

Dott. Geologo MICHELE CAMIN

Ordine dei Geologi del Trentino Alto-Adige n°182
Geologia applicata – Geomeccanica – Rilievi con drone
Via del Cesuron, 4 – 38123 TRENTO
Tel. : 338 5819431 e-mail: michelecamin72@gmail.com

PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO



COMUNE DI ALA



**COMUNE DI ALA
PIANO REGOLATORE GENERALE
VARIANTE N. 1/2023**

**STUDIO DI COMPATIBILITA’
Variante Amministrazione AM 11
Bellamoli-Pilcante**

COMMITTENTE	IL GEOLOGO
COMUNE DI ALA	

PROT.	REV.	DESCRIZIONE	DATA
SC	0	STUDIO DI COMPATIBILITA’	11/2023

STUDIO DI COMPATIBILITA'
Variante Amministrazione AM 11

Sommario

PREMESSA.....	1
1 INTRODUZIONE	1
STUDIO DI COMPATIBILITA'	4
2 CARTE DI SINTESI DELLA PERICOLOSITÀ	4
2.1 Carte della pericolosità	4
2.2 Contenuti dello studio di compatibilità e della relazione tecnica di compatibilità	6
3 FENOMENI ATTESI	7
4 ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ	9
4.1 Caratteri geologici e geomorfologico	9
4.2 Rilievo geostrutturale.....	10
4.3 Qualità dell'ammasso roccioso (GSI)	13
4.4 Posizioni critiche	17
4.5 Probabilità di accadimento del fenomeno	18
4.6 Zone sorgente	18
4.7 Fasce detritiche	18
4.8 Definizione del volume di progetto.....	18
5 MASSIMI EFFETTI PREVEDIBILI CAUSATI DAL FENOMENO	18
5.1 Simulazione di caduta massi 3D - Rockyfor3D	19
5.2 Simulazioni di caduta massi 2d – Rocfall.....	21
6 OPERE DI DIFESA E/O MISURE DI SICUREZZA	22
CONCLUSIONI.....	24
ALLEGATO - SIMULAZIONI DI CADUTA MASSI 3D.....	25
ALLEGATO - SIMULAZIONI DI CADUTA MASSI 2D.....	31

PREMESSA

1 INTRODUZIONE

Nell'ambito della Variante n.1/2023 del Piano Regolatore Generale del Comune di Ala viene predisposto il presente studio di compatibilità relativo alla **Variante Amministrazione AM 11** come richiesto dalle Norme della Carta di Sintesi della Pericolosità (CSP) entrata in vigore il 02/10/2020 con delibera G.P. n. 1317 del 04/09/2020 (Figura 1 e Figura 2)

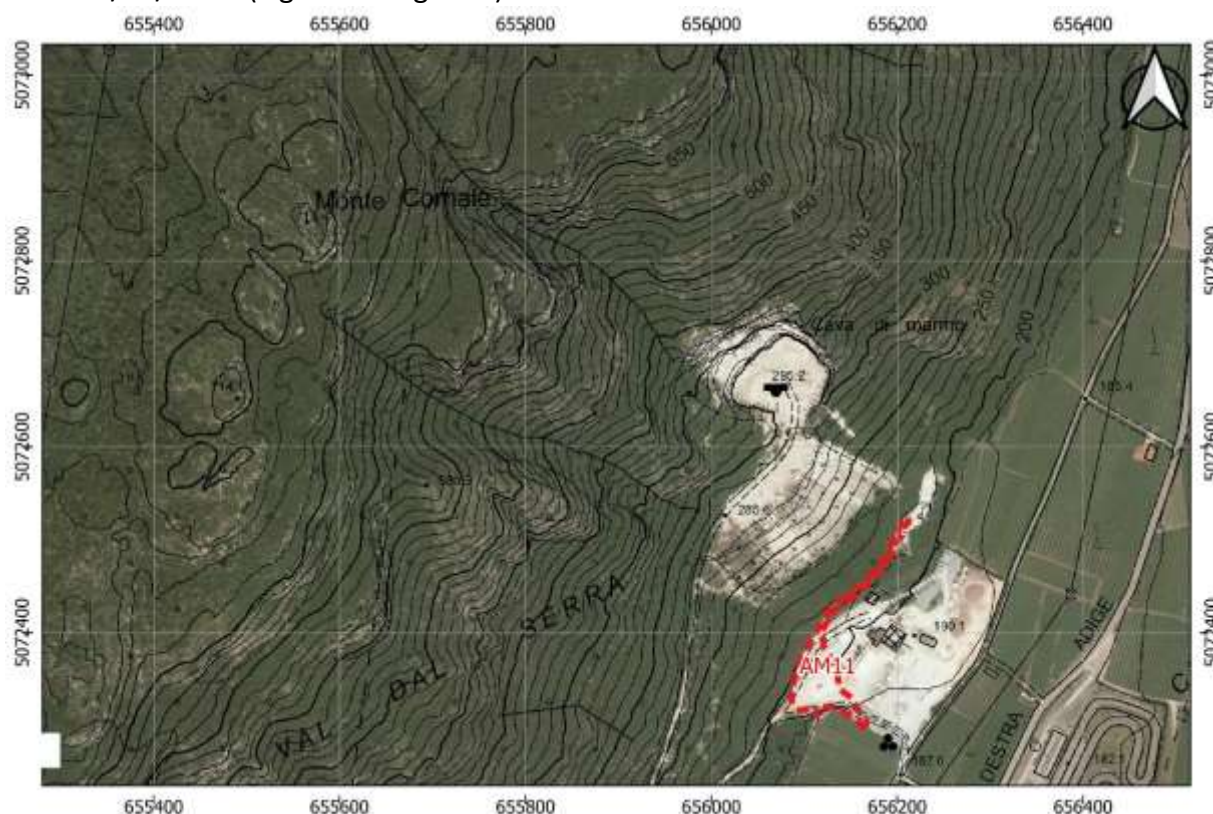


Figura 1 Ortofoto dell'area (Anno 2015 – webgis PAT)

La relazione della Valutazione sulla Carta di Sintesi della Pericolosità (CSP) riporta:

Varianti AM 11 (a, b, c, d, e, f, g)

Le modifiche riguardano il reale stato di fatto dei luoghi, la viabilità è esistente e risulta realizzata mentre l'attività produttiva già ingloba nelle proprie pertinenze l'area riconosciuta a produttiva locale.

La Tabella 1 riporta l'oggetto della variante.

La Carta di sintesi della pericolosità classifica la zona oggetto di variazione come P3 ed in parte come P4 (Figura 5). La penalità P4 è legata ad una pericolosità per incendio boschivo mentre la penalità P3 e P2 sono determinate principalmente da una pericolosità per crolli H4 ed H3 e pertanto è necessario, come previsto dalla norma, analizzare le condizioni di pericolo del sito e definire gli accorgimenti costruttivi di carattere strutturale, localizzativo e architettonico per la realizzazione degli interventi e quelli per la loro utilizzazione atti a tutelare l'incolumità delle persone e ridurre la vulnerabilità dei beni.

Tabella 1 Oggetto Variante

COD. VAR	TIPOLOGIA	N. VAR	Classi di Penalità - Carta di Sintesi della Pericolosità					DEST. VAR	DESTINAZIONE VIGENTE	DESTINAZIONE DI PROGETTO
			P1	P2	P3	AP P	P4			
V100	Amministrazione	AM 11 a		P2	P3			D104	BOSCO (E106)	PRODUTTIVA LOCALE (D104)
V100	Amministrazione	AM 11 b		P2	P3			D104	STRADA LOCALE ESISTENTE (F601)	PRODUTTIVA LOCALE (D104)
V100	Amministrazione	AM 11 c		P2	P3			D104	STRADA LOCALE ESISTENTE (F601) / PERCORSO PEDONALE DI PROG. (F419)	PRODUTTIVA LOCALE (D104)
V100	Amministrazione	AM 11 d		P2	P3			D104	AGRICOLA DI PREGIO (E104)	PRODUTTIVA LOCALE (D104)
V100	Amministrazione	AM 11 e		P2	P3			F601/ F419	AGRICOLA DI PREGIO (E104)	STRADA LOCALE ESISTENTE (F601) / PERCORSO PEDONALE PROGETTO (F419)
V100	Amministrazione	AM 11 f			P3			F601	BOSCO (E106)	STRADA LOCALE ESISTENTE (F601)
V100	Amministrazione	AM 11 g			P3		P4	F601	BOSCO (E106)	STRADA LOCALE ESISTENTE (F601)



Figura 2 Area oggetto di variante lato sud



Figura 3 Area oggetto di variante lato nord



Figura 4 area oggetto di variante vista da sud

STUDIO DI COMPATIBILITA'

2 CARTE DI SINTESI DELLA PERICOLOSITÀ

La Carta di sintesi della pericolosità (DGP n. 1317 del 04/09/2020) classifica la zona oggetto di intervento come P4 ed in parte come P3 e P2 (Figura 5).

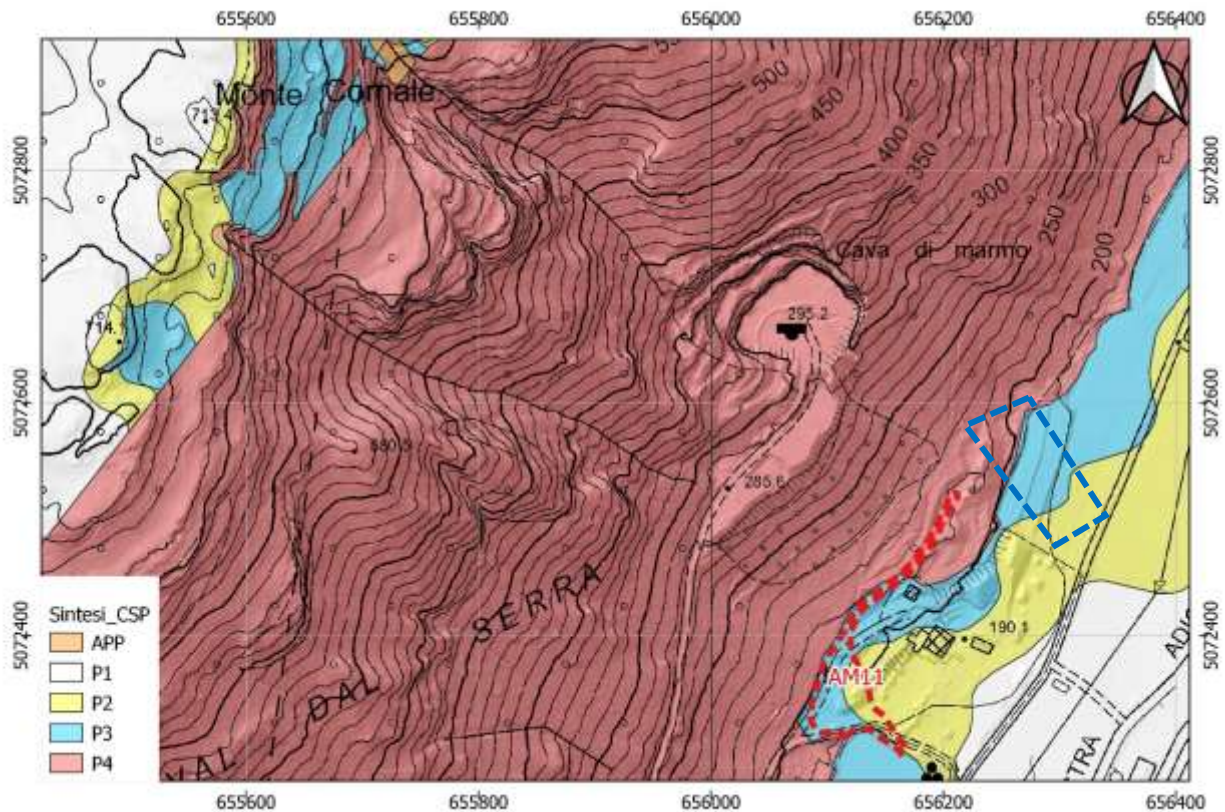


Figura 5 Carta di sintesi della Pericolosità

2.1 Carte della pericolosità

La carta di sintesi delle pericolosità di Figura 5 deriva dal grado di pericolosità individuato attraverso la Tabella 2 seguendo quanto prevedono le “Disposizioni tecniche per la predisposizione della Carta di Sintesi della Pericolosità - Nuovo testo coordinato con le modifiche approvato con delib. G.P. n. 1078 del 19 luglio 2019”.

La penalità P4 è legata ad una pericolosità per incendio boschivo mentre la penalità P3 e P2 sono determinate principalmente da una pericolosità per crolli H4 ed H3 (Figura 6).

Tabella 2 Definizione della pericolosità

	pericolosità	simbolo	combinata
classi ordinarie	elevata	H4	rosso
	media	H3	blu
	bassa	H2	giallo
	trascurabile	H1	verde chiaro
classi straordinarie	residua	HR4	tratteggio rosso a 45°
		HR3	tratteggio blu a 45°
		HR2	tratteggio giallo a 45°
	potenziale	HP	arancione

	intensità (I)		
elevata	9	8	7
media	6	5	4
bassa	3	2	1
	elevata	media	bassa
	Probabilità (P)		

2.1.1 Crolli rocciosi

Il crollo è un fenomeno franoso, da rapido a estremamente rapido, caratteristico di pendii molto ripidi, fino ad aggettanti. Esso comporta il distacco improvviso di materiali di qualsiasi dimensione con spostamento in caduta libera, su una parte della traiettoria, e il successivo movimento a salti, rimbalzi e rotolamento lungo il versante.

Le grandezze utilizzate per attribuire il grado di pericolosità degli eventi sono:

- h = altezza di volo delle traiettorie (m);
- v = velocità di caduta (m/sec);
- f = frequenza di passaggio dei blocchi (n. traiettorie che interessano ciascuna cella del DTM considerato).

L'analisi da caduta massi è condotta su tutto il territorio provinciale utilizzando modelli numerici tridimensionali applicati ad un DTM (Digital Terrain Model – Modello Digitale del Terreno) con risoluzione di cella pari a 5 m e alle informazioni contenute nella banca dati geologica provinciale. A partire dal DTM viene costituita una banca dati delle aree sorgente di crollo definendo un punto sorgente per ciascuna delle celle che raggiunge o supera la soglia di pendenza di 44°. I punti sorgente vengono depurati degli elementi generati in corrispondenza di strutture antropiche. A ciascun punto sorgente, in assenza di dati specifici, è assegnato un volume dei massi pari a 3,3 mc e di forma sferica.

velocità (v)
m/s

≥35	A	A	A
≥10 - <35	M	M	A
<10	B	M	A
	≤3	>3 - ≤5	>5

altezza (h)
m

Matrice Intensità

intensità

A	media	media	elevata	elevata
M	bassa	media	media	elevata
B	bassa	bassa	media	media
	<20	≥20 - <200	≥200 - <400	≥400
	<1	≥1 - <10	≥10 - <20	≥20

f norm

frequenza
f norm

Matrice grado pericolosità

Ai punti sorgente con caratteristiche morfologiche e potenziali volumi di distacco determinati in base a

sopralluoghi e indagini sul terreno (da parte di tecnici specializzati esterni o interni alla P.A.T.), sono attribuiti i valori medi dimensionali, di forma e densità derivati dalle indagini e vengono classificati a volumetria specifica.

La determinazione del grado di pericolosità da caduta massi segue un procedimento che prevede di applicare i modelli numerici tridimensionali di simulazione di crollo.

Applicando le matrici riportate di seguito ai dati ricavati con le simulazioni, si determina il grado di pericolosità da assegnare ad ogni cella del raster di sintesi. Il risultato delle elaborazioni effettuate è riportato in Figura 6.

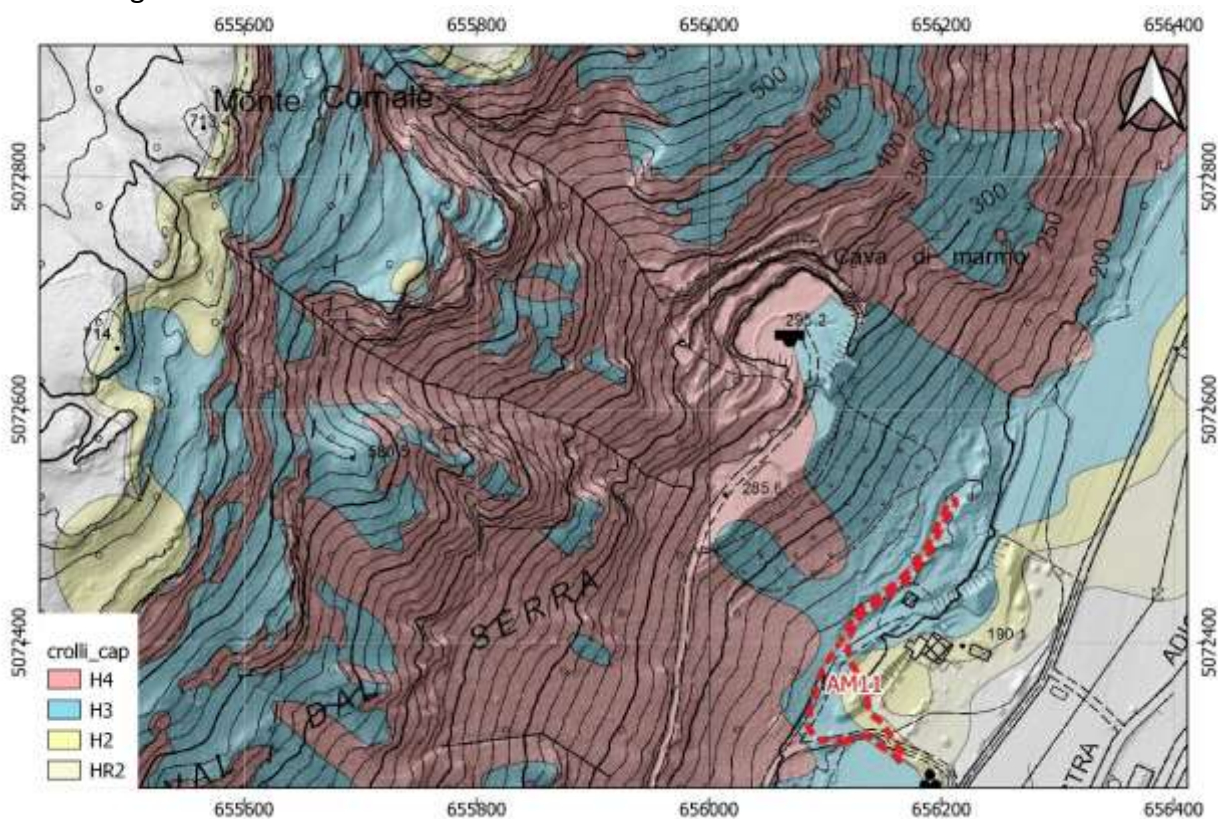


Figura 6 Carta di sintesi della Pericolosità - Carta della pericolosità da crolli

2.2 Contenuti dello studio di compatibilità e della relazione tecnica di compatibilità

Lo studio di compatibilità e la relazione tecnica di compatibilità, sono parte integrante e sostanziale del progetto e contemplano, in maniera pertinente e commisurata all'importanza e alle caratteristiche dell'intervento da effettuare, i seguenti elementi:

- a) individuazione dei fenomeni attesi distinti secondo le categorie e tipologie riportate nelle carte della pericolosità (processi fluviali, torrentizi, movimenti di versante, valanghe, ecc.);
- b) nel caso vi sia concomitanza di più fenomeni, dovrà essere approfondito l'ordine di importanza e relazione tra gli stessi e in particolare quale sia il fenomeno prevalente;
- c) analisi della pericolosità mediante la definizione dell'intensità e della probabilità di ogni tipologia di fenomeno;
- d) descrizione dei massimi effetti prevedibili causati dal fenomeno/i;
- e) definizione della vulnerabilità e dell'eventuale incremento del carico insediativo esposto a pericolo, rispetto a quanto si intende realizzare in relazione agli effetti prevedibili causati dal fenomeno/i;
- f) descrizione delle opere difensive di messa in sicurezza di tipo strutturale (opere paramassi,

- difese di sponda, paravalanghe, ecc.) e/o misure di sicurezza di tipo non strutturale (piani di evacuazione, limitazione utilizzi e accorgimenti d'uso, monitoraggi, ecc.), ivi compresa la verifica degli effetti indiretti, determinati dalle opere e misure sul contesto di riferimento;
- g) definizione di un cronoprogramma di esecuzione degli interventi di messa in sicurezza preordinati alla realizzazione delle opere;
 - h) Conclusioni dello studio in ordine alla compatibilità dell'intervento e dettagliata descrizione di tutti gli elementi ai quali è subordinata tale compatibilità, finalizzata anche alla attestazione di eventuale declassamento.

3 FENOMENI ATTESI

La fascia di versante sovrastante la zona in oggetto è costituita dal fianco orientale Monte Cornale che raggiunge la quota di 713.4 m slm (Figura 7) con un dislivello complessivo di circa 500 m. Il pendio si presenta ben vegetato ed alterna fasce rocciose subverticali con altezze che raramente superano i 50 m a ripidi pendii dove il substrato roccioso è ricoperto da una coltre detritica con spessori variabili che tendono ad aumentare procedendo verso la piana di fondovalle. Un settore limitato del versante è stato oggetto di coltivazione ed oggi sono ben visibili gli effetti di riprofilatura del versante sia in termini di scavo che di riporto.

In parete la presenza di nicchie di distacco recenti è rara ma l'evidenza di qualche recente distacco è bene visibile. I settori individuati sono riportati nella Figura 7.



Figura 7 Pareti sovrastanti l'area oggetto di studio

La falda detritica alla base è ben vegetata; è visibile la traccia di qualche rotolamento recente ma nel complesso non è presente una falda detritica attiva (Figura 8).

Nel complesso si conferma che il fenomeno principale che caratterizza l'area è un **fenomeno di crolli rocciosi**.

La mappa che riporta l'andamento delle pendenze (Figura 9) mostra come le parti più distali della conoide detritica abbiano pendenze comprese tra 20° e 30° che passano a 30°-40° nelle fasce prossime

alle balze rocciose.

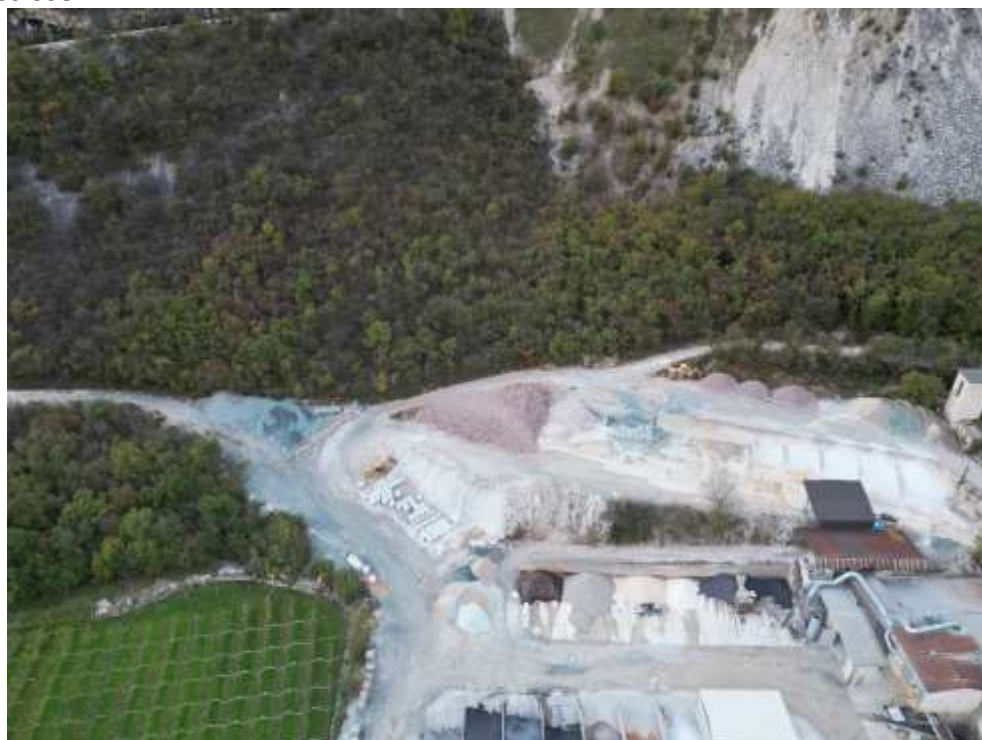


Figura 8 Stato della falda detritica al piede della parete

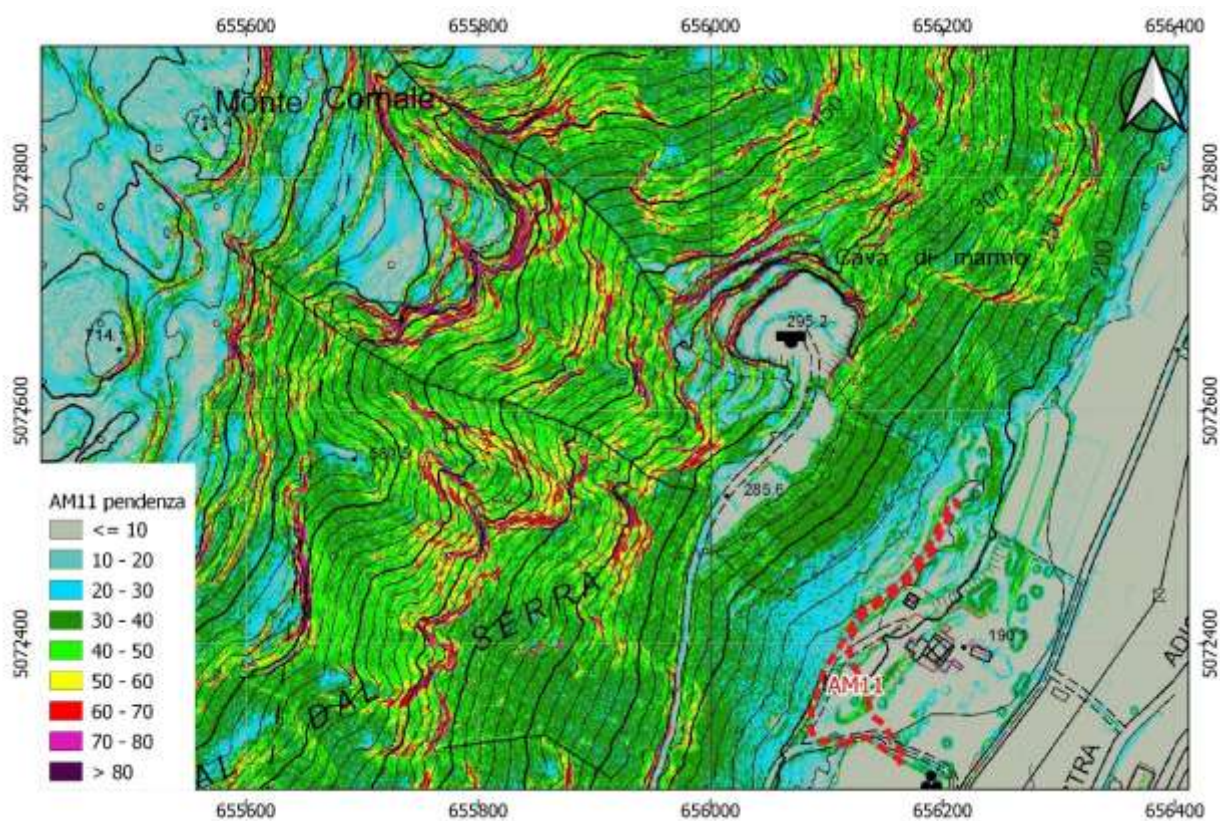


Figura 9 Andamento delle pendenze

4 ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ

4.1 Caratteri geologici e geomorfologico

La disposizione delle bancate che costituiscono la parete è conseguenza del regime transpressivo che caratterizza l'area mentre la stratificazione delle stesse bancate, debolmente a reggipoggio, è connessa alle caratteristiche delle formazioni geologiche che si susseguono procedendo dal basso verso l'alto (Figura 10):

- DPR – DOLOMIA PRINCIPALE (Norico). Si tratta della classica successione di dolomie grigio chiare, vacuolari in strati spessi 30-50 cm e banchi superiori al metro, talora massicce o mal stratificate, con le tipiche sequenze carbonatiche tidaliche e peritidaliche (BOSELLINI, 1967). La parte inferiore si presenta ben stratificata ed appare costituita da una monotona successione di cicli peritidali metrici. Nei cicli peritidali si distingue una porzione basale subtidale, con dolomie prive di strutture, microcristalline a Megalodonti e Gasteropodi, cui si sovrappone un intervallo laminato, con tappeti algali e fenestrae (loferiti) e strati di tempesta a bioclasti e peloidi. Nella parte terminale di ogni ciclo i livelli laminati sono interessati da processi di disseccamento (mud crack e sheet crack) che smembrano il sedimento sottostante formando intraclasti, spesso rimaneggiati da correnti di tempesta. Il ciclo successivo ricomincia poi con una nuova bancata subtidale.

Costituisce le balze rocciose alla base del versante immediatamente sovrastanti la falda detritica di raccordo con la piana di fondovalle. Le pareti della cava interessano la Dolomia Principale.

- FMZ – FORMAZIONE DI MONTE ZUGNA (Retico – Sinemuriano). Qui rappresentata dall'unità unità peritidale, rappresentata da una spessa successione ciclica dei seguenti litotipi (CASTELLARIN & SARTORI, 1973) fra loro più o meno irregolarmente alternati: 1) calcari dolomitici a grana fine, da grigio a giallo ocra fino a rossastri in strati fino a 50 cm, con croste limonitiche e veli pelitici talora incoerenti, varicolori, presenti nella parte superiore degli strati; tipiche strutture di questo intervallo, soprattutto alla base del ciclo, sono fenestrae e cavità decimetriche con riempimenti di terra rossa (paleokarst); 2) bindstones i cui principali caratteri distintivi sono rappresentati dalla fittissima laminazione (mm, cm) di tipo stromatolitico e dalla scarsità dei fossili. Fenestrae con riempimenti meccanici e chimici interni sono strutture diffuse e diagnostiche di questi intervalli il cui spessore varia da pochi cm a 1- 2 m; 3) calcari micritici da grigio chiari a bruni (mudstone e wackestone) con abbondanti resti fossili, tra cui lamellibranchi (Gervillia) e alghe Dasycladacee, in strati e banchi di spessore variabile da pochi decimetri a 4 - 5 metri.

Questa formazione è rappresentativa delle fasce rocciose ben stratificate ed evidenti lungo il versante. La continuità delle pareti è interrotta dal marcate incisioni in senso NW-SE.

- LOP - CALCARE OOLITICO DI LOPPIO (Sinemuriano): La successione di questa unità è costituita da una monotona sequenza di calcari oolitici grossolani in prevalenza a cemento spatico (grainstone) e di colorazione biancastra o grigio-chiara, con granuli formati in prevalenza da ooidi e botroidi e in parte anche da intraclasti e bioclasti. Sono accumuli per lo più mal stratificati o in spesse bancate.
- Costituisce la bancate rocciose in prossimità della sommità del Monte Cornale.

Il terrazzo compreso tra il Fiume Adige ed il fianco orientale del Monte Cornale è costituito da Depositi alluvionali e fluvioglaciali composti da ghiaie e sabbie grossolanamente stratificate o a stratificazione incrociata e planare, più raramente sabbie limose e ghiaiose. La cementazione è variabile da tenace ad assente di Età compresa tra il Pleistocene sup. e l'Olocene inf.

La falda detritica è costituita da depositi di origine gravitativa appartenenti al Sintema Postglaciale Alpino (PTG) formati dopo l'esaurimento dei processi glaciali in un intervallo di tempo compreso tra la parte terminale del Pleistocene superiore ed in giorni nostri.

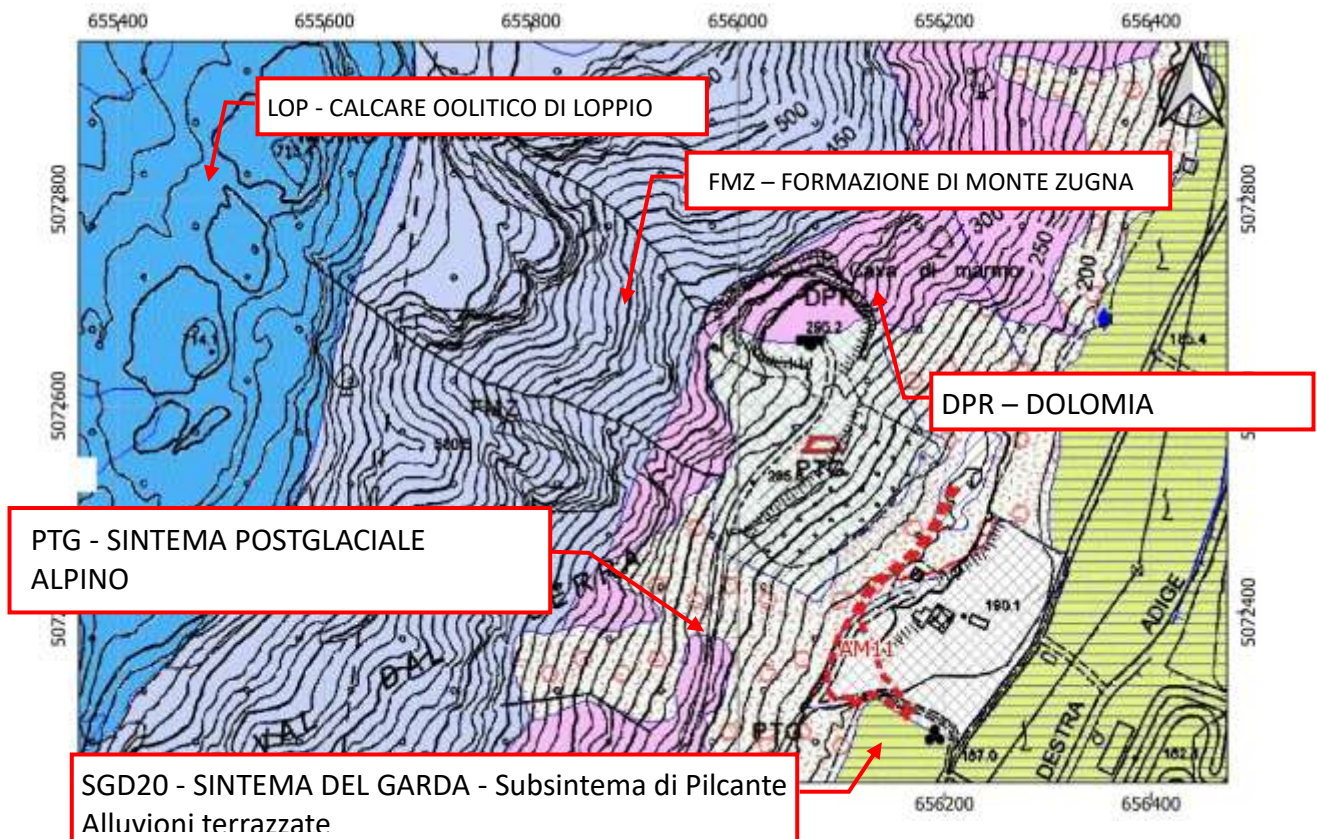


Figura 10 Estratto Carta Geologia – WegGis P.A.T.

4.2 Rilievo geostrutturale

Il contesto geologico strutturale in cui si inserisce l'area di studio ha fortemente condizionato la morfologia dell'area e guidato le modalità di arretramento dei fronti rocciosi presenti, dove con arretramento si intendono tutta una serie di movimenti di origine gravitativa che nel caso specifico sono principalmente rappresentati dai fenomeni di crollo.

Le spinte di origine tettonica creano all'interno dell'ammasso roccioso una serie di fratture, raggruppate in famiglie omogeneità di orientamento, che possono portare all'isolamento di volumi rocciosi unitari la cui dimensione è proporzionale alla spaziatura delle fratture stesse.

Le caratteristiche del litotipo unite alle modalità di orientazione di tali piani in relazione al fronte della parete determinano le condizioni di innesto per il distacco di una porzione rocciosa.

Giunti subverticali, relitto delle spinte tettoniche che hanno deformato l'area isolano porzioni rocciose, spesso lastriformi, in precaria condizione di stabilità.

Il rilievo geostrutturale in sito è stato integrato dal rilievo geomeccanico della nuvola di punti 3D, ottenuta mediante ricostruzione aerofotogrammetria delle immagini da drone con Metashape Agisoft®, ed analizzata con Cloud Compare utilizzando l'algoritmo Compass2.0¹.

Il versante sovrastante la zona oggetto di studio si individuano vari settori, tre dei quali si ritengono maggiormente significativi al fine di analizzare il fenomeno di caduta massi (Figura 11).

¹ Thiele, S. T., Grose, L., Samsu, A., Mickelthwaite, S., Vollgger, S. A., and Cruden, A. R.: Rapid, semi-automatic fracture and contact mapping for point clouds, images and geophysical data, Solid Earth Discuss., <https://doi.org/10.5194/se-2017-83>, in review, 2017

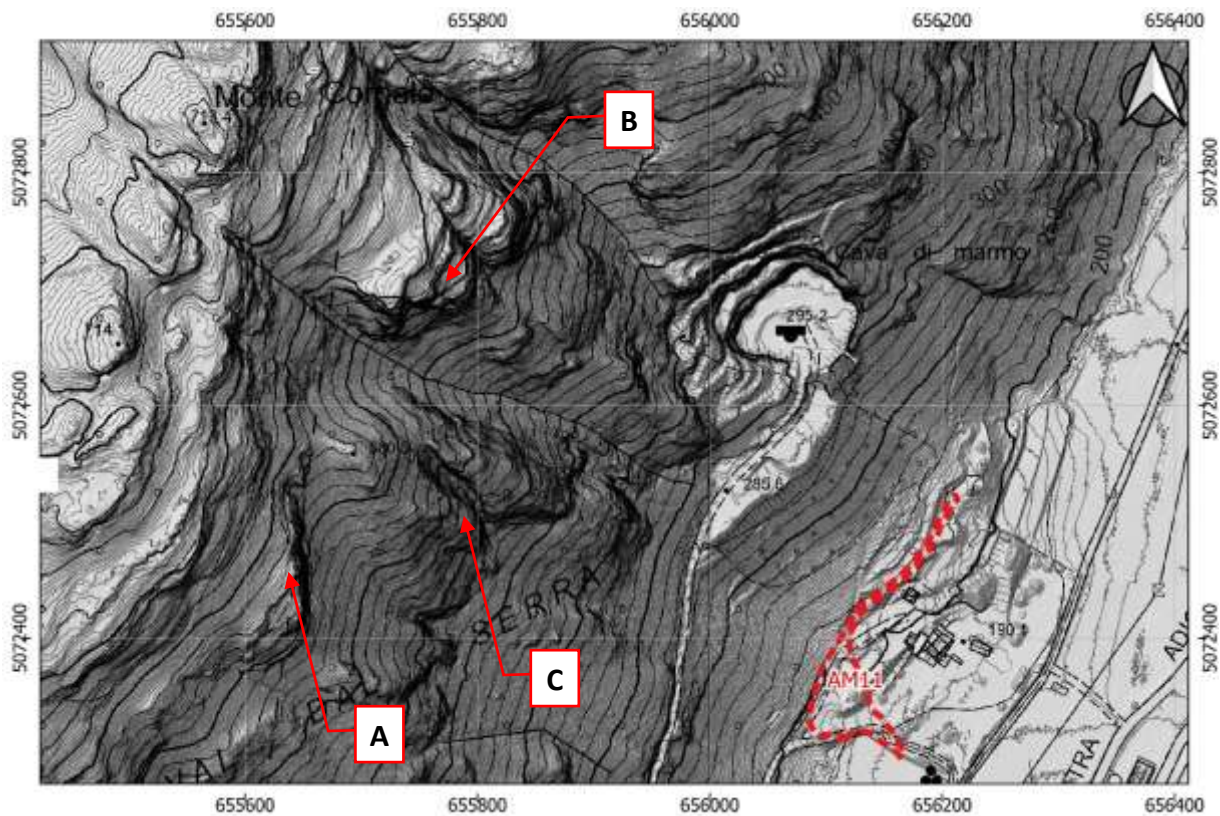


Figura 11 Settori del versante

4.2.1 Settore A

Fascia rocciosa stratificata compresa tra le quote 550 e 600 m slm con aggetti marcati nel calcari appartenenti alla Formazione di Monte Zugna.



4.2.2 Settore B

Sperone roccioso allungato in senso NW-SE ed inciso secondo la stessa direzione da una marcata vallecchia.



4.2.3 Settore C

Fascia rocciosa marcatamente stratificata sovrastante le pareti dolomitiche della vecchia area di cava.



4.2.4 Proiezione stereografica rappresentativa

I principali sistemi di frattura sono analoghi nei vari settori e pertanto si ritiene rappresentativa una sola proiezione stereografica che raggruppi le orientazioni l'insieme di discontinuità individuate (Figura 12).

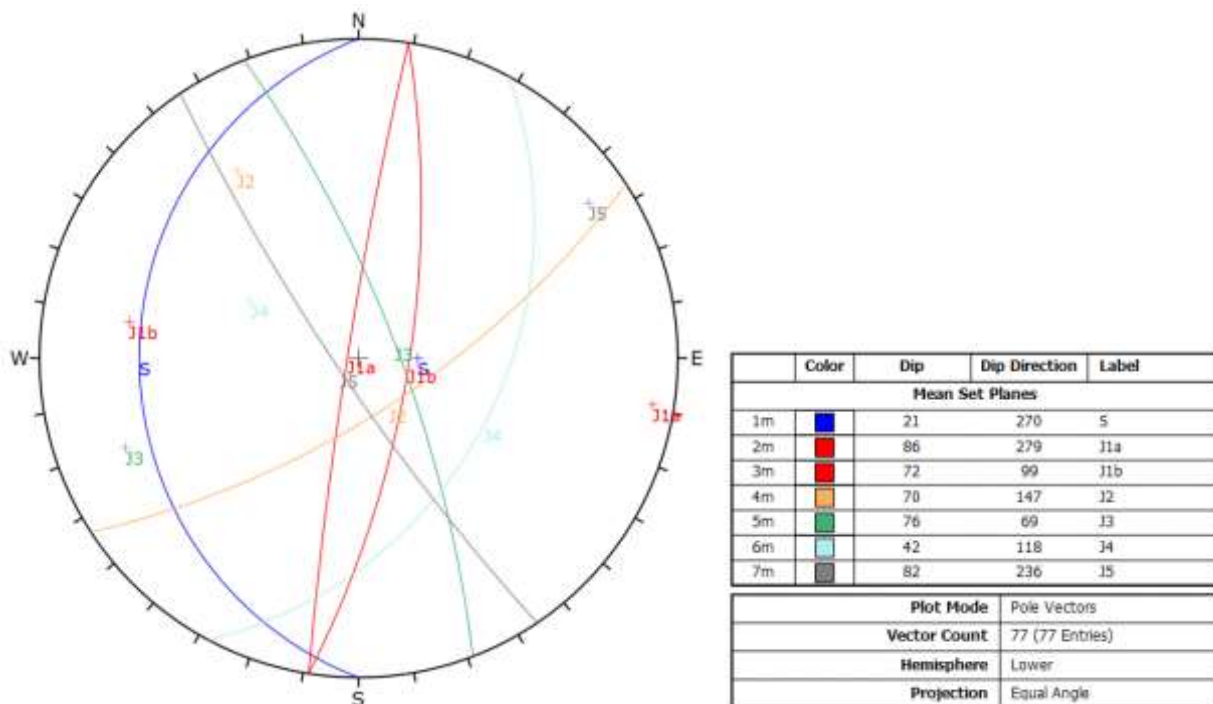


Figura 12 Orientazione dei principali sistemi

La stratificazione è il sistema ad alta persistenza che suddivide con continuità l'ammasso mentre l'orientazione dei fronti è condizionata dal sistema a persistenza medio-alta J1 ed in misura minore dal sistema J2 e dal sistema J3. Localmente J4 e J5 isolano ulteriormente l'ammasso roccioso.

4.3 Qualità dell'ammasso roccioso (GSI)

Dall'analisi dei valori di spaziatura delle discontinuità vengono individuati i valori del grado di suddivisione dell'ammasso (J_v) ed il volume del blocco (V_b) e valutato la qualità dell'ammasso roccioso attraverso il Geological Strength Index (G.S.I.) di Hoek nella formulazione di Cai et alii.

Il grado di suddivisione dell'ammasso roccioso (J_v) che si lega alle dimensioni del blocco unitario (V_b) è definibile in base alla forma e alla tipologia dei blocchi che caratterizzano l'ammasso roccioso (Figura 13).

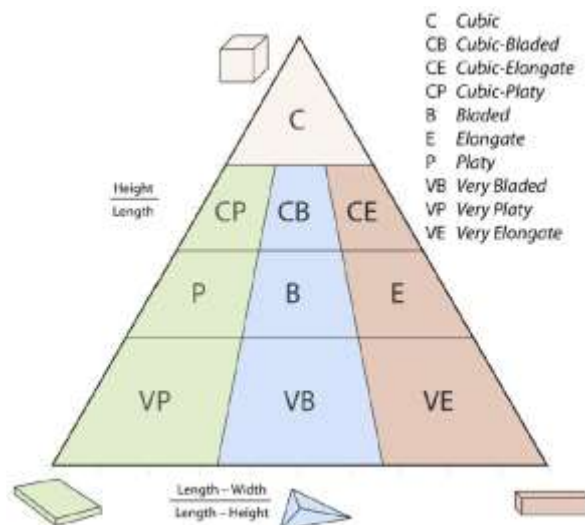


Figura 13 Diagramma della forma dei blocchi (Sneed e Folk, 1958; Graham e Midgley, 2000)

Il volume unitario del blocco roccioso, V_b , è determinato dalla spaziatura e dall'orientazione dei giunti,

dal numero di set di giunti e dalla persistenza degli stessi. Le dimensioni del volume unitario sono espressione della densità dei giunti e nel caso di almeno 3 giunti persistenti può essere calcolato con l'espressione

$$V_b = \frac{s_1 \cdot s_2 \cdot s_3}{\sin \cdot \gamma_1 \cdot \sin \cdot \gamma_2 \sin \cdot \gamma_3}$$

dove: s_i e γ_i sono rispettivamente la spaziatura tra i giunti e l'angolo tra i giunti stessi.

Considerando anche il fattore di persistenza (P_1 , P_2 e P_3) di ciascun sistema l'espressione, come indicata da Cai et al. (2004), diviene:

$$V_b = \frac{s_1 \cdot s_2 \cdot s_3}{\sin \cdot \gamma_1 \cdot \sin \cdot \gamma_2 \sin \cdot \gamma_3 \cdot \sqrt[3]{P_1 \cdot P_2 \cdot P_3}}$$

La qualità intrinseca dell'ammasso roccioso è valutata attraverso la determinazione del Geological Strength Index (G.S.I.) di Hoek. Vista la tipologia dello studio, al fine di consentire un'adeguata quantificazione dei parametri di ingresso del diagramma per la determinazione del G.S.I. si è seguito l'approccio di Cai (2004). Nello specifico i parametri quantitativi d'ingresso per la determinazione del G.S.I. sono il Volume Unitario dei Blocchi rocciosi (V_b) ed il Joint Condition Factor (J_c); anche parametri base per la determinazione dell'indice RMI di Palmström. Il Joint Condition Factor (J_c) è definito dalla rugosità e dall'alterazione della superficie dei giunti e dal tipo di riempimento:

$$J_c = \frac{J_w \cdot J_s}{J_A}$$

dove: J_w è l'ondulazione ad ampia scala (in metri da 1 a 10 metri); J_s è la rugosità a piccola scala (in centimetri da 1 a 20 cm) e J_A è il fattore di alterazione del giunto.

Tabella 3 Termini per descrivere l'ondulazione ad ampia scala (J_w)

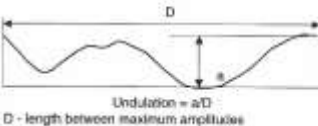
Waviness terms	Undulation	Rating for waviness J_w	
Interlocking (large-scale)		3	
Stepped		2.5	
Large undulation	> 3%	2	
Small to moderate undulation	0.3-3%	1.5	
Planar	< 0.3%	1	

Tabella 4 Termini per descrivere la rugosità a piccola scala (J_s)

Smoothness terms	Description	Rating for smoothness J_s
Very rough	Near vertical steps and ridges occur with interlocking effect on the joint surface	3
Rough	Some ridge and side-angle are evident; asperities are clearly visible; discontinuity surface feels very abrasive (rougher than sandpaper grade 30)	2
Slightly rough	Asperities on the discontinuity surfaces are distinguishable and can be felt (like sandpaper grade 30-300)	1.5
Smooth	Surface appear smooth and feels so to touch (smoother than sandpaper grade 300)	1
Polished	Visual evidence of polishing exists. This is often seen in coating of chlorite and specially side	0.75
Sticker-rod	Polished and striated surface that results from sliding along a fault surface or other movement surface	0.6-1.5

Tabella 5 Joint alteration factor (J_A)

	Term	Description	J_A
Rock wall contact	<i>Clear joints</i>		
	Healed or "welded" joints (unweathered)	Softening, impermeable filling (quartz, epidote, etc.)	0.75
	Fresh rock walls (unweathered)	No coating or filling on joint surface, except for staining	1
	Alteration of joint wall: slightly to moderately weathered	The joint surface exhibits one class higher alteration than the rock	2
	Alteration of joint wall: highly weathered	The joint surface exhibits two classes higher alteration than the rock	4
	<i>Coating or thin filling</i>		
	Sand, silt, calcite, etc.	Coating of frictional material without clay	3
	Clay, chlorite, talc, etc.	Coating of softening and cohesive minerals	4
Filled joints with partial or no contact between the rock wall surfaces	Sand, silt, calcite, etc.	Filling of frictional material without clay	4
	Compacted clay materials	"Hard" filling of softening and cohesive materials	6
	Soft clay materials	Medium to low over-consolidation of filling	8
	Swelling clay materials	Filling material exhibits swelling properties	8-12

L'ammasso roccioso si presenta ben stratificato con dimensione dei volumi rocciosi condizionata dalla spaziatura degli strati e dalla spaziatura e persistenza principalmente dei giunti J1 e J2. La forma dei blocchi varia da VE/E a VP/P mentre più rara è la forma C che si crea soprattutto per fratturazione di una forma VE. La spaziatura dei principali sistemi varia da decimetrica a metrica, localmente plurimetrica, e la condiziona dei giunti varia da buona a molto buona con J_c mediamente superiori a 3. I valori di GSI sono prevalentemente compresi tra 55 e 80 che localmente possono abbassarsi a 50. Un esempio rappresentativo dello stato di fratturazione dei diversi settori è riportato nella Figura 14, nella Figura 15 e nella Figura 16.



Figura 14 Settore A - Particolare stato di fratturazione dell'ammasso



Figura 15 Settore B - Particolare stato di fratturazione dell'ammasso



Figura 16 Settore C - Particolare stato di fratturazione dell'ammasso

La Figura 17 riporta la distribuzione del GSI per le diverse zone della parete.

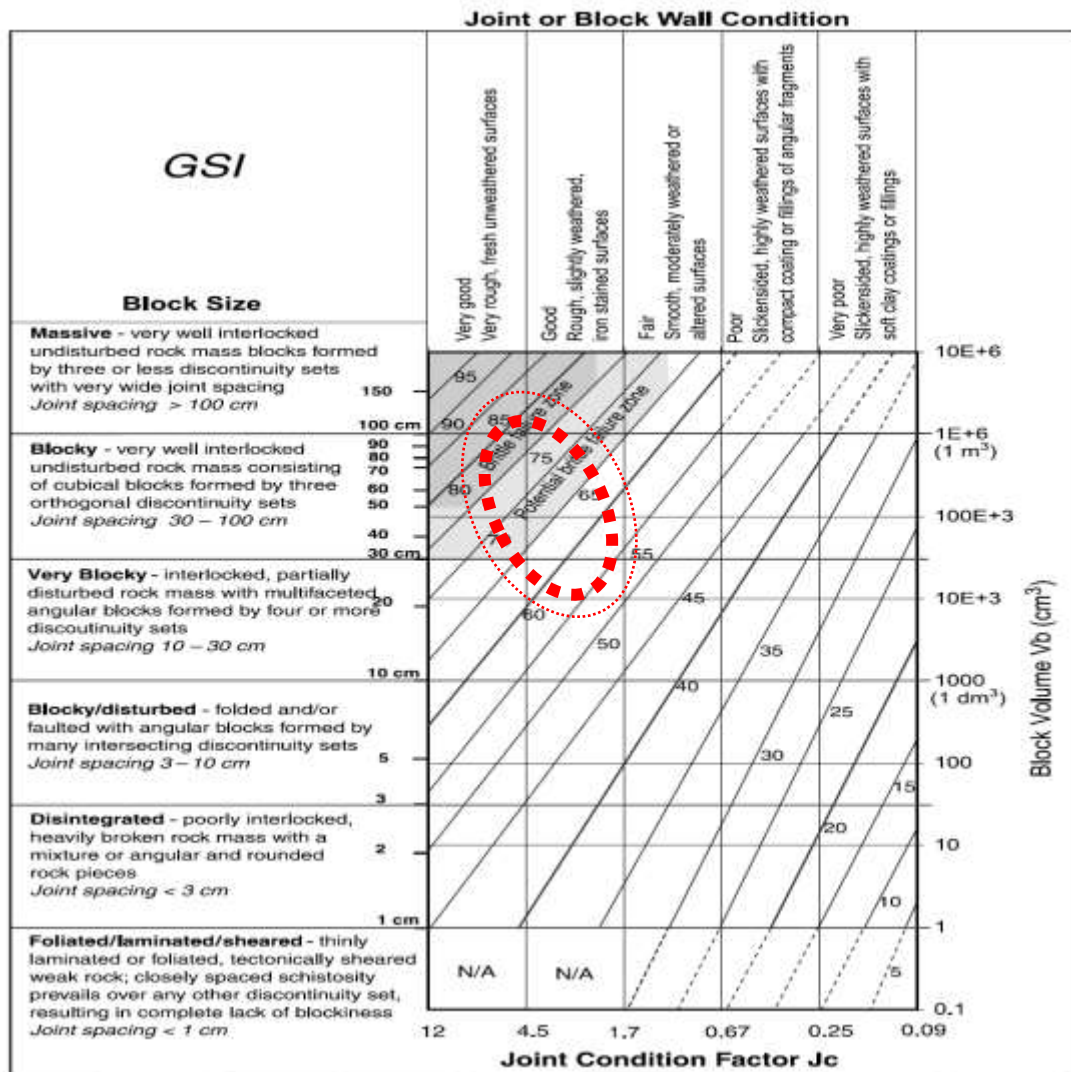


Figura 17 Classificazione ammasso roccioso: Geological Strength Index (GSI) - Cai M. & alii. (2004)

I valori di GSI mostrano una dominanza dei volumi unitari che rientrano in un comportamento a rottura di tipo fragile dove il cinematismo di scivolamento è spesso condizionato dall'orientazioni e dalle caratteristiche dei sistemi presenti.

4.4 Posizioni critiche

Lungo le pareti sovrastanti la zona di intervento si riconoscono 3 diverse tipologie di instabilità, caratterizzate da differenti cinematismi possibili e da differenti geometrie dei volumi rocciosi:

- **Volumi aggettanti mobilizzabili per rottura della porzione strapiombante (*overhang failure*)**; in questi casi orizzonti più competenti continui ed aggettanti sono isolati per successivo franamento delle porzioni fratturate e/o meno competenti sottostanti. E' una tipologia diffusa in varie posizioni dei settori individuati.
- **Elementi lastriformi mobilizzabili per *column collapse* o *column/block toppling***; solidi lastriformi di varie dimensioni definiti dai sistemi paralleli alla parete e suddivisi in varia misura dai piani di strato. La rottura può avvenire per ribaltamento qualora la stratificazione particolarmente ravvicinata favorisca la rottura per compressione dei livelli di base ed il progressivo arretramento del profilo e/o per scivolamento lungo il piano di appoggio. E' una tipologia diffusa in quanto condizionata dalla persistenza e del spaziatura dei giunti J1 e J2 che condizionano l'orientazione dell'intera parete.
- **Conci mobilizzabili per scivolamento a cuneo (*wedge slide*)**, sono determinati dallo scivolamento

di blocchi lungo la linea di intersezione tra due piani. È un fenomeno diffuso e condizionato dalla persistenza di giunti a franappoggio.

4.5 Probabilità di accadimento del fenomeno

La **probabilità di accadimento dei crolli in roccia** può essere definita come la “probabilità che un certo punto dello spazio sia interessato (colpito, attraversato) da un evento di caduta massi caratterizzato da una certa intensità in un certo intervallo di tempo”. La pericolosità è funzione della probabilità di innesco (legata alla suscettibilità alla rottura dei versanti in roccia) e della probabilità di propagazione (funzione delle caratteristiche del moto dei blocchi), a loro volta dipendenti dall'intensità del fenomeno.

Una stima della frequenza degli eventi di crolli in roccia, e conseguentemente dei tempi di ritorno degli stessi, si basa sull'acquisizione degli eventi pregressi e sul rilievo di quegli elementi geologico - geomorfologici di origine gravitativa correlabili ad eventi di crollo.

Stabilire intensità e frequenza degli eventi risulta fondamentale nella valutazione della pericolosità / rischio di caduta massi, sebbene entrambi questi aspetti siano tanto importanti quanto difficili da valutare.

4.6 Zone sorgente

La propensione al distacco dei blocchi viene valutata individuando seguenti elementi di instabilità, dove con un solo elemento di instabilità si ha una propensione al distacco bassa e con 5 elementi la propensione al distacco è alta.:

1. fratture aperte con evidenze di attività associate a cinematismi possibili;
2. blocchi ruotati;
3. zone intensamente fratturate;
4. superfici non alterate che testimoniano recenti distacchi.
5. emergenze di acqua alla base dei blocchi

Mediamente al settore assegnato può essere assegnato un punteggio variabile da 2 a 3 che solo localmente raggiunge il valore di 4.

4.7 Fasce detritiche

La falda detritica alla base è ben vegetata con locali chiazze meno vegetate; è visibile la traccia di qualche rotolamento recente ma nel complesso alla falda detritica può essere assegnato un grado di attività medio basso condizionati da eventi con bassa frequenza. La maggior frequenza di passaggi si rileva in corrispondenza degli impluvi.

4.8 Definizione del volume di progetto

Si è potuto osservare come il volume dei blocchi maggiormente frequenti lungo il pendio sia inferiore a 3 m^3 ; si rileva un alta frequenza di blocchi inferiori al metro cubo ed una frequenza medio bassa di blocchi compresi tra 1 e 3 m^3 . In parete si rilevano situazioni con volumi di dimensioni maggiori ma il cui stato di fratturazione è tale che, nel caso di crollo, il volume complessivo si riduce in volumi unitari di dimensioni più contenute.

Nel caso in esame si ritiene rappresentativo usare un volume di progetto di 3 m^3 .

5 MASSIMI EFFETTI PREVEDIBILI CAUSATI DAL FENOMENO

Al fine di limitare, per quanto possibile, le problematiche legate all'incertezza del fenomeno si sono effettuate delle simulazioni probabilistiche ed analisi statistiche in grado di meglio adattarsi all'incertezza del fenomeno stesso.

L'approccio tridimensionale consente di valutare, per una data zona sorgente, il grado di dispersione delle traiettorie lungo il versante in oggetto, evidenziando in modo più chiaro la massima distanza di

espandimento e le fasce entro cui tendono a convogliarsi i percorsi di caduta. Nella fase successiva viene effettuata una valutazione sito-specifica dei percorsi di caduta, in termini di energia cinetica ed altezza di rimbalzo, attraverso simulazioni bidimensionali lungo le traiettorie più significative ottenute con la modellazione tridimensionale. I codici di calcolo utilizzati sono:

- **Rockyfor3D** (Dorren L.K.A., 2012. Rockyfor3D (v.5.2) revealed – Transparent de-scription of the complete 3D rockfall model): modello tridimensionale che determina le traiettorie di caduta di singoli blocchi di roccia.
- **RocFall 8.0** for statistical analysis of rockfalls, software commercializzato da Rocscience Inc. di Toronto (Canada): permette di effettuare simulazioni di caduta massi su base statistica in 2D; nel caso in esame, attraverso la simulazione 3D, si sono individuate 5 traiettorie significative e per ciascuna traiettoria si sono analizzati 1.000 eventi di caduta.

5.1 Simulazione di caduta massi 3D - Rockyfor3D

Rockyfor3D simula le traiettorie di caduta massi come dati vettoriali 3D attraverso il calcolo classico di moti parabolici attraverso l'aria ed il rimbalzo lungo la superficie topografica e se richiesto contro gli alberi. Il rotolamento è rappresentato da sequenze di rimbalzi molto vicini, mentre lo scivolamento di blocchi non è modellato.

5.1.1 Dati di ingresso

La simulazione richiede la predisposizione delle 10 mappe raster in formato ASCII (se non si effettua la simulazione con la vegetazione), di analoga estensione e risoluzione, di seguito elencate:

- **dem.asc**: raster del modello digitale che descrive la morfologia del terreno;
- **rockdensity.asc**: raster che riporta la densità dell'ammasso roccioso in corrispondenza della cella/celle sorgente che nello specifico è pari a 2500 kg/m³;
- **d1.asc d2.asc d3.asc**: raster che riporta, sempre in corrispondenza della cella sorgente, le dimensioni del blocco ellissoidico.
 - **d1: 1.8 m – d2: 1.4 m – d3: 1.0 m**
 - **Vol. min 1.6 m³ - Vol. medio 3.0 m³ - Vol. Max. 3.8 m³**
- **blshape.as**: raster che definisce la forma del blocco e nello specifico si assume come parallelepipedo.
- **rg70.asc rg20.asc rg10.asc**: raster che definiscono la rugosità della superficie topografica. Il pendio viene suddiviso in poligoni omogenei, dove ciascun poligono rappresenta la rugosità della superficie, espressa in termini di dimensioni del materiale che ricopre la superficie stessa dedotte guardando il versante dall'alto verso il basso, e rappresentata da 3 classi di probabilità di dimensioni del materiale indicate rg70, rg20 e rg10. Ciascuna classe è rappresentata da un raster che corrisponde all'altezza di un ostacolo rappresentativo (MOH) in metri che un masso può incontrare, rispettivamente nel 70%, 20% e 10% dei casi, nella fase di rim-balzo all'interno del poligono identificato.
- **Soiltype.asc**: raster che rappresenta l'elasticità del sottosuolo. È possibile scegliere tra le seguenti 8 tipologie di suolo che sono direttamente collegate a specifici valori di Rn (Tabella 6 Tipi di suolo da Rockyfor3D e relativi valori di Rn). La mappa è riportata nella Figura 18.

Tabella 6 Tipi di suolo da Rockyfor3D e relativi valori di R_n

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

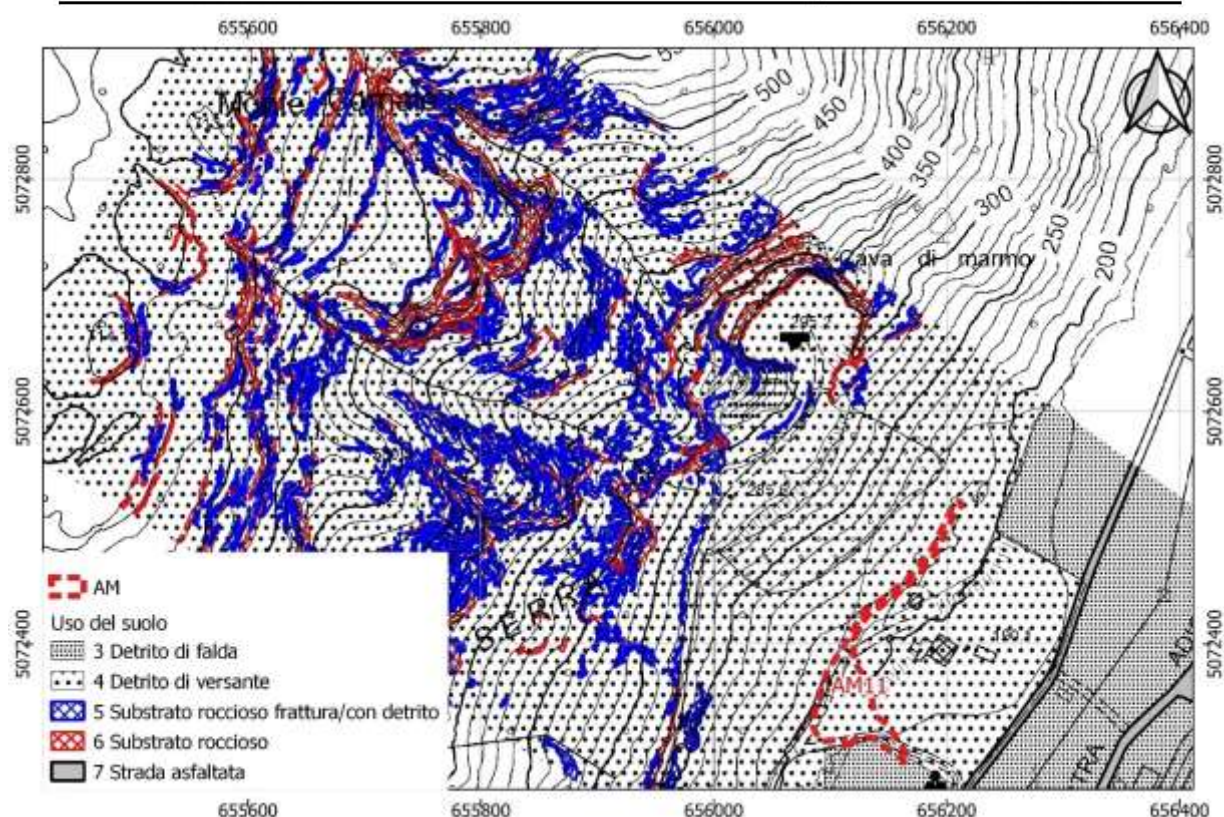


Figura 18 Uso del suolo

L'interfaccia grafica che elabora le mappe raster sopracitate richiede l'inserimento dei seguenti valori:

- **numero di simulazioni:** rappresenta il numero di massi lanciati da ciascuna cella sorgente: 20;
- **variazione percentuale del volume del masso:** $\pm 50\%$.
- **altezza di caduta iniziale:** nello specifico si è scelto un valore di 0,0 metri.

La risoluzione scelta è pari a 1 metri.

5.1.2 Elaborazioni ottenute

Le elaborazioni ottenute sono riportate in Allegato e sono:

- Numero Passaggi
- Numero di blocchi fermati in ogni cella
- Altezze di rimbalzo – matrice per valutare l'intensità del fenomeno Andamento altezza di rimbalzo matrice pericolosità

- Velocità – matrice per valutare l'intensità del fenomeno
- Grado di pericolosità con intensità media

5.1.3 Risultati

e elaborazioni mostrano la possibilità che, nella fascia sud, traiettorie di caduta massi raggiungano la strada di cantiere al piede del versante. Superata la strada il numero di passaggi si riduce. In termini di intensità del fenomeno le altezze di rimbalzo hanno una intensità bassa e le velocità media. Ne deriva che la strada al piede della parete ha una pericolosità media che diviene bassa superata la strada.

5.2 Simulazioni di caduta massi 2d – Rocfall

Dall'analisi delle simulazioni tridimensionali si ritiene necessario realizzare un rilevato paramassi a protezione delle attività che si svolgeranno all'interno della AM11.

Le simulazioni bidimensionali consentono una dimensionamento preliminare del rilevato paramassi; le traiettorie maggiormente significate, valutate anche attraverso i risultati ottenuti con le verifiche tridimensionali, sono riportate nella Figura 19.

Il programma permette di individuare le traiettorie più probabili dei massi che possono cadere dal versante, e di calcolare le loro caratteristiche cinematiche lungo il pendio su base statistica. L'analisi statistica si concretizza facendo variare in maniera casuale l'angolo di impatto del masso, all'interno di limiti definiti dalla dimensione dei blocchi e dalle caratteristiche del pendio, e le proprietà del materiale, della pista e del masso che influenzano le caratteristiche di rimbalzo sul pendio. La rappresentazione numerica di queste proprietà viene data dai coefficienti di restituzione normale (kN) e tangenziale (kT), dove per direzione normale si intende quella perpendicolare alla superficie, mentre quella tangenziale è quella parallela alla superficie.

I parametri di ingresso utilizzati sono:

- Zona di partenza dei blocchi: sorgente lineare lungo il ciglio sommitale.
- Volume: 3 m³ con σ 0.5 m³ (min.rel. 2.5 m³ - max rel. 6 m³)
- Forma: sferica
- Coefficienti di restituzione e rugosità: i valori utilizzati sono riportati nella Tabella 7.

Tabella 7 Coefficienti di restituzione

Descrizione	kn		kt	
	media	dev	media	dev
Roccia intatta	0.38	0.04	0.88	0.04
Roccia fratturata	0.35	0.04	0.85	0.04
Roccia e detrito	0.34	0.04	0.84	0.04
Detrito grossolano	0.32	0.04	0.82	0.04
Detrito fine	0.31	0.04	0.81	0.04

- Numero di simulazioni: l'analisi condotta è di tipo probabilistico e si ritiene che 1.000 simulazioni di caduta per ogni traiettoria forniscano un adeguato valore statistico.

La traiettorie più significative oggetto di simulazione sono riportate nella Figura 19.

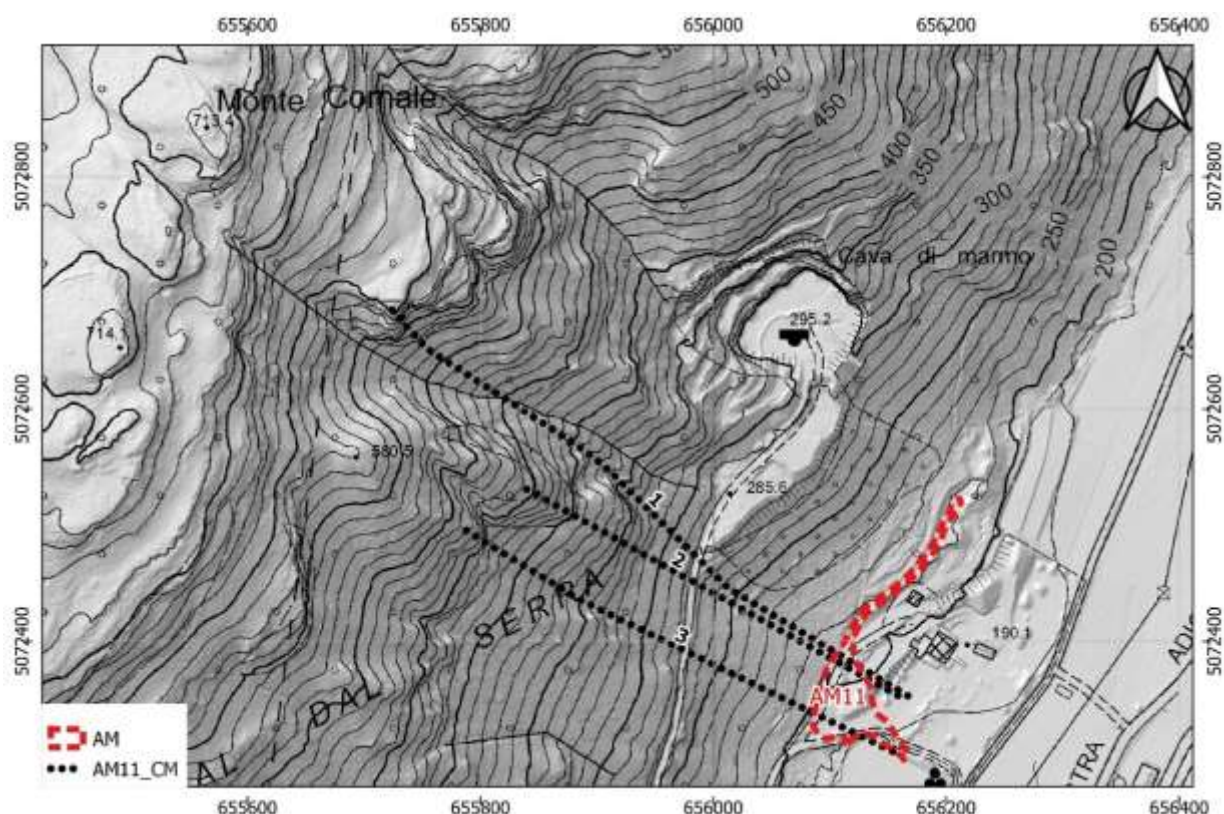


Figura 19 Traiettorie delle simulazioni di caduta massi e ubicazione del rilevato paramassi

Le elaborazioni per ciascuna sezione riportate in allegato comprendono:

- l'andamento delle traiettorie ottenute dalla simulazione;
- l'istogramma della posizione di arresto dei massi;
- l'involuppo delle energie cinetiche e delle altezze di rimbalzo, con riportato il 95°, in corrispondenza della posizione del rilevato paramassi indicato nella Figura 20.

Nella sezione 1 le traiettorie di simulazione si arrestano in corrispondenza della strada di cantiere mentre nella sezione 2 e 3 le traiettorie superano la strada di cantiere. Immediatamente a valle della strada, posizione indicativa del rilevato paramassi da verificare in sede di progetto, le Energie Cinetiche al 95° sono inferiori a 550 kJ e le altezze di rimbalzo inferiori al metro.

6 OPERE DI DIFESA E/O MISURE DI SICUREZZA

Nella valutazione delle opere di messa in sicurezza si tiene conto della destinazione d'uso dell'area e che gli operatori accedono all'area in oggetto per un limitato periodo di tempo e con mezzi d'opera adeguati e non sono previste lavorazioni senza mezzi d'opera.

In considerazione di una esposizione al rischio limitata si prevede un **rilevato paramassi** posto immediatamente a valle della strada di cantiere che si sviluppa al piede del versante come indicato nella Figura 20. Le dimensioni saranno valutate in fase di progettazione ma si consiglia una altezza del paramento di monte di almeno 2 metri.

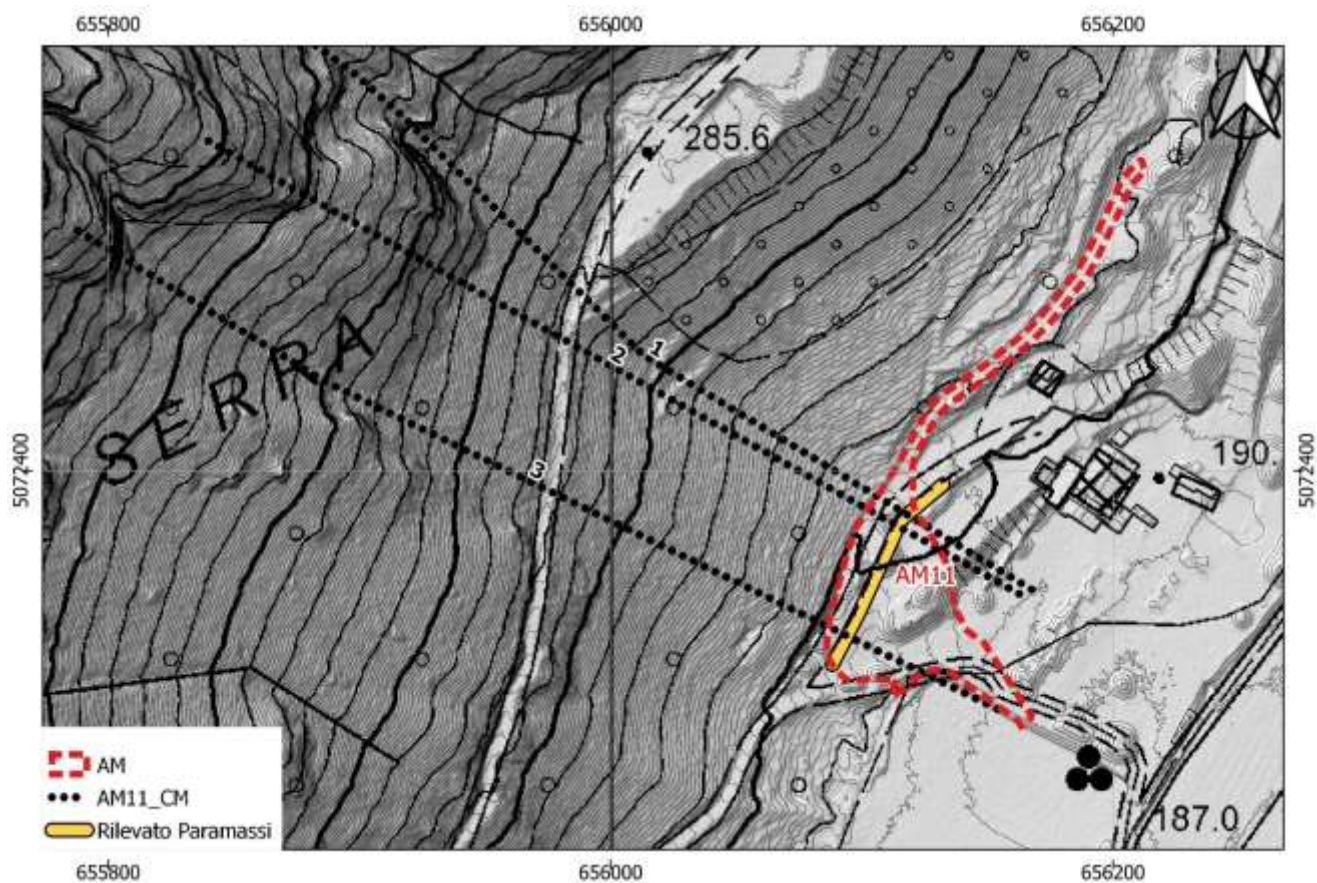


Figura 20 Disposizione del rilevato paramassi

CONCLUSIONI

Nell'ambito della Variante n.1/2023 del Piano Regolatore Generale del Comune di Ala viene predisposto il presente studio di compatibilità relativo alla **Variante Amministrazione AM 11** come richiesto dalle Norme della Carta di Sintesi della Pericolosità (CSP) entrata in vigore il 02/10/2020 con delibera G.P. n. 1317 del 04/09/2020 (Figura 1 e Figura 2).

Nella valutazione delle opere di messa in sicurezza si tiene conto della destinazione d'uso dell'area e che gli operatori accedono all'area in oggetto per un limitato periodo di tempo e con mezzi d'opera adeguati e non sono previste lavorazioni senza mezzi d'opera.

In considerazione di una esposizione al rischio limitata si prevede un **rilevato paramassi** posto immediatamente a valle della strada di cantiere che si sviluppa al piede del versante come indicato nella Figura 20. Le dimensioni saranno valutate in fase di progettazione ma si consiglia una altezza del paramento di monte di almeno 2 metri.

Sulla base delle considerazioni sopra espresse si ritiene che la trasformazione urbanistica prevista dalla Variante Amministrazione AM 11 sia compatibile con il livello di pericolosità da crolli previa progettazione e realizzazione di una opere di protezione costituita da un rilevato paramassi.

TRENTO, novembre 2023



Dott. Geol. Michele Camin

*Iscritto all'Ordine dei Geologi del Trentino-Alto Adige con il
n°182*

ALLEGATO - SIMULAZIONI DI CADUTA MASSI 3D

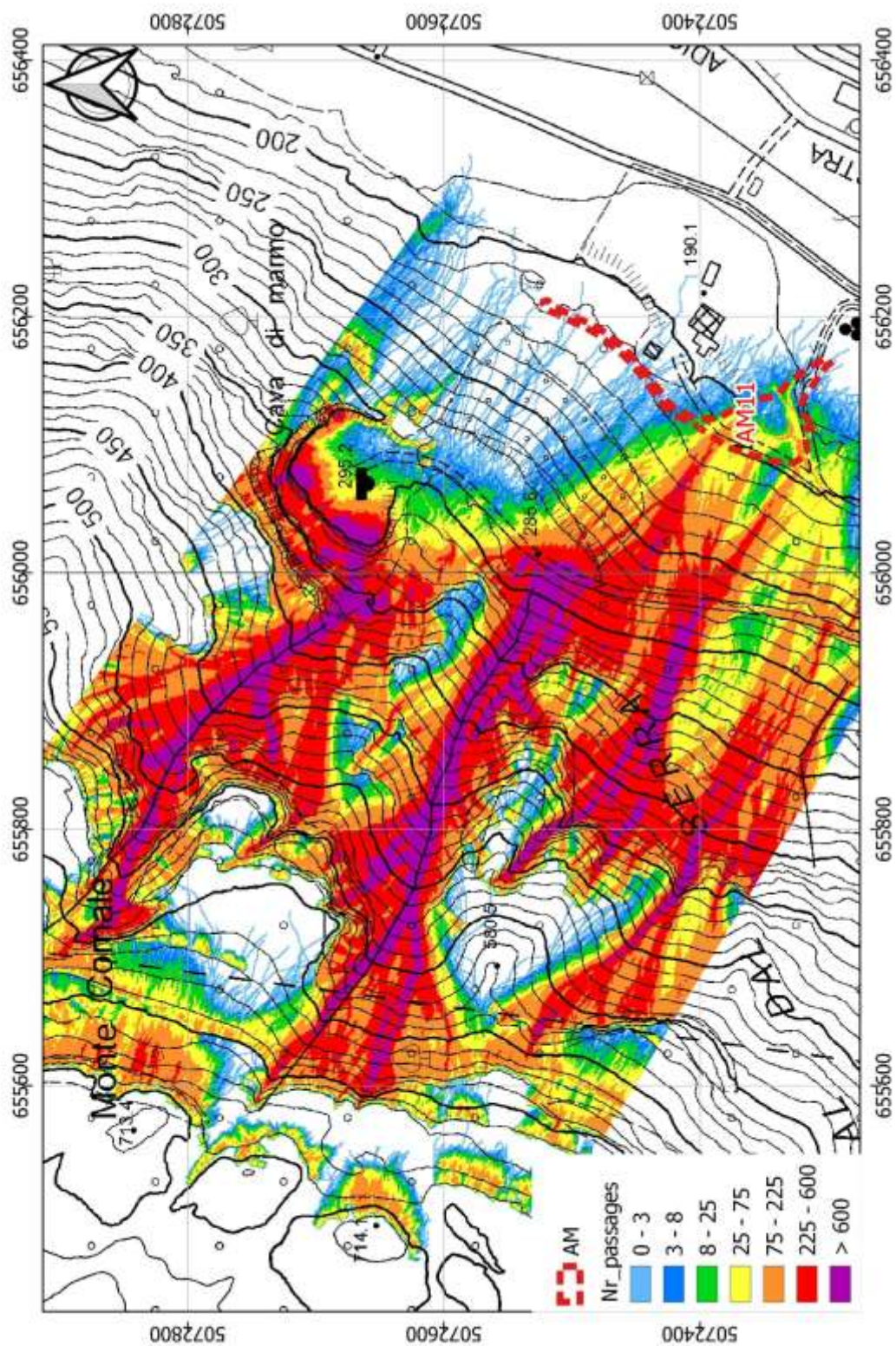
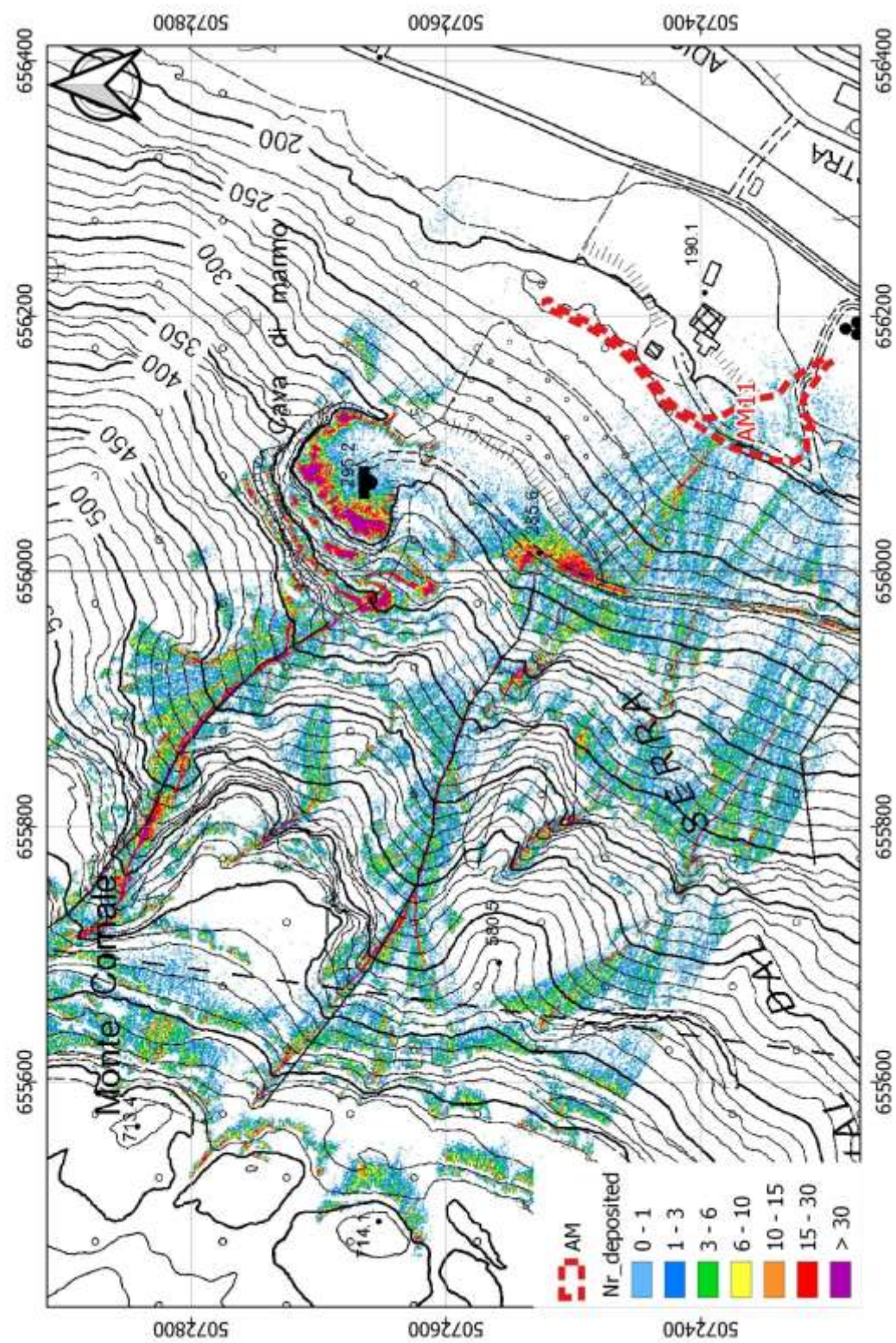


Figura 21 Numero di passaggi



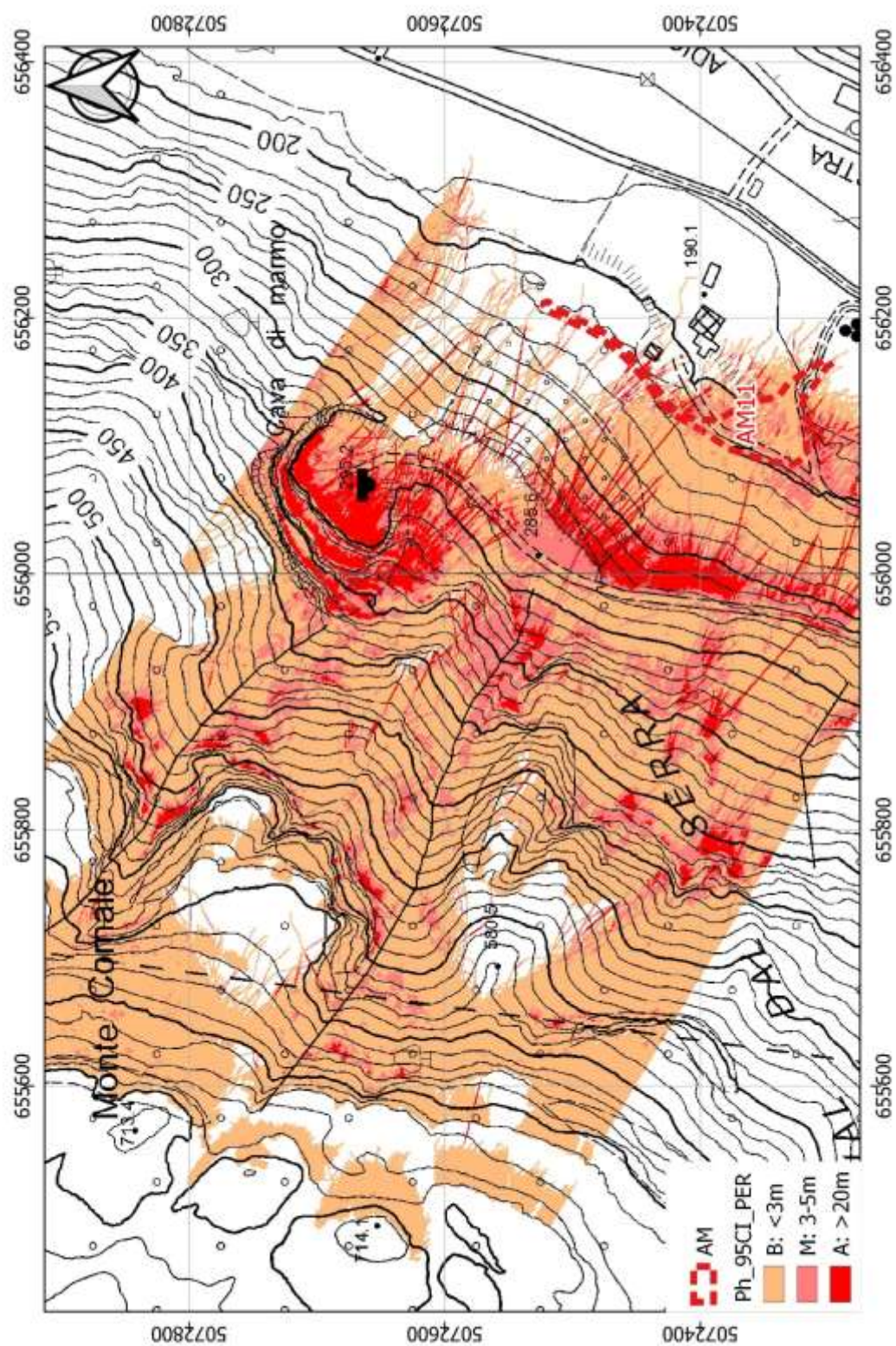


Figura 23 Altezze di rimbalzo – matrice per valutare l'intensità del fenomeno

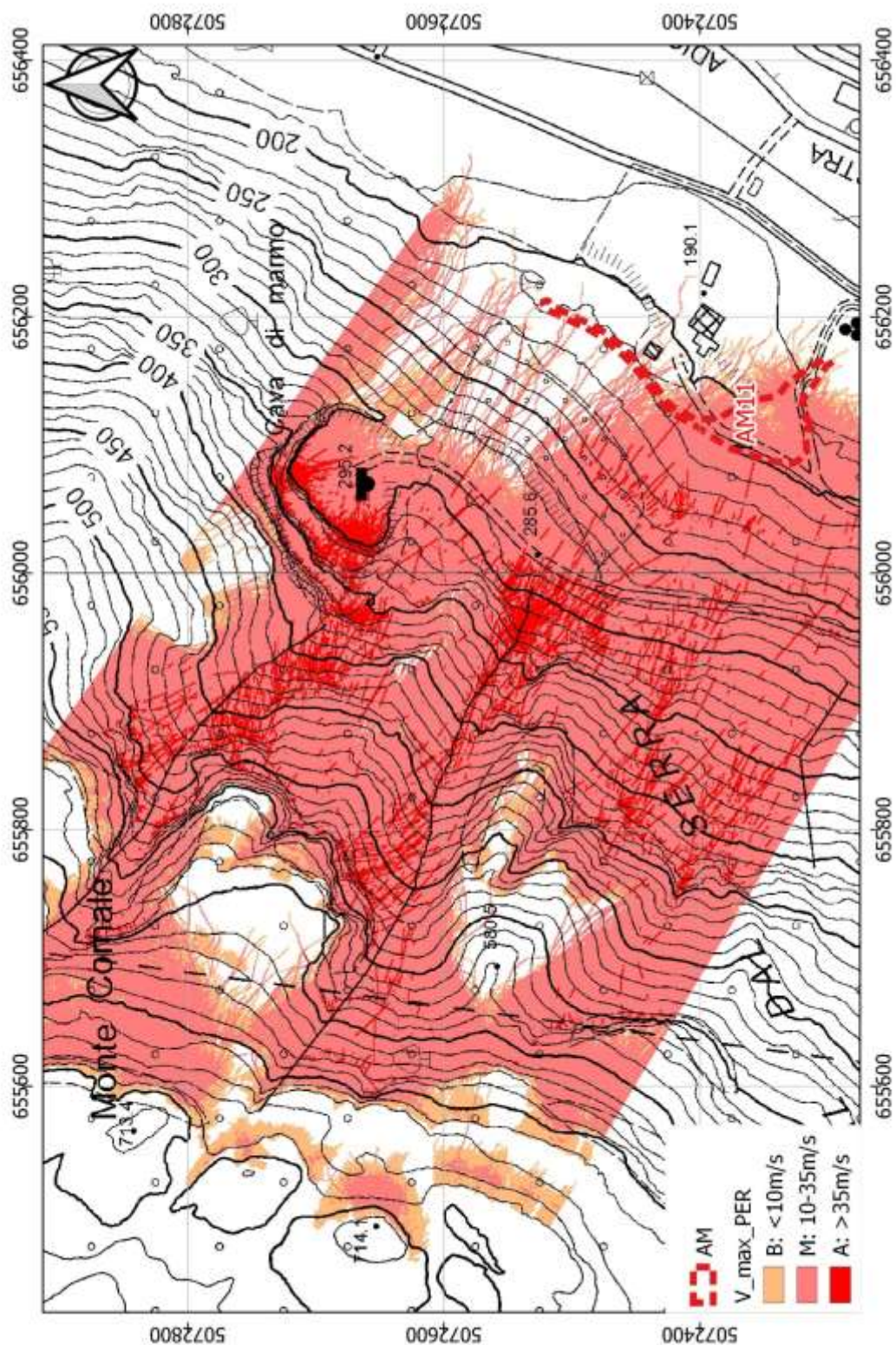


Figura 24 Velocità – matrice per valutare l'intensità del fenomeno

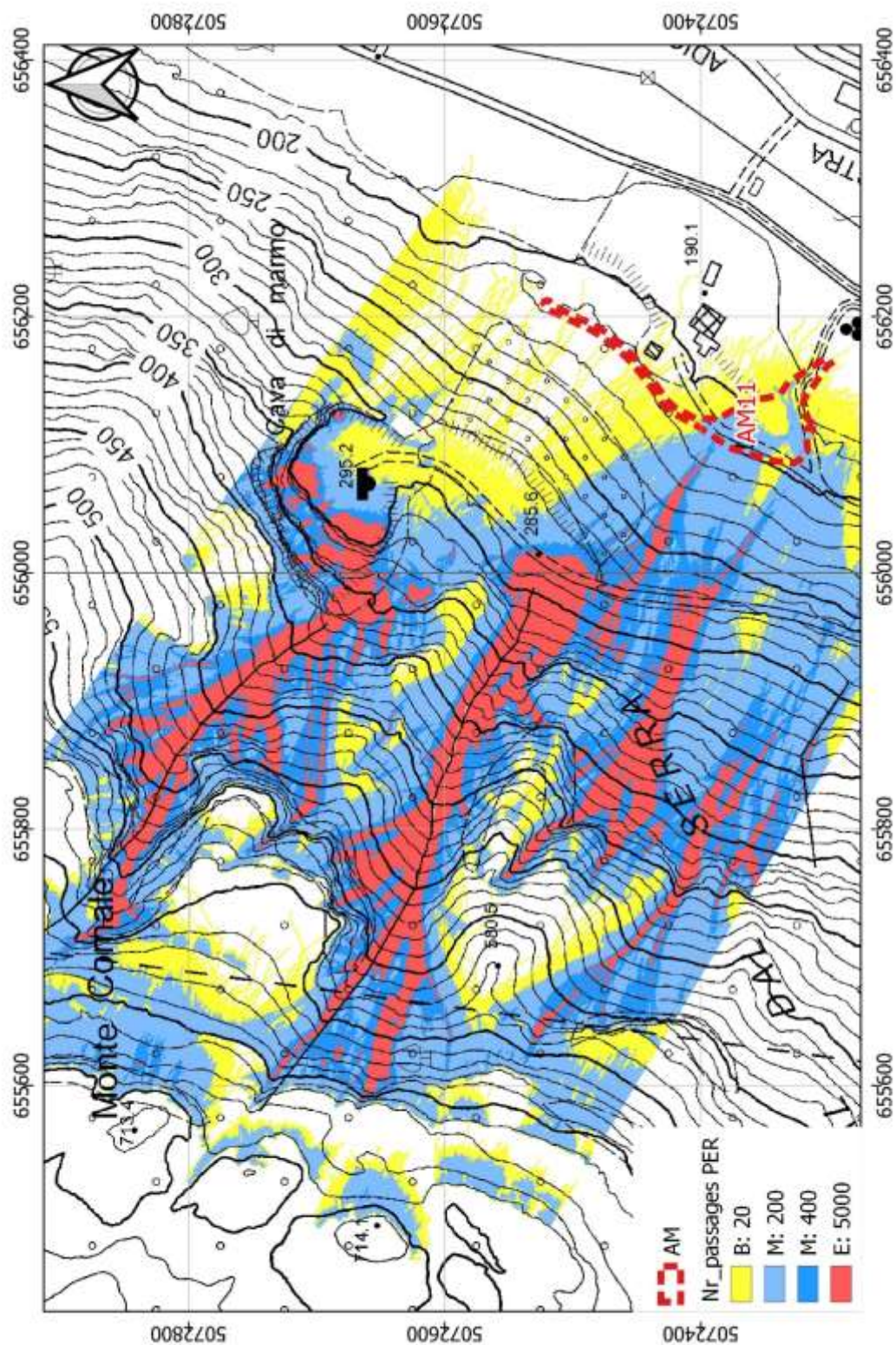
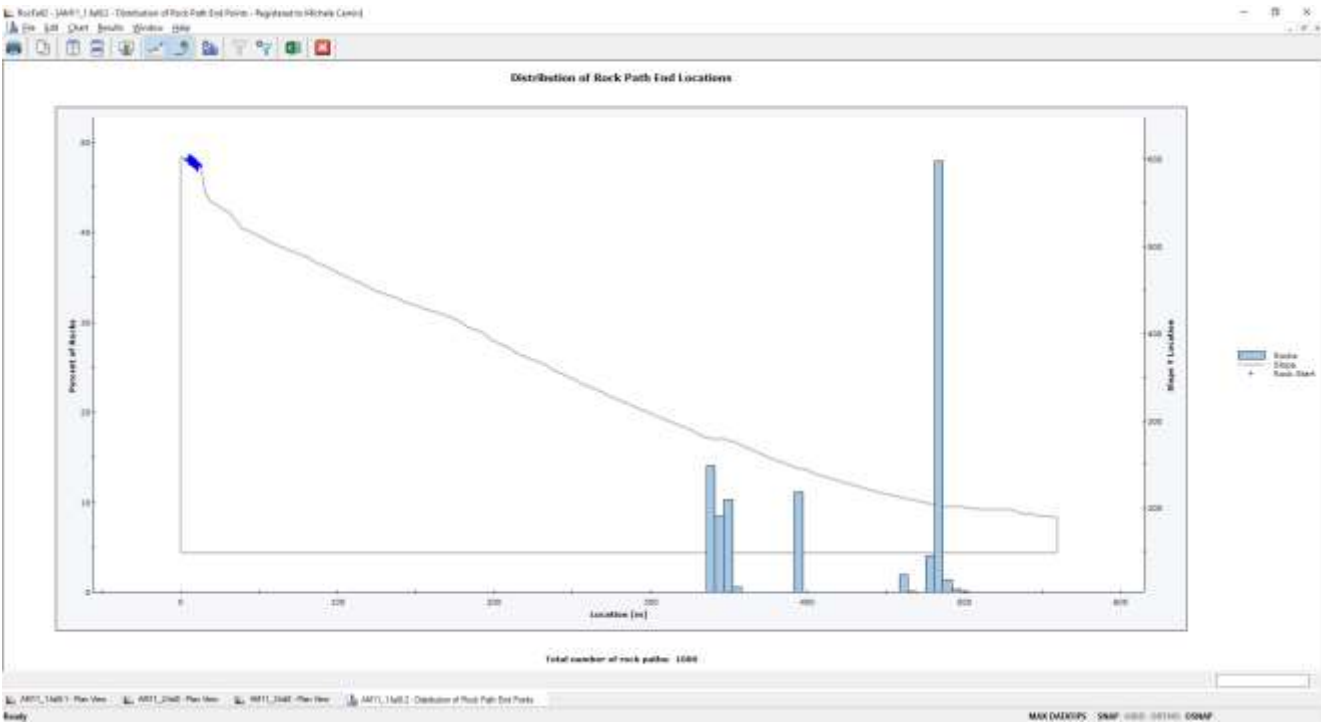
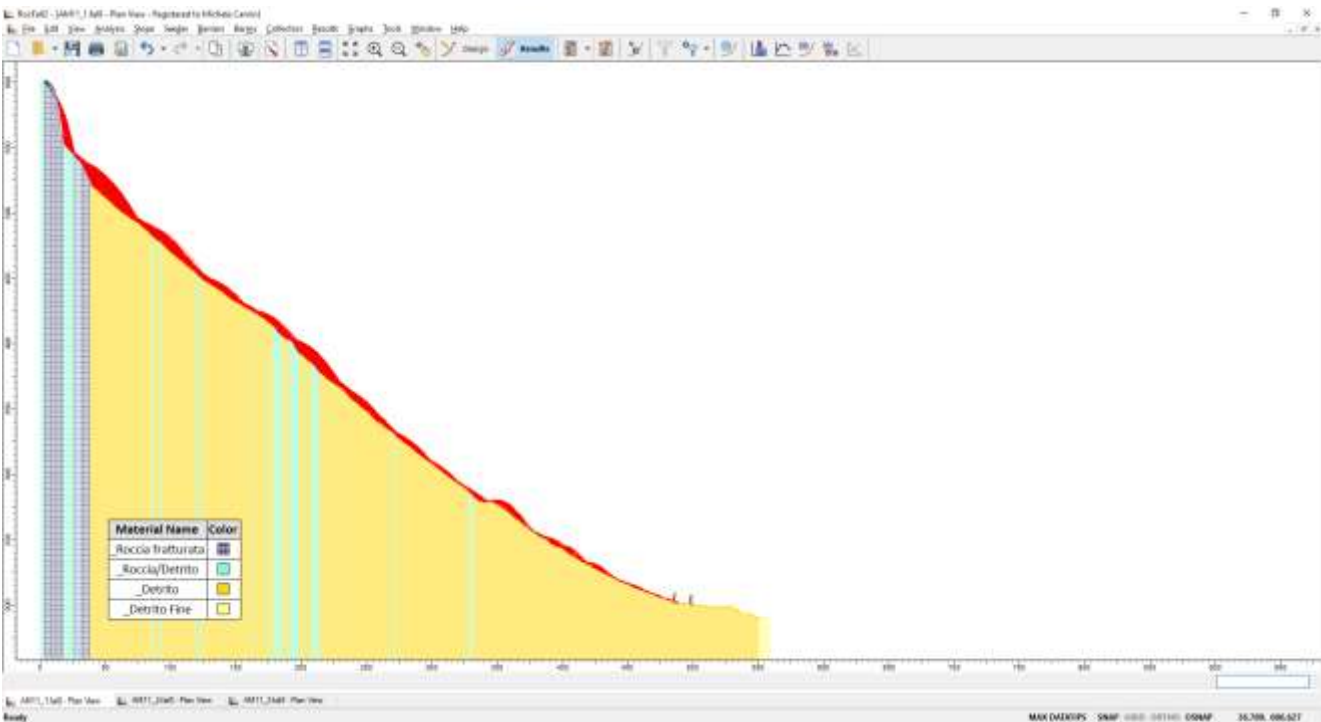


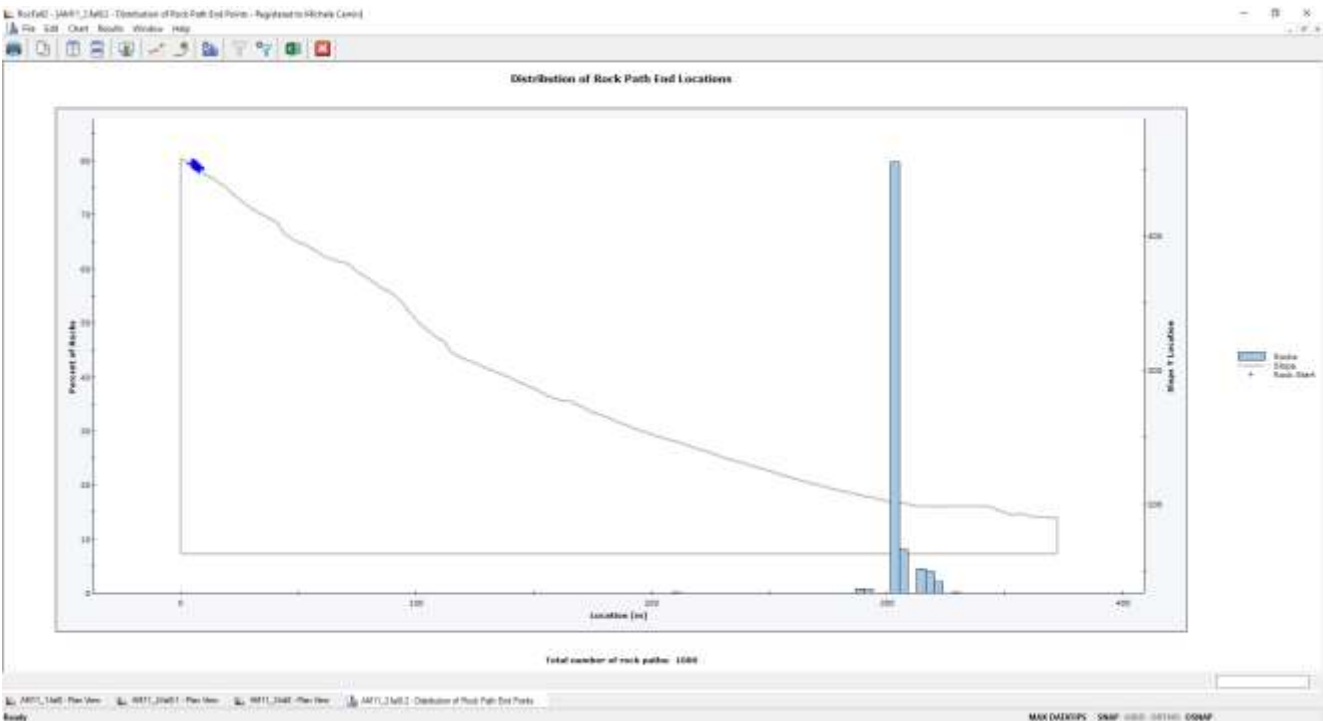
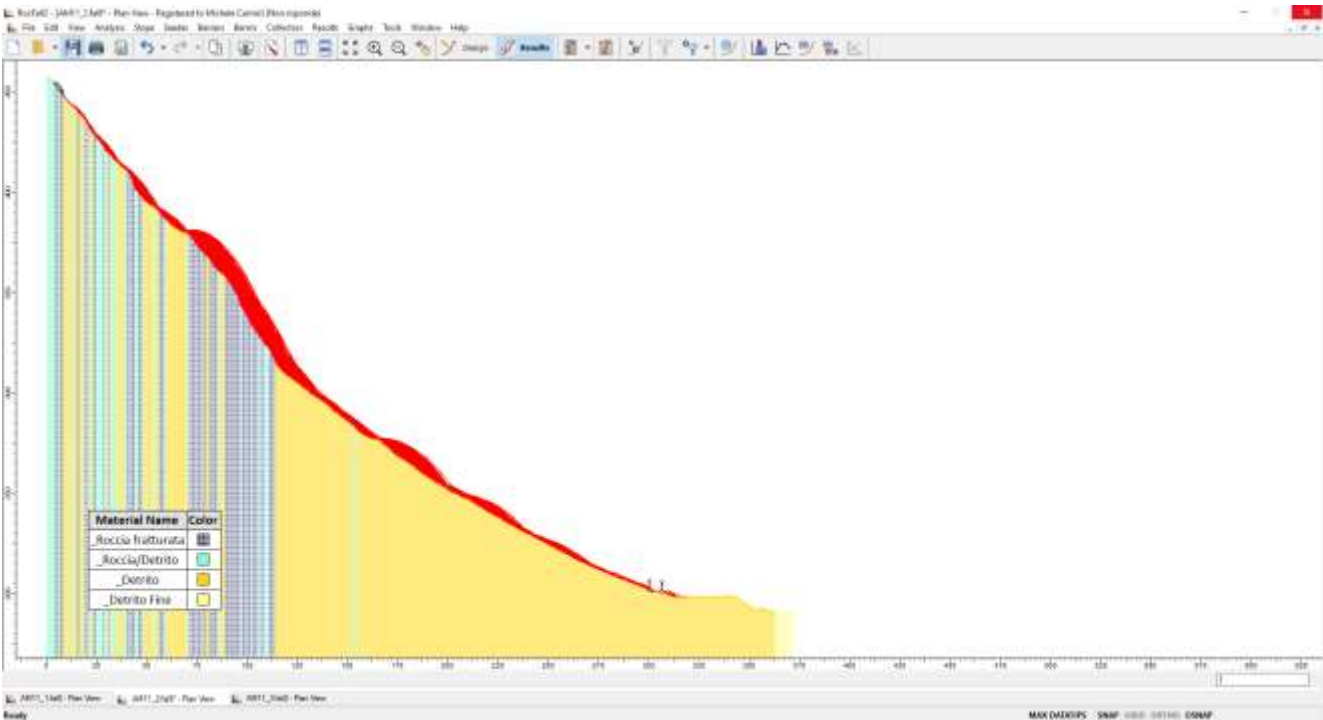
Figura 25 Grado di pericolosità con intensità media

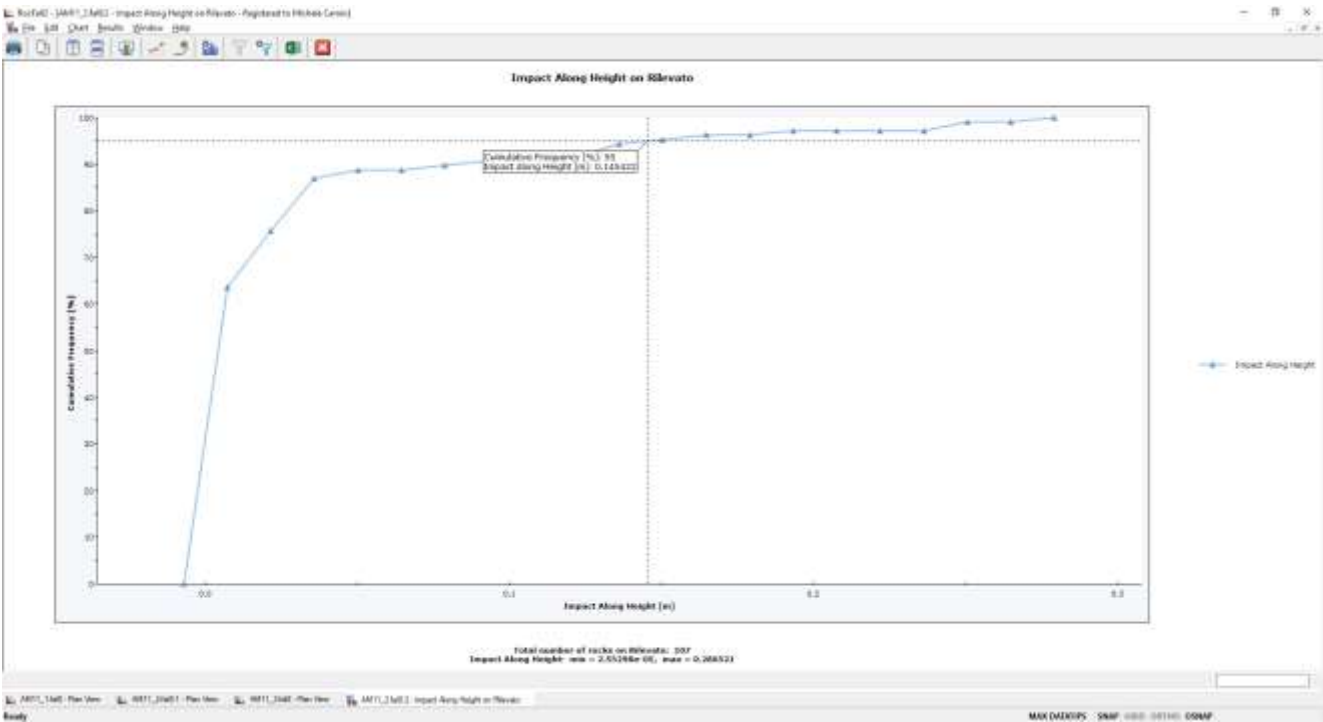
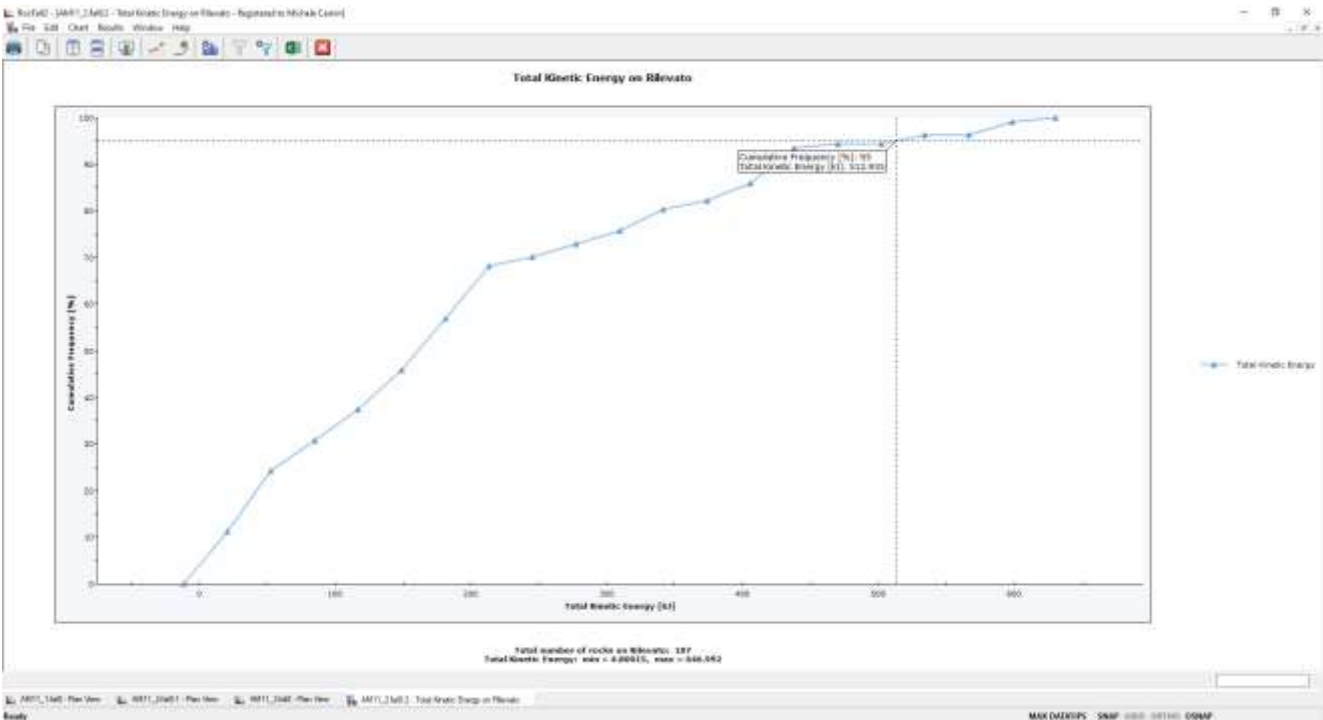
ALLEGATO - SIMULAZIONI DI CADUTA MASSI 2D

Sezione 1



Sezione 2





Sezione 3

