

REGIONE LOMBARDIA

PROVINCIA DI BERGAMO



COMUNE DI CARONA



**Studio specialistico per la verifica delle
strutture di protezione passiva
nell'ambito dei lavori di Realizzazione
opere di difesa passiva a monte
dell'abitato in località Misoì**

Comune di Carona

**Verifica strutture di protezione passiva
*Progetto Esecutivo***

Agosto 2021

Rev. 00-21



Studio Tecnico Dott Ing Massimo Raviglione
Rock and Snow Engineering
via Cesare Battisti 7, 13818 Tollegno – BI



Realizzazione opere di difesa passiva a monte dell'abitato in località Misoì (Aggravamento Scheda Rasda n.21613) OCDPC 558/2018 - Piano interventi 2021 - Intervento n. LN145-2021-558/2018-BG-003. CUP H65H18000500001.

SOMMARIO

1- Premessa	2
2- Studio dinamico bidimensionale	3
3- Verifica energetica e dimensionale	28

Realizzazione opere di difesa passiva a monte dell'abitato in località Misoi (Aggravamento Scheda Rasda n.21613) OCDPC 558/2018 - Piano interventi 2021 - Intervento n. LN145-2021-558/2018-BG-003. CUP H65H18000500001.

1- PREMESSA

Su incarico del Comune Carona – Determinazione n. 217 del 23/08/2021, il sottoscritto Ing. Massimo Raviglione, dello studio tecnico Rock and SnoW Engineering con sede in Tollegno (BI) via Cesare Battisti n. 7, redige la presente verifica delle strutture di protezione passiva previste nel progetto esecutivo relativo ai lavori di *Realizzazione opere di difesa passiva a monte dell'abitato in località Misoi* (Aggravamento Scheda Rasda n.21613) OCDPC 558/2018 - Piano interventi 2021 - Intervento n. LN145-2021-558/2018-BG-003. CUP H65H18000500001.

Realizzazione opere di difesa passiva a monte dell'abitato in località Misoi (Aggravamento Scheda Rasda n.21613) OCDPC 558/2018 - Piano interventi 2021 - Intervento n. LN145-2021-558/2018-BG-003. CUP H65H18000500001.

2- STUDIO DINAMICO BIDIMENSIONALE

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

- inviluppo delle traiettorie dei singoli blocchi
- inviluppo delle altezze di rimbalzo o di volo
- inviluppo delle velocità traslazionali
- istogramma delle velocità e quote di transito dei blocchi in corrispondenza della protezione passiva

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

2.1- PARAMETRI CARATTERISTICI

I parametri caratteristici dell'analisi, necessari per ricostruire l'evento di caduta massi, sono stati ricavati, da rilievi puntuali in sito e sopralluoghi al fine di individuare la posizione degli ammassi rocciosi potenzialmente instabili, l'estensione delle nicchie di distacco potenziali e/o pregresse e valutare a ritroso le possibili traiettorie, unitamente alle analisi contenute nella Caratterizzazione Geologica redatta dal Geol Umberto Locati emissione luglio 2021 parte integrante del progetto esecutivo redatto dallo Studio Papetti.

2.1.a- Andamento plano-altimetrico

L'andamento plano-altimetrico è stato ricavato dalla cartografia digitale del comune di Carona, in particolare la cartografia numerica ricavata da rilievo eseguito con riprese aeree; successivamente sono stati individuati i profili caratteristici lungo le traiettorie di caduta ricavate dallo studio tridimensionale del moto dei blocchi rocciosi. Per maggiori dettagli si rimanda alla tavola grafica allegata al progetto.

2.1.b- Dimensione del volume unitario caratteristico

Sulla base dei sopralluoghi e degli elaborati redatti dal Geol Umberto Locati, si è utilizzato, per le analisi cinematiche bidimensionali, un volume roccioso unitario potenzialmente instabile variabile da circa 2,0 m³ a circa 8,3 m³.

Per le analisi di seguito riportate si è quindi considerato un elemento roccioso di volume massimo pari a:

settore barriera BP01 profilo P09	$V_{\max} = 2,0 \text{ m}^3$ e massa pari a circa $M_{\max} = 5200 \text{ kg}$
settore barriera BP01 profilo P10	$V_{\max} = 2,0 \text{ m}^3$ e massa pari a circa $M_{\max} = 5200 \text{ kg}$
settore barriera BP01 profilo P11	$V_{\max} = 8,3 \text{ m}^3$ e massa pari a circa $M_{\max} = 21580 \text{ kg}$
settore barriera BP02 profilo P12	$V_{\max} = 8,3 \text{ m}^3$ e massa pari a circa $M_{\max} = 21580 \text{ kg}$
settore barriera BP02 profilo P17	$V_{\max} = 8,3 \text{ m}^3$ e massa pari a circa $M_{\max} = 21580 \text{ kg}$

Realizzazione opere di difesa passiva a monte dell'abitato in località Misoi (Aggravamento Scheda Rasda n.21613) OCDPC 558/2018 - Piano interventi 2021 - Intervento n. LN145-2021-558/2018-BG-003. CUP H65H18000500001.

2.1.c- Morfologia e tipologia di copertura superficiale

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

In particolare si sono definiti i seguenti parametri di moto:

<i>coefficiente normale K_n</i>	→	limiti da letteratura 0,20 ÷ 0,75
<i>coefficiente tangenziale K_t</i>	→	limiti da letteratura 0,20 ÷ 0,90
<i>angolo di attrito dinamico \varnothing_0</i>	→	limiti da letteratura 30° ÷ 40°
<i>tangente angolo di attrito dinamico $\tan \varnothing_0$</i>	→	limiti da letteratura 0,37 ÷ 0,67

Il valore dei coefficienti è stato desunto per comparazione del caso in esame con i valori limite ricavati dalla letteratura tecnica ed in seguito sono stati tarati in relazione ai possibili eventi che si possono fisicamente verificare in sito.

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

<i>tratti omogenei di roccia affiorante</i>	→	roccia affiorante
<i>tratti omogenei di viabilità bitumata</i>	→	asfalto

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

roccia affiorante	Coefficiente normale K_n [-]	Coefficiente tangenziale K_t [-]
Pfeiffer & Bowen 1989	0,33 – 0,37	0,83 – 0,87
Hoek 1987	0,35	0,85
Piteau & Clayton 1988	0,9 - 0,8	0,75 – 0,65
Adottato per il progetto	0,35 ± 0,04	0,85 ± 0,04
	\varnothing_0 [°]	μ [-]
	35 ± 2	calcolato in funzione di K_n e K_t

asfalto	Coefficiente normale K_n [-]	Coefficiente tangenziale K_t [-]
Pfeiffer & Bowen 1989	0,37 – 0,42	0,87 – 0,92
Hoek 1987	0,40	0,90
Piteau & Clayton 1988	/	/
Adottato per il progetto	0,40 ± 0,04	0,90 ± 0,04
	\varnothing_0 [°]	μ [-]
	45 ± 2	calcolato in funzione di K_n e K_t

Realizzazione opere di difesa passiva a monte dell'abitato in località Misoi (Aggravamento Scheda Rasda n.21613) OCDPC 558/2018 - Piano interventi 2021 - Intervento n. LN145-2021-558/2018-BG-003. CUP H65H18000500001.

2.1.d- Posizione e tipologia del distacco

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

Le analisi e le valutazioni espresse nel presente lavoro, ed in particolare nello studio dinamico bidimensionale, riguardano lo studio della dinamica di caduta massi e l'analisi degli effetti dei potenziali blocchi rocciosi potenzialmente instabili ubicati a valle della linea di distacco riportata nelle tavole di progetto ed in particolare nell'elaborato grafico *Studio tridimensionale della dinamica di caduta massi – Planimetria generale*.

2.1.e- Condizioni di moto iniziale

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

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

2.1.f- Protezione passiva

Le caratteristiche delle protezioni passive e la posizione di installazione sono state desunte dal progetto esecutivo; in sintesi le principali caratteristiche indicate in progetto sono le seguenti:

Barriera BP01

altezza di intercettazione	6,0 m
interasse montanti	10,0 m
classificazione livello energia in riferimento EAD 340059-00-0106	classe VIII / MEL > 4500 kJ
classificazione altezza residua in riferimento EAD 340059-00-0106	categoria A
energia minima certificata	5000 kJ
deformata massima misurata al test MEL→	10,0 m
quota di posa delle protezioni passive	circa 1188 m slm

Barriera BP02

altezza di intercettazione	7,0 m
interasse montanti	10,0 m
classificazione livello energia in riferimento EAD 340059-00-0106	classe VIII / MEL > 4500 kJ
classificazione altezza residua in riferimento EAD 340059-00-0106	categoria A
energia minima certificata	8450 kJ
deformata massima misurata al test MEL	10,0 m
quota di posa delle protezioni passive	circa 1190 m slm

Realizzazione opere di difesa passiva a monte dell'abitato in località Misoi (Aggravamento Scheda Rasda n.21613) OCDPC 558/2018 - Piano interventi 2021 - Intervento n. LN145-2021-558/2018-BG-003. CUP H65H18000500001.

2.2- ANALISI TRAIETTOGRAFICA

Il calcolo delle traiettorie e dei livelli energetici è stato condotto analizzando il cinematismo di un blocco roccioso di volume da circa $2,0 \text{ m}^3$ a circa $8,3 \text{ m}^3$ per il profilo P01 e di un volume pari a circa $8,3 \text{ m}^3$ per il profilo P02.

L'analisi del cinematismo del blocco di volume massimo prossimo a V_{\max} da $2,0$ a $8,3 \text{ m}^3$, con massa circa M_{\max} da 5200 kg a 21580 kg , è stata eseguita al fine di valutare le seguenti caratteristiche di moto:

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

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

Gli esiti delle analisi compiute sui profili P09 – P10 – P11 – P12 – P17, sono riportati nelle pagine seguenti e nelle tavole grafiche allegate al progetto, in cui è illustrata la posizione planimetrica del profilo, il suo andamento e i grafici relativi all'involuppo delle traiettorie, delle altezze di rimbalzo e gli istogrammi delle velocità e della quota di transito in corrispondenza della protezione passiva.

Realizzazione opere di difesa passiva a monte dell'abitato in località Misoi (Aggravamento Scheda Rasda n.21613) OCDPC 558/2018 - Piano interventi 2021 - Intervento n. LN145-2021-558/2018-BG-003. CUP H65H18000500001.

Profilo P09 / Barriera BP01

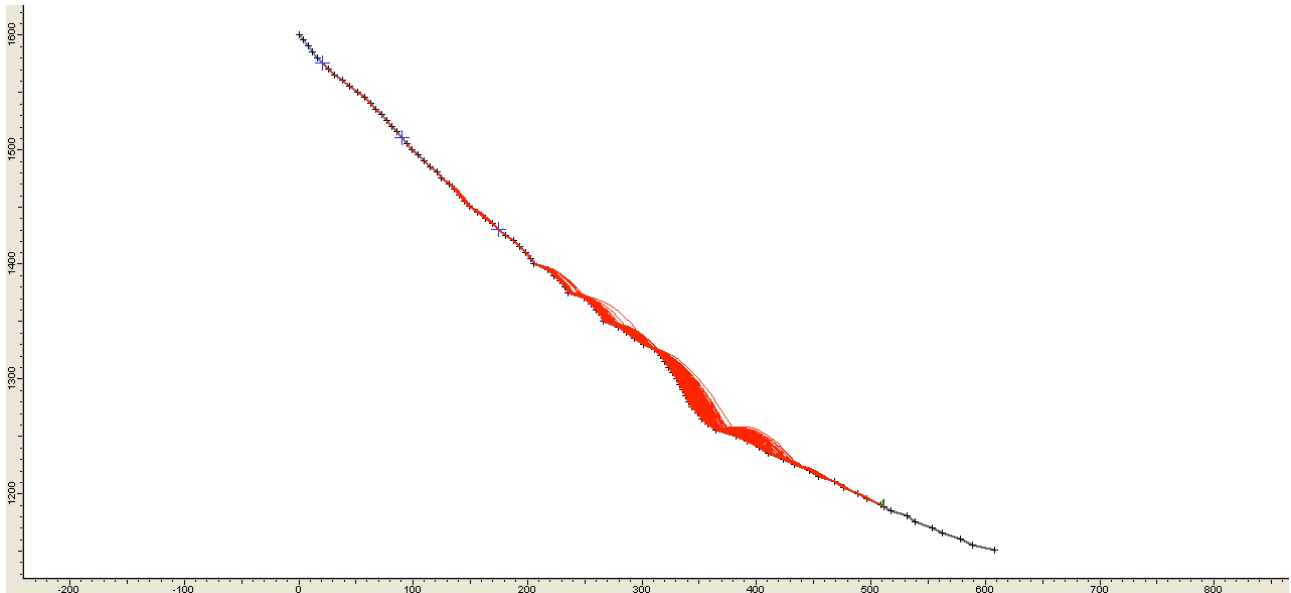
Profilo	Condizione di moto iniziale	Tipologia moto e posizione lungo la traiettoria ⁽¹⁾		
		da 0 a 1/3 della traiettoria	da 1/3 a 2/3 della traiettoria	da 2/3 alla fine della traiettoria
P09	Velocità traslazionale iniziale $v_x = 0,50 \pm 0,01 \text{ m/s}$ $v_z = 0,0 \pm 0,01 \text{ m/s}$ Velocità rotazionale iniziale $\omega = 0,0 \pm 0,01 \text{ rad/s}$	T → R	R → RS	RS → R

Profilo	Condizione di moto iniziale	Caratteristiche di moto in corrispondenza del punto di analisi quota 1188 m slm	
		velocità traslazionale [m/s] (valore al 95% del frattile)	quota di impatto [m] (valore al 95% del frattile)
P09	Velocità traslazionale iniziale $v_x = 0,50 \pm 0,01 \text{ m/s}$ $v_z = 0,0 \pm 0,01 \text{ m/s}$ Velocità rotazionale iniziale $\omega = 0,0 \pm 0,01 \text{ rad/s}$	barriera BP01 19,10	barriera BP01 1188,7

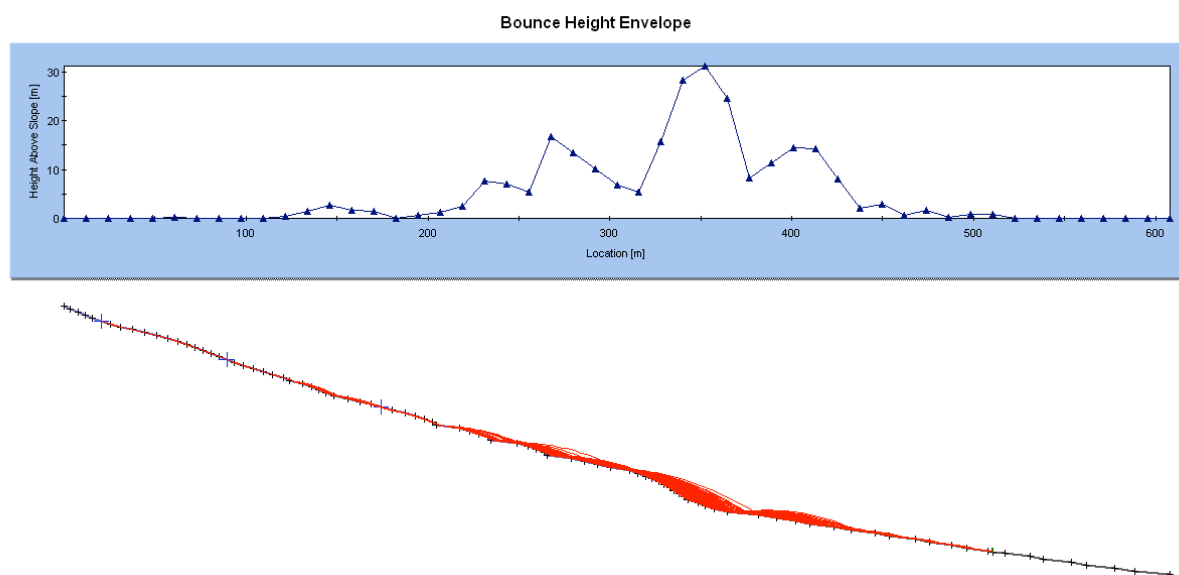
- (1) T → traslazione
 R → rotazione
 RT → roto-traslazione
 RS → roto-saltazione

Realizzazione opere di difesa passiva a monte dell'abitato in località Misoi (Aggravamento Scheda Rasda n.21613) OCDPC 558/2018 - Piano interventi 2021 - Intervento n. LN145-2021-558/2018-BG-003. CUP H65H18000500001.

Inviluppo traiettorie

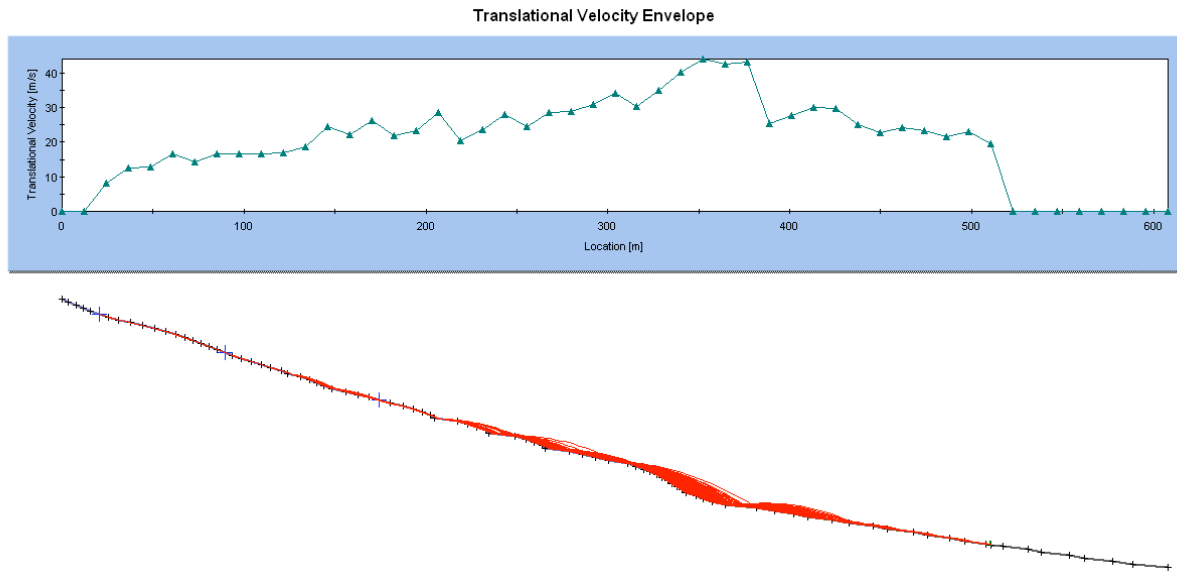


Inviluppo altezze

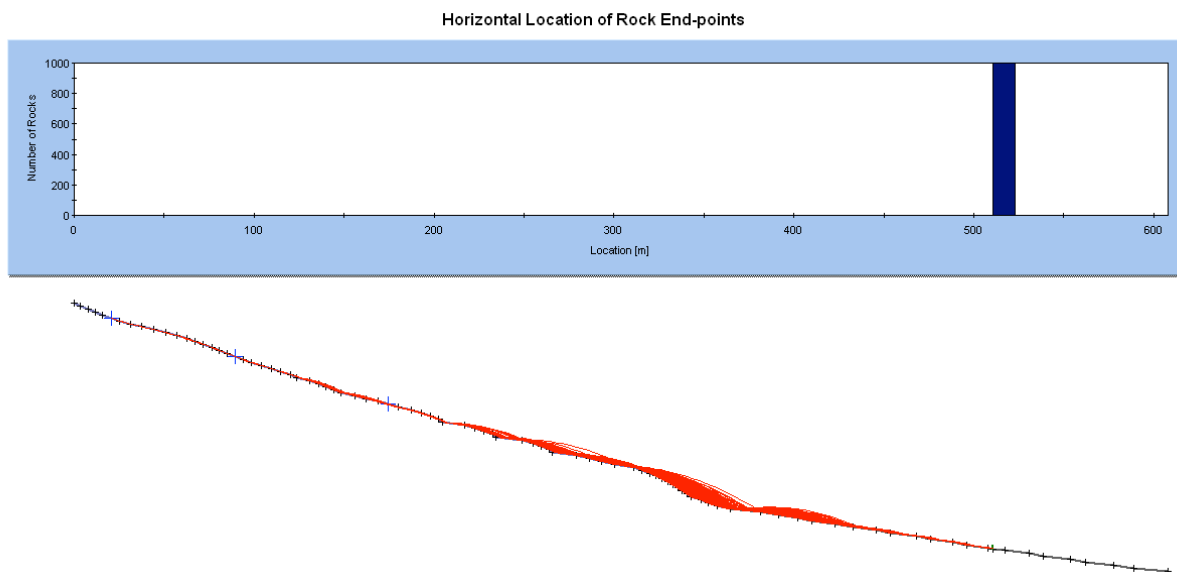


Realizzazione opere di difesa passiva a monte dell'abitato in località Misoi (Aggravamento Scheda Rasda n.21613) OCDPC 558/2018 - Piano interventi 2021 - Intervento n. LN145-2021-558/2018-BG-003. CUP H65H18000500001.

Inviluppo velocità traslazionale

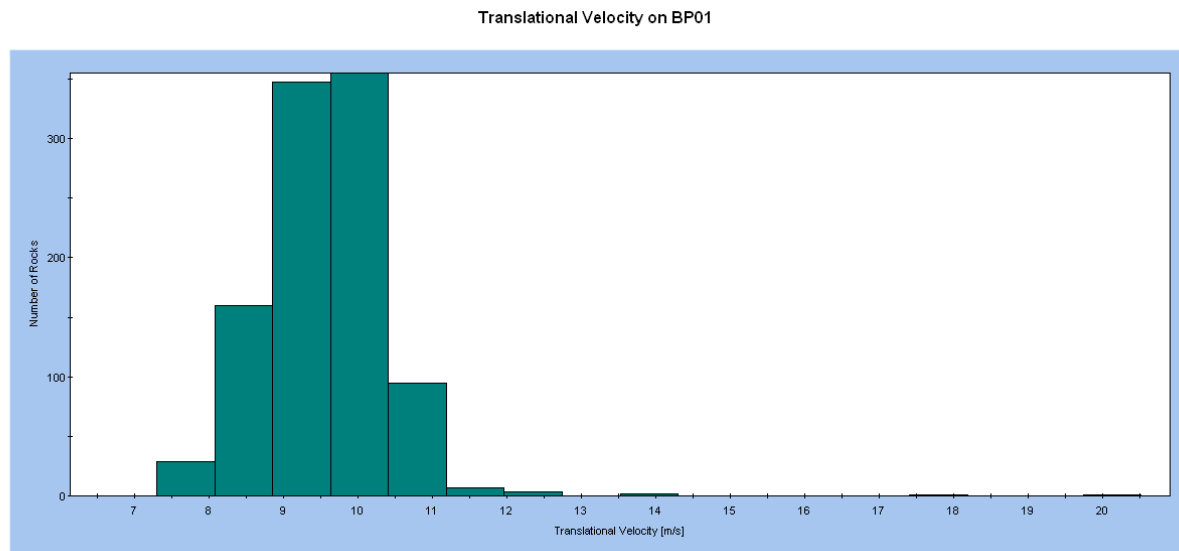


Inviluppo punti di arresto

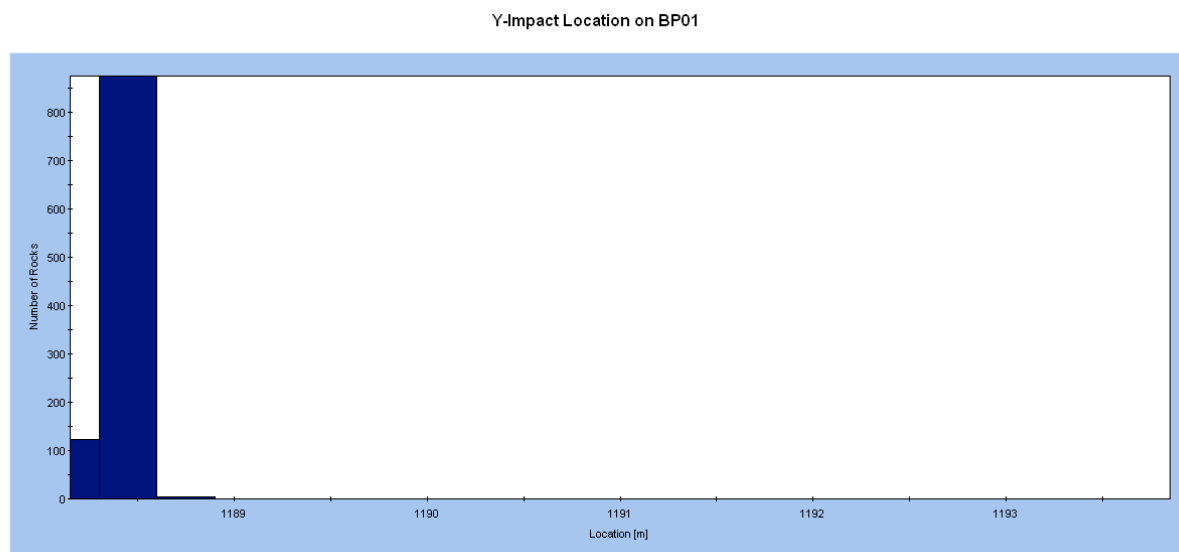


Realizzazione opere di difesa passiva a monte dell'abitato in località Misoi (Aggravamento Scheda Rasda n.21613) OCDPC 558/2018 - Piano interventi 2021 - Intervento n. LN145-2021-558/2018-BG-003. CUP H65H18000500001.

Istogramma velocità traslazionali in corrispondenza della barriera BP01



Istogramma quote di impatto in corrispondenza della barriera BP01



Realizzazione opere di difesa passiva a monte dell'abitato in località Misoi (Aggravamento Scheda Rasda n.21613) OCDPC 558/2018 - Piano interventi 2021 - Intervento n. LN145-2021-558/2018-BG-003. CUP H65H18000500001.

Profilo P10 / Barriera BP01

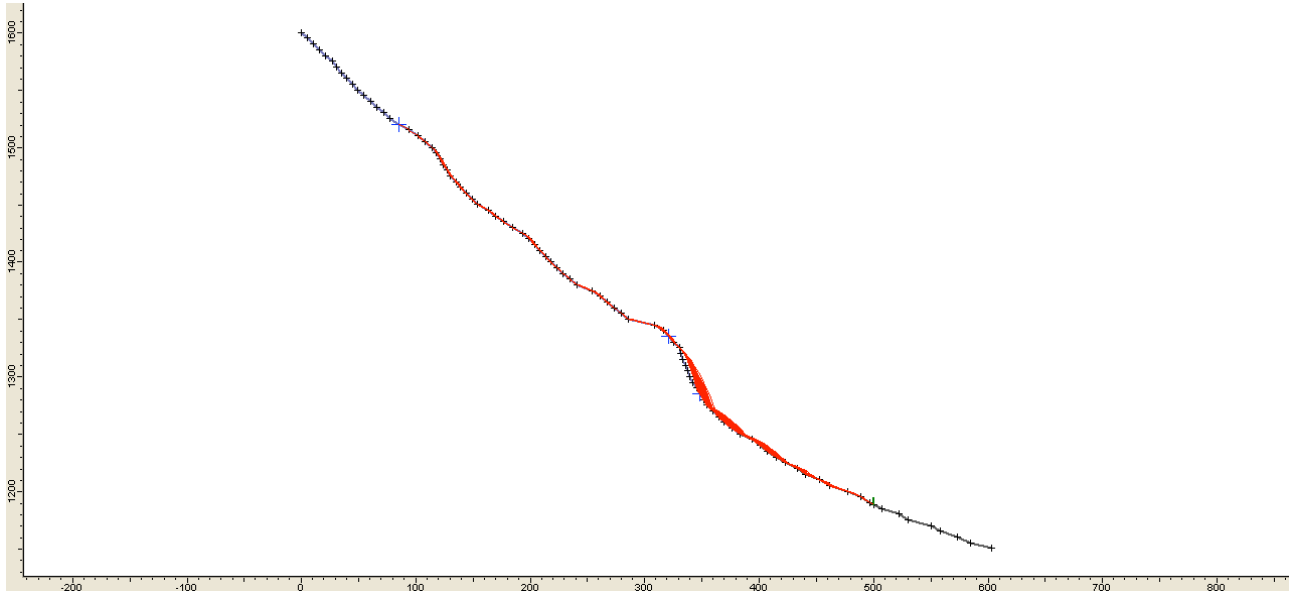
Profilo	Condizione di moto iniziale	Tipologia moto e posizione lungo la traiettoria ⁽¹⁾		
		da 0 a 1/3 della traiettoria	da 1/3 a 2/3 della traiettoria	da 2/3 alla fine della traiettoria
<i>P10</i>	Velocità traslazionale iniziale $v_x = 0,50 \pm 0,01 \text{ m/s}$ $v_z = 0,0 \pm 0,01 \text{ m/s}$ Velocità rotazionale iniziale $\omega = 0,0 \pm 0,01 \text{ rad/s}$	T → R	R → RS	RS → R

Profilo	Condizione di moto iniziale	Caratteristiche di moto in corrispondenza del punto di analisi quota 1188 m slm	
		velocità traslazionale [m/s] (valore al 95% del frattile)	quota di impatto [m] (valore al 95% del frattile)
<i>P10</i>	Velocità traslazionale iniziale $v_x = 0,50 \pm 0,01 \text{ m/s}$ $v_z = 0,0 \pm 0,01 \text{ m/s}$ Velocità rotazionale iniziale $\omega = 0,0 \pm 0,01 \text{ rad/s}$	barriera BP01 12,5	barriera BP01 1188,2

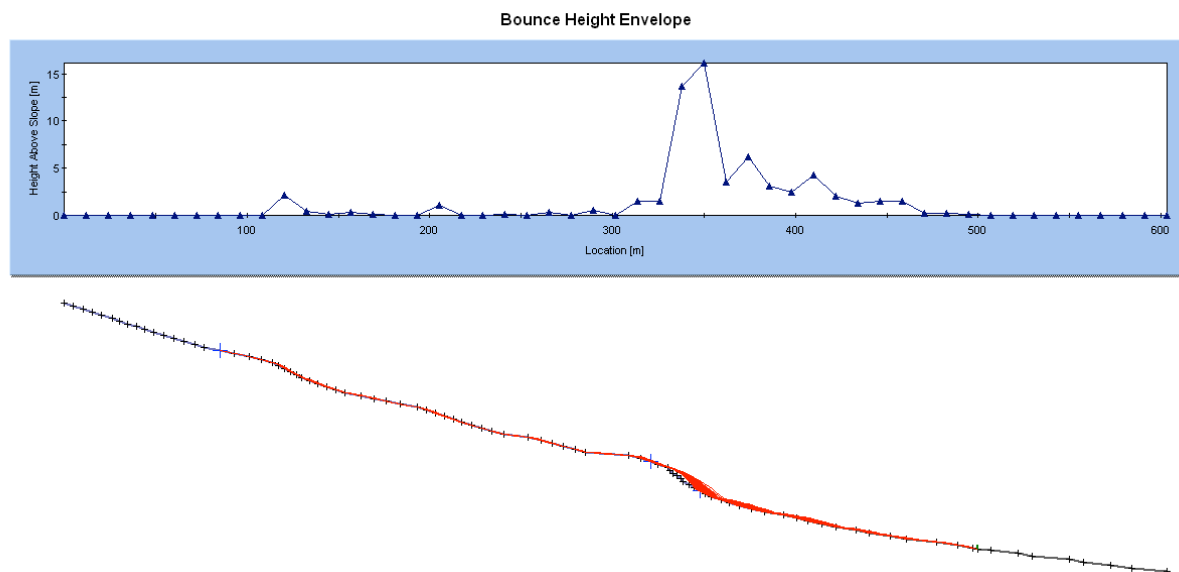
- (1) T → traslazione
 R → rotazione
 RT → roto-traslazione
 RS → roto-saltazione

Realizzazione opere di difesa passiva a monte dell'abitato in località Misoi (Aggravamento Scheda Rasda n.21613) OCDPC 558/2018 - Piano interventi 2021 - Intervento n. LN145-2021-558/2018-BG-003. CUP H65H18000500001.

Inviluppo traiettorie

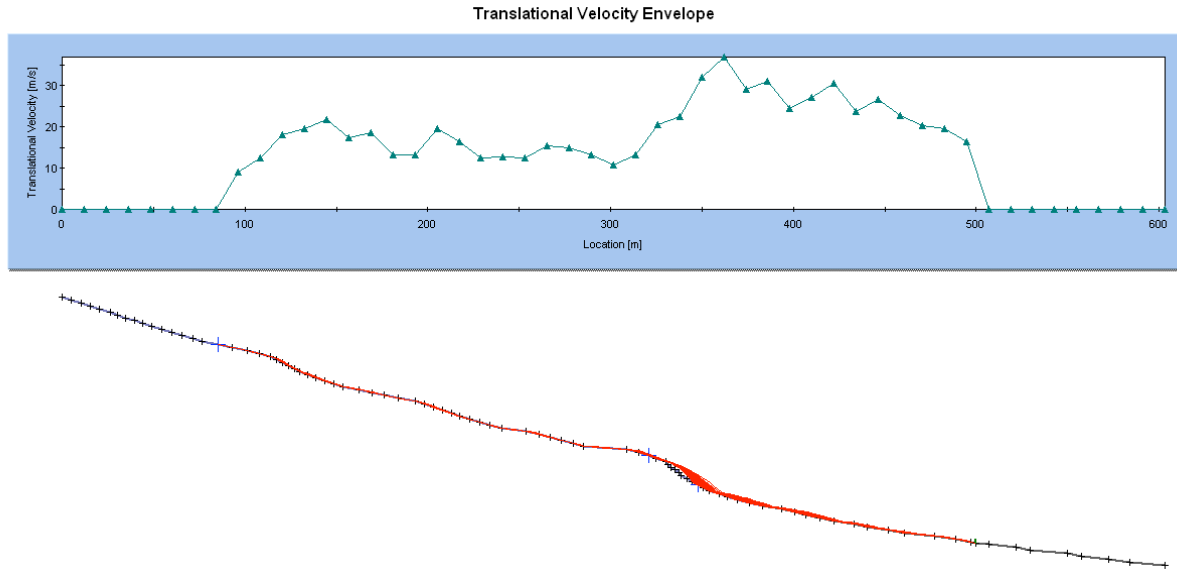


Inviluppo altezze

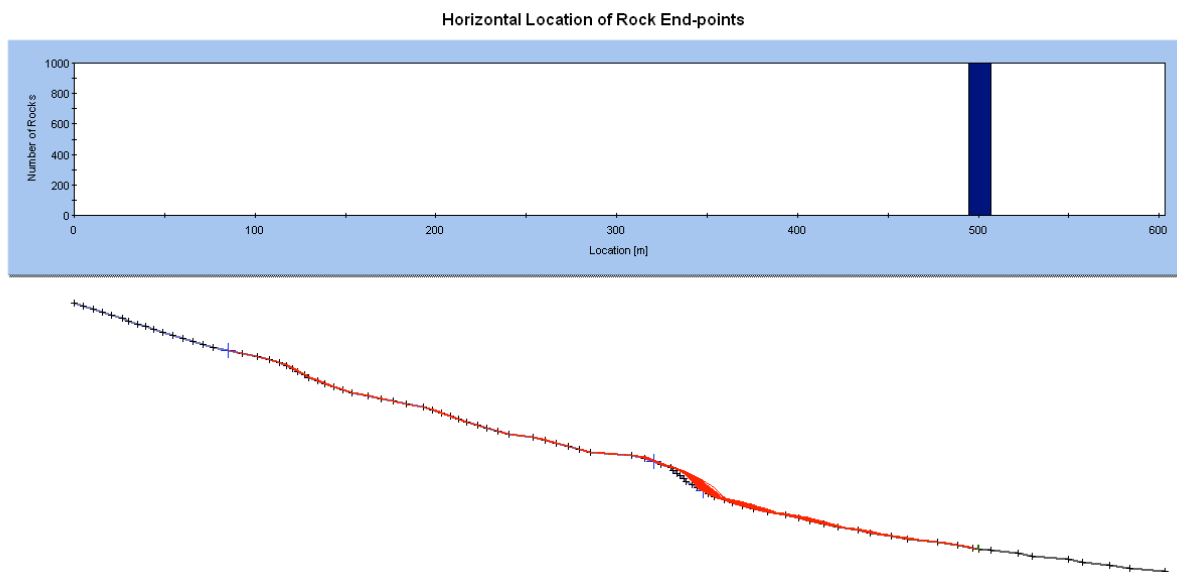


Realizzazione opere di difesa passiva a monte dell'abitato in località Misoi (Aggravamento Scheda Rasda n.21613) OCDPC 558/2018 - Piano interventi 2021 - Intervento n. LN145-2021-558/2018-BG-003. CUP H65H18000500001.

Inviluppo velocità traslazionale

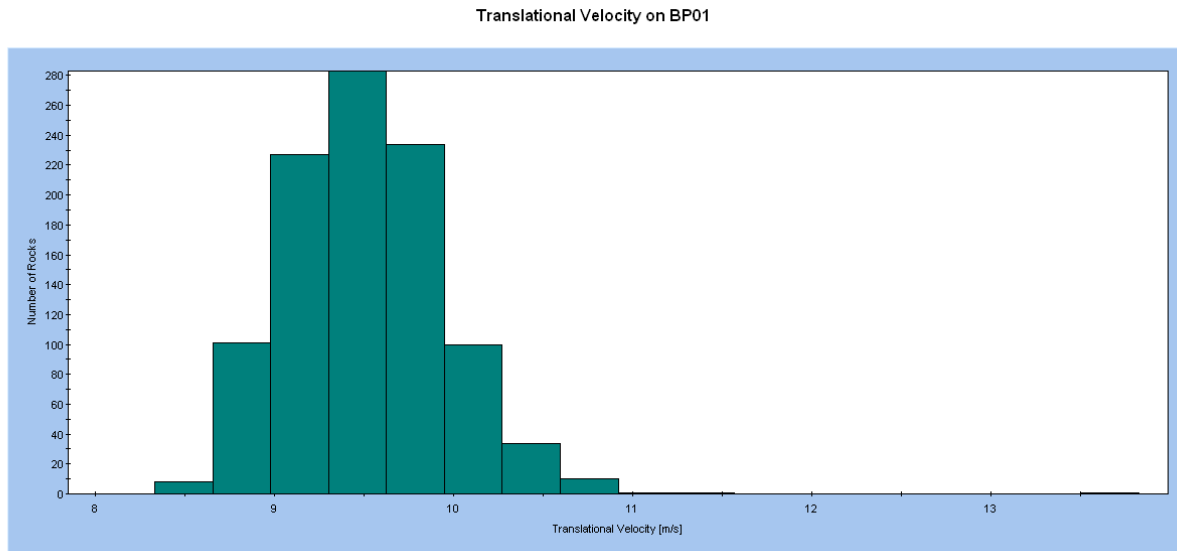


Inviluppo punti di arresto

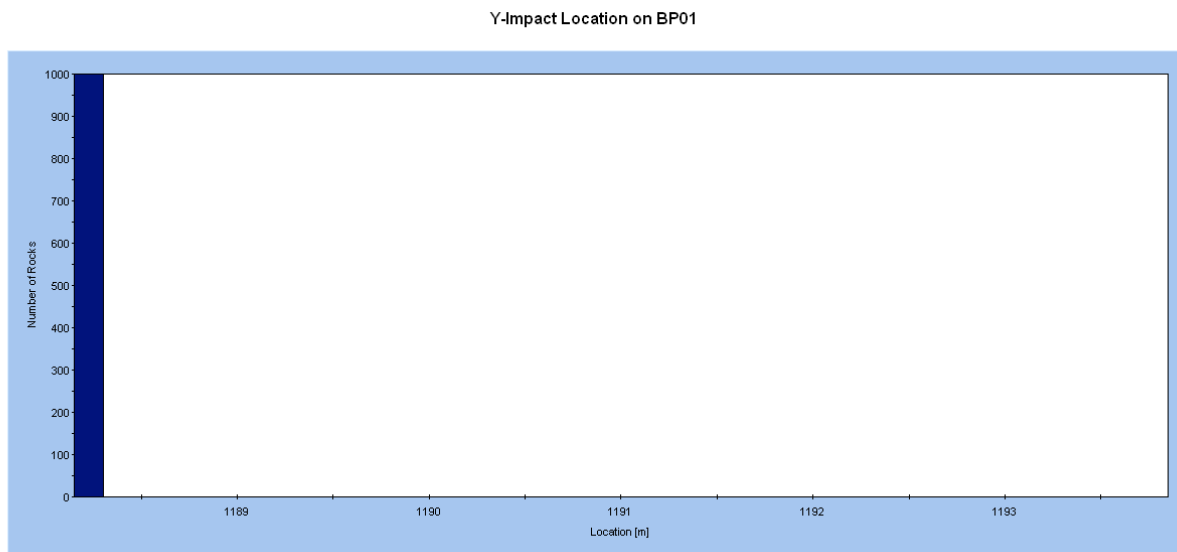


Realizzazione opere di difesa passiva a monte dell'abitato in località Misoi (Aggravamento Scheda Rasda n.21613) OCDPC 558/2018 - Piano interventi 2021 - Intervento n. LN145-2021-558/2018-BG-003. CUP H65H18000500001.

Istogramma velocità traslazionali in corrispondenza della barriera BP01



Istogramma quote di impatto in corrispondenza della barriera BP01



Realizzazione opere di difesa passiva a monte dell'abitato in località Misoi (Aggravamento Scheda Rasda n.21613) OCDPC 558/2018 - Piano interventi 2021 - Intervento n. LN145-2021-558/2018-BG-003. CUP H65H18000500001.

Profilo P11 / Barriera BP01

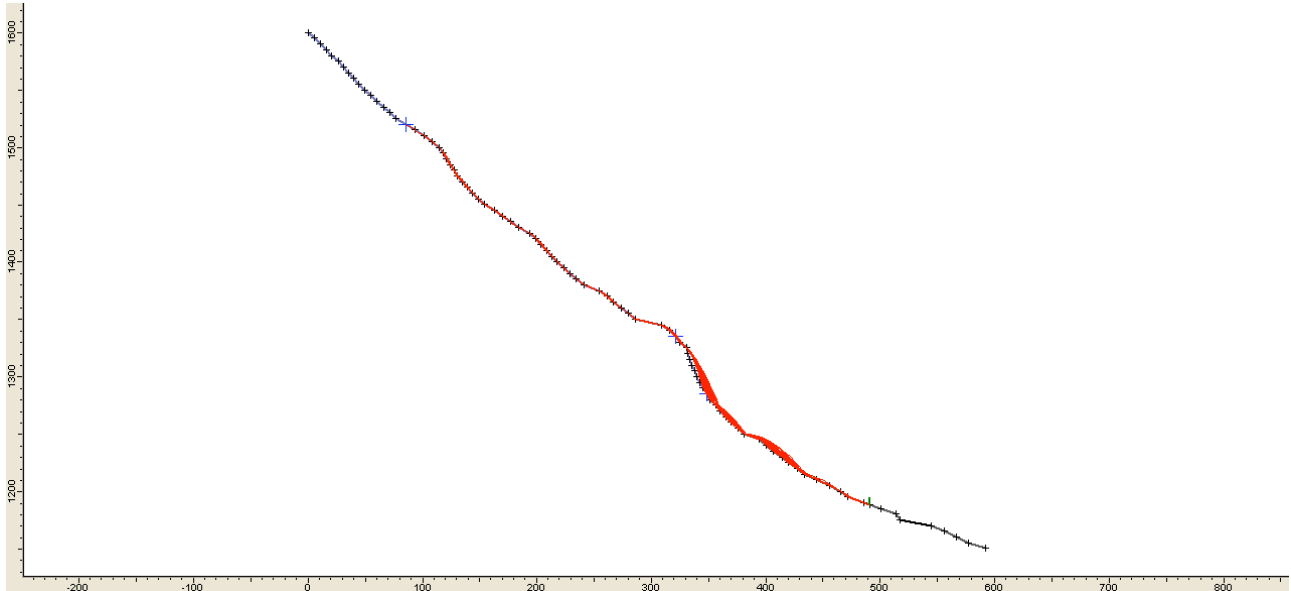
Profilo	Condizione di moto iniziale	Tipologia moto e posizione lungo la traiettoria ⁽¹⁾		
		da 0 a 1/3 della traiettoria	da 1/3 a 2/3 della traiettoria	da 2/3 alla fine della traiettoria
P11	Velocità traslazionale iniziale $v_x = 0,50 \pm 0,01 \text{ m/s}$ $v_z = 0,0 \pm 0,01 \text{ m/s}$ Velocità rotazionale iniziale $\omega = 0,0 \pm 0,01 \text{ rad/s}$	T → R → RS → R	R → RS	RS → R

Profilo	Condizione di moto iniziale	Caratteristiche di moto in corrispondenza del punto di analisi quota 1188 m slm	
		velocità traslazionale [m/s] (valore al 95% del frattile)	quota di impatto [m] (valore al 95% del frattile)
P11	Velocità traslazionale iniziale $v_x = 0,50 \pm 0,01 \text{ m/s}$ $v_z = 0,0 \pm 0,01 \text{ m/s}$ Velocità rotazionale iniziale $\omega = 0,0 \pm 0,01 \text{ rad/s}$	barriera BP01 13,5	barriera BP01 1188,2

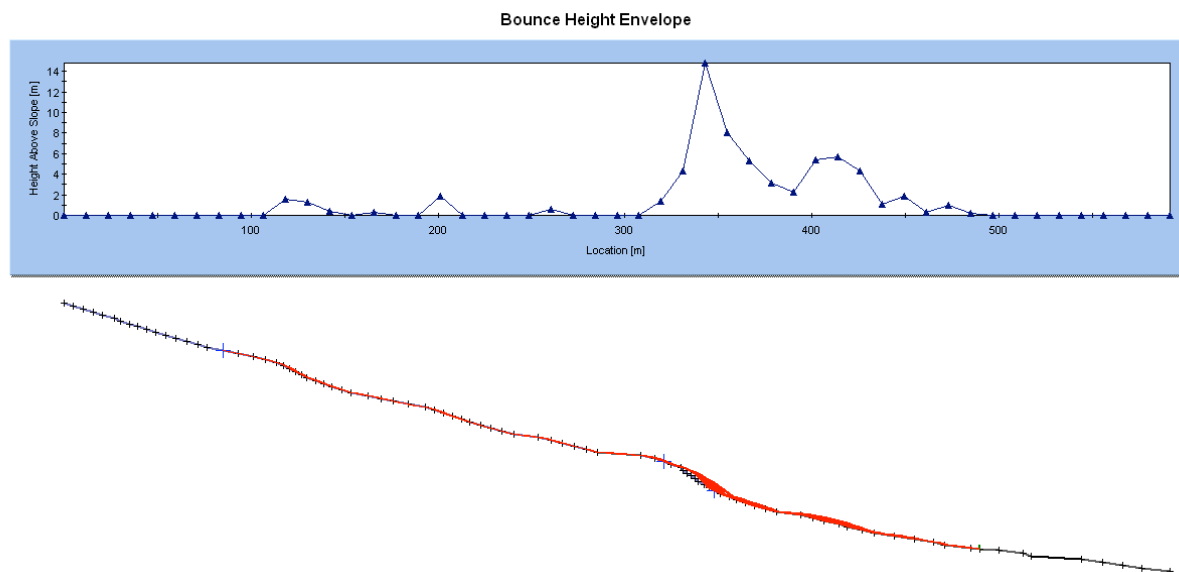
- (1) T → traslazione
 R → rotazione
 RT → roto-traslazione
 RS → roto-saltazione

Realizzazione opere di difesa passiva a monte dell'abitato in località Misoi (Aggravamento Scheda Rasda n.21613) OCDPC 558/2018 - Piano interventi 2021 - Intervento n. LN145-2021-558/2018-BG-003. CUP H65H18000500001.

Inviluppo traiettorie

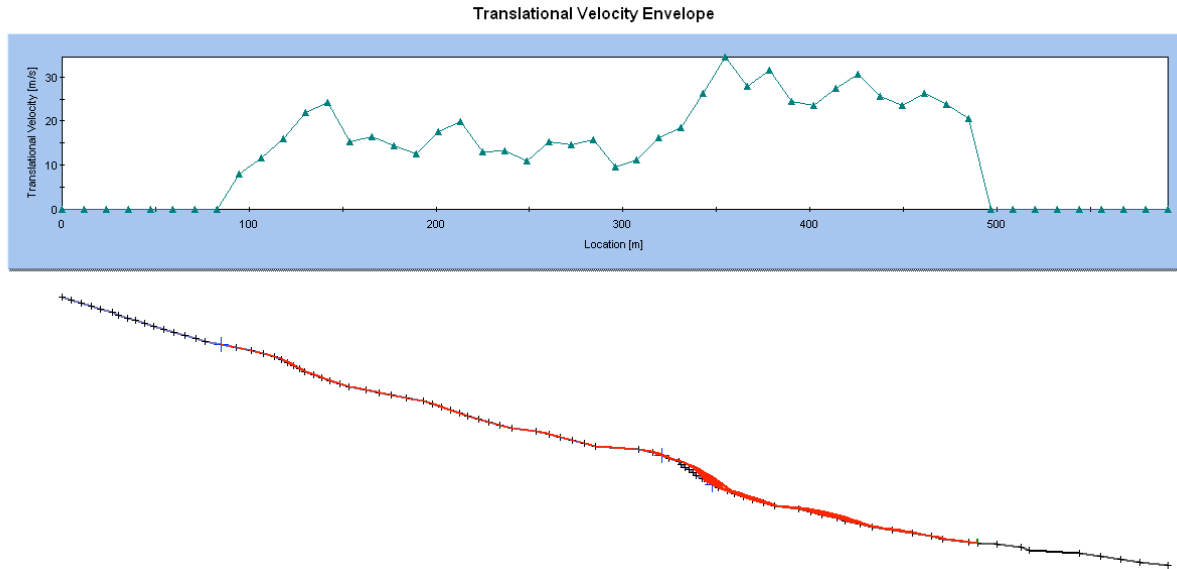


Inviluppo altezze

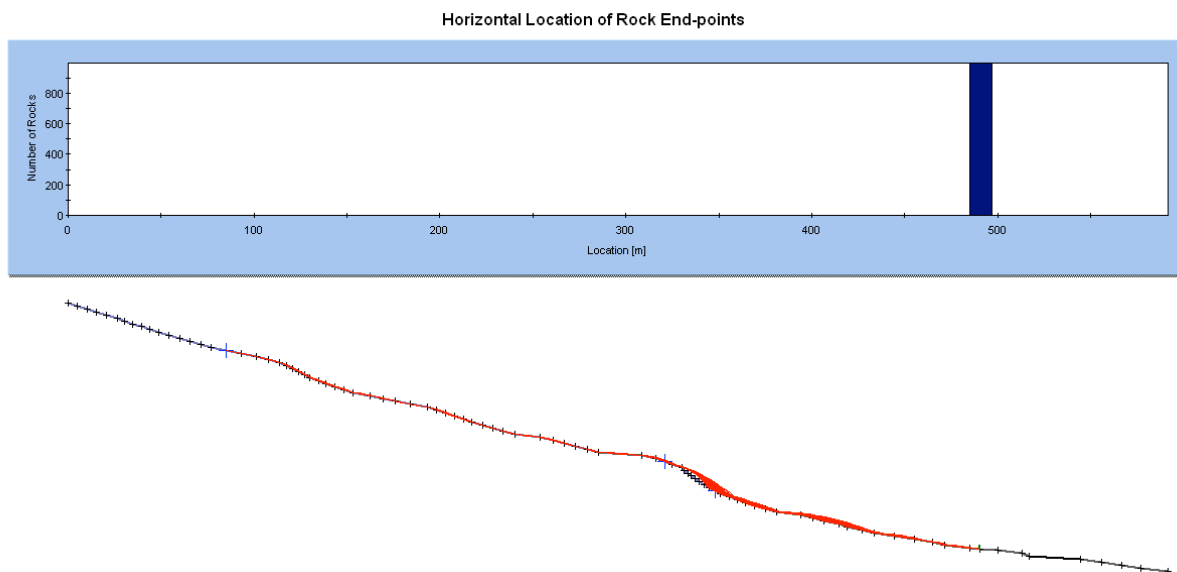


Realizzazione opere di difesa passiva a monte dell'abitato in località Misoi (Aggravamento Scheda Rasda n.21613) OCDPC 558/2018 - Piano interventi 2021 - Intervento n. LN145-2021-558/2018-BG-003. CUP H65H18000500001.

Inviluppo velocità traslazionale

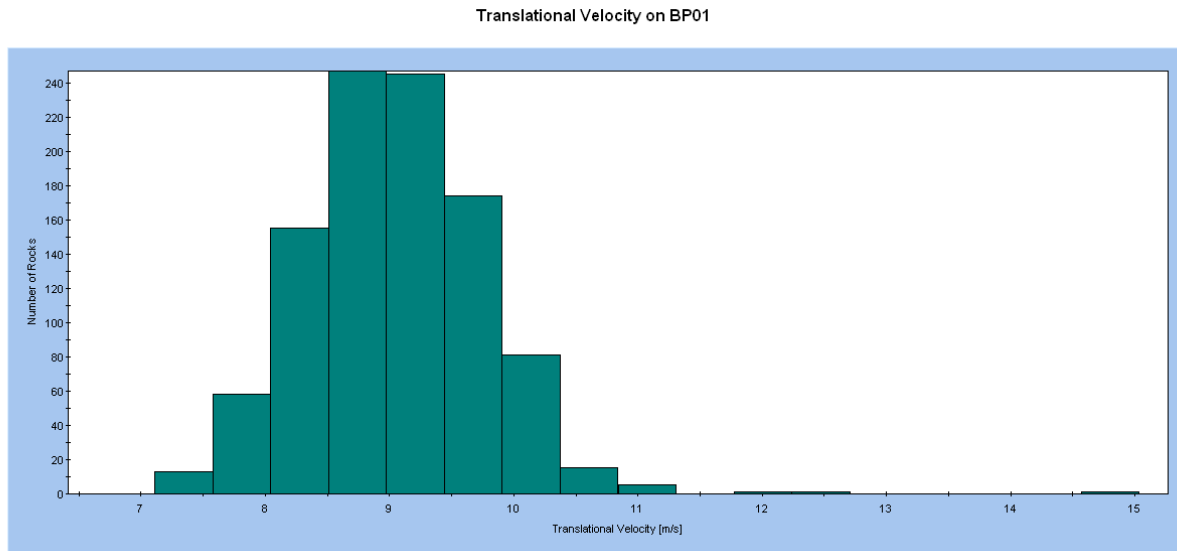


Inviluppo punti di arresto

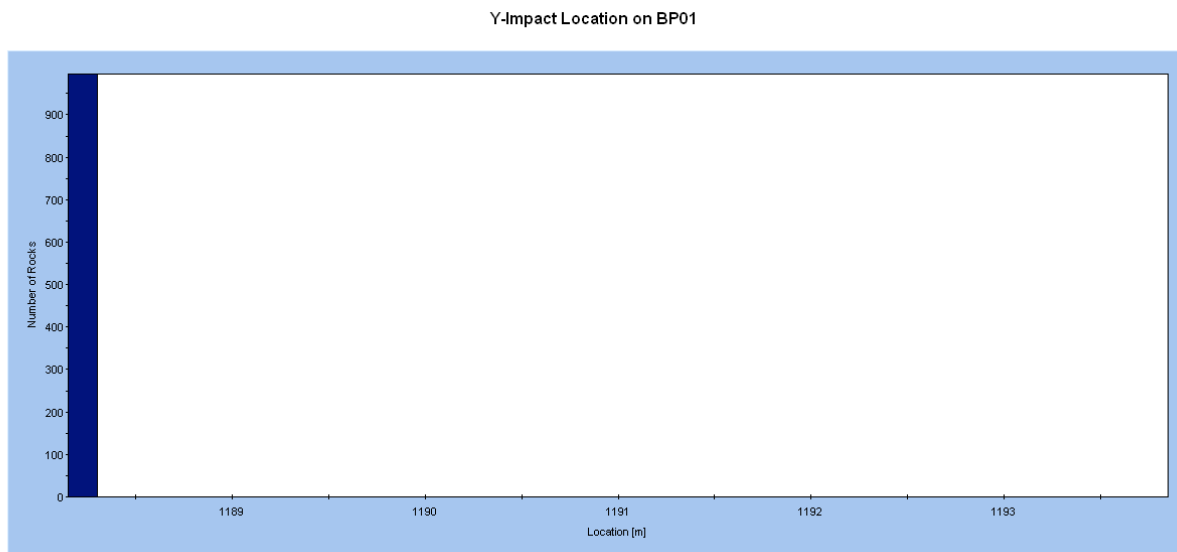


Realizzazione opere di difesa passiva a monte dell'abitato in località Misoi (Aggravamento Scheda Rasda n.21613) OCDPC 558/2018 - Piano interventi 2021 - Intervento n. LN145-2021-558/2018-BG-003. CUP H65H18000500001.

Istogramma velocità traslazionali in corrispondenza della barriera BP01



Istogramma quote di impatto in corrispondenza della barriera BP01



Realizzazione opere di difesa passiva a monte dell'abitato in località Misoi (Aggravamento Scheda Rasda n.21613) OCDPC 558/2018 - Piano interventi 2021 - Intervento n. LN145-2021-558/2018-BG-003. CUP H65H18000500001.

Profilo P12 / Barriera BP02

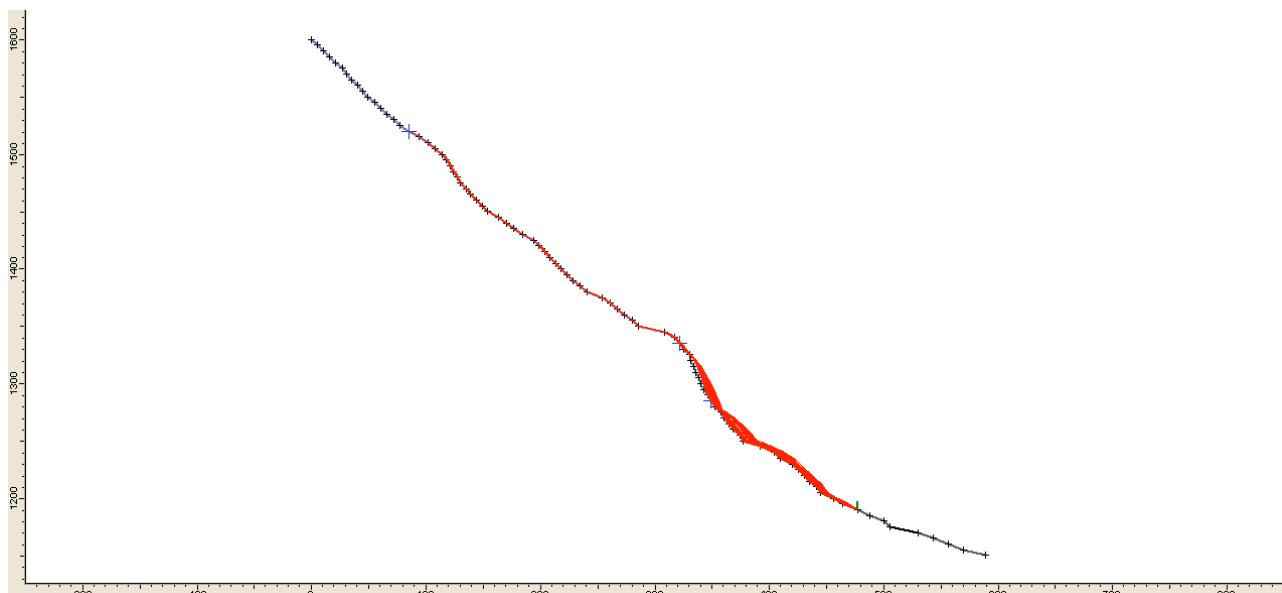
Profilo	Condizione di moto iniziale	Tipologia moto e posizione lungo la traiettoria ⁽¹⁾		
		da 0 a 1/3 della traiettoria	da 1/3 a 2/3 della traiettoria	da 2/3 alla fine della traiettoria
P12	Velocità traslazionale iniziale $v_x = 0,50 \pm 0,01 \text{ m/s}$ $v_z = 0,0 \pm 0,01 \text{ m/s}$ Velocità rotazionale iniziale $\omega = 0,0 \pm 0,01 \text{ rad/s}$	T → R → RS → R	R → RS	RS → R

Profilo	Condizione di moto iniziale	Caratteristiche di moto in corrispondenza del punto di analisi quota 1190 m slm	
		velocità traslazionale [m/s] (valore al 95% del frattile)	quota di impatto [m] (valore al 95% del frattile)
P12	Velocità traslazionale iniziale $v_x = 0,50 \pm 0,01 \text{ m/s}$ $v_z = 0,0 \pm 0,01 \text{ m/s}$ Velocità rotazionale iniziale $\omega = 0,0 \pm 0,01 \text{ rad/s}$	barriera BP02 19,5	barriera BP02 1190,1

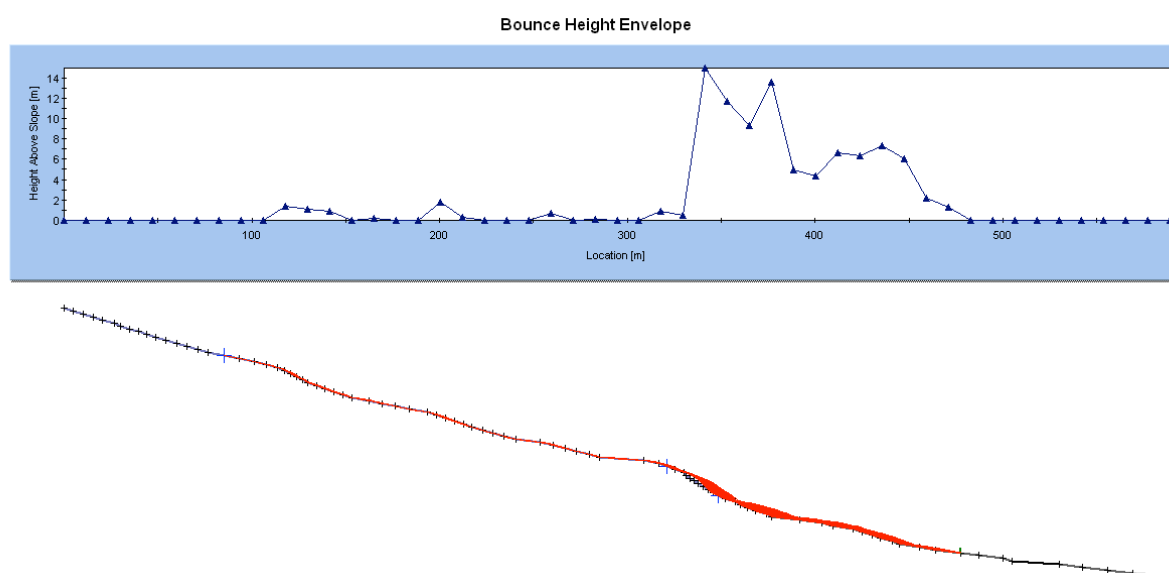
- (1) T → traslazione
 R → rotazione
 RT → roto-traslazione
 RS → roto-saltazione

Realizzazione opere di difesa passiva a monte dell'abitato in località Misoi (Aggravamento Scheda Rasda n.21613) OCDPC 558/2018 - Piano interventi 2021 - Intervento n. LN145-2021-558/2018-BG-003. CUP H65H18000500001.

Inviluppo traiettorie

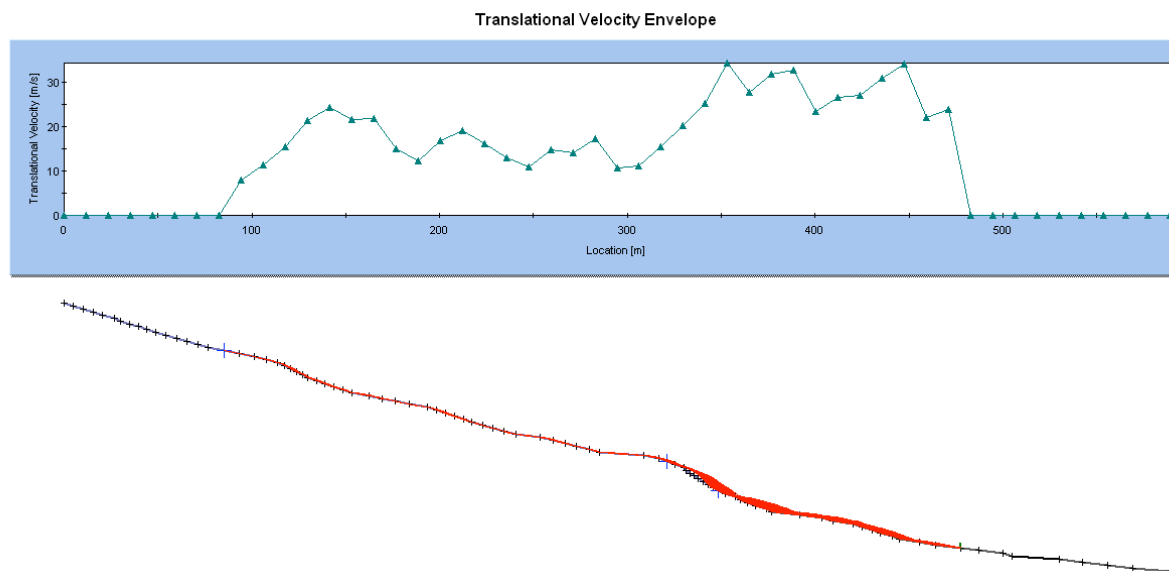


Inviluppo altezze

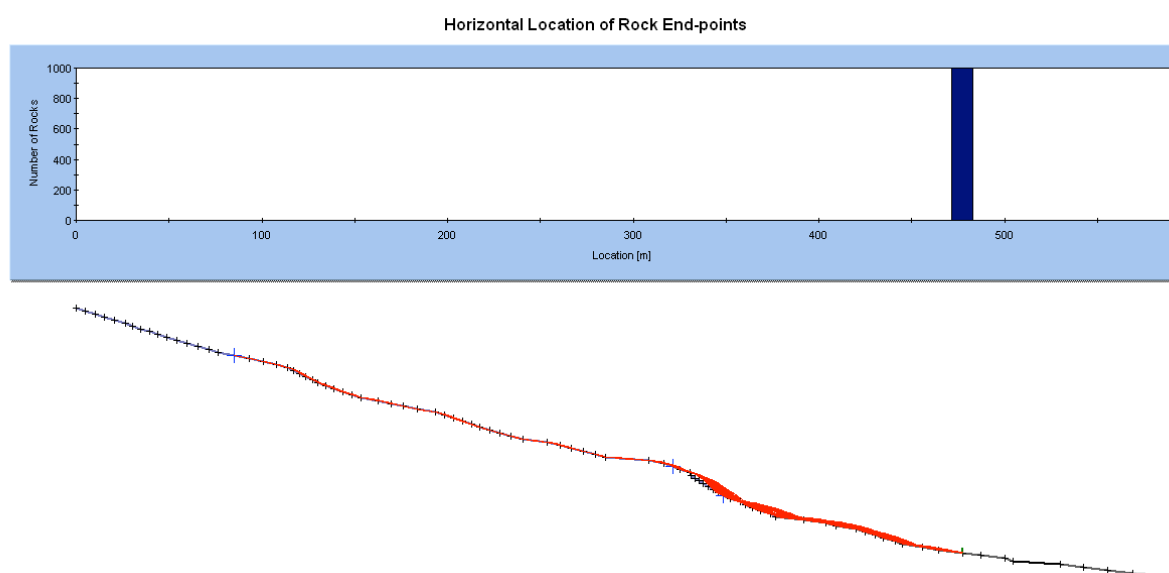


Realizzazione opere di difesa passiva a monte dell'abitato in località Misoi (Aggravamento Scheda Rasda n.21613) OCDPC 558/2018 - Piano interventi 2021 - Intervento n. LN145-2021-558/2018-BG-003. CUP H65H18000500001.

Inviluppo velocità traslazionale

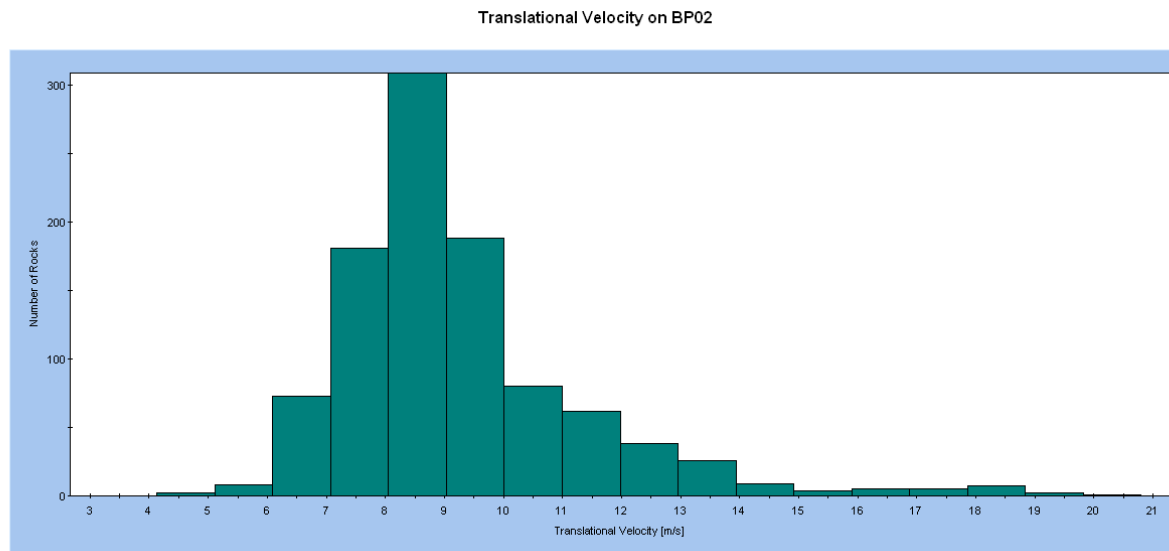


Inviluppo punti di arresto

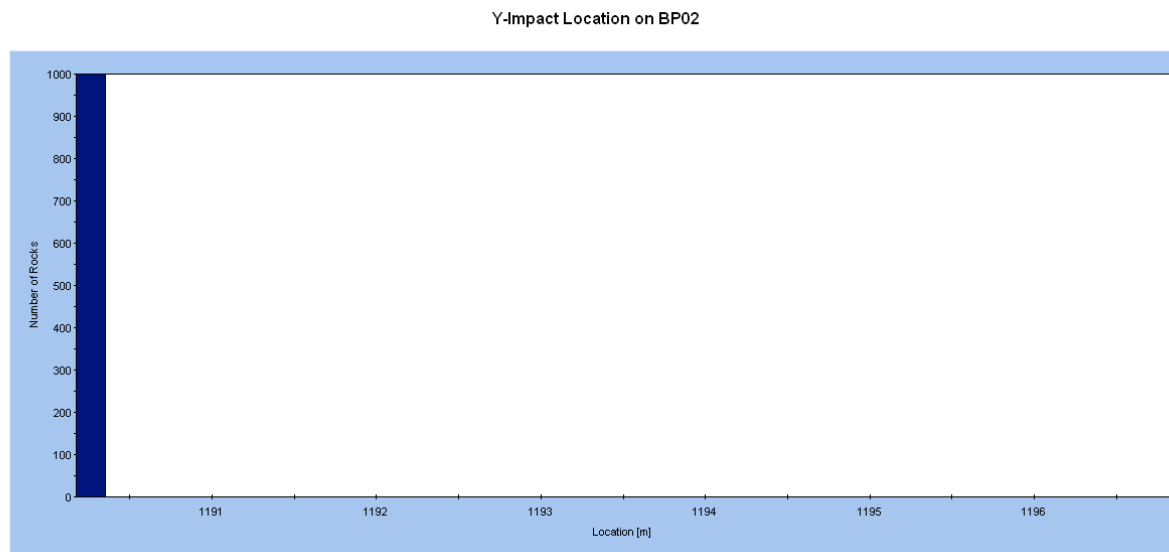


Realizzazione opere di difesa passiva a monte dell'abitato in località Misoi (Aggravamento Scheda Rasda n.21613) OCDPC 558/2018 - Piano interventi 2021 - Intervento n. LN145-2021-558/2018-BG-003. CUP H65H18000500001.

Istogramma velocità traslazionali in corrispondenza della barriera BP02



Istogramma quote di impatto in corrispondenza della barriera BP02



Realizzazione opere di difesa passiva a monte dell'abitato in località Misoi (Aggravamento Scheda Rasda n.21613) OCDPC 558/2018 - Piano interventi 2021 - Intervento n. LN145-2021-558/2018-BG-003. CUP H65H18000500001.

Profilo P17 / Barriera BP02

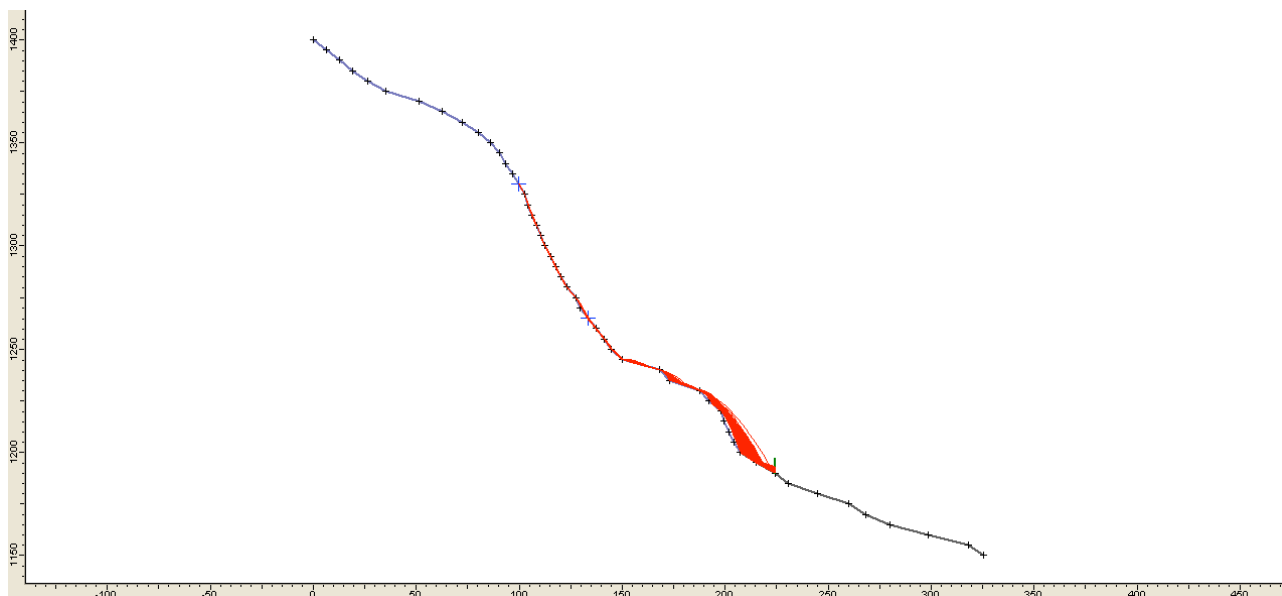
Profilo	Condizione di moto iniziale	Tipologia moto e posizione lungo la traiettoria ⁽¹⁾		
		da 0 a 1/3 della traiettoria	da 1/3 a 2/3 della traiettoria	da 2/3 alla fine della traiettoria
P17	Velocità traslazionale iniziale $v_x = 0,50 \pm 0,01 \text{ m/s}$ $v_z = 0,0 \pm 0,01 \text{ m/s}$ Velocità rotazionale iniziale $\omega = 0,0 \pm 0,01 \text{ rad/s}$	T → R	R → RS	RS

Profilo	Condizione di moto iniziale	Caratteristiche di moto in corrispondenza del punto di analisi quota 1190 m slm	
		velocità traslazionale [m/s] (valore al 95% del frattile)	quota di impatto [m] (valore al 95% del frattile)
P17	Velocità traslazionale iniziale $v_x = 0,50 \pm 0,01 \text{ m/s}$ $v_z = 0,0 \pm 0,01 \text{ m/s}$ Velocità rotazionale iniziale $\omega = 0,0 \pm 0,01 \text{ rad/s}$	barriera BP02 19,9	barriera BP02 1192,5

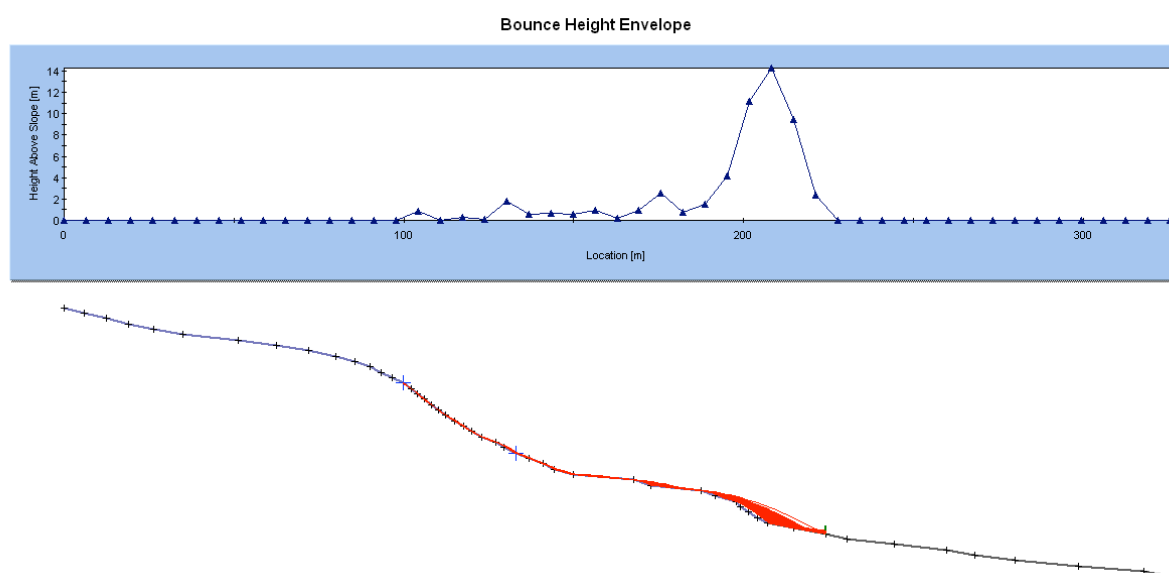
- (1) T → traslazione
 R → rotazione
 RT → roto-traslazione
 RS → roto-saltazione

Realizzazione opere di difesa passiva a monte dell'abitato in località Misoi (Aggravamento Scheda Rasda n.21613) OCDPC 558/2018 - Piano interventi 2021 - Intervento n. LN145-2021-558/2018-BG-003. CUP H65H18000500001.

Inviluppo traiettorie

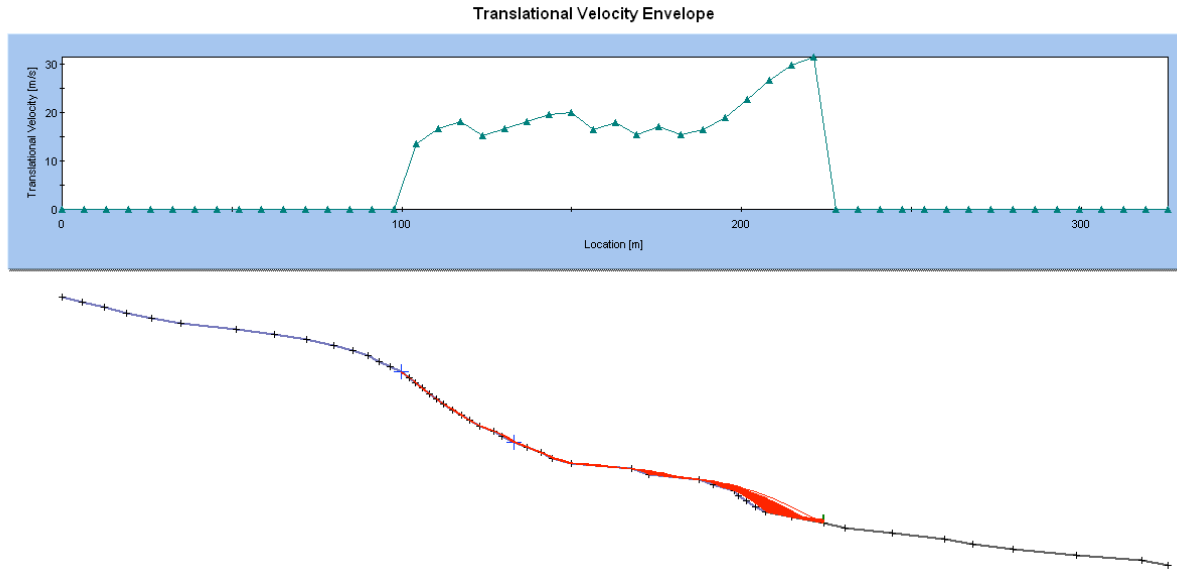


Inviluppo altezze

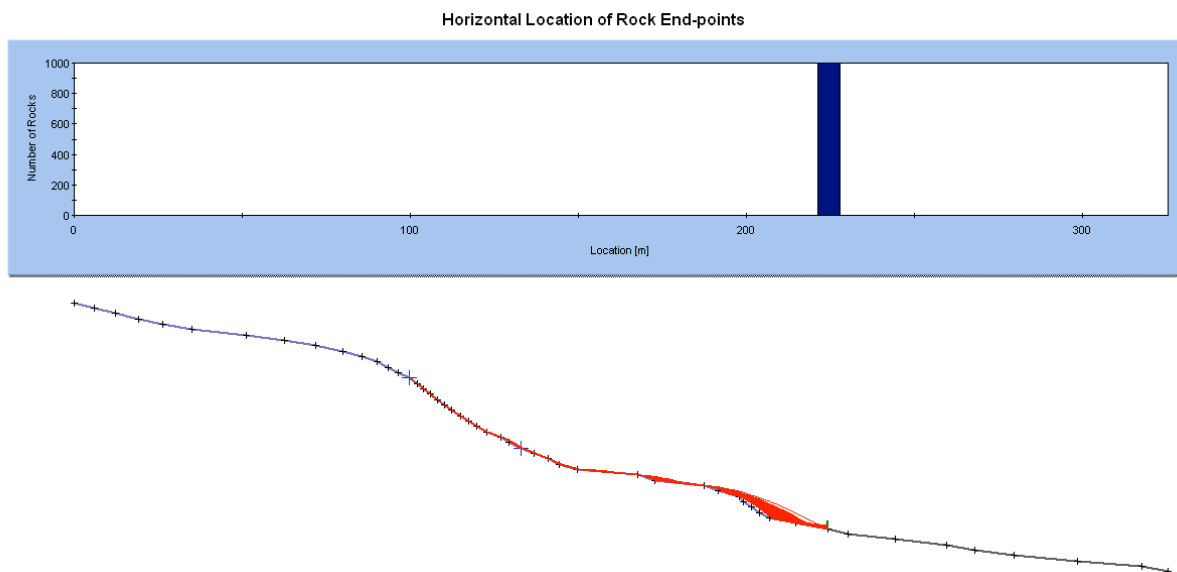


Realizzazione opere di difesa passiva a monte dell'abitato in località Misoi (Aggravamento Scheda Rasda n.21613) OCDPC 558/2018 - Piano interventi 2021 - Intervento n. LN145-2021-558/2018-BG-003. CUP H65H18000500001.

Inviluppo velocità traslazionale

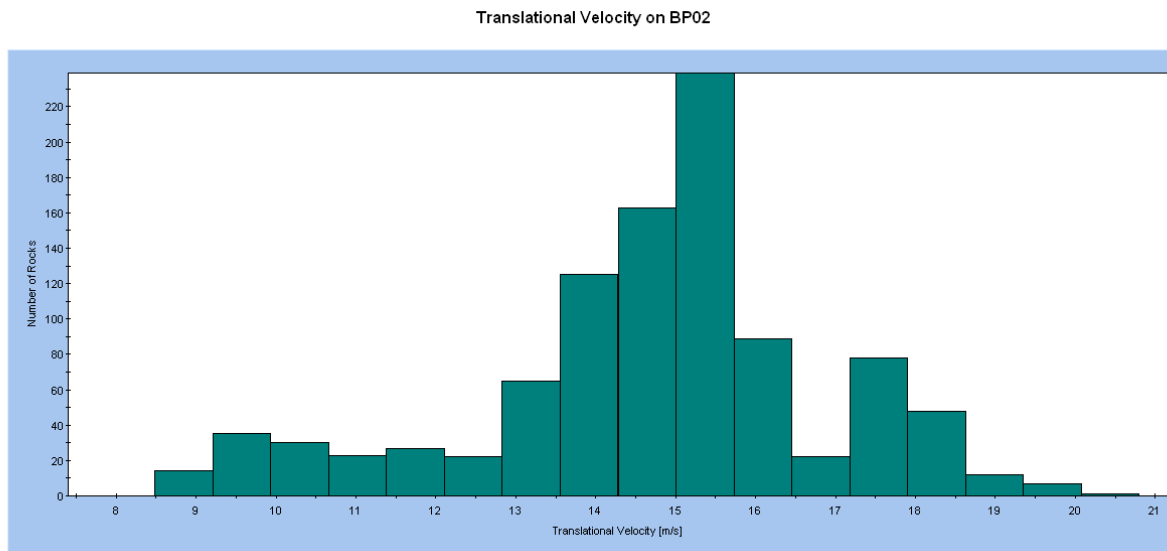


Inviluppo punti di arresto

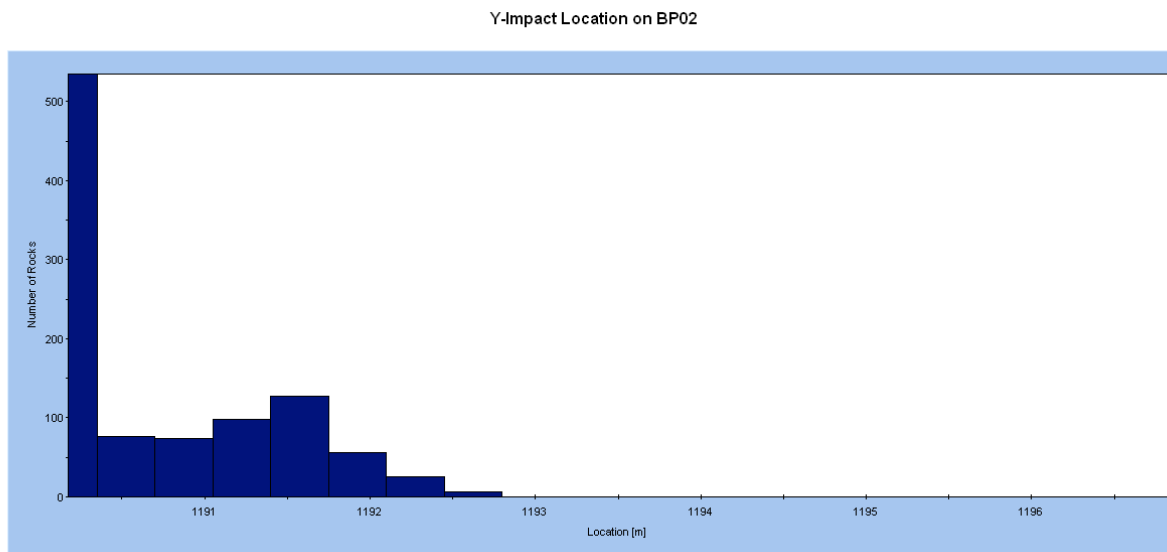


Realizzazione opere di difesa passiva a monte dell'abitato in località Misoi (Aggravamento Scheda Rasda n.21613) OCDPC 558/2018 - Piano interventi 2021 - Intervento n. LN145-2021-558/2018-BG-003. CUP H65H18000500001.

Istogramma velocità traslazionali in corrispondenza della barriera BP02



Istogramma quote di impatto in corrispondenza della barriera BP02



Realizzazione opere di difesa passiva a monte dell'abitato in località Misoi (Aggravamento Scheda Rasda n.21613) OCDPC 558/2018 - Piano interventi 2021 - Intervento n. LN145-2021-558/2018-BG-003. CUP H65H18000500001.

3- VERIFICHE ENERGETICA E DIMENSIONALE

3.1- Barriera classe VIII / 5000 kJ - Profilo P09 P10 P11

3.1.a- Verifica Energetica

m_d = massa del blocco di progetto = $(Vol_b \cdot \gamma) \cdot \gamma_{VolF1} \cdot \gamma_\psi$ = come da tabella 1.a

$Vol_b \rightarrow$ volume del blocco di progetto massimo = come da tabella 1.a

$\gamma \rightarrow$ densità della roccia = 2600 kg/m³

$\gamma_{VolF1} \rightarrow$ coefficiente di sicurezza – qualità del rilievo geomeccanico / dimensione = 1,02

$\gamma_\psi \rightarrow$ coefficiente di sicurezza – qualità del rilievo geomeccanico / massa = 1,00

v_d = velocità traslazionale di design = $v_t \cdot \gamma_{Dp} \cdot \gamma_{tr}$ = come da tabella 2.a

$v_t \rightarrow$ velocità traslazionale di impatto al frattile del 95% = come da tabella 2.a

$\gamma_{Dp} \rightarrow$ coefficiente di sicurezza – qualità della topografia = 1,10

$\gamma_{Tr} \rightarrow$ coefficiente di sicurezza – qualità della simulazione = 1,10

E_{Sd} = energia di impatto massima sulla barriera = $\frac{M_{Ed} \cdot v_{Ed}^2}{2}$ = come da tabella 3.a

$E_{barriera} / \gamma_E$ = energia resistente di progetto = $\frac{E_{MEL}}{\gamma_E} = 4167$ kJ

$E_{MEL} \rightarrow$ Energia resistente al livello MEL della barriera paramassi pari a 5000 kJ

$\gamma_E \rightarrow$ coefficiente di sicurezza – resistenza della barriera = 1,20

Tabella 1.a - Massa sollecitante

profilo	volume del blocco di progetto Vol_b [m ³]	densità della roccia γ [kg/m ³]	massa del blocco di progetto m_d [kg]
P09	2,0	2600	5304
P10	2,0	2600	5304
P11	8,3	2600	22012

Tabella 2.a - Velocità e energia sollecitante

profilo	velocità traslazionale al frattile del 95% v_t [m/s]	velocità traslazionale di design v_d [m/s]	energia di design E_{Sd} [kJ]
P09	19,1	23,11	1416
P10	12,5	15,13	607
P11	13,5	16,34	2939

Tabella 3.a - Energia sollecitante e energia resistente

profilo	energia di design E_{Sd} [kJ]	energia resistente $E_{barriera} / \gamma_E$ [kJ]	$C_s = (E_{barriera} / \gamma_E) / E_{Sd}$
P09	1416	4167	2,943
P10	607	4167	6,865
P11	2939	4167	1,419

Come si vede dalla tabella 3.a, il valore dell'energia sollecitante di design è minore dell'energia resistente e quindi la disuguaglianza $E_{Ed} < E_{Rd}$ è sempre soddisfatta, di conseguenza per i blocchi rocciosi di volume come da tabella 1.a, la barriera è in grado di arrestare i blocchi mantenendo un coefficiente di sicurezza rispetto al limite di servizio MEL certificato durante la prova di certificazione.

Realizzazione opere di difesa passiva a monte dell'abitato in località Misoi (Aggravamento Scheda Rasda n.21613) OCDPC 558/2018 - Piano interventi 2021 - Intervento n. LN145-2021-558/2018-BG-003. CUP H65H18000500001.

3.1.b- Verifica Geometrica – Altezza di intercettazione

$h_d = h_t \cdot \gamma_F$ = come da tabella 2.b

h_d → altezza di intercettazione di progetto = come da tabella 2.b

h_t → altezza verticale di impatto massima = come da tabella 2.b

α → inclinazione pendio = come da tabella 2.b

γ_F → $\gamma_{Tr} \cdot \gamma_{Dp} = 1,10 \times 1,10 = 1,21$

r_{eq} → raggio equivalente del blocco di progetto = $\sqrt[3]{\frac{3 \cdot V}{4\pi}}$ = come da tabella 1.b

$Vol_b \cdot \gamma_{VolF1}$ → volume della sfera equivalente al volume del blocco unitario = come da tabella 1.b

Vol_b → volume del blocco di progetto massimo = come da tabella 1.b

γ_{VolF1} → coefficiente di sicurezza – qualità del rilievo geomeccanico / dimensione = 1,02

$h_{tot} - f_{min}$ = come da tabella 3.b

h_{tot} → altezza nominale della barriera classe VIII / 5000 kJ da crash test = 6,0 m

f_{min} → franco minimo superiore = poiché r_{eq} (come da tabella 1.b) > 0,50 m si adotta r_{eq}

Tabella 1.b – Raggio equivalente blocco di design

profilo	volume del blocco di progetto $Vol_b [m^3]$	volume del blocco di design $Vol_b \cdot \gamma_{VolF1} [m^3]$	raggio equivalente del blocco di design $r_{eq} [m]$
P09	2,0	2,04	0,79
P10	2,0	2,04	0,79
P11	8,3	8,47	1,26

Tabella 2.b - Altezza di impatto

profilo	altezza d'impatto al frattile del 95% $h_t [m]$	altezza di intercettazione di progetto $h_d [m]$
P09	$1188,7 - 1188,0 = 0,7 \rightarrow h_t < 2 r_{eq}$ si adotta $2 r_{eq}$	1,91
P10	$1188,2 - 1188,0 = 0,2 \rightarrow h_t < 2 r_{eq}$ si adotta $2 r_{eq}$	1,91
P11	$1188,2 - 1188,0 = 0,2 \rightarrow h_t < 2 r_{eq}$ si adotta $2 r_{eq}$	3,05

Tabella 3.b - Altezza di intercettazione di progetto e altezza di intercettazione netta

profilo	altezza di intercettazione di progetto $h_d [m]$	altezza di intercettazione netta della barriera $h_{tot} - f_{min} [m]$	$Cs = (h_{tot} - f_{min}) / h_d$
P09	1,91	5,21	2,728
P10	1,91	5,21	2,728
P11	3,05	4,47	1,466

Come si vede dalla tabella 3.b, il valore dell'altezza di intercettazione di progetto, è sempre minore dell'altezza netta di intercettazione della barriera e quindi la disuguaglianza $h_d < h_{tot} - f_{min}$ è sempre soddisfatta, di conseguenza per i blocchi rocciosi di volume riportati in tabella 1.a, la barriera è in grado di arrestare i blocchi mantenendo un coefficiente di sicurezza rispetto all'altezza nominale certificata durante la prova di certificazione.

Realizzazione opere di difesa passiva a monte dell'abitato in località Misoi (Aggravamento Scheda Rasda n.21613) OCDPC 558/2018 - Piano interventi 2021 - Intervento n. LN145-2021-558/2018-BG-003. CUP H65H18000500001.

3.1.c- Verifica deformata massima

$d_{barriera}$ = distanza minima lungo il profilo fra la barriera e l'opera da proteggere = come da tabella 1.c

$d_{barriera}$ → distanza minima fra la barriera e l'abitato

$d_A \cdot \gamma_D$ = come da tabella 1.c

d_A → deformata massima barriera da crash test = 10,0 m

γ_D → coefficiente di sicurezza – deformata della barriera = 1,30

Tabella 1.c - Distanza minima fra la barriera e l'opera da proteggere

profilo	distanza minima lungo il pendio fra la barriera e l'opera da proteggere $d_{barriera}$ [m]	deformata di design $d_A \cdot \gamma_D$ [m]	$C_s = d_{barriera} / (d_A \cdot \gamma_D)$
P09	28,5	13,0	2,192
P10	28,5	13,0	2,192
P11	24,9	13,0	1,915

Come si vede dalla tabella 1.c, il valore della distanza minima fra la barriera e l'opera da proteggere è sempre maggiore dell'elongazione della barriera al livello energetico MEL maggiorata e quindi la disuguaglianza $d_{barriera} > d_A \cdot \gamma_D$ è sempre soddisfatta, di conseguenza per i blocchi rocciosi di volume pari a quello indicato in tabella 1.a per il profilo P09, P10 e P11, la barriera è in grado di arrestare i blocchi mantenendo un coefficiente di sicurezza minimo rispetto alla deformata massima da test.

Realizzazione opere di difesa passiva a monte dell'abitato in località Misoi (Aggravamento Scheda Rasda n.21613) OCDPC 558/2018 - Piano interventi 2021 - Intervento n. LN145-2021-558/2018-BG-003. CUP H65H18000500001.

3.2- Barriera classe VIII / 8450 kJ - Profilo P12 P17

3.2.a- Verifica Energetica

m_d = massa del blocco di progetto = $(Vol_b \cdot \gamma) \cdot \gamma_{VolF1} \cdot \gamma_\psi$ = come da tabella 1.a

$Vol_b \rightarrow$ volume del blocco di progetto massimo = come da tabella 1.a

$\gamma \rightarrow$ densità della roccia = 2600 kg/m³

$\gamma_{VolF1} \rightarrow$ coefficiente di sicurezza – qualità del rilievo geomeccanico / dimensione = 1,02

$\gamma_\psi \rightarrow$ coefficiente di sicurezza – qualità del rilievo geomeccanico / massa = 1,00

v_d = velocità traslazionale di design = $v_t \cdot \gamma_{Dp} \cdot \gamma_{Tr}$ = come da tabella 2.a

$v_t \rightarrow$ velocità traslazionale di impatto al frattile del 95% = come da tabella 2.a

$\gamma_{Dp} \rightarrow$ coefficiente di sicurezza – qualità della topografia = 1,10

$\gamma_{Tr} \rightarrow$ coefficiente di sicurezza – qualità della simulazione = 1,10

E_{Sd} = energia di impatto massima sulla barriera = $\frac{M_{Ed} \cdot v_{Ed}^2}{2}$ = come da tabella 3.a

$E_{barriera} / \gamma_E$ = energia resistente di progetto = $\frac{E_{MEL}}{\gamma_E} = 7042$ kJ

$E_{MEL} \rightarrow$ Energia resistente al livello MEL della barriera paramassi pari a 8450 kJ

$\gamma_E \rightarrow$ coefficiente di sicurezza – resistenza della barriera = 1,20

Tabella 1.a - Massa sollecitante

profilo	volume del blocco di progetto Vol_b [m ³]	densità della roccia γ [kg/m ³]	massa del blocco di progetto m_d [kg]
P12	8,3	2600	22012
P17	8,3	2600	22012

Tabella 2.a - Velocità e energia sollecitante

profilo	velocità traslazionale al frattile del 95% v_t [m/s]	velocità traslazionale di design v_d [m/s]	energia di design E_{Sd} [kJ]
P12	19,5	23,60	6130
P17	19,9	24,08	6382

Tabella 3.a - Energia sollecitante e energia resistente

profilo	energia di design E_{Sd} [kJ]	energia resistente $E_{barriera} / \gamma_E$ [kJ]	$C_s = (E_{barriera} / \gamma_E) / E_{Sd}$
P12	6130	7042	1,149
P17	6382	7042	1,103

Come si vede dalla tabella 3.a, il valore dell'energia sollecitante di design è minore dell'energia resistente e quindi la disuguaglianza $E_{Ed} < E_{Rd}$ è sempre soddisfatta, di conseguenza per i blocchi rocciosi di volume come da tabella 1.a, la barriera è in grado di arrestare i blocchi mantenendo un coefficiente di sicurezza rispetto al limite di servizio MEL certificato durante la prova di certificazione.

Realizzazione opere di difesa passiva a monte dell'abitato in località Misoi (Aggravamento Scheda Rasda n.21613) OCDPC 558/2018 - Piano interventi 2021 - Intervento n. LN145-2021-558/2018-BG-003. CUP H65H18000500001.

3.2.b- Verifica Geometrica – Altezza di intercettazione

$h_d = h_t \cdot \gamma_F$ = come da tabella 2.b

h_d → altezza di intercettazione di progetto = come da tabella 2.b

h_t → altezza verticale di impatto massima = come da tabella 2.b

α → inclinazione pendio = come da tabella 2.b

γ_F → $\gamma_{Tr} \cdot \gamma_{Dp} = 1,10 \times 1,10 = 1,21$

r_{eq} → raggio equivalente del blocco di progetto = $\sqrt[3]{\frac{3 \cdot V}{4\pi}}$ = come da tabella 1.b

$Vol_b \cdot \gamma_{VolF1}$ → volume della sfera equivalente al volume del blocco unitario = come da tabella 1.b

Vol_b → volume del blocco di progetto massimo = come da tabella 1.b

γ_{VolF1} → coefficiente di sicurezza – qualità del rilievo geomeccanico / dimensione = 1,02

$h_{tot} - f_{min}$ = come da tabella 3.b

h_{tot} → altezza nominale della barriera classe VIII / 8450 kJ da crash test = 7,0 m

f_{min} → franco minimo superiore = poiché r_{eq} (come da tabella 1.b) > 0,50 m si adotta r_{eq}

Tabella 1.b – Raggio equivalente blocco di design

profilo	volume del blocco di progetto $Vol_b [m^3]$	volume del blocco di design $Vol_b \cdot \gamma_{VolF1} [m^3]$	raggio equivalente del blocco di design $r_{eq} [m]$
P12	8,3	8,47	1,26
P17	8,3	8,47	1,26

Tabella 2.b - Altezza di impatto

profilo	altezza d'impatto al frattile del 95% $h_t [m]$	altezza di intercettazione di progetto $h_d [m]$
P12	$1190,1 - 1190,0 = 0,1 \rightarrow h_t < 2 r_{eq}$ si adotta $2 r_{eq}$	3,05
P17	$1192,5 - 1190,0 = 2,5 \rightarrow h_t < 2 r_{eq}$ si adotta $2 r_{eq}$	3,05

Tabella 3.b - Altezza di intercettazione di progetto e altezza di intercettazione netta

profilo	altezza di intercettazione di progetto $h_d [m]$	altezza di intercettazione netta della barriera $h_{tot} - f_{min} [m]$	$Cs = (h_{tot} - f_{min}) / h_d$
P12	3,05	5,74	1,882
P17	3,05	5,74	1,882

Come si vede dalla tabella 3.b, il valore dell'altezza di intercettazione di progetto, è sempre minore dell'altezza netta di intercettazione della barriera e quindi la disuguaglianza $h_d < h_{tot} - f_{min}$ è sempre soddisfatta, di conseguenza per i blocchi rocciosi di volume riportati in tabella 1.a, la barriera è in grado di arrestare i blocchi mantenendo un coefficiente di sicurezza rispetto all'altezza nominale certificata durante la prova di certificazione.

Realizzazione opere di difesa passiva a monte dell'abitato in località Misoi (Aggravamento Scheda Rasda n.21613) OCDPC 558/2018 - Piano interventi 2021 - Intervento n. LN145-2021-558/2018-BG-003. CUP H65H18000500001.

3.2.c- Verifica deformata massima

$d_{barriera}$ = distanza minima lungo il profilo fra la barriera e l'opera da proteggere = come da tabella 1.c

$d_{barriera}$ → distanza minima fra la barriera e l'abitato

$d_A \cdot \gamma_D$ = come da tabella 1.c

d_A → deformata massima barriera da crash test = 10,0 m

γ_D → coefficiente di sicurezza – deformata della barriera = 1,30

Tabella 1.c - Distanza minima fra la barriera e l'opera da proteggere

profilo	distanza minima lungo il pendio fra la barriera e l'opera da proteggere $d_{barriera}$ [m]	deformata di design $d_A \cdot \gamma_D$ [m]	$C_s = d_{barriera} / (d_A \cdot \gamma_D)$
P12	32,2	13,0	2,477
P17	24,2	13,0	1,862

Come si vede dalla tabella 1.c, il valore della distanza minima fra la barriera e l'opera da proteggere è sempre maggiore dell'elongazione della barriera al livello energetico MEL maggiorata e quindi la diseuguaglianza $d_{barriera} > d_A \cdot \gamma_D$ è sempre soddisfatta, di conseguenza per i blocchi rocciosi di volume pari a quello indicato in tabella 1.a per il profilo P12 e P17, la barriera è in grado di arrestare i blocchi mantenendo un coefficiente di sicurezza minimo rispetto alla deformata massima da test.