



Autorità di Bacino  
Distrettuale dell'Appennino  
Meridionale



GIORNO  
**3**

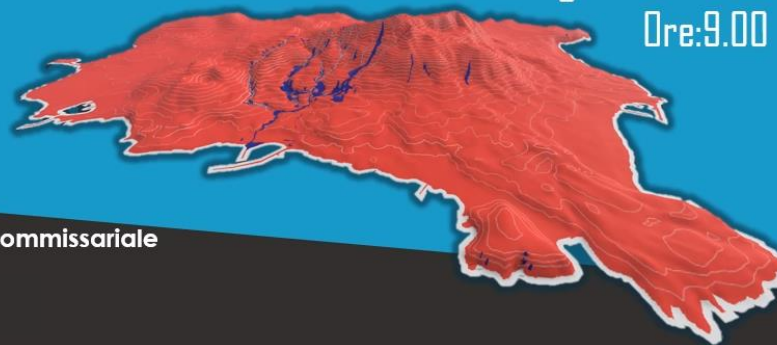
## RISULTATI DELLE MODELLAZIONI PRELIMINARI DELLE FRANE DA CROLLO, DELLE VALANGHE E COLATE DETRITICHE

17 gennaio 2025

Ore:9.00

In memoria del Professore  
**PASQUALE VERSACE**

Piazza antica Reggia 18 - ISCHIA – Sede struttura Commissariale



# Risultati delle modellazioni preliminari delle frane da crollo

*Domenico Calcaterra & Luigi Guerriero*



# Struttura del seminario – 2ª parte

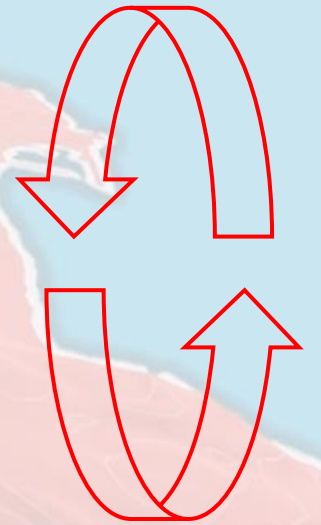
◆ **Definizioni: suscettibilità da frana**

◆ **Metodi per la valutazione della suscettibilità da frana**

◆ **Valutazione della suscettibilità nell'area di Casamicciola**

◆ **Limiti dell'approccio e interpretazione dei risultati**

◆ **Prospettive di sviluppo**



# Definizioni: suscettibilità e pericolosità da frana

**Suscettibilità: probabilità che in una determinata area si verifichi un evento naturale potenzialmente distruttivo. In questo caso una frana da crollo di roccia.**

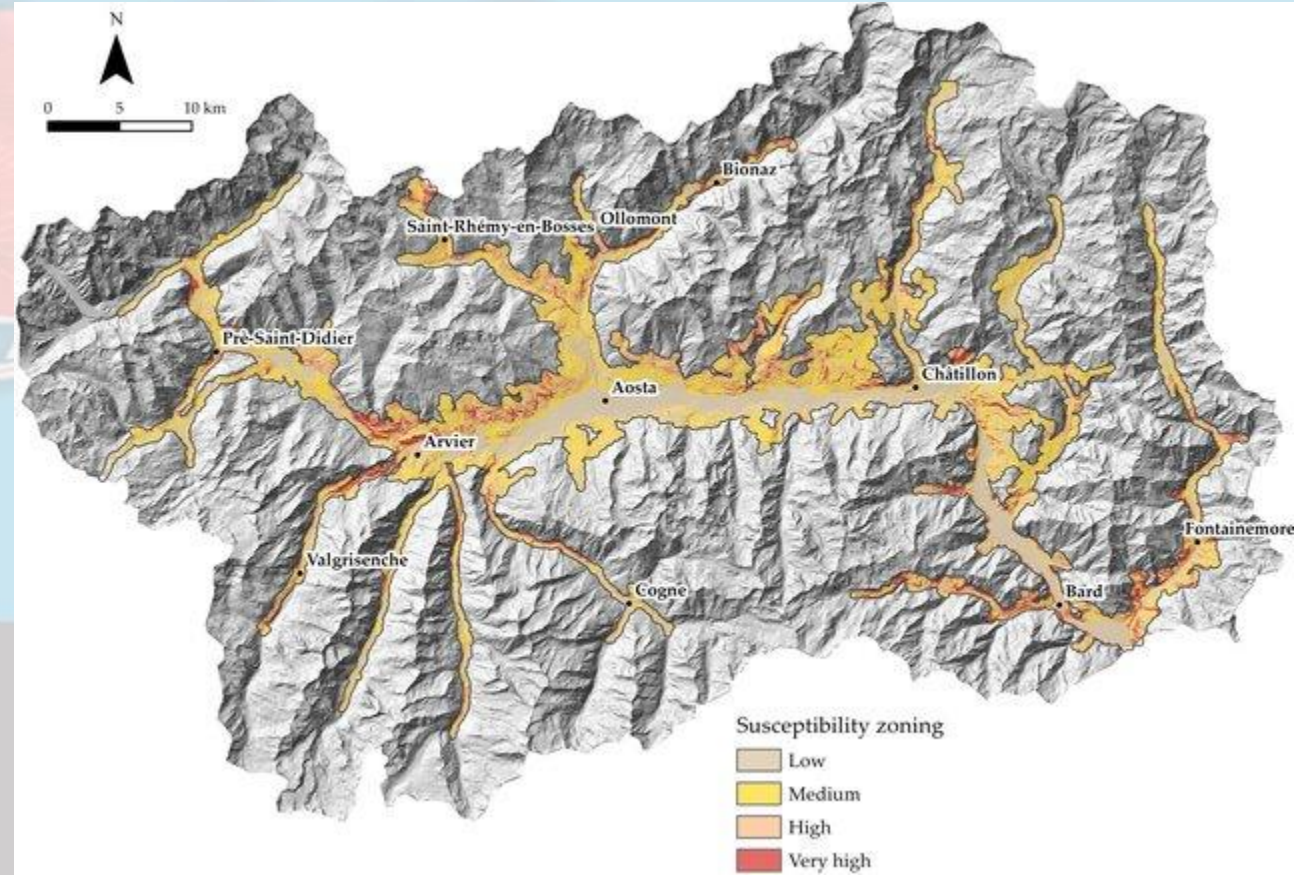
**Cignetti et al., 2024**

**E' una misura del grado in cui un territorio potrà essere interessato da un evento, ossia una stima di "dove" quel tipo di eventi potranno accadere.**

**La suscettibilità non considera la ricorrenza temporale, né la dimensione spaziale del fenomeno (intensità).**

**In termini matematici, la suscettibilità è espressa come la probabilità d'occorrenza spaziale del fenomeno, dato un insieme di condizioni territoriali e ambientali (fattori predisponenti).**

**Si esprime sotto forma di mappe di suscettibilità.**

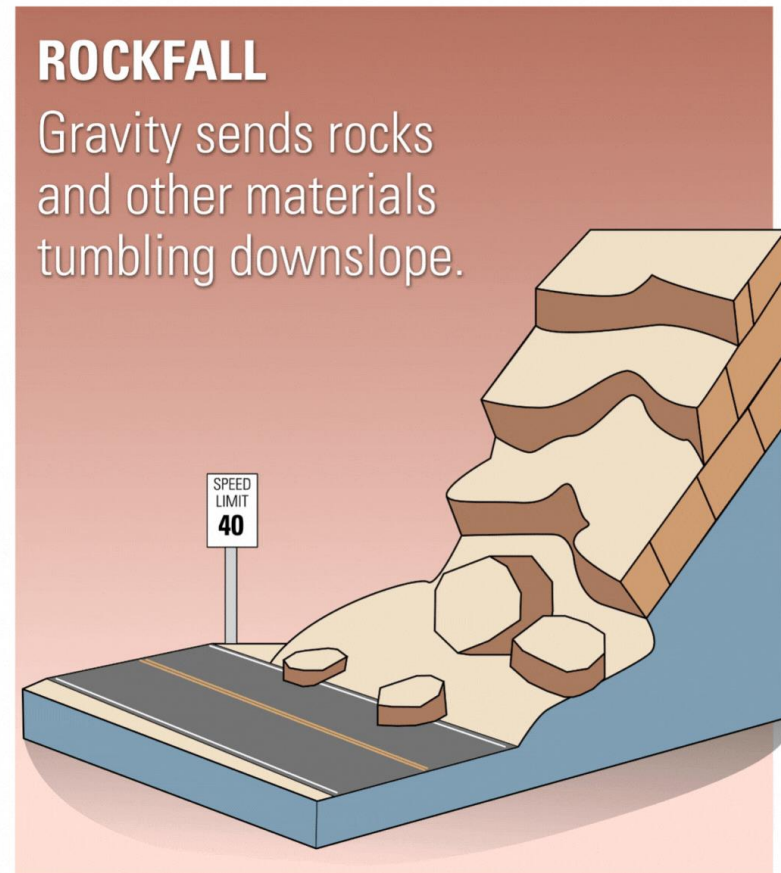


# Metodi per la valutazione della suscettibilità da frana

**Evoluzione del fenomeno: distacco del blocco, propagazione lungo il versante e arresto alla base del versante.**



- 1) La valutazione della suscettibilità deve comprendere l'intera evoluzione del fenomeno, fornendo scenari riferiti al distacco, al transito e all'invasione.**
- 2) In presenza di foresta, è necessario considerare l'effetto di smorzamento del moto in caso di impatto con gli alberi presenti lungo il versante.**
- 3) In presenza di opere di difesa, come barriere paramassi, è necessario considerare di smorzamento del moto in caso di interazione.**
- 4) Gli scenari prodotti possono essere restituiti in set mappe di suscettibilità al distacco, al transito e all'invasione, o in un singolo elaborato di sintesi.**

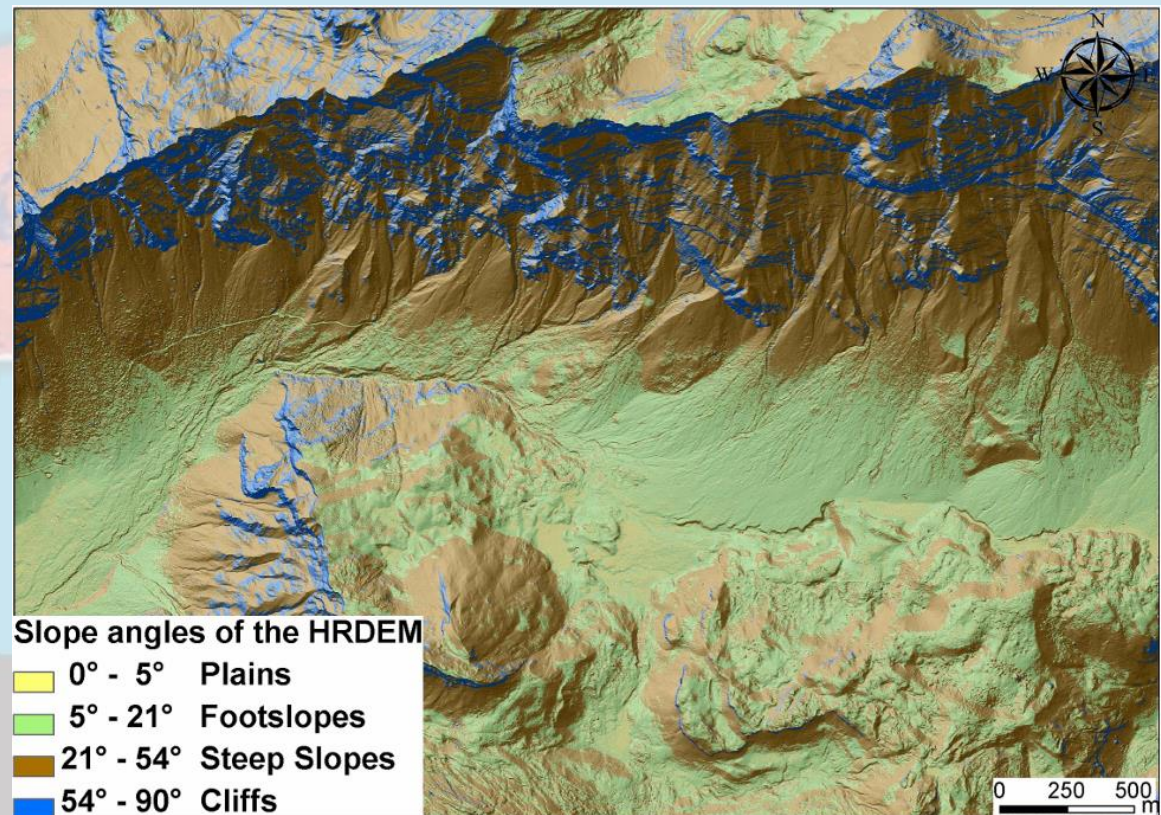


# Metodi per la valutazione della suscettibilità da frana

## Suscettibilità al distacco del blocco: metodi morfometrici.



- 1) Si basano sull'assunto che a specifiche combinazioni di parametri morfometrici come acclività ed esposizione corrispondano condizioni potenziali di distacco di blocchi.
- 2) Versioni semplificate del metodo sono spesso basate sulla sola acclività, trattata mediante approcci di *thresholding*.
- 3) Generalmente si utilizzano nell'ambito di studi preliminari dalla scala di versante a quella regionale.
- 4) La rappresentatività dei risultati è spesso limitata ma può essere incrementata sulla base di osservazioni di sito.



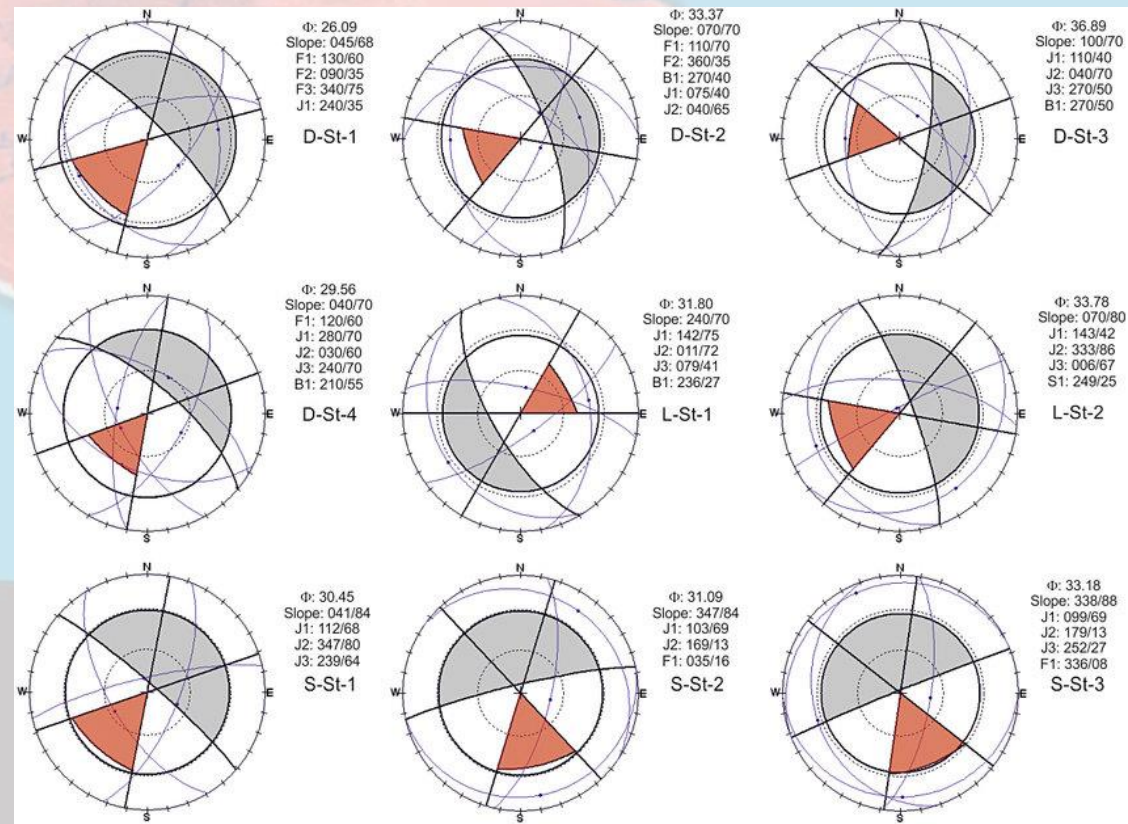
# Metodi per la valutazione della suscettibilità da frana

## Suscettibilità al distacco del blocco: metodi basati su dati geomeccanici (es. Test di Markland).



- 1) Si basano su dati inerenti alla giacitura e alle condizioni geometriche, meccaniche e idrauliche delle discontinuità, e alla esposizione dei versanti.
- 2) Generalmente si utilizzano per studi di dettaglio alla scala dell'affioramento o di versante.
- 3) Versioni automatizzate utilizzano set multipli di dati e modelli digitali ad alta risoluzione al fine di utilizzare il metodo dalla scala di versante a quella del rilievo.
- 4) La rappresentatività dei risultati è generalmente molto elevata.

Pappalardo et al., 2014



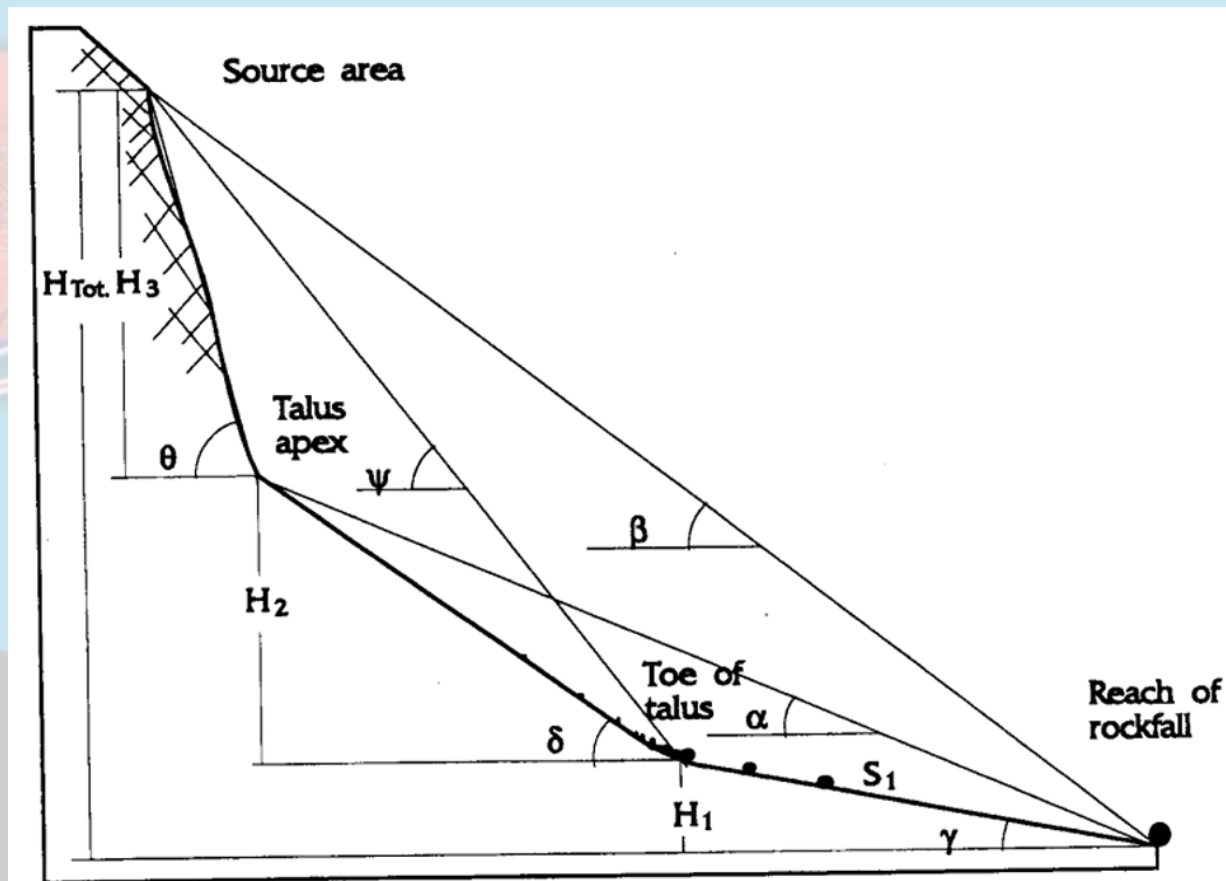
# Metodi per la valutazione della suscettibilità da frana

## Suscettibilità al transito e all'invasione: metodi empirici.



Doomas, 1994

- 1) I modelli empirici sono basati su relazioni tra parametri topografici relativi alla pendenza del versante lungo cui si sviluppa il fenomeno e alla lunghezza della zona di propagazione.
- 2) L'applicazione di questi metodi permette a partire da un singolo valore angolare calibrato di stimare la distanza di propagazione per fenomeni con caratteristiche specifiche.
- 3) La calibrazione di queste relazioni necessita di un dataset significativamente ricco.
- 4) Generalmente questi metodi si utilizzano per studi dalla scala di versante alla scala regionale.



# Metodi per la valutazione della suscettibilità da frana

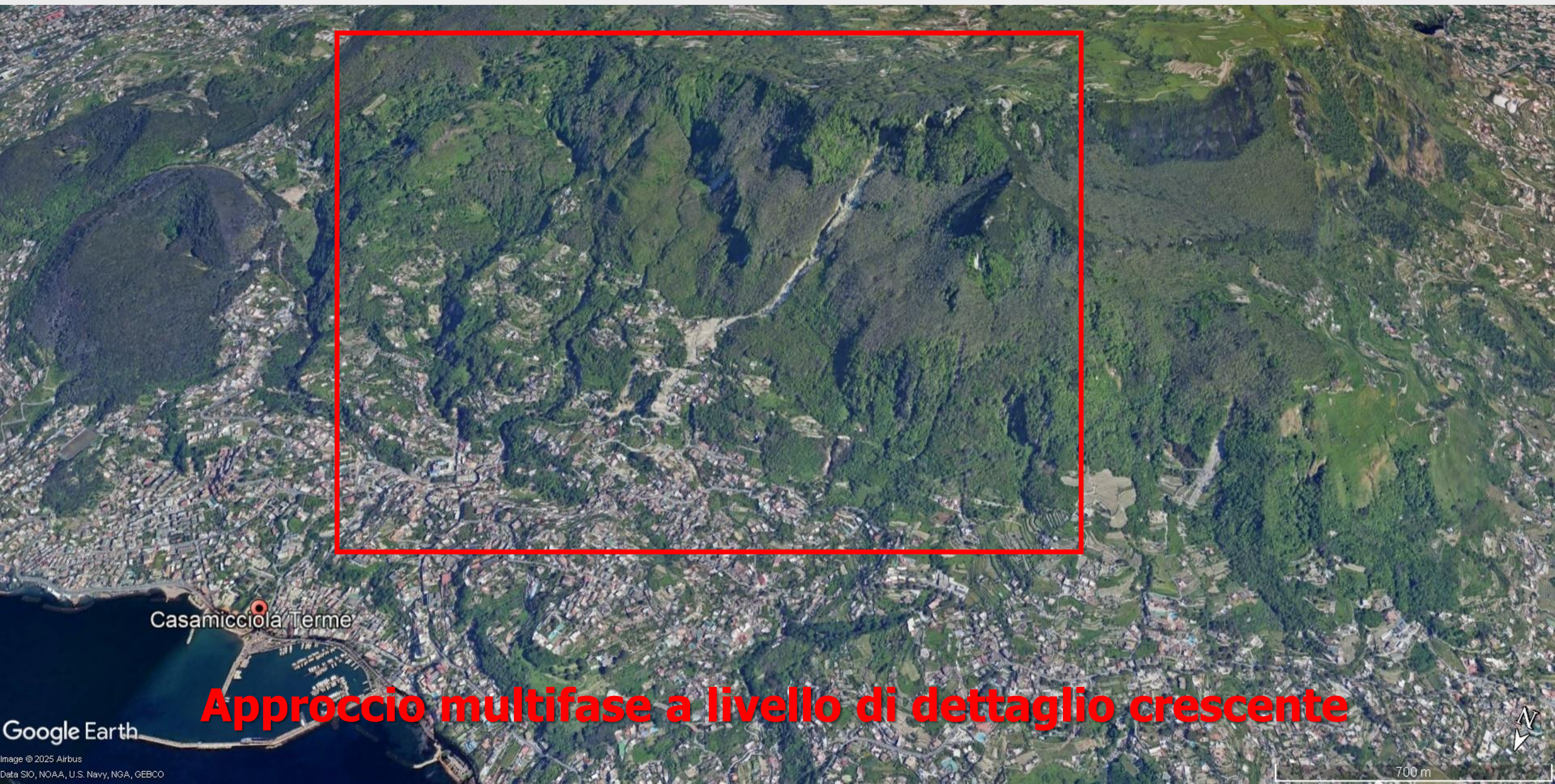
## Suscettibilità al transito e all'invasione: modelli dinamici bidimensionali o tridimensionali.



- 1) I modelli dinamici utilizzano equazioni fisiche per stimare la dinamica di propagazione dei blocchi coinvolti.
- 2) Si dividono in *lumped mass* e rigorosi differendo per la considerazione della velocità di rotazione e forma e volume dei blocchi.
- 3) Possono essere bidimensionali o pseudo-tridimensionali, considerando i movimenti laterali secondo approcci semplificati (es. angolo di variazione della traiettoria =  $F(\text{velocità})$ ).
- 4) Generalmente non considerano la frammentazione dei blocchi durante la propagazione e il distacco di blocchi multipli come spesso accade in natura.
- 5) L'interazione con la superficie del versante è considerata dipendente dalle caratteristiche del materiale che lo costituisce (rigidezza) espressa mediante i coefficienti di restituzione.



# Valutazione della suscettibilità nell'area di Casamicciola



Casamicciola Terme

**Approccio multifase a livello di dettaglio crescente**



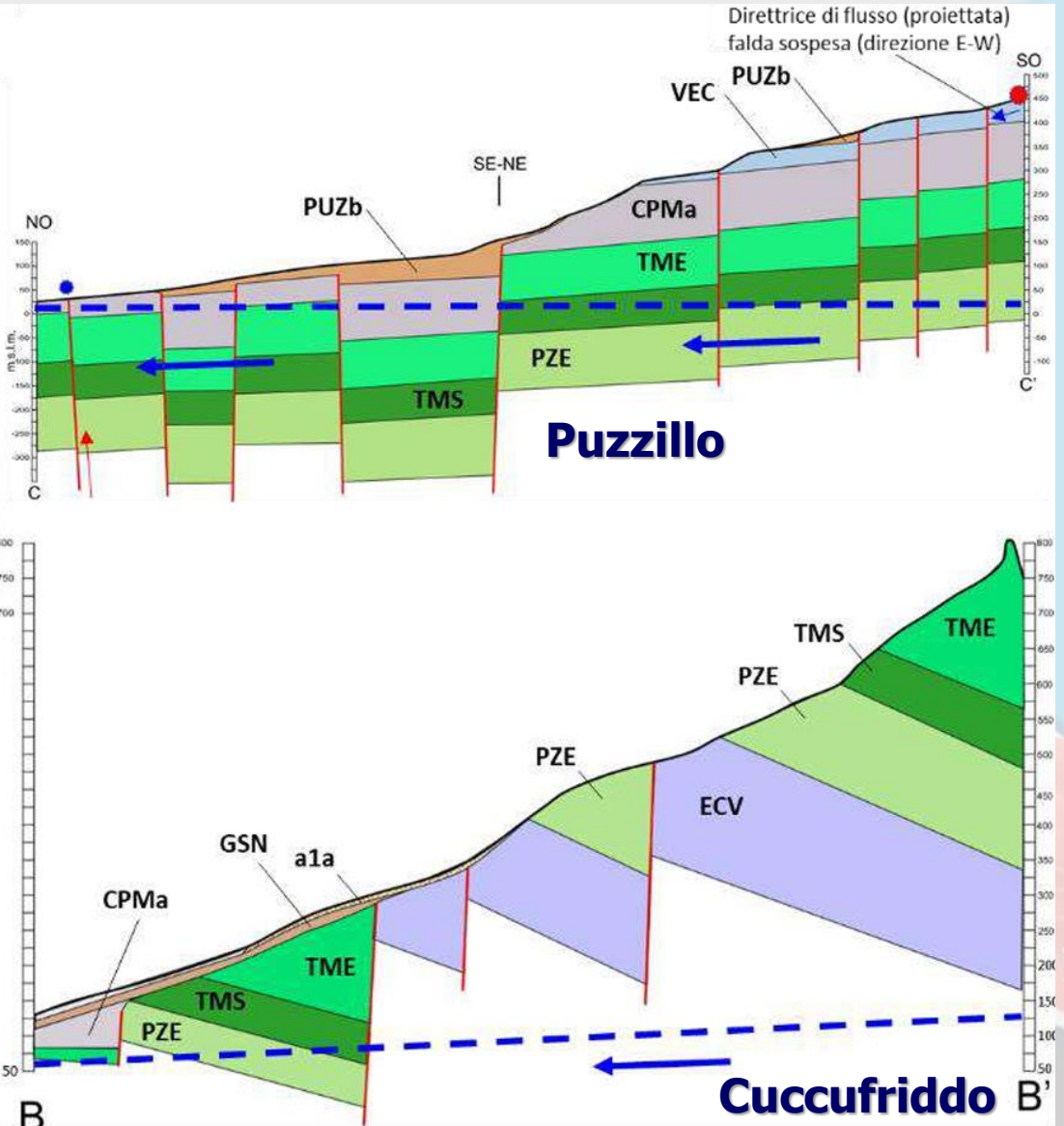
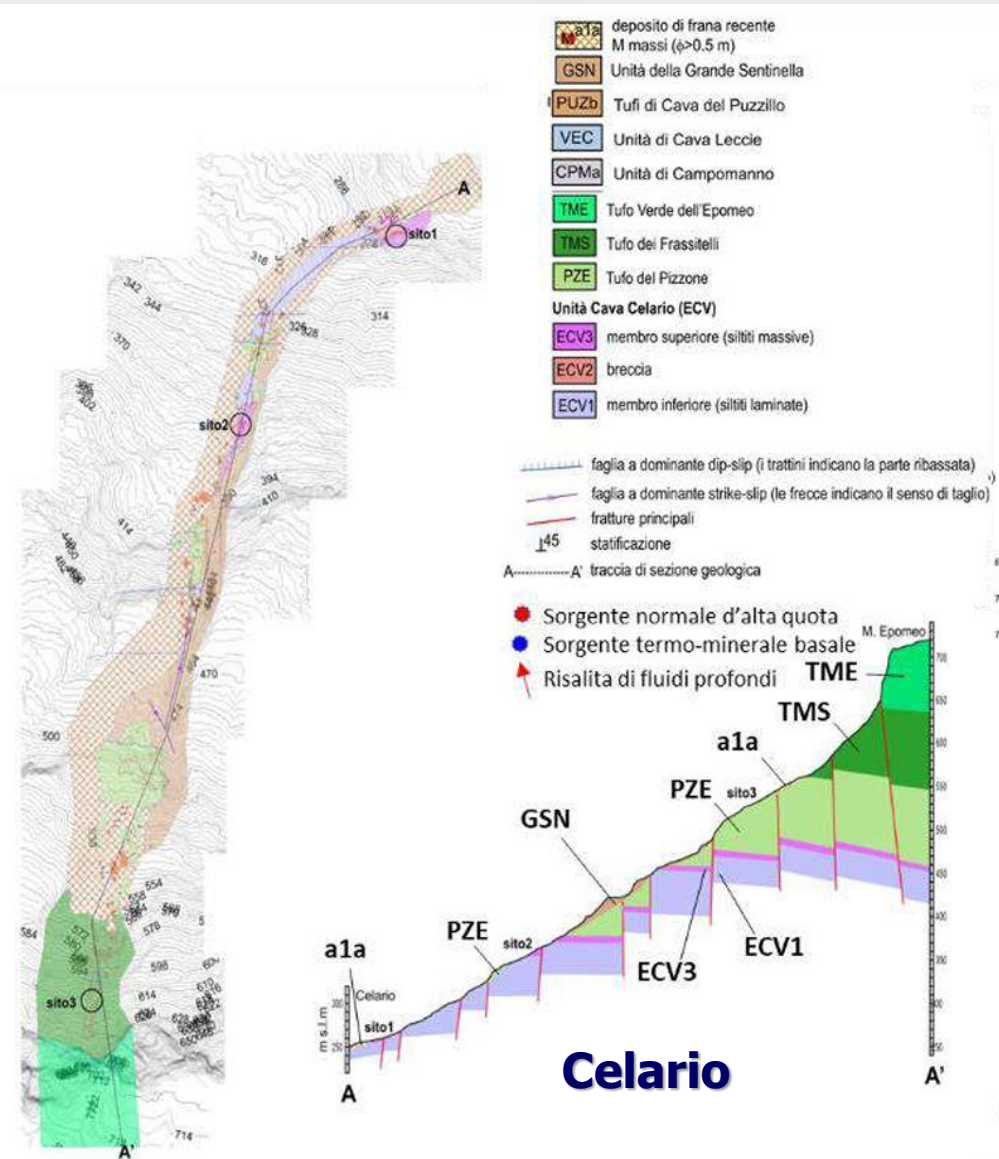
# Valutazione della suscettibilità nell'area di Casamicciola

## Workflow di fase 1:

- 1) Valutazione della suscettibilità al distacco di blocchi;**
  - 1.1) Ricostruzione del modello geologico del versante;**
  - 1.2) Analisi morfometrica del modello digitale del terreno;**
  - 1.3) Rilievo dei blocchi franati e analisi statistica delle dimensioni;**
  
- 2) Valutazione della suscettibilità al transito e all'invasione;**
  - 2.2) Rilievo delle caratteristiche del bosco;**
  - 2.3) Stima dei coefficienti di restituzione normale su base bibliografica;**
  - 2.3) Modellazione dinamica;**
  
- 3) Validazione dei risultati;**
  - 3.1) Analisi di verosimiglianza mediante confronto con studi precedenti;**

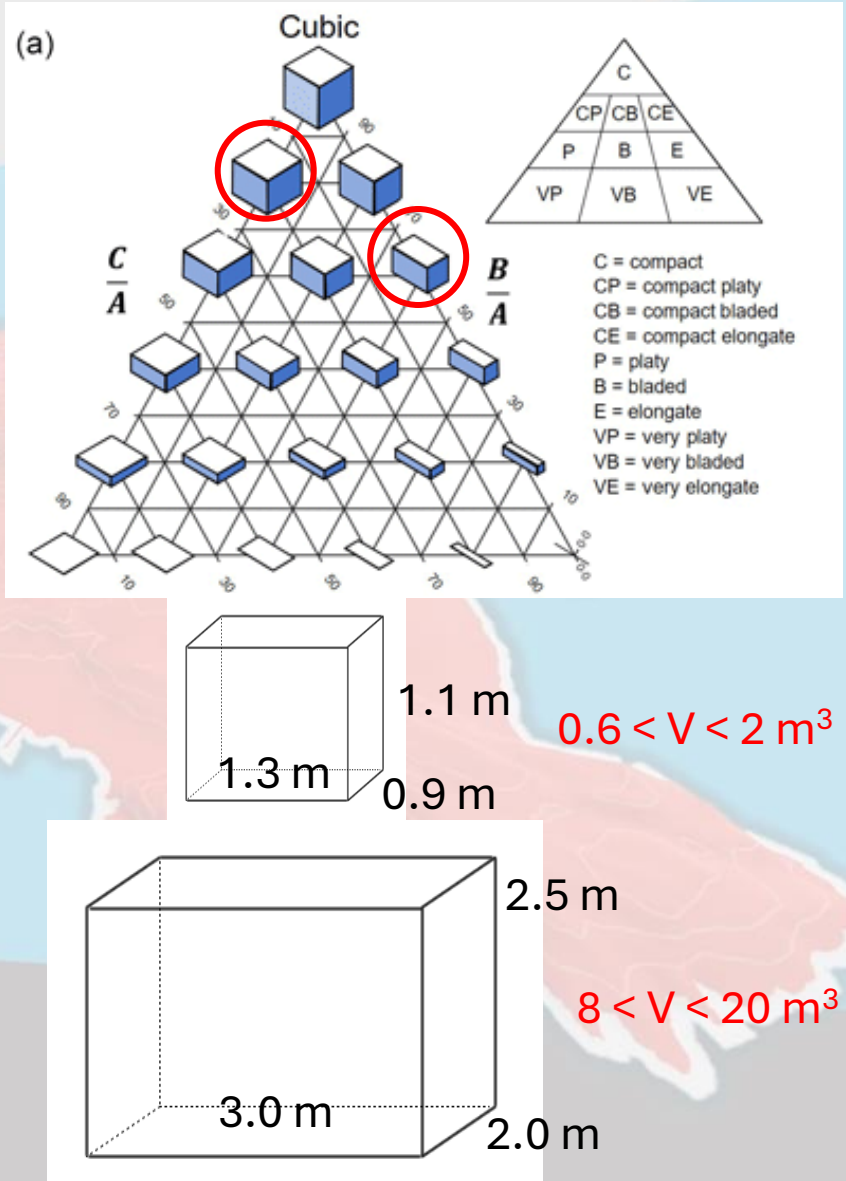
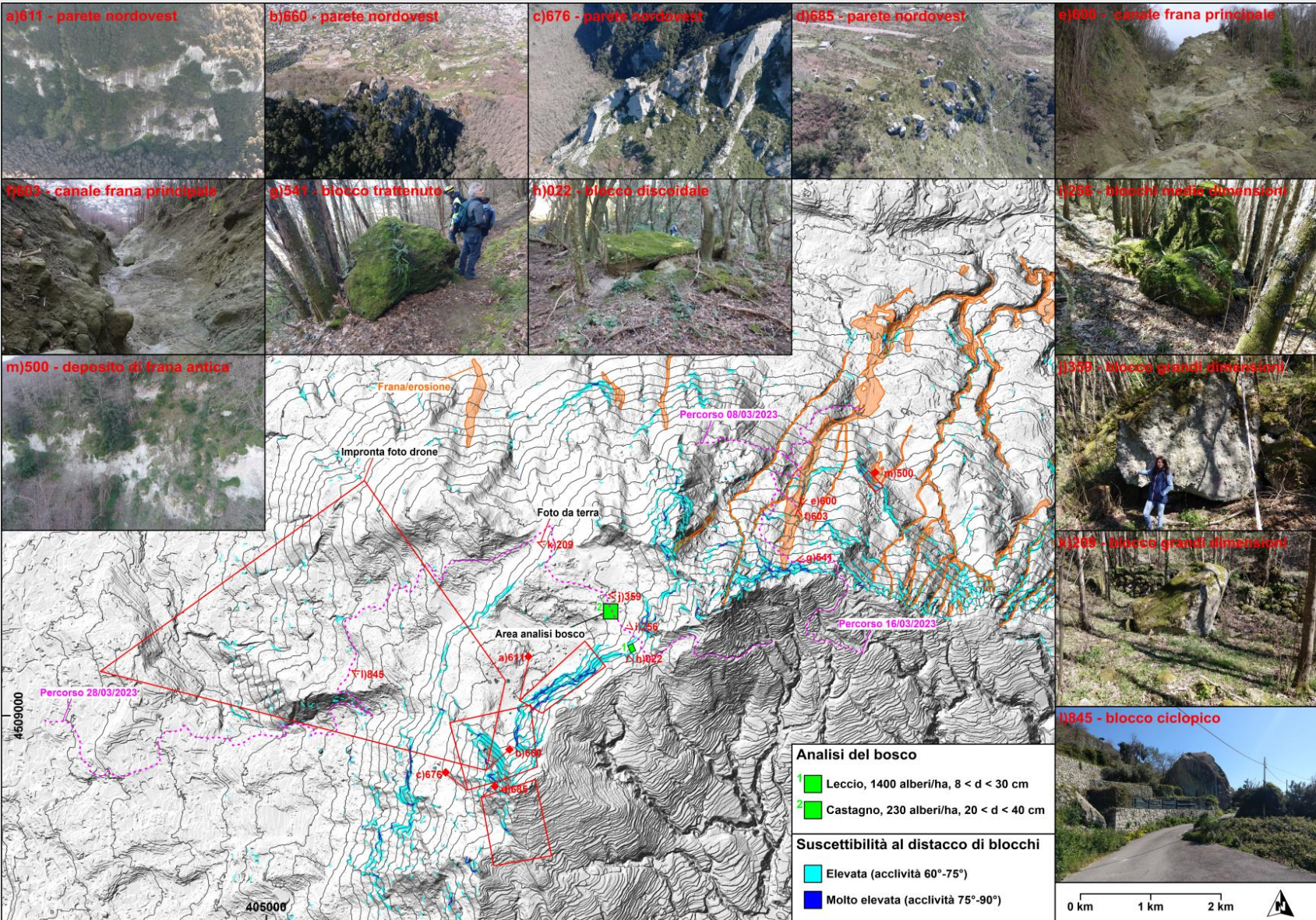
# Valutazione della suscettibilità nell'area di Casamicciola

## Ricostruzione del modello geologico dell'area



# Valutazione della suscettibilità nell'area di Casamicciola

## Analisi morfometrica, del bosco, rilievo dei blocchi e dimensioni



# Valutazione della suscettibilità nell'area di Casamicciola

## Suscettibilità al transito e all'invasione: *software* e dati di *input*

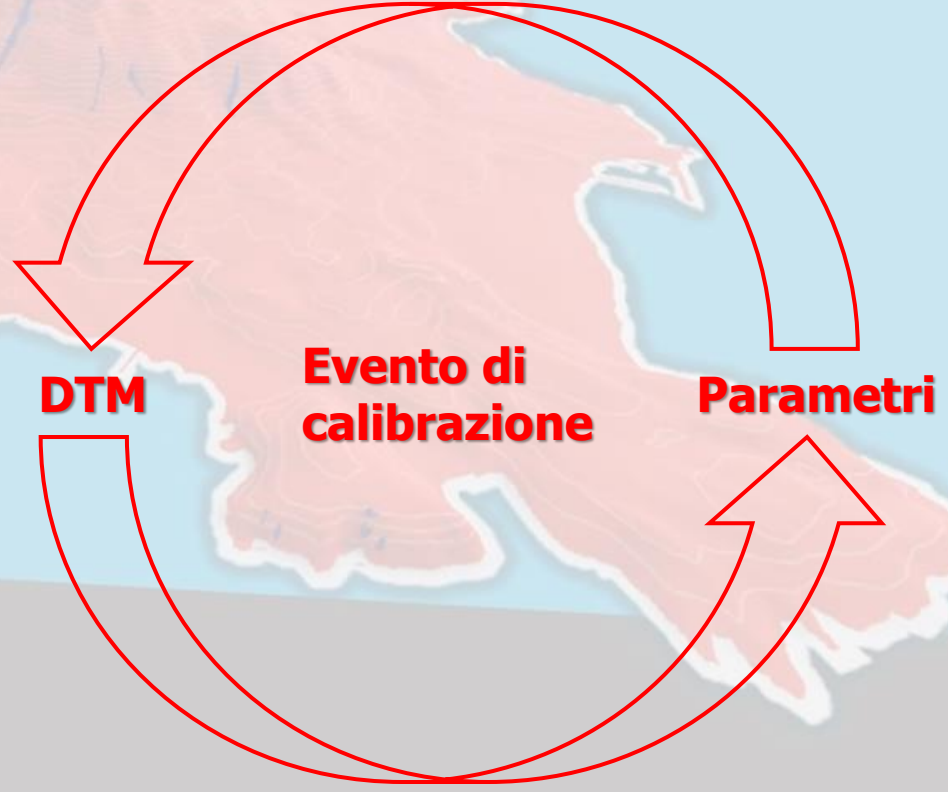
Rockyfor3D (Dorren & Simoni, 2014), algoritmo per la modellazione delle fasi di movimento in aria libera (moto parabolico uniformemente accelerato), rimbalzi e rotolamenti dei blocchi di roccia combinato con un approccio stocastico riferito ad alcuni parametri di input (es. volume, coefficienti di restituzione).

### Dati di *input*:

- 1) modello digitale del terreno LiDAR (1 x 1 m) con edifici;
- 2) volume del blocco di progetto: 0.6 - 2 m<sup>3</sup> e 8 - 22 m<sup>3</sup>;
- 3) forma del blocco di riferimento "rettangolare";
- 4) densità del materiale pari a 1500 kg/m<sup>3</sup>.
- 5) coefficienti di restituzione assegnati sulla base della carta geolitologica disponibile (1:50,000 Rapolla et al. 2010) e il database del software;
- 6) aree di distacco identificate a partire dal modello digitale del terreno (DTM);
- 7) distribuzione (densità) e caratteristiche della vegetazione;

### Altri parametri:

- 1) 100 "lanci" per ogni cella identificata come suscettibile al distacco.



# Valutazione della suscettibilità nell'area di Casamicciola

## Suscettibilità al transito e all'invasione: parametri significativi

**Condizioni della superficie (scabrezza):** La scabrezza varia tra 0 (superficie liscia) e 100 metri (arresto della propagazione). Tale parametro viene utilizzato per calcolare il coefficiente di restituzione tangenziale che determina l'energia persa durante il rimbalzo.

**Coefficienti di restituzione:** Rockyfor3D prevede 8 tipi di materiale. Nel modello questi tipi di materiale sono collegati direttamente al valore di  $R_n$  (coefficiente di restituzione normale).

**Vegetazione:** Rockyfor3D permette di simulare l'effetto di dissipazione di energia cinetica in funzione delle condizioni di impatto e le caratteristiche degli alberi (diametro, tipologia).

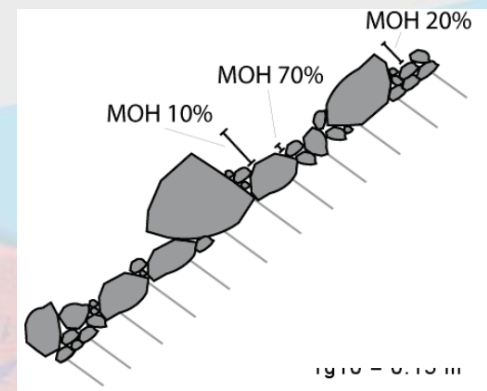
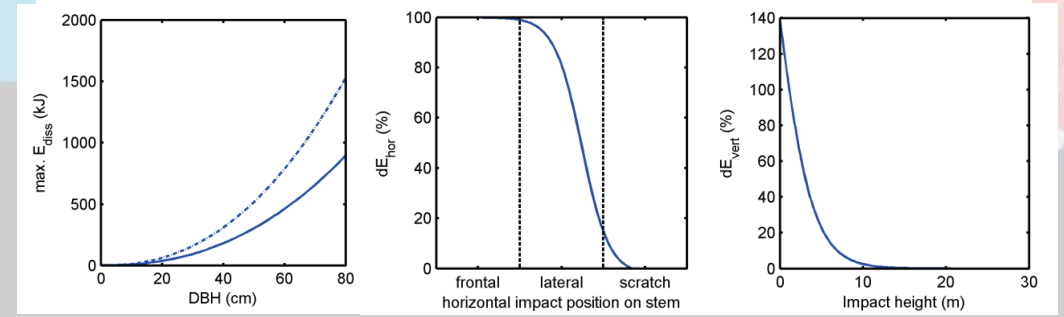


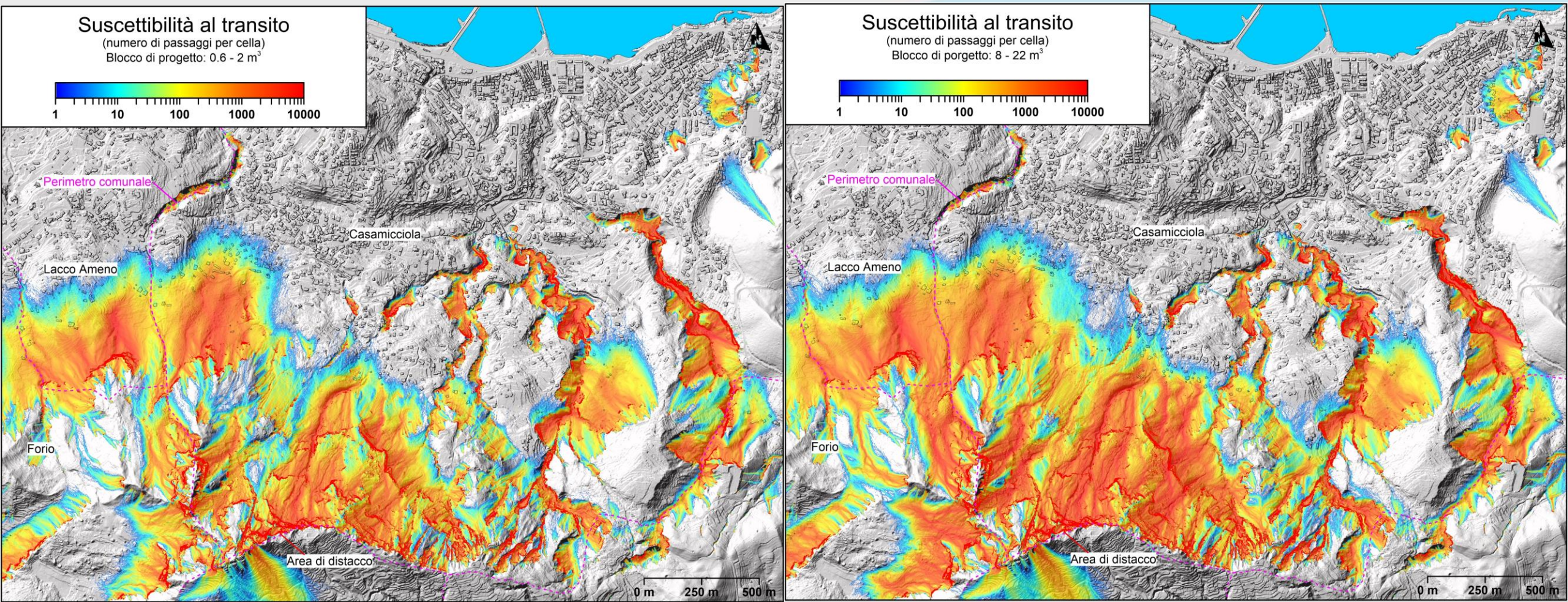
Figura 2. Rappresentazione dell'altezza di un ostacolo (MOH) rappresentativa per il 70%, 20% e 10% della superficie senza una zona omogenea sul pendio. Il parametro MOH deve essere misurato guardando il pendio verso valle, nella direzione di corsa del masso.

Tipo di suolo	Descrizione generale del suolo	$R_n$ valori medi	$R_n$ intervallo di valori
0	Fiume, o palude, o materiale in cui un masso potrebbe penetrare completamente	0	0
1	Materiale fine (spessore > ~100 cm)	0,23	0,21 - 0,25
2	Materiale fine fluviale (spessore < ~100 cm) o sabbia/ghiaia mista	0,28	0,25 - 0,31
3	Detrito di falda ( $\varnothing < \sim 10$ cm); o suolo compatto medio con piccoli massi; o strade forestali	0,33	0,30 - 0,36
4	Detrito di versante ( $\varnothing > \sim 10$ cm); o suolo compatto con grandi massi	0,38	0,34 - 0,42
5	Substrato roccioso con materiale fine di degradazione meteorica	0,43	0,39 - 0,47
6	Substrato roccioso	0,53	0,48 - 0,58
7	Strade asfaltate	0,35	0,32 - 0,39



# Valutazione della suscettibilità nell'area di Casamicciola

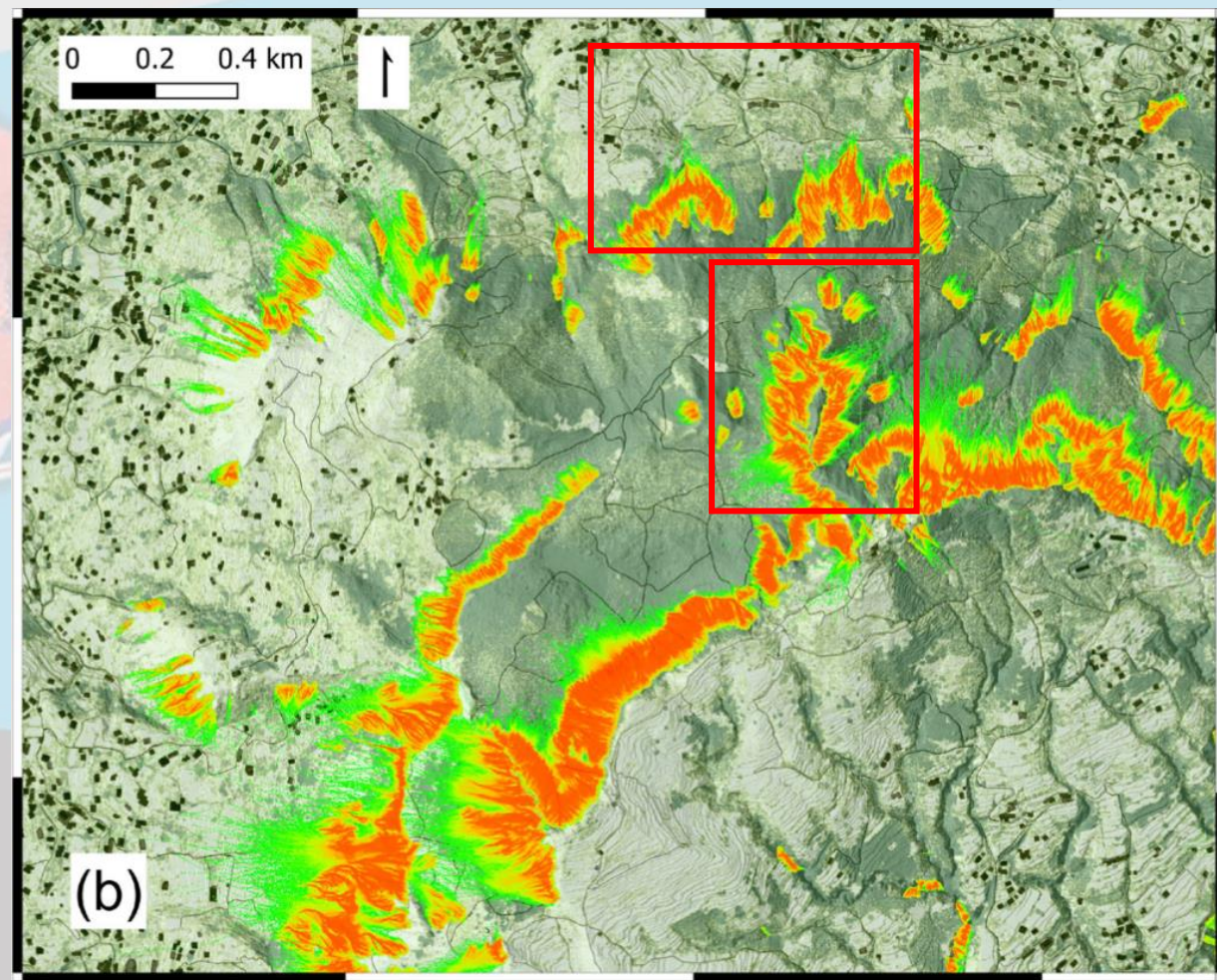
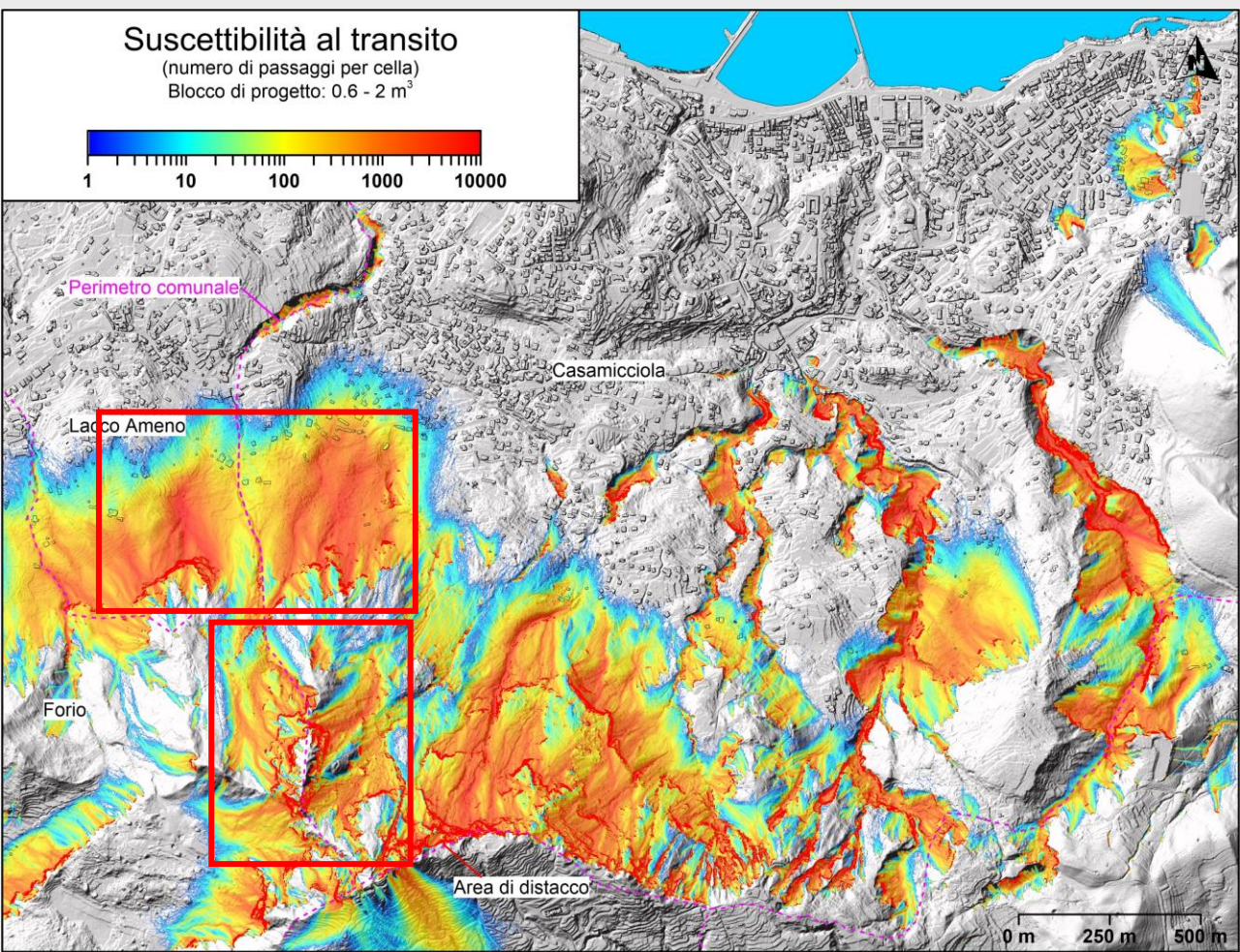
## Risultati dell'analisi di suscettibilità di fase 1



# Valutazione della suscettibilità nell'area di Casamicciola

Validazione dei risultati: **differenze molto significative!**

Alvioli et al., 2022





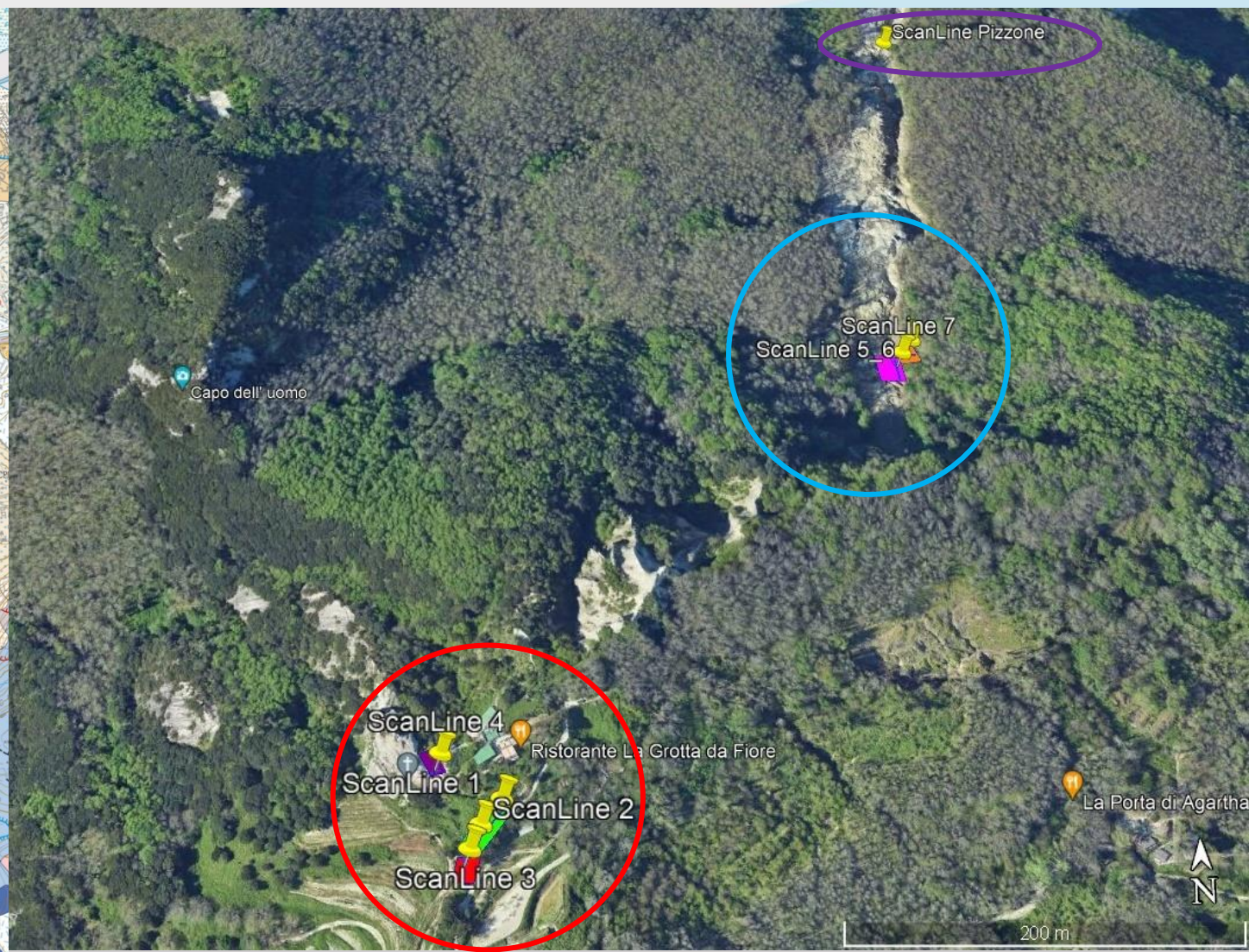
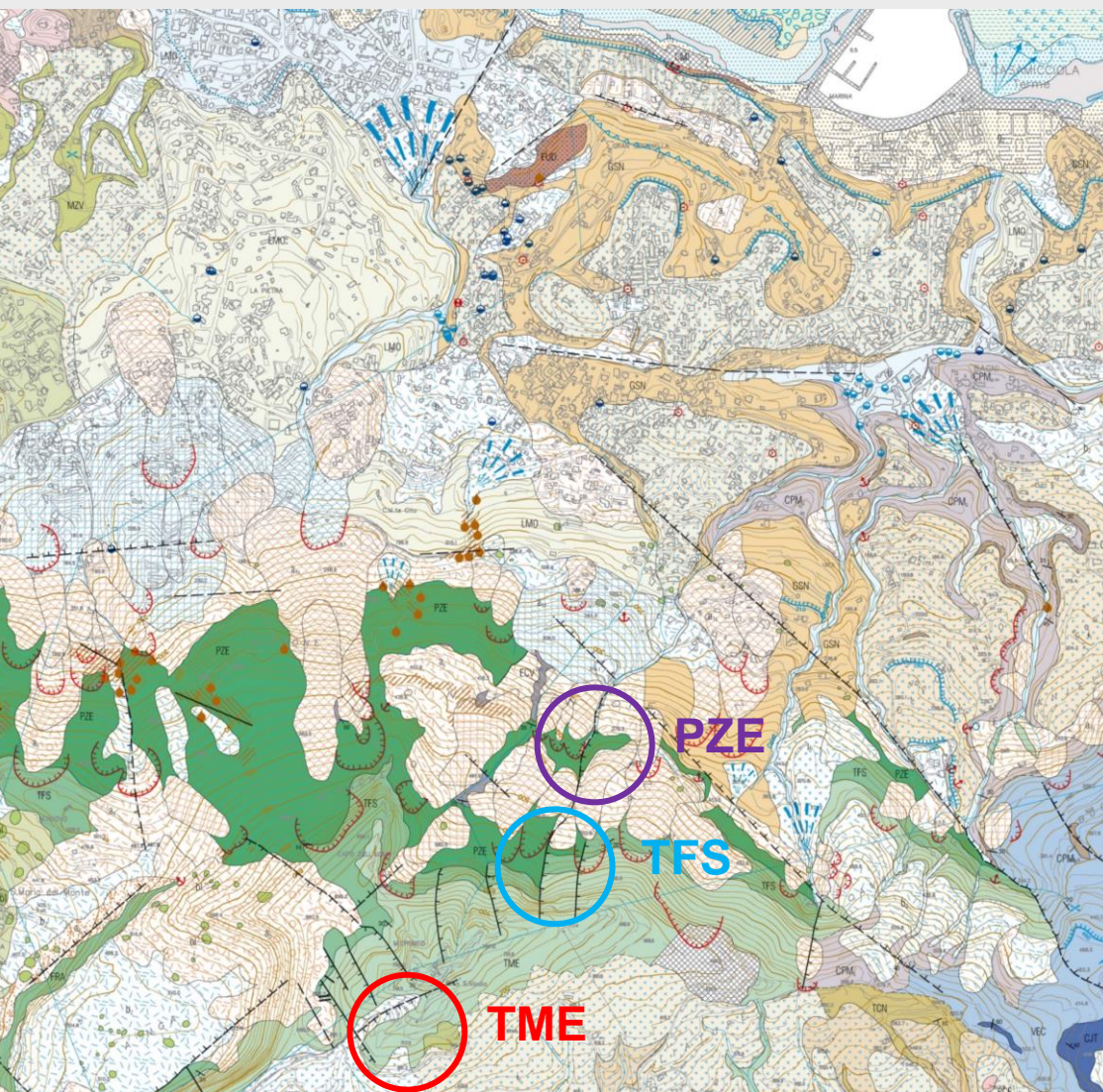
# Valutazione della suscettibilità nell'area di Casamicciola

## Workflow fase 2:

- 1) Valutazione della suscettibilità al distacco di blocchi;**
  - 1.1) Miglioramento delle conoscenze inerenti alle dimensioni dei blocchi;**
  - 1.2) Rilievo delle discontinuità in aree significative;**
  - 1.3) Analisi di stabilità distribuita (sciv. planare, cuneo, ribalt.);**
  
- 2) Valutazione della suscettibilità al transito e all'invasione;**
  - 2.2) Rilievo delle caratteristiche del bosco (Dip. Agraria);**
  - 2.3) Verifica dei coefficienti di restituzione normale stimati in fase 1;**
  - 2.3) Modellazione dinamica;**
  
- 3) Interpretazione dei risultati;**
  - 3.1) Analisi di verosimiglianza mediante confronto con studi precedenti;**
  - 3.2) Analisi effetti singolari (stima coeff. restituzione);**

# Valutazione della suscettibilità nell'area di Casamicciola

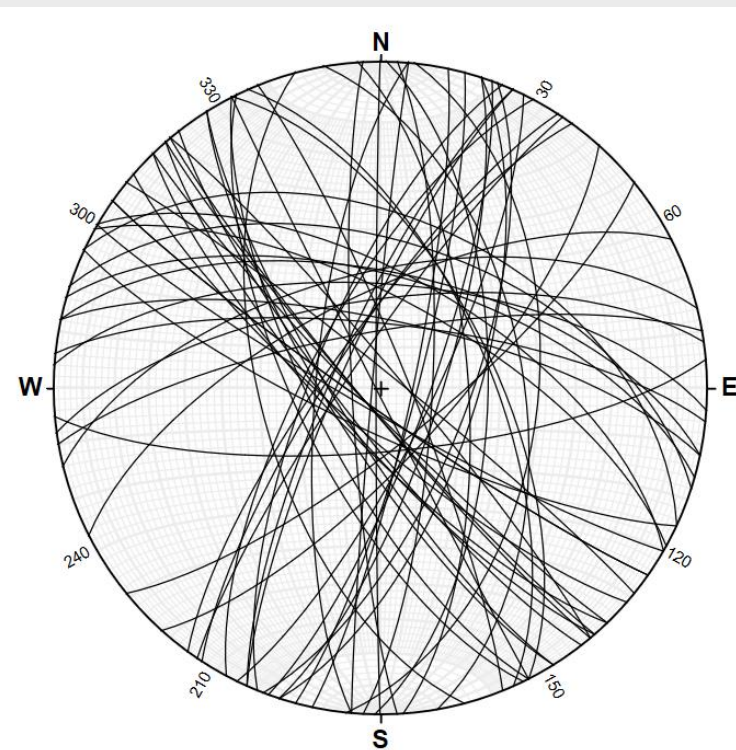
## Rilievo delle discontinuità in aree significative



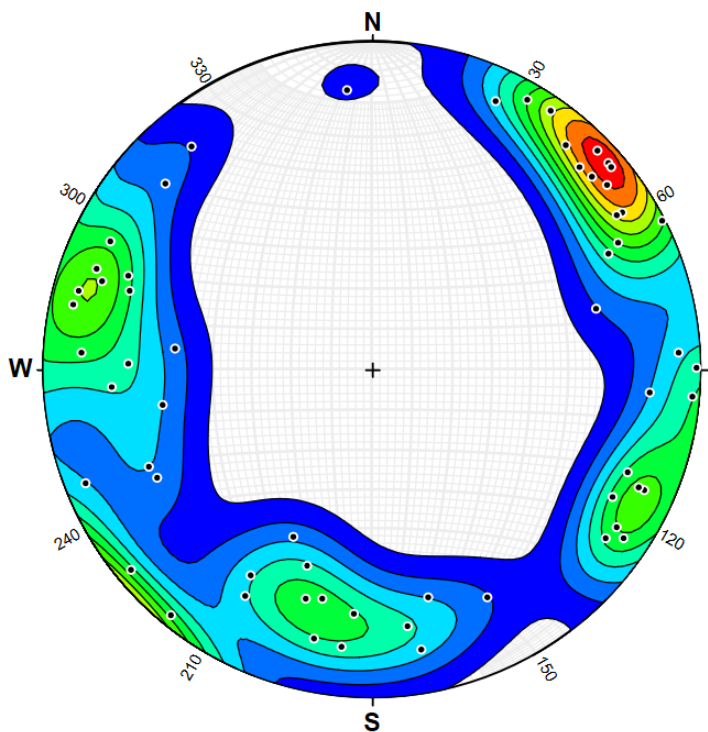
# Valutazione della suscettibilità nell'area di Casamicciola

## Caratteristiche delle discontinuità del Tufo del Monte Epomeo

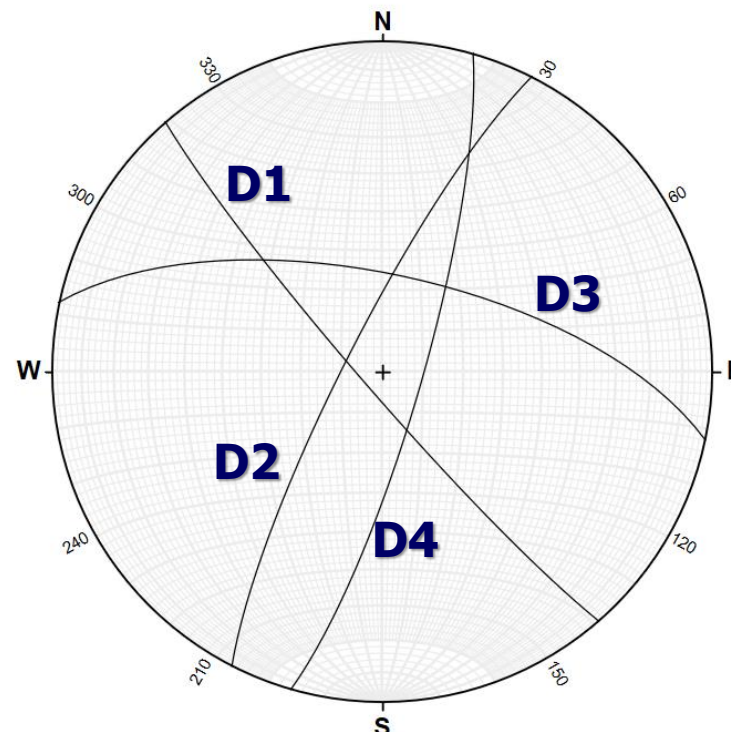
**Orientazione**



**Concentrazione**



**Famiglie**



	<b>Dip Az</b>	<b>Dip</b>	<b>JRC</b>	<b>UCS</b>	<b>Fi-res</b>	<b>Fi</b>	<b>Sp</b>
<b>D1</b>	<b>229</b>	<b>85</b>	<b>8-10</b>	<b>29</b>	<b>20</b>	<b>46</b>	<b>1.2</b>
<b>D2</b>	<b>297</b>	<b>81</b>	<b>8-10</b>	<b>34</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>0.6</b>
<b>D3</b>	<b>012</b>	<b>66</b>	<b>8-10</b>	<b>32</b>	<b>20</b>	<b>44</b>	<b>2.0</b>
<b>D4</b>	<b>106</b>	<b>80</b>	<b>10-12</b>	<b>35</b>	<b>20</b>	<b>44</b>	<b>5.0</b>

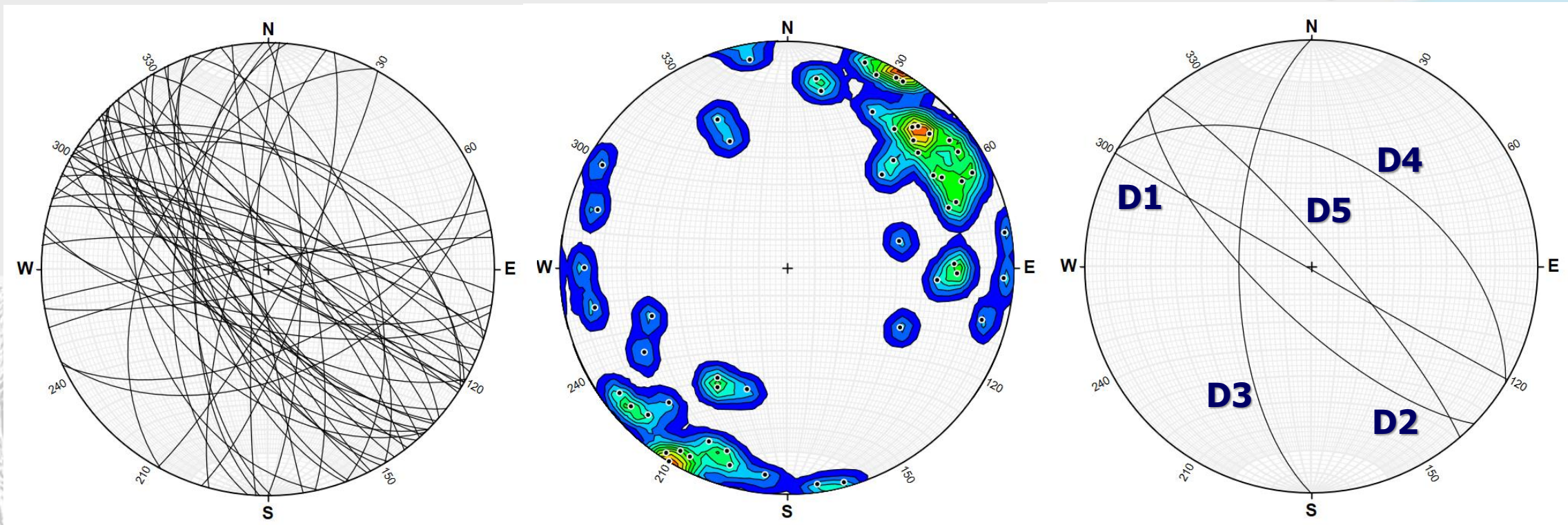
# Valutazione della suscettibilità nell'area di Casamicciola

## Caratteristiche delle discontinuità del Tufo dei Frassitelli

Orientazione

Concentrazione

Famiglie



	Dip	Az	Dip	JRC	UCS	Fi-res	Fi	Sp
<b>D1</b>	<b>210</b>	<b>89</b>	<b>10-12</b>	<b>30</b>	<b>20</b>	<b>49</b>	<b>3.5</b>	
<b>D2</b>	<b>224</b>	<b>72</b>	<b>6-8</b>	<b>34</b>	<b>20</b>	<b>38</b>	<b>4</b>	
<b>D3</b>	<b>270</b>	<b>64</b>	<b>8-10</b>	<b>34</b>	<b>20</b>	<b>44</b>	<b>3</b>	
<b>D4</b>	<b>30</b>	<b>49</b>	<b>10-12</b>	<b>36</b>	<b>20</b>	<b>51</b>	<b>3</b>	
<b>D5</b>	<b>49</b>	<b>82</b>	<b>4-6</b>	<b>36</b>	<b>20</b>	<b>32</b>	<b>3</b>	

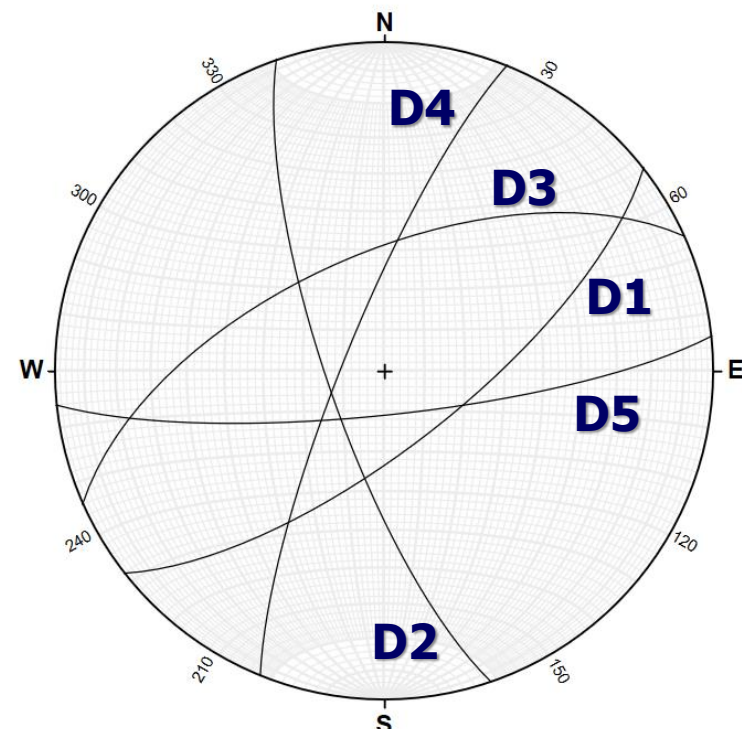
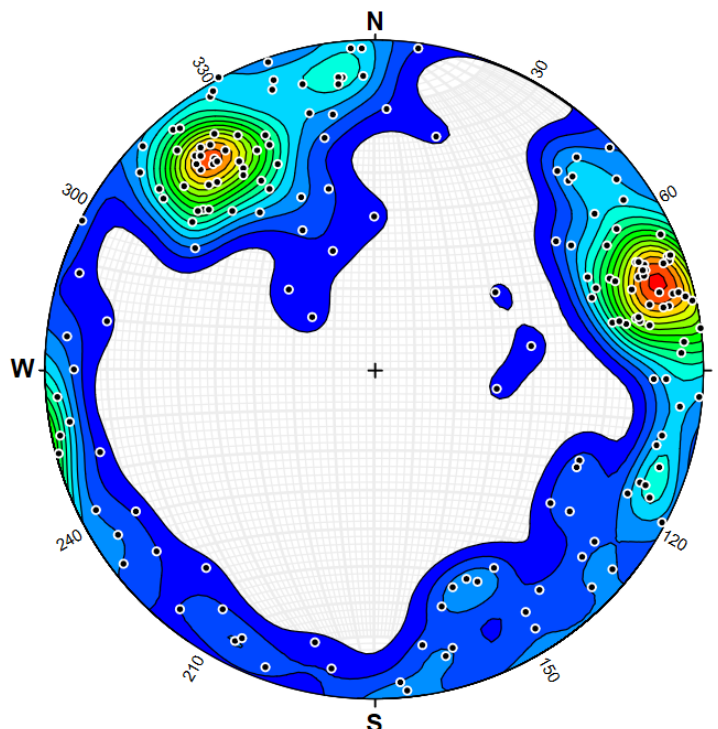
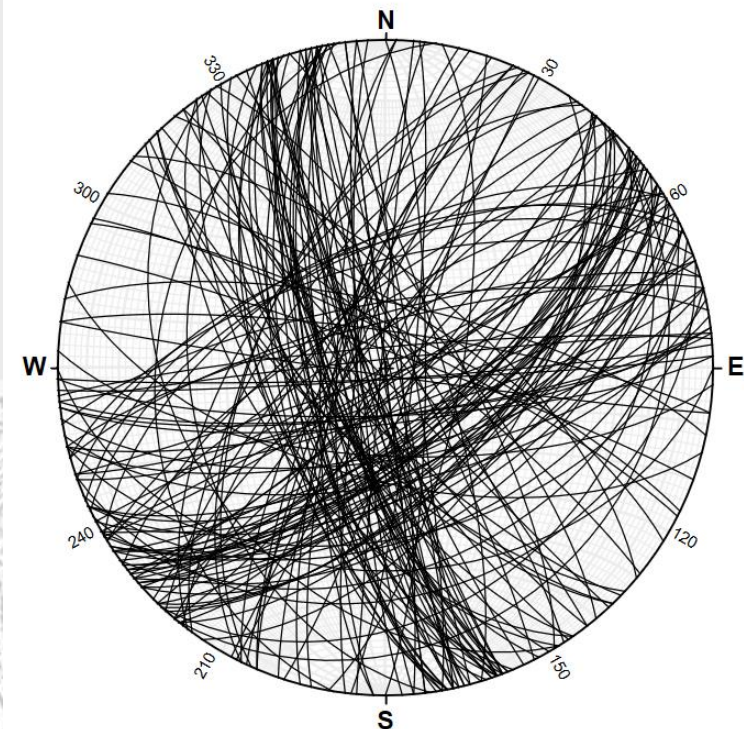
# Valutazione della suscettibilità nell'area di Casamicciola

## Caratteristiche delle discontinuità del Tufo del Pizzone

Orientazione

Concentrazione

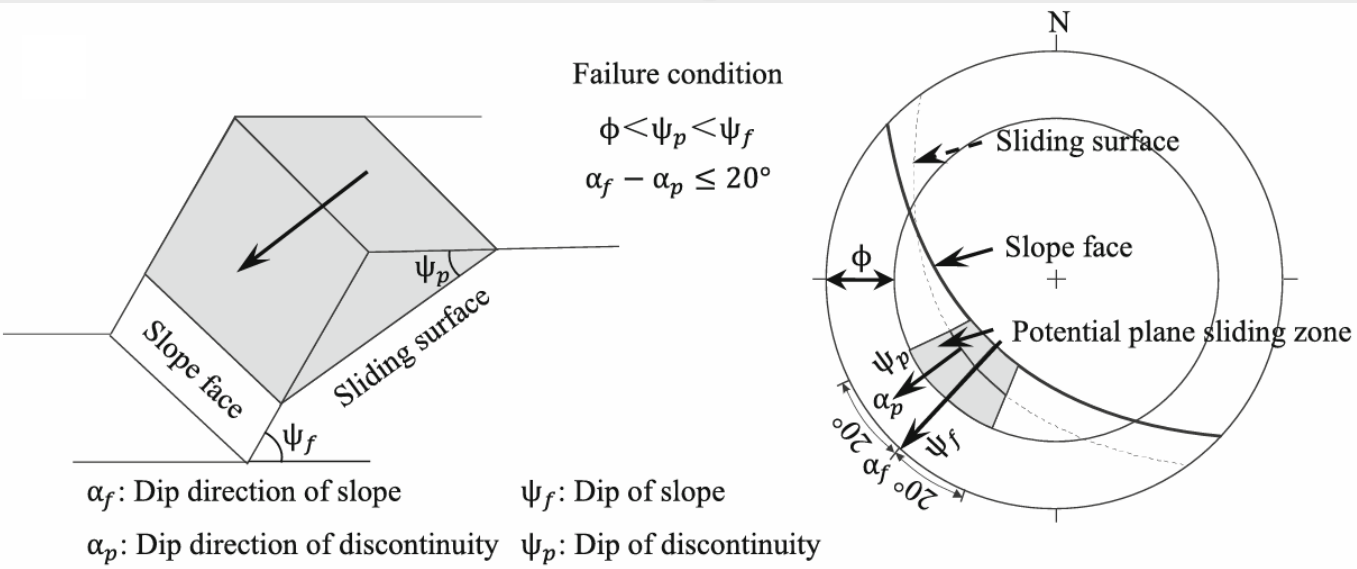
Famiglie



	Dip Az	Dip	JRC	UCS	Fi-res	Fi	Sp
<b>D1</b>	<b>142</b>	<b>71</b>	-	-	-	<b>40</b>	-
<b>D2</b>	<b>251</b>	<b>76</b>	-	-	-	<b>40</b>	-
<b>D3</b>	<b>336</b>	<b>61</b>	-	-	-	<b>40</b>	-
<b>D4</b>	<b>292</b>	<b>80</b>	-	-	-	<b>40</b>	-
<b>D5</b>	<b>174</b>	<b>79</b>	-	-	-	<b>40</b>	-

# Valutazione della suscettibilità nell'area di Casamicciola

## Analisi cinematica per lo scivolamento planare



### Tufo del Monte Epomeo

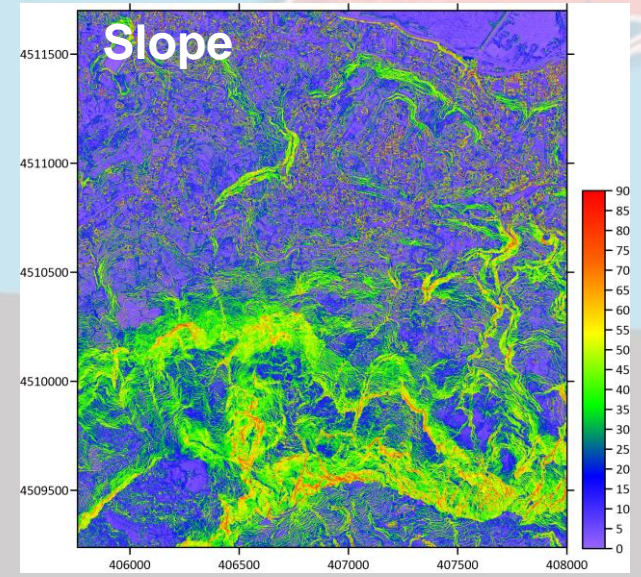
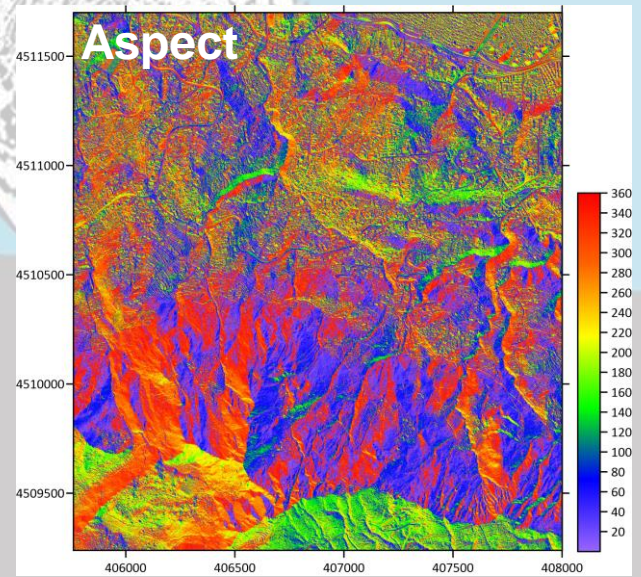
	Dip	>	Fi	Aspect	Slope
D1	85		46   ok	209 - 249	>85
D2	81		50   ok	277 - 317	>81
D3	66		44   ok	352 - 32	>66
D4	80		44   ok	86 - 126	>80

### Tufo dei Frassitelli

	Dip	>	Fi	Aspect	Slope
D1	89		49   ok	190 - 230	>89
D2	72		38   ok	204 - 244	>72
D3	64		44   ok	250 - 290	>64
D4	49		51   no	010 - 050	>49
D5	82		32   ok	029 - 069	>82

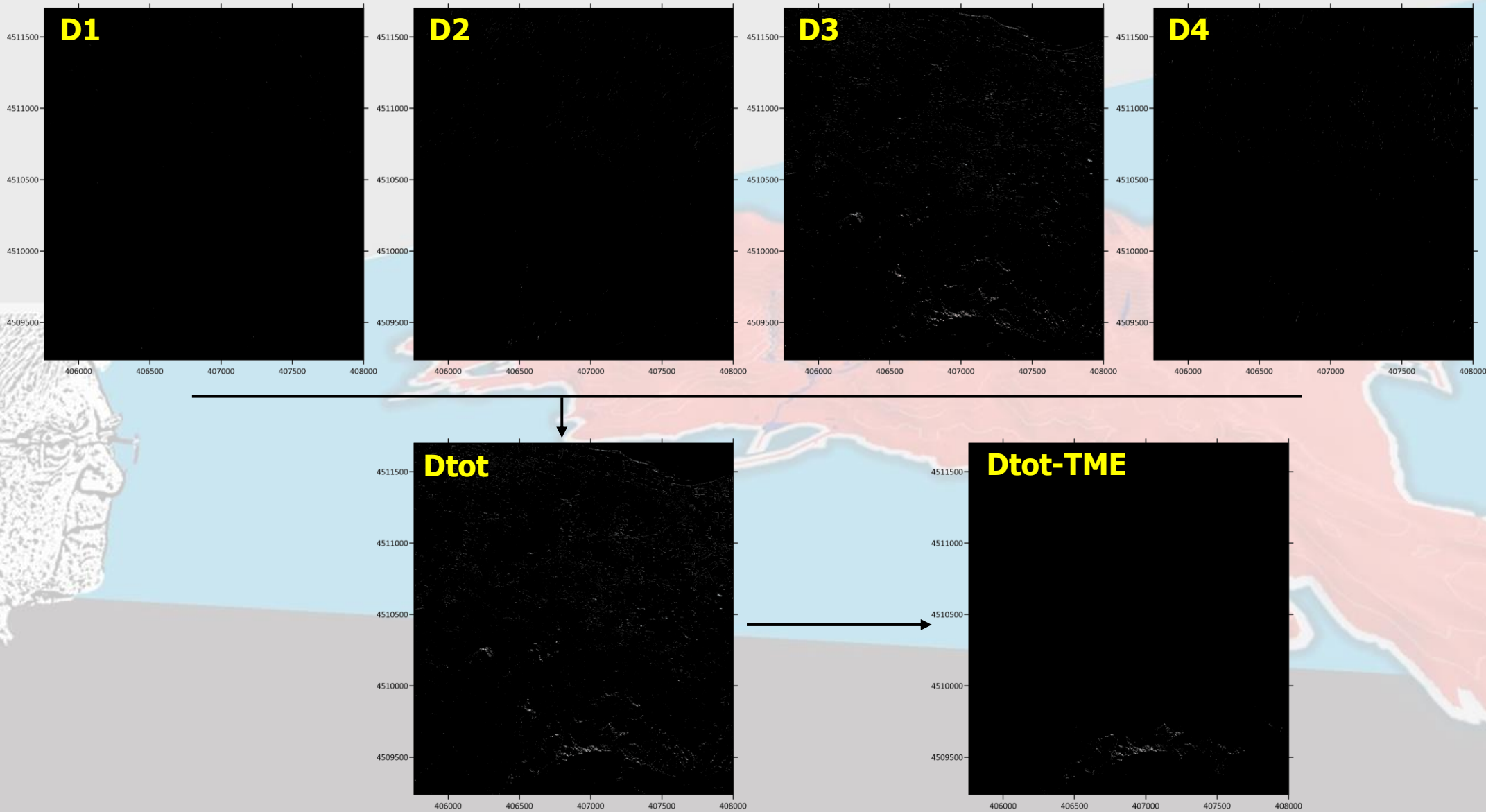
### Tufo del Pizzone

	Dip	>	Fi	Aspect	Slope
D1	71		40   ok	122 - 162	>71
D2	76		40   ok	231 - 271	>76
D3	61		40   ok	316 - 356	>61
D4	80		40   ok	272 - 322	>80
D5	79		40   ok	154 - 194	>79



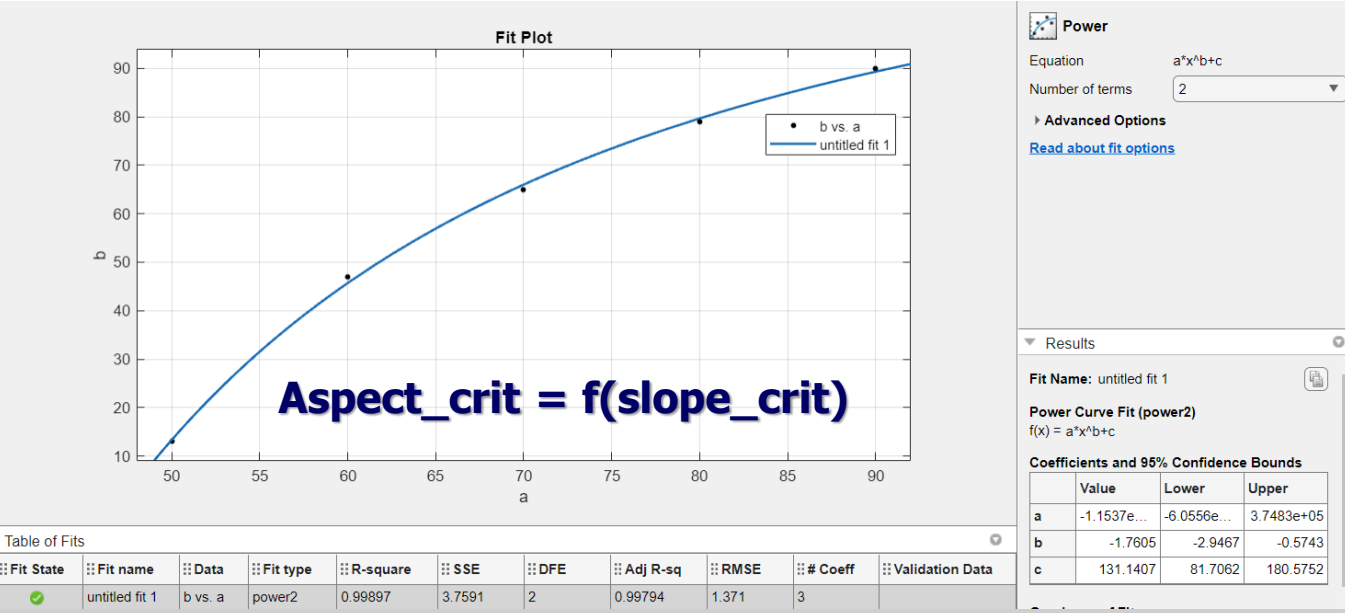
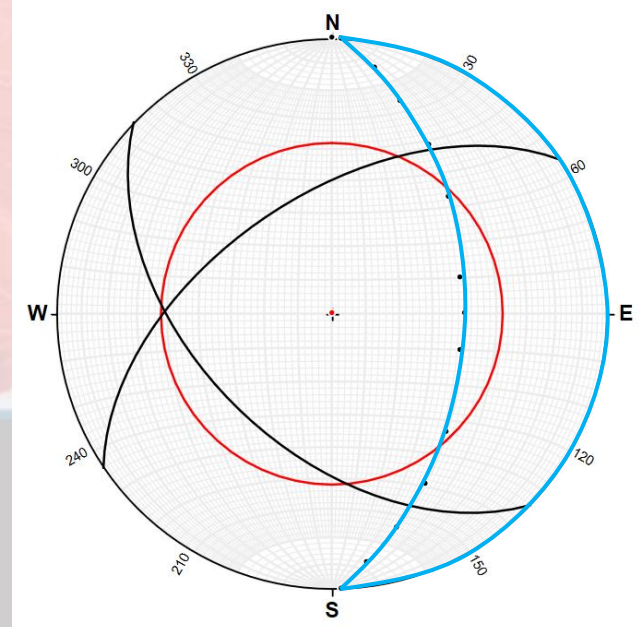
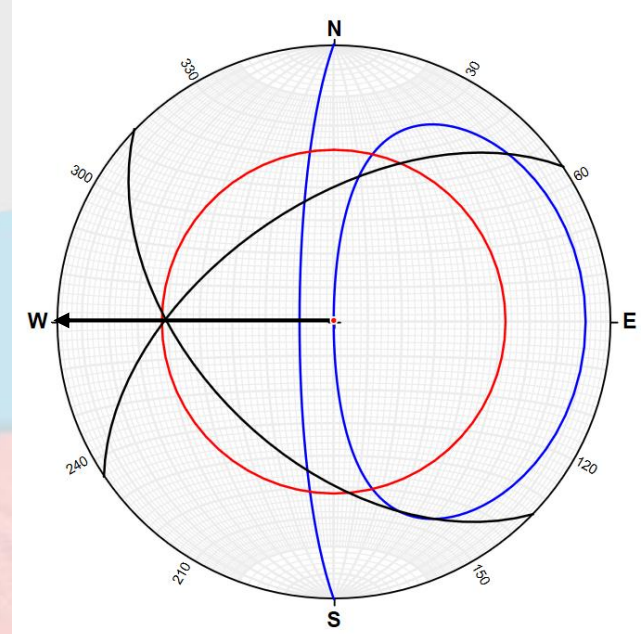
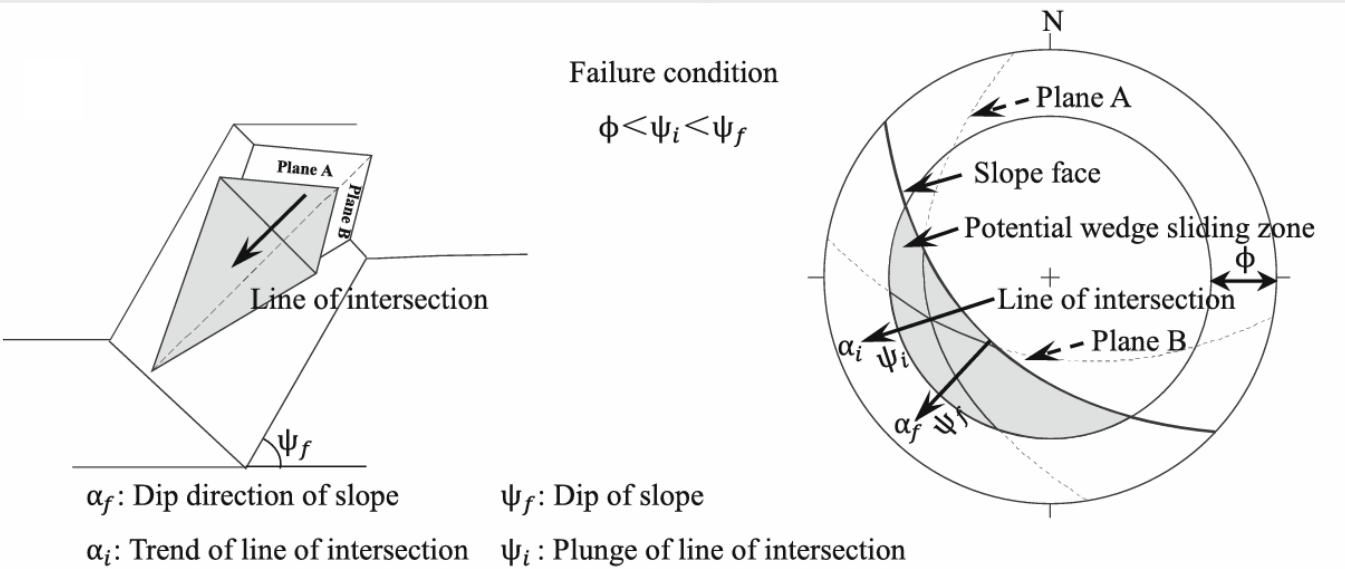
# Valutazione della suscettibilità nell'area di Casamicciola

## Aree suscettibili al distacco per scivolamento planare (TME)



# Valutazione della suscettibilità nell'area di Casamicciola

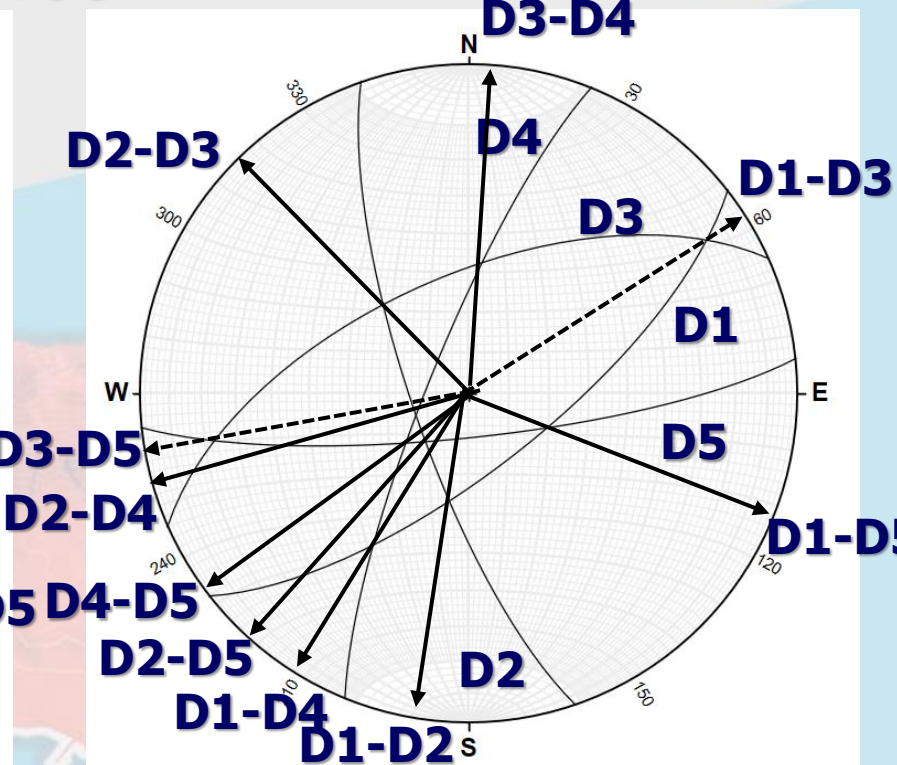
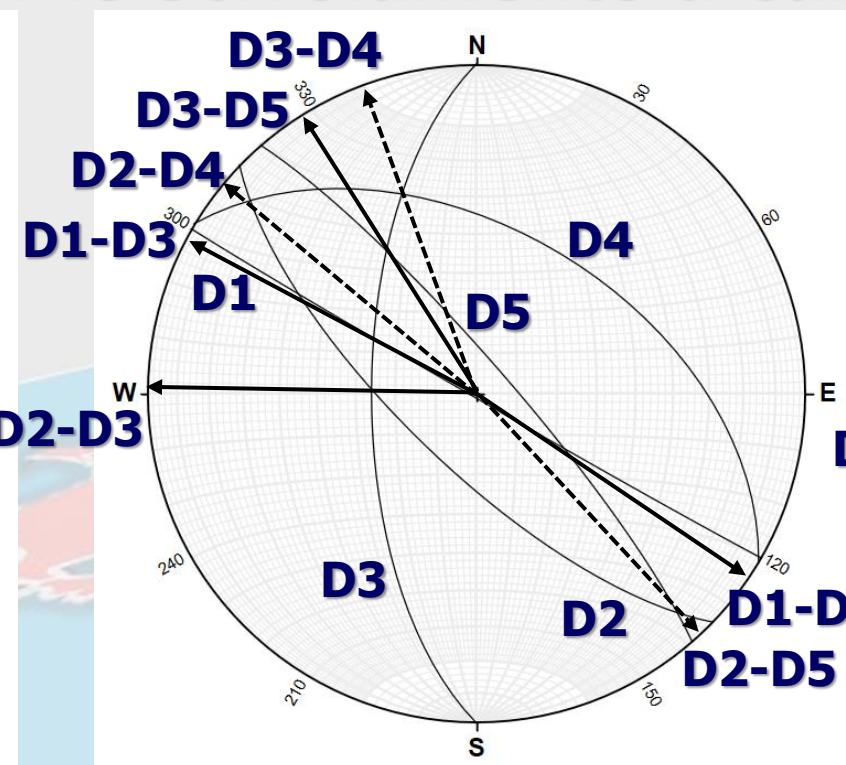
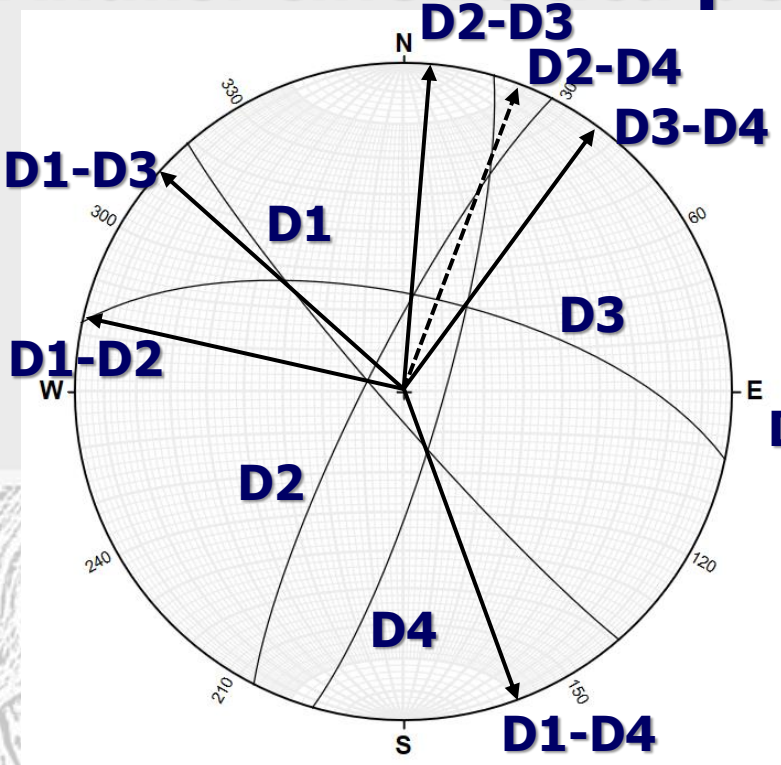
## Analisi cinematica per lo scivolamento a cuneo





# Valutazione della suscettibilità nell'area di Casamicciola

## Analisi cinematica per lo scivolamento a cuneo



TME	PI > Fi	Tr	Slope
D1-D2	81   46   ok	289   >81	
D1-D3	49   44   ok	313   >49	
D1-D4	75   44   ok	157   >75	
D2-D3	66   44   ok	06   >66	
D2-D4	30   44   no		
D3-D4	64   44   ok	37   >64	

TFS	PI > Fi	Tr	Slope
D1-D3	61   44   ok	299   >61	
D1-D5	65   32   ok	122   >65	
D2-D3	64   38   ok	272   >64	
D2-D4	11   38   no		
D2-D5	11   38   no		
D3-D4	35   44   no		
D3-D5	48   32   ok	328   >48	

PZE	PI > Fi	Tr	Slope
D1-D2	63   40   ok	191   >63	
D1-D3	16   40   no		
D1-D4	45   40   ok	212   >45	
D1-D5	69   40   ok	113   >69	
D2-D3	60   40   ok	316   >60	
D2-D4	76   40   ok	249   >76	
D2-D5	73   40   ok	224   >73 ...	

# Valutazione della suscettibilità nell'area di Casamicciola

## Analisi cinematica per lo scivolamento a cuneo

```

1  |clc
2  |clear
3
4  |% Discontinuity sets D1 and D3
5  |% D1: Dip Az 229 - Dip 85 - fi 46
6  |% D3: Dip Az 012 - Dip 66 - fi 44
7
8  |trend = 313;
9  |plunge = 49;
10
11 |slope = load('slope.txt');
12 |slope(find(slope == -9999)) = NaN;
13 |slope = flipud(slope);
14 |slope = round(slope,0);
15
16 |aspect = load('aspect.txt');
17 |aspect(find(aspect == -9999)) = NaN;
18 |aspect = flipud(aspect);
19 |aspect = round(aspect,0);
20
21 |d = size(slope);
22 |iMax = d(:,1); % righe
23 |jMax = d(:,2); % colonne
24
25 |slope_tab = (plunge:1:90)';
26
27 |e = size(slope_tab);
28 |zMax = e(:,1); % terza dimensione
29
30
31 |% fit coefficients
32
33 |a = -1.1380e+05;
34 |b = -1.7567;
35 |c = 131.2859;
36
37 |aspect_w = round(a * slope_tab.^b + c,0);
38 |trend_min = round(trend - aspect_w,0);
39 |trend_max = round(trend + aspect_w,0);
40
41 |for i = 1:e(:,1)
42 |     if trend_max(i) > 360
43 |         trend_max(i) = trend_max(i)-360;
44 |     end
45 |end
46
47 |slope_map = zeros(iMax,jMax,zMax);

```

```

48
49 |for i = 1:iMax
50 |     for j = 1:jMax
51 |         for z = 1:zMax
52 |             if abs(slope(i,j) - slope_tab(z))<0.0001
53 |                 slope_map(i,j,z) = slope(i,j);
54 |             else
55 |                 slope_map(i,j,z) = 0;
56 |             end
57 |         end
58 |     end
59 |end
60
61 |control_slope_map1 = slope_map(37,9,2); %50
62 |control_slope_map2 = slope_map(37,9,3); %0
63 |control_slope_map3 = slope_map(32,7,1); %49
64 |control_slope_map4 = slope_map(32,7,2); %0
65
66 |aspect_map = zeros(iMax,jMax,zMax);
67
68 |for z = 1:zMax
69 |     if trend_min(z) > trend_max(z)
70 |         for i = 1:iMax
71 |             for j = 1:jMax
72 |                 if (aspect(i,j) > trend_min(z)) || (aspect(i,j) < trend_max(z))
73 |                     aspect_map(i,j,z) = aspect(i,j);
74 |                 else
75 |                     aspect_map(i,j,z) = 0;
76 |                 end
77 |             end
78 |         end
79 |     else
80 |         for i = 1:iMax
81 |             for j = 1:jMax
82 |                 if (aspect(i,j) > trend_min(z)) && (aspect(i,j) < trend_max(z))
83 |                     aspect_map(i,j,z) = aspect(i,j);
84 |                 else
85 |                     aspect_map(i,j,z) = 0;
86 |                 end
87 |             end
88 |         end
89 |     end
90 |end
91
92 |control_aspect_map1 = aspect_map(37,9,2); %320
93 |control_aspect_map2 = aspect_map(8,5,3); %0
94 |control_aspect_map3 = aspect_map(4,59,9); %0

```

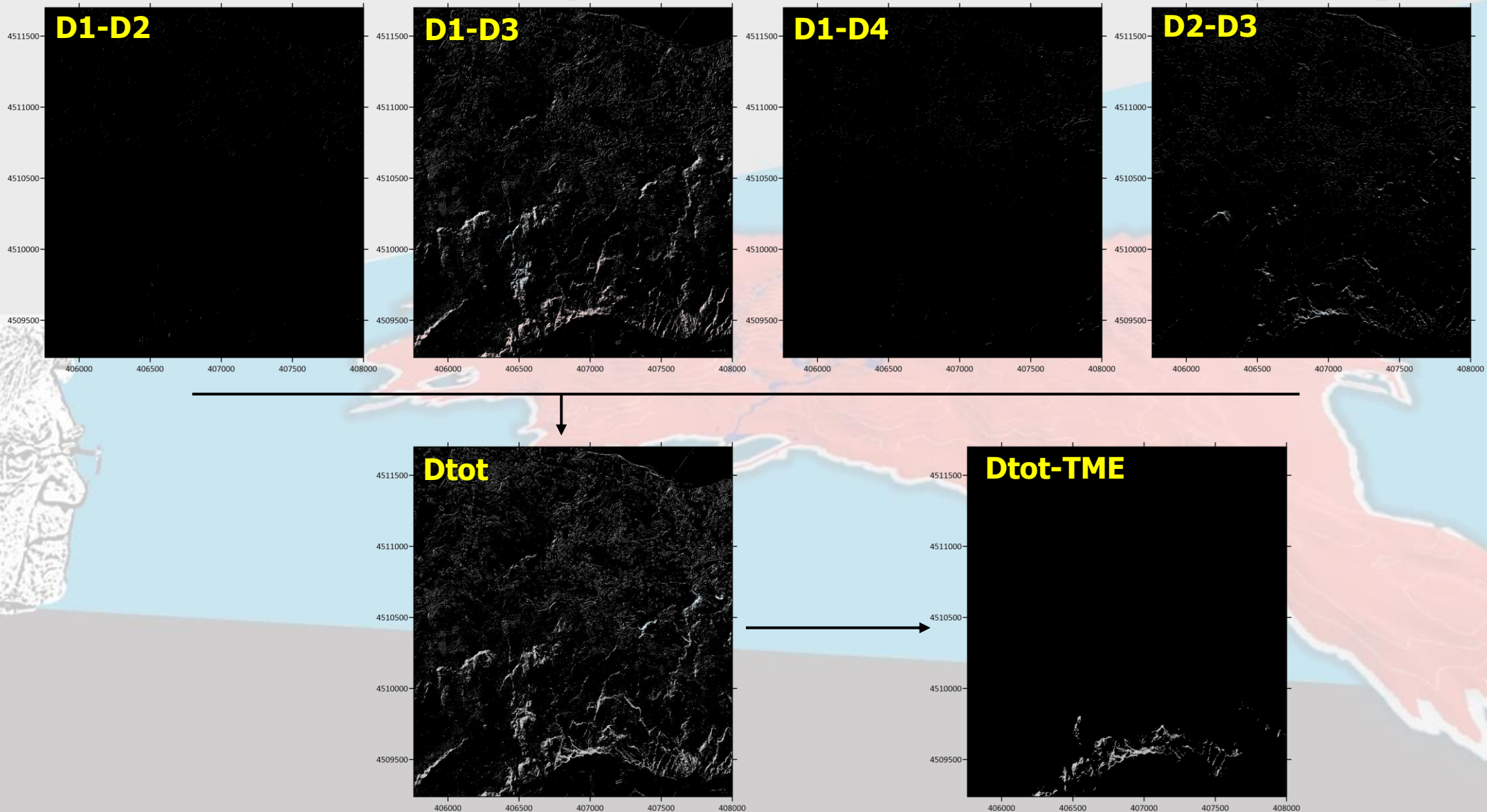
```

96 |for z = 1:zMax
97 |     for i = 1:iMax
98 |         for j = 1:jMax
99 |             if slope_map(i,j,z) > 0
100 |                 slope_map(i,j,z) = 1;
101 |             else
102 |                 slope_map(i,j,z) = 0;
103 |             end
104 |         end
105 |     end
106 |end
107
108 |control1_slope_map1 = slope_map(37,9,2); %1
109 |control1_slope_map2 = slope_map(37,9,3); %0
110 |control1_slope_map3 = slope_map(32,7,1); %1
111 |control1_slope_map4 = slope_map(32,7,2); %0
112
113 |for z = 1:zMax
114 |     for i = 1:iMax
115 |         for j = 1:jMax
116 |             if aspect_map(i,j,z) > 0
117 |                 aspect_map(i,j,z) = 1;
118 |             else
119 |                 aspect_map(i,j,z) = 0;
120 |             end
121 |         end
122 |     end
123 |end
124
125 |control1_aspect_map1 = aspect_map(37,9,2); %1
126 |control1_aspect_map2 = aspect_map(8,5,3); %0
127 |control1_aspect_map3 = aspect_map(4,59,9); %0
128
129 |for z = 1:zMax
130 |     for i = 1:iMax
131 |         for j = 1:jMax
132 |             det(i,j,z) = slope_map(i,j,z) * aspect_map(i,j,z);
133 |         end
134 |     end
135 |end
136
137 |det_fin = sum(det,3);
138 |det_fin = flipud(det_fin);
139 |save('detachment','det_fin','-ascii');

```

# Valutazione della suscettibilità nell'area di Casamicciola

## Aree suscettibili al distacco per scivolamento a cuneo (TME)



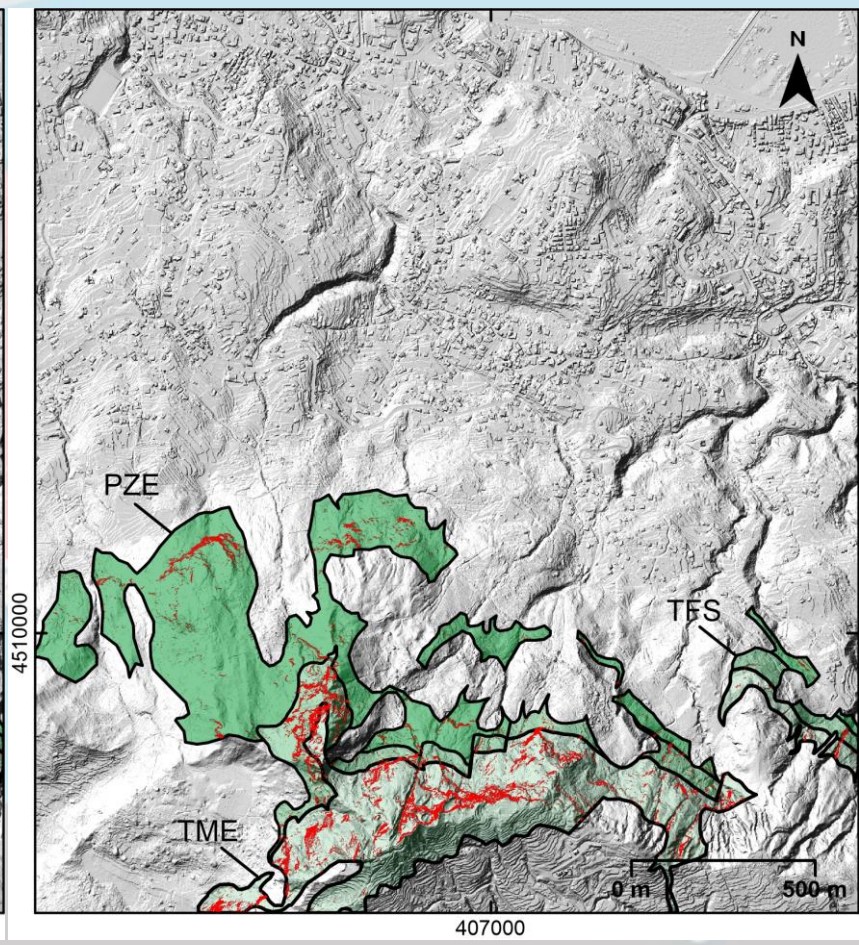
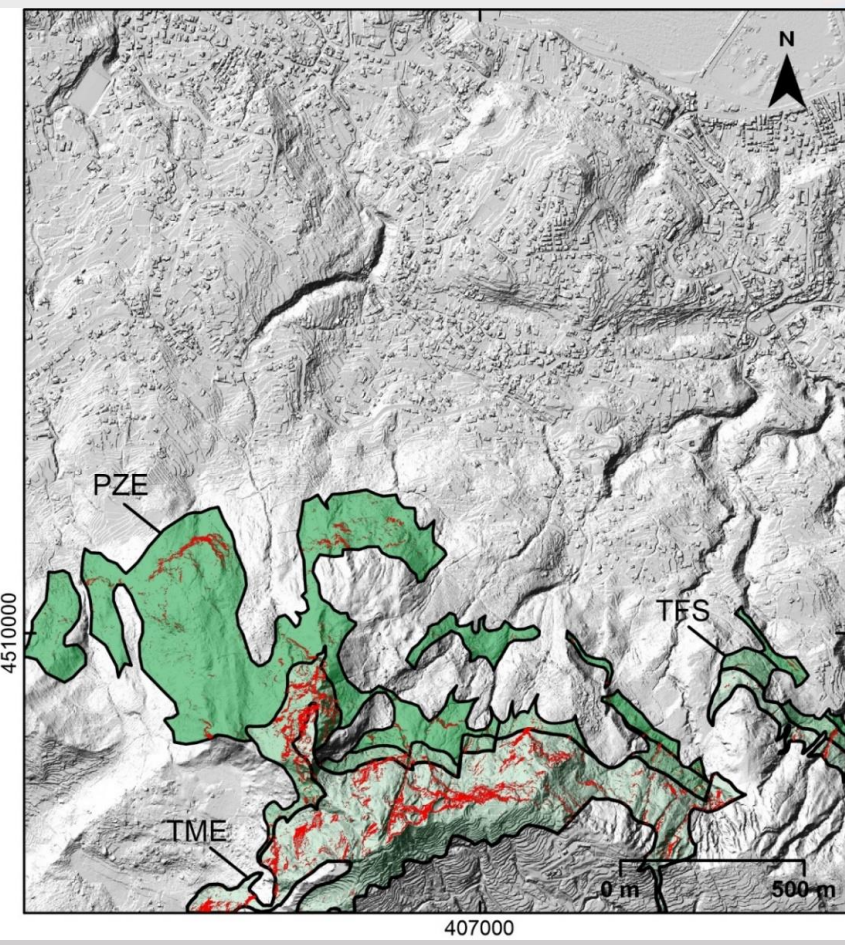
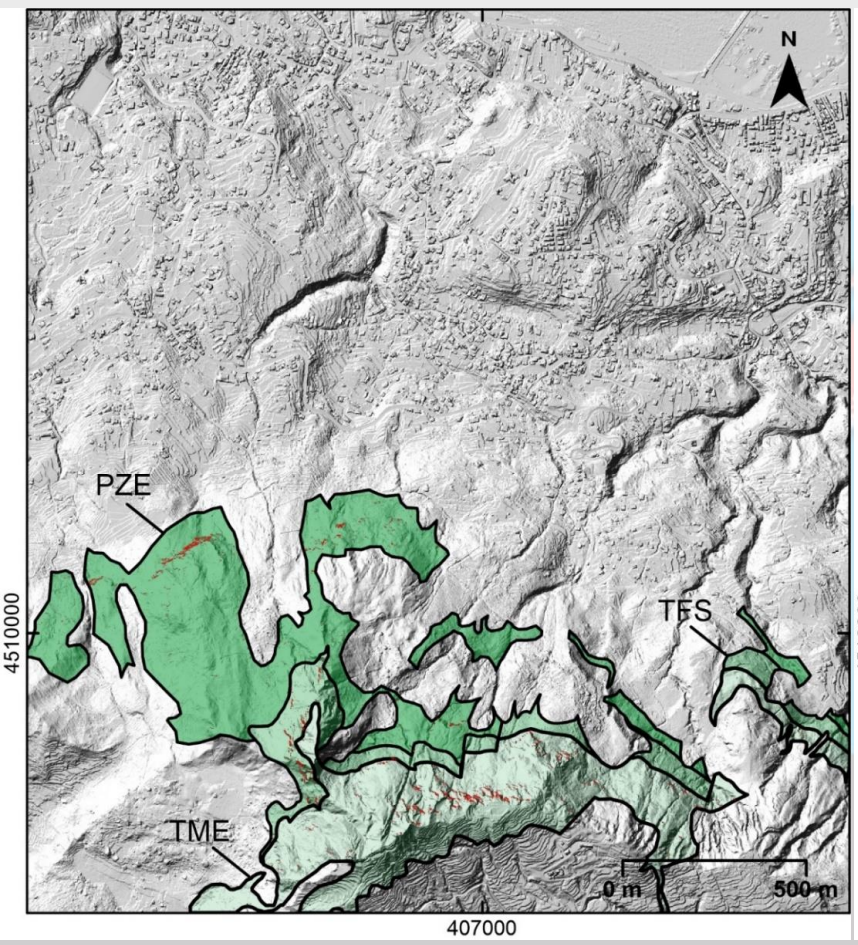
# Valutazione della suscettibilità nell'area di Casamicciola

## Aree suscettibili al distacco di blocchi

Scivolamento planare

Scivolamento a cuneo

Sintesi



# Valutazione della suscettibilità nell'area di Casamicciola

## Suscettibilità al transito e all'invasione: *software* e dati di *input*

**Rockyfor3D (Dorren & Simoni, 2014)**, algoritmo per la modellazione delle fasi di movimento in aria libera (moto parabolico uniformemente accelerato), rimbalzi e rotolamenti dei blocchi di roccia combinato con un approccio stocastico riferito ad alcuni parametri di input (es. volume, coefficienti di restituzione).

### Dati di *input*:

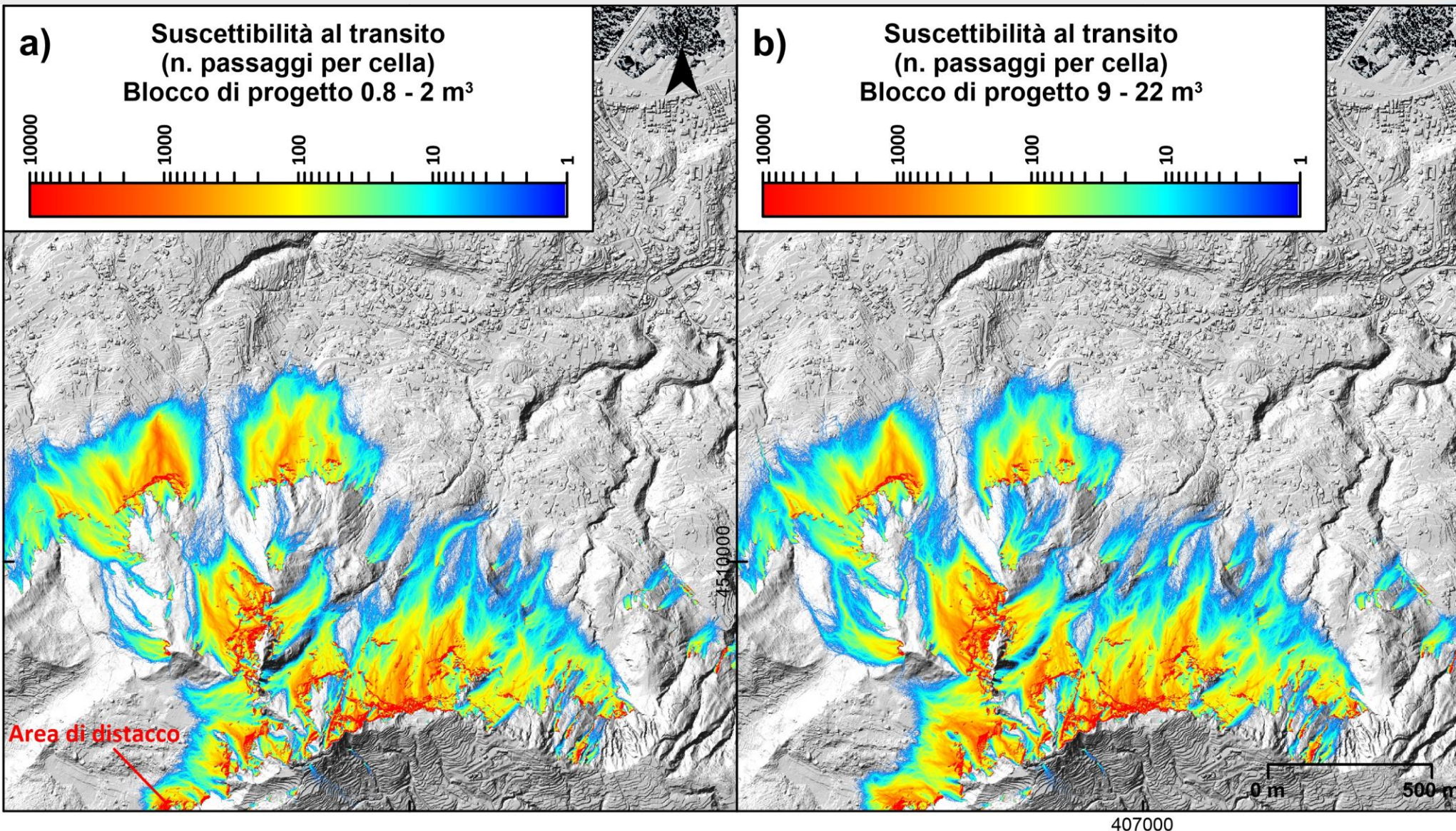
- 1) modello digitale del terreno LiDAR (0.5 x 0.5 m) con edifici;
- 2) volume del blocco di progetto: 0.8 - 2 m<sup>3</sup> e 9 - 22 m<sup>3</sup>;
- 3) forma del blocco di riferimento "rettangolare";
- 4) densità del materiale pari a 1500 kg/m<sup>3</sup>.
- 5) coefficienti di restituzione assegnati sulla base della carta geolitologica disponibile (1:50,000 Rapolla et al. 2010) e il database del software;
- 6) aree di distacco potenziale identificate mediante analisi cinematica distribuita;
- 7) distribuzione (densità) e caratteristiche della vegetazione;

### Altri parametri:

- 1) 100 "lanci" per ogni cella identificata come suscettibile al distacco.

# Valutazione della suscettibilità nell'area di Casamicciola

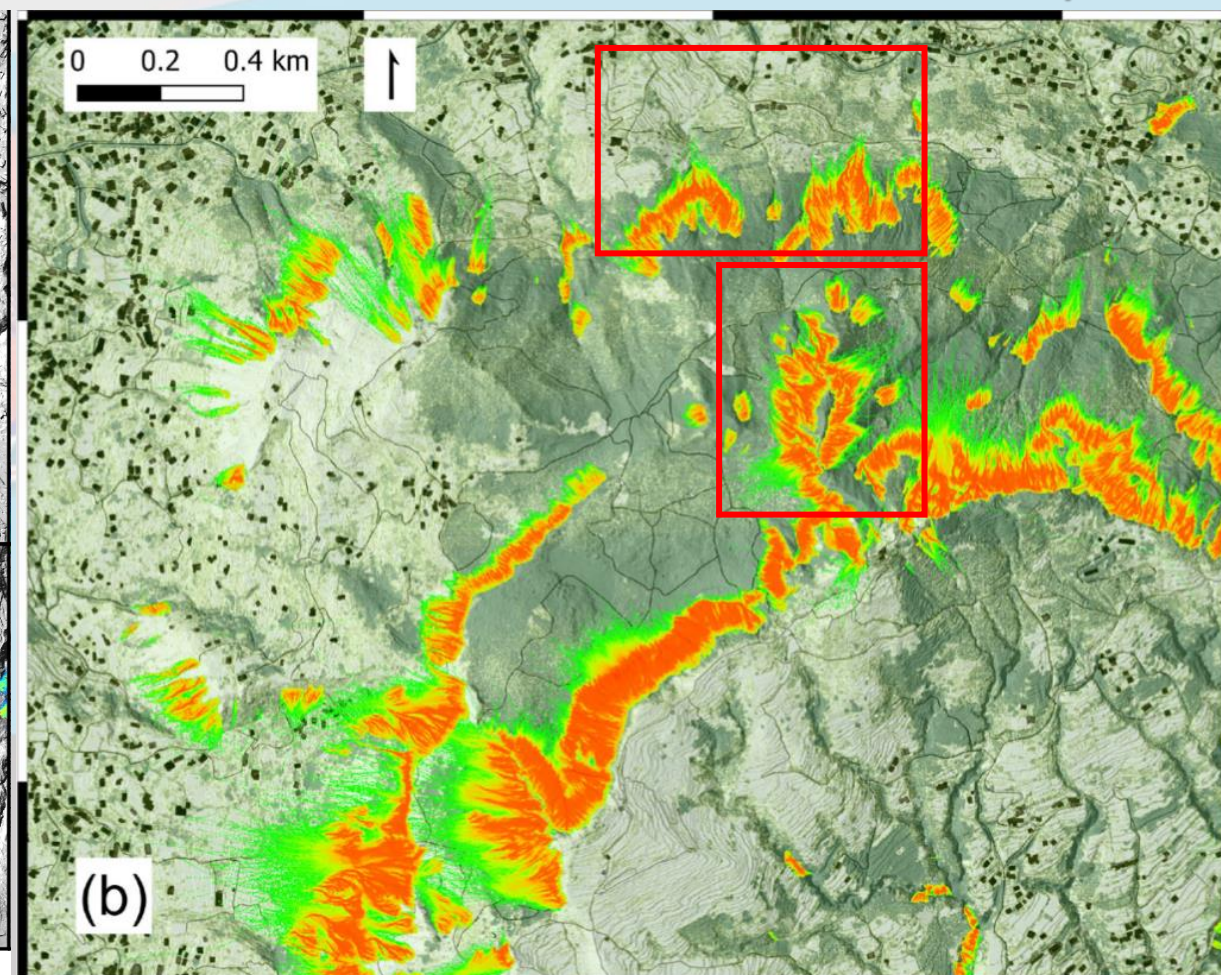
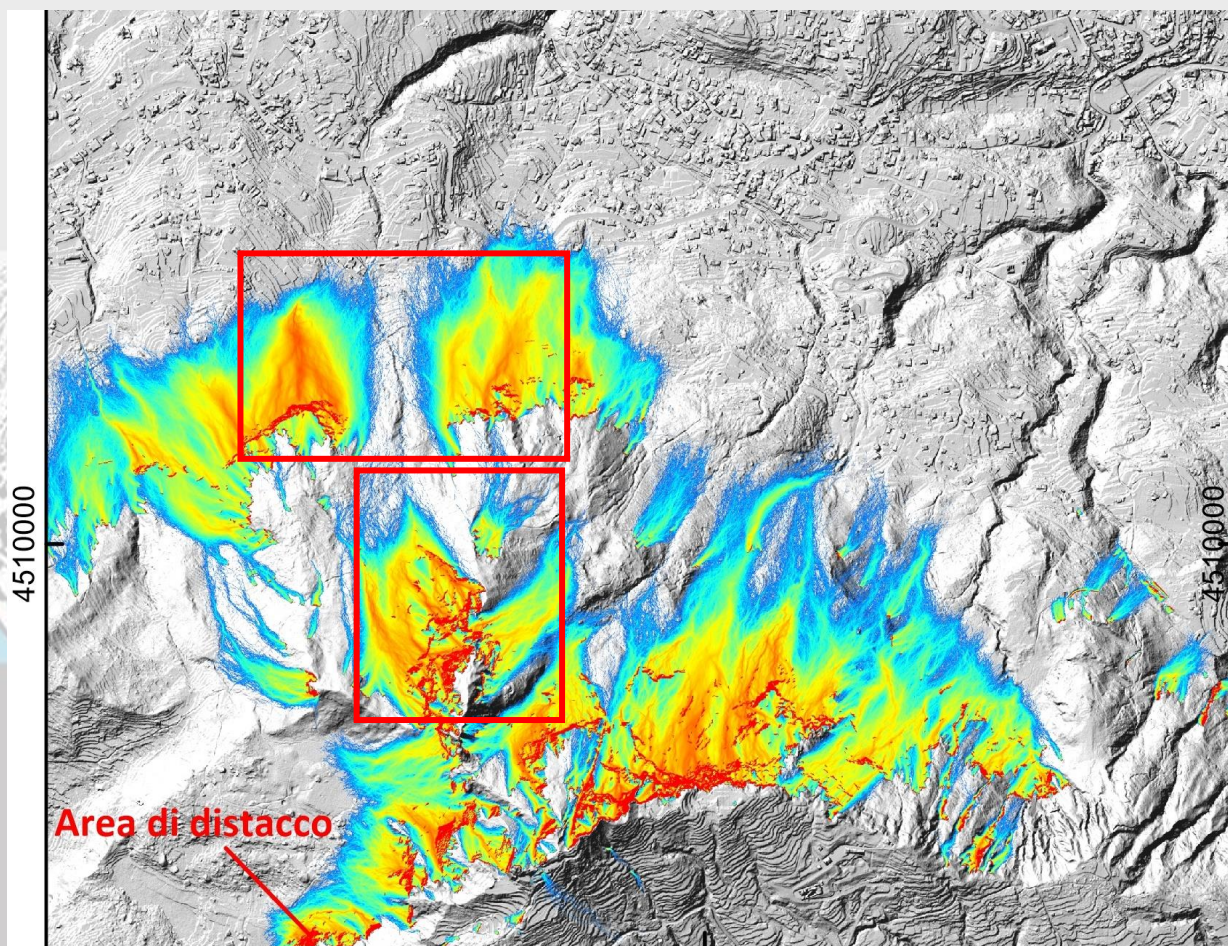
## Risultati dell'analisi di suscettibilità di fase 2



# Valutazione della suscettibilità nell'area di Casamicciola

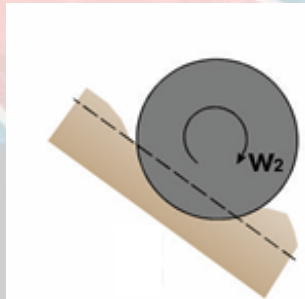
Validazione dei risultati: **persistono differenze non trascurabili!**

Alvioli et al., 2022



# Limiti dell'approccio e interpretazione dei risultati

- ➔ **Mancanza di un evento di calibrazione della parametrizzazione;**
- ➔ **Semplificazione della forma dei blocchi in rettangolare e considerazione solo parziale dell'effetto indotto;**
- ➔ **Effetto del costruito sulla propagazione considerato come elemento indistruttibile;**
- ➔ **Stima della scabrezza a scala di versante basata su osservazioni di sito;**
- ➔ **Stima dei coefficienti di restituzione sulla base di una cartografia geologica semplificata (anche se il criterio stocastico di gestione di questo parametro ne mitiga gli effetti sul risultato);**
- ➔ **Profondità di riferimento per la stima dei coefficienti di restituzione pari a 0;**
- ➔ **Risoluzione del modelo digitale;**





# ➤ Prospettive di sviluppo

**Esecuzione di esperimenti in scala reale per la verifica di:**

- **Affondamento effettivo;**
  - **Range di velocità;**
  - **Effetto della vegetazione;**
  - **Distanza di propagazione;**
- e la eventuale rivalutazione di:**
- **Coefficienti di restituzione;**
  - **Profondità di riferimento;**
  - **Risoluzione ottimale del modello digitale.**



**Grazie per l'attenzione ...**



**[luigi.guerriero2@unina.it](mailto:luigi.guerriero2@unina.it)**