

*Università degli Studi di Firenze*  
Department of Earth Sciences  
CENTRE OF COMPETENCE OF THE CIVIL PROTECTION DEPARTMENT  
PRESIDENCY OF THE COUNCIL OF MINISTERS



# Determinazione di soglie pluviometriche per l'innescò di frane in Toscana

**F. Catani, S. Segoni, G. Rossi, A. Rosi, N. Casagli**

# OBIETTIVI

- 1. Definizione di soglie pluviometriche per l'innescò di frane da integrare in sistemi di allerta a scala regionale (i.e. aree > 10.000 km<sup>2</sup>)**
- 2. Sviluppo di un sistema di allertamento, in tempo reale, basato su rete pluviometrica, soglie, livelli di allerta e Web-GIS**

# METODOLOGIA

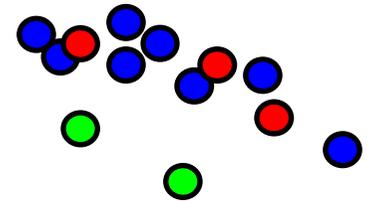
PASSAT  
FUTURO

MODELLISTICA "BLACK BOX":

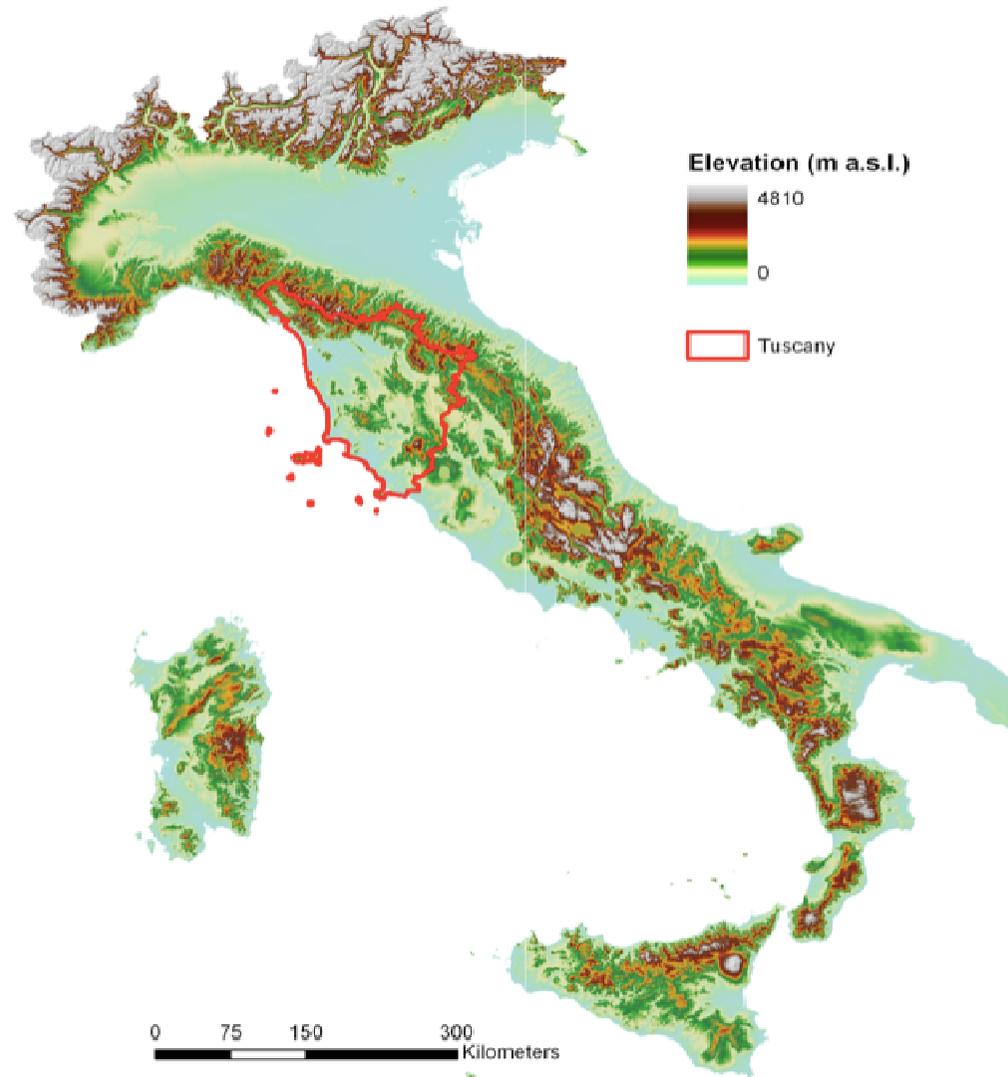
Condizioni di pioggia che nel passato  
hanno innescato frane

Correlazione statistica → soglie  
(formulazione matematica)

Se valio per il futuro → sistema di allerta



# AREA DI STUDIO



**Toscana**

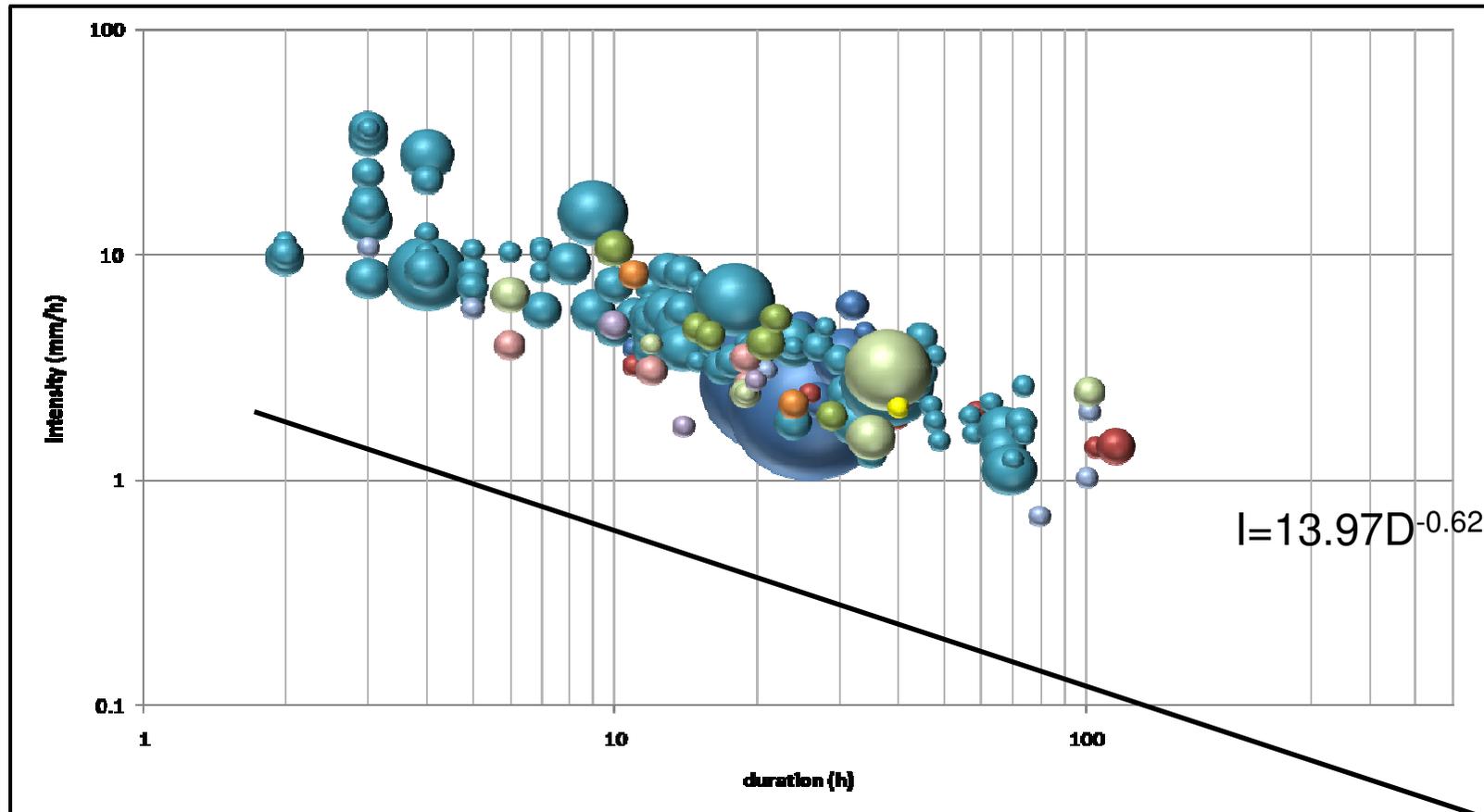
circa 23,000 km<sup>2</sup>

**Committente:**

REGIONE TOSCANA

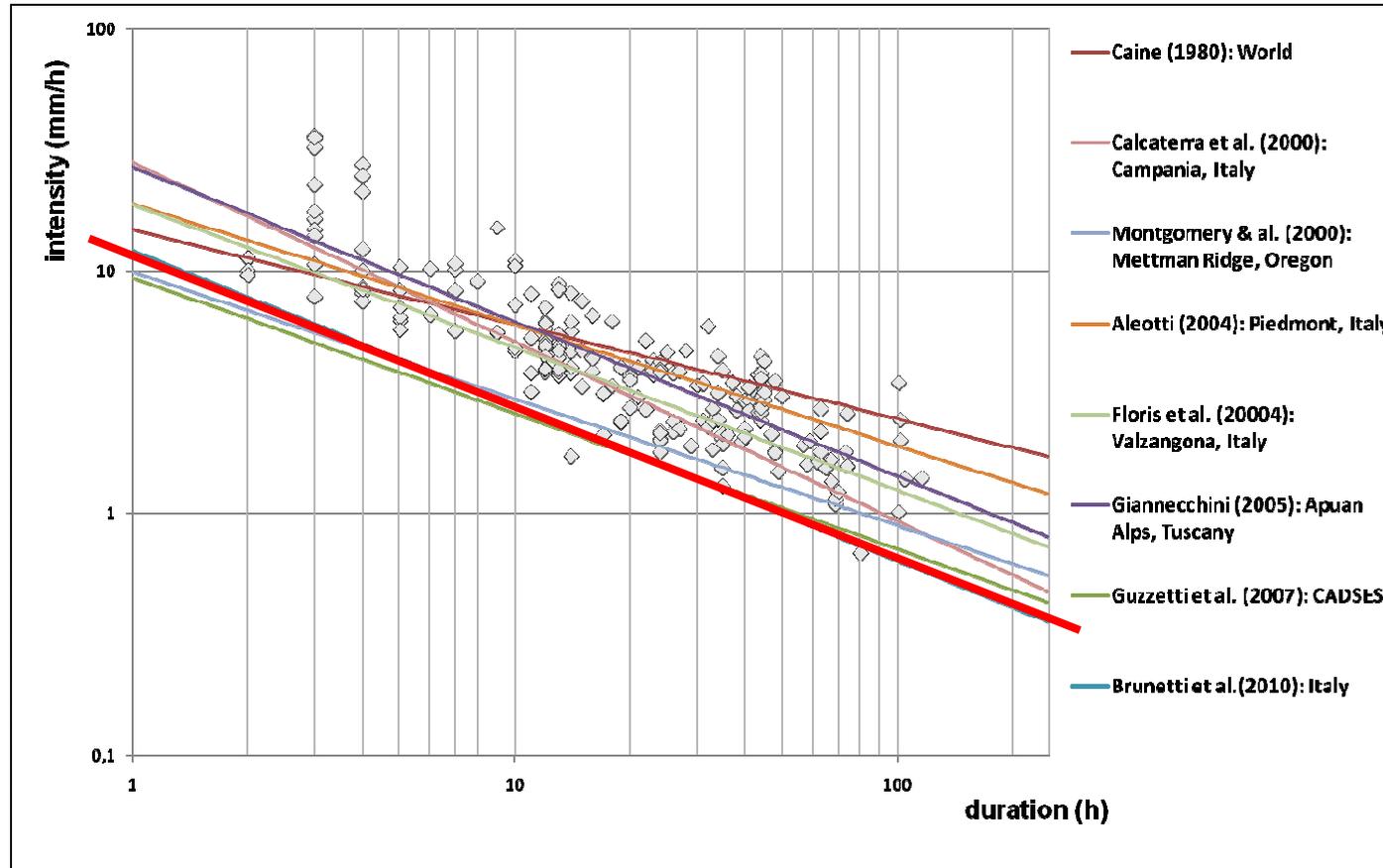


# UNO STUDIO PRELIMINARE



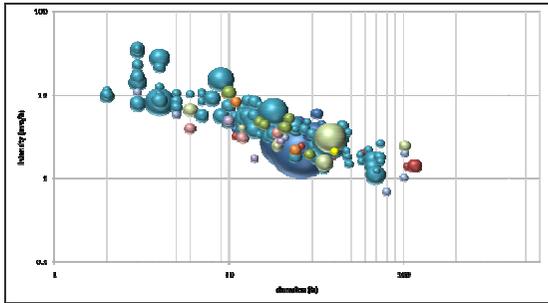
- Diametro → numero di frane innescato da un singolo evento pluviometrico
- Colori → province

# UNO STUDIO PRELIMINARE



— Solgia generale per la Toscana (studio preliminare)

# UNO STUDIO PRELIMINARE



$$I=13.97D^{-0.62}$$



Esempio: pluviometro 077  
Anno 2008:

**11 falsi allarmi !**

Un'unica soglia regionale sarebbe affetta  
da un'eccessiva sovrastima della  
pericolosità

**25 Zone d'Allerta (AZ)**

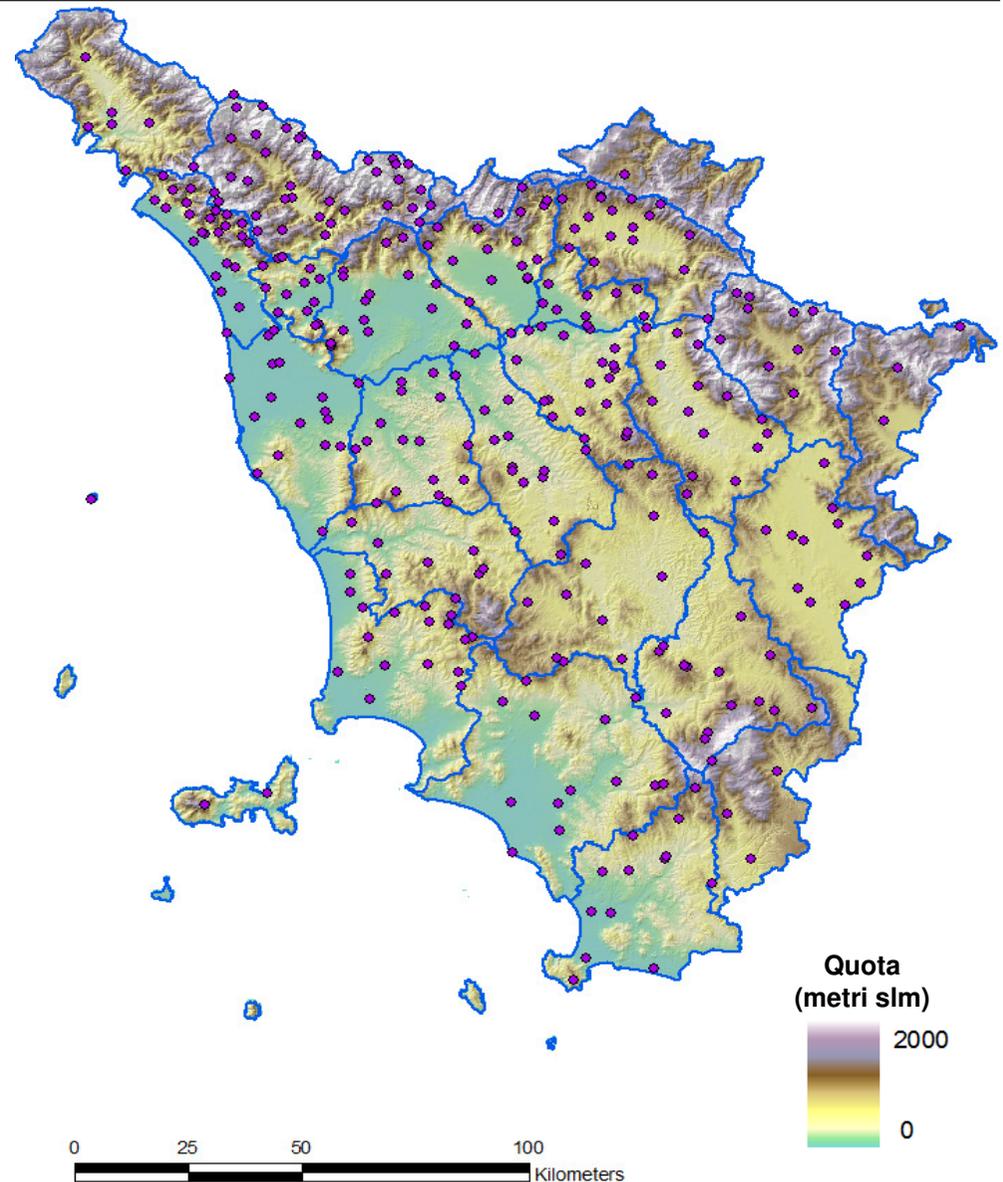


# DATI DI INPUT

## DATABASE DELLE PIOGGE

### RETE REGIONALE DI TELEMISURA

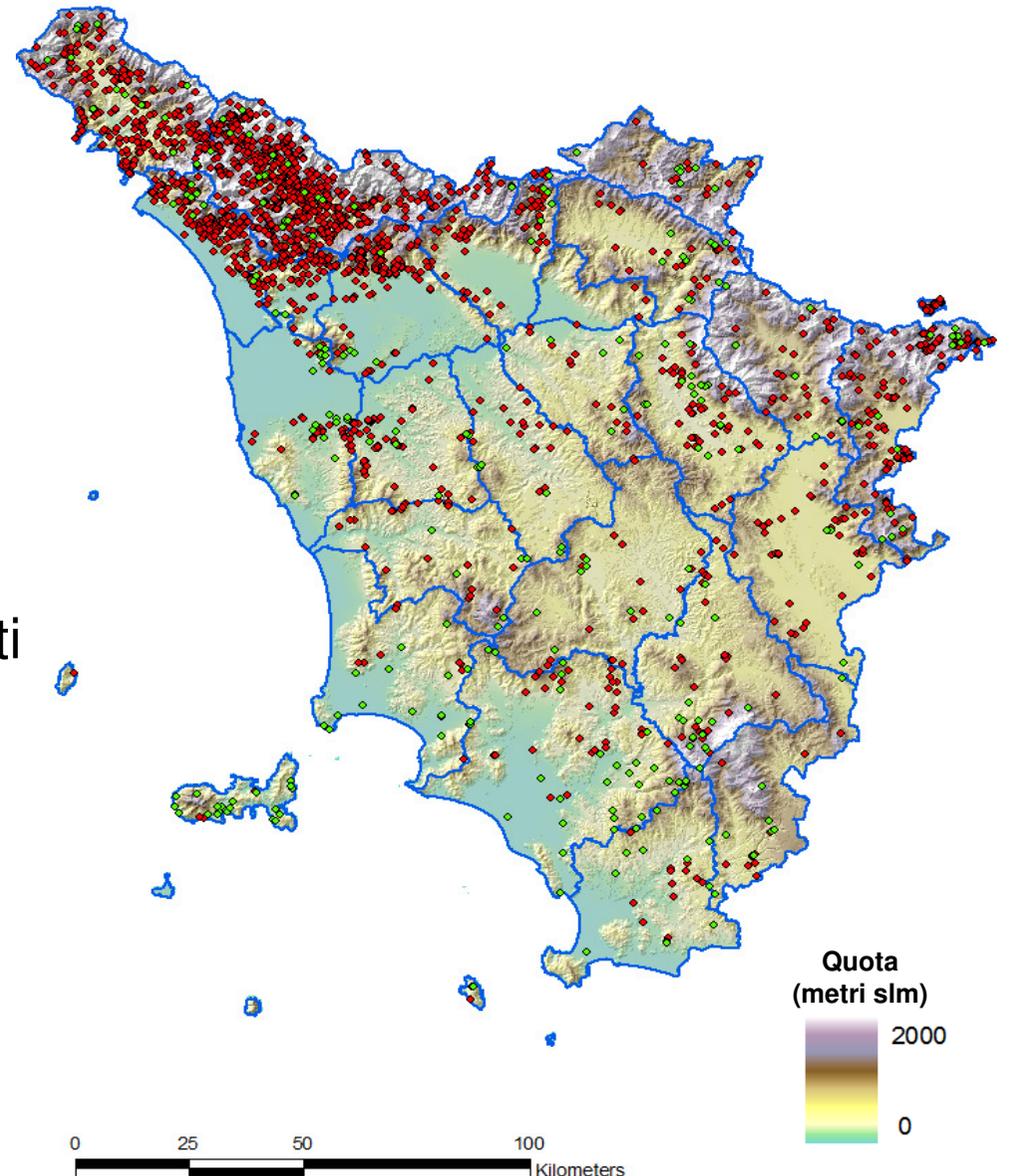
- 332 pluviometri automatizzati
- misurazioni orarie
- dati del periodo 2000 – 2009



# DATI DI INPUT

## DATABASE DELLE FRANE

- 2132 frane, appartenenti a 408 eventi distinti
- LUOGO e GIORNO di accadimento certi
- **calibrazione: periodo 2000 – 2007**
- **validazione: periodo 2008 – 2009**

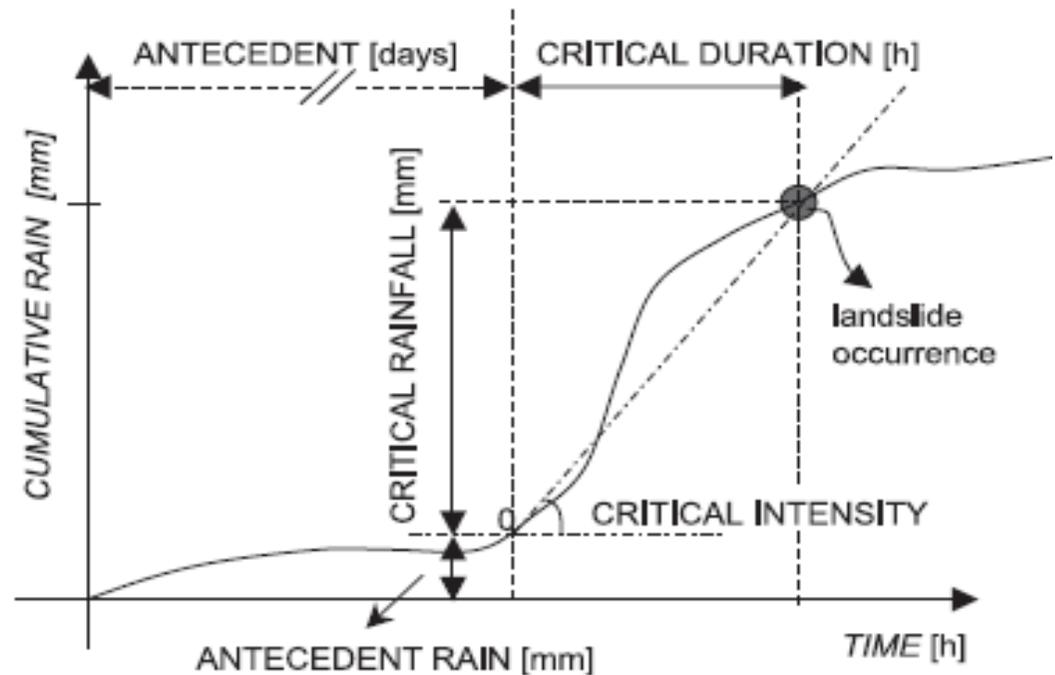


# ANALISI

## Modello concettuale: relazione intensità - durata

Parametri analizzati:

- $I$  = intensità critica (mm/h)
- $D$  = durata della pioggia critica (h)
- $AR$  = pioggia antecedente (mm)



From (Aleotti 2004)

# ANALISI

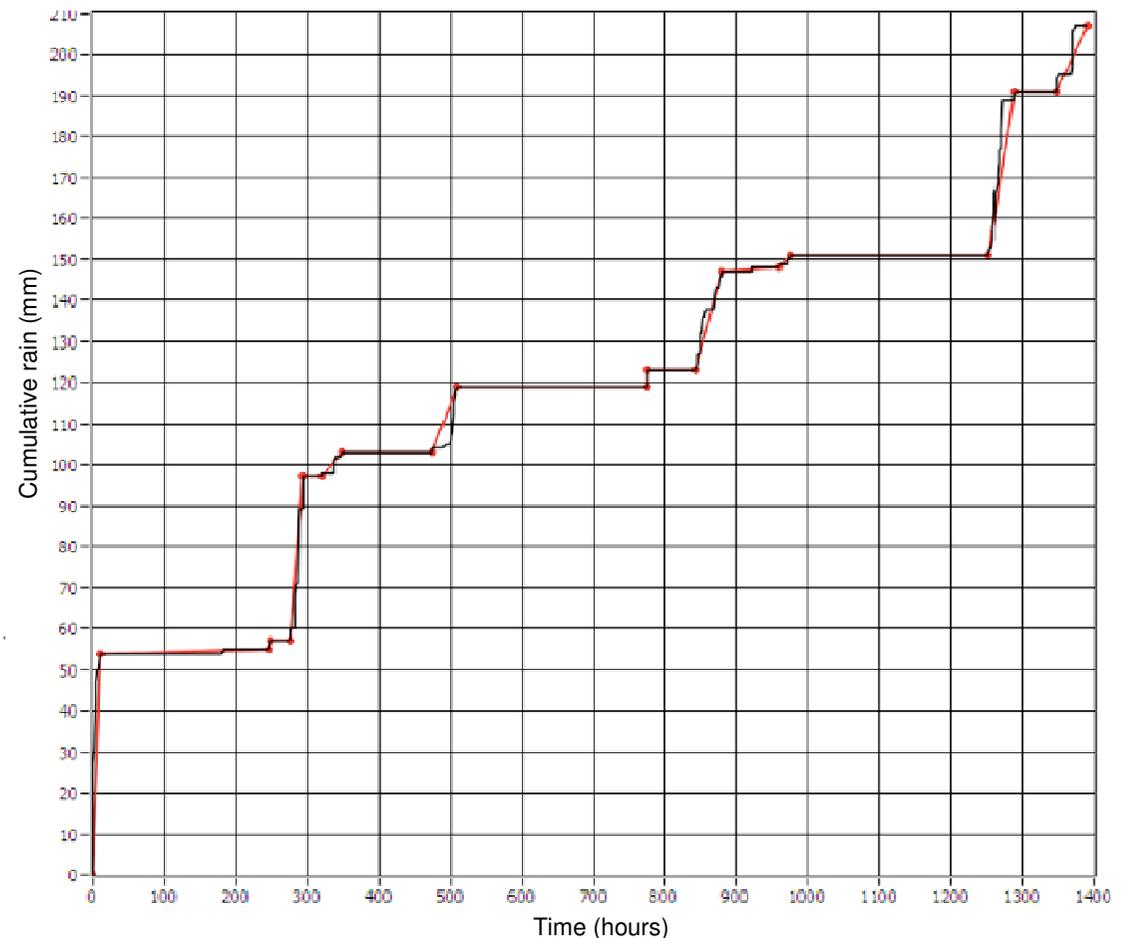
## Analisi dei percorsi pluviometrici

Parametri analizzati:

- $I$  = intensità critica (mm/h)
- $D$  = durata della pioggia critica (h)
- $AR$  = pioggia antecedente (mm)

Due problemi principali:

1. Quale evento è quello critico?
2. Quale pluviometro fornisce la registrazione più appropriata?



# RIEPILOGO DATI

Grande mole di dati da  
analizzare:

**332** pluviometri,

**408** eventi pluviometrici che  
hanno innescato

**2132** frane

(periodo 2000-2007)

**4203** registrazioni

pluviometriche

AZ	AZ (Name)	Landslides	Events	Recordings
A1	Magra	246	27	35
A2	Versilia	196	32	500
A3	Serchio	719	79	2269
A4	Basso Serchio	90	13	130
B1	Val di Sieve	27	12	173
B2	Valdarno Medio	6	4	34
B3	Ombrone Pistoiese	55	30	333
B4	Vald Inf e Valdinievole	208	34	150
B5	Reno e Santerno	44	17	34
C1	Foce Arno e Colline Livornesi	36	7	36
C2	Cecina	18	13	22
C3	Corchia e costa	10	4	9
C4	Arcipelago Toscano	5	4	4
D1	Elsa e Egola	20	14	119
D2	Valdera	60	23	198
D3	Alto Ombrone, Merse e Farma	19	8	92
D4	Greve e pesa	12	11	141
E1	Casentino	26	8	82
E2	Valdichiana	40	8	55
E3	Valdarno superiore	51	13	152
E4	Tevere	166	11	36
F1	Medio Ombrone e Orcia	26	15	36
F2	Bruna e Ombrone	32	15	48
F3	Albenga	12	5	23
F4	Fiora	13	10	11

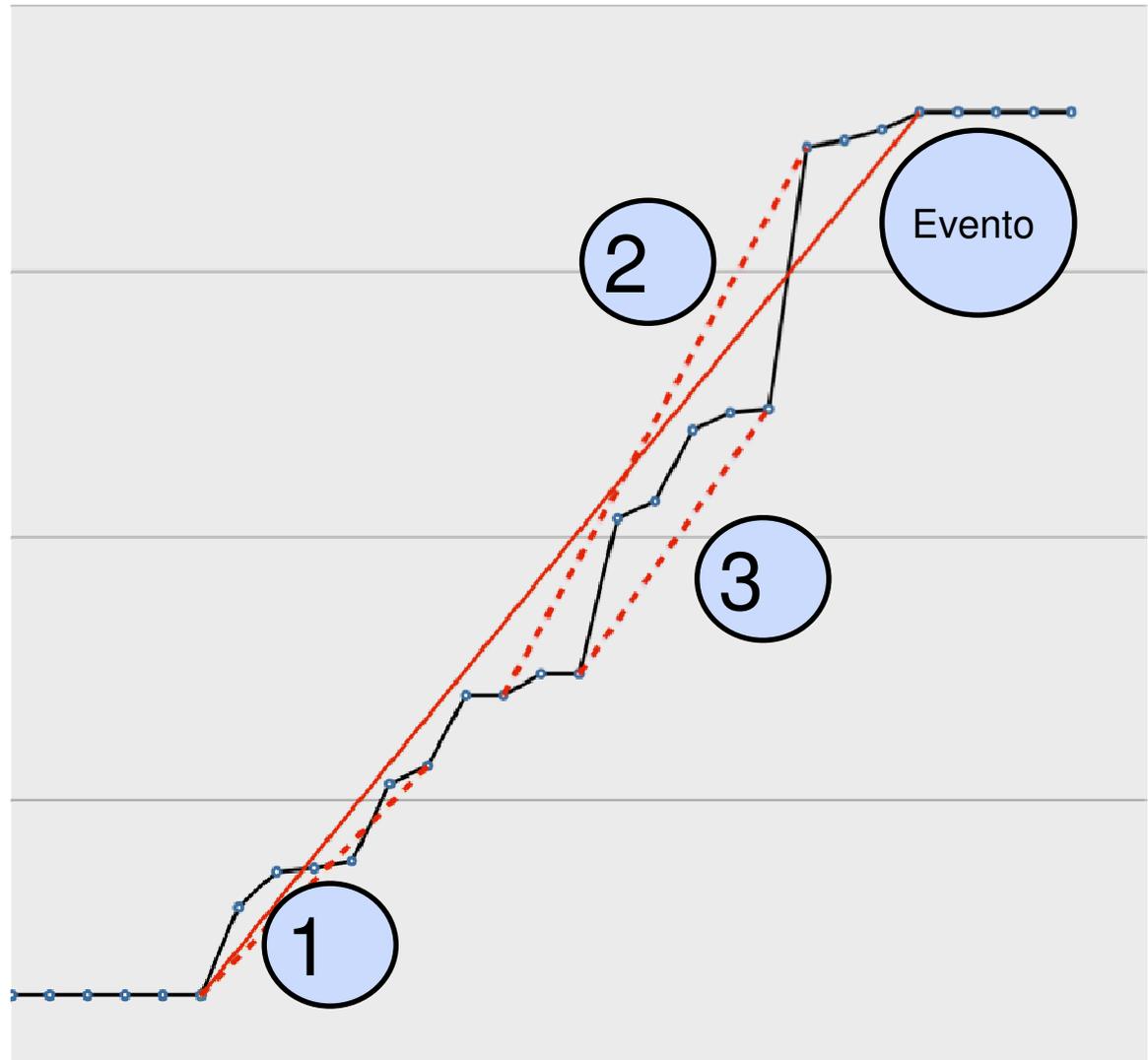
# ANALISI DEI SOTTOEVENTI

## ANALISI AUTOMATICA DEI SOTTOEVENTI

L'evento principale è veramente quello innescante?



- **Calcolo** di I, D e tempo di ritorno di ogni sottoevento
- **Confronto** dei tempi di ritorno dell'evento principale e di tutti i sottoeventi
- **Selezione** dei parametri I - D associati al tempo di ritorno più alto



# ANALISI AUTOMATICA

## Massive Cumulate Brisk Analyzer (MACUMBA)

### Principali vantaggi:

- definizione dei parametri critici in modo veloce e oggettivo
- individuazione di soglie mediante metodi statistici in modo veloce e oggettivo
- grandi quantità di dati possono essere processate in pochi minuti

# MACUMBA

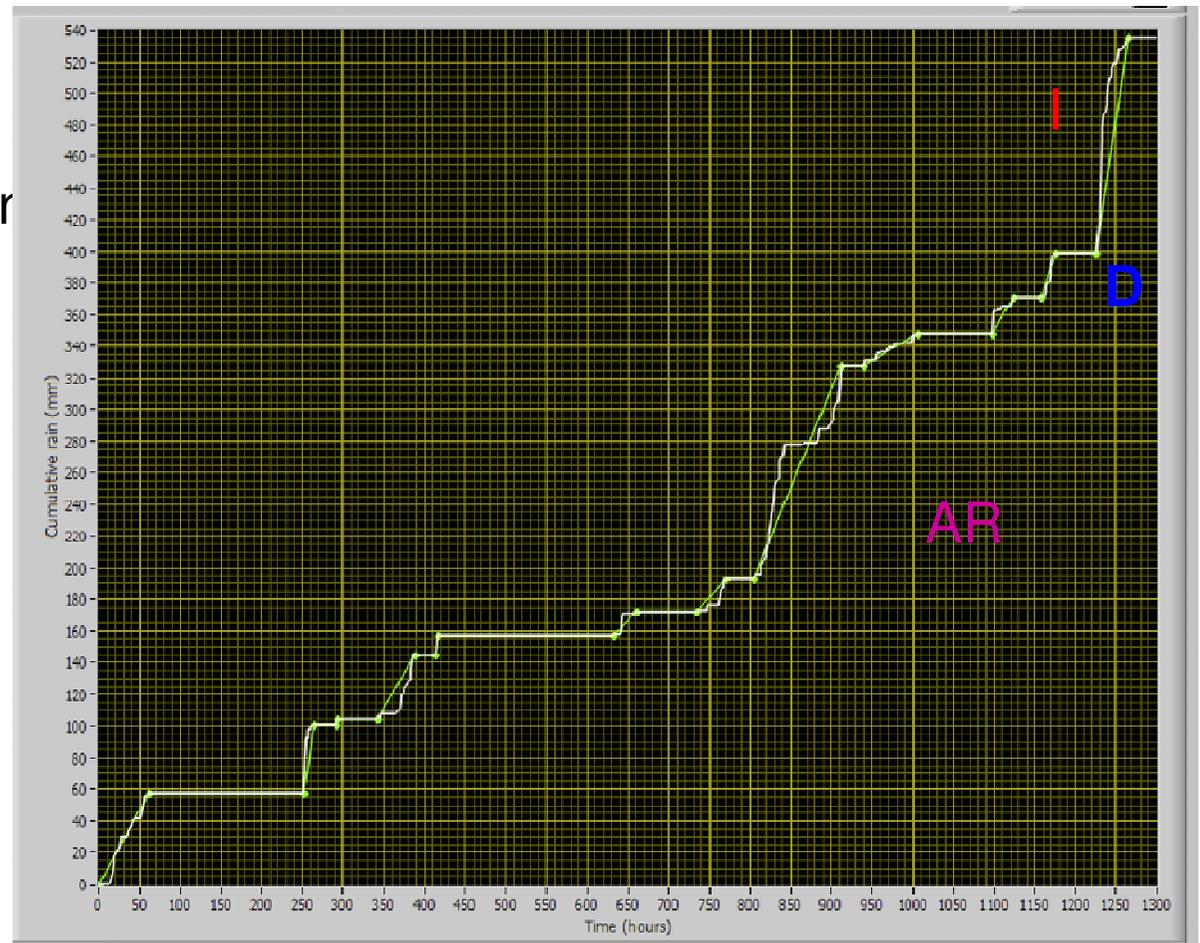
## Calcolo dei parametri critici

• L'evento pluviometrico innescante viene caratterizzato in termini di:

Durata (D)

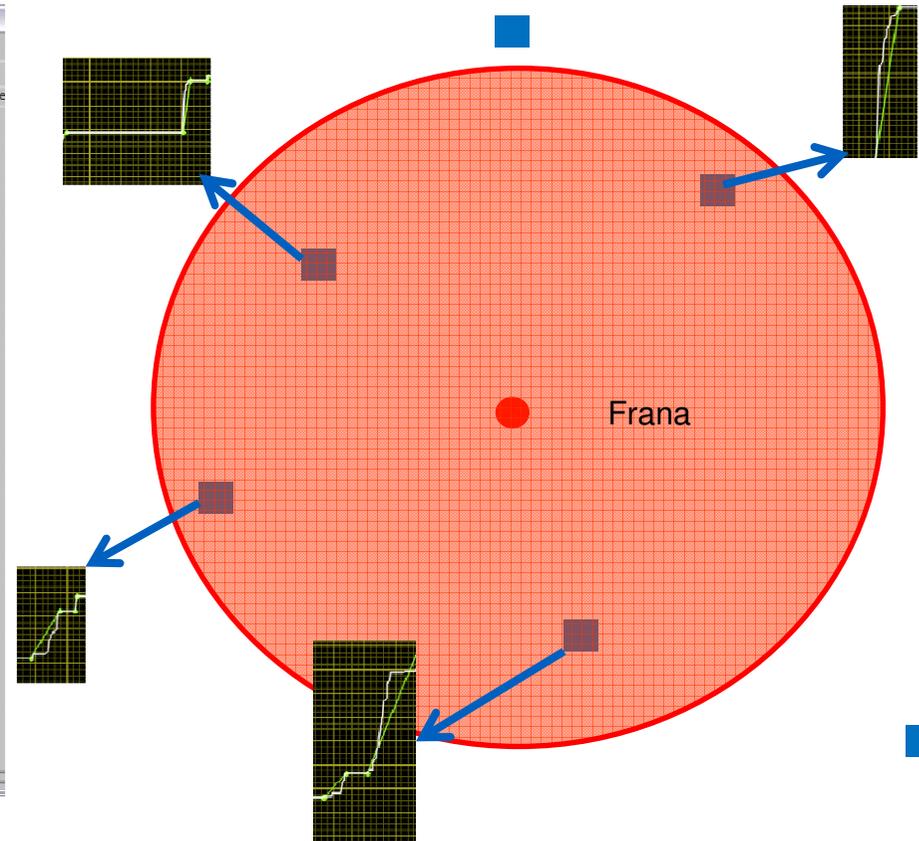
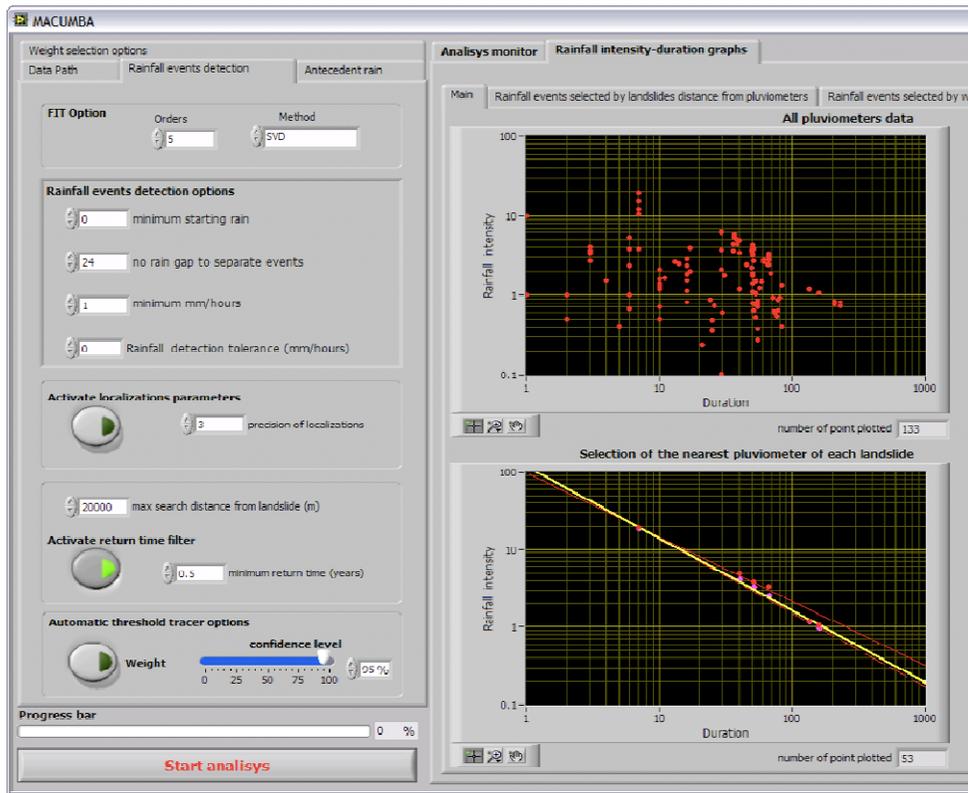
Intensità (I)

Pioggia antecedente (60 giorni)  
(AR)



# MACUMBA

## Selezione automatica del pluviometro più appropriato

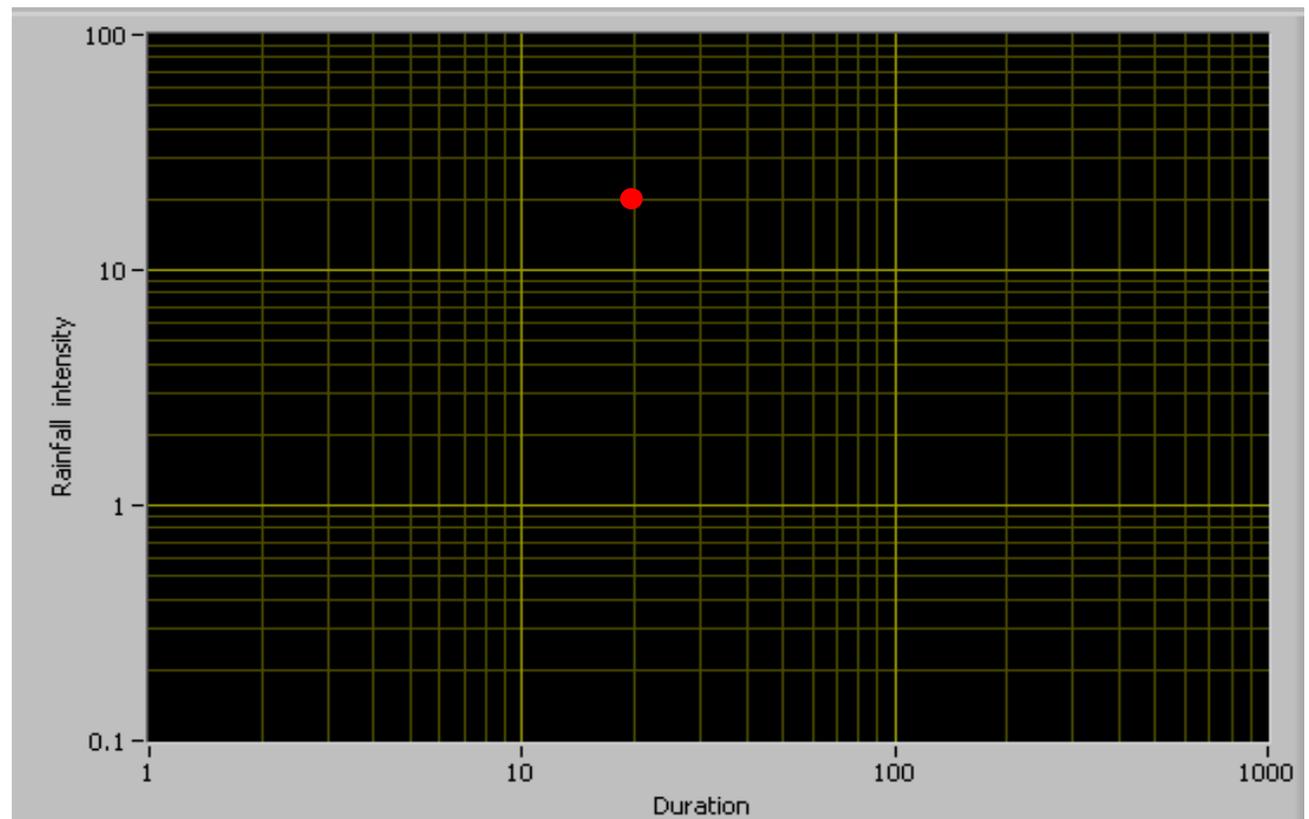


Il tempo di ritorno maggiore  
Tra tutti I pluviometri “vicini” ad ogni frana

# MACUMBA CODE

## Grafico Intensità – Durata

- Grafico ID  
(assi logaritmiche)
- Colori diversi a seconda di diversi valori di pioggia antecedente

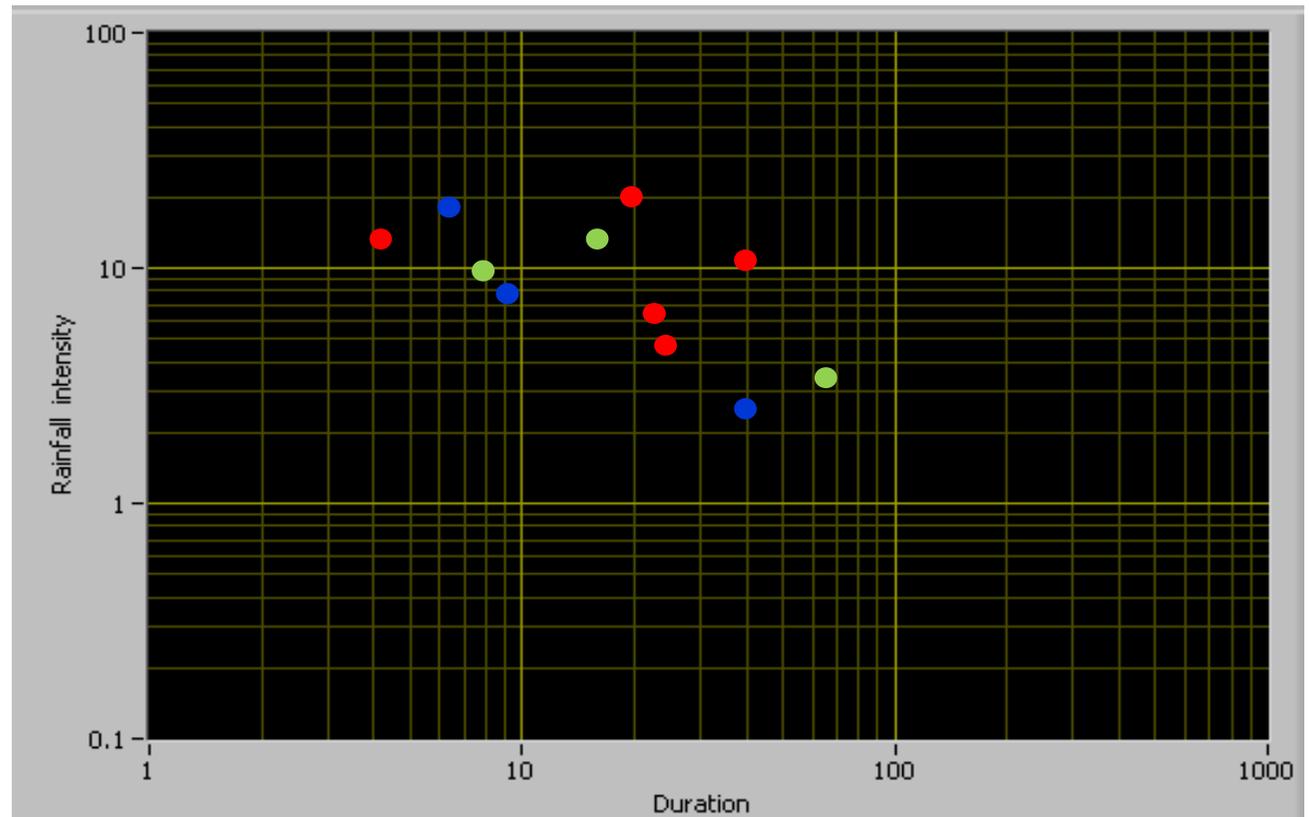


# MACUMBA

## Iterazione

La procedura viene ripetuta per ogni frana all'interno della stessa Zona d'Allerta

Ogni punto rappresenta una condizione di pioggia che nel passato ha innescato almeno una frana

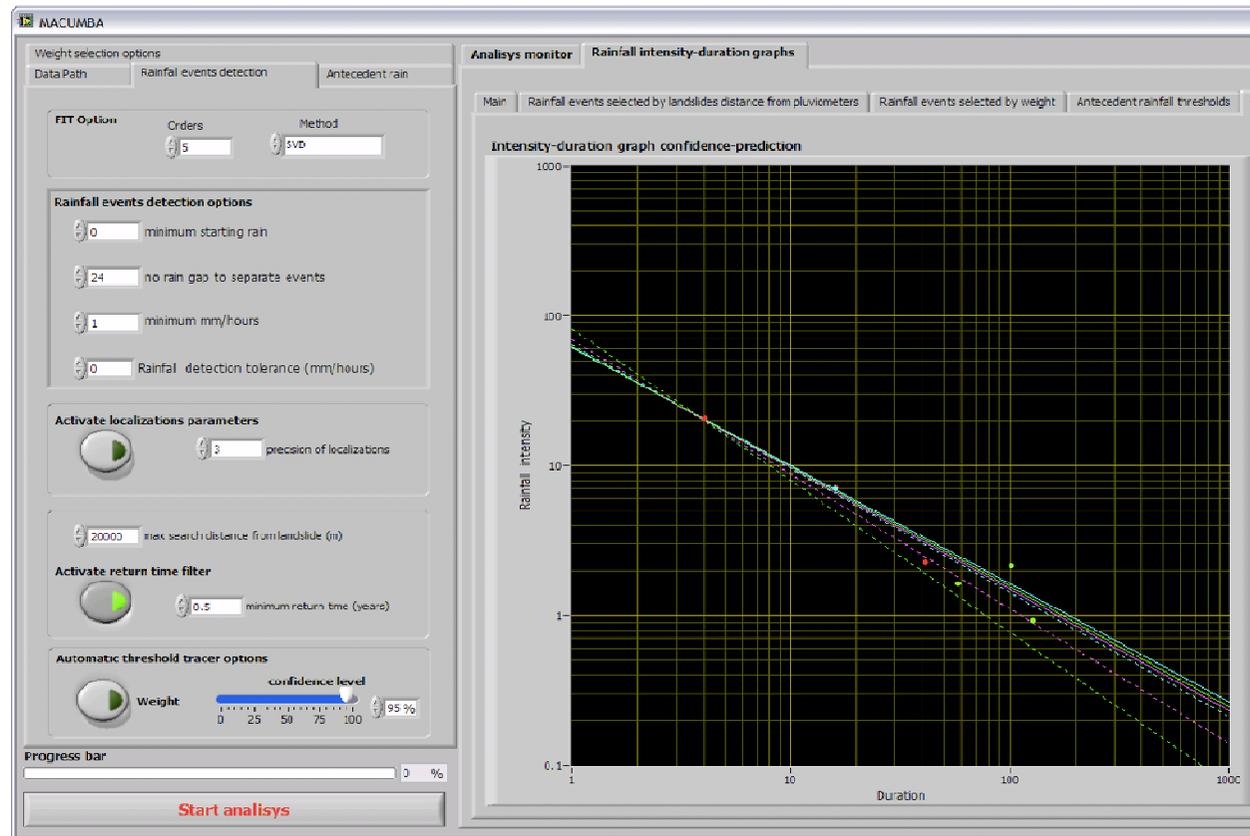


# MACUMBA CODE

## Tracciatore automatico di soglie

Legge di potenza

$$I = \alpha D^{-\beta}$$

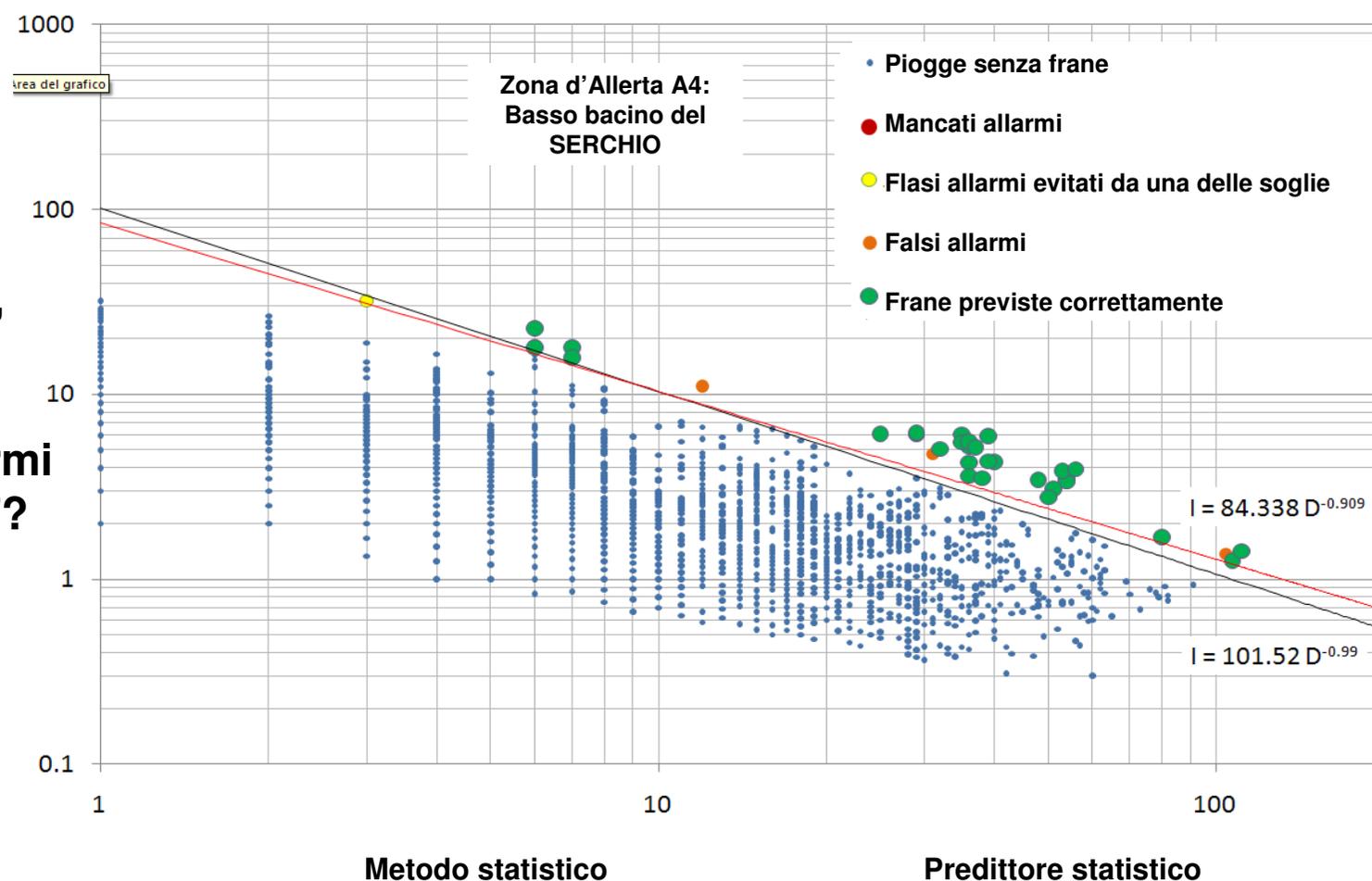


- soglia statistica “classica”
- soglia tracciata mediante un predittore statistico

# CALIBRAZIONE

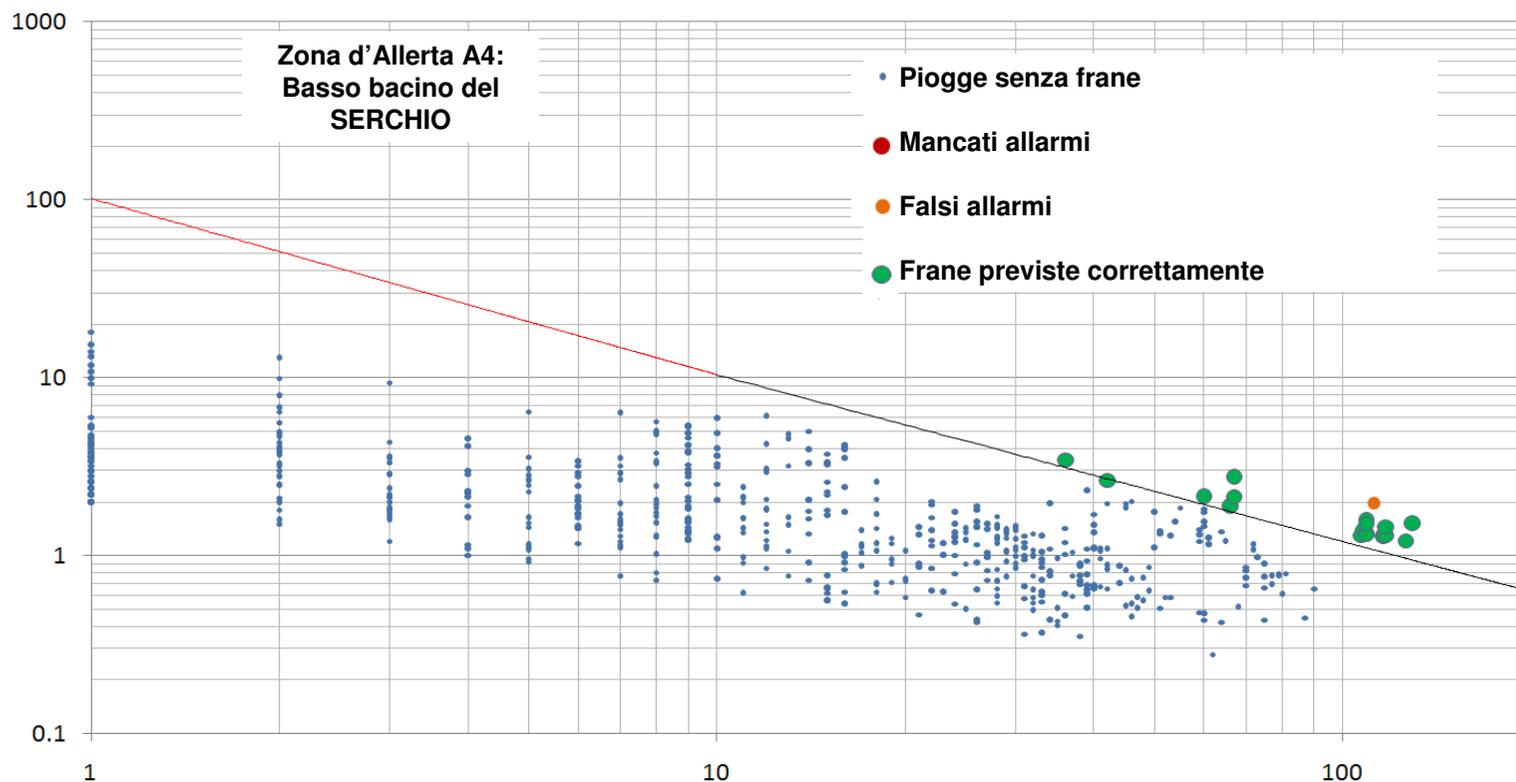
## Ottimizzazione rispetto a piogge che non hanno innescato frane

A parità di eventi correttamente previsti, quale soglia avrebbe generato meno falsi allarmi nel periodo 2000 – 2007?



# VALIDAZIONE

Periodo di validazione: Gennaio 2008 – Gennaio 2009



**4 eventi correttamente predetti (14 frane)**

**1 falso allarme**

**Nessun mancato allarme**

# VALIDATION

## Zona d'Allerta E3: Valdarno superiore

$$I = 41.64 D^{-0.85}$$

JAN	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
FEB	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		
MAR	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
APR	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	
MAY	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
JUN	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	
JUL	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
AUG	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
SEP	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	
OCT	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
NOV	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	
DEC	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
JAN	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

Previsioni corrette: Correct predsoglia non superata, nessuna frana

Previsoni corrette: soglia superata, frane innescate

Falsi allarmi: soglia superata, nessuna frana

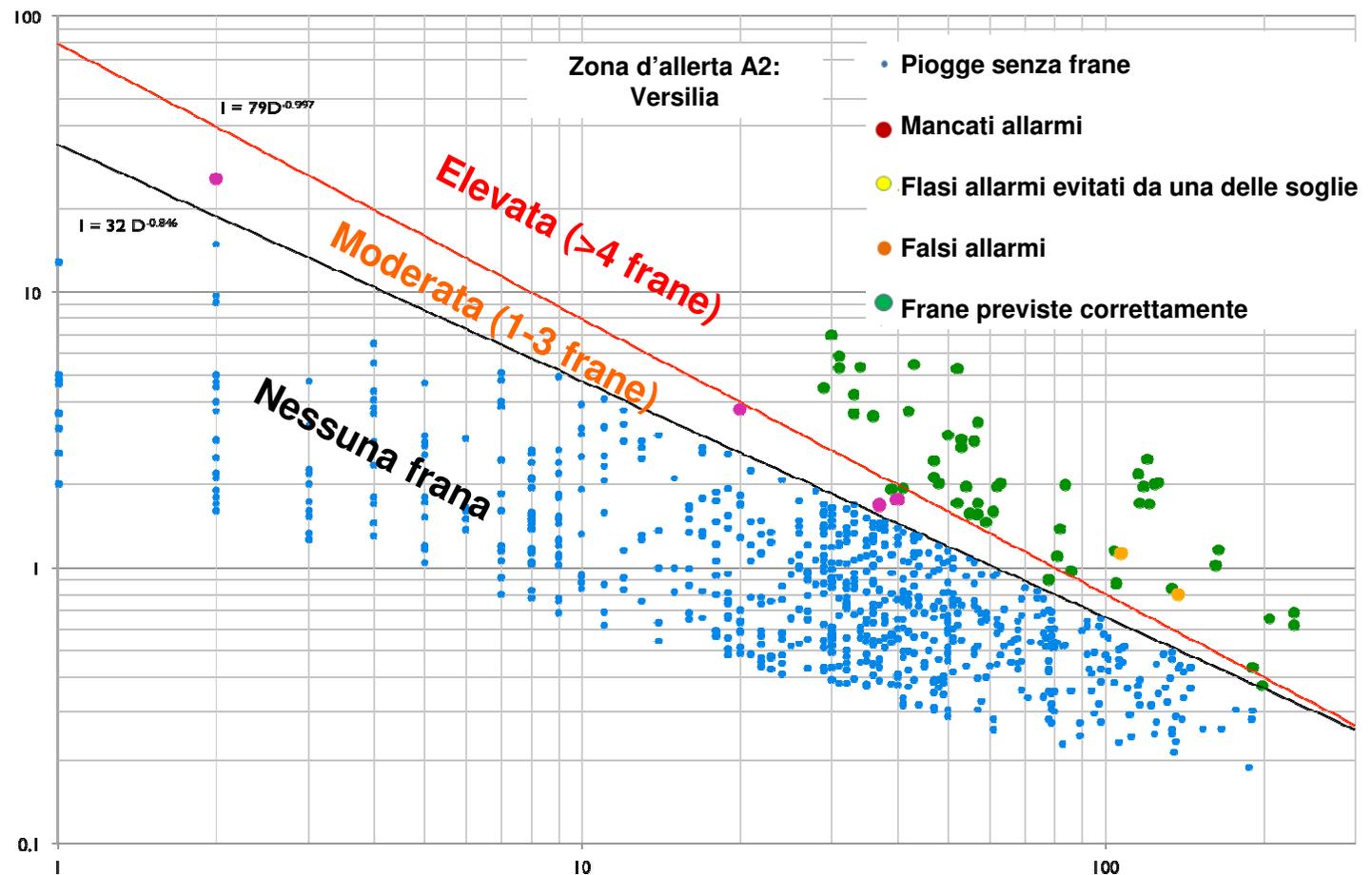
Mancati allarmi: soglia non superata, innesco di frane

# Sistema di allerta

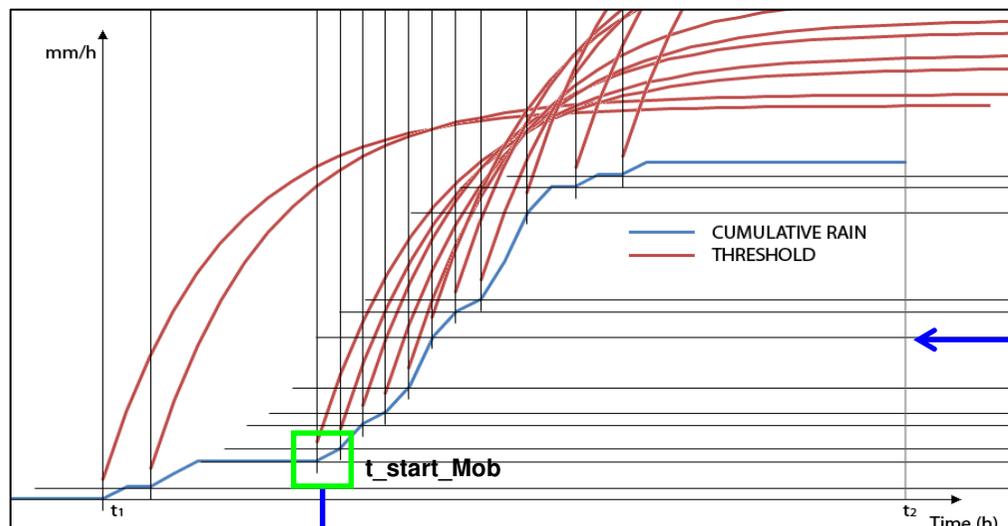
## Differetni livelli di allerta

Sulla base del numero di frane attese

Possibile solo dove si hanno molti dati di buona qualità!



# SISTEMA DI MONITORAGGIO E ALLERTA



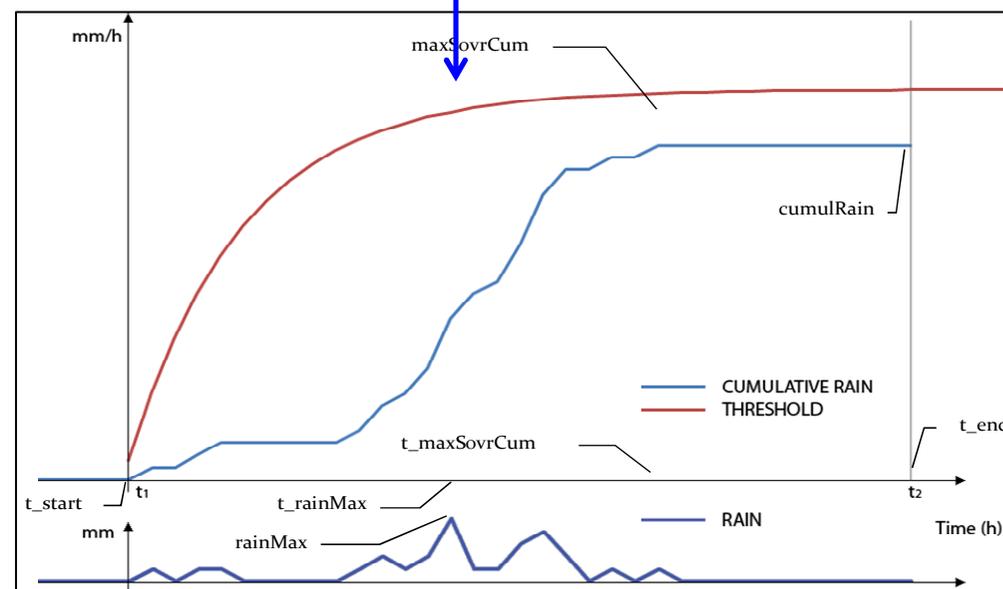
**RICERCA DELLO SCENARIO PIU' CRITICO**

**CONFRONTO PIOGGIA - SOGLIA**

**$t_{start\_Mob}$ :** Tempo di inizio dell'evento costituente lo scenario più critico

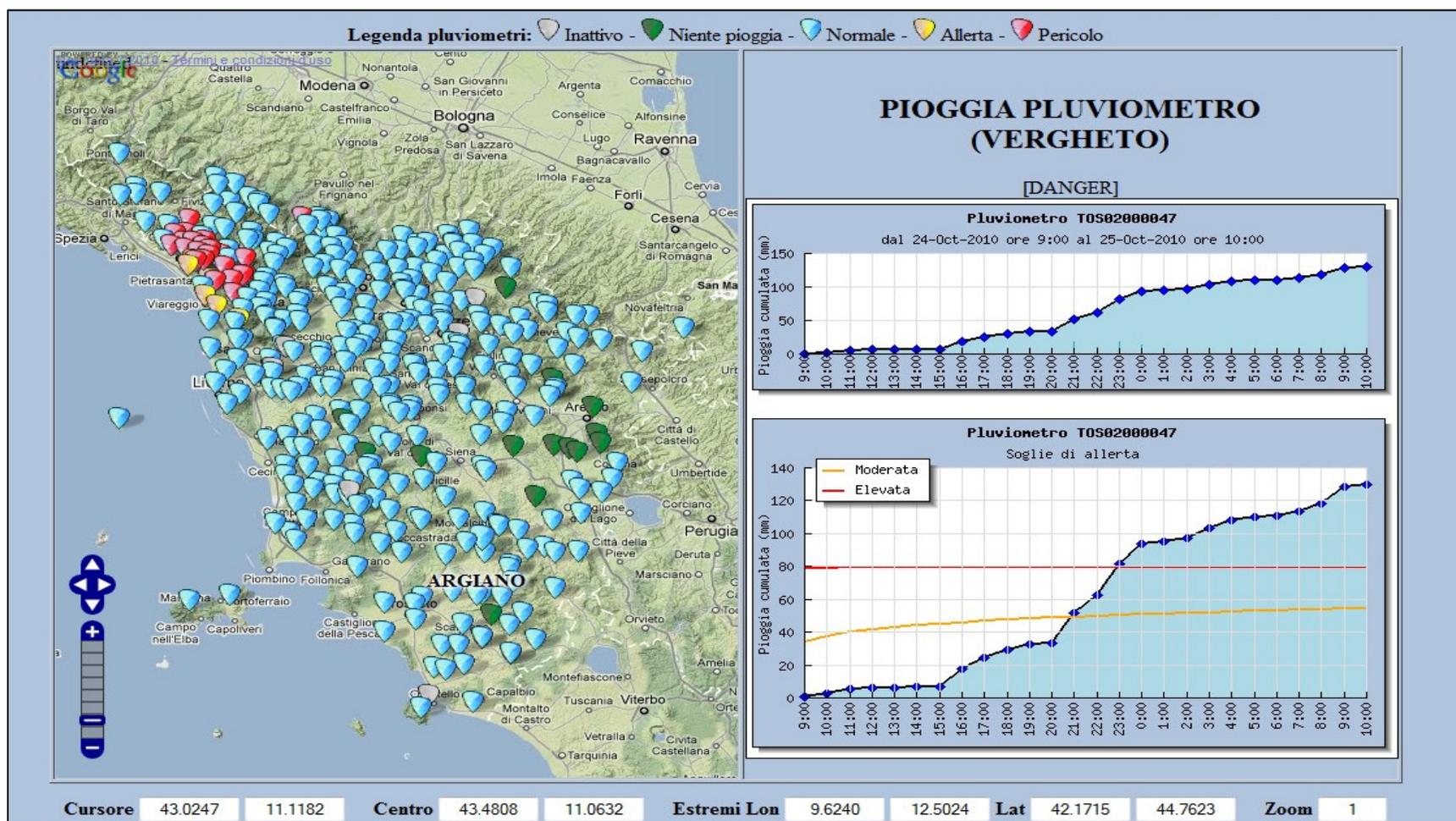
**$maxSovrCumMob$ :** valore massimo di eccedenza della soglia (o distanza minima in cason di non superamento), relativo allo scenario più critico

**$t_{maxSovrCumMob}$ :** tempo di occorrenza del valore precedente



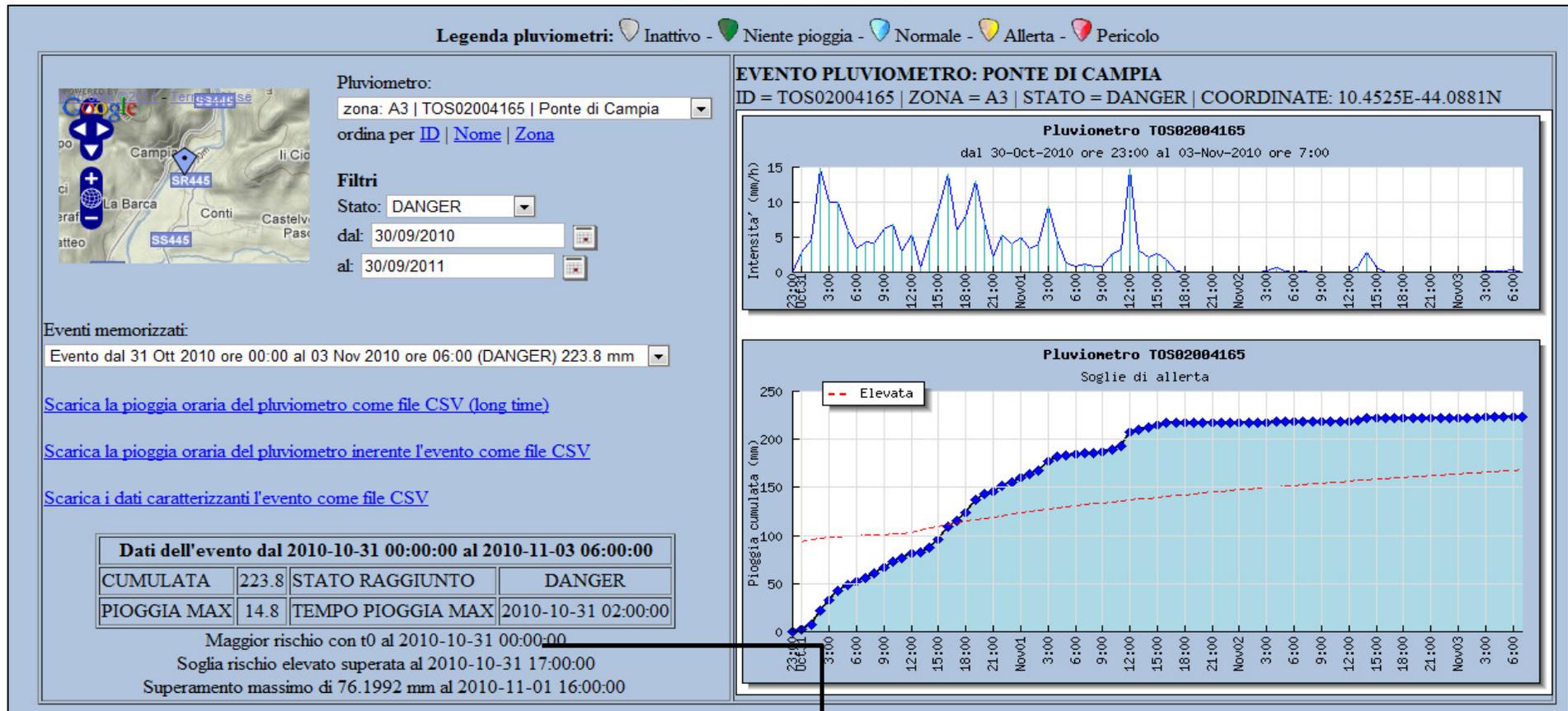
# SISTEMA DI MONITORAGGIO E ALLERTA

## Interfaccia Web-GIS: sistema di monitoraggio e allerta



# EARLY WARNING SYSTEM

## Interfaccia Web-GIS: database online degli eventi con sistema di ricerca



# CONCLUSIONI e SVILUPPI

- ✓ Definizione di **soglie spazialmente variabili**
- ✓ Procedura automatica mediante  **cursore a passo variabile** per l'analisi dei percorsi pluviometrici e selezione dei **sottoeventi** in base al tempo di ritorno
- ✓ Selezione automatica del **pluviometro più adatto** per la caratterizzazione di ogni evento
- ✓ **Calibrazione e validazione** su dataset indipendenti
- ✓ Realizzazione di un sistema di **monitoraggio/allerta** con **interfaccia Web-GIS** e sua implementazione nella catena di allertamento previa sperimentazione operativa