



# SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE ED AMBIENTALE

CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN INGEGNERIA PER  
L'AMBIENTE ED IL TERRITORIO

TESI SPERIMENTALE IN GEOLOGIA APPLICATA

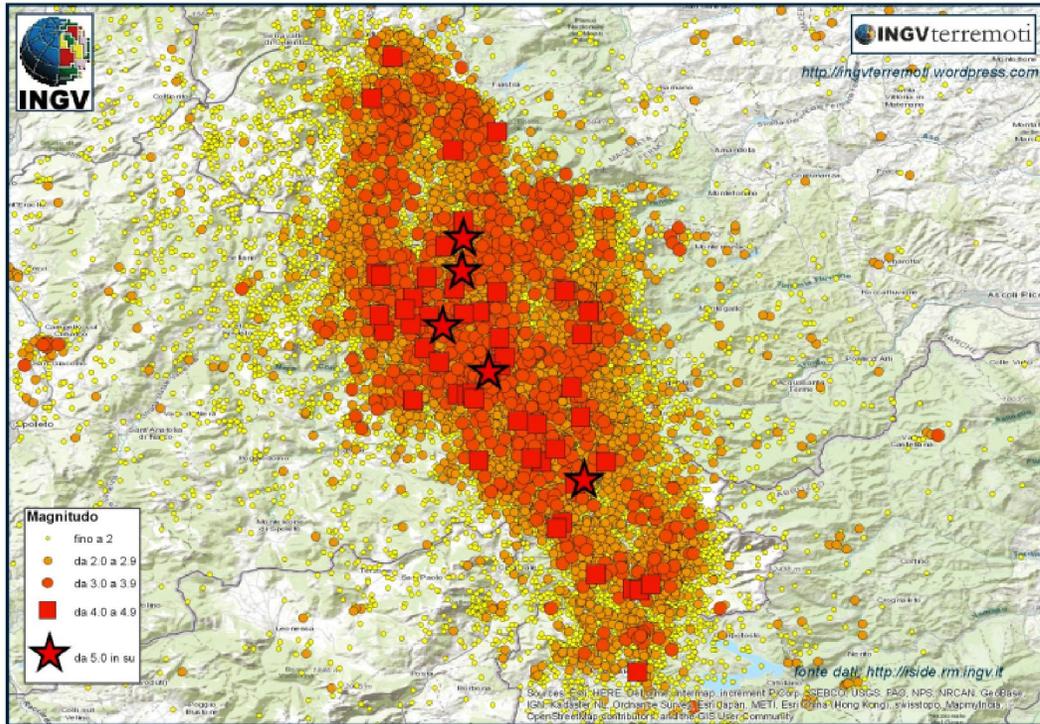
**Caduta massi: Analisi del moto, modelli previsionale ed  
applicazione del software ROTOMAP ad un caso reale**

**RELATORE: PROF. PAOLO BUDETTA**

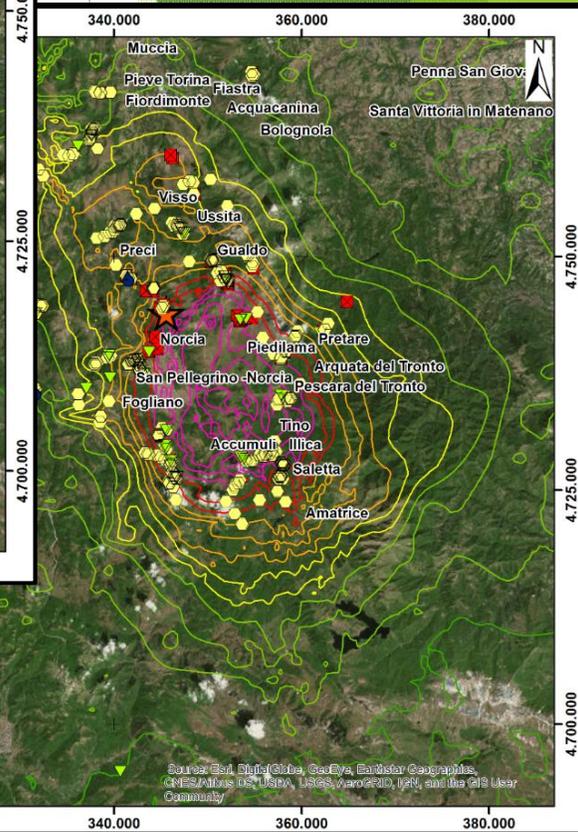
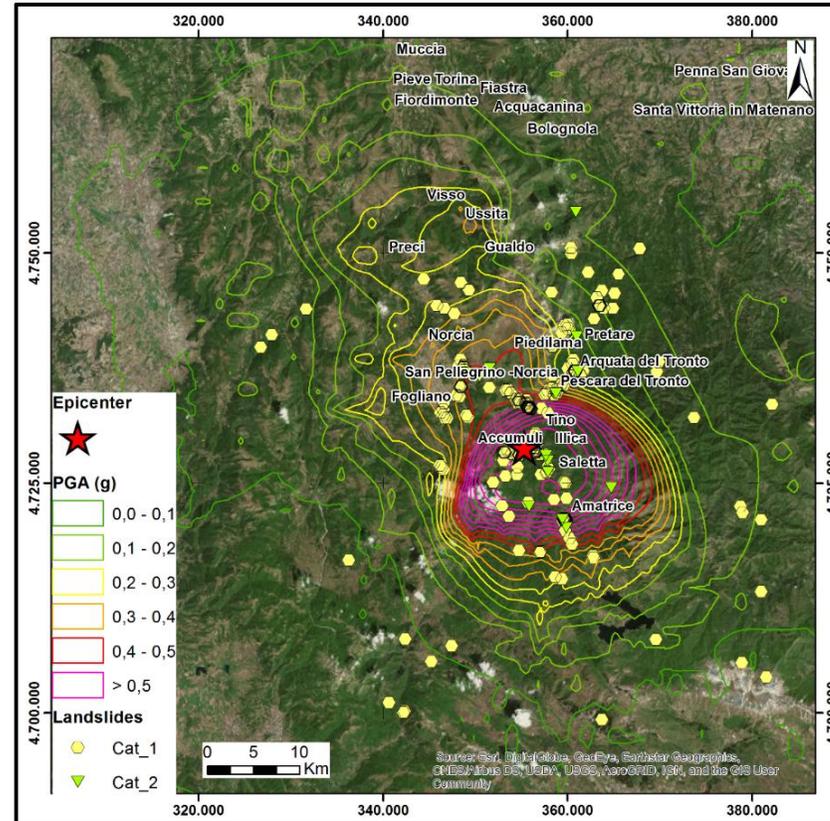
**CANDIDATO: MANUEL RENOSO 518/625**

**CORRELATORE: GIOVANNI FORTE**

# Introduzione



## Sisma del 24 Agosto 2016 (Mw 6.0)

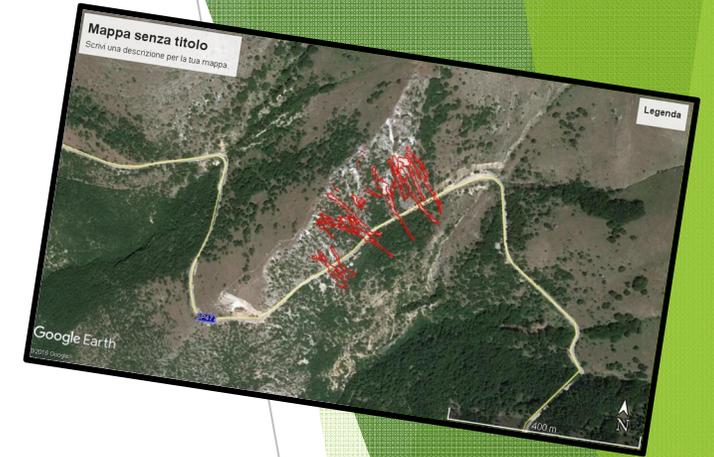


- ▶ Mw 6.0 e Mw 5.4 il 24 agosto 2016 nei pressi di Amatrice (RI) e Norcia (PG)
- ▶ Mw 5.4 e Mw 5.9 il 26 ottobre nei pressi di Castelsantangelo sul Nera (MC) e Ussita (MC)
- ▶ Mw 6.5 il 30 ottobre con epicentro a Norcia (PG)

## Sisma del 30 Ottobre 2016 (Mw 6.5)

# OBIETTIVI

- ▶ Calibrazione e previsione di modelli d'invasione da frane in roccia (software ROTOMAP)
- ▶ Studio della suscettibilità all'invasione di una delle aree interessate dalle frane sismoindotte della sequenza sismica dell'Italia centrale (2016 - 2017).



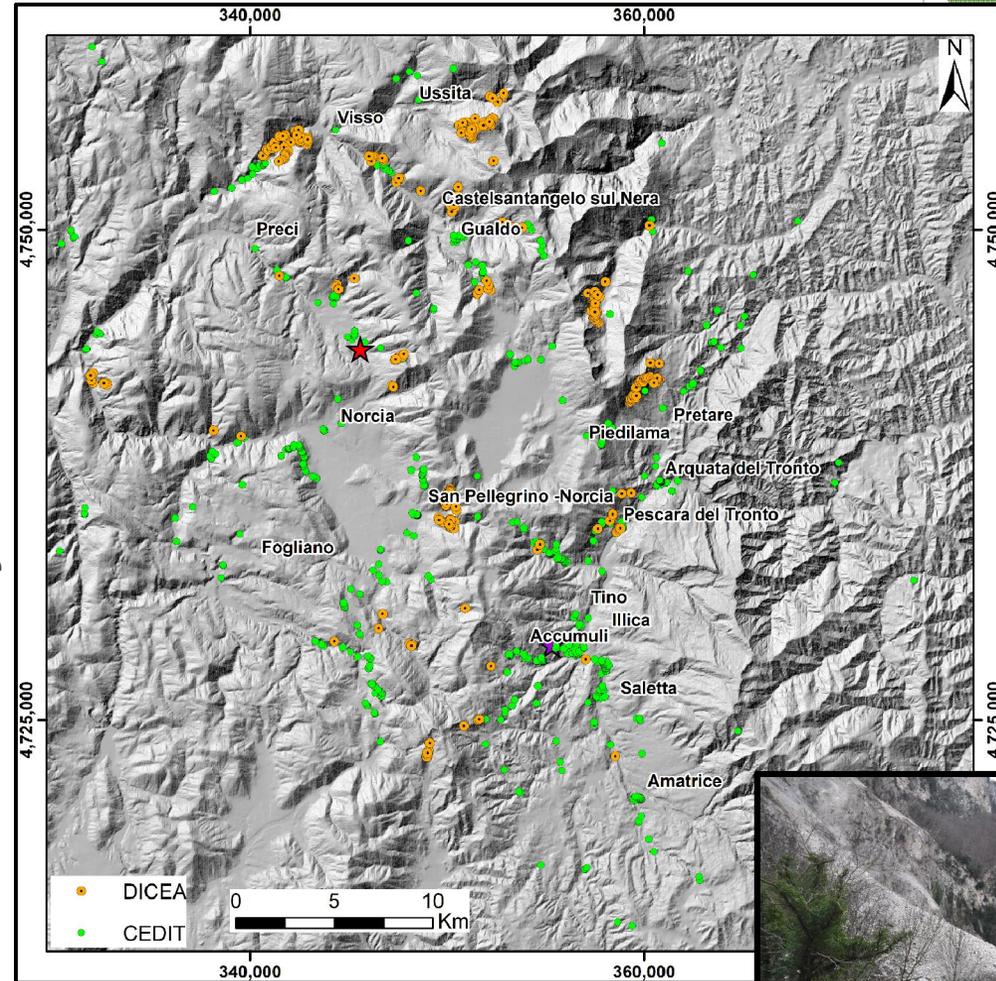
# METODOLOGIA DI LAVORO

## Conoscenze pregresse

- ▶ Rilievo geologico e geomorfologico dell'area di studio;
- ▶ Censimento dei fenomeni franosi;
- ▶ Caratterizzazione dei modelli d'innescio;
- ▶ Rilievo da drone di alcune aree in frana

## Questo studio

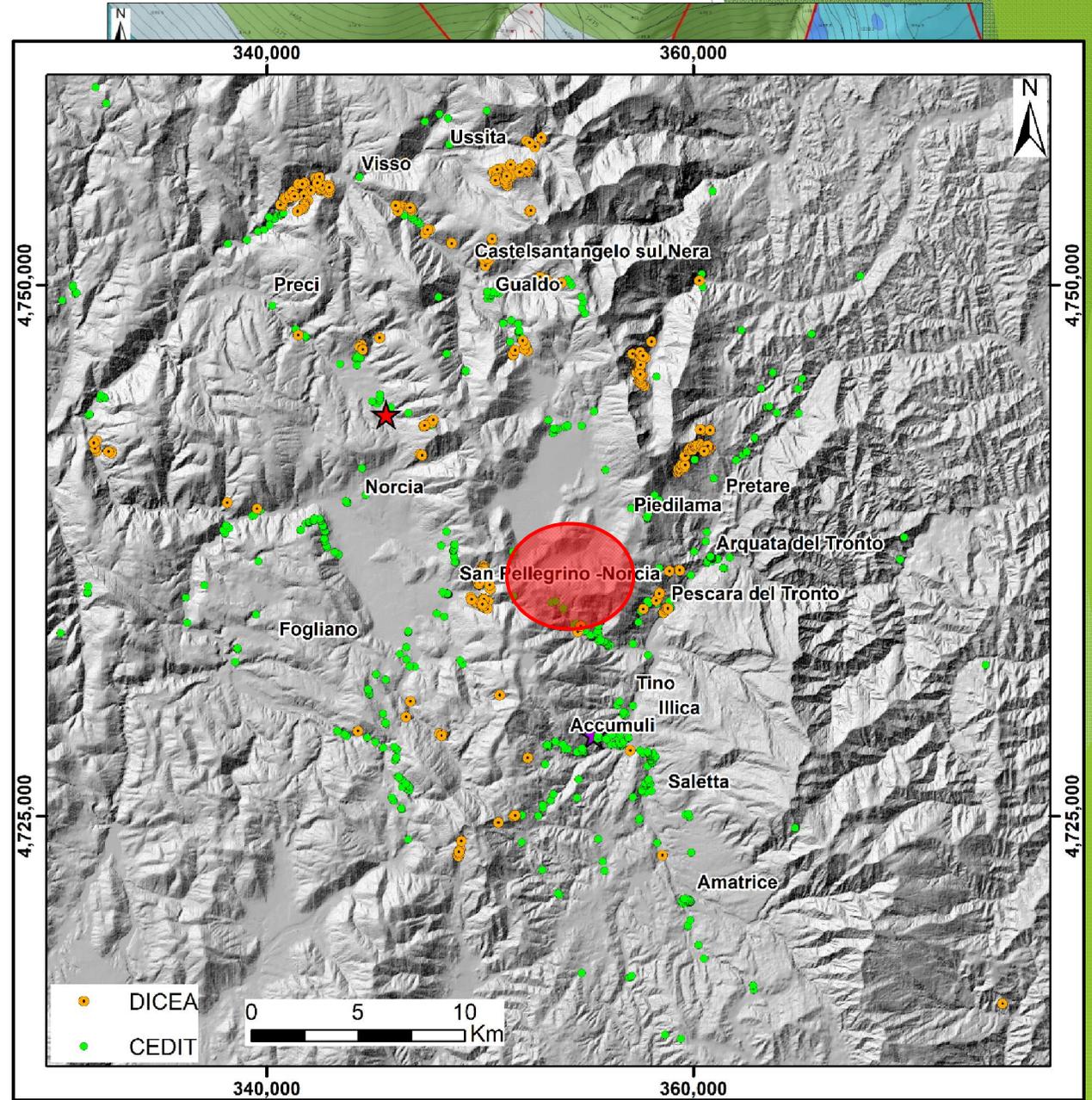
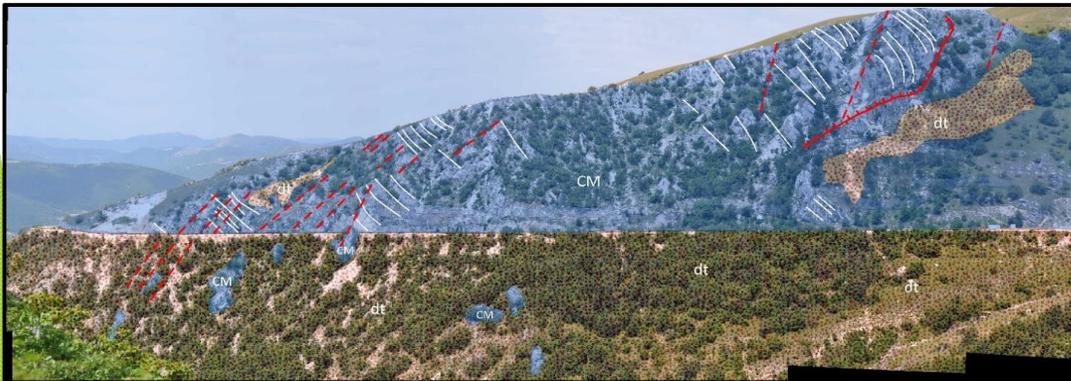
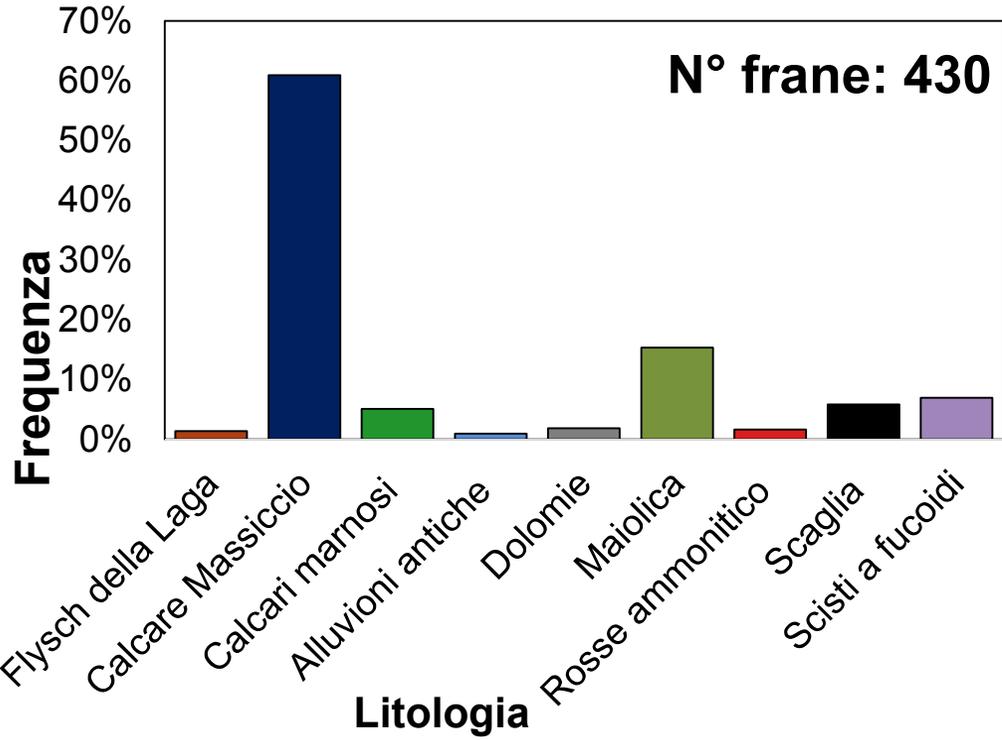
- ▶ Creazione di un modello tridimensionale del versante,
- ▶ Calibrazione del modello attraverso back-analysis;
- ▶ Definizione di aree di potenziale distacco e previsione
- ▶ Elaborazione di una mappa della suscettibilità all'invasione.



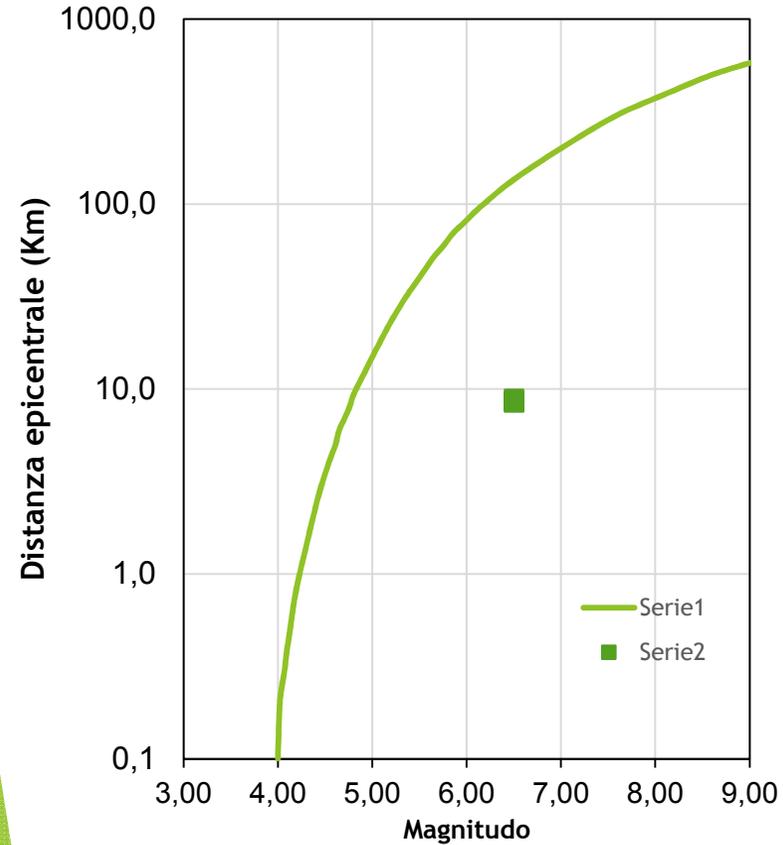
Totale Frane:

- CEDIT  $\approx$  800
- DICEA  $\approx$  430

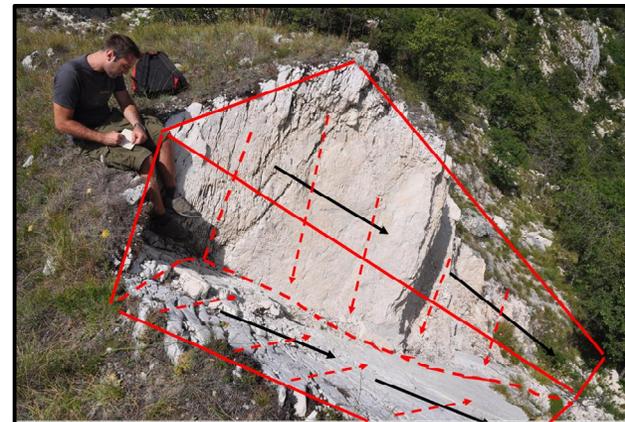
# CASO DI STUDIO: San Pellegrino di Norcia



# CASO DI STUDIO: San Pellegrino di Norcia



n°	contesto morfologico	distanza epicentrale (km)	run out (m)	Qt.innesco	Qt. Arrivo	Angolo di Reach	Area (m <sup>2</sup> )	PGA (g)
68	cresta	8.9	136	1354	1251	37	975	0.63
75	cresta	8.7	222	1399	1271	30	2175	0.63
82	cresta	8.5	136	1470	1367	37	694	0.63
88	cresta	8.6	141	1417	1321	34	1700	0.63
89	cresta	8.6	153	1377	1298	27	1041	0.63
90	cresta	8.6	180	1385	1283	30	1954	0.63



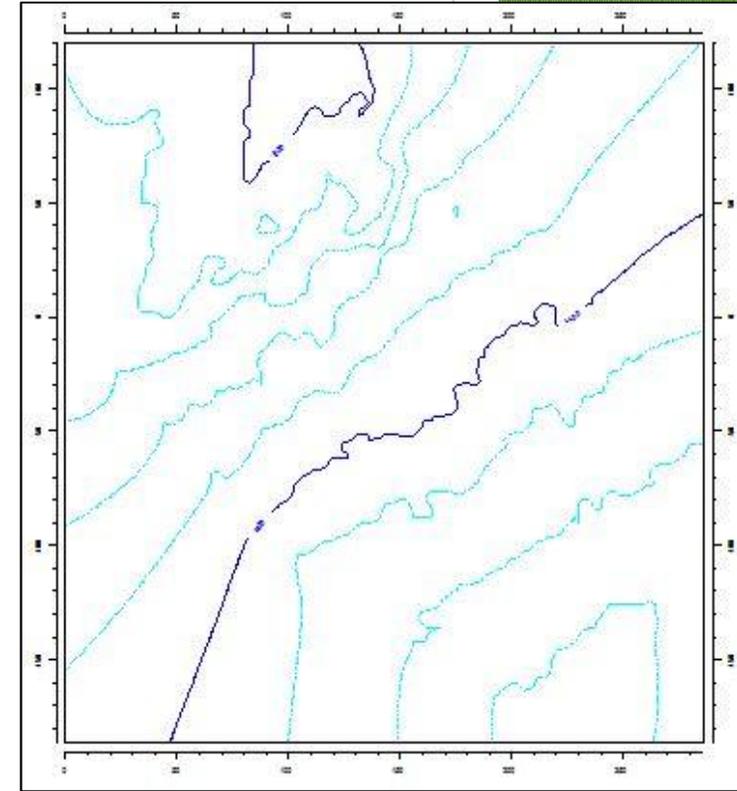
- ▶ Per ogni frana è stata calcolata la quota di innesco, la quota di arresto dei massi, l'angolo di reach, l'area e la PGA

# CASO DI STUDIO: San Pellegrino di Norcia

CREAZIONE DI UN MODELLO TRIDIMENSIONALE DEL VERSANTE



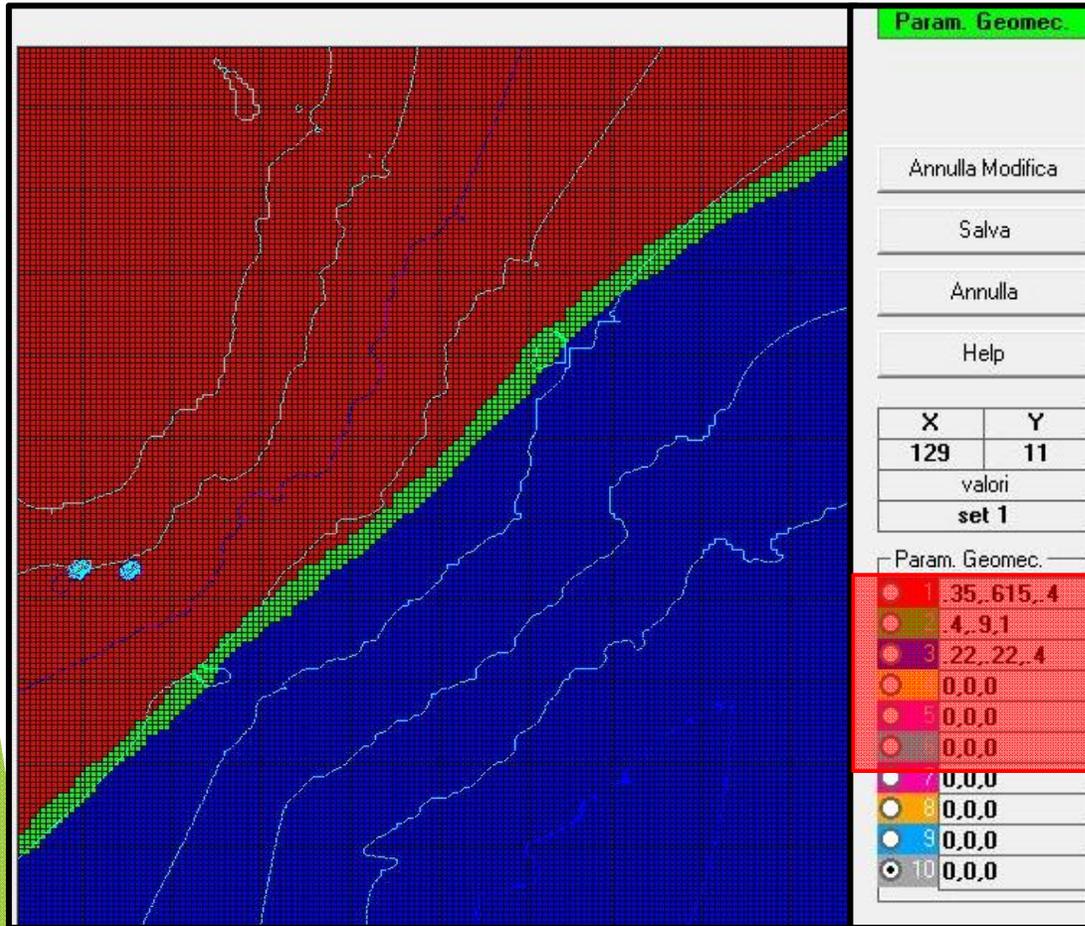
*Rilievo da drone dell'area di studio*



*Ricostruzione della planimetria dell'area*

# ROTOMAP: Taratura del modello

## DISCRETIZZAZIONE GEOMECCANICA DELL'AREA



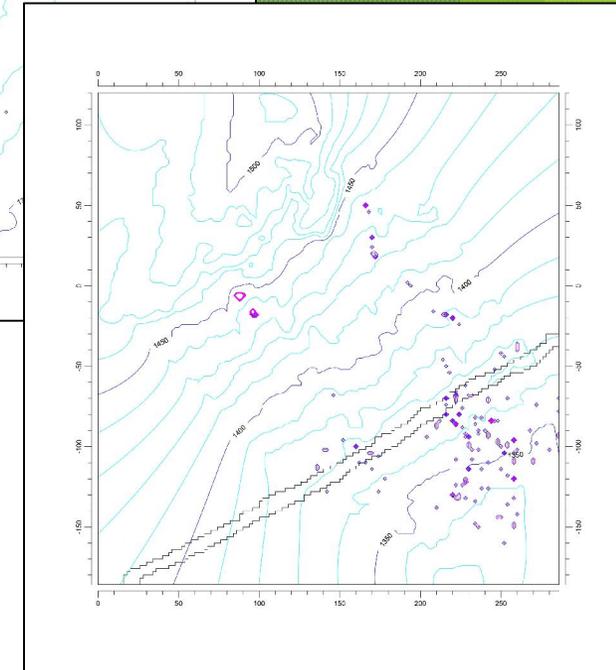
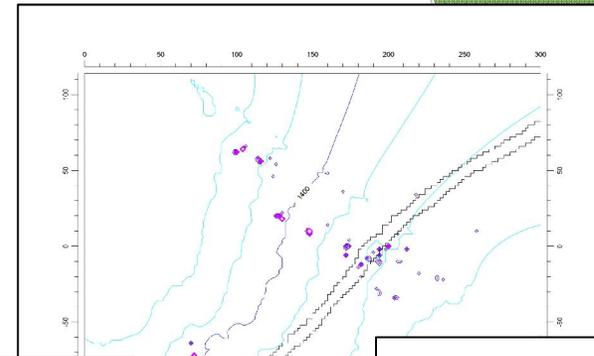
- ▶ Colore rosso: Roccia calcarea ricoperta di vegetazione;
- ▶ Colore verde: Strada asfaltata;
- ▶ Colore blu: Deposito detritico;

I parametri geomeccanici da attribuire a ciascun elemento identificato, richiesti dal software ROTOMAP per le successive elaborazioni, sono:

- ▶ Coefficiente di restituzione energetica normale “ $K_n$ ”
- ▶ Coefficiente di restituzione energetica tangenziale “ $K_t$ ”
- ▶ Coefficiente di attrito di roto-scivolamento “ $m$ ”

# ROTOMAP: Taratura del modello

Area 1 - Frequenza dei punti di arresto

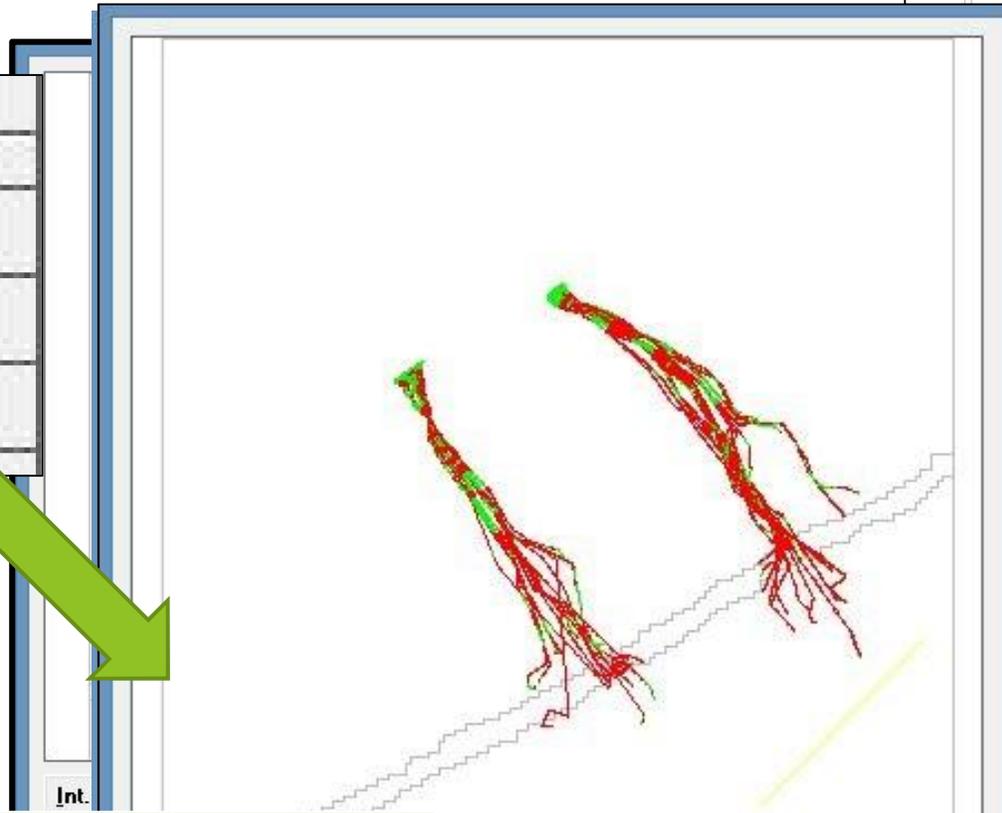


Area 2 - Frequenza dei punti di arresto

Nicchie 5 e 7

## TARATURA DEL SOFTWARE - SIMULAZIONI DI PROVA

Param. Geomec.		
<input checked="" type="radio"/>	1	.29, .595, .6
<input type="radio"/>	2	.4, .9, 1
<input type="radio"/>	3	.25, .3, .7
<input type="radio"/>	4	
<input type="radio"/>	5	
<input type="radio"/>	6	
<input type="radio"/>	7	
<input type="radio"/>	8	



Nicchie 1,2,3,4,6 e 8

Tipo materiale	$K_n$	$K_t$	m
Calcari	0.35	0.615	0.6
Asfalto	0.4	0.9	-
Detriti	0.25	0.3	0.7

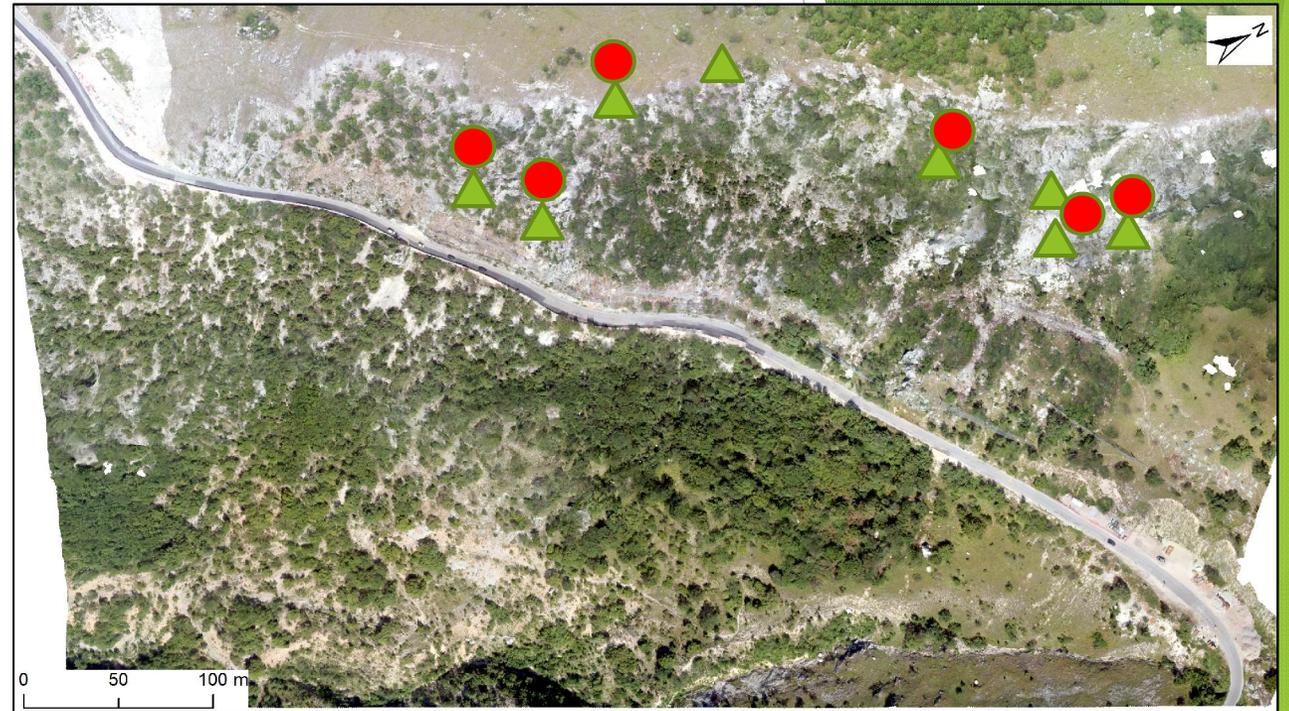
Tipo materiale	$K_n$	$K_t$	m
Calcari	0.3	0.595	0.6
Asfalto	0.4	0.9	-
Detriti	0.25	0.3	0.7

ab. 120 >>

# ROTOMAP: modello previsionale

## SIMULAZIONI DEFINITIVE

PARAMETRI	VALORI	NOTE
Angolo limite volo (°) Angolo limite urto (°) Angolo limite rimbalzo (°)	9 9 15	In funzione delle nicchie e delle masse dei blocchi
N° velocità di partenza	5	-
Velocità (m/s)	1 - 5	
N° deviazioni angolari di partenza	5	Si ottiene una verifica di scendimento ogni 9°
Deviazione angolare massima (°)	45	



### Nicchie 1, 2, 3, 4, 6 e 8:

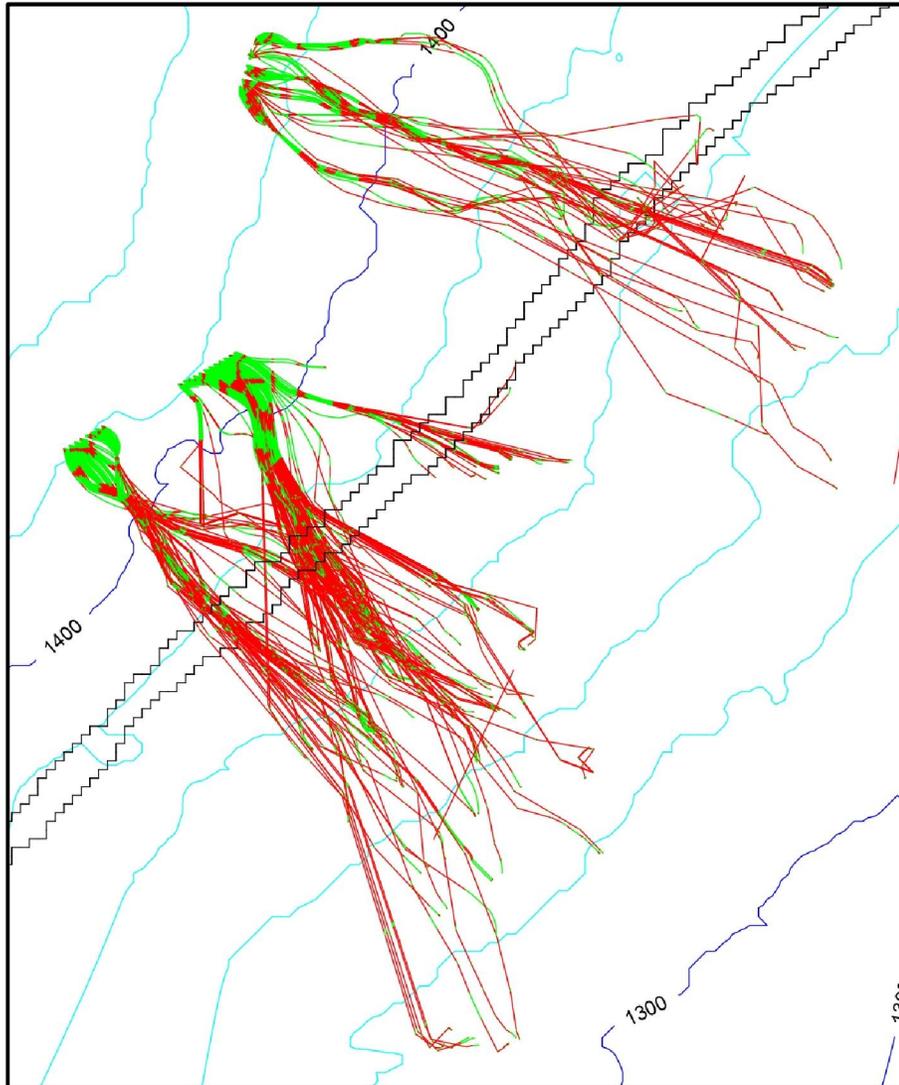
Tipo materiale	$K_n$	$K_t$	m
Calcari	0.35	0.615	0.6
Asfalto	0.4	0.9	-
Detriti	0.25	0.3	0.7

### Nicchie 5 e 7:

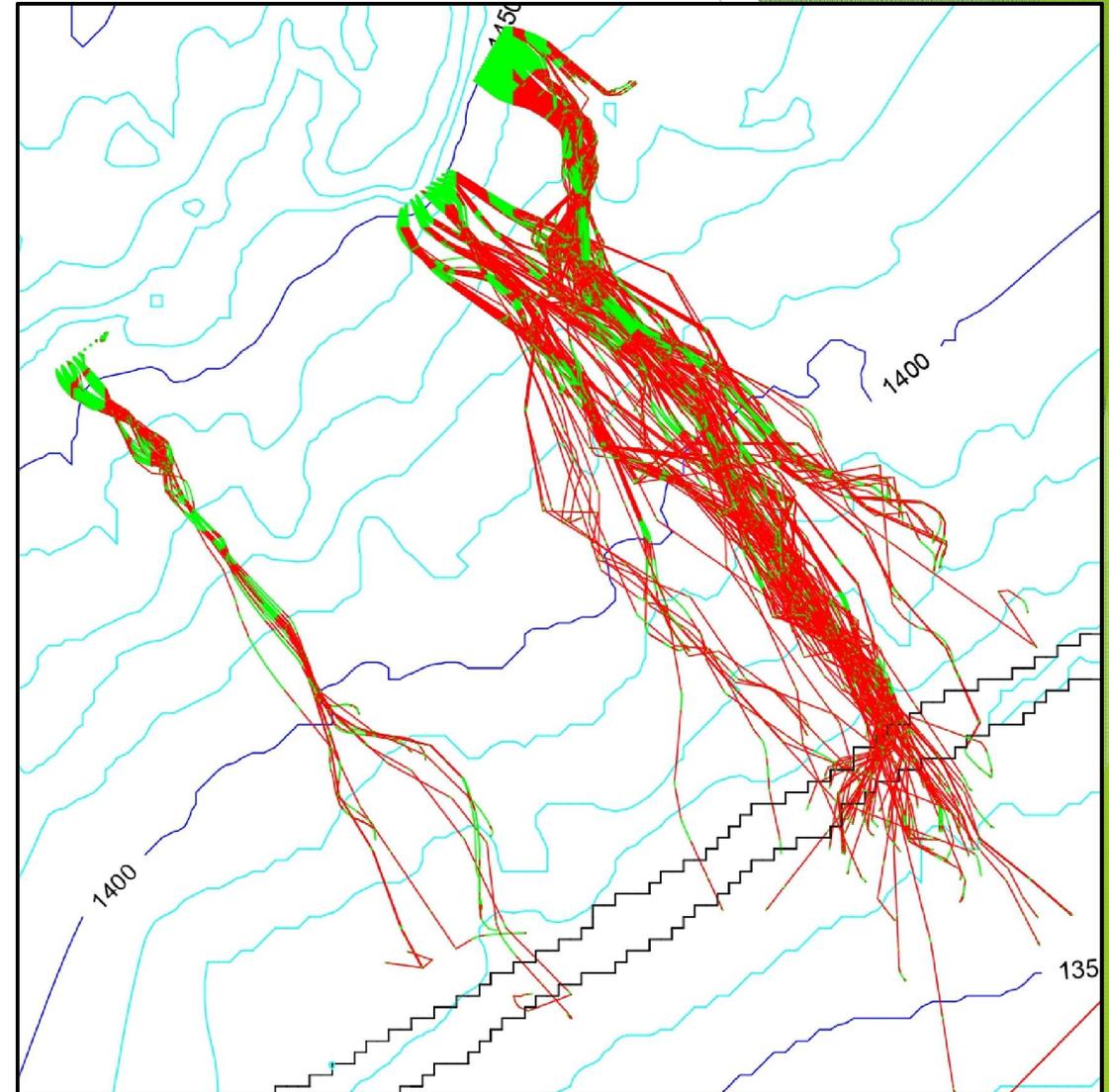
Tipo materiale	$K_n$	$K_t$	m
Calcari	0.3	0.595	0.56
Asfalto	0.4	0.9	-
Detriti	0.25	0.3	0.7

# ROTOMAP: modello previsionale

SIMULAZIONI DEFINITIVE - TRACCE DI PROPAGAZIONE



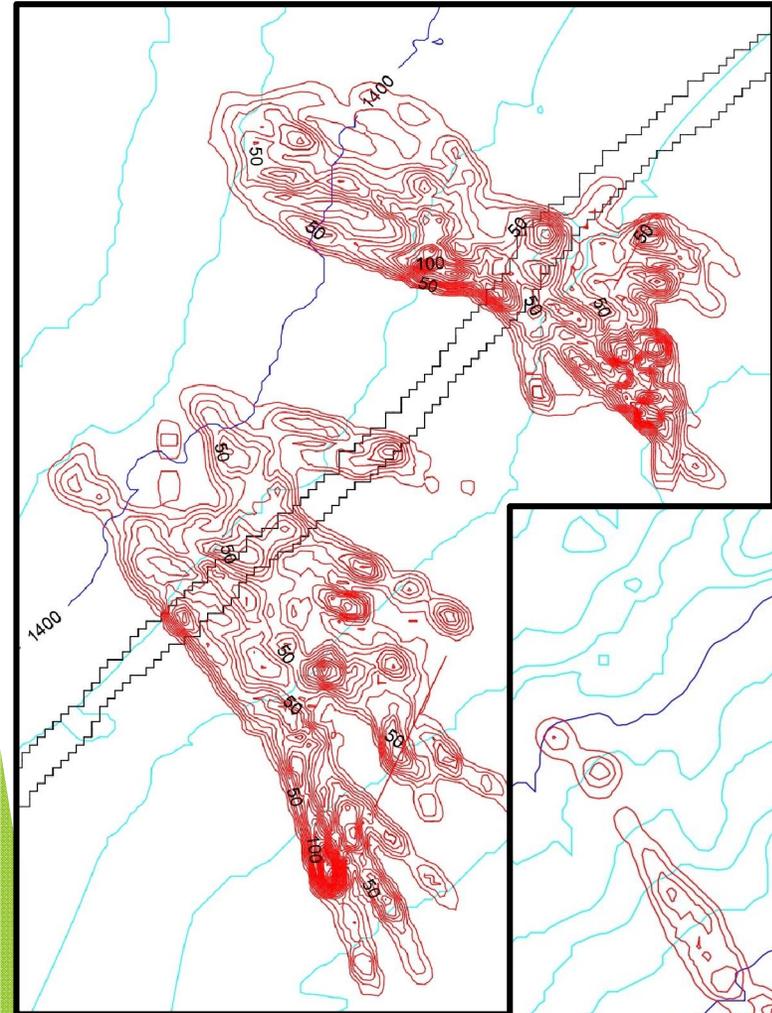
Area 1



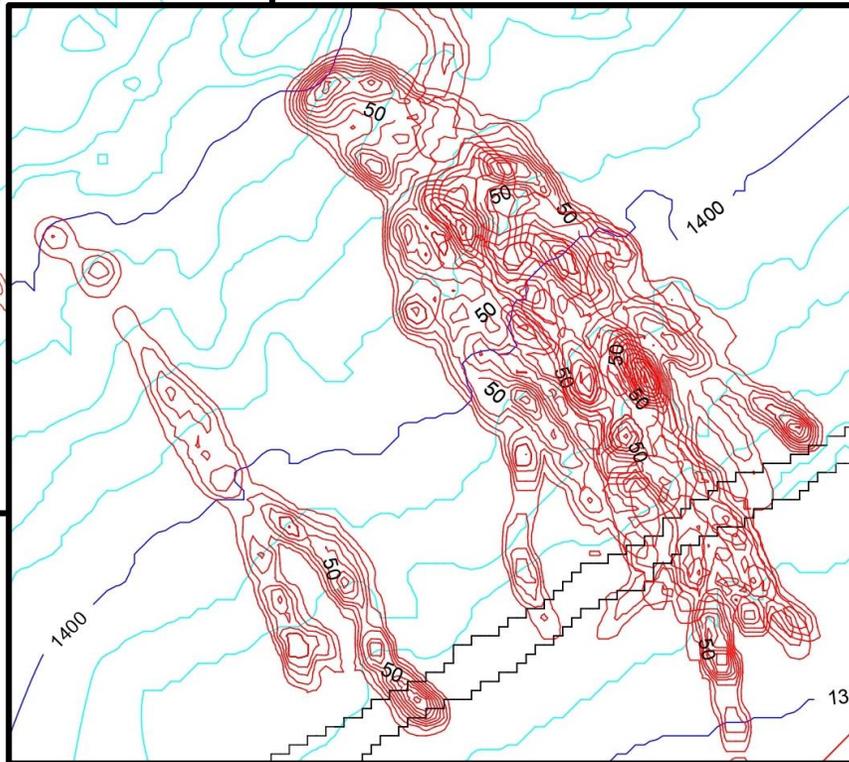
Area 2

# ROTOMAP: modello previsionale

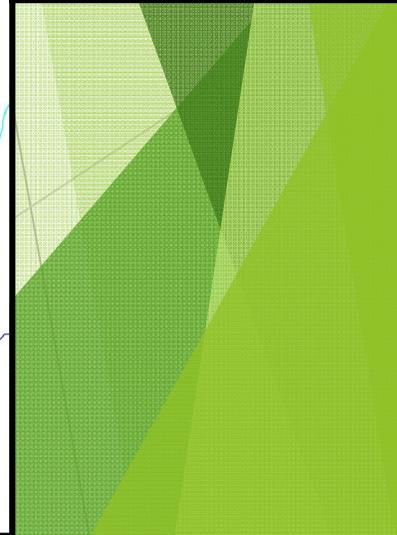
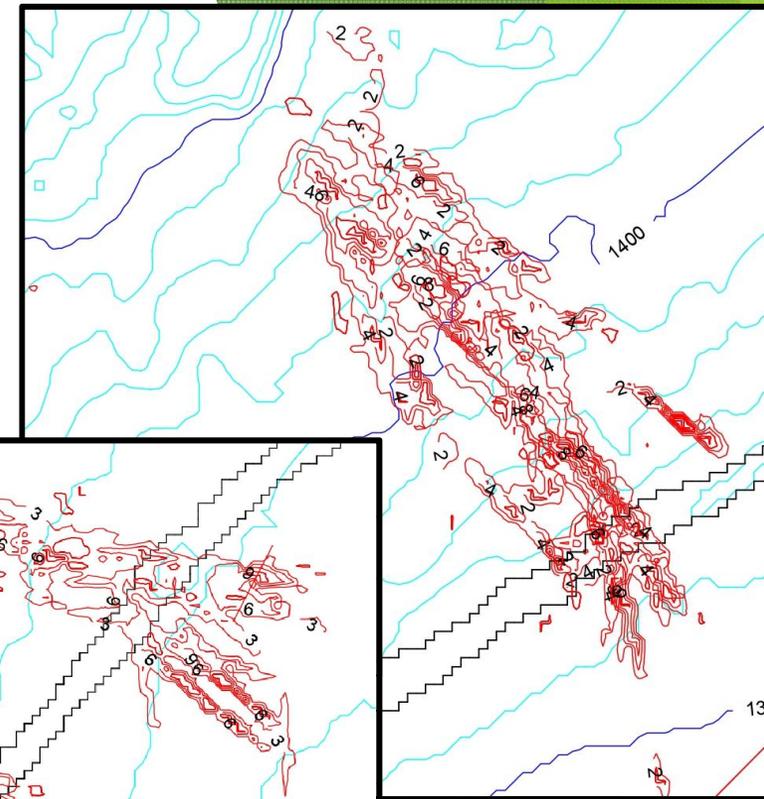
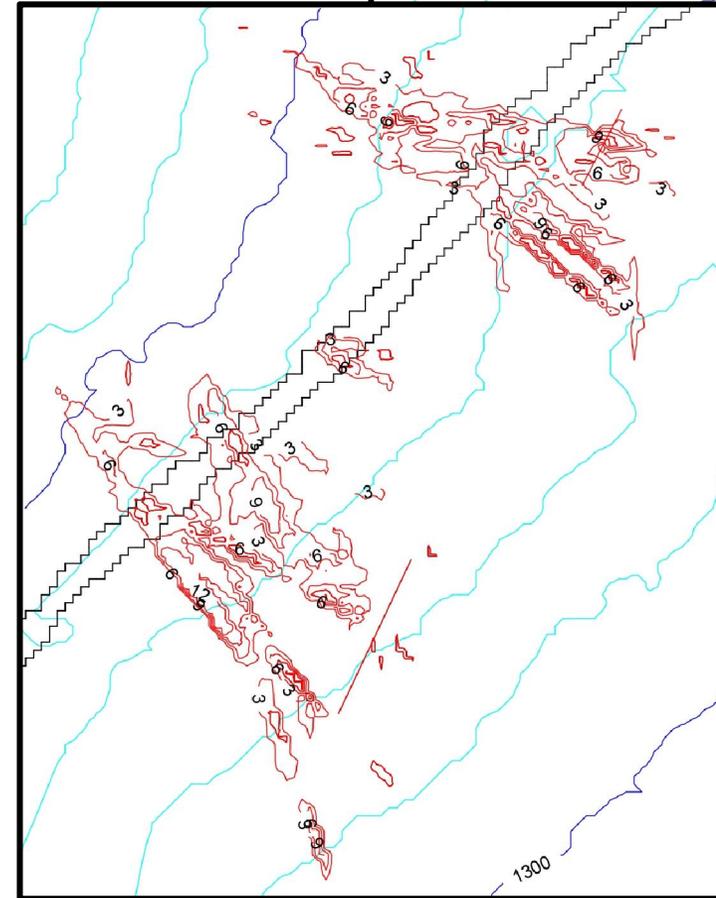
ENERGIA SPECIFICA MEDIA J/KG  
ALTEZZE MASSIME (m)



AREA 1



AREA 2



# MAPPA DELLA SUSCETTIBILITA' ALL'INVASIONE

Metodo euristico per la stima dell'invasione

Rating:

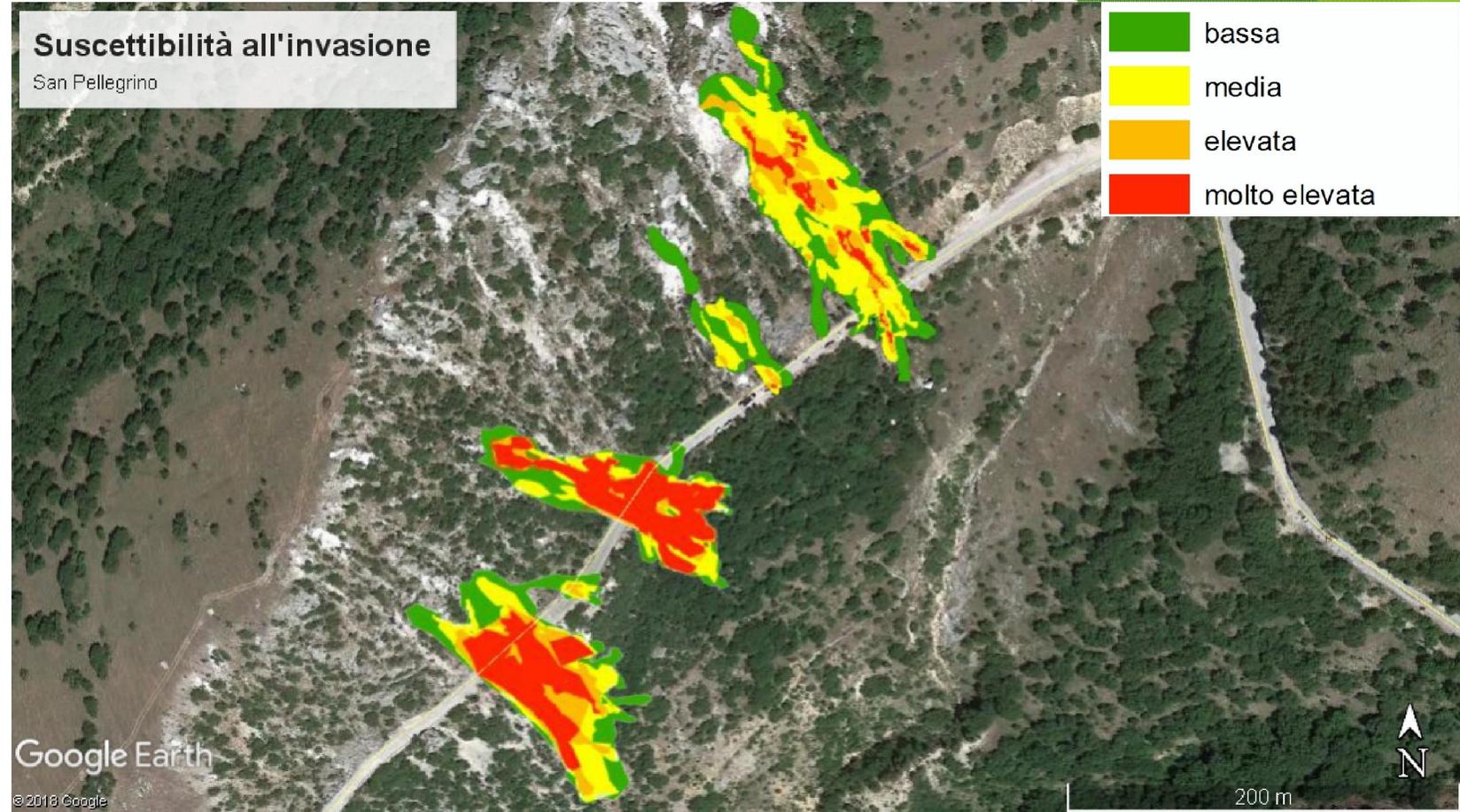
Altezza di rimbalzo (m p.c.)

- ▶  $H > 4$  m: 1
- ▶  $H > 6$  m: 2
- ▶  $H > 8$  m: 3

Energia specifica media

- ▶  $E > 25$  J/Kg: 1
- ▶  $E > 50$  J/Kg: 2
- ▶  $E > 75$  J/Kg: 3
- ▶  $E > 100$  J/Kg: 4

- ▶ Area di rimbalzo blocchi: 1





# CONCLUSIONI

- ▶ La back-analysis ha fornito i valori dei coeff di restituzione
- ▶ Le previsioni hanno dimostrato che le traiettorie- rimbalzo -scivolamento sono dovute all'irregolarità del versante e dalla risoluzione del DEM
- ▶ Le altezze di volo delle traiettorie aeree dei rimbalzi, calcolate normalmente rispetto al pendio, sono comprese nell'intervallo 0-15 m, con una maggiore frequenza per le traiettorie più basse, tra 0 e 5 m.
- ▶ I dati ricavabili dalle simulazioni tramite l'applicativo ROTOMAP sono stati elaborati per la creazione di una mappa della suscettibilità residua all'invasione;
- ▶ Le sezioni critiche forniscono i dati utili alla progettazione di opere di difesa