



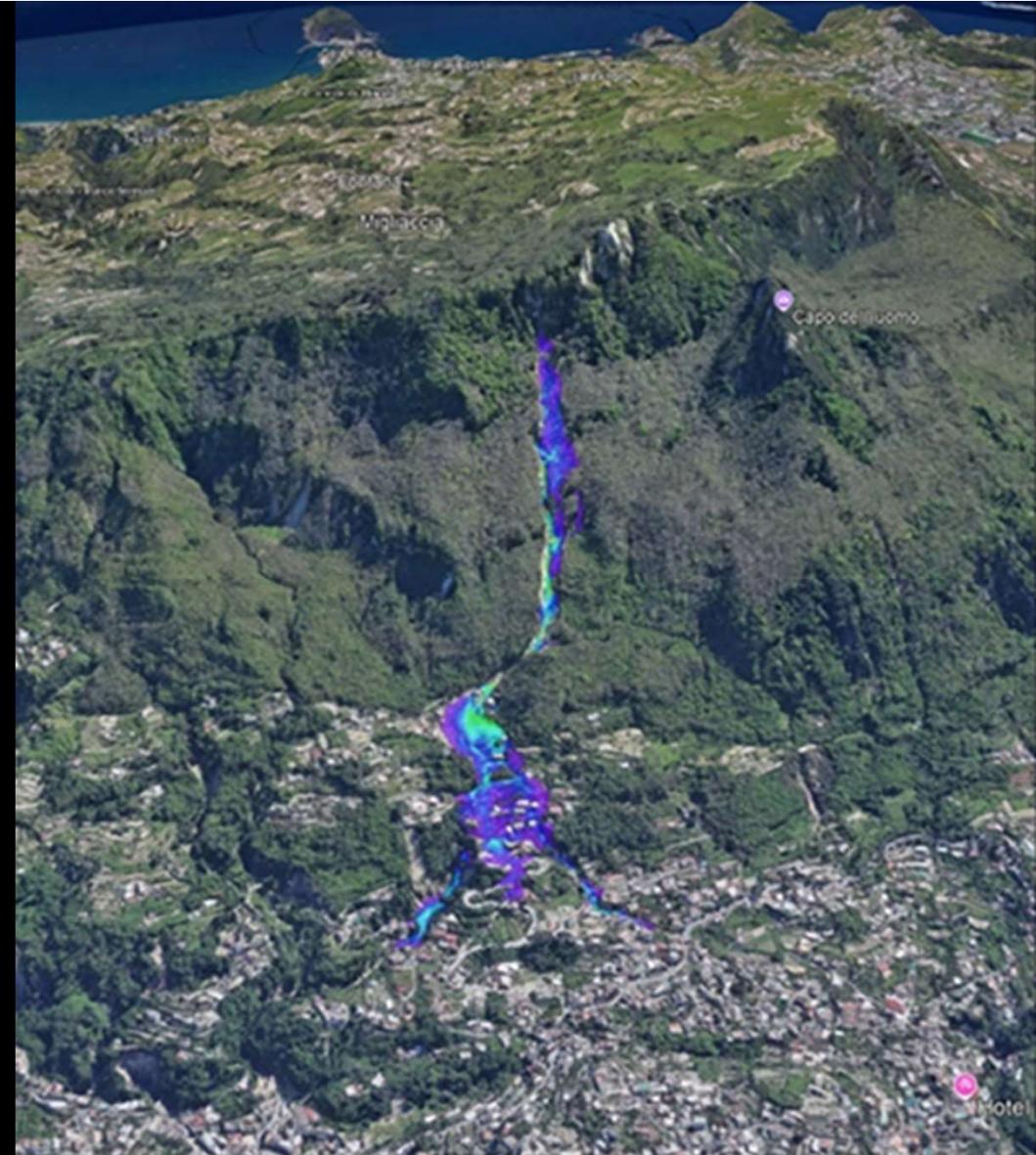
# Risultati delle modellazioni preliminari delle valanghe e colate detritiche

**Paola Revellino**

**Dipartimento di Scienze e Tecnologie  
Università del Sannio**

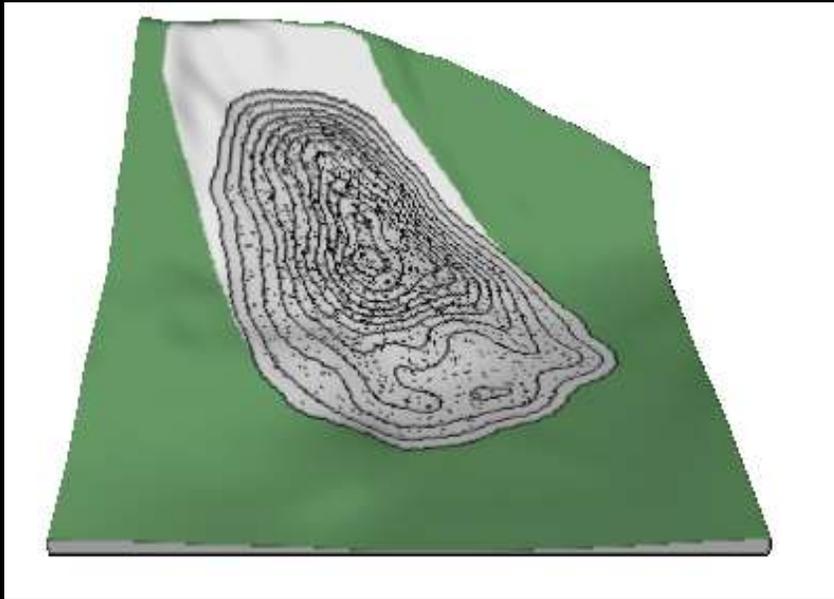


IL PIANO DEGLI INTERVENTI PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO  
IDROGEOLOGICO DELL'ISOLA D'ISCHIA  
Ischia, 17 gennaio 2025



## **Attività:**

- 1. modellazione dinamica frana del Celario in back-analysis**
- 2. modellazione dinamica per la previsione delle aree di transito e invasione (tutte le cave)**
- 3. utilizzo di modelli di simulazione funzionali alla definizione delle misure di mitigazione**



## **DAN-3D**

*Software:*

DAN 3D

McDougall S. e Hungr O. (2004, 2005)

 Dynamic Analysis of Landslide Motion in Three Dimensions

- **Modello fisicamente basato**
- **Possibilità di modellare l'erosione (incremento volume)**
- **Scelta del modello reologico – Concetto di fluido equivalente (5 differenti modelli reologici: frictional, plastic, Newtonian, Bingham and Voellmy)**

## CALIBRAZIONE PARAMETRI: *MODELLO FISICO/REOLOGICO*

- Modellazione in back-analysis (trial and error)
- Confronto degli output del modello con i dati di campo reali (es. distribuzione e spessore del deposito, velocità, sormonto ecc.)
- Selezione dei parametri reologici che “fittano” meglio

### Voellmy-fluid

- Coefficiente di turbolenza ( $\xi$ )  
*Valore elevato = velocità elevata*
- Coefficiente di attrito dinamico ( $\mu$ )  
*Valore elevato = minore distribuzione (distanza)*

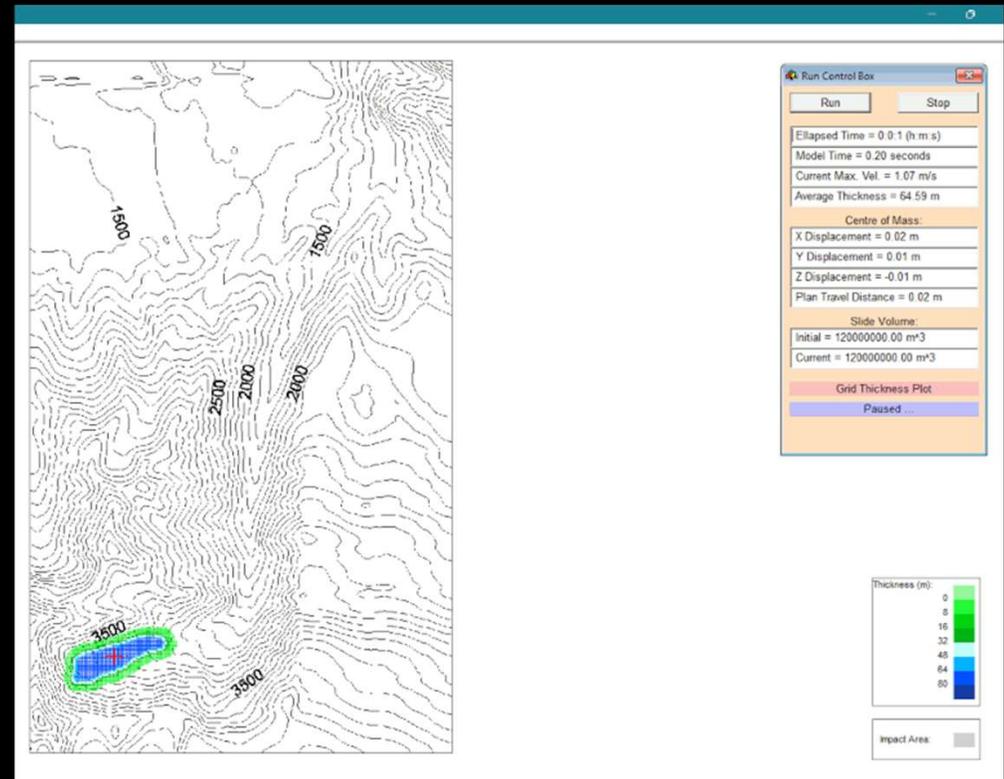
$$S = \mu N + \frac{\rho g u^2}{\xi} \text{ with } N = \rho g h \cos(\varphi)$$

$\rho$  = density,  $g$  = gravitational acceleration,  $\phi$  = slope angle,  $h$  = flow height;  $u$  = flow velocity. The normal stress ( $N$ ) on the running surface =  $\rho g h \cos(\phi)$

## Attività: (1) modellazione dinamica frana Celario (in back-analysis)

### Dati di input:

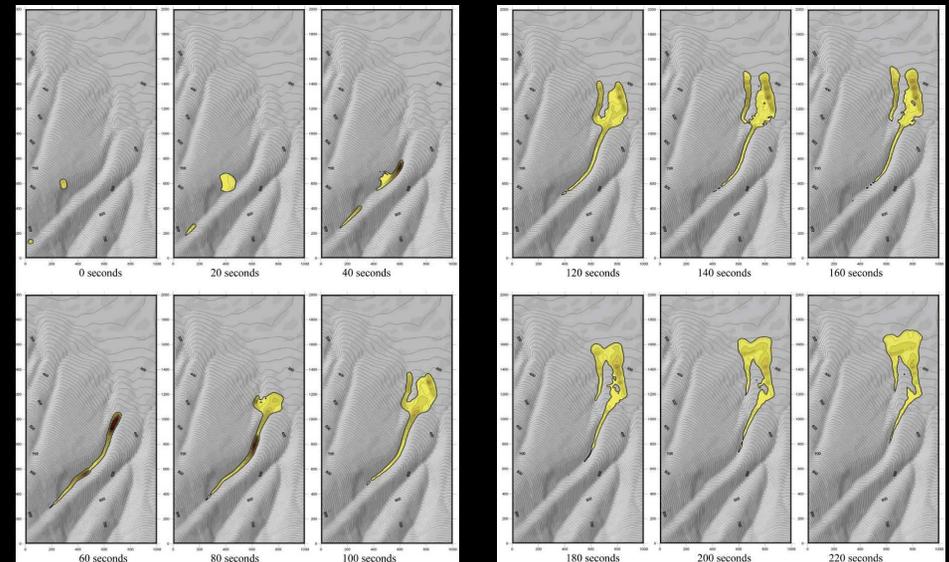
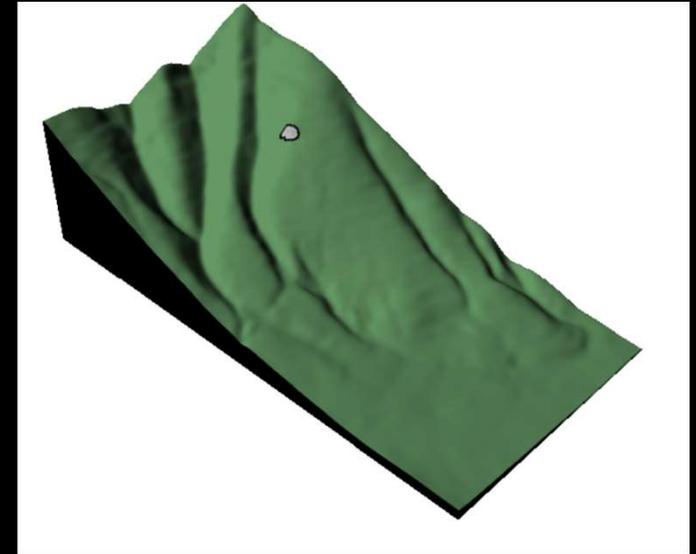
- 1) parte superiore del versante: DTM LiDAR post-evento ( $2 \times 2$  m)
- 2) parte inferiore del versante: DSM LiDAR pre-evento ( $2 \times 2$  m)
- 3)  $V$  iniziale  $\sim 80 \text{ m}^3$
- 4) Spessore erosione: Max 3.00 m



## Attività: (1) modellazione dinamica frana Celario (in back-analysis)

### Dati di input:

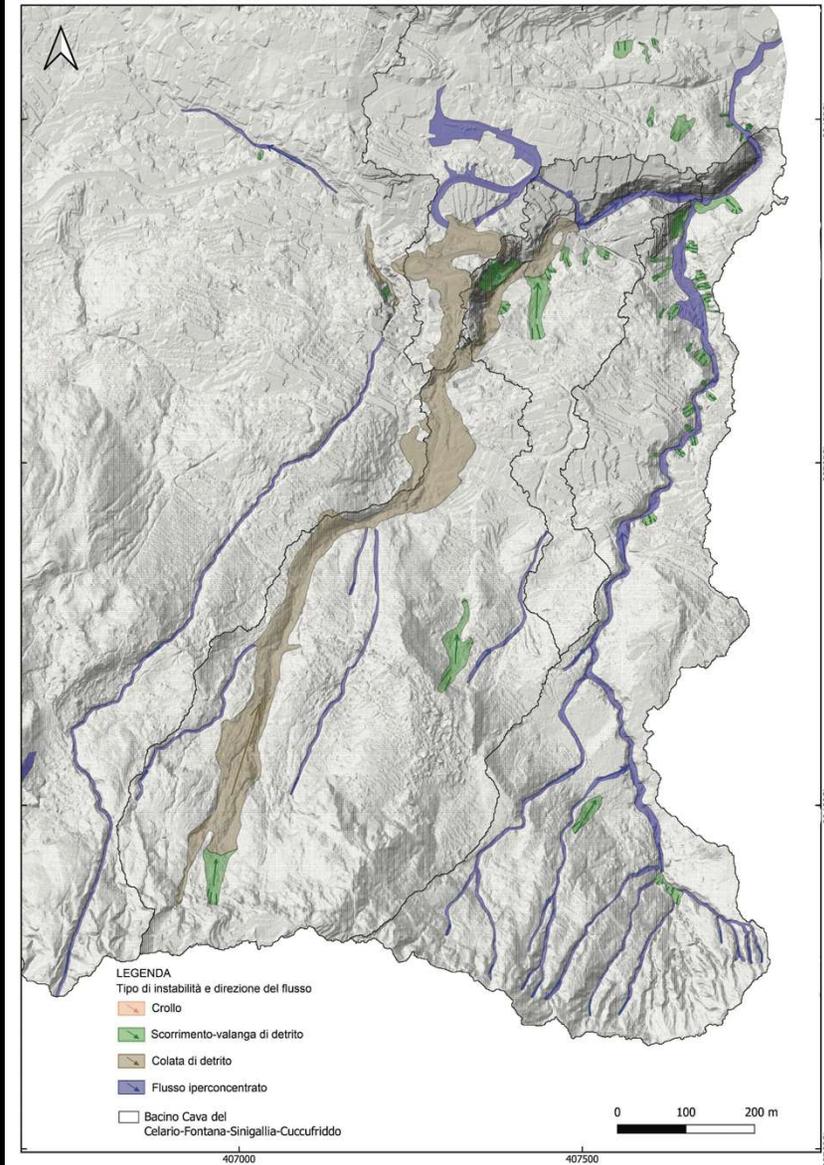
- 1) parte superiore del versante: DTM LiDAR post-evento ( $2 \times 2$  m)
- 2) parte inferiore del versante: DSM LiDAR pre-evento ( $2 \times 2$  m)
- 3)  $V$  iniziale  $\sim 80 \text{ m}^3$
- 4) Spessore erosione: Max 3.00 m
- 5) Modello reologico - Voellmy (1955) - Modificati da calibrazione precedente su colate del '98 - '99 da Revellino et al. (2004)



## Attività: (1) modellazione dinamica frana Celario (in back-analysis)

### Dati di input:

- 1) parte superiore del versante: DTM LiDAR post-evento ( $2 \times 2$  m)
- 2) parte inferiore del versante: DSM LiDAR pre-evento ( $2 \times 2$  m)
- 3)  $V$  iniziale  $\sim 80 \text{ m}^3$
- 4) Spessore erosione: Max 3.00 m
- 5) Modello reologico - Voellmy (1955) - Modificati da calibrazione precedente su colate del '98 - '99 da Revellino et al. (2004)

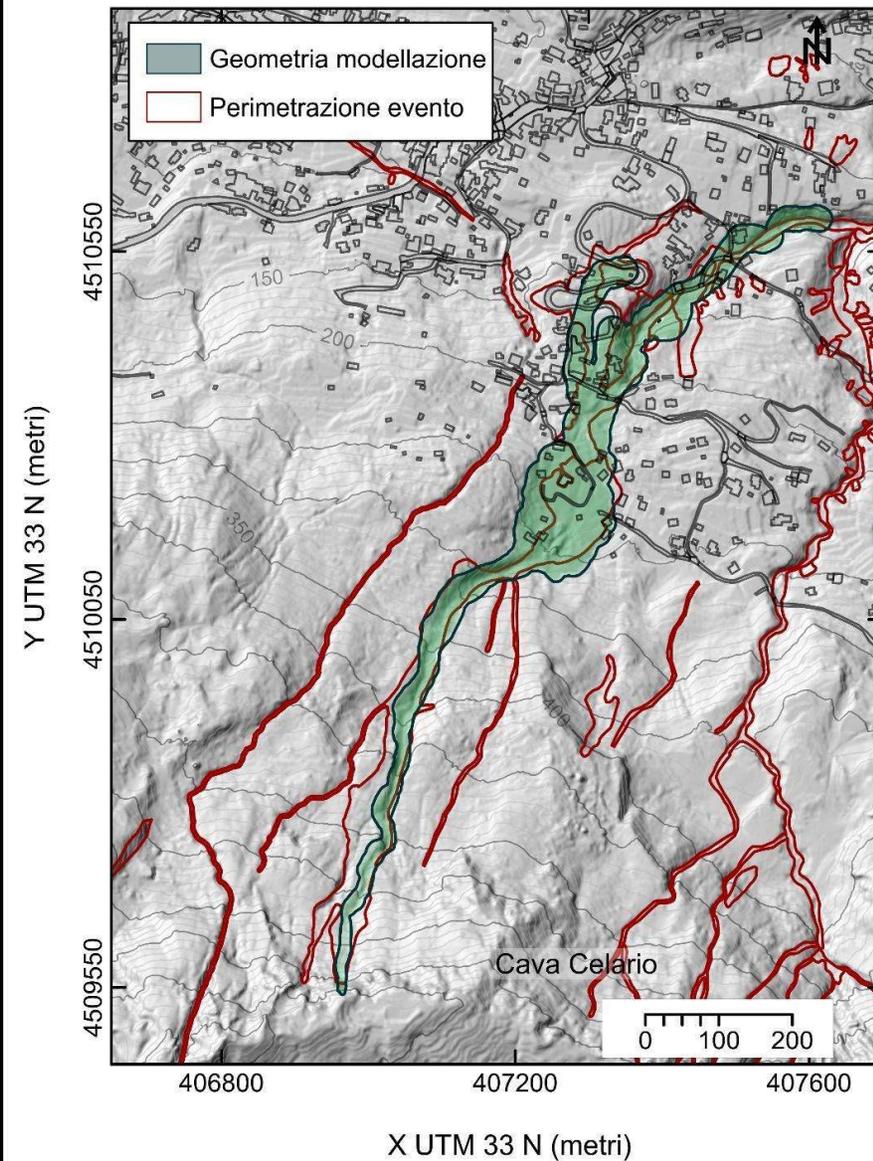


## Attività: (1) modellazione dinamica frana del Celario (in back-analysis)

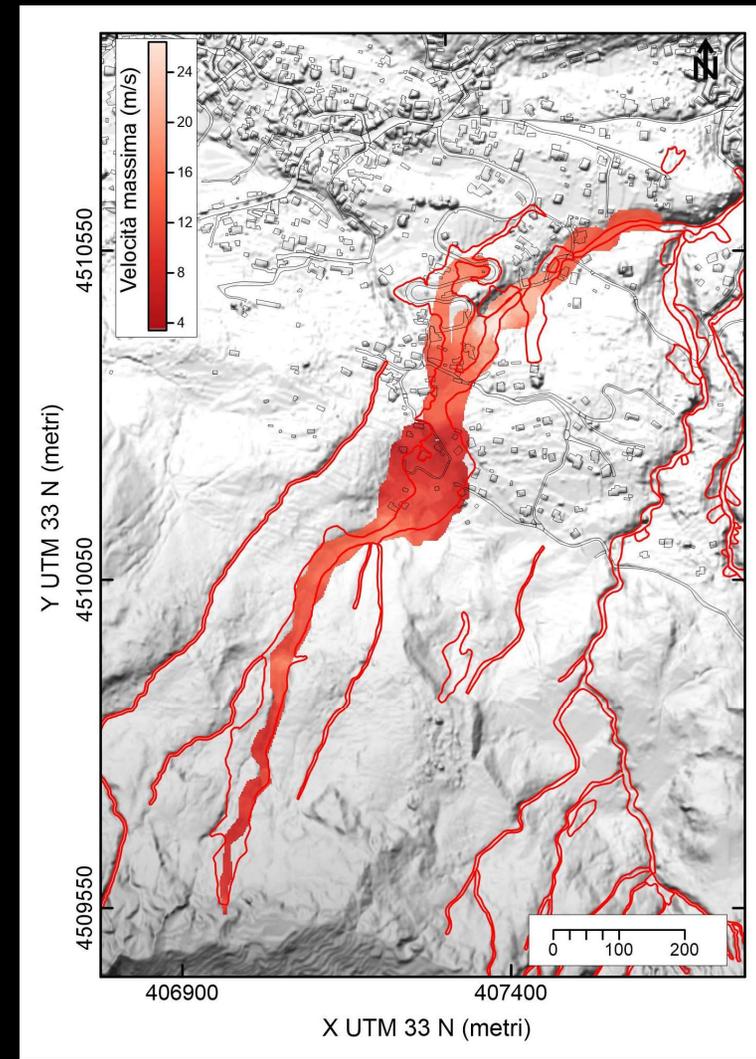
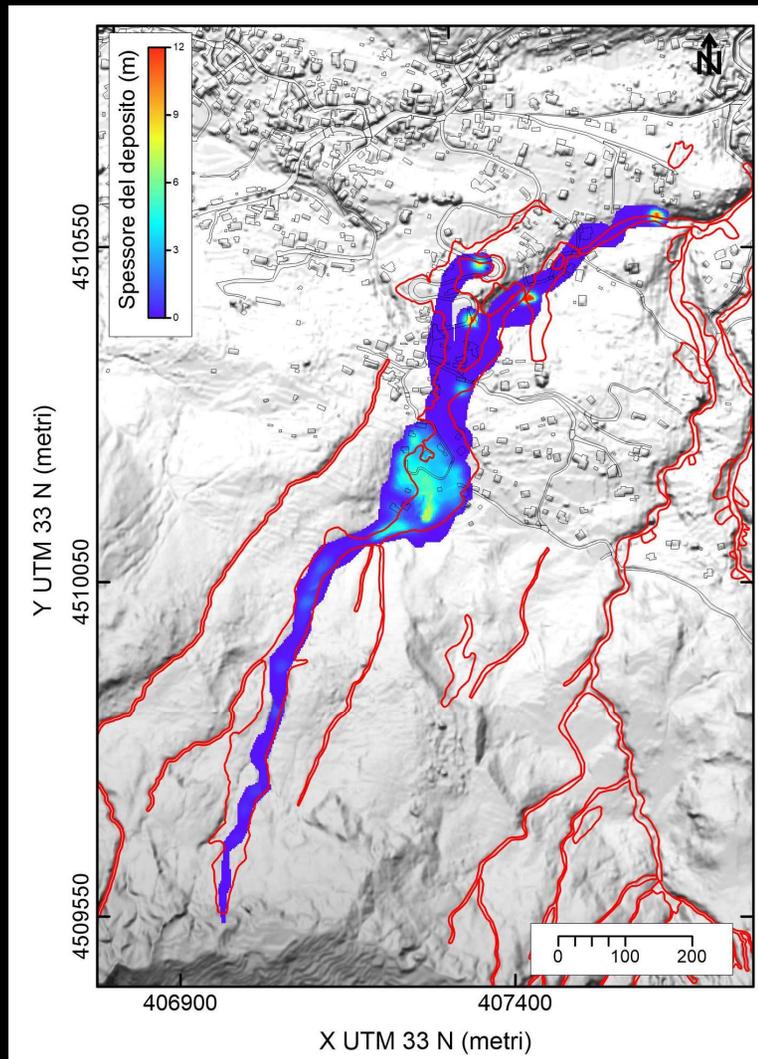
### Dati di input:

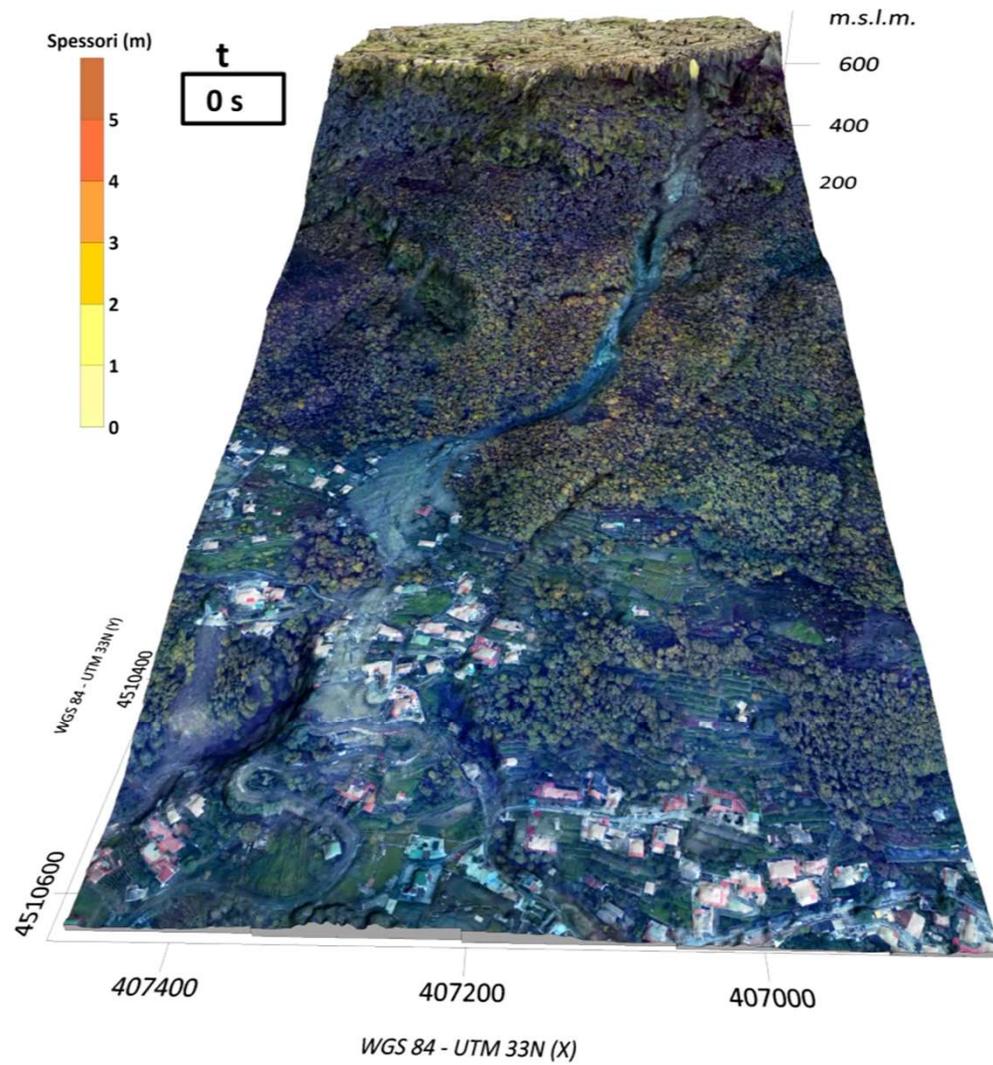
- 1) parte superiore del versante: DTM LiDAR post-evento ( $2 \times 2$  m)
- 2) parte inferiore del versante: DSM LiDAR pre-evento ( $2 \times 2$  m)
- 3)  $V$  iniziale  $\sim 80 \text{ m}^3$
- 4) Spessore erosione: Max 3.00 m
- 5) Modello reologico - Voellmy (1955) - Modificati da calibrazione precedente su colate del '98 - '99 da Revellino et al. (2004)

Number of Particles	4000
Erosion Rate	0.009
Smoothing Length Constant	4
Time Step	0.1
Output Time Step	1 s
Material Unit Weight	16
Voellmy Rheology Friction Coefficient *	0.06 - 0.07
Turbulence Coefficient *	130 - 200 $\text{m/s}^2$
Internal Friction Angle	$20^\circ$
Start Volume	$80 \text{ m}^3$
Final Volume	Circa $70000 \text{ m}^3$

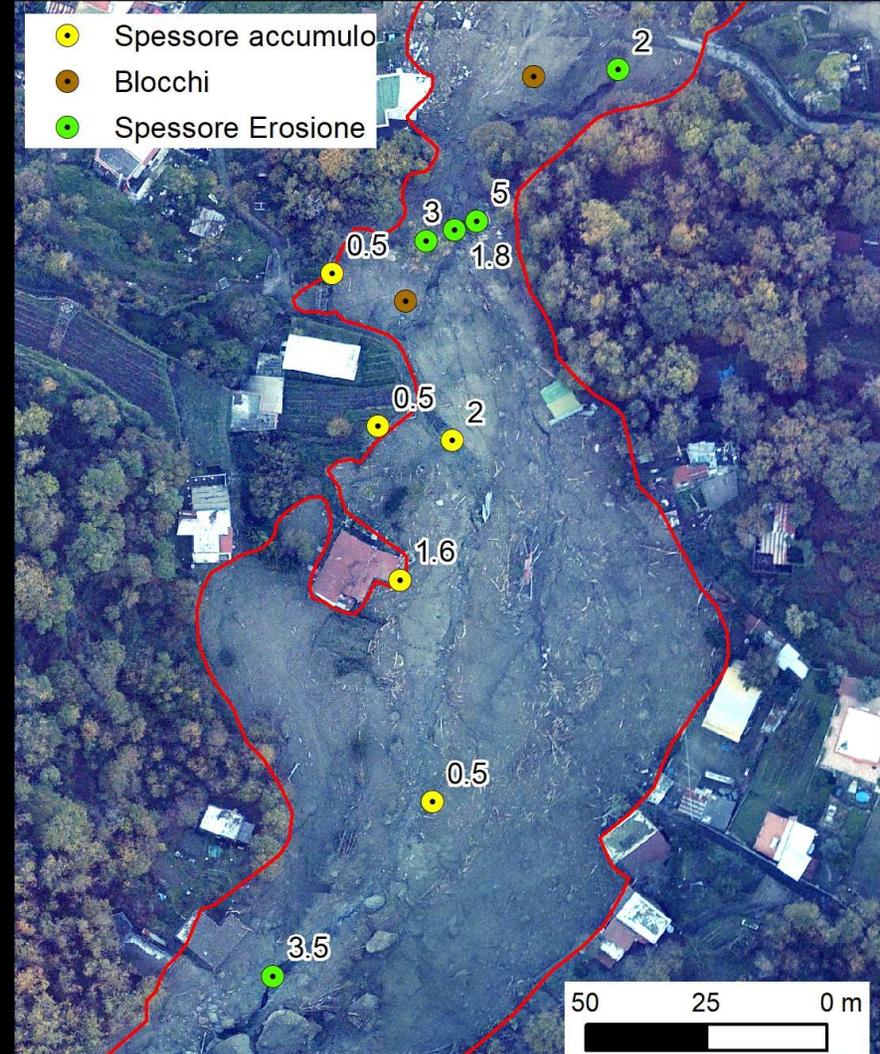
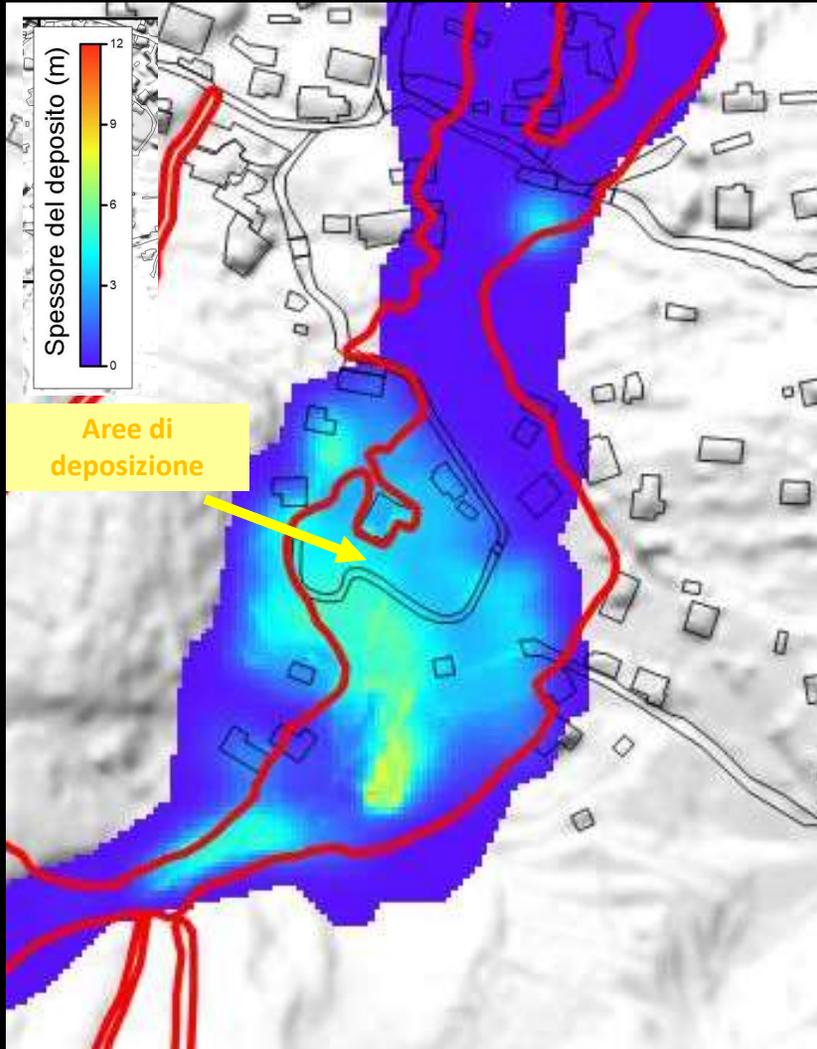


## Attività: (1) modellazione dinamica della frana del Celario in back-analysis

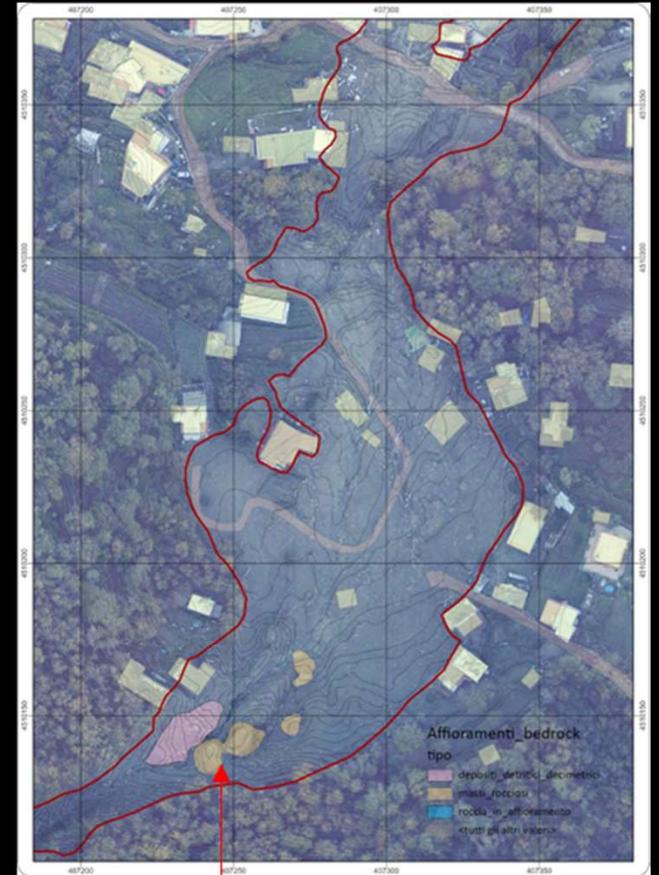
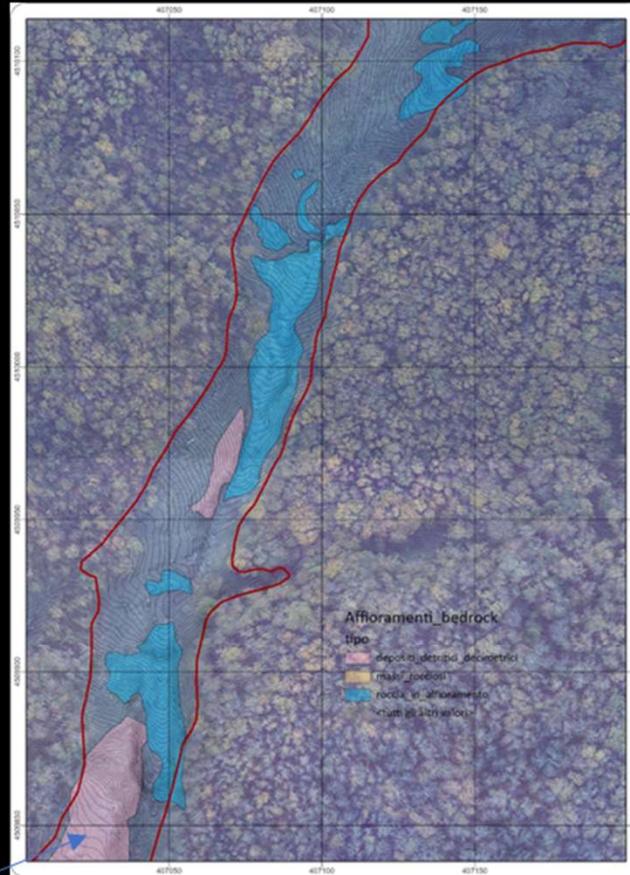
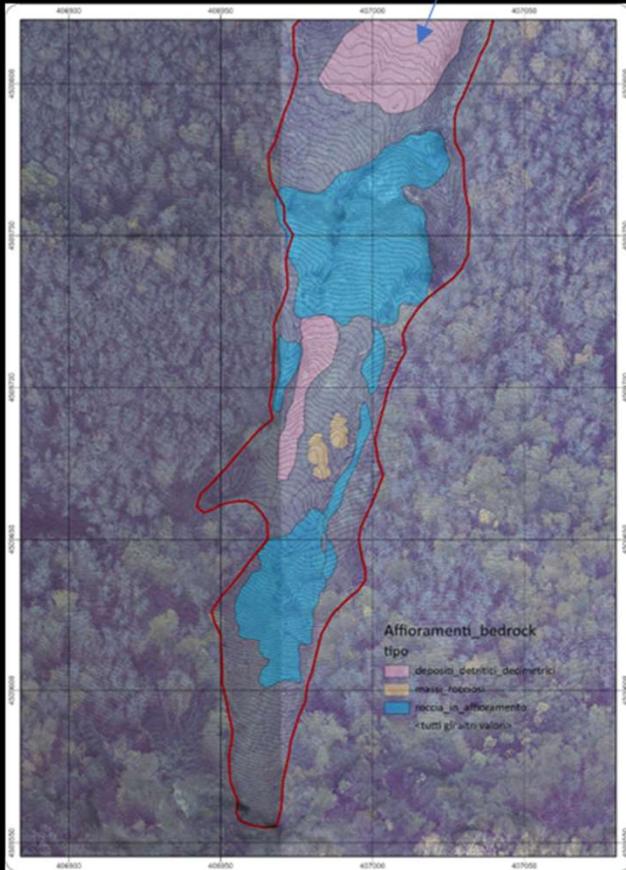




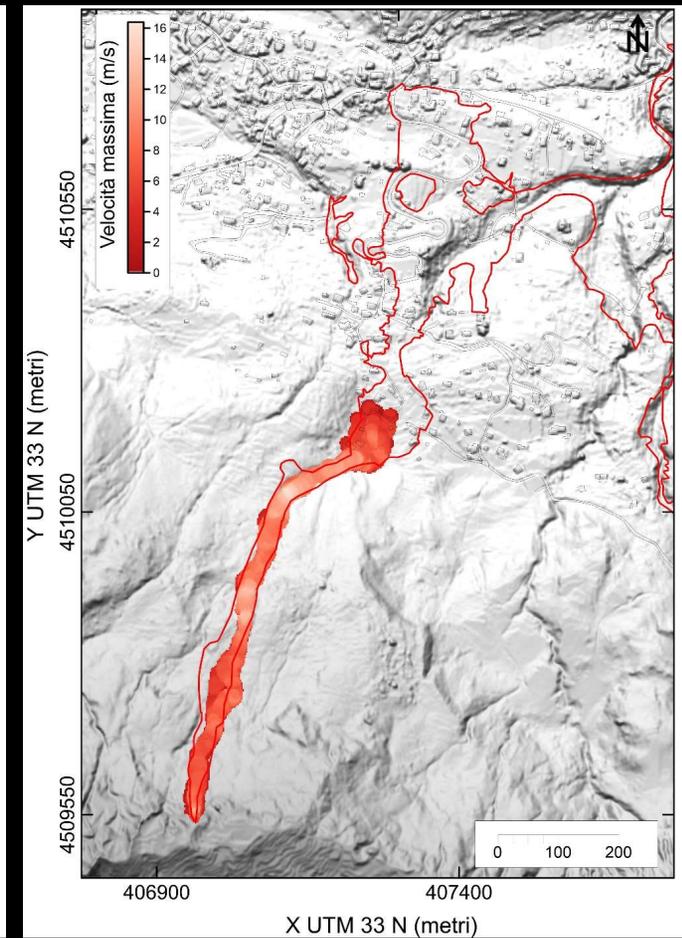
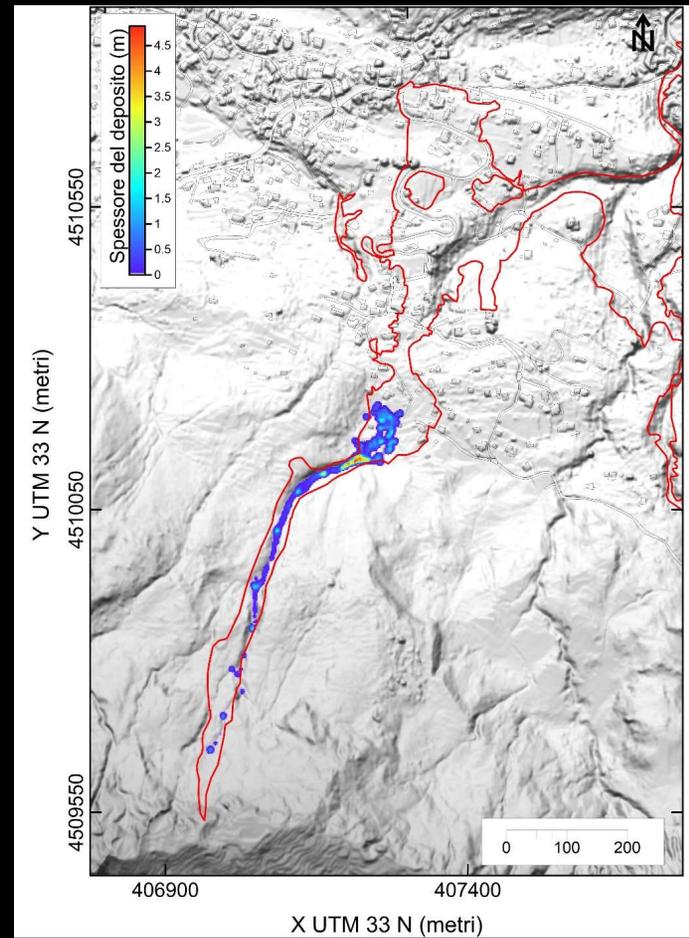
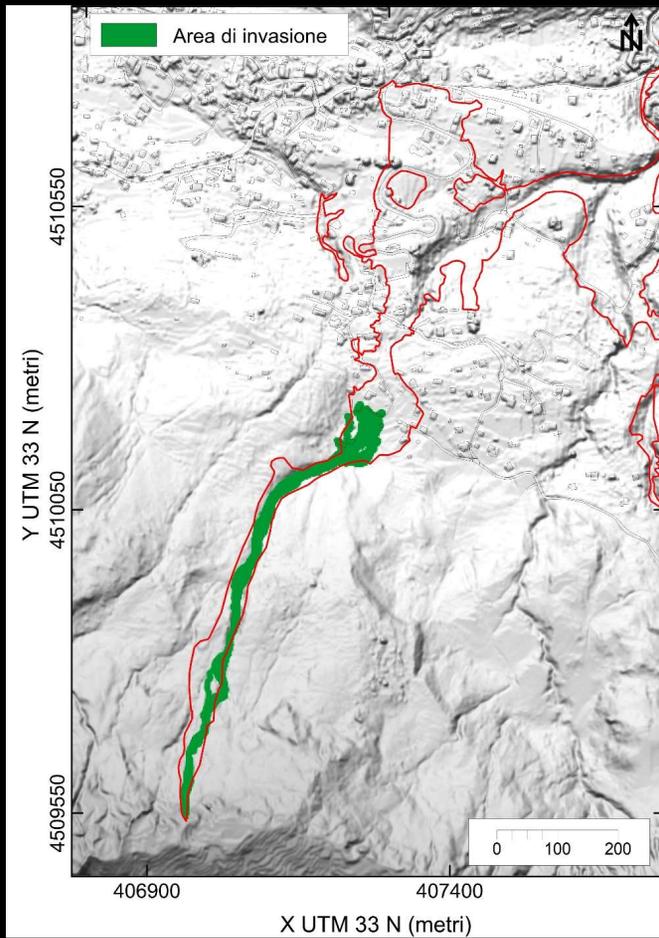
## Attività: (1) modellazione dinamica della frana del Celario

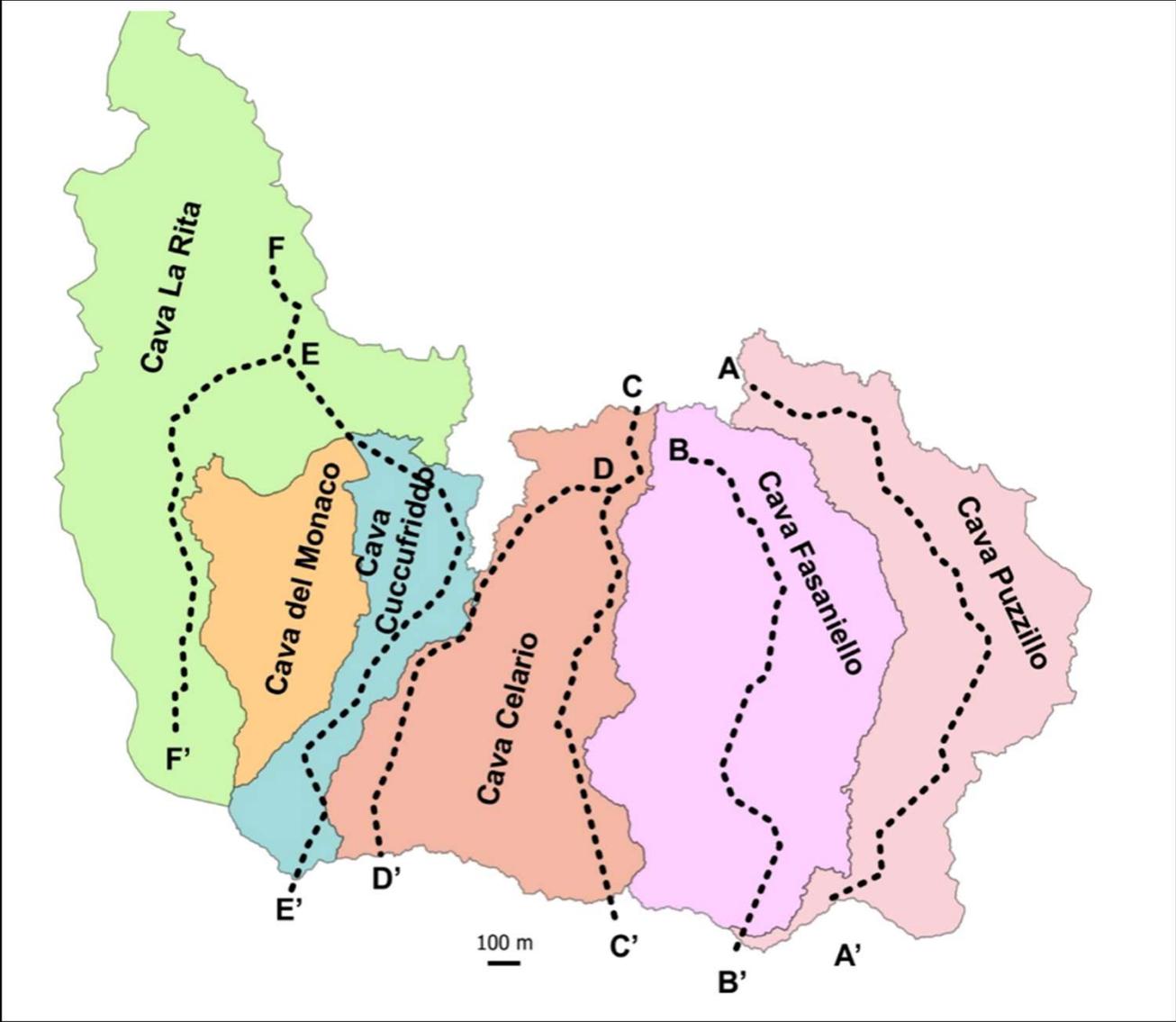


## Attività: (2a) modellazione dinamica per la previsione delle aree di transito e invasione

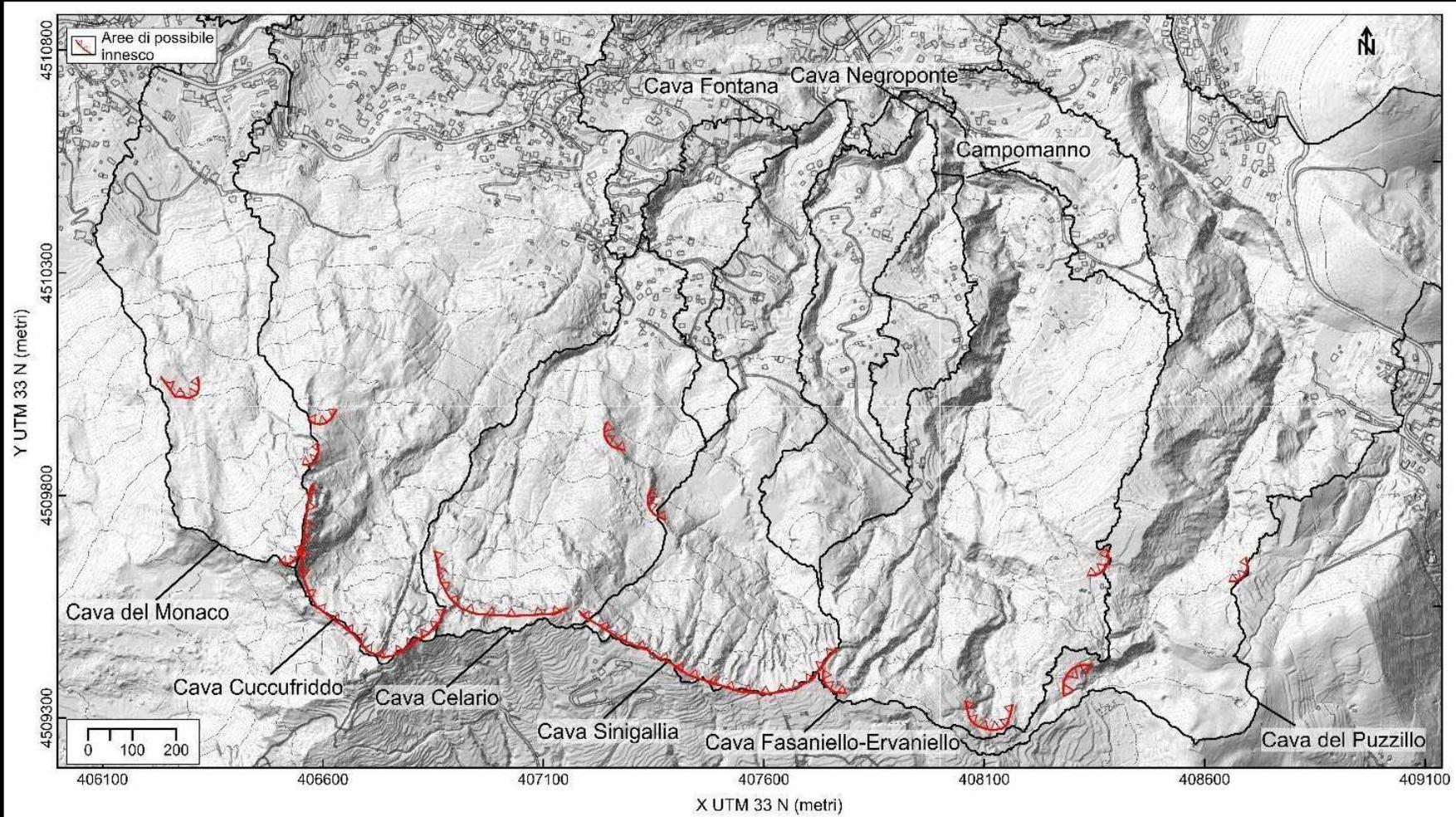


## Attività: (2a) modellazione dinamica per la previsione delle aree di transito e invasione



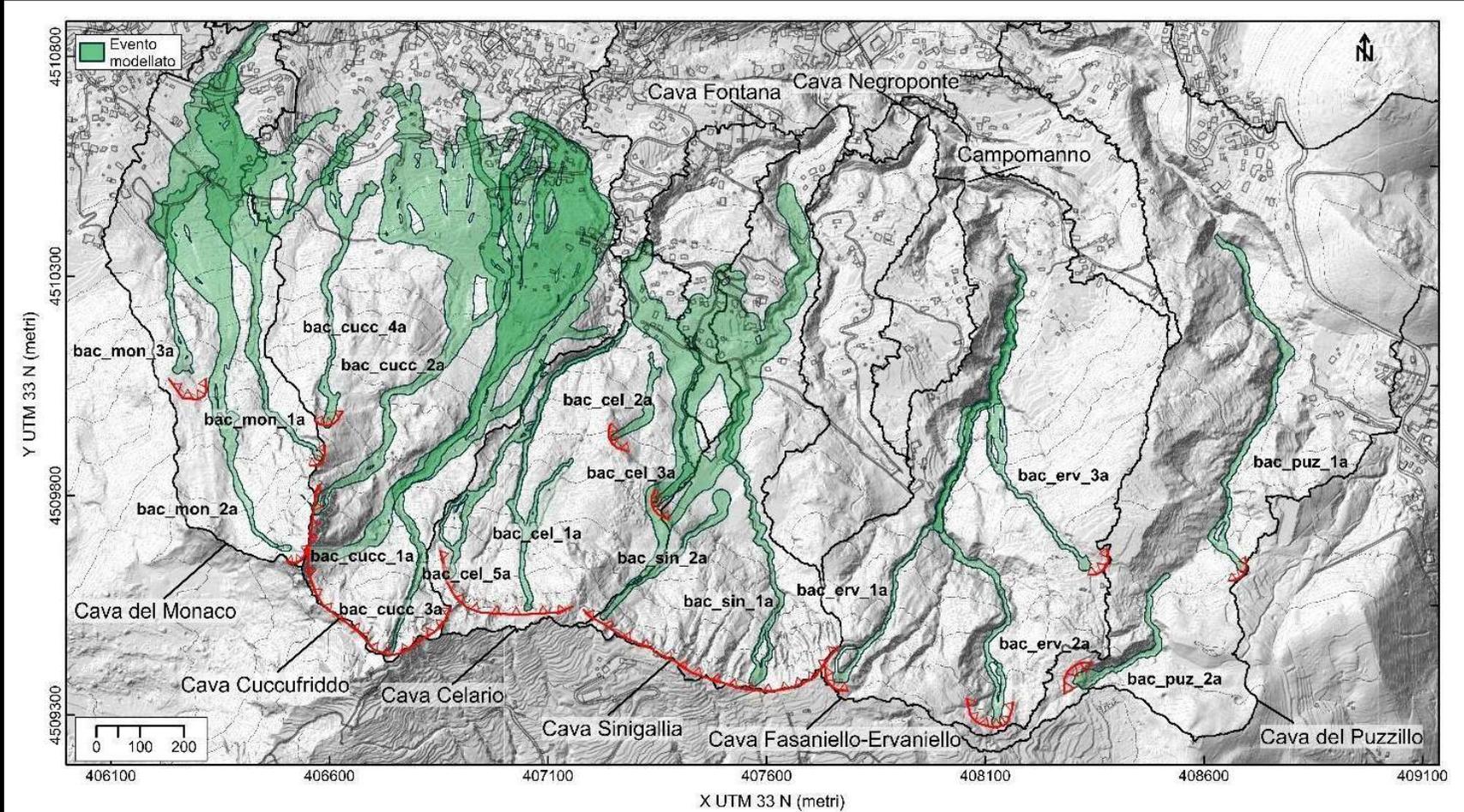


**Attività: (2b) modellazione dinamica per la previsione delle aree di transito e invasione**



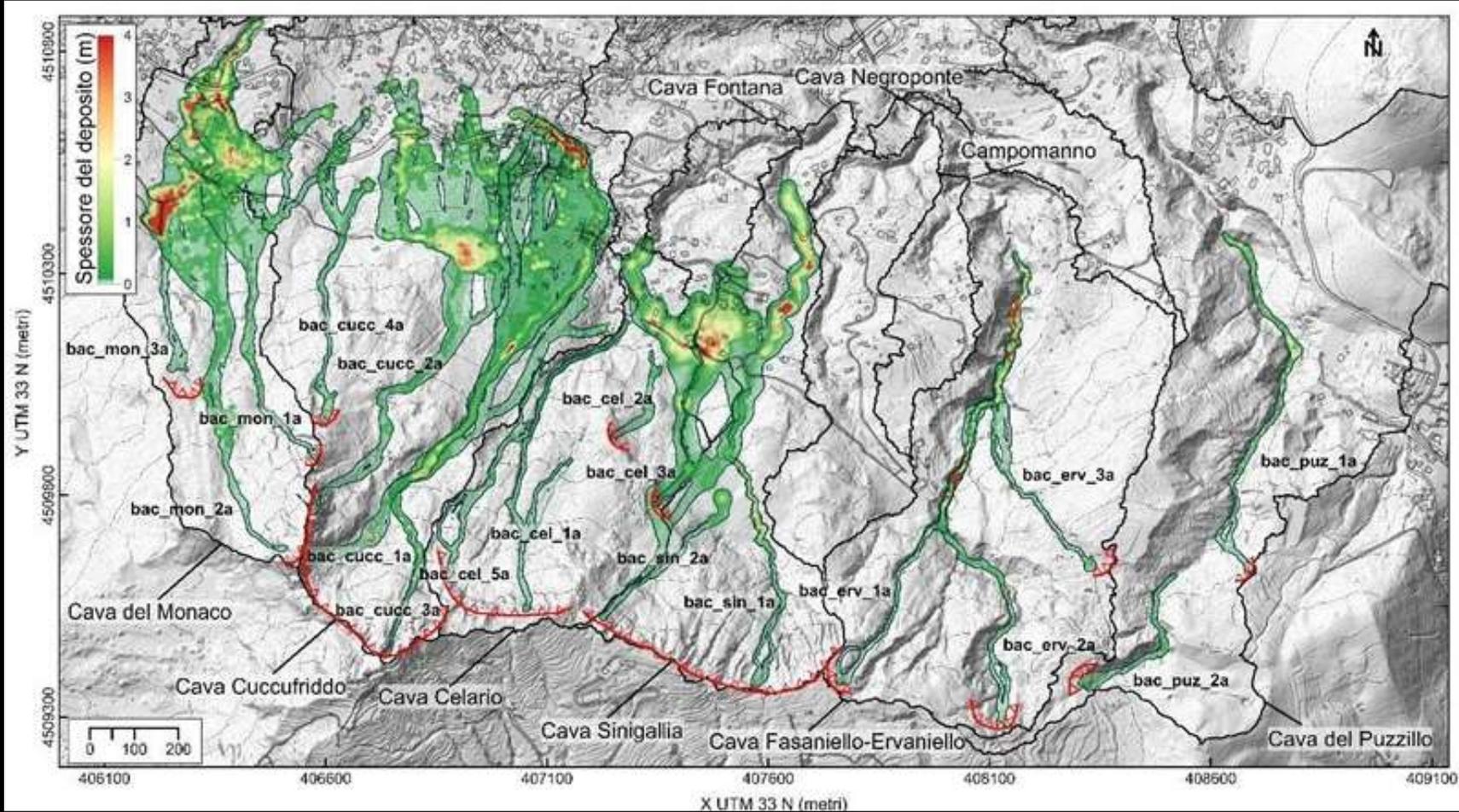
*Possibili zone di innesco*

**Attività: (2b) modellazione dinamica per la previsione delle aree di transito e invasione**



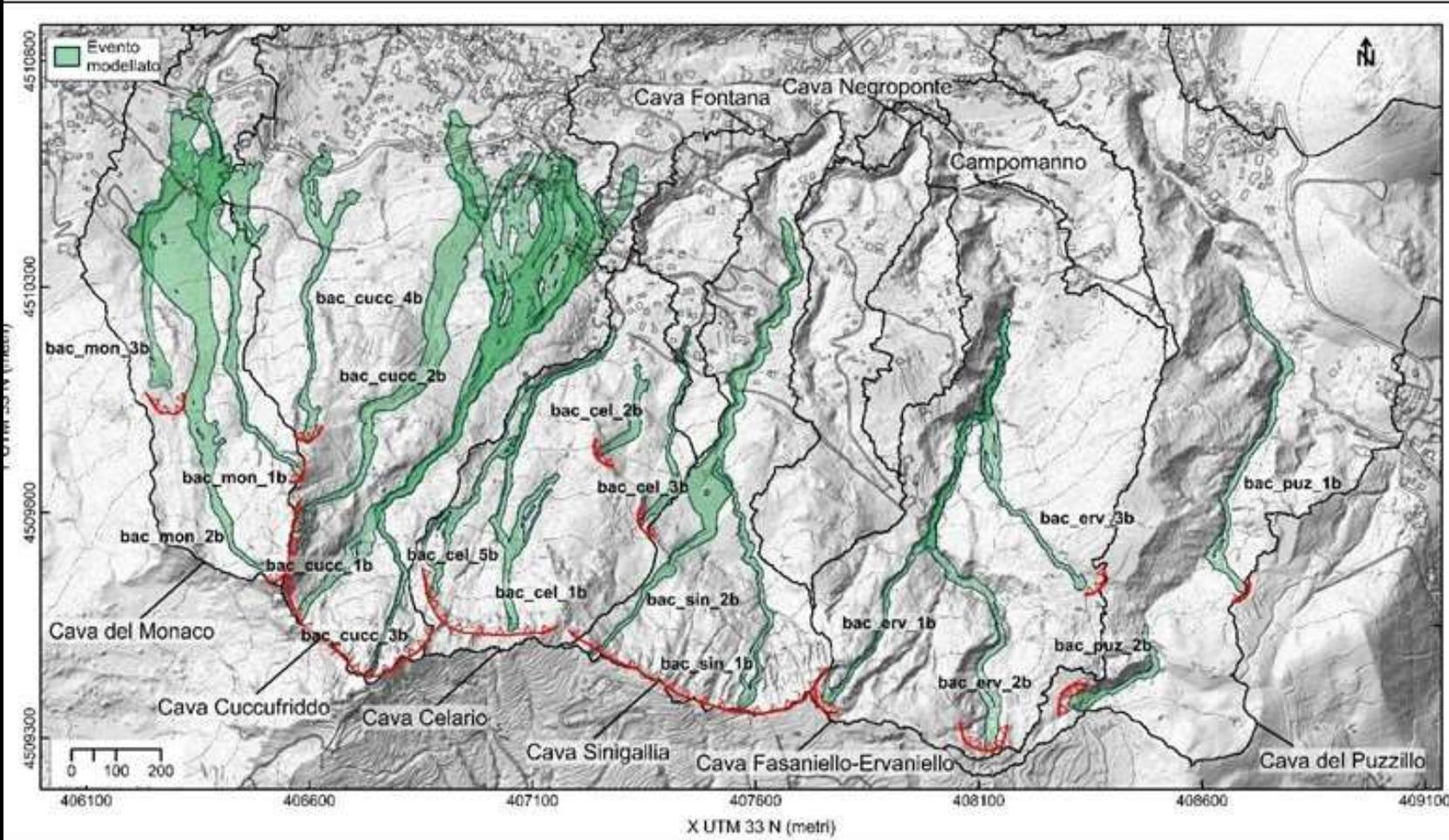
**Scenario di massima intensità (spessore massimo erodibile: 3,00 m)**

**Attività: (2b) modellazione dinamica per la previsione delle aree di transito e invasione**



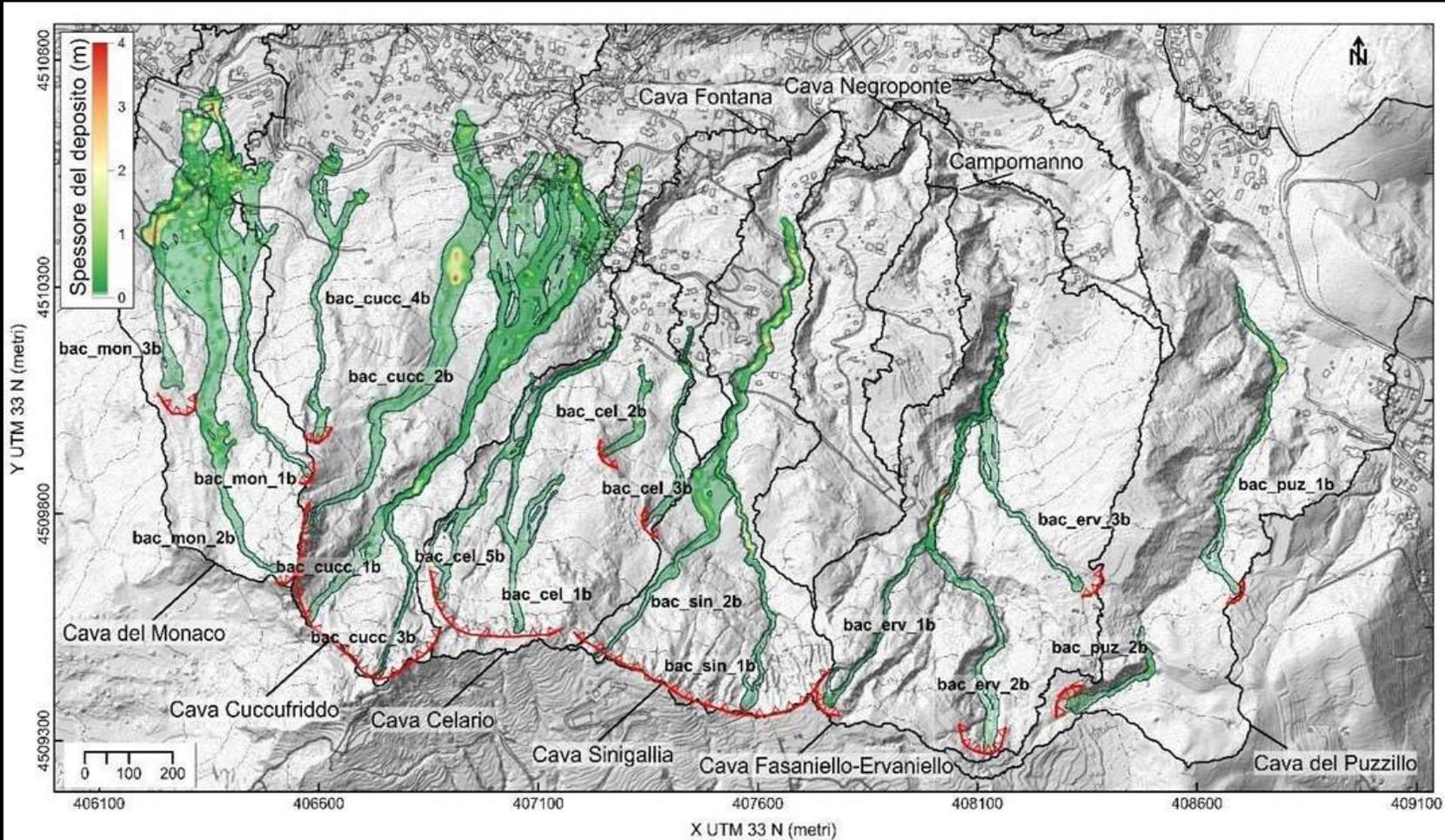
**Spessori massimi - Scenario di massima intensità (spessore massimo erodibile: 3,00 m)**

**Attività: (2b) modellazione dinamica per la previsione delle aree di transito e invasione**



***Scenario di media intensità (spessore massimo erodibile: 0,50 m)***

**Attività: (2b) modellazione dinamica per la previsione delle aree di transito e invasione**



**Spessori massimi - Scenario di media intensità (spessore massimo erodibile: 0,50 m)**

## **Incertezze e criticità:**

- 1) DTM vs DSM
- 2) incertezza tra volumi stimati/reali e spessori erosi stimati/reali e restituiti dal modello – output migliorati con attività di campo
- 3) Incertezza dei parametri reologici – output migliorati attraverso calibrazione accurata e dati geotecnici
- 4) effetto del costruito sulla propagazione
- 5) identificazione di aree sorgenti di nuova generazione (analisi deterministiche, attività di campo e/o verifiche di stabilità)
- 6) volumi iniziali e totali delle frane di nuova generazione da migliorare (necessità di dati sullo spessore di materiali erodibili)
- 7) Vegetazione non considerata dai modelli (da valutare l'effetto stabilizzante/destabilizzante del bosco e incremento volumi)

## Attività (3): utilizzo di modelli di simulazione funzionali alla definizione delle misure di mitigazione

### DAN-3D

 Dynamic Analysis of Landslide Motion in Three Dimensions



RAMMS DEBRIS FLOW

*RApid Mass Movement  
Solution*

Sviluppato da: WSL Institute for Snow and  
Avalanche Research SLF (ETH)

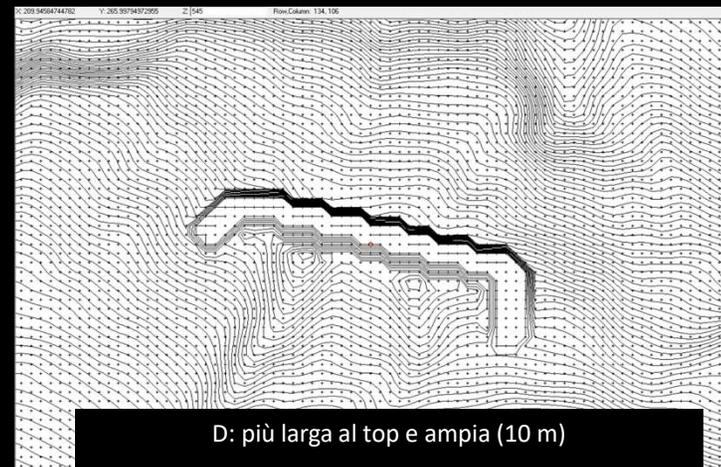
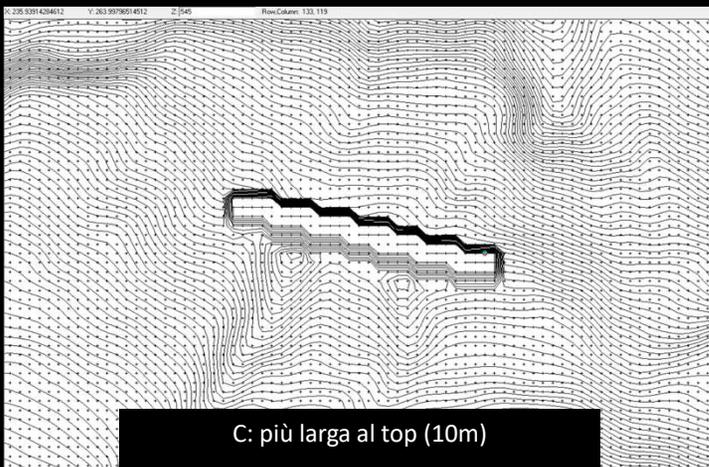
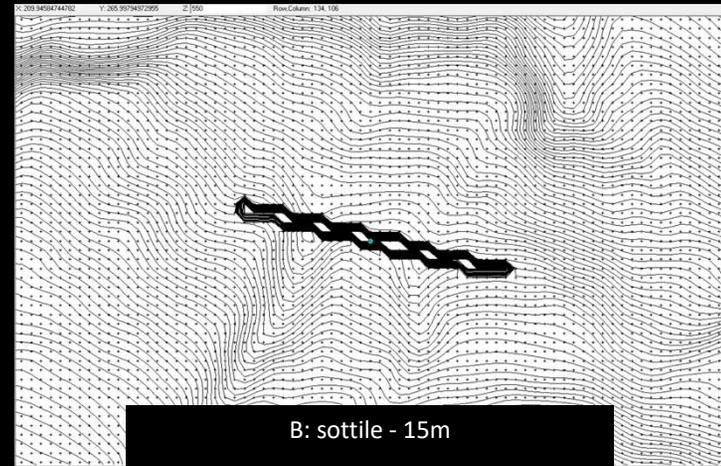
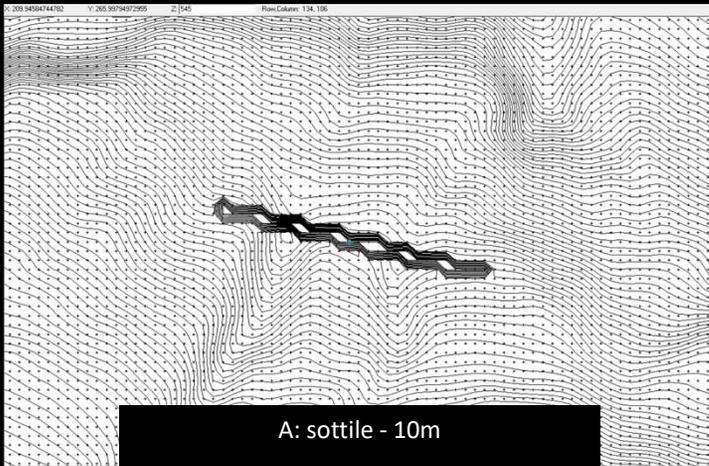
### Attività (3): utilizzo di modelli di simulazione funzionali alla definizione delle misure di mitigazione



BARRIERA INFERIORE

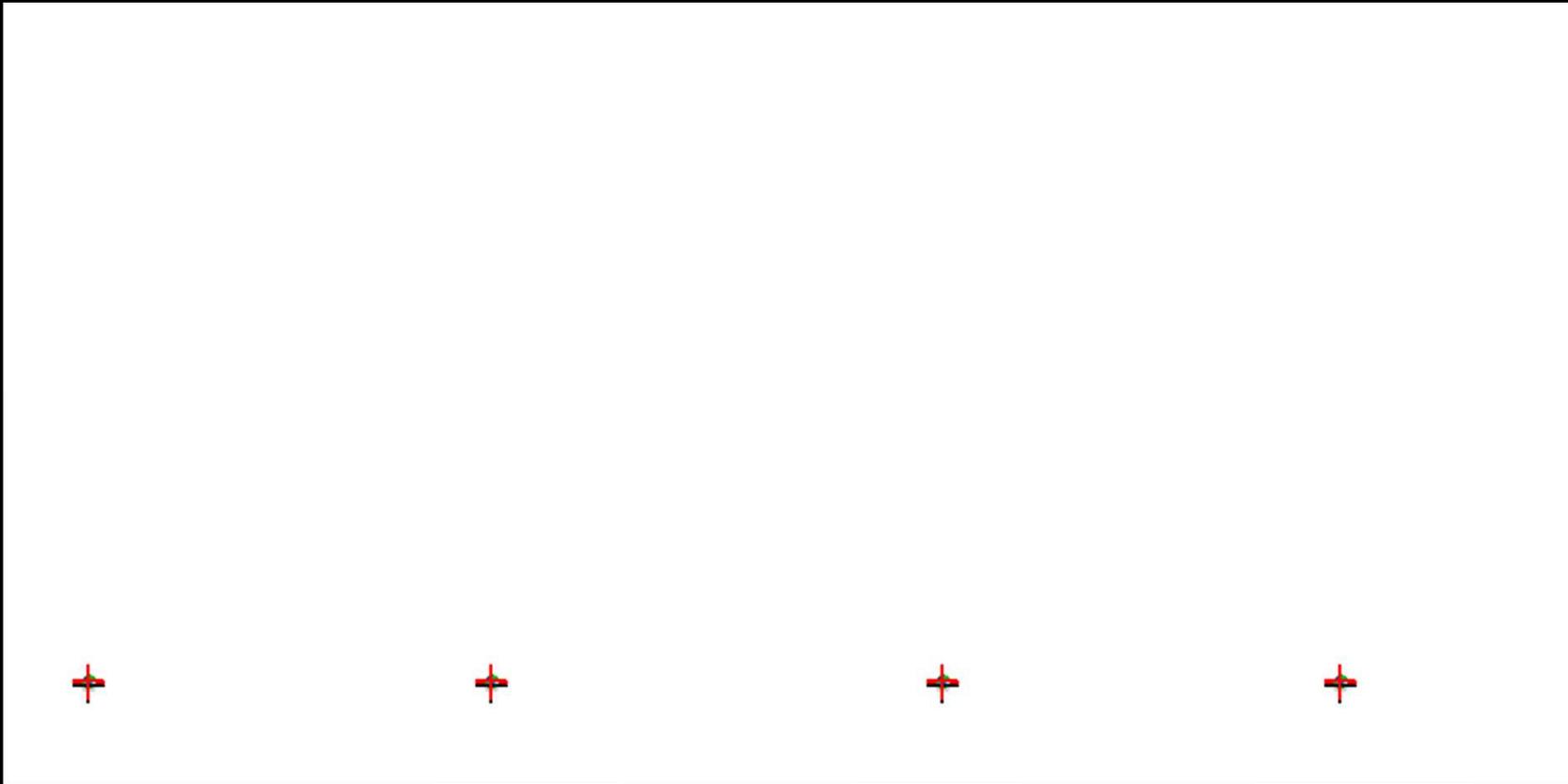
BARRIERA SUPERIORE

Barriera Superiore:



Confronto:

Slide Volume:	
Initial =	75.98 m <sup>3</sup>
Current =	2619.32 m <sup>3</sup>
Grid Thickness Plot	
Stopped ...	



A: sottile - 10m

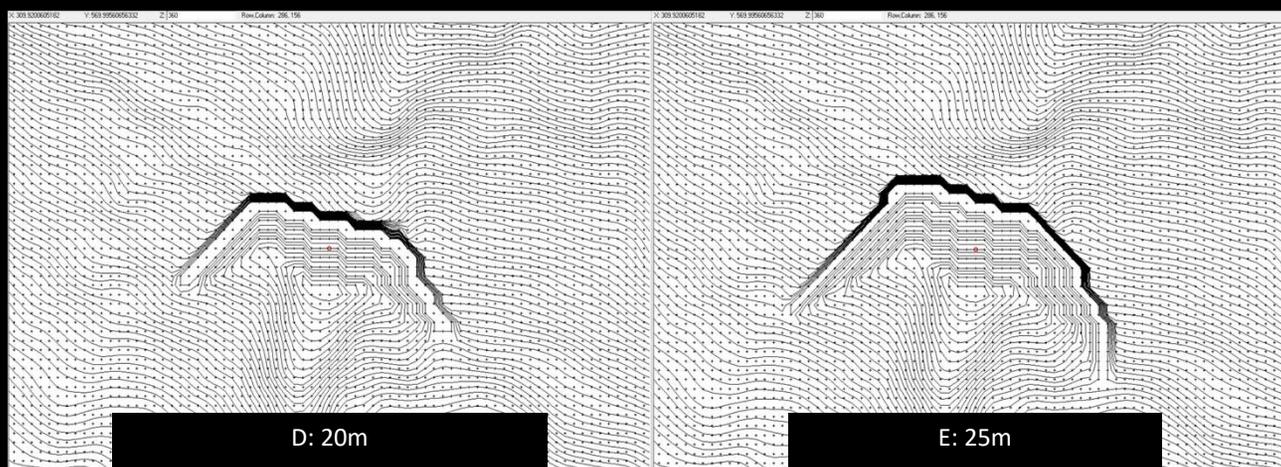
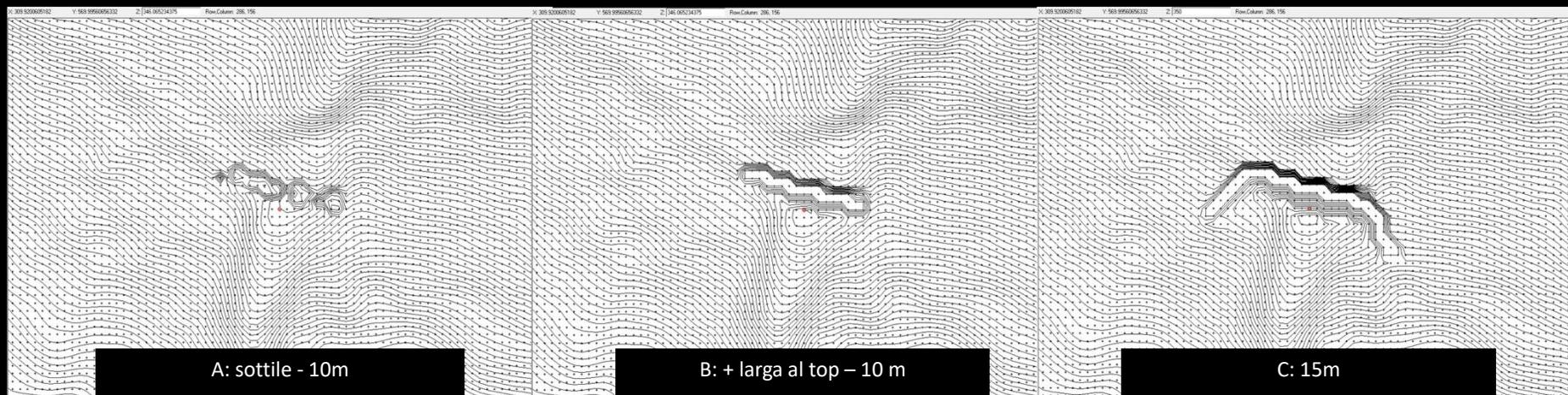
B: sottile - 15m

C: più larga al top - 10m

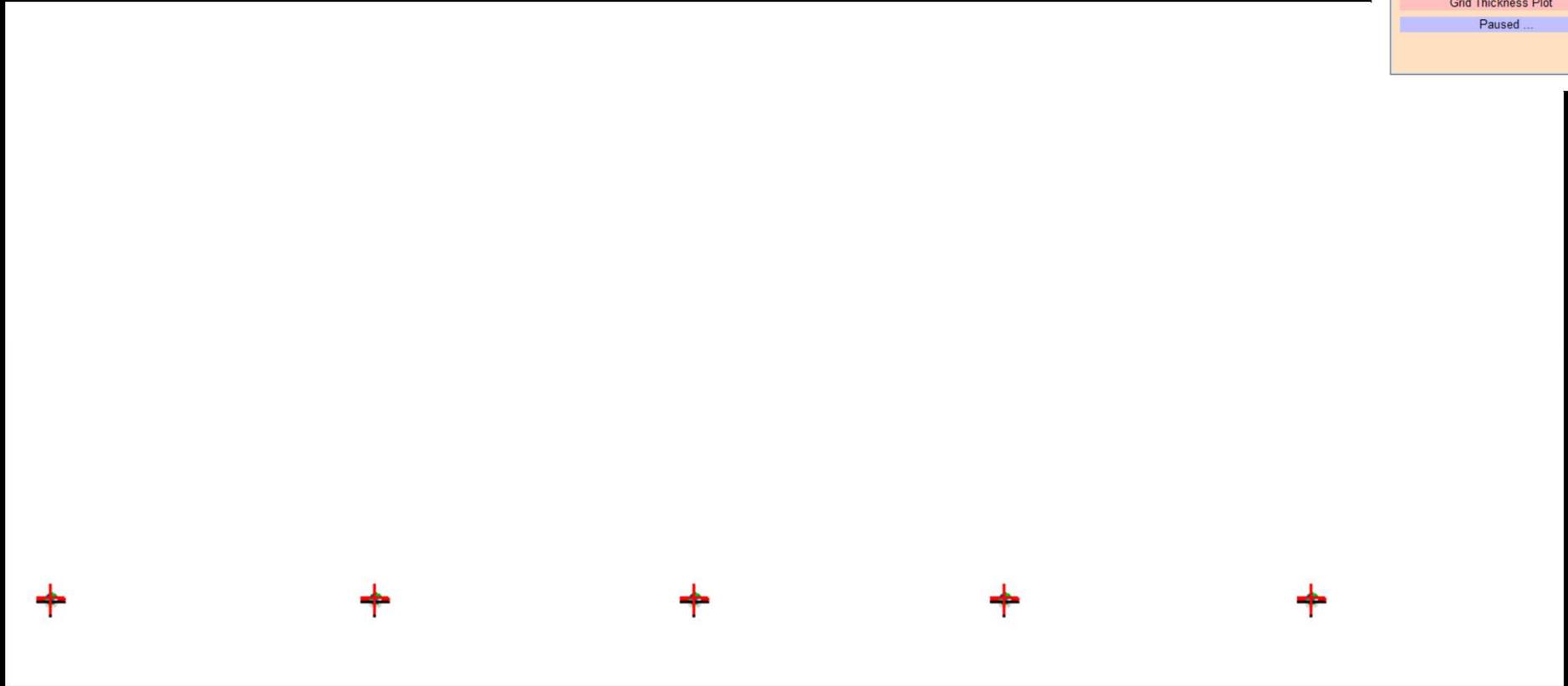
D: + larga e + ampia - 10m

# Barriera Inferiore:

DAN-3D



Confronto:



A: sottile 10m

B: + larga 10m

C: 15m

D: 20m

E: 25m

Slide Volume:

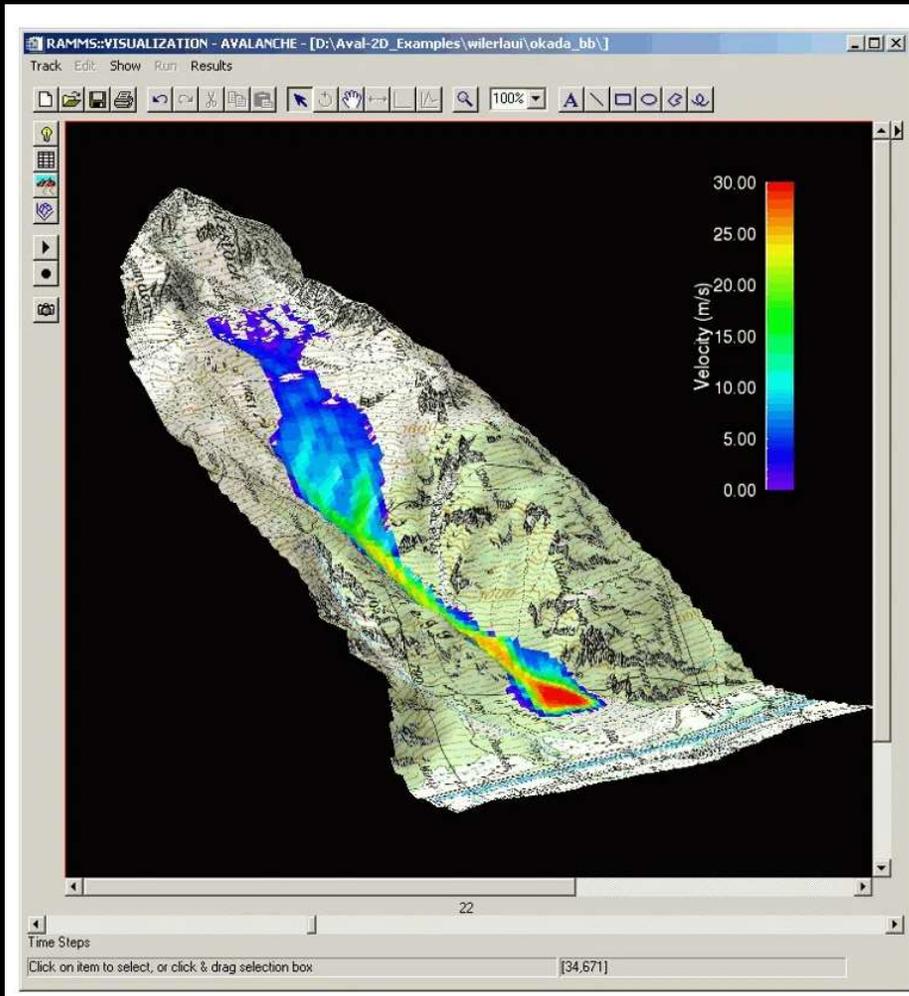
Initial = 75.98 m <sup>3</sup>
Current = 33330.28 m <sup>3</sup>

Grid Thickness Plot

Paused ...

# RAMMS: DEBRIS FLOW

Sviluppato da: [WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF \(ETH\)](#)



## Modello Reologico - Voellmy Model

### Parametri da Calibrare

- Modello Reologico
  - Coefficiente di turbolenza
  - Coefficiente di attrito dinamico
  - Yield stress
- Area di Rilascio
  - Idrogramma
  - Block release area
- Erosione
  - Erosion density
  - Erosion rate
  - Potential erosion depth
  - Critical shear stress
  - Max erosion depth
- Condizione di arresto aggiuntiva
  - Momentum-based stopping criteria
  - Center-of-mass stopping criteria

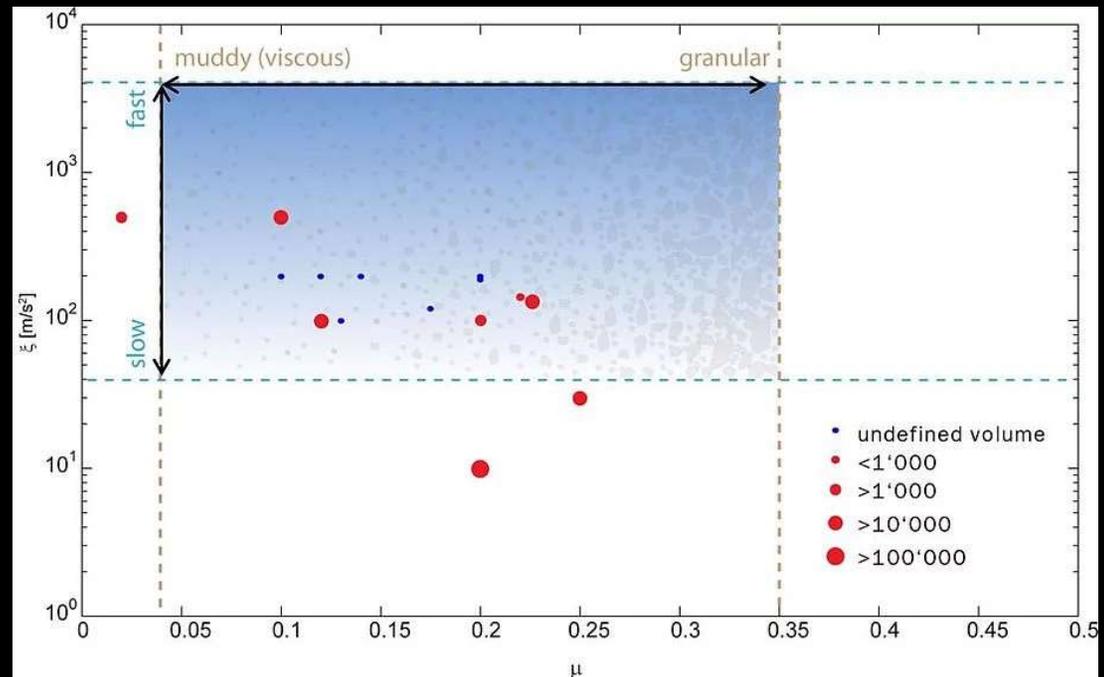
# PARAMETRI: *MODELLO FISICO/REOLOGICO*

## Voellmy-fluid friction model

- Coefficiente di turbolenza ( $\xi$ )  
*Valore elevato = velocità elevata*
- Coefficiente di attrito dinamico ( $\mu$ )  
*Valore elevato = minore distribuzione (distanza)*

$$S = \mu N + \frac{\rho g u^2}{\xi} \text{ with } N = \rho g h \cos(\varphi)$$

$\rho$  = density,  $g$  = gravitational acceleration,  $\phi$  = slope angle,  
 $h$  = flow height;  $u$  = flow velocity. The normal stress ( $N$ ) on the  
running surface =  $\rho g h \cos(\phi)$

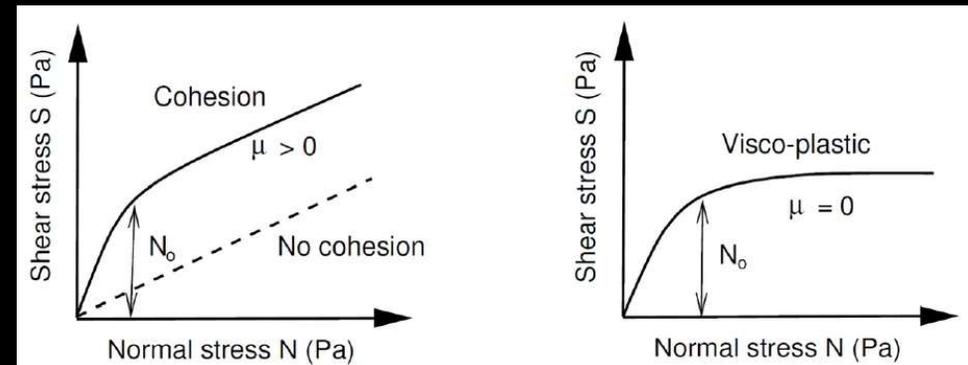


## PARAMETRI: *MODELLO FISICO/REOLOGICO*

### Yield stress (Coesione)

$$S = \mu N + \frac{\rho g u^2}{\xi} + (1 - \mu)N_0 - (1 - \mu)N_0 e^{-\frac{N}{N_0}}$$

- + resistenza
- distanza percorsa



### Curvature

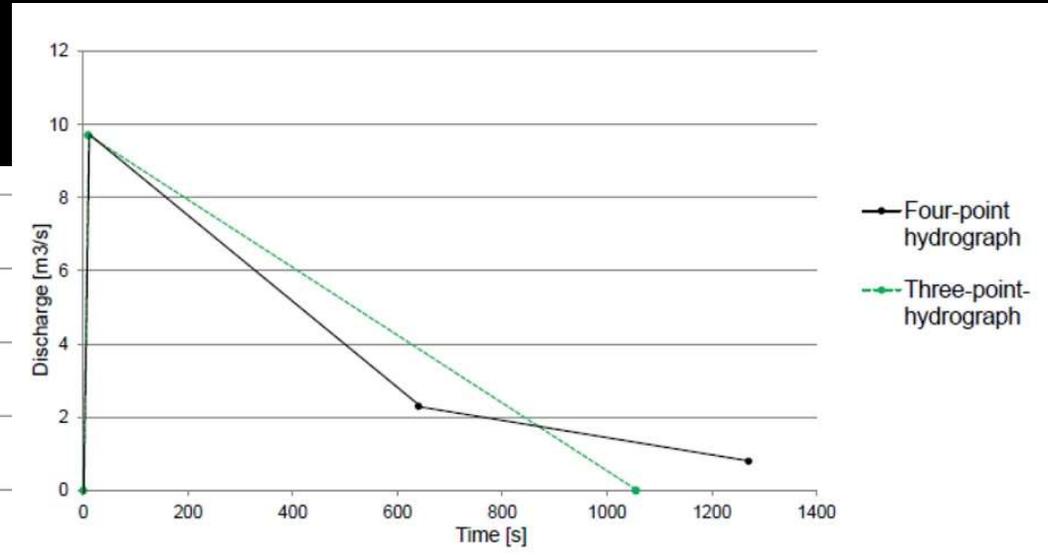
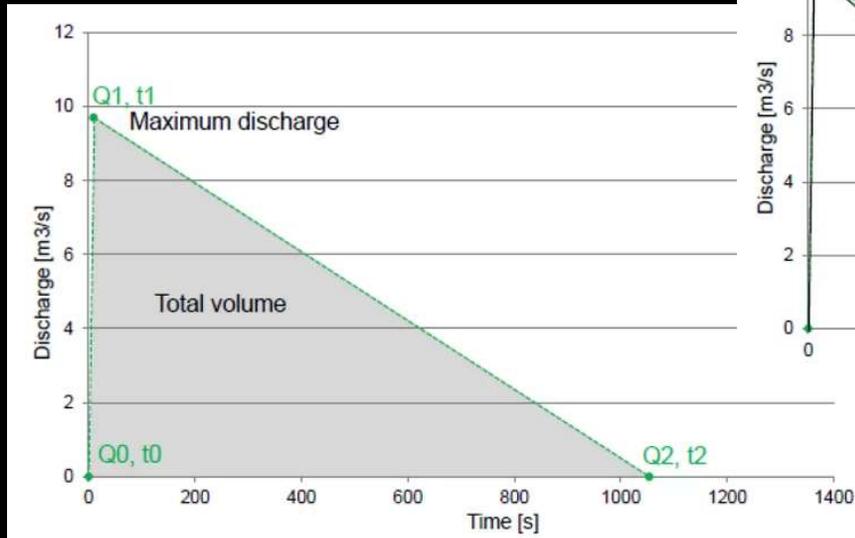
Tiene conto delle forze centrifughe derivanti dalla curvatura del terreno

- + attrito
- velocità in percorsi di flusso tortuosi

# PARAMETRI: CONDIZIONI DI INNESCO

## Idrogramma

Volume totale definito a-priori



## Block release area

Volume totale calcolato a fine modellazione

## PARAMETRI: *INCREMENTO DI VOLUME*

### Erosione

Erosion density: (kg/m <sup>3</sup> )	We suggest to use the default density (or the density that you selected in the Params tab) unless you have more detailed information.
Erosion rate: (m/s, default 0.025)	The rate at which debris flows entrain material from the sediment bed. There are very few values available from the field (see Frank et al.), so we propose using a constant value based on the work published by Berger et al., 2011 (0.025 m/s), for the Illgraben torrent (erosion rates measured using sensors buried in the channel bed). This is a rate that the model will use for entrainment until the predicted erosion depth is reached. Increasing this value will cause sediment to be entrained at a faster rate, potentially resulting in relatively large debris flow snouts.
Pot. erosion depth: (per kPa, default 0.1)	This parameter controls the maximum potential erosion depth (variable $e_m$ in the paper by Frank et al.) as a function of the maximum shear stress reached in each cell. This value actually is the slope of the line which relates $e_m$ to the maximum shear stress calculated for each cell. By changing the value of this parameter to e.g. 0.2 (menu choice <i>deep</i> ) you will double the maximum potential erosion depth.
Critical shear stress: (kPa, default 1.0)	This is the value at which erosion can start occurring. It might be reasonable to expect that a channel bed consisting of interlocked boulders would have a larger critical shear stress, while a channel bed of saturated sandy gravel would have a lower value. Our value is just a curve fit to the data reported by Schürch et al. (2011).
Max erosion depth: (m)	Here we can set a maximum thickness of the layer of erodible sediment if such data are available (e.g. in some cases we may know that there is only a limited amount of sediment available).

## Calibrazione Frana Celario



MAT 2

NO EROSIONE

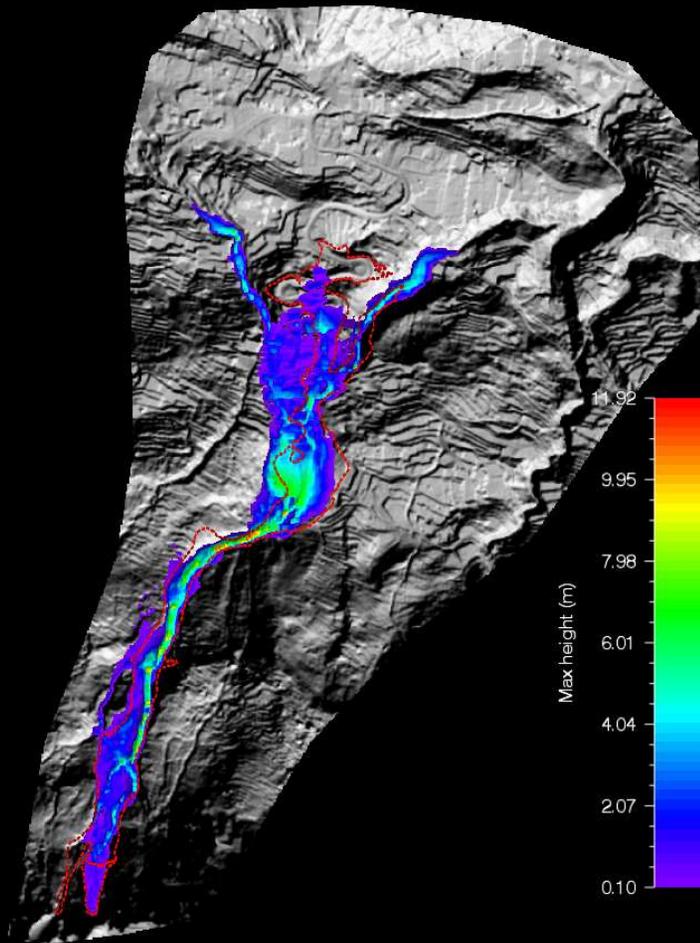
MAT 1

EROSIONE

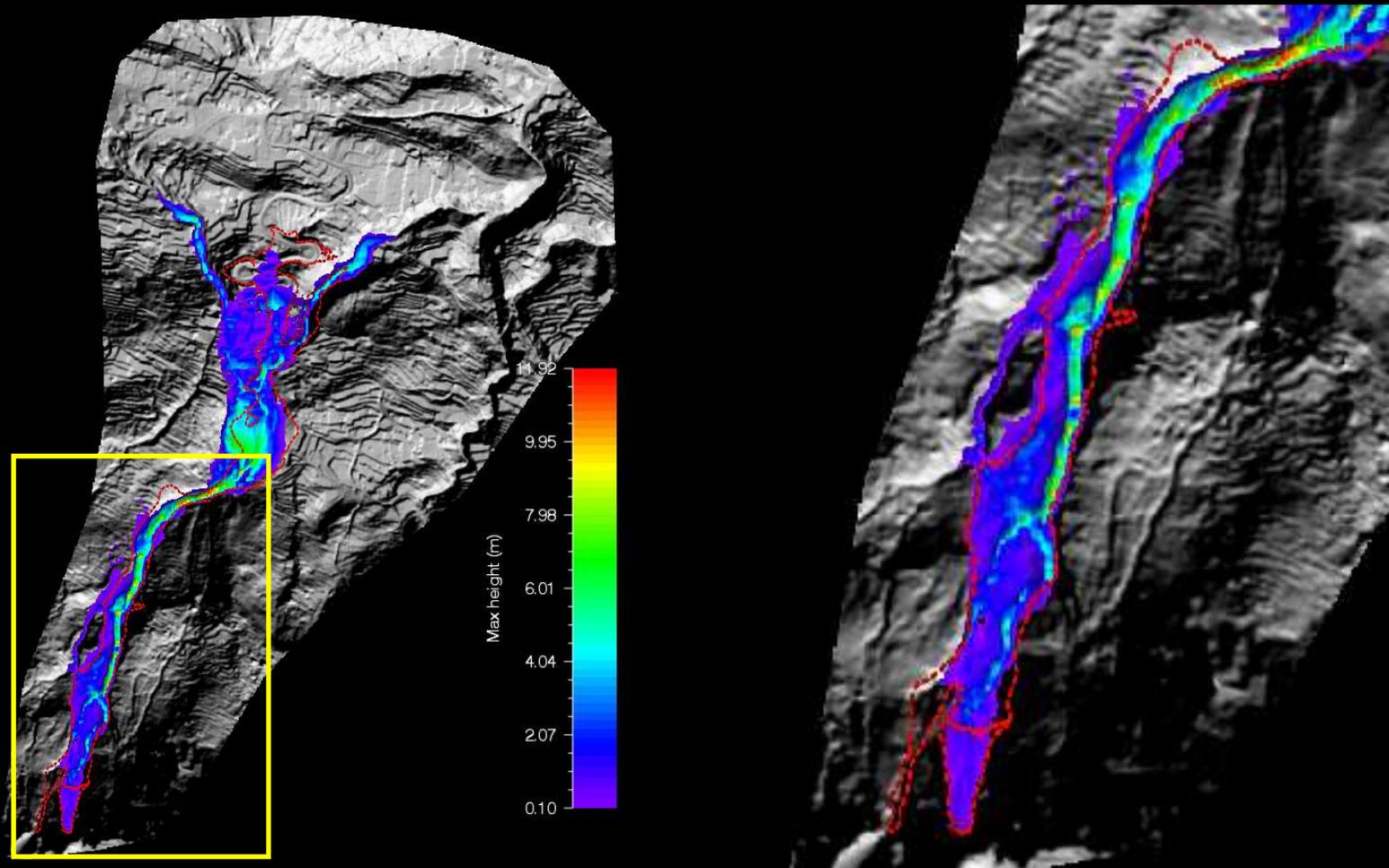
Area Sorgente  $V = \sim 110 \text{ m}^3$  (0,5 m)

<b><u>Modello Reologico</u></b>	
Coefficiente di turbolenza	Mat 1: 200 m/s <sup>2</sup> Mat 2: 150 m/s <sup>2</sup>
Coefficiente di attrito dinamico	Mat 1: 0,21 Mat 2: 0,11
Yield stress	1500 Pa
<b><u>Area di Rilascio</u></b>	Block release area
<b><u>Erosione</u></b>	
Erosion density	2000 kg/m <sup>3</sup>
Erosion rate	0,08 m/s
Potential erosion depth	0,2 (per kPa)
Critical shear stress	1,5 kPa
Max erosion depth	4 m
<b><u>Condizione di arresto</u></b>	
Momentum-based	20%
Center-of-mass	0 m/s

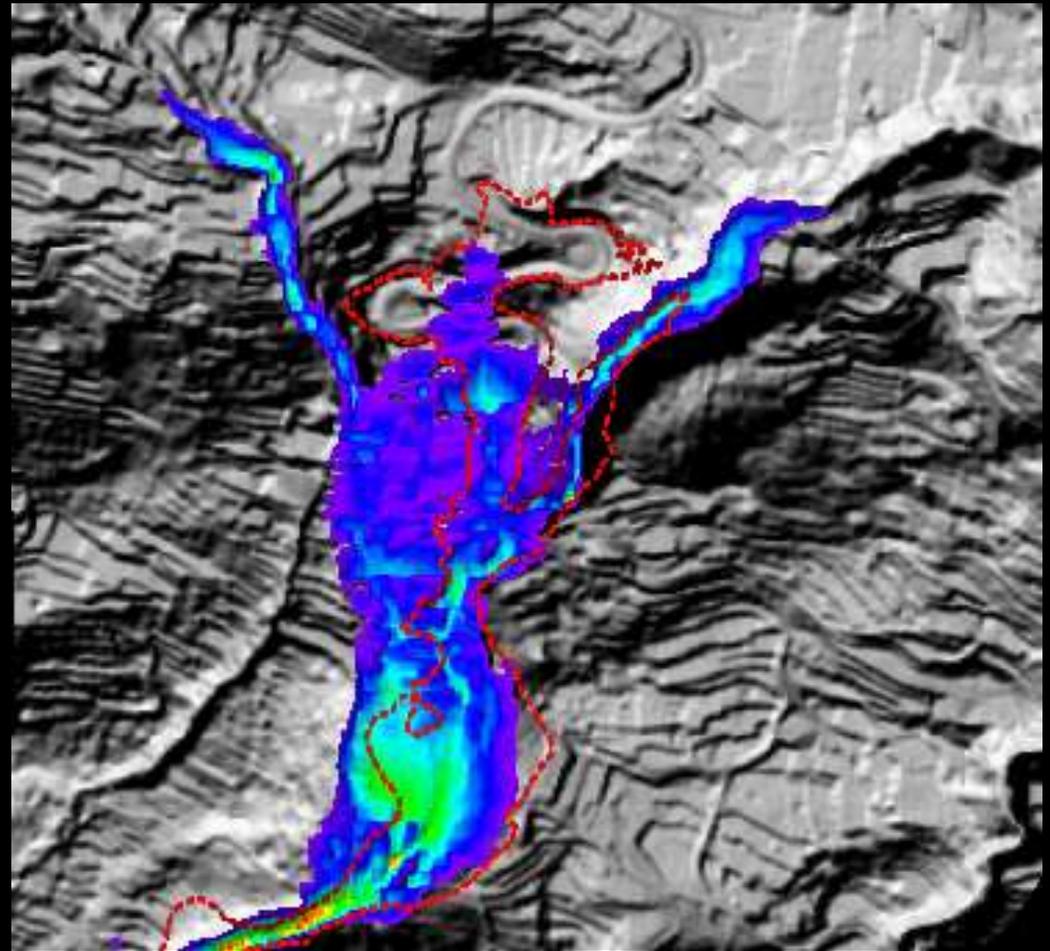
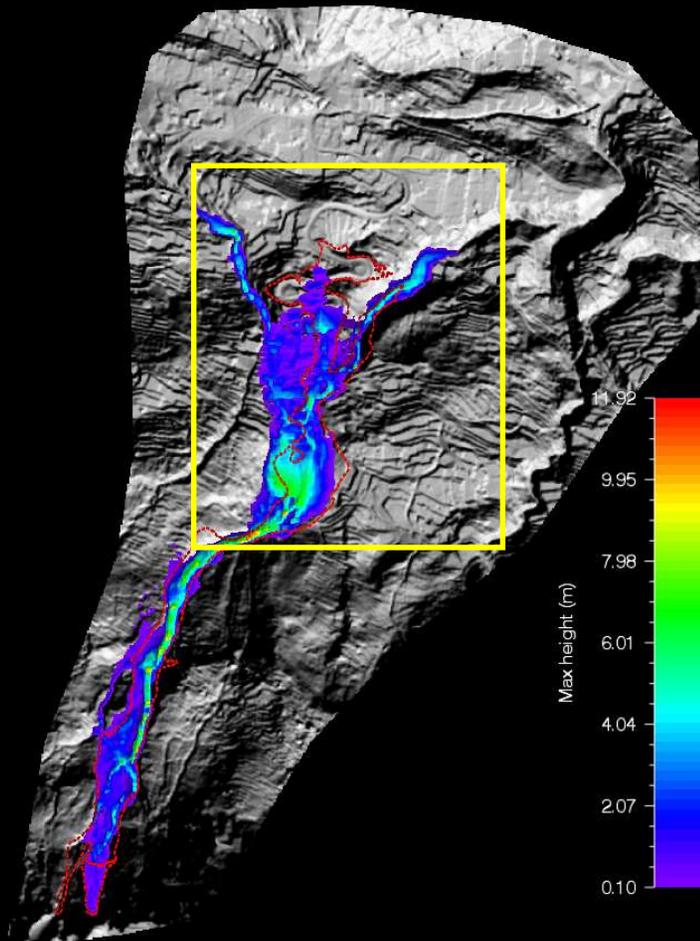
# Calibrazione Frana Celario – Risultati – Massima Altezza Flusso



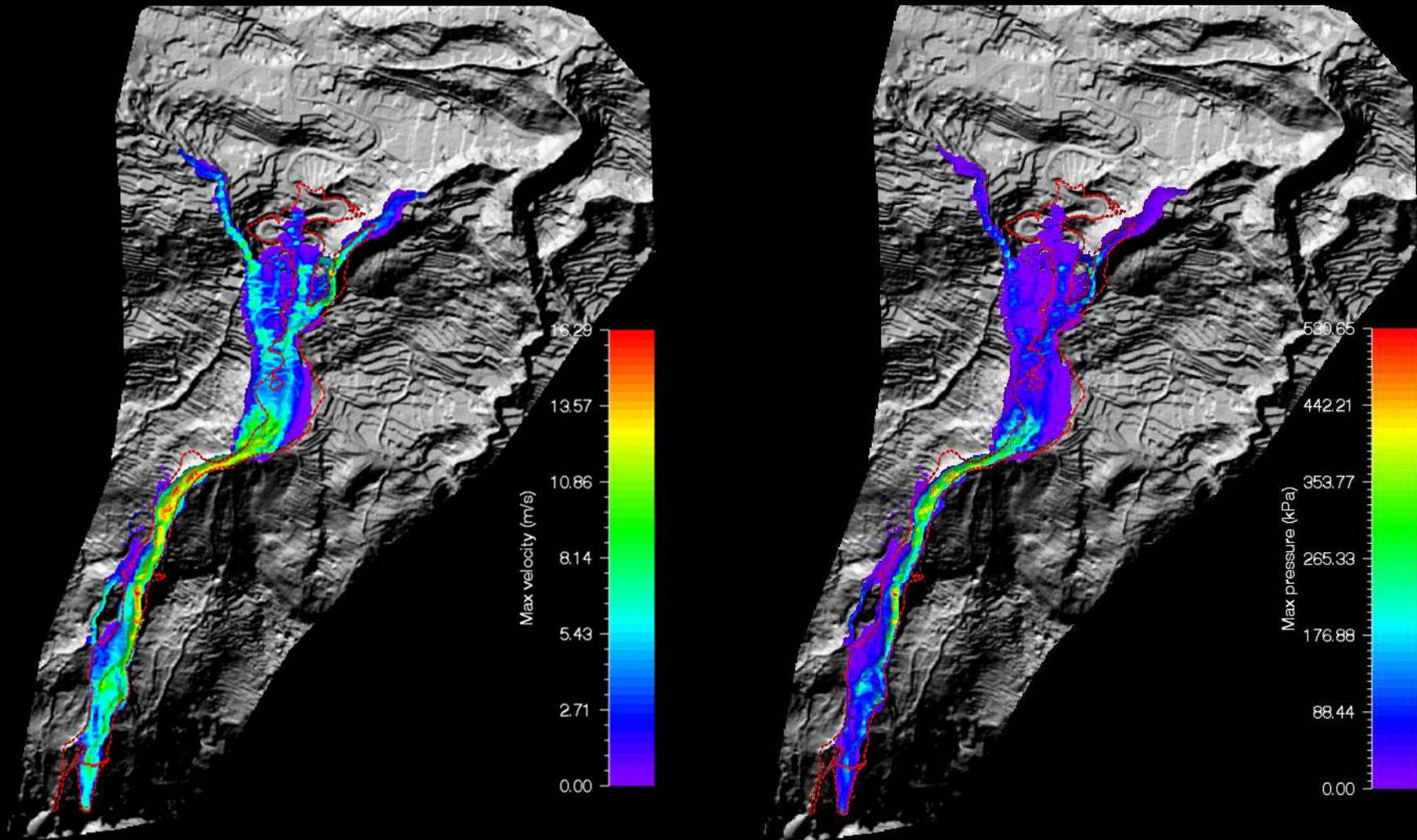
# Calibrazione Frana Celario – Risultati – Massima Altezza Flusso



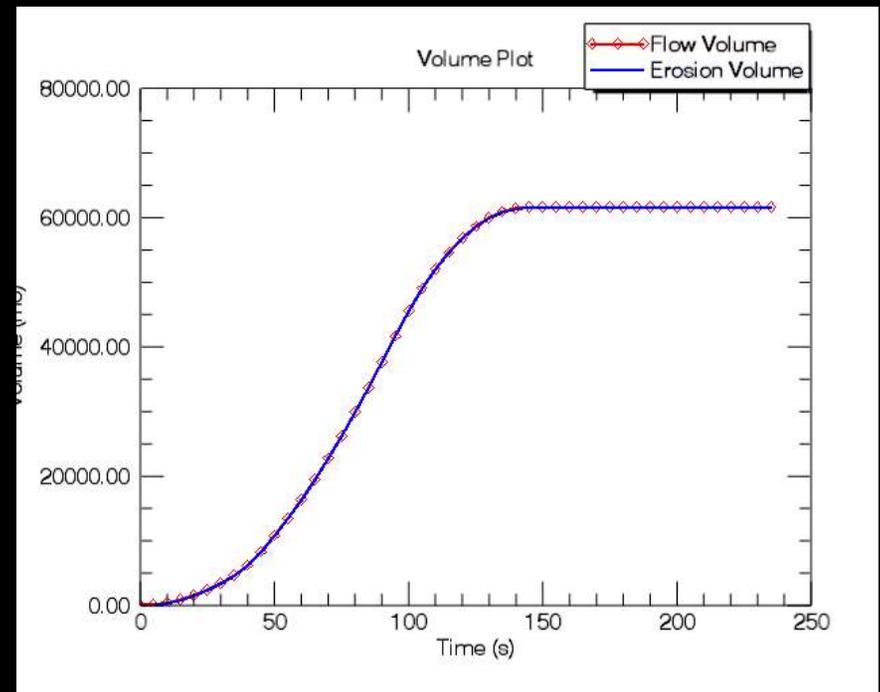
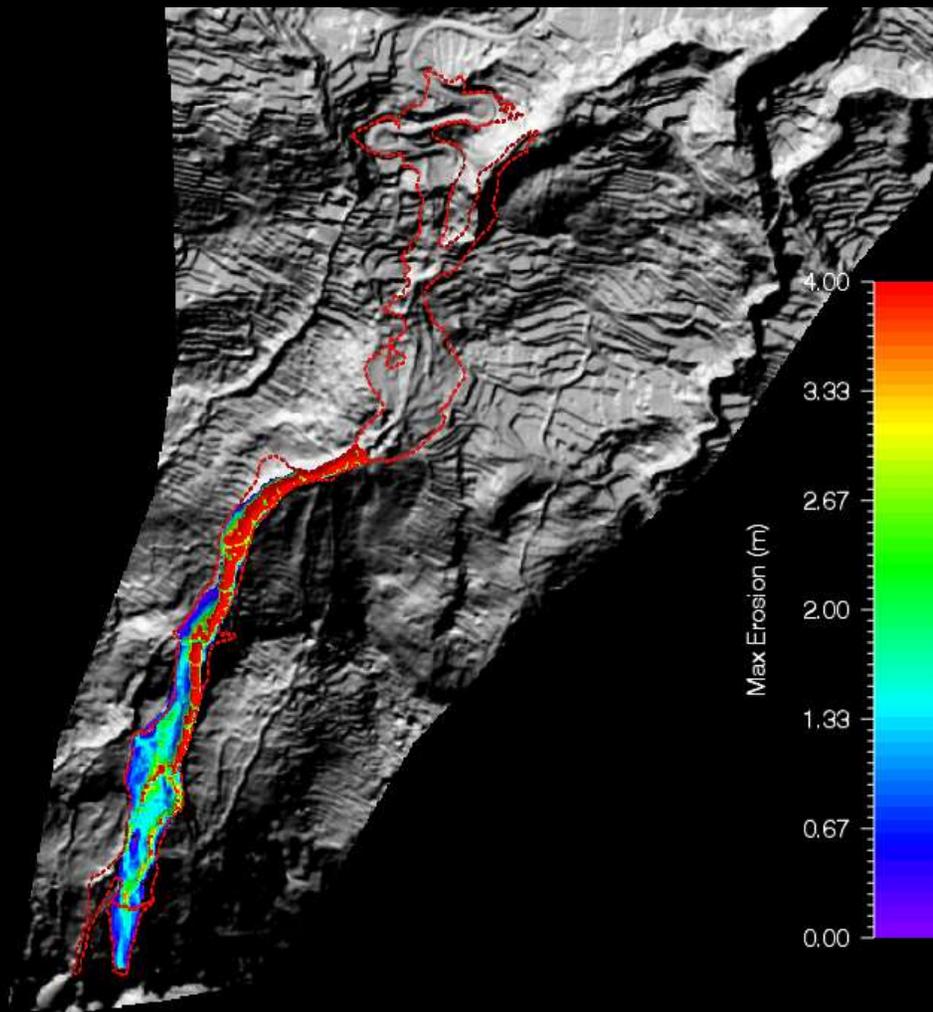
# Calibrazione Frana Celario – Risultati – Massima Altezza Flusso



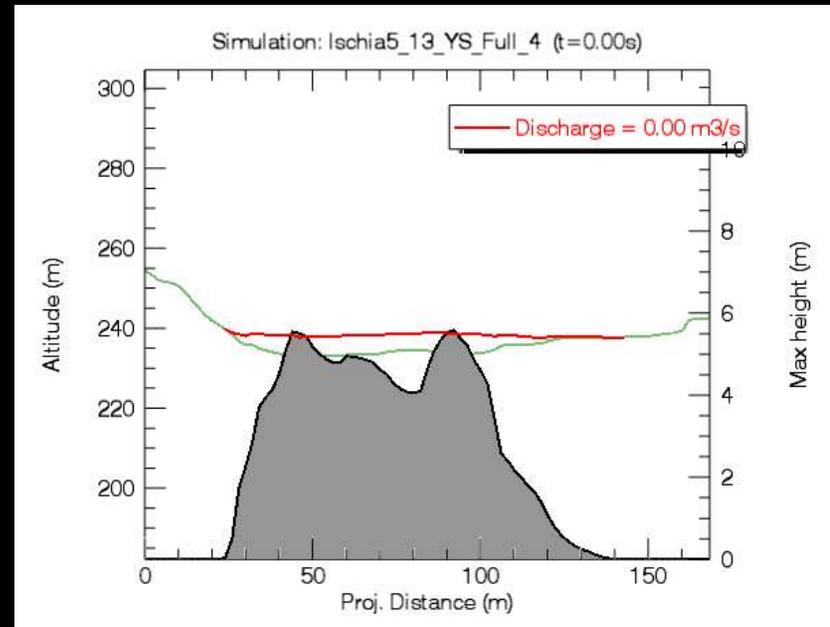
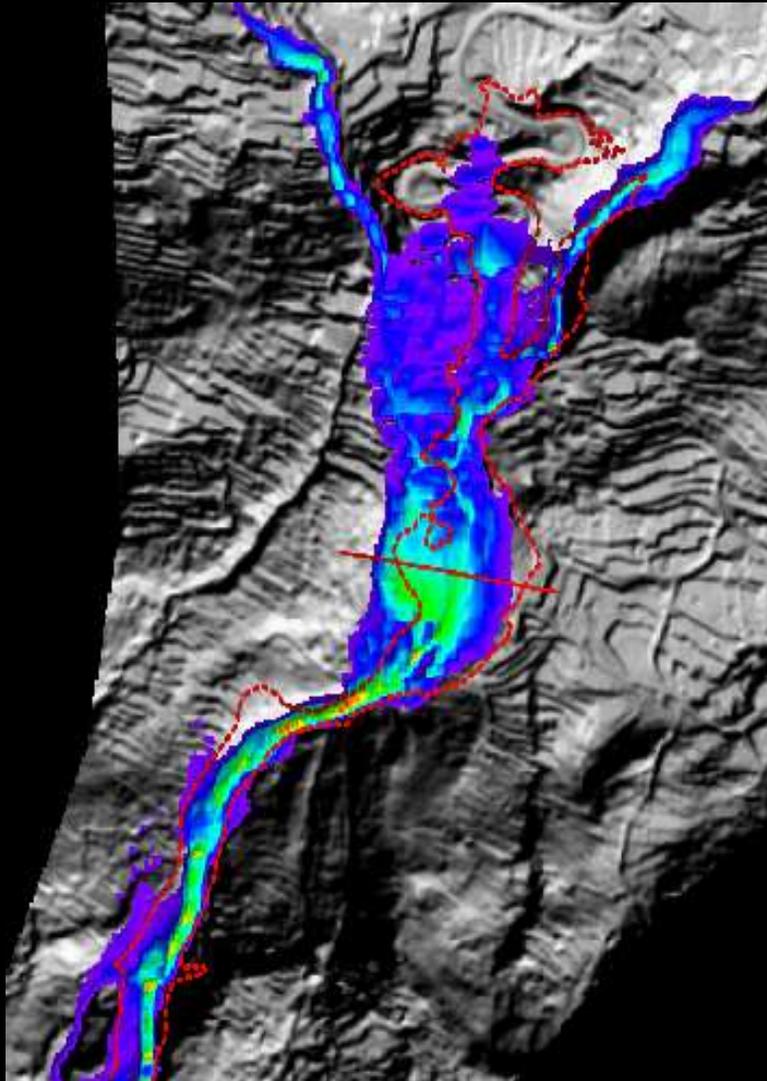
## Calibrazione Frana Celario – Risultati – Massima Velocità e Pressione



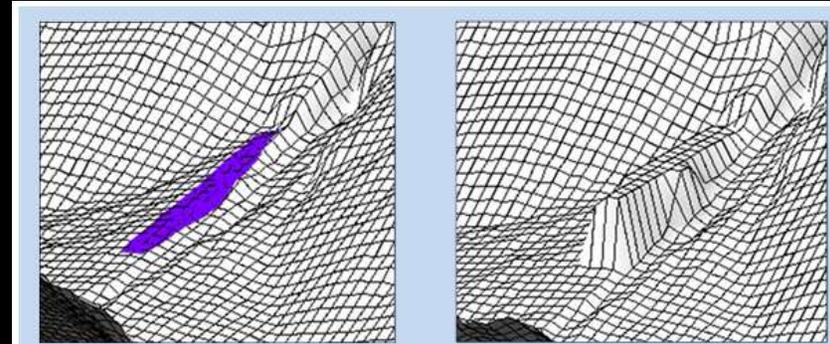
## Calibrazione Frana Celario – Risultati – Erosione



## Sezioni di Controllo



# Modellazione con barriere rigide



## Barriere rigide trasversali al flusso

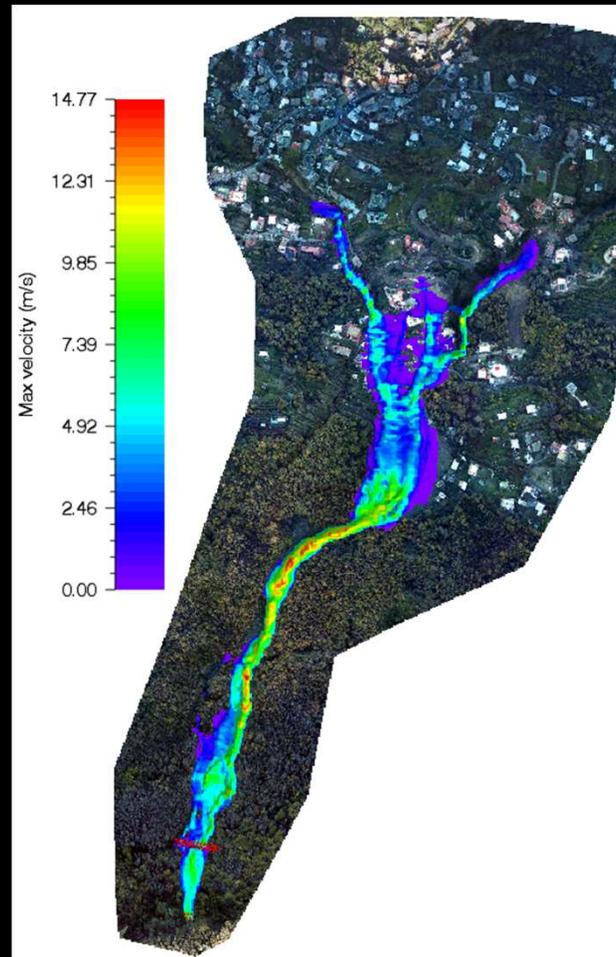
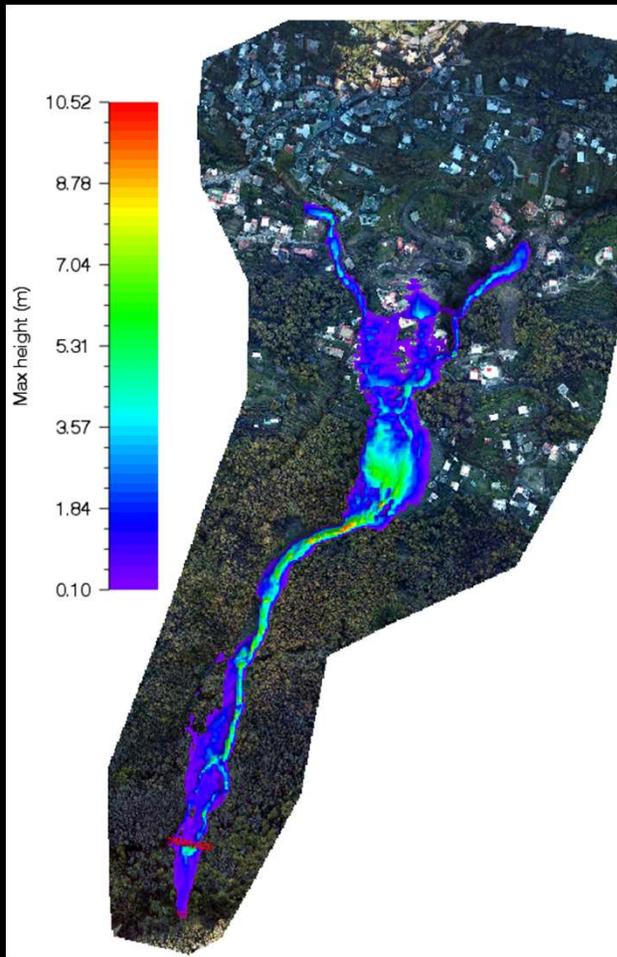
- **A1** - parte sommitale del versante ad una quota di circa 530 m ( $H = 5$  m);
- **A2** - parte sommitale del versante ad una quota di circa 530 m con ( $H = 10$  m);

## Barriere rigide parallele al flusso

- **B1** - destra frana - zona superiore area di invasione ( $H = 5$  m);
- **B2** - sinistra frana - zona inferiore area di invasione ( $H = 10$  m)
- **B3** - destra frana – zona inferiore area di invasione ( $H = 10$  m).

# Modellazione con barriere rigide

## Barriere rigide trasversali al flusso

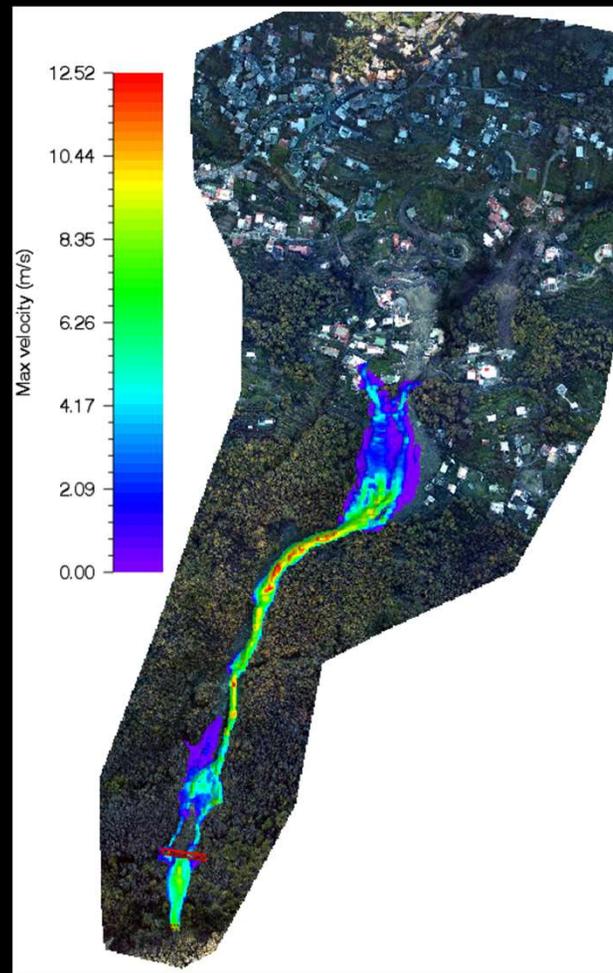
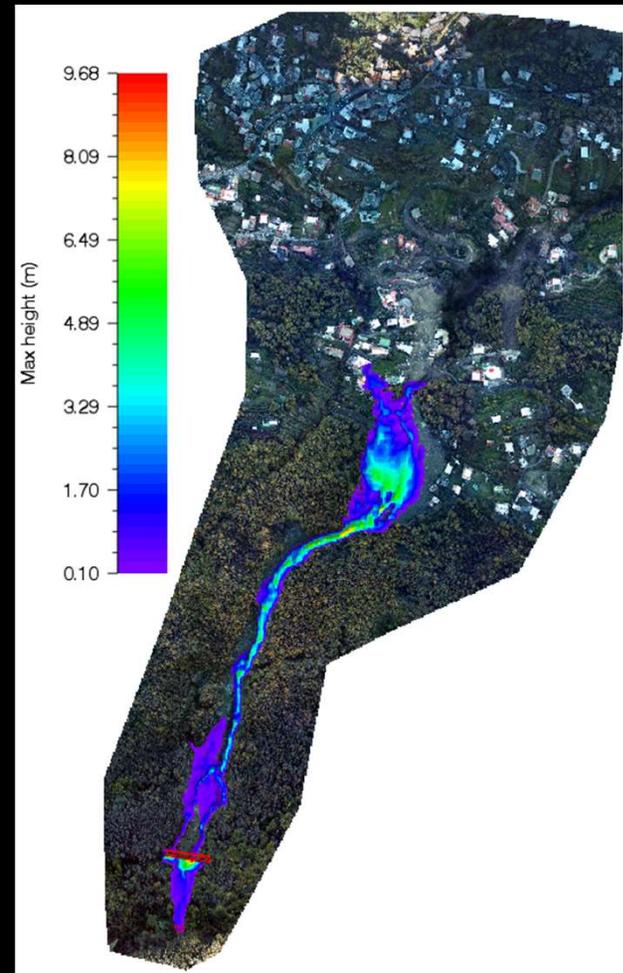


## A1 (H = 5 m)

A1 - Barriera rigida superiore (H=5m)	
Volume finale (m <sup>3</sup> )	45746
Altezza massima (m)	10,51
Velocità massima (m)	14,77
Massima energia d'impatto (kPa)	436.58

# Modellazione con barriere rigide

## Barriere rigide trasversali al flusso



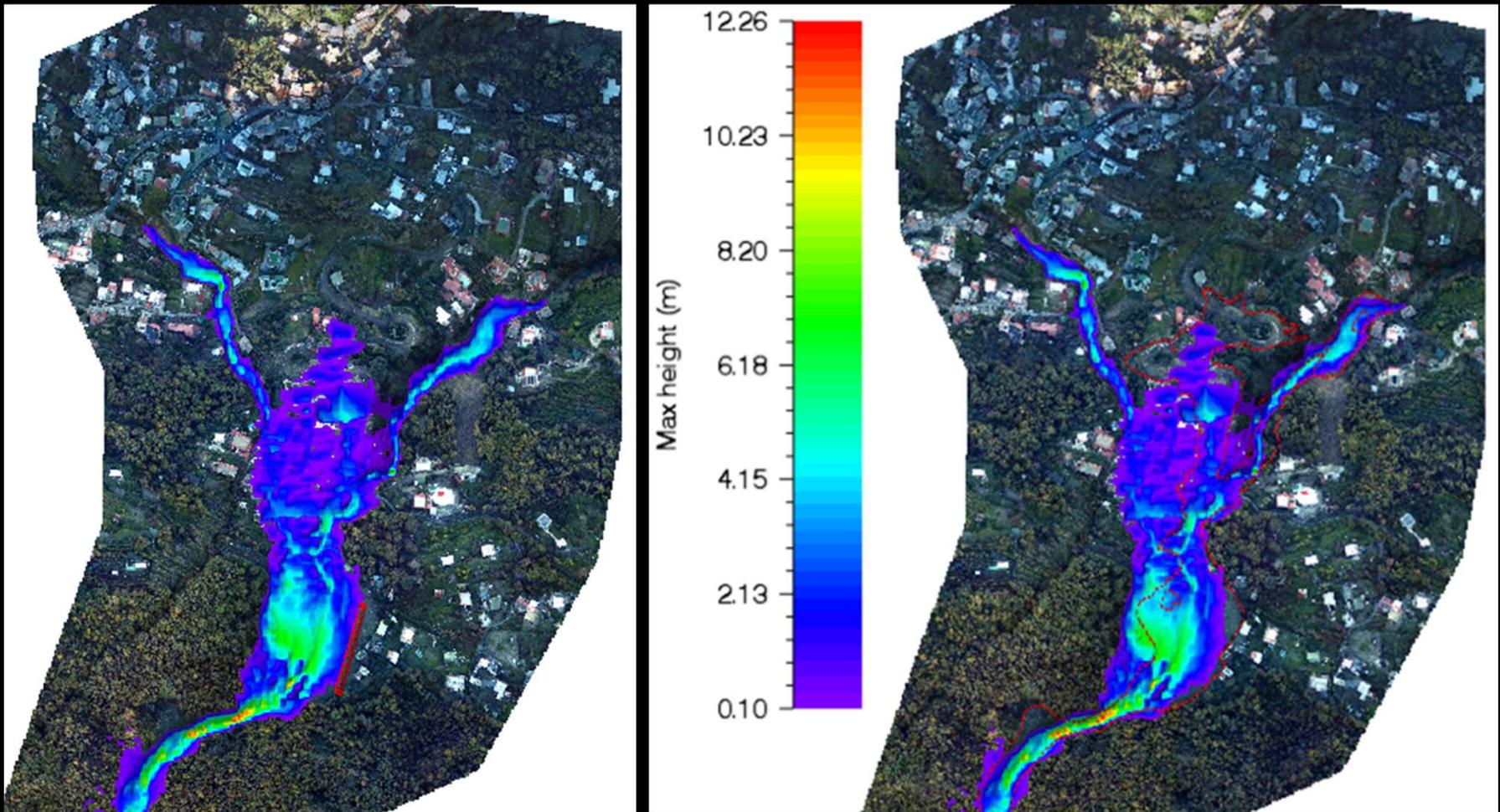
### A2 (H = 10 m)

A1 - Barriera rigida superiore (H=10m)	
Volume finale (m <sup>3</sup> )	28990
Altezza massima (m)	9.68
Velocità massima (m)	12.52
Massima energia d'impatto (kPa)	313.73

# Modellazione con barriere rigide

## Barriere rigide parallele al flusso

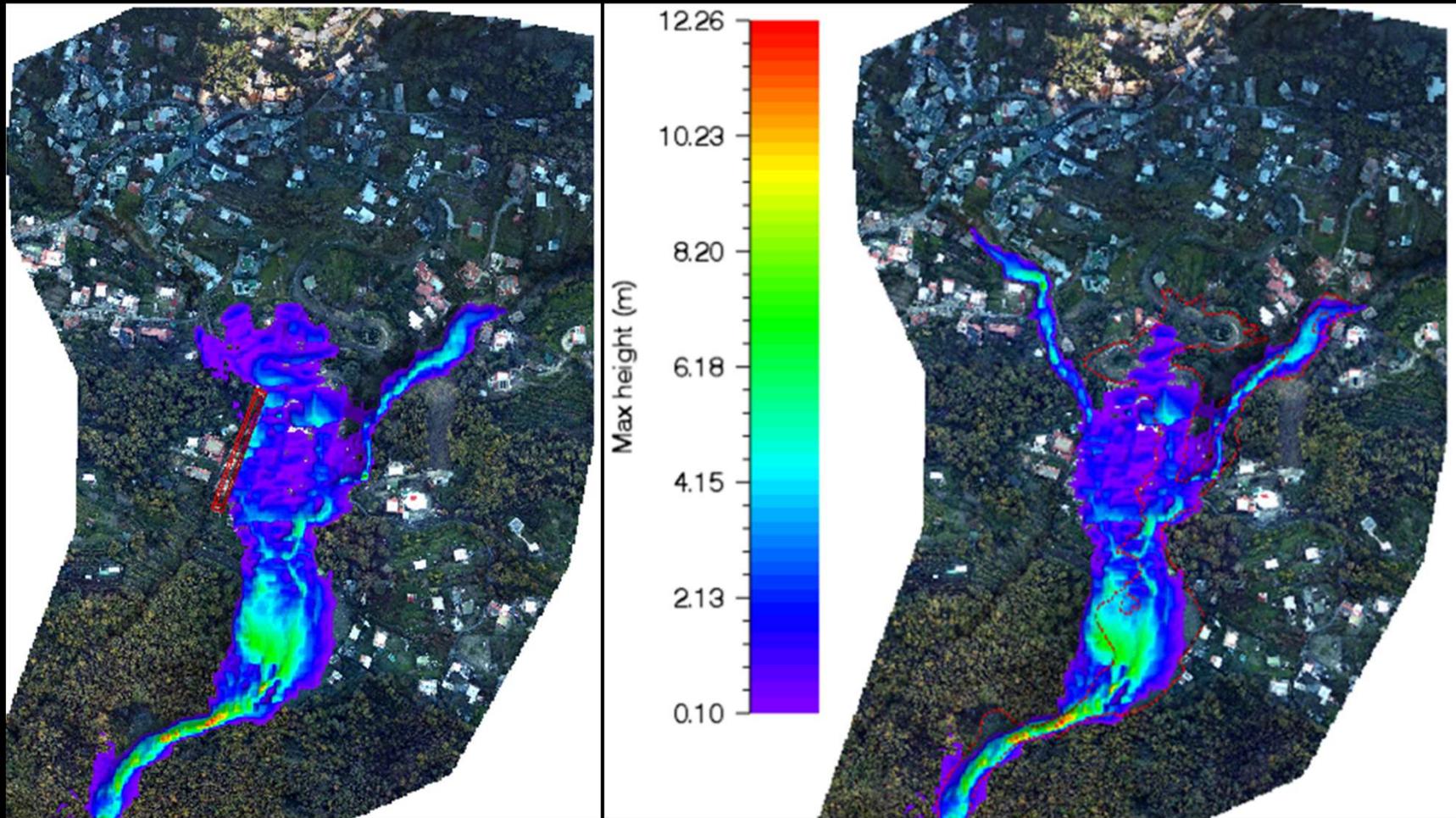
B1 - destra frana – zona superiore area di invasione ( $H = 5$  m)



# Modellazione con barriere rigide

## Barriere rigide parallele al flusso

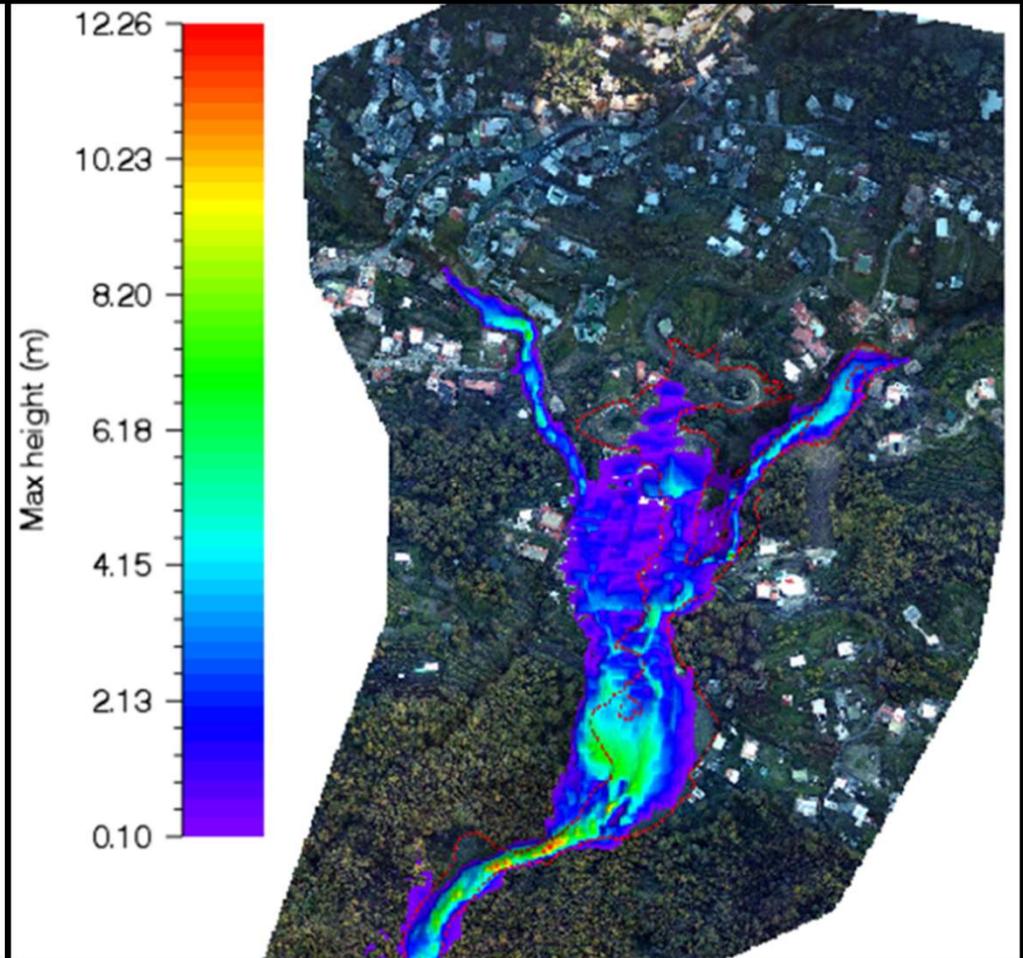
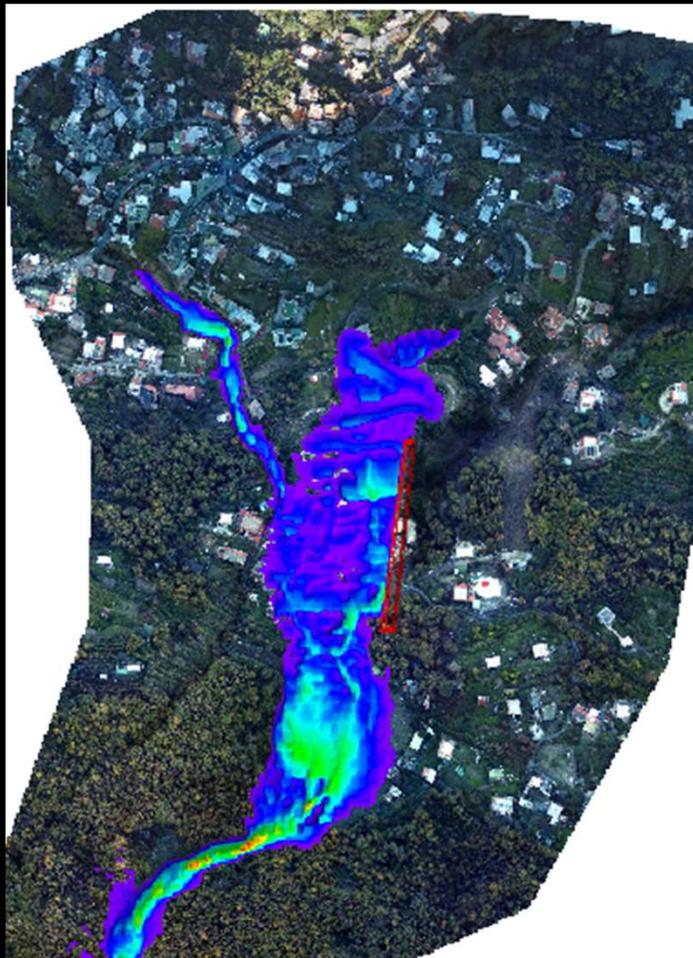
B2 - sinistra frana- zona inferiore area di invasione (H = 10 m)



# Modellazione con barriere rigide

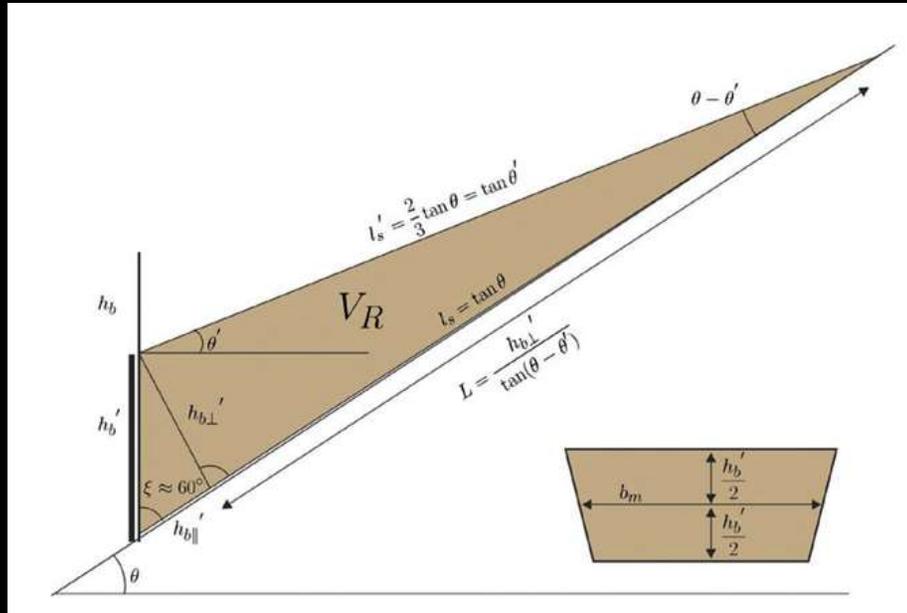
## Barriere rigide parallele al flusso

B3 - destra frana – zona inferiore area di invasione (H = 10 m).



# BARRIERE E OSTACOLI

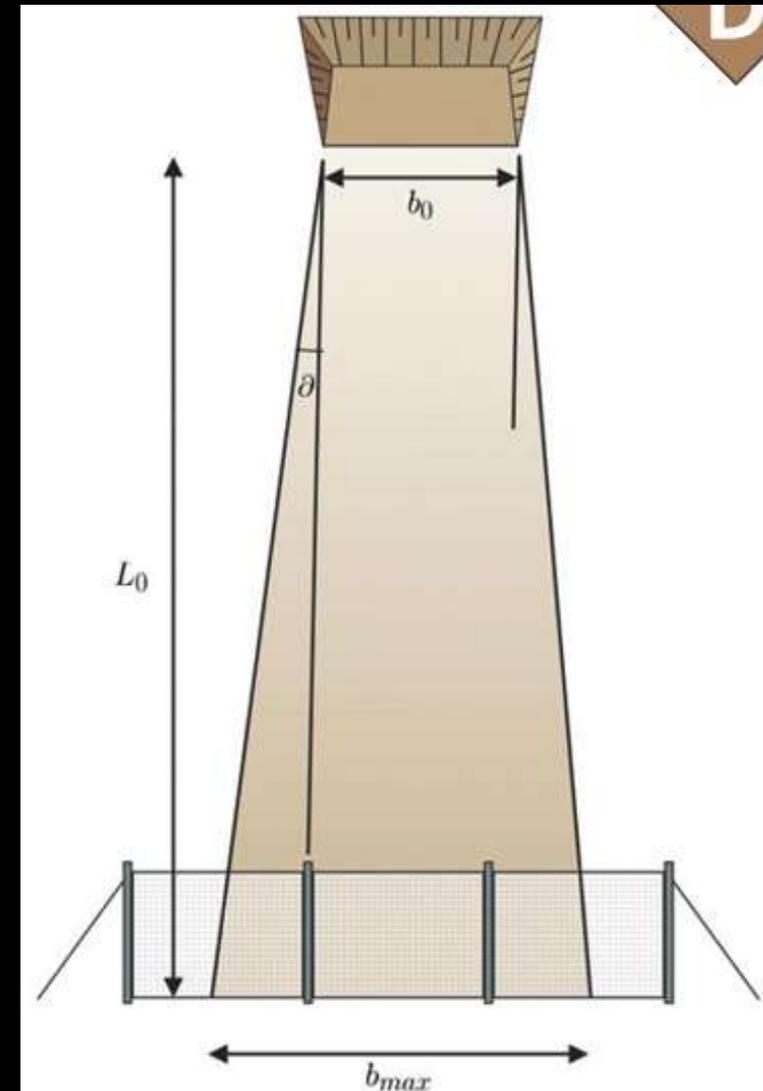
## Barriere Flessibili



$$V_R = 0.5(h_b')^2 b_{max} \sin \xi \left( \frac{\sin \xi}{\tan(\theta - \theta')} + \cos \xi \right)$$

with

- $V_R$  = Retention volume of flexible barrier
- $h_b'$  = Barrier height
- $b_{max}$  = Width of barrier
- $\xi$  = Slope angle between barrier and terrain
- $\theta$  = Slope angle of terrain
- $\theta'$  = Slope angle of deposit



# Modellazione con barriere flessibili

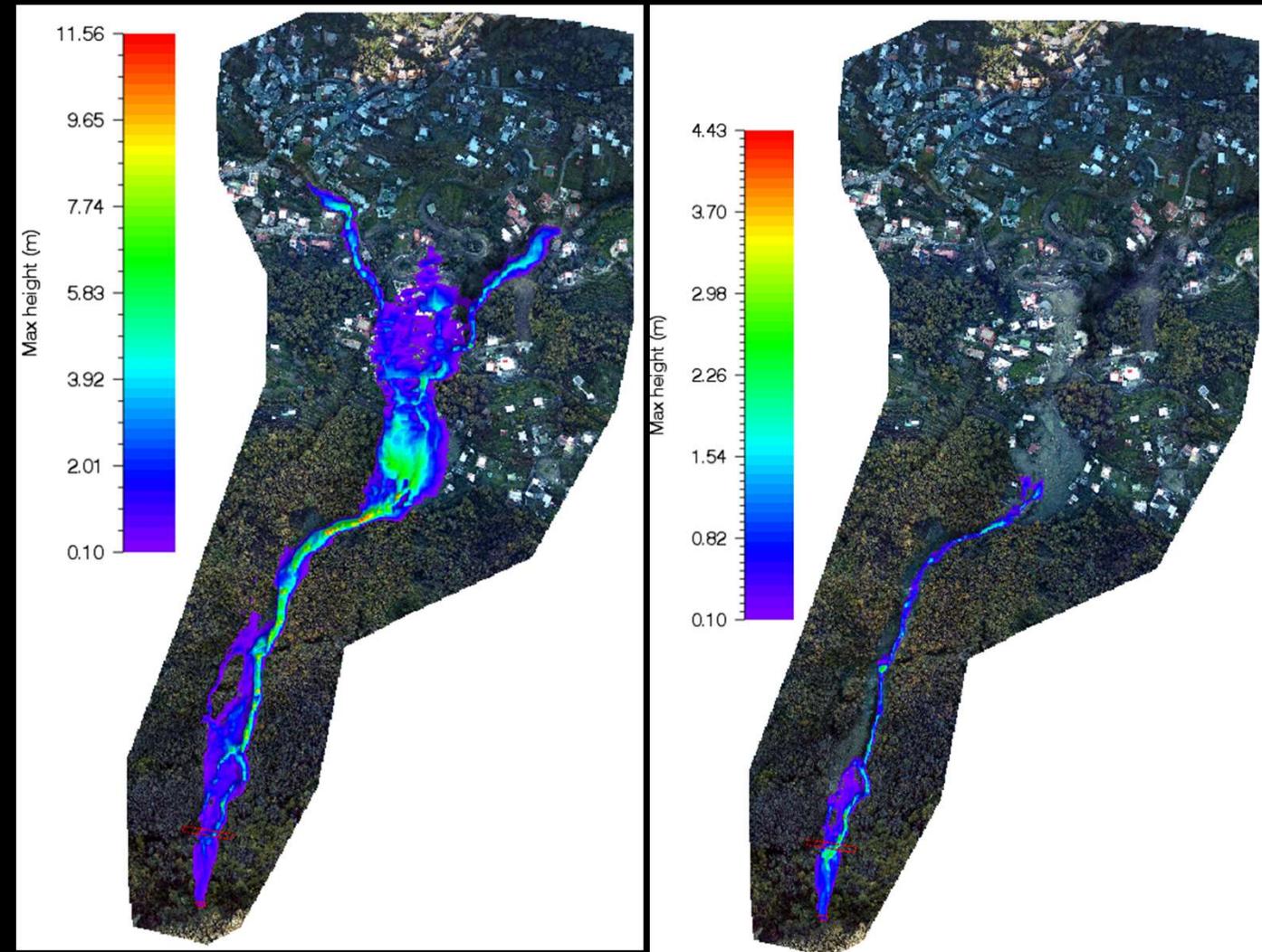
## Barriere flessibili (H=5m)

- **A1: n° 1 barriera H=5 m, con erosione a valle**
- **A2: n° 1 barriera H=5 m, senza erosione**
- **B1: n° 3 barriere H=5 m, con erosione**
- **B2: n° 3 barriere H=5 m, senza erosione**

## Barriere flessibili (H=8)

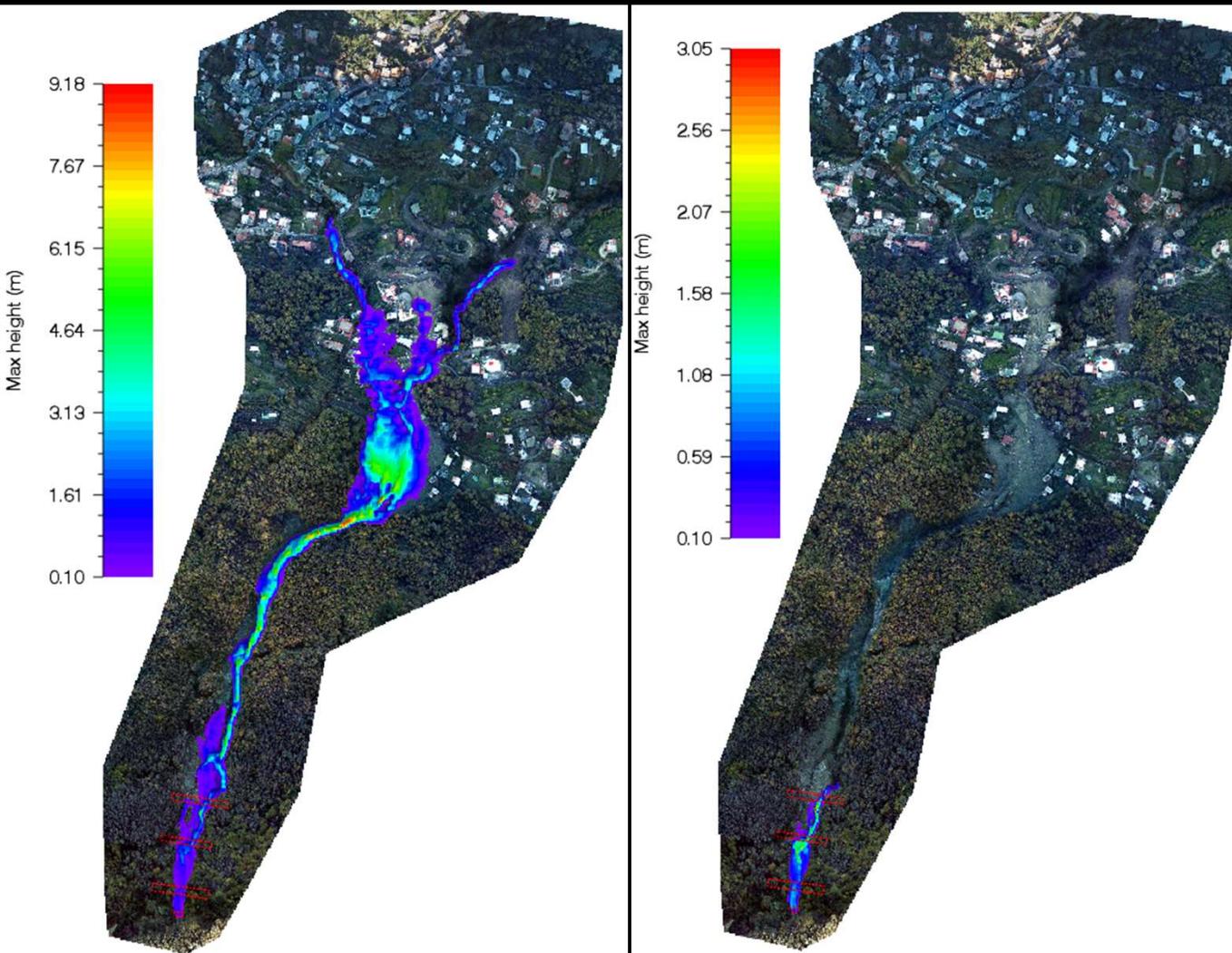
- **C1: n° 1 barriera H=8, con erosione**
- **C2: n° 1 barriera H=8, senza erosione.**
- **D1: n° 3 barriere H=8, con erosione**

# Modellazione con barriere flessibili



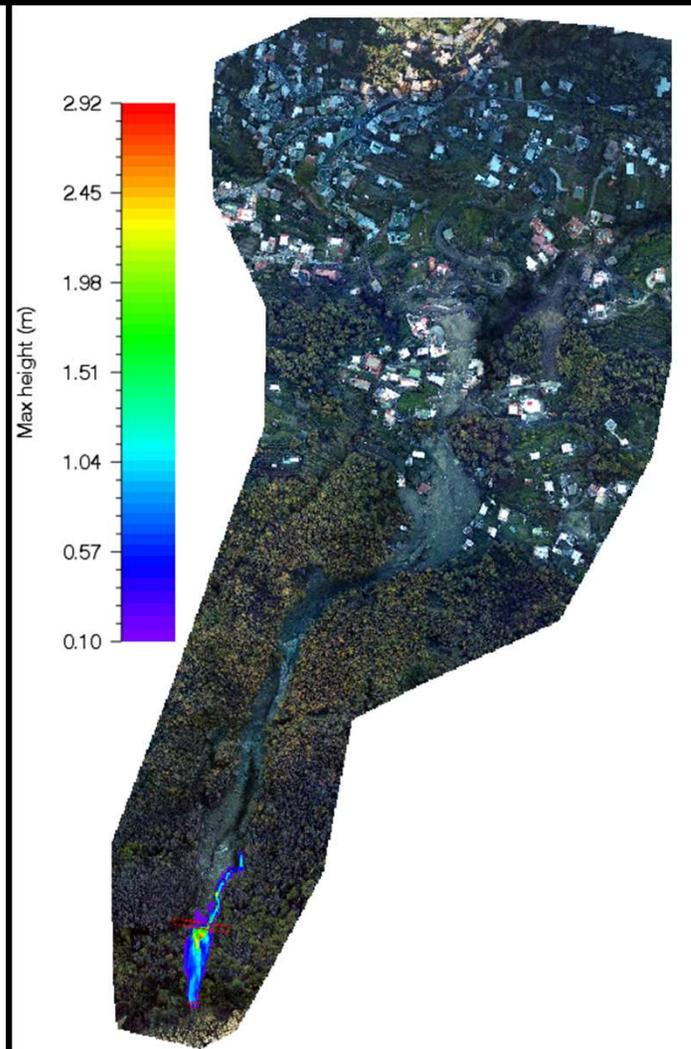
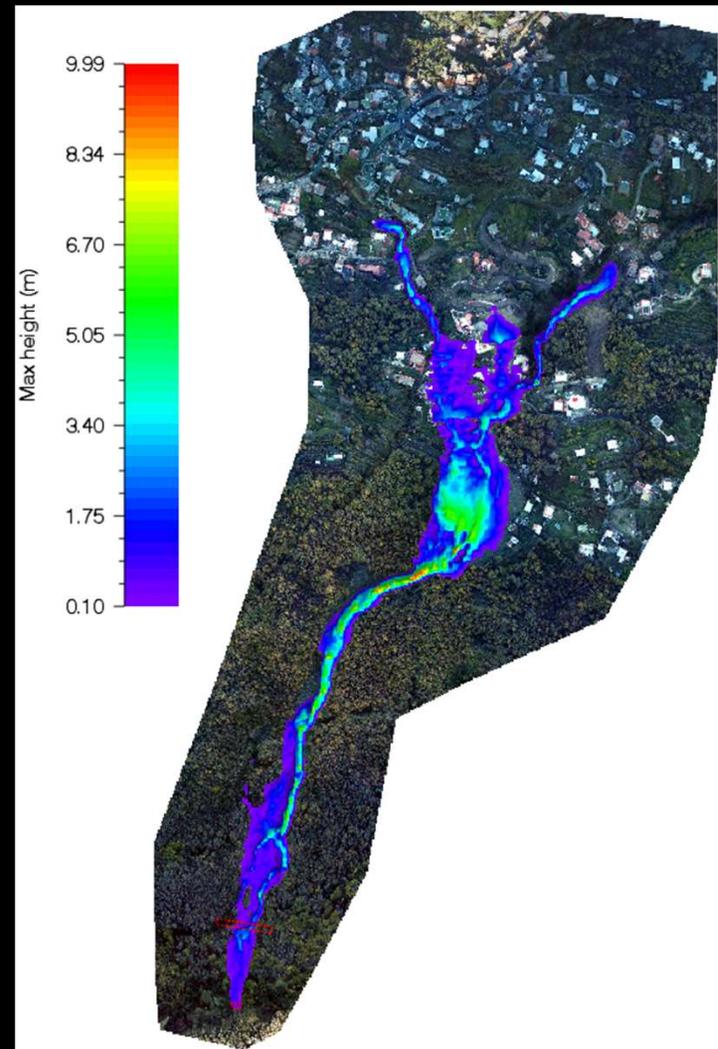
- **A1:** H=5 m, con erosione
- **A2:** H=5 m, senza erosione

# Modellazione con barriere flessibili



- **B1:** tre barriere H=5 m, con erosione
- **B2:** tre barriere H=5 m, senza erosione

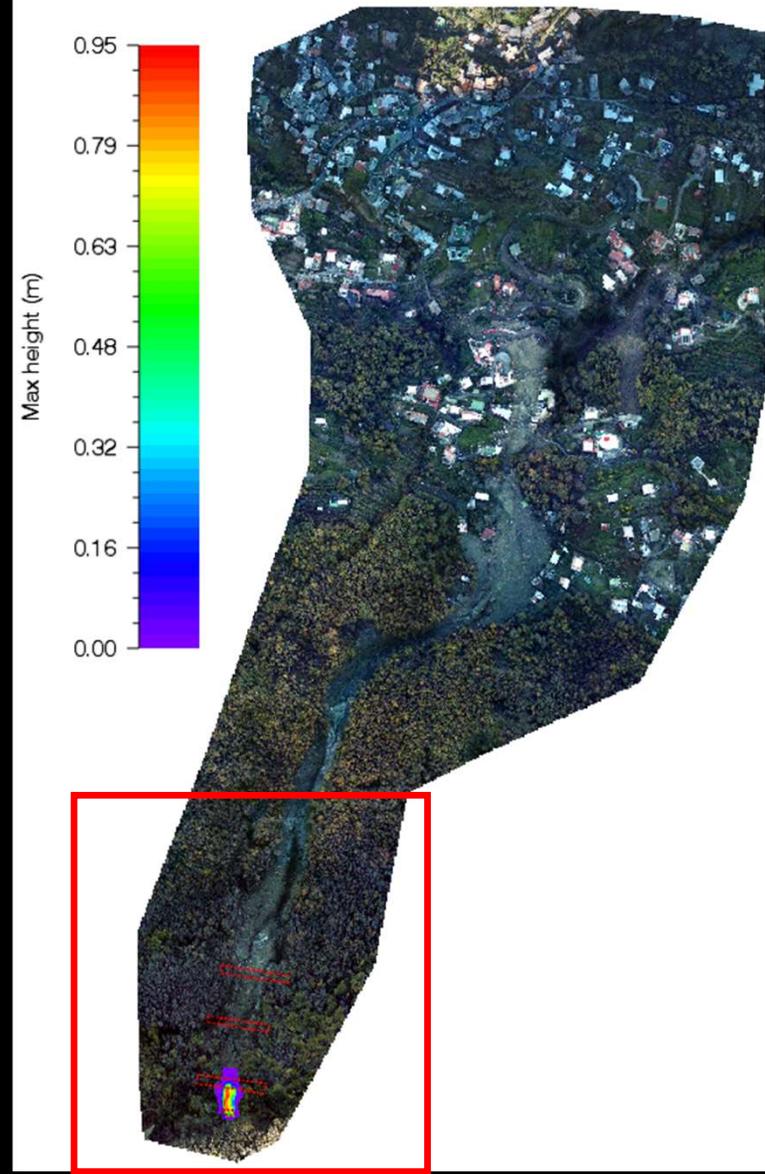
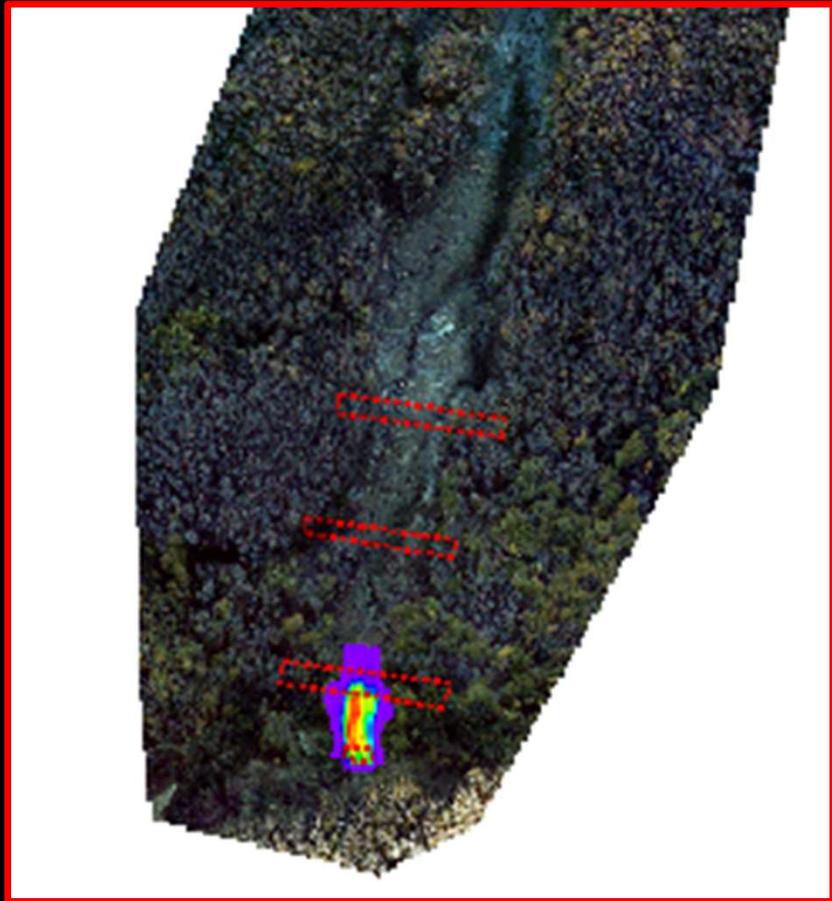
# Modellazione con barriere flessibili



- **C1:** una barriera  $H=8$ , con erosione
- **C2:** una barriera  $H=8$ , senza erosione

# Modellazione con barriere flessibili

- **D1:** tre barriere H=8, con erosione



# Modellazione con barriere rigide

## Barriere flessibili – Sintesi dei Risultati

Scenario	N° Barriere	H Barriere (m)	Erosione a valle	Volume finale (m <sup>3</sup> )	Volume di ritenuta (m <sup>3</sup> )	Velocità massima (m)	Altezza massima (m)
A <sub>1</sub>	1	5	si	55313	1386	15.69	11.5
A <sub>2</sub>	1	5	no	2053	1320	9.43	4.4
B <sub>1</sub>	3	5	si	33592	2960	13.70	9.1
B <sub>2</sub>	3	5	no	521	2118	8.05	3.0
C <sub>1</sub>	1	8	si	42074	2704	14.39	9.9
C <sub>2</sub>	1	8	no	862	2511	8.97	2.9
D <sub>1</sub>	3	8	si	66	642	8.05	0.9

## Incertezze e criticità:

### Simulazioni con DAN3D:

- Vantaggi: indicazioni preliminari per barriere con geometrie smussate
- Svantaggi: risultati sovrastimati o non realistici

### Simulazioni con RAMMS

- Barriere trasversali

Vantaggi: come DAN 3

Svantaggi: come DAN 3D

- Barriere longitudinali:

Vantaggi: a) indicazioni significative circa la capacità di deviare i flussi verso aree non urbanizzate

Svantaggi: a) non adatto a valutare direttamente l'altezza necessaria delle strutture;

b) necessità di valutare la deviazione del flusso verso aree adiacenti non protette

- Barriere flessibili:

Vantaggi: a) buon potenziale di ritenuta e vantaggi in scenari che richiedono un approccio dinamico

Svantaggi: a) Necessità di valutare correttamente materiali, resistenza strutturale e capacità di deformazione; b) accurata calibrazione dei parametri;

## Considerazioni conclusive

- Conoscenza del fenomeno e delle condizioni geologiche e di contorno;
- Definizione delle caratteristiche geomorfologiche dei versanti, delle coperture e dei depositi detritici occupanti gli alvei.
- Necessità di poter simulare il processo di erosione e presa in carico dei materiali di pendio e di alveo.
- Necessità di una accurata calibrazione al fine di ottenere output di modellazione realistici e riconducibili a possibili scenari di evento
- Definizione dei punti di innesco (aree sorgenti) delle instabilità iniziali sulla base di: dati e osservazioni di campo (discontinuità geomorfologiche naturali e antropiche, ad es. tracciati, terrazzamenti, ecc., che interrompono l'originale continuità dei materiali di pendii; gli angoli di pendio) eventualmente affiancate da verifiche di stabilità complessive o lungo sezioni significative



*Grazie per l'attenzione...*