

SedInOut

*Sviluppo di una metodologia di gestione del rischio
tramite la valutazione della disponibilità di
sedimento al trasporto in massa in ambiente
montano*

Analisi granulometrica basata su metodi di fotogrammetria (WP 4)

Thomas Geisler¹, Thomas Marcher¹, Franz Goldschmidt²

¹Technische Universität Graz – Institut für Felsmechanik und Tunnelbau

²Land Kärnten

Contenuti

1. Premessa.....	3
2. Distribuzione granulometrica basata su metodi di fotogrammetria	4
2.1 Introduzione	4
2.2 Metodologia.....	4
2.2.1 Voli da drone e generazione di dati	4
2.2.2 Modellazione e generazione di curve granulometriche	5
2.3 Risultati	7
2.3 Interpretazione.....	9
2.4 Conclusione	12
3. Valutazione della rimobilizzazione dei conoidi detritici	13
3.1 Metodologia.....	13
3.1.1 Generazione del modello	13
3.1.2 Distribuzione granulometrica e forma delle particelle.....	14
3.1.3 Modellazione dell'area in esame	15
3.1.4 Selezione dei parametri micro e "scaling"	16
3.1.5 Modellazione della rimobilizzazione.....	16
3.2 Risultati	19
3.2.1 Crolli	19
3.2.2 Precipitazioni intense.....	20
3.2.3 Sismicità.....	21
3.3 Interpretazione e conclusione	22
Ringraziamenti.....	22
Allegato	23

1. Premessa

Nel corso del progetto, i conoidi caratteristici dell'area di studio Wasserradkopf sono stati rilevati con un drone. Questa indagine conta come precursore dell'analisi fotogrammetrica, che mira alla determinazione della distribuzione granulometrica.

Essa è di importanza particolare, fungendo come parametro di input per la modellazione numerica, compresa l'indagine di stabilità.

Per questo motivo, il presente rapporto è suddiviso in due parti.

La prima parte contiene i dettagli della determinazione fotogrammetrica concentrandosi su metodi granulometrici. Infine, la seconda parte presenta il metodo della modellazione numerica dei conoidi detritici per valutarne la stabilità e il potenziale di rimobilizzazione.

2. Distribuzione granulometrica basata su metodi di fotogrammetria

2.1 Introduzione

Nel corso del progetto, i conoidi caratteristici dell'area di studio Wasserradkopf sono stati rilevati con un drone. Questa indagine conta come precursore dell'analisi fotogrammetrica, che mira alla determinazione della distribuzione granulometrica. Analisi di fotogrammetria sono adeguate nel caso in cui l'area sia troppo esposta e/o i metodi convenzionali di determinazione granulometrica (ad esempio l'analisi di setacciatura) non siano praticabili. Inoltre, i metodi fotogrammetrici offrono la possibilità di facilitare il reperimento di dati, garantendo la sicurezza costante di persone e macchine.

L'analisi fotogrammetrica, volta alla determinazione della granulometria, è stata eseguita con il pacchetto applicativo *ShapeMetriX* di 3GSM GmbH¹. Esso include lo strumento di analisi *Fragmenter*. Il software viene già utilizzato con successo nell'industria mineraria, ma in futuro potrebbe essere impiegato anche per le analisi dei conoidi detritici. Per questo motivo, sono state condotte le prime indagini al riguardo nel corso del progetto.

2.2 Metodologia

2.2.1 Voli da drone e generazione di dati

In riguardo all'uso dei dati, diversi fattori determinano l'accuratezza ottenibile. Oltre ad un'efficace pianificazione del volo, la scelta di una telecamera adeguata, della traiettoria di volo, delle condizioni meteorologiche e del drone (*Unmanned Aerial Vehicle, UAV*) sono di importanza fondamentale. In linea di principio, l'accuratezza ottenuta è legata alla risoluzione del suolo (*Ground Sampling Distance, GSD*) o alla distanza di campionamento. Gli oggetti più piccoli della risoluzione dell'immagine non possono essere riconosciuti. Di conseguenza l'accuratezza raggiungibile in una certa direzione è estremamente limitata. Per ottenere la massima precisione possibile, nella pianificazione del volo sono stati presi in considerazione i fattori definiti da Tscharf (2020²). Questi includono i parametri seguenti:

¹ 3GSM GmbH. 3GSM GmbH. Available online: <https://3gsm.at/de/> (accessed on 28 November 2022.587Z)

² Tscharf, A. UAV-gestützte Vermessung im Bergbau – Zur Frage der Genauigkeit unter Verwendung von Structure from Motion. *Berg Huettenmaenn Monatsh* **2020**, 165, 274–283, doi:10.1007/s00501-020-00988-x.

- Altitudine di volo
- Sovrapposizione nella direzione laterale
- Sovrapposizione nella direzione longitudinale
- Angolo di vista rispetto all'oggetto
- Punti di controllo (in caso di applicazioni di rilievo tecnico)

Per un'attuazione ottimale, l'indagine aerea è stata condotta secondo le raccomandazioni d'azione di Tscharf (2020).

- Effetto positivo sull'accuratezza ottenuta con l'acquisizione di immagini da altezze elevate
- L'elevata sovrapposizione delle immagini in entrambe le direzioni ha un effetto stabilizzante sulla composizione dell'immagine
- Un orientamento inclinato dell'asse di registrazione agisce in modo stabilizzante
- Movimento sufficiente della telecamera e variazione delle immagini e delle posizioni di acquisizione
- La combinazione di diverse posizioni

2.2.2 Modellazione e generazione di curve granulometriche

All'inizio viene creato un modello 3D, che serve come file di input per il Fragmenter Tool. Dopo aver impostato i parametri di valutazione, il programma crea un'analisi granulometrica 3D dell'area in esame.

All'interno dell'applicativo sono disponibili diverse opzioni di impostazione. L'analisi può essere eseguita manualmente o automaticamente, che influisce sulla sensibilità dell'analisi. Nell'opzione di valutazione automatica, esistono due modalità, "RipRap" e "Blast" (**Figura 1**). Secondo il fornitore, la modalità "Blast" è adatta a granulometrie eterogenee mentre la modalità "RipRap" è appropriata alla determinazione delle composizioni granulometriche omogenee.

Queste analisi, generate in maniera automatica, possono essere sottoposte ad una rielaborazione manuale. Inoltre, è possibile eseguire un'analisi completamente manuale basata sul disegno dei frammenti singoli. Una serie di aree rappresentative (**Figura 2**) è stata mappata manualmente per valutare l'accuratezza delle singole modalità del software. A tal fine, sono state posizionate reti di 10x10 m sul conoide detritico (**Figura 3**). I campionamenti di campagna sono consistiti nella misurazione manuale dei campioni in roccia ogni 50 cm (in direzione x; orizzontale e in direzione y; verticale). Successivamente, i dati sono stati digitalizzati.

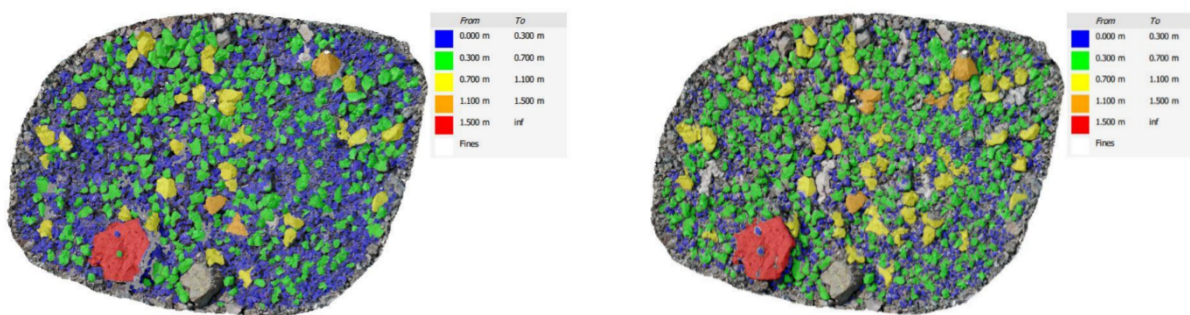


Figura 1. Valutazione automatica del campo due in modalità Blast (sinistra) e in modalità RipRap (destra).

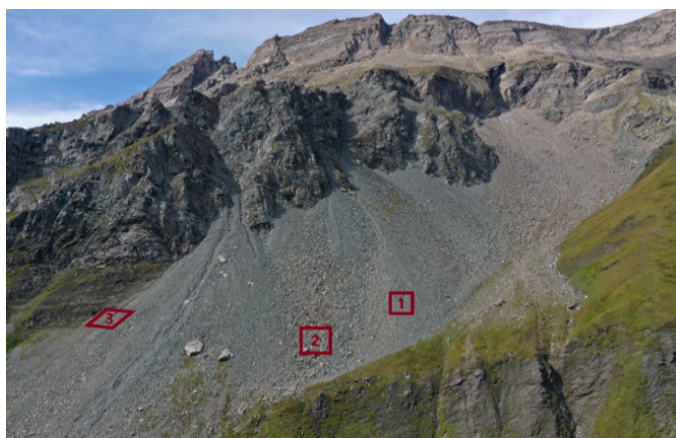


Figura 2. Panoramica del conoido detritico; delimitazione dei siti mappati in loco mediante rettangoli rossi; numerazione delle aree del modello.



Figura 3. Rete di misurazione allestita all'interno dell'area modello 3.

Sono stati effettuati confronti di sensibilità con le analisi basate sul software e quelle basate sulla mappatura in campo.

Analisi granulometrica basata su metodi di fotogrammetria (WP 4)

2.3 Risultati

I confronti della valutazione automatica del campo 1 (**Figura 1**) mostrano un alto livello di accordo tra le granulometrie misurate manualmente sul campo e la modalità di valutazione automatica "RipRap". Inoltre, si può notare che la modalità "Blast" mostra grandi deviazioni dalle granulometrie determinate manualmente nella gamma del materiale fine.

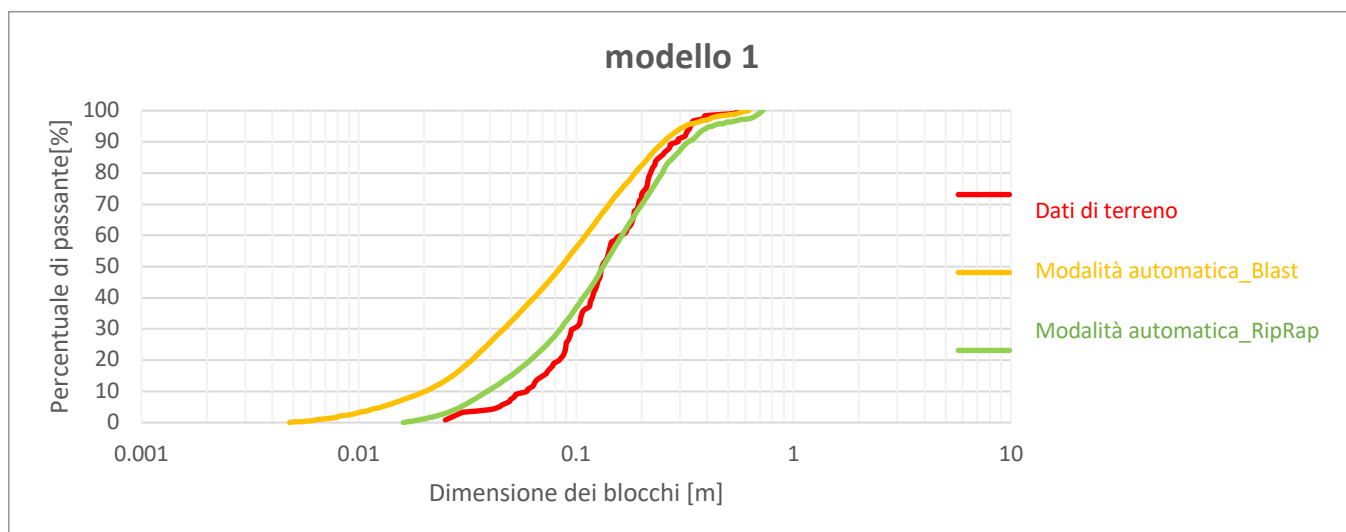


Figura 1. Confronto dei dati dell'area modello 1.

I confronti nell'area del modello 2 (**Figura 2**) mostrano una sovrastima delle frazioni granulometriche in tutte le aree, che sono state valutate tramite la modalità automatica. Il maggior accordo con le frazioni granulometriche determinate in loco è fornito dalla valutazione automatica in modalità "Blast".

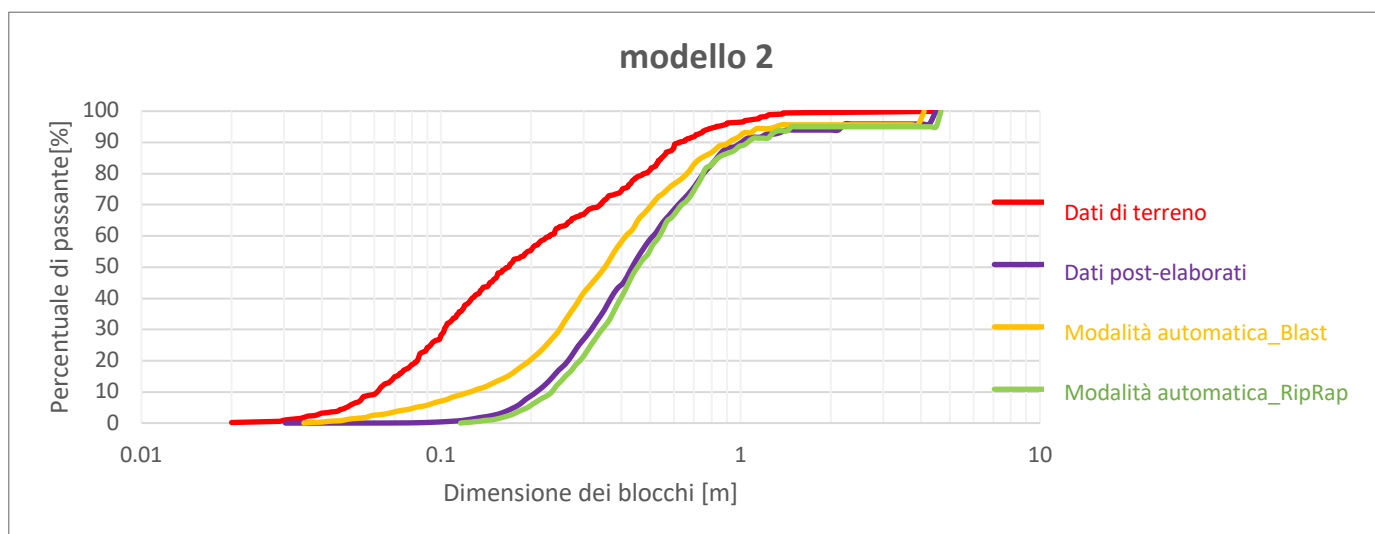


Figura 2. Confronto dei dati dell'area modello 2.

I confronti nell'area del modello 3 (**Figura 3**) mostrano il massimo accordo del metodo di valutazione in modalità "RipRap" con le distribuzioni determinate manualmente. In generale, le dimensioni dei clasti sono sottostimate da entrambi i metodi di valutazione.

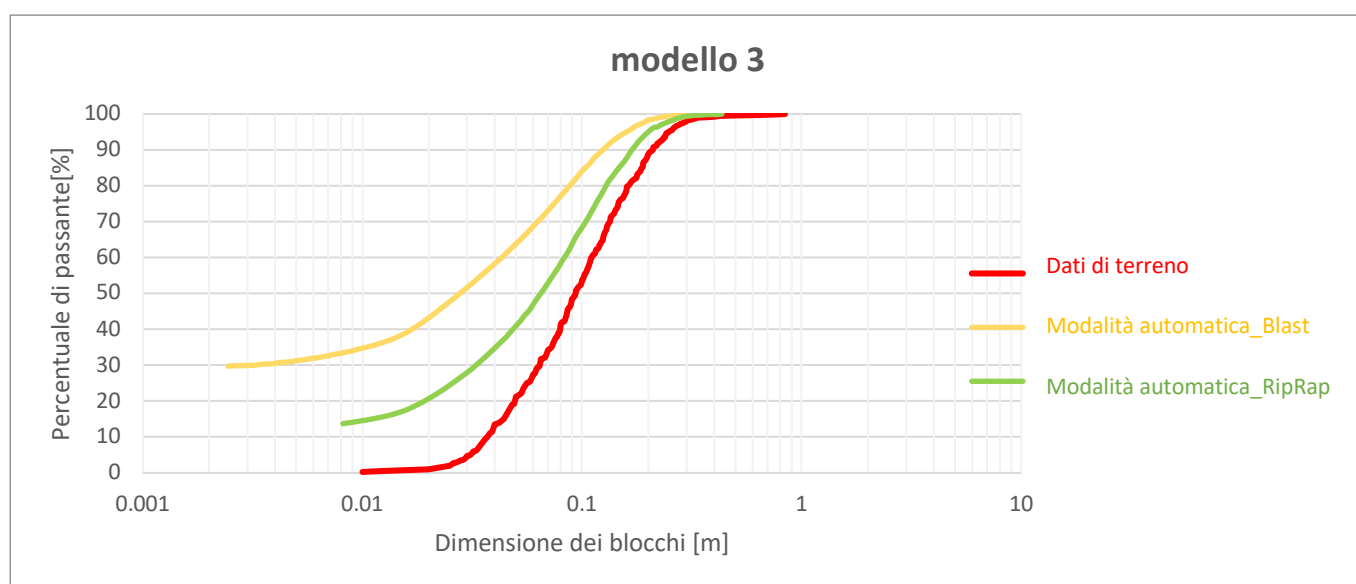


Figura 3. Confronto dei dati dell'area modello 3.

2.3 Interpretazione

I metodi di analisi basati su UAV possono rilevare soltanto le frazioni registrate in superficie. Questo è il motivo delle differenze di sensibilità. Poiché i frammenti di roccia dei conoidi detritici sono spesso posizionati in modo direzionale, è possibile che certe sezioni dei singoli frammenti siano parzialmente coperte. Pertanto, l'analisi granulometrica basata su metodi di fotogrammetria potrebbe dare una sottostima delle dimensioni delle particelle. Tale sottostima è anche notevole nell'esempio riportato nell'area di modello 3 (**Figura 4**), derivando dall'effetto di copertura. E' essenziale considerare che le aree eterogenee nei conoidi detritici (particelle di dimensioni minori) vengono rilevate dal software, mentre rimangono inosservate operando con il metodo applicato (misurazione manuale delle singole particelle) poiché la frazione fine contribuisce in modo spazialmente non uniforme. Tenendo conto di ciò, la proporzione della frazione fine aumenterebbe nel calcolo finale della distribuzione granulometrica, causando un avvicinamento delle curve granulometriche e producendo un livello di conformità elevato.



Figura 4. Foto nell'area del modello 3. Miscela eterogenea dei clasti.

Il confronto (**Figura 5**) dell'area modello 1 mostra un'elevata concordanza tra le granulometrie misurate in loco e la modalità di determinazione automatica "RipRap", mentre la modalità di valutazione automatica "Blast" sottostima la distribuzione granulometrica (la distribuzione granulometrica misurata in loco è presa come riferimento). L'ispezione in loco mostra una distribuzione granulometrica omogenea e quasi una totale assenza di fini in superficie; questo potrebbe essere il motivo per cui la modalità di determinazione automatica "RipRap" (modalità consigliata per distribuzioni granulometriche omogenee) fornisce i risultati migliori.



Figura 5. Foto nell'area del modello 1. Distribuzione granulometrica omogenea.

Le analisi del campo modello 2 mostrano un elevato grado di concordanza tra l'analisi creata manualmente e l'analisi che utilizza la modalità "RipRap". Sul campo, nell'area del campo modello 2 è stata trovata distribuzione granulometrica eterogenea (**Figura 6**). Le valutazioni mostrano una sovrastima della distribuzione granulometrica creata dal software. La gamma si estende da cm fino al metro di altezza. Soprattutto nelle aree con blocchi di grandi dimensioni, i frammenti più piccoli sono completamente coperti da essi e quindi non vengono rilevati dal software, a differenza della registrazione manuale in loco. Questo potrebbe essere un possibile motivo della discrepanza elevata.



Figura 6. Foto dell'area del modello 2. Miscela eterogenea dei clasti.

2.4 Conclusioni

Poiché i frammenti di roccia dei conoidi detritici sono spesso posizionati in modo direzionale, è possibile che le sezioni dei singoli frammenti siano parzialmente oscurate. Un'analisi della distribuzione granulometrica basata su metodi fotogrammetrici potrebbe mostrare una sottostima della distribuzione granulometrica. Fondamentalmente, va detto che l'andamento della granulometria sui pendii ripidi è soggetto alle leggi della gravità (smistamento dalla zona prossimale a quella distale). Il risultato delle superfici qui presentate mostra in parte una sottostima della distribuzione granulometrica, soprattutto per i frammenti fini, che può essere spiegata dall'effetto della sovraccarica. Inoltre, le particelle più piccole vengono rilevate dal software nei conoidi detritici (soprattutto nelle aree eterogenee), mentre rimangono non rilevate nel metodo applicato (misurazione manuale delle singole particelle) perché la frazione fine non è distribuita in modo spazialmente uniforme. Se si tiene conto di ciò, la frazione fine aumenterebbe e quindi le curve granulometriche convergerebbero e si otterrebbe una conformità ancora più elevata. Inoltre, è necessario prestare particolare attenzione alla geometria dei clasti quando si interpretano le curve granulometriche basate sul software. Ad esempio, i clasti particolarmente piatti non vengono riconosciuti correttamente dal software, il che comporta una sovrastima della distribuzione granulometrica.

Inoltre, i metodi basati su UAV non forniscono informazioni sulla composizione in profondità. Pertanto, per garantire l'affidabilità dei risultati, è necessario ottenere una prima impressione insieme alla valutazione, almeno in loco o da fotografie. Pertanto, le analisi granulometriche basate sul terreno sono essenziali per il successo della tara (e quindi per una descrizione accurata della relazione granulometrica tra la superficie e le zone subsuperficiali).

Le analisi granulometriche basate su rilievi da drone sono praticabili e offrono un'alternativa efficiente alle determinazioni granulometriche tradizionali, a prescindere da alcune limitazioni. Tra queste ricordiamo la lacuna nella distribuzione granulometrica degli strati subsuperficiali. Nonostante ciò, questa metodologia offre un'ottima alternativa alle analisi tradizionali se l'area d'interesse si trova in zone remote o esposte.

3. Valutazione della rimobilizzazione dei conoidi detritici

I conoidi detritici sono generalmente caratterizzati da quantità enorme di sedimento in condizioni di equilibrio fragile. Influenze esterne come eventi meteorologici estremi, caduta di massi o sismicità possono disturbare l'equilibrio del sedimento. Modellando i conoidi in maniera numerica e simulando influenze esterne di intensità variabile, si può determinare la stabilità dei conoidi, traendo conclusioni sul loro potenziale di pericolo.

3.1 Metodologia

Per la determinazione del potenziale di rischio di un conoide detritico, viene utilizzato il software PFC2D³ che consente di simulare il comportamento dei conoidi detritici in un'ampia gamma di condizioni. Il sistema discreto di PFC2D, costituito da particelle regolari o irregolari, può simulare l'interazione tra i clasti. Le particelle interagiscono attraverso sforzi normali e di taglio che possono traslare, ruotare e cambiare posizione in base alle forze e ai momenti che agiscono sul centro delle particelle. Le particelle possono essere legate o slegate utilizzando modelli di contatto che simulano un comportamento elastico lineare. In questo modo, con alcune semplificazioni, è possibile ottenere una prima valutazione della stabilità dei conoidi detritici.

3.1.1 Generazione del modello

Nei software di simulazione, le particelle assumono forme di rappresentazione specifiche. Nei modelli 2D le particelle appaiono generalmente sotto forma di disco, mentre nei modelli 3D sono rappresentate da sfere capaci di simulare le geometrie irregolari del conoide detritico. Sia le particelle a forma di disco che quelle sferiche non sono in grado di soddisfare i requisiti geometrici. Per questo motivo, si utilizzano i cosiddetti "clump". Un singolo "clump" è definito come un insieme rigido di particelle a forma di disco o di sfera. Il termine può includere una forma individuale di una particella basata su un modello qualsiasi. I "clump" sono considerati come rappresentanti adatti per i conoidi detritici, poiché possono muoversi, ruotare e adattarsi alle equazioni del moto.

Le proprietà della superficie di un "clump" possono essere specificate in modo indipendente per ogni singola particella.

³ PFC | US Minneapolis - Itasca Consulting Group, Inc. Available online: <https://www.itascacg.com/software/pfc> (accessed on 28 November 2022.906Z).

3.1.2 Distribuzione granulometrica e forma delle particelle

Il primo passo necessario consiste nella definizione delle dimensioni e della distribuzione delle particelle. A tale scopo, si utilizza la distribuzione granulometrica del conoide detritico come valore di input (*vedi capitolo 2*). Dopo aver determinato la dimensione delle particelle e la loro percentuale, la geometria di ciascuna particella viene disegnata con un programma CAD, in base alla forma delle particelle dei campioni o delle foto del conoide detritico. La geometria così ottenuta viene poi importata nel software per creare il modello del “clump”. Infine, è possibile preparare la distribuzione delle particelle in base alla loro rappresentazione percentuale (**Figura 7**).

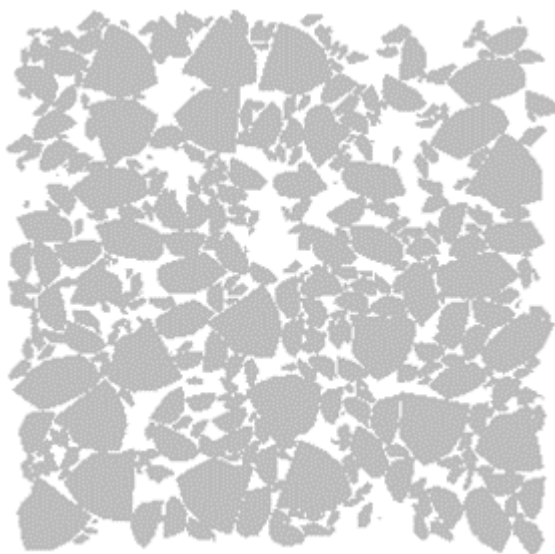


Figura 7. Distribuzione granulometrica e forma dei clasti.

3.1.3 Modellazione dell'area in esame

L'utilizzo di un software GIS è cruciale per poter determinare la geometria del conoide detritico. Inizialmente, si crea una sezione trasversale in direzione longitudinale del conoide detritico. Successivamente, si costruiscono due linee: una linea parallela alla pendenza maggiore e una linea parallela alla pendenza minore. Queste informazioni servono per ricavare lo spessore del conoide detritico. La **Figura 8** mostra che la parte più spessa del conoide detritico è di circa 25 metri e che la lunghezza e l'altezza sono rispettivamente di 140 e 120 metri. Intersecando queste due linee, si è in grado di stimare lo spessore e il limite di profondità del conoide detritico (**Figura 9**).

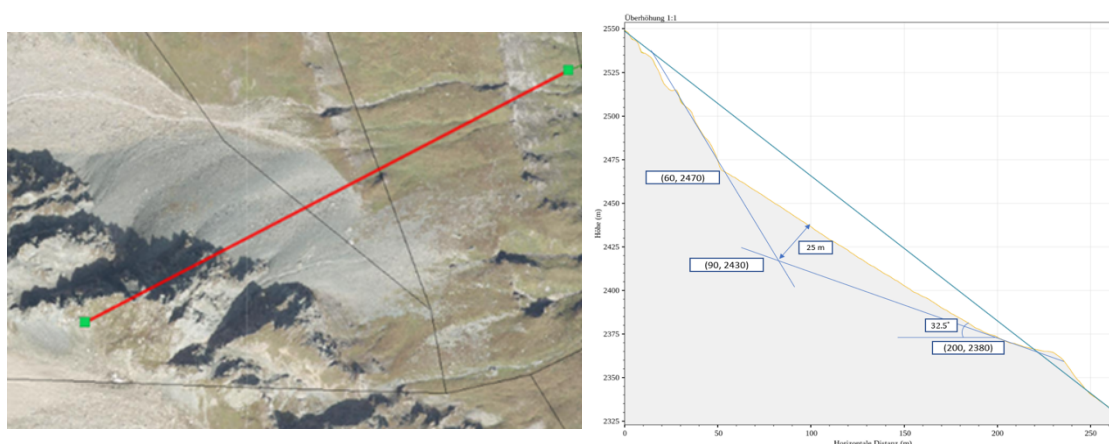


Figura 8. Determinazione della geometria del pendio.

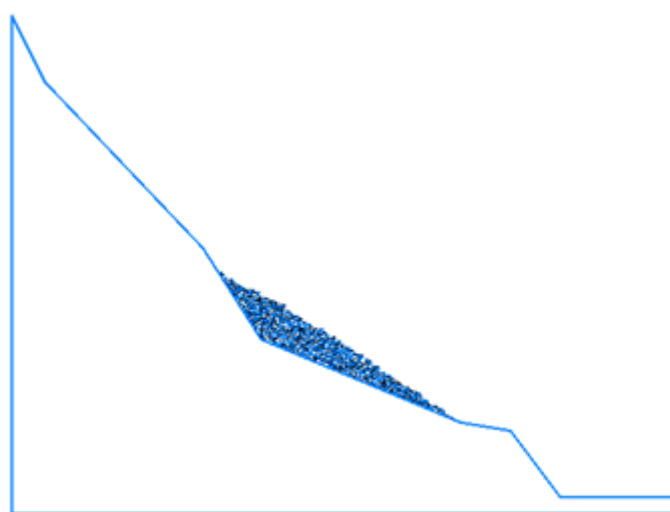


Figura 9. Prodotto finale della modellazione del conoide detritico.

3.1.4 Selezione dei parametri micro e "scaling"

Informazioni sullo stato limite del conoide detritico possono essere ottenute utilizzando il metodo "trial and error" in combinazione con consigli derivanti dalla letteratura. Utilizzando valori diversi per i microparametri (qui porosità = 8 [%], densità = 2500 [kg/m³], coefficiente di attrito = 0,5, smorzamento = 0,3) si raggiunge lo stato limite. L'angolo di attrito allo stato limite è di circa 32,5°. Lo stato limite emerge dall'interpretazione di certi microparametri, tra i cui la porosità, la densità, il coefficiente di attrito, la rigidità di taglio e lo smorzamento. Inoltre, si assume un modello elastico lineare, caratterizzato dalla mancanza di legami o cementazione tra le particelle. Lo stesso modello è controllato dal comportamento elastico e dall'attrito. Per accelerare i tempi di calcolo, la dimensione delle particelle è stata scalata di un fattore 5.

3.1.5 Modellazione della rimobilizzazione

Una volta terminata la modellazione del conoide detritico, la risposta del modello stabile a potenziali rischi è prevedibile. I rischi potenziali includono crolli (caduta massi), rischi idrogeologici (precipitazioni intense) ed eventi sismici. Nel conoide detritico, alcune particelle sono state contrassegnate per tracciare le loro variazioni massime di posizione (**Figura 10**).

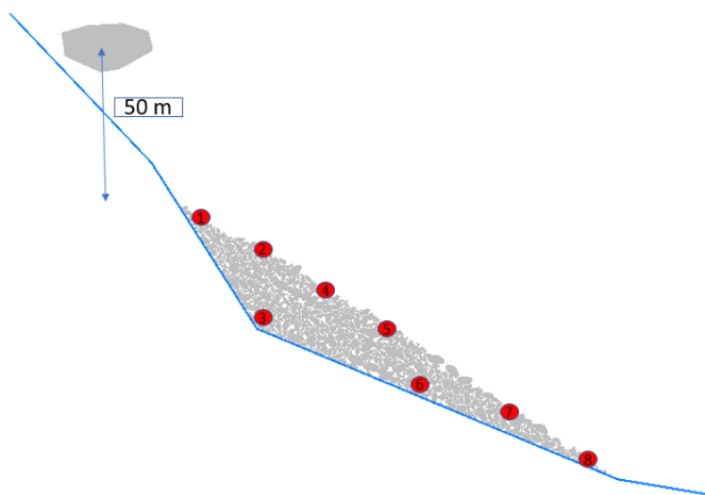


Figura 10. Particelle marcate all'interno del conoide detritico.

3.1.5.1 Crolli

Per modellare un'eventuale caduta di massi sul conoide detritico, il blocco da simulare è stato disegnato coll' applicativo CAD e incorporato nel software PFC. A seconda del fattore di scala, lo stesso fattore di scala è stato utilizzato per le singole particelle del conoide detritico. In questo caso, è stato scelto un fattore di scala di 5, che viene scalato ulteriormente. Successivamente, è stata determinata la posizione da cui il blocco inizia a cadere. Il blocco in caduta non aveva velocità all'inizio ed era accelerato dalla gravità. Il software ha poi permesso di valutare la massima rimobilizzazione del conoide detritico causata dall'impatto del blocco.

3.1.5.2 Precipitazioni intense

Per simulare il flusso d'acqua, è necessario utilizzare la legge di Darcy per calcolare la pressione che agisce su ogni particella all'interno del conoide detritico. Questa legge viene applicata in funzione della quantità massima di precipitazioni misurata nell'area d'interesse (88 mm a Heiligenblut). La forza esercitata dall'acqua sulle particelle è stata determinata in $123,3 \text{ N/m}^2$ (valore $k_f = 10^{-3} \text{ m/s}$). Poiché in questo studio erano presenti diversi gruppi di particelle, l'area di ciascun gruppo è stata utilizzata per calcolare la forza equivalente. Infine, le forze ottenute vengono applicate al modello nella direzione verso il basso per simulare il flusso dell'acqua e gli spostamenti causati possono essere simulati (**Figura 11**). Anche in questo caso, per modellare la formazione dei canali sono state effettuate delle scalature delle precipitazioni massime.

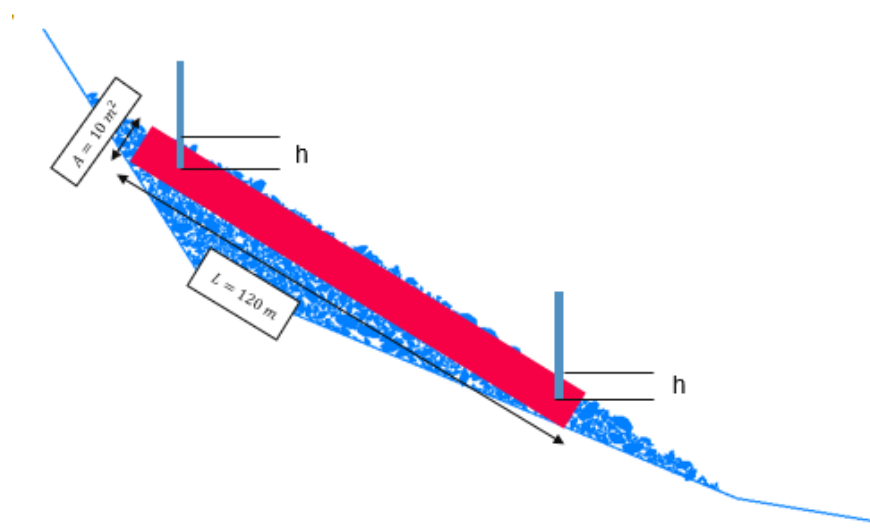


Figura 11. Visualizzazione del flusso attraverso il conoide detritico.

3.1.5.3 Sismicità

Innanzitutto, occorre determinare la massima accelerazione orizzontale di riferimento del terreno (in quest'area tra 0,5 e 0,75 m/s²) per modellare l'attività sismica. L' accelerazione orizzontale viene successivamente applicata al modello. Infine, queste strategie abilitano l'applicatore a valutare la stabilità dei conoidi per intensità variabili.

3.2 Risultati

Le simulazioni delle influenze esterne mostrano che il potenziale di rimbiancatura dei conoidi detritici è grande su piccola scala. Su larga scala, una profonda ricomposizione diventa visibile solo a partire da grandi quantità di influenze esterne. Tutti i risultati dettagliati sono riportati nell'appendice.

3.2.1 Crolli

I risultati mostrano che i blocchi più piccoli che cadono sul conoide detritico non hanno un particolare potenziale di rimobilizzazione. Pertanto, il blocco di riferimento non ha provocato quasi alcun movimento nel conoide detritico, ma solo con l'aumento delle dimensioni, rispettivamente con il continuo ridimensionamento del blocco di riferimento, si verifica una profonda e grande rimobilizzazione. La **Figura 12** mostra le variazioni di posizione massima in funzione del fattore di scala.

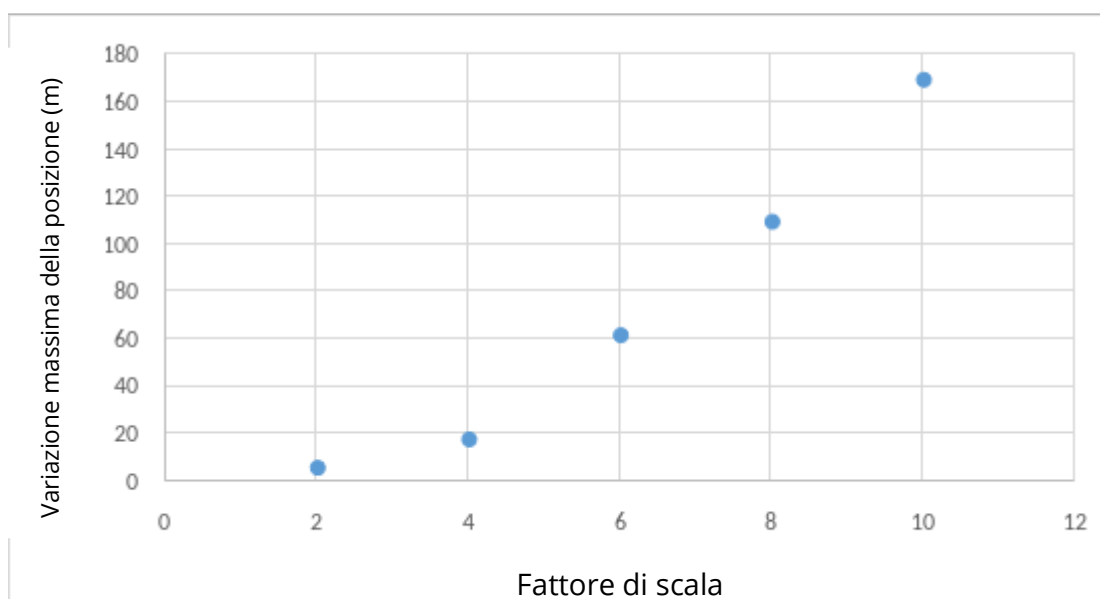


Figura 12. Variazione massima della posizione in funzione del fattore di scala del blocco.

3.2.2 Precipitazioni intense

Nell'area di studio, la quantità massima di precipitazioni è di 88 mm. Anche in questo caso, si è osservato che il ventaglio di detriti non può essere rimobilizzato su un'ampia area. Tuttavia, si è osservato che i movimenti erano più profondi a causa della forza che agisce su ciascuna particella. Tuttavia, è stato possibile osservare una rimobilizzazione su larga scala solo quando le precipitazioni sono state scalate di un fattore 20 (**Figura 13**).

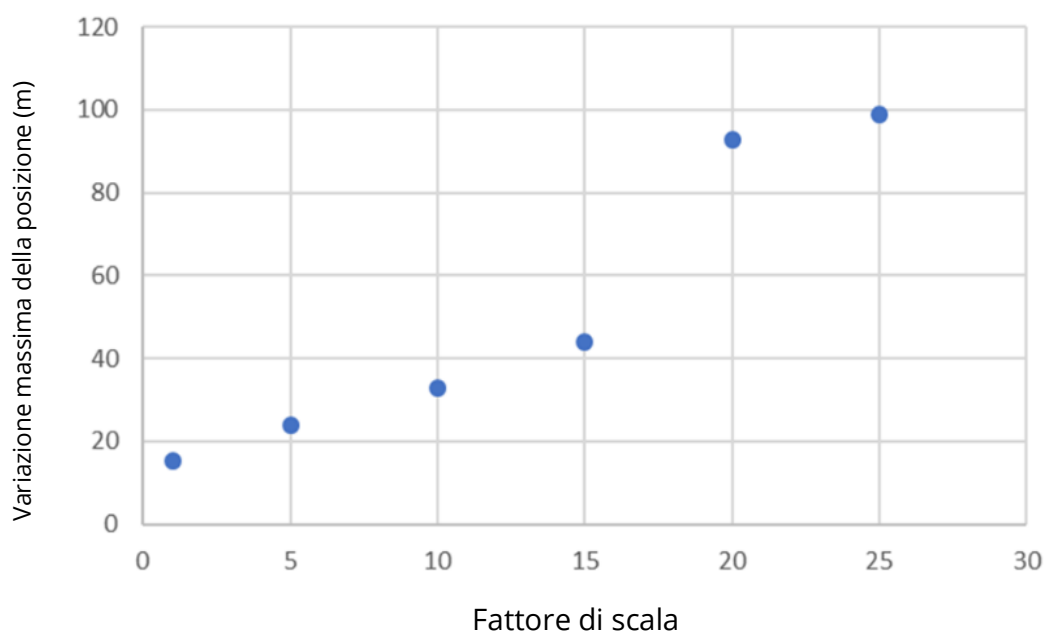


Figura 13. Variazione massima della posizione in funzione del fattore di scala della precipitazione massima misurata.

3.2.3 Sismicità

Nell'area di studio, l'accelerazione orizzontale massima prevista è di $0,5 - 0,75 \text{ m/s}^2$. Tale accelerazione porta a spostamenti nell'intero conoide detritico, ma non innescava una rimobilizzazione su larga scala. Solo a partire da un'accelerazione orizzontale di 2 m/s^2 si verifica una rimobilizzazione su larga scala dell'intero conoide detritico (**Figura 14**).

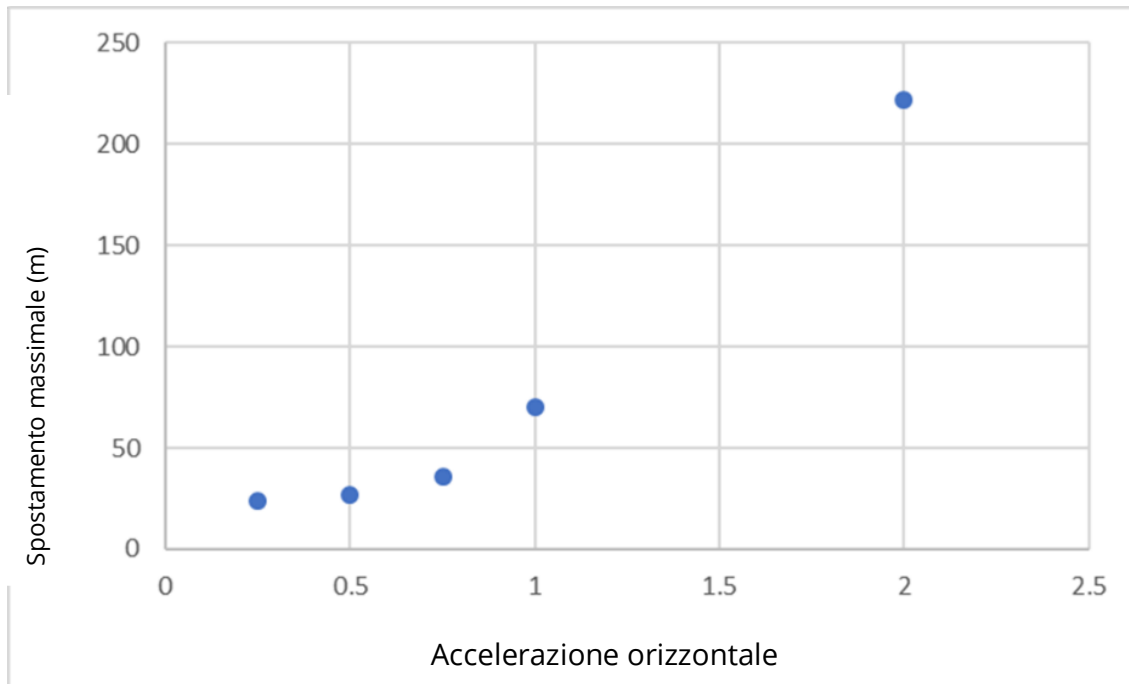


Figura 14. Variazione massima della posizione in funzione del fattore di scala dell'accelerazione orizzontale di riferimento del terreno.

3.3 Interpretazione e conclusione

I risultati del conoide detritico mostrano che le influenze esterne hanno un impatto sul conoide detritico, ma non portano a una grande rimobilizzazione. Tuttavia, si può osservare che, a seconda dell'influenza esterna, la rimobilizzazione può essere più profonda. Ad esempio, nel caso di un evento di caduta massi, sono interessate solo le parti superiori del conoide detritico, mentre le precipitazioni e la sismicità possono portare a movimenti dell'intero conoide detritico. Nel caso di un evento di caduta massi, il modello mostra che il blocco scivola sulla superficie del conoide detritico fino a fermarsi, oppure l'energia di caduta del blocco (a seconda dell'angolo di impatto) viene assorbita dallo smorzamento del conoide detritico e il blocco si ferma. Tuttavia, i risultati mostrano un buon accordo con le osservazioni comuni in natura, ovvero che i conoidi detritici, pur trovandosi in un equilibrio limite instabile, raramente mostrano grandi rimobilizzazioni. Hanno quindi la possibilità di compensare le variazioni di equilibrio su piccola scala.

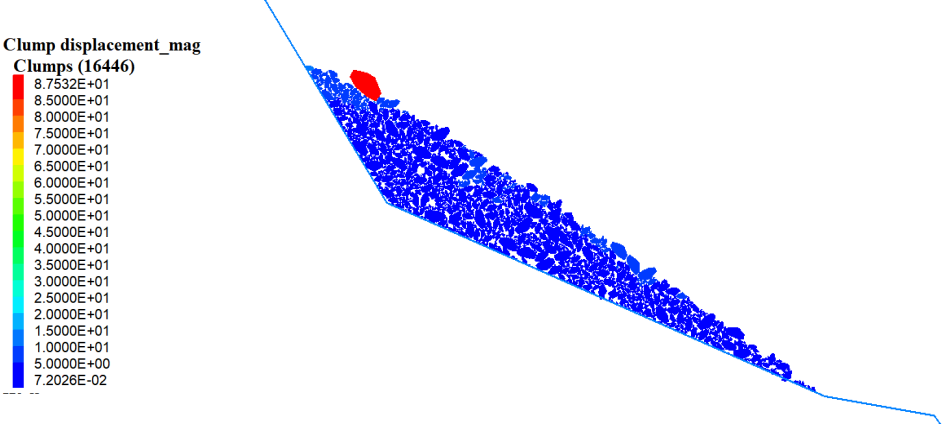
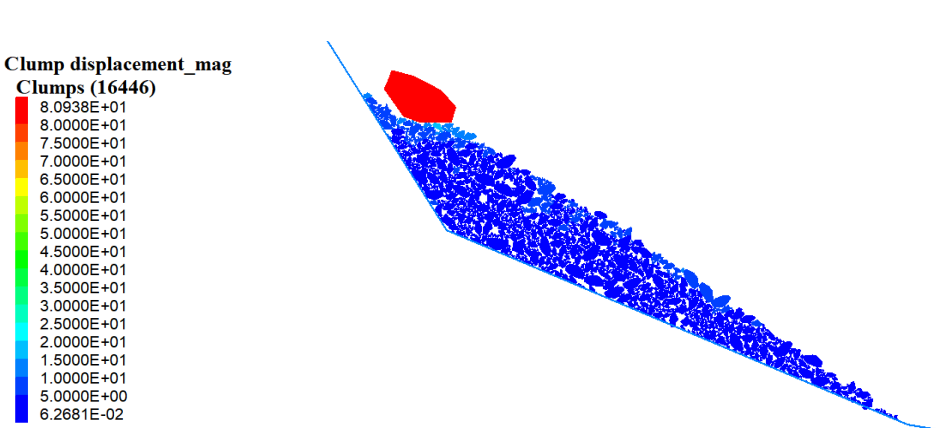
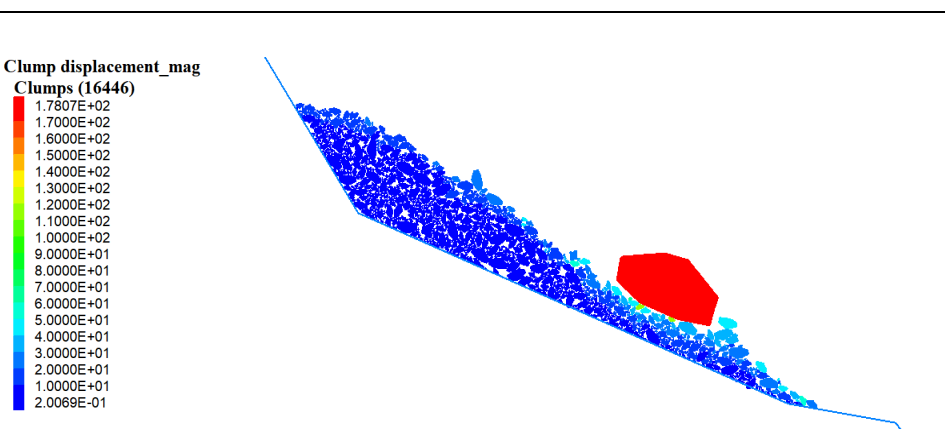
Va notato, tuttavia, che i modelli contengono alcune semplificazioni. Ad esempio, si ipotizza che i comparti detritici abbiano la stessa distribuzione granulometrica in profondità. A causa dell'accumulo di strati di compartimenti detritici, possono verificarsi in particolare forze di acqua di poro che riducono di conseguenza l'angolo di attrito. Pertanto, i modelli numerici devono essere abbinati e interpretati con l'esperienza e, se necessario, verificati con simulazioni numeriche ed esperimenti più dettagliati.

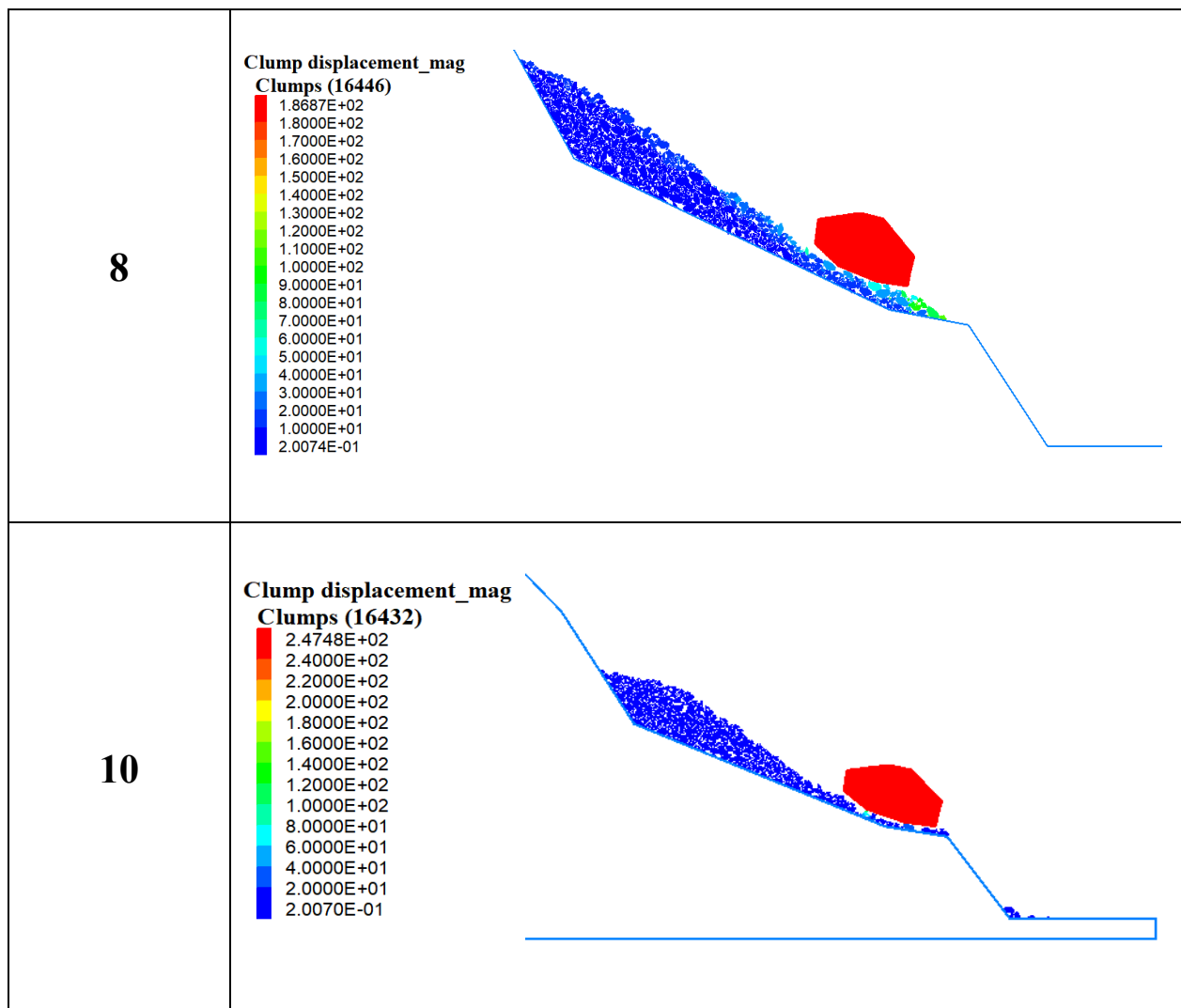
Ringraziamenti

Un grande ringraziamento va ad Andreas Gaich e Markus Pötsch di 3GSM GmbH per il loro supporto e per aver risposto a tutte le domande sul software.

Infine, vorremmo ringraziare il gruppo intero del progetto SedInOut. Lo scambio entusiasta di idee e informazioni è stato di grande importanza per il successo del progetto per tutta la sua durata.

Allegato

CROLLO	
Fattore di scala	Entità dello spostamento
2	Clump displacement_mag Clumps (16446) 
4	Clump displacement_mag Clumps (16446) 
6	Clump displacement_mag Clumps (16446) 

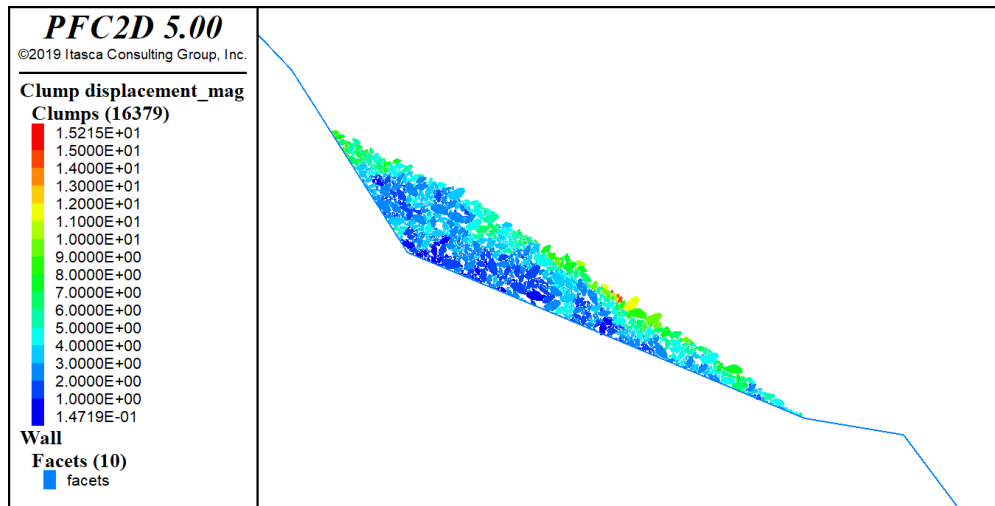


PRECIPITAZIONI

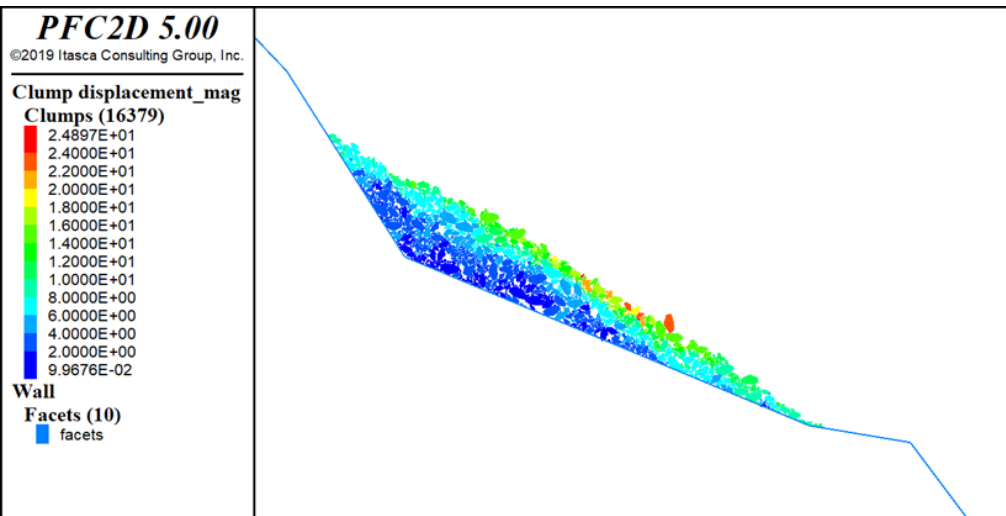
Fattore di scale

Entità dello spostamento

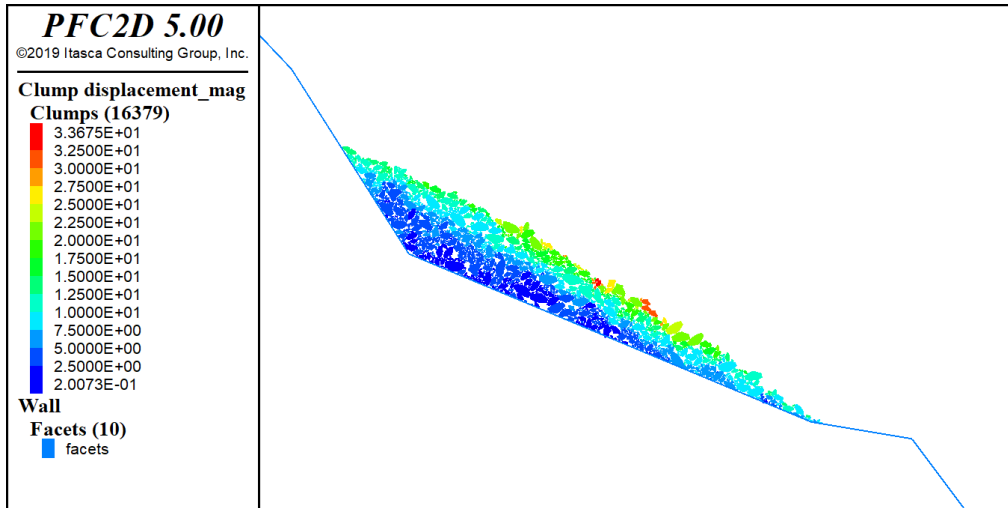
0



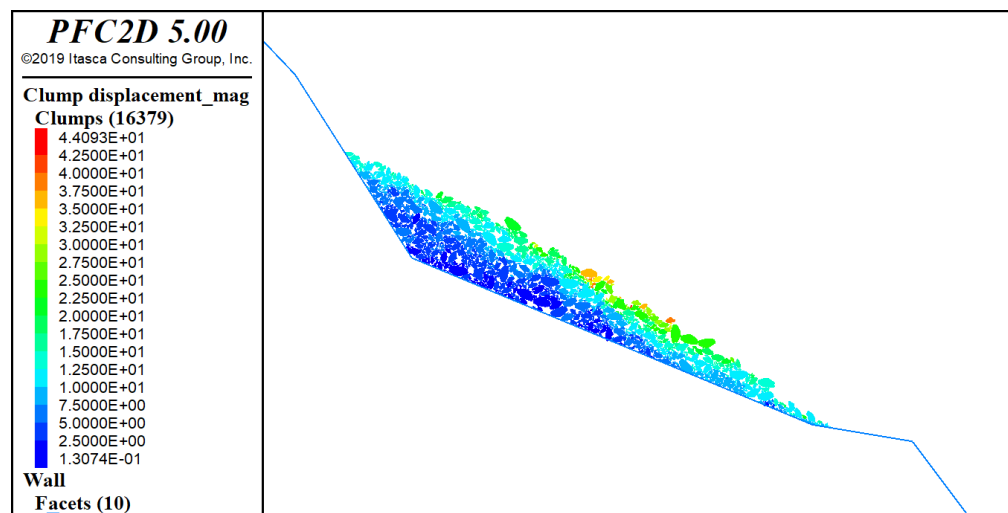
5



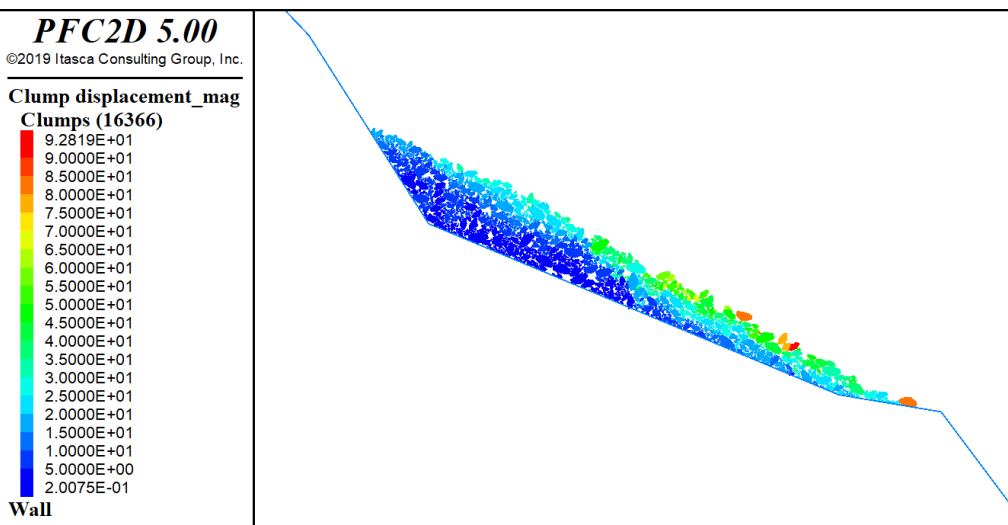
10



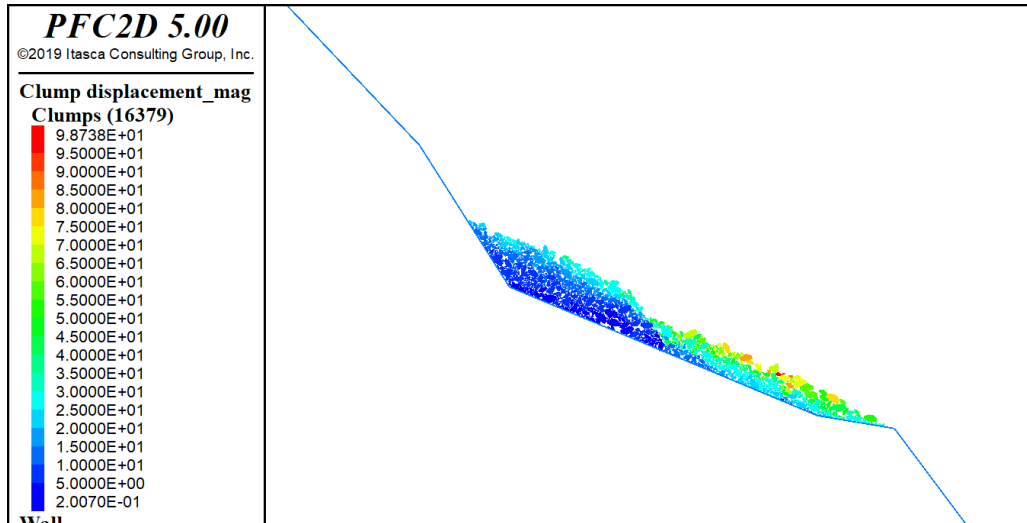
15

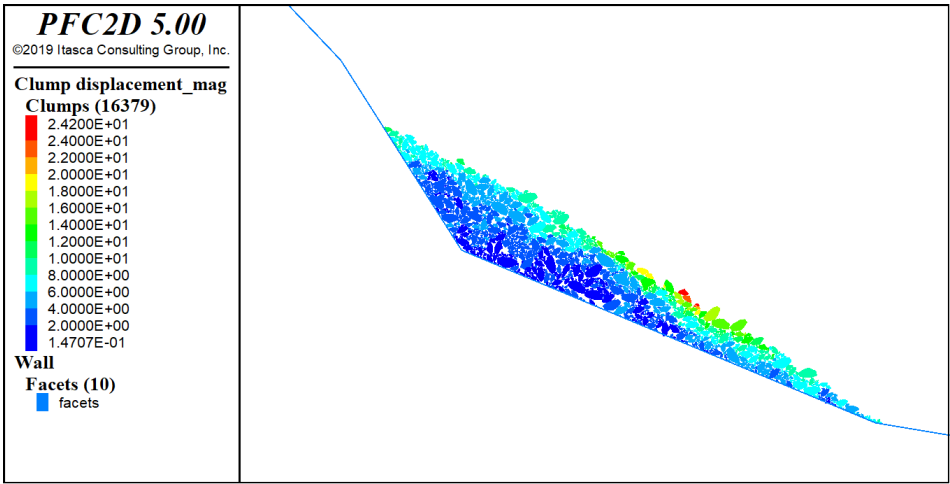
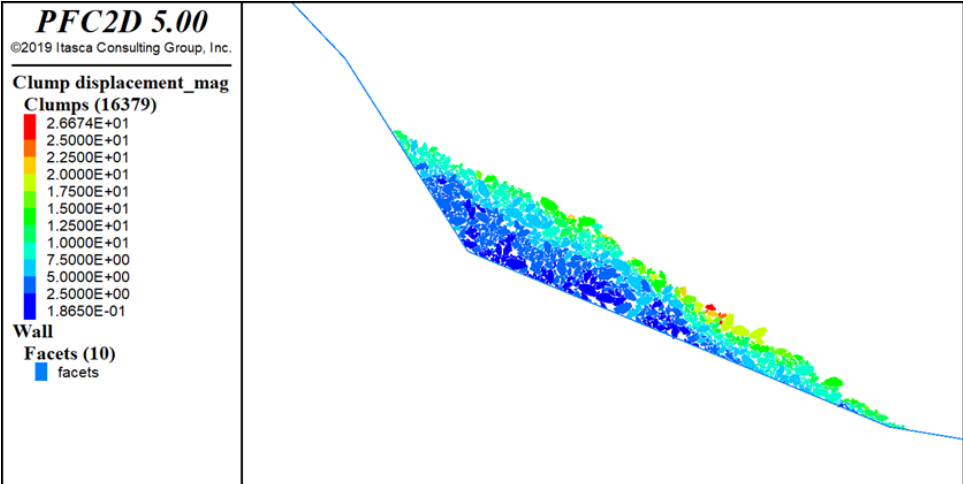


20



25



SISMICITÀ	
Accelerazione orizzontale	Entità dello spostamento
0.25 $\frac{m}{s^2}$	
0.5 $\frac{m}{s^2}$	

0.75 $\frac{m}{s^2}$

PFC2D 5.00
©2019 Itasca Consulting Group, Inc.

Clump displacement_mag

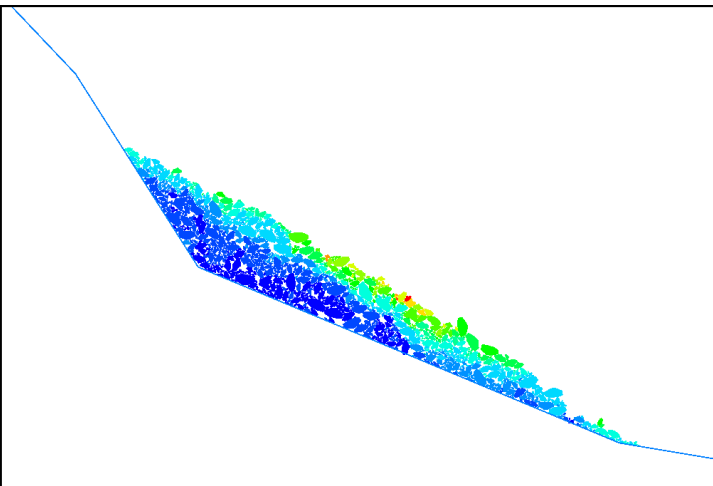
Clumps (16379)

3.6306E+01
3.5000E+01
3.2500E+01
3.0000E+01
2.7500E+01
2.5000E+01
2.2500E+01
2.0000E+01
1.7500E+01
1.5000E+01
1.2500E+01
1.0000E+01
7.5000E+00
5.0000E+00
2.5000E+00
5.2654E-02

Wall

Facets (10)

facets



1.0 $\frac{m}{s^2}$

PFC2D 5.00
©2019 Itasca Consulting Group, Inc.

Clump displacement_mag

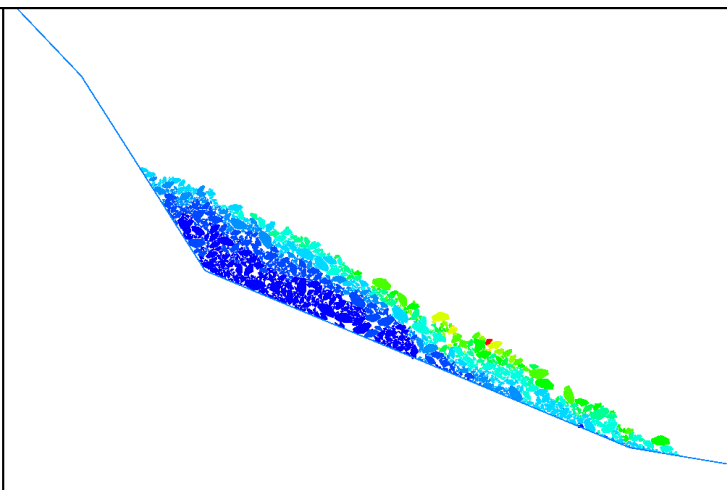
Clumps (16379)

7.0500E+01
7.0000E+01
6.5000E+01
6.0000E+01
5.5000E+01
5.0000E+01
4.5000E+01
4.0000E+01
3.5000E+01
3.0000E+01
2.5000E+01
2.0000E+01
1.5000E+01
1.0000E+01
5.0000E+00
1.2938E-01

Wall

Facets (10)

facets



2.0 $\frac{m}{s^2}$

PFC2D 5.00
©2019 Itasca Consulting Group, Inc.

Wall

Facets (10)

facets

Clump displacement_mag

Clumps (16379)

2.2286E+02
2.2000E+02
2.0000E+02
1.8000E+02
1.6000E+02
1.4000E+02
1.2000E+02
1.0000E+02
8.0000E+01
6.0000E+01
4.0000E+01
2.0000E+01
2.0071E-01

