

**COMMITTENTE: COMUNE DI TRENTO**

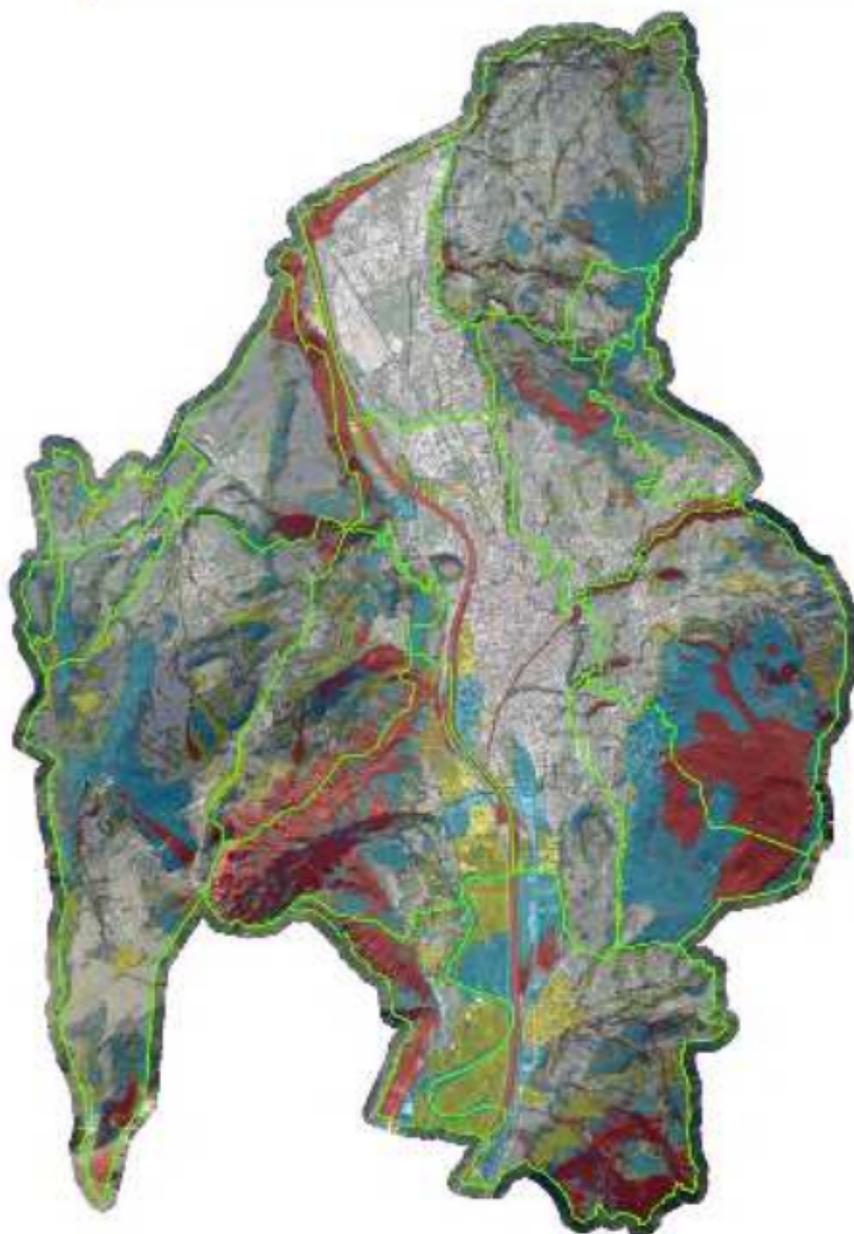
**OGGETTO: VARIANTE TECNICA 2023/2024 AL PIANO  
REGOLATORE GENERALE**

**RELAZIONI E STUDI DI COMPATIBILITÀ RICHIESTI DALLA NORMATIVA PROVINCIALE  
IN MATERIA DI TUTELA IDROGEOLOGICA DEL TERRITORIO**

## **STUDI DI COMPATIBILITÀ**

L.P. 408/2015, n. 15 – L.P. 27 maggio 2008, n. 5 - PUP

Allegato B – Norme di attuazione



## **STUDI DI COMPATIBILITÀ**

**VARIANTI AMMESSE CON STUDIO DI  
COMPATIBILITÀ**

**C.C. CADINE - CA161**  
**C.C. ROMAGNANO - R0143**  
**C.C. ROMAGNANO - R0149**

**IL TECNICO**

**Geol. Giuseppina Zambatti**

**GEOLOGY INQUIRIES**

**Via Nazionale, 1341 - 38023 DIMARDO (TRENTO)**

**Tel./fax +39 0462/974829**

**Via Trento, 78 - 38023 CLES (TRENTO)**

**E-mail: [info@geologyinquiries.it](mailto:info@geologyinquiries.it)**

**On the web: [www.geologyinquiries.it](http://www.geologyinquiries.it)**

**AGGIORNATO A GIUGNO 2024**

## STUDI DI COMPATIBILITÀ

### VARIANTI

#### CA161 - RO143 - RO149

## STUDI DI COMPATIBILITÀ

L.P. 4.08.2015, n. 15 - L.P. 27 maggio 2008, n. 5-PUP

Allegato B – Norme di attuazione

### Indice

1. SCOPO E FINALITÀ DELLO STUDIO .....	3
2. VARIANTE CA161 – C.C. CADINE .....	4
2.1. VINCOLI URBANISTICI E FENOMENI ATTESI.....	4
2.2. CONSIDERAZIONI IN MERITO ALLA PERICOLOSITÀ GEOLOGICA DA CROLLO.....	6
2.2.1. CARATTERIZZAZIONE GEOMECCNICA E ANALISI A POSTERIORI .....	6
2.2.2. ANALISI STORICA.....	7
2.2.3. DATI DI <i>INPUT</i> NEL MODELLO ASSUNTO .....	7
2.2.4. MODELLO DIGITALE DEL TERRENO.....	9
2.2.5. DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA .....	10
2.2.6. SCELTA DEL BLOCCO DI PROGETTO .....	11
2.2.7. <i>OUTPUT</i> DELLE SIMULAZIONI DI CROLLO.....	13
2.3. INTERVENTI MINIMI DI MESSA IN SICUREZZA.....	15
3. VARIANTE RO143 – C.C. ROMAGNANO .....	17
3.1. VINCOLI URBANISTICI E FENOMENI ATTESI.....	17
3.2. CONSIDERAZIONI IN MERITO ALLA PERICOLOSITÀ GEOLOGICA DA CROLLO.....	20
3.2.1. CARATTERIZZAZIONE GEOMECCNICA E ANALISI A POSTERIORI .....	20
3.2.2. ANALISI STORICA.....	21
3.2.3. DATI DI <i>INPUT</i> NEL MODELLO ASSUNTO .....	21
3.2.4. MODELLO DIGITALE DEL TERRENO.....	22
3.2.5. SCELTA DEL BLOCCO DI PROGETTO .....	24
3.2.6. <i>OUTPUT</i> DELLE SIMULAZIONI DI CROLLO.....	26
3.3. INTERVENTI MINIMI DI MESSA IN SICUREZZA.....	28
4. VARIANTE RO149 – C.C. ROMAGNANO .....	29
4.1. VINCOLI URBANISTICI E FENOMENI ATTESI.....	29
4.2. CONSIDERAZIONI IN MERITO ALLA PERICOLOSITÀ GEOLOGICA DA CROLLO.....	31
4.2.1. CARATTERIZZAZIONE GEOMECCNICA E ANALISI A POSTERIORI .....	31
4.2.2. ANALISI STORICA.....	31
4.2.3. DATI DI <i>INPUT</i> NEL MODELLO ASSUNTO .....	32
4.2.4. MODELLO DIGITALE DEL TERRENO.....	33
4.2.5. SCELTA DEL BLOCCO DI PROGETTO .....	36
4.2.6. <i>OUTPUT</i> DELLE SIMULAZIONI DI CROLLO .....	38
4.3. INTERVENTI MINIMI DI MITIGAZIONE.....	41

STUDI DI COMPATIBILITÀ

Allegati e Figure

- Tabella 1.1 – varianti oggetto di approfondimento con Studio di Compatibilità  
Figura 2.1 – estratto CSP – crolli rocciosi  
Figura 2.2 - estratto CSP – frane  
Foto 2.1 – l’area nel 1954  
Foto 2.2 – l’area nel 2020  
Foto 2.3 – foto (<https://www.giornaletrentino.it/cronaca>) 28 febbraio 2024 – crollo tergo capannone SEGATA spa  
Figura 2.3 – Carta Geologica schematica (dati elaborati dal Servizio Geologico PAT - modificata) utilizzata nelle verifiche di crollo - DBM-PAT – in nero la traccia della sezione A-A  
Tabella 2.1 - dati di *input* utilizzati nelle simulazioni di crollo con il *software Rockyfor3D* per il versante  
Figura 2.4 – sezione A-A schematica in corrispondenza della CA161 – cfr. Figura 2.3 per ubicazione  
Foto 2.6 – la base delle pareti rocciose poco più ad est dell’area di variante (sx) e l’accumulo alla base delle pareti rocciose (dx)  
Figura 2.5 – aree sorgente e classi di pendenza DEM con risoluzione 0.5 m  
Tabella 2.2 – aree sorgente e VRU<sub>medio</sub> e VRU<sub>max</sub> considerati nelle simulazioni di crollo  
Figura 2.6 – *logfile* della simulazione di crollo  
Figura 2.7 - numero di blocchi in transito per singola cella – in nero l’area interessata dal crollo di febbraio 2024  
Figura 2.8 - massima altezza 95%CL della traiettoria di passaggio – in nero l’area interessata dal crollo di febbraio 2024  
Figura 2.9 – massime energie 95%CL delle traiettorie di crollo – in nero l’area interessata dal crollo di febbraio 2024  
Foto 2.7 – vista del deposito di materiale/macchinari a gestione e servizio della rete viaria.  
Tabella 2.3 - sintesi dei risultati traiettorie di crollo intercettate dalla sezione d controllo  
Figura 3.1 – estratto CAP – crolli rocciosi  
Figura 3.2 – estratto planialtimetrico dal Rapporto ambientale Cava Monache [3], in nero l’area oggetto di variante compresa tra il limite Piano Cave e il limite della p.f. 722 C.C. Romagnano  
Foto 3.1 – foto dicembre 2011 con l’accumulo ancora presente alla base del pendio  
Foto 3.2 – foto maggio 2014 con le lavorazioni nel tratto d’area in oggetto  
Foto 3.3 – foto settembre 2016 – ultimazione delle lavorazioni nell’area a monte della variante  
Foto 3.4 – foto febbraio 2021 – stato finale dell’area come riportato in Figura 3.2  
Figura 3.3 – Carta Geologica schematica (dati elaborati dal Servizio Geologico PAT - modificata) utilizzata nelle verifiche di crollo - DBM-PAT – in nero la traccia della sezione A-A  
Tabella 3.1 - dati di *input* utilizzati nelle simulazioni di crollo con il *software Rockyfor3D* per il versante  
Figura 3.4 – sezione A-A schematica in corrispondenza della RO143 – cfr. Figura 3.1 per ubicazione  
Foto 3.5 – la base delle pareti rocciose poco più ad est dell’area di variante (sx) e l’accumulo alla base delle pareti rocciose (dx)  
Foto 3.6 – l’area pianeggiante a monte della variante RO143  
Figura 3.5 – aree sorgente e classi di pendenza DEM con risoluzione 0.5m  
Tabella 3.2 – aree sorgente e VRU<sub>medio</sub> e VRU<sub>max</sub> considerati nelle simulazioni di crollo  
Figura 3.6 – *logfile* della simulazione di crollo  
Figura 3.7 - numero di blocchi in transito per singola cella  
Figura 3.8 - massima altezza 95%CL delle traiettoria di passaggio  
Figura 3.9 – massime energie 95%CL delle traiettorie di crollo  
Figura 4.1 – estratto CSP – crolli rocciosi  
Figura 4.2 – estratto CSP – litogeomorfologica nell’area del Comune di Trento  
Foto 4.1 – vista del versante a monte della variante RO149  
Figura 4.3 – estratto progetto IFFI (ISPRA)  
Foto 4.2 – il blocco VRU 5 m<sup>3</sup> arrestatosi nel vigneto alla base del pendio (<https://www.rainews.it/>)  
Figura 4.4 – Carta Geologica schematica (dati elaborati dal Servizio Geologico PAT - modificata) utilizzata nelle verifiche di crollo - DBM-PAT  
Tabella 4.1 - dati di *input* utilizzati nelle simulazioni di crollo con il *software Rockyfor3D* per il versante  
Figura 4.5 – planimetria di raffronto (Tav 1/1 - progetto per. min. Bertolini M. [4]) in nero l’area di variante  
Figura 4.6 – sezione A-A e sezione B-B (Tav 1/1 - progetto per. min. Bertolini M. [4])  
Foto 4.3 – l’area pianeggiante oggetto di variante  
Figura 4.7 – aree sorgente e classi di pendenza DEM con risoluzione 0.5m  
Tabella 4.2 – aree sorgente e VRU<sub>medio</sub> e VRU<sub>max</sub> considerati nelle simulazioni di crollo  
Figura 4.8 – *logfile* delle simulazioni di crollo (Scenario 1 a sinistra; Scenario 2 a destra)  
Figura 4.9 - numero di blocchi in transito per singola cella Vru max 0.75 mc – Scenario 1  
Figura 4.10 - massima altezza 95%CL della traiettoria di passaggi Vru max 0.75 mc – Scenario 1  
Figura 4.11 – massime energie 95%CL delle traiettorie di crollo Vru max 0.75 mc – Scenario 1  
Figura 4.12 - numero di blocchi in transito per singola cella Vru max 5.0 mc – Scenario 2  
Figura 4.13 - massima altezza 95%CL della traiettoria di passaggi Vru max 5.0 mc – Scenario 2  
Figura 4.14 – massime energie 95%CL delle traiettorie di crollo Vru max 5.0 mc – Scenario 2

STUDI DI COMPATIBILITÀ

## 1. SCOPO E FINALITÀ DELLO STUDIO

Il presente documento, allegato alla *Valutazione Preventiva della compatibilità delle nuove previsioni sotto il profilo del pericolo idrogeologico*-Variante tecnica al PRG di Trento 2023-2024, comprende gli Studi di Compatibilità relativi alle Varianti **CA161-RO143-RO149**, che necessitano di approfondimento per la verifica della compatibilità delle nuove destinazioni urbanistiche con le pericolosità presenti.

Le varianti in oggetto sono le seguenti:

Parag.	Variante	C.C.	Destinazione attuale	Destinazione di variante
9.12	CA161	Cadine	Area a bosco	Spazio a servizio della mobilità
10.12	RO143	Romagnano	Area agricola di rilevanza locale	Area agricola
10.12	RO149	Romagnano	interesse secondario con ambiti di protezione	Area agricola di pregio locale

Tabella 1.1 – varianti oggetto di approfondimento con Studio di Compatibilità

## 2. VARIANTE CA161 – C.C. CADINE

### 2.1. VINCOLI URBANISTICI E FENOMENI ATTESI

La variante CA161 si ubica in adiacenza alla SP 85dir Sopramonte, tra la strada e le pareti rocciose a sud, e prevede il cambio di destinazione da “area a bosco” a “spazio a servizio della mobilità”.

Variante	SUP.	PENALITA'					Destinazione vigente		Nuova Destinazione	
	m <sup>2</sup>	CSP	CROLLI	FRANE	LITOGOMORF OLOGICA	INCENDI BOSCHIVI	Codice	DESCRIZIONE	Codice	DESCRIZIONE
CA_161	1463	P2-P3	P2P3	P3	P1P2	P1	E106_P	AREA A BOSCO	F439_P	SPAZIO A SERVIZIO DELLA MOBILITA'

In base all'Art. 66 – Spazi a servizio della mobilità delle NA della VARIANTE PRG 2023/2024 (F439\_P) [...] Negli spazi a servizio della mobilità è consentita la realizzazione di impianti tecnici e strutture destinate alla gestione e manutenzione o a servizio della rete viaria. Tali aree sono inedificabili fatta salva la costruzione di opere di infrastrutturazione del territorio, compresi i manufatti ad esse funzionali, nel rispetto della normativa provinciale in materia, nonché gli interventi ammessi nelle fasce di rispetto stradale.

L'area di variante è soggetta a fenomeni di crolli in potenziale distacco dalle pareti che sovrastano la SP85 in questo tratto mentre, la porzione nord/ovest è lambita marginalmente da un'area con penalità media P3 (circa 16 m<sup>2</sup> pari a 1.1% della superficie di variante) per frana, che di fatto corrisponde con un impluvio che taglia il versante più ad ovest.

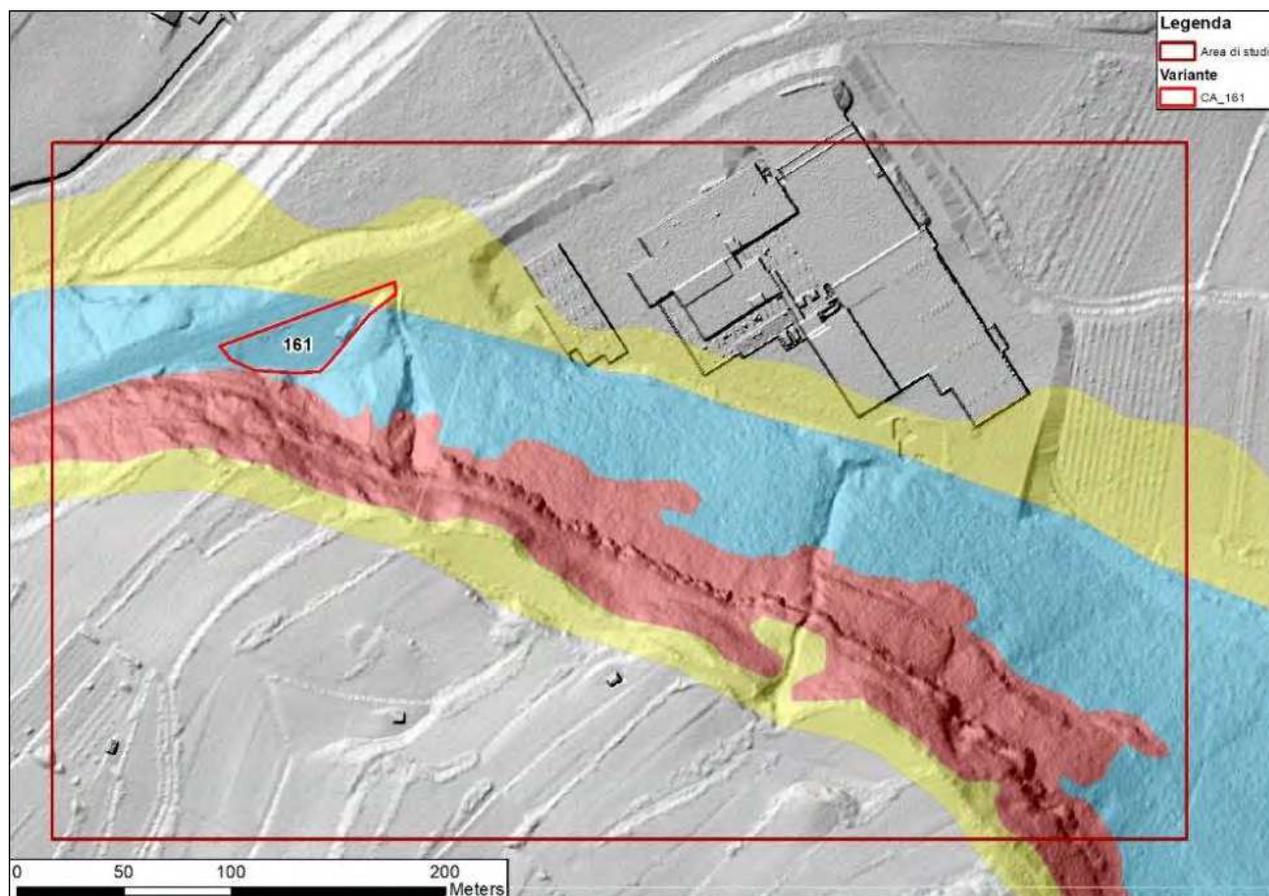


Figura 2.1 – estratto CSP – crolli rocciosi



**Figura 2.2 - estratto CSP – frane**

Come già riportato nella “Valutazione preventiva della compatibilità”, esaminando il *timelaps* delle ortofoto del Comune di Trento sembra che l’area inizialmente coincidesse con il vecchio tracciato della strada di Sopramonte (Ortofoto 1954; Foto 9.3) e che abbia subito un progressivo cambio di destinazione, passando nel corso degli anni a piazzale/deposito (Ortofoto 2020; Foto 9.4).



**Foto 2.1 – l’area nel 1954**

STUDI DI COMPATIBILITÀ



Foto 2.2 – l'area nel 2020

## 2.2. CONSIDERAZIONI IN MERITO ALLA PERICOLOSITÀ GEOLOGICA DA CROLLO

Di seguito si discute la problematica di crollo per l'area di Variante, completa di simulazioni cinematiche di propagazione dei blocchi in distacco dal versante a monte, eseguite con un modello tridimensionale implementato nel codice di calcolo automatico Rockyfor3d (EcorisQ)<sup>1</sup>. Si tratta di un modello di simulazione che calcola le traiettorie di un blocco in 3D; il modello combina algoritmi deterministici, basati su approcci stocastici, che rendono il *software* un cosiddetto “modello di traiettoria di caduta basato su processi probabilistici”. In questa sede non si entra nella descrizione delle specifiche tecniche del programma, che possono essere facilmente reperite nella letteratura specifica, l'evoluzione di Rockyfor3D è infatti registrata in una serie di articoli scientifici (Dorren e Maier 2001; Dorren e Seijmonsbergen 2003; Dorren e Heuvelink 2004; Dorren et al., 2004; Dorren et al., 2006; Stoffel et al. 2006). Qui si vuole invece soffermarsi al tipo e scelta dei dati di *input* necessari per le verifiche di crollo simulate, e alla discussione dei relativi *output*.

I dati di input richiesti dal software sono costituiti da una serie di raster ASCII (formato ESRI), che definiscono la topografia e le caratteristiche superficiali del versante interessato, così come un insieme di parametri che definiscono le condizioni di rilascio dei blocchi. I dati di input sono quindi costituiti da un insieme di 10 mappe raster di stessa misura e stessa grandezza delle celle.

### 2.2.1. CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA E ANALISI A POSTERIORI

Le analisi previsionali di mobilità dei blocchi richiedono l'assunzione di parametri geomeccanici adeguati che, in assenza di vere e proprie prove di caduta in sito, possono essere ragionevolmente desunti dall'analisi dei fenomeni di crollo già avvenuti. Una simile procedura, basata in particolare sullo studio delle massime propagazioni rilevabili sul versante, consente di valutare i parametri geomeccanici caratteristici delle diverse zone, nell'ipotesi peggiore di massima mobilità dei blocchi. Nel caso specifico la scelta dei parametri geomeccanici è stata eseguita incrociando i dati esistenti e sulla base dei sopralluoghi condotti *in situ*. La simulazione dei fenomeni di caduta dei blocchi mobilizzati da locali rotture delle pareti rocciose necessita di una zonazione geomeccanica delle diverse porzioni del versante che tenga conto delle reali differenziazioni topografico-geomorfologiche e litologiche. I parametri geomeccanici richiesti dal modello di calcolo adottati dipendono sostanzialmente dalle caratteristiche topografiche e litologiche, oltre che dalle effettive condizioni di

<sup>1</sup> Si tratta di un modello di simulazione che calcola le traiettorie di un blocco in 3D; il modello combina algoritmi deterministici, basati su approcci stocastici, che rendono il software un cosiddetto “modello di traiettoria di caduta basato su processi probabilistici”. In questa sede non si entra nella descrizione delle specifiche tecniche del programma, che possono essere facilmente reperite nella letteratura specifica, l'evoluzione di Rockyfor3D è infatti registrata in una serie di articoli scientifici (Dorren e Maier 2001; Dorren e Seijmonsbergen 2003; Doreen e Heuvelink 2004; Dorren et al., 2004; Dorren et al., 2006; Stoffel et al. 2006).

STUDI DI COMPATIBILITÀ

propagazione del moto. Essi riguardano prevalentemente la conoscenza della capacità di restituzione dell'energia del terreno sia in fase di urto che in fase di rotolamento dei massi.

I dati di input sono quindi costituiti da un insieme di 10 mappe raster di stessa misura e stessa grandezza delle celle, come di seguito riportati:

- *dem.asc* - il modello digitale del terreno che descrive la topografia, ottenuto dai rilievi LIDAR della P.A.T (2014 integrato con voli 2018);
- *rock density.asc* – *raster* con la densità della roccia; nel caso specifico la densità è stata attribuita al substrato roccioso affiorante.
- *d1.asc; d2.asc; d3.asc* – *raster* che definiscono le dimensioni del blocco roccioso (altezza, larghezza, lunghezza) in caduta. A questo riguardo, nelle simulazioni, si introduce una variazione *random* del volume del blocco di progetto, pari a +/-20% del volume complessivo
- *blshape.asc* – *raster* che definisce la forma del blocco di progetto. Nel caso specifico si è scelta una forma prismatica, in analogia al crollo registrato poco distante dall'area in esame
- *rg70.asc; rg20.asc; rg10.asc* – *raster* che definiscono la rugosità superficiale del versante interessato dal passaggio dei blocchi. Questi valori sono stati definiti sulla base delle osservazioni in campo in riferimento alla copertura presente (roccia, detrito, ecc.).
- *soiltype.asc* – il raster rappresenta “l'elasticità” del terreno divisa in otto differenti classi in base alla tipologia di suolo (granulometria, roccia, ecc.).

La zonazione geomeccanica messa a punto per le pareti rocciose a monte dell'area di studio tiene conto delle diverse situazioni litologico-topografiche utilizzando come "unità omogenee", dal punto di vista geomeccanico, le celle quadrate di 0.5x0.5 m di lato del reticolo topografico di riferimento. In questo modo è stato possibile associare ad ogni singola cella i valori dei parametri geomeccanici caratteristici attribuiti.

### 2.2.2. ANALISI STORICA

Per una valutazione preliminare delle potenziali pericolosità attese sull'area di Variante si può fare riferimento alle cronache locali e ai catasti dissesti disponibili, come ad esempio i progetti ARCA-PAT e IFFI-ISPRA che raccolgono gli eventi calamitosi registrati sul territorio. In particolare è registrato un dissesto in data 28/02/2024 in loc. Soraval, poco ad est dell'area di Variante, che ha visto il crollo di blocchi a geometria tabulare che si sono arrestati sugli anditi dell'area industriale (SEGATA s.p.a.).



Foto 2.3 – foto (<https://www.giornaletrentino.it/cronaca>) 28 febbraio 2024 – crollo tergo capannone SEGATA spa

### 2.2.3. DATI DI INPUT NEL MODELLO ASSUNTO

La Carta Geologica-schematica di base, utilizzata per le verifiche di propagazione dei blocchi, è stata realizzata a partire dal Foglio CARG 060 Trento e dalla più recente Carta Geologica della Provincia Autonoma di Trento (rappresentazione geologica dettagliata dell'intero territorio provinciale), che secondo quanto riportato, “deriva da rilievi originali d'Autore in scala 1:10.000, eseguiti in diversi anni di attività cartografica geologica diretta dal Servizio

Geologico della PAT, grazie alla collaborazione e disponibilità di Enti nazionali quali ISPRA, Amministrazioni regionali e provinciali, musei, istituti universitari e di ricerca e geologi professionisti”.

Partendo da tali cartografie è stata redatta una Carta Geologica *ad hoc*, per l'area che rappresenta le unità geomeccaniche omogenee da utilizzare specificatamente per le simulazioni di crollo; sono state estrapolate le aree urbanizzate, le aree caratterizzate da roccia affiorante e rideterminati alcuni limiti stratigrafici tra la copertura quaternaria e il substrato roccioso e tra le unità presenti.

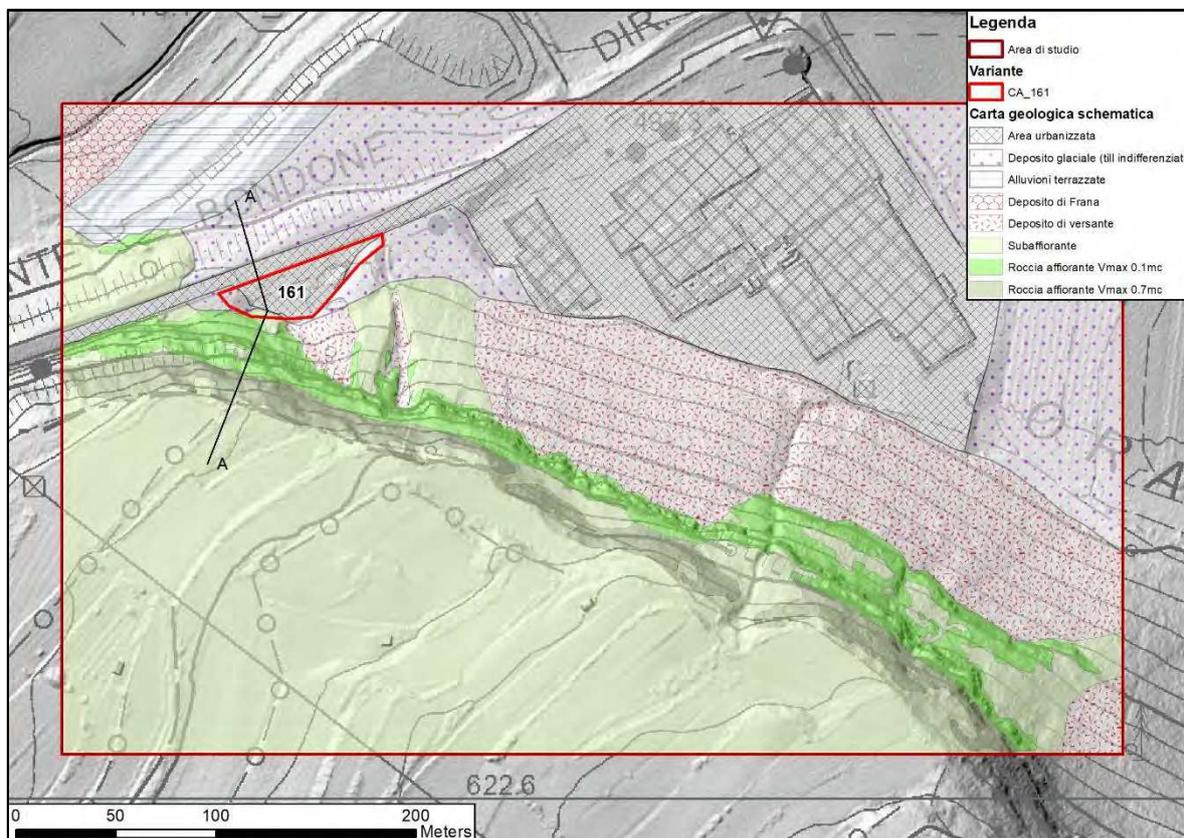


Figura 2.3 – Carta Geologica schematica (dati elaborati dal Servizio Geologico PAT - modificata) utilizzata nelle verifiche di crollo - DBM-PAT – in nero la traccia della sezione A-A

Verso sud l'area di variante è delimitata da una scarpata rocciosa che si sviluppa in direzione circa SE/NW; a tergo dei capannoni Segata S.p.a. la scarpata è relativamente arretrata rispetto agli edifici mentre, spostandosi progressivamente verso nord/ovest le pareti sono a ridosso della SP85.

Seguendo la Sezione A-A di Figura 2.4, il versante a monte della strada presenta un'altezza complessiva di circa 80÷100 m, e termina sul pianoro di Sopramonte, intorno a quota 600 m s.l.m. Partendo dal basso il versante è dapprima coperto da una coltre di depositi di versante con pendenze medie dell'ordine di 35÷45° quindi, intorno a quota 540 m s.l.m. iniziano i primi affioramenti rocciosi costituiti dalla Formazione della Scaglia Rossa (SAA) e, nel tratto prossimo al ciglio superiore della scarpata, dalla Formazione di Chiusolo (CHI). Alla base delle pareti rocciose, nel corso dei sopralluoghi è stata riscontrata la presenza di venute d'acqua diffuse che si infiltrano in corrispondenza dei depositi quaternari.

Per ogni tipologia di deposito sono stati assegnati i nove parametri appena descritti, che vengono riassunti nella Tabella 2.1:

STUDI DI COMPATIBILITÀ

Tabella 2.1 - dati di input utilizzati nelle simulazioni di crollo con il software Rockyfor3D per il versante

DESCRIZIONE	rockdensity	blshape	rg70	rg20	rg10	soiltype
Deposito glaciale/alluvionale			0.07	0.09	0.11	1
Deposito di frana			0.07	0.09	0.11	3
Depositi di versante			0.18	0.20	0.22	3
Area urbanizzata			0.02	0.02	0.02	7
Substrato roccioso subaffiorante			0.10	0.12	0.14	5
Substrato roccioso affiorante	2600	1.00	0.08	0.10	0.12	6

Il tipo di suolo (*soiltype*) rappresenta l'elasticità del terreno, ossia quanto il masso potrebbe penetrare nel terreno, per attribuire questo parametro si è seguito il manuale del software, tarando i valori sulla base di osservazioni di campagna.

I parametri rg rappresentano la granulometria dei depositi presenti e la morfologia che determinano l'energia persa con gli impatti e i rimbalzi al suolo.

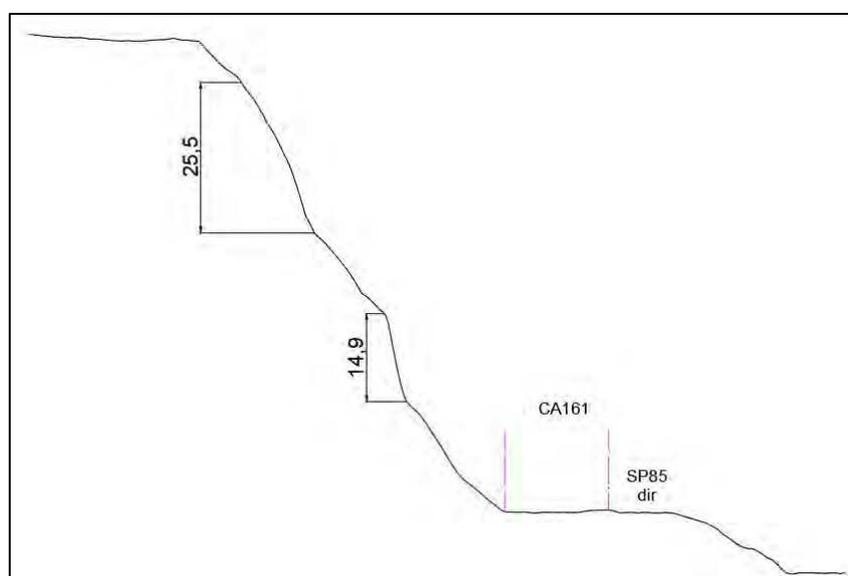


Figura 2.4 – sezione A-A schematica in corrispondenza della CA161 – cfr. Figura 2.3 per ubicazione

#### 2.2.4. MODELLO DIGITALE DEL TERRENO

L'elemento base delle simulazioni di crollo è il modello digitale del terreno (DTM) che rappresenta l'andamento della superficie del suolo senza considerare gli vegetazionali. La dimensione della cella del modello digitale del terreno influisce sulla risoluzione della simulazione il quale all'aumentare della dimensione della cella diminuisce sia la precisione spaziale delle mappe risultanti sia l'accuratezza delle dinamiche cinematiche simulate.

La base topografica del modello digitale sviluppato utilizza il **rilievo LIDAR della Provincia autonoma di Trento** (Ufficio Sistemi Informativi - Servizio autorizzazioni e valutazioni ambientali - LIDAR rilievo 2014/2018 - <http://www.territorio.provincia.tn.it/portal/server.pt/community/lidar>) che rappresenta lo stato del terreno durante le misurazioni condotte sul territorio tra il 2014 e il 2018, con dimensione della cella pari a 0.5x0.5 m.

Per la verifica della propagazione dei blocchi, è stato utilizzato il modello DBM, con dimensione della cella pari a 0.50x0.50 m, e con la presenza degli edifici.

## 2.2.5. DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

L'area di variante è sovrastata da pareti verticali, di altezza dell'ordine di alcune decine di metri, interrotte localmente da brevi cenge vegetate.

Il crollo di febbraio 2024, con VRU stimato dell'ordine di  $0.2 \div 0.25 \text{ m}^3$ , avvenuto poco più a est dell'area di variante, ha interessato presumibilmente le pareti rocciose alla sommità della scarpata. Questi affioramenti sono costituiti dai calcari micritici con stratificazione sottile della Formazione di Chiusole (CHI), presenti in prossimità del ciglio della scarpata rocciosa, e della Scaglia Rossa (SAA) costituita da calcari micritici ben stratificati per lo più lastriformi, che costituisce le pareti più a valle, in giacitura poco inclinata verso sud-sud/ovest.



Foto 2.4 – la variante CA161 a giugno 2024

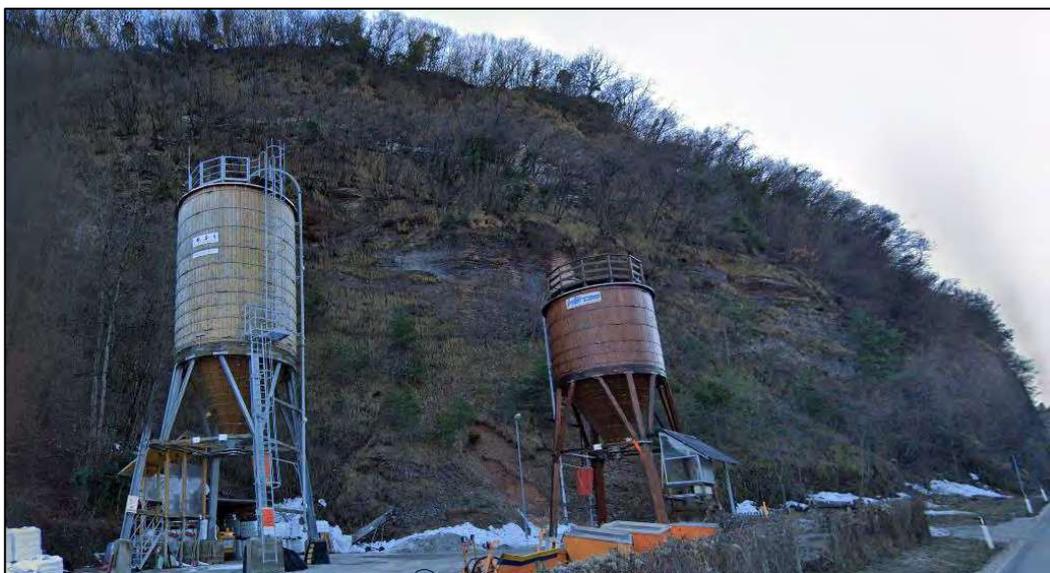


Foto 2.5 – la variante CA161 con le pareti rocciose in assenza di vegetazione (febbraio 2021)



Foto 2.6 –la base delle pareti rocciose poco più ad est dell'area di variante (sx) e l'accumulo alla base delle pareti rocciose (dx)

### 2.2.6. SCELTA DEL BLOCCO DI PROGETTO

Per quanto riguarda il blocco di progetto è utile tener conto che, l'energia e l'altezza massima delle traiettorie sono legate al volume e alla forma del blocco mentre, la massa  $M$  è funzione del volume  $V$  e del peso di volume  $\gamma$ ; il volume dipende a sua volta da diversi fattori, tra i quali: il volume totale mobilitato dal dissesto (crollo di progetto), le condizioni geostrukturali e la resistenza propria dell'ammasso roccioso, le caratteristiche litologiche e topografico-geomorfologiche del versante. I parametri caratteristici del "blocco di progetto" sono:

- l'energia d'impatto che dipende dalla massa e dalla velocità;
- l'altezza massima delle traiettorie di discesa, con particolare riferimento ai rimbalzi

Le aree sorgente di blocchi sono rappresentate da una parete rocciosa complessivamente con sviluppo verticale di circa 50 m localmente inframezzata da cenge vegetate e boscate con piccole pareti con altezze massime dell'ordine di 10÷20 m. Nella fase iniziale di indagine il substrato roccioso affiorante sul versante è stato estrapolato sulla base delle indicazioni della d.g.p. *Criteria e metodologia per la redazione e l'aggiornamento delle carte della pericolosità (art.10, comma 5, l.p. 1 luglio 2011, n. 9*. In questo caso, il DTM è stato ricampionato con risoluzione di 5 m, definendo un punto sorgente per ciascuna delle celle che raggiunge o supera la soglia di pendenza di 44°.

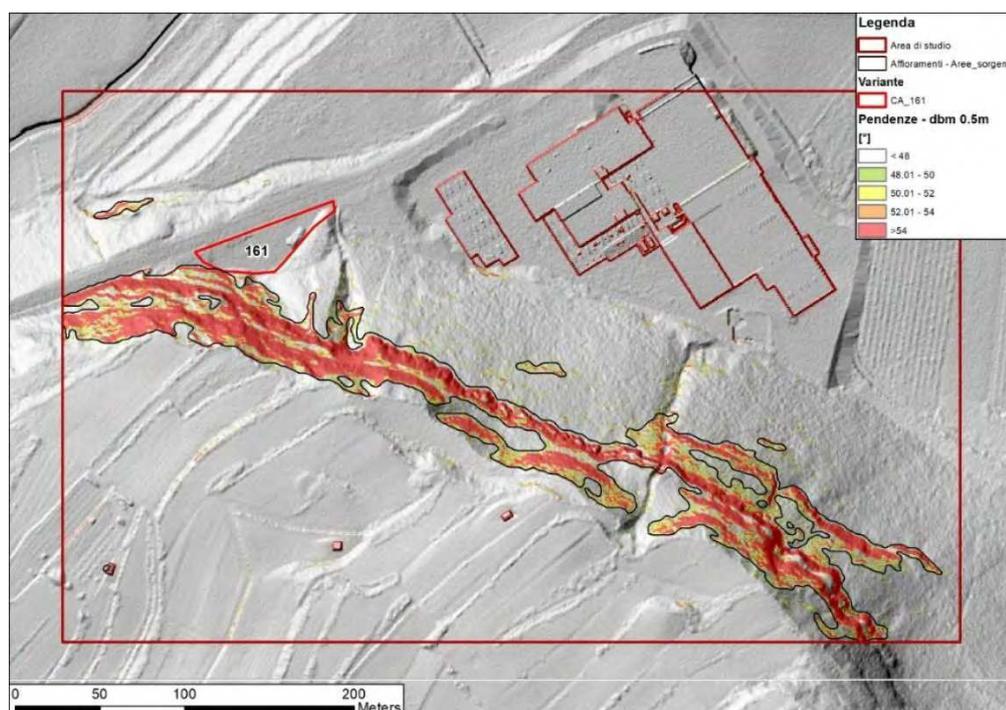


Figura 2.5 – aree sorgente e classi di pendenza DEM con risoluzione 0.5 m

STUDI DI COMPATIBILITÀ

La delimitazione preliminare della roccia affiorante, elaborata secondo le specifiche della CSP, è stata affinata utilizzando un DTM di maggiore dettaglio e verificando in sito l'effettiva presenza di affioramenti. Nello specifico, per la delimitazione della roccia affiorante, è stato utilizzato un DTM di dettaglio con risoluzione 2.0 m applicando in una prima fase la seguente l'equazione come proposta da alcuni recenti studi<sup>2</sup> (che mette in relazione la pendenza del versante con la dimensione della cella raster utilizzato):

$$\alpha = 55^\circ \cdot RES^{-0.075}$$

Dove :

- $\alpha$  = è il valore di soglia dell'angolo caratterizzante le aree sorgenti il distacco di blocchi  
RES = è la risoluzione del raster DEM

Utilizzando questa equazione e celle di lato 5.0 m, risulterebbero come “aree sorgente” celle con valori soglia di pendenza maggiori di 48.7°, ben superiori a quelli utilizzati per la definizione della CSP (pari ai 44°), con il rischio di ridurre eccessivamente le aree sorgente. Si è quindi deciso di modificare l'equazione, così da ottenere valori soglia che rispecchino maggiormente la reale condizione del versante e avvicinarsi alle indicazioni della d.g.p. 1306 *Criteria e metodologia per la redazione e l'aggiornamento delle carte della pericolosità (art.10, comma 5, l.p. 1 luglio 2011, n. 9)*. L'equazione così elaborata è pertanto la seguente:

$$\alpha = 49.51^\circ \cdot RES^{-0.075}$$

Nel nostro caso, utilizzando un DEM con risoluzione di 2.0 m, sono stati considerati come potenziali affioramenti le aree con inclinazioni maggiori di 47°.

Nel caso specifico per la stima del volume del blocco di progetto si è fatto riferimento sia ai sopralluoghi in sito, sia all'analisi storica dei massi caduti nei pressi del sito, sia ai blocchi presenti sul versante considerando anche la litologia degli affioramenti rocciosi; tenuto conto di questi aspetti sono stati individuate e simulate due volumetrie di distacco:

- 1) per gli affioramenti alla sommità della scarpata rocciosa, dove si ha il passaggio tra la Formazione della Scaglia Rossa (SAA) e la soprastante Formazione di Chiusole (CHI), sono stati simulati distacchi di blocchi con forma prismatica (in analogia al crollo più recente) con un volume medio di 0.50 m<sup>3</sup> con le seguenti dimensioni (1.2x0.4x1.0m); tale volume è stato incrementato del ±50% così da raggiungere un volume finale massimo pari a 0.7 m<sup>3</sup> (cfr. Figura 2.3)
- 2) per gli affioramenti a quote più basse, dove affiora la Formazione della Scaglia Rossa, soggetta a maggiore fratturazione e con distacchi di volumi tabulari ridotti, sono stati verificati blocchi con volume medio di 0.07 m<sup>3</sup> con le seguenti dimensioni (0.5x0.3x0.45 m); tale volume è stato incrementato del ±50% così da raggiungere un volume finale massimo pari a 0.1 m<sup>3</sup>.

In sintesi, nelle simulazioni riportate ai paragrafi successivi sono stati utilizzati VRU coerenti con quanto riscontrato realmente in sito: le pareti di Scaglia Rossa si presentano estremamente fratturate con presenza di blocchi sparsi sulla falda detritica alla base, con volumi < 0.01 m<sup>3</sup> mentre, per i distacchi maggiori è stato utilizzato un volume paragonabile al crollo di data 02/2024; entrambi i volumi sono stati incrementati del ±50%.

Area sorgente		d1	d2	d3	VRU <sub>min</sub>	VRU <sub>medio</sub>	VRU <sub>max</sub>
ID	Descrizione	m	m	m	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
1	Scaglia Rossa (SAA)	0.30	0.50	0.45	0.03	0.07	0.10
2	Scaglia Rossa (SAA) e Formazione di Chiusole (CHI)	0.40	1.00	1.20	0.24	0.48	0.72

**Tabella 2.2 – aree sorgente e VRU<sub>medio</sub> e VRU<sub>max</sub> considerati nelle simulazioni di crollo**

<sup>2</sup> Arpa Piemonte – Cemagref - Politecnico di Torino - Consorzio Forestale Alta Valle di Susa - S.I.R. s.r.l., 2008 - “*Interreg IIIa 2000-2006 Alpi Latine Cooperazione Transfrontaliera Italia-Francia Progetto n. 165 PROVIALP, Protezione della viabilità alpina - Relazione finale*”

Le tre dimensioni del blocco definite in ogni cella sorgente vengono variate in modo casuale e uniforme con una predefinita % scelta per il caso in oggetto nel 50%. Questa variazione *random* è identica per tutti e tre i valori di dimensione del blocco per ogni singola simulazione, ossia se la variazione di volume è fissata come per il caso in oggetto a 50%, allora tutte e tre le dimensioni del blocco saranno incrementate o diminuite in modo casuale.

Per la determinazione della massa del blocco di progetto in distacco dall'affioramento roccioso, in riferimento alla VRU del blocco e assumendo  $\gamma = 2600 \text{ kg/m}^3$  come peso di volume si ha:

- |    |  |  |
|----|--|--|
| 1) | $M_{\text{progr min.}} = 2600 * 0.03 = 78 \text{ kg}$  | $M_{\text{progr max.}} = 2600 * 0.10 = 260 \text{ kg}$ |
| 2) | $M_{\text{progr min.}} = 2600 * 0.20 = 650 \text{ kg}$ | $M_{\text{progr max.}} = 2600 * 0.7 = 1820 \text{ kg}$ |

La normativa provinciale *Criteri e metodologia per la redazione e l'aggiornamento delle carte della pericolosità* (art.10, comma 5, l.p. 1 luglio 2011, n. 9) definisce le metodologie utilizzate per la realizzazione della Carta di sintesi della Pericolosità, per la quale sono stati lanciati 20 blocchi per cella sorgente (5x5m).

In questo caso, le simulazioni sono state eseguite con un DBM con risoluzione pari a 0.5 m, è stato quindi scelto di effettuare un lancio per cella sorgente (4 lanci/m<sup>2</sup>). Tale valore, seppur confrontabile con quanto utilizzato dalla PAT per le Carte di Sintesi della Pericolosità (0.8 lanci/m<sup>2</sup>), rappresenta tuttavia un maggior numero di distacchi a parità di area sorgente. In sintesi, le verifiche eseguite con n. 1 lanci per cella di partenza (0.5x0.5 m), ha comportato n. 68010 lanci e relative traiettorie. Nel presente lavoro, al fine della simulazione delle traiettorie di crollo non è stato inserito il contributo della "foresta", tale da porsi nella situazione di maggior sicurezza.

### 2.2.7. OUTPUT DELLE SIMULAZIONI DI CROLLO

Le simulazioni cinematiche hanno permesso di evidenziare le principali vie di "scorrimento" dei blocchi in caduta, e confermato come l'area di variante sia potenzialmente esposta a fenomeni di crollo in distacco dalle pareti rocciose con volumetrie anche fino a 0.7 m<sup>3</sup>.

```
simulation settings:
- rock volume variation = +/- 50
- nr. of simulations per source cell = 1
- nr. of simulated falling rocks (total nr. simulations) = 68010
- additional initial fallheight = 0.000000 m
- Simulation without forest and with nets

Overall simulated block volumes:
- min = 0.030000 m3
- mean = 0.500000 m3
- max = 0.700000 m3
```

Figura 2.6 – logfile della simulazione di crollo

Dagli *output* delle simulazione risulta che l'area è investita da blocchi con valori di energia tra i 300÷500 e kJ e da altezze mediamente inferiori a 2.0÷2.5 m. Altezze maggiori si riscontrano nel tratto a ridosso della base del pendio, lato sud/ovest mentre, allontanandosi progressivamente dal piede delle scarpata si osservano solo traiettorie di rotolamento con energie molto ridotte.

STUDI DI COMPATIBILITÀ

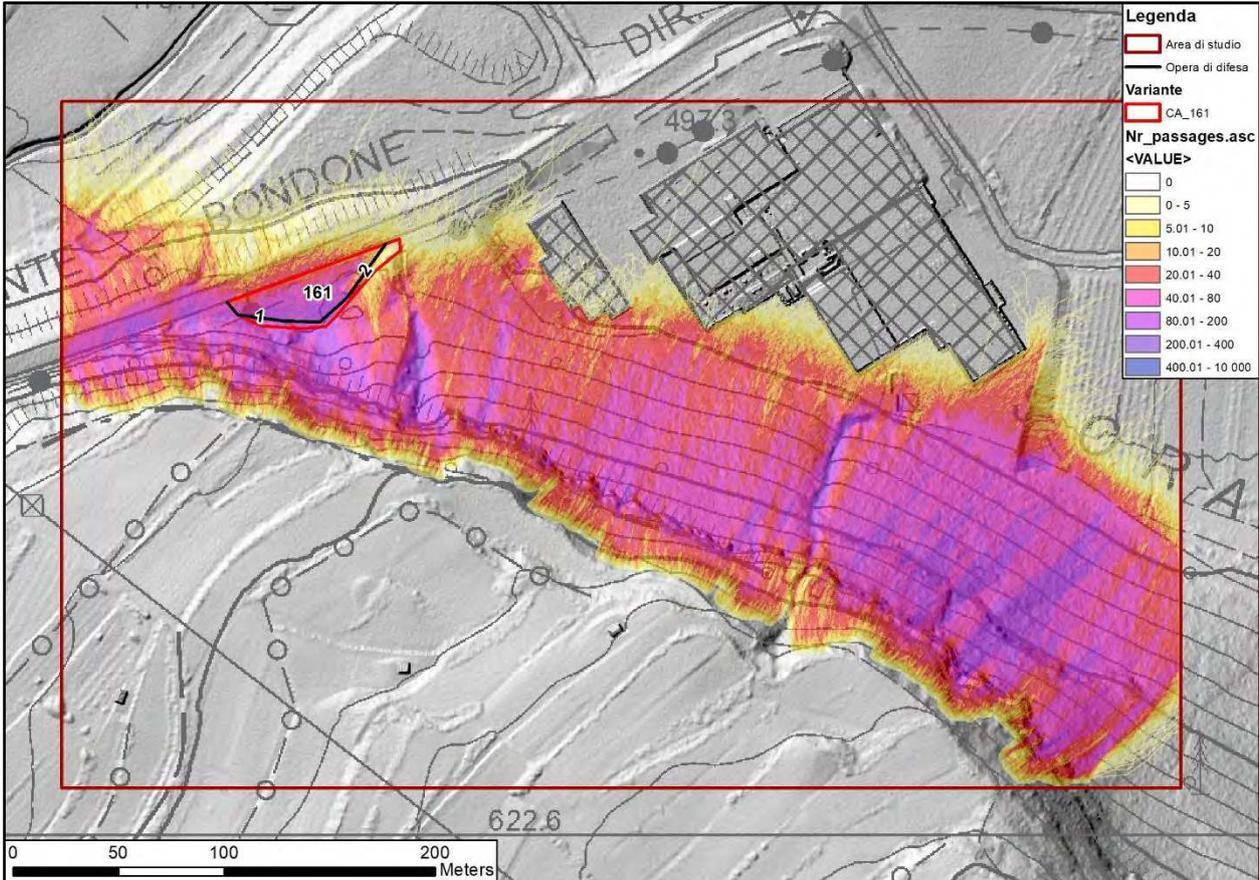


Figura 2.7 - numero di blocchi in transito per singola cella – in nero l'area interessata dal crollo di febbraio 2024

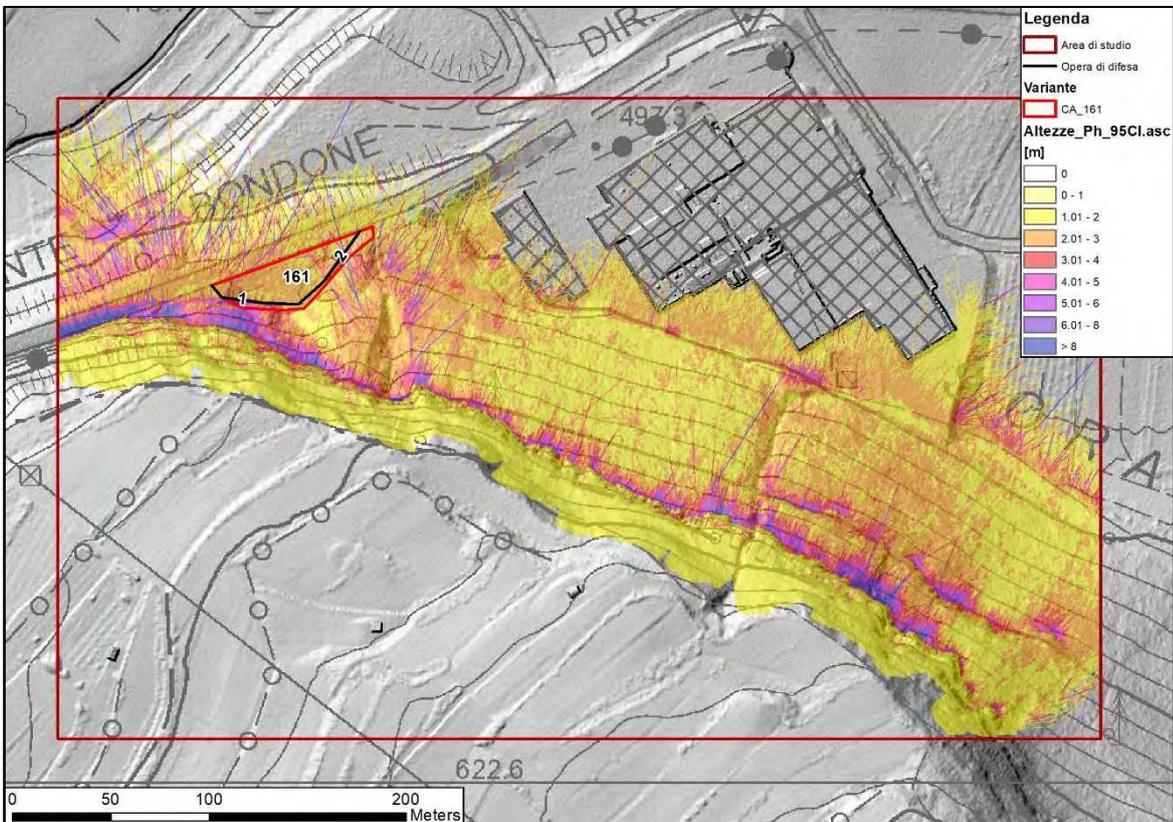


Figura 2.8 - massima altezza 95%CL della traiettoria di passaggio – in nero l'area interessata dal crollo di febbraio 2024

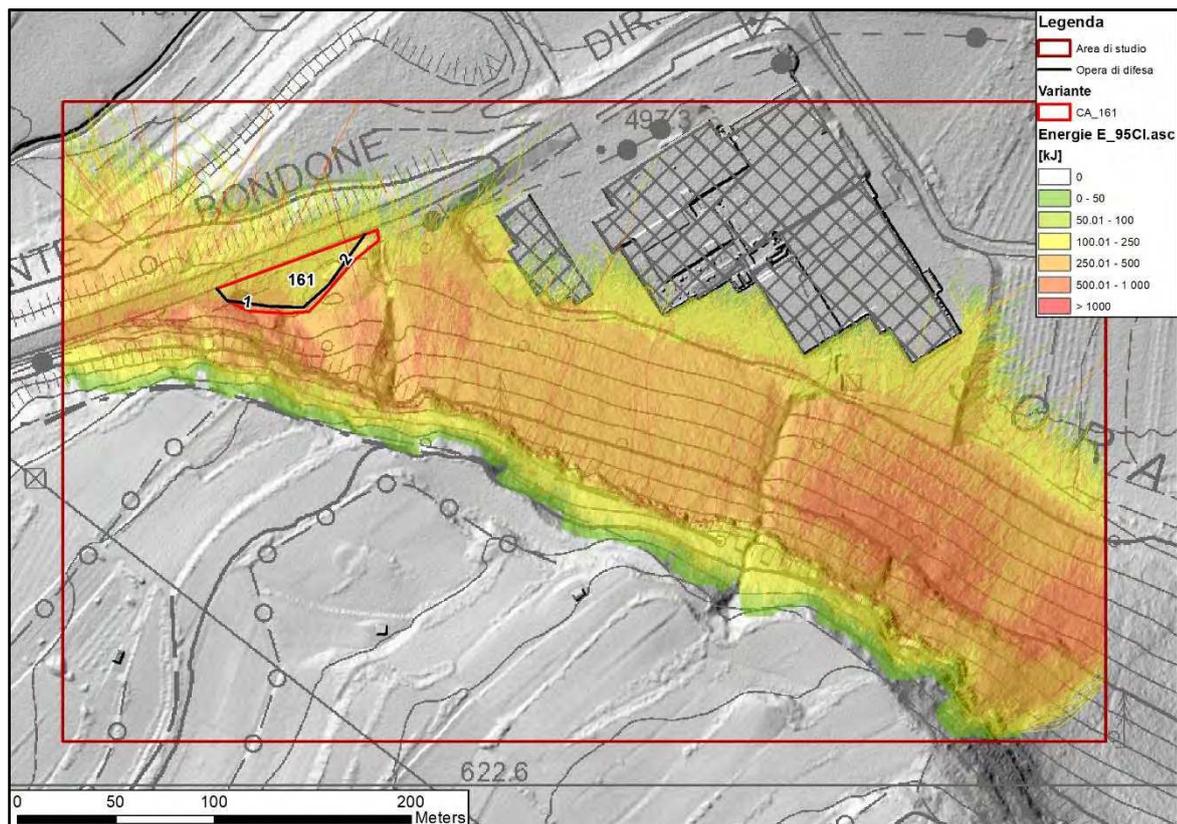


Figura 2.9 – massime energie 95%CL delle traiettorie di crollo – in nero l’area interessata dal crollo di febbraio 2024

### 2.3. INTERVENTI MINIMI DI MESSA IN SICUREZZA

L’area della CA161 è già attualmente (da molti anni) utilizzata come deposito di materiale destinato alla gestione e manutenzione a servizio della rete viaria (Foto 2.7).



Foto 2.7 – vista del deposito di materiale/macchinari a gestione e servizio della rete viaria.

Il cambio di destinazione d’uso formalizza di fatto la nuova destinazione e, in più, in base all’**Art. 66 – Spazi a servizio della mobilità** delle NA della VARIANTE PRG 2023/2024 consente infrastrutturazione e realizzazione di manufatti.

STUDI DI COMPATIBILITÀ

In caso di infrastrutturazione, o posa di manufatti, è chiaro l'aumento di carico antropico per la CA161, ne consegue la necessità di realizzare interventi di mitigazione del rischio. Da quanto discusso, la problematica principale riguarda l'ambito geologico, con la possibilità di investimento di blocchi in distacco dalle pareti rocciose che sovrastano l'area.

Le indagini eseguite hanno rilevato la possibilità di distacchi con volumetrie dell'ordine di 0.7 m<sup>3</sup> e confermato la pericolosità del sito pertanto, la mitigazione del rischio da crollo richiede la realizzazione di un intervento di tipo "passivo", alla base del versante, ovvero interventi attivi in parete (reti in aderenza) estesi a tutto il settore afferente l'area di Variante.

In via preliminare, per il dimensionamento delle opere passive si può fare riferimento alla Tabella 2.3, che riporta le caratteristiche delle traiettorie come simulate, in corrispondenza delle sezioni di controllo ubicate alla base del versante (cf. Figure da 2.7 a 2.9).

**Tabella 2.3 - sintesi dei risultati traiettorie di crollo intercettate dalla sezione di controllo**

\*n è il numero di blocchi che impattano sulla sezione; E\_95, E\_98 sono le energie al 95 e 98 percentile; Ph\_95, Ph\_98 sono le altezze di passaggio al 95 e 98 percentile; V è la velocità (m/s) al 95 percentile; V\_rot è la velocità rotazionale (rad/s) al 95 percentile; Imp\_a è l'angolo d'impatto tra un piano orizzontale e la traiettoria del blocco in gradi al 95 percentile (i valori negativi indicano blocchi discendenti)

Sezione di controllo	Blocchi	Energie		Altezza		Velocità		Impatto
	n	E_95	E_98	Ph_95	Ph_98	V_95	Vrot_95	Imp_a95
	[-]	[kJ]	[kJ]	[m]	[m]	[m/s]	[rad/s]	[°]
1	5748	474.1	627.1	2.2	4.9	24.2	33.7	8
2	2559	290.1	377.1	1.7	2.1	16.2	31.1	25.4

Eventuali progettazioni future di "opere di infrastrutturazione del territorio, compresi i manufatti ad esse funzionali", nonché gli "interventi ammessi nelle fasce di rispetto stradale", dovranno quindi essere supportati da specifico studio di dettaglio che analizzi le traiettorie di crollo e verifichi le opere di mitigazione (opera di difesa passiva) più idonee in riferimento alle opere previste.

Per quanto concerne l'aspetto legato a fenomeni franosi, l'area interessata da tale penalità è marginale e fa riferimento a possibili frane che potrebbero coinvolgere l'impluvio più a ovest, esterno all'area di variante.

### 3. VARIANTE RO143 – C.C. ROMAGNANO

#### 3.1. VINCOLI URBANISTICI E FENOMENI ATTESI

La variante urbanistica RO143 è ubicata in loc. Settefontane, insiste nel tratto a valle e a ridosso della “Cava Monache”, e prevede il cambio di destinazione da “area per attività estrattiva” a “area agricola”. L’area si configura come un adattamento catastale della stretta fascia della p.f. 722 C.C. Romagnano (per la gran parte già ad area agricola) inserita in area per attività estrattiva.

Variante	SUP.	PENALITA'					Destinazione vigente		Nuova Destinazione	
	m <sup>2</sup>	CSP	CROLLI	VLANGHIVA	LITOGOMORF OLOGICA	INCENDI BOSCHIVI	Codice	DESCRIZIONE	Codice	DESCRIZIONE
RO_143	413	P4	P4		P1	P4	L110_P	AREE PER ATTIVITA ESTRATTIVA- ESCLUSIVA	E103_P	AREA AGRICOLA

L’area si posiziona alla base del versante destro idrografico della Val d’Adige ed è esposta a fenomeni di crolli rocciosi con penalità elevata (P4) in distacco dalle pareti a monte.

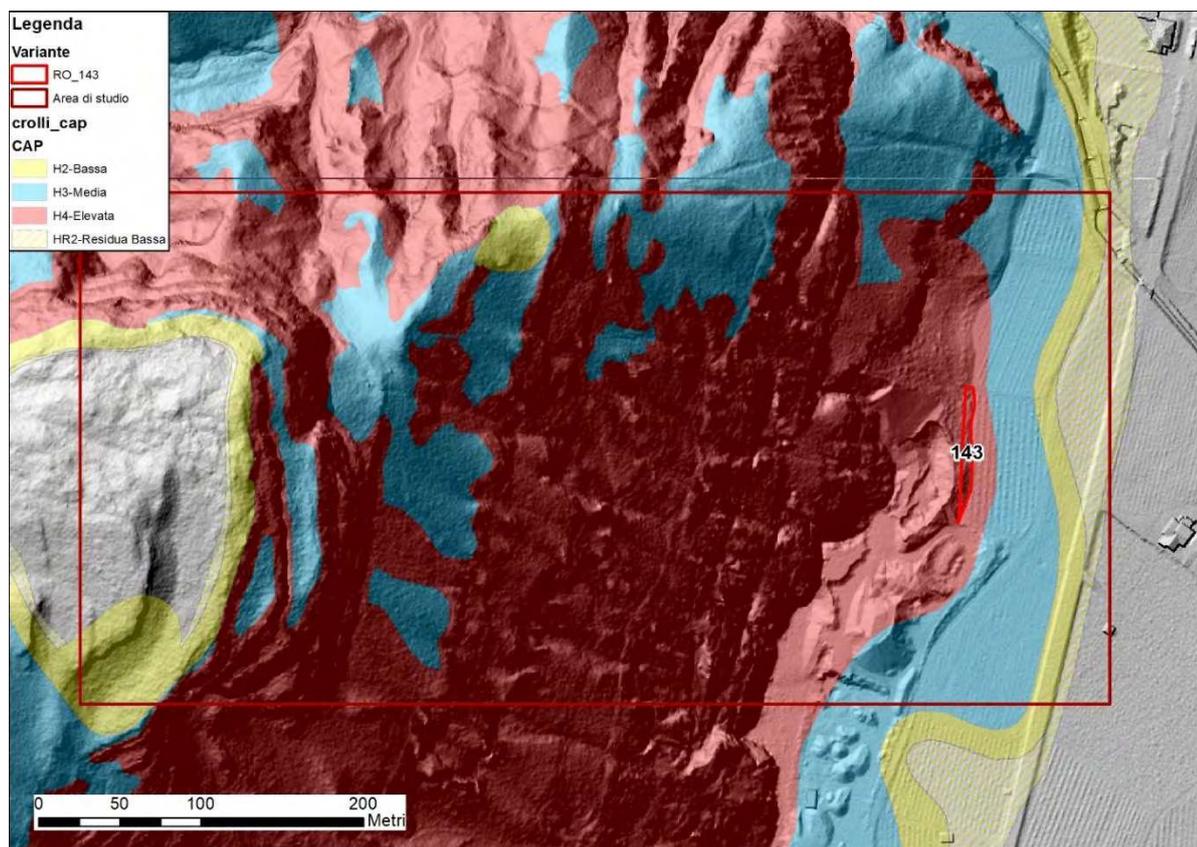


Figura 3.1 – estratto CAP – crolli rocciosi

Il modello digitale del terreno (di data 2014 DEM-PAT) rileva la presenza di falda detritica a ridosso dell’area di variante, tuttavia non rappresenta lo stato reale dei luoghi. L’area è stata infatti successivamente interessata da lavorazioni per la “coltivazione” della Cava, come ben visibile dalle foto in *timelaps*, e come riportato dall’estratto plani-altimetrico

STUDI DI COMPATIBILITÀ

inserito nel Rapporto Ambientale di data Giugno 2020 “Domanda di localizzazione di un centro di riciclaggio in loc. Monache nel Comune di Trento” presentato per l’area più a sud<sup>3</sup>.

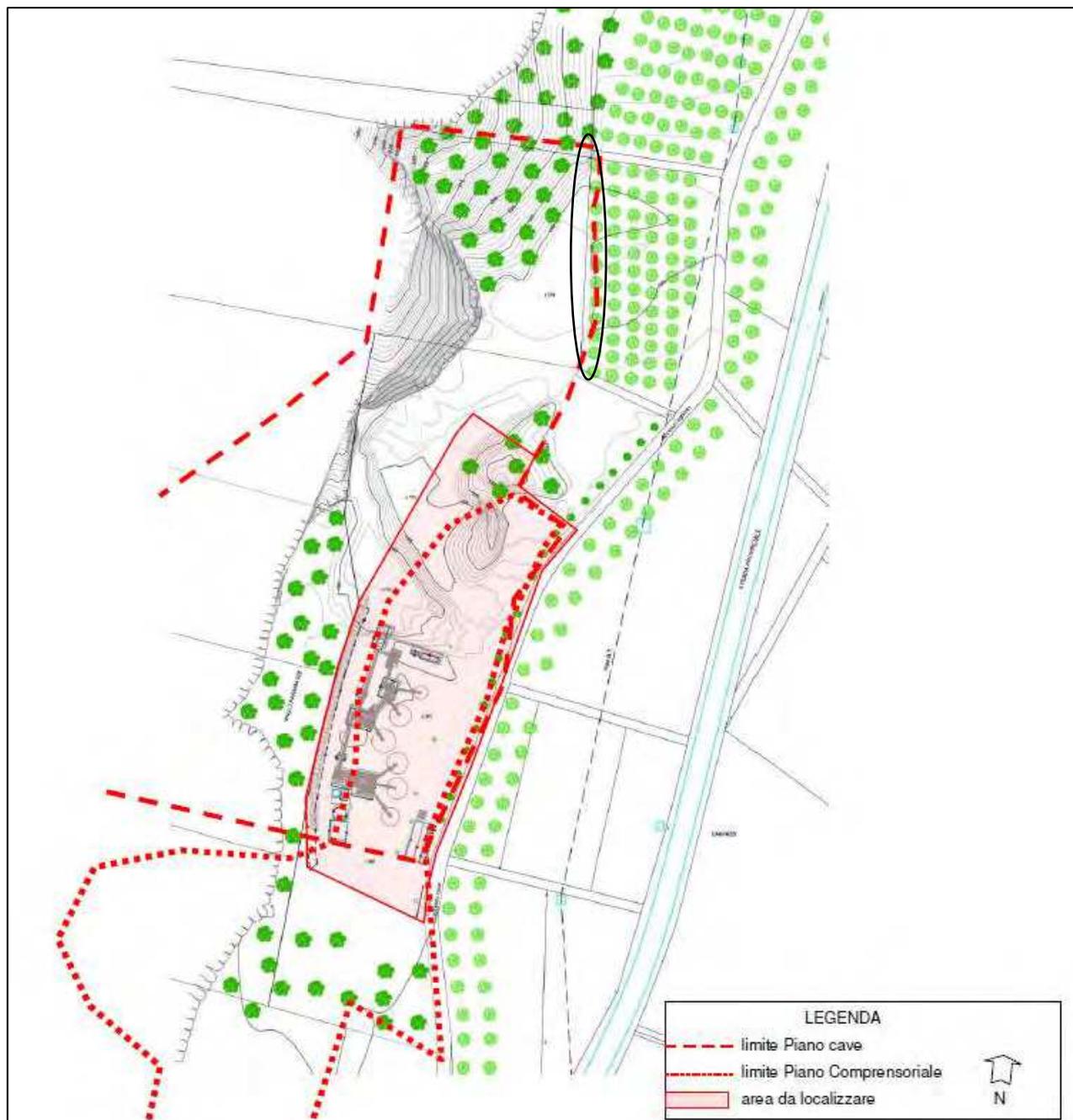


Figura 3.2 – estratto plani-altimetrico dal Rapporto ambientale Cava Monache [3], in nero l’area oggetto di variante compresa tra il limite Piano Cave e il limite della p.f. 722 C.C. Romagnano

3 Bertolini Mario, giugno 2020 DOMANDA DI LOCALIZZAZIONE DI UN CENTRO DI RICICLAGGIO IN LOC. MONACHE NEL COMUNE DI TRENTO **RAPPORTO AMBIENTALE**  
Bertolini Michele - ALLEGATO ALLA DOMANDA DI LOCALIZZAZIONE DI UN CENTRO DI RICICLAGGIO IN LOC. MONACHE NEL COMUNE DI TRENTO **RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA**  
<https://www.comune.trento.it/Aree-tematiche/Ambiente-e-territorio/Valutazioni-ambientali/Valutazione-ambientale-strategica/Valutazione-ambientale-strategica>



Foto 3.1 – foto dicembre 2011 con l'accumulo ancora presente alla base del pendio



Foto 3.2 – foto maggio 2014 con le lavorazioni nel tratto d'area in oggetto



Foto 3.3 – foto settembre 2016 – ultimazione delle lavorazioni nell'area a monte della variante



Foto 3.4 – foto febbraio 2021 – stato finale dell’area come riportato in Figura 3.2

### 3.2. CONSIDERAZIONI IN MERITO ALLA PERICOLOSITÀ GEOLOGICA DA CROLLO

Di seguito si approfondisce la problematica relativa ai crolli rocciosi e si presentano le simulazioni cinematiche di propagazione dei blocchi in distacco dagli affioramenti a monte della Variante RO143, eseguite con un modello tridimensionale implementato nel codice di calcolo automatico Rockyfor3d (EcorisQ)[1]. Si tratta di un modello di simulazione che calcola le traiettorie di un blocco in 3D; il modello combina algoritmi deterministici, basati su approcci stocastici, che rendono il *software* un cosiddetto “modello di traiettoria di caduta basato su processi probabilistici”.

Per l’analisi della criticità dell’area si è fatto riferimento alle considerazioni riportate nella Relazione Geologica e Geotecnica, a firma del geol. Michele Bertolini, e allegate al Rapporto Ambientale per la “Domanda di localizzazione di un centro di riciclaggio in loc. Monache nel Comune di Trento” [3].

#### 3.2.1. CARATTERIZZAZIONE GEOMECCNICA E ANALISI A POSTERIORI

Le analisi previsionali di mobilità dei blocchi richiedono l’assunzione di parametri geomeccanici adeguati che, in assenza di vere e proprie prove di caduta in sito, possono essere ragionevolmente desunti dall’analisi dei fenomeni di crollo già avvenuti. Una simile procedura, basata in particolare sullo studio delle massime propagazioni rilevabili sul versante, consente di valutare i parametri geomeccanici caratteristici delle diverse zone, nell’ipotesi peggiore di massima mobilità dei blocchi. Nel caso specifico la scelta dei parametri geomeccanici è stata eseguita incrociando i dati esistenti e i parametri utilizzati negli studi precedenti e sulla base dei sopralluoghi condotti in situ.

La simulazione dei fenomeni di caduta dei blocchi mobilitati da locali rotture delle pareti rocciose necessita di una zonazione geomeccanica delle diverse porzioni del versante che tenga conto delle reali differenziazioni topografico-geomorfologiche e litologiche. I parametri geomeccanici richiesti dal modello di calcolo adottati dipendono sostanzialmente dalle caratteristiche topografiche e litologiche, oltre che dalle effettive condizioni di propagazione del moto. Essi riguardano prevalentemente la conoscenza della capacità di restituzione dell’energia del terreno sia in fase di urto che in fase di rotolamento dei massi.

I dati di input sono quindi costituiti da un insieme di 10 mappe raster di stessa misura e stessa grandezza delle celle, come di seguito riportati:

- *dem.asc* - il modello digitale del terreno che descrive la topografia, ottenuto dai rilievi LIDAR della P.A.T (2014 integrato con voli 2018);
- *rock density.asc* – *raster* con la densità della roccia; nel caso specifico la densità è stata attribuita al substrato roccioso affiorante.

STUDI DI COMPATIBILITÀ

- *d1.asc; d2.asc; d3.asc* – raster che definiscono le dimensioni del blocco roccioso (altezza, larghezza, lunghezza) in caduta. A questo riguardo, nelle simulazioni, si introduce una variazione *random* del volume del blocco di progetto, pari a +/-50% del volume complessivo
- *blshape.asc* – raster che definisce la forma del blocco di progetto. Nel caso specifico si è scelta una forma prismatica
- *rg70.asc; rg20.asc; rg10.asc* – raster che definiscono la rugosità superficiale del versante interessato dal passaggio dei blocchi. Questi valori sono stati definiti sulla base delle osservazioni in campo in riferimento alla copertura presente (roccia, detrito, ecc.).
- *soiltype.asc* – il raster rappresenta “l’elasticità” del terreno divisa in otto differenti classi in base alla tipologia di suolo (granulometria, roccia, ecc.).

La zonazione geomeccanica messa a punto per le pareti rocciose a monte dell’area di studio tiene conto delle diverse situazioni litologico-topografiche utilizzando come "unità omogenee", dal punto di vista geomeccanico, le celle quadrate di 0.5x0.5 m di lato del reticolo topografico di riferimento. In questo modo è stato possibile associare ad ogni singola cella i valori dei parametri geomeccanici caratteristici attribuiti.

### 3.2.2. ANALISI STORICA

Per una comprensione delle criticità e delle pericolosità attese in corrispondenza dell’area sono stati interrogati il progetto ARCA-PAT e il progetto IFFI-ISPRA, che raccolgono gli eventi calamitosi registrati sul territorio nazionale. In realtà solo il progetto IFFI classifica il versante a tergo della cava come “area soggetta a fenomeni di crollo diffusi”.

Numerosi sono invece gli studi a supporto dell’attività estrattiva, completi di studi geomeccanici e analisi propagatorie, come la relazione geologica a firma del Geol. M. Cavattoni, per l’area più a sud, o più recentemente del Geol. Bertolini Michele che ha ricompreso le pareti a monte della variante RO143 [3].

### 3.2.3. DATI DI INPUT NEL MODELLO ASSUNTO

La Carta Geologica-schematica di base, utilizzata per le verifiche di propagazione dei blocchi, è stata definita a partire dal Foglio CARG 060 Trento e dalla più recente Carta Geologica della Provincia Autonoma di Trento (rappresentazione geologica dettagliata dell’intero territorio provinciale), che secondo quanto riportato, “deriva da rilievi originali d’Autore in scala 1:10.000, eseguiti in diversi anni di attività cartografica geologica diretta dal Servizio Geologico della PAT, grazie alla collaborazione e disponibilità di Enti nazionali quali ISPRA, Amministrazioni regionali e provinciali, musei, istituti universitari e di ricerca e geologi professionisti”.

Partendo da tali cartografie è stata redatta una Carta Geologica *ad hoc*, per l’area di studio, dove sono rappresentate le unità geomeccaniche omogenee da utilizzare specificatamente per le simulazioni di crollo; sono state estrapolate le aree urbanizzate, le aree caratterizzate da roccia affiorante e rideterminati alcuni limiti stratigrafici tra la copertura quaternaria e il substrato roccioso e tra le unità presenti.

La variante **RO143** si posiziona sulla piana alluvionale di fondovalle, alla pendici del versante dove è presente una spessa copertura detritica. Sia l’area di variante che la falda a tergo sono state oggetto di “attività-estrattiva” associata alla Cava “Monache-Settefontane”, attività che ha comportato lo smantellamento e la rimozione di un’ampia porzione di falda detritica accumulatasi al piede delle pareti rocciose.

STUDI DI COMPATIBILITÀ

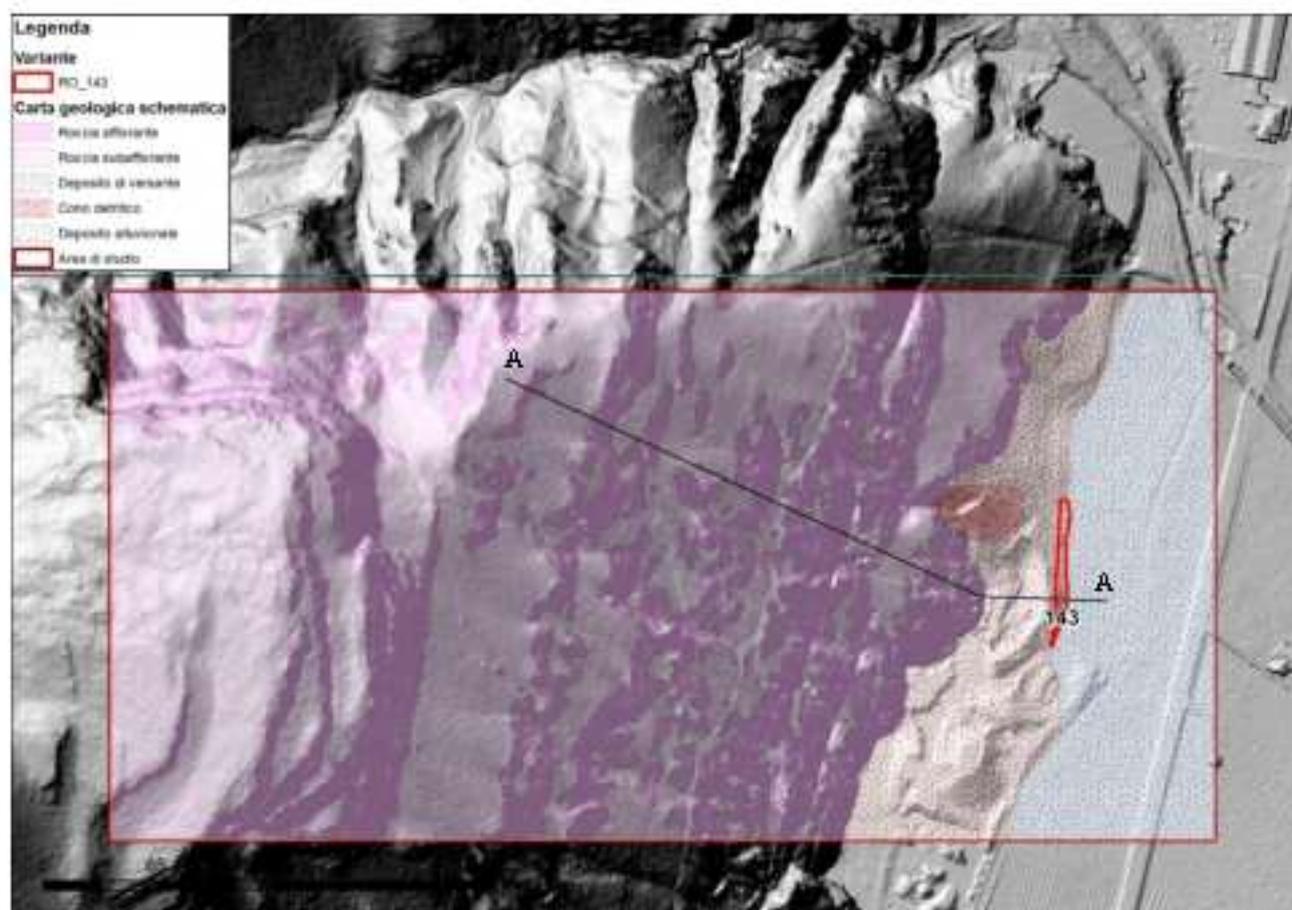


Figura 3.3 – Carta Geologica schematica (dati elaborati dal Servizio Geologico PAT - modificata) utilizzata nelle verifiche di crollo - DBM-PAT – in nero la traccia della sezione A-A.

Per ogni tipologia di deposito sono stati assegnati i nove parametri appena descritti, che vengono riassunti nella Tabella 3.1:

Tabella 3.1 - dati di input utilizzati nelle simulazioni di crollo con il software Rockfor3D per il versante

DESCRIZIONE	rock density	blocksize	$\alpha_{70}$	$\alpha_{50}$	$\alpha_{30}$	soiltype
Deposito alluvionale			0.02	0.05	0.07	1
Cono detritico			0.18	0.20	0.25	4
Deposito di versante			0.15	0.18	0.20	3
Substrato roccioso subaffiorante			0.10	0.12	0.14	5
Substrato roccioso affiorante	2700	1.00	0.08	0.10	0.12	6

### 3.2.4. MODELLO DIGITALE DEL TERRENO

L'elemento base delle simulazioni di crollo è il modello digitale del terreno (DTM) che rappresenta l'andamento della superficie del suolo senza considerare gli vegetazionali. La dimensione della cella del modello digitale del terreno influisce sulla risoluzione della simulazione il quale all'aumentare della dimensione della cella diminuisce sia la precisione spaziale delle mappe risultanti sia l'accuratezza delle dinamiche cinematiche simulate.

La base topografica del modello digitale sviluppato utilizza il rilievo LIDAR della Provincia autonoma di Trento (Ufficio Sistemi Informativi - Servizio autorizzazioni e valutazioni ambientali - LIDAR rilievo 2014/2018 -

<http://www.territorio.provincia.tn.it/portal/server.pt/community/lidar>) che rappresenta lo stato del terreno durante le misurazioni condotte sul territorio tra il 2014 e il 2018, con dimensione della cella pari a 0.5x0.5 m.

Per la verifica della propagazione dei blocchi, è stato utilizzato il modello DBM, con dimensione della cella pari a 0.50x0.50 m.

In occasione dei sopralluoghi a supporto delle valutazioni preliminari è stato verificato l'assetto dei luoghi. Dalle analisi della documentazione esistente e della verifiche in sito, si rileva come il modello digitale del terreno disponibile per l'area (DBM-PAT 2014), non comprenda le più recenti modifiche associate all'attività estrattiva che ha coinvolto il versante a monte della RO143. Le lavorazioni hanno riguardato la rimozione completa della copertura sciolta alle pendici del versante, creando una zona pianeggiante, pressoché continua fino alla base delle pareti.

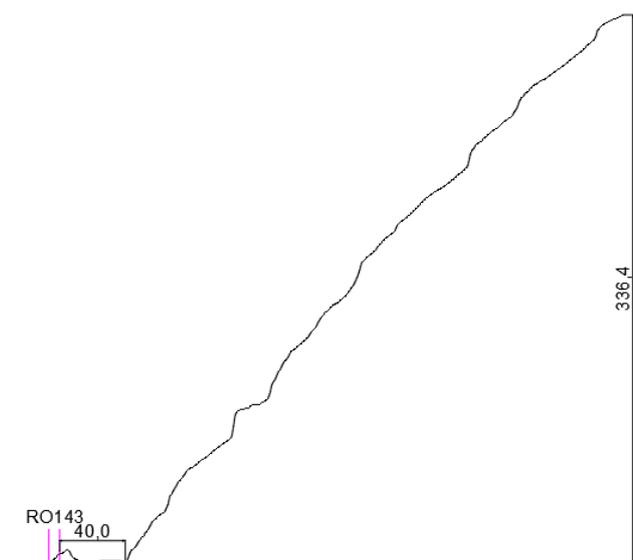


Figura 3.4 – sezione A-A schematica in corrispondenza della RO143 – cfr. Figura 3.1 per ubicazione

Secondo quanto riportato dagli studi recenti [3] sull'area estrattiva, la cava “Monache” sta ad oggi ultimando la coltivazione di una serie di conoidi sabbioso-ghiaiosi di natura calcareo-dolomitica che ricoprono con spessori variabili la base delle pareti rocciose, costituita dalla Formazione della Dolomia Principale (DPR), quali dolomie cristalline, micritiche, laminate e da dolomie bioclastiche.

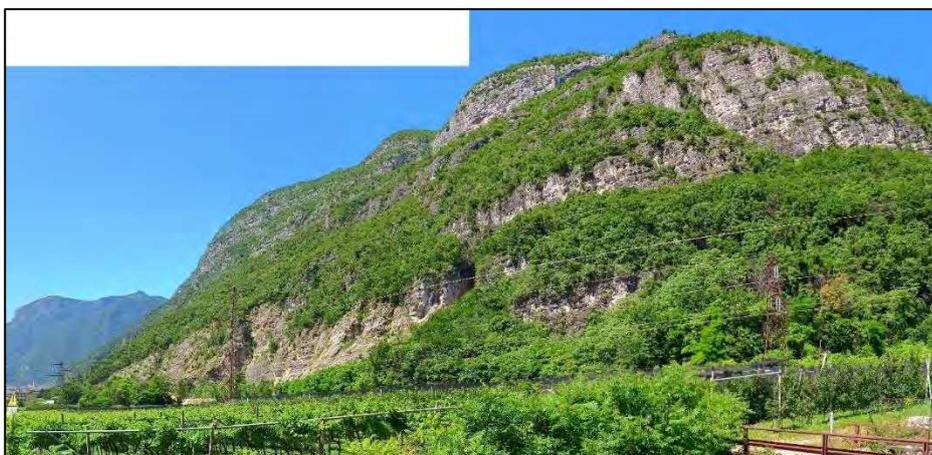


Foto 3.5 – la base delle pareti rocciose poco più ad est dell'area di variante (sx) e l'accumulo alla base delle pareti rocciose (dx)



Foto 3.6 –l’area pianeggiante a monte della variante RO143

### 3.2.5. SCELTA DEL BLOCCO DI PROGETTO

Per quanto riguarda il blocco di progetto è utile tener conto che, l’energia e l’altezza massima delle traiettorie sono legate al volume e alla forma del blocco mentre, la massa  $M$  è funzione del volume  $V$  e del peso di volume  $\gamma$ ; il volume dipende a sua volta da diversi fattori, tra i quali: il volume totale mobilitato dal dissesto (crollo di progetto), le condizioni geostrutturali e la resistenza propria dell’ammasso roccioso, le caratteristiche litologiche e topografico-geomorfologiche del versante.

I parametri caratteristici del "blocco di progetto" sono:

- c) l’energia d’impatto che dipende dalla massa e dalla velocità;
- d) l’altezza massima delle traiettorie di discesa, con particolare riferimento ai rimbalzi

Le aree sorgente di blocchi sono rappresentate da una parete principale con sviluppo verticale di circa 100/120 m localmente inframezzata da cenge vegetate e da affioramenti più sparsi e in piccole pareti con altezze massime dell’ordine di 20 m. Nella fase iniziale di indagine il substrato roccioso è stato “estrapolato” sulla base delle indicazioni della d.g.p. *Criteri e metodologia per la redazione e l’aggiornamento delle carte della pericolosità (art.10, comma 5, l.p. 1 luglio 2011, n. 9*. In questo caso, il DTM è stato ricampionato con risoluzione di 5 m, definendo un punto sorgente per ciascuna delle celle che raggiunge o supera la soglia di pendenza di  $44^\circ$ .

Tale “delimitazione” preliminare della roccia affiorante, elaborata secondo le specifiche della CSP, è stata affinata utilizzando un DTM di maggiore dettaglio e verificando in sito la presenza delle principali pareti affioranti. Nello specifico, per la delimitazione della roccia affiorante, è stato utilizzato un DTM di dettaglio con risoluzione 2.0 m applicando in una prima fase la seguente l’equazione come proposta da alcuni recenti studi [2] (che mette in relazione la pendenza del versante con la dimensione della cella raster utilizzato):

$$\alpha = 55^\circ \cdot RES^{-0.075}$$

Dove :

- $\alpha$  = è il valore di soglia dell’angolo caratterizzante le aree sorgenti il distacco di blocchi
- RES = è la risoluzione del raster DEM

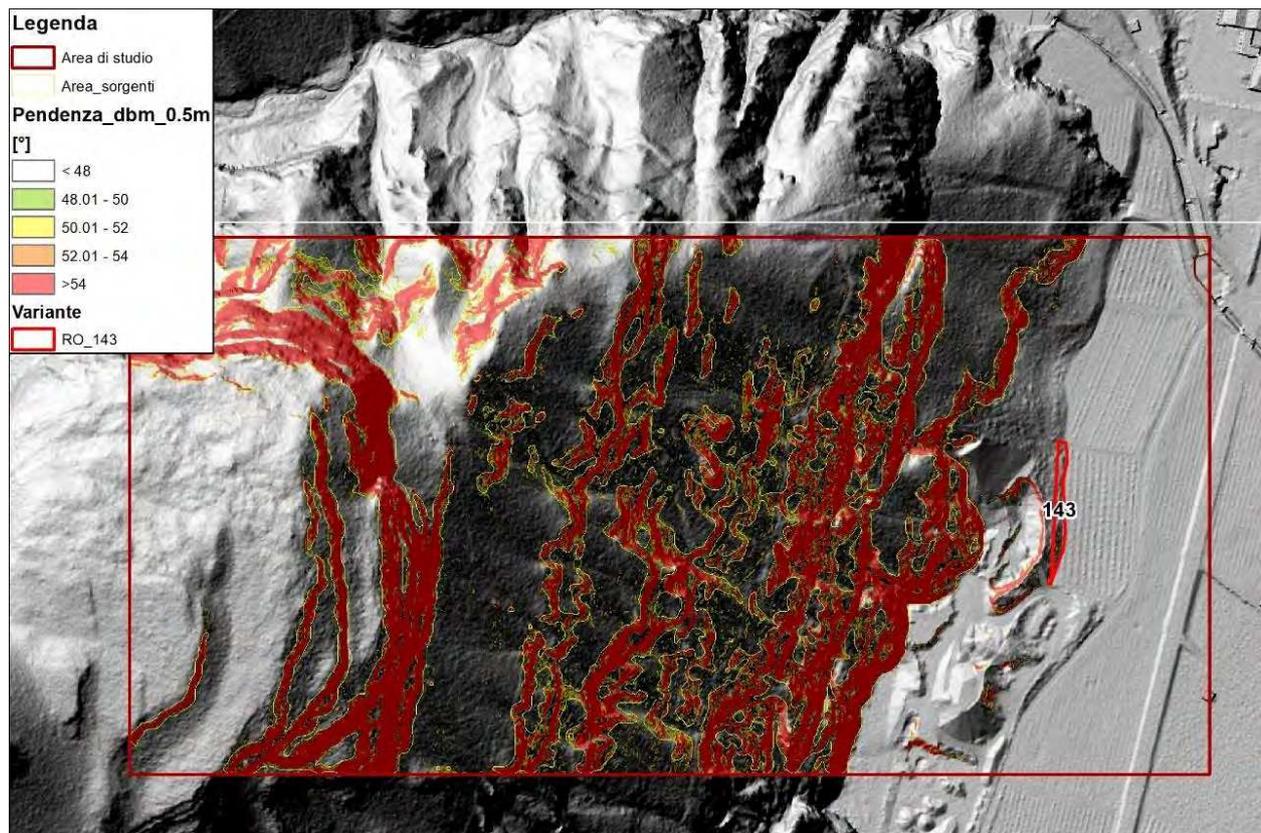


Figura 3.5 – aree sorgente e classi di pendenza DEM con risoluzione 0.5m

Utilizzando questa equazione e celle di lato 5.0 m, risulterebbero come “aree sorgente” celle con valori soglia di pendenza maggiori di 48.7°, ben superiori a quelli utilizzati per la definizione della CSP (pari ai 44°), con il rischio di ridurre eccessivamente le aree sorgente. È stato quindi deciso di modificare l’equazione, così da ottenere valori soglia che rispecchino maggiormente la reale condizione del versante e avvicinarsi alle indicazioni della d.g.p. 1306 *Criteria e metodologia per la redazione e l’aggiornamento delle carte della pericolosità (art.10, comma 5, l.p. 1 luglio 2011, n. 9)*. L’equazione così elaborata è pertanto la seguente:

$$\alpha = 49.51^\circ \cdot RES^{-0.075}$$

Nel nostro caso, utilizzando un DEM con risoluzione di 2.0 m, sono stati considerati come potenziali affioramenti le aree con inclinazioni maggiori di 47°.

L’approccio ha visto anche il confronto con quanto riportato negli studi recenti, condotti a più riprese sull’area, che hanno portato alla definizione (nel 2007) di un vallo-tomo a protezione dell’impianto di cava e, più recentemente all’analisi del rapporto ambientale per la realizzazione di un centro di riciclaggio [3].

In accordo con quanto riportato negli ultimi studi fatti per l’area Monache, in questa sede è stato mantenuto un VRU di forma prismatica di 0.5 m<sup>3</sup> di dimensioni (0.9x0.8x0.7 m) e volume massimo incrementato del ±50% pari a 0.75 m<sup>3</sup>. In sintesi, il volume dei blocchi scelti e utilizzati nelle simulazioni di crollo è riassunto di seguito:

Area sorgente		d1	d2	d3	VRU <sub>min</sub>	VRU <sub>medio</sub>	VRU <sub>max</sub>
ID	Descrizione	m	m	m	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
1	Dolomia Principale (DPR)	0.90	0.80	0.70	0.25	0.50	0.76

Tabella 3.2 – aree sorgente e VRU<sub>medio</sub> e VRU<sub>max</sub> considerati nelle simulazioni di crollo

Le tre dimensioni del blocco definite in ogni cella sorgente vengono variate in modo casuale e uniforme con una predefinita % scelta per il caso in oggetto nel 50%. Questa variazione random è identica per tutti e tre i valori di

STUDI DI COMPATIBILITÀ

dimensione del blocco per ogni singola simulazione, ossia se la variazione di volume è fissata come per il caso in oggetto a 50%, allora tutte e tre le dimensioni del blocco saranno incrementate o diminuite in modo casuale.

Per la determinazione della massa del blocco di progetto in distacco dall'affioramento roccioso, in riferimento alla VRU del blocco e assumendo  $\gamma = 2700 \text{ kg/m}^3$  come peso di volume si ha:

$$1) \quad M_{\text{progr min.}} = 2700 * 0.25 = 675 \text{ kg} \quad M_{\text{progr max.}} = 2700 * 0.75 = 2025 \text{ kg}$$

La normativa provinciale *Criteri e metodologia per la redazione e l'aggiornamento delle carte della pericolosità (art.10, comma 5, l.p. 1 luglio 2011, n. 9)* definisce le metodologie utilizzate per la realizzazione della Carta di sintesi della Pericolosità, per la quale sono stati lanciati 20 blocchi per cella sorgente (5x5m).

In questo caso, le simulazioni sono state realizzate con un DBM di dettaglio con risoluzione pari a 0.5 m, è stato quindi scelto di effettuare un lancio per cella sorgente (4 lanci/m<sup>2</sup>). Tale valore, seppur confrontabile con quanto utilizzato dalla PAT per le Carte di Sintesi della Pericolosità (0.8 lanci/m<sup>2</sup>), rappresenta tuttavia un maggior numero di distacchi a parità di area sorgente. In sintesi, le verifiche eseguite con n. 1 lanci per cella di partenza (0.5x0.5 m), ha comportato n. 68010 lanci e relative traiettorie.

Nel presente lavoro, al fine della simulazione delle traiettorie di crollo non è stato inserito il contributo della "foresta", tale da porsi nella situazione di maggior sicurezza.

### 3.2.6. OUTPUT DELLE SIMULAZIONI DI CROLLO

Le simulazioni cinematiche condotte per distacchi di blocchi con volumi variabili hanno permesso di evidenziare le principali vie di "scorrimento" dei blocchi in caduta e confermato come l'area di variante sia esposta a fenomeni di crollo in distacco dalle pareti rocciose con volumetrie simulate fino a 0.75 m<sup>3</sup>.

```
simulation settings:
- rock volume variation = +/- 50
- nr. of simulations per source cell = 1
- nr. of simulated falling rocks (total nr. simulations) = 256892
- additional initial fallheight = 0.000000 m
- Simulation without forest and without nets

Overall simulated block volumes:
- min = 0.300000 m3
- mean = 0.600000 m3
- max = 0.800000 m3
```

Figura 3.6 – logfile della simulazione di crollo

Da quanto discusso, tutta l'area è stata interessata da attività estrattiva anche successivamente agli ultimi rilievi DEM-PAT) tuttavia, lo smantellamento della falda detritica a tergo dell'area di variante comporta evidentemente un ulteriore aggravio, pertanto si ritiene conclamata la pericolosità da crollo tanto che, la situazione per la **RO143** è analoga allo scenario di modello studiato per l'area Cava Monache più a sud.

STUDI DI COMPATIBILITÀ

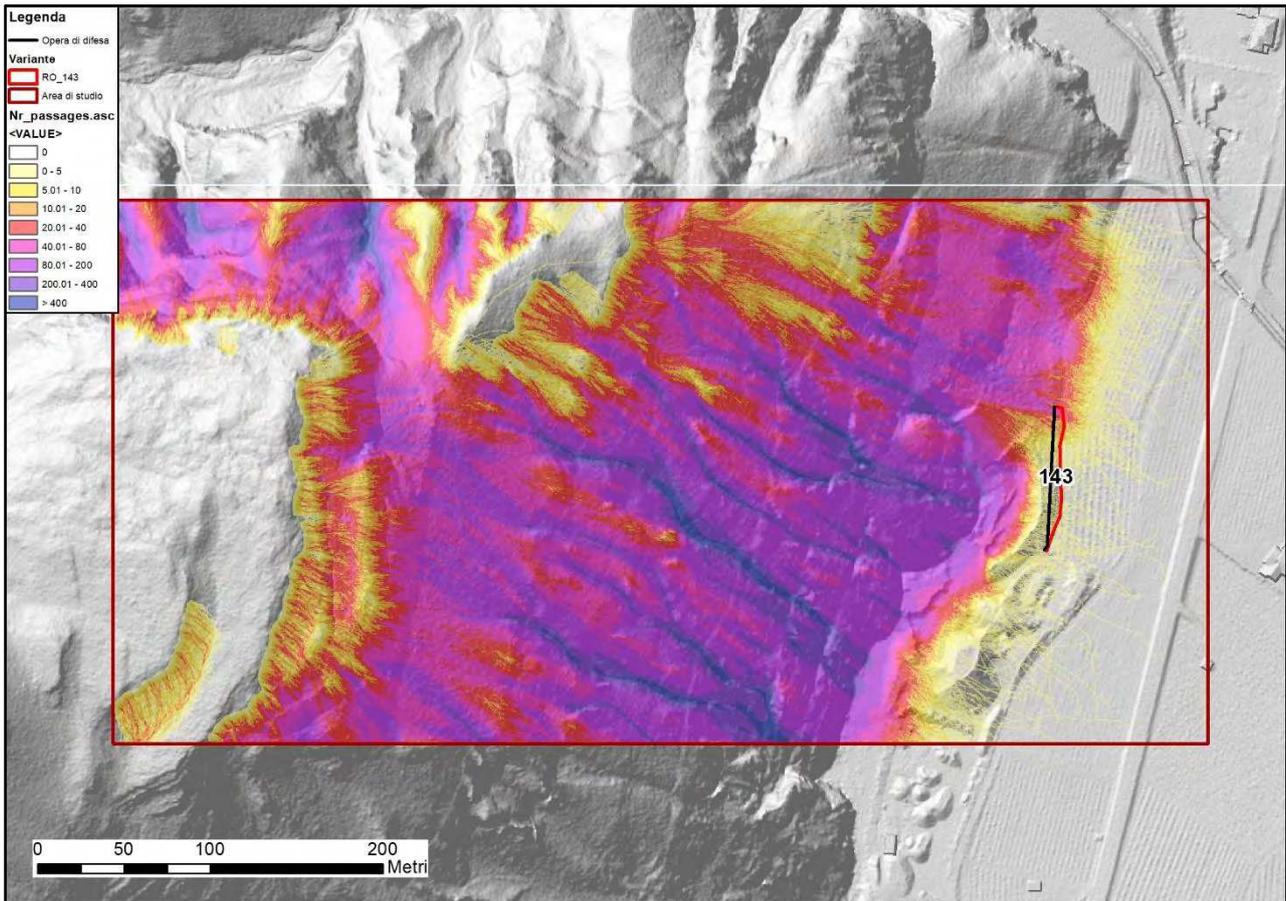


Figura 3.7 - numero di blocchi in transito per singola cella

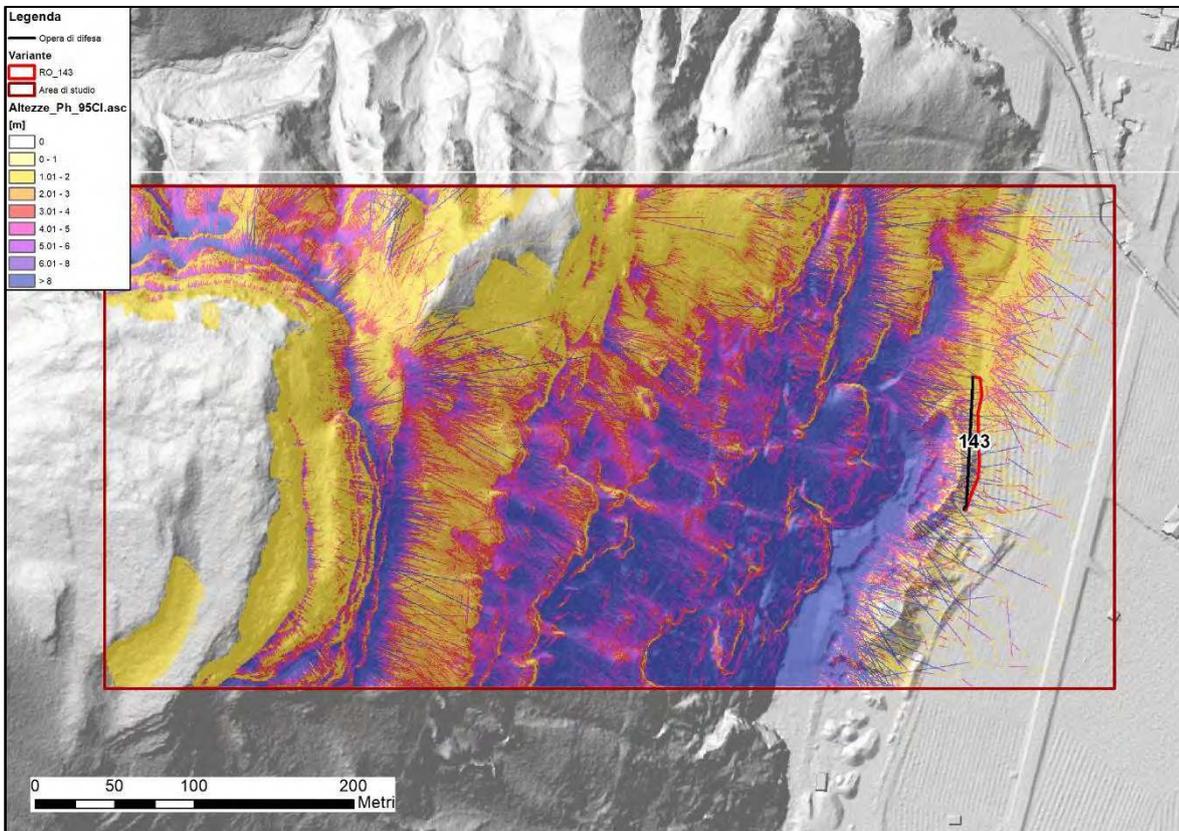


Figura 3.8 - massima altezza 95%CL delle traiettoria di passaggio

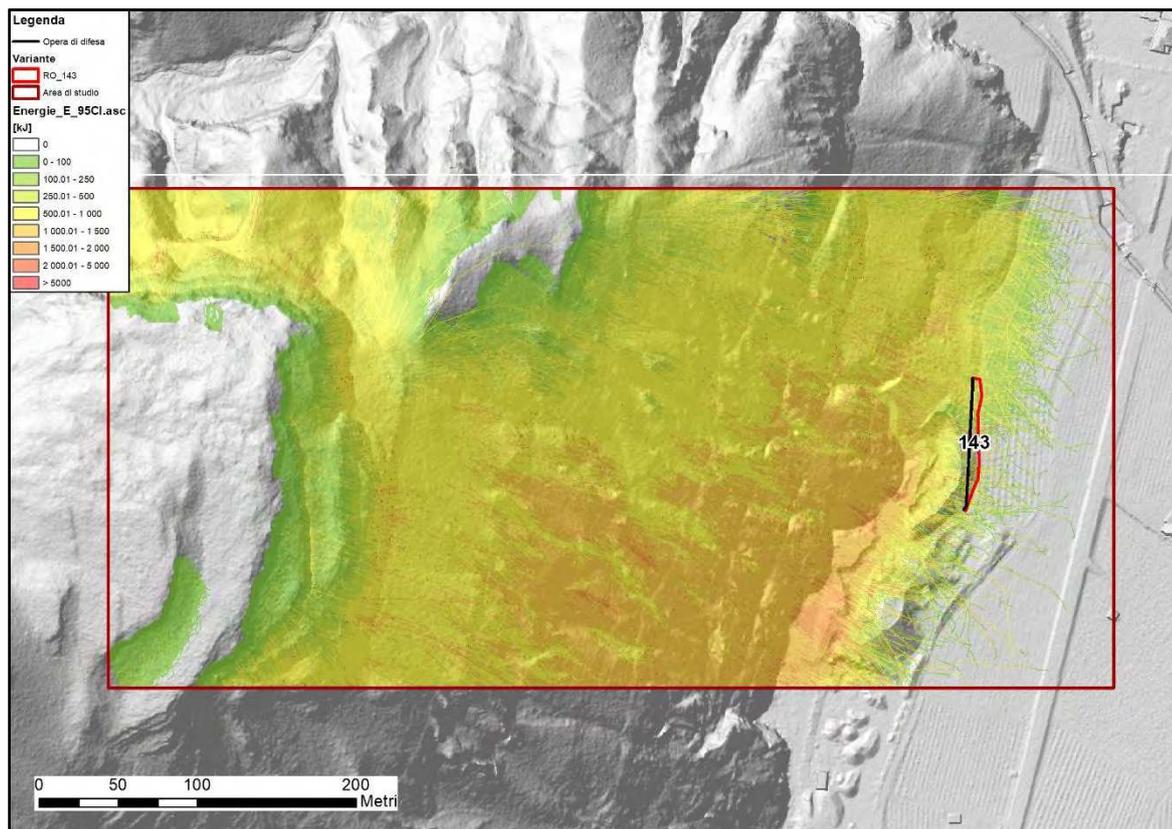


Figura 3.9 – massime energie 95%CL delle traiettorie di crollo

Dagli *output* di simulazione l'area oggetto di variante appare in parte “protetta” da una “morfologia temporanea” conseguente le fasi di scavo della cava Monache, con la creazione di una sorta di tomo a ridosso della Variante RO143. In realtà la situazione attuale vede lo smantellamento di tutta la falda detritica e la creazione di un'area pianeggiante al piede del versante. Lo stato di fatto comporta evidentemente una maggiore esposizione delle aree sulla piana di fondovalle nei confronti dei crolli da monte, come peraltro discusso anche negli studi per la cava Monache più a sud [3].

### 3.3. INTERVENTI MINIMI DI MESSA IN SICUREZZA

Da quanto discusso, la problematica principale per l'area di variante riguarda il possibile investimento di blocchi in distacco dalle pareti rocciose in affioramento a monte.

In riferimento alla nuova destinazione urbanistica, che prevede la trasformazione in area agricola, per quanto riguarda la **penalità elevata P4 da crollo**, si prescrive la necessità di proteggere l'area con un'opera di difesa passiva, che si può configurare come la continuazione verso nord del tomo esistente (a sud) e di quello proposto dal geol. Bertolini M. a protezione del centro di riciclaggio in loc. Monache nel Comune di Trento” [3] che presenta altezza (lato monte) di 4.5 m.

L'opera deve essere estesa a tutta l'area di variante e, in accordo con le indicazioni già riportate nel Progetto a firma Bertolini, deve completarsi con la posa di un materasso dissipatore, costituito da uno strato di limo dello spessore di almeno 0,5 m, a coprire il vallo.

#### 4. VARIANTE RO149 – C.C. ROMAGNANO

##### 4.1. VINCOLI URBANISTICI E FENOMENI ATTESI

La variante urbanistica RO149 è ubicata in loc. Settefontane, e insiste nel tratto a valle e a ridosso della omonima “Cava Bozze-Settefontane” e prevede il cambio di destinazione da “area per attività estrattiva” a “area agricola”.

Variante	SUP.	PENALITA'					Destinazione vigente		Nuova Destinazione	
	m <sup>2</sup>	CSP	CROLLI	VLANGHIVA	LITOGEO MORFOLOGICA	INCENDI BOSCHIVI	Codice	DESCRIZIONE	Codice	DESCRIZIONE
RO_149	1541	P2-P3-P4	P4		P1P2P3		L110_P	AREE PER ATTIVITA ESTRATTIVA- ESCLUSIVA	E109_P	AREE AGRICOLE PREGIO LOCALE

L'area di variante si posiziona alla base del versante destro della Val d'Adige, ed è esposta a fenomeni di crolli rocciosi con **penalità elevata (P4)** in distacco dalle pareti a monte. La variante è solamente lambita da penalità media P3 (per 3.2 m<sup>2</sup>) in ambito litogeomorfologico, che interessa l'area estrattiva a monte.

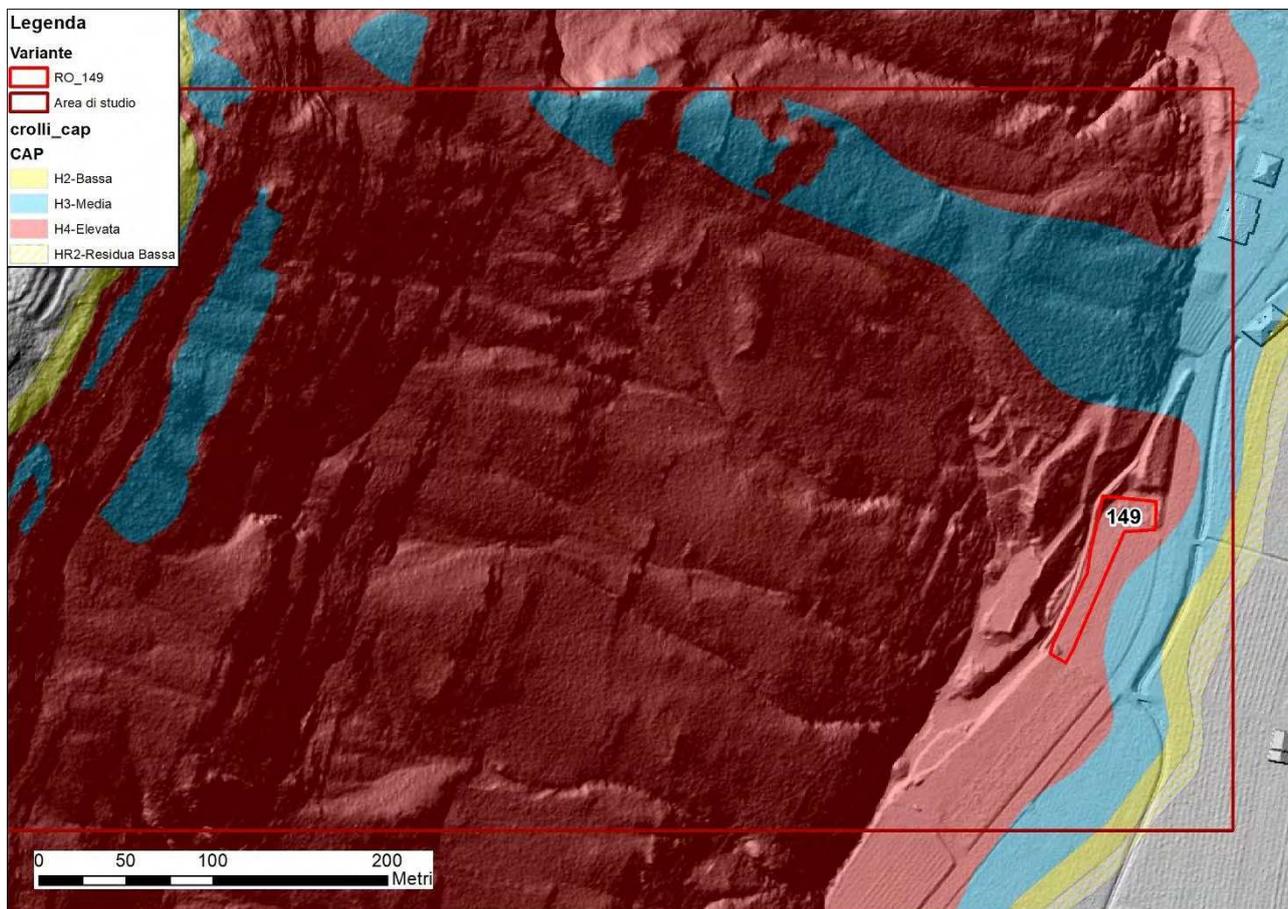


Figura 4.1 – estratto CSP – crolli rocciosi

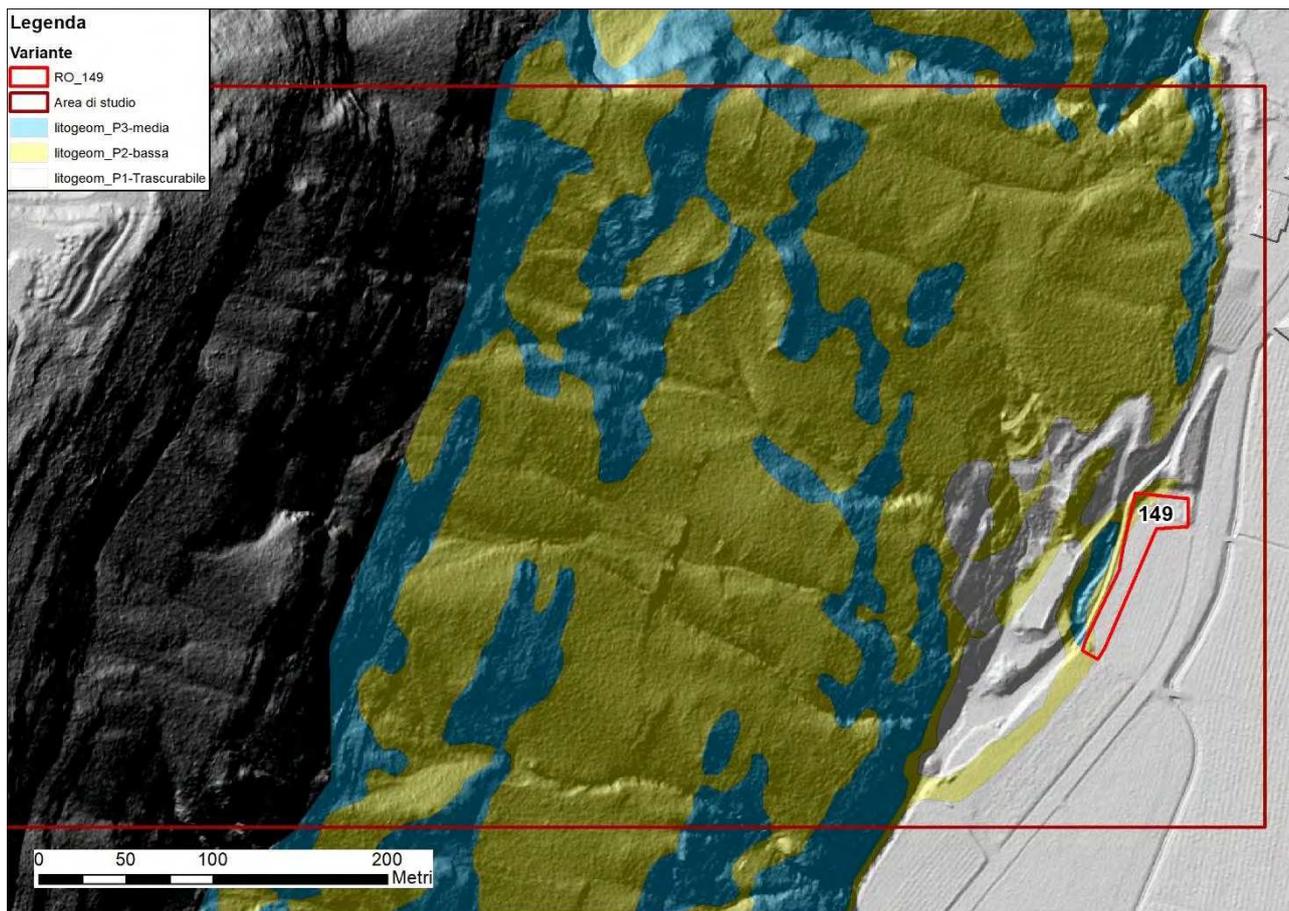


Figura 4.2 – estratto CSP – litoggeomorfologica nell’area del Comune di Trento



Foto 4.1 – vista del versante a monte della variante RO149

## 4.2. CONSIDERAZIONI IN MERITO ALLA PERICOLOSITÀ GEOLOGICA DA CROLLO

Di seguito si approfondisce la problematica relativa ai crolli rocciosi e si presentano le simulazioni cinematiche di propagazione dei blocchi in distacco dagli affioramenti presenti sul versante a monte della zona interessata dalla variante RO149, eseguite con un modello tridimensionale implementato nel codice di calcolo automatico Rockyfor3D (EcorisQ)[1]. Si tratta di un modello di simulazione che calcola le traiettorie di un blocco in 3D; il modello combina algoritmi deterministici, basati su approcci stocastici, che rendono il *software* un cosiddetto “modello di traiettoria di caduta basato su processi probabilistici”.

Per l’analisi preliminare delle pericolosità da crollo si è fatto specifico riferimento alla documentazione relativa allo stato di avanzamento della cava di inerti “Bozze-Settefontane2.”<sup>4</sup>

### 4.2.1. CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA E ANALISI A POSTERIORI

I dati di input richiesti dal codice di calcolo sono i seguenti:

- *dem.asc* - il modello digitale del terreno che descrive la topografia, ottenuto dai rilievi LIDAR della P.A.T (2014 integrato con voli 2018);
- *rock density.asc* – *raster* con la densità della roccia; nel caso specifico la densità è stata attribuita al substrato roccioso affiorante.
- *d1.asc*; *d2.asc*; *d3.asc* – *raster* che definiscono le dimensioni del blocco roccioso (altezza, larghezza, lunghezza) in caduta. A questo riguardo, nelle simulazioni, si introduce una variazione *random* del volume del blocco di progetto, pari a +/-50% del volume complessivo
- *blshape.asc* – *raster* che definisce la forma del blocco di progetto. Nel caso specifico si è scelta una forma prismatica, in analogia al crollo registrato poco distante dall’area in esame
- *rg70.asc*; *rg20.asc*; *rg10.asc* – *raster* che definiscono la rugosità superficiale del versante interessato dal passaggio dei blocchi. Questi valori sono stati definiti sulla base delle osservazioni in campo in riferimento alla copertura presente (roccia, detrito, ecc.).
- *soiltype.asc* – il *raster* rappresenta “l’elasticità” del terreno divisa in otto differenti classi in base alla tipologia di suolo (granulometria, roccia, ecc.).

La zonazione geomeccanica definita per le pareti rocciose a monte dell’area tiene conto delle diverse situazioni litologico-topografiche utilizzando come "unità omogenee", dal punto di vista geomeccanico, le celle quadrate di 0.5x0.5 m di lato del reticolo topografico di riferimento. In questo modo è stato possibile associare ad ogni singola cella i valori dei parametri geomeccanici caratteristici.

### 4.2.2. ANALISI STORICA

Per una comprensione delle criticità e delle pericolosità attese in corrispondenza dell’area sono stati interrogati i diversi progetti esistenti: il progetto ARCA-PAT e il progetto IFFI-ISPRA, che raccolgono gli eventi calamitosi registrati sul territorio nazionale.

Il progetto IFFI-ISPRA, oltre all’area soggetta a crolli/ribaltamenti diffusi estesa alla scarpata rocciosa che delimita la piana di fondovalle, segnala un crollo roccioso che ha interessato il versante poco più a sud dell’area di Variante, in data 17/10/2020 e registrato con ID EIT202000104. Secondo quanto riportato si è trattato del distacco di una porzione rocciosa di circa 10÷15 m<sup>3</sup> che, nell’impatto al suolo si è frantumata in blocchi più piccoli di cui, il più grande presentava VRU di 5 m<sup>3</sup>; alcune schegge hanno investito sia la SP90 che il giardino di una abitazione. Da quanto riportato dalla cronaca locale successivamente al sopralluogo del geologo della Provincia di Trento, il distacco si configurava come “significativo ma episodico”.

4 Per. Min . Bertolini Mario, ottobre 2020 - STATO D'AVANZAMENTO DELLA CAVA DI INERTI “BOZZE-SETTEFONTANE 2” - COMUNE DI TRENTO

Comunicazione esito del Procedimento di verifica ottemperanza condizione ambientale1: VIA-1993-26-PER-01. “Stato avanzamento cava inerti Bozze Sette fontane Comune Trento” - S305/2022 fascicolo n. 17.6/2021-23 U372

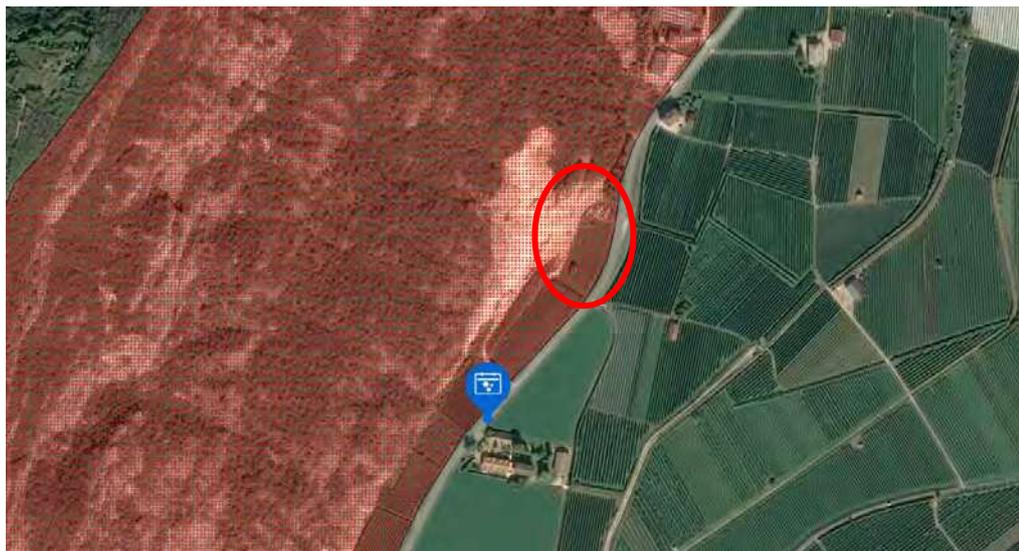


Figura 4.3 – estratto progetto IFFI (ISPRA)



Foto 4.2 – il blocco VRU 5 m<sup>3</sup> arrestatosi nel vigneto alla base del pendio (<https://www.rainews.it/>)

#### 4.2.3. DATI DI INPUT NEL MODELLO ASSUNTO

La Carta Geologica-schematica di base, utilizzata per le verifiche di propagazione dei blocchi, è stata realizzata a partire dal Foglio CARG 060 Trento e dalla più recente Carta Geologica della Provincia Autonoma di Trento (rappresentazione geologica dettagliata dell'intero territorio provinciale), che secondo quanto riportato, “deriva da rilievi originali d’Autore in scala 1:10.000, eseguiti in diversi anni di attività cartografica geologica diretta dal Servizio Geologico della PAT, grazie alla collaborazione e disponibilità di Enti nazionali quali ISPRA, Amministrazioni regionali e provinciali, musei, istituti universitari e di ricerca e geologi professionisti”.

Partendo da tali cartografie è stata redatta una Carta Geologica *ad hoc*, per l’area di studio che rappresentante le unità geomeccaniche omogenee da utilizzare specificatamente per le simulazioni di crollo; sono state estrapolate le aree urbanizzate, le aree caratterizzate da roccia affiorante e rideterminati alcuni limiti stratigrafici tra la copertura quaternaria e il substrato roccioso e tra le unità presenti.

La variante si posiziona sulla piana alluvionale di fondovalle, alla pendici del versante, interessato dalla presenza di una falda detritica e di coni accumulati alla base delle pareti rocciose. L’area in variante e il versante a monte è stato oggetto di “attività-estrattiva” associata alla Cava “Bozze-Settefontane” la quale ha in progetto la “coltivazione” del deposito alla base delle pareti e a monte dell’area di variante.

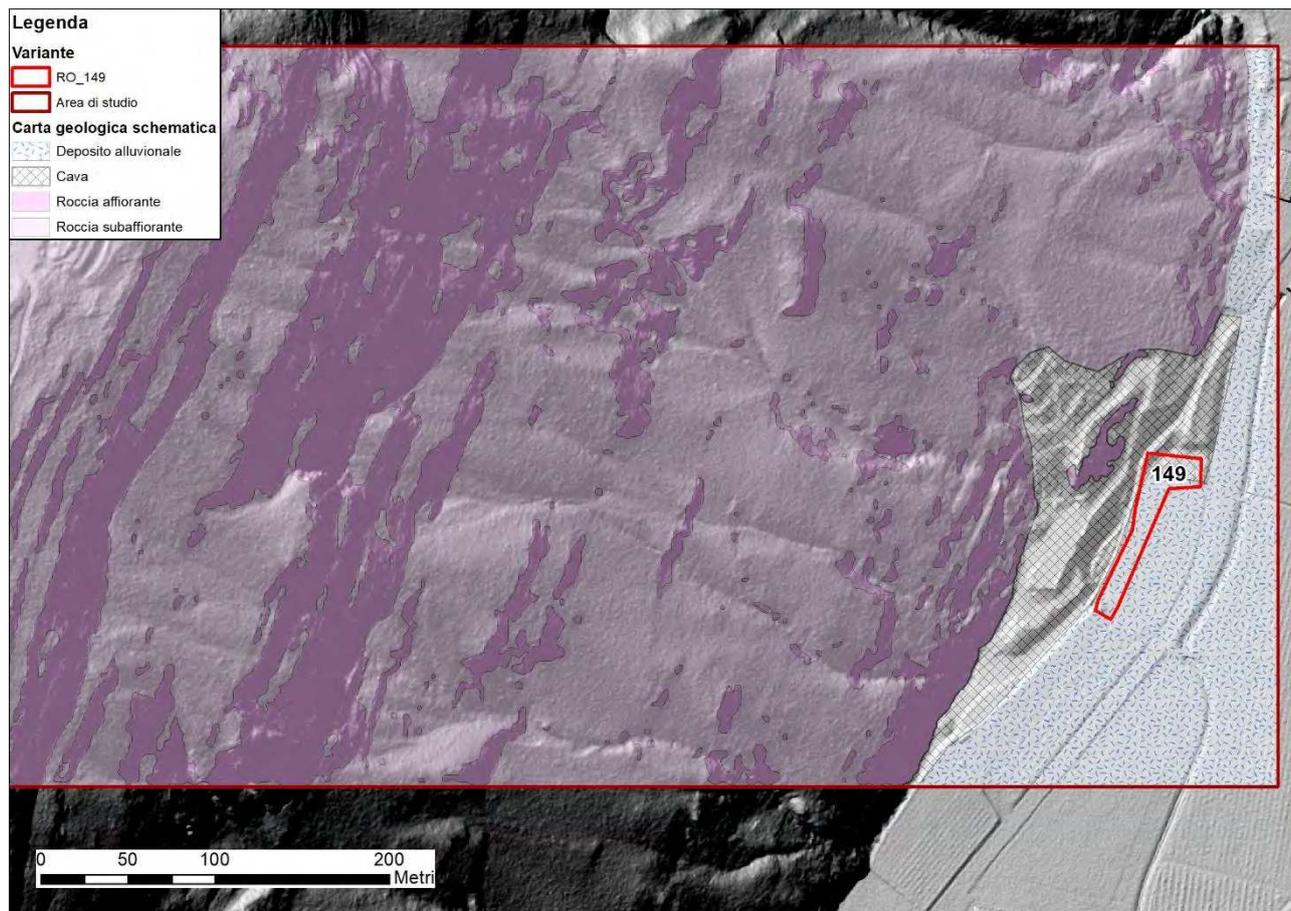


Figura 4.4 – Carta Geologica schematica (dati elaborati dal Servizio Geologico PAT - modificata) utilizzata nelle verifiche di crollo - DBM-PAT

Per ogni tipologia di deposito sono stati assegnati i nove parametri appena descritti, che vengono riassunti nella Tabella 4.1:

Tabella 4.1 - dati di *input* utilizzati nelle simulazioni di crollo con il software *Rockyfor3D* per il versante

DESCRIZIONE	rockdensity	blshape	rg70	rg20	rg10	soiltype
Deposito alluvionale			0.03	0.05	0.07	1
Cave			0.10	0.12	0.15	2
Substrato roccioso subaffiorante			0.10	0.12	0.14	5
Substrato roccioso affiorante	2700	1.00	0.08	0.10	0.12	6

La scelta del tipo di suolo (*soiltype*) rappresenta l’elasticità del terreno, ossia quanto il masso potrebbe penetrare nel terreno, per attribuire questo parametro si è seguito il manuale e la relativa tabella e tarate sulla base dei dati esistenti.

I parametri di *rg* sono si basano sulla granulometria del deposito e sulla base degli ostacoli alla propagazione del blocco che determinano l’energia persa durante il rimbalzo sulla superficie. La difficoltà principale nell’assegnare questi valori è attribuibile alla variabilità di uno stesso deposito all’interno dell’area.

#### 4.2.4. MODELLO DIGITALE DEL TERRENO

L’elemento base delle simulazioni di crollo è il modello digitale del terreno (DTM) che rappresenta l’andamento della superficie del suolo senza considerare gli vegetazionali. La dimensione della cella del modello digitale del terreno

STUDI DI COMPATIBILITÀ

influisce sulla risoluzione della simulazione il quale all'aumentare della dimensione della cella diminuisce sia la precisione spaziale delle mappe risultanti sia l'accuratezza delle dinamiche cinematiche simulate.

La base topografica del modello digitale sviluppato utilizza il **rilievo LIDAR della Provincia autonoma di Trento** (Ufficio Sistemi Informativi - Servizio autorizzazioni e valutazioni ambientali - LIDAR rilievo 2014/2018 - <http://www.territorio.provincia.tn.it/portal/server.pt/community/lidar>) che rappresenta lo stato del terreno durante le misurazioni condotte sul territorio tra il 2014 e il 2018, con dimensione della cella pari a 0.5x0.5 m.

Per la verifica della propagazione dei blocchi, è stato utilizzato il modello DBM, con dimensione della cella pari a 0.50x0.50 m.

Secondo quanto riportati dagli studi esistenti [4] la cava "Bozze-Fontane" è ancora in attività pertanto, il modello morfologico del terreno sarà sicuramente interessato in futuro da modifiche, come peraltro evidenziato anche dalle figure seguenti (planimetria e Sezione B-B) dove viene riportato il raffronto tra lo stato attuale/stato autorizzato. A monte si ha l'affioramento, in pareti rocciose talvolta ben sviluppate, della Formazione della Dolomia Principale costituita da dolomie cristalline, micritiche, laminate e da dolomie bioclastiche.



Figura 4.5 – planimetria di raffronto (Tav 1/1 - progetto per. min. Bertolini M. [4]) in nero l'area di variante

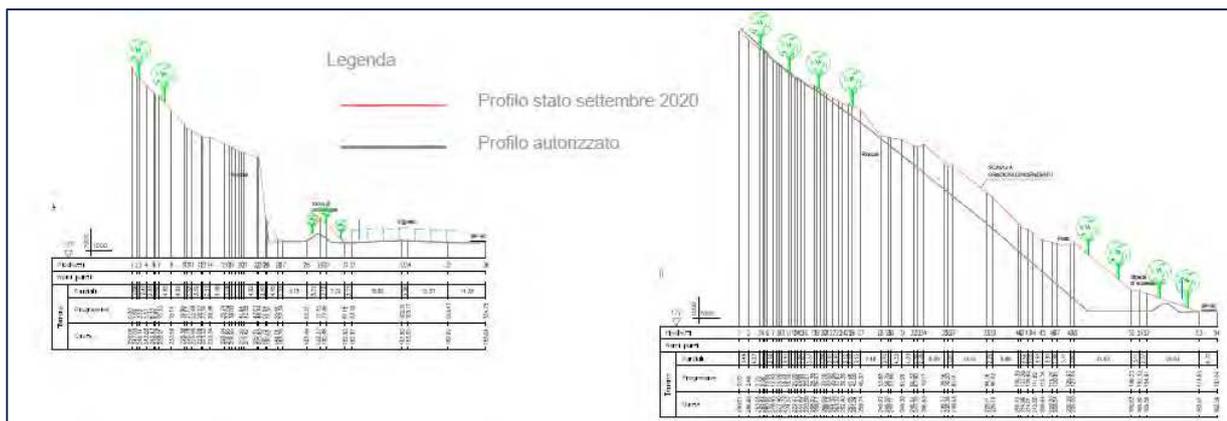


Figura 4.6 –sezione A-A e sezione B-B (Tav 1/1 - progetto per. min. Bertolini M. [4])



Foto 4.3 –l’area pianeggiante oggetto di variante – verso sud si vede il tomo esistente

Come riportato dal rapporto tecnico, “La cava è separata dalla SP n°90 da una fascia a vigneto di proprietà privata verso la quale viene realizzato un tomo di protezione dell’altezza di ca. 5 m. progressivamente all’avanzamento della coltivazione verso nord “[4] (visibile in Foto 4.3) [...] “Un ulteriore intervento di mascheramento e messa in sicurezza dell’area consiste nella realizzazione del tomo di delimitazione del piazzale di cava con un’altezza minima di 2,5 m. e un profilo mosso; il tomo esistente è stato realizzato dalla Ditta Micheli per una lunghezza di ca. 110 m. con l’apporto di terreno di copertura della cava e di limo; l’ultimo tratto in direzione nord, per una lunghezza di ca. 35 m. risulta più arretrato rispetto all’autorizzazione (vedi sezione A-A della tavola di raffronto) [...]”

STUDI DI COMPATIBILITÀ

#### 4.2.5. SCELTA DEL BLOCCO DI PROGETTO

Per quanto riguarda il blocco di progetto è utile tener conto che, l'energia e l'altezza massima delle traiettorie sono legate al volume e alla forma del blocco mentre, la massa  $M$  è funzione del volume  $V$  e del peso di volume  $\gamma$ ; il volume dipende a sua volta da diversi fattori, tra i quali: il volume totale mobilitato dal dissesto (crollo di progetto), le condizioni geostrukturali e la resistenza propria dell'ammasso roccioso, le caratteristiche litologiche e topografico-geomorfologiche del versante.

I parametri caratteristici del "blocco di progetto" sono:

- e) l'energia d'impatto che dipende dalla massa e dalla velocità;
- f) l'altezza massima delle traiettorie di discesa, con particolare riferimento ai rimbalzi

Le aree sorgente di blocchi sono rappresentate da una parete principale con sviluppo verticale di circa 100/120 m localmente inframezzata da cenge vegetate e da affioramenti secondari per lo più sparsi e in piccole pareti con altezze massime dell'ordine di 20 m. Nella fase iniziale di indagine il substrato roccioso affiorante sul versante è stato estrapolato sulla base delle indicazioni della d.g.p. *Criteri e metodologia per la redazione e l'aggiornamento delle carte della pericolosità (art.10, comma 5, l.p. 1 luglio 2011, n. 9)*. In questo caso, il DTM è stato ricampionato con risoluzione di 5 m, definendo un punto sorgente per ciascuna delle celle che raggiunge o supera la soglia di pendenza di 44°.

Tale delimitazione preliminare della roccia affiorante, elaborata secondo le specifiche della CSP, è stata affinata utilizzando un DTM di maggiore dettaglio e verificando in sito la presenza delle principali pareti affioranti. Nello specifico, per la delimitazione della roccia affiorante, è stato utilizzato un DTM di dettaglio con risoluzione 2.0 m applicando in una prima fase la seguente equazione come proposta da alcuni recenti studi [2] (che mette in relazione la pendenza del versante con la dimensione della cella raster utilizzato):

$$\alpha = 55^\circ \cdot RES^{-0.075}$$

Dove :

- $\alpha$  = è il valore di soglia dell'angolo caratterizzante le aree sorgenti il distacco di blocchi
- RES = è la risoluzione del raster DEM

Utilizzando questa equazione e celle di lato 5.0 m, risulterebbero come "aree sorgente" celle con valori soglia di pendenza maggiori di 48.7°, ben superiori a quelli utilizzati per la definizione della CSP (pari ai 44°), con il rischio di ridurre eccessivamente le aree sorgente. È stato quindi deciso di modificare l'equazione, così da ottenere valori soglia che rispecchino maggiormente la reale condizione del versante e avvicinarsi alle indicazioni della d.g.p. 1306 *Criteri e metodologia per la redazione e l'aggiornamento delle carte della pericolosità (art.10, comma 5, l.p. 1 luglio 2011, n. 9)*. L'equazione così elaborata è pertanto la seguente:

$$\alpha = 49.51^\circ \cdot RES^{-0.075}$$

Nel nostro caso, utilizzando un DEM con risoluzione di 2.0 m, sono stati considerati come potenziali affioramenti le aree con inclinazioni maggiori di 47°.

In questa fase di studio preliminare pertanto sono stati verificati due scenari, uno considera il volume roccioso avvenuto nel crollo del 2020 poco più a sud, l'altro simula il medesimo volume stimato negli studi a supporto delle attività a monte della variante **RO143** più a nord:

- 1) per gli affioramenti sono stati verificati blocchi con forma prismatica, con un volume medio di 0.5 m<sup>3</sup> con le seguenti dimensioni (0.9x0.8x0.7 m) e volume massimo incrementato del ±50% pari a 0.75 m<sup>3</sup>.
- 2) per gli affioramenti sono stati verificati blocchi con forma prismatica, con un volume medio di 3.3 m<sup>3</sup> con le seguenti dimensioni (1.3x1.5x1.7 m) e volume massimo incrementato del ±50% pari a 5.0 m<sup>3</sup>.

Nelle simulazioni riportate ai paragrafi successivi sono stati utilizzati VRU generalmente superiori a quanto riportato negli studi precedenti, incrementati del ±50%

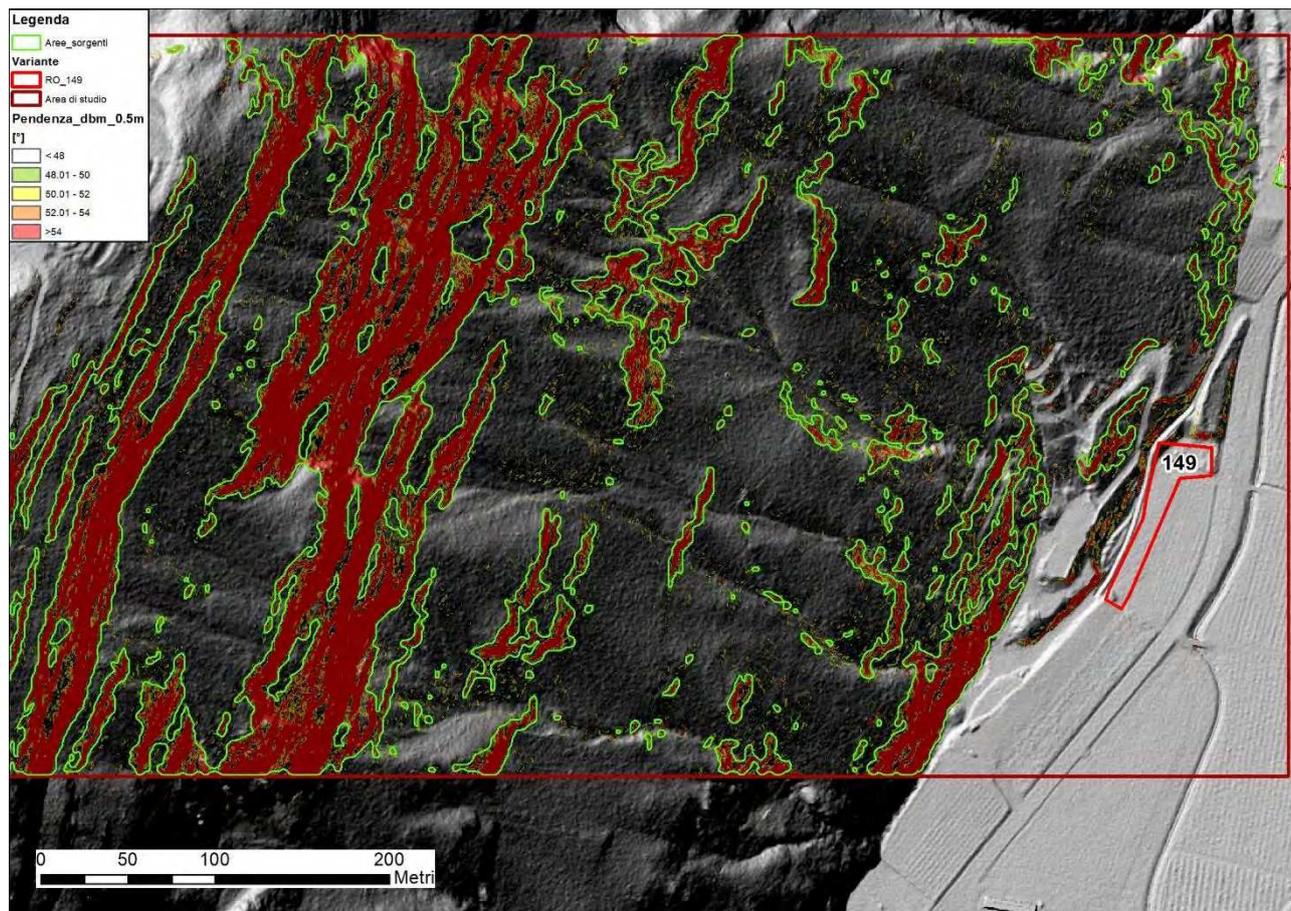


Figura 4.7 – aree sorgente e classi di pendenza DEM con risoluzione 0.5m

In sintesi, il volume dei blocchi scelti e utilizzati nelle simulazioni di crollo è riassunto di seguito:

Area sorgente		d1	d2	d3	VRU <sub>min</sub>	VRU <sub>medio</sub>	VRU <sub>max</sub>
Scenario	Descrizione	m	m	m	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
1	Dolomia Principale (DPR)	0.90	0.80	0.70	0.25	0.50	0.76
2	Dolomia Principale (DPR)	1.30	1.50	1.70	1.7	3.3	5.0

Tabella 4.2 – aree sorgente e VRU<sub>medio</sub> e VRU<sub>max</sub> considerati nelle simulazioni di crollo

Le tre dimensioni del blocco definite in ogni cella sorgente vengono variate in modo casuale e uniforme con una predefinita % scelta per il caso in oggetto nel 50%. Questa variazione random è identica per tutti e tre i valori di dimensione del blocco per ogni singola simulazione, ossia se la variazione di volume è fissata come per il caso in oggetto a 20%, allora tutte e tre le dimensioni del blocco saranno incrementate o diminuite in modo casuale.

Per la determinazione della massa del blocco di progetto in distacco dall'affioramento roccioso, in riferimento alla VRU del blocco e assumendo  $\gamma = 2700 \text{ kg/m}^3$  come peso di volume si ha:

- 1)  $M_{\text{progr min.}} = 2700 * 0.25 = 675 \text{ kg}$   $M_{\text{progr max.}} = 2700 * 0.75 = 2025 \text{ kg}$
- 2)  $M_{\text{progr min.}} = 2700 * 1.7 = 4590 \text{ kg}$   $M_{\text{progr max.}} = 2700 * 5.0 = 13500 \text{ kg}$

La normativa provinciale *Criteri e metodologia per la redazione e l'aggiornamento delle carte della pericolosità* (art.10, comma 5, l.p. 1 luglio 2011, n. 9) definisce le metodologie utilizzate per la realizzazione della Carta di sintesi della Pericolosità, per la quale sono stati lanciati 20 blocchi per cella sorgente (5x5m).

In questo caso, le simulazioni sono state realizzate con un DBM di dettaglio con risoluzione pari a 0.5 m, è stato quindi scelto di effettuare un lancio per cella sorgente (4 lanci/m<sup>2</sup>). Tale valore, seppur confrontabile con quanto utilizzato dalla PAT per le Carte di Sintesi della Pericolosità (0.8 lanci/m<sup>2</sup>), rappresenta tuttavia un maggior numero di distacchi a parità di area sorgente. In sintesi, le verifiche eseguite con n. 1 lanci per cella di partenza (0.5x0.5 m), ha comportato n. 323953 lanci e relative traiettorie.

Nel presente lavoro, al fine della simulazione delle traiettorie di crollo non è stato inserito il contributo della “foresta”, tale da porsi nella situazione di maggior sicurezza.

#### 4.2.6. OUTPUT DELLE SIMULAZIONI DI CROLLO

Le simulazioni cinematiche condotte per distacchi di blocchi con volumi variabili hanno permesso di evidenziare le principali vie di “scorrimento” dei blocchi in caduta e confermato come l’area di variante sia esposta a fenomeni di crollo sia considerando VRU fino a 0.75 m<sup>3</sup> (Scenario 1) sia per distacchi con VRU fino a 5.0 m<sup>3</sup> (Scenario 2).

simulation settings:	simulation settings:
- rock volume variation = +/- 50	- rock volume variation = +/- 50
- nr. of simulations per source cell = 1	- nr. of simulations per source cell = 1
- nr. of simulated falling rocks (total nr. simulations) = 323953	- nr. of simulated falling rocks (total nr. simulations) = 323953
- additional initial fallheight = 0.000000 m	- additional initial fallheight = 0.000000 m
- Simulation without forest and without nets	- Simulation without forest and without nets
Overall simulated block volumes:	Overall simulated block volumes:
- min = 0.300000 m3	- min = 2.100000 m3
- mean = 0.500000 m3	- mean = 3.500000 m3
- max = 0.800000 m3	- max = 5.000000 m3

Figura 4.8 – logfile delle simulazioni di crollo (Scenario 1 a sinistra; Scenario 2 a destra)

Le lavorazioni in essere sull’area di Cava Bozze-Settefontane comportano certamente modifiche topografiche e morfologiche e, di conseguenza anche delle traiettorie di crollo, che potranno essere anche molto diverse da quelle simulate. Nel progetto di chiusura infatti, si parla a fine “coltivazione”, di regolarizzare il versante e di realizzare un tomo di mascheramento.

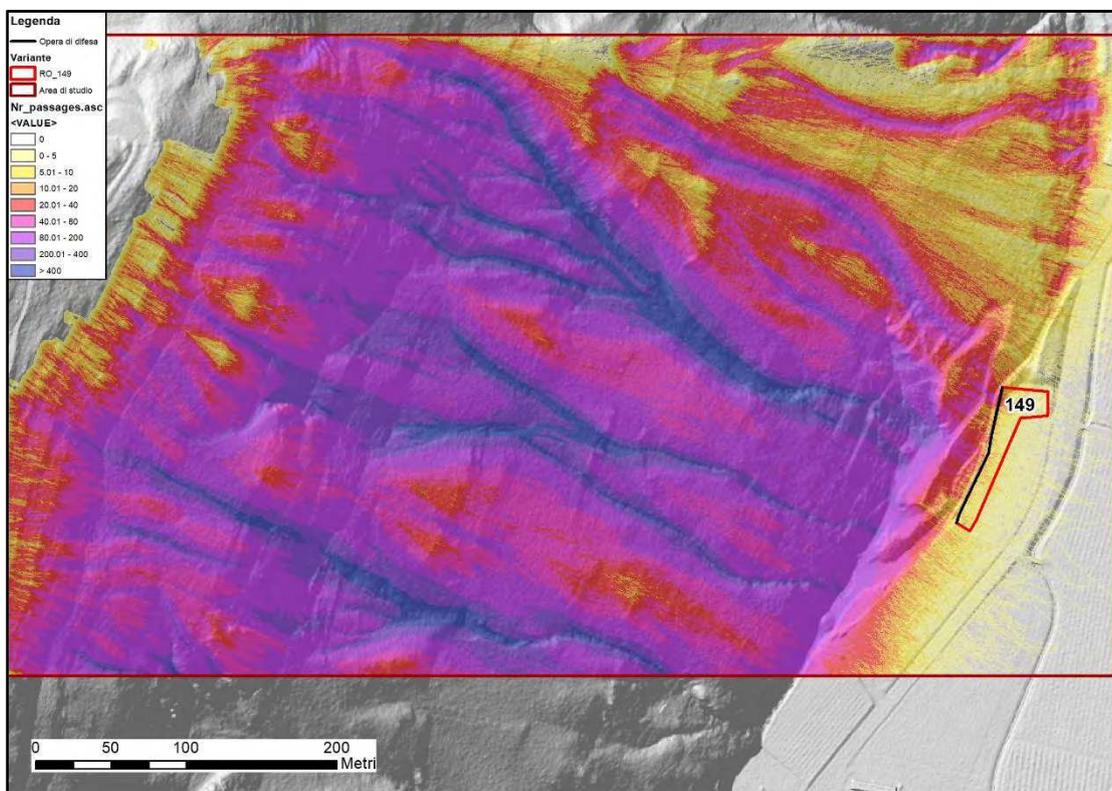


Figura 4.9 - numero di blocchi in transito per singola cella Vru max 0.75 mc – Scenario 1

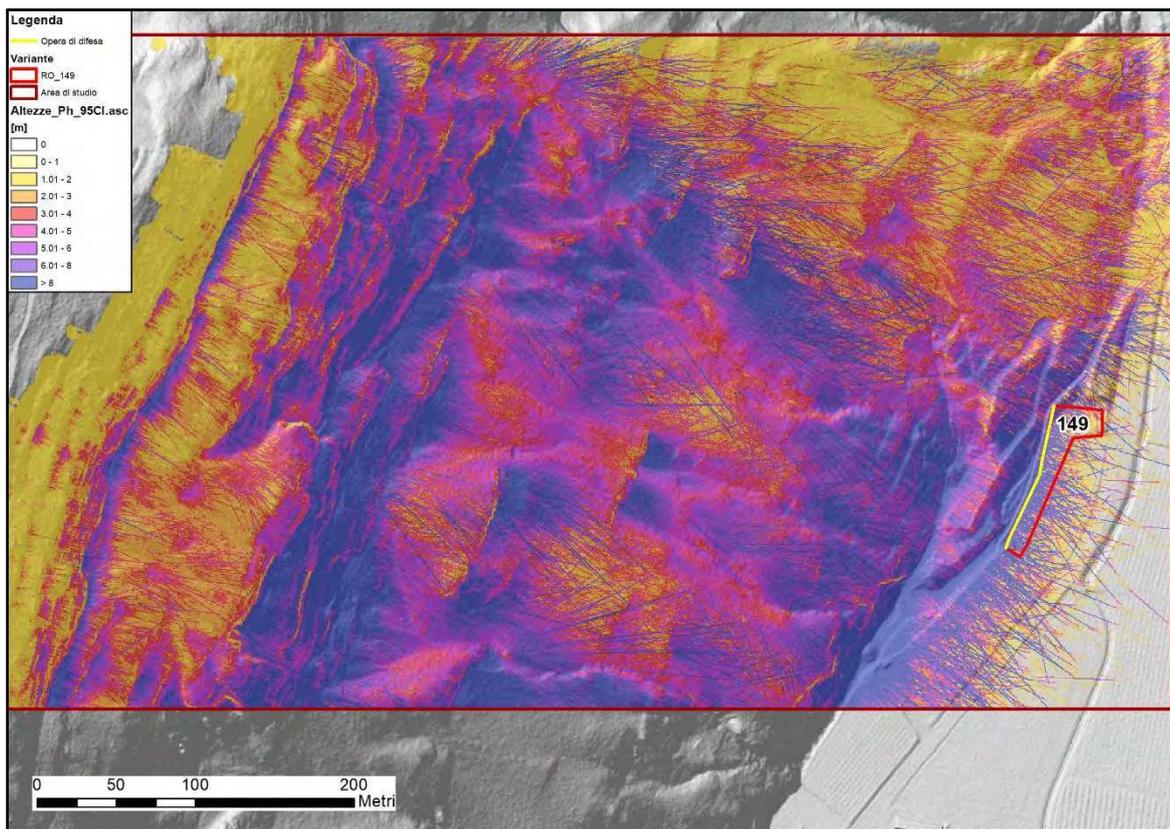


Figura 4.10 - massima altezza 95%CL della traiettoria di passaggi Vru max 0.75 mc– Scenario 1

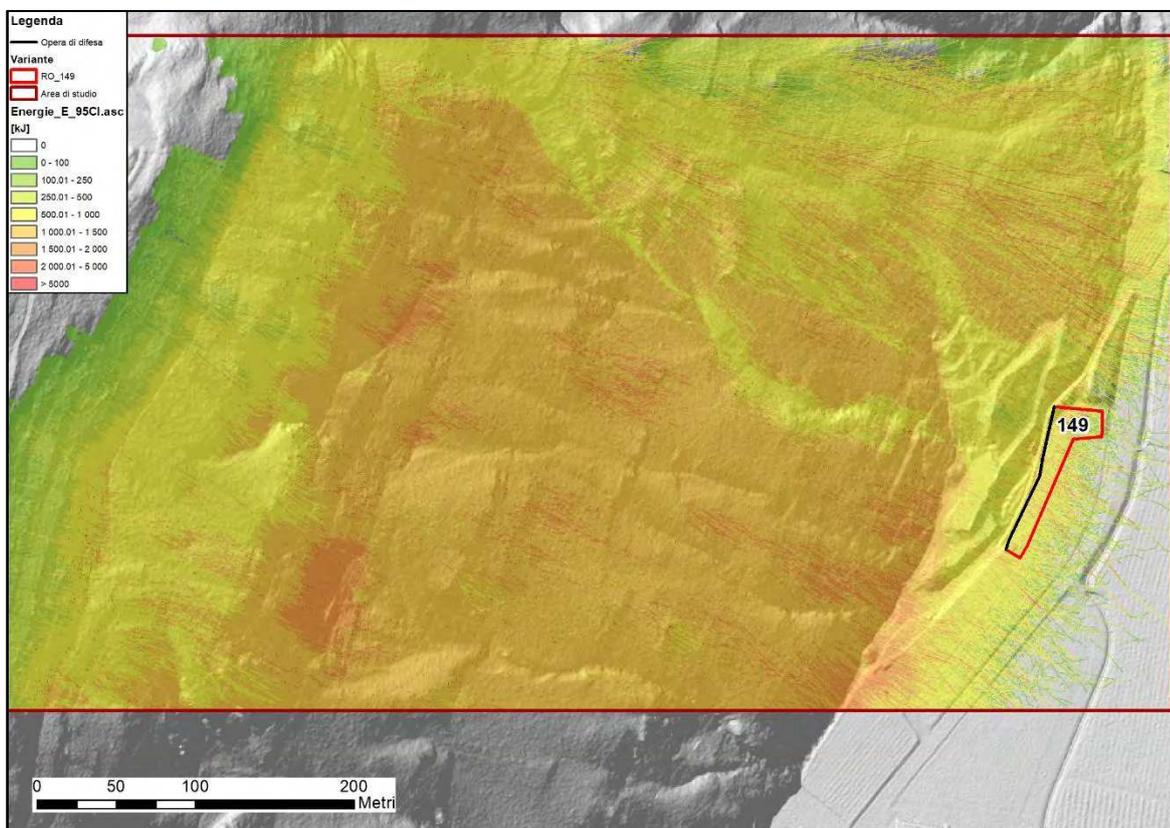


Figura 4.11 – massime energie 95%CL delle traiettorie di crollo Vru max 0.75 mc– Scenario 1

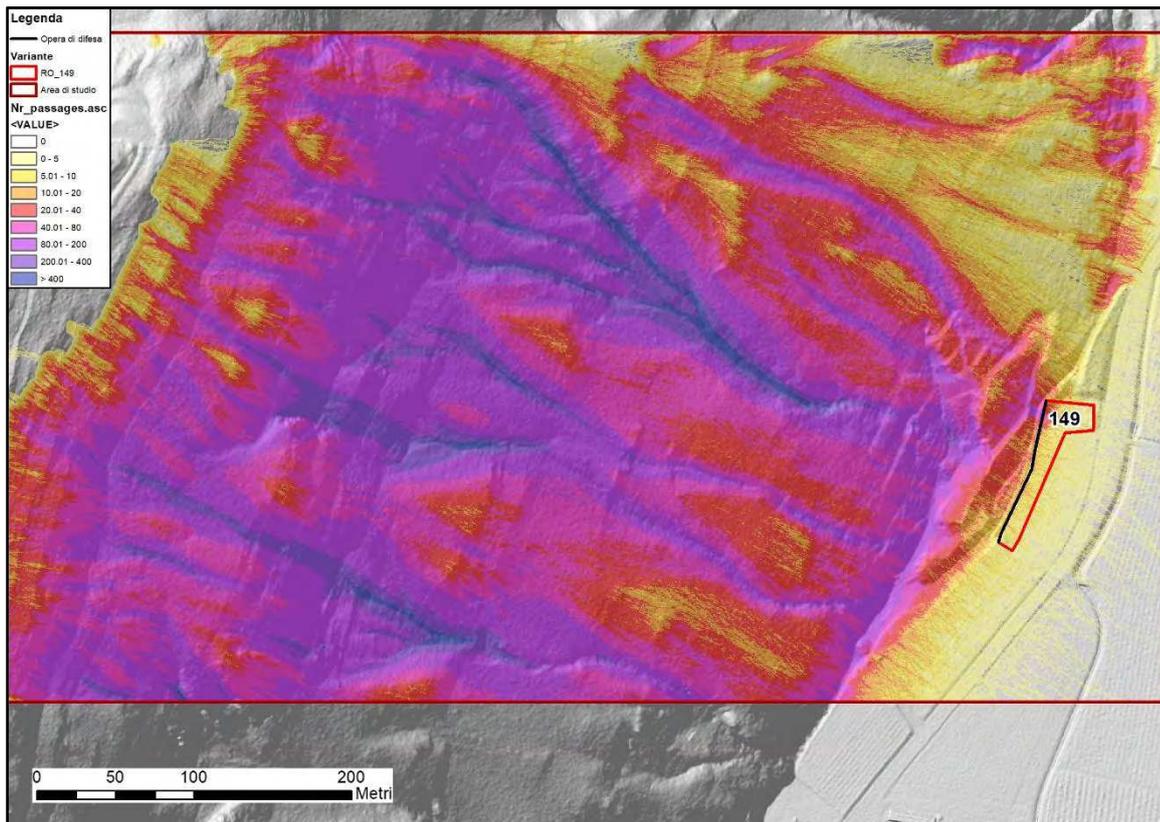


Figura 4.12 - numero di blocchi in transito per singola cella Vru max 5.0 mc – Scenario 2

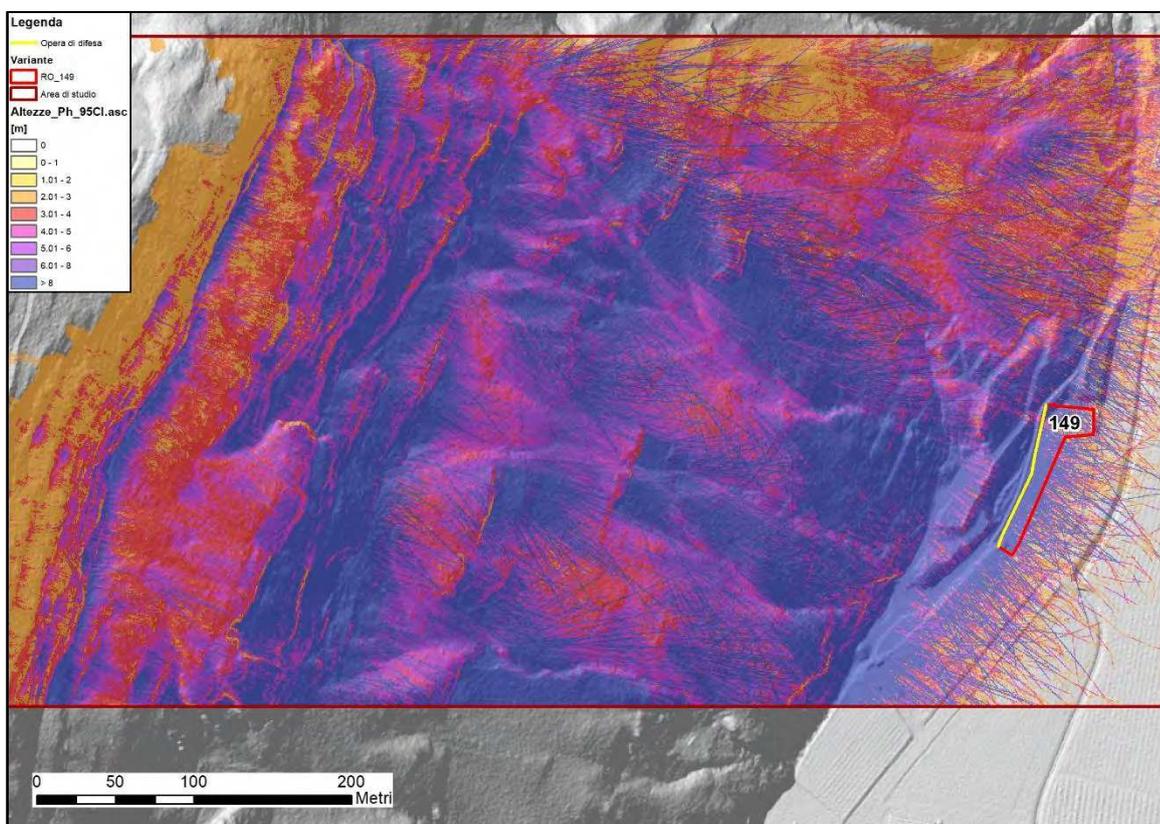


Figura 4.13 - massima altezza 95%CL della traiettoria di passaggi Vru max 5.0 mc – Scenario 2

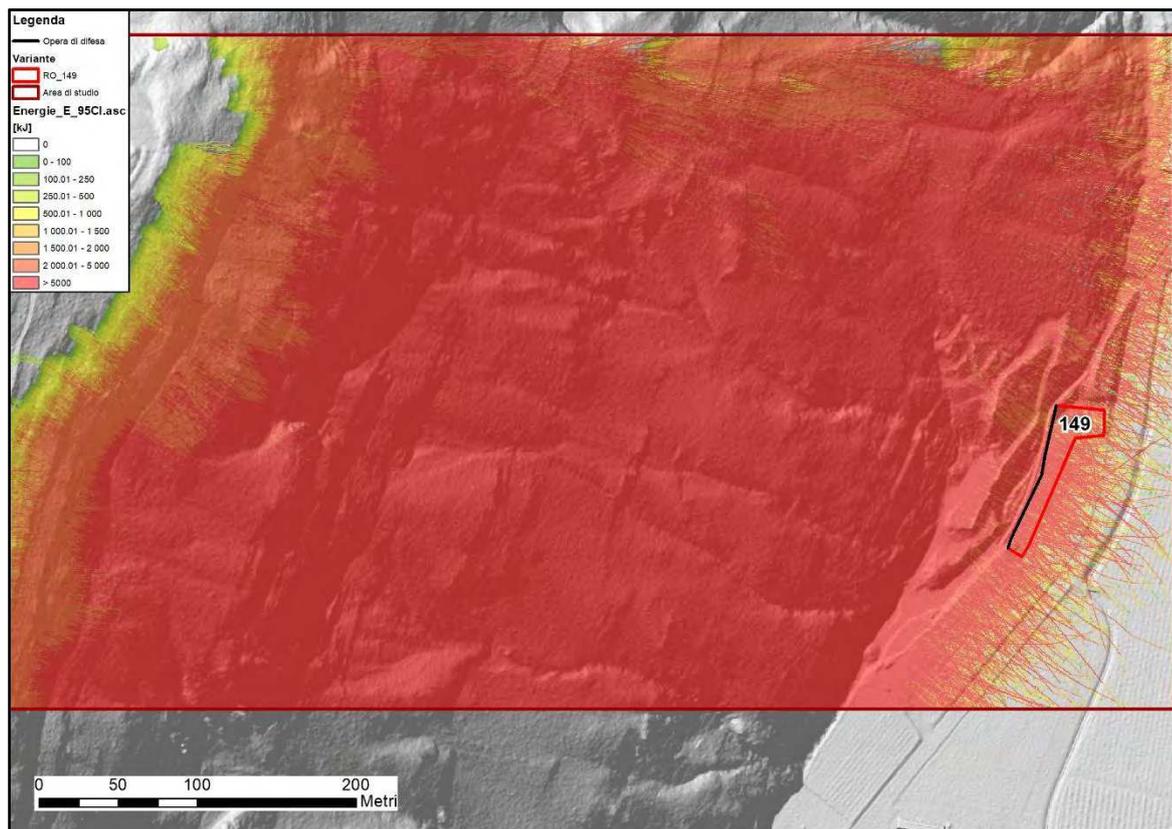


Figura 4.14 – massime energie 95%CL delle traiettorie di crollo Vru max 5.0 mc – Scenario 2

Dagli *output* di simulazione per i due scenari, l'area è investita dai blocchi che tendono ad arrestarsi entro l'area di cava. Analizzando i due scenari simulati, non sono apprezzabili significativi cambiamenti per quanto riguarda i passaggi e le altezze dei blocchi mentre, le differenze sostanziali riguardano le energie che, per distacchi di 0.75 m<sup>3</sup> raggiungono valori dell'ordine di 1000÷1500 kJ mentre, per distacchi con VRU fino a 5 m<sup>3</sup> raggiungono valori superiori a 5000 kJ.

Allo stato attuale, la presenza di strade per l'estrazione del materiale, favorisce il possibile rimbalzo anomalo dei blocchi con traiettorie e altezze con valori superiori a 6.0 m.

### 4.3. INTERVENTI MINIMI DI MITIGAZIONE

L'area nel prossimo futuro è presumibilmente interessata da estrazione di materiale sciolto, così come riportato nello Stato di Avanzamento della cava (approvato con documento S305/2022 fascicolo n. 17.6/2021-23 U372). Nel rapporto tecnico, infatti, si riporta quanto segue [4]: *“La cava è separata dalla SP n°90 da una fascia vignata di proprietà privata verso la quale viene realizzato un tomo di protezione dell'altezza di ca. 5 m. progressivamente all'avanzamento della coltivazione verso nord (vedi foto n°5).”*

Da quanto discusso in riferimento alla penalità da crollo per l'area di variante, è evidente la necessità di realizzare un'opera di difesa passiva, peraltro già prevista dal Piano della Cava, che si può configurare come l'estensione verso nord del tomo esistente (a sud; cfr. Foto 4.3).

Analogamente all'opera esistente, anche questo tomo dovrà avere altezza minima di 5.0 m, ed essere esteso a tutta l'area di variante; in ogni caso, ulteriori verifiche e simulazioni di propagazione dei blocchi dovranno essere eseguite sulla base di nuovi rilievi topografici a seguito di attività estrattive tuttora in corso.