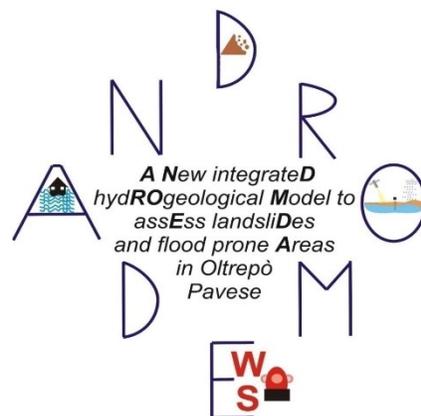


Fondazione  
**CARIPLO**



# Soglie pluviometriche per l'innescò di frane superficiali basate su dati di monitoraggio idrologico



UNIVERSITÀ  
DI PAVIA



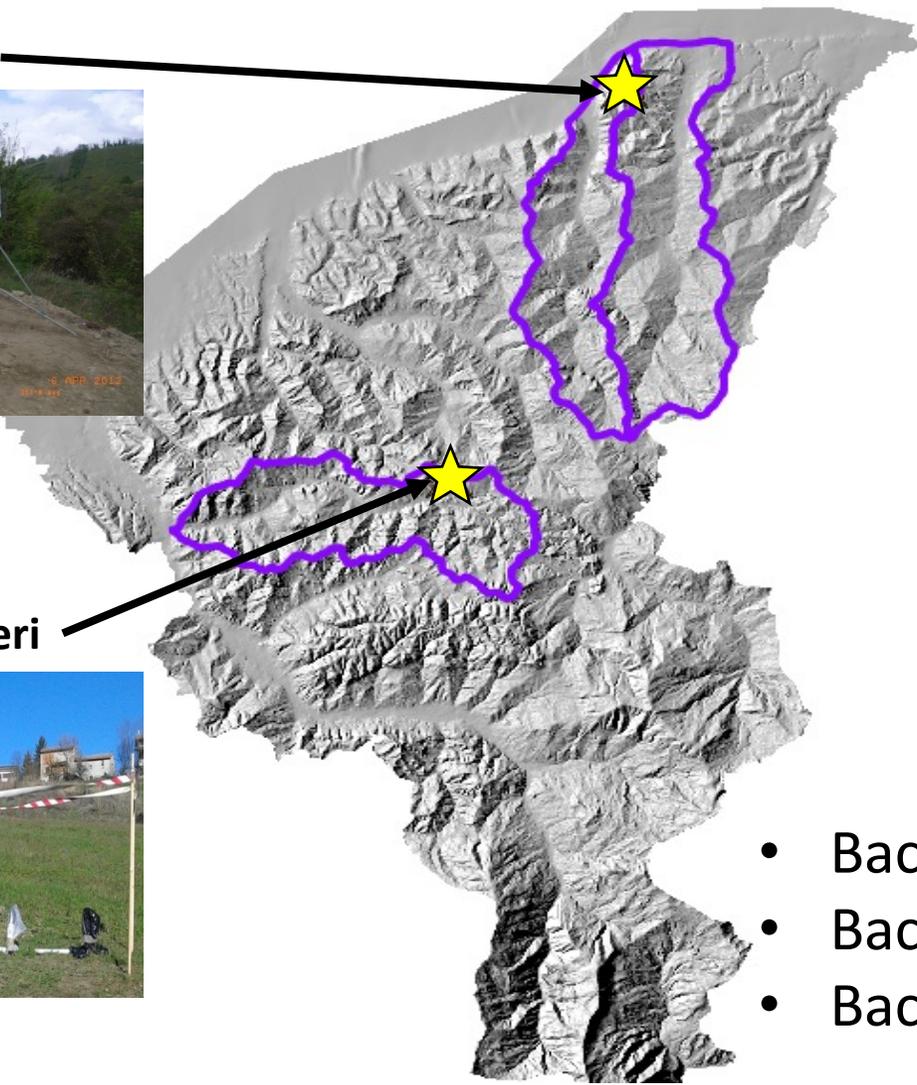
1. Messa a punto di soglie pluviometriche **per l'individuazione dei momenti di innesco di frane superficiali** basati su dati di monitoraggio al suolo di pioggia e umidità del terreno
2. Sviluppare un prototipo di **Sistema di Allerta (EWS)** basato su soglie pluviometriche e di umidità del suolo misurate da stazioni di monitoraggio

### 3. SITI CAMPIONE

Montuè



Costa Cavalieri



- **Siti rappresentativi** dell'Appennino settentrionale
  - **Morfologie variabili** (acclività elevate)
  - **Terreni eterogenei**
- 
- Bacino del **torrente Scuropasso** (35 km<sup>2</sup>)
  - Bacino del **torrente Versa** (47 km<sup>2</sup>)
  - Bacino del **torrente Ardivestra** (47 km<sup>2</sup>)

## Soglie empiriche e fisicamente basate

### INPUT

- ❖ DATI PRECIPITAZIONI
- ❖ STAZIONI DI MONITORAGGIO METEOROLOGICO
- ❖ INVENTARIO FRANE
- ❖ PARAMETRI **IDROLOGICI** DEL SUOLO: CONDIZIONI INIZIALI DI PRESSIONE INTERSTIZIALE

### METODO

**CTRL-T ALGORITHM**  
(Melillo et al., 2015)

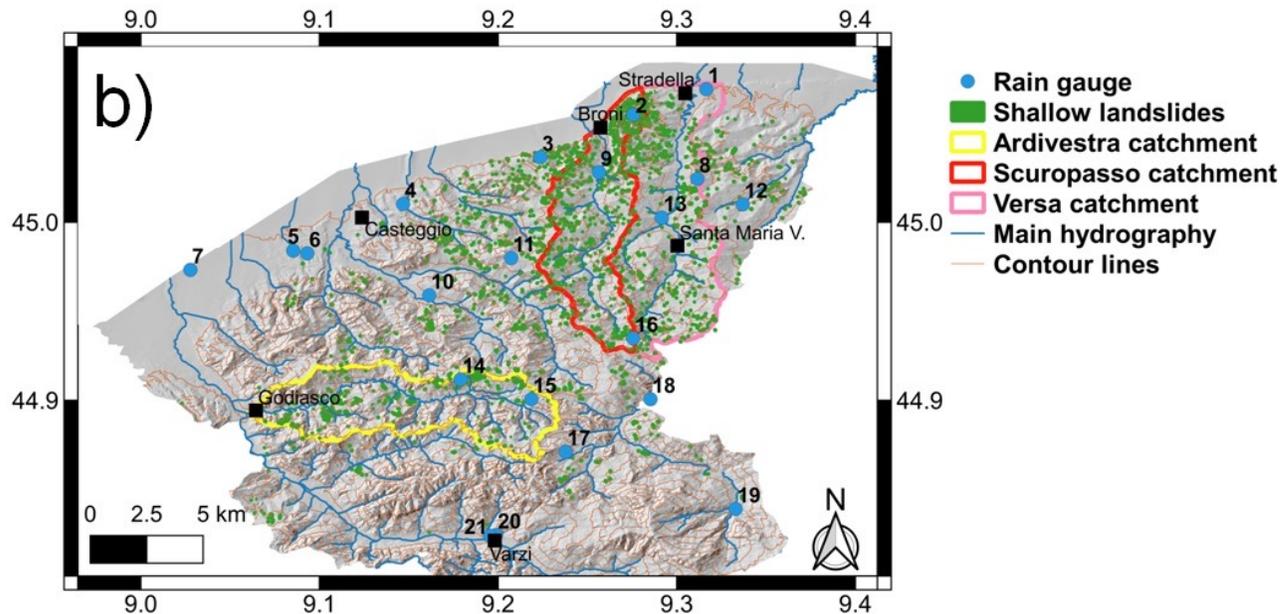
**TRIGRS MODEL**  
(Baum et al., 2008)

### OUTPUT: SOGLIE PLUVIOMETRICHE

❖ **EMPIRICHE**

❖ **FISICAMENTE BASATE**

## Dati di partenza



## Rete di pluviometri

- 21 stazioni (ARPA Lombardia, ARPAE Emilia Romagna, COPROVI)

- Dati pluviometrici dal 2000

- Risoluzione oraria

## Inventario delle Frane Superficiali

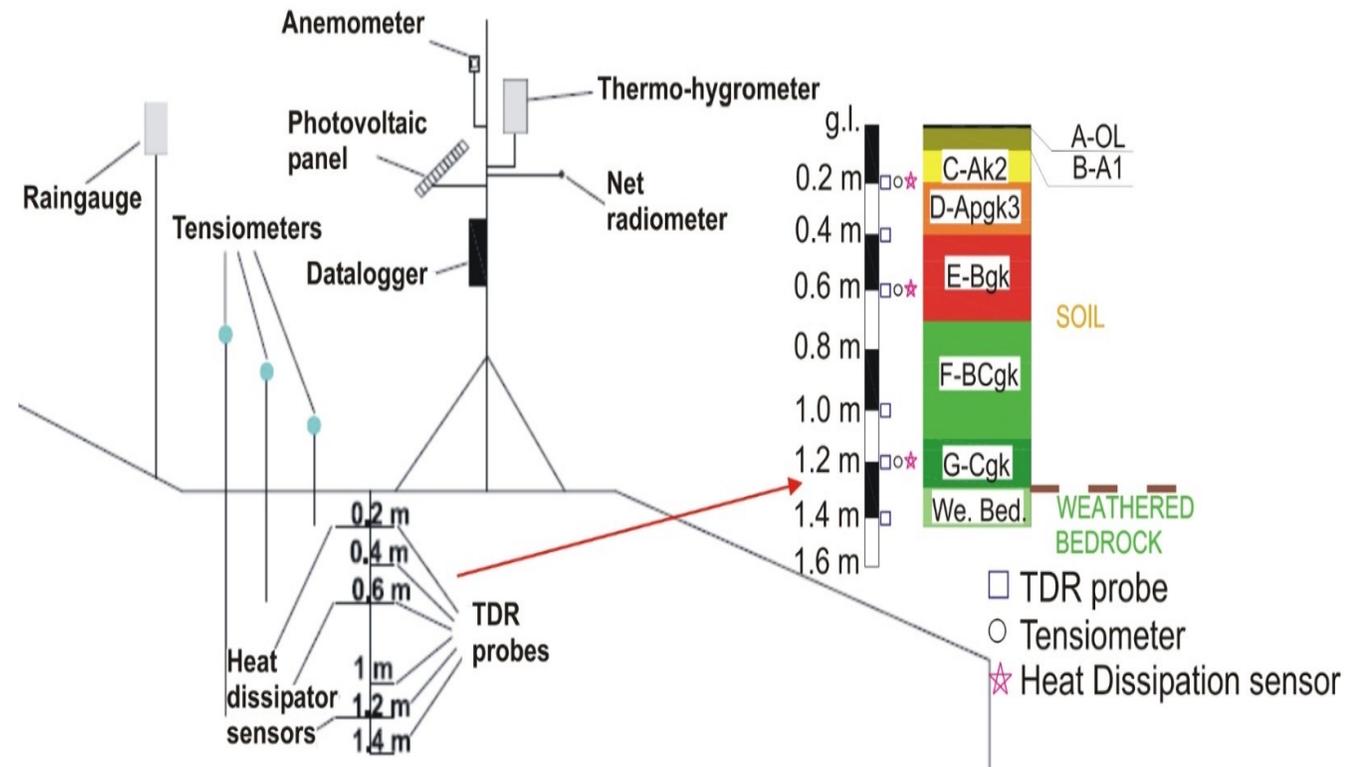
- 143 eventi di innesco dal 2000

- Mappatura dei fenomeni franosi: *Google Earth*, immagini satellitari in alta risoluzione (April 2009 event), immagini *Pleiades* (2013 eventi), testate giornalistiche locali e nazionali, report di comuni e provincia.

- **Sonde di misurazione** installate in trincea
- **Acquisizione dati dal 27/03/2012**
- **Risoluzione temporale: 10 minuti**
- **Datalogger** (CR1000X, Campbell Scientific, Inc.).

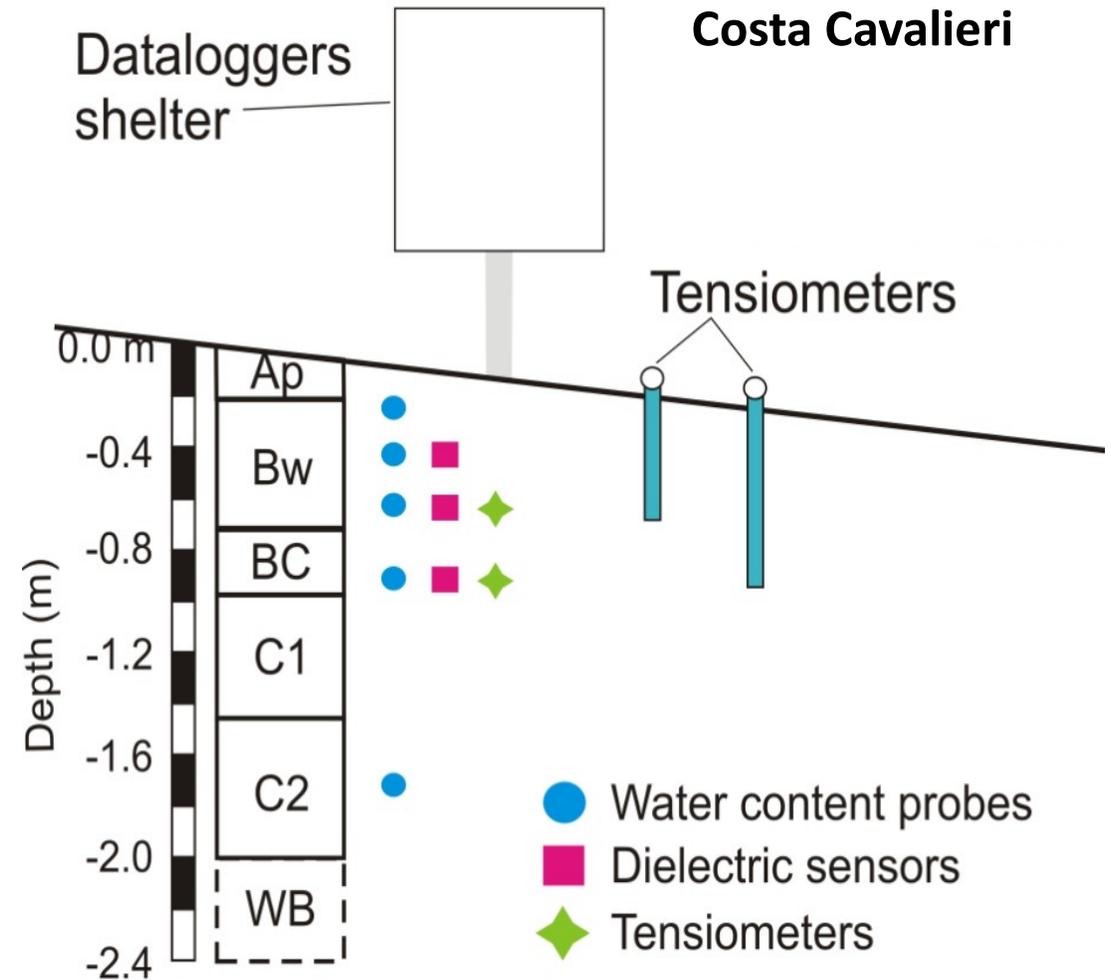
## Montuè

Device	Model	Range of measure	Accuracy
Heat Dissipation sensors	Model HD229 - Campbell Scientific	-10000 / -10 kPa	1.5 – 2 kPa
Tensiometers	Model Jet-Fill 2725	-80 / 10 kPa	1.5 – 2 kPa
TDR probes	Model CS610 - Campbell Scientific	0.05 / 1.0 m <sup>3</sup> ·m <sup>-3</sup>	0.01 – 0.02 m <sup>3</sup> ·m <sup>-3</sup>

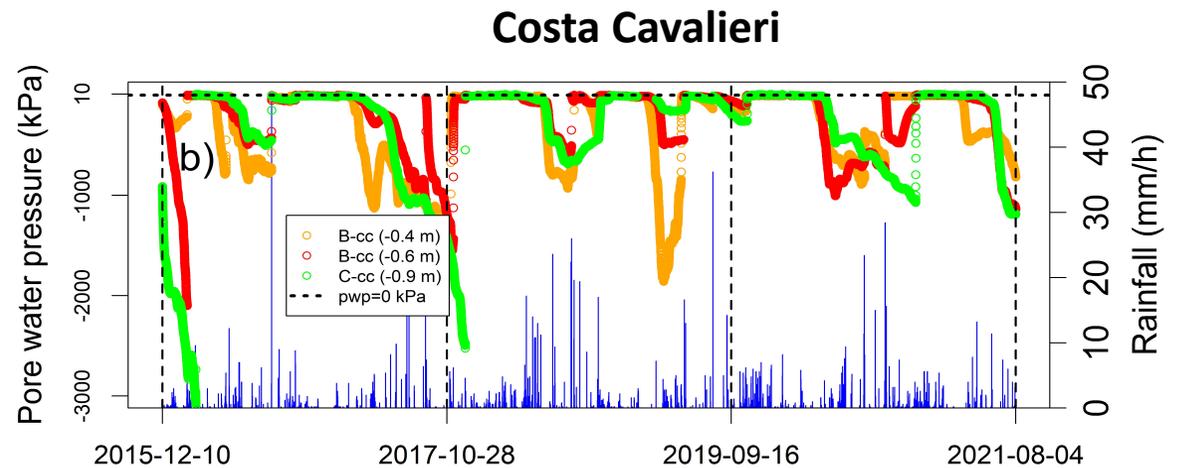
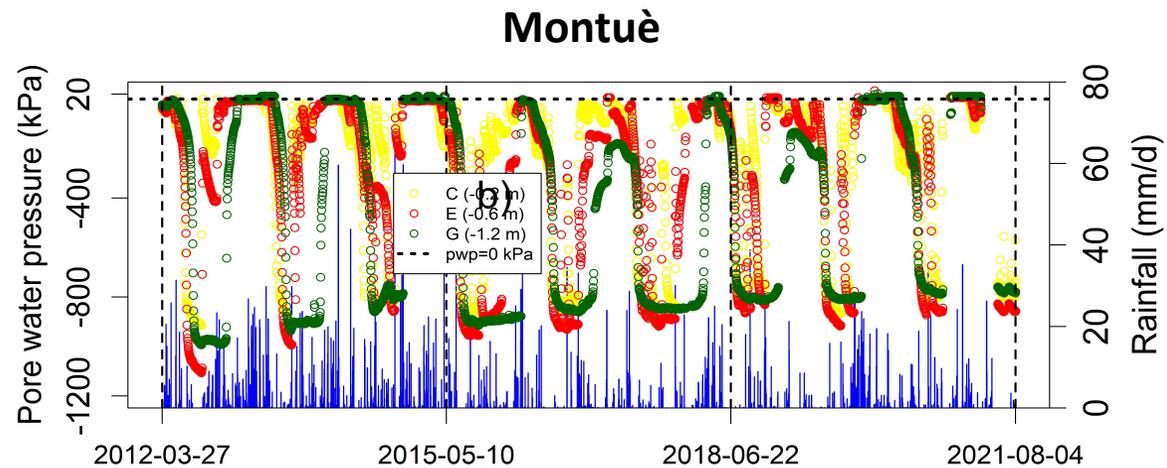
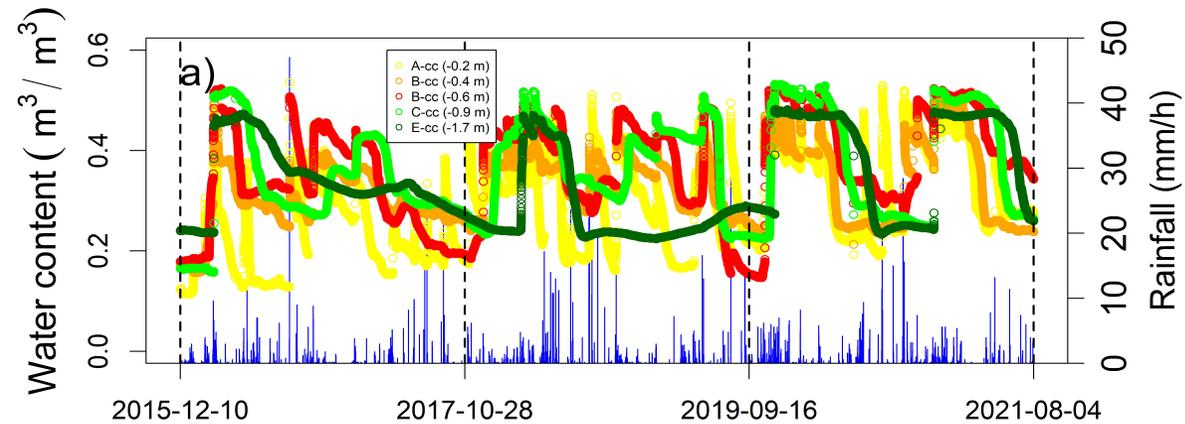
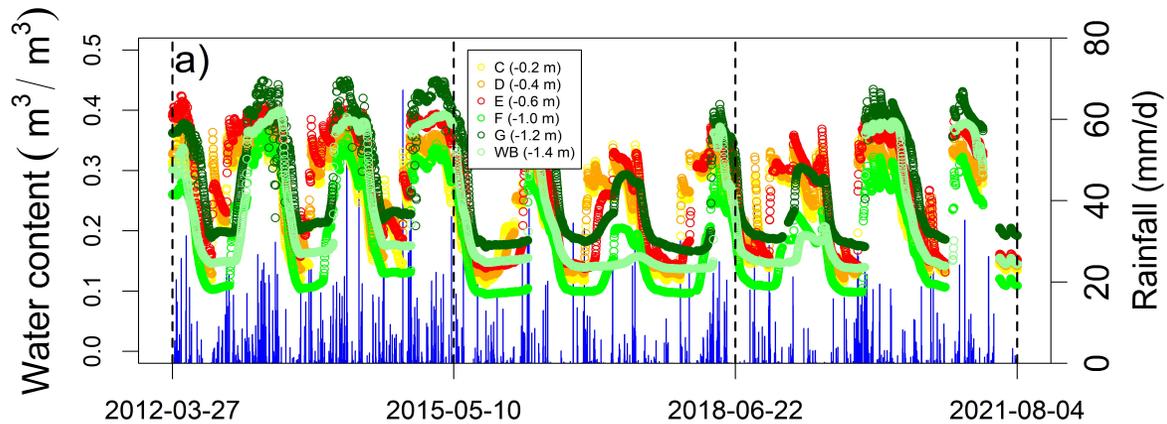


- **Sonde di misurazione** installate in trincea
- **Acquisizione dati dal 27/11/2015**
- **Risoluzione temporale: 10 minuti**

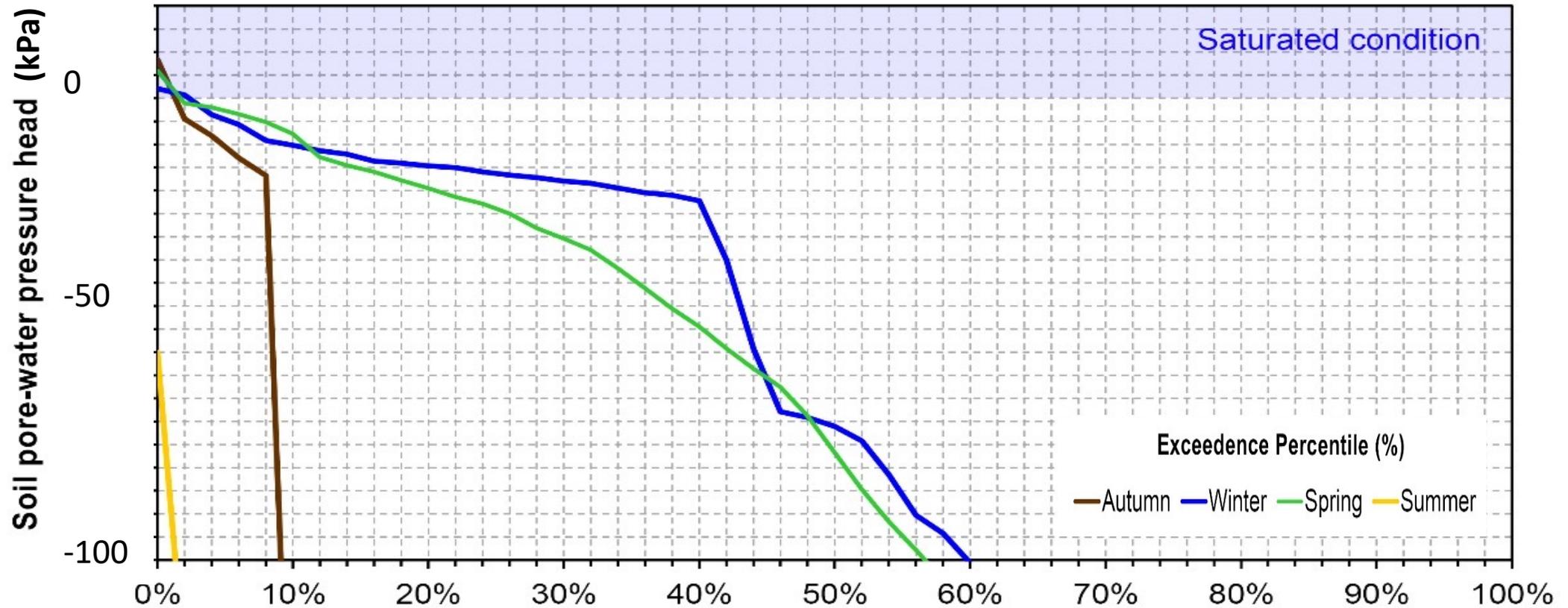
Device	Model	Range of measure	Accuracy
Dielectric sensors	Model MPS-6 – Decagon Devices	-100000 / -9 kPa	3 kPa
Tensiometers	Model T4e-UMS GmbH	-85 / 10 kPa	0.5 kPa
Water content probes	Model GS3 – Decagon Devices	0.05 / 1.0 m <sup>3</sup> ·m <sup>-3</sup>	0.01 – 0.02 m <sup>3</sup> ·m <sup>-3</sup>



## Monitoraggio idrometeorologico



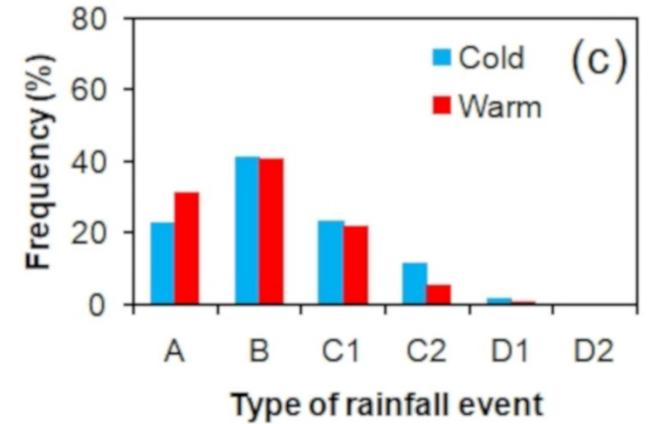
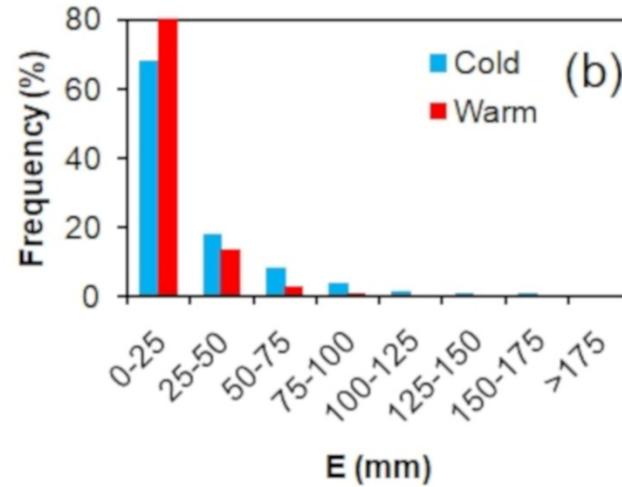
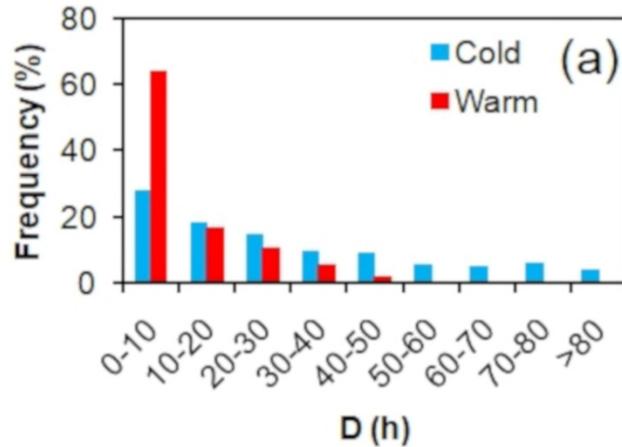
# 6. RISULTATI



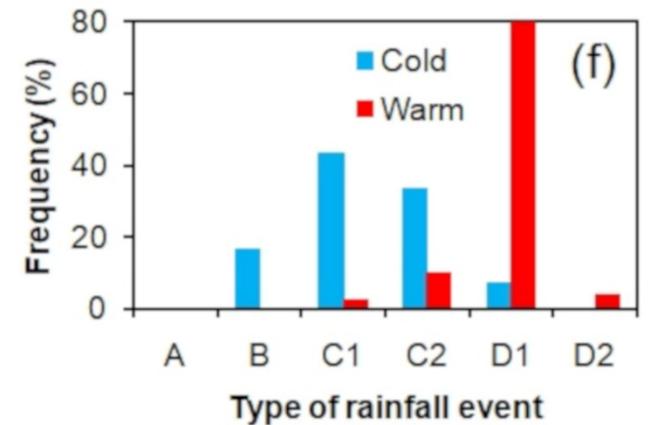
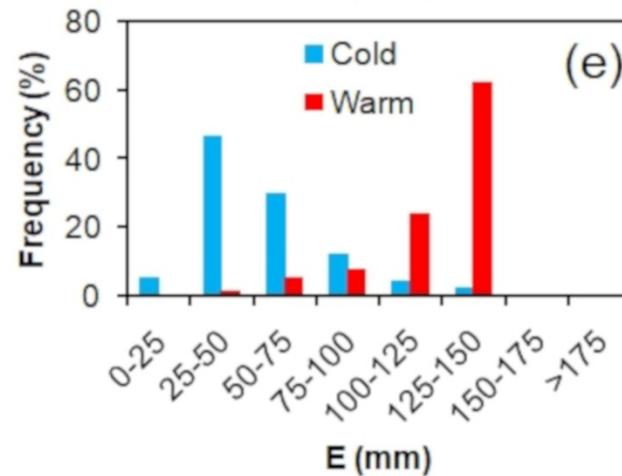
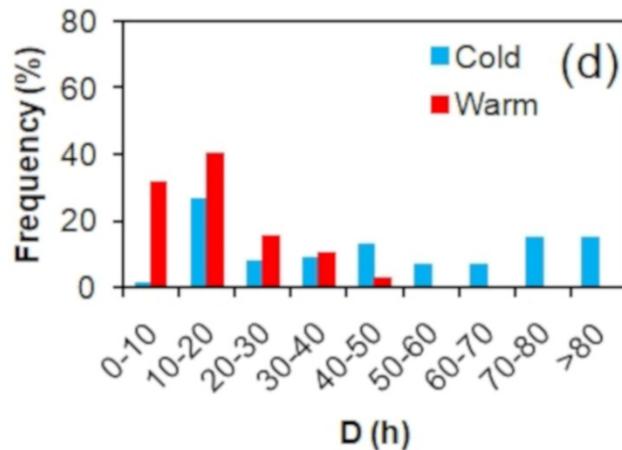
Fusco F., Bordoni M., Tufano R., Vivaldi V., Meisina C., Valentino R., Bittelli M., De Vita P.: *“Hydrological regimes in different slope environments and implications on rainfall thresholds triggering shallow landslides”* – SUBMITTED on Natural Hazards (April 2021).

## Caratteristiche delle precipitazioni

Tutte le piogge

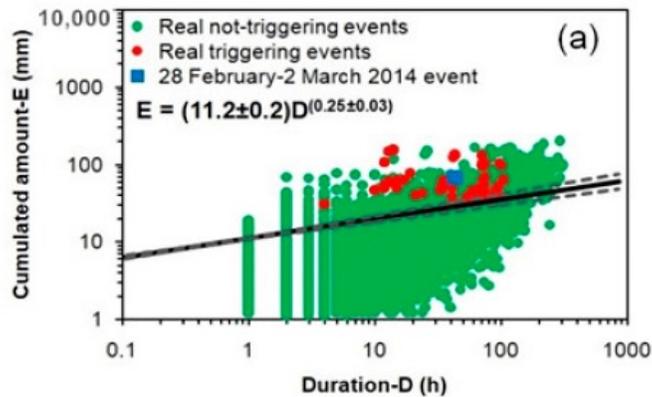


Eventi di innesco

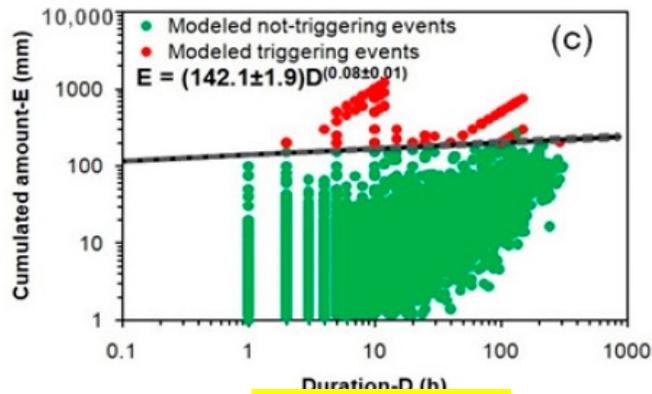
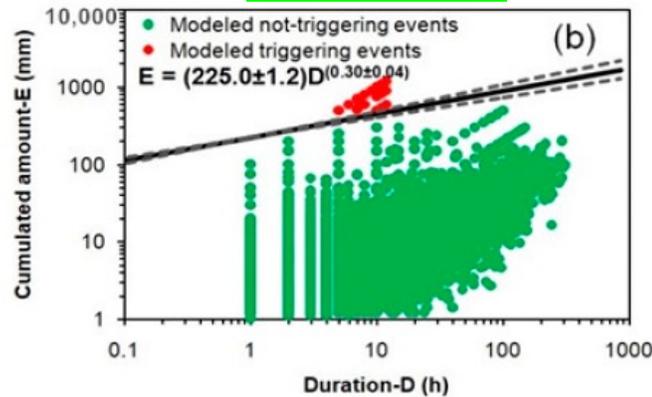


## Costruzione delle soglie pluviometriche: empiriche e fisicamente basate

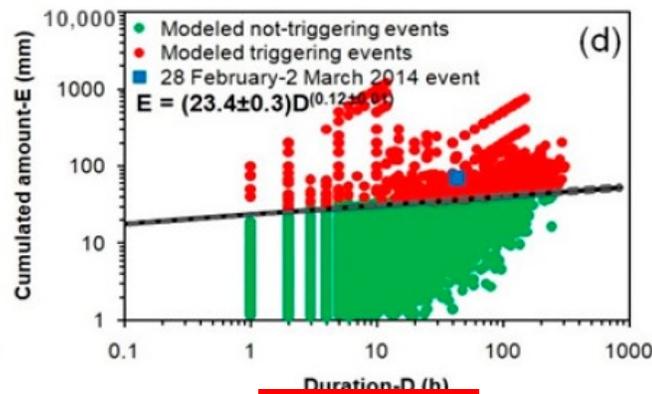
**Empirica**



**PWP=-20 kPa**



**PWP=-10 kPa**



**PWP=0 kPa**

- Differenze significative tra soglie empiriche e fisicamente basate
- Effetto delle condizioni idrologiche iniziali (pressione interstiziale) sulla quantità di pioggia necessaria a provocare l'innesco
- Valori di precipitazione di innesco inferiori per soglie empiriche



Article

### Empirical and Physically Based Thresholds for the Occurrence of Shallow Landslides in a Prone Area of Northern Italian Apennines

Massimiliano Bordoni <sup>1,\*</sup>, Beatrice Corradini <sup>1</sup>, Luca Lucchelli <sup>1</sup>, Roberto Valentino <sup>2</sup>, Marco Bittelli <sup>3</sup>, Valerio Vivaldi <sup>1</sup> and Claudia Meisina <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Earth and Environmental Sciences, University of Pavia, Via Ferrata 1, 27100 Pavia, Italy; beatrice.corradini01@universitadipavia.it (B.C.); luca.lucchelli01@universitadipavia.it (L.L.); valerio.vivaldi@unipv.it (V.V.); claudia.meisina@unipv.it (C.M.)  
<sup>2</sup> Department of Chemistry, Life Sciences and Environmental Sustainability, University of Parma, Parco Area delle Scienze, 157/A, 43124 Parma, Italy; roberto.valentino@unipr.it  
<sup>3</sup> Department of Agricultural Sciences, University of Bologna, Viale Fanin 44, 40127 Bologna, Italy; marco.bittelli@unibo.it  
 \* Correspondence: massimiliano.bordoni@unipv.it or massimiliano.bordoni01@universitadipavia.it; Tel.: +39-0382985830

## FASE 1

### PREVISIONI PRECIPITAZIONI E PRESSIONE INTERSTIZIALE

- ❖ Piogge: dati ARPA - GFS
- ❖ Pressione Interstiziale: dati da stazioni di monitoraggio (Montuè – Costa Cavalieri) - Modello di previsione.

## FASE 2

### CONTROLLO SEGNALAZIONI ALLERTE

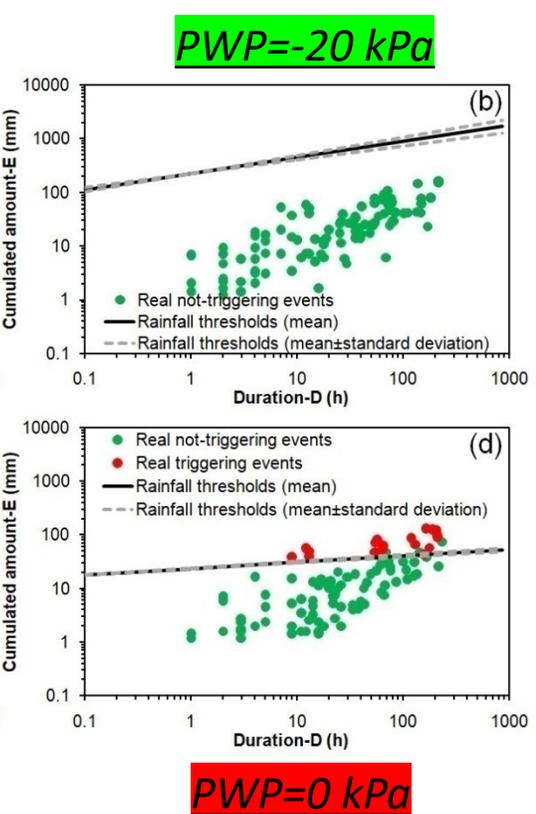
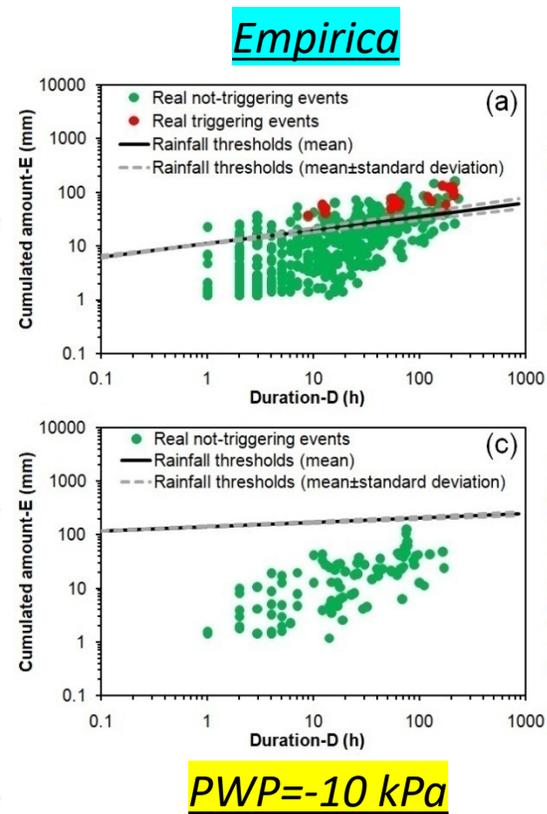
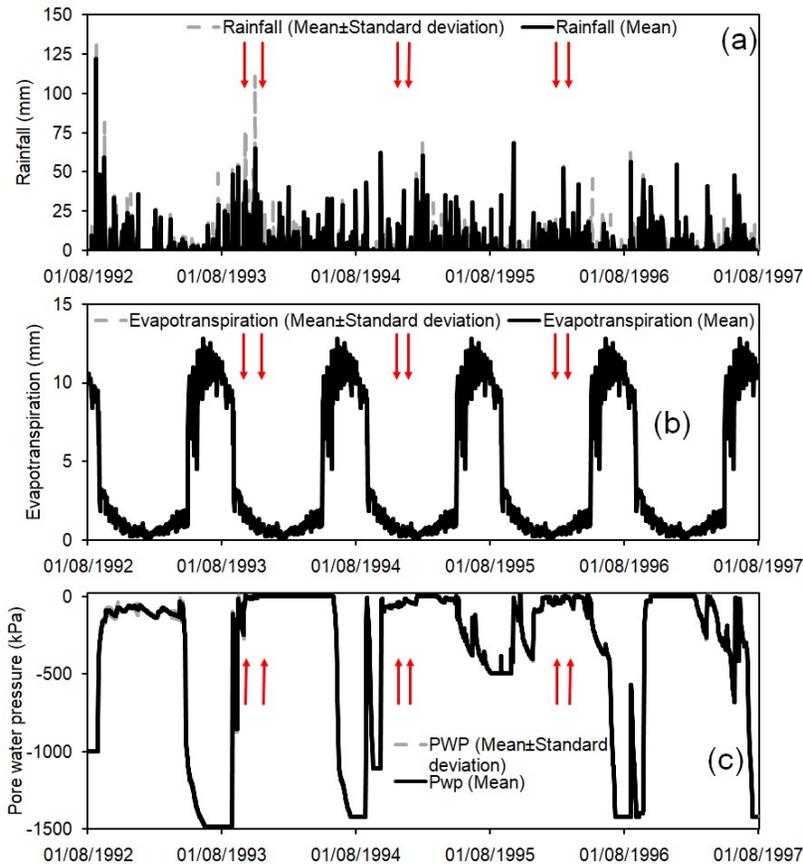
- ❖ ARPA
- ❖ Protezione civile della Regione Lombardia

## FASE 3

### SCELTA DELLA CORRETTA SOGLIA FISICAMENTE BASATA IN FUNZIONE DELLE PRESSIONI INTERSTIZIALI MISURATE

- ❖ Soglie fisicamente basate

## Validazione preliminare delle soglie pluviometriche empiriche e fisicamente basate



Stima migliore degli eventi di innesco con soglie fisicamente basate (**minor numero di falsi positivi**)

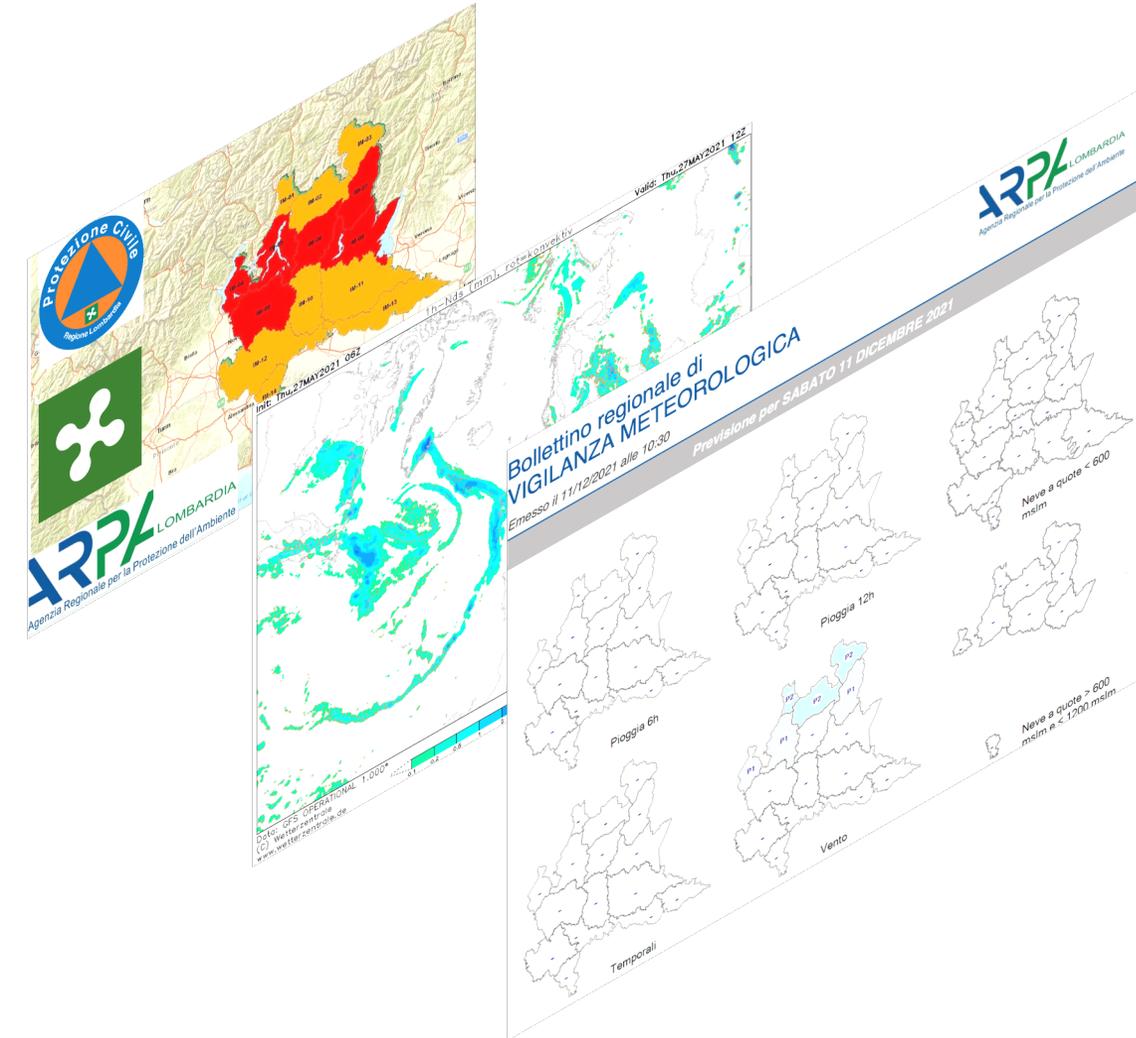
**TP:** 95% empirica  
100% fisicamente basata

**FP:** 24% empirica  
7% fisicamente basata

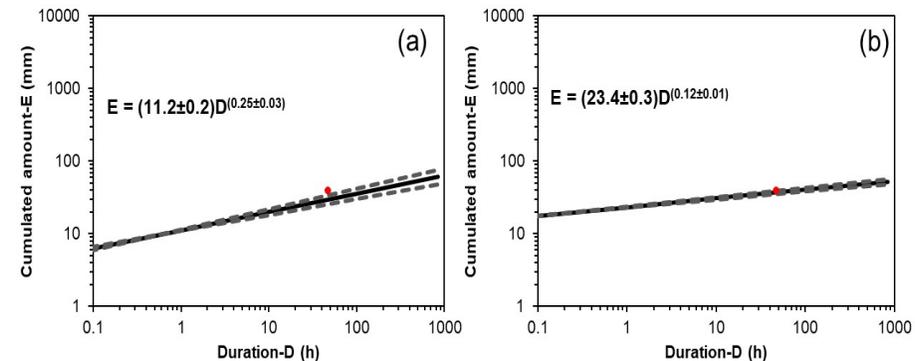
Validazione del modello dal 1992 al 1997

# 7. VALIDAZIONE DELLE SOGLIE

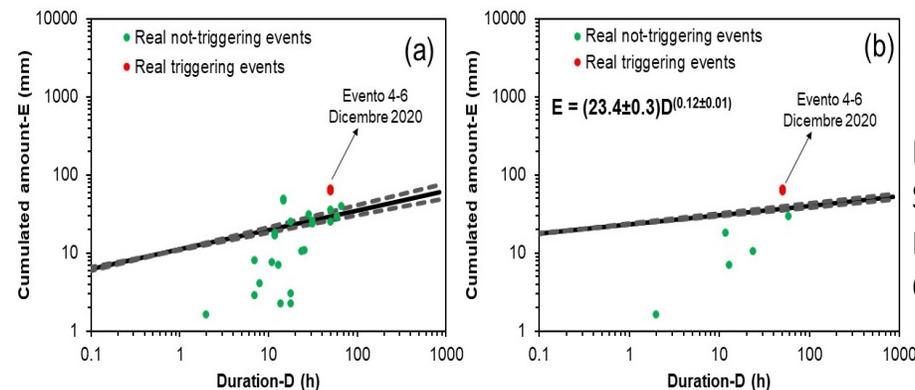
## Validazione definitiva delle soglie pluviometriche empiriche e fisicamente basate



Evento 21-22 Dicembre 2019 all'interno della soglia empirica (a) e fisicamente basata per pressione iniziale di 0 kPa (b)



Evento: 21-22/12/2019  
 Stazione: Montuè  
 Durata: 48h  
 Cumulata: 31.9mm



Evento: 4-6/12/2020  
 Stazione: Montuè  
 Durata: 50h  
 Cumulata: 45.6mm

Eventi Dicembre 2020 all'interno della soglia empirica (a) e fisicamente basata per pressione iniziale di 0 kPa (b)



Article

## A Data-Driven Method for the Temporal Estimation of Soil Water Potential and Its Application for Shallow Landslides Prediction

Massimiliano Bordoni <sup>1,\*</sup>, Fabrizio Inzaghi <sup>1</sup>, Valerio Vivaldi <sup>1</sup>, Roberto Valentino <sup>2</sup>, Marco Bittelli <sup>3</sup> and Claudia Meisina <sup>1</sup>

**APPLICAZIONE DATI PRECIPITAZIONE  
(DURATA/CUMULATA)**

**MODELLO DI PRESSIONE INTERSTIZIALE**



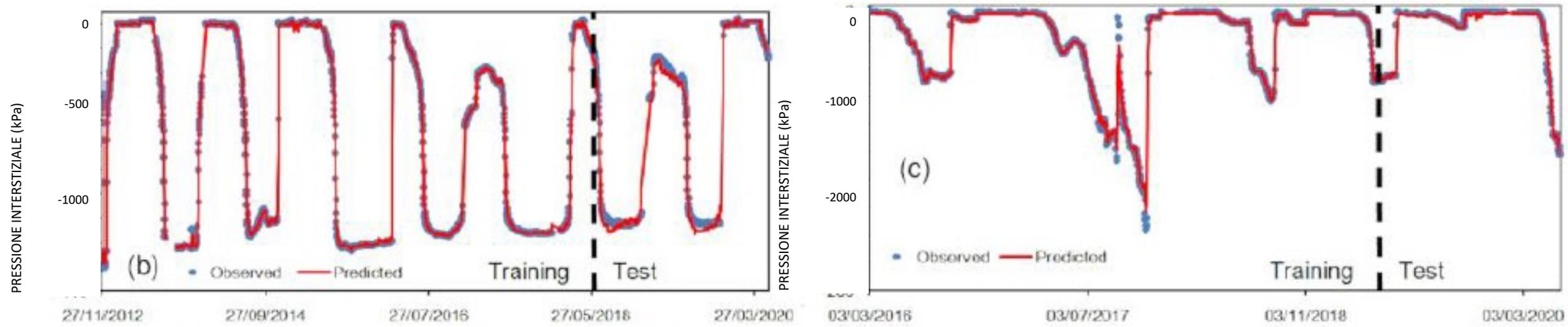
**SOGLIE FISICAMENTE BASATE**

VARIABILI CONSIDERATE



- ❖ Precipitazioni cumulate 3-7-14-30 e 60 giorni antecedenti
- ❖ Temperatura media dell'aria 3-7-14-30 e 60 giorni antecedenti
- ❖ Pressione media dell'acqua nel suolo 3 e 7 giorni antecedenti
- ❖ **Modello DATA DRIVEN** («Random Forest»-scritto in R)
- ❖ Dati provenienti dalle stazioni di monitoraggio di Montuè (suoli limosi) e Costa Cavalieri (suoli argillosi)
- ❖ Profondità a cui viene modellata la pressione: Montuè 0.6 e 1.2 m; Costa Cavalieri 0.6 e 0.9 m

## Calibrazione del modello predittivo sulle serie storiche delle stazioni di Montuè (b) e Costa Cavalieri (c)



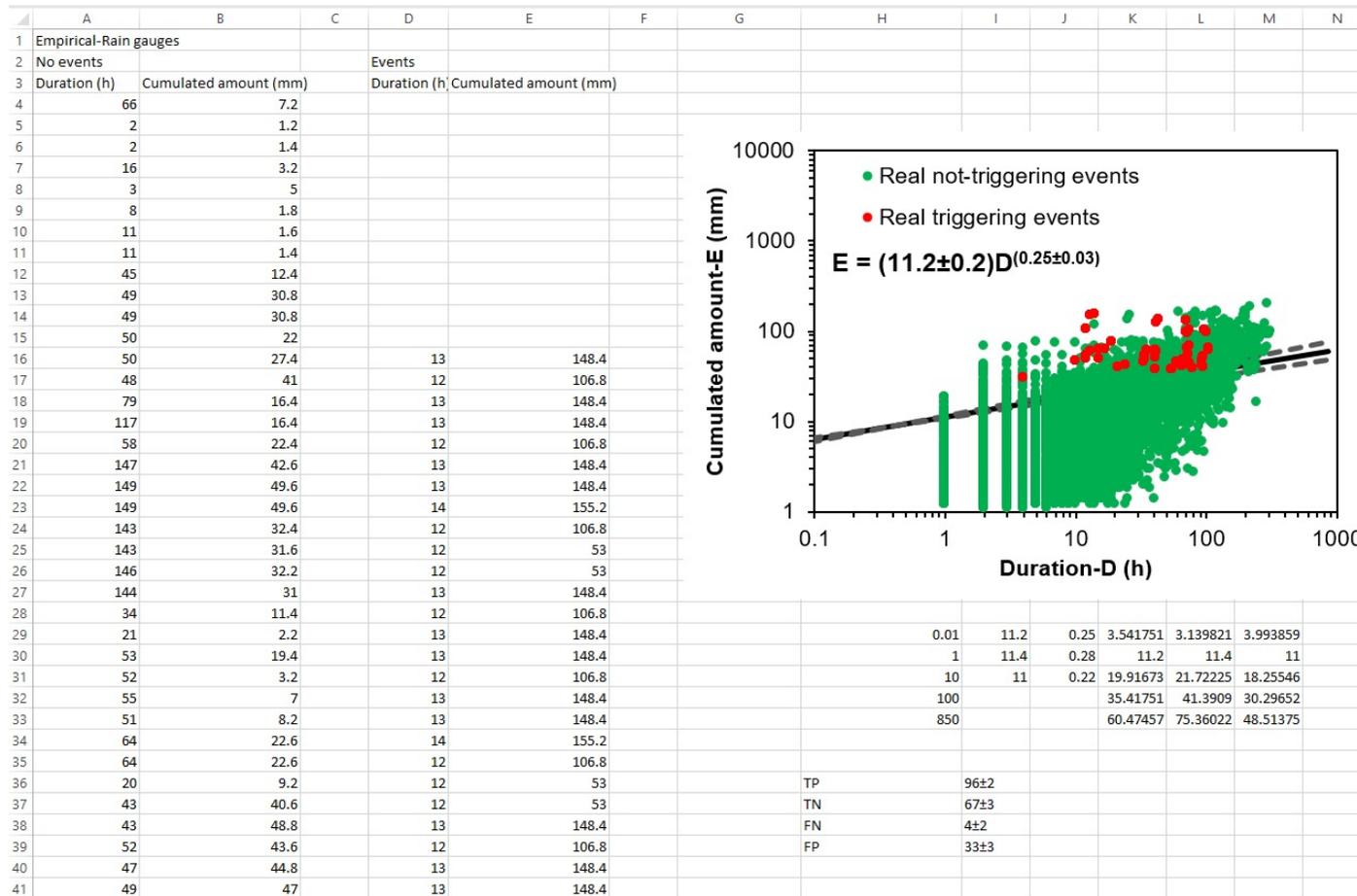
**75% della serie storica: Training del modello machine learning**

**25% della serie storica: Test del modello machine learning**

**R<sup>2</sup> 0,90-0,99**

Applicazione dati precipitazione (durata/cumulata) sulle

**SOGLIE EMPIRICHE  
SOGLIE FISICAMENTE-BASATE** (scelta sulla base del valore di pressione all'inizio dell'evento)



# 7. VALIDAZIONE DELLE SOGLIE

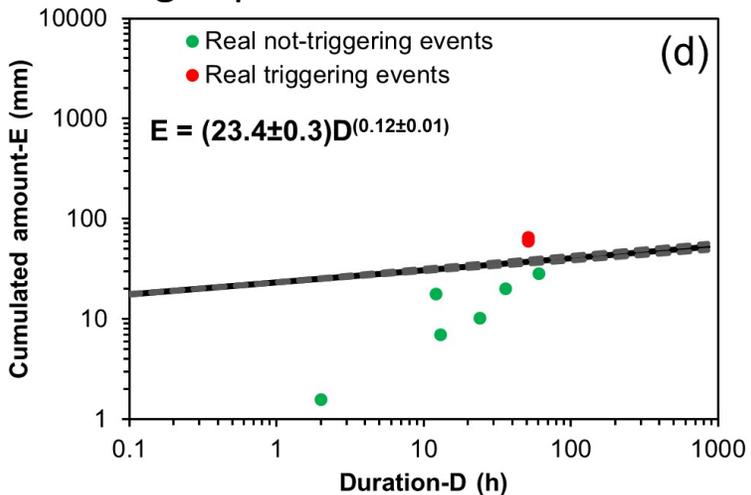
Soglie **fisicamente basate** calcolate su base giornaliera per i due siti campione (Montuè e costa Cavalieri).

Ogni soglia giornaliera viene costruita tenendo conto delle **condizioni antecedenti**.

October	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Montuè	Green																														
Costa Cavalieri	Green																														
November	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Montuè	Green																														
Costa Cavalieri	Green																														
December	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Montuè	Green	Green	Green	Red	Red	Red	Yellow																								
Costa Cavalieri	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Red	Yellow																						
January	1	2	3	4	5	6																									
Montuè	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow																									
Costa Cavalieri	Red	Red	Red	Red	Red	Red																									

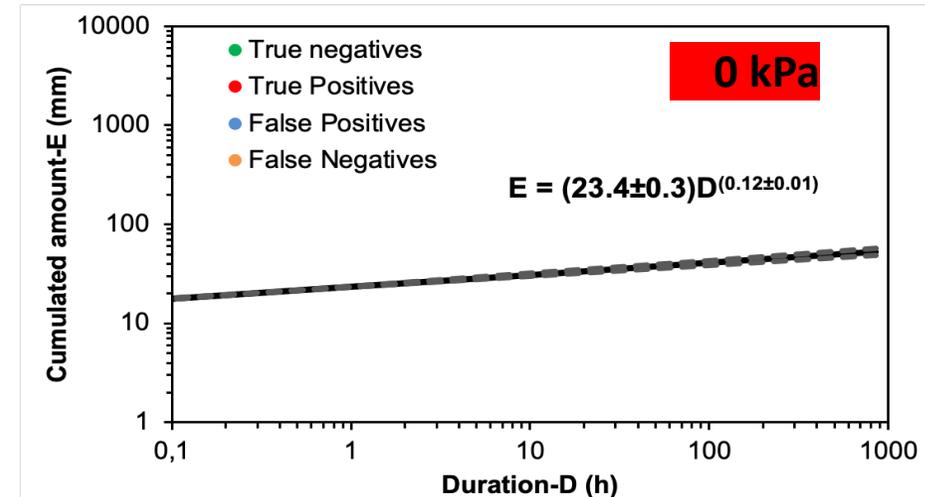
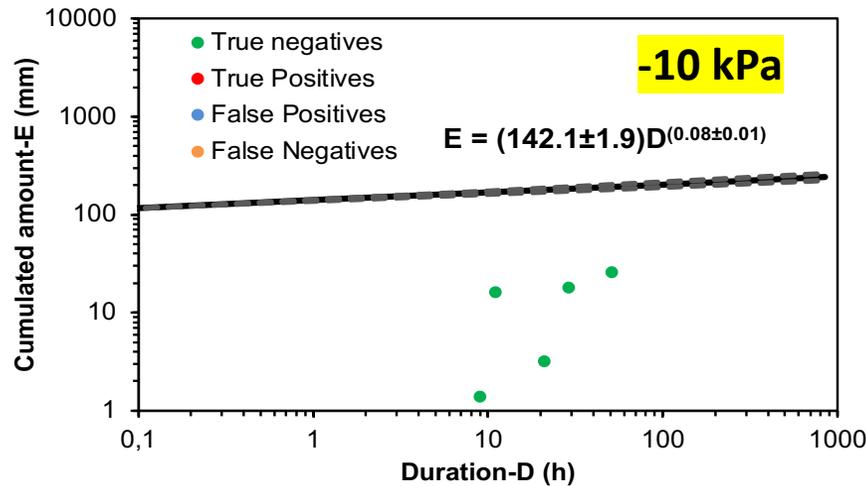
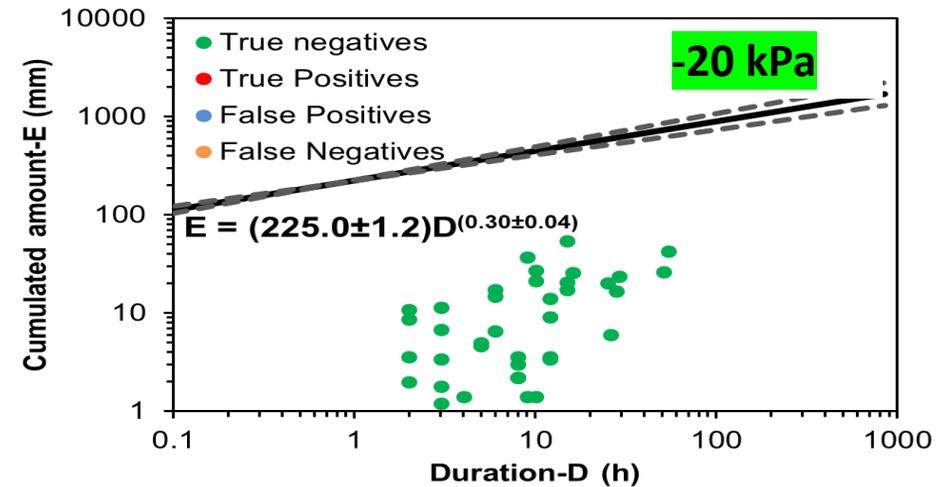
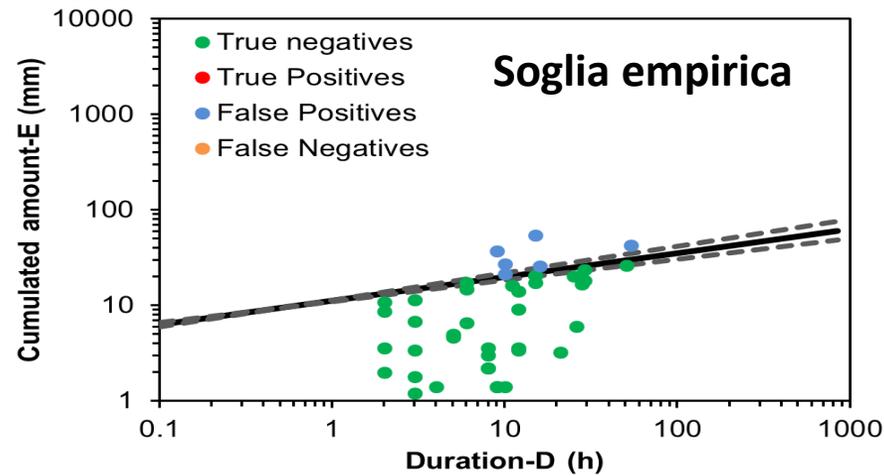
■ Soglia -20 kPa  
■ Soglia -10 kPa  
■ Soglia 0 kPa

Soglia pressione iniziale **0 kPa**



Ad esempio è possibile notare come le soglie calcolate sui giorni **4-5-6 dicembre 2020** sui dati di Montuè coincidano con un evento di innesco (5-6 dicembre)

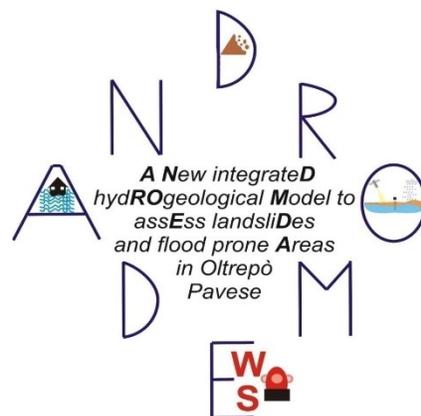
Validazione delle soglie con dati da **bollettino ARPA Lombardia** degli eventi dagli **ultimi 6 mesi** ad oggi



- **Monitoraggio** continuo delle condizioni atmosferiche ed idrologiche del suolo
- Costruzione di **soglie pluviometriche** empiriche e fisicamente basate
- Dalla validazione è emerso che si ottengono migliori risultati con soglie fisicamente basate
- Ruolo chiave dei **parametri idrologici** del suolo in profondità

- **Confronto** delle soglie empiriche con dati da **Satellite** (es. SENTINEL)
- Costruzione di **soglie idrometeorologiche** utilizzando i dati combinati di pressione interstiziale modellata e le precipitazioni da terra o da satellite
- Possibile applicazione delle soglie e dei modelli di pressione interstiziale ai fini di allertamento idro-meteorologico (**Protezione Civile**)

Fondazione  
**CARIPLO**



# Grazie per la cortese attenzione



UNIVERSITÀ  
DI PAVIA



Il progetto ANDROMEDA: nuovi metodi di previsione di frane superficiali e alluvioni