



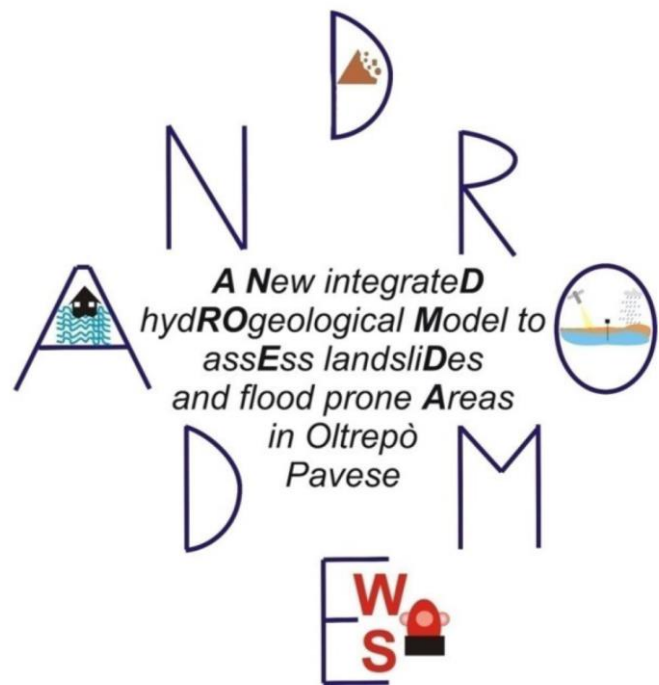
Physically-based slope stability analysis through remote sensing data

Luca Ciabatta⁽¹⁾, Evelina Volpe⁽¹⁾, Massimiliano Bordoni⁽²⁾, Valerio Vivaldi⁽²⁾, Claudia Meisina⁽²⁾, Luca Brocca⁽¹⁾

⁽¹⁾ National Research Council, Research Institute for Geo-Hydrological Protection, Via Madonna Alta 126, 06128 Perugia Italy,

⁽²⁾ Department of Earth and Environmental Sciences, University of Pavia, Via Ferrata 1, 27100, Pavia Italy

e-mail: luca.ciabatta@irpi.cnr.it





HIGH RESOLUTION HYDROLOGY: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES

Luca Brocca⁽¹⁾, Silvia Barbetta⁽¹⁾, Stefania Camici⁽¹⁾, Luca Ciabatta⁽¹⁾, Christian Massari⁽¹⁾, Angelica Tarpanelli⁽¹⁾, Farhad Bahmanpouri⁽¹⁾, Hamidreza Mosaffa⁽¹⁾, Paolo Filippucci⁽¹⁾, Sara Modanesi⁽¹⁾, Evelina Volpe⁽¹⁾, Bianca Bonaccorsi⁽¹⁾, Sara Galeazzi⁽¹⁾, Jacopo Dari^(1,2), Shima Azimi^(1,3), and Cristiano Corradini⁽¹⁾

1. *CNR, Research Institute for Geo-Hydrological Protection, Perugia.*
2. *Department of Civil and Environmental Engineering, University of Perugia.*
3. *Department of Agrifood and Environmental Sciences, University of Trento*

e-mail: idrologia@irpi.cnr.it

IL CONTRIBUTO DEL CNR IRPI
AL SISTEMA PAESE
PER LA MITIGAZIONE DEI
RISCHI GEO-IDROLOGICI

Sala Convegni CNR, Roma 25-26 novembre 2021

2

PERCHÉ L'IDROLOGIA AD ALTISSIMA RISOLUZIONE?

1. **Gli effetti più importanti di piene, frane e siccità si verificano a piccola scala**
2. **L'impatto umano sul ciclo idrologico è sempre maggiore e non più trascurabile**



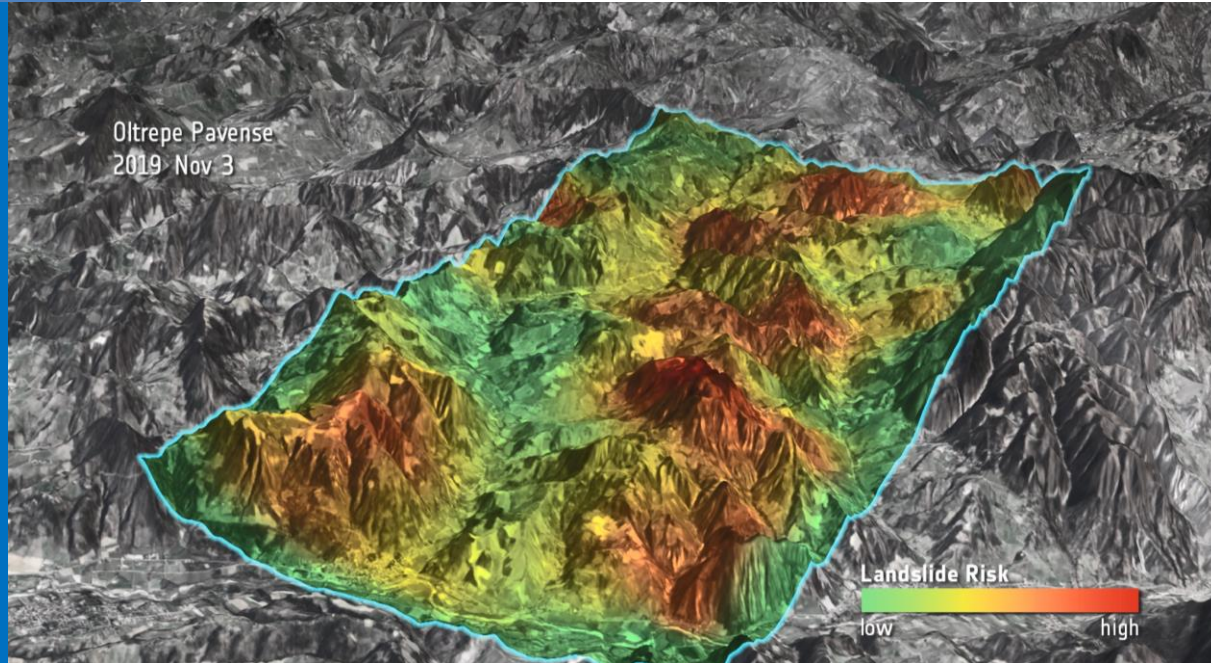
IL CONTRIBUTO DEL CNR IRPI
AL SISTEMA PAESE
PER LA MITIGAZIONE DEI
RISCHI GEO-IDROLOGICI

Sala Convegni CNR, Roma 25-26 novembre 2021



L'obiettivo

4



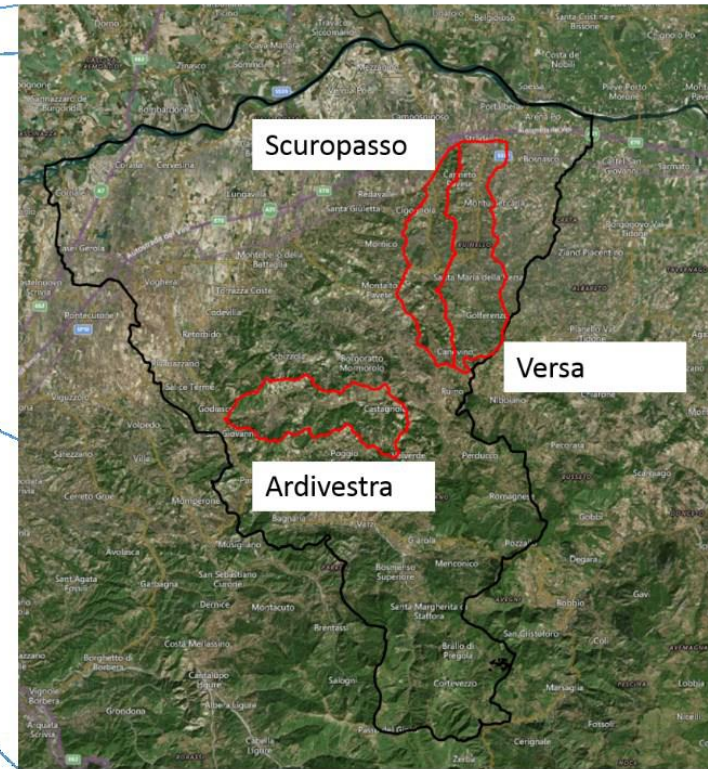
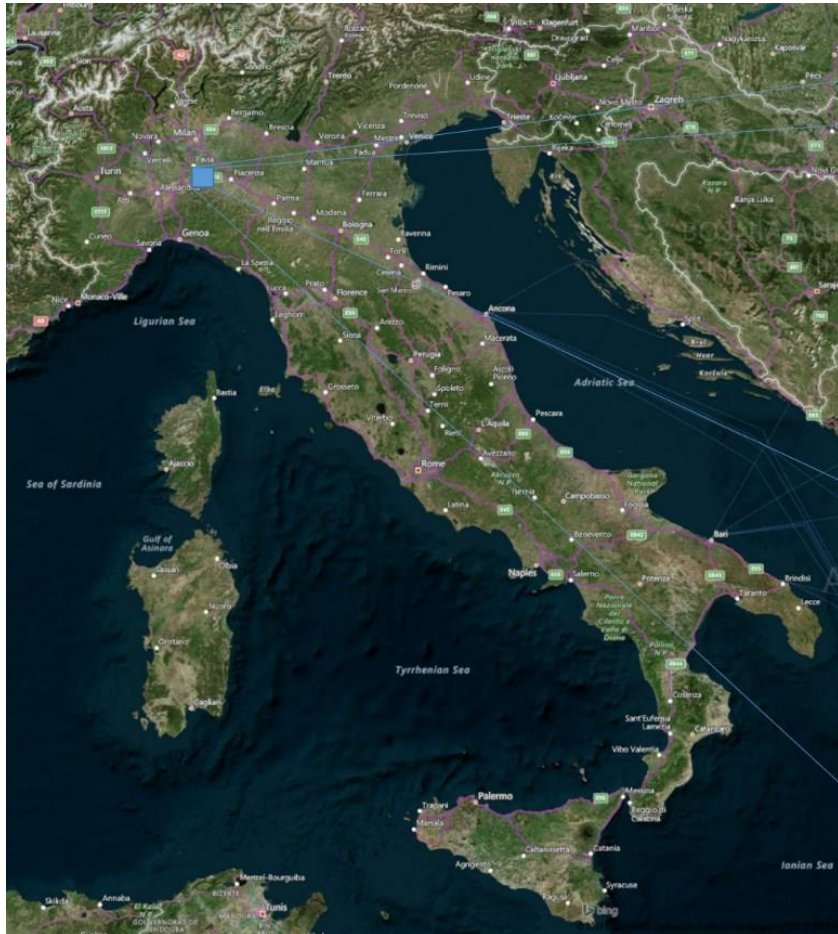
Testare l'utilizzo di dati satellitari di contenuto d'acqua e pioggia ad alta risoluzione per valutare l'occorrenza di frane superficiali nel tempo e nello spazio

La sfida

Identificare le condizioni innescanti di frane caratterizzate da dimensioni molto ridotte ($\ll 1\text{km}^2$)

L'area di studio

5

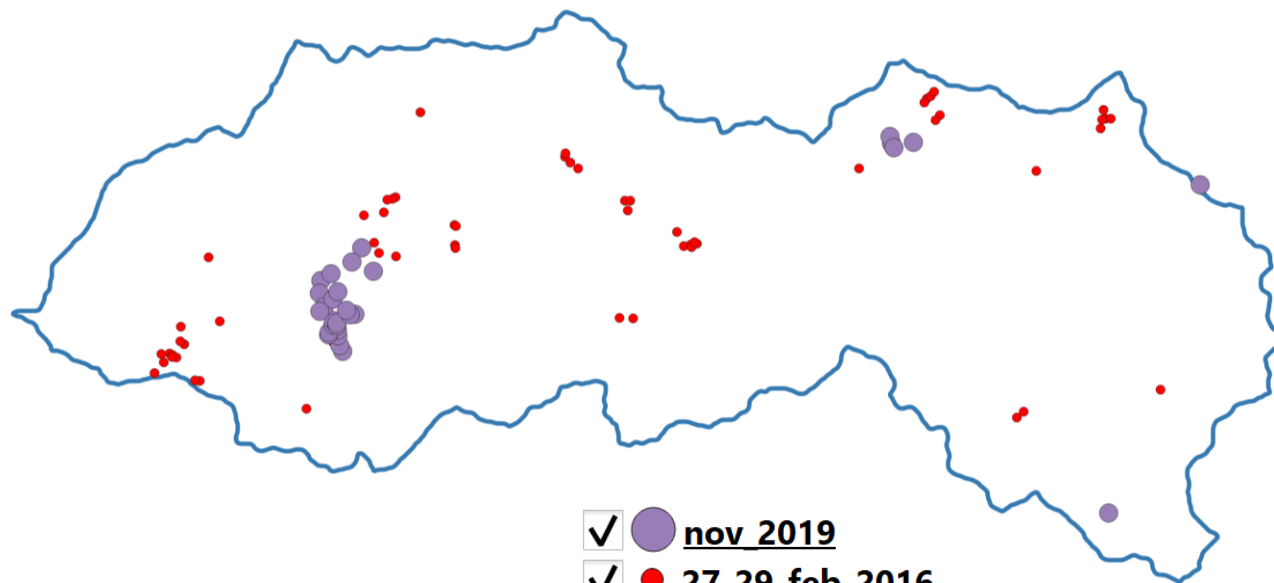


Oltrepo Pavese:

- 3 bacini: Ardivestra (47 km²), Scuropasso e Versa (83 km²);
- Altitudine compresa tra 60 e 600 m slm;
- Inclinazione dei versanti compresa tra 15° 35°;
- Pioggia media annua di circa 680 mm;
- Più di 2500 frane superficiali censite negli ultimi 20 anni

Gli eventi di frana

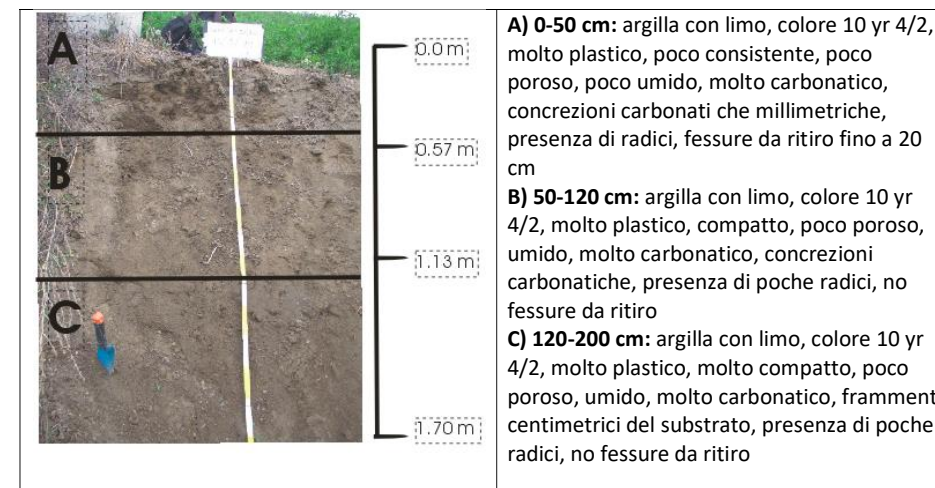
6



✓ ● **nov 2019**
 ✓ ● **27_29_feb_2016**

Formazione geologica	Campioni	WL (%) - media	PI (%) - media	Ghiaia (%) - media	Sabbia (%) - media	Limo (%) - media	Argilla (%) - media
Conglomerati di Rocca Ticozzi	73	41.2	18.5	5.1	17.9	53.1	23.9
Marne di Monte Lumello	59	56.5	29.8	0.2	16.4	47	36.4
Formazione di Val Lurette-Facies Calcarea	91	68.8	39.4	3.9	8.9	41.7	47.8

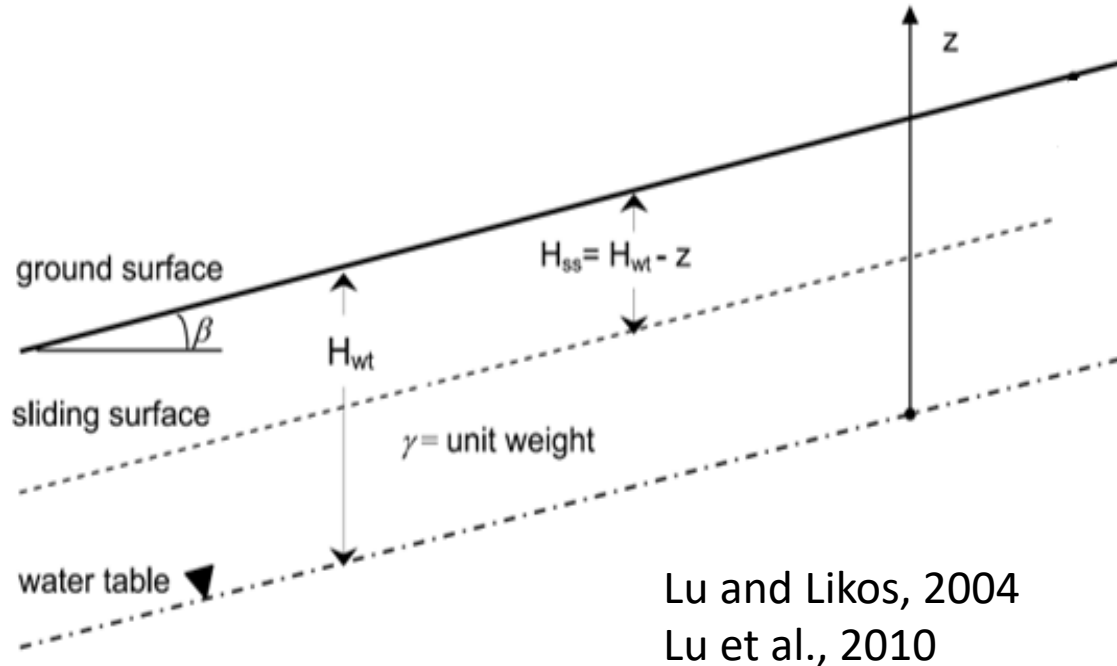
- 2 principali eventi pluviometrici avvenuti nell'area di studio;
- Circa 100 frane censite nel bacino dell'Ardivestra;
- Valori delle proprietà idrauliche e meccaniche del suolo ottenuti tramite campagne di misura, test di laboratorio e analisi di letteratura;
- Modello digitale del terreno ad alta risoluzione



Bordoni et al., 2021

Il modello di stabilità dei versanti

7



Pendio indefinito:

- Suolo omogeneo;
- Pendenza costante;
- Superficie di scorrimento parallela al piano campagna;
- Lunghezza del versante \gg del suo spessore

Il modello di stabilità dei versanti

8

$$FS = \frac{\tan\varphi}{\tan\beta} + \frac{2c}{H_{SS}\gamma\sin 2\beta} - \frac{\sigma^S}{H_{SS}\gamma} (\tan\beta + \cot\beta)\tan\varphi$$

Lu and Likos, 2004
Lu et al., 2010

Dove:

φ è l'angolo di attrito interno

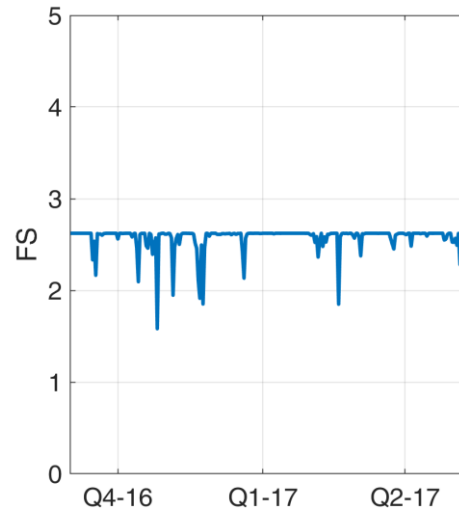
β è la pendenza del versante

c è la coesione del suolo

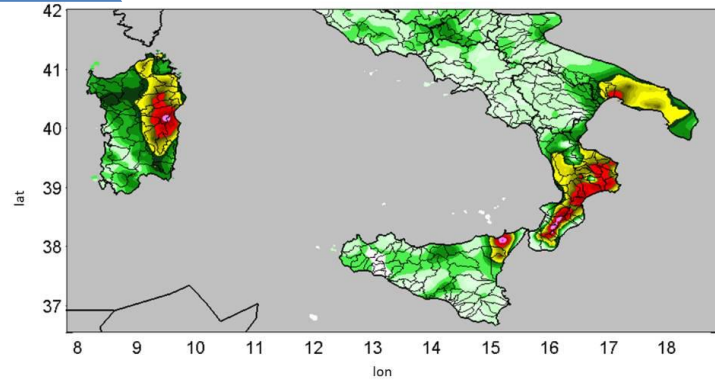
H_{SS} è la profondità della superficie di scivolamento

γ è il peso di volume del terreno

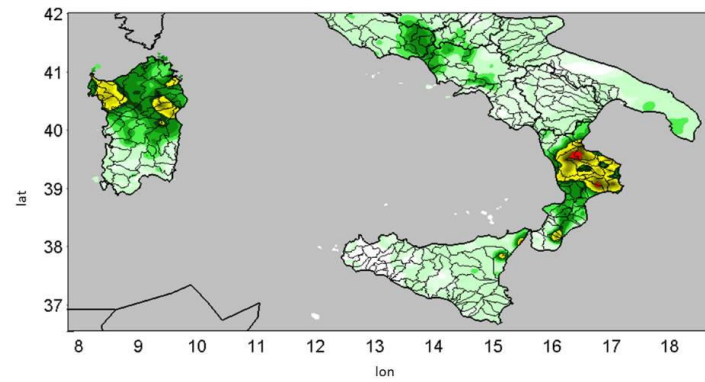
$$\sigma^S = Se(u_a - u_w)$$



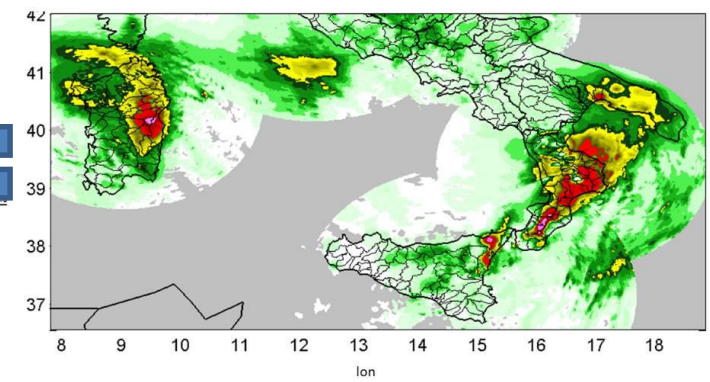
Dati di input



Pluviometri



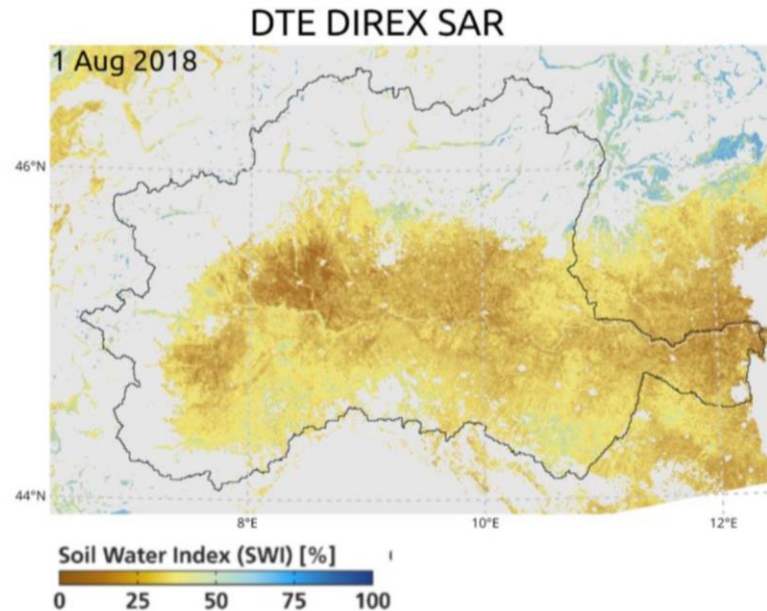
Radar Meteo



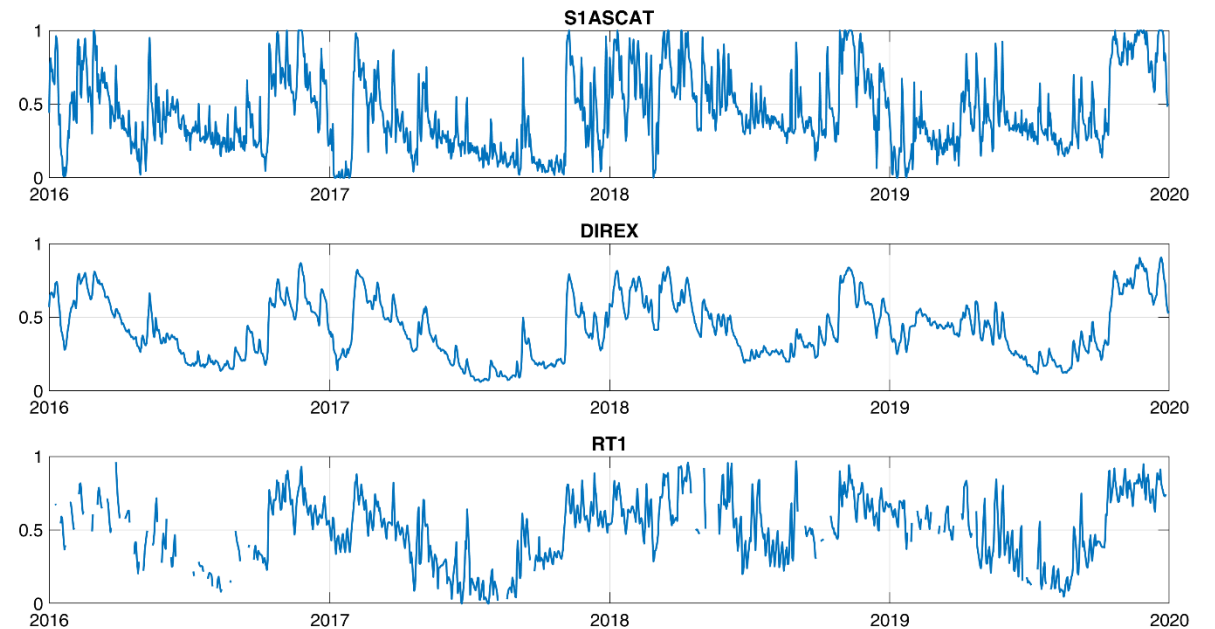
Pioggia integrata (1 km, 1 ora)

Bruno et al., 2021

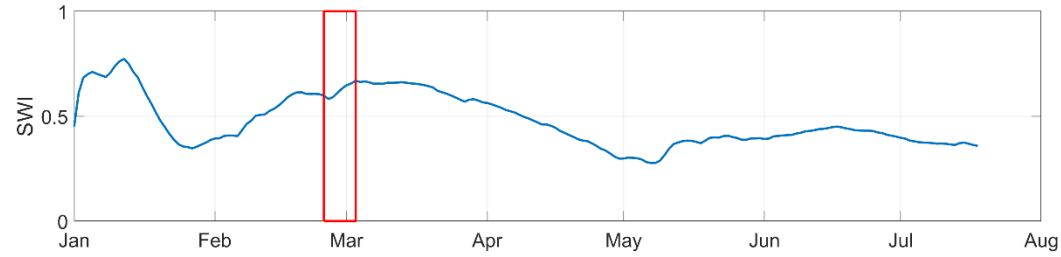
SM SAT
1 km
daily



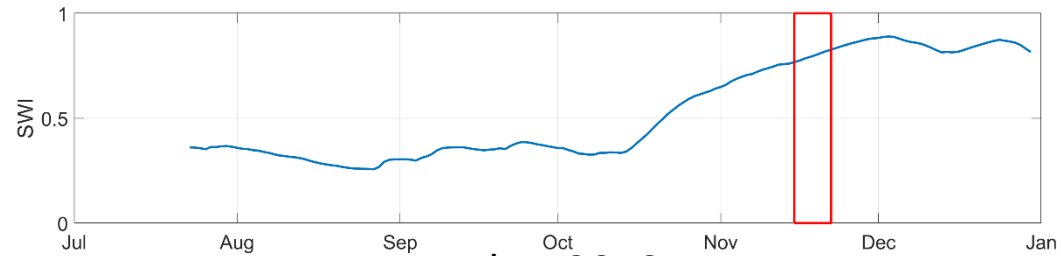
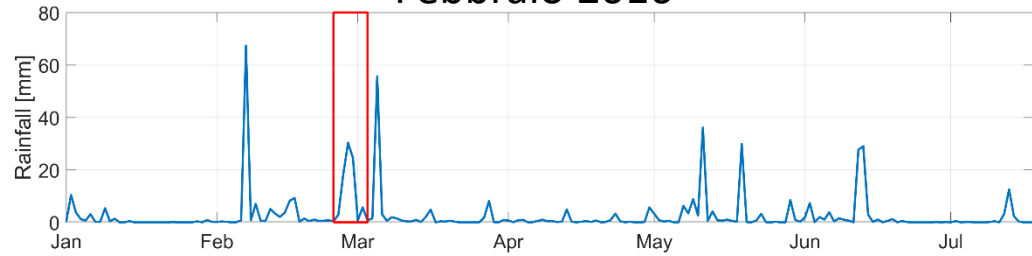
Sala Convegni CNR, Roma 25-



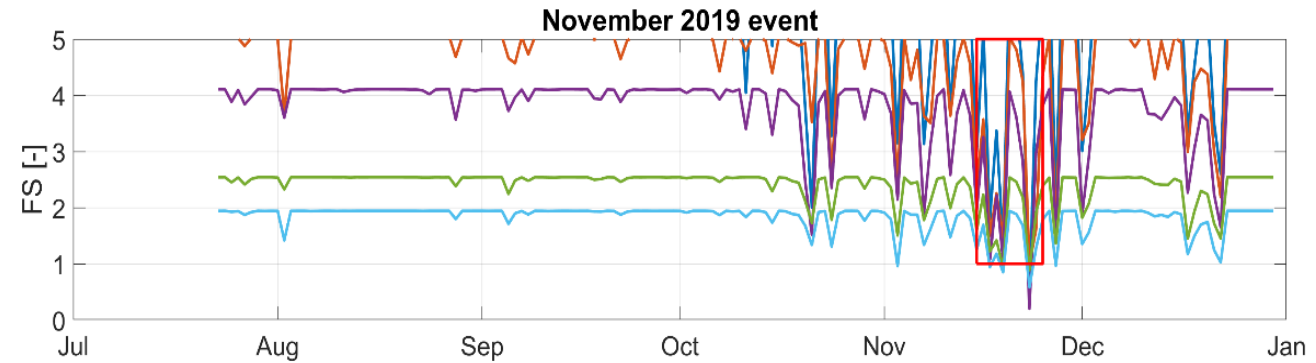
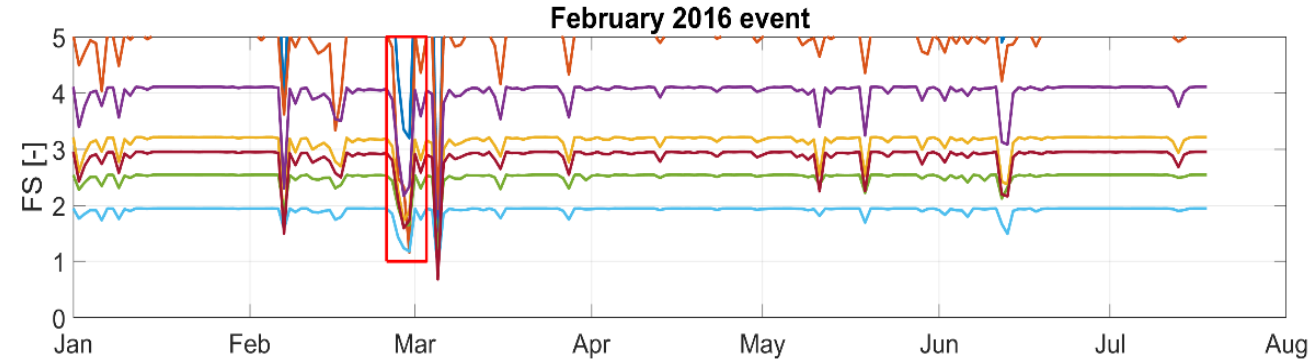
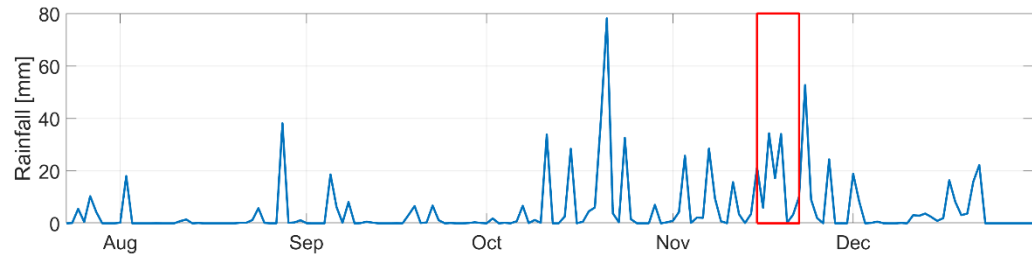
Risultati preliminari



Febbraio 2016



Novembre 2019

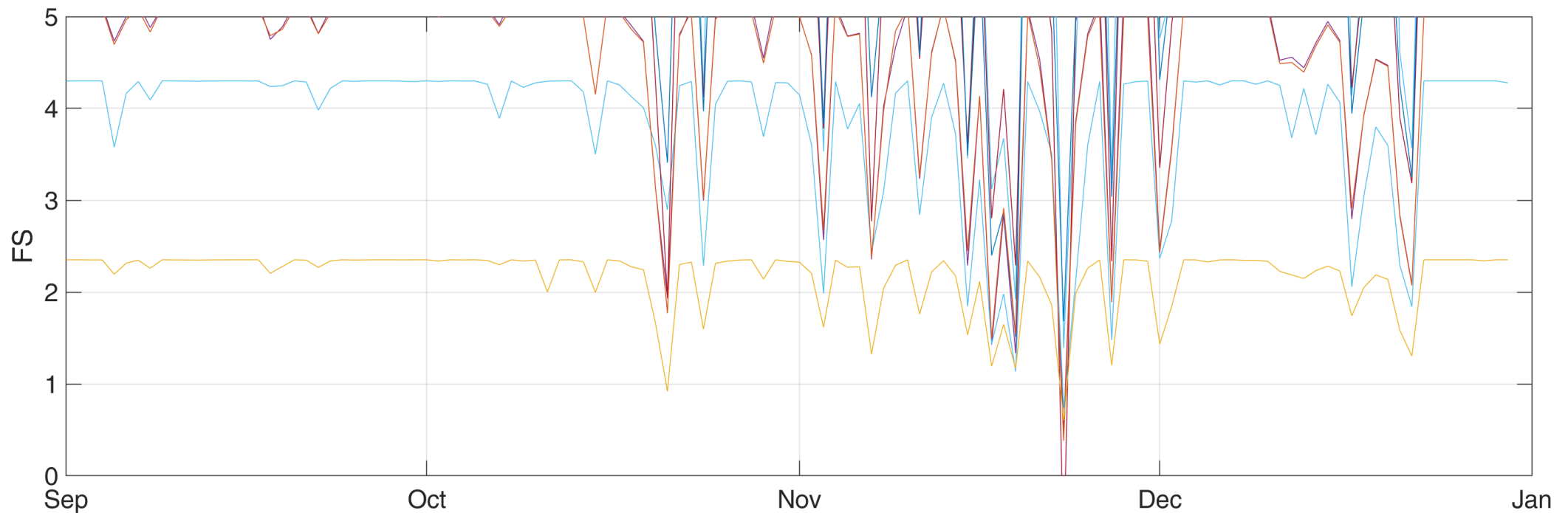


Risultati preliminari

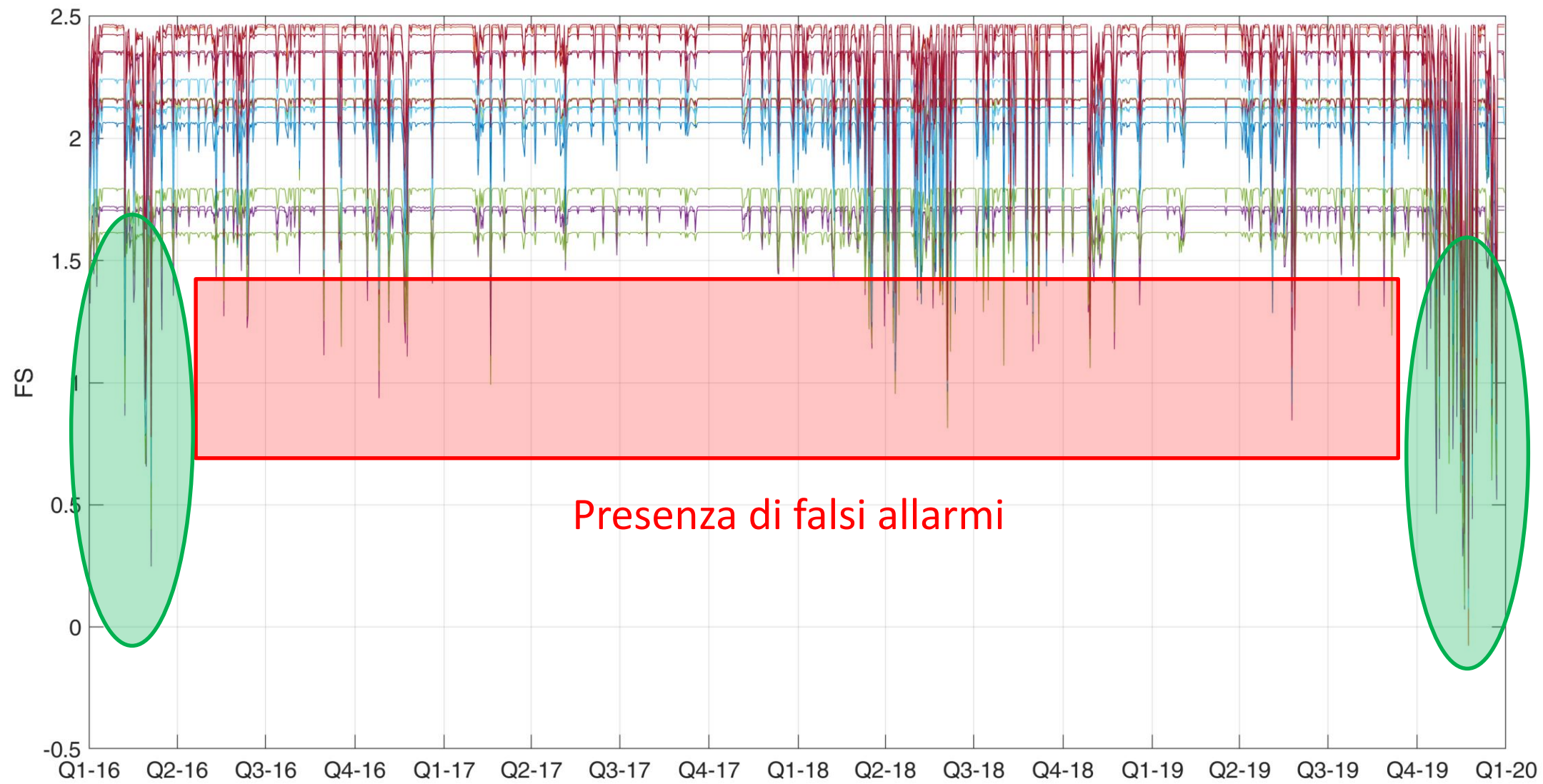
11

Febbraio 2016 – 68 frane		
S1ASCAT	51	75%
DIREX	56	82%
RT	26	38%

Novembre 2019 – 31 frane		
S1ASCAT	28	90%
DIREX	29	93%
RT	29	93%

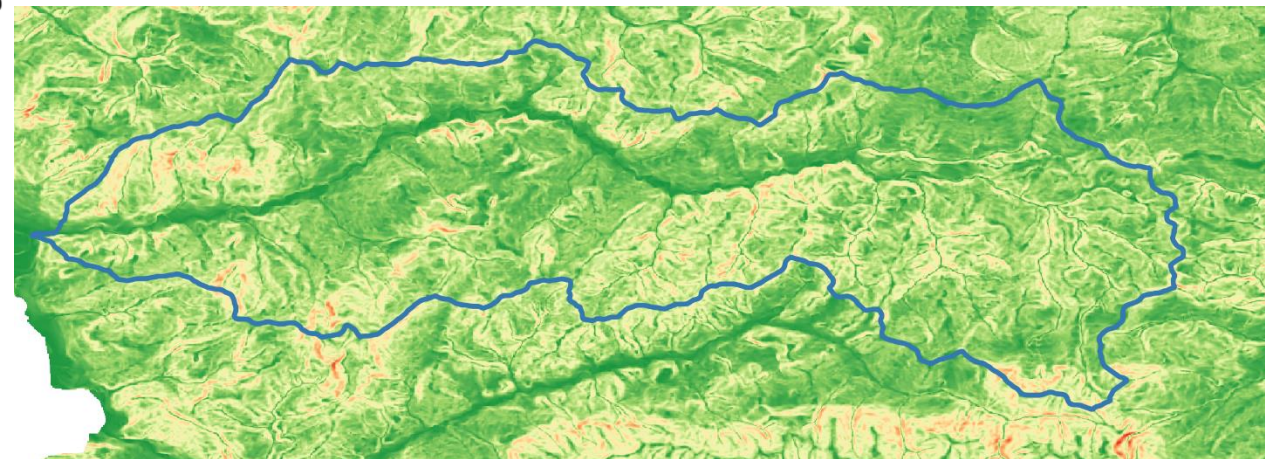
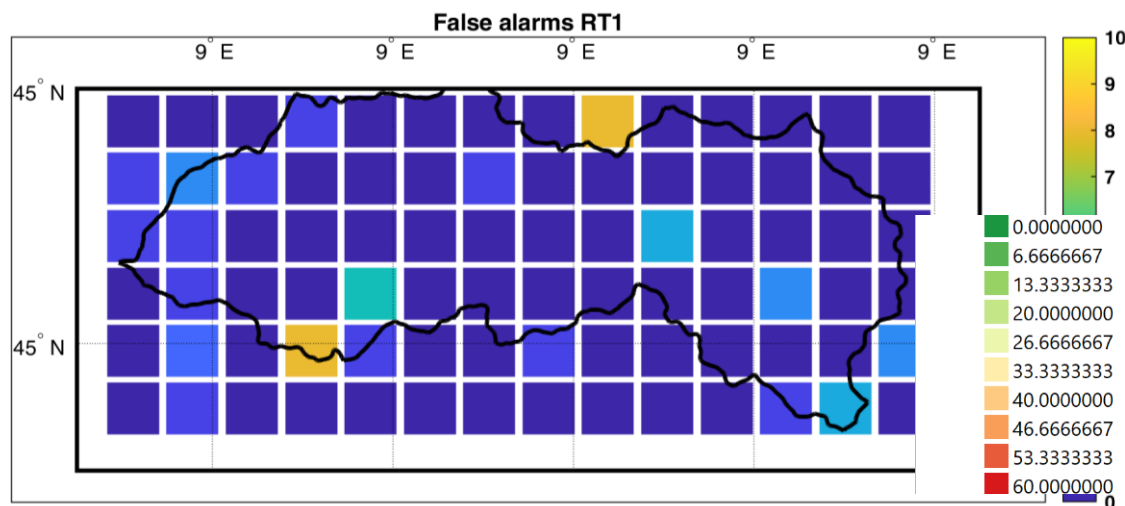
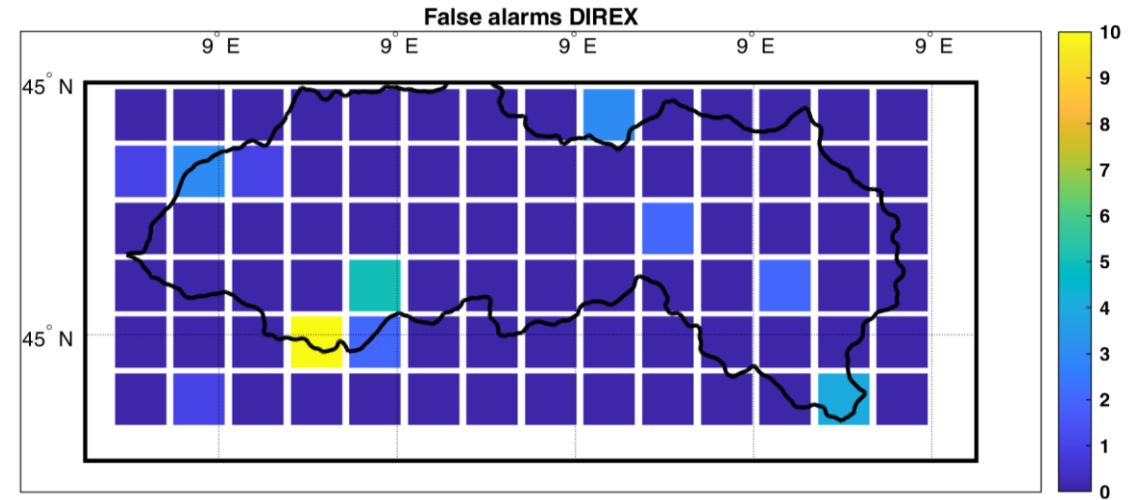
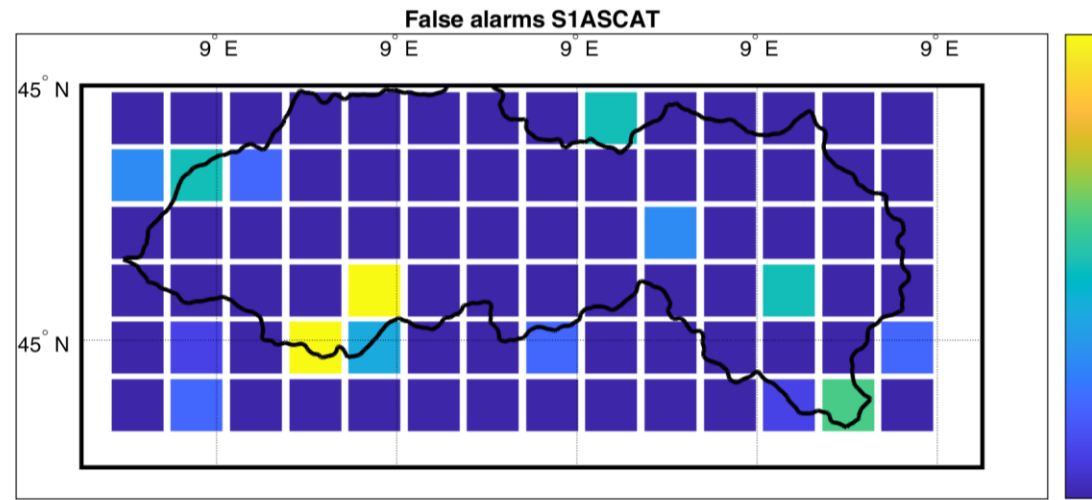


Risultati preliminari



Risultati preliminari

12



nbre 2021



Conclusioni e sviluppi futuri

14

- Per la prima volta è stato testato l'utilizzo di dati satellitari ad alta risoluzione in una modellistica fisicamente basata per la valutazione della stabilità dei versanti;
- Il modello riesce ad identificare le condizioni di instabilità quando viene forzato dai dati satellitari di contenuto d'acqua;
- Le performance del modello sono influenzate dalla qualità del dato satellitare di input;
- Sono presenti un numero non trascurabile di falsi allarmi;
- L'utilizzo di osservazioni a scala subgiornaliera potrebbe migliorare le performance del modello.

Reference

- Bordoni, M., Vivaldi, V., Lucchelli, L., Ciabatta, L., Brocca, L., Galve, J.P., Meisina, C. (2021). Development of a data-driven model for spatial and temporal shallow landslides probability of occurrence at catchment scale. *Landslides*, 18, 1209–1229, doi:10.1007/s10346-020-01592-3. <https://doi.org/10.1007/s10346-020-01592-3>
- Bruno G., Pignone F., Silvestro F., Gabellani S., Schiavi F., Rebora N., Giordano P. & Falzacappa, M. (2021). *Performing Hydrological Monitoring at a National Scale by Exploiting Rain-Gauge and Radar Networks: The Italian Case*. *Atmosphere*, 12(6), 771.
- Lu, N., Likos, W.J. (2004). *Unsaturated soil mechanics*. John Wiley & Sons Inc., New York
- Lu, N., Godt, J.W., Wu, D.T., (2010). A closed-form equation for effective stress in unsaturated soil. *Water Resour. Res.*, 46, p. W05515