



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

**DST**

DIPARTIMENTO DI  
SCIENZE DELLA TERRA

# Metodologie ibride basate su soglie pluviometriche per migliorare la previsione di frane superficiali

Samuele Segoni

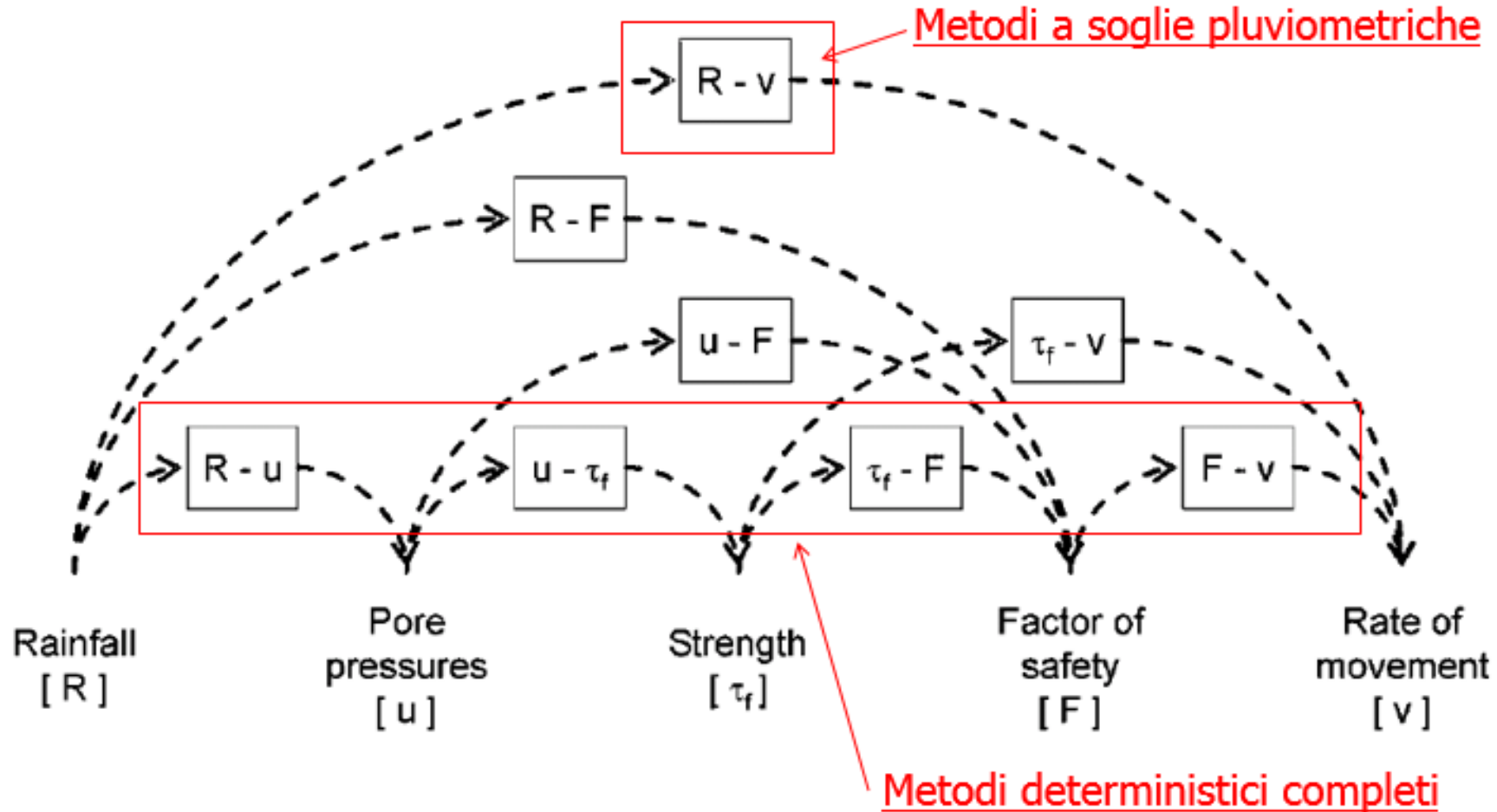
# Oggetto di discussione

Allertamento rapido frane pluvioindotte (LEWS)  
a scala regionale

- ~~monitoraggio strumentale~~
- ~~modellistica fisicamente basata~~
- soglie pluviometriche empiriche

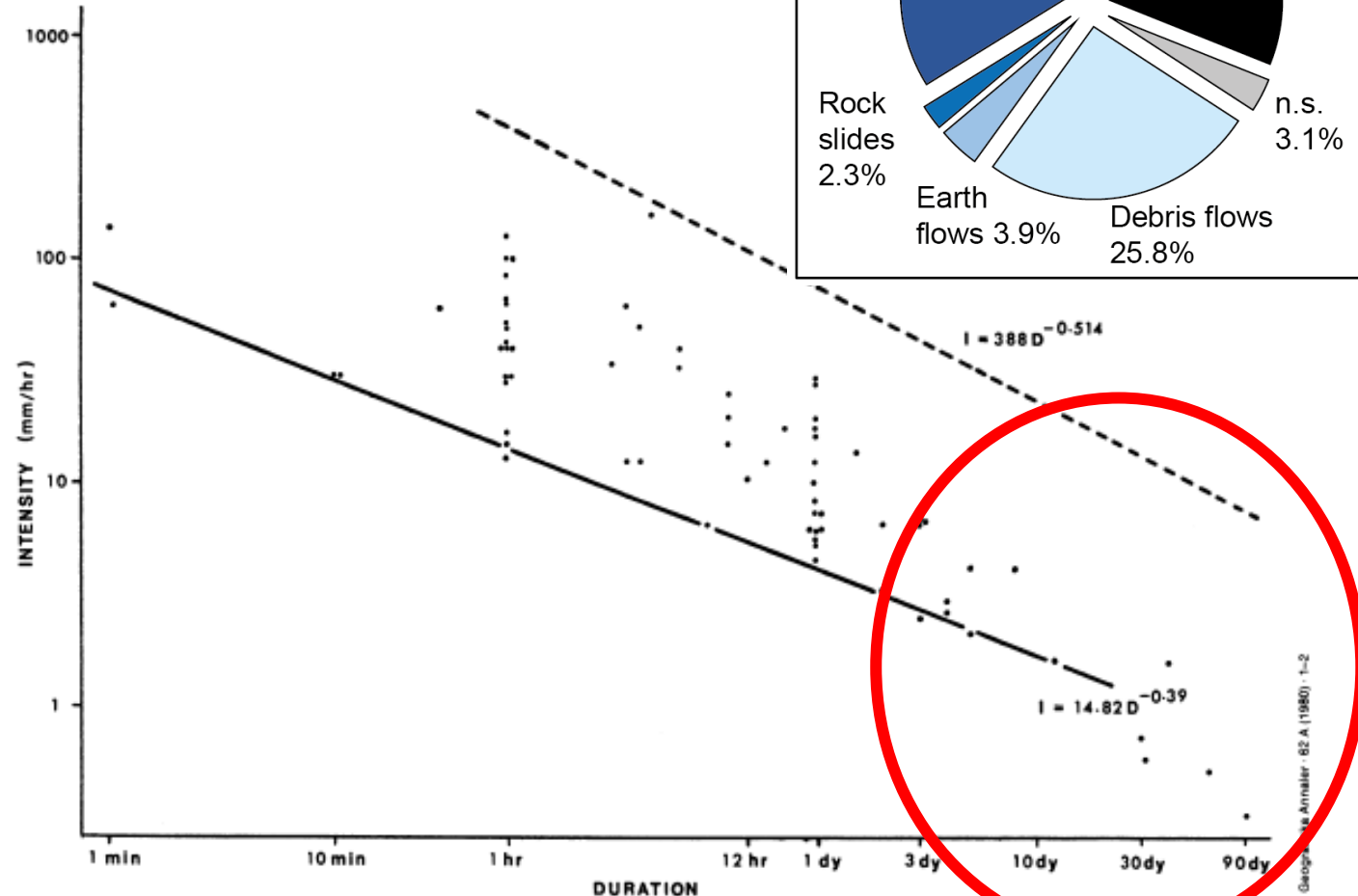
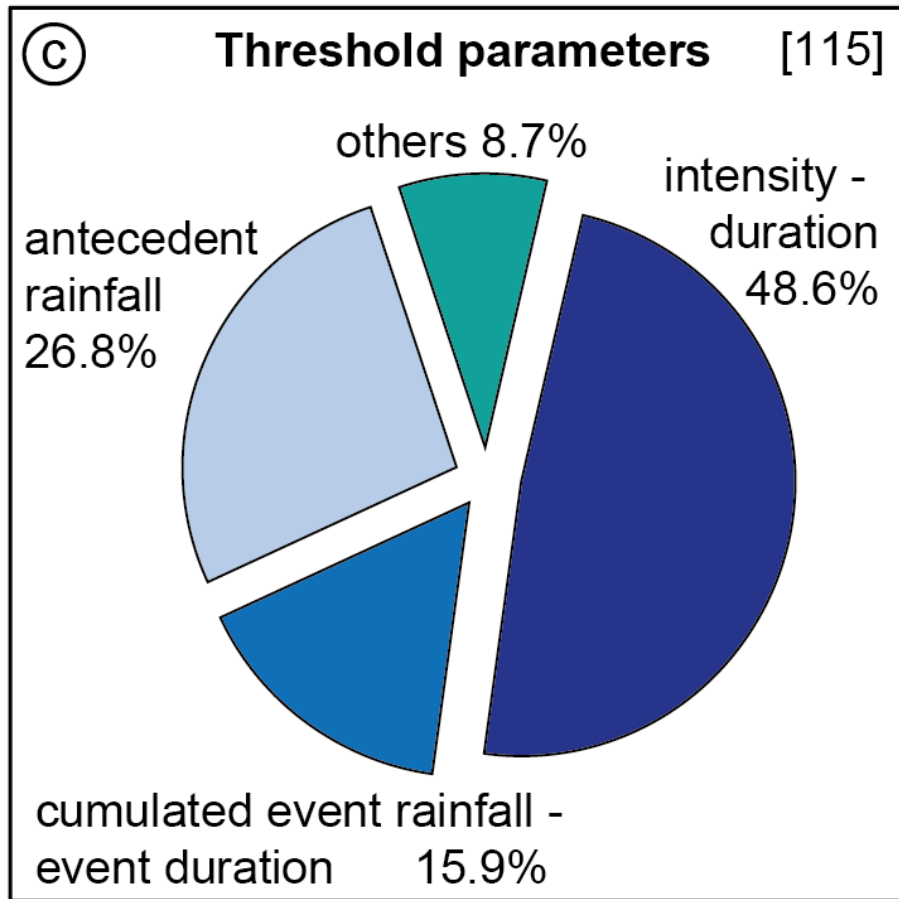


# Schema concettuale



Conceptual schematization of the approaches used to model the kinematic response of landslides to rainfall (Calvello et al. 2008; modified from Leroueil 2001). Different simplifications are needed depending on monitoring scale and data availability.

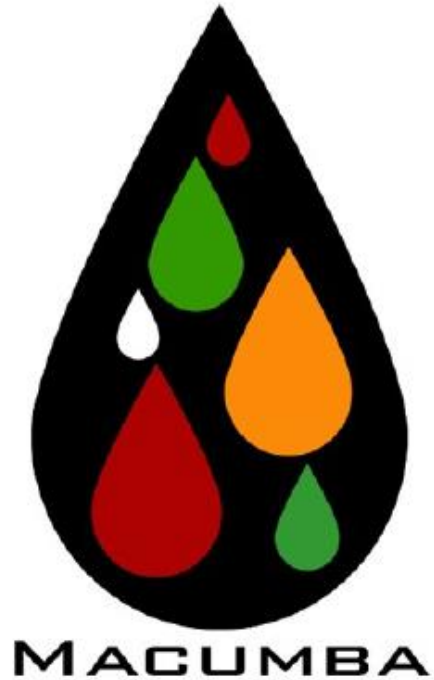
# Soglie tradizionali



Segoni et al., 2018

Caine, 1980

# Soglie tradizionali: proposte di UNIFI



Intensità-Durata

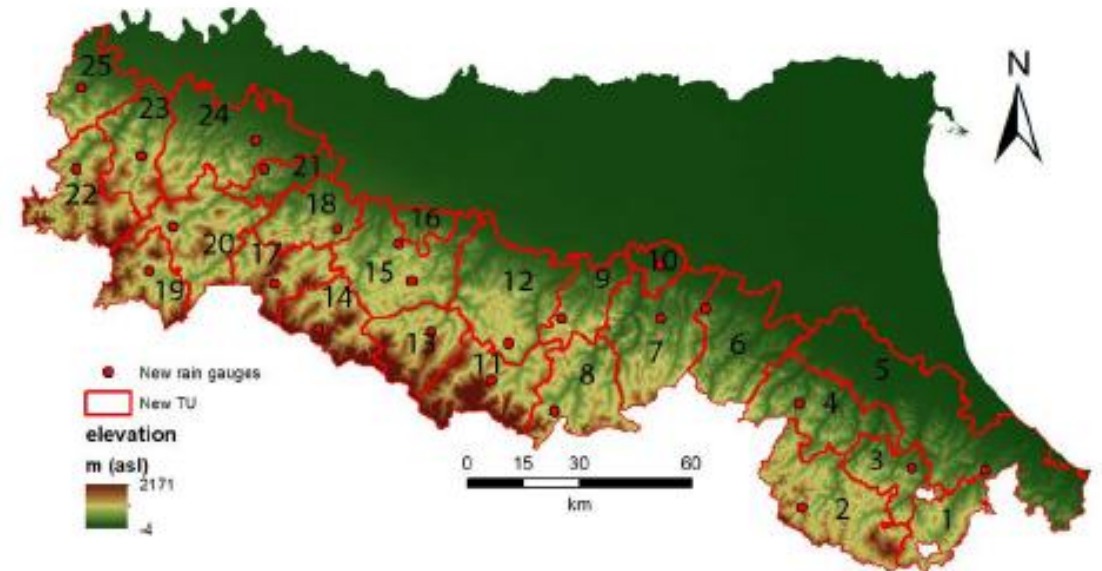
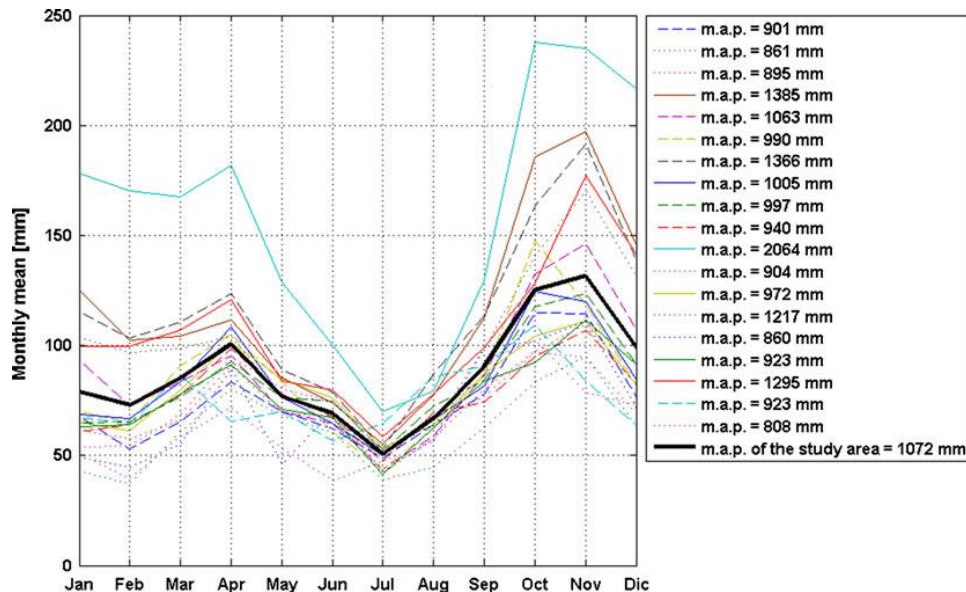


Pioggia antecedente

# Modello SIGMA: caratteristiche base

Regione divisa in unità territoriali (UT)

1 UT → 1 pluviometro di riferimento



Forte stagionalità delle piogge

# Modello SIGMA: caratteristiche base

Analisi statistica di lunghe serie storiche pluviometriche



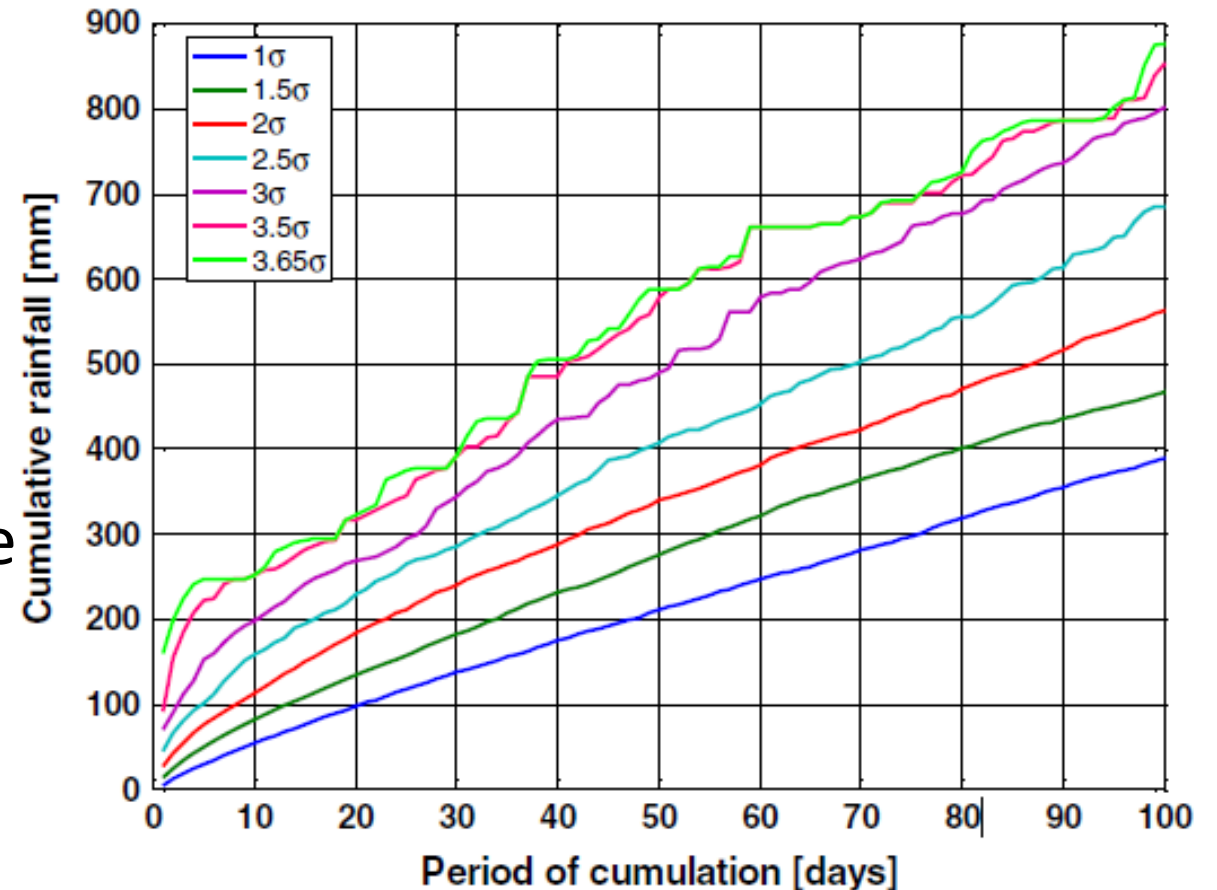
Previsione basata sulle anomalie di pioggia

Quanto è estrema una pioggia?



Lo si può esprimere in termini di deviazione standard ( $\sigma$ ) rispetto al valore medio

Soglie: curve  $\sigma$

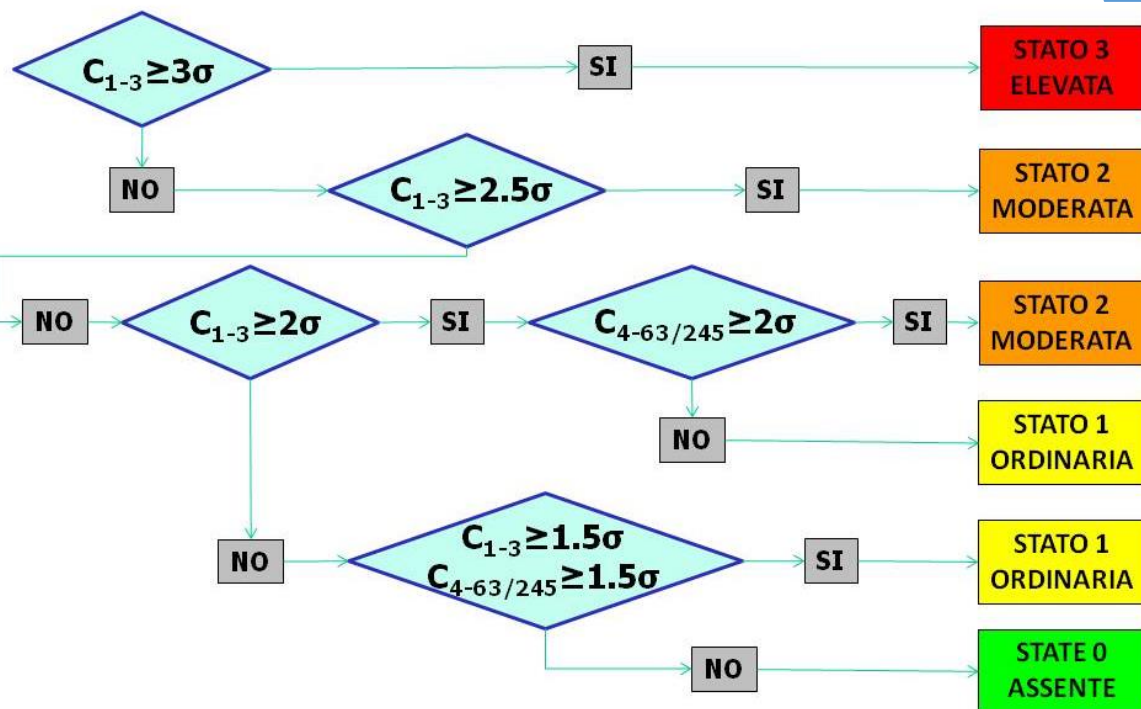


# SIGMA: un approccio flessibile

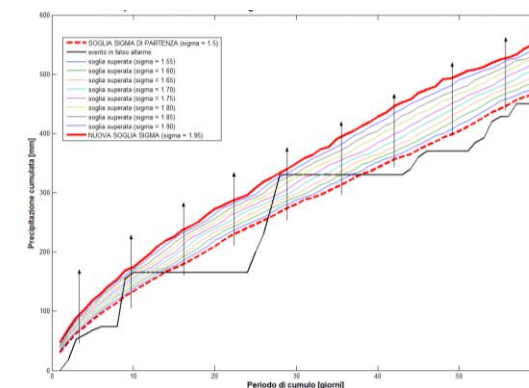
**FRANE SUPERFICIALI**

**Cumulate pioggia antecedente  
DA 1 A 3 GIORNI**

**Piogge brevi  
eccezionalmente intense**



Calibrazione sito-specifica



**Piogge eccezionalmente  
lunghe**

**FRANE PROFONDE**

**FINESTRA VARIABILE  
(da 4 a 245 giorni,  
a seconda della stagionalità)**





# Tra pluviometria e idrologia

# SIGMA-U

Complesse caratteristiche idrologiche dei versanti



Pioggia cumulata di lungo periodo



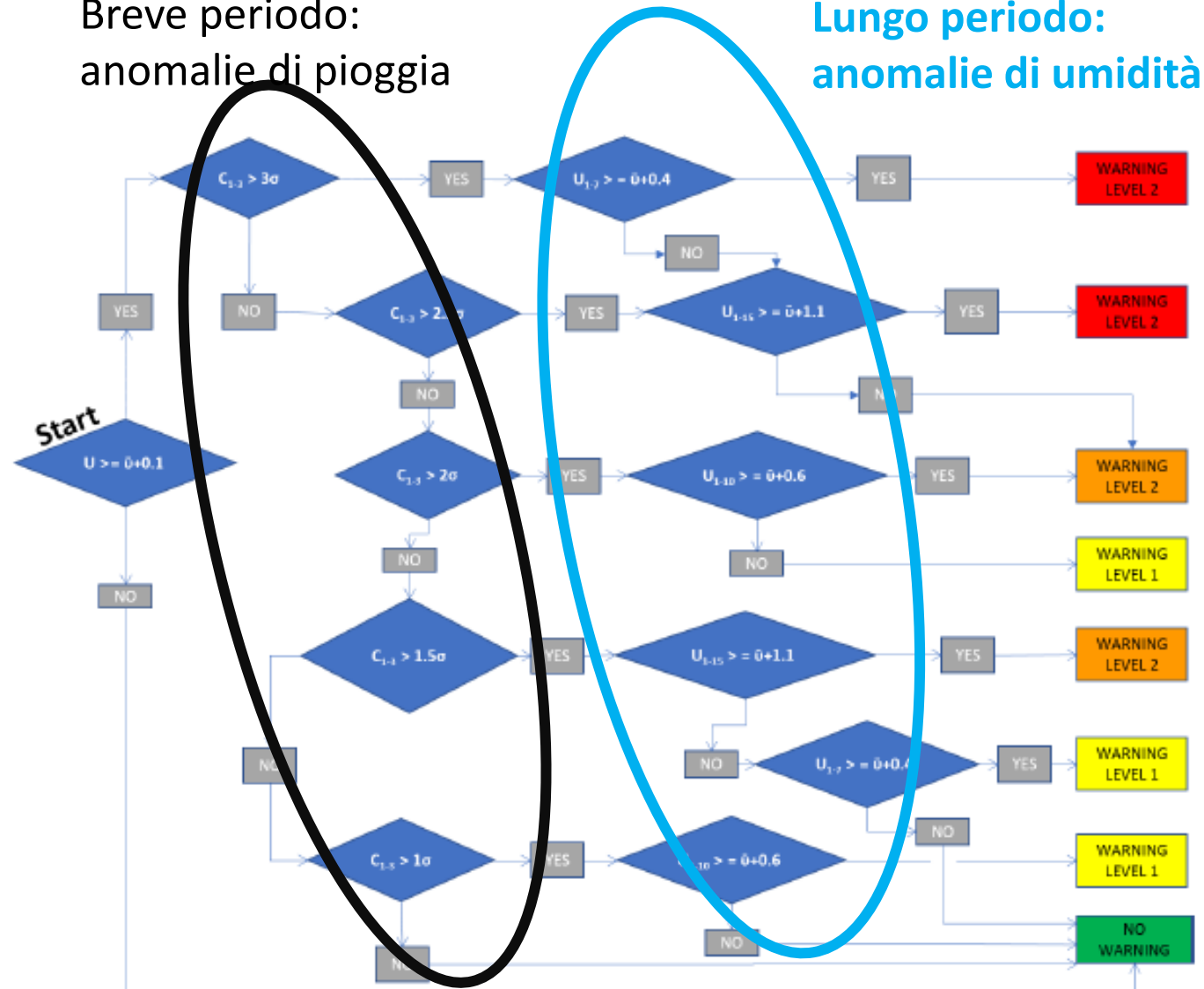
Umidità del suolo (soglie idrometeorologiche)



Test con valori di umidità stimati col modello TOPKAPI

Breve periodo:  
anomalie di pioggia

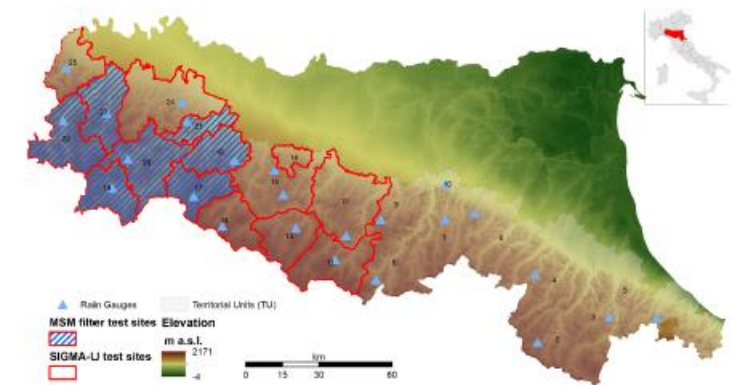
Lungo periodo:  
anomalie di umidità



# SIGMA-U

Confronto tra SIGMA e SIGMA-U:  
Risultati incoraggianti ma...

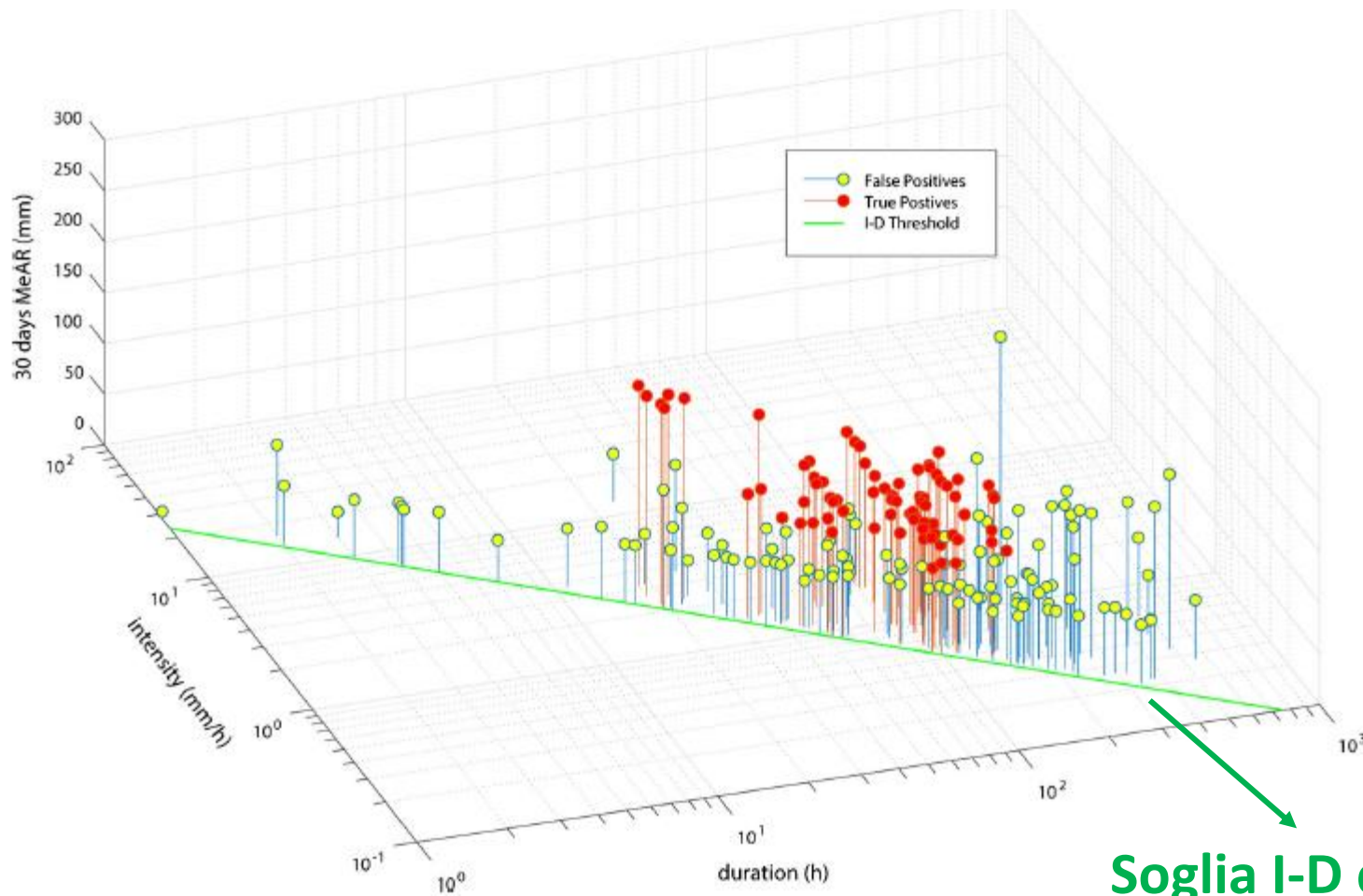
		SIGMA	SIGMA-U	Variation	Variation (%)
False alarms	Warning level 1	780	721	-59	-8 %
	Warning level 2	287	197	-90	-31 %
	Warning level 3	21	11	-10	-48 %
Missed alarms	Number of alarms	88	69	-19	-22 %
	Number of missed landslides	214	134	-80	-37 %
Hits	Number of landslides	709	789	+80	+11 %
	% of total landslides	76.8	85.5	+8.7	+11 %



- **Troppo complesso concettualmente**
  - **Difficoltà tecnica per un'implementazione (pre)operativa**
- **Non implementato e linea di ricerca abbandonata**

# Un ibrido tra MaCumBA e SIGMA

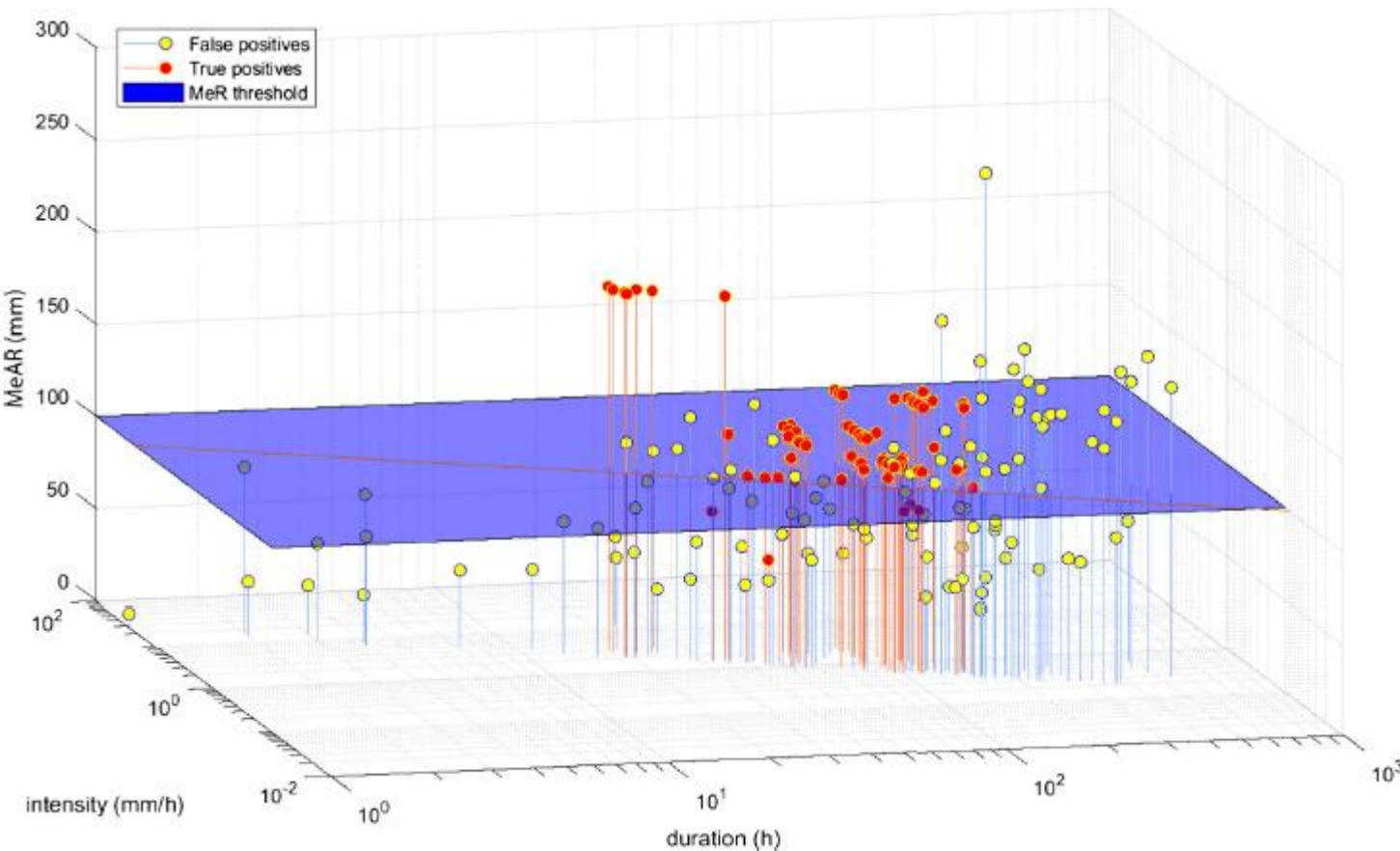
# MACUMBA 3D



Terza dimensione:  
pioggia media antecedente

Soglia I-D convenzionale  
(modello Macumba)

# A NEW EWS: MACUMBA 3D



3 parametri pluviometrici:

- Intensità (I)
- Durata (D)
- Pioggia antecedente media (MeAR)

La soglia è un **PIANO**

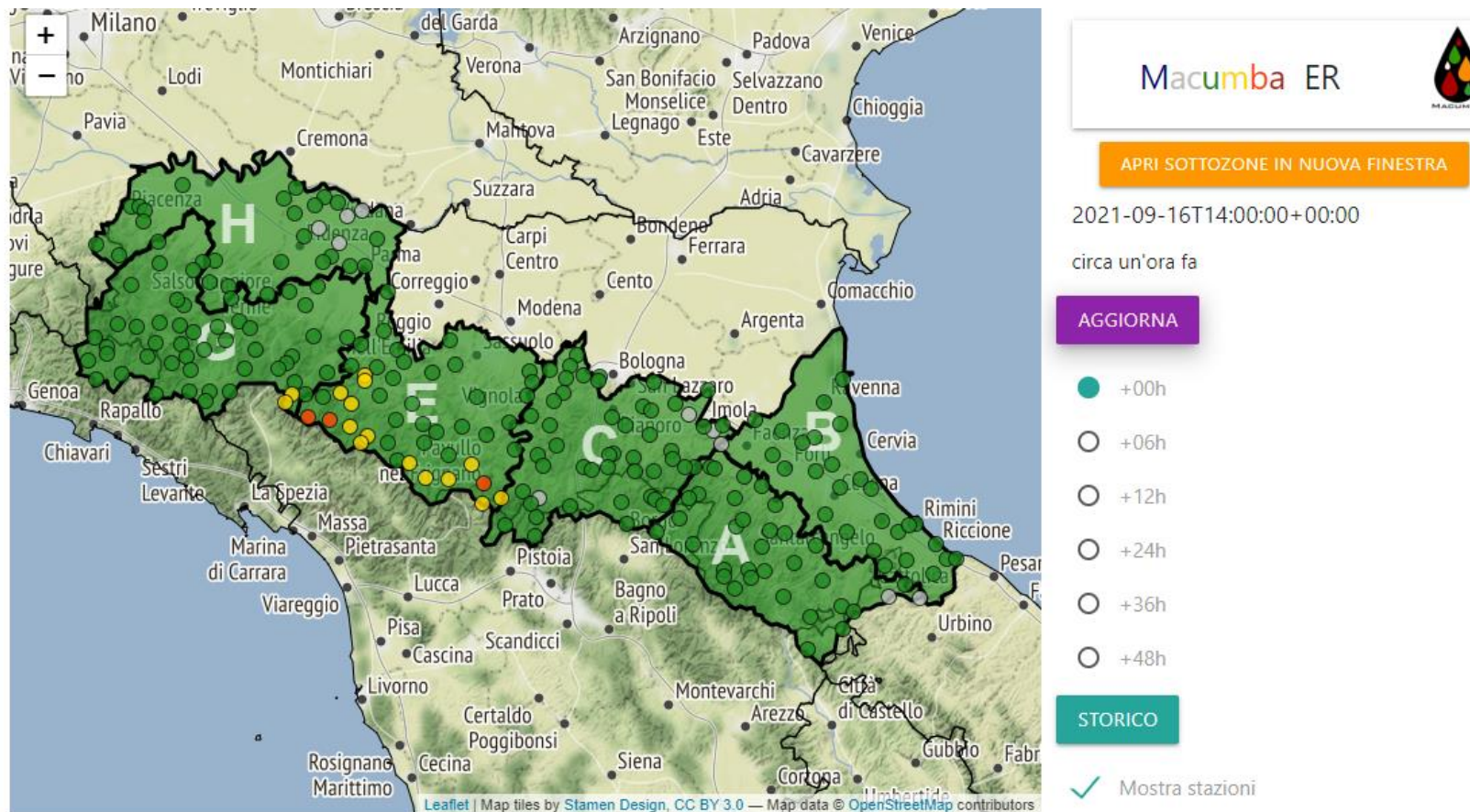
Meccanismo operativo semplice:  
è una soglia I-D che però si attiva solo a condizione di superare un valore soglia di pioggia antecedente

**RISULTATO: riduzione netta di falsi allarmi (da -15% a -80%, a seconda delle zone d'allerta)**

**Implementazione operativa**

# Interfaccia MACUMBA 3D

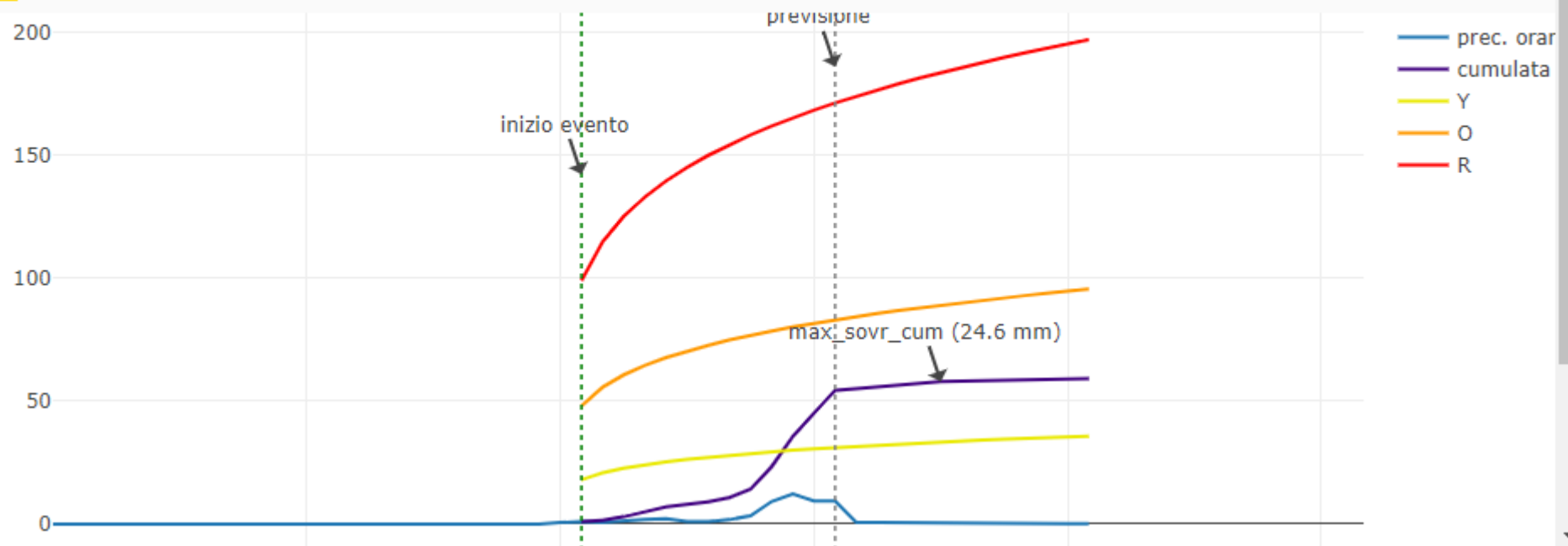
Uso operativo nelle procedure di allertamento



# Interfaccia MACUMBA 3D

## Uso operativo nelle procedure di allertamento

Lago Ballano (E) 2021-12-08T13:00:00+00:00+12h evento di pioggia, stato allerta:  
giallo

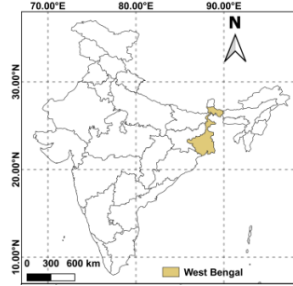




# Soglie + monitoraggio strumentale

# Soglie + monitoraggio strumentale

**Sito:** Kalimpong  
(Indian Himalayas)



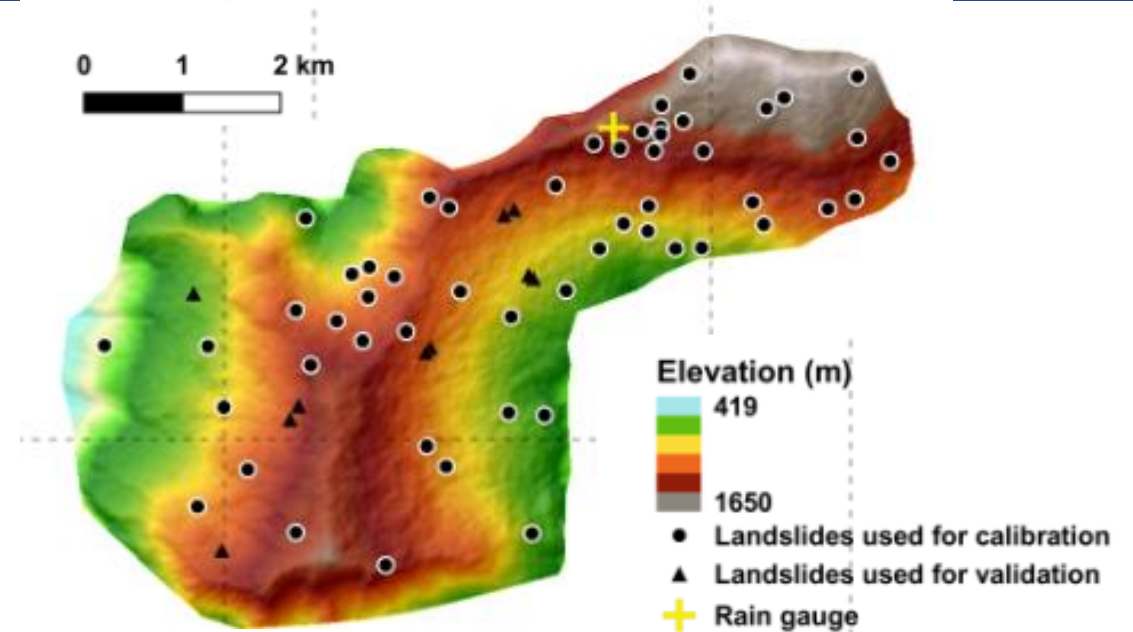
Morfologia: alta energia del rilievo

Bedrock: scisti

Clima: monsonico (2000 mm MAP  
concentrata nei 4 mesi estivi)

**PLUVIOMETRO** 1, registrazioni giornaliere

**FRANE:** superficiali e profonde



**Studi precedenti:**

Soglie I – D e E – D :

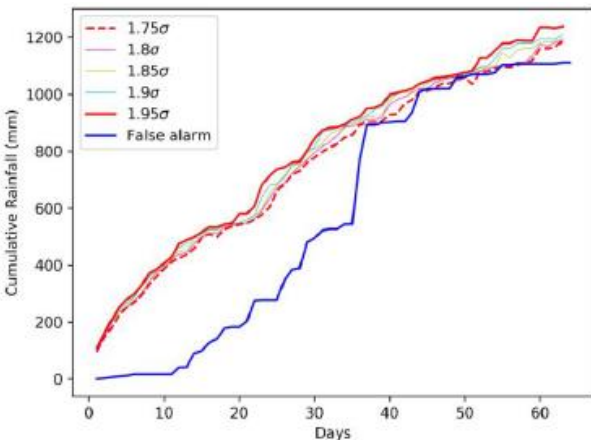
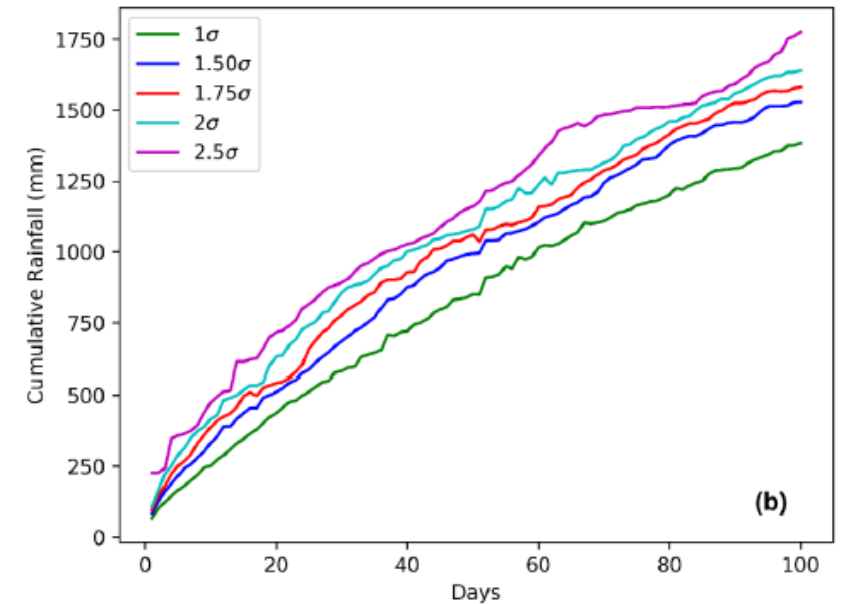
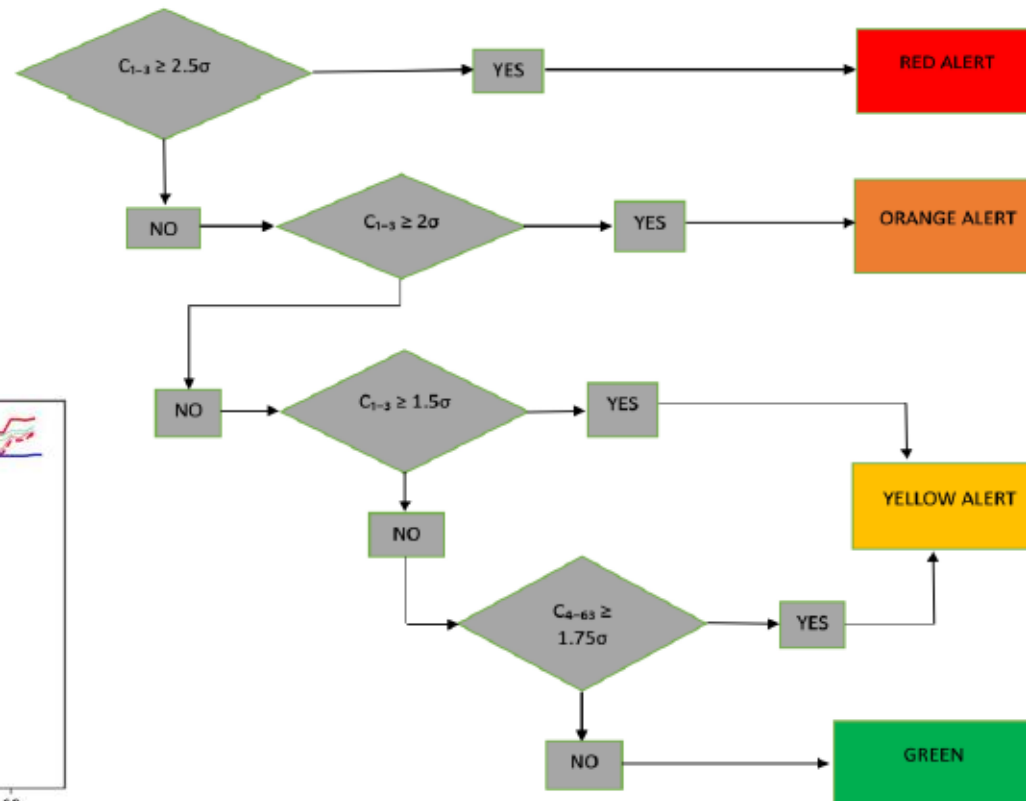
- TROPPI falsi allarmi
- TROPPI mancati allarmi

EWS mai implementato

# Soglie + monitoraggio strumentale

## Implementazione del modello SIGMA

- Analisi statistica di lunghi record di pioggia (curve sigma)
- Algoritmo decisionale
- Ottimizzazione (6 anni di dati di frana)



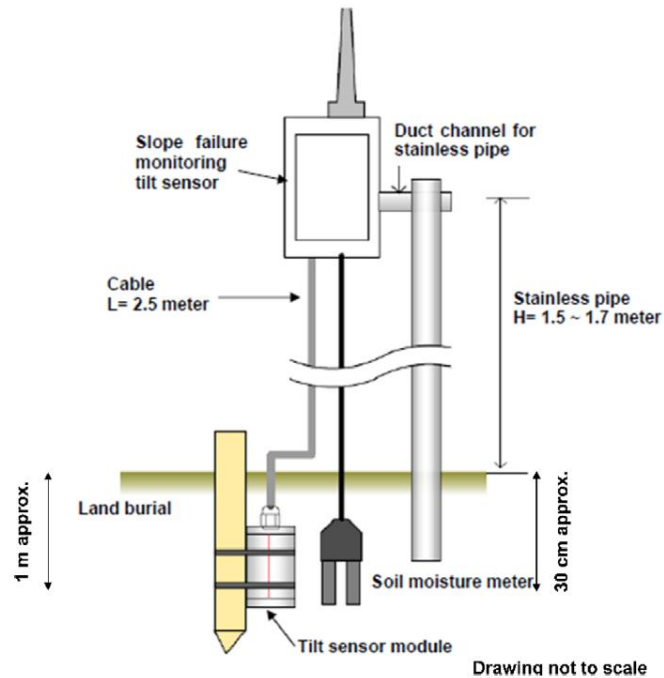
# Soglie + monitoraggio strumentale

	VALIDAZIONE (2 anni)	Soglia E – D	SIGMA
😊	VP (veri positivi)	8	13
😞	FP (falsi allarmi)	93	55
😭	FN (mancati allarmi)	7	2
😊	VN (veri negativi)	623	661
	Indicatore di efficienza	86%	92%

## Confronto:

SIGMA è un modello promettente in aree monsoniche affette da frane di vario tipo, soprattutto in caso di livelli tecnologici bassi (misurazioni solo giornaliere di pioggia)

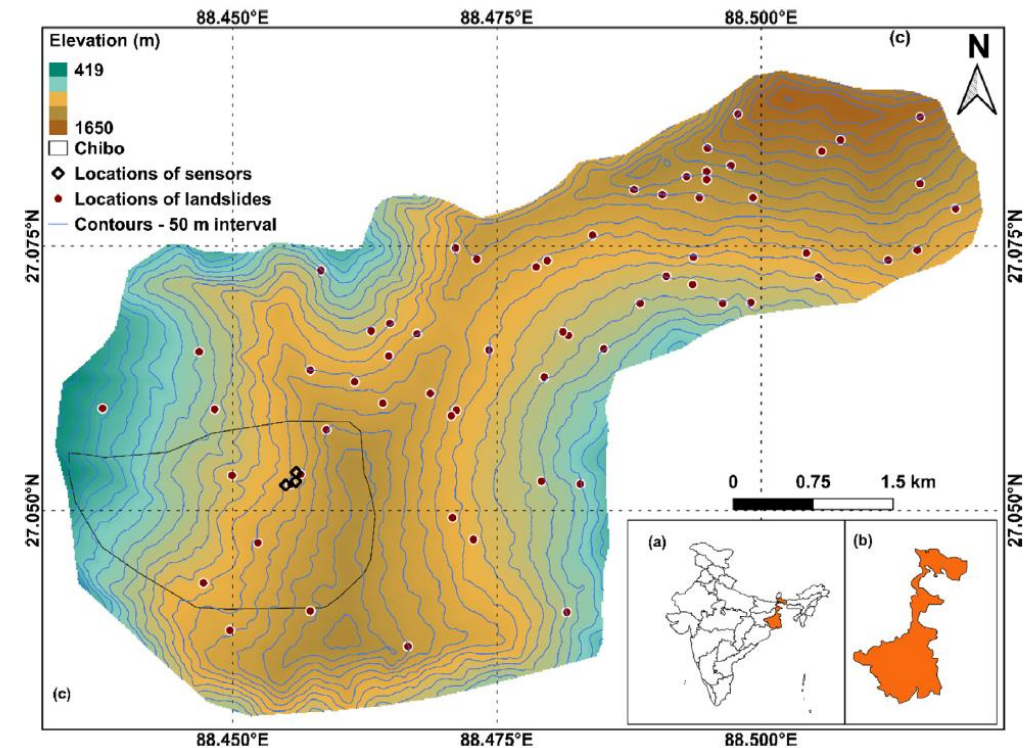
# Soglie + monitoraggio strumentale



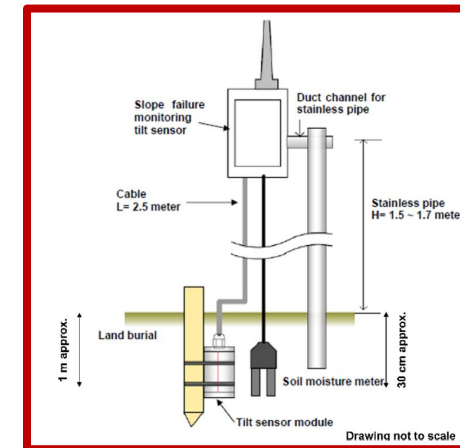
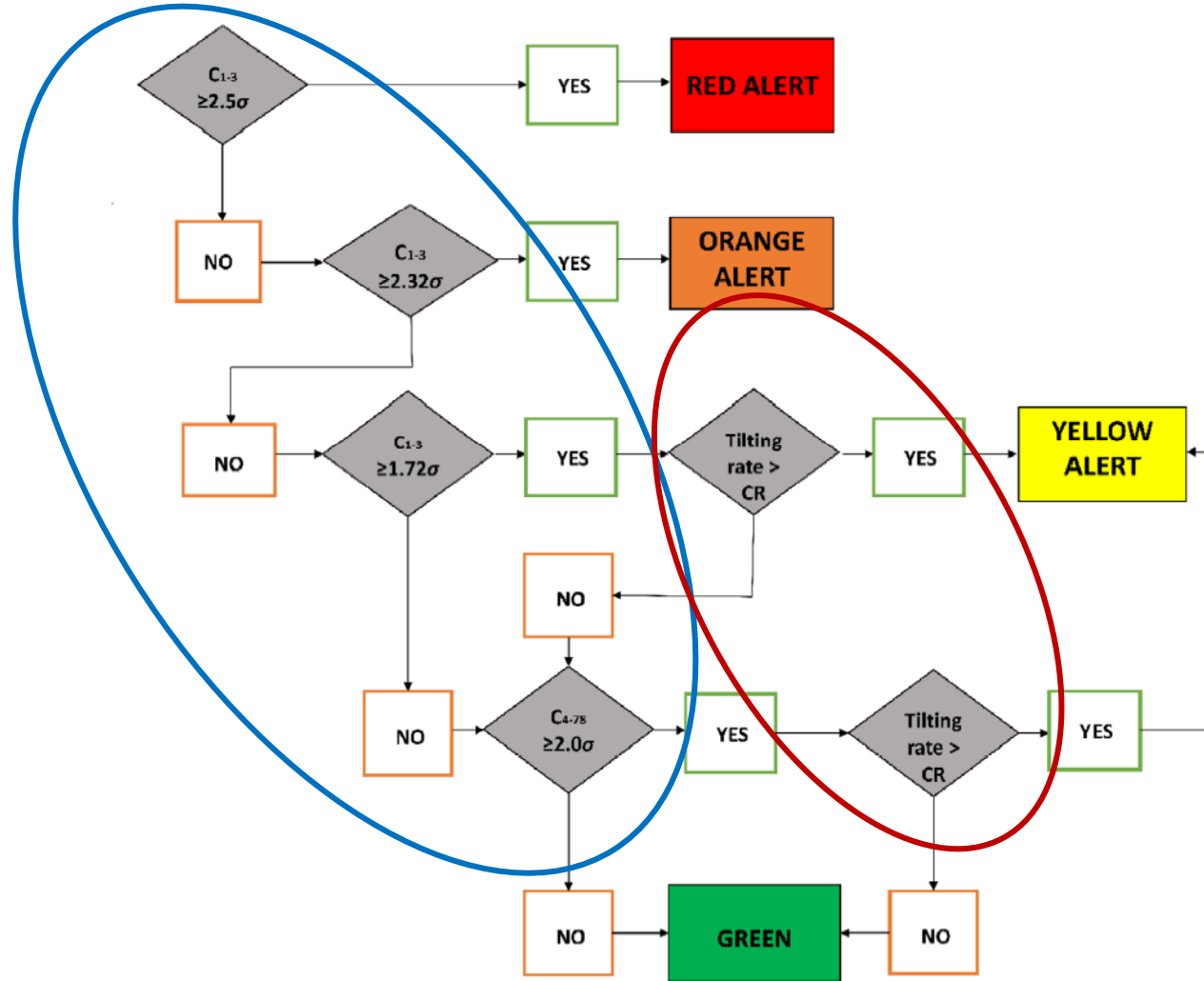
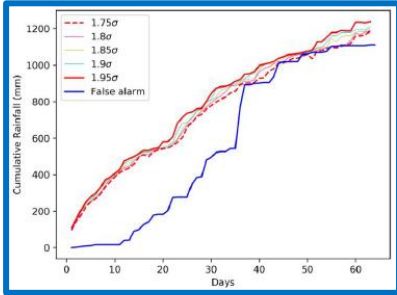
Sensoristica low-cost:  
MEMS (Micro Electro Mechanical Systems)

- tiltmetro
  - misuratore di umidità
- + modulo per trasmissione dati wireless

## Il “versante spia”



# Soglie + monitoraggio strumentale



# Soglie + monitoraggio strumentale

	VALIDAZIONE (3 anni)	SIGMA	SIGMA+ MEMS	Variazione
😊	VP (veri positivi)	88	88	=
😞	FA (falsi allarmi)	70	38	<b>-46%</b>
😭	FN (mancati allarmi)	3 (34*)	3 (34*)	=
😊	VN (veri negativi)	996	1028	

\*31 mancati allarmi su 34 sono probabilmente ascrivibili a un unico fenomeno di scioglimento nivale, fenomeno che non può essere adeguatamente parametrizzato dal modello

# Soglie pluviometriche e mappe di suscettibilità

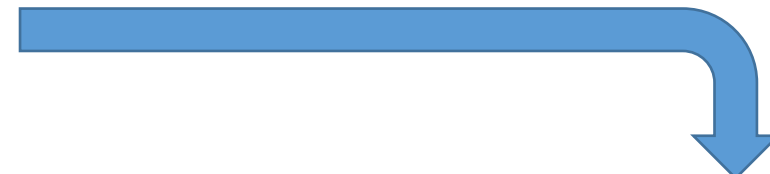


# Soglie pluviometriche e mappe di suscettibilità

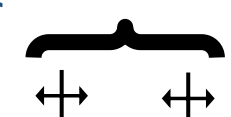
Scopo: aumentare la risoluzione spaziale dei sistemi di allerta basati su soglie

## MAPPE DI SUSCETTIBILITA'

Correlazione statistica tra frane e  
FATTORI PREDISPONENTI  
+ Previsione spaziale  
- Mappa statica

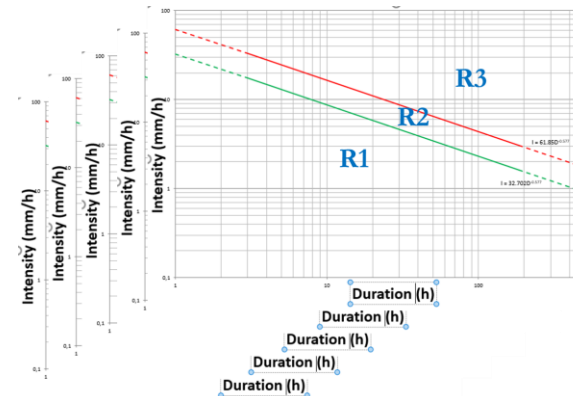


Calibrazione per  
scenari operativi



## SOGLIE PLUVIOMETRICHE

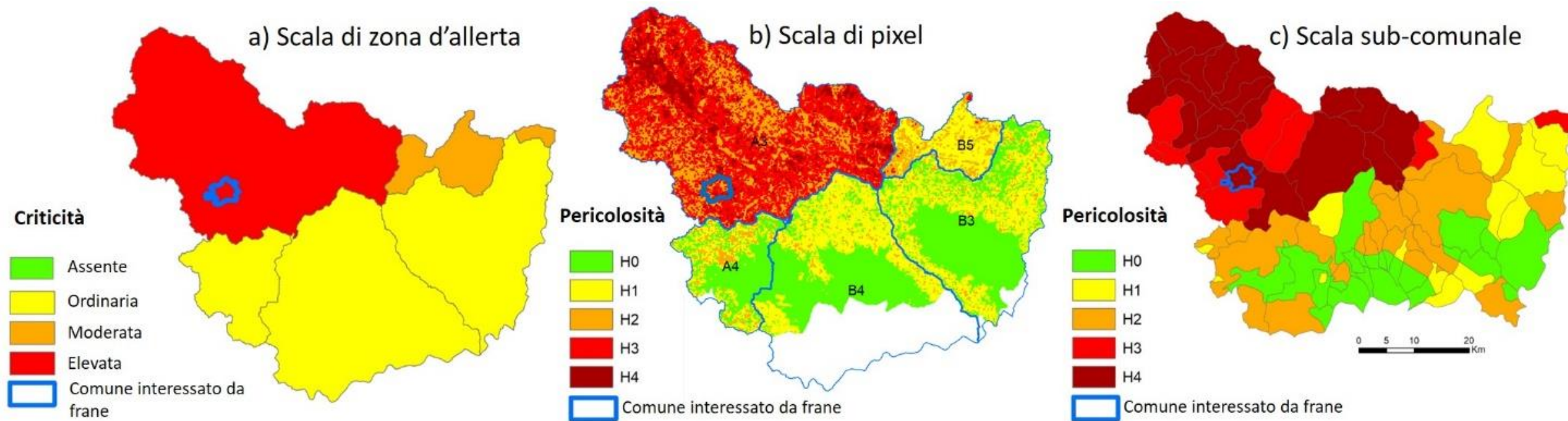
Correlazione statistica tra frane e  
FATTORI INnescanti  
+ Previsione temporale  
- Risoluzione spaziale grossolana



	S1	S2	S3
R1	H0	H1	H2
R2	H1	H2	H3
R3	H2	H3	H4

**Matrice dinamica**

# Soglie pluviometriche e mappe di suscettibilità



# Alcune cose che ho capito

- Ibridare approcci diversi conviene
  - possibilità virtualmente infinite di esplorare direzioni di ricerca promettenti
  
- Il LEWS “perfetto” non esiste
  - L’approccio migliore dipende dal sito in questione
  - Una volta trovato l’approccio migliore, lo si può sicuramente migliorare
  
- I LEWS si possono evolvere nel tempo
  - Soprattutto quelli operativi

# Main references (1)

**SIGMA model** Martelloni, G., Segoni, S., Fanti, R., & Catani, F. (2012). Rainfall thresholds for the forecasting of landslide occurrence at regional scale. *Landslides*, 9(4), 485-495.

**SIGMA fine tuning** Lagomarsino, D., Segoni, S., Fanti, R., & Catani, F. (2013). Updating and tuning a regional-scale landslide early warning system. *Landslides*, 10(1), 91-97.

**SIGMA EVOLUTION (first 20 years)** Segoni, S., Rosi, A., Fanti, R., Gallucci, A., Monni, A., & Casagli, N. (2018). A regional-scale landslide warning system based on 20 years of operational experience. *Water*, 10(10), 1297.

**MACUMBA 3D** Rosi, A., Segoni, S., Canavesi, V., Monni, A., Gallucci, A., & Casagli, N. (2021). Definition of 3D rainfall thresholds to increase operative landslide early warning system performances. *Landslides*, 18(3), 1045-1057.

**SIGMA and snow** Martelloni, G., Segoni, S., Lagomarsino, D., Fanti, R., & Catani, F. (2013). Snow accumulation/melting model (SAMM) for integrated use in regional scale landslide early warning systems. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(3), 1229-1240.

# Main references (2)

**SIGMA Vs Macumba (I-D)** Lagomarsino, D., Segoni, S., Rosi, A., Rossi, G., Battistini, A., Catani, F., & Casagli, N. (2015). Quantitative comparison between two different methodologies to define rainfall thresholds for landslide forecasting. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15(10), 2413-2423.

**SIGMA and soil moisture** Segoni, S., Rosi, A., Lagomarsino, D., Fanti, R., & Casagli, N. (2018). Brief communication: Using averaged soil moisture estimates to improve the performances of a regional-scale landslide early warning system. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(3), 807-812.

**SIGMA and Susceptibility** Segoni, S., Lagomarsino, D., Fanti, R., Moretti, S., & Casagli, N. (2015). Integration of rainfall thresholds and susceptibility maps in the Emilia Romagna (Italy) regional-scale landslide warning system. *Landslides*, 12(4), 773-785.

**SIGMA in India worked better than I-D and E-D models** Abraham, M. T., Satyam, N., Kushal, S., Rosi, A., Pradhan, B., & Segoni, S. (2020). Rainfall threshold estimation and landslide forecasting for Kalimpong, India using SIGMA model. *Water*, 12(4), 1195. **AND (integration with site-monitoring)** Abraham, M. T., Satyam, N., Pradhan, B., Segoni, S., & Alamri, A. (2021). Developing a prototype landslide early warning system for Darjeeling Himalayas using SIGMA model and real-time field monitoring. *Geosciences Journal*, 1-13.

# Grazie per l'attenzione



European Geosciences Union General Assembly  
Vienna, Austria 3-8 April 2022

Session NH3.7



## Towards reliable Landslide Early Warning Systems

Abstract submission deadline  
**12 January 2022 13:00 CET**

Support application deadline  
**1 December 2021 13:00 CET**

### Topics:

- regional and local landslide early warning systems
- definition and evaluation of rainfall thresholds
- prediction tools and monitoring systems
- performance analysis of landslide warning models
- communication strategies
- emergency phase management
- landslide risk perception



Conveners  
Luca Piciullo  
Dalia Kirschbaum  
Stefano Luigi Gariano  
Neelima Satyam  
Samuele Segoni

### contacts:

[luca.piciullo@ngi.no](mailto:luca.piciullo@ngi.no)  
[dalia.b.kirschbaum@nasa.gov](mailto:dalia.b.kirschbaum@nasa.gov)  
[stefano.luigi.gariano@irpi.cnr.it](mailto:stefano.luigi.gariano@irpi.cnr.it)  
[neelima.satyam@gmail.com](mailto:neelima.satyam@gmail.com)  
[samuele.segoni@unifi.it](mailto:samuele.segoni@unifi.it)



[samuele.segoni@unifi.it](mailto:samuele.segoni@unifi.it)