

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 20
Parcheggio - Ponzolotti**

COMMITTENTE	IL GEOLOGO
COMUNE DI ALA	

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

STUDIO DI COMPATIBILITA'
Variante Amministrazione AM 20

Sommario

PREMESSA.....	1
1 INTRODUZIONE	1
STUDIO DI COMPATIBILITA'	3
2 CARTE DI SINTESI DELLA PERICOLOSITÀ	3
2.1 Carte della pericolosità	3
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)	10
4.4 Posizioni critiche	15
4.5 Probabilità di accadimento del fenomeno	16
4.6 Zone sorgente	16
4.7 Falda detritica	16
4.8 Definizione del volume di progetto.....	17
5 MASSIMI EFFETTI PREVEDIBILI CAUSATI DAL FENOMENO	17
5.1 Simulazione di caduta massi 3D - Rockyfor3D	17
5.2 Simulazioni di caduta massi 2d – Rocfall.....	19
6 OPERE DI DIFESA E/O MISURE DI SICUREZZA	20
CONCLUSIONI.....	21
ALLEGATO - SIMULAZIONI DI CADUTA MASSI 3D.....	22
ALLEGATO - SIMULAZIONI DI CADUTA MASSI 2D.....	29

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 20 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 20

Individuazione di un parcheggio pubblico di progetto a servizio dell'abitato di Ponzolotti.

La Tabella 1 riporta l'oggetto della variante.

La Carta di sintesi della pericolosità classifica la zona oggetto di variazione come P3 (Figura 3). La penalità P3 è legata ad una pericolosità per pericolo di crolli 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 20			P3			F306/ Z602	AGRICOLA LOCALE (E109)	PARCHEGGIO DI PROGETTO (F306)/SPECIFICO RIF. NORM. (Art. 4.9)(Z602)



Figura 2 Area oggetto di variante

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 P3 (Figura 3).

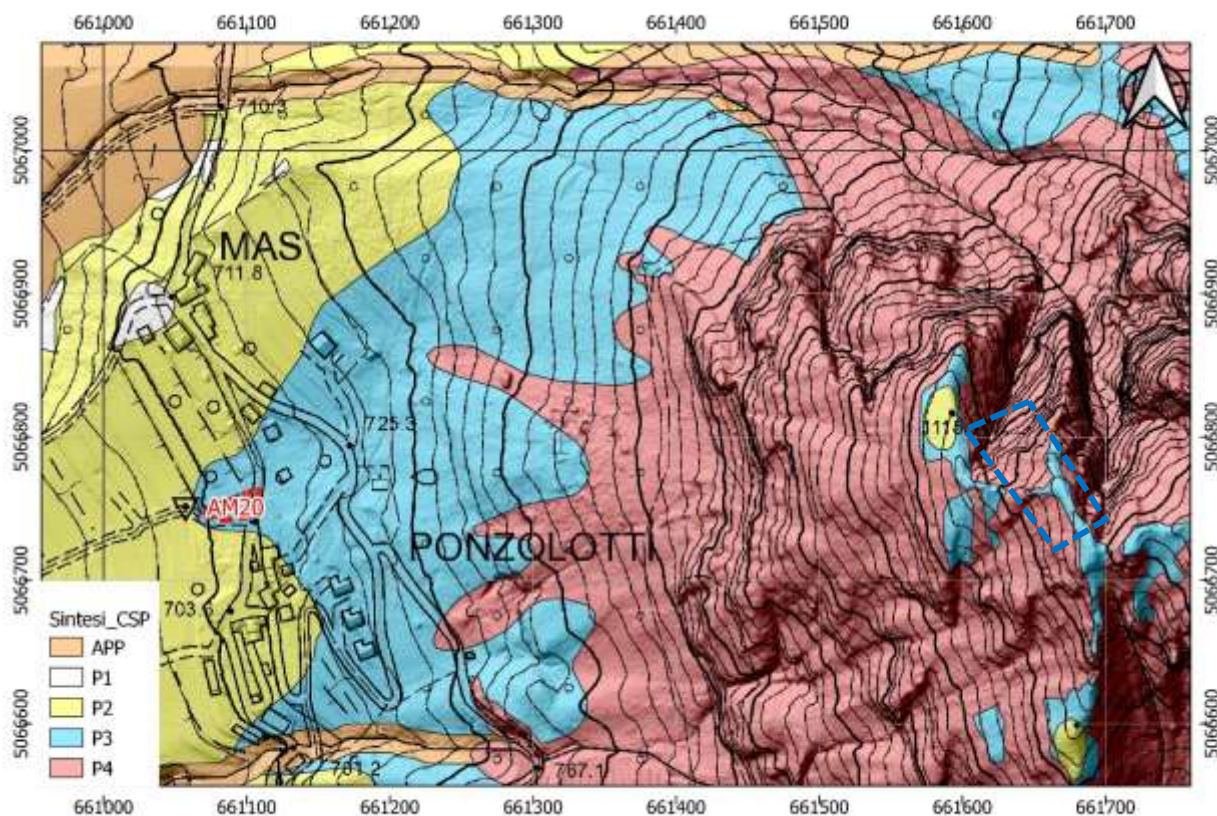


Figura 3 Carta di sintesi della Pericolosità

2.1 Carte della pericolosità

La carta di sintesi delle pericolosità di Figura 3 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 P3 è determinata principalmente da una pericolosità per crolli H3 (Figura 4).

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. 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 4.

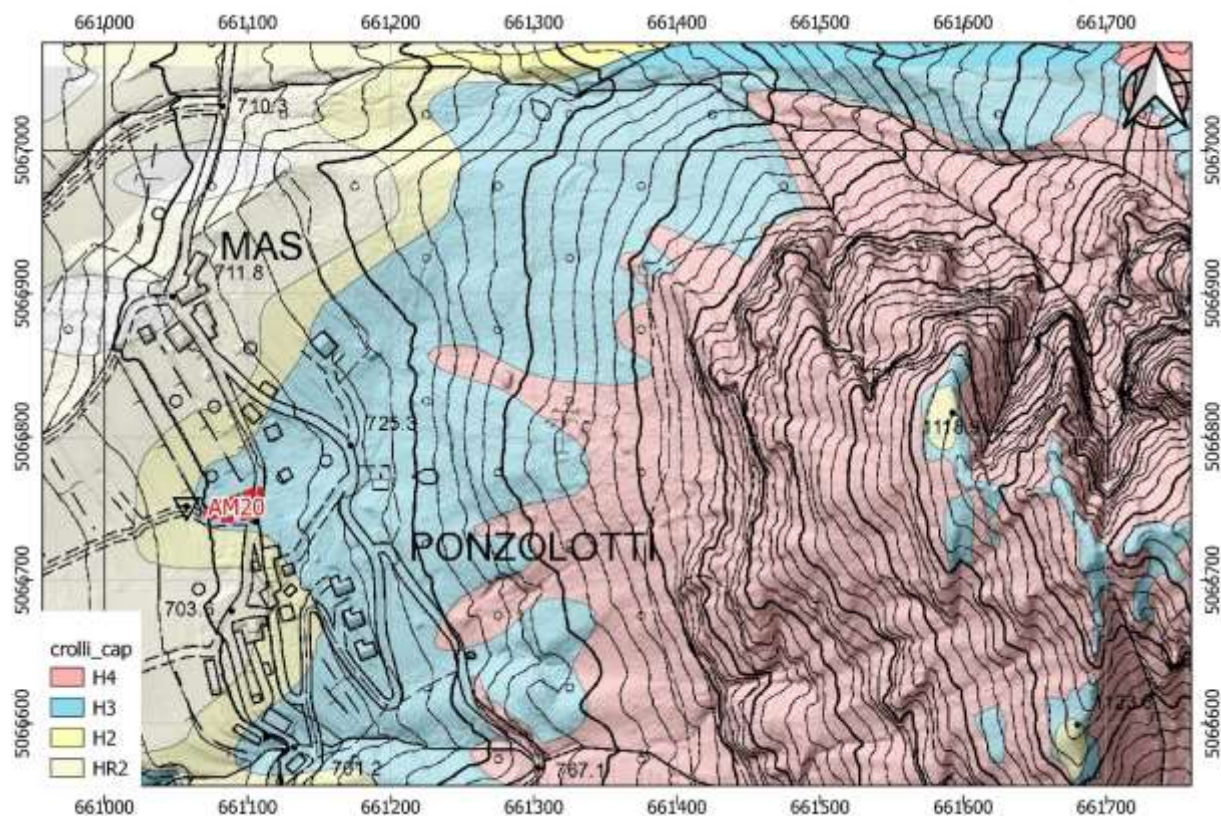
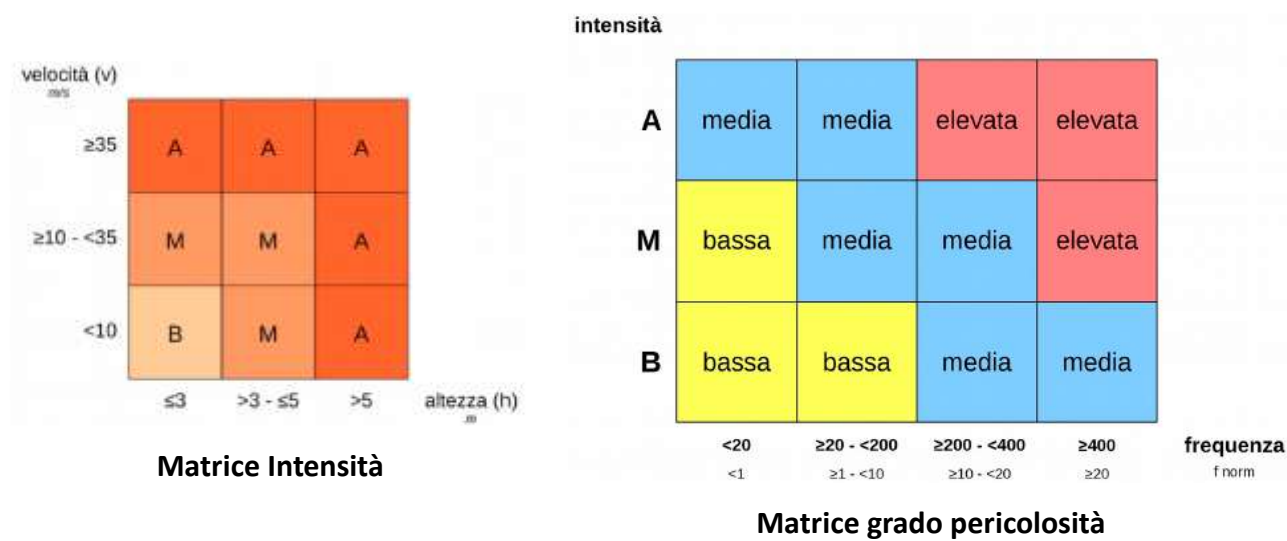


Figura 4 Carta di sintesi della Pericolosità - Carta della pericolosità da crolli

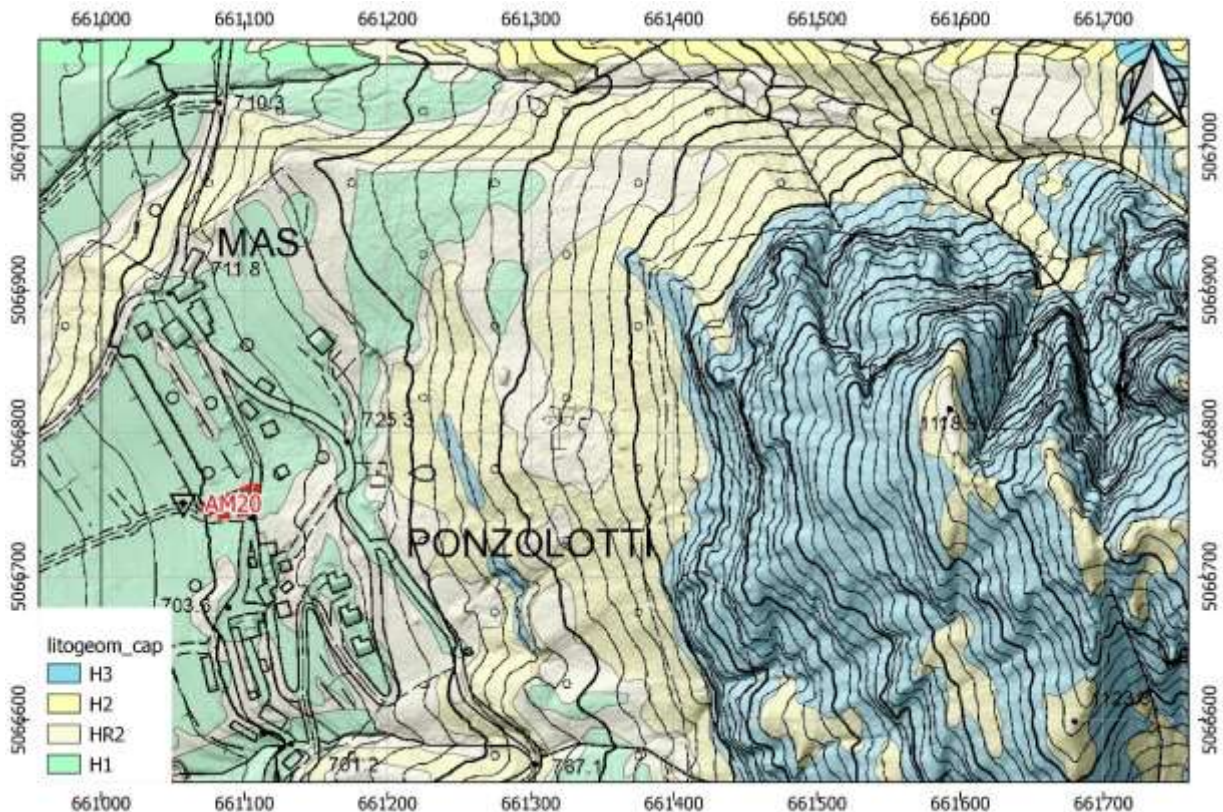


Figura 5 Carta di sintesi della Pericolosità - Carta della pericolosità litogeomorfologica

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:

- individuazione dei fenomeni attesi distinti secondo le categorie e tipologie riportate nelle carte della pericolosità (processi fluviali, torrentizi, movimenti di versante, valanghe, ecc.);
- 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;
- analisi della pericolosità mediante la definizione dell'intensità e della probabilità di ogni tipologia di fenomeno;
- descrizione dei massimi effetti prevedibili causati dal fenomeno/i;
- 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;
- 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;
- definizione di un cronoprogramma di esecuzione degli interventi di messa in sicurezza preordinati alla realizzazione delle opere;
- 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 parete sovrastanti l'abitato di Ponzolotti raggiunge la quota 1322 slm con un dislivello complessivo di circa 600 m dall'abitato stesso (Figura 6). Le fasce rocciose subverticali sono variamente dislocate lungo il versante ma risultano particolarmente sviluppate nella fascia al contatto con la falda detritica sottostante. Le altezze delle fasce subverticali sono mediamente inferiori ai 50m.

In parete la presenza di nicchie di distacco recenti è rara ma l'evidenza di qualche recente distacco è visibile.



Figura 6 Pareti sovrastanti l'area oggetto di studio

La falda detritica alla base è ben vegetata. E' visibile la traccia di qualche rotolamento recente ma nel complesso non è presente una falda detritica con alto grado di attività mentre si riconoscono gli effetti di distacchi molto antichi. (Figura 7).

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 8) mostra chiaramente la disposizione delle fasce rocciose; la falda detritica al piede della parete presenta pendenze tra i 20° ed i 30° che aumentano a 40° avvicinandosi alle fasce rocciose. In corrispondenza dell'abitato le pendenze risultano mediamente inferiori a 20°.



Figura 7 Stato della falda detritica al piede della parete

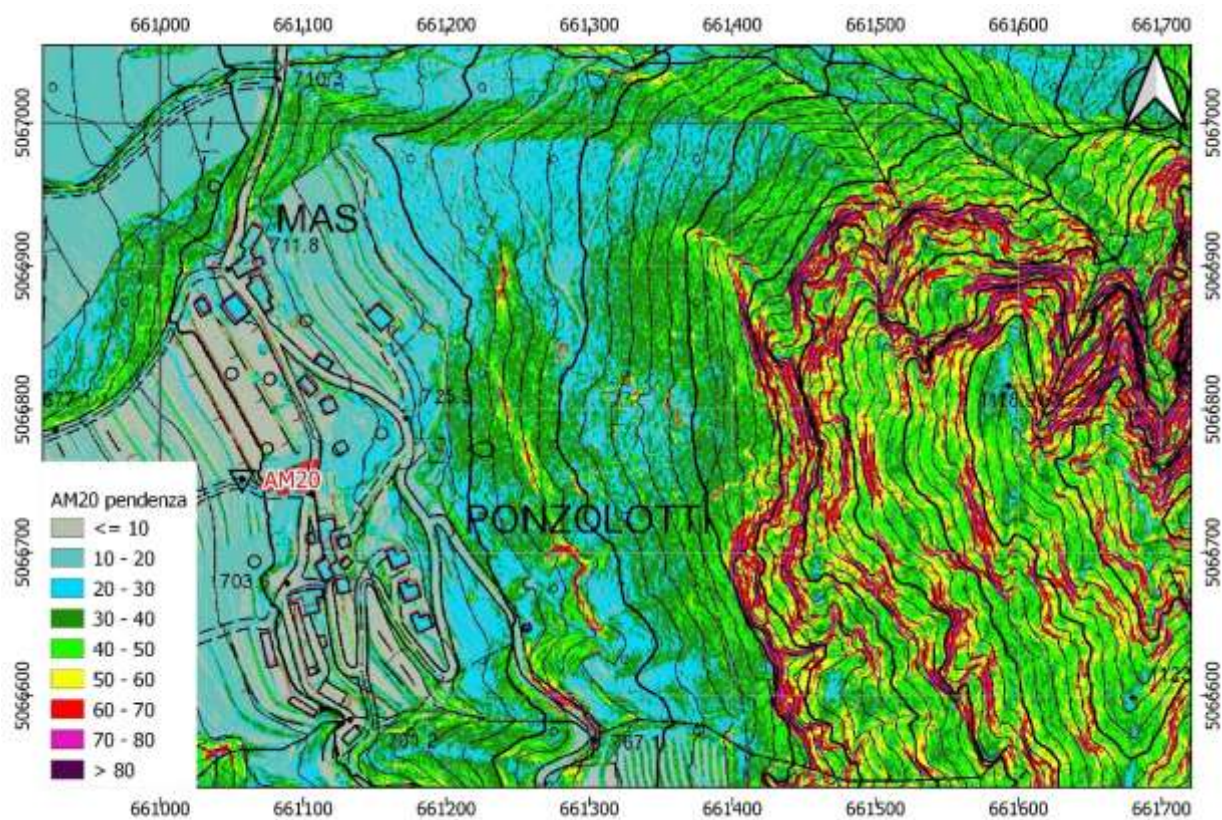


Figura 8 Andamento delle pendenze

4 ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ

4.1 Caratteri geologici e geomorfologico

L'ossatura dello sperone roccioso sovrastante l'abitato di Ponzolotti è costituita da Dolomie appartenenti alla DOLOMIA PRINCIPALE (DPR) del 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 (Figura 9).

I depositi alla base delle fasce rocciose sono costituiti da Depositi glaciali (till indifferenziato), costituiti da ghiaie e sabbie con blocchi, appartenenti al SINTEMA DEL GARDA (SGD) sovrapposti in prossimità delle pareti rocciose dai depositi di versante appartenenti al SINTEMA POSTGLACIALE ALPINO (PTG) costituiti da ghiaie e sabbie con blocchi spigolosi.

L'abitato di Ponzolotti poggia su Deposito di contatto glaciale appartenenti al SINTEMA DEL GARDA Subsintema di Ronchi (SGD22) costituito da diamicton massivi a supporto di matricelimoso, ghiaie grossolanamente stratificate, con livelli di sedimenti fini (sabbie e limi) intercalati.

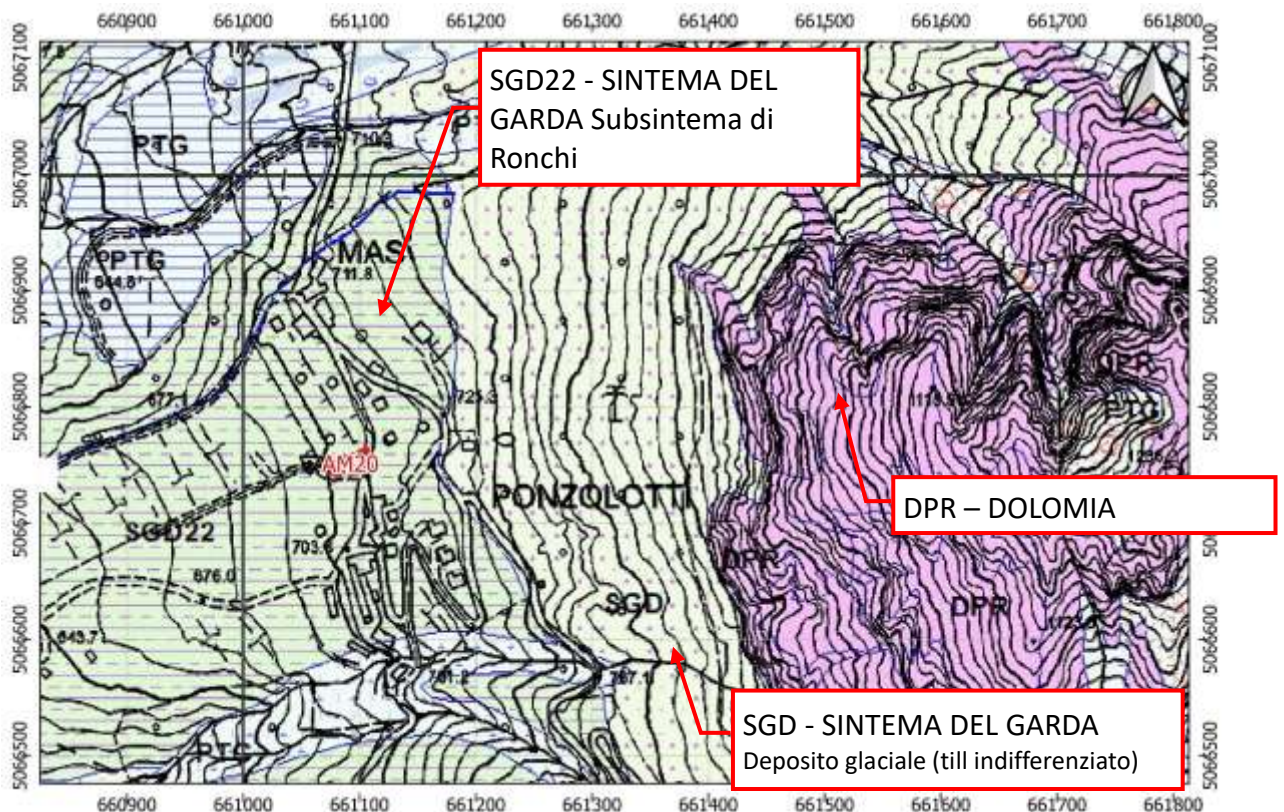


Figura 9 Estratto Carta Geologia – WegGis P.A.T.

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.

I principali sistemi di frattura caratterizzano l'intero settore in esame e pertanto si ritiene rappresentativa una sola proiezione stereografica che raggruppi le orientazioni delle discontinuità misurate (Figura 10).

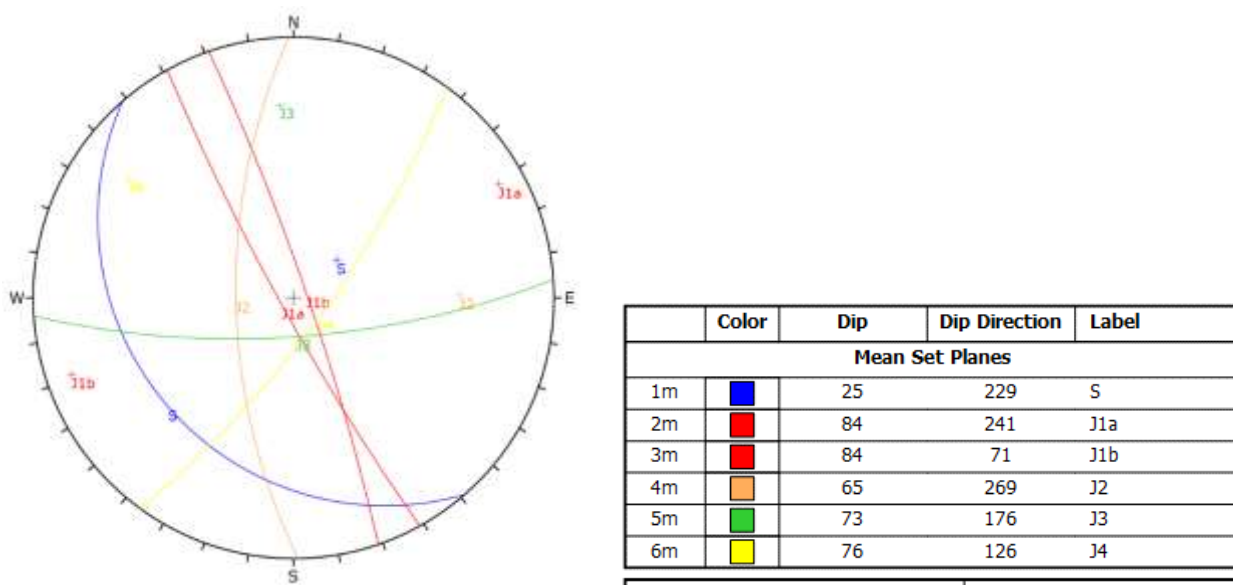


Figura 10 Proiezione stereografica

Nel settore in esame la stratificazione è rilevabile ma non manifesta una persistenza continua o quantomeno non risulta sempre evidente. Il fronte della parete principale si imposta lungo il sistema J1 mentre i sistemi J2 e J3 sono rappresentativi di piani di frattura a persistenza medio/bassa che individuano diedri e pilastri riconoscibili in varie posizioni.

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 (Jv) ed il volume del blocco (Vb) e valutato la qualità dell'ammasso roccioso attraverso il Geological Strength Index (G.S.I.) di Hoek nella formulazione di Cai et alii.

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

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 11).

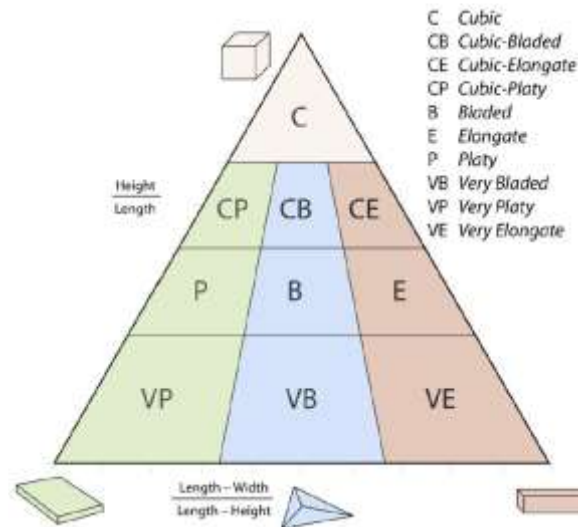


Figura 11 Diagramma della forma dei blocchi (Sneed e Folk, 1958; Graham e Midgley, 2000)

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 talc	0.75
Slickerided	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	Clear joints		
	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
	Coating or thin filling		
	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 presenta 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/VP. La spaziatura dei principali sistemi varia da decimetrica a metrica 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; localmente possono abbassarsi a 45. Maggiormente fratturati risultano alcuni canali in roccia impostati lungo i principali sistemi di frattura.

Due settori si ritengono rappresentativi e significativi per il settore in esame (Figura 12, Figura 13 e Figura 14).

Il settore A si imposta sul sistema J3 e presenta volumi aggettanti identificati dai giunti di strato e suddivisi lateralmente da J1, J2 e J4 (Figura 13).

Il settore B è rappresentativo di un avancorpo definito da pilastri e diedri e chiuso in sommità da una fasci aggettante (Figura 14).



Figura 12 Parete principale



Figura 13 Settore A



Figura 14 Settore B

La Figura 15 riporta la distribuzione del GSI per le diverse zone della parete.

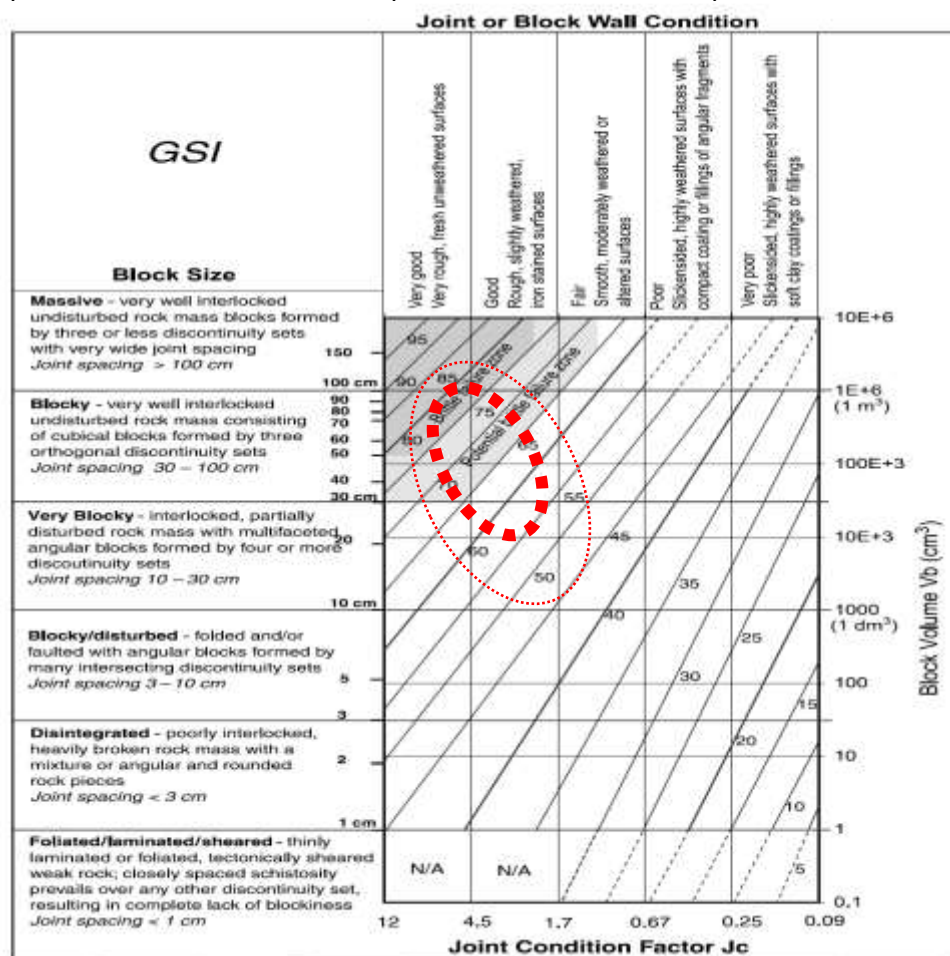


Figura 15 Classificazione ammasso roccioso: Geological Strength Index (GSI) - Cai M. & alii. (2004)

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:

- **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 della spaziatura dei giunti J1 e J2 che condizionano l'orientazione dell'intera parete. Elemento rappresentativo, seppure con cinematismi di scivolamento molteplici, è il settore B (Figura 16).

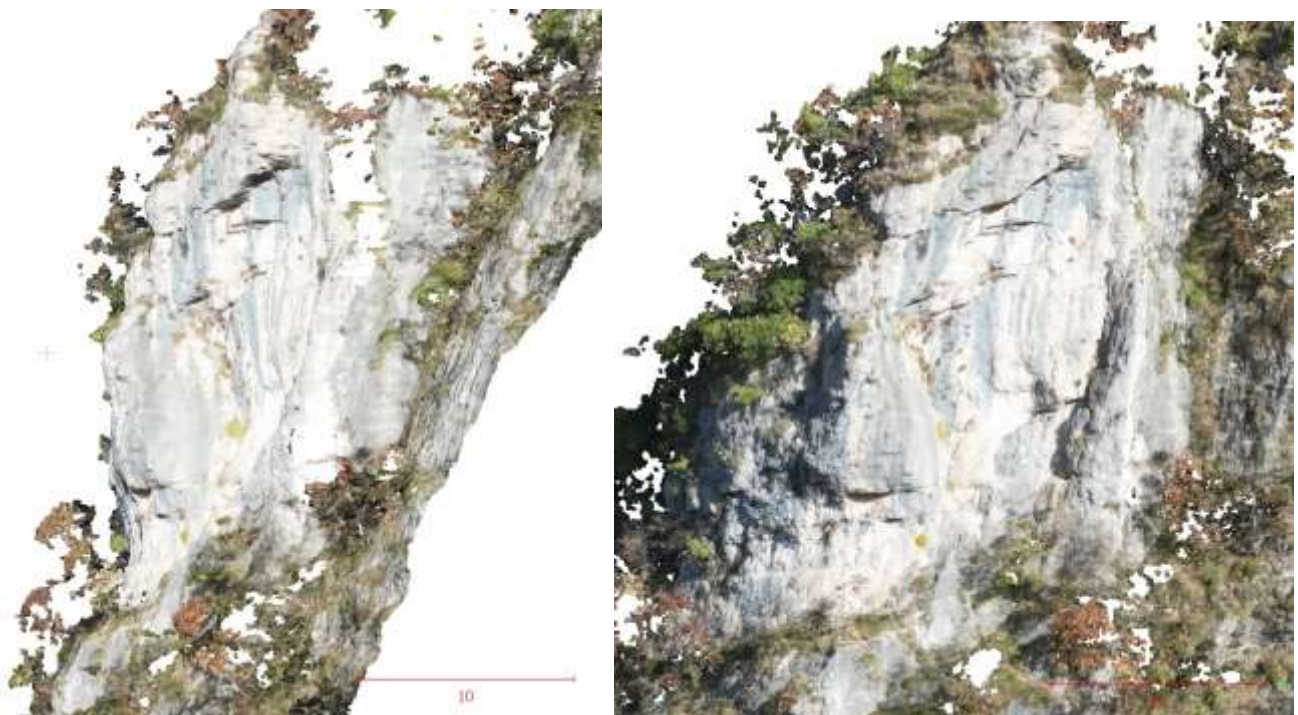


Figura 16 Settore B

- **Conci mobilizzabili per scivolamento a cuneo (*wedge slide*)**, sono determinati dallo scivolamento di blocchi lungo la linea di intersezione tra due piani. E' un fenomeno diffuso e condizionato dalla morfologia della parete e dai sistemi che in funzione della stesso orientazione si presentano a franappoggio.
- **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 che risulta poco diffusa ma che localmente individua situazioni potenzialmente critiche come al ciglio del settore A (Figura 17).



Figura 17 Settore A

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

Nel complesso al settore in esame si può indicare un valore di 3 che localmente può raggiungere il valore di 4.

4.7 Falda detritica

La falda detritica al piede della parete testimonia la presenza di antichi fenomeni di crollo, di dimensioni anche considerevoli, che si sono arrestati a breve distanza dalla parete stessa. Nella fascia medio bassa della falda detritica non si rilevano recenti testimonianze del passaggio di blocchi. Distacchi recenti si

sono arrestati lungo la falda detritica al piede della parete.
L'area oggetto di variante si trova a più di 300 metri dalla parete.

4.8 Definizione del volume di progetto

Volumi di dimensioni significative si rilevano solo in prossimità della parete. Lungo la fascia medio bassa del pendio le dimensioni dei blocchi sono inferiori a 1-2 m³.

Valutato lo stato della parete e le dimensioni dei blocchi lungo il pendio si ritiene rappresentativo un volume di progetto di 2 m³.

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: 1.5 m – d2: 1.3 m – d3: 1.0 m**
 - **Vol. min 1.2 m³ - Vol. medio 2.3 m³ - Vol. Max. 2.9 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 Rn

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 (Ø < ~10 cm); o suolo compatto medio con piccoli massi; o strade forestali	0,33	0,30 - 0,36
4	Detrito di versante (Ø > ~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

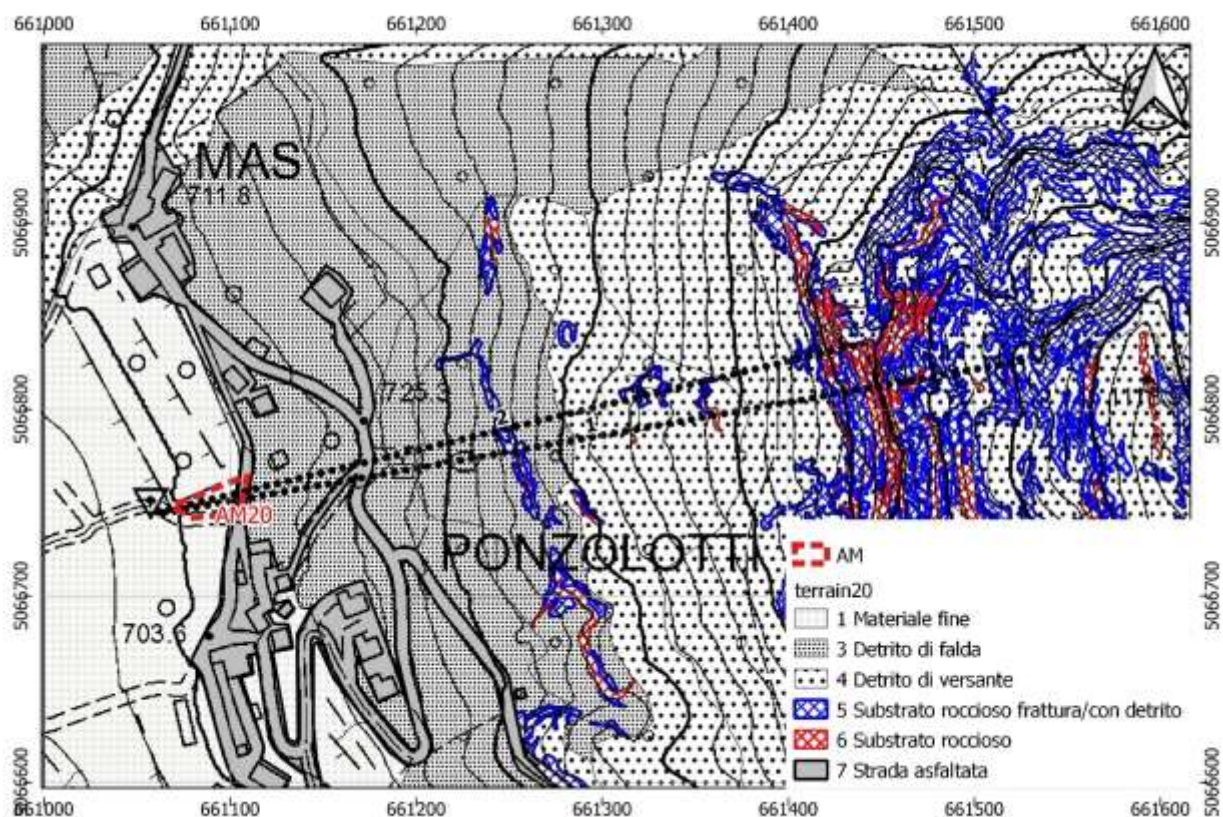


Figura 18 Uso del suolo

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:** $\pm 50\%$.
- **addizionale 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 riportate in allegato 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
- Reach Probability

5.1.3 Risultati

Le elaborazioni mostrano un ridotto numero di passaggi in corrispondenza dell'area oggetto di variante. In termini di intensità del fenomeno le altezze di rimbalzo hanno intensità bassa e le velocità hanno intensità media. Ne deriva che l'area oggetto di variante rientra in una pericolosità per crolli bassa.

5.2 Simulazioni di caduta massi 2d – Rocfall

Le simulazioni tridimensionali hanno evidenziato che la particella in esame ha una bassa probabilità di essere raggiunta da traiettorie di caduta massi. Al fine di valutare l'effettiva possibilità di raggiungimento e la eventuale necessità di opere di difesa si sono effettuate due simulazioni di caduta massi bidimensionali seguendo delle traiettorie rappresentative passanti rispettivamente per il settore A e B.

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: 2 m³ con σ 0.5 m³ (min.rel. 1.5 m³ - max rel. 4.5 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.

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

Le elaborazioni per ciascuna sezione riportate in allegato comprendono:

- l'andamento delle traiettorie ottenute dalla simulazione;
- l'istogramma della posizione di arresto dei massi;

I risultati delle elaborazioni mostrano come la zona oggetto di variante non venga raggiunta da alcuna traiettoria di simulazione.

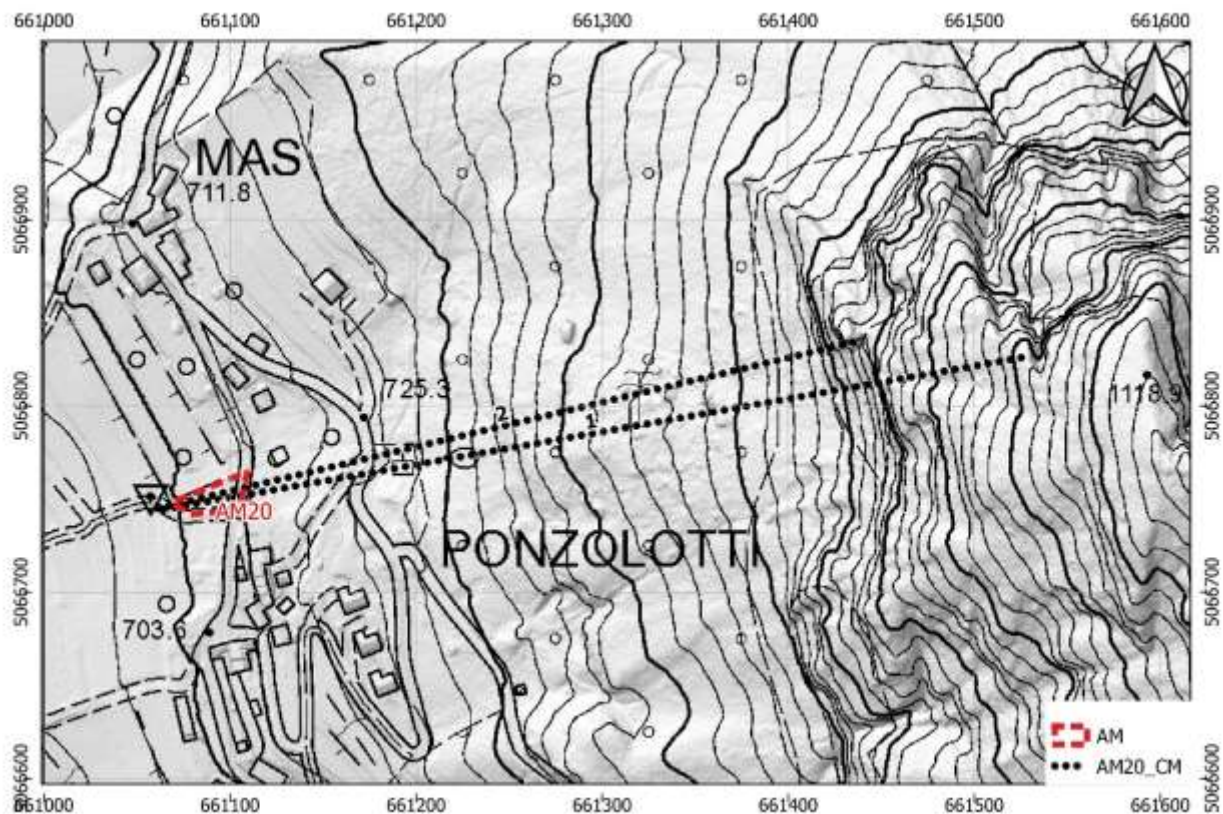


Figura 19 Traiettorie delle simulazioni di caduta massi

6 OPERE DI DIFESA E/O MISURE DI SICUREZZA

Le simulazioni tridimensionali hanno evidenziato che l'area oggetto di variante rientra in una pericolosità per crolli bassa e che sia il numero di passaggi che la reach probability mantengono valori bassi per un'ampia porzione di versante immediatamente sovrastante l'area oggetto di variante.

Le simulazioni bidimensionali, effettuate anche nell'ottica di valutare l'entità di eventuali interventi di difesa, mostrano come la zona oggetto di variante non venga raggiunta da alcuna traiettoria di simulazione.

In base alle considerazioni sopracitate non si ritengono necessarie opere di difesa nei confronti della variante AM20.

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 20** 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).

Le simulazioni tridimensionali hanno evidenziato che l'area oggetto di variante rientra in una pericolosità per crolli bassa e che sia il numero di passaggi che la reach probability mantengono valori bassi.

Le simulazioni bidimensionali, effettuate anche nell'ottica di valutare l'entità di eventuali interventi di difesa, mostrano come la zona oggetto di variante non venga raggiunta da alcuna traiettoria di simulazione.

In base alle considerazioni sopracitate non si ritengono necessarie opere di difesa nei confronti della variante AM20.

Sulla base delle considerazioni sopra espresse si ritiene che la trasformazione urbanistica prevista dalla Variante Amministrazione AM 20 sia compatibile con il livello di pericolosità da crolli.

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

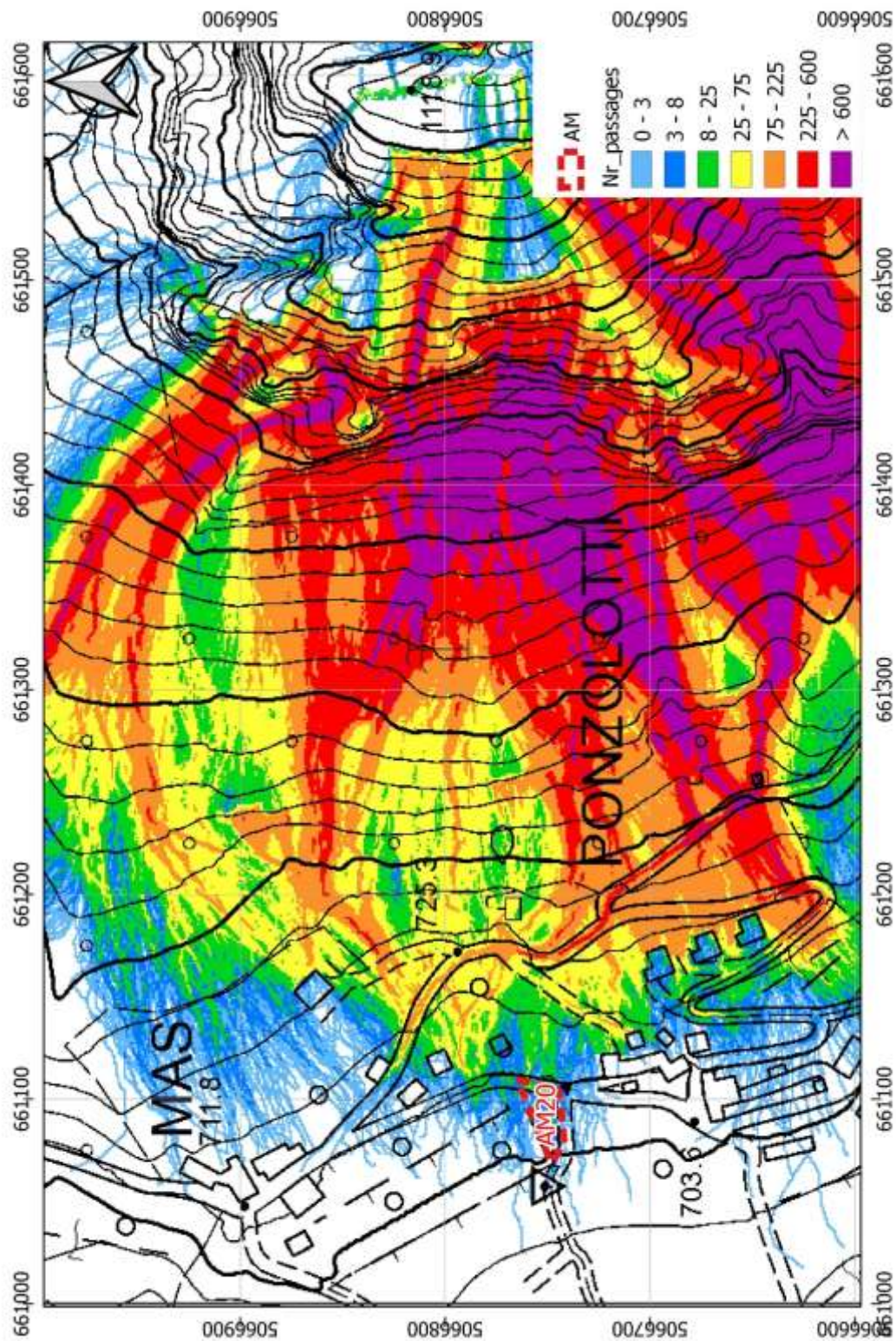


Figura 20 Numero di passaggi

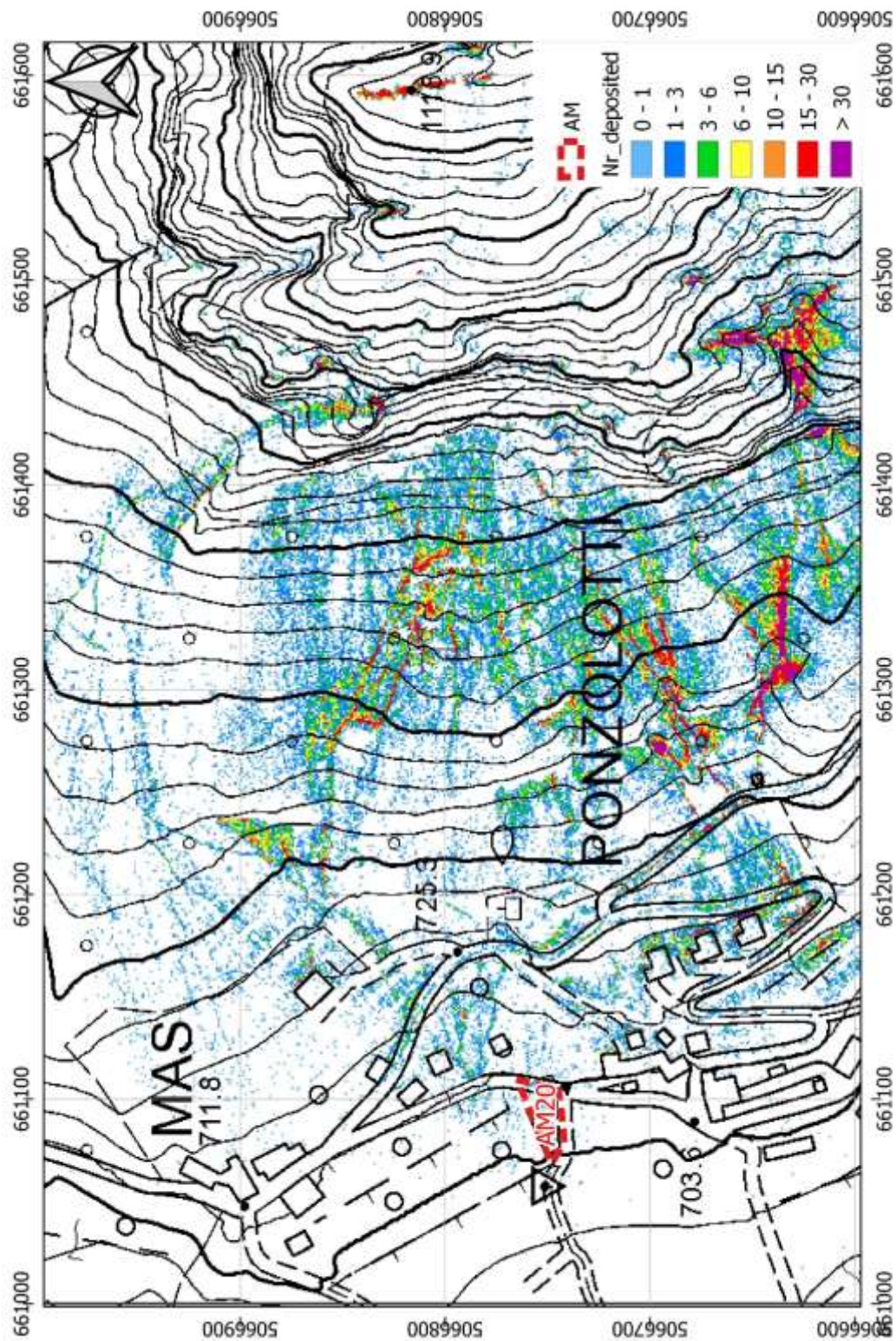


Figura 21 Numero di blocchi fermati in ogni cella

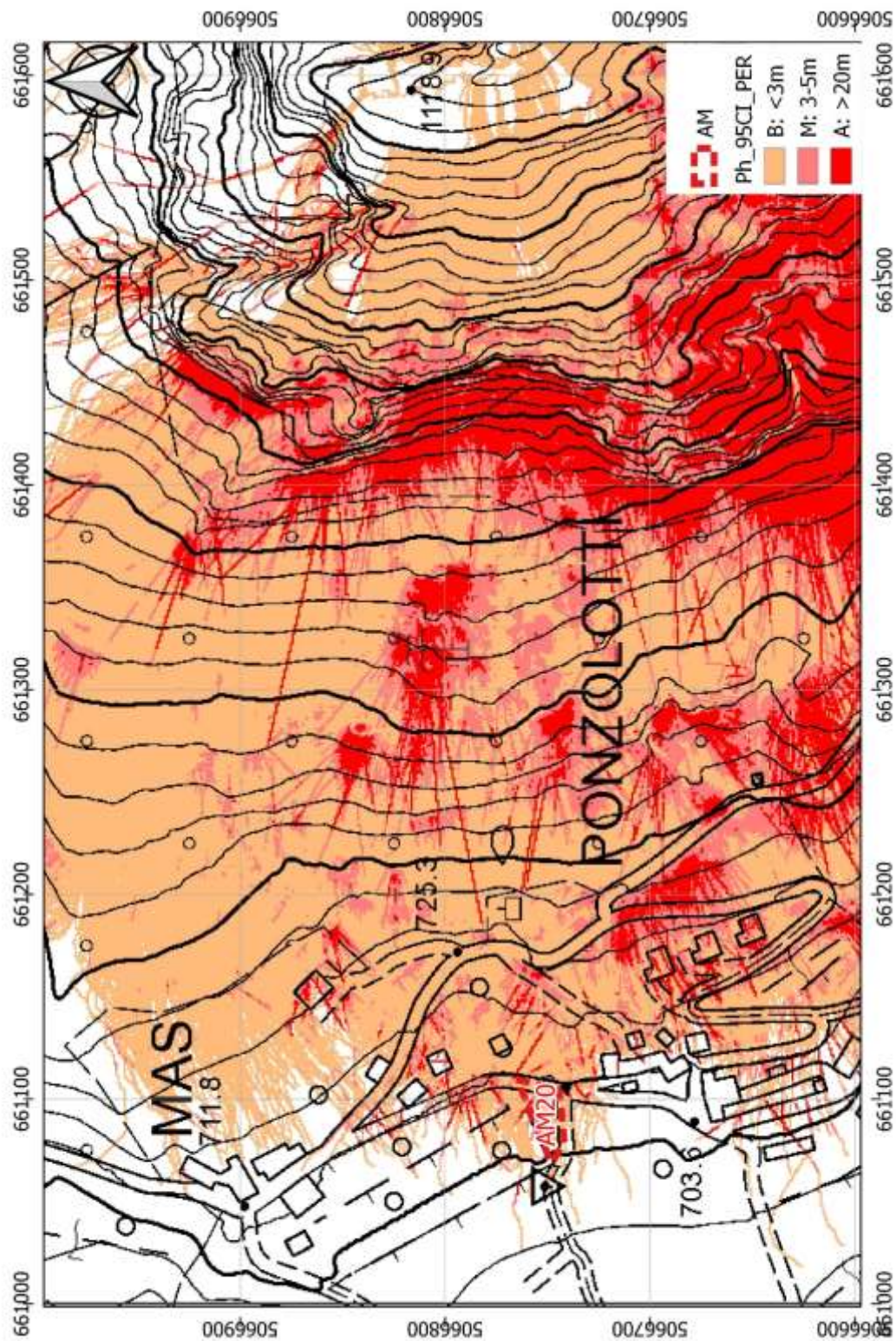


Figura 22 Altezze di rimbalzo – matrice per valutare l'intensità del fenomeno

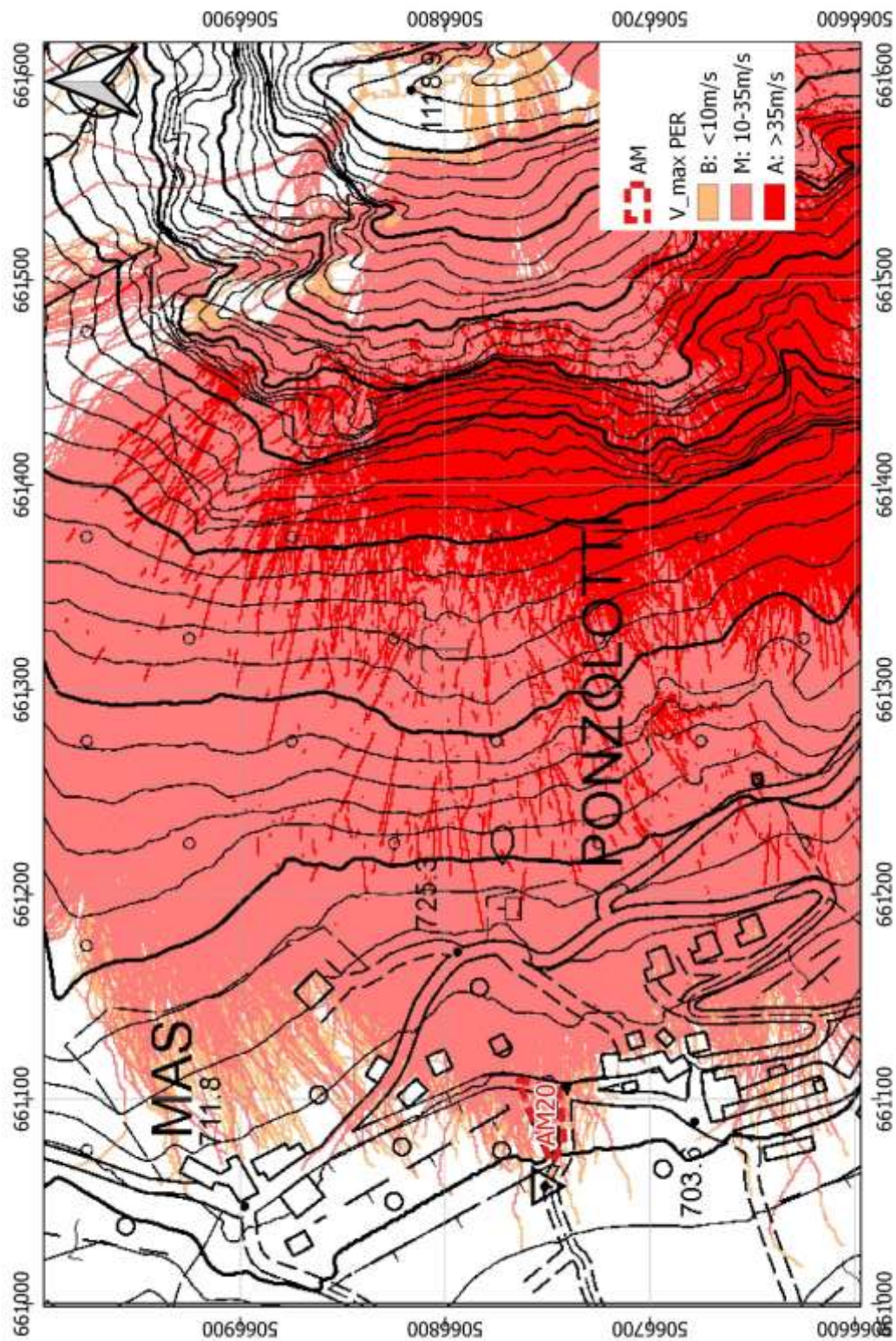


Figura 23 Velocità – matrice per valutare l'intensità del fenomeno

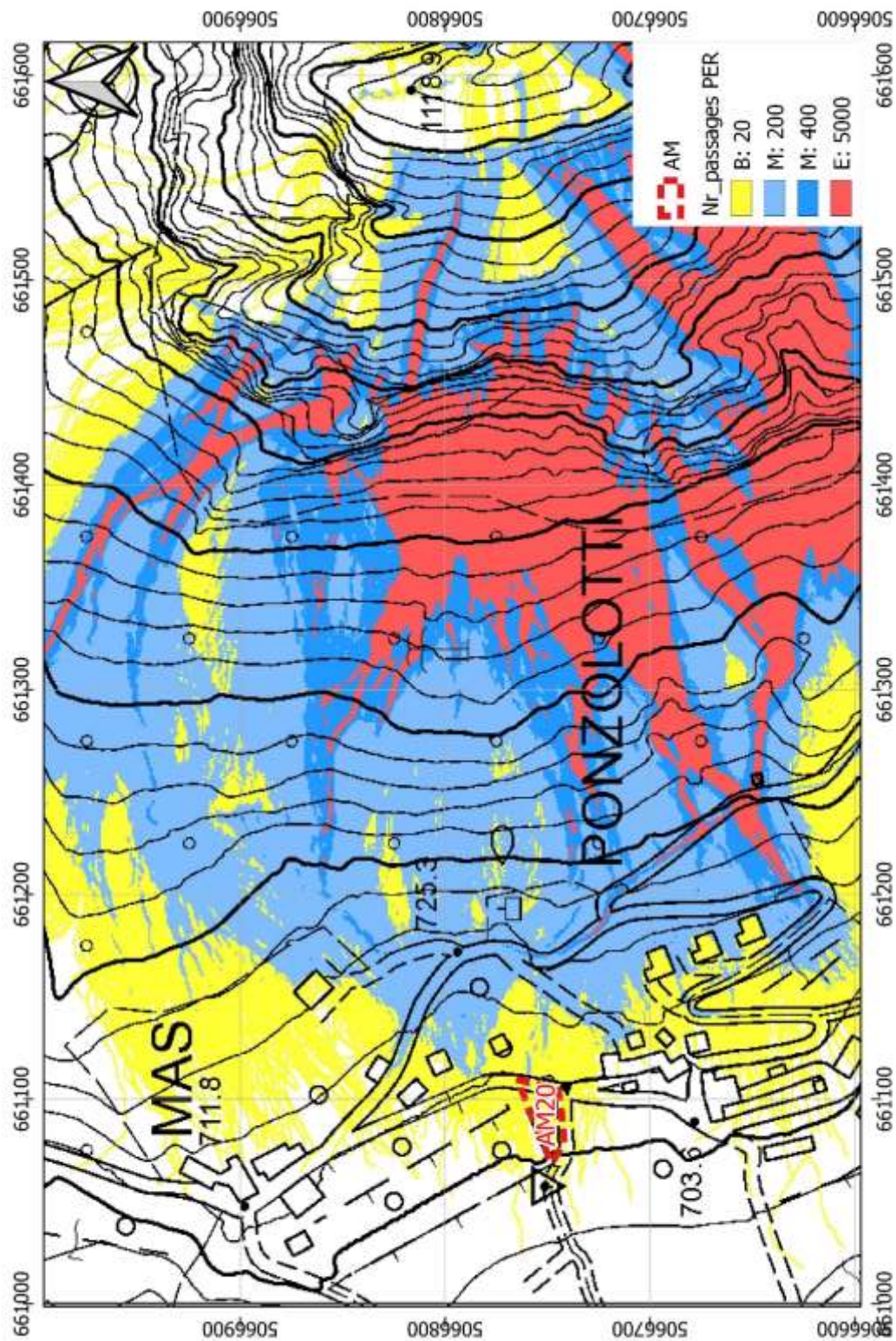


Figura 24 Grado di pericolosità con intensità media

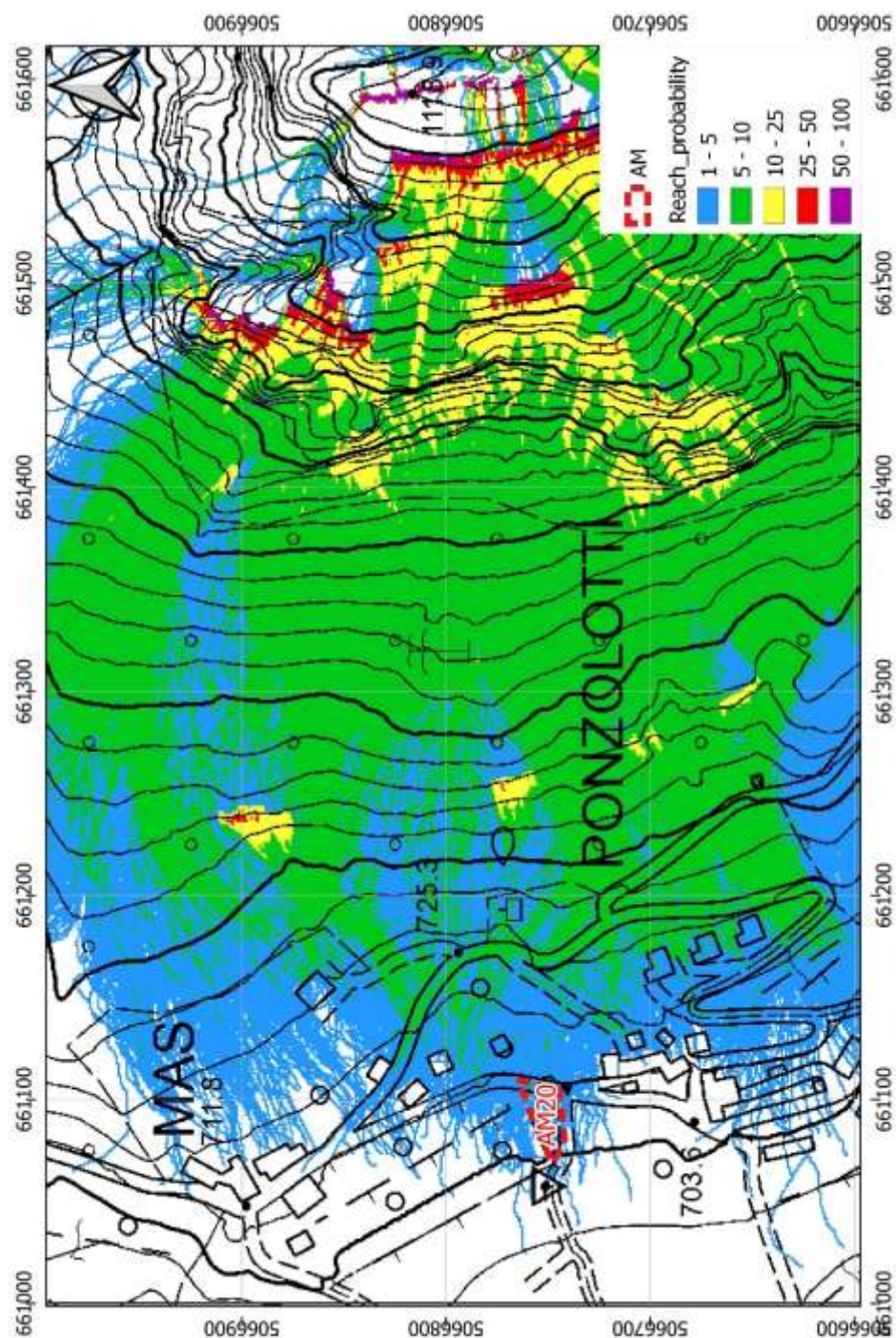
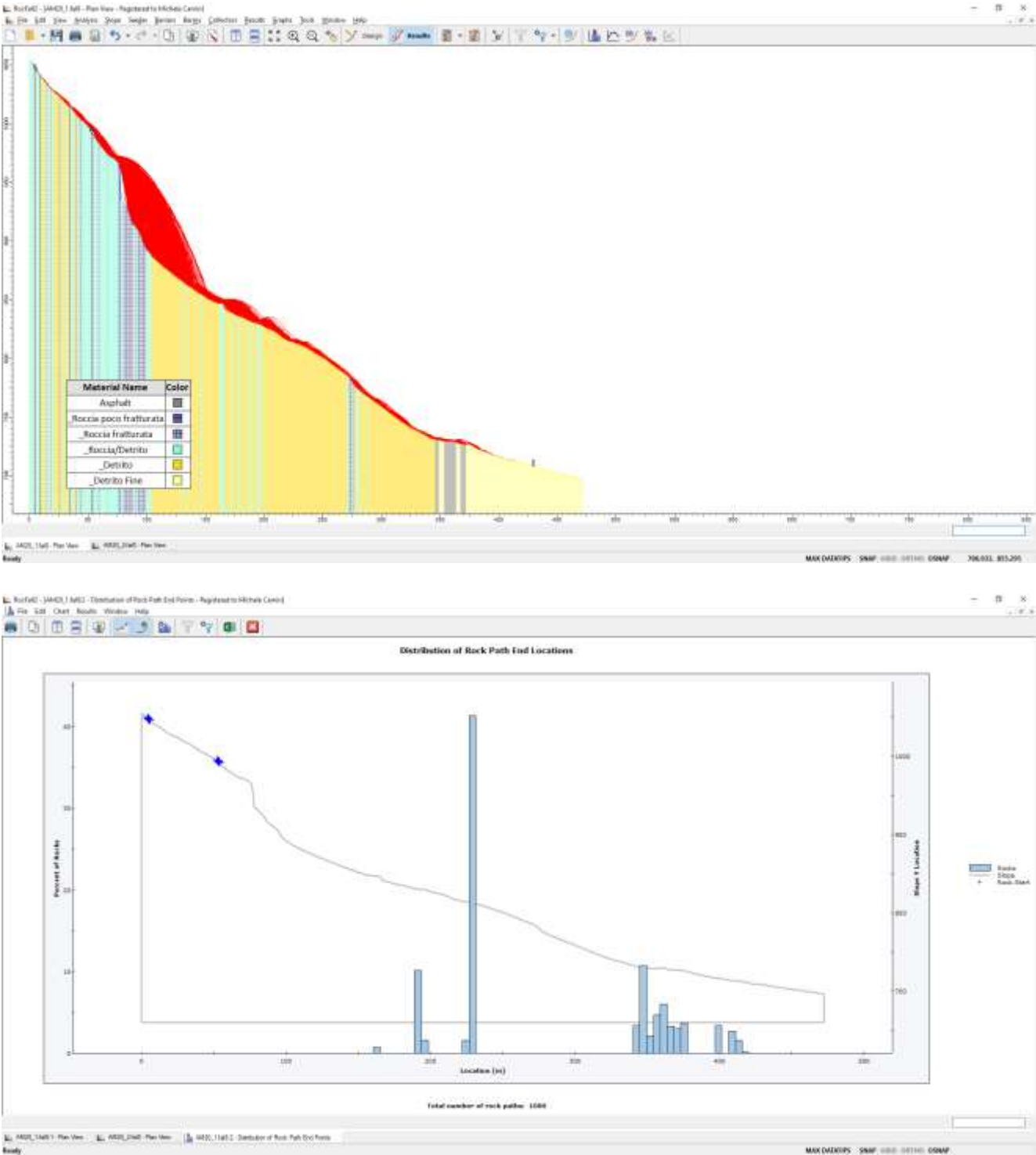


Figura 25 Reach probability

ALLEGATO - SIMULAZIONI DI CADUTA MASSI 2D

Sezione 1



STUDIO DI COMPATIBILITA'

Variente Amministrazione AM 20

