



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO  
DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE  
E AMBIENTALI - PRODUZIONE,  
TERRITORIO, AGROENERGIA



# Mitigazione dell'impatto visivo dei portali di Mules e Aicha del Tunnel di Base del Brennero

## Lavori effettuati e risultati ottenuti



prof. G.B. Bischetti

Dicembre 2019

## Sommario

1	Premessa .....	3
2	Le caratteristiche e le problematiche dei siti precedenti l'intervento .....	3
2.1	Il cantiere di Mules .....	3
2.2	Il portale di Aica .....	5
3	La filosofia dell'intervento .....	6
3.1	Mules .....	7
3.1.1	Il portale.....	7
3.1.2	Il versante .....	7
3.2	Portale di Aica.....	7
4	Lavori effettuati .....	8
4.1	Il cantiere di Mules .....	8
4.1.1	Portale .....	8
4.1.2	Versante.....	8
4.2	Il portale di Aicha.....	10
4.2.1	La parete verticale .....	10
4.2.2	Le pareti laterali.....	10
4.2.3	Il versante destro .....	10
5	Monitoraggio degli interventi.....	11
5.1	metodi .....	11
5.2	stato delle opere.....	11
5.3	Il cantiere di Mules .....	11
5.3.1	Portale .....	12
5.3.2	Aree A .....	13
5.3.3	Aree C .....	15
5.3.4	Aree D e E .....	16
5.3.5	Aree F.....	17
5.4	Il portale di Aica.....	17
5.4.1	La parete verticale .....	17
5.4.2	Le pareti laterali.....	19
6	considerazioni conclusive .....	19

## 1 PREMESSA

BBT ha conferito al Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali dell'Università degli Studi di Milano l'incarico di progettare, in collaborazione con l'Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau - Universität für Bodenkultur Wien, "Interventi di rinverdimento di pareti in calcestruzzo proiettato e scarpate rocciose a Aica e Mules" e di eseguire il monitoraggio negli anni successivi alla realizzazione. Nel presente documento vengono sinteticamente descritti:

- la situazione dei siti nel cantiere di Mules e nel portale di Aica, e l'impostazione dei lavori
- i lavori effettuati
- la situazione dopo tre stagioni vegetative.

Per semplicità di lettura, vengono ripresi alcuni contenuti della precedente relazione redatta nel 2017, a cui si rimanda per i dettagli.

## 2 LE CARATTERISTICHE E LE PROBLEMATICHE DEI SITI PRECEDENTI L'INTERVENTO

### 2.1 IL CANTIERE DI MULES

Il cantiere per la realizzazione del portale di Mules ha comportato una modifica dei luoghi, nelle sue strette adiacenze e in una porzione di versante che è stata interessata dal taglio del bosco preesistente, dalla conseguente costruzione di un rilevato e di barriere paramassi a protezione del cantiere stesso, e dalla realizzazione di una strada di servizio per l'accesso ad un pozzo d'areazione che dovrà rimanere attiva anche in fase di esercizio. (Figura 1). In Figura 2 sono riportate alcune immagini delle parti oggetto di intervento prima dello stesso.



*Figura 1: vista d'insieme del cantiere di Mules a settembre 2014; è possibile notare le problematiche principali: le opere in muratura del portale, le scarpate detritiche della strada di servizio, il versante privo di vegetazione arbustiva e arborea, i rilevati che circondano il cantiere di forma rigidamente geometrica (foto fornita da BBT)*

L'intervento progettato da DiSAA e IIL, aveva lo scopo di mitigare l'impatto visivo delle opere, tenendo conto di alcuni vincoli: i) la soluzione da proporre per il portale in senso stretto doveva essere transitoria, dovendo lasciare libero l'accesso ai tiranti della berlinese a difesa delle porzioni laterali del portale, ii) al momento della progettazione non erano noti gli orientamenti circa la sistemazione definitiva di tali parti, iii) la porzione a lato del portale (attualmente chiusa dal rilevato a protezione del cantiere) ha subito un

dissesto che ha lasciato un substrato sostanzialmente inerte, iv) il taglio del bosco sul versante ha lasciato aree di materiale detritico e di roccia esposta difficilmente colonizzabili dalla vegetazione, v) la costruzione della strada di servizio ha determinato scarpate artificiali ripide con riporto di materiale grossolano a valle e talvolta con esposizione di roccia a monte, vi) per una mitigazione ambientale nel passato è stato realizzato un rinverdimento di una parte delle scarpate di monte con l'ausilio di una rete in fibra naturale, che non ha avuto pieno successo e dove lo ha avuto ha ostacolato la naturale dinamica della vegetazione.



Figura 2: situazione precedente gli interventi: a) portale, b) c) e) scarpate in varie parti della strada verso il pozzo d'areazione, e) versante e canale a lato del portale, f) scarpata di valle all'attacco della strada

## 2.2 IL PORTALE DI AICA

Il portale di Aica è stato oggetto di lavori effettuati nel corso del 2007 che tuttavia non hanno dato risultati positivi. Una parte dell'intervento è infatti scivolato verso il piede della scarpata e la vegetazione impiantata risultava generalmente scarsamente vitale (Figura 3); inoltre sul versante circostante il portale sono state insediate specie arboree di tipo ornamentale non in linea con l'ambito circostante.



Figura 3: visione d'insieme del portale di Aica; è possibile notare che su ampie superfici delle scarpate laterali appare il rivestimento in calcestruzzo proiettato che doveva essere ricoperto da inerbimento e la parete centrale con vegetazione stentata o seccata

Le criticità maggiori per la progettazione di un nuovo intervento consistevano nel fatto che la sistemazione precedente: i) ha lasciato un profilo verticale e non modificabile, ii) lo spazio tra la berlinese di sostegno e l'imbocco della galleria è stato tamponato con una serie di gabbioni riempiti in pietrame, iii) il rivestimento della parete verticale centrale è stato effettuato con griglie tridimensionali tipo Krismer riempite di terreno non adeguato alla crescita della vegetazione e problematico dal punto di vista meccanico quando irrigato, iv) l'impianto di irrigazione messo in opera non consentiva l'effettiva irrigazione della parete, v) sulle pareti adiacenti al portale, erano state ancorate delle georeti per il contenimento di uno strato di terreno che consentisse l'inerbimento, ma esse si sono rotte per grandi porzioni, lasciando esposto il rivestimento in calcestruzzo proiettato.

In Figura 4 sono riportate alcune immagini delle parti oggetto di intervento prima dello stesso.





*Figura 4: situazione ante-operam: a) portale, b) particolare della griglia e dello stato del terreno di riempimento, c) scarpata laterale con inerzimento fallito, d) scivolamento della georete, e) scarpata a destra del portale priva di vegetazione vitale, f) particolare della rottura della georete.*

### 3 LA FILOSOFIA DELL'INTERVENTO

In tutti gli interventi che prevedono l'utilizzo di vegetazione la scelta delle specie vegetali è un aspetto cruciale per la buona riuscita dei lavori, sebbene venga spesso trascurato; nei casi in esame tale scelta assume un particolare rilievo a causa dell'ambiente pedo-climatico e morfologico assai severo e delle limitazioni conseguenti le necessità operative del cantiere e/o le soluzioni precedentemente adottate, con particolare riferimento al portale di Aica.

La filosofia dell'intervento è quindi stata quella di avviare un processo che nel lungo periodo consenta di ripristinare condizioni che siano le più vicine possibile a quelle originarie, ed al contempo garantisca la funzionalità del cantiere e delle opere permanenti.

Per ottenere risultati apprezzabili in tempi non troppo lunghi si è operato per favorire ed accelerare opportunamente i processi di successione vegetazionale nelle aree in cui sono già in atto, e ad innescarli in

quelle dove invece non erano ancora partiti per mancanza di condizioni idonee, prevalentemente legate al substrato e/o a processi erosivi in atto.

Chiaramente vi sono porzioni del versante e l'intero portale, dove questo non è possibile a causa delle condizioni di esercizio del cantiere e della strada, che devono essere garantite prioritariamente (ad esempio in corrispondenza delle opere di sostegno). In particolare, la mitigazione del portale deve tener conto delle limitazioni imposte dalla funzionalità della berlinese che deve essere sempre accessibile.

### 3.1 MULES

#### 3.1.1 Il portale

Per quanto riguarda il portale, dati i vincoli, l'unica soluzione ragionevole è stata quella di approntare un mascheramento temporaneo relativamente economico che potesse essere funzionale per almeno un decennio (il lasso di tempo previsto per la conclusione dei lavori) e che non pregiudicasse la soluzione definitiva, quale essa sia. Inoltre, è stato richiesto dal personale BBT di escludere l'installazione di un impianto di irrigazione fisso, stante la difficoltà della sua gestione nell'ambito del cantiere come ha anche dimostrato l'esperienza del portale di Aica.

Su tali basi la scelta è stata quella di insediare piante rampicanti da far crescer con l'ausilio di una rete opportunamente posizionata lungo le pareti da mascherare.

#### 3.1.2 Il versante

Nella sistemazione del versante adiacente il portale, ove insiste la strada di servizio permanente, ci si è posti l'obiettivo di combinare l'inserimento paesaggistico con la stabilità del versante stesso e che è soggetto ad instabilità ed è perimetrato nei boschi a valenza protettiva diretta.

Tale obiettivo viene raggiunto, da una parte realizzando manufatti di rinforzo e di stabilizzazione nei punti più critici del versante e delle scarpate stradali, dall'altra innescando opportunamente un processo ecologico che, partendo da una vegetazione pioniera porti nel corso degli anni ad una associazione vegetazionale stabile.

In generale, sono state realizzate:

- piantagioni di arbusti che costituiscono la fase intermedia verso lo stadio finale rappresentato dal bosco, che saranno collocati secondo una disposizione naturalistica e opportunamente potenziati con l'uso di concimi e ammendanti (lettere A, D, E, F in Figura 5);
- inerbimenti delle scarpate in roccia e delle aree detritiche che costituiscono le scarpate di riporto con miscugli adatti alla situazione specifica ed effettuati attraverso idrosemina (lettere A, C e D in Figura 5);
- soglie per la stabilizzazione dell'impluvio presente nell'area.

### 3.2 PORTALE DI AICA

Come accennato, l'intervento sul portale di Aica è fortemente influenzato da quanto effettuato in passato che presentava le seguenti criticità:

- l'uso di georeti tridimensionali in materiale sintetico per la trattenuta del terreno su cui innestare l'inerbimento non ha probabilmente tenuto conto della limitata resistenza a trazione delle geostuoie a fronte della forza peso del terreno che su tali pendenze si scarica quasi completamente sulle georeti stesse. In effetti, le reti si sono strappate ad una distanza di alcuni metri dalla sommità dell'intervento, dove la forza per metro esercitata dal terreno supera la resistenza del materiale;
- l'impianto di irrigazione, con particolare riferimento alla parte che interessa la porzione di parete verticale, non è risultato efficace stante la verticalità della parete stessa;

- sebbene non sia stato possibile risalire al miscuglio utilizzato nella semina né analizzare la vegetazione residua, è verosimile che le specie utilizzate non fossero particolarmente idonee al sito e soprattutto alla severità del substrato e del microclima.

Per quanto riguarda gli interventi da porre in atto per correggere la situazione occorre innanzitutto tenere in considerazione i vincoli esistenti.

In relazione alle tre porzioni precedentemente delineate (la parete verticale con rete Krismer, le scarpate laterali alla galleria e il versante in destra), le soluzioni identificate sono state le seguenti:

- Parete verticale con rete Krismer (indicato con la lettera AA in Figura 6): la verticalità della parete, con la conseguente difficoltà a soddisfare il fabbisogno idrico delle piante, è sicuramente il fattore più critico. Si è deciso di inserire tra le maglie della rete Krismer piantine di modesto sviluppo (15-20 cm) adatte ad un ambiente sterile e relativamente arido, nonché di sostituire l'impianto di irrigazione esistente ed ancora funzionante, con un sistema di tubi porosi che innervi l'intera parete a contatto con il terreno in modo da rendere il più uniforme possibile l'umettamento del terreno.
- Scarpate laterali (indicato con la lettera AB e AC in Figura 6): data la pendenza e la presenza di un rivestimento in calcestruzzo proiettato, si è ritenuto di non riproporre un inerbimento, ma di favorire ed accelerare la crescita di piante rampicanti che almeno in parte stanno già colonizzando la parete sfruttando il sostegno offerto dalla rete zincata a maglia esagonale.
- Versante: sul versante che si presenta abbondantemente inerbito si vuole innescare un processo di successione vegetazionale che nel medio-lungo periodo porti ad una situazione di equilibrio. Sono quindi stati inseriti, aprendo degli spazi tra le maglie della rete a maglia esagonale, piante ed arbusti autoctoni in grado di controllare lo sviluppo della vegetazione erbacea e sostituire le specie non autoctone impiantate precedentemente.

## 4 LAVORI EFFETTUATI

### 4.1 IL CANTIERE DI MULES

#### 4.1.1 Portale

Come precedentemente accennato per la mitigazione del portale (lettera P della Figura 5) sono state impiantate in vasconi costruiti in gabbioni rampicanti che si sviluppano su reti metalliche zincate a maglia esagonale apposte sulle pareti. Le specie messe a dimora sono in parte autoctone (e già parzialmente presenti sul sito) e in parte no, nell'ottica di combinare l'esigenza di una rapida copertura e di un avvio verso un'evoluzione ecologica tipica del luogo: *Hedera helix*, *Parthenocissus quinquefolia*, *Parthenocissus tricuspidata*, *Clematis vitalba*, *Humulus lupulus*, *Lonicera periclymenum*.

Al fine di limitare i problemi legati alla possibile carenza idrica, al materiale di riempimento dei vasconi è stato incorporato materiale polimerico idroritentore.

#### 4.1.2 Versante

Gli interventi su versante sono stati distinti in diverse categorie in relazione alla tipologia di problematica, con riferimento alla Figura 5.

##### 4.1.2.1 Aree A

Si tratta di scarpate di valle della strada a servizio del pozzo di areazione, realizzate con riporto del materiale di scavo della strada stessa. A causa delle caratteristiche essenzialmente minerali di tale materiale e delle dimensioni degli spazi esistenti tra i clasti, è stato effettuato un preliminare intasamento degli interstizi con materiale minerale, e successivamente steso terreno con caratteristiche idonee all'insediamento della vegetazione. In alcuni tratti è stato necessario effettuare il rimodellamento della

scarpata redistribuendo il materiale già presente. Successivamente alla stesura del terreno si è provveduto alla piantagione di cespugli e alberi e all'idrosemina. Le specie impiegate sono pioniere che rappresentano lo stadio intermedio verso lo stadio finale di bosco di conifere: *Betulus pendula*, *Populus tremula*, *Alnus incana*, *Pinus sylvestris*, *Sambucus nigra*, *Salix caprea*, *Sorbus aucuparia*.

#### 4.1.2.2 Aree B

Si tratta di una zona in cui il bosco è stato rimosso a seguito di danneggiamenti, verosimilmente causati da un valanga, caratterizzato dalla presenza di roccia esposta o un suolo molto sottile e con residui forestali. Anche a causa della difficile accessibilità, si è operato con una idrosemina con un miscuglio adeguato alla situazione.

#### 4.1.2.3 Aree C

Si tratta delle scarpate di monte della parte terminale della strada, sub verticali e con roccia esposta. Tale situazione è assai difficile sia per la verticalità delle scarpate, sia per la mancanza di suolo. È stata utilizzata l'idrosemina di un miscuglio apposito eseguita per 2 volte a distanza di circa 6 mesi ciascuna, in modo da insediare nel micro-asperità della roccia comunque esistenti, porzioni di vegetazione erbacea in maniera del tutto analoga a quanto si osserva in natura. L'idrosemina è stata preceduta dall'irrorazione della roccia con miscela invecchiante.

#### 4.1.2.4 Aree D

Si tratta delle scarpate di monte della strada già oggetto di intervento di inerbimento, in cui lo sviluppo della vegetazione erbacea non adeguata impedisce l'evoluzione naturale verso stadi più evoluti. Si è quindi intervenuti con la piantumazione di arbusti e alberi in grado di "sbloccare" la situazione e riattivare il processo di successione vegetazionale. Le specie sono le medesime previste per la tipologia A: *Betulus pendula*, *Populus tremula*, *Alnus incana*, *Pinus sylvestris*, *Sambucus nigra*, *Salix caprea*, *Sorbus aucuparia*.

#### 4.1.2.5 Aree E

Si tratta di una zona che grazie alla minore acclività vede già avviato un processo di ricolonizzazione spontanea della vegetazione arbustiva e in parte arborea. Si è quindi assecondato il processo mediante il rinfoltimento con *Sorbus aucuparia*, *Pinus sylvestris*, *Alnus incana*.

#### 4.1.2.6 Aree F

Il versante sottostante il tratto terminale della strada e percorso dall'impluvio che opportunamente regimato attraversa il cantiere, e vede la presenza di un prato con scarsa copertura e in cui la successione vegetazionale stenta a partire. Si è intervenuti con una concimazione organica e la piantagione di arbusti e alberi analogamente con le aree di tipologia A.

#### 4.1.2.7 Sistemazione del Canale

Il canale che costituisce la regimazione dell'impluvio che attraversa l'area di cantiere presentava alcuni tratti in erosione ed è stato necessario costruire due soglie in massi ciclopici posati a secco.

#### 4.1.2.8 Piantagioni

In tutti i casi, le piantagioni sono state effettuate secondo una disposizione naturalistica secondo linee di livello, macchie e chiarie, con piante in gruppi. Il terreno di riempimento delle buche è stato opportunamente miscelato con concime e con polimeri idroritenti.

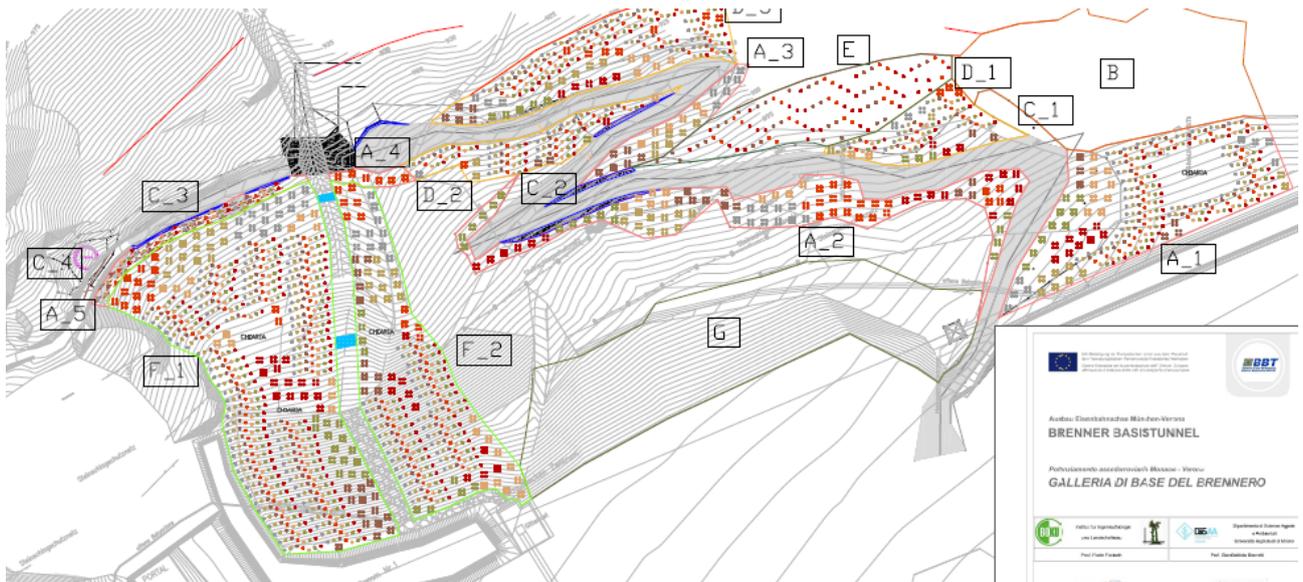


Figura 5: carta dei lavori effettuati nel sito di Mules

## 4.2 IL PORTALE DI AICHA

Il portale di Aica presentava diverse criticità come illustrato precedentemente, e tra queste quelle dovute alla sistemazione già in opera che limitano la scelta degli interventi di ripristino e li condizionano nella realizzazione.

### 4.2.1 La parete verticale

Sulla parete verticale (denotata con la lettera AA in Figura 6) nelle maglie della rete sono state impiantate piantine di limitata altezza (10-15 cm) in vasetti di torba delle seguenti specie: *Ligustrum vulgare*, *Berberis vulgaris*, *Hipophae rhamnoides*, *Salix eleagnos*, *Salix caprea* e *Salix purpurea*. Per favorire l'attecchimento e il mantenimento della vegetazione, è stato adattato l'impianto di irrigazione.

### 4.2.2 Le pareti laterali

Sulle pareti laterali (denotate con le lettere AB e AC in Figura 6) sono state rimosse le ali gocciolanti dell'impianto di irrigazione, che è stato modificato in un impianto ad ali porose lungo linee orizzontali, e i residui di geostuoia scivolati. È stata invece mantenuta la rete a maglia esagonale esistente per favorire la crescita di piante rampicanti messe a dimora alla base delle pareti e sui margini destro (per l'area AB) e sinistro (per l'area AC) che confinano con la parete verticale.

Le specie utilizzate sono *Hedera helix*, *Parthenocissus quinquefolia*, *Parthenocissus tricuspidata*, *Clematis vitalba*, *Humulus lupulus*, *Lonicera periclymenum*.

### 4.2.3 Il versante destro

La porzione di versante sulla destra della galleria precedentemente sistemata che vede la presenza di una rete zincata e inerbito è stato piantumato con alberi e cespugli aprendo delle aperture nella rete stessa. Le specie da mettere a dimora sono: *Salix caprea*, *Cornus sanguinea*, *Fraxinus ornus*, *Quercus pubescens*, *Ligustrum vulgare*, *Populus tremula*.

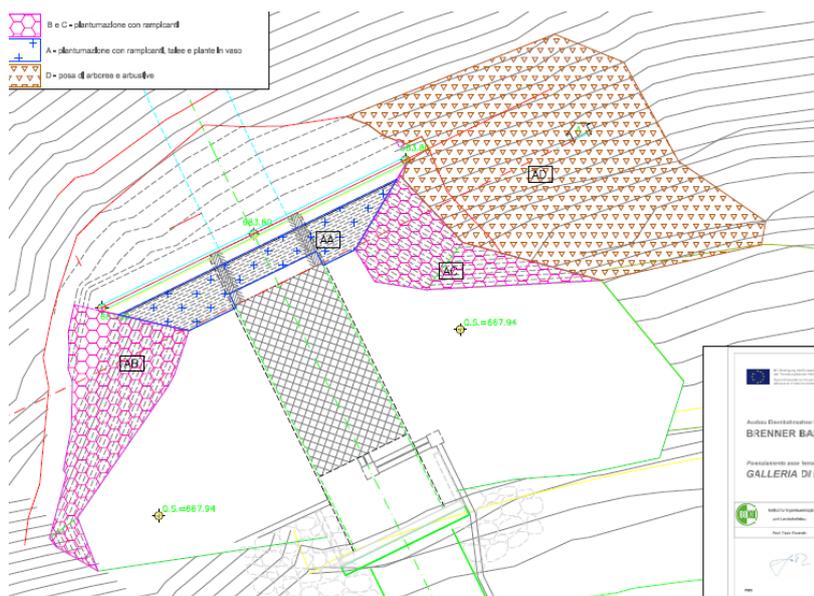


Figura 6: lavori effettuati nel sito di Aica

## 5 MONITORAGGIO DEGLI INTERVENTI

Terminati i lavori sono stati effettuati sopralluoghi per monitorare la riuscita degli interventi e mettere in atto eventuali correttivi. I sopralluoghi sono stati effettuati nell'agosto-settembre 2016, aprile e settembre 2017, maggio e ottobre 2018 e luglio 2019.

Il monitoraggio ha consentito di rilevare le criticità e guidare gli interventi di manutenzione, che non è sempre stata eseguita con puntualità, creando non pochi ostacoli alla regolare affermazione della vegetazione.

### 5.1 METODI

Data l'irregolarità spaziale delle piantumazioni definita dal progetto stesso, per l'attività di monitoraggio inerente gli arbusti e le piante arboree si è fatto ricorso alla realizzazione di plot di saggio quadrati di 100 m<sup>2</sup> (10 m x 10 m), che è una dimensione tipicamente utilizzata in ambito forestale. Chiaramente, in taluni casi le dimensioni devono essere variate per tenere conto della forma e dimensione delle superfici lavorate. Per gli inerbimenti si è invece fatta una valutazione "a vista".

Per i plot della vegetazione arbustiva ed arborea, i parametri misurati sono stati: i) numero di piante per specie, ii) altezza della pianta, iii) diametro al colletto, iv) stato

Per quanto riguarda lo stato, la valutazione si è basata su quattro livelli: i) Buono, quando la pianta si presentava rigogliosa senza segni di sofferenza; ii) Medio, quando la pianta si presentava in discrete condizioni ma con qualche segno di sofferenza; iii) Cattivo, quando la pianta si presentava sofferente ma non secca; iv) Morto, quando la pianta si presentava secca.

Per il portale di Aica il monitoraggio della piantumazione nel 2017 è stato possibile grazie all'utilizzo di una piattaforma aerea messa a disposizione da BBT ed è stato effettuato per aree di saggio di circa 2 m x 2 m e 4 m x 2 m (a seconda dell'avvicinamento della piattaforma alla parete), per un totale di 8 aree (tre sui lati della galleria e due al centro). Nelle altre occasioni si è effettuato un controllo a vista.

### 5.2 STATO DELLE OPERE

### 5.3 IL CANTIERE DI MULES

In Figura 7 è possibile avere una visione d'insieme e notare come nelle aree d'intervento visibili, la vegetazione si sia affermata



Figura 7: visione d'insieme dello stato di fatto a settembre 2019 (foto BBT)

### 5.3.1 Portale

Nonostante l'area, dopo i lavori, sia stata utilizzata variamente per la collocazione di materiale ed attrezzature varie, la crescita delle rampicanti è risultata ottima e la crescita delle piante regolare fino a coprire quasi interamente le pareti (Figura 8).



Figura 8: portale di Mule: a) prima dell'intervento, b) e c) luglio 2019

### 5.3.2 Aree A

Le aree A, rappresentate dalle scarpate di valle della strada che porta al pozzo, hanno dato risultati differenti a seconda dei casi.

La scarpata A1 si presenta completamente inerbita e con elementi arborei ed arbustivi ben affermati (Figura 9). Questo nonostante una manutenzione non ottimale, soprattutto in termini di controllo della vegetazione erbacea, abbia portato ad una forte riduzione del tasso di successo della piantumazione. Le piante sopravvissute, tuttavia, presentano dopo tre cicli vegetativi altezze nell'ordine di 150-200 cm, ad eccezione di *S. acuparia*, che risulta in cattive condizioni e soggetto a continui disseccamenti e ricacci.



a)



b)

Figura 9: scarpata A1 prima dell'intervento (a) e nel luglio 2021 (b)

Le scarpate A2 presentano un notevole successo dell'inerbimento che, non controllato, tuttavia ha portato attualmente a due situazioni differenti per quanto riguarda le piantumazioni. Nella porzione di scarpata più distale non sono praticamente presenti le piante messe a dimora, mentre la parte più prossimale presenta un tasso di sopravvivenza molto elevato e con piante in buone condizioni (Figura 10 e Figura 11). Le piantumazioni hanno mostrato la capacità delle latifoglie di emettere ricacci alla base di piante apparentemente seccate, ma che senza la manutenzione non sono riuscite a competere con il successo dell'inerbimento, e l'efficacia del *Pinus sylvestris* che ha mostrato indici di attecchimento vicini al 100%. Le scarpate A3, A4 e A5, presentano tassi di attecchimento e stato delle piante variabili, da buono nel caso di A3 e A4 (Figura 11) a scarso per A5; ciò è da mettere in relazione alla severità del substrato localmente presente.



a)



b)

Figura 10: scarpate A2: a) prima dell'intervento, b) nel luglio 2019



a)



b)

*Figura 11: visione d'insieme della strada a) prima dell'intervento, b) nel luglio 2019*

### 5.3.3 Aree C

Le aree C, hanno dato buoni risultati, sia dal punto di vista visivo che di colonizzazione della vegetazione, ove possibile (Figura 12). Ciò è dovuto sia, all'azione della miscela invecchiante distribuita sulle scarpate rocciose prima dell'idrosemina, sia all'idrosemina ripetuta che è riuscita a innescare un processo di colonizzazione da parte delle specie erbacee utilizzate. L'elemento più critico per quest'ultimo aspetto si è rivelato il regime idrico, particolarmente arido su questo tipo di elementi; dove la dimensione delle irregolarità nella roccia ha consentito di trattenere quantità di substrato sufficiente a regolare il contenuto idrico, l'inerbimento ha dato buoni risultati.



*Figura 12: scarpate in roccia, a sinistra prima dell'utilizzo, a destra luglio 2019. a) parte sommitale della strada in cui l'azione principale è stata esercitata dall'invecchiante, ma con presenza di "patches" vegetate, b) e c) lungo la strada con effetto più meno marcato dell'inerbimento.*

#### 5.3.4 Aree D e E

Le piantumazioni eseguite come rinfoltimento hanno dato scarsi risultati con gradi di sopravvivenza bassi a causa delle situazioni locali molto difficili (per substrato e acclività) e per essere stati oggetto di danneggiamento da parte di ungulati scesi fino a quote molto basse nella primavera 2017 caratterizzata da abbondanti nevicate. Tuttavia, i pochi esemplari attecchiti sembrano in grado di sopravvivere e innescare, seppur con minor efficacia rispetto a quanto previsto, il processo di successione vegetazionale.

### 5.3.5 Aree F

Le aree F, in termini di risultati, possono essere distinte in due porzioni, coincidenti con le condizioni pedologiche. La parte bassa del versante, caratterizzata dalla presenza di suolo, presenta un buon grado di sopravvivenza delle piante messe a dimora, che si presentano in buone condizioni e con altezze comprese tra 100 e 150 cm. Tutte le specie si sono adattate bene, ad eccezione di *S. acuparia* che ha sofferto particolarmente la competizione con la vegetazione erbacea; nonostante abbia mostrato resilienza continuando ad emettere ricacci, raramente questa pianta è riuscita ad affermarsi.

Nella parte alta del versante, particolarmente difficile da punto di vista pedologico e del regime idrico, le piante presentano tassi di crescita più contenuti e minor grado di sopravvivenza. In questo contesto *P. sylvestris* è risultata la specie con maggior tasso di attecchimento, mentre *S. acuparia* ha presentato il medesimo comportamento delle aree precedenti, emettendo ricacci che tuttavia faticano ad affermarsi nel tempo.

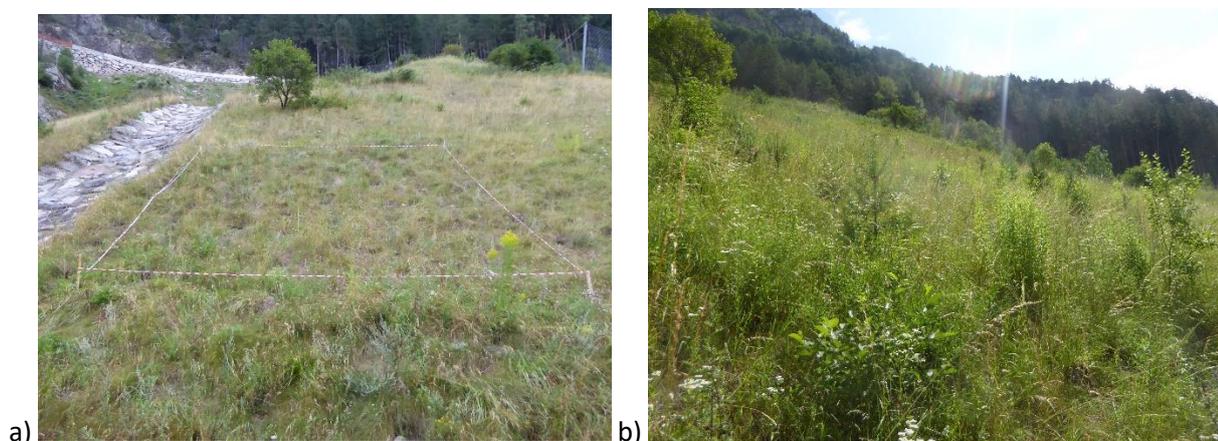


Figura 13: area F2, a) prima dell'intervento, b) nel luglio 2019

## 5.4 IL PORTALE DI AICA

Il portale di Aica è quello che ha subito maggiormente i problemi in fase di manutenzione, essendo anche la condizione più difficile a causa degli stretti vincoli imposti dai precedenti interventi.

### 5.4.1 La parete verticale

La principale causa del mancato successo degli interventi è stato il funzionamento dell'impianto di irrigazione, che ha subito ripetutamente danni e malfunzionamenti. Ciò ha dapprima portato al pressoché totale disseccamento delle piante messe a dimora in fase di intervento e poi di quelle collocate una seconda volta nel 2017. Non hanno neppure giovato i cambiamenti imposti dalla realizzazione della linea ferroviaria per il trasporto del materiale di scavo proveniente da monte, che ha impedito ogni ulteriore intervento manutentivo.

È stato tuttavia rilevato che nella parte bassa della parete alcune piante sono sopravvissute e possono comunque affermarsi, mentre nella parte alta è possibile l'innescò di una successione vegetazionale paraturale basata su specie nitrofile ruderali, che rappresentano uno stadio che anticipa il mantello arbustivo costituito dalle specie di progetto.

Allo stato attuale la situazione si presenta arretrata rispetto al previsto (sebbene sulla stessa linea evolutiva) e la sua evoluzione è strettamente legata al funzionamento dell'impianto di irrigazione (Figura 14)



a)



b)



c)

Figura 14: portale di Aica a) prima dell'intervento, b) a settembre 2017, c) a luglio 2019

#### 5.4.2 Le pareti laterali

Sulle pareti laterali i rampicanti stanno procedendo alla copertura delle pareti stesse, sebbene con un tasso di crescita inferiore al portale di Mules, a causa del minore spessore del terreno di riporto e dei problemi all'impianto di irrigazione (Figura 15).



Figura 15: parete laterale del portale di Aica, a) prima dell'intervento, b) a luglio 2019

## 6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

In conclusione dopo tre stagioni vegetative è possibile affermare che gli interventi effettuati presso il cantiere di Mules stanno dando buoni risultati, mentre per il portale di Aica permangono notevoli difficoltà. A Mules, infatti, nonostante alcune situazioni non ottimali, prevalentemente legate ad una manutenzione non sempre puntuale, i processi ecologici sono solidamente avviati e in molti casi a buon punto, in funzione delle caratteristiche pedologiche delle aree. La manutenzione è bene che prosegua secondo il piano previsto, in modo da consolidare ulteriormente i processi ed accelerarli; non sembra comunque che il percorso di evoluzione della vegetazione possa ormai essere pregiudicato.

Al contrario, ad Aica è necessario prestare la massima attenzione con particolare riferimento al funzionamento dell'impianto di irrigazione. Sebbene infatti, le piantumazioni effettuate sulla parete verticale non possano essere oggetto di ulteriori interventi di risarcimento a causa degli ostacoli di accesso alla parete stessa, una regolare fornitura di acqua può mantenere e consolidare le piante residue e, soprattutto, sostenere la successione naturale che sembra essersi comunque innescata.

Le irrigazioni, unitamente alla concimazione, possono inoltre accelerare l'espansione delle specie rampicanti a copertura delle pareti laterali, il cui processo è comunque avviato e sufficientemente solido, sebbene rallentato.

Date le condizioni iniziali e i vincoli dettati dall'operare in un'area di cantiere ancora attivo o da precedenti scelte, quindi, si può affermare che gli interventi effettuati hanno avuto un esito sostanzialmente positivo e, almeno per Mules, duraturo.

Dall'evoluzione dell'area di Aica, si può inoltre trarre una lezione che potrà essere utile anche in sede di sistemazione definitiva del portale di Mules, e cioè di non definire la sistemazione ambientale solamente a valle di quella strutturale, ma di procedere di concerto. Sarebbe infatti stato sufficiente dare alla parete di Aica un'inclinazione meno accentuata (cosa sicuramente possibile a parità di stabilità), unitamente ad una più attenta scelta della specie vegetali, per risolvere buona parte dei problemi di sopravvivenza della vegetazione che sono prevalentemente legati alla circolazione idrica.