



# Il monitoraggio, con finalità d'allertamento, delle pareti rocciose: una sfida impegnativa

Luca Dei Cas

**ARPA** LOMBARDIA

Centro Monitoraggio Geologico

## Il monitoraggio con finalità d'allertamento:

Opere non strutturali



$R = P \times V \times A$  (Varnes. 1984)

$$R_{ij} = p_j \cdot pe_{ij} \cdot v_{ij} \cdot A_i \quad (\text{Sattele et al. 2015})$$

dove:

$p_j$  è la probabilità che avvenga quanto delineato nello scenario di franamento  $j$ ;

$pe_{ij}$  è la probabilità di coinvolgimento dell'oggetto  $i$  nello scenario  $j$ ;

$v_{ij}$  è la vulnerabilità dell'oggetto  $i$  sottoposta allo scenario  $j$ ;

$A_i$  è il valore dell'oggetto  $i$

- Adeguata progettazione della rete di monitoraggio
- Studio con definizione scenari e soglie
- Pianificazione, disseminazione, gestione procedure protezione civile

Efficacia previsionale  
di sistema di  
monitoraggio

**Pareti rocciose** subverticali;

→ esigui quantitativi di roccia (blocchi singoli o di decine di metri cubi)

→ ammassi rocciosi di centinaia o migliaia di metri cubi con processi di deformazione e rottura di tipo viscoso

**Sfida impegnativa:**

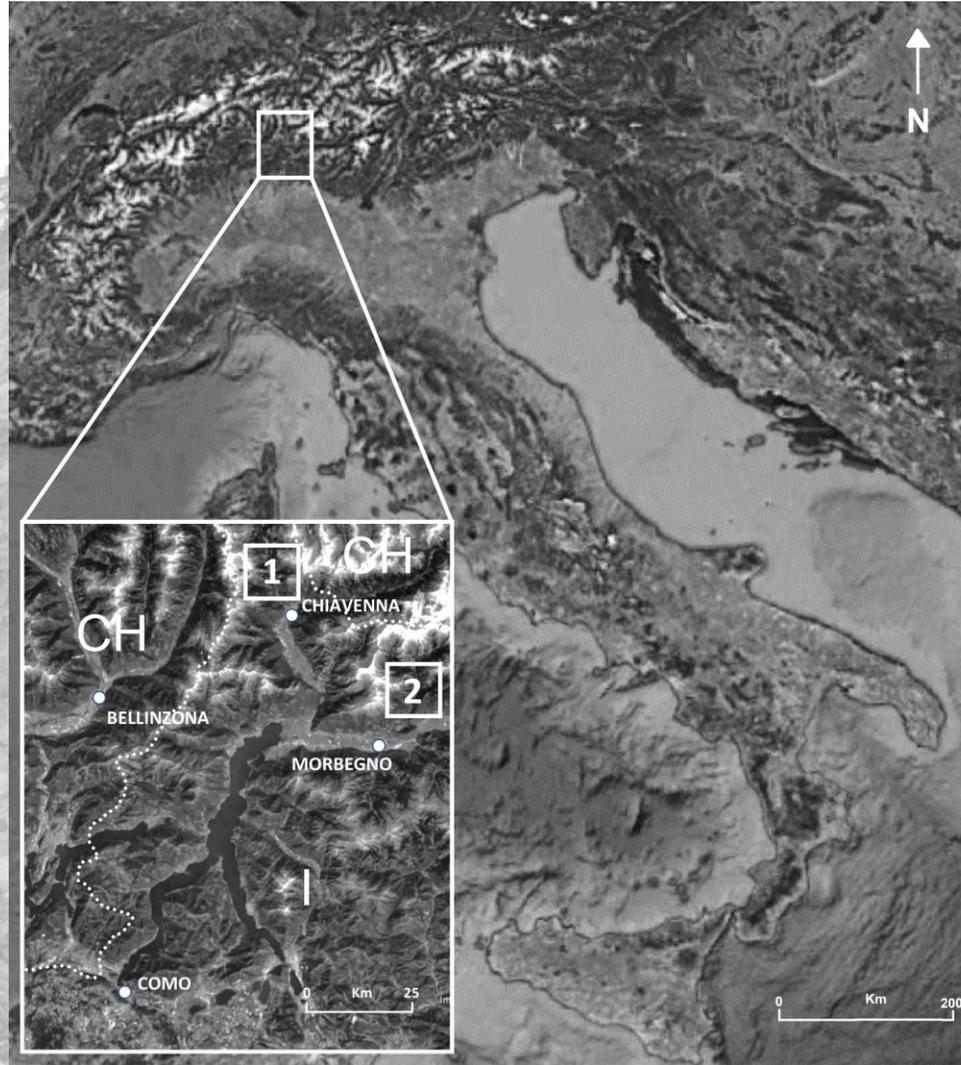
→ meccanismo che regolano passaggio da stabilità ad instabilità non completamente noti (Eberhart 2008; Federico et al. 2008).

→ Studio con definizione scenari e soglie (incertezze dei modelli e incertezze legate a geometria, struttura, persistenza discontinuità, caratteristiche duttili/fragili, forma sup scivolamento....)

→ soglie conservative / non conservative

1  
Gallivaggio

2  
Cataeggio



# 1 Gallivaggio

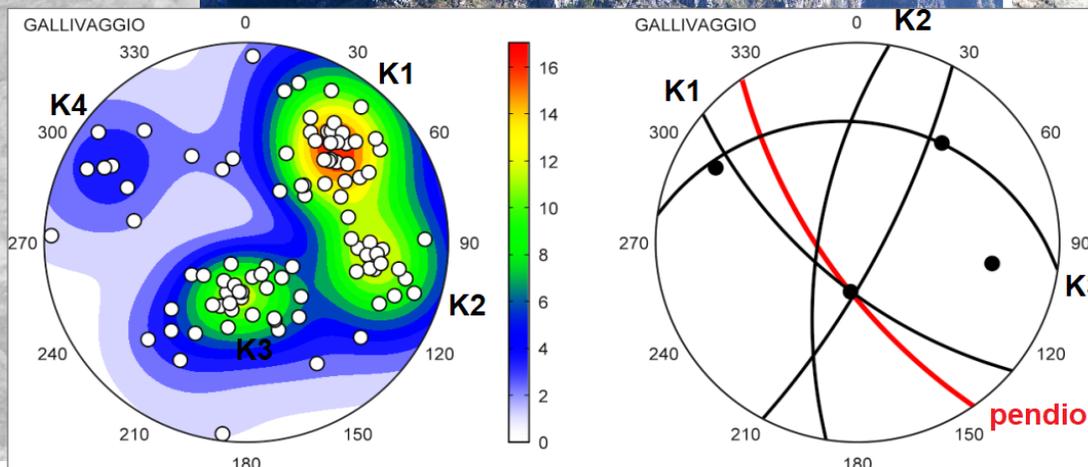
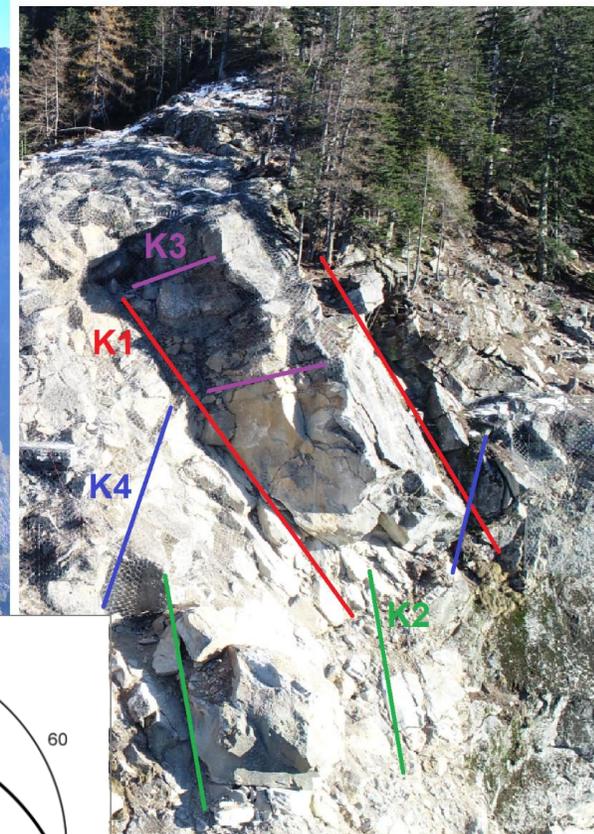
La parete sovrastante del Santuario della Madonna di Gallivaggio si trova in Comune di San Giacomo Filippo, nella parte più occidentale del territorio della Provincia di Sondrio. Il franamento è avvenuto il **29 maggio 2018**



Il versante, con sviluppo verticale di oltre 500m e inclinazione compresa fra **65° e 70°**, è interamente costituito da un **ortogneiss** conosciuto come Metagranito del Truzzo. Al piede della parete di Gallivaggio sono presenti **accumuli** sia sotto forma di coni e falde di detrito sia sotto forma di grossi blocchi e macereti, a testimonianza della intensa attività di crolli provenienti dalla parete.

Mediante le attività con drone sono state individuate le fratture principali, rilevate nella porzione superiore della parete, che possono essere raggruppate nelle famiglie

- K1\* immergente a SW (220/66°)
- K2 immergente a W (27/68°)
- K3 immergente a N (008/28°)
- K4 immergente a SE (118/77°)



\*piano su cui è franato l'ammasso roccioso

## 2

# Cataeggio

La parete dello Scaiùn, sita all'interno del territorio comunale di Val Masino (SO) in località Cataeggio dista in linea d'aria poche decine di km dalla zona di Gallivaggio. Il franamento è avvenuto il **4 febbraio 2019**



Geologicamente la parete dello Scaiun si trova nella parte sud orientale del Plutone terziario Masino Bregaglia, costituito prevalentemente da **tonalite e granodiorite**.

Anche la parete dello Scaiùn presenta al piede ampi conii di detrito in coalescenza fra loro e grossi blocchi rocciosi, testimonianza di **crolli pregressi**. A dimostrazione di importanti eventi di crollo avvenuti in passato, il nucleo storico di Cataeggio presenta al proprio interno blocchi rocciosi decametrici.



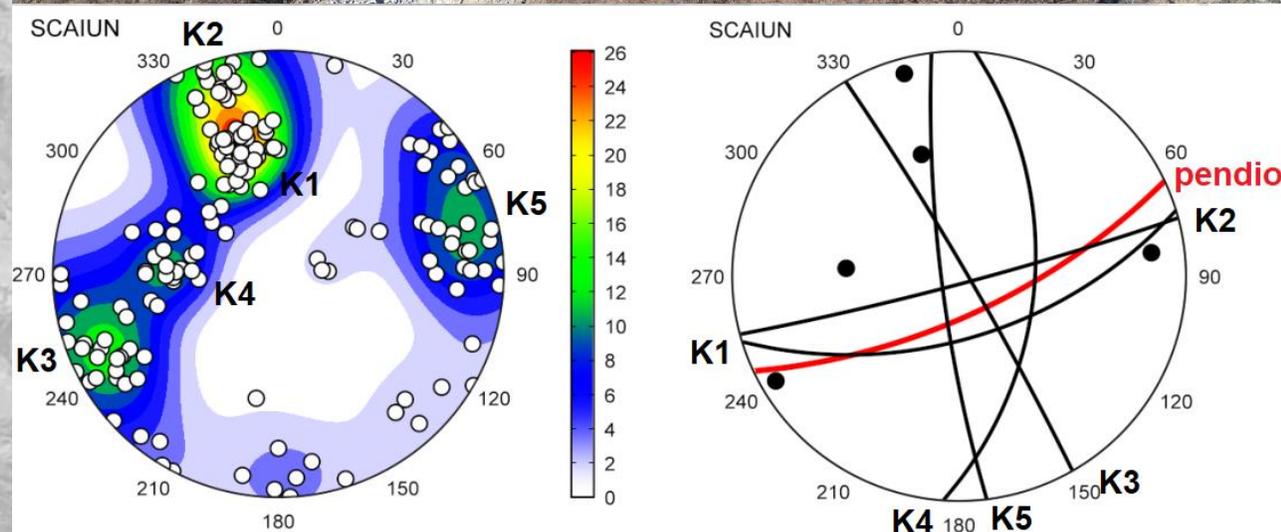
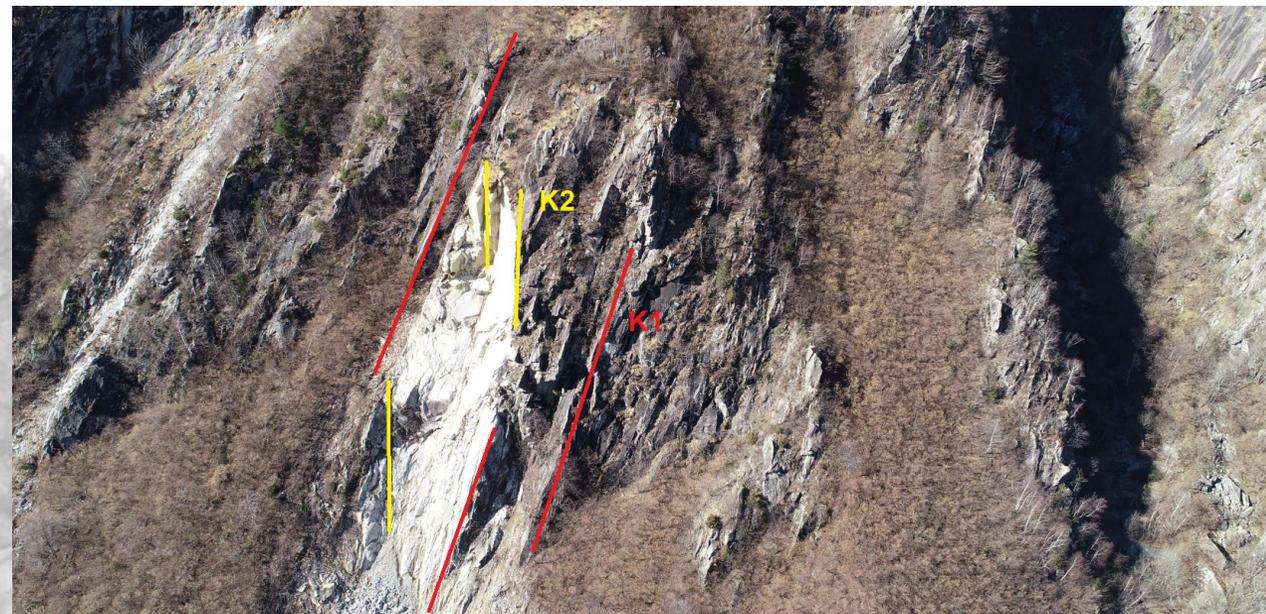
Tra i principali sistemi di discontinuità, rilevati dall'analisi geomeccanica, sono presenti le famiglie:

- **K1** (giacitura media 163/59°) parallela ai piani di foliazione dell'ammasso e ai principali solchi vallivi presenti nell'area
- **K2** (giacitura media 165/86°)

Gli alti sistemi di discontinuità, che contribuiscono alla formazione di blocchi rocciosi isolati dall'ammasso, sono:

- **K3** (69/86°)
- **K4** (94/53°)
- **K5** (263/81°)

Il franamento avvenuto il 4 febbraio 2019 ha portato in luce un ampio piano di scivolamento dei sistemi K1 e K2, caratterizzanti l'intero versante sovrastante Cataeggio.



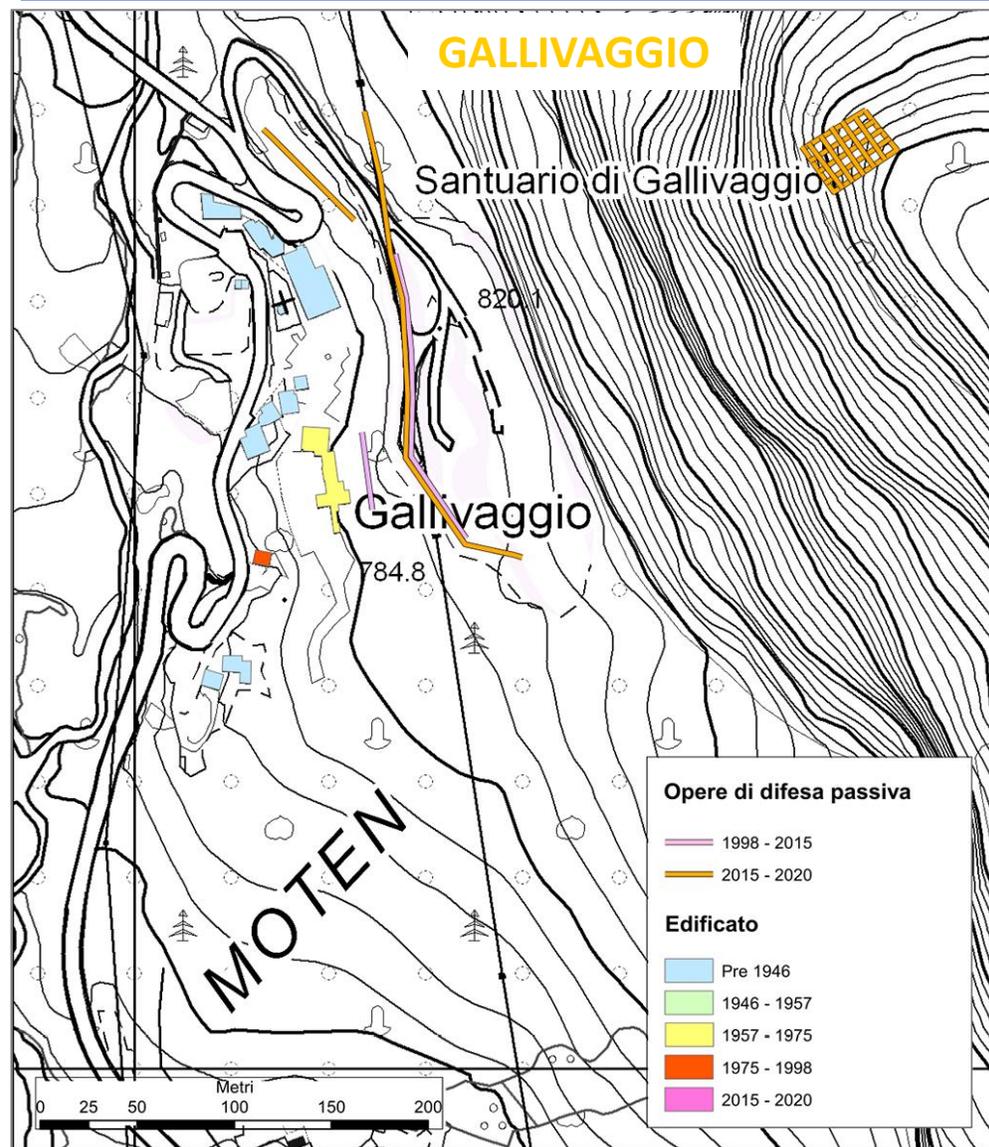
## MODIFICA DELLE CONDIZIONI DI RISCHIO DELLE AREE: $R=P \times V \times A$

Entrambe le aree sono soggette a una condizione di pericolo (**P**) che è sostanzialmente immutata da anni

Il rischio (**R**) nelle ultime decine di anni è andato modificandosi

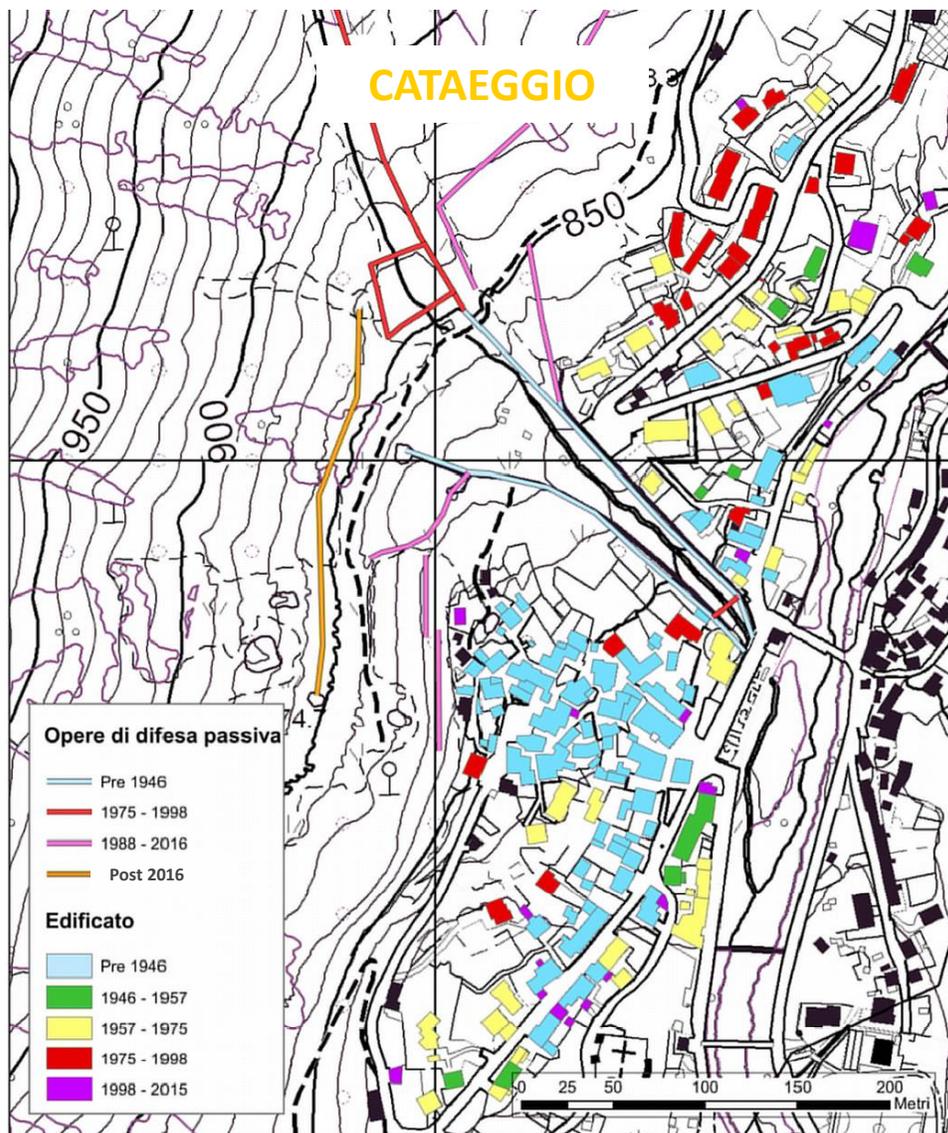
**IN TERMINI NEGATIVI**  
(mutate condizioni urbanistiche e viabilistiche)

**IN TERMINI POSITIVI**  
(progettazione e messa in atto di numerosi interventi strutturali e non)



Anno	GALLIVAGGIO: tipo di intervento	Ente attuatore	Importo economico (arrotondato EUR)
2004	Pronto intervento	Comune	30 000.00
2006–2007	Realizzazione vallo e rilevato in terra	Comune	600 000.00
2008	Pronto intervento: installazione reti paramassi all'apice del rilevato in terra	Comune	200 000.00
2015	Barriera elastoplastica da 2000 kJ	ANAS	110 000.00
2017	Rete in parete e disaggio	CM	70 000.00
2018–2019	Rete in aderenza e disaggio	CM	1 300 000.00
2020	Nuova barriera in terra armata e rete di trattenuta (in esecuzione)	CM	3 300 000.00





Anno	CATAEGGIO: tipo di intervento	Ente attuatore	Importo economico (arrotondato EUR)
1988-1990	Argine sinistro Val Materlo	R. Lomb.	576 000.00
1994/1998	Arginatura e sacca L. 102/90	R. L./CM	835 000.00
	Vallo in muratura a protezione crolli		250 000.00
2011	Rilevati in terra sinistra idrografica a protezione abitati	Comune	150 000.00
2016	Rilevato paramassi scogliera in sinistra Val Materlo	Comune	80 000.00
2017	Viabilità e reti paramassi sopra l'abitato	Comune	300 000.00
2018	Seconda vasca su Materlo e rilevato paramassi argine sinistro	Comune	100 000.00
2020	Svaso torrente, potenziamento argine sinistro ed opera trattenuta	Comune	150 000.00
2020	Vallo in terra armata (in esecuzione)	Comune	2 600 000.00
2020	Manutenzione alveo Materlo (in progettazione)	Comune	100 000.00

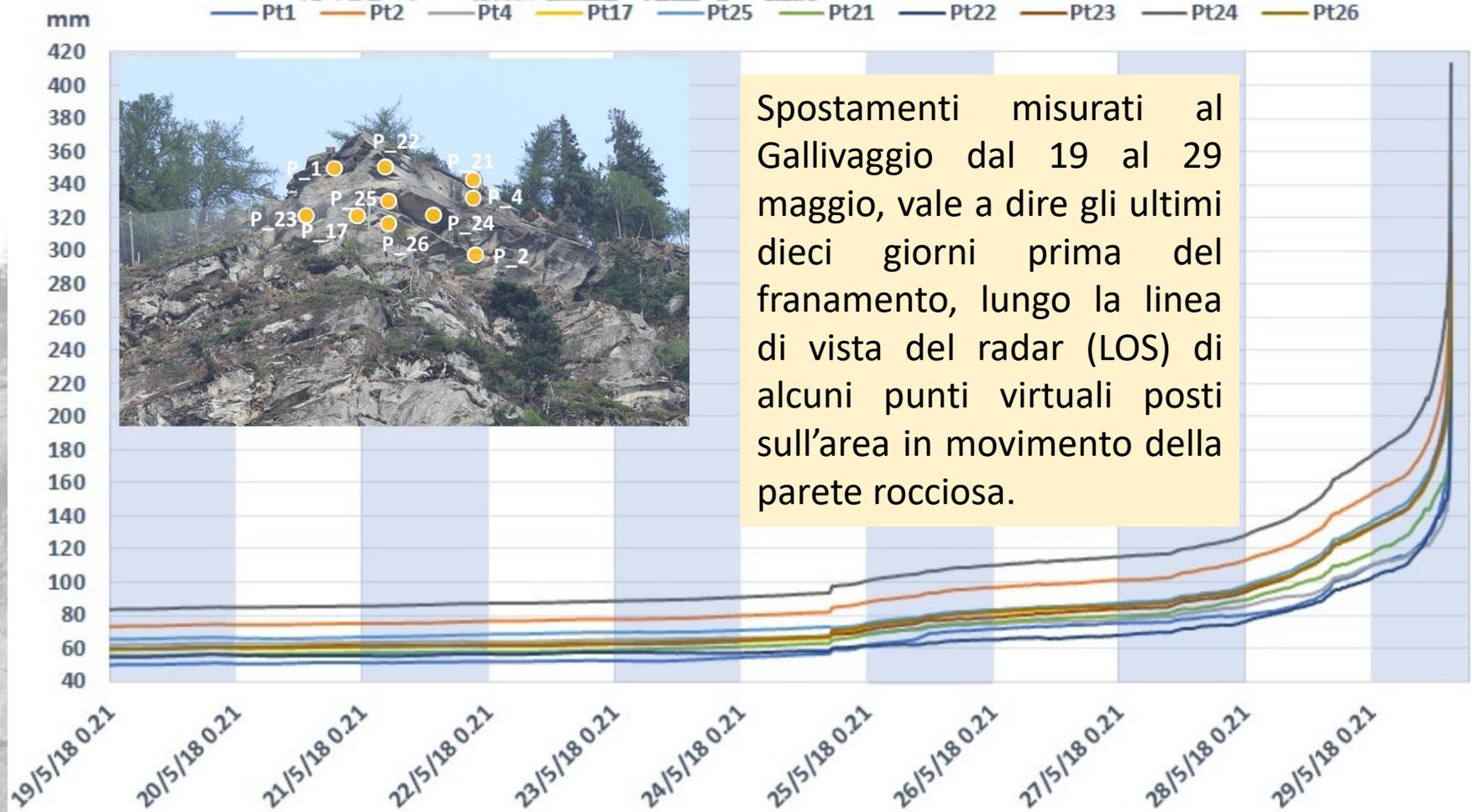
## SISTEMA DI MONITORAGGIO DELLE AREE

Entrambi i dissesti oggetto di studio sono stati monitorati con il medesimo modello di radar da terra ad apertura sintetica (GBInSAR LiSALab) e per entrambe le aree si è passati da una prima fase di monitoraggio periodico, con misure puntuali distanziate di uno o più mesi, a un monitoraggio continuo in near real time.



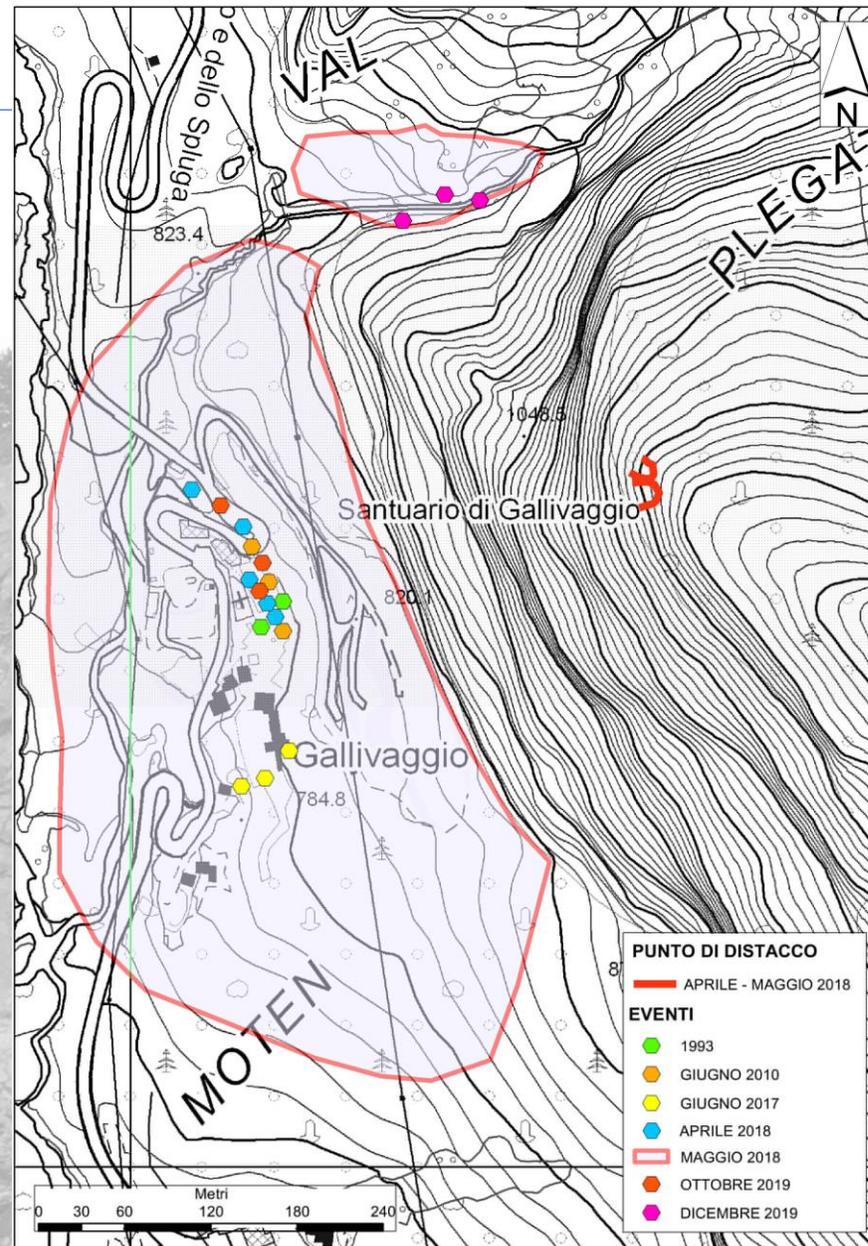
## DESCRIZIONE EVENTO GALLIVAGGIO 2018

Durante la primavera 2018, sulla parete del Gallivaggio, si sono manifestati importanti movimenti che hanno portato al franamento di 6700m<sup>3</sup> (Menegoni et al.2020) il 29 maggio 2018.



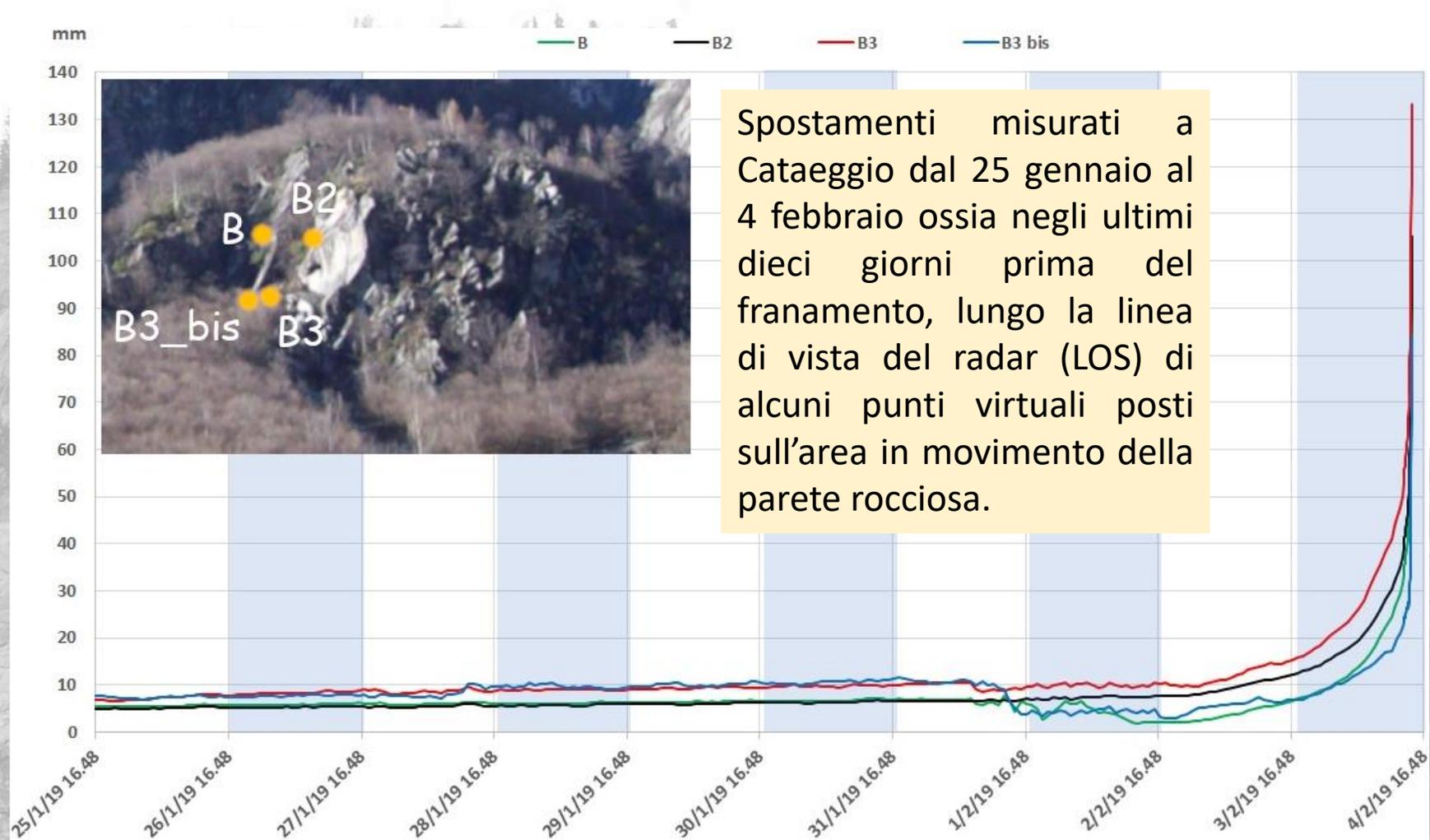
Spostamenti misurati al Gallivaggio dal 19 al 29 maggio, vale a dire gli ultimi dieci giorni prima del franamento, lungo la linea di vista del radar (LOS) di alcuni punti virtuali posti sull'area in movimento della parete rocciosa.

Il crollo del 29 maggio 2018 è solo l'ultimo di una serie di franamenti di cui si trova traccia nella documentazione storica o che possono essere ricostruiti in quanto piuttosto recenti e avvenuti più volte anche negli ultimi anni



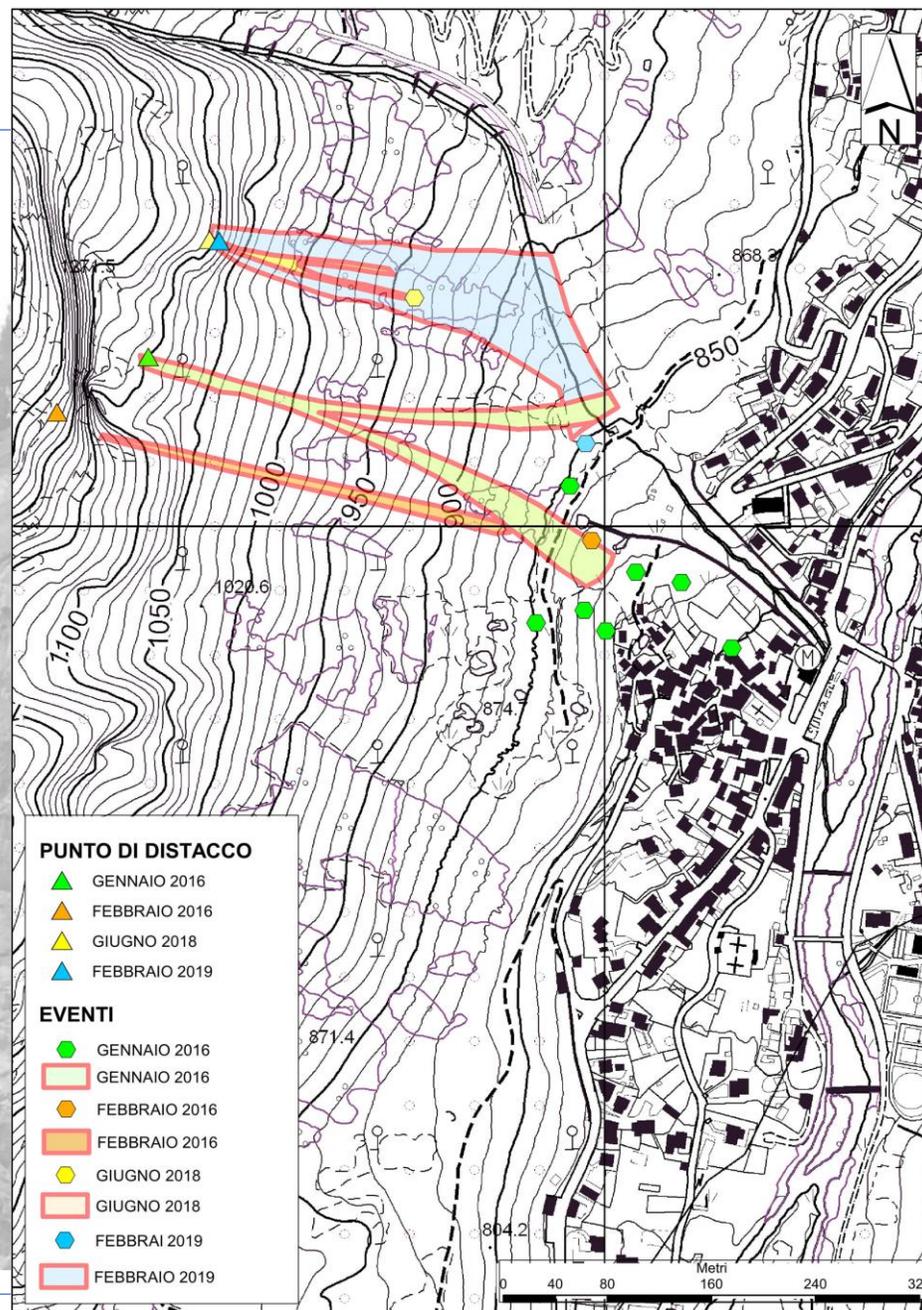
## DESCRIZIONE EVENTO CATAEGGIO 2019

Andamento di alcuni punti interferometrici posti sul versante franato il 4 febbraio 2019 (spostamenti totali compresi fra 7 e 13 cm).



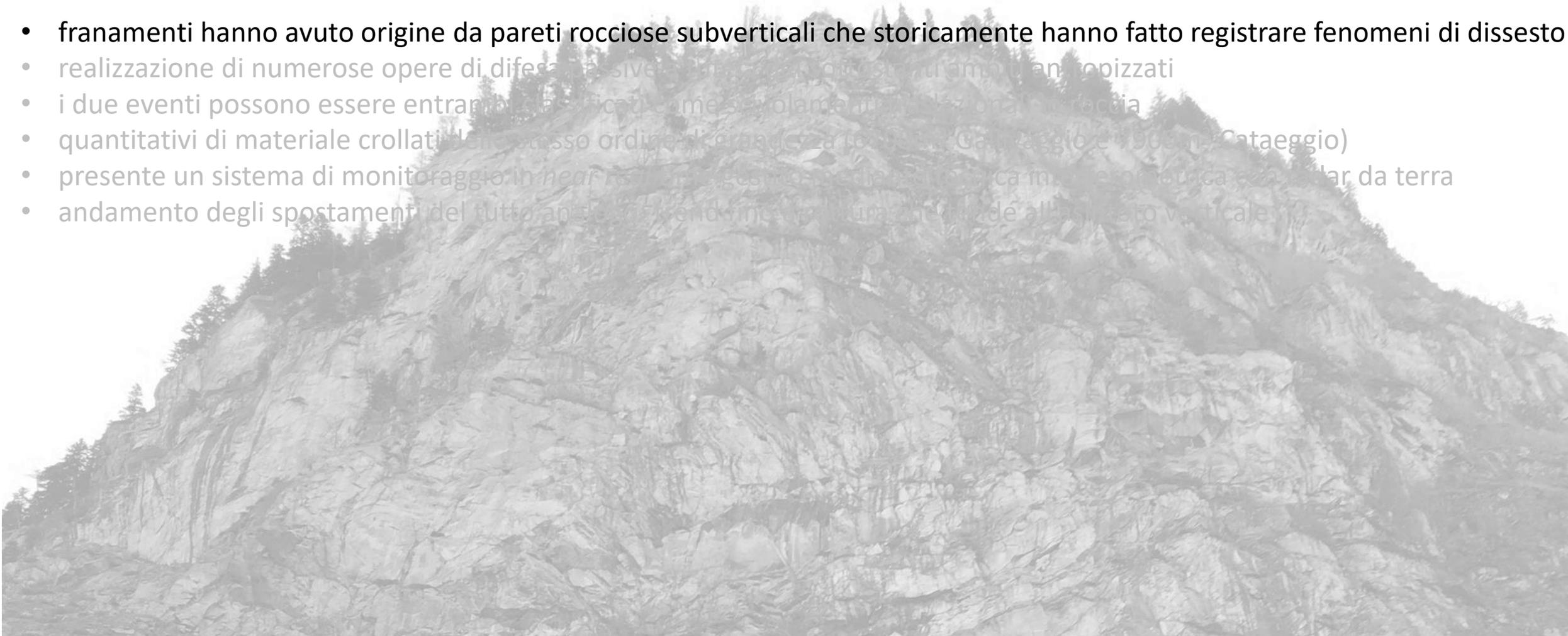
Spostamenti misurati a Cataeggio dal 25 gennaio al 4 febbraio ossia negli ultimi dieci giorni prima del franamento, lungo la linea di vista del radar (LOS) di alcuni punti virtuali posti sull'area in movimento della parete rocciosa.

La distribuzione del materiale franato il 4 febbraio 2019 e quella di alcuni episodi precedenti



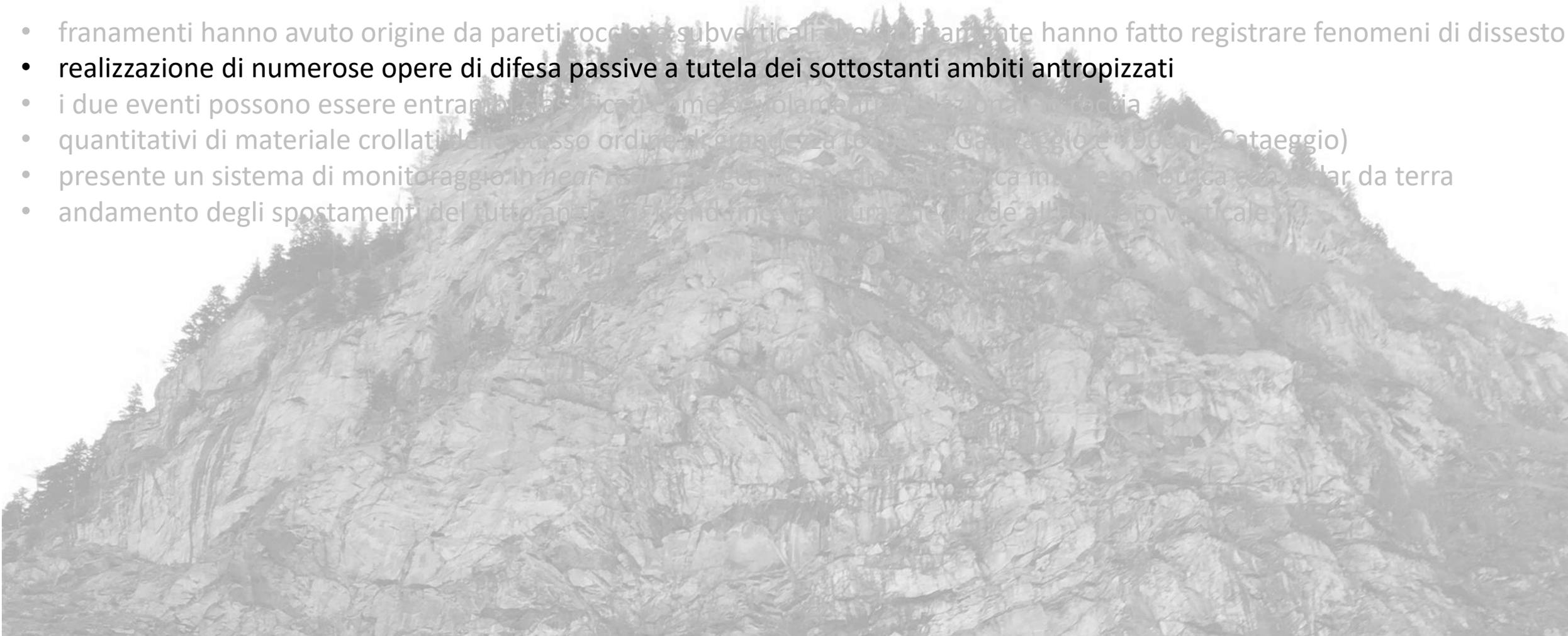
## ANALOGIE

- franamenti hanno avuto origine da pareti rocciose subverticali che storicamente hanno fatto registrare fenomeni di dissesto
- realizzazione di numerose opere di difesa passive e attiva, in particolare di tipo antropizzati
- i due eventi possono essere entrambi classificati come svolamenti localizzati in roccia
- quantitativi di materiale crollati di un ordine di grandezza pari a (Gallivaggio e Cataeggio)
- presente un sistema di monitoraggio in *near real time* (gestito mediante tecnologia meccanica e a radar da terra)
- andamento degli spostamenti del tutto analogo (trend fino a un valore di oltre alla direzione verticale)



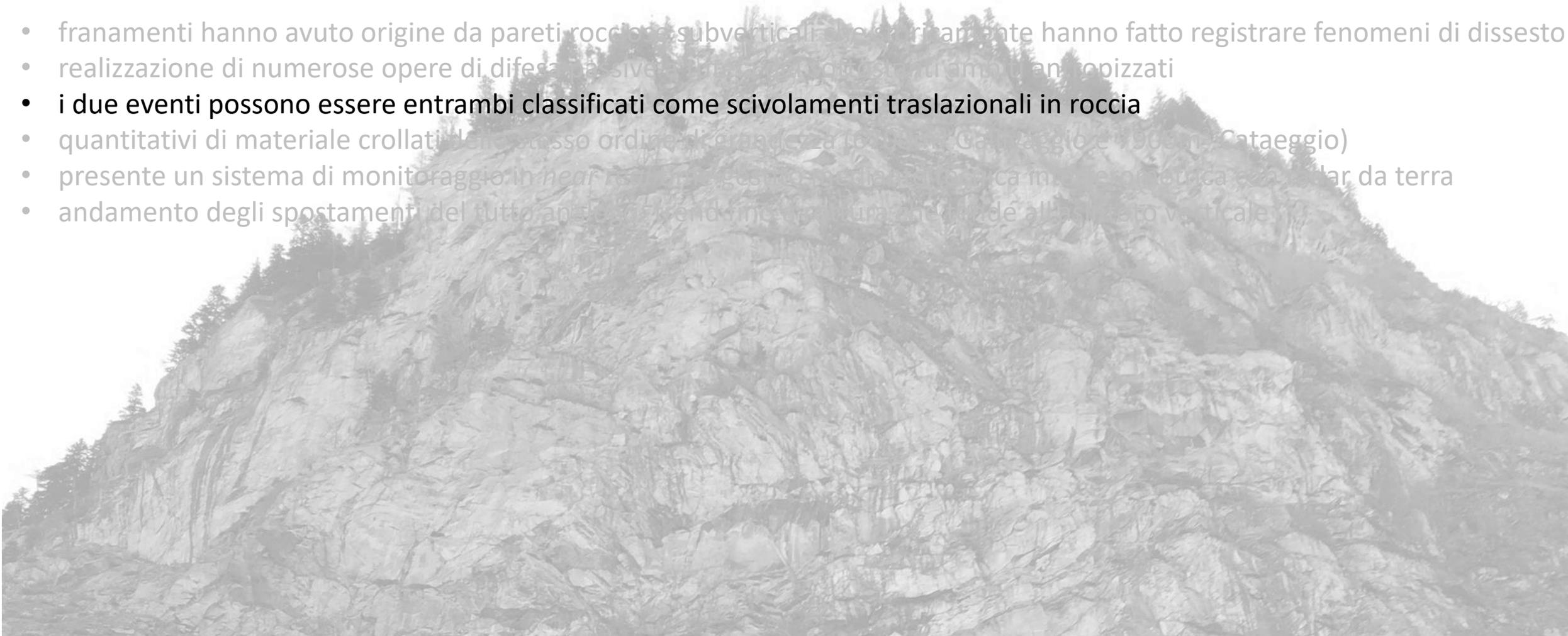
## ANALOGIE

- franamenti hanno avuto origine da pareti rocciose subverticali che originariamente hanno fatto registrare fenomeni di dissesto
- **realizzazione di numerose opere di difesa passive a tutela dei sottostanti ambiti antropizzati**
- i due eventi possono essere entrambi classificati come scivolamenti rotazionali su roccia
- quantitativi di materiale crollati dello stesso ordine di grandezza (oltre 100.000 m<sup>3</sup> a Gallivaggio e 79000 m<sup>3</sup> a Cataeggio)
- presente un sistema di monitoraggio in *near real time* (gestito mediante software meteorologico e a radar da terra)
- andamento degli spostamenti del tutto analogo (trend fino a un anno che tende all'angolo verticale)



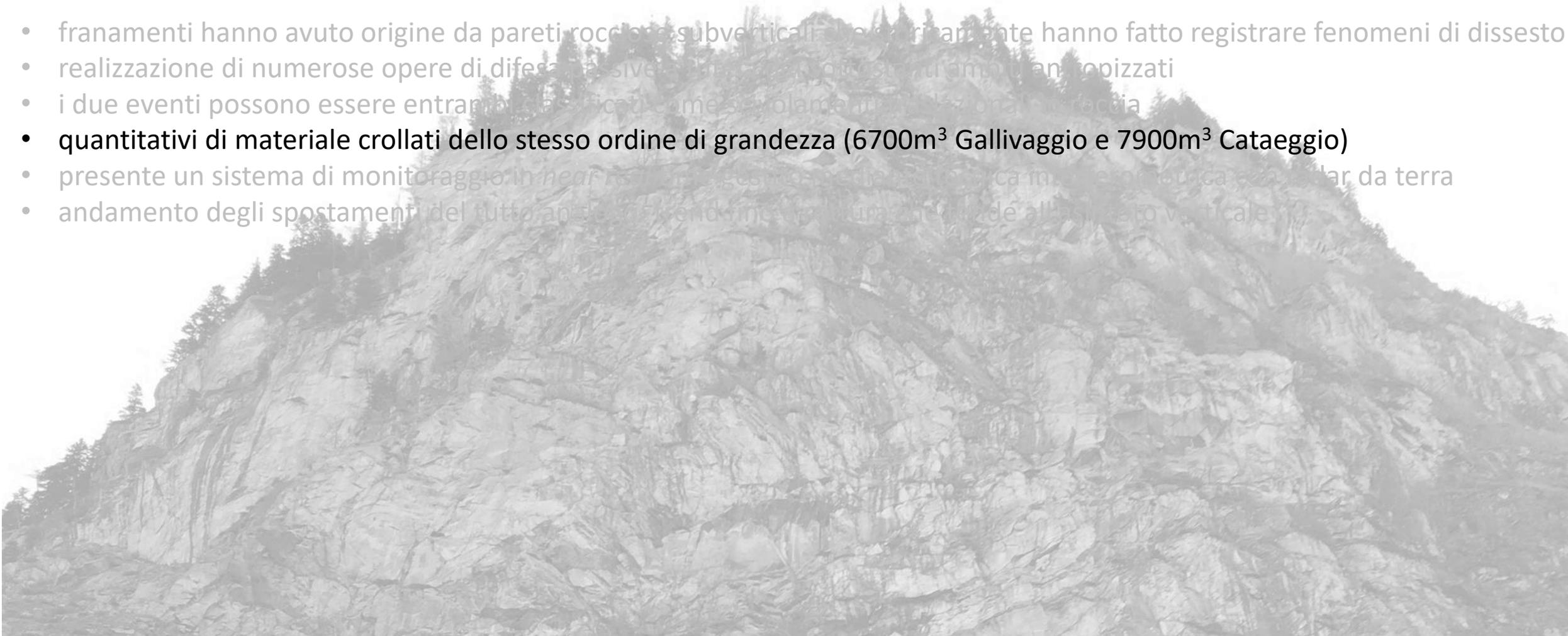
## ANALOGIE

- franamenti hanno avuto origine da pareti rocciose subverticali che originariamente hanno fatto registrare fenomeni di dissesto
- realizzazione di numerose opere di difesa passive e attiva, in particolare di tipo antropizzati
- **i due eventi possono essere entrambi classificati come scivolamenti traslazionali in roccia**
- quantitativi di materiale crollati di un alto ordine di grandezza (oltre 100.000 m<sup>3</sup> a Gallivaggio e 790.000 m<sup>3</sup> a Cataeggio)
- presente un sistema di monitoraggio in *near real time* (con sensori medio e lunga marcia, telematica e a radar da terra)
- andamento degli spostamenti del tutto analogo (tendendo fino a un valore di oltre 40 cm di allungamento verticale)



## ANALOGIE

- franamenti hanno avuto origine da pareti rocciose subverticali che originariamente hanno fatto registrare fenomeni di dissesto
- realizzazione di numerose opere di difesa passive e attiva, con sistemi di ancoraggio e pinnacoli
- i due eventi possono essere entrambi classificati come scivolamenti di tipo traslazionale
- **quantitativi di materiale crollati dello stesso ordine di grandezza (6700m<sup>3</sup> Gallivaggio e 7900m<sup>3</sup> Cataeggio)**
- presente un sistema di monitoraggio in *near real time* con un sistema di misura geometrica e radar da terra
- andamento degli spostamenti del tutto analogo, tendendo fino ad ora ad essere di tipo verticale



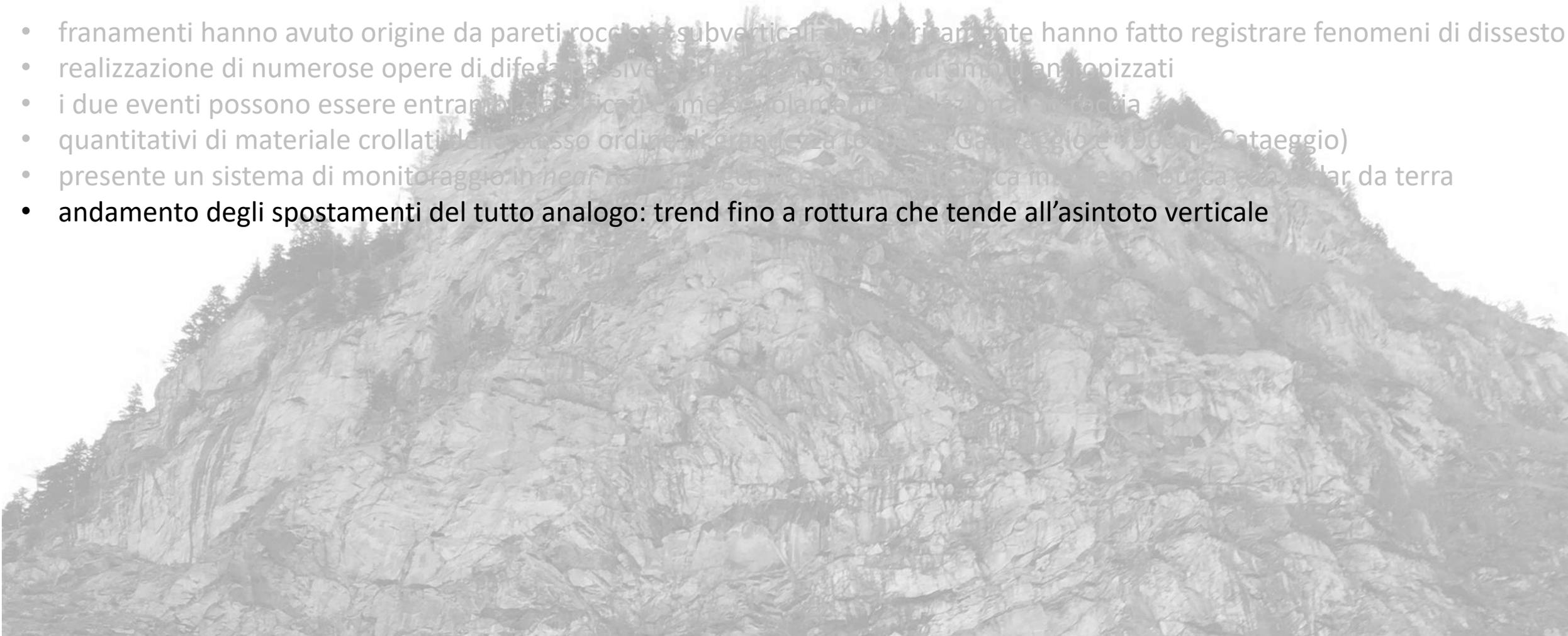
## ANALOGIE

- franamenti hanno avuto origine da pareti rocciose subverticali che periodicamente hanno fatto registrare fenomeni di dissesto
- realizzazione di numerose opere di difesa passive e attiva con sistemi di ancoraggio e parapetti
- i due eventi possono essere entrambi classificati come scivolamenti di tipo zonale (roccia)
- quantitativi di materiale crollati di un ordine di grandezza pari a (Gallivaggio e Cataeggio)
- **presente un sistema di monitoraggio in *near real* time gestito mediante tecnica interferometrica con radar da terra**
- andamento degli spostamenti del tutto analogo (rendimento di un campione di roccia verticale)



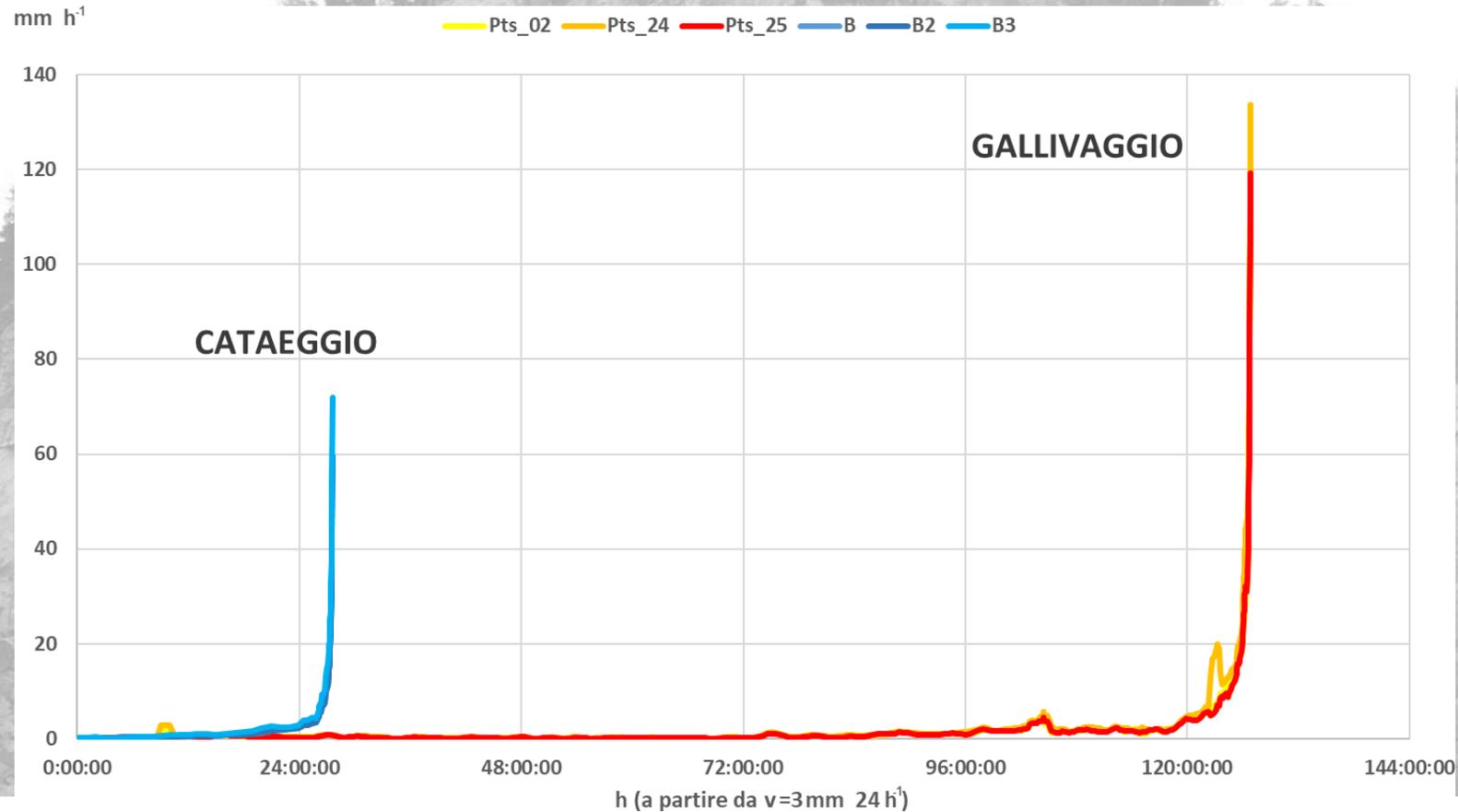
## ANALOGIE

- franamenti hanno avuto origine da pareti rocciose subverticali che originariamente hanno fatto registrare fenomeni di dissesto
- realizzazione di numerose opere di difesa passive e attiva con dispositivi di tipo antropizzati
- i due eventi possono essere entrambi classificati come svolamenti di tipo zonale (roccia)
- quantitativi di materiale crollati dello stesso ordine di grandezza (oltre 100.000 m<sup>3</sup> a Gallivaggio e 79000 m<sup>3</sup> a Cataeggio)
- presente un sistema di monitoraggio in *near real time* (gestito in media da circa 100 sensori geomeccanici e 20 radar da terra)
- andamento degli spostamenti del tutto analogo: trend fino a rottura che tende all'asintoto verticale



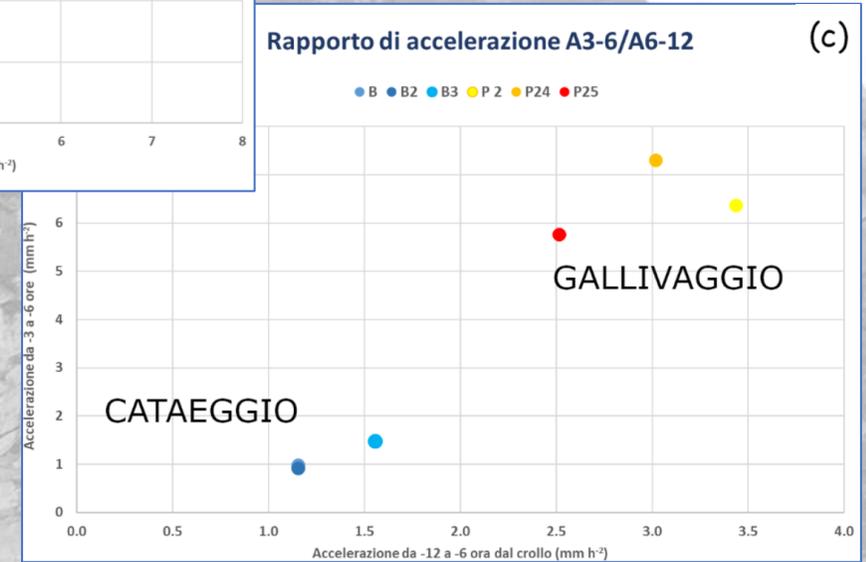
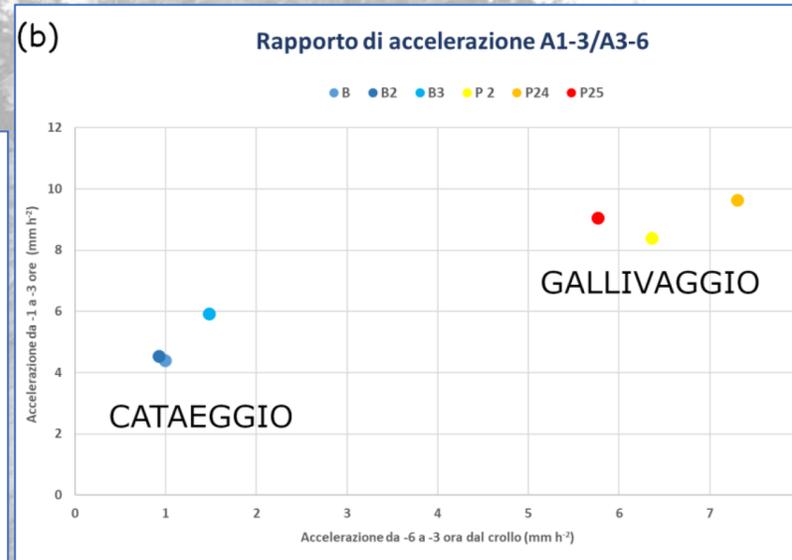
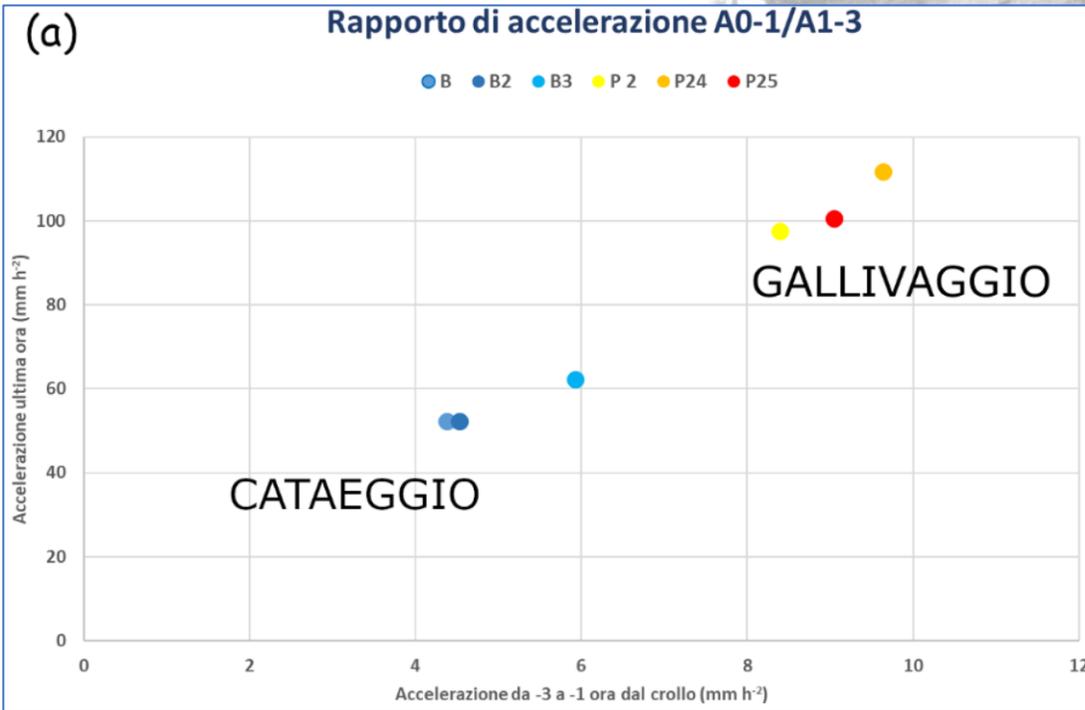
**DIFFERENZE**

- andamento analogo ma con tempistiche e valori differenti delle curve delle velocità medie orarie precedenti la rottura (27 ore per Cataeggio contro 126 per Gallivaggio)



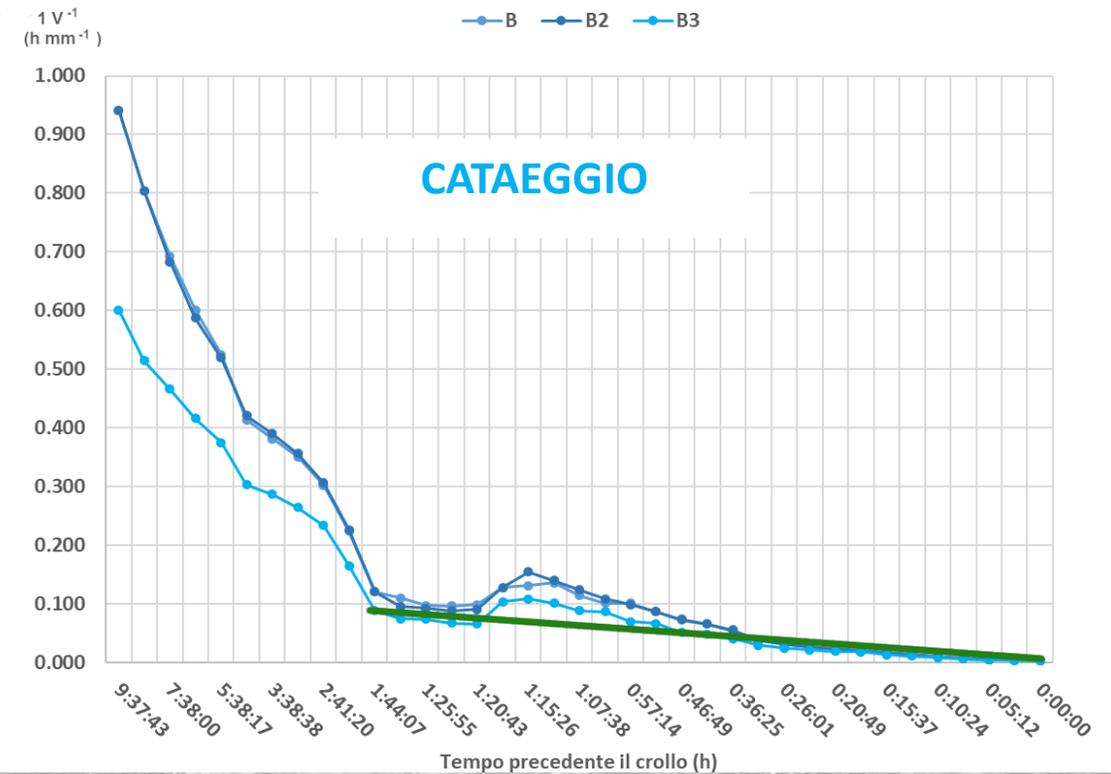
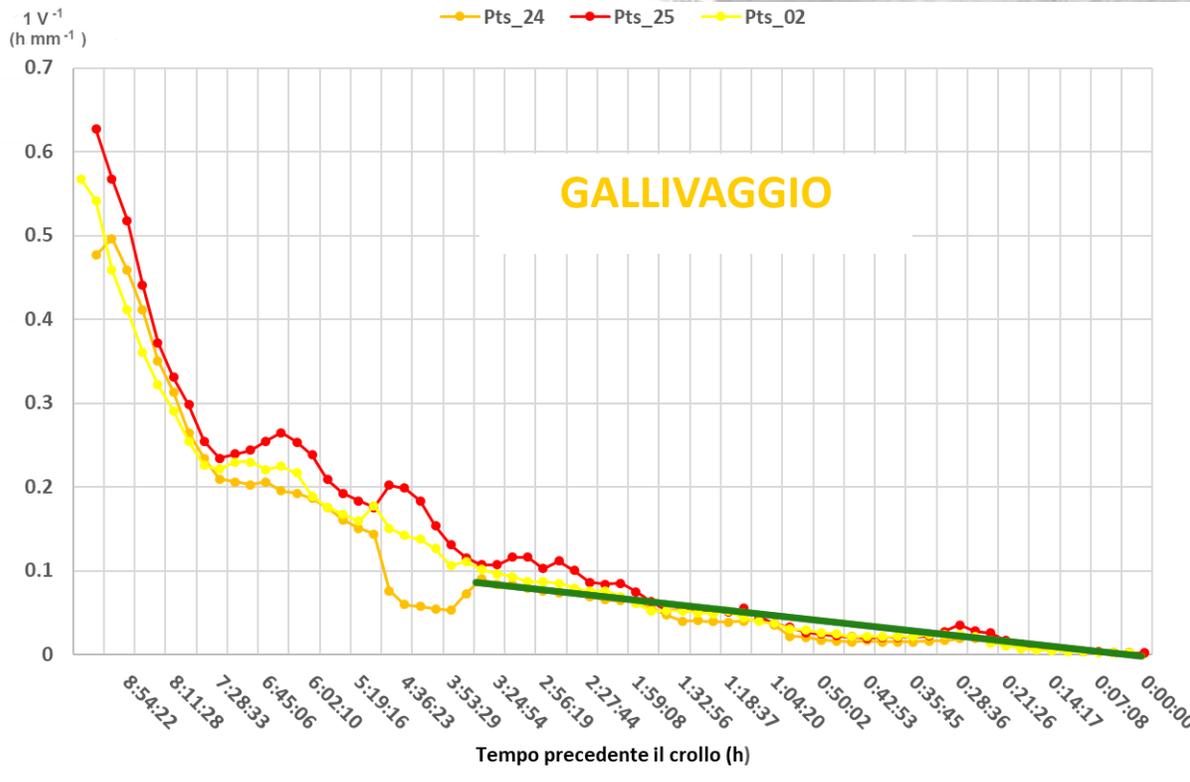
**DIFFERENZE**

- rapporti fra le accelerazioni (R) assumono valore costante ( $R \approx 11$ ) solo nel caso (a) mentre evidenziano elevata variabilità negli altri intervalli.



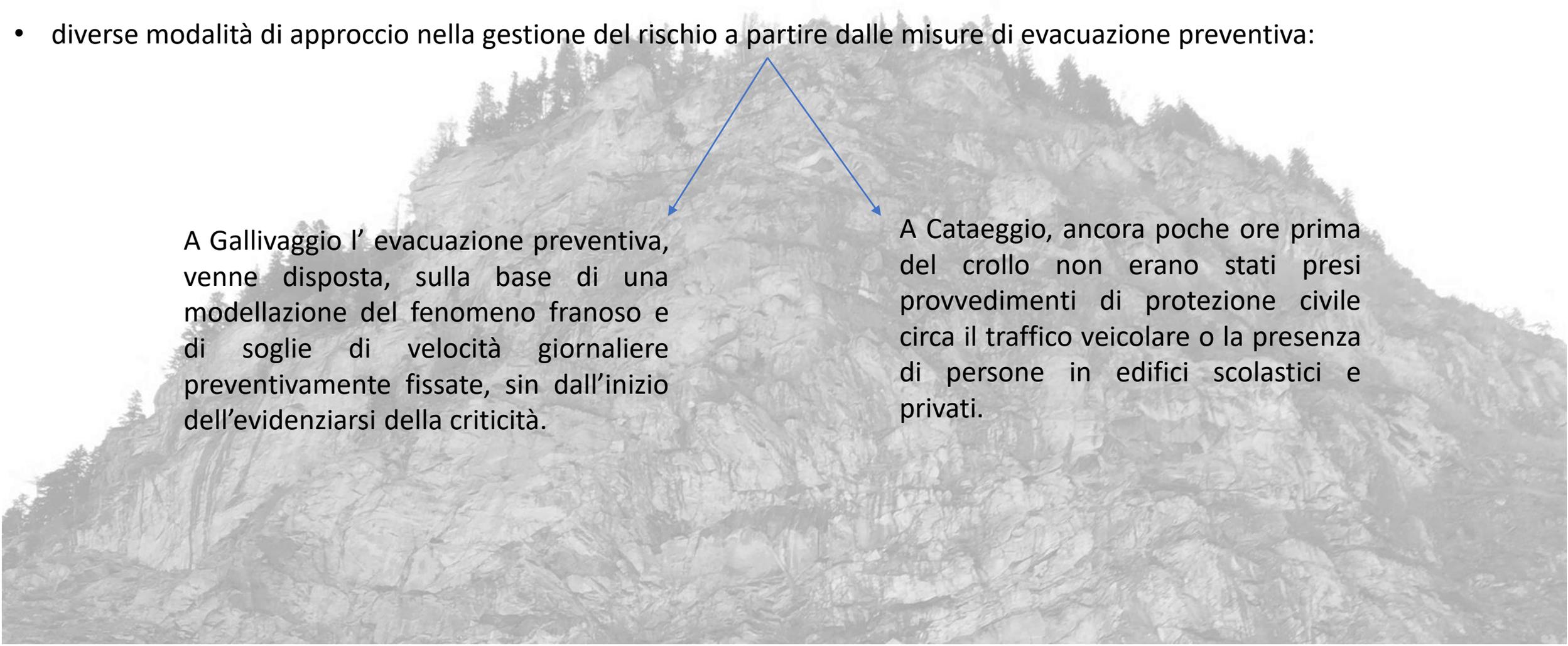
**DIFFERENZE**

- le classiche curve dell'inverso della velocità, mostrano che i dati di Gallivaggio evidenziano una tendenza che sin da almeno 4 ore prima del franamento **converge verso una retta**, mentre per Cataeggio la convergenza dei punti avviene in un circa 1 h e 40 min dal franamento



## DIFFERENZE

- diverse modalità di approccio nella gestione del rischio a partire dalle misure di evacuazione preventiva:



A Gallivaggio l' evacuazione preventiva, venne disposta, sulla base di una modellazione del fenomeno franoso e di soglie di velocità giornaliere preventivamente fissate, sin dall'inizio dell'evidenziarsi della criticità.

A Cataeggio, ancora poche ore prima del crollo non erano stati presi provvedimenti di protezione civile circa il traffico veicolare o la presenza di persone in edifici scolastici e privati.

## DIFFERENZE

- gestione territoriale

Nel caso di Gallivaggio l'incremento edilizio degli ultimi 70 anni è marginale e l'aumento delle condizioni di rischio è determinato per lo più dall'incremento del traffico veicolare.

Per Cataeggio, a parità di incremento del traffico veicolare, si può stimare sia avvenuto un ben più cospicuo incremento delle condizioni di rischio determinato dall'edificazione che, a partire dal 1956, è stata importante.

## CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE 1/2

Mentre spesso viene **rifiutata una logica di utilizzo territoriale equilibrato** i cittadini si sono trasformati in «**consumatori di sicurezza**» come di un servizio dovuto a prescindere dai comportamenti e dalle scelte adottate. Ciò ha determinato la necessità di **investire su reti di monitoraggio** finalizzate all'allertamento anche per fenomeni (frammenti da pareti rocciose) sui quali la conoscenza dei meccanismi che portano alla fase di instabilità non è completa.

Le esperienze di Gallivaggio e Cataeggio **suggeriscono come**, per una migliore gestione del rischio, sia opportuno **abbinare** alle numerose opere di difesa un adeguato monitoraggio geologico ed **evidenziano come** i dati acquisiti suggeriscano **cautela** nella generalizzazione dei valori pre-distacco (sia per le incertezze che per le indicazioni del codice penale «658 c.p. procurato allarme - 426 c.p. inondazione, frana o valanga»).

## CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE 2/2

La realizzazione di una rete di monitoraggio sarà tanto più funzionale quanto più si **affianchi all'efficacia della rete una completa gestione della stessa e una preventiva pianificazione delle attività di protezione civile.**

Questo **non azzererà** però il rischio, salvo che non si vogliano mettere in atto interventi di dubbia compatibilità sia economica sia sociale, e andrà perciò sempre tenuto conto che le attività e gli **utilizzi del territorio dovranno essere pianificati** in modo da risultare **compatibili alla pericolosità presente.**

**«Geological monitoring networks for risk management close to large rock cliffs:  
the case history of Gallivaggio and Cataeggio in the Italian Alps.»**

Geogr. Helv., 76, 85–101, 2021 <https://doi.org/10.5194/gh-76-85-2021>

# GRAZIE PER L'ATTENZIONE