

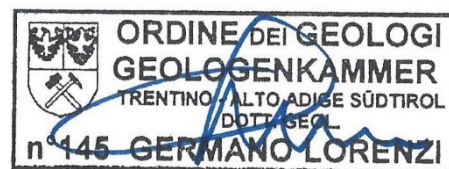
PROVINCIA DI TRENTO

COMUNE DI ARCO



**STUDIO DI COMPATIBILITÀ DI SUPPORTO ALLA VARIANTE  
URBANISTICA CHE INTERESSA LA P.F. 1451, AREA SOGGETTA A  
CAMBIO DI DESTINAZIONE D'USO, DA PRATIVO A PARTE  
PARCHEGGIO E PARTE RESIDENZIALE**

Riva del Garda, aprile 2020



*dott. geol. Germano Lorenzi*

## SOMMARIO

1	PREMESSA .....	1
2	STUDIO DI COMPATIBILITÀ .....	5
2.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO .....	5
2.2	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA DI FENOMENO .....	7
2.3	SINTESI DOCUMENTAZIONE PREGRESSA DI SUPPORTO .....	12
2.4	QUADRO GEOMECCANICO DI RIFERIMENTO .....	19
2.5	INTERVENTO DI MESSA IN SICUREZZA DEL PILASTRO AGGETTANTE .....	19
2.6	INTERVENTI DI DIFESA PASSIVA A VALLE DELLA PARETE .....	23
2.7	CRONOPROGRAMMA.....	28
3	CONCLUSIONI.....	28
ALLEGATO A.....		29
ALLEGATO B.....		33
ALLEGATO C.....		44

**ALLEGATO A - SIMULAZIONI DI CADUTA MASSI 3D**

**ALLEGATO B - SIMULAZIONI DI CADUTA MASSI 2D**

**ALLEGATO C - EFFETTI DEGLI INTERVENTI PREVISTI IN CIASCUNO SCENARIO**

# 1 PREMESSA

L'Amministrazione del Comune di Arco intende valutare la possibilità di effettuare un **cambio di destinazione d'uso** della P.F. 1451 in C.C. di Arco che il PRG Comunale classifica in parte come **Area agricola** ed in parte come **area a verde pubblico** (Figura 1). Con la **variante** la p.f. 1451 risulterebbe destinata in parte **area residenziale** ed in parte a **parcheggio pubblico**.

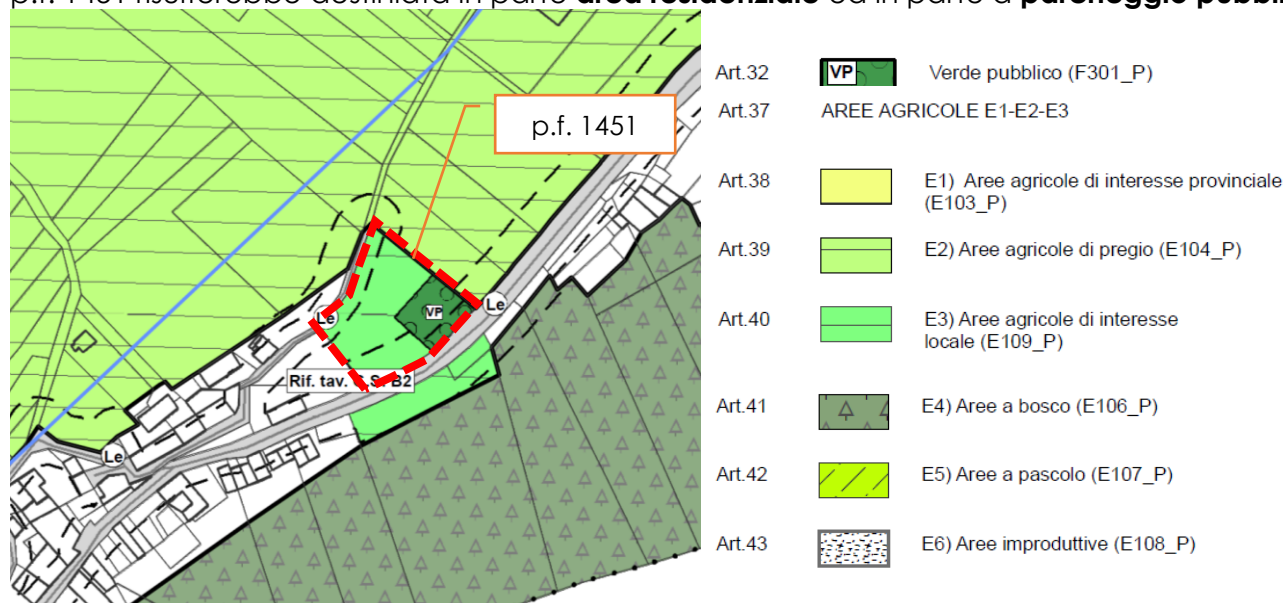


Figura 1 PRG Vigente Comune di ARCO

Non esiste ad oggi una cartografia urbanistica che definisca come avviene la suddivisione tra area residenziale ed area a parcheggio pubblico, in accordo con l'amministrazione si dichiara in ogni caso che tutto quello è retinato come R4 nella Figura 2 e nella Figura 3 avrà come destinazione d'uso finale unicamente quella a parcheggio.

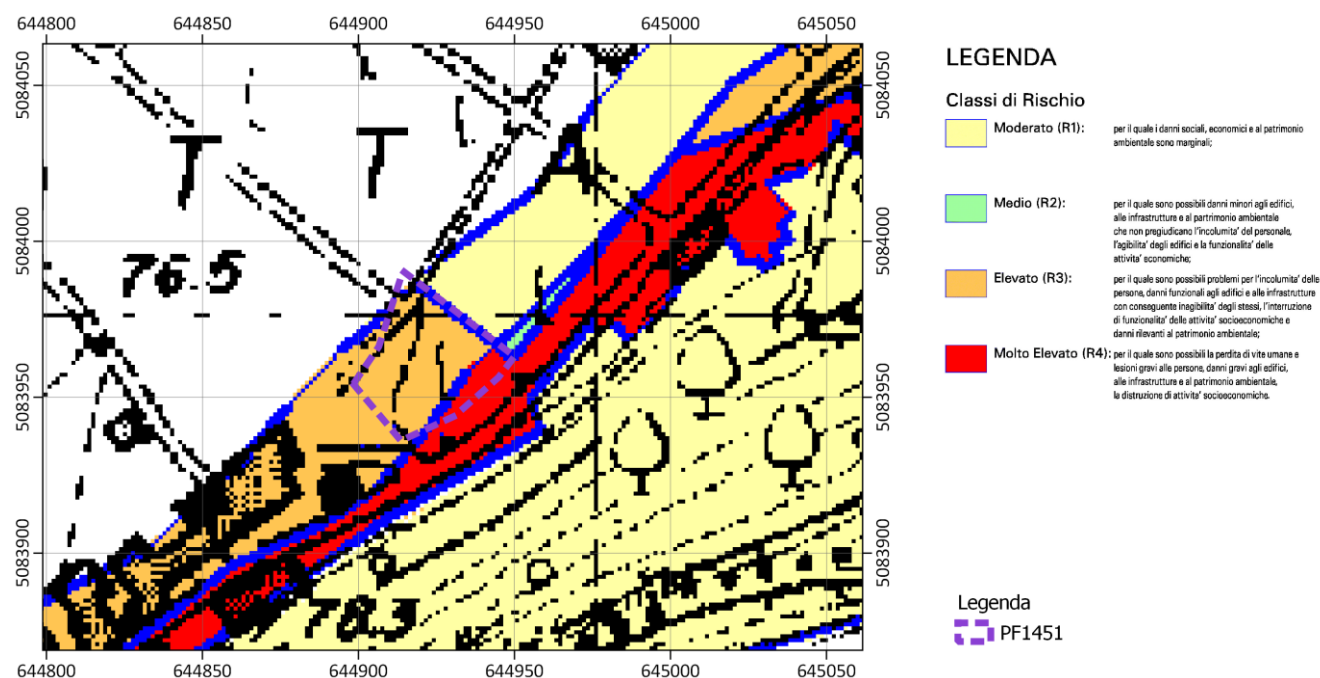
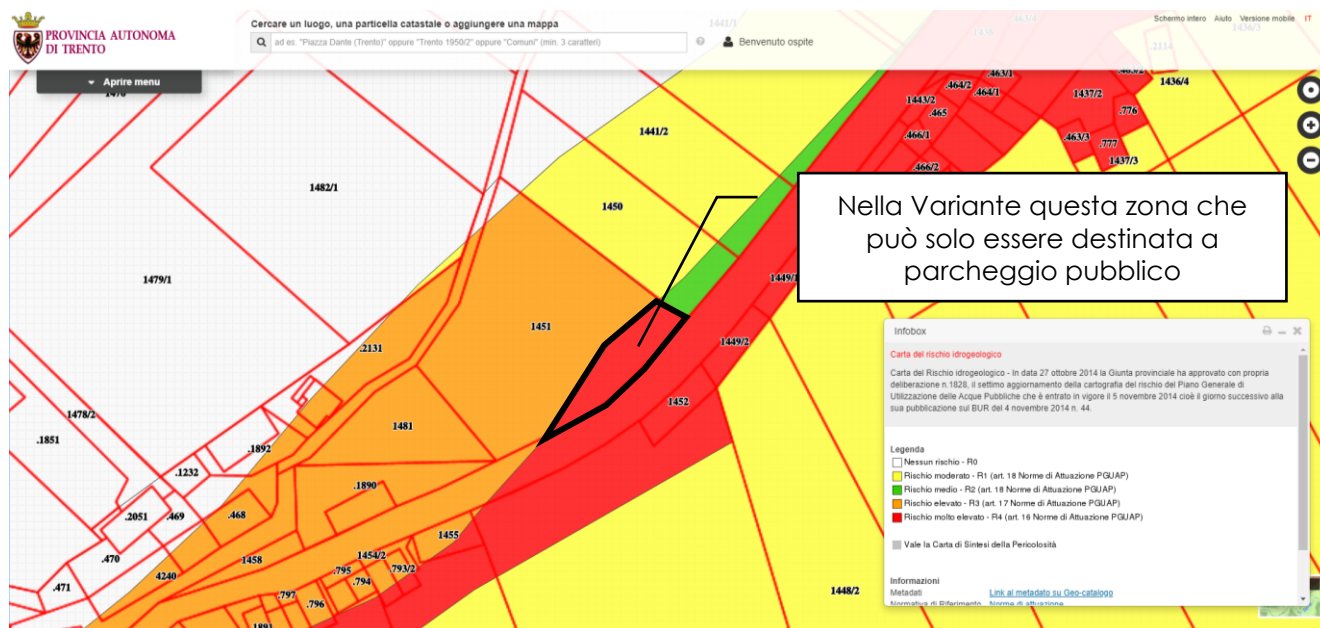


Figura 2 P.G.U.A.P. Carta del Rischio Idrogeologico



**Figura 3 P.G.U.A.P. Carta del Rischio Idrogeologico – WebGis PAT**

La valutazione della classe di rischio da attribuire alla singola particella viene definita attraverso la Tabella 1.

**Tabella 1 Valutazione del rischio interpolando classi di uso del suolo e classi di pericolo (Allegato alla DGP n°1984 del 22/9/2006)**

Classi di uso del suolo			VIAPRI	FERR	CAM	PROD	RIC	DEP	SCI		BOS	IMP
Classi di pericolo	PESI		0,93	0,93	0,9	0,57	0,45	0,4	0,33		0,15	0,02
Elevato	1		0,93	0,93	0,90	0,57	0,45	0,4	0,33		0,15	0,02
Medio	0,8		0,74	0,74	0,72	0,46	0,36	0,32	0,26		0,12	0,01
Basso	0,4		0,37	0,37	0,36	0,23	0,18	0,16	0,13		0,06	0,01

CLASSE DI RISCHIO		RANGE		DESCRIZIONE
R0		>= 0	<=0,1	Rischio trascurabile
R1		> 0,1	<=0,2	Rischio moderato
R2		> 0,2	<=0,5	Rischio medio
R3		> 0,5	<=0,9	Rischio elevato
R4		> 0,9	<=1	Rischio molto elevato

NOTA: All'interno della classe VIASEC rientrano i parcheggi

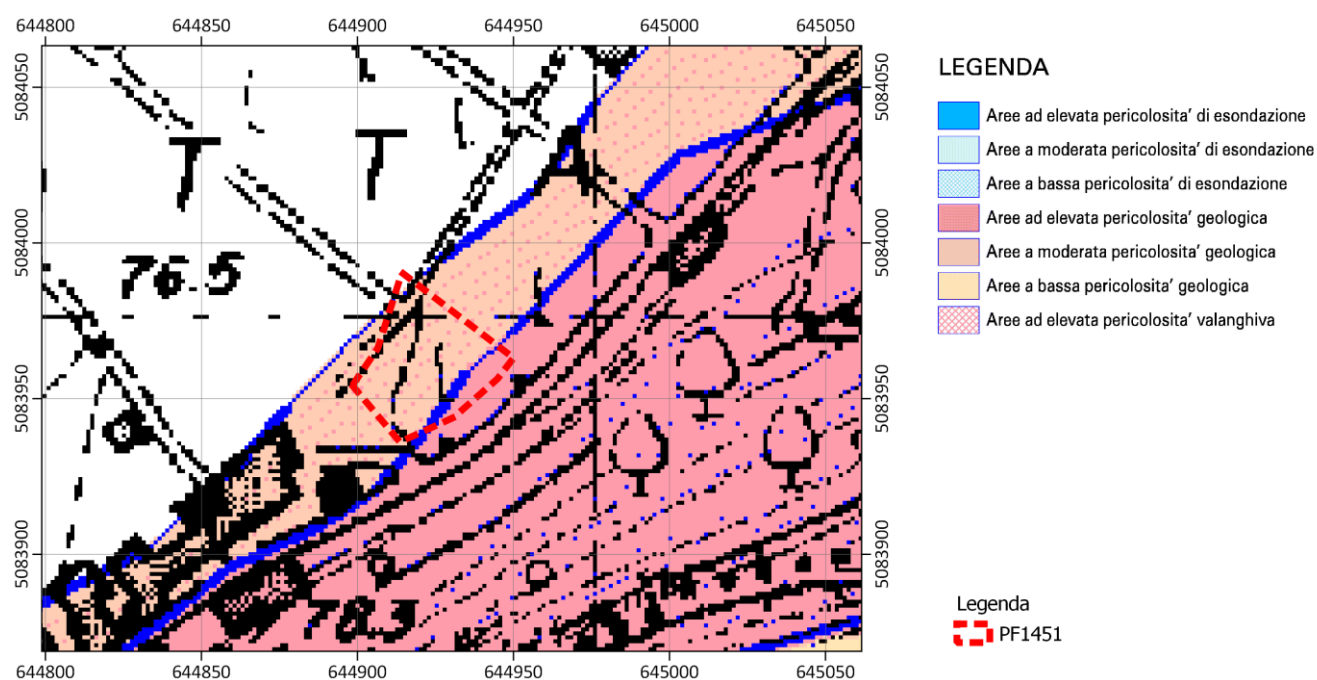
Dal punto di vista del pericolo identificato dalla Carta della Pericolosità del P.G.U.A.P., la p.f. rientra in parte nelle aree ad **elevata pericolosità** ed in parte nelle **aree a moderata pericolosità** (Figura 4).

In merito al valore di uso del suolo c'è una discrepanza tra la carta del valore di uso del suolo del P.G.U.A.P. (Figura 5) e il PRG del Comune di Arco. Il primo classifica l'intera particella come area residenziale mentre il secondo come area agricola/verde pubblico.

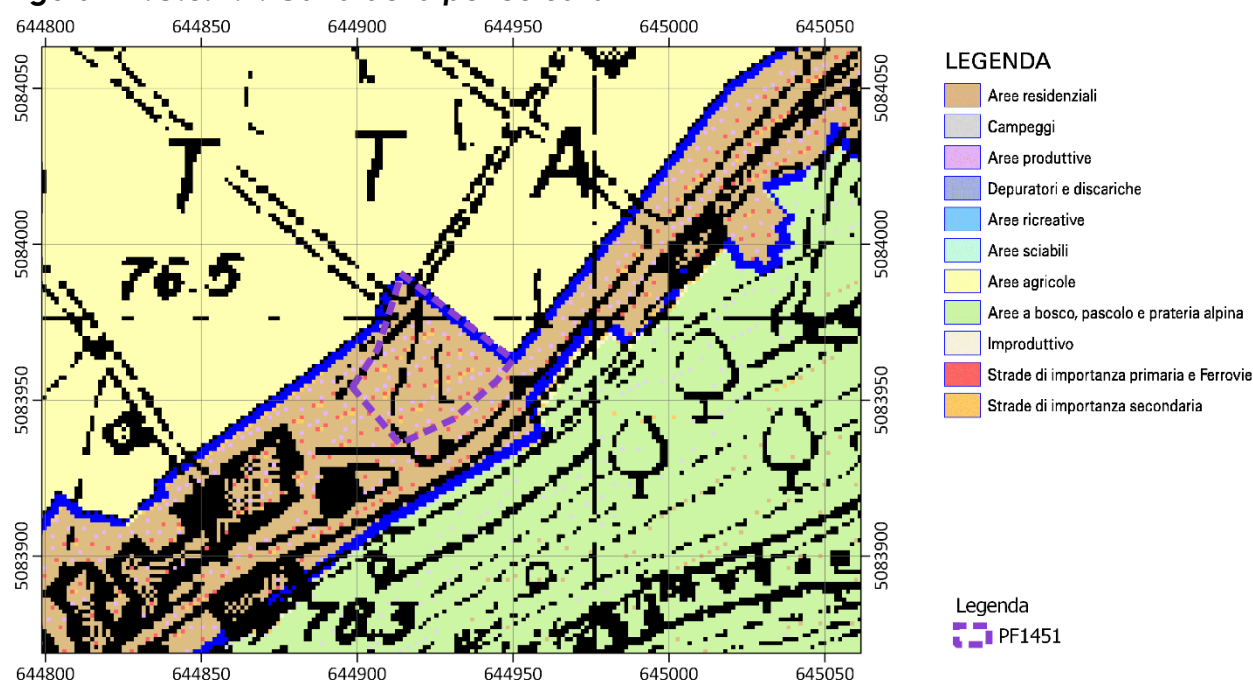
Questa errata estensione della zona residenziale nella carta del valore di uso del suolo del P.G.U.A.P. determina una errata attribuzione della classe di rischio.

Con l'attuale destinazione d'uso del P.G.U.A.P. la p.f. 1451 rientra in parte come R4 ed in parte come R3. Aggiornando le classi di rischio con i valori di uso del suolo di **variante** si ha che nelle aree ad elevata pericolosità, adibite a parcheggio, la classe di rischio risulta **R2** mentre zona ad elevata pericolosità il rischio rimane **R3**.





**Figura 4 P.G.U.A.P. Carta della pericolosità**



**Figura 5 P.G.U.A.P. Carta del del valore di uso del suolo**

Stabilito il grado di rischio gli interventi consentiti nelle aree R4 ed R3 sono regolamentati rispettivamente dall'art. 16 e dall'art. 17 delle Norme di attuazione del P.G.A.P. e nello specifico alle "Nuove disposizioni organizzative per l'attuazione degli art.li 16 e 17 delle Norme di attuazione del Piano generale di utilizzazione delle acque pubbliche (PGUAP)" di data 20 novembre 2015 con deliberazione n. 2078 la Giunta provinciale.

Le N.A. del P.G.U.A.P. citano che "... Nelle **aree a rischio idrogeologico molto elevato - contrassegnate R4** nella cartografia del piano –, a condizione che con apposito studio di compatibilità si analizzino dettagliatamente le condizioni di rischio e si definiscano gli accorgimenti costruttivi di carattere strutturale, localizzativo e architettonico per la realizzazione degli interventi nonché quelli per la loro utilizzazione atti a tutelare l'incolumità

delle persone ed a ridurre la vulnerabilità dei beni, possono essere realizzati, previa autorizzazione della Provincia:

- a) gli interventi di difesa e di prevenzione volti alla riduzione o all'eliminazione del rischio;
- g) cambi di destinazione d'uso che non determinano un significativo aumento dell'esposizione al rischio...."

Nella zona oggi classificata come R4, la variante produce un cambio di destinazione d'uso che corrisponde alla zona a parcheggio, e conseguentemente riduce il rischio a R2.

Per le aree R3 le N.A. citano "... Nelle **aree a rischio idrogeologico elevato - contrassegnate R3** nella cartografia di piano -, a condizione che con apposito studio di compatibilità si analizzino dettagliatamente le condizioni di rischio e si definiscano gli accorgimenti costruttivi di carattere strutturale, localizzativo e architettonico per la realizzazione degli interventi nonché quelli per la loro utilizzazione atti a tutelare l'incolumità delle persone ed a ridurre la vulnerabilità dei beni, possono essere autorizzati:

c) gli interventi di trasformazione urbanistica ed edilizia, già previsti dai piani regolatori generali vigenti alla data di entrata in vigore di questo piano, a condizione che, nel rispetto di quanto disposto dal primo comma dell'articolo 19, lo studio di compatibilità di cui all'alinea attesti un grado di rischio non superiore a medio (R2). I Comuni interessati autorizzano detti interventi previo parere favorevole della Provincia. ..."

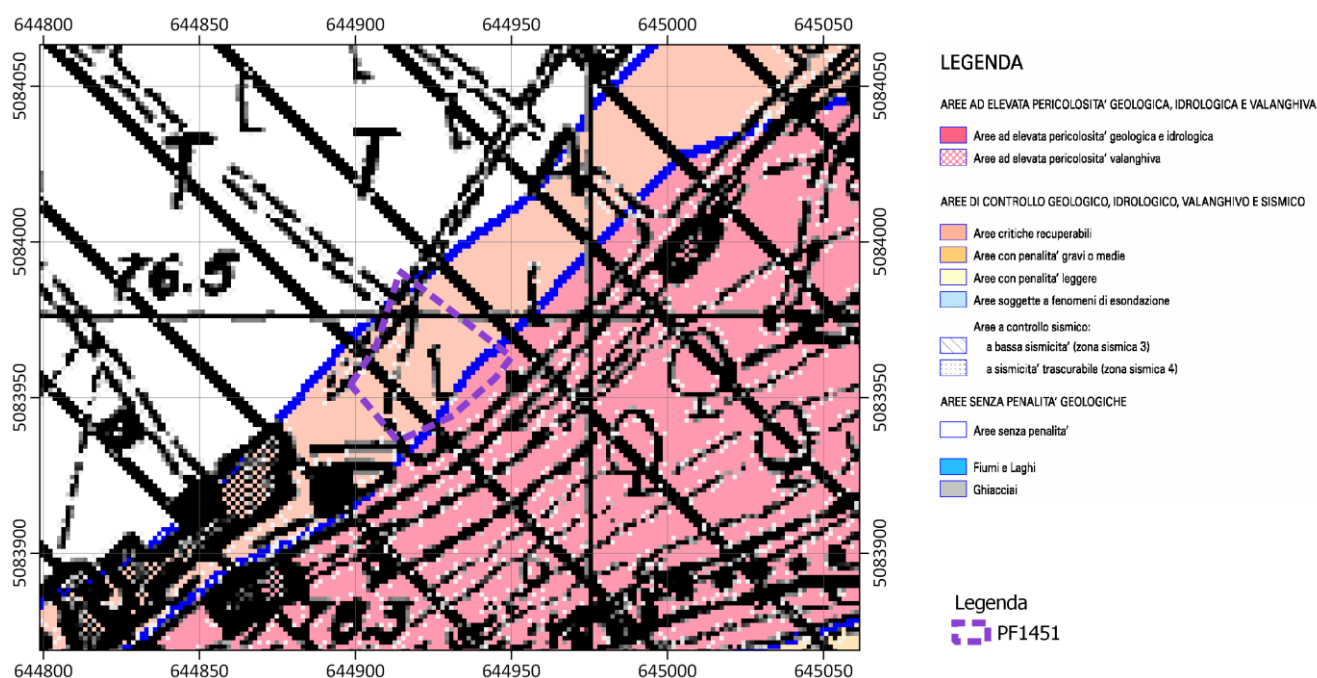
d) le nuove previsioni urbanistiche di interventi di cui alla lettera c), nel rispetto della condizione ivi prevista e previa autorizzazione della Provincia in merito alla compatibilità degli interventi dal punto di vista idrogeologico.

L'errata estensione della zona residenziale nella carta del valore di uso del suolo, coincide con il valore di uso del suolo richiesto dalla presente variante e pertanto il grado di rischio rimane R3.

**Il presente studio, considerata la classe di rischio assegnata alla particella in oggetto, individua gli interventi di difesa e di prevenzione volti alla riduzione o all'eliminazione del rischio.**

La modifica del livello di rischio dell'area è definita nell'Art. 19 delle Norme del PGUAP mediante **realizzazione di opere di difesa in grado di mitigare il livello di rischio o il grado di esposizione allo stesso dei beni interessati.**

La carta di sintesi geologica classifica l'area come **critica recuperabile** ed in parte, lungo il lato prossimo al versante come area ad **elevata pericolosità geologica e idrologica** Figura 6. **Nell'area ad elevata pericolo l'autorizzazione in deroga di opere pubbliche o di interesse pubblico e la realizzazione degli interventi già previsti dai piani regolatori generali vigenti, riguardanti aree con penalità elevata, sono ammissibili solo se relative agli interventi elencati nell'articolo 15, comma 3 delle norme di attuazione del PUP e subordinatamente allo studio di compatibilità.**



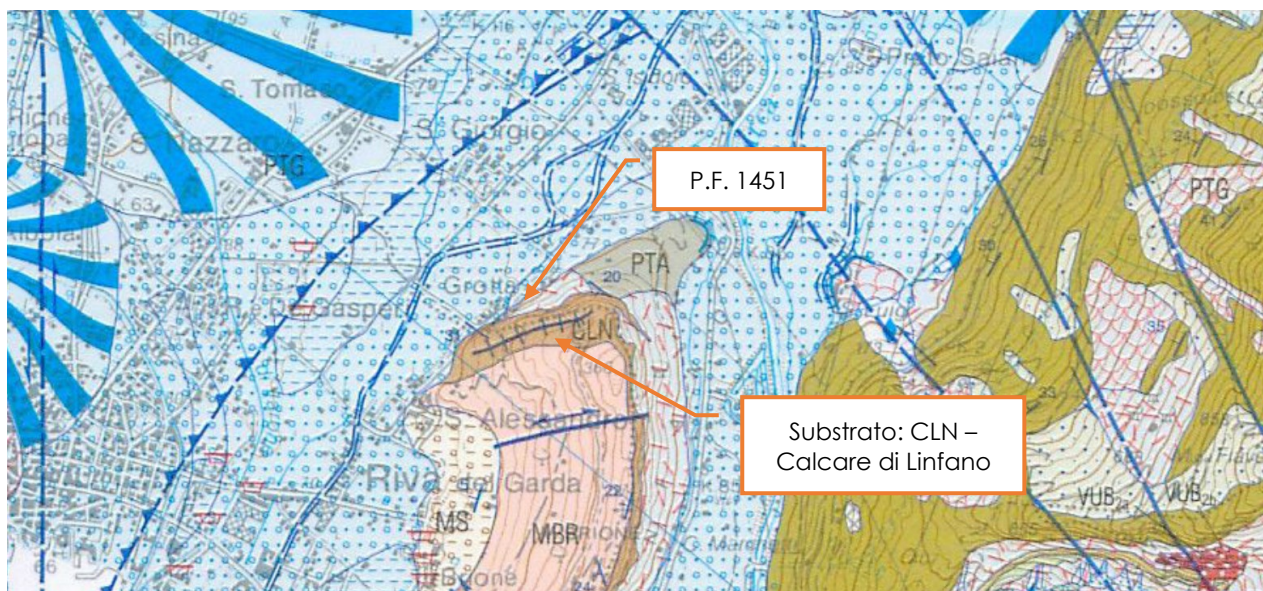
**Figura 6 Carta di Sintesi Geologica**

## 2 STUDIO DI COMPATIBILITÀ

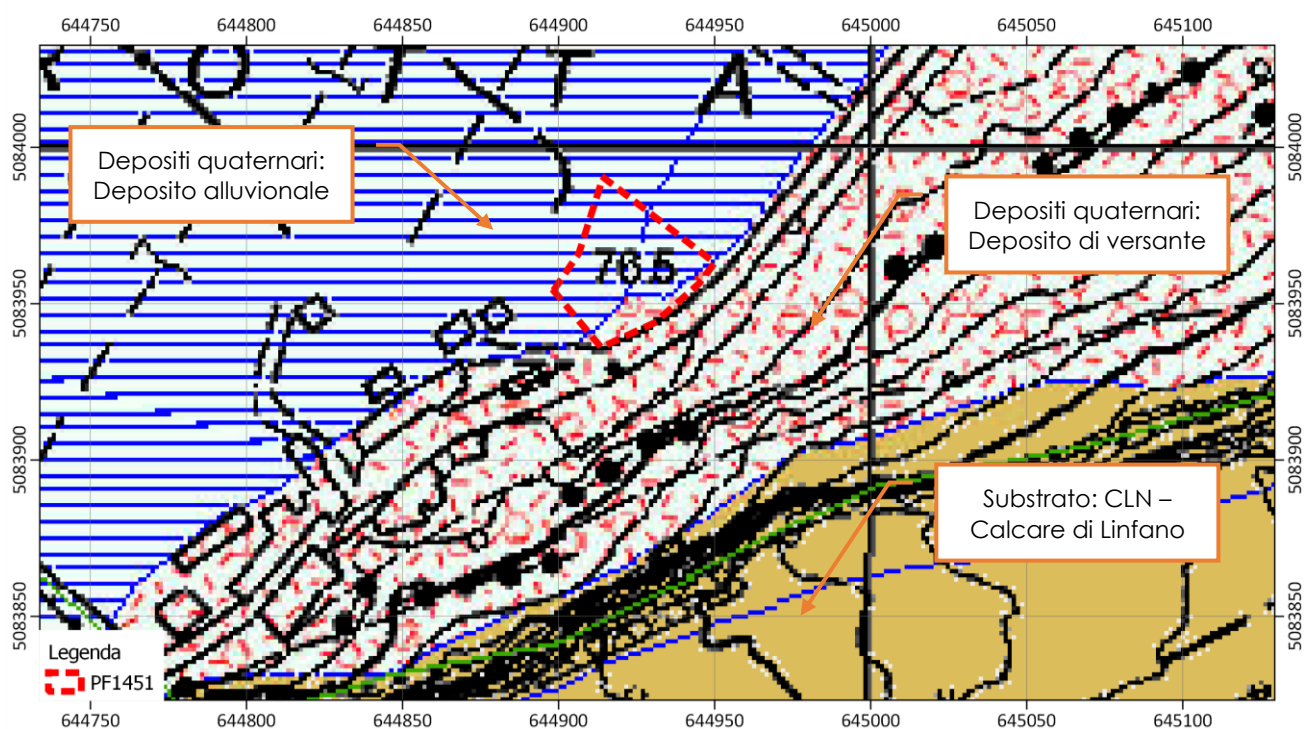
### 2.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO

L'area oggetto di studio, ubicata a nord-est della Località Grotta, è posta ai piedi di un settore di parete marcatamente verticale e localmente aggettante, che caratterizzano il versante settentrionale del Monte Brione.

L'ossatura del Monte Brione è costituita dai **Calcarei di Linfano (CLN)**, corpo bioclastico costituito nell'intervallo inferiore (circa 30 m) da biocalcareni fortemente bioturbate e mal stratificate, sempre più grossolane verso l'alto ove risultano caratterizzate da una marcata clinostratificazione verso SO di oltre 15° che interessa un intervallo di circa 150 metri di spessore (Figura 7e Figura 8). Nel lavoro di V. Luciani (1989) l'unità viene distinta in 3 unità, *inferiore*, *mediana* e *superiore* (Figura 9). La porzione in fianco alla strada costituisce l'unità inferiore ed è costituita da biocalcareni a stratificazione inizialmente poco evidente che diventa verso l'alto ondulata fino a diventare marcatamente nodulare. Nella parte superiore di questa unità, che corrisponde alla cengia boscata inclinata, si trovano i livelli più erodibili costituiti dai calcari marnosi. L'unità mediana e l'unità superiore costituiscono la parete principale dalla quale hanno principale origine i fenomeni di caduta massi oggetto di studio. L'unità mediana è costituita da biocalcareni grossolani con evidenti clinostratificazioni verso SW organizzate in piccole sequenze metriche molto grossolane e massicce alla base che diventano più fini e marnose verso l'alto mentre l'unità superiore è costituita da grainstone bioclastici a stratificazione orizzontale di spessore metrico.



**Figura 7 Estratto da Carta Geologica d'Italia – foglio 80 Riva del Garda**



**Figura 8 Carta geologia estratta dal Weg-Gis della Carta geologia dell'P.A.T.**

Alla base della pareti dominano i processi di origine gravitativa quaternari ovvero **depositi di versante** costituiti da ghiaie ciottoli e blocchi a struttura aperta o parzialmente aperta con ciottoli angolosi (Figura 8).

La piana di fondovalle, ove si inserisce la p.f. 1451, è costituita da **depositi alluvionali** costituiti da ghiaie e sabbie a supporto clastico, stratificate o in corpi lentiformi.

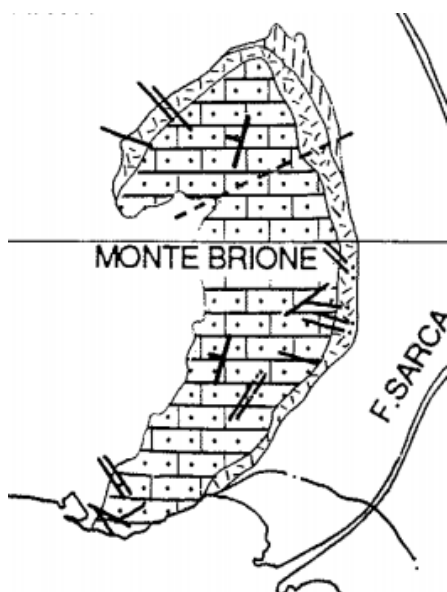




**Figura 9** Panoramica della parete sovrastante l'area – Situazione al 12/3/2020

## 2.2 DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA DI FENOMENO

La fascia rocciosa sovrastante la p.f. in oggetto mostra una morfologia articolata che alterna porzioni aggettanti, come la fascia direttamente sovrastante l'area, a fasce verticali caratterizzate da cenge localmente vegetate ed evidenti aggetti, entrambi fortemente condizionati dall'alta persistenza dei giunti di strato, elemento caratterizzante del rilievo monoclinale del Monte Brione. Accanto ai giunti di strato si riconoscono sistemi ad elevata persistenza, riconosciuti anche da Avanzini (1992) e riportati in Figura 10, che dislocano evidenti settori del versante settentrionale del Monte Brione. Il quadro tettonico che ha determinato le principali strutture tettoniche ha prodotto a livello di mesoscala un reticolo di giunti che ha reso l'ammasso roccioso assimilabile ad un mezzo discontinuo ovvero un mezzo in cui la resistenza al taglio è così elevata che i cedimenti sotto la sola forza di gravità sono possibili solo se le discontinuità preesistenti permettono il movimento di blocchi discreti attraverso le modalità cinematiche di cedimento di un blocco per *plan failure*, *wedge failure* e *toppling*.



**Figura 10** Estratto Carta Geologia in Avanzini (1992)

L'elaborazione del dataset fotografico della parete acquisito mediante rilievo aereofotogrammetrico da drone elaborato dallo scrivente attraverso una tecnica di structure from motion integrata in Metashape ha permesso la ricostruzione di una nuvola di punti tridimensionale utile a comprendere lo stato di fratturazione dell'ammasso roccioso e l'andamento dei principali sistemi di discontinuità. Immagine fotografica della parete, rispettivamente del settore orientale



ed occidentale è riportato nella Figura 11 e nella Figura 12. Una rappresentazione complessiva della ricostruzione della parte principale è riportata nella Figura 13.



**Figura 11 Settore orientale**



**Figura 12 Settore occidentale**





Figura 13 Nuvola di punti 3D della parete (Prospetto frontale)

L'analisi dei dati ottenuti dalla nuvola di punti, confermata dai rilievi in sito, ha individuato i principali sistemi di discontinuità caratteristici del sistema di parete, sintetizzati nella proiezione stereografica di Figura 14 e rappresentati spazialmente nella ricostruzione 3D di Figura 15; ai colori assegnati a ciascun sistema nella proiezione stereografica corrispondono i colori nella rappresentazione 3D.

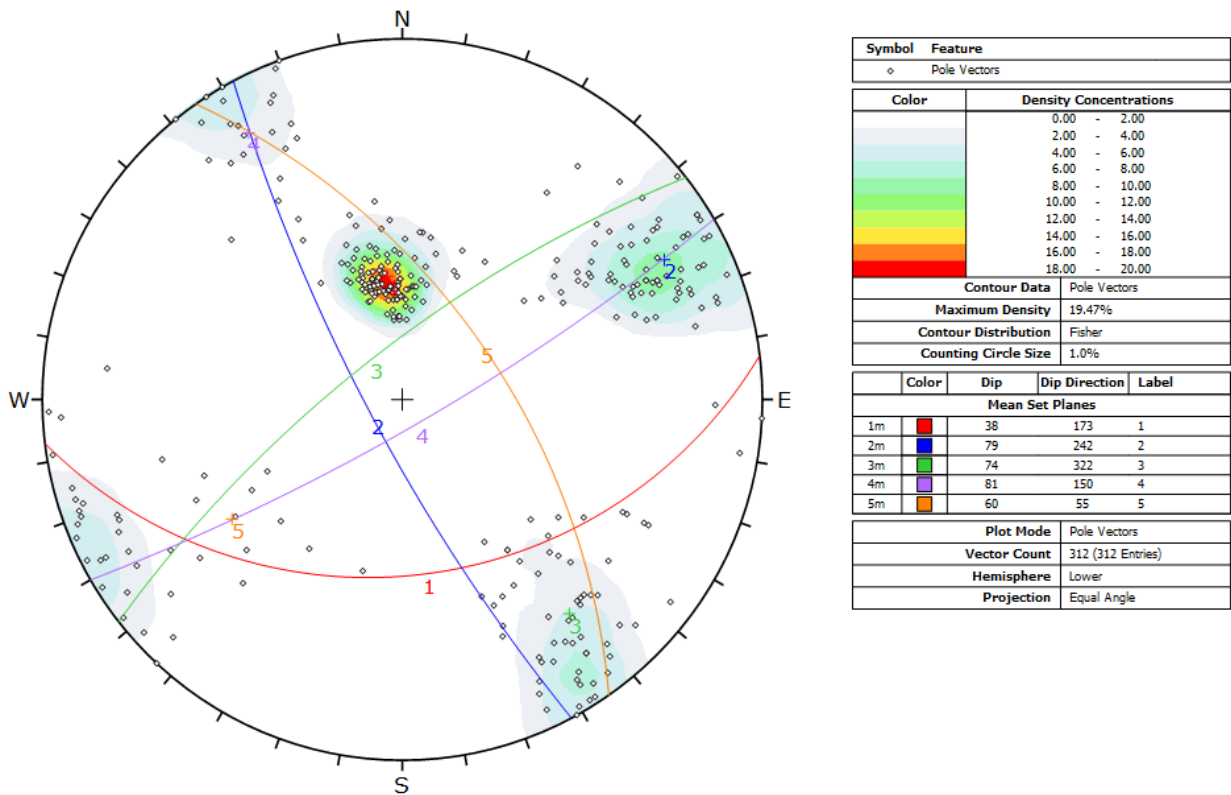
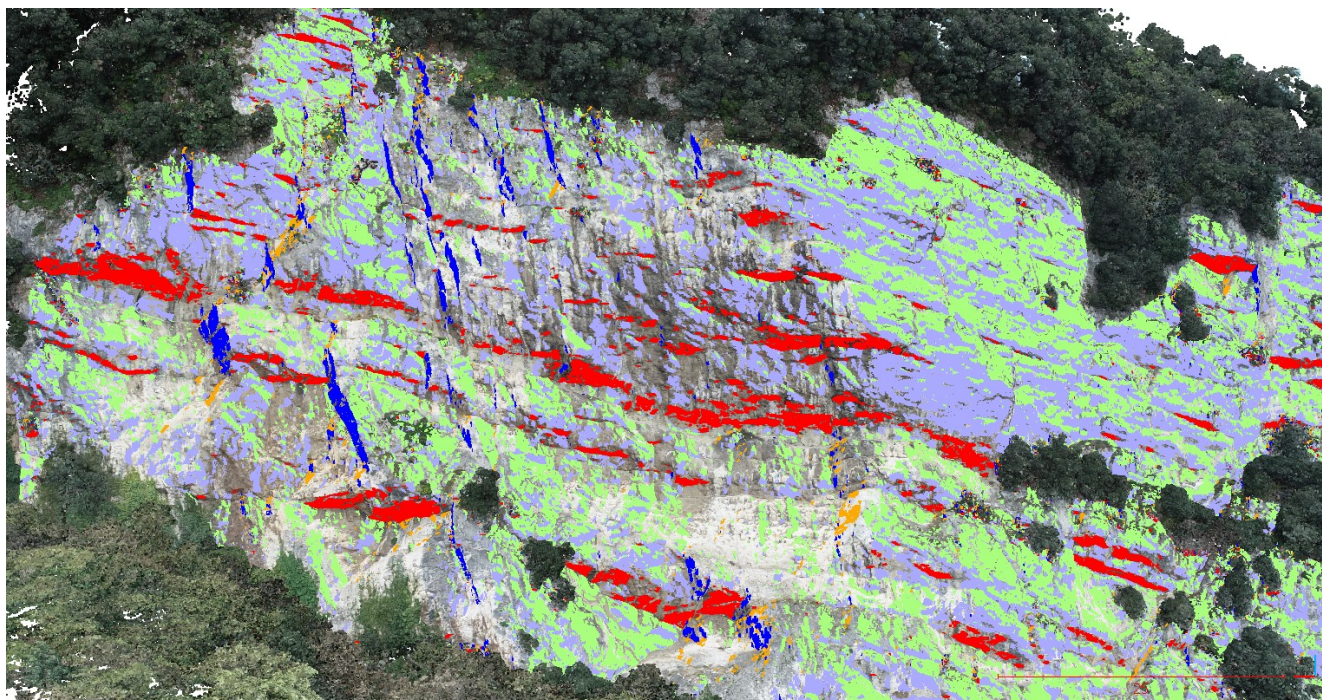


Figura 14 Proiezione stereografica sistemi rilevati

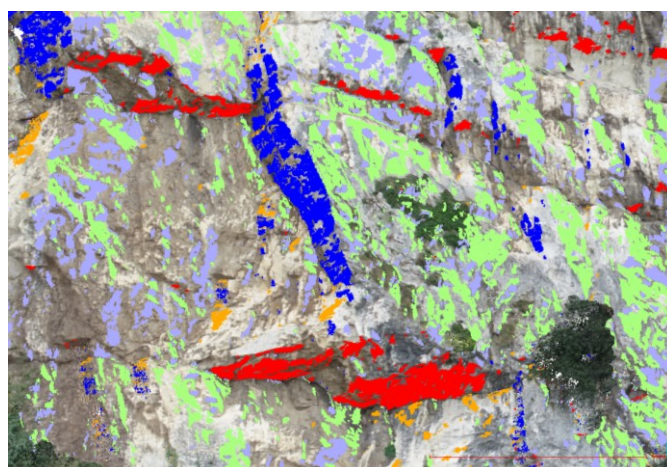




**Figura 15 Principali sistemi rilevati**

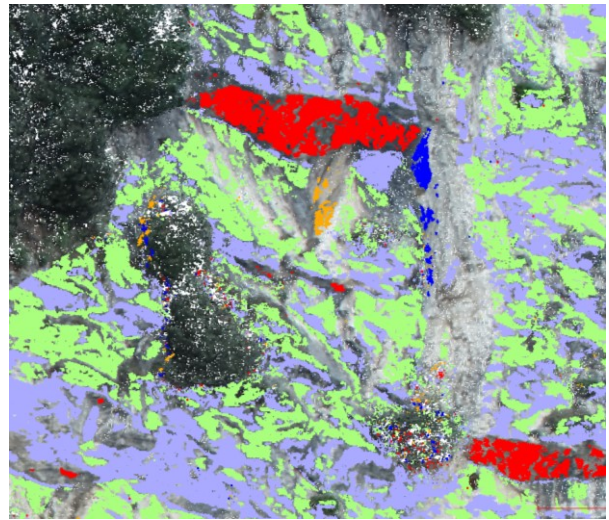
La morfologia articolata è il risultato del cedimento di più blocchi condizionati dalle favorevoli condizioni cinematiche. Esempi di volumi aggettanti mobilizzabili per rottura della porzione strapiombante (*overhang failure*) sono riportati nella Figura 16 e nella Figura 17. La marcata persistenza del sistema 2 nel settore orientale della parete evidenzia la presenza di cinematismi per *toppling* e per *wedge failure* (Figura 18). Nel settore orientale della parete domina la presenza di una frattura persistente ed aperta, appartenente al sistema 4, che nella parte sommitale della parete isola un blocco aggettante staccato dalla parete retrostante di circa 60 m<sup>3</sup> (Figura 20). Nel parte alta del settore occidentale della parete, la marcata persistenza dei sistemi paralleli al fronte favorisce il distacco di placche rocciose (Figura 19).

L'analisi dei dati ottenuti con il drone e i rilievi in parete confermano che il principale fenomeno atteso nell'area di intervento rientra nei movimenti di versante e, nello specifico, nei fenomeni di crollo e di caduta massi.

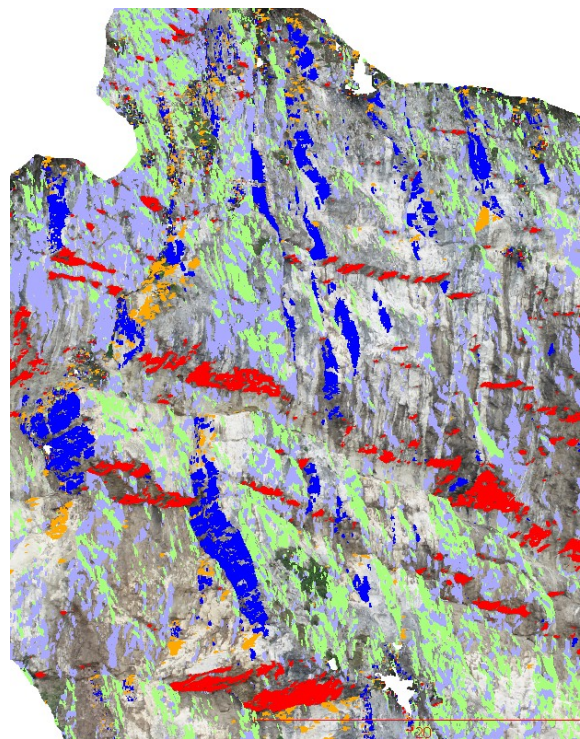


**Figura 16 Aggetto impostati dallo scivolamento/distacco dei blocchi lungo i sistemi 1-2-3-4**

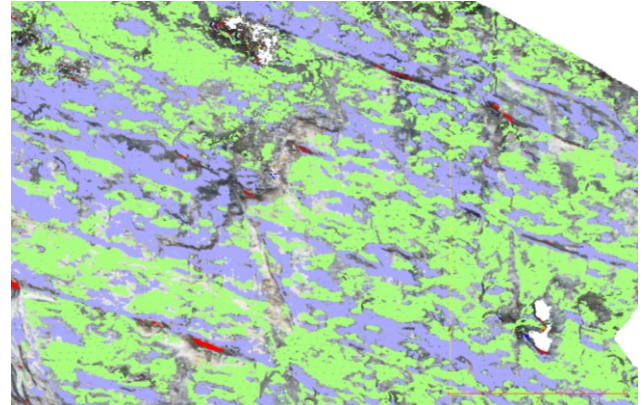




**Figura 17** Aggetto impostati dallo scivolamento/distacco dei blocchi lungo i sistemi 1-2-3-4



**Figura 18** Marcata persistenza del sistema 2 nel settore orientale della parete



**Figura 19** Placca con tendenza allo sfaldamento





**Figura 20 Frattura che caratterizza il settore orientale della parete**

## **2.3 SINTESI DOCUMENTAZIONE PREGRESSA DI SUPPORTO**

### **2.3.1 Premessa**

Alle valutazione dello scrivente in merito allo stato della parete ed alla descrizione del fenomeno atteso (par. 2.2 ) si aggiungono le valutazioni espresse nei seguenti documenti commissionati dal Comune di Arco:

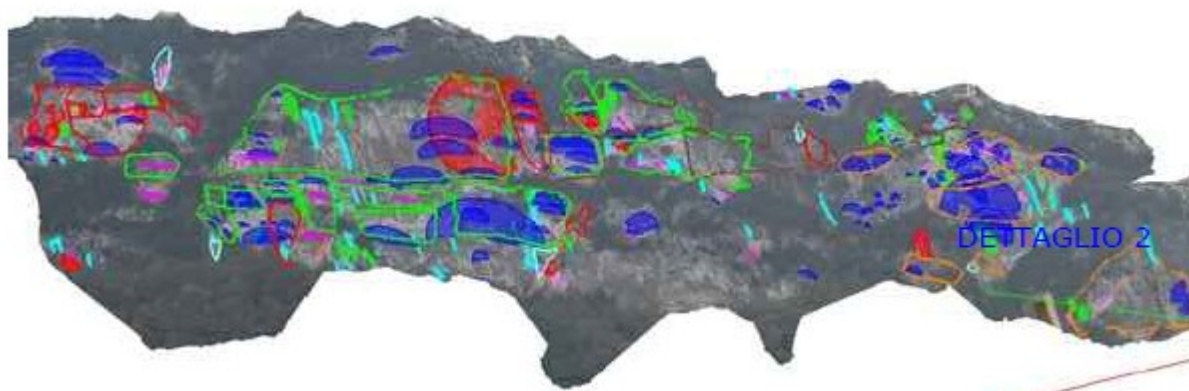
- 1: STUDIO GEOMECCANICO DEL VERSANTE ORIENTALE E SETTENTRIONALE DEL M.TE BRIONE TRA LE LOC. LINFANO E LA GROTTA (Marzo 2015) – Dott. Geol. Caudio Valle
- 2: INTERVENTO DI MESSA IN SICUREZZA DEI MASSI PERICOLANTI SULLE PARETI DEL MONTE BRIONE SOPRASTANTE LE LOCALITA' CRETACCIO E GROTTA IN C.C. ARCO (APRILE 2015) – Dott. C. Valle, Ing. C. Bagattol.

### **2.3.2 Descrizione delle aree**

Nello studio del 2015, dalla pagina 68 alla 71, il settore grotta viene così descritto:

*“... La parete che sovrasta la loc. La Grotta si costituisce per l'orientazione a circa 90° rispetto al versante orientale. Essa infatti è guidata dalle strutture R3 che talvolta si presentano a basso angolo rispetto alla parete ed in più si caratterizza per la presenza di ampie cengie in corrispondenza delle quali l'azione mutua delle mesostrutture determina localmente condizioni di svincolo peraltro di volumetrie contenute. In questo ambito l'analisi in remoto (Figura 21) metteva in rilievo l'esistenza di pareti strapiombanti con intersezioni predisponenti locali condizioni di criticità. Anche in questo caso l'importanza dell'area sottoposta alla parete ha reso necessario un esame in locale dal quale sono emerse alcune situazioni di reale criticità anche se relative a masse di volumetria contenuta.....”*





**Figura 21 Risultati dell'analisi in remoto estratta dallo Studio 2015 – Sistemi di discontinuità rilevati**

Lo studio 2015 valuta lo stato della parete ed individua all'interno dell'area stessa 3 zone che ritiene significative. Di queste 3 aree rientrano nel settore di parete di interesse del presente studio di compatibilità l'Area 2 e l'Area 3, la cui ubicazione è riportata nella Figura 22 estratta dallo Studio del 2015.



**Figura 22 Aree individuate dallo Studio 2015 relativamente al settore Grotta**

### 2.3.3 Area 2

L'area 2 è posta nel settore orientale della parete lungo la verticale della fessura riportata nella Figura 11 e nella Figura 20. Lo studio del 2015 descrive nello specifico due situazioni, individuate nella Figura 24 come Posizione 1 e Posizione 2, per le quali ritiene rispettivamente di monitorarne lo stato e di intervenire in somma urgenza.

Posizione 1 (Figura 24 - Figura 33)

Nello studio del 2015 la situazione 1 viene così descritta:

*"...La situazione meno gravosa è costituita dalla condizione di dislocazione di una massa imponente di circa 200mc di volume (8x6x4) separata dall'ammasso retrostante da una struttura pervasiva 150/90 a valenza morfologica. I valori di spaziatura dell'ordine dei 4-5m definiscono lo spessore del corpo roccioso dislocato ortogonalmente da strutture 70/90 che con spaziatura dell'ordine dei 5-6m costituiscono i limiti di continuità in senso E-O..."*

La massa rocciosa è visibile nella Figura 23. Lo stesso studio continua evidenziando che da quest'ultima foto "...emerge in tutta la gravità lo stato di fortissima fratturazione della porzione basale, motivo della **necessità dell'intervento di prevenzione**. A seguito della realizzazione di



interventi di difesa passiva integrativi di quelli esistenti potrà essere poi valutata la demolizione controllata della massa.



Tale situazione si presenta tuttavia come indicatore di una condizione di rilassamento della porzione locale del versante in quanto più a monte è stata rilevata la presenza di condizioni di detensionamento più estese della parete ai danni della stessa struttura 150/90 che mostra ampiezze tali da aver innescato l'inghiottitoio osservato. La condizione di svincolo laterale della grande placca sarebbe consentito da strutture 70/90 ben rilevabili in

**Figura 23 Posizione 1 - Estratta dallo studio 2015**

parete e lungo le quali è apprezzabile il grado di apertura centimetrica. Il fenomeno si estende per una trentina di metri e si ritiene utile prevedere il monitoraggio almeno per acquisire quel minimo di storicità che consenta di valutare il più probabile carattere fossile della deformazione..."

**L'Amministrazione del Comune di Arco intende realizzare, come successivamente esposto nel par. 2.5, un intervento per la messa in sicurezza della porzione di versante.**



**Figura 24 Panoramica della parete con indicate in punti di studio citati nello Studio 2015**

Posizione 2 (Figura 24 - Figura 33)



Sempre nello stesso settore, ma più in basso rispetto alla posizione , lo studio 2015 rilevava "... la presenza di masse rocciose completamente dislocate da strutture 150/90 e 70/90 (Figura 25), anche in questo caso quali relitti di precedenti situazioni di crollo su scala più ampia, e che andranno oggetto di **interventi immediati di disgaggio...**"



**Figura 25 Posizione 2 – Estratta dallo studio 2015**

La massa rocciosa è stata oggetto di intervento di messa in sicurezza redatto nell'aprile 2015 a firma del Dott. C. Valle e dell'Ing. C. Bagattol. Nello specifico è stato effettuato un intervento di demolizione previa stabilizzazione provvisoria per impedirne una accidentale mobilitazione durante le operazioni di perforazione per l'alloggiamento delle cariche. La Figura 26 e la Figura 27 sono estratte dalla "Documentazione fotografica degli interventi", allegato al progetto stesso, e riportano rispettivamente la posa del pannello in rete di contenimento e lo svuotamento della rete dopo la demolizione.



**Figura 26**



**Figura 27**

### 2.3.4 **Area 3**

Posizione 1 (Figura 24 - Figura 33)

Lo studio del 2015 individua nella fascia rocciosa sovrastante la frazione:

*"... la presenza di una nicchia residuale di un distacco avvenuta qualche anno fa ed i cui effetti sono stati tratti dalle reti paramassi sottostanti. Attualmente ciò che si è osservato è la presenza di un corpo roccioso di 5m di altezza e di pianta quadra 1.5x2m che nel complesso presenta un volume variabile tra 12÷15mc circa. Esso appare dislocato a tergo da una struttura 140/90 lungo la quale sono penetrate le radici di un leccio favorendo la condizione di dislocazione, lungo la quale terminano da strutture con terminazione di tipo D 240/75 dotate di spaziatura variabile tra 1÷2.5m.*

*Il risultato si traduce in una dislocazione ormai completa della massa individuata.*

*Quanto osservato viene giudicato in una condizione di equilibrio decisamente residuo ancora garantito da un minimo vincolo di base che impedisce la rotazione del blocco verso NE ..." (Figura 28).*



Foto 4



Foto 8

**Figura 28 Fotografie estratte dalla Tav. 25 allegata allo studio del 2015.**

Dato lo stato dell'ammasso roccioso lo studio del 2015 sottolinea *"...Per tale motivo si è ritenuto **importante intervenire immediatamente in somma urgenza producendo una stabilizzazione definitiva del blocco mediante legatura. Il rafforzamento è stata concepito in alternativa alla demolizione data la posizione direttamente soprastante l'abitato in presenza di opere paramassi piuttosto vetuste...**"*

La massa rocciosa indicata nello studio del 2015 è stata oggetto di intervento di messa in sicurezza redatto nell'aprile 2015 a firma del Dott. C. Valle e dell'Ing. C. Bagattol. In questo caso i progettisti hanno optato per un intervento di stabilizzazione a mezzo di funi. La Figura 29 è estratta dalla "Documentazione fotografica degli interventi", Allegato al progetto stesso, e riporta la vista del pilastro dopo l'intervento. Nella Figura 30 è riportata la situazione del pilastro ad oggi.



**Figura 29****Figura 30**

In sintesi nelle aree che lo studio del 2015 ha individuato come critiche si è provveduto ad progettare e realizzare un intervento di messa in sicurezza che si è concluso con regolare esecuzione. Fa eccezione la posizione 1 dell'area 2 per la quale è in corso di realizzazione la progettazione di un intervento di messa in sicurezza condiviso dal Comune di Arco e dal Servizio di Prevenzione Rischi.

### 2.3.5 **Volume di progetto**

Lo studio del 2015 individua, per il settore La Grotta, un “**volume di progetto**” compreso tra **0.5 e 1.5 m<sup>3</sup>** con una variabilità del  $\pm 10\%$ . La densità della roccia è pari a 2600 kN/m<sup>3</sup> e la forma cubica ed ellissoidale.

### 2.3.6 **Tipologie di opere previste**

In merito alla tipologia di opere previste lo studio del 2015 riporta “...Questa porzione del Monte Brione è caratterizzata dalla presenza di una nutrita mole di opere molte delle quali appartengono a tecnologie superate o vetuste. I sopralluoghi effettuati hanno messo in luce alcuni blocchi instabili destinati ad interventi di somma urgenza perché ritenuti troppo pericolosi. Il resto della parete mostra criticità moderate, tali da non intervenire con somma urgenza, ma che tuttavia non possono essere trascurate ancora per troppo tempo (Area 2 Posizione 1) e per queste la progettazione dovrà prevedere interventi di rafforzamento/consolidamento. In base a quanto constatato si precisa che le opere esistenti non sono ritenute completamente in grado di soddisfare livelli di sicurezza adeguati sul lungo termine e dunque dovranno essere sostituite, rinforzate o in ogni caso implementate.

*In primo luogo si procederà all'installazione di una barriera paramassi a monte dell'abitato con resistenza minima di 2000 kJ che andrà a sostituire/implementare quelle esistenti del tipo già realizzate più ad est (Canevini).*

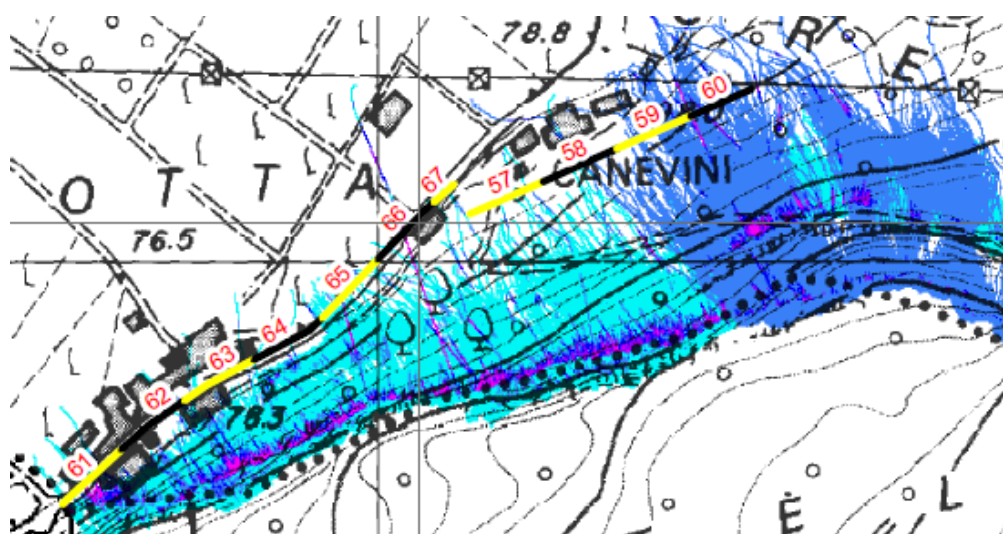
*Si ritiene che tale classe energetica possa essere adottata una volta verificata la funzionalità ed eventuale implementazione degli esistenti presidi in aderenza (i dati riportati per le rispettive sezioni di controllo in Tabella 2 considerano la parete priva di presidi di rafforzamento*

corticale e quindi potenzialmente sorgente di crolli secondo le volumetrie inputate). Tutti questi interventi dovranno peraltro essere valutati nell'ambito di approfondimenti dedicati nella fase di progettazione....".

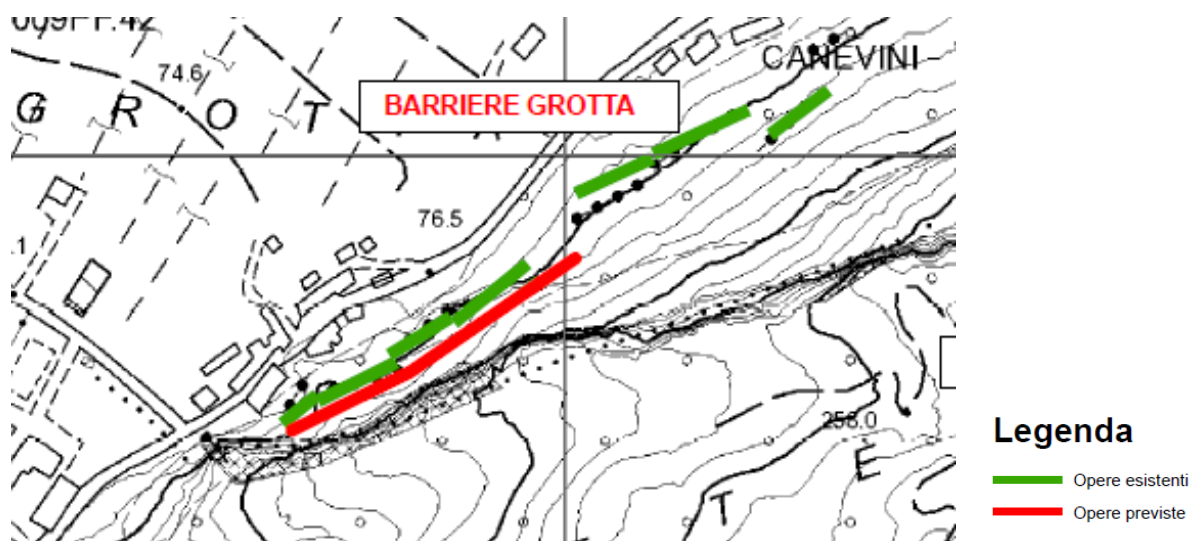
**Tabella 2 Studio 2015 - parete priva di presidi di rafforzamento corticale e quindi potenzialmente sorgente di crolli secondo le volumetrie inputate**

N° sezione	n	E_50	E_90	E_95	E_98	Ph_50	Ph_90	Ph_95	Ph_98	V_50	V_95	Vrot_50	Vrot_95	Imp_a50	Imp_a95
61	2090	365.7	750.7	907.7	1160.7	0.7	3.1	4.7	8.9	15.4	24.4	18.9	32.9	-50	-2
62	429	356.2	1635.2	2189.2	3243.2	1.7	3.6	5.5	10	14.4	32.8	16.2	64.2	-16.5	-0.5
63	792	457.7	1919.7	2457.7	2881.7	1.1	3.6	5	9.8	14.8	33.2	28.8	70.8	-23.8	-4.8
64	680	176.4	1016.4	1726.4	2476.4	0.6	1.1	3.2	7.5	9.1	27.5	18.1	59.1	-13.5	1.5
65	4472	103.2	354.2	543.2	936.2	0.5	0.7	0.9	1.3	7	15.7	12.6	32.6	-12.7	-0.7
66	418	444	1264	1597	2174	0.9	3	4.1	5.3	14.5	26	28	59	-24.7	-5.7

La Figura 31 riporta l'ubicazione delle sezioni di controllo estratte dallo studio del 2015 e riportate nella Tabella 2 e la Figura 32 le opere di mitigazione previste.



**Figura 31 Studio 2015 – Ubicazione sezioni di controllo**

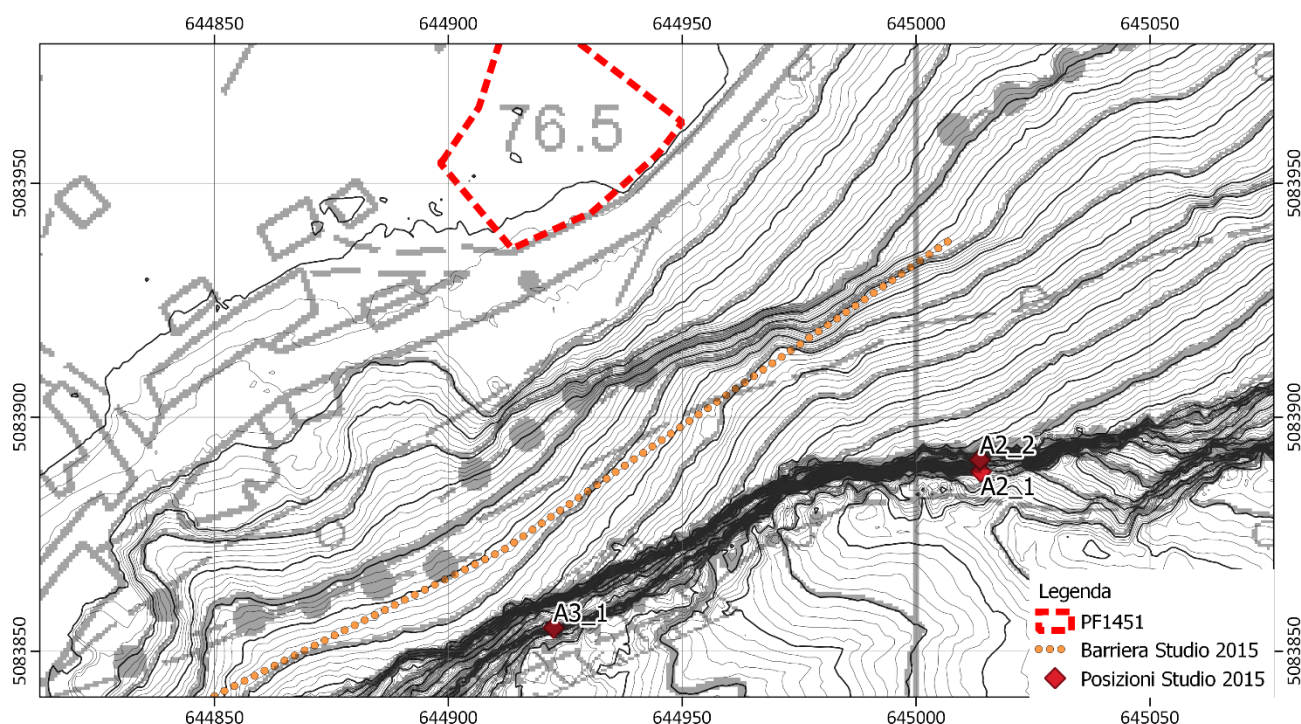


**Figura 32 Studio 2015 – Opere di mitigazione**

Dallo studio del 2015, e nello specifico dalle tavole opere di mitigazione adottate, l'opera prevista è un barriera paramassi da 2000 kJ di altezza pari a 4.5 metri, la cui ubicazione, rapportata alla p.f. 1451, è riportata nella Figura 33 accanto alle situazioni critiche in parete



descritte precedentemente per l'area 2 (Posizione 1 indicata come A2\_1 e Posizione 2 indicata come A2\_2) e per l'area 3 (Posizione 1 indicata come A3\_1).



**Figura 33 Ubicazione situazioni descritte**

## 2.4 QUADRO GEOMECCANICO DI RIFERIMENTO

Valutato il quadro geomeccanico della parete sovrastante la p.f., ottenuto dai rilievi in sito e dall'utilizzo del drone, e implementato dalle considerazioni esposte nello studio del 2015 in merito allo stato complessivo della parete ed all'inadeguatezza delle opere paramassi presenti si ritiene che gli interventi previsti dalla variante urbanistica della p.f. 1451 richiedano necessariamente l'individuazione di interventi di difesa e di prevenzione volti alla riduzione o all'eliminazione del rischio.

Gli interventi che configurano sono due tipologie:

- **Intervento di messa in sicurezza del pilastro aggettante posto nel settore orientale** (in corso di definizione da parte dell'Amministrazione Comunale e del Servizio di Prevenzione Rischi);
- **Interventi di difesa passiva a valle della parete.** Nel dimensionamento di questi interventi, valutato il quadro complessivo delle informazioni precedentemente espresse, si ritiene che il **volume di progetto** da utilizzarsi nelle simulazioni di caduta massi sia **1,5m<sup>3</sup> ±50%**.

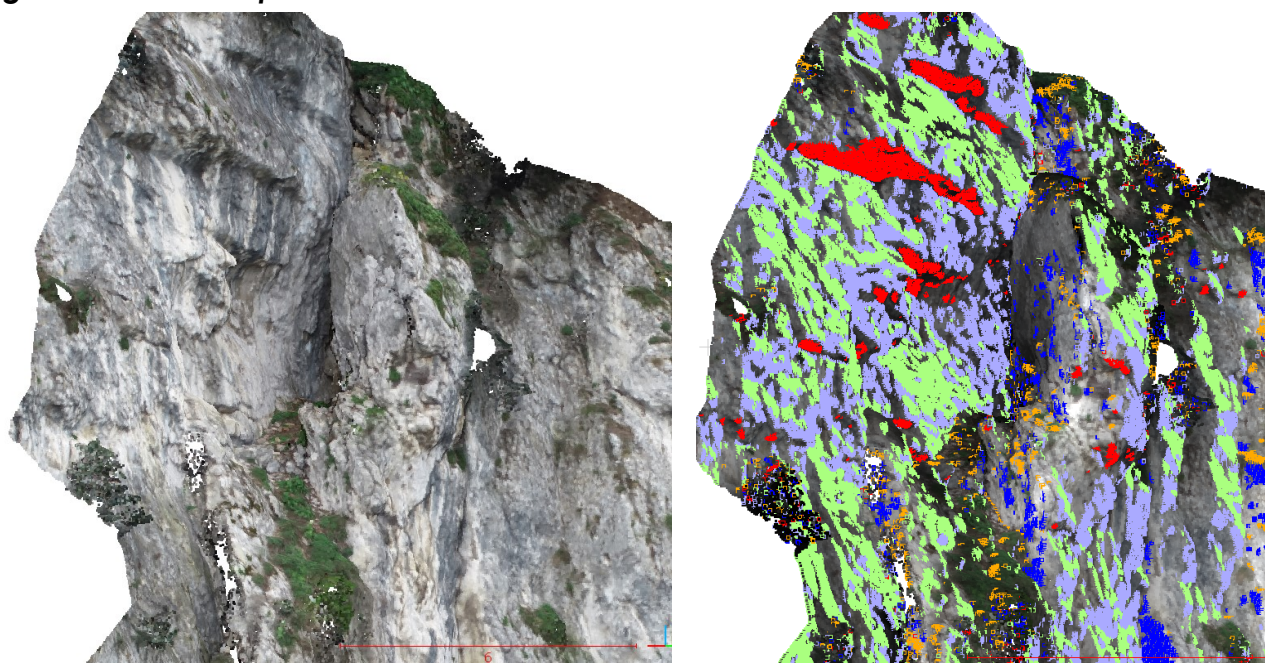
## 2.5 INTERVENTO DI MESSA IN SICUREZZA DEL PILASTRO AGGETTANTE

I rilievi in sito atti a valutare lo stato del pilastro roccioso descritto dallo studio 2015 nell'area 2 (Posizione 1) hanno individuato una situazione critica. La Figura 34 evidenzia chiaramente come la struttura pervasiva 150/90° (sistema 4 - viola) isoli nettamente il pilastro dall'ammasso roccioso circostante. Piano di contatto con l'ammasso circostante è il giunto 070/85° (sistema 2 - blu), sistema che attraverso la sua spaziatura metrica condiziona la forma del pilastro stesso. La ricostruzione 3D di Figura 36 mostra la geometria del pilastro e dell'ammasso circostante e le orientazioni dei fronti, dalla quale emergono chiaramente i due sistemi principali citati. Lo stato di fratturazione della base è fortemente condizionato dal sistema a franappoggio (315/60° - Sistema 3 - blu) e dal piano di strato a reggipoggio (180/32° - sistema 1 - rosso), entrambi ben evidenti anche sulla parete retrostante.





**Figura 34 Pilastro in precario stato di stabilità**

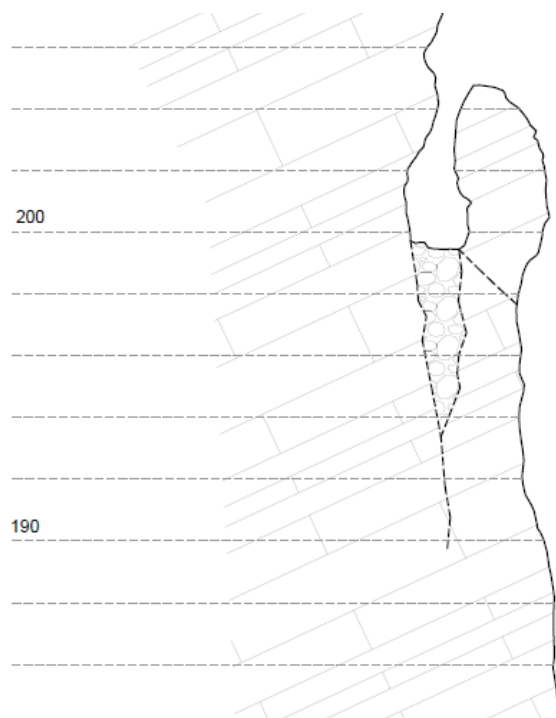


**Figura 35 Ricostruzione 3D pilastro (sx) – Sistemi di discontinuità rilevati (dx)**

Nella figura di sinistra del prospetto di Figura 36 viene evidenziata la geometria del pilastro critico, l'andamento delle principali fratture ortogonali alla parete ed il profilo della lama. La sezione geologica della traccia indicata nel prospetto è riportata a destra e mostra le dimensioni del pilastro e l'andamento dei principali sistemi di discontinuità, dalla quale emerge come la stabilità del pilastro stesso sia fortemente condizionata dai giunti orientati  $315/60^\circ$  (sistema 3) che alla base dello stesso pilastro, sul fianco est, presentano una spaziatura centimetrica.

La persistente frattura  $150/90^\circ$ , che da origine alla lama staccata dalla parete, oltre ad essere un elemento caratterizzante del pilastro, risulta anche un elemento strutturale ben evidente sia del settore di parete interessato (Figura 20) sia dell'interno versante settentrionale del Monte Brione.





**Figura 36 Prospetto frontale pilastro (sx) - Sezione in asse pilastro (dx)**

Le calate in parete effettuate hanno confermato la situazione evidenziata dal rilievo con il drone. Il pilastro è staccato dalla parete retrostante con una distanza variabile da 0.8 metri, all'intersezione con il giunto 070/85°, a 2.40 metri, lungo il fianco aperto del pilastro. Il grado di apertura del giunto 070/85° e lo stato di decompressione dell'ammasso roccioso alla base del pilastro evidenziano una leggera rotazione del pilastro verso nord-est. L'apertura variabile del giunto 070/85° infatti diminuisce procedendo dalla sommità del pilastro verso la base dello stesso e lo stato di fratturazione e decompressione del pilastro è particolarmente evidente alla base nord-est del pilastro stesso (Figura 37 e Figura 38).



**Figura 37 Pilastro visto dall'alto (sx) e dal basso (dx)**





**Figura 38 Ammasso roccioso alla base del pilastro**

La struttura pervasiva  $150/90^\circ$ , che evolve in lama staccata dalla parete ed isola nettamente il pilastro dall'ammasso roccioso retrostante, è continua e persistente nel settore medio alto della parete e manifesta una apertura variabile dai 20 agli 80 cm, come evidenziato Figura 39.



**Figura 39 Stato e sviluppo della lama nel settore di parete**

**La situazione descritta è tale che l'Amministrazione del Comune di Arco intende realizzare un intervento per la messa in sicurezza della porzione di versante.**

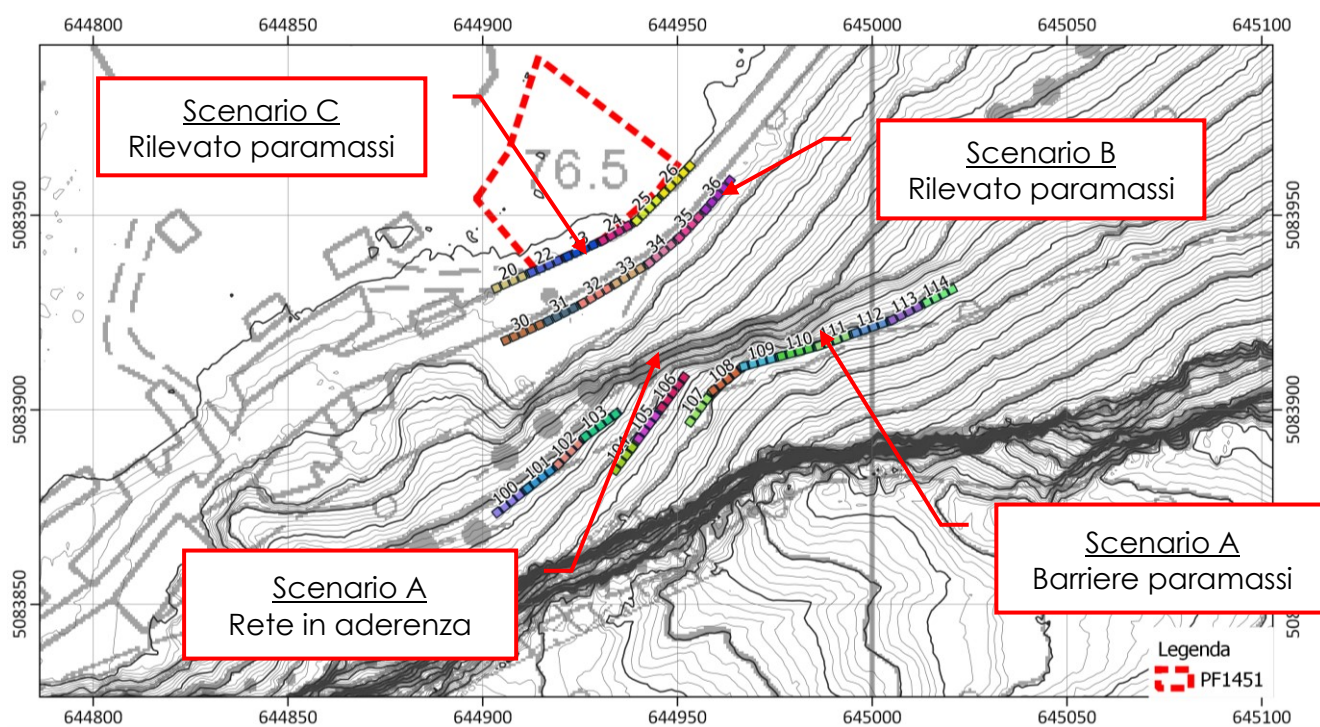


## 2.6 INTERVENTI DI DIFESA PASSIVA A VALLE DELLA PARETE

### 2.6.1 Scenari

La scelta della tipologia di interventi è condizionata dalla loro ubicazione rispetto alla particella in oggetto. Nello specifico, ai fini dell'individuazione degli interventi di difesa e di prevenzione volti alla riduzione o all'eliminazione del rischio, si individuano due modalità di intervento correlabili a tre **scenari** (Figura 40):

- A. **Barriere paramassi** disposte lungo il versante a monte della p.f. 1451 e della strada comunale limitrofa. Data la morfologia del sito le barriere dovranno essere ubicate lungo la cengia sovrastante la strada e dovranno avere lunghezza adeguata ad evitare che le traiettorie di eventuali rimbalzi possano convergere verso l'area di studio. Questa tipologia di intervento consente di difendere sia la strada che la p.f. in oggetto e risulta concorde, seppur con un tracciamento leggermente differente in quanto adattato alla morfologia, con le barriere previste dalla Studio 2015.
- B. **Rilevato paramassi** posto sul lato di monte della strada comunale nella fascia antistante la p.f. 1451. Analogamente allo scenario A l'intervento consente di difendere sia la strada comunale che la p.f. in oggetto, ovviamente per la tratta sottesa dal tomo.
- C. **Rilevato paramassi** posto al limite tra la p.f. 1451 e la strada comunale.



**Figura 40 Scenari**

### 2.6.2 Modalità verifiche di caduta massi

Il fenomeno di caduta massi è un fenomeno complesso di difficile formulazione teorica e pratica conseguente la difficoltà a schematizzare analiticamente l'interazione masso-pendio. Al fine di limitare queste problematiche e meglio adattarsi all'incertezza del fenomeno l'approccio al fenomeno diviene probabilistico e statistico.

Il caso specifico è stato trattato con verifiche di caduta massi tridimensionali, elaborate con Rockyfor3D (v.5.2.14), e bidimensionali con Rocfall (v.8).

Per entrambe le modalità, la base topografica da cui estrarre le dem e sezioni, è il rilievo LiDAR della Provincia Autonoma di Trento; nel primo caso con risoluzione 2x2metri e nel secondo con risoluzione 1 metro.

### 2.6.3 Simulazione di caduta massi 3D - Rockyfor3D

Rockyfor3D simula le traiettorie di caduta massi come dati vettoriali 3D attraverso il calcolo



classico di moti parabolici attraverso l'aria ed il rimbalzo lungo la superficie topografica e se richiesto contro gli alberi. Il rotolamento è rappresentato da sequenze di rimbalzi molto vicini, mentre lo scivolamento di blocchi non è modellato.

#### I dati di ingresso

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

- **dem.asc**: raster del modello digitale che descrive la morfologia del terreno;
- **rockdensity.asc**: raster che riporta la densità dell'ammasso roccioso in corrispondenza della cella/celle sorgente che nello specifico è pari a 2500 kg/m<sup>3</sup>;
- **d1.asc d2.asc d3.asc**: raster che riporta, sempre in corrispondenza della cella sorgente, le dimensioni del blocco:
  - d1: 1.7 m – d2: 1.4 m – d3: 1.2 m
  - Vol. min 0.9 m<sup>3</sup> - Vol. medio 1.5 m<sup>3</sup> - Vol. Max. 2.2 m<sup>3</sup>
- **blshape.asc**: raster che definisce la forma del blocco e nello specifico a elissoide.
- **rg70.asc rg20.asc rg10.asc**: raster che definiscono la rugosità della superficie topografica. Il pendio viene suddiviso in poligoni omogenei, dove ciascun poligono rappresenta la rugosità della superficie, espressa in termini di dimensioni del materiale che ricopre la superficie stessa dedotte guardando il versante dall'alto verso il basso, e rappresentata da 3 classi di probabilità di dimensioni del materiale indicate rg70, rg20 e rg10. Ciascuna classe è rappresentata da un raster che corrisponde all'altezza di un ostacolo rappresentativo (MOH) in metri che un masso può incontrare, rispettivamente nel 70%, 20% e 10% dei casi, nella fase di rimbalzo all'interno del poligono identificato.
- **Soiltype.asc**: raster che rappresenta l'elasticità del sottosuolo. È possibile scegliere tra le seguenti 8 tipologie di suolo che sono direttamente collegate a specifici valori di R<sub>n</sub> (Tabella 3 Tipi di suolo da Rockyfor3D e relativi valori di R<sub>n</sub>) (Figura 41).

**Tabella 3 Tipi di suolo da Rockyfor3D e relativi valori di R<sub>n</sub>**

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

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

- **numero di simulazioni**: rappresenta il numero di massi lanciati da ciascuna cella sorgente: 100;
- **variazione percentuale del volume del masso**: ±50%.
- **altezza di caduta iniziale**: nello specifico si è scelto un valore di 0,0 metri.

La risoluzione scelta è pari a 2 metri, come suggeriscono gli stessi sviluppatori del codice di calcolo.

I raster di output creati da Rockyfor3D sono:

- **Nr\_passages.asc**: numero di blocchi passati in ogni cella (Figura 42);
- **E\_95.asc**: 95 percentile di energia cinetica registrato in ogni cella (Figura 43);
- **Ph\_95.asc**: 95 percentile delle altezze di rimbalzo registrato in ogni cella (Figura 44);

- **Reach\_probability.asc:** mappa che mostra se è probabile (valori più elevati nella mappa) o improbabile (valori più bassi nella mappa ma sempre maggiori di zero) che un masso arrivi in una data cella. In ogni cella è rappresentato in % il seguente valore:  $(Nr\_passages * 100) / (Nr\_simulations\_per\_source\_cell * Nr\_sourcecells)$  [%] (Figura 46);
- **Nr\_deposited.asc:** numero di blocchi fermati in ogni cella (Figura 46).

#### Risultati ottenuti

Le elaborazioni sono riportate per esteso nell'Allegato A, dov'è rappresentata l'intensità e la distribuzione del fenomeno per i 3 scenari individuati. A ciascun intervento di difesa passiva previsto corrisponde un sezione di controllo numerata (scr\_nr in Tabella 4) della lunghezza di 10 metri che permette di acquisire le informazioni utili a valutare intensità e distribuzione del fenomeno.

I risultati ottenuti per ciascuno scenario sono di seguito descritti:

#### Scenario A - Sezioni di controllo dalla 100 alla 114 (rettangolo blu)

Le sezioni di controllo sono rappresentative delle n°3 linee di barriere paramassi che si rendono necessarie come intervento di difesa dell'area in oggetto. Le simulazioni evidenziano energie cinetiche di poco superiori a 1300 kJ, con altezze di rimbalzo talora anche accentuate (5.9 metri nella sezione di controllo 110).

#### Scenario B - Sezioni di controllo dalla 31 alla 36 (rettangolo verde)

Le sezioni di controllo dalla 31 alla 36 sono rappresentative del rilevato paramassi disposto al a monte della strada comunale. I risultati evidenziano energie cinetiche che localmente raggiungono 1400 kJ con altezze di rimbalzo massime di 1.4 metri.

#### Scenario C - Sezioni di controllo dalla 20 alla 26 (rettangolo verde)

Le sezioni di controllo dalla 22 alla 26 sono rappresentative del rilevato paramassi disposto al confine tra strada comunale e p.f. 1451. I risultati evidenziano energie cinetiche attorno ai 1100 kJ con altezze di rimbalzo comprese localmente superiori a 2 metri ma il cui valore è fortemente condizionato dalla scarpata in fianco alla strada. Nelle sezioni bidimensionali si andrà a considerare l'entità del rimbalzo a fini progettuali.

I risultati sono indicativi in quanto la discretizzazione della maglia di base 2x2metri (valore ottimale di utilizzo del codice di calcolo) e la morfologia del sito non consentono di avere dei risultati con valenza progettuale.

Le verifiche progettuali sono effettuate attraverso le verifiche bidimensionali estratte dalle traiettorie più critiche e sono esposte nell'Allegato B.

**Tabella 4 Risultati elaborazioni 3D con Rockyfor3D lungo le sezioni di controllo**

	scr_nr	n	E_50	E_90	E_95	E_98	Ph_50	Ph_90	Ph_95	Ph_98	V_50	V_95	Vrot_50	Vrot_95	Imp_a50	Imp_a95
<b>C</b>	20	796	117.4	386.4	497.4	770.4	0.8	0.9	1	1.4	6	13.1	7.3	13.3	-15.4	-9.4
	22	609	164.1	519.1	623.1	780.1	0.8	0.9	1	1.5	6.7	13.7	7.9	15.9	-12.1	-6.1
	23	937	223.2	622.2	743.2	947.2	0.8	0.9	0.9	1	8.2	13.8	9.9	16.9	-12	-6
	24	1100	338	706	848	1052	0.9	1.4	1.5	1.8	10.1	14.4	12.8	18.8	-14.5	-8.5
	25	968	313.8	708.8	892.8	1116.8	1.1	1.5	1.6	1.8	10	14.8	11.8	18.8	-16.2	-5.2
	26	1590	232.8	619.8	758.8	886.8	1	1.7	1.8	2.3	9.4	15.2	6.8	17.8	-21.6	-4.6
<b>B</b>	30	2375	176.4	446.4	550.4	734.4	0.8	1.4	1.7	2.1	7.5	13.8	3.9	13.9	-9.1	1.9
	31	1492	243.2	636.2	747.2	937.2	0.8	1	1.2	1.4	8.7	13.6	8.4	18.4	-5	1
	32	1128	321.3	673.3	845.3	967.3	0.8	0.9	0.9	1	9.5	13.7	12	19	-5.9	-2.9
	33	694	401.2	773.2	910.2	1049.2	0.8	1.1	1.2	1.3	11.1	14.4	14.1	20.1	-7.7	0.3
	34	875	403	794	962	1233	0.8	0.9	1	1	10.4	14.5	14.8	20.8	-9.8	-2.8
	35	1246	409.3	860.3	1071.3	1309.3	0.8	0.9	1	1.2	10.7	15.9	14.3	20.3	-24.5	-13.5
<b>A</b>	36	2193	389.8	921.8	1119.8	1372.8	0.8	0.9	1	1.3	10.4	16.5	13.1	21.1	-29.1	-19.1
	100	2396	294.6	693.6	855.6	1041.6	0.8	1	1.1	1.3	9.6	15.4	11.7	18.7	-36.7	-28.7
	101	2750	393.1	824.1	979.1	1158.1	0.8	1.2	1.3	1.7	11.3	17.8	13.6	19.6	-41.4	-32.4
	102	2948	462	954	1115	1348	0.8	1.3	1.6	2.2	12.7	19.2	14.7	20.7	-43.7	-35.7
	103	3533	420.9	923.9	1089.9	1297.9	0.9	1.3	1.6	2	11.8	17.8	13.7	20.7	-45.3	-37.3
	104	3079	426.3	819.3	961.3	1107.3	0.9	1.9	2.2	2.5	12.5	16.4	13.6	19.6	-41.5	-31.5
	105	2573	420.5	843.5	1007.5	1168.5	0.9	1.4	1.9	2.6	11.9	17.3	13.6	19.6	-43.7	-33.7
	106	1605	458.2	812.2	935.2	1108.2	1.1	3.2	3.9	4.5	13.3	16.5	13.2	19.2	-44	-32
	107	1672	406.4	800.4	944.4	1132.4	0.8	1	1.2	1.5	10.8	16.9	13.7	19.7	-29.1	-13.1
	108	1096	329.1	719.1	841.1	1008.1	0.8	1	1.2	1.3	10.3	14.8	12.9	18.9	-36.4	-28.4
	109	518	350.7	738.7	861.7	1075.7	0.9	1.5	1.8	2.3	10.9	16.3	12.6	18.6	-39.9	-30.9
	110	2098	386.1	751.1	889.1	1083.1	2.3	4.3	5.2	5.9	11.9	16.9	13.1	18.1	-43.8	-25.8
	111	970	351.6	712.6	884.6	1072.6	0.9	1.6	1.8	2	11.3	16.4	13.1	19.1	-45.6	-29.6
	112	3215	347.7	807.7	952.7	1144.7	0.8	1	1.2	1.3	10.8	16	12.5	19.5	-43.9	-35.9
	113	2532	344.5	796.5	956.5	1161.5	0.8	1.2	1.4	1.7	10.8	16.3	12.5	19.5	-44.5	-35.5
	114	704	410.7	943.7	1079.7	1328.7	0.9	1.2	1.4	1.8	11.7	18.2	13.7	20.7	-44.3	-34.3

#### 2.6.4 Simulazioni di caduta massi 2d - Rocfall

Considerata la morfologia del sito si sono individuate delle traiettorie di caduta massi che permettessero di verificare l'efficacia degli interventi individuati.

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

I parametri di ingresso utilizzati sono:

- Zona di partenza dei blocchi: sorgente lineare lungo il ciglio sommitale.
- Peso: 3900 kg÷50%.
- Forma:
- Coefficienti di restituzione e rugosità: i valori utilizzati sono riportati nella Tabella 5.

**Tabella 5 Coefficienti di restituzione**

Descrizione (colore riportato nella sezione)	kn		kt	
	media	dev	media	dev
<b>Roccia intatta con blocchi isolati</b>	0,4	0,03	0,9	0,02
<b>Roccia con detrito</b>	0,35	0,03	0,85	0,03
<b>Detrito grossolano poco vegetato</b>	0,31	0,03	0,84	0,03
<b>Detrito fine poco vegetato</b>	0,30	0,02	0,80	0,02

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

#### I risultati

Le elaborazioni per ciascuna sezione sono riportate per esteso nell'Allegato B e comprendono:

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

- L'involuppo dell'energia cinetica in corrispondenza della barriera paramassi (quando vi sono due barriere sovrapposte è riportata quella di valle) e del rilevato paramassi sia a monte che a valle della strada.
- L'involuppo dell'altezza di rimbalzo in corrispondenza della barriera paramassi (quando vi sono due barriere sovrapposte è riportata quella di valle) e del rilevato paramassi sia a monte che a valle della strada.

Nella Tabella 6 sono sintetizzati i risultati ottenuti in ciascuna sezione oggetto di simulazione a cui viene aggiunto il valore di riferimento da utilizzarsi nel dimensionamento e il valore del dimensionamento preliminare, in termini di energia cinetica in kJ e altezza dell'opera in metri, seguendo quanto previsto dalla norma UNI 11211-4.

**Tabella 6 Sintesi risultati ottenuti con le simulazioni e valore di riferimento da utilizzarsi in fase progettuale**

Sezione	Barriera paramassi				Rilevato monte strada				Rilevato valle strada			
	Ec <sub>95</sub>	Ec <sub>max</sub>	H <sub>95</sub>	H <sub>max</sub>	Ec <sub>95</sub>	Ec <sub>max</sub>	H <sub>95</sub>	H <sub>max</sub>	Ec <sub>95</sub>	Ec <sub>max</sub>	H <sub>95</sub>	H <sub>max</sub>
	kJ	kJ	m	m	kJ	kJ	m	m	kJ	kJ	m	m
<b>1</b>	1 145	1 546	3.19	4.54	546	2 810	0.64	5.89	267	462	0.10	0.14
<b>2</b>	758	1 533	1.88	3.05	831	2 726	2.36	6.67	538	836	1.43	1.96
<b>3</b>	1 161	1 848	3.45	4.92	818	3 270	0.84	6.44	559	989	0.90	1.37
<b>Valore di riferimento</b>	<b>1 900</b>		<b>5.00</b>		<b>3 300</b>		<b>6.70</b>		<b>1 000</b>		<b>2.00</b>	
<b>Dimensionamento preliminare UNI 11211-4</b>	<b>3 000</b>		<b>6.00</b>		<b>4 400</b>		<b>7.50</b>		<b>1 500</b>		<b>2.80</b>	

### 2.6.5 Opere di messa in sicurezza

Gli effetti degli interventi previsti sulla p.f. 1451 per ciascuno scenario sono riportati nell'allegato C attraverso la rappresentazione della mappa della frequenza (ottenuta effettuando 20 lanci da ciascuna cella sorgente e mantenendo inalterati tutti gli altri dati di input), la mappa della altezza massima di rimbalzo (99 percentile) e la mappa della velocità massima. Dalla Figura 48 alla Figura 50 si riportano i risultati per lo scenario A, dalla Figura 54 alla Figura 56 i risultati per lo Scenario B e dalla Figura 60 alla Figura 62 per lo scenario C.

Alcune traiettorie curvilinee che raggiungono la p.f. 1451 lateralmente (soprattutto sul fianco est) sono da considerarsi degli *outlier* ovvero traiettorie anomale che derivano dal fatto che in via preliminare, e del tutto cautelativa, si è tenuto conto del 99 percentile per le altezze di rimbalzo e della velocità massimo invece che i valori al 95° percentile come previsto dalle UNI 112111. Seguendo quanto previsto dalle UNI le opere avrebbero una dimensione più contenuta.

Le simulazioni bidimensionali riportate sempre nell'Allegato C confermano la capacità di contenimento delle opere previste per ciascuno scenario. Dalla Figura 51 alla Figura 53 si riportano i risultati per lo scenario A, dalla Figura 57 alla Figura 59 i risultati per lo Scenario B e dalla Figura 63 alla Figura 65 per lo scenario C.

Alla luce delle simulazioni effettuate, considerando in via preliminare i massimi valori ottenuti (Energia cinetica e altezza di rimbalzo nello specifico) ovvero nella situazione più cautelativa, gli interventi per abbassare il grado di rischio della p.f. 1451, con riferimento a ciascun scenario in via preliminare sono così sintetizzati:

#### Scenario A

- **Barriere paramassi elastiche** di altezza pari a 6 metri con Livello energetico pari a 6 caratterizzato da SEL pari a 1000 kJ e MEL pari a 3000 kJ.
- **Piano di monitoraggio delle opere.**

#### Scenario B

- **Rilevato paramassi** in terra rinforzata con altezza utile pari a 7.5 metri in grado di contenere un'energia cinetica pari a 4400 kJ. Il rilevato sarà costituito da elementi in

rete metallica a doppia torsione plastificata con paramento esterno inclinato circa 80° rispetto all'orizzontale e composto da rete elettrosaldata di irrigidimento accoppiata con biostuoia. In sede di progettazione definitiva/esecutiva la tipologia potrà variare.

- **Piano di monitoraggio delle opere.**

### **Scenario C**

- **Rilevato paramassi** in terra rinforzata con altezza utile pari a 2.8 metri in grado di contenere un'energia cinetica pari a 1500 kJ. Il rilevato sarà costituito da elementi in rete metallica a doppia torsione plastificata con paramento esterno inclinato circa 80° rispetto all'orizzontale e composto da rete elettrosaldata di irrigidimento accoppiata con biostuoia. In sede di progettazione definitiva/esecutiva la tipologia potrà variare.
- **Piano di monitoraggio delle opere.**

## **2.7 CRONOPROGRAMMA**

Gli interventi di difesa previsti, in tutti gli scenari previsti, sono propedeutici alla realizzazione dell'intervento edilizio previsto nella p.f. 1451 e pertanto le lavorazioni edili all'interno della particella potranno avvenire solo a seguito di certificato di regolare esecuzione delle opere di messa in sicurezza.

## **3 CONCLUSIONI**

Lo studio di compatibilità ha dettagliatamente analizzato le condizioni di rischio valutando i caratteri geomeccanici della parete, individuando la tipologia di fenomeno presente e valutandone il suo effetto attraverso la definizione del volume di progetto da utilizzarsi nelle verifiche di caduta massi.

In base a tali indicazioni e sulla base dei risultati emersi dalle simulazioni di caduta massi effettuate si ritiene che la variante urbanistica prevista all'interno della p.f. 1451 sia compatibile con la situazione geologica e geomeccanica purché sia realizzato:

- l'intervento di messa in sicurezza del pilastro aggettante ;
- le opere di messa in sicurezza previste in uno dei 3 scenari proposti e di seguito sintetizzati:

#### Scenario A:

- Barriere paramassi elastiche sul versante a monte della strada;
- Reti in aderenza rinforzate con reticolo di funi sulla parete in fianco alla strada.

#### Scenario B

- Rilevato paramassi sul lato di monte della strada comunale;

#### Scenario C

- Rilevato paramassi sul confine di proprietà in fianco alla strada comunale;

**A realizzazione avvenuta delle opere è possibile attestare per l'area compresa dalla p.f. 1451 un grado di rischio medio "R2".**

Riva del Garda, aprile 2020



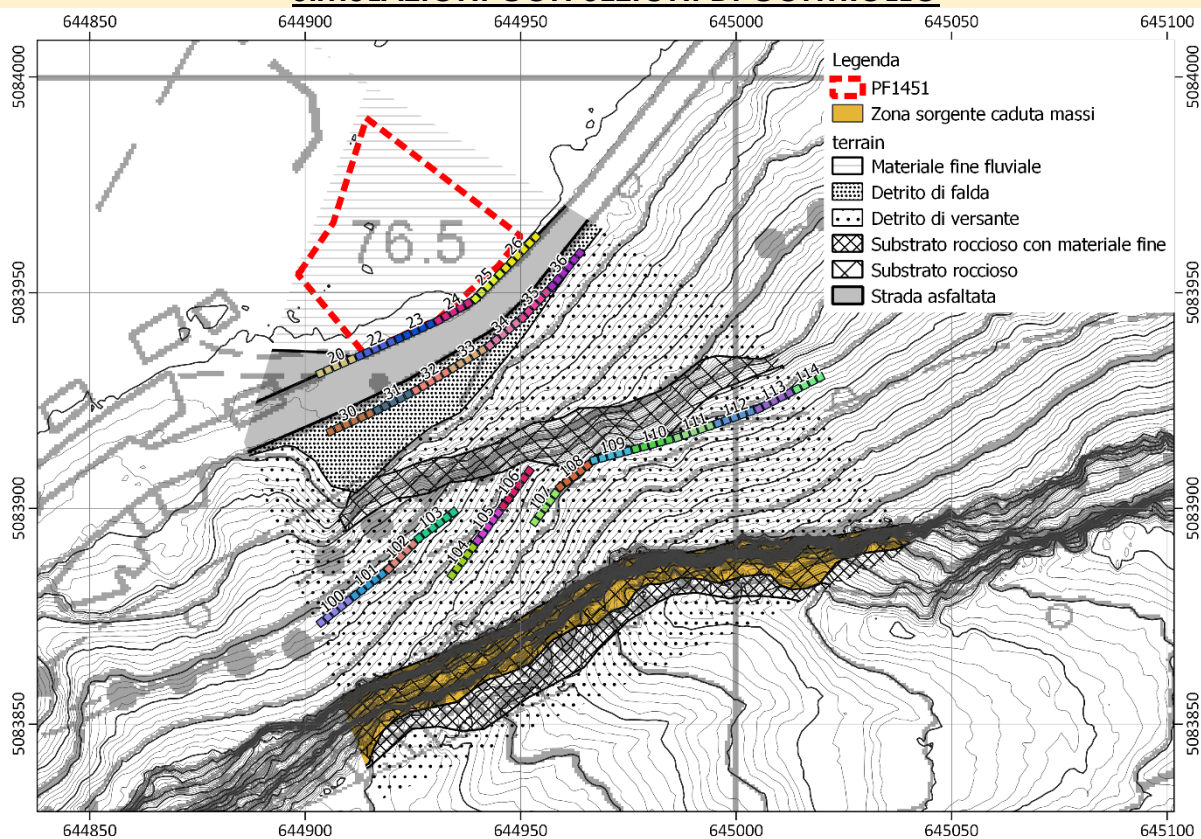
dott. geol. Germano Lorenzi

## **ALLEGATO A**

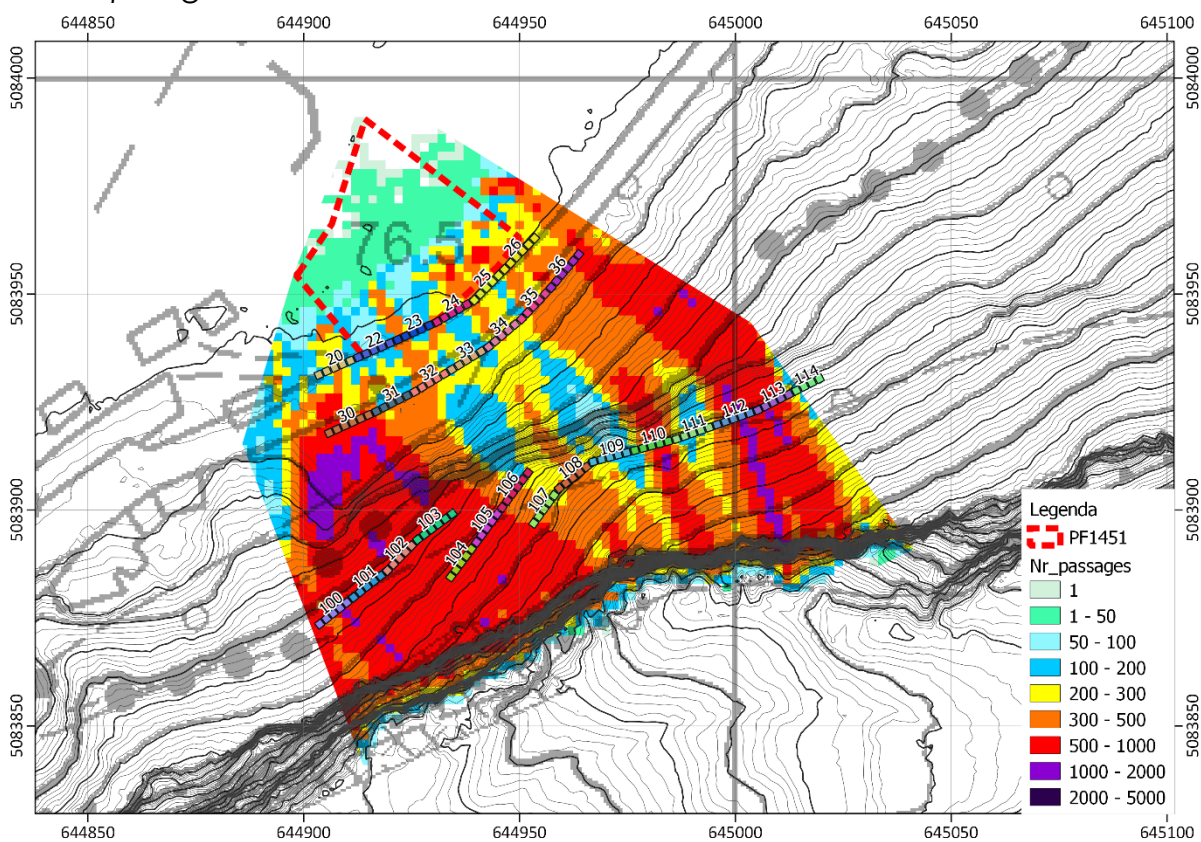
### **SIMULAZIONI DI CADUTA MASSI 3D**



### SIMULAZIONI CON SEZIONI DI CONTROLLO

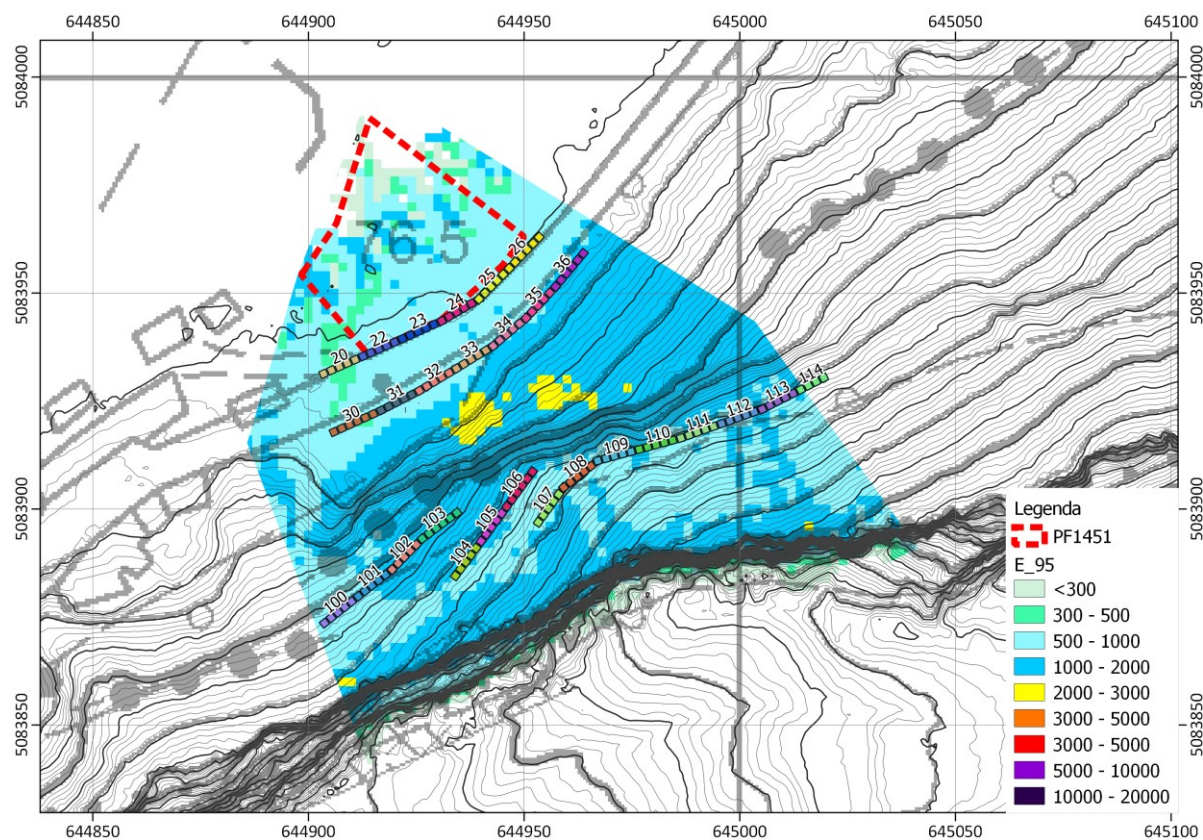


**Figura 41** Tipologia di suoli utilizzati nelle simulazioni

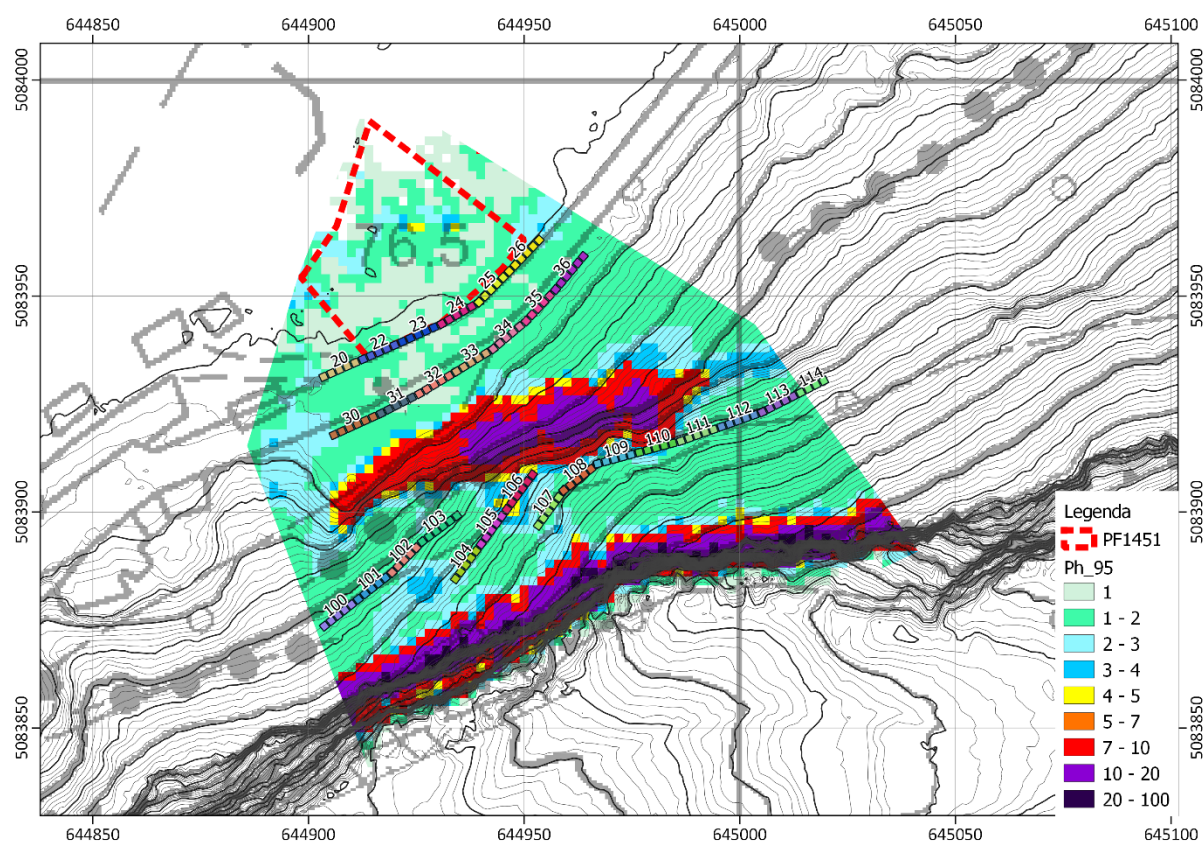


**Figura 42** N° passaggi per cella



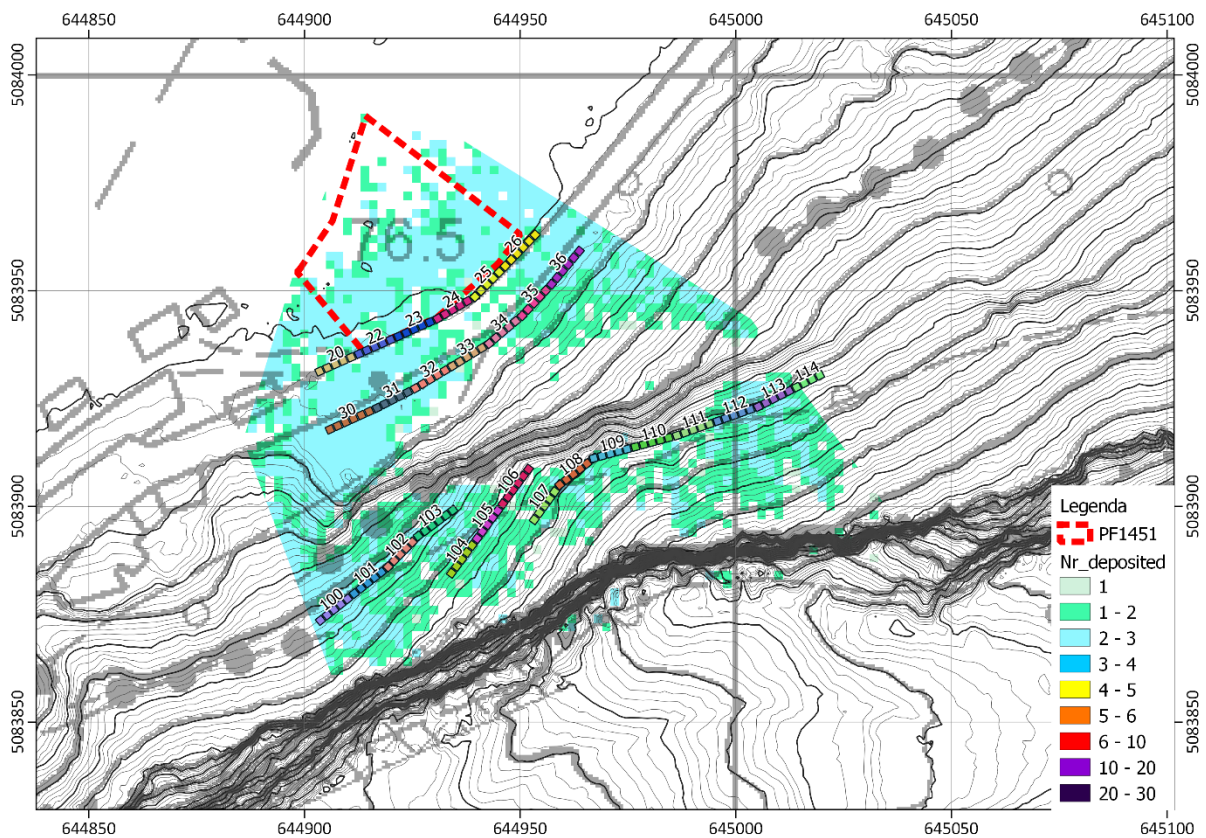


**Figura 43** Energia Cinetica 95 percentile

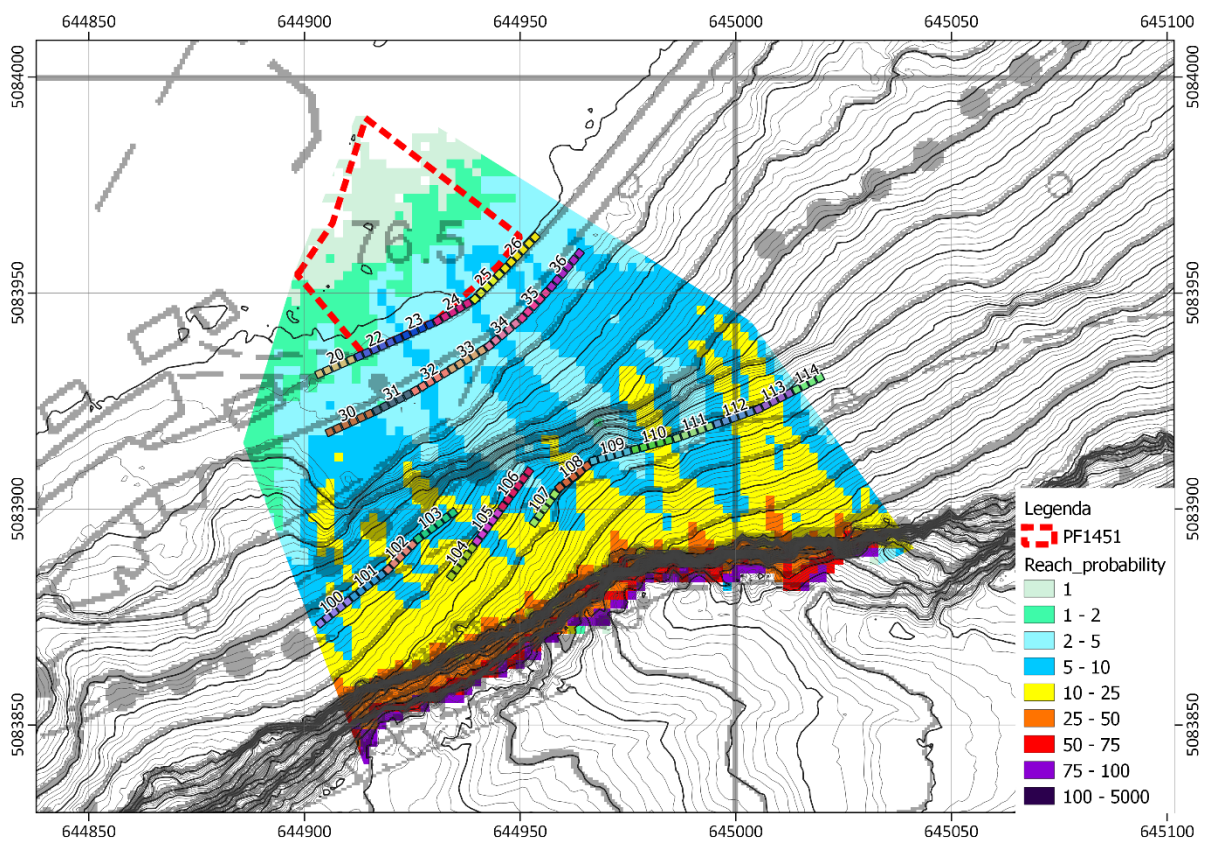


**Figura 44** Altezze rimbalzo 95 percentile





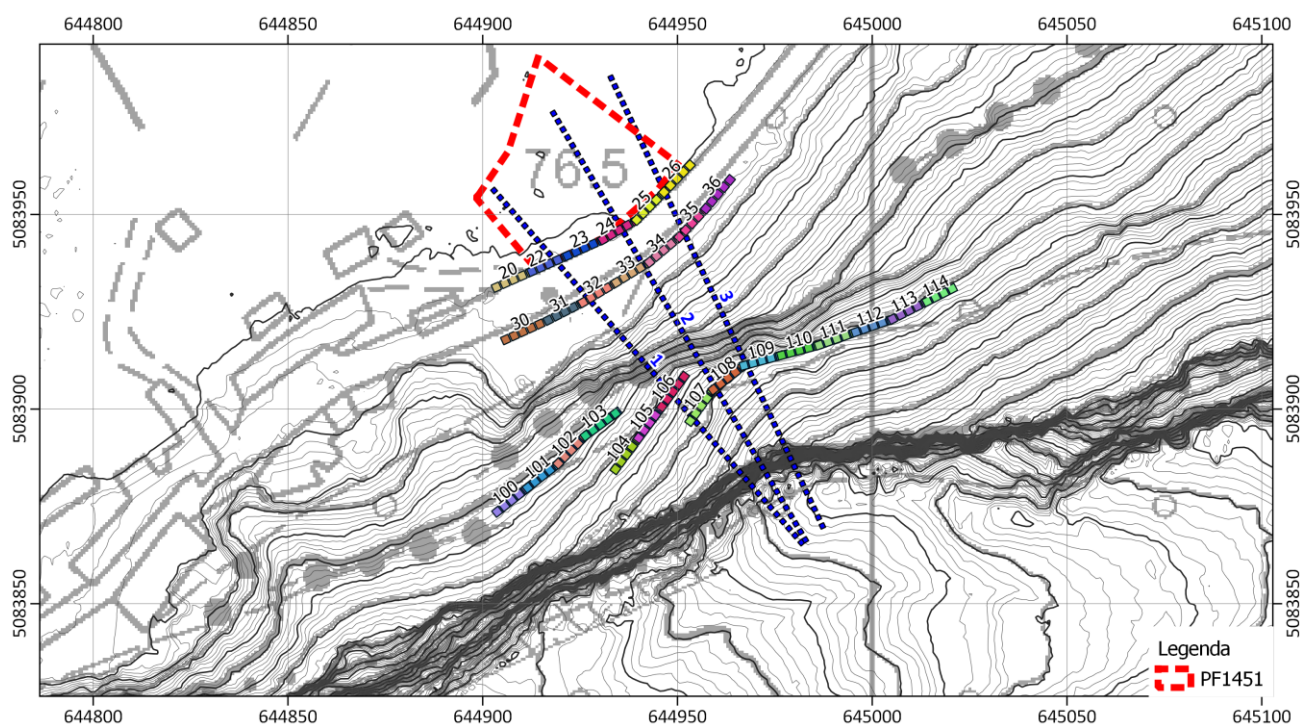
**Figura 45** N° massi arrestati



**Figura 46** Reach probability

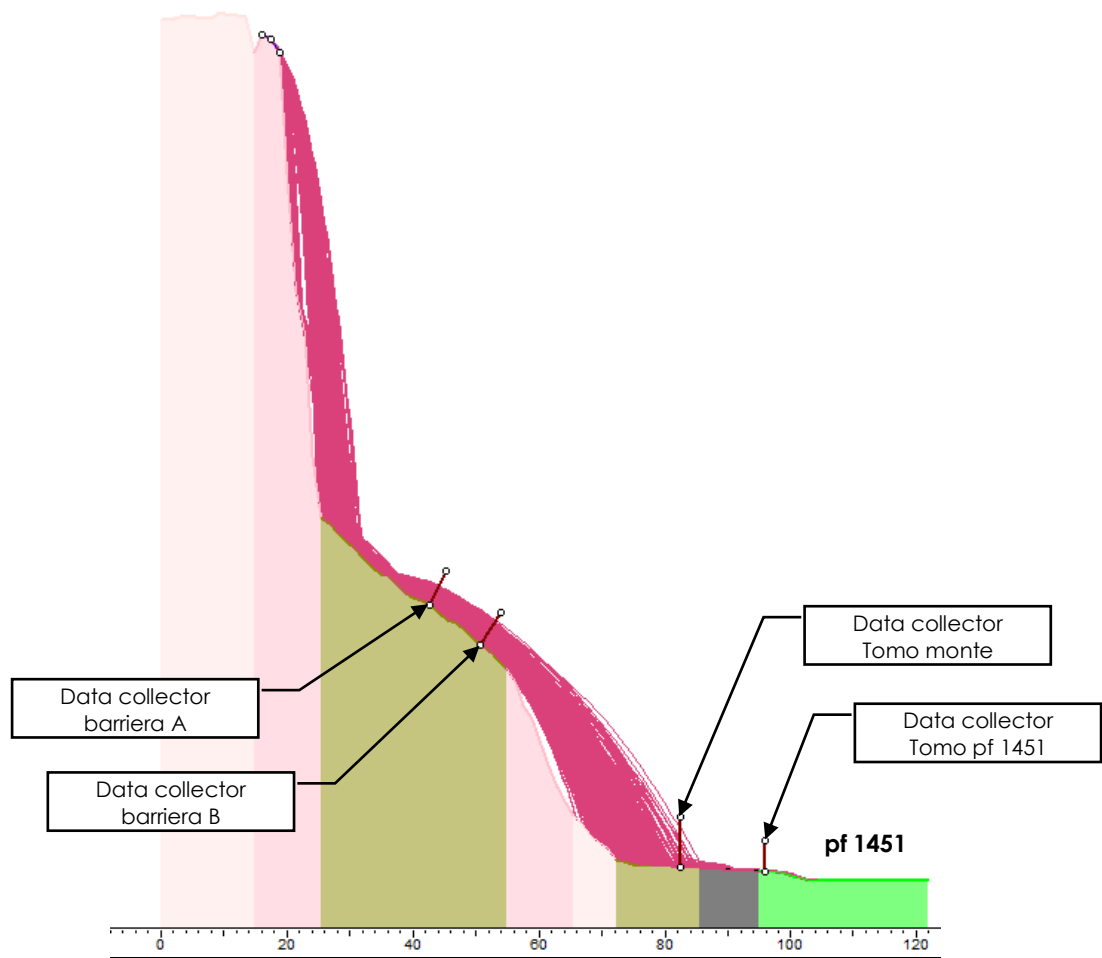
## **ALLEGATO B**

### **SIMULAZIONI DI CADUTA MASSI 2D**

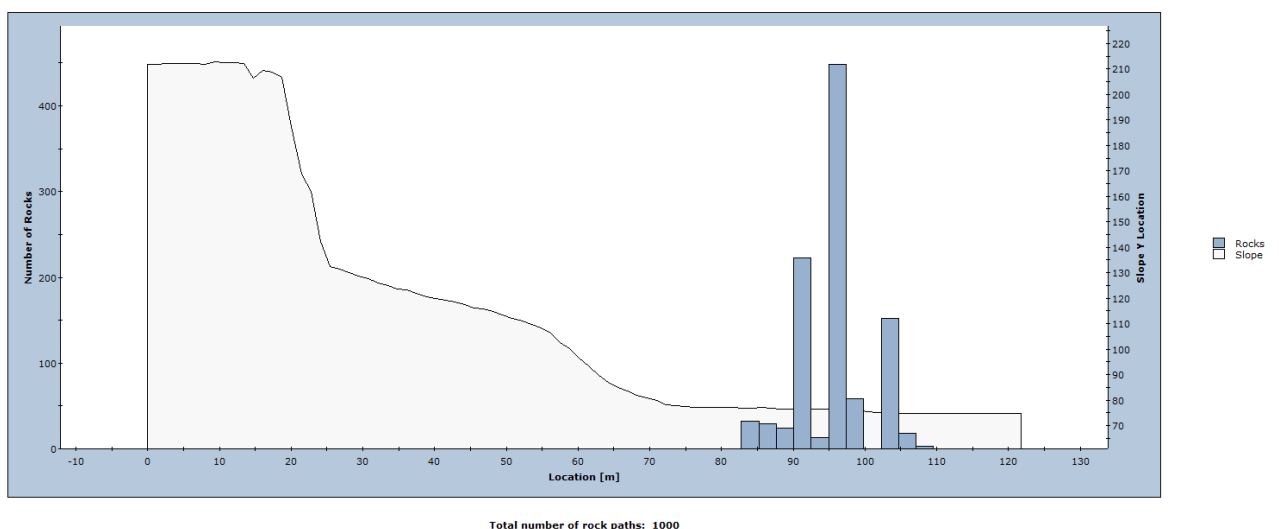


**Figura 47** UBICAZIONE SEZIONI DI CADUTA MASSI

## Sezione 1



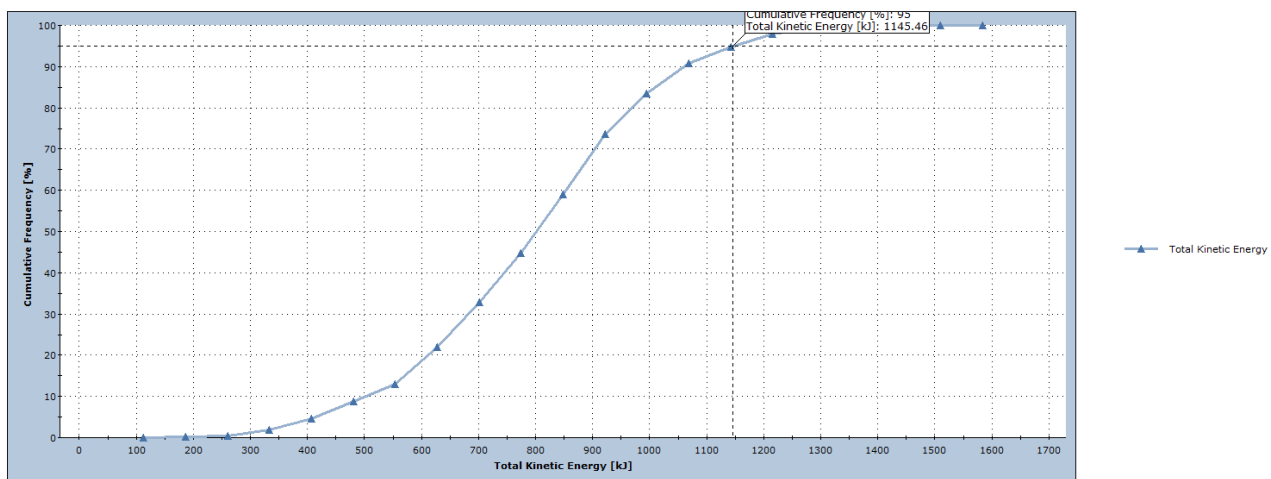
Distribution of Rock Path End Locations



Total number of rock paths: 1000

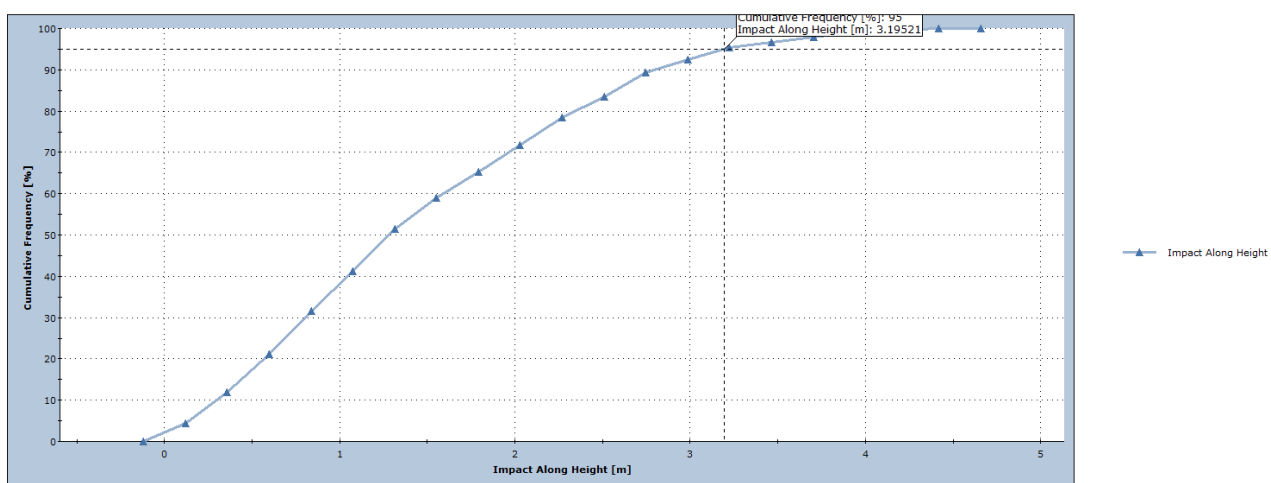


Total Kinetic Energy on Barriera B



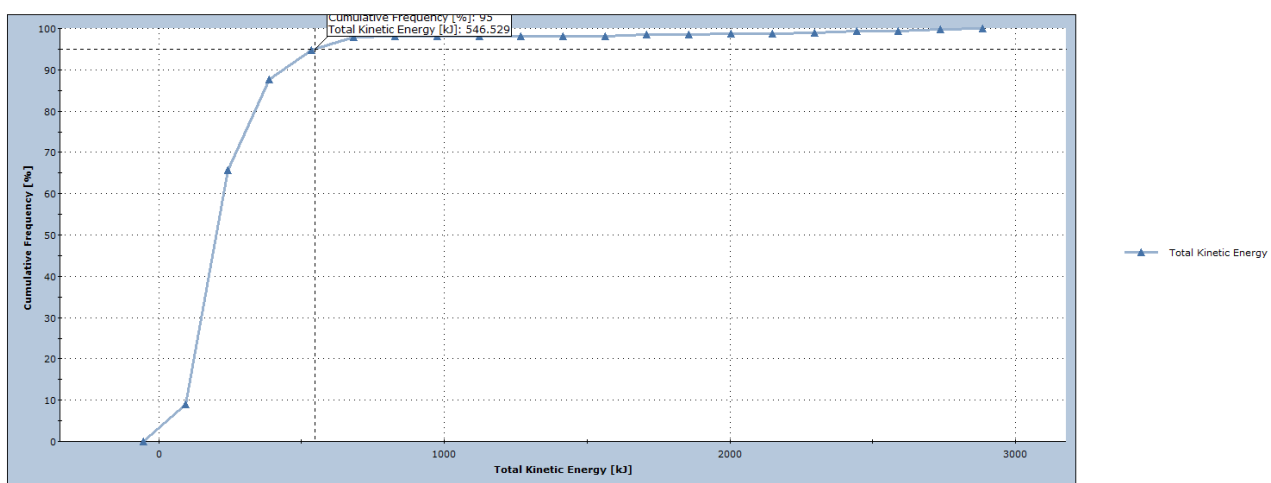
Total number of rocks on Barriera B: 994  
Total Kinetic Energy: min = 149.846, max = 1546.59

Impact Along Height on Barriera B



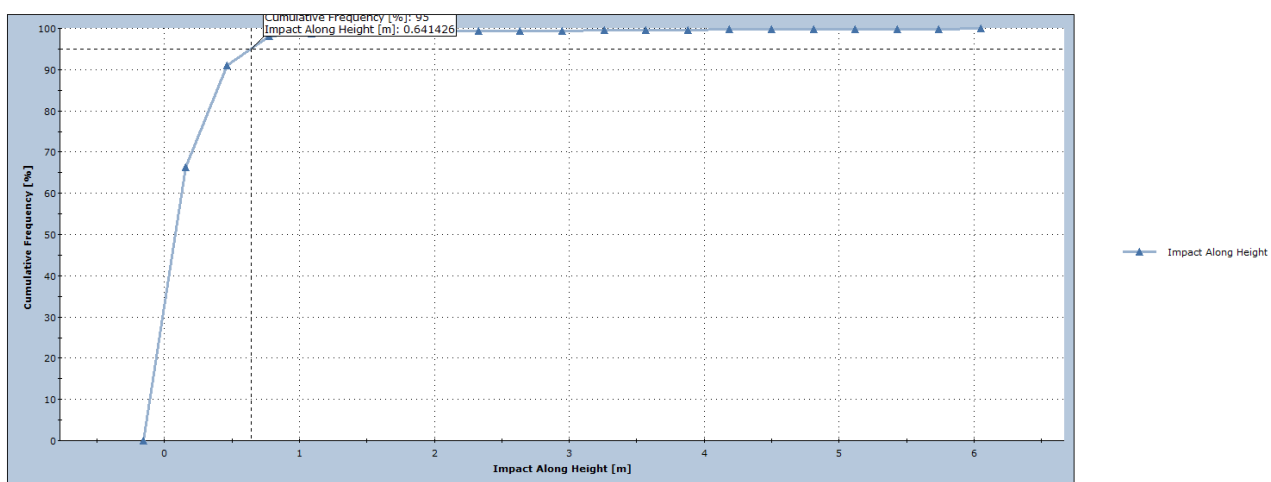
Total number of rocks on Barriera B: 994  
Impact Along Height: min = 0.00116534, max = 4.53937

Total Kinetic Energy on Tomo monte



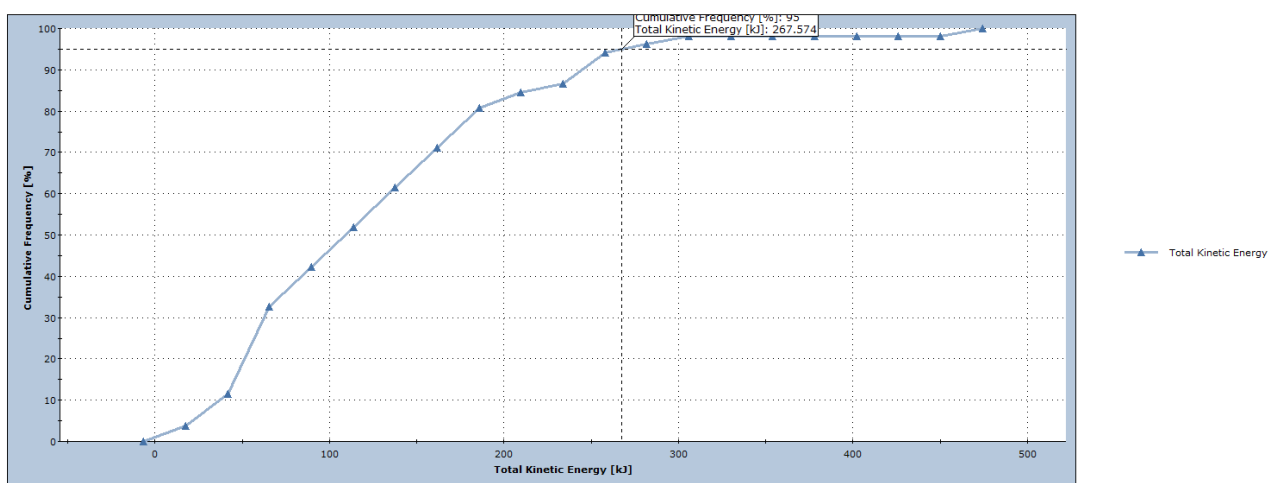
Total number of rocks on Tomo monte: 894  
Total Kinetic Energy: min = 21.0443, max = 2810.46

Impact Along Height on Tomo monte



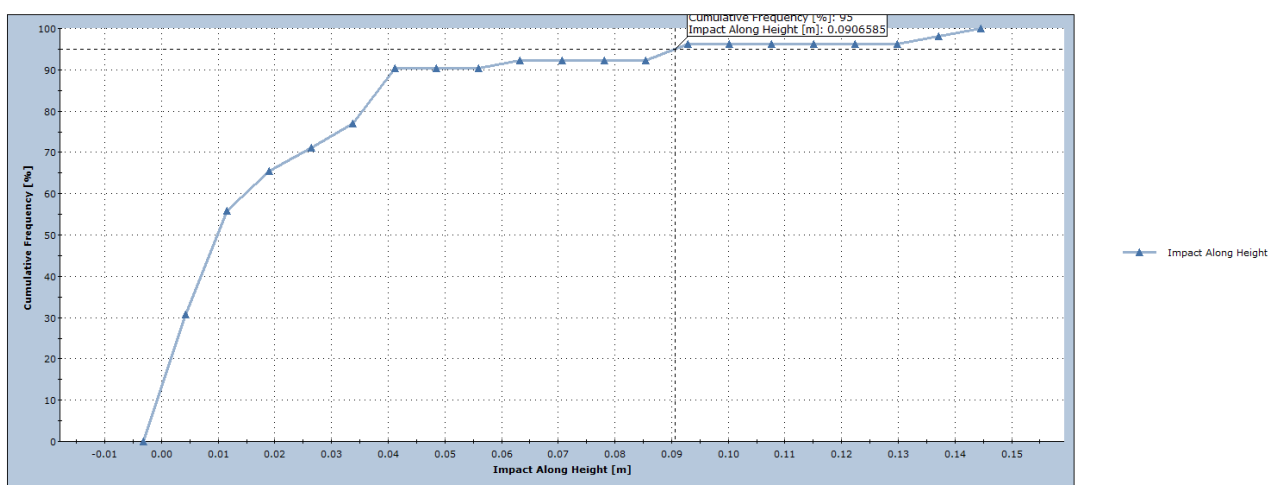
Total number of rocks on Tomo monte: 894  
Impact Along Height: min = 3.30372e-05, max = 5.89522

Total Kinetic Energy on Tomo PF1451



Total number of rocks on Tomo PF1451: 52  
Total Kinetic Energy: min = 5.60618, max = 462.248

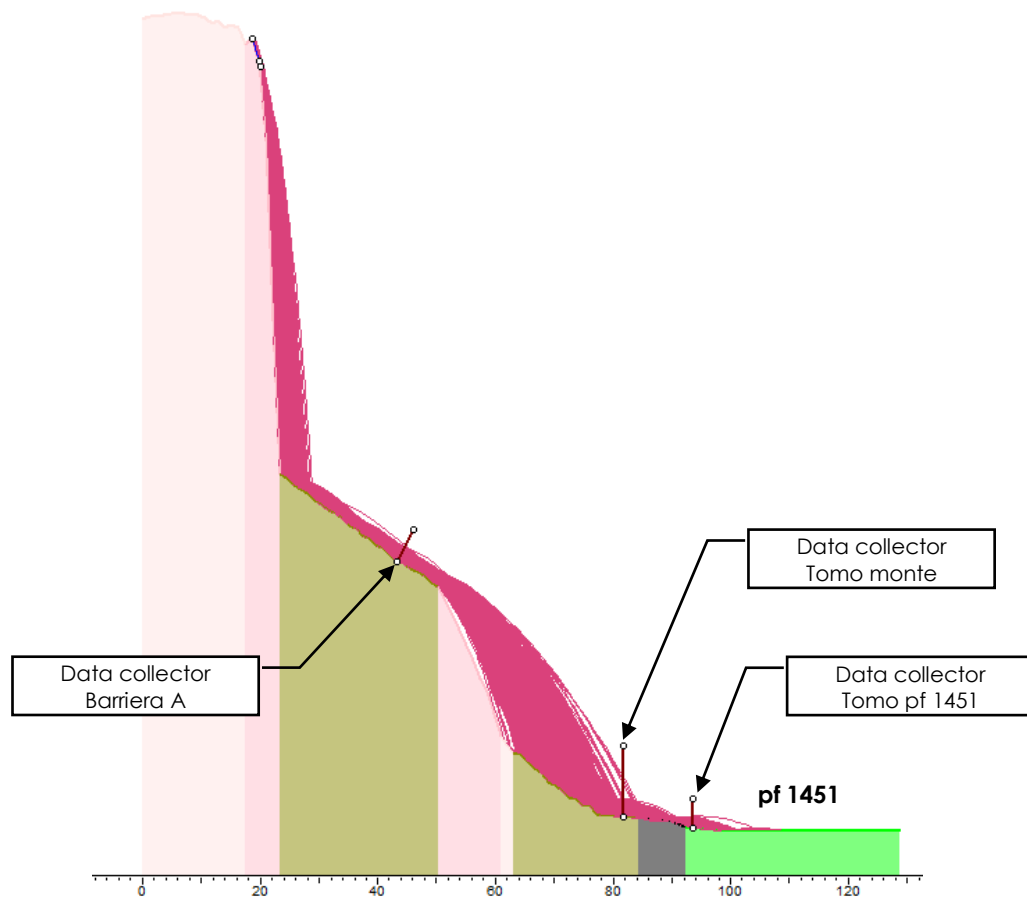
Impact Along Height on Tomo PF1451



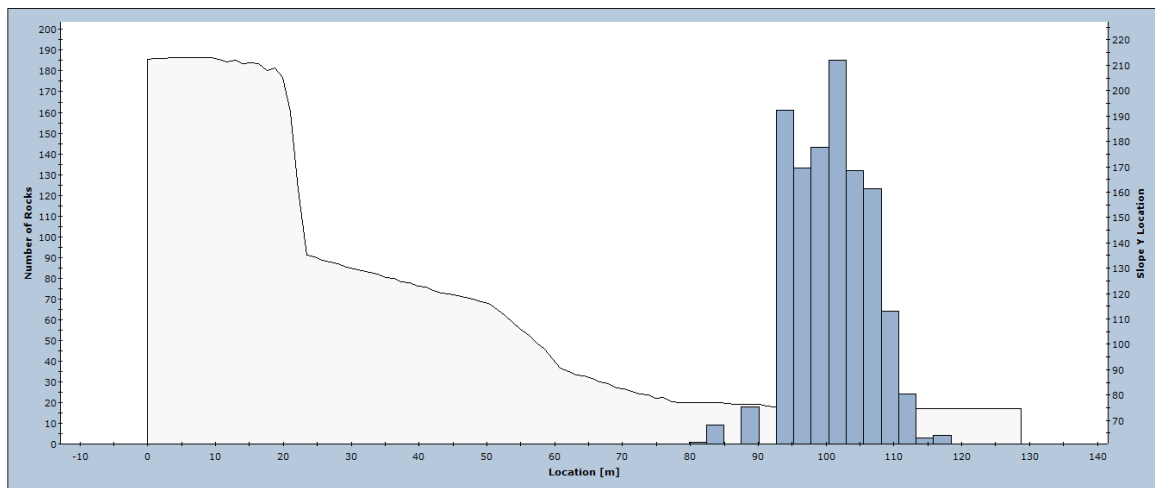
Total number of rocks on Tomo PF1451: 52  
Impact Along Height: min = 0.000547347, max = 0.140884



## Sezione 2

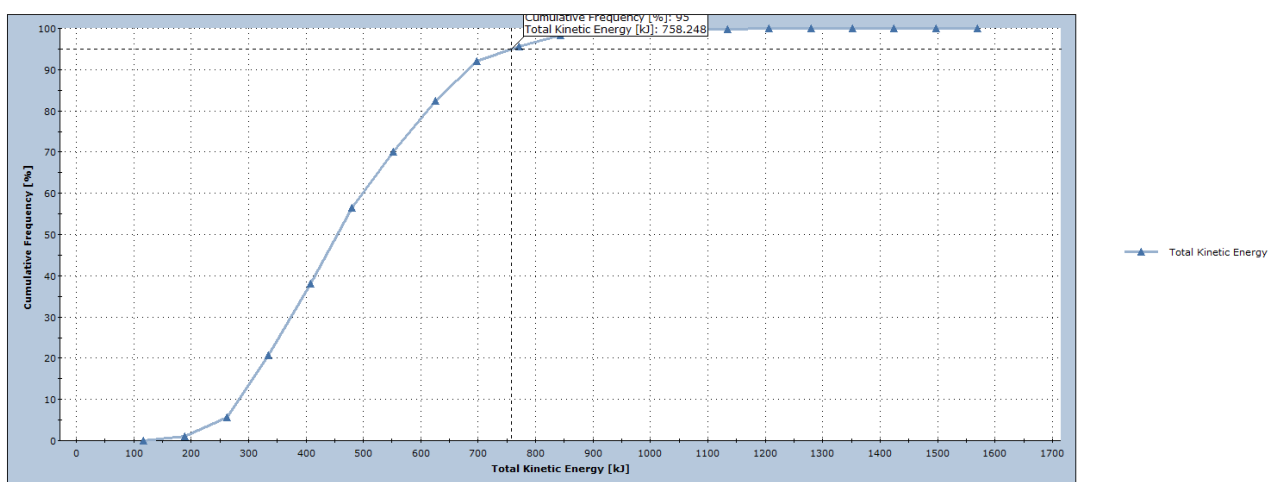


Distribution of Rock Path End Locations



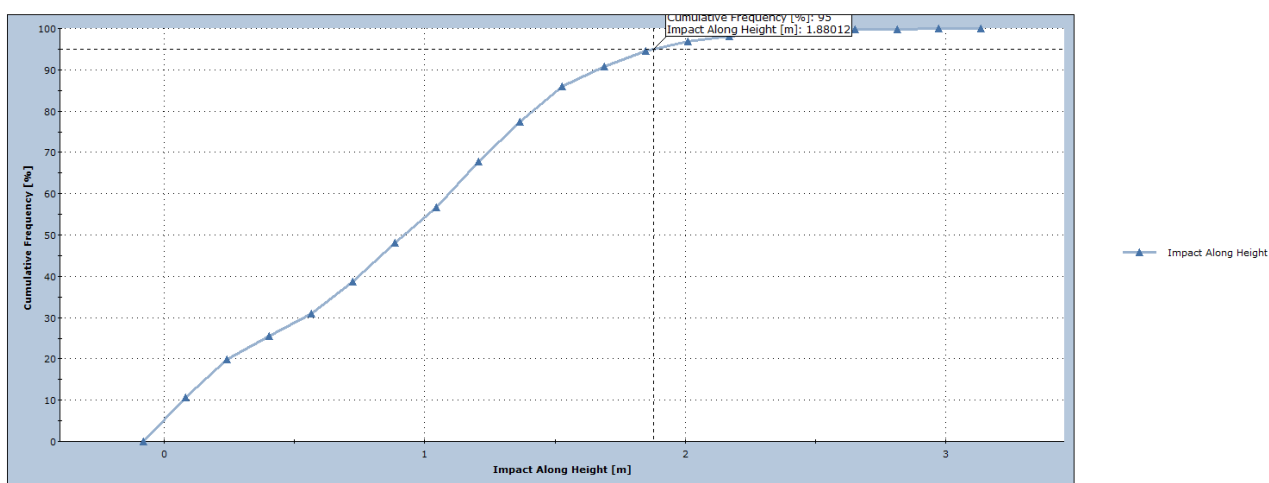
Total number of rock paths: 1000

Total Kinetic Energy on Barriera A



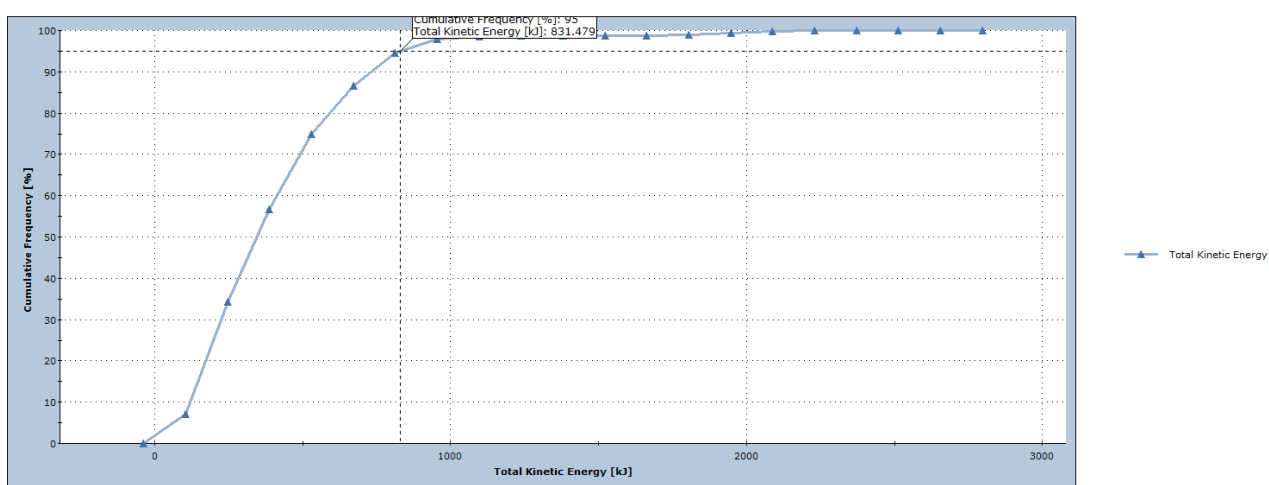
Total number of rocks on Barriera A: 957  
Total Kinetic Energy: min = 153.225, max = 1533.57

Impact Along Height on Barriera A



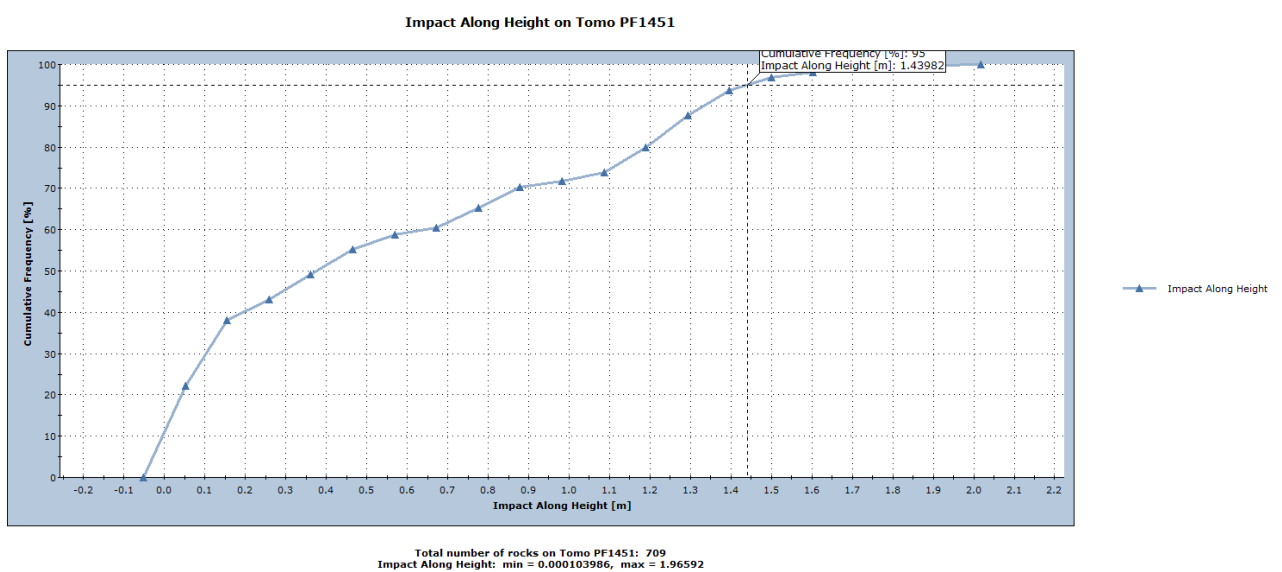
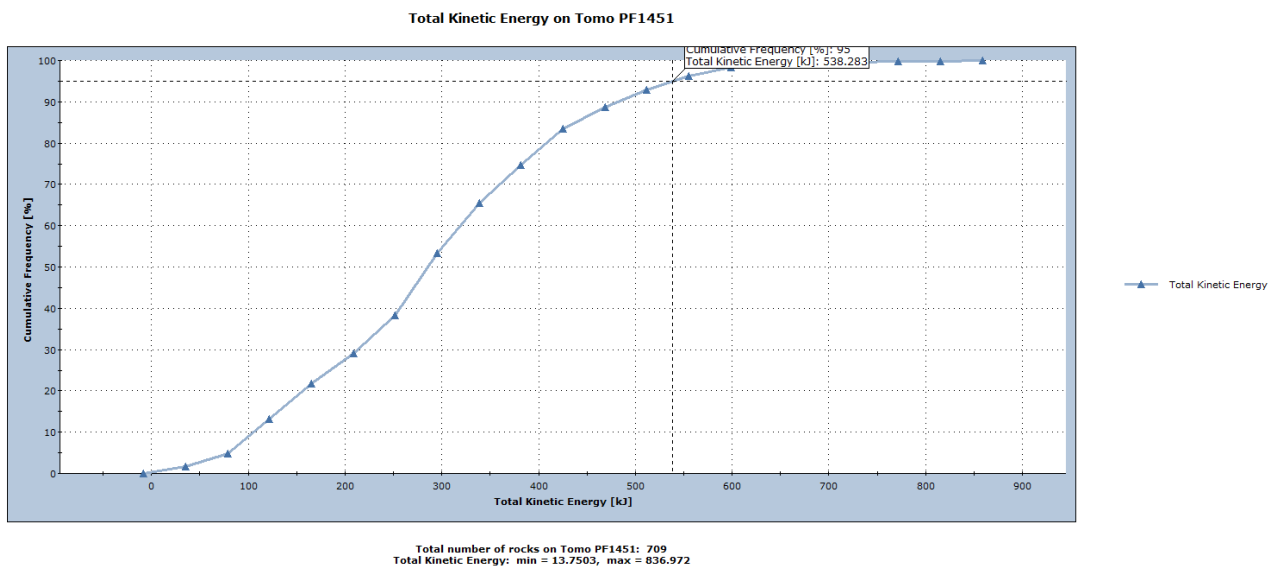
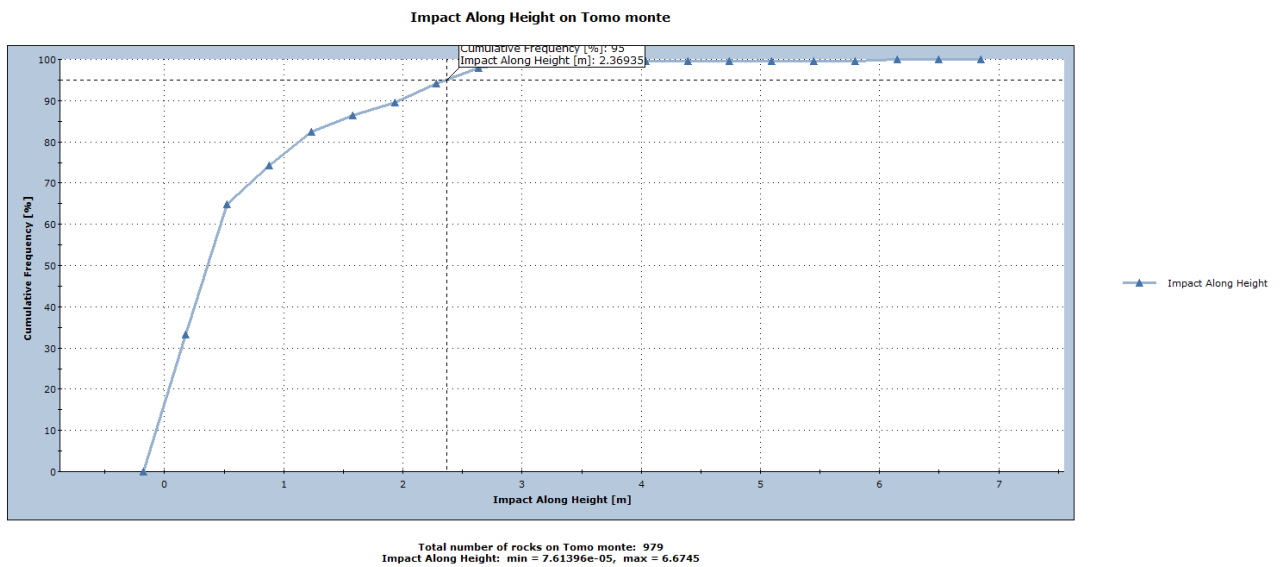
Total number of rocks on Barriera A: 957  
Impact Along Height: min = 0.000294379, max = 3.05597

Total Kinetic Energy on Tomo monte

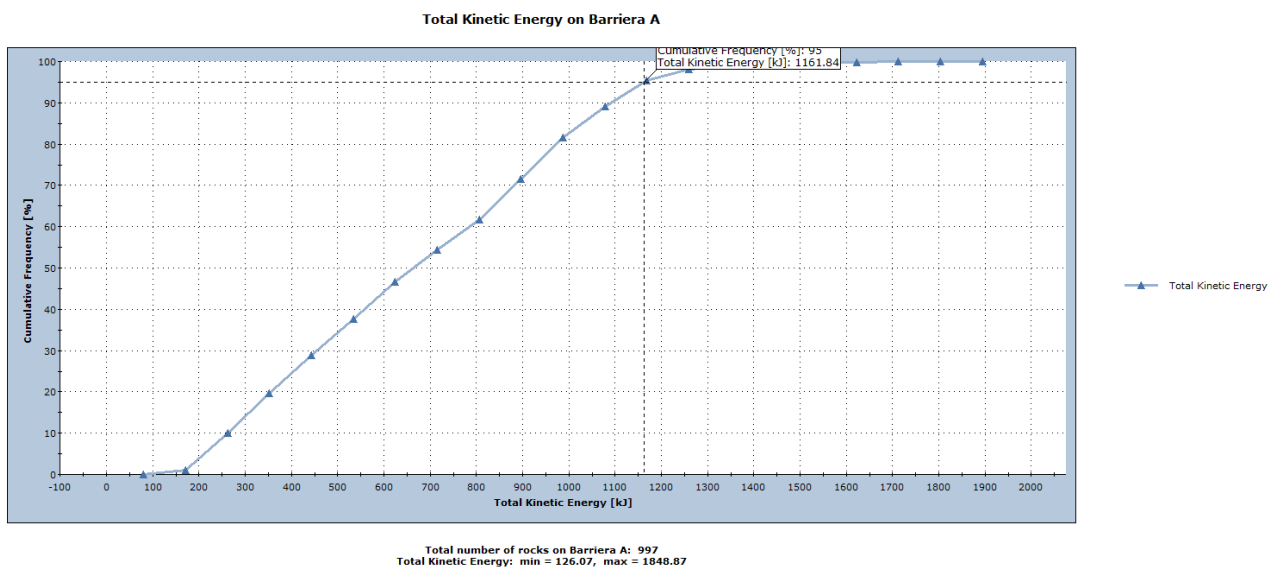
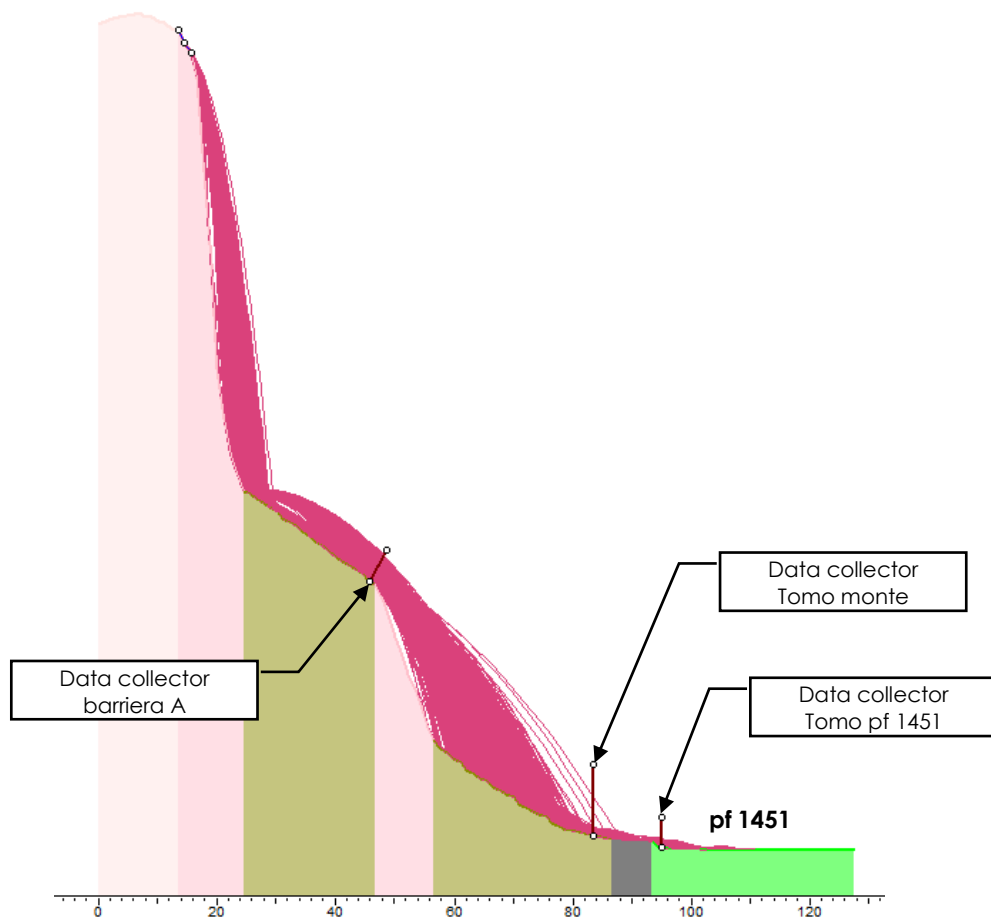


Total number of rocks on Tomo monte: 979  
Total Kinetic Energy: min = 34.175, max = 2726.54



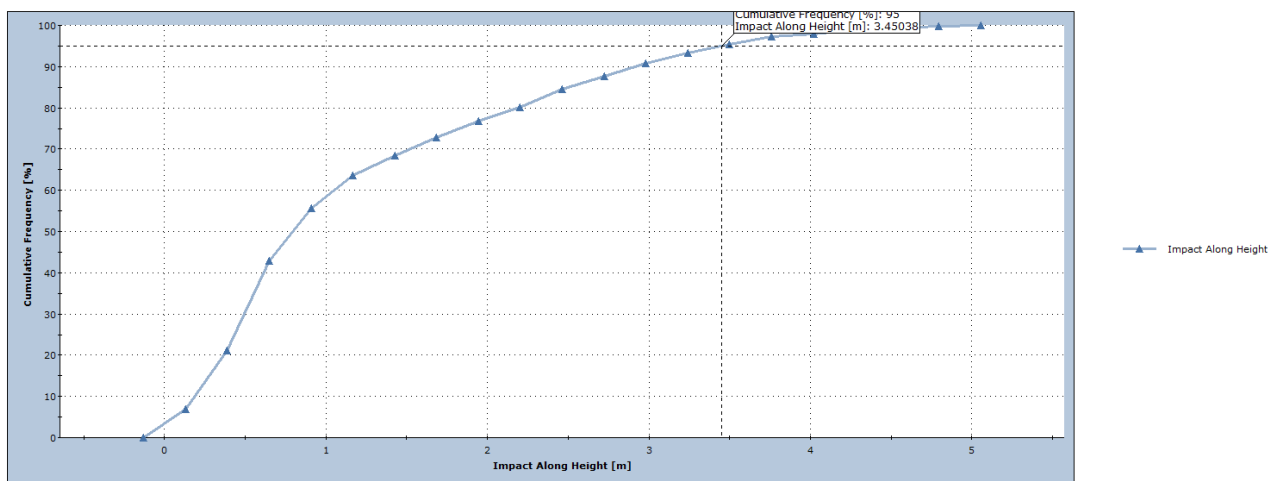


### Sezione 3



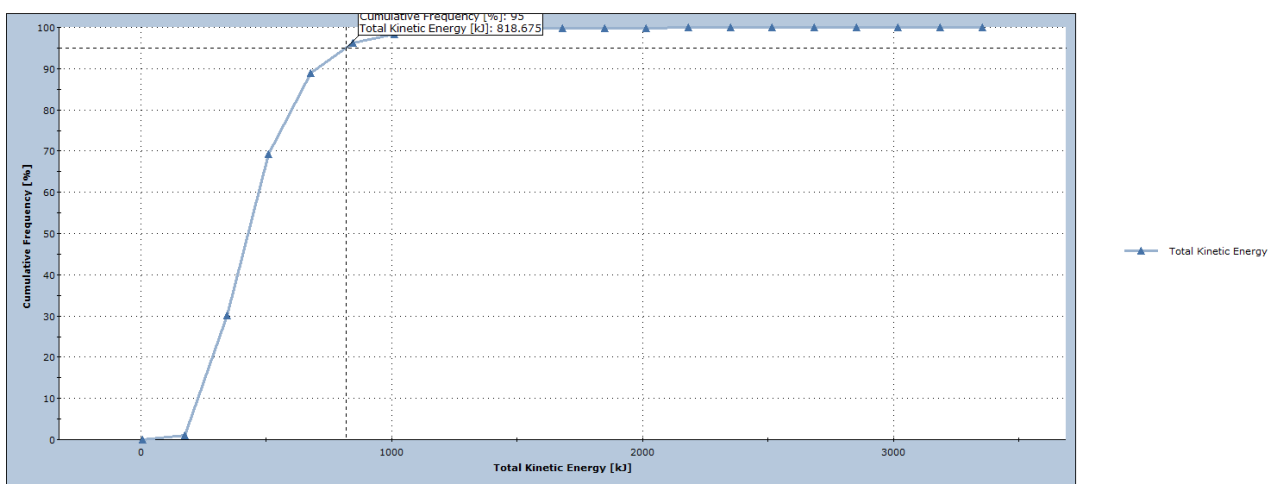


Impact Along Height on Barriera A



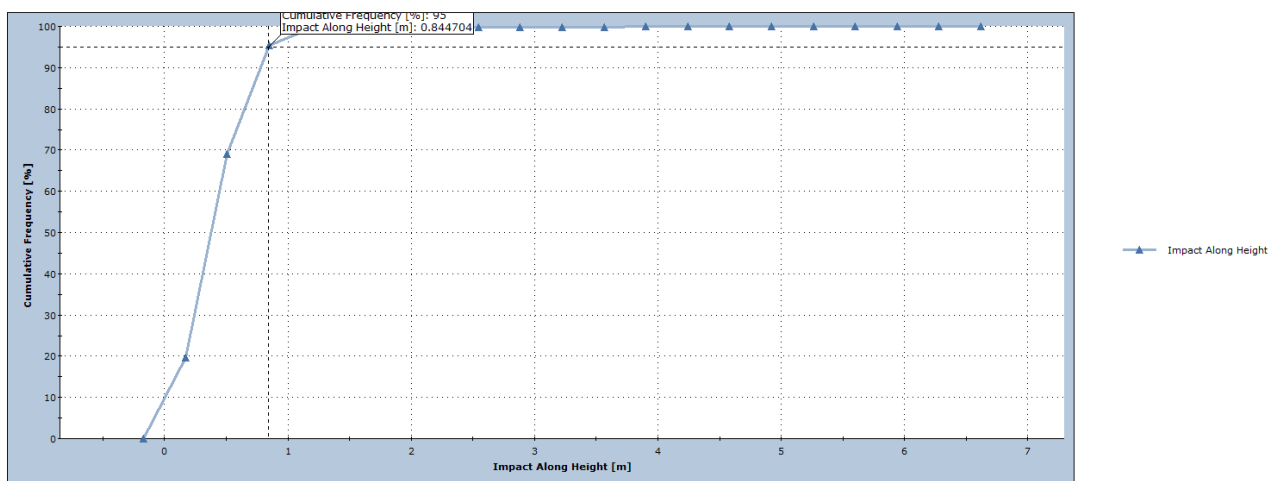
Total number of rocks on Barriera A: 997  
Impact Along Height: min = 0.000341408, max = 4.92618

Total Kinetic Energy on Tomo monte



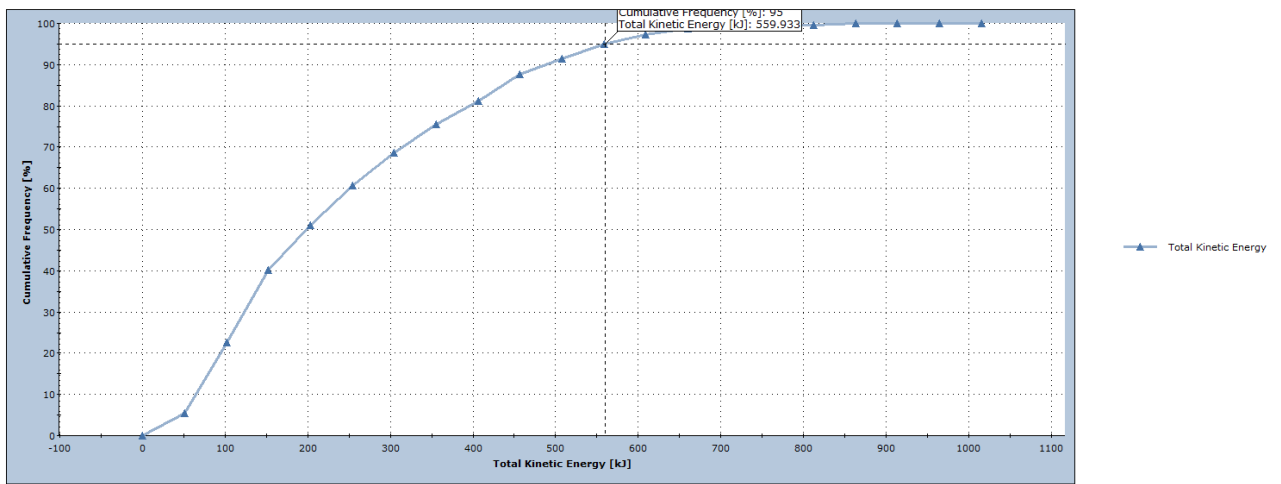
Total number of rocks on Tomo monte: 983  
Total Kinetic Energy: min = 92.046, max = 3270.97

Impact Along Height on Tomo monte



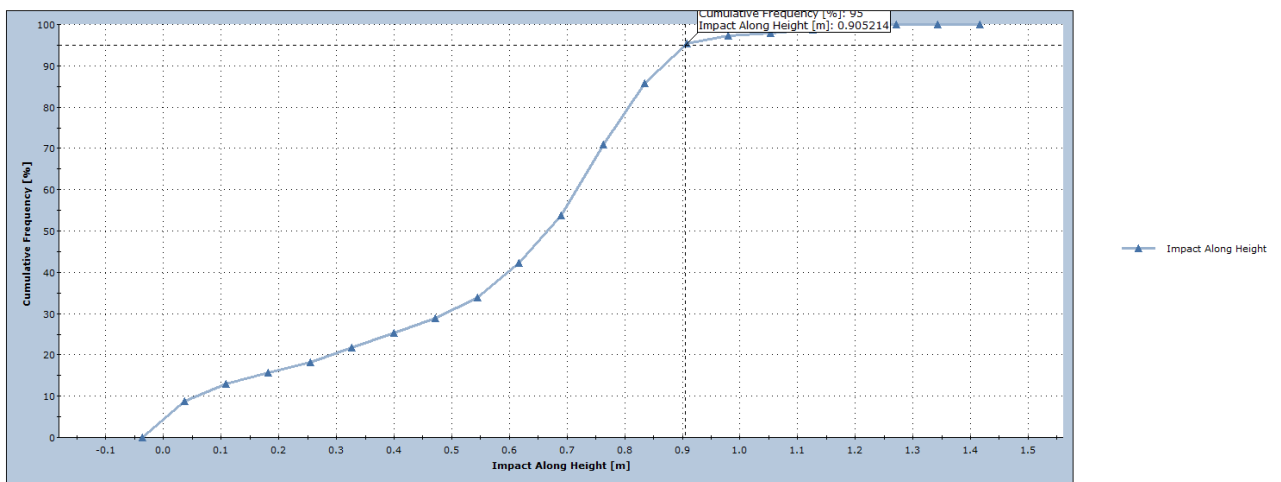
Total number of rocks on Tomo monte: 983  
Impact Along Height: min = 0.000347648, max = 6.44882

Total Kinetic Energy on Tomo PF1451



Total number of rocks on Tomo PF1451: 988  
Total Kinetic Energy: min = 25.9208, max = 989.833

Impact Along Height on Tomo PF1451

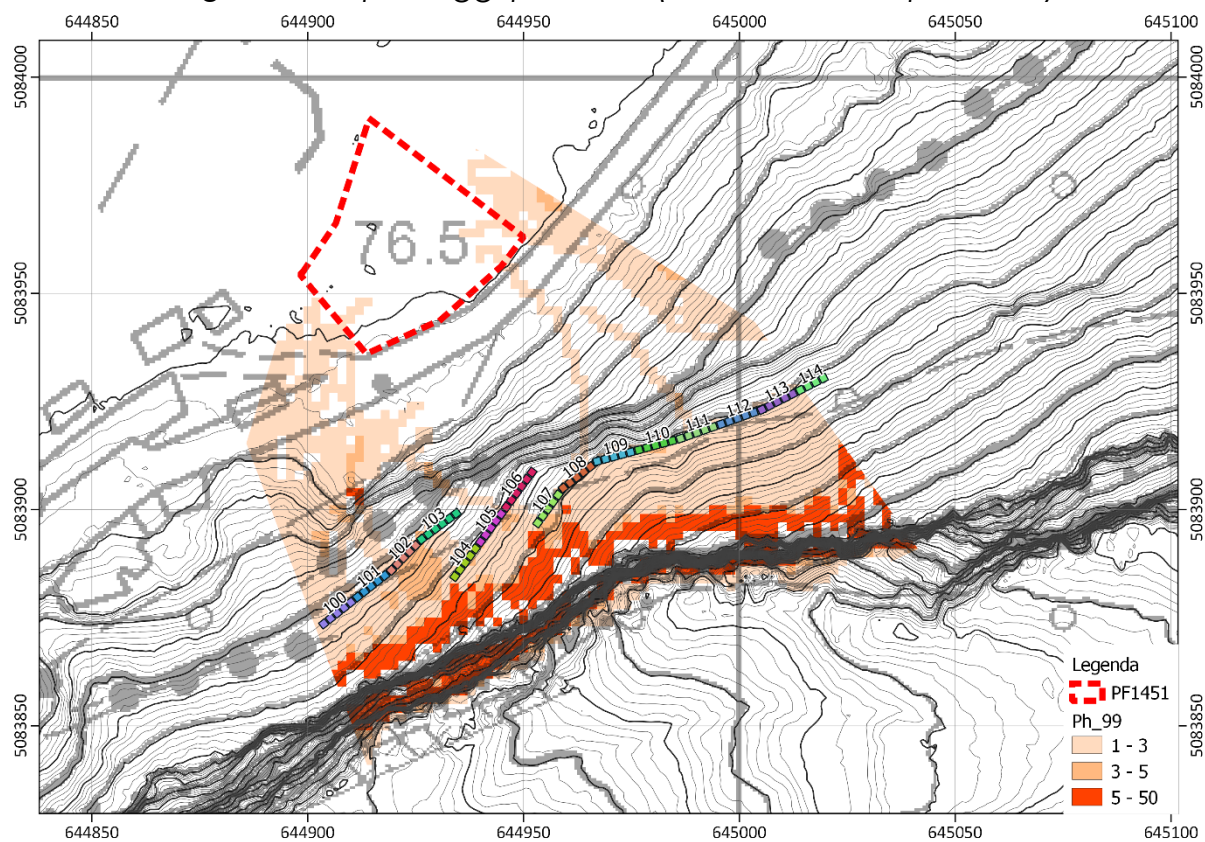
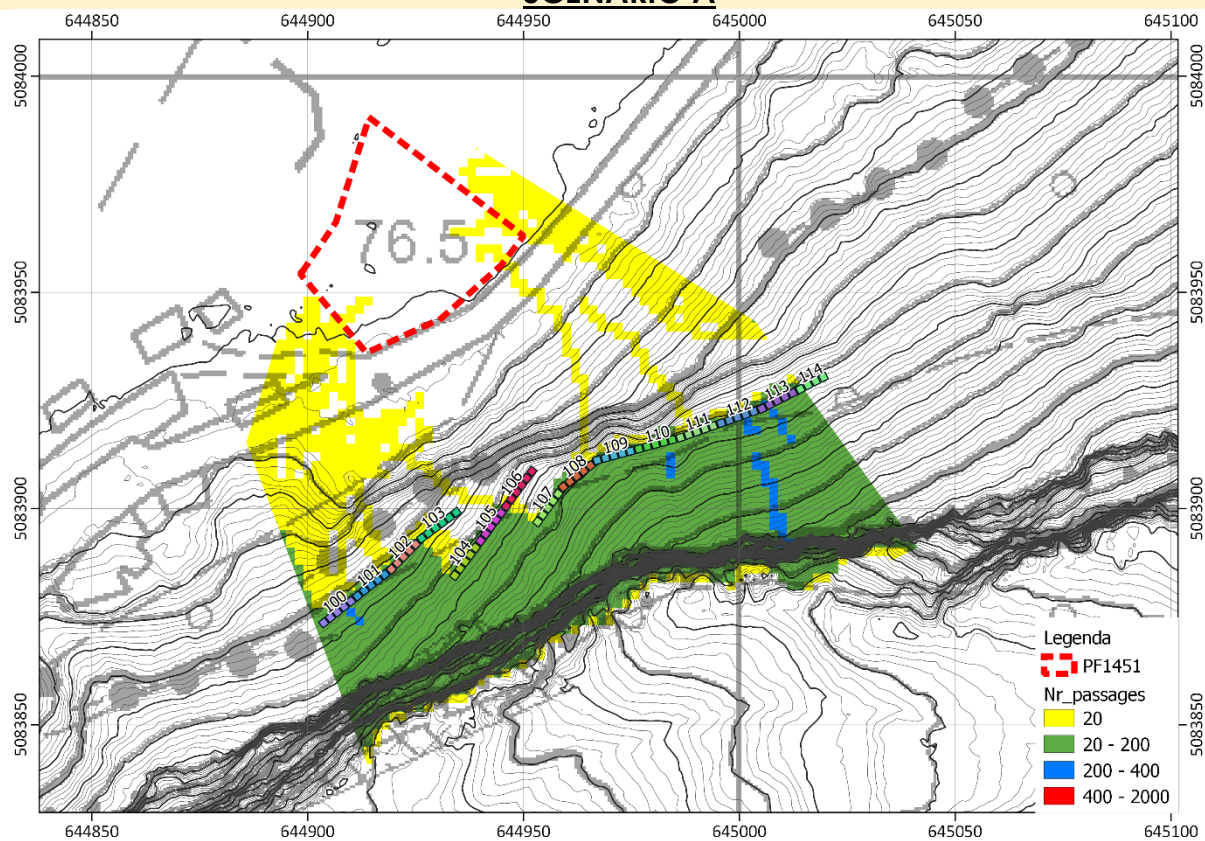


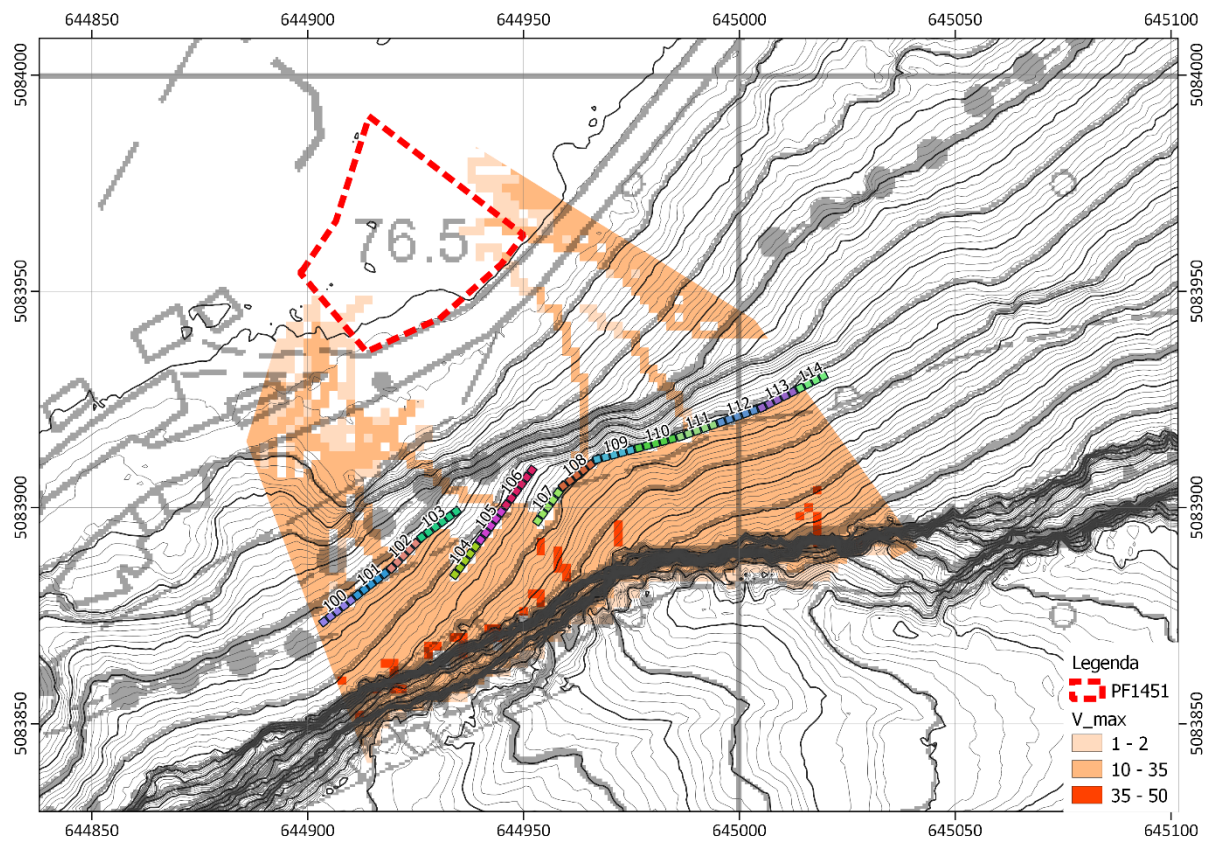
Total number of rocks on Tomo PF1451: 988  
Impact Along Height: min = 0.000104929, max = 1.37986



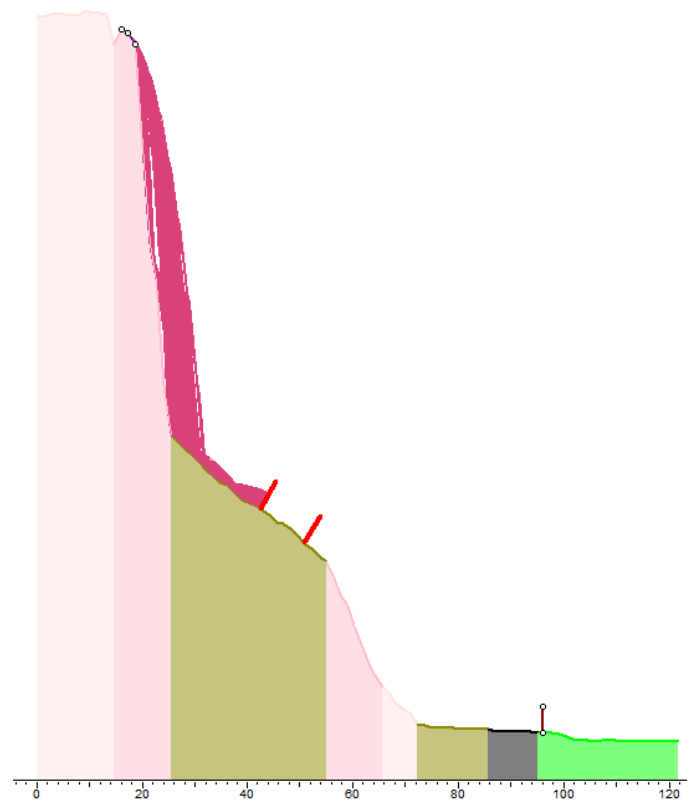
## **ALLEGATO C**

### **EFFETTI DEGLI INTERVENTI PREVISTI IN CIASCUNO SCENARIO**

**SCENARIO A**

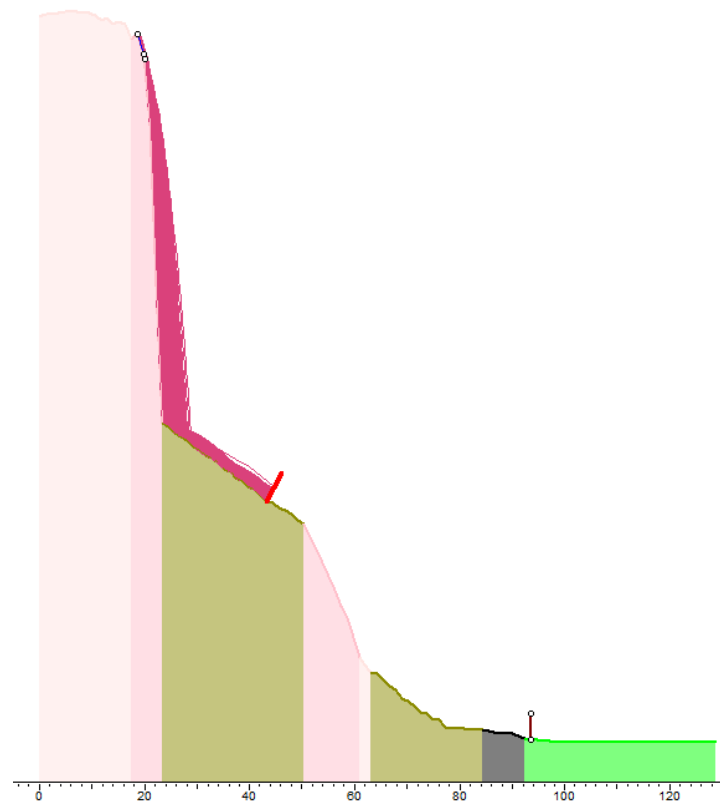


**Figura 50** Velocità massima in m/s

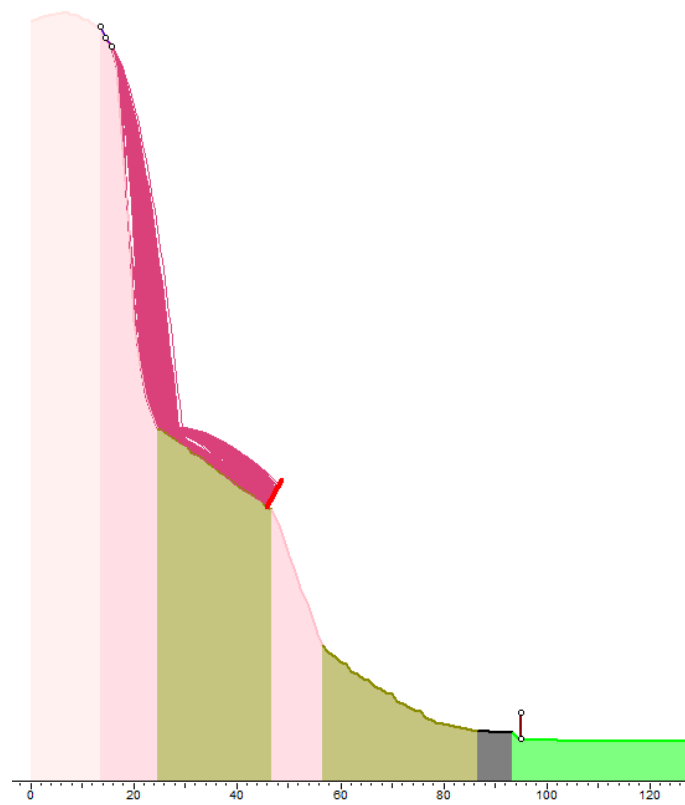


**Figura 51** Sezione 1



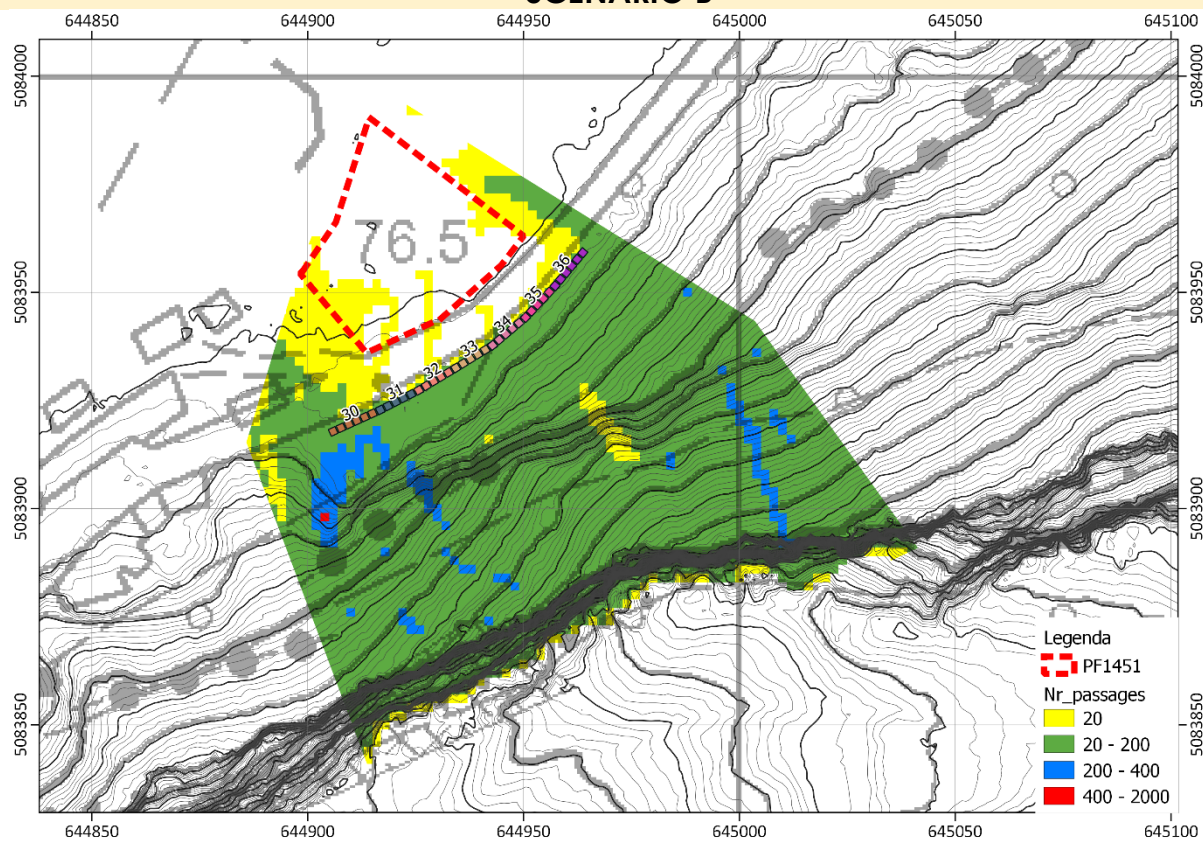


**Figura 52** Sezione 2

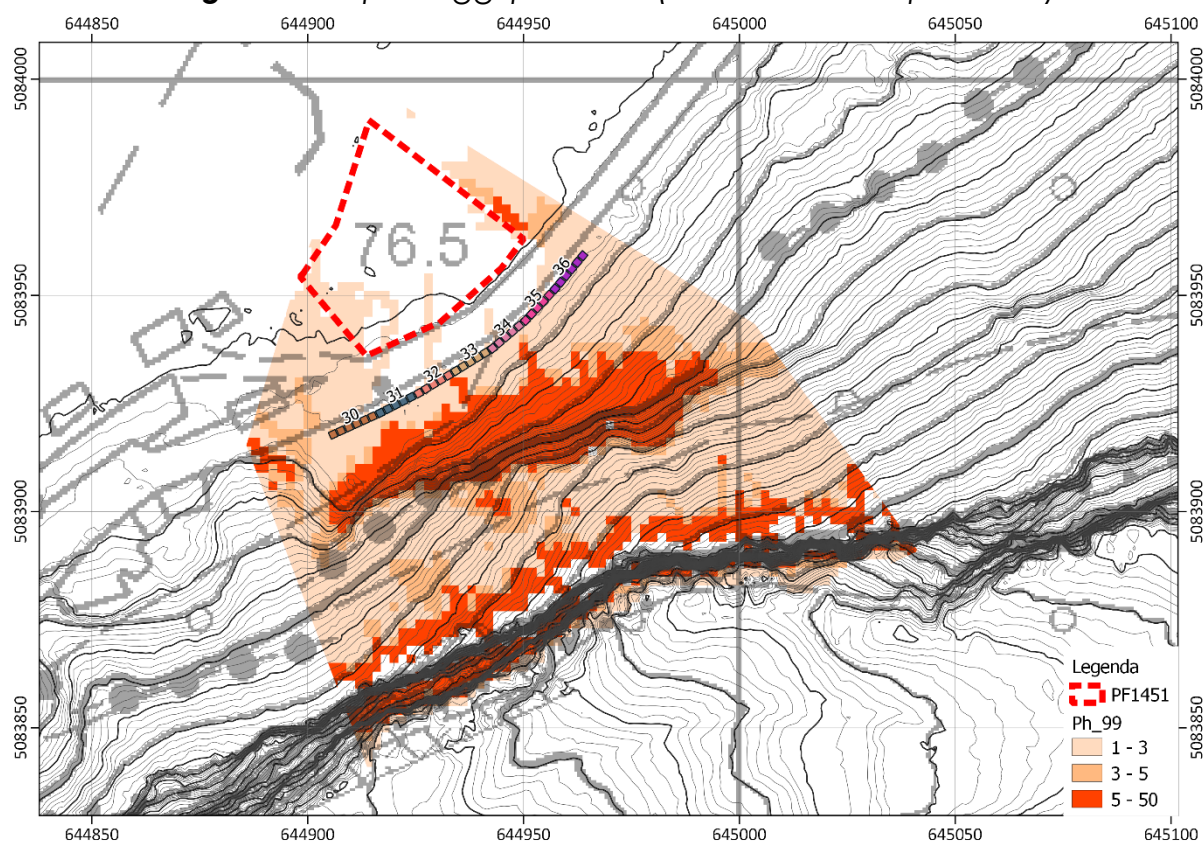


**Figura 53** Sezione 3

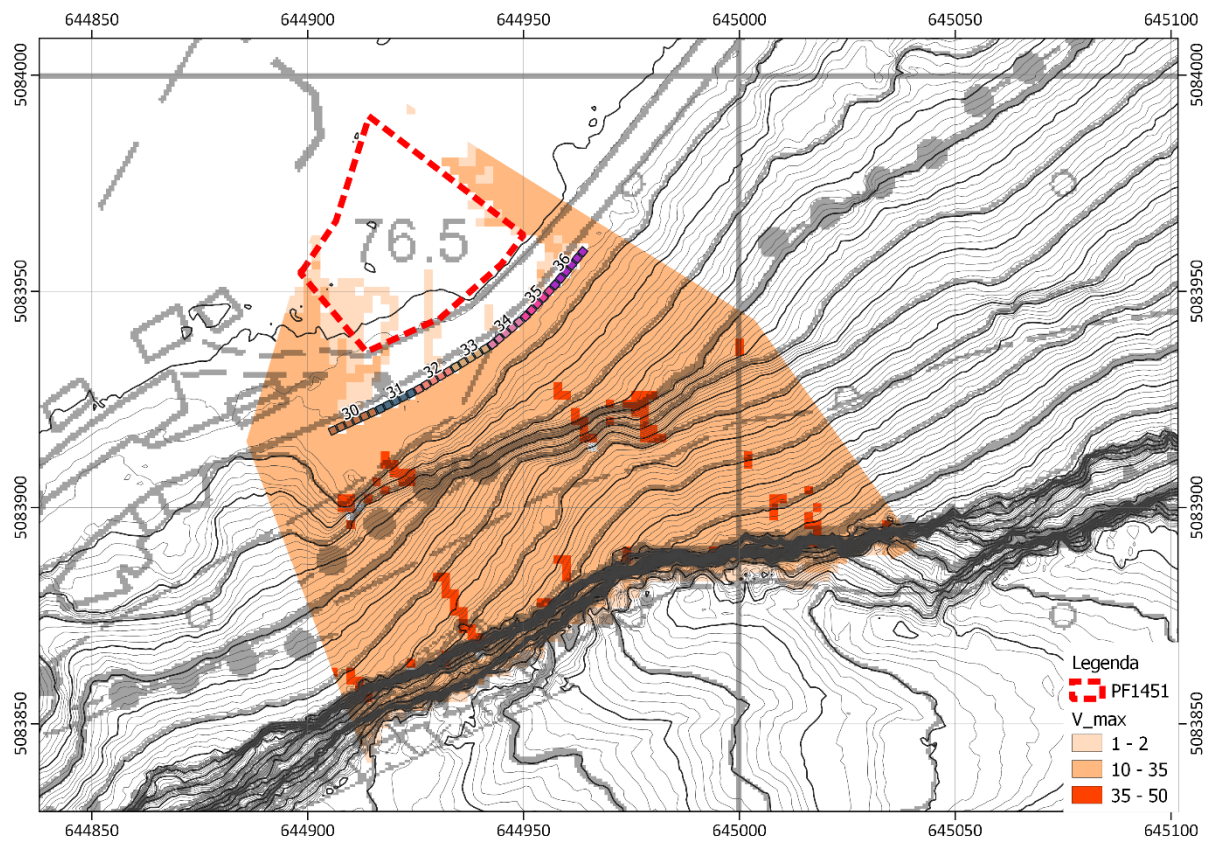
## SCENARIO B



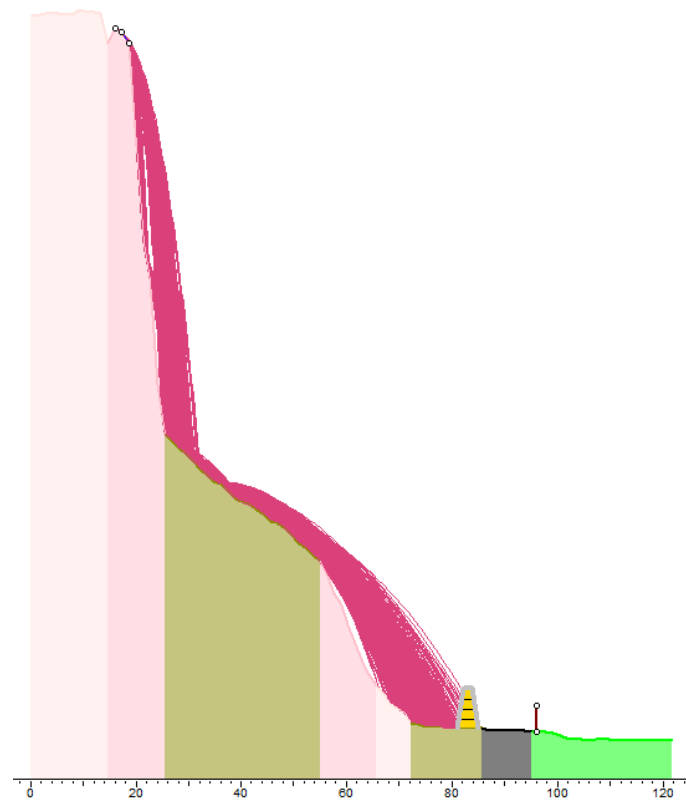
**Figura 54** N° passaggi per cella (con n° 20 lanci per cella)



**Figura 55** Altezza di rimbalzo in m (99percentile)

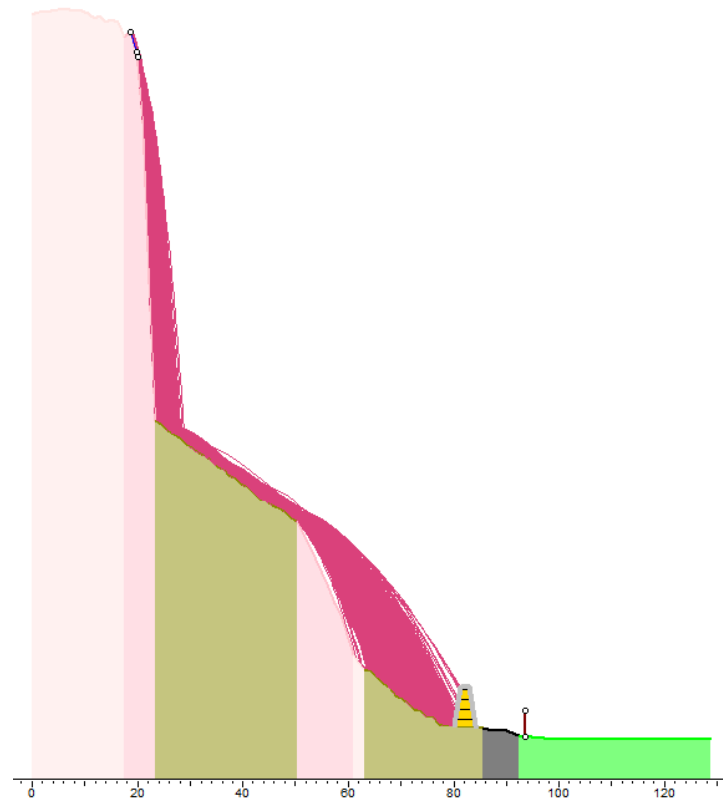


**Figura 56** Velocità massima in m/s

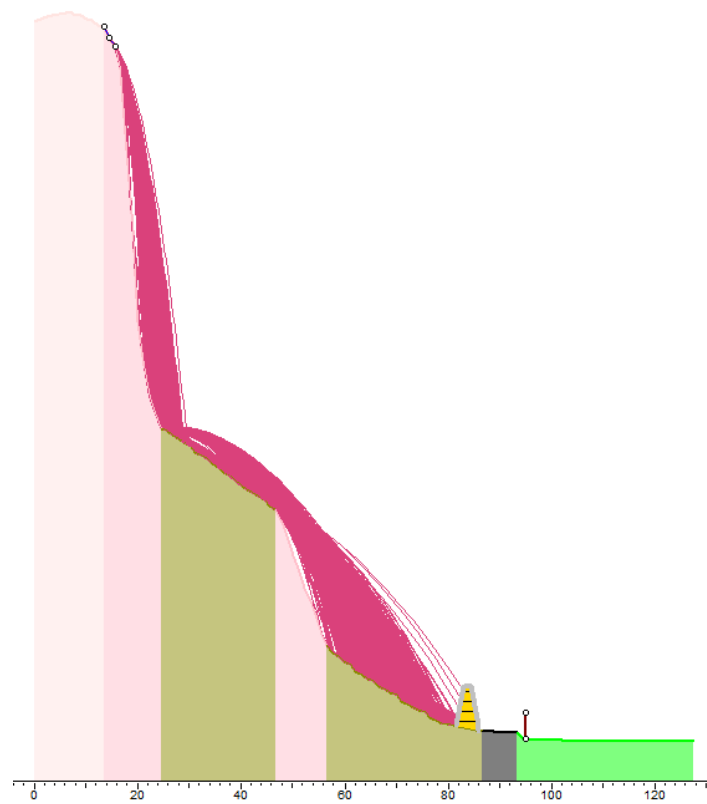


**Figura 57** Sezione 1

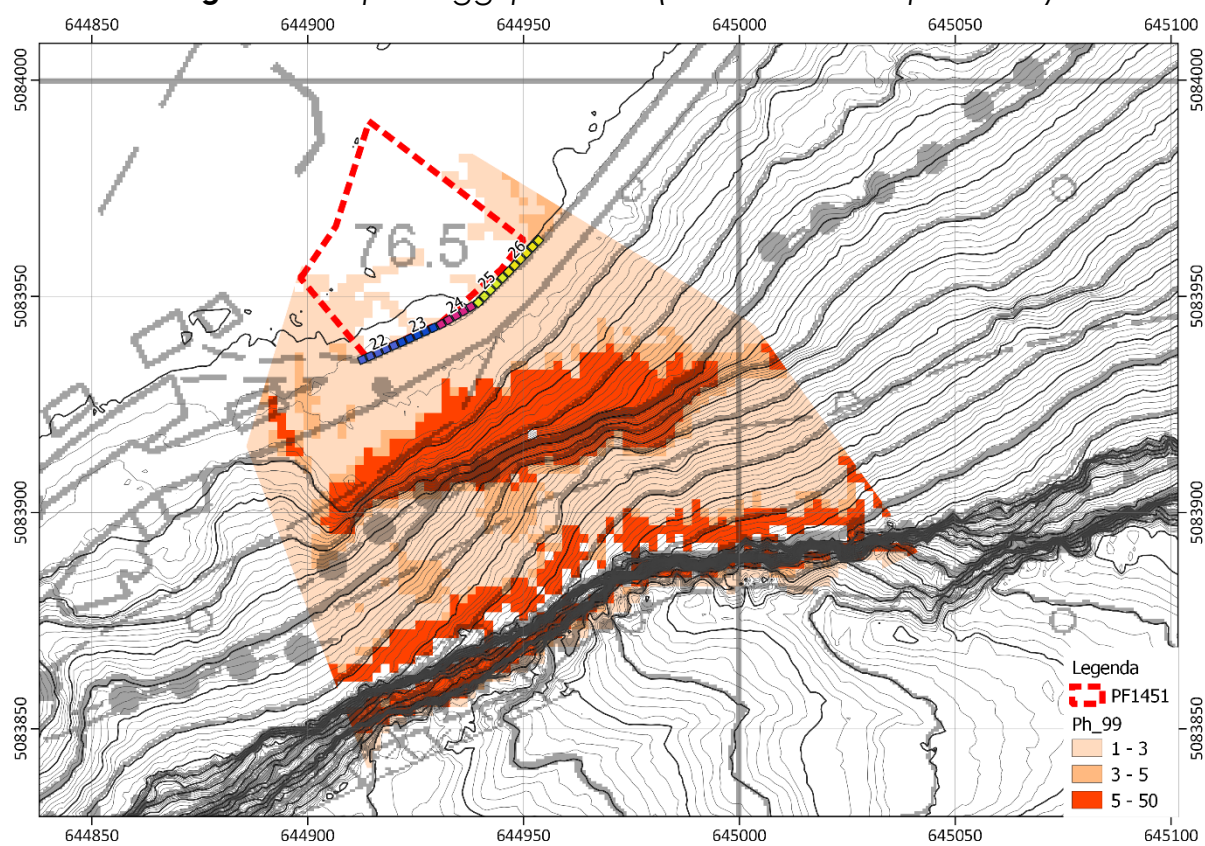
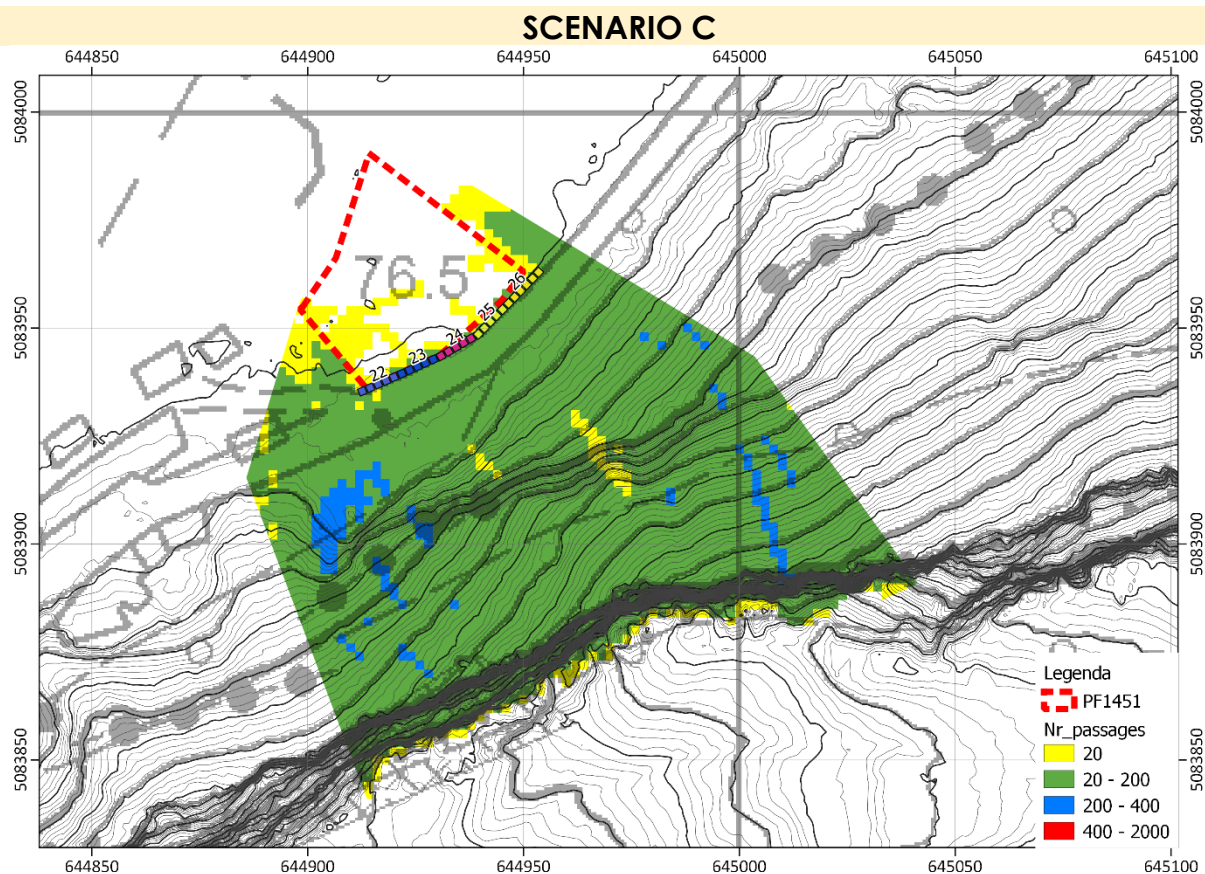


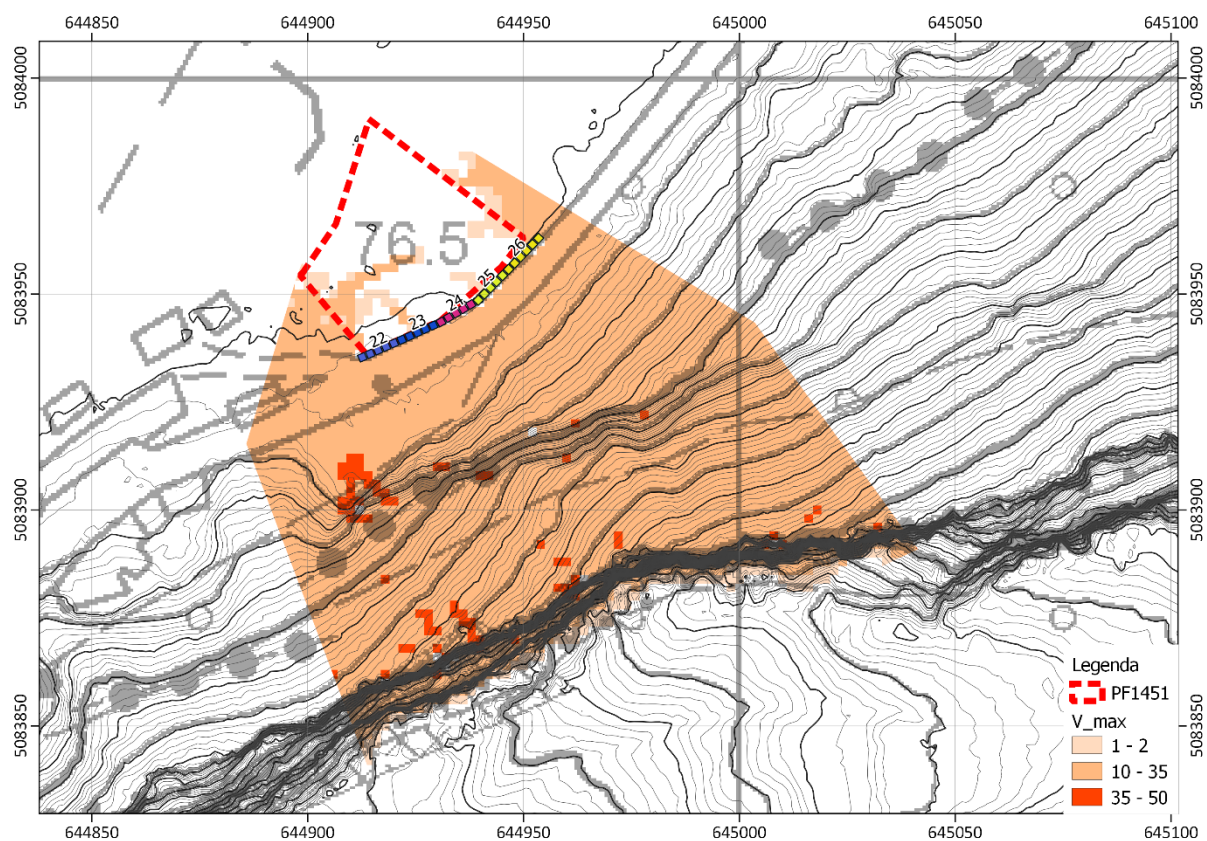


**Figura 58** Sezione 2

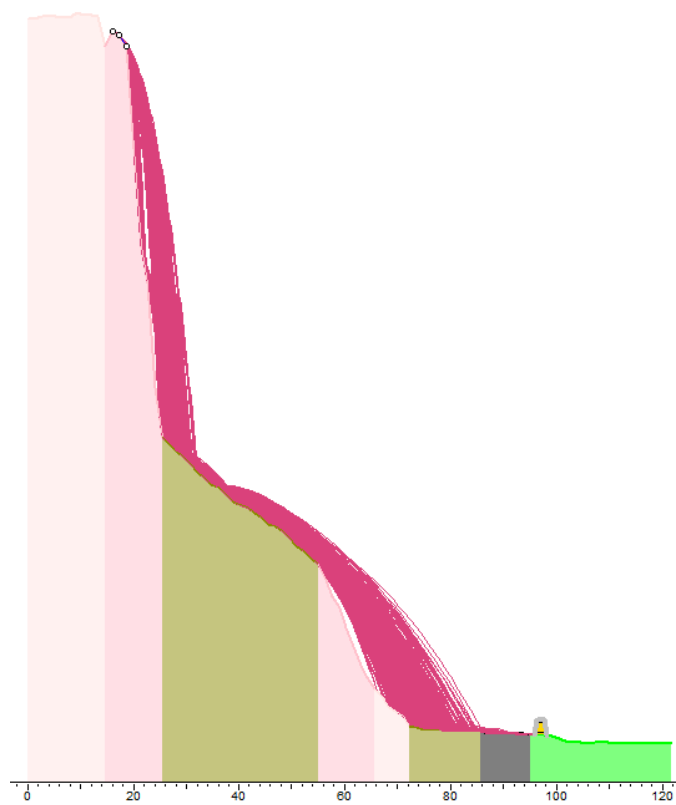


**Figura 59** Sezione 3



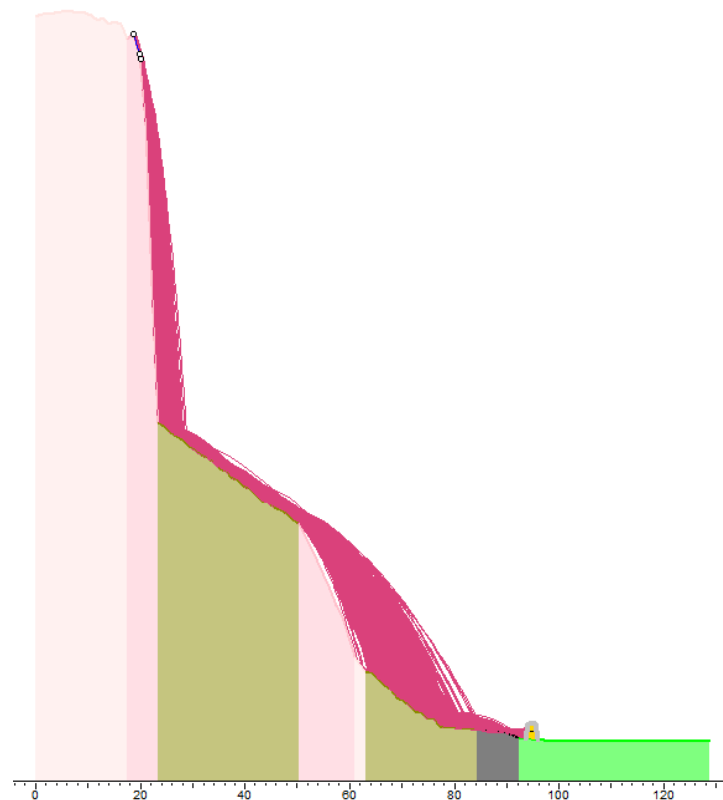


**Figura 62** Velocità massima in m/s

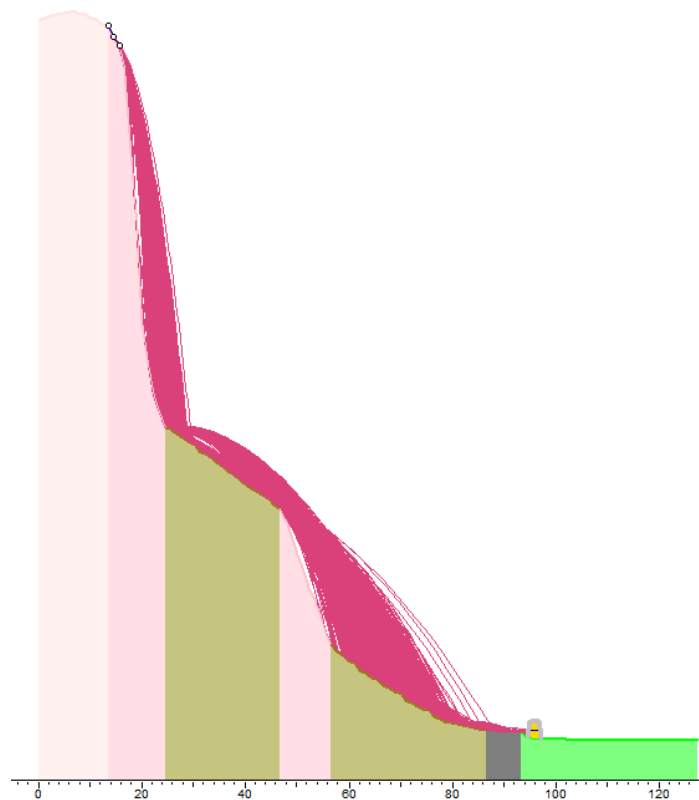


**Figura 63** Sezione 1





**Figura 64** Sezione 2



**Figura 65** Sezione 3