Studio Dott. Geol. Andrea Mocchiutti

REGIONE ABRUZZO
PROVINCIA DELL'AQUILA
COMUNE DI CAPISTRELLO



LAVORI DI SISTEMAZIONE DELLA S.P. N. 63 SIMBRUINA – TRATTO DI COMPETENZA DELLA PROVINCIA DELL'AQUILA

RELAZIONE GEOLOGICA

CUP: F47H21008480001

Committente: **Provincia dell'Aquila**

Rev	Date	Motivazioni			N° lavoro
02	*03/2025*	Integrazioni			*095/24*

SOMMARIO

1 INTRODUZIONE 5

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO 9

4 VINCOLI 13

5 FAGLIE ATTIVE 15

6 COMPORTAMENTO SISMICO DEL TERRENO 16

6.1 CLASSIFICAZIONE SISMICA REGIONALE 16

6.2 MODELLO DI PERICOLOSITA' SISMICA MPS04-S1 17

6.3 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE 19

6.3.1 LOCALIZZAZIONE DEL SITO 19

6.3.2 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE 20

6.4 PERICOLOSITA' SISMICA 23

6.4.1 DEFINZIONE DELL'AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA 23

6.4.2 DEFINIZIONE DELL'AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA 24

6.4.3 PERICOLOSITA' SISMICA 24

7 INDICAZIONI GEOLOGICO TECNICHE 25

7.1 SEZIONI GEOLITOLOGICHE 26

8 ANALISI DI CADUTA MASSI 28

8.1 CENNI TEORICI 28

8.2 MODELLO DEL VERSANTE 28

8.2.1 ZONA 1 29

8.2.2 ZONA 2 32

8.3 RISULTATI 34

8.3.1 ZONA 1 34

8.3.2 ZONA 2 35

8.4 VERIFICHE BARRIERE PARAMASSI 36

8.4.1 BARRIERA N°1 38

8.4.2 BARRIERA N°2 39

8.4.3 BARRIERA N°3 42

8.4.4 BARRIERA N°4 43

8.4.5 BARRIERA N°5 47
8.4.6 BARRIERA N°6 48
8.4.7 BARRIERA N°7 50
8.4.8 BARRIERA N°8 53
8.4.9 BARRIERA N°9 55
8.4.10 BARRIERA 10 57
9 CONCLUSIONI 59

1 INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce lo studio geologico finalizzato alla progettazione degli interventi di messa in sicurezza della SP n°63 “Simbruina” all’interno della Provincia dell’Aquila. La viabilità in oggetto collega il Comune di Capistrello (AQ) con il Comune di Filettino (FR).

Nel corso degli anni l'arteria è stata più volte soggetta a chiusure prolungate a causa della complessa situazione idrogeologica dell’area, interessata da frane e da caduta di massi dai sovrastanti costoni rocciosi.

La situazione geologica e geomorfologica della zona è ben delineata: il sito è caraterizzato dall’affioramento di rocce calcaree di età Mesozoica molto fratturate e localmente cataclasate. L’asseto delle famiglie di discontinuità crea le condizioni geometriche per lo sviluppo di fenomeni di scivolamento e di caduta massi che coinvolgono la viabilità della SP n°63.

Le informazioni geologiche dell’area provengono dalle informazioni reperite presso la pubblica amministrazione ed in possesso dello scrivente ed ai rilievi geologici e sismici eseguiti dalla Geomok S.r.l. nel Marzo 2025 costituiti da:

- N°8 Stazioni geomeccaniche con Point Load Test;
- N°3 indagini sismiche HVSR (*Horizontal to VHVSRical Spectral Ratio*);
- N°3 indagine sismiche a rifrazione in onde P;
- N°3 indagine sismica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves);
- N°1 rilievo geofisico tramite elettromagnetometro;
- N°1 rilievo geofisico tramite georadar;

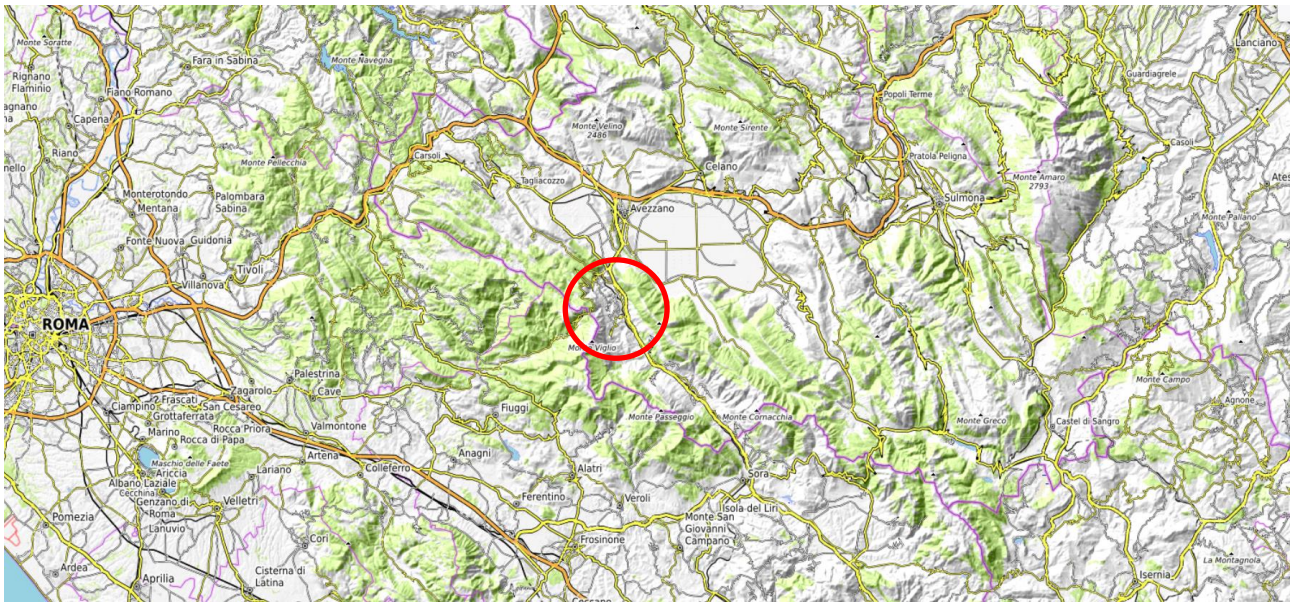


Fig. 1. Inquadramento geografico dell’area d’indagine.

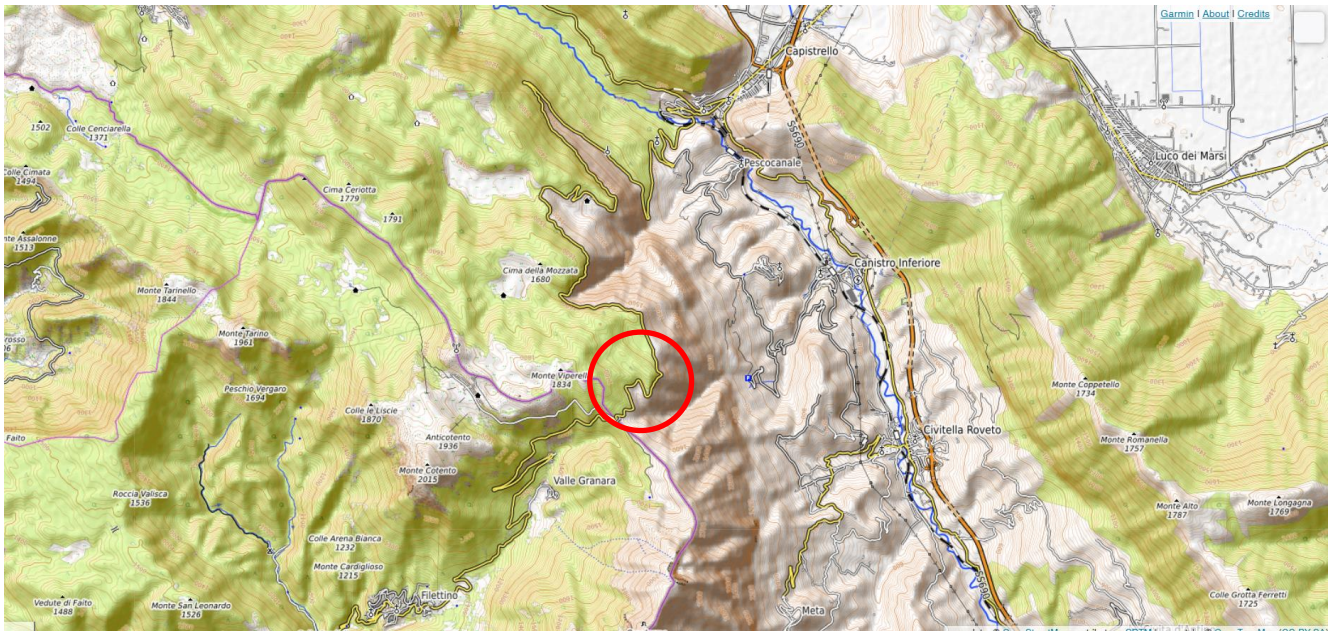


Fig. 2. *Ubicazione dell'area indagine.*



Fig. 3. *Foto aerea da drone dell'imponente parete rocciosa presente circa a età del tratto oggetto di studio.*





Fig. 4. *Principali pareti rocciose presenti a ridosso della viabilità.*

Riferimenti bibliografici

- Carta geologica d'Italia– foglio 151 Alatri scala 1:100.000
- Note illustrative Carta Geologica d'Italia – foglio 151 Alatri scala 1:100.000
- Italy Hazard from Capable Faults (ITHACA) – ISPRA
- Piattaforma italiana sul dissesto idrogeologico – IdroGEO ISPRA

Riferimenti Normativi

- D.M. 17/01/2018 Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"
- D.M. 14/01/2008 recante "Nuove Norme tecniche per le costruzioni"
- Circolare 2 febbraio 2009, n° 617 recante "Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008
- Delibera del Consiglio Nazionale Geologi n. 111/2015 del 28 aprile 2015 - Raccomandazioni per la redazione della "relazione geologica ai sensi delle NTC" a cura del Centro Studi del Consiglio Nazionale dei Geologi.
- O.P.C.M. n° 3274 del 20/03/2003 e s.m.i., contenente "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per la costruzione in zona sismica"

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area d'indagine si colloca nell'Appennino Centrale, più precisamente all'interno dei Monti Simbruini, ad una quota compresa tra circa 1590 e 1600 m s.l.m.m. In questo tratto la viabilità della SP n°63 attraversa il costone roccioso con direzione NE-SW seguendo la morfologia del versante. Quest'ultimo è caratterizzato dal una pendenza sostenuta, permessa dall'affioramento del substrato roccioso, e da una esposizione generale verso SE.

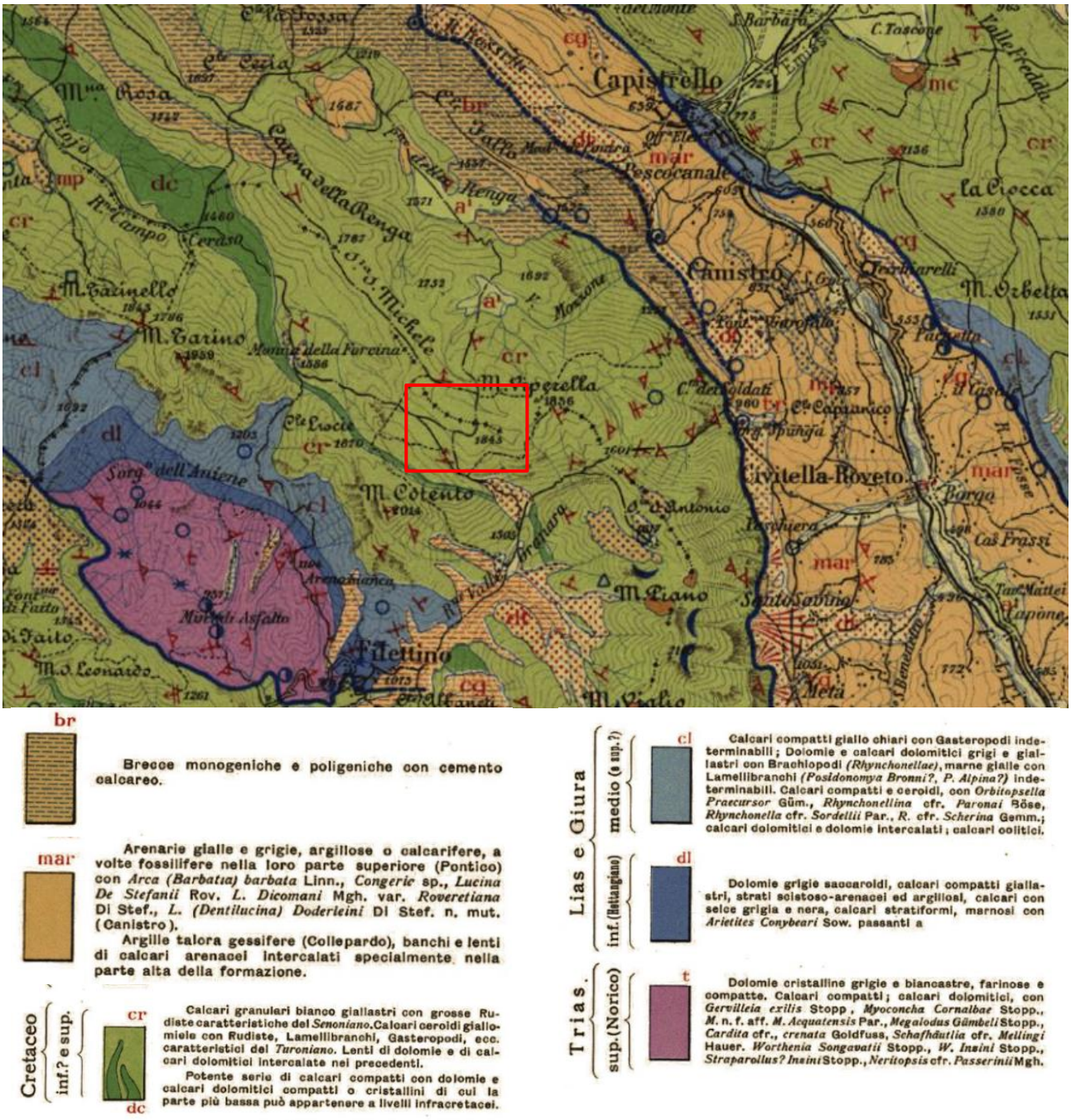


Fig. 5. Estratto della Carta Geologica d'Italia – foglio 151 Alatri scala 1:100°000.

I Monti Simbruini appartengono alla fascia esterna dell'Appennino centrale, ovvero la porzione che si è sviluppata in seguito alla collisione tra la placca africana e quella euroasiatica. Sono caratterizzati da una struttura a falde di ricoprimento, tipica della catena appenninica, con sovrapposizioni tettoniche dovute alla compressione e successivo sollevamento delle unità carbonatiche. A partire dal Pliocene, l'area è stata soggetta a una tettonica distensiva che ha portato alla formazione di horst e graben con direzione NO-SE ed ha influenzato la morfologia attuale dell'area. Si può osservare, infatti, come le due principali valli bordanti la catena dei Monti Simbruini, la valle del Sacco e l'alta valle del Liri, siano impostante su linee di faglia normale e seguano la medesima orientazione NO-SE. Un secondo allineamento è orientato in maniera trasversale, secondo una direttrice NE-SW. La geologia dell'area di studio è dominata da rocce sedimentarie di origine mesozoica e cenozoica, principalmente calcari e dolomie, depositatesi in un ambiente marino durante il Giurassico ed il Cretacico. La successione stratigrafica è tipica delle piattaforme carbonatiche dell'Appennino è la seguente.:

- **Triassico superiore - Giurassico inferiore**: dolomie e calcari dolomitici (Formazione della Dolomia Principale e Calcari e Marne di Noriglio).
- **Giurassico medio-superiore**: calcari massicci di piattaforma (Calcari a bivalvi e Calcari del Monte Acuto).
- **Cretacico inferiore-superiore**: calcari bioclastici con intercalazioni di selce (Formazione dei Calcari ad Aptici).
- **Miocene**: sedimentazione di flysch e depositi torbiditici nelle aree di bacino profondo.

L'area interessata dal presente studio è caratterizzata per l'affioramento di rocce carbonatiche cretaciche molto fratturate. Le stazioni geomeccaniche realizzate presso l'area di studio (vedi allegato) evidenziano molto bene l'elevato stato di fratturazione dell'ammasso roccioso, tanto che i valori del GSI variano da circa 40 a 20. Una zona di intensa fratturazione è posta in corrispondenza del piano di faglia affiorante a monte della viabilità. Qui è possibile osservare come la roccia si presenti completamente cataclasata per uno spessore di circa 2m.



Fig. 6. Piano di faglia. Si noti come la roccia sia completamente fratturata nei primi 2 metri circa di spessore.

I risultati del rilievo geomeccanico realizzato mettono ben in evidenza come lo stato di fratturazione dell'ammasso roccioso sia legata alla presenza di sostanzialmente tre principali sistemi di discontinuità. È possibile riconoscere infatti un sistema di discontinuità tettonica con immersione verso SE ed inclinazione di circa 60-70°. Tale piano di faglia è responsabile della morfologia del tratto di versante analizzato. È stato riconosciuto il piano di stratificazione dell'ammasso carbonatico, con direzione NO-SE ed un alto angolo di inclinazione. A queste due famiglie di discontinuità si somma un terzo sistema di fratturazione con orientazione variabile, probabilmente legato sia a fratture di origine tettonica sia a processi di detensionamento e rilassamento dell'ammasso roccioso lungo la parete di affioramento.

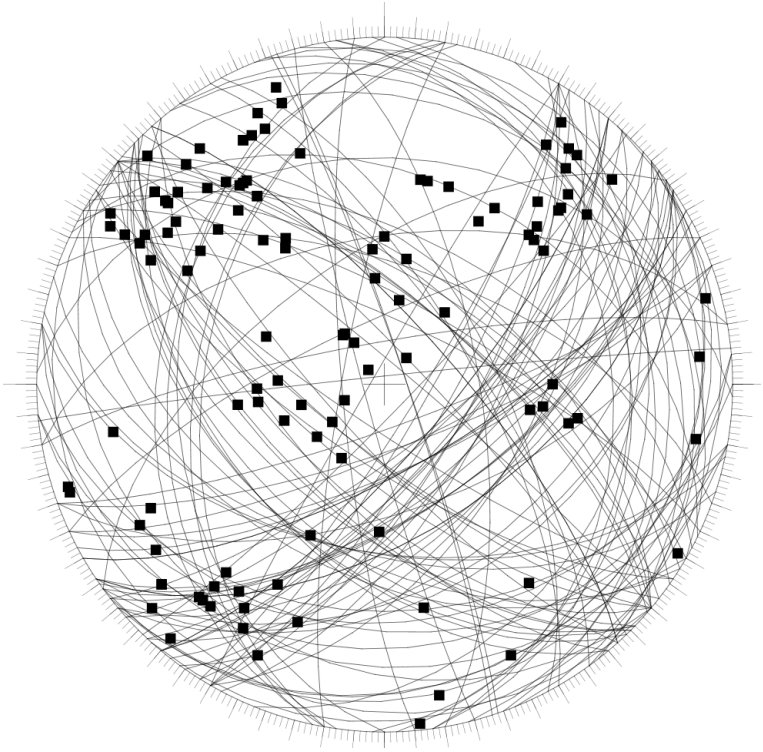


Fig. 7. *Rappresentazione stereografia delle discontinuità misurate in campagna.*

L'interazione dei sistemi di discontinuità presenti nell'ammasso roccioso con l'orientazione media del versante crea le condizioni geometriche per l'innesco dei fenomeni di scivolamento planare e scivolamento di cuneo. A questo tipo di cinematismi si associano i problemi caduta massi che interessano le pareti rocciose poste a monte della viabilità. Infatti, l'alto angolo di immersione della stratificazione favorisce la formazione di pinnacoli e pilastri rocciosi soggetti a ribaltamento che innescano conseguentemente fenomeni di caduta massi.

Lungo la viabilità è presente un evidenze cedimento della careggiata nella zona NE del tratto analizzato. Inoltre, si segnala che a valle della SP n°63, in corrispondenza di piccole vallecole ed impluvi, sono presenti dei muri di sostegno in stato di conservazione non ottimale.



Fig. 8. *Elementi di criticità individuati in corrispondenza ed a valle della viabilità.*

Le indagini geofisiche realizzate presso l'area di studio hanno permesso di individuare la profondità del substrato roccioso al di sotto della careggiata della SP n°63. Combinando risultati ottenuti dalla diverse tipologie di indagini eseguite, è possibile posizionare la roccia circa 1.5 m di profondità nel settore NE, mentre proseguendo verso SW il substrato roccioso si approfondisce a circa 2.0-2.5 m dal piano campagna.

4 VINCOLI

Dalla consultazione Piano di Assetto Idrogeologico, messo a disposizione tramite il portale IdroGEO di ISPRA, emerge come l'intera area d'indagine sia classificata come a pericolosità geologica elevata P4 e soggetta, secondo il catalogo IFFI, a frane superficiali diffuse.

Di seguito si riportano gli estratti cartografici.



Fig. 9. Piano di Assetto Idrogeologico – Pericolsità geologica.



Fig. 10. *Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia – IFFI.*

5 FAGLIE ATTIVE

La stima della pericolosità legata ai terremoti ed alla fagliazione superficiale è un tema molto importante, specialmente in aree densamente popolate ed industrializzate come il territorio italiano. Di conseguenza la conoscenza approfondita e la corretta collocazione delle faglie capaci assume un ruolo chiave per la mitigazione del rischio. A questo scopo, il Servizio Geologico d'Italia - ISPRA ha sviluppato il progetto ITHACA (ITaly HAzard from CApable faults), un database creato per la raccolta e la facile consultazione di tutte le informazioni disponibili riguardo le strutture tettoniche attive in Italia, con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali. Il progetto si occupa in modo particolare delle faglie capaci, definite come faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie.

Il catalogo è in continuo aggiornamento e non può considerarsi completo o definitivo, non rappresenta la totalità delle faglie capaci presenti sul territorio nazionale, ma solo quelle per le quali esiste uno studio e quindi un riferimento bibliografico; il dettaglio è funzione della qualità delle indagini che sono state effettuate e della scala alla quale è stato pubblicato il dato.

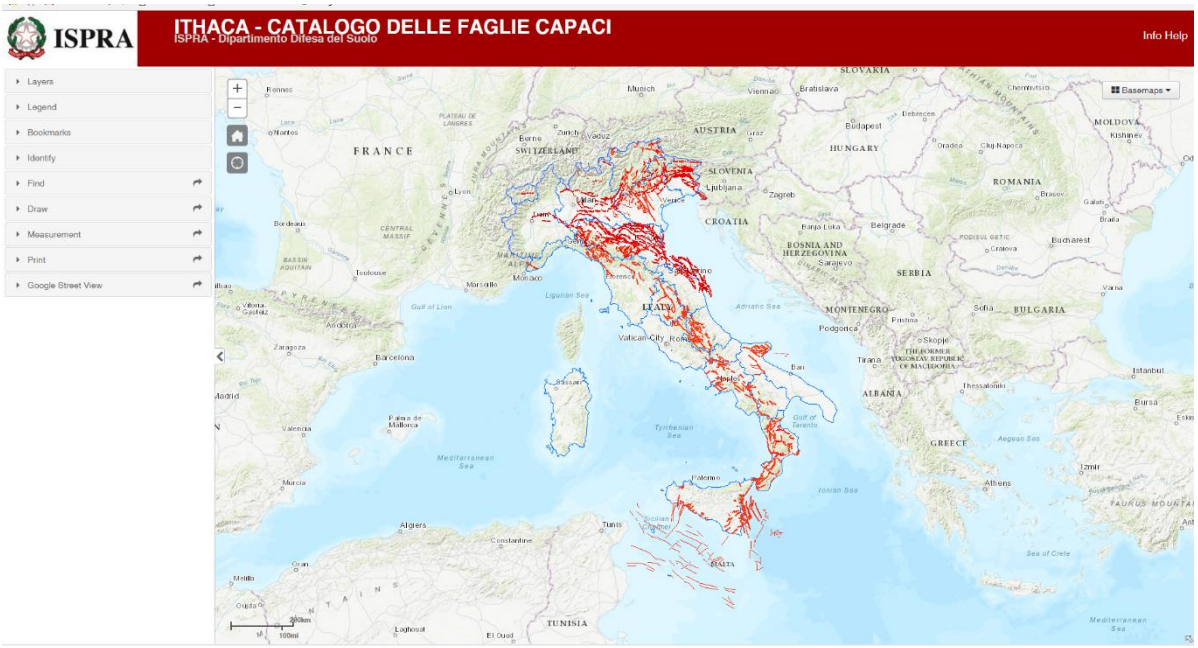


Fig. 11. Faglie potenzialmente capaci all'interno del territorio nazionale (immagini tratte da Portale Servizio Geologico d'Italia – ISPRA Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale – Progetto ITHACA).

L'area di indagine, secondo il database ITHACA, non è interessata dal passaggio di lineamenti tettonici attivi. In ogni caso, la zona degli Appennini centro-meridionali è interessata dalla presenza di numerosa faglie attive. Tali lineamenti sono orientali secondo una direzione NW-SE e sono responsabili dell'allineamento dei gruppi montuosi e delle principali valli. Ne consegue un elevata pericolosità sismica dell'area.

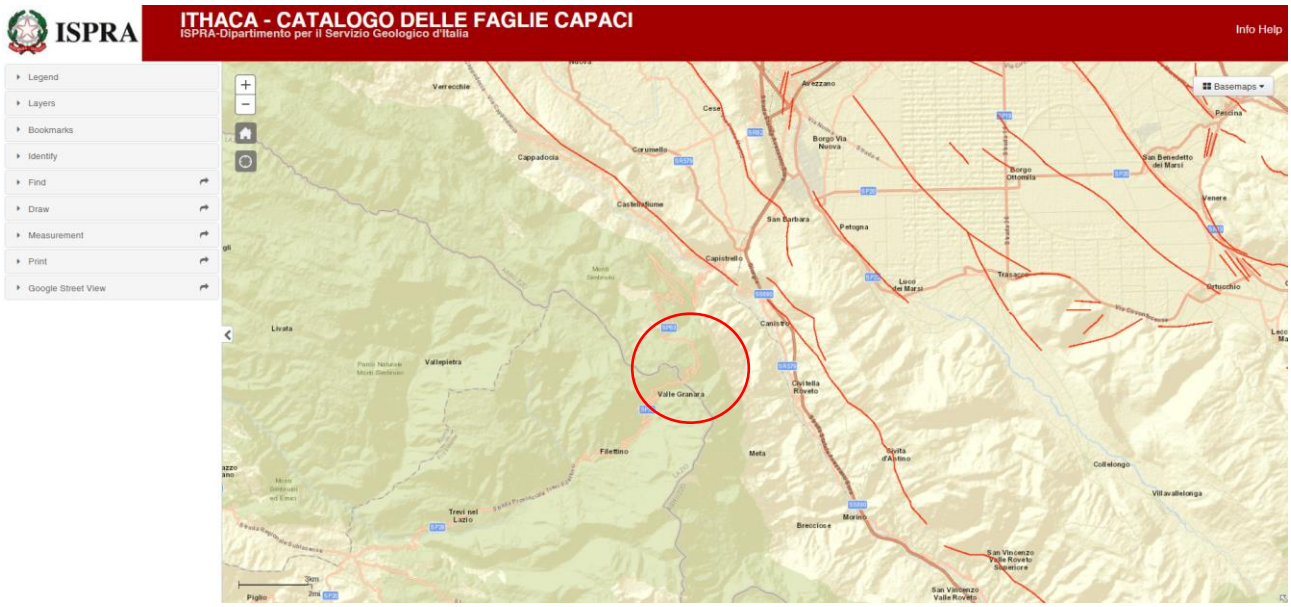


Fig. 12. Faglie capaci all'intero dell'area di indagine: Database ITHACA e Carta delle Faglie Attive Regione FVG

6 COMPORTAMENTO SISMICO DEL TERRENO

6.1 CLASSIFICAZIONE SISMICA REGIONALE

In riferimento alla nuova classificazione sismica del territorio della Regione Abruzzo, con il DGR n.425 del 15/04/2024 è stata approvata la nuova classificazione sismica del territorio regionale.

Il Comune di **Capistrello** rientra all'interno della **zona sismica 1** con ag = 0.25g – 0.35g.

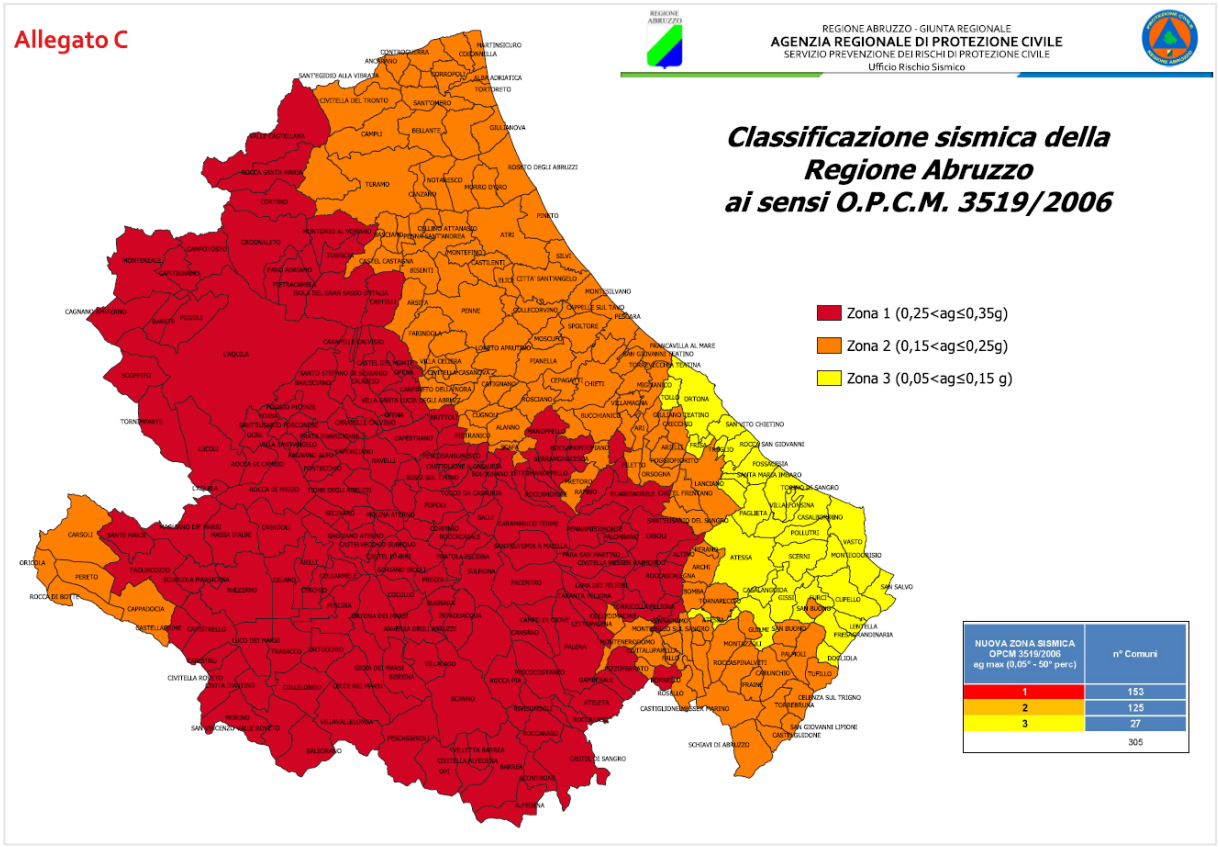


Fig. 13. Classificazione sismica della Regione Abruzzo.

6.2 MODELLO DI PERICOLOSITA' SISMICA MPS04-S1

La pericolosità sismica è la stima quantitativa dello scuotimento del terreno dovuto a un evento sismico, in una determinata area. La pericolosità sismica può essere analizzata con metodi deterministici, assumendo un determinato terremoto di riferimento, o con metodi probabilistici, nei quali le incertezze dovute alla grandezza, alla localizzazione e al tempo di occorrenza del terremoto sono esplicitamente considerati. Tale stima include le analisi di pericolosità sismica di base e di pericolosità sismica locale.

La pericolosità sismica di base è la componente della pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche sismologiche dell'area (tipo, dimensioni e profondità delle sorgenti sismiche, energia e frequenza dei terremoti). La pericolosità sismica di base calcola (generalmente in maniera probabilistica), per una certa regione e in un determinato periodo di tempo, i valori di parametri corrispondenti a prefissate probabilità di eccedenza. Tali parametri (velocità, accelerazione, intensità, ordinate spettrali) descrivono lo scuotimento prodotto dal terremoto in condizioni di suolo rigido e senza irregolarità morfologiche (terremoto di riferimento). La scala di studio è solitamente regionale. Una delle finalità di questi studi è la classificazione sismica a vasta scala del territorio, finalizzata alla programmazione delle attività di prevenzione e alla pianificazione dell'emergenza. Costituisce una base per la definizione del terremoto di riferimento per studi di microzonazione sismica. (ICMS-2008). Sul sito dell'INGV è stato possibile visualizzare e interrogare mappe probabilistiche della pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa con diversi parametri dello scuotimento su una griglia regolare a passo 0.05°. Qui di seguito sono riportati i grafici relativi al nodo centrato all'interno del Comune di Capistrello.

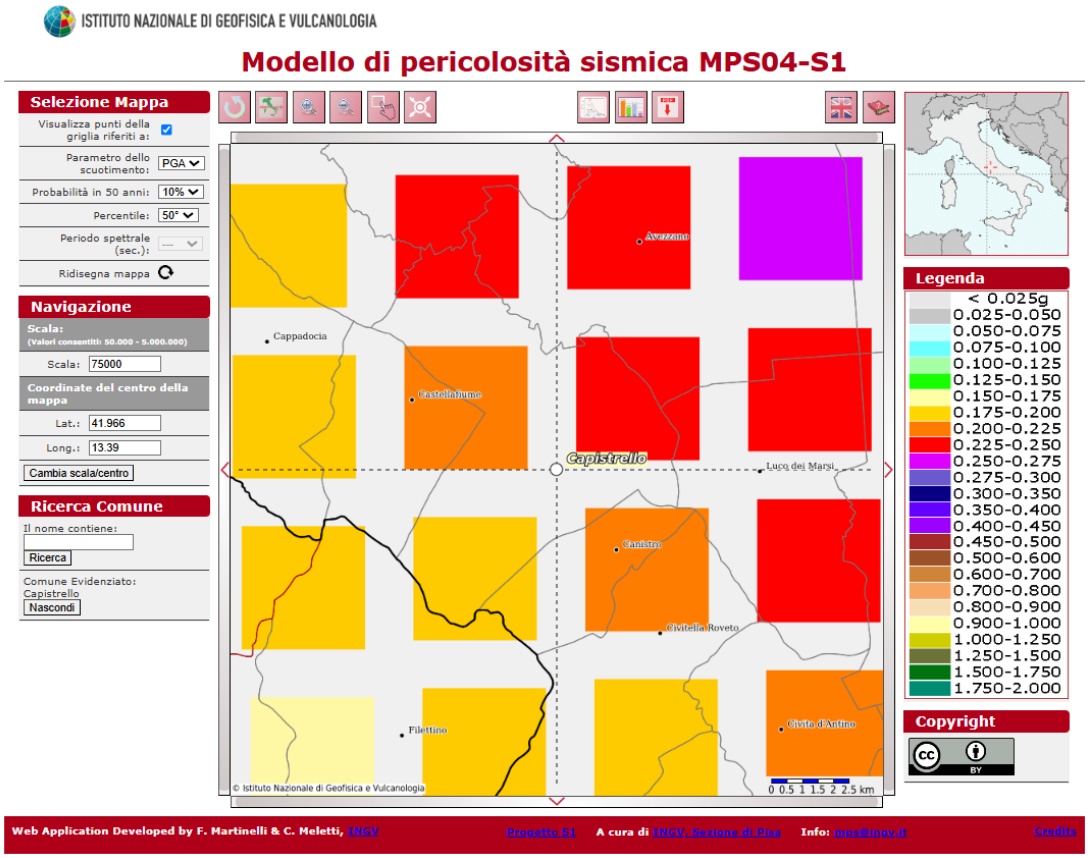
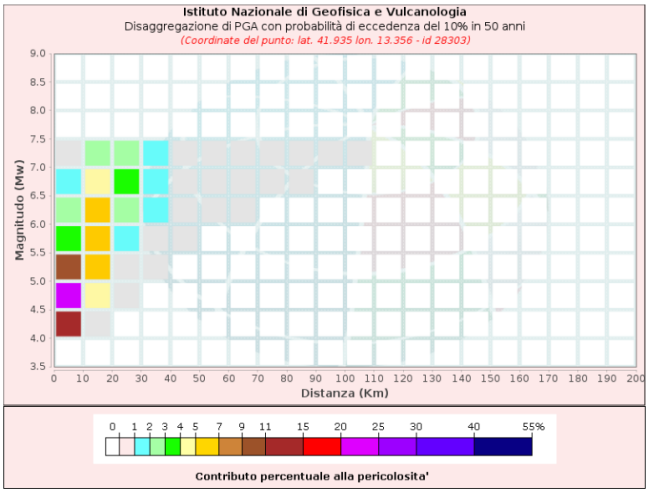


Fig. 14. Mappe interattive di pericolosità sismica – Valore di a(g) per il Comune di Capoistrello (sito INGV)

Le mappe in a(g) (accelerazione orizzontale massima del suolo, come definita dall'OPCM 3519/2006, corrispondente a quella che in ambito internazionale viene chiamata PGA) sono state calcolate per differenti probabilità di superamento in 50 anni (in totale 9, dal 2% all'81%). Per il Comune di Capistrello il valore di a(g) calcolato per una probabilità di superamento del 10% in 50 anni è compreso tra 0.255 g e 0.250 g.

L'analisi di disaggregazione è stata effettuata per il nodo identificato mediante l'ID 28303 ricadente all'interno dell'areale del sito di indagine.



Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni
(Coordinate del punto: lat. 41.935 lon. 13.356 - id 28303)

Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)									
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	13.6000	21.1000	10.4000	3.3800	2.3700	1.3800	0.5410	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	0.9090	4.0800	5.9800	5.9300	5.8400	4.6400	2.3000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0000	0.0196	0.6480	1.7500	2.7200	3.0900	2.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.2960	1.0400	1.6300	1.3100	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0070	0.3000	0.7940	0.7780	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0416	0.3390	0.4230	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0008	0.0831	0.1600	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0143	0.0637	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0010	0.0296	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0080	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0008	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.5	12.5	1.2

Fig. 15. Grafico e Tabella dei valori di disaggregazione per il Comune di Capistrello (da INGV)

L'analisi della disaggregazione dei valori di a(g) riporta, per ogni nodo della griglia di calcolo, la valutazione del contributo percentuale alla stima di pericolosità fornito da tutte le possibili coppie di valori di magnitudo e distanza; questo tipo di analisi è utile nell'individuazione della sorgente sismogenetica che contribuisce maggiormente a produrre il valore di scuotimento stimato in termini probabilistici ed è utile in analisi di microzonazione.

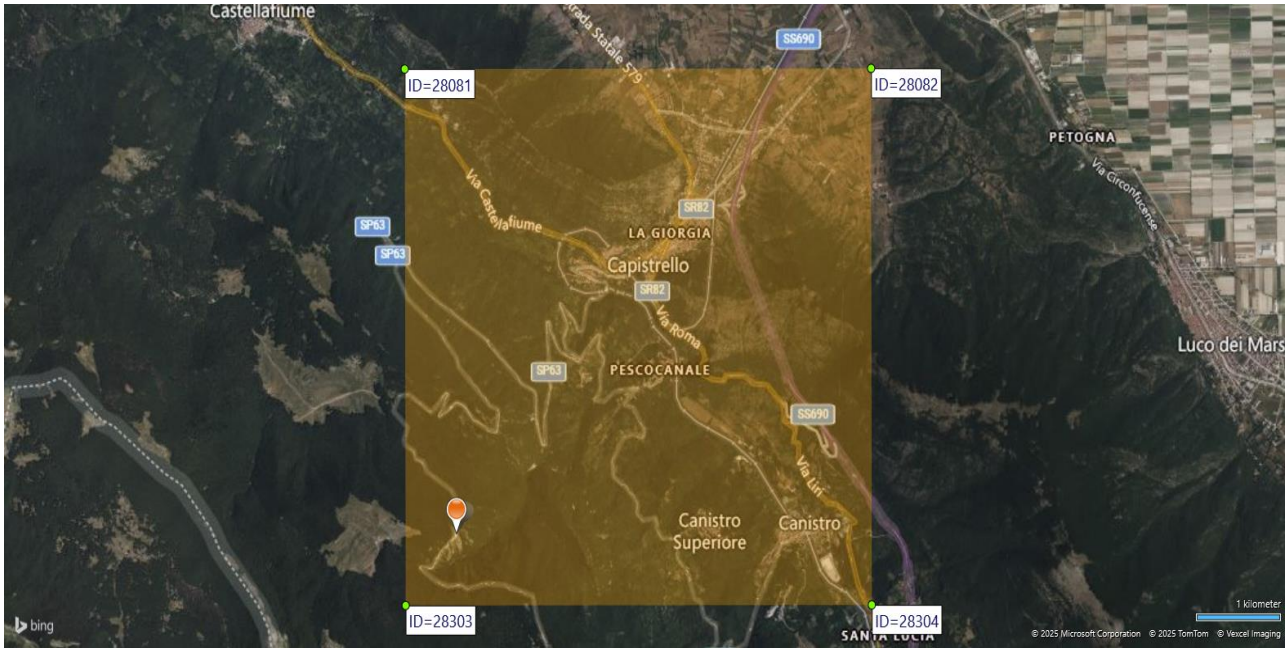
6.3 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

6.3.1 LOCALIZZAZIONE DEL SITO

Descrizione sito : SP63, 67053 Capistrello (AQ)

Coordinate del sito

Latitudine (WGS84) : 41°.9404
Longitudine (WGS84) : 13°.3622
Latitudine (ED50) : 41°.9414
Longitudine (ED50) : 13°.3631
Altezza s.l.m. : 1497.00 m



La valutazione delle azioni sismiche sulle strutture viene condotta in relazione ad un periodo di riferimento c che si ricava moltiplicando la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U (§2.4.3 NTC 2018).

Nel caso specifico risulta:

V_N = 50 anni (Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale)

C_U= 1.0 anni (Classe d'uso II §2.4.2 NTC 2018)

V_R= 50 anni

Gli stati limite nei confronti dell'azione sismica, in relazione alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, si dividono in:

Stati limite di esercizio

Stato Limite di Operatività (***SLO***);
Stato Limite di Danno (***SLD***).

Stati limite ultimi

Stato Limite di salvaguardia della Vita (***SLV***);
Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC).

Per ciascuno degli stati limite considerati viene associata una probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{V_R} (Tab. 3.2.I. NTC 2018).

Per ogni valore di P_{V_R} viene calcolato il periodo di ritorno medio T_R di un evento avente quell'entità attraverso la seguente relazione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})}$$

i valori così ottenuti vengono riportati nella seguente tabella:

Stato limite	$\boldsymbol{P_{V_R}}$[%]	$\boldsymbol{T_R}$[anni]
SLO	81	60
SLD	63	101
SLV	10	949
SLC	5	1950

6.3.2 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

L'elemento di conoscenza primario per la valutazione delle azioni sismiche in un determinato sito è rappresentato dalla "pericolosità sismica di base". Questa viene espressa, per ogni stato limite, in funzione della probabilità di superamento P_{V_R} in termini di spettro di risposta in accelerazione per un suolo di categoria A.

I parametri che identificano la pericolosità sismica di base sono:

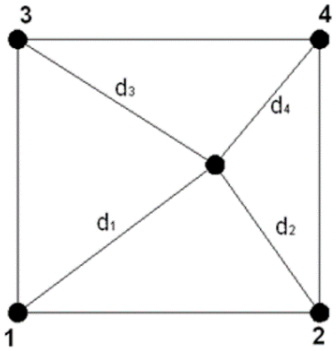
- a_g : accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C^* : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Tali parametri vengono forniti dalla norma (NTC 2018), per diversi periodi di ritorno T_R, su tutto il territorio nazionale in un numero di punti che definiscono un reticolo di riferimento. Pertanto, per ogni punto del territorio nazionale è possibile individuare quattro punti del reticolo in modo da definire una maglia. I parametri sismici di tale punto si ottengono da quelli della maglia attraverso la seguente relazione:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^{4} \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^{4} \frac{1}{d_i}}$$

dove:

- p : generico parametro (a_g, F_0, T_C^*) da calcolare per il punto oggetto di studio;
- d_i : distanza tra il punto oggetto di studio e l'i-esimo punto della maglia;
- p_i : valore del generico parametro (a_g, F_0, T_C^*) nell'i-esimo punto della maglia.



Nel caso specifico si ha:

Coordinate del sito

Latitudine (ED50): 41°.9414
Longitudine (ED50): 13°.3631

Identificativi e coordinate (Datum ED50) dei punti che includono il sito		
Numero punto	**Latitudine [°]**	**Longitudine [°]**
28303	41°.9349	13°.3558
28082	41°.9849	13°.4229
28081	41°.9849	13°.3556
28304	41°.9349	13°.4230

	Parametri dello spettro di risposta orizzontale			
	SLV	**SLC**	**SLD**	**SLO**
Tempo di ritorno [anni]	475	975	50	30
Accelerazione sismica [g]	0.201	0.253	0.081	0.065
Coefficiente Fo	2.388	2.423	2.446	2.457
Periodo T_C*[sec]	0.342	0.358	0.286	0.274

Una volta valutati i parametri che definiscono la pericolosità sismica di base è possibile calcolare le ordinate spettrali degli spettri di risposta in accelerazione mediante le seguenti relazioni:

$$0 \le T < T_B \qquad S_e(T) = a_g\, F_0 \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{F_0}\left(1 - \frac{T}{T_B}\right)\right]$$

$$T_B \le T < T_C \qquad S_e(T) = a_g\, F_0$$

$$T_C \le T < T_D \qquad S_e(T) = a_g\, F_0 \left(\frac{T_C}{T}\right)$$

$$T_D \le T \qquad S_e(T) = a_g\, F_0 \left(\frac{T_C\, T_D}{T^2}\right)$$

Dove:

F_0 : fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2.2;

T_C : è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro

$$T_C = T_C^*$$

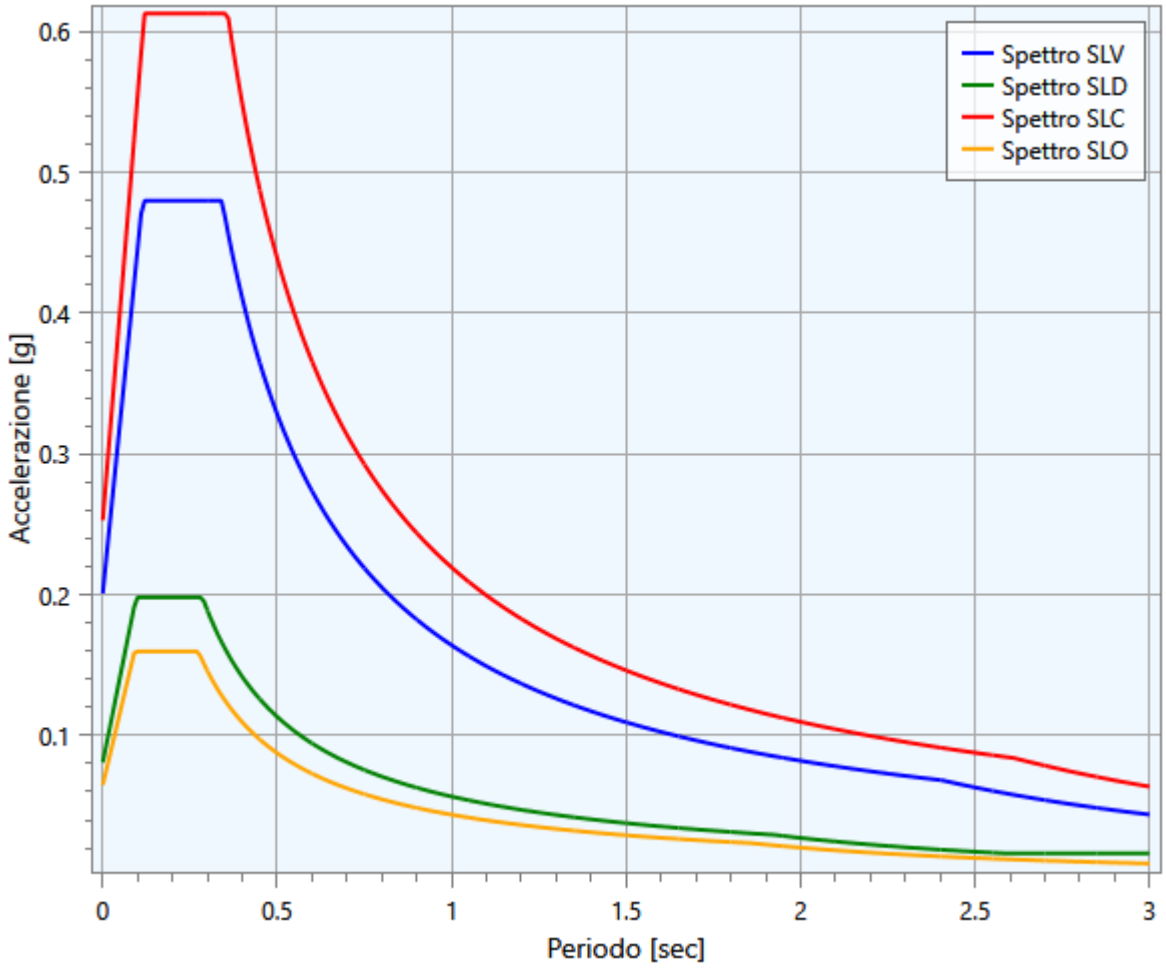
T_B : è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante;

$$T_B = \frac{T_C}{3}$$

T_D : è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione:

$$T_D = 4.0 \frac{a_g}{g} + 1.6$$

Le forme spettrali così valutate vengono riportate per ogni stato limite nella figura seguente.



	Periodi caratteristici dello spettro di risposta orizzontale			
	SLV	**SLC**	**SLD**	**SLO**
$T_B[sec]$	0.114	0.119	0.095	0.091
$T_C[sec]$	0.342	0.358	0.286	0.274
$T_D[sec]$	2.404	2.612	1.924	1.86
C_C	1.00	1.00	1.00	1.00

	Periodi caratteristici dello spettro di risposta verticale			
	SLV	**SLC**	**SLD**	**SLO**
$T_B[sec]$	0.05	0.05	0.05	0.05
$T_C[sec]$	0.15	0.15	0.15	0.15
$T_D[sec]$	1.00	1.00	1.00	1.00
C_C	1.00	1.00	1.00	1.00

6.4 PERICOLOSITA' SISMICA

6.4.1 DEFINZIONE DELL'AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA

Le indagini sismiche MASW+HVSR indicano una categoria di sottosuolo di tipo B, poiché realizzate sul sedime stradale ove il substrato sismico si colloca a profondità variabili oltre i 3.0 m. Tuttavia, considerando che le opere in progetto verranno realizzate sul versante caratterizzato da substrato roccioso sano, superando la parte superficiale alterata, il sito in oggetto, secondo le NTC 2018, può essere considerato come appartenente alla **categoria A** dei suoli fondazionali.

Categoria di suolo	***Tipo di suolo***	***Vs_{30}*** *(m/s)*
A	***Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche più scadenti con spessore massimo pari a 3 metri***	**> 800**
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti* caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da velocità equivalenti comprese tra 360 m/s e 800 m/s	360-800
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s	180-360
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalenti compresi tra 100 m/s e 180 m/s	100-180
E	*Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 metri*	Come C e D con substrato con Vs_{30}>800 m/s

- **Valori dei parametri T_E e T_F:**

Categoria suolo	***Parametri***	
	T_E (s)	***T_F (s)***
A	**4.5**	**10.0**
B	5.0	10.0
C – D - E	6.0	10.0

- **Valori dei parametri dello spettro di risposta elastico della componente verticale:**

Categoria suolo	***Parametri***			
	S_S	***T_B***	***T_C***	***T_D***
A – B – C – D - E	1.0	0.05 s	0.15 s	1.0 s

6.4.2 DEFINIZIONE DELL'AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA

L'area d'indagine è posta lungo un versante roccioso molto acclive. Pertanto, secondo le NTC 2018, il sito può essere classificato come appartenente alla categoria topografia **T2**.

Categoria topografica	***Caratteristiche della superficie topografica***
T1	*Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°*
T2	***Pendii con inclinazione i > 15°***
T3	*Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15° ≤ i ≤ 30°*
T4	*Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°*

6.4.3 PERICOLOSITA' SISMICA

Riassunto parametri sismici	
Categoria sottosuolo	A
Categoria topografica	T2
Classe d'uso	II – cu = 1
Vita nominale	50 anni

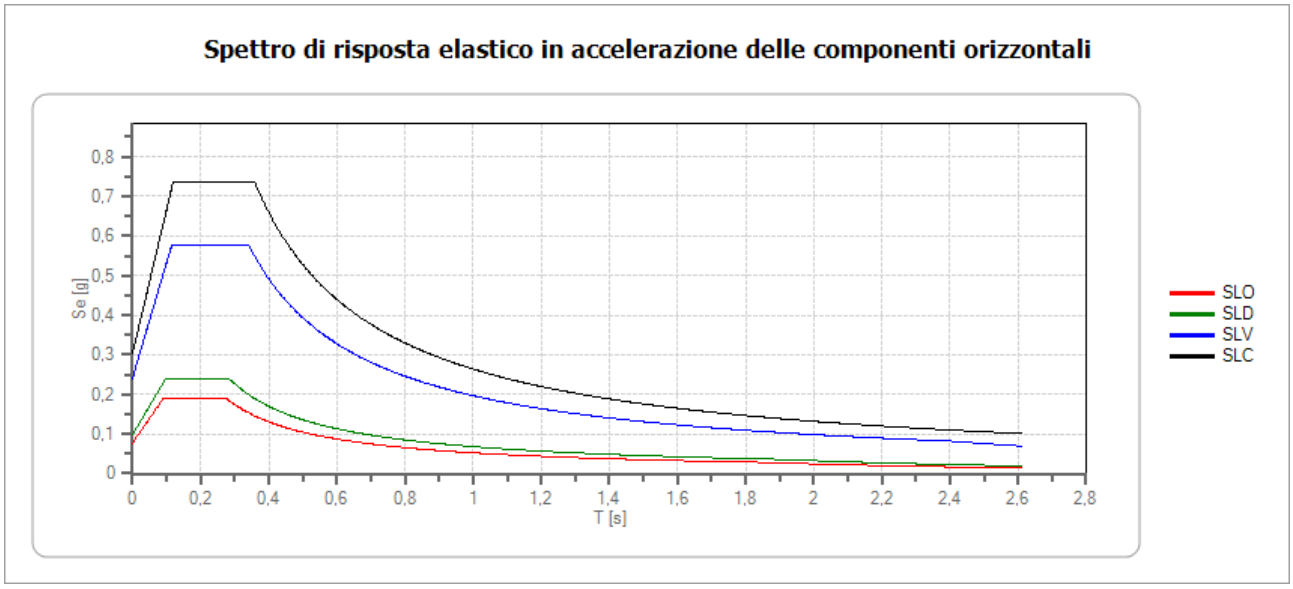


Fig. 16. Spettro di riposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali.

	ag	Fo	Tc*	Ss	Cc	St	S	η	TB	TC	TD
	[g]		[s]						[s]	[s]	[s]
SLO	0,065	2,457	0,274	1,000	1,000	1,200	1,200	1,000	0,091	0,274	1,859
SLD	0,081	2,447	0,286	1,000	1,000	1,200	1,200	1,000	0,095	0,286	1,923
SLV	0,201	2,389	0,342	1,000	1,000	1,200	1,200	1,000	0,114	0,342	2,403
SLC	0,253	2,423	0,358	1,000	1,000	1,200	1,200	1,000	0,119	0,358	2,613

7 INDICAZIONI GEOLOGICO TECNICHE

I parametri geotecnici delle unità geologiche riscontrate presso l'area d'indagine sono state definite sulla base delle n°8 stazioni geomeccaniche realizzate. Di seguito si riporta un riassunto dei risultati la caratterizzazione geotecnica. Per i dettagli si rimanda alla relazione delle indagini.

N	RMRb	Assetto giacitura	RMR	Classificazione	GSI
1	44	sfavorevole	<20	Molto scadente	29
2	45	sfavorevole	<20	Molto scadente	34
3	47	sfavorevole	<20	Molto scadente	41
4	46	sfavorevole	<20	Molto scadente	39
5	45	sfavorevole	<20	Molto scadente	38
6	44	sfavorevole	<20	Molto scadente	35
7	45	sfavorevole	<20	Molto scadente	34
8	44	sfavorevole	<20	Molto scadente	29

N	RMRb	Coesione	Angolo d'attrito	Modulo di deformazione	Resistenza a compressione monoassiale
		c [kPa]	phi [°]	E [GPa]	Su [MPa]
1	44	218	27	6.9	71
2	45	224	27	7.4	71
3	47	233	28	8.2	71
4	46	231	28	8.0	71
5	45	226	28	7.6	71
6	44	222	27	7.3	71
7	45	224	27	7.4	71
8	44	218	27	6.9	71

Sebbene l'ammasso roccioso sia affiorante in gran parte dell'area di studio è possibile che il substrato roccioso sia coperto dai materiali detritici prodotti dall'alterazione del calcare. Alla base dei versanti si ritrova infatti una coltre detritica incoerente costituita da clasti spigolosi di dimensioni tipicamente dell'ordine del centimetro-decimetro. È quindi possibile individuare due unità geotecniche:

Parametro	U.M.	Unità geotecnica	
		Substrato roccioso	Detrito di versante
Peso di volume	kN/m^3	25.00 - 26.00	21.00 - 22.00
Coesione	kPa	220 - 225	0.00
Angolo d'attrito	°	27 - 28	38 - 42

7.1 SEZIONI GEOLITOLOGICHE

Di seguito si riportano le sezioni geolitologiche rappresentative dell'area di studio.



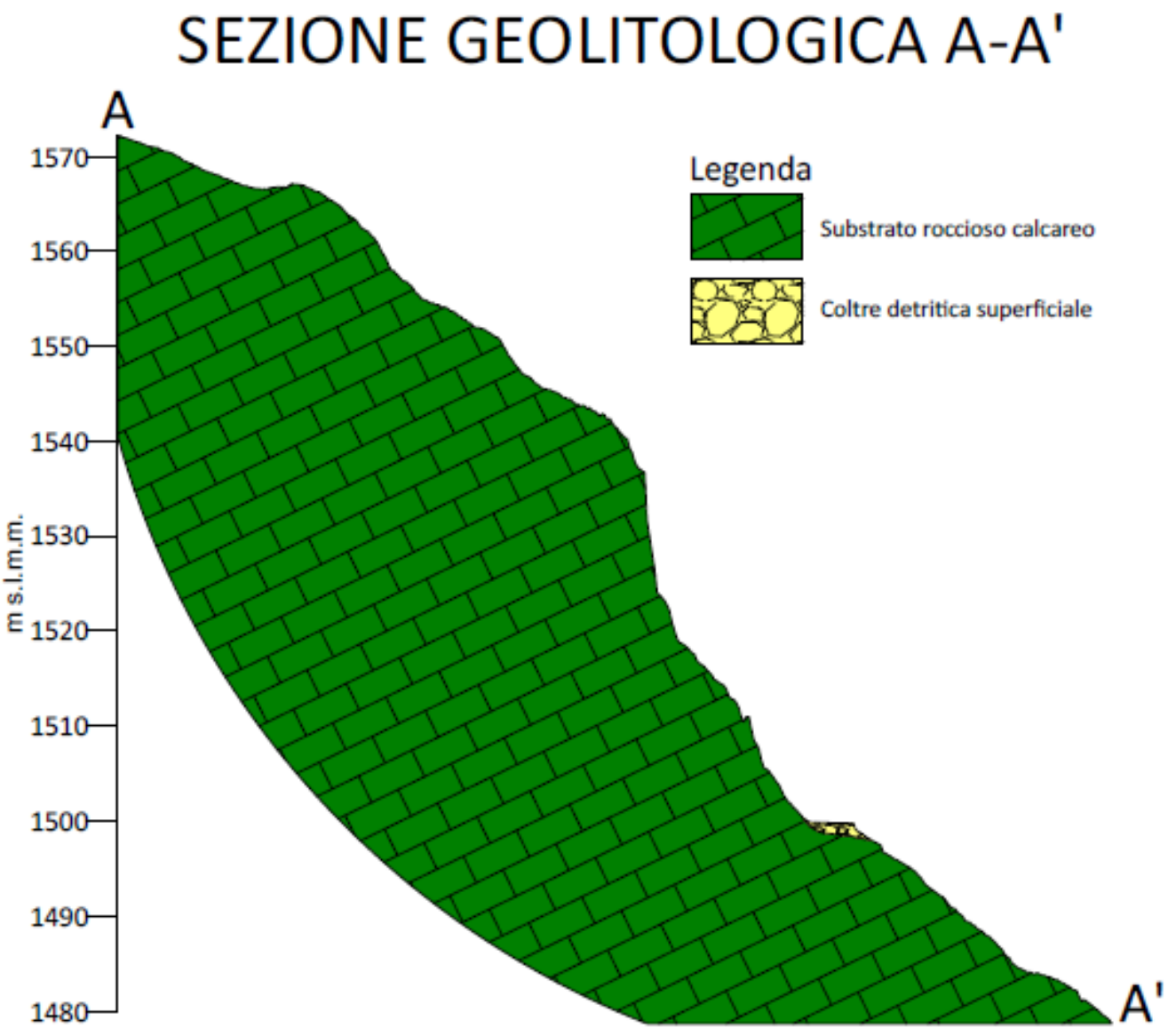


Fig. 17. Sezione geolitologica A-A'.

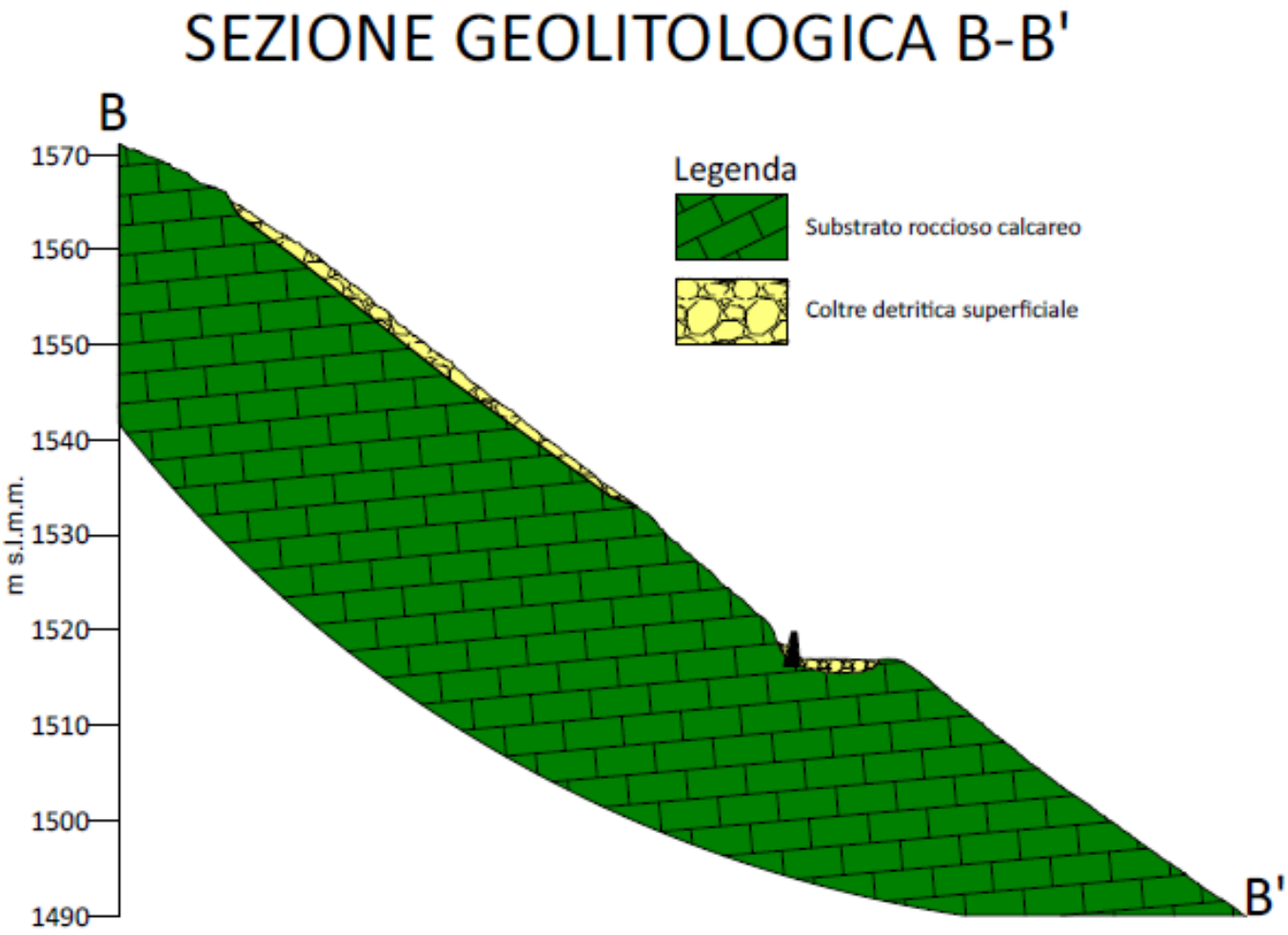


Fig. 18. *Sezione geolitologica B-B'.*

8 ANALISI DI CADUTA MASSI

8.1 CENNI TEORICI

L'analisi di caduta massi 3D è stata applicando il metodo di calcolo "*Lumped Mass Ibrido*".

L'utilizzo di tale metodo implica l'assunzione delle seguenti semplificazioni:

- Il masso è schematizzato come un punto materiale, ignorando aspetti collegati alla forma e orientamento dei blocchi all'istante dell'impatto con la superficie del pendio.
- Il fenomeno d'impatto è schematizzato con riferimento ai coefficienti di restituzione dell'energia, che rappresentano completamente le caratteristiche dell'impatto. Tali coefficienti sono considerati distintamente nella componente normale e tangenziale.
- Il fenomeno di roto-scivolamento è schematizzato con riferimento al coefficiente di attrito volvente dei terreni sul pendio.

La geometria del versante è rappresentata da una maglia di triangoli. L'analisi del rimbalzo e del roto-scivolamento su ciascun triangolo è eseguita con riferimento al piano che lo contiene; è però possibile definire un valore di rugosità del terreno (altezza media delle asperità), che influisce sull'angolo di rimbalzo, secondo le dimensioni del blocco. L'analisi delle varie fasi del moto (rimbalzo - volo - rotoscivolamento) prosegue fino all'arresto del blocco, che avviene quando l'energia traslazionale è inferiore a 1E-06 [kJ] o la velocità traslazionale è inferiore a 0.005 [m/s].

Nella necessità di schematizzare un fenomeno complesso, considerando l'aleatorietà dei parametri che governano l'analisi (topografia, interazione blocco-terreno, condizioni iniziali ...), si utilizza un modello statistico. Ad alcuni parametri, tra cui le dimensioni del blocco, la velocità iniziale, i coefficienti di restituzione, l'angolo d'attrito, la scabrezza ed altri, si può associare una distribuzione normale, definita dal valor medio e dallo scarto quadratico medio (o deviazione standard); nel caso in cui si assegni uno scarto nullo, il parametro avrà natura deterministica. Ad ogni evento lungo il percorso di un blocco, viene valutato un nuovo valore casuale.

8.2 MODELLO DEL VERSANTE

Il modello digitale del versante è stato ottenuto a partire dal rilievo Lidar da drone. La nuvola di punti è stata elaborata al fine di ottenere un DTM con risoluzione pari a 0.25 m. Al fine di alleggerire il processo di calcolo, l'area d'indagine è stata suddivisa in due sottozone denominate ZONA 1 e ZONA 2 le quali sono state analizzate separatamente.

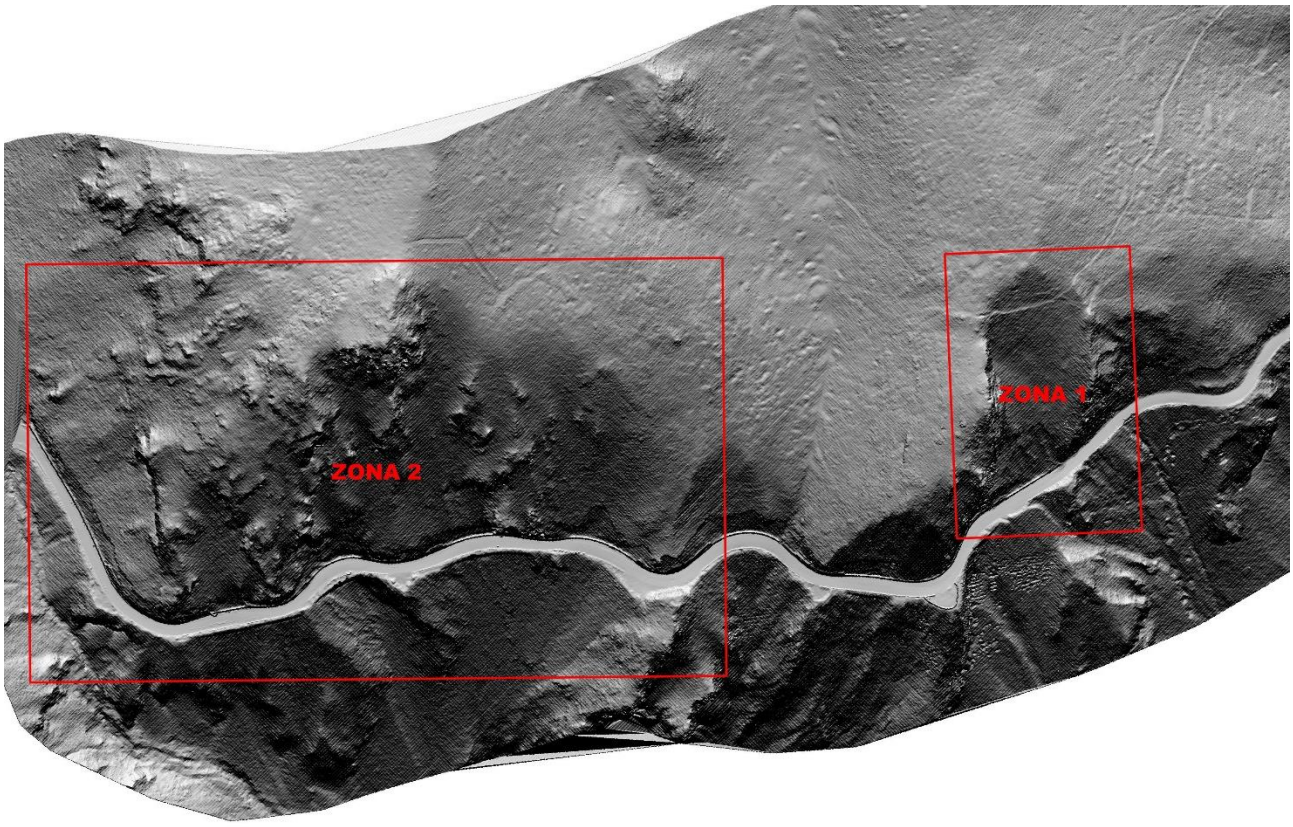


Fig. 19. *Ubicazione delle aree di analisi di caduta massi.*

8.2.1 ZONA 1

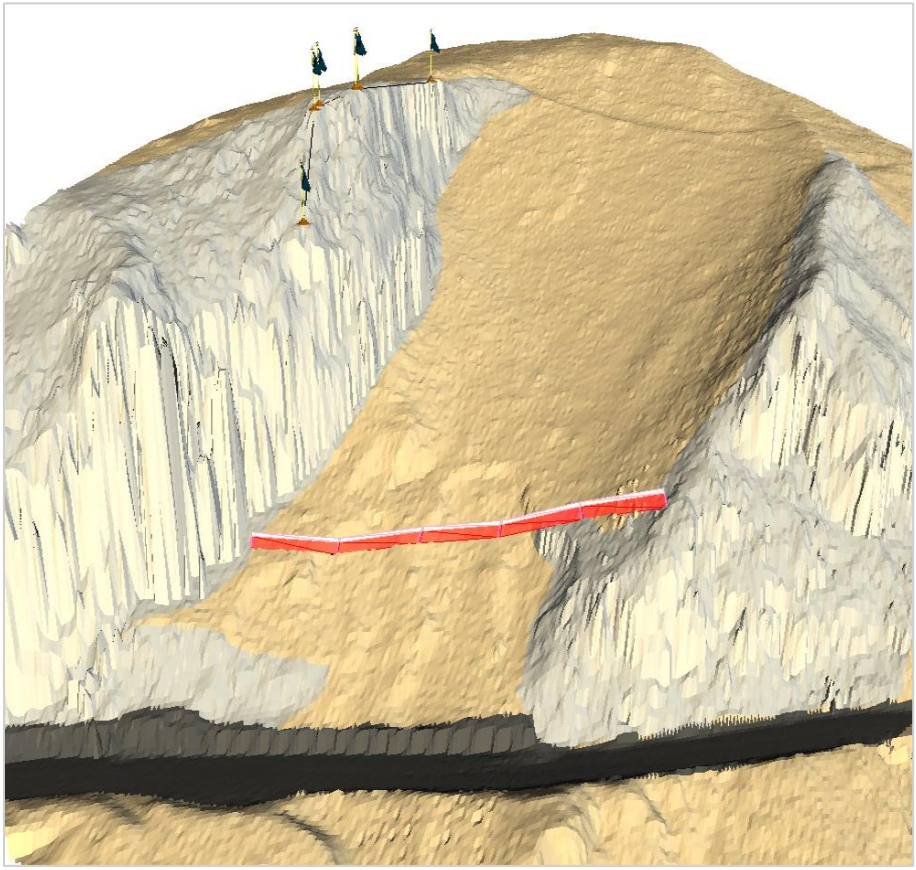


Fig. 20. *Modello del versante della ZONA 1.*

8.2.1.1 TERRENI

All'interno della ZONA 1 sono stati individuate le seguenti tipologie di terreno:

Terreno	Rn	Rt	Mu	Rugosità [m]
Substrato roccioso	0.40	0.87	0.40	0.70
Detrito medio-fine	0.32	0.82	0.50	0.50
Superfici pavimentate	0.40	0.91	0.40	0.05

8.2.1.2 ZONE DI DISTACCO

Per quanto riguarda la ZONA 1, la zona sorgente individuata corrisponde al crinale roccioso subverticale che si sviluppa in derezione NW-SE. Le zone di distacco posizionate sono 3. La dimensione massima dei massi presenti alla base del versante corrisponde a circa 0.42 m^3. Poiché il metodo di calcolo utilizzato approssima il masso ad una sfera, le dimensioni del masso di progetto sono le seguenti:

Zona di distacco	Volume del blocco [m^3]	Diametro equivalente [m]	Peso di Volume kN/m^3]
1	0.42	0.93 ± 0.10	26.00
2	0.42	0.93 ± 0.10	26.00
3	0.42	0.93 ± 0.10	26.00

8.2.1.3 BARRIERA PARAMASSI

All'interno del modello del versante è stata inserita una barriera paramassi con le seguenti caratteristiche:

Nome	N° campi	L [m]	MEL [kJ]	H [m]	Inclinazione [°]
Barriera 1	5	50	1500	5.0	40

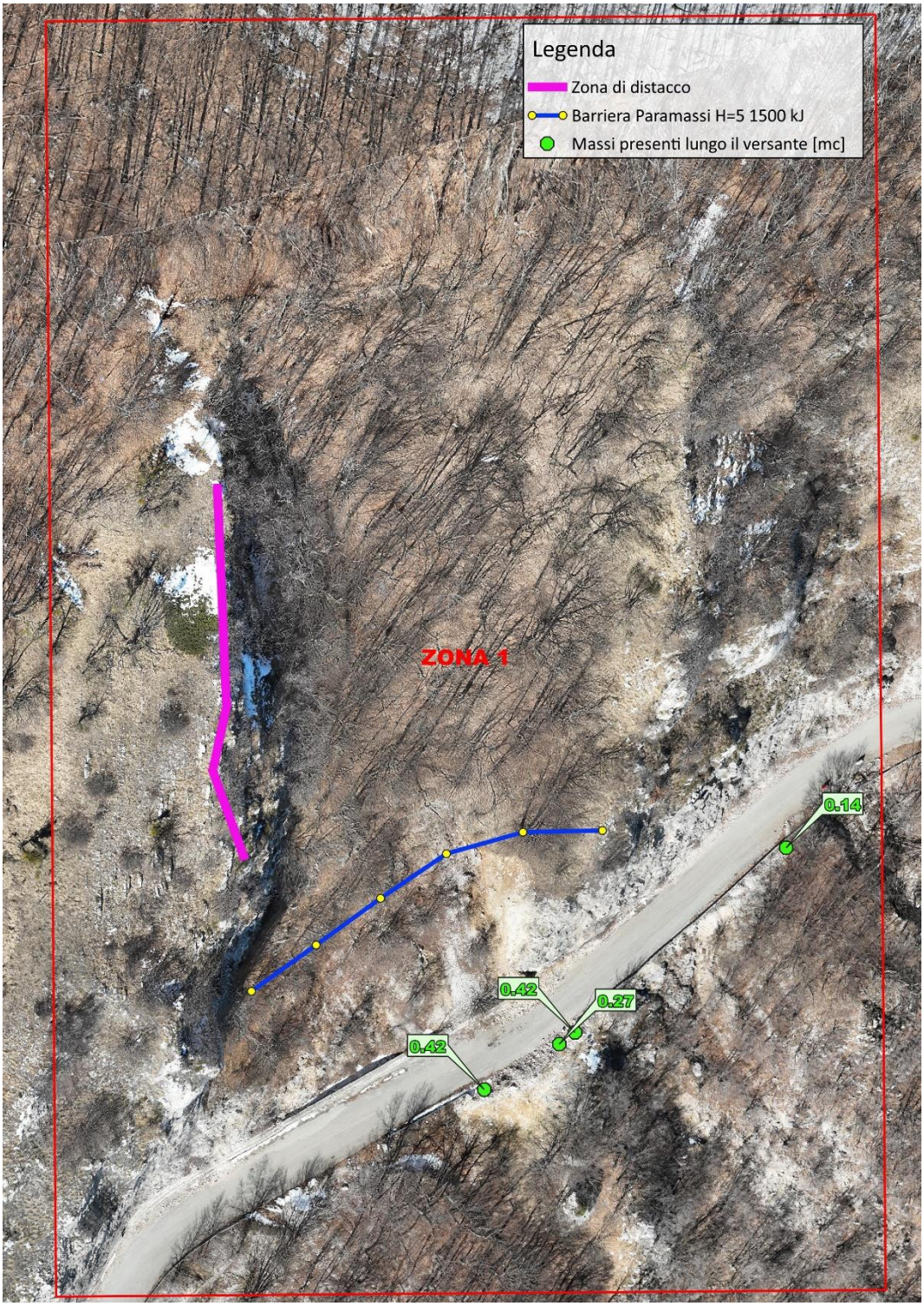


Fig. 21. *Ubicazione delle zone di distacco e dei massi mappati in campagna – ZONA 1.*

8.2.2 ZONA 2

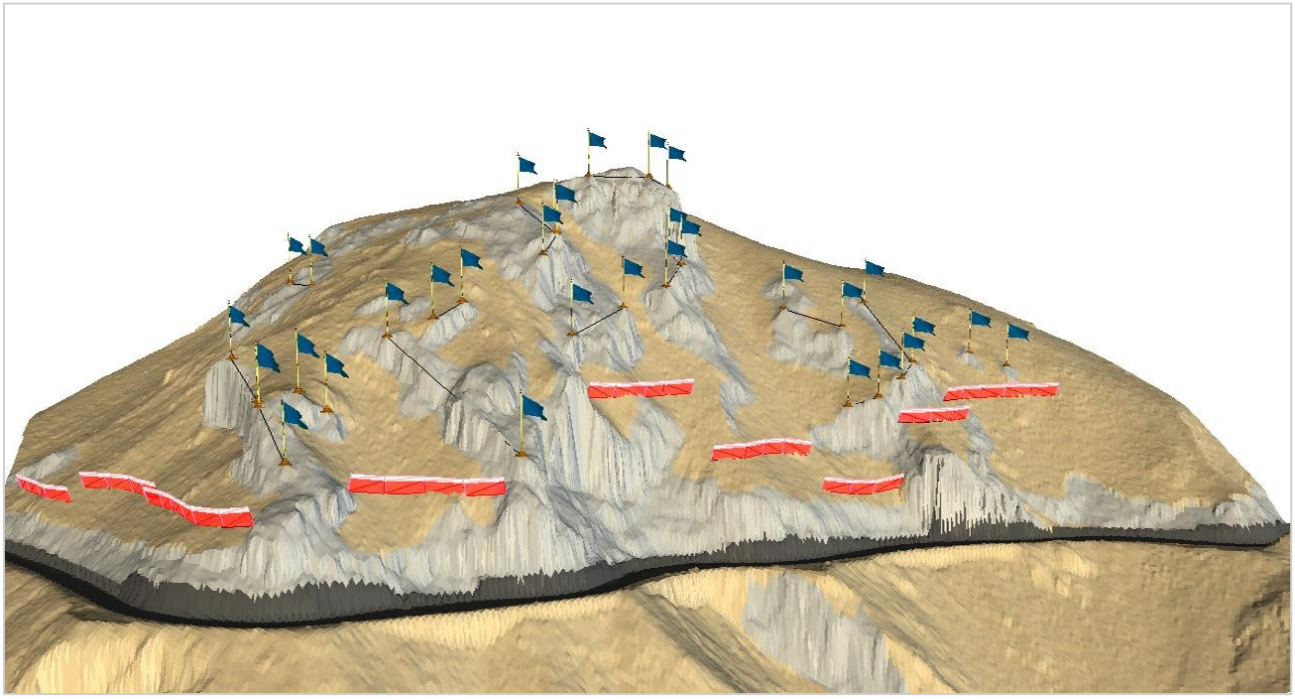


Fig. 22. Modello del versante della ZONA 2.

All'interno della ZONA 2 sono stati individuate le seguenti tipologie di terreno:

Terreno	Rn	Rt	Mu	Rugosità [m]
Substrato roccioso	0.40	0.87	0.40	0.70
Detrito medio-fine	0.32	0.82	0.50	0.50
Superfici pavimentate	0.40	0.91	0.40	0.05

8.2.2.1 ZONE DI DISTACCO

Per quanto riguarda la ZONA 2, le zone sorgenti individuate sono diverse e sono state ubicate in corrispondenza dei principali affioramenti rocciosi. Al fine di ottenere un analisi di caduta massi il più precisa possibile, il volume del masso di progetto è stato definito separatamente per ciascuna zona sorgente ed è stato definito sulla base dei massi mappati lungo il versante. Poiché il metodo di calcolo utilizzato approssima il masso ad una sfera, le dimensioni del masso di progetto sono le seguenti:

Zona di distacco	Volume del blocco [m^3]	Diametro equivalente [m]	Peso di Volume kN/m^3]
4	1.28	1.35 ± 0.10	26.00
5	1.28	1.35 ± 0.10	26.00
6	1.28	1.35 ± 0.10	26.00
7	1.28	1.35 ± 0.10	26.00
8	1.89	1.54 ± 0.10	26.00
9	1.89	1.54 ± 0.10	26.00
10	1.89	1.54 ± 0.10	26.00
11	1.89	1.54 ± 0.10	26.00
12	1.89	1.54 ± 0.10	26.00
13	1.89	1.54 ± 0.10	26.00
14	1.89	1.54 ± 0.10	26.00

15	1.89	1.54 ± 0.10	26.00
16	1.89	1.54 ± 0.10	26.00
17	1.89	1.54 ± 0.10	26.00
18	1.89	1.54 ± 0.10	26.00
19	1.13	1.30 ± 0.10	26.00
20	1.13	1.30 ± 0.10	26.00
21	1.13	1.30 ± 0.10	26.00
22	1.13	1.30 ± 0.10	26.00

8.2.2.2 BARRIERA PARAMASSI

All'interno del modello del versante sono state inserite diverse barriere paramassi con le seguenti caratteristiche:

Nome	N° campi	L [m]	MEL [kJ]	H [m]	Inclinazione [°]
Barriera 2	5	50	1500	3	20
Barriera 3	3	30	1500	3	20
Barriera 4	3	30	3000	5	20
Barriera 5	4	40	3000	5	15
Barriera 6	4	40	3000	5	20
Barriera 7	4	40	1500	3	20
Barriera 8	7	70	1500	3	15
Barriera 9	4	40	1500	5	15
Barriera 10	4	40	1500	5	15

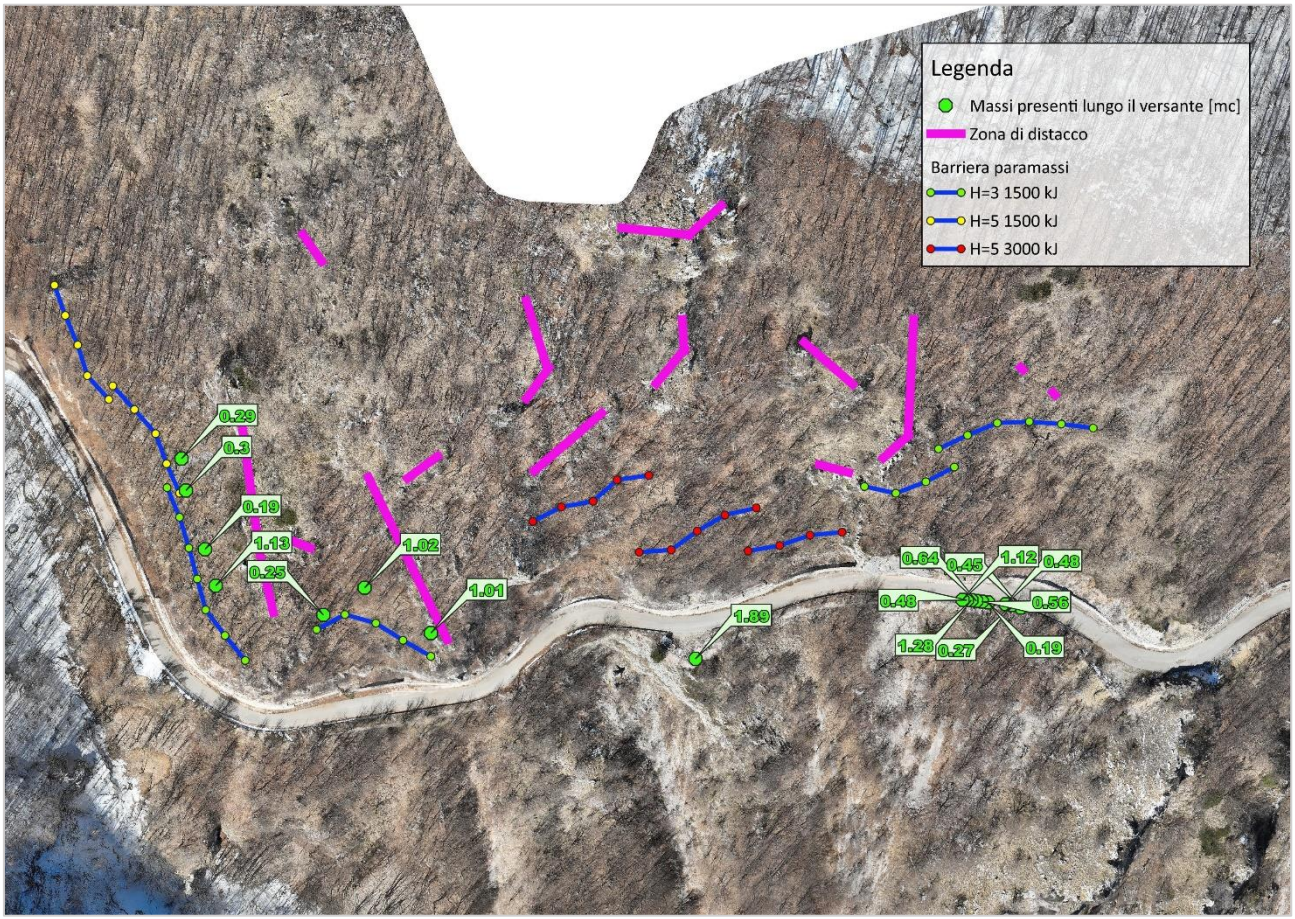


Fig. 23. Ubicazione delle zone di distacco e dei massi mappati in campagna – ZONA 2.

8.3 RISULTATI

8.3.1 ZONA 1

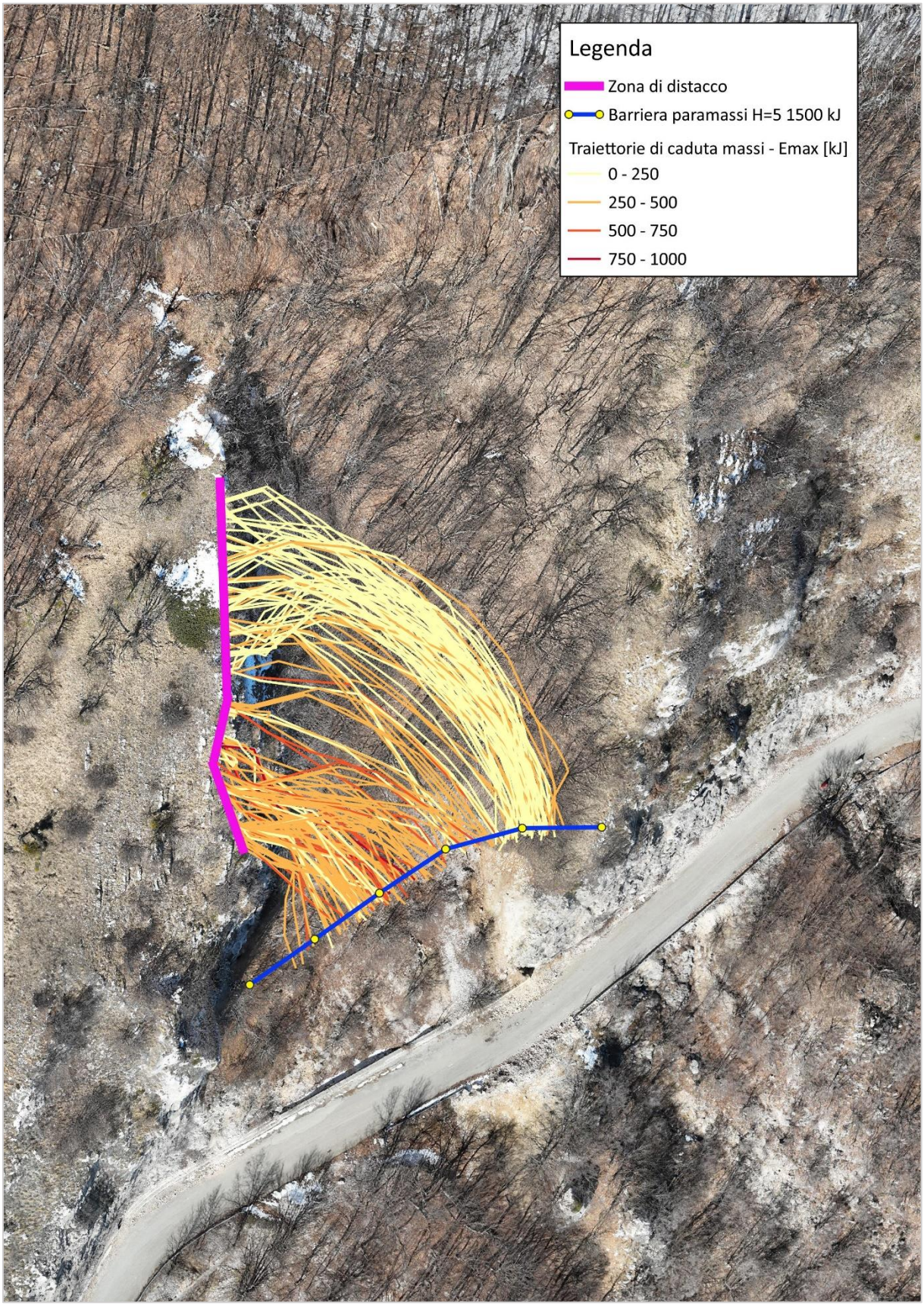


Fig. 24. Traiettorie di caduta massi – Energia traslazionale massima.

Come riportato nell'immagine precedente, la barriera paramassi da 1500 kJ e H=5 m è in grado di arrestare tutti i massi provenienti dal crinale roccioso. Tuttavia, i distacchi dalla porzione di parete più prossima alla viabilità non possono essere gestiti tramite barriere paramassi a causa delle eccesive altezze di rimbalzo. Per tale motivo sarà necessario estendere il rafforzamento corticale fino al bordo delle zone di distacco considerate.

8.3.2 ZONA 2

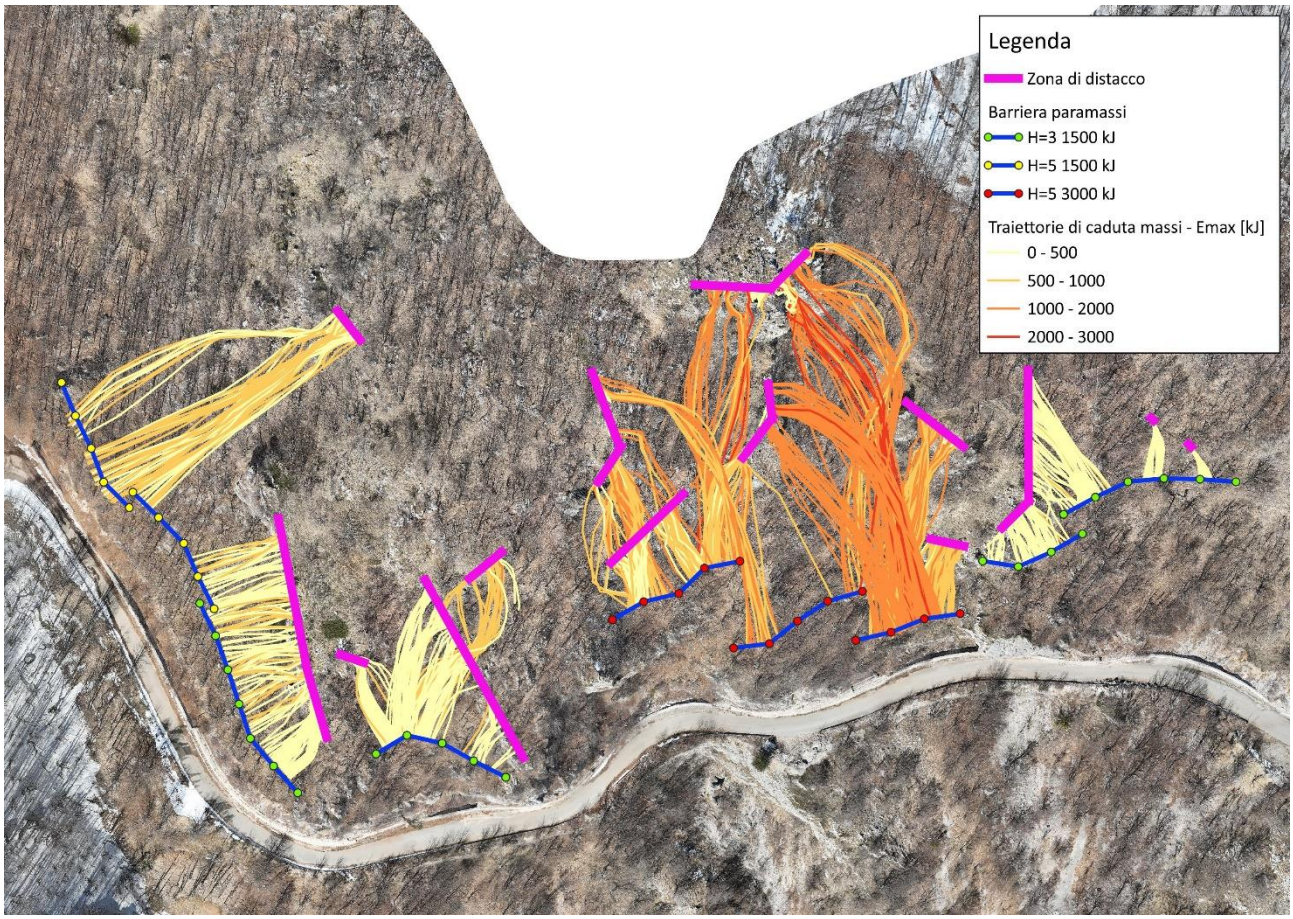


Fig. 25. Traiettorie di caduta massi – Energia traslazionale massima.

Le barriere paramassi inseriti nel modello del versante sono in gradi di gestire la traiettorie di caduta massi provenienti dagli affioramenti rocciosi posti alle quote più alte del versante in oggetto. A causa della ridotta distanza tra alcune pareti rocciose e la viabilità della SP 63 non è possibile gestire il problema della caduta massi interamente con barriere. Pertanto, in alcune aree si renderà necessario realizzate un intervento di rafforzamento corticale molto esteso al fine di evitare il distacco d masse rocciose. La zona più critica corrisponde al tratto centrale dell'area analizzata, dove le energie cinetiche traslazionali sono in grado di raggiungere i 3000 kJ. Per la determinazione dell'energia cinetica di progetto si rimanda al paragrafo succesivo.

8.4 VERIFICHE BARRIERE PARAMASSI

Il dimensionamento delle opere paramassi viene eseguito sulla base dei valori di altezza di rimbalzo ed energia cinetica traslazionale. Nello specifico, il valore di progetto considerato corrisponde al 95° percentile della distribuzione normale del parametro analizzato. Per tale motivo, sono state realizzate individuate una serie di sezione di caduta massi finalizzate alla corretta determinazione dei parametri di progetto. Le sezioni sono numerate progressivamente spostandosi da NE verso SW.

Come riportato nelle norme UNI 11211-4:2012 la verifica delle barriere paramassi è stata condotta utilizzando l'approccio MEL - Maximum Energy Level. La verifica prevede l'applicazione di coefficienti di sicurezza sia ai valori caratteristici delle azioni sia al valore della resistenza energetica della barriera.

Nello specifico sono stati assunti i seguenti coefficineti:

Descrizione	Sigla	Valore
Coeff. rilievo topografia	g_{Dp}	1.02
Coeff. rilievo diametro blocchi	g_{Rb}	1.02
Coeff. rilievo volume blocchi	g_{VOL}	1.02
Coeff. modello di calcolo	g_{Tr}	1.10
Coeff. energia impatto	g_{R}	1.20
Coeff. altezza barriera	g_{H}	1.20
Coeff. resistenza barriera	g_{E}	1.20

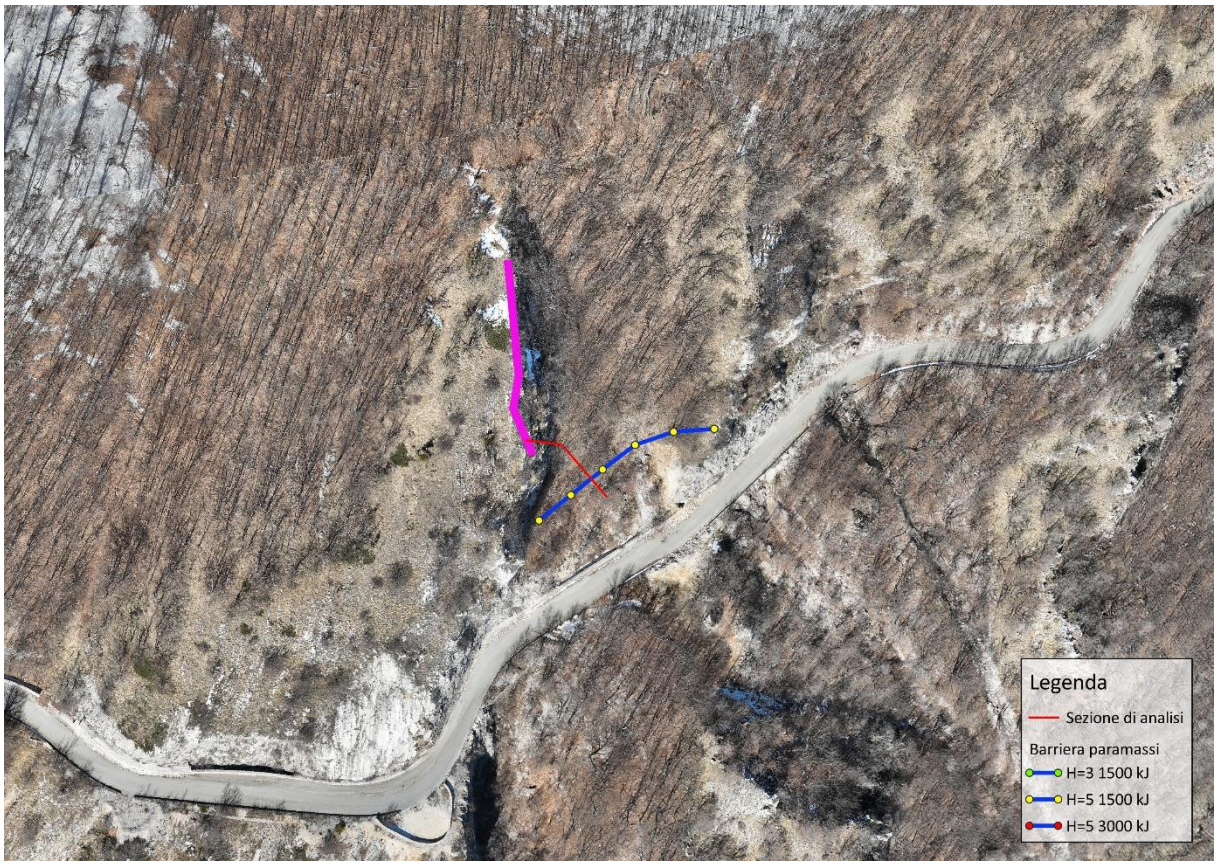


Fig. 26. *Ubicazione delle sezioni di caduta massi zona 1 – sezione 1.*

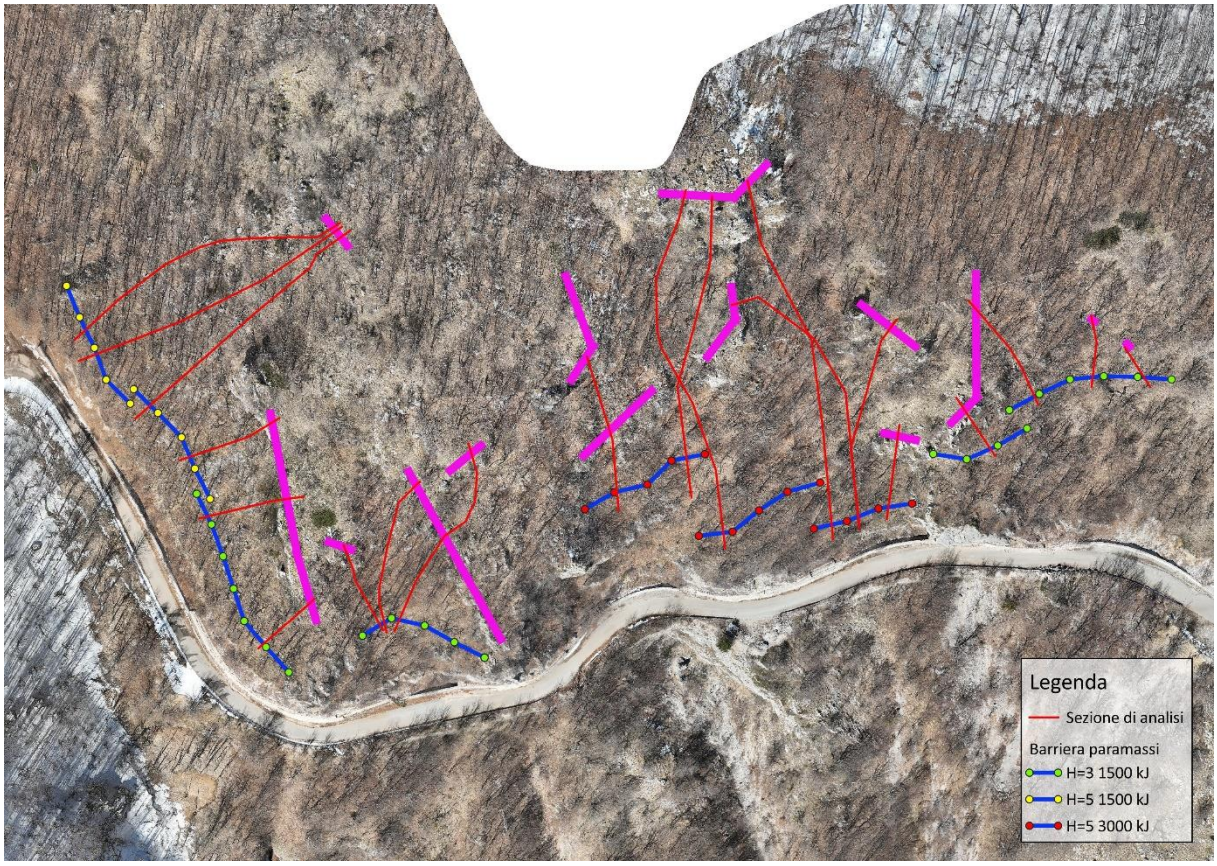


Fig. 27. *Ubicazione delle sezioni di caduta massi zona 2 – sezioni da 2 a 21.*

8.4.1 BARRIERA N°1

8.4.1.1 SEZIONE N°1

Analisi statistica - Numerosità campione = 475			
	Altezza impatto [m]	Velocità impatto [m/s]	Energia impatto [kJ]
Minimo	0	7.42	12.706
Massimo	4.2716	22.97	447.195
Media	1.4969	16.29	156.632
Dev. standard	0.8842	2.4	65.856
95° percentile	2.9504	20.23	264.881

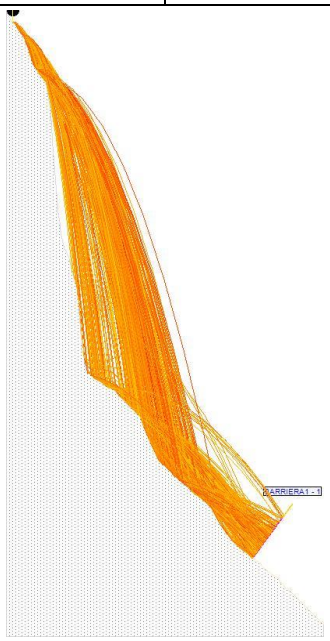


Fig. 28. Sezione di caduta massi n°1.

Analisi semiprobabilistica		
Diametro del blocco [m]	D_{med}	0.931
Massa del blocco [t]	M_{med}	1.15674
Energia traslazionale del blocco [kJ]	E_{95}	264.881
Altezza di impatto [m]	H_{95}	2.9504
Coeff. rilievo topografia	g_{Dp}	1.02
Coeff. rilievo diametro blocchi	g_{Rb}	1.02
Coeff. rilievo volume blocchi	g_{VOL}	1.02
Coeff. modello di calcolo	g_{Tr}	1.10
Coeff. energia impatto	g_R	1.20
D_d [m]	$D_{med}\ g_{Rb}$	0.9496
H_d [m]	$H_{95}\ g_{Dp}\ g_{Tr} + 0.5\ D_d$	***3.7851***
E_d [kJ]	$E_{95}\ g_{Dp}\ g_{VOL}\ g_R\ g_{Tr}$	***363.769***

Verifica barriera		
Altezza nominale barriera [m]	H_b	5.00
Resistenza nominale barriera [kJ]	MEL_b	1500
Coeff. altezza barriera	g_H	1.20
Coeff. resistenza barriera	g_E	1.20
Franco superiore	f_{min}	0.00
$H_{b,d}$[m]	H_b/g_H	***4.20>3.7851 OK***
$MEL_{b,d}$[kJ]	MEL_b/g_E	***1250>363.769 OK***

8.4.2 BARRIERA N°2

8.4.2.1 SEZIONE N°2

Analisi statistica - Numerosità campione = 452			
	Altezza impatto [m]	Velocità impatto [m/s]	Energia impatto [kJ]
Minimo	0	2.79	13.555
Massimo	0.8382	11.1	274.317
Media	0.2525	8.04	113.73
Dev. standard	0.2013	1.06	37.719
95° percentile	0.5835	9.79	175.729

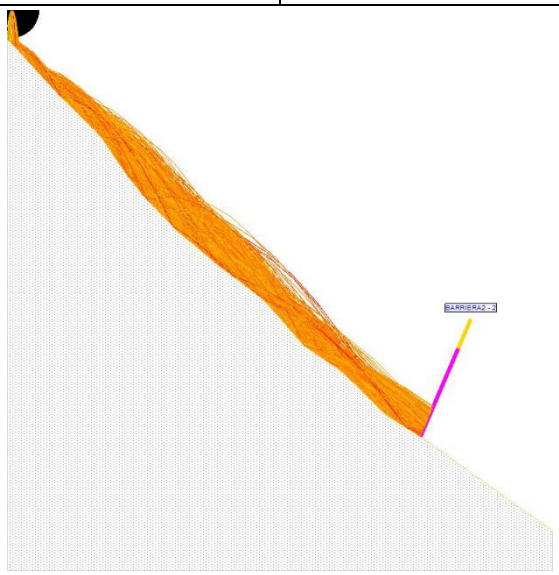


Fig. 29. Sezione di caduta massi n°2.

Analisi semiprobabilistica		
Diametro del blocco [m]	D_{med}	1.3488
Massa del blocco [t]	M_{med}	3.45463
Energia traslazionale del blocco [kJ]	E_{95}	175.729
Altezza di impatto [m]	H_{95}	0.5835
Coeff. rilievo topografia	g_{Dp}	1.02
Coeff. rilievo diametro blocchi	g_{Rb}	1.02
Coeff. rilievo volume blocchi	g_{VOL}	1.02
Coeff. modello di calcolo	g_{Tr}	1.10
Coeff. energia impatto	g_R	1.20
D_d [m]	$D_{med}\ g_{Rb}$	1.3758
H_d [m]	$H_{95}\ g_{Dp}\ g_{Tr} + 0.5\ D_d$	***1.3425***
E_d [kJ]	$E_{95}\ g_{Dp}\ g_{VOL}\ g_R\ g_{Tr}$	***241.334***

Verifica barriera		
Altezza nominale barriera [m]	H_b	3.00
Resistenza nominale barriera [kJ]	MEL_b	1500
Coeff. altezza barriera	g_H	1.20
Coeff. resistenza barriera	g_E	1.20
Franco superiore	f_{min}	0.0
$H_{b,d}$[m]	H_b/g_H	***2.50>1.3425 OK***

$MEL_{b,d}$[kJ]	MEL_b/g_E	***1250>241.334 OK***

8.4.2.2 SEZIONE N°3

Analisi statistica - Numerosità campione = 428			
	Altezza impatto [m]	Velocità impatto [m/s]	Energia impatto [kJ]
Minimo	0	2.38	11.503
Massimo	0.9843	12.39	406.097
Media	0.2794	9.84	172.845
Dev. standard	0.2195	1.42	59.525
95° percentile	0.6402	12.17	270.69

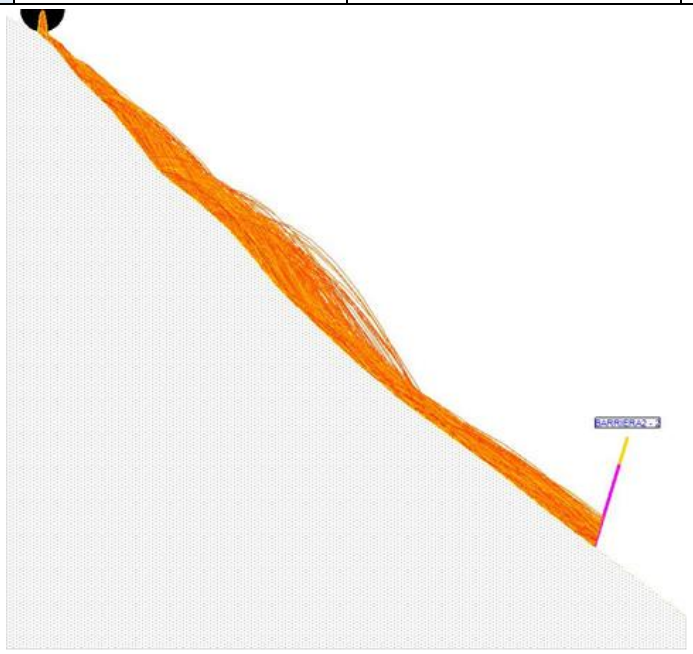


Fig. 30. Sezione di caduta massi n°3.

Analisi semiprobabilistica		
Diametro del blocco [m]	D_{med}	1.3529
Massa del blocco [t]	M_{med}	3.49551
Energia traslazionale del blocco [kJ]	E_{95}	270.69
Altezza di impatto [m]	H_{95}	0.6402
Coeff. rilievo topografia	g_{Dp}	1.02
Coeff. rilievo diametro blocchi	g_{Rb}	1.02
Coeff. rilievo volume blocchi	g_{VOL}	1.02
Coeff. modello di calcolo	g_{Tr}	1.10
Coeff. energia impatto	g_R	1.20
D_d [m]	$D_{med}\ g_{Rb}$	1.3799
H_d [m]	$H_{95}\ g_{Dp}\ g_{Tr}$ + 0.5 D_d	***1.4083***
E_d [kJ]	$E_{95}\ g_{Dp}\ g_{VOL}\ g_R\ g_{Tr}$	***371.747***

Verifica barriera		
Altezza nominale barriera [m]	H_b	3.00
Resistenza nominale barriera [kJ]	MEL_b	1500
Coeff. altezza barriera	g_H	1.20
Coeff. resistenza barriera	g_E	1.20
Franco superiore	f_{min}	0.0

$H_{b,d}$[m]	H_b/g_H	***2.50>1.4083 OK***
$MEL_{b,d}$[kJ]	MEL_b/g_E	***1250>371.747 OK***

8.4.2.3 SEZIONE N°4

Analisi statistica - Numerosità campione = 289			
	Altezza impatto [m]	Velocità impatto [m/s]	Energia impatto [kJ]
Minimo	0.0022	5.12	59.873
Massimo	1.8647	15.79	534.276
Media	0.6789	12.54	287.258
Dev. standard	0.4911	2.01	100.945
95° percentile	1.4861	15.84	453.186

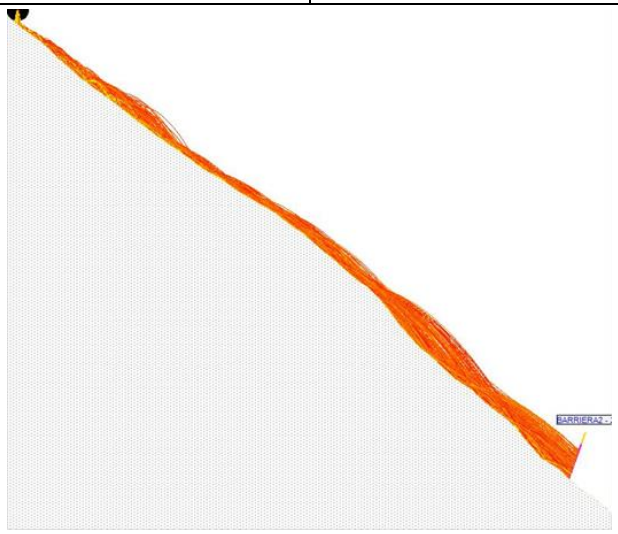


Fig. 31. Sezione di caduta massi n°4.

Analisi semiprobabilistica		
Diametro del blocco [m]	D_{med}	1.3637
Massa del blocco [t]	M_{med}	3.57082
Energia traslazionale del blocco [kJ]	E_{95}	453.186
Altezza di impatto [m]	H_{95}	1.4861
Coeff. rilievo topografia	g_{Dp}	1.02
Coeff. rilievo diametro blocchi	g_{Rb}	1.02
Coeff. rilievo volume blocchi	g_{VOL}	1.02
Coeff. modello di calcolo	g_{Tr}	1.10
Coeff. energia impatto	g_R	1.20
D_d [m]	$D_{med}\ g_{Rb}$	1.391
H_d [m]	$H_{95}\ g_{Dp}\ g_{Tr} + 0.5\ D_d$	***2.3628***
E_d [kJ]	$E_{95}\ g_{Dp}\ g_{VOL}\ g_R\ g_{Tr}$	***622.373***

Verifica barriera		
Altezza nominale barriera [m]	H_b	3.00
Resistenza nominale barriera [kJ]	MEL_b	1500
Coeff. altezza barriera	g_H	1.20
Coeff. resistenza barriera	g_E	1.20
Franco superiore	f_{min}	0.0
$H_{b,d}$[m]	H_b/g_H	***2.50>2.3628 OK***
$MEL_{b,d}$[kJ]	MEL_b/g_E	***1250>622.373 OK***

8.4.3 BARRIERA N°3

8.4.3.1 SEZIONE N°5

Analisi statistica - Numerosità campione = 302			
	Altezza impatto [m]	Velocità impatto [m/s]	Energia impatto [kJ]
Minimo	0.0007	4.24	23.133
Massimo	1.8731	14.5	444.866
Media	0.4951	10.52	201.936
Dev. standard	0.3586	1.67	76.376
95° percentile	1.0846	13.27	327.48

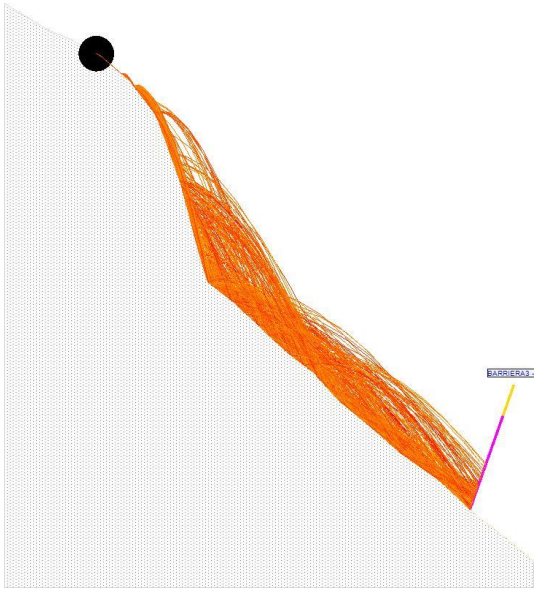


Fig. 32. Sezione di caduta massi n°5.

Analisi semiprobabilistica		
Diametro del blocco [m]	D_{med}	1.3611
Massa del blocco [t]	M_{med}	3.55601
Energia traslazionale del blocco [kJ]	E_{95}	327.48
Altezza di impatto [m]	H_{95}	1.0846
Coeff. rilievo topografia	g_{Dp}	1.02
Coeff. rilievo diametro blocchi	g_{Rb}	1.02
Coeff. rilievo volume blocchi	g_{VOL}	1.02
Coeff. modello di calcolo	g_{Tr}	1.10
Coeff. energia impatto	g_R	1.20
D_d [m]	$D_{med}\ g_{Rb}$	1.3884
H_d [m]	$H_{95}\ g_{Dp}\ g_{Tr} + 0.5\ D_d$	***1.9111***
E_d [kJ]	$E_{95}\ g_{Dp}\ g_{VOL}\ g_R\ g_{Tr}$	***449.737***

Verifica barriera		
Altezza nominale barriera [m]	H_b	3.00
Resistenza nominale barriera [kJ]	MEL_b	1500
Coeff. altezza barriera	g_H	1.20
Coeff. resistenza barriera	g_E	1.20
Franco superiore	f_{min}	0.0
$H_{b,d}$[m]	H_b/g_H	***2.50>1.9111 OK***
$MEL_{b,d}$[kJ]	MEL_b/g_E	***1250>449.737 OK***

8.4.4 BARRIERA N°4

8.4.4.1 SEZIONE N°6

Analisi statistica - Numerosità campione = 436			
	Altezza impatto [m]	Velocità impatto [m/s]	Energia impatto [kJ]
Minimo	0.0006	2.91	16.167
Massimo	1.2209	16.12	878.279
Media	0.2565	11.3	339.339
Dev. standard	0.2066	1.76	127.939
95° percentile	0.5961	14.2	549.64

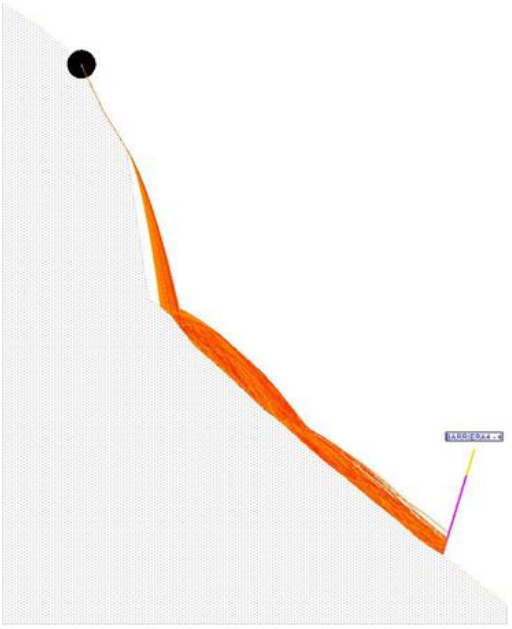


Fig. 33. Sezione di caduta massi n°6.

Analisi semiprobabilistica		
Diametro del blocco [m]	D_{med}	1.5422
Massa del blocco [t]	M_{med}	5.15671
Energia traslazionale del blocco [kJ]	E_{95}	549.64
Altezza di impatto [m]	H_{95}	0.5961
Coeff. rilievo topografia	g_{Dp}	1.02
Coeff. rilievo diametro blocchi	g_{Rb}	1.02
Coeff. rilievo volume blocchi	g_{VOL}	1.02
Coeff. modello di calcolo	g_{Tr}	1.10
Coeff. energia impatto	g_R	1.20
D_d [m]	$D_{med}\ g_{Rb}$	1.573
H_d [m]	$H_{95}\ g_{Dp}\ g_{Tr} + 0.5\ D_d$	***1.4554***
E_d [kJ]	$E_{95}\ g_{Dp}\ g_{VOL}\ g_R\ g_{Tr}$	***754.836***

Verifica barriera		
Altezza nominale barriera [m]	H_b	5.00
Resistenza nominale barriera [kJ]	MEL_b	3000
Coeff. altezza barriera	g_H	1.20
Coeff. resistenza barriera	g_E	1.20
Franco superiore	f_{min}	0.0
$H_{b,d}$[m]	H_b/g_H	***4.20>1.4554 OK***
$MEL_{b,d}$[kJ]	MEL_b/g_E	***2500>754.836 OK***

8.4.4.2 SEZIONE N°7

Analisi statistica - Numerosità campione = 483			
	Altezza impatto [m]	Velocità impatto [m/s]	Energia impatto [kJ]
Minimo	0.0003	9.53	184.726
Massimo	1.9691	22.74	1553.201
Media	0.4957	16.06	688.053
Dev. standard	0.382	1.92	214.271
95° percentile	1.1236	19.22	1040.261



Fig. 34. Sezione di caduta massi n°7.

Analisi semiprobabilistica		
Diametro del blocco [m]	D_{med}	1.5462
Massa del blocco [t]	M_{med}	5.19344
Energia traslazionale del blocco [kJ]	E_{95}	1054.877
Altezza di impatto [m]	H_{95}	1.0986
Coeff. rilievo topografia	g_{Dp}	1.02
Coeff. rilievo diametro blocchi	g_{Rb}	1.02
Coeff. rilievo volume blocchi	g_{VOL}	1.02
Coeff. modello di calcolo	g_{Tr}	1.10
Coeff. energia impatto	g_R	1.20
D_d [m]	$D_{med}\ g_{Rb}$	1.5771
H_d [m]	$H_{95}\ g_{Dp}\ g_{Tr} + 0.5\ D_d$	***2.0211***
E_d [kJ]	$E_{95}\ g_{Dp}\ g_{VOL}\ g_R\ g_{Tr}$	***1448.692***

Verifica barriera		
Altezza nominale barriera [m]	H_b	5.00
Resistenza nominale barriera [kJ]	MEL_b	3000
Coeff. altezza barriera	g_H	1.20
Coeff. resistenza barriera	g_E	1.20
Franco superiore	f_{min}	0.0
$H_{b,d}$[m]	H_b/g_H	***4.20>2.0211 OK***
$MEL_{b,d}$[kJ]	MEL_b/g_E	***2500>1448.692 OK***

8.4.4.3 SEZIONE N°8

Analisi statistica - Numerosità campione = 95			
	Altezza impatto [m]	Velocità impatto [m/s]	Energia impatto [kJ]
Minimo	0.0496	11.4	413.466
Massimo	3.0662	21.65	1578.057
Media	0.7976	18.95	926.563
Dev. standard	0.6395	1.62	223.476
95° percentile	1.8489	21.62	1293.902

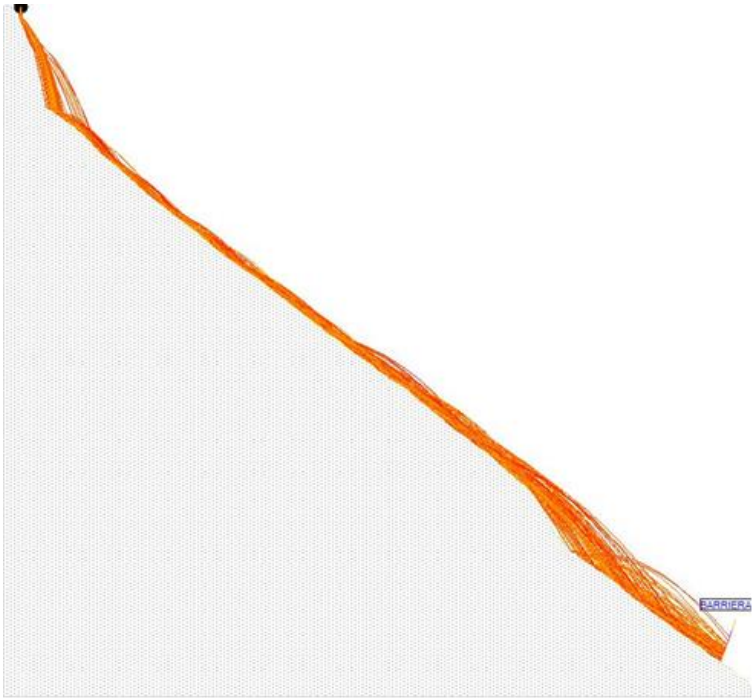


Fig. 35. Sezione di caduta massi n°8.

Analisi semiprobabilistica		
Diametro del blocco [m]	D_{med}	1.5405
Massa del blocco [t]	M_{med}	5.12485
Energia traslazionale del blocco [kJ]	E_{95}	1293.902
Altezza di impatto [m]	H_{95}	1.8489
Coeff. rilievo topografia	g_{Dp}	1.02
Coeff. rilievo diametro blocchi	g_{Rb}	1.02
Coeff. rilievo volume blocchi	g_{VOL}	1.02
Coeff. modello di calcolo	g_{Tr}	1.10
Coeff. energia impatto	g_R	1.20
D_d [m]	$D_{med}\ g_{Rb}$	1.5713
H_d [m]	$H_{95}\ g_{Dp}\ g_{Tr} + 0.5\ D_d$	***2.8601***
E_d [kJ]	$E_{95}\ g_{Dp}\ g_{VOL}\ g_R\ g_{Tr}$	***1776.951***

Verifica barriera		
Altezza nominale barriera [m]	H_b	5.00
Resistenza nominale barriera [kJ]	MEL_b	3000
Coeff. altezza barriera	g_H	1.20
Coeff. resistenza barriera	g_E	1.20
Franco superiore	f_{min}	0.0
$H_{b,d}$[m]	H_b/g_H	***4.20>2.8601OK***
$MEL_{b,d}$[kJ]	MEL_b/g_E	***2500>1776.951 OK***

8.4.4.4 SEZIONE N°9

Analisi statistica - Numerosità campione = 351			
	Altezza impatto [m]	Velocità impatto [m/s]	Energia impatto [kJ]
Minimo	0.0294	17.26	615.979
Massimo	2.6038	25.44	1861.942
Media	1.033	20.98	1164.488
Dev. standard	0.7263	2.03	306.691
95° percentile	2.2268	24.31	1668.612

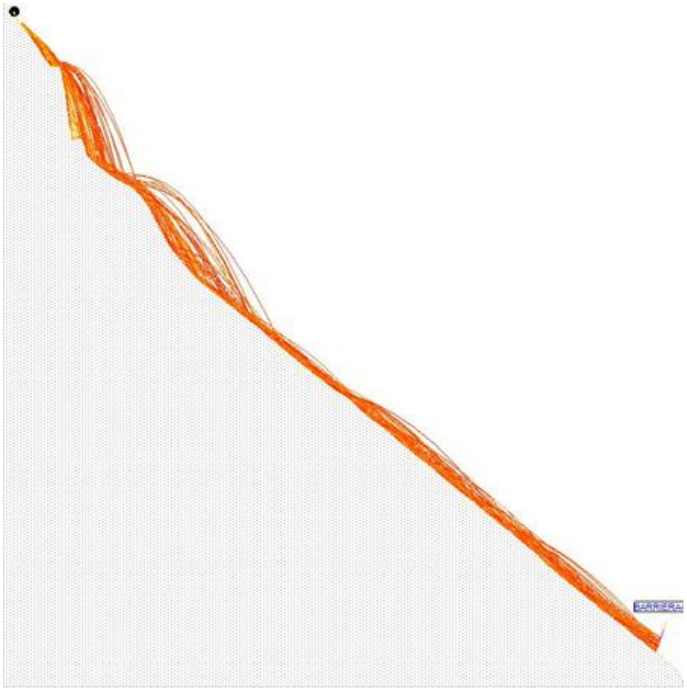


Fig. 36. Sezione di caduta massi n°9.

Analisi semiprobabilistica		
Diametro del blocco [m]	D_{med}	1.551
Massa del blocco [t]	M_{med}	5.23107
Energia traslazionale del blocco [kJ]	E_{95}	1668.612
Altezza di impatto [m]	H_{95}	2.2268
Coeff. rilievo topografia	g_{Dp}	1.02
Coeff. rilievo diametro blocchi	g_{Rb}	1.02
Coeff. rilievo volume blocchi	g_{VOL}	1.02
Coeff. modello di calcolo	g_{Tr}	1.10
Coeff. energia impatto	g_R	1.20
D_d [m]	$D_{med}\ g_{Rb}$	1.582
H_d [m]	$H_{95}\ g_{Dp}\ g_{Tr} + 0.5\ D_d$	***3.2895***
E_d [kJ]	$E_{95}\ g_{Dp}\ g_{VOL}\ g_R\ g_{Tr}$	***2291.551***

Verifica barriera		
Altezza nominale barriera [m]	H_b	5.00
Resistenza nominale barriera [kJ]	MEL_b	3000
Coeff. altezza barriera	g_H	1.20
Coeff. resistenza barriera	g_E	1.20
Franco superiore	f_{min}	0.0
$H_{b,d}$[m]	H_b/g_H	***4.20>3.2895 OK***
$MEL_{b,d}$[kJ]	MEL_b/g_E	***2500>2291.551 OK***

8.4.5 BARRIERA N°5

8.4.5.1 SEZIONE N°10

Analisi statistica - Numerosità campione = 325			
	Altezza impatto [m]	Velocità impatto [m/s]	Energia impatto [kJ]
Minimo	0.0001	15.51	530.13
Massimo	3.7724	26.9	2048.948
Media	0.92	20.92	1144.8
Dev. standard	0.7453	2	305.359
95° percentile	2.145	24.2	1646.733

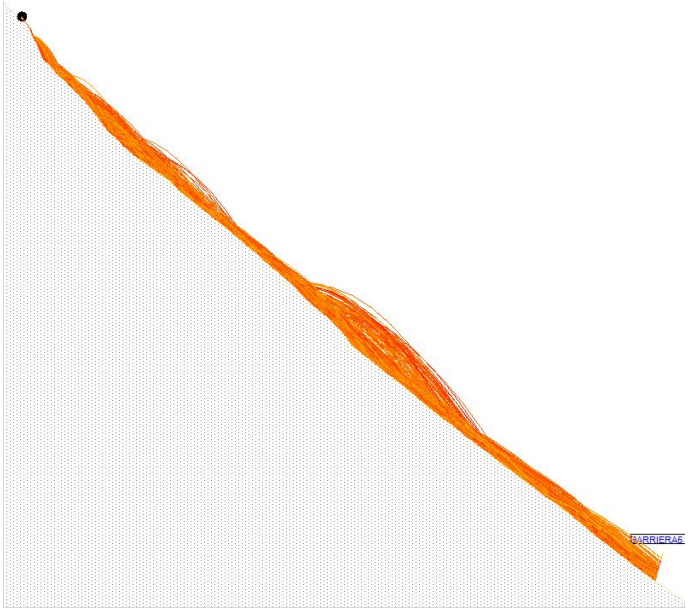


Fig. 37. Sezione di caduta massi n°10.

Analisi semiprobabilistica		
Diametro del blocco [m]	D_{med}	1.5462
Massa del blocco [t]	M_{med}	5.20027
Energia traslazionale del blocco [kJ]	E_{95}	1646.733
Altezza di impatto [m]	H_{95}	2.145
Coeff. rilievo topografia	g_{Dp}	1.02
Coeff. rilievo diametro blocchi	g_{Rb}	1.02
Coeff. rilievo volume blocchi	g_{VOL}	1.02
Coeff. modello di calcolo	g_{Tr}	1.10
Coeff. energia impatto	g_R	1.20
D_d [m]	$D_{med}\ g_{Rb}$	1.5771
H_d [m]	$H_{95}\ g_{Dp}\ g_{Tr} + 0.5\ D_d$	***3.1953***
E_d [kJ]	$E_{95}\ g_{Dp}\ g_{VOL}\ g_R\ g_{Tr}$	***2261.505***

Verifica barriera		
Altezza nominale barriera [m]	H_b	5.00
Resistenza nominale barriera [kJ]	MEL_b	3000
Coeff. altezza barriera	g_H	1.20
Coeff. resistenza barriera	g_E	1.20
Franco superiore	f_{min}	0.0
$H_{b,d}$[m]	H_b/g_H	***4.20>3.1953 OK***
$MEL_{b,d}$[kJ]	MEL_b/g_E	***2500>2261.505 OK***

8.4.6 BARRIERA N°6

8.4.6.1 SEZIONE N°11

Analisi statistica - Numerosità campione = 365			
	Altezza impatto [m]	Velocità impatto [m/s]	Energia impatto [kJ]
Minimo	0.0082	13.38	403.159
Massimo	3.5369	24.57	2346.426
Media	0.8692	19.36	1021.643
Dev. standard	0.6823	2.25	325.276
95° percentile	1.9908	23.05	1556.315

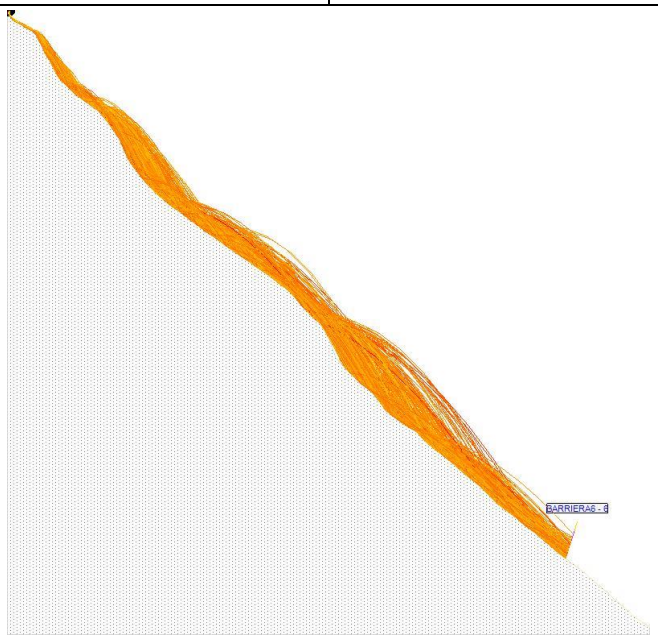


Fig. 38. Sezione di caduta massi n°11.

Analisi semiprobabilistica		
Diametro del blocco [m]	D_{med}	1.5627
Massa del blocco [t]	M_{med}	5.36141
Energia traslazionale del blocco [kJ]	E_{95}	1556.315
Altezza di impatto [m]	H_{95}	1.9908
Coeff. rilievo topografia	g_{Dp}	1.02
Coeff. rilievo diametro blocchi	g_{Rb}	1.02
Coeff. rilievo volume blocchi	g_{VOL}	1.02
Coeff. modello di calcolo	g_{Tr}	1.10
Coeff. energia impatto	g_R	1.20
D_d [m]	$D_{med}\ g_{Rb}$	1.5939
H_d [m]	$H_{95}\ g_{Dp}\ g_{Tr} + 0.5\ D_d$	***3.0307***
E_d [kJ]	$E_{95}\ g_{Dp}\ g_{VOL}\ g_R\ g_{Tr}$	***2137.331***

Verifica barriera		
Altezza nominale barriera [m]	H_b	5.00
Resistenza nominale barriera [kJ]	MEL_b	3000
Coeff. altezza barriera	g_H	1.20
Coeff. resistenza barriera	g_E	1.20
Franco superiore	f_{min}	0.0
$H_{b,d}$[m]	H_b/g_H	***4.20>3.0307 OK***
$MEL_{b,d}$[kJ]	MEL_b/g_E	***2500>2137.331 OK***

8.4.6.2 SEZIONE N°12

Analisi statistica - Numerosità campione = 265			
	Altezza impatto [m]	Velocità impatto [m/s]	Energia impatto [kJ]
Minimo	0.0089	10.43	198.911
Massimo	4.0927	22.27	1553.717
Media	0.9526	15.38	628.306
Dev. standard	0.8172	2.36	229.057
95° percentile	2.2959	19.25	1004.819

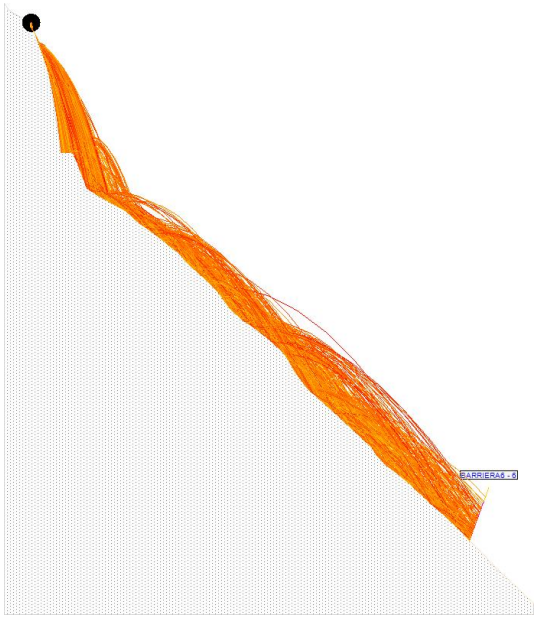


Fig. 39. Sezione di caduta massi n°12.

Analisi semiprobabilistica		
Diametro del blocco [m]	D_{med}	1.5456
Massa del blocco [t]	M_{med}	5.18426
Energia traslazionale del blocco [kJ]	E_{95}	1004.819
Altezza di impatto [m]	H_{95}	2.2959
Coeff. rilievo topografia	g_{Dp}	1.02
Coeff. rilievo diametro blocchi	g_{Rb}	1.02
Coeff. rilievo volume blocchi	g_{VOL}	1.02
Coeff. modello di calcolo	g_{Tr}	1.10
Coeff. energia impatto	g_R	1.20
D_d [m]	$D_{med}\ g_{Rb}$	1.5765
H_d [m]	$H_{95}\ g_{Dp}\ g_{Tr} + 0.5\ D_d$	***3.3643***
E_d [kJ]	$E_{95}\ g_{Dp}\ g_{VOL}\ g_R\ g_{Tr}$	***1379.945***

Verifica barriera		
Altezza nominale barriera [m]	H_b	5.00
Resistenza nominale barriera [kJ]	MEL_b	3000
Coeff. altezza barriera	g_H	1.20
Coeff. resistenza barriera	g_E	1.20
Franco superiore	f_{min}	0.0
$H_{b,d}$[m]	H_b/g_H	***4.2>3.3643 OK***
$MEL_{b,d}$[kJ]	MEL_b/g_E	***2500>1379.945 OK***

8.4.7 BARRIERA N°7

8.4.7.1 SEZIONE N°13

Analisi statistica - Numerosità campione = 497			
	Altezza impatto [m]	Velocità impatto [m/s]	Energia impatto [kJ]
Minimo	0.0056	7.32	114.698
Massimo	1.7749	16.66	672.449
Media	0.6305	13.56	290.457
Dev. standard	0.4148	1.25	87.7
95° percentile	1.3124	15.61	434.613

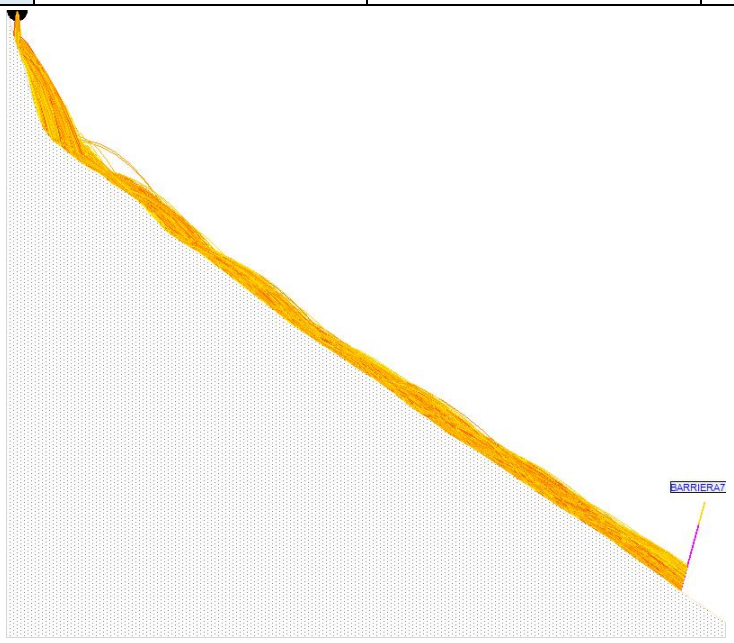


Fig. 40. Sezione di caduta massi n°13.

Analisi semiprobabilistica		
Diametro del blocco [m]	D_{med}	1.3039
Massa del blocco [t]	M_{med}	3.13646
Energia traslazionale del blocco [kJ]	E_{95}	434.613
Altezza di impatto [m]	H_{95}	1.3124
Coeff. rilievo topografia	g_{Dp}	1.02
Coeff. rilievo diametro blocchi	g_{Rb}	1.02
Coeff. rilievo volume blocchi	g_{VOL}	1.02
Coeff. modello di calcolo	g_{Tr}	1.10
Coeff. energia impatto	g_R	1.20
D_d [m]	$D_{med}\ g_{Rb}$	1.3299
H_d [m]	$H_{95}\ g_{Dp}\ g_{Tr} + 0.5\ D_d$	***2.1374***
E_d [kJ]	$E_{95}\ g_{Dp}\ g_{VOL}\ g_R\ g_{Tr}$	***596.867***

Verifica barriera		
Altezza nominale barriera [m]	H_b	3.00
Resistenza nominale barriera [kJ]	MEL_b	1500
Coeff. altezza barriera	g_H	1.20
Coeff. resistenza barriera	g_E	1.20
Franco superiore	f_{min}	0.0
$H_{b,d}$[m]	H_b/g_H	***2.50>2.1374 OK***
$MEL_{b,d}$[kJ]	MEL_b/g_E	***1250>596.867 OK***

8.4.7.2 SEZIONE N°14

Analisi statistica - Numerosità campione = 499			
	Altezza impatto [m]	Velocità impatto [m/s]	Energia impatto [kJ]
Minimo	0.0011	8.43	114.738
Massimo	1.6219	19.28	1222.889
Media	0.5044	14.81	570.207
Dev. standard	0.383	1.72	181.243
95° percentile	1.1339	17.63	868.125

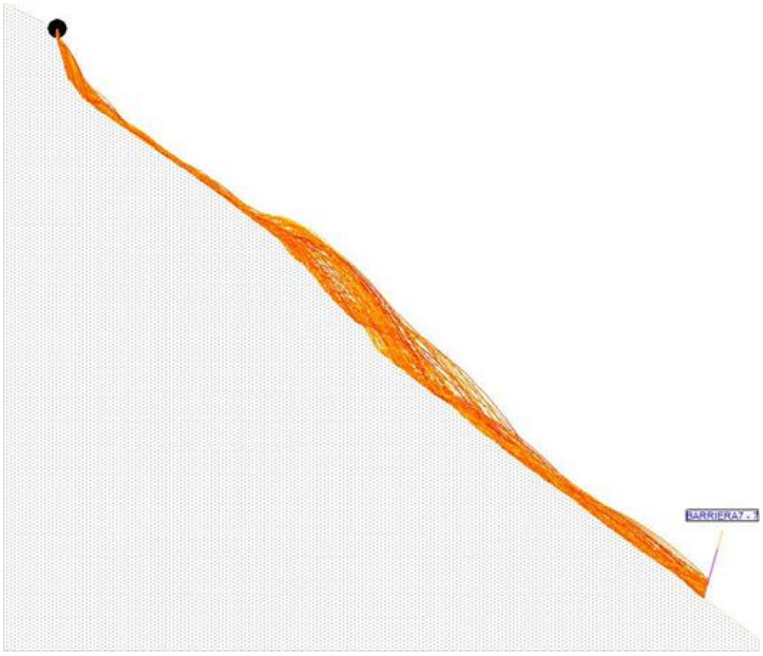


Fig. 41. Sezione di caduta massi n°14.

Analisi semiprobabilistica		
Diametro del blocco [m]	D_{med}	1.5372
Massa del blocco [t]	M_{med}	5.10927
Energia traslazionale del blocco [kJ]	E_{95}	868.125
Altezza di impatto [m]	H_{95}	1.1339
Coeff. rilievo topografia	g_{Dp}	1.02
Coeff. rilievo diametro blocchi	g_{Rb}	1.02
Coeff. rilievo volume blocchi	g_{VOL}	1.02
Coeff. modello di calcolo	g_{Tr}	1.10
Coeff. energia impatto	g_R	1.20
D_d [m]	$D_{med}\ g_{Rb}$	1.5679
H_d [m]	$H_{95}\ g_{Dp}\ g_{Tr} + 0.5\ D_d$	***2.0562***
E_d [kJ]	$E_{95}\ g_{Dp}\ g_{VOL}\ g_R\ g_{Tr}$	***1192.22***

Verifica barriera		
Altezza nominale barriera [m]	H_b	3.00
Resistenza nominale barriera [kJ]	MEL_b	1500
Coeff. altezza barriera	g_H	1.20
Coeff. resistenza barriera	g_E	1.20
Franco superiore	f_{min}	0.0
$H_{b,d}$[m]	H_b/g_H	***2.50>2.0562 OK***
$MEL_{b,d}$[kJ]	MEL_b/g_E	***1250>1192.22 OK***

8.4.7.3 SEZIONE N°15

Analisi statistica - Numerosità campione = 494			
	Altezza impatto [m]	Velocità impatto [m/s]	Energia impatto [kJ]
Minimo	0	1.73	6.553
Massimo	1.0926	14.38	674.052
Media	0.3335	10.75	304.267
Dev. standard	0.2622	1.72	102.203
95° percentile	0.7644	13.58	472.263

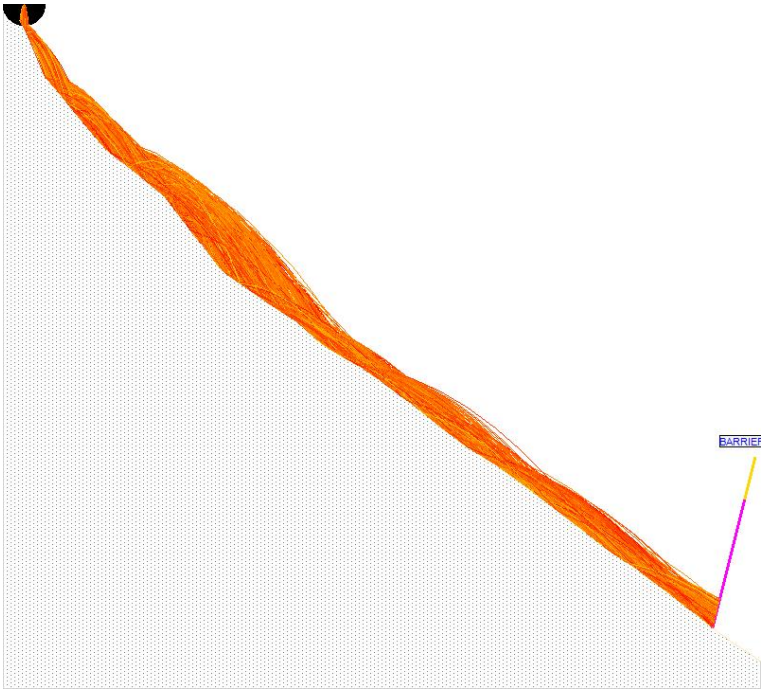


Fig. 42. Sezione di caduta massi n°15.

Analisi semiprobabilistica		
Diametro del blocco [m]	D_{med}	1.5387
Massa del blocco [t]	M_{med}	5.12103
Energia traslazionale del blocco [kJ]	E_{95}	472.263
Altezza di impatto [m]	H_{95}	0.7644
Coeff. rilievo topografia	g_{Dp}	1.02
Coeff. rilievo diametro blocchi	g_{Rb}	1.02
Coeff. rilievo volume blocchi	g_{VOL}	1.02
Coeff. modello di calcolo	g_{Tr}	1.10
Coeff. energia impatto	g_R	1.20
D_d [m]	$D_{med}\ g_{Rb}$	1.5694
H_d [m]	$H_{95}\ g_{Dp}\ g_{Tr} + 0.5\ D_d$	***1.6424***
E_d [kJ]	$E_{95}\ g_{Dp}\ g_{VOL}\ g_R\ g_{Tr}$	***648.572***

Verifica barriera		
Altezza nominale barriera [m]	H_b	3.00
Resistenza nominale barriera [kJ]	MEL_b	1500
Coeff. altezza barriera	g_H	1.20
Coeff. resistenza barriera	g_E	1.20
Franco superiore	f_{min}	0.0
$H_{b,d}$[m]	H_b/g_H	***2.50>1.6424 OK***
$MEL_{b,d}$[kJ]	MEL_b/g_E	***1250>648.572 OK***

8.4.8 BARRIERA N°8

8.4.8.1 SEZIONE N°16

Analisi statistica - Numerosità campione = 491			
	Altezza impatto [m]	Velocità impatto [m/s]	Energia impatto [kJ]
Minimo	0	4.83	26.427
Massimo	1.141	12.7	412.309
Media	0.3343	9.69	147.397
Dev. standard	0.2696	1.27	52.838
95° percentile	0.7774	11.77	234.249

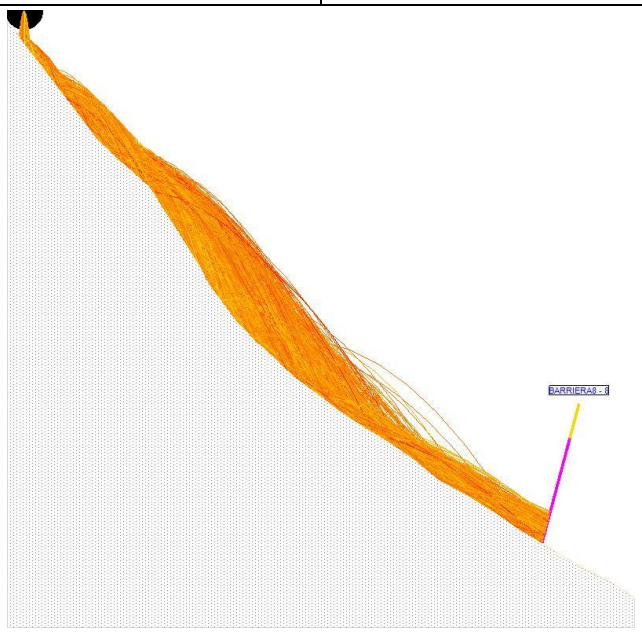


Fig. 43. Sezione di caduta massi n°16.

Analisi semiprobabilistica		
Diametro del blocco [m]	D_{med}	1.2968
Massa del blocco [t]	M_{med}	3.08053
Energia traslazionale del blocco [kJ]	E_{95}	234.249
Altezza di impatto [m]	H_{95}	0.7774
Coeff. rilievo topografia	g_{Dp}	1.02
Coeff. rilievo diametro blocchi	g_{Rb}	1.02
Coeff. rilievo volume blocchi	g_{VOL}	1.02
Coeff. modello di calcolo	g_{Tr}	1.10
Coeff. energia impatto	g_R	1.20
D_d [m]	$D_{med}\ g_{Rb}$	1.3227
H_d [m]	$H_{95}\ g_{Dp}\ g_{Tr} + 0.5\ D_d$	***1.5337***
E_d [kJ]	$E_{95}\ g_{Dp}\ g_{VOL}\ g_R\ g_{Tr}$	***321.701***

Verifica barriera		
Altezza nominale barriera [m]	H_b	3.00
Resistenza nominale barriera [kJ]	MEL_b	1500
Coeff. altezza barriera	g_H	1.20
Coeff. resistenza barriera	g_E	1.20
Franco superiore	f_{min}	0.0
$H_{b,d}$[m]	H_b/g_H	***2.50>1.5337 OK***
$MEL_{b,d}$[kJ]	MEL_b/g_E	***1250>321.701 OK***

8.4.8.2 SEZIONE N°17

Analisi statistica - Numerosità campione = 374			
	Altezza impatto [m]	Velocità impatto [m/s]	Energia impatto [kJ]
Minimo	0	1.61	3.83
Massimo	1.6792	16.65	667.596
Media	0.5047	12.13	231.686
Dev. standard	0.3927	1.93	91.952
95° percentile	1.1502	15.31	382.832

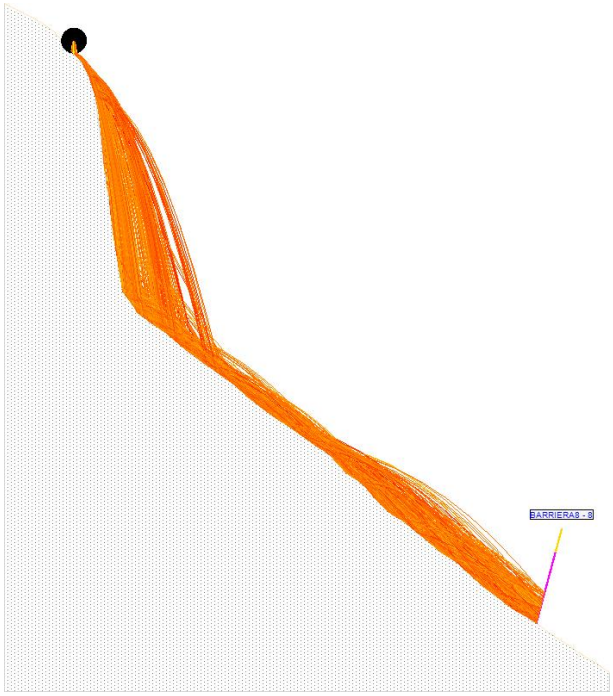


Fig. 44. Sezione di caduta massi n°17.

Analisi semiprobabilistica		
Diametro del blocco [m]	D_{med}	1.2918
Massa del blocco [t]	M_{med}	3.04422
Energia traslazionale del blocco [kJ]	E_{95}	382.832
Altezza di impatto [m]	H_{95}	1.1502
Coeff. rilievo topografia	g_{Dp}	1.02
Coeff. rilievo diametro blocchi	g_{Rb}	1.02
Coeff. rilievo volume blocchi	g_{VOL}	1.02
Coeff. modello di calcolo	g_{Tr}	1.10
Coeff. energia impatto	g_R	1.20
D_d [m]	$D_{med}\ g_{Rb}$	1.3176
H_d [m]	$H_{95}\ g_{Dp}\ g_{Tr} + 0.5\ D_d$	***1.9494***
E_d [kJ]	$E_{95}\ g_{Dp}\ g_{VOL}\ g_R\ g_{Tr}$	***525.753***

Verifica barriera		
Altezza nominale barriera [m]	H_b	3.00
Resistenza nominale barriera [kJ]	MEL_b	1500
Coeff. altezza barriera	g_H	1.20
Coeff. resistenza barriera	g_E	1.20
Franco superiore	f_{min}	0.0
$H_{b,d}$[m]	H_b/g_H	***2.50>1.9494 OK***
$MEL_{b,d}$[kJ]	MEL_b/g_E	***1250>525.753 OK***

8.4.9 BARRIERA N°9

8.4.9.1 SEZIONE N°18

Analisi statistica - Numerosità campione = 496			
	Altezza impatto [m]	Velocità impatto [m/s]	Energia impatto [kJ]
Minimo	0	1.3	2.189
Massimo	2.0548	18.07	534.195
Media	0.6089	12.39	245.347
Dev. standard	0.4074	2.33	96.2
95° percentile	1.2786	16.23	403.474

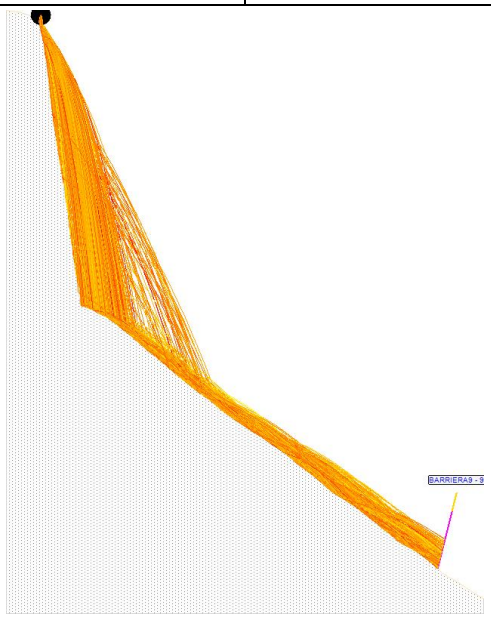


Fig. 45. Sezione di caduta massi n°18.

Analisi semiprobabilistica		
Diametro del blocco [m]	D_{med}	1.3001
Massa del blocco [t]	M_{med}	3.09884
Energia traslazionale del blocco [kJ]	E_{95}	403.474
Altezza di impatto [m]	H_{95}	1.2786
Coeff. rilievo topografia	g_{Dp}	1.02
Coeff. rilievo diametro blocchi	g_{Rb}	1.02
Coeff. rilievo volume blocchi	g_{VOL}	1.02
Coeff. modello di calcolo	g_{Tr}	1.10
Coeff. energia impatto	g_R	1.20
D_d [m]	$D_{med}\ g_{Rb}$	1.3261
H_d [m]	$H_{95}\ g_{Dp}\ g_{Tr} + 0.5\ D_d$	***2.0976***
E_d [kJ]	$E_{95}\ g_{Dp}\ g_{VOL}\ g_R\ g_{Tr}$	***554.103***

Verifica barriera		
Altezza nominale barriera [m]	H_b	5.00
Resistenza nominale barriera [kJ]	MEL_b	1500
Coeff. altezza barriera	g_H	1.20
Coeff. resistenza barriera	g_E	1.20
Franco superiore	f_{min}	0.0
$H_{b,d}$[m]	H_b/g_H	***4.20>2.0976 OK***
$MEL_{b,d}$[kJ]	MEL_b/g_E	***1250>554.103 OK***

8.4.9.2 SEZIONE N°19

Analisi statistica - Numerosità campione = 233			
	Altezza impatto [m]	Velocità impatto [m/s]	Energia impatto [kJ]
Minimo	0.0018	12.08	168.291
Massimo	2.9987	20.77	851.987
Media	0.757	16.78	458.095
Dev. standard	0.6018	1.9	129.439
95° percentile	1.7461	19.91	670.86

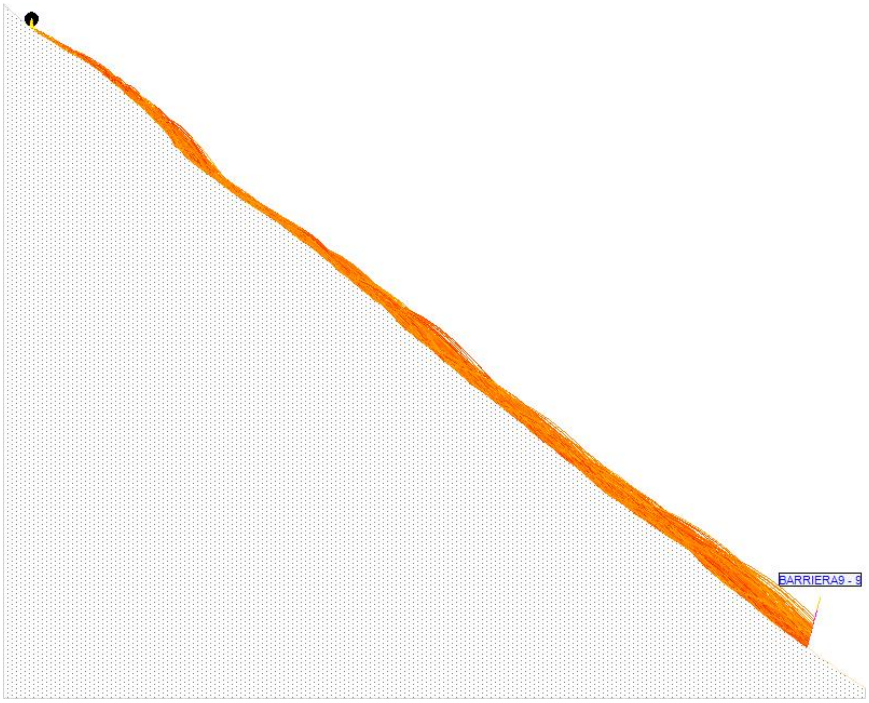


Fig. 46. Sezione di caduta massi n°19.

Analisi semiprobabilistica		
Diametro del blocco [m]	D_{med}	1.3196
Massa del blocco [t]	M_{med}	3.23542
Energia traslazionale del blocco [kJ]	E_{95}	670.86
Altezza di impatto [m]	H_{95}	1.7461
Coeff. rilievo topografia	g_{Dp}	1.02
Coeff. rilievo diametro blocchi	g_{Rb}	1.02
Coeff. rilievo volume blocchi	g_{VOL}	1.02
Coeff. modello di calcolo	g_{Tr}	1.10
Coeff. energia impatto	g_R	1.20
D_d [m]	$D_{med}\ g_{Rb}$	1.346
H_d [m]	$H_{95}\ g_{Dp}\ g_{Tr} + 0.5\ D_d$	***2.6322***
E_d [kJ]	$E_{95}\ g_{Dp}\ g_{VOL}\ g_R\ g_{Tr}$	***921.311***

Verifica barriera		
Altezza nominale barriera [m]	H_b	5.00
Resistenza nominale barriera [kJ]	MEL_b	1500
Coeff. altezza barriera	g_H	1.20
Coeff. resistenza barriera	g_E	1.20
Franco superiore	f_{min}	0.5
$H_{b,d}$[m]	H_b/g_H	***4.20>2.6322 OK***
$MEL_{b,d}$[kJ]	MEL_b/g_E	***1250>921.311 OK***

8.4.10 BARRIERA 10

8.4.10.1 SEZIONE N°20

Analisi statistica - Numerosità campione = 58			
	Altezza impatto [m]	Velocità impatto [m/s]	Energia impatto [kJ]
Minimo	0.0832	10.02	132.508
Massimo	2.216	19.47	709.767
Media	0.6887	15.82	420.153
Dev. standard	0.5218	2.05	132.455
95° percentile	1.5465	19.19	637.875

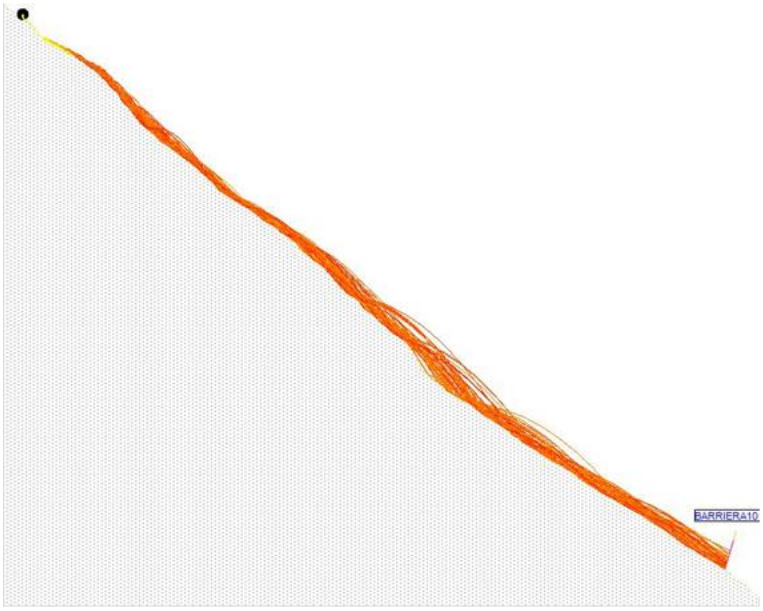


Fig. 47. Sezione di caduta massi n°21.

Analisi semiprobabilistica		
Diametro del blocco [m]	D_{med}	1.3295
Massa del blocco [t]	M_{med}	3.30684
Energia traslazionale del blocco [kJ]	E_{95}	637.875
Altezza di impatto [m]	H_{95}	1.5465
Coeff. rilievo topografia	g_{Dp}	1.02
Coeff. rilievo diametro blocchi	g_{Rb}	1.02
Coeff. rilievo volume blocchi	g_{VOL}	1.02
Coeff. modello di calcolo	g_{Tr}	1.10
Coeff. energia impatto	g_R	1.20
D_d [m]	$D_{med}\ g_{Rb}$	1.3561
H_d [m]	$H_{95}\ g_{Dp}\ g_{Tr} + 0.5\ D_d$	***2.4132***
E_d [kJ]	$E_{95}\ g_{Dp}\ g_{VOL}\ g_R\ g_{Tr}$	***876.012***

Verifica barriera		
Altezza nominale barriera [m]	H_b	5.00
Resistenza nominale barriera [kJ]	MEL_b	1500
Coeff. altezza barriera	g_H	1.20
Coeff. resistenza barriera	g_E	1.20
Franco superiore	f_{min}	0.0
$H_{b,d}$[m]	H_b/g_H	***4.20>2.4132 OK***
$MEL_{b,d}$[kJ]	MEL_b/g_E	***1250>876.012 OK***

8.4.10.2 SEZIONE N°21

Analisi statistica - Numerosità campione = 126			
	Altezza impatto [m]	Velocità impatto [m/s]	Energia impatto [kJ]
Minimo	0.005	9.92	143.317
Massimo	5.2635	20.23	819.683
Media	1.0789	15.71	408.05
Dev. standard	0.9168	1.8	142.786
95° percentile	2.586	18.67	642.755

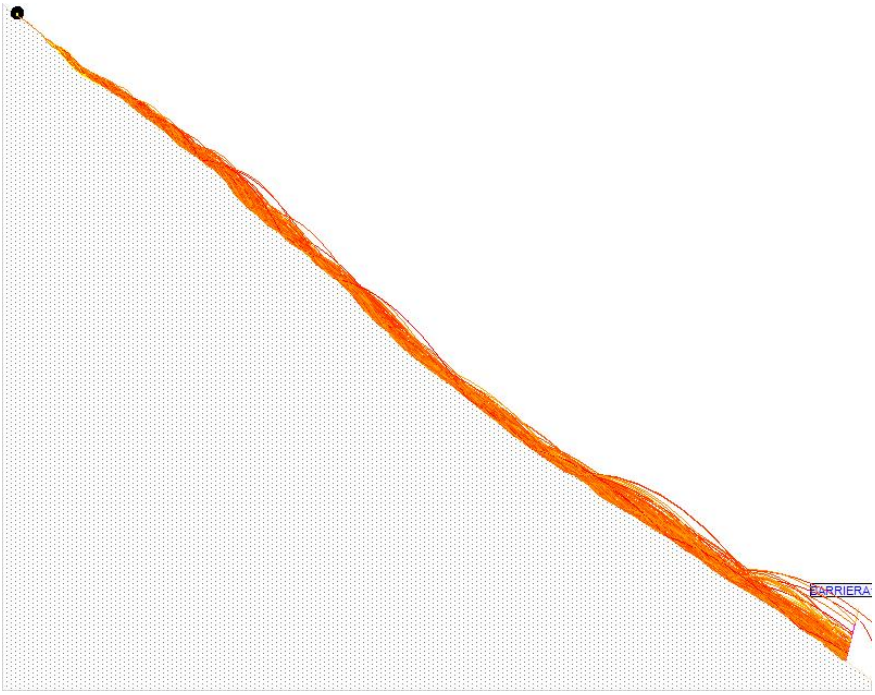


Fig. 48. Sezione di caduta massi n°21.

Analisi semiprobabilistica		
Diametro del blocco [m]	D_{med}	1.3174
Massa del blocco [t]	M_{med}	3.22738
Energia traslazionale del blocco [kJ]	E_{95}	642.755
Altezza di impatto [m]	H_{95}	2.586
Coeff. rilievo topografia	g_{Dp}	1.02
Coeff. rilievo diametro blocchi	g_{Rb}	1.02
Coeff. rilievo volume blocchi	g_{VOL}	1.02
Coeff. modello di calcolo	g_{Tr}	1.10
Coeff. energia impatto	g_R	1.20
D_d [m]	$D_{med}\ g_{Rb}$	1.3437
H_d [m]	$H_{95}\ g_{Dp}\ g_{Tr} + 0.5\ D_d$	***3.5733***
E_d [kJ]	$E_{95}\ g_{Dp}\ g_{VOL}\ g_R\ g_{Tr}$	***882.713***

Verifica barriera		
Altezza nominale barriera [m]	H_b	5.00
Resistenza nominale barriera [kJ]	MEL_b	1500
Coeff. altezza barriera	g_H	1.20
Coeff. resistenza barriera	g_E	1.20
Franco superiore	f_{min}	0.0
$H_{b,d}$[m]	H_b/g_H	***4.20>3.5733 OK***
$MEL_{b,d}$[kJ]	MEL_b/g_E	***1250>882.713 OK***

9 CONCLUSIONI

Il presente documento costituisce lo studio geologico finalizzato alla progettazione degli interventi di messa in sicurezza della SP n°63 “Simbruina” all’interno della Provincia dell’Aquila. La viabilità in oggetto collega il Comune di Capistrello (AQ) con il Comune di Filettino (FR).

Nel corso degli anni l'arteria è stata più volte soggetta a chiusure prolungate a causa della complessa situazione idrogeologica dell’area, interessata da frane e da caduta di massi dai sovrastanti costoni rocciosi.

La situazione geologica e geomorfologica della zona è ben delineata: il sito è caraterizzato dall’affioramento di rocce calcaree di età Mesozoica molto fratturate e localmente cataclasate. L’asseto delle famiglie di discontinuità crea le condizioni geometriche per lo sviluppo di fenomeni di scivolamento e di caduta massi che coinvolgono la viabilità della SP n°63.

Le informazioni geologiche dell’area provengono dalle informazioni reperite presso la pubblica amministrazione ed in possesso dello scrivente ed ai rilievi geologici e sismici eseguiti dalla Geomok S.r.l. nel Marzo 2025 costituiti da:

- N°8 Stazioni geomeccaniche con Point Load Test;
- N°3 indagini sismiche HVSR (*Horizontal to VHVSRical Spectral Ratio*);
- N°3 indagine sismiche a rifrazione in onde P;
- N°3 indagine sismica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves);
- N°1 rilievo geofisico tramite elettromagnetometro;
- N°1 rilievo geofisico tramite georadar;

Sulla base di quanto esposto nei capitoli precedenti si si ritiene di affermare quanto segue:

- L’area d’indagine si trova in Comune di Capistrello (AQ) all’interno dei Monti Simbruini. La successione stratigrafica è caratterizzata per la presenza di rocce calcaree molto fratturate e localmente cataclasate per via degli sforzi tettonici a cui è stata soggetta l’area d’indagine. L’attuale stato di fratturazione dell’ammasso roccioso è favorevole allo sviluppo di cinematismi di tipo scivolamento e scivolamento a cuneo. La presenza di pareti subverticali sovrastanti la viabilità la espone al problema della caduta massi. La roccia è affiorante a monte ed a valle della strada e, solo localmente, si trova coperta da una coltre detritica incoerente. Le indagini geofisiche realizzate presso l’area di studio hanno permesso di individuare la posizione del substrato al di sotto della careggiata. Questa è stata individuata a circa 1.2-1.5 m di profondità dal p.c. dai profili sismici a rifrazione n°1 e 2, mentre la sismica a rifrazione n°3 individua la roccia in posizione più profonda a circa 2.0 m di profondità;

- L'area d'indagine è classificata come a pericolosità geologica molto elevata P4 e, secondo quanto riportato all'interno dell'inventario IFFI, è soggetta a frane superficiali diffuse;
- Il Comune di Capistrello ricade all'interno della zona sismica 1;
- La categoria si sottosuolo è A;
- La categoria topografica è T2;
- Lungo la careggiata sono presenti alcuni elementi di criticità. In particolare è presente un cedimento superficiale al bordo della careggiata che necessità di intervenire realizzando un muro di sostegno. Vista la posizione della substrato roccioso (sezione A-A'), a circa 1.5 m di profondità dal p.c., le fondazioni potranno essere poste in roccia. Sarà importante affiancare un corretto sistema di regimazione delle acque superficiali al fine di evitare fenomeni di erosione della careggiata. Sarebbe opportuno adottare tale accorgimenti anche in corrispondenza degli altri piccoli impluvi presenti lungo la viabilità dove possono concentrarsi le acque superficiali;
- Lungo gli affioramenti rocciosi presenti a ridosso della viabilità della SP n°63 si alternano tratti di versante privi di interventi di consolidamento a tratti già oggetto di intervento. In molti casi le reti esistenti risultano lacerate o non aderenti alla superficie rocciosa e quasi sempre i teli verticali posti in opera risultano legati tra loro con filo di ferro di caratteristiche tecniche inferiori a quello delle maglie della rete, questa aspetto rappresenta un punto di debolezza per il contenimento dei massi che fuoriescono lungo il contatto tra i teli. Anche l'ancoraggio di monte dei teli di rete quasi sempre è stato realizzato senza fune sommitale e senza la posa in opera di barre di ancoraggio, al loro posto sono stati usati picchetti di diametro 8 mm e lunghezza pari a 30 cm infissi a percussione sulla roccia o sul terreno. Nella maggior parte dei casi le reti sono inoltre sprovviste di un reticolo di contenimento costituito da chiodature in barra metallica e reticolo di funi. Infine, più a monte sono presenti diverse situazioni di criticità geostatica che innescano fenomeni di caduta massi in grado di raggiungere la viabilità.
- Alla luce dello stato di fatto dell'area analizzata, l'approccio progettuale proposto è il seguente:
    - Disaggio e demolizione di tutti gli elementi instabili presenti sulle pareti rocciosi finalizzato alla rimozione degli elementi di maggiore criticità e propedeutico alla corretta riuscita degli interventi di rafforzamento corticale. Le aree dove sarà necessario eseguire un disaggio approfondito del versante sono riportate nella relativa tavola allegata;
    - Dove il rafforzamento corticale esistente è in buono stato, si propone di intervenire realizzando un reticolo di rinforzo per il consolidamento dell'ammasso e per evitare la formazione di sacche di detrito;
    - Dove sono presenti rivestimenti in rete ormai lacerati e/o con numeroso sacche di detrito si consiglia di realizzare l'intervento ex-novo;
    - Nei tratti sprovvisti di intervento, previo disaggio del versante, verrà realizzato un intervento di rafforzamento corticale mediante rete metallica e reticolo di rinforzo a maglia 3x3m o 2x2 m in base allo stato di fratturazione della parete rocciosa;

- Il problema della caduta massi verrà gestito mediante realizzazione di barriere paramassi. Queste sono state posizionate, compatibilmente con la logistica di cantiere, al fine di ridurre al minimo l'estensione degli interventi di rafforzamento corticale. Per le analisi in dettaglio si rimanda al capitolo 8. Per l'ubicazione delle opere paramassi si rimando alla tavola in allegato. La barriera n°1 verrà realizzata al di sopra di un tratto di versante soggetto a rivestimento corticale. Per tale motivo l'intervento verrà realizzato con posa in opera di tessuto tipo Macmat. Al di sopra del rafforzamento corticale verrà realizzata la barriera paramassi;
- Localmente, presso gli affioramenti rocciosi meno fratturati, si consiglia di realizzare delle chiodature di rinforzo dell'ammasso roccioso;



DOTT. GEOL. ANDREA MOCCHIUTTI

Udine, Marzo 2025

ALLEGATI:

- 01 – Carta geologica;
- 02 – tavola interventi A;
- 03 – tavola interventi B;
- 04 – tavola interventi C;
- 05 – ubicazione opere paramassi.