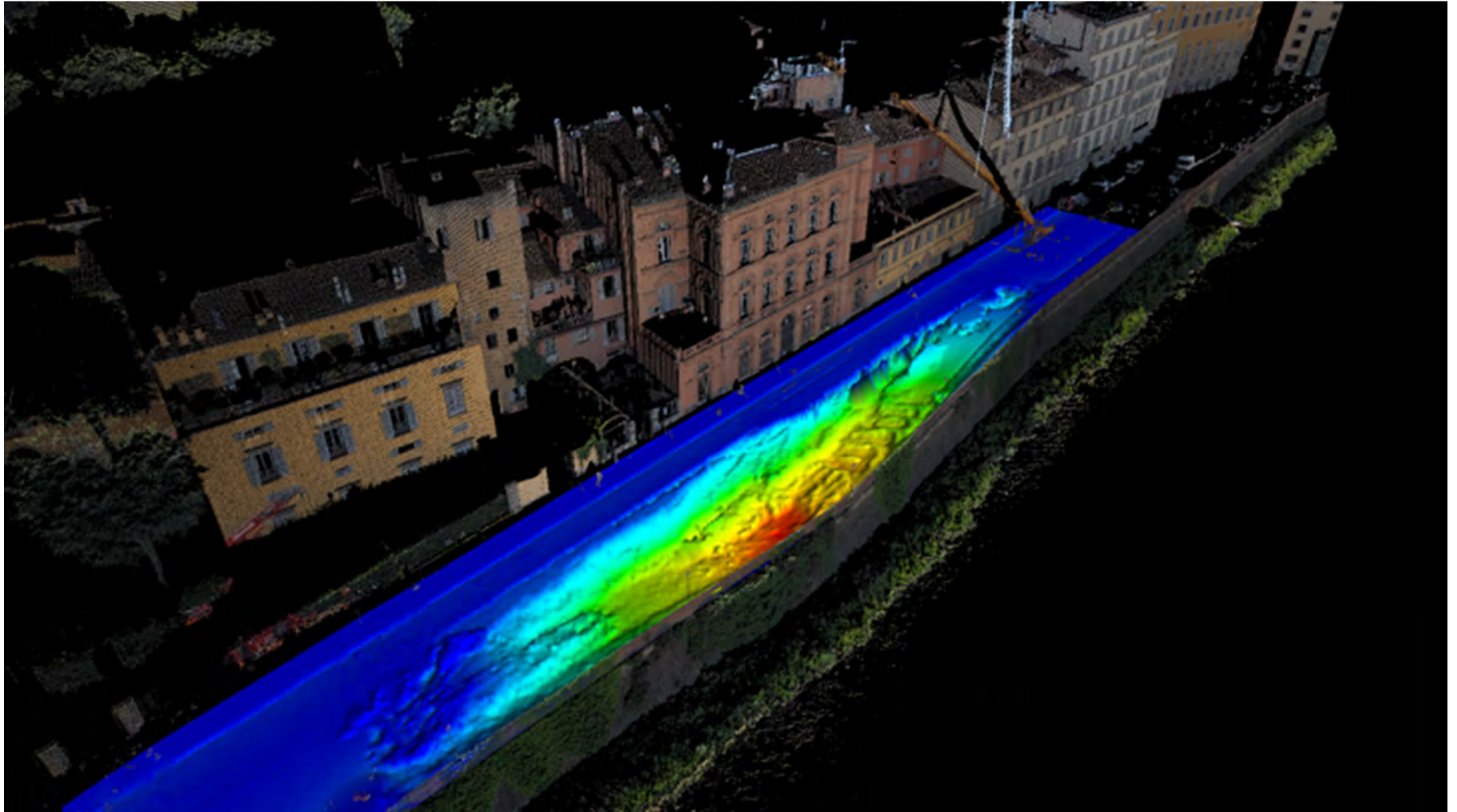


<> Embed

# Il punto di rottura della tubazione



# Rilievo laser scanner 3D

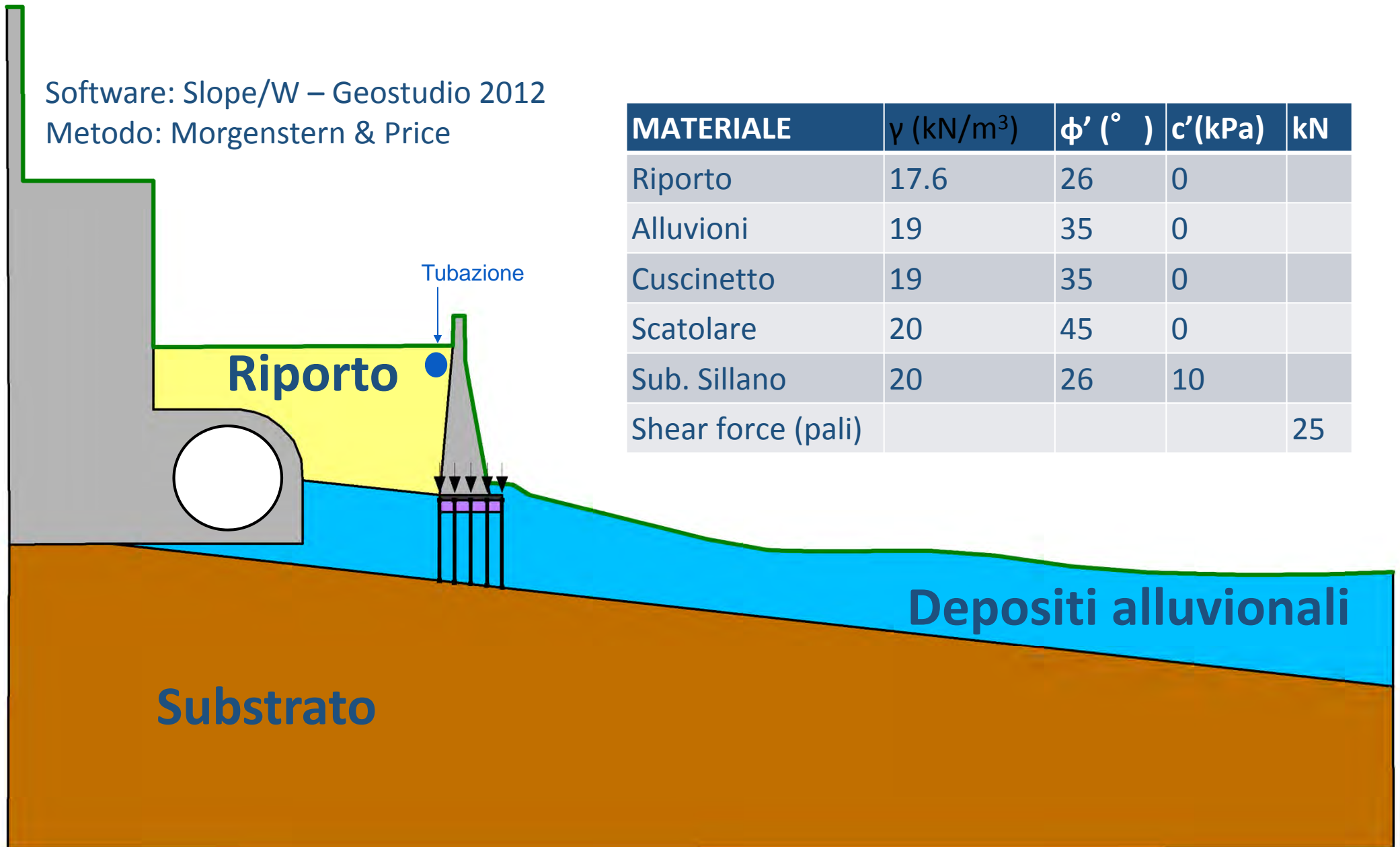


$$\Delta V = -1303 \text{ m}^3$$

# Modello geologico

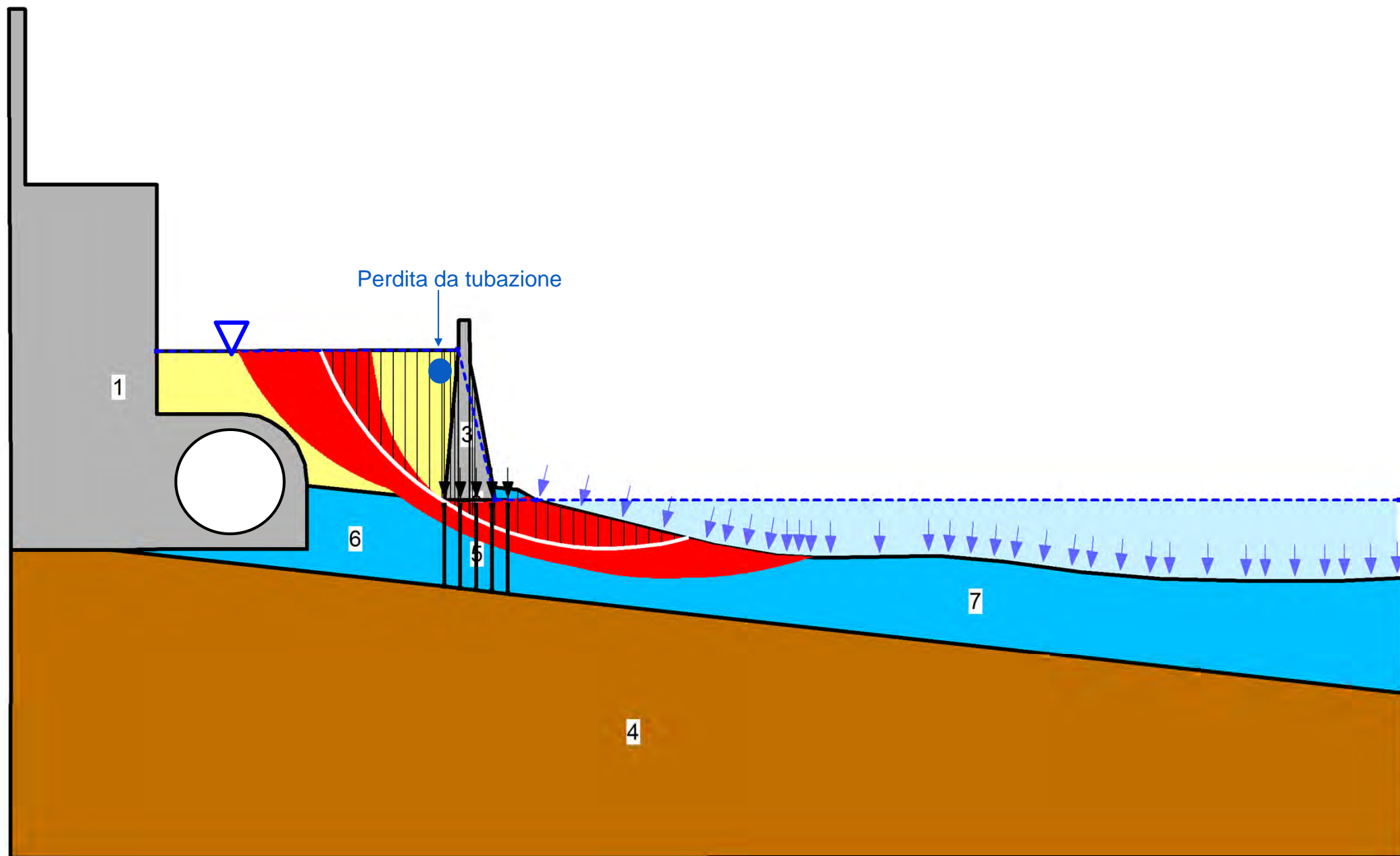
Software: Slope/W – Geostudio 2012  
Metodo: Morgenstern & Price

MATERIALE	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi'$ (°)	$c'$ (kPa)	kN
Riporto	17.6	26	0	
Alluvioni	19	35	0	
Cuscinetto	19	35	0	
Scatolare	20	45	0	
Sub. Sillano	20	26	10	
Shear force (pali)				25





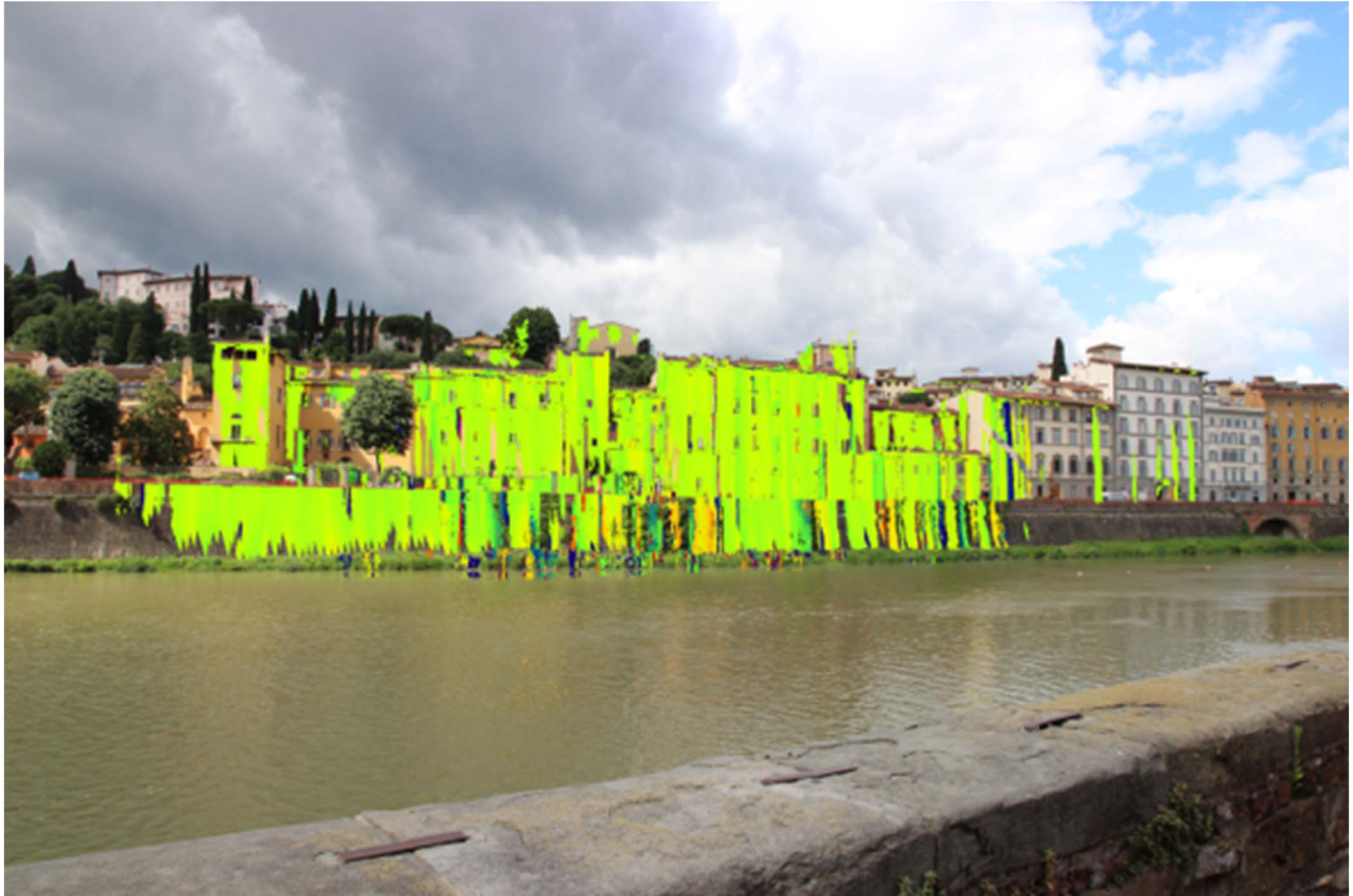
# Meccanismo di rottura



# Monitoraggio Lungarno



# Interferometria Radar



# Stazione totale robotizzata

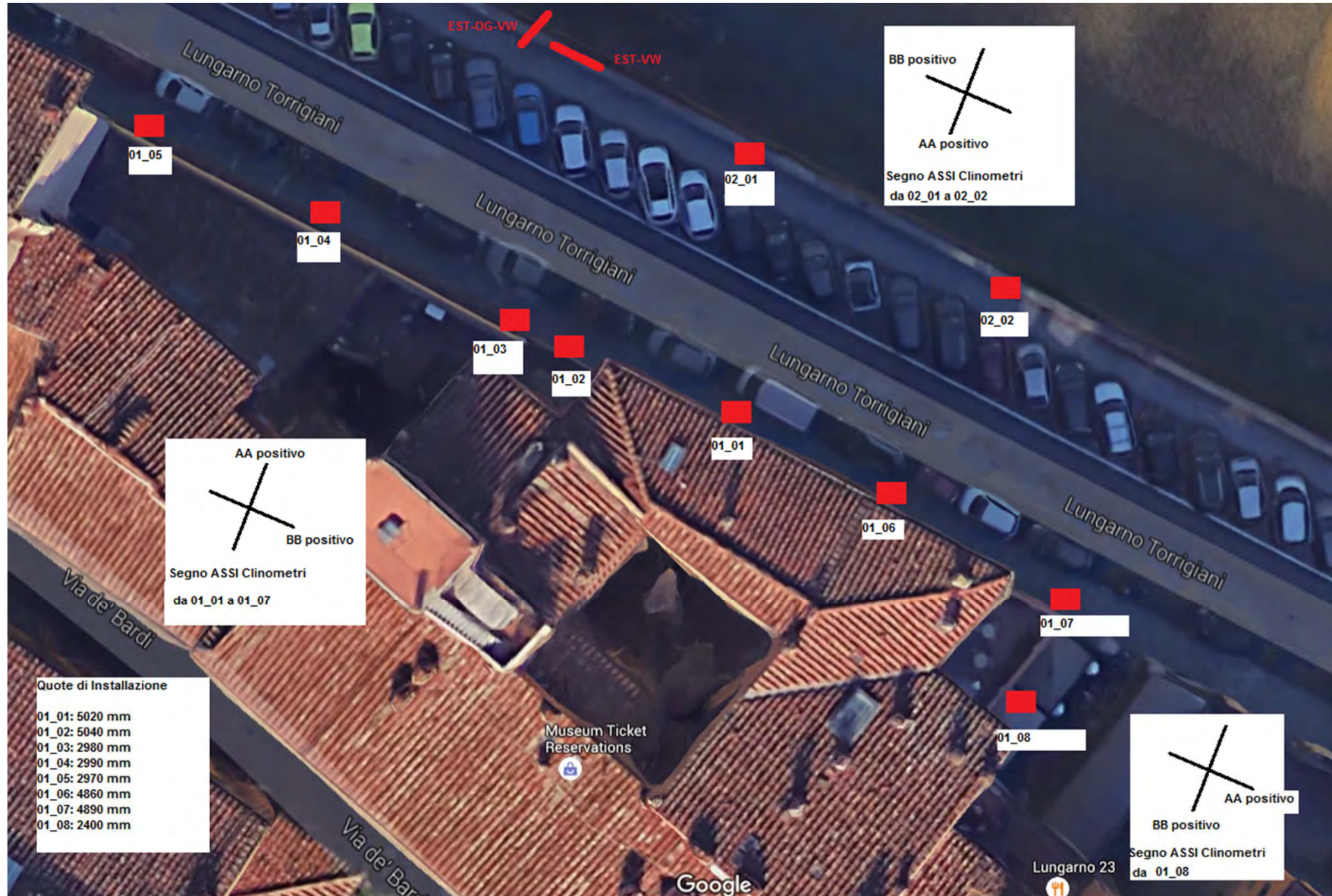


# Stazione totale robotizzata

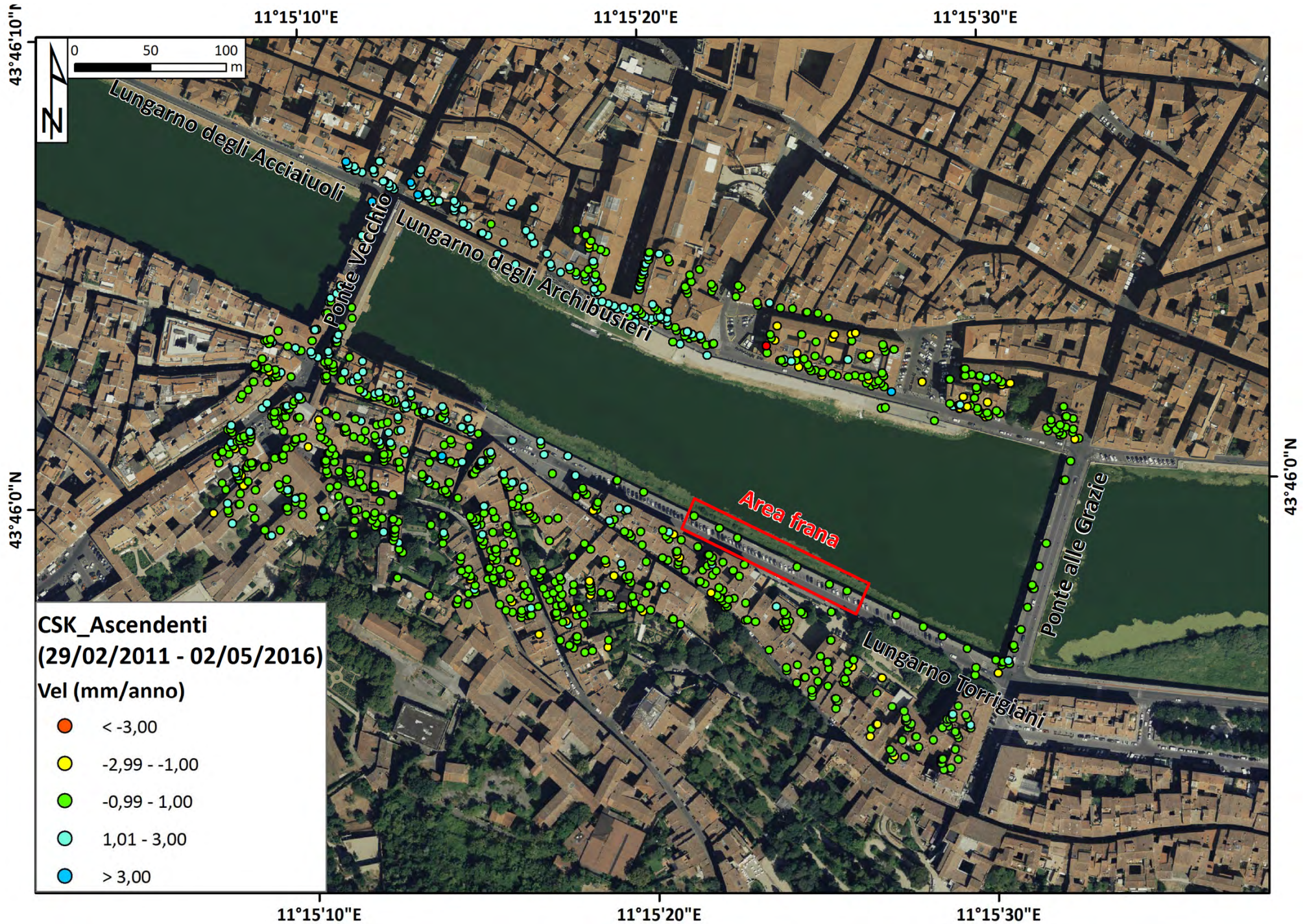


- P1
- P2
- P3
- P4
- P5
- P6
- P7
- P8
- P9
- P10
- P11
- P12
- P13
- P14
- P15
- P16
- P17
- P18
- P19
- P20

# Rete di sensori wireless



# COSMO-SkyMed ascendente



# Rigopiano 2017

*Monte Camicia*

2564 m

*Sella del Tremoggia*

2470 m

*Monte Tremoggia*

2331 m

*Dente  
del Lupo*

2297 m

*Monte  
Siella* 2027 m

*Monte  
Coppe*  
1987 m

*Vado  
di  
Siella*  
1725 m

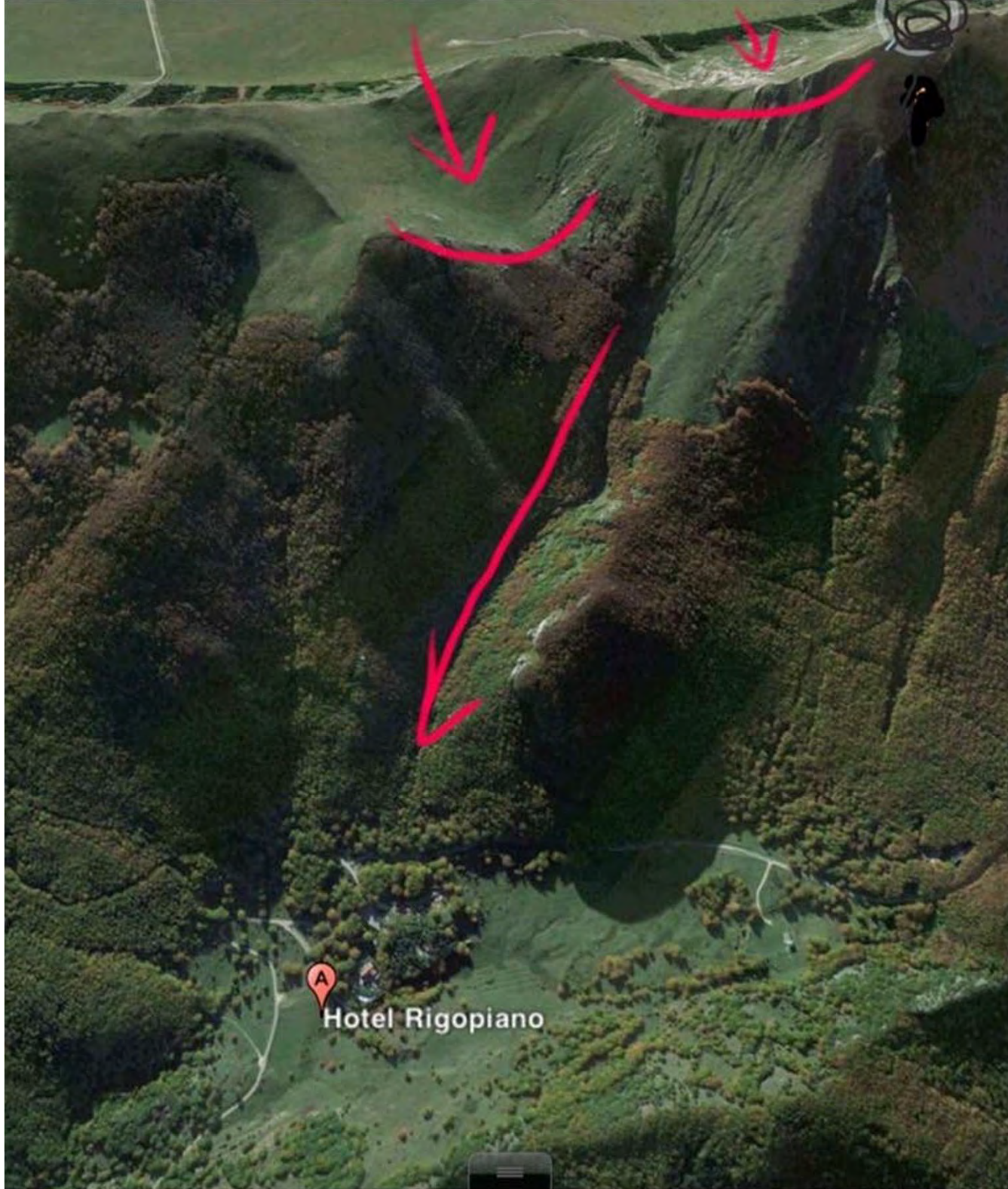
*Valle Cupa*

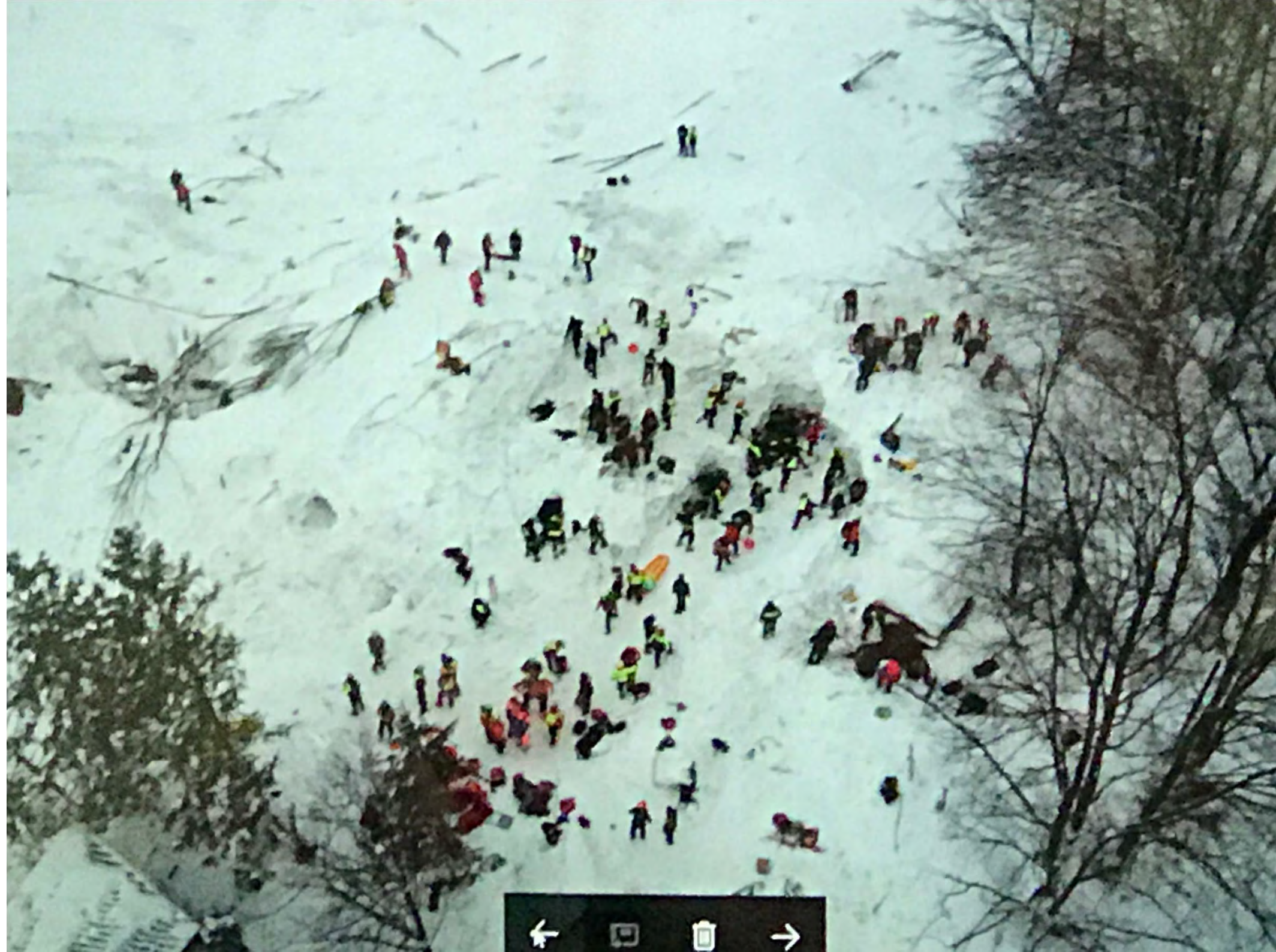
*Valle Savina*

*Rigopiano*  
1100 - 1200m

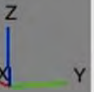
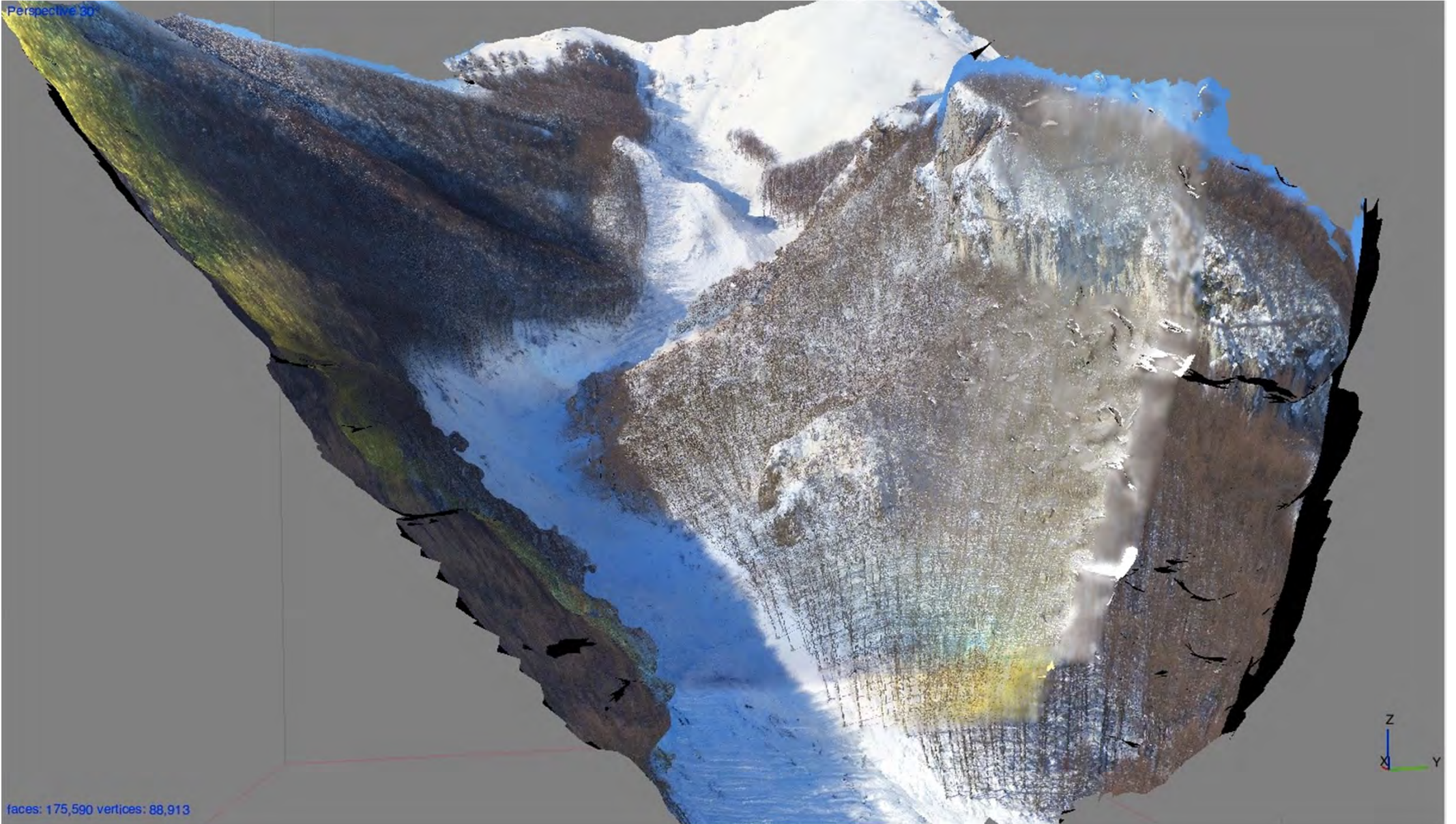
© Dott. Geol. Daniele Cirillo, Ph.D.





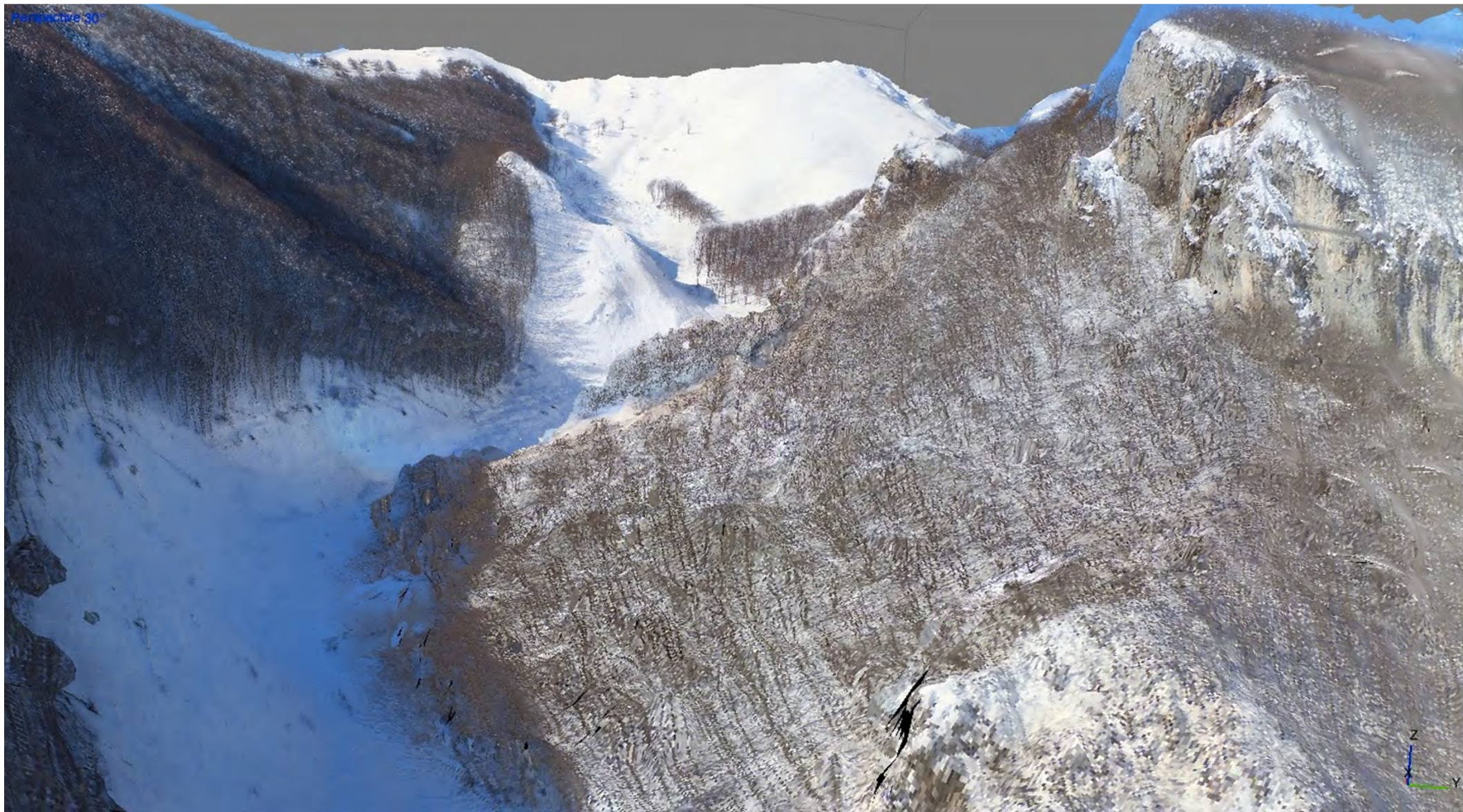


Perspective 30°

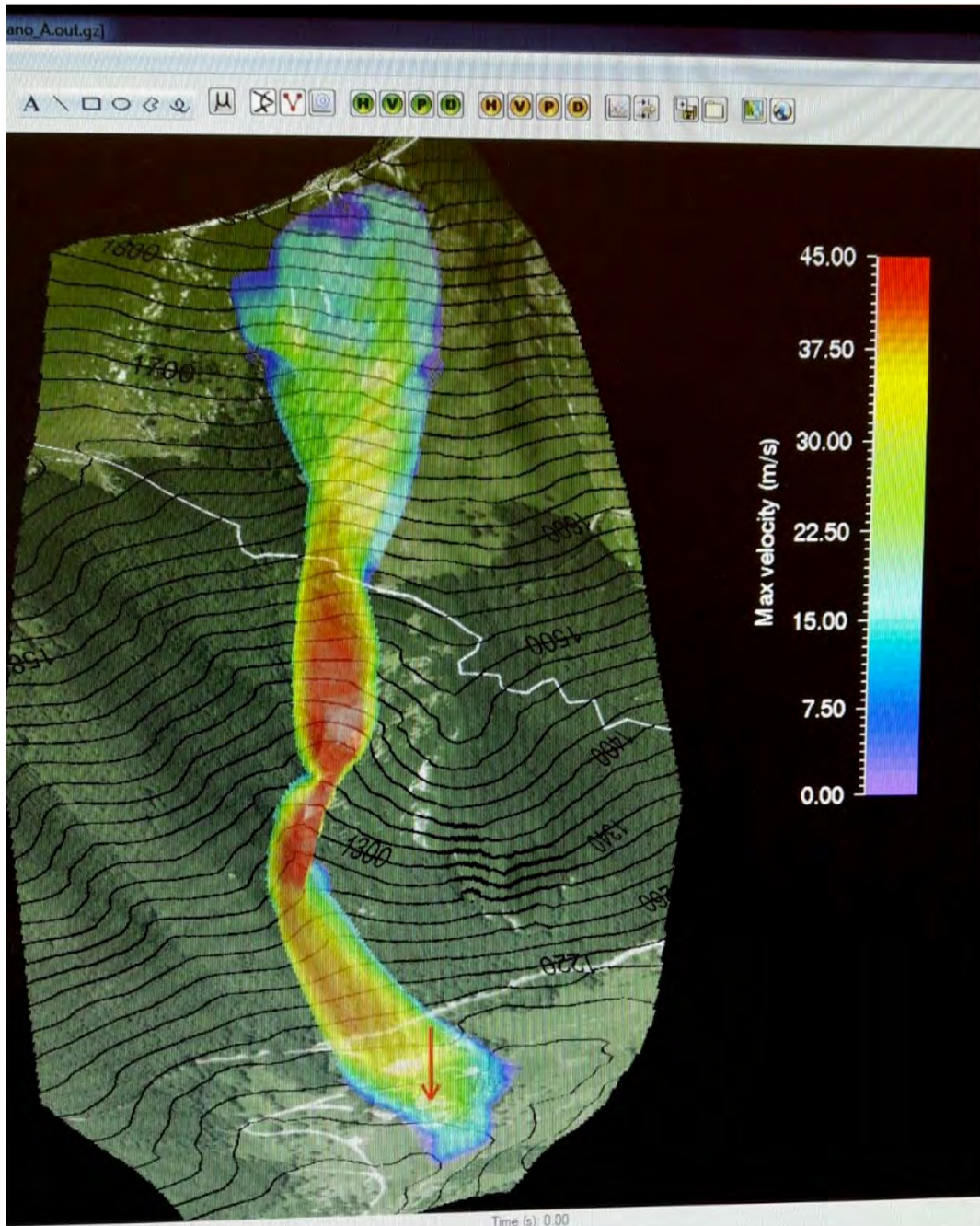


faces: 175,590 vertices: 88,913

Perspective 30°



# Modello valanga



**Preliminary** RAMMS simulation by Yves Bühler & Perry Bartelt from SLF Davos

Speeds up to 50 m/s

Avalanche travel time: **approx 1 minute**

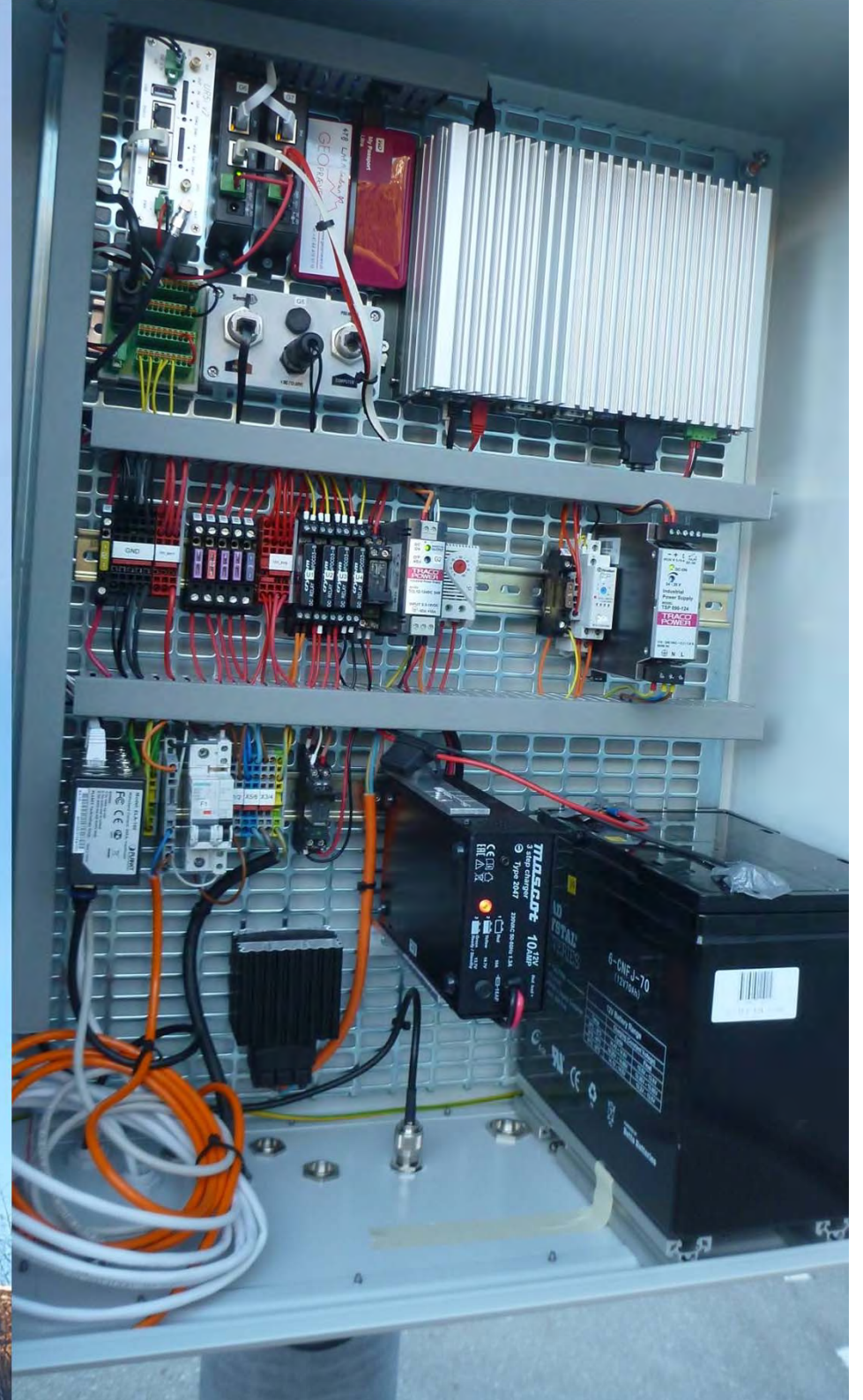
Assume 10 seconds radar detection time

-> **50 seconds warning time (short!)**

Similar to Eiger Avalanche Radar Project.



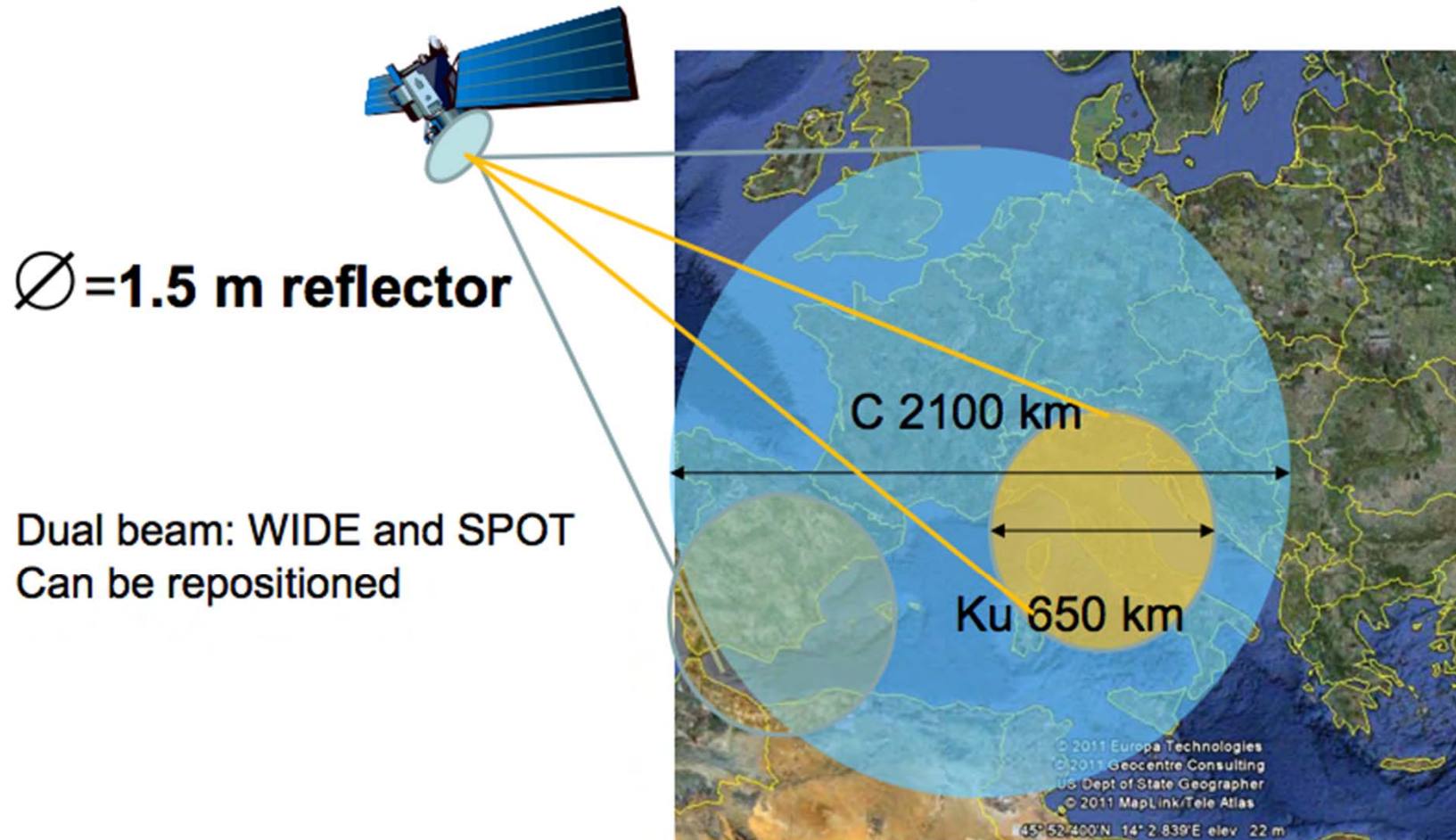
Radar Head



**Il futuro**

# Futuro: SAR geosincroni

C + Ku – same reflector





# SAR geosincrono

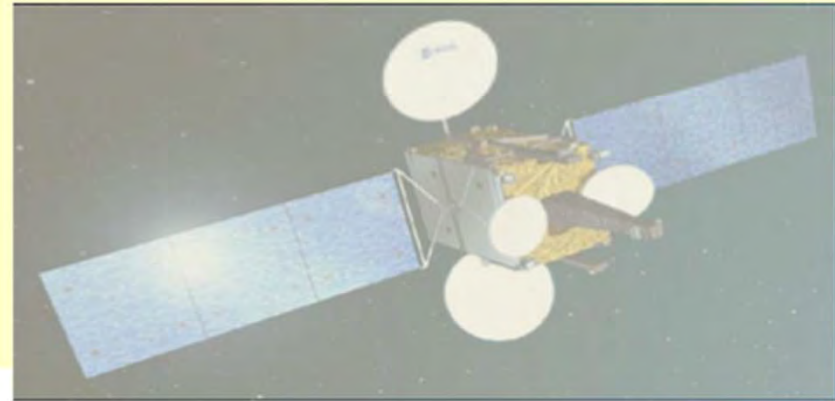
## LEO - SAR:

- **Global** coverage (WORLD)
- Revisit: > 6 **days** (Sentinel-1, 2 satellites)
- View angle: mainly **East - West**
- Lifetime **7** years
- **Dedicated** satellite



## Geosynchronous SAR:

- **Local** coverage up to 2000 km
- Revisit: 12 **hours** full resolution  
**20'** a quick look
- View angle: mainly **North - South**
- Lifetime **15** years
- Can be a payload on a TELECOM satellite  
☞ **scalable** coverage versus cost



# Antenne TV come riflettori SAR

47 Millions of users parabola in Europe (2002)



14

Monti Guarnieri et al. (2011) - FRINGE Wokshop ESA

# Conclusione

**Se una frana arriva in modo inaspettato per chi osserva il versante, è più corretto dire che gli osservatori non sono riusciti a vederne i segni premonitori.**

**Karl Terzaghi (1950)**



**Ralph Peck e Karl Terzaghi  
al Lago Maracaibo nel 1956  
(dalla Biblioteca Terzaghi & Peck NGI, Oslo)**