

REGIONE PIEMONTE



PROVINCIA DI VERCELLI



UNIONE MONTANA
VALSESIA



CAMERA DI COMMERCIO
INDUSTRIA E ARTIGIANATO
E AGRICOLTURA



COMUNE DI ALAGNA
VALSESIA



COMUNE DI SCOPELLO



MONTEROSA 2000 S.p.A.

COMPLETAMENTO DEL SISTEMA SCIISTICO DELLA VALSESIA

AGGIORNAMENTO DELL'ACCORDO DI PROGRAMMA
SIGLATO IL 14 NOVEMBRE 2006

TITOLO ELABORATO

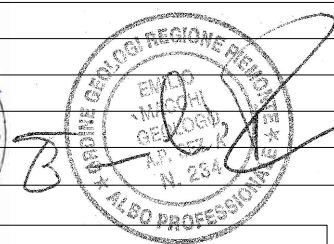
ACCORDO DI PROGRAMMA

Realizzazione invaso artificiale a cielo aperto per impianto
di innevamento programmato in località Mullero
Progetto Esecutivo
Relazione geologica

ELABORATO n° 2.1	SCALA	DATA GIUGNO 2019	REDATTO	Giugno 2019	B. Loi E. Macchi
			CONTROLLATO	Giugno 2019	E. Macchi
			APPROVATO	Giugno 2019	C. Francione
NOME FILE	2.1 Relazione geologica				
REVISIONE N°	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE E RIFERIMENTI DOCUMENTI SOSTITUTIVI			
	Giugno 2019	Emissione			



ORDINE DEGLI ARCHITETTI
PROVINCIA DI TORINO
arch. Pier Augusto Donna Bianco
n° 2801



PROPONENTE



MONTEROSA 2000 S.p.A.
FRAZIONE BONDA, 19
13021 ALAGNA VALSESIA (VC)

PROGETTISTA



MONTEROSA 2000 S.p.A.
FRAZIONE BONDA, 19
13021 ALAGNA VALSESIA (VC)
ECOPLAN
SOCIETA' DI INGEGNERIA
& ARCHITETTURA AMBIENTALE
10154 TORINO Via S. Botticelli, 57

Studio di Geologia - Dott. Barbara Loi
Piazza Mazzini, 23 - 13872 Borriana (BI)

Ing. Claudio Francione

Arch. Pier Augusto Donna Bianco
Dott. geologo Emilio Macchi
Dott. Nat. Massimo Forneri

Dott. geologo Barbara Loi

INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI	3
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA	4
3.1 BASAMENTO PREQUATERNARIO	4
3.2 COPERTURA QUATERNARIA.....	6
4. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	7
5. DISSESTI	8
6. RISCHI DA CADUTA MASSI	11
7. CONCLUSIONI.....	13
ALLEGATO A – ANALISI STRUTTURALE DEL FRONTE ROCCIOSO A NORD DEL BACINO	14
ALLEGATO B – MODELLO DELLA DINAMICA DI CADUTA MASSI	23

1. PREMESSA

La presente relazione geologica riguarda il progetto di invaso in prossimità della pista da sci denominata Mullero. L'invaso in progetto avrebbe molteplici finalità:

- incrementare le disponibilità di risorsa idrica stoccata, raccolta nei periodi con maggiori precipitazioni meteoriche e soprattutto di maggior disponibilità di portata idrica naturale nel Torrente Olen, per ottimizzare le condizioni di alimentazione degli impianti di innevamento esistenti e previsti del comprensorio sciistico di Alagna;
- rappresentare un esempio di particolare attenzione alla conservazione della biodiversità con riferimento alla realizzazione di un bacino artificiale di accumulo idrico in un'area già caratterizzata dalla presenza di zone di ristagno e dunque di specie vegetali di pregio, che non verranno intaccate o penalizzate dalla presenza del manufatto in progetto.

Le opere di prevista realizzazione sono localizzate nel versante in sinistra idrografica del torrente Olen, in corrispondenza di un pianoro posto alla quota di riferimento 2150 m, a lato della pista da sci "Mullero".

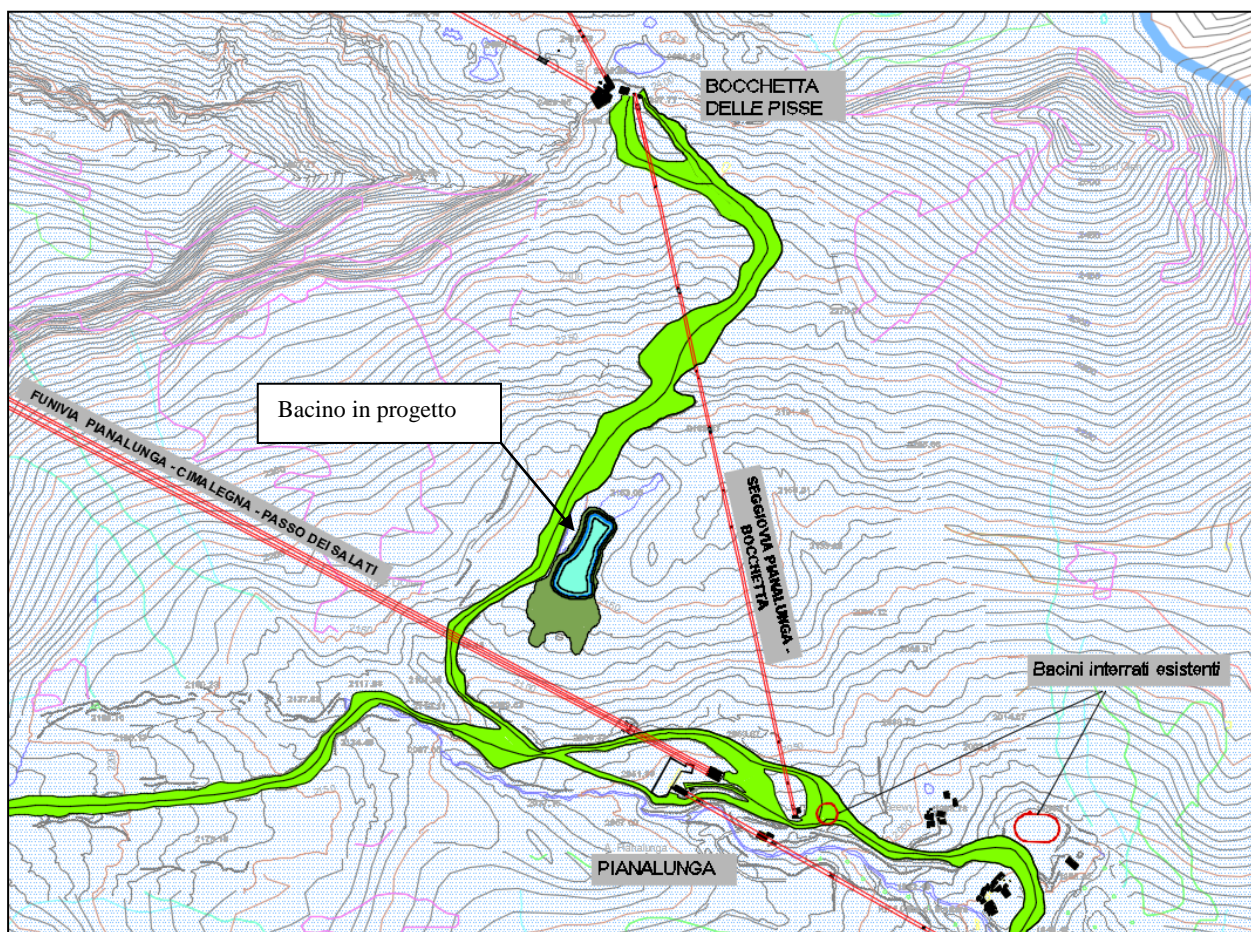


Figura 1/1 Localizzazione del bacino in progetto

La cartografia ufficiale di riferimento, per la zona in esame, è la seguente:

- tavoletta IGM alla scala 1:25.000 Alagna Valsesia - I quadrante S.E. del Foglio n.29 della Carta d'Italia;
- Carta Tecnica Regionale della Regione Piemonte, alla scala 1:10.000 - Sezione n. 071110 Punta Indren;
- Carta Geologica d'Italia – Foglio n. 29 Monte Rosa, alla scala 1:100.000.

Con la predisposizione della presente relazione si corrisponde inoltre ad una specifica prescrizione della Determinazione Dirigenziale n. 158 del 16/05/2018 della Direzione Promozione della Cultura, del Turismo e dello Sport – Settore Offerta turistica e sportiva con cui il progetto del bacino è stato escluso dalla procedura di VIA. Detta prescrizione, punto 3.2 “Verifiche di stabilità” dell'allegato A alla citata Determinazione, richiede:

“Dovrà essere realizzato uno studio d'analisi strutturale sugli affioramenti costituenti le bancate rocciose sovrastanti l'area individuata per a realizzazione del bacino, volto a definire le condizioni generali di stabilità del versante ed escludere la possibilità di distacco di masse rocciose rilevanti, che possano raggiungere il bacino.”

I risultati dello studio sono riportati in allegato:

Allegato A – Analisi strutturale del fronte roccioso a nord del bacino

Allegato B – Modello della dinamica di caduta massi

2. LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI

La morfologia del settore vallivo entro cui ricade il sito di progetto è caratterizzata dalla presenza, a nord-ovest, delle bastionate rocciose (alte oltre 100 m) che scendono dall'altopiano di Cimalegna, fino ad una quota di circa 2350 m s.l.m.; al piede di queste si sviluppa un pendio con esposizione prevalente sud sud-est, con una pendenza media pari a 30°, con alcuni settori rocciosi con pendenze più elevate: fino a 45° nel settore prospiciente la partenza della seggiovia Mullero.

A nord-est il versante che scende dal Corno d'Olen ha una pendenza media di circa 35° nel tratto di monte, per addolcirsi successivamente a partire da quota 2200 m circa.

In corrispondenza del sito di progetto (quota 2150 m circa), si sviluppa un vasto avvallamento (circa 3 ettari). A valle di questo settore sub-pianeggiante il versante, rivolto verso sud sud-est, prosegue con una pendenza di 20-25°. Non sono presenti, nella zona in esame, corsi d'acqua di un qualche rilievo: il drenaggio è concentrato in incisioni di modesto sviluppo, entro cui avviene una circolazione idrica di carattere stagionale.

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA

3.1 BASAMENTO PREQUATERNARIO

Dal punto di vista geologico l'area ricade all'interno del Dominio Pennidico, costituente il settore assiale della catena alpina, che affiora dal Mediterraneo ai Grigioni, per poi riapparire più ad est nelle finestre tettoniche della Bassa Engadina e degli Alti Tauri.

Il basamento della zona pennidica viene solitamente diviso in due complessi: quello dei ricoprimenti pennidica inferiori, che affiorano in corrispondenza della grande finestra tettonica del Sempione-Ossola-Ticino e quello dei ricoprimenti pennidici superiori, rappresentato dalla Falda del Gran San Bernardo e dai cosiddetti Massicci Cristallini Interni del Dora Maira, Gran Paradiso e Monte Rosa. Questi ultimi rappresenterebbero affioramenti separati da un'unica grande coltre di scivolamento costituita essenzialmente da orto e paragneiss di età precarbonifera. La copertura del Complesso Pennidico è formata, secondo le più recenti ricostruzioni, da quattro zone parallele che, dall'esterno verso l'interno sono:

- la zona del vallese;
- la zona subbrianzonese;
- la zona brianzonese;
- la zona piemontese.

Nella zona in esame affiorano litotipi appartenenti al massiccio cristallino del Monte Rosa, e ofioliti appartenenti alla zona piemontese: in prossimità di Bocchetta delle Pisse si osserva il contatto tettonico tra la grande piega retroflessa del Monte Rosa e le sottostanti ofioliti (serpentiniti, metagabbri e metabasiti) dell'unità Zarmat Saas, in posizione di scaglia sinforme coricata (Guide Geologiche Regionali – Le Alpi dal M. Bianco al Lago Maggiore, a cura della Società Geologica Italiana, 1990). Il basamento cristallino della Falda Pennidica del Monte Rosa affiora lungo le pareti sottostanti l'altopiano di Cimalegna, e in un settore di versante sottostante lo spartiacque Bocchetta delle Pisse-Corno d'Olen. Il litotipo affiorante è rappresentato da *gneiss minuti varii a muscovite e sericite; micascisti, spesso granatieri, con lenti di rocce pirosseniche granatiere anfiboliche; cloromelanititi, giadeiti; con banchi di gneiss occhiolati* (Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio 29 Monte Rosa).

Le ofioliti compaiono a nord, ad est e a sud dell'area attraversata dalla pista da sci Mullero. I litotipi sono rappresentati prevalentemente da *eufotidi, spesso laminate e profondamente metamorfosate in rocce prasinitiche, a glaucofane, a granato, a muscovite, ecc.* e da *serpentine e serpentinoscisti*, qui presenti in lenti di limitata estensione. Nella figura 3/1 si riporta uno stralcio del Foglio 29 *M. Rosa* della Carta Geologica d'Italia.

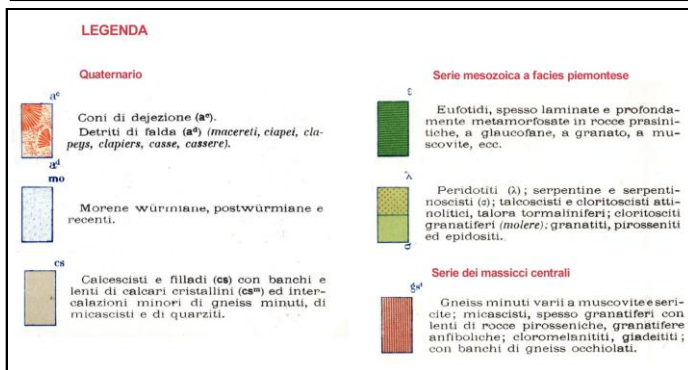
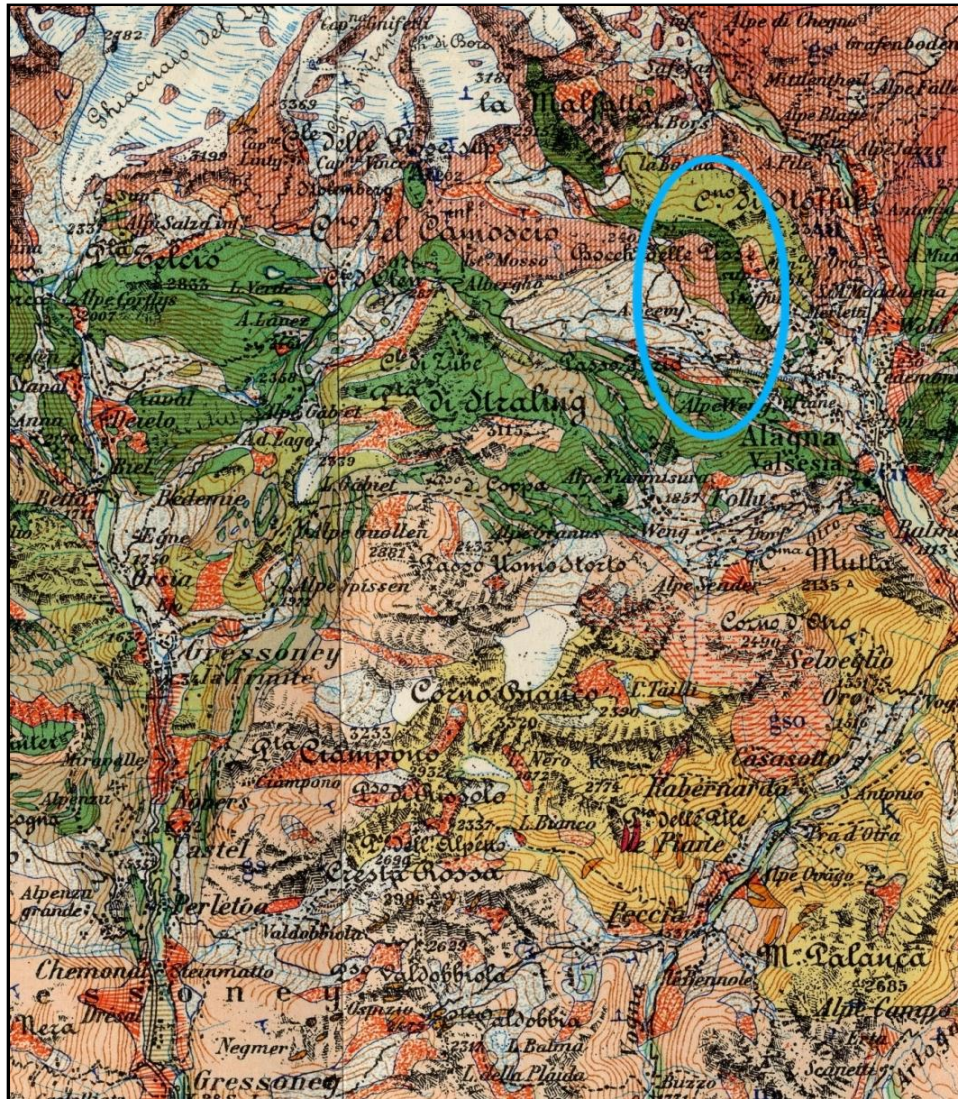


Figura 3/1: Stralcio della Carta geologica d'Italia – Foglio 29 Monte Rosa

3.2 COPERTURA QUATERNARIA

Al quaternario sono riferibili i depositi sciolti soprastanti la roccia in posto, consistenti in **depositi morenici**, **accumuli di frana** e **detrito di falda**.

I **depositi morenici** affiorano diffusamente su tutto il versante sinistro, in cui si sviluppa per la maggior estensione la pista in esame. Il materiale dei depositi, che deriva essenzialmente dai fenomeni di ablazione dei ghiacciai, è costituito da ciottoli e blocchi poligenici, angolosi o pseudoarrotondati, in matrice limoso sabbiosa; tale matrice, di colore grigio-bruno, presenta generalmente elevati valori di addensamento; la tessitura è caotica, priva di stratificazione.

Lo spessore di tali depositi, molto variabile da zona a zona, può raggiungere localmente alcune decine di metri; i depositi poggiano direttamente sul substrato cristallino.

Gli **accumuli di frana** sono collocati prevalentemente nell'area soprastante Pianalunga e ed alla base degli affioramenti rocciosi dell'altopiano di Cimalegna: sono costituiti in prevalenza da grossi blocchi a spigoli vivi, con la medesima composizione litologica delle rocce che costituiscono la bastionata rocciosa di Cimalegna (prevalenti gneiss).

Il versante sud del Corno d'Olen presenta una morfologia tormentata, con lineazioni estese ben visibili allo stereovisore e contropendenze tipiche dei soggetti a estesi movimenti gravitativi profondi complessi. Si tratta di fenomeni in genere ascrivibili al periodo successivo al ritiro dei ghiacciai, solitamente innescati dal rilascio tensionale nel substrato roccioso conseguente al venir meno della pressione crionivale. La maggior parte dei fenomeni presenti sono attualmente stabilizzati, ma sussistono forme quiescenti (frana di scivolamento rotazionale/traslato ad est del rifugio Città di Mortara) o in evoluzione, dove i versanti sono più ripidi o dove si verificano erosioni ai piedi dei pendii ad opera delle acque di ruscellamento.

Il **detrito di falda** è collocato alla base delle pareti rocciose sottostanti l'altipiano di Cimalegna, il versante sud del Corno d'Olen e le bastionate rocciose del versante che scende dalla cresta Passo Zube – il Torro: è costituito dalla disgregazione meccanica degli affioramenti rocciosi principalmente ad opera dell'azione di gelo e disgelo; i blocchi di dimensioni maggiori che si staccano dalle pareti, per via dell'elevata quantità di moto raggiungono di solito il piede del deposito, mentre i clasti più ridotti si accumulano al suo apice. La pendenza degli accumuli è prossima all'angolo di attrito interno dei materiali presenti. La continua alimentazione del deposito impedisce la formazione di suolo e l'attecchimento della vegetazione.

A sud del Corno d'Olen è presente una lunga lingua di detriti, interpretata come Rock Glacier non più attivo, che percorre il versante sud del C.no d'Olen: si tratta di una lunga colata detritica, tipicamente caratterizzate da struttura lobata, superficie completamente costituita da blocchi rocciosi, contropendenze, solcature e ondulazioni; la genesi di tali forme glaciali è legata alla presenza di un nucleo di ghiaccio le cui deformazioni sono causa del loro lento movimento (alcuni cm/anno); i rock glaciers rappresenterebbero quindi una delle fasi estreme della vita di un corpo glaciale.

4. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

La circolazione idrica sotterranea presente interessa, in misura diversa, i depositi sciolti quaternari ed il basamento roccioso sottostante.

I **detriti di falda**, presenti alla base delle bastionate rocciose sottostanti l'altipiano di Cimalegna, presentano una elevata permeabilità per porosità: la scarsa presenza di materiale fine e la natura spigolosa delle rocce frantumate determina una elevata presenza di vuoti interstiziali, entro cui l'acqua si può muovere liberamente.

I **depositi morenici** presenti nel settore medio basso della pista possono presentare al loro interno valori di permeabilità molto variabili, in funzione della percentuale di matrice fine (limosa) presente. In genere i maggiori accumuli idrici si collocano entro livelli morenici più francamente sabbioso-ghiaiosi. La permeabilità della frazione fine può indicativamente essere considerata su valori intorno a 10^{-5} m/s.

La circolazione idrica nel **basamento roccioso**, qui rappresentato dagli gneiss minuti e da ofioliti, avviene lungo le fratture e le faglie della roccia. I parametri che concorrono a determinare la permeabilità sono rappresentati dalla orientazione, dalla spaziatura, dalla beanza (apertura) e dal riempimento di tali discontinuità. In generale questo tipo di permeabilità coinvolge quantità d'acqua relativamente modeste e di scarsa rilevanza a meno di non essere in presenza di fasce relativamente ampie di cataclasiti di faglia.

5. DISSESTI

La documentazione tecnica di riferimento, relativamente ai dissesti idrogeologici del territorio interessato dal progetto in esame, è stata la seguente:

- ✓ Comune di Alagna Valsesia: Piano Regolatore Generale Comunale – Variante di adeguamento (aggiornamento marzo 2012), Carta della pericolosità geomorfologica e dell'idoneità all'utilizzo urbanistico (allegato 8 Geo) in scala 1:10.000 (geologi R. Bartolini e M. Biasetti).
- ✓ SIFraP – Sistema Informativo Frane in Piemonte. Il Sistema Informativo Frane in Piemonte (SIFraP) nasce come estensione del Progetto Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (IFFI, 2002-2005), con l'obiettivo di integrare, sviluppare ed aggiornare costantemente la base dati relativa ai fenomeni franosi in Piemonte, ponendosi come quadro di riferimento scientifico-conoscitivo a livello regionale. La Banca Dati è alimentata attraverso il rilievo a seguito di eventi alluvionali, lo studio foto-intepretativo di voli aerei relativi a differenti periodi, il recupero e la verifica di dati d'archivio. Il sistema prevede tre livelli di approfondimento che dipendono dalle conoscenze disponibili:
 - I livello – informazioni di base
 - II livello – informazioni dettagliate
 - III livello – monografie approfondite.

Il servizio pubblicato sul Geoportale di Arpa rende disponibili le informazioni contenute nella Banca Dati: perimetro delle frane, elementi morfologici areali e lineari che caratterizzano i corpi franosi, schede descrittive di I e II livello. Nella figura che segue si riporta lo stralcio SIFraP dell'area comprendente il sito di progetto.

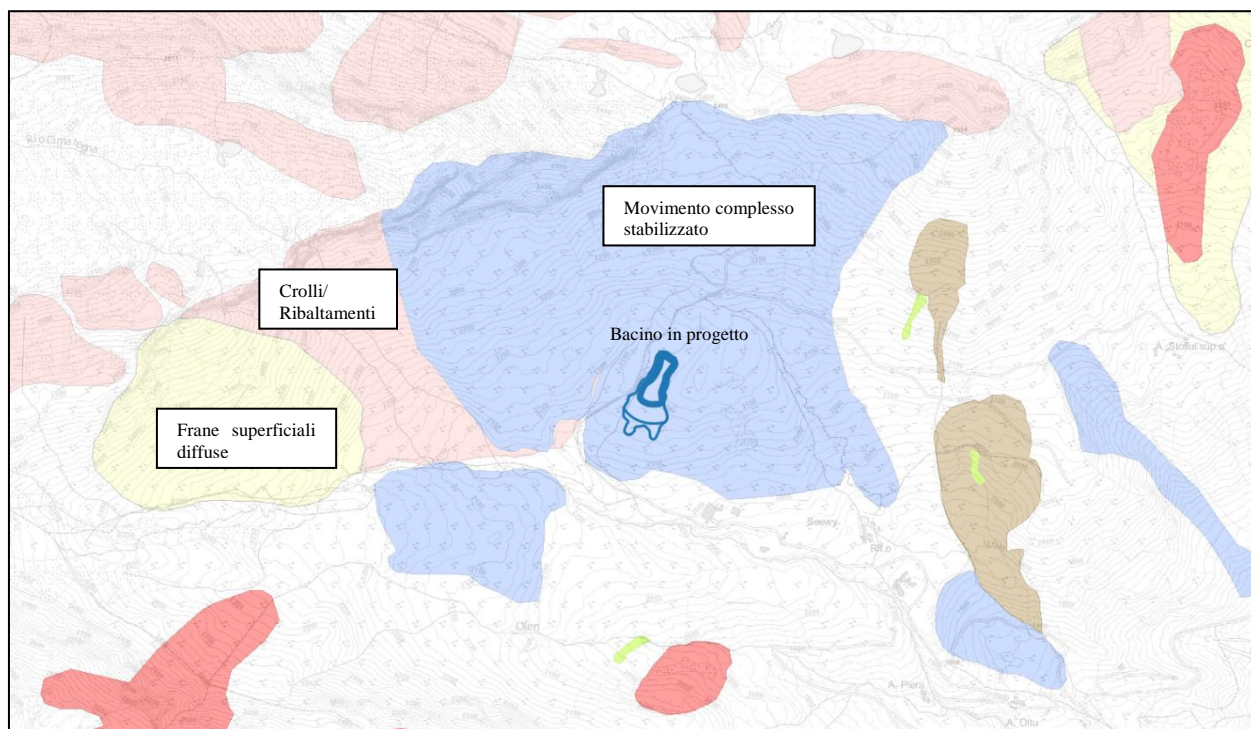


Figura 5/1 - SIFraP - Sistema Informativo Frane in Piemonte

- ✓ Arpa Piemonte - BDGeo100 – Frane - Carta delle Frane. Il tema espone le diverse tipologie di frana connesse ad instabilità pregressa ed attuale. Le frane riguardanti il substrato vengono distinte tipologicamente in accordo alla classificazione di Varnes (1978). Vengono fornite indicazioni sullo stato di evoluzione dei movimenti distinguendo le frane antiche o recenti caratterizzate da attivazioni più o meno ricorrenti negli ultimi 30 anni, da quelle per lo più antiche caratterizzate da diffusa quiescenza. I diversi fenomeni sono stati rilevati sistematicamente tramite studio fotointerpretativo associato a rilievi di terreno spesso integrato e vagliato con informazioni storiche di archivio esaminate a partire da documenti del XIX° secolo. Il dataset fa parte della Banca Dati dei Processi Geologici realizzata nella seconda metà degli anni '80 dal Settore Prevenzione del Rischio Geologico, Meteorologico e Sismico della Regione Piemonte (confluito poi nell'Arpa) per rispondere alla crescente richiesta di informazioni logiche e strutturate sul territorio, necessarie per le funzioni di programmazione, coordinamento ed indirizzo delle scelte e degli interventi in ambito territoriale-geologico. Il dato tematico originario è stato realizzato su taglio I.G.M. 1:100.000 strutturando ed integrando i dati già raccolti dal CNR-IRPI di Torino nell'ambito della ricerca tesa a valutare la pericolosità connessa ad eventi idrologici nel territorio piemontese

Nella figura che segue si riporta lo stralcio DBGeo100 Frane e settori vulnerabili per fenomeni franosi da fluidificazione della coltre superficiale dell'area comprendente il sito di progetto.

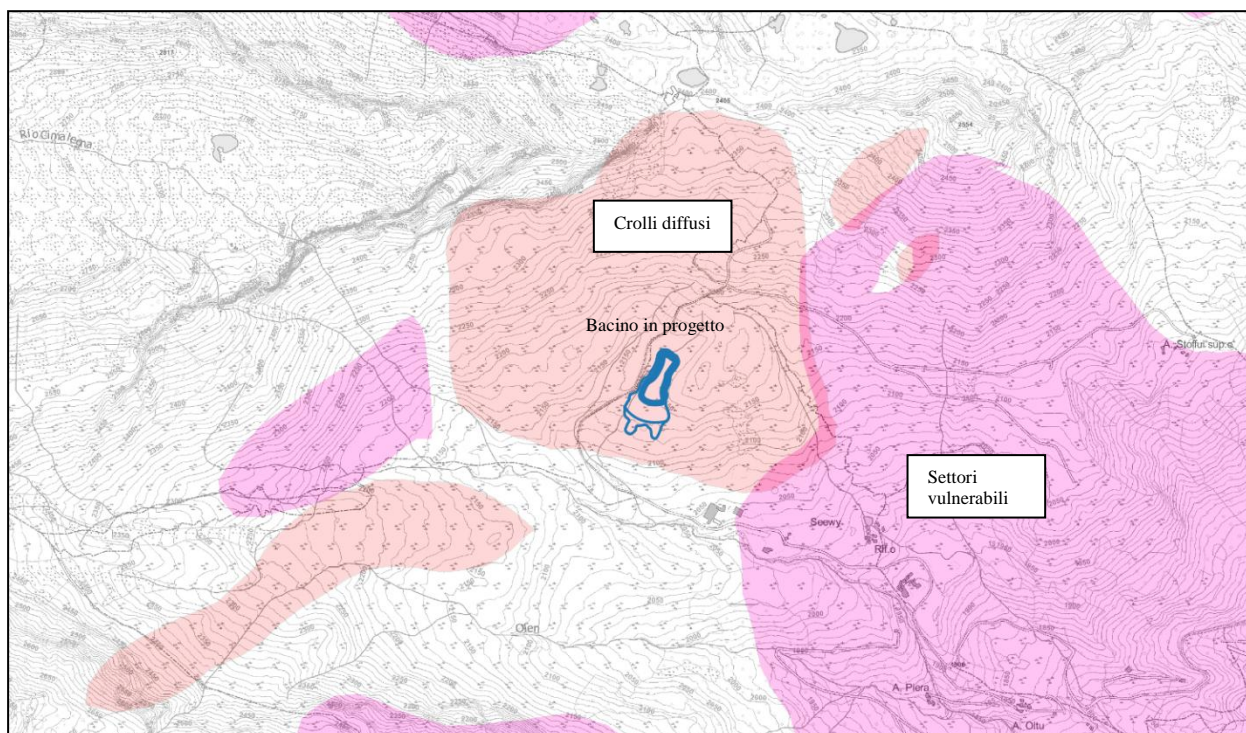


Figura 5/2 – ARPA –DBGeo 100 - Frane e settori vulnerabili per fenomeni franosi da fluidificazione della coltre superficiale

- ✓ Autorità di Bacino del Fiume Po: Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), 2. Atlante dei Rischi idraulici e idrogeologici - Delimitazione delle aree di dissesto, Foglio 071 Sezione II – Alagna Valsesia, scala 1:25.000;

Nella figura che segue si riporta lo stralcio PAI dell'area comprendente il sito di progetto.

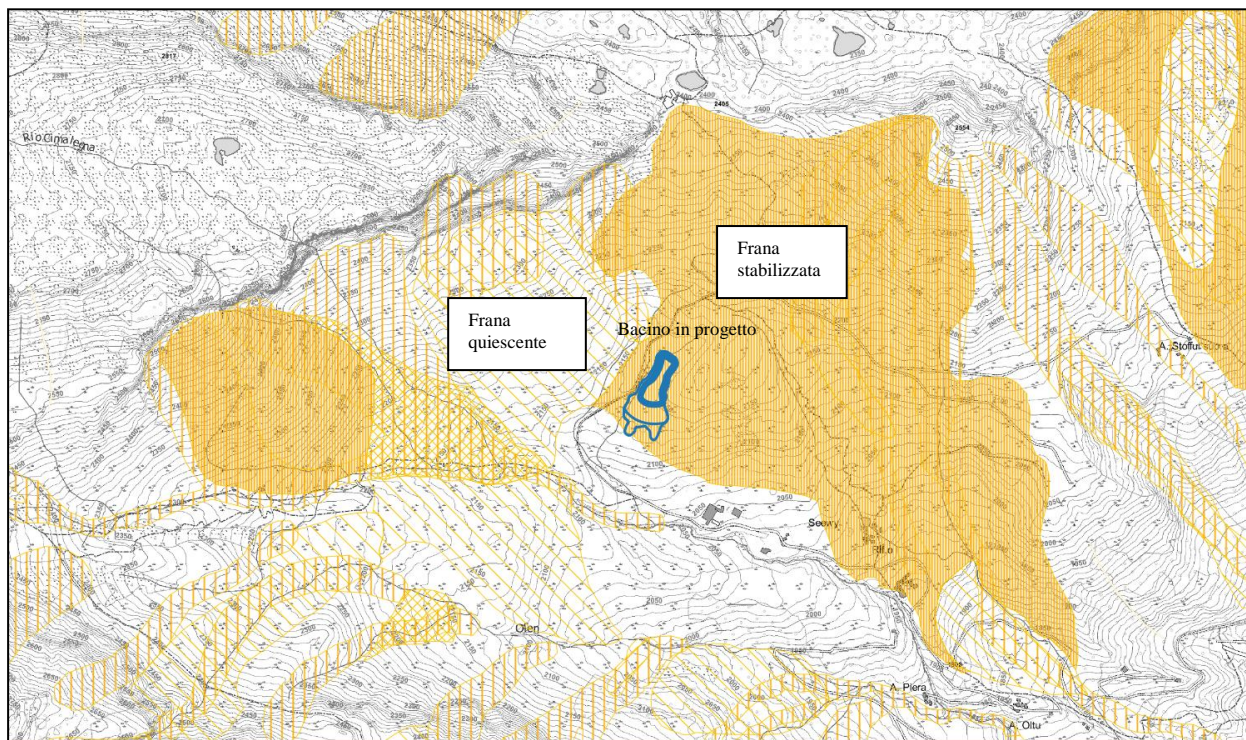


Figura 5/3 – PAI – Delimitazione delle aree di dissesto

Rispetto all'area di intervento, i documenti sopra citati indicano:

- ✓ PRGC - Carta della pericolosità geomorfologica e dell'idoneità all'utilizzo urbanistico: il versante sottostante la cresta Bocchetta delle Pisse – Corno d'Olen è stato interessato da antichi fenomeni gravitativi che ne hanno segnato la morfologia; tale fenomeno è interpretato come movimento gravitativo composto stabilizzato.
- ✓ SIFraP - Sistema Informativo Frane in Piemonte: anche il SIFraP interpreta la morfologia del versante come legata a movimento complesso stabilizzato. Si riporta di seguito la scheda relativa.

Frane areali	
TIPOLOGIA	Complesso
Stato di attività	Stabilizzato
Data osservazione	2003
Valutazione movimento - Non determinato	no
Valutazione movimento - Foto	si
Valutazione movimento - Rilevamento	si
Valutazione movimento - Indagini	no
Valutazione movimento - Archivio storico	no
Valutazione movimento - Segnalazione	no
Superficie (mq)	548.410,06
Identificativo della frana	002-00868-00
Scheda	
Area anomala	no

- ✓ ARPA piemonte BDGeo 100 – Frane: nell'area, comprendente versanti con presenza di grossi massi, è indicata la presenza di fenomeni di crollo.
- ✓ Autorità di Bacino del Fiume Po: Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), 2. Atlante dei Rischi idraulici e idrogeologici - Delimitazione delle aree di dissesto: il versante sottostante la cresta Bocchetta delle Pisse – Corno d'Olen è catalogato come frana stabilizzata.

Le diverse fonti esaminate, con eccezione della meno recente BDGeo che cartografa l'area come soggetta a fenomeni di crollo, interpretano la morfologia del versante come legata ad un **movimento complesso stabilizzato**.

Non sono presenti fenomeni di dissesto legati all'azione di corsi d'acqua, in quanto l'idrografia superficiale nell'area di intervento è limitata a piccoli rii di carattere stagionale, con ridotti bacini di alimentazione.

6. RISCHI DA CADUTA MASSI

Riguardo al rischio derivante dalla caduta di massi dalla parete rocciosa che si sviluppa a monte del bacino in progetto, in riferimento alla richiesta di integrazioni di cui al punto 3.2 dell'Allegato A alla D.D. n. 168 del 16.05.2018 è stata eseguita l'analisi morfologica e strutturale del versante allo scopo di stabilire le condizioni generali di stabilità delle bancate rocciose sovrastanti ed escludere la possibilità di distacco di masse litoidi rilevanti che possano raggiungere il bacino stesso.

Sulla base degli elementi scaturiti da tale studio è stato predisposto uno studio di dettaglio sulla dinamica dei massi basata su modellazione 2D e 3D.

Il punto di analisi, posto in corrispondenza dell'area oggetto di costruzione del bacino artificiale, in riferimento allo stato attuale dei luoghi e delle condizioni di analisi considerate nel presente studio, non risulta raggiunto da blocchi rocciosi in movimento lungo il versante.

L'analisi effettuata, ed in particolare il limite di arresto dei blocchi, risulta coerente e trova riscontro con le posizioni dei blocchi rocciosi presenti in sito e provenienti da crolli pregressi.

Si rimanda al riguardo agli specifici elaborati predisposti:

Allegato A – Analisi strutturale del fronte roccioso a nord del bacino

Allegato B – Modello della dinamica di caduta massi

7. CONCLUSIONI

Il sito di progetto (quota 2150 m circa), si sviluppa entro un vasto avvallamento (circa 3 ettari). A valle di questo settore sub-pianeggiante il versante, rivolto verso sud sud-est, prosegue con una pendenza di 20-25°. Non sono presenti, nella zona in esame, corsi d'acqua di un qualche rilievo: il drenaggio è concentrato in incisioni di modesto sviluppo, entro cui avviene una circolazione idrica di carattere stagionale.

Il basamento roccioso è costituito da litotipi appartenenti al massiccio cristallino del Monte Rosa, e ofioliti appartenenti alla zona piemontese.

Il versante sud del Corno d'Olen presenta una morfologia tormentata, interpretata come effetto di estesi movimenti gravitativi profondi complessi. Si tratta di fenomeni in genere ascrivibili al periodo successivo al ritiro dei ghiacciai, solitamente innescati dal rilascio tensionale nel substrato roccioso conseguente al venir meno della pressione crionivale. La maggior parte dei fenomeni presenti, tra cui quello in esame, sono attualmente considerati stabilizzati,

Riguardo al rischio derivante dalla caduta di massi dalla parete rocciosa che si sviluppa a monte del bacino in progetto, le analisi effettuate escludono la possibilità che l'area del bacino possa essere interessata.

ALLEGATO A – ANALISI STRUTTURALE DEL FRONTE ROCCIOSO A NORD DEL BACINO



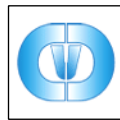
REGIONE PIEMONTE



PROVINCIA DI VERCELLI



UNIONE MONTANA
VALSESIA



CAMERA DI COMMERCIO
INDUSTRIA E ARTIGIANATO
E AGRICOLTURA



COMUNE DI ALAGNA
VALSESIA



COMUNE DI SCOPELLO



MONTEROSA 2000 S.p.A.

COMPLETAMENTO DEL SISTEMA SCIISTICO DELLA VALSESIA

AGGIORNAMENTO DELL'ACCORDO DI PROGRAMMA
SIGLATO IL 14 NOVEMBRE 2006

TITOLO ELABORATO

ACCORDO DI PROGRAMMA

Realizzazione invaso artificiale a cielo aperto per impianto
di innevamento programmato in località Mullero
Progetto Definitivo

Analisi strutturale dell'ammasso roccioso

ELABORATO n°	SCALA	DATA	REDATTO	Settembre 2018	Barbara Loi
			CONTROLLATO		
			APPROVATO		
NOME FILE	Analisi strutturale				
REVISIONE N°	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE E RIFERIMENTI DOCUMENTI SOSTITUTIVI			
	Settembre 2018	Emissione			

PROPONENTE



MONTEROSA 2000 S.p.A.
FRAZIONE BONDA, 19
13021 ALAGNA VALSESIA (VC)

PROGETTISTA



MONTEROSA 2000 S.p.A.
FRAZIONE BONDA, 19
13021 ALAGNA VALSESIA (VC)

Ing. Claudio Francione

GEOLOGO:

Studio di geologia
Dott. Barbara Loi
Piazza Mazzini 23
13872 BORRIANA

ANALISI STRUTTURALE DELL'AMMASSO ROCCIOSO

In riferimento alla richiesta di integrazioni di cui al punto 3.2 dell'Allegato A alla D.D. n. 168 del 16.05.2018 è stata eseguita l'analisi morfologica e strutturale del versante che si sviluppa a monte del bacino in progetto, allo scopo di stabilire le condizioni generali di stabilità delle bancate rocciose sovrastanti ed escludere la possibilità di distacco di masse litoidi rilevanti che possano raggiungere il bacino stesso.

Inquadramento morfologico

Il versante del rilievo che si sviluppa a Nord-Ovest del bacino in progetto, può essere schematizzato come illustrato in figura 4, caratterizzato da settori ad acclività variabile che possono costituire zone di distacco o di accumulo di potenziali crolli in relazione alla corrispondente inclinazione.

In particolare, si riconosce alla sommità del versante una parete rocciosa subverticale, che da Bocchetta delle Pisse si sviluppa in direzione Ovest, a quote comprese tra 2365 e 2510 m s.l.m., seguita da un settore molto acclive, con inclinazioni di $35\div 38^\circ$ costituito da un'area prativa dove il substrato roccioso non affiora.



Figura 1: Parete rocciosa subverticale che si sviluppa da Bocchetta delle Pisse in direzione Ovest (Quota 2365-2510 m.s.l.m.)

A circa 100 m dalla base della parete rocciosa principale l'inclinazione del versante si riduce fino a $18^\circ\div 22^\circ$: questo settore costituisce una zona di accumulo del materiale roccioso proveniente dai distacchi

di monte e tra le quote comprese tra 2255 e 2230 m s.l.m. circa esso risulta quasi completamente coperto da blocchi rocciosi. La pezzatura dei blocchi tende ad aumentare procedendo da monte verso valle. Le dimensioni medie dei blocchi presenti nell'area sono di $2\div 10\text{ m}^3$, anche se sono stati individuati massi ciclopici con volumi che possono raggiungere i $60\div 70\text{ m}^3$. I materiali litoidi osservati in questa zona di accumulo si presentano a blocchi squadrati, per nulla arrotondati.



Figura 2: Blocchi e massi ciclopici in corrispondenza del settore di accumulo superiore

Tra quota 2200 e quota 2175 m s.l.m., si riscontra un ulteriore settore ad elevata acclività, pari a circa 40° di inclinazione, corrispondente alla scarpata inferiore, meno estesa di quella superiore, e dove il substrato roccioso è prevalentemente subaffiorante. A valle di tale scarpata si estende la seconda area caratterizzata dall'accumulo di blocchi litoidi squadrati e con dimensioni massime di circa 10 m^3 .

L'area della piana del Mullero ha forma approssimativamente ellittica con asse maggiore sviluppato in direzione NE-SO. Il bacino in progetto occuperà il settore SE della piana, ad una distanza minima di circa 100 m dall'area di accumulo inferiore.



Figura 3: Accumuli di blocchi rocciosi e sullo sfondo la zona di piana del Mullero del bacino in progetto

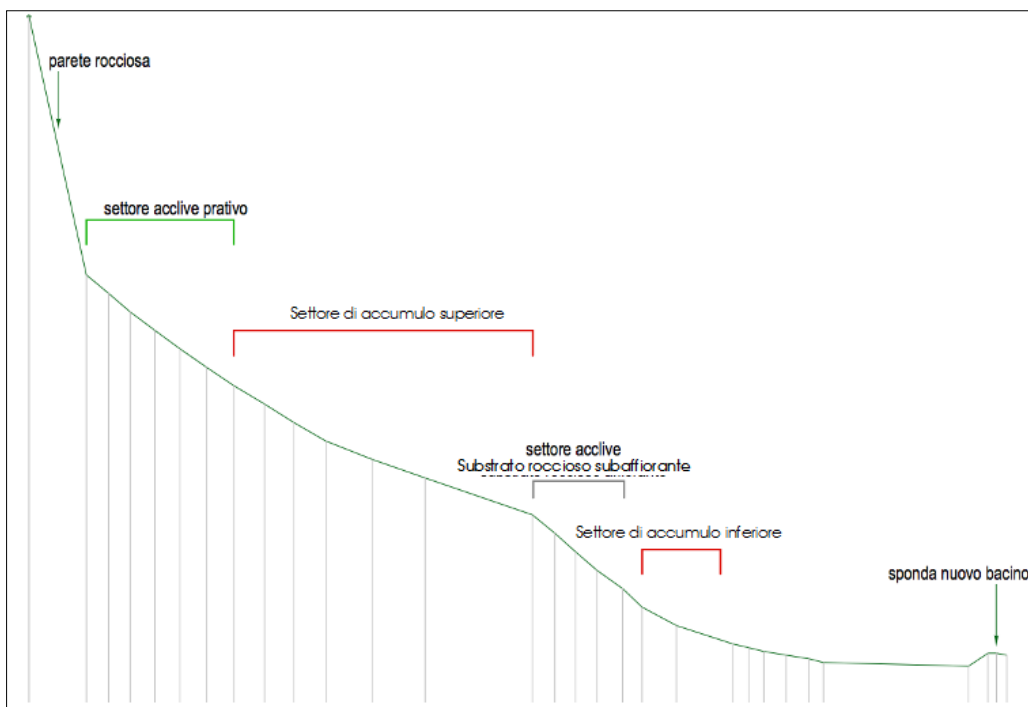


Figura 4: Schema del versante a monte dell'area di progetto del nuovo bacino

Nella figura seguente sono evidenziati su base Ortofoto Regione Piemonte i settori di versante descritti e rappresentati nella figura precedente.

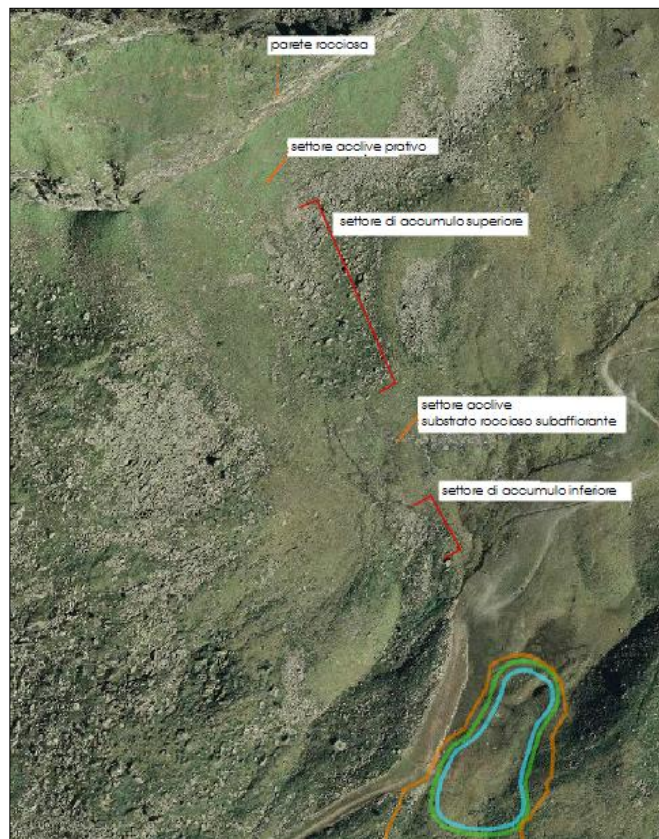


Figura 5: Individuazione dei settori morfologici evidenziati nella figura precedente su base Ortofoto Regione Piemonte (2010)

Orientazione e caratteristiche dei piani di fratturazione

Al fine di determinare le caratteristiche dei potenziali crolli si è proceduto al rilievo dei piani di frattura in corrispondenza della base della parete rocciosa che si sviluppa tra quota 2365 e quota 2510 m s.l.m.

Si osserva che l'analisi geostrutturale è stata svolta esclusivamente sulla parete rocciosa superiore, poichè quella posta più a valle (tra 2175 e 2200 m s.l.m.) evidenzia sviluppo ed inclinazione minori ma soprattutto il rilievo risulta ostacolato dalla presenza di estesi settori dove il substrato roccioso è solamente subaffiorante, prevalentemente coperto da cotica erbosa o detrito fine.



Figura 6: Base della scarpata interessata dallo studio geostrutturale

Di seguito si riportano pertanto gli elementi osservati nel corso del rilievo geostrutturale.

La parete rocciosa superiore si presenta subverticale per un'altezza di circa 150 m. Le condizioni locali hanno consentito il rilievo delle fratture alla base di tale parete, le cui giaciture sono riportate nella tabella 1/a, alla pagina seguente.

Le caratteristiche principali delle fratture osservate nel corso del rilievo, schematizzate in tabella 1/b sono costituite da spaziatura compresa tra 30 e 200 cm, superfici non alterate, principalmente chiuse, da poco rugose a rugose, senza alcun riempimento e senza presenza d'acqua.

La persistenza delle discontinuità risulta sempre rilevante, mediamente superiore a 10 m.

L'analisi effettuata sui piani di discontinuità evidenzia un ammasso roccioso con caratteristiche strutturali globalmente buone.

Nelle tabelle seguenti sono riportate le orientazioni e le caratteristiche delle fratture rilevate.

	IMM	INCL
1	245	74
2	130	84
3	210	58
4	275	90
5	10	48
6	298	90
7	238	85
8	312	85
9	40	90
10	5	35
11	155	90
12	136	30
13	4	25
14	28	43
15	270	85
16	160	90
17	300	90
18	175	85
19	230	90
20	10	44
21	300	84
22	165	87
23	234	55
24	180	80
25	240	85
26	5	50
27	305	85
28	172	90
29	230	55
30	38	90
31	7	37
32	153	85
33	141	33
34	361	25
35	30	40
36	270	85
37	165	85
38	295	90
39	135	35
40	355	30
41	30	40
42	260	85
43	170	90
44	290	80
45	170	90

Tabella 1/a: Giaciture delle fratture rilevate

Spaziatura discontinuità		30÷200 cm
Condizioni discontinuità	<i>aperture</i>	chiuse
	<i>alterazione</i>	assente
	<i>riempimento</i>	assente
	<i>scabrezza</i>	poco rugose/rugose

Tabella 1/b: Caratteristiche medie delle discontinuità

Dall'insieme dei dati rilevati sono state definite 5 famiglie di piani di fratturazione, 3 principali (F1, F2, F3) e 2 secondarie (F4, F5), come riportato nella tabella seguente.

Famiglie	IMM	INCL
F1	164	86
F2	236	73
F3	120	88
F4	14	45
F5	86	5

Tabella 1/c: Famiglie piani di fratturazione

Le famiglie di piani di fratturazione sono state quindi rappresentate nello stereogramma in figura 7.

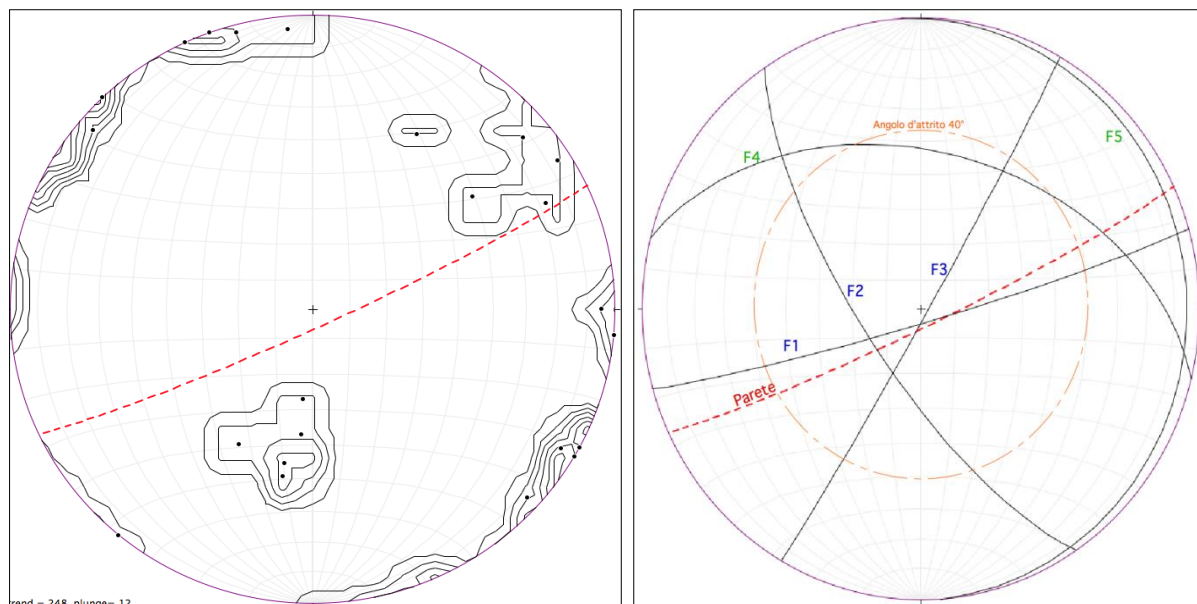


Figura 7: Famiglie di piani di fratturazione

Assumendo un angolo d'attrito della roccia di 40° , lo stereogramma evidenzia il possibile distacco di cunei rocciosi originati dall'intersezione dei piani appartenenti alle famiglie di fratture F1, F2 e F3.

Conclusioni

L'analisi geomorfologica del versante a monte del bacino in progetto ha evidenziato la presenza di settori ad acclività differente riconducibili a zone di distacco e di accumulo di blocchi rocciosi.

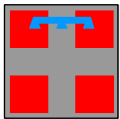
L'analisi geostrutturale svolta alla base della parete rocciosa superiore ha evidenziato le principali famiglie di piani di fratturazione e le relative caratteristiche che rimandano ad un ammasso roccioso con caratteristiche strutturali globalmente buone, seppure l'ammasso sia caratterizzato da persistenza delle discontinuità sempre rilevante e mediamente superiore a 10 m.

Come evidenziato dallo stereogramma proposto l'intersezione delle famiglie dei piani di fratturazione individuate, lungo una parete subverticale come quella oggetto di studio, possono generare distacchi di prismi rocciosi.

Le condizioni climatiche di alta montagna, con il manifestarsi di episodi di gelo e disgelo uniti ad un'intensa esposizione della parete rocciosa ai raggi solari e al vento, possono ulteriormente favorire fenomeni di crollo.

Pertanto, in relazione alle evidenze scaturite dall'analisi geomorfologica e dall'analisi dell'assetto geostrutturale del versante a N del bacino in progetto è stato predisposto lo studio di dettaglio della dinamica di caduta massi basata su modellazione 2D e 3D, riportata negli elaborati cartografici 3.19 e 3.20.

ALLEGATO B – MODELLO DELLA DINAMICA DI CADUTA MASSI



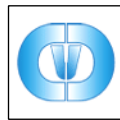
REGIONE PIEMONTE



PROVINCIA DI VERCELLI



UNIONE MONTANA
VALSESIA



CAMERA DI COMMERCIO
INDUSTRIA E ARTIGIANATO
E AGRICOLTURA



COMUNE DI ALAGNA
VALSESIA



COMUNE DI SCOPELLO



MONTEROSA 2000 S.p.A.

COMPLETAMENTO DEL SISTEMA SCIISTICO DELLA VALSESIA

AGGIORNAMENTO DELL'ACCORDO DI PROGRAMMA
SIGLATO IL 14 NOVEMBRE 2006

TITOLO ELABORATO

ACCORDO DI PROGRAMMA

Realizzazione invaso artificiale a cielo aperto per impianto
di innevamento programmato in località Mullero
Progetto Definitivo

Modello della dinamica di caduta massi

ELABORATO n°	SCALA	DATA	REDATTO	Settembre 2018	Barbara Loi
			CONTROLLATO		
			APPROVATO		
NOME FILE	Modello della dinamica di caduta massi				
REVISIONE N°	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE E RIFERIMENTI DOCUMENTI SOSTITUTIVI			
	Settembre 2018	Emissione			

PROPONENTE



MONTEROSA 2000 S.p.A.
FRAZIONE BONDA, 19
13021 ALAGNA VALSESIA (VC)

PROGETTISTA



MONTEROSA 2000 S.p.A.
FRAZIONE BONDA, 19
13021 ALAGNA VALSESIA (VC)

Ing. Claudio Francione

GEOLOGO:

Studio di geologia
Dott. Barbara Loi
Piazza Mazzini 23
13872 BORRIANA

MODELLO DELLA DINAMICA DI CADUTA MASSI

Sulla base degli elementi scaturiti dallo studio geomorfologico dei versanti e dall'analisi geostrutturale delle pareti rocciose a monte del bacino in progetto riportati ed evidenziata la possibilità di distacco di prismi rocciosi con generazione di fenomeni di crollo è stato predisposto uno studio di dettaglio sulla dinamica dei massi basata su modellazione 2D e 3D.

Per definire le potenziali traiettorie di rotolamento lungo il versante dei blocchi provenienti dalle pareti rocciose oggetto di studio è stato utilizzato il codice di calcolo ROTOMAP, prodotto dalla geo&softinternational (Torino), come descritto ai paragrafi seguenti e illustrato negli elaborati cartografici dello studio della dinamica di caduta massi in 3D (elaborato 3.19) e 2D (Elaborato 3.20).

Elementi di sismicità dell'area

Il territorio oggetto di studio è ricompreso in un'area classificata sismicamente secondo l'Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006, come zona 3.

Nella mappa di seguito riportata, si osserva che il settore oggetto del presente studio rientra nella zona in cui l'accelerazione al suolo può raggiungere valori compresi fra 0,05 – 0,10 g.

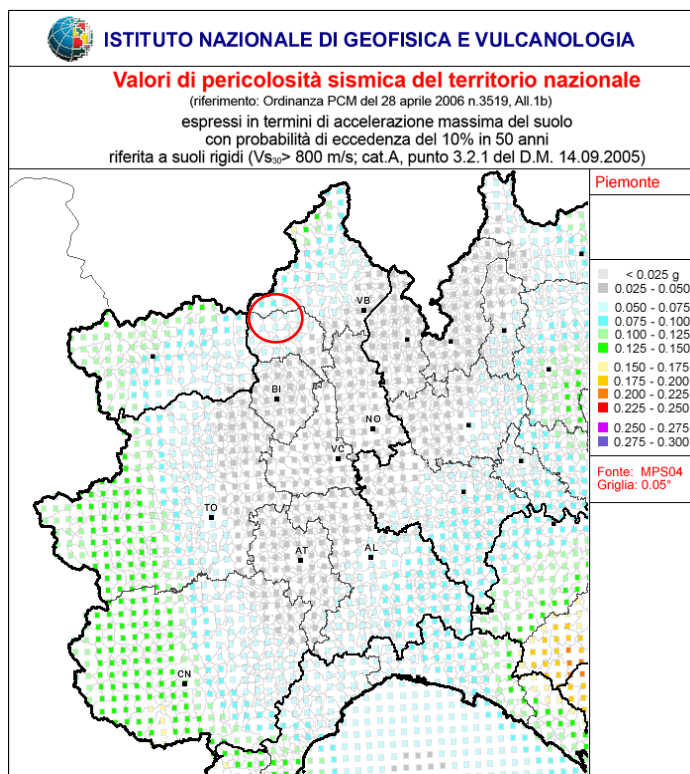


Figura 1 Mappa di pericolosità sismica della Regione Piemonte e Valle D'Aosta

Sulla base dei dati a disposizione, in riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni - NTC2018 i parametri sismici caratteristici, sono i seguenti:

- coordinate WGS84 nicchia di distacco 1 / quota di circa 2500 m slm □ N 45,87306526 E 7,89843116
- vita nominale → 50 anni
- classe di uso → II
- categoria di terreno → A
- categoria topografica → T2
- accelerazione orizzontale massima → $a_g = 0,167 \text{ g}$
- fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale → $F_0 = 2,497$
- periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontali → $T^*_c = 0,274$
- coefficiente di amplificazione stratigrafica → $S_s = 1,00$
- coefficiente di amplificazione topografica → $S_T = 1,20$
- coefficiente → $C_c = 1,000$
- velocità orizzontale del terreno → $v_g = 0,086 \text{ m/s}$

Il bacino, ai sensi dell'art.2 del Regolamento regionale 9 novembre 2004, n. 12/R, "Regolamento regionale di attuazione della legge regionale 6 ottobre 2003, n. 25 (Norme in materia di sbarramenti fluviali di ritenuta e bacini di accumulo idrico di competenza regionale. Abrogazione delle leggi regionali 11 aprile 1995, n. 58 e 24 luglio 1996, n. 49)" è classificabile nella tipologia D (Invasi e piccole dighe), sottocategoria B (sbarramenti con altezza fino a dieci metri e con volume di invaso compreso tra trenta mila e centomila metri cubi).

Metodo utilizzato

L'analisi traiettografica ed energetica oggetto della presente relazione, ha lo scopo di valutare il cinematismo delle masse rocciose potenzialmente in moto lungo il versante in studio, al fine di valutare la possibile interferenza fra il moto de blocchi rocciosi e il bacino in corso di progettazione.

L'analisi è stata svolta considerando il moto di un blocco roccioso in caduta lungo il versante a partire dalle condizioni iniziali imposte dalle caratteristiche locali del sito (evidenze morfologiche, idrauliche e geomorfologiche) e dalle zone di distacco poste lungo la parete principale fra la quota di circa 2450 m slm e la quota di circa 2500 m slm e lungo gli affioramenti rocciosi posti lungo il versante a quota di circa 2200 m slm, entrambe individuate mediante osservazioni dirette in sito ed indagini geologiche.

L'analisi delle possibili traiettorie dei singoli blocchi rocciosi in movimento lungo il pendio, è stata eseguita

analizzando su modello tridimensionale il moto dei blocchi rocciosi.

Lo studio si è svolto, secondo il seguente step operativo:

L'analisi delle possibili traiettorie dei singoli blocchi rocciosi in movimento lungo il pendio, è stata eseguita analizzando su modello tridimensionale e sul piano bidimensionale il moto dei blocchi rocciosi.

Lo studio si è svolto, secondo le seguenti analisi:

studio dei cinematismi su modello 3D → lo studio del moto dei blocchi rocciosi eseguito su un modello tridimensionale del terreno, ha permesso di definire le potenziali traiettorie di discesa dei blocchi rocciosi e le aree più probabili di arresto dei blocchi.

L'analisi è stata effettuata, utilizzando il codice di calcolo Rotomap32 prodotto dalla geo&soft international – Torino (Italia), che mediante un'analisi statistica secondo il metodo *lumped mass* restituisce sul piano tridimensionale le caratteristiche traiettografiche e di moto dei singoli blocchi.

studio dei cinematismi su modello 2D → lo studio del moto dei blocchi rocciosi eseguito su un modello bidimensionale della sezione trasversale ha permesso di valutare i possibili andamenti dei blocchi rocciosi, restituendo l'andamento delle traiettorie, l'altezza di rimbalzo o di volo, l'energia traslazionale e le velocità del blocco in ogni punto del suo percorso.

L'analisi è stata effettuata utilizzando il codice di calcolo RocFall 4.058, prodotto da Rocscience Inc. - Toronto (Canada), che mediante un'analisi statistica secondo il metodo *lumped mass* restituisce sul piano bidimensionale le caratteristiche energetiche e di moto dei singoli blocchi.

Studio dinamico delle traiettorie

Lo studio del moto dei blocchi rocciosi eseguito mediante l'analisi degli scoscendimenti su un modello tridimensionale dell'area oggetto di studio, ha permesso di valutare i possibili andamenti dei blocchi rocciosi, restituendo per ogni punto della traiettoria del blocco contenuta nello spazio XYZ, le seguenti caratteristiche di moto:

- inviluppo nel piano XY delle traiettorie dei singoli blocchi
- inviluppo nel piano XY delle altezze di rimbalzo o di volo

L'analisi è stata effettuata utilizzando il codice di calcolo ROTOMAP prodotto dalla geo&softinternational – Torino (Italia), che mediante un'analisi statistica secondo il metodo *lumped mass*, restituisce sul piano bidimensionale XZ, XY e nello spazio tridimensionale XYZ, le caratteristiche traiettografiche e di moto dei singoli blocchi.

Parametri caratteristici

I parametri caratteristici dell'analisi, necessari per ricostruire l'evento di caduta massi, sono stati ricavati, da rilievi puntuali in sito e sopralluoghi al fine di individuare la posizione degli ammassi rocciosi potenzialmente instabili, l'estensione delle nicchie di distacco potenziali e/o pregresse e valutare a ritroso le possibili traiettorie.

Andamento plano-altimetrico

L'andamento plano-altimetrico è stato ricavato dalla cartografia digitale della zona (DTM Regine Piemonte) implementato con rilievo di dettaglio della zona del bacino in progetto. La cartografia di base è stata elaborata mediante il codice di calcolo ISOMAP prodotto dalla geo&soft international – Torino (Italia) per ottenere il modello 3D del terreno, su cui sono state ricavate, grazie all'analisi tridimensionale, le traiettorie di caduta dei blocchi rocciosi. Per maggiori dettagli si rimanda alla tavola grafica allegata al progetto (Elaborato cartografico 3.19).

Posizione e tipologia del distacco

La posizione plano-altimetrica delle potenziali nicchie di distacco utilizzate per redigere lo studio tridimensionale, è stata ricavata, da rilievi puntuali in sito e sopralluoghi al fine di individuare la posizione degli ammassi rocciosi potenzialmente instabili, l'estensione delle nicchie di distacco potenziali e/o pregresse e valutare a ritroso le possibili traiettorie.

Le analisi e le valutazioni espresse nel presente lavoro, ed in particolare nello studio dinamico tridimensionale, riguardano lo studio della dinamica di caduta massi e l'analisi degli effetti dei potenziali blocchi rocciosi potenzialmente instabili ubicati a valle della linea di distacco.

Caratteristiche punti di distacco →	lunghezza linea di distacco 1	quota 2500 m	$L \approx 50$ m
		quota 2475 m	$L \approx 52$ m
		quota 2450 m	$L \approx 50$ m
	lunghezza linea di distacco 2 –	quota 2200 m	$L \approx 140$ m
	numero punti di partenza settori 1+2		$n_b = 100$
	numero velocità iniziali		$v = 3$
	deviazione angolare massima		45°
	numero deviazioni angolari		$d = 5$
	numero traiettorie		$N_t = n_b \cdot v \cdot d = 1.500$

Morfologia e tipologia di copertura superficiale

La superficie topografica è stata caratterizzata fisicamente definendo i parametri di restituzione caratteristici per il moto di roto-traslazione e di roto-saltazione considerato.

In particolare si sono definiti i seguenti parametri di moto:

<i>coefficiente normale K_n</i>	→	limiti da letteratura $0,20 \div 0,75$
<i>coefficiente tangenziale K_t</i>	→	limiti da letteratura $0,20 \div 0,90$
<i>angolo di attrito dinamico \varnothing_0</i>	→	limiti da letteratura $30^\circ \div 40^\circ$
<i>tangente angolo di attrito dinamico $\tan \varnothing_0$</i>	→	limiti da letteratura $0,37 \div 0,67$
<i>coefficiente di attrito di roto-scivolamento μ</i>	→	limiti da letteratura $0,4 \div 1,5$

Il valore di tali coefficienti è stato desunto per comparazione del caso in esame con i valori limite ricavati dalla letteratura tecnica secondo le considerazioni in seguito riportate.

In particolare, si sono considerate secondo la classificazione di Giani (1992) Pfeiffer & Bowen (1989) e Richards (1988) le seguenti tipologie di pendio:

<i>tratti omogenei di parete rocciosa</i>	→	pareti o affioramenti in roccia
<i>tratti omogenei di depositi di grossi blocchi</i>	→	detrito con grossi blocchi
<i>tratti omogenei di aree a prato</i>	→	pendio a prato privo di vegetazione

tratti omogenei di affioramenti rocciosi

→ substrato roccioso

Nelle tabelle di seguito riportate, si indicano in funzione della tipologia di pendio il valore dei coefficienti desunti dalla letteratura e il valore adottato per lo studio delle traiettorie.

	Coefficiente normale K_n [-]	Coefficiente tangenziale K_t [-]
pareti o affioramenti in roccia	0,37 ÷ 0,04	0,87 ÷ 0,04
	ϕ_0 [°]	μ [-]
	30 ± 2	0,40
detrito con grossi blocchi	0,33 ÷ 0,04	0,85 ÷ 0,04
	ϕ_0 [°]	μ [-]
	30 ± 2	0,55
pendio a prato privo di vegetazione	0,28 ÷ 0,04	0,80 ÷ 0,04
	ϕ_0 [°]	μ [-]
	30 ± 2	0,60
substrato roccioso	0,33 ÷ 0,04	0,83 ÷ 0,04
	ϕ_0 [°]	μ [-]
	30 ± 2	0,45

Condizioni di moto iniziale

In relazione alle caratteristiche sismiche dell'area, alla possibilità di spinte idrauliche, all'azione di spinta generata da apparati radicali agenti nelle discontinuità che isolano i singoli blocchi e all'azione del gelo, al volume di progetto si sono applicate le seguenti velocità iniziali pre-innesco del crollo:

velocità traslazionale iniziale	→	velocità minima orizzontale	$v_x = 0,10$ m/s
		velocità massima orizzontale	$v_x = 0,50$ m/s
		velocità media orizzontale	$v_x = 0,30$ m/s
		scarto rispetto al valore medio	$\Delta v_x = \pm 0,20$ m/s

		velocità minima verticale	$v_z = 0,0 \text{ m/s}$
		velocità massima orizzontale	$v_z = 0,0 \text{ m/s}$
		velocità media orizzontale	$v_x = 0,0 \text{ m/s}$
		scarto rispetto al valore medio	$\Delta v_z = \pm 0,0 \text{ m/s}$
velocità rotazionale iniziale	→	velocità media	$\omega = 0,0 \text{ rad/s}$
		scarto rispetto al valore medio	$\Delta \omega = \pm 0,0 \text{ rad/s}$

Analisi traiettografica

Il calcolo delle traiettorie e il moto dei singoli blocchi in moto lungo il versante, è stato condotto analizzando il cinematismo di un blocco in moto lungo il modello 3D dell'area in studio.

L'analisi del cinematismo del blocco roccioso è stata eseguita al fine di valutare le seguenti caratteristiche di moto:

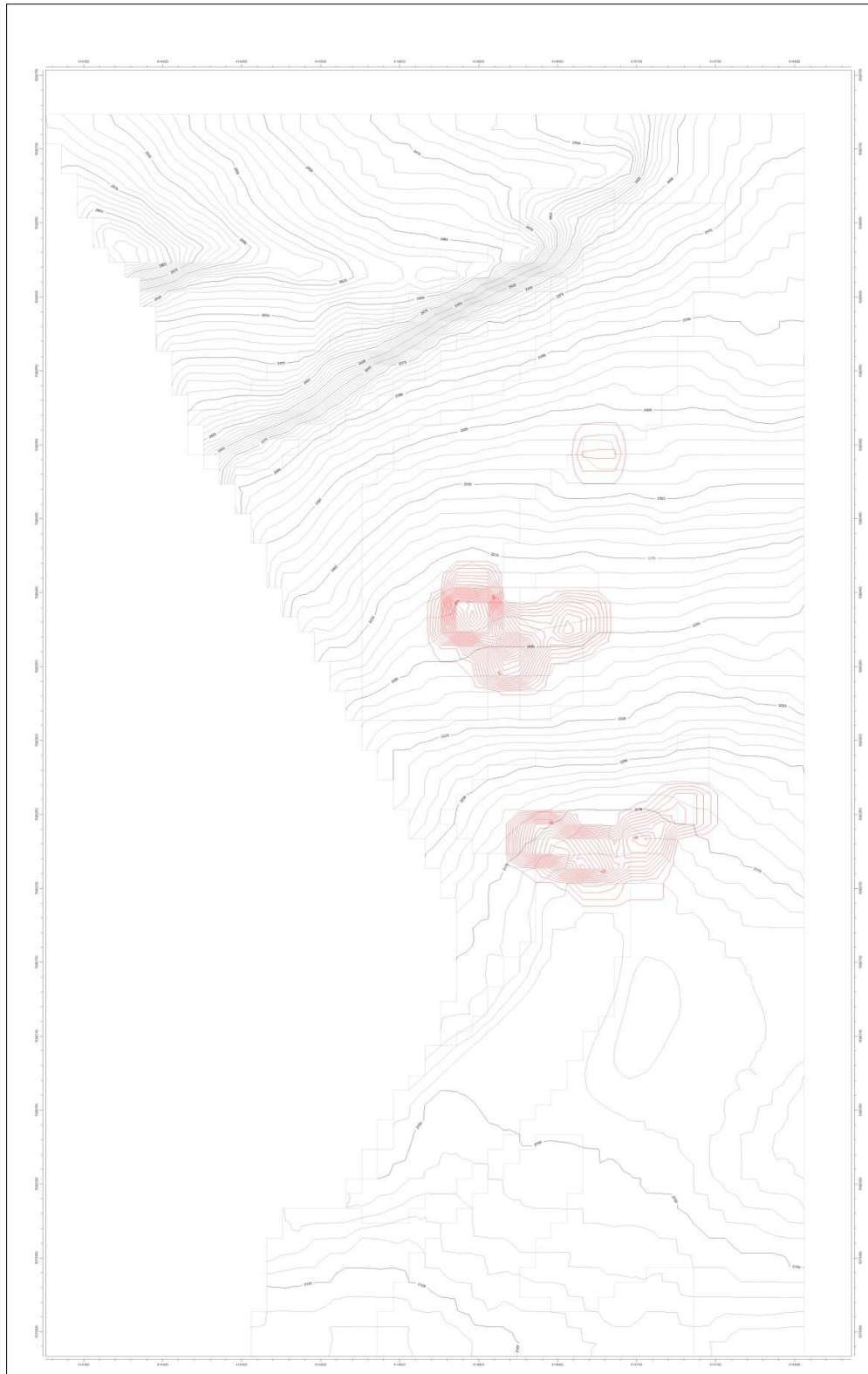
- posizione e andamento planimetrico della traiettoria
- tipologia della traiettoria, ad esempio: lineare, curva, ecc. ...
- tipologia di moto, ad esempio: rotolamento, roto-scivolamento, roto-saltazione, ecc. ...
- punti o linee di arresto dei blocchi

In generale, dalle analisi svolte, è possibile affermare che il blocco si muove a partire dal punto di distacco considerato con velocità di traslazione orizzontale v_x variabile da 0,1 a 0,5 m/s e verticale $v_z = 0$ m/s e di rotazionale $\omega = 0$ rad/s, durante le successive fasi incrementa la sua energia e il moto diventa di roto-traslazione con parti di roto-saltazione. Complessivamente, le traiettorie comprendono fasi di roto-traslazione, rotolamento e roto-saltazione.

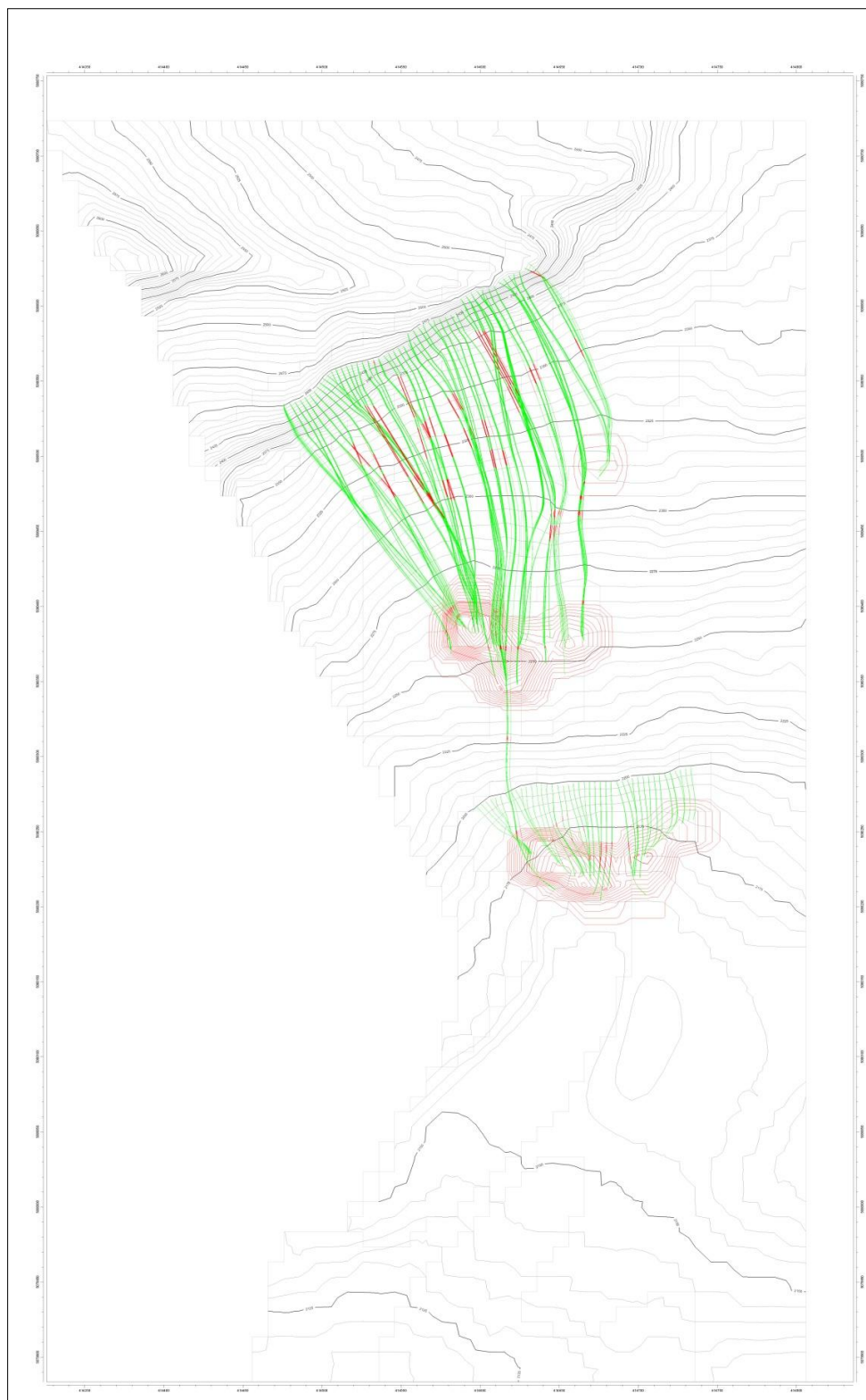
Gli esiti delle analisi compiute sul modello 3D dell'area in studio, sono riportati nelle pagine seguenti e nella tavola grafica allegata (Elaborato cartografico 3.19), in cui è illustrata nel piano orizzontale XY la posizione planimetrica delle traiettorie dei blocchi a partire dalle nicchie di distacco poste a quota 2500 m slm e a quota 2230 m slm e della somma degli effetti dei distacchi provenienti dalle due nicchie di distacco.



2 CARTA 01: Rappresentazione grafica delle traiettorie / Nicchia di distacco 1+2 quota 2500 – 2475 - 2450 m slm e 2200 m slm



3 - CARTA 02 Rappresentazione grafica delle aree con maggior densità di punti di arresto / Nicchia di distacco 1+2 quota 2500 – 2475 - 2450 m slm e 2200 m slm



2.1.2/4 Rappresentazione grafica delle traiettorie e delle aree di arresto / Nicchia di distacco 1+2 quota 2500 – 2475 - 2450 m slm e 2200 m slm

Studio dinamico bidimensionale

Lo studio del moto dei blocchi rocciosi eseguito mediante l'analisi degli scoscendimenti su un modello bidimensionale lungo il profilo della traiettoria, ha permesso di valutare i possibili andamenti dei blocchi rocciosi, restituendo per ogni punto della traiettoria del blocco contenuta nel piano XZ, le seguenti caratteristiche di moto:

- inviluppo delle traiettorie dei singoli blocchi
- inviluppo delle altezze di rimbalzo o di volo
- inviluppo delle velocità traslazionali
- inviluppo dell'energia cinetica traslazionale
- istogramma delle velocità traslazionali nel punto di analisi
- istogramma delle altezze e/o quote di transito dei blocchi nel punto di analisi

L'analisi è stata effettuata utilizzando il codice di calcolo RocFall 4.058, prodotto da Rocscience Inc. - Toronto (Canada), che mediante un'analisi statistica secondo il metodo *lumped mass* restituisce sul piano bidimensionale le caratteristiche energetiche e di moto dei singoli blocchi.

Parametri caratteristici

I parametri caratteristici dell'analisi, necessari per ricostruire l'evento di caduta massi, sono stati ricavati, da rilievi puntuali in sito e sopralluoghi al fine di individuare la posizione degli ammassi rocciosi potenzialmente instabili, l'estensione delle nicchie di distacco potenziali e/o pregresse e valutare a ritroso le possibili traiettorie.

Andamento plano-altimetrico

L'andamento plano-altimetrico è stato ricavato dalla cartografia digitale della zona (DTM Regine Piemonte) implementato con rilievo di dettaglio della zona del bacino in progetto. Successivamente è stato individuato il profilo caratteristico lungo le traiettorie di caduta ricavate dallo studio tridimensionale del moto dei blocchi rocciosi. Per maggiori dettagli si rimanda alla tavola grafica allegata al progetto.

Dimensione del volume unitario caratteristico

Sulla base dei sopralluoghi esperiti e degli elaborati geologico tecnici a disposizione, si è utilizzato per le analisi cinematiche bidimensionali, un volume roccioso unitario potenzialmente instabile pari a circa 70,0 m³ per la nicchia di distacco 1 posta a quota 2500 – 2475 - 2450 m slm e pari a circa 10,0 m³ per la nicchia di distacco 2 posta a quota 2200 m slm.

In particolare, per il profilo 1 analizzato, si riassumono le principali caratteristiche delle nicchie di distacco:

- nicchia di distacco 1 / 2500 m → *parete sommitale*
 quota da circa 2450 a circa 2500 m slm
 lunghezza nicchia circa 95+52+50 = 197 m
 inclinazione media circa 78°
 volume massimo movimentabile circa 70,0 m³
 massa movimentabile circa 189.000 kg
- nicchia di distacco 2 / 2230 m → *affioramento roccioso*
 quota da circa 2200 m slm
 lunghezza nicchia circa 140 m
 inclinazione media circa 32°
 volume massimo movimentabile circa 10,0 m³
 massa movimentabile circa 27.000 k

Morfologia e tipologia di copertura superficiale

La superficie topografica è stata caratterizzata fisicamente definendo i parametri di restituzione caratteristici per il moto di roto-traslazione e di roto-saltazione considerato.

In particolare si sono definiti i seguenti parametri di moto:

- coefficiente normale* K_n → limiti da letteratura 0,20 ÷ 0,75
- coefficiente tangenziale* K_t → limiti da letteratura 0,20 ÷ 0,90
- angolo di attrito dinamico* \varnothing_0 → limiti da letteratura 30° ÷ 40°
- tangente angolo di attrito dinamico* $\tan \varnothing_0$ → limiti da letteratura 0,37 ÷ 0,67
- coefficiente di attrito di roto-scivolamento* μ → limiti da letteratura 0,4 ÷ 1,5

Il valore di tali coefficienti è stato desunto per comparazione del caso in esame con i valori limite ricavati dalla letteratura tecnica secondo le considerazioni in seguito riportate.

In particolare, si sono considerate secondo la classificazione di Giani (1992) Pfeiffer & Bowen (1989) e Richards (1988) le seguenti tipologie di pendio:

<i>tratti omogenei di parete rocciosa</i>	→	pareti o affioramenti in roccia
<i>tratti omogenei di depositi di grossi blocchi</i>	→	detrito con grossi blocchi
<i>tratti omogenei di aree a prato</i>	→	pendio a prato privo di vegetazione
<i>tratti omogenei di affioramenti rocciosi</i>	→	substrato roccioso

Nelle tabelle di seguito riportate, si indicano in funzione della tipologia di pendio il valore dei coefficienti desunti dalla letteratura e il valore adottato per lo studio delle traiettorie.

	Coefficiente normale K_n [-]	Coefficiente tangenziale K_t [-]
pareti o affioramenti in roccia	$0,37 \pm 0,04$	$0,87 \pm 0,04$
	\varnothing_0 [°]	μ [-]
	30 ± 2	0,40
detrito con grossi blocchi	$0,33 \pm 0,04$	$0,85 \pm 0,04$
	\varnothing_0 [°]	μ [-]
	30 ± 2	0,55
pendio a prato privo di vegetazione	$0,28 \pm 0,04$	$0,80 \pm 0,04$
	\varnothing_0 [°]	μ [-]
	30 ± 2	0,60
substrato roccioso	$0,33 \pm 0,04$	$0,83 \pm 0,04$
	\varnothing_0 [°]	μ [-]
	30 ± 2	0,45

Posizione e tipologia del distacco

La posizione plano-altimetrica delle potenziali nicchie di distacco utilizzate per redigere lo studio bidimensionale nel piano del profilo longitudinale, è stata analizzata in relazione alla valutazione delle aree oggetto di distacco pregresso e/o potenziale e successivamente verificata mediante indagini e sopralluoghi diretti in sito.

Le analisi e le valutazioni espresse nel presente lavoro, ed in particolare nello studio dinamico bidimensionale, riguardano lo studio della dinamica di caduta massi e l'analisi degli effetti dei potenziali blocchi rocciosi potenzialmente instabili ubicati a valle delle linee di distacco riportata nelle tavole di

progetto ed in particolare nell'elaborato grafico 3.19 - Studio tridimensionale della dinamica di caduta massi.

Condizioni di moto iniziale

In relazione alle caratteristiche sismiche dell'area, alla possibilità di spinte idrauliche, all'azione di spinta generata da apparati radicali agenti nelle discontinuità che isolano i singoli blocchi e all'azione del gelo, al volume di progetto si sono applicate le seguenti velocità iniziali pre-innesco del crollo:

velocità traslazionale iniziale	→	velocità orizzontale	$v_x = 0,50 \text{ m/s} \pm 0,01 \text{ m/s}$
		velocità minima verticale	$v_z = 0,0 \text{ m/s} \pm 0,01 \text{ m/s}$
velocità rotazionale iniziale	→	velocità media	$\omega = 0,0 \text{ rad/s} \pm 0,01 \text{ rad/s}$

Analisi traiettografica

Il calcolo delle traiettorie e dei livelli energetici è stato condotto analizzando il cinematismo di un blocco roccioso di volume pari a circa $70,0 \text{ m}^3$ per la nicchia di distacco superiore posta a quota di circa 2475 m slm e pari a circa $10,0 \text{ m}^3$ per la nicchia di distacco inferiore posta a quota di circa 2200 m slm.

L'analisi del cinematismo del blocco di volume massimo prossimo a $V_{\max} = 70,0 \text{ m}^3$ con massa pari a circa $M_{\max} = 189.000 \text{ kg}$ per la nicchia distacco 1 e prossimo a $V_{\max} = 10,0 \text{ m}^3$ con massa pari a circa $M_{\max} = 27.000 \text{ kg}$ per la nicchia distacco 2, è stata eseguita al fine di valutare le seguenti caratteristiche di moto:

- tipologia di moto, ad esempio: rotolamento, roto-scivolamento, roto-saltazione, ecc. ...
- altezze di rimbalzo, di transito e di volo
- punti arresto dei blocchi
- velocità traslazionale massima e minima

In generale, dalle analisi svolte, è possibile dire che il blocco si muove a partire dalla quota di distacco considerata con velocità di traslazione orizzontale $v_x = 0,5 \pm 0,01 \text{ m/s}$ e verticale $v_z = 0 \pm 0,01 \text{ m/s}$ e rotazionale $\omega = 0 \pm 0,01 \text{ rad/s}$, durante le successive fasi incrementa la sua energia e il moto diventa di volo, roto-traslazione con fenomeni di roto-saltazione. Complessivamente, le traiettorie comprendono fasi di volo, roto-traslazione, di volo, di impatto al suolo con successivo rimbalzo.

Gli esiti delle analisi compiute lungo il profilo P1, sono riportati nelle pagine seguenti e nell'elaborato cartografico 3.20, in cui è illustrata la posizione planimetrica del profilo, il suo andamento e i grafici relativi all'involuppo delle traiettorie, delle altezze di rimbalzo e gli istogrammi delle velocità.

Profilo 01

Sezione	Condizione di moto iniziale	Tipologia moto e posizione lungo la traiettoria ⁽¹⁾		
		da 0 a 1/3 della traiettoria	da 1/3 a 2/3 della traiettoria	da 2/3 alla fine della traiettoria

01	Velocità traslazionale iniziale $v_x = 0,50 \pm 0,01 \text{ m/s}$ $v_z = 0,0 \pm 0,01 \text{ m/s}$	Velocità rotazionale iniziale $\omega = 0,0 \pm 0,01 \text{ rad/s}$	V → RS → RT	RT → RS → RT	RT → RS → RT → Stop
----	--	--	-------------	--------------	---------------------

Sezione	Condizione di moto iniziale	Altezza traiettoria max [m]		
		Lungo la traiettoria		In corrispondenza del punto di analisi
		posizione	altezza	

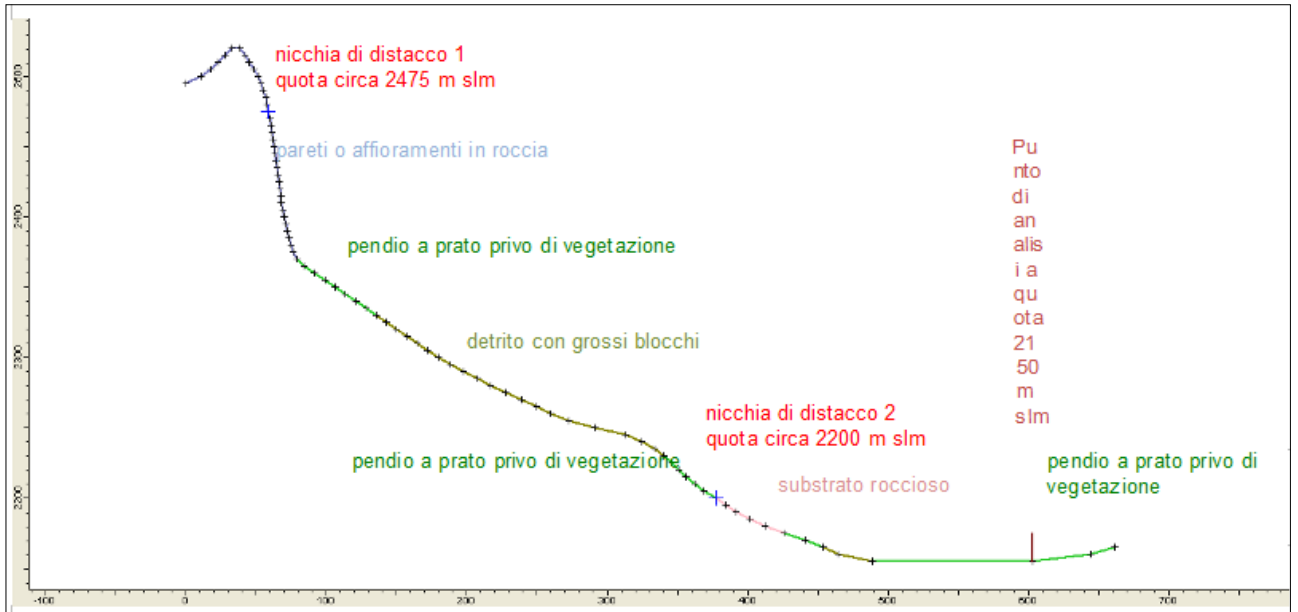
01	Velocità traslazionale iniziale $v_x = 0,50 \pm 0,01 \text{ m/s}$ $v_z = 0,0 \pm 0,01 \text{ m/s}$	Velocità rotazionale iniziale $\omega = 0,0 \pm 0,01 \text{ rad/s}$	Inizio → 1/3	> 1,00	→ 0,00 (2)
----	--	--	--------------	--------	------------

Sezione	Condizione di moto iniziale	Caratteristiche di moto in corrispondenza del punto di analisi	
		velocità traslazionale [m/s] (valore massimo)	distanza di arresto e % di blocchi [m] [%]

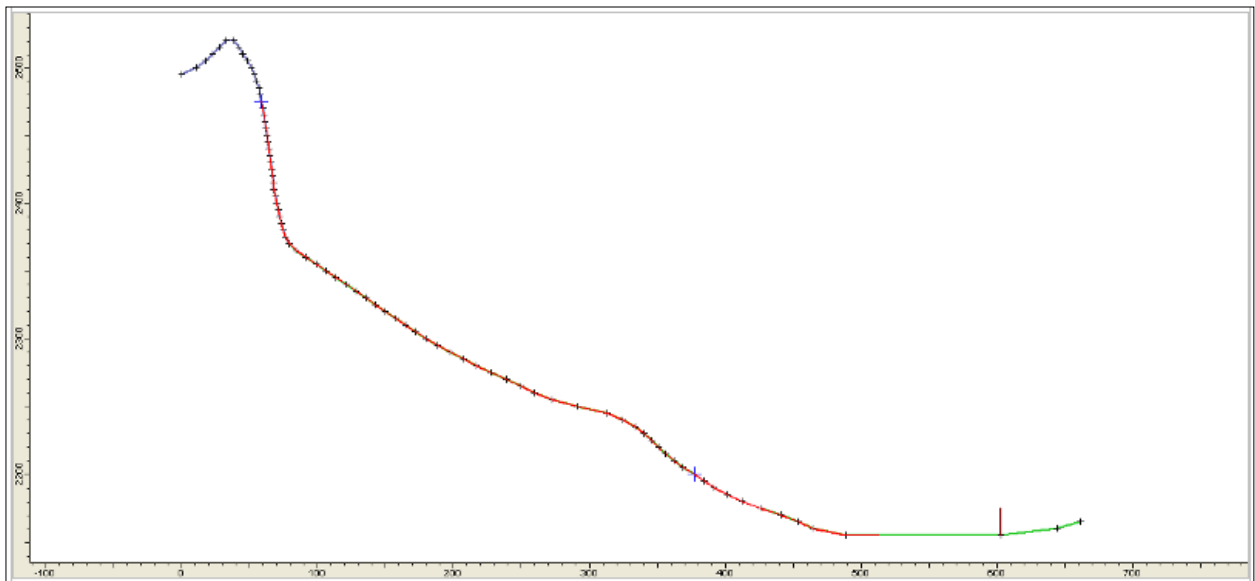
01	Velocità traslazionale iniziale $v_x = 0,50 \pm 0,01 \text{ m/s}$ $v_z = 0,0 \pm 0,01 \text{ m/s}$	Velocità rotazionale iniziale $\omega = 0,0 \pm 0,01 \text{ rad/s}$	0,00 (2)	0,00 / 0% (2)
----	--	--	----------	---------------

- (1) T → traslazione
- R → rotazione
- RT → roto-traslazione
- RS → roto-saltazione
- V → volo libero

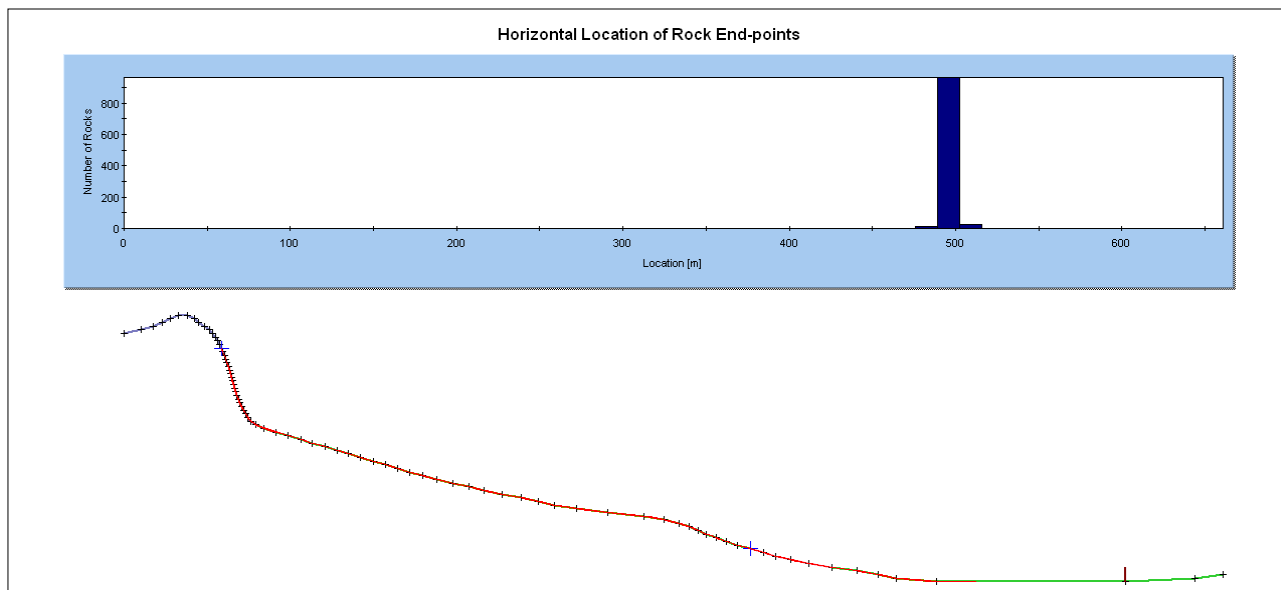
(2) i blocchi non raggiungono il punto di analisi



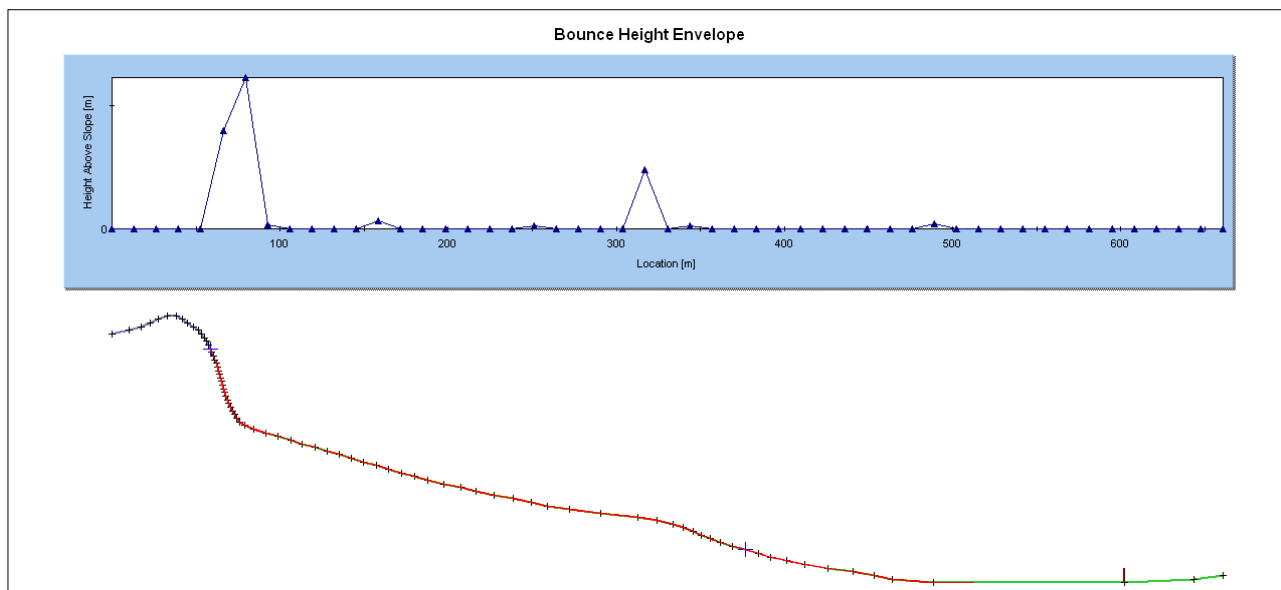
5 Schema della sezione con indicato il tipo di copertura superficiale e la posizione delle zone di distacco



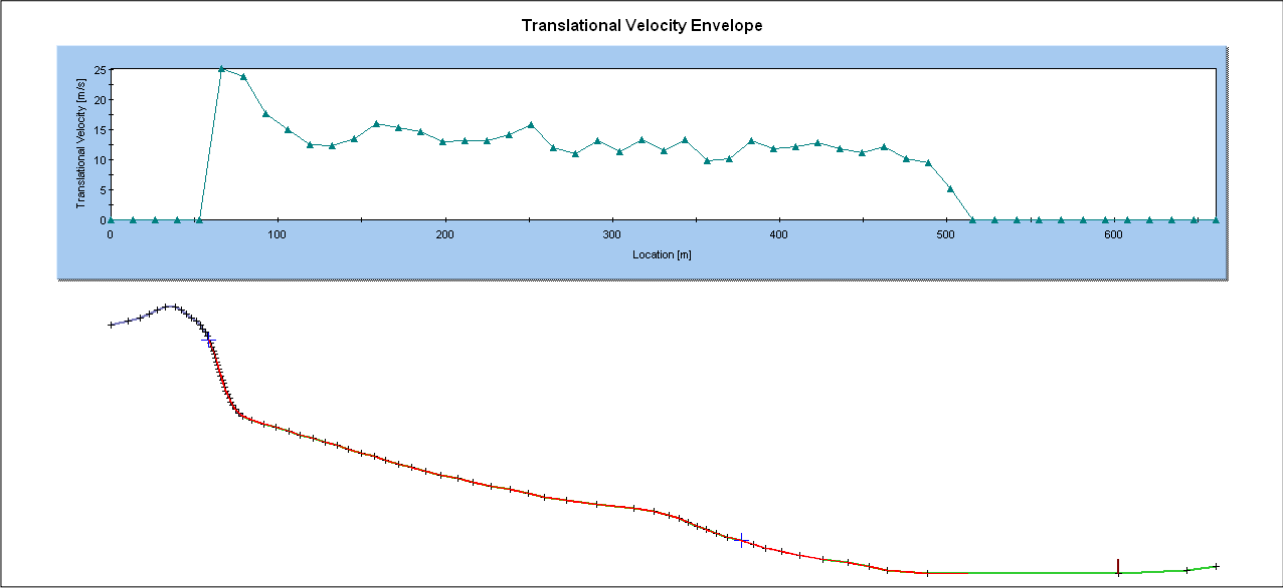
6 Andamento delle traiettorie



7 Andamento delle traiettorie e istogramma dei punti di arresto



8 Andamento delle traiettorie e grafico altezze



9 Andamento delle traiettorie e grafico delle velocità

Analisi dei risultati

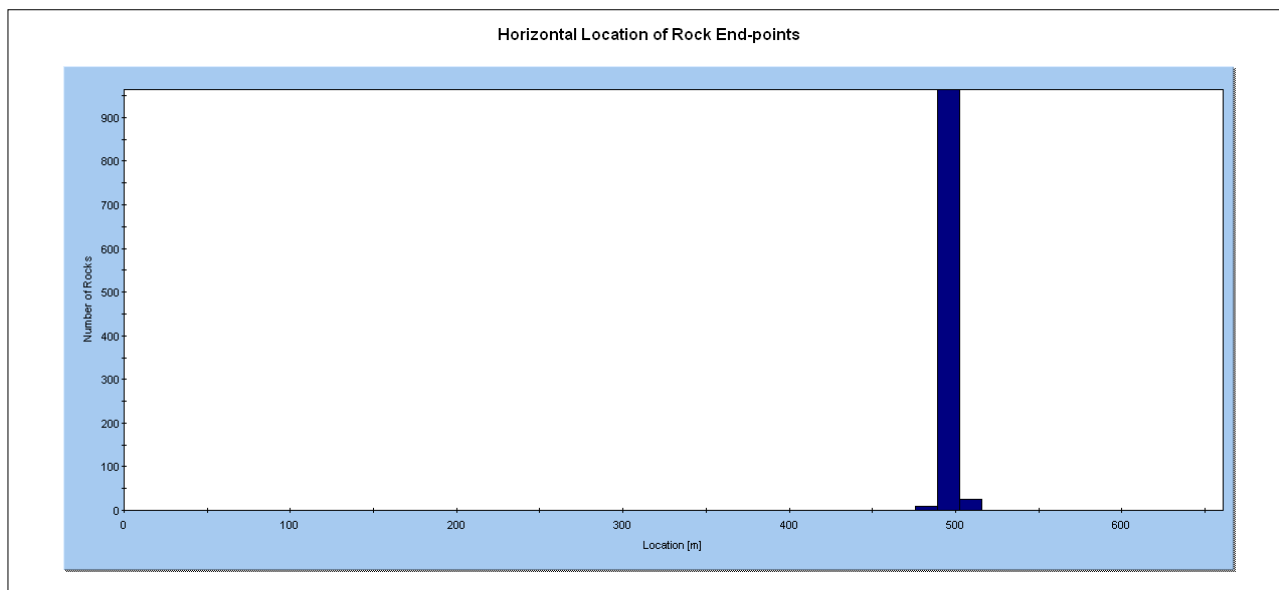
In riferimento ai risultati delle simulazioni illustrate nelle pagine precedenti, di seguito si riportano per il profilo P1 analizzato, i valori delle principali caratteristiche di moto.

Profilo	Condizione di moto iniziale	Tipologia moto e posizione lungo la traiettoria ¹			Caratteristiche di moto in corrispondenza del punto di analisi		
		da 0 a 1/3 della traiettoria	da 1/3 a 2/3 della traiettoria	da 2/3 alla fine della traiettoria	velocità traslazionale ² [m/s]	Distanza di arresto ³ [m]	
01	Velocità traslazionale iniziale $v_x = 0,5 \pm 0,01$ m/s $v_z = 0,0 \pm 0,01$ m/s	Velocità rotazionale iniziale $\omega = 0,0 \pm 0,01$ rad/s	V → RS → RT	RT → RS → RT	RT → RS → RT → Stop	0,00 (*)	0,00 (*)

(*) i blocchi non raggiungono il punto di analisi

Il punto di analisi posto a quota 2150 m slm, in riferimento allo stato attuale dei luoghi (morfologia del versante, copertura superficiale, ecc. ...) e delle condizioni di analisi considerate nel presente studio (sismicità dell'area, azioni destabilizzanti esterne, ecc. ...), non risulta essere raggiunto da potenziali blocchi rocciosi in moto lungo le sezioni analizzate, come evidenziato nell'istogramma seguente.

1 T → traslazione / R → rotazione / RT → roto-traslazione / RS → roto-saltazione / V → volo libero
 2 Velocità traslazionale massima
 3 Distanza di arresto massima



10 Istogramma posizione di arresto dei blocchi

In relazione all'istogramma della distribuzione dei punti di arresto, si vede come gli elementi rocciosi in moto lungo il versante, si fermano ad una distanza minima pari a circa 94 m rispetto al punto di monitoraggio (posto alla distanza progressiva di circa 603 m) dopo aver percorso le seguenti distanze dalla nicchia di distacco 1, in particolare:

- numero 25 blocchi pari a circa il 2,5% si arrestano alla distanza progressiva di circa 509 m con un franco rispetto al punto di monitoraggio pari a circa $f = 603 - 509 = 94$ m
- numero 964 blocchi pari a circa il 96% si arrestano alla distanza progressiva di circa 496 m con un franco rispetto al punto di monitoraggio pari a circa $f = 603 - 496 = 107$ m
- numero 10 blocchi pari a circa il 1% si arrestano alla distanza progressiva di circa 482 m con un franco rispetto al punto di monitoraggio pari a circa $f = 603 - 482 = 121$ m

Dai riscontri effettuati sul terreno, relativamente alla posizione di arresto dei blocchi provenienti da crolli progressi, l'analisi dinamica effettuata, ed in particolare il limite di arresto dei blocchi, risulta coerente con quanto rilevabile in sito lungo l'area di versante interessata dalla costruzione del bacino artificiale.

Considerazioni conclusive

Il presente studio dinamico e traiettografico, illustra le caratteristiche di moto dei blocchi rocciosi in transito lungo il versante in studio.

Il punto di analisi, posto in corrispondenza dell'area oggetto di costruzione del bacino artificiale, in riferimento allo stato attuale dei luoghi e delle condizioni di analisi considerate nel presente studio, non risulta raggiunto da blocchi rocciosi in movimento lungo il versante.

L'analisi effettuata, ed in particolare il limite di arresto dei blocchi, risulta coerente e trova riscontro con le posizioni dei blocchi rocciosi presenti in sito e provenienti da crolli pregressi.