

PROVINCIA DI SAVONA
COMUNE DI STELLA

Strada Località Mezzano
Realizzazione barriera permanente paramassi

Relazione geotecnica e di calcolo

COMMITTENTE

COMUNE DI STELLA
Località Rovieto Superiore 3
17044 Stella (SV)

PROGETTO



Dott. Ing. Marco GOSO
Ordine Ingegneri Savona n. 1288

D					ALLEGATO: 03	PAGINE: 29
C						
B						
A						
0	Lug. 2023	Ing. M. Goso		Emissione	FILE: Relazione_calcolo.docx	
REV	DATA	REDAZIONE	VERIFICA	DESCRIZIONE		

COMUNE DI STELLA			
Strada località Mezzano - Realizzazione barriera permanente paramassi	0	Luglio 2023	Emissione
	REV.	DATA	DESCRIZIONE
	RELAZIONE GEOTECNICA - STRUTTURALE		FILE: Rel_geo_strutt.doc
			Pag. 1 di 29

Sommario

1	Premessa	2
2	Normativa e documentazione di riferimento	3
2.1	Normativa	3
2.2	Documenti di riferimento	3
3	Descrizione del sito e caratterizzazione geotecnica.....	4
3.1	Considerazioni sulla dimensione del blocco di progetto	7
3.2	Inquadramento sismico	7
4	Materiali	9
4.1	Acciaio	9
4.1.1	Acciaio barre fondazione	9
4.1.2	Acciaio montanti barriera	9
4.1.3	Acciaio piastre	9
4.2	Funi	9
4.3	Rete a doppia torsione	9
5	Descrizione delle opere in progetto	10
6	Analisi traiettografiche	14
6.1	Metodo Lumped-mass	15
6.2	Risultati analisi traiettografica	16
7	Calcolo energia e altezza di rimbalzo.....	20
8	Verifica fondazioni della barriera paramassi	22
8.1	Criteri di verifica.....	24
8.2	Verifica fondazioni	26
8.2.1	Verifica ancoraggio montanti	26
8.2.2	Verifica ancoraggio fune laterale	28
8.2.3	Verifica ancoraggio fune di monte	28

COMUNE DI STELLA			
Strada località Mezzano - Realizzazione barriera permanente paramassi	0	Luglio 2023	Emissione
	REV.	DATA	DESCRIZIONE
	RELAZIONE GEOTECNICA - STRUTTURALE	FILE: Rel_geo_strutt.doc	Pag. 2 di 29

1 PREMESSA

La presente relazione viene redatta nell'ambito del progetto esecutivo per la realizzazione degli interventi di messa in sicurezza dal rischio crollo degli elementi lapidei posti a monte della carreggiata della strada comunale di Mezzano in frazione San Martino in seguito a un nuovo finanziamento di completamento della tratta interessata dagli eventi meteorologici intensi dell'ottobre 2019, durante il quale si è intervenuti in somma urgenza.

Il presente progetto prevede l'estensione delle opere passive di intercettazione lungo la viabilità comunale. In particolare, è prevista la realizzazione di una rete paramassi classe energetica 750 kJ posta a circa 8 m a monte della viabilità e l'installazione di rete in aderenza formata da rete a doppia torsione vincolata in sommità e al piede da fune perimetrale. Le opere avranno lo scopo di arrestare l'eventuale rotolamento di massi provenienti da monte (barriera paramassi) intercettando la traiettoria e contenendo all'interno del sacco gli elementi lapidei e di evitare la mobilitazione delle pietre più piccole poste a valle dalla paramassi stessa.

Per quanto riguarda le azioni di calcolo, le caratteristiche dei materiali, il calcolo delle sollecitazioni, le verifiche e le modalità costruttive, si è fatto riferimento al DM 17.01.18 e succ. Circolare.

Le unità di misura, salvo diversamente specificato, sono da intendersi kN, kNm e m.

COMUNE DI STELLA			
Strada località Mezzano - Realizzazione barriera permanente paramassi	0	Luglio 2023	Emissione
	REV.	DATA	DESCRIZIONE
	RELAZIONE GEOTECNICA - STRUTTURALE	FILE: Rel_geo_strutt.doc	Pag. 3 di 29

2 **NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO**

2.1 **Normativa**

I dimensionamenti effettuati e le relative verifiche, riportati e non nella presente relazione, vengono eseguiti nel rispetto della Normativa Vigente, con particolare riferimento a:

- D.M. 17 gennaio 2018. Testo Unitario "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" → NTC.
- Circolare 21 gennaio 2019, n. 7. "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018" → CIRC.
- EUROCODICE 7 - Progettazione geotecnica → EC7.
- Norme UNI 11211-4: 2018 "Opere di difesa dalla caduta massi - Parte 4: Progetto definitivo ed esecutivo".

2.2 **Documenti di riferimento**

- Relazione geologica - Geol. Francesco Valle, Luglio 2023;
- Relazioni e tavole strutturali progetto definitivo/esecutivo - Studio Tecnico Goso.

COMUNE DI STELLA			
Strada località Mezzano - Realizzazione barriera permanente paramassi	0	Luglio 2023	Emissione
	REV.	DATA	DESCRIZIONE
	RELAZIONE GEOTECNICA - STRUTTURALE	FILE: Rel_geo_strutt.doc	Pag. 4 di 29

3 DESCRIZIONE DEL SITO E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

In data 22/10/2019, in concomitanza delle intense precipitazioni che hanno interessato il territorio comunale di Stella, lungo la strada comunale Mezzano in frazione S. Martino, nei pressi del civico 4, si è verificato il distacco dal versante posto a monte della carreggiata di un masso di circa 2÷3 mc e conseguente scivolamento dello stesso sulla carreggiata stradale (vedi Figura 1 e Figura 2).

Il versante in questione è caratterizzato da terreno boschivo piuttosto acclive caratterizzato da un substrato roccioso affiorante/subaffiorante con ridotte coperture, caratterizzato dalla presenza di alcuni elementi lapidei, talvolta interrati ed affioranti solo in parte dal suolo, e talvolta di dimensioni ciclopiche, che interessano una fascia di circa 20-30 metri sopra la strada.

In somma urgenza sono stati previsti interventi in prossimità del tornante della strada, il disaggio, la riprofilatura, la realizzazione di un muro in c.a. con sovrastante barriera paraschegge in profilati metallici e rete a doppia torsione.

Con il presente finanziamento, si va a estendere l'area di intervento per circa 50÷60 m a monte del tornante oggetto di intervento in somma urgenza.



Figura 1: masso distaccato lungo la viabilità in loc. Mezzano - 2019

COMUNE DI STELLA			
Strada località Mezzano - Realizzazione barriera permanente paramassi	0	Luglio 2023	Emissione
	REV.	DATA	DESCRIZIONE
	RELAZIONE GEOTECNICA - STRUTTURALE		FILE: Rel_geo_strutt.doc
			Pag. 5 di 29

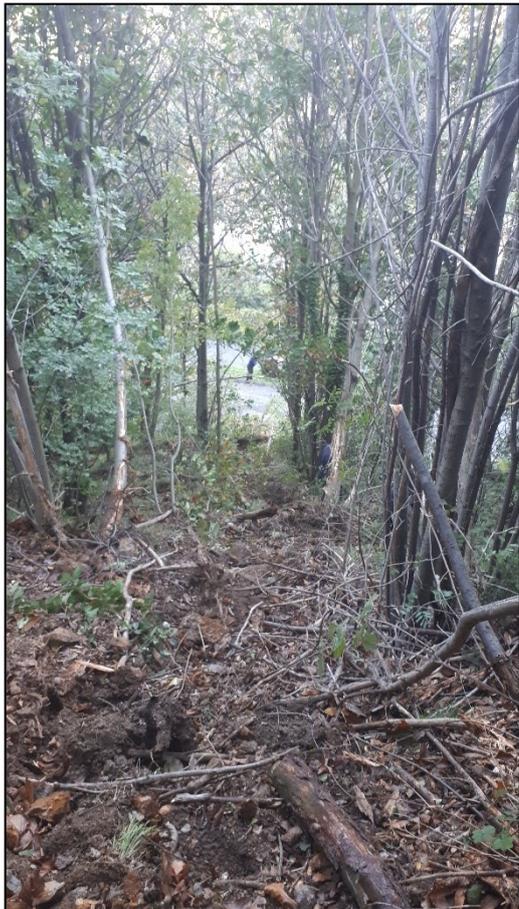


Figura 2: percorso di rotolamento del masso - 2019

L'area in questione si trova grossomodo in prossimità del crinale della dorsale allungata in direzione Nord - Sud su cui si sviluppa il cimitero della frazione San Martino, sulla porzione di versante compresa tra due tratti della strada che conduce in località Mezzano. Si tratta di una zona ormai in parte antropizzata dalla realizzazione di numerosi fabbricati con la relativa viabilità d'accesso e circostanti terreni a giardino sistemati a gradoni e balze di diversa ampiezza sostenute per lo più da muri a secco o in pietra e malta.

Nell'area propriamente d'intervento, il versante, ancora boscato, degrada verso occidente con un'acclività medio elevata. L'area per un tratto di 30 m circa dal punto di raccordo con l'accesso al civ. 4 a salire, è caratterizzato da un substrato roccioso affiorante/subaffiorante da ridotte coperture, con alcuni elementi lapidei, talvolta interrati ed affioranti solo in parte dal suolo che potenzialmente potrebbero essere oggetto di distacchi incontrollati.

Dal punto di vista geologico, l'area è caratterizzata dalla presenza di un substrato roccioso ofiolitico, qui rappresentato da oficalci, brecce di serpentinite, alternate a serpentinoscisti, rocce metamorfiche di colore verde - bluastro variegato (quando fresche) sempre estremamente tettonizzate ed alterate; sono osservabili sul versante e sul taglio stradale, evidenziando un aspetto da massiccio a scistoso e condizioni conservative variabili ma per lo più scadenti, alternando zone dove appaiono in struttura massiccia ad altre, più frequenti, dove invece risultano cataclamate, completamente destrutturate e disgregate, geotecnicamente assimilabili ad una coltre detritica.

Questi litotipi mostrano quindi una tendenza all'alterazione e alla disarticolazione in prismi le cui caratteristiche geometriche sono strettamente legate alle famiglie di discontinuità dell'ammasso roccioso che a loro volta facilitano l'innescarsi di fenomeni di alterazione con la formazione di un cappellaccio che gradualmente passa alla roccia più sana.

Sui tagli stradali poco a meridione sono visibili piani di scivolamento/scistosità a franapoggio, sostanzialmente concordi col profilo del pendio. Il substrato litoide non sarebbe generalmente visibile direttamente nell'area d'intervento, obliterato dalle coperture superficiali. Il sottile livello di coperture, ove presente, è costituito da terreni di fascia e coltri detritico - eluviali a cui possono

COMUNE DI STELLA			
Strada località Mezzano - Realizzazione barriera permanente paramassi	0	Luglio 2023	Emissione
	REV.	DATA	DESCRIZIONE
	RELAZIONE GEOTECNICA - STRUTTURALE		FILE: Rel_geo_strutt.doc
			Pag. 6 di 29

essere frammisti trovanti rocciosi; presentano generalmente uno scheletro di clasti ofiolitici immersi in una matrice sabbioso-limosa di colore bruno scuro e passano al sottostante substrato attraverso un livello di roccia molto alterata e disgregata (cappellaccio d'alterazione). L'andamento e gli spessori della coltre superficiale sono condizionati dall'andamento del substrato roccioso, dalla pendenza del versante e dalla sistemazione antropica del versante che, a seguito della realizzazione di edifici, strade di accesso e di fasce di coltura mediante terrazzamenti, ha chiaramente modificato l'originario andamento della coltre detritica superficiale.

Dal punto di vista idrogeologico, il substrato può essere considerato sostanzialmente impermeabile o debolmente permeabile per fratturazione mentre le sovrastanti coperture sono da considerarsi permeabili per porosità; sono comunque presenti sia una laminazione al contatto coltri/substrato (a carattere stagionale ed in concomitanza di intensi e perduranti eventi meteorici) sia frequenti venute d'acqua in corrispondenza di locali fasce di roccia molto fratturata.

Le condizioni geomorfologiche, idrogeologiche unitamente a quelle meteorologiche degli ultimi fenomeni meteorici hanno condotto al distacco del materiale lapideo dalla scarpata a monte della strada.

Le acque meteoriche in eccesso vengono per lo più raccolte dai vari solchi o sentieri camperecci e dalla rete delle strade presenti per essere convogliate verso i sottostanti ritani, tributari del Riobasco.

Le condizioni geomorfologiche dell'area facilitano il percolamento di acque meteoriche all'interno del terreno. Dal punto di vista idrogeologico, il substrato può essere considerato sostanzialmente impermeabile o debolmente permeabile per fratturazione mentre le sovrastanti coperture sono da considerarsi permeabili per porosità; sono comunque presenti sia una laminazione al contatto coltri/substrato (a carattere stagionale ed in concomitanza di intensi e perduranti eventi meteorici) sia frequenti venute d'acqua in corrispondenza di locali fasce di roccia molto fratturata.



Figura 3: blocco ciclopico lungo la scarpata

COMUNE DI STELLA			
Strada località Mezzano - Realizzazione barriera permanente paramassi	0	Luglio 2023	Emissione
	REV.	DATA	DESCRIZIONE
	RELAZIONE GEOTECNICA - STRUTTURALE		FILE: Rel_geo_strutt.doc
			Pag. 7 di 29

3.1 Considerazioni sulla dimensione del blocco di progetto

Dalle evidenze in sito è stato possibile stimare la dimensione del blocco in funzione della frequenza riscontrata in campo:

- <math> <0,70 \text{ m}^3 </math> – circa il 65%;
- Tra $0,70 \text{ m}^3$ e $1,50 \text{ m}^3$ – circa il 31%;
- >1,50 m³ – circa il 4%.

Viene quindi ipotizzato come rappresentativo, a favore di sicurezza, un masso pari a un volume di 4 m³ con un tempo di ritorno pari a circa 100 anni.

3.2 Inquadramento sismico

La vita nominale delle opere in progetto viene definita con riferimento alla tabella 2.4.I - NTC, in funzione delle caratteristiche della stessa.

Opera	Tipo	V _N
Opere provvisionali	1	10
Opere ordinarie	2	50
Grandi opere	3	100

Nel caso in studio si fa riferimento ad opere di tipo 2, cui corrisponde una vita nominale (V_N) pari a 50 anni.

Le opere in progetto devono inoltre essere classificate in relazione alle conseguenze di una interruzione di funzionalità o collasso in caso di sisma (cfr. tabella 2.4.II - NTC).

Classe d'uso	I	II	III	IV
Coefficiente C_U	0.7	1.0	1.5	2.0

Considerato il tipo di struttura si può assumere a favore di sicurezza la classe d'uso II cui è associato un coefficiente d'uso (C_U) pari a 1,0.

Il periodo di riferimento (V_R) dell'evento sismico viene pertanto definito (cfr. paragrafo 2.4.3 - NTC) come prodotto tra la vita nominale (V_N) ed il coefficiente d'uso (C_U) ottenendo:

$$V_R = C_U \cdot V_N = 1 \cdot 50 = 50 \text{ anni}$$

Da tale parametro di input e applicando le coordinate del sito è possibile ottenere i grafici di risposta dei parametri sismici del Comune di Stella che ricade in zona sismica 4.

Latitudine: 44.388448;

Longitudine: 8.514275.

Di seguito vengono riportati i parametri sismici di base per lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV).

$$a_g/g = 0,052$$

$$F_0 = 2,631$$

$$T_c^* = 0,302 \text{ s}$$

COMUNE DI STELLA			
Strada località Mezzano - Realizzazione barriera permanente paramassi	0	Luglio 2023	Emissione
	REV.	DATA	DESCRIZIONE
	RELAZIONE GEOTECNICA - STRUTTURALE		FILE: Rel_geo_strutt.doc
			Pag. 8 di 29

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	30	0.019	2.587	0.158
Danno (SLD)	50	0.024	2.555	0.186
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.052	2.631	0.302
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.064	2.753	0.324
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Per il progetto in esame, si può ritenere che l'azione sismica non sia quella dimensionante in quanto per le barriere paramassi le massime sollecitazioni sono generate dall'urto del masso sul sistema di rete/cavi (azione eccezionale). Pertanto, le massime azioni sulle fondazioni sono ricavate da test in vera grandezza dal produttore del sistema di ritenuta.

COMUNE DI STELLA			
Strada località Mezzano - Realizzazione barriera permanente paramassi	0	Luglio 2023	Emissione
	REV.	DATA	DESCRIZIONE
RELAZIONE GEOTECNICA - STRUTTURALE		FILE: Rel_geo_strutt.doc	Pag. 9 di 29

4 MATERIALI

I materiali che dovranno essere impiegati per la realizzazione delle opere sono i seguenti.

4.1 Acciaio

4.1.1 Acciaio barre fondazione

Acciaio per armature B450C

Resistenza caratteristica allo snervamento:	$f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$
Resistenza di calcolo:	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 450 / 1,15 = 391 \text{ N/mm}^2$
Modulo elastico:	$E_s = 210.000 \text{ N/mm}^2$

4.1.2 Acciaio montanti barriera

Acciaio per carpenteria metallica S235J

Resistenza caratteristica allo snervamento:	$f_{yk} = 235 \text{ N/mm}^2$
Resistenza di calcolo:	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 235 / 1,05 = 223.81 \text{ N/mm}^2$
Modulo elastico:	$E_s = 210.000 \text{ N/mm}^2$

4.1.3 Acciaio piastre

Acciaio per carpenteria metallica S275J

Resistenza caratteristica allo snervamento:	$f_{yk} = 275 \text{ N/mm}^2$
Resistenza di calcolo:	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 275 / 1,05 = 261.90 \text{ N/mm}^2$
Modulo elastico:	$E_s = 210.000 \text{ N/mm}^2$

4.2 Funi

Funi in acciaio grado 1770 MPa

4.3 Rete a doppia torsione

Rete a doppia torsione con maglia esagonale tipo 8x10 filo 2.70 in accordo alle UNI – EN 10223-3. Filo della rete metallica in acciaio dolce trafilato a freddo con rivestimento in bagno galvanico a caldo in lega eutettica di Zinco-Alluminio (5%) – cerio-lantanio.

Resistenza a trazione: I fili utilizzati per la produzione della rete paramassi e del filo di legatura dovranno avere una resistenza a trazione di 350-550 N/mm² (UNI EN 10223-3 e Linee Guida Consiglio Superiore del LLPP 12/05/06 per la redazione di capitolati per l'impiego di rete metallica a doppia torsione).

COMUNE DI STELLA			
Strada località Mezzano - Realizzazione barriera permanente paramassi	0	Luglio 2023	Emissione
	REV.	DATA	DESCRIZIONE
	RELAZIONE GEOTECNICA - STRUTTURALE	FILE: Rel_geo_strutt.doc	Pag. 10 di 29

5 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

Il progetto prevede l'installazione di opere di difesa dalla caduta massi lungo la viabilità comunale in loc. Mezzano. L'intervento di inserimento di opere passive, ovvero strutture che agiscono successivamente al distacco intervenendo sul masso intercettandolo e/o deviandolo dall'elemento da salvaguardare vede la posa di:

- Rete in aderenza a doppia torsione posta dal piede della barriera paramassi fino al cordolo in c.a. a monte della strada – tale intervento va a bloccare la potenziale movimentazione delle pietre posta subito a valle della paramassi evitando che con il distacco, queste possano raggiungere la sede stradale;
- Barriera paramassi con classe energetica minimo 750 kJ – posta a circa 8÷10 m dal ciglio di monte della strada e posta su due file con sovrapposizione minima di 8 m nella zona di transizione.

Le barriere paramassi vengono testate in vera grandezza in conformità con le normative ETAG (esempio di simulazione riportato in Figura 4) lanciando da un'altezza prefissata un masso di massa nota ottenendo un'energia di impatto pari a quella della certificazione del produttore. Tali opere tendono ad arrestare il grave mediante dissipazione dell'energia per allungamento del "sacco" di rete che si viene a formare tra i montanti mediante un sistema di funi e carrucole.

Relativamente alle opere corticali, è prevista la semplice posa di rete a doppia torsione a valle della paramassi per evitare la possibile movimentazione di blocchi lungo la scarpata. La rete verrà posizionata nelle parti maggiormente acclivi e con presenza di materiale instabile, il cui tracciamento verrà effettuato non appena verrà eseguita la pulizia dell'area.

Infine, in Figura 6 e Figura 7 vengono riportate la planimetria di progetto e la sezione tipologica di intervento.



Figura 4: barriera paramassi – test in vera grandezza



Figura 5: rete in aderenza a doppia torsione

Planimetria

Scala 1:500

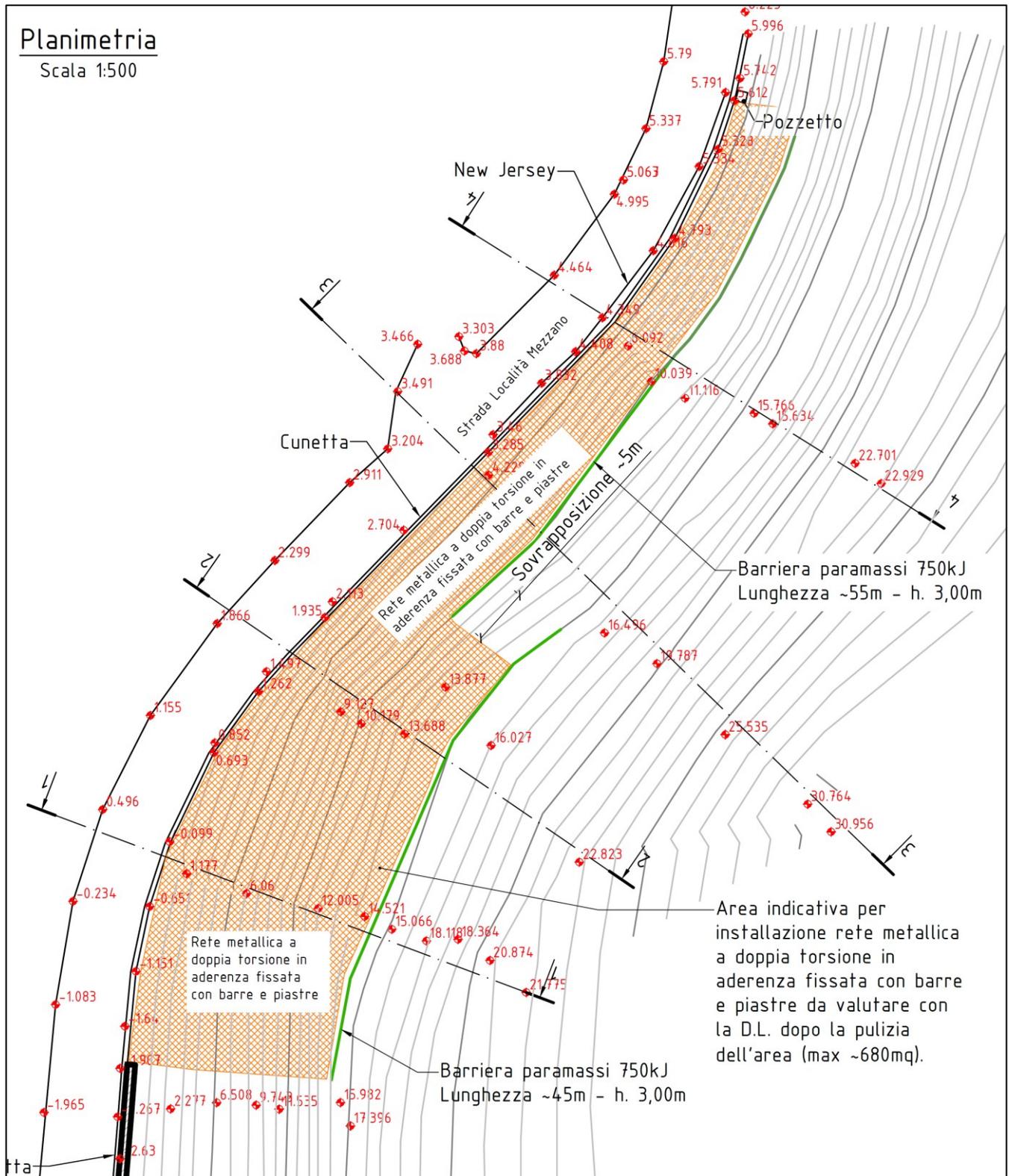


Figura 6: planimetria di intervento

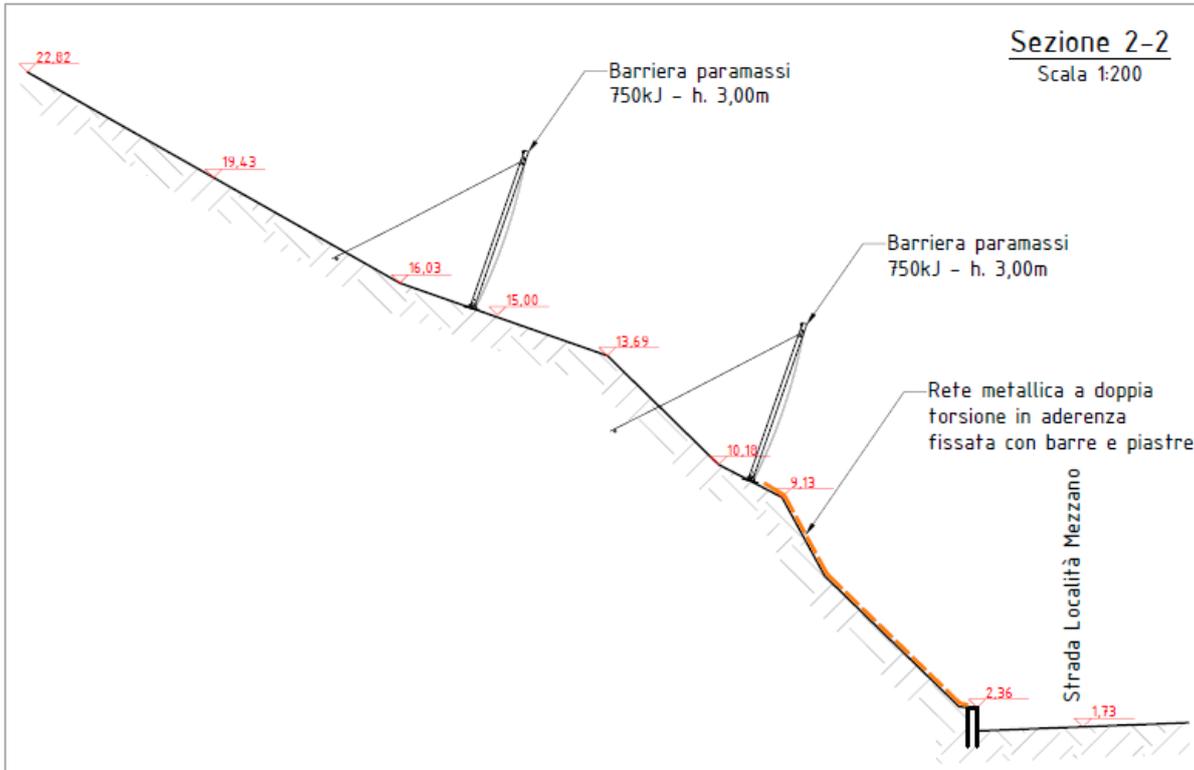


Figura 7: sezione tipologica di intervento

6 ANALISI TRAIETTOGRAFICHE

L'analisi viene condotta lungo la sezione a massima pendenza e ricalcante la porzione di pendio interessata dal distacco avvenuto nell'autunno/inverno 2019. Il rilievo del profilo è stato eseguito mediante tecnica topografica.

Lo sviluppo del pendio in larghezza è pari a circa 80 m mentre in altezza è pari a 50 m. Il modello viene riportato in Figura 8: vengono identificate tre zone a diverso comportamento, la parte alta che coincide con l'area di possibile partenza/transito dei blocchi, la zona centrale di transizione con substrato con copertura vegetale superficiale e la zona della viabilità caratterizzata dalla presenza dell'asfalto. Tali porzioni di versante hanno caratteristiche meccaniche al rimbalzo differenti che vengono successivamente esplicitate.

La zona di inserimento del line seeder (zona di distacco dei massi) è stata posta nella parte alta del pendio analizzato.

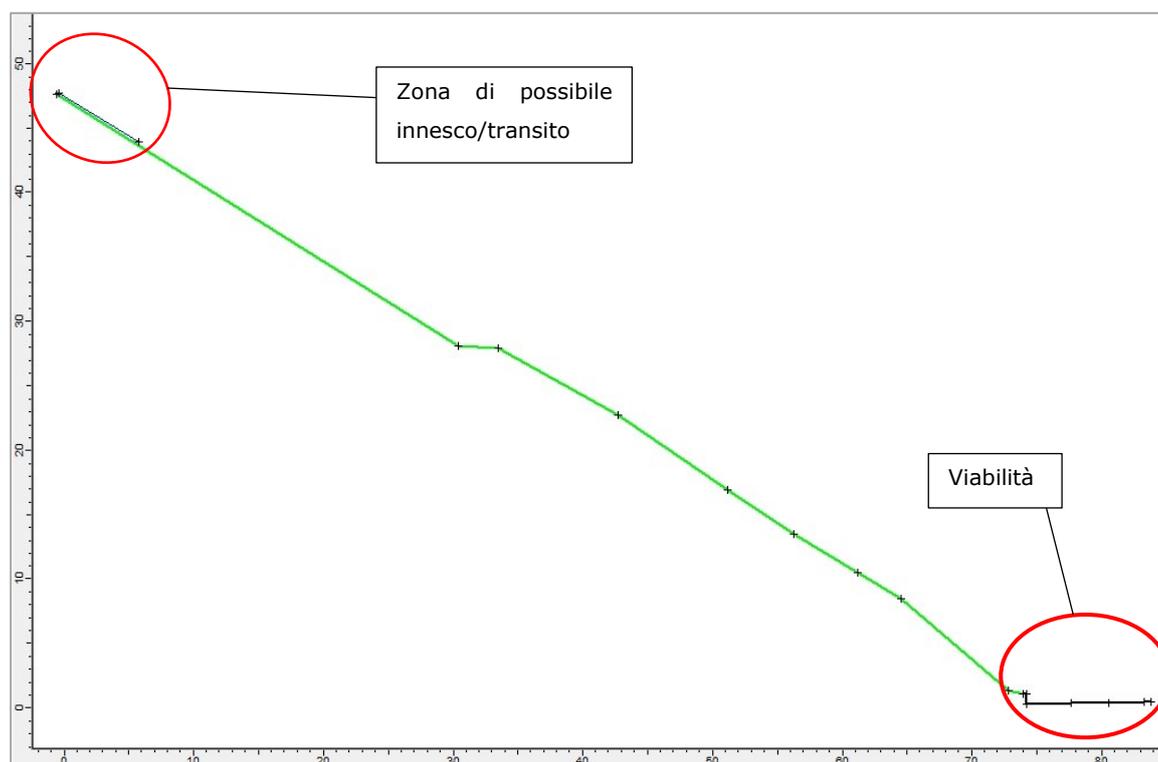


Figura 8: modello pendio

Le ipotesi di calcolo di input per la descrizione del fenomeno di caduta massi sono le seguenti:

- Metodo di calcolo Lumped-Mass;
- Numero di simulazioni – 500 per seeder;
- Metodo di campionamento statistico – Monte Carlo;
- Dimensione del blocco 4 m³ con peso specifico blocco 2600 kg/m³;
- Assenza di frantumazione dei blocchi.

In Tabella 1 vengono riportati i coefficienti per la descrizione del moto del masso per i diversi litotipi individuati.

Tabella 1: coefficienti di restituzione al rimbalzo

Descrizione	$K_{n,mean}$	$K_{t,mean}$	σ^2	ϕ [°]
Terreno con vegetazione	0,35	0,80	0,04	25
Asfalto	0,40	0,90	0,04	25

COMUNE DI STELLA			
Strada località Mezzano - Realizzazione barriera permanente paramassi	0	Luglio 2023	Emissione
	REV.	DATA	DESCRIZIONE
	RELAZIONE GEOTECNICA - STRUTTURALE		FILE: Rel_geo_strutt.doc
			Pag. 15 di 29

dove:

$K_{n,mean}$ coefficiente di restituzione normale;

$K_{t,mean}$ coefficiente di restituzione tangenziale;

σ^2 scarto quadratico distribuzione;

φ angolo di roto-scivolamento.

Per le analisi è stata considerata una velocità di partenza orizzontale pari a 2.50 m/s e una velocità verticale verso l'alto pari a 2 m/s con deviazione standard di 0.02. Il blocco da 4 m³ ha un peso pari a 10.400 kg.

6.1 Metodo Lumped-mass

Le ipotesi del modello Lumped mass sono:

1. schema piano, profilo del pendio assimilabile ad una spezzata costituita da segmenti rettilinei;
2. blocco puntiforme e resistenza dell'aria trascurabile.

In tal caso la traiettoria del blocco può essere determinata utilizzando le equazioni del moto di un grave. Con riferimento ad un sistema di assi cartesiani ortogonali tali equazioni sono:

$$x = v_x t + x_0$$

$$y = - 1/2 \cdot g \cdot t^2 + v_y \cdot t + y_0$$

dove:

v_x = componente orizzontale della velocità del blocco;

v_y = componente verticale della velocità del blocco;

t = tempo;

g = accelerazione di gravità;

x_0 = ascissa del punto in cui blocco si distacca dal pendio o urta nel moto di caduta;

y_0 = ordinata del punto in cui blocco si distacca dal pendio o urta nel moto di caduta.

In tal modo la traiettoria del moto risulta composta da una serie di parabole tracciate fra il punto in cui avviene il distacco ed il punto in cui il blocco urta sul pendio per la prima volta, nella fase iniziale del moto, e fra due successivi punti di impatto sul pendio, o al piede, in seguito, fino al punto finale di arresto.

Le coordinate dei punti d'impatto e le componenti della velocità si determinano risolvendo il sistema fra le equazioni di cui sopra e l'equazione delle rette che rappresentano il profilo del pendio.

In pratica si procede dal punto in cui avviene il distacco del blocco e si risolve tale sistema di equazioni considerando di volta in volta le diverse equazioni delle rette che contengono i successivi segmenti della spezzata fino a trovare le coordinate di un punto, punto di impatto, che appartiene alla parabola che rappresenta la traiettoria e ricade all'interno di uno dei segmenti della spezzata ed è pertanto anche un punto del pendio.

Tale punto rappresenta il primo punto di impatto del blocco sul pendio. Il procedimento viene ripetuto a partire da tale punto per determinare il successivo arco della traiettoria ed un nuovo punto d'impatto.

La perdita di energia cinetica per effetto degli attriti e degli urti può essere modellata riducendo la velocità del blocco in caduta ogni qualvolta questo urta sul pendio.

In particolare, indicando con v_n e v_t le componenti (normali e tangenziali) della velocità prima dell'urto, dopo l'urto v'_n , v'_t possono calcolarsi mediante le relazioni:

$$v'_n = v_n \times K_{n,mean}$$

$$v'_t = v_t \times K_{t_{\text{mean}}}$$

λ_n ed λ_t sono detti coefficienti di restituzione variabili nell'intervallo 0-1.

6.2 Risultati analisi traiettografica

In Figura 9 viene riportate le tracce delle traiettorie percorse dal lancio di 500 massi dalla zona di innesco/passaggio posta a monte. Come si evince, le traiettorie interessano la sede stradale, così come accaduto durante l'evento dell'inverno 2019. In Figura 10 viene riportato l'istogramma che definisce i punti di arresto dei massi, dove la velocità totale è risultata minore di 0,10 m/s. È possibile notare che la maggior parte dei massi (circa 465 su 500) si arresta in corrispondenza della viabilità, mentre solo una minima parte perde energia nella rottura di pendenza a circa metà pendio.

Pertanto, visti i percorsi ottenuti dall'analisi traiettografica, è possibile dedurre che nella maggior parte delle simulazioni, i blocchi raggiungono e/o interessano la sede stradale.

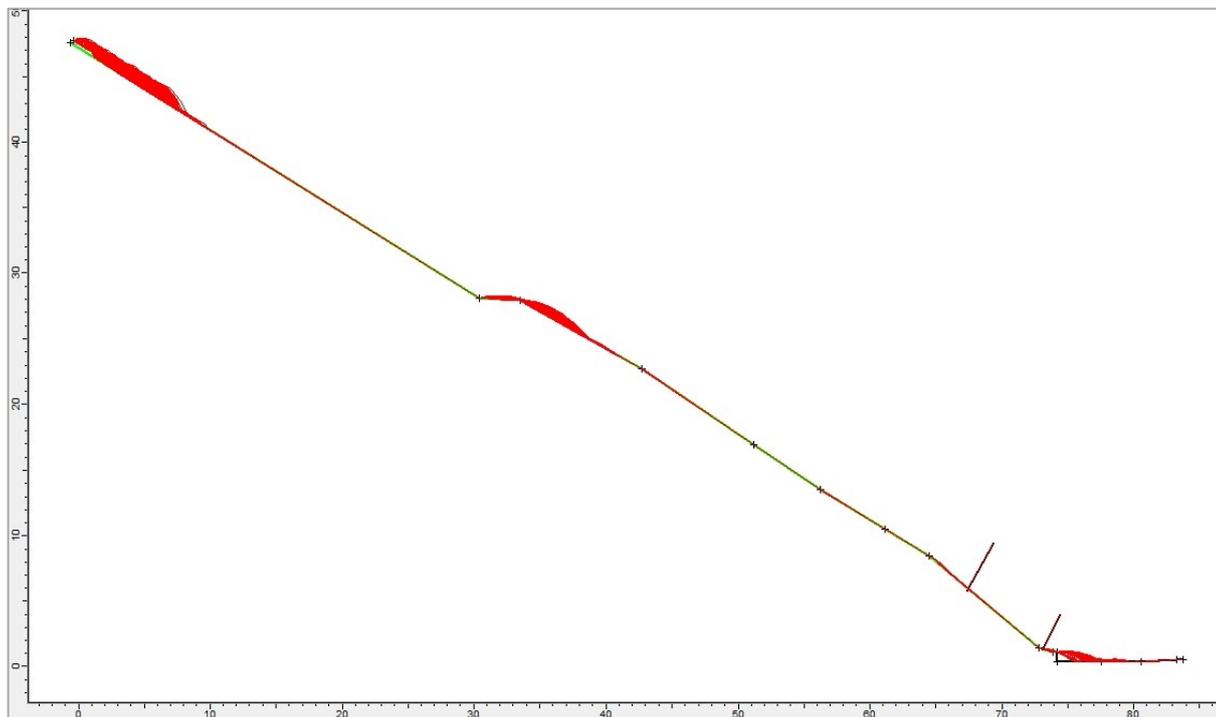


Figura 9: risultato traiettorie

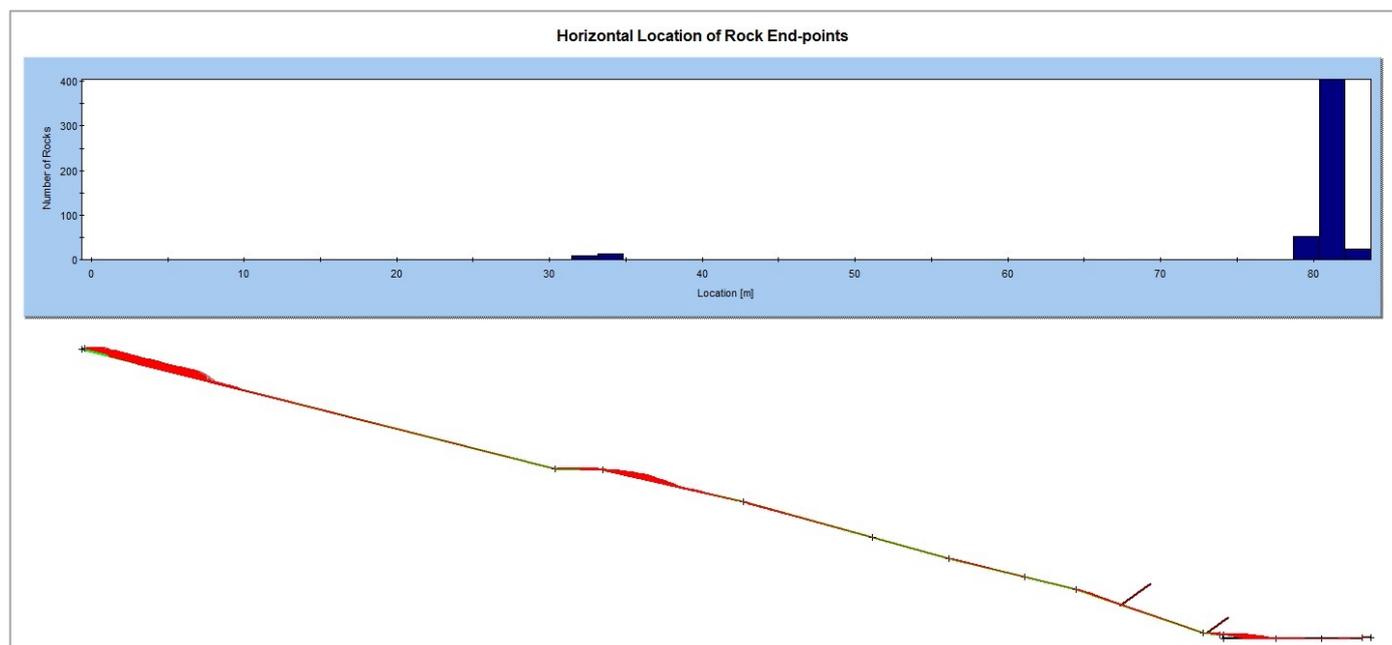


Figura 10: punti di arresto lungo il pendio

In Figura 11, Figura 12 e Figura 13 sono riportati rispettivamente i grafici di involuppo relativi all'altezza di rimbalzo, velocità traslazionale ed energia cinetica totale. Lungo il percorso di caduta del masso, l'altezza non supera il metro da terra nella parte oltre la zona di partenza. Relativamente alla velocità traslazionale, il picco è pari a circa 12 m/s ed è ubicata nella zona della rottura di pendenza. In prossimità della strada, invece, la velocità risulta pari a circa 9 m/s.

L'energia massima raggiunta lungo la discesa è inferiore a 800 kJ, mentre nella zona subito a monte della strada è circa 450 kJ.

Tali valori, opportunamente combinati forniranno la base per la verifica dell'elemento di ritenuta passiva.

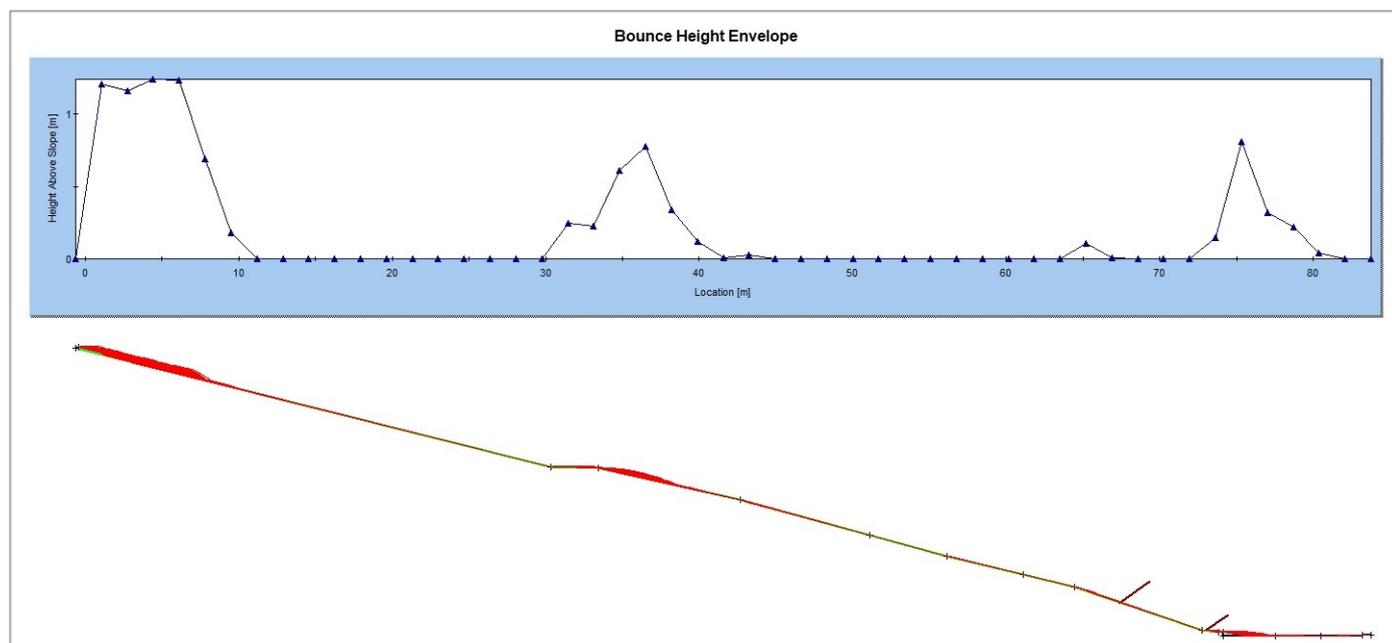


Figura 11: involuppo altezza di rimbalzo

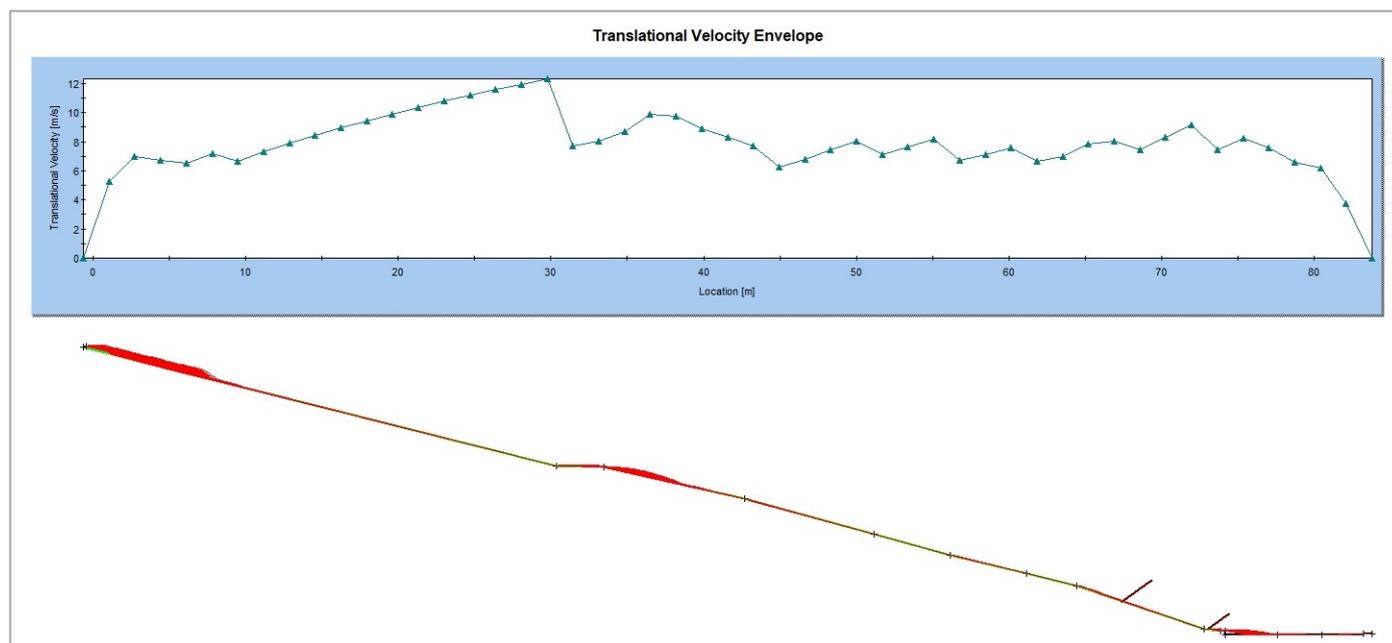


Figura 12: involuipo velocità traslazionale

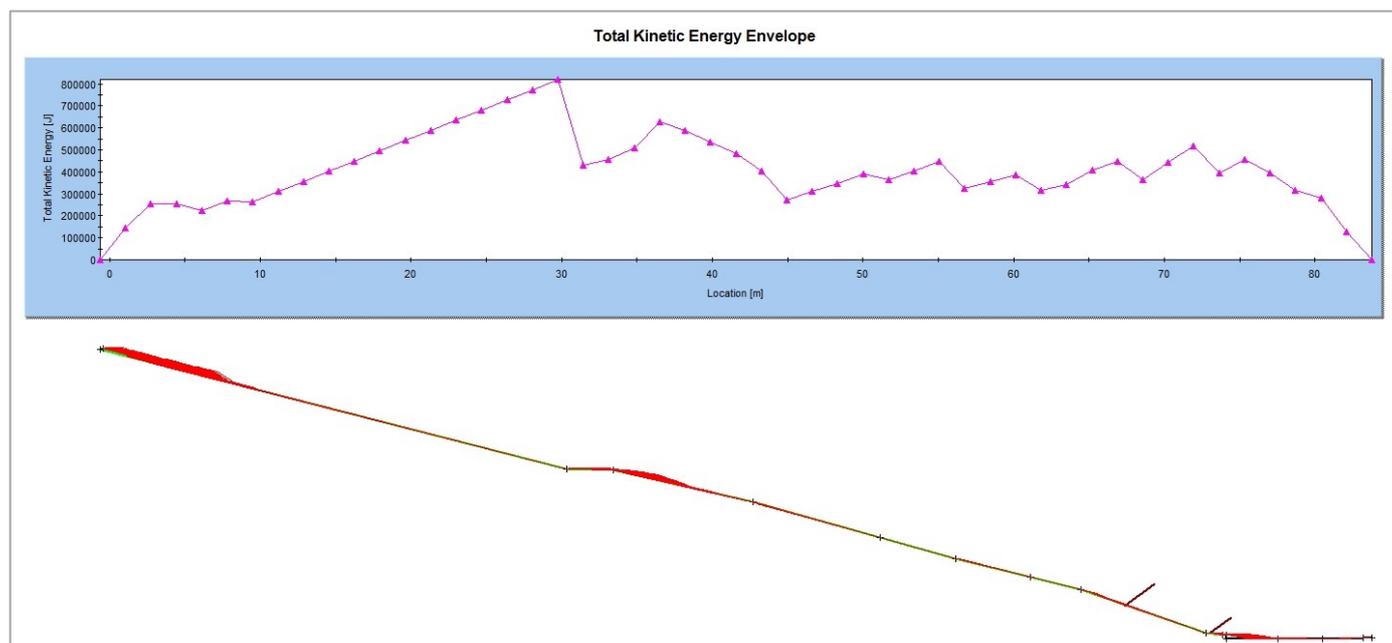


Figura 13: involuipo energia cinetica totale

Per una migliore rappresentazione del fenomeno è stato inserito subito a monte della viabilità un collettore in modo da poter individuare le grandezze fisiche di interesse proprio in corrispondenza della sezione di posizionamento della nuova opera di intercettazione.

In Figura 14 viene riportata la distribuzione delle velocità registrata in corrispondenza della sezione di interesse. Come di evince la velocità con maggior frequenza è pari a circa 5.7 m/s, tuttavia, alcune traiettorie raggiungono velocità prossime a 7 m/s.

In termini energetici la maggior frequenza è rappresentata da un valore minore di 145 kJ con un massimo inferiore a 200 kJ.

COMUNE DI STELLA		0	Luglio 2023	Emissione
Strada località Mezzano - Realizzazione barriera permanente paramassi		REV.	DATA	DESCRIZIONE
RELAZIONE GEOTECNICA - STRUTTURALE		FILE: Rel_geo_strutt.doc		Pag. 19 di 29

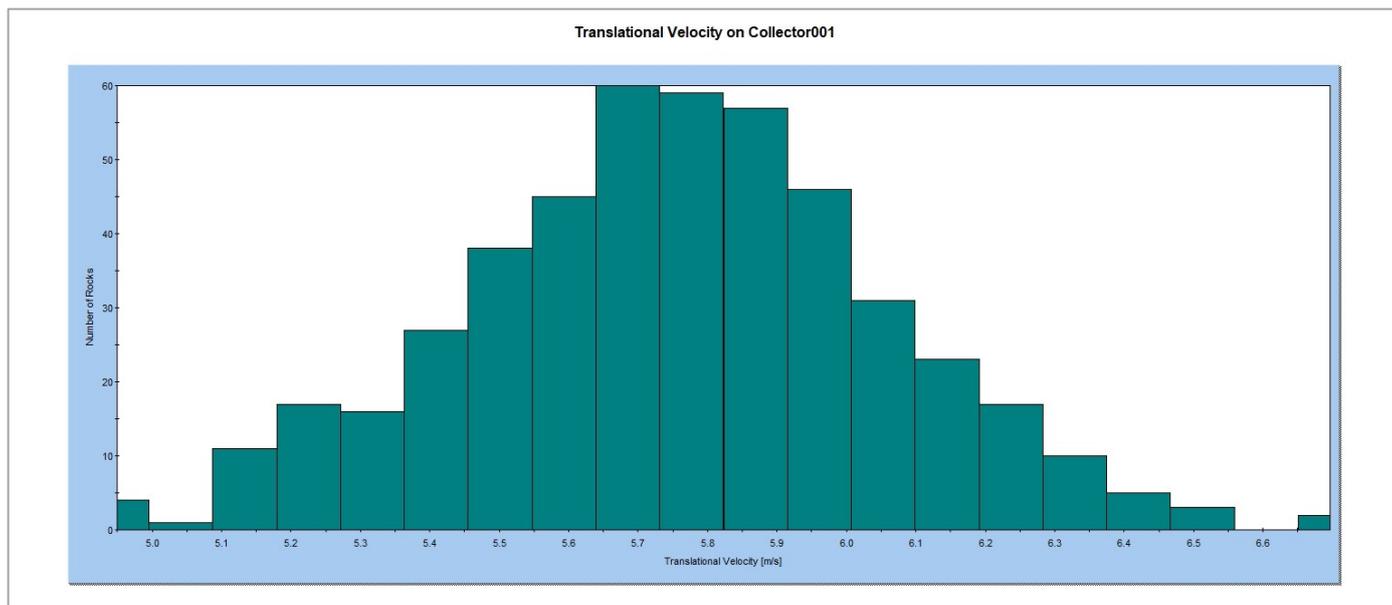


Figura 14: valori di velocità in corrispondenza del punto di indagine

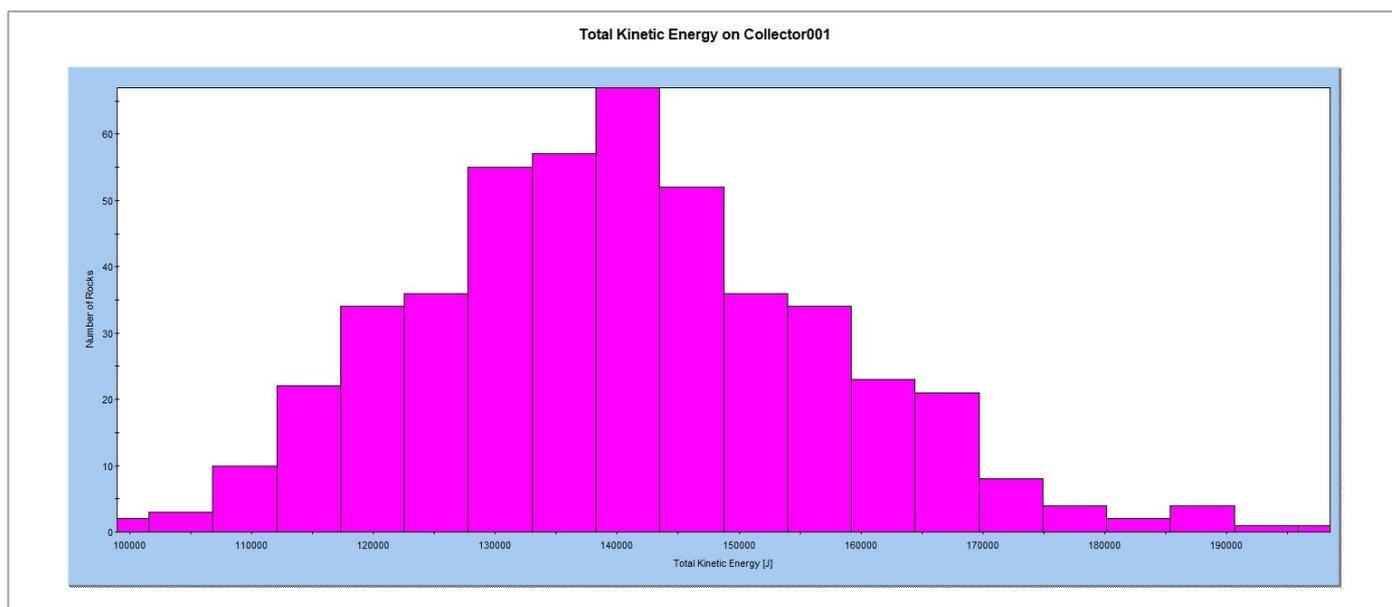


Figura 15: valori di energia cinetica in corrispondenza del punto di indagine

COMUNE DI STELLA			
Strada località Mezzano - Realizzazione barriera permanente paramassi	0	Luglio 2023	Emissione
	REV.	DATA	DESCRIZIONE
	RELAZIONE GEOTECNICA - STRUTTURALE		FILE: Rel_geo_strutt.doc
			Pag. 20 di 29

7 CALCOLO ENERGIA E ALTEZZA DI RIMBALZO

Come indicato nel paragrafo 5.3.1 delle UNI 11211-4, sulla base dei risultati delle analisi traiettografiche, è possibile calcolare l'energia di progetto E_{sd} che corrisponde all'energia posseduta dal blocco in movimento in corrispondenza del punto di impatto con l'opera passiva.

La velocità di progetto dei blocchi (v_d) è definita come la velocità in corrispondenza del punto di impatto con l'opera, corrispondente al frattile del 95% delle velocità calcolate (v_t) nelle analisi delle traiettorie, moltiplicata per il coefficiente di amplificazione (γ_F):

$$v_d = v_t \cdot \gamma_F = v_t \cdot \gamma_{Tr} \cdot \gamma_{Dp}$$

Dove:

v_d velocità progetto blocchi;

v_t velocità calcolate nell'analisi traiettografica;

γ_{Tr} coefficiente di affidabilità di calcolo delle simulazioni:

- 1,02 per simulazioni di caduta basate su coefficienti di restituzione ottenuti da analisi a ritroso;
- 1,10 per simulazioni di caduta basate su coefficienti di restituzione derivati da sole informazioni bibliografiche (valore utilizzato al fine delle presenti verifiche).

γ_{Dp} coefficiente qualità della discretizzazione topografica:

- 1,02 per pendii discretizzati con rilievo topografico di buona precisione in rapporto alle caratteristiche del sito;
- 1,10 per pendii discretizzati con precisione media-bassa (valore utilizzato al fine delle presenti verifiche).

Per il calcolo viene assunto il valore della velocità al 95° percentile nella sezione subito a monte della barriera che risulta pari a 7 m/s.

$$v_d = 7 \cdot 1.10 \cdot 1.10 = 8.47 \frac{m}{s}$$

La massa del blocco di progetto (m_d) è definita come il prodotto del volume del blocco di progetto (V) per la massa per unità di volume della roccia (γ_R), moltiplicato per un

coefficiente di amplificazione:

$$m_d = V \cdot \gamma_R \cdot \gamma_m = V \cdot \gamma_R \cdot \gamma_{Vol} \cdot \gamma_\psi$$

Dove:

m_d massa blocco di progetto;

V volume del blocco;

γ_R massa per unità di volume della roccia;

γ_m coefficiente di amplificazione dato da:

γ_{Vol} coefficiente legato alla valutazione della massa per unità di roccia che generalmente viene assunto pari a 1;

γ_ψ coefficiente legato alla precisione del rilievo del volume del blocco di progetto e vale:

- 1,02 per rilievi accurati della parete (per esempio mediante tecniche fotogrammetriche, topografiche di precisione, rilievi geomeccanici sistematici in parete, misurazione dei blocchi presenti sul detrito alla base delle pareti);
- 1,1 in assenza di rilievi finalizzati al progetto (valore utilizzato al fine delle presenti verifiche).

$$m_d = 4 \cdot 2.6 \cdot 1 \cdot 1.1 = 11.44 \text{ kN}$$

L'energia cinetica del blocco risulta quindi:

$$E = \frac{1}{2} \cdot m_d \cdot v_d^2 = \frac{1}{2} \cdot 11.44 \cdot 8.47^2 = 339 \text{ kJ}$$

La verifica delle opere paramassi passive deve essere condotta tenendo conto della loro destinazione, dell'ubicazione e del livello di rischio. Nel caso di elevato rischio per la vita umana all'energia sollecitante di progetto E_{sd} la Normativa prevede che possa essere applicato un ulteriore coefficiente amplificativo di protezione I variabile da 1 a 1,2 in funzione del grado di rischio valutato.

COMUNE DI STELLA			
Strada località Mezzano - Realizzazione barriera permanente paramassi	0	Luglio 2023	Emissione
	REV.	DATA	DESCRIZIONE
	RELAZIONE GEOTECNICA - STRUTTURALE	FILE: Rel_geo_strutt.doc	Pag. 21 di 29

Nel caso in esame, utilizzando il coefficiente amplificativo massimo pari a 1.2, ne consegue il seguente valore di energia sollecitante di progetto:

$$E_{sd} = 339 \cdot 1.2 = 407 \text{ kJ}$$

L'altezza di intercettazione di progetto (h_d) è definita come l'altezza del punto di impatto con l'opera del baricentro del blocco, corrispondente al frattile del 95% delle altezze calcolate (h_t) nelle analisi delle traiettorie, moltiplicata per il coefficiente di amplificazione (γ_F) definito come:

$$h_d = h_t \cdot \gamma_F = h_t \cdot \gamma_{Tr} \cdot \gamma_{Dp}$$

Dove:

h_t altezza di intercettazione del punto di impatto dell'opera del baricentro del blocco corrispondente al frattile del 95% delle altezze ottenuto dalle analisi;

γ_{Tr} coefficiente di affidabilità di calcolo delle traiettorie che vale:

- 1,02 per simulazioni di caduta basate su coefficienti di restituzione ottenuti da analisi a ritroso;
- 1,10 per simulazioni di caduta basate su coefficienti di restituzione derivati da sole informazioni bibliografiche (valore utilizzato al fine delle presenti verifiche).

γ_{Dp} coefficiente che tiene conto della qualità della discretizzazione topografica del pendio e vale:

- 1,02 per pendii discretizzati con rilievo topografico di buona precisione in rapporto alle caratteristiche del sito;
- 1,10 per pendii discretizzati con precisione media-bassa (valore utilizzato al fine delle presenti verifiche).

Come già riportato nelle analisi, essendo un cinematismo di rotolamento viene assunto a favore di sicurezza un'altezza di 1.00 m, da cui:

$$h_d = 1.00 \cdot 1.1 \cdot 1.1 = 1.21 \text{ m}$$

Sommando il franco libero e il raggio equivalente del masso stimato in 1 m si ottiene un'altezza di intercettazione pari a 2.21 m.

In conclusione, si prevede l'installazione di una barriera di classe di resistenza 750 kJ o superiore e altezza di intercettazione pari ad almeno 3 m. Tale incremento di classe energetica di dissipazione si rende necessaria per poter tenere in considerazione le diverse aleatorietà che governano il fenomeno di caduta massi.

Il rilievo, infatti, è stato condotto a terra con alcune di difficoltà dovute alla folta vegetazione, pertanto, la rappresentazione risulta veritiera e affidabile ma comunque affetta da possibili variazioni.

Inoltre, è buona norma considerare un pendio in assenza di vegetazione (caso in cui il versante è stato interessato da incendio).

Visto quanto sopra si conferma, a favore di sicurezza, l'impiego di una barriera classe energetica 750 kJ.

COMUNE DI STELLA			
Strada località Mezzano - Realizzazione barriera permanente paramassi	0	Luglio 2023	Emissione
	REV.	DATA	DESCRIZIONE
	RELAZIONE GEOTECNICA - STRUTTURALE	FILE: Rel_geo_strutt.doc	Pag. 22 di 29

8 VERIFICA FONDAZIONI DELLA BARRIERA PARAMASSI

Come riportato nel capitolo precedente, l'intervento prevede la realizzazione di due barriere paramassi rispettivamente di energia 750 kJ.

Le forze agenti sugli elementi strutturali vengono forniti dal produttore della barriera e sono ricavati da test in vera grandezza eseguiti secondo le prescrizioni della Normativa ETAG. In particolare, la procedura della prova è basata su due test successivi a due diversi livelli di energia: Livello di Energia di Servizio (SEL) e un Livello Massimo di Energia (MEL). In Tabella 2 viene riportata la tabella relativa alla classificazione energetica delle barriere paramassi.

Tabella 2: classificazione delle barriere paramassi

Classificazione livello di energia	0	1	2	3	4	5	6	7	8
SEL	-	85	170	330	500	660	1000	1500	>1500
MEL	100	250	500	1000	1500	2000	3000	4500	>4500

Il test del livello di energia di servizio (SEL) è eseguito attraverso due lanci di un blocco all'interno della barriera alla stessa energia cinetica. Lo scopo di questa prova è verificare se la barriera è in grado di sopportare impatti successivi e se la riduzione dell'altezza utile della barriera rientra tra valori accettabili.

Il primo lancio SEL viene condotto facendo cadere il grave al centro del modulo funzionale centrale. Il secondo lancio SEL invece viene condotto sganciando il masso nel modulo funzionale centrale all'interno dell'altezza residua risultante dopo il primo lancio SEL (vedi Figura 16).

Per quanto riguarda il test del livello MEL è eseguito con un solo lancio di un blocco contro la barriera (vedi Figura 17). Lo scopo di questa prova è di stabilire la massima capacità di arresto della barriera. La prova MEL fornirà inoltre l'altezza residua e l'allungamento massimo della rete verso gli oggetti protetti e consentirà pertanto un posizionamento sicuro della barriera (distanza minima tra la barriera e l'oggetto protetto). Il test MEL può essere eseguito sulla stessa barriera utilizzata per il test SEL dopo l'avvenuta riparazione, o su una nuova barriera. La scelta tra le due alternative spetta al produttore, prima della prova MEL. L'allungamento massimo della rete durante la prova MEL e l'altezza residua devono essere misurate e dichiarate. Deve essere fornita una descrizione dettagliata dei danni riportati dalla barriera (compresa altezza residua).

COMUNE DI STELLA			
Strada località Mezzano - Realizzazione barriera permanente paramassi	0	Luglio 2023	Emissione
	REV.	DATA	DESCRIZIONE
	RELAZIONE GEOTECNICA - STRUTTURALE	FILE: Rel_geo_strutt.doc	Pag. 23 di 29

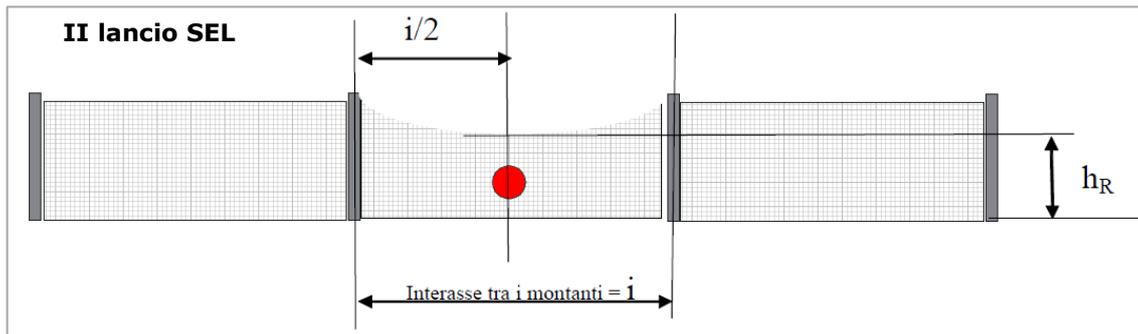
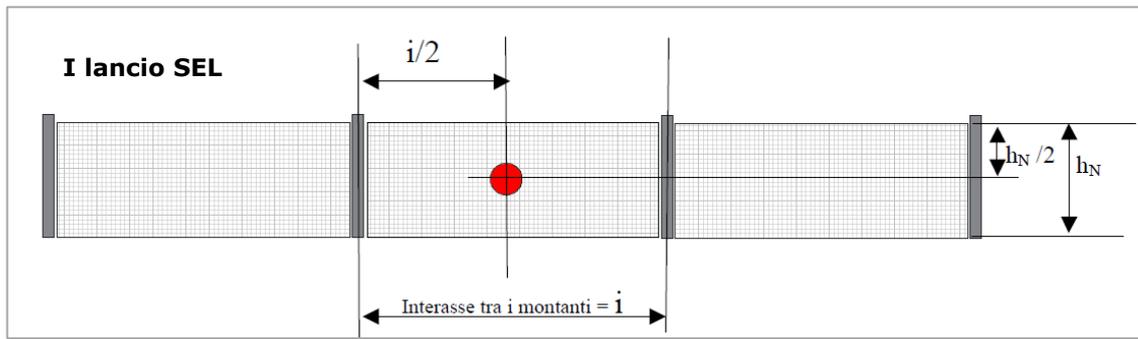


Figura 16: posizione dell'impatto al primo lancio SEL

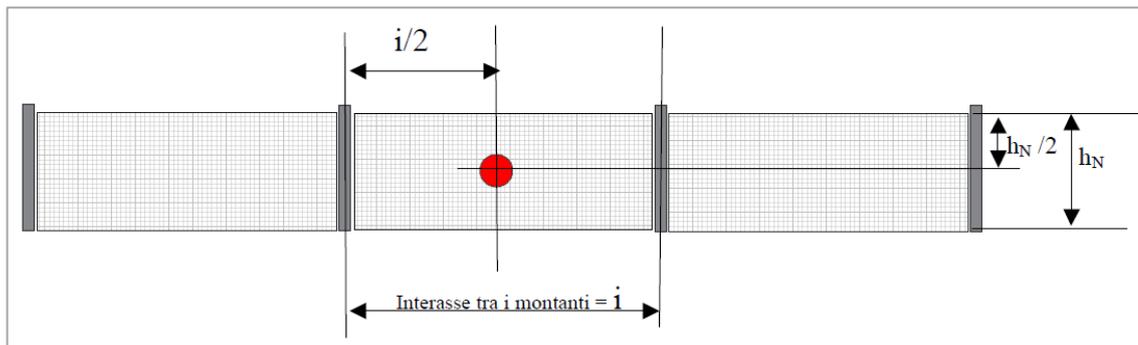


Figura 17: posizione dell'impatto prova MEL

Durante l'esecuzione della prova, sia per il test SEL sia per il MEL, vengono registrati i seguenti dati:

- Massa del blocco;
- Altezza nominale;
- Fotografia della posizione e dell'installazione della barriera;
- Parametri geometrici della barriera;
- Caratteristiche meccaniche e fisiche delle componenti;
- Velocità del blocco valutata nell'ultimo metro che precede l'impatto;
- Traiettoria del blocco;
- Allungamento massimo della rete;
- RegISTRAZIONI fotografiche volte a fornire una registrazione completa del comportamento della barriera, comprese deformazione, abbassamento, e tempo di arresto e prova del mancato contatto prima che l'allungamento massimo sia raggiunto;
- Altezza residua;
- Descrizione e registrazione fotografica dei danni riportati dalla barriera.

Le sollecitazioni sugli elementi strutturali che compongono la barriera (funi, fondazioni in barra, tiranti, ecc.) vengono valutate mediante l'inserimento di estensimetri in corrispondenza degli elementi di cui si vuole conoscere l'entità dell'azione.

COMUNE DI STELLA			
Strada località Mezzano - Realizzazione barriera permanente paramassi	0	Luglio 2023	Emissione
	REV.	DATA	DESCRIZIONE
	RELAZIONE GEOTECNICA - STRUTTURALE		FILE: Rel_geo_strutt.doc
			Pag. 24 di 29

8.1 Criteri di verifica

La verifica degli ancoraggi viene condotta secondo l'Approccio 2 (A1+M1+R3) delle NTC 2018. La verifica a sfilamento della fondazione dell'ancoraggio si esegue confrontando la massima azione di progetto Ed con la resistenza di progetto R_{ad}, determinata applicando alla resistenza caratteristica R_{ak} i coefficienti parziali γ_R in Tabella 3 come da formula seguente.

$$R_{ak} = \min \left\{ \frac{(R_{a,c})_{medio}}{\zeta_{a3}}; \frac{(R_{a,c})_{min}}{\zeta_{a4}} \right\}$$

Tabella 3: coefficienti parziali resistenza ancoraggi – tab. 6.6.I NTC 2018

	Simbolo	Coefficiente parziale
Temporanei	γ _R	1,1
Permanenti	γ _R	1,2

Tabella 4: fattori correl. resistenza caratteristica prove in funzione delle verticali indagine – tab. 6.6.III NTC 2018

Tab. 6.6.III - Fattori di correlazione per derivare la resistenza caratteristica dalle prove geotecniche, in funzione del numero n di profili di indagine

Numero di profili di indagine	1	2	3	4	≥ 5
ξ _{a3}	1,80	1,75	1,70	1,65	1,60
ξ _{a4}	1,80	1,70	1,65	1,60	1,55

L'azione derivante dalle prove in vera grandezza sulle reti paramassi può essere vista come una combinazione eccezionale del tipo:

$$G_1 + G_2 + A_d + \Psi_{21} \cdot Q_{k1} + \Psi_{22} \cdot Q_{k2} + ..$$

Con A_d azione eccezionale costituita da urto o impatto con la barriera oggetto di studio.

La resistenza laterale R_{a,c} viene calcolata secondo la seguente relazione:

$$R_{a,c} = \alpha \cdot \Phi_{perf} \cdot \pi \cdot s \cdot L$$

Dove

α coefficiente di sbulbatura in funzione del tipo di iniezione;

Φ_{perf} diametro di perforazione;

s tensione tangenziale caratteristica bulbo-terreno;

L lunghezza dell'ancoraggio.

Il coefficiente di sbulbatura può essere desunto da Tabella 5 come riportato negli studi sugli ancoraggi e sulle fondazioni in micropali redatti da *Bustamante-Doix (1985)*. Inoltre, è possibile stimare la resistenza laterale per la roccia fratturata mediante il diagramma riportato in Figura 18.

Tabella 5: coefficiente di sbulbatura α - Bustamante-Doix (1985)

TERRENO	Valori di α		Quantità minima di miscela consigliata	
	IRS	IGU	IRS	IGU
Ghiaia	1.8	1.3 - 1.4	1.5 Vs	1.5 Vs
Ghiaia sabbiosa	1.6 - 1.8	1.2 - 1.4	1.5 Vs	1.5 Vs
sabbia ghiaiosa	1.5 - 1.6	1.2 - 1.3	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia grossa	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia media	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia fine	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia limosa	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	(1.5 - 2) Vs	1.5 Vs
Limo	1.4 - 1.6	1.1 - 1.2	2 Vs	1.5 Vs
Argilla	1.8 - 2.0	1.2	(2.5 - 3) Vs	(1.5 - 2) Vs
Marne	1.8	1.1 - 1.2	(1.5 - 2) Vs per strati compatti	
Calcari marnosi	1.8	1.1 - 1.2	(2 - 6) Vs o più per strati fratturati	
Calcari alterati o fratturati	1.8	1.1 - 1.2		
Roccia alterata e/o fratturata	1.2	1.1	(1.1 - 1.5) Vs per strati poco fratturati; 2 Vs o più per strati fratturati	

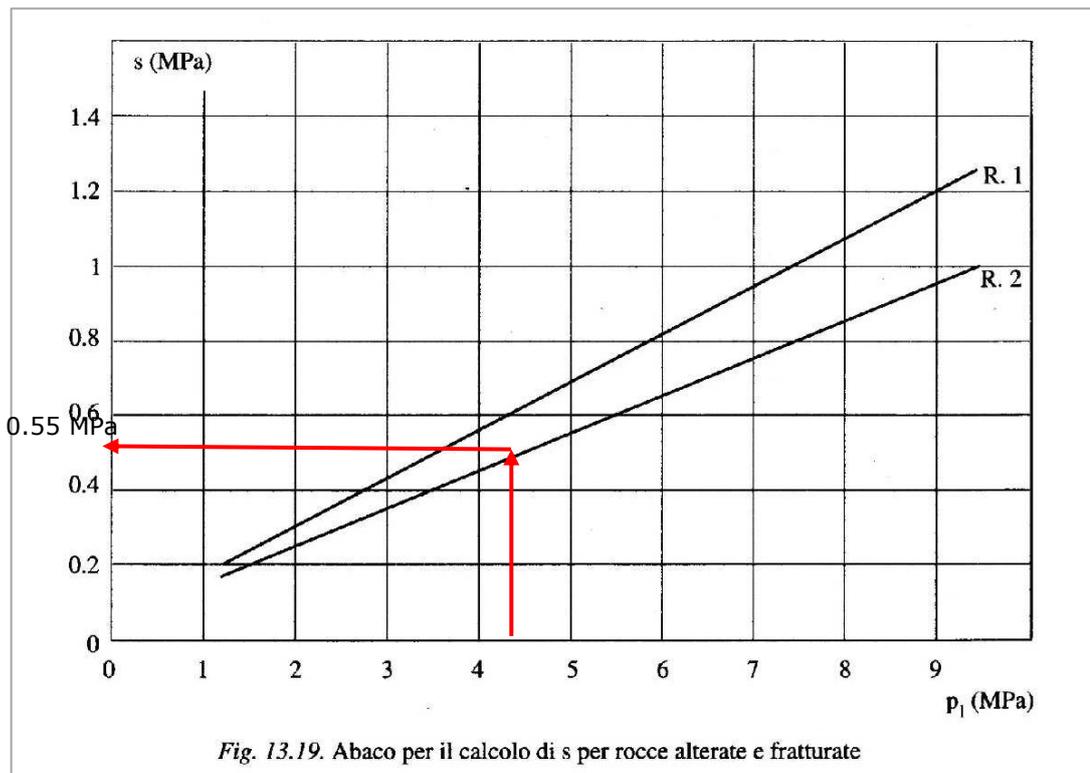


Fig. 13.19. Abaco per il calcolo di s per rocce alterate e fratturate

Figura 18: abaco resistenza laterale rocce alterate e fratturate - Bustamante-Doix (1985)

COMUNE DI STELLA		0	Luglio 2023	Emissione
Strada località Mezzano - Realizzazione barriera permanente paramassi		REV.	DATA	DESCRIZIONE
RELAZIONE GEOTECNICA - STRUTTURALE		FILE: Rel_geo_strutt.doc		Pag. 26 di 29

8.2 Verifica fondazioni

Le fondazioni della rete paramassi sono costituite da una piastra metallica sotto alla quale vengono realizzate perforazioni di ancoraggio costituite da barre B450C di diametro nominale 24 mm e diametro di perforazione 64 mm. Viene previsto l'utilizzo del tipologico Maccaferri su terreno sciolto come riportato in Tabella 6.

Le sollecitazioni agenti sugli elementi di fondazione sono fornite dal costruttore e derivano da prove in campo in vera grandezza. Essendo l'urto un'azione eccezionale, viene utilizzata la combinazione eccezionale così calcolata:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + ..$$

Con A_d valore dell'azione eccezionale. In tale combinazione, i coefficienti moltiplicativi dei pesi propri strutturali e non strutturali, così come per l'azione eccezionale sono presi con il loro valore unitario.

In Figura 19 sono riportati i carichi agenti sugli elementi di fondazione.

Tabella 6: tipologico fondazioni barriera - Maccaferri

Caratteristiche delle fondazioni standard	
Fondazioni per TERRENO SCIOLTO	
Ancoraggio laterale (tipo, lunghezza, diam. perforaz.)	ancoraggi in doppia fune spiriodale $\phi 14$ mm* 4.0 m, 114 mm
Ancoraggio di monte (tipo, lunghezza, diam. perforaz.)	ancoraggi in doppia fune spiriodale $\phi 14$ mm* 3.0 m, 76 mm
Barre di fondazioni del montante (tipo, lunghezza, diam. perforaz.)	n.2 barre in acciaio B450C $\phi 24$ mm 3.0 m, 64 mm

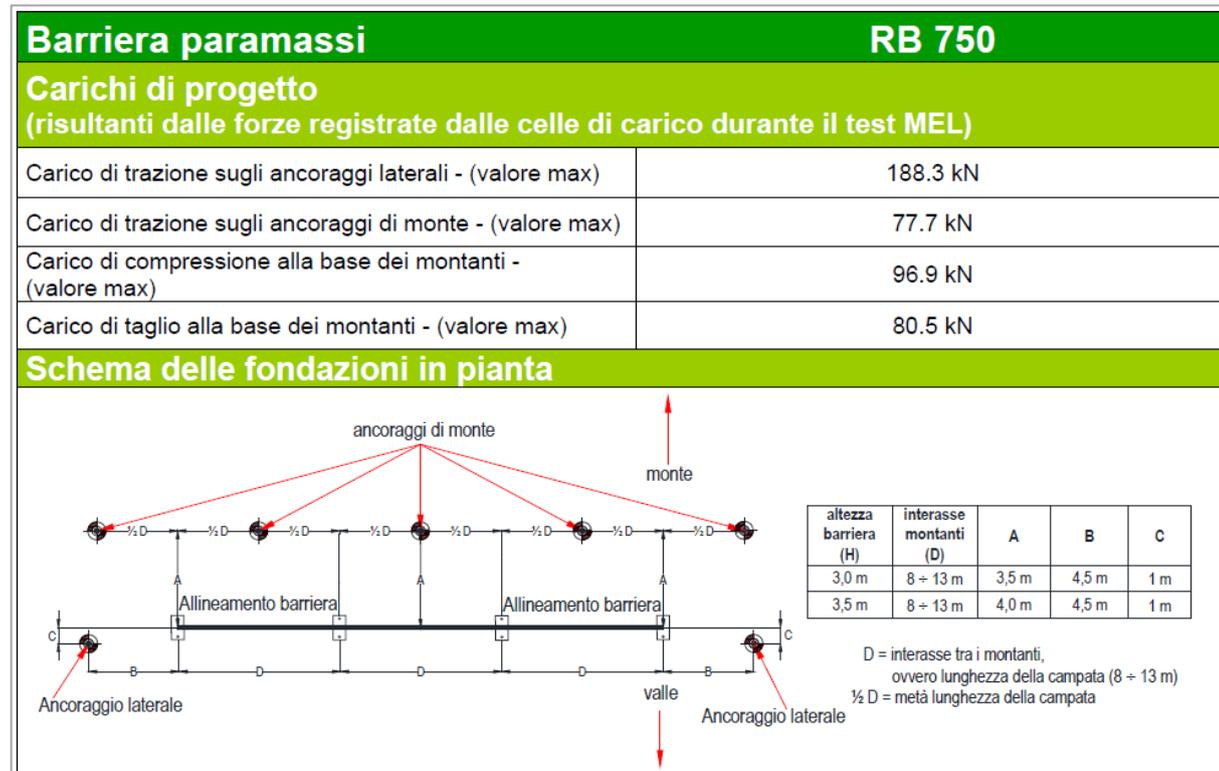


Figura 19: schema disposizione ancoraggi e tabella sollecitazioni agenti sugli ancoraggi

8.2.1 Verifica ancoraggio montanti

VERIFICA GEOTECNICA

COMUNE DI STELLA			
Strada località Mezzano - Realizzazione barriera permanente paramassi	0	Luglio 2023	Emissione
	REV.	DATA	DESCRIZIONE
	RELAZIONE GEOTECNICA - STRUTTURALE	FILE: Rel_geo_strutt.doc	Pag. 27 di 29

La fondazione del montante è costituita da n. 2 barre B450C di diametro 24 mm e lunghezza 3 m posate in un foro da 64 mm. La barra di monte risulta sollecitata da una forza di trazione pari a 77.70 kN, mentre l'azione di compressione sulla barra di valle è pari a 96.90 kN.

$$E_{d,compr} = 96.90 \text{ kN}$$

$$E_{d,traz} = 77.70 \text{ kN}$$

Gli ancoraggi verticali sono costituiti da barre B450C Φ 24 mm, diametro perforazione pari a 64 mm e lunghezza della barra di 3 m.

Considerando una tensione laterale di 350 kPa e un coefficiente di sbulbatura α di 1.10, la resistenza caratteristica a compressione risulta quindi:

$$R_{a,c,compr} = 1.10 \cdot 0.064 \cdot \pi \cdot 350 \cdot 3 = 232.23 \text{ kN}$$

Viene considerato un contributo alla punta pari al 10% della resistenza laterale, ovvero

$$R_{a,c,base} = 0.1 \cdot R_{a,c} = 23.22 \text{ kN}$$

$$R_{a,c,tot} = R_{a,c} + R_{a,c,base} = 255.45 \text{ kN}$$

Applicando i coefficienti di sicurezza ζ_{a3} e γ_R per gli ancoraggi permanenti si ottiene una resistenza di progetto pari a:

$$R_{ad,compr} = \frac{R_{a,c,tot}}{\zeta_{a3} \cdot \gamma_R} = \frac{255.45}{1.80 \cdot 1.20} = 118.26 \text{ kN}$$

$$R_{ad,compr} > E_{d,compr} \text{ verifica soddisfatta}$$

L'ancoraggio posteriore è costituito da barre B450C Φ 24 mm, diametro perforazione pari a 64 mm e lunghezza della barra di 3 m.

Per quanto riguarda la resistenza a trazione della barra di fondazione viene valutata considerando solamente il contributo laterale in quanto non viene mobilitata la resistenza alla base. Considerando i parametri sopra assunti, la resistenza caratteristica a trazione è quindi pari a:

$$R_{a,c,traz} = 1.10 \cdot 0.064 \cdot \pi \cdot 350 \cdot 3 = 232.23 \text{ kN}$$

Da cui la resistenza di progetto:

$$R_{ad,traz} = \frac{R_{a,c,tot}}{\zeta_{a3} \cdot \gamma_R} = \frac{232.23}{1.80 \cdot 1.20} = 107.51 \text{ kN}$$

$$R_{ad,traz} > E_{d,traz} \text{ verifica soddisfatta}$$

VERIFICA STRUTTURALE

La barra di fondazione maggiormente sollecitata risulta quella in compressione, le cui azioni sono definite dall'azione normale pari a 96.90 kN e dal taglio agente sul piano. Nell'ipotesi che la forza tagliante di suddivida equamente sui due elementi di fondazione il taglio agente risulta pari a 40.25 kN.

La tensione agente sull'elemento strutturale risulta quindi valutabile secondo la seguente relazione:

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2} \leq f_{yd}$$

In cui:

$$\sigma = \frac{N}{A} \quad e \quad \tau = \frac{4 \cdot T}{3 \cdot A}$$

Si ricava:

COMUNE DI STELLA			
Strada località Mezzano - Realizzazione barriera permanente paramassi	0	Luglio 2023	Emissione
	REV.	DATA	DESCRIZIONE
	RELAZIONE GEOTECNICA - STRUTTURALE	FILE: Rel_geo_strutt.doc	Pag. 28 di 29

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{96900}{452} = 214.20 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{4 \cdot T}{3 \cdot A} = \frac{4 \cdot 40250}{3 \cdot 452} = 118.73 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2} = \sqrt{214.20^2 + 118.73^2} = 244.90 \text{ MPa}$$

Confrontando l'azione σ_{id} con la resistenza f_{yd} si ottiene:

$$f_{yd} = 391.30 \geq 244.90 = \sigma_{id} \text{ verifica soddisfatta}$$

8.2.2 Verifica ancoraggio fune laterale

VERIFICA GEOTECNICA

Gli ancoraggi laterali sono costituiti da ancoraggi in doppia fune spiroidale $\Phi 14$ mm, diametro perforazione 114 mm e lunghezza 4 m. La massima azione di trazione è pari a 188.30 kN

$$E_{d,traz} = 188.30 \text{ kN}$$

Per quanto riguarda la resistenza a trazione della barra di fondazione viene valutata considerando solamente il contributo laterale in quanto non viene mobilitata la resistenza alla base. Considerando una tensione laterale di 350 kPa e un coefficiente di sbulbatura α di 1.10, la resistenza caratteristica a trazione risulta quindi:

$$R_{a,c,comp} = 1.10 \cdot 0.114 \cdot \pi \cdot 350 \cdot 4 = 551.54 \text{ kN}$$

Da cui la resistenza di progetto:

$$R_{ad,traz} = \frac{R_{a,c,tot}}{\zeta_{a3} \cdot \gamma_R} = \frac{551.54}{1.80 \cdot 1.20} = 255.34 \text{ kN}$$

$$R_{ad,traz} > E_{d,traz} \text{ verifica soddisfatta}$$

VERIFICA STRUTTURALE

L'ancoraggio è sollecitato da una forza di estrazione pari a 118.30 kN. Per la fune da 14 mm la resistenza caratteristica è pari a 308 kN (vedi Tabella 7). Applicando un coefficiente pari a 1.25, la resistenza di progetto risulta pari a 246.40 kN, pertanto essendo la resistenza maggiore dell'azione, si considera soddisfatta la verifica strutturale a trazione.

Tabella 7: resistenza delle funi spiroidali

Modello	Φ [mm]	Costruzione EN 12385-10	Classe filo [N/mm ²]	Carico di rottura nominale dell'ancoraggio [kN]
RRA-14	14	1 x 19	1770	308
RRA-16	16			426
RRA-18	18	1 x 37		516
RRA-20	20			629
RRA-22	22			651
RRA-24	24			736

8.2.3 Verifica ancoraggio fune di monte

VERIFICA GEOTECNICA

Gli ancoraggi di monte sono costituiti da ancoraggi in doppia fune spiroidale $\Phi 14$ mm, diametro perforazione 76 mm e lunghezza 3 m. La massima azione di trazione è pari a 77.70 kN

$$E_{d,traz} = 77.70 \text{ kN}$$

COMUNE DI STELLA			
Strada località Mezzano - Realizzazione barriera permanente paramassi	0	Luglio 2023	Emissione
	REV.	DATA	DESCRIZIONE
	RELAZIONE GEOTECNICA - STRUTTURALE	FILE: Rel_geo_strutt.doc	Pag. 29 di 29

Per quanto riguarda la resistenza a trazione della barra di fondazione viene valutata considerando solamente il contributo laterale in quanto non viene mobilitata la resistenza alla base. Considerando una tensione laterale di 350 kPa e un coefficiente di sbulbatura α di 1.10, la resistenza caratteristica a trazione risulta quindi:

$$R_{a,c,compr} = 1.10 \cdot 0.076 \cdot \pi \cdot 350 \cdot 3 = 275.77 \text{ kN}$$

Da cui la resistenza di progetto:

$$R_{ad,traz} = \frac{R_{a,c,tot}}{\zeta_{a3} \cdot \gamma_R} = \frac{275.77}{1.80 \cdot 1.20} = 127.67 \text{ kN}$$

$$R_{ad,traz} > E_{d,traz} \text{ verifica soddisfatta}$$

VERIFICA STRUTTURALE

L'ancoraggio è sollecitato da una forza di estrazione pari a 77.70 kN. Per la fune da 14 mm la resistenza caratteristica è pari a 308 kN (vedi Tabella 7). Applicando un coefficiente pari a 1.25, la resistenza di progetto risulta pari a 246.40 kN, pertanto essendo la resistenza maggiore dell'azione, si considera soddisfatta la verifica strutturale a trazione.

Tabella 8: resistenza delle funi spiroidali

Modello	Φ [mm]	Costruzione EN 12385-10	Classe filo [N/mm ²]	Carico di rottura nominale dell'ancoraggio [kN]
RRA-14	14	1 x 19	1770	308
RRA-16	16			426
RRA-18	18			516
RRA-20	20	1 x 37		629
RRA-22	22			651
RRA-24	24			736

Savona 20/07/2023

Il progettista
(Ing. Marco Goso)

