



SOCIETA' ITALIANA
 TRAFORO AUTOSTRADALE DEL FREJUS
 Sede legale: fraz. San Giuliano, 2 - 10059 Susa (TO)



MUSINET ENGINEERING S.p.A.
 Cso Svizzera, 185
 10149 TORINO
 Tel. +39 011 5712411
 Fax. +39 011 5712426
 E-mail info@musinet.it
 PEC musinet@legalmail.it

Gruppo SITAF

P.I.Iva 08015410015
 Cap. Soc. E. 520.000 i.v.
 Cod. fis.e Reg. Imprese
 TO 08015410015
 R.E.A. Torino 939200

T4 TRAFORO AUTOSTRADALE DEL FREJUS

INTERVENTI DI RIMODELLAMENTO MORFOLOGICO E MESSA IN SICUREZZA DEL VERSANTE IN COMUNE DI BARDONECCHIA

PROGETTO DEFINITIVO Sito Melezet

SITAF S.p.A.
 per la Direzione
 Il Direttore Tecnico
 (Dott. Ing. Massimo BERTI)

SITAF SpA
 per la Direzione
 Il Direttore Generale
 (Dott. Ing. Bernardo MAGRI)

Relazione geologica e di simulazione caduta massi

Scala -	0377_110_12_D26EG002.1_0			Gennaio 2013	
2					
1					
0	Gen 2013	Emissione	Tekne	TRI	GIO
REV	DATA	DESCRIZIONE	RED.	VER.	APP.
Attività di Supporto Specialistico TEKNE Dott. Ing. Livio Martina Dott. Geol. Mauro Bugnano					
Il Responsabile del progetto MUSINET ENGINEERING S.p.A. Dott. Arch. Corrado Giovannetti			N° ELABORATO 2.1		

Questo disegno e' di proprieta' riservata della MUSINET ENGINEERING S.p.A.; ne e' vietata la riproduzione anche parziale, nonche' la presentazione a terzi senza esplicita autorizzazione.L'inosservanza e' perseguibile ai termini di legge.

SITAF S.p.A.

**SOCIETA' ITALIANA
TRAFORO AUTOSTRADALE DEL FREJUS**

T4: TRAFORO AUTOSTRADALE DEL FREJUS

**INTERVENTI DI RIMODELLAMENTO MORFOLOGICO
E MESSA IN SICUREZZA DEL VERSANTE
IN COMUNE DI BARDONECCHIA**

SITO MELEZET

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GEOLOGICA E DI SIMULAZIONE CADUTA MASSI

SOMMARIO

1	PREMESSA	4
2	METODOLOGIA E CARATTERISTICHE DELLO STUDIO CONDOTTO	7
2.1	BASI TOPOGRAFICHE UTILIZZATE	7
2.2	SIMULAZIONE CADUTA MASSI.....	8
2.3	SIMULAZIONE ROCK AVALANCHE	9
2.4	INDAGINI GEOFISICHE.....	9
2.5	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	10
2.6	ANALISI DI LABORATORIO	11
2.7	VERIFICHE DI STABILITA' DEL COMPLESSO RILEVATO PARAMASSI - TERRENO DI FONDAZIONE	11
3	VINCOLI E COMPATIBILITA' DELL'INTERVENTO CON LA PIANIFICAZIONE URBANISTICA.....	12
3.1	PIANIFICAZIONE URBANISTICA	12
4	RICOSTRUZIONE STORICA DEGLI EVENTI DI CROLLO PREGRESSI E DEGLI INTERVENTI GIA' REALIZZATI	13
5	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	15
6	CARATTERI GEOLOGICI REGIONALI	16
6.1	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	16
6.2	STRUTTURA GEOTETTONICA REGIONALE	17
6.3	ASSETTO GEOLITOLOGICO REGIONALE	18
6.4	TERRENI DI COPERTURA QUATERNARIA	20
7	ASSETTO GEOMORFOLOGICO LOCALE	22
8	CARATTERIZZAZIONE DI DETTAGLIO DEL SITO DI INTERVENTO.....	22
9	FENOMENI DI PERICOLO DA VALANGA	27
10	ESTRATTO DALLA "RELAZIONE GEOLOGICA E SIMULAZIONI NUMERICHE" CONDOTTE DA SEA CONSULTING S.R.L.	28
11	ANALISI DEI FENOMENI DI CADUTA MASSI	34
11.1	I PRINCIPI DELLA ANALISI PER CADUTA MASSI	34
11.2	METODI PER L'ANALISI DEL "RUNOUT"	35
11.2.1	Modulo Colorado Rockfall Simulation Program 2D - CRSP 2D.....	35
11.2.2	Modulo r.DROKA	37

11.3	BACK ANALYSIS E SCELTA DEI PARAMETRI DI INPUT	40
11.3.1	CRSP	40
11.3.2	R.DROKA.....	48
11.4	ANALISI DEI RISULTATI E CONCLUSIONI.....	49
12	ANALISI DEI FENOMENI DI ROCK AVALANCHE - FRANE DI ROCCIA	54
12.1	Simulazione del crollo in massa.....	54
12.2	Il modello di simulazione impiegato	55
12.2.1	Dati di ingresso: mappe	56
12.2.2	Dati di ingresso: back analysis per stima dei parametri reologici	57
12.3	SIMULAZIONI DEI CROLLI IN MASSA.....	60
12.3.1	Risultati ottenuti per la zona di distacco 1	61
12.3.2	Risultati ottenuti per la zona di distacco 2	65
12.4	Considerazioni conclusive sui processi di rock avalanche.....	68
13	CONCLUSIONI	70
14	BIBLIOGRAFIA	72
15	ALLEGATI.....	74
15.1	Tavole di inquadramento	74
15.2	Documentazione bibliografica.....	78
<input type="checkbox"/>	Elaborati cartografici delle indagini geomorfologiche a supporto del Piano Regolatore Generale del Comune di Bardonecchia– redatti dal Dott. Geol. E. Zanella.....	78
15.3	Rapporto delle simulazioni dei fenomeni di caduta massi	89
15.4	Rapporto relativo ai processi di rock avalanche.....	90

1 PREMESSA

Il presente studio geologico-tecnico è redatto a supporto del progetto che vede la realizzazione di un vallo paramassi finalizzato alla minimizzazione delle condizioni di elevata pericolosità connessa a processi di caduta massi in loc. Melezet di Bardonecchia, sul versante sinistro del T. Dora di Melezet ai piedi della bastionata rocciosa denominata "Rocce del Rouas".

E' previsto che l'opera di protezione sia costruita mediante utilizzo de materiale di smarino derivante dallo scavo della galleria di sicurezza del tunnel del Frejus.

Tali fenomeni di crollo sono storicamenti noti e già oggetto di approfondimenti e studi specialistici fin dagli anni '70, data dalla quale si sono registrati, o meglio sono ricordati, un certo numero di eventi significativi, talora gravi, di crollo di porzioni di roccia dal pendio soprastante, con interessamento della S.P. 216 e di settori circostanti dove sono presenti anche edifici turistici.



In tempi molto recenti, più precisamente il 21 maggio 2010, è avvenuto un ennesimo fenomeno di crollo che ha coinvolto un volume di roccia stimato di almeno 2000 m³, i cui elementi sono arrivati alla sede stradale della S.P. ed hanno gravemente danneggiato alcune infrastrutture. Tutti gli edifici posti alla base del pendio, così come la stessa viabilità provinciale che collega la bassa valle alla Valle Stretta ed al Colle della Scala, sono in questo momento in una condizione di grave pericolo latente e pertanto inagibili per Ordinanza Sindacale.

A seguito di tale evento, l'Amministrazione Comunale di Bardonecchia, con determina n. 185 del 20 settembre 2010, ha affidato al Consorzio Forestale Alta Valle Susa l'incarico per la redazione di uno studio geomeccanico del versante sinistro del Torrente Dora di Melezet.

Il CFAVS a sua volta ha dato incarico alla Dott. Geol. Laura Turioni, appartenente al Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica di Torino, della redazione dell' "Analisi storica e geomorfologica del versante sinistro del torrente Dora di Melezet interessato dalla frana del 21 maggio 2010", e al Dott. Geol. Dario Fontan di Sea Consulting srl di Torino, della "Relazione geologica e simulazioni numeriche".

Gli studi sopra citati forniscono utili e dettagliate informazioni dal punto di vista tecnico-scientifico avendo indagato in maniera approfondita le cause del dissesto, suggerendo infine alcuni scenari di intervento atti a diminuire sensibilmente il rischio insistente sulla SP 216 e sul Residence "Torino 2006".

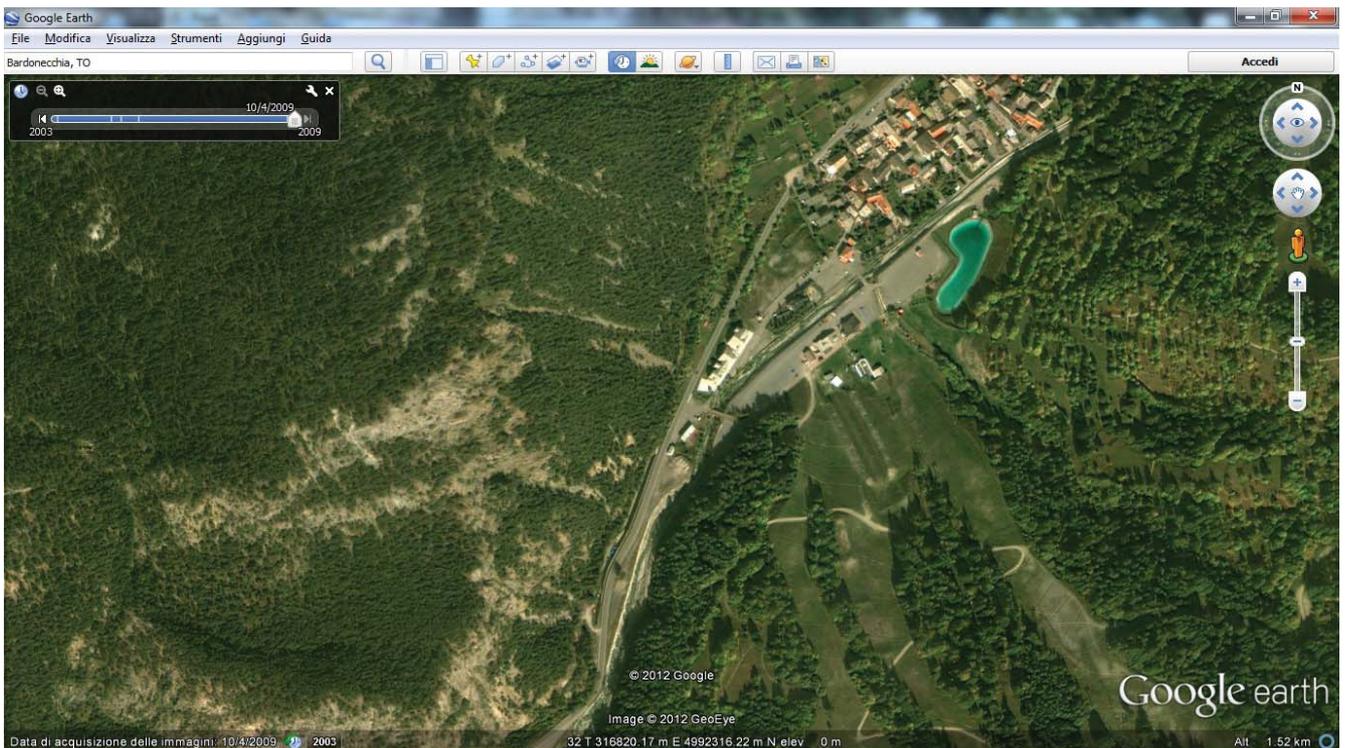
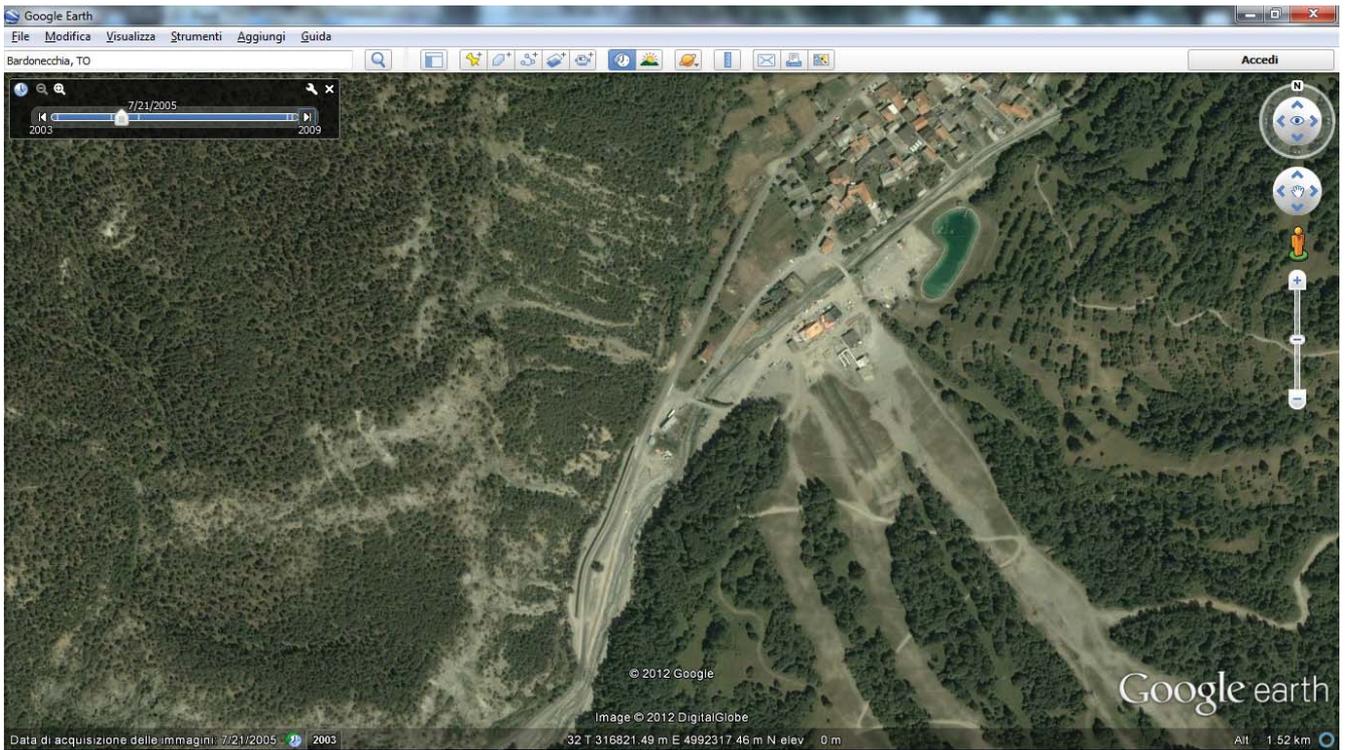
La presente analisi parte da tali deduzioni precedenti, estendendo le necessarie valutazioni sulle condizioni di pericolosità e rischio a tutta la porzione di versante denominato "Rocce del Rouas" nel tratto compreso tra le ultime abitazioni di Melezet, e la stretta morfologica posta a valle di Pian del Colle, all'incirca dove ora terminano le terre rinforzate realizzate con lo scopo di proteggere la viabilità provinciale, al fine di fornire necessarie indicazioni al progettista e valutare la validità ed efficacia dell'opera in progetto.



Deve infatti essere innanzitutto osservato che l'evento del 2010 ha mobilizzato volumi di roccia di dimensioni ben superiori a quelle previste nelle simulazioni utilizzate per il dimensionamento delle barriere paramassi e degli argini preesistenti all'evento.

Considerando la storia dei fenomeni di instabilità della parete delle Rocce del Rouas, è stata ipotizzata negli studi anzidetti una possibile evoluzione dei processi gravitativi con distacchi lungo l'intera estensione della parete (da Pian del Colle a Melezet) di massi di medie dimensioni e di fenomeni parossistici di rock avalanche.

Le verifiche condotte nella presente analisi hanno pertanto ipotizzato sia distacchi di blocchi singoli, possibilmente anche di elevate dimensioni, le cui traiettorie sono state studiate con appositi software in 2D e 3D, ma anche fenomeni di crollo in massa di porzioni di parete rocciosa, analizzati mediante metodologia 3D, processi che appaiono coerenti con il particolare contesto geologico strutturale che verrà illustrato nel seguito.



Estratti fotografici aerei tratti da Google Earth, relativi agli anni 2005 e 2009

2 METODOLOGIA E CARATTERISTICHE DELLO STUDIO CONDOTTO

2.1 BASI TOPOGRAFICHE UTILIZZATE



Stralcio di ortofoto fornito dalla Ditta Geoworks, corrispondente al settore oggetto di studio, da volo aereo effettuato successivamente all'evento franoso del maggio 2010

Come base per le analisi svolte è stato utilizzato un rilievo fornito dalla Ditta Geoworks, formato in parte da un rilievo laser scanner aereo (con files Lidar) per la porzione sud dell'area di studio (appartenente ad un rilievo più esteso effettuato su Pian del Colle), mosaicato con un rilievo ortofotogrammetrico ricoprente il settore di maggiore interesse. È stato tuttavia necessario mosaicare ulteriormente la porzione di cresta del pendio mediante utilizzo del DTM della Regione Piemonte. In fase di progettazione esecutiva si auspica la possibilità che venga messo a disposizione un solo rilievo omogeneo su tutto il settore di interesse al fine di conseguire ottimali risultati di modellazione.

Il rilievo fotogrammetrico è stato ricavato da riprese fotografiche aeree (di cui uno stralcio viene riportato alla pagina precedente) effettuate a seguito dell'evento franoso del maggio 2010, per cui fornisce, per la porzione coperta, un quadro topografico valido ed aggiornato per le esigenze di studio. Tali fotografie sono risultate particolarmente utili per posizionare con precisione le possibili aree sorgenti e le traiettorie dei processi di crollo e caduta massi.

2.2 SIMULAZIONE CADUTA MASSI

Lo studio in oggetto, redatto con la collaborazione specialistica della Società AG3 srl, Spin Off dell'Università di Torino presso il Dipartimento di Scienze della Terra, prende innanzitutto spunto dalla perizia di SEA Consulting di Torino, eseguita a seguito della frana del 2010, in quanto la zona oggetto dello studio è la stessa e le finalità, in ultima analisi, risultano anche le medesime.

A tal scopo si è partiti dalla verifica, con metodi e strumenti diversi da quelli utilizzati nello studio precedente, per ricostruire oltre alla situazione verificatasi nel 2010 anche una potenziale instabilità generalizzata sul tratto di strada attualmente dismessa dalla Provincia. Tutto ciò al fine di dimensionare le necessarie opere di mitigazione dal rischio di caduta massi ed in particolare per il dimensionamento di un vallo e rilevato paramassi a protezione della strada e delle abitazioni.

L'assunzione dei dati della perizia SEA a nome del collega Dario Fontan si è resa tanto più necessaria in quanto le tempistiche per la realizzazione dello studio geologico e dello stesso progetto (mese di dicembre 2012) non hanno permesso un sopralluogo diretto dei luoghi sede dell'innescò delle cadute massi, e, pertanto, le dimensioni dei massi potenzialmente instabili e le loro localizzazioni sono state desunte solo da dati fotografici, di letteratura e da speditivi sopralluoghi compiuti all'inizio del mese di dicembre 2012, quando già il terreno risultava parzialmente coperto da neve e di difficile ispezione.

Pertanto sono stati presi per buoni da suddetta relazione gli studi inerenti la definizione del blocco potenzialmente instabile di riferimento, la sua posizione e lo studio dei punti di arresto. Da tale base, con strumenti differenti, sono stati ricalcolati i tragitti più probabili percorsi dai potenziali massi instabili e si sono verificate le conclusioni del suddetto studio.

A questo punto i parametri desunti per questa sezione di taratura sono stati estrapolati al resto del versante attraverso l'analisi di 14 traiettorie. Per ognuna sono stati definiti i punti di arresto, le altezze dei rimbalzi e le energie in gioco, il tutto al fine di dimensionare correttamente le opere di protezione.

Si anticipa sin d'ora che lo studio è stato impostato su un'analisi di tipo probabilistico, dimensionando le opere sul concetto del rischio residuo. Per scelta, si è deciso di dimensionare tutte le opere sul 99,5% della popolazione analizzata (attivando sempre 1000 cadute), tagliando la coda dello 0,5%, assunzione che rappresenta le situazioni decisamente più improbabili, caratterizzate da valori decisamente superiori alla norma.

Nella sezione specifica del presente studio saranno esposti nel dettaglio i metodi utilizzati, i processi che hanno portato alla definizione dei parametri di input, alcuni esempi sulle situazioni più problematiche ed i risultati completi delle numerose analisi. Gli elaborati completi sono riportati in allegato.

2.3 SIMULAZIONE ROCK AVALANCHE

Oltre all'analisi quantitativa dei fenomeni di caduta massi è stato effettuato anche uno studio riguardante l'eventualità che dalle pareti rocciose in oggetto possano staccarsi masse di roccia di maggiori dimensioni, possibilità peraltro suggerita dai rilievi geologici che è stato possibile eseguire nel mese di dicembre 2012, oltre che segnalata negli studi precedenti riguardanti l'evento 2010. Anche questa sezione è stata realizzata con la collaborazione specialistica della Società AG3 srl, Spin Off dell'Università di Torino presso il Dipartimento di Scienze della Terra.

Ipotizzando che la presenza di acqua sia ridotta e che non vi sia frazione fine, il processo gravitativo può essere inquadrato come quello del rock avalanche, seguendo lo schema di classificazione proposto da Philips e Davies (1991).

L'attività di modellazione del crollo in massa è stata condotta utilizzando MassMov2D (Begueria et al., 2009), un modello di espansione in grado di valutare gli effetti di un fenomeno in termini di runout e di altezze dei depositi.

I parametri di ingresso sono stati stimati mediante back analysis dell'evento 2010 attraverso una procedura trial and error. In seguito sono state eseguite le analisi ipotizzando differenti volumetrie di distacco ed impiegando una base cartografica riferita alla condizione attuale e allo stato di progetto.

2.4 INDAGINI GEOFISICHE

Per la caratterizzazione sismica del sito sono state eseguite delle prove geofisiche finalizzate alla definizione del comportamento dei terreni ed all'accertamento della eventuale presenza e profondità del substrato nell'area di interesse.

Le prove hanno evidenziato eccellenti caratteristiche del terreno di appoggio e l'assenza di substrato nei primi 30 m dal p. c.. almeno in corrispondenza dei siti di indagine posti sul fondovalle.

La relativa relazione tecnica di dettaglio delle indagini eseguite è allegata alla Relazione Geotecnica, parte integrante del progetto.



Ubicazione degli stendimenti eseguiti (M1, M2) e dei sondaggi eseguiti per il medesimo cantiere (S1, S2).

2.5 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Ai fini della caratterizzazione litologico-stratigrafica, geotecnica e idrogeologica dei terreni di appoggio della nuova opera, sono stati effettuati 2 sondaggi a carotaggio continuo con prove SPT, in due punti ubicati in due aree significative dell'intervento laddove consentito dalle disponibilità delle aree e dalle possibilità di accesso, vista anche la presenza di neve al momento delle perforazioni.

I risultati dei due sondaggi, effettuati nei giorni 7/10 dicembre 2012, sono riportati per esteso negli allegati della relazione geotecnica.

Da tali prove si evince la presenza di uno spessore di materiale di riporto costituente la Strada Provinciale ed il terrapieno a lato del T. Melezet.

Al di sotto è presente terreno naturale in netta prevalenza di natura ghiaioso-sabbiosa con abbondanti ciottoli, dotati di buone caratteristiche geomeccaniche; nel sondaggio S2 si osserva peraltro la presenza di uno strato di circa 2 metri alla profondità di circa 8-10 dal

p.c., costituito da limo debolmente sabbioso-ghiaioso, da poco a moderatamente addensato.

La falda acquifera appare posizionata, come peraltro avviene frequentemente in questi contesti vallivi, a quote decisamente inferiori rispetto alla quota di fondoalveo del torrente (10-15 m circa dal p.c.) che scorre, soprattutto rispetto al sondaggio S1, a modesta distanza.

Le prove SPT hanno evidenziato valori discreti intorno ai 30/40 colpi/piede, indicando un materiale dotato generalmente di buoni parametri geotecnici e discreto addensamento.

2.6 ANALISI DI LABORATORIO

Per ipotizzare le caratteristiche geotecniche dello smarino derivante dallo scavo meccanizzato con TBM della prevista galleria di sicurezza del Traforo del Frejus, che sarà utilizzato per la costruzione del nuovo vallo paramassi, sono state effettuate analisi di laboratorio, da parte della Ditta Tecno Piemonte, su un campione di terreno proveniente dagli analoghi scavi già effettuati sul lato francese della galleria.

Sul materiale sciolto in oggetto sono state eseguite analisi granulometriche e prove di resistenza al taglio diretto con scatola di Casagrande.

La componente grossolana dei terreni è stata vagliata mediante setacciatura, fino al setaccio A.S.T.M. n° 200, corrispondente al diametro di 0,074 mm. Il passante al setaccio n° 200, ovvero la componente fine costituita da limo ed argilla, dopo un'opportuna preparazione, è stata analizzata per sedimentazione, in modo da poter separare la porzione limosa da quella argillosa. La metodologia utilizzata è quella indicata nella norma ASTM D422 – 2002.

Nel rapporto, riportato in allegato, sono esposti i risultati delle prove eseguite. Dal fuso granulometrico si evince che il terreno analizzato è essenzialmente sabbioso-ghiaioso, la componente fine (limo + argilla) è inferiore al 10%. La classificazione UNI 10006 di tale campione di terreno risulta essere A1-a. Le prove di taglio indicano un valore di angolo di resistenza al taglio pari a 38° e una coesione efficace di 2 kPa.

Tale assunzione, che è alla base delle scelte progettuali relative alla struttura del rilevato paramassi, dovrà essere oggetto di completa revisione e verifica al momento della disponibilità reale del materiale proveniente dallo scavo della galleria lato Italia, al fine di certificare l'effettiva fattibilità realizzativa dell'opera con il materiale disponibile.

2.7 VERIFICHE DI STABILITA' DEL COMPLESSO RILEVATO PARAMASSI - TERRENO DI FONDAZIONE

Le verifiche eseguite sono riportate in esteso nella relazione geotecnica. I risultati portano a verificare la stabilità sia del rilevato in se che del complesso rilevato-versante, sempre con fattori di sicurezza superiori ai limiti previsti dalla recente normativa sismica.

Per il dettaglio dei particolari esecutivi del rilevato si rimanda alle tavole di progetto ed agli elaborati allegati.

3 VINCOLI E COMPATIBILITA' DELL'INTERVENTO CON LA PIANIFICAZIONE URBANISTICA

L'intervento risulta ricadente in aree sottoposte a Vincolo Idrogeologico ex L.R. 45/89.

3.1 PIANIFICAZIONE URBANISTICA

In base al PRGC vigente, "Variante generale di adeguamento al PAI ai sensi dell'art. 18 delle NTA del Piano stralcio dell'Assetto idrogeologico", l'area di intervento ricade nei seguenti azionamenti:

- area classificata come AGRICOLA: è normata dall'art. 22 delle NTA;
- area classificata come STR-ES "Strade destinate alla viabilità esistente", normata dall'art 30 delle NTA e soggette a vincolo FR "aree e fasce di rispetto" normate dagli artt. 36-37-38-39 delle NTA;
- area classificata come C "zone di espansione residenziale" normata dagli artt. 13 e 19 delle NTA, soggetta a vincolo di inedificabilità "Area ad edificazione non attuabile per ragioni di natura geologica ed idrogeologica ai sensi dell'art. 35.1", ed individuata come Unità di Intervento del P.R.G. U101.

Sotto il profilo della classificazione della pericolosità idrogeologica le aree di intervento sono così classificate:

- aree classificate in Classe geologica IIIA3 normate dall'art. 35 delle NTA;
- aree classificate in Classe geologica IIIB2 normate dall'art. 35 delle NTA;
- area di salvaguardia Melezet-Sacro Cuore normata dall'art. 38.18 delle NTA.

In allegato si riporta uno stralcio della cartografia di piano desunta dal webgis del Comune di Bardonecchia.

4 RICOSTRUZIONE STORICA DEGLI EVENTI DI CROLLO PREGRESSI E DEGLI INTERVENTI GIÀ REALIZZATI

Precedentemente all'evento 2010 (1970, 1987, 3 marzo 2000) si erano già verificati fenomeni di crollo, limitati a massi di dimensioni generalmente inferiori al metro cubo.

Il Verbale di Sopralluogo del CFAVS 1/2000 del 3 marzo 2000 cita:

... "Nella mattinata del 3 c.m. un blocco di circa 1.5 m³, proveniente dalla bastionata rocciosa denominata "Rocce del Rouas", in sinistra orografica, ha raggiunto la S.P. 216 per il Pian del Colle, causando una buca sul lato sinistro (or.), rimbalzando e fermandosi sul lato destro. La zona veniva prontamente transennata per impedire il passaggio dei mezzi e per permettere i sopralluoghi dei tecnici delle amministrazioni in causa (Comune di Bardonecchia, Provincia di Torino, Regione Piemonte). Dal sopralluogo effettuato appare evidente l'insufficiente protezione svolta dal rilevato paramassi esistente e la situazione di grave pericolo per l'albergo, la strada provinciale e una costruzione, recentemente ristrutturata, adibito a deposito di materiali e macchinari, situata in corrispondenza della strettoia valliva poco a valle di Pian del Colle.)..."



fotografia della parete oggetto di studio ripresa nel 2001 dalla sponda destra del T. Melezet

Alle ore 19:15 del 21 maggio 2010, alcuni blocchi si sono staccati dalla parete delle Rocce del Rouas; nella stessa serata, alle ore 20:40, si è verificato un ingente fenomeno di crollo, che ha coinvolto circa 2.000 m³ di roccia (calcari dolomitici e dolomie).

Parte dei blocchi sono stati intercettati da un vecchio argine/vallo posto a monte della SP 216 in corrispondenza del residence "Residenza Turistica Alberghiera Melezet 2006", mentre le barriere paramassi presenti tra il vecchio vallo e il nuovo argine in terre rinforzate posto a protezione della provinciale sono state distrutte.

I blocchi hanno raggiunto la sottostante Strada Provinciale n. 216, senza coinvolgere persone grazie all'ora tarda. Altri hanno sfiorato il residence e si sono arrestati nel cortile a

lato. Alcuni blocchi hanno tuttavia demolito un ristorante e la sede di uno sci-club, fortunatamente disabitati.

Il 22 maggio 2010, a seguito di un sopralluogo dell'UTC di Bardonecchia e del CFAVS con l'elicottero dell'Ispettorato Dipartimentale del Vigili del Fuoco-Nucleo Elicotteri il Sindaco di Bardonecchia ha disposto l'accesso alla Valle Stretta per mezzi fino a 35 q mediante l'utilizzo della pista da fondo che percorre la sponda destra del corso d'acqua, previa realizzazione di un guado per attraversare il Rio Coche, a cura della Provincia; la Strada Provinciale è chiusa all'entrata dell'abitato di Melezet e tutta l'area interessata dal crollo è interdetta al pubblico.

Il 24 maggio 2010, nel corso di una riunione presso il Comune di Bardonecchia, vengono individuati i primi interventi urgenti:

- demolizione con mine alcuni blocchi instabili rimasti aggettanti sulla corona di frana e di due blocchi di notevoli dimensioni presenti sul cono detritico sottostante;
- svuotamento del vallo, diminuendo la pezzatura dei blocchi più grossi con esplosivo; contestuale utilizzo dei blocchi per la realizzazione di un argine davanti al Residence;
- demolizione di quanto rimane del Ristorante e dello Ski Club;
- ordinanza di sgombero e inagibilità per il Residence che dovrà permanere sino a quando non sarà certificata la messa in sicurezza del versante;
- creazione di una deviazione della SP216 in destra idrografica e installazione di un Bailey per il riallaccio alla strada in sinistra a monte della zona interessata dalla caduta massi.

Alla fine di maggio 2010 viene completato da parte del CFAVS il censimento dei blocchi impattati nel vallo, sul sedime della SP 216 e nelle adiacenze del Residence.

Il 18 giugno 2010 è stato completato lo sgombero dei blocchi franati sul piazzale del ponte e lungo la strada del residence "Torino 2006".

Successivamente è stato realizzato sul sedime della SP 216, a protezione degli edifici, un argine provvisorio in materiali ghiaiosi.

Il 23 giugno 2010, alle 16:30, è stata eseguita dalla ditta Piemonte Disgaggi di Bussoleno (TO) la volata per il disgaggio di un blocco pericolante in corrispondenza della corona di frana e di una scaglia rocciosa staccata. Costo: € 69.500,00 + IVA.

Il 29 giugno 2010 è stato eseguito il disgaggio manuale, per mezzo di pistone idraulico, di un blocco pericolante situato in corrispondenza della corona di frana. Il blocco si è frantumato all'impatto della bastionata rocciosa alla base della parete, dividendosi in numerosi frammenti. Un frammento di limitate dimensioni ha raggiunto il sedime stradale di fronte all'edificio abbandonato (ex ristorante); un secondo blocco, di dimensioni m 2 x 2 x 0,6 ha percorso l'intero pendio e si è arrestato contro l'intradosso dell'argine provvisorio in terra appena ultimato.

Il 13 luglio 2010 è stata eseguita la demolizione dei massi di maggiori dimensioni mediante esplosivo. Successivamente il vallo è stato svuotato e risagomato. Con questa operazione le lavorazioni sono concluse.

Durante l'estate 2010 è stato eseguito il rilievo geomeccanico della parete dal Dott. Geol. D. Fontan (SEA Consulting).

Nell'autunno 2010 è stato eseguito un rilievo secondo la metodologia laser-scanner dalla SIR di Torino. Il rilievo, avente una accuratezza di 10 cm per lato, garantisce la più esatta rappresentazione possibile della parete allo stato dell'arte. Può essere inoltre utilizzato come monitoraggio topografico, se ripetuto nel tempo, poiché il confronto multitemporale permette di evidenziare le zone in spostamento.

Nel settembre 2010, il Comune integra la Variante Generale al PRGC con l'elaborato cartografico del CFAVS recante la localizzazione dei massi caduti.

5 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il settore di intervento risulta localizzato nel territorio comunale di Bardonecchia, alla testata del bacino della Dora Riparia e del suo ramo vallivo laterale sinistro formato dalla Dora di Bardonecchia, più precisamente in sinistra idrografica rispetto al Torrente Dora di Melezet (detto anche Rio di Valle Stretta), a monte della località omonima nei pressi della antica cappelletta del Sacro Cuore.

La valle del T. Melezet si sviluppa a monte dell'abitato di Bardonecchia, dapprima orientata all'incirca NNE-SSW, successivamente, dopo una brusca deviazione di circa 90°, in direzione NW fino alle pendici del Monte Tabor in territorio francese. Tali orientazioni risultano corrispondere a quelle di principali sistemi di discontinuità strutturale di importanza regionale (faglie e contatti tettonici).

Essa rappresenta una delle quattro incisioni vallive principali, insieme a quelle dei valloni di Rochemolles, della Rho e del Frejus, che costituiscono la testata del sottobacino della Dora di Bardonecchia, importante affluente di sinistra della Dora Riparia nella alta Val di Susa, in cui va ad immettersi in corrispondenza dell'abitato di Oulx.

Il settore di interesse appare localizzato in sinistra idrografica della Dora di Melezet, coinvolgendo le pareti rocciose delle Rocce del Rouas e le associate falde detritiche poste alla base del pendio, oltre al settore di fondovalle di natura alluvionale torrentizia su cui sono presenti la S.P. 216, l'antica strada comunale Bardonecchia-Melezet, ed il settore attualmente edificato posto a monte della Cappella del Sacro Cuore.

Tale settore, compreso tra la base del pendio in sinistra idrografica ed il greto del torrente, corrisponde ad un settore di fondovalle di origine alluvionale, che si raccorda piuttosto bruscamente con il versante laddove termina la falda detritica derivante dal progressivo disfacimento della soprastante parete rocciosa.

Il settore che sarà sede dell'intervento di protezione nei confronti dei fenomeni di caduta massi corrisponderà appunto alla fascia di raccordo posta alla base della falda detritica, coinvolgendo nella sua porzione NE il settore a tergo della S.P. 216 e nella porzione SW, a monte delle villette residenziali, la stessa sede stradale ed il pianoro di natura alluvionale, in assenza di un adeguato spazio disponibile alla base del pendio detritico-roccioso.

6 CARATTERI GEOLOGICI REGIONALI

6.1 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

Per la redazione della presente relazione si è fatto ricorso, oltre a rilievi e prove dirette di terreno, ad un'analisi multitemporale di fotografie aeree ed al seguente materiale bibliografico:

- *“Analisi storica e geomorfologica del versante sinistro del torrente Dora di Melezet interessato dalla frana del 21 maggio 2010”* redatto dalla Dott.sa Laura Turconi, e *“Relazione geologica e simulazioni numeriche”* redatta dal Dott. Geol. Dario Fontan di Sea Consulting srl di Torino, nell'ambito delle proposte di intervento condotte a cura del Consorzio Forestale Alta Valle Susa - gennaio 2011;
- *Allegati geologici della Nuova Variante di PRGC*, redatti dal Dott. Geol. E. Zanella e dal Dott. Geol. P. Leporati;
- *Carta geologica d'Italia in scala 1:50.000, Foglio 153 Bardonecchia*;
- Studio *“Interventi di protezione contro la caduta massi in loc. Sacro Cuore a Melezet”*, redatto dal Dott. Geol. E. Zanella nel giugno 1999.

Come si può osservare dai documenti bibliografici raccolti e dalle osservazioni dirette, l'area in oggetto ricade in uno stretto fondovalle alluvionale di forma triangolare compreso tra l'unghia di un vasto, potente e antico accumulo di paleofrana in destra idrografica, completamente formato e stabilizzato, e una estesa falda di detrito in sinistra idrografica proveniente dalla parete in roccia soprastante delle Rocce del Rouas (dorsale meridionale delle Quattro Sorelle).

Verso valle, questo modesto fondovalle alluvionale formato dalla Dora di Melezet appare costretto e sbarrato dall'ampio apparato di conoide alluvionale e di deiezione generato dal rio Fosse, proveniente dalla bastionata rocciosa in fortissimo dissesto idrogeologico presente in sinistra orografica, a valle (in direzione Nord) del settore di maggiore interesse per il presente studio.

Come si vedrà in seguito il fenomeno gravitativo presente in destra idrografica viene classificato quiescente e stabilizzato (almeno nella sua porzione basale) anche negli studi geologici allegati alla Nuova Variante di PRGC di Bardonecchia, allegati a fine testo.

Le criticità del sito derivano pertanto esclusivamente dalla possibilità di distacchi di porzioni di roccia o massi isolati dalla parete presente in sinistra idrografica, che in passato hanno raggiunto il settore dove è attualmente presente il ponte sulla Dora, il nucleo residenziale realizzato in concomitanza con le Olimpiadi di Torino 2006 (in precedenza occupato dall'ex Albergo Imperia) e la cappelletta del Sacro Cuore.

6.2 STRUTTURA GEOTETTONICA REGIONALE

L'Alta Valle Susa si sviluppa all'interno di un settore della catena alpina, interessata da una lunga e complessa storia deformativa, non ancora completamente esaurita, caratterizzata da fasi antiche con stili deformativi di tipo duttile e fasi più recenti (periodo tardo-orogenico alpino) di tipo fragile.

L'evoluzione strutturale recente della catena è caratterizzata da una intensa deformazione di tipo fragile, che si manifesta con una serie di discontinuità meccaniche che condizionano i principali tratti morfologici del territorio e il comportamento geomeccanico dell'ammasso roccioso. Più precisamente sono individuati tre sistemi principali di faglie, la cui orientazione media, è N60°, N100°/N140°. Il sistema diretto N60°, con distribuzione dei valori di direzione tra N40° e N70°, presenta sistemi coniugati di tipo distensivo con piani immergenti a NW e SE e marcate evidenze di movimenti trascorrenti sinistri. Il sistema diretto N100°/N140° mostra un debole carattere trascorrente destro ed evidenze di distensione con prevalente ribassamento dei lati meridionali.

Nell'area in esame ricopre un ruolo fondamentale la "neotettonica", ovvero lo studio dell'evoluzione geodinamica recente estesa ad un intervallo di tempo sufficiente per inquadrare correttamente la tettonica in atto, e, permettere valutazioni sugli attuali tassi di deformazione crostale. L'evoluzione tettonica delle alpi occidentali, nonostante la lunga e complessa storia deformativa, non risulta esaurita ed i movimenti di origine tettonica, sebbene di intensità molto minore, sono ancora in grado di determinare effetti rilevanti, come ad esempio:

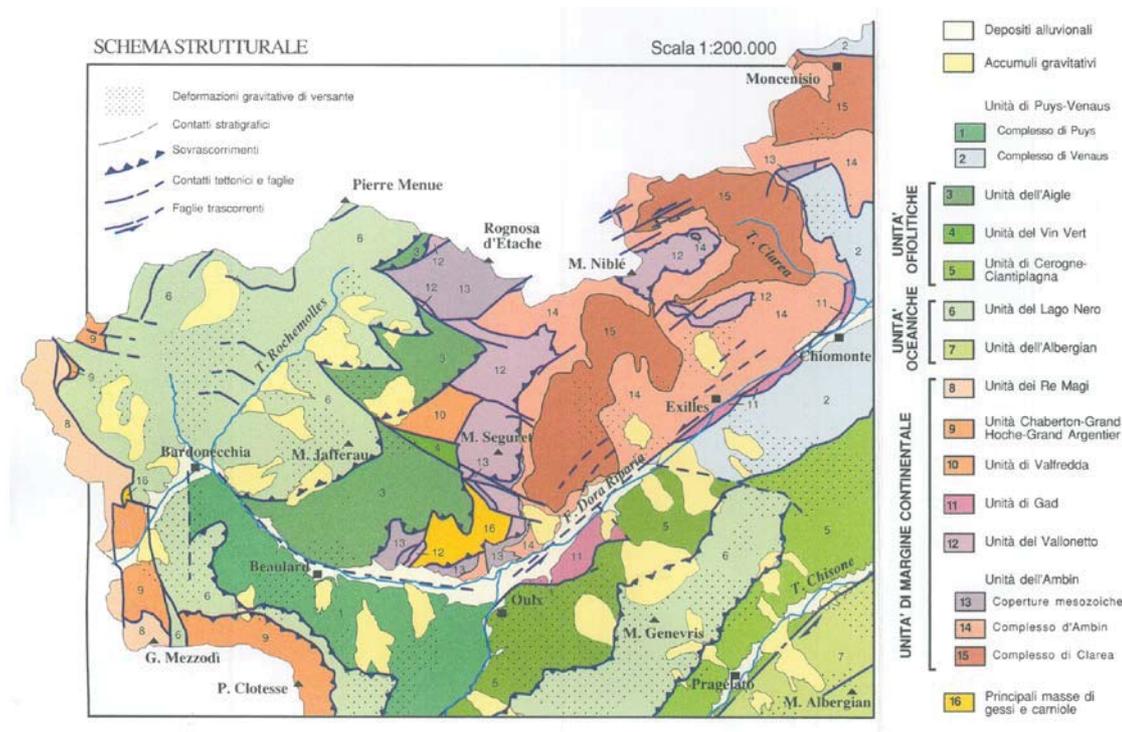
- L'attività sismica della bassa Val di Susa e del Pinerolese;
- L'impostazione delle grandi deformazioni gravitative presenti sui versanti dell'alta Valle Susa.

Lo studio dell'attività neotettonica svolto nell'ambito della elaborazione del Foglio geologico 153 - Bardonecchia, si è basato sull'analisi strutturale delle deformazioni tettoniche che interessano le formazioni superficiali o che presentano indicatori cinematici a carattere superficiale. Evidenze strutturali, stratigrafiche e morfologiche relative all'evoluzione neotettonica sono state rilevate lungo una fascia ad ampiezza chilometrica, a direzione N60°E, che comprende i settori delle Valli Susa e Chisone e del relativo spartiacque. All'interno di questa fascia sono presenti deformazioni superficiali e faglie subverticali con direzioni prevalenti N60°E e N120°E.

Nel substrato roccioso queste faglie tagliano tutte le discontinuità strutturali rilevabili, interessando a volte anche le coperture superficiali. Gli stessi sistemi di discontinuità fragili più frequenti definiscono le aree di maggiore concentrazione dei depositi quaternari e delimitano molti accumuli gravitativi.

In particolare, l'incisione percorsa dalla Dora corrisponde ad una successione di faglie trascorrenti individuate tra Susa ed Oulx, Oulx e Beaulard, Beaulard e Bardonecchia. Il settore in sinistra della valle è inoltre dislocato da importanti elementi distensivi con andamento N120°E. queste evidenze lasciano supporre che questo settore alpino abbia registrato recenti episodi di deformazione. La concentrazione di frane e deformazioni gravitative profonde che caratterizzano il settore Susa-Chisone potrebbe testimoniare

anche che il principale campo di sforzi individuato, la zona di taglio in transtensione orientata N60°E, interagisce con la morfogenesi attuale (GIARDINO & POLINO, 1997). Sulla base di questi elementi si può ipotizzare che lo stesso campo di sforzi condizioni in misura fondamentale il comportamento geomeccanico dell'ammasso roccioso sia in superficie che in profondità.



Schema tettonico

6.3 ASSETTO GEOLITOLOGICO REGIONALE

La porzione di territorio alpino sottesa dal bacino idrografico della Dora Riparia - Dora di Bardonecchia e dai suoi rami minori affluenti, al cui interno è localizzata l'area oggetto del presente studio, può rappresentarsi secondo uno schema geologico-strutturale relativamente semplice, che tuttavia può apparire estremamente complicato alla scala locale da disturbi tettonici sovente mascherati dalla copertura quaternaria.

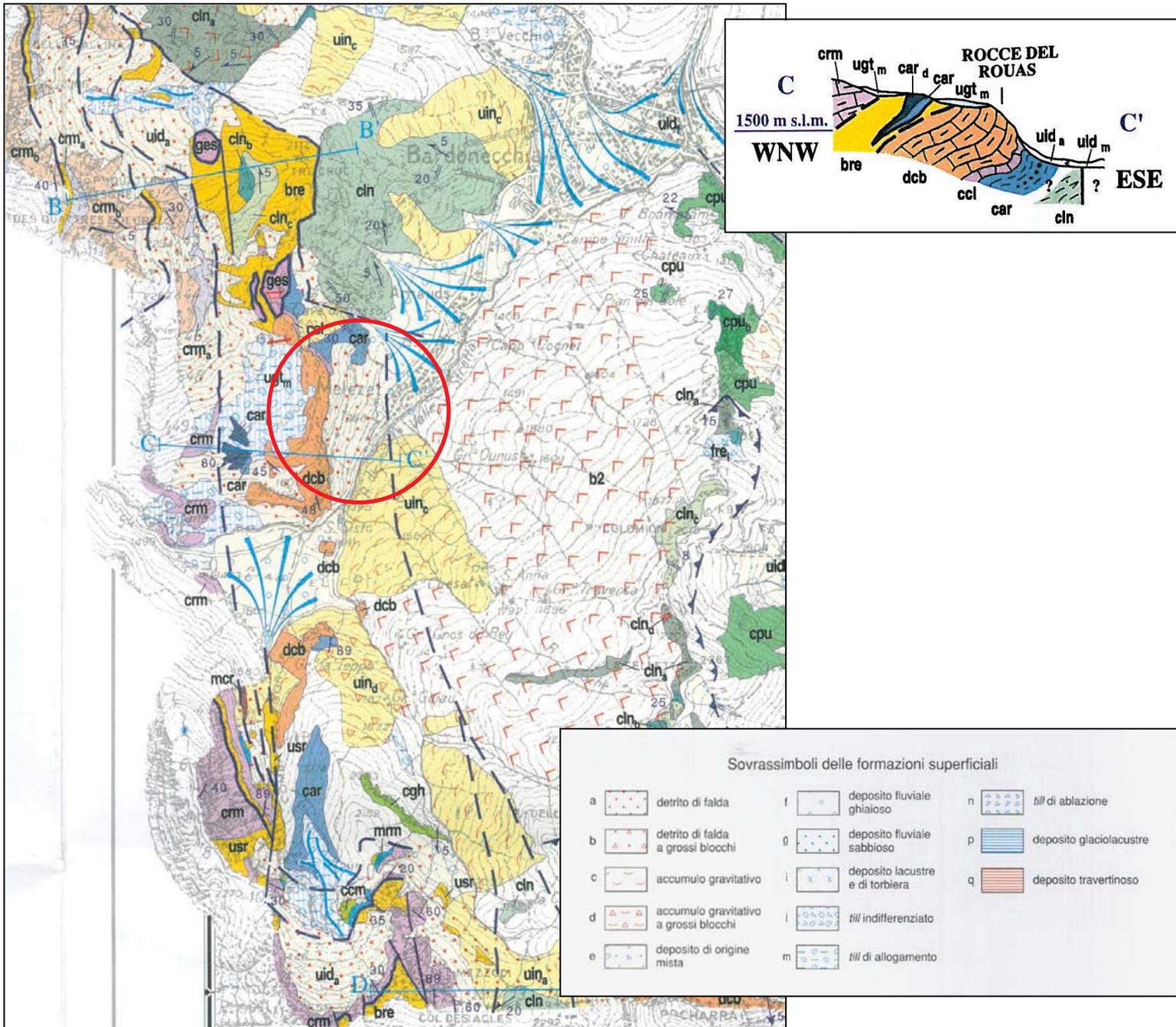
Gran parte del territorio corrisponde all'areale di affioramento d'una potente pila di rocce metamorfiche di età Mesozoica, appartenenti al gruppo litologico del cosiddetto "Complesso dei Calcescisti con Pietre Verdi" (recentemente distinta localmente in Unità tettonostratigrafica del Lago Nero), avente un assetto strutturale locale grossomodo monoclinale, ma in realtà rappresentato da una struttura costituita da una sinclinale coricata, con piano assiale immergente verso WNW.

Ad est, la formazione dei calcescisti si sovrappone a bancate d'altre rocce "cristalline" (dolomie e quarzoscisti) del Mesozoico inferiore (Trias), che a loro volta avviluppano l'ellissoide gneissico di età pre-secondaria del gruppo montuoso dell'Ambin.

Verso ovest (ovvero in corrispondenza del settore di maggiore interesse ai fini del presente studio), i calcescisti s'immergono sotto un fascio di pieghe fagliate ad assi orientati NNW-SSE, costituite da litotipi triassici prevalentemente calcareo-dolomitici con al

nucleo delle strutture anticlinali terreni filladico-arenaceo-conglomeratici del Paleozoico Superiore, attraverso contatti di tipo tettonico.

Nel settore di interesse, al di sotto di una copertura quaternaria di tipo detritico ed alluvionale di consistente spessore, il substrato roccioso costituito dalla formazione dei calcescisti si immerge verso ovest al di sotto delle formazioni di tipo calcareo dolomitico costituenti la parete rocciosa da cui avviene il dista



Carta geologica d'Italia in scala 1:50.000 - Foglio 153 Bardonecchia, con sezione C-C'

Le aree di affioramento di queste formazioni del Trias si estendono ai due lati della grande sinclinale dei calcescisti:

* sul lato Est, nell'inviluppo autoctono del massiccio d'Ambin, su una fascia larga in media 2,5 Km negli alti valloni di Rochemolles, allungata in direzione N-S dalla Punta di S.Michele al monte Vin Vert;

* sul lato Ovest, assai più estesamente nella cordigliera Brianzonese (dove ai termini triassici si affiancano termini precarboniferi), oltre una linea diretta all'incirca NO-SE dal Colle della Rho alla Punta Charrà: sul versante destro della Valle della Rho, per tutta la Valle Stretta, alla testata e su un settore del fianco sinistro della Val Melezet.

La serie stratigrafica si presenta con i suoi litotipi più profondamente metamorfosati (a facies piemontese) a levante della sinclinale dei calcescisti, nell'inviluppo del massiccio d'Ambin (appartenente come Dominio alla Falda del Monte Rosa); meno metamorfosati (a facies brianzonese) a ponente della sinclinale, nell'affioramento della Falda del Gran S.Bernardo.

La formazione più sviluppata è quella del Trias medio-superiore, rappresentata dal termine "dolomia passante a calcare magnesiaco": la dolomia si ritrova fossilifera, grigia, a tessitura microgranulare, in banchi potenti (facies brianzonese), oppure con tessitura subsaccaroide, netta stratificazione, di colore chiaro, con giunti a spalmature micacee e con passaggi a calcescisti (facies piemontese), in ogni caso fittamente reticolata da litoclasti calcitiche.

Spesso le dolomie includono lenti di anidrite e di gessi, saccaroidi, candidi, intorno alle quali la roccia è trasformata in carniola, brecciata, cariata, d'aspetto tufaceo e di colore rossastro. Banchi di gessi e carnioli risaltano per la loro vistosa colorazione (e per la loro degradazione superficiale) sulle pareti della Valle Stretta e alla testata della Val Melezet.

Alla sommità della serie stratigrafica triassica (Retico) compare un sottile livello di calcari più o meno magnesiaci, talora brecciati, fossiliferi, con giunti a spalmature ocracee (banchi nel passaggio dolomia-calcescisto nell'alta Val Melezet).

Concordano, stratigraficamente, con queste formazioni mesotriassiche quelle del Trias inferiore, con litotipi rappresentati da quarziti subsaccaroidi a sottili e distanziati letti muscovitici paralleli, localmente passanti alla base ad anageniti (a facies brianzonese).

Come si osserva per tutto il fianco destro della Valle Stretta, alle quarziti triassiche sottostanno direttamente le formazioni terrigene del Permo-Carbonifero, che vengono a giorno planimetricamente intercalate in due larghe fasce parallele, orientate in senso NW-SE.

6.4 TERRENI DI COPERTURA QUATERNARIA

Dal complesso dei processi di degradazione esogena delle rocce affioranti e a seguito dell'asportazione (erosione) di materiali detritici risultanti dalla loro degradazione, dal convogliamento, classazione, rideposizione del deposito ad opera di vari fattori naturali meccanicamente attivi, si sono innescati durante il quaternario dei fenomeni di accumulo di materiali lapidei sciolti ("terreni di copertura"), sovrapposti al substrato costituito da rocce cristalline, e che risultano tuttora attivi.

I terreni di copertura presentano strutture, composizioni e requisiti applicativi differenti. Su tale base vengono classificati nelle principali seguenti categorie:

- Il detrito di falda si accumula per semplice azione di gravità in falde e scarpate ai piedi delle pareti, formato da elementi monogenici di grosse e medie dimensioni, angolosi, freschi. Vasti pendii detritici, incoerenti, uniformi, si sviluppano ai lati dei fondovalle, rivestendo, per centinaia di metri in altezza, i versanti di roccia dolomitica su ambo i lati della Valle Stretta. Meno estese e meno tipiche sono le falde detritiche da disgregazione di roccia calcescistosa, che spesso sfumano in coltri di eluvione dalla quale non è facile distinguerle.
- Il deposito eluviale, a materiale detritico monogenico alterato fino a risolversi parzialmente in sabbia e limo argilloide d'aspetto terroso (che nel livello superficiale, arricchito di sostanza organica, forma il suolo vegetale) semicoerente o pseudocoerente, di tinta bruna, riveste i pendii mediamente inclinati, dove molto lentamente fluisce in basso (creeping). Scarsa ed in placche sottili sopra la roccia dolomitica, forma coltri estese e continue anche per molti chilometri quadrati sui versanti di roccia calcescistosa sotto 2200-2000 m. Su pendii a debole inclinazione l'accumulo di eluvione scoscesa dall'alto origina sacche più spesse, naturalmente rimaneggiate, di colluvium.
- I depositi glaciali sono stati alimentati dal detrito roccioso franato sui ghiacciai in continuo movimento di discesa, convogliati da questi e abbandonati alle loro fronti o ai lati sul loro letto roccioso. Nella morena sono caoticamente associati elementi poligenici, anche di cospicue dimensioni, freschi, angolosi o rotolati, con una frazione limosa ("argilla glaciale") in varie proporzioni. Depositi glaciali di fondo, in buona parte rielaborati ed eluviati, messi in posto dal ghiacciaio pleistocenico, rivestono largamente i versanti in roccia calcescistosa, dai fondovalle su per 300-500 m d'altezza, dove passa a prodotti eluviali verso l'alto. Quasi sempre attualmente questi depositi glaciali si rinvengono rielaborati ed associati ad altri tipi di deposito, cosicché risulta difficile riconoscerli e separarli cartograficamente dai depositi eluviali, detritici e colluviali presenti sui versanti a varie quote.
- Depositi costituiti da accumuli di frana, derivanti dalla mobilitazione di talora ingenti porzioni di versante, appaiono costituiti da elementi lapidei di varia pezzatura, angolosi, immersi in una matrice di composizione fortemente eterometrica, a struttura caotica.
- Depositi alluvionali torrentizi si ritrovano in fasce allungate nei fondovalle, depositate nel Quaternario superiore, in qualche tratto nettamente distinti ai lati delle scarpate detritiche o delle falde colluviali, altrove raccordati con esse. I depositi alluvionali sono formati da elementi eterometrici arrotondati di varia granulometria (blocchi, ciottoli, ghiaie e sabbie) mediamente decrescente da monte verso valle. La composizione riflette quella del bacino di alimentazione.

7 ASSETTO GEOMORFOLOGICO LOCALE

La geomorfologia di questo settore montano, originariamente tipica di un ambiente che subì in epoche passate una fase di intenso modellamento glaciale, con genesi di forme meno aspre e blandamente ondulate ancora riconoscibili sugli alti versanti, presenta in corrispondenza delle aste torrentizie i caratteri di un evidente e marcato ringiovanimento, con formazione di profonde incisioni erosionali delimitate da scarpate subverticali, interrotte saltuariamente da incisioni minori che si sviluppano con direzione perpendicolare rispetto all'asta torrentizia principale ed isolano ristrette dorsali e speroni rocciosi.

La struttura profonda del settore circostante a quello strettamente di interesse risulta rappresentata, dal punto di vista geologico, da un basamento roccioso costituito in destra orografica da litotipi afferenti al cosiddetto "Complesso dei Calcescisti con Pietre Verdi", cioè da calcescisti o calcemicascisti, mentre in sinistra orografica sono invece presenti esclusivamente litotipi calcareo-dolomitici triassici, in facies Brianzonese.

In sinistra il versante esposto verso est appare estremamente scosceso ed aspro, a formare alte pareti verticali laddove la roccia calcareo-dolomitica è più competente, interessato globalmente da fenomeni di crollo e di collasso gravitativo di porzioni più o meno notevoli di roccia, svincolate dai giunti di fratturazione esistenti. Nell'attivazione di questi fenomeni uno dei fattori predisponenti è sicuramente l'azione crioclastica, per cui i momenti più pericolosi risultano essere statisticamente quelli preinvernali e primaverili, ovvero quando il ghiaccio va a sciogliersi all'interno delle fratture svincolando di fatto le "saldature" invernali.

Alla base del versante la morfologia della falda detritica si raccorda gradualmente con la fascia subpianeggiante del fondovalle alluvionale del T. Melezet, costituita da sedimenti sabbioso-ghiaioso-conglomeratici localmente rielaborati in superficie dall'attività antropica.

Il deposito alluvionale è legato a fenomeni di alluvionamento torrentizio del fondovalle con processi di trasporto di massa fino a vere e proprie lave torrentizie (debris flows), che vengono innescate in concomitanza di eventi meteorici importanti, non necessariamente eccezionali, in un contesto idrodinamico ed idrogeologico di carattere prevalentemente erosionale. Si assiste così al verificarsi di successive e molteplici pulsazioni deposizionali, con formazione di accumuli di sedimenti anche molto consistenti ben presto nuovamente incisi ed asportati dalla successiva azione erosiva dei torrenti, caratterizzati da profili di fondo in forte disequilibrio (soprattutto alla testata) e con una elevata energia.

8 CARATTERIZZAZIONE DI DETTAGLIO DEL SITO DI INTERVENTO

Le pareti rocciose sovrastanti la S.P. 216 nel settore di interesse sono costituite da bancate calcareo-dolomitiche fortemente tettonizzate e fratturate, immergenti mediamente ad alto angolo verso W, che generano pareti e bastionate sub-verticali in evidente dissesto di tipo gravitativo essenzialmente per fenomeni di crollo e ribaltamento.

Alla base delle pareti rocciose esposte è presente una estesa falda di detrito generatasi in conseguenza dei fenomeni di dissesto, di spessore plurimetrico alla base del pendio, che si estende e si innalza per circa 150-200 m circa fin sotto le prime pareti rocciose e si interdigita alla base del pendio con i depositi di origine alluvionale del fondovalle.

I crolli, concentrati in alcuni settori più dissestati, di porzioni di roccia di varia dimensione hanno dato luogo alla formazione di estese falde alla base delle pareti ma anche di ripidi canali che interrompono la continuità della parete rocciosa. Si riscontra così la presenza di placche, lastroni, pilastri monolitici talora solo precariamente legati alle pareti incassanti e facile preda degli agenti disgregatori naturali, in primis i citati fenomeni crioclastici, ma anche le intense piogge.

Inoltre un elemento attivante i fenomeni di crollo può essere rappresentato dalle scosse sismiche, in grado di innescare il superamento della soglia di equilibrio delle precarie condizioni limite dei volumi rocciosi instabili. Non bisogna infatti considerare che il contesto locale risulta caratterizzato da una notevole attività neotettonica.

In corrispondenza del settore sovrastante gli esistenti edifici residenziali-turistici, interessato dal fenomeno parossistico del 2010, si riscontrano le condizioni geomorfologiche più preoccupanti, con possibilità di futuro innesco anche di crollo di porzioni elevate di roccia.

Il pendio, a partire dalla S.P. e fin sotto la barriera rocciosa, è costituito da un cono detritico attualmente non più boscato (contrariamente a quanto si osserva sulle fotografie scattate in precedenza) il cui apice si insinua fin sotto un primo salto di roccia presente verso q. 1525. Da tale salto ha preso origine in crollo in massa avvenuto a maggio 2010.

Al di sopra di questo settore si apre una sorta di angusto anfiteatro a fondo roccioso molto ripido e ricoperto da placche di detrito di falda, chiuso da pareti subverticali con lastre e pilastri di roccia in posizione precaria.

Tutta la massa rocciosa si presenta in condizioni di intensa fratturazione e alterazione superficiale, soprattutto sul fianco destro dell'anfiteatro e al fondo, dove si ha la presenza di un grande monolito verticale. Nella formazione di volumi rocciosi instabili gioca un ruolo l'orientazione dei principali sistemi di discontinuità ed in particolare un fascio di giunti di faglia orientati concordemente all'orientazione del versante.

La genesi dell'anfiteatro è evidentemente legata ad un susseguirsi di frane di crollo nella porzione rocciosa sovrastante il primo salto di roccia, con scarico ai piedi di questo e formazione del cono sottostante fino alla base del pendio.

L'intensa fratturazione della compagine rocciosa se da un lato determina un facile attacco da parte degli agenti disgregatori dall'altro comporta però una frammentazione molto spinta delle porzioni rocciose coinvolte nel crollo, con formazione di abbondante detrito a pezzatura medio-piccola e pochi blocchi di volume superiore e $1-2 \text{ m}^3$.

Ciò è direttamente riscontrabile dall'esame del materiale costituente il cono detritico e dalle tracce ancora individuabili sul terreno di fenomeni di crollo avvenuti anche in epoca recente.

La massima parte dei blocchi appare arrestata alla base del pendio mentre un numero subordinato di elementi lapidei risulta avere storicamente superato la strada.

L'oggettivo stato di pericolo della zona aveva già indotto il dott. Geol. E. Zanella negli anni '90 ad effettuare una approfondita indagine intesa a proporre soluzioni atte a contenere il pericolo della caduta massi nel tratto di pendio considerato. Tale indagine, basata su ricostruzioni cinematiche dei fenomeni di crollo e rotolamento, ha portato il dott. Zanella a prevedere a suo tempo, sulla base dei dati a quel tempo a disposizione, due tipi di interventi di difesa, dividendo il fronte della S.P. in due settori, uno più completo a protezione dell'ex Albergo Imperia, l'altro a protezione dell'area compresa tra l'albergo

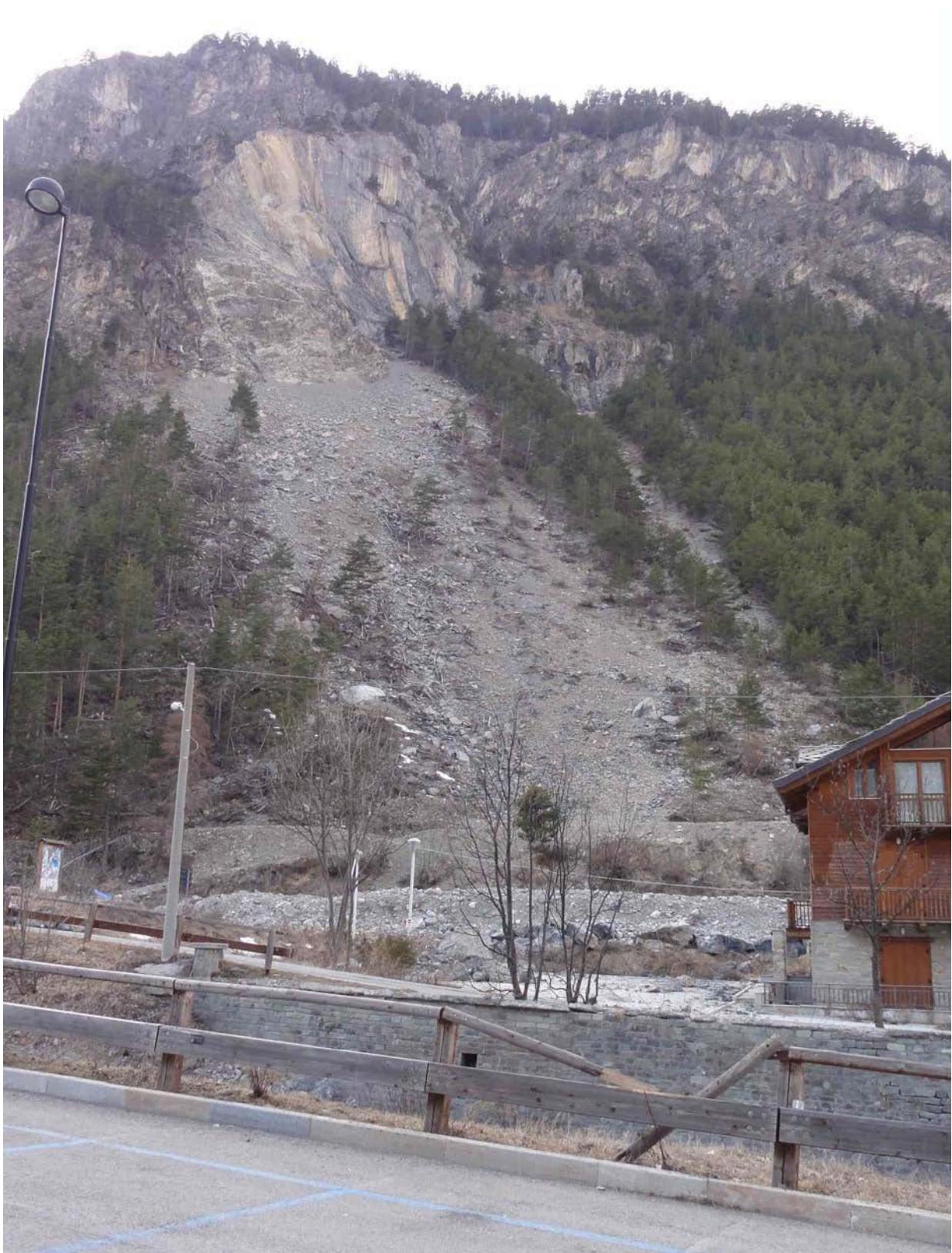
stesso e la Cappella del Sacro Cuore. A titolo esemplificativo della condizione di dissesto sussistente in precedenza, si riportano alcune fotografie scattate nel 2001.



Un altro settore che appare in grave dissesto è posto a monte del precedente, nel tratto dove attualmente sono presenti le recenti terre rinforzate costruite dalla Provincia di Torino a difesa della sede stradale, dove è presente un profondo canalino di scarico alimentato da pareti in

roccia fortemente fratturate e degradate; una di queste fenditure attraversa il piccolo bacino di alimentazione in direzione all'incirca parallela all'esposizione principale del versante, isolando geometricamente una grossa porzione di roccia che comprende anche il settore di distacco precedentemente descritto.

Tale incisione, come si vedrà nel seguito, risulta essere sicuramente una delle direttrici di caduta massi preferenziale, unitamente al settore già oggetto del distacco avvenuto nel maggio 2010.



Settore interessato dal crollo maggio 2010



Settore di parete posto a monte dell'area dell'evento 2010, dove sono individuabili altre porzioni di roccia potenzialmente soggette a crollo anche per volumi consistenti.

9 FENOMENI DI PERICOLO DA VALANGA

La ricerca della documentazione bibliografica esistente sull'argomento relativamente all'area oggetto di intervento ha evidenziato l'assenza di fenomeni valanghivi storicamente noti.

La Carta delle Valanghe in scala 1:25.000 facente parte delle indagini geomorfologiche a supporto della Variante Generale di PRGC di Bardonecchia, redatta dai Dott. Geol. E. Zanella e P. Leporati, non segnala infatti l'esistenza di alcuna fenomenologia di questo tipo in corrispondenza dell'area in cui è previsto il PEC, e nemmeno in un intorno significativo, come si può osservare nello stralcio cartografico allegato a fine testo.

Tale documento ufficiale è stato prodotto tenendo conto delle fonti scientifiche esistenti, che per l'area di interesse sono rappresentate dalla *"Carta di localizzazione probabile delle valanghe"* della REGIONE PIEMONTE e dall'*"Archivio storico-topografico delle valanghe italiane"* (Provincia di Torino) a cura di Capello C.F.

Si evidenzia, in ogni caso, che l'opera in progetto ha una funzione di protezione anche nei confronti di tali tipologie di fenomeni.

10 ESTRATTO DALLA "RELAZIONE GEOLOGICA E SIMULAZIONI NUMERICHE" CONDOTTE DA SEA CONSULTING S.R.L.

Lo studio del Dott. Geol. Dario Fontan di SEA CONSULTING di Torino ha analizzato nel dettaglio le caratteristiche fisiche del fenomeno attivatosi nel 2010, proponendo altresì una serie di proposte operative per la minimizzazione del rischio.

La nicchia di distacco della frana attivatasi nel maggio 2010 è ubicata in una parete verticale rotta da alcune cenge erbose e boscate costituita da dolomie dello Chaberton ed appartenenti all'unità tettonostratigrafica dello Chaberton-Grand Hoche-Gran Argentier.

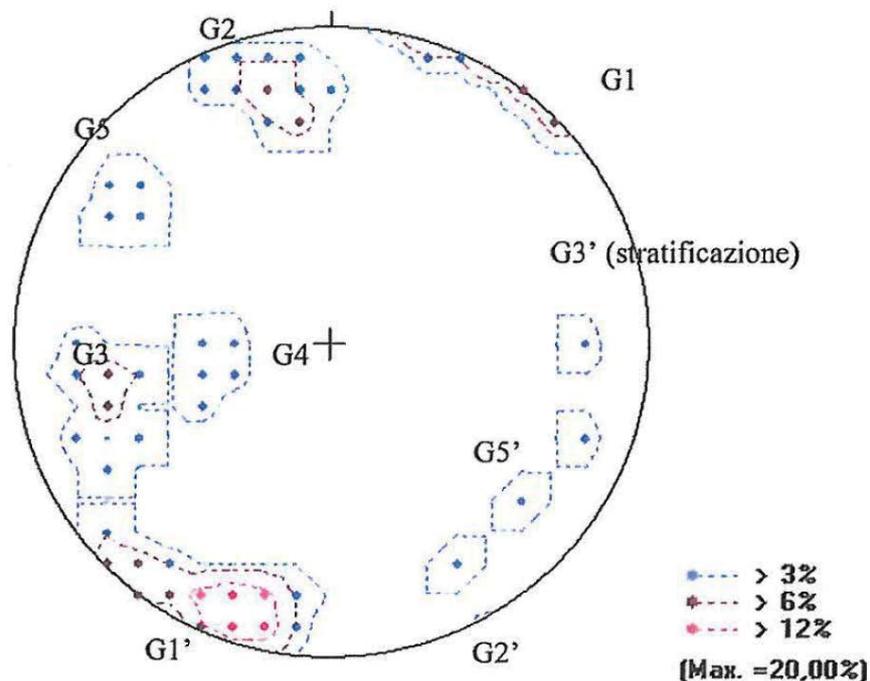
È interpretata come una scaglia tettonica pizzicata tra l'unità tettonostratigrafica dei Re Magi (al tetto) e l'unità del Lago Nero (al letto).

La parete è costituita da una successione ciclica di banchi di spessore decimetrico a metrico di dolomie grigio scure o giallastre. I banchi sono separati da almeno due orizzonti pelitici di spessore decimetrico (ora trasformati in scisti nerastri fittamente pieghettati), uno dei quali in corrispondenza di una cengia.

Sulla base del contenuto fossilifero hanno un'età norica (circa 200 milioni di anni fa) (Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1 :50.000, foglio 153 Bardonecchia).

Il rilevamento strutturale eseguito in parete durante il sopralluogo ha permesso di riconoscere almeno 5 sistemi di giunti, spesso coniugati, che sono di seguito descritti:

- sistema G1, G1': sistema coniugato subverticale la cui direzione di immersione è rispettivamente di N40°E e N220°E. In prevalenza agisce come giunto di tensione posteriore.
- sistema G2, G2': sistema coniugato subverticale la cui direzione di immersione è rispettivamente di N160°E e N330°E. In prevalenza agisce come giunto di svincolo laterale. Nei solidi S1 ed S2 (vedi oltre) agisce come superficie basale.
- sistema G3, G3': sistema coniugato subverticale la cui direzione di immersione è rispettivamente di N80°E e N260°E. In prevalenza agisce come giunto posteriore. Il sistema di giunti è parallelo alla stratificazione.
- sistema G4: il sistema è all'incirca parallelo al precedente (G3) anche se meno inclinato. È probabile che a grande scala i sistemi G3 e G4 formino una struttura tipo "SC". Immergono a medio angolo verso N90°E.
- sistema G5, G5': sistema coniugato subverticale la cui direzione di immersione è rispettivamente di N120°E e N300°E. In prevalenza agisce come giunto di svincolo laterale.



Plot stereografico dei principali sistemi di discontinuità (da Fontan 2011)

Il crollo avvenuto a maggio 2010 ha coinvolto diedri formati dai giunti dei sistemi G1 (85° - $>234^\circ$) e G2 (74° - $>130^\circ$), svincolati al piede dal sistema G5 (56° - $>126^\circ$). La volumetria del crollo è stata stimata in circa 2.000 m^3 .

La studio del dott. Fontan ha inoltre cercato di individuare altre possibili sorgenti di distacco oltre a quella attivatasi nel 2010.

L'indagine di campagna eseguita con sopralluoghi anche in parete e mediante l'acquisizione di un rilievo tridimensionale ha permesso di identificare le aree di distacco della frana del 2010 e quelle potenziali che corrispondono a zone più fratturate e la loro volumetria. La fonte S3 appare maggiormente predisposta al distacco di massi singoli, mentre le altre (S1, S2, S4) appaiono maggiormente propense alla formazione di frane in roccia con volumetrie analoghe o superiori al crollo del maggio 2010 che possono in ogni caso essere fonti di massi singoli.

Inoltre il rilievo tridimensionale, i sopralluoghi nell'area boscata e le osservazioni dirette sui processi di caduta massi hanno premesso di individuare con una buona approssimazione le traiettorie più frequenti seguite dai massi in caduta, i solchi lasciati dal rimbalzo o dal rotolamento dei singoli massi o i segni d'impatto lungo il pendio contro alberi o affioramenti rocciosi, l'altezza dei rimbalzi e le zone di possibile frammentazione del blocco roccioso in seguito all'urto contro ostacoli o superfici rigide.

Un accurato rilievo planimetrico, eseguito dal CFAVS ha permesso di individuare le posizioni dei massi al piede del versante e le loro volumetrie da cui sono stati ricavati su base statistica i volumi massimi più probabili.

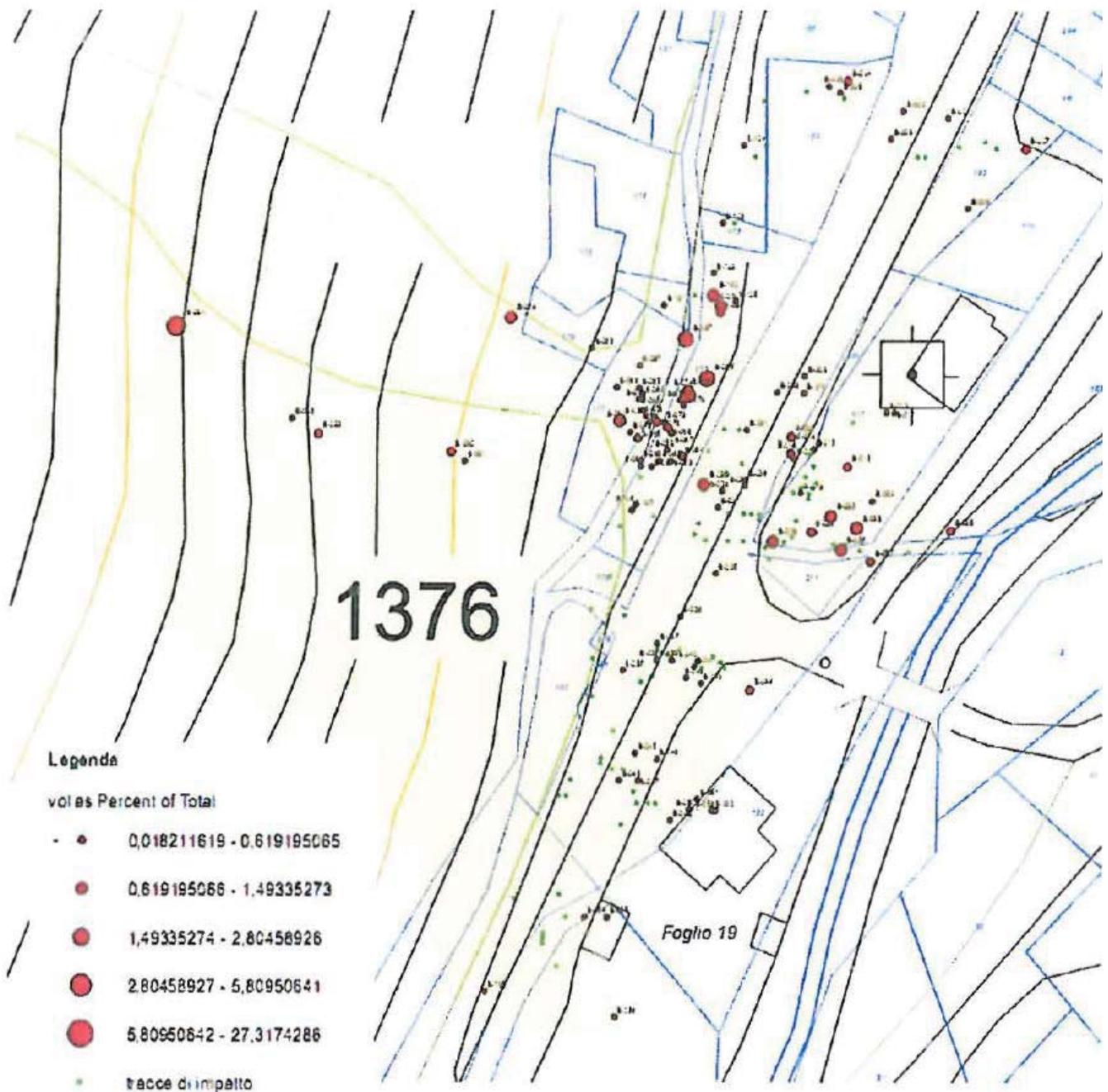
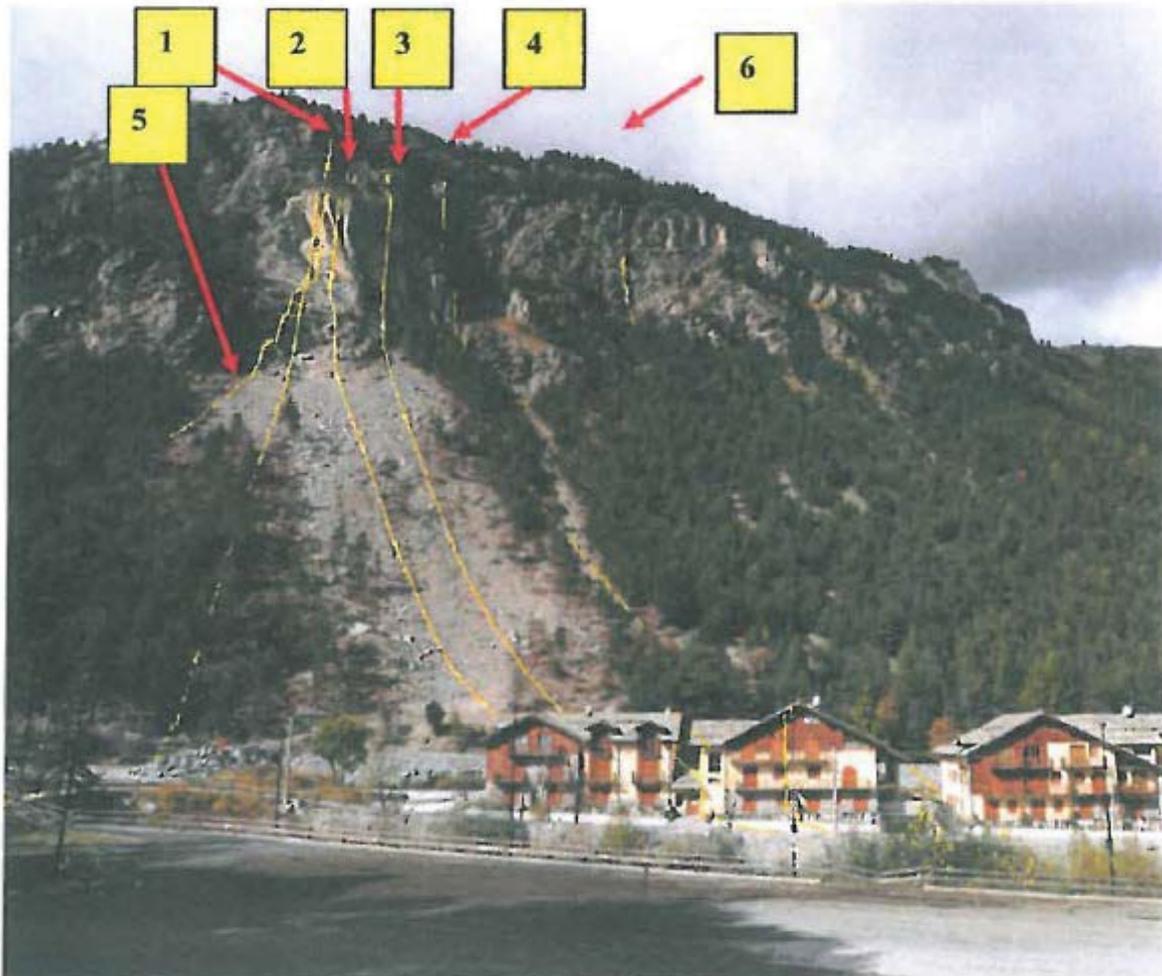


Figura 12 Ubicazione dei punti di arresto dei principali blocchi (fonte CFAVS, 2011)

Il sopralluogo in parete eseguito il 2-8 luglio 2010 ha permesso di individuare alcune possibili aree di distacco che sono state riportate nella successiva figura.



Ubicazione delle sezioni lungo le quali sono state effettuate le simulazioni numeriche ed individuazione delle aree di distacco (freccie rosse)

Si tratta, oltre che dell'area relativa al crollo 2010, di due aree con stato di fratturazione elevato e con grado di disarticolazione molto spinto (fratture in gran parte aperte). La massima volumetria che si può distaccare è di circa 10 m^3 .

Fotografie e filmati relativi al comportamento dei massi durante un distacco eseguito nell'ambito dei primi interventi di riduzione del rischio, hanno premesso di stimare i tempi di arrivo, l'altezza delle traiettorie e i punti di arrivo. In conformità a queste indicazioni è stata eseguita la calibrazione del modello cinematico (*back-analisy*) lungo la sezione 2.

In particolare la documentazione fotografica e video dei disaggi eseguiti il 23-06-2010 e il 29-06-2010 ha evidenziato che:

- dopo la frammentazione dovuta all'impatto su una cengia rocciosa, i primi massi impattano sul detrito sottostante dopo circa 4-6 s con una velocità media di 20-30 m/s, essendo l'altezza pari a circa 120m.
- i massi si arrestano al piede del pendio dopo 21 s circa. Il pendio è lungo all'incirca 190m e la velocità media è di circa 9 m/s.

- nei primi 50 m (dopo l' impatto) la velocità è di circa 12,5 m/s (50 m circa in 4 s). Un masso ha percorso i 50 m con due rimbalzi (la lunghezza media di un rimbalzo è di 25m).
- lo stesso masso ha percorso in 11 sec. i successivi 125 m (velocità di circa 11 m/s)
- a valle le velocità si riducono abbastanza rapidamente e dopo circa 100 m i massi si arrestano. I rimbalzi sono molto limitati e di altezza inferiore a 1 m circa.

Nel tratto di pendio tra le sezioni 1 e 2 le reti paramassi da 2.000 kJ come originariamente posizionate non erano sufficienti, infatti, le energie massime possono raggiungere i 4.000 – 4.400 kJ. Invece tra le sezioni 2 e 4 le energie appaiono molto minori e compatibili con una barriera da 1.000-2.000 kJ alta almeno 3 metri in modo da intercettare eventuali schegge.

Il terrapieno paramassi realizzato dalla Provincia di Torino intercetta tutti i massi e deve essere verificato strutturalmente.

Tra le sezioni 1 e 2 le barriere paramassi, viste le energie dei massi, non sono efficienti, come avvenuto nel crollo del maggio 2010. Si consiglia pertanto la costruzione di un terrapieno di contenimento realizzato in terra rinforzata e posto lungo la strada provinciale.

In questo modo si intercettano i massi con un'energia minore (al piede del pendio gran parte della loro energia è dissipata) e le operazioni di manutenzioni sono meno impegnative.

Estratti fotografici dallo studio geologico del dott. geol. Dario Fontan



3.4 Zona di distacco S4

Corrisponde ad un pilastro appoggiato alla parete con un volume di circa 10500 m^3 e separato da essa da un giunto posteriore aperto 20-30 cm (Figura 8) appartenente alla famiglia G1. La frattura posteriore è ben evidente nella parte centrale del pilastro e non è visibile alla base e presso la cima, dove non si osservano fessurazioni del terreno. Alla base del torrione si osservano fratture concoidi che sono state interpretate come fratture di compressione.

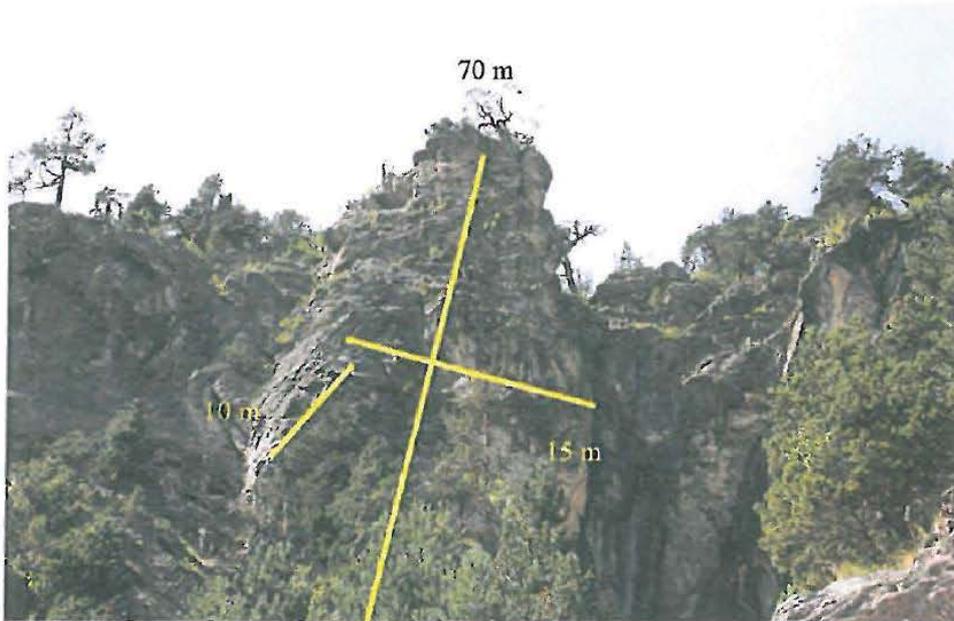


Figura 7 – Vista dal basso verso l'alto del pilastro S4.



Figura 8 – Vista laterale del pilastro S4. Sul lato orientale si osserva una frattura aperta circa 20-30 cm.

11 ANALISI DEI FENOMENI DI CADUTA MASSI

La presente sezione si propone di esaminare la situazione relativa alle condizioni di pericolosità della parete rocciosa in oggetto nei confronti dei fenomeni di caduta massi. Lo studio in oggetto è stato redatto con la collaborazione specialistica della Società AG3 srl, Spin Off dell'Università di Torino (Dipartimento di Scienze della Terra).

La parete è ubicata sul versante sinistro valle percorsa dalla Dora di Melezet, ed appare interessata da fenomeni di crollo di blocchi di roccia che vanno ad interessare manufatti ed attività situate immediatamente alle pendici della parete.

La prima fase del lavoro è consistita nell'eseguire un rilevamento speditivo dell'area di interesse (in considerazione dell'inizio del periodo di studio corrispondente all'inizio del mese di dicembre 2012), prendendo in esame aspetti morfologici, litologici e geomeccanici; contestualmente si è svolta l'analisi delle possibili zone di distacco e si è eseguito il censimento dei principali blocchi franati. A causa dei tempi e del periodo in cui sono iniziati gli studi, per tale approfondimenti si è fatto ampiamente riferimento alla relazione tecnica a firma del dott. geol. Dario Fontan dello Studio SEA di Torino.

Una volta terminata questa prima fase, tramite l'utilizzo di appositi software, come il Colorado Rockfall Simulation Program 2D - CRSP 2D - e il modulo r.DROKA, estensione dell'ambiente GRASS, si è redatto un modello del fenomeno gravitativo in due e tre dimensioni: si sono potuti così confrontare i risultati dei due applicativi che sfruttano modalità di calcolo differenti.

11.1 I PRINCIPI DELLA ANALISI PER CADUTA MASSI

La caduta di blocchi da una parete può avere origine da movimenti classificati da VARNES (1978) come crolli o ribaltamenti di roccia, i quali sono sempre in relazione a pendii molto acclivi, con pendenze superiori a 50°.

Il parametro più importante da tenere in considerazione per lo studio di una frana per crollo è sicuramente il *fabric* strutturale dell'ammasso roccioso, ed in particolare l'orientazione spaziale dei vari sistemi di discontinuità. Mediante i rilievi geomeccanici, integrati dalle prove di laboratorio, è possibile acquisire tutte le informazioni necessarie alla caratterizzazione del sito in esame; questo verrà suddiviso in porzioni dalle caratteristiche strutturali omogenee, ognuna delle quali verrà trattata separatamente.

Le verifiche della propensione al dissesto di un determinato settore comprendono due momenti separati di analisi: l'analisi cinematica e l'analisi di stabilità.

La prima considera i rapporti di intersezione tra i sistemi di frattura e la superficie libera dell'ammasso roccioso, per stabilire se l'orientazione delle discontinuità sia in grado di causare l'instabilità del sito. Il secondo passo consiste solitamente nella determinazione del rapporto tra le forze resistenti e quelle che causano il movimento del blocco (sforzi di taglio sulle discontinuità, effetto della pressione di poro, accelerazioni sismiche); solitamente si sfrutta il principio dell'equilibrio limite, e se ne ricava il cosiddetto "fattore di sicurezza".

Nel caso particolare dei crolli in roccia, tra le cause di innesco del fenomeno vanno menzionati, oltre alle piogge, i contributi dei cicli di gelo e disgelo, dell'azione del vento e

della spinta sui blocchi esercitata dalle radici degli alberi: queste forze saranno maggiormente efficaci in caso di roccia particolarmente alterata e fratturata.

Una volta staccatosi, il masso può proseguire la sua discesa verso il basso in caduta libera, rimbalzando o rotolando-scivolando (CRUDEN & VARNES, 1996). La prevalenza di un tipo di cinematismo rispetto agli altri sembra essere dovuta principalmente all'inclinazione del pendio considerato: per pendenze superiori a 76° è sufficiente trattare il fenomeno con i principi della caduta libera. L'impatto del masso con una superficie meno inclinata provoca il suo rimbalzo (RITCHIE, 1963) il quale dipenderà dalle caratteristiche del materiale (i.e. coefficienti di restituzione) e dall'angolo di impatto tra masso e pendio (HUNGR & EVANS, 1988). Lungo pendii con inclinazioni inferiori a 45° il moto principale dei blocchi sarà il rotolamento (o di scivolamento); si osserva una graduale transizione tra rotolamento e scivolamento con la diminuzione della lunghezza dei rimbalzi e dell'angolo di incidenza. Salti di pendenza (terrazzamenti) locali del pendio possono portare ad una nuova proiezione in aria dei blocchi, ricominciando la sequenza di caduta libera, rimbalzo e rotolamento (scivolamento) (HUNGR & EVANS, 1988).

Il risultato delle elaborazioni, unito ai dati geologici su forma e dimensione dei massi, è utile per il corretto dimensionamento e posizionamento delle opere di difesa, e per la realizzazione di carte di pericolosità specifiche per un determinato settore.

11.2 METODI PER L'ANALISI DEL "RUNOUT"

Per definire il grado di pericolosità da crollo, è indispensabile redigere, una volta appurata la propensione al dissesto di un determinato settore, un modello del fenomeno: se ne potranno così valutare i parametri energetici, di velocità e di massima propagazione areale.

I software dedicati sfruttano principi differenti, e i codici di calcolo possono basarsi su relazioni empiriche tra determinati parametri morfostrutturali o su leggi fisiche che descrivono la dinamica del moto.

Esiste poi un'importante distinzione tra i software che ricostruiscono il moto in tre dimensioni e quelli che operano su sezioni bidimensionali.

La scelta è ricaduta su due software molto differenti tra loro: Crsp 2D e r.droka.

11.2.1 Modulo Colorado Rockfall Simulation Program 2D - CRSP 2D

Software che lavora in due dimensioni, di tipo *lumped mass* (il blocco è immaginato come puntiforme). Sfrutta i principi della fisica e della balistica per analizzare tre fasi di movimento di un blocco dopo il distacco: caduta libera, rimbalzo e rotolamento/scivolamento.

Il moto di caduta libera è simulato attraverso le semplici equazione del moto parabolico (fig. 1), in cui si trascura l'attrito dell'aria e si tiene conto delle velocità iniziali e della massa del blocco.

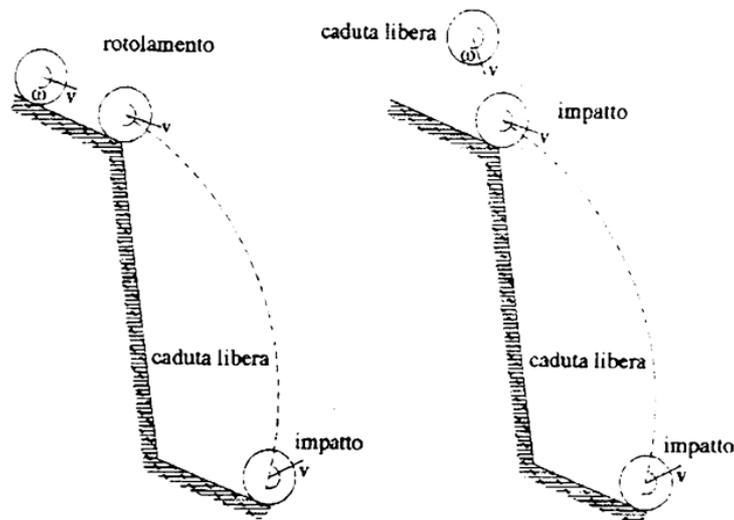


Fig. 1 – Principi del modello di caduta massi per la parte di caduta libera.

Al momento dell'impatto, parte dell'energia del blocco sarà assorbita elasticamente dal detrito. Il coefficiente di restituzione è il rapporto tra la velocità con cui il blocco arriva e quella con cui riparte dopo un rimbalzo: dipende dalla natura del materiale crollato, dalla sua forma, dalla sua resistenza alla compressione, del substrato su cui impatta. I coefficienti di restituzione (RT e RN) possono essere differenti sulle due componenti normale e tangenziale al piano di rimbalzo e variano solitamente tra 0,2-0,5 e 0,5-1 o più.

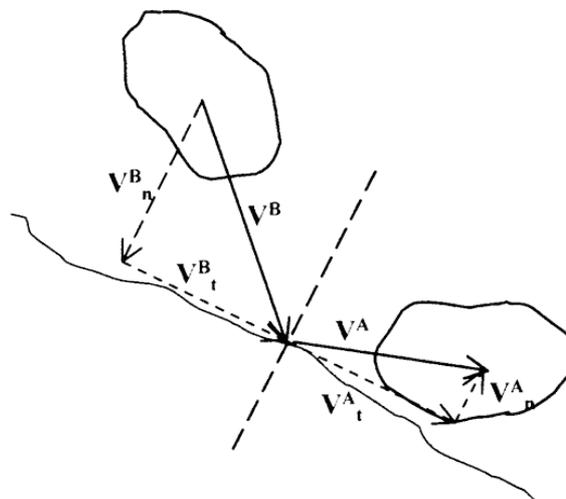


Fig. 2 – Approccio concettuale per la determinazione dei coefficienti di restituzione.

Quando dalla fase dei voli si passa allo scivolamento o al rotolamento, il movimento del masso viene descritto in termini di criterio di Coulomb utilizzando il coeff. di attrito dinamico equivalente. Esso rappresenta il rapporto fra la velocità lungo il pendio e quello teorico di una sfera equivalente lungo un piano coincidente. Può essere correlato al coefficiente di restituzione tangenziale secondo la relazione $\alpha = \frac{(1-R_t)}{R_t}$.

Un ulteriore parametro in ingresso è il grado di scabrezza del pendio, espresso con valori angolari di deviazione standard rispetto alla superficie imposta.

In questo caso è stata fatta una trattazione del fenomeno in termini probabilistici, consentendo così di simulare l'estrema variabilità delle situazioni naturali. Si passa pertanto dalla riproduzione della semplice traiettoria calcolata in modo deterministico a un fascio di traiettorie imposte dalla presa Monte Carlo dei parametri caratteristici dei vari tratti di pendio (fig. 3).

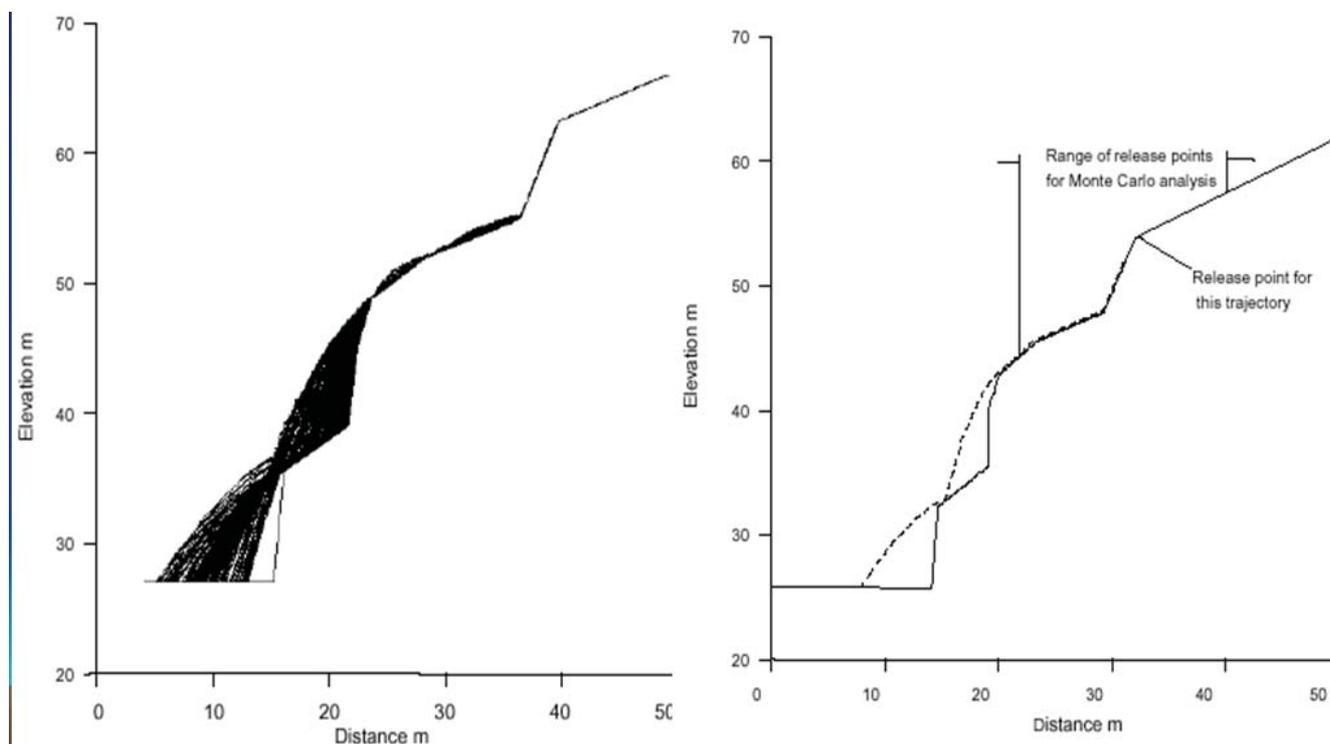


Fig. 3 – Confronto fra approccio deterministico e probabilistico nel caso della caduta massi.

11.2.2 Modulo r.DROKA

Il modulo utilizzato per l'analisi della caduta massi si basa sui metodi empirici suggeriti da Evans & Hungr (1993) e Corominas (1996) e consente di valutare l'area di propagazione, la velocità e l'energia cinetica associati ad un crollo in roccia.

Il metodo, integrato in un modulo di analisi GRASS per l'applicazione su DEM da Filipello et al. (2010), è nato in ambiente bidimensionale e individua l'area di massima invasione di una frana da crollo analizzando l'assetto morfometrico del versante (Evans e Hungr, 1993). Esempi recenti di applicazione del metodo in ambiente GIS si trovano in Cannata (2007), Cannata & Molinari (2008), nel progetto Interreg IIIa Alcotra Proviaip (AA.VV., 2008), in Del Maschio et al. (2007) e in Jaboyedoff & Labiouse (2003).

L'intersezione tra il profilo topografico e la linea che si diparte dal punto di distacco con una certa inclinazione rispetto all'orizzontale, definisce il punto di massima propagazione (Lied, 1976; Onofri & Candian, 1979; Evans & Hungr, 1993; Jaboyedoff & Labiouse, 2003). L'angolo di inclinazione (φ_p) e la linea di propagazione vengono rispettivamente definiti angolo zenitale e cono d'ombra (fig. 4). La figura seguente mostra come all'aumentare del valore angolare di φ_p si ha una riduzione della distanza di invasione.

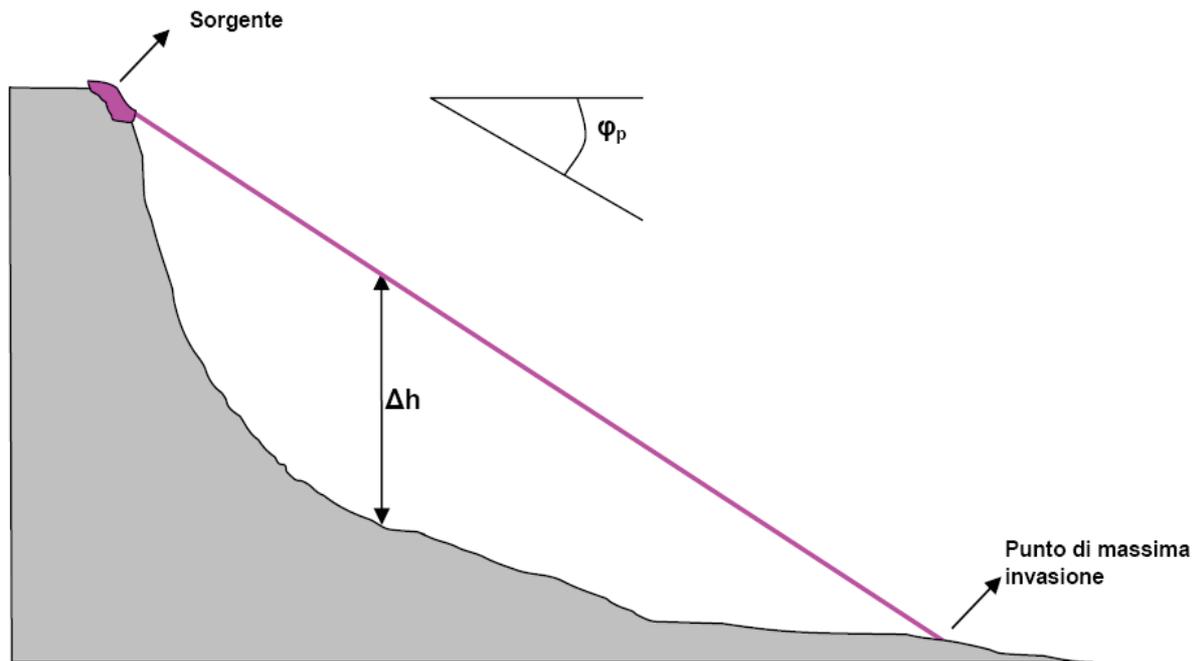


Figura 4: Principio del cono d'ombra adottato per le simulazioni tridimensionali di caduta massi.

Per descrivere il processo gravitativo lungo un versante, il modello applica le equazioni di accelerazione gravitazionale e di conservazione di energia: ambedue ipotizzano una costante perdita di energia del blocco durante la caduta; ne consegue che Δh , ossia la differenza fra la quota del cono d'ombra e quella della superficie topografica, è proporzionale alla velocità e all'energia cinetica che il blocco in caduta ha in quel punto specifico, e può essere calcolato con le equazioni:

$$v_{trans} = f_v \sqrt{2g(\Delta h)} ;$$

$$E = mg(\Delta h) ;$$

dove:

- g = accelerazione di gravità (9,8 m/s²);
- f_v = fattore correttivo per tener conto della dispersione di energia cinetica lungo il percorso (solitamente posto pari a 0,9);
- m = massa del blocco instabile (kg).

I valori di ϕ_p possono essere ottenuti ricorrendo alla back analysis, nei casi in cui sia possibile riconoscere l'area di distacco e la zona di accumulo, oppure facendo riferimento ai valori indicati dalla bibliografia per contesti geomorfologici e di uso del suolo analoghi.

Angolo φ_p	Autore
34°	Worobey, 1972
28° - 30°	Lied 1976
28,5°	Onori & Canadian, 1979
32°	Toppe, 1987
27.5°	Evans e Hungr, 1988
32° - 38	Evans e Hungr, 1993
22° - 26°	Weiczorek <i>et al.</i> , 1998
22°	Weiczorek <i>et al.</i> , 1999
25° - 60°	Crosta e Agliardi, 2004
27° - 30°	Mayer e von Poschinger, 2005

Tabella 1: Principali valori dell'angolo zenitale indicati dalla bibliografia (Terziano, 2006).

Il tool di GRASS r.droka permette di applicare le equazioni empiriche di Evans & Hungr (1993) e di Corominas (1996) in campo tridimensionale. L'area di massima invasione, l'energia cinetica e le velocità associate ad un determinato fenomeno franoso vengono calcolate direttamente sul DTM e restituite come mappe raster.

I parametri di input del modulo r.droka sono (Figura 43): il DTM, le coordinate del punto di distacco (Est, Nord, Quota), l'angolo zenitale (φ_p), il fattore correttivo (fv) che tiene conto della dispersione di energia cinetica, la massa del blocco in caduta e il nome delle mappe di output relative alla distribuzione della velocità e dell'energia cinetica. Il modulo calcola dapprima il valore Δh delle celle che circondano il punto di partenza, poi, a partire dal valore ottenuto, ricavano la distribuzione dell'energia cinetica e della velocità. Per la stima di Δh viene utilizzato il comando di GRASS denominato r.cost (opzione Knight's move), che genera una mappa raster in cui ad ogni pixel è associato il valore della distanza, in metri, dal punto di partenza.

Nota la distanza, Δh è ottenuto con la relazione:

$$\Delta h = [h_s - (tg \varphi_p \cdot Cost)] - DTM$$

dove:

- h_s = quota del punto di distacco (m);
- φ_p = angolo zenitale (°);
- Cost = distanza, in metri, dal punto di distacco;
- DTM = quota (m s.l.m).

Particolarmente importante, ai fini della corretta applicazione del modulo, risulta essere la scelta del valore da attribuire all'angolo zenitale, φ_p . Il modulo r.droka è stato sviluppato in

modo da permettere l'inserimento di un valore numerico univoco o di una mappa raster. Quest'ultima opzione permette di considerare le situazioni contraddistinte da un assetto morfologico tale da determinare variazioni significative nella dinamica di caduta massi all'interno dell'area.

Un caso frequente, in ambiente alpino, è rappresentato dall'alternanza di pareti rocciose e falde detritiche boscate: le prime favoriscono la proiezione aerea dei blocchi mentre le seconde, al contrario, contrastano e limitano la propagazione. Il risultato consiste in due mappe raster:

- carta velocità (ad ogni pixel è associato il valore delle velocità in m/sec);
- carta energia (ad ogni pixel è associato il valore dell'energia cinetica espressa in kJ);

L'applicazione dei moduli non può, in ogni caso, prescindere da una prima taratura e deve tener conto dei limiti e delle incertezze legate al ricorso a criteri empirici. Una procedura particolarmente efficace, per l'impostazione delle analisi e il trattamento dei risultati, è quella proposta da BUWAL (Heinimann et al., 1998). Il metodo ipotizza differenti scenari di evento, in termini di dimensione dei blocchi e di massima propagazione, ovviando, in questo modo, all'impossibilità di associare una variabile temporale ai fenomeni di caduta massi.

11.3 BACK ANALYSIS E SCELTA DEI PARAMETRI DI INPUT

Il ricorso alla *back analysis*, oltre allo studio dei dati bibliografici, è fondamentale per calibrare la magnitudo del fenomeno franoso e per realizzarne un accurato modello, scegliendo i giusti parametri in ingresso.

Come già accennato, l'accuratezza di questo processo è fortemente dipendente dalle eventuali modifiche apportate alla configurazione finale del fenomeno. Infatti la rimozione dei blocchi, o il loro spostamento, può sottrarre informazioni che renderebbero più accurata l'analisi a ritroso, e in alcuni casi indurre ad una sovrastima o sottostima della magnitudo dell'evento franoso.

I parametri necessari alla realizzazione di un modello del fenomeno franoso sono:

- posizione delle zone di distacco
- dimensioni e massa dei blocchi
- profilo del pendio
- coefficienti di restituzione delle litologie costituenti il pendio
- angolo zenitale ϕ

11.3.1 CRSP

Il censimento dei massi diviene allora fondamentale per una migliore definizione di quattro dei parametri citati, ottenuti dal rilevamento morfostrutturale della parete rocciosa (non dà

informazioni solo sul profilo del pendio). Come detto i dati sono stati elaborati parallelamente utilizzando i software CRSP e r.DROKA.

La prima operazione effettuata è stata la realizzazione del DEM dell'area (Digital Elevation Model) fornito dalla committenza. Coerentemente con l'analisi morfostrutturale della parete rocciosa sono state individuate 14 traiettorie; sono state assimilate ad aree di distacco puntiformi, così come sono interpretati i blocchi da parte dei codici di calcolo. L'ubicazione di queste tracce è riportata nella fig. 5.



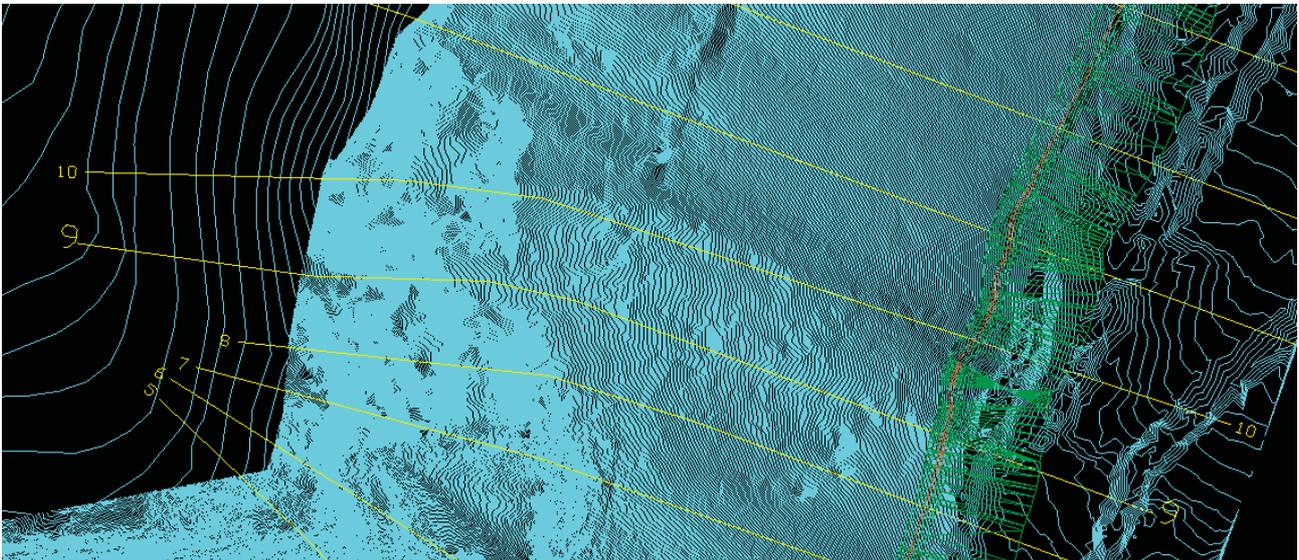
Fig. 5 – Traccia delle sezioni utilizzate per la taratura della caduta massi 2D (fenomeno 2010) e per le simulazioni su tutto il fronte di studio.

Date le dimensioni dei massi delle zone di accumulo o isolati sul fondovalle, e valutati i valori medi di spaziatura in parete, si è scelto, per la realizzazione del modello a ritroso, di utilizzare massi con le seguenti caratteristiche (in accordo con le perizie precedenti):

- volume: 10 m³
- peso di volume: 2500 kg/m³
- peso: 25.000 kg

Viste le indeterminazioni nella definizione di questi parametri, al peso è stata associata una deviazione standard di 2.500 kg (attraverso una presa di tipo Monte Carlo).

Individuata la sez. 9 come quella più idonea a ricostruire la caduta massi del 2010, dopo questa operazione, sulla base delle caratteristiche litologiche, ad ogni tratto di pendio sono stati associati i valori dei coefficienti di restituzione normale RT e tangenziale RN, di angolo frizionale α e di grado di scabrezza del pendio.



Essi sono stati variati fino ad ottenere una buona corrispondenza con i punti d'arresto definiti sempre nella documentazione relativa al 2010 ed in particolare alla ricostruzione dei massi osservati dalla Dott. Turconi del CNR.

Per la scelta dei parametri di riferimento utilizzati si è tenuto conto innanzitutto dei risultati della back analysis effettuata sul fenomeno del 2010. Sulla base di questi risultati, i valori ricavati sono stati applicati alle altre porzioni di pendio con analoghe caratteristiche. Tutti i dati utilizzati sono ripostati all'inizio delle varie simulazioni (in allegato).

Nel dettaglio, è stato ricostruito il fenomeno del 2010, così come descritto dagli elaborati tecnici a disposizione, e questi sono i dati di input (tab. 2) e le varie traiettorie osservate con in dettaglio i materiali e le caratteristiche ad essi associate (fig. 6 e 7).

Document Name: 9_2010

Project Settings

Units: Metric

Friction angle: Use friction angle specified in material editor

Minimum Velocity=0.1

Angular Velocity of the rocks CONSIDERED

Standard Deviations NOT USED when generating slope vertices

Random-number generation: Random

Number of rock throw: 1000

Materials

Material name: Clean hard bedrock [ciano]

Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.5 std dev=0.2

Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.85 std dev=0.3

Friction Angle: mean=38 std dev=10

Roughness: std dev=3

Material name: Bedrock outcrops [blu]

Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.45 std dev=0.15

Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.8 std dev=0.25

Friction Angle: mean=36 std dev=10

Roughness: std dev=3

Material name: Talus with vegetation [verde scuro]

Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.33 std dev=0.1

Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.78 std dev=0.2

Friction Angle: mean=28 std dev=10

Roughness: std dev=2

Material name: Soil with vegetation [verde chiaro]

Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.29 std dev=0.08

Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.67 std dev=0.08

Friction Angle: mean=24 std dev=2

Roughness: std dev=0

Seeders

Point Seeder

Horizontal Velocity: mean=1, std dev=0

Vertical Velocity: mean=-1, std dev=0

Mass: mean=25000, std dev=2500

Angular Velocity: mean=1, std dev=0

Location: 150.86, 1631.22

Tabella 2 – Dati di input per la back analysis

Nei grafici di fig. 6 e 7 le coordinate fanno riferimento alla quota assoluta mentre le ascisse partono sempre dall'inizio del profilo e giungono in genere fino alla sezione del torrente di fondovalle o risalgono brevemente il pendio sul versante opposto.

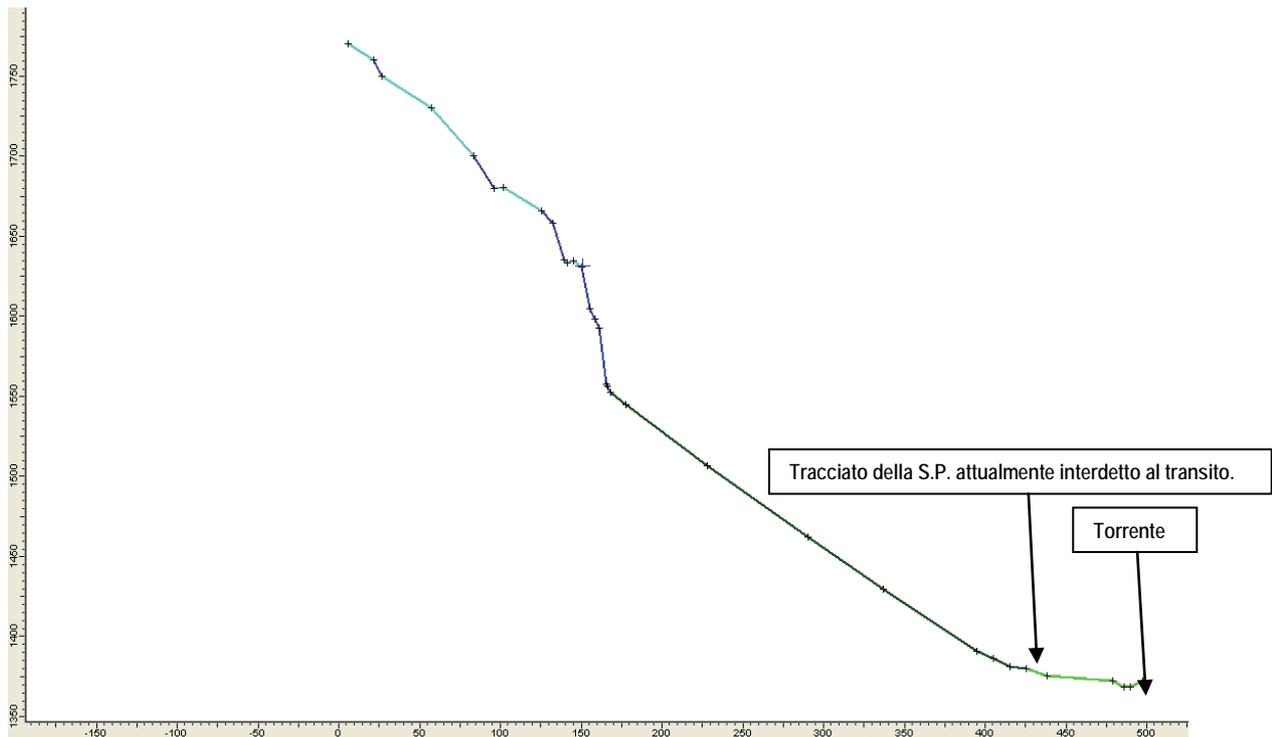


Figura 6 – Profilo di caduta e materiali modellati (vedi tab. 2)

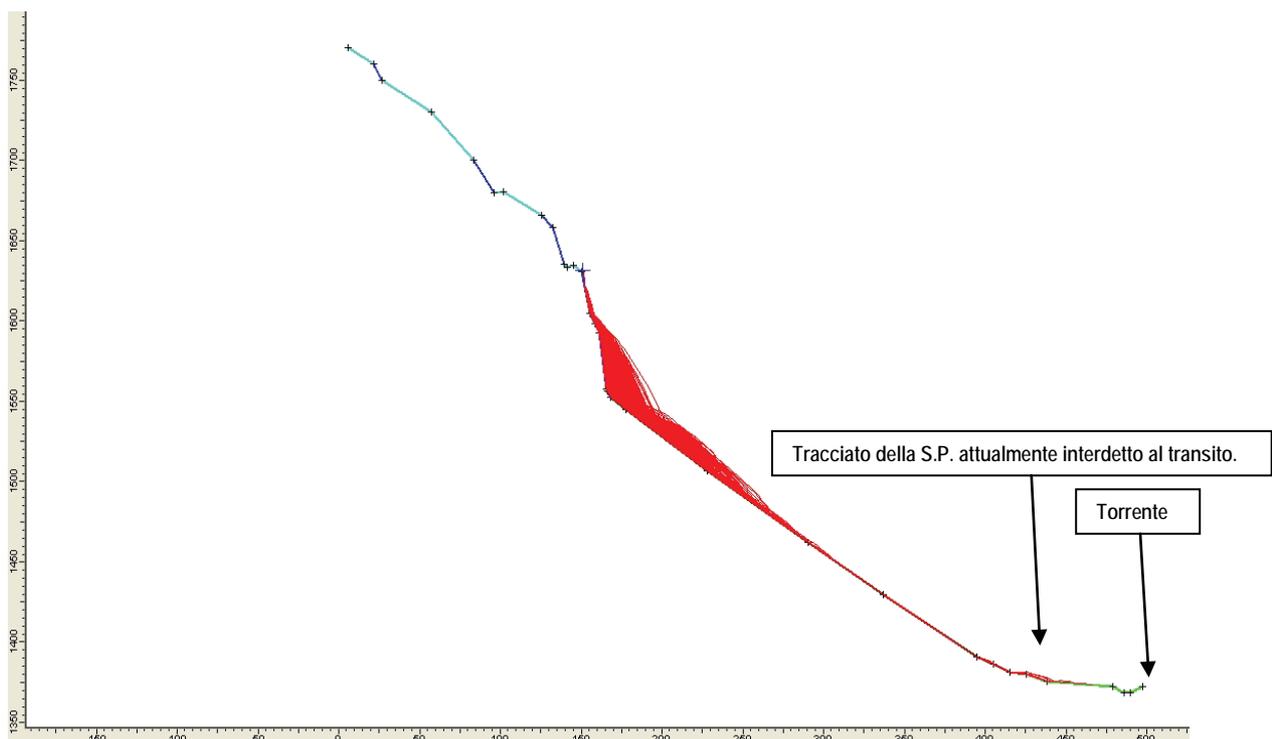


Figura 7 – Traiettorie ricostruite in base alla simulazione tarata sul fenomeno del 2010.

In fig. 8 sono riportati i punti di arresto ricostruiti grazie alla back analysis: si desume che la maggior parte dei massi si arresta attorno alle progressiva 390-440, in corrispondenza, cioè, alla base del pendio. Un paio di massi però superano la progressiva 450 e ciò implica il loro arrivo fino quasi nei pressi del torrente e sicuramente nella zona urbanizzata a valle della strada provinciale.

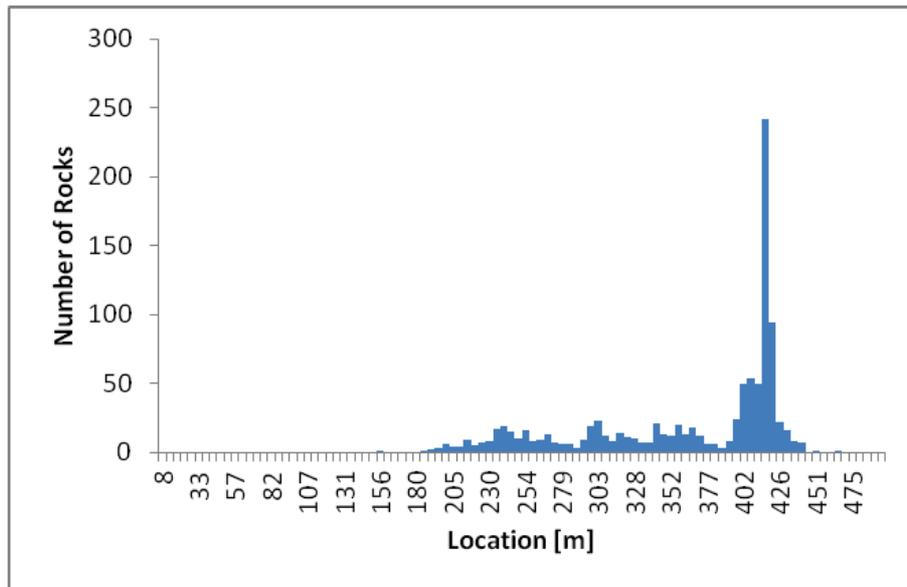


Fig. 8 – Ricostruzione dei punti di arresto.

Occorre però osservare che in pratica i massi arrivano in questa zona praticamente rotolando lungo il pendio: questo è logico in quanto al piede della parete esiste un lungo pendio detritico in grado di dissipare gran parte dell'energia dei massi, facendo abbassare in pratica la traiettoria a non più di pochi decimetri da terra (fig. 9).

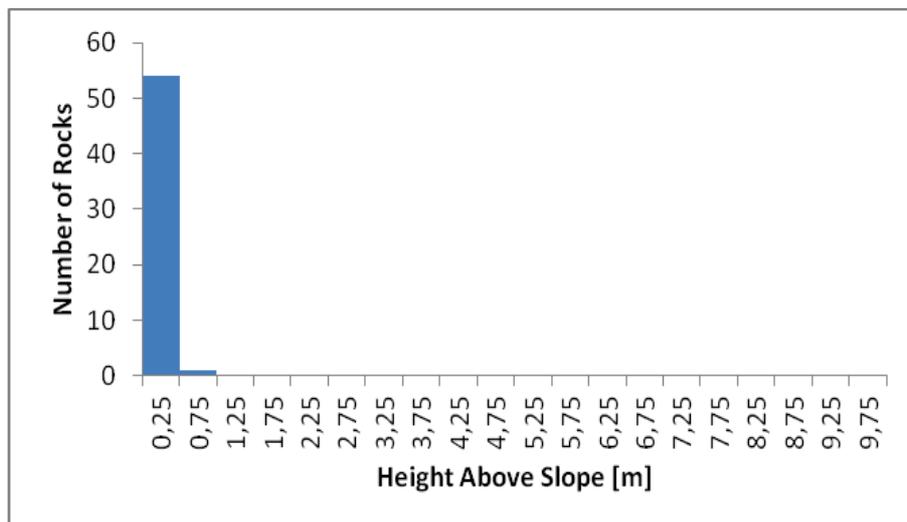


Fig. 9 – Altezza dei massi sulla progressiva 423, cioè all'incirca sul tracciato della vecchia provinciale.

Interessante è anche l'analisi dell'energia con cui i blocchi percorrono la base del pendio. Ipotizzando una sezione all'incirca all'altezza del vecchio tracciato della provinciale (fig. 10), si può desumere come la maggior parte di essi non supera i 2.000 kJ e che una ipotetica barriera avrebbe dovuto sopportare tale energia. In particolare solo il 6% dei blocchi che raggiunge questo punto ha energia superiore a 3.000 kJ (tab. 3); in altre parole, il 94% dei massi ha meno di 2.000 kJ di energia.

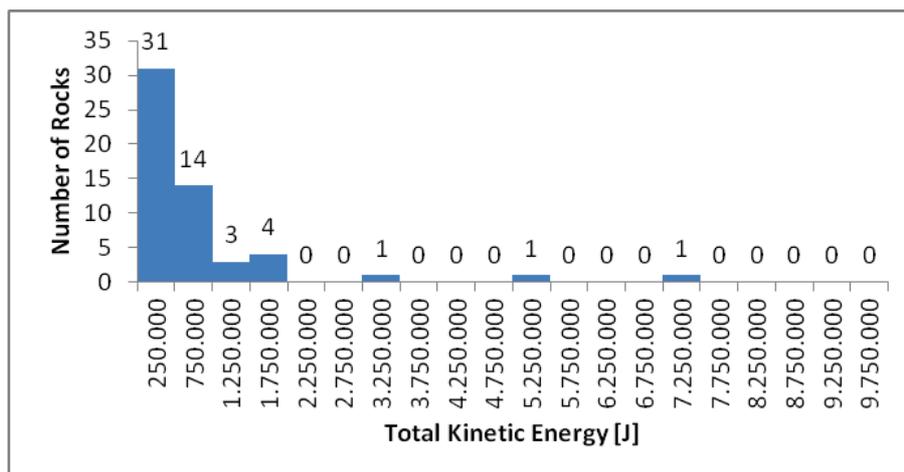


Fig. 10 – Energia cinetica dei blocchi alla progressiva 423, circa sul tracciato della provinciale.

Total Kinetic Energy [kJ]	Number of Rocks	%
250	31	56
750	14	25
1.250	3	5
1.750	4	7
2.250	0	0
2.750	0	0
3.250	1	2
3.750	0	0
4.250	0	0
4.750	0	0
5.250	1	2
5.750	0	0
6.250	0	0
6.750	0	0
7.250	1	2

Tab. 3 – Energia cinetica dei blocchi che raggiungono la progressiva 423 e relativa percentuale.

Infine, in fig. 11 sono riportati gli involuipi relativi all'energie cinetiche dei massi lungo l'intero percorso: se ne deduce che in alcuni tratti si raggiungono energie considerevoli, dell'ordine di quasi 30 mila kJ.

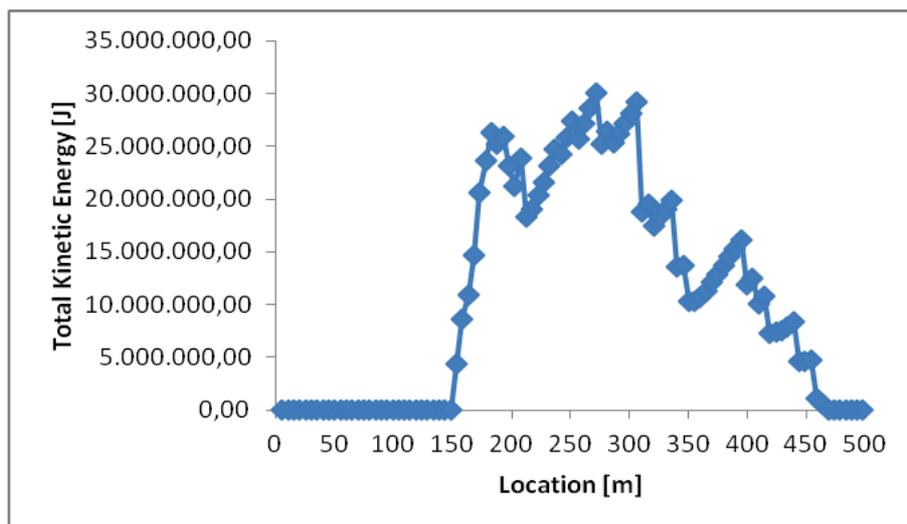


Fig. 11 – Involuppo delle energie cinetiche dei blocchi lungo l'intero tracciato.

Dalle analisi sopra eseguite, attraverso un processo di affinamento progressivo delle risposte modificando i dati di input, sono stati ricostruiti i seguenti parametri che sono poi stati utilizzati per tutte le simulazioni (tab. 4):

Material name	RN	RT	Friction Angle	Roughness
Clean hard bedrock	mean=0.5 std dev=0.2	mean=0.85 std dev=0.3	mean=38 std dev=10	std dev=3
Bedrock outcrop	mean=0.45 std dev=0.15	mean=0.8 std dev=0.25	mean=36 std dev=10	std dev=3
Talus Cover	mean=0.35 std dev=0.15	mean=0.8 std dev=0.2	mean=27 std dev=10	std dev=2
Talus with vegetation	mean=0.33 std dev=0.1	mean=0.78 std dev=0.2	mean=28 std dev=10	std dev=2
Soil with vegetation	mean=0.29 std dev=0.08	mean=0.67 std dev=0.08	mean=24 std dev=2	std dev=0
landfill	mean=0.1 std dev=0.01	mean=0.15 std dev=0.02	mean=20 std dev=3	std dev=0
Asphalt	mean=0.4 std dev=0.04	mean=0.9 std dev=0.0	mean=30 std dev=2	std dev=0

Ta. 4 – Riassunto dei parametri utilizzati per le simulazioni (i colori sono gli stessi utilizzati nell'individuazione dei materiali sulle sezioni).

11.3.2 R.DROKA

La stima dell'angolo zenitale da utilizzare come input del modulo r.droka è avvenuta cercando di individuare il valore che meglio riproduce la frana del 2010.

Mediante una procedura *trial and error* sono stati impiegati differenti valori di angolo zenitale fino a quando l'area di espansione, l'energia cinetica e la velocità di avanzamento non sono risultate compatibili con la descrizione del fenomeno riportata nei lavori precedenti. Di particolare utilità in questo senso è risultata la planimetria presente nel lavoro di Turconi et al (2011), che mostra la massima area raggiunta dai blocchi aventi una dimensione superiore a 1 m³ (fig. 12).

L'analisi a ritroso mostra come l'angolo zenitale (φ) che meglio approssima l'evento del 2010 è di 35°. A partire da questo risultato sono state eseguite le simulazioni utilizzando i seguenti dati di input:

- DEM (mappa raster): passo delle celle di 2 metri ottenuto dall'interpolazione delle curve di livello fornite dalla committenza;
- angolo zenitale (valore numerico): 35°, ottenuto da back analysis;
- coordinate dei punti di distacco (X, Y, Z) : sono stati scelti 4 ipotetici punti di distacco rappresentativi dell'intera area di studio;
- fattore correttivo (valore numerico): 0,9 come suggerito in bibliografia;
- volume del blocco di progetto (valore numerico): 10 m³ corrispondente ad una massa di 25.000 m³.

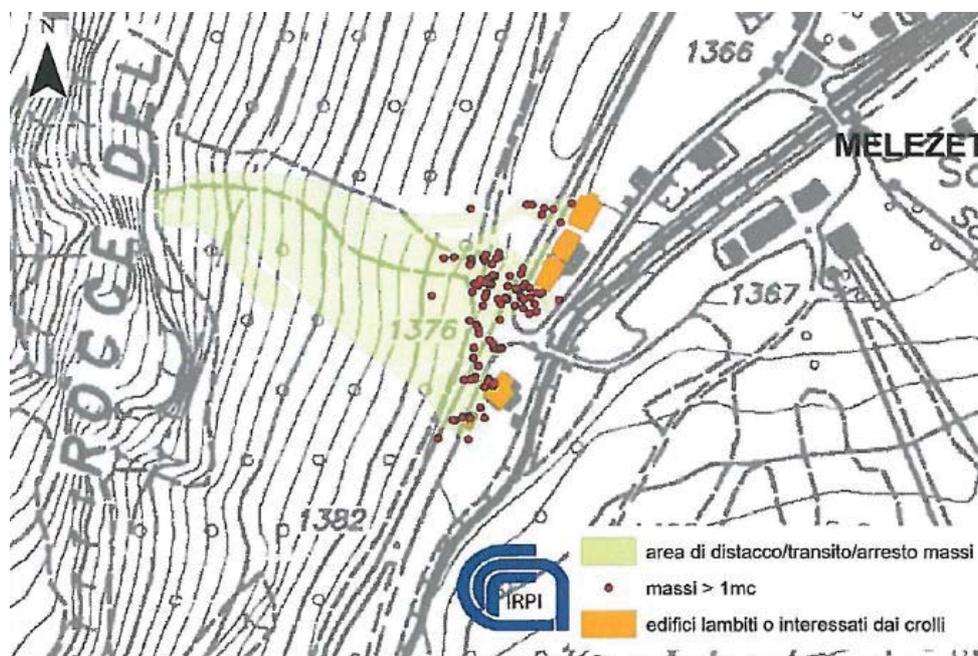


Figura 12: Stralcio cartografico dello studio di Turconi et al. (2011) nell'evento 2010.

Come è possibile notare dalle planimetrie allegate, allo stato attuale il settore meridionale dell'area di studio è l'area potenzialmente più critica e la viabilità provinciale potrebbe essere interessata dall'invasione di massi.

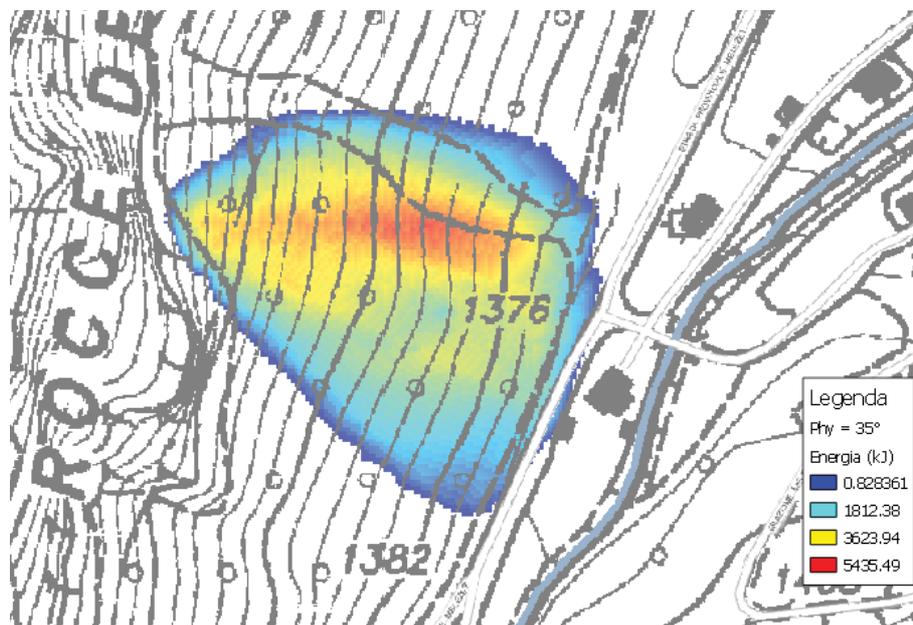


Figura 13: Back analysis con angolo zenitale di 35°. Si noti la buona corrispondenza rispetto alla cartografia sopra riportata per quanto riguarda la distribuzione dei depositi

I valori di energia calcolati con r.droka non risultano eccessivi (inferiori a 2000 kJ) così come le velocità. Detti valori corrispondono all'incirca ai valori dell'evento 2010 (si pensi al danneggiamento delle reti paramassi). E' interessante notare l'ottimo accordo con quanto modellizzato con le tecniche *lumped mass*, in cui le energie in gioco sono all'incirca le stesse.

11.4 ANALISI DEI RISULTATI E CONCLUSIONI

Lo studio della caduta massi bidimensionale è stato inizialmente impostato su 14 sezioni, definite sulla base dei possibili punti di distacco e sui relativi tracciati ipotetici. Dopo una prima serie di ipotesi, si è proceduto sistematicamente su 7 sezioni (quelle dispari) in quanto il pendio non mostrava particolari conformazioni ed era possibile ipotizzare delle traiettorie essenzialmente rettilinee senza alterare sostanzialmente il risultato dell'analisi.

Sistematicamente sono stati utilizzati sempre gli stessi tipi di materiali desunti dalla back analysis e sempre le stesse probabilità di presa in riferimento ai vari parametri in gioco: dimensioni del blocco, variabilità del profilo topografico, R_n , R_t , coef. di attrito. In ogni simulazione sono stati "buttati" 1000 massi ed individuate le relative traiettorie: inoltre sono stati forniti come output anche le distanze diagrammate dei punti di arresto, le altezze di rimbalzo e le energie cinetiche dei blocchi in corrispondenza del rilevato di progetto. Infine sono state diagrammate anche gli involucri delle energie cinetiche raggiunte dai blocchi sull'intero tragitto.

Tutte le analisi sono riportate in allegato. Esso contiene le seguenti verifiche di caduta massi:

- 1_ATTUALE
- 3_ATTUALE
- 3_PROGETTO
- 5_ATTUALE
- 5_PROGETTO
- 7_ATTUALE
- 7_PROGETTO
- 9_2012 (ATTUALE)
- 9_PROGETTO
- 11_ATTUALE
- 11_PROGETTO
- 13_ATTUALE
- 13_PROGETTO

Ogni scheda (di 4 pag cad.) contiene:

1. tabulato con settaggio del modello, materiali utilizzati, punti di distacco e caratteristiche del masso;
2. traccia della sezione con materiali utilizzati;
3. traiettorie dei 1000 massi della simulazione;
4. grafico dei punti di arresto;
5. grafico delle altezze immediatamente a monte dell'opera in progetto;
6. grafico con le energie cinetiche sulla paratia interna del rilevato;
7. grafico con l'involuppo delle energie cinetiche durante l'intera traiettoria.

Per ogni sezione sono state fatte più simulazioni, ipotizzando vari punti di partenza: sono state scelte sempre le ipotesi più pessimistiche, quelle cioè in cui i massi raggiungevano le distanze maggiori.

Qui di seguito si riporta le seguente tabelle schematica (tab. 5), in cui si riportano il n. di blocchi che si fermano in corrispondenza del vallo di progetto prima e dopo la sua realizzazione, nonché le energie cinetiche in gioco sempre in questo punto rispettivamente con i valori più comuni (probabilità entro il 98% della popolazione) e con valori di probabilità ancora statisticamente significativi (< 99%) ma decisamente poco probabili. Da questi risultati si possono desumere le seguenti considerazioni:

- a) In tutte le situazioni il vallo riduce sostanzialmente il numero di blocchi che possono raggiungere strada e abitazioni, fino a raggiungere un rischio residuo massimo pari al 2,2% del numero totale di massi proiettati sulla sez. 7;
- b) Lungo le sezioni 3-4 e 7 esiste un rischio residuo che comunque è inferiore al 95% indicato negli Eurocodici in materia;

- c) In tutti i casi i punti di arresto dopo la realizzazione del vallo corrispondono ad un accorciamento della traiettoria, talvolta in modo sostanziale (sez. 5-7-9-11 e 13);
- d) Le energie di impatto sulla parete interna del rilevato paramassi in genere si attestano a valori inferiori ai 4000 kJ (98% della popolazione);
- e) Non è possibile però escludere che massi ad elevata energia e bassa probabilità di accadimento (meno dell' 1% delle simulazioni) impattino sul lato interno del rilevato, con energie in gioco anche superiori ai 10.000 kJ (in particolare sez. 3-5 e 7).

n. sez.	Distanza Progr. Vallo [m]	n. blocchi attuale	n. blocchi progetto	Max arresto attuale [m]	Max arresto progetto [m]	E kin del 98% massi [kJ]	E kin del 99% massi [kJ]
1	/	/	/	244	244	250	250
3	245	323	9	280	277	2.800	9.200
5	350	749	2	419	415	3.750	11.250
7	325	491	22	420	374	1.250	8.750
9	410	441	0	465	401	3750	3750
11	460	306	0	520	456	2875	3.375
13	435	244	0	482	429	4050	4.350

Tabella 5 – Riassunto delle simulazioni di caduta massi.

Da tutto questo se ne deduce che la tipologia di opera paramassi è l'unica proponibile. Con le dimensioni di progetto assicura un notevole miglioramento della sicurezza di strada ed abitazioni, riducendo di molto i massi che potenzialmente possono colpire target sensibili. Non è comunque possibile indicare la zona come esente completamente da un rischio residuo di caduta massi, in quanto traiettorie non comuni e blocchi con volumi superiori di molto alla moda potrebbero scavalcarlo e giungere fino alle opere antropiche.

L'impiego del modulo r.droka ha permesso un'ulteriore verifica di efficacia del sistema di difesa passiva proposto. Il principale risultato è rappresentato dalle mappe di energia e velocità nelle condizioni attuali e di progetto proposte nelle tavole allegate.

I dati di ingresso sono i medesimi utilizzati per le simulazioni allo stato attuale: un angolo zenitale di 35° (ϕ), un peso del blocco di 27.000 kg, le coordinate di 4 punti di distacco e un fattore correttivo di 0,9.

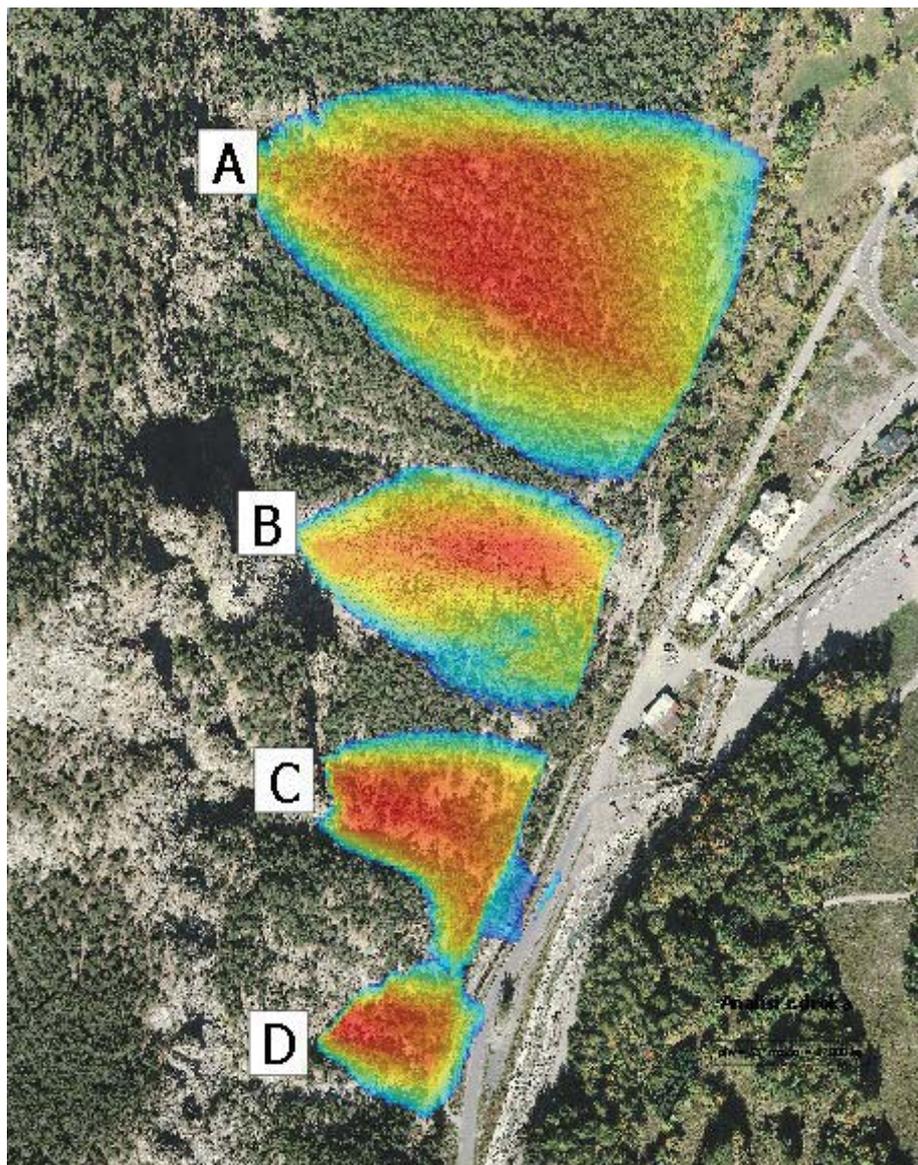


Figura 14: I punti di distacco utilizzati. Aree di invasione in presenza del vallo

I risultati mostrano come il vallo determini una netta diminuzione della propagazione verso valle dei blocchi rispetto allo stato attuale. Pur essendo confermata una pericolosità residua nel settore meridionale dell'area di studio dovuta alla possibilità di superamento del vallo da parte di alcuni massi, le energie e le velocità in gioco diminuiscono in misura significativa.

Di seguito si riporta un grafico che mostra l'andamento dell'energia lungo una sezione (area sorgente C) sia allo stato attuale (colore blu) che in presenza del rilevato (colore rosso). In quest'ultimo profilo si vede una drastica diminuzione delle energie in prossimità della strada e si può notare l'influenza dell'opera sull'involuppo delle energie. Il valore di energia cinetica massimo in corrispondenza del vallo si attesta nel range tra 3.000 kJ e 4.000 kJ ed è in linea con i risultati delle analisi condotte in campo bidimensionale.

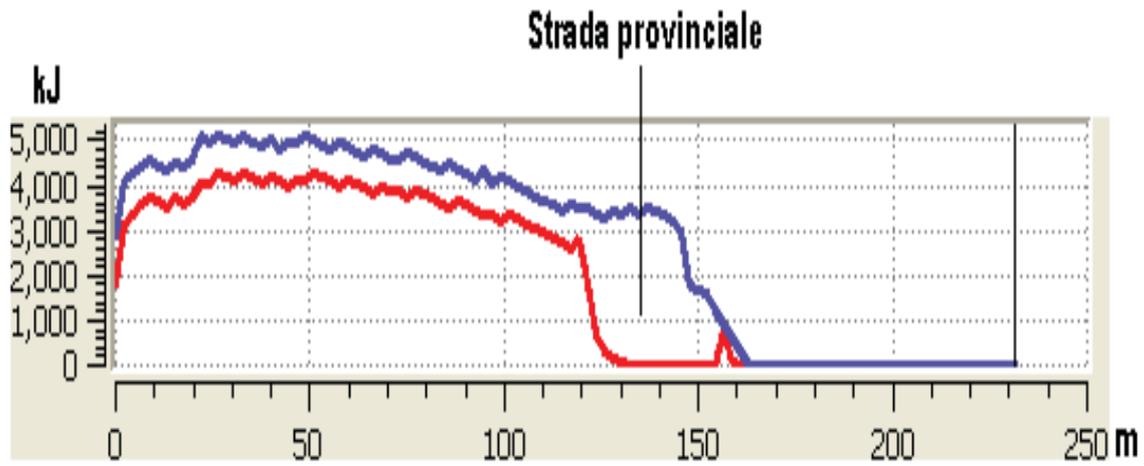


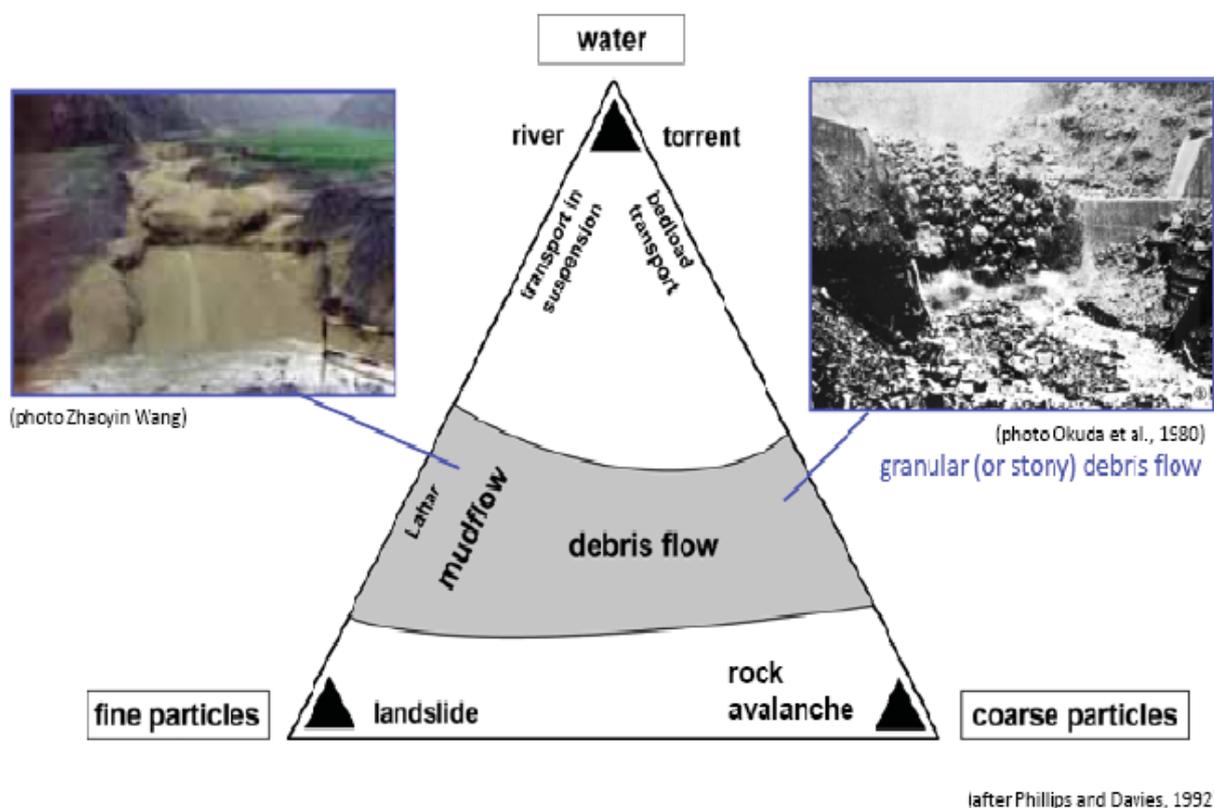
Figura 15: Andamento dell'energia cinetica lungo il profilo in presenza del vallo (rosso) o allo stato attuale (blu)

12 ANALISI DEI FENOMENI DI ROCK AVALANCHE - FRANE DI ROCCIA

Oltre all'analisi quantitativa dei fenomeni di caduta massi è stato effettuato anche uno studio riguardante l'eventualità che dalle pareti rocciose in oggetto possano staccarsi masse di roccia di maggiori dimensioni, possibilità peraltro suggerita dai rilievi geologici che è stato possibile eseguire nel mese di dicembre 2012, oltre che segnalata negli studi precedenti riguardanti l'evento 2010. Anche questa sezione è stata realizzata con la collaborazione specialistica della Società AG3 srl, Spin Off dell'Università di Torino presso il Dipartimento di Scienze della Terra.

12.1 SIMULAZIONE DEL CROLLO IN MASSA

Uno degli scenari presi in considerazione è quello del distacco in massa di un considerevole volume di roccia e della successiva propagazione verso valle (runout). Ipotizzando che la presenza di acqua sia ridotta e che non vi sia frazione fine, il processo gravitativo può essere inquadrato come quello del rock avalanche, seguendo lo schema di classificazione proposto da Phillips e Davies (1991).



Schema delle tipologie principali di flussi detritici

Il modello di simulazione impiegato è basato sul codice MassMov2D.

Hungr & Evans (1996), sulla base dell'analisi a ritroso di 23 valanghe di roccia con il modello di tipo continuo bi-dimensionale DAN, stabiliscono che le simulazioni che utilizzano le relazioni reologiche attritiva e Bingham sovrastimano sistematicamente le velocità osservate, mentre la reologia Voellmy è la più adeguata sia per la stima delle velocità che per quella relativa a lunghezza e spessore dei depositi. A partire da queste

considerazioni e sulla base di analisi condotte in contesti geologici e geomorfologici analoghi la Voellmy è stata scelta come reologia per le simulazioni.

I parametri di ingresso sono stati stimati mediante back analysis dell'evento 2010 attraverso una procedura trial and error. In seguito sono state eseguite le analisi ipotizzando differenti volumetrie di distacco ed impiegando una base cartografica riferita alla condizione attuale e allo stato di progetto.

12.2 IL MODELLO DI SIMULAZIONE IMPIEGATO

L'attività di modellazione del crollo in massa è stata condotta utilizzando MassMov2D (Begueria et al., 2009), un modello di spandimento in grado di valutare gli effetti di un fenomeno in termini di runout e di altezze dei depositi. Di seguito si riportano le caratteristiche principali del codice di calcolo, in buon parte desunte dal volume predisposto nell'ambito del progetto INTERREG Italia-Svizzera 2007-2013 Miaria.

MassMov2D descrive il moto della frana come un flusso bidimensionale continuo utilizzando le equazioni di Saint-Venant, derivate dalle equazioni dinamiche di Navier-Stokes assumendo l'ipotesi di 'acque basse' (shallow water). In base a tale ipotesi la componente verticale di velocità e pressione risulta trascurabile rispetto alle componenti orizzontali e la distribuzione delle pressioni lungo il profilo verticale può essere considerata quasi idrostatica (Kinnmark, 1985). Questo implica la possibilità di integrare le equazioni lungo la profondità ottenendo una descrizione 2D del flusso ed evitando in tal modo la formulazione 3D, molto più complessa. Le equazioni che governano il modello, riferite ad uno spazio 2D euclideo con coordinate cartesiane (x, y) sono sviluppate come segue:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \cos \alpha x \frac{\partial uh}{\partial x} + \cos \alpha y \frac{\partial vh}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \cos \alpha x u \frac{\partial u}{\partial x} + \cos \alpha y v \frac{\partial v}{\partial y} + \cos \alpha x k \frac{\partial (\cos \alpha x gh)}{\partial x} = -\cos \alpha x g (\tan \alpha x + Sf qx)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \cos \alpha y v \frac{\partial v}{\partial x} + \cos \alpha y u \frac{\partial u}{\partial y} + \cos \alpha y g \frac{\partial (\cos \alpha y gh)}{\partial y} = -\cos \alpha y g (\tan \alpha y + Sf qy)$$

Dove h è lo spessore del flusso lungo la normale, (u, v) sono le componenti x e y del vettore velocità, α_x e α_y sono gli angoli tra il piano parallelo al flusso e il piano orizzontale nelle direzioni x e y, g è l'accelerazione di gravità, k è il coefficiente di spinta a riposo ed Sf è una funzione che descrive le proprietà reologiche del flusso, considerate omogenee e costanti per l'intera simulazione; c_x e c_y sono infine dei fattori geometrici per la trasformazione del sistema di riferimento da locale a globale. L'equazione [2] esprime il bilancio di massa, mentre la [3] e la [4] esprimono, in termini di accelerazione, l'equazione di bilancio del momento lungo le due direzioni orizzontali.

Il termine di Sf può essere ricavato da differenti equazioni:

Descriptor	Flow resistance relation	Flow resistance term S_f
A	Full Bingham	$S_f = \frac{\tau_0}{\rho gh}$ τ_0 can be determined by: $2\tau_0^3 - 3\left(\tau_y + 2\frac{\mu R Q}{h^2}\right)\tau_0^2 + \tau_y^3 = 0$
B	Simplified Bingham	$S_f = \frac{\tau_0}{\rho gh}$ with $\tau_0 = 1.5\tau_y + 3\frac{\mu R Q}{h^2}$
C	Voellmy	$S_f = \frac{q\sqrt{q^2}}{h^2 C^2 h^3} + \cos \alpha \tan \delta$
D	Turbulent & Coulomb	$S_f = \frac{n^2 q \sqrt{q^2}}{h^2 h_c^{4/3}} + \cos \alpha \tan \delta$
E	Turbulent & Yield	$S_f = \frac{n^2 q \sqrt{q^2}}{h^2 h_v^{4/3}} + \frac{\tau_y}{\rho gh}$
F	Turbulent, Coulomb & yield	$S_f = \frac{n^2 q \sqrt{q^2}}{h^2 h_v^{4/3}} + \frac{\tau_i}{\rho gh}$ with $\tau_i = \min(\tau_y ; \rho gh \cos \alpha \tan \delta)$
G	Quadratic	$S_f = \frac{n^2 q \sqrt{q^2}}{h^2 h_v^{4/3}} + \frac{\kappa \eta Q}{8h^3 \rho g} + \frac{\tau_y}{\rho gh}$
H	Coulomb viscous	Full Bingham with $\tau_y = \rho gh \cos \alpha \tan \delta$

In riferimento alle due ultime equazioni citate, il primo termine rappresenta la reale accelerazione del flusso (variazione di velocità nel singolo punto al variare del tempo t) mentre il secondo e il terzo termine esprimono invece l'accelerazione convettiva, che deriva dallo spostamento della particella nello spazio e dipende dunque dalla topografia. I tre termini a destra esprimono invece l'accelerazione locale dovuta rispettivamente alla forza di gravità, alla variazione della pressione dei pori e alla resistenza al flusso.

Il software, sviluppato presso il CSIC1 (Consejo Superior de Investigaciones Científicas) di Saragozza e implementato nel pacchetto GIS PCRaster, richiede in ingresso tre categorie di dati:

- carte raster relative alla topografia del territorio e al fenomeno da modellare, quali: modello digitale del terreno, spessore iniziale del corpo di frana, carta delle distanze dall'unghia della superficie di rottura;
- parametri numerici per la caratterizzazione del materiale coinvolto quali densità, tensione di snervamento apparente, coefficiente di scabrezza di Chezy, coefficiente di viscosità dinamica, angoli di frizione basale e interna, *fluid rate*;
- parametri di controllo del programma, quali numero di *time steps* per la simulazione e dominio spaziale di calcolo.

I dati in uscita forniti di default dal programma sono, per ogni *time step*, una carta delle velocità del flusso e una carta degli spessori dei depositi.

12.2.1 Dati di ingresso: mappe

Di seguito si riportano brevemente le procedure impiegate per la realizzazione delle carte raster necessarie per le simulazioni:

- dem.map: il modello digitale delle altezze (DEM) è stato realizzato con l'interpolazione delle curve di livello vettoriali. I dati sono stati allestiti con il software Open Source GRASS 6.4.2 ricorrendo alle funzioni di conversione tra formati (*v.to.rast*) e di interpolazione (*r.surf.contour*). Il passo delle celle del DEM è di 2x2

metri. La mappa è stata generata dalla sottrazione tra la quota topografica e lo spessore dell'area instabile (*r.mapcalculator*);

- *h_ini.map*: è la mappa dello spessore iniziale della massa franata. Deve essere misurata perpendicolarmente alla superficie topografica e non nella direzione verticale Cartesiana. Lo spessore è stato calcolato con l'equazione $h = h_{\text{verticale}} * \cos(\alpha)$ dove α è la pendenza ricavata dal DEM (*r.slope.aspect*).
- *outlet.map*: è una mappa che rappresenta il dominio di calcolo. Il codice richiede un formato booleano ricavato direttamente in ambiente PCRaster.
- *fluidist.map*: la distanza dal piede della potenziale frana è stata ricavata con il comando *r.cost*.

12.2.2 Dati di ingresso: back analysis per stima dei parametri reologici

La relazione scelta per controllare il comportamento del flusso in movimento è quella definita da Voellmy (Voellmy, 1955) e utilizzata con successo sia per simulazioni di *debris flow* che di *rock avalanches* (Hung & Evans, 1997). Tale relazione combina un termine di attrito frizionale con un termine di turbolenza legato al quadrato della velocità e alla densità del materiale.

L'equazione proposta in MassMov2D è una forma semplificata della reologia di Voellmy ed è riportata di seguito:

$$Sf = \tan \varphi + \mu^2 / \xi h$$

Dove *Sf* rappresenta il termine di resistenza al flusso, *h* e *u* rappresentano, rispettivamente, lo spessore e la velocità del flusso, φ è il coefficiente di attrito alla base mentre ξ è il coefficiente di turbolenza di Chèzy. Nel caso di reologia frizionale, come quello applicato nello studio geologico pregresso (Fontan et al., 2011) il termine di turbolenza è nullo.

Il lavoro di Molinari et al. (2011) propone un esempio di utilizzo del codice MassMov2D in Svizzera. Particolarmente interessante risulta essere l'analisi di sensitività che evidenzia la risposta del modello alla variazione dei parametri d'ingresso. Tutti i parametri sono stati fatti variare all'interno di un range di valori ottenuti da letteratura, ad eccezione del *fluid rate* che, essendo specifico del solo modello MassMov2D, non è trattato da altri autori. In questo modo vengono individuati i valori più significativi su cui concentrare maggiormente l'attenzione nella fase di calibrazione. I quattro parametri le cui variazioni determinano significative differenze negli output del modello sono: il *fluid rate* ed i tre parametri del modello di Voellmy.

La figura seguente riporta i risultati ottenuti che indicano un'alta sensitività del modello all'angolo di attrito basale, mentre i risultati variano in misura minore al variare del coefficiente di Chezy e dell'angolo di attrito interno. Il *fluid rate* ha effetti pressoché nulli sui risultati del modello.

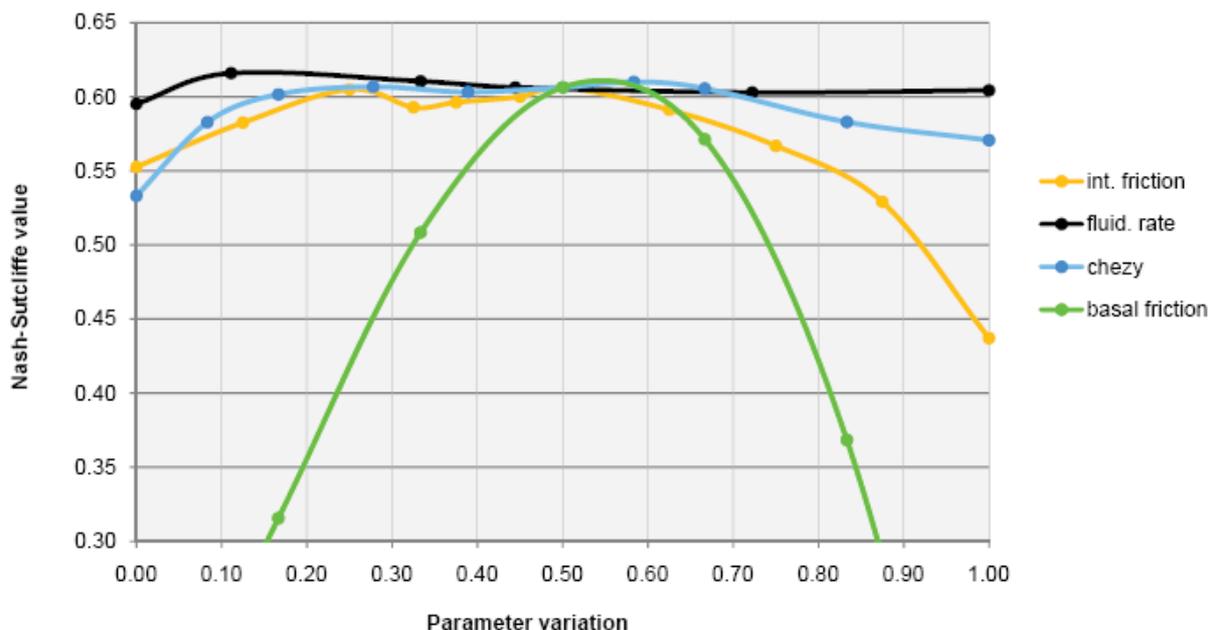


Diagramma di sensitività dei parametri sul modello MassMov2d (Molinari et al. 2011)

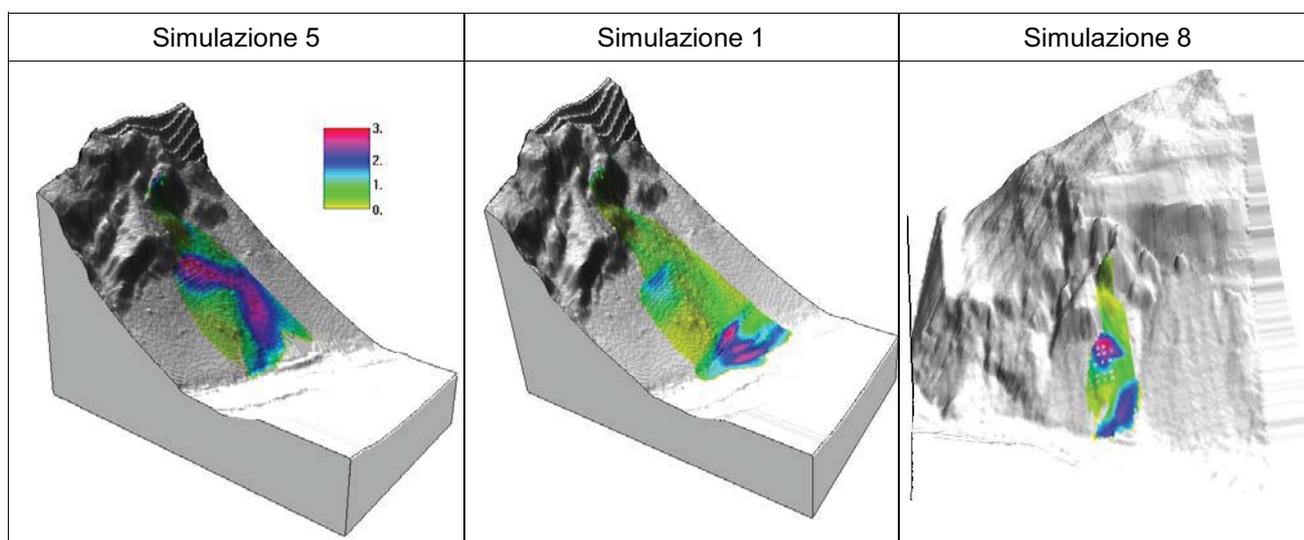
Partendo da queste considerazioni la back analysis dell'evento 2010 è avvenuta variando i valori del coefficiente di turbolenza, dell'angolo di attrito di base e dell'angolo di attrito interno fino a quando la distribuzione finale del deposito non era simile a quanto descritto per l'evento del 2010 nei lavori di Fontan et al. (2011) e Turconi (2011). Le caratteristiche del fenomeno 2010 sono nel seguito sintetizzate:

- una volumetria stimata di 2.000 m³;
- area sorgente analoga a quella individuata nello studio di Fontan et al. (2011) per le simulazioni con RASH3D;
- materiale franato pressoché interamente contenuto dal vallo di ritenuta esistente.
- sono state eseguite 8 simulazioni con le seguenti combinazioni di parametri:

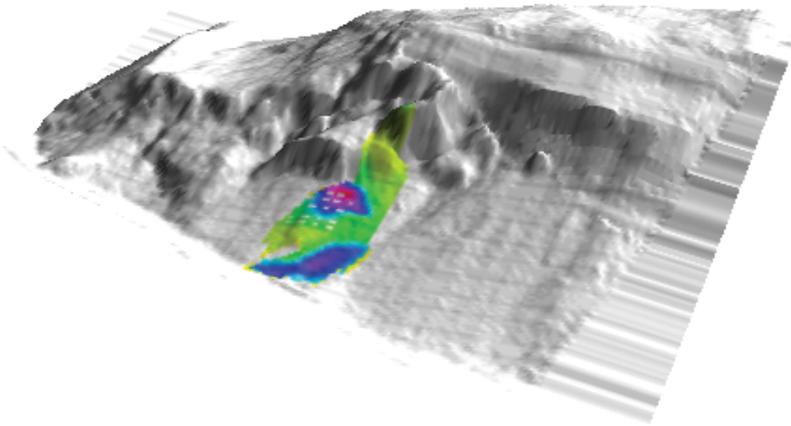
Numero di simulazione	Coefficiente Chezy (m/sec ²)	Angolo attrito base (°)	Angolo attrito interno (°)
1	700	20	18
2	300	25,5	13
3	500	26	15
4	700	30	35
5	600	33	35
6	500	30	35
7	500	28	30
8	600	32	31

I risultati grafici sono riportati in allegato 1. La simulazione n. 5 ($600\ 33^\circ\ 35^\circ$) è quella che maggiormente rappresenta la distribuzione dei depositi ancora visibile sul versante, ma non simula la massima distanza raggiunta dai singoli blocchi e non è, pertanto, stata ritenuta sufficientemente cautelativa. I risultati evidenziano come ad una variazione dei parametri verso termini più favorevoli all'avanzamento del flusso detritico in realtà non corrisponda un diretto incremento della distanza di propagazione verso valle. Il vallo esistente svolge la sua funzione ostacolando l'avanzamento della colata. Per far sì che il flusso sia in grado di superare il vallo è necessario ridurre l'angolo di attrito ed incrementare i valori del coefficiente di Chezy verso termini più tipici per debris flow (simulazione n. 1).

La terna di parametri che rappresenta una situazione intermedia è la n. 8. Gran parte del materiale franato è andato a costituire la falda detritica presente sul versante, mentre una debole patina ha invaso il bosco ed ammantato il resto del versante fino a valle. La potenza dei depositi in prossimità del vallo è di circa 1 metro. La scelta dei parametri è, in ogni caso, da ritenersi sufficientemente cautelativa.



Distribuzione delle altezze dei depositi per back analysis della frana del 2010.



Confronto tra la simulazione ritenuta più realistica a seguito di back analysis e la fotografia post-evento di Fontan et al. (2011). Spessori del deposito variabili da 50 cm (giallo) a circa 2 metri (rosso).

12.3 SIMULAZIONI DEI CROLLI IN MASSA

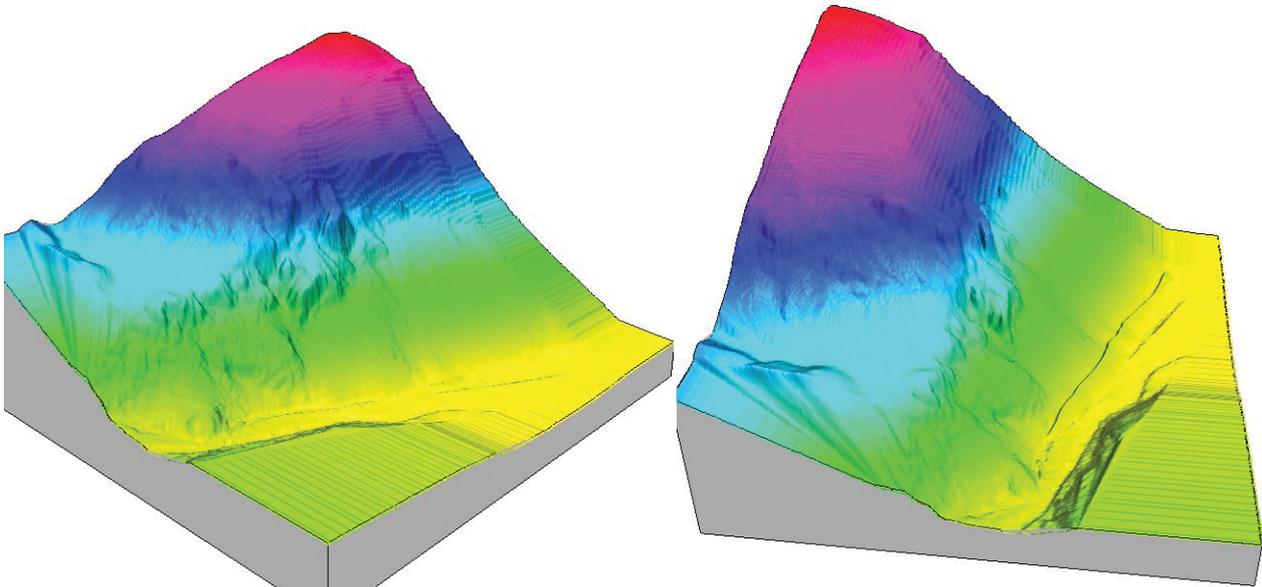
Le simulazioni hanno ipotizzato due differenti zone di distacco. La zona di distacco 1 coincide con l'area dell'evento 2010, mentre la zona di distacco 2 è posta più a sud, a monte di un canale morfologico con segni abbastanza evidenti di rilasci di materiale in tempi recenti.

Per la zona di distacco 1 sono stati ipotizzate due volumetrie: il distacco di 3.400 mc di materiale e di 10.500 mc, in coerenza con gli approfondimenti condotti da Fontan et al. (2011). L'evento contraddistinto da una maggior magnitudo riguarda il distacco di un "pilastro" roccioso svincolato a tergo da un giunto aperto (S4). In assenza di ulteriori approfondimenti è stato considerato come lo scenario più catastrofico nel caso di crollo in massa.

Le simulazioni sono state condotte impiegando i parametri reologici definiti nel paragrafo precedente (simulazione n. 8) variando esclusivamente la base topografica. Sono state analizzate le seguenti configurazioni morfologiche:

- la configurazione attuale. DEM con passo delle celle di 2x2 metri ottenuto dall'interpolazione delle curve di livello fornite. Il sistema difensivo è rappresentato dalle opere esistenti a monte della strada provinciale (immagine di sinistra);

- la configurazione con il vallo previsto dal progetto. La geometria del vallo è stata fornita in formato TIN, poi integrata nel DEM di configurazione attuale con strumenti di analisi raster. (immagine a destra).



12.3.1 Risultati ottenuti per la zona di distacco 1

Nel caso di un distacco di 3.400 mc e propagazione in massa, il materiale risulterebbe interamente contenuto dal vallo in progetto. Il risultato è in linea con quanto ottenuto da studi precedenti. Si evidenzia addirittura una scelta più conservativa dei parametri reologici che determinano un maggior avanzamento generale del flusso.

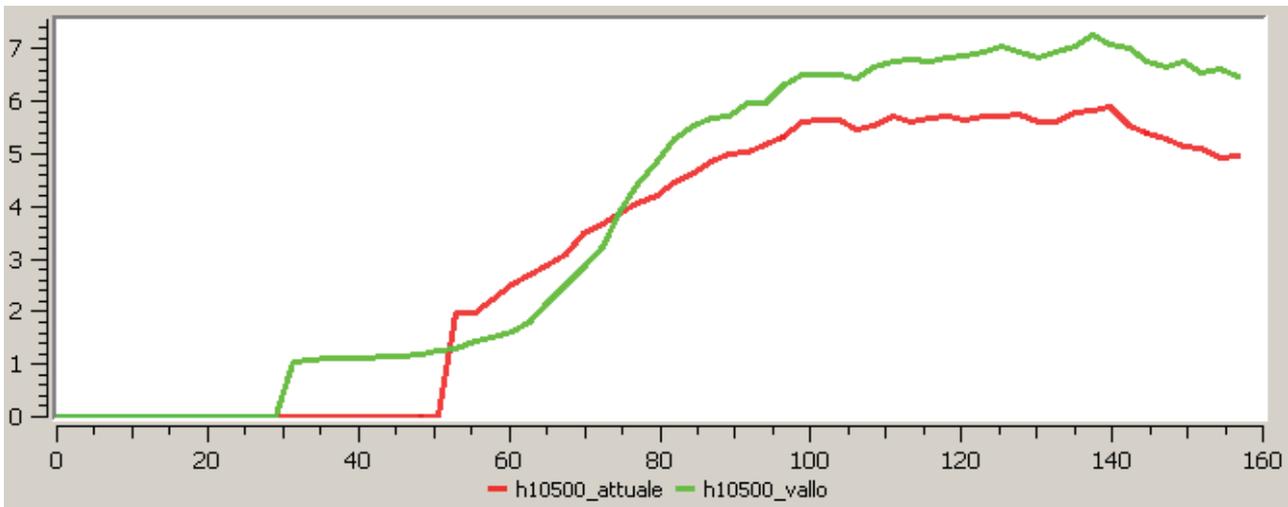
Nel caso di un crollo in massa di 10.500 mc, il materiale risulterebbe in gran parte trattenuto dai sistemi difensivi esistenti o in progetto ma, a differenza della simulazione precedente, il cumulo supera l'altezza dell'opera, e in minima parte si depositerebbe a valle. Il fenomeno si esaurisce nell'arco di circa 90/100 secondi. Il confronto tra i risultati conseguiti con la morfologia attuale e con la presenza del vallo mostra differenze soprattutto in termini di massimo avanzamento del flusso e di velocità di propagazione allo stadio finale.

Di seguito si riportano i profili delle altezze (asse Y) del cumulo detritico (la traccia delle sezioni è riportata sulle tavole allegate). In rosso i risultati per la situazione attuale, in verde per la situazione con vallo.

In generale la massima distanza raggiunta dal flusso si ottiene allo stato attuale, così come è maggiore l'area complessivamente interessata dal deposito. La presenza del vallo in progetto determina un minor avanzamento del flusso, ad eccezione di due punti di fuoriuscita. Al fine di considerare l'entità dello sversamento è stata tracciata la sezione A-A', che mostra la possibilità che uno spessore di materiale di circa 1 metro possa fuoriuscire dal vallo e riversarsi a valle. L'altezza del deposito a monte del vallo varia da 5

a 7 metri, ed esaurisce gran parte della capacità di invaso dell'opera in progetto. Il detrito, dopo aver superato l'altezza del vallo, acquisisce velocità per effetto dello scivolamento sul fianco del rilevato. Le energie associate a detto fenomeno sono decisamente più modeste e potrebbero essere contrastate da opere di difesa più limitate e circoscritte (barriere paramassi, ecc).

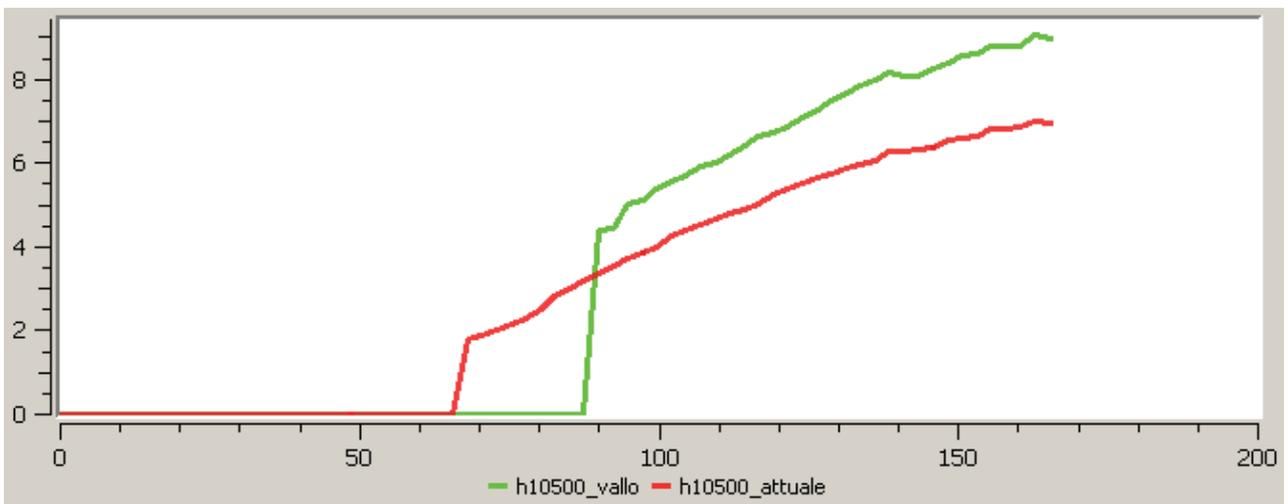
PROFILO DELLE ALTEZZE (m)



A

A'

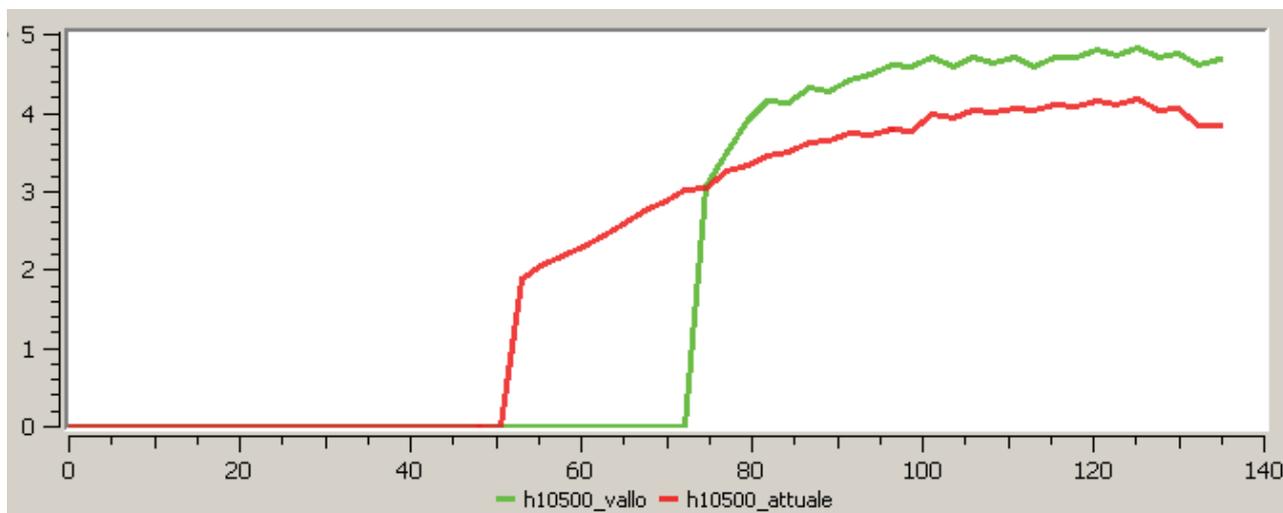
PROFILO DELLE ALTEZZE (m)



B

B'

PROFILO DELLE ALTEZZE (m)

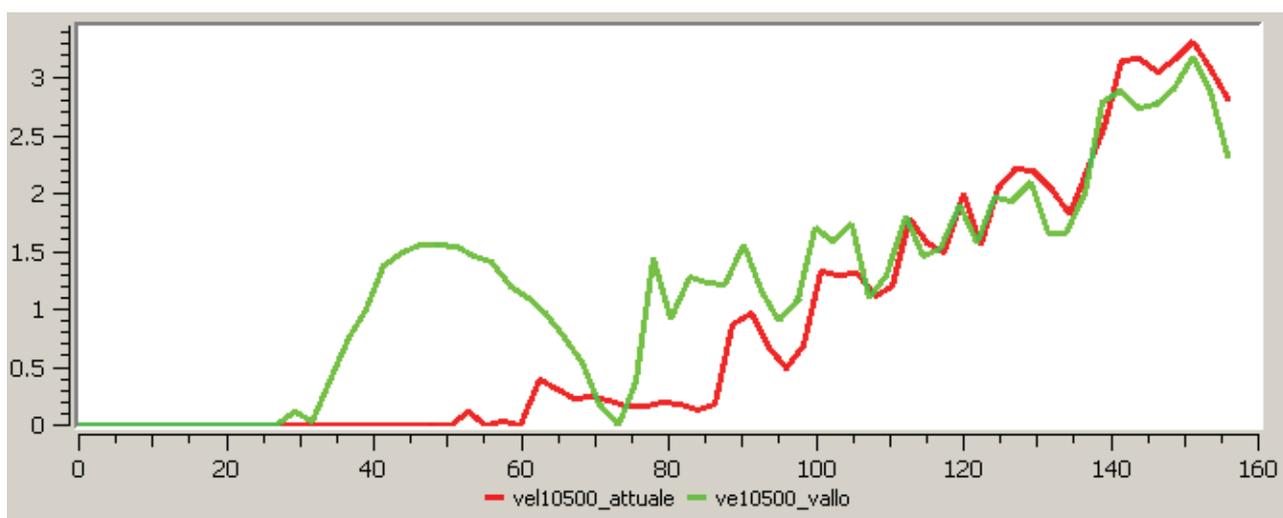


C

C'

I profili delle velocità in corrispondenza delle sezioni mostrano valori decisamente bassi in tutti i casi (mediamente inferiori a 1 m/sec). Sui profili è facilmente identificabile la presenza del rilevato in progetto che abbassa repentinamente le velocità ed annulla l'avanzamento del flusso. L'unica eccezione, come descritto in precedenza, è evidenziata dalla sezione A-A' dove il flusso acquisisce nuova velocità per la caduta sul fianco dell'opera. I valori di velocità indicati si riferiscono ad una direzione di avanzamento parallela alla topografia.

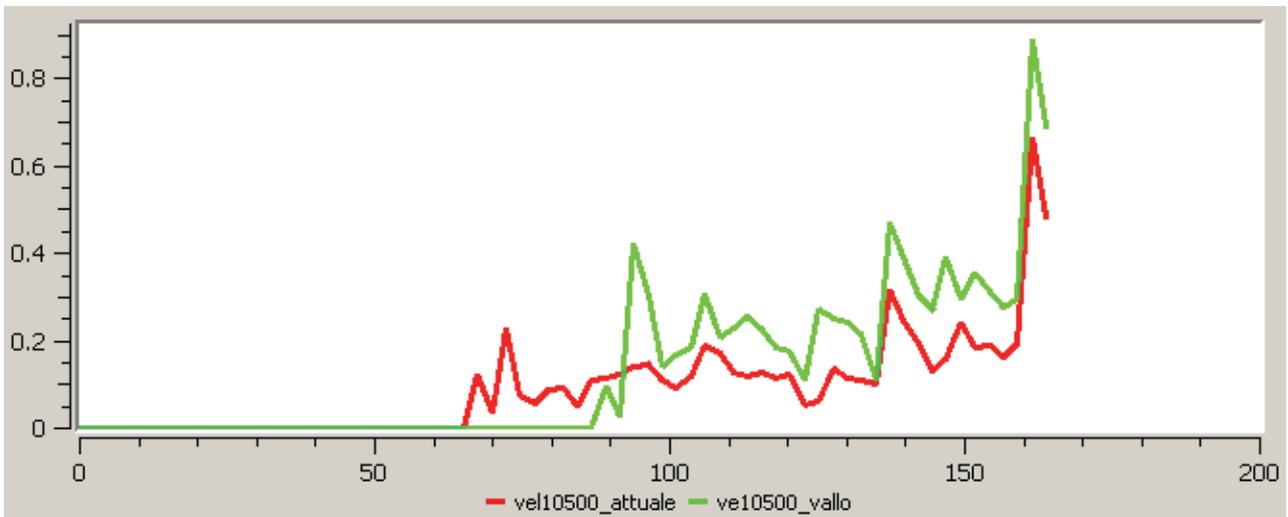
PROFILO DELLE VELOCITA' (m/sec)



A

A'

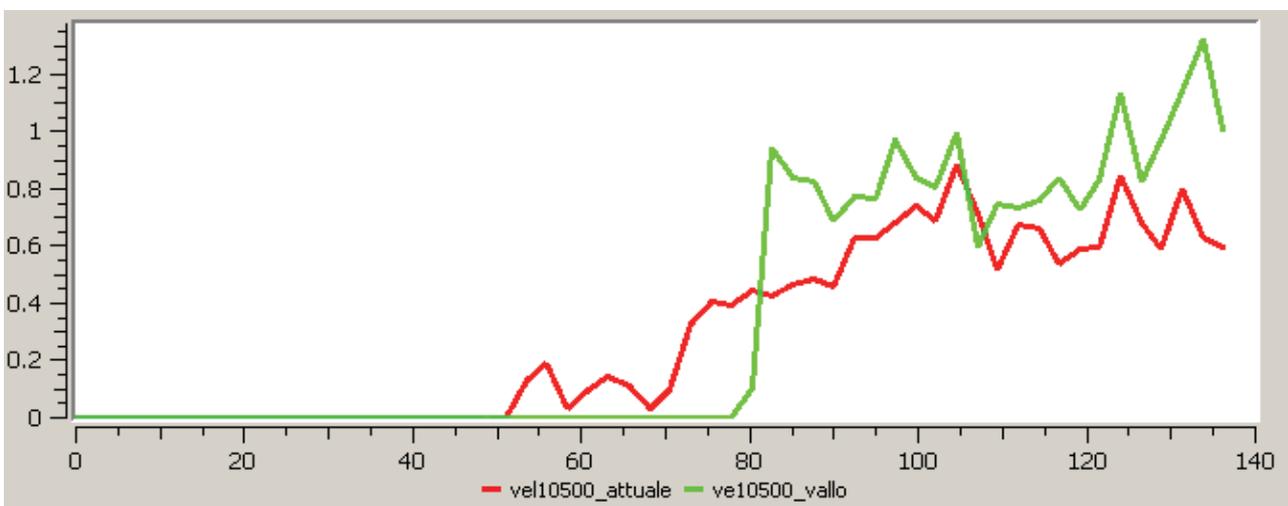
PROFILO DELLE VELOCITA' (m/sec)



B

B'

PROFILO DELLE VELOCITA' (m/sec)



C

C'

12.3.2 Risultati ottenuti per la zona di distacco 2

Per avere un quadro esaustivo dell'intera area di intervento è stata approfondita la pericolosità associata a distacchi in massa anche nel settore meridionale della zona studio.

In questa area non sono disponibili approfondimenti geomorfologici o strutturali e non si hanno informazioni sui volumi di distacco attesi o delle aree sorgenti ipotetiche. Dall'esame delle ortofoto è stato individuato un canalone morfologico soggetto a periodici svuotamenti ed è stata ipotizzata una volumetria pari a quella stimata per l'evento 2010 (2.000 mc circa).

Si ritiene la scelta sufficientemente rappresentativa del settore indagato in assenza di ulteriori approfondimenti. In analogia alle analisi precedenti, le simulazioni sono state condotte impiegando i parametri reologici ottenuti dalla back analysis variando esclusivamente la base topografica. Sono state analizzate le seguenti configurazioni morfologiche:

- la configurazione attuale. DEM con passo delle celle di 2x2 metri ottenuto dall'interpolazione delle curve di livello. Il sistema difensivo è rappresentato dalle opere esistenti a monte della strada provinciale;
- la configurazione con il vallo previsto dal progetto. La geometria del vallo è stata fornita in formato TIN, poi integrata nel DEM di configurazione attuale con strumenti di analisi raster.

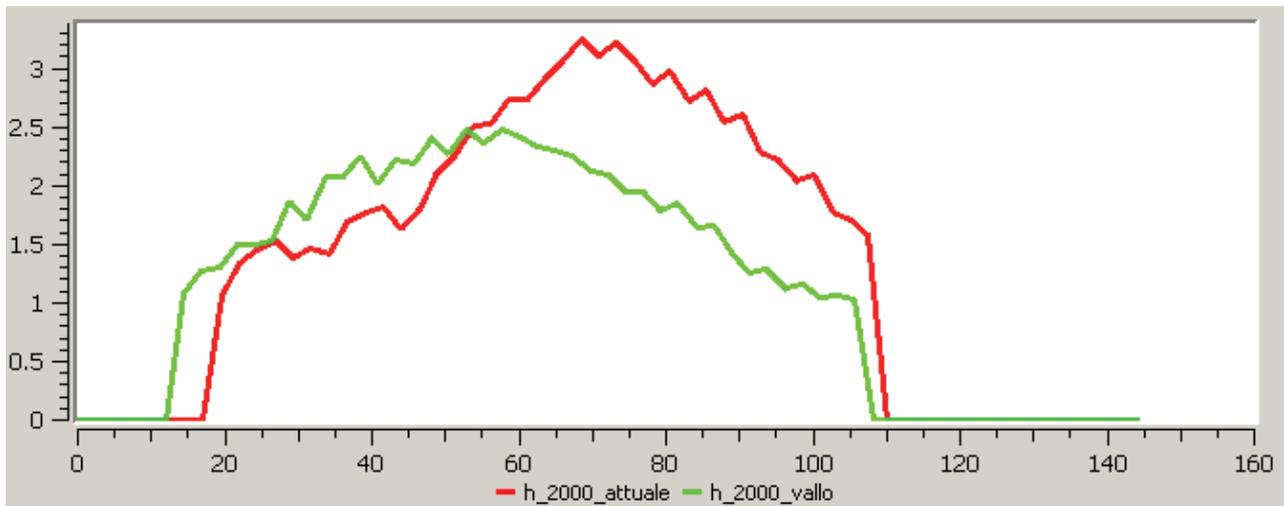
Nel caso di un crollo in massa di 2.000 mc, il materiale andrebbe ad arrestarsi in gran parte a monte della viabilità provinciale. Dopo il distacco il flusso impiega circa 20 secondi per raggiungere la superficie stradale e 50 per esaurire il movimento.

Di seguito si riportano i profili delle altezze e delle velocità (asse Y) del cumulo detritico (la traccia delle sezioni è riportata sulle tavole allegate). In rosso i risultati per la situazione attuale, in verde per la situazione con vallo.

Dall'esame delle sezioni emerge che la presenza del vallo determina una riduzione del materiale complessivamente accumulato sulla sede stradale (circa 2 metri). La propagazione verso valle del flusso detritico è pressoché analogo nei due casi. La potenza del detrito è tale da escludere ipotetici sbarramenti del deflusso del corso d'acqua.

I profili delle velocità mostrano valori estremamente ridotti in corrispondenza della sede stradale. Si nota un picco di velocità a monte del vallo, di scarso interesse data l'assenza di infrastrutture.

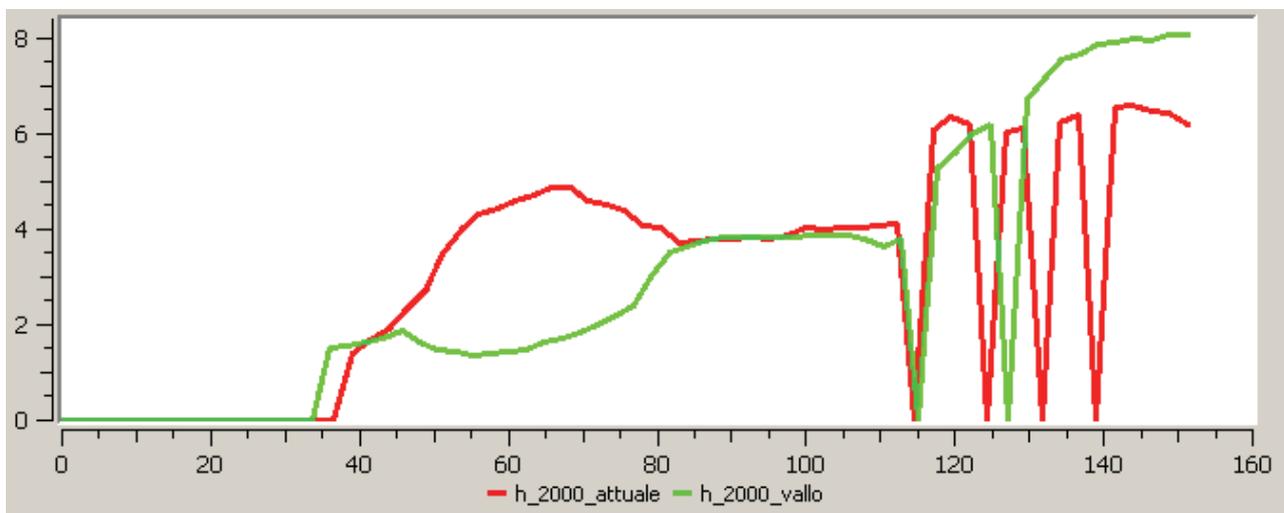
PROFILO DELLE ALTEZZE (m)



D

D'

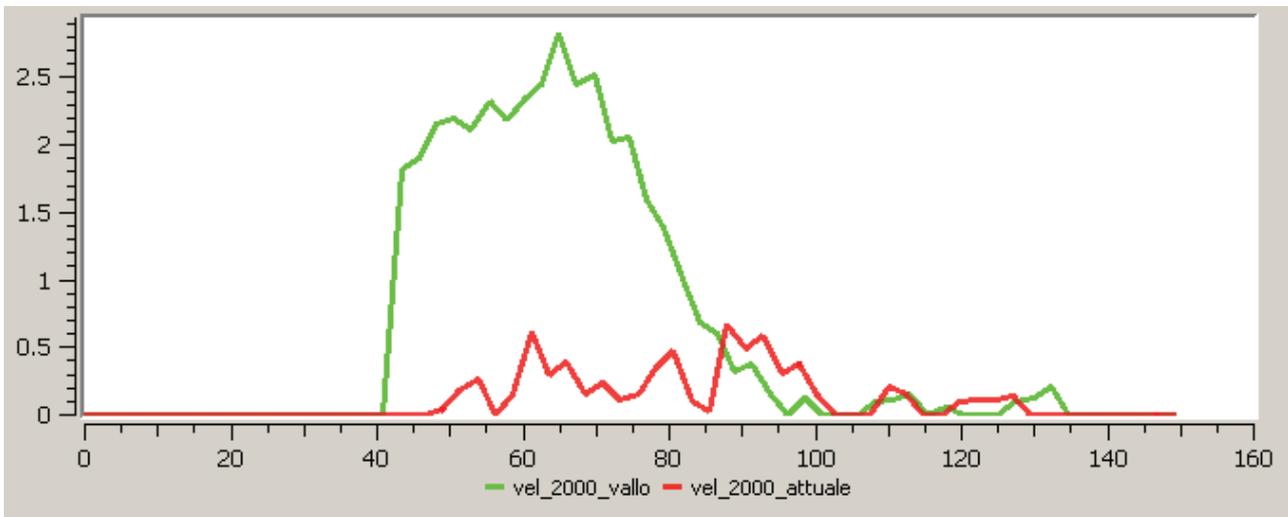
PROFILO DELLE ALTEZZE (m)



E

E'

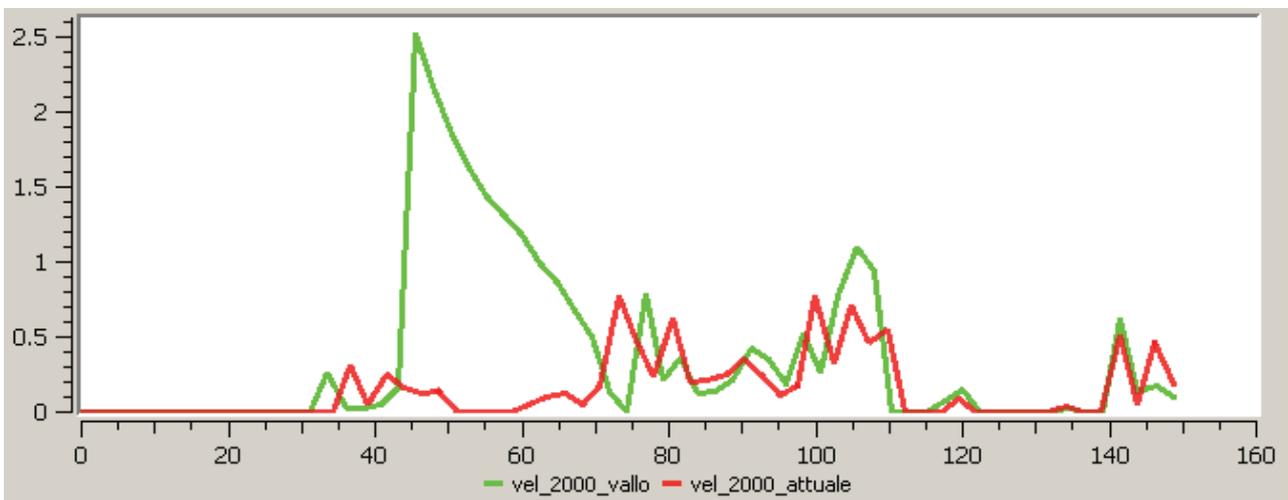
PROFILO DELLE VELOCITA' (m/sec)



D

D'

PROFILO DELLE VELOCITA' (m/sec)



E

E'

12.4 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE SUI PROCESSI DI ROCK AVALANCHE

Le simulazioni con il codice MassMov2d (v0.91) forniscono elementi quantitativi e soggettivi per la previsione degli effetti di un crollo in massa in termini di spessore, massimo avanzamento e velocità. Il codice implementa equazioni che simulano lo spandimento in massa, non è in grado di simulare i meccanismi di avanzamento tipici dei crolli (rimbalzo, rotolamento, scivolamento) trattati da codici *lumped mass*, né l'effetto combinato delle due tipologie di propagazione.

Negli ultimi anni la letteratura scientifica vede una costante crescita del numero di pubblicazioni sull'uso, il confronto e lo sviluppo di nuovi codici di calcolo per l'analisi del runout; l'interesse scientifico per la materia è vivo ed in continua evoluzione. L'importanza delle simulazioni di runout in ambito applicativo è chiara: permettono di prevedere la propagazione del materiale e di definire differenti scenari di pericolosità e di rischio nel territorio esaminato. Al momento i principali limiti riguardano l'incertezza dei dati di ingresso. Le prove sperimentali sono rare e la back analysis è l'unico strumento per la taratura dei parametri in grado di fornire una base di partenza sufficientemente solida. Si evidenzia che non necessariamente il comportamento reologico di due differenti meccanismi di rottura nella stessa area sarà il medesimo.

L'impostazione del problema è avvenuta ricorrendo ad una reologia di tipo Voellmy, per la quale era disponibile un numero maggiore di casi studio per la stima dei parametri. Il meccanismo di rottura ipotizzato è stato quello del rock avalanche, ipotizzando l'assenza di acqua. Si è tuttavia consapevoli che le volumetrie tipicamente coinvolte in un rock avalanche superano abbondantemente le centinaia/migliaia di metri cubi e si attestano intorno al milione di metri cubi. Nel caso in esame i volumi massimi sono di 10.500 mc e sarebbe forse più corretto classificare il processo più genericamente come crollo.

Prima di procedere alla taratura del codice sono stati generati i modelli digitali del terreno (DEM), la base cartografica ha permesso di mantenere un buon grado di dettaglio, con un passo delle celle di 2x2 metri. La terna di parametri che influenza in maniera più significativa il risultato è costituita dall'angolo di attrito basale, dall'angolo di attrito interno e dal coefficiente di turbolenza. Dopo alcuni tentativi sono stati scelti i valori che hanno meglio approssimato quanto avvenuto nel 2010.

Le simulazioni hanno considerato due differenti punti di distacco. Il primo coincide con il settore di versante interessato dall'evento 2010, in questo caso il volume della frana è stato posto pari a 3.400 mc e a 10.500 mc. Nel caso di distacco di 3.400 mc il vallo è in grado di contenere l'intero flusso detritico, mentre nel caso più catastrofico di 10.500 mc viene evidenziata la potenziale fuoriuscita di materiale per il superamento della capacità di invaso del rilevato in due punti. I volumi che si propagano oltre il rilevato sono in ogni caso ridotti e anche limitate sono le velocità del flusso a valle dell'opera.

Il secondo punto di distacco si trova nel settore meridionale dell'area di studio, dove è presente un canale morfologico attivo; qui è stata ipotizzata una volumetria di 2.000 mc. In questo caso l'area disponibile per la deposizione del flusso è molto più limitata, a causa delle condizioni di maggiore acclività del pendio, e si assiste allo sversamento di materiale sulla viabilità sia nelle condizioni attuali che in presenza del rilevato. L'opera, tuttavia, riduce sensibilmente lo spessore del deposito finale e le energie in gioco.

Sulla base di quanto ottenuto, si ritiene che gli interventi in progetto contribuiscano a ridurre significativamente la pericolosità dell'area di studio rispetto a crolli in massa poiché determinano, in linea generale, una riduzione dei volumi e dell'avanzamento verso valle del flusso detritico.

Per quanto riguarda la zona di distacco 1, i risultati suggeriscono l'opportunità di introdurre opere di difesa passive aggiuntive atte a contrastare eventuali sversamenti di materiale non interamente trattenuto dal vallo nel caso di distacco di 10.500 mc. In alternativa si può anche pensare di procedere ad un'azione di disgaggio preventivo delle masse instabili più voluminose, a seguito di valutazioni di terreno più dettagliate al momento non possibili.

Nel caso della zona di distacco 2 si ritiene opportuno un approfondimento volto a definire gli effettivi volumi instabili mobilizzabili in massa.

In senso generale può inoltre essere ipotizzabile installare un sistema di monitoraggio in continuo in parete.

13 CONCLUSIONI

Alla luce di quanto sopra esposto, sulla base delle caratteristiche geologiche e geomorfologiche dell'area in esame e delle considerazioni esposte nella presente relazione in merito alla situazione di rischio connesso ai fenomeni di caduta massi, la realizzazione dell'opera di contenimento rappresentata da un vallo paramassi di grandi dimensioni appare essere una delle soluzioni migliori, se non la più idonea tra quelle percorribili, nel tentativo di ridurre in modo accettabile la situazione pericolosità e di rischio esistente.

Le simulazioni effettuate per quanto concerne i processi di caduta massi indicano che l'opera rappresentata dal vallo paramassi determini una netta diminuzione della propagazione verso valle dei blocchi rispetto allo stato attuale. Pur essendo confermata una pericolosità residua nel settore meridionale dell'area di studio dovuta alla possibilità di superamento del vallo da parte di alcuni massi, le energie e le velocità in gioco diminuiscono in misura significativa, anche e soprattutto nel settore centrale coinvolto nel fenomeno parossistico del maggio 2010.

Per quanto concerne possibili, anche se statisticamente forse più rari, fenomeni di rock avalanche, in particolare considerando volumi di roccia molto elevati, fino ai 10.500 m³ come già ipotizzato nello studio precedente del dott. geol. Dario Fontan, le analisi effettuate del processo in 3D hanno evidenziato il permanere di condizioni di rischio residuo nei confronti delle infrastrutture poste a valle del rilevato, in particolare per quanto riguarda l'interessamento della S.P. 216.

Ulteriori modellazioni effettuate inserendo opere di protezione aggiuntive sulla testa del vallo in progetto hanno evidenziato il conseguimento di un livello di protezione ancora più efficace, in particolare nei confronti del settore a rischio più elevato, per cui si ritiene di poter suggerire una futura integrazione al presente progetto sulla base di ulteriori approfondimenti. In alternativa si potrà pensare di provvedere al disgaggio preventivo di tali masse rocciose, prima della realizzazione del vallo.

I terreni di fondazione della futura opera, rappresentati da materiali detritici e depositi alluvionali granulari grossolani, appaiono caratterizzati da buoni parametri geomeccanici, pertanto risultano, sulla base delle indagini effettuate, in grado di sostenere i carichi di progetto senza dare origine a cedimenti significativi, in particolare in considerazione della tipologia di opera prevista, che può subire in modo accettabile modesti fenomeni di progressiva compattazione dei sedimenti.

Le verifiche di stabilità confermano la fattibilità tecnica delle scelte progettuali, rimandando comunque ulteriori verifiche al momento della disponibilità reale del materiale da utilizzare per la realizzazione dell'opera. A questo proposito si rimanda integralmente la trattazione di questo argomento alla Relazione Geotecnica.

Raccomandazione generale necessaria risulta comunque la predisposizione di un adeguato sistema di drenaggio e scolo delle acque di precipitazione, utile in particolare in concomitanza del periodo primaverile ed autunnale, e di quelle connesse allo scioglimento delle nevi. La corretta gestione dell'acqua di scorrimento e infiltrazione appare infatti cruciale per la stabilità dei riporti di terreno e delle scarpate, per cui deve essere il più possibile raccolta ed allontanata in modo ottimale, evitando nel modo più assoluto situazioni di accumulo e ristagno sia a monte sia al piede del rilevato. Il progetto prevede

peraltro la costruzione di una trincea drenante in corrispondenza dell'intero sviluppo del vallo, oltre a canalette di scolo sulla superficie del paramento esterno del rilevato ed alla base di esso.

Per quanto concerne gli aspetti connessi alla dinamica torrentizia, l'area di intervento interseca nella sua porzione superiore un tratto di fondovalle attivo, senza tuttavia modificare significativamente le condizioni di deflusso e possibilità di laminazione. Il T. Melezet appare regimato nel tratto in questione e delimitato da un'opera di protezione spondale in sinistra idrografica.

14 BIBLIOGRAFIA

AA.VV. (2008) - *Progetto Interreg IIIa 2000-2006 Alpi Latine Cooperazione Transfrontaliera Italia - Francia. Progetto n. 165 Proviaalp, Protezione della viabilità alpina - Rapporto finale*, pp. 164-169.

Beguiria S., Van Asch Th.W.J., Malet J.P., Gröndhal S., (2009) *A GIS-based numerical model for simulating the kinematics of mud and debris flows over complex terrain*. Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol. 9, Number 6, 1897-1909

Cannata M. (2007) - *RiskBox: Natural Hazards and Risks Analysis within the GIS GRASS*. Oral presentation at the FOSS4G conference, Victoria, Canada.

Cannata M., Marzocchi R., (2009) - *Two-dimensional dam break flooding simulation: a GIS embedded approach*. Proceedings of the Free and Open Source Software for Geospatial (FOSS4G 2009) conference. Sydney, Australia

Corominas J. (1996) - *The angle of reach as a mobility index for small and large landslides*. Canadian Geotechnical Journal, 33, pp. 260-271.

Del Maschio L., Gozza G., Piacentini D., Pizziolo M., Soldati M. (2007) - *Previsione delle traiettorie di blocchi mobilizzati da frane di crollo: applicazione e confronto di modelli*. Giornale di Geologia Applicata 6 (2007), pp. 33-44.

Evans S.G., Hungr O., (1993) - *The assessment of rock fall hazard at the base of the talus slope*. Canadian Geotechnical J., Vol.30, pp. 620-636.

Filipello A., Giuliani A., Mandrone G. (2010) - *Rock Slopes Failure Susceptibility Analysis: From Remote Sensing Measurements to Geographic Information System Raster Modules*. American Journal of Environmental Sciences 6 (6): 489-494

Fontan, Damiano, Dematteis, Dotta (2011) *Melezet – caduta massi del 21 maggio 2010 ore 20:40. Proposte di intervento. Relazione geologica e simulazioni numeriche*. 75 pagine

Heinimann H.R., Holtenstein K., Kienholz H., Krummenhacher B., Mani P. (1998) - *Methodenzur Analyse und Bewertung von Naturgefahren*. Umwelt-Materialien Nr. 85, Naturgefahren, BUWAL, Bern, 248 pagine.

Hungr O. and Evans S.G., (1996) - *Rock avalanche runout prediction using a dynamic model*. Procs., 7th. International Symposium on Landslides, Trondheim, Norway, 1:233-238

Hungr O., Evans S.G. (1988) - *Engineering evaluation of fragmental rockfall hazards*, V Symposium on Landslides, Losanna.

Jaboyedoff M., Labiouse V. (2003) - *Preliminary assessment of rockfall hazard based on GIS data*. Proc. of the 10th ISRM Congress, South African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg, pp 575-578.

Kinnmark I.P.E., b (1985) - *The shallow water equations: formulation, analysis and application*. In: Brebia, C.A., Orszag, S.A. (Eds.), Lecture Notes in Engineering, Vol. 15. Springer, Berlin, 187 p

Lied K. (1976) - *Rockfall problems in Norway*. Rockfall dynamics and protective works effectiveness. ISMES publ., n. 90, Bergamo, pp. 51-53.

Molinari M., Cannata M., Ambrosi C., Begueria S. (2011) *Numerical modelling for risk scenarios generation* 9th Swiss Geoscience Meeting, Zurich 2011 (presentazione online)

Pamini R., Bozzolo D., (1982) - *Modello matematico per lo studio della caduta dei massi*. Dipartimento della pubblica Educazione, Cantone Ticino

PHILLIPS, C.J. E T.R.H. DAVIES. (1991). *Determining rheological properties of debris flow material*. Geomorphology, 4: 101-110.

Studio Geologico Tecnico Lecchese, (2005) - *Relazione geologico-strutturale della zona dei Torrioni di Rialba nel Comune di Abbadia Lariana*

Terziano A. (2006) - *Il metodo dello "shadow angle" per lo studio della suscettibilità da crolli in roccia: un esempio di applicazione in termini probabilistici*. Tesi di Laurea in Ingegneria della Protezione del Territorio, Facoltà di Ingegneria, Politecnico di Torino, 174 pagine.

Turconi, Dotta (2011) *Melezet – caduta massi del 21 maggio 2010 ore 20:40. Proposte di intervento. Analisi storica e geomorfologica del versante sinistro del torrente Dora di Melezet interessato dalla frana del 20 maggio 2011*. 42 pagine

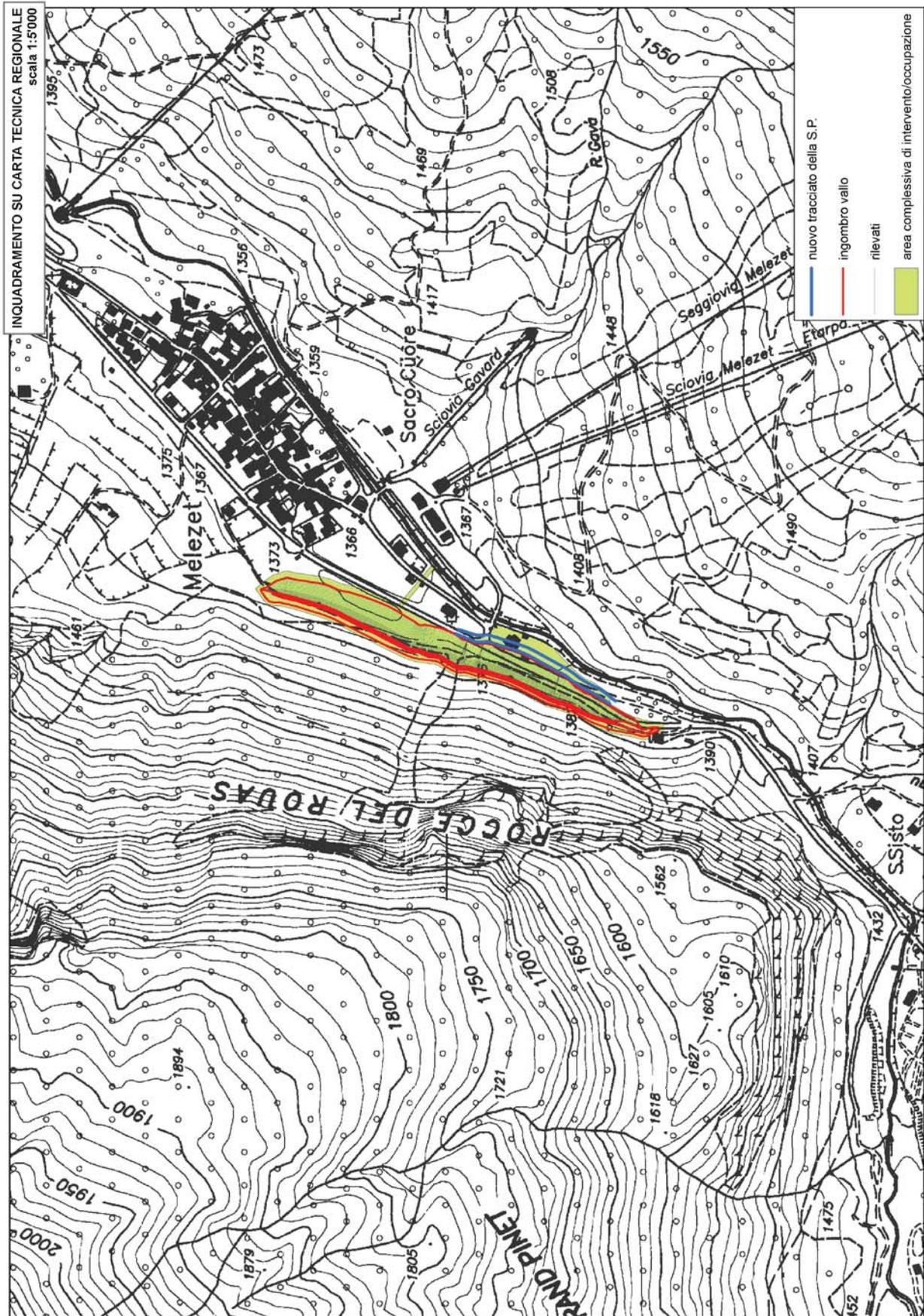
Voellmy A., (1955) - *Ueber die Zerstorungskraft von Lawinen*. Schweizerische Bauzeitung, 73: 212-285

15 ALLEGATI

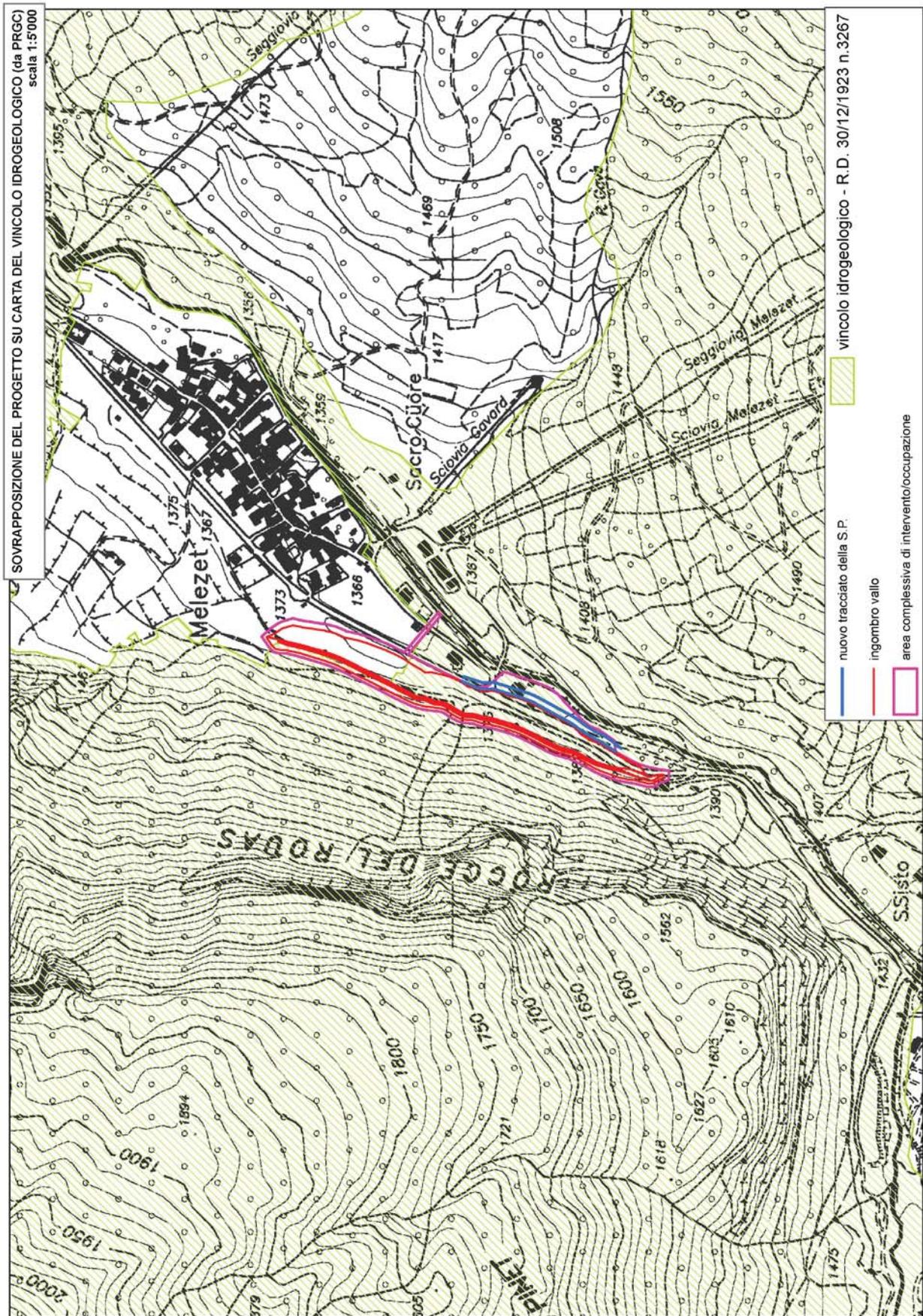
- Tavole di inquadramento
- Documentazione bibliografica
- Rapporto delle simulazioni dei fenomeni di caduta massi
- Rapporto relativo ai processi di rock avalanche

15.1 TAVOLE DI INQUADRAMENTO

- Posizione opera in progetto su base CTR
- Posizione opera in progetto su base ripresa aerea (fotogrammetrico)
- Posizione opera in progetto su base CTR con Vincolo Idrogeologico







15.2 DOCUMENTAZIONE BIBLIOGRAFICA

- Elaborati cartografici delle indagini geomorfologiche a supporto del Piano Regolatore Generale del Comune di Bardonecchia– redatti dal Dott. Geol. E. Zanella
 1. Stralcio tratto dalla Carta geomorfologica e dei dissesti di versante – scala 1:5.000 (riprodotto fuori scala)
 2. Stralcio tratto dalla Carta delle Valanghe - scala 1:25.000
 3. Stralcio tratto dalla Carta di sintesi della pericolosità geomorfologica e dell'idoneità all'utilizzazione urbanistica – scala 1:5.000 (riprodotto fuori scala)
 4. Stralcio della Carta della Zonazione Urbanistica urbanistica – scala 1:5.000 (riprodotto fuori scala)



COMUNE DI BARDONECCHIA
COMUNITA' MONTANA ALTA VALLE SUSA
Provincia di Torino

PIANO REGOLATORE GENERALE

VARIANTE DI ADEGUAMENTO AL PAI

(Art. 18 N.d.A.)

TGE2

CARTA GEOMORFOLOGICA E DEI DISSESTI DI VERSANTE

scala 1:5.000

(copia conforme all'elaborato depositato all'ARPA Piemonte e alla Direzione OOPP di Torino)

LEPORATI dr. geol. PAOLO

ZANELLA dr. geol. EUGENIO

marzo 2007

Dissesti di versante e loro stato di attività

Frane attive



Frane quiescenti



Frane stabilizzate



Frane non cartografabili alla scala dell'elaborato

Elementi morfologici

Falde detritiche e coni attivi e loro aree di alimentazione



Movimenti di colamento della copertura detritica legati ai fenomeni di gelo e disgelo

Nicchie di distacco



fenomeni attivi

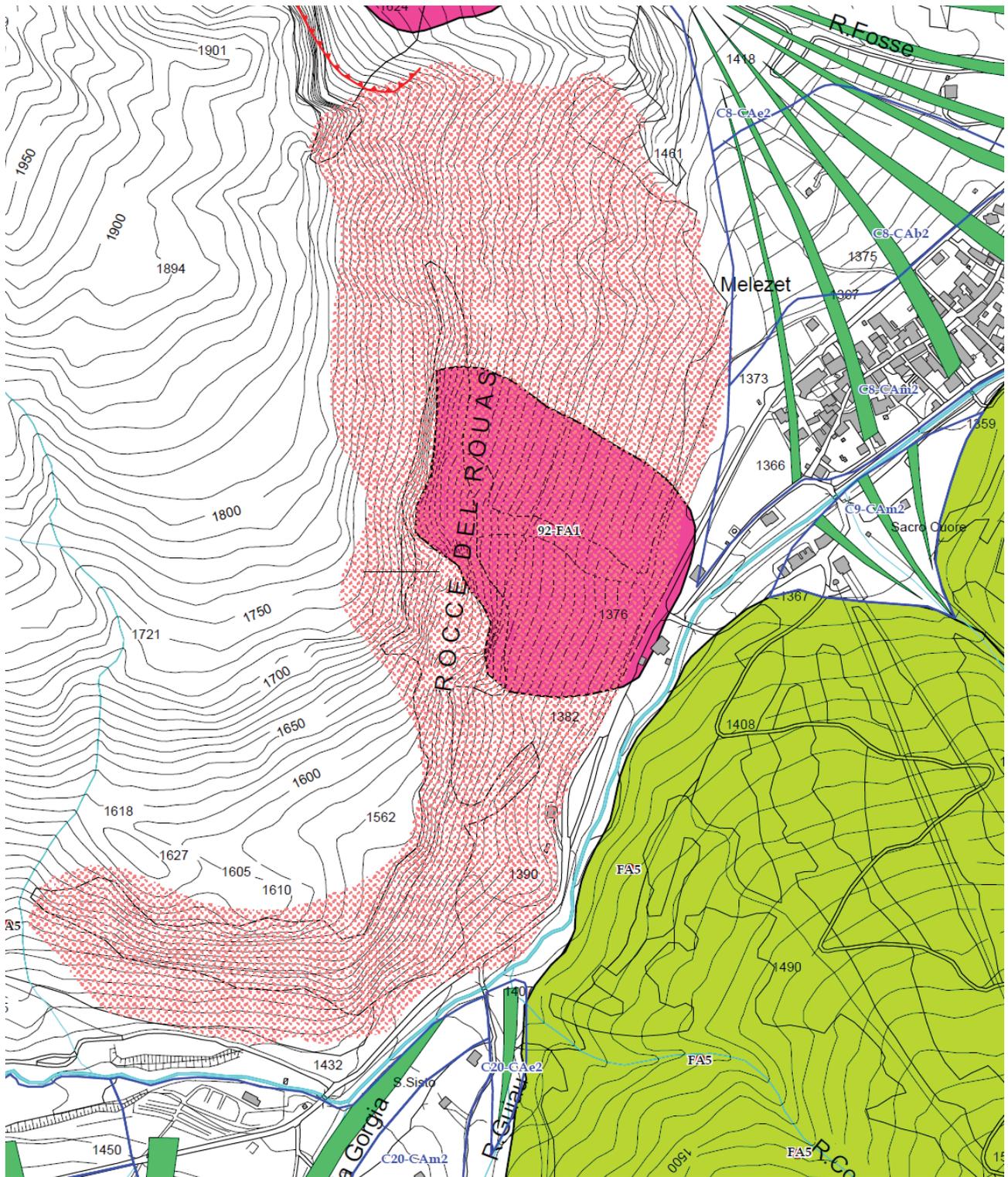


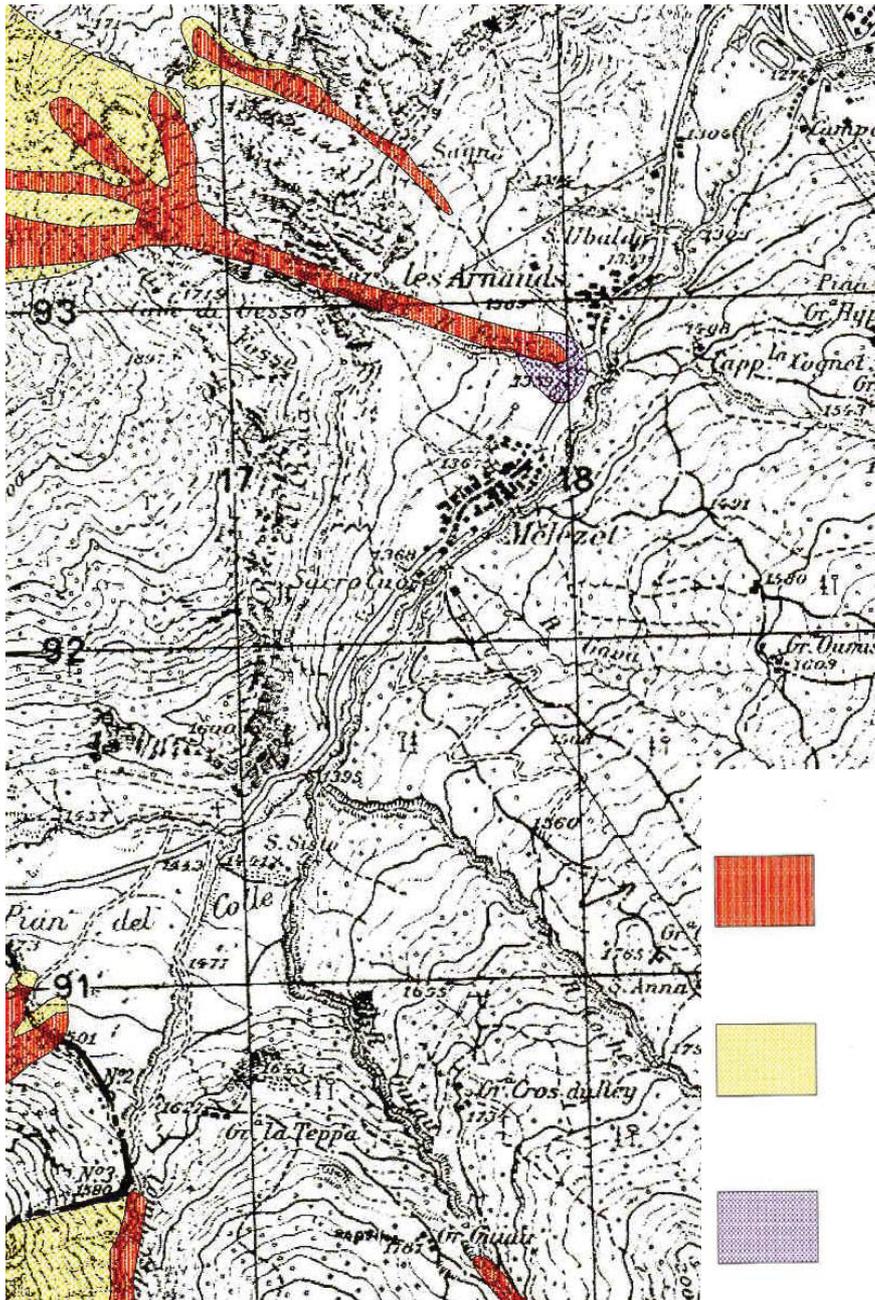
fenomeni quiescenti



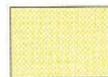
Conoidi alluvionali

***Le codifiche corrispondono a quelle della legenda regionale All.2
alla D.G.R. 15 luglio 2002 n.45-6656.***





Fenomeni valanghivi a contorno e traiettorie definiti in base ai rilievi sul terreno e fotointerpretazione.



Aree entro le quali possono verificarsi distacchi differenziati nel tempo e nello spazio.



Aree interessate dal eventuale "soffio di valanga".



Valanghe di dimensioni limitate non cartografabili nella scala dell'elaborato.

Fonti:
 REGIONE PIEMONTE - Carta di localizzazione probabile delle valanghe.
 CAPELLO C.F. - Archivio storico-topografico delle valanghe italiane.
 Provincia di Torino



REGIONE PIEMONTE - PROVINCIA DI TORINO
COMUNE DI BARDONECCHIA
 COMUNITA' MONTANA ALTA VAL SUSA

P.R.G.C.

VARIANTE GENERALE DI ADEGUAMENTO AL PAI
 ai sensi dell'art.18 delle Norme di Attuazione
 del Piano stralcio dell'Assetto Idrogeologico

PROGETTO DEFINITIVO

TAVOLA

INQUADRAMENTO GENERALE

ZONAZIONE

3D2

indicazione delle classi di idoneita' all'utilizzazione urbanistica

ottobre 2010

scala 1: 2.000

Il progetto

StudioAF
 arch. Giovanni Alifredi
 arch. Alessandro Fubini

Indagini geomorfologiche

dr. geol. Eugenio Zanella

**Resp. Del Procedimento e
 del Servizio E.P. e Urbanistica**

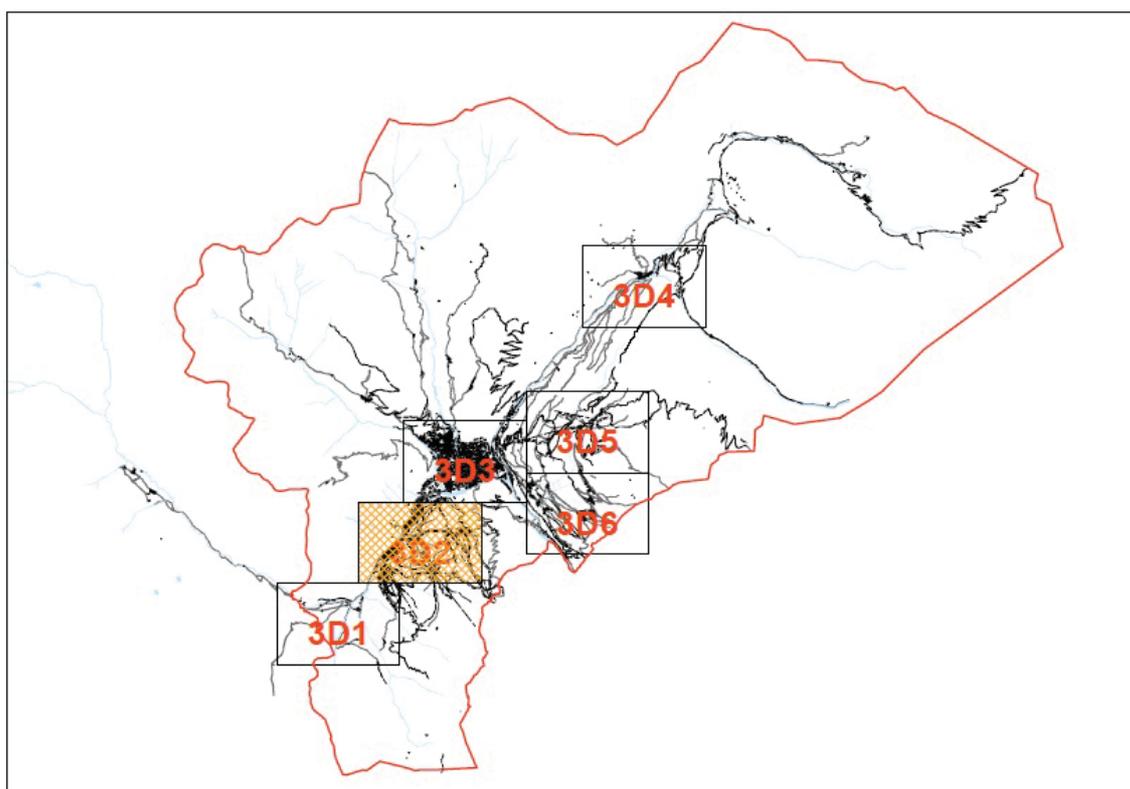
ing. Francesco Cecchini

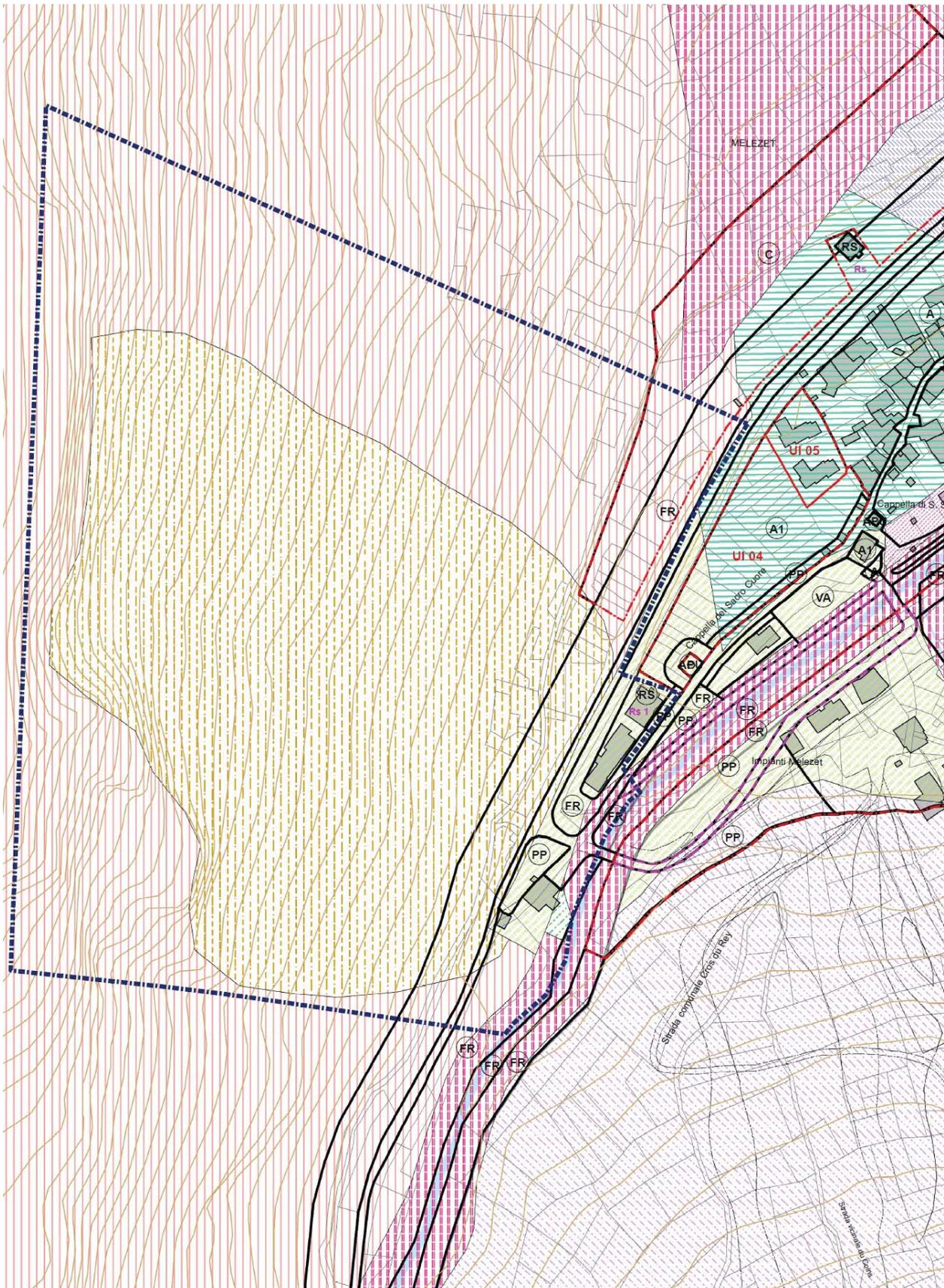
Il Sindaco

I collaboratori

arch. Rossella Enrico

Il Segretario Comunale





LEGENDA

-  CLASSE GEOLOGICA II
-  CLASSE GEOLOGICA III INDIFFERENZIATA 1
-  CLASSE GEOLOGICA III INDIFFERENZIATA 2
-  CLASSE GEOLOGICA III INDIFFERENZIATA 3
-  CLASSE GEOLOGICA IIIA1
-  CLASSE GEOLOGICA IIIA2
-  CLASSE GEOLOGICA IIIA3
-  CLASSE GEOLOGICA IIIA4
-  CLASSE GEOLOGICA IIIB1
-  CLASSE GEOLOGICA IIIB2
-  CLASSE GEOLOGICA IIIB3
-  CLASSE GEOLOGICA IIIB4
-  CLASSE GEOLOGICA IIIB5/1
-  CLASSE GEOLOGICA IIIB5/2
-  CLASSE GEOLOGICA IIIB5/3
-  CLASSE GEOLOGICA IIIB5/4
-  CLASSE GEOLOGICA IIIC
-  AREA PERIMETRATA AI SENSI DELLA L. 267/1998 - ZONA 1
-  AREA PERIMETRATA AI SENSI DELLA L. 267/1998 - ZONA 2
-  AREA DI SALVAGUARDIA MELEZET - SACRO CUORE
-  AREE NORMATIVE
-  AREE E FASCE DI RISPETTO
-  AREE PER ATTREZZATURE DI INTERESSE COMUNE
-  AREE PER ATTREZZATURE PUBBLICHE URBANE E COMPRESORIALI
-  AREE PER L'ISTRUZIONE
-  AREE PER PARCHEGGI DI USO PUBBLICO
-  AREE PER PARCHEGGI PUBBLICI
-  AREE PER VERDE ATTREZZATO (pubblico o di uso pubblico)
-  AREE VERDI E ALLO STATO NATURALE E DI ARREDO URBANO (Variante Campo Smith)
-  IMPIANTI DI USO PUBBLICO (Variante Campo Smith)
-  ZONE INNEVATE PER SPORT INVERNALI (Variante Campo Smith)
-  ZONE ATTREZZATE PER LO SCI (COMPRESORI SCIISTICI)
-  ZONE FERROVIARIE
-  ZONE ALBERGHERE ED EXTRAALBERGHERE (Variante Campo Smith)
-  ZONE INTEGRATE DI SVILUPPO TURISTICO
-  ZONE PER CAMPEGGI
-  ATTREZZATURE TURISTICO RICETTIVE (Variante Colonia Medal)
-  ZONE DI TUTELA STORICO-AMBIENTALE
-  ZONE DI RISPETTO DEI VALORI STORICO-AMBIENTALI
-  ZONE RESIDENZIALI (Variante Campo Smith)
-  ZONE RESIDENZIALI DI COMPLETAMENTO
-  ZONE RESIDENZIALI DI COMPLETAMENTO
-  ZONE RESIDENZIALI SATURE ED EDIFICI ISOLATI
-  ZONE DI ESPANSIONE RESIDENZIALE
-  LIMITE DELLE UNITA' URBANE DI INTERVENTO DEL P.P. DELLE ZONE B DEL CAPOLUOGO
-  AREA DI RICOGNIZIONE
-  SAGOMA LIMITE DI FABBRICAZIONE FUORI TERRA
-  VIABILITA' P.R.G. IN PROGETTO
-  PERCORSI PEDONALI PROTETTI
-  UNITA' DI INTERVENTO DEL P.R.G.
-  UNITA' DI PROGETTAZIONE ESECUTIVA P.R.G.
-  LIMITE PIANO PARTICOLAREGGIATO DELLE ZONE B DEL CAPOLUOGO
-  LIMITE DELLA VARIANTE AL PIANO PARTICOLAREGGIATO DEL CAPOLUOGO
-  CONFINE COMUNALE



REGIONE PIEMONTE - PROVINCIA DI TORINO
COMUNE DI BARDONECCHIA
 COMUNITA' MONTANA ALTA VAL SUSA

P.R.G.C.

VARIANTE GENERALE DI ADEGUAMENTO AL PAI
 ai sensi dell'art.18 delle Norme di Attuazione
 del Piano stralcio dell'Assetto Idrogeologico

PROGETTO DEFINITIVO

TAVOLA

INQUADRAMENTO GENERALE

ZONAZIONE

3C2

ottobre 2010

scala 1: 2.000

Il progetto

StudioAF
 arch. Giovanni Alifredi
 arch. Alessandro Fubini

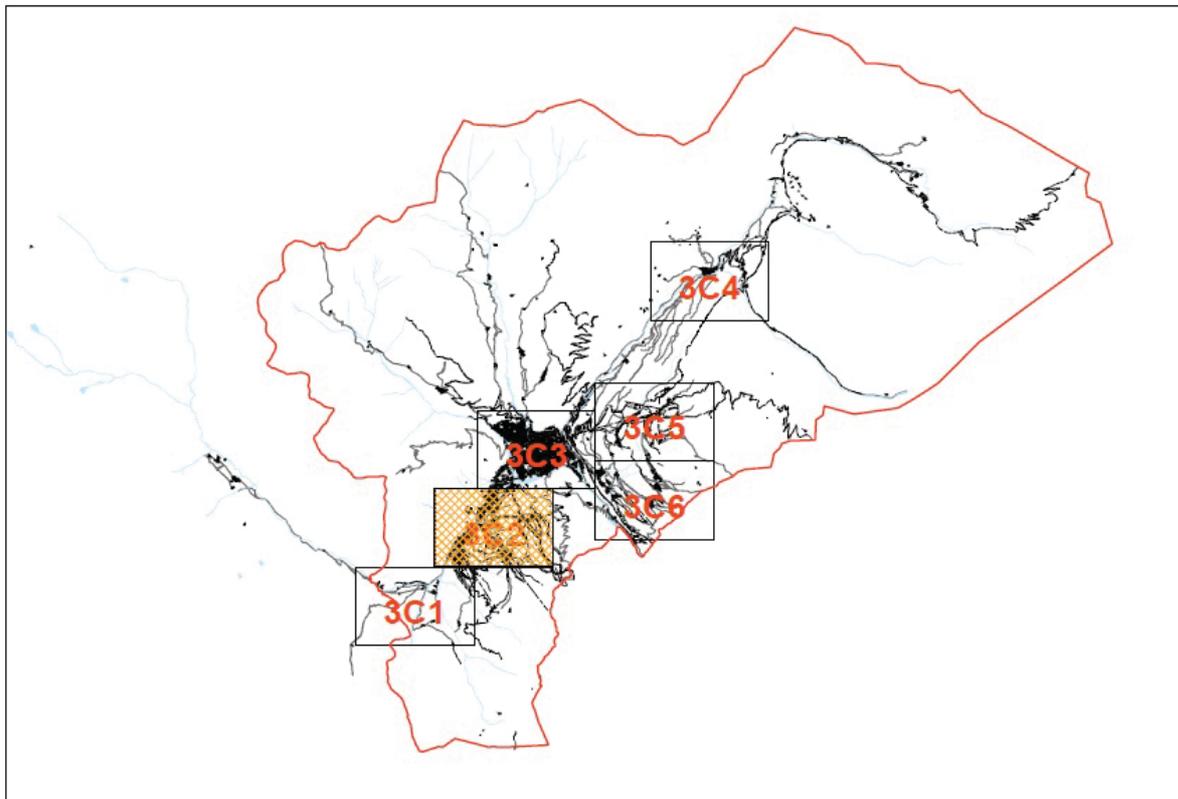
**Resp. Del Procedimento e
 del Servizio E.P. e Urbanistica**
 ing. Francesco Cecchini

Il Sindaco

I collaboratori

arch. Rossella Enrico

Il Segretario Comunale



LEGENDA

	LIMITE DELLE UNITA' URBANE DI INTERVENTO DEL P.P. DELLE ZONE B DEL CAPOLUOGO
	FR - AREE E FASCE DI RISPETTO
	AIC - AREE PER ATTREZZATURE DI INTERESSE COMUNE
	APU - AREE PER ATTREZZATURE PUBBLICHE URBANE E COMPENSORIALI
	AI - AREE PER L'ISTRUZIONE
	PU - AREE PER PARCHEGGI DI USO PUBBLICO
	PP - AREE PER PARCHEGGI PUBBLICI
	VA - AREE PER VERDE ATTREZZATO (pubblico o di uso pubblico)
	Vcs - AREE VERDI E ALLO STATO NATURALE E DI ARREDO URBANO (Variante Campo Smith)
	Ics - IMPIANTI DI USO PUBBLICO (Variante Campo Smith)
	Zics - ZONE INNEVATE PER SPORT INVERNALI (Variante Campo Smith)
	ZAS - ZONE ATTREZZATE PER LO SCI (COMPENSORI SCIISTICI)
	ZF - ZONE FERROVIARIE
	ZAcS - ZONE ALBERGHIERE ED EXTRAALBERGHIERE (Variante Campo Smith)
	ZIST - ZONE INTEGRATE DI SVILUPPO TURISTICO
	ZC - ZONE PER CAMPEGGI
	ATcm - ATTREZZATURE TURISTICO RICETTIVE (Variante Colonia Medail)
	A - ZONE DI TUTELA STORICO-AMBIENTALE
	A1 - ZONE DI RISPETTO DEI VALORI STORICO-AMBIENTALI
	ZRcs - ZONE RESIDENZIALI (Variante Campo Smith)
	B2 - ZONE RESIDENZIALI DI COMPLETAMENTO
	B2/S - ZONE RESIDENZIALI DI COMPLETAMENTO
	RS - ZONE RESIDENZIALI SATURE ED EDIFICI ISOLATI
	C - ZONE DI ESPANSIONE RESIDENZIALE
	AREA DI RICOGNIZIONE
	SAGOMA LIMITE DI FABBRICAZIONE FUORI TERRA (Variante Campo Smith)
	VIABILITA' P.R.G. IN PROGETTO
	PERCORSI PEDONALI PROTETTI
	UNITA' DI INTERVENTO DEL P.R.G.
	UNITA' DI PROGETTAZIONE ESECUTIVA P.R.G.
	AREE AD EDIFICAZIONE NON ATTUABILE PER RAGIONI DI NATURA GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA ai sensi art. 35.17
	ZONE DI TUTELA INDIRECTA TUR D'AMUN
	AREE DI INTERESSE PARTICOLARMENTE IMPORTANTE (Tur d'Amun)
	LIMITE PIANO PARTICOLAREGGIATO DELLE ZONE B DEL CAPOLUOGO
	LIMITE DELLA VARIANTE AL PIANO PARTICOLAREGGIATO DEL CAPOLUOGO
	CONFINE COMUNALE

15.3 RAPPORTO DELLE SIMULAZIONI DEI FENOMENI DI CADUTA MASSI



ALLEGATO 1

Verifiche alla caduta massi

Contiene le seguenti verifiche:

- 1_ATTUALE
- 3_ATTUALE
- 3_PROGETTO
- 5_ATTUALE
- 5_PROGETTO
- 7_ATTUALE
- 7_PROGETTO
- 9_2012 (ATTUALE)
- 9_PROGETTO
- 11_ATTUALE
- 11_PROGETTO
- 13_ATTUALE
- 13_PROGETTO

Ogni scheda (di 4 pag cad.) contiene:

1. tabulato con settaggio del modello, materiali utilizzati, punti di distacco e caratteristiche del masso;
2. traccia della sezione con materiali utilizzati;
3. traiettorie dei 1000 massi della simulazione;
4. grafico dei punti di arresto;
5. grafico delle altezze immediatamente a monte dell'opera in progetto;
6. grafico con le energie cinetiche sulla paratia interna del rilevato;
7. grafico con l'involuppo delle energie cinetiche durante l'intera traiettoria.

DOCUMENT NAME: 1_ATTUALE

Project Settings

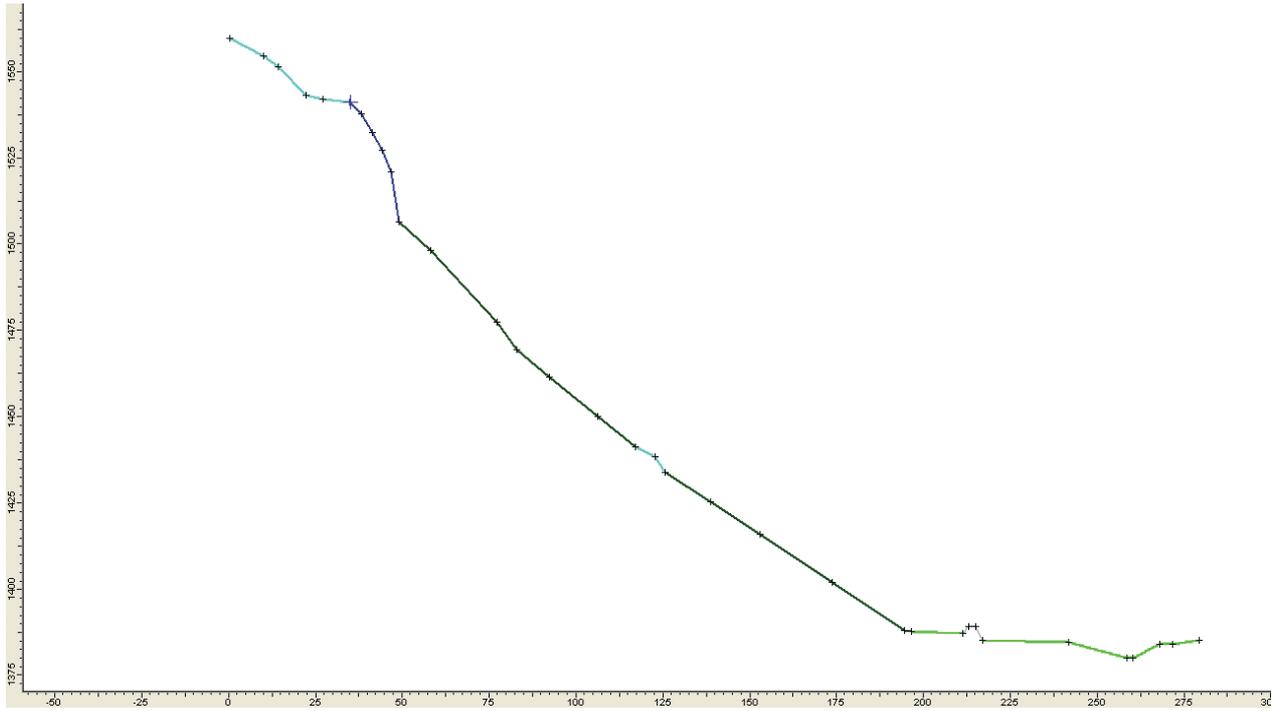
Units: Metric
Friction angle: Use friction angle specified in material editor
Minimum Velocity=0.1
Angular Velocity of the rocks CONSIDERED
Standard Deviations NOT USED when generating slope vertices
Random-number generation: Random
Number of rock throw: 1000

Materials

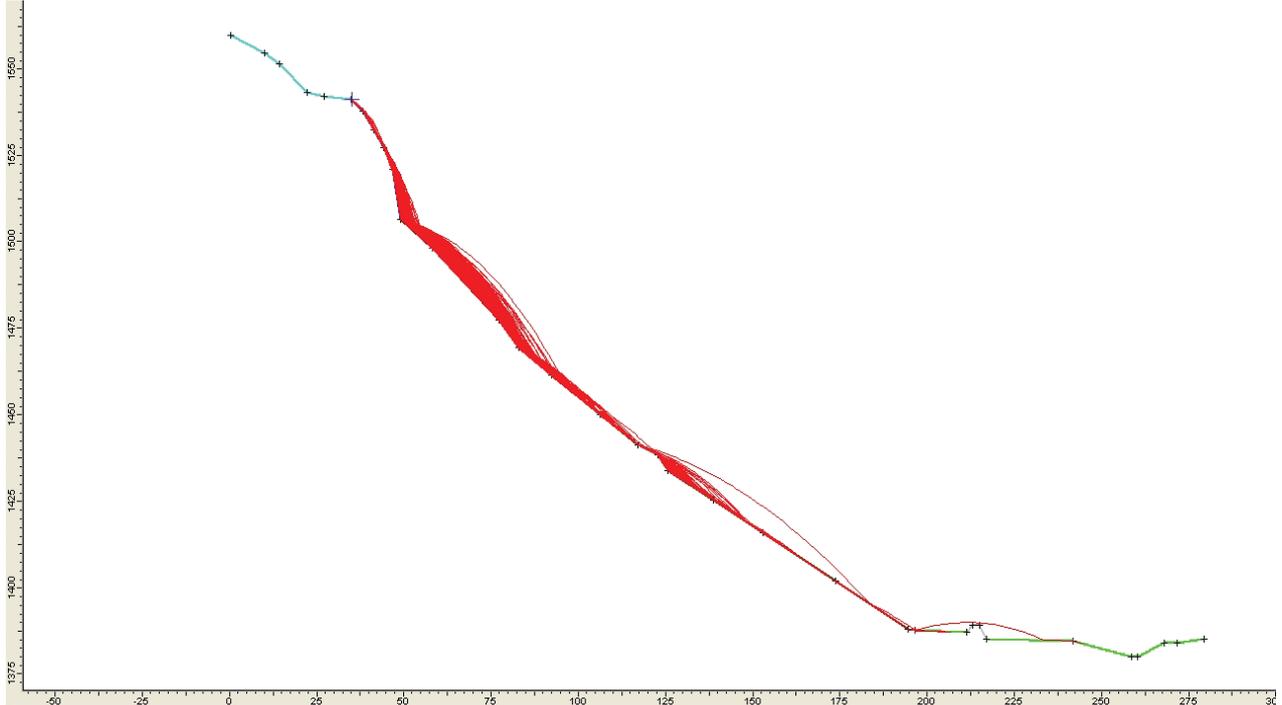
Material name: Clean hard bedrock [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.5 std dev=0.2
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.85 std dev=0.3
Friction Angle: mean=38 std dev=10
Roughness: std dev=3
Material name: Bedrock outcrops [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.45 std dev=0.15
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.8 std dev=0.25
Friction Angle: mean=36 std dev=10
Roughness: std dev=3
Material name: Talus with vegetation [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.33 std dev=0.1
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.78 std dev=0.2
Friction Angle: mean=28 std dev=10
Roughness: std dev=2
Material name: Soil with vegetation [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.29 std dev=0.08
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.67 std dev=0.08
Friction Angle: mean=24 std dev=2
Roughness: std dev=0
Material name: 6_rilevato
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.1 std dev=0.01
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.15 std dev=0.02
Friction Angle: mean=20 std dev=3
Roughness: std dev=0

Seeders

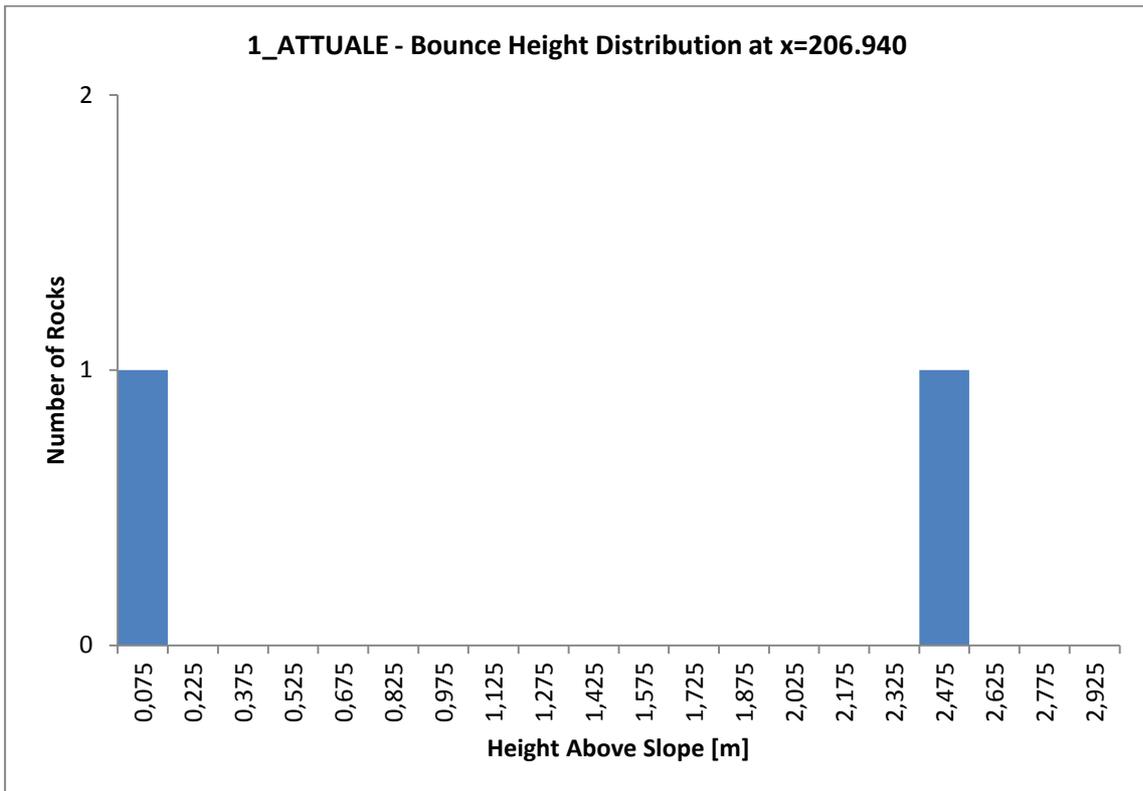
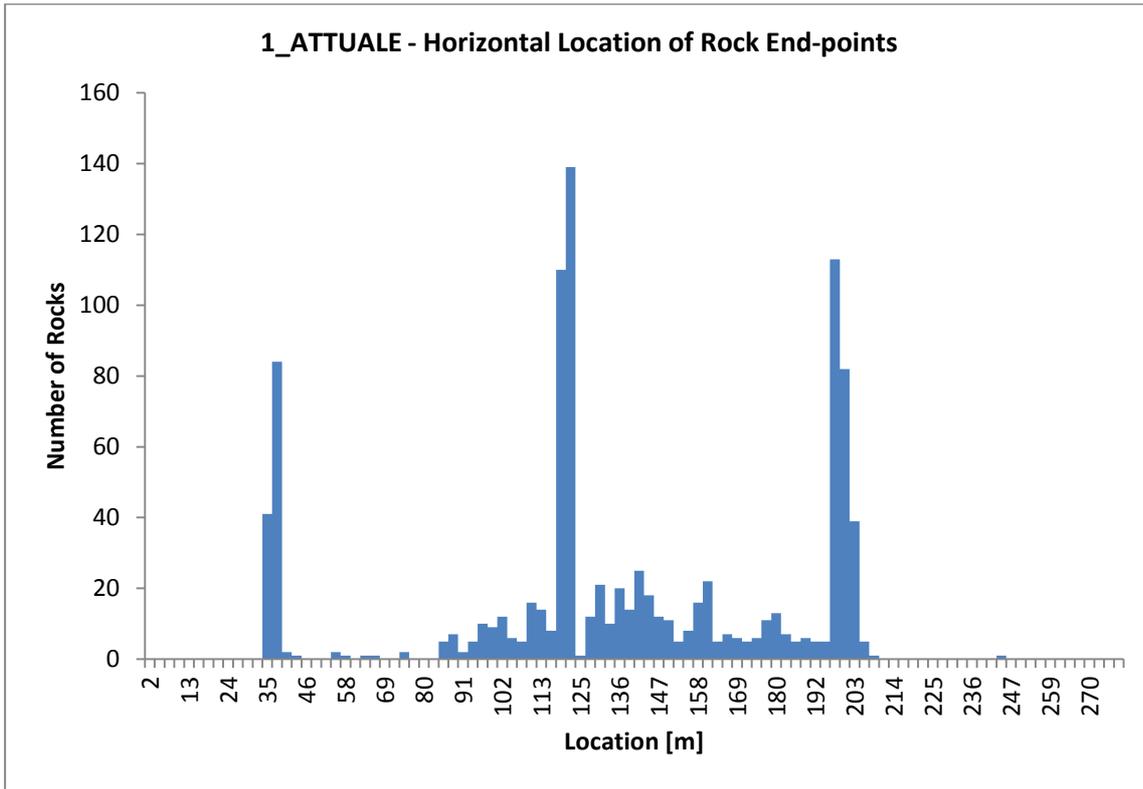
Point Seeder
Horizontal Velocity: mean=1, std dev=0
Vertical Velocity: mean=-1, std dev=0
Mass: mean=25000, std dev=2500
Angular Velocity: mean=1, std dev=0
Location: 35.129, 1541.08

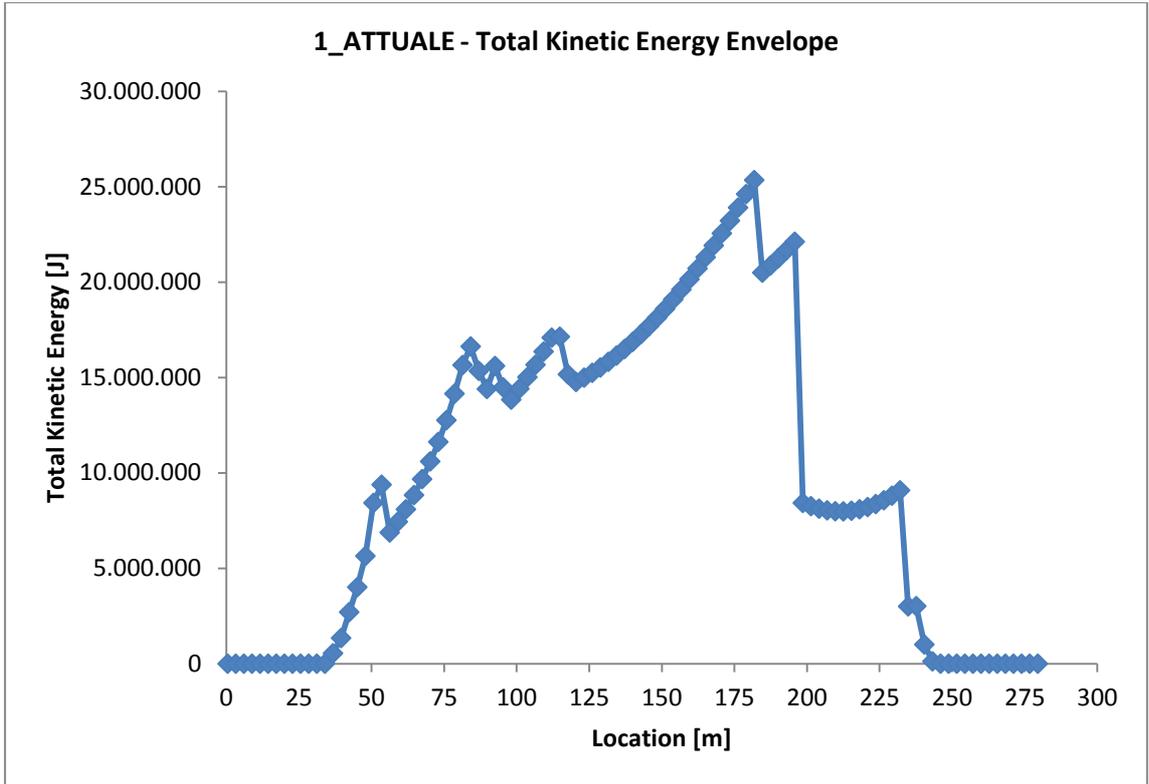
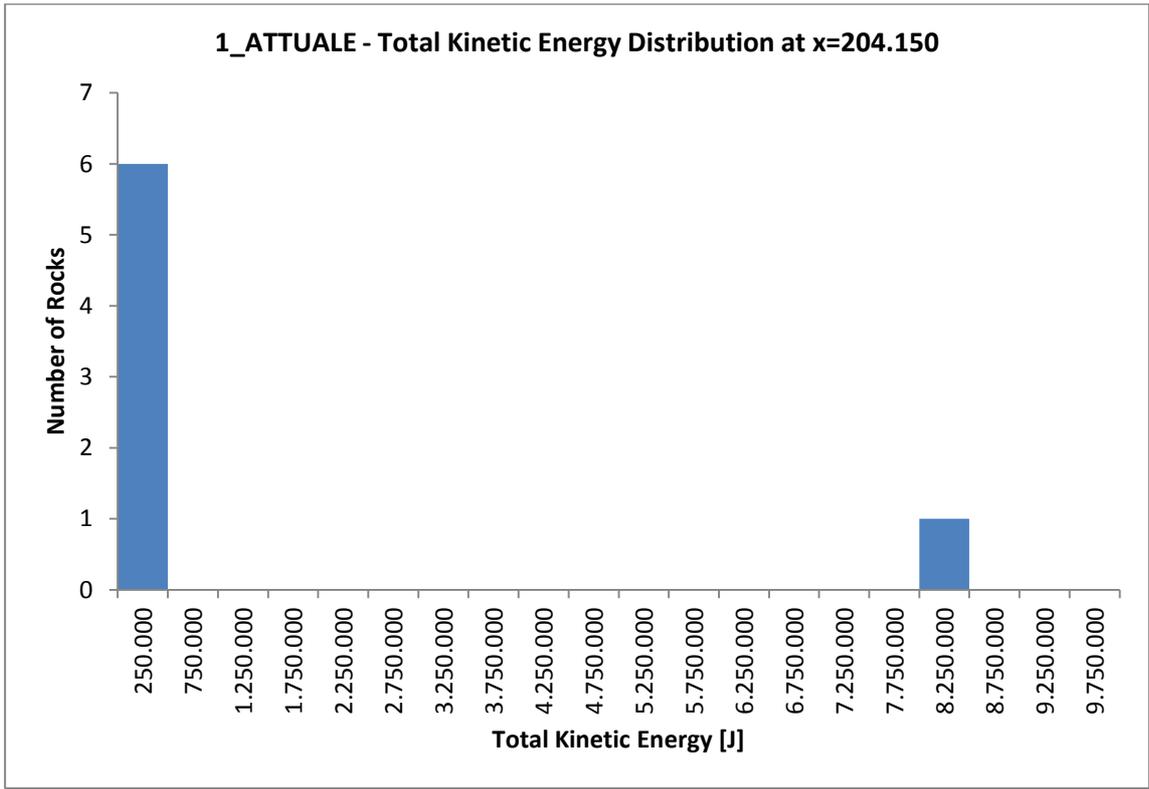


1_ATTUALE



1_ATTUALE





DOCUMENT NAME: 3_ATTUALE

Project Settings

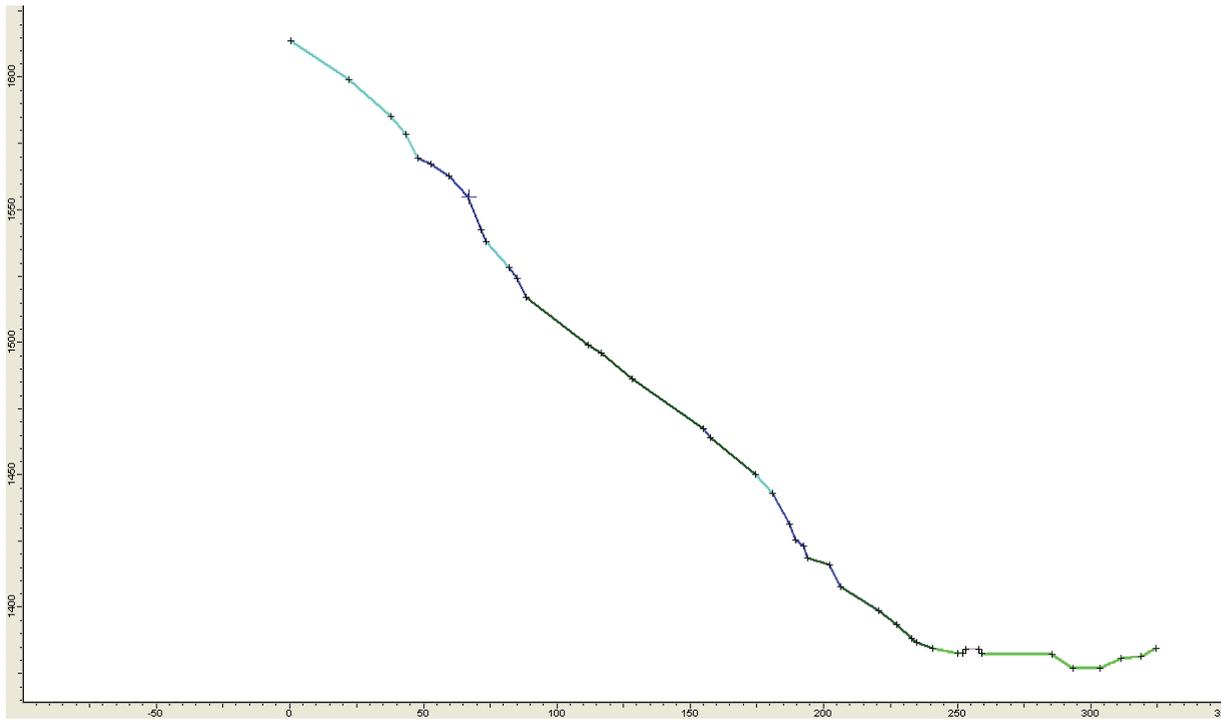
Units: Metric
Friction angle: Use friction angle specified in material editor
Minimum Velocity=0.1
Angular Velocity of the rocks CONSIDERED
Standard Deviations NOT USED when generating slope vertices
Random-number generation: Random
Number of rock throw: 1000

Materials

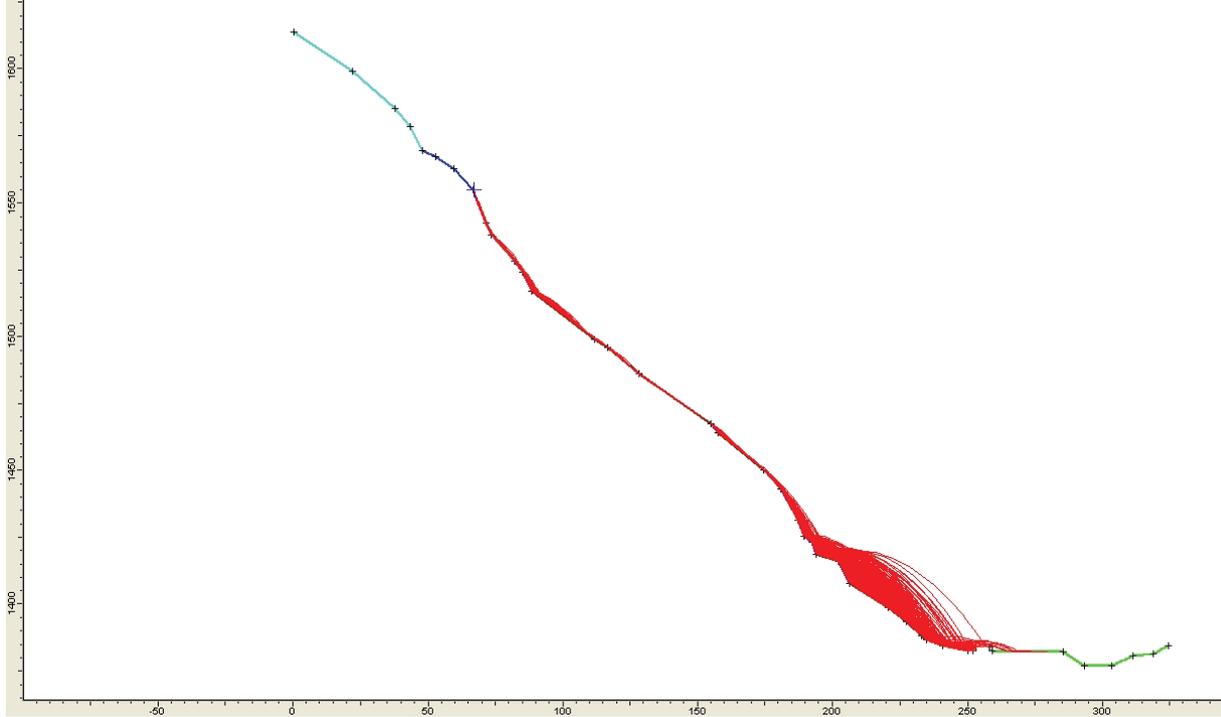
Material name: Clean hard bedrock [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.5 std dev=0.2
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.85 std dev=0.3
Friction Angle: mean=38 std dev=10
Roughness: std dev=3
Material name: Bedrock outcrops [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.45 std dev=0.15
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.8 std dev=0.25
Friction Angle: mean=36 std dev=10
Roughness: std dev=3
Material name: Talus with vegetation [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.33 std dev=0.1
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.78 std dev=0.2
Friction Angle: mean=28 std dev=10
Roughness: std dev=2
Material name: Soil with vegetation [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.29 std dev=0.08
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.67 std dev=0.08
Friction Angle: mean=24 std dev=2
Roughness: std dev=0
Material name: 6_rilevato
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.1 std dev=0.01
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.15 std dev=0.02
Friction Angle: mean=20 std dev=3
Roughness: std dev=0

Seeders

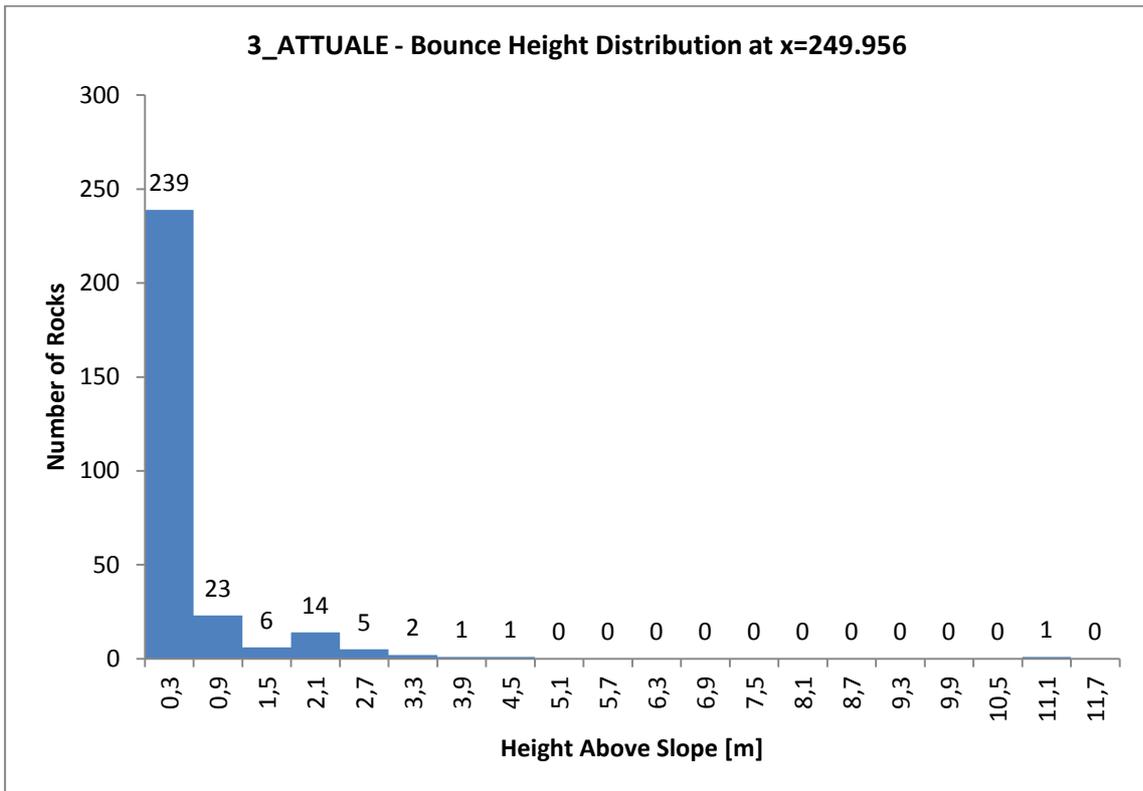
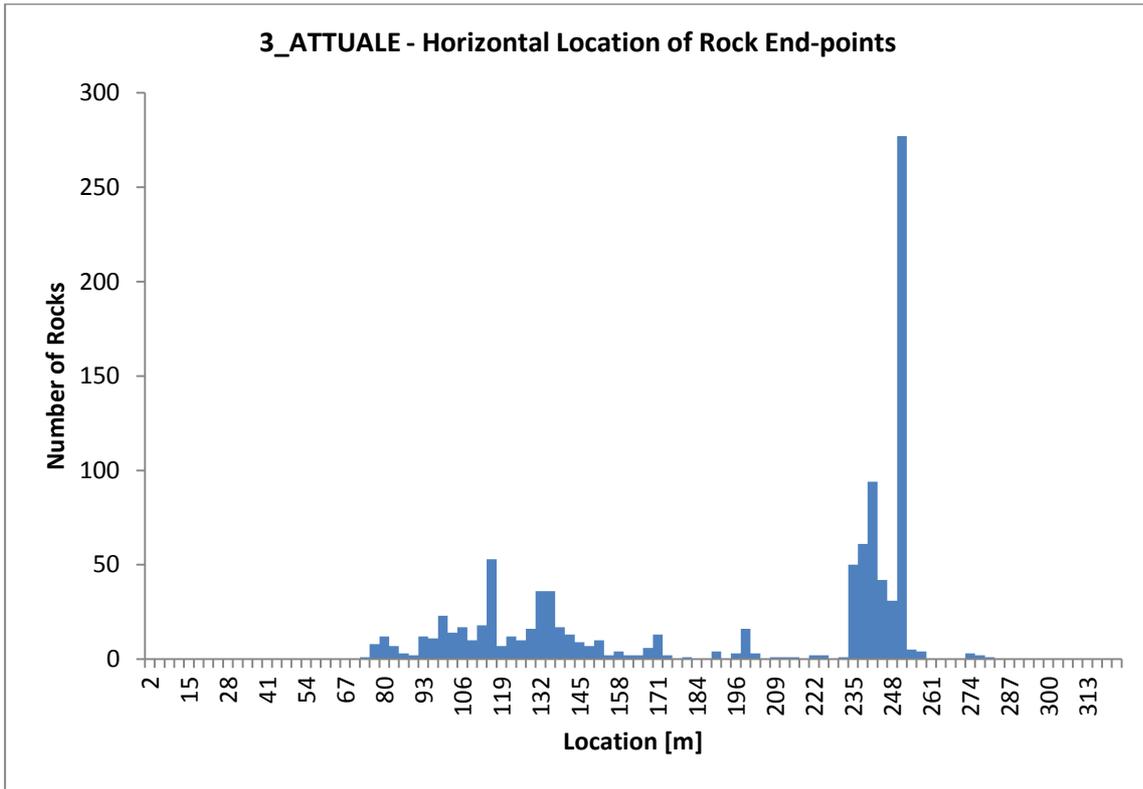
Point Seeder
Horizontal Velocity: mean=1, std dev=0
Vertical Velocity: mean=1, std dev=0
Mass: mean=25000, std dev=2500
Angular Velocity: mean=1, std dev=0
Location: 66.955, 1554.85



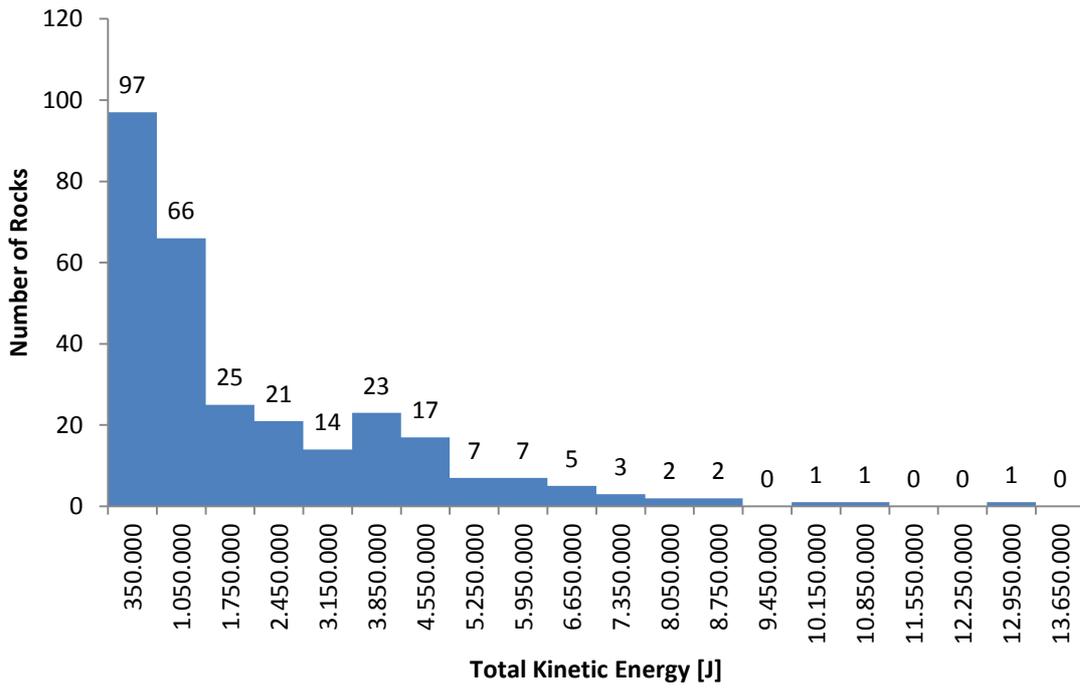
DOCUMENT NAME: 3_ATTUALE



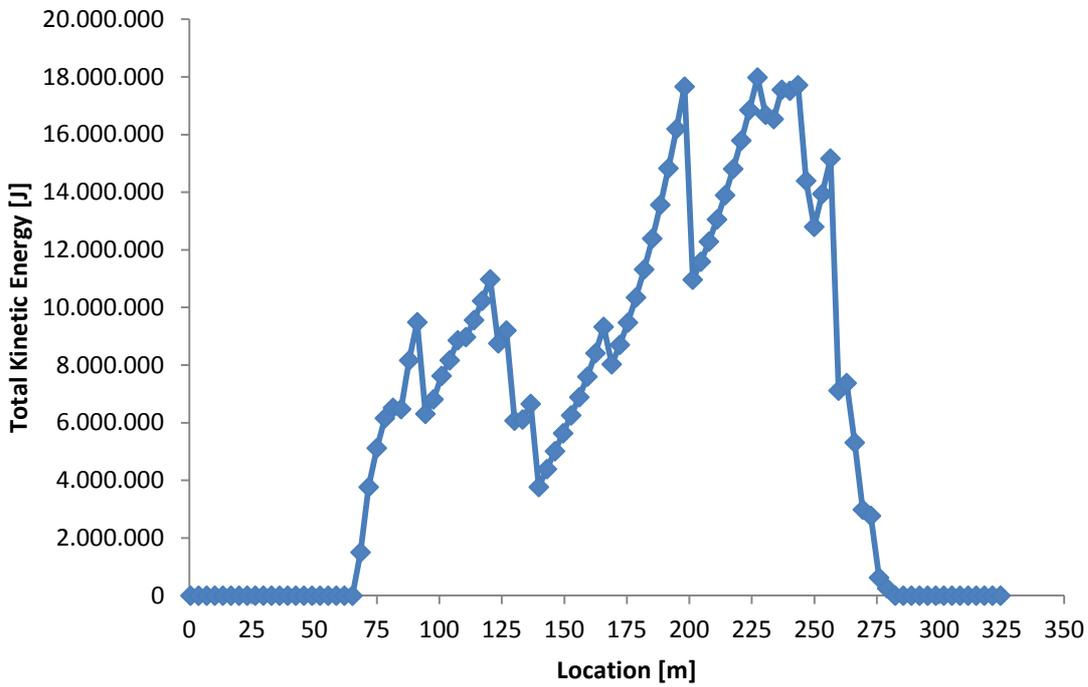
DOCUMENT NAME: 3_ATTUALE



3_ATTUALE - Total Kinetic Energy Distribution at x=249.956



3_ATTUALE - Total Kinetic Energy Envelope



DOCUMENT NAME: 3_PROGETTO

Project Settings

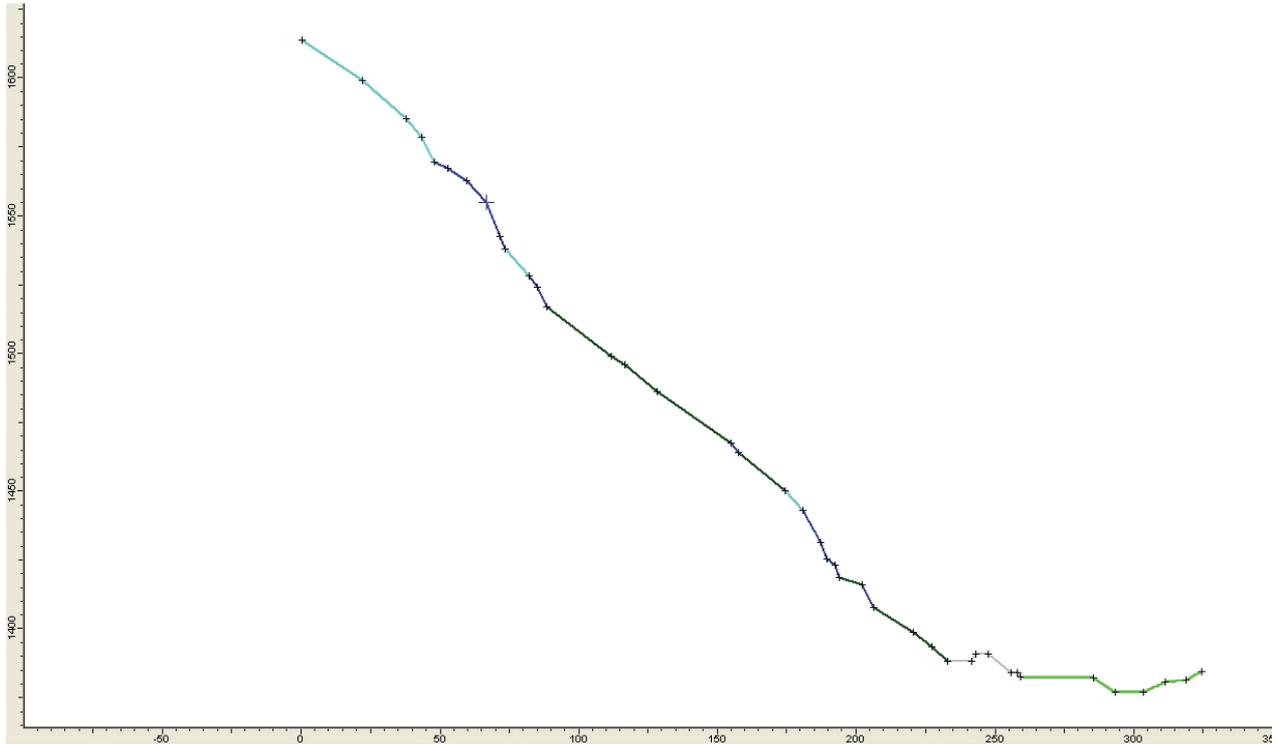
Units: Metric
Friction angle: Use friction angle specified in material editor
Minimum Velocity=0.1
Angular Velocity of the rocks CONSIDERED
Standard Deviations NOT USED when generating slope vertices
Random-number generation: Random
Number of rock throw: 1000

Materials

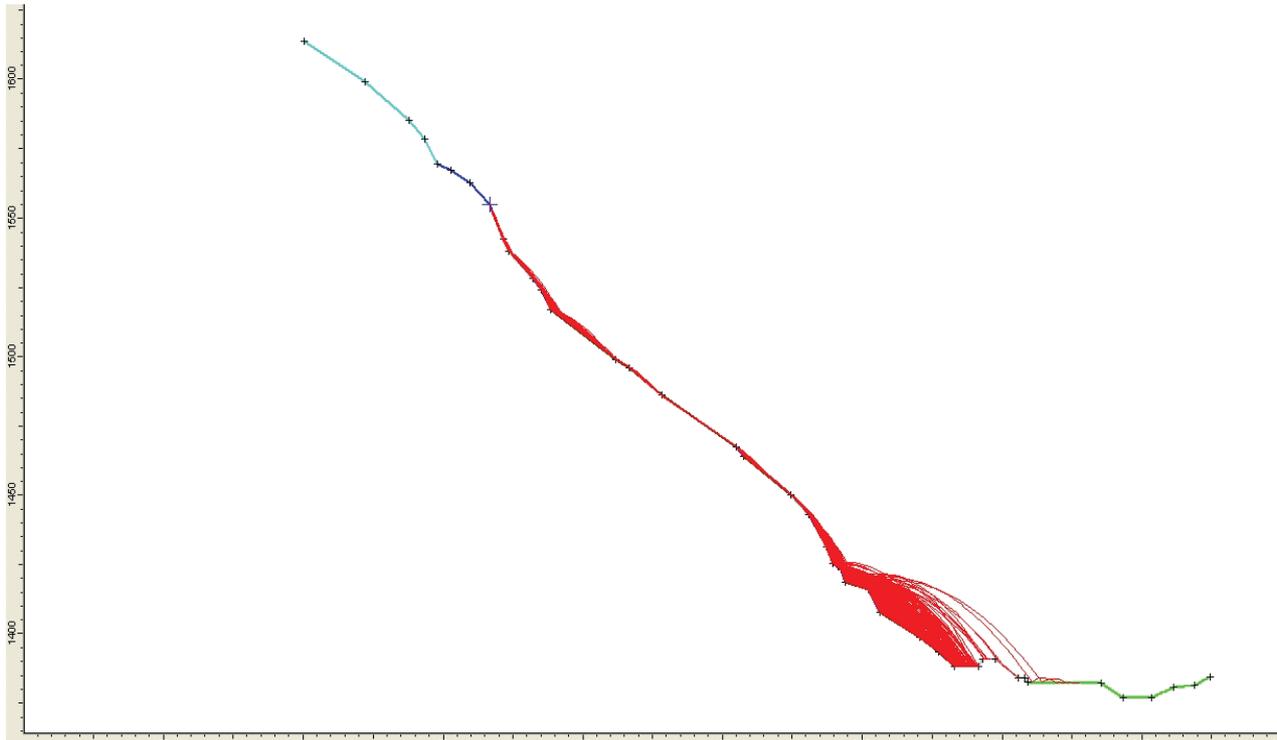
Material name: Clean hard bedrock [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.5 std dev=0.2
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.85 std dev=0.3
Friction Angle: mean=38 std dev=10
Roughness: std dev=3
Material name: Bedrock outcrops [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.45 std dev=0.15
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.8 std dev=0.25
Friction Angle: mean=36 std dev=10
Roughness: std dev=3
Material name: Talus with vegetation [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.33 std dev=0.1
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.78 std dev=0.2
Friction Angle: mean=28 std dev=10
Roughness: std dev=2
Material name: Soil with vegetation [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.29 std dev=0.08
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.67 std dev=0.08
Friction Angle: mean=24 std dev=2
Roughness: std dev=0
Material name: 6_rilevato
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.1 std dev=0.01
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.15 std dev=0.02
Friction Angle: mean=20 std dev=3
Roughness: std dev=0

Seeders

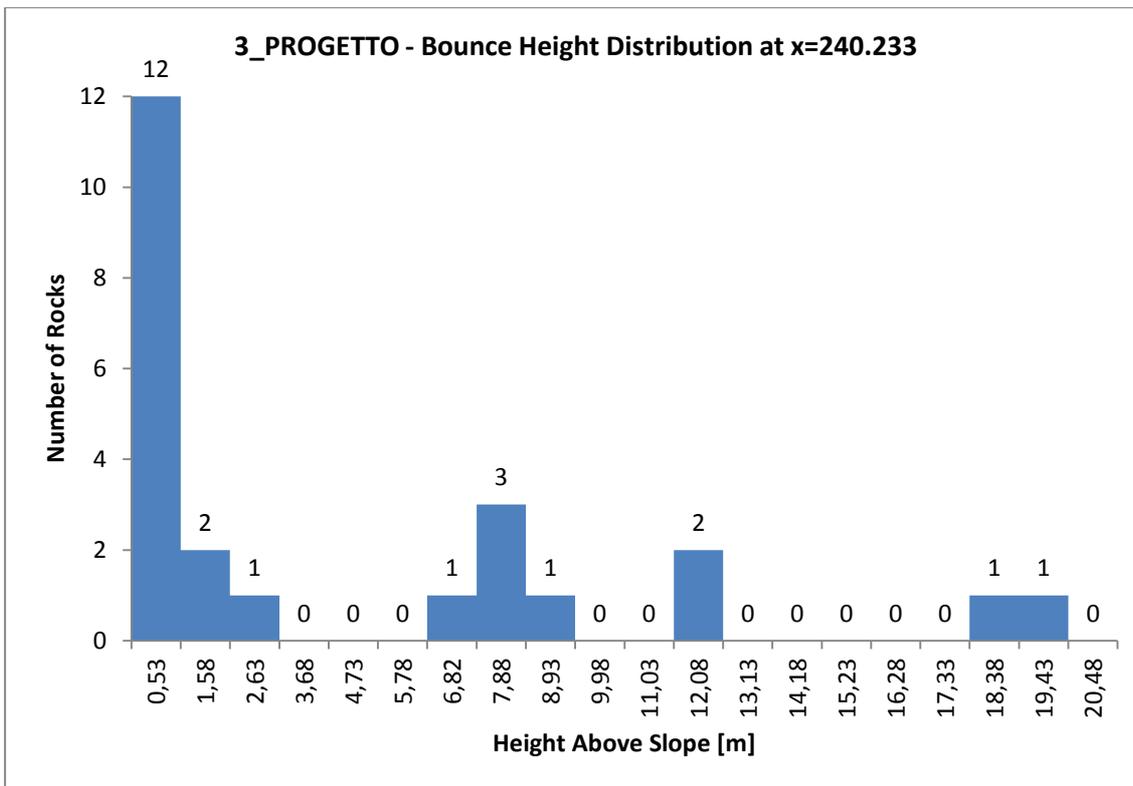
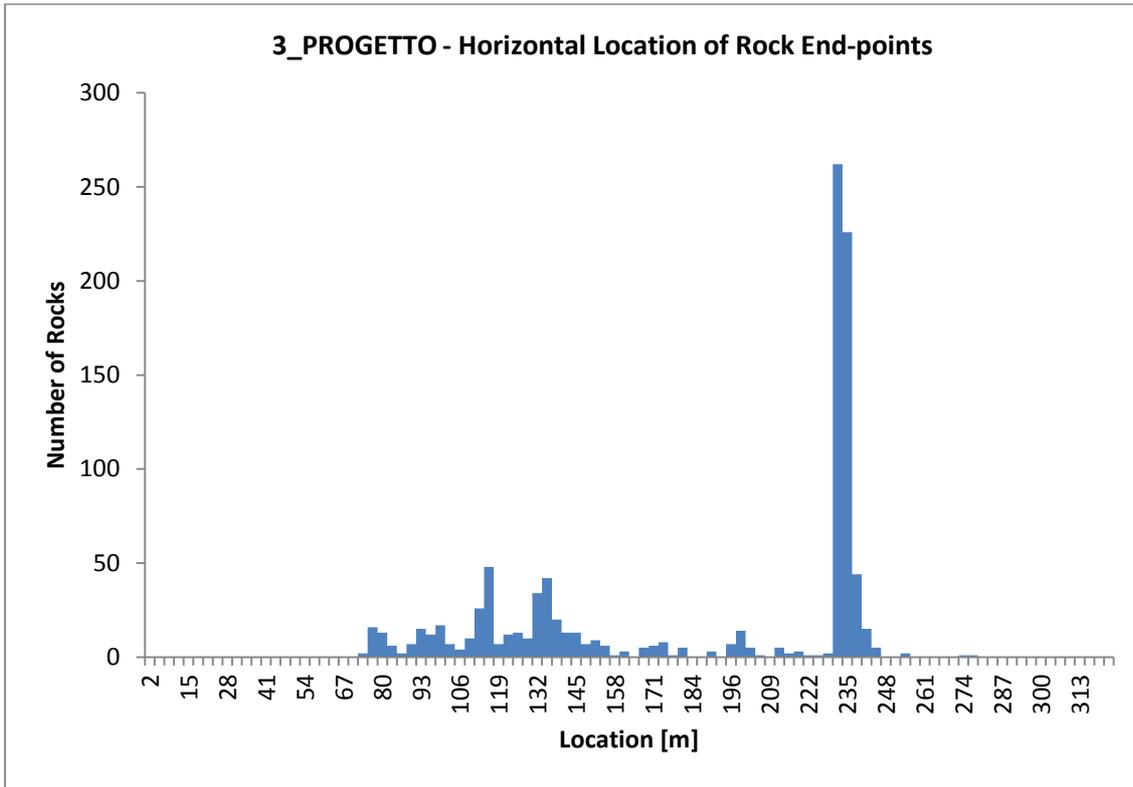
Point Seeder
Horizontal Velocity: mean=1, std dev=0
Vertical Velocity: mean=-1, std dev=0
Mass: mean=25000, std dev=2500
Angular Velocity: mean=1, std dev=0
Location: 66.712, 1554.65

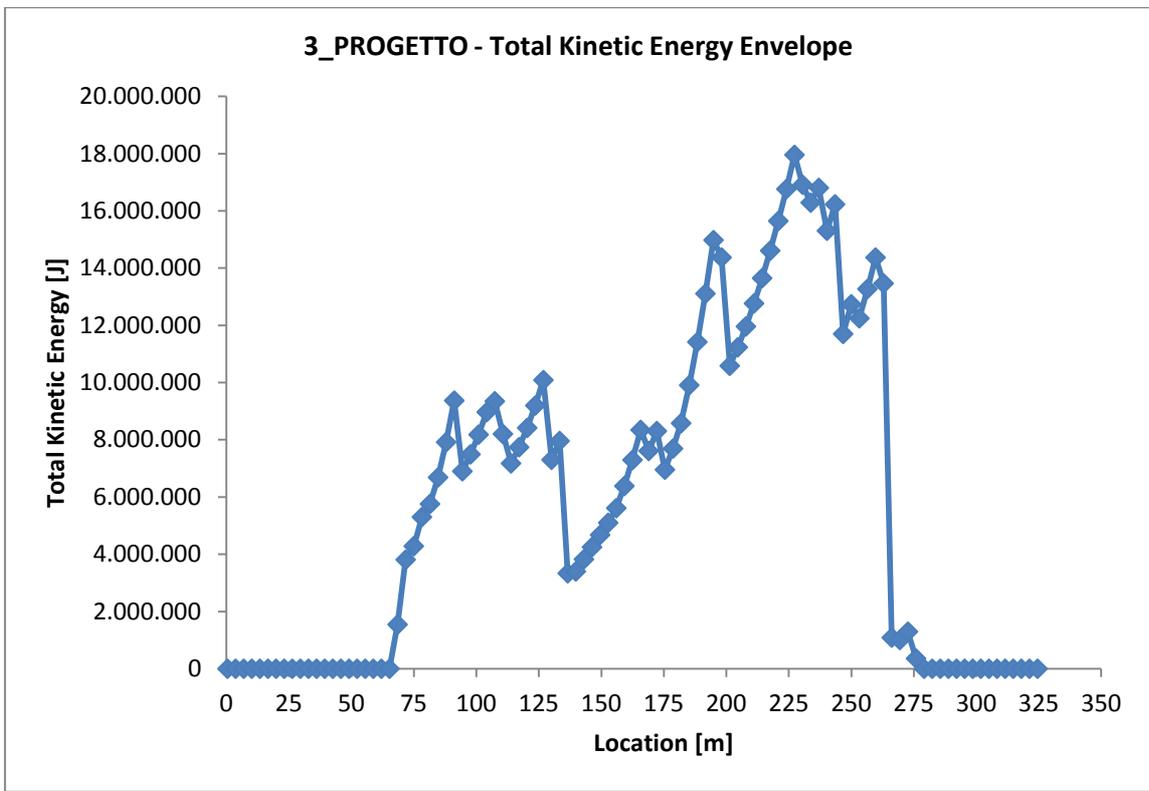
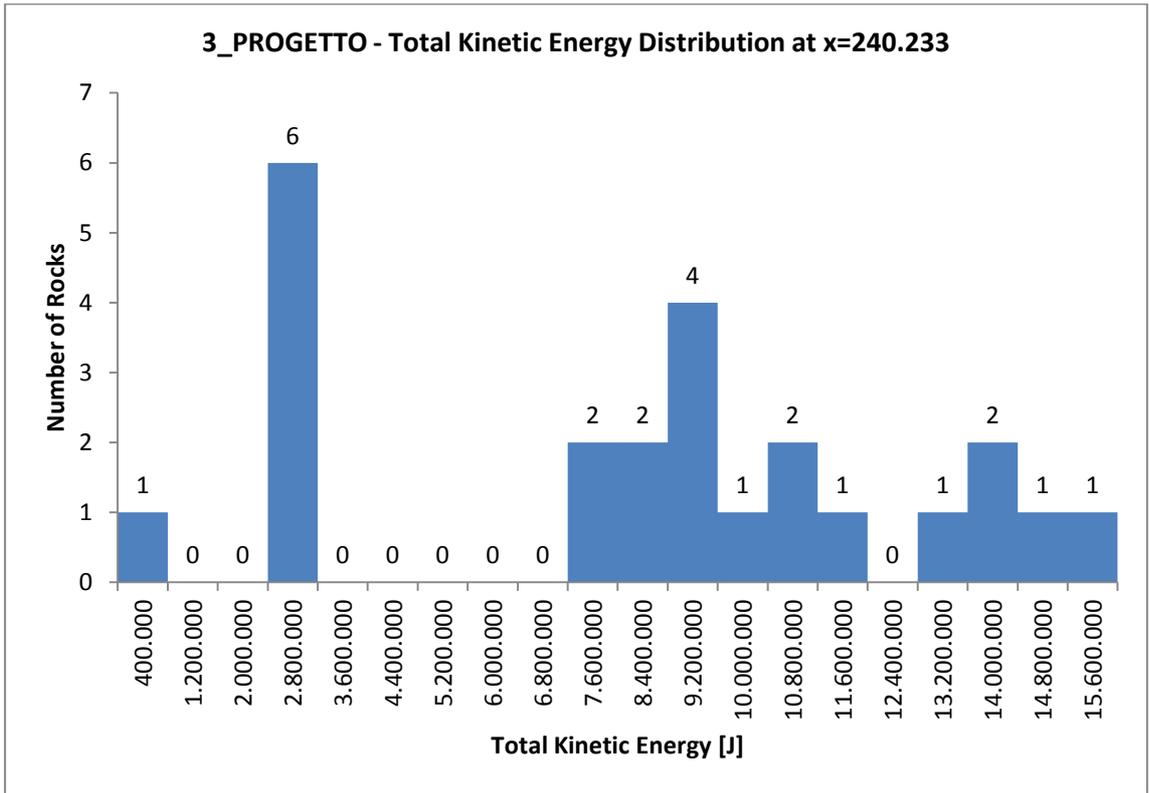


3_PROGETTO



3_PROGETTO





DOCUMENT NAME: 5_ATTUALE

Project Settings

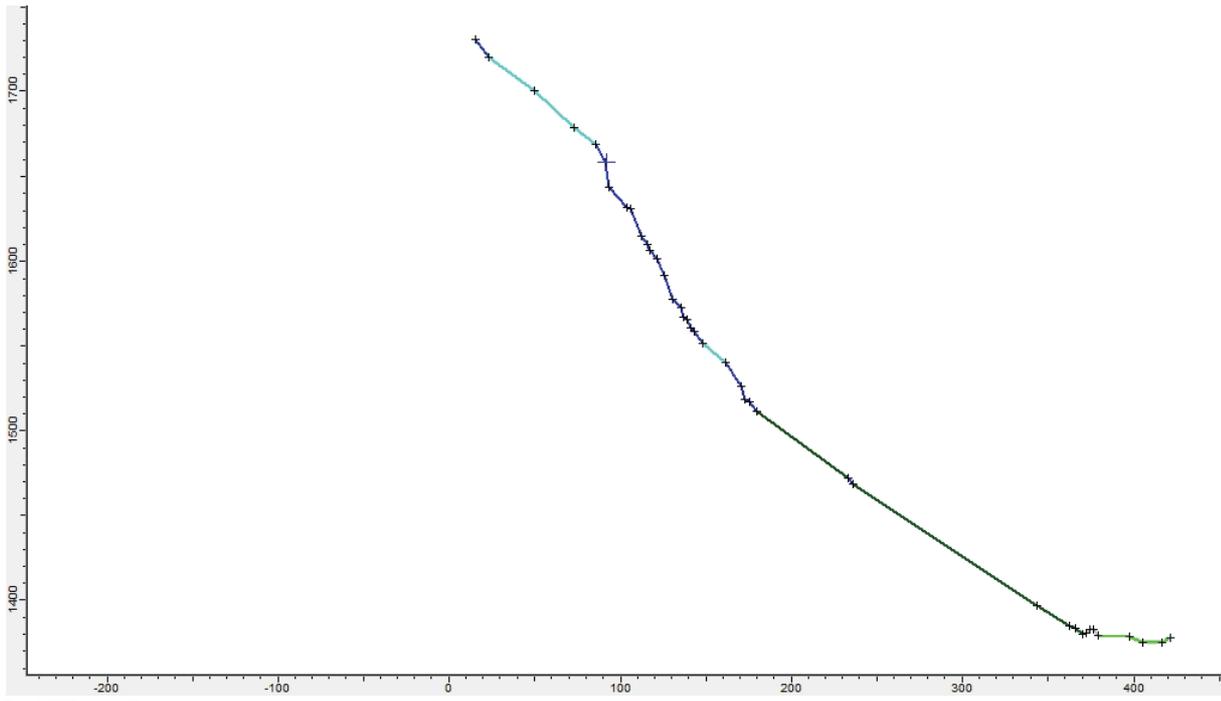
Units: Metric
Friction angle: Use friction angle specified in material editor
Minimum Velocity=0.1
Angular Velocity of the rocks CONSIDERED
Standard Deviations NOT USED when generating slope vertices
Random-number generation: Random
Number of rock throw: 1000

Materials

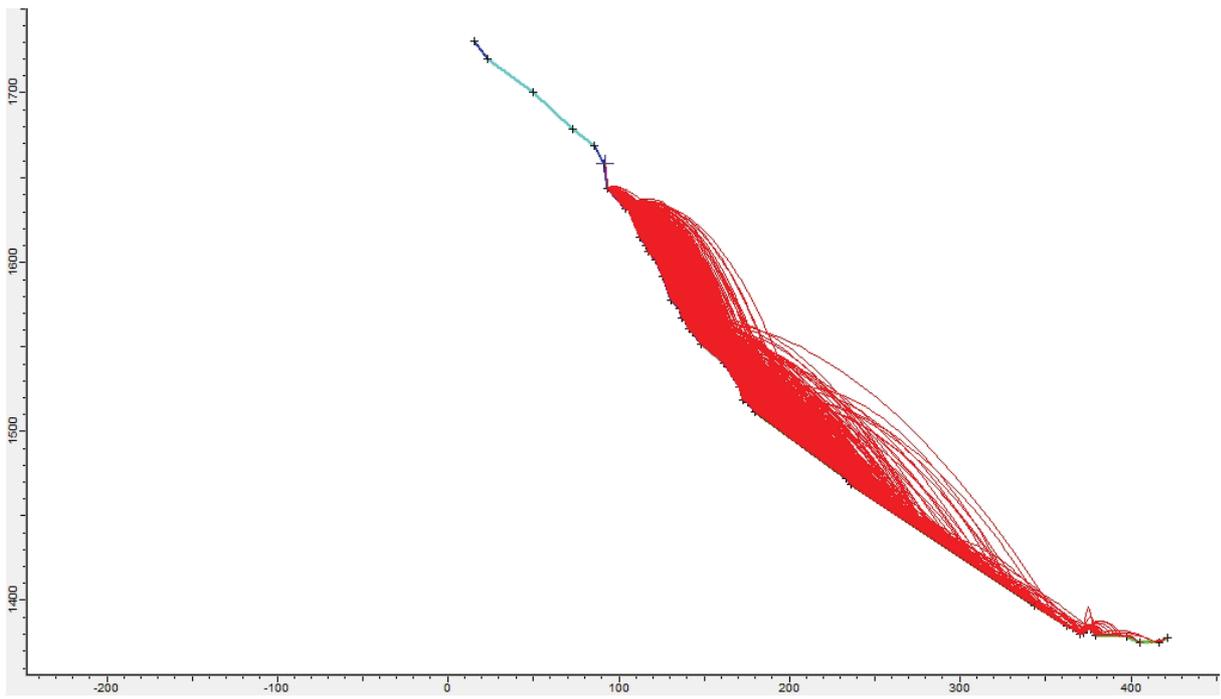
Material name: Clean hard bedrock [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.5 std dev=0.2
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.85 std dev=0.3
Friction Angle: mean=38 std dev=10
Roughness: std dev=3
Material name: Bedrock outcrops [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.45 std dev=0.15
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.8 std dev=0.25
Friction Angle: mean=36 std dev=10
Roughness: std dev=3
Material name: Talus with vegetation [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.33 std dev=0.1
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.78 std dev=0.2
Friction Angle: mean=28 std dev=10
Roughness: std dev=2
Material name: Soil with vegetation [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.29 std dev=0.08
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.67 std dev=0.08
Friction Angle: mean=24 std dev=2
Roughness: std dev=0
Material name: 6_rilevato
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.1 std dev=0.01
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.15 std dev=0.02
Friction Angle: mean=20 std dev=3
Roughness: std dev=0

Seeders

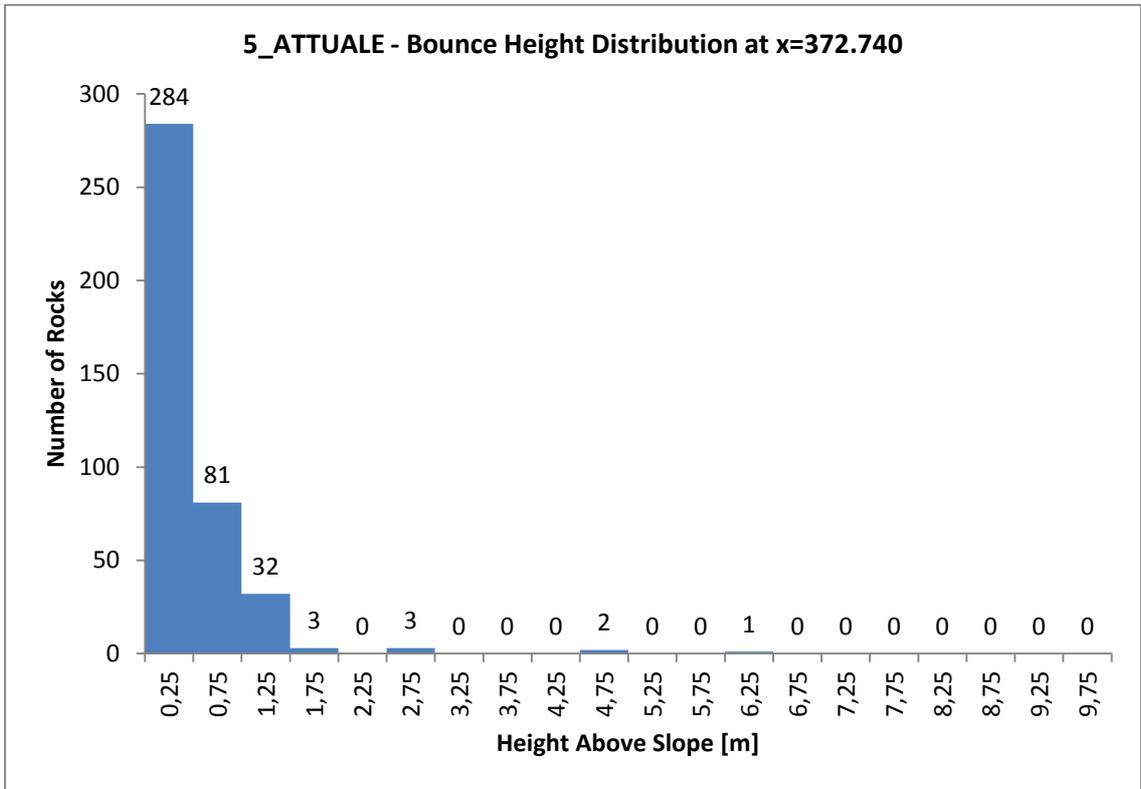
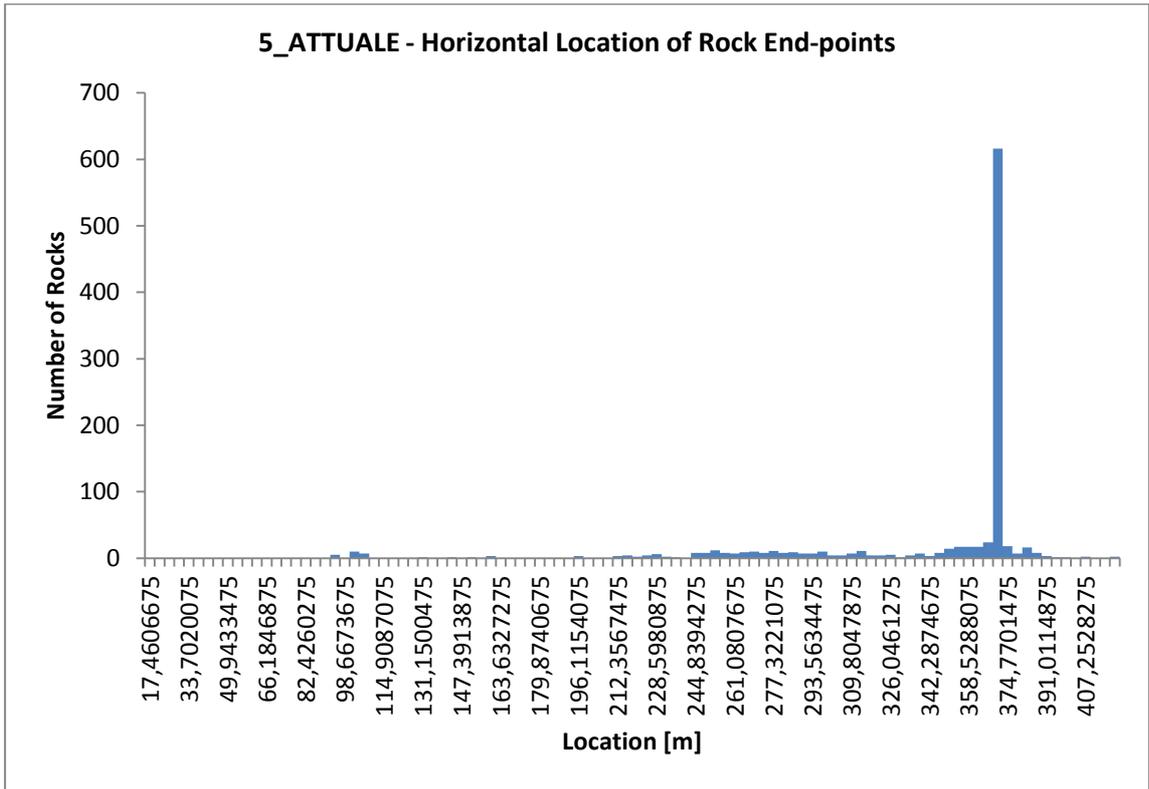
Point Seeder
Horizontal Velocity: mean=1, std dev=0
Vertical Velocity: mean=-1, std dev=0
Mass: mean=25000, std dev=2500
Angular Velocity: mean=1, std dev=0
Location: 91.64, 1658.18

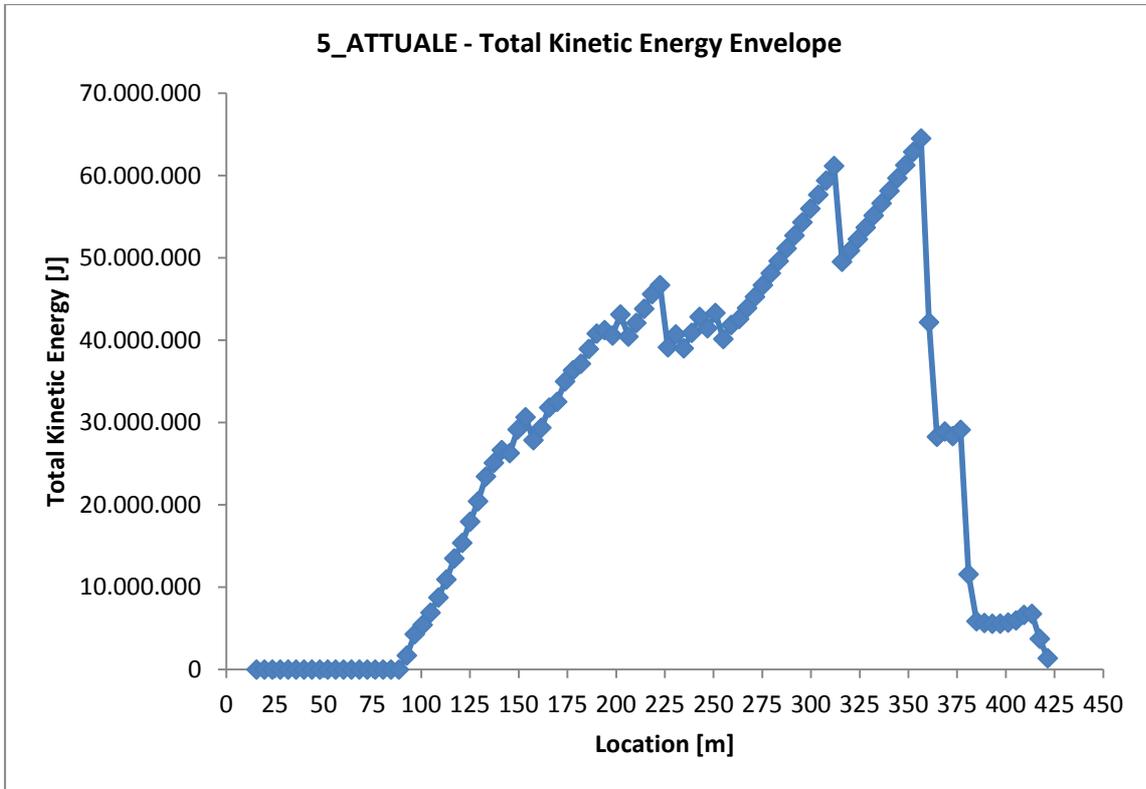
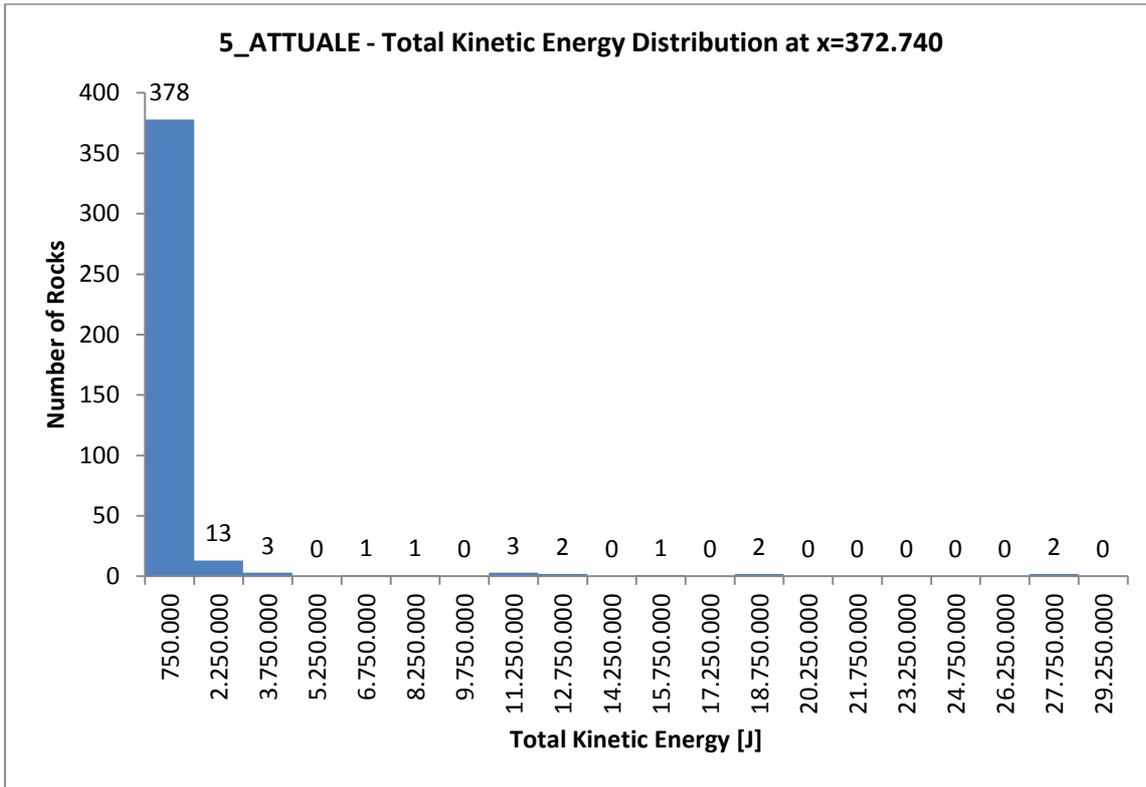


5_ATTUALE



5_ATTUALE





DOCUMENT NAME: 5_PROGETTO

Project Settings

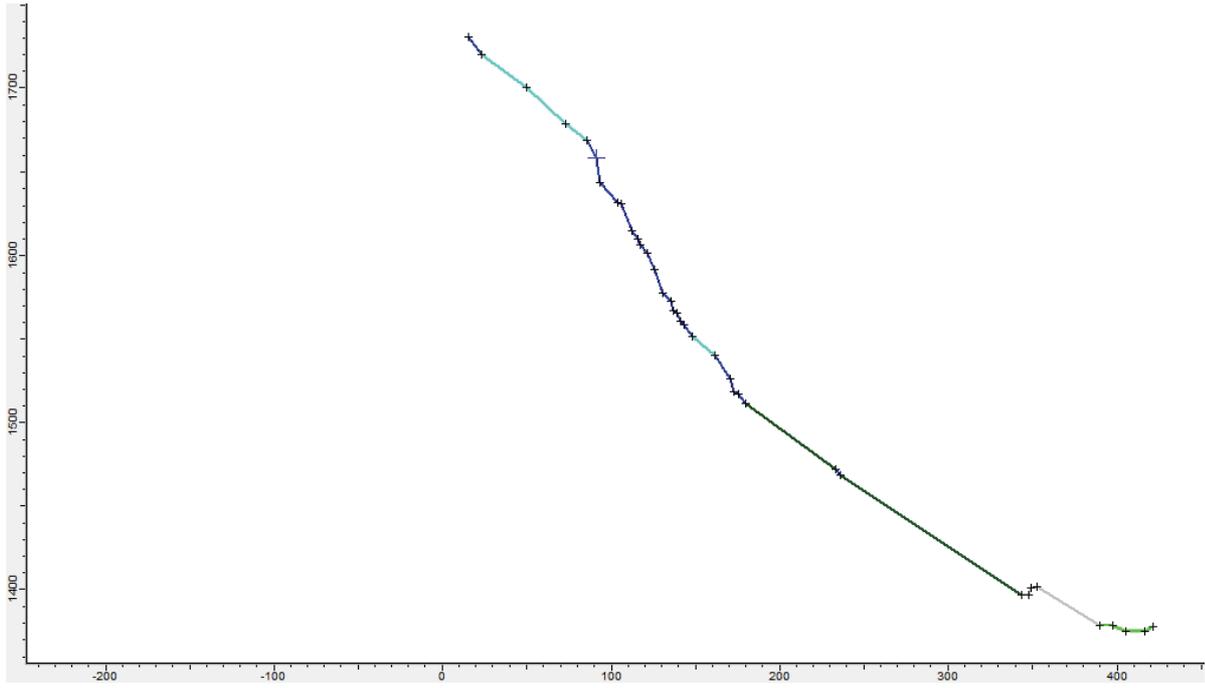
Units: Metric
Friction angle: Use friction angle specified in material editor
Minimum Velocity=0.1
Angular Velocity of the rocks CONSIDERED
Standard Deviations NOT USED when generating slope vertices
Random-number generation: Random
O of rock throw: 1000

Materials

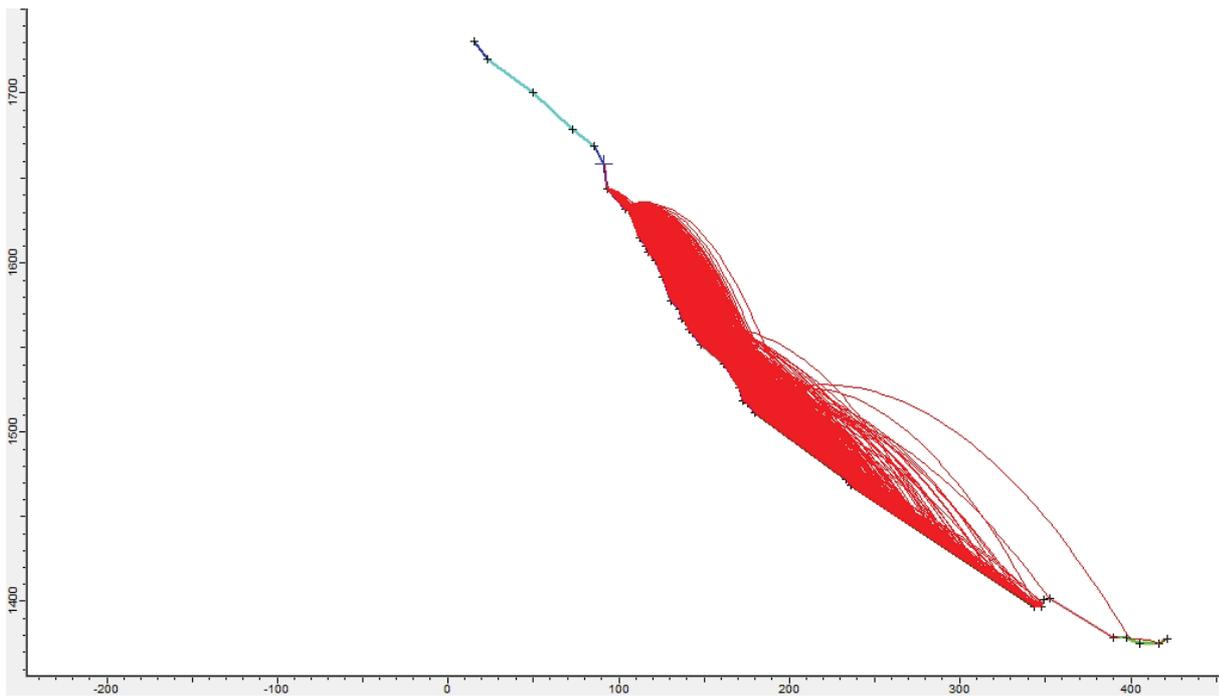
Material name: Clean hard bedrock [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.5 std dev=0.2
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.85 std dev=0.3
Friction Angle: mean=38 std dev=10
Roughness: std dev=3
Material name: Bedrock outcrops [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.45 std dev=0.15
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.8 std dev=0.25
Friction Angle: mean=36 std dev=10
Roughness: std dev=3
Material name: Talus with vegetation [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.33 std dev=0.1
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.78 std dev=0.2
Friction Angle: mean=28 std dev=10
Roughness: std dev=2
Material name: Soil with vegetation [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.29 std dev=0.08
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.67 std dev=0.08
Friction Angle: mean=24 std dev=2
Roughness: std dev=0
Material name: 6_rilevato
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.1 std dev=0.01
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.15 std dev=0.02
Friction Angle: mean=20 std dev=3
Roughness: std dev=0

Seeders

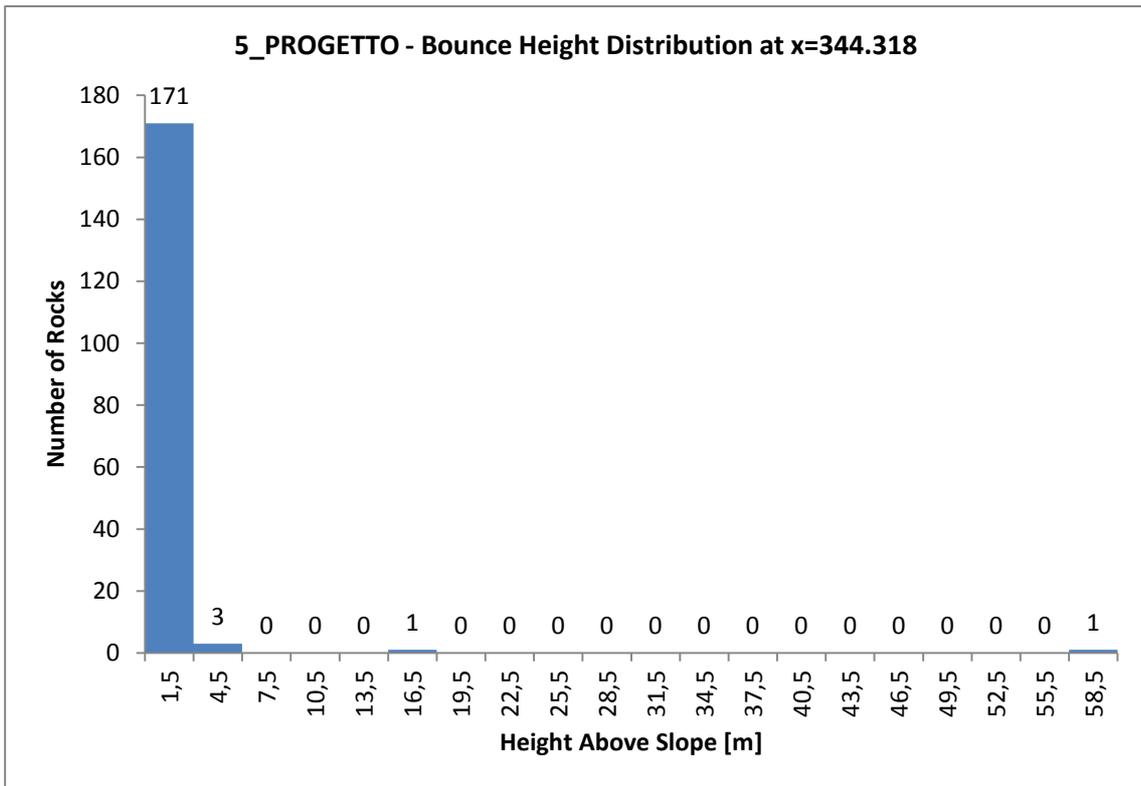
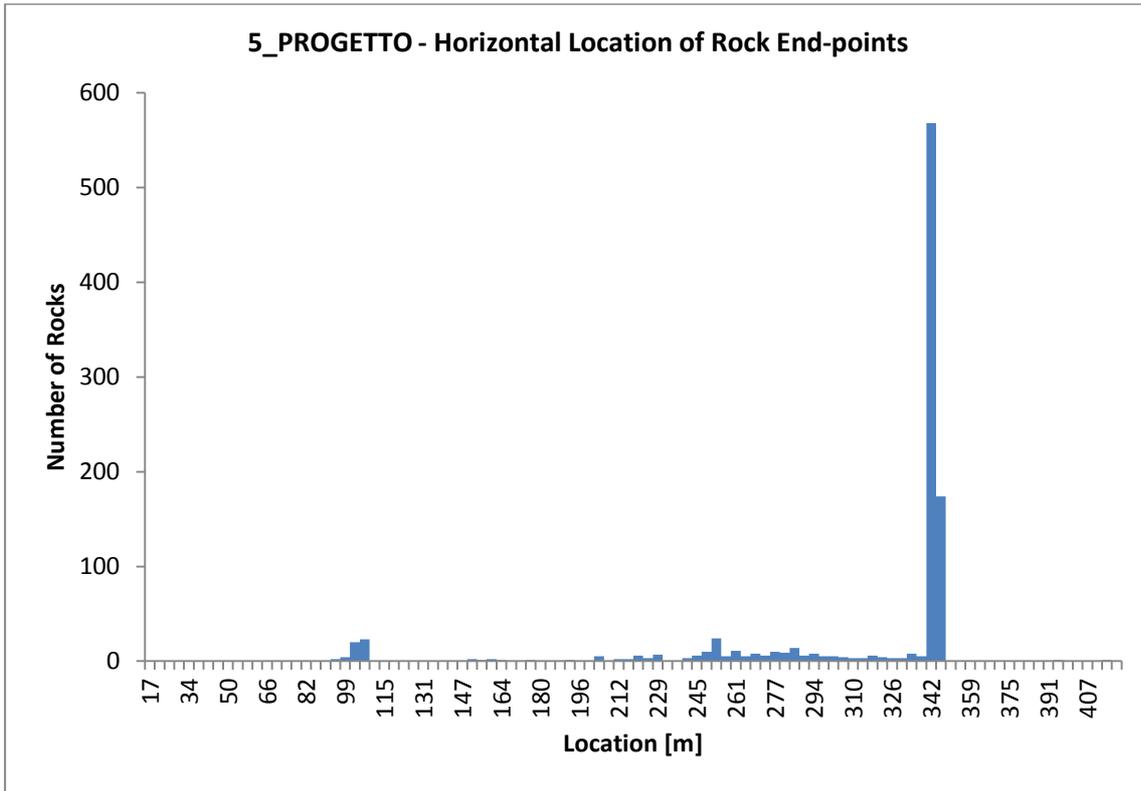
Point Seeder
Horizontal Velocity: mean=1, std dev=0
Vertical Velocity: mean=-1, std dev=0
Mass: mean=25000, std dev=2500
Angular Velocity: mean=1, std dev=0
Location: 91.379, 1657.78

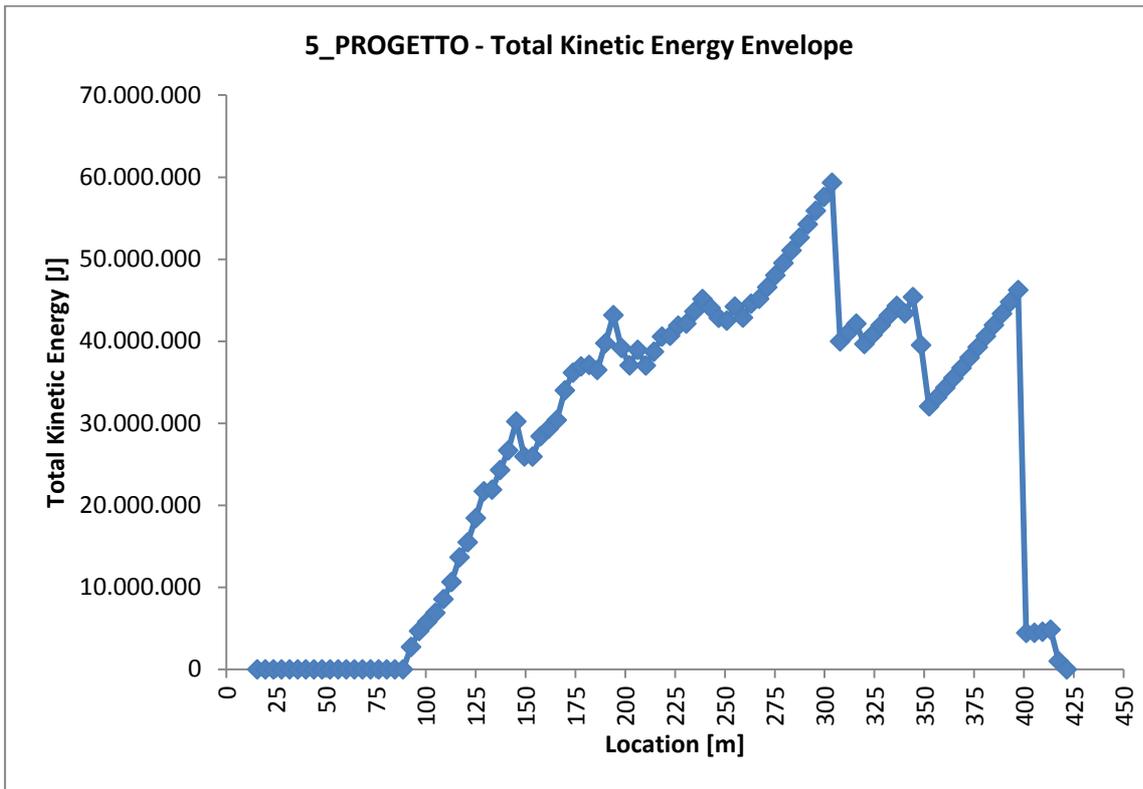
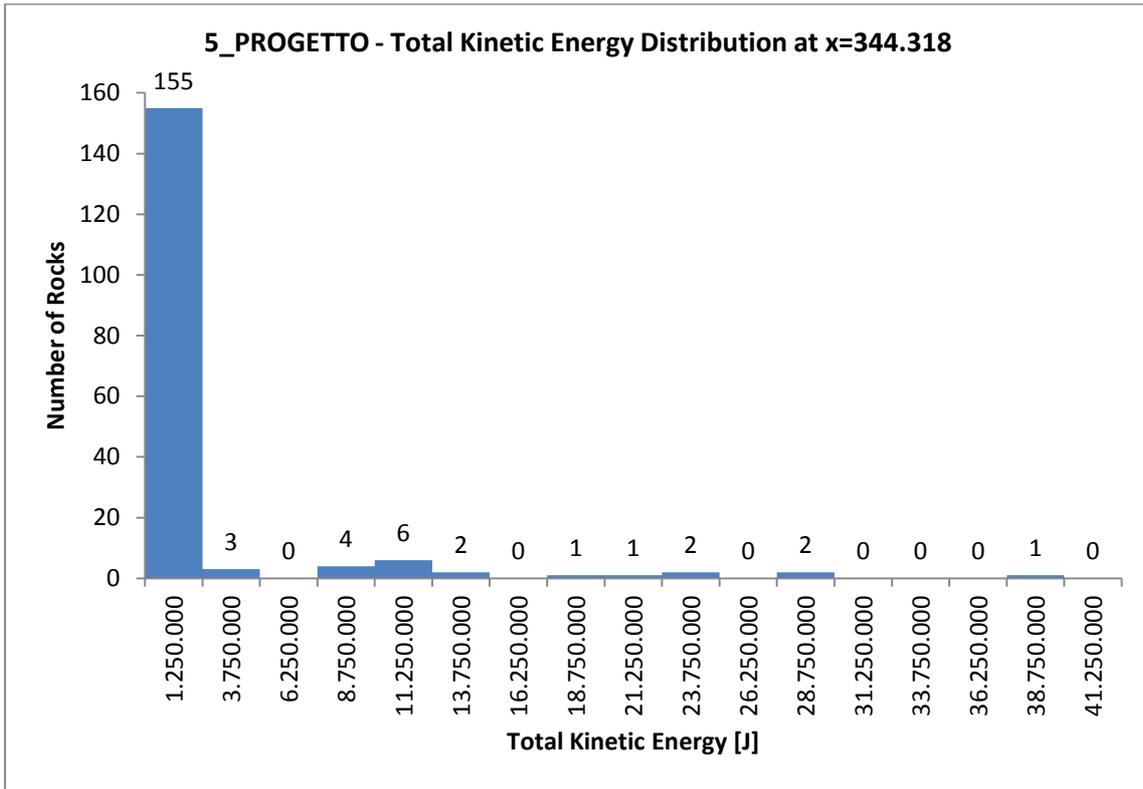


5_PROGETTO



5_PROGETTO





DOCUMENT NAME: 7_ATTUALE

Project Settings

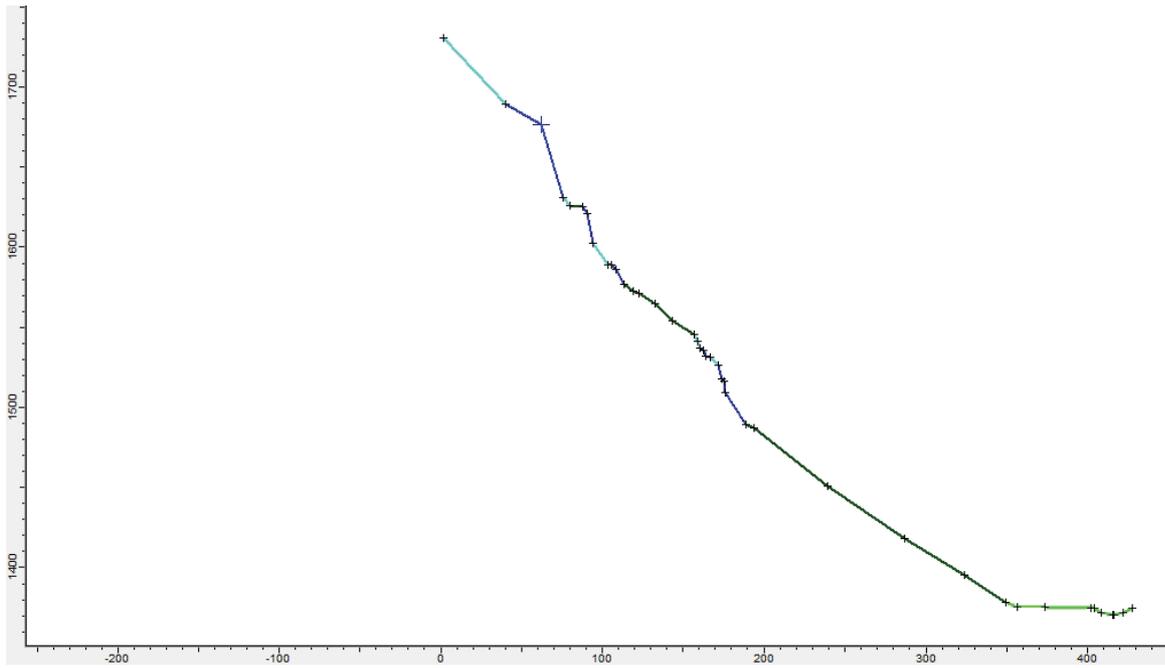
Units: Metric
Friction angle: Use friction angle specified in material editor
Minimum Velocity=0.1
Angular Velocity of the rocks CONSIDERED
Standard Deviations NOT USED when generating slope vertices
Random-number generation: Random
Number of rock throw: 1000

Materials

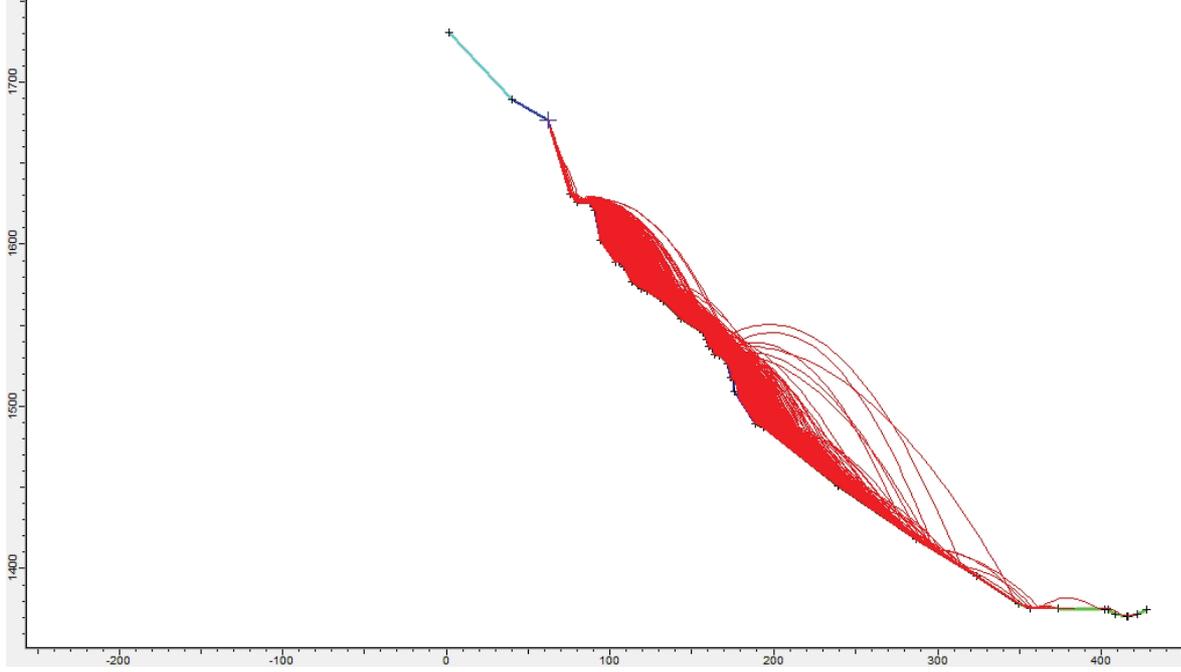
Material name: Clean hard bedrock [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.5 std dev=0.2
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.85 std dev=0.3
Friction Angle: mean=38 std dev=10
Roughness: std dev=3
Material name: Bedrock outcrops [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.45 std dev=0.15
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.8 std dev=0.25
Friction Angle: mean=36 std dev=10
Roughness: std dev=3
Material name: Talus with vegetation [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.33 std dev=0.1
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.78 std dev=0.2
Friction Angle: mean=28 std dev=10
Roughness: std dev=2
Material name: Soil with vegetation [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.29 std dev=0.08
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.67 std dev=0.08
Friction Angle: mean=24 std dev=2
Roughness: std dev=0

Seeders

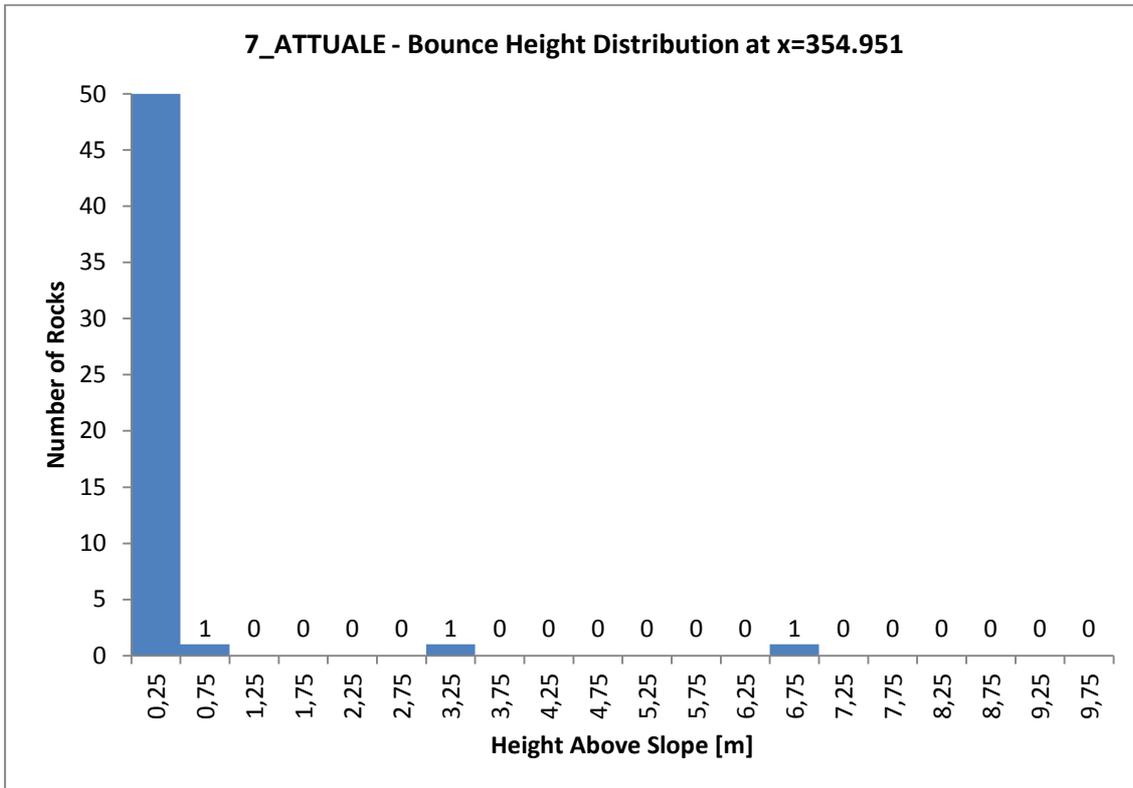
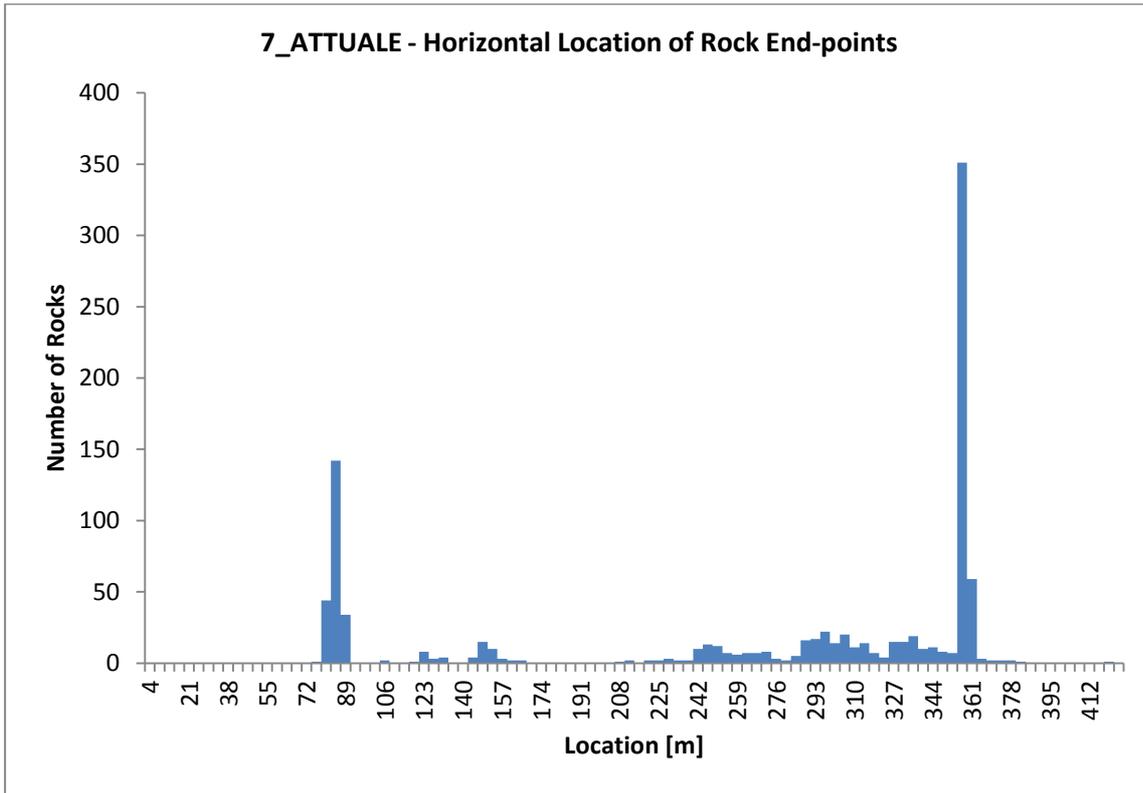
Point Seeder
Horizontal Velocity: mean=1, std dev=0
Vertical Velocity: mean=-1, std dev=0
Mass: mean=25000, std dev=2500
Angular Velocity: mean=1, std dev=0
Location: 62.343, 1676.16

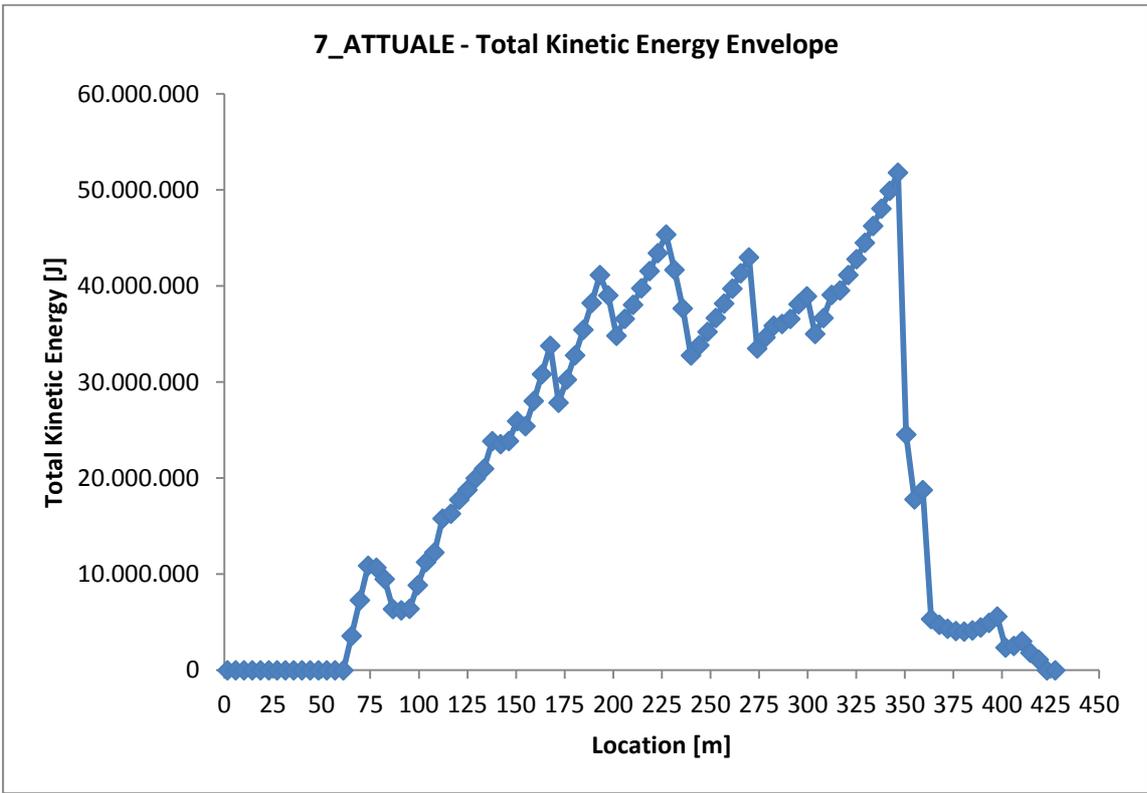
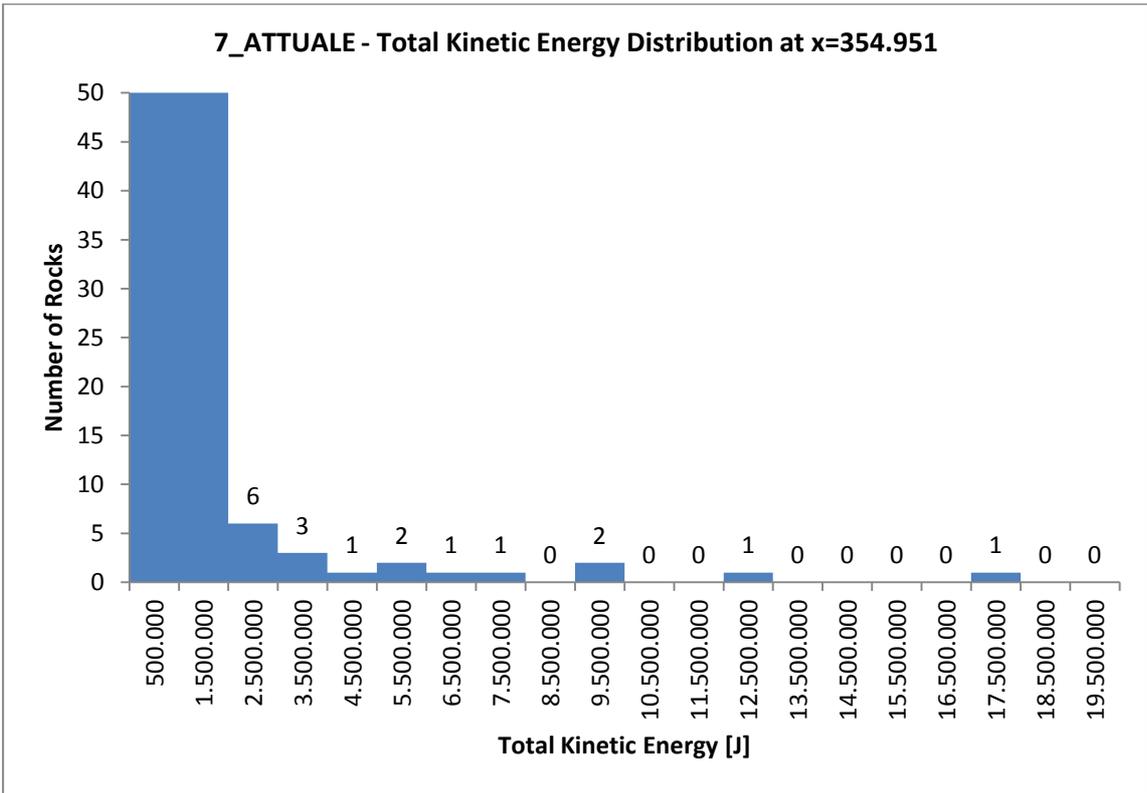


7_ATTUALE



7_ATTUALE





DOCUMENT NAME: 7_PROGETTO

Project Settings

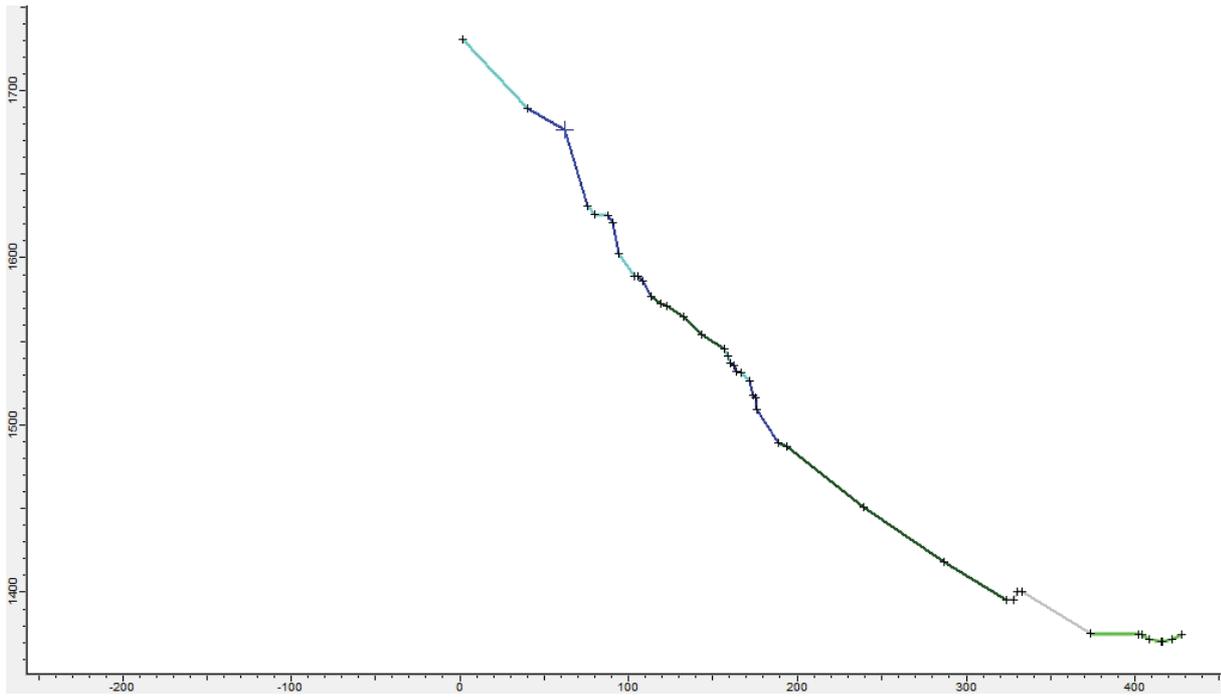
Units: Metric
Friction angle: Use friction angle specified in material editor
Minimum Velocity=0.1
Angular Velocity of the rocks CONSIDERED
Standard Deviations NOT USED when generating slope vertices
Random-number generation: Random
Number rock throw: 1000

Materials

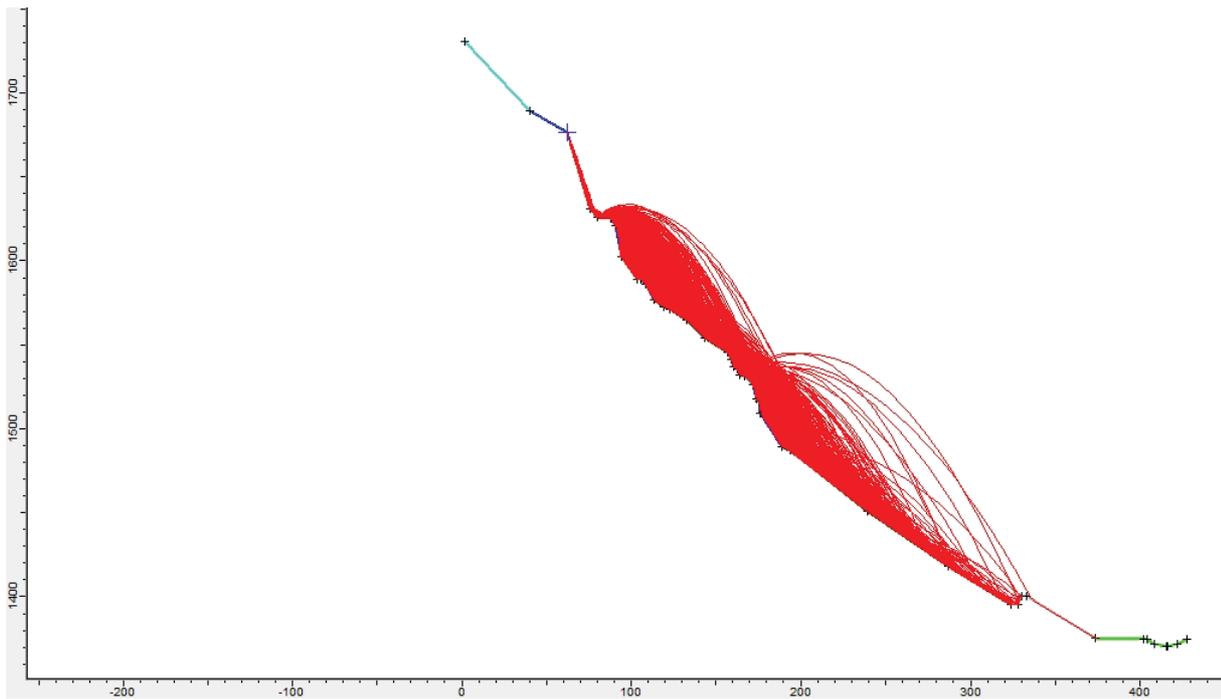
Material name: Clean hard bedrock [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.5 std dev=0.2
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.85 std dev=0.3
Friction Angle: mean=38 std dev=10
Roughness: std dev=3
Material name: Bedrock outcrops [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.45 std dev=0.15
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.8 std dev=0.25
Friction Angle: mean=36 std dev=10
Roughness: std dev=3
Material name: Talus with vegetation [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.33 std dev=0.1
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.78 std dev=0.2
Friction Angle: mean=28 std dev=10
Roughness: std dev=2
Material name: Soil with vegetation [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.29 std dev=0.08
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.67 std dev=0.08
Friction Angle: mean=24 std dev=2
Roughness: std dev=0
Material name: 6_rilevato
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.1 std dev=0.01
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.15 std dev=0.02
Friction Angle: mean=20 std dev=3
Roughness: std dev=0

Seeders

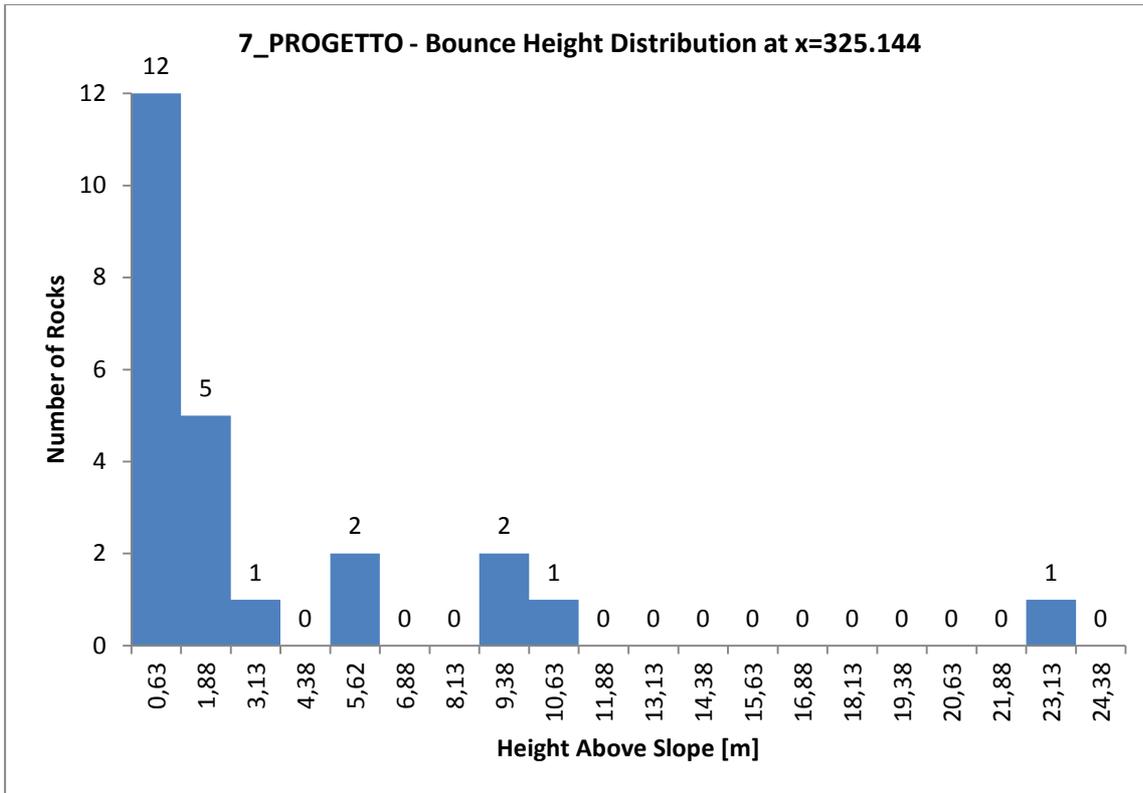
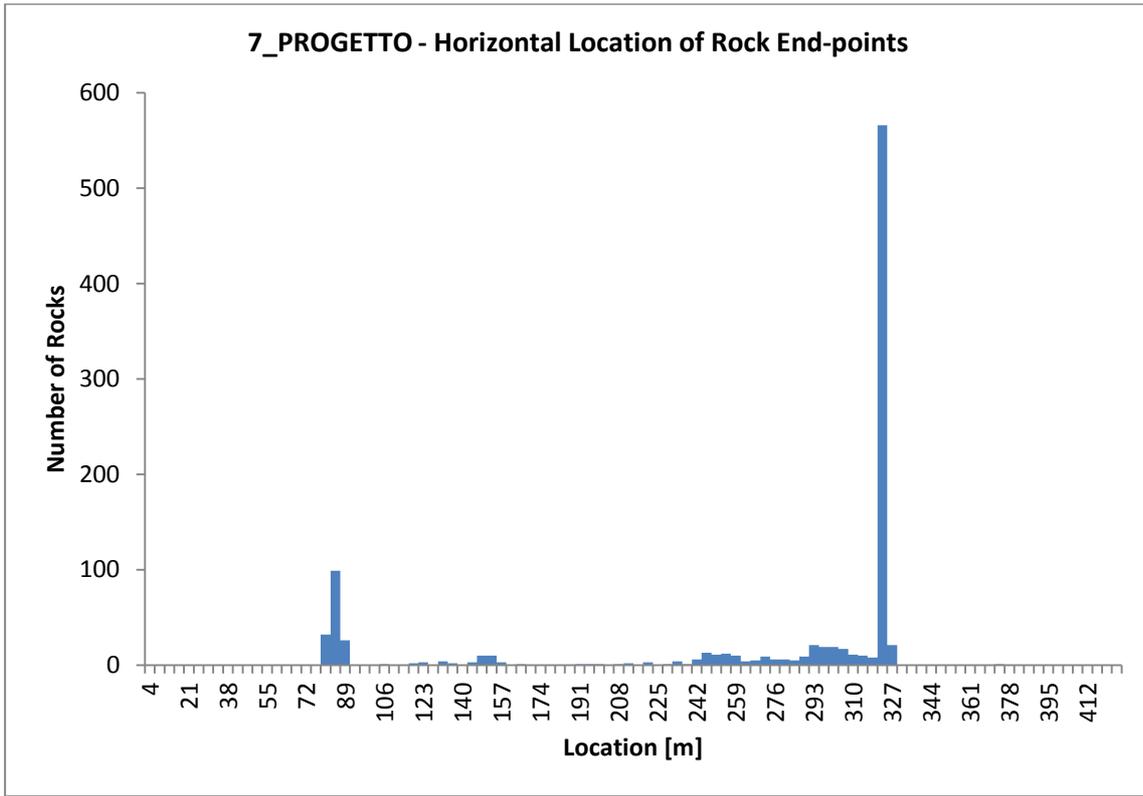
Point Seeder
Horizontal Velocity: mean=1, std dev=0
Vertical Velocity: mean=-1, std dev=0
Mass: mean=25000, std dev=2500
Angular Velocity: mean=1, std dev=0
Location: 62.277, 1676.49

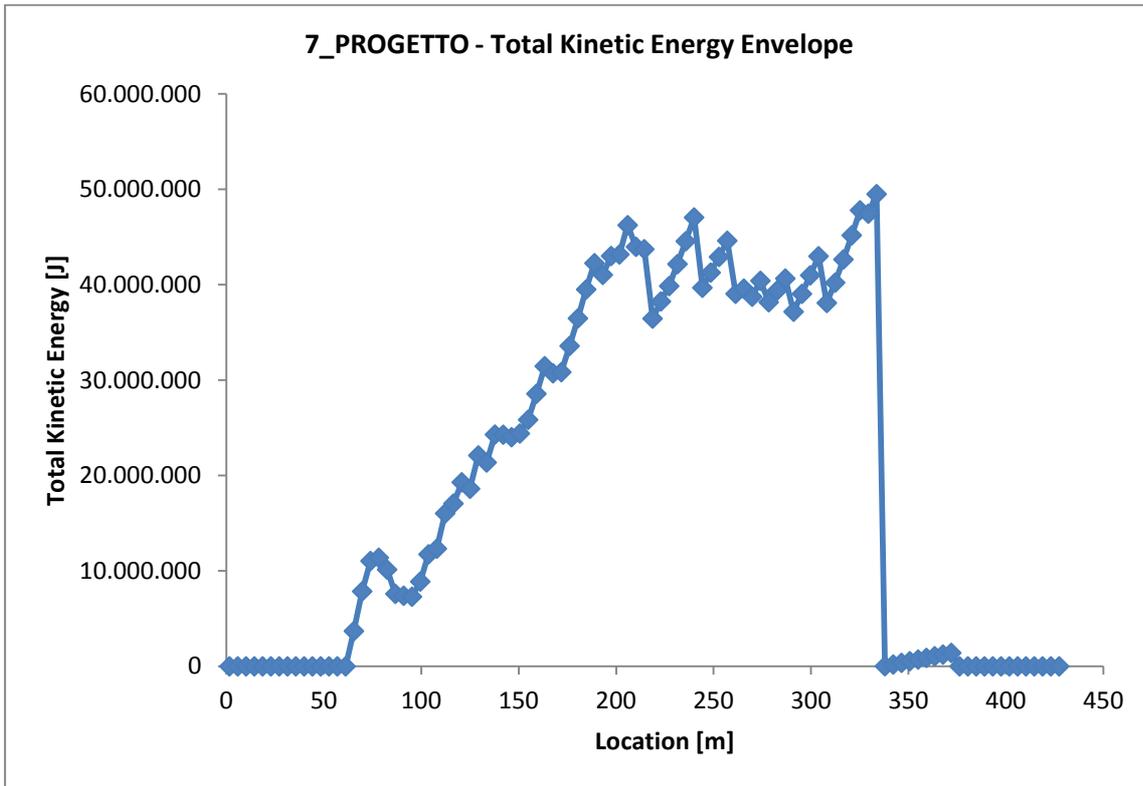
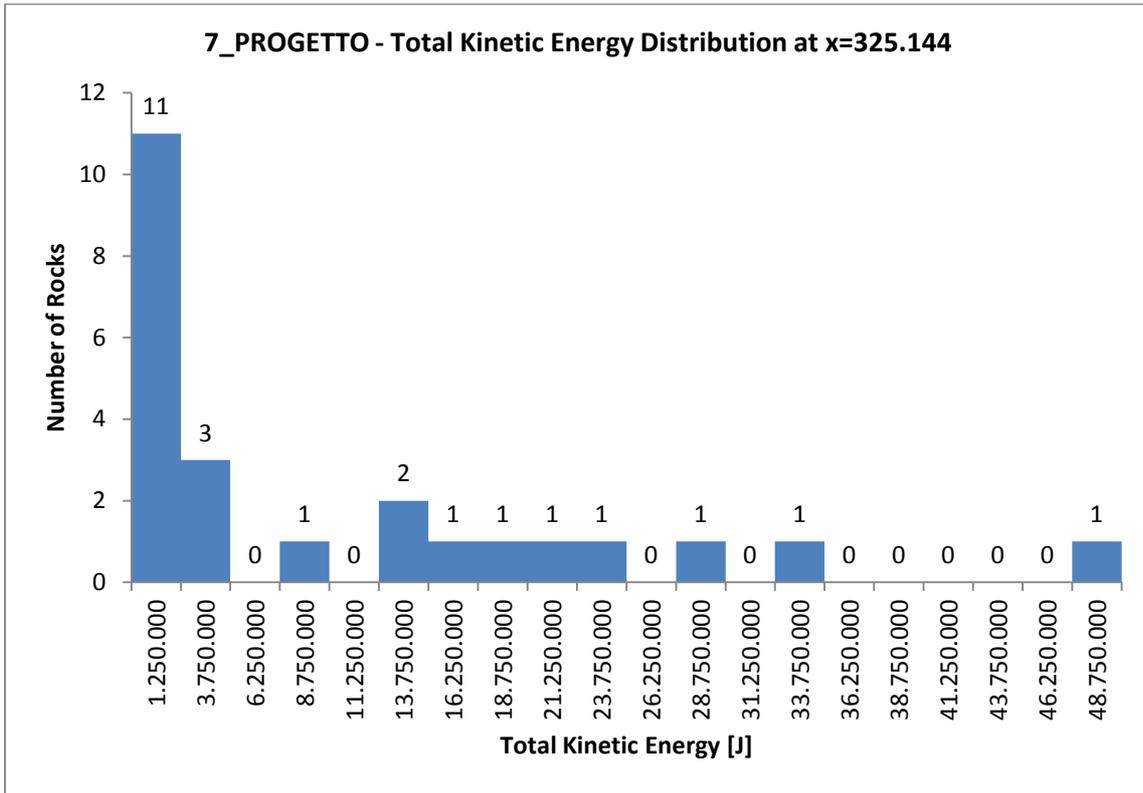


7_PROGETTO



7_PROGETTO





DOCUMENT NAME: 9_2010

Project Settings

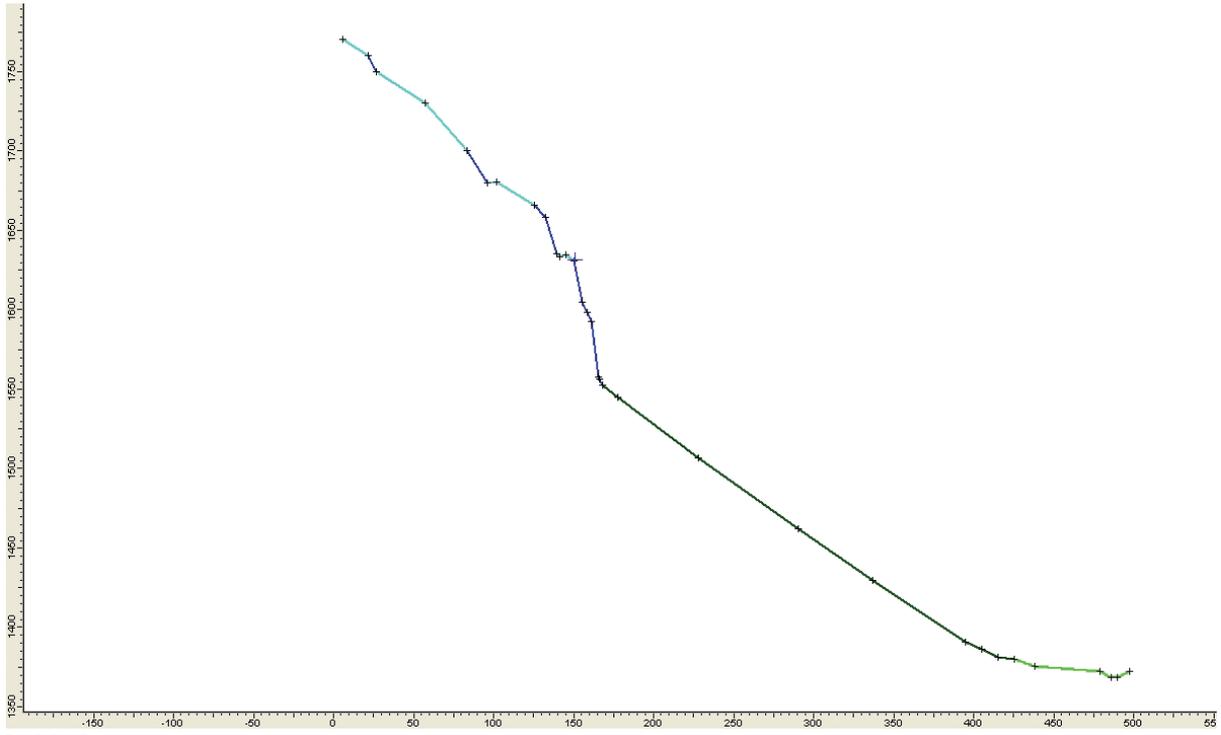
Units: Metric
Friction angle: Use friction angle specified in material editor
Minimum Velocity=0.1
Angular Velocity of the rocks CONSIDERED
Standard Deviations NOT USED when generating slope vertices
Random-number generation: Random
Number of rock throw: 1000

Materials

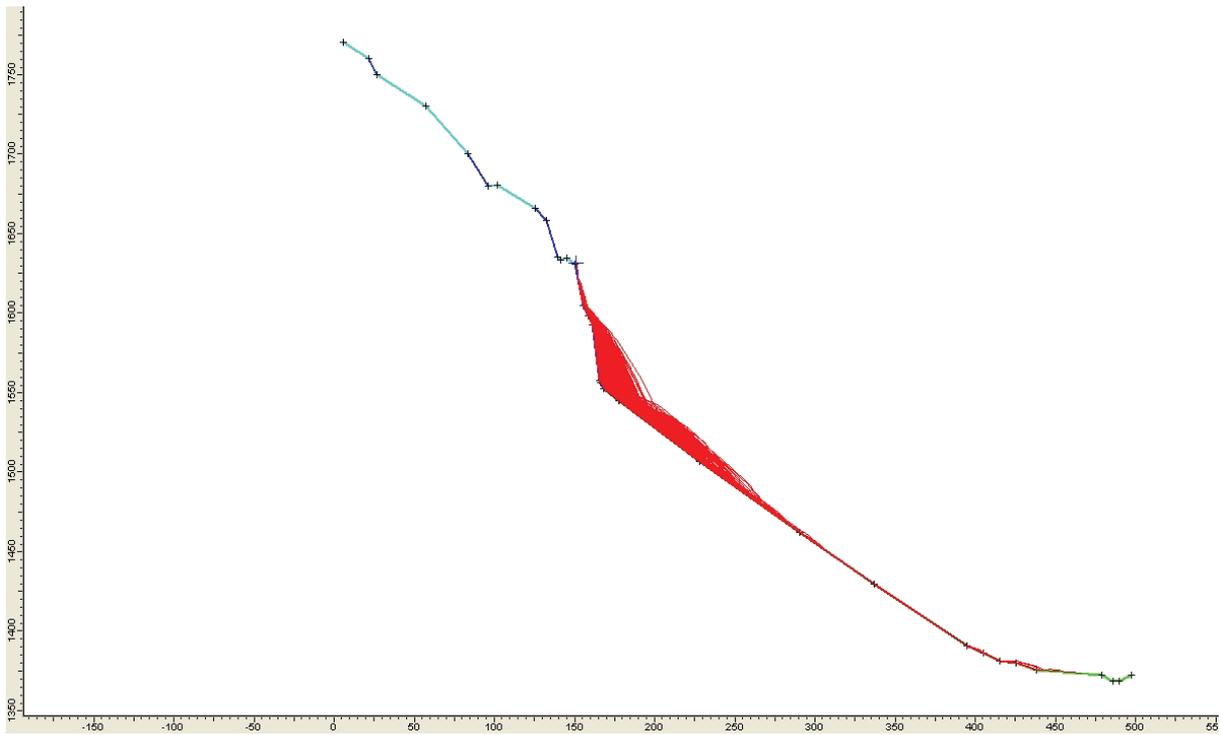
Material name: Clean hard bedrock [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.5 std dev=0.2
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.85 std dev=0.3
Friction Angle: mean=38 std dev=10
Roughness: std dev=3
Material name: Bedrock outcrops [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.45 std dev=0.15
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.8 std dev=0.25
Friction Angle: mean=36 std dev=10
Roughness: std dev=3
Material name: Talus with vegetation [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.33 std dev=0.1
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.78 std dev=0.2
Friction Angle: mean=28 std dev=10
Roughness: std dev=2
Material name: Soil with vegetation [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.29 std dev=0.08
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.67 std dev=0.08
Friction Angle: mean=24 std dev=2
Roughness: std dev=0

Seeders

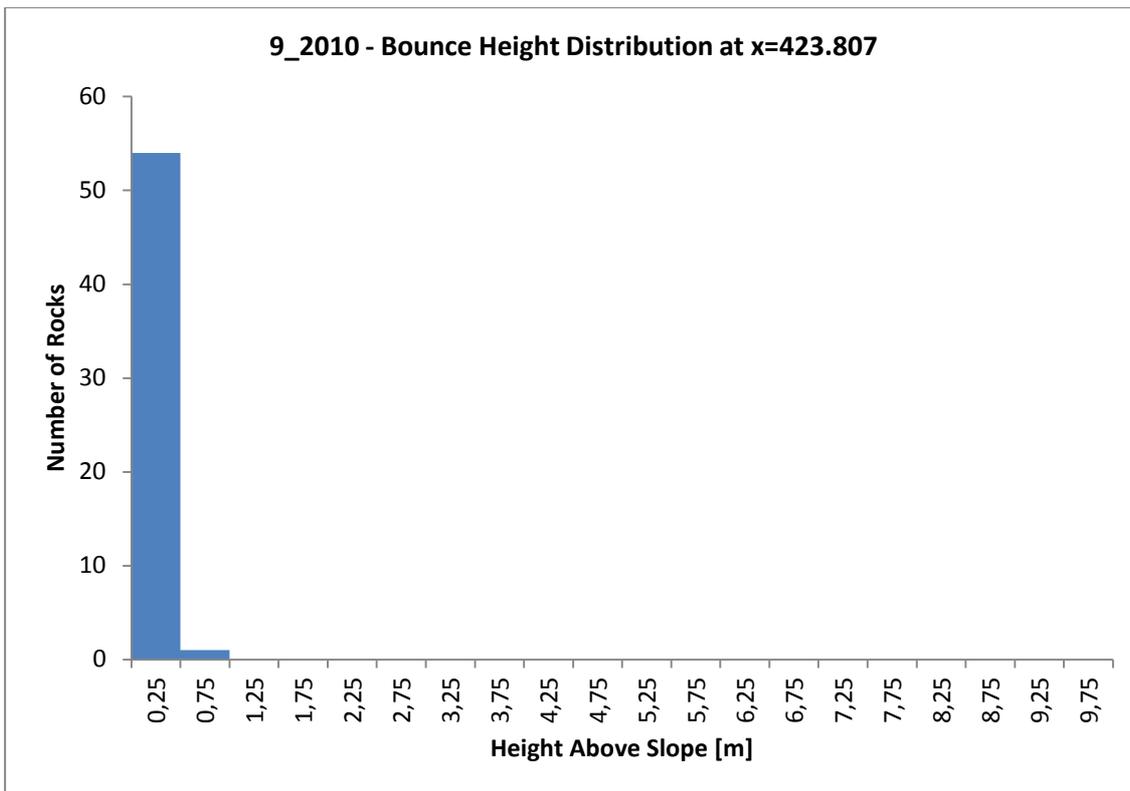
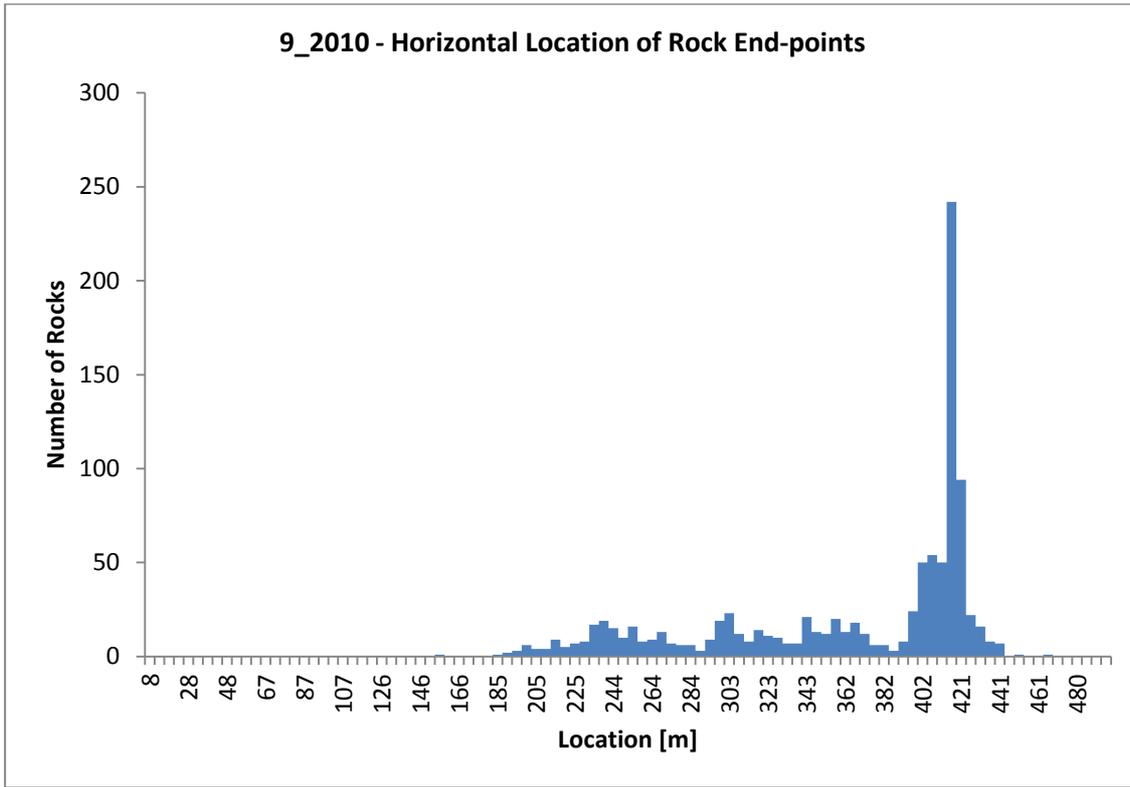
Point Seeder
Horizontal Velocity: mean=1, std dev=0
Vertical Velocity: mean=-1, std dev=0
Mass: mean=25000, std dev=2500
Angular Velocity: mean=1, std dev=0
Location: 150.86, 1631.22

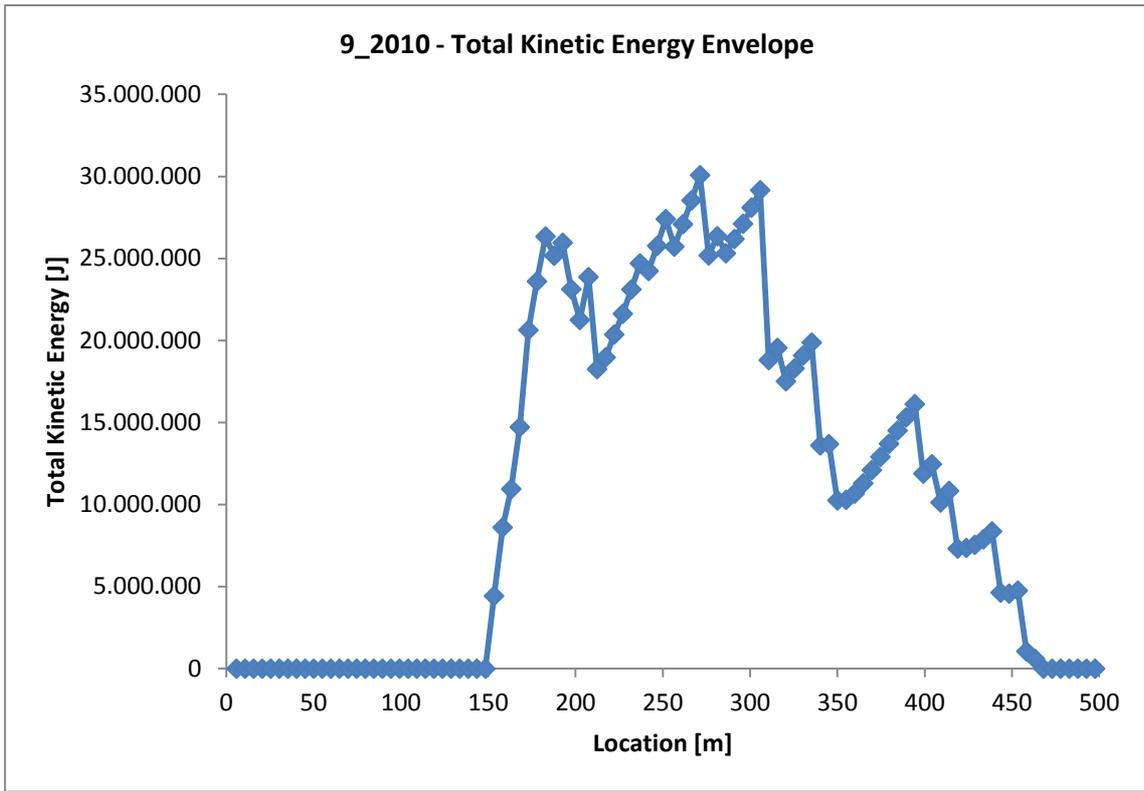
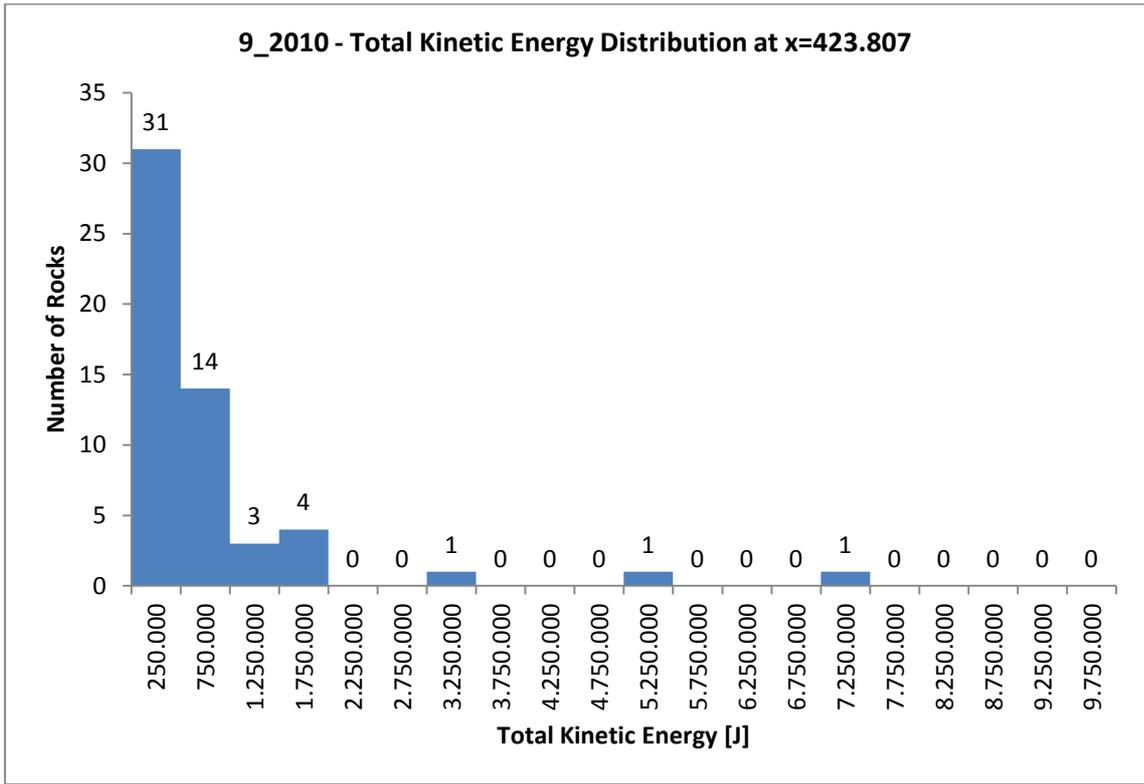


9_2010



9_2010





DOCUMENT NAME: 9_PROGETTO

Project Settings

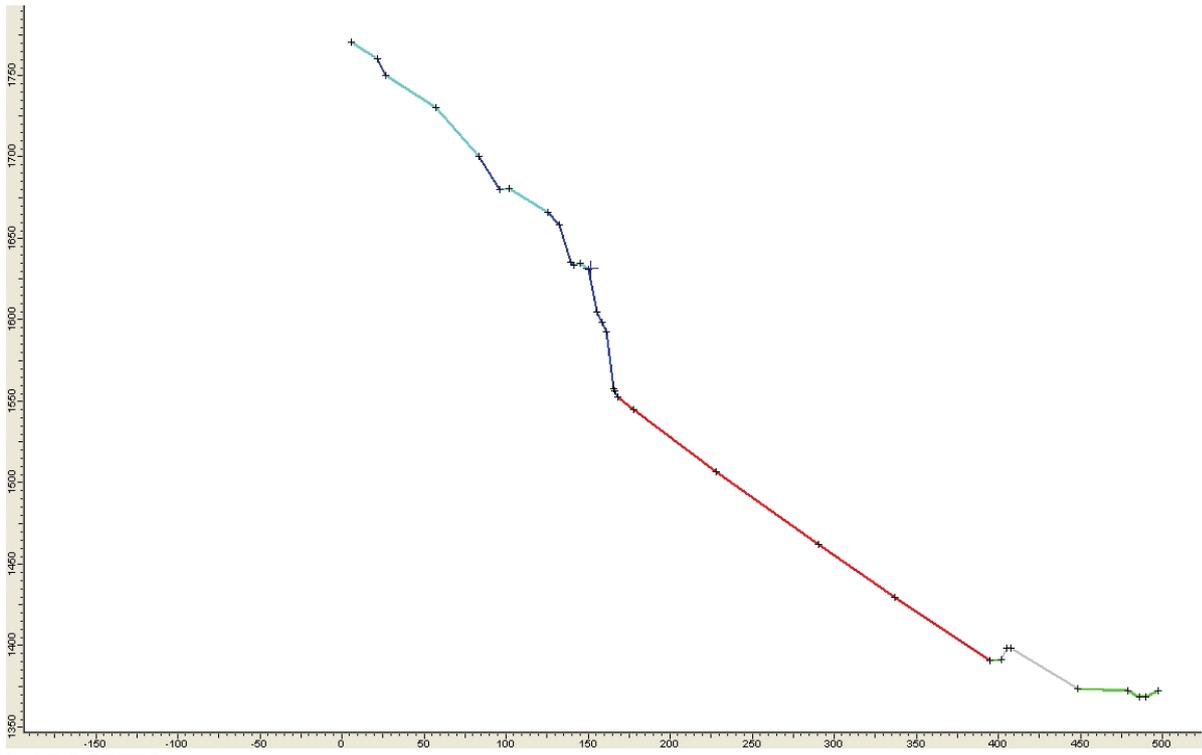
Units: Metric
Friction angle: Use friction angle specified in material editor
Minimum Velocity=0.1
Angular Velocity of the rocks CONSIDERED
Standard Deviations NOT USED when generating slope vertices
Random-number generation: Random
Number of rock throw: 1000

Materials

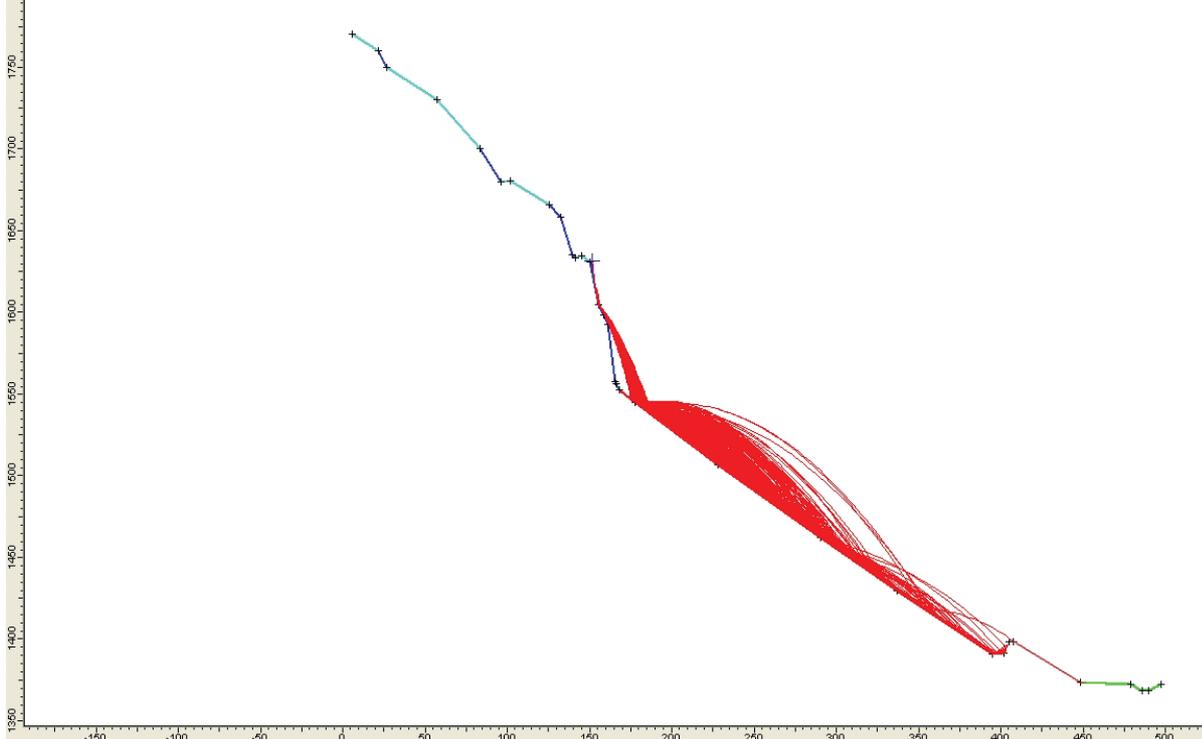
Material name: Clean hard bedrock [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.5 std dev=0.08
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.95 std dev=0.08
Friction Angle: mean=30 std dev=10
Roughness: std dev=0
Material name: Bedrock outcrops [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.3 std dev=0.08
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.8 std dev=0.08
Friction Angle: mean=30 std dev=2
Roughness: std dev=0
Material name: Talus Cover [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.34 std dev=0.2
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.77 std dev=0.15
Friction Angle: mean=25 std dev=4
Roughness: std dev=0
Material name: Soil with vegetation [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.29 std dev=0.08
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.67 std dev=0.08
Friction Angle: mean=24 std dev=2
Roughness: std dev=0
Material name: 6_rilevato
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.1 std dev=0.01
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.15 std dev=0.02
Friction Angle: mean=20 std dev=3
Roughness: std dev=0

Seeders

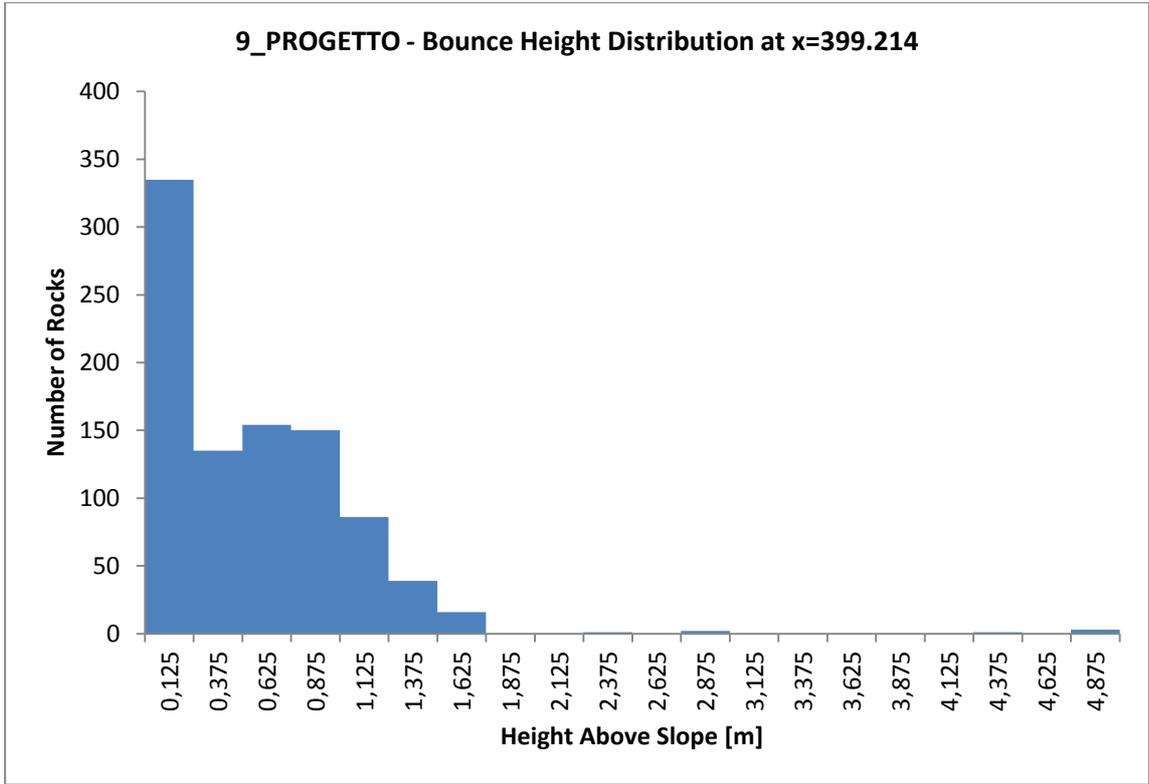
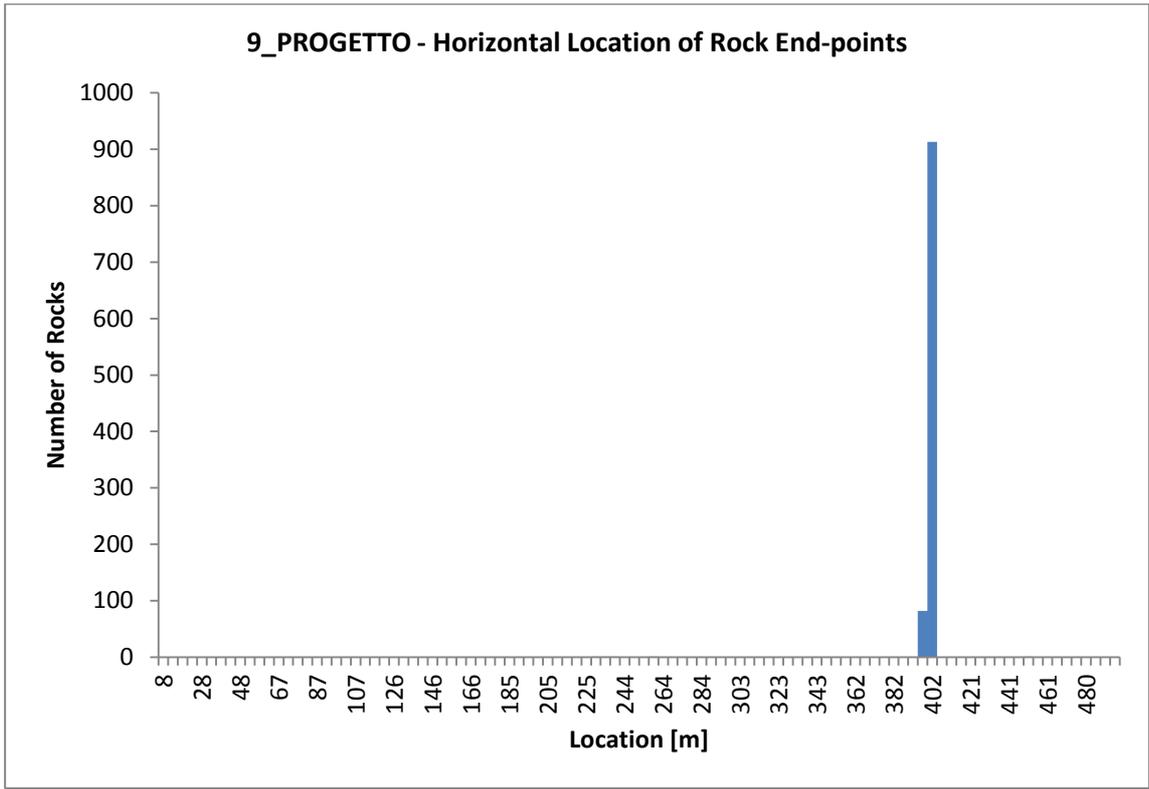
Point Seeder
Horizontal Velocity: mean=1, std dev=0
Vertical Velocity: mean=-1, std dev=0
Mass: mean=25000, std dev=5000
Angular Velocity: mean=1, std dev=0
Location: 151.357, 1631.19



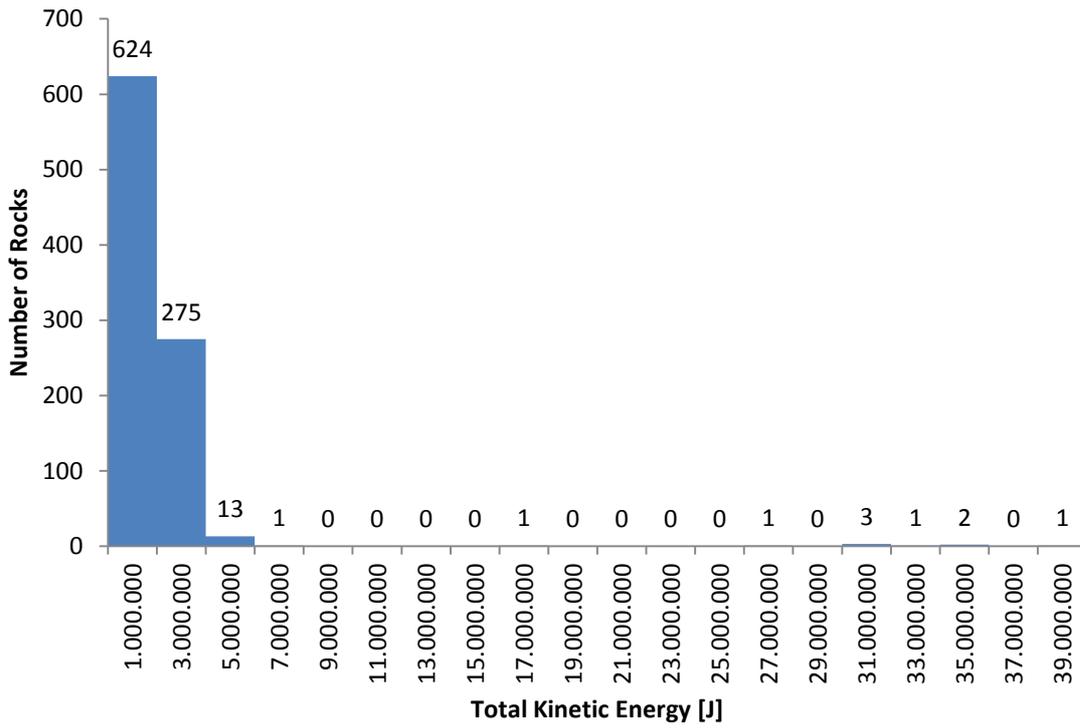
9_PROGETTO



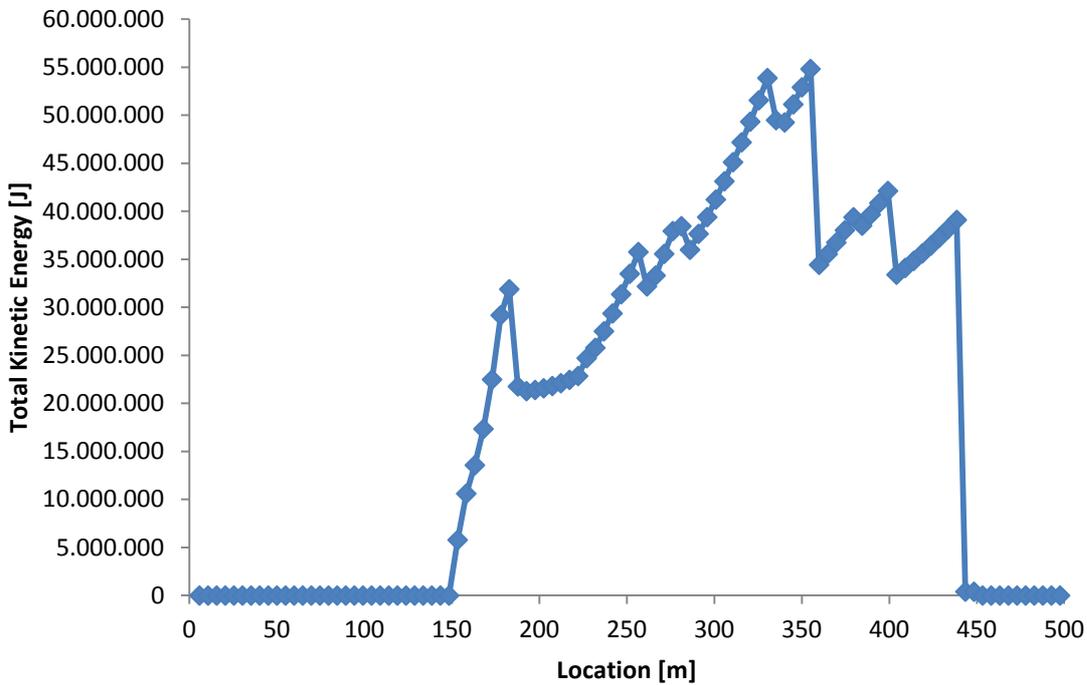
9_PROGETTO



9_PROGETTO - Total Kinetic Energy Distribution at x=399.214



9_PROGETTO - Total Kinetic Energy Envelope



DOCUMENT NAME: 11_ATTUALE

Project Settings

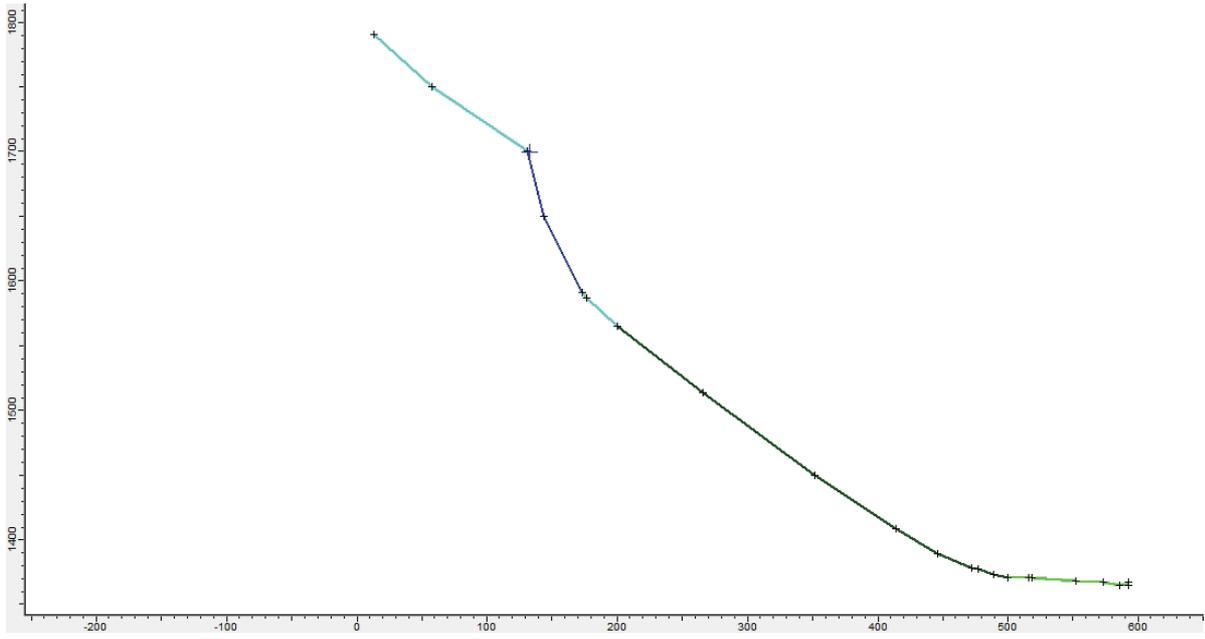
Units: Metric
Friction angle: Use friction angle specified in material editor
Minimum Velocity=0.1
Angular Velocity of the rocks CONSIDERED
Standard Deviations NOT USED when generating slope vertices
Random-number generation: Random
Number of rock throw: 1000

Materials

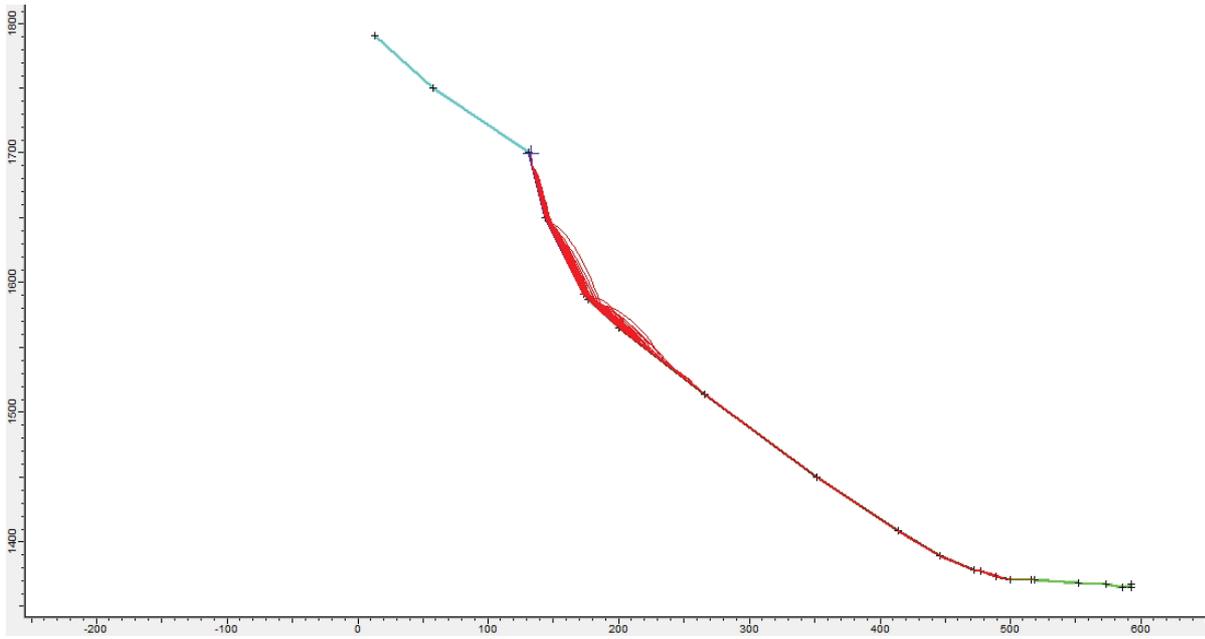
Material name: Clean hard bedrock [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.5 std dev=0.2
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.85 std dev=0.3
Friction Angle: mean=38 std dev=10
Roughness: std dev=3
Material name: Bedrock outcrops [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.45 std dev=0.15
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.8 std dev=0.25
Friction Angle: mean=36 std dev=10
Roughness: std dev=3
Material name: Talus with vegetation [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.33 std dev=0.1
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.78 std dev=0.2
Friction Angle: mean=28 std dev=10
Roughness: std dev=2
Material name: Soil with vegetation [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.29 std dev=0.08
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.67 std dev=0.08
Friction Angle: mean=24 std dev=2
Roughness: std dev=0

Seeders

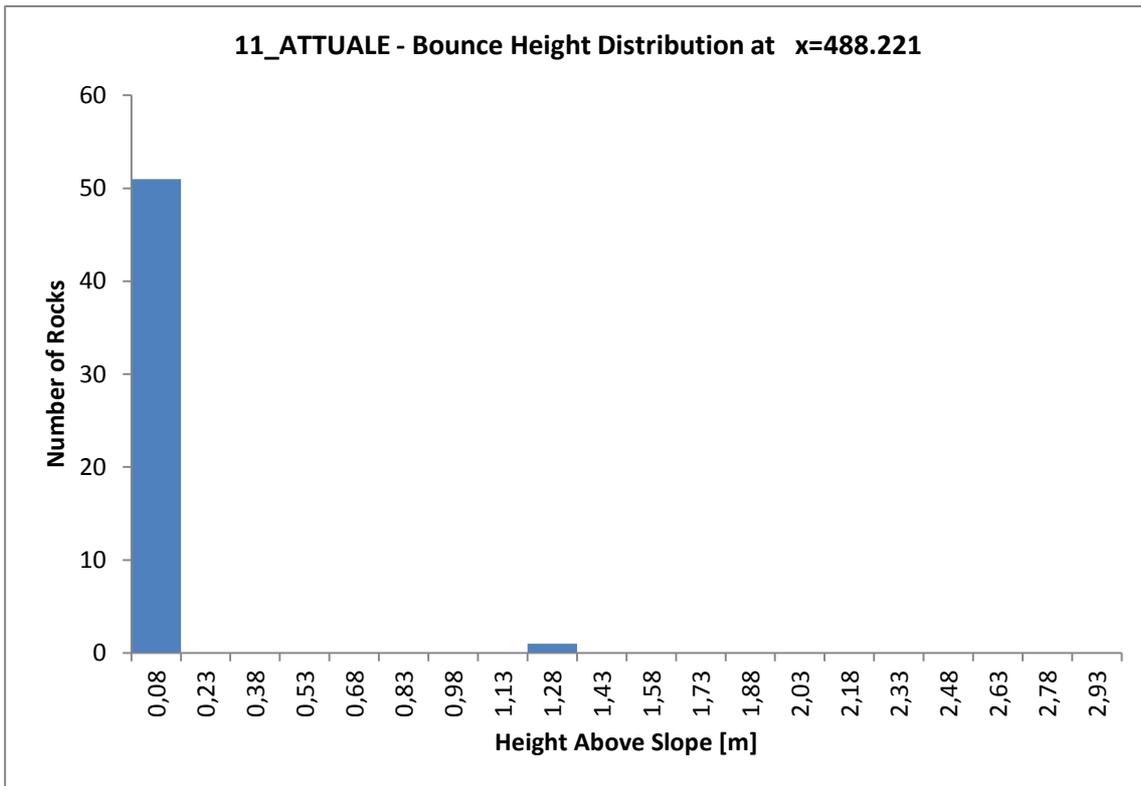
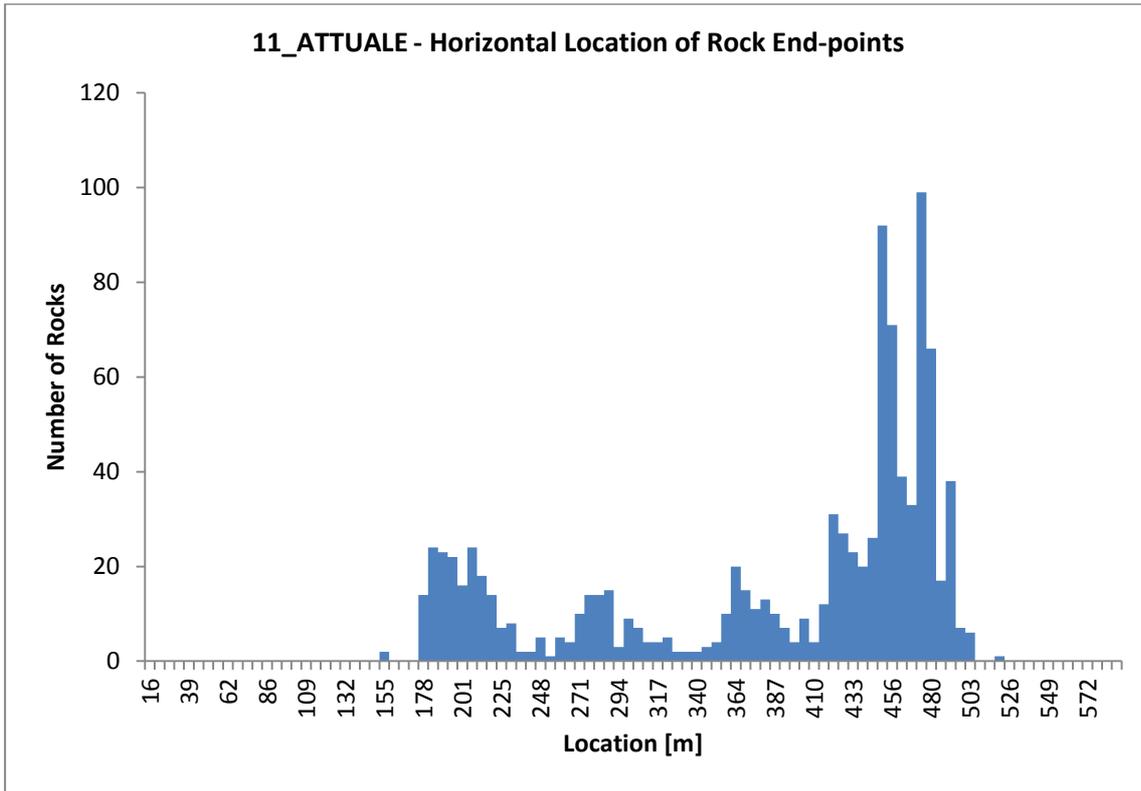
Point Seeder
Horizontal Velocity: mean=1, std dev=0
Vertical Velocity: mean=1, std dev=0
Mass: mean=25000, std dev=2500
Angular Velocity: mean=1, std dev=0
Location: 132.159, 1699.12

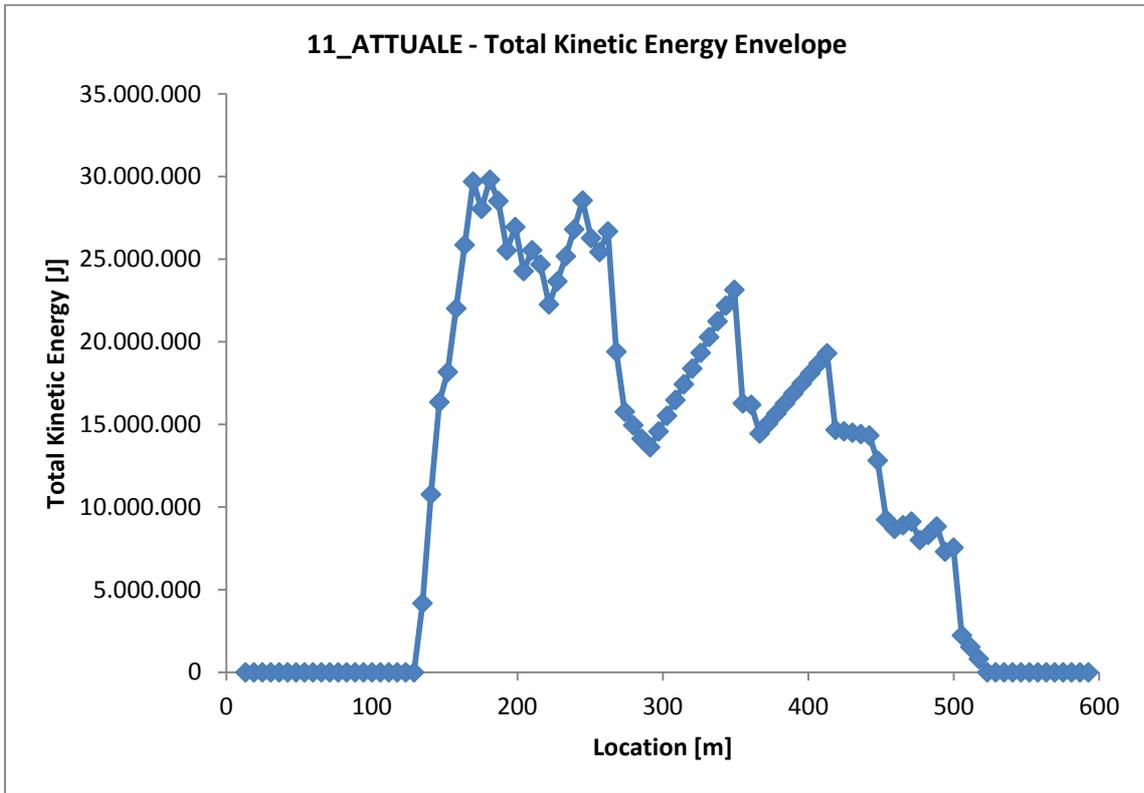
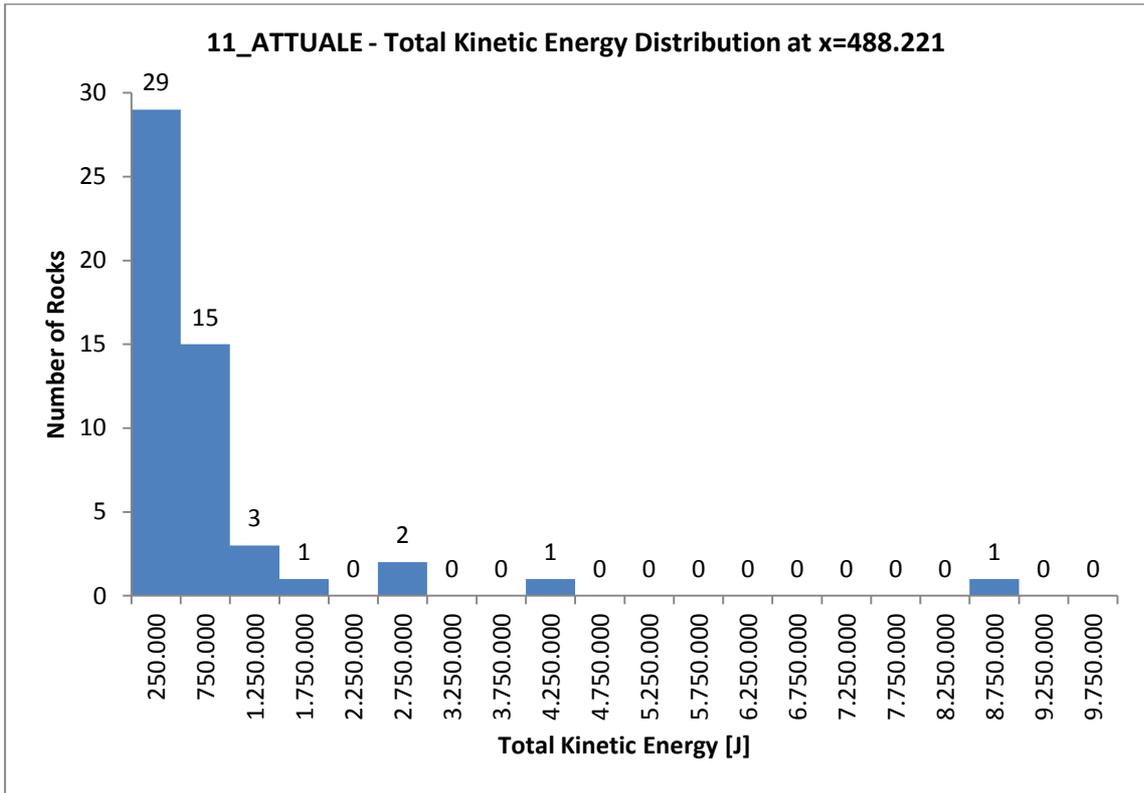


11_ATTUALE



11_ATTUALE





DOCUMENT NAME: 11_PROGETTO

Project Settings

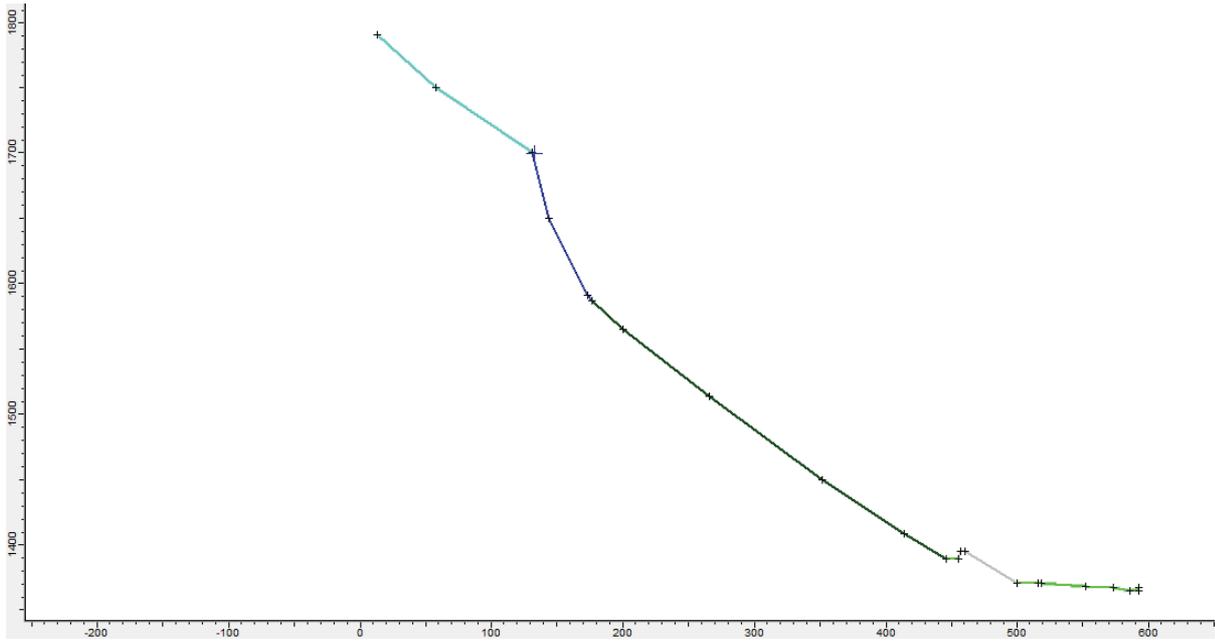
Units: Metric
Friction angle: Use friction angle specified in material editor
Minimum Velocity=0.1
Angular Velocity of the rocks CONSIDERED
Standard Deviations NOT USED when generating slope vertices
Random-number generation: Random
Numbers of rock throw: 1000

Materials

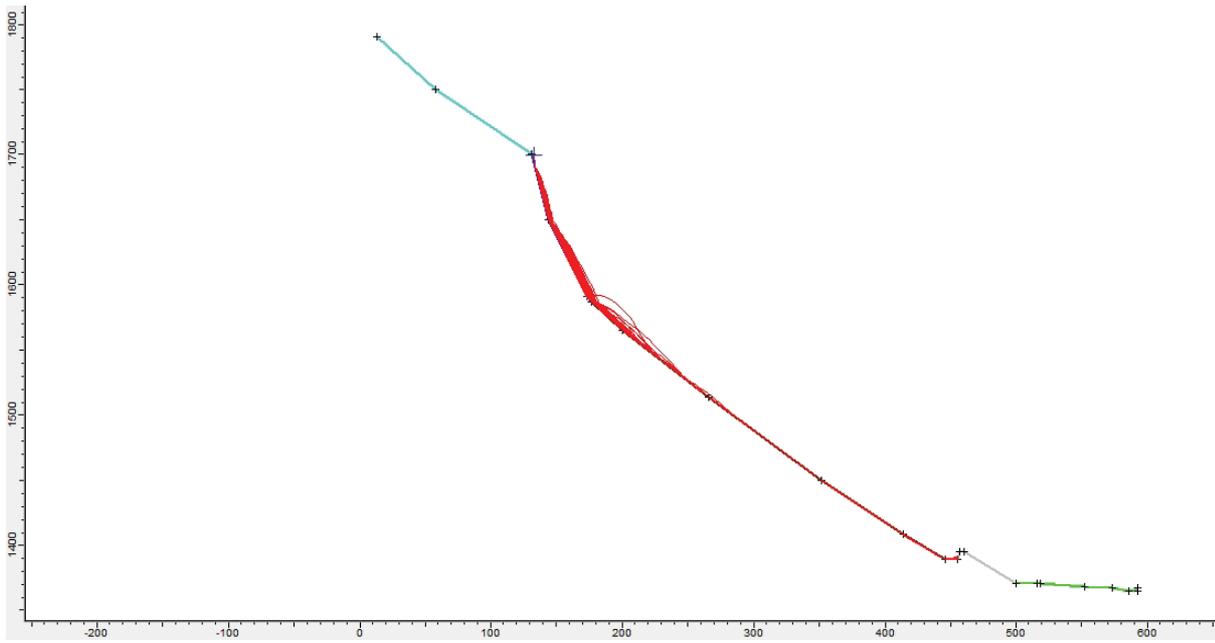
Material name: Clean hard bedrock [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.5 std dev=0.2
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.85 std dev=0.3
Friction Angle: mean=38 std dev=10
Roughness: std dev=3
Material name: Bedrock outcrops [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.45 std dev=0.15
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.8 std dev=0.25
Friction Angle: mean=36 std dev=10
Roughness: std dev=3
Material name: Talus with vegetation [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.33 std dev=0.1
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.78 std dev=0.2
Friction Angle: mean=28 std dev=10
Roughness: std dev=2
Material name: Soil with vegetation [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.29 std dev=0.08
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.67 std dev=0.08
Friction Angle: mean=24 std dev=2
Roughness: std dev=0
Material name: 6_rilevato
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.1 std dev=0.01
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.15 std dev=0.02
Friction Angle: mean=20 std dev=3
Roughness: std dev=0

Seeders

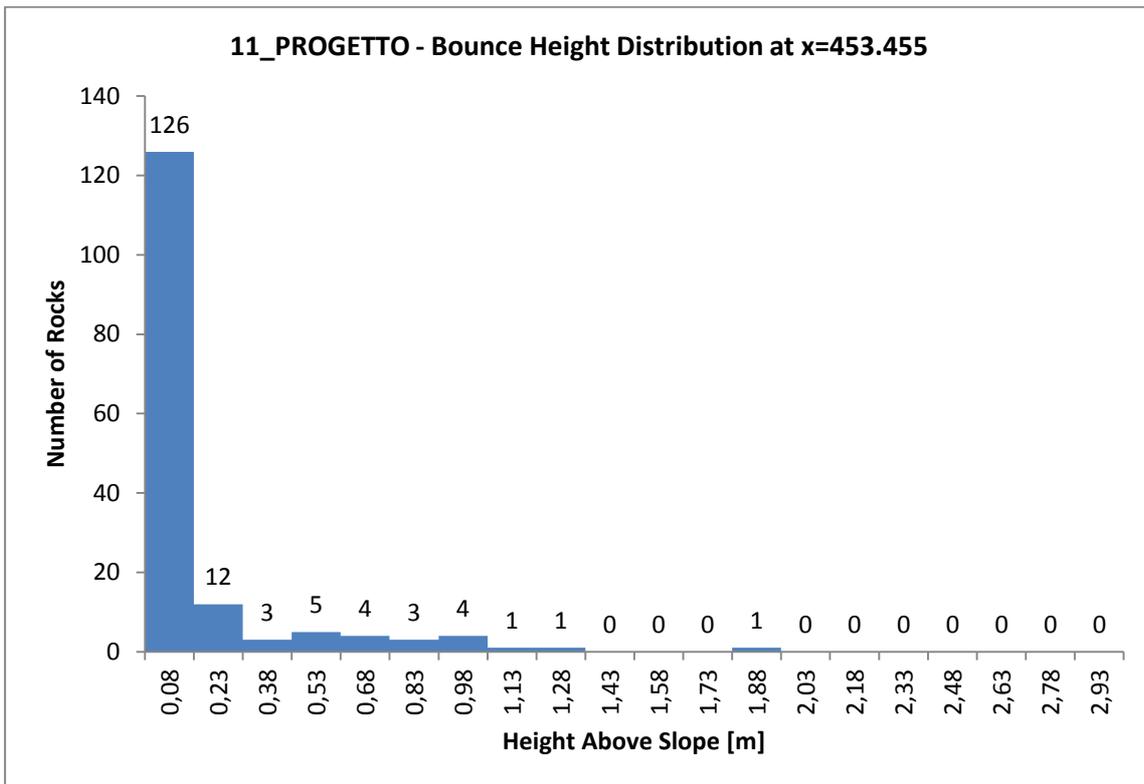
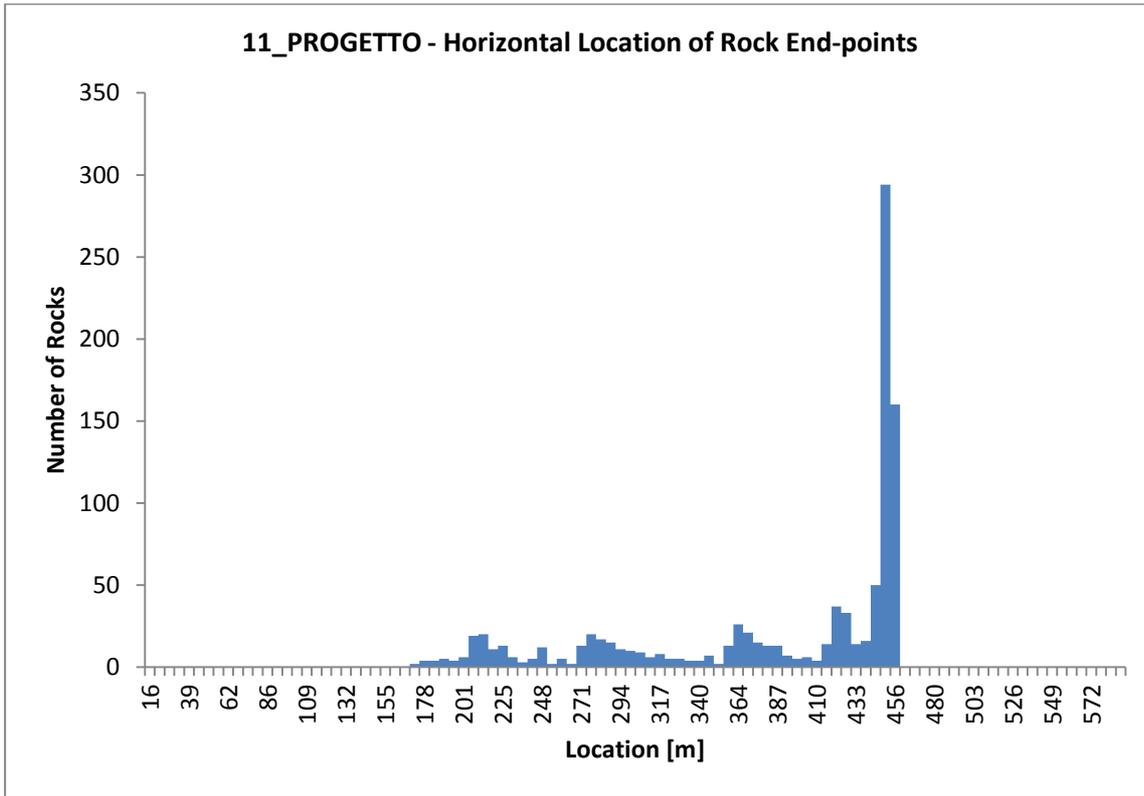
Point Seeder
Horizontal Velocity: mean=1, std dev=0
Vertical Velocity: mean=1, std dev=0
Mass: mean=25000, std dev=2500
Angular Velocity: mean=1, std dev=0
Location: 132.159, 1699.12

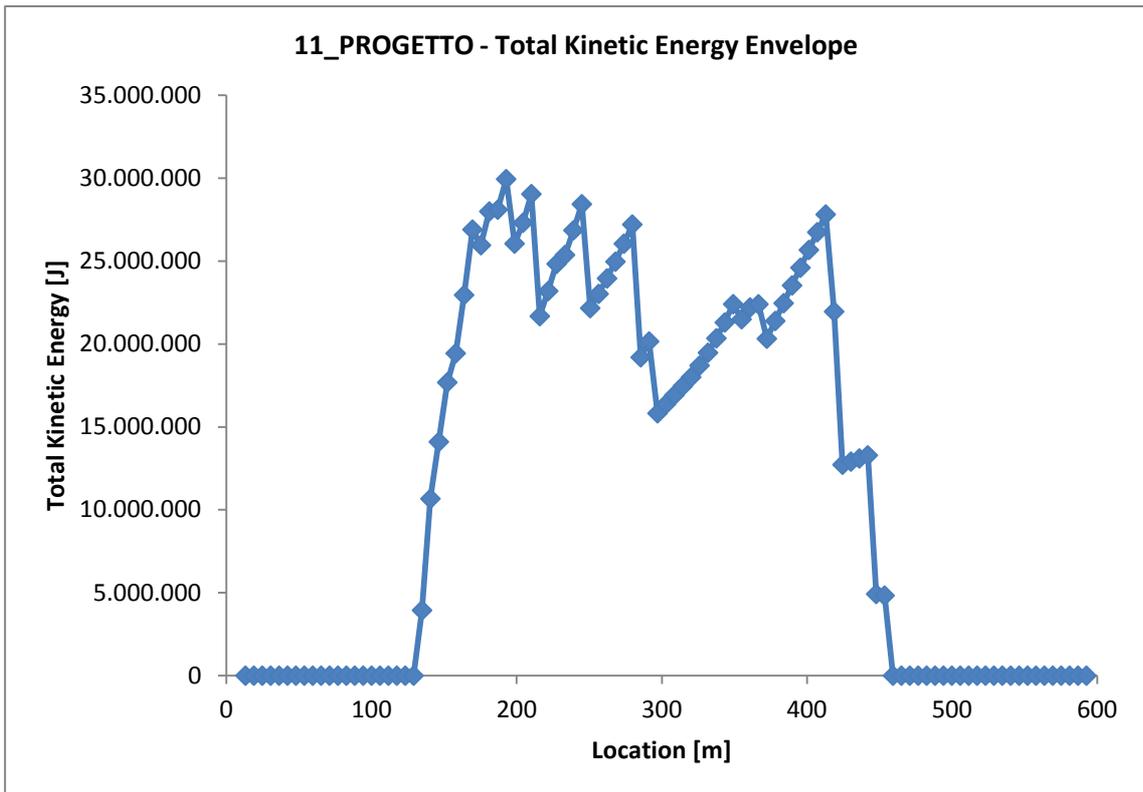
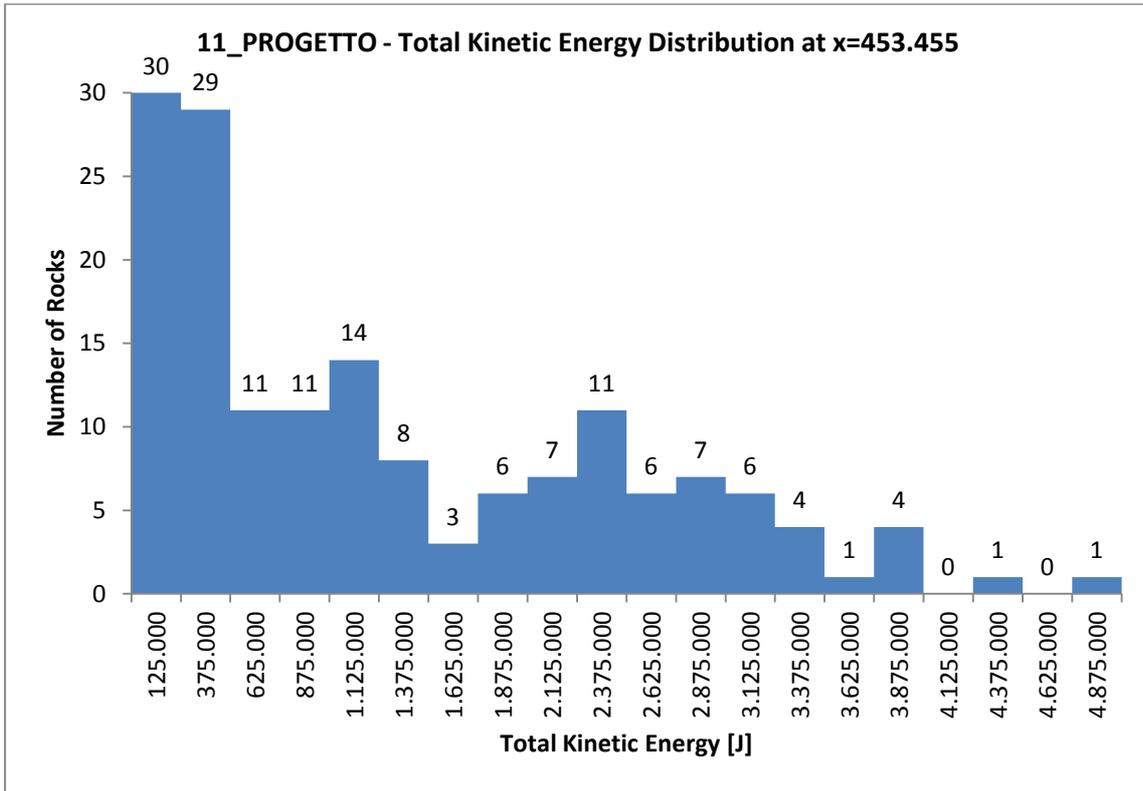


11_PROGETTO



11_PROGETTO





DOCUMENT NAME: 13_ATTUALE

Project Settings

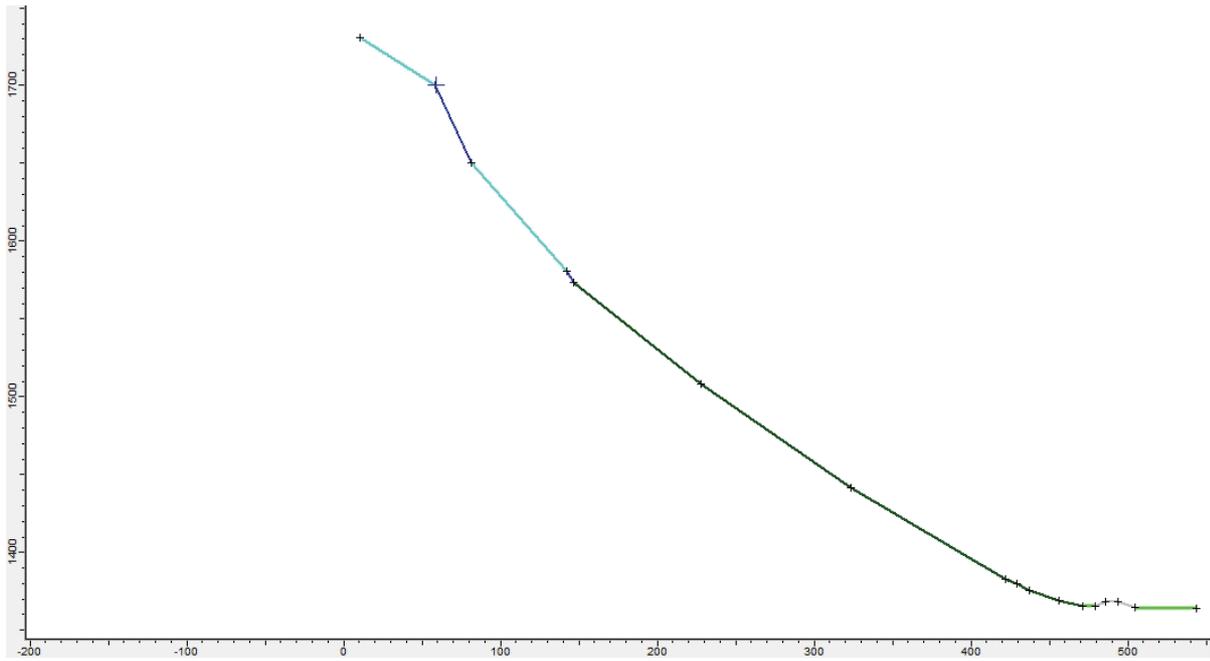
Units: Metric
Friction angle: Use friction angle specified in material editor
Minimum Velocity=0.1
Angular Velocity of the rocks CONSIDERED
Standard Deviations NOT USED when generating slope vertices
Random-number generation: Random
Number of rock throw: 1000

Materials

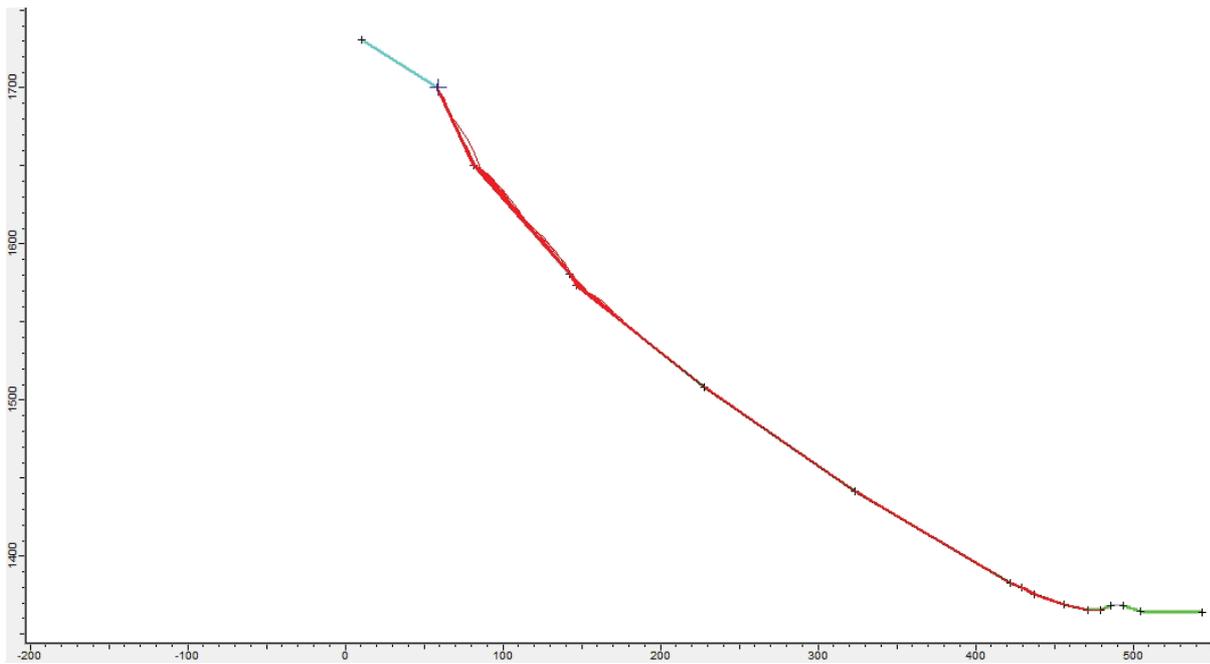
Material name: Clean hard bedrock [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.5 std dev=0.2
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.85 std dev=0.3
Friction Angle: mean=38 std dev=10
Roughness: std dev=3
Material name: Bedrock outcrops [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.45 std dev=0.15
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.8 std dev=0.25
Friction Angle: mean=36 std dev=10
Roughness: std dev=3
Material name: Talus with vegetation [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.33 std dev=0.1
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.78 std dev=0.2
Friction Angle: mean=28 std dev=10
Roughness: std dev=2
Material name: Soil with vegetation [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.29 std dev=0.08
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.67 std dev=0.08
Friction Angle: mean=24 std dev=2
Roughness: std dev=0
Material name: 6_rilevato
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.1 std dev=0.01
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.15 std dev=0.02
Friction Angle: mean=20 std dev=3
Roughness: std dev=0

Seeders

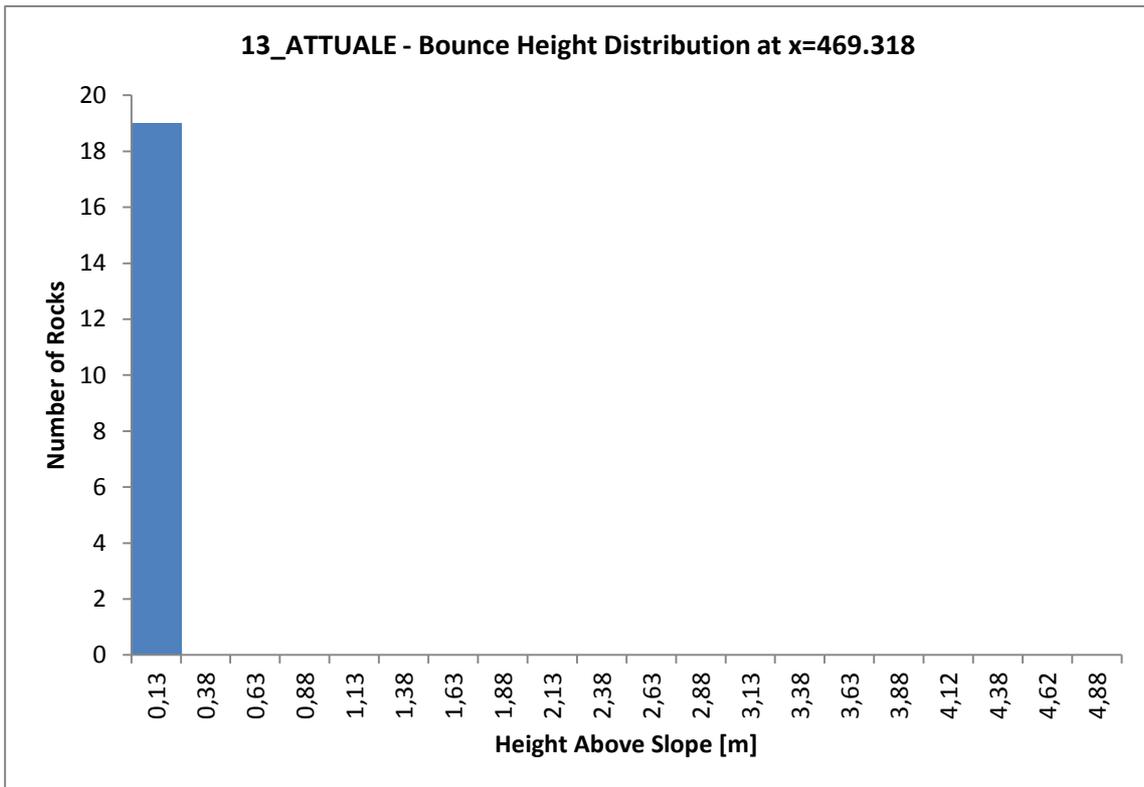
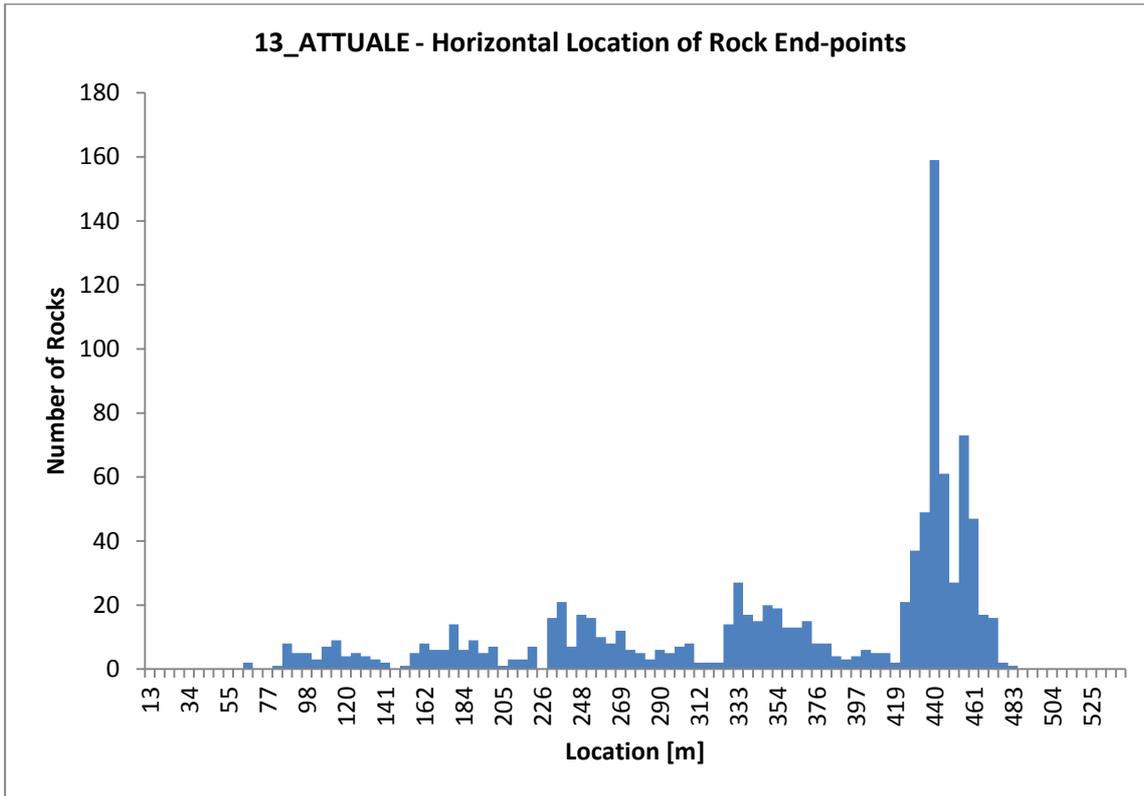
Point Seeder
Horizontal Velocity: mean=1, std dev=0
Vertical Velocity: mean=-1, std dev=0
Mass: mean=25000, std dev=2500
Angular Velocity: mean=1, std dev=0
Location: 58.491, 1699.79

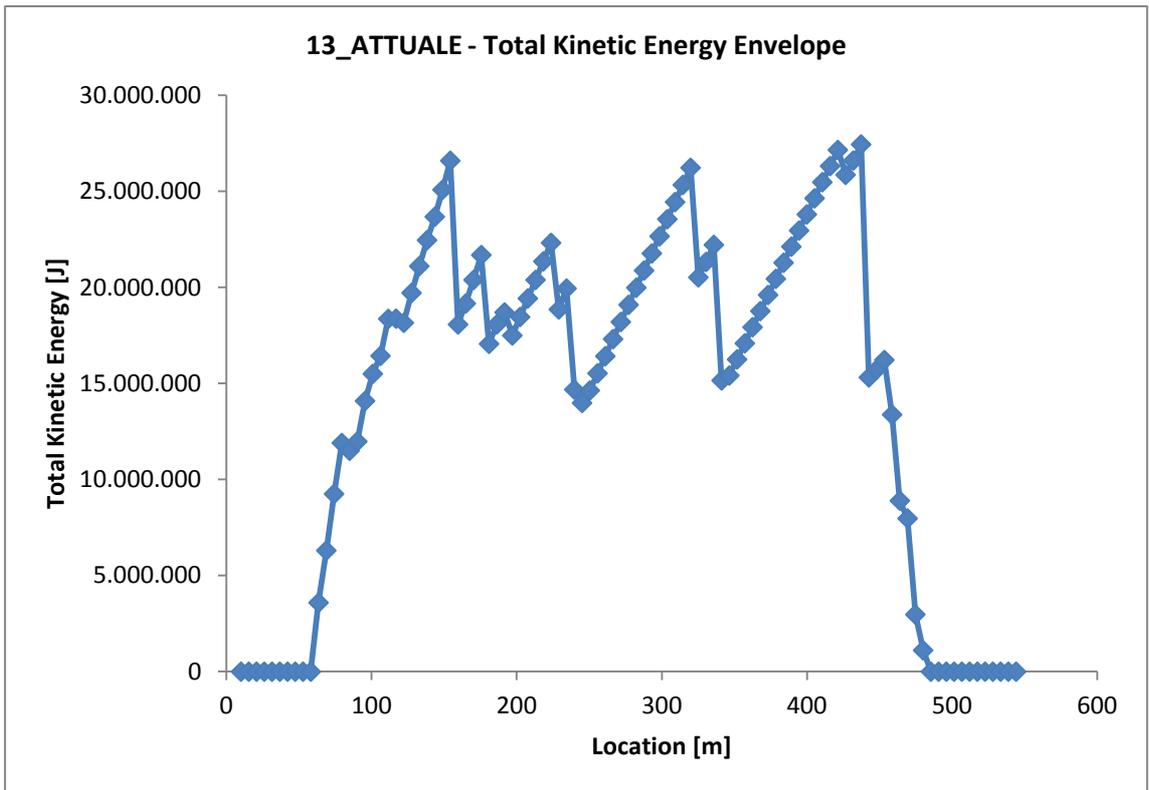
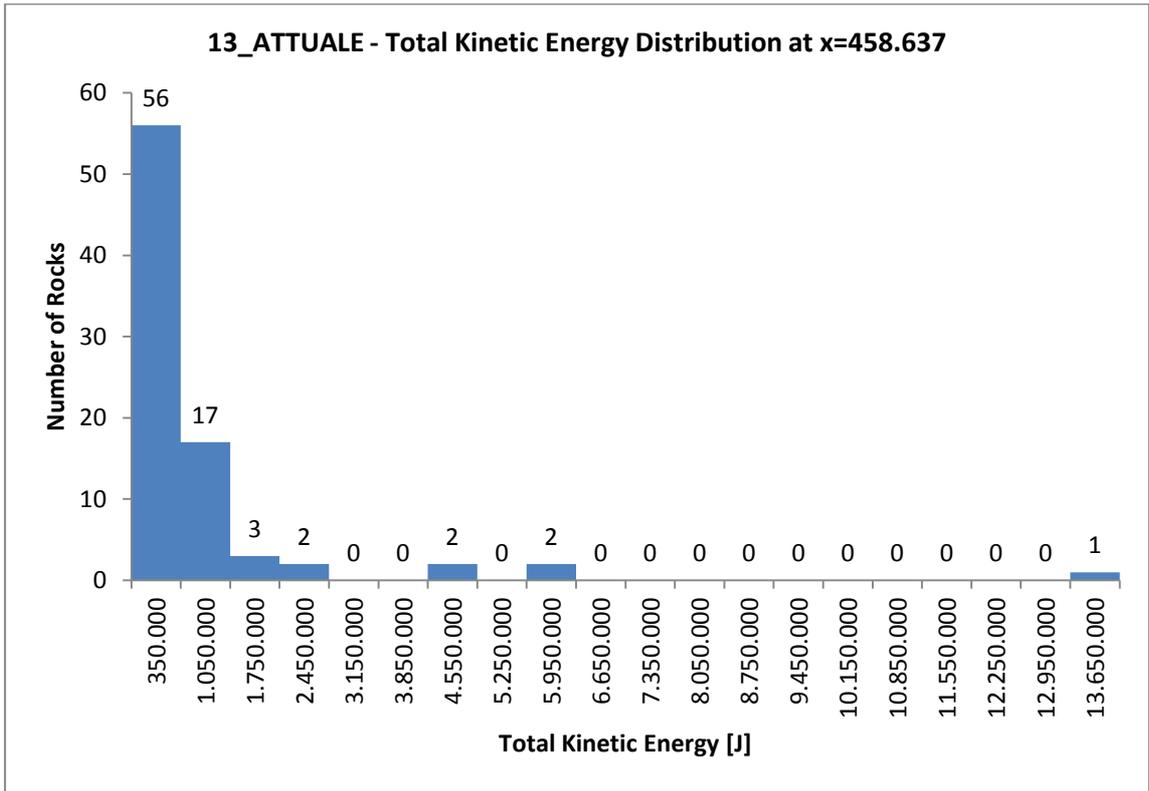


13_ATTUALE



13_ATTUALE





DOCUMENT NAME: 13_PROGETTO

Project Settings

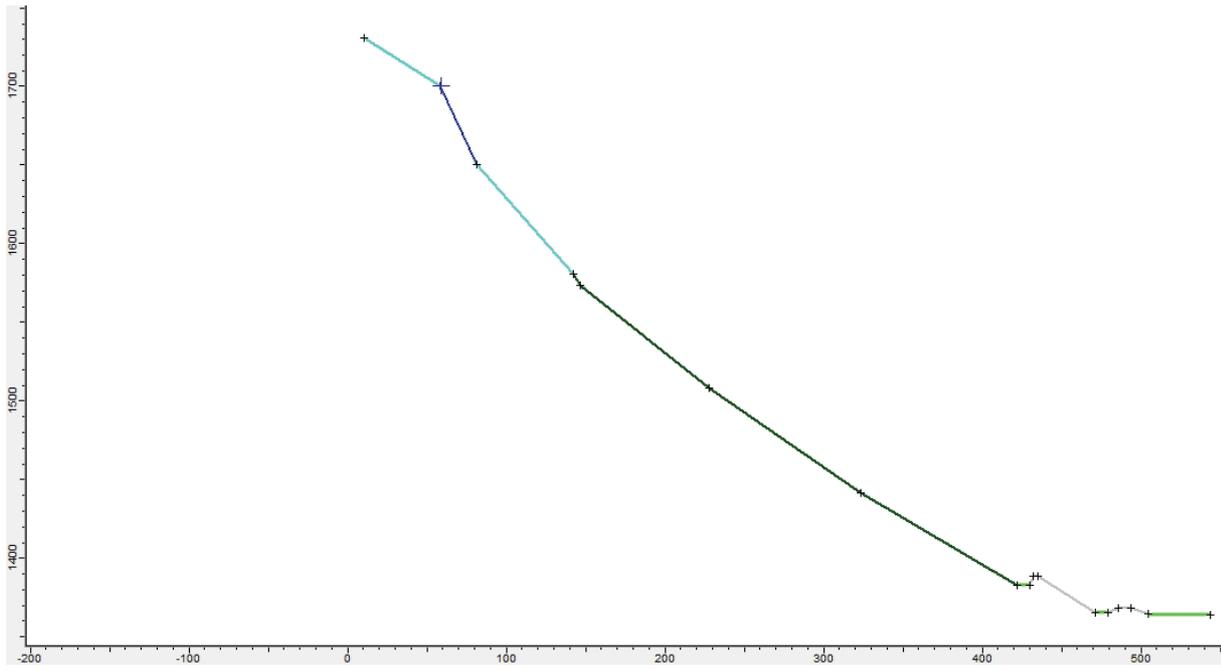
Units: Metric
Friction angle: Use friction angle specified in material editor
Minimum Velocity=0.1
Angular Velocity of the rocks CONSIDERED
Standard Deviations NOT USED when generating slope vertices
Random-number generation: Random
Number of rock throw: 1000

Materials

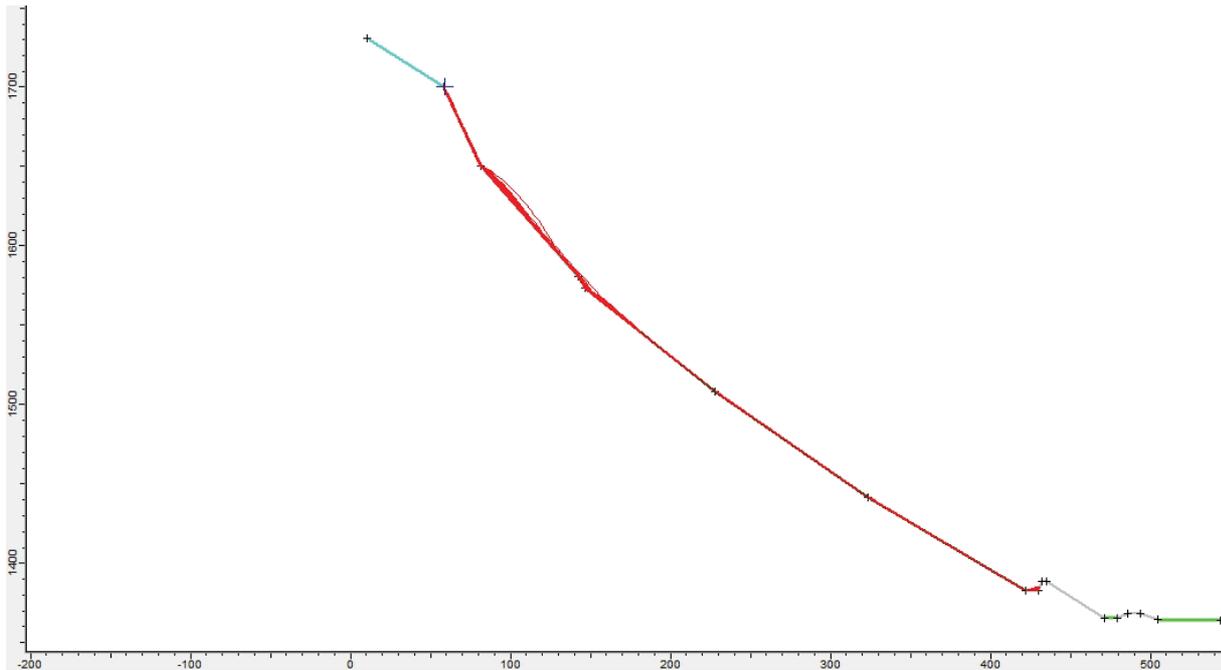
Material name: Clean hard bedrock [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.5 std dev=0.2
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.85 std dev=0.3
Friction Angle: mean=38 std dev=10
Roughness: std dev=3
Material name: Bedrock outcrops [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.45 std dev=0.15
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.8 std dev=0.25
Friction Angle: mean=36 std dev=10
Roughness: std dev=3
Material name: Talus with vegetation [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.33 std dev=0.1
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.78 std dev=0.2
Friction Angle: mean=28 std dev=10
Roughness: std dev=2
Material name: Soil with vegetation [default]
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.29 std dev=0.08
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.67 std dev=0.08
Friction Angle: mean=24 std dev=2
Roughness: std dev=0
Material name: 6_rilevato
Coefficient of Normal Restitution (RN): mean=0.1 std dev=0.01
Coefficient of Tangential Restitution (RT): mean=0.15 std dev=0.02
Friction Angle: mean=20 std dev=3
Roughness: std dev=0

Seeders

Point Seeder
Horizontal Velocity: mean=1, std dev=0
Vertical Velocity: mean=-1, std dev=0
Mass: mean=25000, std dev=2500
Angular Velocity: mean=1, std dev=0
Location: 58.491, 1699.79

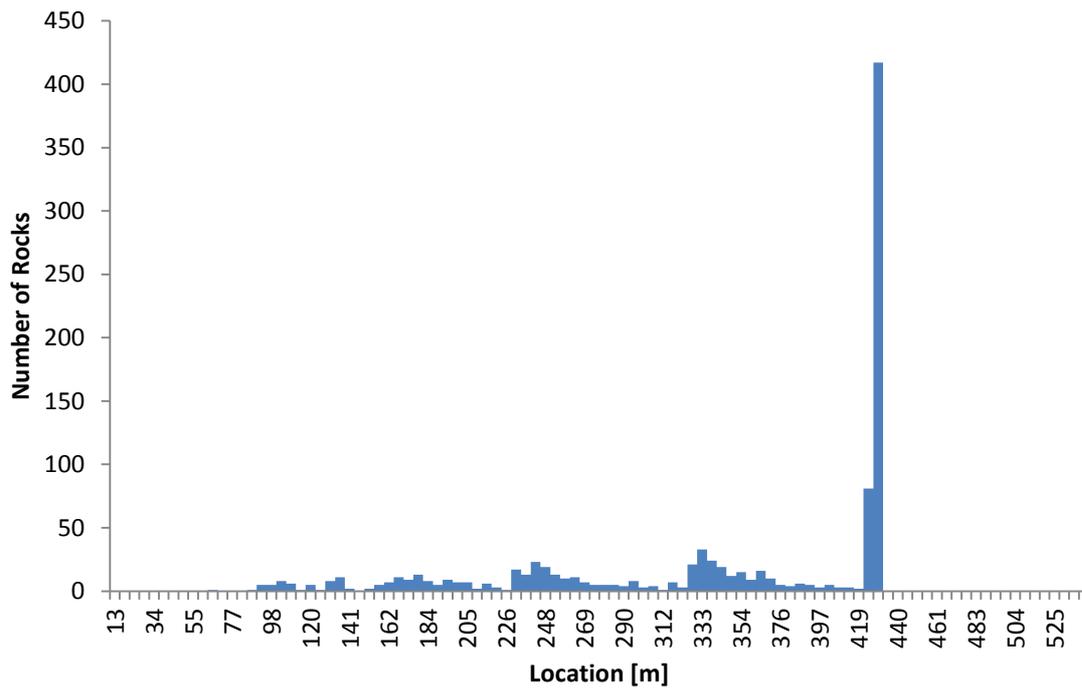


13_PROGETTO

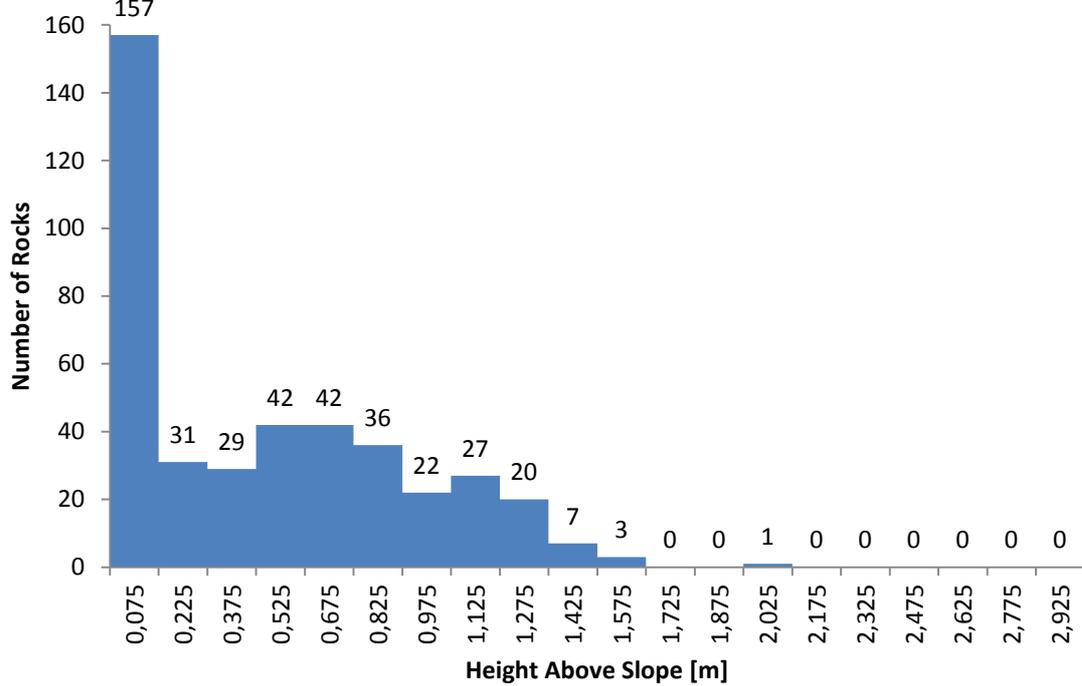


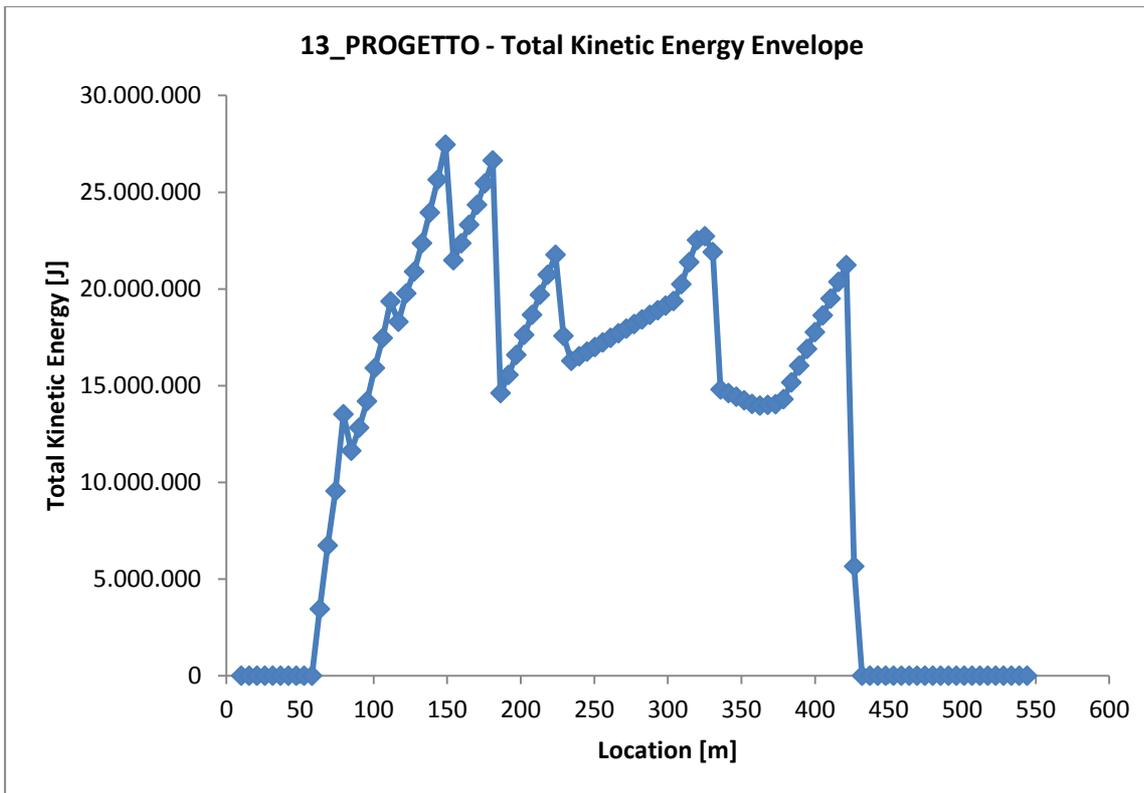
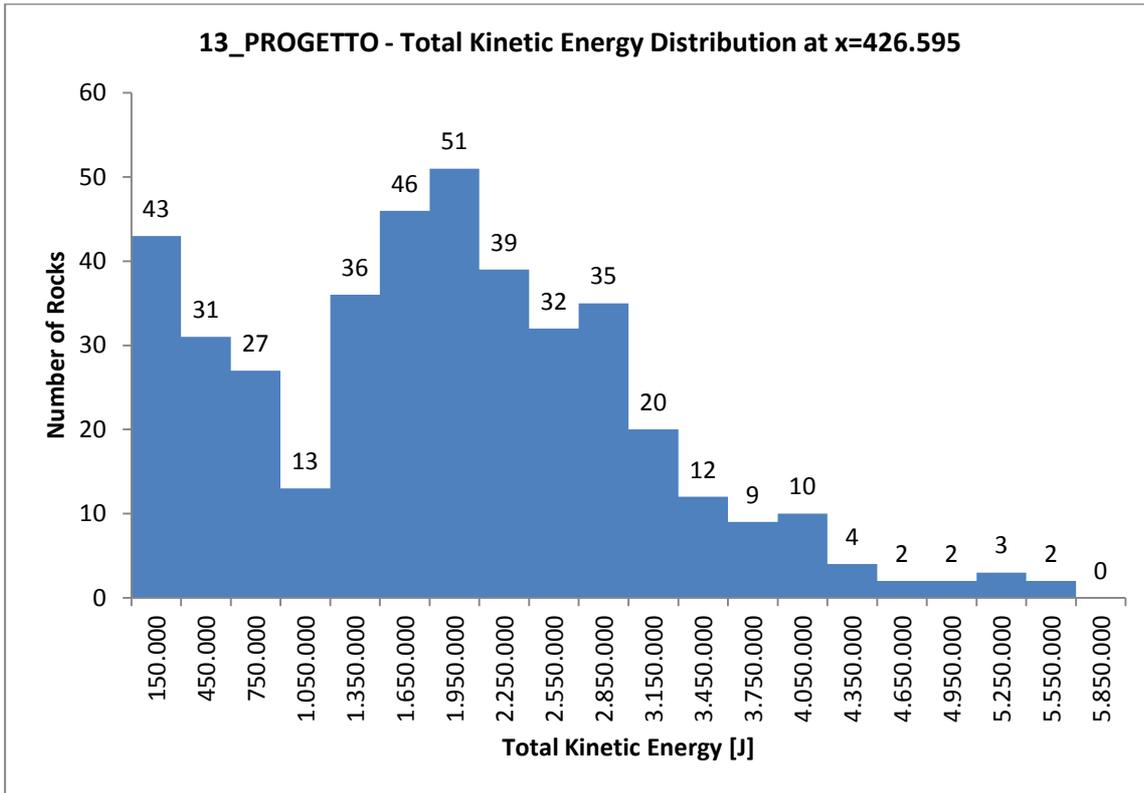
13_PROGETTO

13_PROGETTO - Horizontal Location of Rock End-points



13_PROGETTO - Bounce Height Distribution at x=426.595





15.4 RAPPORTO RELATIVO AI PROCESSI DI ROCK AVALANCHE

ALLEGATO

Risultati simulazioni crollo in massa

SIMULAZIONI ROCK AVALANCHE

Scenario 3.400 m con vallo
(stato di progetto)

Legenda

--- Sezioni per altezze e velocità

- - - Vallo in progetto

Altezza del flusso

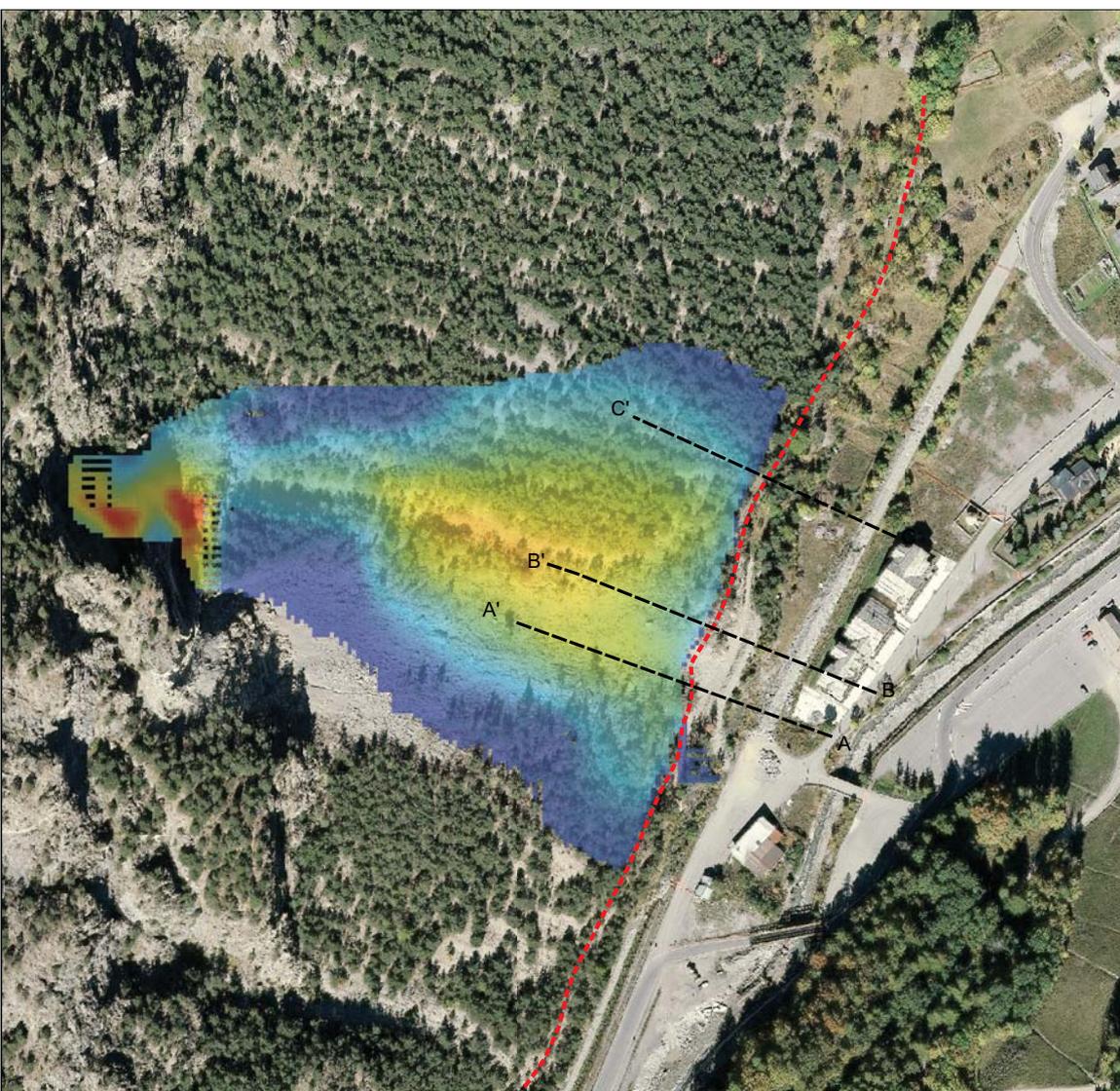
0-3

3-7

7-10

> 10

Base cartografica ortofoto 2011



0 50 100 m



SIMULAZIONI ROCK AVALANCHE

Scenario 10.500 mc senza vallo
(stato attuale)

Legenda

---- Sezioni per altezze e velocità

Altezza del flusso (m)

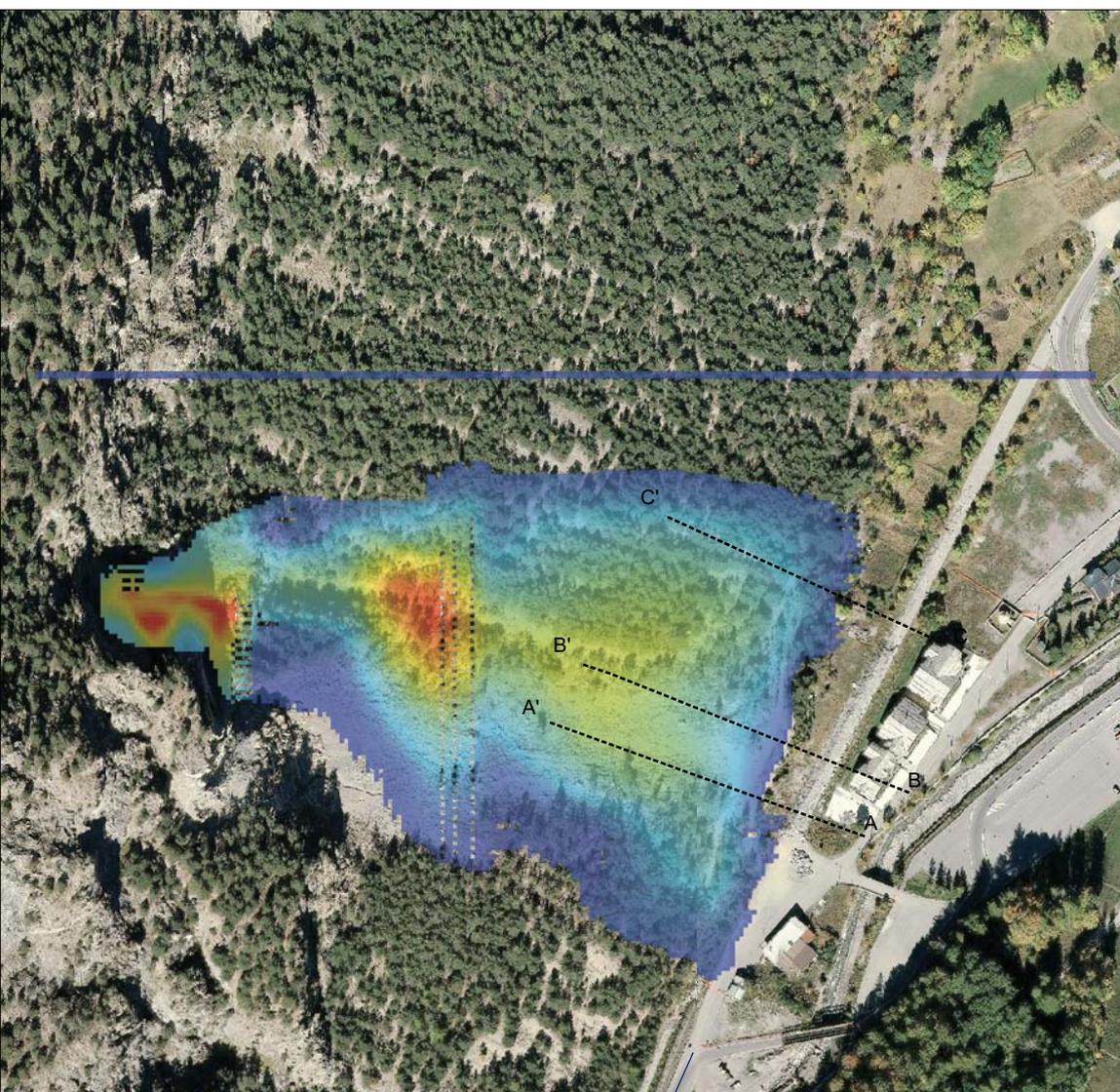
0-3

3-7

7-10

> 10

Base cartografica ortofoto 2011



0 50 100 m



SIMULAZIONI ROCK AVALANCHE

Scenario 10.500 m con vallo
(stato di progetto)

Legenda

--- Sezioni per altezze e velocità

- - - Vallo in progetto

Altezza del flusso

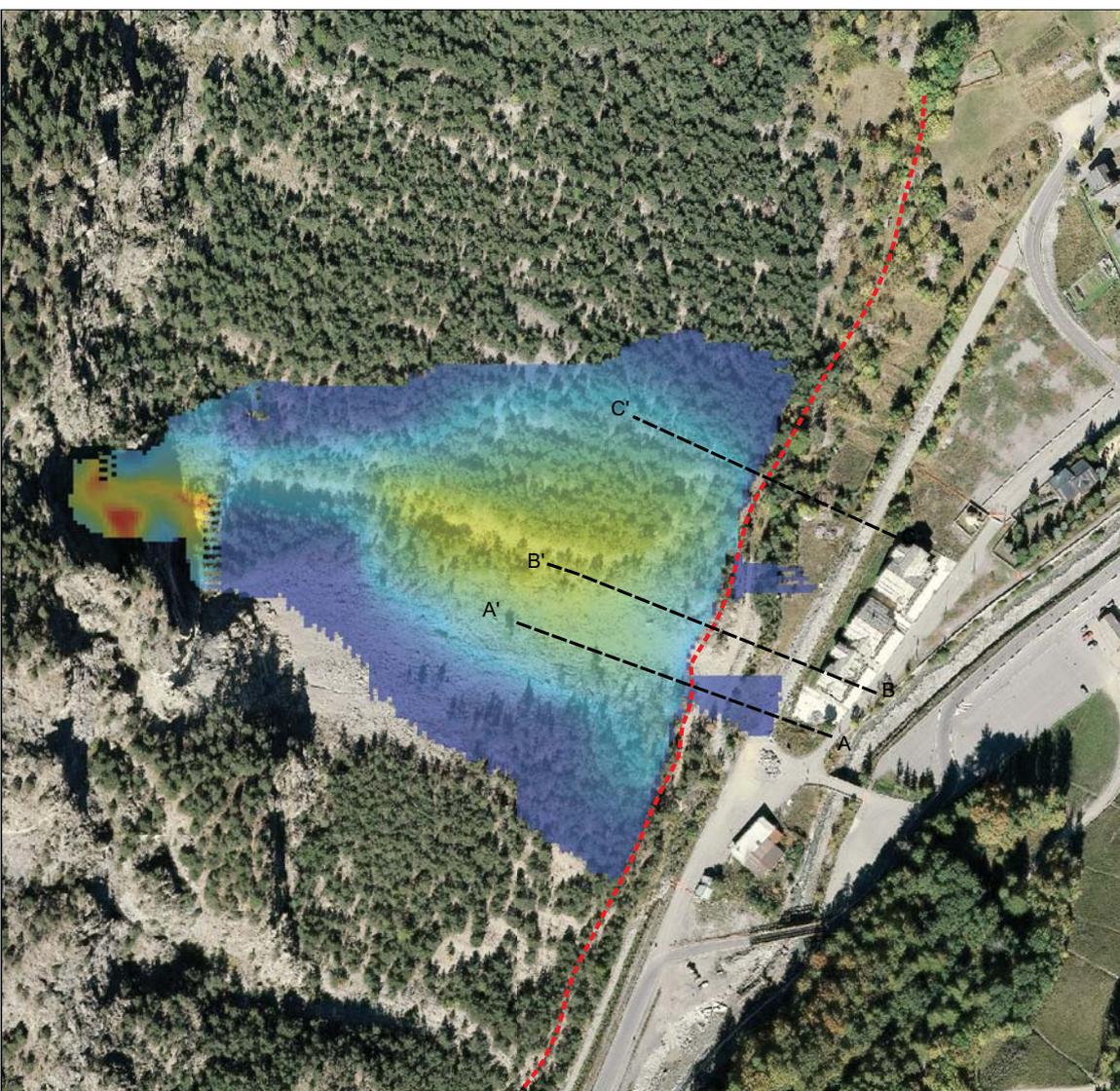
0-3

3-7

7-10

> 10

Base cartografica ortofoto 2011



0 50 100 m



SIMULAZIONI ROCK AVALANCHE

Scenario 2.000 mc senza vallo
(stato attuale)

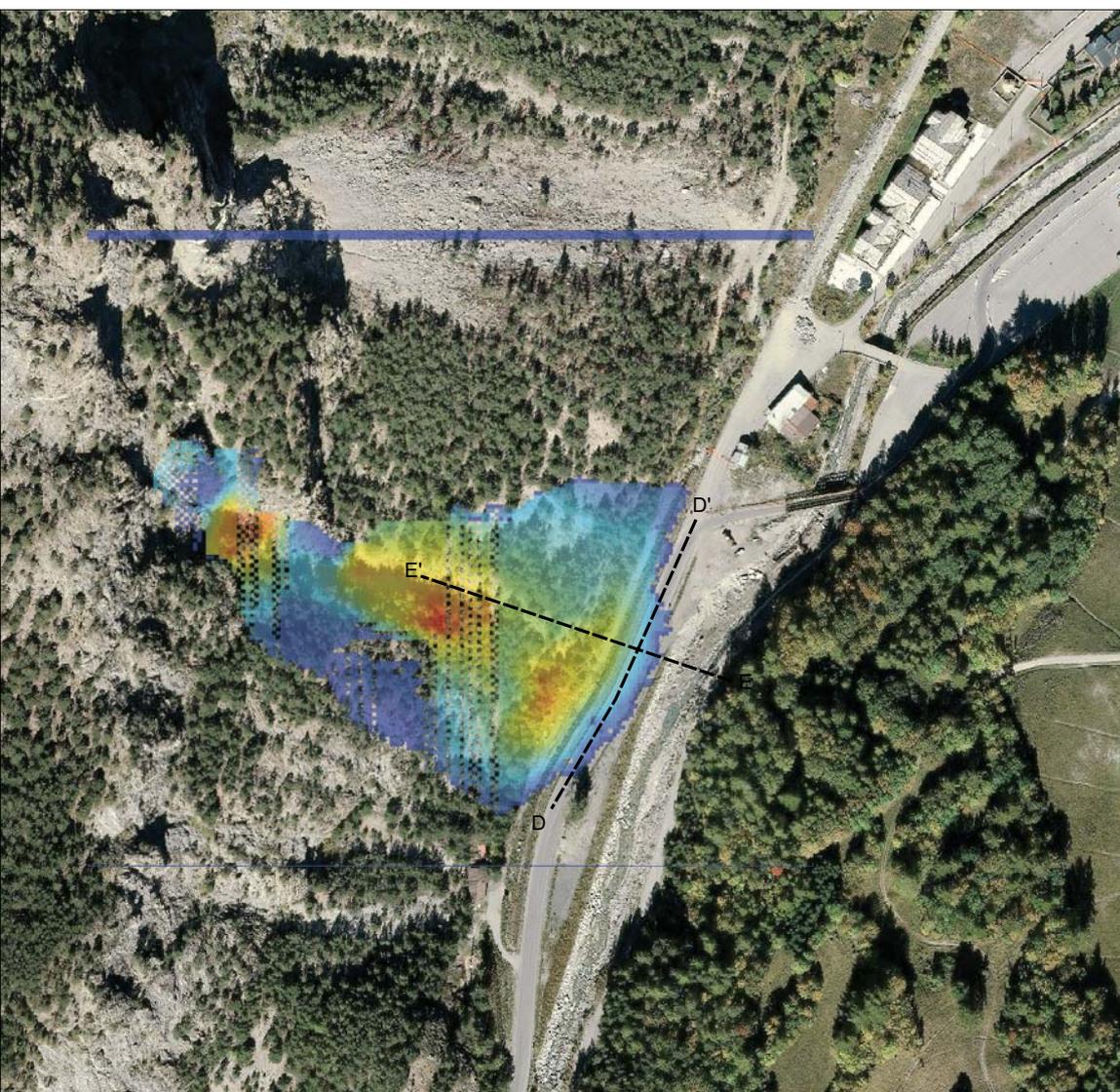
Legenda

---- Sezioni per altezze e velocità

Altezza del flusso (m)

-  0-3
-  3-7
-  7-10
-  > 10

Base cartografica ortofoto 2011



0 50 100 m



SIMULAZIONI ROCK AVALANCHE

Scenario 2.000 m con vallo
(stato di progetto)

Legenda

--- Sezioni per altezze e velocità

--- Vallo in progetto

Altezza del flusso

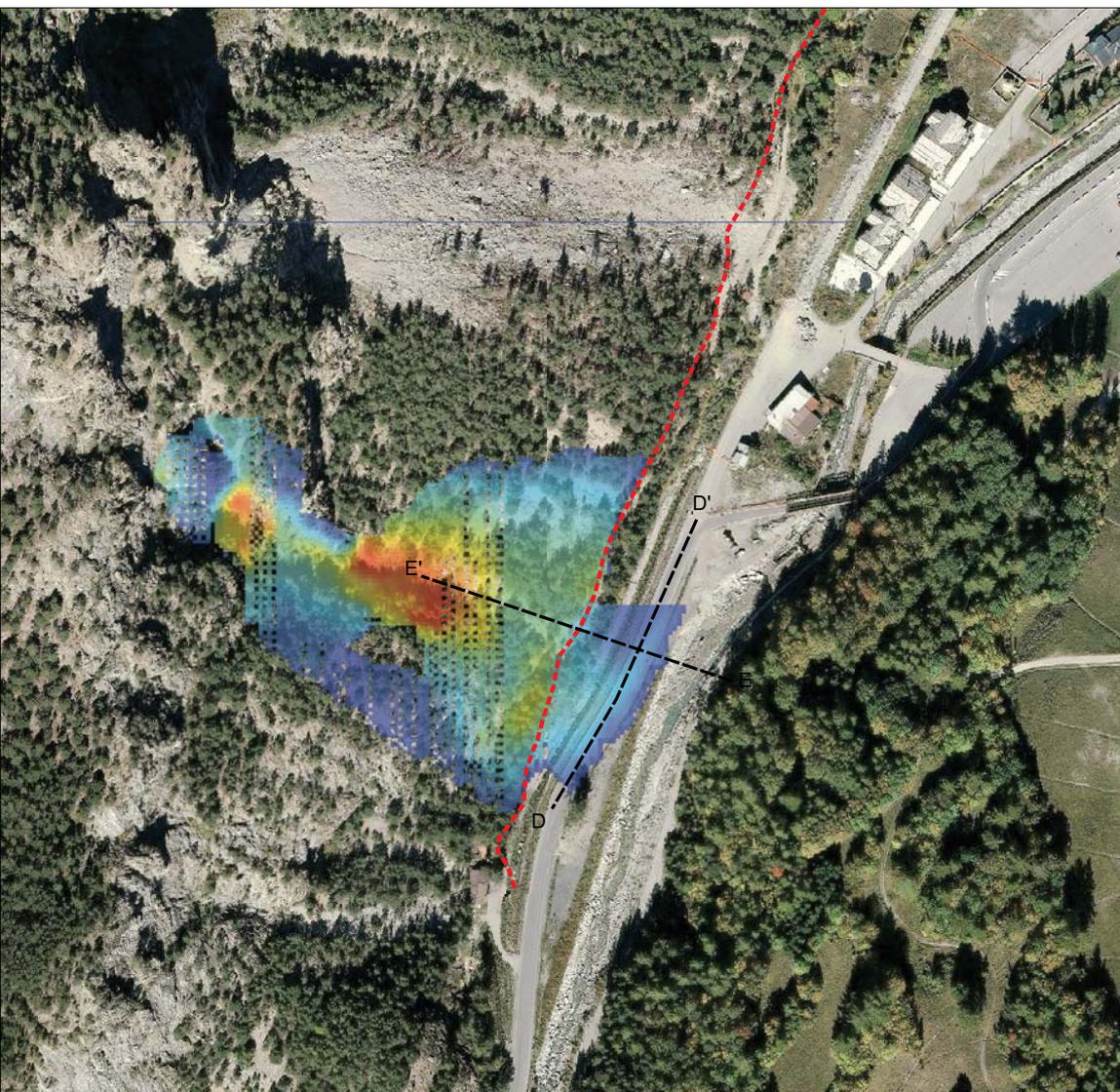
0-3

3-7

7-10

> 10

Base cartografica ortofoto 2011

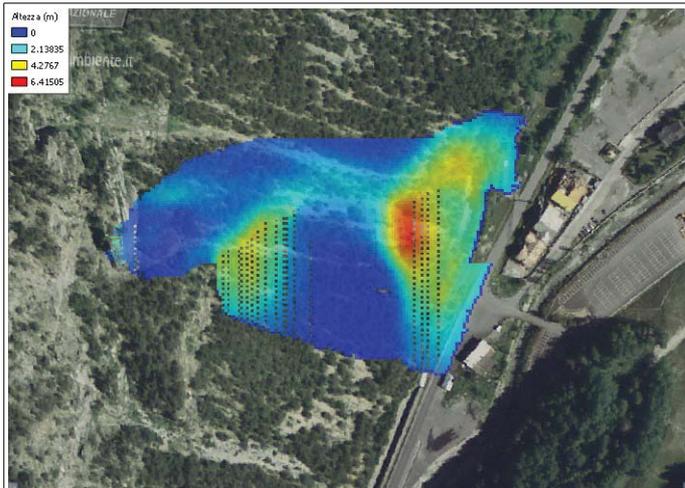


0 50 100 m

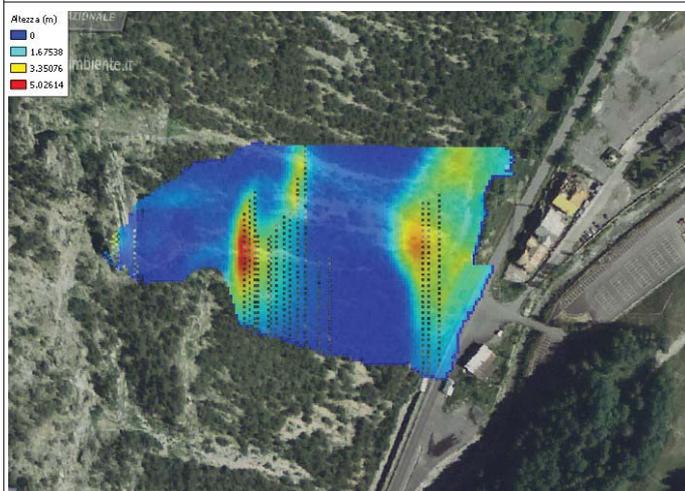
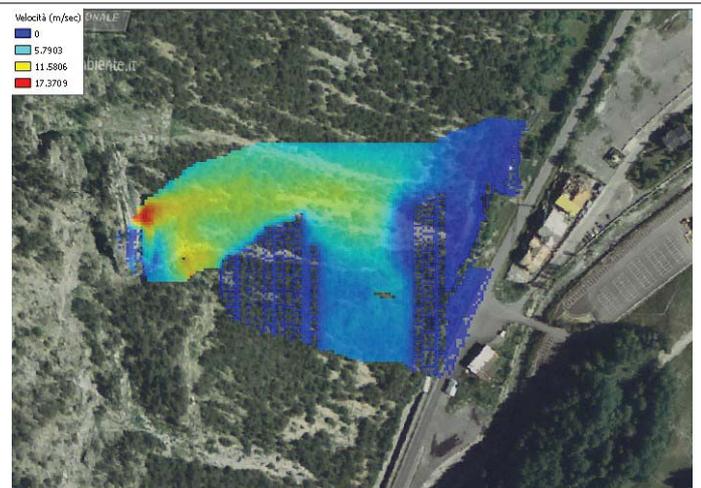


ALLEGATO

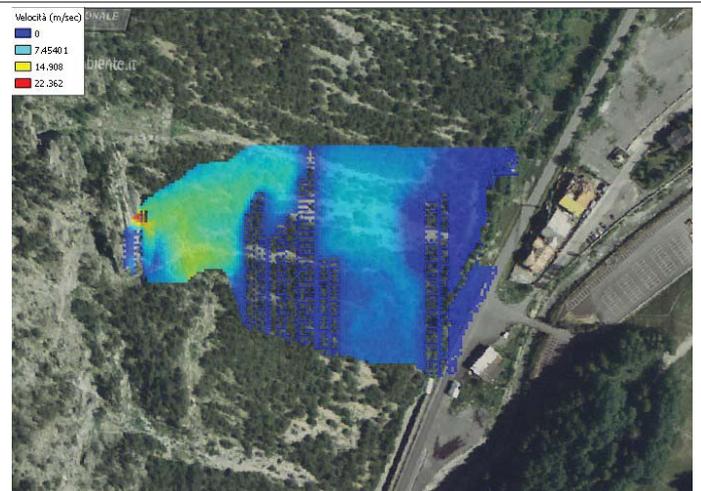
Mappe di back analysis

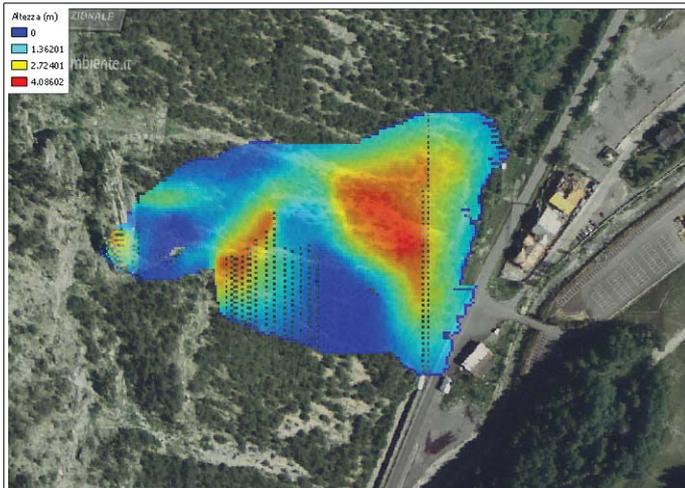


300 25,5 13

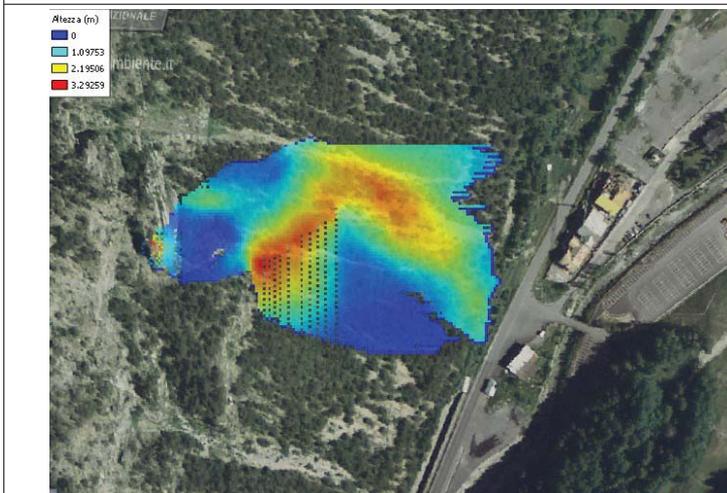
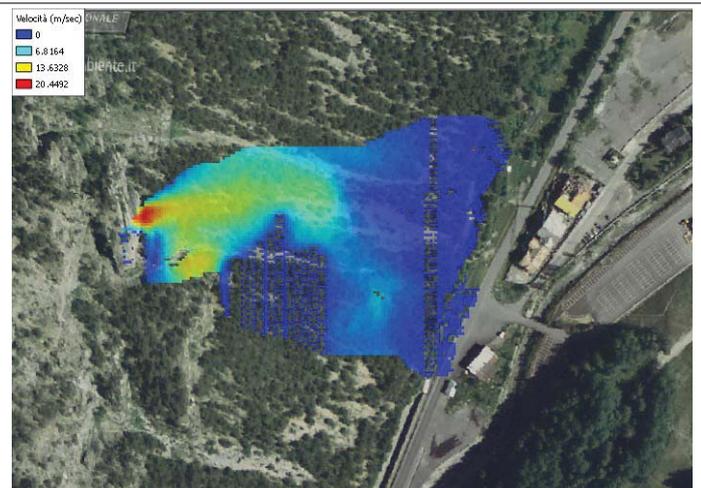


500 26 15

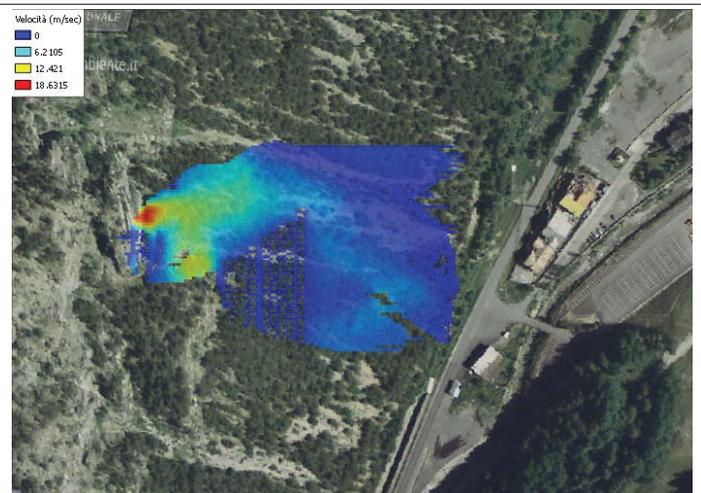


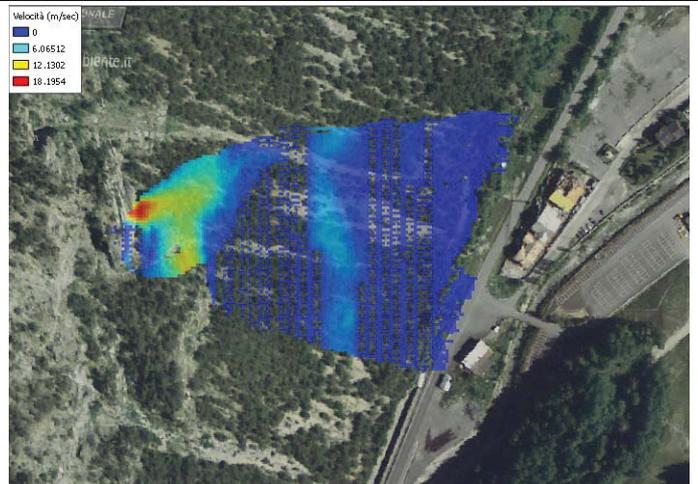
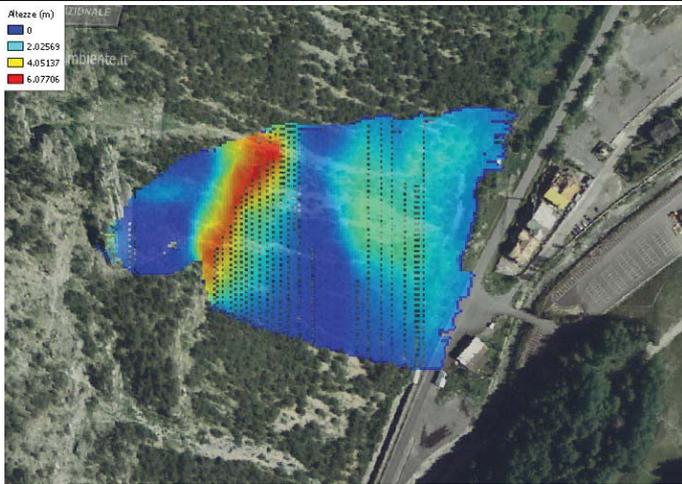
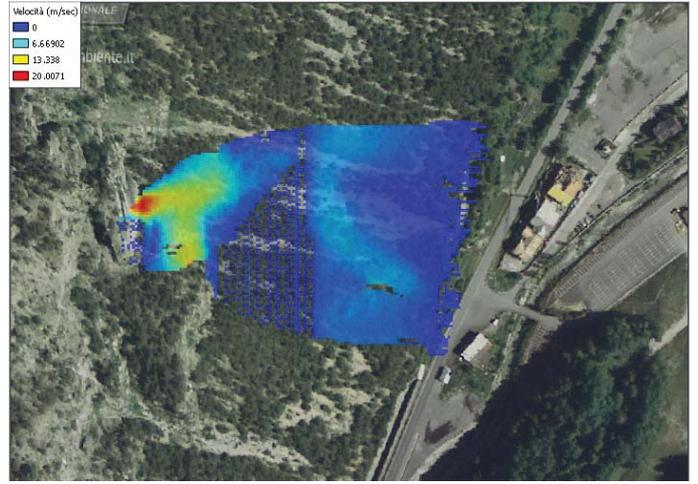
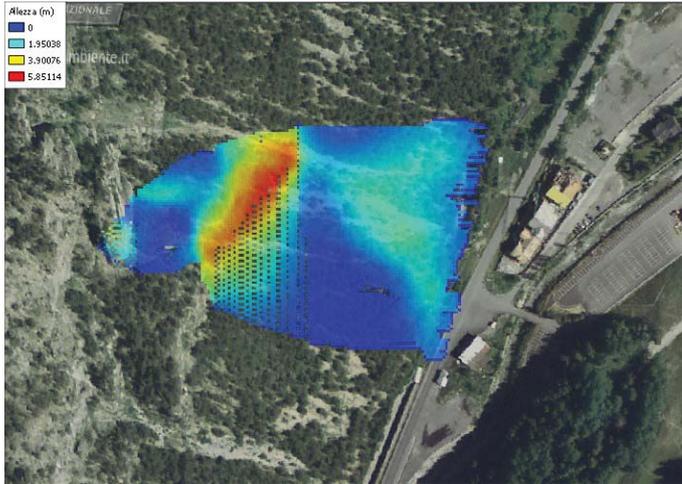


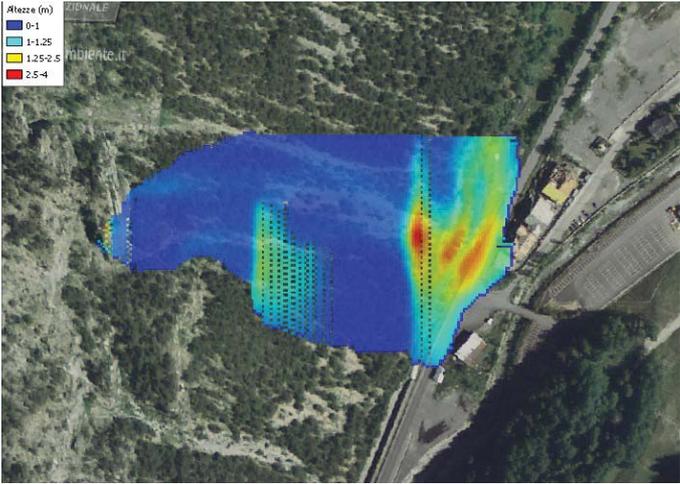
700 30 35



600 33 35







700 20 18

