COMUNE DI BALMUCCIA
PROVINCIA DI VERCELLI
REGIONE PIEMONTE

OGGETTO:	**MITIGAZIONE E PREVENZIONE DEL DISSESTO IDROGEOLOGICO A MONTE DELLA STRADA IN LOCALITA' CORNALEI**
COMMITTENTE:	**COMUNE DI BALMUCCIA** Via Roma, 1 13020 Balmuccia (VC) Telefono: (+39) 0163.735945 / Fax: (+39) 0163.735945 Email: balmuccia@ruparpiemonte.it / PEC: balmuccia@cert.ruparpiemonte.it Codice fiscale: 82000110021 / Partita Iva: 00480960020
LIVELLO PROGETTUALE	**PROGETTO ESECUTIVO**

ALLEGATO N. **A**

TITOLO

RELAZIONE GENERALE E RELAZIONI SPECIALISTICHE

DATA Luglio 2021	STUDIO INGEGNERIA DOTT. ING. GIORGIO CERIN Sede Legale: Via. A. Agnelli n. 3 – Gallarate (VA) Sede Tecnica: Via San Luigi n. 35 – Arona (NO) Tel.- Fax 0322.240334 Cell. 337.237215 st_ing_g.cer@virgilio.it	Dott. Ing. Giorgio Cerin Albo di Novara N.O. 682

RELAZIONE GENERALE, RELAZIONI TECNICHE E RELAZIONI SPECIALISTICHE

1 INTRODUZIONE

Il presente rapporto descrive le attività di rilievo topografico eseguite sull'area interessata da interventi di messa insicurezza del versante roccioso a monte della strada provinciale SP10 in località Cornalei del comune di Balmuccia.

In particolare, oggetto del rilievo è stata l'area di versante in sponda idrografica destra al Torrente Sermenza, a monte del ponte stradale di via Roma, per uno sviluppo complessivo, lungo l'asse stradale, di circa 200 m, per un'estensione complessiva pari a circa 6000 mq.

Inquadramento area

Il rilievo dell'area è stato condotto durante le prime settimane di Marzo 2021, non appena sono completamente scomparsi gli accumuli nevosi invernali.

Il lavoro è stato compiuto mediante l'esecuzione di una serie di voli aerofotogrammetrici con veicoli APR (droni a pilotaggio remoto), volti alla ricostruzione delle geometrie delle aree, coadiuvati da una serie di operazioni topografiche di appoggio svolte a terra mediante l'uso di GPS e strumentazione ottica.

Il velivolo utilizzato è stato un drone multirotore, mediante il quale si è proceduto all'acquisizione di fotografie nadirali a forte sovrapposizione. Nel presente rapporto di indagine si forniscono i dettagli relativi alla

strumentazione ed alla metodologia di rilievo adottata, alla restituzione ed alla presentazione finale degli elaborati.

2 DESCRIZIONE STATO DI FATTO

L'area oggetto di intervento è situata lungo la strada provinciale SP 10 e riguarda il versante montuoso posto a ridosso della medesima. La parete rocciosa, interessata dalle opere di messa in sicurezza, si sviluppa, quasi, in verticale, con presenza di vegetazione; a circa mezza costa è presente una strada campestre che interrompe il versante. Alla base si è in presenza di strada extra-urbana (SP10) priva di banchina stradale e che costeggia, oltre il versante montuoso, il Torrente Sermenza.

3 OPERE IN PROGETTO

Le opere previste in progetto consistono nel mettere in sicurezza il versante a monte della SP. 10 mediante applicazione di rete metallica anticaduta massi ancorata alla parete mediante chiodatura aggiuntiva. Inizialmente si procederà alla pulizia dell'area ed al disgaggio delle aree più pericolose.

Le lavorazioni previste riguardano principalmente:

- Abbattimento alberi di qualsiasi specie posti in condizioni di elevata difficoltà.
- Decespugliamento di aree boscate invase da rovi, arbusti ed erbe infestanti
- Esecuzione di disgaggio di pendici montane mediante l'intervento da eseguirsi con l'ausilio di provetti rocciatori, anche in parete, comportante: l'abbattimento dei volumi di roccia in condizione di equilibrio precario con l'ausilio di leve e, dove necessario, di attrezzature idrauliche ad alta pressione quali martinetti ed allargatori.
- Filatura delle scarpate e disgaggio superficiale.
- Rivestimento di scarpata in roccia o terra di qualsiasi altezza mediante copertura di rete metallica a doppia torsione con maglia esagonale, tessuta con trafilato di ferro conforme alle UNI-EN 10223-3 per le caratteristiche meccaniche e UNI-EN 10218 per le tolleranze sui diametri, galvanizzato con lega di Zinco-Alluminio (ZN.AL 5%) conforme alla UNI-EN 10244 - Classe A con quantitativo minimo stabilito in funzione del diametro del filo stesso. I teli di rete saranno posati lungo le linee di massima pendenza e collegati utilizzando per le cuciture un filo di caratteristiche pari a quelle della rete medesima, diametro pari a 2,20 mm e quantitativo di galvanizzazione sul filo non inferiore a 230 g/m2. Lo schema applicativo prevede una fune in trefoli d'acciaio, alla sommità e al piede, del diametro di mm 12 fissata al pendio tramite ancoraggi di lunghezza pari a 3,00 m, costituiti da barre in acciaio del diametro minimo di 24 mm e comprensive di idoneo golfaro passacavo zincato o dadi di serraggio e piastra di ripartizione, poste in opera ad interasse verticale di 6,00 m e orizzontale di 3,00 m. Nel prezzo è inclusa l'armatura del rivestimento tramite funi d'acciaio da 12 mm disposte tra gli ancoraggi a formare delle maglie romboidali. Le barre di ancoraggio di lunghezza pari a 3,00 m, sono solidarizzate in foro tramite iniezioni di boiacca di cemento additivato con prodotti antiritiro. perforazione eseguita con perforatrice a rotopercussione di profondità pari a quella degli ancoraggi e diametro non inferiore a mm 36. La rete è fissata lungo tutta la scarpata a funi ad andamento diagonale ed ancoraggi di lunghezza 3,00 m con raster 6,00 x 3,00 m. maglia tipo 8x10 cm con filo avente diametro pari a 3,00 mm

- Chiodatura per il consolidamento di pareti rocciose attraverso la fornitura e posa in opera di barre d'acciaio B450C con il limite di snervamento non minore di 450 N/mm2, tensione di rottura 540 N/mm2 ed elongazione a massimo carico maggiore o uguale 7% (Re/Rm 1,13 <=Re/Rm<=1,35), complete di piastra nervata di ripartizione, semisfera di allineamento, dado di serraggio e manicotti di giunzione. Le barre devono essere ad aderenza migliorata, filettate ad un estremo per l'inserimento di dado o golfare. Nel prezzo si intende compresa l'iniezione, fino a rifiuto del foro, con boiacca di cemento (rapporto in peso acqua-cemento 0,4-0,5), additivata con prodotti antiritiro (2-4%), la fornitura e posa di idoneo golfare passacavo zincato o dado di serraggio. Compreso ogni onere e la perforazione ad esclusione di eventuale iniezione eccedente tre volte il volume teorico del foro, compensate comn le relative tariffe. Barre di acciaio del diametro di 24 mm

- Pulizia sede stradale per caduta materiale in fase di disgaggio e/o durante le fasi di lavorazione, comprensivo di ogni onere di trasporto e smaltimento rifiuti a discarica autorizzata

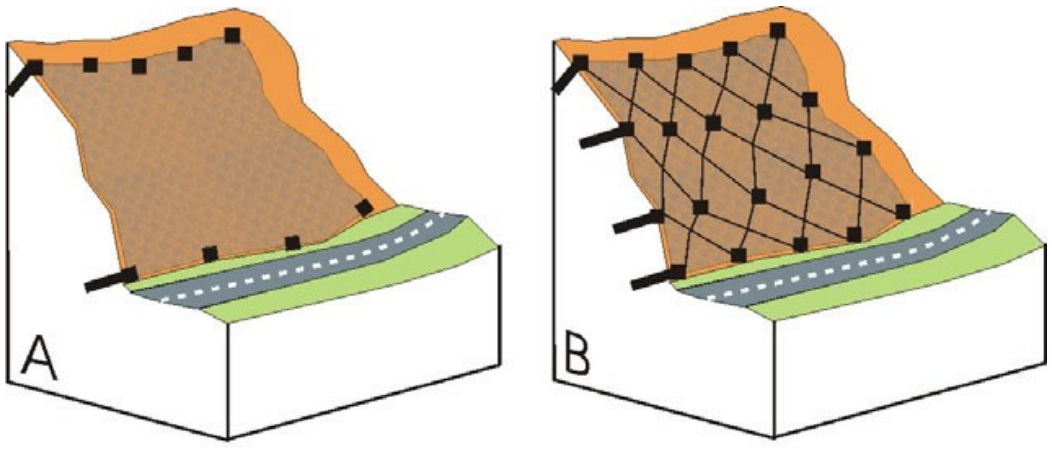
4 RELAZIONE TECNICA APPLICAZIONE RETI CORTICALI

4.1 IL CAMPO DI APPLICAZIONE DELLE RETI DI PROTEZIONE

Le reti applicate sulle pareti rocciose hanno lo scopo di controllare o prevenire lo sviluppo dei dissesti corticali che si manifestano con il distacco di massi. Sulla base della funzionalità, si distinguono due categorie di reti di protezione:

- Reti di protezione semplici, cioè sostenute almeno in sommità;

- Rafforzamenti corticali, costituiti a reti abbinate alla chiodatura sistematica della parete con una maglia di ancoraggi.



L'utilizzo diffuso di questi metodi è correlato a molteplici fattori:

- risolvono una delle problematiche più diffuse, frequenti e pericolose per la circolazione stradale e la sicurezza degli abitati;

- sono applicabili con costi ragionevolmente contenti;

- possono essere applicati in luoghi di difficile accesso utilizzando tecniche alpinistiche spesso con l'ausilio di elitrasporto, rendendo inutile l'utilizzo dei ponteggi.

- la loro messa in opera è rapida o molto rapida, e non sono richiesti impianti cantiere onerosi;

- determinano scarso impatto visivo;

- ad eccezione di qualche particolare metodo di consolidamento proposto sul mercato, non sono richieste procedure di calcolo codificate.

Per ragioni sostanzialmente economiche e di rapidità, allo stato attuale in questi interventi si utilizza la perforatrice a mano, riuscendo a fare fori con diametro non superiore a 36 – 40 mm, profondi non più di 3.0 m (4.0 m in alcuni casi). Raggiungere profondità maggiori con perforatrici manuali diventa praticamente inutile in quanto il diametro del foro non è più sufficiente per garantire adeguata forza di adesione tra intasamento e pareti del foro. Inoltre, dal punto di vista economico, la produzione (in termini di metri di foro eseguiti per ora lavoro) si riduce drasticamente.

D'altra parte, la necessità di ancoraggi profondi più di 3.0 - 4.0 m implica che lo spessore instabile della parete rocciosa sia molto elevato. In tal caso l'intervento di rafforzamento corticale richiede anche l'incremento del diametro e della densità degli ancoraggi sulla superficie della parete. Così, mentre la funzionalità della rete può essere incrementata in misura modesta, la funzione stabilizzatrice degli ancoraggi può essere progressivamente aumentata e l'intervento di rafforzamento corticale sfuma a soil nail.

Quando l'intervento di rafforzamento corticale diventa soil nail, subentra anche la possibilità (o la pretesa) di determinare la stabilizzazione globale del pendio. Per stabilire quale sia la funzionalità di un intervento è necessario stabilire come si comporta l'ammasso roccioso alla scala dell'intervento. Il problema non è scontato perché negli ammassi rocciosi possono essere assunti diversi modelli di comportamento in ragione della scala di osservazione.

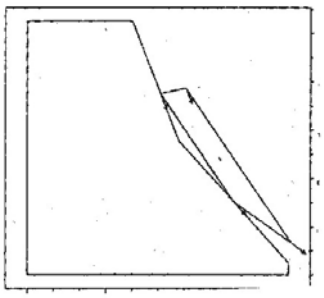
4.2 I DISSESTI CORTICALI

Nella categoria del "dissesto corticale" rientrano tutti i fenomeni di micro crollo che coinvolgono la superficie delle pendici rocciose. I dissesti si sviluppano in modo progressivo, senza mettere in crisi la stabilità globale del fronte roccioso.

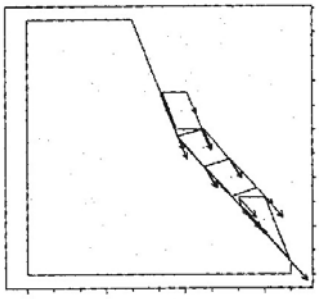
Si tratta di dissesti che interessano la parte dell'ammasso più fratturata in quanto allentata e soggetta a fenomeni accelerati di degrado (dovuti a ghiaccio, dilatazione termica, azione divaricatrice degli apparati radicali delle piante, scavo meccanico e con esplosivo) e alterazione (dissoluzione carsica, alterazione mineralogica, processi di idratazione ed argillificazione). Generalmente lo spessore coinvolto non è superiore a 1-2 m, benché la parte degradata dell'ammasso possa raggiungere talvolta i 4 – 6 m.

È molto raro che questi dissesti si prestino ad essere descritti chiaramente con semplici cinematismi (scivolamento planare o a cuneo, ribaltamento, rottura flessionale, crollo), anche se frequentemente, per convenienza, sono così schematizzati.

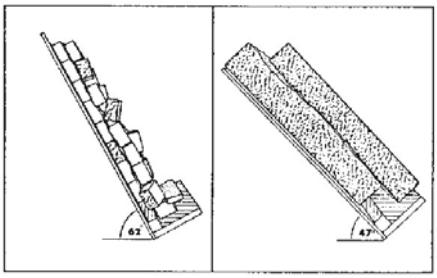
Si tratta piuttosto di un insieme complesso di cinematismi che avvengono in sequenza e/o contemporaneamente, che possono svilupparsi coinvolgendo tanto un singolo blocco, quanto un insieme di blocchi disarticolati.



A) blocco senza sistema di discontinuità suborizzontali



B) blocco con sistema di discontinuità suborizzontali



C) Confronto del comportamento di un gruppo di blocchi e un volume roccioso monolitico di pari dimensioni.

Figure 15. Scale effect on tilt angle caused by block size. Bandis et al. (1981).

Figura 3.1 - Instabilità di un blocco colonnare riprodotta con modelli numerici (figure A e B - in Barla e Altri, 2003) e in prova di tilt test (Figura C - in Barton, 1990)

Le situazioni di dissesto corticale che più frequentemente si riconoscono sulle pareti rocciose possono essere schematizzate come segue.

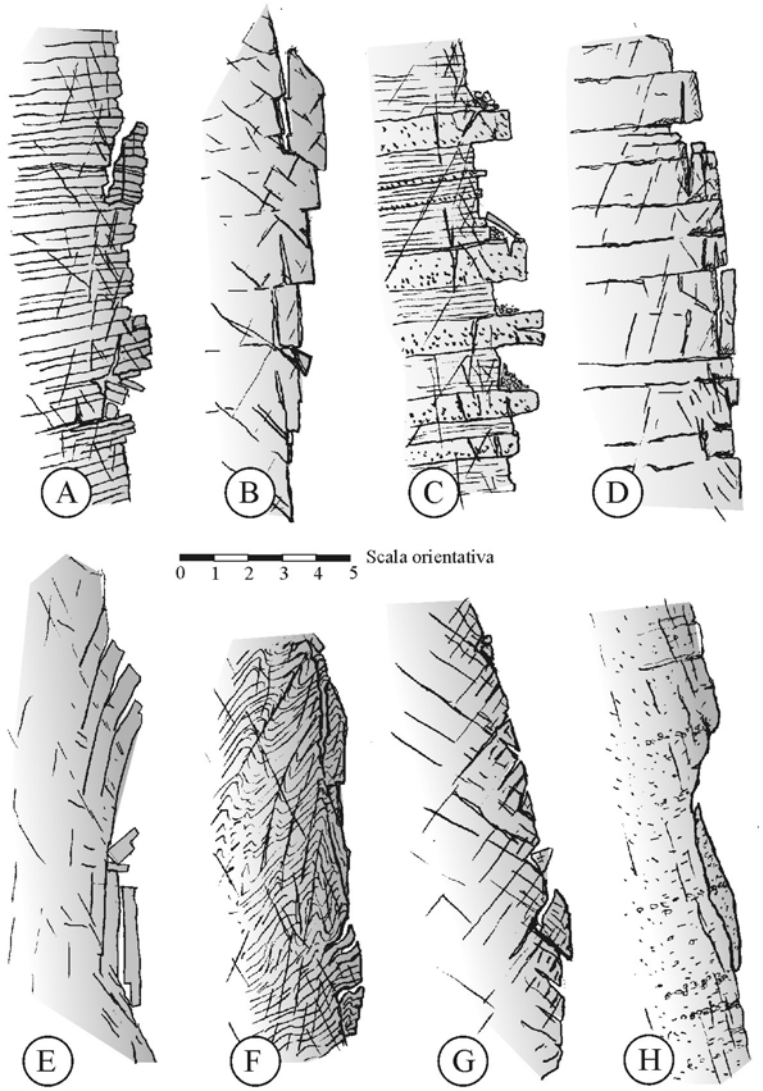


Figura 3.2 - Tipiche situazioni di instabilità corticale. A) Calcari sottilmente stratificati - B) rocce carbonatiche massive - C) Rocce in facies di flysch - D) Rocce carbonatiche stratificate - E) Porfiriti - Scisti - F) rocce filladiche - G) rocce massive intrusive - H) Arenarie, siltiti, conglomerati.

Di fatto i dati ottenibili con le indagini di superficie devono essere trattati con cautela: l'applicazione indiscriminata dei metodi di classificazione delle rocce porta quasi sempre a risultati impropri; effettuare analisi di stabilità all'equilibrio limite - come la teoria dei blocchi - generalizzando le proprietà di resistenza dei giunti, può fornire indicazioni sull'ordine di grandezza delle masse in gioco, ma può condurre valutazioni di stabilità sbagliate. A questi problemi si sovrappone l'effetto scala, che influisce sul corretto dimensionamento dei valori di resistenza da adottare per i piani. In funzione della scala di osservazione, il comportamento della parte corticale dell'ammasso roccioso risulta piuttosto ambiguo e può essere descritto tanto come discontinuo, quanto come pseudo-continuo oppure continuo.

L'individuazione dei meccanismi di degrado in atto e le caratteristiche geomeccaniche del sito sono descritte nella relazione geologica redatta dalla Dott.ssa Michela Curnis; si riporta nel seguito la sintesi della classificazione dell'ammasso roccioso riportata nella suddetta relazione:

La classificazione geomeccanica utilizzata nella presente trattazione è l'indice RMR (Rock Mass Rating) o di Bieniawski (Bieniawski, 1974, 1989) che prende in considerazione cinque proprietà:

- resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta (R1);

- indice RQD (R2);
- spaziatura delle discontinuità (R3);
- condizioni delle discontinuità (scabrezza, persistenza, apertura, materiali di riempimento e alterazione delle pareti) (R4);
- presenza d'acqua (R5);

ROCK MASS RATING (Bieniawsky, 1989)	FAMIGLIA	K1, K2, K3	Coefficienti
	R1 - RESISTENZA DEL MATERIALE ROCCIA		12
	R2 -RQD (%)		20
	R3 -SPAZIATURA DELLE DISCONTINUITA'		10
	R4 - CONDIZIONI DELLE DISCONTINUITA'	persistenza	6
		apertura	4
		rugosità	3
		riempimento	6
		alterazione	3
	R5 - VENUTE D'ACQUA		4
	II - BUONA	**RMR_b**	**68**

4.3 L'UTILIZZO DELLE RETI

Le tipologie d'intervento intese a prevenire o attenuare gli effetti dei dissesti delle pendici rocciose sono molteplici; in un elenco che considera sia gli interventi di difesa passiva (mirati ad attenuare gli effetti del dissesto), sia quelli di difesa attiva (mirati a prevenire il distacco), le reti di protezione si collocano a metà strada:

	Tipo intervento	Scopo	Applicazioni tipiche
passive	Trincee – vallo al piede della parete	Intercettare ed arrestare i massi di piccola dimensione.	Protezione di strade situate al piede di scarpate di scavo.
	Barriere paramassi ad elevata dissipazione d'energia.	Intercettare ed arrestare i massi di grande dimensione.	Protezione di strade e insediamenti al piede di pendii naturali.
	Strutture paramassi di rete realizzate in sito	Intercettare ed arrestare i massi in caduta.	Chiusura di colatoi in pareti rocciose
Attive-passive	Reti semplici	Controllare la caduta dei massi consentendone l'accumulo al piede della parete	Protezione di scarpate stradali e insediamenti, anche in abbinamento con trincee – vallo.
	Rafforzamenti corticali	Consolidare la parte corticale dell'ammasso e contenere in parete eventuali distacchi.	Protezione di scarpate stradali e insediamenti.
attive	Soil nail	Stabilizzazione globale della pendice	Sistemazione di fronti di scavo.
	Consolidamenti profondi con chiodi e tiranti	Stabilizzazione di corpi rocciosi di grande proporzione, singoli o in gruppo, caratterizzati da cinematismo noto.	Pendici rocciose naturali, fronti di scavo.

In base a quanto attualmente offerto dai produttori, le prestazioni delle reti si differenziano sulla base dei seguenti fattori:

- Diametro del filo. L'utilizzo di filo a diametro maggiore, oltre che una più elevata resistenza, conferisce una migliore resistenza all'abrasione e al taglio indotti dagli spigoli dei massi. Analogamente, la resistenza all'abrasione e al taglio delle funi dei pannelli è proporzionale al diametro della fune della trama.

- Apertura della maglia. Una maglia più piccola consente di contenere massi di più piccola dimensione e, contemporaneamente, conferisce una maggiore resistenza alla trazione, ma anche una maggiore rigidità.

- Resistenza dell'acciaio. L'acciaio di ottima qualità garantisce prestazioni eccezionali in termini di resistenza della rete; tuttavia la rete, più rigida, pone qualche difficoltà nella la posa in opera su superfici irregolari.

- Protezioni contro l'ossidazione del filo metallico (ovvero galvanizzazione in leghe alluminio – zinco e rivestimenti del filo con ulteriore rivestimento plastico). L'utilizzo di particolari leghe galvaniche (note con diversi nomi commerciali) e del rivestimento in plastica consente l'impiego delle reti in ambienti particolarmente aggressivi (esempio: falesie a mare; zone in prossimità di solfatare; o rivestimento di rocce gessose).

- Forma, spessore, tipo di trama costituiva della maglia. La maglia della rete può essere esagonale, romboidale, con fili sinusoidali, ad anelli concatenati, ecc.; considerando le tipologie più commercializzate e senza entrare nel merito della qualità degli acciai impiegati, si osserva che le reti a torsione semplice (maglia romboidale) hanno elevate proprietà di deformabilità. La rete diventa quindi ideale per la dissipazione di urti (barriere paramassi); viceversa, le reti a doppia torsione sono molto meno deformabili e teoricamente si prestano meglio ad interventi di consolidamento. Sempre in merito alla forma, alcune reti sono "tridimensionali" perché la spirale di filo con cui è tessuta la rete mantiene un certo spessore; questo incrementa notevolmente la deformabilità della maglia e quindi del telo di rete. Infine, reti realizzate con maglie a torsione semplice consentono che, a seguito della rottura di un filo, si sviluppino ampie smagliature, se non addirittura che la lacerazione parziale della rete; viceversa le reti a doppia torsione risultano meno soggette a questi fenomeni.

- Il comportamento della rete. In ragione delle caratteristiche costruttive, le reti presentano deformabilità e resistenza diverse in funzione della direzione in cui agisce la sollecitazione.

- Difficoltà che pone nella messa in opera e incidenza della mano d'opera.

- Costo di acquisto.

4.4 RAFFORZAMENTI CORTICALI

Lo scopo dei rafforzamenti corticali è impedire la caduta dei massi e migliorare la connessione tra la parte superficiale disarticolata e quella sana in profondità. Naturalmente, al pari delle reti di protezione semplice, essi sviluppano anche la funzione di controllo delle cadute dei massi; di fatto però quest'ultima funzione è quasi sempre controproducente, perché i massi sono trattenuti tra gli ancoraggi e le operazioni di pulizia e manutenzione delle reti divengono inutilmente onerose.

L'utilizzo tipico è in ammassi rocciosi suddivisi in blocchi di dimensione molto più grande della maglia della rete, ma non ancora sufficiente da consentire la chiodatura sistematica con ancoraggi puntuali (dimensioni orientative dei massi 0.5 - 1.0 m).

Il ruolo fondamentale del sistema è assunto dagli ancoraggi che, impedendo o limitando i movimenti reciproci tra i blocchi, conferiscono una maggiore "rigidità" al sistema, rallentandone il progressivo rilassamento. Il sistema del rafforzamento corticale richiede che vi sia proporzione tra lo spessore del dissesto corticale e le dimensioni degli ancoraggi utilizzati.

Questi ultimi dovranno essere disposti secondo una maglia di densità (espressa come No. di anc. / m^2) tale da garantire che la massima porzione di ammasso disarticolato che potrebbe gravare su ciascun ancoraggio non superi il carico ammissibile dell'ancoraggio stesso. La lunghezza delle barre deve essere sufficiente per garantire che le sollecitazioni di trazione e taglio siano scaricate sull'ammasso roccioso sano.

In questa situazione la rete assolve la funzione di contenere i massi che si trovano nella maglia di ancoraggi. La forza dei massi che sollecitano a punzonamento la rete viene scaricata sugli ancoraggi circostanti.

Come osservabile dalla scomposizione delle forze, la sollecitazione trasmessa dalla rete sugli ancoraggi è notevole: diventa quindi necessario incrementare la resistenza a trazione e punzonamento della rete.

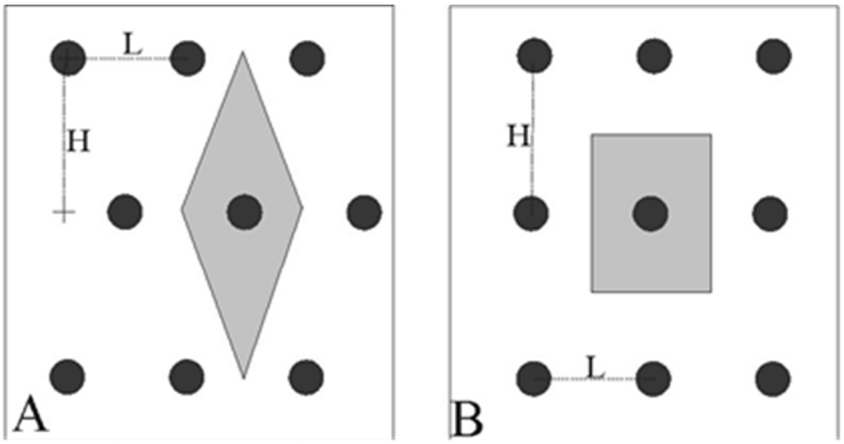


Figura 6.2- Densità di ancoraggio equivalenti:
A) con disposizione a quinconce; B)con disposizione a maglia rettangolare

Ciò si ottiene con l'utilizzo di reti più resistenti, con la realizzazione di reticoli di armatura in fune metallica, o con la posa di pannelli di rete in fune. Il problema può essere altrimenti risolto aumentando la densità di ancoraggi.

I fattori da considerare nella progettazione di un rafforzamento corticale si sovrappongono in parte a quelli esistenti per le reti semplici. Merita però ricordare l'importanza che riveste l'osservazione preliminare dell'ammasso. Essa infatti permette di definire lo spessore della roccia disarticolata, la dimensione del volume roccioso unitario più frequente, la storia pregressa degli eventi di crollo, e quindi di stabilire le caratteristiche degli interventi.

5 DIMENSIONAMENTO DELLE RETI DI PROTEZIONE

5.1 MODELLI DI STABILITÀ

Si riportano di seguito alcuni aspetti relativi al dimensionamento delle reti di protezione per quanto riguarda i problemi di stabilità globale del sistema di protezione. Si tralasciano i problemi relativi alla lacerazione o alla rottura per punzonamento della rete che sono riconducibili a problemi di instabilità localizzata.

Si consideri una rete di protezione che riveste un pendio inclinato β rispetto all'orizzontale. La rete è sostenuta alla sommità da una linea regolare di ancoraggi. Sopra la rete sono posizionate delle funi di rinforzo orizzontali e verticali. Il detrito che cade si accumula al piede e fino a formare un cumulo che sovraccarica a rete formando un sacco.

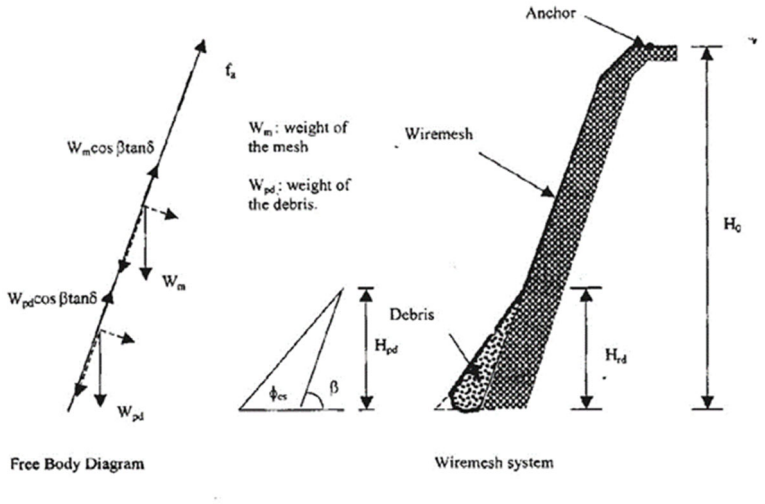


Figura 7.1 - schemi delle forze agenti sulle reti di protezione semplice.

Quando il sistema è in equilibrio, il suo fattore di sicurezza FS può essere descritto con:

$$Fs = \frac{Forze\ resistenti\ del\ sistema}{Forze\ agenti\ del\ sistema}$$

La resistenza al taglio del sistema dipende dai carichi agenti sugli ancoraggi, dalla componente normale del peso del detrito sulla rete e dall'angolo di attrito tra la rete e la superficie su cui essa è sovrapposta. La capacità degli ancoraggi dipende, a sua volta, dallo sforzo di taglio delle armature metalliche, dalla qualità dell'iniezione d'intasamento e dall'aderenza limite tra miscela d'intasamento e terreno, e dalla resistenza del terreno. La resistenza al taglio mobilizzata è invece rappresentata principalmente dal peso della rete stessa, dell'eventuale neve, da opere accessorie quali stuoie antierosive, e dagli impatti di massi puntuali.

Secondo alcune recenti indagini condotte su commissione Washington State Department of Transportation (2003), una delle cause principali della rottura degli ancoraggi è proprio il peso della neve. Ma fermandoci ai casi che più frequentemente si riscontrano nei versanti alpini e appenninici, in prima battuta è possibile semplificare il problema considerando solo gli effetti del peso della rete e dell'accumulo di detriti.

Il contribuito alla resistenza al taglio espressa dagli ancoraggi (fa) è data dall'espressione:

$$fa = PJ$$

Essendo:

- J il numero degli ancoraggi
- P la capacità di ogni singolo ancoraggio.

Il contributo alla resistenza al taglio espressa dal peso della rete (fw) dipende dall'angolo di attrito tra la rete stessa e la superficie su cui essa è posta ed è data dalla formula:

$$f_w = \gamma_w \left(\frac{H_0}{sin\beta}\right) cos\beta \; tan\delta$$

Dove,

- H_0 : altezza della scarpata;
- β : inclinazione del pendio rispetto all'orizzontale;
- δ : angolo d'attrito rete-superficie di appoggio;
- γ_w : peso unitario della rete.

L'angolo d'attrito rete-superficie di appoggio è funzione della quantità di aderenze della rete al terreno, dell'angolo di attrito del materiale che costituisce la superficie, della topografia del pendio e della sua umidità. A dispetto della sua importanza, questo parametro resta difficilmente calcolabile tanto che, in assenza di misure in sito o valori calcolati con una analisi a ritroso, esso viene normalmente stimato come funzione dell'angolo di resistenza al taglio del materiale su cui poggia la rete.

La forza esercitata dal detrito sulla rete di protezione è solo approssimabile in quanto dipende da molteplici fattori (forma del sacco di detrito, angolo di riposo del detrito e dall'acqua che eventualmente vi circola, ecc.). È quindi necessario operare una semplificazione assumendo come importante solo il contributo del peso del detrito stesso (fpd) sul sistema di difesa. Esso può essere espresso dalla formula:

$$f_{pd} = 0.5 \, H_{pd}^2 \, \gamma_{pd} \cos\beta \, (\cot \varnothing_{cs} \cot\beta) \tan\delta$$

Dove,

- H_{pd} : altezza del detrito accumulatosi alla base del pendio;
- γ_{pd} : peso di volume del detrito;
- φ_{cs} : angolo di attrito stimato del detrito.

Lo sforzo di trazione sul rivestimento dovuto al peso della rete e del detrito può essere determinato nell'ipotesi che siano entrambe parallele al pendio. In tal caso, queste componenti sono espresse, rispettivamente, come:

$$f_{pdm} = 0.5 H_{pd}{}^2 \gamma_{pd} \sin\beta(\cot\phi_{cs} - \cot\beta)$$

$$f_{wm} = \gamma_w \frac{H_0}{\sin \beta}$$

Sostituendo le equazioni ottenute nella relazione che definisce il fattore di sicurezza si ottiene:

$$FS = \frac{f_a + f_w + f_{pd}}{f_{pdm} + f_{wm}}$$

Date le condizioni del pendio, il numero degli ancoraggi richiesto per mantenere l'equilibrio statico del sistema di protezione può essere ottenuto uguagliando l'equazione all'unità.

Il calcolo viene condotto con software specifico. L'ipotesi di installazione è riferita a caratteristiche di resistenza meccanica similari a quelle riportate nel seguito, reperibili sul mercato:

STEELGRID HR PVC SYSTEM

GEOCOMPOSITO IN RETE METALLICA AD ALTA RESISTENZA

Il nuovo **Steelgrid HR System** è un innovativo sistema completo formato da un geocomposito metallico in rete a doppia torsione con cavi metallici tessuti longitudinalmente durante la produzione , speciali piastre metalliche, appositi morsetti ed anelli di giunzione, usato per i rivestimenti paramassi ed il consolidamento di scarpate. L'elevato livello di protezione contro la corrosione dei fili e delle funi (Classe A di lega Zn-Al5% + il rivestimento PVC), delle piastre, dei morsetti e degli anelli di giunzione, conferiscono al sistema **Steelgrid HR PVC System** ed accessori la possibilità di un uso ideale in ogni ambiente alpino e continentale incluse le opere costiere.

La tecnologia Maccaferri ha sviluppato una particolare modifica del processo di tessitura della rete per realizzare un materiale a "maglia variabile" dove i cavi metallici non sono solo tessuti con lo stesso andamento/forma esagonale, ma con una orditura che è capace di assorbire gli sforzi di trazione e punzonamento fin dall'inizio della sollecitazione degli sforzi creati da parte di materiali rocciosi o terreno senza necessità di alcun pretensionamento. In corrispondenza di ogni fune si realizza una mezza maglia provocata dallo scorrimento della fune sul filo in fase di

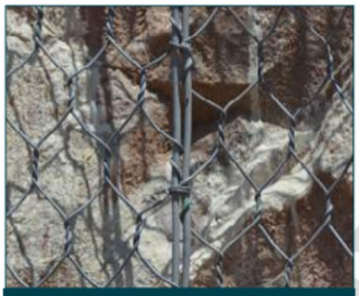


Figura 1: Dettaglio delle funi di bordatura

Poichè le funi utilizzate per lo **Steelgrid HR PVC System** sono in 6 mm, l'allineamento delle stesse non è perfettamente rettilineo e può variare durante la produzione, in funzione della spaziatura delle funi ed anche all'interno dello stesso rotolo e la prestazione nominale del prodotto è stata determinata in funzione di tale variabilità. Quando le rete è sollecitata dagli sforzi, le funi assumono un andamento perfettamente lineare che permette di ottenere un prodotto ad alta resistenza e rigidezza sia per trazione che punzonamento (alta resistenza e bassa deformazione) in confronto alle reti tradizionali a doppia torsone e ad ogni altro tipo di rete tessuta: a trazione si raggiunge un allungamento a rottura del 5-9% mentre lo stesso parametro per le reti a doppia torsione tradizionali è pari al 16-23% in funzione delle varie combinazioni di maglia/filo (Tabella 1). Lo stesso può essere detto per la resistenza al punzonamento, secondo le UNI 11437: la differenza è veramente significativa con una diminuzione di deformazione pari 20-40% in funzione

Varianti Steelgrid HR PVC	Resistenza a trazione longitudinale nominale
HR PVC 30	119 kN/m
HR PVC 50	89 kN/m
HR PVC 100	73 kN/m

Tabella 1: resistenza a trazione longitudinale

Applicazione in parete di Steelgrid HR PVC System

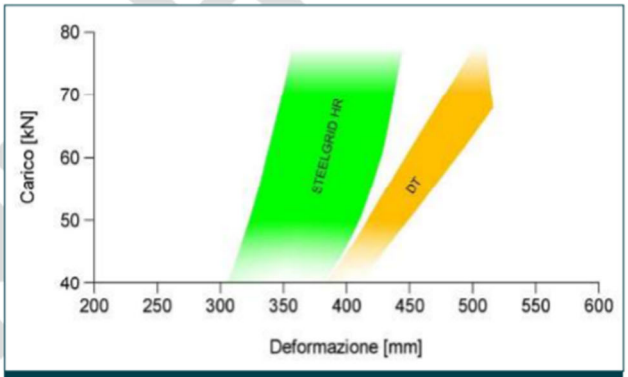


Figura 2: Comparazione delle prestazioni al test di punzonamento

Tipologie di Steelgrid HR PVC System	Deformazione al punzonamento con carico di 50kN	Carico di punzonamento limite	Deformazione limite al punzonam.
HR PVC 30	<340 mm	125 kN	430 mm
HR PVC 50	<370 mm	105 kN	450 mm
HR PVC 100	< 420 mm	74 kN	450 mm

Tabella 2: Prestazioni al test di punzonamento (UNI 11437)

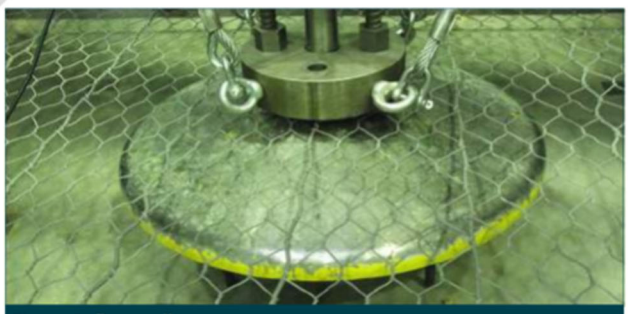


Figura 3: Prova di punzonamento

CE
13
1301-CPD-0893
ETA - 13/0524

Steelgrid® HR PVC System è installato facilmente con le medesime procedure delle convenzionali reti a doppia torsione. La presenza delle funi longitudinali permette di trasferire il carico uniformemente sulla fune di ancoraggio in sommità ed evita grossi restringimenti laterali dei rotoli di rete durante l'installazione e l'esercizio.
Gli accessori che Maccaferri suggerisce per lo **Steelgrid® HR PVC** (in particolare la piastra di ripartizione da abbinare ad eventuali ancoraggi) permette di ottenere un sistema caratterizzato da prestazioni elevate e in grado di fornire la massima sicurezza.

Filo di acciaio utilizzati per rete metallica a doppia torsione in maglia esagonale:

- **Resistenza alla trazione**: i fili utilizzati per la fabbricazione delle maglie devono avere una resistenza alla trazione tra 380-550 N/mm^2 (EN 10223-3). Tolleranze sul filo (vedi tabella 3) sono conformi alla norma EN 10218 (Classe T1).
- **Allungamento**: L'allungamento non deve essere inferiore al 9% (EN 10223-3).
- **Rivestimento Galmac®:** quantità minime di Galmac® indicate in tabella 2 soddisfano i requisiti della EN 10244-2 (Classe A).
- **Aderenza del rivestimento Galmac®:** l'aderenza del rivestimento Galmac® del filo dovrà essere conforme alla norma EN 10244-2.
- **Prova di invecchiamento accelerato**: in ambiente a condensazione generale di umidità, contenente anidride solforosa (28 cicli) secondo UNI EN ISO 6988 (senza mostrare segni di ruggine rossa).
- **Rivestimento esterno in polimero**: rivestimento continuo in PVC estruso, spessore nominale 0.5 mm

Funi di acciaio
Finitura superficiale dei fili che compongono la fune: in lega di zinco-alluminio (Zn-Al5%) rivestito di classe A in conformità alla norma EN 10244-2.
Rivestimento esterno fune: rivestimento in PVC ad estrusione continua, spessore nominale 1mm
Diametro fune di acciaio: 6 mm (misurato attraverso il diametro esterno in accordo con gli standard di riferimento); diametro esterno della fune incluso rivestimento in PVC: 8 mm.
Costruzione fune: "6x7WC - WSC" descritta secondo la norma EN 12385-2:2008 e EN 12385-4 2008.
Grado nominale della fune: 1770 N/mm^2 secondo EN 12385-4 2008.
Carico di rottura minimo (MBL) della fune: 22,9 kN, definito in EN 12385-4 2008.

Rivestimento in PVC per cavi e funi:
Qualità del materiale: secondo 10245-2
Unità di peso: 130-135 kg/m3 conforme a ISO 1183
Durezza: da 50 a 60 Shore D secondo ISO 868
Resistenza a trazione: ≥ 21 N/mm^2 secondo ISO 527
Allungamento a rottura: ≥ 200% secondo ISO 527
stabilizzazione UV: SI

Tabella 3 - tipologie standard

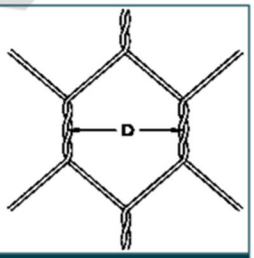
TIPOLOGIE STEELGRID HR PVC SYSTEM	Larghezza nominale rotolo (camion)	Larghezza nominale rotolo (via container)	Lunghezza nominale rotolo
HR PVC 30	3.15 m	2.85 m	25/40 m
HR PVC 50	3.25 m	2.75 m	25/40 m
HR PVC 100	3.10 m	2.85 m	25/40 m

Tutte le dimensioni sono nominali. La conferma deve essere richiesta all'ufficio regionale prima di effettuare un ordine. Tolleranze sulla maglia: ± 3% della lunghezza, ± 5% della larghezza, ± 8% di spaziatura. Altre dimensioni rotolo sono disponibili su richiesta.

Tabella 4 - combinazione standard maglia e filo

Tipo di rete	D (mm)	ø Wire (mm)
8x10	80	2.70
Diametro filo per la maglia	**ø mm**	2.70
Diametro esterno filo per la maglia	**ø mm**	3.70
Tolleranze sul diametro del filo	**(±) ø mm**	0.06
Quantità minima di Galmac	**gr/m^2**	245
Diametro esterno fune longitudinale	**ø mm**	8.00

Tolleranza della maglia
La tolleranza sull'apertura della maglia è riferita all'interasse tra due torsioni in accordo alle normative UNI-EN 10223.



Dettaglio maglia rete

Morsetto

Piastra

Maglie di giunzione ("HR LINK")

Certificazione di accompagnamento materiali:
Prima della messa in opera e per ogni partita ricevuta in cantiere l'appaltatore dovrà consegnare alla D.L. il certificato di origine rilasciato in originale nel quale vengono specificati il tipo e nome commerciale del prodotto, la Ditta produttrice, la Ditta a cui viene consegnato il prodotto, la destinazione e le quantità fornite.
Prodotto Certificato secondo Linee guida per la redazione dei capitolati per l'impiego di rete metallica a doppia torsione della Presidenza del Consiglio Superiore LLPP – Servizio Tecnico Centrale - Luglio 2013

AVVERTENZA: La posa del prodotto deve avvenire in accordo alle norme di sicurezza nazionali. Quando il lavoro è eseguito con funi di sospensione o posizionamento, i dispositivi di protezione individuale contro le cadute dall'alto devono essere collegati a punti di ancoraggio sicuri conformi alla norma EN 795.

Officine Maccaferri Italia S.r.l.
Via Kennedy, 10 - 40069 Zola Predosa (BO) - Italy
Tel. (+39) 051-6436000 - Fax (+39) 051-6436201
E-mail: info@it.maccaferri.com - Web site: www.maccaferri.com/it

Azienda con Sistema Qualità Certificato da Bureau Veritas con accreditamento Accredia e Ukas.

COPYRIGHT MACCAFERRI

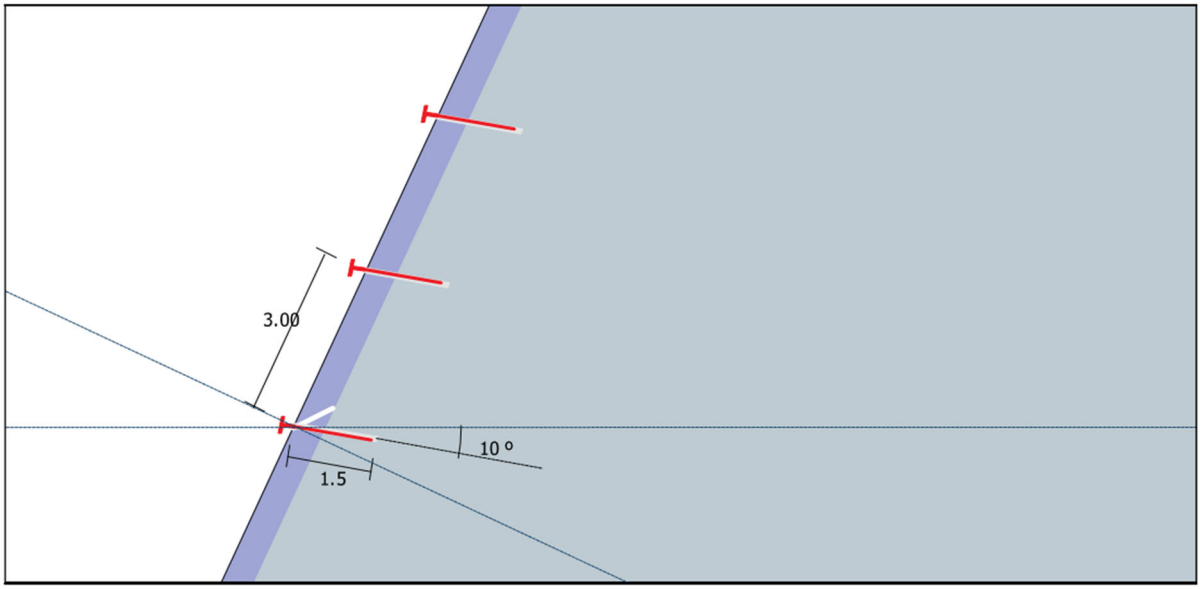
l'ipotesi di calcolo prevede la posa di rete metallica a doppia torsione combinata con impiego di funi in acciaio

Cliente **Comune di Balmuccia / 2021**

Informazioni sul progetto

Titolo Protezione SP10 - Comune di Balmuccia (VC)
Numero 2021
Cliente Comune di Balmuccia
Progettista Ing. Giorgio Cerin
Descrizione Protezione corticale fronte roccioso lato strada

Ingresso



Pendio roccioso

Inclinazione del pendio [°]	65
Spessore della zona superficiale instabile [m]	0.50
Peso di volume unitario [kN/m³]	27.00
Lunghezza di plasticizzazione nella roccia stabile [m]	0.30

Famiglia di giunti più sfavorevoli

Inclinazione del giunto più sfavorevole [°]	25
Resistenza a compressione del giunto critico [MPa]	10.00
Rugosità del giunto critico	5.00

Sismicità

Coefficiente sismico orizzontale	0.00
Coefficiente sismico verticale	0.00

Sovraccarichi esterni sul pendio

Forza esterna [kN]	0.00
Inclinazione della forza sull´orizzontale [°]	90.00

Barra di ancoraggio

Geometria

Spaziatura orizzontale tra gli ancoraggi [m]	6.00
Spaziatura verticale tra gli ancoraggi [m]	3.00
Inclinazione della barra rispetto all´orizzontale	10

Tipo di ancoraggio

Tipo di barra	**Barre in acciaio B450C**
Diametro interno della barra di ancoraggio [mm]	0
Diametro esterno della barra di ancoraggio [mm]	26
Spessore della corona di corrosione [mm]	0.00
Tensione di snervamento dell´ancoraggio [MPa]	450.00
Tensione limite interfaccia iniezione-roccia [MPa]	0.75

Rete

Tipo di rete	**Steelgrid HR 30**
Resistenza nominale a trazione in prova di lab. [kN/m]	180.00
Massima deformazione ammissibile [m]	0.581

MACRO Studio | | Copyright® Maccaferri 2016-2019 | v 3.0.45 | 2019.03.19 | Notice: Maccaferri is not responsible for the drawings and the calculations transmited, since they should be intended as general design outlines and advice, aiming only to the best use of the produts.

Risultati

Analisi dello scivolamento della zona superficiale

FOS_R	1.12	
Tasso di lavoro dell´ancoraggio	74.02	%

Analisi della Rete

	Trazione	Punzonamento	
FOS_R	2.18	1.39	
Tasso di lavoro	45.78	72.04	%

Analisi dello scivolamento della zona superficiale

Forze stabilizzanti [kN]	295.20
Forze stabilizzanti sul piano di scivolamento corticale [kN]	264.28
Fattore di resistenza	1.12

Ancoraggio

Forze stabilizzanti sul piano di scivolamento corticale [kN]	88.09
Capacità dell´ancoraggio, valore di progetto [kN]	119.02
Tasso di lavoro dell´ancoraggio	74.02

Progettazione degli ancoraggi

Angolo tra l´asse della barra e l´orizzontale [°]	10
Snervamento dell´acciaio, valore di progetto [MPa]	391.30
Area efficace della barra di ancoraggio [mm²]	440.74
Sliding plane stabilizing forces - per anchorage [kN]	119.02
Diametro nominale di perforazione [mm]	50.00
Forza di stradicamento dovuta alla rete [A] [kN]	31.06
Forza di stradicamento dovuta allo scivolamento superficiale [B] [kN]	22.80
Massima forza di sradicamento (maggiore tra A e B) [kN]	31.06
Lunghezza dell´ancoraggio nella zona stabile [m]	0.40
Lunghezza dell´ancoraggio nella zona instabile [m]	0.62
Lunghezza minima dell´ancoraggio [m]	1.50

Caratteristiche della Rete

Trazione

Resistenza a trazione della rete, valore di progetto [kN/m]	72.00
Tensone di lavoro agente sulla rete, valore di progetto [kN/m]	32.96
Fattore di resistenza della rete	2.18

Punzonamento

Resistenza a punzonamento della rete, valore di progetto [kN]	33.83
Azioni di punzonamento agenti contro la rete, valore di progetto [kN]	24.37
Fattore di resistenza per la deformata della rete	1.39

Progettazione della rete

Volume di roccia che può scivolare tra gli ancoraggi [m³]	8.31
Peso di roccia che può scivolare tra gli ancoraggi [kN]	224.29
Somma delle azioni, valore di progetto [kN]	113.75
Somma delle resistenze, valore di progetto [kN]	75.83
Azioni di punzonamento agenti contro la rete, valore di progetto [kN]	24.37
Deformazione massima prima della manutenzione [m]	0.664

FS Fattore di Sicurezza

Coefficiente applicato alle resistenze (forze stabilizzanti)	1.25
Coefficiente applicato alle aziani (forze destabilizzanti)	1.20

Caratteristiche della Rete

Coefficiente applicato alla resistenze della rete	2.50
Coefficiente applicato alla deformata della rete	1.30

Tipo di ancoraggio

Coefficiente applicato allo snervamento della barra	1.15
Coefficiente applicato al coefficiente di adesione	1.80

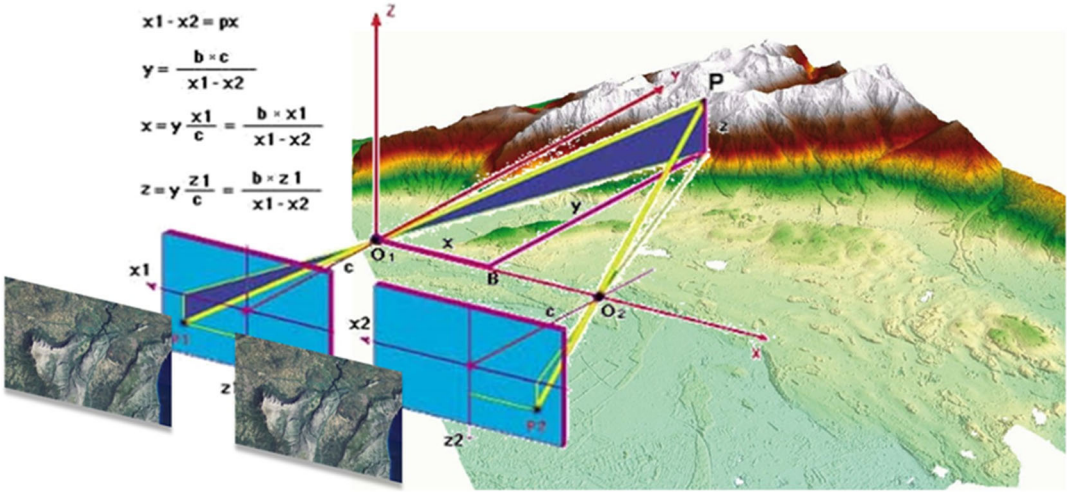
6 CRONOPROGRAMMA

I tempi previsti per la realizzazione dell'opera vengono stimati in giorni 45 (quarantacinque); durante l'esecuzione delle opere la circolazione veicolare sarà a senso unico alternato, garantito mediante l'impiego di impianto semaforico.

7 FOTOGRAMMETRIA AEREA

7.1 GENERALE

La tecnica fotogrammetrica è una metodologia di rilievo classica, basata sull'acquisizione di immagini della stessa area ma da diversi punti di vista e parzialmente sovrapposte. Sfruttando il principio della stereoscopia, a partire dai dati relativi al posizionamento ed orientamento della fotocamera al momento dello scatto, dal tipo di obiettivo utilizzato e dalla risoluzione delle immagini, la ricostruzione matematica della geometria prospettica consente di effettuare una triangolazione ottica dei punti individuati dai pixel delle immagini e ricostruire la geometria tridimensionale delle aree fotografate:



Principio della restituzione stereoscopica

Come indicato in introduzione, la restituzione della geometria delle aree è avvenuta con tecnica fotogrammetrica attraverso una metodologia di acquisizione ed elaborazione fotografie nadirali scattate secondo uno schema di posizioni tali da risultare in una forte sovrapposizione reciproca.

I seguenti paragrafi mostrano in maggior dettaglio le operazioni di acquisizione, elaborazione e restituzione.

7.2 STRUMENTAZIONE

L'esecuzione dei voli aerofotogrammetrici è avvenuto nelle prime settimane di Marzo 2021; il velivolo utilizzato è un drone a pilotaggio remoto MavicAir prodotto dalla DJI, che si presenta come multirotore con sistema di propulsione ad elica.

Il drone è equipaggiato con una fotocamera ad alta risoluzione, con sensore da 12 MPixel, e controlli elettronici a bordo, quali sistema GNSS - GPS+GLONASS, sensore inerziale ed altimetro ottico ad ultrasuoni, che consentono l'automazione del volo e forniscono i parametri necessari all'orientamento delle fotografie e del blocco fotogrammetrico.

Le caratteristiche del sistema in configurazione pronto volo sono le seguenti:

VELIVOLO	
Peso al decollo	430 g
Dimensioni Chiuso:	168×83×49 mm
Aperto:	168×184×64 mm
Velocità ascensionale massima	4 m/s (modalità S)
	2 m/s (modalità P)
	2 m/s (modalità Wi-Fi)
Velocità massima di discesa	3 m/s (modalità S)
	1,5 m/s (modalità P)
	1 m/s (modalità Wi-Fi)
Velocità massima (al livello del mare, in assenza di vento)	68,4 km/h (modalità S)
	28,8 km/h (modalità P)
	28.8 km/h (modalità Wi-Fi)
Quota massima di tangenza operativa sul livello del mare	5000 m
Autonomia di volo (in assenza di vento)	21 minuti (a 25 km/h costanti)
Autonomia di volo stazionario (in assenza di vento)	20 minuti
Distanza massima di volo (in assenza di vento)	10 km
Massima resistenza al vento	29 - 38 km/h
Angolo massimo di inclinazione	35° (modalità S[1])
Sistemi GNSS	GPS + GLONASS
Accuratezza di stazionamento in volo	Verticale:
	±0,1 m (con posizionamento visivo)
	±0,5 m (con posizionamento GPS)
	Orizzontale:
	±0.1 m (con posizionamento visivo)
	±1.5 m (con posizionamento GPS)
FOTOCAMERA	
Sensore	1/2.3” CMOS
Pixel effettivi:	12 MP
Obiettivo	FOV: 85°
	35 mm equivalente: 24 mm
	Apertura: f/2,8

7.3 ACQUISIZIONE

Il rilievo sul sito interessava un’area di circa 0,6 Ha, in fase di pianificazione dei voli, le aree sono state leggermente ampliate al fine di includere le immediate pertinenze per una estensione globalmente rilevata e restituita pari ad oltre 0,8 Ha.

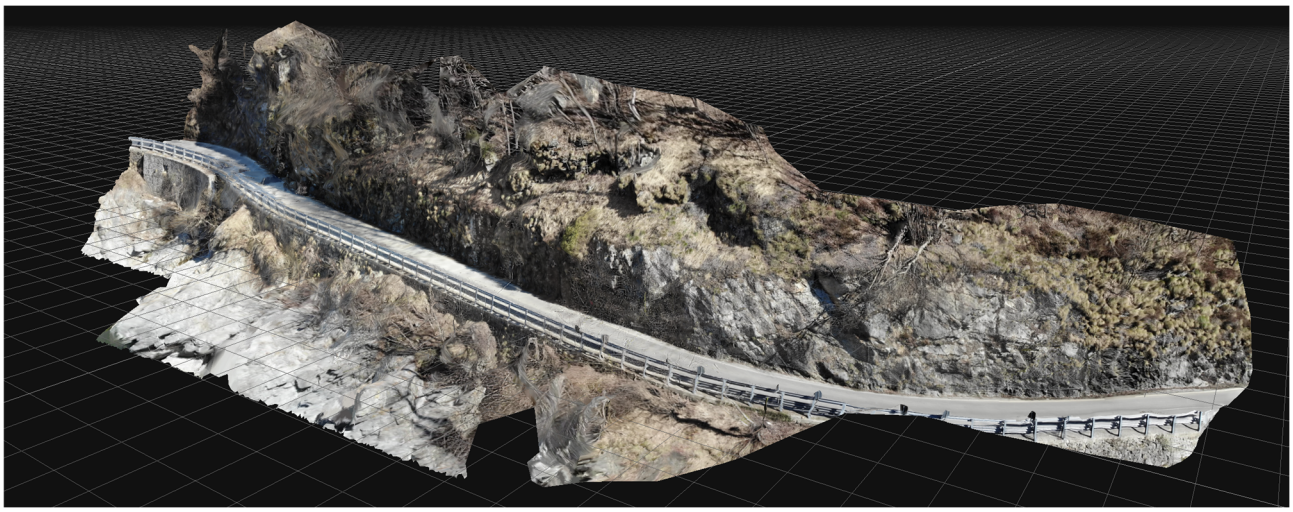
Sono stati realizzati un totale di 2 voli, ognuno dei quali eseguito mediante una serie di strisciate percorse in senso parallelo e perpendicolare alla direzione di massima pendenza del sito. Ogni volo è stato realizzato ad una quota nominale pari a circa 60 m agl (above ground level = quota rispetto al suolo). L’obiettivo della fotocamera è un grandangolare standard da 24 mm equivalenti.

Al fine di fornire ridondanza e migliorare la qualità della restituzione, la sovrapposizione longitudinale e trasversale tra le fotografie è stata impostata ad un valore pari al 65% per un totale di circa 220 immagini globalmente acquisite durante i voli.

Vista nadirale complessiva

7.4 POST- ELABORAZIONE E RESTITUZIONE

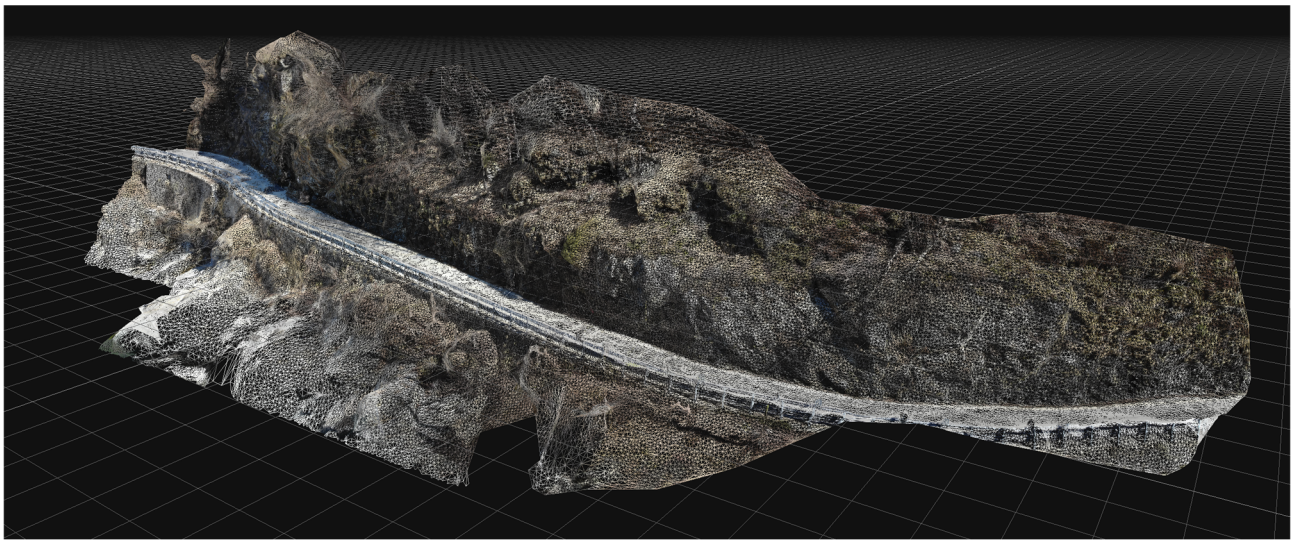
Il rilievo aereo è stato restituito tridimensionalmente mediante apposito software di elaborazione fotogrammetrica, tramite il quale si è proceduto alla ricostruzione dell'orientamento delle prese fotografiche al momento dell'acquisizione, alla correzione delle distorsioni introdotte dal sistema obiettivo/sensore ed alla generazione delle coordinate 3D dei punti omologhi visibili contemporaneamente su più fotografie (principio stereoscopico), per un totale di circa 10 milioni di punti restituiti su tutta l'area.



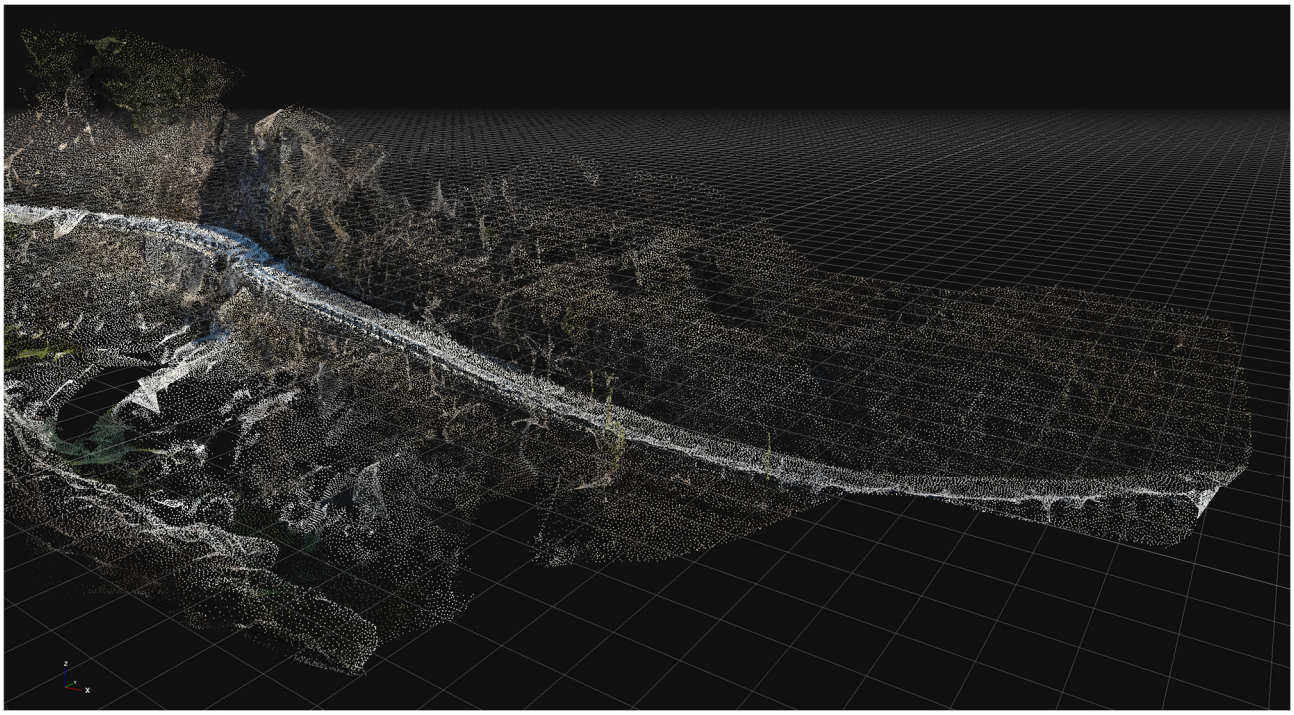
Mesh complessiva con applicazione texture

La densa nuvola di punti prodotta dal software fotogrammetrico corrisponde ad un modello digitale di superficie (DSM) in grado di descrivere con notevole accuratezza le aree cartografate.

Il modello così ottenuto è stato infine sottoposto ad operazioni di meshatura ad elementi triangolari irregolari (TIN) e texturizzazione per la creazione del modello 3D fotorealistico.



Mesh complessiva con evidenza elementi triangolari di base

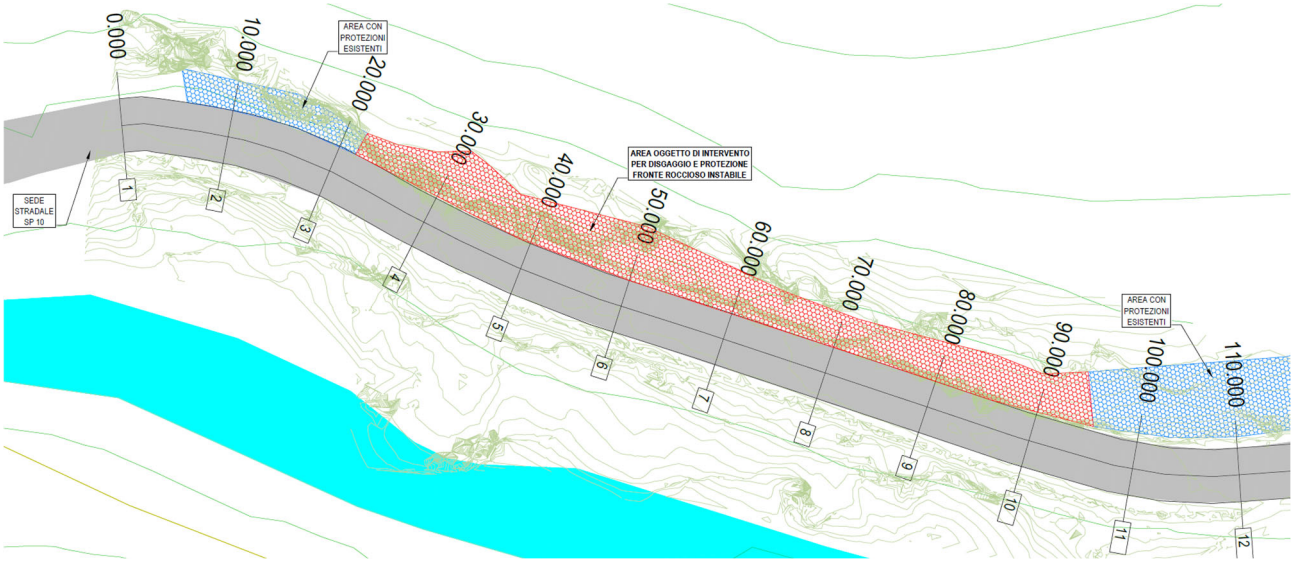


nuvola di punti

7.5 MODELLAZIONE FINALE

La nuvola di punti generata con il software di modellazione fotogrammetrica è stata successivamente trattata con ulteriore software topografico per il calcolo delle curve di livello e la generazione di sezioni e profili, ottenendo una coerente sovrapposizione con gli elementi fotografici ricavati in sito.

Sovrapposizione modello DTM su foto nadirale



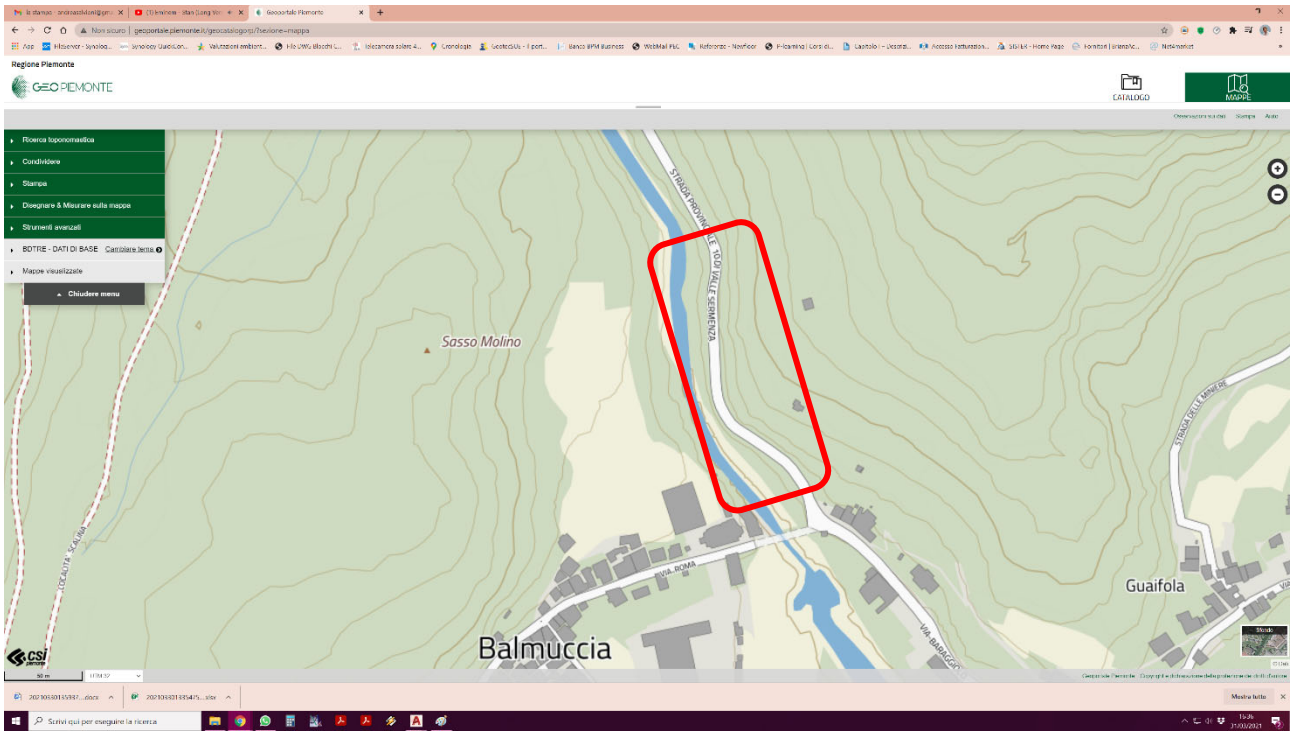
Modellazione curve di livello

8 INSERIMENTO URBANISTICO

Il paragrafo che segue riporta le indicazioni relative alla presenza di vincoli di tutela ambientale ed urbanistici relativi all'area oggetto di intervento.

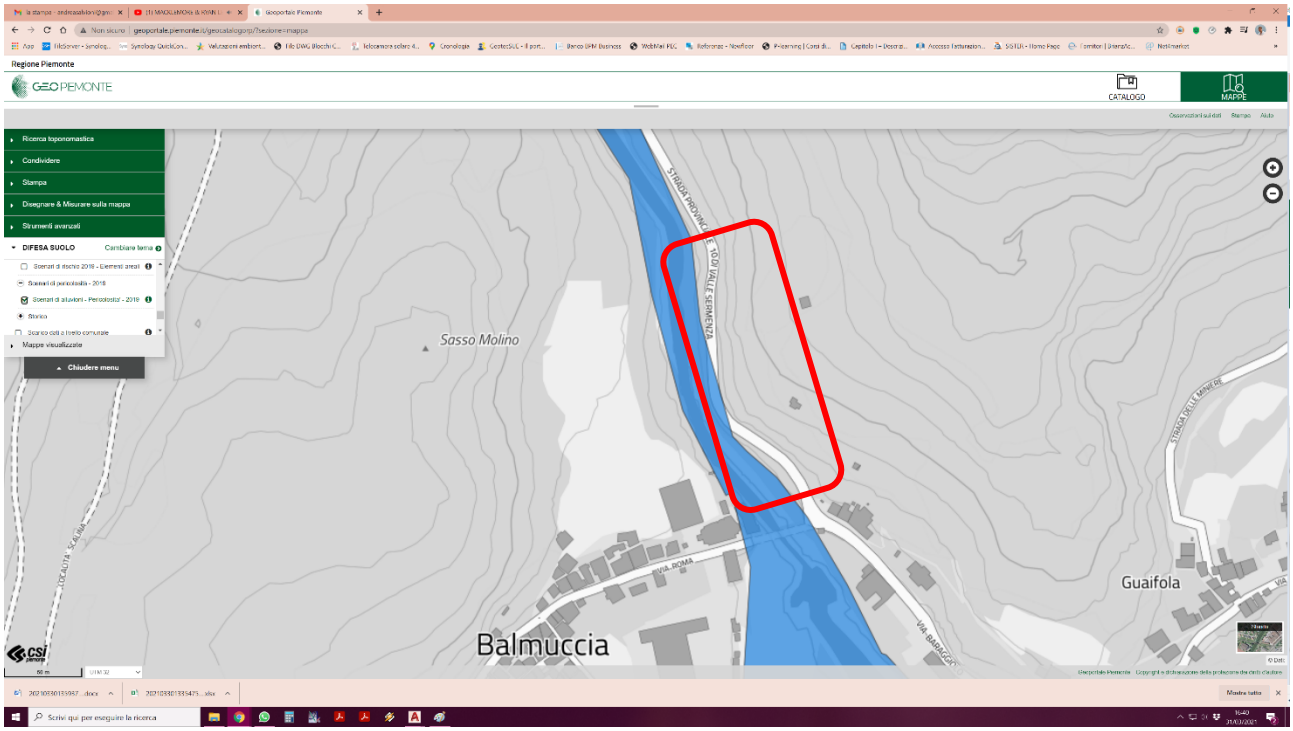
Si evidenzia che la tipologia di intervento, relativa alla messa in sicurezza del versante roccioso, non presuppone movimentazione di terre derivanti da scavi ma unicamente disgaggio di elementi incoerenti superficiali e decespugliamento dell'area in frangia alla sede stradale della SP10.

8.1 DBTRE



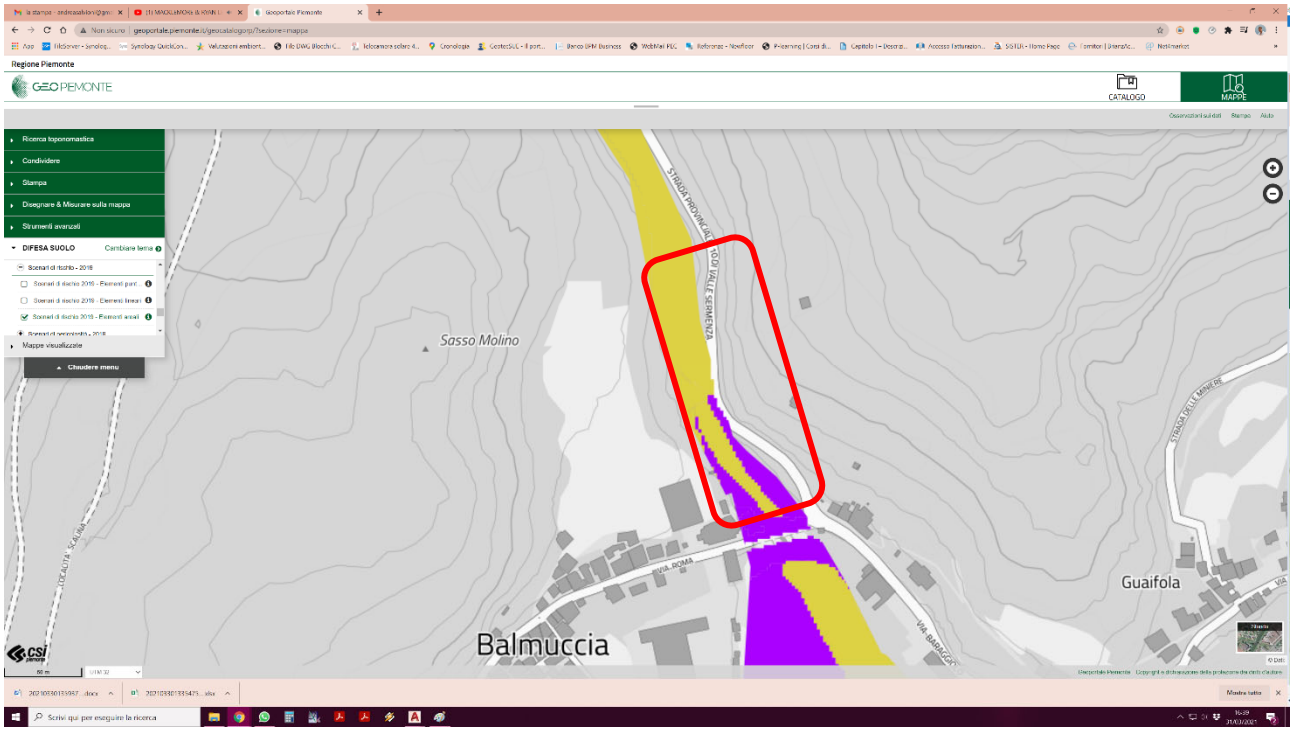
Dalla cartografia di base regionale si ricava l'individuazione della sede stradale SP10, in sponda idrografica destra al Torrente Sermenza. L'area oggetto di studio si estende per uno sviluppo di circa 200 m, 70 m dei quali soggetti ad intervento di messa in sicurezza

8.2 AREE ESONDABILI



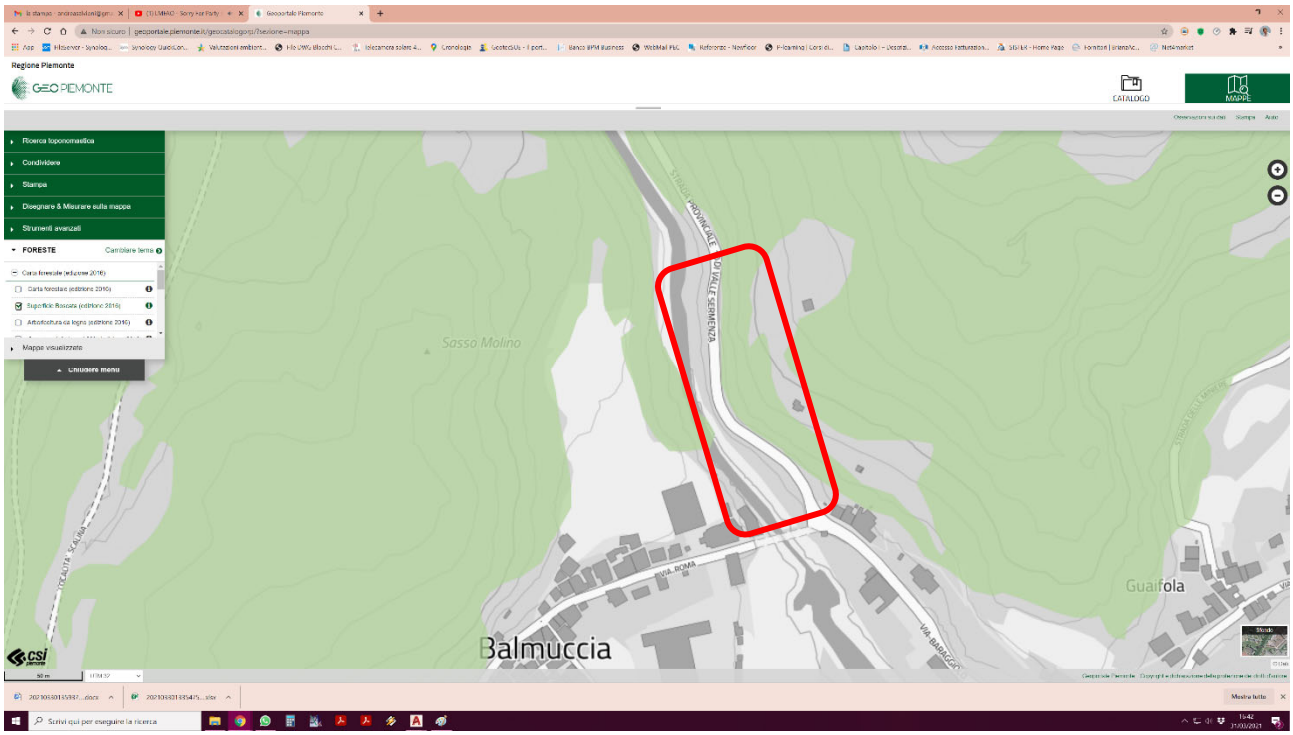
Non si rilevano problematiche correlate ad possibili esondazioni sull'area di intervento

8.3 SCENARI DI RISCHIO



Non sono riferiti possibili scenari di rischio correlati all'area di interesse

8.4 AREE BOSCATE

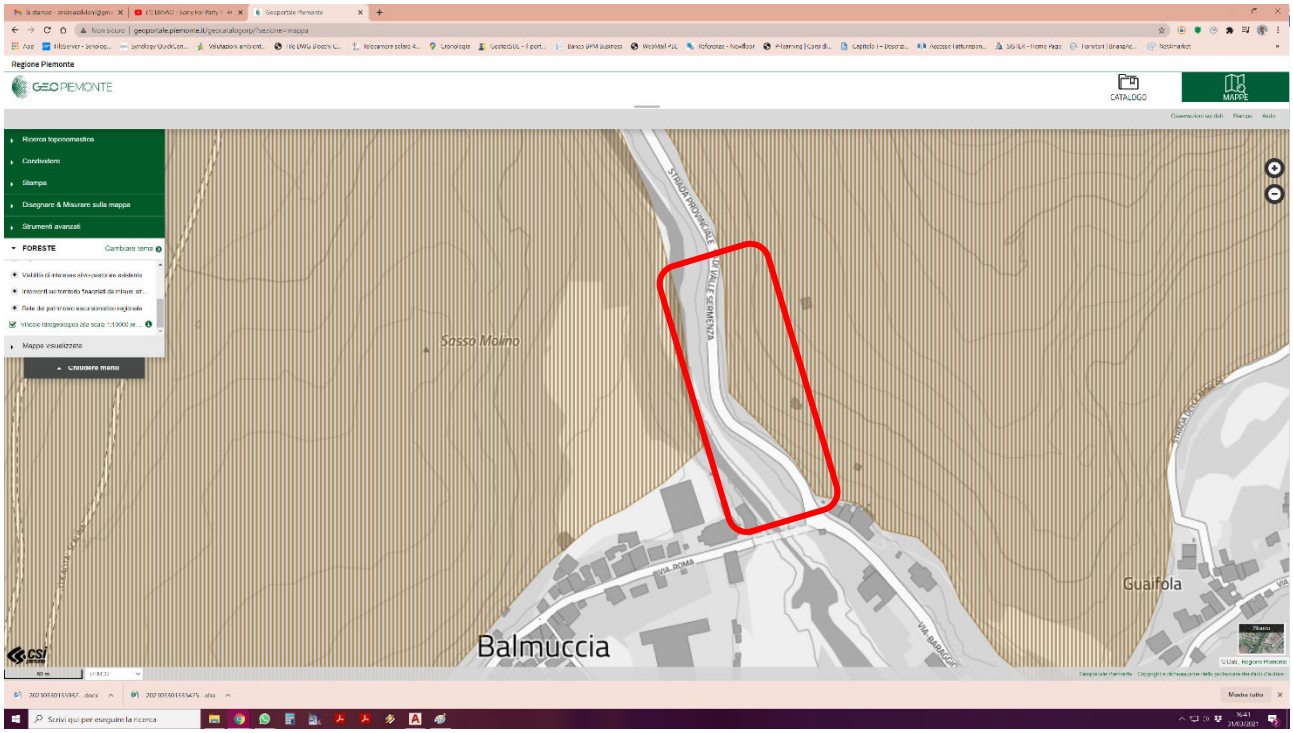


La porzione di territorio a monte della sede stradale risulta perimetrata come area boscata. In termini di tutela, si rileva che è previsto il solo decespugliamento delle specie arbustive infestanti, localmente presenti nei rari punti ove la pendenza del fronte roccioso risulta inferiore al 100%.

Trattandosi di pertinenza stradale, le aree verranno manutenute unicamente rimuovendo le eventuali minori alberature attualmente divelte, ruotate od instabili.

Per quanto riguarda la posa delle reti paramassi, ricorrono i termini per la richiesta di autorizzazione paesaggistica riconducibile alla voce B.40 dell'Allegato B "interventi sistematici di ingegneria naturalistica diretti alla regimazione delle acque, alla conservazione del suolo o alla difesa dei versanti da frane e slavine";

8.5 AREE DI VINCOLO IDROGEOLOGICO



La scarpata di monte della SP10 risulta interessato da vincolo idrogeologico, seppur non nella fascia immediatamente in frangia alla sede stradale bitumata.

Per quanto attiene alle opere in progetto si rileva comunque che l'intervento rientra nei casi di esclusione previsti dalla LR 45/89 trattandosi di interventi di manutenzione di strade in cui non è previsto l'ampliamento della sezione o la rettificazione del tracciato.