

**Messa in sicurezza versante montano a tutela
del sottostante percorso faunistico
che congiunge Via Marconi con la posta ciclabile
di Gardone V.T. in sponda idraulica
sinistra del Fiume Mella**

**Relazione Geologica
Progetto Definitivo**

Dott. Davide Martello

Studio di Geologia
Via Convento 52/c, Gardone V.T. (BS)

1. PREMESSA	1
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	3
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	4
4. VINCOLI COMUNALI	7
5. SISMICITÀ	11
6. DESCRIZIONE DEL SITO ED INQUADRAMENTO GEOLOGICO- GEOMORFOLOGICO	12
7. DESCRIZIONE DEGLI SCENARI	13
8. CRITERI CONSIDERATI PER LA SCELTA PROGETTUALE	26
9. CONCLUSIONI	33

Gardone V.T., Dicembre 2021

1. Premessa

Su incarico del Comune di Sarezzo, è stata eseguita una perizia geologica da allegare al progetto di sistemazione di una porzione del versante Sud-occidentale della dorsale Monte Cappello di Navezze, in località Ponte Zanano in Comune di Sarezzo (BS).

Il presente studio è stato redatto con lo scopo di caratterizzare dal punto di vista geomorfologico e geomeccanico il tratto di versante in oggetto in quanto presenta affioramenti rocciosi in condizioni di stabilità precaria, oltre ad aree PAI, lungo un tratto della pista ciclo-pedonale di Via Marconi.

Il presente studio si è svolto mediante:

- rilievo geologico dell'area;
- esecuzione di rilievi geomeccanici lungo la parete;
- definizione e dimensionamento degli interventi di consolidamento.

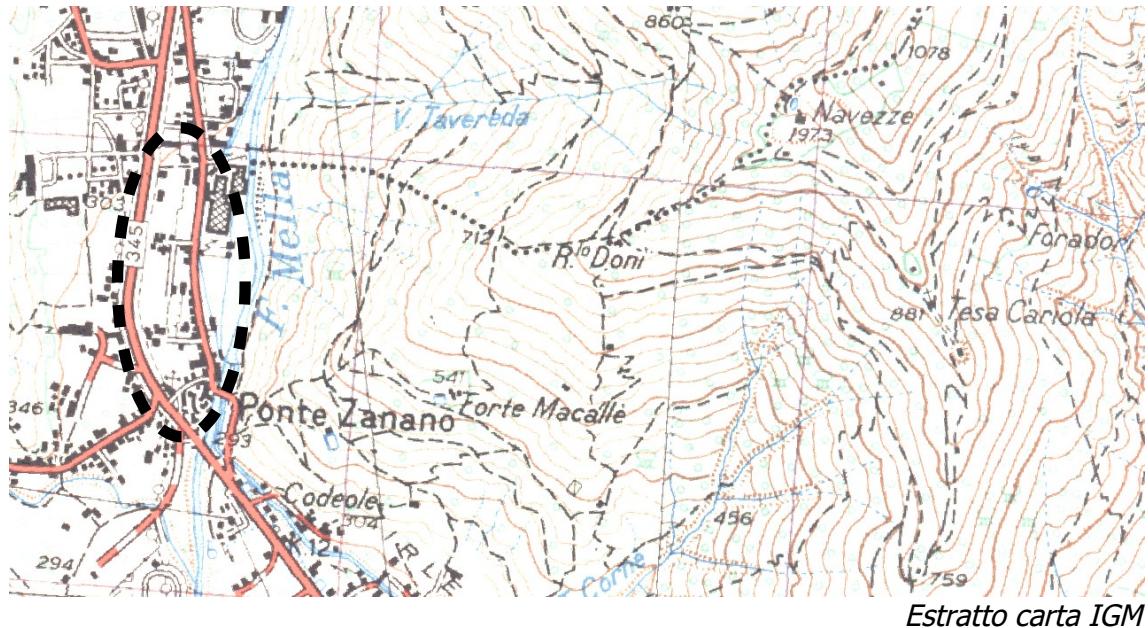
In particolare, alla fine dello studio di inquadramento geologico geomorfologico e geomeccanico ed alle risultanze delle analisi numeriche relative alle simulazioni di caduta massi lungo alcune sezioni topografiche, verranno definiti e dimensionati (dal punto di vista prestazionale) gli interventi di difesa, costituiti in prevalenza dall'installazione di barriere paramassi e barriere elastiche debris-flow.

Il progetto in oggetto è relativo ad un'area che è attualmente interessata da lavori di messa in sicurezza che andranno ad integrarsi ed a implementarsi con le opere che verranno individuate nel presente progetto.

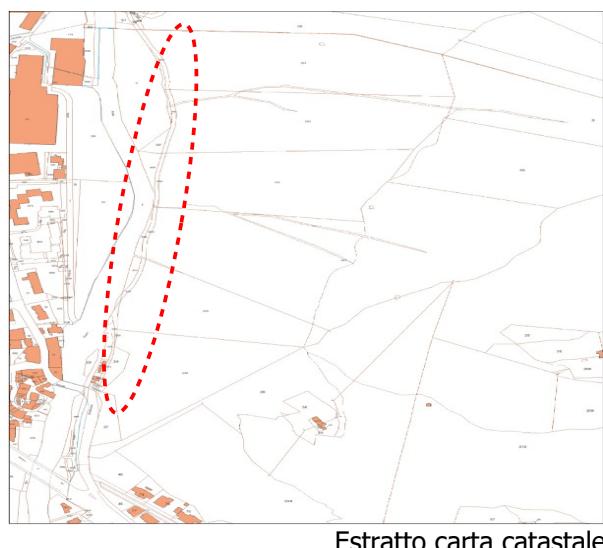
In funzione delle opere effettivamente realizzate nei lavori che sono previsti dall'intervento che precede quello in oggetto, verranno meglio definiti altri interventi puntuali in parete che possano completare eventuali superfici non ancora interessate.

La presente relazione geologica è stata redatta sulla base della normativa vigente, in particolare al Decreto Ministeriale 17.01.2018, Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2018).

2. Inquadramento geografico



La zona in oggetto si trova in Comune di Sarezzo nella frazione di Ponte Zanano al confine comunale Nord con il Comune di Gardone V.T., in corrispondenza del tratto Sud-occidentale del Monte Calvario ad una quota di circa 310,0 m s.l.m. .



3. Inquadramento geologico e geomorfologico¹

Dal punto di vista geologico, la parte di fondovalle è interessata da una diffusa coltre detritica costituita dai depositi alluvionali del Fiume Mella che scorre ai piedi del versante.

La sottile copertura detritica superficiale, di origine eluvio colluviale, che interessa con discontinuità l'area in oggetto, è costituita da terreni piuttosto eterogenei ma soprattutto limi argillosi e sabbiosi.

Le formazioni affioranti, appartengono a:

Depositi fluviali (fl)

Si tratta dei materiali messi in posto nell'Olocene dal Fiume Mella e costituiscono le zone di fondovalle, in prossimità dell'attuale alveo.

Sono costituite da depositi ghiaiosi grossolani: nei primi metri di profondità si trovano, infatti, materiali ghiaiosi, sabbiosi e ciottolosi, di colore prevalentemente grigio, con scarsi fenomeni di alterazione.

"Medolo" [MED]

L'unità è costituita da calcari e calcari marnosi grigi per lo più chiari, in strati evidenti di spessore decimetrico con sottili interstrati di marne argillose grigio-verdastre. Nella zona sono distinguibili due membri: "Calcare di Gardone Val Trompia", con calcari quasi puri, da chiari a nerastri, selciosi, ben stratificati, con interstrati marnoso-argillosi; "Calcare di Domaro", con calcari più o meno marnosi, da grigi a bruni o biancastri, talora selciosi e con intercalazioni di mar-

¹Relazione Geologica del PGT Comunale

ne e argilliti. Il limite inferiore è dato dalla "Corna" con cui può essere anche in eteropia di facies, e il limite superiore è con la Formazione di Concesio.

Affiora diffusamente come Calcare di Gardone Val Trompia nella parte meridionale ed orientale del territorio in esame, mentre il membro del Calcare di Domaro affiora verso Nord e Nord-Ovest.

Formazione di Concesio [Co]

Tale unità, suddivisa in tre sotto unità, affiora nella due facies dei "Calcarei nocciola", con calcari marnosi, talvolta arenacei, da nocciola chiaro a grigi, ben stratificati, con selci talora policrome in letti e lenti e con intercalazioni marnose grigio-verdine e "Calcarei medoloidi", con calcari, spesso molto marnosi, di colore grigiastro, con selci, ben stratificati, separati da giunti marnoso argillosi foliati. La facies a brecce fossilifere, a contatto con il Medolo, non è stata rilevata. Il limite inferiore è dato dal "Medolo" e quello superiore dal "Selcifero Lombardo" con cui risulta concordante.

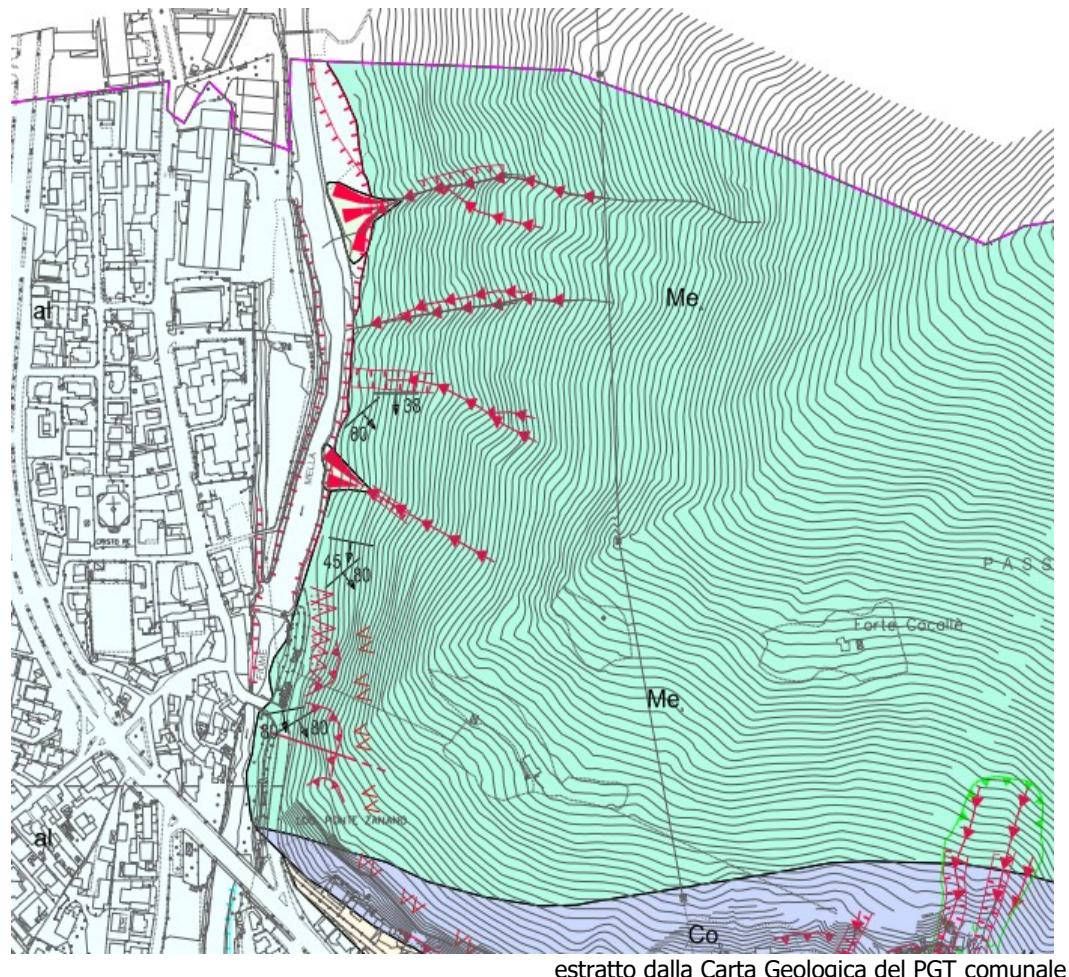
Affiora nella parte centrale del territorio dove spesso è ricoperto da una copertura detritica che maschera gli affioramenti.

Dal punto di vista geomorfologico, l'area presenta porzioni con caratteristiche piuttosto variabili in relazione soprattutto alle caratteristiche del substrato roccioso oppure alla presenza di terreni, prevalentemente incoerenti, di copertura superficiale.

La porzione settentrionale, in corrispondenza del sottopasso della pista ciclabile con via Marconi, presenta continui affioramenti rocciosi calcarei che originano pendenze prossime alla verticale oppure aggettante in alcuni tratti (soprattutto proseguendo verso N lungo la ciclabile).

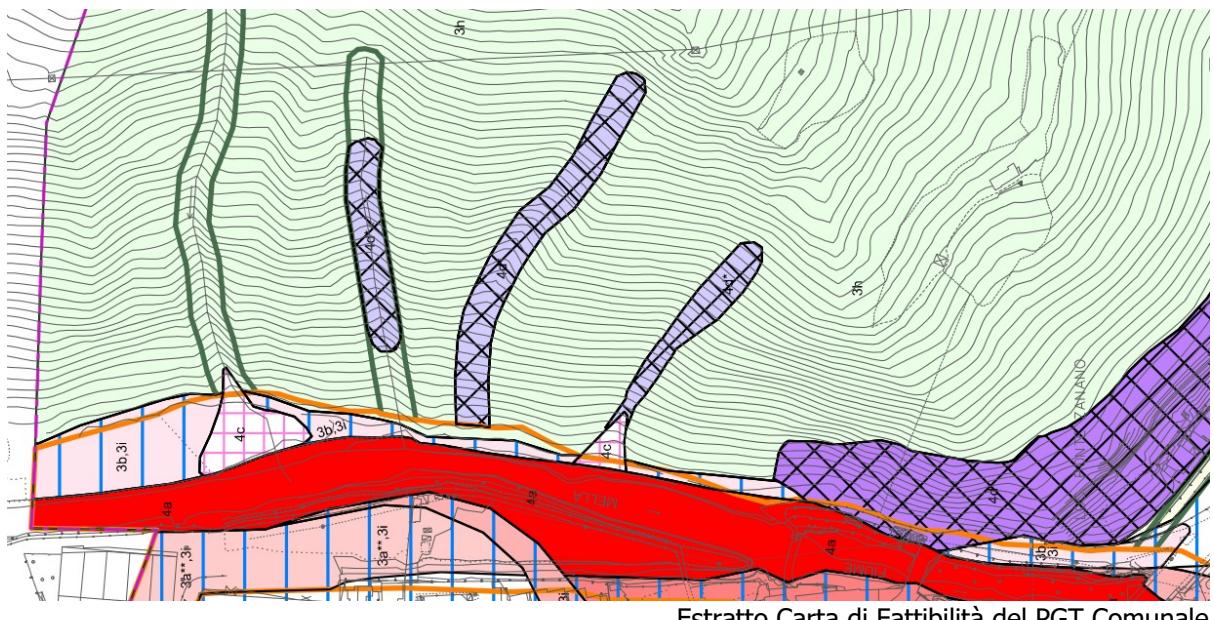
Tale morfologia rimane piuttosto costante, anche a causa delle precedenti operazioni di sbancamento che hanno originato fronti di scavo subverticali di altezza variabile, e si rinviene per una lunghezza di circa 120-150 m.

Verso N, soprattutto in corrispondenza del conoide indicato con PAI 5, si individuano aree con minore pendenza soprattutto nella fascia pedemontana dovute presumibilmente a passati fenomeni di trasporto solido.



4. Vincoli comunali

Nella carta di fattibilità del PGT comunale, le aree vengono individuate in differenti classi di fattibilità geologica



Estratto Carta di Fattibilità del PGT Comunale

3h

3h - Aree con versanti da mediamente acclivi ad acclivi, prevalentemente rocciosi

3b

3b - Aree RP-P1/L del PGRA e aree a pericolosità idraulica media o moderata lungo il F. Mella valutate in base a precedenti studi idraulici ed eventi storici

4c

4c - Aree interessate da trasporto di massa e flusso di detrito su aree di conoide a pericolosità idraulica H4 (Aree Ca del PAI)

4d

4d - Aree soggette a crolli o caduta massi (Aree Fa del PAI)

4d*

4d* - Area di frana attiva, coni e falde di detrito attivi (Aree Fa del PAI)

PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

INSTABILITÀ



Z1a - Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi

Classe di fattibilità 4c: aree interessate da trasporto di massa e flusso di detrito su aree di conoide a pericolosità idraulica H4 (Aree Ca del PAI). In questa classe sono inserite le aree di conoide attivo non protette a pericolosità idraulica elevata o molto elevata identificate lungo il reticolo idrico minore collinare e montano (aree Ca e Cp del PAI e aree RSCM-P3/H e RSCM P2/M del PGRA).

In queste aree è prevista l'applicazione della normativa prescritta per l'Area Ca del PAI (art. 9, comma 7 delle N.d.A. PAI).

Classe di fattibilità 4d*: area di frana attiva, coni e falde di detrito attivi (Aree Fa del PAI). Rientrano in questa classe di aree di frana attiva, i coni e le falde di detrito attivi soggetti a fenomeni di instabilità.

In queste aree (Classe 4d e 4d*) è prevista l'applicazione della normativa prescritta per l'Area Fa del PAI (art. 9, comma 2 delle N.d.A. PAI). In occasione di un terremoto, si può verificare un'accentuazione dei fenomeni di instabilità dovuti ad effetti dinamici. Di conseguenza in fase progettuale, per gli interventi consentiti, è obbligatorio eseguire gli approfondimenti di 3° livello (3° livello di analisi – All. 5 della D.G.R. n.9/2616 del 30 novembre 2011).

Classe di fattibilità 4d: aree soggette a crolli o caduta massi (Aree Fa del PAI). Si tratta di aree a forte energia del rilievo (pareti rocciose, dirupi, versanti ad elevata acclività con roccia subaffiorante, ecc.) che possono essere soggette a distacchi o blocchi di masse rocciose di dimensioni varie. Il fenomeno di crollo con scoscendimento di massi può essere innescato da eventi sismici.

Classe di fattibilità 3h: aree con versanti da mediamente acclivi ad acclivi, prevalentemente rocciosi Rientrano in questa classe i versanti e le aree a media

e bassa pericolosità per crollo (classe di pericolosità H2) e per scivolamento (classi di pericolosità H2-H3), come definite in studi di dettaglio.

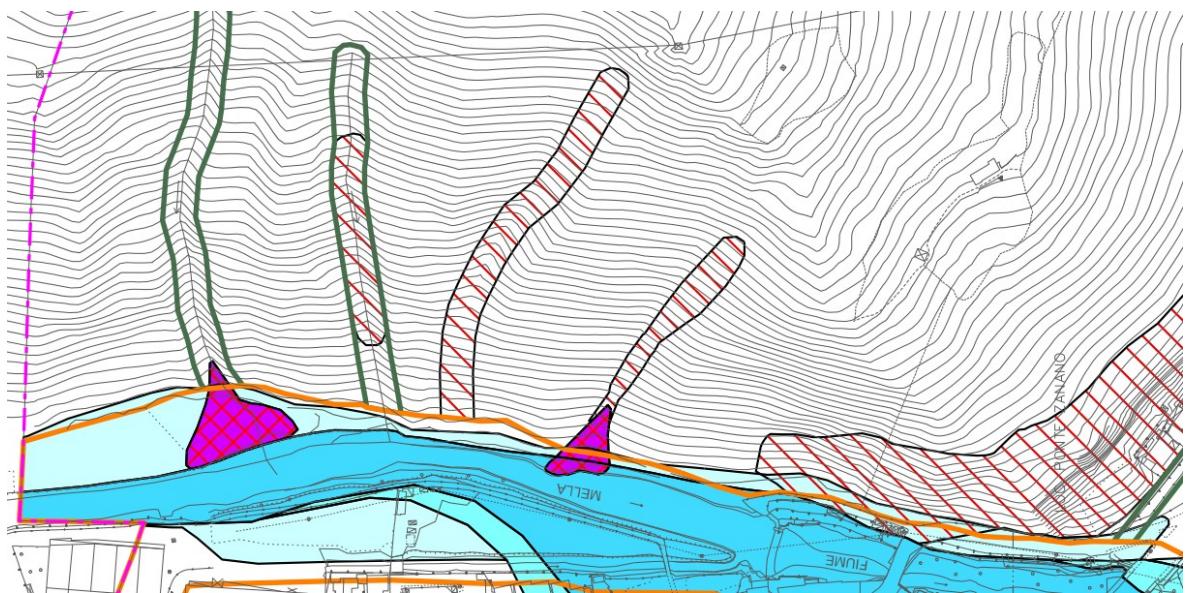
All'interno di queste aree si riconoscono limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso legate alla possibilità che interventi errati possano influenzare l'equilibrio esistente, inducendo fenomeni di dissesto.

Si ritiene che all'interno delle aree così classificate gli eventuali interventi di viabilità, nuova edificazione, ricostruzione, ampliamento, rimodellamento del terreno, debbano essere preceduti da

indagini geologiche e geotecniche che valutino la compatibilità dell'intervento stesso con le caratteristiche geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche del sito.

Si dovrà valutare la stabilità globale e locale del versante interessato dall'intervento. Si raccomanda di non modificare il naturale scorrimento delle acque e di ridurre al minimo gli sbancamenti ed i riporti di materiale, al fine di non alterare l'equilibrio naturale del pendio.

L'impermeabilizzazione delle superfici sarà consentita solo laddove necessario.



Estratto carta dei vincoli e PAI-PGRA del PGT Comunale

VINCOLI DERIVANTI DALLA PIANIFICAZIONE DI BACINO AI SENSI DELLA L.183/89

Quadro del dissesto PAI

FRANE



Area di frana attiva (Fa)



Aree potenzialmente interessate da alluvioni frequenti (aree P3/H)

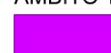


Aree potenzialmente interessate da alluvioni poco frequenti (aree P2/M)



Aree potenzialmente interessate da alluvioni rare (aree P1/L)

AMBITO TERRITORIALE RSCM



Aree potenzialmente interessate da alluvioni frequenti (aree P3/H)



Fascia di rispetto dei corsi d'acqua del Reticolo Idrico Minore

TRASPORTO DI MASSA SUI CONOIDI



Area di conoide attivo non protetta (Ca)

5. Sismicità

In relazione ai contenuti dell'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/03 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", il territorio italiano è stato suddiviso in zone caratterizzate da diversi valori di accelerazione orizzontale dello spettro di risposta.

In particolare, ciascuna zona è individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni (OPCM 20/03/03 n. 3274, criteri)

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 50% in 50 anni [a_g/g]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) [a_g/g]
1	>0.25	0.35
2	0.15-0.25	0.25
3	0.05-0.15	0.15
4	<0.05	0.05

Il territorio comunale di **Sarezzo** è stato classificato in **zona sismica 3**: zona con pericolosità sismica media, dove possono verificarsi terremoti abbastanza forti.

Categorie del suolo di fondazione

Ai fini dell'azione sismica di progetto, sono state definite le seguenti categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione, rispetto al piano di posa delle fondazioni.

In base alla presenza del substrato affiorante, si stima il valore di $Vs_{eq}=800$ m/s. In base a questi valori, il sito in esame ricade quindi nella: categoria di sottosuolo A.

6. Descrizione del sito ed inquadramento geologico-geomorfologico

Il versante presenta una morfologia piuttosto varia in relazione soprattutto alle caratteristiche litotecniche del substrato roccioso nei confronti dell'erosione, e secondariamente a causa degli interventi antropici eseguiti recentemente per la realizzazione della pista ciclopedonale.

Le caratteristiche peculiari dell'area sono relative alla presenza diffusa del substrato roccioso calcareo affiorante o subaffiorante lungo la fascia di base del versante soprattutto verso la porzione meridionale.

Il primo tratto verso Nord ed il confine con Gardone V.T., infatti, presenta una discreta superficie caratterizzata da materiale detritico: clasti calcarei eterodimensionali e spigolosi in matrice limoso sabbiosa in percentuali variabili (talvolta assente) accumulati ai piedi di un pendio con acclività talvolta poco accentuata.

Tale detrito deriva dalla disgregazione/alterazione del substrato roccioso che si può accumulare con meccanismi gravitativi, con discontinuità lungo il pendio: spesso la falda risulta parzialmente o completamente colonizzata dalla vegetazione.

Verso sud, si rileva un generale aumento della acclività media del versante, soprattutto in corrispondenza degli affioramenti rocciosi meno fratturati che formano pareti subverticali talvolta aggettante.

Il particolare grado di fratturazione di alcune porzioni di affioramento del substrato roccioso, sono presumibilmente legate alla presenza di piccole faglie che hanno prodotto locali e limitate fasce di detrito di origine tettonica.

La presenza di stress di tipo tettonico è testimoniata anche da strutture plicative di tipo antiforme ben evidenti anche lungo la pista.

Il tratto terminale verso Sud, nei pressi della congiunzione con il ponte della vecchia s.p. mostra complessivamente affioramenti meno fratturati.

7. Descrizione degli scenari

In relazione ai rilievi di campagna, ed alle indicazioni cartografiche del PGT (in particolare l'individuazione delle zone PAI) si possono definire alcuni tratti considerati omogenei e caratterizzati da simili scenari: la definizione degli scenari è stata mantenuta la medesima di quella utilizzata nella progettazione degli interventi che precedono il presente progetto.

Zona Pai 1:

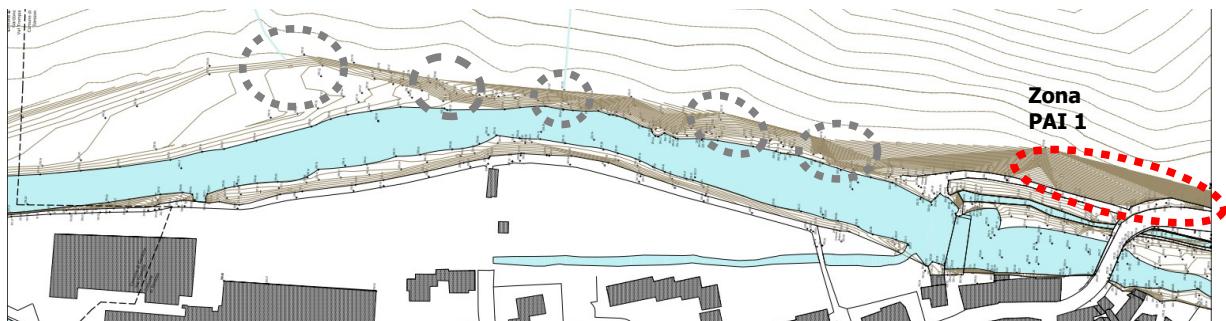


Foto 1: zona PAI 1 Nord

Questo tratto è caratterizzato da una parete naturale con altezza superiore ai 15 m che è stata oggetto recentemente del distacco di un masso di diverse tonnellate: il blocco è stato isolato dalla parete secondo le principali discontinuità e la stratificazione e si è fermato sul detrito ai piedi della parete.

La parete, che non è stata direttamente interessata dalle operazioni di scavo per la pista, è formata da un ammasso roccioso che, analogamente a gli altri

affioramenti, presenta una evidente e fitta stratificazione e da un grado di fratturazione piuttosto elevato.

Si evidenziano numerose situazioni di potenziale instabilità anche in questo caso legate alla intensa fratturazione ed alla presenza degli apparati radicali all'interno delle discontinuità che ne favoriscono l'apertura provocando, unitamente agli altri fattori di alterazione e degradazione meteorica, il distacco dei blocchi.

La criticità di tale tratto è relativa a fenomeni simili a quello accaduto recentemente, legata al crollo di blocchi rocciosi dalla parete e dalla possibile caduta massi dal versante soprastante (la porzione basale dello stesso è infatti cartografata nella carta PAI e carta Geologica come frana attiva e caduta massi).

Per la mitigazione del rischio si propone, ad integrazione del progetto CMVT, un intervento di messa in sicurezza per la caduta di massi dalla porzione alta del versante che presenta diffuse zone potenziali di sorgente che però sono difficilmente individuabili a causa della difficoltà di accesso al versante.

- pulizia del pendio con taglio della vegetazione nella parte di corona del ciglio per l'installazione dei montanti della barriera;
- Posa di una barriera paramassi a monte del ciglio di frana che vada ad intercettare eventuali blocchi provenienti dal versante.



Foto 2: Zona PAI 1 Sud

Nello stesso scenario rientra anche il tratto di strada di via Marconi che porta all'ingresso della posta ciclabile.

Questo tratto presenta l'installazione di opere di contenimento e consolidamento (mediante la posa reti addossate) di una porzione della parete rocciosa confinante con la strada e l'installazione di barriere messe per l'intercettazione di massi (mediante installazione di profilati metallici e rete con cavi) di un'altra porzione di parete.

In relazione alla tipologia di opera, che è stata realizzata *in situ* ed è priva di certificazione di qualità, ed alla necessità delle stesse di subire interventi di manutenzione a causa anche della presenza del materiale trattenuto, si ritiene utile la loro sostituzione mediante opere di intercettazione dimensionate sulla base di simulazioni di caduta massi, dotate di certificazione di qualità.

Zona PAI 2:

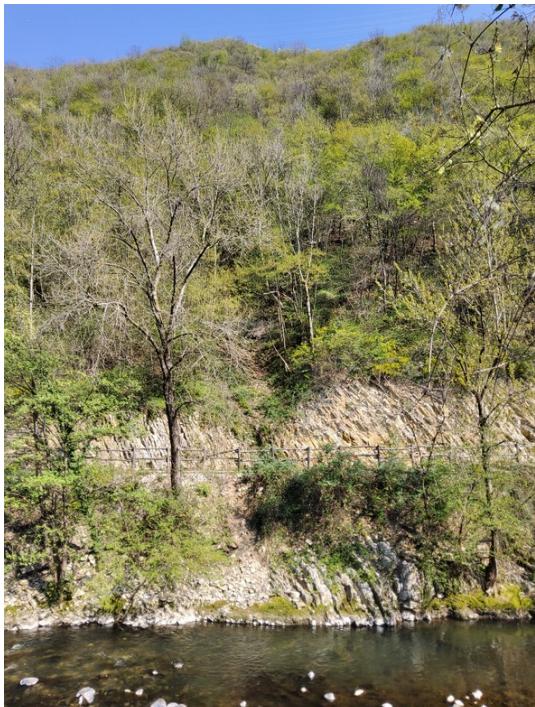
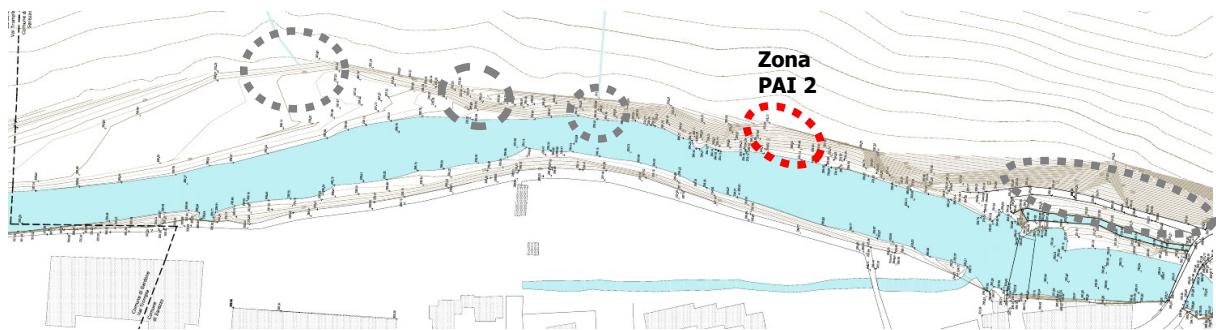


Foto 2: zona PAI 2

Questo tratto presenta un taglio continuo nel versante con l'ammasso roccioso contenuto da una rete addossata fino a circa 1.5 m dal piano di calpestio.

La criticità in questo tratto è stata definita dall'individuazione di un conoide attivo non protetto (cartografia PAI del PGT).

Attualmente l'opera di contenimento è parzialmente deformata a causa del materiale accumulato.

Per la mitigazione del dissesto si propone, ad integrazione del progetto CMVT:

- installazione di una barriera flessibile in rete d'acciaio per la mitigazione del rischio indotto da colate detritiche (Debris-Flow), dimensionata in modo tale che sia in grado di resistere alla pressione combinata dinamica (durante il processo di riempimento) e statica (a barriera colmata), calcolata in base alle dimensioni del bacino idrografico sotteso alla sezione e con certificazione di qualità.

Zona PAI 3:

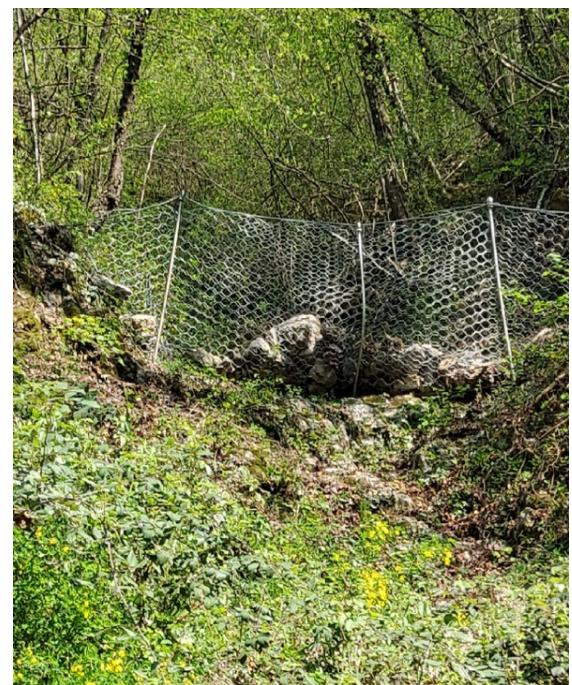
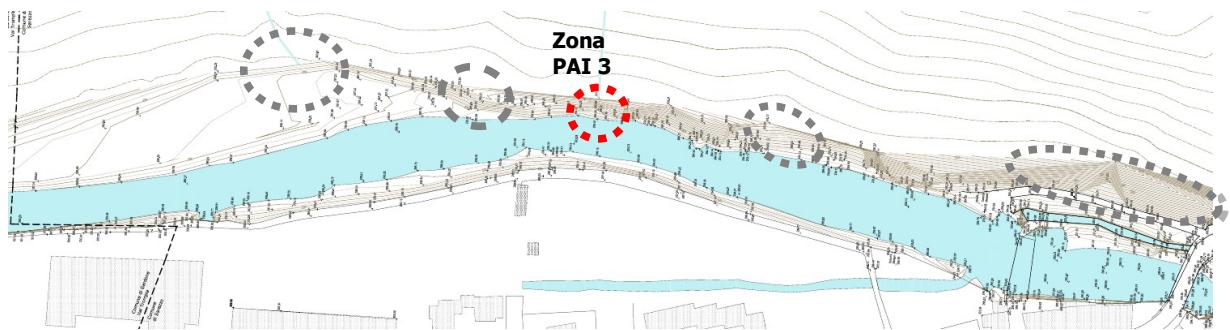


Foto 3: zona PAI 3

Questo tratto mostra caratteristiche simili al tratto PAI 2, in cui viene individuata una zona PAI per la presenza di una fascia di frana attiva all'interno di un asta torrentizia.

Anche in questo caso l'incisione non è particolarmente accentuata (seppur visibile) nella porzione basale del versante, all'interno del substrato del substrato roccioso affiorante con discreta continuità.

Attualmente la zona presenta una barriera di contenimento del trasporto solido danneggiata dalla presenza di blocchi rocciosi che si sono accumulati a ridosso.

Per la mitigazione del rischio si propone, ad integrazione del progetto CMVT:

- installazione di una barriera flessibile in rete d'acciaio per la mitigazione del rischio indotto da colate detritiche (Debris-Flow), dimensionata in modo tale che sia in grado di resistere alla pressione combinata dinamica (durante il processo di riempimento) e statica (a barriera colmata), calcolata in base alle dimensioni del bacino idrografico sotteso alla sezione e con certificazione di qualità.

Zona PAI 4

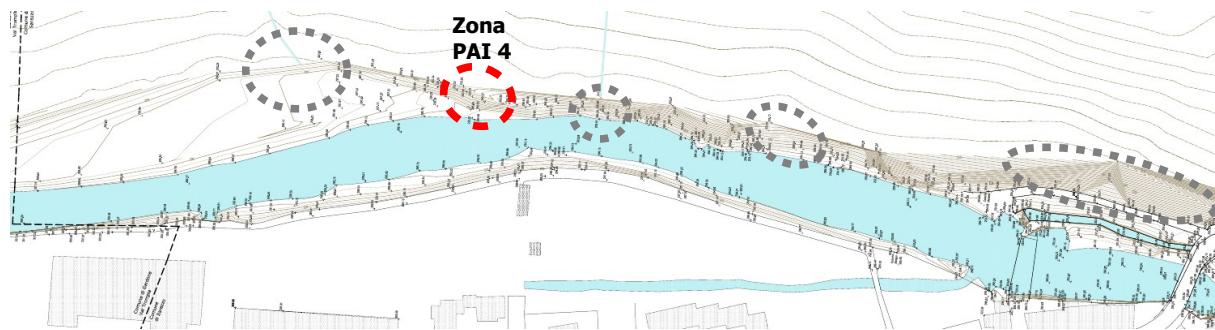


Foto 4: zona PAI 4

Questo tratto mostra caratteristiche simili al tratto PAI 3, in cui viene individuata una zona PAI per la presenza di una fascia di frana attiva all'interno di un asta torrentizia, ad una quota superiore rispetto al piano della pista ciclabile.

L'incisione non è particolarmente accentuata, anche in questo caso presumibilmente a causa della presenza del substrato roccioso affiorante, ma l'asta torrentizia è comunque ben visibile.

All'interno dell'asta è presente una barriera di contenimento del trasporto solido danneggiata da un albero crollato sulla sommità della rete.

Per la mitigazione del rischio si propone, ad integrazione del progetto CMVT:

- installazione di una barriera flessibile in rete d'acciaio per la mitigazione del rischio indotto da colate detritiche (Debris-Flow), dimensionata in modo tale che sia in grado di resistere alla pressione combinata dinamica (durante il processo di riempimento) e statica (a barriera colmata), calcolata in base alle dimensioni del bacino idrografico sotteso alla sezione e con certificazione di qualità.

Zona PAI 5

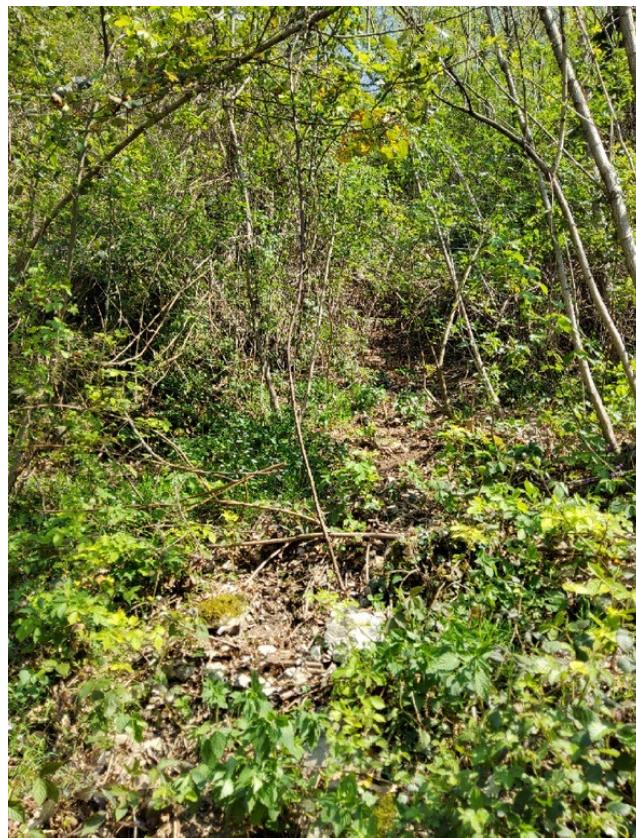
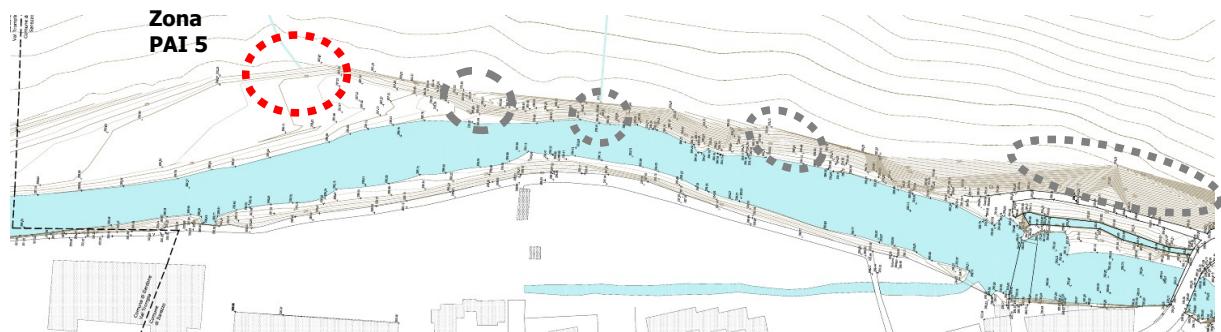


Foto 5: zona PAI 5

Questo tratto è caratterizzato da una copertura detritica che riveste con discreta continuità gli affioramenti del substrato roccioso nella fascia di base al raccordo con la pista ciclabile.

Si tratta di deposito di versante e conoide formato da clasti calcarei centi-decimetrici spigolosi, con liste di selce.

Le pendenze sono piuttosto elevate ed il detrito è spesso colonizzato dalla vegetazione ed appare prevalentemente stabile.

Tale area è individuata sulla cartografia PAI come "area di conoide attiva non protetta" ed attualmente non presenta precedenti visibili opere di difesa

I clasti, che derivano dalla disgregazione degli affioramenti del substrato roccioso soprastante, sono tipicamente eterodimensionali e con forma irregolare ma spigolosa: l'accumulo lungo il pendio favorisce normalmente la deposizione gradata con graduale variazione della granulometria spostandosi dall'alto verso il basso.

Grazie soprattutto alla forma che presenta spigoli vivi, tali depositi sono caratterizzati da angoli di attrito piuttosto elevati, ovvero sono dotati di buone caratteristiche geotecniche che ne favoriscono la parziale stabilità.

La potenziale pericolosità di questi accumuli è legata prevalentemente alla elevata pendenza del piano di appoggio e ad altre condizioni che potrebbero instabilizzarli come la presenza di grandi quantità di acqua tra i clasti (in occasione di fenomeni atmosferici piuttosto intensi che potrebbero formare flussi idrici concentrati lungo il pendio), oppure la caduta di altro materiale vegetale o roccioso dall'alto, il cedimento del piano di appoggio oppure il passaggio di animali.

Sono stati rilevati rari blocchi rocciosi di dimensioni decimetriche nella piana alluvionale dei quali è incerta l'origine soprattutto in seguito ai lavori di sbancamento eseguiti per la realizzazione della pista.

In posizione mediana, la Sud rispetto all'asta torrentizia, si rinvengono i primi affioramenti del substrato roccioso, formati da calcari stratificati subverticali ca-

ratterizzati da due principali set di fratturazione che possono originare blocchi con volume rappresentativo di circa 100 dm³.

Gli affioramenti che si rinvengono al piano della pista mostrano un altezza di pochi metri, mentre nella parte più alta del versante si scorgono porzioni di parete, che emergono dalla fascia detritica, che potrebbero causare distacchi.

Per la mitigazione del rischio si propone, ad integrazione del progetto CMVT, per l'asta torrentizia:

- installazione di una barriera flessibile in rete d'acciaio per la mitigazione del rischio indotto da colate detritiche (Debris-Flow), dimensionata in modo tale che sia in grado di resistere alla pressione combinata dinamica (durante il processo di riempimento) e statica (a barriera colmata), calcolata in base alle dimensioni del bacino idrografico sotteso alla sezione e con certificazione di qualità.

8. Criteri considerati per la scelta progettuale

I criteri utilizzati per le scelte progettuali, adottati in relazione alle differenti tipologie di pericolosità riscontrata e/o riportata dalla cartografia PAI sulla base di eventi avvenuti nel tempo, hanno consentito l'individuazione di differenti tipologie di intervento.

Barriere Paramassi

Questo tipo di intervento è stato individuato per la zona PAI 1.

Nonostante l'evidenza di alcune situazioni puntuali di instabilità, riferibili soprattutto a blocchi già distaccati dagli affioramenti, le situazioni di potenziale instabilità sono molte e talvolta nascoste anche dalla copertura vegetale, evidenziando una pericolosità diffusa in tutta l'area.

In base a questa considerazioni, la proposta progettuale è volta alla riduzione delle possibili conseguenze dirette sulla parte iniziale della ciclabile (imbocco Sud da via Marconi che presenta anche un impianto di derivazione delle acque a scopo idroelettrico) storicamente ed anche recentemente interessato da eventi di tipo crollo di blocchi roccioso dalla parete e rotolamento di massi dal versante mediante l'installazione di barriere paramassi.

In particolare, gli interventi considerati sono costituiti da:

- realizzazione di opere di difesa passiva quali barriere paramassi;

L'installazione delle barriere paramassi, grazie alla loro funzione di intercettazione sia di eventuali blocchi distaccati dagli affioramenti, sia di blocchi appoggiati al versante, consentono la protezione di una vasta porzione del territorio a valle ed è stato considerato l'intervento maggiormente efficace in relazione alla notevole estensione areale della porzione di versante potenzialmente instabile e parzialmente inesplorabile.

Dati di rilievo

Una volta definiti gli interventi di massima da eseguire lungo il versante, la successiva fase di dimensionamento delle opere di difesa, ovvero delle barriere paramassi, è stato eseguito soprattutto sulla base delle risultanze del rilievo di campagna che hanno consentito di definire le caratteristiche prestazionali delle opere.

Le *condizioni geomorfologiche* considerate, sono state definite mediante l'individuazione di alcuni possibili corridoi di discesa, individuati con simulazioni di caduta massi con modello tridimensionale del versante da cui sono state individuate le possibili piste di discesa dei massi di progetto.

La modellazione del versante è stata realizzata mediante tecnica SAPR solamente per la porzione basale del pendio a causa della vegetazione particolarmente fitta che non ha consentito una corretta restituzione dell'andamento del terreno: il rilievo è stato quindi integrato con la cartografia ufficiale del territorio comunale.

Sulla base del rilievo e delle indicazioni fotografiche, è stata fatta la caratterizzazione del pendio dal punto di vista della tipologia della copertura: in questo caso è stata considerato complessivamente un pendio con roccia alterata: in via cautelativa non è stata considerata la presenza della vegetazione.

In base a questo, sono stati definiti i coefficienti di restituzione, parametri caratterizzanti il rimbalzo, che esprimono la dissipazione di energia cinetica nell'urto (Pfeiffer e Bowen, 1989):

	Coeff. di restituzione normale	Coeff. di restituzione tangenziale
Roccia integra	0.65-0.75	0.87-0.92

Le *condizioni geomeccaniche* si riferiscono invece alle caratteristiche dei blocchi potenzialmente instabili, sia facenti parte di un ammasso roccioso, verificate tramite rilievi geomeccanici utili a definire la qualità dell'ammasso roccioso soprattutto in funzione della determinazione del volume roccioso unitario (VRU), sia come blocchi isolati che rappresentano la pericolosità principale considerata.

In relazione alla dimensione massima dei blocchi in situazione di stabilità precaria, è stato definito il volume del blocco di progetto come un prisma di dimensioni di circa 0.7x0.5x0.6 m .

Analisi numeriche

Per poter dimensionare le opere di difesa proposte, sono state effettuate alcune simulazioni numeriche relative alla caduta di massi dal versante: inizialmente è stato utilizzato un modello 3D che considera i blocchi come puntiformi che impattano su un piano quotato. Questo è formato da un reticolo di nodi tridimensionali costituenti una mesh triangolare che rappresenti l'intera zona tra il distacco e l'arresto dei blocchi.

Gli elementi del reticolo devono essere definiti in modo da poter considerare costante, all'interno del perimetro, l'inclinazione e la direzione del pendio insieme ai parametri fisici del modello che sono i coefficienti di restituzione normale e tangenziale, definiti come rapporto di energia post e pre-impatto.

Successivamente, sulla base delle traiettorie individuate con il modello 3D, è stato utilizzato un codice di calcolo bidimensionale basato sul modello detto CRSP (Colorado Rockfall Simulation Program, Pfeiffer e Bowen (1989)) con lo scopo di modellare il moto di caduta di blocchi aventi la forma puntiforme e discoidale con sezione circolare nel piano verticale del movimento.

Il criterio di modellazione, consente di tener conto della natura casuale della maggior parte dei parametri che controllano l'impatto sul pendio, in modo da poter condurre numerose simulazioni che riproducano sia la variabilità naturale, sia l'elevato grado di aleatorietà connessi ai fenomeni di propagazione dei massi sui versanti.

La progettazione dei sistemi di difesa passiva, atti ad intercettare ed arrestare blocchi rocciosi in moto su di un pendio, richiede la valutazione preliminare di un blocco di riferimento detto "blocco di progetto" con cui determinare alcuni parametri caratteristici come:

- altezze delle traiettorie di caduta e dei rimbalzi rispetto la superficie del pendio;
- energie assunte dai blocchi lungo i percorsi di caduta, in funzione della loro massa e velocità raggiunta;
- massime distanze raggiunte dai massi e zone di espandimento a valle.

L'analisi è stata impostata con la simulazione di 200 lanci distribuiti sulla parte superiore del profilo topografico, le variabili considerate nelle simulazioni effettuate sono: la dimensione del masso di progetto (raggio =0.5 - 1.0 m e spessore = 0.6 m) e la velocità di partenza variabile tra 0.0 e 1.0 m/s.

L'analisi statistica dei lanci, vede (soprattutto nel caso delle dimensioni minori e della minore velocità di partenza) la gran parte dei massi movimentati termi-

nare la corsa lungo il pendio, mentre aumentando il valore delle dimensioni e della velocità si rinvengono blocchi che terminano la corsa sul fondovalle.

In allegato vengono riportati gli esiti della sezione con le traiettorie e i punti di arresto dei lanci simulati.

Sezione 01N

Barriera N°	Xb(m)	Yb(m)	HpMax[m]	Vmax[m/s]	Emax[KJ]
1.0	175.919	362.411	0.009	5.914	20.115

ELABORAZIONI STATISTICHE

Velocità massima	12.38	m/s
Energia massima pre-impatto	84.7	KJ
Ascissa massima raggiunta	175.924	m

Sezione 02N

Barriera N°	Xb(m)	Yb(m)	HpMax[m]	Vmax[m/s]	Emax[KJ]
1.0	135.704	352.592	0.23	27.329	608.228

ELABORAZIONI STATISTICHE

Velocità massima	27.09	m/s
Energia massima pre-impatto	573.565	KJ
Ascissa massima raggiunta	135.778	m

Sezione 03S

Barriera N°	Xb(m)	Yb(m)	HpMax[m]	Vmax[m/s]	Emax[KJ]
1.0	98.373	342.404	0.17	17.907	262.006

ELABORAZIONI STATISTICHE

Velocità massima	18.42	m/s
Energia massima pre-impatto	259.01	KJ
Ascissa massima raggiunta	98.458	m

Sezione 04S

Barriera N°	Xb(m)	Yb(m)	HpMax[m]	Vmax[m/s]	Emax[KJ]
1.0	106.753	327.732	0.802	26.345	576.025

ELABORAZIONI STATISTICHE

Velocità massima	25.95	m/s
Energia massima pre-impatto	517.094	KJ
Ascissa massima raggiunta	106.798	m

Tra i dati ricavati, quelli che verranno utilizzati per il dimensionamento delle opere di difesa saranno: l'altezza massima di rimbalzo e l'energia cinetica massima (valore in funzione della velocità massima e della massa del blocco si progetto) .

In particolare le elaborazioni delle simulazioni evidenziano la possibilità di rimbalzi piuttosto limitati nella parte bassa del versante ed energia massima attesa, inferiore a 650 kJ: tali valori andranno a caratterizzare dal punto di vista prestazionale, l'opera di difesa, nella fattispecie le caratteristiche della barriera paramassi.

Barriere elastiche per colate detritiche tipo Debris-Flow

Questo tipo di intervento è stato individuato per le zone PAI 2-3-4 e 5.

Si tratta dell'installazione di barriere elastiche, tipo paramassi, che consentano di trattenere la porzione del trasporto solido che può essere movimentata in eventi di piena nei torrenti montani.

Il rilievo degli interventi già in essere nell'area, mostra che effettivamente i torrenti, pur essendo privi di acqua per buona parte dell'anno, nei periodi particolarmente piovosi innescano processi di trasporto solido che sono evidenziati dai volumi di detrito accumulati in pochi anni.

Sulla base delle condizioni geomorfologiche e dell'area del bacino sotteso, mediante un codice di calcolo viene valutata la massa di detrito che può essere rimobilizzata e trasportata fino alla base del versante.

In relazione alle dimensioni delle sezioni considerate, saranno previste sia barriere elastiche senza montante (PAI 2, 3, 4) con larghezza massima inferiore a 15,0 m, sia una barriera con montante (PAI 5) con larghezza inferiore a 25 m.

9. Conclusioni

Nella progettazione dell'intervento descritto, si è proceduto alla valutazione delle caratteristiche morfologiche e geomeccaniche del tratto di versante in oggetto.

In relazione:

alle differenti tipologie di pericolosità del sito, rappresentato dalla probabilità che si verifichi un evento come la rimobilizzazione di blocchi rocciosi dal versante oppure il distacco di porzioni rocciose dagli affioramenti lungo la pista ciclabile;

alla vulnerabilità dell'area, rappresentata dalla possibilità che si verifichino danni alle cose e/o alle persone in seguito al dissesto,

si è provveduto alla scelta di una serie di interventi di difesa:

- Installazione di barriere paramassi che vadano ad interessare la fascia dei potenziali corridoi di discesa dei massi.

Il dimensionamento di queste barriere è stato eseguito mediante l'analisi delle probabili traiettorie di discesa e della quantità di energia posseduta dai blocchi in movimento: la scelta progettuale è stata quella di utilizzare barriere in grado di garantire la protezione da fenomeni di caduta massi con sviluppo energetico fino a 2000 kJ in riferimento alla normativa Europea in vigore con altezza nominale pari a 4.0 m .

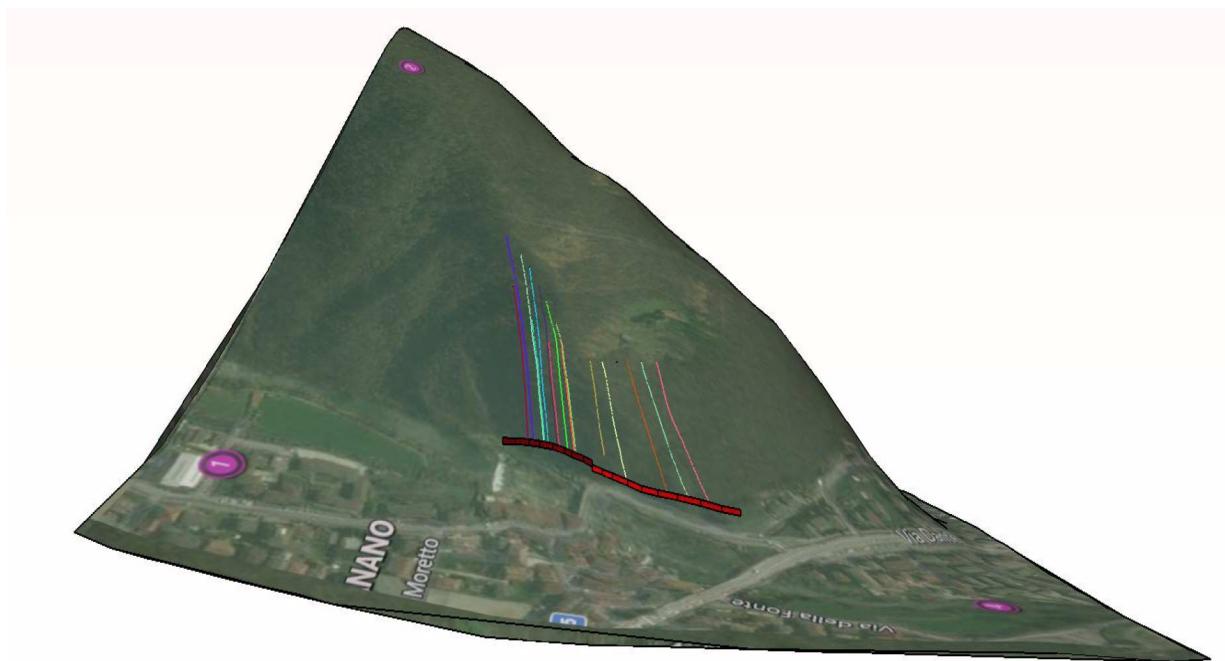
La barriera paramassi verrà installata su tre file di lunghezza pari a 80.0, 60.0 e 70.0 m.

- Installazione di n. 04 barriere di ritenzione delle colate detritiche tipo Debris Flow in corrispondenza di quattro aste torrentizie già individuate dalla cartografia PAI.
- Esecuzione di interventi di pulizia e disgaggio con installazione di interventi di consolidazione corticale mediante posa di rete addossata.

I particolari costruttivi ed il dettaglio delle caratteristiche prestazionali e relative certificazioni delle opere previste verranno riportati nel progetto esecutivo.

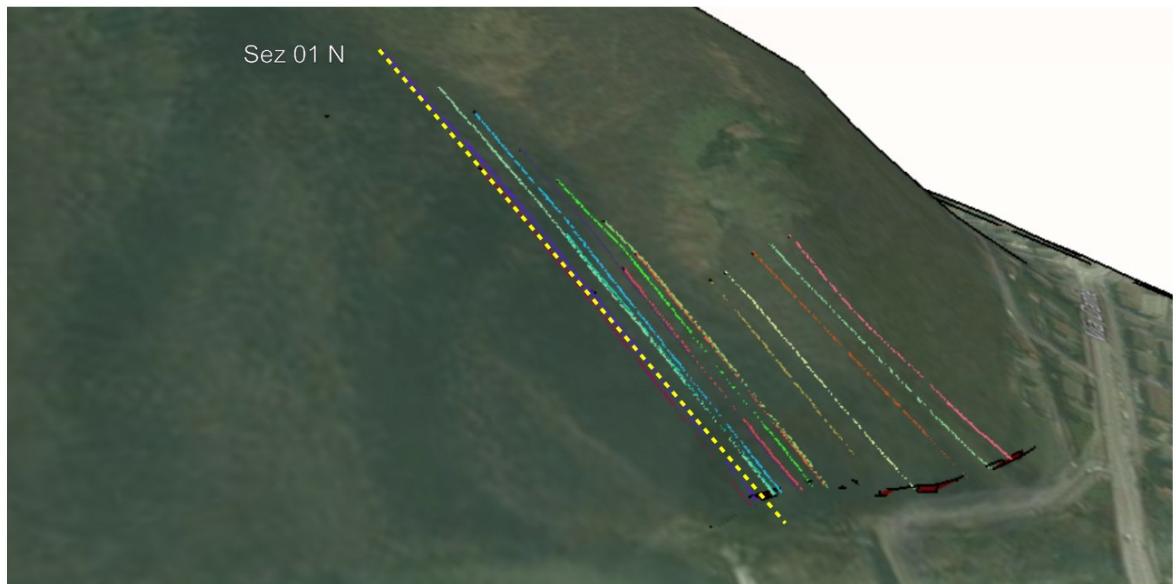
Dott. Geol. Davide Martello

Report elaborati simulazioni di caduta massi



Modello del terreno per simulazione 3D

Sez 01N



CARATTERISTICHE DEL BLOCCO

Forma del blocco	Disco
Densità	2300.0 Kg/m ³
Elasticità	98066.0 kPa
Velocità iniziale in x	3.0 m/s
Velocità iniziale in y	-3.0 m/s
Velocità limite di arresto	0.01 m/s
Diametro	1.0 m
Spessore disco	0.6 m

(HpMax) Altezza massima, (Vmax) Velocità massima, (Emax) Energia massima del masso sulla barriera.

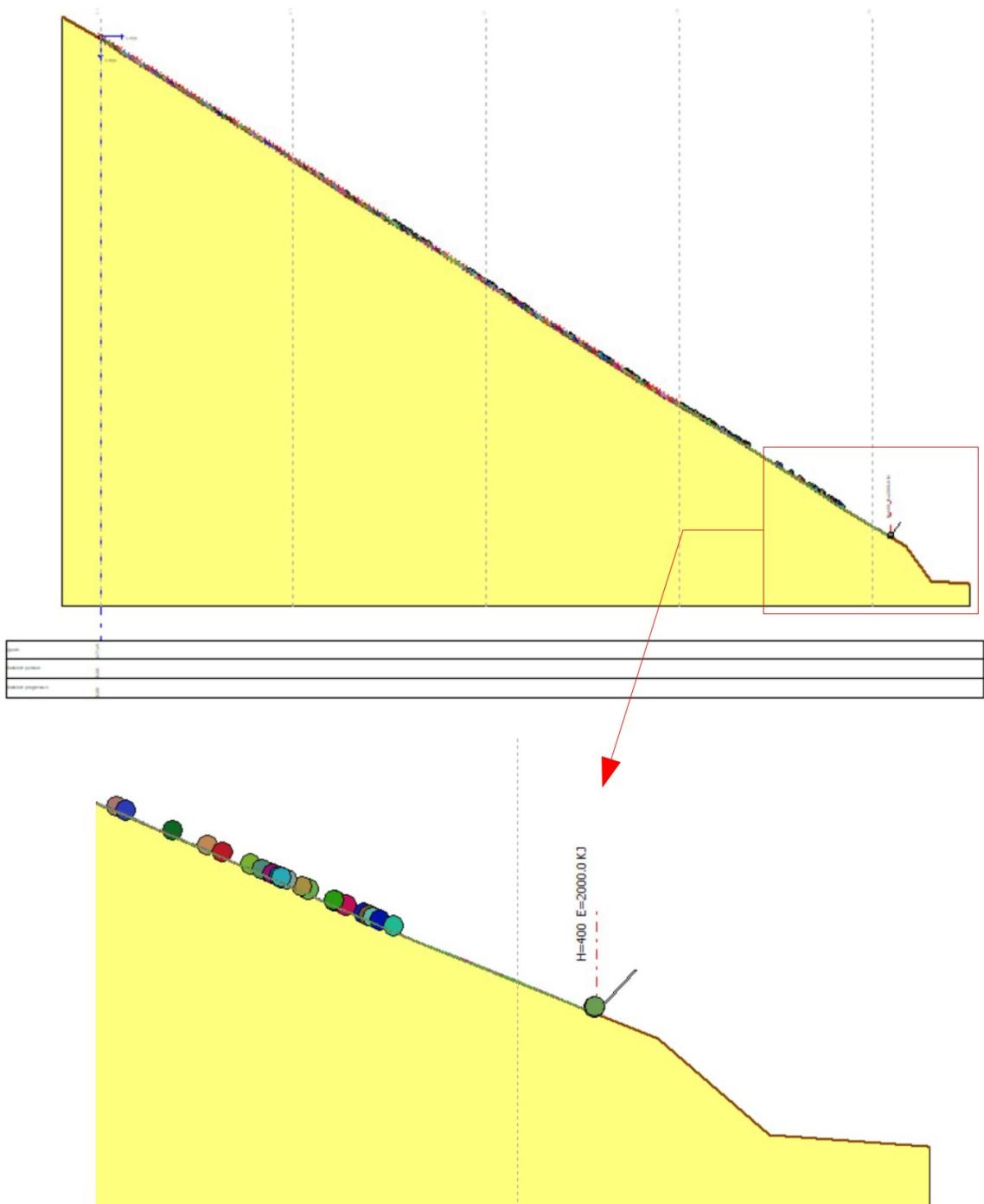
Descr.	Xb (m)	Yb(m)	HpMax (m)	Vmax (m/s)	Emax (KJ)
Barriera 0	175.919	362.411	0.009	5.914	20.115

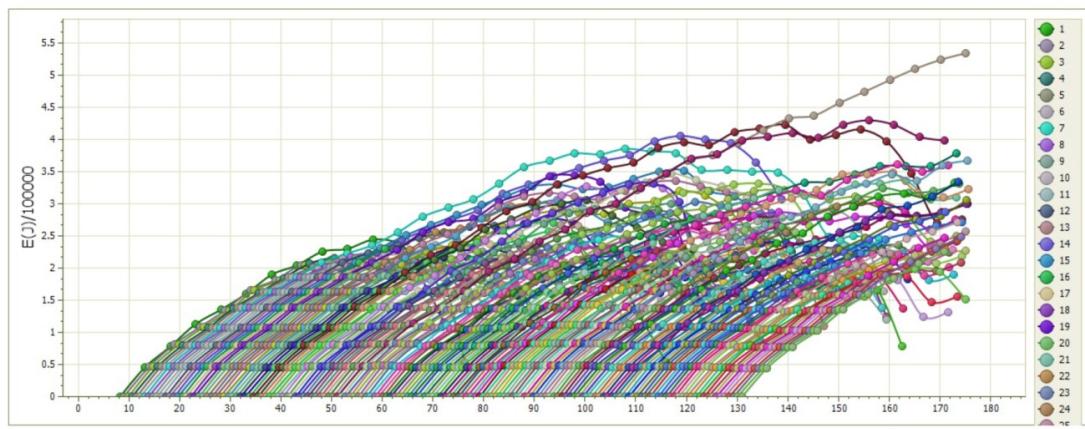
ELABORAZIONI STATISTICHE

Velocità massima	12.38 m/s
Velocità minima	1.682 m/s
Velocità media	6.793 m/s
Scarto quadratico medio	3.274 m/s
Energia massima pre-impatto	84.714 KJ
Energia media pre-impatto	31.429 KJ
Scarto quadratico energia	25.114 KJ
Ascissa media di arresto	108.291 m
Ascissa massima raggiunta	175.924 m

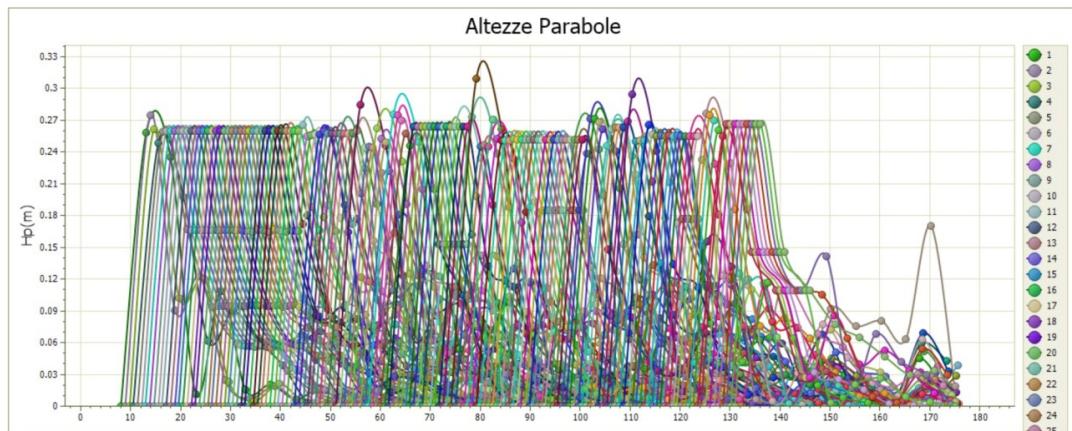
allegati pag. 2

dott. **davide martello**
studio di geologia applicata

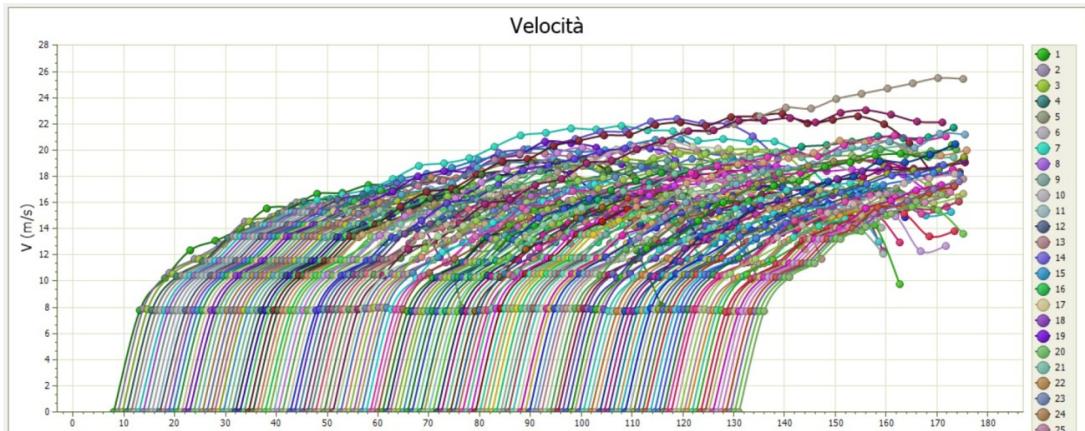




Involuppo energia di tutte le traiettorie

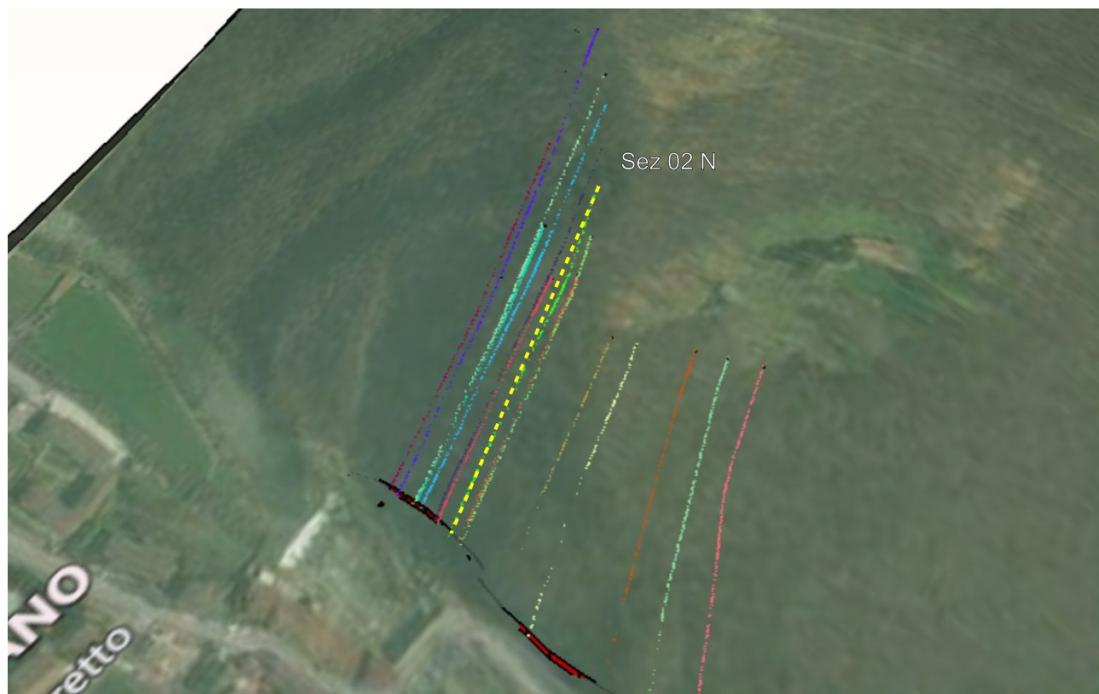


Involuppo altezze di tutte le traiettorie



Involuppo velocità di tutte le traiettorie

Sez 02N



CARATTERISTICHE DEL BLOCCO

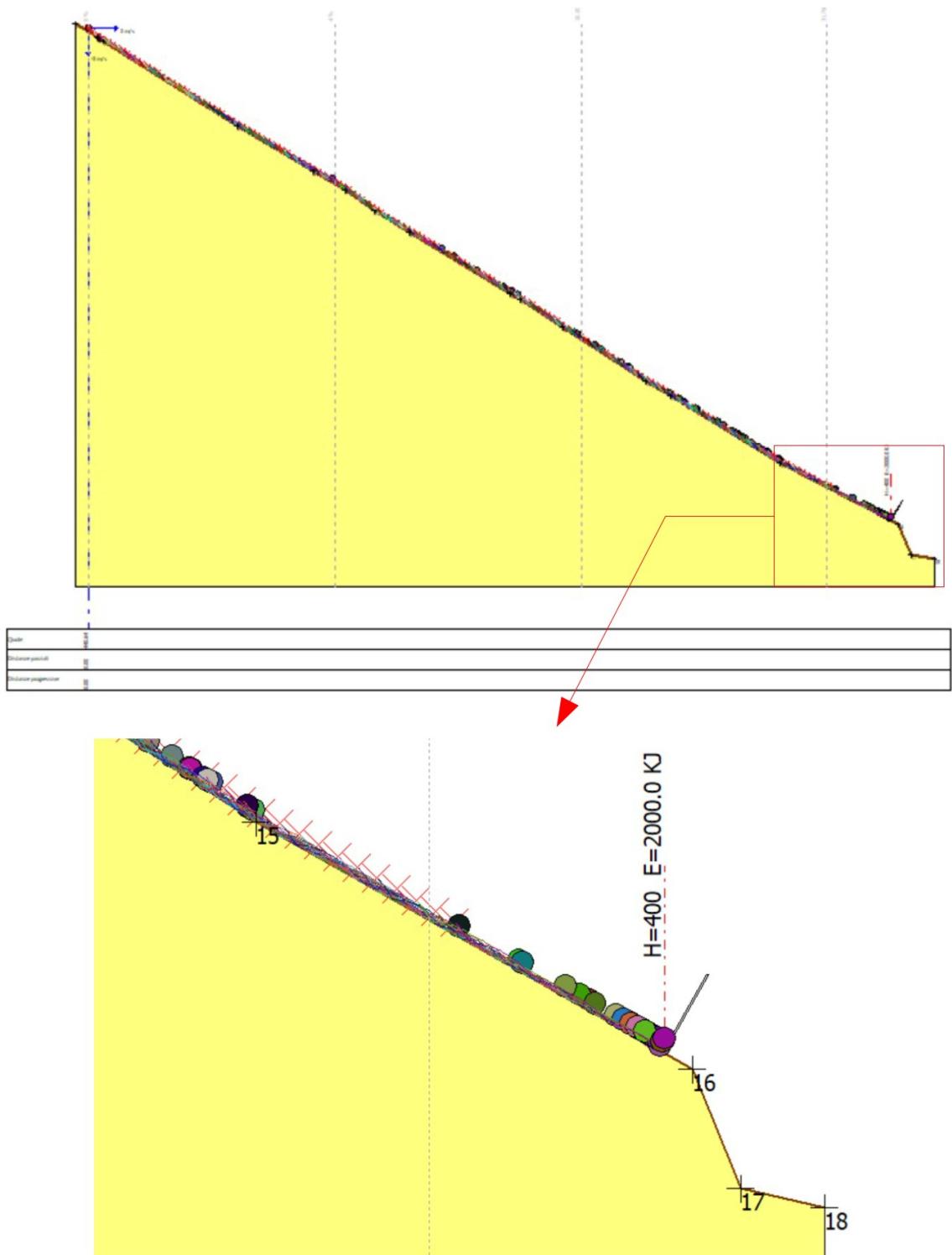
Forma del blocco	Disco	
Densità		2300.0 Kg/m ³
Elasticità		98066.0 kPa
Velocità iniziale in x		3.0 m/s
Velocità iniziale in y		-3.0 m/s
Velocità limite di arresto		0.01 m/s
Diametro		1.0 m
Spessore disco		0.6 m

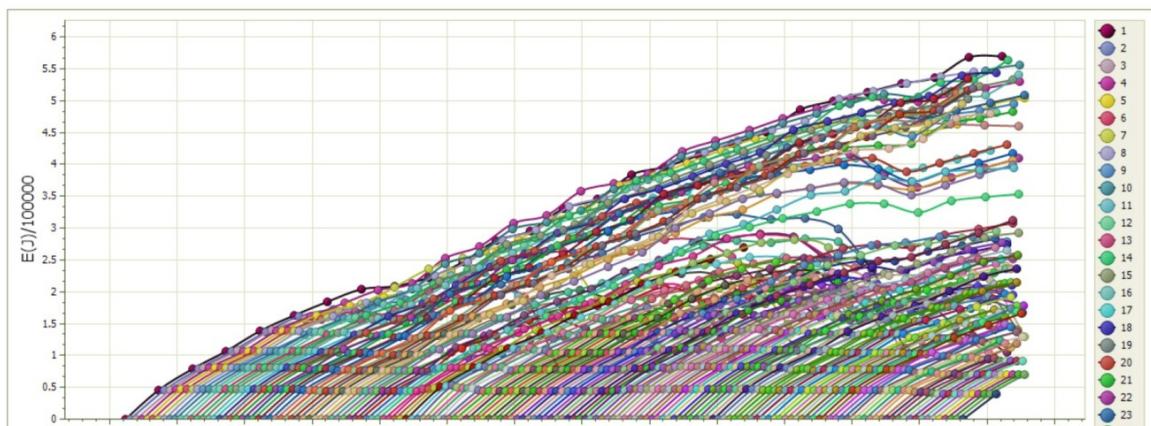
(HpMax) Altezza massima, (Vmax) Velocità massima, (Emax) Energia massima del masso sulla barriera.

Descr.	Xb (m)	Yb(m)	HpMax (m)	Vmax (m/s)	Emax (KJ)
Barriera 0	135.704	352.592	0.23	27.329	608.228

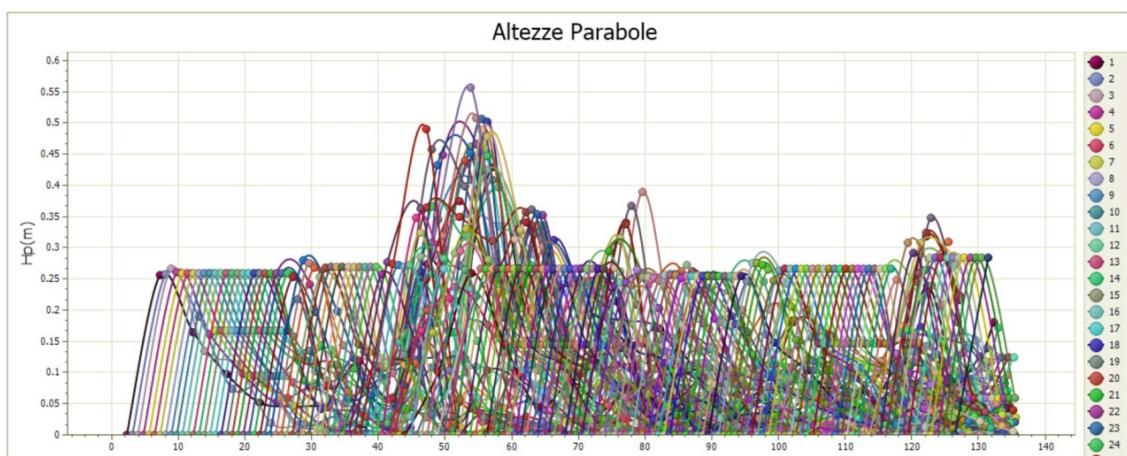
ELABORAZIONI STATISTICHE

Velocità massima	27.095 m/s
Velocità minima	6.089 m/s
Velocità media	14.426 m/s
Scarto quadratico medio	3.921 m/s
Energia massima pre-impatto	573.565 KJ
Energia media pre-impatto	177.423 KJ
Scarto quadratico energia	98.783 KJ
Ascissa media di arresto	123.567 m
Ascissa massima raggiunta	135.778 m

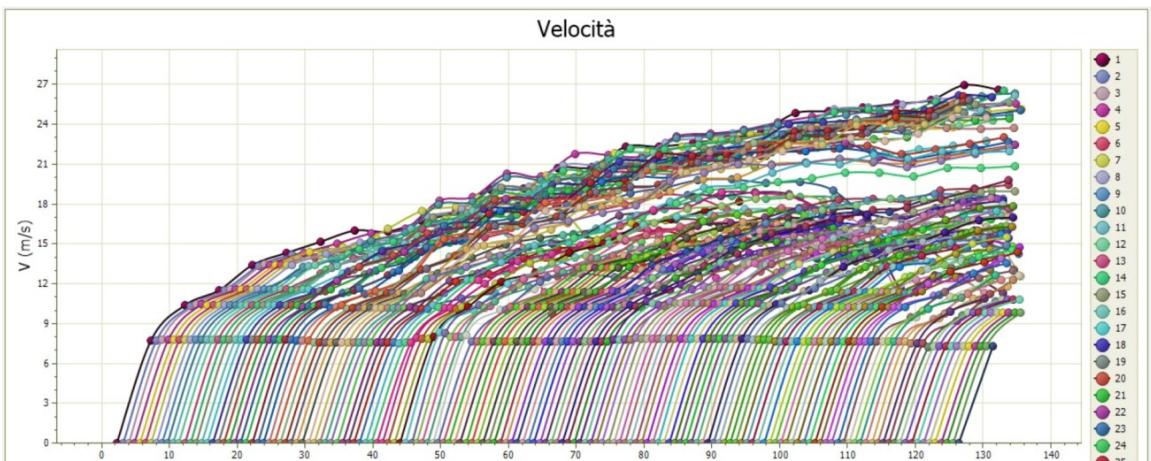




Inviluppo energia di tutte le traiettorie

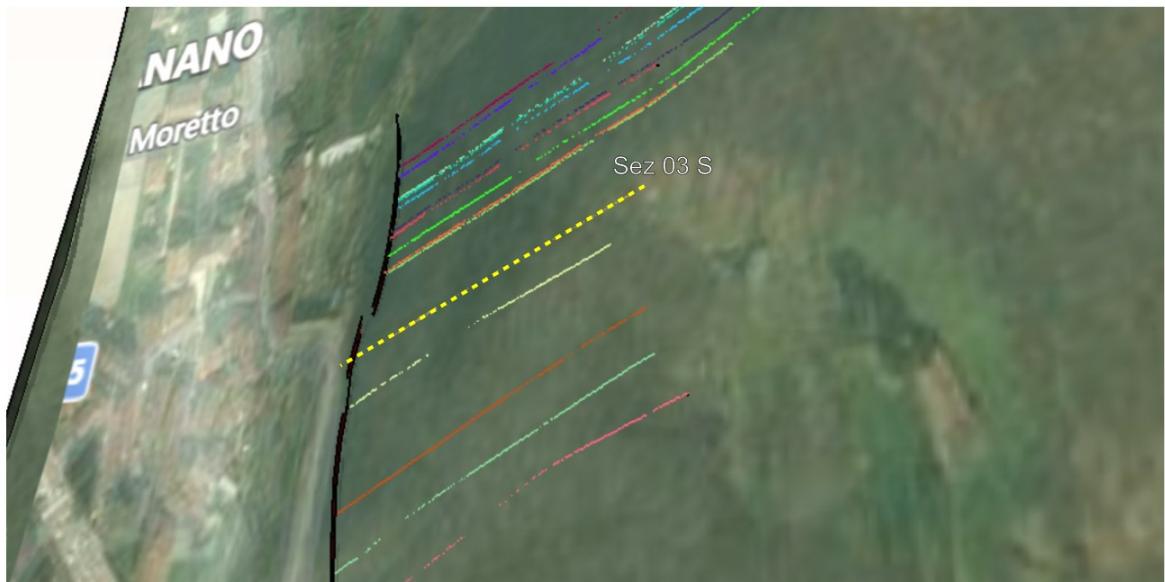


Inviluppo altezze di tutte le traiettorie



Inviluppo velocità di tutte le traiettorie

Sez 03S



CARATTERISTICHE DEL BLOCCO

Forma del blocco Disco	
Densità	2300.0 Kg/m ³
Elasticità	98066.0 kPa
Velocità iniziale in x	3.0 m/s
Velocità iniziale in y	-1.0 m/s
Velocità limite di arresto	0.01 m/s
Diametro	1.0 m
Spessore disco	0.6 m

(HpMax) Altezza massima, (Vmax) Velocità massima, (Emax) Energia massima del masso sulla barriera.

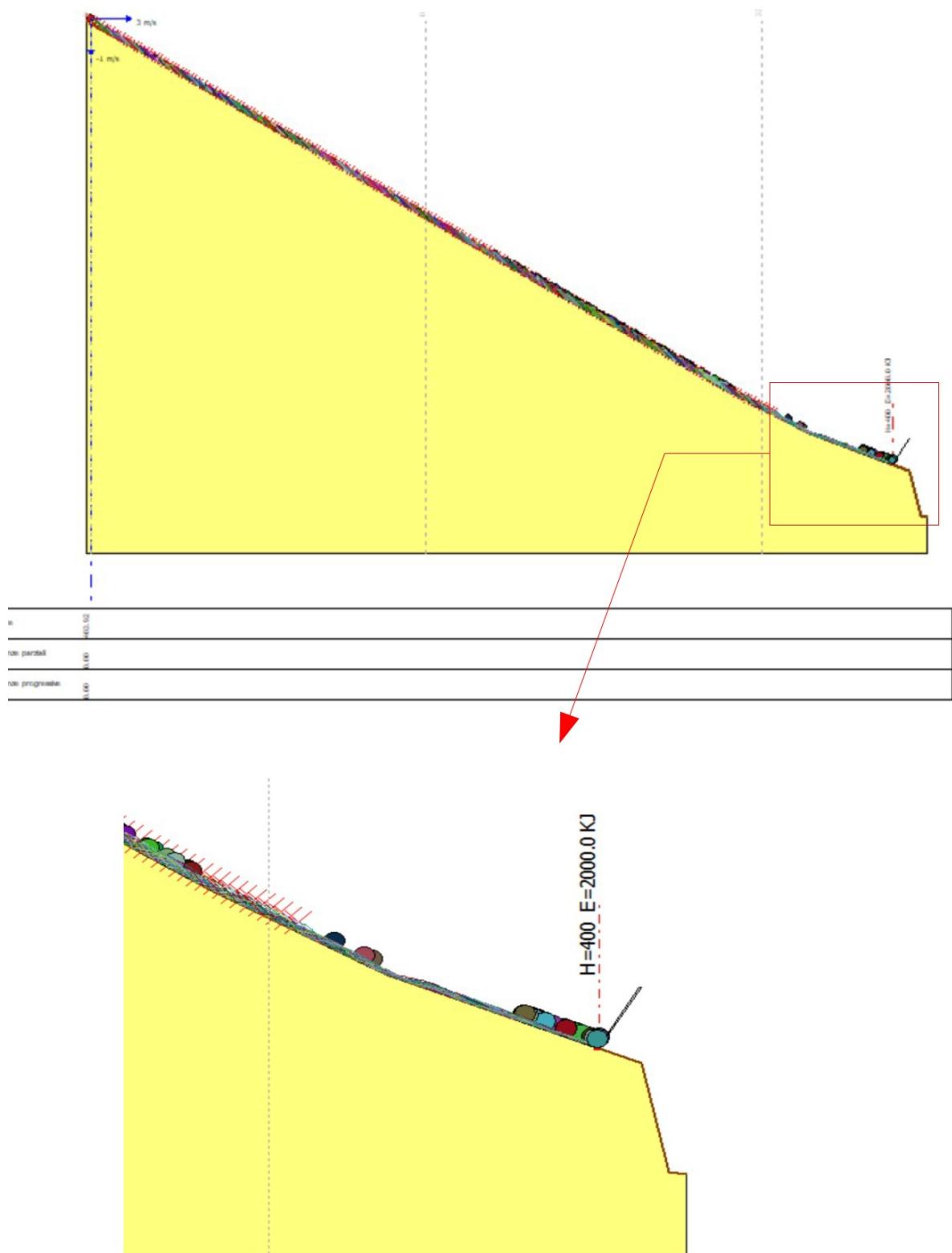
Descr.	Xb (m)	Yb(m)	HpMax (m)	Vmax (m/s)	Emax (KJ)
Barriera 0	98.373	342.404	0.17	17.907	262.006

ELABORAZIONI STATISTICHE

Velocità massima	18.42 m/s
Velocità minima	5.293 m/s
Velocità media	13.273 m/s
Scarto quadratico medio	2.671 m/s
Energia massima pre-impatto	259.017 KJ
Energia media pre-impatto	145.835 KJ
Scarto quadratico energia	54.826 KJ
Ascissa media di arresto	86.881 m
Ascissa massima raggiunta	98.458 m

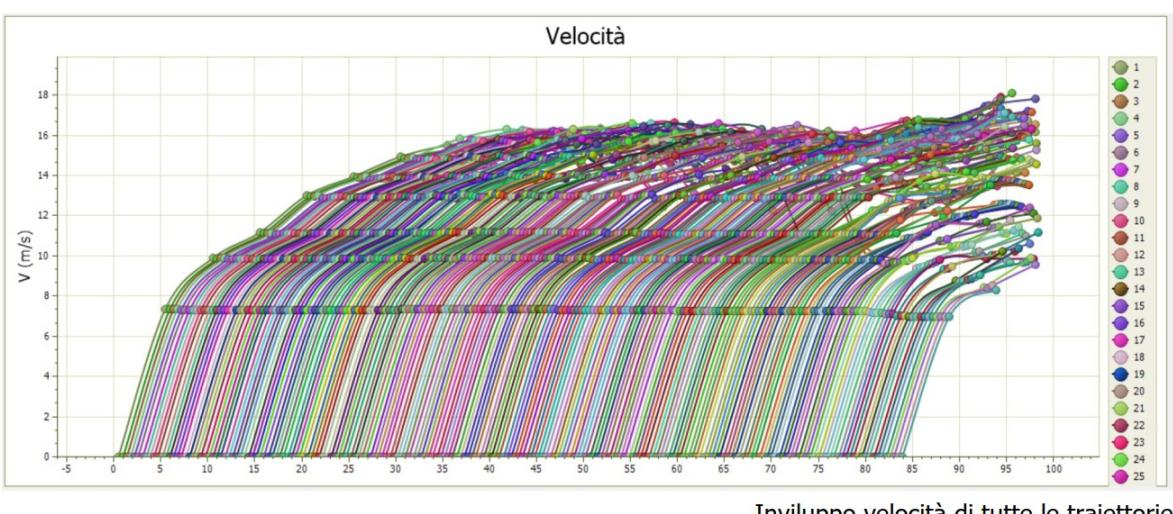
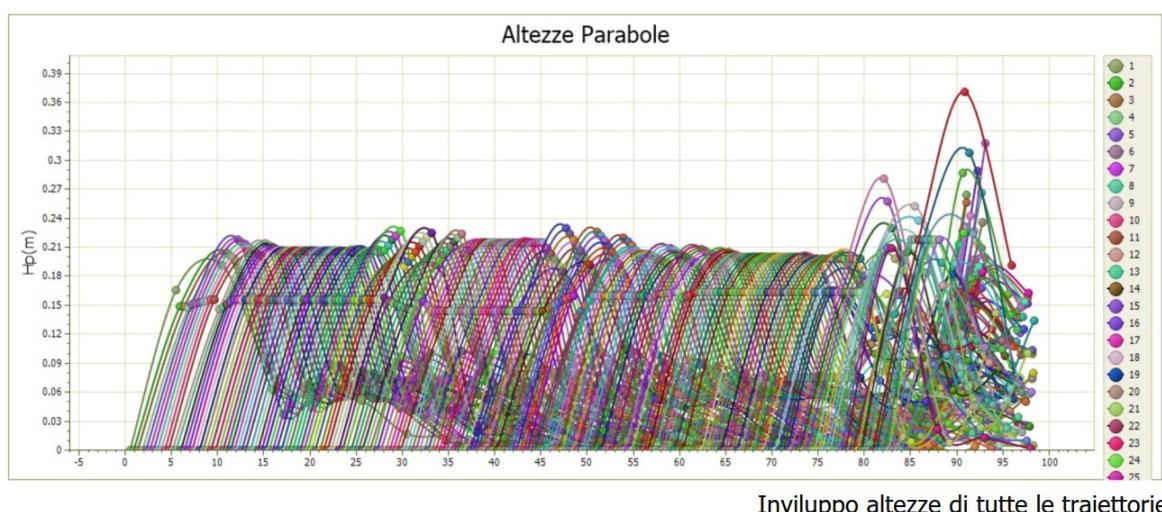
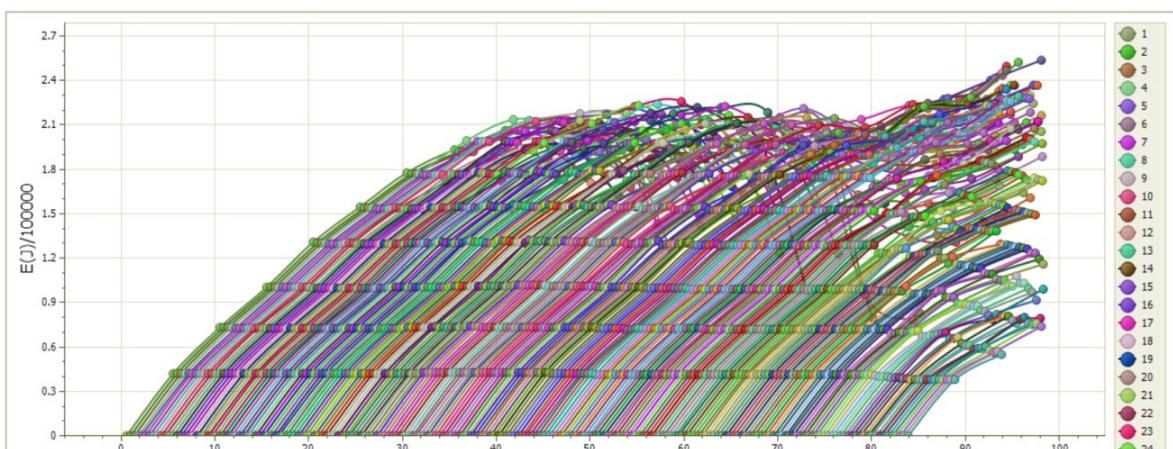
allegati pag. 8

Allegati

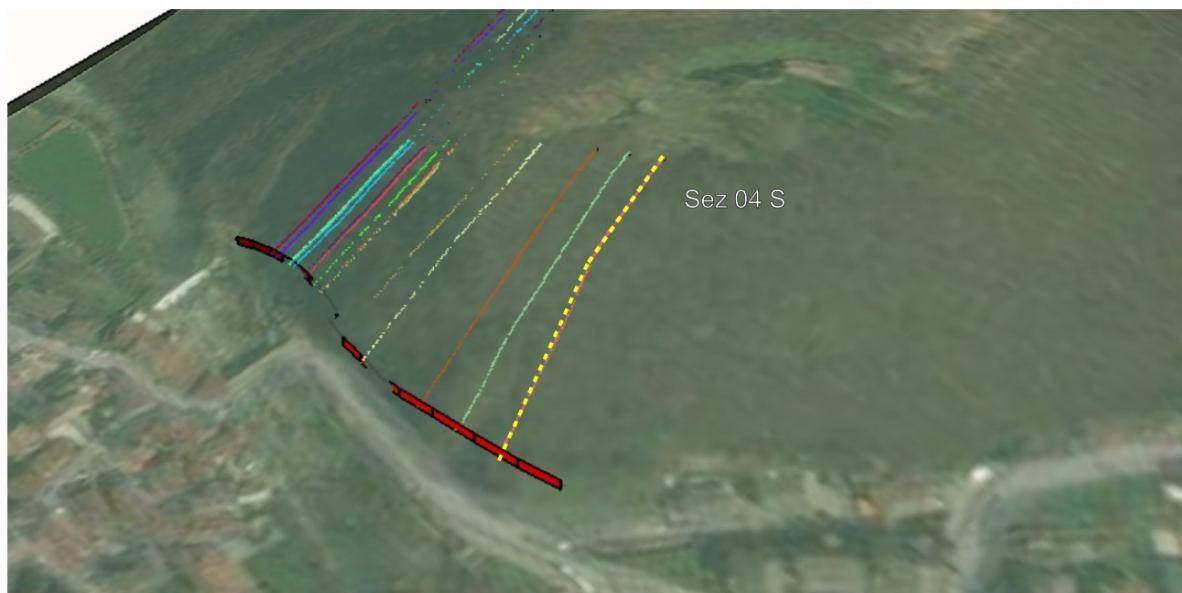


allegati pag. 9

dott. **davide martello**
studio di geologia applicata



Sez 04S



CARATTERISTICHE DEL BLOCCO

Forma del blocco	Disco
Densità	2300.0 Kg/m ³
Elasticità	98066.0 kPa
Velocità iniziale in x	3.0 m/s
Velocità iniziale in y	-1.0 m/s
Velocità limite di arresto	0.01 m/s
Diametro	1.0 m
Spessore disco	0.6 m

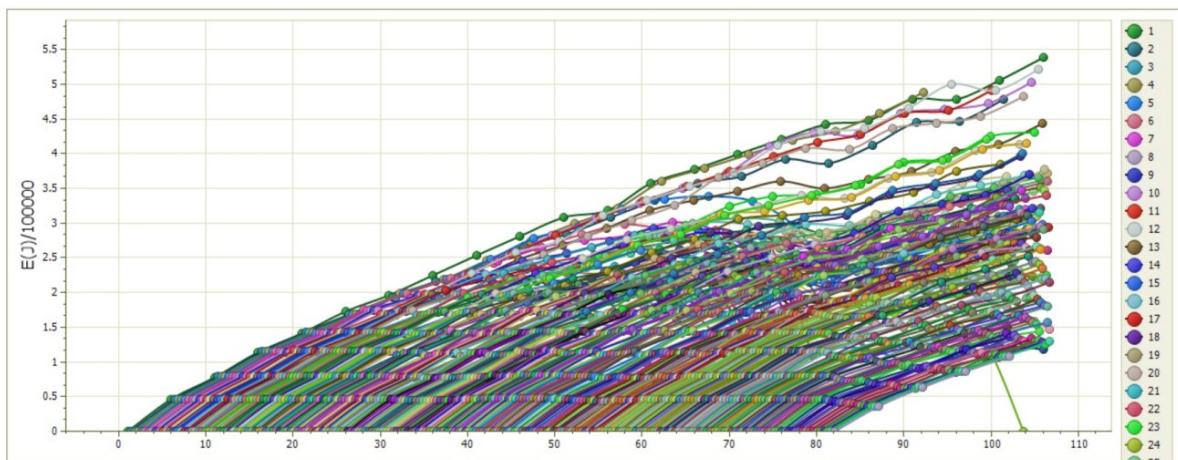
(HpMax) Altezza massima, (Vmax) Velocità massima, (Emax) Energia massima del masso sulla barriera.

Descr.	Xb (m)	Yb(m)	HpMax (m)	Vmax (m/s)	Emax (KJ)
Barriera 1	106.753	327.732	0.802	26.345	576.025

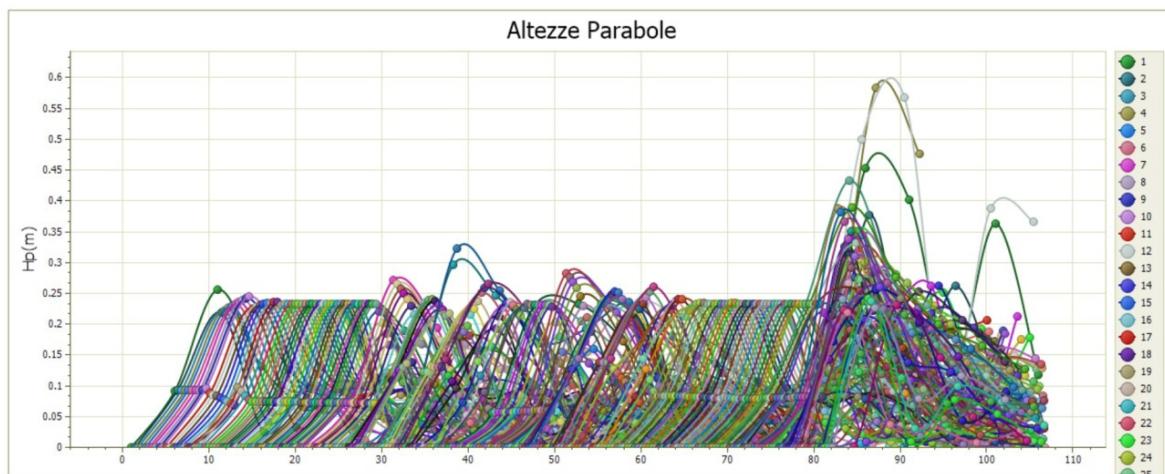
ELABORAZIONI STATISTICHE

Velocità massima	25.949 m/s
Velocità minima	5.822 m/s
Velocità media	14.395 m/s
Scarto quadratico medio	3.398 m/s
Energia massima pre-impatto	517.094 KJ
Energia media pre-impatto	175.087 KJ
Scarto quadratico energia	79.781 KJ
Ascissa media di arresto	98.331 m
Ascissa massima raggiunta	106.798 m

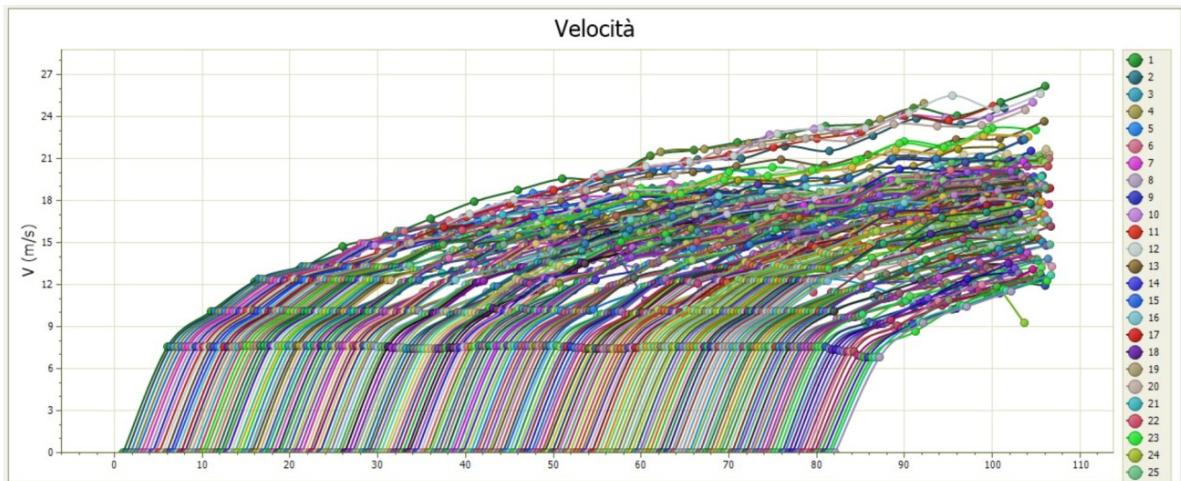




Inviluppo energia di tutte le traiettorie



Inviluppo altezze di tutte le traiettorie



Inviluppo velocità di tutte le traiettorie