



COMUNE DI BUGGERU
PROVINCIA DEL SUD SARDEGNA



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

COMPLETAMENTO DELLE OPERE DI CONSOLIDAMENTO NEL CENTRO ABITATO DI BUGGERRU

PROGETTO ESECUTIVO

ELABORATO

ES_01

RELAZIONE TECNICA

SCALA

/

COMMITTENTE

COMUNE DI BUGGERRU

Via Roma n°40 - Cap 09010 - Tel 0781 548013 - Fax 0781 54424

mail: comune.buggerru@tiscali.it - pec: comune.buggerru@pec.it sito: www.comune.buggerru.ci.it

PROGETTISTI

Dott. Ing. Emilio Balletto

Prof. Giovanni Battista Crosta

PROTEA INGEGNERIA associati

Dott. Ing. Claudia Anselmini

Dott. Geol. Cristian Adamoli

Dott. Ing. Pietro Paolo Mossone

Dott. Ing. Silvia Sulis

Dott. Geol. Alessandro Melis

Documento firmato digitalmente ai sensi del D.lgs 82/2005 e norme collegate

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
1	Luglio 2018	Prima emissione	G. P.	Cl. A. - Cr.A.	Cl. A. - Cr.A.
2					
3					

COMPLETAMENTO DELLE OPERE DI CONSOLIDAMENTO NEL CENTRO ABITATO DI BUGGERRU

PROGETTO ESECUTIVO

1.	PREMESSA	3
2.	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	5
2.1	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	5
2.2	INQUADRAMENTO DELL'AREA DI INTERVENTO	7
3.	RILIEVO DELLO STATO DI FATTO E RICOGNIZIONE DELLE OPERE ESISTENTI	10
3.1	PROGRESSIVA +0,00 - +100,00	10
3.2	PROGRESSIVA +100,00 - +150,00	11
3.3	PROGRESSIVA +150,00 - +200,00	12
3.4	PROGRESSIVA +200,00 - +250,00	13
3.5	PROGRESSIVA +250,00 - +320,00	14
3.6	PROGRESSIVA +320,00 - +450,00	15
3.7	PROGRESSIVA +450,00 - +520,00	17
3.8	PROGRESSIVA +520,00 - +560,00	18
3.9	PROGRESSIVA +560,00 - +640,00	19
3.10	PROGRESSIVA +640,00 - +670,00	21
4.	STATO DELLE CONOSCENZE DELLE OPERE DI PROTEZIONE DA CADUTA MASSI	22
4.1	SOLUZIONI TECNICHE ADOTTABILI	22
4.2	INTERVENTI DI TIPO ATTIVO	23
4.3	INTERVENTI DI TIPO PASSIVO	25
4.4	MONITORAGGI	26
4.5	ASPETTI PROGETTUALI E NORMATIVI PER BARRIERE PARAMASSI A RETE	26
4.6	NORMATIVA ESISTENTE: IL BENESTARE TECNICO EUROPEO ETAG 027	27
4.7	LINEE GUIDA PER LA PROGETTAZIONE	28
4.8	NORMATIVA PER LA PROGETTAZIONE DELLE OPERE DI FONDAZIONE	32
4.9	ASPETTI PROGETTUALI PER L'UTILIZZO DI RETI PARAMASSI	33
4.10	RETI DI PROTEZIONE SEMPLICE	35
4.11	RAFFORZAMENTI CORTICALI	36

COMPLETAMENTO DELLE OPERE DI CONSOLIDAMENTO NEL CENTRO ABITATO DI BUGGERRU

PROGETTO ESECUTIVO

5.	DETERMINAZIONE DEL RISCHIO DI CADUTA MASSI	40
5.1	MODELLO TOPOGRAFICO	41
5.2	PREPARAZIONE CARTE TEMATICHE DI BASE PER MODELLAZIONE	41
5.3	MODELLAZIONE FENOMENI DI CADUTA MASSI: STATO DI FATTO	42
5.4	MODELLAZIONE FENOMENI DI CADUTA MASSI: STATO DI PROGETTO	48
6.	INTERVENTI IN PROGETTO	51
6.1	DISGAGGI IN PARETE	52
6.2	BARRIERE PARAMASSI	52
6.3	INTERVENTI ATTIVI IN PARETE	54

COMPLETAMENTO DELLE OPERE DI CONSOLIDAMENTO NEL CENTRO ABITATO DI BUGGERRU

PROGETTO ESECUTIVO

1. PREMESSA

Su incarico dell'Amministrazione Comunale di Buggerru (Provincia del Sud Sardegna), è stato redatto il presente progetto esecutivo, relativo completamento delle opere di consolidamento nel centro abitato.

Detto progetto esecutivo è stato sviluppato in attuazione alle scelte progettuali adottate in sede di progetto definitivo, approvato con delibera della Giunta Comunale n.52 del 27.07.2018, per il quale era prevista una dotazione finanziaria pari a Euro 1.110.000,00 per i soli lavori, corrispondenti ad un importo complessivo di quadro economico pari a Euro 1.560.000,00. Poiché il limite delle risorse attualmente disponibili per l'intervento è pari a Euro 1.000.000,00, di cui Euro 675.000,00 per i soli lavori, si è proceduto a sviluppare uno stralcio funzionale secondo la logica descritta in appresso:

- è stata ridotta la superficie complessiva interessata dal disgaggio, ossia da 37.000 m² a 18.500 m²;
- è stata ridotta la lunghezza della barriera B4 da 130 m a 70 m;
- è stata ridotta la superficie interessata dal rivestimento con rete in trefolo d'acciaio da 5.300 m² a 3.500 m²;
- non si eseguirà l'intervento di manutenzione straordinaria della barriera paramassi rigida.

La tabella seguente compara le opere previste nel Progetto Definitivo con quelle del Progetto Esecutivo.

Tipologia d'intervento	Progetto Definitivo	Progetto Esecutivo
Disgaggio e pulizia delle pareti rocciose	37.000 m ²	18.500 m ²
Fornitura e posa di barriera paramassi, con energia di assorbimento pari a 2000 kJ, altezza di intercettazione 5 m.	B1 - L = 80 m B2 - L = 110 m B3 - L = 70 m B4 - L = 130 m	B1 - lunghezza L = 80,0 m B2 - lunghezza L = 110,0 m B3 - lunghezza L = 70,0 m B4 - lunghezza L = 50,0 m
Intervento n.5	Intervento di manutenzione straordinaria della barriera paramassi rigida	Non previsto.
Rivestimento della scarpata con rete in trefolo d'acciaio	5.300 m ²	3.500 m ²

Tutto quanto non previsto all'interno dello stralcio funzionale delineato nel presente Progetto Esecutivo, originariamente previsto nel Progetto Definitivo approvato, dovrà necessariamente essere rinviato ad un intervento di completamento da realizzarsi non appena vi sarà adeguata copertura finanziaria.

(per i dettagli relativi alle variazioni tra le due fasi di progettazione si rimanda allo specifico Capitolo 6).

Pertanto le opere proposte nel presente progetto esecutivo sono state definite in relazione al loro grado di mitigazione del rischio e soprattutto assumendo che in questa fase le opere di mitigazione esistenti (reti in aderenza e barriere paramassi) non vengano sostituite con nuove opere più performanti. A riguardo, visto il pessimo stato di manutenzione e performance delle opere esistenti, si auspica, al fine di una ulteriore ed

COMPLETAMENTO DELLE OPERE DI CONSOLIDAMENTO NEL CENTRO ABITATO DI BUGGERRU

PROGETTO ESECUTIVO

importante mitigazione del rischio, degli interventi strutturali sulle aree interessate dalle stessa attraverso l'esecuzione degli interventi previsti nel progetto definitivo.

La strada è classificabile come strada locale extraurbana, è situata prevalentemente a mezza costa in una situazione di versante contraddistinto principalmente da forme assai acclivi. La scarpata di monte è pressoché costantemente dominata da forme aspre e dirupate ed anche quella verso valle è sempre piuttosto ripida.

In particolare la provinciale è stata soggetta, fin dalla sua realizzazione a frequenti fenomeni di caduta massi di varie dimensioni in prevalenza provenienti dalle pareti rocciose soprastanti causate sia dalle caratteristiche giaciture e strutturali degli ammassi rocciosi sia dalla forte verticalità delle scarpate rocciose. Nonostante non sembrano sussistere pericoli relativi a "grandi" movimenti franosi, la vera pericolosità dell'area deriva da un fenomeno generalizzato di caduta massi e di frequenti scoscendimenti per effetto di rilasci di volumi rocciosi dalle scarpate di monte.

Le scelte di progetto per il consolidamento del versante hanno tenuto conto del pregiato contesto ambientale e paesaggistico in cui si inseriranno. L'approccio progettuale delle opere consente di considerarle il miglior compromesso pensabile tra i possibili interventi per la messa in sicurezza dei versanti e le migliori tecnologie oggi disponibili per la mitigazione dell'impatto paesistico considerando come già ribadito in precedente al copertura finanziaria a disposizione.

La proposta dunque si caratterizza per essere un'operazione di **mitigazione del rischio crolli** tramite un intervento su tutta l'estensione dell'area in esame, tralasciando gli interventi previsti nel progetto definitivo, sulle opere esistenti che attualmente si trovano in parte ammalorate e che necessitano interventi manutentivi.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

2.1 Inquadramento geografico

Il Comune di Buggerru situato a 40 m s.l.m., sviluppatosi in prossimità della miniera di Malfidano prima del 1850 per ospitare i minatori. Nel 1856 contava circa 500 abitanti, era composto di case disposte a schiera e aveva un porticciolo dal quale partivano i minerali diretti a Carloforte.

Con lo sviluppo delle attività minatorie la sua popolazione crebbe vertiginosamente sino a toccare i 6.000 abitanti di cui 3.000 minatori nel 1900.

Il paese, che era frazione di Fluminimaggiore, non disponeva però di servizi adeguati; le condizioni di vita che la Malfidano garantiva ai suoi operai erano di livello inferiore rispetto a quelle che gli operai di villaggi vicini avevano; i rapporti tra operaie direzione della miniera si fecero sempre più tesi e nel 1904 vi fu uno sciopero la cui repressione provocò alcuni morti tra i lavoratori. Nei decenni successivi l'attività della miniera andò lentamente esaurendosi.

Il villaggio ottenne nel 1961 l'autonomia da Fluminimaggiore, ma la sua popolazione era oramai ridotta a poco più di 1.000 abitanti. Attualmente l'economia del paese si sta spostando verso il turismo e la pesca.



Laveria Malfidano

La fascia costiera considerata è situata nel settore sudoccidentale della Sardegna, nell'Iglesiente-Fluminese; dal punto di vista geografico è caratterizzata essenzialmente da una costa bassa e sabbiosa che si sviluppa per una lunghezza complessiva di 6 km, interrotta in Località "Nido d'Aquila" da una scogliera calcarea che si estende per 1,5 km e separa la spiaggia di Portixeddu-S.Nicolò da quella di Buggerru. L'area oggetto di intervento lambisce la S.P. 83 in corrispondenza dell'immissione di quest'ultima, lato Nord, all'interno del centro abitato del Comune di Buggerru.

COMPLETAMENTO DELLE OPERE DI CONSOLIDAMENTO NEL CENTRO ABITATO DI BUGGERRU

PROGETTO ESECUTIVO

Nell'area sono ben evidenti gli stratificati interventi di consolidamento per mitigare il rischio frana per quella che costituiva l'unica via di comunicazione stradale di Buggerru, dal momento che la S.P. 83 è stata completata nel tratto in prossimità di Masua solo sul finire degli Anni '90 ed è stata chiusa al traffico negli anni 2005/2010 per effetto del note subsidenze verificatesi in corrispondenza delle cavità minerarie, in prossimità di Acquaresi.

A valle della S.P. 83, in corrispondenza del versante oggetto di consolidamento, trova collocazione un'importante quantità di materiale accumulato durante lo svolgimento dell'attività mineraria che ha visto Buggerru, nel tardo '800, fra i principali protagonisti del bacino estrattivo del Sulcis-Iglesiente e le cui vestigia sono ancora chiaramente visibili. Immediatamente a valle dell'area di intervento è tuttora presente il complesso di edifici un tempo destinati a "laveria" di blenda e galena, i cui materiali di risulta, fortemente inquinati, costituiscono il cumulo precedentemente descritto.



Vista da Sud dell'area in esame

2.2 Inquadramento dell'area di intervento

La strada provinciale n.83 è stata soggetta, fin dalla sua realizzazione a frequenti fenomeni di caduta massi di varie dimensioni in prevalenza provenienti dalle pareti rocciose soprastanti, causate sia dalle caratteristiche giaciture e strutturali degli ammassi rocciosi sia dalla forte verticalità delle scarpate rocciose.

La situazione che oggi si rileva, è derivata da processi morfologici e climatici molto diversi da quelli attuali e che hanno prevalentemente condizionato lo sviluppo delle forme principali.

Il territorio rappresenta un'entità naturale "viva", soggetta cioè ad una continua evoluzione, sotto la spinta dei numerosi agenti esterni, che sfruttano la predisposizione intrinseca del materiale primario. Questa continua ricerca di uno stato di equilibrio può avvenire in modo immediato (crollo, cedimento, ecc.), oppure lento, (arrestamento dei terreni, creep, ecc.).

Al fine di caratterizzare lo stato dei luoghi e le problematiche locali è stato effettuato dallo scrivente un sopralluogo dell'area. L'ambito in esame è delimitato a valle della S.P.83 mentre a monte dalle pareti rocciose e dai versanti, già interessate nel passato da fenomeni di caduta massi.

In particolare le pareti risultano sub verticali con la presenza della sporadica vegetazione arbustiva alloggiata lungo le fratture trasversali rispetto alla pendenza del versante. Di conseguenza l'azione disgregatrice dell'apparato radicale può favorire il distacco di blocchi e lame di roccia.

La corretta valutazione di tali processi consente di chiarire il quadro degli eventuali dissesti presenti sul territorio e di definire l'evoluzione potenziale.

La morfologia attuale dei versanti è il risultato dei processi di evoluzione morfologica, legati ad esempio all'impronta delle acque dilavanti o incanalate in piccoli impluvi.

Dall'analisi dei processi morfodinamici in atto, si evidenzia come nel suo complesso, tutti i versanti montuosi del settore risultano soggetti a dinamiche erosive, per l'azione prevalente della gravità, ed in subordine delle acque superficiali, e per l'azione di scalzamento esercitata dagli apparati radicali della copertura arborea, tali per cui si verificano distacchi di materiale roccioso in particolare dove questo si presenta maggiormente fratturato. In queste aree l'evolvere del fenomeno erosivo produce il progressivo lento arretramento delle scarpate rocciose che può dar luogo anche a distacchi di blocchi le cui dimensioni sono in relazione alla disposizione e frequenza delle discontinuità degli ammassi rocciosi.

I processi franosi dei versanti in esame, non scaturiscono da condizioni di dissesto localizzato e puntuale, ma sono la manifestazione di diffuse condizioni di instabilità dell'ammasso roccioso che dal punto di vista geomeccanico appare scadente. Tali condizioni sono legate alla complessa struttura dei versanti fortemente acclivi e alla conseguente intensa tettonizzazione subita dagli ammassi rocciosi. Lungo le pareti sono presenti diversi impluvi ed incisioni che dislocano l'ammasso roccioso.

L'intero massiccio è interessato da crolli, contropendenze e fratture beanti. Gli impluvi sono molto spesso colmi di materiale detritico potenzialmente rimobilizzabile in caso di eventi meteorici ingenti. Le pareti più

COMPLETAMENTO DELLE OPERE DI CONSOLIDAMENTO NEL CENTRO ABITATO DI BUGGERRU

PROGETTO ESECUTIVO

acclivi del versante sono sovente origine di distacchi di blocchi rocciosi, i quali quando non si depositano al piede si incanalano lungo le principali incisioni vallive arrestandosi ove la pendenza lo permette.

Il problema della caduta massi costituisce uno dei fenomeni calamitosi più gravi e ricorrenti che si verificano ove le condizioni geologiche e meteorologiche risultano particolarmente gravose per la stabilità dei versanti.

L'elevata pericolosità del processo di crollo è principalmente legata alla sua rapidissima evoluzione e alla difficoltà di previsione dei punti di distacco e dei percorsi di discesa dei blocchi.

Il distacco avviene a seguito della rottura di piani di debolezza delle rocce o per cessazione dell'azione delle forze coesive all'interno della parete rocciosa, dominato dall'effetto della gravità, si esprime con la liberazione del materiale litoide dal versante verso valle.

Ciò si verifica in presenza di:

- Sussistenza sul pendio di blocchi separati dal resto dell'ammasso roccioso (direttamente collegato alla presenza di discontinuità più o meno accentuate del versante);
- Inclinazione del pendio tale da rendere instabili i blocchi (effetto gravitazionale);
- Presenza di una forza esterna in grado di dare origine al dissesto.

Oltre ai fronti rocciosi, un'altra potenziale zona sorgente di distacchi di volumi rocciosi è localizzabile in corrispondenza degli orli di scarpata di degradazione. Trattasi del limite sommitale delle pareti rocciose, ove si osserva un brusco cambio di pendenza e gli affioramenti rocciosi lasciano il posto ai terreni di copertura.

La morfologia superficiale gioca un ruolo fondamentale nelle modalità di infiltrazione delle acque superficiali, sia per quanto riguarda i processi attuali che per le situazioni del passato.

Le forme superficiali si manifestano come vaste aree di roccia nuda con micro forme assorbenti, conche e valloni, che favoriscono una rapida e totale infiltrazione delle acque superficiali.

Dal punto di vista idrogeologico in ammassi rocciosi particolarmente fessurati, le modalità di infiltrazione, circolazione profonda e restituzione delle acque sono improntate dalle caratteristiche fisiche e dalla geometria del mezzo.

Per il sito in esame la buona parte degli ammassi rocciosi è considerabile come un insieme di blocchi di roccia delimitati, nelle tre dimensioni, da discontinuità.

Le proprietà geomeccaniche e idrogeologiche delle rocce, come deformabilità e permeabilità, sono dipendenti più dalla configurazione fisica e geometrica del fabric strutturale che dalle proprietà stesse.

Come rilevato durante i sopralluoghi, lo stato di fratturazione, permette l'identificazione dei vari e venti di deformazione rigida che hanno interessato l'intero ammasso.

COMPLETAMENTO DELLE OPERE DI CONSOLIDAMENTO NEL CENTRO ABITATO DI BUGGERRU

PROGETTO ESECUTIVO

Un fattore sostanziale per comprendere l'idrodinamica del sistema idrogeologico in tutte le sue parti è l'andamento delle discontinuità in funzione della topografia. Infatti, la posizione di quest'ultime, in funzione della morfologia e acclività dei versanti, gioca un ruolo fondamentale per l'infiltrazione e il deflusso delle acque sotterranee.

Schoeller (1974) rimarcava come le famiglie di discontinuità poste trasversalmente al pendio hanno un ruolo prevalentemente d'ingestione; laddove le famiglie sono coassiali al pendio hanno prevalente funzione di trasporto.

Quanto è emerso dai sopralluoghi, diverse famiglie di fratture pervadono gli ammassi rocciosi e risultano prevalentemente longitudinali rispetto alla pendenza del versante. Le fratture sovente appaiono aperte caratterizzate talvolta da riempimento fine con assenza di cementazione; per quanto detto sopra, esse giocano un ruolo fondamentale per la circolazione idrica superficiale e profonda.

Per l'intero settore di studio in superficie non sono stati rilevati processi evidenti di circolazione idrica superficiale né manifestazioni idrografiche, come puntali venute d'acqua, a testimonianza della scarsa circolazione idrica sotterranea e della permeabilità degli ammassi che, quindi, si può considerare da media ad elevata.

3. RILIEVO DELLO STATO DI FATTO E RICOGNIZIONE DELLE OPERE ESISTENTI

Nel presente capitolo sono riassunte le caratteristiche dei singoli settori dell'area di studio suddivisi in progressive partendo dalla progressiva + 0,00 proseguendo verso Sud fino al termine dell'area di studio.

Si rimanda all'elaborato DF_010 in cui sono rappresentate le progressive metriche.

3.1 *Progressiva +0,00 - +100,00*

La morfologia del settore appare articolata con pareti verticali intervallate da depressioni in corrispondenza di vallette e speroni di roccia; il massimo dislivello registrato è circa pari 20-25 m al disopra del piano stradale.



Le pareti rocciose sono costituite da banchi calcareo - dolomitici interessati da diversi sistemi di fratture che dislocano l'ammasso in blocchi e lame di roccia di dimensioni variabili tra poco meno di 1 mc fino ad arrivare a circa 2 mc. I sistemi di fratture, prevalentemente paralleli alla pendenza del versante, sono intervallati da sistemi trasversali. Sovente le fratture appaiono aperte caratterizzate talora da riempimento fine con assenza di cementazione. Durante i sopralluoghi svolti non sono state rilevate venute d'acqua lungo il versante e le fratture sono parse asciutte. Localmente si rileva vegetazione arbustiva alloggiata lungo le fratture trasversali rispetto alla pendenza.

Le depressioni sono colme di detriti di versante colonizzate da vegetazione arbustiva. Nella zona sommitale, la coltre di copertura detritica risulta in appoggio sul substrato roccioso.

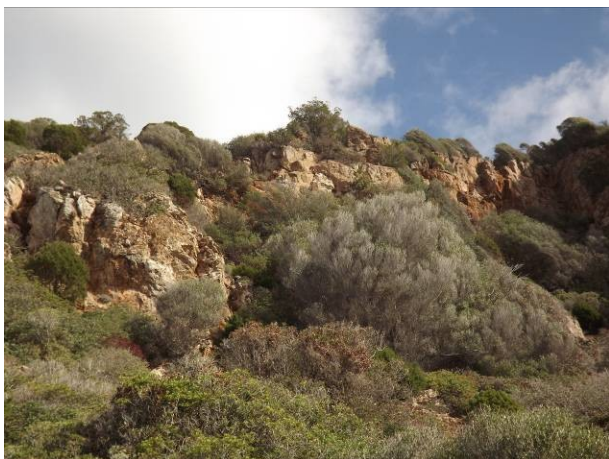
Le reti in aderenza consolidano le porzioni sub verticali e gli speroni rocciosi.



3.2 *Progressiva +100,00 - +150,00*

L'area si presenta a ridosso della provinciale con pareti rocciose, vallette e scarpate irregolari molto ripide con la presenza di alberi instabili. Le pareti rocciose sono costituite da banchi calcarei interessati da diversi sistemi di fratture che dislocano l'ammasso in blocchi e lame di roccia.

Il settore si articola in diverse zone caratterizzate da differenti caratteristiche geomorfologiche, in particolare la porzione sommitale corrisponde alle pareti rocciose che fanno da coronamento al talus di versante, che dal piede delle stesse si sviluppa fino alla strada.



Diverse famiglie di fratture pervadono gli ammassi rocciosi e sono prevalentemente longitudinali rispetto alla pendenza del versante. Le fratture appaiono aperte caratterizzate talvolta da riempimento fine con assenza di cementazione; lungo i versanti non sono state rilevate venute d'acqua o indicatori di circolazione idrica superficiale.

Durante i sopralluoghi sono stati rilevati diversi blocchi squadrati separati dal resto dell'ammasso, quindi in equilibrio limite. Talora in alcune zone gli elementi potenzialmente instabili sono legati al resto dell'ammasso da superfici ridotte di roccia.

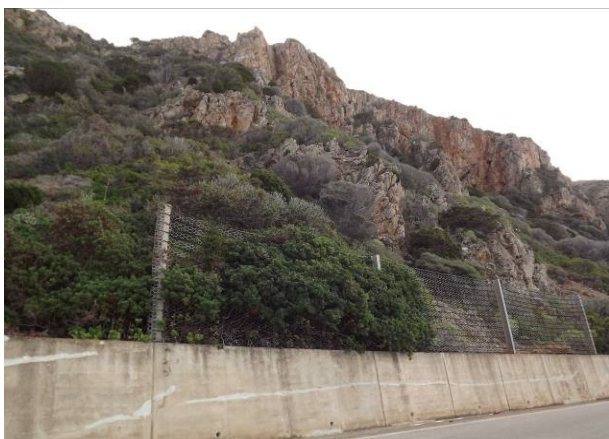


Le depressioni sono colme di detriti di versante colonizzate da vegetazione arbustiva. Nella zona sommitale, la coltre di copertura detritica risulta in appoggio sul substrato roccioso, ed anch'essa è colonizzata da vegetazione arborea ed arbustiva.

Si segnala che in fregio alla S.P. n.83 non sono presenti opere di mitigazione della caduta massi; i versanti non risultano consolidati e necessitano di interventi di disaggancio dei massi in precario stato di equilibrio.

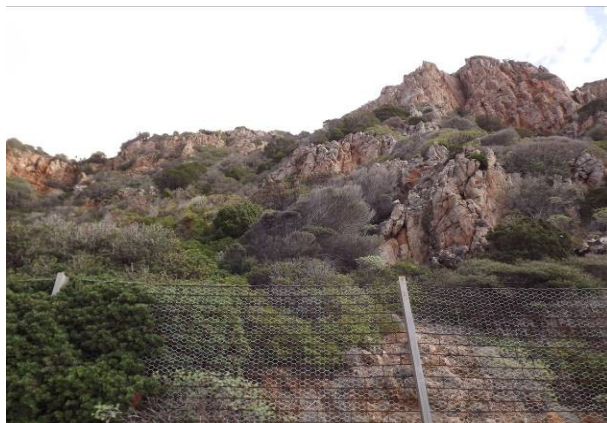
3.3 Progressiva +150,00 - +200,00

Il settore descritto inizia dal breve tratto di barriera rigida posta in fregio alla provinciale e termina alla progressiva +200,00. Questo ambito appare morfologicamente complesso con settori caratterizzati da versanti strapiombanti e aspri speroni di roccia immersi nella colte detritica a sua volta colonizzata da vegetazione. I depositi di versante ricoprono estesamente il substrato litoide. Durante i recenti sopralluoghi, sono stati riscontrati particolari fenomeni di evoluzione morfodinamica, in particolare sono stati osservati diversi massi in precario stato di equilibrio. Il settore si presenta con pareti verticali e sub verticali intervallate da depressioni.



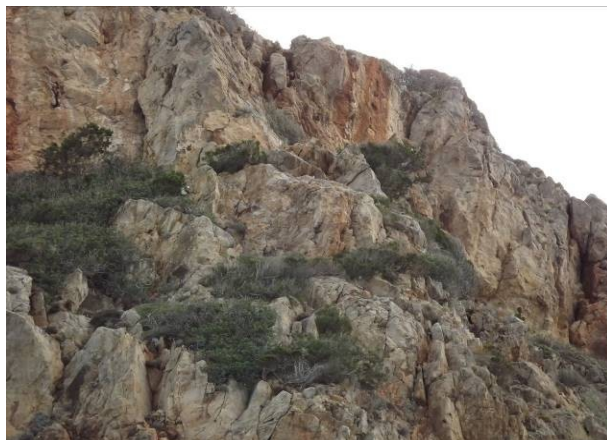
Le pareti rocciose, sono rappresentate dal calcareo – dolomitiche, interessate da numerose famiglie di fratture che dislocano blocchi e lame di roccia. Dal punto di vista idrografico non sono presenti segni di circolazione idrica superficiale, e considerato lo stato di fratturazione è ragionevole pensare che questi

ammassi presentino permeabilità da media a elevata. Sovente, le fratture riscontrate sono aperte e prive di riempimento e/o cementazione. La condizione idraulica delle stesse è pressoché asciutta. In questo settore, ad eccezione della barriera rigida, non sono presenti opere di mitigazione dalla caduta massi.

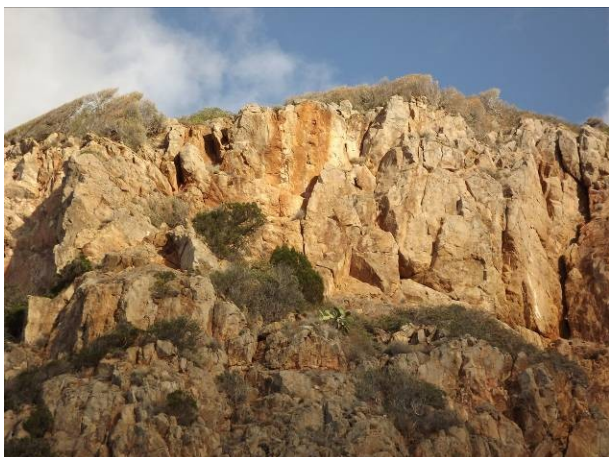


3.4 Progressiva +200,00 - +250,00

La morfologia del settore è contraddistinta da pareti rocciose strapiombanti dalle quali, al loro piede, prendono origine ripidi ghiaioni, ciascuno con un proprio panorama vegetazionale.



I depositi di versante presenti al piede dei versanti appaiono sciolti e non manifestano segnali di cinematisimo. Tuttavia in occasione di particolari eventi pluviometrici, l'azione delle acque correnti superficiali può favorire la destabilizzazione di questi materiali che quindi potrebbero raggiungere la carreggiata. In alcune zone tali depositi sono colonizzati da vegetazione arbustiva che tende a stabilizzarli. Il pendio è attualmente sede di processi morfodinamici caratterizzati da intensa degradazione fisica per l'azione specifica e/o concomitante esercitata dalle acque superficiali, dalla gravità. L'evoluzione morfologica del versante risulta altresì condizionata da diversi fattori quali litologia, giacitura e grado di fratturazione del substrato roccioso, che risulta per lo più affiorante o sub affiorante con copertura detritica comunque sempre di esiguo spessore, dall'orientazione dei versanti stessi e dalle caratteristiche climatiche dell'area.



Si rileva inoltre sporadica vegetazione arbustiva alloggiata nelle fratture trasversali alla pendenza del versante. Il ciglio di scarpata è caratterizzato da diffusa copertura detritica di origine colluviale colonizzata dalla vegetazione. Di conseguenza, l'azione disgregatrice dell'apparato radicale può favorire la disarticolazione di volumi rocciosi.

Si sottolinea che tale settore non è interessato da opere di mitigazione dalla caduta massi.

3.5 Progressiva +250,00 - +320,00

L'ambito in esame è delimitato a valle dalla provinciale, mentre a monte dalle pareti rocciose e versanti, già interessate nel passato da fenomeni di caduta massi.

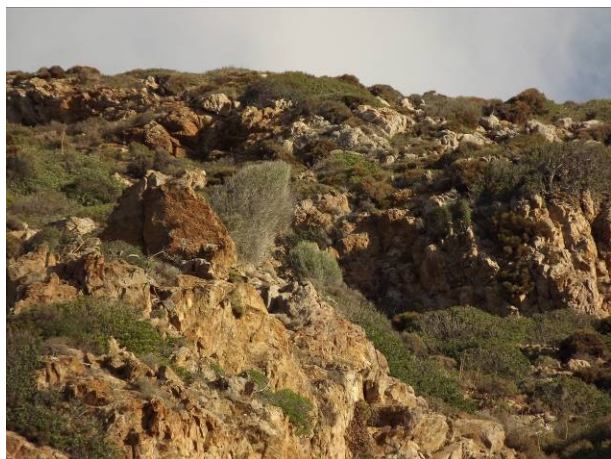
In particolare le pareti risultano sub verticali con la presenza della sporadica vegetazione arbustiva alloggiata lungo le fratture trasversali rispetto alla pendenza del versante. Di conseguenza l'azione disgregatrice dell'apparato radicale può favorire la disarticolazione di blocchi e lame di roccia.



I processi franosi del versante rappresentano la manifestazione di diffuse condizioni di instabilità dell'ammasso roccioso che dal punto di vista geomeccanico appare scadente.

Tali condizioni sono legate alla complessa struttura dei versanti fortemente acclivi e alla conseguente intensa tettonizzazione subita dagli ammassi rocciosi con stratificazione quasi indistinta. Lungo le pareti sono presenti diversi impluvi ed incisioni che dislocano l'ammasso roccioso.

Il massiccio è interessato da crolli, contropendenze e fratture beanti. Gli impluvi sono molto spesso colmi di materiale detritico potenzialmente rimobilizzabile in caso di eventi meteorici ingenti.



La copertura si estende dalla base delle pareti rocciose manifestando un'importante acclività; localmente presenta blocchi rocciosi di dimensioni metriche associabili a fenomeni di distacco e crollo delle pareti sovrastanti. Il settore centrale del talus appare privo di vegetazione, e quindi, si presume che sia la parte più instabile dell'intera coltre detritica.

L'ambiente appare pressoché asciutto e privo di manifestazioni idrografiche superficiale; considerato il grado di fratturazione degli ammassi nonché la sottile coltre dei depositi detritici, si può ragionevolmente pensare che la permeabilità sia da media ad elevata.

Per l'intero settore descritto non sono state rilevate opere per la mitigazione dalla caduta massi.

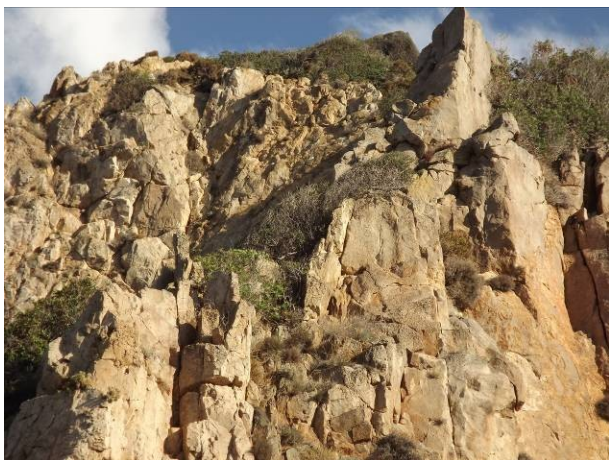
3.6 Progressiva +320,00 - +450,00

Questo settore risulta morfologicamente complesso e contraddistinto da pareti rocciose sub verticali che coronano il talus di versante vegetato, che dal piede delle stesse raggiunge la strada. Il settore è di difficile accesso a causa della fitta vegetazione arbustiva che ostacola le operazioni di rilevamento.



Le pareti rocciose mostrano diversi set di fratture che pervadono e dislocano blocchi nell'ordine del metro cubo. Sovente si rilevano volumi sconnessi dal substrato e quindi risultando in equilibrio limite.

Il grado di alterazione delle superfici appare evidente, mostrando depressioni e cavità interessate da intensi processi di weathering. Queste zone di alterazione possono essere dovute alla composizione chimica delle rocce, ed in particolare dalla presenza di minerali ossidanti, che dipingono sulla superficie colori marrognoli. In numerosi set di discontinuità sono spesso sede dell'apparato radicale degli arbusti: l'azione di quest'ultimi favorisce l'isolamento e quindi lo scollamento di limitate volumetrie rocciose.



Il talus appare cinematicamente stabile, morfologicamente intervallato da tratti ove il substrato litoide è sub affiorante e da pinnacoli di roccia pressoché verticali. Entro quest'ultimi rappresentano volumetrie apparentemente sconnesse con il resto dell'ammasso roccioso e pertanto in precario stato di equilibrio.



Riguardo le opere di mitigazione dalla caduta massi, si segnala la presenza, in fregio all'area di sosta, di una barriera rigida di altezza limitata. Tale struttura appare vetusta, ma potenzialmente ripristinabile e integrabile da nuove reti.

Poco più a monte è presente una lunga barriera elastoplastica, che nel tratto più a Sud appare strutturalmente compromessa. Inoltre considerando la vetustà, si rende necessaria la sostituzione.



3.7 Progressiva +450,00 - +520,00

Questo settore è rappresentato da una imponente falesia aggettante sulla strada provinciale.

L'intero massiccio è caratterizzato da fratture beanti che pervadono l'ammasso, formando potenziali volumetrie nell'ordine del mezzo metro cubo.

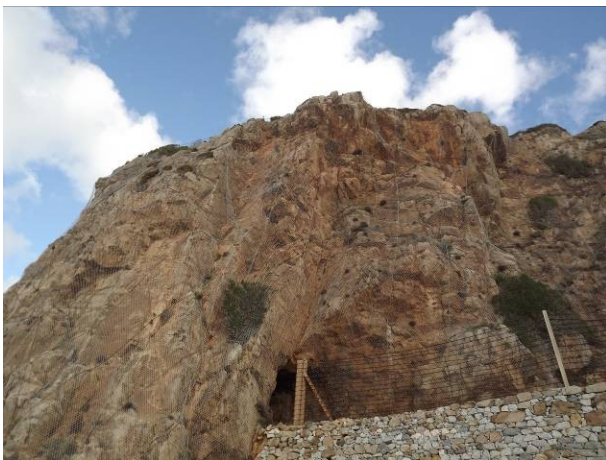
In alcune porzioni della parete rocciosa sono presenti salti morfologici, lungo i quali è spesso alloggiata la vegetazione arbustiva.



L'ambito è completamente consolidato da rete paramassi in aderenza. A prima vista le reti risultano in buono stato conservativo, mentre le funi e i morsetti risultano visivamente corrosi e non più efficienti.

Anche le chiodature esistenti sono profondamente pervase dalla corrosione e non più rispondenti alla loro funzionalità.

Si rileva, altresì, la presenza di barriera paramassi rigida (travi e funi), sia a Nord che a Sud dello sperone roccioso strutturalmente. Anche in questo caso le funi sono estremamente corrose ed in taluni spezzate.



3.8 Progressiva +520,00 - +560,00

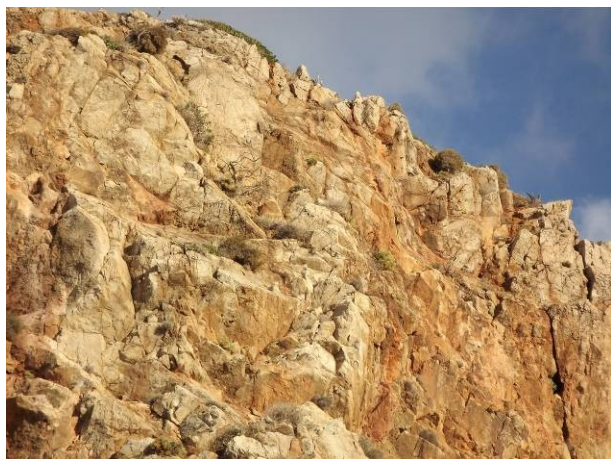
Il settore appare morfologicamente aspro caratterizzato da un'elevata parete verticale dalla quale al piede della stessa si sviluppa un breve tratto di sottile copertura detritica. Il talus raggiunge la testata di una muratura in pietrame e cemento sulla quale è posata una barriera rigida.



Gli ammassi rocciosi appaiono interessati da numerosi set di discontinuità strutturali che disegnano volumetrie nell'ordine del metro cubo. Le discontinuità appaiono da serrate ad aperte con l'assenza di riempimento; la condizione idraulica è pressoché asciutta. Pertanto i locali dissesti puntuali interessano limitate porzioni della parete, in particolare laddove si rileva la presenza di ammassi intensamente fratturati e soggetti a fenomeni di erosione accelerata.

Si osserva sporadicamente la vegetazione arbustiva alloggiata lungo le fratture trasversali alla pendenza della parete rocciosa.

Le superfici rocciose non appaiono consolidate con opere di mitigazione dalla caduta massa.



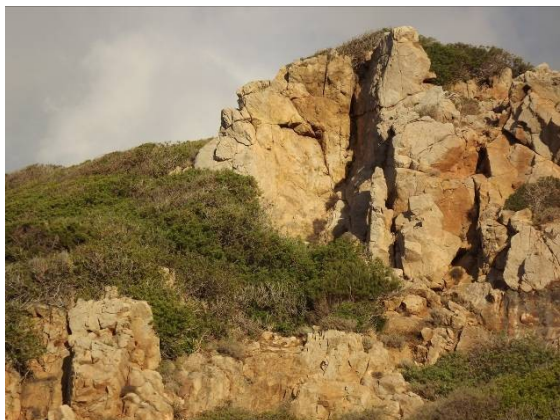
3.9 Progressiva +560,00 - +640,00

Il settore è morfologicamente caratterizzato da un'estesa copertura detritica prodotta dallo smantellamento degli affioramenti rocciosi soprastanti, colonizzata da vegetazione arbustiva.



I depositi detritici superficiali mantellano, con spessori limitati, il substrato roccioso sub affiorante; appaiono spesso in piccoli blocchi con spigoli da vivi a sub arrotondati immersi in matrice fine, la quale conferisce all'intero deposito una buon grado di consistenza tale da consentire la stabilità in condizioni asciutte.

Si evidenzia come l'estesa copertura arbustiva contribuisca generalmente alla protezione del terreno dall'azione erosiva delle acque superficiali non incanalate. Tuttavia, in occasione di rilevanti eventi pluviometrici, la coltre a vista è potenzialmente rimobilizzabile.



Le pareti rocciose sono rappresentate da ammassi costituiti da rocce calcereo-dolomitiche particolarmente alterate a livello superficiale. L'ammasso roccioso presenta diverse fratture beanti, che dislocano blocchi dell'ordine dei 0.5 - 1 mc. Le fratture appaiono asciutte e il grado di apertura varia da serrato ad aperte, con l'assenza di riempimento.

Si rileva altresì la presenza della vegetazione arbustiva alloggiata lungo le fratture trasversali rispetto alla pendenza del versante. Il ciglio di scarpata è caratterizzato da diffusa copertura detritica di origine colluviale colonizzata dalla vegetazione. Di conseguenza, l'azione disgregatrice dell'apparato radicale può favorire la disarticolazione di volumi rocciosi.

Dal punto di vista idrogeologico considerato lo stato di fratturazione degli ammassi e l'addensamento dei depositi, pressoché sciolti, si ritiene che la permeabilità del settore varia da media ad elevata.

Come nel settore precedentemente descritto la provinciale è protetta esclusivamente da una barriera paramassi rigida posizionata al di sopra di una muratura in pietrame e cemento in fregio alla sede stradale. L'opera si presenta in discreto stato di manutenzione, ma necessita comunque di interventi strutturali.

3.10 Progressiva +640,00 - +670,00

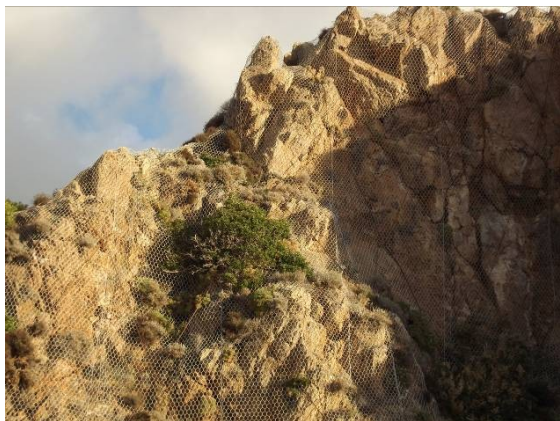
Il settore è rappresentato da scarpate rocciose sub verticali aggettanti sulla S.P. n.83, intervallate da limitate depressioni. Gli ammassi rocciosi risultano particolarmente scadenti dal punto di vista geomeccanico. Le fratture che interessano l'ammasso sono aperte e prive di cementazione o riempimento. Le discontinuità appaiono asciutte e prive di circolazione idrica superficiale.



Si sottolinea come le depressioni presenti possono fungere da collettori idrici delle acque correnti superficiali. I flussi quindi possono rimobilizzare i depositi terrigeni superficiali completamente sciolti e privi di coesione. Allo scopo di proteggere la provinciale, al dell'impluvio posto a Nord rispetto alla parete rocciosa, è presente un'alta gabbionata.

Nel complesso le pareti rocciose sono consolidate da reti paramassi in aderenza, mentre il reticolo di funi appare ossidato a causa dell'azione degli agenti atmosferici.

In fregio alla provinciale, in continuità con il precedente settore descritto, è presente una barriera paramassi rigida.



4. STATO DELLE CONOSCENZE DELLE OPERE DI PROTEZIONE DA CADUTA MASSI

4.1 Soluzioni tecniche adottabili

Come per tutti gli interventi di costruzione nei terreni e nelle rocce, anche per le opere volte alla riduzione del rischio dovuto all'instabilità dei pendii in roccia esistono più soluzioni tecniche adottabili:

- **Interventi di tipo attivo:** operazioni atte a stabilizzare in posto gli elementi lapidei in condizioni di precario equilibrio intervenendo direttamente sulle pareti;
- **Interventi di tipo passivo:** operazioni atte ad intercettare o deviare i massi che si sono mobilizzati e che rotolano verso valle tramite interventi localizzati prevalentemente alla base dei pendii o delle pareti rocciose;
- **Monitoraggi:** operazioni di controllo degli spostamenti di specifici elementi lapidei;
- **Interventi di spostamento dell'opera esistente** in galleria naturale o in aree "fuori tiro" nei casi più gravi ed a seguito di approfondite analisi costi-benefici.

L'iter progettuale deve necessariamente mettere a confronto varie soluzioni con un'**analisi multicriterio** così da consentire parametri di scelta oggettivi, realistici, ambientalmente e paesaggisticamente sostenibili, nonché nel rispetto delle normative nazionali e comunitarie.

La fattibilità della messa in sicurezza di un pendio roccioso instabile, indipendentemente dalla tipologia di intervento scelta, dipende, a prescindere dall'efficacia che è data per scontata, da molteplici fattori, quali:

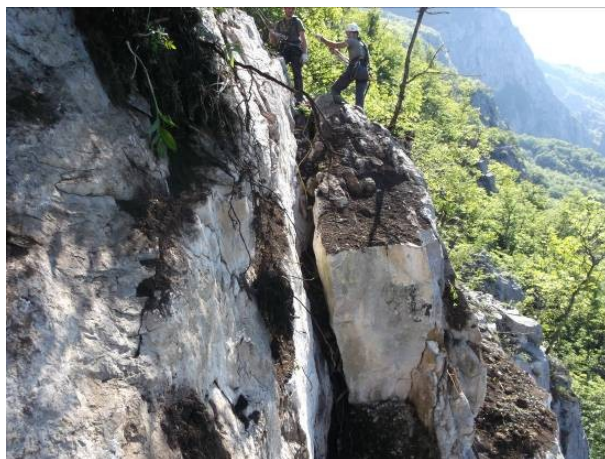
- L'accessibilità del versante per eseguire gli interventi;
- L'ampiezza dell'area su cui intervenire e soprattutto l'altezza (come differenze di quota tra le zone o strutture da proteggere ed il più elevato punto di distacco dei blocchi);
- L'impatto ambientale delle strade di arroccamento per eseguire i lavori e degli interventi stessi;
- La durabilità delle opere realizzate e la fattibilità della manutenzione (svuotamento di trappole, riparazioni di strutture, ecc);
- Le condizioni di pericolo nella fase di realizzazione degli interventi di stabilizzazione;
- Il costo degli interventi.

4.2 Interventi di tipo attivo

Tra gli interventi di tipo attivo possiamo elencare:

Interventi che modificano la geometria del versante, quali:

Asportazione della parete mediante disgaggio e/o abbattimento controllato di volumi di roccia potenzialmente instabili o con fattori di sicurezza troppo bassi tramite riprofilatura con esplosivo, abbattimento di grandi volumi rocciosi instabili, opere di disgaggio;



Esempio di abbattimento controllato con utilizzo di esplosivo (sinistra) e di disgaggio (destra)

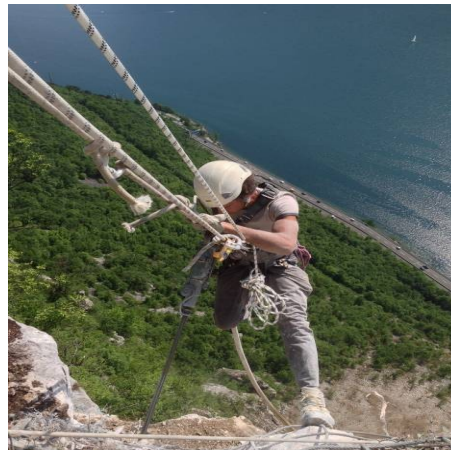
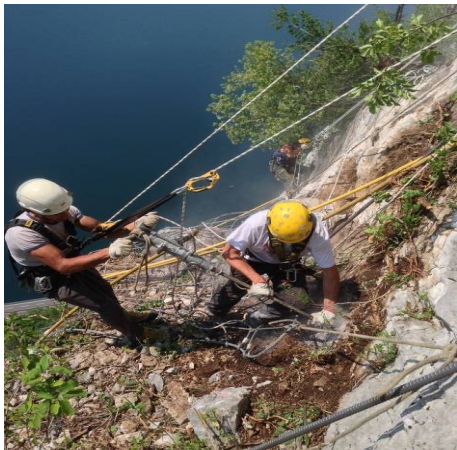
Interventi che modificano le condizioni piezometriche favorendo l'allontanamento o evitando l'eccessivo accumulo di acqua all'interno delle discontinuità di un ammasso roccioso. Tale procedura è delicata e complessa da progettare e realizzare, nonché spesso aleatoria nei risultati, in quanto gli ammassi rocciosi sono sempre fratturati irregolarmente;

Interventi che modificano la resistenza meccanica dell'ammasso roccioso e/o applicano forze di contenimento, quali:

- Esecuzione di tiranti attivi in trefoli e in barre di acciaio;
- Esecuzione di bulloni (eventualmente pretesi);
- Esecuzione di chiodi in barre di acciaio o altri materiali interamente connessi alla roccia;
- Esecuzione di legature; Iniezione di boiacche cementizie o di resine;
- Rivestimento con calcestruzzo proiettato;
- Realizzazione di travi e pilastri in calcestruzzo, eventualmente sottotirantati, e/o sottomurazioni.

COMPLETAMENTO DELLE OPERE DI CONSOLIDAMENTO NEL CENTRO ABITATO DI BUGGERRU

PROGETTO ESECUTIVO



Esempio di esecuzione di interventi di chiodatura e legatura con perforatrice automatica manuale



Esempio di intervento con calcestruzzo proiettato (spritz beton)



Esempio di intervento con rivestimento mediante reti in aderenza

4.3 Interventi di tipo passivo

Tra gli interventi di tipo passivo si ricordano:

Riprofilatura del versante con creazione di berme intermedie;

Installazione di reti paramassi;



Esempio di installazione di barriere paramassi

Realizzazione di gallerie artificiali;



Esempio di realizzazione di gallerie artificiali

Realizzazione di trincee o valli e realizzazione di rilevati.



Esempio di realizzazione di rilevati

4.4 Monitoraggi

I sistemi di controllo strumentale dei versanti rocciosi soggetti ad instabilità generali o a fenomeni di caduta massi si differenziano essenzialmente per la fase in cui intervengono e possono essere suddivisi in:

- Sistemi di monitoraggio propriamente detti eventualmente integrati con allerta;
- Sistemi di segnalazione a distanza di eventi già verificati;
- Sistemi di controllo del comportamento degli interventi di stabilizzazione.

La configurazione tipica dei sistemi di monitoraggio consiste principalmente in reti di strumentazione per la misura dello spostamento reciproco di volumi rocciosi e di alcuni parametri correlati: spostamento di insieme (misure inclinometriche), variazioni di quota (misure assestimentriche e/o topografiche) e variazioni delle condizioni piezometriche.

4.5 Aspetti progettuali e normativi per barriere paramassi a rete

La progettazione di interventi con barriere paramassi a rete ha fatto passi avanti con l'uso sistematico delle prove sperimentali in vera grandezza per la certificazione del comportamento. Queste prove sono ormai entrate nella prassi corrente e la loro applicazione è stata recepita e normata nella linea guida EOTA 027.

La progettazione, il controllo in corso d'opera ed il collaudo degli interventi richiedono, anche sulla base del D.M. 14.09.2005, che le barriere vengano anche verificate mediante adeguati calcoli strutturali che tengano conto della esatta geometria di montaggio in sito, la quale può essere differente da quella sulla quale è stata eseguita la sperimentazione.

L'uso di modellazioni numeriche agli elementi finiti, in quest'ottica, offre al progettista un potente strumento, in quanto, se adeguatamente tarato sulla base delle risultanze sperimentali, consente di studiare con precisione l'effetto dell'impatto dinamico dei blocchi.

Elementi costituenti

Le barriere paramassi a rete in commercio permettono di scegliere tra tipologie di prodotti con campi di applicazione energetici compresi tra 100 kJ ed oltre 5.000 kJ; inoltre possono essere a sacco, planari non deformabili, deformabili, planari autocontroventate e deformabili oppure planari deformabili.

Le barriere paramassi sono costituite dai seguenti elementi:

- Strutture di intercettazione: pannelli in rete o ad anelli;
- Strutture di supporto: montanti in profilati metallici del tipo HEA;
- Strutture di collegamento: funi, freni o dissipatori di energia;

Strutture di fondazione: plinti di fondazione con tirafondi ed ancoraggi di lunghezza da definire in base alle caratteristiche dei terreni presenti.



Elementi costituenti di una barriera paramassi

4.6 Normativa esistente: il Benestare Tecnico Europeo ETAG 027

La norma europea ETAG 027 “Falling Rock Protection Kits” del 2006 non riguarda i principi di progettazione delle barriere, ma più in generale la qualità dei materiali e le prestazioni che il prodotto è in grado di fornire attraverso l’esplicita sperimentazione delle sue caratteristiche tecniche.

Si precisa comunque che questa normativa riguarda la barriera paramassi completa posta sul mercato con tutti i suoi componenti, mentre le fondazioni non fanno parte del kit considerato; pertanto la progettazione delle stesse resta di responsabilità del progettista.

La linea guida indicata nella normativa europea copre una serie di caratteristiche quali la resistenza meccanica dei componenti e l’assorbimento di energia della barriera assemblata in riferimento a condizioni di impatto standard, definendo le procedure di prova da seguire.

Secondo le linee guida ETAG 027, i livelli energetici sono due:

La “Maximum Energy Level” (MEL): l’energia cinetica massima posseduta da un masso omogeneo con geometria regolare che impatta contro la barriera ad una velocità superiore a 25 m/s e che la barriera è in grado di arrestare;

La “Service Energy Level” (SEL): l’energia cinetica, pari a $1/3 \cdot MEL$, che corrisponde all’energia che la barriera è in grado di dissipare arrestando il blocco se sottoposta a due lanci successivi di blocchi animati da una velocità superiore a 25 m/s, senza alcuna manutenzione tra un lancio e l’altro e senza che, dopo il primo impatto, l’altezza della barriera sia scesa al di sotto del 70% dell’altezza iniziale.

PARAMETRI CHE DESCRIVONO IL COMPORTAMENTO DI UNA BARRIERA A RETE

I parametri che descrivono il comportamento di una barriera a rete sono:

L'**altezza residua dopo l'impatto** e l'**altezza di riferimento** della barriera come montata nel campo prove, definita come la distanza tra la fune longitudinale superiore e la fune longitudinale inferiore, misurate entrambe rispetto al medesimo piano di riferimento;

Il **massimo spostamento del blocco** verso valle durante l'impatto al massimo livello di energia (MEL);

L'**altezza di montaggio della barriera in sito** che corrisponde alla massima altezza di intercettazione quando la barriera è montata ortogonalmente al pendio reale;

La **geometria di montaggio della barriera** sia nelle condizioni di prova sia in sito, in quanto le caratteristiche del terreno potrebbero richiedere specifiche condizioni di montaggio.

4.7 Linee guida per la progettazione

Le linee guida prevedono 5 diverse fasi di progettazione:

La prima fase consiste in:

- Rilievo topografico della parete e del detrito sottostante che permetta l'identificazione delle posizioni più opportune per il collocamento delle opere;
- Studio geologico-geomeccanico per la definizione dei possibili punti di distacco o delle aree dove i distacchi hanno maggior probabilità di accadimento e della dimensione massima del blocco di riferimento;
- Quantificazione delle condizioni di rischio dell'area in assenza di interventi;

La seconda fase comprende:

- Studio geomeccanico finalizzato alla definizione delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni e delle rocce, della giacitura delle discontinuità e della distribuzione delle pressioni dell'acqua nell'ammasso roccioso;
- Scelta della tipologia del modello di calcolo per la previsione delle traiettorie bidimensionale o tridimensionale;
- Taratura dei parametri fisico-meccanici utilizzati nei modelli previsionali opportunamente integrati dai risultati delle "back analysis";
- Calcolo delle traiettorie relative al crollo di progetto;
- Analisi di rischio dell'area in presenza degli interventi e quantificazione della riduzione del rischio per le varie posizioni possibili;

COMPLETAMENTO DELLE OPERE DI CONSOLIDAMENTO NEL CENTRO ABITATO DI BUGGERRU

PROGETTO ESECUTIVO

Nella terza fase dovranno essere svolte le seguenti attività:

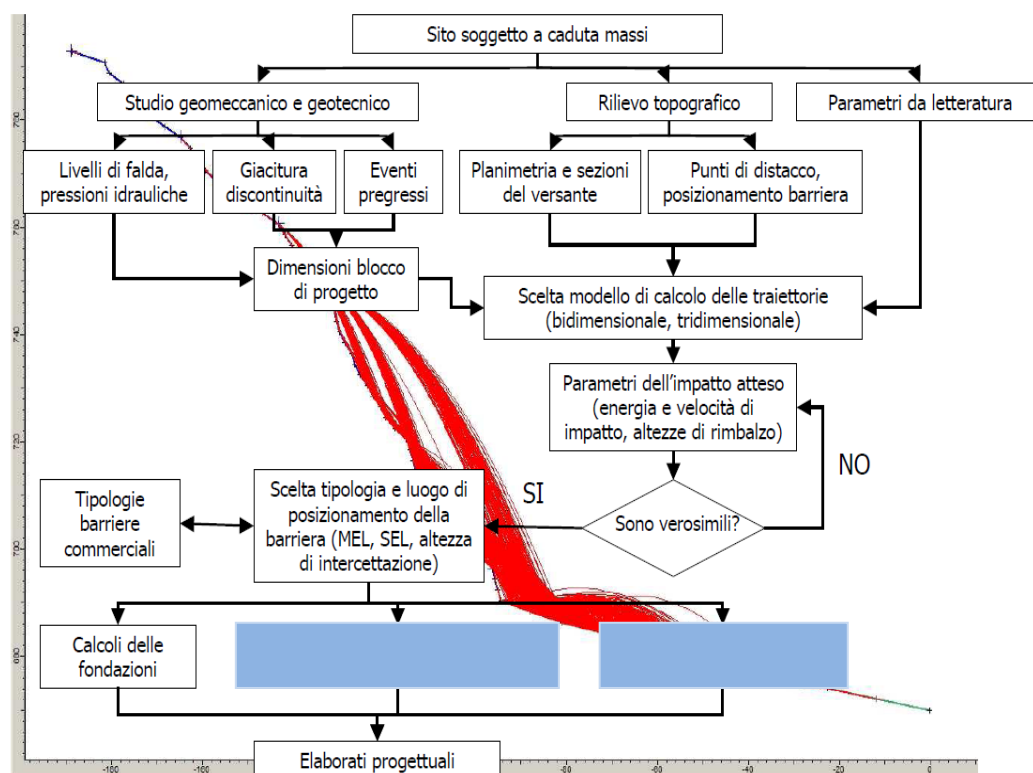
- Quantificazione della probabilità di intercettazione dei blocchi per i vari posizionamenti delle opere e la scelta del posizionamento finale di progetto;
- Scelta dei livelli energetici e dell'altezza di intercettazione in relazione al crollo di progetto tenendo conto di adeguati coefficienti di sicurezza;
- Scelta della tipologia di barriera o di rilevato e verifica della compatibilità del posizionamento scelto con i previsti spostamenti verso valle;
- Sviluppo dei calcoli delle opere di fondazione, in particolare dei montanti e dei controventi;

La quarta fase è composta da:

Definizione delle modalità operative di montaggio;

- Analisi delle condizioni di aggressività dell'ambiente e definizione delle opere di protezione anticorrosive in modo da garantire la durabilità dell'opera sulla base della vita utile prevista;
- Definizione delle misure di igiene e sicurezza da adottarsi nel corso dei lavori e redazione del piano di sicurezza dei lavori;
- Pianificazione degli aspetti relativi al trasporto ed allo stoccaggio dei materiali sul cantiere;

L'immagine seguente riassume il workflow delle scelte di progetto.



Workflow scelte di progetto.

COMPLETAMENTO DELLE OPERE DI CONSOLIDAMENTO NEL CENTRO ABITATO DI BUGGERRU

PROGETTO ESECUTIVO

In conclusione, nella quinta fase si dovrà prevedere la definizione delle misure di manutenzione che devono essere attuate nel tempo sia in assenza sia a seguito di impatti.

La scelta della tipologia più idonea di barriera paramassi deve basarsi sulle caratteristiche prestazionali tenendo in considerazione il **fenomeno di crollo che deve essere contrastato** (masso isolato o sciame di blocchi) e la **tempistica degli eventi** (evento unico o crolli ripetuti lungo la stessa direttrice).

Nel caso si dovessero fronteggiare eventi di crollo distinti nel tempo e ad alti livelli energetici, si dovrà fare riferimento al massimo livello energetico (MEL); se gli eventi possono ripetersi anche a breve distanza di tempo si possono invece considerare più allineamenti di barriere progettati con il massimo livello energetico (MEL) oppure un solo allineamento, ma dimensionato considerando il livello energetico di servizio (SEL). Il livello energetico di servizio (SEL) consente infatti di verificare che il sistema di intercettazione è in grado di controllare efficacemente eventi di minore entità rispetto al blocco di progetto, ma con maggiore frequenza di accadimento, senza che sia necessario realizzare, tra un evento e l'altro, importanti interventi di ripristino o di manutenzione.

La scelta della barriera dovrà quindi basarsi su una verifica agli stati limite ultimi nel caso di approccio MEL, mentre potrà essere sviluppata agli stati limite di esercizio nel caso di approccio SEL.

VERIFICHE DI CALCOLO

L'**energia dissipabile** in condizioni di sicurezza dalla barriera deve essere superiore all'energia di progetto, cioè all'energia del blocco di progetto che si muove alla velocità calcolata:

$$(E_{\text{progetto}} - E_{\text{BTE,barriera}}/\gamma_E) \leq 0$$

Dove γ_E è il fattore di sicurezza da applicare al livello energetico MEL e pari a 1,30, nel caso sia disponibile solo il valore energetico dedotto dalle prove sperimentali in vera grandezza; 1,10, nel caso siano stati sviluppati anche calcoli strutturali per verificare l'idoneità della barriera con impatti particolari sul montante, sulla parte alta del pannello e nell'ultima campata dell'allineamento; 1,00 nel caso la verifica venga eseguita al livello SEL.

L'**altezza di intercettazione** h_i , deve essere superiore all'altezza di progetto cioè all'altezza calcolata di passaggio dei blocchi:

$$(h_p - h_i) \leq 0$$

La **massima deformata** della barriera quando sottoposta ad un urto con livello energetico MEL, moltiplicata per un fattore di sicurezza d_A deve essere inferiore alla distanza di progetto tra l'opera da proteggere e la barriera d_p :

$$(d_p - d_A) \leq 0$$

La **velocità di progetto** dei blocchi è definita come la velocità corrispondente al frattile del 95% delle velocità calcolate v_t moltiplicata per il fattore di sicurezza γ_F :

$$V_p = V_t * \gamma_F$$

Dove $\gamma_F = \gamma_{Tr} * \gamma_{Dp}$, con γ_{Tr} coefficiente di attendibilità dei calcoli delle traiettorie pari a 1,02 per calcoli dimensionali o tridimensionali calibrati con una back analysis e 1,05 per calcoli bidimensionali basati solo su coefficienti di restituzione derivati da informazioni bibliografiche; mentre γ_{Dp} coefficiente che tiene conto della qualità della discretizzazione del pendio pari a 1,05 per pendii discretizzati con una buona precisione e comunque sulla base di un buon rilievo topografico e 1,10 per pendii discretizzati con precisione medio-bassa.

La **massa del blocco di progetto** è definita come il prodotto del volume del blocco di progetto per il peso di volume della roccia in posto moltiplicato per uno specifico fattore di sicurezza:

$$m_p = (Vol_b * \gamma) \gamma_m$$

Dove γ è il peso per unità di volume della roccia in posto e γ_m un fattore di sicurezza espresso come $\gamma_m = \gamma_{VolF1} * \gamma_y$ con γ_y coefficiente legato alla valutazione del peso dell'unità di volume della roccia che può essere normalmente assunto pari a 1,00 (tab. 7.2.I delle Norme Tecniche delle Costruzioni, 2005) e γ_{VolF1} coefficiente legato alla precisione del rilievo volumetrico del blocco di progetto, pari a 1,05 per rilievi accurati della parete e 1,20 per rilievi di minore precisione.

La **distanza di arresto d_A** è definita come:

$$d_A = d_{maxMEL} * \gamma_D$$

Dove γ_D fattore di sicurezza che tiene conto di condizioni di impatto particolari e pari a 1,20 nel caso sia disponibile solo il valore misurato nella prova sperimentale al livello energetico MEL, 1,10 se siano stati sviluppati anche calcoli strutturali per verificare l'idoneità della barriera e la massima deformata nel caso di impatto sul montante, sulla parte alta del pannello e nell'ultima campata dell'allineamento ed 1,00 nel caso di progetto considerando il livello energetico SEL.

L'**altezza di intercettazione di progetto** è definita come l'altezza di passaggio dei blocchi rispetto al pendio corrispondente al frattile del 95% delle possibili traiettorie h_t moltiplicata per un fattore di sicurezza:

$$h_p = h_t * \gamma_F$$

4.8 Normativa per la progettazione delle opere di fondazione

Il dimensionamento di un ancoraggio passivo rientra nelle “Norme per le opere interagenti con i terreni e con le rocce, per gli interventi nei terreni e per la sicurezza dei pendii” delle NTC, mentre è normato dall'Eurocodice 7 “Progettazione geotecnica”.

Gli Eurocodici sono stati sviluppati in ambito europeo per armonizzare gli aspetti progettuali dei Paesi membri utilizzando come approccio la progettazione agli stati limite. Negli Eurocodici, così come nelle Norme Tecniche per le Costruzioni, si utilizzano dei coefficienti di sicurezza parziali, da applicare o alle azioni, o alle resistenze o ad entrambi, in funzione dell'approccio utilizzato. Il valore dei coefficienti di sicurezza utilizzato è indicato a livello europeo e viene poi lasciata alle singole nazioni la possibilità di variare questi valori in funzione della propria specificità. Gli Eurocodici sono stati la base per la redazione delle nuove Norme Tecniche, che ne recepiscono non solo lo spirito ma anche l'impostazione.

Le norme cui si fa riferimento sono le seguenti:

Decreto Ministeriale del 14/01/2008: “*Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni*”, G.U. n. 29 del 04.02.2008, Supplemento Ordinario n. 30;

Circolare 02.02.2009, n. 617 “Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14.01.2008;

D.M. 11.03.1988 “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”, G.U. 01.06.1988, n. 127. S.O.;

Circolare 09.01.1996 n. 218/24/3 “L. 02.02.1974, n. 64. Decreto del Ministro dei Lavori Pubblici 11.03.1988. “*Istruzioni applicative per la redazione della relazione geologica e della relazione geotecnica*”, G.U. 29.02.1996, n. 50;

Raccomandazioni AICAP “*Ancoraggi nei terreni e nelle rocce*” Giugno 2012;

Eurocodici approvati dal Comitato Europeo di Normazione in forma di Euro Norma (EN).

4.9 Aspetti progettuali per l'utilizzo di reti paramassi

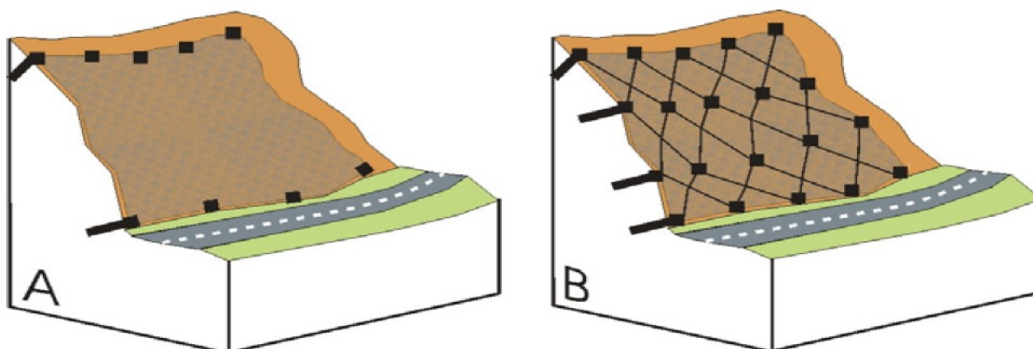
Le reti paramassi trovano applicazione sia per gli interventi di difesa passiva (mirati ad attenuare gli effetti del dissesto), sia per quelli di difesa attiva (mirati a prevenire il distacco):

	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 particolare, sulla base della funzionalità, si distinguono due categorie di reti di protezione indicate nella precedente tabella come interventi di tipo attivo/passivo:

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.



Esempio di intervento con rete di protezione semplice (sinistra) e di rafforzamento corticale (destra)

COMPLETAMENTO DELLE OPERE DI CONSOLIDAMENTO NEL CENTRO ABITATO DI BUGGERRU

PROGETTO ESECUTIVO

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, a seguito della rottura di un filo, che si sviluppino ampie smagliature, se non addirittura la lacerazione parziale della rete; viceversa le reti a doppia torsione risultano meno soggette a questi fenomeni. 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.

4.10 Reti di protezione semplice

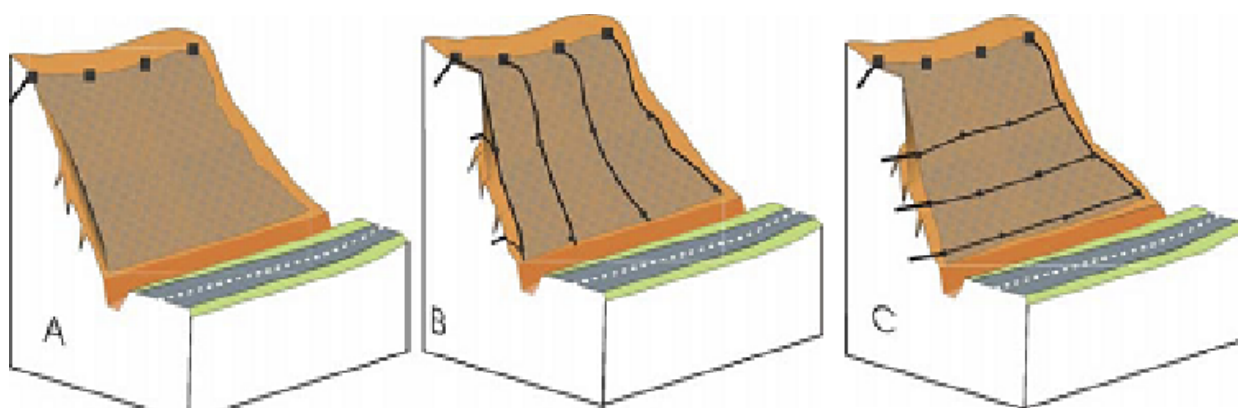
Lo scopo delle reti semplici è quello prevenire la caduta o consentire che il volume roccioso staccatosi raggiunga il piede della parete con velocità e traiettoria controllata.

L'applicazione tipica è in ammassi rocciosi, la cui superficie si riduce in frammenti aventi ordine di grandezza paragonabile a quello della maglia della rete (dimensione orientativa dei massi 0,1 ÷ 0,5 m). I fattori da considerare nella progettazione di una rete di protezione semplice sono molteplici:

1. Spazio disponibile al piede della parete per effettuare manutenzioni o realizzare trincee;
2. Massima deformazione consentita al sacco detritico che si forma al piede della rete;
3. Tipo di sollecitazione cui potrebbe essere soggetta la rete (urto di volumi rocciosi in caduta, carichi di neve o ghiaccio);
4. Morfologia della pendice rocciosa (acclive, verticale, completamente aggettante);
5. Impatto visivo;
6. Costi di posa in opera e di manutenzione;
7. Durata ed efficacia attesa dell'intervento;
8. Sicurezza del personale durante la posa in opera.

Le reti di protezione semplice vengono messe in opera in due modi:

Reti posate quanto più possibile in aderenza alla parete: la rete in aderenza trattiene sul posto volumi rocciosi di piccola dimensione, oppure impedisce che cadendo acquistino velocità. Per rimanere in aderenza su morfologie molto articolate, la rete viene fissata con ancoraggi ausiliari e funi in acciaio. La funzione di tali ancoraggi diventa importante soprattutto in presenza delle sollecitazioni indotte da neve e ghiaccio. La tecnica è in genere adottata su scarpate moderatamente acclivi, soprattutto dove esiste copertura vegetale. Per realizzare l'intervento è importante utilizzare teli di rete flessibili e quindi ben adattabili al terreno.



Esempi di rete di protezione semplice con trincea di protezione al piede: A) rete semplice in aderenza; B) rete con funi verticali fissate mediante funi e spit; C) rete su funi orizzontali tenute staccate dalla parete mediante ancoraggi.

Reti non in aderenza alla parete: la rete viene sostenuta alla sommità e lasciata libera di tesarci sotto il proprio peso. I massi hanno così possibilità di cadere con una certa libertà verso il piede della parete, rimanendo sempre contenuti tra la roccia e la rete. Per il loro utilizzo sono quasi sempre sufficienti reti a doppia torsione; tuttavia in presenza di pareti a morfologia articolata, dove sono attendibili cadute di massi molto grandi con proiezioni orizzontali accentuate, possono essere preferite reti speciali (a torsione semplice in acciaio speciale, in pannelli di rete in fune o addirittura ad anelli). Questa tecnica di posa in opera è frequentemente applicata su scarpate sub verticali o aggettanti, o dove sussistono concreti pericoli per gli operatori in parete. Per realizzare l'intervento possono essere utilizzati con modesta difficoltà anche teli rete rigidi. Se necessario la rete è tenuta in posizione con asole fissate a spit o simili.

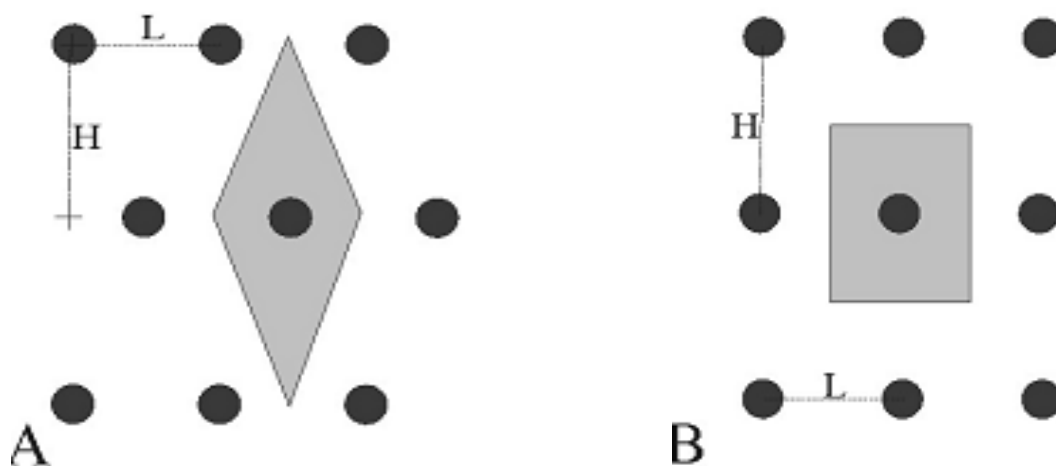
4.11 Rafforzamenti corticali

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 trattieneuti 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 $0,5 \div 1,0$ 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 Num. di anc./m²) tale da garantire che la massima porzione di ammasso disarticolato che potrebbe gravare su ciascun ancoraggio non superi il carico ammissibile dell'ancoraggio stesso.



Densità di ancoraggio equivalenti: a quinconce sinistra) e a maglia rettangolare (destra)

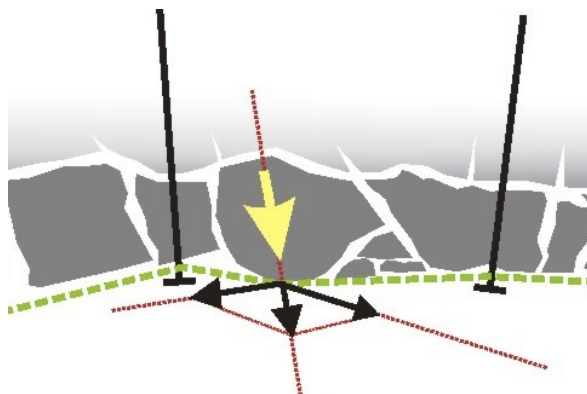
COMPLETAMENTO DELLE OPERE DI CONSOLIDAMENTO NEL CENTRO ABITATO DI BUGGERRU

PROGETTO ESECUTIVO

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.

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.



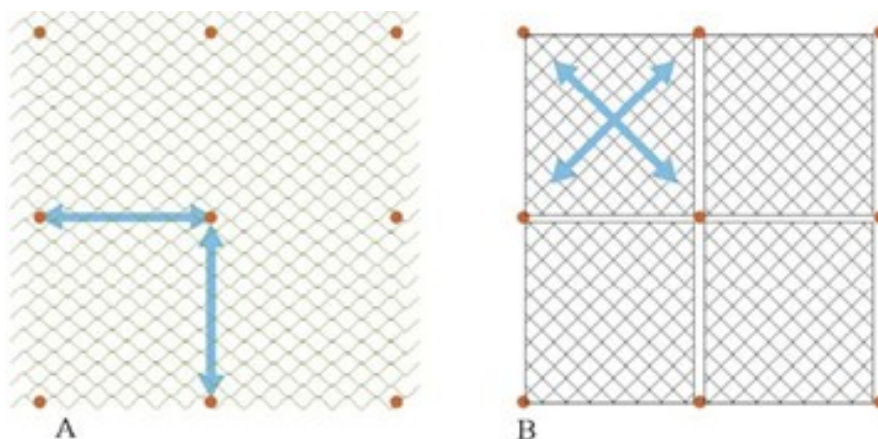
I fattori da considerare nella progettazione di un rafforzamento corticale si sovrappongono in parte a quelli già elencati per le reti semplici. Merita però ricordare l'importanza che riveste l'osservazione preliminare dell'ammasso. Essa infatti permette di definire lo spessore della roccia disarticolata,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

In merito alle caratteristiche dei materiali, devono essere esaminati alcuni aspetti applicativi delle reti.

La resistenza a trazione del rivestimento (facing nel soil nail) deve essere proporzionale alla forza da scaricare sugli ancoraggi; nelle situazioni gravose si tende ad adottare perciò reti di elevata resistenza (esempio: pannelli di rete in fune) anche se il loro utilizzo potrebbe risultare scarsamente significativo. Infatti, a parità di densità di ancoraggi, i fattori che controllano sull'efficacia del sistema sono molteplici:

La resistenza della rete nell'intorno dell'ancoraggio: quando una rete di elevate prestazioni viene fissata su un numero limitato di maglie, la massima resistenza disponibile ha ordine di grandezza paragonabile a quello dei pochi fili coinvolti dall'ancoraggio; si prenda il caso dei pannelli di rete in fune: nei capitolati sono richiesti pannelli di rete romboidale in fune da 8,0 mm, con la fune perimetrale da 12 e 14 mm (16 mm in qualche caso!). I pannelli vengono poi vincolati ai bordi o al centro insistendo con gli ancoraggi direttamente sulle maglie romboidali: è evidente allora che la resistenza del sistema pannello è dominata dalla fune da 8,0 mm e non da quella di 16 mm;

Il modo di comportarsi della rete nelle diverse direzioni: la forma e il modo con cui è tessuta la maglia influenzano la resistenza e la deformabilità della rete. Una rete ideale dovrebbe garantire prestazioni omogenee in tutte le direzioni. In realtà si osserva che le reti a torsione semplice hanno comportamento molto anisotropo caratterizzato da resistenze alla trazione e all'allungamento assai differenti in funzione della direzione considerata. Le reti a doppia torsione sono meno anisotrope rispetto a quelle a torsione semplice. Anche i pannelli in fune continua d'acciaio sono poco anisotropi;



Schema delle direzioni di allineamento nel caso di applicazione di rete semplice (sinistra) o di pannelli (destra)

I vincoli della rete: di norma la rete è vincolata da una maglia di ancoraggi disposti a romboedro, rettangolo o quadrato. La rete funge sia da collegamento tra gli ancoraggi che sono così chiamati a collaborare, sia da contenimento dei volumi rocciosi instabili. Nel caso delle reti a semplice o doppia torsione, è fondamentale che i teli contigui siano perfettamente giuntati affinché il sistema sia funzionale. Nel caso dei pannelli di rete in fune d'acciaio, la giunzione dei pannelli non è funzionale tanto a far collaborare gli ancoraggi, quanto a garantire il contenimento di massi;

La deformabilità della rete: in via generale si osserva che tutte le reti posate in opera prima di entrare in esercizio devono essere leggermente pre-tesate, in modo da consentire ai vincoli di entrare in funzione. La pre-tesatura consente di assestare i laschi della rete e i movimenti liberi in corrispondenza dell'ancoraggio di attacco e di esaurire la deformabilità dell'acciaio. In analogia ai tiranti, possiamo dire che è necessario portare in "allineamento" le reti prima di farle entrare in esercizio. L'entità del carico di allineamento dipende dall'accuratezza della posa in opera, dalla morfologia della parete, e dalle caratteristiche delle reti. Per quanto riguarda quest'ultimo fattore, è evidente che una certa deformabilità (più precisamente capacità di estendersi aumentando la superficie) facilita la fase di posa in opera; ad esempio, se la morfologia della parete è moderatamente irregolare, le reti "tridimensionali" a semplice torsione, che sono molto deformabili (con comportamento linearmente elastico), possono essere applicate in perfetta aderenza quasi in allineamento; nella medesima parete rocciosa, risulterà più difficile posare e portare in allineamento una rete a doppia torsione; ancora maggiore sarà la difficoltà per i pannelli di rete in fune. Allo stato attuale non ci sono sistemi economici e di facile utilizzo che consentano di portare in allineamento le reti poco deformabili. Quando la deformazione della rete è eccessiva, possono esserci conseguenze pericolose. Se le deformazioni sotto carico sono importanti, i massi trattenuti si muovono innescando nuove e più svantaggiose situazioni di instabilità con conseguente aumento di carico e deformazione; attraverso la rottura progressiva, la resistenza disponibile tra i massi passa da condizioni di picco a condizioni residue. Qualora le reti fossero applicate su terra, deve essere considerato che una deformazione molto inferiore all'1% sulla distanza tra gli ancoraggi è sufficiente per mobilitare la spinta attiva. In via qualitativa si osserva che, nel caso delle reti a torsione semplice, a causa dell'elevata deformabilità, il carico di allineamento della rete viene raggiunto prima tra ancoraggi più vicini. Diversamente, nel caso dei pannelli si osserva che i vincoli fondamentali sono costituiti dagli ancoraggi,

COMPLETAMENTO DELLE OPERE DI CONSOLIDAMENTO NEL CENTRO ABITATO DI BUGGERRU

PROGETTO ESECUTIVO

mentre le legature perimetrali rivestono uno scarsissimo ruolo. Infatti, a causa del modo con cui è tessuto il pannello, le forze si trasmettono principalmente lungo le diagonali, perciò il carico di allineamento viene raggiunto tra gli ancoraggi più lontani della maglia, secondo la diagonale del pannello. Questo, tra l'altro, mette in evidenza che le funi maggiormente sollecitate sono quelle diagonali del pannello. Queste semplici considerazioni consentono di rivalutare i rafforzamenti corticali ottenuti con il reticolo (romboidale, quadrato, doppio ecc.) di funi metalliche opportunamente tesate sopra le reti, fissate nei punti di intersezione con ancoraggi; si tratta di un sistema allineato, pronto per sopportare le tensioni di esercizio e poco deformabile rispetto alle reti;

La rigidità della rete in rapporto alla morfologia della parete: più la morfologia è articolata maggiore è la difficoltà di rivestire la parete con reti in aderenza. La presenza di forme irregolari implica infatti la realizzazione di rattoppi, sovrapposizioni e piegature. Se la rete da applicare è molto rigida, la messa in opera può diventare veramente difficoltosa e onerosa, a causa sia della crescente incidenza della manodopera sia delle maggiori quantità impiegate per le sovrapposizioni. Viceversa, quando la morfologia è molto regolare (ad esempio i fronti di scavo su scarpate stradali) possono essere utilizzate con successo anche reti rigidissime, come quelle elettrosaldate. Quando è previsto l'utilizzo di pannelli di rete in fune su morfologie molto articolate, il progettista talvolta richiede che le maglie romboidali dei pannelli siano il più piccole possibile al fine di conferire maggiore resistenza alla rete (esempio: maglia 150 x 150 mm); si tratta però di pannelli estremamente rigidi, difficilmente manovrabili da operatori in parete rocciosa, e non possono essere posati in aderenza. Sempre a causa della morfologia della parete, i pannelli continui talvolta non sono giuntati lungo la fune perimetrale, ma sono spesso sovrapposti e magari fissati con ancoraggi che insistono direttamente sulle maglie della rete.

Anche alla luce delle considerazioni prima sviluppate, diviene trascurabile il fatto che il pannello di rete in fune sia attrezzato o meno con la fune perimetrale; assume importanza invece che il pannello sia flessibile, che i nodi delle maglie abbiano elevata resistenza allo scorrimento e all'apertura, che le funi con cui sono realizzati abbiano carichi di rottura molto elevati.

5. DETERMINAZIONE DEL RISCHIO DI CADUTA MASSI

La modellazione dei fenomeni di caduta massi è stata effettuata utilizzando un modello matematico-fisicamente basato (Hy_Stone, Crosta et al. 2004, Frattini et al. 2008, Agliardi et al. 2009) in grado di simulare le possibili traiettorie di blocchi rocciosi a partire da aree sorgenti preventivamente identificate.

Il codice di calcolo permette di simulare il moto di blocchi rocciosi non interagenti (caduta libera, motoparabolico, impatto/rimbalzo e rotolamento) in un sistema di riferimento tridimensionale, utilizzando un modello digitale del terreno (DTM), per descrivere la topografia del versante.

La perdita di energia è descritta tramite coefficienti di restituzione (normale e tangenziale) ad impatti successivi e tramite un coefficiente di attrito dinamico al rotolamento. Il passaggio dal moto a rimbalzi al moto di rotolamento è determinato da una soglia di distanza limite di volo. Il codice Hy_Stone utilizza un algoritmo di tipo ibrido in grado di simulare in modo cinematico il motoparabolico ed in modo dinamico i processi di rotolamento ed impatto. Il blocco è descritto da una forma geometrica solida (sfera, disco o cilindro) dotata di un certo volume e una certa massa. Il modello è quindi in grado di simulare il moto di rotazione.

L'incertezza dei parametri e la loro variabilità spazio-temporale è considerata facendo simulazioni di tipo stocastico ossia lanciando più blocchi da ogni area sorgente e variando alcuni parametri secondo una certa distribuzione di probabilità all'interno di un certo range stocastico. Tali simulazioni consentono di:

- Introdurre la variabilità naturale dei parametri;
- Ottenere una maggiore e più affidabile copertura del territorio;
- Verificare la dispersione delle traiettorie e dei punti di arresto a partire da un'unica sorgente;
- Ottenere distribuzioni rappresentative per le variabili di maggior interesse;
- Simulare gli effetti della frammentazione dei blocchi in elementi di dimensioni minori;
- Modellare l'impatto con modello costitutivo elasto-visco-plastico per simulare l'effetto della presenza di terreni o strati ad elevato assorbimento.

I risultati della simulazione sono prodotti in parte in formato raster (trattino) e in parte in formato vettoriale

- Numero di transiti per ogni cella;
- Velocità traslazionale e rotazionale (minima, media e massima) dei massi transitati per ogni cella;
- Altezze (minima, media e massima) delle traiettorie per ogni cella;
- Energia cinetica traslazionale e rotazionale (minima, media e massima) dei massi transitati per ogni cella;
- Dati istantanei del moto;
- Traiettorie tridimensionali;
- Punti di partenza e arresto delle traiettorie;
- Punti di impatto e tutte le variabili di interesse;
- Punti di arresto e variabili relative.

Ai fini dell'esecuzione delle simulazioni è necessario predisporre un set di dati in ingresso spazialmente distribuiti che permettano di descrivere la superficie topografica, di definire le aree sorgenti, le aree di arresto forzato ed i parametri di rugosità ed elasticità della superficie. Inoltre dovranno essere introdotti parametri che definiscono le caratteristiche dei blocchi lanciati, le proprietà stocastiche delle grandezze e i parametri che regolano il comportamento matematico del modello.

5.1 Modello topografico

Il modello topografico deve permettere l'individuazione delle aree sorgenti di caduta massi e quindi oggetto dei fenomeni di crollo; deve fornire le caratteristiche geometriche e geomeccaniche delle aree di distacco e deve descrivere la topografia lungo la quale è possibile avere e simulare fenomeni di caduta massi. Pertanto deve possedere le seguenti caratteristiche:

- Elevata risoluzione;
- Assenza di artefatti e di vegetazione;
- Descrizione di dettaglio della geometria degli affioramenti rocciosi e dei piani di discontinuità;
- Evidenziazione di elementi artificiali (ad esempio la viabilità).

5.2 Preparazione carte tematiche di base per modellazione

Per una corretta modellazione si è resa necessaria la preparazione delle seguenti carte tematiche relative alle caratteristiche del territorio:

- Carta delle litologie superficiali con mappatura della roccia affiorante, della roccia subaffiorante, del detrito fine o grossolano;
- Carta dell'uso del suolo con mappatura della copertura vegetazionale del terreno con bosco fitto, rado, vegetazione rada, vegetazione ad alto fusto o arbustiva, copertura erbosa, terreno nudo, superfici di terreni di riporto, superfici asfaltate o altre tipologie di opere strutturali.

Per la preparazione di tali carte si è proceduto tramite fotointerpretazione delle immagini aeree, di quelle dal drone e tramite analisi congiunta dei dati fotointerpretati e di quelli da rilievo topografico. Le due carte sono quindi state sovrapposte a dare una carta combinata di depositi ed uso del suolo alla quale sono stati assegnati i valori dei coefficienti confrontando tali superfici con casi tipo per i quali esistono valori in letteratura (Azzoni et al. 1995, Agliardi e Crosta 2003). Questi valori sono stati a loro volta modificati durante la fase di calibrazione del modello sulla base dei dati e delle osservazioni disponibili tra cui quelle relative ad eventi pregressi.

Per introdurre la componente stocastica si è scelto di variare con una distribuzione normale il coefficiente di restituzione normale, quello tangenziale ed il coefficiente di attrito al rotolamento. La modellazione è definita utilizzando il valore calibrato come valore medio ed una deviazione standard pari al 20% del valore medio.

5.3 Modellazione fenomeni di caduta massi: stato di fatto

Tramite il codice di calcolo 3D Hy_Stone è stato possibile modellare i fenomeni di caduta massi nei diversi tratti di strada. In particolare sono stati eseguiti diversi modelli in relazione al numero di blocchi lanciati in funzione della suscettibilità della parete definita applicando la procedura RHAP, uno lanciando circa 100.000 blocchi da 1 m^3 e l'ultimo considerando le diverse zone sorgenti in relazione all'input sismico.

Per ognuno di essi è stato possibile ricavare le informazioni relative alla frequenza di passaggio, all'energia cinetica, all'altezza di transito dei massi per ogni cella del modello. I risultati ottenuti dalla simulazione di caduta massi relative alla condizione attuale del sito mostrano come l'intera tratta in esame è particolarmente esposta al rischio di crolli.

All'elevata acclività dei versanti corrisponde una maggiore energia potenziale che, al momento del distacco del blocco dalla zona sorgente, si tramuta in energia cinetica. Tale energia si manifesta, evidentemente, lungo le porzioni a maggior pendenza. Dalle aree sorgenti di crolli, il moto dei blocchi è prevalentemente la caduta libera, che si manifesta attraverso incrementi dei valori di energia cinetica. All'impatto al suolo i blocchi dissipano parte dell'energia cinetica e proseguono il moto sotto forma di rimbalzi e rotolamenti in relazione alla morfologia superficiale. L'immagine seguente mostra la frequenza di transito dei blocchi lungo il pendio e le traiettorie degli stessi; i colori più caldi indicano le maggiori frequenze. Un congruo quantitativo di blocchi simulati si arresta in corrispondenza della muratura in fregio alla provinciale, mentre i restanti raggiungono la stessa e, addirittura, proseguono verso la spiaggia e l'area camper.



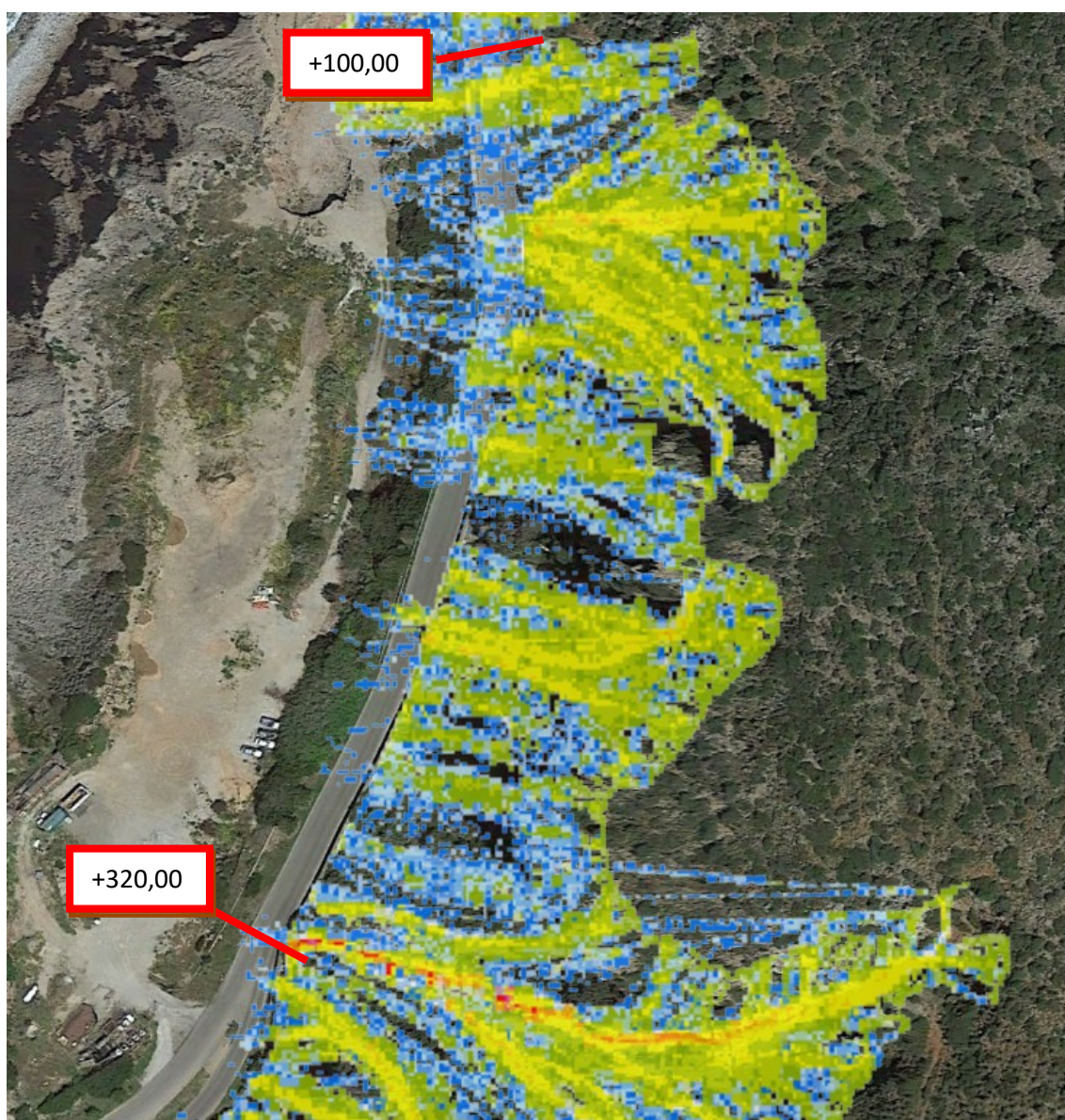
Frequenza di transito: i colori caldi indicano le maggiori frequenze di transito.

COMPLETAMENTO DELLE OPERE DI CONSOLIDAMENTO NEL CENTRO ABITATO DI BUGGERRU

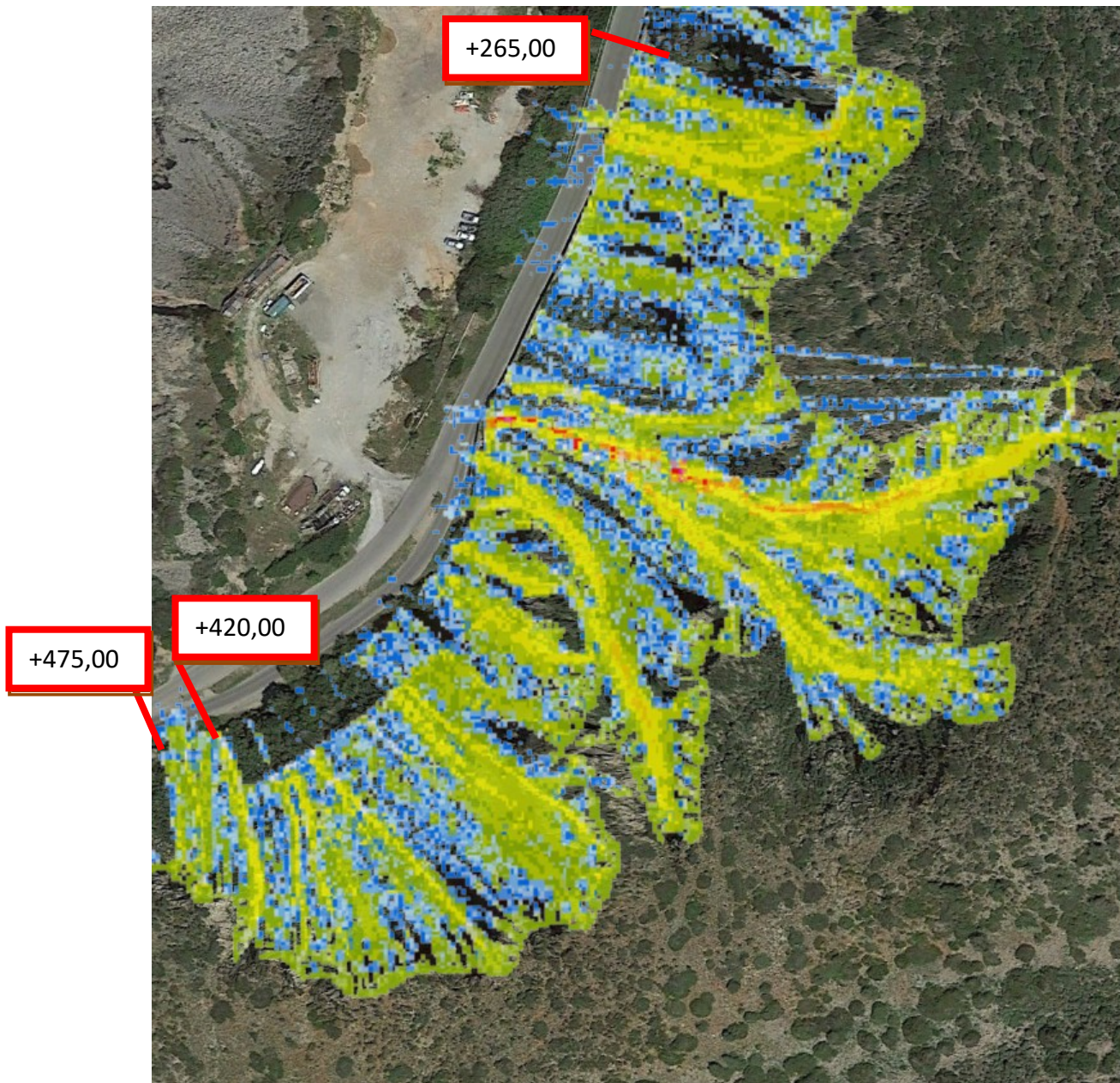
PROGETTO ESECUTIVO

La frequenza di transiti lungo la S.P. n.83 evidenzia una situazione abbastanza omogenea in cui zone di transito più frequente sono prevalentemente localizzate laddove le pareti rocciose sono prospicienti alla stessa e ove i versanti sono più mossi con canali più pronunciati. Infatti, lungo questi ultimi si evidenziano le maggiori concentrazioni di blocchi, in quanto essi fungono da principali collettori di transito. Osservando il numero di blocchi che si arresta in prossimità della sede stradale, si nota come questi siano più numerosi dove le aree sorgenti sono prossime alla stessa. Ciò mostra la possibile rilevanza di alcuni settori dal punto di vista della pericolosità da crollo.

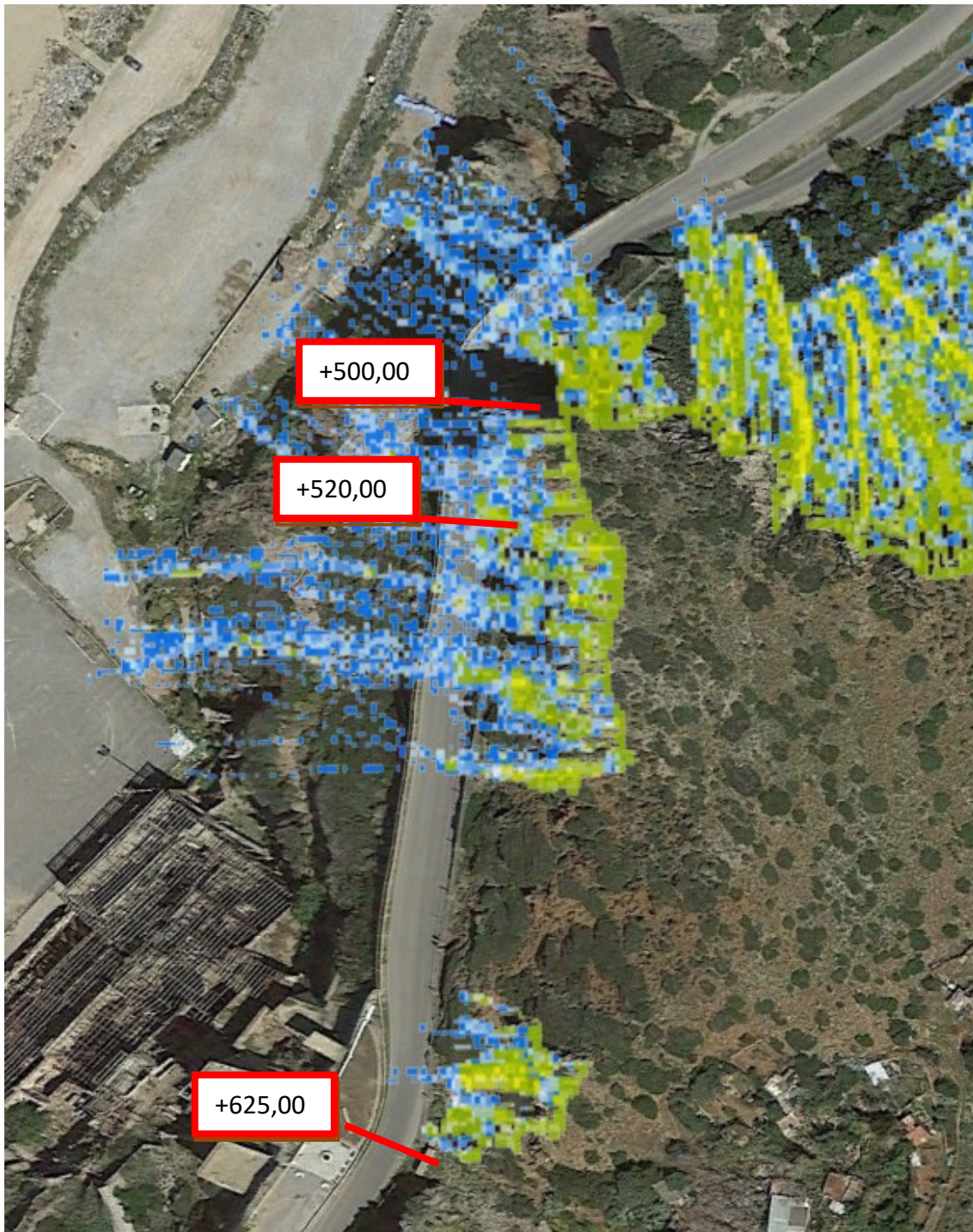
Nello specifico le maggiori frequenze di transito lungo la S.P.n.83 si registrano: tra la progressiva +100 e la progressiva +320, tra la progressiva +420 e la progressiva +475 e tra la progressiva +520 e la progressiva +560.



Frequenza di transito dei blocchi: tronco S.P.83 compreso tra progressiva 100 e 320.



Frequenza di transito dei blocchi: tronco S.P.83 compreso tra progressiva +265e +475.



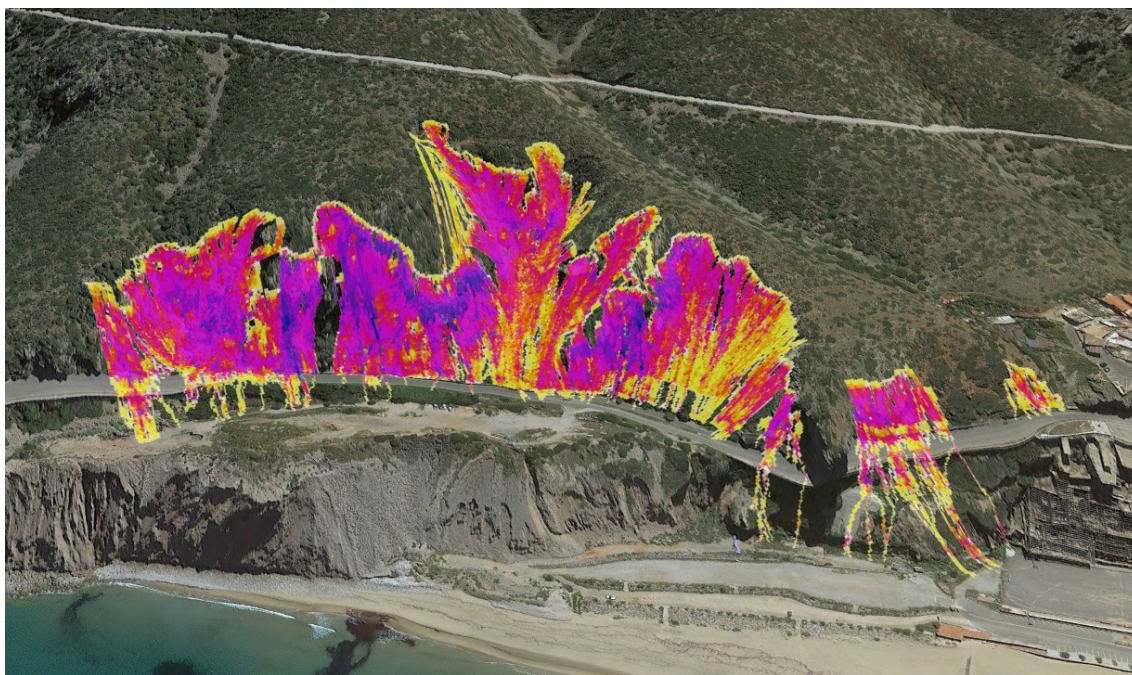
Frequenza di transito dei blocchi: tronco S.P.83 compreso tra progressiva +500 e fino a progressiva +625.

La figura seguente mostra le massime energie cinetiche dei blocchi che transitano sulle singole celle del DEM 1x1 m. i valori di energia cinetica che caratterizzano l'area simulata sono in genere abbastanza elevate in corrispondenza delle zone sorgenti o laddove il versante è più irregolare (energia cinetica massima superiore a 1.200 kJ. Nei tratti con versante lungo e a pendenza costante con copertura detritica diffusa, i livelli energetici risultano essere limitati. Anche in questo caso, quindi, la prossimità delle pareti rocciose alla sede stradale comporta un aumento del valore energetico dei blocchi nella zona da difendere.

Dalle zone sorgenti il moto dei blocchi è la caduta libera. A seguito dell'impatto col suolo, l'energia dei blocchi decresce verso valle a causa dell'azione dissipativa esercitata dalle caratteristiche della superficie topografica (rugosità, morfologia, ecc).

Le maggiori energie cinetiche lungo la provinciale si registrano estesamente tra la progressiva +100 – +180 ove varia tra 500 e 1000 kJ; localmente nel tratto compreso tra la progressiva +200 e +280.

Nel tratto di provinciale tra la progressiva +420 e la progressiva +560, i blocchi simulati impatto al suolo con energie cinetiche comprese tra 300 – 500 kJ.



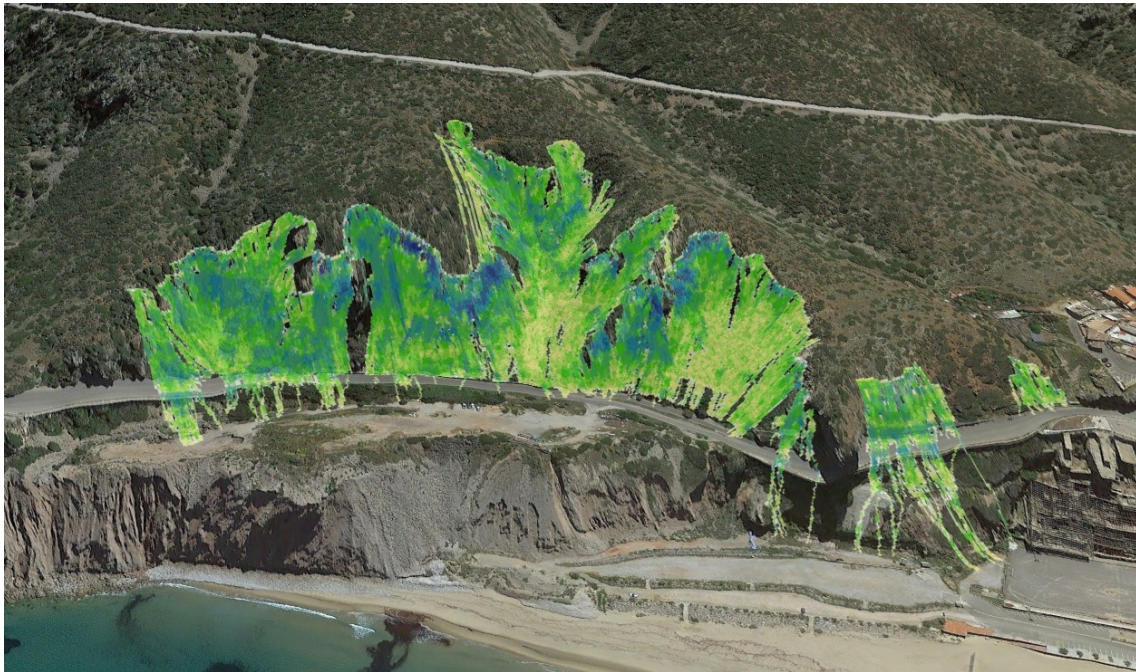
Energia cinetica dei blocchi: i colori caldi indicano energie cinetiche elevate.

COMPLETAMENTO DELLE OPERE DI CONSOLIDAMENTO NEL CENTRO ABITATO DI BUGGERRU

PROGETTO ESECUTIVO

Le massime altezze s'individuano in corrispondenza delle pareti rocciose sub verticali, per poi decrescere, verso valle. Considerata la topografia del versante, ne consegue che i settori maggiormente esposti in termini di energie e di altezza delle traiettorie sono quelli sopra indicati. Infatti, in corrispondenza di tali zone si osservano le pareti rocciose più ripide e incombenti sulla sede stradale. Le altezze sono solo localmente molto elevate e superiori ai 15 m in prossimità delle pareti rocciose.

Le altezze delle traiettorie di transito sulla provinciale sono piuttosto omogenee e comprese tra 1 e 2 m. Si rilevano altezze di transito superiori ai 3 m nel tratto di provinciale compreso tra la progressiva +420 e la progressiva +550 a causa delle pareti rocciose prospicienti sulla stessa.



Altezza di transito dei blocchi: i colori scuri indicano altezze elevate.

5.4 Modellazione fenomeni di caduta massi: stato di progetto

In relazione ai rilievi eseguiti sul versante e alle modellazioni di caduta massi si è potuto definire un quadro generale delle problematiche caratterizzanti l'area. Sulla base dei risultati ottenuti dalla simulazione effettuata per lo stato di fatto, si è proceduto all'inserimento nel modello degli interventi di mitigazione del rischio da caduta massi di tipo passivo (barriere elastoplastiche) lungo le porzioni di versante poco a monte della strada provinciale.

La progettazione delle nuove barriere paramassi è stata preceduta da una fase di indagine approfondita condotta mediante sopralluoghi in sito, ricostruzioni degli eventi di crollo e modellazione numerica tridimensionale degli eventi di crollo, finalizzata alla scelta delle caratteristiche geometriche e prestazionali delle opere da installare. Il posizionamento delle barriere paramassi di tipo elastoplastico è stato effettuato sulla base della morfologia dei singoli settori e l'effettiva superficie a disposizione. Nello specifico sono state previste quattro differenti tratte di barriere aventi capacità di assorbimento pari a 2.000 kJ e altezza di 5m, denominate:

- B1 - L = 80 m tra la progressiva stradale +110-+190 m;
- B2 - L = 110 m tra la progressiva stradale 185-+290 m;
- B3 - L = 70 m tra la progressiva stradale +280-+360 m;
- B4 - L = 50 m tra la progressiva stradale +415-+475 m.

I tatti terminali delle barriere B1 e B2, e B2 e B3 sono sovrapposti di mezzo pannello, garantendo un corridoio di passaggio per gli addetti ai lavori, nonché per la fauna locale, e la protezione completa della strada.

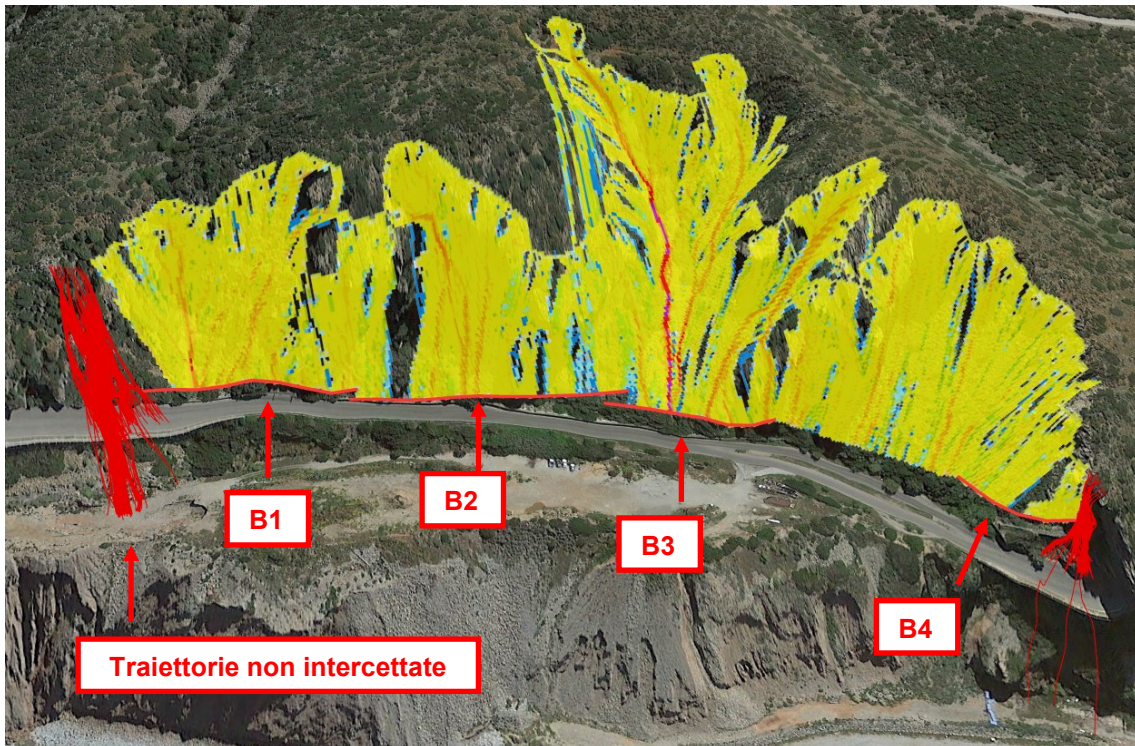
La simulazione condotta con l'inserimento delle barriere elastoplastiche mostra come le stesse sono in grado di intercettare e trattenere tutti i blocchi lanciati sia in termini di energie cinetiche (minore di 2.000 kJ) che di altezze delle traiettorie (minori di 5 m).

Sebbene il posizionamento delle barriere garantisce un buon livello di protezione del tracciato stradale, laddove le traiettorie non rientrano nel campo di intercettazione delle barriere, è necessario il consolidamento delle zone sorgenti dei crolli.

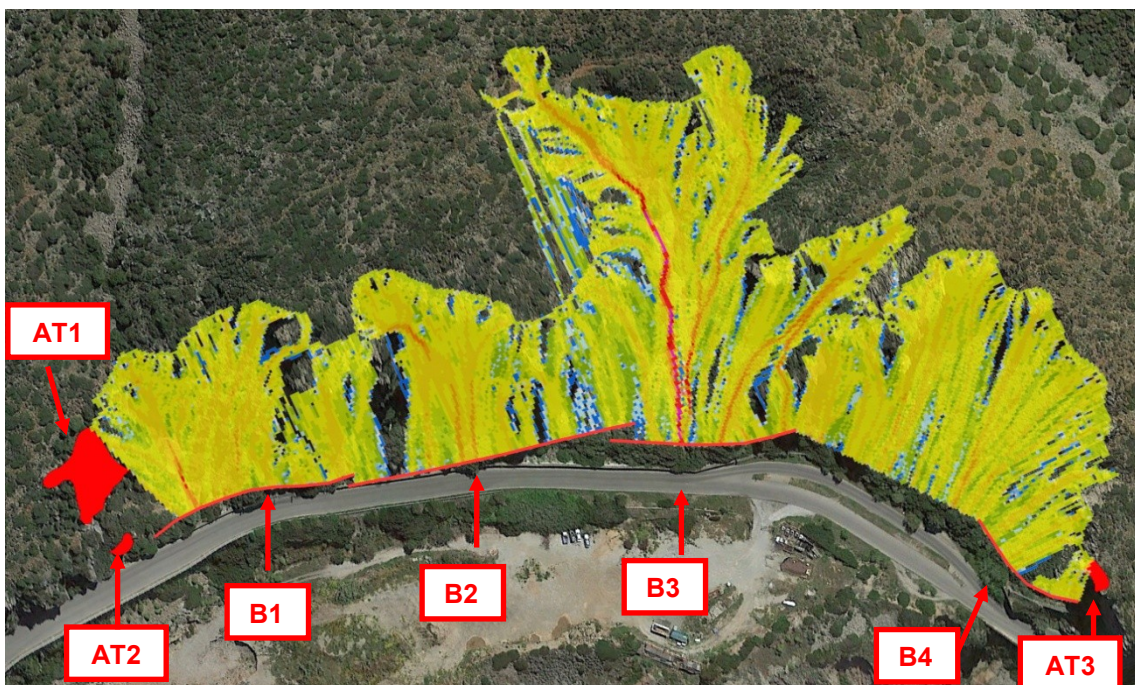
Per queste aree è prevista l'installazione di pannelli in fune ed eventuali chiodature, previo disaggio degli elementi rocciosi potenzialmente instabili.

Gli interventi attivi in parete saranno eseguiti sui fronti rocciosi prospicienti i seguenti tronchi stradali:

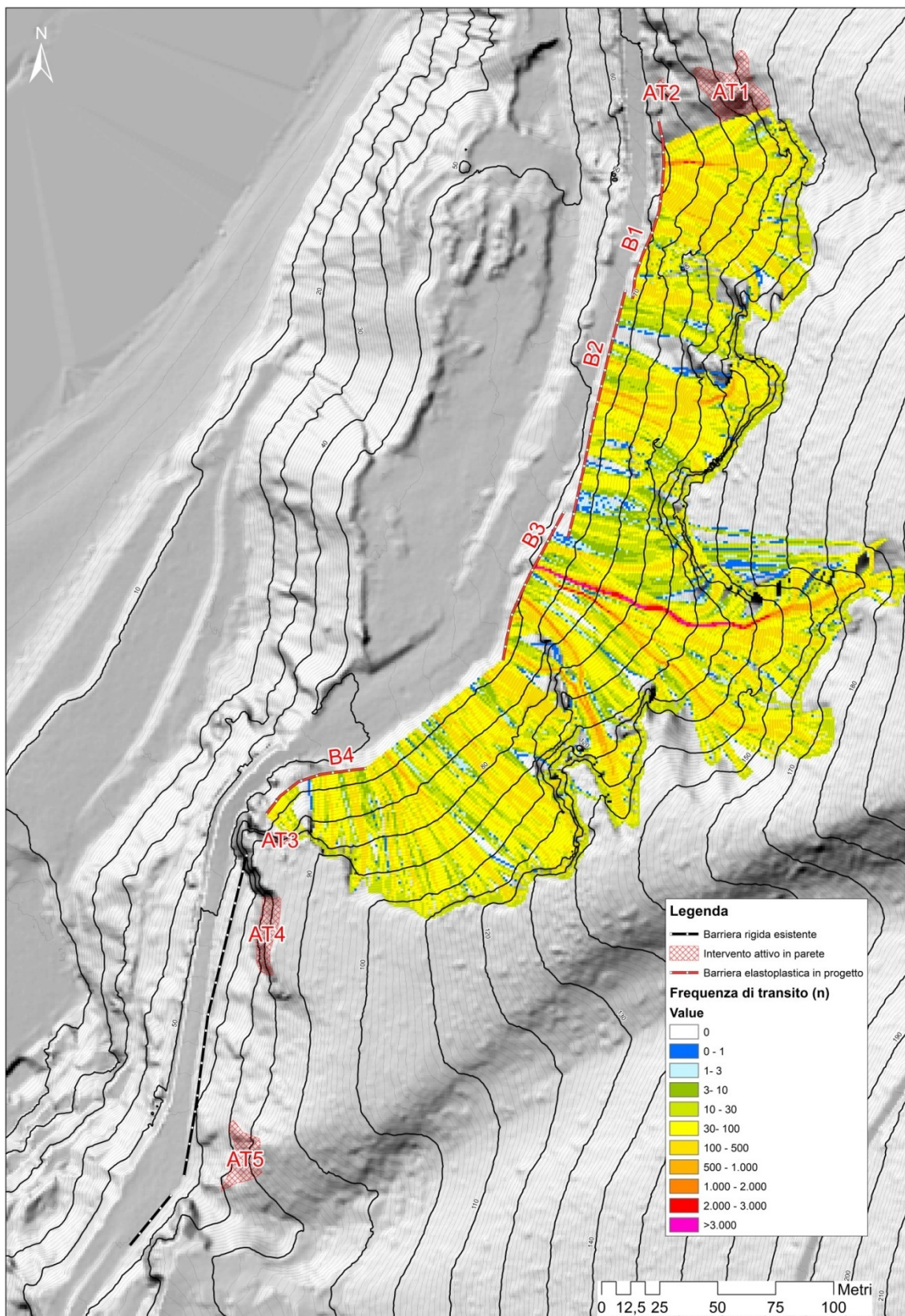
- Intervento AT1 e AT2 progressiva +80-+110.
- Intervento AT3 progressiva +475-+480.
- Intervento AT4 progressiva +520-+560
- Intervento AT5 progressiva +620-+640.



Frequenza di transito: i colori caldi indicano le frequenze elevate.



Frequenza di transito con l'indicazione delle opere in progetto (interventi attivi).



Frequenza di transito con l'indicazione delle opere in progetto.

6. INTERVENTI IN PROGETTO

Sulla base delle osservazioni in campo e i risultati ottenuti dalle simulazioni di caduta massi (stato di fatto e stato di progetto), vista diversità delle situazioni che contraddistinguono l'ambito in esame, considerate le proposte progettuali individuate nel Progetto Definitivo, si prevede l'esecuzione di tre diverse tipologie di intervento, quali:

- Disgaggio e pulizia delle pareti rocciose per una superficie complessiva di circa 18.500 m²;
- Fornitura e posa di barriere paramassi, conformi alle direttive ETAG 027 con energia di assorbimento pari a 2.000 kJ ed altezza di intercettazione di 5,00 m;
 - B1 - lunghezza L = 80,0 m, tra le progressive stradali +110 - +190 m;
 - B2 - lunghezza L = 110,0 m, tra le progressive stradali +185 - +290 m;
 - B3 - lunghezza L = 70,0 m, tra le progressive stradali +280 - +360 m;
 - B4 - lunghezza L = 50,0 m, tra le progressive stradali +415 - +475 m.
- Rivestimento della scarpata con rete in trefolo d'acciaio, ancorata alla parete con barre di ancoraggio tipo "Gewi" (Dn 28 mm), lunghezza 3,00 m per una superficie complessiva di 3.500 m².

Rispetto al progetto definitivo:

- è ridotta la superficie complessiva interessata dal disgaggio, ossia da 37.000 m² a 18.500 m²;
- è ridotta la lunghezza della barriera B4 da 130 m a 70 m;
- è ridotta la superficie interessata dal rivestimento con rete in trefolo d'acciaio da 5.300 m² a 3.500 m².
- non si esegue l'intervento di manutenzione straordinaria della barriera paramassi rigida.

La tabella seguente compara le opere previste nel Progetto Definitivo con quelle del Progetto Esecutivo.

Tipologia d'intervento	Progetto Definitivo	Progetto Esecutivo
Disgaggio e pulizia delle pareti rocciose	37.000 m ²	18.500 m ²
Fornitura e posa di barriera paramassi, con energia di assorbimento pari a 2000 kJ, altezza di intercettazione 5 m.	B1 - L = 80 m B2 - L = 110 m B3 - L = 70 m B4 - L = 130 m	B1 - lunghezza L = 80,0 m B2 - lunghezza L = 110,0 m B3 - lunghezza L = 70,0 m B4 - lunghezza L = 50,0 m
Intervento n.5	Intervento di manutenzione straordinaria della barriera paramassi rigida	Non previsto.
Rivestimento della scarpata con rete in trefolo d'acciaio	5.300 m ²	3.500 m ²

6.1 Disgaggi in parete

L'intervento consiste nella perlustrazione e nel disgaggio manuale dei blocchi considerati potenzialmente instabili sulle porzioni di parete rocciosa individuate nella Tav. ES_016 - *"Planimetria interventi di mitigazione del rischio"*. La finalità dell'intervento è quella di rimuovere masse rocciose a rischio immediato di caduta, ottenendo da subito un livello di sicurezza migliore. Particolare attenzione è stata posta agli orli scarpata, ove sono stati osservati numerosi volumi in equilibrio limite.

L'intervento ha carattere di emergenza e temporaneo e pertanto non impedisce che nel tempo non si generino altri blocchi instabili con possibilità di caduta.

L'operazione è inoltre preliminare alla posa in opera delle reti in aderenza e delle barriere elastoplastiche al fine di permettere l'esecuzione dei restanti interventi in progetto in condizioni di sicurezza.

Le operazioni di disgaggio sono previste lungo una superficie totale di circa 18.500 m² di parete, anche se riguarderanno solo quelle porzioni dove gli stessi si rendono necessari (stimata una superficie pari al 40% della totale).

6.2 Barriere paramassi

Alla luce dei risultati ottenuti dalle simulazioni di caduta massi, si prevede la posa di quattro barriere paramassi elastoplastiche poste a monte dalla Strada Provinciale n.83, per una lunghezza complessiva di 310 m. Nello specifico sono state previste quattro differenti tratte di barriere:

- B1 – lunghezza L = 80,0 m, altezza H=5,00 m, tra le progressive stradali+110-+190 m;
- B2 - lunghezza L = 110,0 m, altezza H=5,00 m tra le progressive stradali+185-+290 m;
- B3 - lunghezza L = 70,0 m, altezza H=5,00 m tra le progressive stradali+280-+360 m;
- B4 - lunghezza L = 50,0 m, altezza H=5,00 m tra le progressive stradali+415-+475 m.

Nel tratto terminale delle barriere B1 verso la B2 e B2 verso la B3, dovrà essere garantita la sovrapposizione di mezzo pannello, allo scopo di impedire il transito di eventuali massi, permettendo di dare continuità all'intervento. Inoltre, il varco così formato rappresenterà un facile passaggio per gli addetti ai lavori e non di meno per la fauna locale.

Le barriere paramassi sono caratterizzate da elevata deformabilità, in modo tale da intercettare un masso con energia cinetica di 2.000 kJ, con certificazione europea ETAG027, costituite da:

- struttura di intercettazione – ha la funzione di sostenere l'impatto del masso e di trasmettere le sollecitazioni delle strutture di supporto e di fondazione; è formata da una rete metallica in trefoli d'acciaio e da una seconda rete in filo d'acciaio; i singoli pannelli di rete sono collegati l'un l'altro mediante legatura in fune;
- struttura di supporto – ha la funzione di mantenere dispiegate le reti; è costituita da montanti in Fe 360, tipo HEA, con interasse di 10,0 m, alti 5,00 m, vincolati alla fondazione per mezzo di una cerniera monodirezionale. In montanti sono sotto fondati da barre d'acciaio di diametro 32 mm; le reti sono dispiegate da funi longitudinali superiori e inferiori;

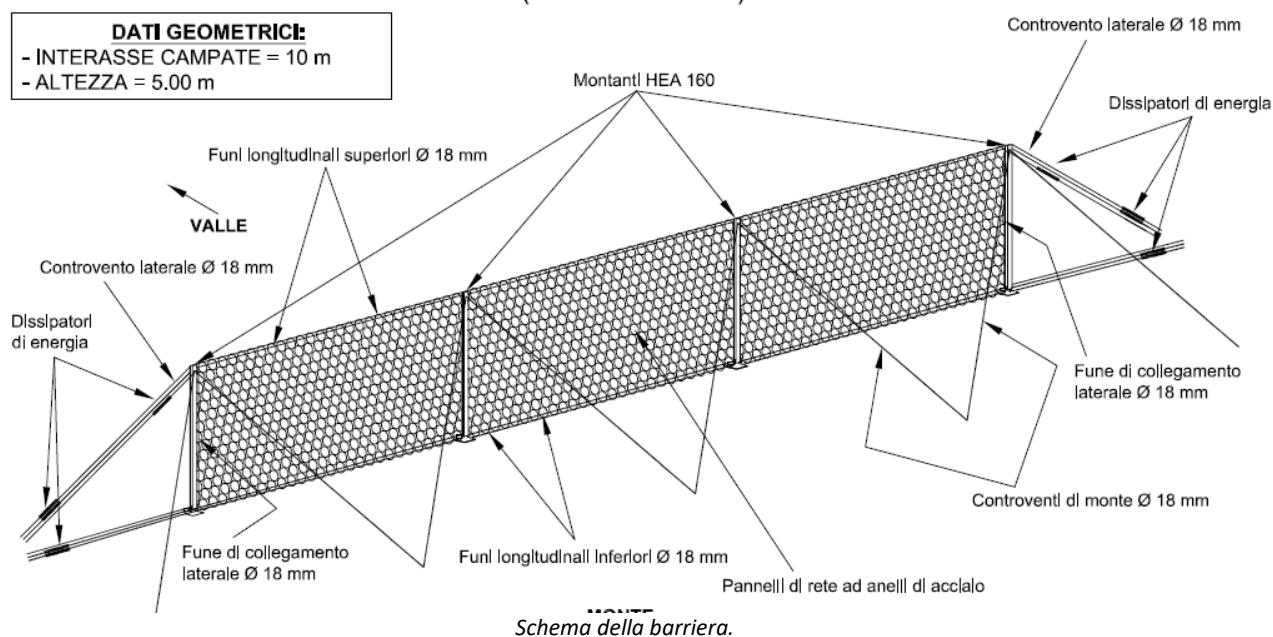
COMPLETAMENTO DELLE OPERE DI CONSOLIDAMENTO NEL CENTRO ABITATO DI BUGGERRU

PROGETTO ESECUTIVO

- struttura di collegamento – trasmette le sollecitazioni alle fondazioni, è costituita da funi controventi laterali munite di dissipatori di energia;
- struttura di fondazione – le controventature sono collegate ad ancoraggi in doppia fune di lunghezza 5,00 m, i montanti a sottofondazioni in barre d'acciaio.

Per i particolari costruttivi si rimanda alla tavola ES_020 - *"Particolari costruttivi interventi passivi - Barriere paramassi"*.

ASSONOMETRIA SCHEMATICA DELLA BARRIERA
- (VISTA DA MONTE) -



Fasi operative

L'installazione delle barriere sarà preceduta dal taglio della vegetazione arbustiva del versante in corrispondenza delle stesse (lunghezza totale di 310,0 m e larghezza 10,0 m). Al taglio seguirà la preparazione del terreno con l'eliminazione delle eventuali asperità che possono interferire con il corretto funzionamento della struttura.

La fase successiva vedrà la realizzazione delle fondazioni dei montanti e dei tiranti in fune delle controventature, a cui seguirà un intervallo di 28 giorni per raggiungere la maturazione del cemento iniettato. Al termine della maturazione della fondazione saranno eseguite due prove di estrazione per ogni barriera.

Infine sarà possibile procedere al montaggio di piantoni, reti, controventature, tiranti e freni.

6.3 Interventi attivi in parete

L'inserimento dei pannelli permette di intervenire in una porzione circoscritta ma sufficientemente ampia da contenere diversi elementi altrimenti di difficile sistemazione. Si tratta di zone nelle quali sono presenti blocchi di varie dimensioni, molto fratturati e alterati per i quali l'inserimento di chiodi o tiranti non garantirebbe la sicurezza. Questa tecnica permette inoltre di modellare l'intervento seguendo le asperità morfologiche e permettendo poi di far ricrescere la vegetazione attenuando l'impatto.

Gli ancoraggi sono gli strumenti con i quali i pannelli, le reti o i blocchi vengono ancorati all'ammasso roccioso non alterato e quindi stabile in profondità, raggiunta mediante la perforazione della roccia. La loro lunghezza è stabilita in funzione della distanza della parete esterna dell'affioramento rispetto alla roccia compatta.

Caratteristiche della rete

I teli di rete in trefolo d'acciaio armonico, installati quanto più possibile in aderenza alla parete da consolidare da squadre di operai rocciatori di comprovata esperienza, che lavorano esclusivamente in cordata, muniti di tutte le necessarie attrezzature di sicurezza. Le squadre di operai che opereranno in parete dovranno essere costituite esclusivamente da rocciatori idoneamente formati in base al D.Lgs. 81/08. Tale condizione dovrà essere dimostrata dalla ditta con i relativi attestati nominativi, per ciascun lavoratore.

I teli di rete devono avere, ciascuno, una superficie massima di 105,0m² ed un peso non superiore a 1,4 kg/m², al fine di facilitarne il corretto posizionamento e dovranno essere costituiti da un'orditura di trefoli d'acciaio armonico $\varnothing 6,5$ mm (costruzione 1x3) a maglia approssimativamente quadrata di dimensione 385mmx415mm (superficie della maglia non inferiore a 1.550cm²). Il trefolo da utilizzare dovrà essere costituito da tre fili di diametro 3mm con resistenza unitaria del filo elementare di 1.770N/mm² (UNI ISO 2408), protetti mediante zincatura Zn-Al secondo UNI EN 10264-2; i nodi che formano l'intreccio dei trefoli sono ottenuti intrecciando l'una sull'altra, così da impedire il reciproco sfilamento, due parti del trefolo piegato all'incirca a 90°. I teli di rete dovranno essere ancorati alla parete tramite barre di ancoraggio idoneamente dimensionate, disposte secondo una maglia definita e, comunque, da adattare alla morfologia del pendio.

Gli ancoraggi perimetrali dovranno essere muniti di idoneo golfare passacavo; quelli intermedi di piastra di ripartizione. Superiormente e inferiormente i teli di rete dovranno essere bloccati facendo passare rispettivamente una fune $\varnothing 16$ mm (6x19+WS) all'interno delle maglie del rivestimento e nei golfari di ancoraggio; lateralmente il rivestimento è realizzato facendo passare, sempre nei golfari e alternativamente nelle maglie del pannello una fune $\varnothing 12$ mm (6x7+WS), bloccata con morsetti. Entrambe le funi dovranno essere idoneamente tensionate con apposita attrezzatura. Il collegamento fra i teli adiacenti dovrà essere realizzato per mezzo di grilli; i morsetti da utilizzare sono del tipo DIN 741 (sulla fune $\varnothing 8,0$ mm in quantità di 3 per ogni asola, sulle funi $\varnothing 12$ mm e $\varnothing 16$ mm in quantità di 4 per ogni asola); la fune da utilizzare è di tipo a trefoli con resistenza unitaria del filo elementare di 1.770N/mm² (UNI ISO 2408) zincata secondo la ISO 2232. L'installazione è comprensiva della realizzazione delle perforazioni per gli ancoraggi, le barre tipo Gewi ($\varnothing 28$ mm) e le piastre di ripartizione. Maglia media: una perforazione ogni 9 m².

L'installazione delle reti prevede l'esecuzione di:

COMPLETAMENTO DELLE OPERE DI CONSOLIDAMENTO NEL CENTRO ABITATO DI BUGGERRU

PROGETTO ESECUTIVO

- trasporto in parete con elicottero – le attrezzature e i materiali, compressore, perforatrice su slitta, barre di ancoraggio, cemento, acqua, saranno trasportate in parete per mezzo di elicottero;
- approntamento di stazioni di calata mediante chiodature in barre di acciaio;
- chiodature in barre d'acciaio ad aderenza migliorata, complete di piastra di ripartizione e golfaro per passaggio delle funi d'acciaio laddove le barre siano utilizzate per veicolare cavi e orditure delle reti in aderenza.

La perforazione sarà eseguita mediante perforatrice su slitta per gli ancoraggi di lunghezza minima pari a 3,00 m, l'inserimento della barra di ancoraggio munita di centratori e iniezione della boiaccia cementizia.

Le reti in aderenza, abbinate alla chiodatura della parete contribuiscono a vincolare blocchi di medie dimensioni e trattengono frammenti più piccoli non chiodabili. Il trasporto dei materiali avverrà tramite elicottero, con le modalità descritte per gli ancoraggi.

Le operazioni prevedono la perforazione con perforatrice a slitta, l'inserimento dell'ancoraggio, l'iniezione della boiaccia cementizia, la stesura delle reti, la legatura dei singoli pannelli mediante fune e, infine, l'orditura a maglie romboidali in fune d'acciaio.

Gli interventi attivi in parete saranno eseguiti sui fronti rocciosi prospicienti i seguenti tronchi stradali:

- progressive+80- +110;
- progressive+475- +480;
- progressive +520-+560;
- progressive+620- +640.

Progressive +80-+110

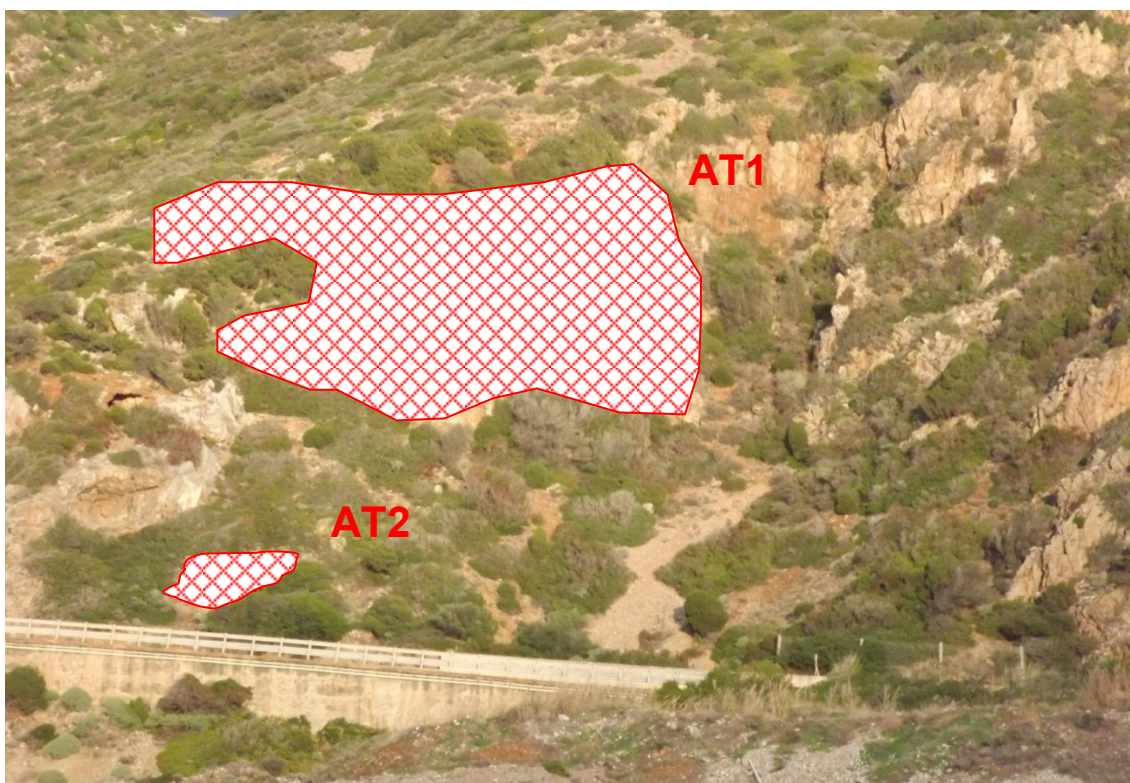
Gli interventi previsti prevedono il consolidamento di alcuni costoni rocciosi sub verticali posti immediatamente a monte del tronco stradale compreso tra la progressiva +80 e la progressiva 110.

Le simulazioni condotte indicano che queste aree sono potenziali zone sorgenti di crollo. I blocchi lanciati da queste zone sono in grado di raggiungere la sede stradale con energie cinetiche limitate e altezze inferiori a 3,00 m.

La simulazione condotta con l'inserimento della barriera B1 indica che le traiettorie dei blocchi lanciati da queste zone non interagiscono col campo d'intercettazione della stessa.

In particolare le aree interessate da intervento sono due:

- AT1 - Superficie di circa 1.050 m²;
- AT2 - Superficie di circa 70 m².



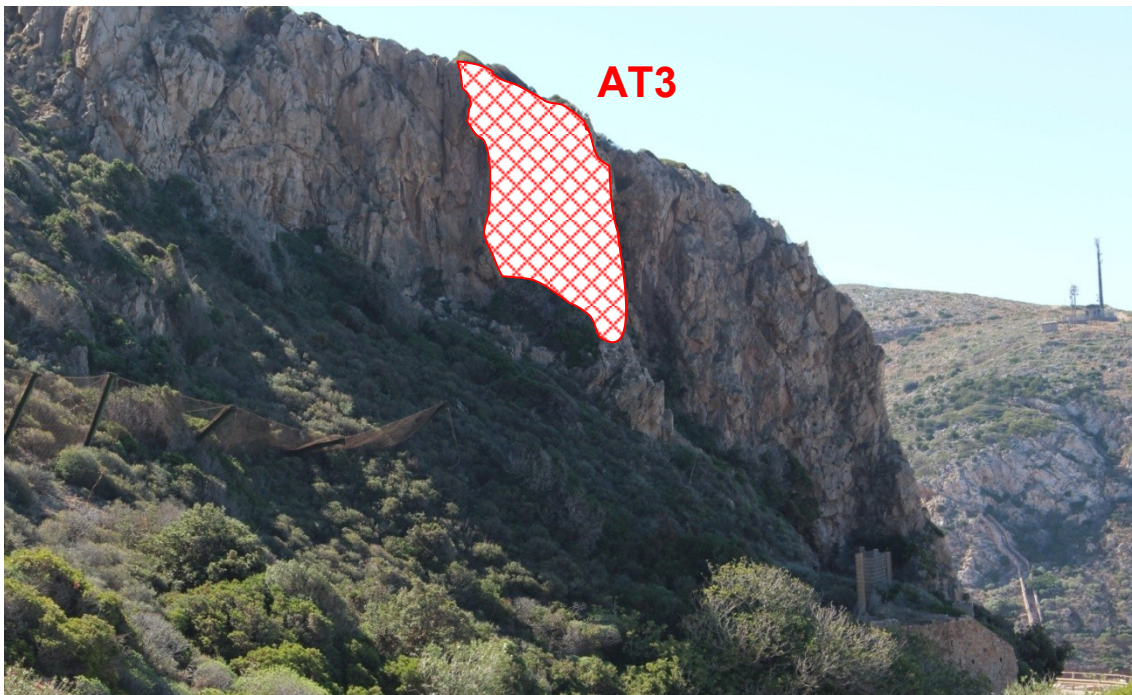
Vista della porzione di versante oggetto di consolidamento: progressiva +80-+110.

COMPLETAMENTO DELLE OPERE DI CONSOLIDAMENTO NEL CENTRO ABITATO DI BUGGERRU
PROGETTO ESECUTIVO

Progressive +475-+480

L'intervento prevede il consolidamento della porzione di parete a monte delle progressive in oggetto.

La simulazione condotta con il posizionamento della barriera B4, evidenzia come diversi blocchi lanciati non rientrano nel campo di intercettazione della stessa. Pertanto, in ragione alla difficile previsione di prolungamento verso la parete della barriera B4, ne deriva la necessità di consolidare la zona sorgente di crolli mediante l'installazione della rete su una superficie pari a circa 380 m² (intervento denominato AT3). Questo intervento prolungherà, in direzione Nord, la rete paramassi in aderenza già esistente.



Vista del settore oggetto di consolidamento: progressiva +475-+480.

Progressive +520-+560

L'intervento prevede il prolungamento del rivestimento dalla parete, partendo dal tratto terminale di quella già in essere, è continuando lungo la superficie rocciosa affiorante.

Sulla base della simulazione dello stato di fatto, si evidenzia come diversi blocchi lanciati sfondano la barriera rigida esistente in fregio alla provinciale. Per questo motivo si può affermare che l'opera non può offrire garanzie di tenuta in caso di impatti rilevanti, a causa delle proprie caratteristiche costruttive e allo stato manutenzione delle sue componenti. Il miglioramento delle proprie performance potrebbe avvenire al momento dell'esecuzione di interventi di manutenzione straordinaria della stessa che prevedano la sostituzione e l'integrazione di alcune componenti. Tuttavia, in relazione all'entità delle energie in gioco ed alla tipologia di struttura si preferisce intervenire direttamente sulle zone sorgenti di crollo, garantendo l'intero consolidamento degli ammassi rocciosi.

Questo intervento, denominato AT4, è previsto su una superficie di circa 1.110 m².



Vista della porzione di versante oggetto di consolidamento: progressiva +520-+560.

COMPLETAMENTO DELLE OPERE DI CONSOLIDAMENTO NEL CENTRO ABITATO DI BUGGERRU
PROGETTO ESECUTIVO

Progressive +620-+640

L'intervento prevede il rivestimento della parete degli ammassi rocciosi affioranti a monte delle progressive in oggetto. In particolare la simulazione eseguita sullo stato attuale evidenzia che alcuni blocchi lanciati sono in grado di raggiungere la sede stradale.

Il consolidamento dei fronti potenzialmente instabili garantisce la completa messa in sicurezza della provinciale su questo tratto.

Questo intervento, denominato AT5, è previsto su una superficie di circa 400 m².



Vista della porzione di versante oggetto di consolidamento: progressiva +620- +640.