

COMUNI DI GAZZANIGA E VERTOVA
PROVINCIA DI BERGAMO

COMMITTENTE
Amministrazione comunale di Gazzaniga (BG)

**PIANO DI RISCHIO IDROGEOLOGICO
DELLA VALLE VERTOVA**

RELAZIONE

Geol. Marco Maggi



Ing. Alberto Frassoni



Maggio 2023
Aggiornamento ottobre 2024

INDICE

1.	PREMESSA	3
2.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	4
2.1	Assetto strutturale	4
2.2	Assetto stratigrafico	6
2.3	Geomorfologia.....	9
3.	CONOSCENZE PREGRESSE DEL QUADRO DEL DISSESTO	11
4.	PROCEDURA DI VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA.....	21
4.1	Pericolosità delle aree di potenziale distacco - Metodo Buwal	21
4.1.1	Procedura.....	21
4.2	Pericolosità delle aree di potenziale transito - Plugin QPROTO.....	26
4.2.1	Parametri di input	28
5.	VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' DELLE AREE DI POTENZIALE DISTACCO MASSI	32
5.1	Primo macrosettore	32
5.2	Secondo macrosettore	60
6.	VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' DELLE AREE DI POTENZIALE TRANSITO DEI MASSI	86
7.	VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' COMPLESSIVA E DEL RISCHIO.....	88
7.1	Definizione della pericolosità.....	88
7.2	Valutazione del rischio.....	90
7.3	Considerazioni finali	91
8.	STIMA DI MASSIMA DEGLI INTERVENTI DI PROTEZIONE DAI FENOMENI DI CADUTA MASSI	94
9.	AREE A MAGGIOR RISCHIO - INFORMAZIONE ED ALLERTAMENTO.....	95
9.1	Informazioni da fornire ai frequentatori	95
9.1.1	Proprietari di edifici e fondi	96
9.1.2	Tecnici e società	96
9.1.3	Turisti ed escursionisti - Cartellonistica.....	96
9.2	Allertamento ed inibizione al transito	97
10.	ALLEGATO 1: ANALISI DELLA DINAMICA DI CADUTA MASSI.....	99
10.1	Criteri di calcolo utilizzati dal codice di calcolo RocFall	99
10.1.1	Algoritmo di proiezione.....	100
10.1.2	Algoritmo di scorrimento.....	101
10.1.2.1	Scorrimento lungo il tratto discendente	101
10.1.2.2	Scorrimento lungo un tratto in risalita	102
10.2	Risultati delle simulazioni.....	102
11.	ALLEGATO 2: BIBLIOGRAFIA	150

ALLEGATI CARTOGRAFICI

Tavola 1	Corografia	Scala 1:5.000
Tavola 2	Carta di inquadramento geologico e strutturale	Scala 1:10.000
Tavola 3	Carta delle pendenze (in gradi)	Scala 1:5.000
Tavola 4	Carta dell'esposizione dei versanti	Scala 1:5.000
Tavola 5	Fenomeni di caduta massi: pericolosità delle aree di distacco secondo il metodo Buwal	Scala 1:5.000
Tavola 6	Fenomeni di caduta massi: aree di distacco e di transito	Scala 1:5.000
Tavola 7	Ulteriori fenomeni di distacco	Scala 1:5.000
Tavola 8	Carta della pericolosità	Scala 1:5.000
Tavola 9	Carta della destinazione d'uso dei suoli agricoli e forestali (aggiornamento DUSAF 6.0, 2018)	Scala 1:5.000
Tavola 10	Carta del rischio idrogeologico	Scala 1:5.000
Tavola 11	Ubicazione di massima degli interventi proposti	Scala 1:2.000
Tavola 12	Schemi di intervento	Scala 1:200 / varie
Tavola 13	Ubicazione cartellonistica di pericolo	Scala 1:5.000

Gestione dei diritti (Rights Management)



CC – BY – NC – SA

REVISIONE	DATA	OGGETTO
00	Maggio 2023	Emissione
01	Giugno 2024	Inserimento nuovo capitolo 9 e tavola 13
02	Ottobre 2024	Aggiornamento relazione
03		

Estratto da metadata standard ISO15836 / Dublin Core (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>)

Il presente documento è costituito da 150 pagine.

La responsabilità per l'utilizzo dei dati contenuti nel presente documento per qualsiasi altra finalità ricade esclusivamente sull'utilizzatore dei dati stessi.

1. PREMESSA

Il presente documento, redatto su incarico dell'Amministrazione Comunale di Gazzaniga con sede in via Roma 35, descrive le attività svolte per la predisposizione del Piano di Rischio Idrogeologico relativamente al fondovalle e ad alcuni settori del versante idrografico destro e sinistro della Valle Vertova.

L'area in esame, ricadente nei territori comunali di Gazzaniga e Vertova, si estende per circa 2,7 km² per una lunghezza dell'ordine dei 3,5 km ed ampiezza variabili (si veda Figura 1).

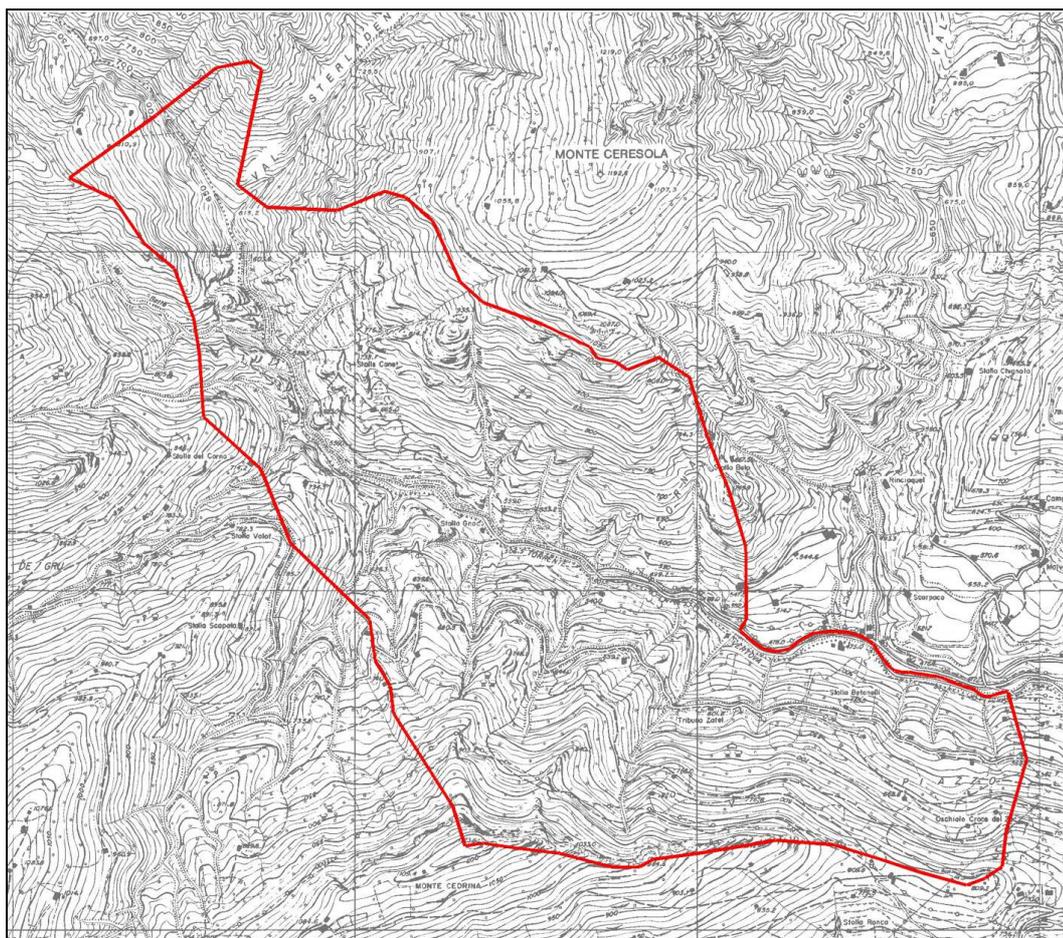


Figura 1: Ubicazione su CTRL dell'area di studio.

La Tavola 1 presenta un inquadramento dell'area di studio.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

2.1 ASSETTO STRUTTURALE

Le Alpi Orobiche sono caratterizzate da uno stile deformativo definito "*thin skin tectonics*", tipico delle zone marginali delle catene prossime agli avamposti, in cui manca un'impronta metamorfica simile a quelle delle Alpi Centrali. Le strutture, di tipo fragile, sono rappresentate da faglie e sovrascorrimenti talora accompagnate da fasce di cataclasi, mentre la presenza di miloniti in alcune zone del basamento cristallino testimonia una deformazione più duttile delle porzioni più profonde dello stesso.

L'assetto strutturale principale della catena è dato da *thrust* prevalentemente sud-vergenti, che dividono la catena in fasce disposte E-W. Procedendo da N verso S, le unità strutturali che costituiscono tali fasce sono le seguenti:

- ◆ *Thrust orobiche*: compresi tra la Linea Insubrica e la Linea Orobica, sono costituiti dal basamento metamorfico ercinico, scagliato al suo interno ed accavallato sulle successioni di copertura permo-triassiche.
- ◆ *Anticlinali orobiche*: strutture anticlinali, con disposizione *en échelon* destra, comprese tra la Linea Orobica e la Linea Valtorta-Valcanale; sono costituite dalle coperture permo-scitiche e dal sottostante basamento cristallino.
- ◆ *Fascia mediana delle unità alloctone*: edificio strutturale con immersione regionale verso S, formato da *thrust* con geometria "*foreland dipping duplex*"; le diverse unità sono costituite dalla successione triassica.
- ◆ *Settore frontale*: fascio di pieghe probabilmente associate a *thrust* sepolti ("*fault propagation folding*"), dislocate da strutture trascorrenti NE-SW; sono costituite prevalentemente dalle coperture giurassico-cretaciche.

L'area in esame si colloca nella "Fascia mediana delle unità alloctone". Queste formano un edificio alloctono, localmente caratterizzato dalla duplice o triplice ripetizione delle unità strutturali, accavallatesi tra loro lungo superfici di scorrimento prevalentemente inclinate verso sud ed impostate lungo gli orizzonti evaporitici e le carniolate delle Formazioni di San Giovanni Bianco e della Carniola di Bovegno. A grande scala, l'edificio che ne deriva può essere schematizzato come un insieme di embrici immergenti verso la pianura. L'immersione verso meridione, legata al basculamento prodotto a scala regionale dalla deformazione della fascia delle Anticlinali Orobiche, comporta l'emergenza del solo margine settentrionale delle unità alloctone in posizione inferiore. I fronti meridionali di tali unità sono infatti ricoperti dalle unità alloctone sovrastanti.

All'interno della "Fascia mediana delle unità alloctone" la Faglia di Clusone-Antea, una superficie di scollamento principale sviluppatasi lungo i livelli incompetenti della parte sommitale della Formazione di San Giovanni Bianco, funge da limite strutturale, separando la sequenza delle "*Unità strutturali intermedie*", costituite dalle formazioni che giungono sino al Carnico superiore, affioranti a settentrione, dalle "*Unità strutturali superiori*", costituite dalle formazioni triassiche più recenti,

affioranti a meridione.

La Val Vertova è incisa in una delle "Unità strutturali superiori", denominata "Unità tettonica M. Alben – Pizzo Formico – San Pellegrino" (Figura 2).

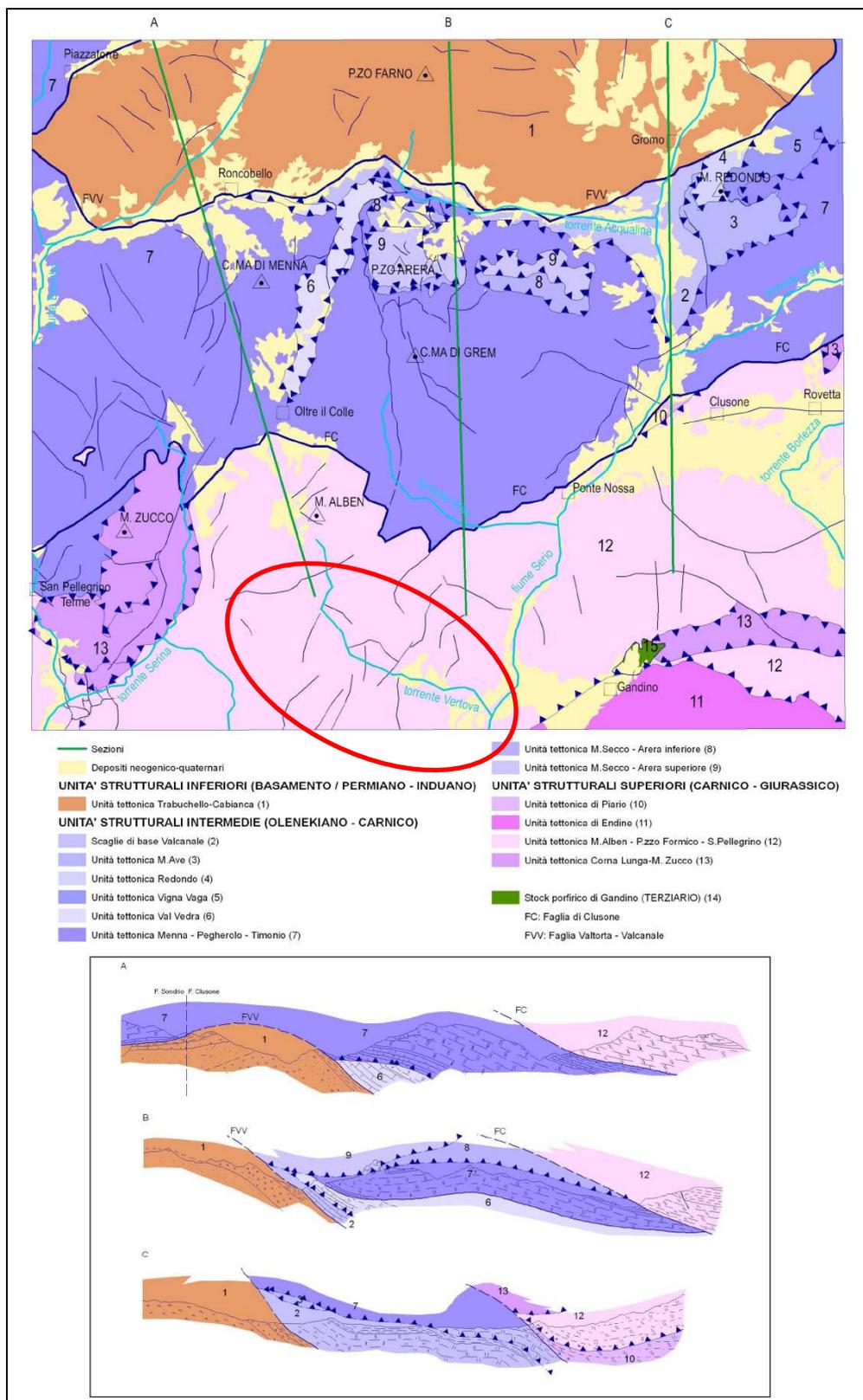


Figura 2: Schema strutturale del Foglio 097 "Clusone" della Carta geologica d'Italia in scala 1:50.000 (Jadoul ET ALII, 2012) con evidenziata l'area in esame (ellisse rossa).

Tale unità tettonica è quella più diffusa arealmente nelle "Unità strutturali superiori", e nell'area in esame è costituita dalle formazioni che dal Carnico superiore – Norico inferiore/medio (Dolomia Principale) giungono sino all'inizio del Giurassico (Calcere di Sedrina). Essa è interessata da numerosi sistemi di faglie minori, riferibili a tre principali eventi deformativi, dei quali l'ultimo connesso alle spinte orientate in prevalenza da N verso S della fase compressiva alpina. In questa fase le strutture relative alle fasi precedenti, di tipo distensivo ed orientate prevalentemente N-S e NNW-SSE, vengono in parte riattivate come faglie trascorrenti, causando la formazione di geometrie complesse. Oltre a queste, la compressione alpina ha causato anche dislocazioni NNE-SSW per accomodare i movimenti di traslazione verso S dell'unità tettonica.

Tra le faglie secondarie che dislocano l'unità tettonica in questione, nell'area in esame quella più importante è la Linea del M. Cavlera (nota in alcuni lavori anche come *Faglia di Vertova*), che si sviluppa dalla parte bassa del versante destro della Val Vertova sino allo spartiacque vallivo tra Cima Cavlera e M. Cavlera, mettendo a contatto le successioni dolomitiche noriche (Dolomia Principale e Dolomie Zonate) affioranti a Ovest, con la successione terrigeno-carbonatica norico-retica (Argillite di Riva di Solto e Calcere di Zu) affioranti ad Est. Tale lineamento sembra esaurirsi a Sud, in corrispondenza del M. Cedrina. Esso rappresenta una importante soglia che controlla lo spessore delle unità retiche: ad Est di tale linea la successione norico-retica raggiunge uno spessore complessivo di circa 900 m, mentre ad Ovest (zona M. Poieto) è molto più ridotto. I dati disponibili non consentono di ricostruire se questa faglia abbia avuto un'attività durante il Retico o se la differenza di spessore della successione retica sia legata semplicemente alla presenza di un alto norico ed un adiacente bacino gradualmente riempiti dai sedimenti retici.

È da segnalare anche la Linea del M. Ceresola, una faglia inversa di direzione WNW-ESE, che attraversa il versante sud dell'omonimo rilievo. Questa faglia rappresenta la riattivazione, avvenuta in età alpina, di un lineamento del Triassico superiore che costituisce il limite nord del Bacino di Selvino, separando una successione di piattaforma interna (Dolomia Principale), a nord, da un potente deposito di brecce e megabrecce di pendio a sud ("*brecce sommitali della Dolomia Principale*" Auct., attualmente riattribuite alle Dolomie Zonate). Tale assetto fa sì che il lato sud del M. Ceresola sia costituito da un versante isostrutturale inclinato (direzione di immersione circa SSW) verso la Val Vertova.

2.2 ASSETTO STRATIGRAFICO

L'assetto stratigrafico, unitamente a dati strutturali (faglie, giaciture della stratificazione) ed alcuni dei principali elementi geomorfologici (scarpate di frana, trincee di rilascio gravitativo, ecc.) è riportato nella Carta di inquadramento geologico di Tavola 02, ricavata dai rilievi originali (in scala 1:10.000) per la realizzazione del Foglio 097 Clusone della nuova Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, integrati con sopralluoghi in sito e fotointerpretazione.

Il *substrato roccioso* è costituito dalle formazioni descritte di seguito, dalla più antica alla più recente.

Dolomia Principale (Carnico superiore - Norico inferiore/medio)

L'unità nell'area in esame è costituita da due associazioni di litofacies principali che, tra loro, presentano spesso rapporti eteropici.

Le litofacies tipiche, depostesi in un ambiente di piattaforma carbonatica interna, sono costituite da dolomie grigie, subtidali, in banchi sino a metrici, e dolomie in spessi cicli peritidali, localmente con brecciole intraformazionali alla base.

L'altra associazione di litofacies, depostasi nella zona di margine e pendio superiore, di raccordo tra piattaforma interna e bacino, è costituita da brecce e megabrecce massive, caotiche, di spessore da metrico a plurimetrico, con clasti eterometrici sia delle facies di piattaforma interna, che di Dolomie Zonate.

Dolomie Zonate (Norico medio)

Anche questa unità è costituita da due associazioni di litofacies, una stratificata e l'altra brecciata.

Le facies stratificate, tipiche, sono costituite da alternanze di calcareniti – calcisiltiti dolomitizzate grigio scure, in strati sino a pluridecimetrici piano – paralleli, con clasti millimetrici sia chiari che scuri, e con clasti pelitici. Le facies medio – grossolane possono presentare granoclassazione, laminazioni parallele, oblique, *ripple* di corrente e superfici erosive (torbiditi). Presentano anche intercalazioni di ritmiti grigio nerastre, di spessore centimetrico, caratterizzate da alternanze di laminazioni parallele chiare e scure (da cui il nome dell'unità), in cui possono essere presenti intercalazioni, sino a 10 cm di spessore, di marne dolomitiche scure finemente laminate, ossidi di ferro con colore di alterazione bruno – rossastro. Localmente sono presenti lenti di paraconglomerati.

Le facies a brecce prevalenti sono costituite da corpi lentiformi di brecce poligeniche, con clasti sia di Dolomia Principale, sia delle facies tipiche della stessa unità, spesso a supporto di matrice, in banchi amalgamati con base erosionale.

Calcare di Zorzino (Norico medio)

E' costituito in prevalenza da una successione monotona di calcari micritici neri, fetidi, in strati piano – paralleli di spessore da centimetrico a pluridecimetrico, con sottili intercalazioni di marne nere, più diffuse nella parte superiore dove si associano anche ritmiti millimetrico – centimetriche di calcari marnosi e calcilutiti nere lastroidi, ricchi in sostanza organica e localmente fossiliferi.

Argillite di Riva di Solto (Norico superiore)

L'unità è caratterizzata da due litozone, non cartografabili separatamente nell'area in esame: l'inferiore è prevalentemente argilloso – marnosa, la superiore è costituita da alternanze argilliti – marne e calcilutiti nerastre.

La litozona inferiore è caratterizzata da argilliti e argilliti marnose nere, molto compattate, fogliettate, organizzate in banchi planari di spessore plurimetrico. Ad esse si intercalano orizzonti marnoso – calcarei, fetidi, a volte con laminazioni parallele, deformate (*slumping*), ritmiti e patina d'alterazione ocrea, in singoli strati decimetrici a superficie ondulata, spesso lenticolari, per compattazione.

La litozona superiore è caratterizzata da una evidente ciclicità delle litofacies (cicli in prevalenza asimmetrici di spessore sino a decametrico), evidenziata dalle intercalazioni di calcari marnosi e micritici. Ciascun ciclo è caratterizzato da una porzione inferiore argillitico – marnosa; una porzione mediana a contenuto di carbonato crescente, organizzata in strati decimetrici piano – paralleli e una superiore quasi completamente costituita da calcilutiti ben stratificate. Sul fondovalle, alla base dell'unità sono presenti alcuni orizzonti lenticolari con *slumping* che passano a brecce intraformazionali.

Calcarea di Zu (Retico)

Anche questa unità è suddivisibile in diverse litozone (da due a quattro a seconda degli Autori), ma nell'area in esame è stata oggetto solo di una bipartizione (litozona inferiore e superiore).

La litozona inferiore è costituita da prevalenti calcari micritici grigio scuri, raramente bioclastici e calcarenitici, e calcari marnosi da grigi a nerastri, in strati decimetrici piano – paralleli o in banchi plurimetrici costituiti da strati amalgamati. A tali litofacies si associano intercalazioni, di spessore metrico, di marne e calcari marnosi localmente fossiliferi e, più raramente, argilliti marnose nerastre. La sommità della litozona inferiore è caratterizzata da un orizzonte pluridecamentrico prevalentemente carbonatico costituito da intercalazioni di calcareniti grigie e grigio scure, bioclastiche, calcari fossiliferi e piccole biocostruzioni a coralli associate a calcilutiti bioturbate.

La litozona superiore è costituita da alternanze di marne grigio ocracee associate superiormente con calcari marnosi e poi da prevalenti calcari micritici e calcisiltiti, spesso con laminazioni parallele, ondulate ed oblique, e con brecciole intraformazionali. La sommità della litozona superiore ritorna prevalentemente calcarea e molto fossilifera, caratterizzata da calcari micritici con intercalazioni calcarenitiche grigie, oolitiche e/o bioclastiche, associate a calcari con coralli.

Formazione dell'Albenza (Hettangiano inferiore)

Le litofacies di questa unità, nota nella letteratura precedente come *Dolomia a Conchodon*, sono prevalentemente calcaree, localmente dolomitizzate, di colore grigio-nocciola, in strati e banchi amalgamati. Alla base prevalgono le calcareniti oolitiche con laminazioni oblique, in lenti con superfici erosionali e con noduli di selce nocciola, mentre superiormente si alternano prevalenti calcari nocciola fini, localmente laminati, con livelletti di brecciole intraformazionali e qualche intercalazione di calcareniti fini.

Calcarea di Sedrina (Hettangiano medio-superiore)

L'unità è costituita da calcari grigi e grigio-scuro in strati decimetrici con superfici di strato leggermente ondulate per la presenza di sottili giunti marnosi e stilolitici, prevalgono nettamente le calcilutiti con dispersi noduli di selce. Alla base è presente (Cima di Cavlera) un livello fossilifero con lamellibranchi silicizzati ed alla sommità intercalazioni di calcareniti ("Banco a Brachiopodi" *Auct.*).

Filoni andesitici (Terziario)

Si tratta di filoni stratoconcordanti e discordanti, a composizione andesitica e spesso con struttura porfirica, generalmente molto alterati. La loro messa in posto probabilmente è successiva, o al massimo contemporanea, alla messa in posto delle principali unità tettoniche delle Prealpi bergamasche (fase Eo-alpina) e probabilmente precede di pochi milioni di anni l'intrusione dell'Adamello.

Relativamente ai *depositi superficiali*, la cartografia CARG li riferisce alle due seguenti unità.

Gruppo di Prato Grande (Pleistocene medio)

Si tratta di una nuova unità istituita nell'ambito del Progetto CARG, che raggruppa depositi di versante, macereti e depositi di frana non cementati, alterati dopo la sedimentazione, e localizzati all'interno delle valli.

Sintema del Po (Pleistocene superiore - Olocene)

Racchiude tutti i depositi (indipendentemente dall'agente deposizionale) formati posteriormente all'ultimo evento glaciale pleistocenico. Nell'area in esame è costituito da vari tipi di depositi: di versante, di frana (sia a matrice che a blocchi prevalenti), di debris-flow, alluvionali e colluviali.

2.3 GEOMORFOLOGIA

Per quanto concerne la geomorfologia, quella dell'area in esame è tipica delle aree montane non glacializzate, con versanti coperti da discontinue coltri di alterazione soggette a rimobilizzazione, ed è fortemente condizionata dall'assetto litologico-strutturale. La morfologia dei versanti è dovuta all'azione dei vari agenti morfogenetici attivi dall'emersione della catena ad oggi, ed in particolare all'azione delle acque di scorrimento superficiale e della gravità. Il modellamento è stato influenzato essenzialmente dalla diversa competenza dei litotipi affioranti e dal loro assetto stratigrafico-strutturale. I contrasti morfologici sono molto marcati, e sono dovuti non solo alla diversa natura dei litotipi ma anche alla loro giacitura ed alla presenza di strutture tettoniche che mettono a contatto litofacies con caratteristiche di resistenza molto differenti (ad esempio la Linea del M. Cavlera).

Nei settori dove affiorano litotipi esclusivamente carbonatici, in particolare quelli massivi, il paesaggio è decisamente aspro, con pareti anche strapiombanti, rocce talora anche diffusamente fratturate e numerose forme carsiche. Nei settori dove invece prevalgono le alternanze carbonatico-argilloso-marnose, più tenere, plastiche e maggiormente erodibili, le morfologie sono più dolci.

L'azione delle acque di scorrimento superficiale nelle litofacies più competenti ha portato all'incisione di profonde forre sia lungo l'asta valliva principale che lungo le sue tributarie laterali, molte delle quali hanno un andamento rettilineo poiché impostate lungo faglie o fratture notevolmente persistenti.

Anche la circolazione idrica sotterranea ha contribuito, seppur in maniera più limitata al modellamento del territorio, e ne sono testimonianza le forme carsiche

(inghiottitoi, piccole doline e grotte) sviluppate nelle litofacies carbonatiche.

La gravità è un altro degli agenti morfogenetici che ha contribuito al modellamento del territorio in esame, e che tuttora riveste un ruolo significativo nella sua evoluzione morfologica locale. Le forme più tipiche connesse a tale azione sono le frane, e nel territorio in esame sono particolarmente diffuse le evidenze di dissesti antichi di varia dimensione sviluppatasi sia nel substrato roccioso che nei depositi di copertura. Di alcuni di tali dissesti è ben riconoscibile l'accumulo mentre la nicchia di distacco è stata rimodellata e non appare particolarmente evidente. Vi sono inoltre porzioni di versante con evidenze di collasso gravitativo, quali trincee di distensione e contropendenze, generalmente impostate lungo le principali direttrici di fratturazione o dislocazione della compagine rocciosa, che stanno ad indicare un assestamento verso il basso durante le varie fasi di approfondimento della valle.

Relativamente ai crolli in roccia, anche questi sono ampiamente diffusi ed interessano tuttora le pareti rocciose o le porzioni di versante molto acclivi. In prevalenza si tratta di fenomeni di caduta di singoli massi che, tuttavia, possono avere dimensioni ciclopiche, come testimoniato da vari blocchi che occupano l'alveo del Torrente Vertova nel tratto inforrato.

Per quanto riguarda i depositi di copertura, le frane sono localizzate sui pendii più ripidi. Prevalentemente si tratta di fenomeni di tipo *soil – slip*, di piccole dimensioni, in cui svolge un ruolo fondamentale la presenza di acqua. Essi si innescano o riattivano in concomitanza sia di forti piogge, sia di precipitazioni non particolarmente intense ma perduranti, sia nel periodo del disgelo.

Altre forme legate alla gravità riconosciute sono le falde detritiche, sia quelle molto antiche e cementate, che formano piastroni clinostratificati, sia quelle formatesi più recentemente (periodo post – glaciale), sciolte e solo in parte pedogenizzate e colonizzate dalla vegetazione.

3. CONOSCENZE PREGRESSE DEL QUADRO DEL DISSESTO

Nella letteratura scientifica non vi sono pubblicazioni specifiche su dissesti avvenuti in Val Vertova in passato, ma alcune informazioni si ricavano dagli studi e dalle monografie dedicati agli eventi alluvionali nell'Italia Settentrionale, ed in particolare da "I dissesti prodotti dal nubifragio del 10 luglio 1972 nella bassa Val Seriana" (GOVI M & MORTARA G., Boll. Ass. Min. Subalpina, Anno XVIII, n.1-2, 1981). In tale studio è allegata una carta, ricavata da rilievi sul terreno con il supporto di immagini aerofotografiche, che comprende la parte bassa della Val Vertova e riporta un numero molto elevato di dissesti avvenuti a seguito dell'evento alluvionale (Figura 3).

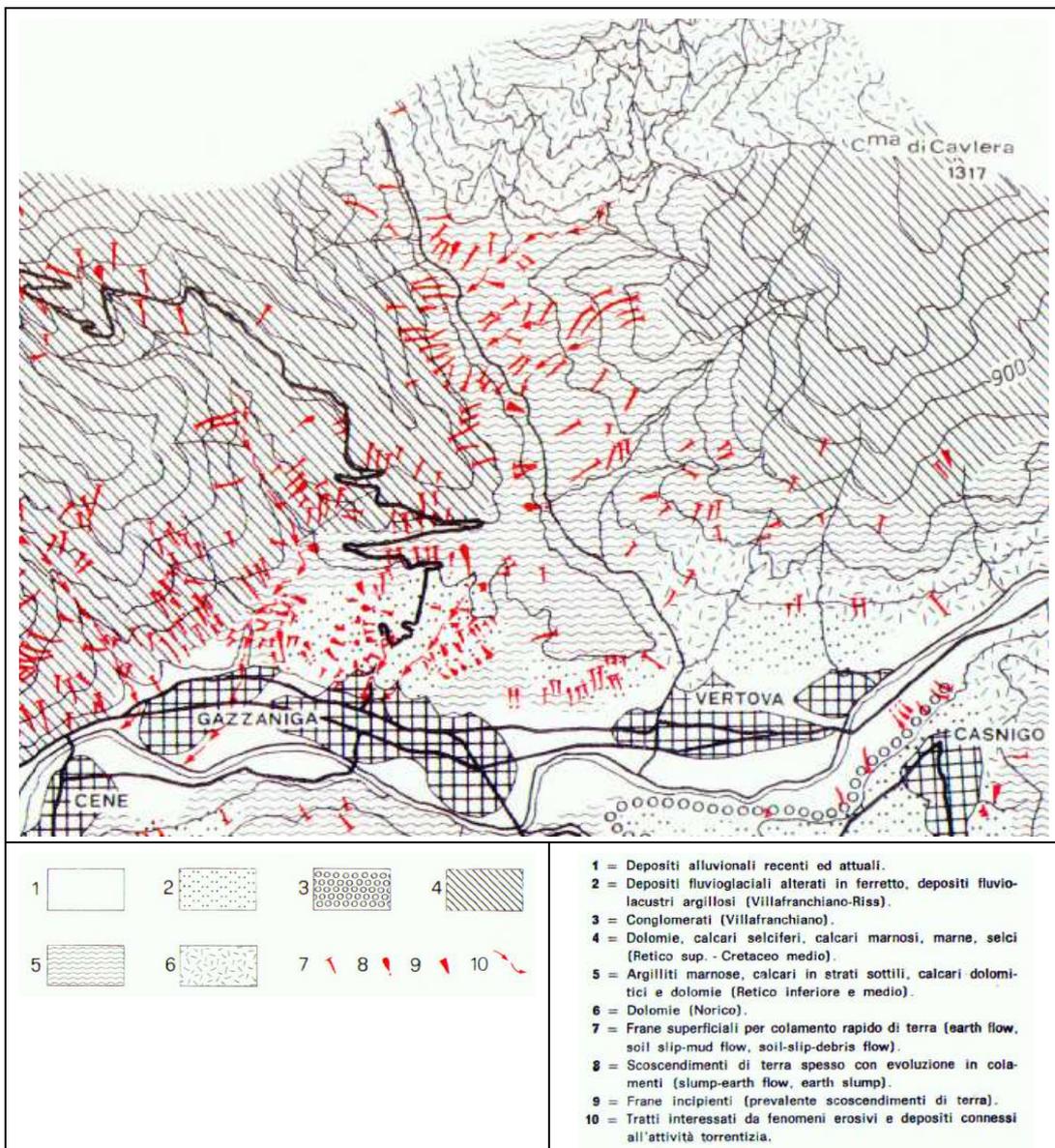


Figura 3: "Stralcio della Carta dei dissesti prodotti dall'evento del 10 luglio 1972" e relativa legenda (GOVI M & MORTARA G., 1981)

Dalla descrizione riportata si evince che i dissesti avevano dimensioni limitate e si innescarono quasi esclusivamente nei terreni sciolti della copertura eluviale, detri-

tica e colluviale, coinvolgendone uno spessore modesto. Dalla carta la tipologia di dissesto più diffusa fu quella delle frane superficiali per colamento rapido di terra (*earth flow, soil slip-mud flow, soil slip-debris flow*), seguite da scoscendimenti di terra spesso con evoluzione in colamenti (*slump-earth flow, earth slump*) e dall'apertura di fenditure nel terreno. In sinistra idrografica lungo alcuni corsi d'acqua si innescarono fenomeni erosivi che alimentarono notevolmente il trasporto solido.

Un quadro generale sulla presenza e distribuzione dei dissesti è dato dal Progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia) nel quale sono stati integrati i dati e gli studi raccolti da Regione Lombardia a partire dal 1998 (un prototipo di inventario iniziò ad essere utilizzato un decennio prima, a seguito dell'alluvione del luglio-agosto 1987) (Figura 4).

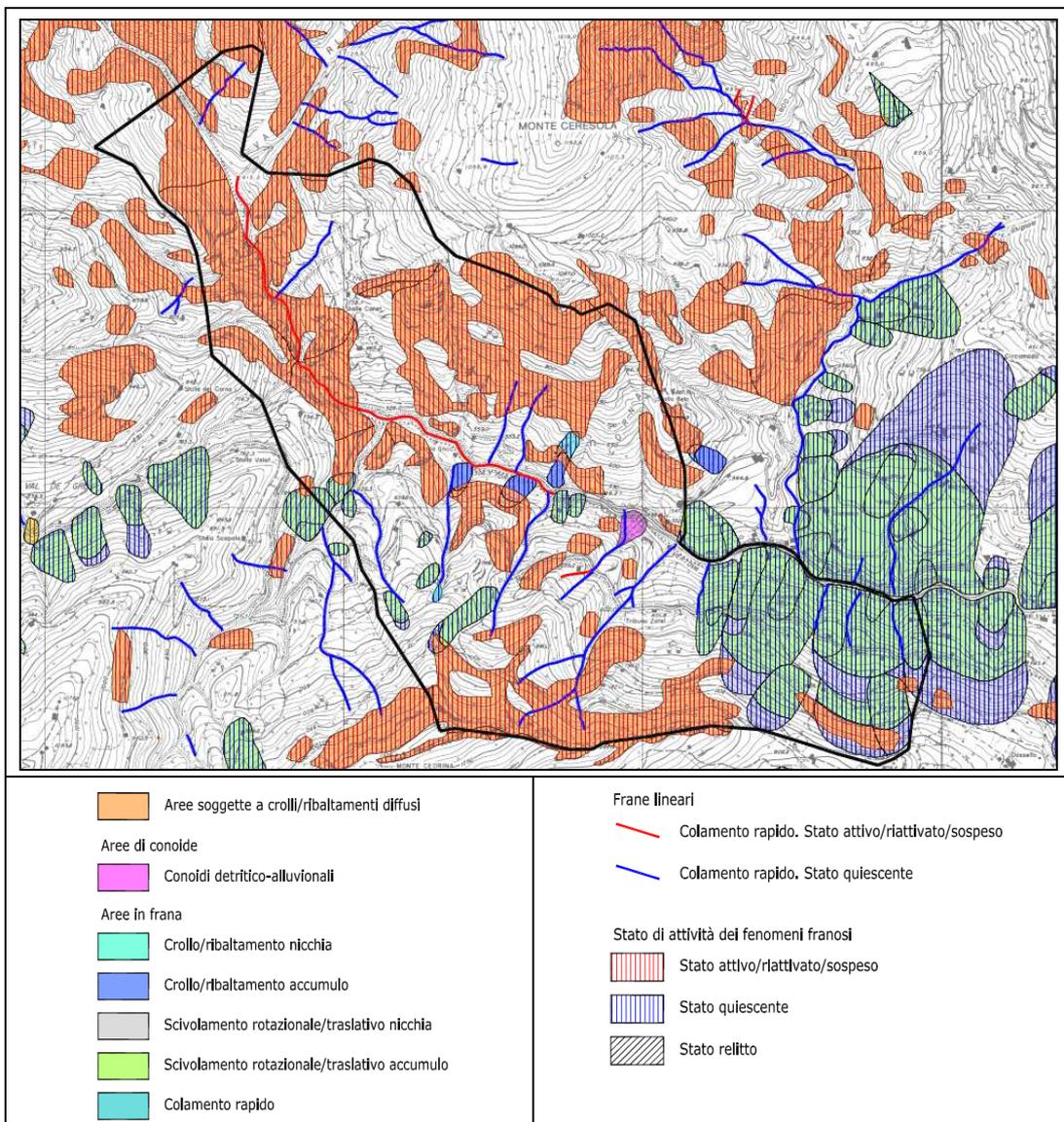


Figura 4: Carta ricavata dalla versione più aggiornata dell'Inventario delle Frane e dei dissesti idrogeologici regionale con relativa legenda. Il poligono in nero definisce l'area oggetto del presente studio.

Secondo la versione più aggiornata del sistema informativo denominata GeoIFFI

rappresentata in Figura 4, nell'area in esame sono individuate arealmente:

- ◆ aree soggette a crolli/ribaltamenti diffusi
- ◆ frane per crollo/ribaltamento
- ◆ frane per scivolamento rotazionale/traslato
- ◆ frane per colamento "rapido".

Dove possibile entro le frane sono state distinte le aree di nicchia di distacco da quelle di accumulo.

Linearmente, invece, vengono individuate varie aste torrentizie potenzialmente interessate da fenomeni di colamento "rapido" (tipo *debris-flow* o *debris-torrent*). Infine vengono perimetrati i conoidi-detritico alluvionali.

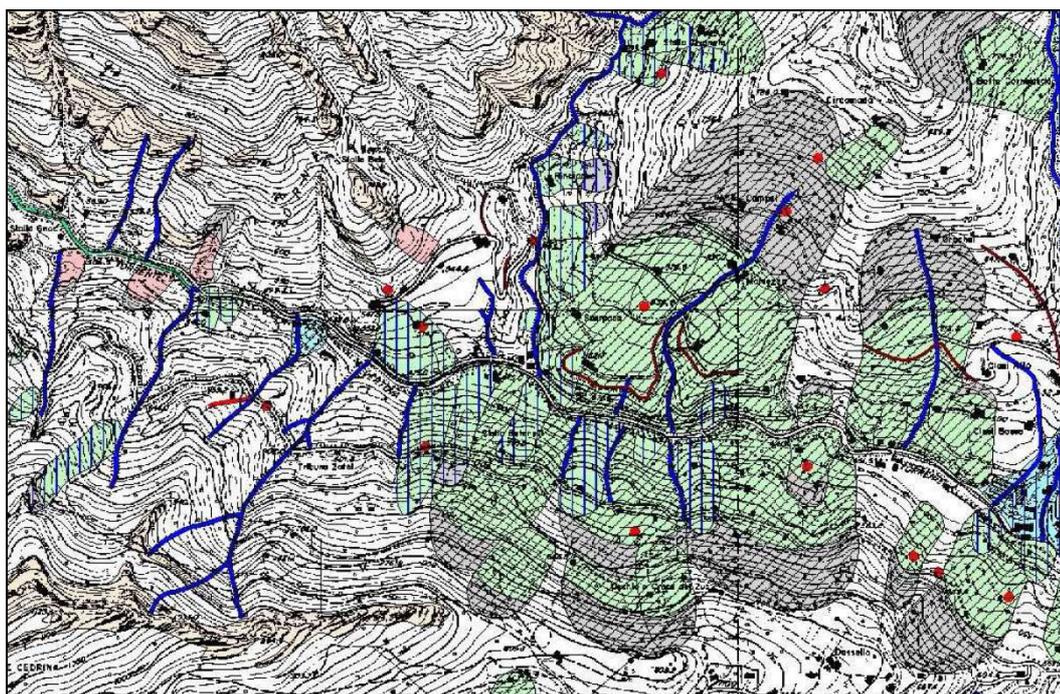
Per ogni singola situazione di dissesto viene fornita una valutazione sullo stato di attività secondo il seguente schema:

- ◆ attivo: fenomeno attualmente in movimento;
- ◆ sospeso: fenomeno che si è mosso entro l'ultimo ciclo stagionale, ma che attualmente non si muove;
- ◆ riattivato: movimento di nuovo attivo dopo essere stato inattivo;
- ◆ quiescente: frana inattiva che può essere riattivata dalle sue cause originali, è un fenomeno per il quale permangono le cause del movimento;
- ◆ naturalmente stabilizzato: frana inattiva che non è più influenzata dalle sue cause originali; infatti le cause del movimento sono state naturalmente rimosse;
- ◆ artificialmente stabilizzato: frana inattiva che è stata protetta dalle sue cause originali da misure di stabilizzazione;
- ◆ relitto (paleofrana): frana inattiva che si è sviluppata in condizioni geomorfologiche o climatiche considerevolmente diverse dalle attuali. Le frane relitte sono inattive ma, comunque, possono essere riattivate parzialmente o totalmente;
- ◆ non determinato: quando non si dispone di informazioni sullo stato di attività.

Alcuni dissesti, ed in particolare tutte le "aree soggette a crolli/ribaltamenti diffusi" riportano uno stato di attività "attivo/riattivato/sospeso", in quanto si tratta di fenomeni che possono verificarsi con una certa continuità o frequenza su porzioni diverse dell'area franosa, in particolare se questa è molto ampia (si pensi ad esempio ad una grande parete rocciosa soggetta a distacchi di blocchi).

Rispetto alla versione iniziale dell'Inventario delle Frane e dei dissesti idrogeologici regionale, disponibile dal 2002, lo stato di attività di alcuni dissesti, ed in particolare di quello delle "frane per scivolamento rotazionale/traslato" è stato modificato, ma in alcuni casi si ritiene che tale variazione non sia corretta. Ad esempio, a tutte le frane classificate originariamente come "relitte" (ovvero paleofrane), è stato riattribuito uno stato di attività "quiescente", sia nella porzione di

nicchia di distacco che in quella di accumulo, ma ciò non è coerente con l'effettiva situazione che si riscontra sul terreno (Figura 5).



—	colamento "lento" Attivo/riattivato/sospeso
—	colamento "rapido" Attivo/riattivato/sospeso
—	colamento "rapido" Quiescente generico
—	colamento "rapido" Stabilizzato generico
—	colamento "rapido" n.d.
—	complesso Quiescente generico
—	conoide Attivo/riattivato/sospeso
—	conoide n.d.
—	crollo Attivo/riattivato/sospeso
—	n.d.

—	ribaltamento Attivo/riattivato/sospeso	—	Colamento rapido
—	scivolamento rotazionale Stabilizzato generico	—	Complesso
—	scivolamento traslativo Stabilizzato generico	—	Crollo/Ribaltamento
—	Non determinato	—	Scivolamento rotazionale/traslativo
—	Attivo/riattivato/sospeso	—	Sprofondamento
—	Quiescente	—	Non determinato
—	Stabilizzato	—	DPGV Deformazione gravitativa profonda di versante
—	Relitto	—	crolli/ribaltamenti diffusi
—	Conoidi	—	frane superficiali diffuse
—	Colamento lento	—	sprofondamenti diffusi

Figura 5: Stralcio dell'Inventario delle Frane e dei dissesti idrogeologici regionale del 2002 con relativa legenda. Su entrambi i versanti vallivi sono riportate "frane per scivolamento rotazionale/traslativo" con stato di attività "relitto", mentre nella versione più recente (Figura 4) sono state riclassificate con stato di attività "quiescente".

Parte dei dissesti riportati nel GeoIFFI sono stati inseriti dagli estensori della componente geologica a supporto del PGT nel PAI.

Per quanto riguarda la porzione valliva che ricade nel territorio comunale di Gazzaniga la trasposizione dei dissesti inseriti nell'Inventario regionale è stata pressoché totale, mentre per la parte che ricade nel territorio comunale di Vertova nel PAI è stato inserito un numero limitato dei dissesti presenti nell'inventario, alcuni con evidenti ripermetrazioni, ed in particolare sono state quasi del tutto omesse le "aree soggette a crolli/ribaltamenti diffusi" (Figura 6).

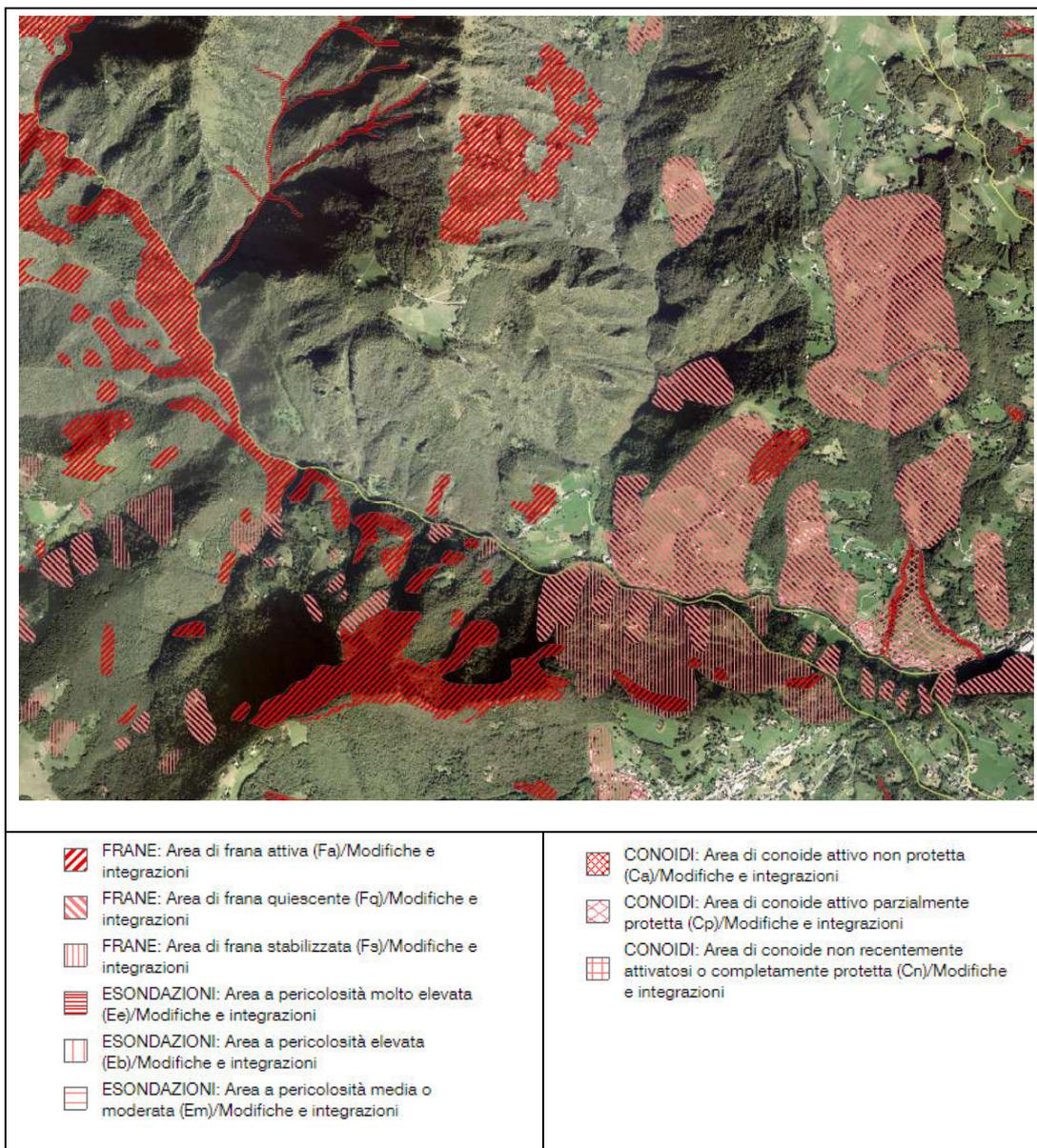


Figura 6: Ortofoto con riportati i dissesti inseriti nel PAI vigente (Fonte: Geoportale Regione Lombardia).

Per quanto riguarda lo stato di attività, alle aree perimetrare PAI che ricadono nel territorio comunale di Gazzaniga è stato attribuito lo stesso grado riportato nella versione iniziale dell'Inventario delle Frane e dei dissesti idrogeologici regionale (le "aree soggette a crolli/ribaltamenti diffusi" sono state inserite come "Aree di frana attiva - Fa). Per quelle poste nel territorio comunale di Vertova è stata effettuata una nuova attribuzione del grado di attività, più simile a quella della versione aggiornata del GeoIFFI.

Le segnalazioni dei dissesti più recenti, fornite dalle Amministrazioni comunali, riguardano:

- ♦ una caduta di massi in località Piazzoli (versante idrografico destro, in comune di Gazzaniga), avvenuta nel luglio 2014 e che ha comportato la chiusura cautelativa della strada agro-silvo-pastorale per la Valle di Grü ed il divieto di

residenza, anche temporanea, in alcuni fabbricati; successivamente, poco a valle della zona di distacco dei blocchi (Foto 1), è stata installata una barriera paramassi di 30 m di lunghezza (Foto 2);



Foto 1: Vista da valle della zona dove nel luglio 2014 è avvenuto il distacco di blocchi.



Foto 2: Vista da monte della barriera paramassi installata poco a valle della zona del distacco massi avvenuto nel 2014.

- ◆ un dissesto che ha interessato il ciglio e la scarpata di valle della sede stradale che conduce in Val di Grü, in località Clacchei (versante idrografico destro, in comune di Gazzaniga), avvenuto nel 2019 (Foto 3); tale dissesto ha interessato materiale sciolto già smosso (porzione superficiale del corpo di una frana più ampia) lungo un pendio molto acclive ($43^{\circ} \div 45^{\circ}$).
- ◆ la caduta di un masso lungo la pista di servizio alle sorgenti Go-Merlezza e Borleda (fondovalle, sponda destra, comune di Gazzaniga), avvenuta nel luglio 2019; il distacco ha interessato un tratto di fondovalle già interessato nel passato da caduta massi.
- ◆ una caduta di massi sul pendio soprastante Tribulina Zatel (versante idrografico destro, in comune di Gazzaniga), avvenuta nel 2021; uno dei blocchi crollati, di circa 0.5 m^3 di volume, si è arrestato lungo un sentiero ad un centinaio di metri da una baita, mentre altri frammenti di dimensioni minori hanno proseguito la loro discesa lungo il versante, dove si sono arrestati contro la vegetazione di alto fusto (Foto 4).

Durante l'esecuzione dei sopralluoghi in sito è stata inoltre rilevata la presenza di un altro dissesto che ha interessato il ciglio e la scarpata di valle della sede stradale che conduce in Val di Grü, poche decine di metri a valle di quello avvenuto nel 2019. In questo caso si tratta di uno scivolamento che ha interessato anche il substrato roccioso, costituito dalle litofacies dell'Argillite di Riva di Solto (Foto 5).



Foto 3: Nicchia di distacco del dissesto che nel 2019 ha interessato la scarpata di valle della sede stradale che conduce in Val di Grü.



Foto 4: Blocco di circa 0.5 m³ caduto nel 2021 ed arrestatosi su un sentiero.



Foto 5: Vista sul dissesto più recente che ha interessato la scarpata di valle della sede stradale che conduce in Val di Grü, a poche decine di metri di distanza da quello avvenuto nel 2019.

Attualmente su entrambi i tratti in dissesto sono stati eseguiti degli interventi per garantire la stabilità del ciglio stradale, ma le sottostanti scarpate di frana sono da considerare ancora attive in quanto lungo le stesse può mobilizzarsi ulteriore materiale. Il materiale franato a seguito del dissesto più recente ha ostruito l'alveo del corso d'acqua sottostante e ha innescato una colata detritica che ha

raggiunto il fondovalle principale (Foto 6). Nel tratto terminale dell'incisione valliva l'alveo è stato ripulito ed il materiale è stato addossato lungo la sponda sinistra per realizzare una sorta di protezione (argine) nei confronti di una costruzione posta sul conoide del corso d'acqua (Foto 7).



Foto 6: Vista sul conoide dell'incisione valliva sottostante i dissesti che hanno interessato la scarpata di valle della strada che conduce in Val di Grù. Si nota l'alveo ingombro di materiale grossolano trasportato a valle sotto forma di colata detritica.



Foto 7: Vista da monte del tratto terminale dell'incisione valliva sottostante i dissesti che hanno interessato la scarpata di valle della strada che conduce in Val di Grù. Si nota il materiale tolto dall'alveo ed addossato in sinistra per realizzare una protezione spondale.

Relativamente alla pericolosità idraulica, si riporta un estratto della mappa del Piano di Gestione dei Rischi di Alluvioni (Direttiva Alluvioni/2007/60/CE) (Figura 7).

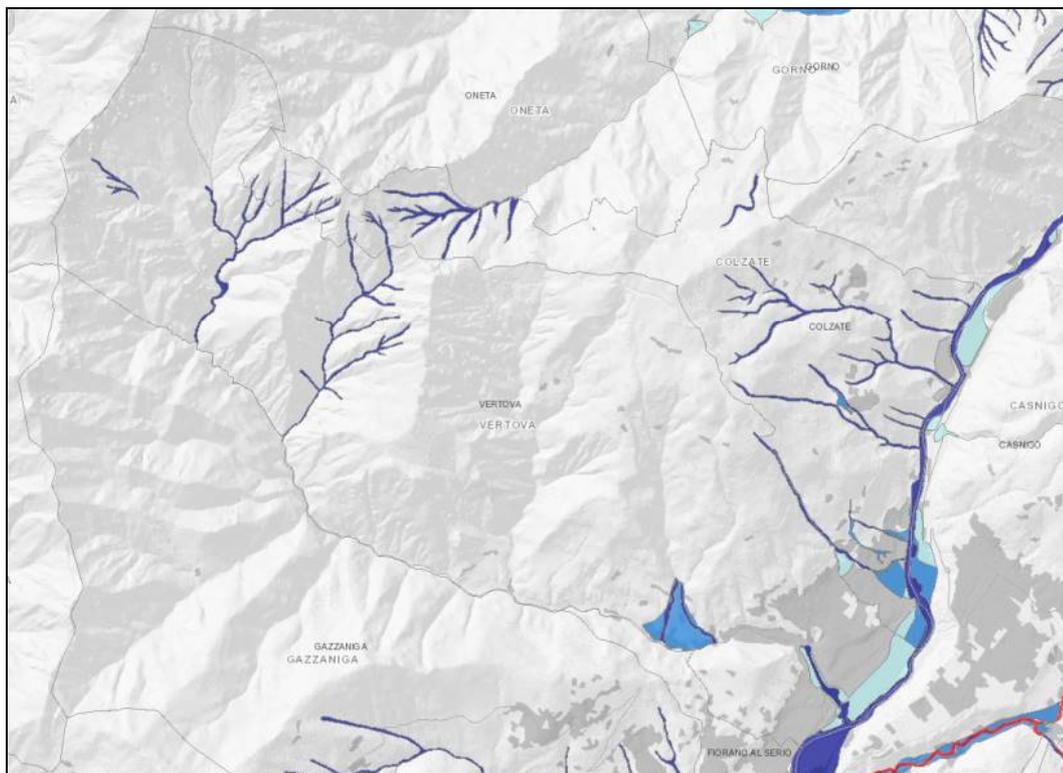


Figura 7: Estratto della mappa di pericolosità del Piano di Gestione dei Rischi di Alluvioni (Fonte: Geoportale Regione Lombardia).

Lungo l'asta principale della Val Vertova (a parte il tratto terminale) non sono riportate perimetrazioni, mentre lungo alcune sue tributarie sinistre (tra queste la Val Sterladero) sono individuate "Aree allagabili per uno scenario di piena frequente H (TR: 20÷50 anni)" (colore blu scuro in Figura 7).

Inoltre, il conoide formato dalle valli Masna e degli Uccelli alla loro confluenza nel Torrente Vertova è inserito nelle "Aree allagabili per uno scenario di piena poco frequente M (TR: 100÷200 anni)" (colore blu in Figura 7).

4. PROCEDURA DI VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA

La procedura adottata nel presente lavoro si è articolata nelle fasi seguenti fasi fondamentali:

1. valutazione della pericolosità da frana (crollo e caduta massi) nelle aree di potenziale distacco attraverso il metodo Buwal;
2. valutazione della pericolosità nelle aree interessate dalle traiettorie di transito e caduta attraverso l'impiego del Plugin QPROTO (QGIS Predictive ROCKfall Tool, Castelli et al. 2019), realizzato per il software open source QGIS 3.4;
3. valutazione della pericolosità per altre tipologie di fenomeni presenti nell'area (frane, conoidi) sulla base dei criteri previsti da Regione Lombardia (d.g.r. n. IX/2616 del 30 novembre 2011 e smi);
4. valutazione finale del rischio.

È opportuno rimarcare che, mentre la Pericolosità è legata alla presenza di un fenomeno franoso di una certa intensità e con una certa probabilità di riattivazione del movimento, il rischio sussiste unicamente qualora nelle aree pericolose siano presenti elementi esposti: la sua entità deriva quindi dal grado di pericolosità e dal valore del bene esposto. Ne consegue la necessità di mantenere distinte le caratteristiche del fenomeno franoso (tipologia, magnitudo, frequenza probabile) dagli elementi a rischio (cui si associano le specifiche di vulnerabilità e valore economico). Il risultato finale sarà quello di una cartografia della pericolosità associata ad un "censimento" degli elementi a rischio.

4.1 PERICOLOSITÀ DELLE AREE DI POTENZIALE DISTACCO - METODO BUWAL

4.1.1 Procedura

La procedura di valutazione della pericolosità da frana che è stata applicata è basata sul cosiddetto "metodo svizzero", predisposto dall'*Ufficio federale dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio* (BUWAL, 1998÷1999) della Confederazione Elvetica.

Tale metodologia, opportunamente modificata al fine di adeguare le classi di frequenza probabile a quelle previste dalla normativa italiana vigente in tema di valutazione del rischio idrogeologico (corrispondenza nella definizione delle classi di rischio fra metodo svizzero e il D.P.C.M. 29.09.1998 "Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del D.L. 11 giugno 1998, n. 180"), è stata già utilizzata da vari enti per la redazione di Piani delle zone di pericolo e Piani stralcio per il rischio idrogeologico (tra questi l'Autorità di Bacino del Fiume Adige, l'Autorità di Bacino dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione, l'Autorità di Bacino Alto Adriatico, la Provincia Autonoma di Bolzano, il CNR IRPI di Padova).

Il metodo si articola nei seguenti punti:

1. Individuazione e perimetrazione delle aree di frana e delle aree limitrofe che potenzialmente potrebbero essere coinvolte in una riattivazione del fenomeno;
2. Definizione delle caratteristiche del movimento (tipologia, velocità, volumi e/o spessori);
3. Stima della frequenza probabile del fenomeno;
4. Applicazione di matrici ad incrocio dei dati (velocità/frequenza probabile e magnitudo/ frequenza probabile) ed assegnazione del livello di Pericolosità.

Si tratta di una procedura di valutazione della pericolosità di tipo geomorfologico, per la quale sono insiti alcuni caratteri di soggettività propri del metodo, soprattutto per quanto riguarda l'assegnazione dei valori d'ingresso. Il risultato finale porta alla redazione di una carta dei fenomeni franosi, alla cui perimetrazione viene associato uno specifico livello di pericolosità.

Operativamente, per poter definire la pericolosità di un'area è necessario rilevare o stimare i seguenti parametri:

Intervalli di velocità, si perviene al valore attraverso la stima della velocità massima che il corpo di frana può raggiungere durante lo spostamento. Gli intervalli sono individuati in funzione della possibilità di attivare delle contromisure (ad esempio l'allertamento della popolazione) e in funzione dei possibili danni attesi agli edifici e alle strutture. Nella Tabella 1 sono definiti tre intervalli di velocità, raggruppando le classi di velocità definite nel 1996 da Cruden & Varnes. Al valore limite di velocità di 3 m/min è attribuita un'importanza fondamentale, perché rappresenta generalmente il limite di velocità al di sopra del quale non è possibile l'allertamento delle persone e l'evacuazione delle abitazioni e pertanto è posta seriamente a rischio l'incolumità delle medesime. I crolli (distacchi improvvisi 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) sono fenomeni franosi da estremamente rapidi a molto rapidi ed agli stessi è sempre attribuito un Intervallo di velocità 3.

Classi di velocità (definizione da Cruden & Varnes, 1996)		Intervalli di velocità
Descrizione	Velocità tipica	
Estremamente rapida	5 m/sec	3
Molto rapida	3 m/min	
Rapida	1,8 m/hr	2
Moderata	13 m/mese	
Lenta	1,6 m/anno	
Molto lenta	16 mm/anno	
Estremamente lenta	< 16 mm/anno	1

Tabella 1: Stima degli intervalli di velocità dei fenomeni franosi, individuati in funzione della possibilità di allertare la popolazione e dei possibili danni attesi agli edifici e alle strutture.

Intervalli di severità geometrica, questo parametro tipicamente rilevabile durante l'attività di campagna, si basa sulle classi dimensionali del fenomeno frano-

so definite da Heinimann nel 1998. Nella Tabella 2 vengono definiti tre intervalli di severità geometrica riferibili ai diversi fenomeni franosi. Rispetto alla formulazione originaria nelle applicazioni effettuate in Italia sono state introdotte delle modifiche per quanto riguarda la classificazione delle colate detritiche o in generale dei colamenti rapidi, in quanto le condizioni di massima pericolosità secondo la letteratura scientifica si manifestano già con altezze di flusso di circa un metro.

Classi di severità geometrica per i fenomeni di crollo (definizione da Heinimann et al., 1998)	Classi di severità geometrica per i fenomeni di scorrimento e colata lenta (definizione da Heinimann et al., 1998)	Classi di severità geometrica per i fenomeni di colata rapida (Profondità della corrente o del deflusso solido)	Intervalli di severità geometrica
Diametro dei blocchi > 2 m	Spessore > 15 m	Profondità > 1 m	3
Diametro dei blocchi 0,5 – 2 m	Spessore 2 – 15 m	Profondità 0,5 – 1 m	2
Diametro dei blocchi < 0,5 m	Spessore < 2 m	Profondità ≤ 0,5 m	1

Tabella 2: Stima delle classi di severità geometrica dei fenomeni franosi.

Frequenza probabile, questo parametro è legato allo stato di attività del fenomeno franoso e alle cause che ne determinano l'innescò. In mancanza di dati storici sufficienti ad analizzare i tempi di ritorno in modo statistico, i valori di frequenza probabile sono attribuiti adottando un approccio fondamentalmente tipologico, basato su dati di letteratura inerenti le caratteristiche di ricorrenza temporale delle diverse tipologie di frane e calibrato su osservazioni geomorfologiche, sull'analisi delle ortofoto realizzate dal 1954 al 2015 (*Evoluzione temporale delle ortofoto* è un applicativo disponibile sul Geoportale regionale). Nella Tabella 3, in accordo con la normativa di riferimento, vengono definiti quattro intervalli di frequenza probabile. La classe 1-30 anni identifica aree frequentemente soggette a fenomeni di dissesto; la classe 30-100 anni rappresenta quei fenomeni a ricorrenza storica; la classe 100-300 anni identifica invece fenomeni a bassa ricorrenza ma documentati storicamente, ed infine la classe con tempi superiori ai 300 anni include i fenomeni antichi, per lo più stabilizzati naturalmente, ad oggi difficilmente riattivabili (paleofrane).

Stato di attività	Frequenza probabile
frane attive, continue e/o intermittenti frane quiescenti – episodiche ad alta frequenza	1 – 30 anni
frane quiescenti – episodiche a media frequenza	30 – 100 anni
frane quiescenti – episodiche a bassa frequenza	100 – 300 anni
frane antiche e paleofrane	> 300 anni

Tabella 3: Descrizione classi di frequenza probabile dei fenomeni franosi.

Per maggior chiarezza in Tabella 4 è riportata la stessa suddivisione espressa come "probabilità di accadimento" (calcolata per un lasso di tempo di 50 anni) e "tempo di ritorno" (Tr) adottata per la stessa metodologia dalla Provincia Auto-

noma di Bolzano.

<i>Probabilità di accadimento</i>		<i>Tempo di ritorno (Tr)</i>	
	calcolata per 50 anni:	espresso in anni:	
<i>elevata</i>	100% fino a 82%	$T_R \leq 30$	<i>molto frequente</i>
<i>media</i>	82% fino a 40%	$30 < T_R \leq 100$	<i>frequente</i>
<i>bassa</i>	40% fino a 15%	$100 < T_R \leq 300$	<i>raro</i>
<i>molto bassa</i>	< 15%	$T_R > 300$	<i>molto raro</i>

Tabella 4: Tabella della probabilità di accadimento espressa in tempo di ritorno, modificata secondo BUWAL (1998) (fonte Provincia Autonoma di Bolzano)

I valori discreti (1÷3) associati agli intervalli di velocità nella Tabella 1 ed agli intervalli di severità geometrica (1÷3) nella Tabella 2, rappresentano i valori di ingresso nella matrice che definisce la classe di magnitudo (o "intensità") (Tabella 5) che può variare tra 1 e 9.

Attribuzione classe di magnitudo		Intervalli di velocità (VEL)		
		1	2	3
Intervalli di severità geometrica (SG)	1	1	2	3
	2	2	4	6
	3	3	6	9

Tabella 5: Matrice di iterazione per la definizione delle diverse classi di magnitudo.

Anche se si tratta di fattori "semplici", che in ultima analisi corrispondono sostanzialmente all'energia cinetica che il corpo di frana può sviluppare durante il movimento, è possibile lo sviluppo di un sistema di classificazione nel quale i valori 1-2 corrispondono ad una magnitudo bassa, 3-4 ad una magnitudo media e 6-9 ad una magnitudo alta.

Attraverso l'interazione della classe di magnitudo (1÷9) definita nella Tabella 5 con le classi di frequenza probabile indicate in Tabella 3, è possibile assegnare la classe di pericolosità utilizzando la matrice in Tabella 6.

Pericolosità connessa alla magnitudo dei fenomeni franosi		Frequenza probabile			
		alta 1 – 30 anni	media 30 – 100 anni	bassa 100 – 300 anni	Frane antiche (> 300 anni) e paleofrane
Classi di Magnitudo	6 - 9	P4	P4	P3	P1
	3 - 4	P3	P3	P2	
	1 - 2	P2	P1	P1	

Tabella 6: Matrice di iterazione per la valutazione della pericolosità derivante da fenomeni franosi connessa alla magnitudo.

Nel caso in cui non siano disponibili o affidabili i dati per la classificazione della

severità geometrica, è possibile pervenire alla classificazione della pericolosità attraverso l'interazione della classe di velocità direttamente con la classe di frequenza probabile, utilizzando la matrice in Tabella 7.

Pericolosità connessa alla velocità dei fenomeni franosi		Frequenza probabile			
		alta 1 – 30 anni	media 30 – 100 anni	bassa 100 – 300 anni	Frane antiche (> 300 anni) e paleofrane
Intervalli di velocità	3	P4	P4	P3	P1
	2	P3	P3	P2	
	1	P2	P1	P1	

Tabella 7: Matrice di iterazione per la valutazione della pericolosità derivante da fenomeni franosi connessa alla velocità, applicabile ove non siano disponibili dati circa la severità geometrica dei dissesti e non sia possibile fare stime della stessa.

Per quanto riguarda i *fenomeni di crollo*, per analizzare il movimento di caduta e tentare di individuare le aree maggiormente soggette a propagazione di massi si possono utilizzare diversi metodi che possono essere applicati per approssimare la situazione reale. Tali metodi possono essere suddivisi in due macrogruppi fondamentali: i modelli di tipo morfologico (o empirici) e i modelli fisicamente basati (o cinematici).

I modelli morfologici sono essenzialmente indicati per una prima valutazione del massimo avanzamento dei massi, dipendono dalla topografia del versante e si basano su analisi statistiche eseguite su crolli storici. Rappresentativi di questo tipo di modello sono i metodi zenitali sviluppati da diversi autori (Onofri & Candian, 1979; Heinimann et al., 1998; Jaboyedoff & Labiouse, 2003).

I modelli cinematici affrontano invece il problema della delimitazione del massimo avanzamento dei blocchi in modo analitico considerando la fisica del moto e le relative equazioni pur con qualche necessaria semplificazione. Sono basati su diversi algoritmi che descrivono le relazioni esistenti tra tipo di movimento (caduta, rimbalzo, rotolamento e scivolamento), energia del blocco e coefficienti di restituzione del versante. Tali modelli di simulazione, nonostante il numero necessariamente limitato di variabili introducibili e l'aleatorietà insita nella determinazione dei parametri del moto, hanno il vantaggio di consentire simulazioni che ricostruiscono il comportamento della frana determinando le traiettorie, le velocità e le energie cinetiche dei massi durante il loro moto di caduta. La stima di tali dati risulta infatti essenziale per la pianificazione del territorio e la progettazione di opere di difesa.

L'analisi della massima propagazione delle frane di crollo su vasta area risulta spesso difficoltosa, in quanto i principali metodi di analisi sono concepiti per essere applicabili unicamente lungo profili di caduta preliminarmente definiti. Tali metodi di analisi, per quanto i profili siano numerosi e rappresentativi del versante oggetto dello studio, non descrivono però adeguatamente la reale traiettoria di caduta dei massi, in quanto non è possibile tenere in considerazione eventuali

deviazioni rispetto al percorso prestabilito. Inoltre vengono individuate solo limitate porzioni del versante, rischiando di escludere dall'analisi aree di possibile sviluppo delle traiettorie e quindi sottostimare il fenomeno.

Tutti i modelli, sia di tipo bidimensionale, lungo sezioni, che tridimensionale, necessitano di una calibratura accurata e della determinazione precisa dei parametri di ingresso. Tali parametri possono essere ricavati da indagini in sito, da taratura a posteriori di crolli passati o mediante analisi probabilistiche. La scelta del modello da applicare e l'acquisizione dei parametri necessari per le analisi può essere effettuata a diversi livelli di dettaglio e a scale differenti, in relazione alle finalità del lavoro da realizzare e all'estensione dell'area da esaminare.

Nelle aree di crollo con caduta sassi ($\emptyset \leq 0,5$ m), massi ($\emptyset 0.5 \div 2$ m) e blocchi ($\emptyset \geq 2$ m) è generalmente prevista:

- ◆ un'analisi del punto di massima propagazione seguendo il "*metodo zenitale*" presentato in BUWAL (1998) nelle aree inserite dal punto di vista urbanistico nella "categoria b" (Aree singolarmente edificate come piccoli insediamenti, case singole o sparse, e piccole strutture turistiche collegate all'attività agricola o analoghe, nonché strutture per il tempo libero o ad uso ricreativo)
- ◆ una modellazione/simulazione delle traiettorie nelle aree inserite dal punto di vista urbanistico nella "categoria a" (Aree molto urbanizzate e da urbanizzare. Comprende le zone edificabili esistenti e potenziali come anche le attrezzature e gli impianti turistici e collettivi, nei quali è prevista la presenza umana.).

Nel presente studio, viste le caratteristiche di urbanizzazione oltre che la notevole estensione areale delle aree soggette a fenomeni di caduta massi, è stato utilizzato il cosiddetto "*metodo zenitale*" proposto da Heinimann *et al.* (1998) e presentato in BUWAL (si veda Capitolo 4). Tale metodo, impostato su parametri di ingresso facilmente reperibili (modello digitale del terreno), consente infatti una valutazione preliminare su vasta scala delle aree di massimo avanzamento dei massi considerando la dissipazione di energia proporzionale alla lunghezza del percorso, in rapporto alla differenza di quota tra il punto di distacco e di arrivo. In particolare esso si basa sul concetto del "*cono d'ombra*" che delimita, orizzontalmente e verticalmente, l'area entro la quale si arresta la quasi totalità dei blocchi.

Il "*cono d'ombra*" viene essenzialmente definito dall'angolo di scansione verticale ovvero dall'angolo del segmento congiungente il punto di distacco e il punto di arresto e, nello spazio tridimensionale, dall'angolo di scansione orizzontale ovvero dall'angolo di deviazione angolare rispetto alla massima pendenza.

4.2 PERICOLOSITÀ DELLE AREE DI POTENZIALE TRANSITO - PLUGIN QPROTO

Il Plugin di QGis "QPROTO" permette di identificare l'area di invasione e stimare la suscettibilità e la pericolosità relativa (spaziale) di un crollo in roccia per analisi speditive, che tengano conto delle caratteristiche geometriche e topografiche del versante e di alcune considerazioni empiriche.

Partendo da punti sorgenti di caduta massi, lo strumento esegue un'analisi delle

aree di visibilità tramite l'applicazione delle funzioni GRASS GIS. Tale analisi è sostanzialmente rappresentata dalla definizione di un cono di visibilità, il cui apice rappresenta il punto origine della caduta, che viene descritto nello spazio da tre angoli:

- ◆ ϕ_p = angolo dell'energy line;
- ◆ α = angolo di dispersione laterale;
- ◆ θ = angolo di immersione del versante rispetto al nord (deep direction)

Il cono di visibilità può assumere il significato di cono di invasione e tutte le aree visibili della superficie topografica possono essere raggiunte da un masso in caduta (Figura 8).

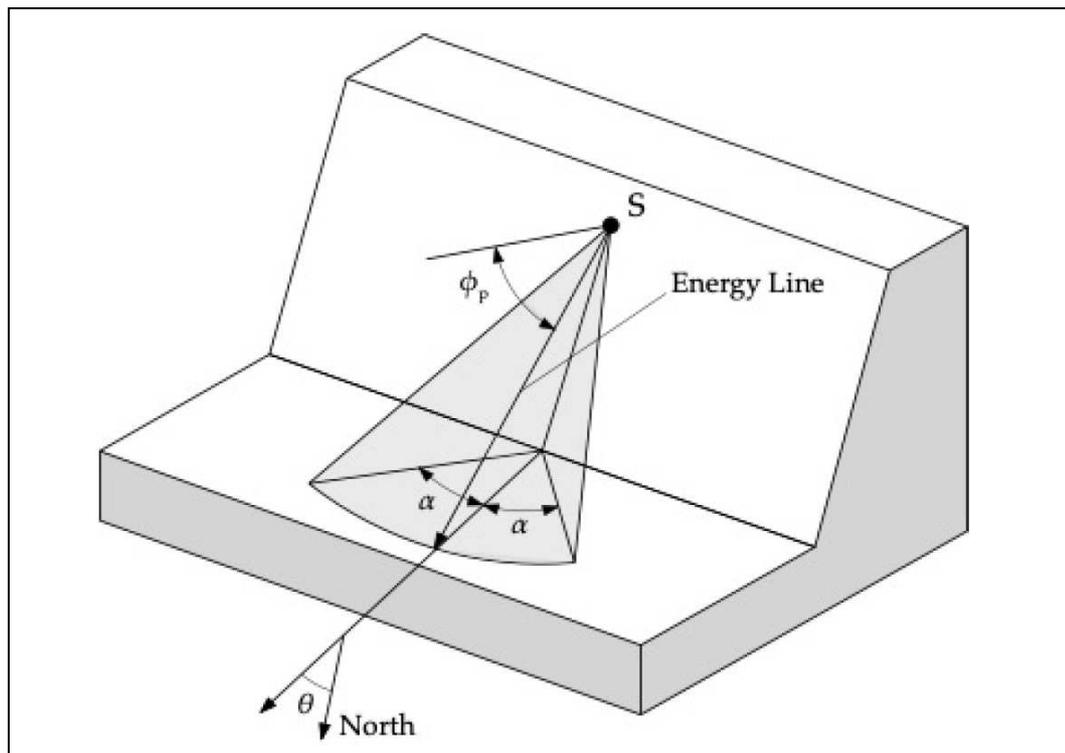


Figura 8: Cono di visibilità come definito in QPROTO: ϕ_p = energy angle nel piano verticale; α = lateral angle nel piano orizzontale; θ = deep direction.

I parametri di input necessari per le simulazioni in QPROTO sono costituiti da un DTM (nel caso in esame quello a maglia 5x5 m di Regione Lombardia) e da uno shape file contenente le informazioni sui punti di distacco.

Ogni punto di distacco (sorgente di blocchi) è caratterizzato da:

- ID: numero di identificazione del punto sorgente.
- ELEVATION: altezza in metri rispetto al livello del mare.
- ASPECT: direzione di immersione del pendio nel punto sorgente, con valori espressi in gradi ($^{\circ}$) in un intervallo compreso fra 0° e 360° .
- PROPENSITY TO DETACHEMENT INDEX ID: esprime la probabilità di distacco associata ad ogni punto sorgente; tale indice può essere definito con

un differente livello di dettaglio sulla base delle informazioni disponibili sull'area di studio (dati storici, mappe che forniscono informazioni sulla densità delle fratture, inclinazione del pendio nella zona di distacco, ecc.) o in funzione dei risultati di indagini speditive condotte sul versante in esame. I valori ricadono in un intervallo compreso fra 0 ed 1.

- BOULDER MASS: massa del blocco, con valori espressi in kg.
- ENERGY LINE ANGLE: di energy line del cono con apice nel punto sorgente, con valori espressi in gradi (°) in un intervallo compreso fra 0° e 90°.
- LATERAL SPREADING ANGLE: angolo di dispersione laterale del cono con apice nel punto sorgente, con valori espressi in gradi (°) in un intervallo compreso fra 0° e 90°.
- VISIBILITY DISTANCE: massima distanza dell'analisi dal punto sorgente, con valori espressi in m.

4.2.1 Parametri di input

L'applicazione del metodo del cono tramite il plugin QPROTO richiede la definizione di un piccolo numero di parametri (gli angoli del cono) che rappresentano lo scenario in termini di condizioni del pendio (geometria, copertura forestale, ecc.) e caratteristiche dei blocchi (forma, volume).

Le maggiori incertezza nella scelta dei parametri di input sono connesse ai valori da attribuire all'angolo dell'Energy Line ed all'angolo di dispersione laterale.

Castelli et al. (2021) hanno effettuato una serie di test e verifiche attraverso l'esecuzione di un numero statisticamente rappresentativo di simulazioni 3D di caduta massi su pendii in diverse condizioni (presenza di bosco, volume e forma del blocco ecc.), sulla base di una variazione parametrica di alcune variabili. Per le simulazioni 3D è stato utilizzato il software di simulazione di caduta massi Rockyfor3D. È stata quindi eseguita un'analisi statistica dei risultati in termini di angolo di energia ed angolo laterale, correlando gli angoli del cono con le variabili considerate.

Nel seguito si sintetizzano i risultati descritti nell'articolo, utili per l'applicazione al caso in esame.

In condizioni di assenza di alberi nella zona di transito lungo il pendio, per un blocco sferico con volume unitario di raggio pari a 0,625 m (utilizzato al fine di considerare il puro effetto delle caratteristiche del pendio sull'evoluzione delle traiettorie di caduta massi), si ha:

Inclinazione del pendio	30°	45°	60°
Angolo dell'Energy Line	26°	33,9°	44,2°
Angolo di dispersione laterale	5,2°	9,6°	12,4°

Tabella 8: Andamento dell'angolo dell'energy line e dell'angolo di dispersione laterale in funzione dell'inclinazione del pendio, in assenza di alberi

In condizioni di presenza di alberi nella zona di transito lungo il pendio, valutata con una densità di 400 alberi per ettaro (un individuo ogni 25 mq), sempre per un blocco sferico con volume unitario di raggio pari a 0,625 m, si ha:

Inclinazione del pendio	30°	45°	60°
Angolo dell'Energy Line	31,1°	37,6°	46°
Angolo di dispersione laterale	18,4°	11,3°	9,9°

Tabella 9: Andamento dell'angolo dell'energy line e dell'angolo di dispersione laterale in funzione dell'inclinazione del pendio, in presenza di alberi

In entrambi i casi, l'andamento dei valori è di tipo lineare, come evidenziato dalla Figura 9.

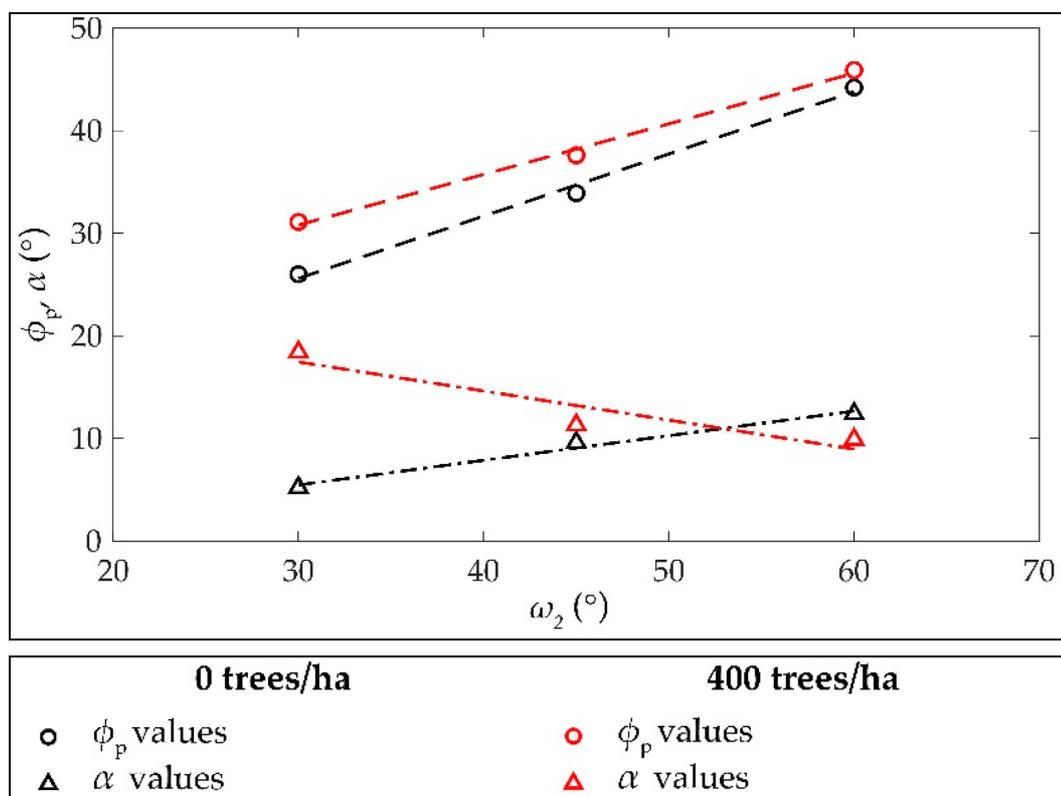


Figura 9: Effetto della presenza di alberi sulla variazione dell'angolo dell'energy line e dell'angolo di dispersione laterale in funzione dell'inclinazione del pendio

Dalle simulazioni effettuate è stata inoltre ricavata la variazione dell'angolo dell'energy line in funzione delle caratteristiche dei blocchi in caduta (dimensione e forma), in condizione di presenza o assenza di alberi lungo il pendio.

I risultati ottenuti sono sintetizzati in Figura 10 e Figura 11.

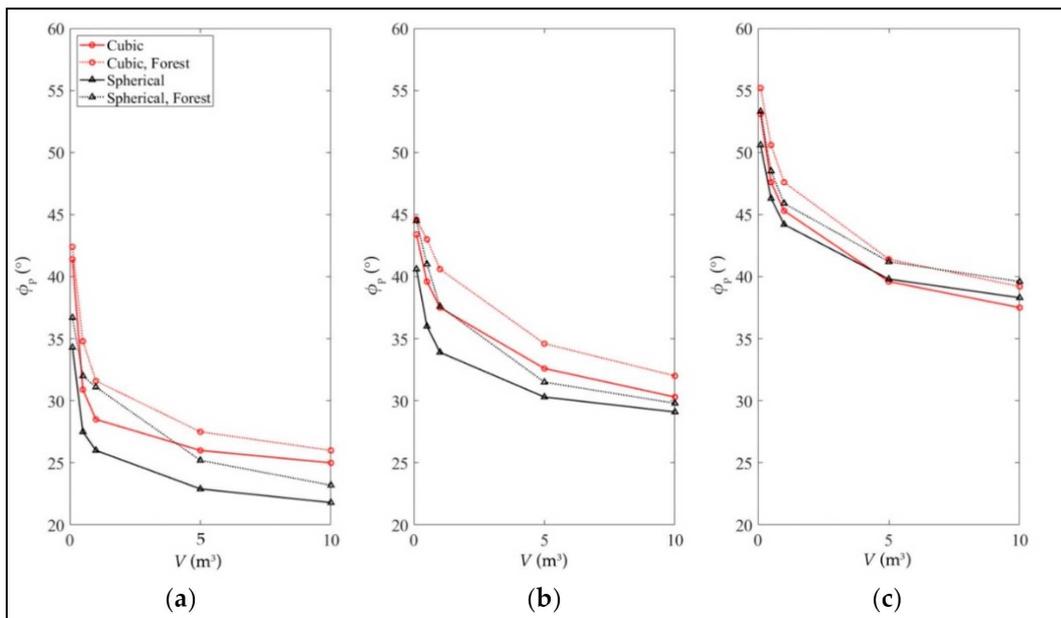


Figura 10: Variazione dell'angolo dell'energy line in funzione della forma e del volume dei blocchi, in condizioni di assenza o presenza di alberi lungo il pendio. Inclinazione del pendio pari a 30° (a), 45° (b) e 60° (c).

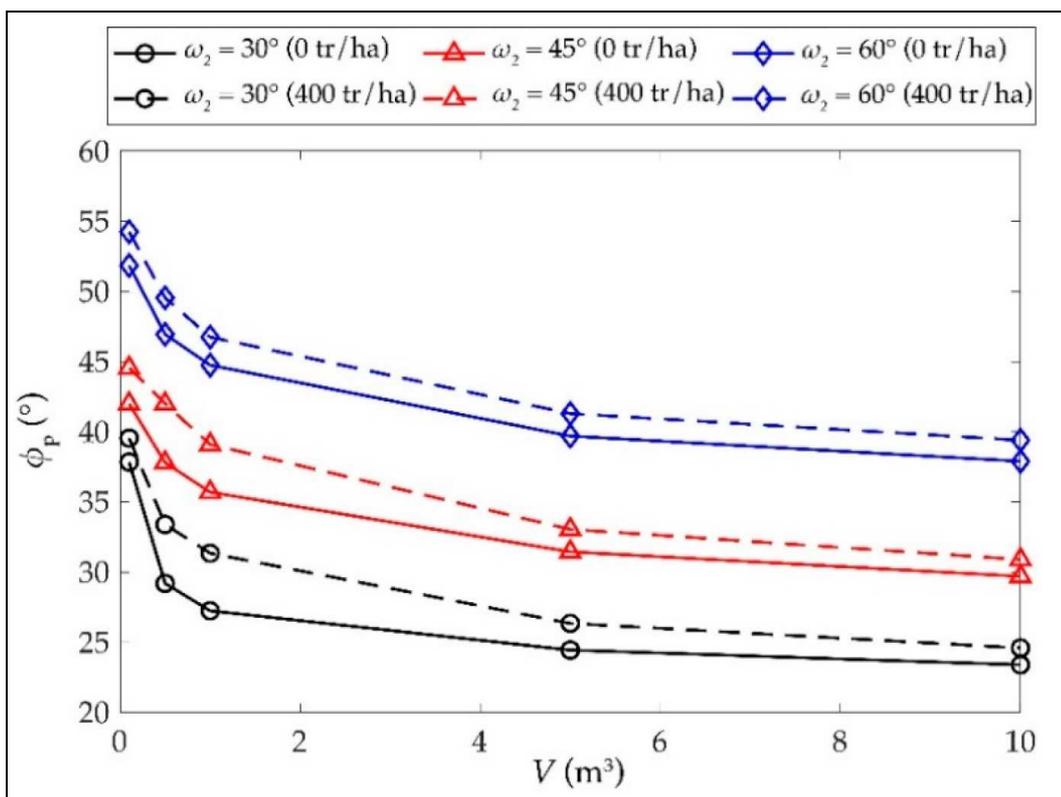


Figura 11: Variazione dell'angolo dell'energy line in funzione del volume dei blocchi, al variare dell'inclinazione del pendio ed in condizioni di assenza o presenza di alberi lungo il pendio.

Quanto sopra può essere sintetizzato come riportato nei diagrammi seguenti.

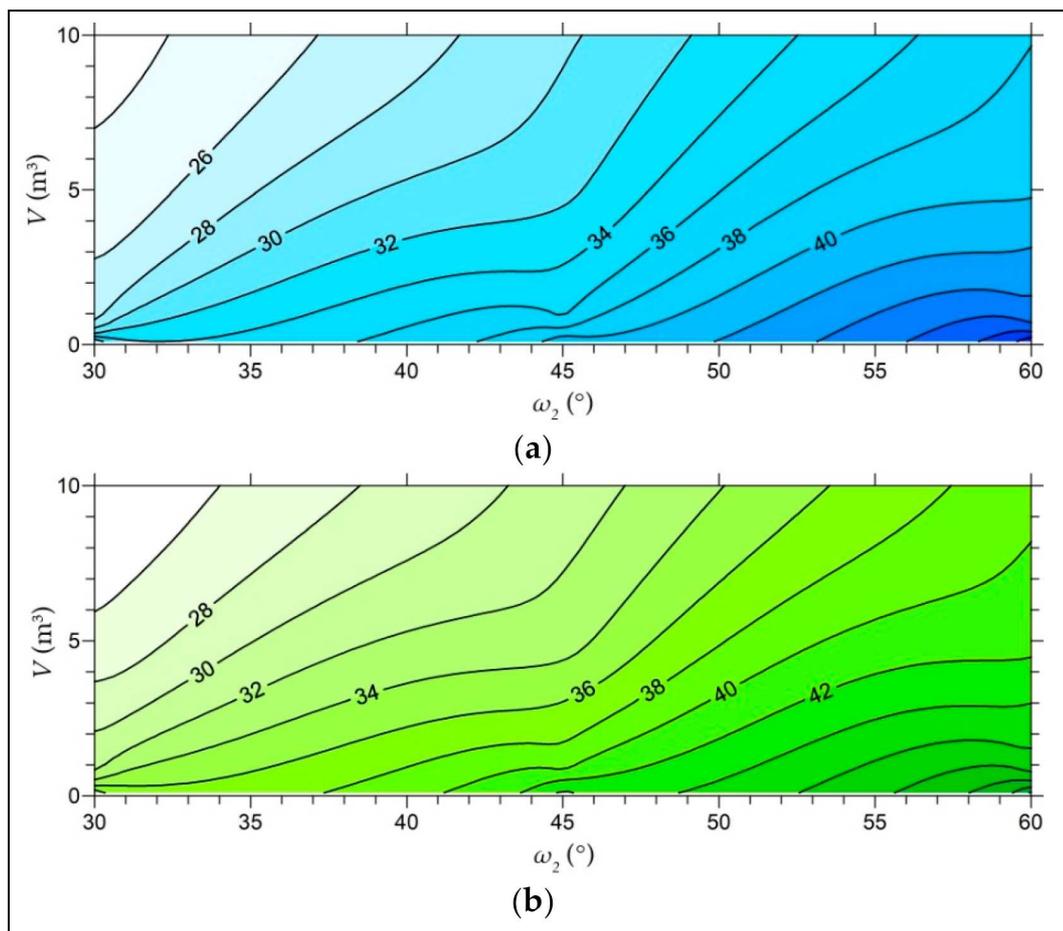


Figura 12: Stima dell'angolo dell'energy line in funzione del volume dei blocchi e dell'inclinazione del pendio, in condizioni di assenza (a) o presenza (b) di alberi lungo il pendio.

In sintesi i principali risultati delle elaborazioni portano ad affermare che:

- ◆ gli angoli dell'energy line possono riprodurre l'effetto di mitigazione legato alla presenza di alberi situati lungo la zona di transito del pendio;
- ◆ l'incremento del volume del blocco determina la riduzione dell'angolo dell'energy line ed aree di invasione più estese;
- ◆ l'incremento dell'angolo di inclinazione del pendio determina l'aumento dell'angolo dell'energy line e la riduzione della zona di invasione.

5. VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' DELLE AREE DI POTENZIALE DISTACCO MASSI

Per quanto riguarda le problematiche legate alla caduta massi, l'area in esame può essere suddivisa in due macrosettori in funzione delle caratteristiche stratigrafiche e strutturali delle formazioni rocciose affioranti.

Il primo macrosettore corrisponde al versante vallivo destro che si sviluppa per gran parte a monte della strada agro-silvo-pastorale che da Orezza porta in Val di Grü, nel tratto compreso tra le località Piazzöi e Garimóncc. In esso il substrato roccioso è costituito da rocce per gran parte ben stratificate o con la stratificazione che comunque, anche se molto spaziata, costituisce uno dei sistemi di discontinuità principali tra quelli che suddividono gli ammassi. In tale macrosettore l'assetto strutturale risulta generalmente ben definito e si mantiene costante su ampie porzioni degli affioramenti rocciosi, consentendo di definire le tipologie cinematiche di distacco blocchi e di stimare le dimensioni degli stessi.

Il secondo macrosettore si sviluppa da Lacnè fino alle sorgenti Borleda e comprende il versante vallivo sinistro e parte di quello destro (fino alla confluenza con la Val di Grü la sola porzione sottostante la citata strada agro-silvo-pastorale). In esso il substrato roccioso è costituito da rocce prevalentemente massive od organizzate in bancate o corpi lentiformi di spessore plurimetrico. Tali litofacies hanno un assetto strutturale che a grande scala è definito da *master joint* molto pervasivi ma con spaziature elevate, mentre alla scala dei singoli affioramenti la disposizione delle discontinuità risulta alquanto variabile e solo in alcune limitate porzioni d'ammasso mantiene una certa regolarità, consentendo di individuare le possibilità cinematiche di distacco.

5.1 PRIMO MACROSETTORE

Il primo macrosettore comprende sia l'estesa fascia rocciosa delle pareti settentrionali della dorsale spartiacque del M. Cedrina, che in corrispondenza della culminazione superano il centinaio di metri di altezza, sia una serie di balze e risalti rocciosi discontinui disposti irregolarmente lungo il versante, anche nella zona più a Est dell'inizio della dorsale vera e propria (a monte delle località Oschiolo e Croce del Zuc). Gli ammassi rocciosi sono costituiti da una successione di rocce sedimentarie stratificate, in posizione stratigrafica regolare, che, dal basso verso l'alto, comprendono le litofacies delle Dolomie Zonate, dell'Argillite di Riva di Solto, del Calcare di Zu, della Formazione dell'Albenza e del Calcare di Sedrina.

I fenomeni di distacco massi riguardano prevalentemente gli ammassi rocciosi costituiti dalle litofacies del Calcare di Zu e della Formazione dell'Albenza, che affiorano in maniera molto più estesa e continua rispetto a quelli delle altre formazioni.

Il loro assetto strutturale, definito mediante 14 stazioni di rilievo (Figura 13), è caratterizzato dalle discontinuità impostate lungo la stratificazione e da quelle di altri due/tre sistemi principali ad essa ortogonali o subortogonali. La stratificazione ha immersione che varia da 120° a 230° con inclinazioni comprese tra 14° e

52° e, pertanto, ha una giacitura che, rispetto all'andamento a grande scala del versante, ha una disposizione variabile dal reggipoggio al traverpoggio (sempre tuttavia con una marcata componente a reggipoggio).

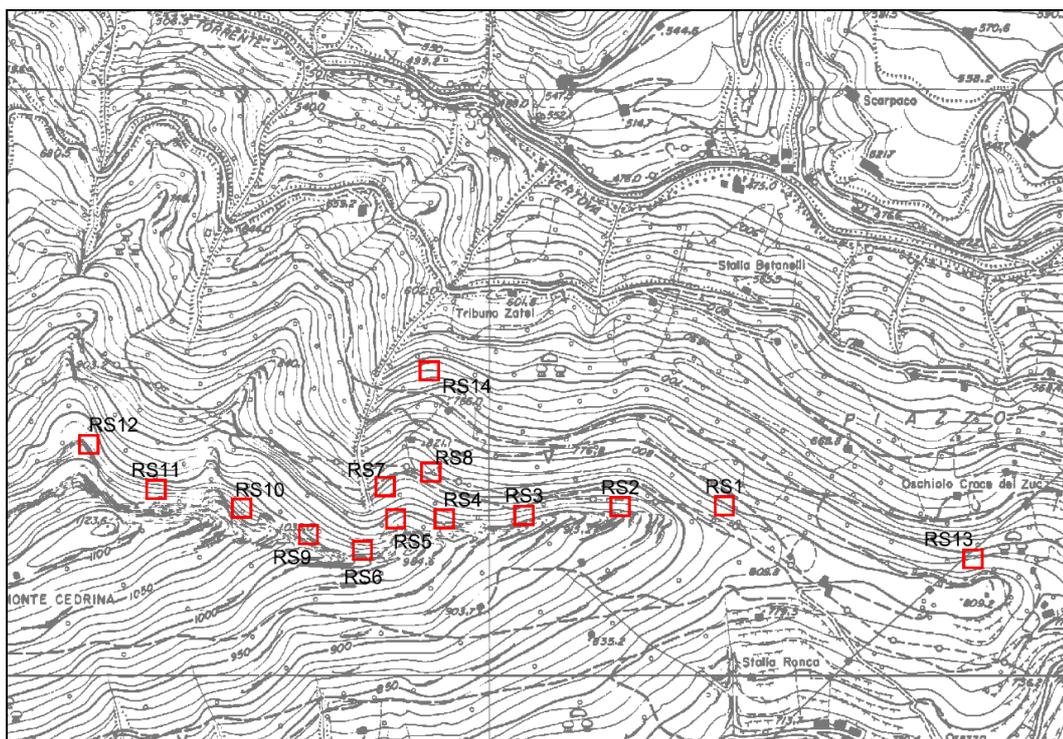


Figura 13: Ubicazione delle stazioni di rilievo geostrutturale eseguite nel primo macrosettore.

Uno dei sistemi ad essa ortogonali ha generalmente una direzione simile a quella a grande scala del versante e, pertanto una disposizione a franapoggio, con inclinazioni che variano in quanto dipendono da quelle degli strati. Gli altri due sistemi, che possono comparire entrambi con la stessa frequenza sul singolo affioramento o, più frequentemente, uno dei due risulta subordinato rispetto all'altro, sono disposti da obliquamente a perpendicolarmente rispetto alle fasce rocciose.

Tale assetto comporta un'elevata possibilità di svincolo dei blocchi in cui sono suddivisi gli ammassi rocciosi: nelle pagine seguenti alle Figura 14 - Figura 27 sono riportate le ciclografiche dei valori medi sia della giacitura dei principali sistemi di discontinuità che del fronte delle pareti rocciose (pendio) in corrispondenza delle 14 stazioni di rilievo geostrutturale.

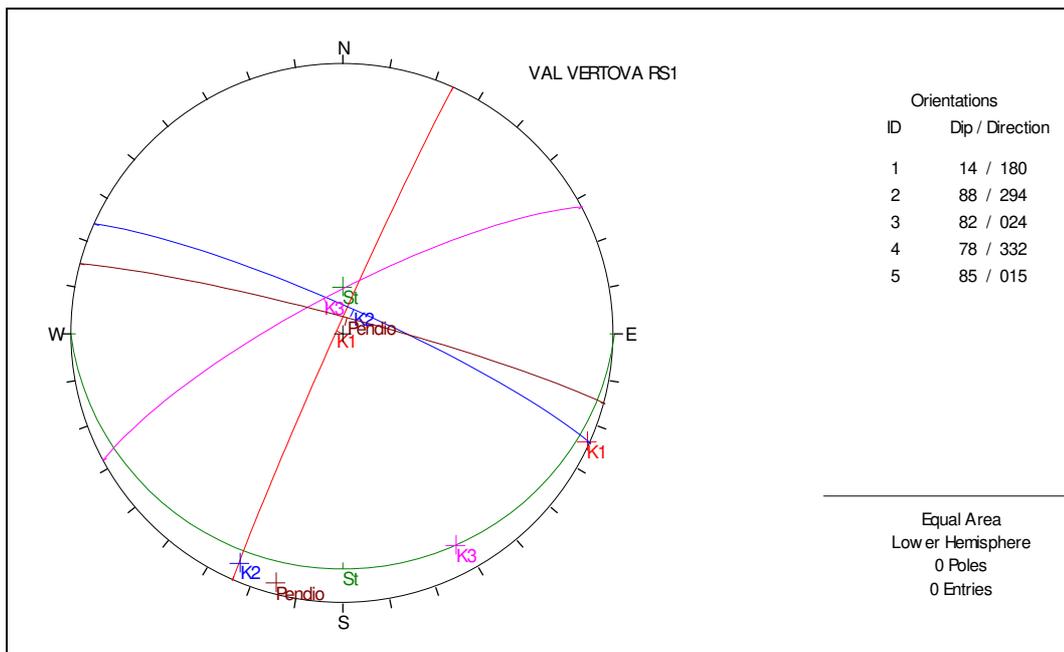


Figura 14: Stereogramma con riportate le ciclografiche dei valori medi dei sistemi di discontinuità principali e dell'orientazione media delle pareti rocciose (pendio) in corrispondenza della stazione di rilievo geostrutturale RS1. I valori di giacitura sono espressi come Immersione/inclinazione.

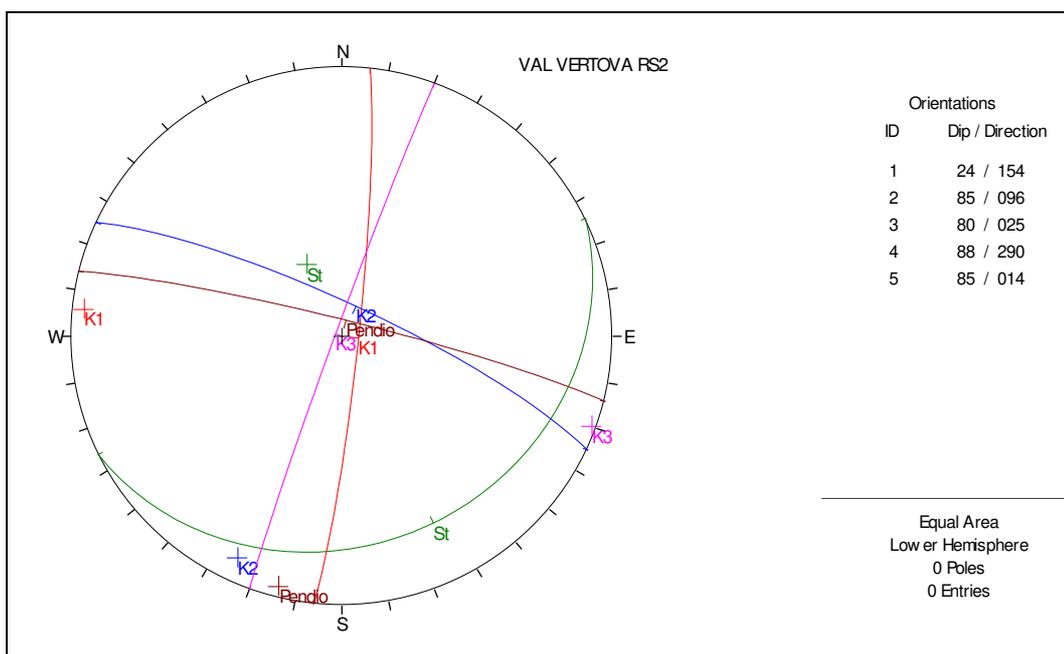


Figura 15: Stereogramma con riportate le ciclografiche dei valori medi dei sistemi di discontinuità principali e dell'orientazione media delle pareti rocciose (pendio) in corrispondenza della stazione di rilievo geostrutturale RS2. I valori di giacitura sono espressi come Immersione/inclinazione.

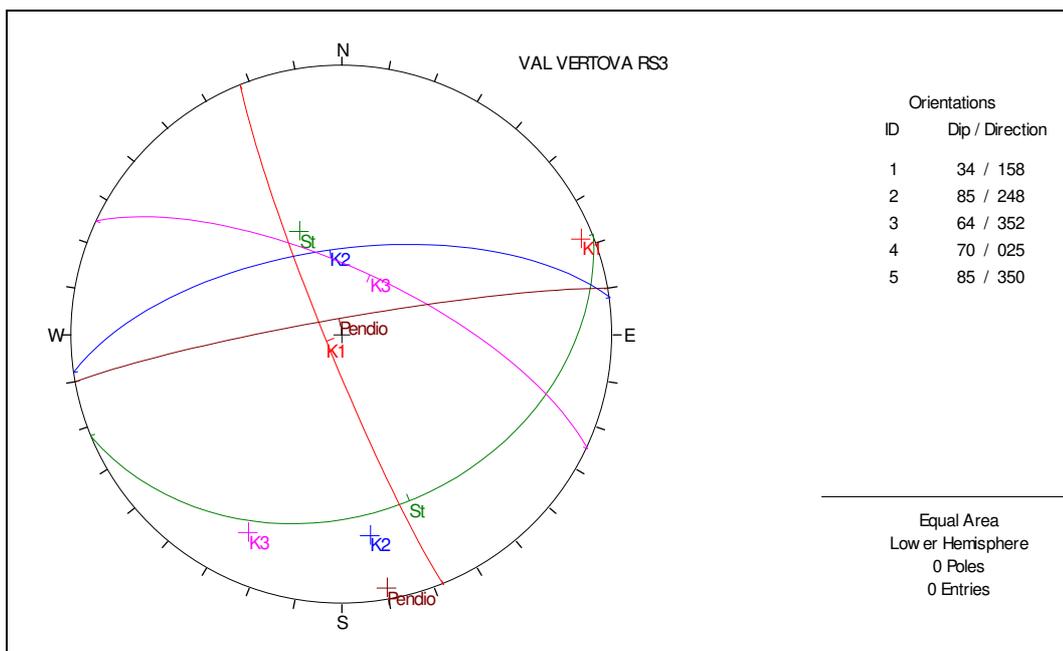


Figura 16: Stereogramma con riportate le ciclografiche dei valori medi dei sistemi di discontinuità principali e dell'orientazione media delle pareti rocciose (pendio) in corrispondenza della stazione di rilievo geostrutturale RS3. I valori di giacitura sono espressi come Immersione/inclinazione.

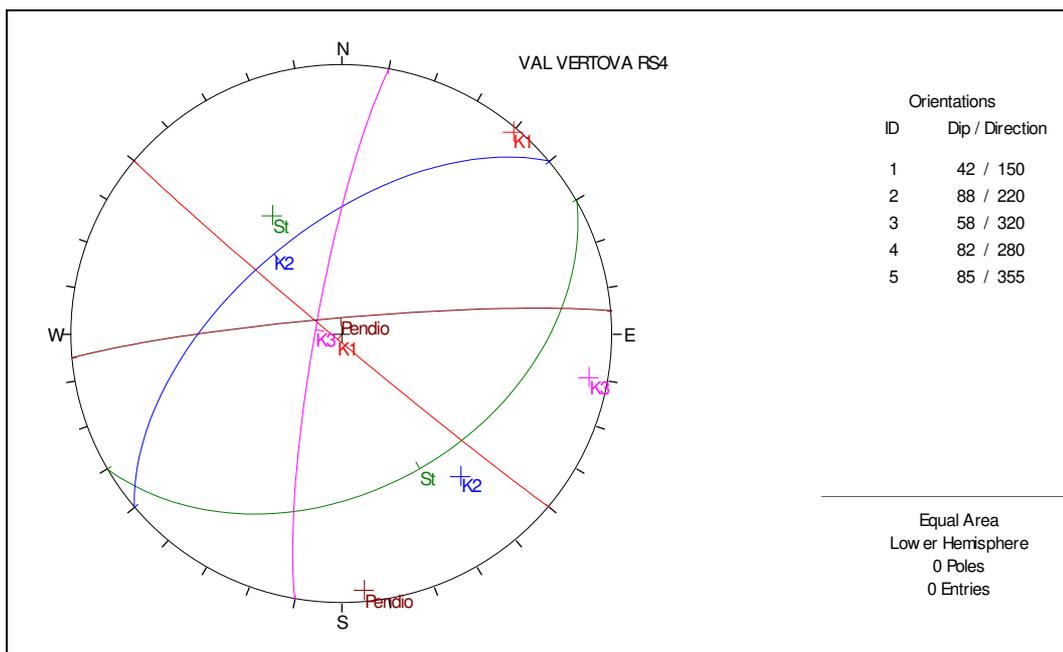


Figura 17: Stereogramma con riportate le ciclografiche dei valori medi dei sistemi di discontinuità principali e dell'orientazione media delle pareti rocciose (pendio) in corrispondenza della stazione di rilievo geostrutturale RS4. I valori di giacitura sono espressi come Immersione/inclinazione.

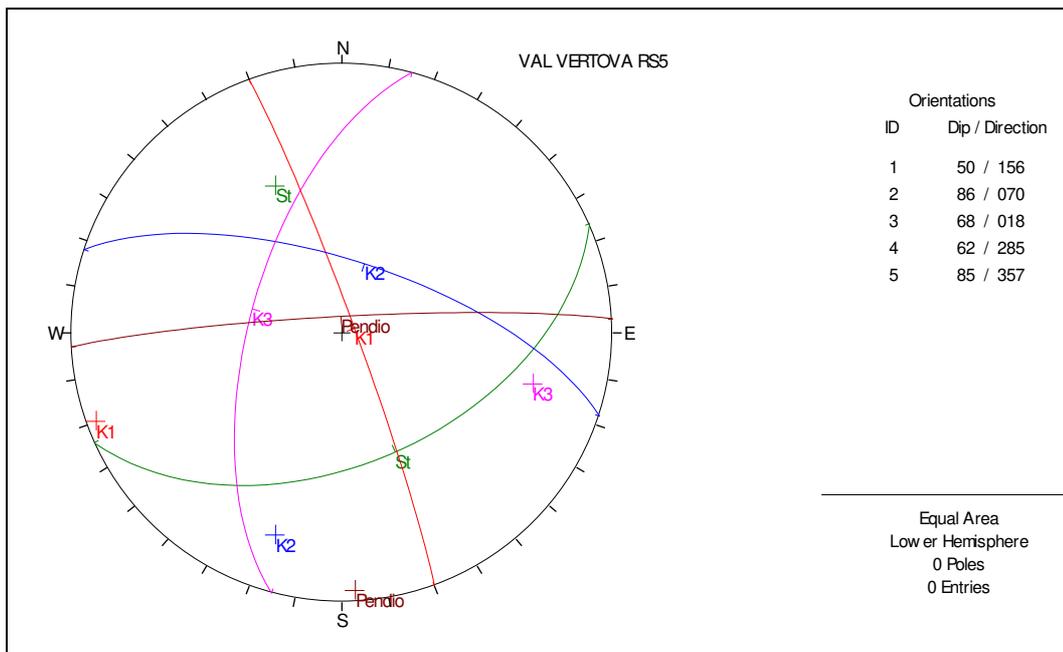


Figura 18: Stereogramma con riportate le ciclografiche dei valori medi dei sistemi di discontinuità principali e dell'orientazione media delle pareti rocciose (pendio) in corrispondenza della stazione di rilievo geostrutturale RS5. I valori di giacitura sono espressi come Immersione/inclinazione.

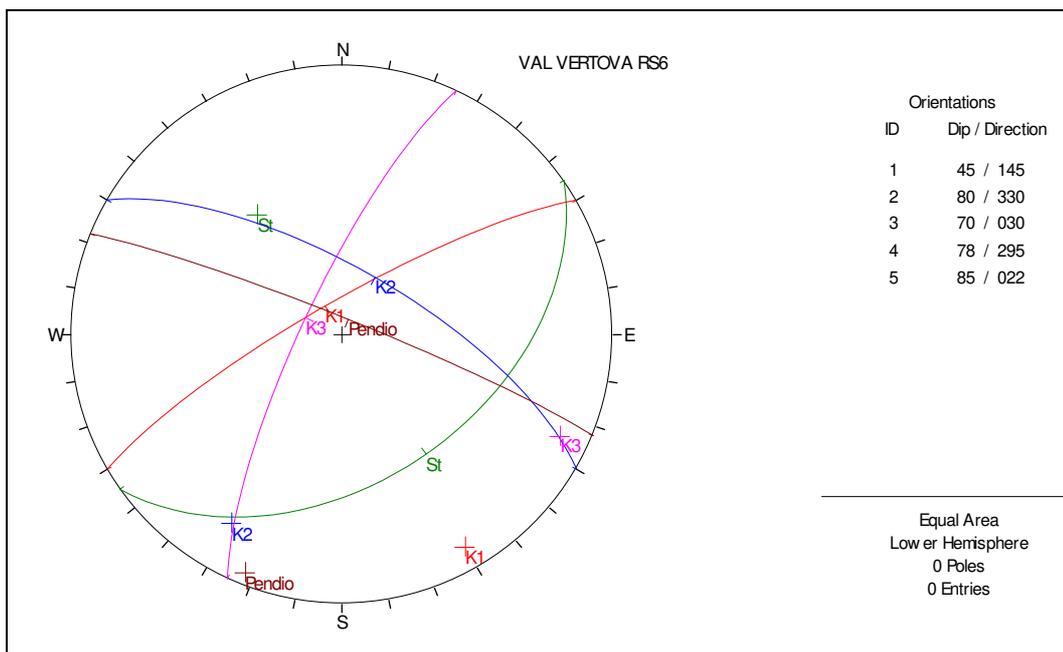


Figura 19: Stereogramma con riportate le ciclografiche dei valori medi dei sistemi di discontinuità principali e dell'orientazione media delle pareti rocciose (pendio) in corrispondenza della stazione di rilievo geostrutturale RS6. I valori di giacitura sono espressi come Immersione/inclinazione.

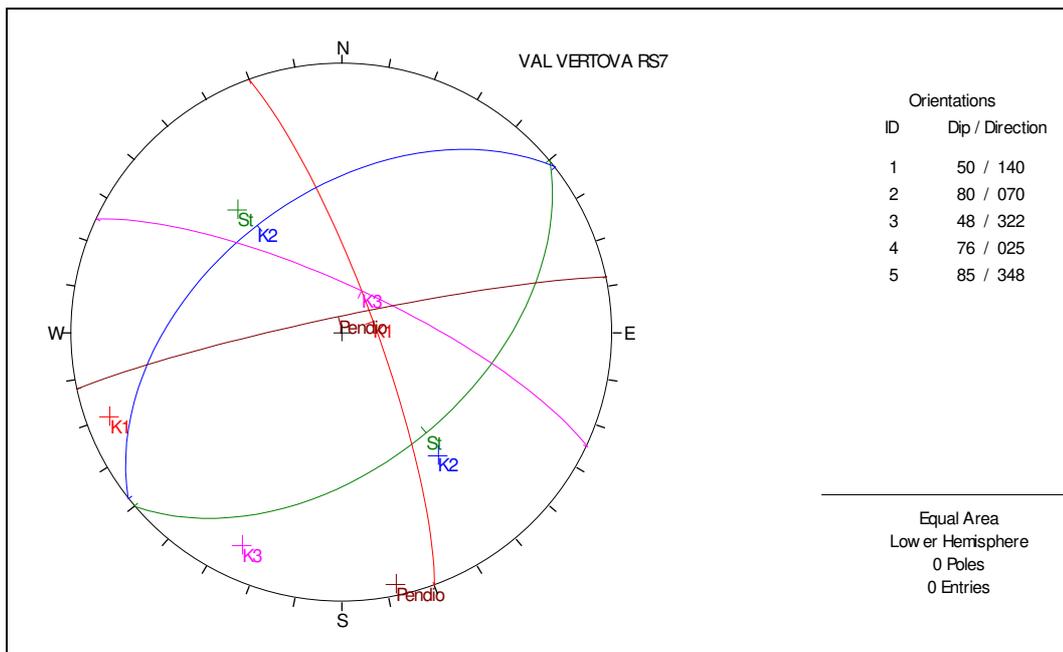


Figura 20: Stereogramma con riportate le ciclografiche dei valori medi dei sistemi di discontinuità principali e dell'orientazione media delle pareti rocciose (pendio) in corrispondenza della stazione di rilievo geostrutturale RS7. I valori di giacitura sono espressi come Immersione/inclinazione.

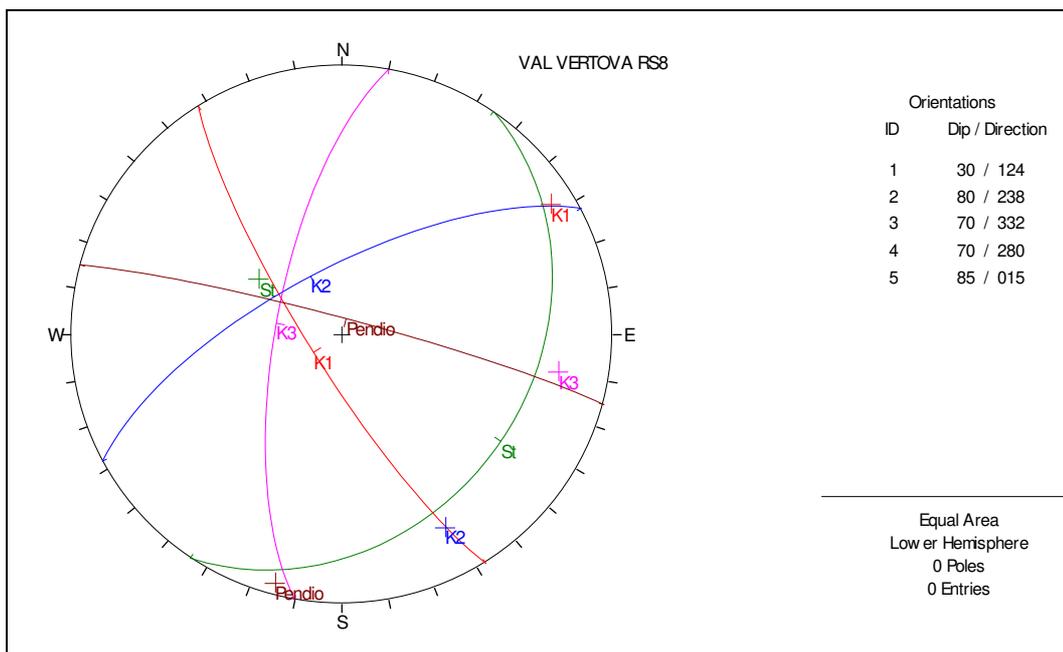


Figura 21: Stereogramma con riportate le ciclografiche dei valori medi dei sistemi di discontinuità principali e dell'orientazione media delle pareti rocciose (pendio) in corrispondenza della stazione di rilievo geostrutturale RS8. I valori di giacitura sono espressi come Immersione/inclinazione.

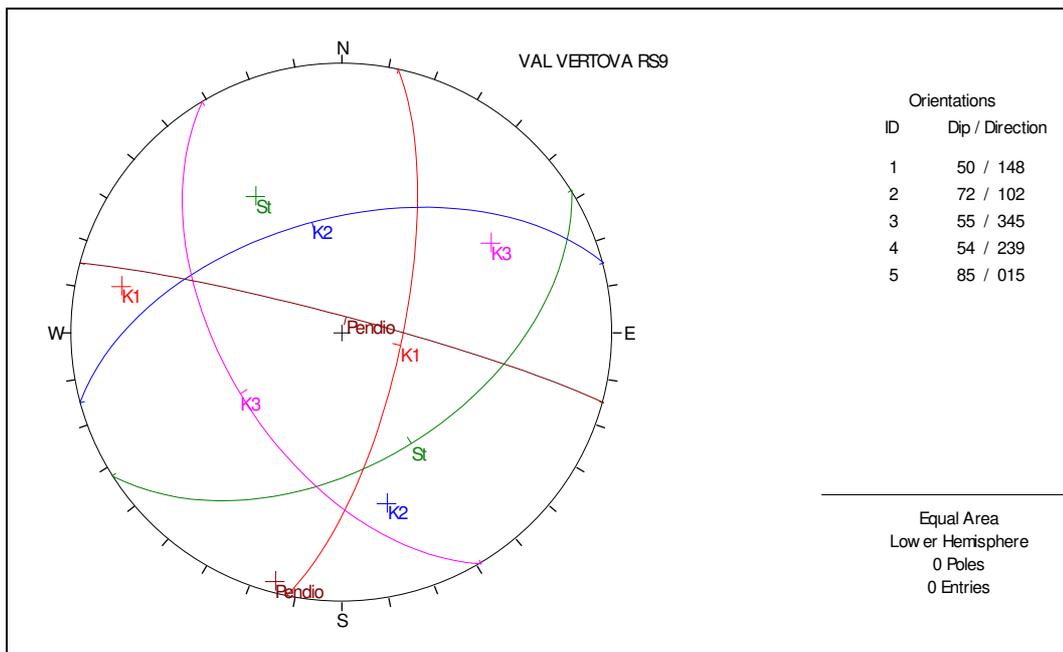


Figura 22: Stereogramma con riportate le ciclografiche dei valori medi dei sistemi di discontinuità principali e dell'orientazione media delle pareti rocciose (pendio) in corrispondenza della stazione di rilievo geostrutturale RS9. I valori di giacitura sono espressi come Immersione/inclinazione.

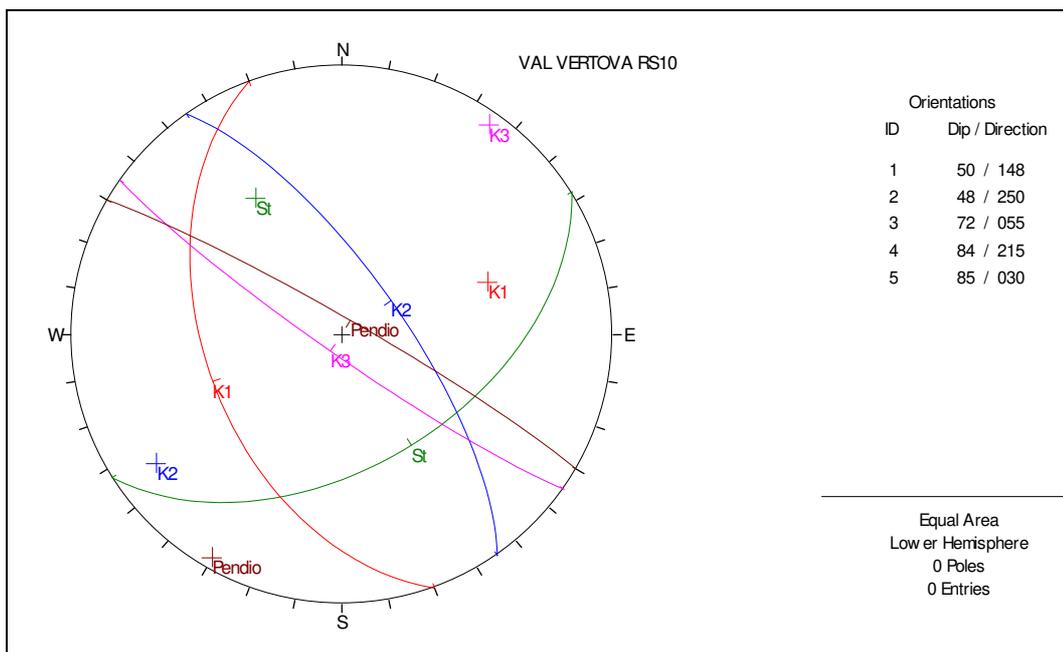


Figura 23: Stereogramma con riportate le ciclografiche dei valori medi dei sistemi di discontinuità principali e dell'orientazione media delle pareti rocciose (pendio) in corrispondenza della stazione di rilievo geostrutturale RS10. I valori di giacitura sono espressi come Immersione/inclinazione.

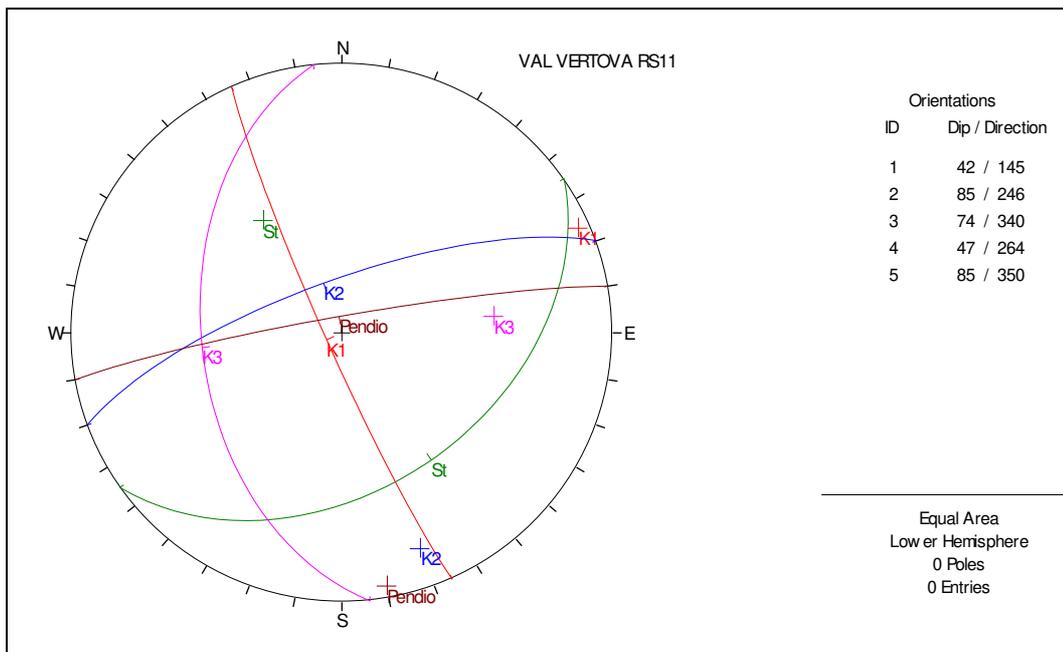


Figura 24: Stereogramma con riportate le ciclografiche dei valori medi dei sistemi di discontinuità principali e dell'orientazione media delle pareti rocciose (pendio) in corrispondenza della stazione di rilievo geostrutturale RS11. I valori di giacitura sono espressi come Immersione/inclinazione.

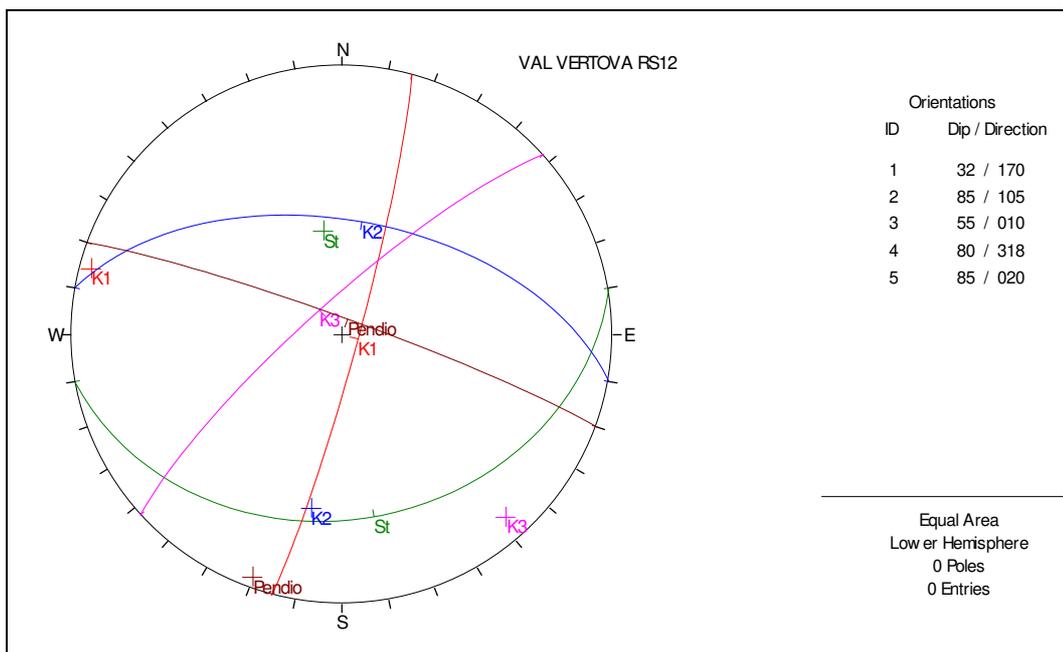


Figura 25: Stereogramma con riportate le ciclografiche dei valori medi dei sistemi di discontinuità principali e dell'orientazione media delle pareti rocciose (pendio) in corrispondenza della stazione di rilievo geostrutturale RS12. I valori di giacitura sono espressi come Immersione/inclinazione.

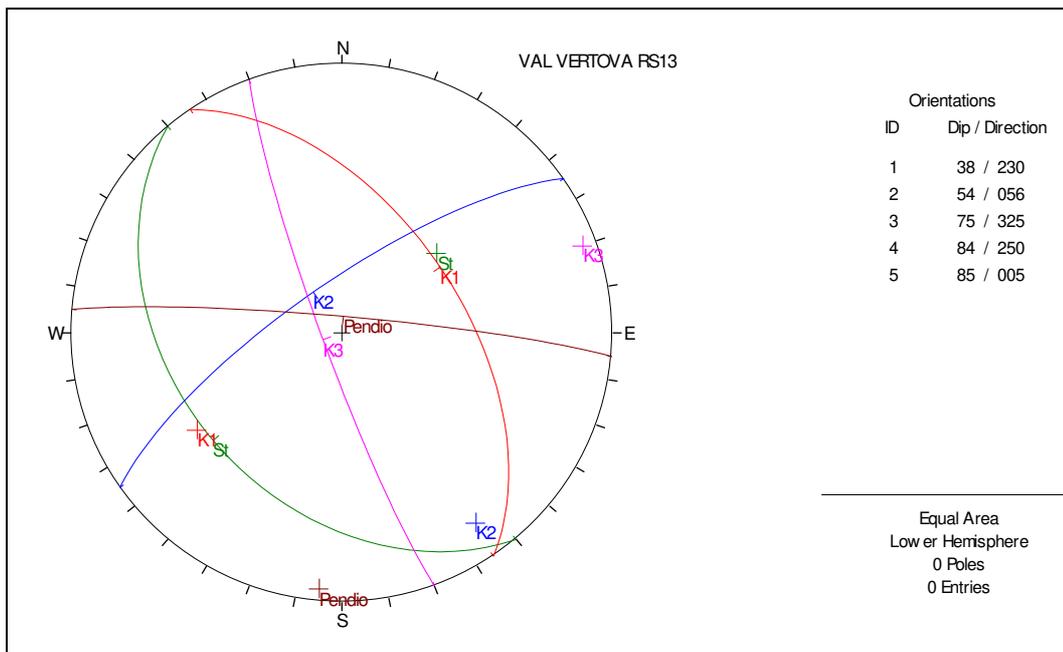


Figura 26: Stereogramma con riportate le ciclografiche dei valori medi dei sistemi di discontinuità principali e dell'orientazione media delle pareti rocciose (pendio) in corrispondenza della stazione di rilievo geostrutturale RS13. I valori di giacitura sono espressi come Immersione/inclinazione.

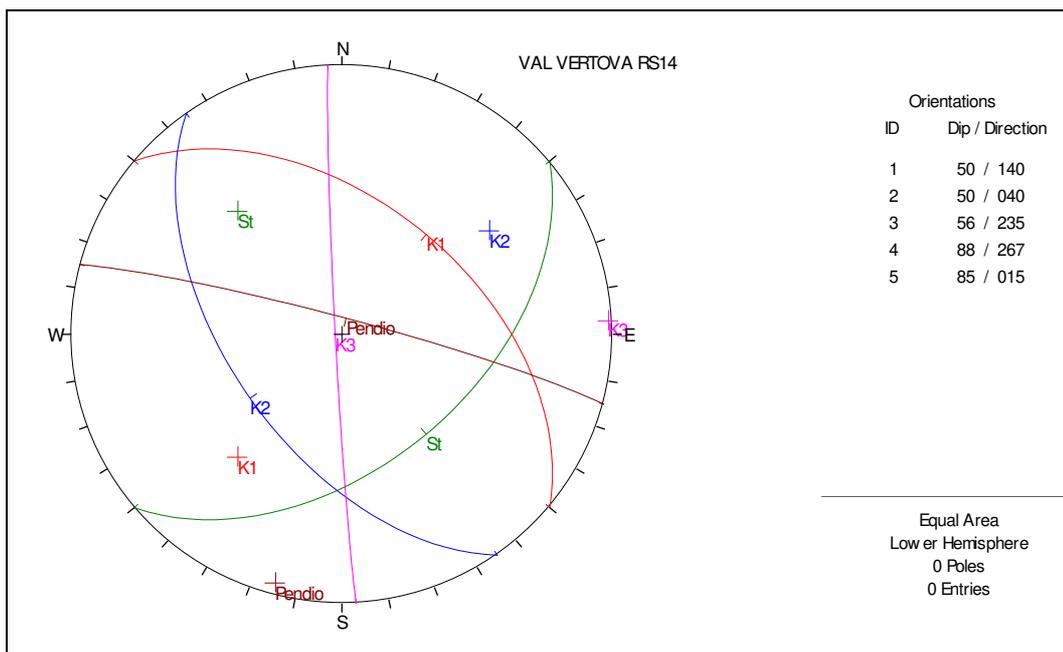


Figura 27: Stereogramma con riportate le ciclografiche dei valori medi dei sistemi di discontinuità principali e dell'orientazione media delle pareti rocciose (pendio) in corrispondenza della stazione di rilievo geostrutturale RS14. I valori di giacitura sono espressi come Immersione/inclinazione.

Nella seguente Tabella 10 sono riassunti i possibili cinematismi di mobilitazione dei blocchi che ne consegue.

Stazione geostrutturale	Possibilità di scivolamento planare	Possibilità di scivolamento di cuneo lungo l'intersezione tra diversi sistemi
RS1	Si (lungo un singolo sistema)	Si (n.2 combinazioni sfavorevoli alla stabilità)
RS2	Si (lungo un singolo sistema)	Si (n.2 combinazioni sfavorevoli alla stabilità)
RS3	Si (lungo un singolo sistema)	Si (n.1 combinazione sfavorevole alla stabilità)
RS4	No	Si (n.1 combinazione sfavorevole alla stabilità)
RS5	Si (lungo un singolo sistema)	Si (n.2 combinazioni sfavorevoli alla stabilità)
RS6	Si (lungo un singolo sistema)	Si (n.2 combinazioni sfavorevoli alla stabilità)
RS7	No	Si (n.3 combinazioni sfavorevoli alla stabilità)
RS8	No	Si (n.1 combinazione sfavorevole alla stabilità)
RS9	No	Si (n.1 combinazione sfavorevole alla stabilità)
RS10	Si (lungo un singolo sistema)	No
RS11	Si (lungo un singolo sistema)	Si (n.1 combinazione sfavorevole alla stabilità)
RS12	Si (lungo un singolo sistema)	Si (n.3 combinazioni sfavorevoli alla stabilità)
RS13	No	Si (n.1 combinazione sfavorevole alla stabilità)
RS14	Si (lungo un singolo sistema)	Si (n.1 combinazione sfavorevole alla stabilità)

Tabella 10: Cinematismi possibili derivanti dalla disposizione dei valori medi della giacitura dei principali sistemi di discontinuità rispetto a quello medio del fronte delle pareti rocciose.

Il numero di possibilità cinematiche di svincolo dei blocchi individuati confrontando i valori medi di giacitura dei sistemi di discontinuità principali con quello delle pareti è comunque inferiore a quello reale che si riscontra sul terreno, in quanto la morfologia degli affioramenti rocciosi è articolata e l'orientazione dei fronti da cui possono verificarsi distacchi è molto variabile. Ciò comporta che lungo rientranze o speroni sporgenti della stessa balza rocciosa vi siano ulteriori possibilità di scivolamenti planari o di cunei rocciosi determinati dai sistemi di discontinuità principali. Inoltre, lungo diversi affioramenti si riscontra un numero elevato di fratture *random* (non sistematiche) che, combinandosi con quelle dei sistemi principali, o tra loro, aumentano le possibilità di svincolo dei blocchi.

A causa dell'erosione differenziale, che interessa in particolare la formazione del Calcere di Zu, dove si alternano litofacies calcaree molto tenaci e litofacies a maggior contenuto marnoso meno resistenti, lungo le fasce rocciose vi sono porzioni in aggetto dalle quali possono verificarsi ulteriori distacchi, come ad esempio crolli per scollamento di blocchi isolati a tetto dalla stratificazione.

Ampie porzioni d'ammasso, in particolare lungo le zone di ciglio sommitale delle pareti e delle balze rocciose, sono interessate da fenomeni di rilascio, anche molto marcato, evidenziato dalla presenza di fratture aperte (alcune fino a 8-10 cm) e di blocchi già smossi. Nelle fratture aperte si insinua l'apparato radicale della vegetazione (arbusti, rampicanti, ma anche alberi di alto fusto), la cui spinta rende possibile i distacchi di porzioni rocciose rilasciate anche in situazioni dove

l'assetto delle discontinuità non ne consentirebbe il cinematismo (frequente è la presenza di blocchi o pilastrini basculati in direzione ortogonale od anche opposta a quella di massima pendenza). Diffusa inoltre è la presenza di blocchi o ammassi di blocchi disarticolati trattenuti in loco dalle radici della vegetazione, anche in posizioni a sbalzo lungo il ciglio dei risalti rocciosi. Lungo i ripidi pendii che separano le balze di roccia sono presenti anche alcuni blocchi già crollati ed arrestatisi in posizione alquanto precaria o contro i fusti degli alberi.

Per quando riguarda la dimensione dei blocchi, questa dipende primariamente dalla spaziatura delle discontinuità impostate lungo la stratificazione.

Nel Calcare di Zu la spaziatura degli strati più frequente è quella moderata (classe ISRM 20-60 cm), seguono poi la stretta (classe ISRM 6-20 cm) e, quindi, la larga (classe ISRM 60-200 cm). In alcuni orizzonti gli strati sono amalgamati e la spaziatura delle discontinuità impostate sugli stessi raggiunge anche i 3 m. Gli altri sistemi di discontinuità principali hanno prevalentemente spaziatura larga (classe ISRM 60-200 cm), ma lungo i singoli strati si alternano porzioni dove le fratture sono più ravvicinate ed altre dove queste si diradano. Laddove gli strati sono amalgamati le discontinuità dei sistemi subortogonali alla stratificazione hanno spesso spaziatura molto larga (classe ISRM 2-6 m).

Il grado di suddivisione degli ammassi rocciosi costituiti dalle litofacies del Calcare di Zu è pertanto molto variabile, con VRU che spaziano da pochi decimetri cubi ad alcuni metri cubi. Sulla base delle osservazioni effettuate le situazioni di instabilità più diffuse riguardano massi di $20 \div 60 \text{ dm}^3$ di volume, seguono quelle che coinvolgono blocchi di $0.1 \div 0.4 \text{ m}^3$, mentre i volumi maggiori sono dell'ordine di $2.8 \div 3.5 \text{ m}^3$. In termini di "Classe di severità geometrica" per la valutazione della pericolosità del "metodo svizzero", i massi più piccoli ricadono quindi in quella definita dal "diametro dei blocchi $< 0.5 \text{ m}$ ", mentre entrambe le altre situazioni ricadono in quella definita dal "diametro dei blocchi $0.5 \div 2 \text{ m}$ ".

Nel Calcare di Sedrina, che affiora lungo il ciglio sommitale della dorsale del M. Cedrina l'assetto strutturale ed il grado di suddivisione degli ammassi rocciosi è analogo a quello del Calcare di Zu e, quindi, anche le classi di severità geometrica sono simili.

Nella Formazione dell'Albenza, che forma gran parte dell'estesa parete rocciosa settentrionale della dorsale del M. Cedrina, le litofacies sono organizzate in strati/banchi amalgamati e, pertanto, la spaziatura delle discontinuità impostata sulle strutture sedimentarie è mediamente molto larga (classe ISRM 2-6 m). Il grado di suddivisione è variabile, ma i volumi rocciosi isolati dalle discontinuità sono generalmente dell'ordine dei metri cubi. Le situazioni di potenziale instabilità più frequenti tra quelle direttamente osservate riguardano blocchi di $2 \div 4 \text{ m}^3$, mentre i volumi massimi sono dell'ordine di $6 \div 8 \text{ m}^3$. Tuttavia la dimensione di alcune nicchie di distacco fa presumere che in passato si siano verificati crolli di dimensioni maggiori, almeno fino a $20 \div 25 \text{ m}^3$.

Tra Tribulina Zátel (Tribuna Zatel su CTR) e Garimóncc, a monte della strada agro-silvo-pastorale per la Val di Val di Grü affiorano anche le litofacies dell'Argillite di Riva di Solto (alternanze di calcari, marne ed argilliti) e delle Do-

lomie Zonate. Queste ultime sono rappresentate sia dalla facies tipica, ben stratificata (spessore degli strati da 5 a 60 cm), che da brecce in bancate di elevato spessore, in rapporti eteropici tra loro. Il grado di suddivisione degli ammassi rocciosi costituiti da tali rocce è alquanto variabile, in particolare nelle brecce si alternano porzioni o fasce notevolmente fratturate a porzioni massive. Le situazioni di instabilità più diffuse tra quelle osservate in sito riguardano piccoli blocchi (volume inferiore a 50 dm³), mentre i volumi massimi sono di 0.5÷0.6 m³ nelle facies stratificate di entrambe le formazioni, e di 1.5÷2 m³ nelle brecce.

Nella Tabella 11 si riassumono i valori adottati per la classificazione della pericolosità delle aree di potenziale distacco.

Classi di severità geometrica per fenomeni di crollo	Intervalli di velocità	Frequenza probabile	Magnitudo	Pericolosità	Zone
Diametro blocchi <0.5 m (volume < 0.07 m ³)	3	1-30 anni	3	P3	Tutti gli affioramenti
Diametro blocchi 0.5-2 m (volume 0.07- 4.2 m ³)	3	30-100 anni	6	P4	Tutti gli affioramenti
Diametro blocchi >2 m (volume > 4.2 m ³)	3	100-300 anni	9	P3	Fascia rocciosa della parete del M. Cedrina costituita da bancate di spessore elevato

Tabella 11: Valori adottati per la classificazione della pericolosità delle aree di potenziale distacco.

Di seguito si riporta una documentazione fotografica scelta per fornire un quadro più chiaro delle varie situazioni riscontrate durante i sopralluoghi in sito.

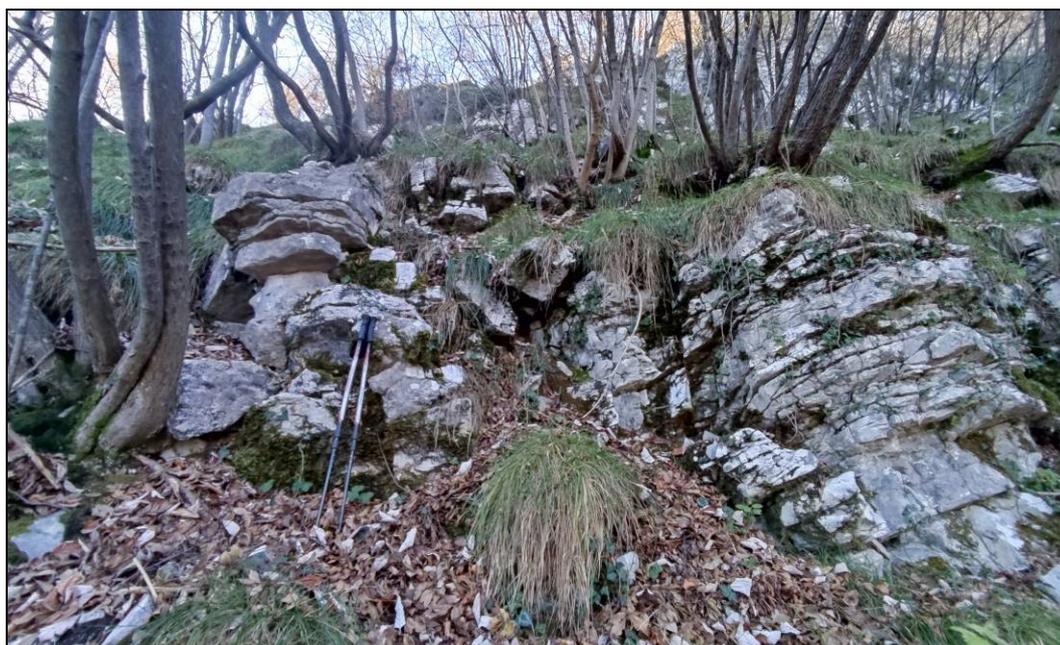


Foto 8: Porzione d'ammasso rilasciata con blocchi smossi, alcuni dei quali in precarie condizioni di stabilità (zona tra RS1 e RS2).



Foto 9: Blocco bascolato poggiante su un pilastro completamente isolato a tergo da una frattura beante (zona tra RS1 e RS2).



Foto 10: Blocco di 0.4 m³ completamente isolato a tergo da una frattura beante e con la base per metà a sbalzo (zona tra RS1 e RS2).



Foto 11: Pilastrino di 0.7 m^3 completamente isolato a tergo da una frattura beante e con una base d'appoggio molto ridotta (zona tra RS2 e RS3).



Foto 12: Masso di 0.15 m^3 arrestatosi contro la vegetazione (tratto di pendio sottostante la zona tra RS2 e RS3).



Foto 13: Piccolo masso caduto di recente ed arrestatosi precariamente contro la vegetazione (tratto di pendio sottostante la zona tra RS3 e RS4).



Foto 14: Ammasso di blocchi instabili che possono mobilizzarsi per scivolamento planare, quello di maggiori dimensioni ha un volume di $\approx 2.5 \text{ m}^3$ (zona sottostante RS4).



Foto 15: Masso di 0.35 m^3 arrestatosi contro la vegetazione (tratto di pendio sottostante la zona tra RS3 e RS4).



Foto 16: Ammasso di blocchi instabili che possono mobilizzarsi per scivolamento planare, quello di maggiori dimensioni ha un volume stimabile in $\approx 3 \text{ m}^3$ (zona RS4).



Foto 17: Piccoli blocchi instabili per scivolamento planare su discontinuità disposta a franapoggio (zona RS5).

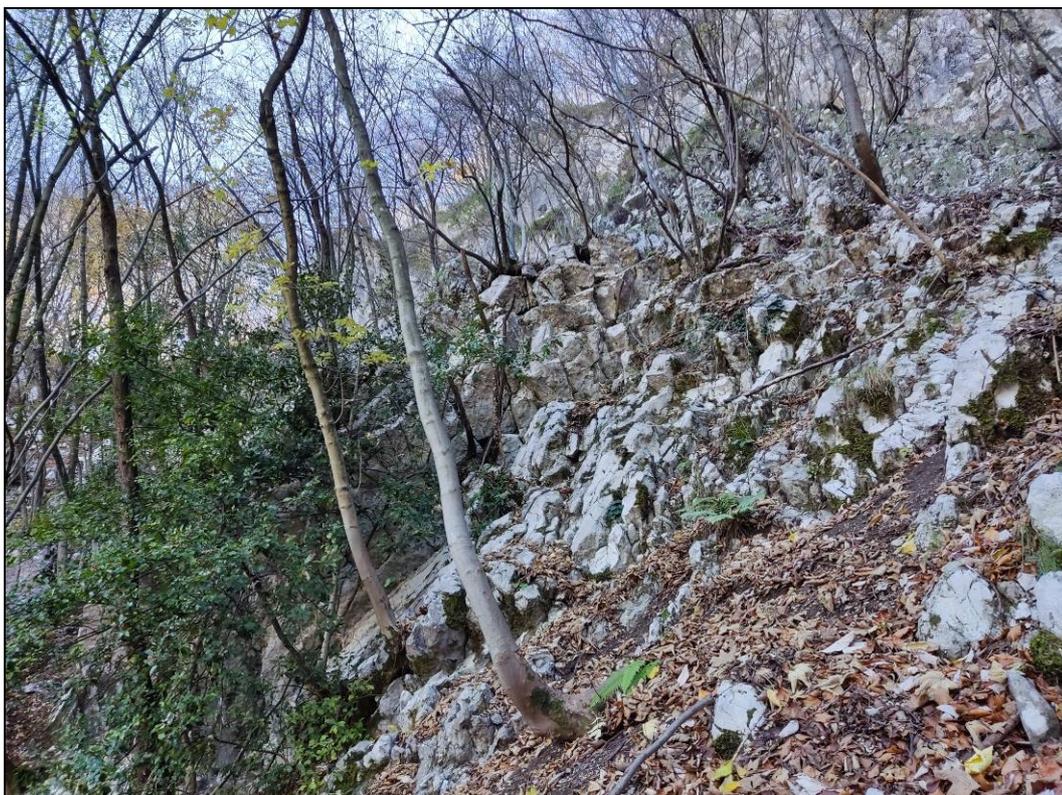


Foto 18: Risalto roccioso con numerosi blocchi instabili (fino a 1.2 m³ di volume) sia per scivolamento planare che per cuneo roccioso, sono visibili anche diverse nicchie di distacchi già avvenuti (zona tra RS5 e RS7).



Foto 19: Blocco di $\approx 2.8 \text{ m}^3$ leggermente scivolato lungo una discontinuità a franapoggio ed arrestatosi contro un piccolo gradino formato dal tetto di uno strato (zona sottostante RS6).



Foto 20: Speroncino di 2.5 m^3 che può mobilizzarsi lateralmente rispetto all'orientazione media del pendio. A tergo sono presenti blocchi già smossi trattenuti da radici. (Zona RS7).

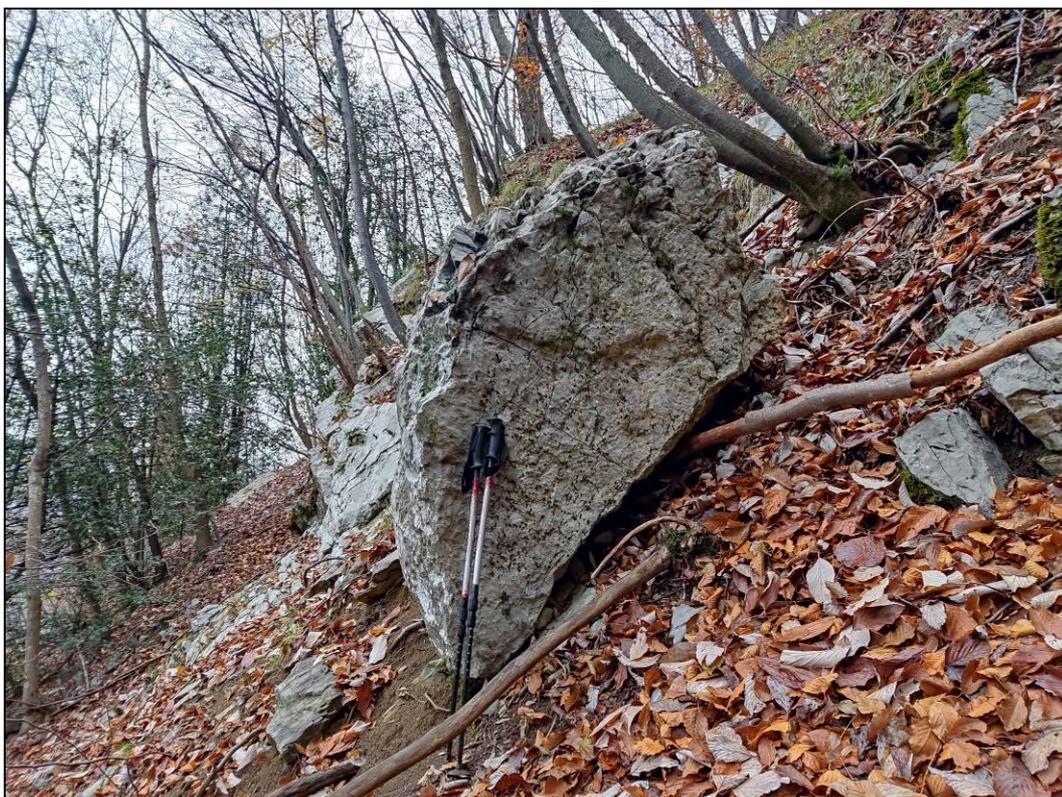


Foto 21: Masso di 1.3 m³ scivolato per alcuni metri su un pendio detritico ed arrestatosi in una posizione di stabilità molto precaria (zona sottostante RS7).



Foto 22: Masso di 0.95 m³ arrestatosi contro la vegetazione (tratto di pendio sottostante la zona tra RS6 e RS9).



Foto 23: Blocco isolato di 1.6 m³, già smosso e con superficie d'appoggio molto ridotta (zona tra RS4 e RS8).



Foto 24: Porzione d'ammasso rilasciata con diversi blocchi smossi, quelli di maggiori dimensioni (1.5÷2.5 m³) sono basculati e poggiano l'uno sull'altro (zona RS8).



Foto 25: Azione instabilizzante dell'apparato radicale di una pianta di alto fusto che, crescendo, amplia lo spazio tra blocchi già smossi di $1.2 \div 2.5 \text{ m}^3$ di volume (zona poco ad est di RS8).

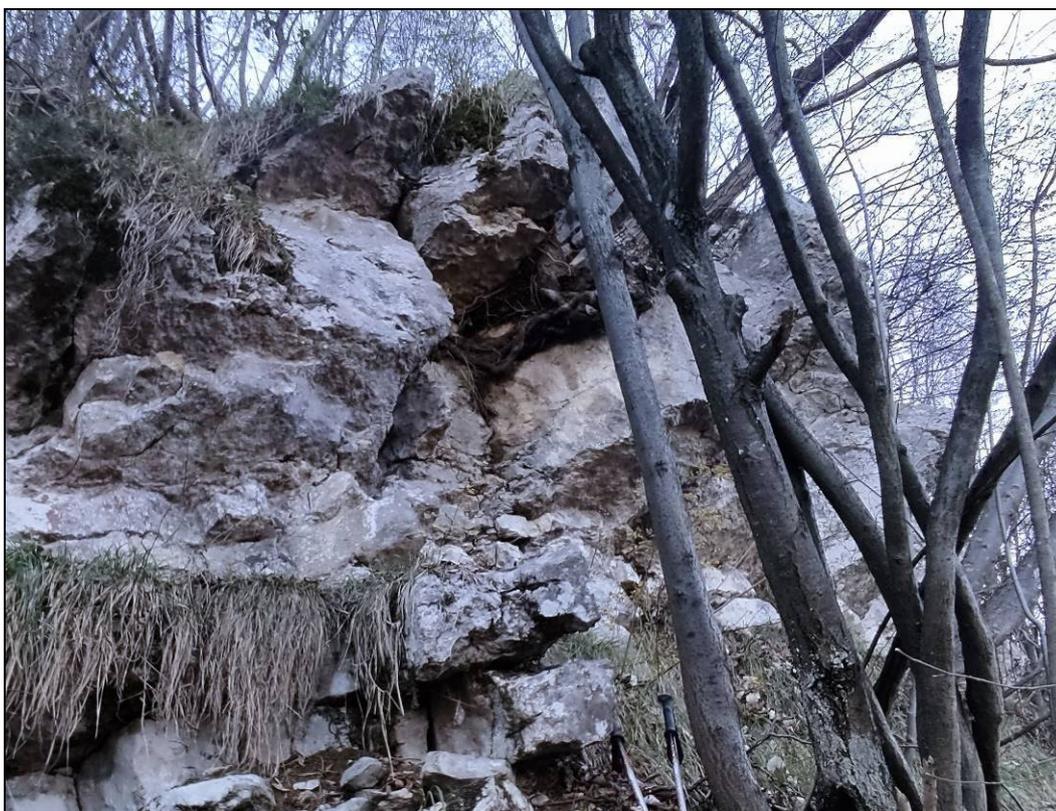


Foto 26: Nicchia di un distacco recente causato dall'azione instabilizzante dell'apparato radicale di un albero (stima delle dimensioni della massa rocciosa crollata $\approx 0.8 \text{ m}^3$, molto probabilmente costituita da più blocchi di minori dimensioni) (zona ad est di RS8, nel tratto sottostante RS2-RS3).



Foto 27: Blocco di $\approx 1.3 \text{ m}^3$ ribaltatosi lateralmente e poggiante parzialmente su una superficie a franapoggio molto inclinata (zona ad est di RS8, nel tratto sottostante RS2-RS3).



Foto 28: Blocco di $\approx 3 \text{ m}^3$ completamente isolato sia a tergo che lateralmente, poggia su una superficie di strato a reggipoggio, ma per 2/3 è a sbalzo (zona ad est di RS8, nel tratto sottostante RS2-RS3).



Foto 29: Nicchie di distacco recenti per scivolamento di cunei rocciosi. La stima delle dimensioni delle porzioni rocciose crollate è di $\approx 3 \div 4 \text{ m}^3$, costituite da più blocchi di minori dimensioni (tratto di pendio sottostante la zona tra RS11 e RS12).



Foto 30: Nicchia di distacco di uno scivolamento planare molto recente, che ha coinvolto una porzione rocciosa di circa 1.2 m^3 complessivi, costituita da più blocchi tabulari arrestatisi lungo il pendio sottostante (tratto di versante a valle di RS11).



Foto 31: Porzione d'ammasso in aggetto, suddivisa in più blocchi di grandi dimensioni (stima di quelli di volume maggiore $6\div 8\text{ m}^3$), parzialmente isolata a tergo da una frattura molto aperta (zona tra RS10 e RS11, parete nord del M.Cedrina costituita dalle litofacies della Fm. Dell'Albenza).

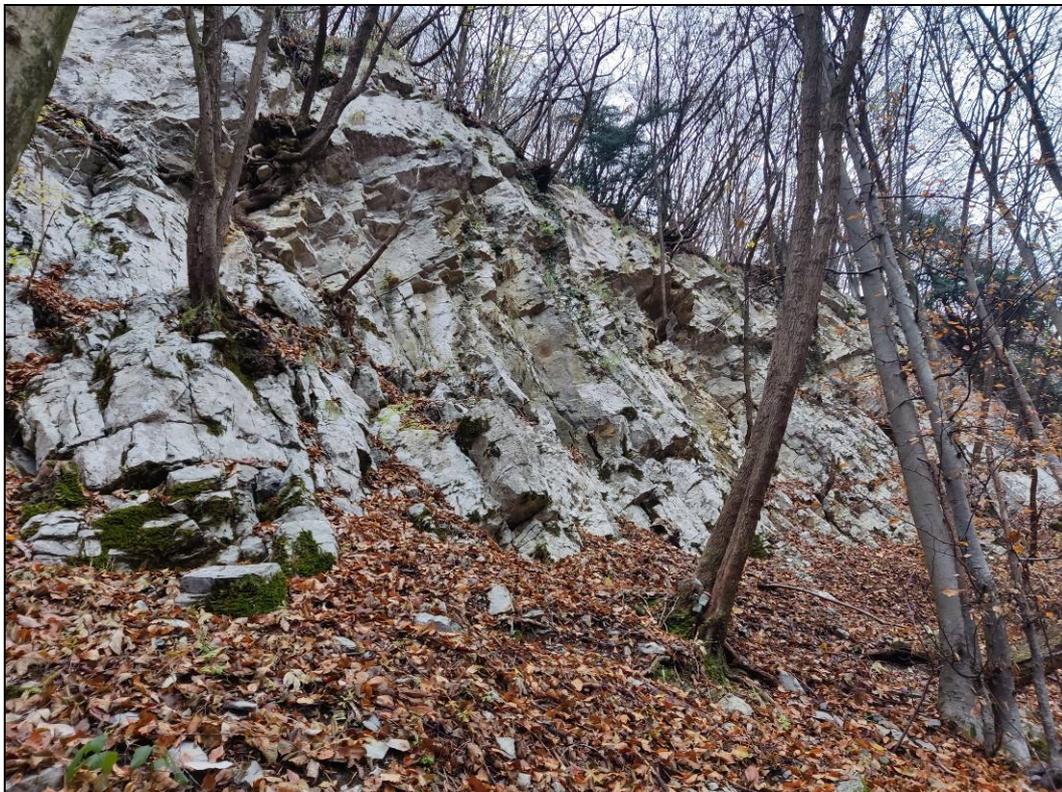


Foto 32: Balza rocciosa con superficie sagomata secondo l'andamento delle nicchie di distacco di cunei rocciosi, anche recenti (tratto di pendio sottostante RS12).

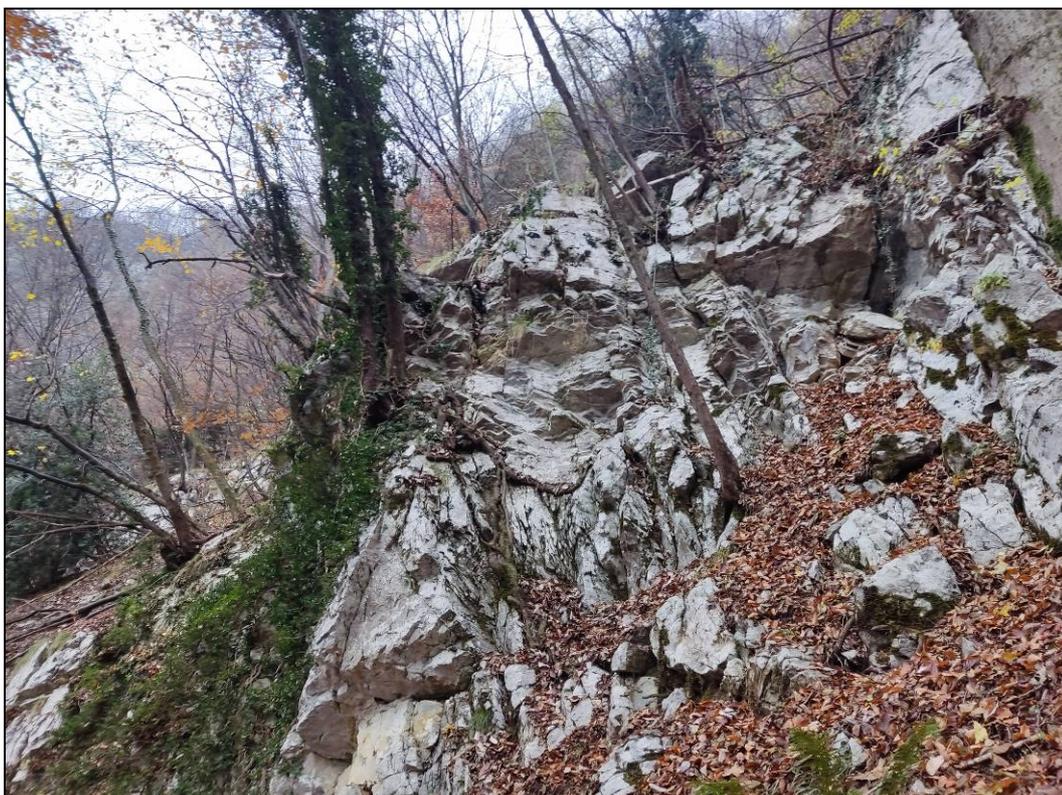


Foto 33: Ammasso roccioso molto fratturato da cui sono possibili crolli in massa di porzioni di $5\div 7\text{ m}^3$ di volume, già suddivise in blocchi di piccole dimensioni (max. $0.6\div 0.8\text{ m}^3$) (tratto di pendio sottostante RS12).



Foto 34: Falda detritica costituita prevalentemente da elementi rocciosi di piccola pezzatura ($10\div 50\text{ dm}^3$ di volume), con sparsi massi di $0.3\div 0.5\text{ m}^3$. Sono presenti anche blocchi più grandi, ma essendo in parte sepolti sotto il detrito più recente, non è possibile definirne con certezza le dimensioni (probabilmente sono dell'ordine di $0.8\div 1.5\text{ m}^3$) (testata del vallone sottostante la zona tra RS11 e RS12).



Foto 35: Masso di crollo con un volume stimabile in $2.6 \div 2.8 \text{ m}^3$ (vallone sottostante la zona tra RS11 e RS12, circa 70 m a monte della strada agro-silvo-patorale per la Val di Grü).

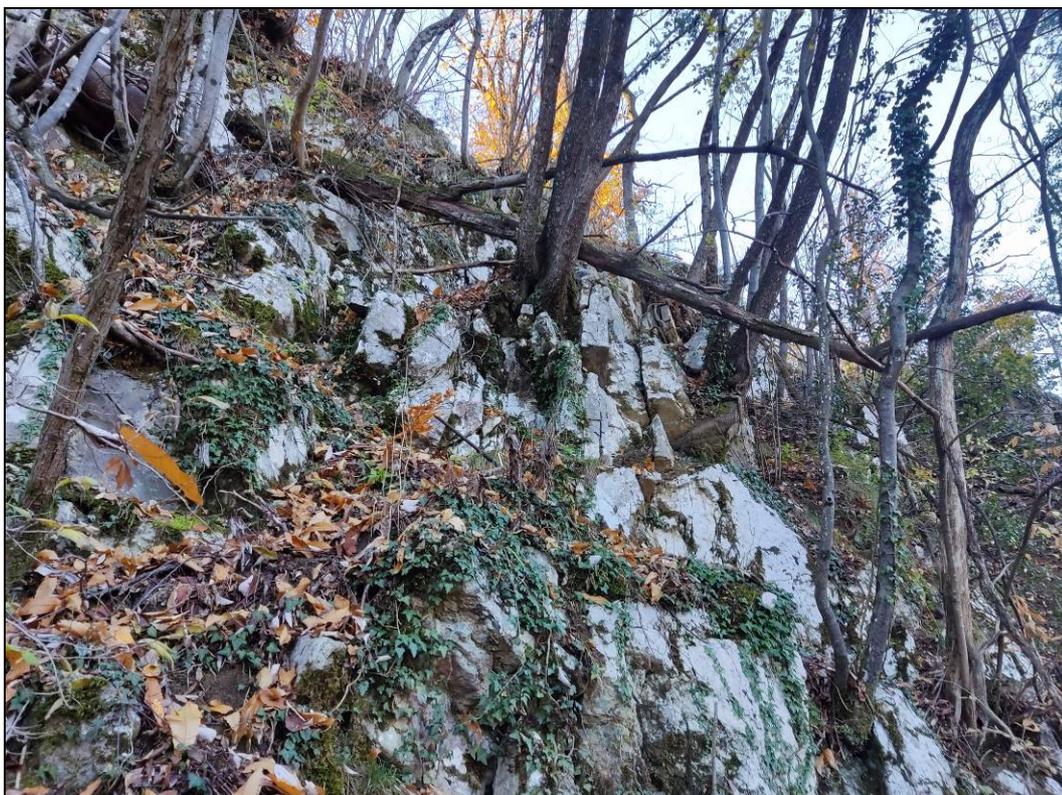


Foto 36: Azione instabilizzante dell'apparato radicale delle piante su un ammasso roccioso molto fratturato, suddiviso in blocchi di volume variabile da alcuni dm^3 a $0.3 \div 0.4 \text{ m}^3$ (zona RS13).



Foto 37: Masso di 0.2 m³ caduto di recente ed arrestatosi precariamente contro la vegetazione (tratto di pendio sottostante RS13).



Foto 38: Ammasso roccioso con le discontinuità impostate lungo la stratificazione spaziate fino a 3 m (strati amalgamati). Sono presenti altri due sistemi di discontinuità principali che permettono lo scivolamento di cunei di roccia di dimensioni fino a 3.5 m³ di volume. L'entità dei distacchi è testimoniata anche dalle dimensioni delle numerose nicchie presenti (zona RS13).



Foto 39: Masso di 1.8 m³ arrestatosi lungo il versante (zona sottostante RS14).



Foto 40: Facies a brecce delle Dolomie Zonate: l'ammasso roccioso è molto fratturato, con blocchi instabili di dimensioni fino a $\approx 1.5 \text{ m}^3$ (zona tra Tribulina Zátel e Garimóncc, a monte della strada agro-silvo-pastorale per la Val di Val di Grü).

5.2 SECONDO MACROSETTORE

Il secondo macrosettores comprende la porzione di Val Vertova maggiormente incassata tra i versanti, dove il fondovalle, a tratti, diviene una vera e propria forra. Entrambi i versanti vallivi sono molto acclivi, con pareti e risalti rocciosi verticali anche di diverse decine di metri di altezza. In sinistra idrografica la morfologia a grande scala dei versanti è poco articolata e lungo gli stessi le fasce rocciose da cui possono distaccarsi blocchi giungono sino alle zone sommitali (fino a circa 500 m di quota al di sopra del fondovalle principale). In destra idrografica, invece, la morfologia è molto più variegata per la presenza di diverse incisioni vallive tributarie, la maggior parte delle quali inforrate nel tratto terminale, e ciò comporta una minore estensione in quota delle zone potenzialmente soggette a distacchi di blocchi (fino a circa 250 m di quota al di sopra del fondovalle principale) per la presenza di crinali e dossi spartiacque.

Gli ammassi rocciosi sono costituiti prevalentemente dalle litofacies della Dolomia Principale, massive o in spesse bancate, e da un potente corpo di brecce e megabrecce attualmente attribuite alle Dolomie Zonate. A tratti a queste ultime si intercalano livelli di calcari scuri sottilmente stratificati, che costituiscono la facies più tipica della formazione. Il *trend* d'immersione delle strutture sedimentarie (bancatura, stratificazione, andamento dei corpi lentiformi delle brecce) è verso Est-Sudest, con inclinazioni che generalmente risultano comprese tra 30° e 45°. Ciò implica che tali strutture in sinistra idrografica siano disposte a franapoggio, mentre in destra la loro disposizione è a reggipoggio.

A grande scala l'assetto strutturale, oltre che dalle strutture sedimentarie, è definito da discontinuità a persistenza e spaziatura elevata o molto elevata (*master joint* ma anche faglie), con orientazione variabile ma prevalentemente molto inclinate, lungo le quali si sono impostati singoli tratti sia della valle principale, che delle sue tributarie. Alla scala dei singoli affioramenti, invece, l'assetto o è del tutto irregolare o varia notevolmente nell'ambito di pochi metri. Solo in alcune limitate porzioni d'ammasso (max. 300÷400 m²) alcune discontinuità compaiono con una discreta sistematicità, ma sempre accompagnate da un elevato numero di fratture *random*.

Anche il grado di suddivisione degli ammassi è molto variabile ed ha una distribuzione non regolare, con passaggi spesso repentini tra ampie porzioni massive e porzioni molto fratturate. Ciò, unitamente alla presenza di alcuni elementi morfologici apparentemente "anomali" (andamento di canali molto incisi con lunghi tratti rettilinei, allineamenti di contropendenze con canali e vallecole prive di circolazione idrica che scendono in direzione opposta dai versanti dello stesso dosso) e di accumuli di paleofrana di crollo, fa ritenere che ampie porzioni di entrambi i versanti vallivi siano state interessate da movimenti di riequilibrio gravitativo a seguito dell'approfondimento vallivo. Durante i sopralluoghi, in destra idrografica (lungo il versante antistante Gaemai) è stato individuato un fenomeno di questo tipo ma di dimensioni contenute: si tratta di un collasso gravitativo in roccia, ben evidenziato da una trincea di distacco che si sviluppa per una sessantina di metri al piede di una parete (Foto 41).



Foto 41: Trincea di distacco di un collasso gravitativo in roccia (versante destro, zona antistante Gaemai)

A causa della disposizione a franapoggio delle discontinuità impostate sulle strutture sedimentarie, in sinistra idrografica sono molto più frequenti le possibilità cinematiche di distacco per scivolamento planare o di cuneo rispetto che in destra. La possibilità che si verifichino crolli non dipende solo dalla presenza di discontinuità, ma riguarda anche morfologie carsiche relitte, rappresentate da speroni, lame e pinnacoli isolati (per gran parte con porzioni aggettanti) costituiti da roccia integra ma con carature (piccole cavità) che ne riducono la resistenza. Alcune porzioni carsificate, anche di volume elevato, sono già basculate o leggermente smosse e, visivamente, appaiono in condizioni di stabilità precarie.

Anche in questo macrosetto lungo i cigli sommitali delle pareti e dei risalti rocciosi è frequente la presenza di blocchi già smossi per fenomeni di rilascio superficiale, in particolare in destra idrografica tra la Val Scaplà e la Val di Grù. In tali situazioni la rimobilizzazione dei blocchi è favorita dalla spinta dell'apparato radicale della vegetazione.

La presenza di blocchi già crollati ed arrestatisi in posizione precaria o contro i fusti degli alberi è più frequente in sinistra idrografica per la presenza di ampie porzioni di versante meno acclivi che in destra.

Con i sopralluoghi in sito sono state individuate alcune situazioni particolarmente critiche, oltre che per l'elevata possibilità che si verifichino crolli di blocchi di volume significativo, anche per il fatto che gravano direttamente sulla strada di servizio che percorre il fondovalle.

La prima riguarda il pilastro roccioso sottostante il dosso della località Castel (o

Castelù) (Figura 28).

Alla sommità del pilastro un'ampia porzione rocciosa (volume stimato $50 \div 60 \text{ m}^3$) è isolata alla base da una discontinuità molto persistente e liscia, immergente verso W con un'inclinazione di $32^\circ \div 35^\circ$, che potrebbe consentire la mobilitazione di blocchi sia per scivolamento planare che per *toppling* (ribaltamento) (Foto 42 ÷ Foto 44). La porzione visivamente più instabile, che potrebbe mobilizzarsi per ribaltamento, ha un volume stimabile in $8 \div 10 \text{ m}^3$ (Foto 43).

Sulla sottostante parete rocciosa, inoltre, sono presenti diversi blocchi (alcuni già completamente isolati e smossi) in condizioni di stabilità visivamente precarie, di volume variabile da 0.5 a 1.2 m^3 .

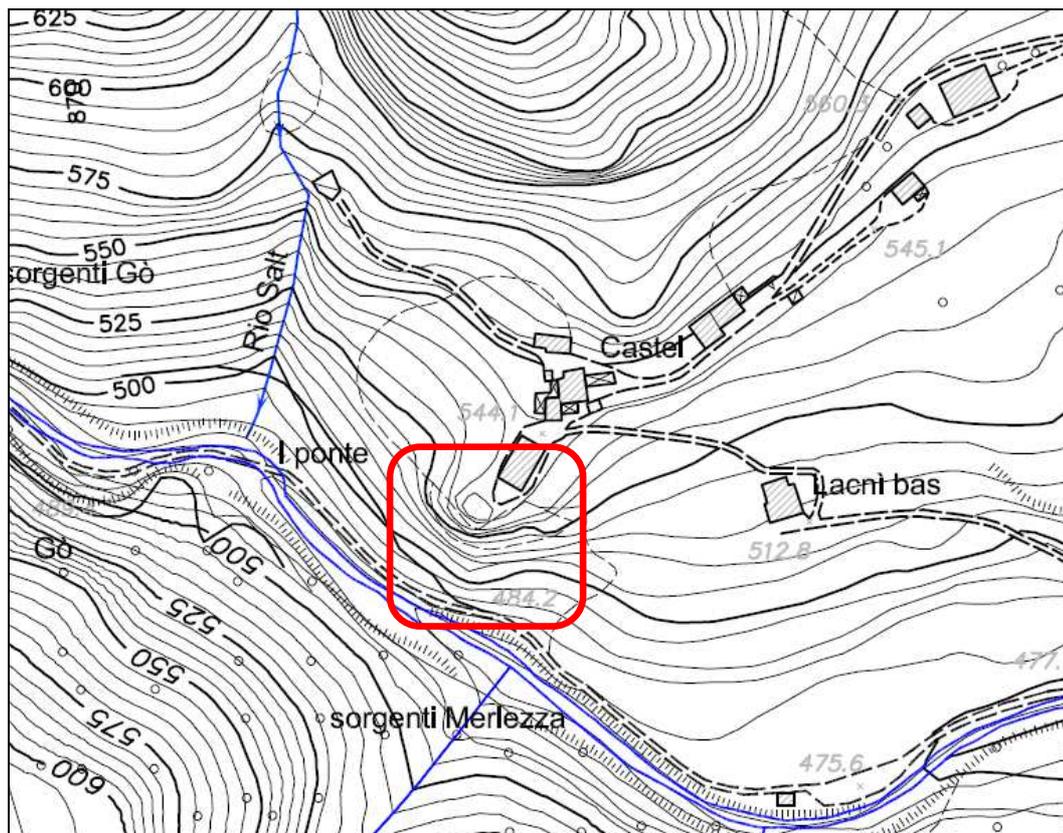


Figura 28: Ubicazione prima situazione critica per la possibilità di caduta massi.

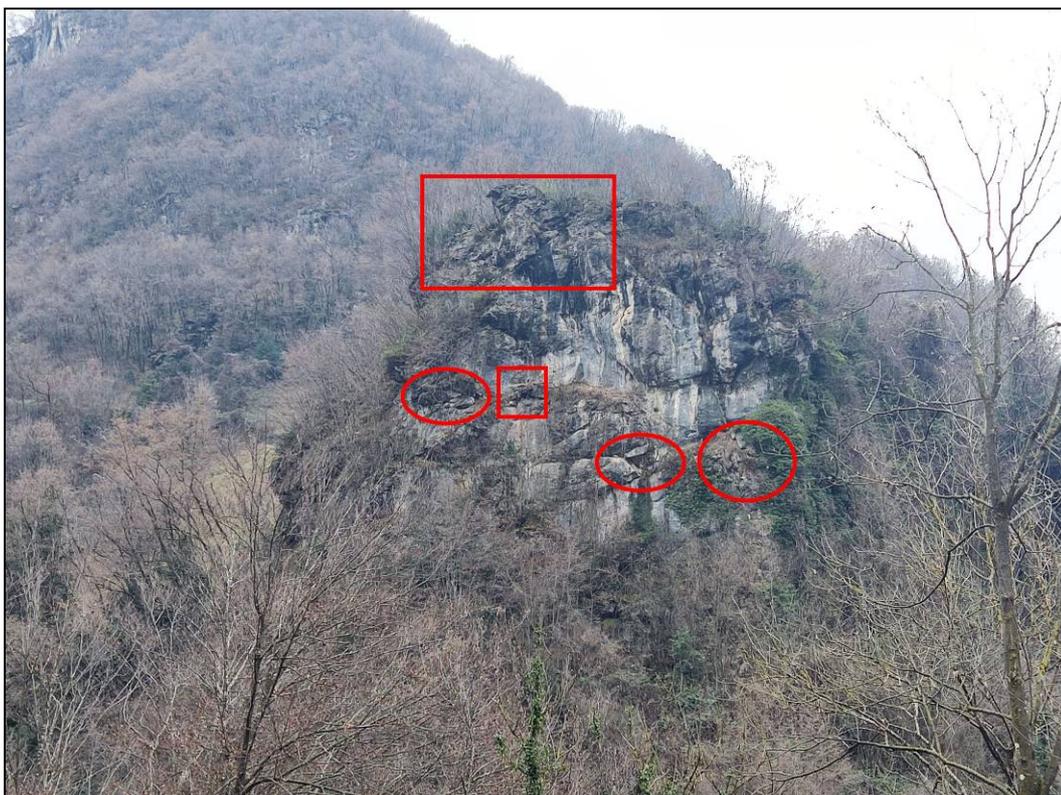


Foto 42: Vista frontale della parete rocciosa del dosso sottostante la località Castel con evidenziate le principali situazioni di instabilità.

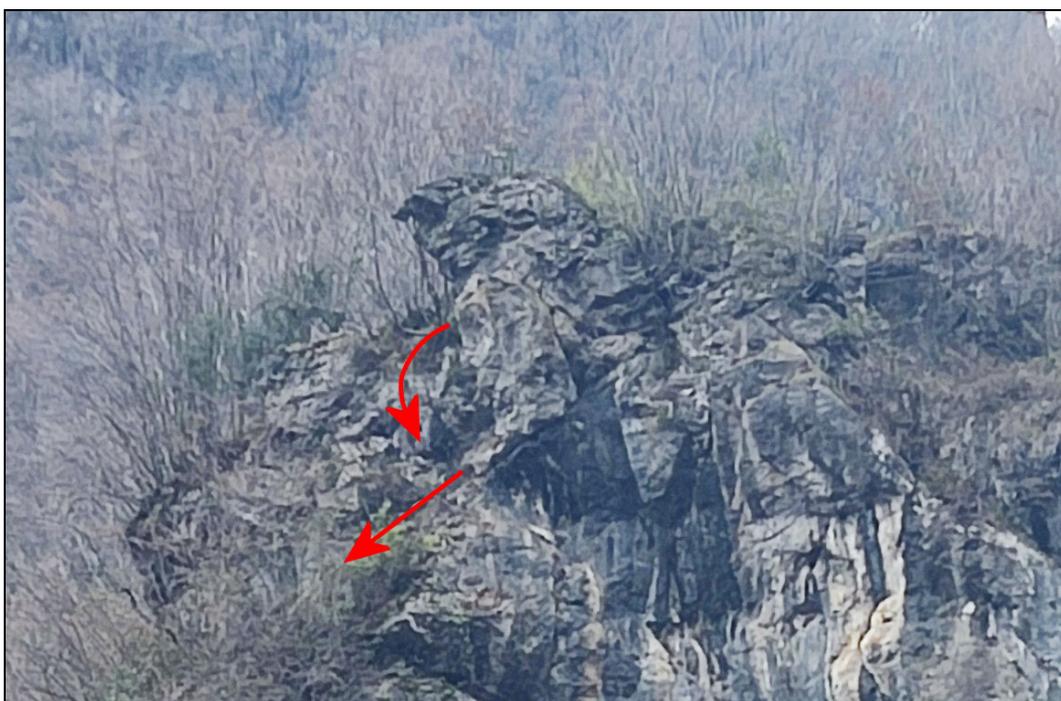


Foto 43: Dettaglio frontale della sommità della parete rocciosa del dosso sottostante la località Castel, dove un'ampia porzione rocciosa è isolata alla base da una discontinuità molto persistente e liscia che potrebbe consentire la mobilizzazione di blocchi sia per scivolamento planare che per ribaltamento (cinematismi evidenziati dalle frecce).

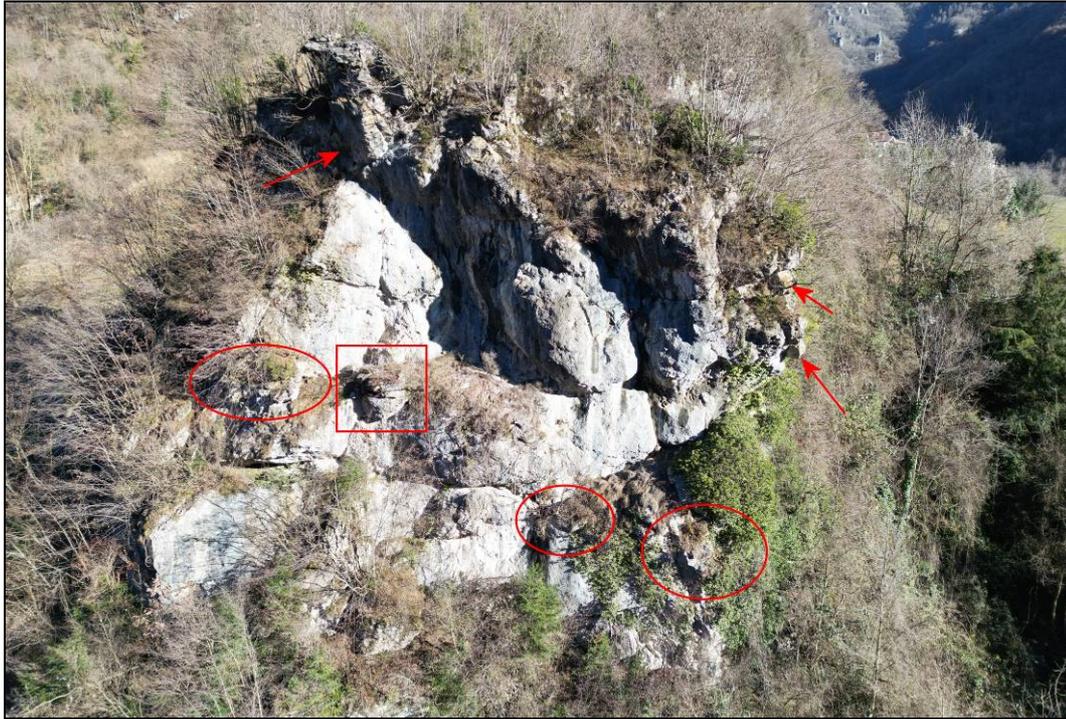


Foto 44: Ripresa con drone della sommità della parete rocciosa del dosso sottostante la località Castel con evidenziate le principali situazioni di instabilità.

La seconda riguarda le pareti che sovrastano un tratto di circa 65 m di lunghezza compreso tra il "Fontanè de Gaernài" e l'inizio del sentiero CAI 529A (Figura 29), ed in particolare quelle di un risalto con ampie porzioni instabili e già interessato da crolli (Foto 45).

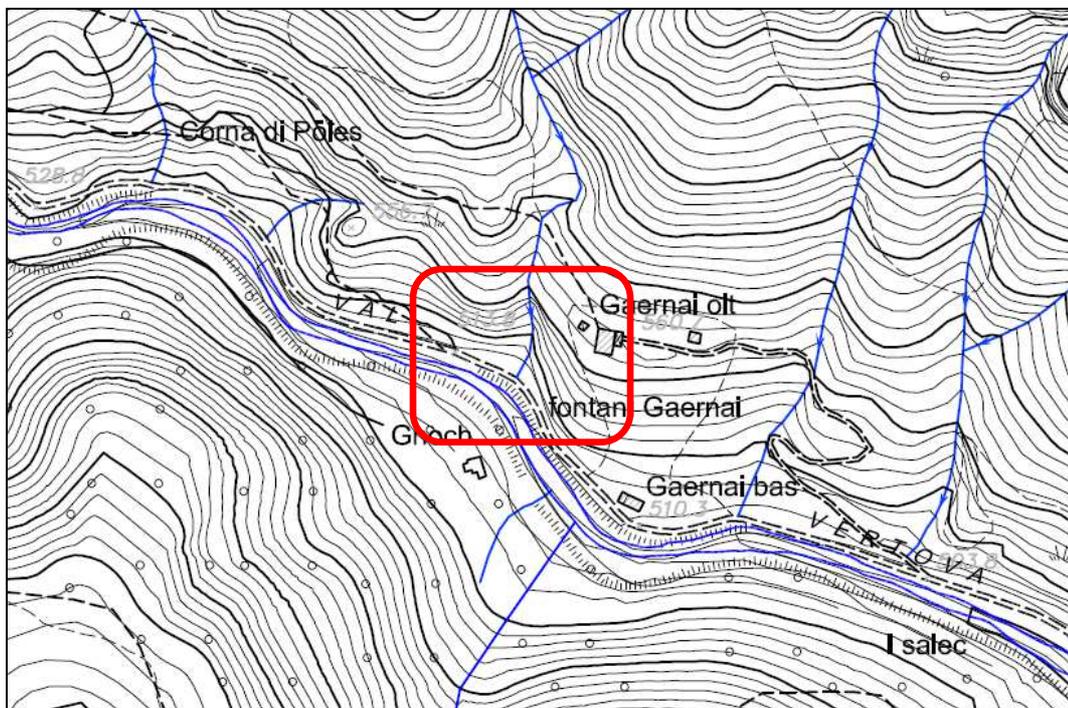


Figura 29: Ubicazione seconda situazione critica per la possibilità di caduta massi.

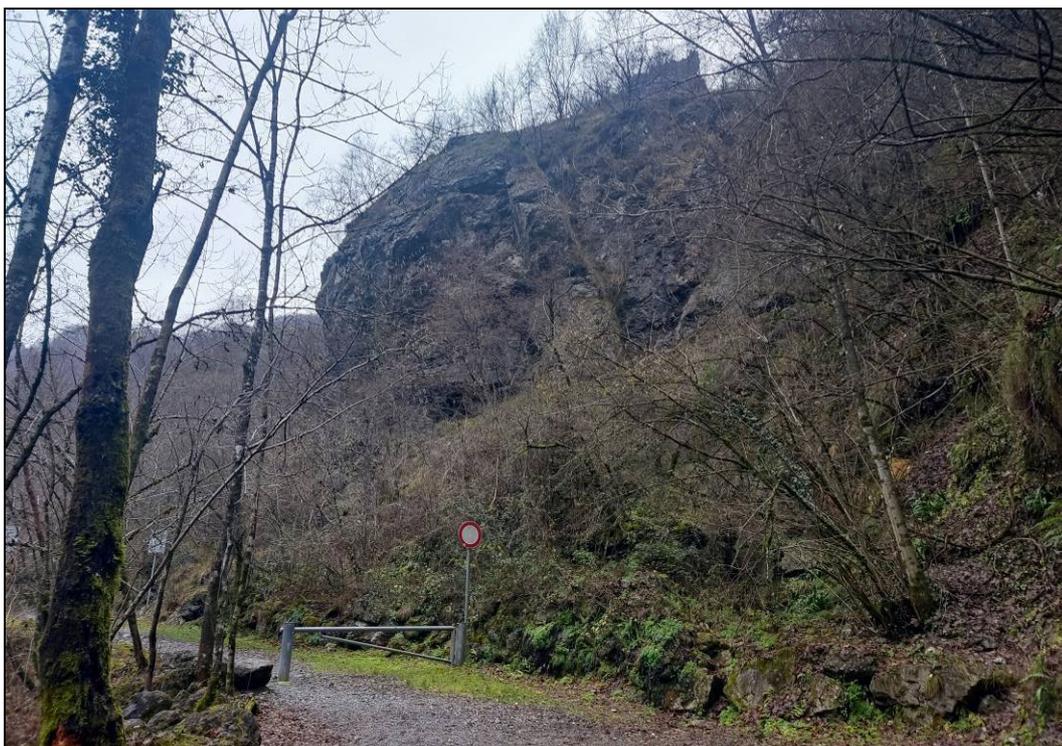


Foto 45: Risalto roccioso con ampie porzioni instabili e già interessato da crolli (versante sinistro, tratto in prossimità della seconda sbarra della strada di servizio di fondovalle, appena superato il "Fontani de Gaernài").

Al piede vi è un accumulo di blocchi, molti dei quali di volume $>1 \text{ m}^3$ (max $\approx 3 \text{ m}^3$) (Foto 46).



Foto 46: Vista dal basso del risalto roccioso della foto precedente, al piede è ben visibile l'accumulo formato dai blocchi già crollati.

L'ammasso roccioso è suddiviso da tre sistemi di discontinuità principali (K1 235°/38°, K2 040°/80° e K3 150°/80°) a persistenza media (3-10 m) e spaziatura da larga a molto larga (0.6-3 m), e da numerose fratture non sistematiche. Vi è la possibilità di ulteriori crolli in massa fino a 10÷15 m³, ma a causa dell'elevato grado di fratturazione è probabile che il singolo blocco di maggiori dimensioni non superi i 3÷4 m³.

La terza interessa le pareti che sovrastano un tratto del sentiero CAI 529A e della sottostante strada di servizio poco più a monte della precedente situazione (Figura 30 e Foto 47). Anche in questo caso l'ammasso roccioso è suddiviso da tre sistemi di discontinuità principali (K1 265°/40°, K2 050°/85° e K3 165°/80°) a persistenza media (3-10 m) e spaziatura da larga a molto larga (0.5-2.5 m), e da numerose fratture non sistematiche.

Le discontinuità dei sistemi principali isolano porzioni d'ammasso fratturate che possono mobilizzarsi con un cinematismo sia per scivolamento planare che per cuneo (Foto 48). Vi è la possibilità di crolli in massa fino a 40÷45 m³, ma a causa dell'elevato grado di fratturazione è probabile che il singolo blocco di maggiori dimensioni non superi i 2÷2.5 m³.

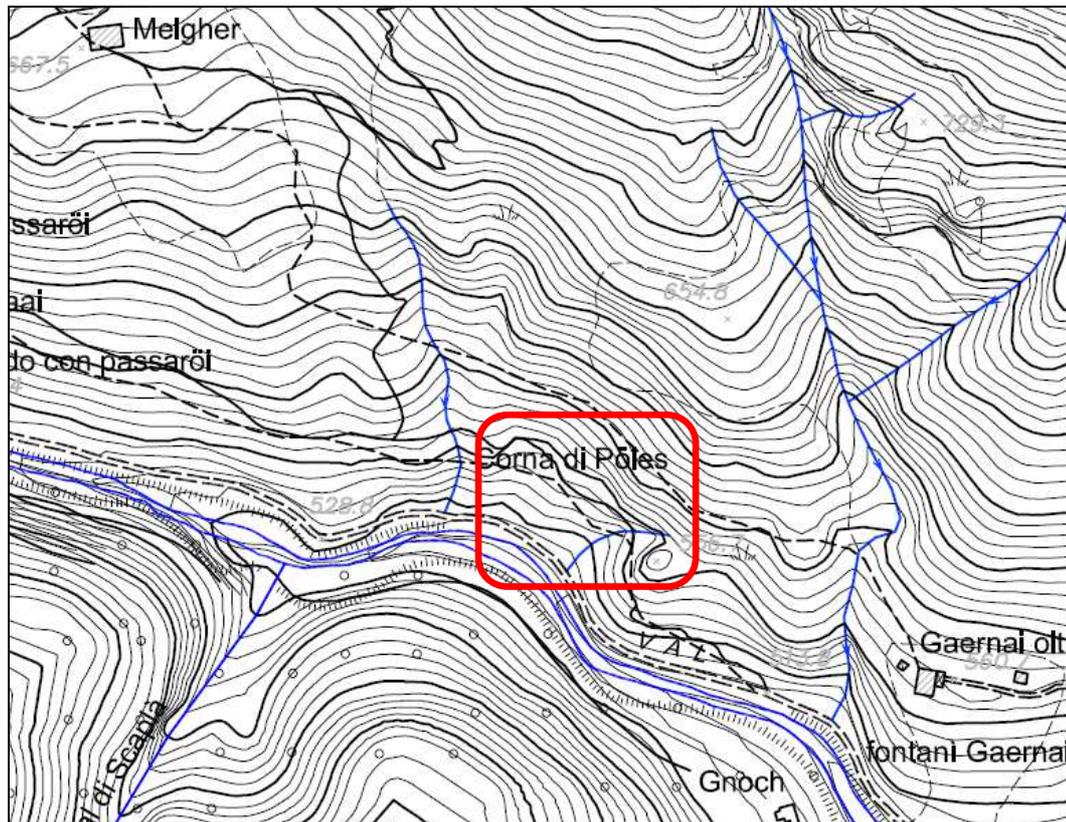


Figura 30: Ubicazione terza situazione critica per la possibilità di caduta massi.



Foto 47: Balza rocciosa con un assetto delle discontinuità principali sfavorevole alla stabilità da cui possono verificarsi anche crolli in massa (versante sinistro, poco a monte del sentiero CAI 529A in prossimità della "Corna di pöles").



Foto 48: Vista dal basso delle porzioni rocciose instabili della balza rocciosa della foto precedente.

La possibilità che si possa verificare distacchi riguarda anche porzioni degli accu-

muli di paleofrana di crollo, laddove hanno pendenza molto elevata. La situazione apparentemente più critica tra quelle osservate durante i sopralluoghi è posta al piede del versante sinistro, nel tratto immediatamente a valle del 1° “guado con passaroï”: pochi metri al di sopra della strada di servizio che percorre il fondovalle vi è un blocco ciclopico (volume dell’ordine del centinaio di m³) che poggia su massi di dimensioni molto inferiori, cementati tra loro (Foto 49).



Foto 49: Blocco ciclopico con la parte frontale in aggetto (versante sinistro, tratto immediatamente a valle del 1° “guado con passaroï”).

La parte frontale del blocco è in forte aggetto a causa di distacchi dei massi sottostanti. Si tratta di una situazione molto particolare, di cui non è possibile definirne le effettive condizioni di stabilità, anche perché il grado di cementazione dei massi lungo la base d’appoggio è variabile, ma risulta evidente che con un ulteriore progredire dei distacchi anche il grande blocco potrebbe rimobilizzarsi.

In base alle osservazioni effettuate i distacchi più frequenti riguardano massi di piccole dimensioni (la gran parte con volumi < 50 dm³). Questi interessano la strada di servizio del fondovalle unicamente dove questa si sviluppa a ridosso delle pareti rocciose o di tratti di pendio molto ripidi, poiché tali pezzature si arrestano lungo i versanti per la presenza di ostacoli morfologici o della vegetazione. La possibilità di distacchi di piccoli blocchi dalle fasce rocciose adiacenti la strada è comunque elevata e dipende da diversi fattori, quali l’assetto strutturale sfavorevole nelle porzioni fratturate, il crioclastismo (che interessa anche le porzioni massive) e l’azione degli apparati radicali della vegetazione (Foto 50 e Foto 51).

Diffuse sono le situazioni di instabilità che coinvolgono blocchi di volume compreso tra 0.5 e 3.5 m³, ed in questo intervallo di valori ricade la maggior parte dei massi già crollati presenti sia lungo il fondovalle, sia lungo i ripidi canali del

versante sinistro.



Foto 50: Particolare di una parete rocciosa direttamente sovrastante la strada di servizio che percorre il fondovalle dove l'assetto strutturale sfavorevole consente il distacco di piccoli blocchi (versante destro, tratto a monte del 3° guado).

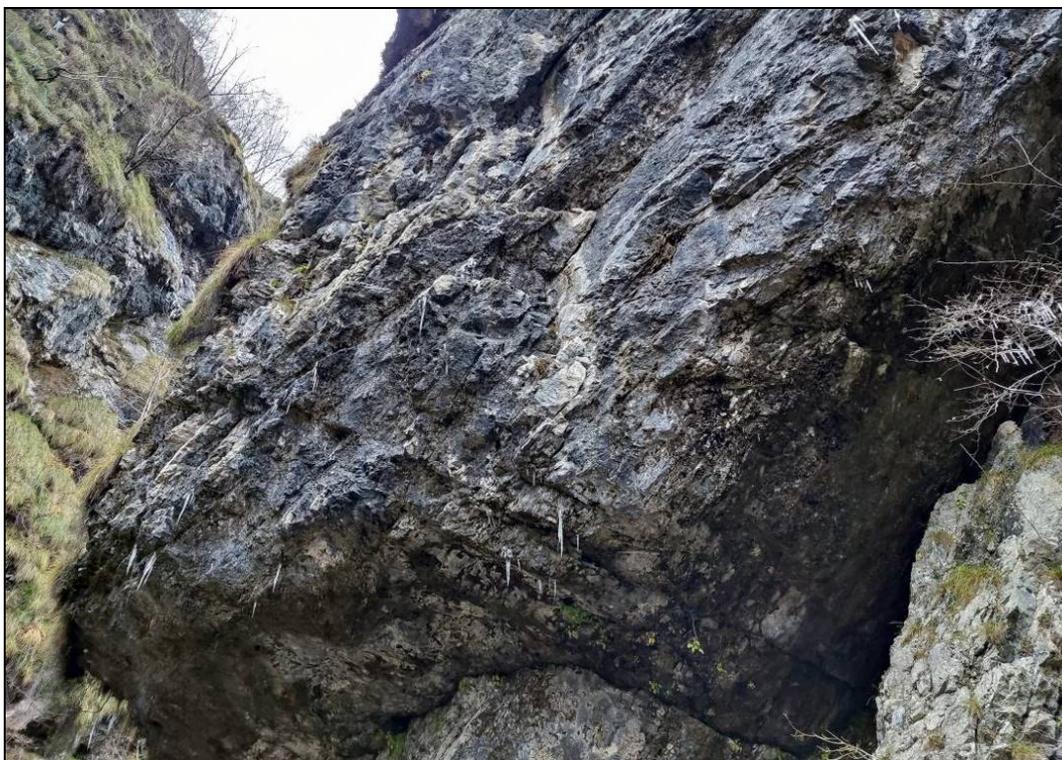


Foto 51: Particolare di una parete rocciosa direttamente sovrastante la strada di servizio che percorre il fondovalle dove il distacco di piccoli blocchi è legato sia all'assetto strutturale sfavorevole che al crioclastismo (versante sinistro, presso la "Corna di Caaai").

Per quanto riguarda le volumetrie maggiori, sono state osservate situazioni di instabilità che coinvolgono singoli blocchi di $5 \div 10 \text{ m}^3$ o porzioni di ammasso fratturate di alcune decine di metri cubi che, tuttavia, in caso di crollo si frammenterebbero in blocchi di dimensioni minori.

Sono altresì state osservate altre situazioni, di cui non è possibile effettuare valutazioni circa il loro effettivo grado di stabilità, che potrebbero interessare sempre volumi di alcune decine di metri cubi, ma di roccia non fratturata. Crolli avvenuti in passato che hanno coinvolto grandi volumi rocciosi sono testimoniati dalle dimensioni di alcune grandi nicchie di distacco e da diversi blocchi ciclopici ($30 \div 100 \text{ m}^3$) presenti lungo il fondovalle e negli accumuli di antiche paleofrane di crollo.

Nella tabella seguente si riassumono i valori adottati per la classificazione della pericolosità delle aree di potenziale distacco.

Classi di severità geometrica per fenomeni di crollo	Intervalli di velocità	Frequenza probabile	Magnitudo	Pericolosità	Zone
Diametro blocchi <0.5 m (volume < 0.07 m^3)	3	1-30 anni	3	P3	Tutti gli affioramenti
Diametro blocchi 0.5-2 m (volume $0.07- 4.2 \text{ m}^3$)	3	30-100 anni	6	P4	Tutti gli affioramenti
Diametro blocchi >2 m (volume > 4.2 m^3)	3	30-100 anni	9	P4	Pareti del dosso sottostante la località Castel
Diametro blocchi >2 m (volume > 4.2 m^3)	3	100-300 anni	9	P3	Locali settori delle pareti di entrambi i versanti nella zona della forra del T. Vertova

Tabella 12: Valori adottati per la classificazione della pericolosità delle aree di potenziale distacco.

Di seguito si riporta una documentazione fotografica scelta per fornire un quadro più chiaro delle varie situazioni riscontrate durante i sopralluoghi in sito.

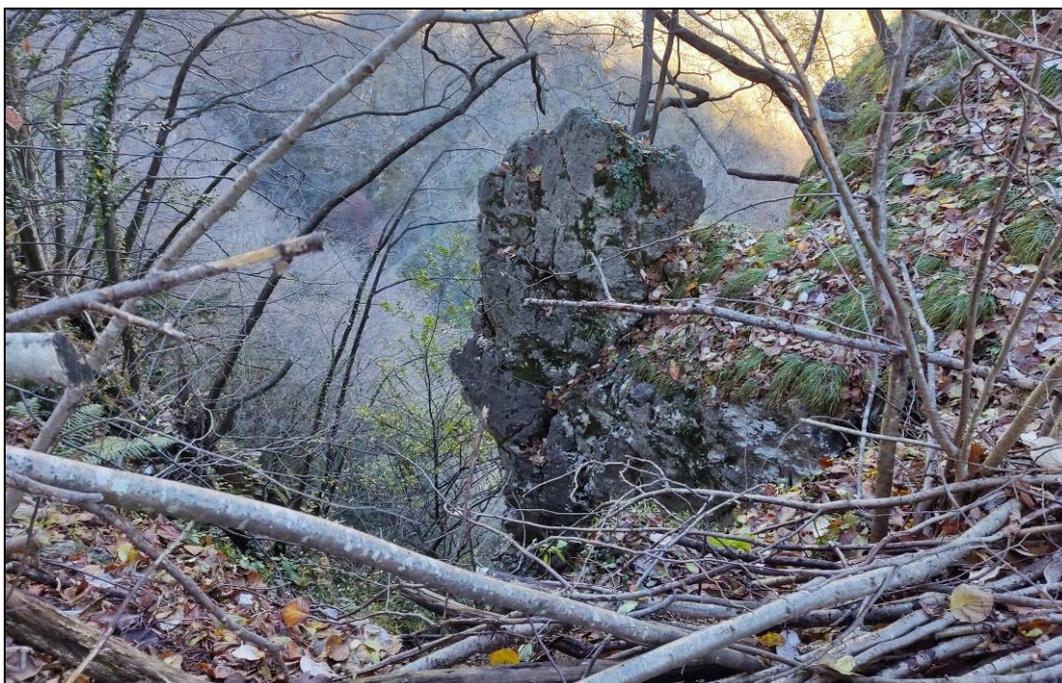


Foto 52: Pilastrino di circa 1.3 m³ isolato a tergo da una frattura aperta, con la parte frontale a sbalzo ed una base d'appoggio di roccia integra ma di dimensioni molto ridotte a causa della presenza di piccole cavità carsiche, (ciglio del versante destro, zona direttamente sovrastante la strada di servizio che percorre il fondovalle al "Poz di caai").



Foto 53: Blocco di circa 1 m³ completamente isolato e parzialmente a sbalzo, poggiante su un piccolo gradino; può crollare a causa della spinta delle radici che crescono nella frattura a tergo (ciglio del versante destro, zona sovrastante il 1° "guado con passerai" della strada di servizio che percorre il fondovalle).



Foto 54: Lama rocciosa con un volume stimabile in circa 3 m³ distaccatasi da una parete strapiombante, non è stato possibile osservarne la base d'appoggio ma visivamente appare alquanto instabile (versante destro, zona sovrastante il 2° "guado con passerai" della strada di servizio che percorre il fondovalle).

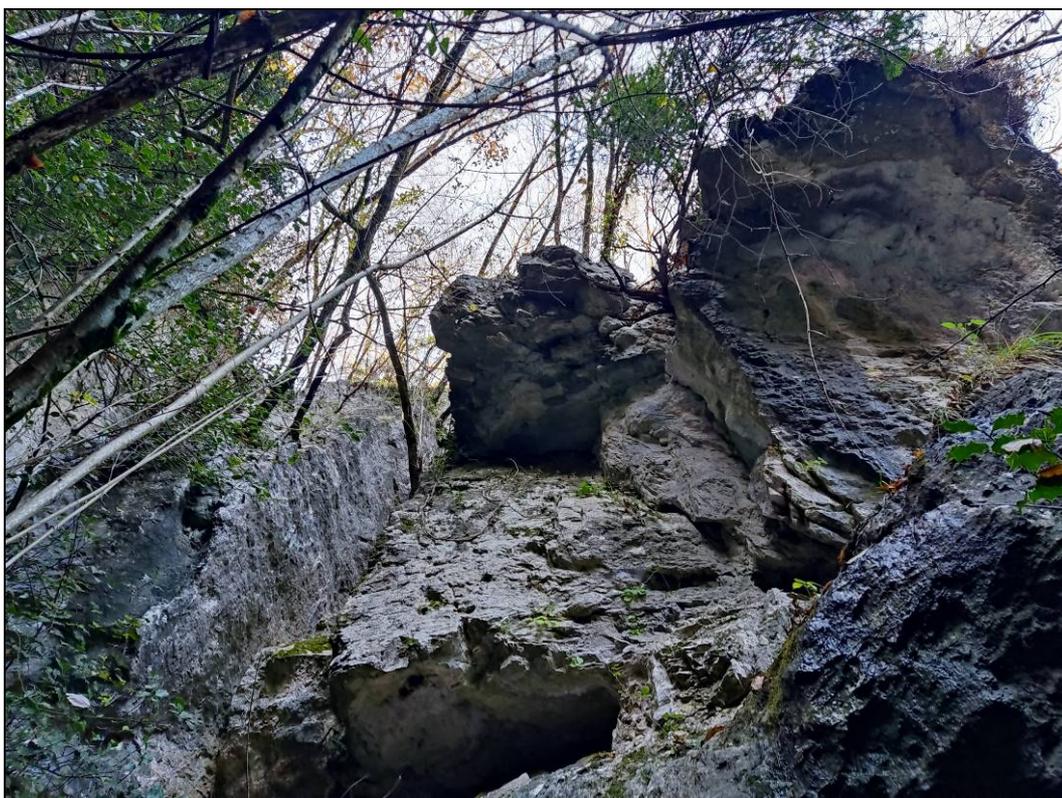


Foto 55: Porzioni rocciose in forte aggetto, quella in centro (volume stimabile in 5-6 m³) è molto fratturata, mentre quella a destra (volume stimabile in 8-10 m³) è parzialmente isolata a tergo da una frattura aperta per dissoluzione carsica (versante destro, zona sovrastante il tratto compreso tra la Val di Scaplà ed il 1° "guado con passerai" della strada di servizio che percorre il fondovalle).

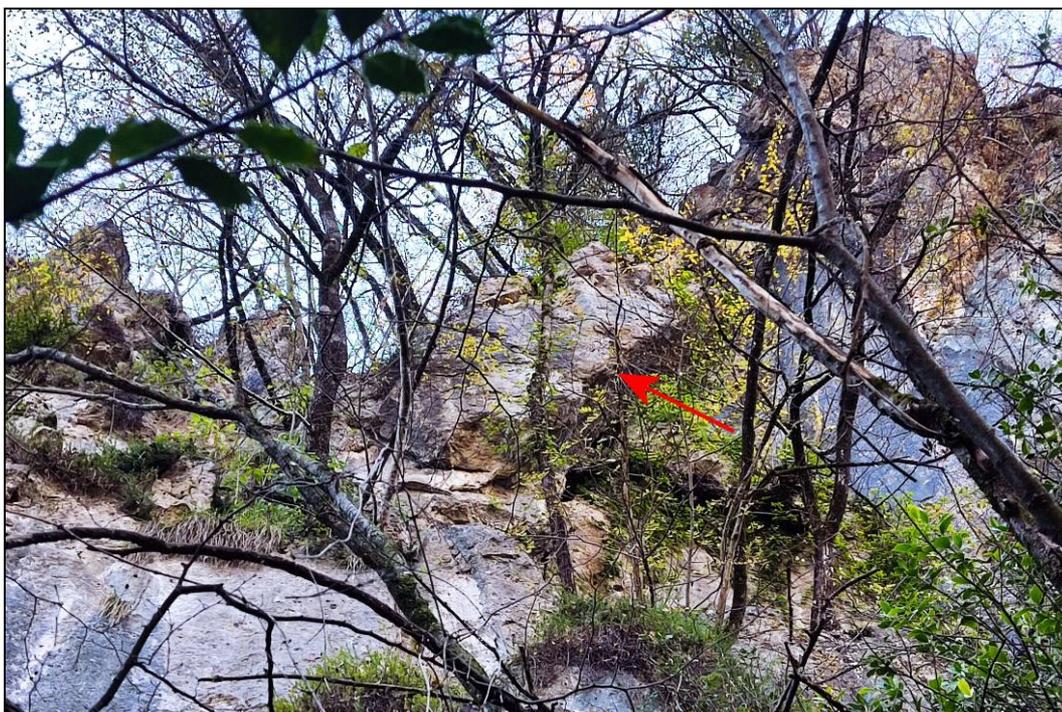


Foto 56: Massa rocciosa poco fratturata di volume $> 30 \text{ m}^3$, è in aggetto e risulta parzialmente isolata a tergo da una discontinuità molto aperta; alla sua sinistra vi sono blocchi visivamente instabili di volume stimabile in $2-4 \text{ m}^3$ (versante destro, pareti sovrastanti la Valle Scaplà).

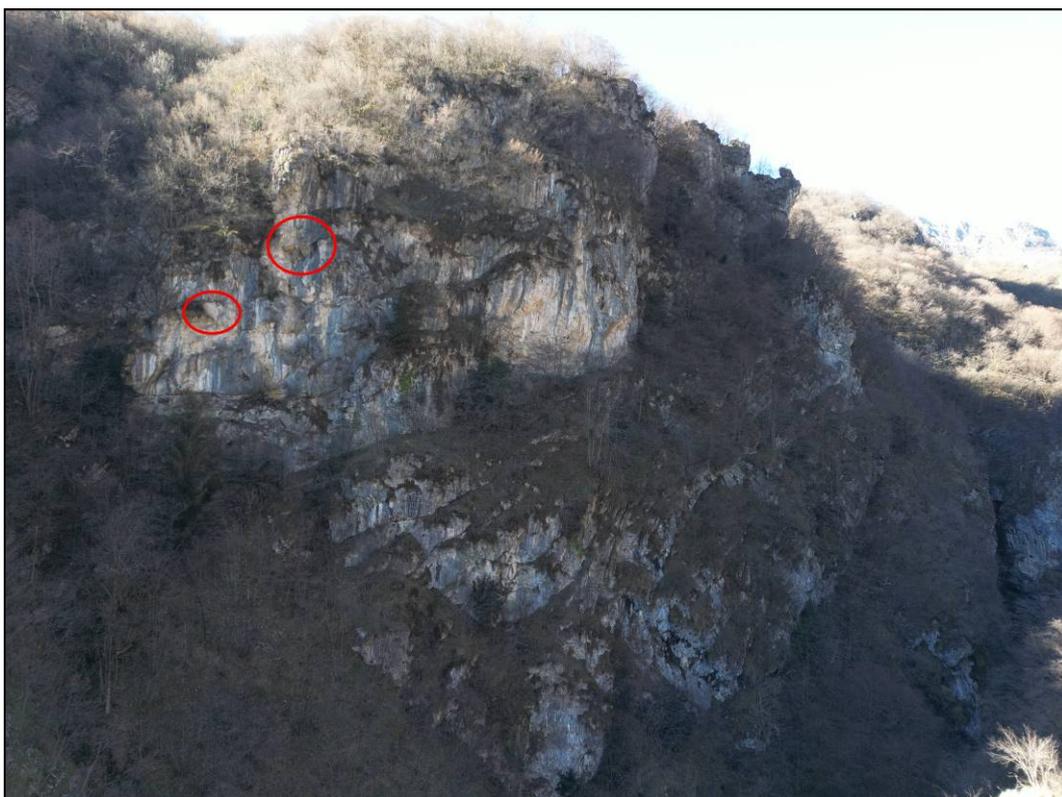


Foto 57: Ripresa da drone con evidenziati blocchi instabili di volumetria stimata variabile da 3 a 6 m^3 (versante destro, zona sovrastante il tratto poco a valle del 1° "guado con passaroï" della strada di servizio che percorre il fondovalle).



Foto 58: Piccolo masso di un crollo recente arrestatosi su una cengia (versante destro, zona sovrastante il tratto compreso tra Stalla Gnoch e la "Corna di pöles").

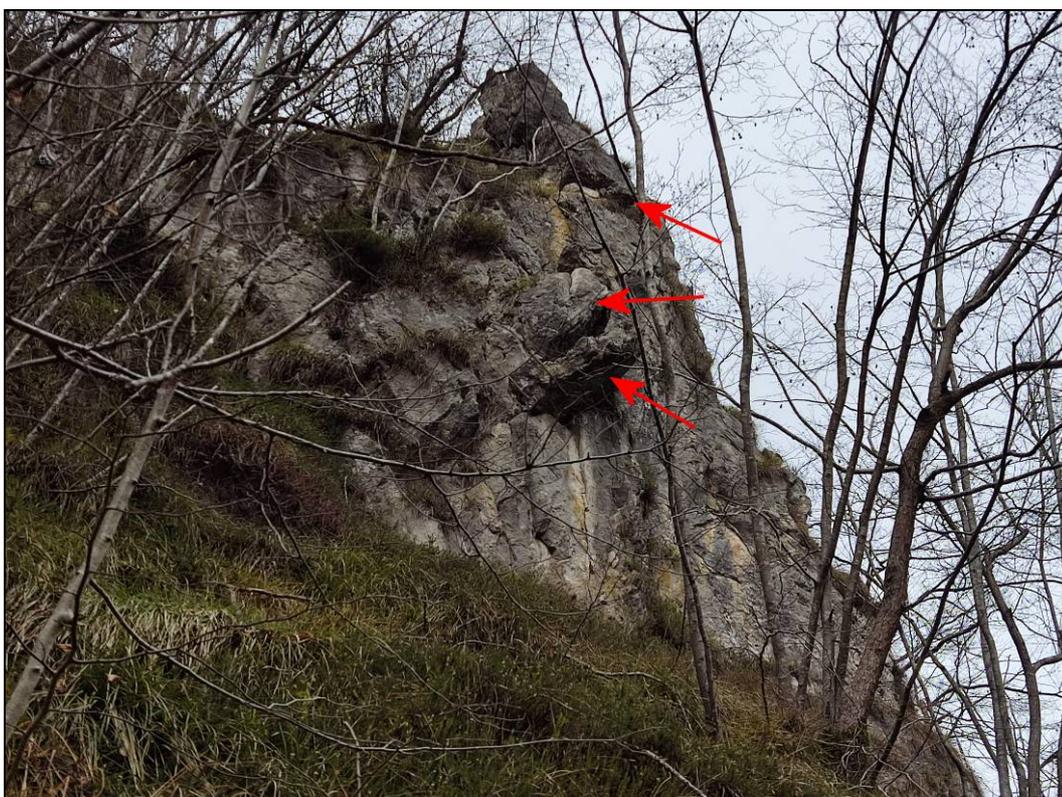


Foto 59: Blocchi già smossi ed instabili, quello di maggiori dimensioni ha un volume di circa $0.5 \div 0.6 \text{ m}^3$ (versante destro, zona sovrastante le sorgenti Borleda).



Foto 60: Blocchi già smossi ed instabili di volume $>5 \text{ m}^3$, alla sommità una porzione rocciosa aggettante di oltre 20 m^3 di volume, suddivisa da discontinuità disposte a franapoggio (versante sinistro, zona de la Corna, sovrastante il tratto presso il 1° ponte della strada di servizio che percorre il fondovalle).

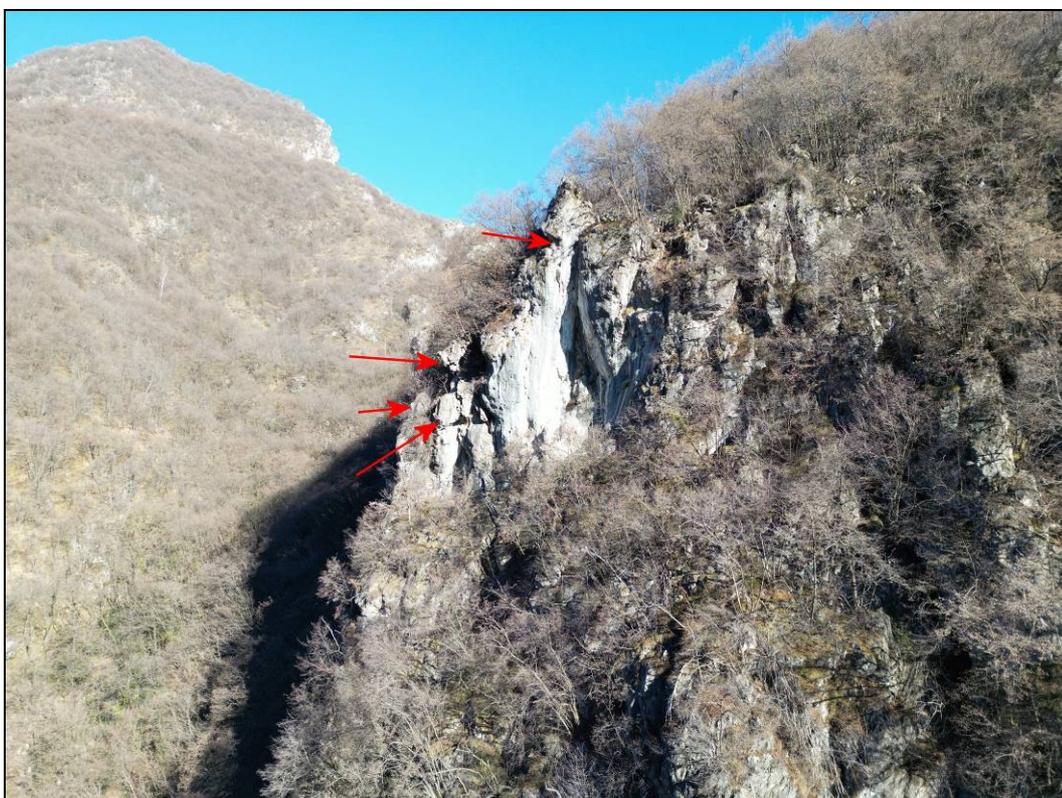


Foto 61: Ripresa con drone della situazione riportata nella foto precedente (versante sinistro, zona de la Corna, sovrastante il tratto presso il 1° ponte della strada di servizio che percorre il fondovalle).

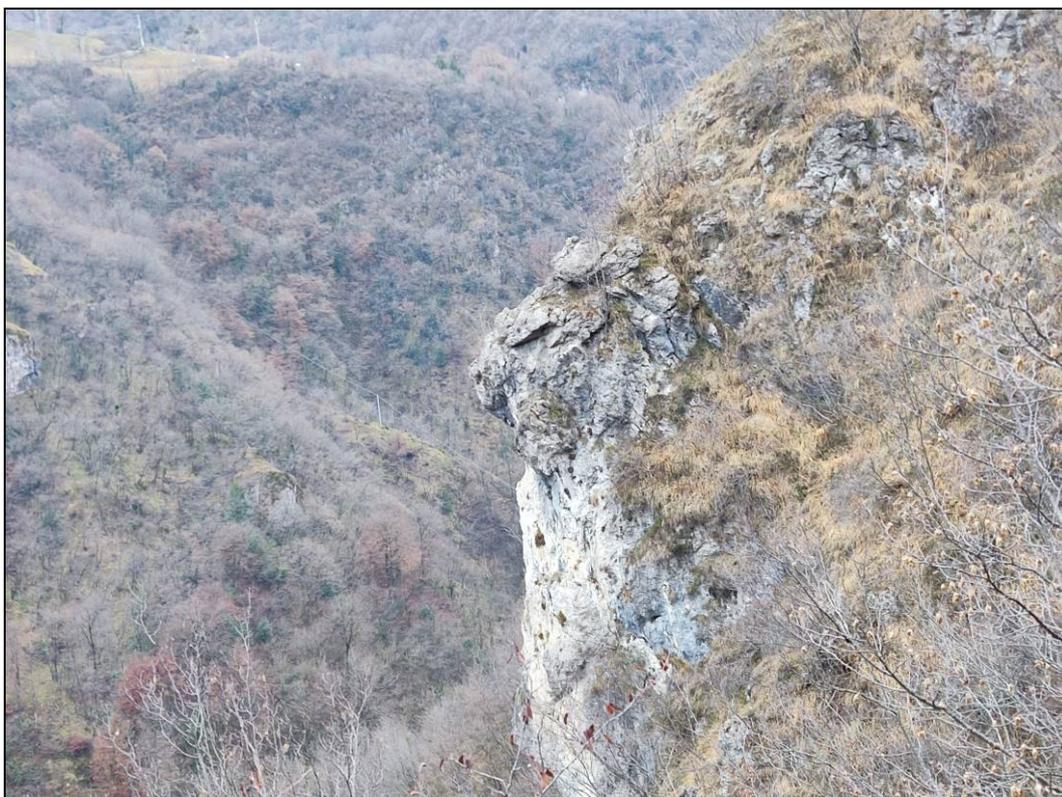


Foto 62: Blocchi già smossi ed instabili alla sommità di un pilastro roccioso (volumi $0.5 \div 2 \text{ m}^3$ (versante sinistro, zona sovrastante il tratto presso il 2° ponte della strada di servizio che percorre il fondovalle).

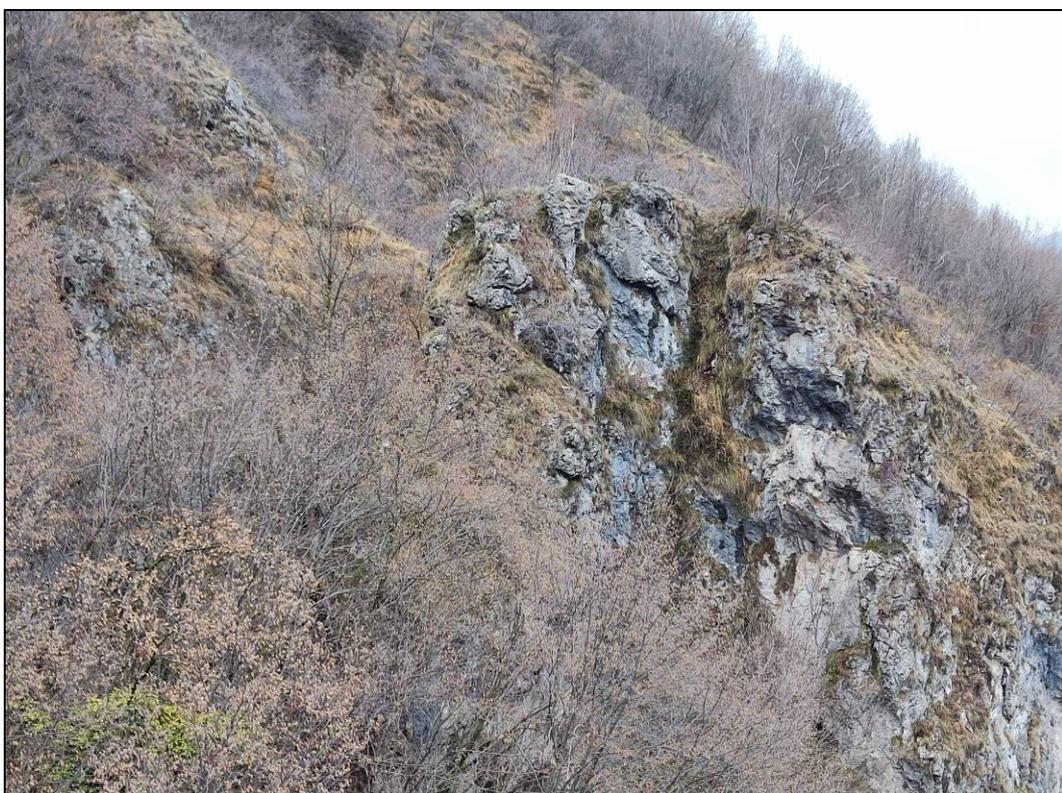


Foto 63: Porzioni rocciose instabili alla sommità di un pilastro molto fratturato (volumi $0.5 \div 4 \text{ m}^3$ (versante sinistro, zona sovrastante il tratto presso il 2° ponte della strada di servizio che percorre il fondovalle).

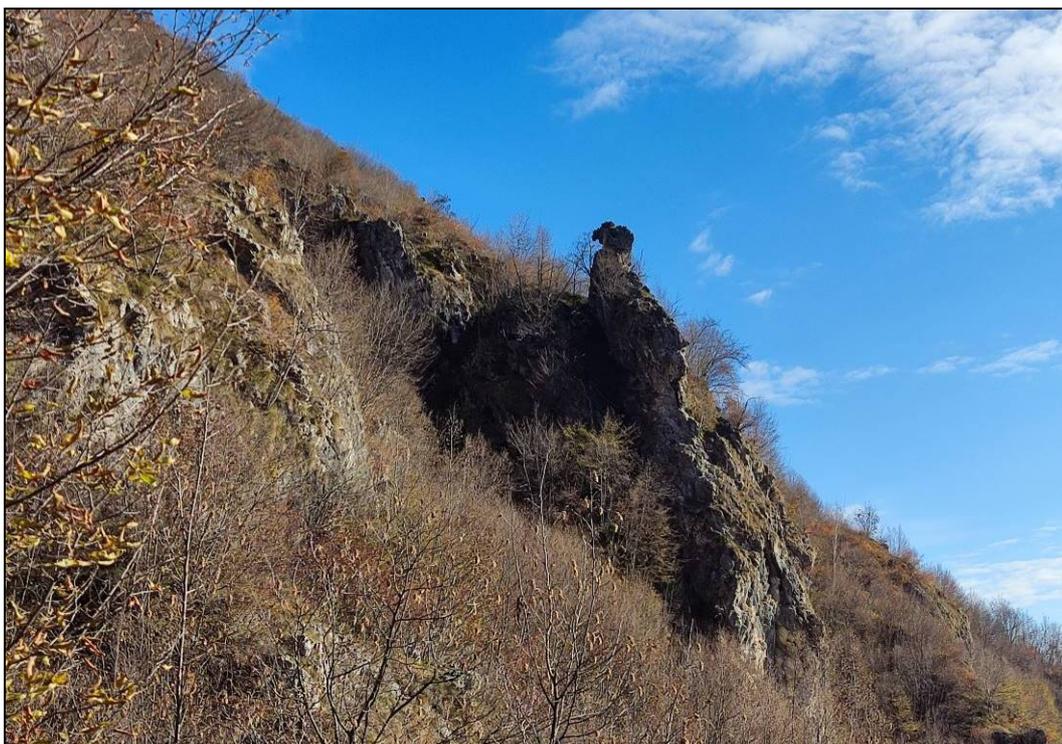


Foto 64: Pinnacolo molto fratturato con alla sommità un blocco modellato dal carsismo e basculato (volume stimato 7-8 m³). Sulla parete sottostante sono presenti numerose nicchie di distacco di blocchi di 0.5÷1.2 m³ mobilizzatisi sia per ribaltamento che per scivolamento planare (versante sinistro, zona sovrastante il tratto presso il 2° ponte della strada di servizio che percorre il fondovalle).



Foto 65: Blocchi già smossi ed instabili di volume 0.7÷1.5 m³ (versante sinistro, ciglio di una balza rocciosa sovrastante il tratto di strada di servizio che percorre il fondovalle compreso tra il 1° ponte e "Gaemai bas").



Foto 66: Porzione d'ammasso molto fratturata dalla quale si sono già verificati crolli, sono possibili ulteriori distacchi di blocchi fino a circa 2.5 m³ di volume m³ (versante sinistro, balza rocciosa sovrastante la zona di "Gaemai").

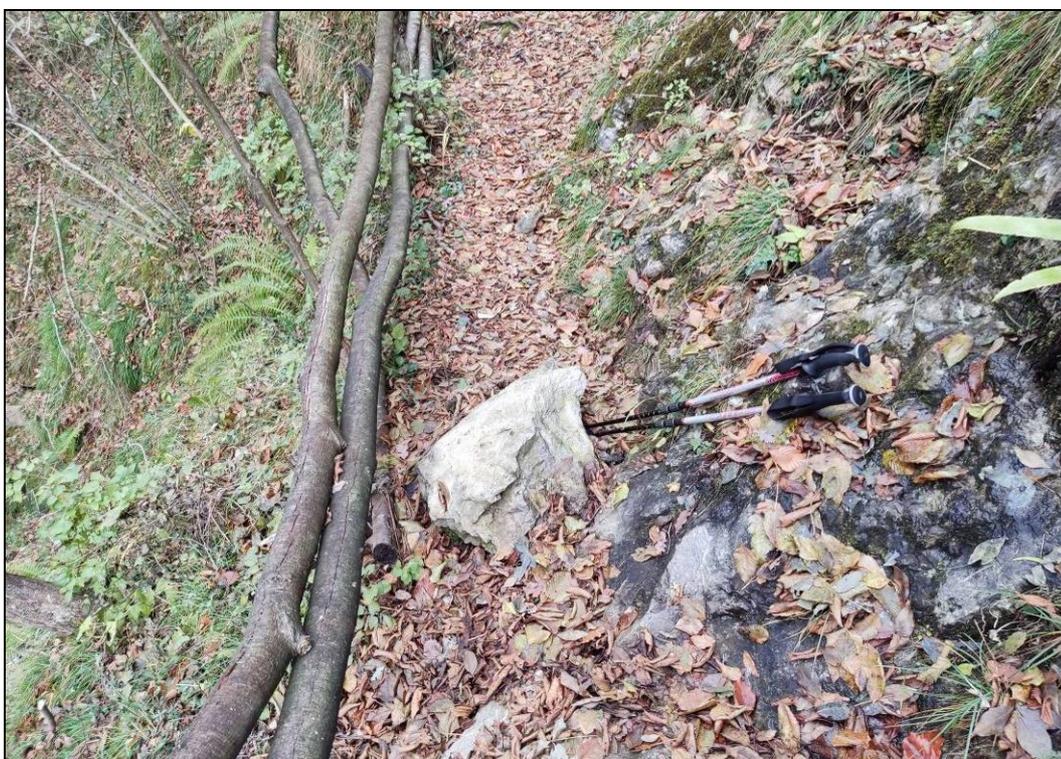


Foto 67: Piccolo masso di un crollo recente arrestatosi su una variante del sentiero CAI 529A (versante sinistro, zona immediatamente sovrastante la strada di servizio che percorre il fondovalle nei pressi del 2° "guado con passaro").



Foto 68: Blocco di $\approx 3.8 \text{ m}^3$ di volume che può mobilizzarsi per ribaltamento, a tergo è isolato da una frattura aperta ed ha una base d'appoggio di dimensioni molto ridotte. Il blocco è posto lungo una balza 15 m al di sopra della strada di servizio che percorre il fondovalle (versante sinistro, 250 m a valle del "3° guado").



Foto 69: Blocco ciclopico (volume dell'ordine del centinaio di m^3) dell'accumulo di una paleofrana di crollo: la sua parte frontale è in aggetto a causa di distacchi dei massi più piccoli (cementati tra loro) su cui poggia. Il blocco è posto pochi metri al di sopra della strada di servizio che percorre il fondovalle (versante sinistro, tratto immediatamente a valle del 1° "guado con passaro").



Foto 70: Blocchi di un crollo recente che ha lesionato un muretto della strada di servizio che percorre il fondovalle: il masso che ha oltrepassato il muretto ha un volume di 0.1 m^3 (versante sinistro, circa 90 m a valle del 1° "guado con passaro").



Foto 71: Masso tabulare di $\approx 0.15 \text{ m}^3$ arrestatosi in posizione precaria alla sommità di una balza rocciosa (versante sinistro, ad est della località Melgher).

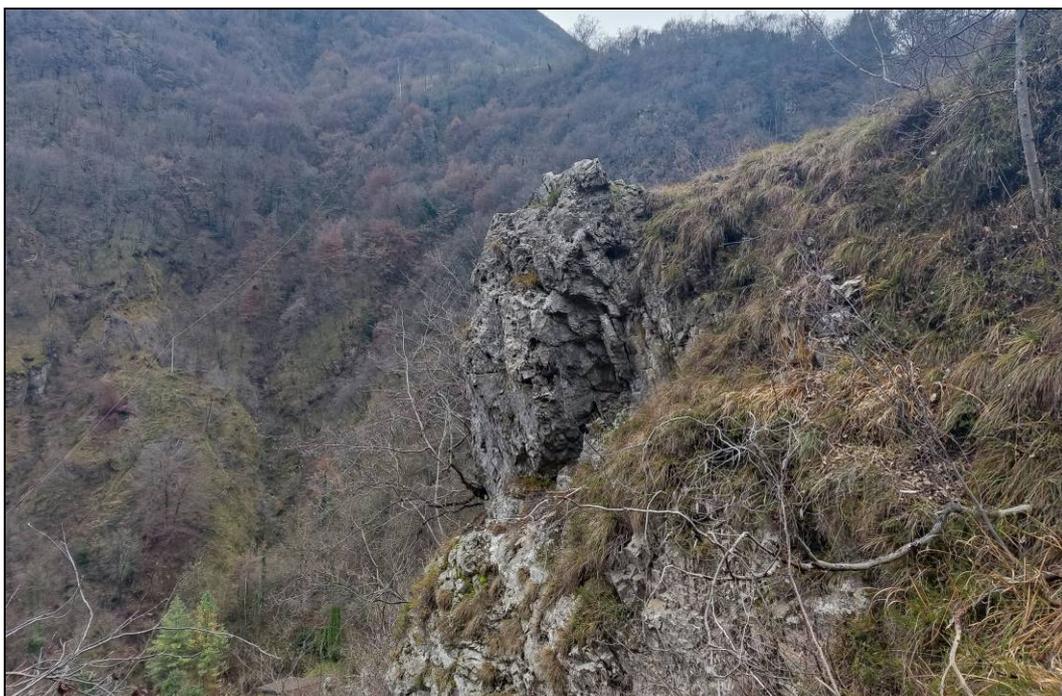


Foto 72: Pilastrino roccioso molto fratturato (volume $\approx 1.6 \text{ m}^3$) isolato a tergo da una frattura aperta e con la base suddivisa da discontinuità a franapoggio poco persistenti ma molto ravvicinate (versante sinistro, zona sovrastante il risalto roccioso della foto precedente).



Foto 73: Lama rocciosa aggettante sia nella parte frontale che lateralmente, da cui sono possibili distacchi per crollo diretto o ribaltamento. La lama ha un volume $> 20 \text{ m}^3$ ma a causa del grado di fratturazione è probabile che il singolo blocco di maggiori dimensioni non superi i $2.5 \div 3 \text{ m}^3$ (versante sinistro, a monte di "Gaernài olt").



Foto 74: Masso di 0.2 m³ caduto di recente ed arrestatosi contro la vegetazione (versante sinistro, zona sovrastante il tratto di strada di servizio poco a valle del "3° guado").

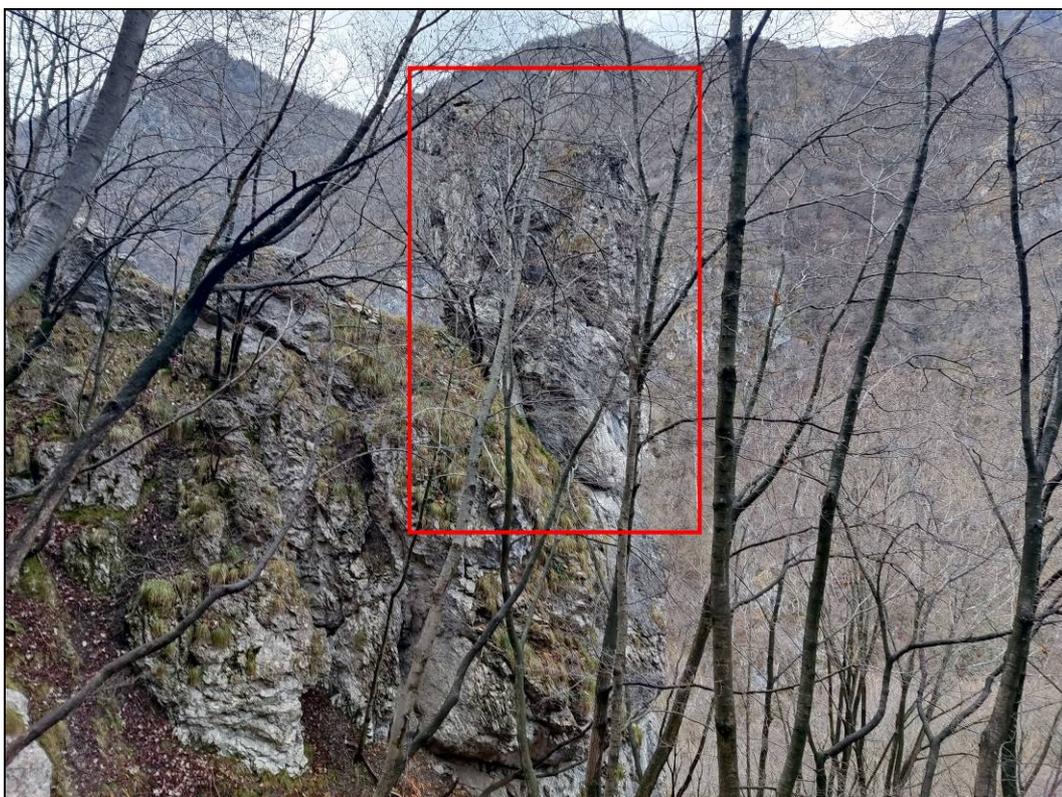


Foto 75: Pinnacolo di circa 100 m³ di volume, discretamente fratturato e con discontinuità a frana-poggio che lo isolano parzialmente dal sottostante sperone da cui si eleva (versante sinistro, zona sovrastante il tratto di strada di servizio poco a valle del "3° guado").



Foto 76: Pilastrino di 0.6 m^3 , molto fratturato ed in precarie condizioni di stabilità (versante sinistro, zona sovrastante il tratto di strada di servizio poco a valle del "3° guado").



Foto 77: Crollo recente che causato l'abbattimento di alcune piante, alcuni blocchi (0.2 e 0.4 m^3) dopo l'impatto con gli alberi si sono arrestati su un pendio molto ripido (versante sinistro, zona sovrastante il tratto di strada di servizio poco a valle del "3° guado").

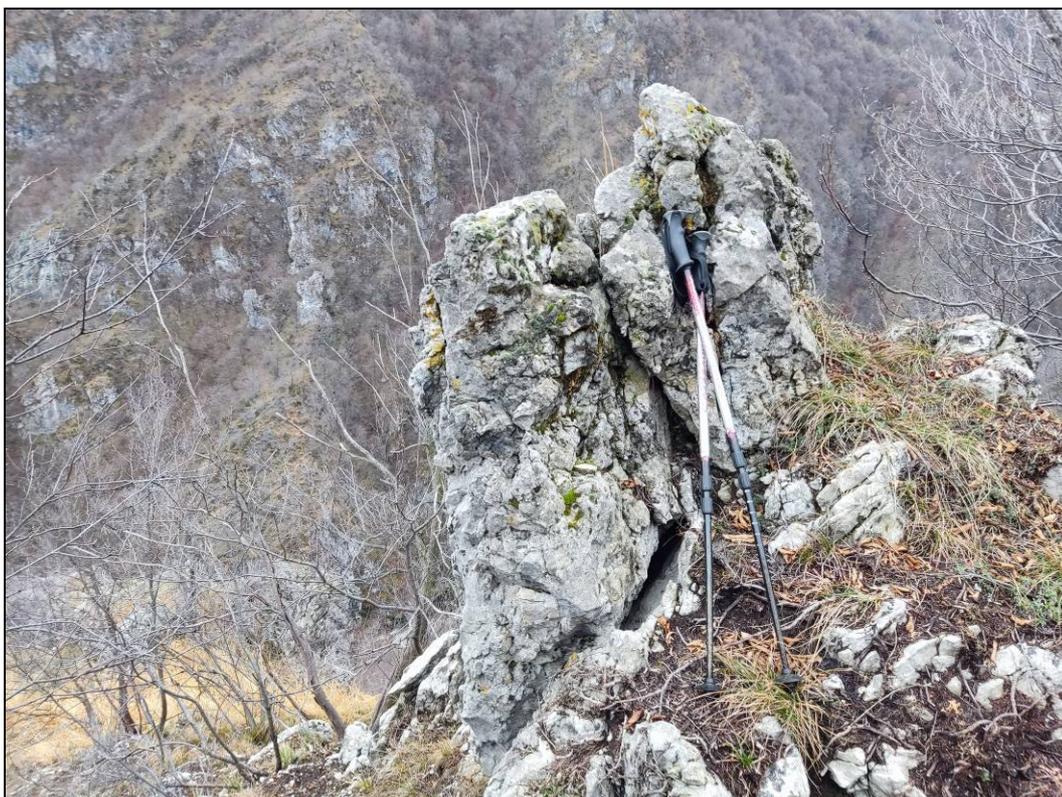


Foto 78: Blocchi smossi (0.5 e 0.2 m³) in precarie condizioni di stabilità (versante sinistro, zona sovrastante il "Crap di asegn").

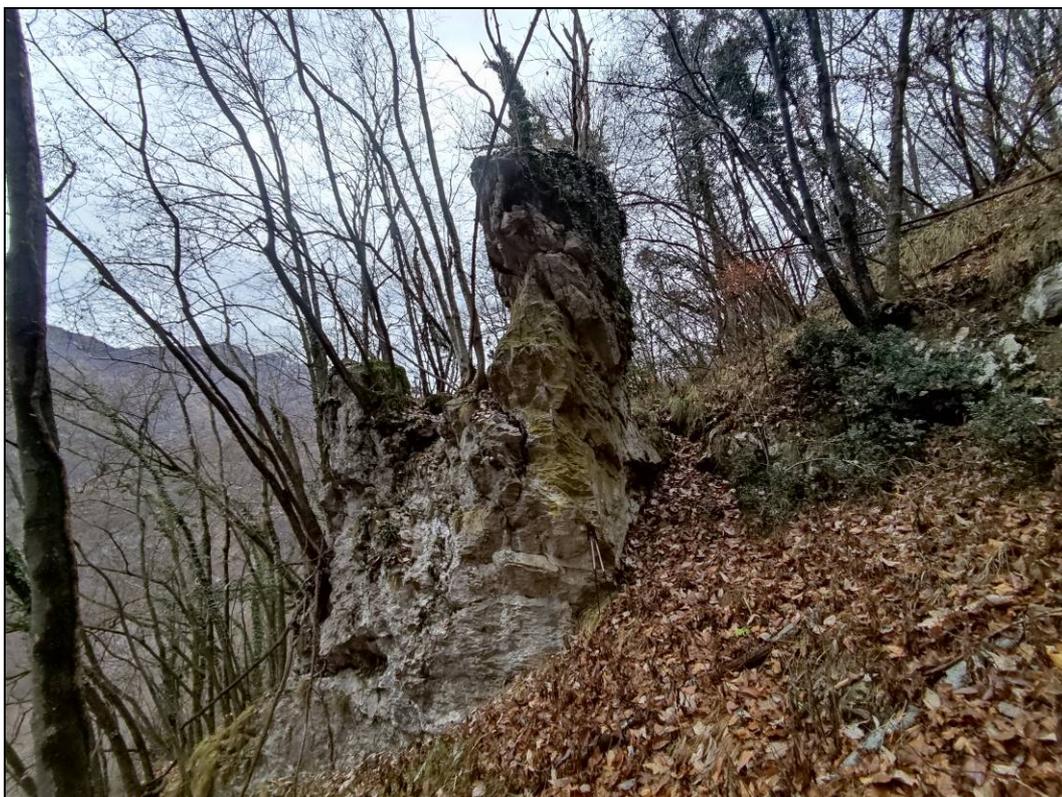


Foto 79: Pilastro roccioso molto fratturato con la porzione sommitale leggermente aggettante; il volume complessivo della massa rocciosa instabile è di 4.5÷5 m³, ma a causa dell'elevato grado di suddivisione è probabile che in caso di crollo il singolo blocco di maggiori dimensioni non superi 0.6÷0.8 m³ (versante sinistro, zona sovrastante il "Crap di asegn").



Foto 80: Porzione rocciosa di circa 1.6 m³ di volume quasi completamente isolata a tergo ed alla base da una frattura beante per carsismo, entro cui cresce l'apparato radicale di una pianta (versante sinistro, zona sovrastante "Stalle Canet").

6. VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' DELLE AREE DI POTENZIALE TRANSITO DEI MASSI

Nel corso del presente studio sono state eseguite elaborazioni su tutte le aree sorgente di caduta massi evidenziate dai sopralluoghi di terreno e dall'analisi geologica. A causa di alcune limitazioni dell'applicativo QProto, è stato necessario eseguire l'elaborazione per ogni scarpata, sommando poi in fase di editing finale i risultati ottenuti (Tavola 6).

I dati di ingresso utilizzati per le elaborazioni sono i seguenti:

- ID: ogni area sorgente di caduta massi è stata suddivisa in celle di 5x5 m, coincidenti con le celle del DTM di Regione Lombardia utilizzato per le elaborazioni; le celle, in numero totale di circa 28.000, sono state univocamente identificate con un numero progressivo.
- ELEVATION: tale valore è stato ricavato dal DTM di Regione Lombardia con cella 5x5 m.
- ASPECT: tale valore è stato definito sulla base della carta della esposizione dei versanti (Tavola 4), ricavata tramite QGis sulla base del DTM di Regione Lombardia. Per un esame complessivo della morfologia dei versanti è stata predisposta anche una carta delle pendenze (Tavola 3).
- PROPENSITY TO DETACHEMENT INDEX ID: il valore è stato considerato sistematicamente pari ad 1 in tutte le elaborazioni.
- BOULDER MASS: sono state eseguite elaborazioni con blocchi di diversa massa, sulla base delle caratteristiche degli ammassi rocciosi verificati in situ e delle classi di volume del metodo Buwall. Nello specifico si sono scelti per il primo macrosettore blocchi di volume pari a 2,5 mc, e per il secondo macrosettore blocchi di volume pari a 3,5 mc.
- ENERGY LINE ANGLE: sulla base di quanto previsto dalla metodica, e tarandosi sulla base di una serie di elaborazioni progressive e sui risultati delle verifiche di dettaglio di caduta (Allegato 1), oltre che sulle cadute già verificatesi, è stato assegnato al parametro un valore pari a 35°.
- LATERAL SPREADING ANGLE: sulla base di quanto previsto dalla metodica, e tarandosi sulla base di una serie di elaborazioni progressive e sui risultati delle verifiche di dettaglio di caduta (Allegato 1), oltre che sulle cadute già verificatesi, è stato assegnato al parametro un valore pari a 15°.
- VISIBILITY DISTANCE: sulla base di quanto previsto dalla metodica, è stato assegnato un valore pari a 800 m.

Ogni elaborazione di QProto produce una serie di mappe raster relative a diversi parametri, in cui per ogni cella analizzata viene assegnato un valore specifico. Tra le elaborazioni possibili (energia media, minima e massima, velocità minima, media e massima, ecc.), si è ritenuto di utilizzare per i fini del presente studio la mappa *Count*, che definisce il numero di transiti dei blocchi attraverso ciascuna cella. Il numero di transiti è rappresentato con una scala di colori, come eviden-

ziato nell'esempio di Figura 31.

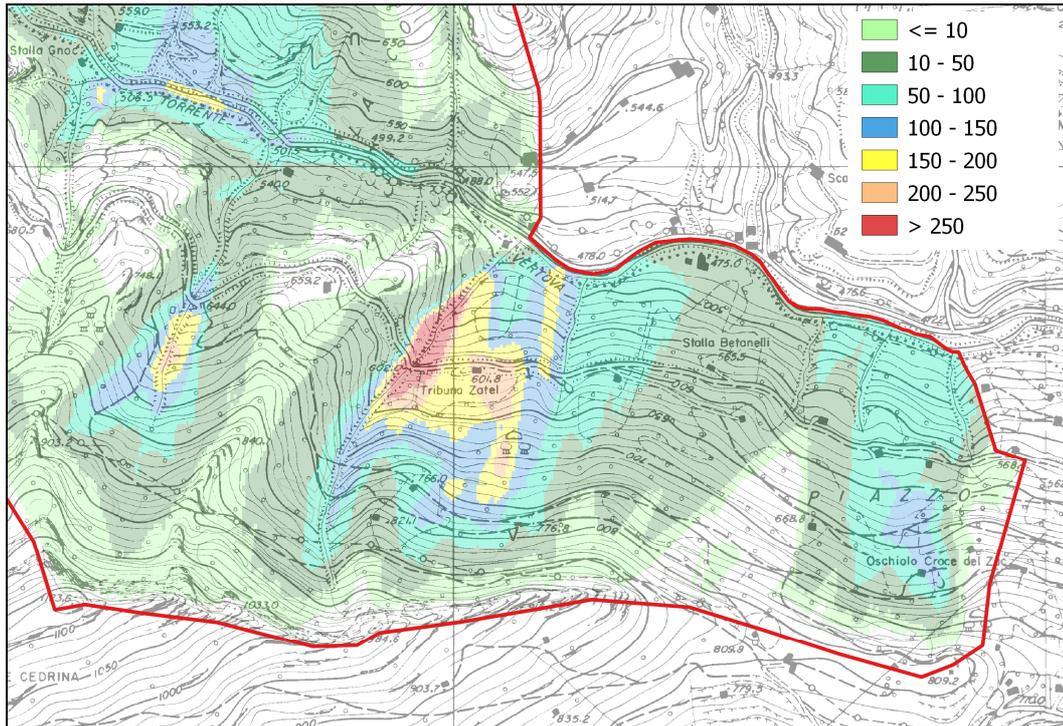


Figura 31: Stralcio esemplificativo della cartografia relativa alla caduta massi.

7. VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' COMPLESSIVA E DEL RISCHIO

7.1 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ

Nell'ambito del presente lavoro è stata predisposta una Carta della pericolosità in scala 1:5.000 (Tavola 8), relativa a tutta l'area oggetto di indagine.

Gli elementi di pericolosità rappresentati nella cartografia sono i seguenti:

- 1) aree sorgenti interessate da potenziali fenomeni di distacco e caduta massi; tali aree, perimetrate e valutate nelle loro caratteristiche attraverso sopralluoghi e rilievi in sito, sono state classificate in termini di pericolosità attraverso il metodo Buwal sopra descritto; si sottolinea che la maggior parte delle aree di distacco sono caratterizzate da più classi di pericolosità in funzione del volume dei blocchi e della frequenza di accadimento; nella Tavola 5 è riportata la classe di pericolosità più elevata;
- 2) aree interessate da transito ed arresto dei massi derivanti dalle precedenti aree sorgenti; tali aree (Tavola 6) sono state perimetrate e valutate nelle loro caratteristiche di pericolosità attraverso l'utilizzo del software QPROTO;
- 3) aree classificate nella cartografia PAI e conseguentemente nella cartografia degli studi geologici di supporto ai PGT dei comuni di Gazzaniga e Vertova come frane attive (Fa), quiescenti (Fq) e stabilizzate (Fs), oltre che come a pericolosità di esondazione molto elevata (Ee); l'attribuzione della pericolosità su tali aree si basa sui criteri previsti dalla DGR 30 novembre 2011 n. IX/2616 e smi; nello specifico le aree di frana attiva ricadenti nel settore di studio, riconducibili sistematicamente a fenomeni di caduta massi, sono state tutte riperimetrate nell'ambito delle attività di sito di cui al punto 1);
- 4) aree non inserite nella cartografia PAI ma individuate in sede di sopralluogo, come evidenziate in Figura 32.

Le aree relative ai punti 3) e 4) sono riportate nella Tavola 7.

Tali aree sono classificate come segue:

- frana attiva (i due dissesti che hanno interessato il ciglio e la scarpata di valle della sede stradale che conduce in Val di Grü, presso la località Clacchei);
- frana quiescente (il corpo di frana entro il quale si è verificato uno dei dissesti precedentemente citati)
- a pericolosità di esondazione molto elevata (l'alveo del corso d'acqua lungo il quale si è verificata la colata detritica a seguito dell'ostruzione causata da uno dei dissesti precedentemente citati);
- conoide attivo parzialmente protetto (il conoide posto allo sbocco del corso d'acqua lungo il quale si è verificata la colata detritica).

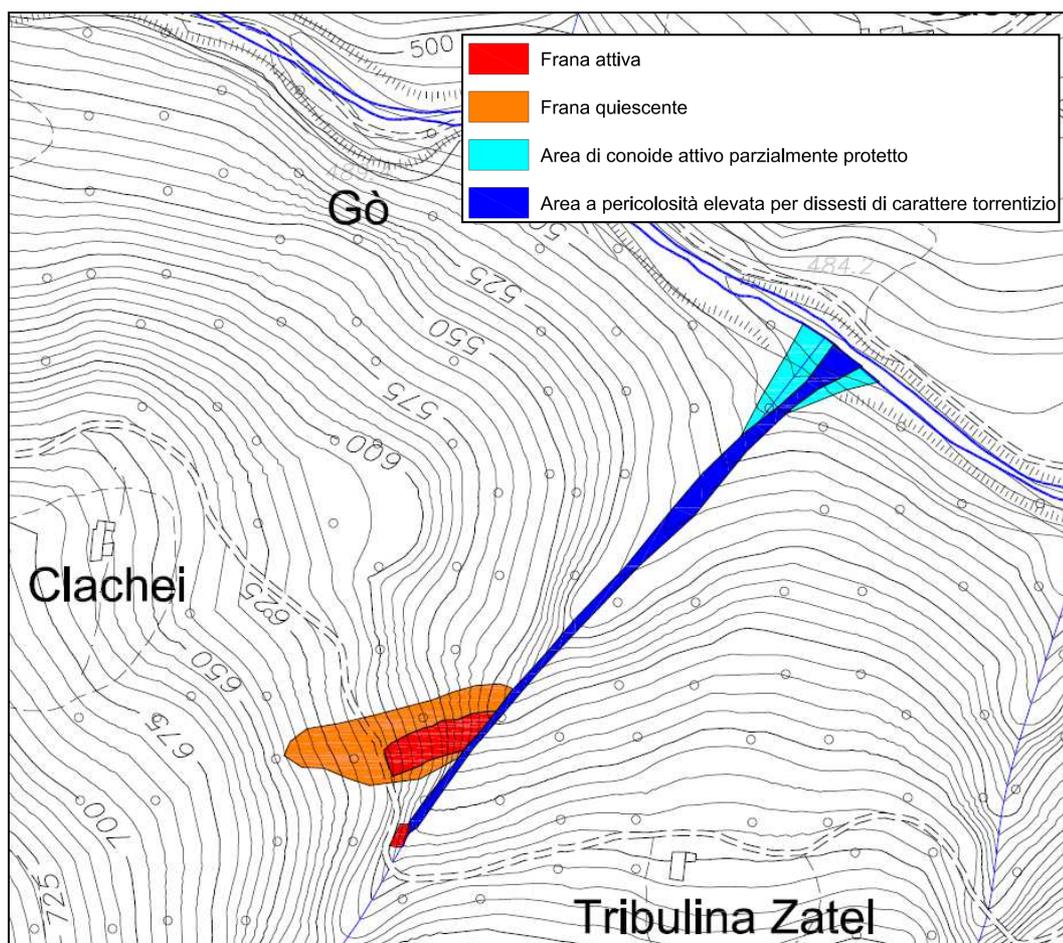


Figura 32: Ubicazione dei dissesti individuati durante i sopralluoghi e non inseriti nella cartografia PAI.

Le classi di pericolosità attribuite per le tipologie di aree sopra elencate sono sintetizzate nella Tabella 13.

GRUPPO	TIPOLOGIA	PERICOLOSITÀ
1)	Aree di distacco con classe di magnitudo 3 e frequenza alta (1-30 anni) Blocchi di volume <math> < 0,07 \text{ m}^3 </math> (diametro <math> < 0,5 \text{ m}</math>)	P3
	Aree di distacco con classi di magnitudo 6 e frequenza media (30-100 anni) Blocchi di volume $0,07 \div 4.2 \text{ m}^3$ (diametro $0,5 \div 2 \text{ m}$)	P4
	Aree di distacco con classi di magnitudo 9 e frequenza bassa (100-300 anni) Blocchi di volume $> 4.2 \text{ m}^3$ (diametro $> 2 \text{ m}$)	P3
2)	Aree a pericolosità di esondazione molto elevata (Ee)	P4 (H4)
3)	Aree di conoide attivo parzialmente protetto	P3
4)	Aree di frana attiva (Fa)	P4
	Aree di frana quiescente (Fq)	P3 (H3)
	Aree di frana stabilizzata (Fs)	P1 (H1)

Tabella 13: Classi di pericolosità.

7.2 VALUTAZIONE DEL RISCHIO

Come noto, per la definizione del rischio è necessario combinare la pericolosità di un'area rispetto ad un evento con la vulnerabilità ed il danno che possono subire gli elementi esposti. In analogia con quanto fatto, a titolo di esempio, dall'ADBPO per l'aggiornamento e revisione delle mappe di pericolosità e del rischio idraulico nell'ambito del PGRA, le ipotesi assunte per la valutazione della classe di rischio sono le seguenti:

- ♦ la vulnerabilità è stata assunta a favore di sicurezza, uguale ad 1 per tutti gli elementi esposti considerati;
- ♦ il valore del danno è stato attribuito assegnando un peso compreso tra 1 e 4 (corrispondente alle 4 classi di danno D1, D2, D3, D4) a seconda dell'importanza della classe d'uso del suolo. In particolare, sono stati assegnati valori maggiori alle classi residenziali che comportano una presenza antropica costante e valori via via decrescenti alle diverse tipologie di attività produttive, privilegiando le attività maggiormente concentrate (attività industriali), rispetto alle attività estensive (attività agricole); il riferimento principale per l'assegnazione delle classi di danno sono stati gli indirizzi operativi emanati dal MATTM nel gennaio 2013.

Si riportano di seguito le attribuzioni della classe di danno ai diversi elementi esposti effettivamente presenti nell'area in esame, ricavati dalla cartografia regionale relativa all'uso del suolo aggiornata all'anno 2018 (Dusaf 6.0), integrata e dettagliata con alcuni elementi (edifici) effettivamente presenti nell'area in esame e non evidenziati, in termini di uso effettivo del suolo, nella cartografia regionale (Tabella 14 e Tabella 15).

CATEGORIA DI USO DEL SUOLO	CLASSE DI DANNO
1122 - Tessuto residenziale rado e nucleiforme	D4
1123 - Tessuto residenziale sparso	D4
2311 - prati permanenti in assenza di specie arboree ed arbustive	D1
2312 - prati permanenti con presenza di specie arboree ed arbustive	D1
31111 – boschi di latifoglie a densità media e alta governati a ceduo (PREVALENTE)	D1
3114 - castagneti da frutto	D1
3241 - cespuglieti con presenza significativa di specie arbustive alte ed arboree	D1
3242 - cespuglieti in aree di agricole abbandonate	D1

Tabella 14: Categorie di uso del suolo e classi di danno.

Reti stradali secondarie – strade comunali	D3
--	----

Tabella 15: Categoria di uso del suolo e classe di danno utilizzata nel caso di presenza di persone lungo il fondovalle della Val Vertova.

Le categorie di uso del suolo sono riportate nella Tavola 9.

La determinazione del rischio è ottenuta dalla combinazione dei parametri vulnerabilità, danno e pericolosità, condotta attraverso una matrice con 4 righe e 4 colonne (Tabella 16).

	P4	P3	P2	P1
D4	R4	R4	R3	R2
D3	R4	R3	R2	R1
D2	R3	R2	R1	R1
D1	R2	R1	R1	R1

Tabella 16: Matrice parametri Danno e Pericolosità.

Nelle righe sono riportati i parametri danno-vulnerabilità e nelle colonne i livelli di pericolosità associabili agli eventi a molto elevata, elevata, media e bassa probabilità di accadimento.

La Tavola 10 presenta la carta finale del rischio per l'intera area in esame.

7.3 CONSIDERAZIONI FINALI

Lo studio eseguito e sopra descritto ha consentito di definire le condizioni di pericolosità e di rischio per tutta l'area oggetto di studio.

Come prevedibile, sono emerse evidenti ed elevate condizioni di rischio per tutte le aree ove sono ubicati edifici ad uso residenziale o con presenza, anche saltuaria, di persone.

Analoghe condizioni di rischio elevato sono presenti lungo la viabilità comunale, sia lungo il versante idrografico destro sia lungo il fondovalle.

In particolare, va sottolineato come per la viabilità di fondovalle la pericolosità per fenomeni di caduta massi è evidentemente elevata, ma le condizioni di rischio risulterebbero basse in assenza di transiti.

I transiti però si verificano:

- sporadicamente, per l'esecuzione da parte dei tecnici di sopralluoghi ed interventi di controllo e manutenzione in corrispondenza delle sorgenti;
- con frequenza periodica da parte dei proprietari delle abitazioni presenti lungo il versante destro e nel settore terminale della forra;
- con frequenza molto elevata, soprattutto in alcuni periodi dell'anno (indicativamente dalla primavera all'autunno) per la presenza di turisti e visitatori della forra della valle.

Nel momento in cui si ha lungo il fondovalle la presenza di persone, le condizioni di rischio divengono ovviamente elevate.

Considerando quanto siano diffusi i potenziali fenomeni di distacco e caduta massi (di volume da pochi decimetri cubi fino a diversi metri cubi) lungo tutto il tratto della valle esaminato, è evidente che non sia in alcun modo possibile prevedere interventi strutturali di protezione sistematica dai fenomeni di caduta massi, del fondovalle e del percorso turistico.

Interventi localizzati potranno essere progettati e realizzati (si veda il capitolo successivo) allo scopo di fornire protezione dai fenomeni di caduta massi per alcuni degli edifici ad uso residenziale presenti lungo il versante ed il fondovalle. In assenza di tali interventi, le ordinanze di sgombero eventualmente ancora vigenti non potranno essere revocate.

Rispetto alla presenza di visitatori lungo il fondovalle e la forra della Val Vertova, si segnala quanto segue.

→ Si ritiene opportuno in primo luogo stabilire un divieto di transito e presenza delle persone nei periodi in cui si verificano le casistiche descritte nel successivo Paragrafo 9.2, quindi in concomitanza con la previsione di eventi di rilevante entità per precipitazioni meteoriche e forte vento (per la presenza di blocchi appoggiati in condizioni precarie alla vegetazione presente, e in quanto il continuo movimento di alberi di alto fusto può favorire ulteriori distacchi).

Pur essendo ovviamente possibile che si verifichino fenomeni di distacco e caduta di blocchi rocciosi anche in assenza di tali condizioni (ad esempio durante il periodo del disgelo), si ritiene che questa scelta possa comunque limitare la possibilità che le persone vengano coinvolte da tali fenomeni.

→ Per gli operatori che transitano lungo il fondovalle per le operazioni di controllo e manutenzione delle sorgenti, e per altri operatori che a vario titolo dovessero avere necessità di accedere alle zone a pericolosità elevata (che in ogni caso dovrebbero essere dotati di specifica copertura assicurativa), si consiglia quantomeno di segnalare formalmente alle società a cui appartengono i rischi a cui sono soggetti nell'operare nell'area, liberando nel contempo le amministrazioni comunali da ogni responsabilità.

→ Analoga segnalazione formale, corredata dalla richiesta di sottoscrivere una specifica liberatoria nei confronti delle amministrazioni comunali, andrebbe inviata ai proprietari di edifici o terreni per il cui accesso si debba transitare o permanere in aree ad elevata pericolosità.

→ Per quanto riguarda l'accesso dal fondovalle alle aree da parte dei turisti, attualmente regolamentato e consentito a pagamento, si dovrebbe anche vagliare la possibilità che, nel costo del biglietto di accesso, sia compresa una copertura assicurativa. In ogni caso, nelle more dell'emissione del biglietto, dovrà essere compresa la documentazione informativa relativa ai rischi connessi al transito ed alla permanenza nel fondovalle e nella forra, con dichiarazione esplicita di liberatoria in merito a responsabilità delle amministra-

zioni comunali.

- Considerando che l'accesso alle aree ad elevata pericolosità può avvenire anche attraverso percorsi che non partano dall'accesso ordinario e regolamentato di fondovalle, andrà comunque predisposta lungo tutto il percorso opportuna cartellonistica (si veda la Tavola 13) che sancisca il rischio di caduta massi e che riporti specificamente le situazioni sopra citate, in cui vige il divieto di transito e permanenza. Tali informazioni potranno anche essere con maggior dettaglio specificate ed illustrate sul sito dei due comuni, dove potranno anche essere periodicamente aggiornati i periodi in cui sono vigenti i divieti di cui sopra.

Infine, rispetto all'opportunità di richiedere ai proprietari dei terreni lungo i versanti interventi di manutenzione forestale, oltre alle evidenti difficoltà connesse all'individuazione dei proprietari delle aree interessate dalle situazioni di instabilità presenti e manifeste, va sottolineato che interventi di manutenzione lungo i versanti possono essere eseguite esclusivamente previa la provvisoria chiusura al transito delle aree sottostanti e del fondovalle.

Può comunque essere opportuno sensibilizzare i proprietari ed i frequentatori dei sentieri e delle strade presenti lungo i versanti alla segnalazione, presso gli Uffici Tecnici dei due comuni, di situazioni di instabilità manifeste o potenziali, che potranno successivamente essere oggetto di sopralluoghi di verifica da parte di tecnici incaricati dai comuni.

Tutte le proposte di cui sopra è opportuno vengano sottoposte al vaglio ed al parere da parte di un legale esperto nella specifica tematica.

8. STIMA DI MASSIMA DEGLI INTERVENTI DI PROTEZIONE DAI FENOMENI DI CADUTA MASSI

Va in primo luogo premesso, come detto al termine del capitolo precedente, che non è in alcun modo possibile, soprattutto in quanto non ragionevole in termini di rapporto costi/benefici, prevedere interventi strutturali di protezione sistematica del fondovalle e del percorso turistico dai fenomeni di caduta massi.

Si indicano pertanto nel seguito gli interventi che sono ragionevolmente da prevedere a protezione di alcuni edifici e parti di strade comunali (si veda la Tavola 11), ed una stima parametrica dei costi di intervento.

VERSANTE IDROGRAFICO DESTRO – COMUNE DI GAZZANIGA

Tipologia	Dimensione	Costo indicativo
Barriera paramassi 1000 kJ (n.1 in carta)	Lunghezza 60 ml Altezza 4m	900 €/ml + spese tecniche + oneri
Barriera paramassi 1000 kJ (n.2 in carta)	Lunghezza 60 ml Altezza 4m	900 €/ml + spese tecniche + oneri
Barriera paramassi 1000 kJ (n.3 in carta)	Lunghezza 200 ml Altezza 4m	900 €/ml + spese tecniche + oneri

VERSANTE IDROGRAFICO SINISTRO – COMUNE DI VERTOVA

Tipologia	Dimensione	Costo indicativo
Barriera paramassi 1000 kJ (n.4 in carta)	Lunghezza 50 ml Altezza 4m	900 €/ml + spese tecniche + oneri
Barriera paramassi 1000 kJ (n.5 in carta)	Lunghezza 50 ml Altezza 4m	900 €/ml + spese tecniche + oneri
Barriera paramassi 2000 kJ (n.6 in carta)	Lunghezza 50 ml Altezza 4m	1.200 €/ml + spese tecniche + oneri
Legatura blocco (n.7 in carta)	A corpo	10.000 €
Consolidamento parete mediante chiodature e reti in aderenza (n.8 in carta)	Superficie 1.000 mq	100 €/mq + spese tecniche + oneri

Le tipologie schematiche di intervento sono riportate nella Tavola 12.

9. AREE A MAGGIOR RISCHIO - INFORMAZIONE ED ALLERTAMENTO

In primo luogo si ritiene utile sensibilizzare, attraverso specifiche comunicazioni scritte, i proprietari dei terreni e delle abitazioni, oltre che i frequentatori sistematici dei sentieri e delle strade presenti lungo i versanti perché provvedano alla segnalazione, presso gli Uffici Tecnici dei due comuni, di situazioni di instabilità manifeste o potenziali, che potranno successivamente essere oggetto di specifici sopralluoghi di verifica da parte di tecnici incaricati dai comuni.

In merito a quest'ultimo punto si considera di particolare importanza che i due comuni provvedano ad incaricare geologi di loro fiducia (se necessario in alcuni casi coadiuvati da guide alpine) per l'esecuzione di sopralluoghi in caso di evidenze/segnalazioni di fenomeni di caduta, lungo la viabilità secondaria e la rete sentieristica, in modo tale da verificare situazioni manifeste di caduta di materiale roccioso o l'evoluzione di situazioni di distacco potenziale.

I lavori di controllo e di manutenzione regolari assicurano la qualità e la sicurezza dei sentieri escursionistici. Tutti i sentieri escursionistici andrebbero ispezionati sul posto almeno una volta all'anno. Può inoltre essere necessario procedere a controlli più frequenti dei sentieri particolarmente frequentati, oltre che a seguito di eventi meteo particolarmente rilevanti. I sopralluoghi vanno effettuati da collaboratori locali debitamente formati, che controllano lo stato dei sentieri e della segnaletica e registrano contemporaneamente eventuali danni al tracciato.

9.1 INFORMAZIONI DA FORNIRE AI FREQUENTATORI

L'escursionismo è un'attività ricreativa svolta in ambiente naturale e, in quanto tale, comporta in primo luogo dei rischi meteorologici (temporali, nevicate, ghiaccio, vento e mutamenti atmosferici repentini) di cui sono responsabili gli utenti.

Allo stesso modo, fenomeni naturali imprevisti come la caduta di massi su tratti anche solitamente sicuri rientrano nei normali rischi della vita quotidiana.

Il livello di sicurezza dei sentieri dipende da numerosi fattori e, anche se i rischi naturali dovessero essere noti, non è possibile garantire una protezione assoluta. Un esempio sono i pericoli impliciti nei sentieri di montagna e, in misura ancora maggiore, in quelli alpini (ad es. caduta massi) che gli utenti sono tenuti a conoscere e accettare.

Alla luce di quanto sopra i soggetti responsabili dispongono di un notevole margine discrezionale e le misure predisposte sono sempre il risultato di un'attenta ponderazione dei rischi (compresi quelli impliciti), degli interessi delle parti (in particolare del rapporto costi-benefici) e dell'autoresponsabilità degli utenti. Le misure di sicurezza non sono infatti intese a eliminare tutti i possibili rischi, quanto piuttosto a circoscriverli a un livello accettabile e adatto alla categoria di sentiero, lasciando quelli residui alla responsabilità individuale degli escursionisti.

9.1.1 Proprietari di edifici e fondi

Ai proprietari di edifici o terreni per il cui accesso si debba transitare o permanere in aree ad elevata pericolosità, andrà inviata una comunicazione in cui si segnala che "l'area di proprietà e di transito è esposta a potenziali fenomeni di caduta massi e pertanto va considerata ad elevata pericolosità".

La comunicazione dovrà comprendere l'inibizione al transito lungo la viabilità secondo le tipologie di rischio naturale ed i livelli di allerta previsti dall'allertamento di Protezione Civile di Regione Lombardia, riportati oltre nel presente documento.

9.1.2 Tecnici e società

Per i tecnici che devono transitare lungo il fondovalle per le operazioni di controllo e manutenzione delle sorgenti, e per altri operatori che a vario titolo dovessero avere necessità di accedere alle zone a pericolosità elevata, andranno segnalati formalmente alle società di appartenenza i rischi a cui sono soggetti nell'operare nell'area, liberando nel contempo le amministrazioni comunali da ogni responsabilità. La segnalazione dovrà comprendere l'inibizione al transito (se non in caso di emergenze conclamate, come il ripristino di servizi essenziali) secondo le tipologie di rischio naturale ed i livelli di allerta previsti dall'allertamento di Protezione Civile di Regione Lombardia, riportati oltre nel presente documento.

9.1.3 Turisti ed escursionisti - Cartellonistica

Con riferimento alla tavola 13, si propone di installare la cartellonistica di seguito descritta.

Cartellonistica sul sentiero di fondovalle

Oltre che specifiche indicazioni sul sito www.valvertova.it, si dovranno porre cartelli segnaletici almeno nelle posizioni sotto elencate.

→ Parcheggio e punto di partenza dei bus per l'accesso alla valle

→ Sbarra lungo la strada di fondovalle poco oltre Ca' Roset.

Escursionisti - Cartellonistica sui sentieri CAI

Andranno segnalati formalmente al CAI Bergamo i rischi a cui sono soggetti gli escursionisti che percorrono i sentieri.

Si dovranno inoltre porre cartelli segnaletici almeno nelle posizioni sotto elencate.

→ Sentiero CAI n.527 – Vertova -Bivacco Testa (escursionistico)

- Cartello rivolto verso chi sale poco oltre Ca' Roset.

- Cartello rivolto verso chi scende poco a nord della piazzola delle sorgenti (prati del Merel).

→ Sentiero CAI n.529A – Gaernai - Bivacco Testa (escursionistico)

- Cartello rivolto verso chi sale al bivio con il sentiero CAI n.527.

- Cartello rivolto verso chi scende al Col d'Ulti.

→ Sentiero CAI n.516 – Val Vertova – Forca di Aviatico – monte Poieto (escursionistico)

- Cartello rivolto verso chi sale al bivio con il sentiero CAI n.527.
 - Cartello rivolto verso chi scende al guado del torrente Gru.
- Sentiero CAI n.524 – Val Vertova – Forca di Aviatico – monte Poieto (escursionistico)
- Cartello rivolto verso chi sale alla località Il Roccolo.
 - Cartello rivolto verso chi scende all’inizio del versante esposto a nord del monte Cedrina.

Cartellonistica su altri sentieri e strade private

E’ opportuno vengano posti cartelli anche sui sentieri comunali che dalla località Orezzo entrano a varie quote lungo il versante destro della Val Vertova, raggiungendo alcuni edifici posti lungo il versante stesso.

Analogo cartello andrà posto allo stacco del sentiero che risale il versante sinistro della valle dopo il bivio tra i sentieri CAI 527 e 529A.

Strada agro-silvo-pastorale per la Val di Gru

Si dovranno inoltre porre cartelli segnaletici almeno nelle posizioni sotto elencate.

→ Cartello rivolto verso chi sale in corrispondenza della sbarra posta lungo la strada in ingresso al versante destro della valle Vertova.

→ Cartello rivolto verso chi scende in corrispondenza dell’inizio dell’area a pericolosità elevata.

Ovviamente l’ubicazione della cartellonistica prevista (si veda la tavola grafica allegata alla presente nota) è funzione dell’area oggetto di studio, anche se esternamente a questa potrebbero essere presenti ulteriori situazioni di potenziale pericolosità.

9.2 ALLERTAMENTO ED INIBIZIONE AL TRANSITO

Con riferimento alle tipologie di rischio naturale previste dall’allertamento di Protezione Civile di Regione Lombardia, verrà inibito al transito, attraverso ordinanza sindacale, il percorso turistico di fondovalle e la viabilità comunale lungo i versanti per le casistiche seguenti.

RISCHIO	
<p>IDROGEOLOGICO</p> 	<p>TEMPORALI FORTI</p> 
<p>IDRAULICO</p> 	<p>VENTO FORTE</p> 

Quanto sopra in corrispondenza di livelli di allerta individuati dai codici colore arancione e rosso.

CRITICITÀ	DESCRIZIONE
 ARANCIONE (moderata)	Sono previsti fenomeni naturali che non raggiungono valori estremi, ma che possono interessare un'importante porzione del territorio o dare luogo a danni ed a rischi estesi per la popolazione
 ROSSO (elevata)	Sono previsti fenomeni naturali suscettibili di raggiungere valori estremi, che possono dare luogo a danni e rischi anche gravi per la popolazione e interessare in modo diffuso il territorio

Nel caso si verificano fenomeni di caduta di massi, si dovrà indicare nella cartellonistica che le persone presenti lungo il percorso di fondovalle lascino il tratto della forra e si portino all'esterno di essa, in corrispondenza della sbarra lungo la strada di fondovalle poco oltre Ca' Roset.

Le ordinanze di sgombero eventualmente ancora vigenti non potranno essere revocate, ma andranno confermate fino all'esecuzione ed al collaudo di interventi strutturali di protezione dalla caduta massi.

Infine, con riferimento ai contenuti del "Piano di Protezione Civile speditivo per la gestione delle emergenze in Valle Vertova" (maggio 2022), si fa presente che il piano prevede (Tavola 1) tre zone individuate come "Punti di ritrovo", connessi a fasi di emergenza per pericolosità idraulica del torrente Vertova.

Due di tali aree ricadono all'interno della forra della Val Vertova e, rispetto ai contenuti del presente documento, non sono compatibili rispetto alle condizioni di pericolosità da caduta massi.

Pertanto, rispetto a situazioni di effettiva emergenza idraulica che si dovessero verificare possono comunque costituire un riferimento per le persone eventualmente presenti nel fondo valle.

Si ricorda d'altra parte che il presente documento prevede situazioni di allertamento ed inibizione al transito, che comprendono anche il rischio idraulico, in condizioni di livelli di allerta arancione e rosso, e quindi in tali condizioni non si dovrebbe in ogni caso registrare la presenza di escursionisti lungo il fondovalle.

10. ALLEGATO 1: ANALISI DELLA DINAMICA DI CADUTA MASSI

Il moto di caduta di un blocco lungo una scarpata rocciosa dipende da numerosi fattori che non è facile esprimere numericamente. Le traiettorie dei blocchi dipendono dalla geometria della scarpata, dalla forma del blocco in caduta e dalla sua velocità iniziale al momento del distacco dal pendio, ed inoltre dall'entità dell'energia dissipata per effetto degli urti durante la caduta. I blocchi in caduta possono, infatti, scivolare, rotolare o rimbalzare a valle a seconda della loro forma, appiattita o arrotondata, e della inclinazione del pendio.

L'energia dissipata per effetto degli urti è in genere diversa al variare delle caratteristiche del moto e dipende dalle caratteristiche meccaniche del blocco e dai materiali presenti lungo la scarpata (roccia, terreno, vegetazione) che si oppongono in misura differente al moto dei blocchi.

Nella realtà, tuttavia, è praticamente impossibile determinare puntualmente il profilo di un pendio ed individuare la forma dei diversi blocchi che potrebbero distaccarsi. Inoltre la geometria del pendio e la natura dei materiali affioranti subiscono nel tempo modifiche, anche sensibili, per effetto, dell'alterazione della roccia, per l'accumulo di detriti nelle zone meno acclivi e per lo sviluppo della vegetazione.

Infine, diviene praticamente impossibile modellare il moto di caduta dei blocchi nei casi in cui questi si frantumino per effetto degli urti, né è possibile individuare le zone del pendio in cui si verifica la frantumazione.

Per i motivi sopra esposti si può affermare che un calcolo preciso della caduta di masse rocciose risulta praticamente impossibile. Utilizzando tuttavia criteri probabilistici e statistici sviluppati sulla base di un'ampia sperimentazione numerica e tarati sulla base di una vasta casistica di dati sperimentali ottenuti da prove in sito sono stati messi a punto programmi di calcolo che consentono di ottenere risultati soddisfacenti dal punto di vista ingegneristico ai fini della previsione della dinamica di caduta (in termini di traiettorie, velocità ed energie) e della progettazione delle opere di protezione.

Nel caso in esame l'analisi è stata effettuata mediante l'utilizzo del codice di calcolo "Roc-Fall" distribuito dalla RocScience Inc. di Toronto.

10.1 CRITERI DI CALCOLO UTILIZZATI DAL CODICE DI CALCOLO ROC FALL

RocFall utilizza un'analisi delle particelle per calcolare il movimento di un masso. L'analisi particellare si suddivide in tre sezioni ben distinte tra loro: l'algoritmo particellare, l'algoritmo di proiezione e l'algoritmo di scorrimento.

L'algoritmo particellare garantisce la validità di tutti i parametri di simulazione, definisce le condizioni iniziali per la preparazione degli algoritmi di proiezione e di scorrimento per poi dare inizio all'algoritmo di scorrimento. Il resto della simulazione (fino all'arresto del masso) riguarda o l'algoritmo di proiezione oppure l'algoritmo di scorrimento.

L'algoritmo di proiezione serve a calcolare il movimento della roccia mentre viag-

gia attraverso l'aria, rimbalzando da un punto all'altro del pendio.

L'algoritmo di scorrimento serve a calcolare il movimento del masso mentre è in contatto con il pendio. Poiché la velocità della roccia deve essere molto bassa prima che la roccia abbandoni l'algoritmo di proiezione, gran parte della simulazione è incentrata sul logaritmo di proiezione.

Ogni masso è modellato come una particella, che può essere vista come un cerchio infinitesimale, dal momento che le dimensioni della roccia non si ripercuotono affatto sull'algoritmo in sé, tuttavia le equazioni utilizzate all'interno dell'algoritmo di scorrimento implicano una forma circolare. Poiché si presume che ogni masso sia infinitamente piccolo, non sussiste nessuna interazione tra le particelle, ma soltanto tra i segmenti del pendio e le barriere. E poiché non sussiste alcuna interazione tra le particelle, ogni singolo masso si comporta come se fosse l'unico presente nella simulazione.

Benché i massi siano ritenuti privi di ogni dimensione (ai fini dell'interazione con altre rocce, con il pendio o le barriere), si ritiene che abbiano una massa. La massa non è utilizzata in nessuna delle equazioni utilizzate ai fini del calcolo del movimento del masso ma solo per calcolare l'energia cinetica al momento della creazione dei grafici e della presentazione dei risultati. La massa viene determinata all'inizio della simulazione e rimane costante per tutta la durata della simulazione. I massi non possono rompersi o frammentarsi durante la simulazione. La massa può essere specificata attraverso un valore costante o attraverso campioni scelti da una distribuzione casuale.

La resistenza dovuta all'attrito dell'aria non viene presa in considerazione in nessuna delle equazioni dal momento che si presume che i massi siano abbastanza massicci e che si spostino a velocità abbastanza basse. Considerare la resistenza dell'aria renderebbe l'analisi fin troppo complicata e non avrebbe pressoché nessun effetto sull'esito della simulazione.

La pendenza è modellata come un gruppo continuo di segmenti di linea retta collegati tra loro alle estremità. Affinché possa essere considerato valido, un segmento del pendio non può incontrare nessun altro segmento della pendenza e i vertici non possono essere coincidenti, altrimenti la geometria è libera. Le barriere e i data collector sono modellati come singoli segmenti di una linea retta.

10.1.1 Algoritmo di proiezione

L'algoritmo di proiezione parte dal presupposto secondo il quale il masso abbia una certa velocità (seppur minima) che lo faccia viaggiare attraverso l'aria dal punto in cui si trova a un altro punto in cui colpirà un secondo oggetto (che può trovarsi posizionato lungo il medesimo oggetto). A causa della forza di gravità la traiettoria descritta dal masso nell'aria sarà necessariamente una parabola.

L'algoritmo di proiezione serve essenzialmente a individuare il punto di intersezione tra una parabola (il tragitto compiuto dalla roccia) e un segmento lineare (un tratto del pendio oppure una barriera). Una volta trovato il punto di intersezione, si provvede a calcolare l'impatto in funzione dei coefficienti di restituzione. Se a seguito dell'impatto il masso si muove ancora abbastanza rapidamente il

processo ricomincia daccapo, al fine di cercare il punto d'intersezione successivo. In questo contesto per "velocità sufficiente" si intende la velocità minima (V_{MIN}) specificata dall'utente al momento dell'avvio della simulazione. La velocità minima definisce il punto di transizione tra lo stato di proiezione e lo stato in cui il masso si muove troppo lentamente per essere considerato alla stregua di un proiettile per essere quindi considerato in fase di rotolamento, scorrimento o arresto. L'esito della simulazione e il tempo richiesto dalla stessa non sono particolarmente sensibili alle variazioni della V_{MIN} .

Una volta determinata l'intersezione corretta e calcolate le velocità, tutti i collettori di dati vengono verificati rispetto all'intersezione con la parabola (secondo una procedura simile a quella seguita per il controllo dei segmenti della pendenza). Tutti i collettori di dati con valore parametrico (ovvero il valore di t) inferiore al valore dell'intersezione attuale vengono informati circa la traiettoria del masso. Inoltre i collettori di dati registrano la posizione, la velocità e l'energia cinetica del masso nel momento in cui supera i collettori. Si procede quindi a calcolare la velocità della roccia, per poi confrontarla con V_{MIN} . Se maggiore di V_{MIN} il processo ricomincia da capo allo scopo di trovare il punto d'intersezione successivo.

10.1.2 Algoritmo di scorrimento

L'algoritmo di scorrimento viene utilizzato per calcolare il movimento del masso dopo l'abbandono dell'algoritmo di proiezione. I massi possono scorrere su qualsiasi segmento del pendio e su ogni barriera. Ai fini dell'algoritmo di scorrimento il segmento del pendio o la barriera su cui scorre il masso consistono in un unico segmento di linea retta con proprietà di angolo di inclinazione (Θ) e angolo di attrito (ϕ). L'angolo di attrito può essere specificato attraverso una costante oppure scelto a campione da una distribuzione casuale.

Il masso può iniziare a scorrere in ogni punto del segmento e avere un'accelerazione iniziale rivolta al tratto ascendente oppure discendente. Le equazioni considerano esclusivamente la componente di velocità tangenziale alla pendenza.

10.1.2.1 Scorrimento lungo il tratto discendente

Se l'accelerazione iniziale del masso è diretta verso il tratto discendente (oppure è pari a zero), il comportamento del masso dipende dalle magnitudini relative dell'angolo di attrito (ϕ) e dall'angolo d'inclinazione (Θ).

$\phi = \Theta$ Se l'angolo di inclinazione ha un valore pari all'angolo di attrito, la forza motrice (gravità) è pari alla forza di resistenza (attrito) e il masso avanzerà in discesa a partire dal tratto finale del segmento con una velocità pari all'accelerazione iniziale (ovvero $V_{EXIT} = V_0$). Sussiste tuttavia un caso specifico in cui $V_0=0$: in tal caso il masso non si muove e la simulazione può ritenersi conclusa.

$\phi > \Theta$ Se l'angolo di inclinazione è superiore all'angolo di attrito, la forza motrice è maggiore della resistenza e il masso avanzerà in discesa a partire dal tratto finale del segmento con una velocità maggiore.

10.1.2.2 Scorrimento lungo un tratto in risalita

In caso di scorrimento in salita l'attrito e la forza di gravità rallentano la velocità della particella. Partendo dal presupposto che un segmento si estende all'infinito, primo o poi la particella si fermerà. La distanza d'arresto viene calcolata attraverso l'equazione 420; si procede inoltre al calcolo della distanza che separa il masso dalla sua posizione iniziale all'estremo in salita del segmento. Se la distanza d'arresto è superiore alla distanza che separa il masso dall'estremo del segmento, la roccia scivolerà via dall'estremo del segmento ed in questo caso si ricorre all'equazione 19 per calcolare la velocità d'uscita. Se invece la distanza d'arresto è inferiore alla distanza che separa il masso dall'estremo del segmento, la roccia si arresterà e la simulazione può ritenersi conclusa.

Se il masso scorre verso l'alto e si ferma, viene incluso nell'algoritmo di scorrimento lungo il tratto discendente. Se l'inclinazione del segmento è sufficiente (ovvero $\Theta > \phi$) il masso scorrerà a partire dall'estremo inferiore del segmento. Se invece l'inclinazione non è sufficiente la posizione d'arresto del masso (dopo lo scorrimento in salita) viene considerata quale posizione finale e la simulazione viene interrotta.

10.2 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

L'analisi RocFall è stata eseguita su 8 sezioni, le cui tracce sono rappresentate in Figura 33.

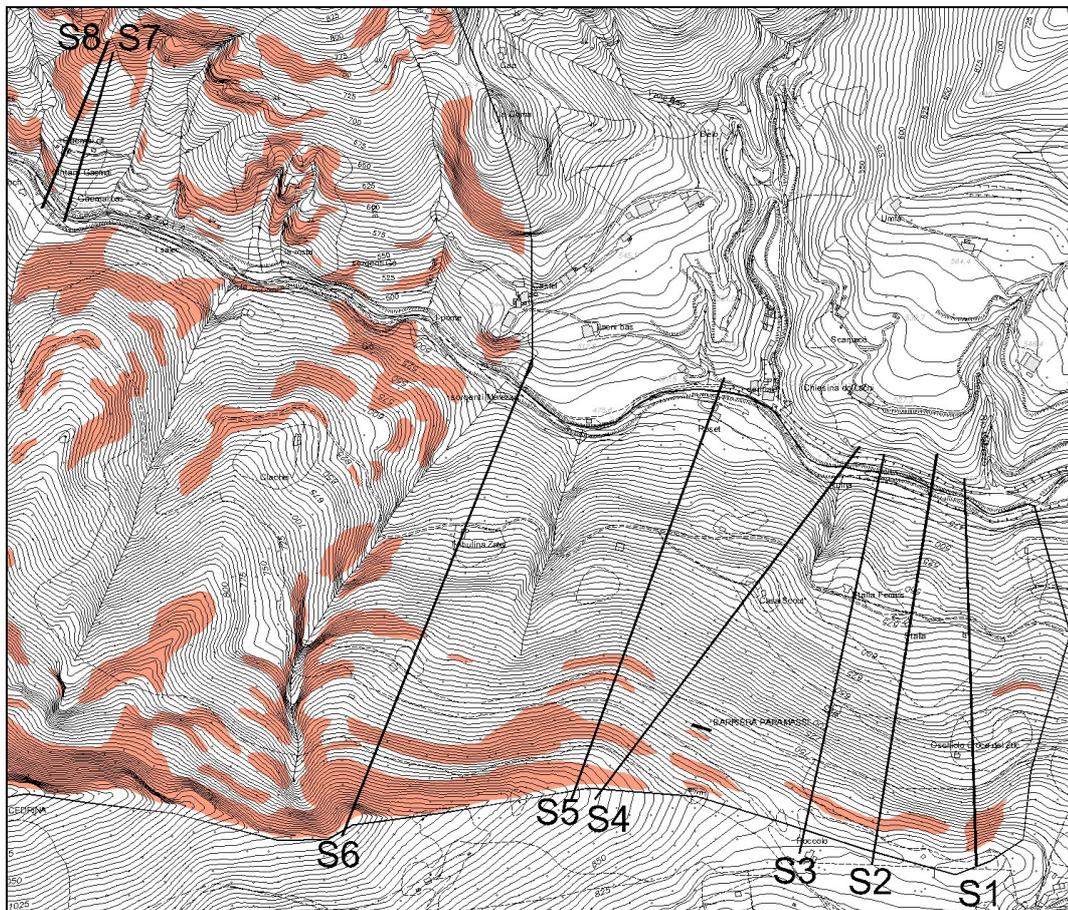


Figura 33: Tracce delle sezioni sulle quali è stata applicata l'analisi di caduta massi.

In corrispondenza delle otto sezioni esaminate, in primo luogo, si sono riportate le caratteristiche del terreno in corrispondenza dei vari tratti. Il programma propone differenti tipi di terreno con i relativi valori dei coefficienti di restituzione normale e tangenziale e l'angolo di attrito e la rugosità con la relativa variazione standard, tali parametri possono comunque essere variati dall'utente in funzione dell'esperienza acquisita.

Per ciascuna delle sezioni si è simulato il distacco di 1000 massi. Sulla base dei dati ottenuti tramite i sopralluoghi di terreno, le simulazioni sono state fatte nell'ipotesi di distacco di blocchi di massa pari a 6500 kg per le sezioni da 1 a 6 e di massa pari a 9100 kg per le sezioni 7 e 8.

Per ciascuna sezione si riporta nelle pagine seguenti il diagramma delle altezze di caduta (massima e media), il diagramma della distanza di arresto e della energia cinetica totale e il diagramma con le traiettorie di caduta. In quest'ultimo sono stati indicati gli elementi significativi presenti (strada agrosilvopastorale, Tribulina Zatel, Casa Scout ed alcune altre località).

SEZIONE 1

Sezione 1: Dati di ingresso



RocFall Analysis Information

Project Summary

File Name Sezione 1.fal5
File Version 5.017

Date Created 10/02/2023, 10:14:18

Project Settings

General Settings:

Engine Lump Mass
Units Metric (m, kg, kJ)
Rock Throw Mode Number of rocks controlled by seeder

Engine Conditions:

Friction Angle Calculate friction angle from Rt
Consider Angular Velocity Yes
Maximum time per rock 5s
Maximum steps per rock 10000
Normal velocity cutoff 0.1m/s
Stopped velocity cutoff 0.1m/s
Maximum timestep 0.01s

Random Number Generation:

Sampling Method Monte-Carlo
Random Seed Pseudo-random seed: 12345234

Slope Geometry

Vertex	X	Y	X Std.Dev.	Y Std.Dev.
1	0	806.328	0.5	0.5
2	17	805	0.5	0.5
3	25.029	800	0.5	0.5
4	30.0348	796.888	0.5	0.5
5	35.0406	791.965	0.5	0.5
6	40.0465	786.575	0.5	0.5
7	45.0523	780.833	0.5	0.5
8	50.0581	775.022	0.5	0.5
9	55.0639	769.084	0.5	0.5
10	60.0697	763.139	0.5	0.5
11	65.0755	757.166	0.5	0.5
12	70.0813	751.178	0.5	0.5
13	75.0871	745.161	0.5	0.5
14	80.0929	739.271	0.5	0.5
15	85.0987	734.289	0.5	0.5
16	90.1045	729.298	0.5	0.5
17	95.1103	724.362	0.5	0.5
18	100.116	719.376	0.5	0.5
19	105.122	714.625	0.5	0.5
20	110.128	710.137	0.5	0.5
21	115.134	704.559	0.5	0.5
22	120.139	699.601	0.5	0.5
23	125.145	697.394	0.5	0.5
24	130.151	695.125	0.5	0.5
25	135.157	692.815	0.5	0.5
26	140.163	690.098	0.5	0.5
27	145.168	687.797	0.5	0.5
28	150.174	685.473	0.5	0.5
29	155.18	683.111	0.5	0.5
30	160.186	680.699	0.5	0.5
31	165.192	678.433	0.5	0.5
32	170.197	676.169	0.5	0.5

33	175.203	673.825	0.5	0.5
34	180.209	671.391	0.5	0.5
35	185.215	668.894	0.5	0.5
36	190.221	666.268	0.5	0.5
37	195.226	663.563	0.5	0.5
38	200.232	660.839	0.5	0.5
39	205.238	658.194	0.5	0.5
40	210.244	655.583	0.5	0.5
41	215.25	652.972	0.5	0.5
42	220.256	650.393	0.5	0.5
43	225.261	647.856	0.5	0.5
44	230.267	645.328	0.5	0.5
45	235.273	642.814	0.5	0.5
46	240.279	640.295	0.5	0.5
47	245.285	636.527	0.5	0.5
48	250.29	632.513	0.5	0.5
49	255.296	628.458	0.5	0.5
50	260.302	624.333	0.5	0.5
51	265.308	620.224	0.5	0.5
52	270.314	615.958	0.5	0.5
53	275.319	611.719	0.5	0.5
54	280.325	608.759	0.5	0.5
55	285.331	606.682	0.5	0.5
56	290.337	604.579	0.5	0.5
57	295.343	602.479	0.5	0.5
58	300.348	600.403	0.5	0.5
59	305.354	599.012	0.5	0.5
60	310.36	597.027	0.5	0.5
61	315.366	595.042	0.5	0.5
62	320.372	593.07	0.5	0.5
63	325.377	591.116	0.5	0.5
64	330.383	589.187	0.5	0.5
65	335.389	587.231	0.5	0.5
66	340.395	585.277	0.5	0.5
67	345.401	583.34	0.5	0.5
68	350.406	581.45	0.5	0.5
69	355.412	579.194	0.5	0.5
70	360.418	575.581	0.5	0.5
71	365.424	572.27	0.5	0.5
72	370.43	568.984	0.5	0.5
73	375.436	564.529	0.5	0.5
74	380.441	559.904	0.5	0.5
75	385.447	555.295	0.5	0.5
76	390.453	550.655	0.5	0.5
77	395.459	547.365	0.5	0.5
78	400.465	544.296	0.5	0.5
79	405.47	541.242	0.5	0.5
80	410.476	538.151	0.5	0.5
81	415.482	535.027	0.5	0.5
82	420.488	531.925	0.5	0.5
83	425.494	528.802	0.5	0.5
84	430.499	525.63	0.5	0.5
85	435.505	522.482	0.5	0.5
86	440.511	519.323	0.5	0.5
87	445.517	516.043	0.5	0.5
88	450.523	512.81	0.5	0.5
89	455.528	509.609	0.5	0.5
90	460.534	506.4	0.5	0.5
91	465.54	503.219	0.5	0.5
92	470.546	500.571	0.5	0.5
93	475.552	497.595	0.5	0.5
94	480.557	494.661	0.5	0.5
95	485.563	491.68	0.5	0.5
96	490.569	488.749	0.5	0.5
97	495.575	485.776	0.5	0.5
98	500.581	482.804	0.5	0.5
99	505.587	479.844	0.5	0.5
100	510.592	476.895	0.5	0.5
101	515.598	473.988	0.5	0.5

102	520.604	471.131	0.5	0.5
103	525.61	469.275	0.5	0.5
104	530.616	468.088	0.5	0.5
105	535.621	466.938	0.5	0.5
106	540.627	465.821	0.5	0.5
107	545.633	464.736	0.5	0.5
108	550.639	463.688	0.5	0.5
109	555.645	462.676	0.5	0.5
110	560.65	462.862	0.5	0.5
111	565.656	465.388	0.5	0.5
112	570.662	468.834	0.5	0.5
113	575.668	471.729	0.5	0.5
114	580.674	471.741	0.5	0.5
115	585.679	480.842	0.5	0.5
116	590.685	483.738	0.5	0.5
117	595.691	486.791	0.5	0.5

Slope Material Assignment

Material	From Vertex	To Vertex
Detrito con bosco	1	3
Roccia	3	14
Detrito con bosco	14	28
Detrito con prato	28	39
Detrito con bosco	39	56
Detrito con prato	56	76
Detrito con bosco	76	105
Depositi in alveo	105	111
Detrito con bosco	111	117

Material Properties

Roccia

"Roccia" Properties					
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.5	None			
Tangential Restitution	0.88	None			
Friction Angle (°)	Calculated from Rt				
Slope Roughness (°)		None			

Detrito con bosco

"Detrito con bosco" Properties					
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.32	None			
Tangential Restitution	0.82	None			
Friction Angle (°)	Calculated from Rt				
Slope Roughness (°)		None			

Detrito con prato

"Detrito con prato" Properties					
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.3	None			
Tangential Restitution	0.8	None			
Friction Angle (°)	Calculated from Rt				
Slope Roughness (°)		None			

Depositi in alveo

"Depositi in alveo" Properties					
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.33	None			
Tangential Restitution	0.85	None			
Friction Angle (°)	Calculated from Rt				
Slope Roughness (°)		None			

Seeders

Seeder 1

Seeder Properties

Name	Seeder 1
Location	(30.0348, 796.888)

Rocks to Throw

Number of Rocks	1000 Per Rock Type
Rock Types	Default Rock (Sphere)

Initial Conditions

	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Horizontal Velocity (m/s)	0.2	None			
Vertical Velocity (m/s)	0.2	None			
Rotational Velocity (°/s)	0	None			
Initial Rotation (°/s)	0	Uniform		0	360

Rock Types

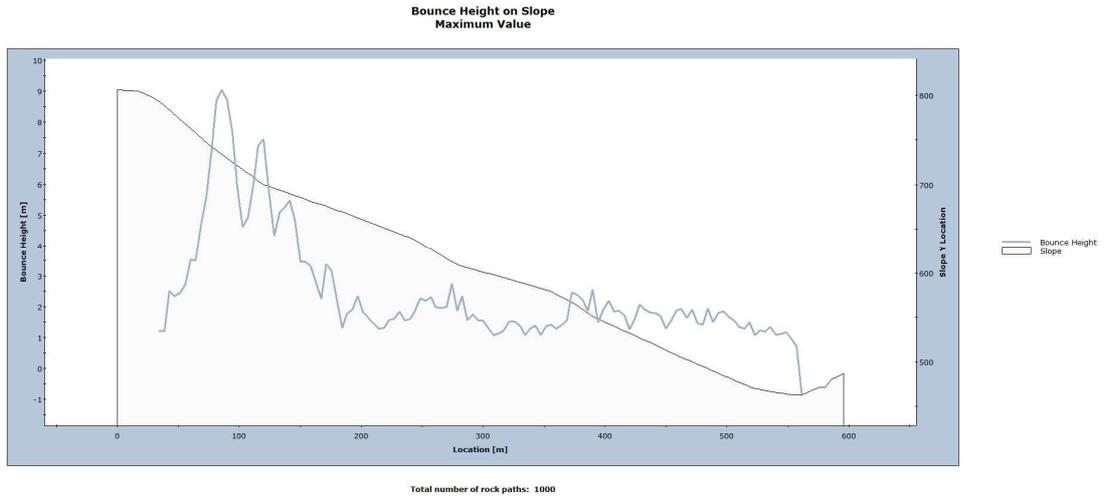
Default Rock (Sphere)

Properties

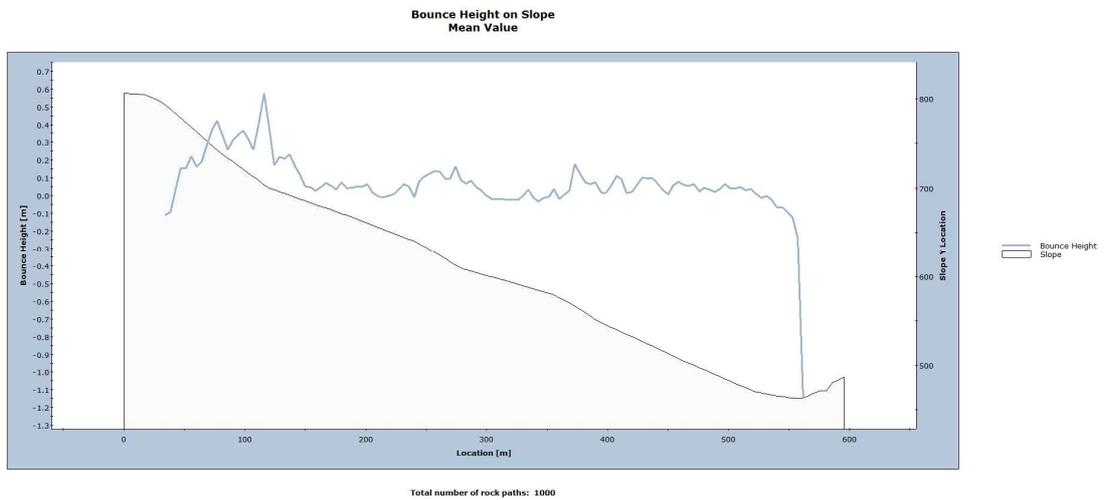
Name	Default Rock (Sphere)
Color	

	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Mass (kg)	6500	None			
Density (kg/m ³)	2600	None			

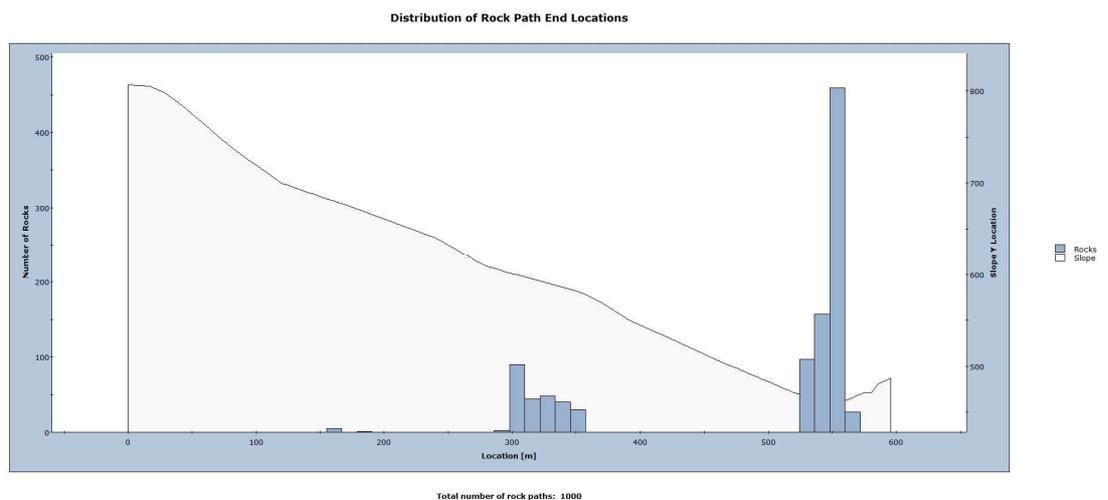
Sezione 1: Altezza massima



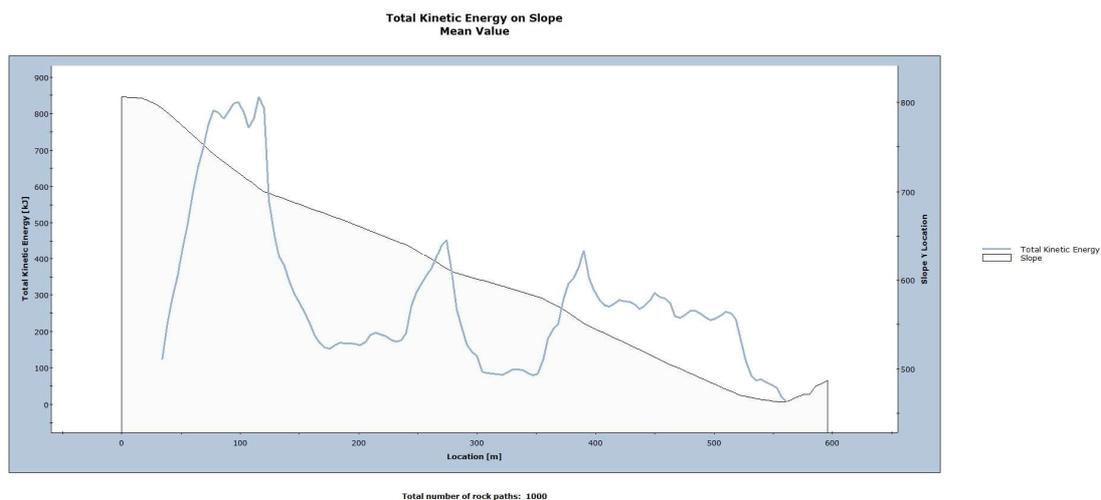
Sezione 1: Altezza media



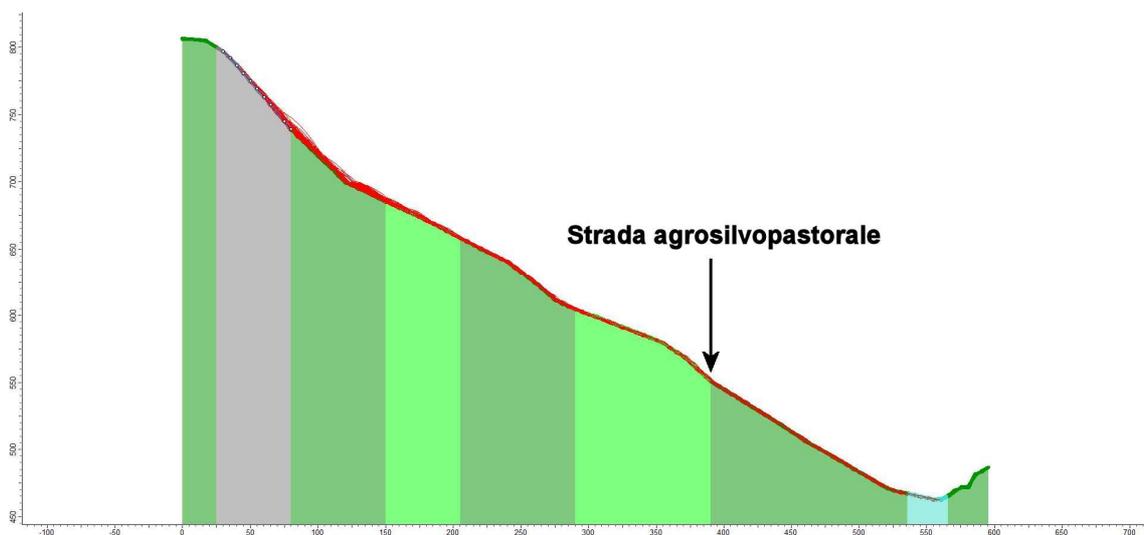
Sezione 1: Distanza di arresto



Sezione 1: Energia cinetica totale (valore medio)



Sezione 1: Traiettorie



SEZIONE 2

Sezione 2: Dati di ingresso



RocFall Analysis Information

Project Summary

File Name Sezione 2.fal5
File Version 5.017

Date Created 10/02/2023, 18:52:33

Project Settings

General Settings:

Engine Lump Mass
Units Metric (m, kg, kJ)
Rock Throw Mode Number of rocks controlled by seeder

Engine Conditions:

Friction Angle Calculate friction angle from Rt
Consider Angular Velocity Yes
Maximum time per rock 5s
Maximum steps per rock 10000
Normal velocity cutoff 0.1m/s
Stopped velocity cutoff 0.1m/s
Maximum timestep 0.01s

Random Number Generation:

Sampling Method Monte-Carlo
Random Seed Pseudo-random seed: 12345234

Slope Geometry

Vertex	X	Y	X Std.Dev.	Y Std.Dev.
1	0	800	0.5	0.5
2	10	805	0.5	0.5
3	30.5	805	0.5	0.5
4	35.5252	798.803	0.5	0.5
5	40.6002	796.194	0.5	0.5
6	45.6752	793.492	0.5	0.5
7	50.7502	790.737	0.5	0.5
8	55.8253	788.15	0.5	0.5
9	60.9003	785.522	0.5	0.5
10	65.9753	781.919	0.5	0.5
11	71.0503	779.245	0.5	0.5
12	76.1254	776.667	0.5	0.5
13	81.2004	774.041	0.5	0.5
14	86.2754	771.414	0.5	0.5
15	91.3504	768.071	0.5	0.5
16	96.4255	761.711	0.5	0.5
17	101.5	757.523	0.5	0.5
18	106.576	753.345	0.5	0.5
19	111.651	749.116	0.5	0.5
20	116.726	744.738	0.5	0.5
21	121.801	740.324	0.5	0.5
22	126.876	734.56	0.5	0.5
23	131.951	730.45	0.5	0.5
24	137.026	726.372	0.5	0.5
25	142.101	722.307	0.5	0.5
26	147.176	718.281	0.5	0.5
27	152.251	714.208	0.5	0.5
28	157.326	710.132	0.5	0.5
29	162.401	704.314	0.5	0.5
30	167.476	700.209	0.5	0.5
31	172.551	696.084	0.5	0.5
32	177.626	692.074	0.5	0.5

33	182.701	688.193	0.5	0.5
34	187.776	684.423	0.5	0.5
35	192.851	678.824	0.5	0.5
36	197.926	675.088	0.5	0.5
37	203.001	671.386	0.5	0.5
38	208.076	667.066	0.5	0.5
39	213.151	662.316	0.5	0.5
40	218.226	657.548	0.5	0.5
41	223.301	652.719	0.5	0.5
42	228.376	645.477	0.5	0.5
43	233.451	640.611	0.5	0.5
44	238.526	638.025	0.5	0.5
45	243.601	635.783	0.5	0.5
46	248.676	633.534	0.5	0.5
47	253.751	631.274	0.5	0.5
48	258.826	627.906	0.5	0.5
49	263.901	625.433	0.5	0.5
50	268.976	622.948	0.5	0.5
51	274.051	620.437	0.5	0.5
52	279.126	617.88	0.5	0.5
53	284.201	615.3	0.5	0.5
54	289.276	611.851	0.5	0.5
55	294.351	609.247	0.5	0.5
56	299.426	606.423	0.5	0.5
57	304.501	603.661	0.5	0.5
58	309.577	600.98	0.5	0.5
59	314.652	598.62	0.5	0.5
60	319.727	596.418	0.5	0.5
61	324.802	593.5	0.5	0.5
62	329.877	591.151	0.5	0.5
63	334.952	589.083	0.5	0.5
64	340.027	585.068	0.5	0.5
65	345.102	582.906	0.5	0.5
66	350.177	580.664	0.5	0.5
67	355.252	578.592	0.5	0.5
68	360.327	576.489	0.5	0.5
69	365.402	574.339	0.5	0.5
70	370.477	572.167	0.5	0.5
71	375.552	569.997	0.5	0.5
72	380.627	567.63	0.5	0.5
73	385.702	565.364	0.5	0.5
74	390.777	562.726	0.5	0.5
75	395.852	560.65	0.5	0.5
76	400.927	558.545	0.5	0.5
77	406.002	556.427	0.5	0.5
78	411.077	554.31	0.5	0.5
79	416.152	552.204	0.5	0.5
80	421.227	549.639	0.5	0.5
81	426.302	547.659	0.5	0.5
82	431.377	545.679	0.5	0.5
83	436.452	543.72	0.5	0.5
84	441.527	541.813	0.5	0.5
85	446.602	539.795	0.5	0.5
86	451.677	536.036	0.5	0.5
87	456.752	531.878	0.5	0.5
88	461.827	527.663	0.5	0.5
89	466.902	523.432	0.5	0.5
90	471.977	519.376	0.5	0.5
91	477.052	515.819	0.5	0.5
92	482.127	512.298	0.5	0.5
93	487.202	508.713	0.5	0.5
94	492.277	505.091	0.5	0.5
95	497.352	501.537	0.5	0.5
96	502.427	497.972	0.5	0.5
97	507.502	494.398	0.5	0.5
98	512.577	490.94	0.5	0.5
99	517.653	487.606	0.5	0.5
100	522.728	485.11	0.5	0.5
101	527.803	482.64	0.5	0.5

102	532.878	480.182	0.5	0.5
103	537.953	478.037	0.5	0.5
104	543.028	475.998	0.5	0.5
105	548.103	473.157	0.5	0.5
106	553.178	471.205	0.5	0.5
107	558.253	469.419	0.5	0.5
108	563.328	467.806	0.5	0.5
109	568.403	466.246	0.5	0.5
110	573.478	464.709	0.5	0.5
111	578.553	463.088	0.5	0.5
112	583.628	465.307	0.5	0.5
113	588.703	467.802	0.5	0.5
114	593.778	470.379	0.5	0.5
115	598.853	473.704	0.5	0.5
116	603.928	475.073	0.5	0.5
117	609.003	476.577	0.5	0.5
118	614.078	483.582	0.5	0.5
119	619.153	487.91	0.5	0.5
120	624.228	491.676	0.5	0.5
121	629.303	495.412	0.5	0.5
122	634.378	499.393	0.5	0.5
123	639.453	503.348	0.5	0.5

Slope Material Assignment

Material	From Vertex	To Vertex
Detrito con prato	1	9
Roccia	9	16
Detrito con bosco	16	52
Detrito con prato	52	75
Detrito con bosco	75	108
Depositi in alveo	108	113
Detrito con bosco	113	123

Material Properties

Roccia

"Roccia" Properties

	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.5	None			
Tangential Restitution	0.88	None			
Friction Angle (°)	Calculated from Rt				
Slope Roughness (°)	None				

Detrito con bosco

"Detrito con bosco" Properties

	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.32	None			
Tangential Restitution	0.82	None			
Friction Angle (°)	Calculated from Rt				
Slope Roughness (°)	None				

Detrito con prato

"Detrito con prato" Properties

	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.3	None			
Tangential Restitution	0.8	None			
Friction Angle (°)	Calculated from Rt				
Slope Roughness (°)	None				

Depositi in alveo

"Depositi in alveo" Properties

	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.33	None			
Tangential Restitution	0.85	None			
Friction Angle (°)	Calculated from Rt				
Slope Roughness (°)	None				

Seeders

Seeder 1

Seeder Properties

Name	Seeder 1
Location	(60.9003, 785.522)

Rocks to Throw

Number of Rocks	1000 Overall
Rock Types	Default Rock (Sphere)

Initial Conditions

	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Horizontal Velocity (m/s)	0.2	None			
Vertical Velocity (m/s)	0.2	None			
Rotational Velocity (°/s)	0	None			
Initial Rotation (°/s)	0	Uniform		0	360

Rock Types

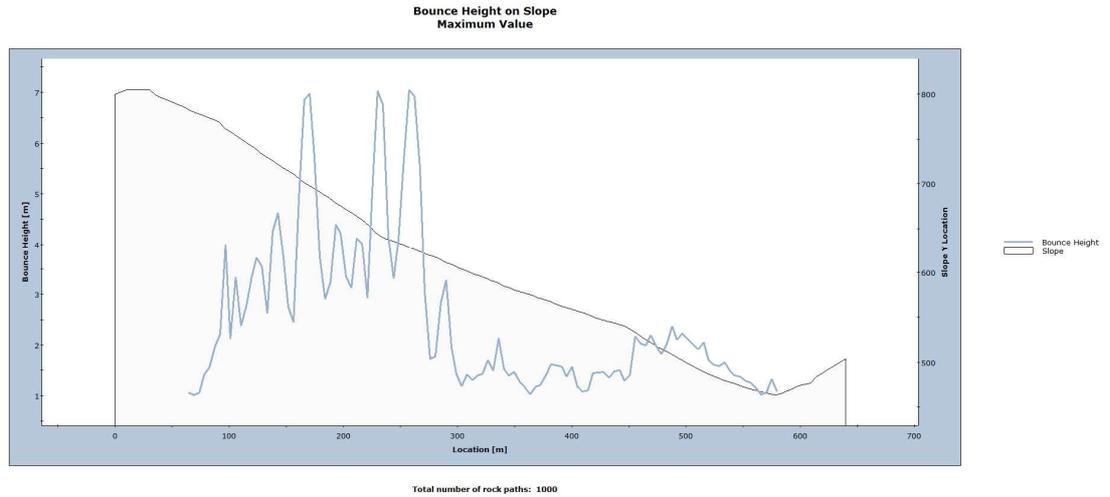
Default Rock (Sphere)

Properties

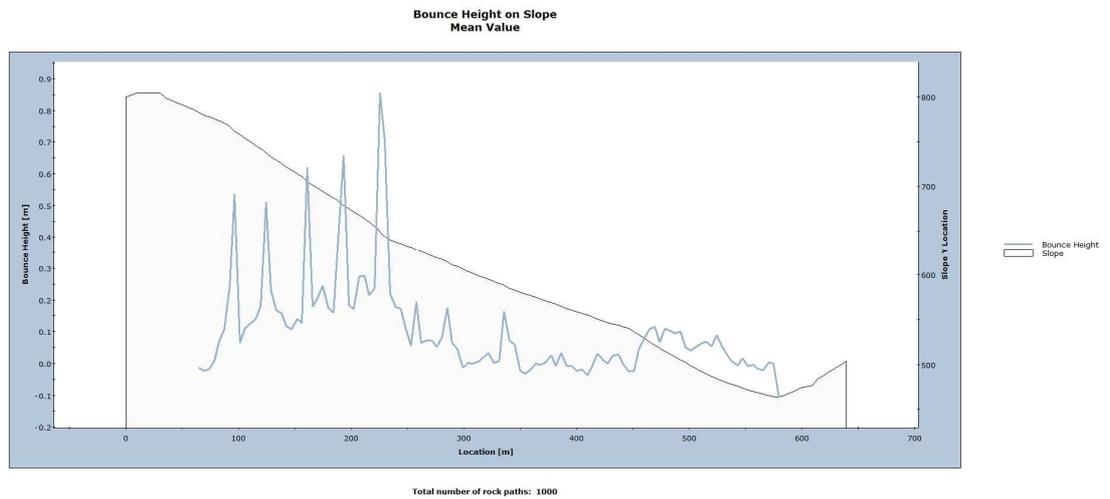
Name	Default Rock (Sphere)
Color	

	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Mass (kg)	6500	None			
Density (kg/m ³)	2600	None			

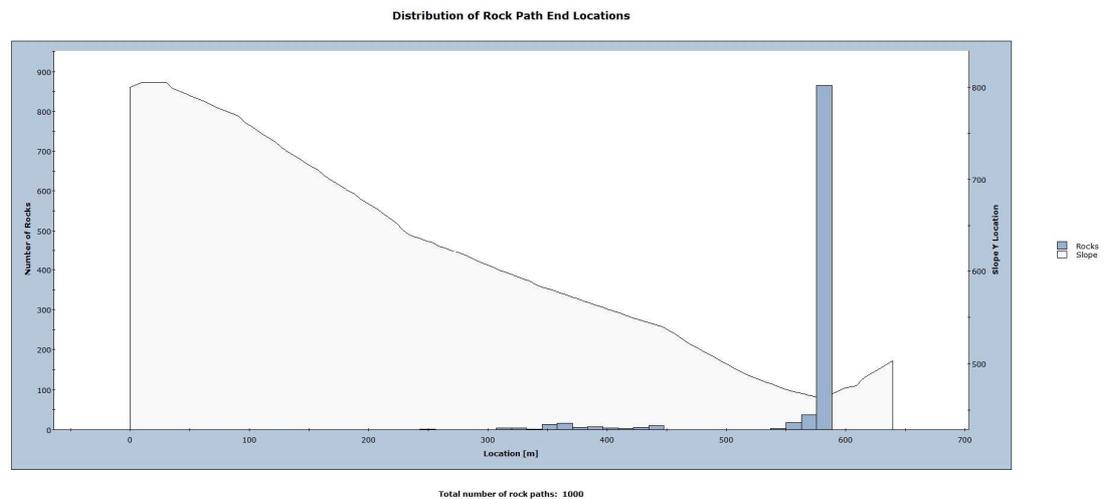
Sezione 2: Altezza massima



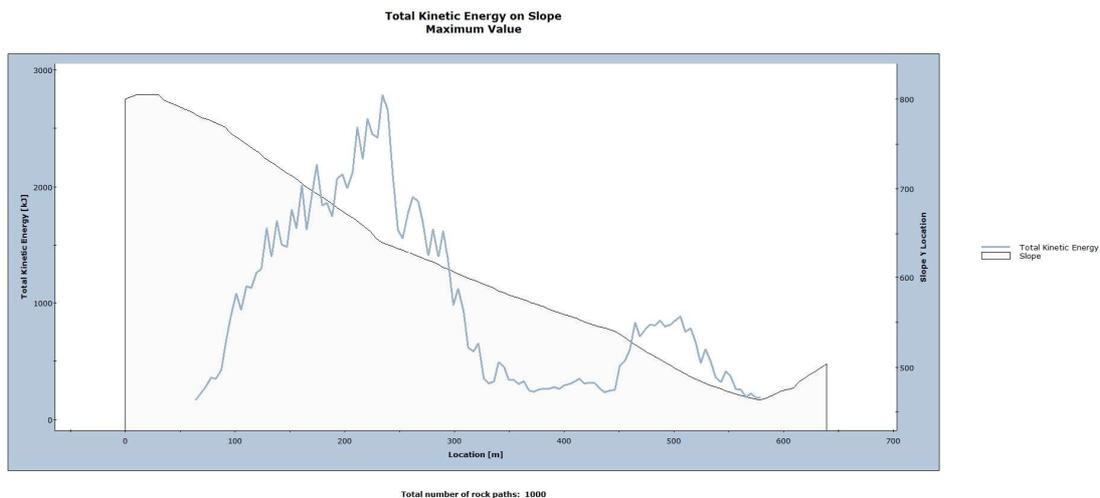
Sezione 2: Altezza media



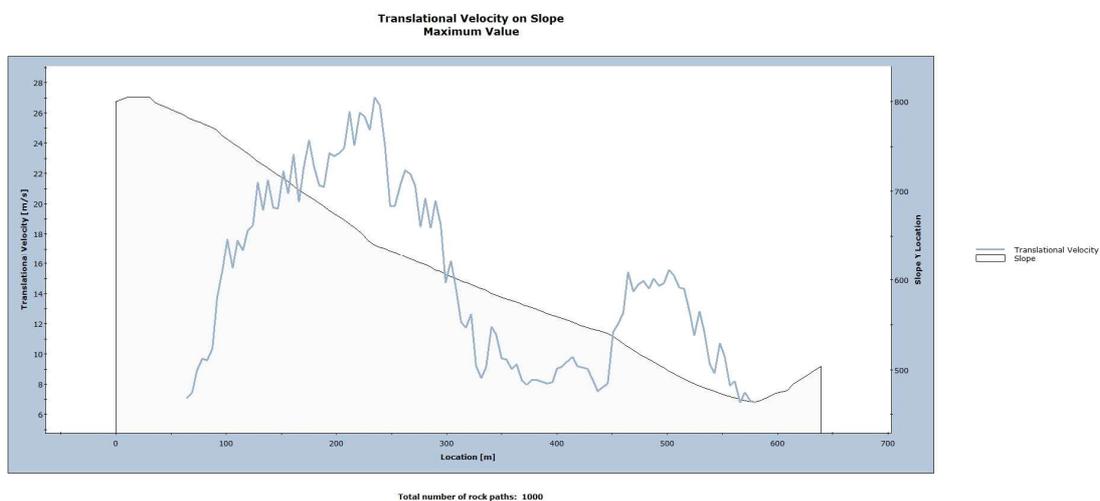
Sezione 2: Distanza di arresto



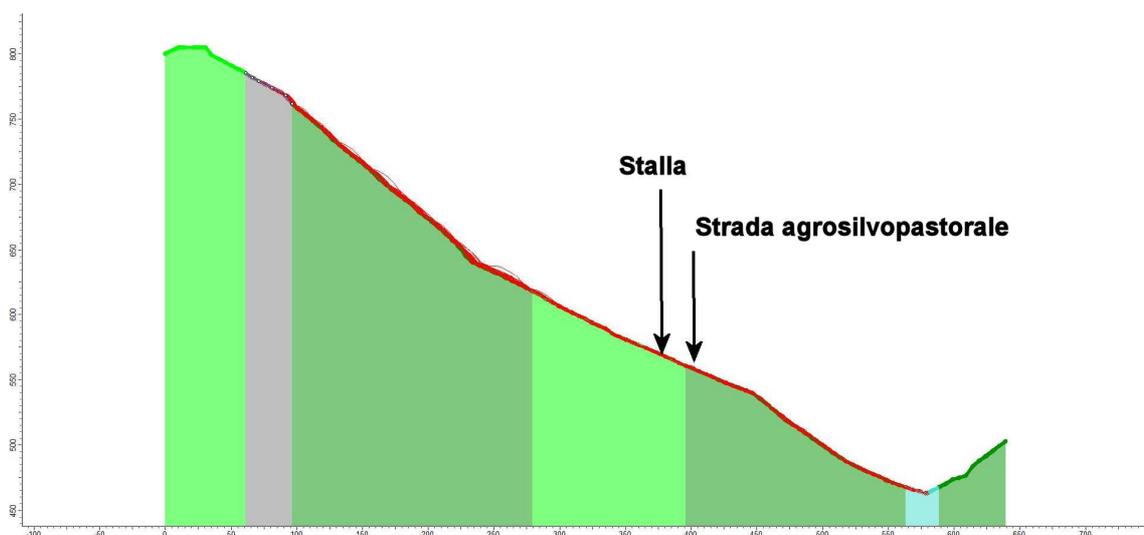
Sezione 2: Energia cinetica totale (valore medio)



Sezione 2: Velocità



Sezione 2: Traiettorie



SEZIONE 3

Sezione 3: Dati di ingresso



RocFall Analysis Information

Project Summary

File Name Sezione 3.fal5
File Version 5.017

Date Created 10/02/2023, 10:19:40

Project Settings

General Settings:

Engine Lump Mass
Units Metric (m, kg, kj)
Rock Throw Mode Number of rocks controlled by seeder

Engine Conditions:

Friction Angle Calculate friction angle from Rt
Consider Angular Velocity Yes
Maximum time per rock 5s
Maximum steps per rock 10000
Normal velocity cutoff 0.1m/s
Stopped velocity cutoff 0.1m/s
Maximum timestep 0.01s

Random Number Generation:

Sampling Method Monte-Carlo
Random Seed Pseudo-random seed: 12345234

Slope Geometry

Vertex	X	Y	X Std.Dev.	Y Std.Dev.
1	0	801.993	0.5	0.5
2	5.13814	802.629	0.5	0.5
3	10.2763	803.297	0.5	0.5
4	15.4144	803.515	0.5	0.5
5	20.5526	803.557	0.5	0.5
6	25.6907	802.9	0.5	0.5
7	30.8288	802.769	0.5	0.5
8	35.967	802.593	0.5	0.5
9	41.1051	802.365	0.5	0.5
10	46.2433	802.077	0.5	0.5
11	51.3814	801.142	0.5	0.5
12	56.5195	800.755	0.5	0.5
13	61.6577	800.269	0.5	0.5
14	66.7958	798.512	0.5	0.5
15	71.934	795.516	0.5	0.5
16	77.0721	791.068	0.5	0.5
17	82.2102	787.993	0.5	0.5
18	87.3484	784.823	0.5	0.5
19	92.4865	781.594	0.5	0.5
20	97.6247	777.399	0.5	0.5
21	102.763	774.121	0.5	0.5
22	107.901	770.784	0.5	0.5
23	113.039	767.602	0.5	0.5
24	118.177	764.541	0.5	0.5
25	123.315	760.241	0.5	0.5
26	128.453	757.361	0.5	0.5
27	133.592	754.551	0.5	0.5
28	138.73	751.806	0.5	0.5
29	143.868	749.11	0.5	0.5
30	149.006	744.865	0.5	0.5
31	154.144	742.195	0.5	0.5
32	159.282	738.966	0.5	0.5

33	164.42	733.456	0.5	0.5
34	169.559	728.2	0.5	0.5
35	174.697	719.769	0.5	0.5
36	179.835	714.683	0.5	0.5
37	184.973	709.435	0.5	0.5
38	190.111	704.073	0.5	0.5
39	195.249	696.8	0.5	0.5
40	200.387	692.687	0.5	0.5
41	205.526	688.573	0.5	0.5
42	210.664	684.532	0.5	0.5
43	215.802	680.592	0.5	0.5
44	220.94	674.186	0.5	0.5
45	226.078	670.337	0.5	0.5
46	231.216	667.388	0.5	0.5
47	236.354	664.495	0.5	0.5
48	241.493	661.563	0.5	0.5
49	246.631	656.538	0.5	0.5
50	251.769	653.521	0.5	0.5
51	256.907	650.399	0.5	0.5
52	262.045	647.319	0.5	0.5
53	267.183	644.029	0.5	0.5
54	272.321	638.695	0.5	0.5
55	277.46	634.612	0.5	0.5
56	282.598	630.532	0.5	0.5
57	287.736	626.449	0.5	0.5
58	292.874	620.31	0.5	0.5
59	298.012	616.258	0.5	0.5
60	303.15	612.238	0.5	0.5
61	308.288	609.046	0.5	0.5
62	313.427	606.897	0.5	0.5
63	318.565	603.744	0.5	0.5
64	323.703	601.568	0.5	0.5
65	328.841	599.347	0.5	0.5
66	333.979	597.149	0.5	0.5
67	339.117	594.917	0.5	0.5
68	344.255	591.786	0.5	0.5
69	349.393	589.504	0.5	0.5
70	354.532	587.28	0.5	0.5
71	359.67	585.036	0.5	0.5
72	364.808	582.76	0.5	0.5
73	369.946	579.626	0.5	0.5
74	375.084	577.748	0.5	0.5
75	380.222	575.847	0.5	0.5
76	385.36	573.972	0.5	0.5
77	390.499	571.18	0.5	0.5
78	395.637	569.168	0.5	0.5
79	400.775	567.258	0.5	0.5
80	405.913	565.651	0.5	0.5
81	411.051	564.199	0.5	0.5
82	416.189	561.676	0.5	0.5
83	421.327	560.661	0.5	0.5
84	426.466	559.562	0.5	0.5
85	431.604	558.305	0.5	0.5
86	436.742	557.047	0.5	0.5
87	441.88	554.764	0.5	0.5
88	447.018	553.543	0.5	0.5
89	452.156	552.307	0.5	0.5
90	457.294	551.103	0.5	0.5
91	462.433	550.07	0.5	0.5
92	467.571	545.301	0.5	0.5
93	472.709	541.964	0.5	0.5
94	477.847	538.575	0.5	0.5
95	482.985	535.042	0.5	0.5
96	488.123	529.909	0.5	0.5
97	493.261	527.081	0.5	0.5
98	498.4	524.211	0.5	0.5
99	503.538	521.321	0.5	0.5
100	508.676	517.622	0.5	0.5
101	513.814	511.792	0.5	0.5

102	518.952	507.582	0.5	0.5
103	524.09	503.342	0.5	0.5
104	529.228	499.181	0.5	0.5
105	534.367	495.097	0.5	0.5
106	539.505	489.306	0.5	0.5
107	544.643	486.174	0.5	0.5
108	549.781	482.985	0.5	0.5
109	554.919	479.791	0.5	0.5
110	560.057	475.191	0.5	0.5
111	565.195	471.89	0.5	0.5
112	570.333	469.488	0.5	0.5
113	575.472	468.277	0.5	0.5
114	580.61	467.046	0.5	0.5
115	585.748	465.374	0.5	0.5
116	590.886	464.254	0.5	0.5
117	596.024	464.189	0.5	0.5
118	601.162	466.318	0.5	0.5
119	606.3	468.617	0.5	0.5
120	611.439	471.292	0.5	0.5
121	616.577	474.081	0.5	0.5
122	621.715	474.564	0.5	0.5
123	626.853	476.73	0.5	0.5

Slope Material Assignment

Material	From Vertex	To Vertex
Detrito con prato	1	14
Detrito con bosco	14	18
Roccia	18	20
Detrito con bosco	20	33
Roccia	33	36
Detrito con bosco	36	69
Detrito con prato	69	91
Detrito con bosco	91	113
Depositi in alveo	113	118
Detrito con bosco	118	123

Material Properties

Roccia

"Roccia" Properties					
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.5	None			
Tangential Restitution	0.88	None			
Friction Angle (°)		Calculated from Rt			
Slope Roughness (°)		None			

Detrito con bosco

"Detrito con bosco" Properties					
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.32	None			
Tangential Restitution	0.82	None			
Friction Angle (°)		Calculated from Rt			
Slope Roughness (°)		None			

Detrito con prato

"Detrito con prato" Properties					
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.3	None			
Tangential Restitution	0.8	None			
Friction Angle (°)		Calculated from Rt			
Slope Roughness (°)		None			

Depositi in alveo

"Depositi in alveo" Properties

	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.33	None			
Tangential Restitution	0.5	None			
Friction Angle (°)	Calculated from Rt				
Slope Roughness (°)	None				

Seeders
Seeder 1
Seeder Properties

Name	Seeder 1
Location	(87.3484, 784.823)

Rocks to Throw

Number of Rocks	500 Per Rock Type
Rock Types	Default Rock (Sphere)

Initial Conditions

	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Horizontal Velocity (m/s)	0.2	None			
Vertical Velocity (m/s)	0.2	None			
Rotational Velocity (°/s)	0	None			
Initial Rotation (°/s)	0	Uniform		0	360

Seeder 2
Seeder Properties

Name	Seeder 2
Location	(159.282, 738.966)

Rocks to Throw

Number of Rocks	500 Per Rock Type
Rock Types	Default Rock (Sphere)

Initial Conditions

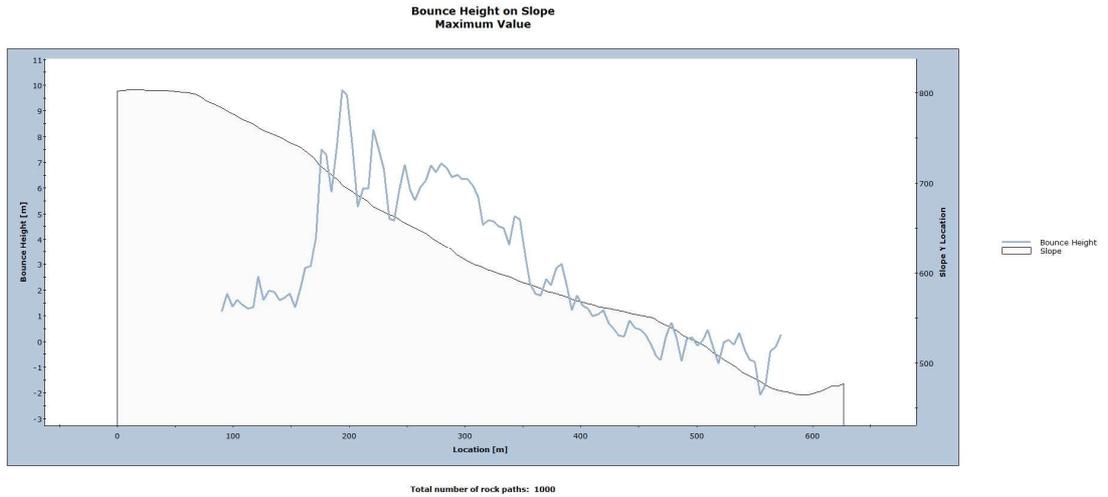
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Horizontal Velocity (m/s)	0.2	None			
Vertical Velocity (m/s)	0.2	None			
Rotational Velocity (°/s)	0	None			
Initial Rotation (°/s)	0	Uniform		0	360

Rock Types
Default Rock (Sphere)
Properties

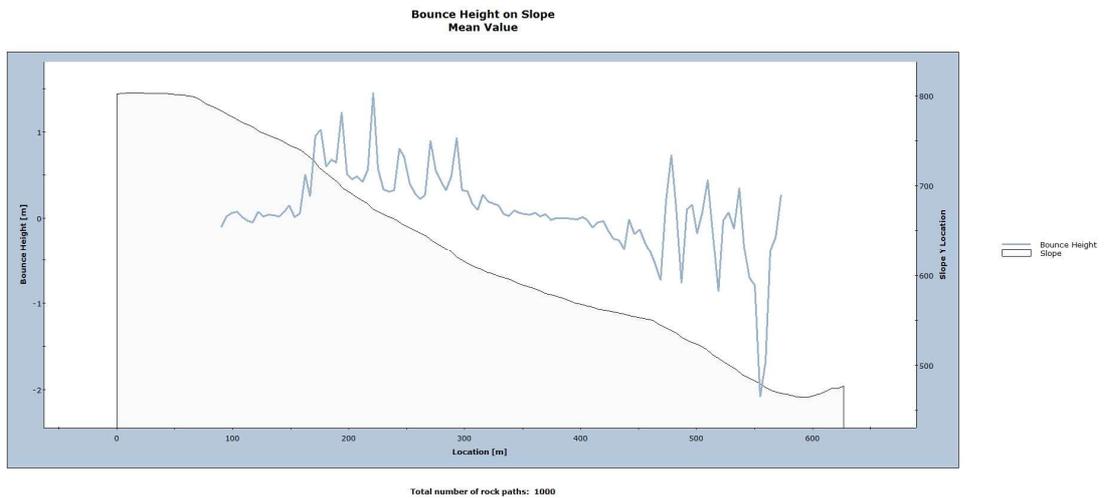
Name	Default Rock (Sphere)
Color	

	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Mass (kg)	6500	None			
Density (kg/m ³)	2600	None			

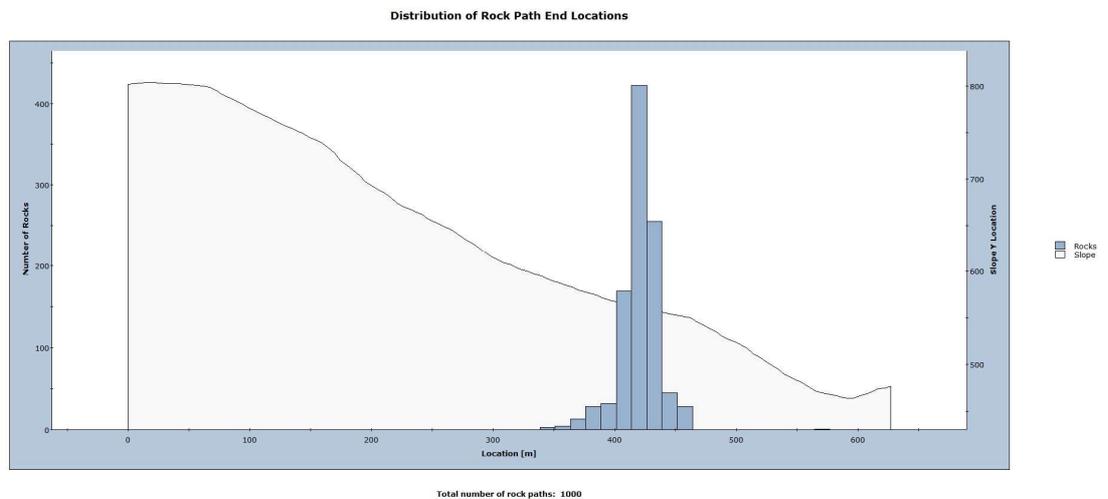
Sezione 3: Altezza massima



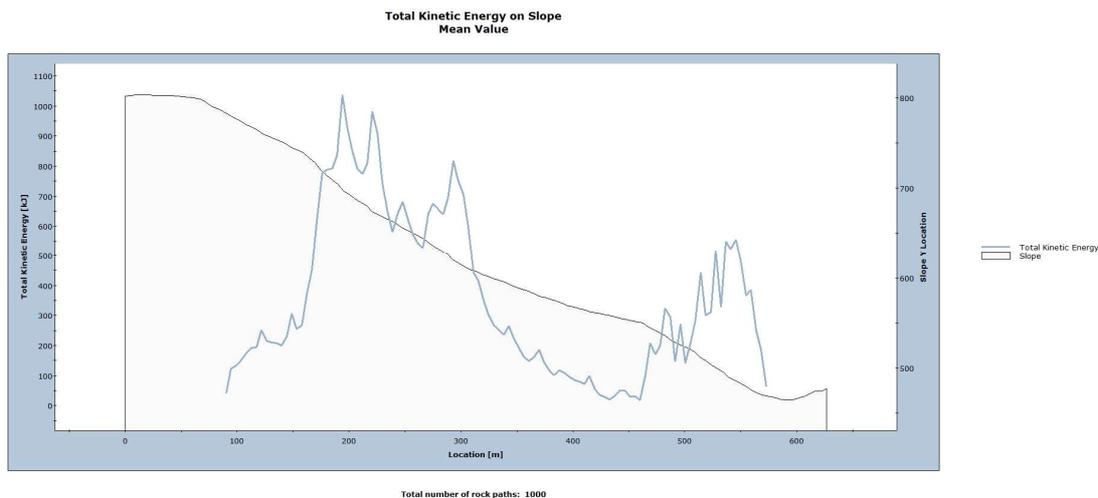
Sezione 3: Altezza media



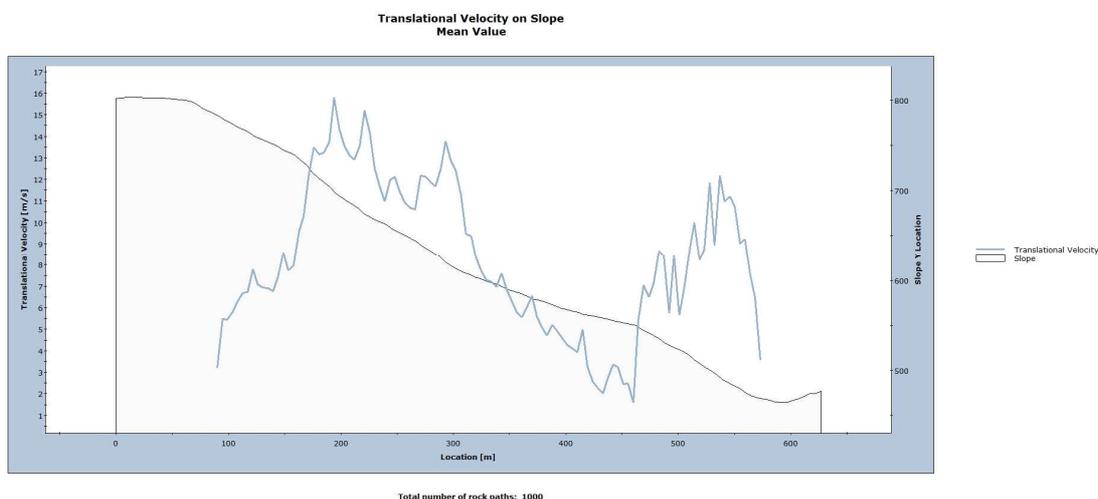
Sezione 3: Distanza di arresto



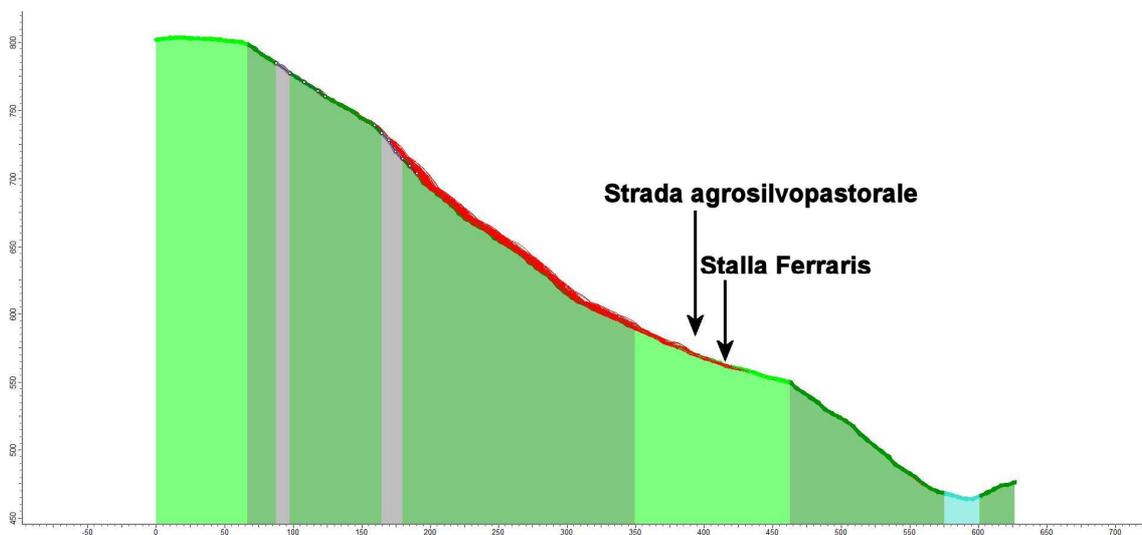
Sezione 3: Energia cinetica totale (valore medio)



Sezione 3: Velocità



Sezione 3: Traiettorie



SEZIONE 4

Sezione 4: Dati di ingresso



RocFall Analysis Information

Project Summary

File Name Sezione 4.fal5
File Version 5.017

Date Created 10/02/2023, 20:45:36

Project Settings

General Settings:

Engine Lump Mass
Units Metric (m, kg, kJ)
Rock Throw Mode Number of rocks controlled by seeder

Engine Conditions:

Friction Angle Calculate friction angle from Rt
Consider Angular Velocity Yes
Maximum time per rock 5s
Maximum steps per rock 10000
Normal velocity cutoff 0.1m/s
Stopped velocity cutoff 0.1m/s
Maximum timestep 0.01s

Random Number Generation:

Sampling Method Monte-Carlo
Random Seed Pseudo-random seed: 12345234

Slope Geometry

Vertex	X	Y	X Std.Dev.	Y Std.Dev.
1	0	882.5	0.5	0.5
2	6.25853	881.289	0.5	0.5
3	12.5171	880.119	0.5	0.5
4	18.7756	877.614	0.5	0.5
5	25.0341	876.353	0.5	0.5
6	31.2926	873.209	0.5	0.5
7	37.5512	870.019	0.5	0.5
8	43.8097	868.706	0.5	0.5
9	50.0682	866.108	0.5	0.5
10	56.3268	863.466	0.5	0.5
11	62.5853	860.826	0.5	0.5
12	68.8438	858.696	0.5	0.5
13	75.1023	851.786	0.5	0.5
14	81.3609	844.919	0.5	0.5
15	87.6194	838.068	0.5	0.5
16	93.8779	834.344	0.5	0.5
17	100.136	828.208	0.5	0.5
18	106.395	823.387	0.5	0.5
19	112.654	818.604	0.5	0.5
20	118.912	815.831	0.5	0.5
21	125.171	811.007	0.5	0.5
22	131.429	806.388	0.5	0.5
23	137.688	801.749	0.5	0.5
24	143.946	798.704	0.5	0.5
25	150.205	793.889	0.5	0.5
26	156.463	788.945	0.5	0.5
27	162.722	783.971	0.5	0.5
28	168.98	781.151	0.5	0.5
29	175.239	776.28	0.5	0.5
30	181.497	771.259	0.5	0.5
31	187.756	765.739	0.5	0.5
32	194.014	762.641	0.5	0.5

33	200.273	756.834	0.5	0.5
34	206.531	751.097	0.5	0.5
35	212.79	745.514	0.5	0.5
36	219.048	741.898	0.5	0.5
37	225.307	736.705	0.5	0.5
38	231.566	731.796	0.5	0.5
39	237.824	723.646	0.5	0.5
40	244.083	720.357	0.5	0.5
41	250.341	715.517	0.5	0.5
42	256.6	710.702	0.5	0.5
43	262.858	705.845	0.5	0.5
44	269.117	702.572	0.5	0.5
45	275.375	697.266	0.5	0.5
46	281.634	691.4	0.5	0.5
47	287.892	685.474	0.5	0.5
48	294.151	681.597	0.5	0.5
49	300.409	675.665	0.5	0.5
50	306.668	669.736	0.5	0.5
51	312.926	664.366	0.5	0.5
52	319.185	660.999	0.5	0.5
53	325.443	655.64	0.5	0.5
54	331.702	650.292	0.5	0.5
55	337.961	644.842	0.5	0.5
56	344.219	641.597	0.5	0.5
57	350.478	638.01	0.5	0.5
58	356.736	635.171	0.5	0.5
59	362.995	632.448	0.5	0.5
60	369.253	631.088	0.5	0.5
61	375.512	628.774	0.5	0.5
62	381.77	626.455	0.5	0.5
63	388.029	624.253	0.5	0.5
64	394.287	622.479	0.5	0.5
65	400.546	619.404	0.5	0.5
66	406.804	617.192	0.5	0.5
67	413.063	615.407	0.5	0.5
68	419.321	612.482	0.5	0.5
69	425.58	609.22	0.5	0.5
70	431.838	603.683	0.5	0.5
71	438.097	600.304	0.5	0.5
72	444.356	594.829	0.5	0.5
73	450.614	589.512	0.5	0.5
74	456.873	584.598	0.5	0.5
75	463.131	581.17	0.5	0.5
76	469.39	576.969	0.5	0.5
77	475.648	572.83	0.5	0.5
78	481.907	568.592	0.5	0.5
79	488.165	565.667	0.5	0.5
80	494.424	561.333	0.5	0.5
81	500.682	556.995	0.5	0.5
82	506.941	552.646	0.5	0.5
83	513.199	549.588	0.5	0.5
84	519.458	543.523	0.5	0.5
85	525.716	537.255	0.5	0.5
86	531.975	530.832	0.5	0.5
87	538.233	527.137	0.5	0.5
88	544.492	520.64	0.5	0.5
89	550.751	514.746	0.5	0.5
90	557.009	508.856	0.5	0.5
91	563.268	505.866	0.5	0.5
92	569.526	500.073	0.5	0.5
93	575.785	494.061	0.5	0.5
94	582.043	487.438	0.5	0.5
95	588.302	483.661	0.5	0.5
96	594.56	476.223	0.5	0.5
97	600.819	469.925	0.5	0.5
98	607.077	469.017	0.5	0.5
99	613.336	468.592	0.5	0.5
100	619.594	467.808	0.5	0.5
101	625.853	467.515	0.5	0.5

102	632.111	467.852	0.5	0.5
103	638.37	468.943	0.5	0.5
104	644.628	471.705	0.5	0.5
105	650.887	474.723	0.5	0.5
106	657.145	475.567	0.5	0.5
107	663.404	476.924	0.5	0.5
108	669.663	479.956	0.5	0.5
109	675.921	484.126	0.5	0.5

Slope Material Assignment

Material	From Vertex	To Vertex
Detrito con prato	1	10
Roccia	10	20
Detrito on bosco	20	65
Detrito con prato	65	73
Detrito on bosco	73	97
Depositi in alveo	97	104
Detrito on bosco	104	109

Material Properties

Roccia

"Roccia" Properties					
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.5	None			
Tangential Restitution	0.88	None			
Friction Angle (°)	Calculated from Rt				
Slope Roughness (°)		None			

Detrito on bosco

"Detrito on bosco" Properties					
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.32	None			
Tangential Restitution	0.82	None			
Friction Angle (°)	Calculated from Rt				
Slope Roughness (°)		None			

Detrito con prato

"Detrito con prato" Properties					
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.3	None			
Tangential Restitution	0.8	None			
Friction Angle (°)	Calculated from Rt				
Slope Roughness (°)		None			

Depositi in alveo

"Depositi in alveo" Properties					
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.33	None			
Tangential Restitution	0.85	None			
Friction Angle (°)	Calculated from Rt				
Slope Roughness (°)		None			

Seeders

Seeder 1

Seeder Properties

Name	Seeder 1
Location	(56.3268, 863.466)

Rocks to Throw

Number of Rocks	1000 Overall
Rock Types	Default Rock (Sphere)

Initial Conditions

	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Horizontal Velocity (m/s)	0.2	None			
Vertical Velocity (m/s)	0.2	None			
Rotational Velocity (°/s)	0	None			
Initial Rotation (°/s)	0	Uniform		0	360

Rock Types

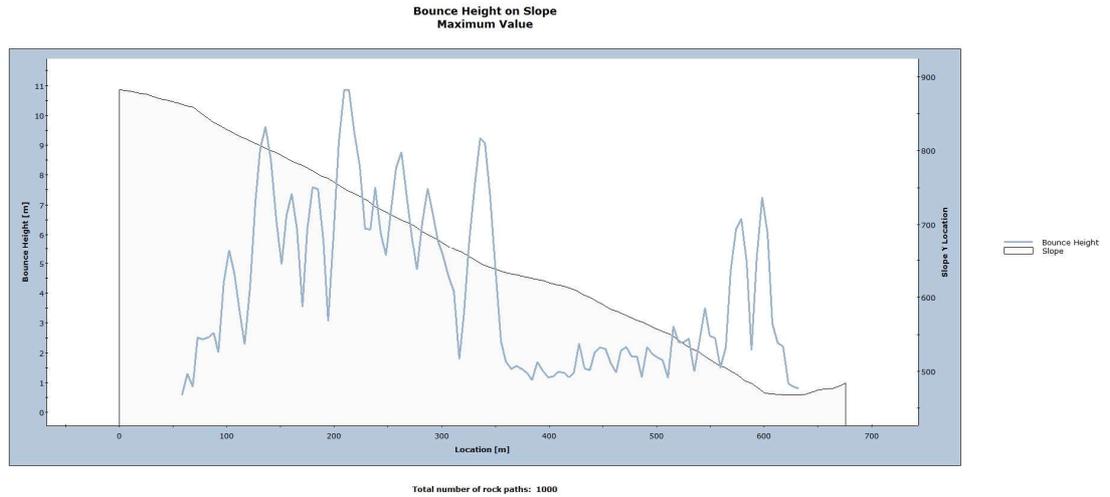
Default Rock (Sphere)

Properties

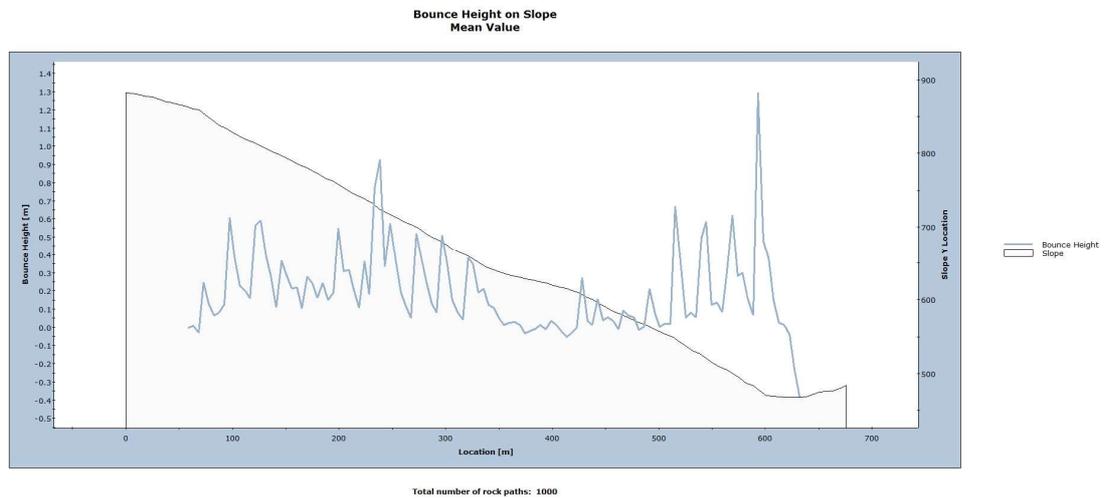
Name	Default Rock (Sphere)				
Color					

	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Mass (kg)	6500	None			
Density (kg/m ³)	2600	None			

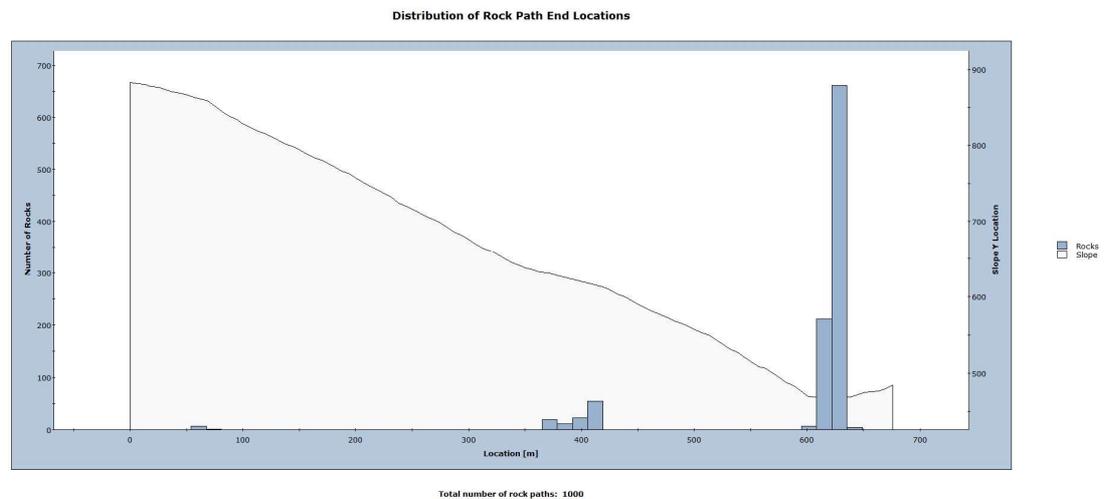
Sezione 4: Altezza massima



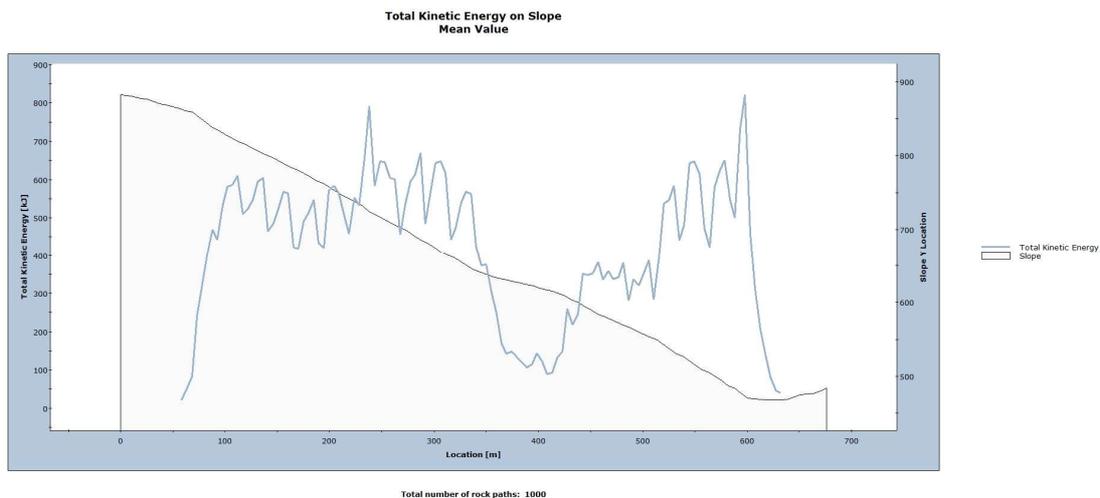
Sezione 4: Altezza media



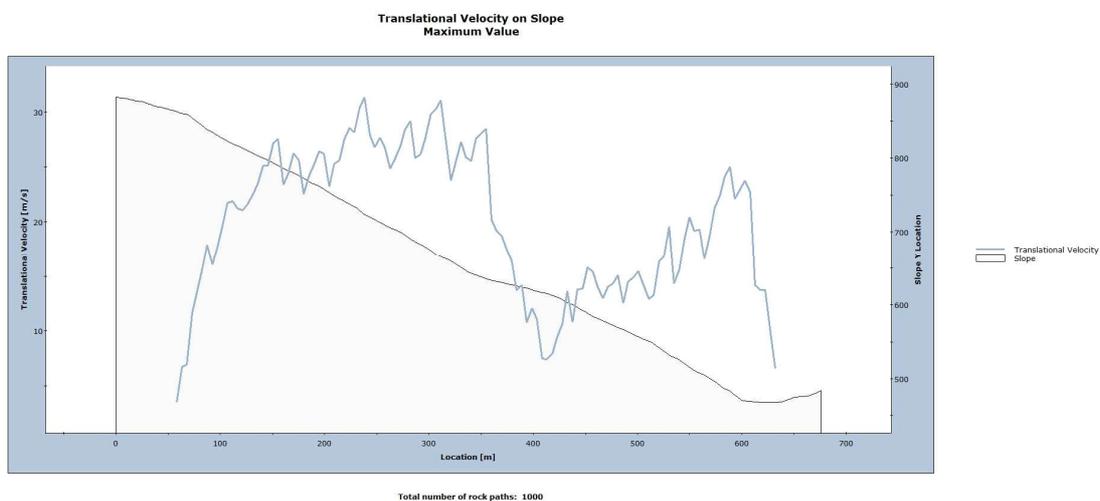
Sezione 4: Distanza di arresto



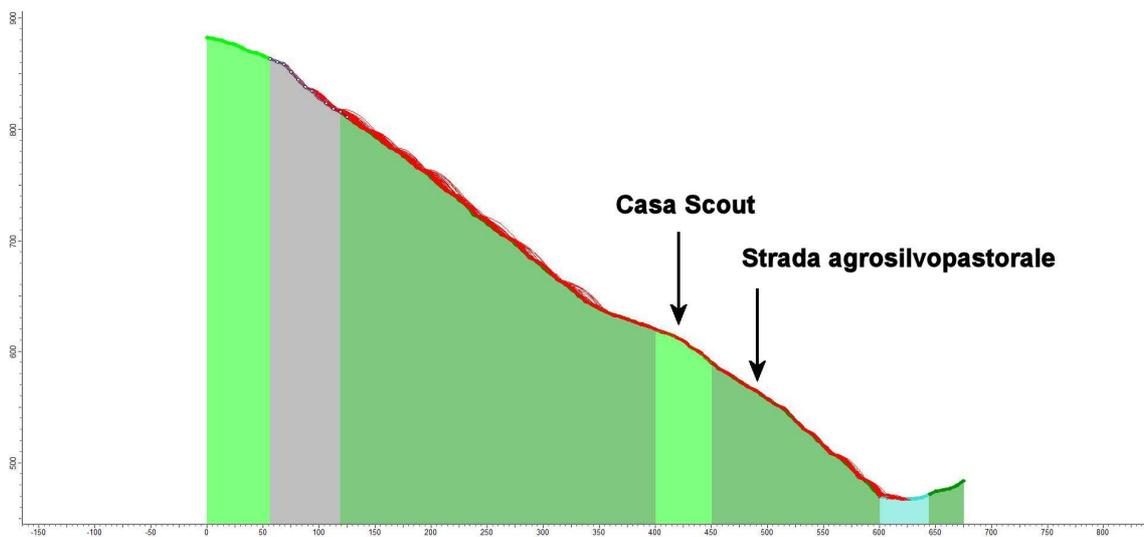
Sezione 4: Energia cinetica totale (valore medio)



Sezione 4: Velocità



Sezione 4: Traiettorie



SEZIONE 5

Sezione 5: Dati di ingresso



RocFall Analysis Information

Project Summary

File Name Sezione 5.fal5
File Version 5.017

Date Created 10/02/2023, 21:13:58

Project Settings

General Settings:

Engine Lump Mass
Units Metric (m, kg, kJ)
Rock Throw Mode Number of rocks controlled by seeder

Engine Conditions:

Friction Angle Calculate friction angle from Rt
Consider Angular Velocity No
Maximum time per rock 5s
Maximum steps per rock 10000
Normal velocity cutoff 0.1m/s
Stopped velocity cutoff 0.1m/s
Maximum timestep 0.01s

Random Number Generation:

Sampling Method Monte-Carlo
Random Seed Pseudo-random seed: 12345234

Slope Geometry

Vertex	X	Y	X Std.Dev.	Y Std.Dev.
1	0	892.194	0.5	0.5
2	5.33576	891.409	0.5	0.5
3	10.6715	891.452	0.5	0.5
4	16.0073	891.256	0.5	0.5
5	21.343	889.747	0.5	0.5
6	26.6788	888.323	0.5	0.5
7	32.0145	886.447	0.5	0.5
8	37.3503	882.912	0.5	0.5
9	42.6861	880.824	0.5	0.5
10	48.0218	875.927	0.5	0.5
11	53.3576	872.591	0.5	0.5
12	58.6933	870.088	0.5	0.5
13	64.0291	866.445	0.5	0.5
14	69.3648	863.5	0.5	0.5
15	74.7006	860.563	0.5	0.5
16	80.0364	855.95	0.5	0.5
17	85.3721	851.162	0.5	0.5
18	90.7079	846.561	0.5	0.5
19	96.0436	841.356	0.5	0.5
20	101.379	837.007	0.5	0.5
21	106.715	832.764	0.5	0.5
22	112.051	828.069	0.5	0.5
23	117.387	824.229	0.5	0.5
24	122.722	819.807	0.5	0.5
25	128.058	815.963	0.5	0.5
26	133.394	812.138	0.5	0.5
27	138.73	807.744	0.5	0.5
28	144.065	804.053	0.5	0.5
29	149.401	800.388	0.5	0.5
30	154.737	796.428	0.5	0.5
31	160.073	793.292	0.5	0.5
32	165.408	790.12	0.5	0.5

33	170.744	786.301	0.5	0.5
34	176.08	783.091	0.5	0.5
35	181.416	779.888	0.5	0.5
36	186.752	776.524	0.5	0.5
37	192.087	773.674	0.5	0.5
38	197.423	770.228	0.5	0.5
39	202.759	766.41	0.5	0.5
40	208.095	762.507	0.5	0.5
41	213.43	757.75	0.5	0.5
42	218.766	753.894	0.5	0.5
43	224.102	749.943	0.5	0.5
44	229.438	745.451	0.5	0.5
45	234.773	741.572	0.5	0.5
46	240.109	737.614	0.5	0.5
47	245.445	732.935	0.5	0.5
48	250.781	728.984	0.5	0.5
49	256.116	724.976	0.5	0.5
50	261.452	720.244	0.5	0.5
51	266.788	716.216	0.5	0.5
52	272.124	711.188	0.5	0.5
53	277.459	707.301	0.5	0.5
54	282.795	703.387	0.5	0.5
55	288.131	698.328	0.5	0.5
56	293.467	694.592	0.5	0.5
57	298.802	690.787	0.5	0.5
58	304.138	686.104	0.5	0.5
59	309.474	682.322	0.5	0.5
60	314.81	678.565	0.5	0.5
61	320.145	674.157	0.5	0.5
62	325.481	670.451	0.5	0.5
63	330.817	666.115	0.5	0.5
64	336.153	662.525	0.5	0.5
65	341.488	659	0.5	0.5
66	346.824	654.455	0.5	0.5
67	352.16	650.954	0.5	0.5
68	357.496	647.414	0.5	0.5
69	362.832	642.784	0.5	0.5
70	368.167	639.288	0.5	0.5
71	373.503	635.339	0.5	0.5
72	378.839	630.565	0.5	0.5
73	384.175	626.597	0.5	0.5
74	389.511	622.621	0.5	0.5
75	394.846	618.334	0.5	0.5
76	400.182	614.383	0.5	0.5
77	405.518	610.411	0.5	0.5
78	410.853	606.846	0.5	0.5
79	416.189	603.319	0.5	0.5
80	421.525	599.645	0.5	0.5
81	426.861	596.072	0.5	0.5
82	432.196	592.506	0.5	0.5
83	437.532	588.387	0.5	0.5
84	442.868	584.775	0.5	0.5
85	448.204	581.213	0.5	0.5
86	453.539	575.022	0.5	0.5
87	458.875	569.367	0.5	0.5
88	464.211	562.757	0.5	0.5
89	469.547	557.125	0.5	0.5
90	474.882	551.44	0.5	0.5
91	480.218	547.377	0.5	0.5
92	485.554	544.493	0.5	0.5
93	490.89	541.573	0.5	0.5
94	496.225	539.188	0.5	0.5
95	501.561	536.266	0.5	0.5
96	506.897	533.299	0.5	0.5
97	512.233	530.984	0.5	0.5
98	517.568	528.076	0.5	0.5
99	522.904	524.949	0.5	0.5
100	528.24	521.884	0.5	0.5
101	533.576	518.666	0.5	0.5

102	538.912	515.024	0.5	0.5
103	544.247	512.029	0.5	0.5
104	549.583	509.402	0.5	0.5
105	554.919	504.825	0.5	0.5
106	560.255	502.136	0.5	0.5
107	565.59	499.725	0.5	0.5
108	570.926	494.972	0.5	0.5
109	576.262	492.36	0.5	0.5
110	581.598	489.891	0.5	0.5
111	586.933	488.203	0.5	0.5
112	592.269	487.174	0.5	0.5
113	597.605	485.564	0.5	0.5
114	602.941	484.548	0.5	0.5
115	608.276	483.512	0.5	0.5
116	613.612	482.012	0.5	0.5
117	618.948	481.035	0.5	0.5
118	624.284	480.148	0.5	0.5
119	629.619	478.548	0.5	0.5
120	634.955	477.343	0.5	0.5
121	640.291	476.13	0.5	0.5
122	645.627	474.618	0.5	0.5
123	650.962	473.424	0.5	0.5
124	656.298	472.188	0.5	0.5
125	661.634	472.204	0.5	0.5
126	666.97	472.578	0.5	0.5
127	672.305	472.716	0.5	0.5
128	677.641	474.164	0.5	0.5
129	682.977	476.342	0.5	0.5
130	688.313	478.049	0.5	0.5

Slope Material Assignment

Material	From Vertex	To Vertex
Detrito con bosco	1	7
Roccia	7	12
Detrito con bosco	12	20
Roccia	20	25
Detrito con bosco	25	38
Roccia	38	40
Detrito con bosco	40	43
Roccia	43	45
Detrito con bosco	45	122
Depositi i alveo	122	128
Detrito con bosco	128	130

Material Properties

Depositi i alveo

"Depositi i alveo" Properties					
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.33	Normal	0.04	0.12	0.12
Tangential Restitution	0.85	Normal	0.04	0.12	0.12
Friction Angle (°)	Calculated from Rt				
Slope Roughness (°)	None				

Roccia

"Roccia" Properties					
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.5	None			
Tangential Restitution	0.88	None			
Friction Angle (°)	Calculated from Rt				
Slope Roughness (°)	None				

Detrito con bosco

"Detrito con bosco" Properties

	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.32	None			
Tangential Restitution	0.82	None			
Friction Angle (°)	Calculated from Rt				
Slope Roughness (°)	None				

Seeders

Seeder 1

Seeder Properties

Name	Seeder 1
Location	(32.0145, 886.447)

Rocks to Throw

Number of Rocks	1000 Overall
Rock Types	Default Rock (Sphere)

Initial Conditions

	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Horizontal Velocity (m/s)	0.2	None			
Vertical Velocity (m/s)	0.2	None			
Rotational Velocity (°/s)	0	None			
Initial Rotation (°/s)	0	Uniform		0	360

Rock Types

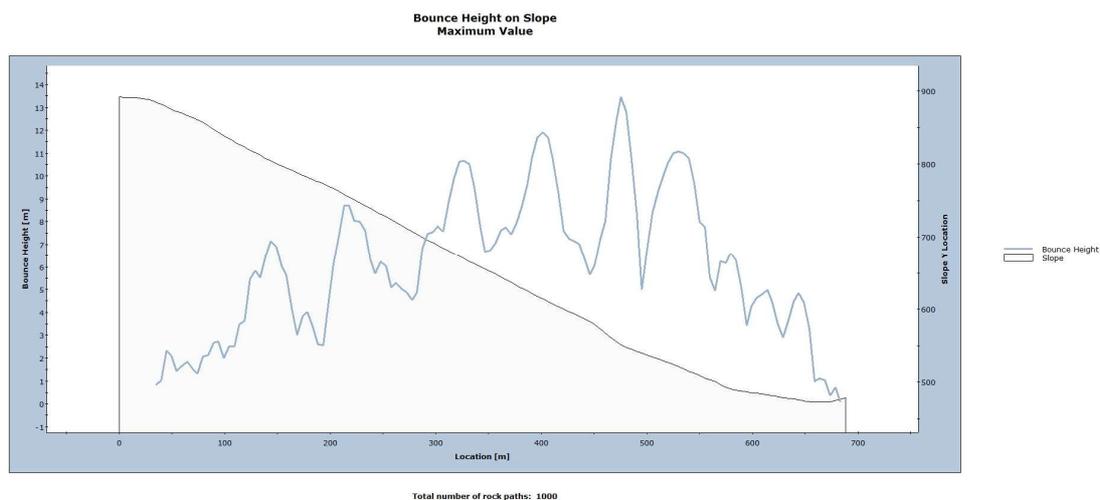
Default Rock (Sphere)

Properties

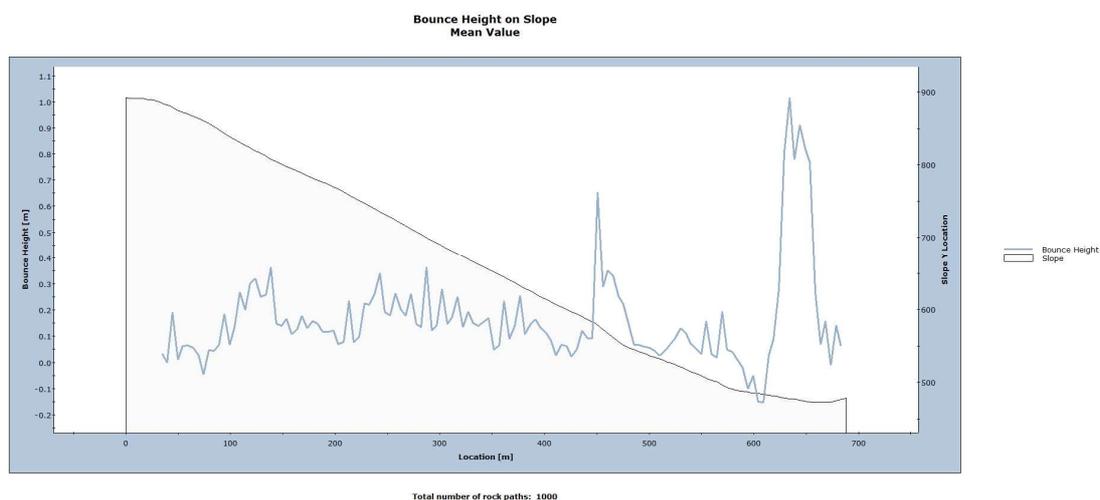
Name	Default Rock (Sphere)
Color	

	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Mass (kg)	6500	None			
Density (kg/m ³)	2600	None			

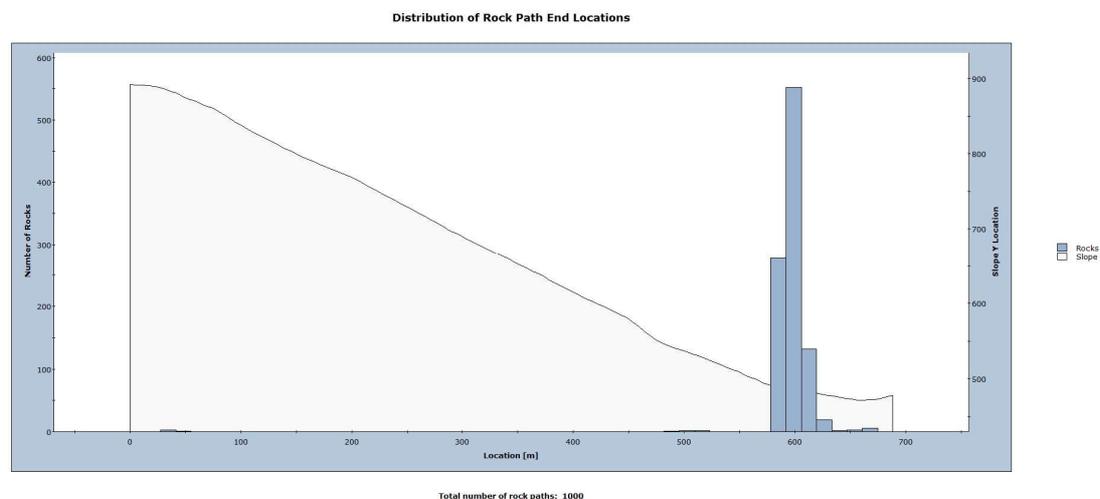
Sezione 5: Altezza massima



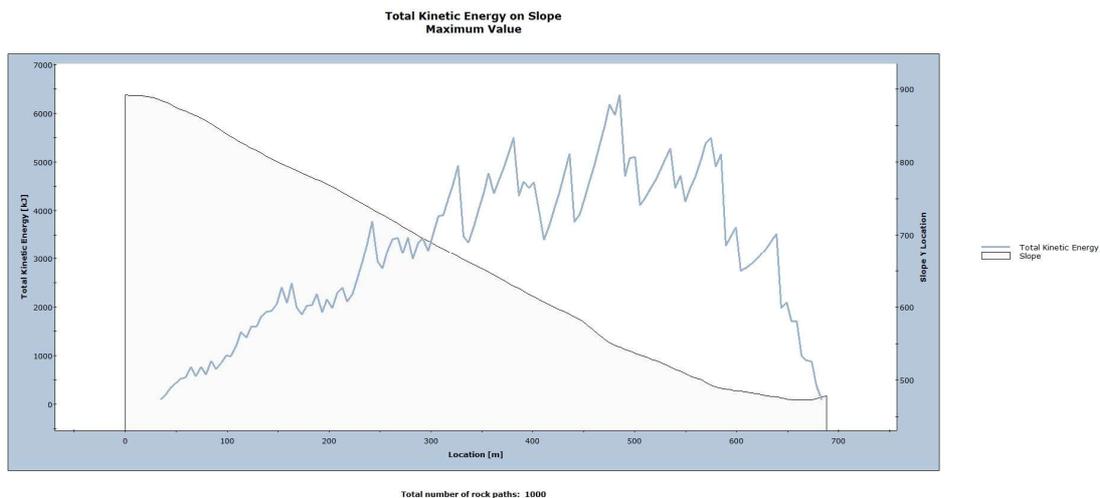
Sezione 5: Altezza media



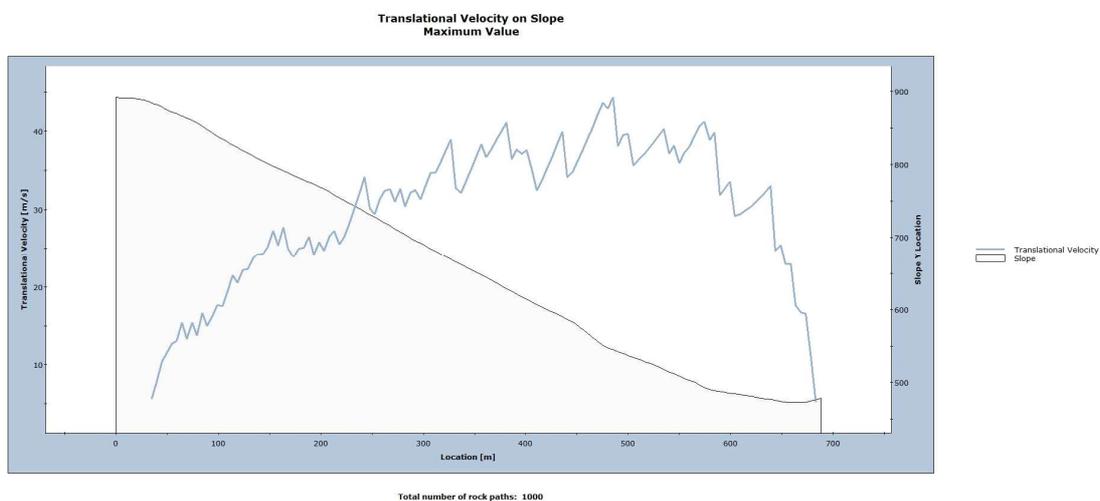
Sezione 5: Distanza di arresto



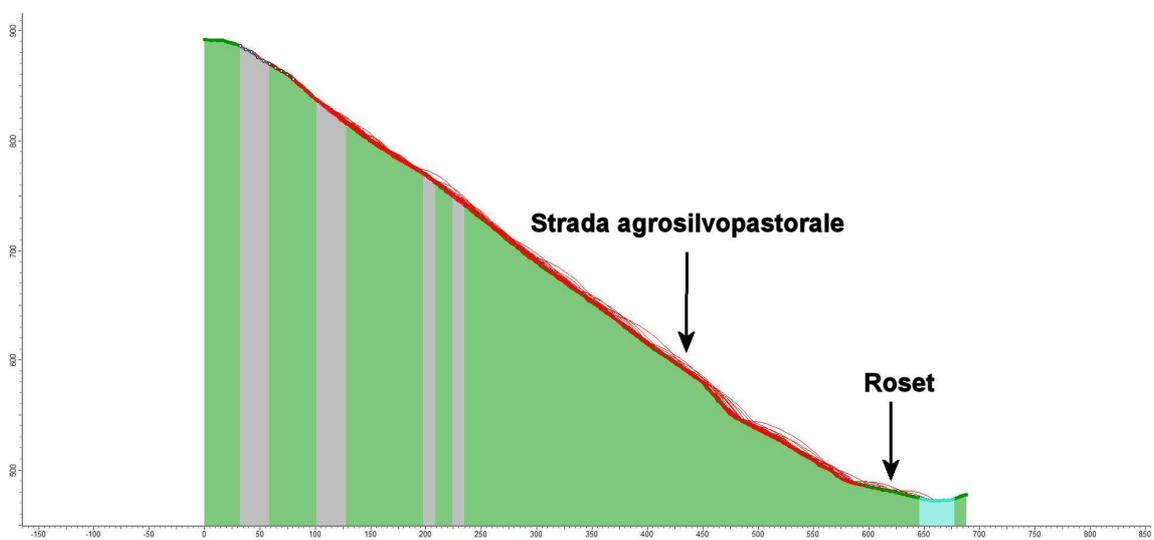
Sezione 5: Energia cinetica totale (valore medio)



Sezione 5: Velocità



Sezione 5: Traiettorie



SEZIONE 6

Sezione 6: Dati di ingresso



RocFall Analysis Information

Project Summary

File Name Sezione 6.fal5
File Version 5.017

Date Created 10/02/2023, 21:41:44

Project Settings

General Settings:

Engine Lump Mass
Units Metric (m, kg, kJ)
Rock Throw Mode Number of rocks controlled by seeder

Engine Conditions:

Friction Angle Calculate friction angle from Rt
Consider Angular Velocity Yes
Maximum time per rock 5s
Maximum steps per rock 10000
Normal velocity cutoff 0.1m/s
Stopped velocity cutoff 0.1m/s
Maximum timestep 0.01s

Random Number Generation:

Sampling Method Monte-Carlo
Random Seed Pseudo-random seed: 12345234

Slope Geometry

Vertex	X	Y	X Std.Dev.	Y Std.Dev.
1	0	980	0.5	0.5
2	5.37603	980	0.5	0.5
3	10.7521	980	0.5	0.5
4	16.1281	980	0.5	0.5
5	21.5041	980	0.5	0.5
6	26.8801	980	0.5	0.5
7	32.2562	980	0.5	0.5
8	37.6322	980	0.5	0.5
9	43.0082	973.822	0.5	0.5
10	48.3843	960.461	0.5	0.5
11	53.7603	948.512	0.5	0.5
12	59.1363	939.821	0.5	0.5
13	64.5124	932.755	0.5	0.5
14	69.8884	925.812	0.5	0.5
15	75.2644	918.18	0.5	0.5
16	80.6404	913.538	0.5	0.5
17	86.0165	908.08	0.5	0.5
18	91.3925	903.279	0.5	0.5
19	96.7685	898.65	0.5	0.5
20	102.145	892.648	0.5	0.5
21	107.521	888.537	0.5	0.5
22	112.897	883.992	0.5	0.5
23	118.273	880.626	0.5	0.5
24	123.649	877.241	0.5	0.5
25	129.025	872.793	0.5	0.5
26	134.401	869.402	0.5	0.5
27	139.777	864.996	0.5	0.5
28	145.153	861.604	0.5	0.5
29	150.529	856.855	0.5	0.5
30	155.905	849.396	0.5	0.5
31	161.281	843.485	0.5	0.5
32	166.657	835.563	0.5	0.5

33	172.033	829.953	0.5	0.5
34	177.409	826.373	0.5	0.5
35	182.785	821.446	0.5	0.5
36	188.161	817.996	0.5	0.5
37	193.537	812.947	0.5	0.5
38	198.913	809.516	0.5	0.5
39	204.289	806.102	0.5	0.5
40	209.665	801.002	0.5	0.5
41	215.041	797.992	0.5	0.5
42	220.417	793.658	0.5	0.5
43	225.793	790.785	0.5	0.5
44	231.169	788.058	0.5	0.5
45	236.545	783.677	0.5	0.5
46	241.921	780.952	0.5	0.5
47	247.297	776.688	0.5	0.5
48	252.673	774.141	0.5	0.5
49	258.049	771.699	0.5	0.5
50	263.425	767.53	0.5	0.5
51	268.801	765.38	0.5	0.5
52	274.177	763.298	0.5	0.5
53	279.554	759.387	0.5	0.5
54	284.93	757.54	0.5	0.5
55	290.306	753.638	0.5	0.5
56	295.682	751.855	0.5	0.5
57	301.058	750.104	0.5	0.5
58	306.434	746.322	0.5	0.5
59	311.81	744.623	0.5	0.5
60	317.186	740.849	0.5	0.5
61	322.562	738.905	0.5	0.5
62	327.938	736.388	0.5	0.5
63	333.314	730.576	0.5	0.5
64	338.69	726.404	0.5	0.5
65	344.066	720.46	0.5	0.5
66	349.442	716.232	0.5	0.5
67	354.818	711.756	0.5	0.5
68	360.194	706.052	0.5	0.5
69	365.57	701.528	0.5	0.5
70	370.946	695.796	0.5	0.5
71	376.322	691.225	0.5	0.5
72	381.698	686.592	0.5	0.5
73	387.074	680.878	0.5	0.5
74	392.45	676.349	0.5	0.5
75	397.826	671.107	0.5	0.5
76	403.202	666.164	0.5	0.5
77	408.578	661.134	0.5	0.5
78	413.954	655.447	0.5	0.5
79	419.33	650.282	0.5	0.5
80	424.706	644.313	0.5	0.5
81	430.082	639.429	0.5	0.5
82	435.458	636.494	0.5	0.5
83	440.834	632.77	0.5	0.5
84	446.21	629.728	0.5	0.5
85	451.586	626.1	0.5	0.5
86	456.962	623.099	0.5	0.5
87	462.339	620.052	0.5	0.5
88	467.715	616.385	0.5	0.5
89	473.091	613.436	0.5	0.5
90	478.467	610.425	0.5	0.5
91	483.843	607.351	0.5	0.5
92	489.219	604.971	0.5	0.5
93	494.595	602.255	0.5	0.5
94	499.971	599.897	0.5	0.5
95	505.347	598.378	0.5	0.5
96	510.723	596.903	0.5	0.5
97	516.099	594.415	0.5	0.5
98	521.475	592.171	0.5	0.5
99	526.851	589.808	0.5	0.5
100	532.227	587.787	0.5	0.5
101	537.603	585.981	0.5	0.5

102	542.979	583.966	0.5	0.5
103	548.355	582.119	0.5	0.5
104	553.731	580.158	0.5	0.5
105	559.107	577.049	0.5	0.5
106	564.483	573.672	0.5	0.5
107	569.859	570.518	0.5	0.5
108	575.235	567.261	0.5	0.5
109	580.611	564.291	0.5	0.5
110	585.987	561.3	0.5	0.5
111	591.363	558.648	0.5	0.5
112	596.739	556.07	0.5	0.5
113	602.115	553.483	0.5	0.5
114	607.491	550.912	0.5	0.5
115	612.867	547.853	0.5	0.5
116	618.243	544.183	0.5	0.5
117	623.619	541.095	0.5	0.5
118	628.995	537.234	0.5	0.5
119	634.371	533.95	0.5	0.5
120	639.747	530.665	0.5	0.5
121	645.124	527.352	0.5	0.5
122	650.5	524.16	0.5	0.5
123	655.876	520.783	0.5	0.5
124	661.252	517.687	0.5	0.5
125	666.628	514.669	0.5	0.5
126	672.004	510.94	0.5	0.5
127	677.38	508.204	0.5	0.5
128	682.756	505.375	0.5	0.5
129	688.132	501.314	0.5	0.5
130	693.508	498.574	0.5	0.5
131	698.884	494.432	0.5	0.5
132	704.26	491.747	0.5	0.5
133	709.636	489.416	0.5	0.5
134	715.012	486.577	0.5	0.5
135	720.388	484.789	0.5	0.5
136	725.764	481.998	0.5	0.5
137	731.14	480.204	0.5	0.5
138	736.516	479.453	0.5	0.5
139	741.892	480.286	0.5	0.5
140	747.268	480.867	0.5	0.5
141	752.644	484.088	0.5	0.5
142	758.02	486.094	0.5	0.5
143	763.396	487.982	0.5	0.5
144	768.772	491.296	0.5	0.5
145	774.148	493.28	0.5	0.5
146	779.524	496.664	0.5	0.5
147	784.9	498.799	0.5	0.5
148	790.276	501.222	0.5	0.5

Slope Material Assignment

Material	From Vertex	To Vertex
Detrito con bosco	1	8
Rocchia	8	21
Detrito con bosco	21	29
Rocchia	29	34
Detrito con bosco	34	52
Detrito con prato	52	59
Detrito con bosco	59	62
Rocchia	62	64
Detrito con bosco	64	88
Detrito con prato	88	97
Detrito con bosco	97	136
Depositi in alveo	136	141
Detrito con bosco	141	148

Material Properties

Rocchia

Sezione 6.fal5

10/02/2023, 21:41:44

"Roccia" Properties

	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.5	Normal	0.04	0.12	0.12
Tangential Restitution	0.88	Normal	0.04	0.12	0.12
Friction Angle (°)	Calculated from Rt				
Slope Roughness (°)	None				

Detrito con bosco

"Detrito con bosco" Properties

	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.32	None			
Tangential Restitution	0.82	None			
Friction Angle (°)	Calculated from Rt				
Slope Roughness (°)	None				

Detrito con prato

"Detrito con prato" Properties

	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.3	None			
Tangential Restitution	0.8	None			
Friction Angle (°)	Calculated from Rt				
Slope Roughness (°)	None				

Depositi in alveo

"Depositi in alveo" Properties

	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.33	None			
Tangential Restitution	0.85	None			
Friction Angle (°)	Calculated from Rt				
Slope Roughness (°)	None				

Seeders

Seeder 1

Seeder Properties

Name	Seeder 1				
Location	(37.6322, 980)				

Rocks to Throw

Number of Rocks	1000 Overall				
Rock Types	Default Rock (Sphere)				

Initial Conditions

	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Horizontal Velocity (m/s)	0.2	None			
Vertical Velocity (m/s)	0.2	None			
Rotational Velocity (°/s)	0	None			
Initial Rotation (°/s)	0	Uniform		0	360

Rock Types

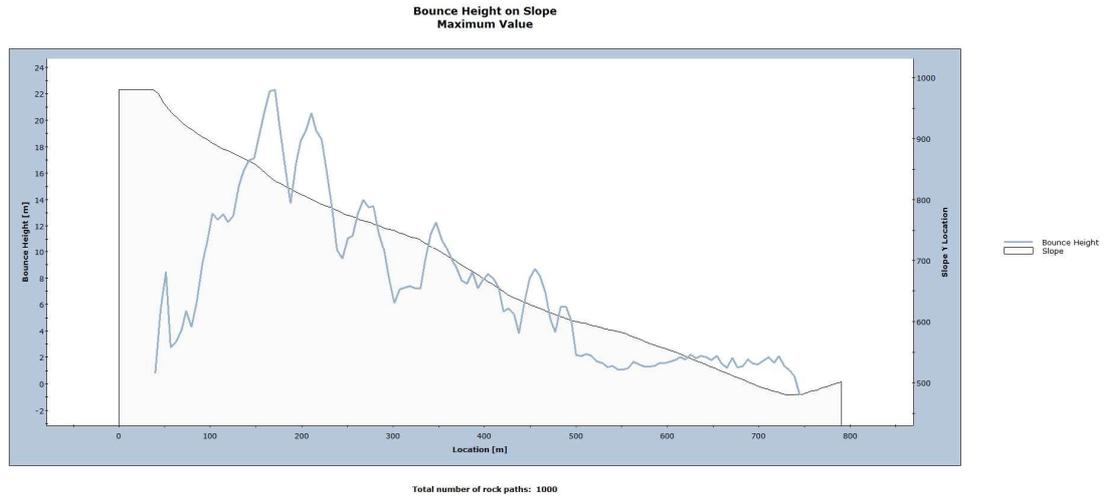
Default Rock (Sphere)

Properties

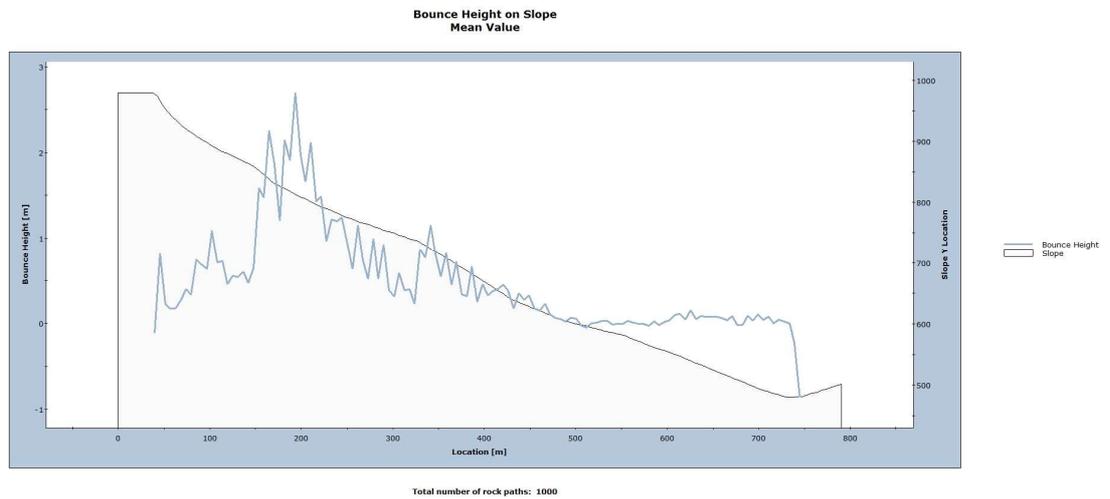
Name	Default Rock (Sphere)				
Color					

	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Mass (kg)	6500	None			
Density (kg/m ³)	2600	None			

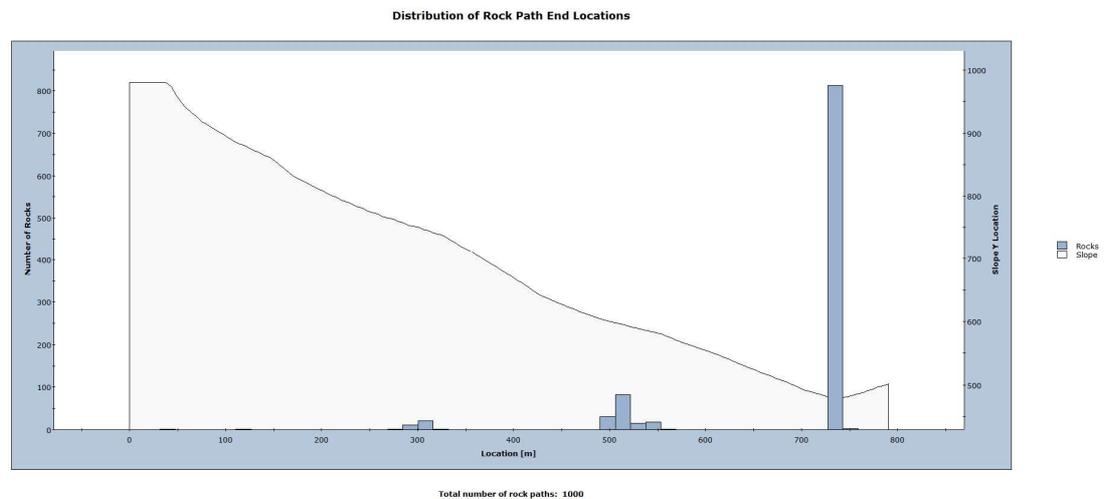
Sezione 6: Altezza massima



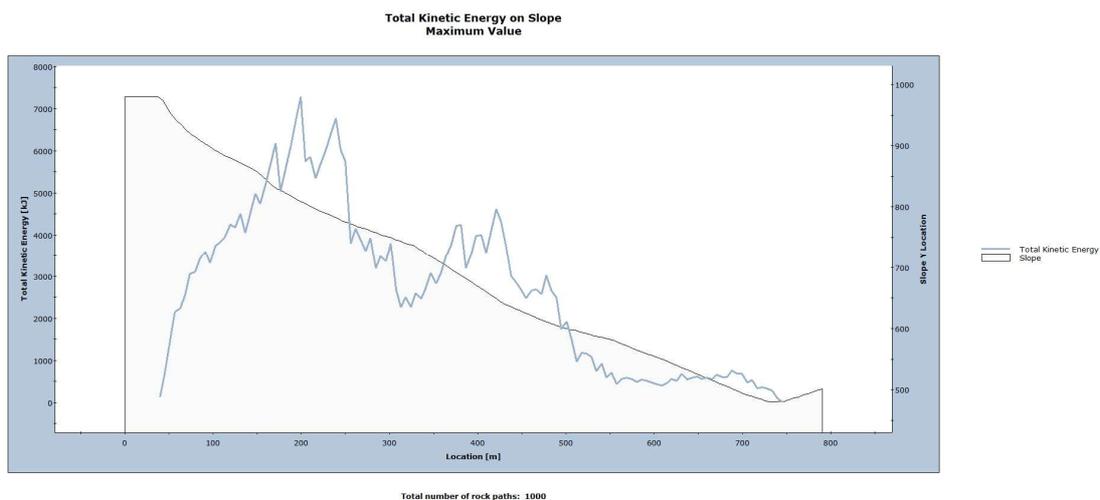
Sezione 6: Altezza media



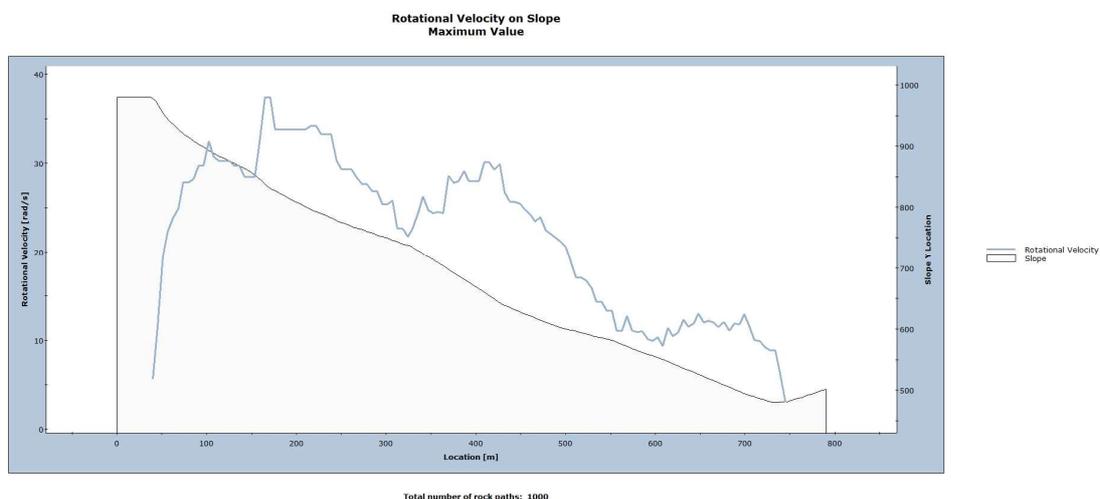
Sezione 6: Distanza di arresto



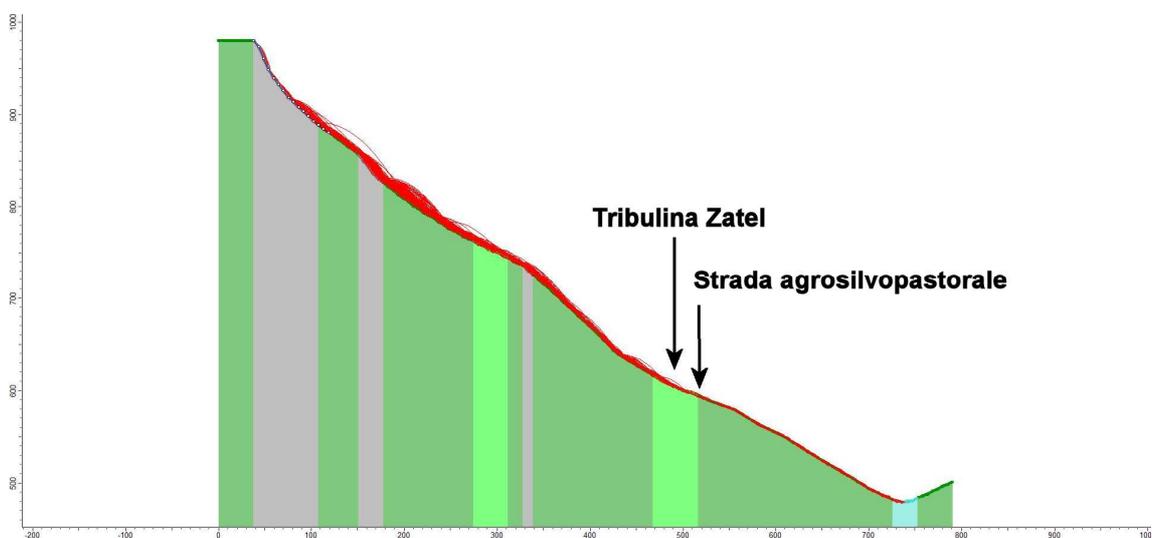
Sezione 6: Energia cinetica totale (valore medio)



Sezione 6: Velocità



Sezione 6: Traiettorie



SEZIONE 7

Sezione 7: Dati di ingresso



Page 1 of 3

RocFall Analysis Information

Project Summary

File Name Sezione 7.fal5
File Version 5.017
Date Created 10/02/2023, 10:41:35

Project Settings

General Settings:

Engine Lump Mass
Units Metric (m, kg, kJ)
Rock Throw Mode Number of rocks controlled by seeder

Engine Conditions:

Friction Angle Calculate friction angle from Rt
Consider Angular Velocity Yes
Maximum time per rock 5s
Maximum steps per rock 10000
Normal velocity cutoff 0.1m/s
Stopped velocity cutoff 0.1m/s
Maximum timestep 0.01s

Random Number Generation:

Sampling Method Monte-Carlo
Random Seed Pseudo-random seed: 12345234

Slope Geometry

Sezione 7.fal5

10/02/2023, 10:41:35

Vertex	X	Y	X Std.Dev.	Y Std.Dev.
1	-5.24539	677.354	0.5	0.5
2	0	674.451	0.5	0.5
3	5.24539	669.719	0.5	0.5
4	10.4908	665.75	0.5	0.5
5	15.7362	661.936	0.5	0.5
6	20.9816	660.578	0.5	0.5
7	26.227	656.695	0.5	0.5
8	31.4724	652.913	0.5	0.5
9	36.7177	650.013	0.5	0.5
10	41.9631	646.468	0.5	0.5
11	47.2085	643.018	0.5	0.5
12	52.4539	639.561	0.5	0.5
13	57.6993	636.319	0.5	0.5
14	62.9447	632.996	0.5	0.5
15	68.1901	629.619	0.5	0.5
16	73.4355	625.736	0.5	0.5
17	78.6809	621.733	0.5	0.5
18	83.9263	617.213	0.5	0.5
19	89.1717	612.306	0.5	0.5
20	94.4171	607.111	0.5	0.5
21	99.6625	602.128	0.5	0.5
22	104.908	597.469	0.5	0.5
23	110.153	592.89	0.5	0.5
24	115.399	588.315	0.5	0.5
25	120.644	584.016	0.5	0.5
26	125.889	579.772	0.5	0.5
27	131.135	575.976	0.5	0.5
28	136.38	572.55	0.5	0.5
29	141.626	569.326	0.5	0.5
30	146.871	566.236	0.5	0.5
31	152.116	563.582	0.5	0.5
32	157.362	560.907	0.5	0.5
33	162.607	560.276	0.5	0.5
34	167.853	559.063	0.5	0.5
35	173.098	554.115	0.5	0.5
36	178.343	549.433	0.5	0.5
37	183.589	546.132	0.5	0.5
38	188.834	542.823	0.5	0.5
39	194.08	539.513	0.5	0.5
40	199.325	536.179	0.5	0.5
41	204.57	532.776	0.5	0.5
42	209.816	529.387	0.5	0.5
43	215.061	525.936	0.5	0.5
44	220.306	521.504	0.5	0.5
45	225.552	518.933	0.5	0.5
46	230.797	516.889	0.5	0.5
47	236.043	514.853	0.5	0.5
48	241.288	512.364	0.5	0.5
49	246.533	510.723	0.5	0.5
50	251.779	510	0.5	0.5
51	257.024	508.075	0.5	0.5
52	262.27	508.697	0.5	0.5
53	267.515	510.569	0.5	0.5

Slope Material Assignment

Material	From Vertex	To Vertex
Roccia	1	3
Detrito con bosco	3	29
Detrito con prato	29	36
Detrito con bosco	36	50
Depositi in alveo	50	53

Material Properties

Roccia

"Roccia" Properties					
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.5	None			
Tangential Restitution	0.88	None			
Friction Angle (°)	Calculated from Rt				
Slope Roughness (°)	None				

Detrito con bosco

"Detrito con bosco" Properties					
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.32	None			
Tangential Restitution	0.82	None			
Friction Angle (°)	Calculated from Rt				
Slope Roughness (°)	None				

Detrito con prato

"Detrito con prato" Properties					
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.3	None			
Tangential Restitution	0.8	None			
Friction Angle (°)	Calculated from Rt				
Slope Roughness (°)	None				

Depositi in alveo

"Depositi in alveo" Properties					
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.33	None			
Tangential Restitution	0.85	None			
Friction Angle (°)	Calculated from Rt				
Slope Roughness (°)	None				

Seeders

Seeder 1

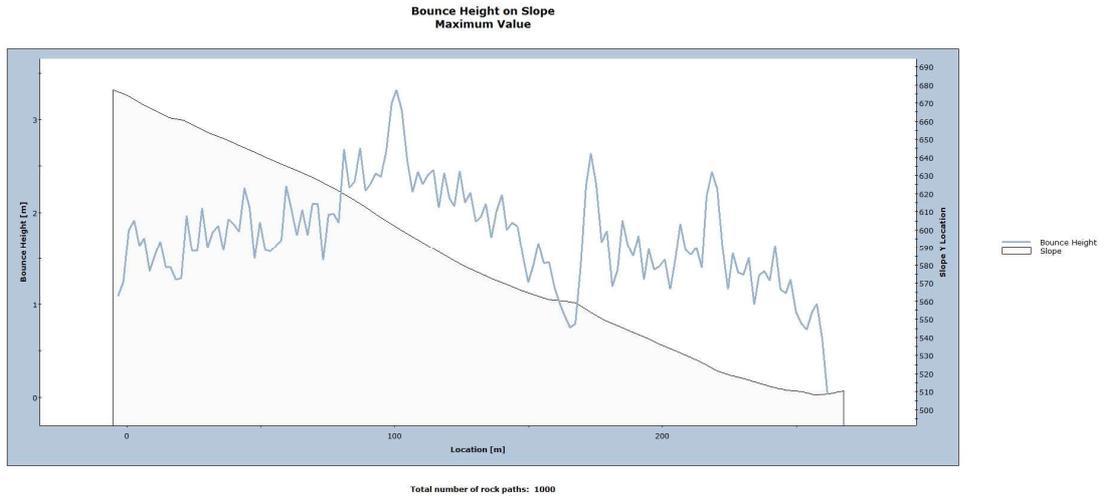
Seeder Properties					
Name	Seeder 1				
Location	(-5.24539, 677.354)				
Rocks to Throw					
Number of Rocks	1000 Overall				
Rock Types	Default Rock (Sphere)				
Initial Conditions					
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Horizontal Velocity (m/s)	0.2	None			
Vertical Velocity (m/s)	0.2	None			
Rotational Velocity (°/s)	0	None			
Initial Rotation (°/s)	0	Uniform		0	360

Rock Types

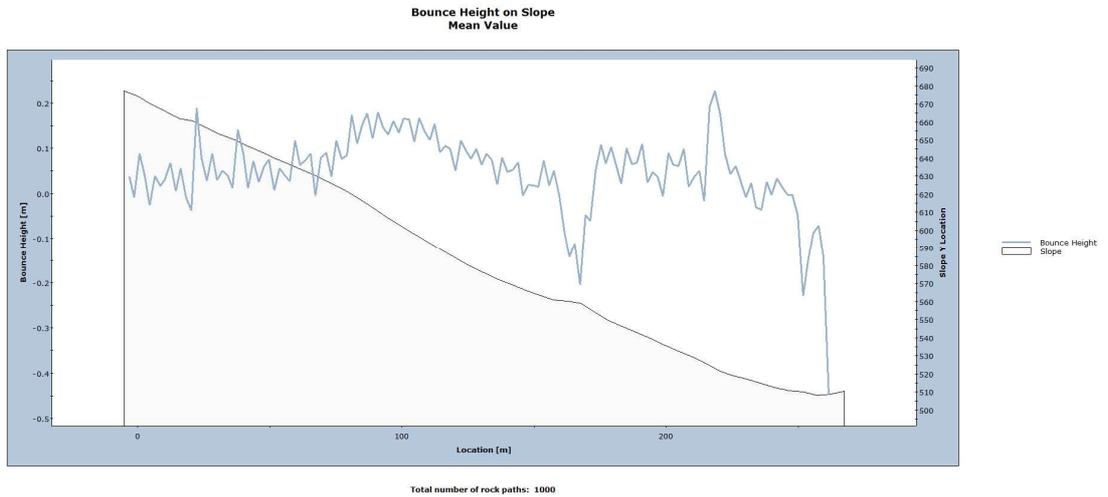
Default Rock (Sphere)

Properties					
Name	Default Rock (Sphere)				
Color					
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Mass (kg)	9100	None			
Density (kg/m ³)	2600	None			

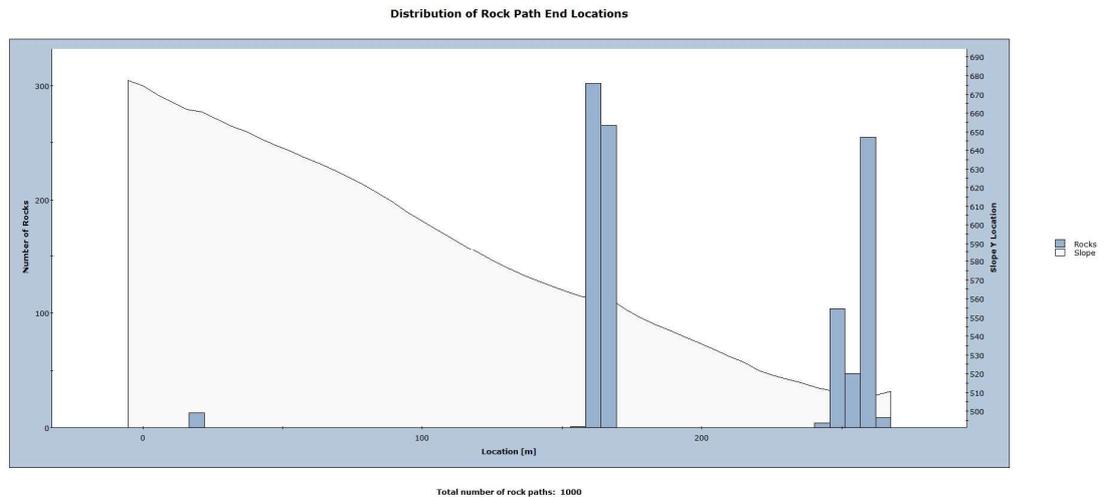
Sezione 7: Altezza massima



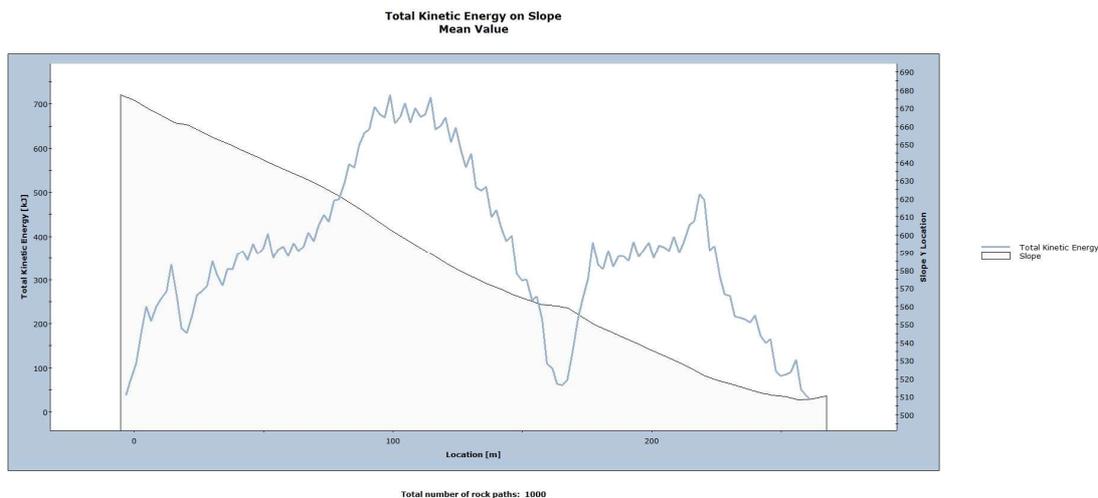
Sezione 7: Altezza media



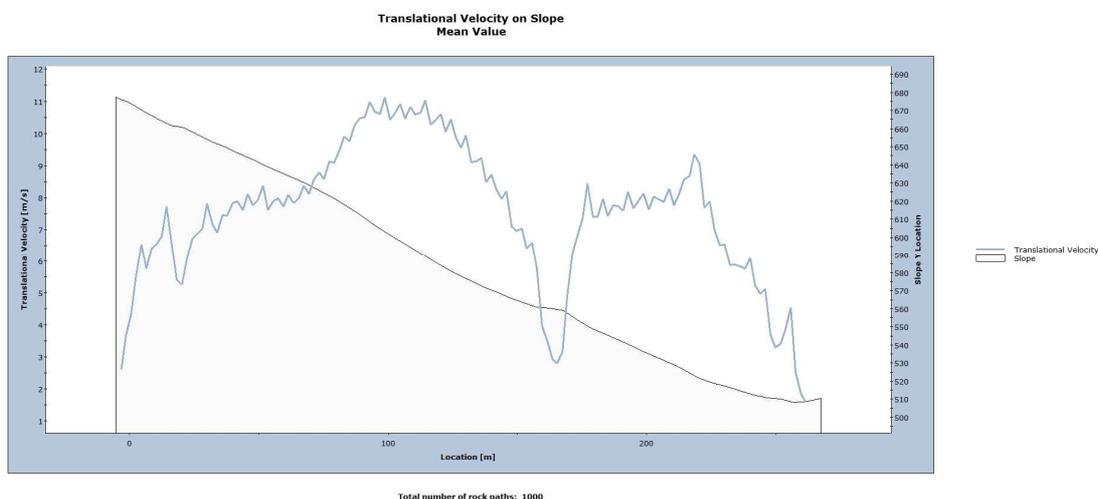
Sezione 7: Distanza di arresto



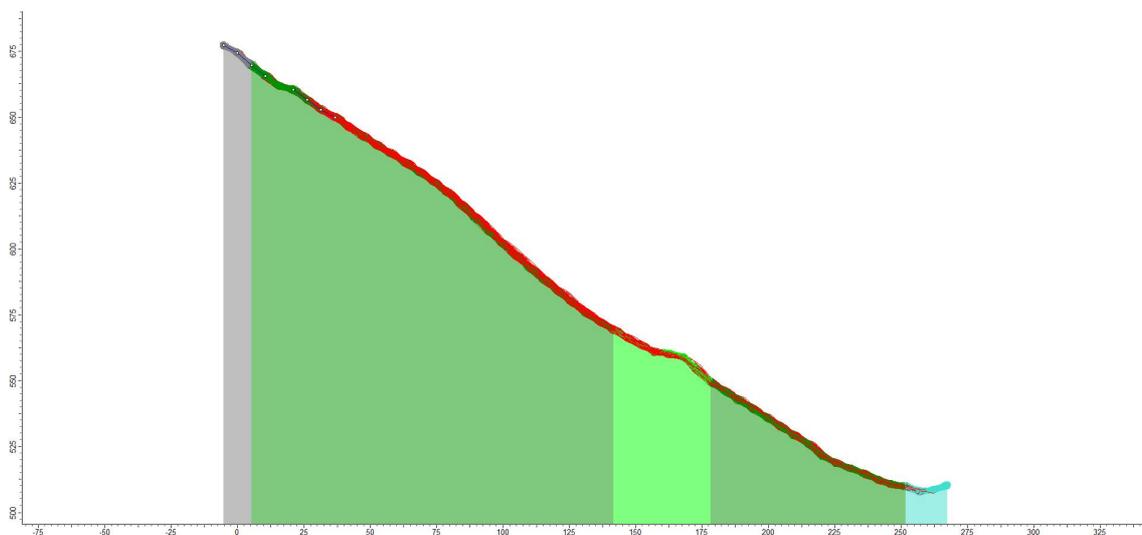
Sezione 7: Energia cinetica totale (valore medio)



Sezione 7: Velocità



Sezione 7: Traiettorie



SEZIONE 8

Sezione 8: Dati di ingresso



RocFall Analysis Information

Project Summary

File Name Sezione8.fal5
File Version 5.017

Date Created 10/02/2023, 10:51:26

Project Settings

General Settings:

Engine Lump Mass
Units Metric (m, kg, kj)
Rock Throw Mode Number of rocks controlled by seeder

Engine Conditions:

Friction Angle Calculate friction angle from Rt
Consider Angular Velocity Yes
Maximum time per rock 5s
Maximum steps per rock 10000
Normal velocity cutoff 0.1m/s
Stopped velocity cutoff 0.1m/s
Maximum timestep 0.01s

Random Number Generation:

Sampling Method Monte-Carlo
Random Seed Pseudo-random seed: 12345234

Slope Geometry

Vertex	X	Y	X Std.Dev.	Y Std.Dev.
1	-5.44916	700.136	0.5	0.5
2	0	696.724	0.5	0.5
3	5.44916	690.738	0.5	0.5
4	10.8983	686.118	0.5	0.5
5	16.3475	682.342	0.5	0.5
6	21.7966	678.726	0.5	0.5
7	27.2458	674.062	0.5	0.5
8	32.6949	669.538	0.5	0.5
9	38.1441	664.898	0.5	0.5
10	43.5932	660.94	0.5	0.5
11	49.0424	655.37	0.5	0.5
12	54.4916	651.692	0.5	0.5
13	59.9407	648.311	0.5	0.5
14	65.3899	643.688	0.5	0.5
15	70.839	640.854	0.5	0.5
16	76.2882	635.987	0.5	0.5
17	81.7373	633.145	0.5	0.5
18	87.1865	630.403	0.5	0.5
19	92.6356	625.049	0.5	0.5
20	98.0848	622.019	0.5	0.5
21	103.534	616.302	0.5	0.5
22	108.983	612.955	0.5	0.5
23	114.432	609.436	0.5	0.5
24	119.881	603.383	0.5	0.5
25	125.331	595.503	0.5	0.5
26	130.78	589.329	0.5	0.5
27	136.229	585.067	0.5	0.5
28	141.678	580.656	0.5	0.5
29	147.127	576.249	0.5	0.5
30	152.576	572.956	0.5	0.5
31	158.026	568.825	0.5	0.5
32	163.475	565.875	0.5	0.5
33	168.924	563.022	0.5	0.5
34	174.373	559.501	0.5	0.5
35	179.822	557.805	0.5	0.5
36	185.271	554.393	0.5	0.5
37	190.72	552.569	0.5	0.5
38	196.17	550.6	0.5	0.5
39	201.619	544.933	0.5	0.5
40	207.068	541.419	0.5	0.5
41	212.517	535.39	0.5	0.5
42	217.966	532.767	0.5	0.5
43	223.415	530.108	0.5	0.5
44	228.865	521.707	0.5	0.5
45	234.314	518.534	0.5	0.5
46	239.763	513.451	0.5	0.5
47	245.212	511.142	0.5	0.5
48	250.661	509.901	0.5	0.5
49	256.11	509.312	0.5	0.5
50	261.559	509.931	0.5	0.5
51	267.009	512.14	0.5	0.5
52	272.458	513.021	0.5	0.5

Slope Material Assignment

Material	From Vertex	To Vertex
roccia	1	8
Detrito con bosco	8	20
roccia	20	26
Detrito con bosco	26	31
Detrito con prato	31	38
Detrito con bosco	38	40
roccia	40	41
Detrito con bosco	41	43
roccia	43	45
Depositi in alveo	45	52

Material Properties

roccia

"roccia" Properties					
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.5	None			
Tangential Restitution	0.88	None			
Friction Angle (°)	Calculated from Rt				
Slope Roughness (°)	None				

Detrito con bosco

"Detrito con bosco" Properties					
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.32	None			
Tangential Restitution	0.82	None			
Friction Angle (°)	Calculated from Rt				
Slope Roughness (°)	None				

Detrito con prato

"Detrito con prato" Properties					
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.3	None			
Tangential Restitution	0.98	None			
Friction Angle (°)	Calculated from Rt				
Slope Roughness (°)	None				

Depositi in alveo

"Depositi in alveo" Properties					
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.33	None			
Tangential Restitution	0.85	None			
Friction Angle (°)	Calculated from Rt				
Slope Roughness (°)	None				

Seeders

Seeder 1

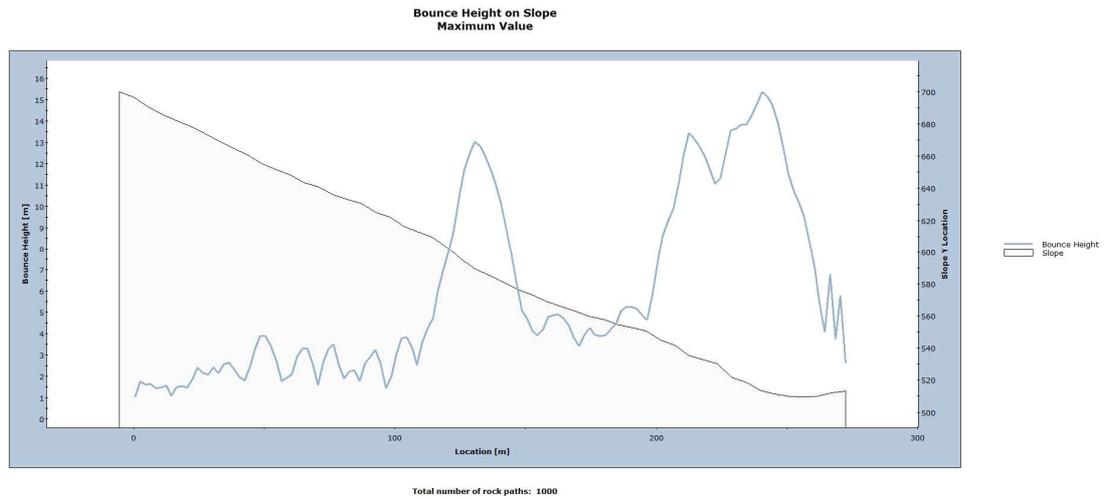
Seeder Properties					
Name	Seeder 1				
Location	(0, 696.724)				
Rocks to Throw					
Number of Rocks	1000 Overall				
Rock Types	Default Rock (Sphere)				
Initial Conditions					
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Horizontal Velocity (m/s)	0.2	None			
Vertical Velocity (m/s)	0.2	None			
Rotational Velocity (°/s)	0	None			
Initial Rotation (°/s)	0	Uniform		0	360

Rock Types

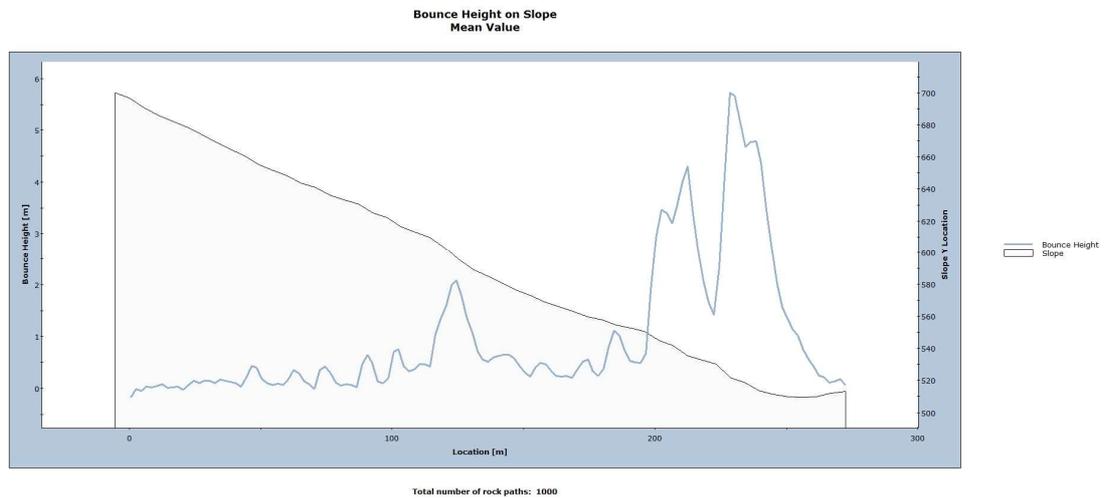
Default Rock (Sphere)

Properties					
Name	Default Rock (Sphere)				
Color					
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Mass (kg)	9100	None			
Density (kg/m ³)	2600	None			

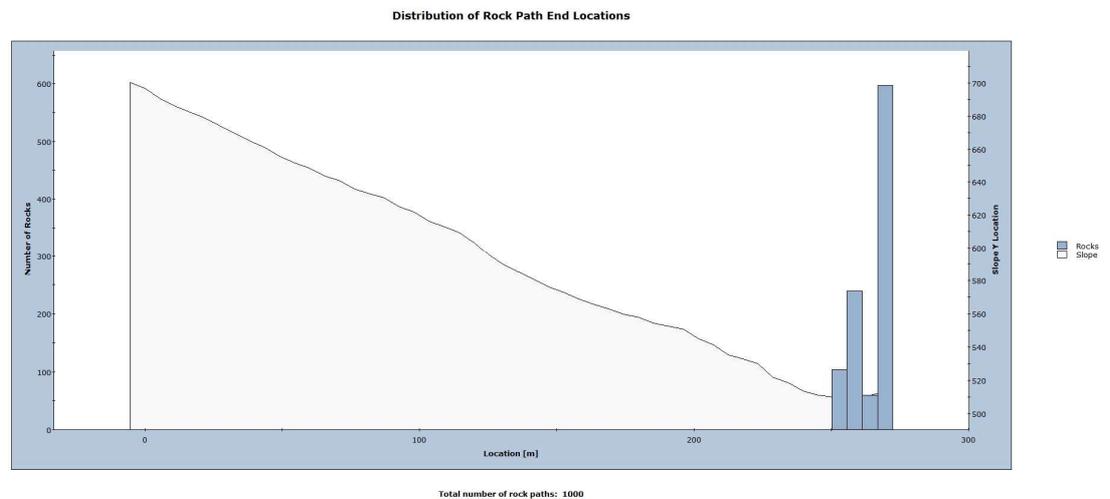
Sezione 8: Altezza massima



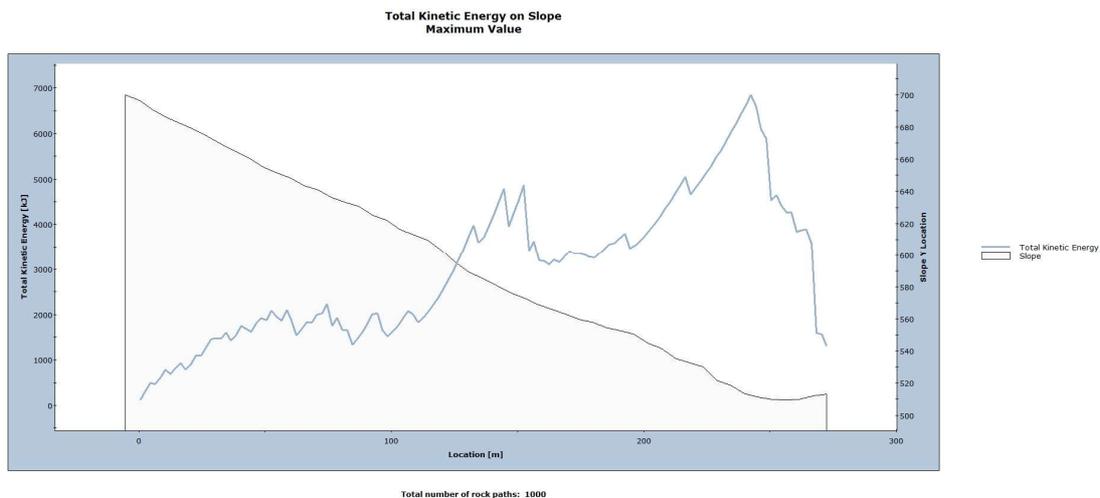
Sezione 8: Altezza media



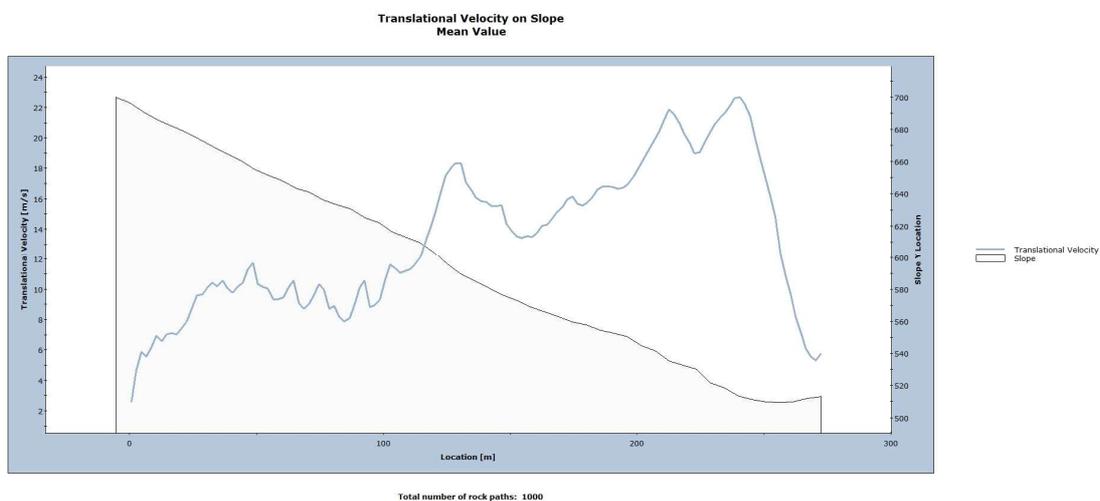
Sezione 8: Distanza di arresto



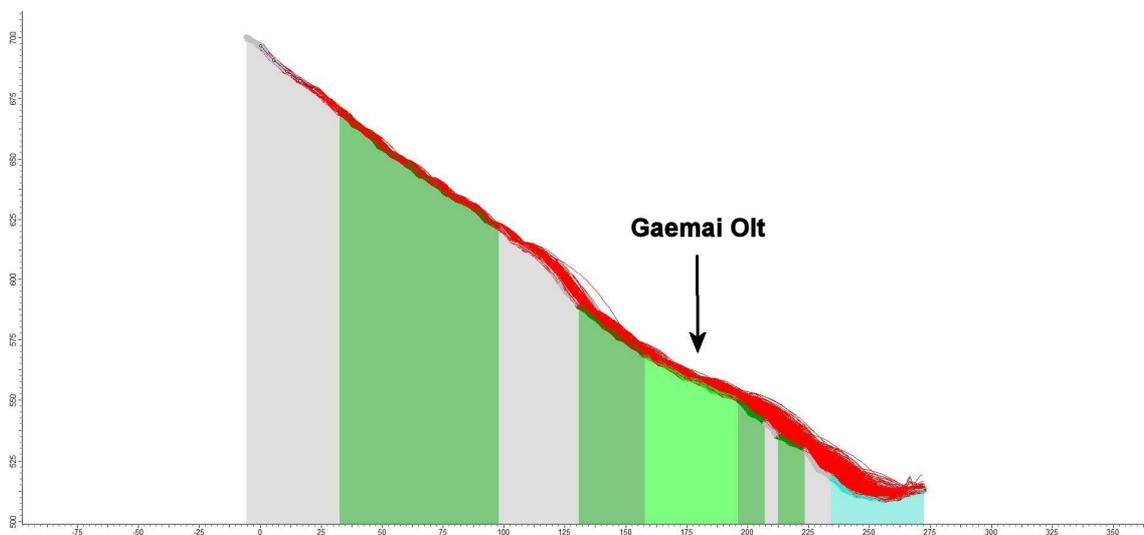
Sezione 8: Energia cinetica totale (valore medio)



Sezione 8: Velocità



Sezione 8: Traiettorie



11. ALLEGATO 2: BIBLIOGRAFIA

- BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft): Methoden zur Analyse und Bewertung von Naturgefahr (Metodi di analisi e valutazione di pericoli naturali) - 1998/1999.
- Castelli, M.; Torsello, G.; Vallero, G.; - Preliminary Modeling of Rockfall Runout: Definition of the Input Parameters for the QGIS Plugin QPROTO. *Geosciences* 2021, 11, 88.
- HEINIMANN, H.R., HOLTENSTEIN, K., KIENHOLZ, H., KRUMMENHACHER, B. & MANI, P. - "Methoden zur analyse und bewertung von naturgefahren" *Umwelt-Materialien* 85, Naturgefahren. Bern: BUWAL, pp. 248 (1998).
- Provincia Autonoma di Bolzano: Direttive per la redazione dei piani delle zone di pericolo (PZP) e per la classificazione del rischio specifico (CRS) – 2007.
- QGIS Python Plugins: <https://plugins.qgis.org/plugins/qproto/>.
- Regione Lombardia: Delibera di Giunta Regionale 30 novembre 2011 - n. IX/2616: "Aggiornamento dei 'Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n. 12", approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28 maggio 2008, n. 8/7374" e smi.
- Torsello, G.; - La modellazione del fenomeno di caduta massi a piccola scala: valutazione dei parametri necessari per analisi speditive. Politecnico di Torino - Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile - Tesi di Laurea Magistrale. Aprile 2019.