



STUDIO SULLA PERICOLOSITÀ DERIVANTE DA FENOMENI DI CROLLO NELL'AREA OGGETTO DI VARIANTE PRG  
NDA ART. 92.2 AG.1 AZIENDA PER L'AGRITURISMO - COMUNE DI BOCENAGO

ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ DEI FENOMENI DI CROLLO E STIMA DEI MASSIMI EFFETTI ATTESI			
ELABORATO	Rel.Geo.01	CATEGORIA	Studio Pericolosità
DATA	Maggio 2023	COMMESSA	Rif. 329/22
COMMITTENTE		Masè Paolo Mosca Paola	
IL TECNICO		STUDIO DI GEOLOGIA LORENZETTI VIA SORANO, 39 38086 PINZOLO (TN)	

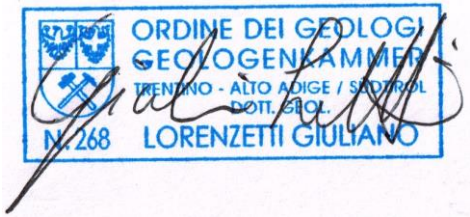


**Studio di Geologia Lorenzetti**  
Servizi Per l'Ambiente e la Geologia Applicata  
Dott. Geol. Lorenzetti Giuliano - Dott.ssa Geol. Graba Magdalena



A norma di legge il presente elaborato non può essere riprodotto o comunicato a terze parti senza espressa e preventiva autorizzazione dello Studio di Geologia Lorenzetti

IL TECNICO GEOLOGO  
DOTT. GIULIANO LORENZETTI



<b>PREMESSA ED OBIETTIVI .....</b>	<b>3</b>
<b>ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ DEI FENOMENI DI CROLLO E STIMA DEI MASSIMI EFFETTI ATTESI .....</b>	<b>5</b>
ANALISI DI CADUTA MASSI IN CAMPO TRIDIMENSIONALE .....	7
<i>Software di modellazione caduta massi .....</i>	7
<i>Individuazione della tipologia di suolo lungo il versante .....</i>	8
<i>Stima del parametro dell'asperità del versante .....</i>	14
<i>Individuazione delle aree di distacco dei massi e del blocco unitario di progetto .....</i>	15
<i>Sezioni di controllo .....</i>	18
DISCUSSIONE RISULTATI – STATO ATTUALE .....	19
<i>Aree di passaggio dei massi .....</i>	20
<i>Energie cinetiche .....</i>	21
<i>Altezze di volo dei massi simulati – stato attuale - aree sorgenti blocchi tonalitici .....</i>	22
<b>CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE SULLA MODELLAZIONE CADUTA MASSI E PROPOSTE PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO CROLLI NELL'AREA DI INTERESSE .....</b>	<b>23</b>



## **Premessa ed obiettivi**

Per conto della Committenza “Masè Paolo e Mosca Paola” ed in accordo con lo studio di tecnico Grafica Maffei di Geom. Marco Maffei è redatto il presente studio che analizza le condizioni di pericolosità DERIVANTE DA FENOMENI DI CROLLO NELL'AREA OGGETTO DI VARIANTE PRG NDA ART. 92.2 AG.1 AZIENDA PER L'AGRITURISMO - COMUNE DI BOCENAGO.

La nuova previsione urbanistica prevede la realizzazione di un'azienda agroturistica con annesso alloggio della proprietà. Non si dispone, in questa fase, dei dettagli progettuali in quanto si tratta di una fase pianificatoria; tuttavia, si ritiene indispensabile comprendere se l'utilizzo dell'area in oggetto sia compatibile o meno con le locali condizioni di pericolosità.

Si riporta a completamento delle informazioni un estratto del parere del Servizio Geologico di Trento di data 21/03/2023 dove viene confermata la necessità di uno studio che approfondisca le locali condizioni di pericolosità per la previsione di cui all'oggetto:

*“Il Servizio Geologico, viste le controdeduzioni dell'Amministrazione comunale in adozione definitiva, ritiene doveroso in via collaborativa, precisare che la pianificazione urbanistica presenta spesso un livello di analisi diverso rispetto a quello legato ad un particolare intervento in fase progettuale. Ciò che è importante, in fase di pianificazione, è comprendere se l'utilizzo di una determinata area sia compatibile con le locali pericolosità della zona in esame, anche in assenza di un progetto. Talvolta, come in questo caso, risulta necessario, a fronte di un decisivo cambiamento dell'uso del suolo (a livello cartografico e normativo), avere informazioni ulteriori per esprimere un parere di competenza.*

*In fase di pianificazione, sulla base delle risultanze della verifica/analisi/studio delle pericolosità gravanti sull'area in esame, è possibile predisporre determinate prescrizioni, qualora necessarie, sull'utilizzo dell'area di tipo, ad esempio, strutturali, gestionali o localizzative per i futuri interventi.*

*La richiesta di esaminare la variante in oggetto, tramite un approfondimento risulta, inoltre, legittimata con l'ultima modifica alla Delibera di Giunta n. 1317 del 4 settembre 2020 al capitolo 8.3 che consente alle strutture provinciali di entrare nel merito delle singole varianti in sede di strumento pianificatorio, chiedendo specifici studi, prescrizioni da rimandare o in fase di adozione definitiva o ad una fase progettuale.”*

Allo stato attuale l'area di interesse è inquadrata in area P2 secondo quanto previsto dalla Carta di Sintesi della pericolosità.

In Figura 1 si riporta la Carta di sintesi della pericolosità.

In Figura 2 l'estratto della carta della pericolosità per fenomeni di crollo.

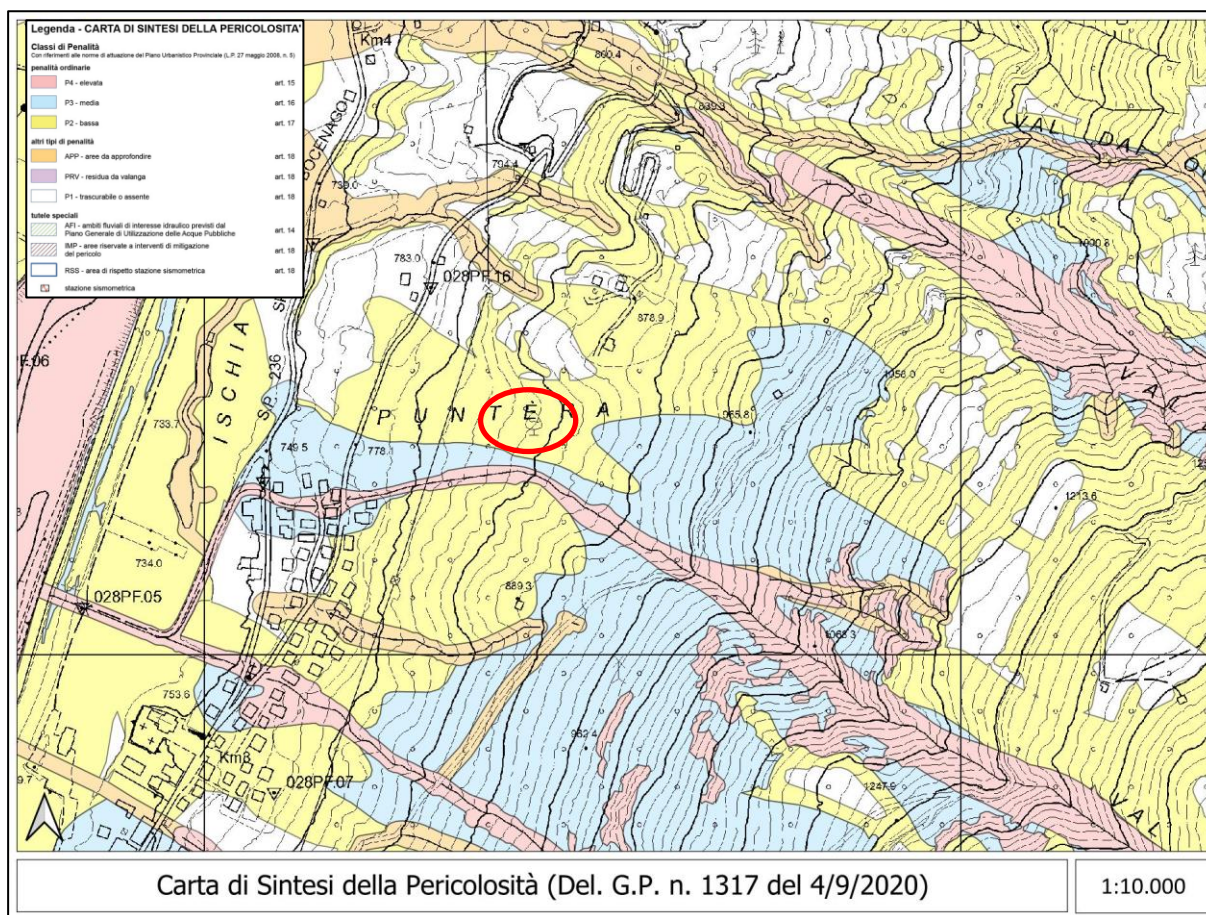


Figura 1. Carta di sintesi della Pericolosità (scala 1:5.000)

La penalità dell'area deriva sostanzialmente dalla pericolosità

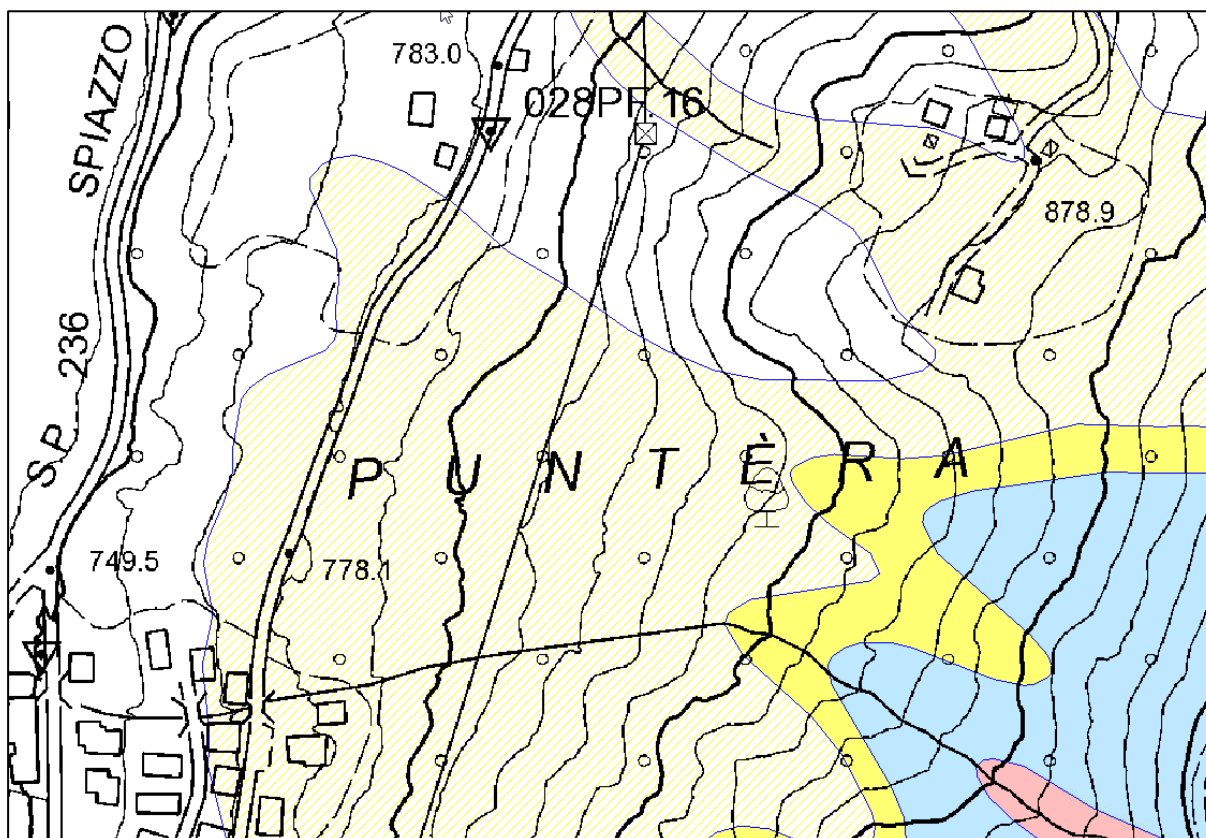


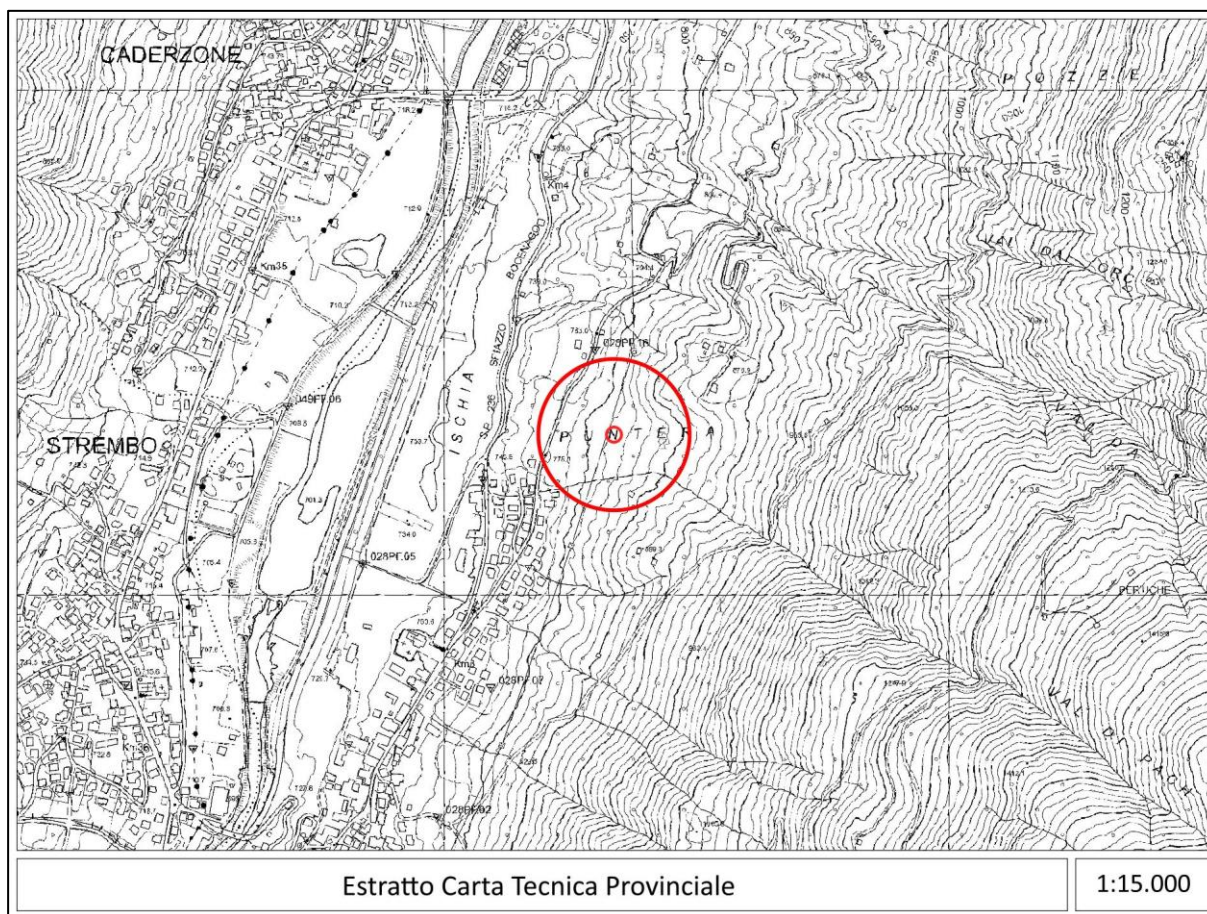
Figura 2. Carta della Pericolosità crolli rocciosi (scala a vista)



## **Analisi della pericolosità dei fenomeni di crollo e stima dei massimi effetti attesi**

Il presente elaborato ha l'obiettivo di fornire informazioni dettagliate riguardo la pericolosità di caduta massi che coinvolgono l'area oggetto di studio. I risultati ricavati dalle simulazioni numeriche permettono una visione dello stato attuale del versante con una valutazione quantitativa riguardo le energie, le altezze di volo e le traiettorie più probabili di eventuali distacchi o scoscendimento di massi lungo il versante.

L'area di indagine si sviluppa in località Puntera situata a nord dell'abitato di Bocenago tra le quote 780 – 850 m s.l.m. lungo la viabilità secondario che conduce all'abitato di Massimeno. L'area è limitata verso sud dall'impluvio del Rio Val di Pach recentemente oggetto di sistemazione idraulica con la costruzione di una importante opera di difesa da fenomeni di colata.



**Figura 3. Area di indagine (estratto CTP PAT)**

Le analisi di caduta massi in questa fase riferiscono allo STATO ATTUALE del versante così da permettere una chiara interpretazione dei fenomeni attesi e delle possibili strategie di mitigazione rischi da prevedere per le nuove previsioni urbanistiche da adottare nella futura variante al piano regolatore comunale.

Qui di seguito due scatti effettuati da drone nel quale vengono ripresi gli elementi salienti dell'area di indagine. in particolare:

l'area di interesse che allo stato attuale si configura come un'area prativa a blanda pendenza ovest vergente;

le opere di regimazione lungo val del Pach;

il versante a monte dell'area di interesse che risulta caratterizzato da una fitta vegetazione ad alto fusto.





*Figura 4. Area di indagine. Ripresa aerea*



*Figura 5. Area di indagine. Ripresa aerea*





Figura 6. Area di indagine. Ripresa aerea

## Analisi di caduta massi in campo tridimensionale

Le simulazioni condotte in campo tridimensionale hanno permesso di valutare le dinamiche di caduta massi alla scala di versante ottenendo informazioni riguardo le traiettorie che assumono i massi in relazione alla morfologia del terreno. L'obiettivo dell'analisi 3D è quello di verificare quali aree del versante possano svolgere un ruolo di sorgente attiva dei massi che, muovendosi verso valle, potrebbero arrivare ad interessare il perimetro di interesse.

### Software di modellazione caduta massi

La modellazione di caduta massi è stata effettuata utilizzando il software dedicato Rockyfor3D della EcorisQ (International Association for Natural Hazard Risk Management. [www.ecorisq.org](http://www.ecorisq.org)).

Il software utilizza una serie di files compilati con le informazioni necessarie a far girare il modello. I dati necessari consistono in un dataset di ASCII rasters (ESRI format) che definiscono la topografia e le caratteristiche superficiali del pendio così come le condizioni che regolano il rilascio dei blocchi di progetto.

I risultati della modellazione, implementati in ambiente GIS (Sistema Informativo Geografico), permettono di elaborare mappe del rischio 3D per identificare le aree più vulnerabili e ottenere inoltre i dati necessari per il dimensionamento degli interventi, quali ad esempio le altezze e le energie associate ai massi simulati.

Il programma durante la simulazione delle traiettorie di ogni singolo blocco rilasciato lungo il pendio, ed in ogni momento che uno stesso blocco sorvola o rimbalza in una cella, registra in un file formato *raster* il valore massimo delle variabili associate al moto del masso. Le informazioni di *output* del programma consistono in un dataset di file *rasters* aventi la medesima estensione spaziale, e risoluzione, del dataset di input.

I risultati del programma di calcolo, quindi, implementati in ambiente GIS (QGIS e SAGA), vengono

sovrapposti su base cartografica (curve livello passo 1 m) sia per avere un riscontro di quanto modellato sia per avere una rappresentazione in grado di fornire immediatamente risultati chiari e comprensibili del fenomeno indagato.

Le principali informazioni ricavate sono:

- la “*Reach Probability*”: rappresenta le zone dove esiste una maggior probabilità o improbabilità (valori inferiori > 0) che un masso arrivi in una data cella del modello digitale del terreno;

$$R_p = \frac{\text{n.passaggi per una data cella} * 100}{(\text{n.simulazioni per cella sorgente} * \text{n.celle sorgente})} [\%]$$

- Il valore dell’energia cinetica, espresso in kJ, registrato in ogni singola cella del modello digitale del terreno. Per il dimensionamento delle misure di mitigazione del rischio di caduta massi si è considerato il valore corrispondente al 95° percentile della distribuzione dei valori di energia cinetica registrati in ogni cella;
- Il valore di altezza di volo, espresso in m rispetto la verticale del pendio, registrato in ogni singola cella del modello digitale del terreno.

Per digitalizzare una mappa dell’intensità o del rischio in una determinata area studio basata sulle informazioni di output del programma Rockyfor3D, la mappa della *Reach Probability* è una delle informazioni più utili per delineare realisticamente le zone di rotolamento. In modellazioni che prevedono 100 simulazioni per cella sorgente, come nel caso in oggetto, si può ragionevolmente ritenere *outliers* valori inferiori a 1-1.5. Considerazioni in merito a questa soglia saranno effettuate nel paragrafo dedicato.

### **Individuazione della tipologia di suolo lungo il versante**

Al fine di predisporre correttamente il modello del terreno da imputare nel software di modellazione caduta massi è indispensabile individuare le varie tipologie di suolo che caratterizzano il versante.

La tipologia di suolo è, infatti, utilizzata per definire la risposta elastica del substrato durante il rotolamento/rimbalzo dei massi, fattore determinante per la risposta del modello durante le simulazioni. Nel caso in oggetto è stato applicato un approccio morfologico calibrato sulle osservazioni in campo: si è associata ciascuna tipologia di suolo, con le proprie caratteristiche elastiche, a *range* prestabiliti di acclività ipotizzando che ai tratti più pendenti corrispondano valori di restituzione elastica più elevati in quanto si presume la roccia sia affiorante o quantomeno sub affiorante; ai tratti meno acclivi si sono associati valori inferiori di restituzione elastica in quanto è verificata la presenza di coltri di sedimento sciolto meno compatto. In Figura 7 si riporta la tabella estratta direttamente dal manuale del software utilizzato “*Rockyfor3D (v5.2) revealed*” in cui sono riportati i vari tipi di suolo implementati nel software di simulazione caduta massi con i corrispondenti intervalli dei valori di elasticità ( $R_n$  – coefficiente di restituzione normale al piano).

Questo parametro è utilizzato dal software per il calcolo della penetrazione del blocco nel terreno ad ogni rimbalzo simulato (Pichler et al. 2005).

I parametri che concorrono al calcolo della penetrazione dei blocchi nel terreno sono:

- il coefficiente di restituzione normale ( $R_n$ );
- il diametro dei blocchi (m);
- la massa dei blocchi (kg);
- la velocità di impatto di ciascun blocco (V in m/s).



Soiltype	General description of the underground	mean $R_n$ value	$R_n$ value range
0	River, or swamp, or material in which a rock could penetrate completely	0	0
1	Fine soil material (depth > ~100 cm)	0.23	0.21 - 0.25
2	Fine soil material (depth < ~100 cm), or sand/gravel mix in the valley	0.28	0.25 - 0.31
3	Scree ( $\varnothing$ < ~10 cm), or medium compact soil with small rock fragments, or forest road	0.33	0.30 - 0.36
4	Talus slope ( $\varnothing$ > ~10 cm), or compact soil with large rock fragments	0.38	0.34 - 0.42
5	Bedrock with thin weathered material or soil cover	0.43	0.39 - 0.47
6	Bedrock	0.53	0.48 - 0.58
7	Asphalt road	0.35	0.32 - 0.39

Figura 7. Tipologie di suolo da imputare nella modellazione caduta massi

Nell'area di intervento sono stati inseriti: a) il suolo tipo 5 per le aree più acclivi dove il substrato roccioso risulta affiorante o sub affiorante ( $slope > 50^\circ$ ); b) il suolo tipo 3 per le aree boscate dove esiste uno strato di copertura mediamente compatto con piccoli e/o media frammenti rocciosi ( $slope$  compreso tra  $35^\circ$  e  $50^\circ$ ); c) il suolo tipo 2 per le aree meno acclivi dove si sono osservate coltri di materiale detritico ( $slope < 35^\circ$ ).

Come si evidenzia dall'estratto di Figura 8, nel quale alla topografia sono stati sovrapposti i suoli imputati nel modello, ne risulta un quadro piuttosto articolato per quanto riguarda l'area di indagine. L'area di interesse e le vallecole poste ad esso subito a monte sono state descritte con un suolo di tipo 2 in accordo con la presenza di suoli debolmente addensati con una matrice terrosa anche abbondante. Risalendo lungo il pendio l'acclività generale aumenta e si rinvencono depositi in cui sono presenti anche blocchi e frammenti litici (rif. Lave di Bocenago) provenienti dalle zone a monte dove affiora il substrato roccioso; questo, come verrà descritto nel proseguo del documento, si rinviene in piccoli areali a partire da quota 1.000 m slm.

Nell'immagine di seguito la mappa dei suoli utilizzati nelle simulazioni.

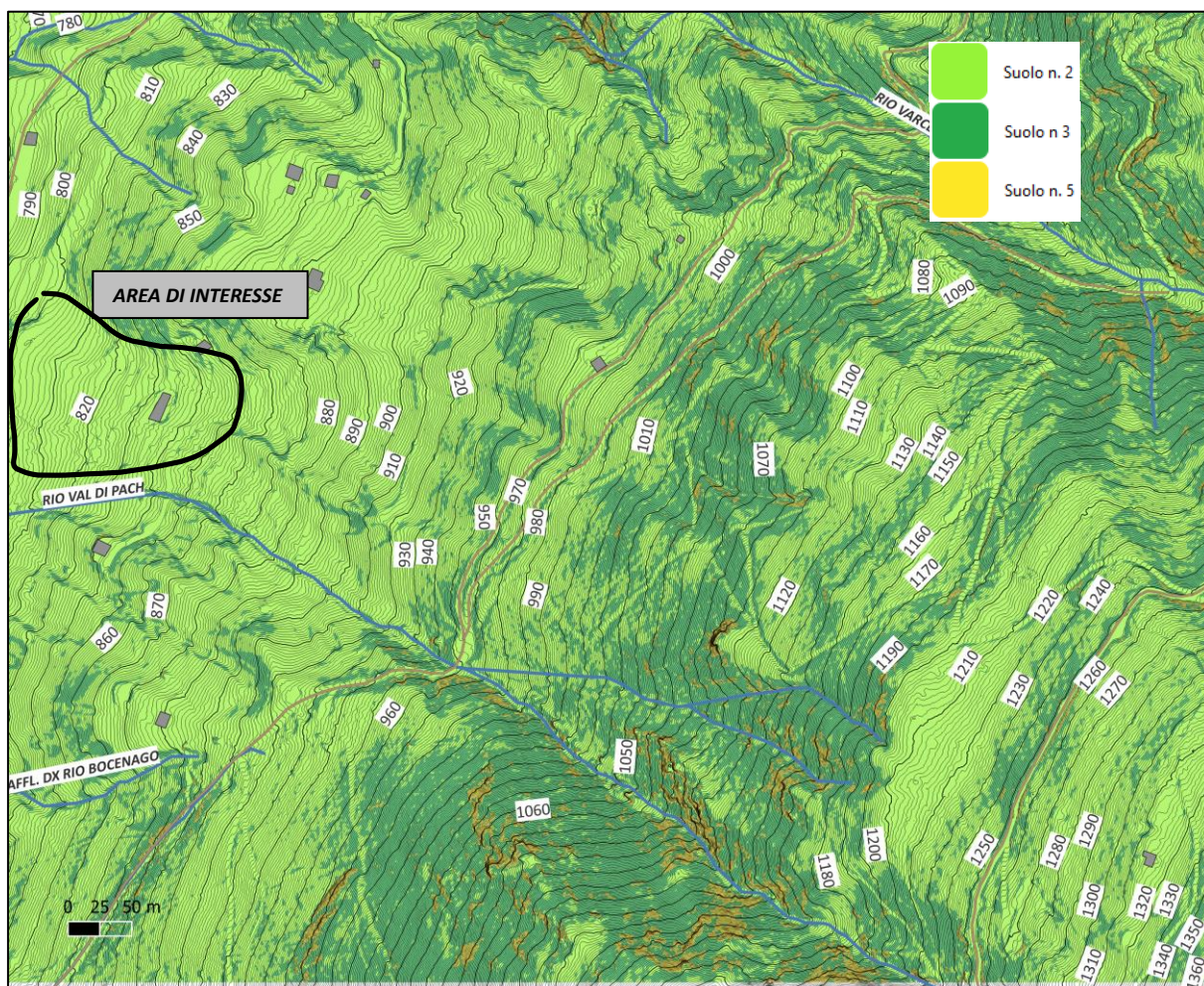


Figura 8. Estrapolazione mappa dei suoli





*Figura 9. Vallecola a monte dell'area di interesse (rif. Foto S1)*



*Figura 10. Vallecola a monte dell'area di interesse (rif. Foto S2)*





Figura 11. Dettaglio suolo 2 a monte dell'area di interesse (rif. Foto S3)



Figura 12. Tipologia di suolo 3 a valle della strada forestale (rif. Foto S7)





*Figura 13. Tipologia di suolo 3 a monte della strada forestale (rif. Foto S13)*

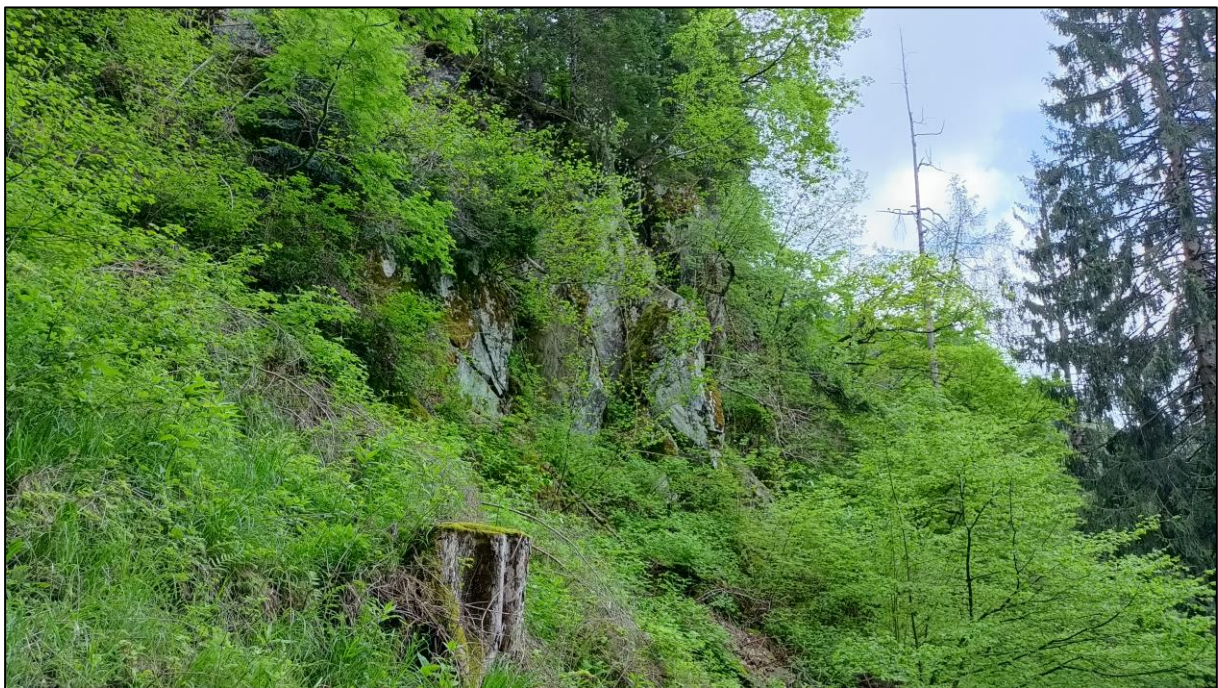


*Figura 14. Tipologia di suolo 3 quota 1.030 m slm (rif. Foto S14)*





*Figura 15. Tipologia di suolo 3 quota 1.030 m slm (rif. Foto S16 quota 1.030 m slm)*



*Figura 16. Tipologia di suolo 5 nei pressi della parete rocciosa presente a quota 1.100 m slm (rif. Foto S19)*

Come evidenziato durante il sopralluogo è presente una sola area, per altro limitata, dove affiora direttamente il substrato roccioso (parete rocciosa di quota 1.100 m slm rif foto S19). Gran parte del versante è ricoperto da sedimenti a differente grado di compattezza; in generale alle quote più elevate si osserva una maggior frequenza nella presenza di blocchi lapidei, con ogni probabilità provenienti dalla parete rocciosa su descritta.



## Stima del parametro dell'asperità del versante

Il modello concettuale del pendio, per poter rappresentare realisticamente i processi oggetto di studio, deve contenere anche i valori di scabrezza.

La rugosità imputata nel modello non rappresenta la micro topografia (es: ondulazioni del terreno) ma bensì gli ostacoli, costituiti in questo caso da massi e/o porzioni di roccia, situati lungo il pendio che vanno ad ostacolare la caduta del blocco. La scabrezza è determinata in campo individuando zone omogenee e viene espressa in termini probabilistici da tre classi di probabilità: rg70, rg20, rg10. Queste classi descrivono la probabilità che un masso ha di incontrare un ostacolo di una certa altezza lungo il suo percorso. Ognuna di queste classi è rappresentata da una mappa raster e corrisponde all'altezza in metri di un ostacolo rappresentativo (MOH) che un masso che cade incontra nel 70%, 20% e 10% dei casi, durante un rimbalzo nel poligono definito.

In analogia a quanto effettuato per l'individuazione della tipologia dei suoli lungo il versante anche i parametri di rugosità sono stati calibrati seguendo un approccio morfologico e cautelativo al contempo. Alle differenti tipologie di suolo e di materiale affiorante sono state associate proprie caratteristiche in termini di rugosità; si segnala che per simulare correttamente la presenza di numerosi massi alla base della parete rocciosa è stata inserita un'ulteriore classe di pendenza tra i 40° ed i 50° alla quale sono stati associati differenti parametri di rugosità.

In generale la parte bassa del versante possiede un parametro "rg" inferiore rispetto le zone alle quote più elevate; in campo, infatti, nella zona subito a monte dell'area di interesse sono stati osservati ben pochi frammenti lapidei al contrario di ciò che è avvenuto soprattutto a monte della strada forestale esistente. Nella tabella di seguito i range di valori imputati nel modello.

Suolo tipo 5 (slope > 50°)			Suolo tipo 3 (slope 40° - 50°)			Suolo tipo 3 (slope 35° - 40°)			Suolo tipo 2 (slope < 35°)		
RG10 [m]	RG20 [m]	RG70 [m]	RG10 [m]	RG20 [m]	RG70 [m]	RG10 [m]	RG20 [m]	RG70 [m]	RG10 [m]	RG20 [m]	RG70 [m]
0,50	0,30	0,18	0,35	0,25	0,17	0,18	0,17	0,15	0,10	0,08	0,05

Figura 17. Valori di rugosità inseriti nel programma di simulazione

Il parametro della scabrezza (MOH) ha un ruolo importante nel calcolo della velocità che ciascun blocco assume successivamente ad ogni impatto sul terreno. Infatti, esso concorre nel determinare il parametro  $R_t$  o coefficiente di restituzione tangenziale secondo la:

$$R_t = \frac{1}{1 + ((MOH + D_p) / R)}$$

Dove:

- MOH rappresenta l'altezza di un ostacolo dalla superficie del pendio;
- $D_p$  è la profondità di penetrazione del blocco (m);
- $R$  è il raggio del blocco in volo (m).

Il parametro  $R_t$  viene utilizzato poi nel calcolo delle componenti delle velocità che caratterizzano il blocco dopo ogni rimbalzo: la  $V_{t2}$ , o velocità tangenziale, la  $V_{n2}$ , o velocità normale, e la  $V_{rot2}$ , o velocità di rotazione.

$$V_{t2} = \sqrt{\frac{R^2 * (I * V_{rot1}^2 + RockMass * V_{n1}^2) * R_t}{I + RockMass * R^2}}$$

$$V_{n2} = \frac{-V_{n1} * R_n}{1 + (abs(V_{n1})/9)^2}$$

$$V_{rot2} = \min \left[ \frac{V_{t2}}{R}, V_{rot1} + \frac{(V_{t1} - V_{t2}) * 2}{5 * R} \right]$$

Dove:

- $V_{t1}$ ,  $V_{n1}$ ,  $V_{rot1}$  sono rispettivamente le velocità tangenziali, normali e di rotazione prima dell'impatto;
- $R$  è il raggio del blocco in volo (m);
- $I$  è il momento di inerzia.

I parametri della risposta elastica del terreno e dell'asperità del versante concorrono nel determinare le dinamiche di scoscendimento dei massi lungo il versante che viene approssimato ad una caduta in campo libero a traiettoria parabolica. Il percorso parabolico di ciascun masso simulato è calcolato con l'algoritmo standard che descrive il moto parabolico uniformemente accelerato in aria. Questo permette di determinare la posizione e la velocità di ogni blocco all'intersezione con la topografia 3D rappresentata dal modello di elevazione digitale del terreno.

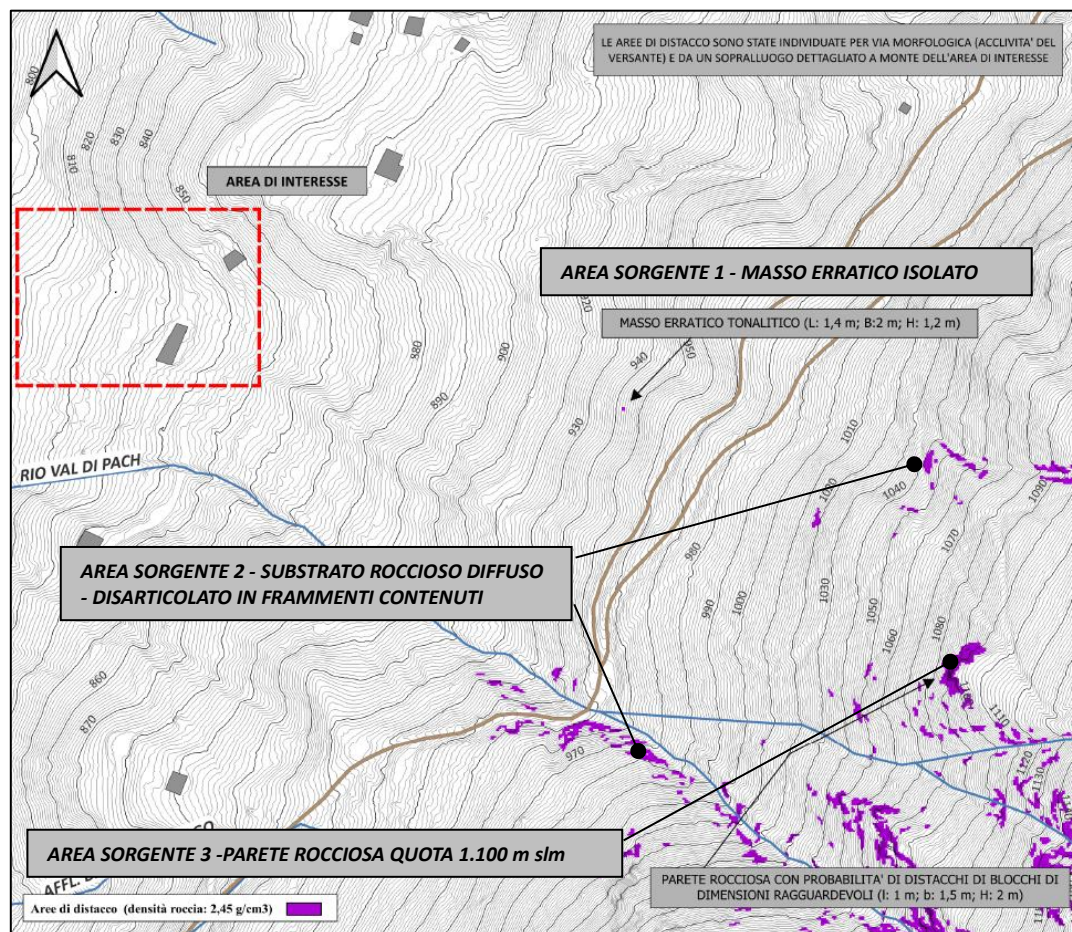
### **Individuazione delle aree di distacco dei massi e del blocco unitario di progetto**

Le aree di distacco, cioè tutti quei punti in cui si prevede che un blocco può essere mobilizzato verso valle, sono state individuate sulla scorta delle indagini effettuate in campo.

Le aree di distacco sono funzione del contesto geologico sito specifico, infatti, è stato possibile individuarne di due tipi: la prima corrispondente alle zone dove affiora il substrato roccioso, ovvero la sua porzione più detensionata superficiale, e hanno la caratteristica di concentrarsi in determinati punti del pendio, mentre la seconda corrispondente ad un punto specifico lungo il versante in cui si è identificato un blocco tonalitico erratico di volumetria consistente.

Si ritiene di aver indagato approfonditamente gran parte del pendio in grado di fornire massi potenzialmente pericolosi per l'area di interesse.

Negli estratti di seguito le mappe in cui si evidenziano le aree sorgenti. A ciascun'area sorgente è stata poi associata una dimensione del blocco unitario secondo le indicazioni contenute nel paragrafo dedicato.



**Figura 18. Individuazione aree di rilascio dei massi**





*Figura 19. Individuazione aree di rilascio dei massi. Substrato roccioso disarticolato*



*Figura 20. Individuazione aree di rilascio dei massi. Substrato roccioso massivo presso la parete situata a quota 1.100 m slm*





*Figura 21. Individuazione aree di rilascio dei massi. Blocco erratico tonalitico isolato*

In sintesi, sono state identificate tre tipologie di aree sorgente: a) il masso erratico isolato situato nell'area subito a monte dell'area di interesse; b) il substrato roccioso disarticolato che si rinviene lungo il versante nelle zone più acclivi ( $slope > 50^\circ$ ) e c) la parete rocciosa situata a quota 1.100 m slm. A ciascuna di questa area, come di seguito specificato saranno assegnati differenti misure del blocco unitario di progetto.

I sopralluoghi in campo effettuati, infatti, oltre a perimetrare le aree di distacco o rilascio pietrame, hanno permesso l'identificazione del blocco unitario del masso di progetto. Questo valore è fondamentale per poter eseguire una modellazione caduta massi il più aderente alla realtà possibile.

Nella fattispecie è stata impostata nel modello del pendio all'interno delle simulazioni la presenza di 3 differenti blocchi unitari rappresentati dalle dimensioni d1, d2 e d3. I blocchi unitari individuati sono strettamente correlati con le differenti aree sorgente presenti lungo il pendio ed identificati nel paragrafo precedente.

Come specificato nel paragrafo dedicato il programma di simulazioni caduta massi utilizzato permette di imputare nelle differenti zone del versante volumi di progetto diversi a seconda di quanto misurato in campo.

Area sorgente 1 - blocco erratico tonalitico			Substrato roccioso diffuso ( $slope > 50^\circ$ )			Parete rocciosa quota 1.100 m slm		
d1 [m]	d2 [m]	d3 [m]	d1 [m]	d2 [m]	d3 [m]	d1 [m]	d2 [m]	d3 [m]
1,4	2,0	1,2	0,8	0,6	0,6	1,0	1,5	2,0

Durante le simulazioni è stata assegnata una forma rettangolare ai blocchi. La forma concorre nel calcolo della massa di ciascun blocco (*RockMass*), del suo momento di inerzia (*I*) e del suo raggio (*R*), parametri che come di seguito specificato concorrono nel condizionare il moto del blocco lungo il pendio.



Case Blockform 1 // rectangle  
 $\text{BlockVolume} = d1 * d2 * d3;$   
 $\text{BlockMass} = \text{RockDensity} * \text{BlockVolume};$   
 $*i = \text{BlockMass} * (D\_arr [1] * D\_arr [1] + D\_arr [2] * D\_arr [2]) / 12;$

### Sezioni di controllo

Nel modello del pendio è stata inserita una sezione di controllo a monte dell'area di interesse. Questa permette di registrare le informazioni relative alla velocità, all'energia, all'altezza di volo e all'angolo di incidenza di ogni massa simulato che viene da essa intercettato. La registrazione dei dati dei massi permette così di effettuare le necessarie statistiche per progettare eventuali opere di mitigazione del rischio in rispetto alle raccomandazioni normative vigenti.

In particolare, nei risultati verranno presentati i valori di energia e di altezze di volo corrispondenti al 95° percentile della distribuzione di tutti i valori di energia e di altezza di volo registrati per la sezione di controllo.

Nel caso specifico alla sezione di controllo non è stata associata né un'energia di progetto né un'altezza nominale. I massi per tanto non vengono bloccati nella discesa finalizzando la simulazione sino ai massimi effetti prevedibili.

Data la particolare conformazione morfologica dell'area di interesse è stato sufficiente imputare un'unica sezione di controllo subito a monte rispetto il manufatto adibito a stalla presente allo stato attuale.

Nella tabella di seguito per ciascuna sezione di controllo sono riportati: la lunghezza della tratta in pianta e la coordinata di inizio e di fine tratta. Le coordinate sono espresse secondo il sistema di riferimento ETRS89/UTM zone 32N (EPSG 25832).

Sezione di controllo	Lunghezza (m)	Coordinata inizio (x,y)	Coordinata fine (x,y)
1	55 m	636435, 5109335	636415, 5109284

Figura 22. Sezione di controllo (lunghezza e coordinate)

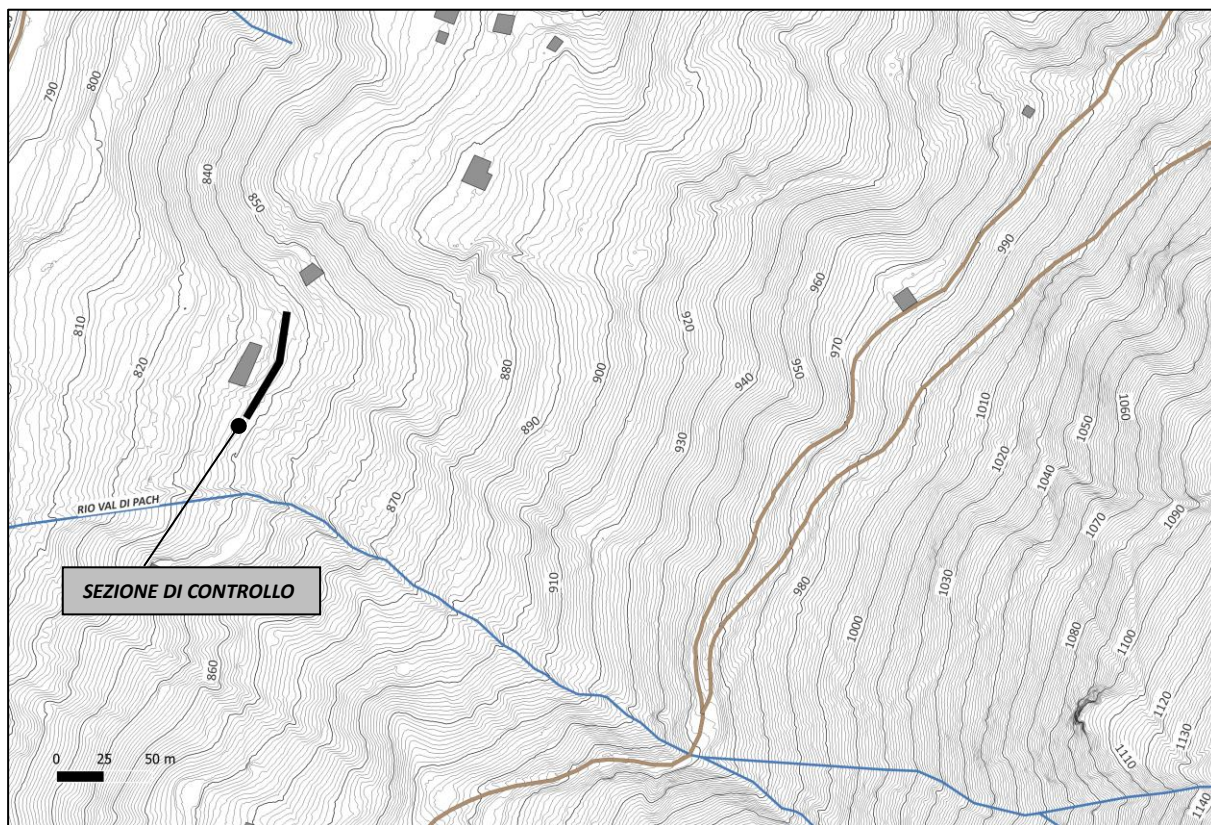


Figura 23. Posizione della sezione di controllo



## Discussione risultati – stato attuale

Determinato il modello concettuale del pendio sulla scorta delle indagini effettuate e identificate le condizioni di rilascio si è proceduto con le simulazioni.

Al fine di avere un dato robusto in termini statistici, ed individuare così le zone dove con maggior probabilità vengono a concentrarsi le traiettorie dei massi simulati, per ogni cella sorgente è stato scelto di imputare un numero di simulazioni pari a 100. Considerati i 8.142 pixel individuati come area sorgente il numero totale di simulazioni effettuate è pari a 814.200. Non è stata imputata alcuna altezza di volo iniziale (vedi specchietto qui sotto) né una variazione del volume di progetto imputato.

Il volume minimo simulato è pari a 0,3 m<sup>3</sup> mentre quello massimo a 3,4 m<sup>3</sup>. La massima energia ottenuta nei numerosi pixel che costituiscono il pendio è pari a 3.345 kJ.

Rockyfor3D v5.2.15 - Simulations completed on Wed May 24 22:15:33 2023

simulation started on Wed May 24 22:15:01 2023

simulation settings:

- rock volume variation = +/- 0
- nr. of simulations per source cell = 100
- nr. of simulated falling rocks (total nr. simulations) = 814200
- additional initial fallheight = 0.000000 m
- Simulation without forest and without nets

Overall simulated block volumes:

- min = 0.300000 m<sup>3</sup>
- mean = 0.900000 m<sup>3</sup>
- max = 3.400000 m<sup>3</sup>

Overall simulated energy values:

- maximum of the mean energy values = 2061.700000 kJ
- maximum energy value = 3345.600000 kJ

*Figura 24. Impostazioni software simulazione caduta massi*

Nei paragrafi che seguono la descrizione dei risultati delle simulazioni effettuate, verranno presentati i risultati a confronto di entrambe le simulazioni effettuate.

## Aree di passaggio dei massi

La mappa riportata nella figura di seguito, tratta dalla tavola allegata al documento, mostra la percentuale relativa della possibilità che una data cella del modello digitale del terreno possa essere raggiunta, o meno, da un blocco staccatosi dalle celle individuate come aree sorgente. Si osserva che le aree maggiormente interessate dal passaggio di blocchi rocciosi sono quelle immediatamente a ridosso delle aree sorgente; via via la probabilità decresce in relazione alle zone che morfologicamente sono più idonee a convogliare eventuali distacchi. Non sono stati cautelativamente considerati *outliers*. Si osserva che:

- LE TRAIETTORIE CHE I MASSI SIMULATI PERCORRONO SONO STRETTAMENTE CORREALTE ALLA MORFOLOGICA DEI LUOGHI; si riconosce che le aree sorgenti che determinano una significativa possibilità che crolli interessino le aree poste a valle sono quelle riconducibili alla parete rocciosa situata a quota 1.100 m slm e al blocco tonalitico isolato. I massi procedendo verso valle percorrono tre potenziali percorsi: il primo diverge poco a valle rispetto la parete rocciosa (quota 1.020 m slm) e prosegue verso val del Rio Pach; il secondo ed il terzo si generano subito a valle della strada forestale e percorrono i due impluvi che confluiscono poi verso l'area di interesse. Questi ultimi, grazie alla esigua scabrezza del suolo ed alla assenza di ostacoli significativi, permettono ai massi di raggiungere l'area di interesse. La probabilità risulta tuttavia molto bassa in quanto i terreni presenti hanno una scarsa compattezza che attutisce notevolmente i rimbalzi dei massi.
- L'area di interesse per quanto esposto qui sopra risulta esposta in maniera parziale nella parte alta dove si localizza la stalla esistente;
- La valle del Rio Val di Pach costituisce una struttura morfologica in grado di far convogliare gran parte dei massi provenienti dal monte evitando così che sia interessata l'area di interesse.

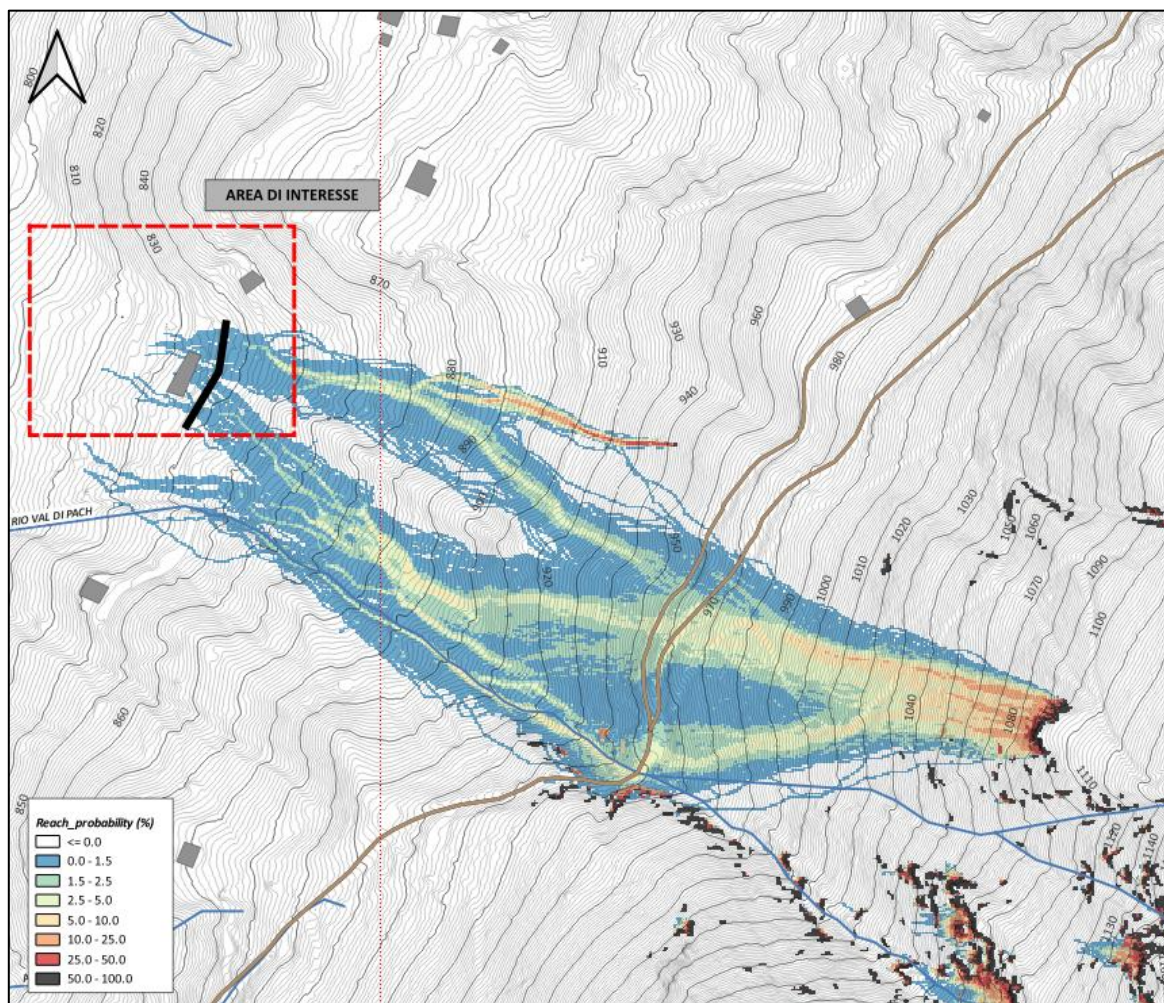


Figura 25. Mappa "reach probability (scala a vista)



## Energie cinetiche

Dalle modellazioni effettuate si può osservare che i valori di dell'energia cinetica (95° percentile della distribuzione di tutti valori di energia registrati in ogni cella ad ogni passaggio di un masso simulato) risultano piuttosto variabili in funzione dello sviluppo del versante considerato. Nel dettaglio:

- nel tratto centrale, dove i massimi acquisiscono velocità ed i terreni hanno una risposta elastica importante, si registrano le massime energie cinetiche, queste sono ricomprese nella classe 1.000 - 1.500 kJ;
- verso valle, in prossimità dell'area di interesse, la scarsa acclività dell'area e la presenza di suoli meno compatti determina una diminuzione significativa delle energie dei massi simulati; nei pressi della sezione di controllo, e quindi della stalla esistente, la classe energetica è 250 - 500 kJ con isolati picchi nella 500 - 750 kJ.

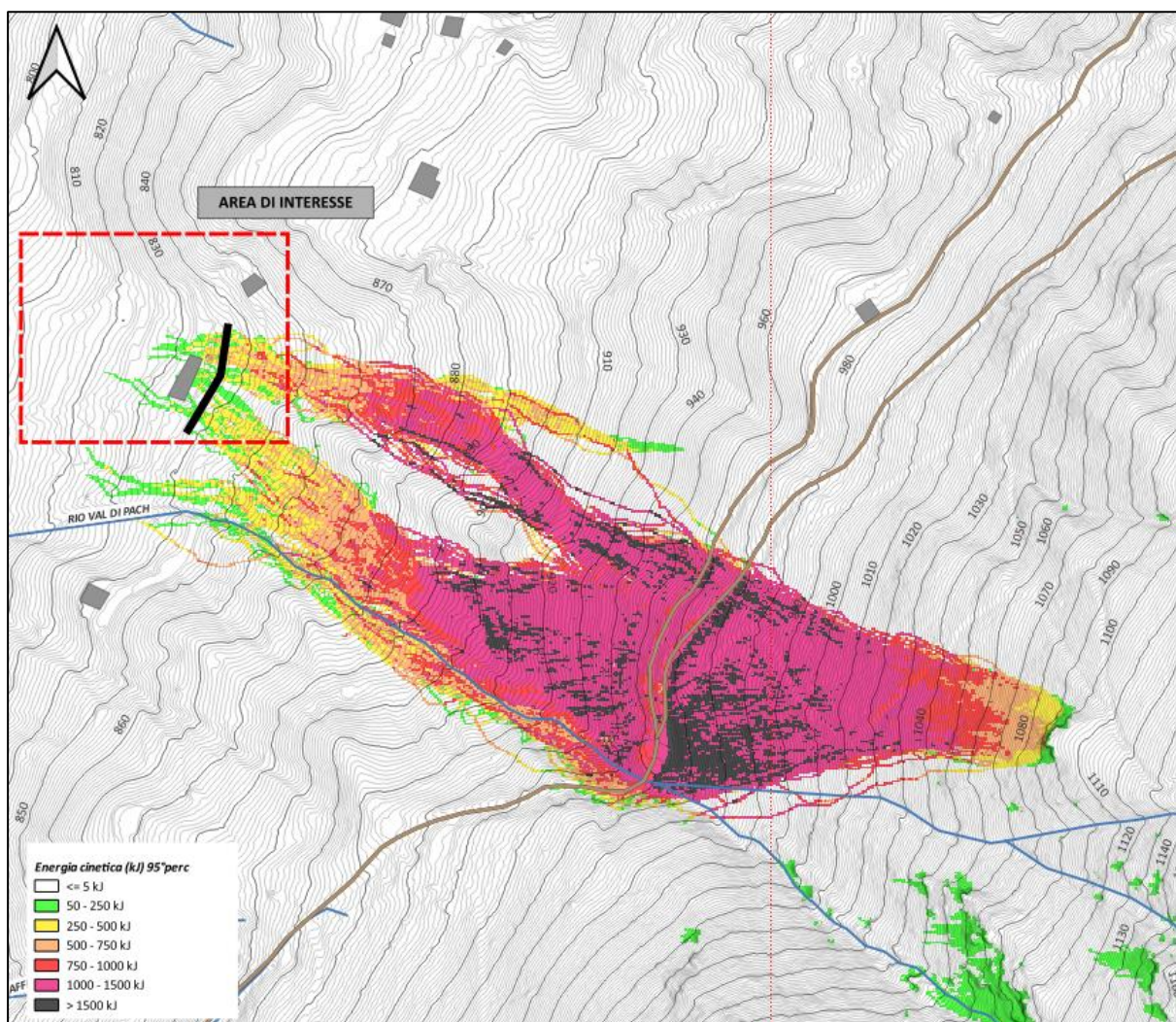


Figura 26. Mappa "Energia cinetica 95° percentile"

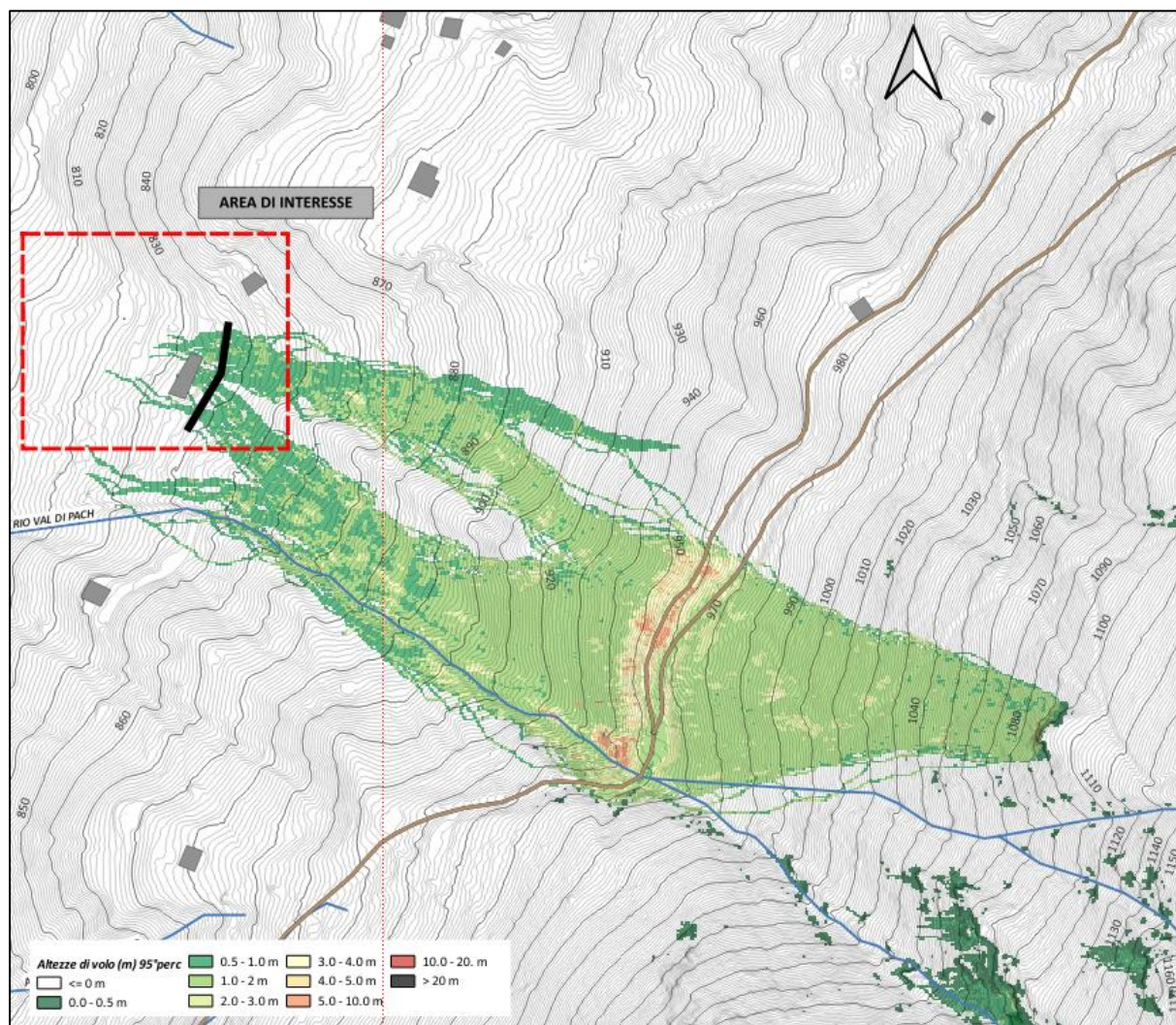


### **Altezze di volo dei massi simulati – stato attuale - aree sorgenti blocchi tonalitici**

Per quanto riguarda le altezze di volo che raggiungono i massi (95° percentile della distribuzione di tutti valori di altezza di volo misurata verticalmente rispetto il pendio registrati in ogni cella ad ogni passaggio di un masso simulato) si osserva che essa è massima in corrispondenza ai salti morfologici localizzati (es: ciglio stradale, terrazzamenti, campi di pendenza).

In generale le altezze lungo il pendio sono comprese nella classe 2-3 m. Procedendo verso l'area di interesse le altezze di volo rientrano in valori più contenuti e nella classe 0,5 - 1,0. Si sottolinea il fatto che nella mappa sono raffigurate le altezze di volo verticali rispetto il pendio.

Si ritiene quindi che i massi che raggiungono l'area di interesse abbiano per lo più un moto di rotolamento escludendo così rimbalzi oltre il metro.



**Figura 27. Mappa “altezze di volo 95° percentile”**

## **Considerazioni conclusive sulla modellazione caduta massi e proposte per la mitigazione del rischio crolli nell'area di interesse**

Attraverso operazioni di elaborazione dati all'interno di software dedicati (Quantum GIS) è stato possibile elaborare il modello digitale di elevazione, ottenuto dal portale provinciale, e preparare i file raster necessari alla modellazione caduta massi. Le modellazioni condotte mediante l'utilizzo del software Rockyfor3D delle EcorisQ Association hanno fornito gli scenari e le dinamiche che controllano potenziali crolli rocciosi dalle pareti e dal versante a monte dell'area di interesse.

L'inserimento di una sezione di controllo, subito a monte dell'area di futura trasformazione urbanistica, ha permesso di stimare i parametri necessari per la pianificazione degli interventi di mitigazione del rischio nell'area di interesse.

Nella tabella di seguito i risultati numerici ottenuti lungo la sezione di controllo. I dati al 95° percentile tengono conto dei valori dell'energia e dell'altezza di volo di ciascun masso simulato che ha intersecato la sezione di controllo. L'altezza di volo (normale al pendio) è pari a 0,9 m, la velocità traslazionale a 8,6 m/s e l'energia cinetica a 420 kJ.

n. Sezione di controllo	Altezza di volo normale al pendio (m)	Velocità traslazionale (m/s)	Energia cinetica (kJ)
1	0,9	8,6	420

*Figura 28. Energie e altezza normale massi simulati (95° percentile) presso le sezioni di controllo*

I dati tabellati sono l'espressione di fenomeni di moderata/bassa intensità; tuttavia, data la nuova previsione urbanistica in oggetto si ritiene che debbano essere approntati sistemi per la mitigazione del rischio crolli che potrebbero, in parte, coinvolgere la parte sommitale dell'area di interesse.

A tal proposito si potrà dovrà prevedere in fase progettuale la predisposizione di un sistema di difesa passiva dimensionato secondo le normative vigenti sulla scorta delle energie e delle altezze di volo ricavate dalle indagini di cui al presente elaborato.

L'elaborato ha, quindi, descritto il processo attraverso il quale si è giunti alla costruzione del modello del pendio da introdurre nel software di modellazione caduta massi e alla definizione delle condizioni di rilascio dei massi.

I risultati, espressi in termini numerici (sezione di controllo) e grafici (vedi tavola allegata), hanno permesso di studiare in maniera approfondita le condizioni del versante e ottenere una stima accurata dei fenomeni attesi e della conseguente pericolosità derivante dai fenomeni attesi individuati.

Al presente elaborato si allegano le tavole e le relazioni contenenti le indicazioni ricavate durante i sopralluoghi e il dettaglio sui risultati delle analisi di caduta massi in campo tridimensionale.

Pinzolo, maggio 2023

Il tecnico geologo

Dott. Giuliano Lorenzetti



PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO



COMUNE DI BOCENAGO



**STUDIO SULLA PERICOLOSITÀ DERIVANTE DA FENOMENI DI CROLLO NELL'AREA OGGETTO DI VARIANTE PRG  
NDA ART. 92.2 AG.1 AZIENDA PER L'AGRITURISMO - COMUNE DI BOCENAGO**

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA			
<u>ELABORATO</u>	<i>Rel.Geo.02</i>	<u>CATEGORIA</u>	<i>Studio Pericolosità</i>
<u>DATA</u>	<i>Maggio 2023</i>	<u>COMMESSA</u>	<i>Rif. 329/22</i>
<u>COMMITTENTE</u>		<i>Masè Paolo</i> <i>Mosca Paola</i>	
<u>IL TECNICO</u>		<i>STUDIO DI GEOLOGIA LORENZETTI</i> <i>VIA SORANO, 39 38086 PINZOLO (TN)</i>	



**Studio di Geologia Lorenzetti**

Servizi Per l'Ambiente e la Geologia Applicata

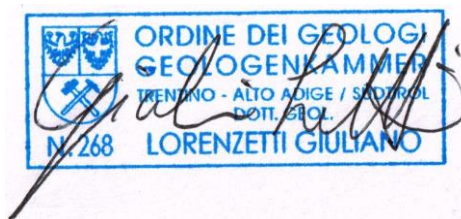
*Dott. Geol. Lorenzetti Giuliano - Dott.ssa Geol. Graba Magdalena*



A norma di legge il presente elaborato non può essere riprodotto o comunicato a terze parti senza espressa e preventiva autorizzazione dello Studio di Geologia Lorenzetti

IL TECNICO GEOLOGO

DOTT. GIULIANO LORENZETTI





## **Documentazione fotografica**

Nel documento si riportano le foto scattate durante il sopralluogo avvenuto nel corso del mese di maggio 2023. Per l'ubicazione degli scatti si fa riferimento alla tavola allegata.



*Fotografia S1*



*Fotografia S2*





*Fotografia S3.*



*Fotografia S4*





*Fotografia S5*



*Fotografia S6*





*Fotografia S7*



*Fotografia S8*





*Fotografia S8a*



*Fotografia S9*





*Fotografia S9a*



*Fotografia S10*





3

*Fotografia S11*



*Fotografia S12*





*Fotografia S13*



*Fotografia S13a*





*Fotografia S14*



*Fotografia S14a*





*Fotografia S15*



*Fotografia S15a*





*Fotografia S16*



*Fotografia S16a*





*Fotografia S17*



*Fotografia S18*





*Fotografia S18a*



*Fotografia S19*

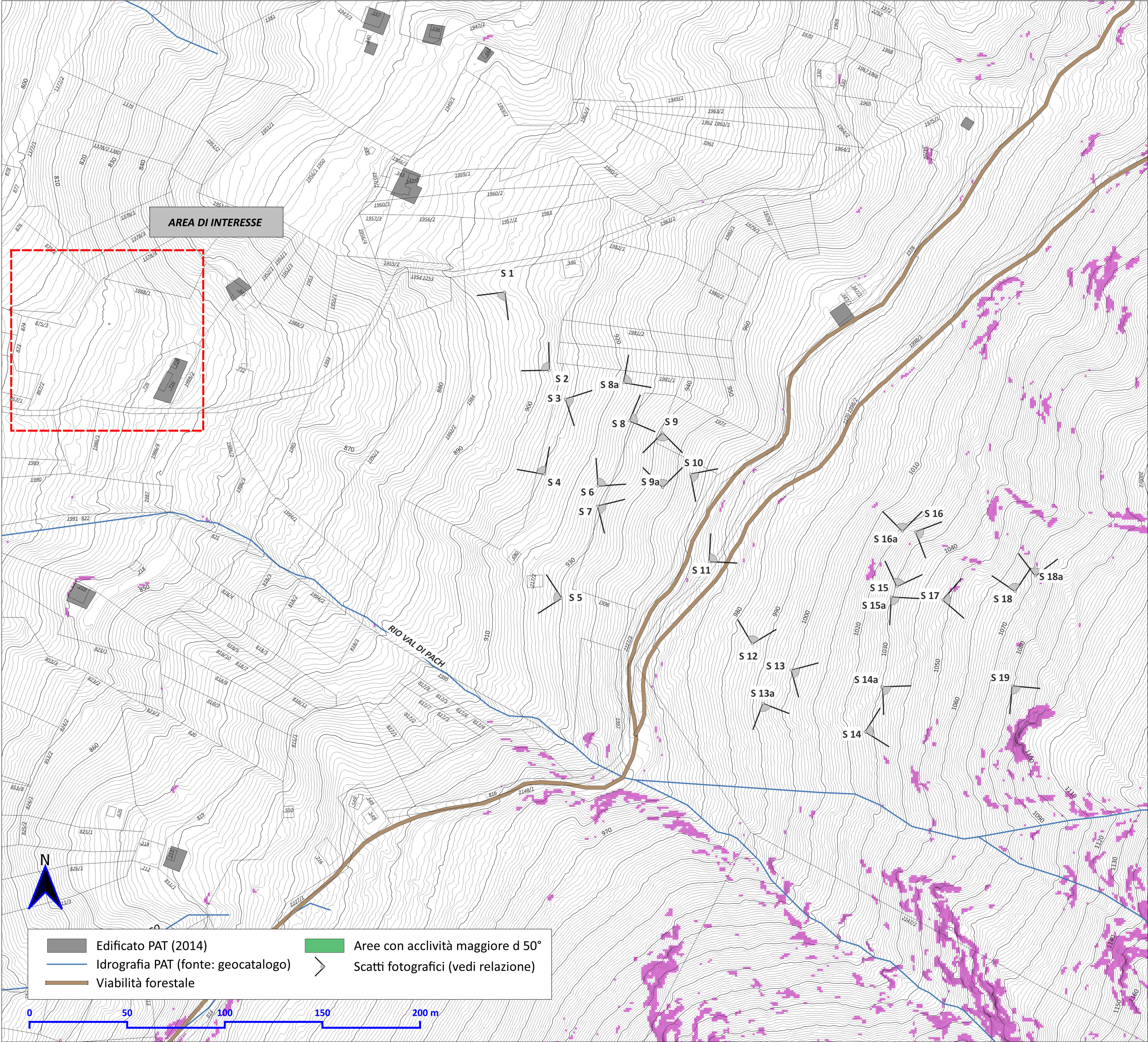
Pinzolo, maggio 2023

Il tecnico geologo

Dott. Giuliano Lorenzetti









PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO



COMUNE DI BOCENAGO

<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: space-between;"> <div style="text-align: center;">  <p><b>Studio di Geologia Lorenzetti</b>          Servizi Per l'Ambiente e la Geologia Applicata  <i>Dott. Geol. Lorenzetti Giuliano - Dott.ssa Geol. Graba Magdalena</i></p> </div> <div style="text-align: right;">  </div> </div>			
<b>STUDIO SULLA PERICOLOSITÀ DERIVANTE DA FENOMENI DI CROLLO NELL'AREA OGGETTO DI VARIANTE PRG NDA ART. 92.2 AG.1 AZIENDA PER L'AGRITURISMO - COMUNE DI BOCENAGO</b>			
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px; text-align: center;"><b>OGGETTO</b></div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">TAVOLA N.</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">SCALA</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">DATA</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">IL COMMITTENTE</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">IL TECNICO</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">INQUADRAMENTO FOTOGRAFICO - SOPRALLUOGO MAGGIO 2023</div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">Tav.Geo.1</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">1 :1.000</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">MAGGIO 2023</div> </div> <div style="width: 35%; text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"><b>CATEGORIA</b></div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"><b>COMMESSA</b></div> </div> <div style="width: 30%;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">STUDIO PERICOLOSITA'</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">329/22</div> </div> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px; text-align: center;"> Masè Paolo Mosca Paola </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> STUDIO DI GEOLOGIA LORENZETTI VIA SORANO, 39 38086 PINZOLO (TN) </div>		

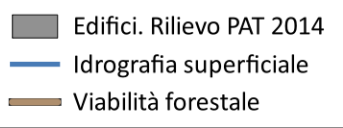
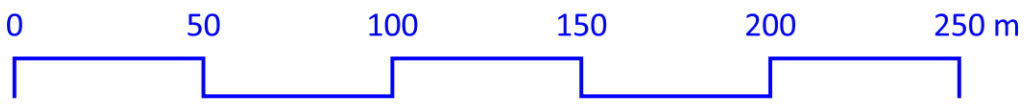
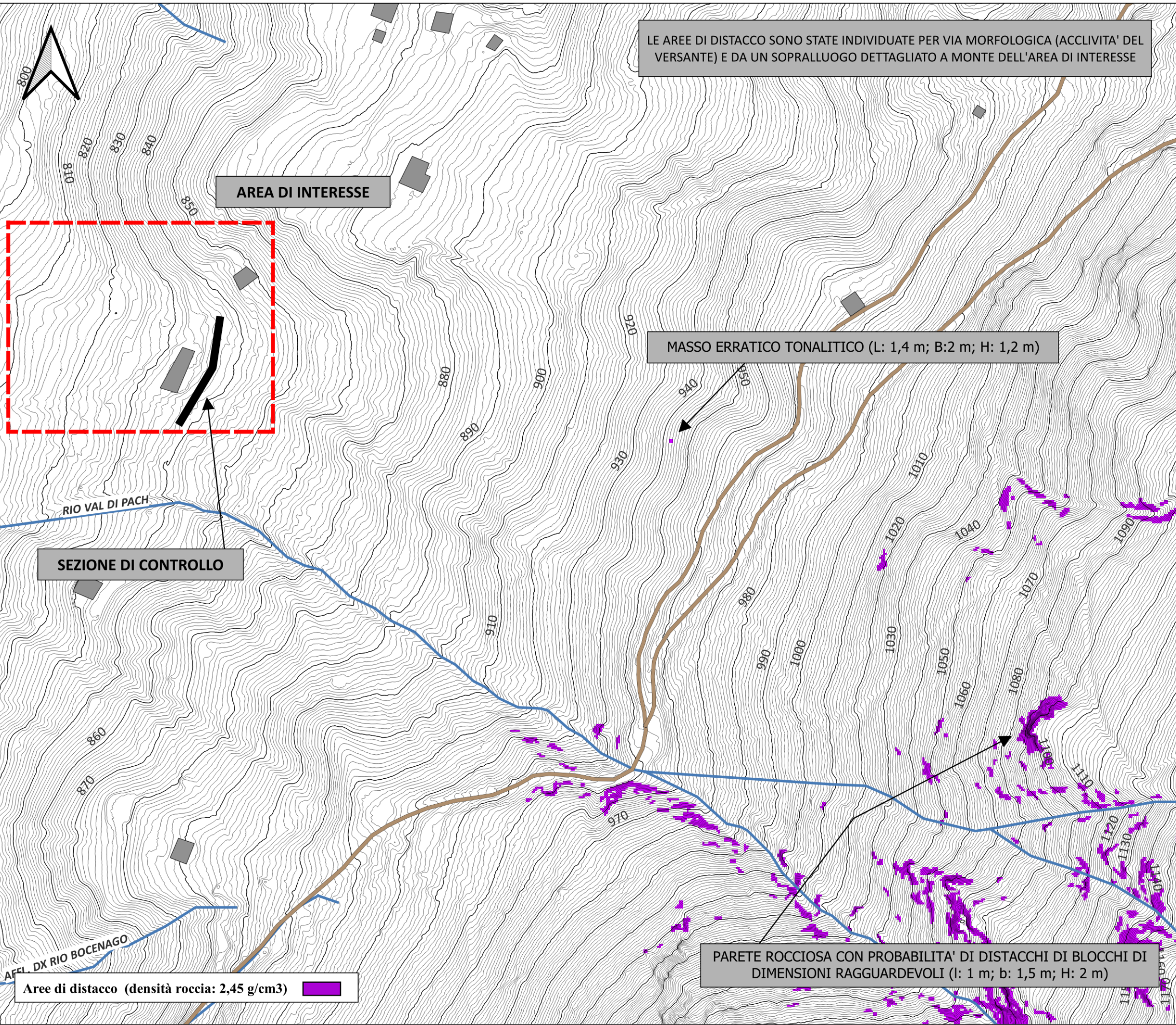


ORDINE DEI GEOLOGI  
GEOLOGENKAMMER  
TRENTO - BOZÈ - ALBA ADIGE / SOVRANA  
N. 268 / LORENZETTI GIULIANO

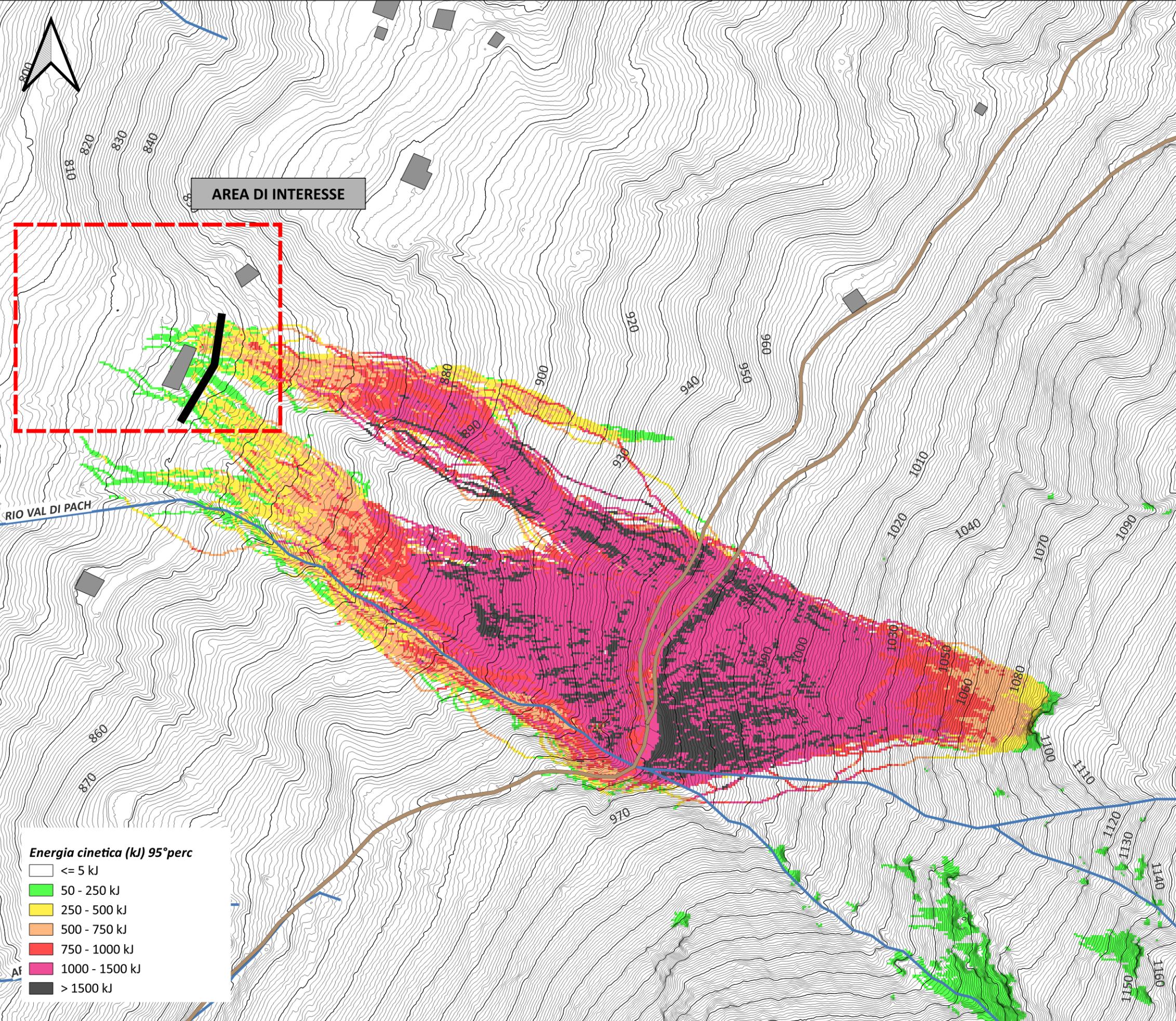
*(Signature)*



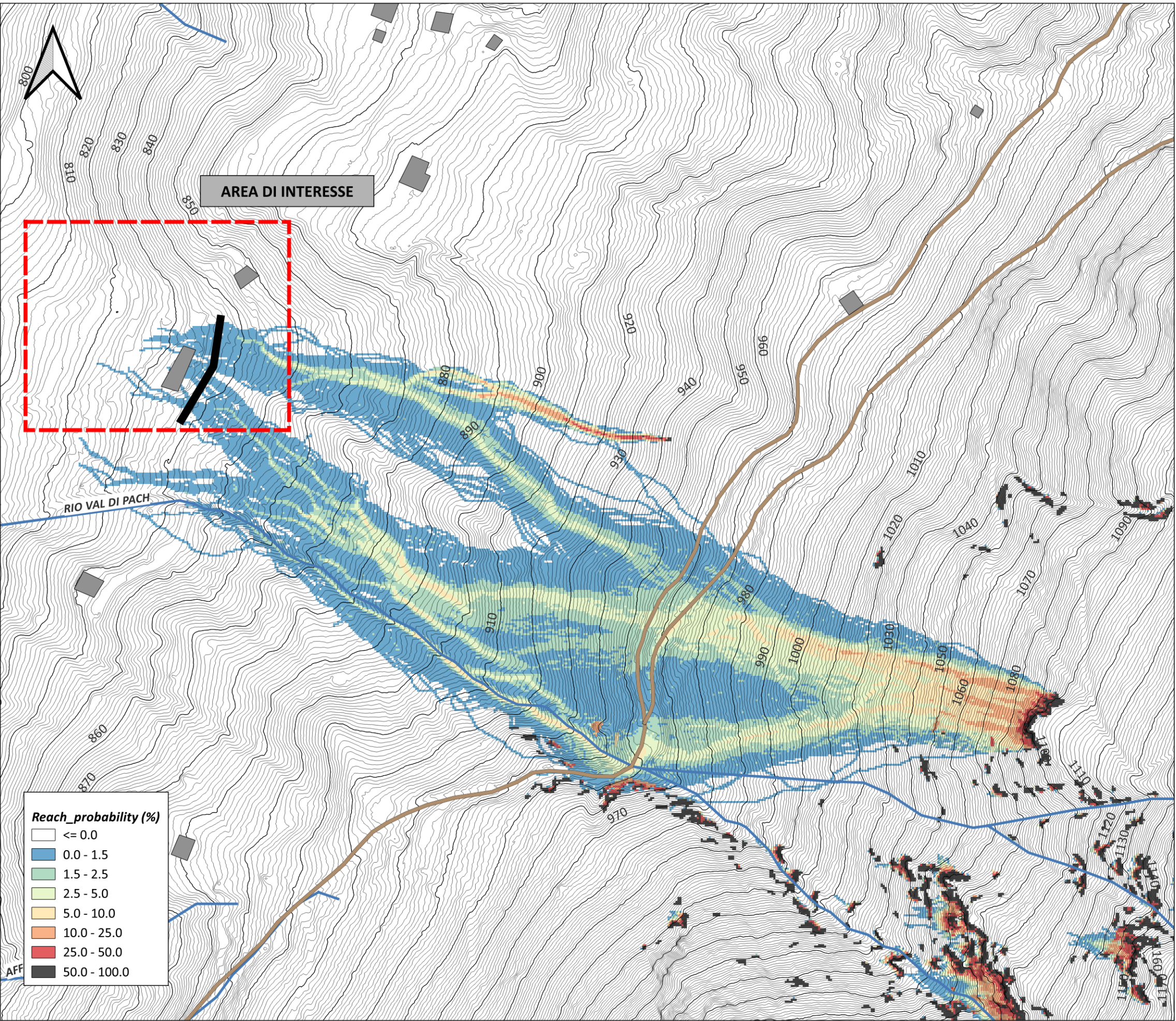
Aree di rilascio dei massi simulati



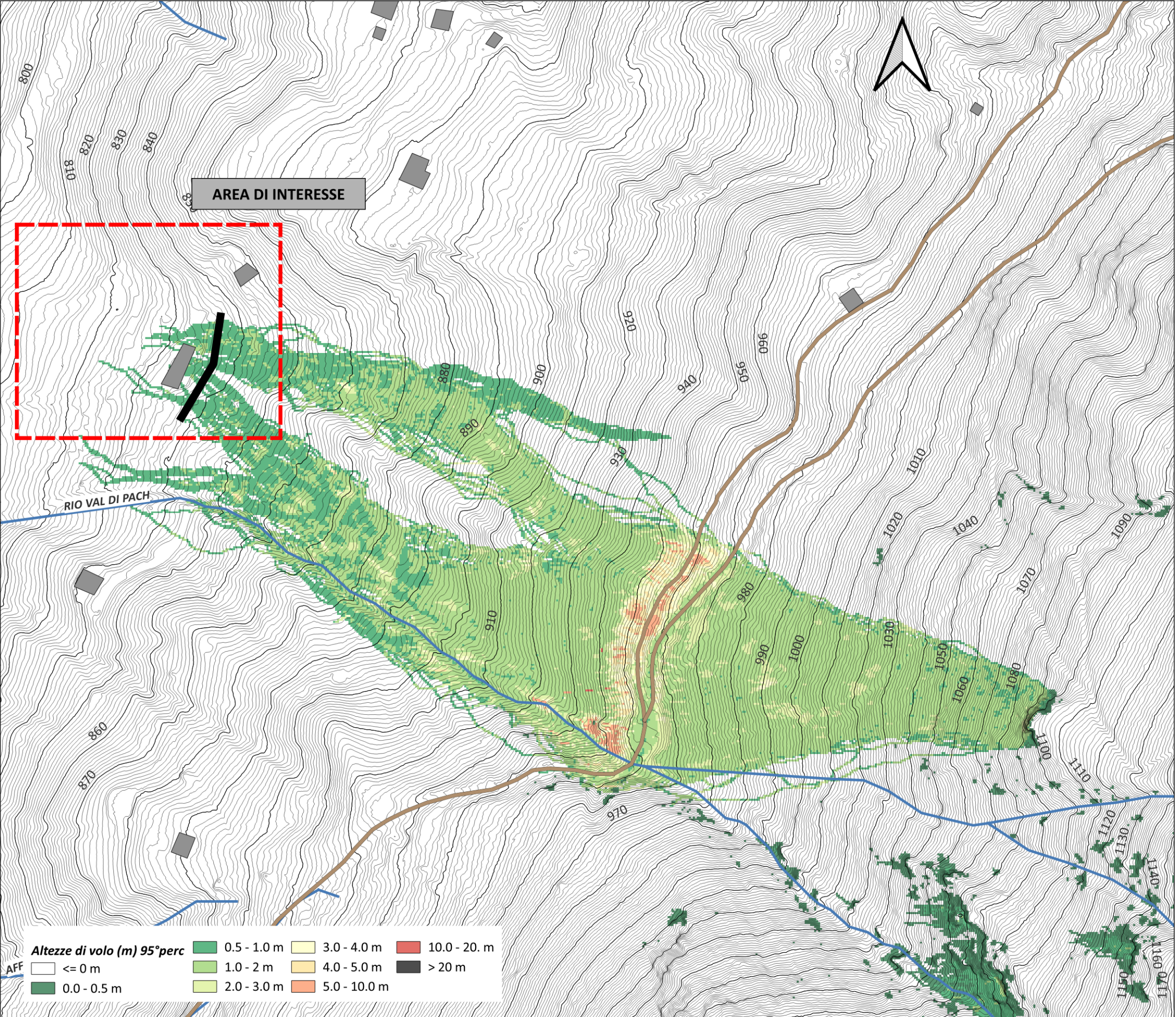
Energia Cinetica 95° perc. (kJ)



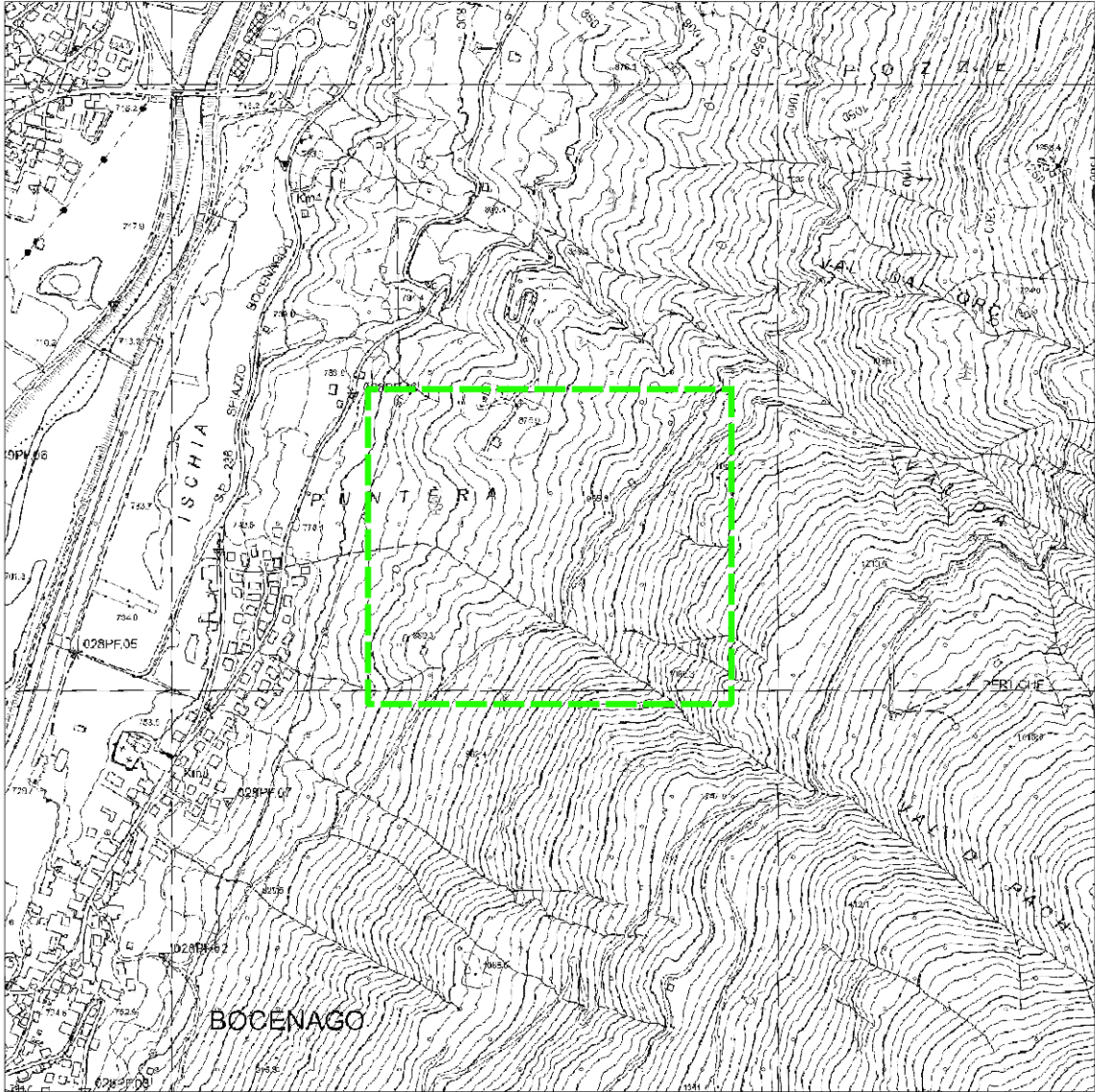
Reach Probability (%)



Altezze di volo 95° perc. (m)



Inquadramento generale - Carta Tecnica Provinciale (scala 1:15.000)



**Studio di Geologia Lorenzetti**  
Servizi Per l'Ambiente e la Geologia Applicata  
Dott. Geol. Lorenzetti Giuliano - Dott.ssa Geol. Graba Magdalena

STUDIO SULLA PERICOLOSITÀ DERIVANTE DA FENOMENI DI CROLLO NELL'AREA OGGETTO DI  
VARIANTE PRG NDA ART. 92.2 AG.1 AZIENDA PER L'AGRITURISMO - COMUNE DI BOCENAGO

OGGETTO	SIMULAZIONI TRIDIMENSIONALI CADUTA MASSI MEDIANTE APPLICATIVO ROCKYFOR3D				
TAVOLA N.	Tav.Geo.2	CATEGORIA	STUDIO PERICOLOSITA'		
SCALA	2.000	COMMESSA	329/22		
DATA	MAGGIO 2023	Masè Paolo Mosca Paola			
IL COMMITTENTE					
IL TECNICO	STUDIO DI GEOLOGIA LORENZETTI VIA SORANO, 39 38086 PINZOLO (TN)				

