



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE
E AMBIENTALI - PRODUZIONE,
TERRITORIO, AGROENERGIA



DiSAA
INGEGNERIA
AGRARIA

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

Lavori effettuati e risultati ottenuti a tutto il settembre 2017



Responsabile:

prof. G.B. Bischetti

Dipartimento di Scienze Agrarie e
Ambientali – Università degli Studi
di Milano

Gruppo di Lavoro

prof. G.B. Bischetti

Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali – Università degli
Studi di Milano

Prof.Em. Florin Florineth

Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau - Universität für
Bodenkultur Wien

Milano, novembre 2017

Sommario

1	Premessa	4
2	Le caratteristiche dei siti e le problematiche riscontrate (prima degli interventi)	4
2.1	Il cantiere di Mules	4
2.2	Il portale di Aica	7
2.3	Inquadramento climatico, biogeografico e vegetazionale	9
3	La filosofia dell'intervento	11
3.1	Il cantiere di Mules	11
3.1.1	Il portale.....	13
3.1.2	Il versante	13
3.2	Portale di Aica.....	13
4	Lavori effettuati	14
4.1	Il cantiere di Mules	14
4.1.1	Portale	14
4.1.2	Versante.....	15
4.2	Il portale di Aicha.....	16
4.2.1	La parete verticale	16
4.2.2	Le pareti laterali.....	16
4.2.3	Il versante destro	17
4.2.4	Adeguamento dell'impianto irrigazione.....	17
5	risultati ottenuti.....	17

1 PREMESSA

BBT ha conferito al Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali dell'Università degli Studi di Milano l'incarico di progettare "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 i lavori e al termine della prima stagione vegetativa.

2 LE CARATTERISTICHE DEI SITI E LE PROBLEMATICHE RISCOSE (PRIMA DEGLI INTERVENTI)

2.1 IL CANTIERE DI MULES

Nel caso del cantiere di Mules il problema riguarda il portale e le sue strette adiacenze, e una porzione di versante interessato dal taglio del bosco, dalla costruzione di barriere paramassi 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).



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)

Per quanto riguarda il portale in senso stretto, il problema è stato complicato dal fatto che occorreva ideare una soluzione transitoria che da una parte mitighi l'impatto visivo delle opere in calcestruzzo e dall'altro lasci libero l'accesso ai tiranti della berlinese a difesa delle porzioni laterali del portale, nel caso siano necessarie operazioni sui tiranti stessi. Ulteriore complicazione è che al momento della progettazione non era possibile conoscere gli orientamenti circa la sistemazione definitiva di tali parti, la cui scelta è procrastinata al termine dei lavori, ma che verosimilmente prevedrà la chiusura dello spazio tra la berlinese e l'imbocco del tunnel (Figura 2).



Figura 2: portale di Mules; in evidenza la berlinese cui si deve garantire l'accesso fino al termine dei lavori

Per quanto riguarda il versante, il taglio del bosco ed i lavori effettuati per la predisposizione e l'esercizio del cantiere hanno determinato alcune criticità sulla sua percezione visiva, con particolare riferimento alla visuale che si ha dall'Autostrada del Brennero e dalla ferrovia. Tali criticità erano dovute innanzitutto alla rimozione delle piante, alla presenza di scarpate artificiali di materiale detritico difficilmente colonizzabile dalla vegetazione, dalla roccia esposta e da alcune opere d'arte a sostegno della strada a servizio del pozzo di areazione (essenzialmente scogliere in massi ciclopici).

La realizzazione della strada ha comportato lo sbancamento con relativo riporto di materiale grossolano e la formazione di scarpate di monte ripide, talvolta con esposizione di roccia. Per la messa in sicurezza della strada sono anche state realizzate opere d'arte di sostegno nei punti più esposti, e una soglia in massi ciclopici in corrispondenza dell'attraversamento dell'impluvio. Dal punto di vista della mitigazione ambientale era stato realizzato un rinverdimento di una parte delle scarpate di monte con l'ausilio di una rete in fibra naturale, che però non ha avuto pieno successo in alcune parti del versante (Figura 3) mentre altre sono state lasciate scoperte (Figura 4 e Figura 5). Al di là delle motivazioni che possono aver portato a tale risultato è importante osservare come dove l'inerbimento è riuscito, la naturale dinamica della vegetazione sia risultata particolarmente rallentata, mentre nelle aree non oggetto di intervento, e meno acclivi, si siano invece insediati arbusti pionieri quali *Sambucus nigra*, *Betula pendula*, *Populus tremula*, *Salix caprea*, *Corylus avellana*, che rappresentano una prima fase evolutiva verso la ricostituzione della vegetazione originaria.

Meno rilevanti ma di un certo impatto risaltavano il canale che attraversa la porzione di versante che sovrasta il cantiere e la relativa area, già oggetto di intervento in passato (Figura 6), del quale però non è stata reperita documentazione. Si tratterebbe della posa di una biostuoia pre-seminata, che però non ha dato risultati soddisfacenti.



Figura 3: consolidamento e copertura della scarpata di monte della strada di servizio

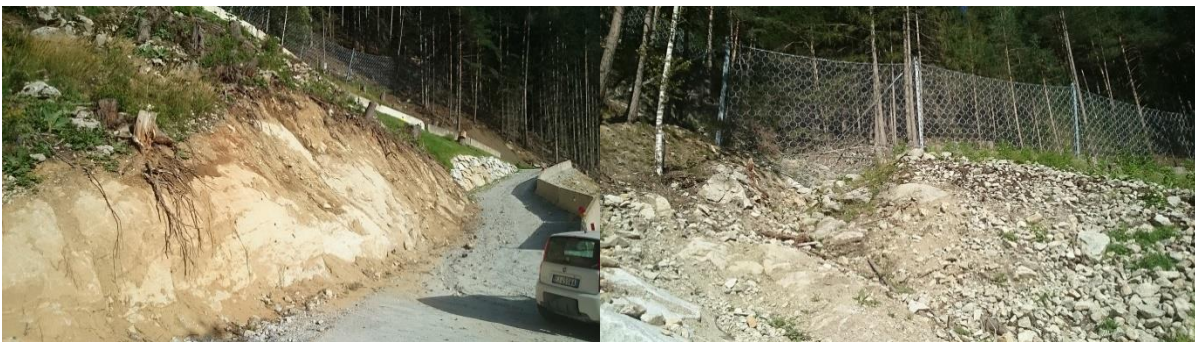


Figura 4: aree scoperte in potenziale erosione



Figura 5: scarpate in riporto in materiale grossolano e roccia esposta



Figura 6: versante sovrastante l'area adiacente il portale con impluvio parzialmente regimato e relativo versante

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 7); inoltre sul versante circostante il portale sono state insediate specie arboree di tipo ornamentale non in linea con l'ambito circostante.



Figura 7: 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

Da quanto si è potuto riscontrare da una tavola progettuale e dai sopralluoghi effettuati, i lavori sono consistiti in:

- Tamponamento dello spazio tra una berlinese di sostegno e l'imbocco della galleria mediante una serie di gabbioni riempiti in pietrame
- rivestimento della parete verticale centrale con griglie tridimensionali tipo Krismer riempite di terreno e successivamente inerbite mediante idrosemina e posa di rete in fibra naturale
- rivestimento delle scarpate adiacenti il portale con calcestruzzo proiettato, posa di una geostuoia tridimensionale in materiale sintetico per la trattenuta di terreno ed esternamente di una rete metallica a maglia esagonale e successivo inerbimento
- posa di rete zincata a maglia esagonale sulla porzione di versante a destra dell'imbocco e sovrastante la galleria con piantumazioni con specie non autoctone (es. *Quercus rubra* L.)

Non è stato possibile recuperare informazioni più specifiche sui particolari costruttivi, quali il tipo di geostuoia, il materiale di riempimento usato e il miscuglio utilizzato.

A completamento dell'intervento è stato realizzato un impianto di irrigazione ancora in opera e parzialmente funzionante. La parete verticale del portale risultava servita da una serie di ugelli posti nella parte apicale del portale stesso, mentre sulle porzioni laterali erano state collocate ali gocciolanti a coprire l'intera parete. L'alimentazione dell'impianto avveniva manualmente agendo sulle saracinesche dell'impianto idrico a servizio della galleria.

Lo stato dell'opera manifestava diversi problemi, sia sulla parte del portale in senso stretto, sia sulle scarpate adiacenti. L'area del portale, infatti, presentava una vegetazione piuttosto scadente e in diverse zone assente fino a mostrare la rete tridimensionale tipo Krismer (Figura 8); ancora peggiore era la condizione delle aree adiacenti, dove la geostuoia di contenimento dello strato di terreno era addirittura

scivolata per grandi porzioni, lasciando a giorno il rivestimento in calcestruzzo proiettato (Figura 9 e Figura 10).

Per quanto riguarda l'impianto di irrigazione posto in opera con il primo intervento il personale BBT che lo ha in carico riferiva che l'alimentazione delle porzioni laterali (a goccia) era stata chiusa perché comunque non in grado di fornire la necessaria irrigazione (in ogni caso ad oggi inutile visto lo stato della sistemazione), mentre la parte sommitale era ancora funzionante ma non in grado di soddisfare le necessità irrigue. Si trattava, infatti di un impianto per aspersione che disperdeva la maggior parte dell'acqua senza che questa riuscisse a raggiungere la parete.



Figura 8: portale di Aicha e particolare della rete di tipo Krismer



Figura 9: scarpata adiacente l'ingresso del tunnel, rivestita in calcestruzzo proiettato e geostuoia con sovrapposta rete metallica a maglia esagonale



Figura 10: scivolamento della rete tridimensionale di contenimento; a destra particolare

2.3 INQUADRAMENTO CLIMATICO, BIOGEOGRAFICO E VEGETAZIONALE

L'area geografica dove sono ubicati i cantieri BBT appartiene al bioclimate temperato continentale - macrobioclimate temperato (Rivas-Martínez et al., 2004¹) così come evidenziato dai grafici ombrotermici relativi alle stazioni di Vipiteno e Bressanone (Figura 11). L'escursione termica annua è maggiore di 20 °C e le precipitazioni medie annue sono inferiori agli 800 mm e concentrate perlopiù nel periodo estivo. Dal punto di vista biogeografico l'area fa capo alla regione Eurosiberiana subregione Alpino-Caucasica (Rivas-Martínez et al. 2004) e, secondo la recente classificazione delle ecoregioni d'Italia (Blasi et al. 2014²), rientra nella Sottosezione Alpi nord-orientali della Sezione Alpi centrali e orientali (Provincia Alpina, Divisione Temperata). Il territorio appartenente a tale sezione è costituito prevalentemente da aree naturali e semi-naturali (77%) ed è caratterizzato dall'avere foreste mesofile di conifere e caducifoglie d'impronta eurosiberiana.

¹ Rivas-Martínez S., Penas A., Díaz T.E., 2004. Global bioclimatics. Clasificación Bioclimática de la Tierra. Centro de Investigaciones Fitosociológica, Madrid. Sito internet: http://pendientedemigracion.ucm.es/info/cif/form/bi_map/index.htm

² Blasi C., Capotorti G., Copiz R., Guida D., Mollo B., Smiraglia D., Zattero L., 2014. Classification and mapping of the ecoregions of Italy. *Plant Biosystems* 148 (5-6): 1255-1345.

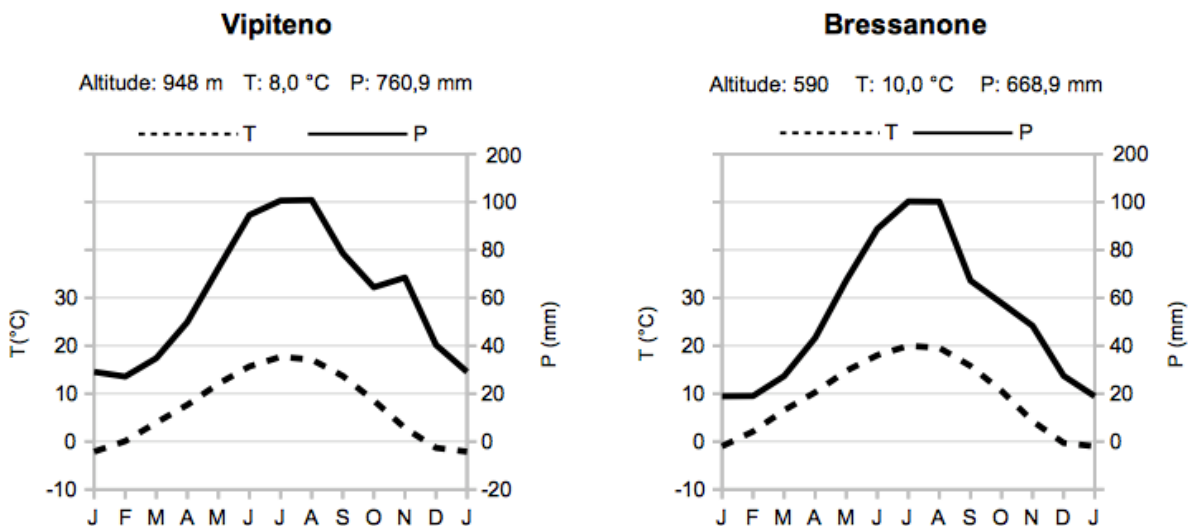


Figura 11: Diagrammi ombrotermici di Walter & Lieth (1960)³ relativi alle stazioni meteo di Vipiteno e Bressanone (1921 - 2014).
Fonte dati: Provincia Autonoma di Bolzano (www.provincia.bz.it).

Mentre le aree del piano alpino e subalpino (oltre i 1650 m di quota) della Valle dell'Isarco afferiscono alla serie endalpica acidofila degli arbusteti a rododendro ferrugineo (*Rhododendro ferruginei sigmetum*) e serie endalpica acidofila dell'abete rosso e del larice (*Larici-Piceo sigmetum/Homogyno-Piceo sigmetum*), quelle del piano montano (fra i 1400 e 1650 m di quota) rientrano nella serie alpina orientale acidofila dell'abete rosso (*Luzulo nemorosae-Piceo excelsae sigmetum*) e quelle di fondovalle fanno capo alla serie alpina centro-meridionale acidofila della rovere (*Luzulo niveae-Quercus petraeae sigmetum*), alla serie alpina acidofila del pino silvestre (*Vaccinio vitis-idaeae-Pino sylvestris sigmetum*) e al geosigmeto endalpico e meso-esalpico glareicolo della vegetazione perialveale (Pedrotti 2010).

Più in dettaglio il cantiere BBT di Aica ricade nella serie alpina centro-meridionale della rovere (che si estende fino a poco oltre Fortezza) ed è a contatto con quella del geosigmeto glareicolo della vegetazione perialveale vista la vicinanza al fiume Isarco. Lo stadio maturo del *Luzulo niveae-Quercus petraeae sigmetum* è rappresentato dalla foresta di caducifoglie costituita prevalentemente dalla rovere (*Quercus petraea*) e da *Luzula nivea*, *Hieracium sylvaticum*, *H. sabaudum*, *H. racemosum*, *Lathyrus niger*, *Festuca heterophylla* e *Potentilla alba*, nel sottobosco. Nei pressi del cantiere di Aica oltre ad essere presenti alcune delle specie del *Luzulo niveae-Quercetum petraeae* vi sono alcune piante igrofile (*Tilia cordata*, *Populus nigra*, *Fraxinus excelsior*, *Salix* spp., *Humulus lupulus*) tipiche dei boschi ripariali che si sviluppano lungo tutto l'Isarco (geosigmeto glareicolo della vegetazione perialveale). A monte dell'ingresso del tunnel vi è un terreno agricolo pianeggiante gestito a vigna.

Il cantiere BBT di Mules, rispetto a quello di Aica, è ubicato in un'area più interna della Valle dell'Isarco e afferisce alla serie centrale acidofila del pino silvestre (*Vaccinio vitis-idaeae-Pino sylvestris sigmetum*) il cui stadio maturo è costituito dalla foresta a *Pinus sylvestris* con specie acidofile quali *Vaccinium vitis-idaea*, *V. myrtillus*, *Calluna vulgaris*, *Melampyrum pratense*, *Avenella flexuosa*, *Dantonina decumbens*, *Luzula pilosa*, *Pyrola media*, *Rhododendron ferrugineum* e *Juniperus communis*, nel sottobosco. La serie è extrazonale e interessa le rocce metamorfico-magmatiche con bioclima sovratemperato inferiore (sub)umido,

³ Walter H., Lieth H., 1960. Klimadiagramm-Weltatlas. G. Fischer Verlag, Jena. Walter H., Lieth H., 1960. Klimadiagramm-Weltatlas. G. Fischer Verlag, Jena.

(sub)continentale (Pedrotti 2010⁴) ed è a contatto con la serie alpina orientale acidofila dell'abete rosso (a monte) e con la serie alpina centro-meridionale della rovere (a valle). Nell'area adiacente al cantiere è infatti presente una foresta a pino silvestre con abete rosso e larice. Dove il bosco è stato rimosso per favorire l'opera di scavo e l'apertura della strada di servizio, si trova un arbusteto costituito da: *Rubus idaeus*, *Rubus* spp., *Sambucus nigra*, *Betula pendula*, *Populus tremula*, *Salix caprea*, *Corylus avellana*, *Solanum dulcamara*, *Verbascum* spp., *Euphorbia cyparissias*, *Chelidonium majus*, *Saponaria ocymoides* e *Moheringia muscosa*. Tale vegetazione, che presenta vari elementi della classe *Rhamno-Prunetea spinosae*, rappresenterebbe uno stadio intermedio (mantello) della serie dinamica acidofila del pino silvestre. Adiacenti al cantiere di Mules, nelle aree meno acclivi rispetto a quelle dove si sviluppa il bosco, sono presenti praterie da sfalcio (*Arrhenatherion elatioris*) e boschi ripariali, quest'ultimi esclusivamente lungo le sponde del fiume Isarco.

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.

3.1 IL CANTIERE DI MULES

Nella sequenza di Figura 12 è mostrata la trasformazione dell'area avvenuta con l'installazione del cantiere e la sua progressione. Come si può notare il cantiere ha interessato prevalentemente un'area di fondovalle caratterizzata da un uso del suolo a prato da sfalcio (classe d'uso seminativo), mentre la costruzione della strada ha interessato una parte di versante originariamente coperta da bosco di conifere con funzione protettiva, come rilevabile anche dalla carta dei boschi di protezione della Provincia Autonoma di Bolzano (Figura 13). In effetti, per proteggere il cantiere si è dovuto ricorrere alla realizzazione di opere di difesa quali reti paramassi poste al limite superiore della zona di taglio, un rilevato in terra rinforzata a ridosso dell'area di cantiere e di altre opere di smaltimento del deflusso liquido e solido prodotto dall'impiuvio, evidente nelle immagini aeree, che è stato intercettato dall'area di cantiere.



⁴ Pedrotti F., 2010. Le serie di vegetazione del Trentino-Alto Adige. In: Blasi C. (ed.), La Vegetazione d'Italia. Palombi & Partner s.r.l., Roma. pp.: 83-110.



Figura 12: ortofoto dell'area del portale di Mules, a) 2006, b) 2008, c) 2011 (immagini tratte dal geoportale della Provincia Autonoma di Bolzano)



Figura 13: mappa dei boschi di protezione, in verde Bosco a funzione autoprotettiva, in rosso Bosco a funzione auto- ed eteroprotettiva; nel circolo giallo l'area interessata dai lavori (immagine tratta dal geoportale della Provincia Autonoma di Bolzano)

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 saranno porzioni del versante e l'intero portale, dove questo non è stato 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.

3.1.1 Il portale

Per quanto riguarda il portale, dato il vincolo sopra accennato e la non conoscenza della sistemazione definitiva, 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, come si è sopra illustrato, è soggetto ad instabilità ed è perimetrato nei boschi a valenza protettiva diretta. Tale obiettivo può essere 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. A tal fine è stato necessario definire un percorso evolutivo della vegetazione, dallo stadio pioniero a quello di massima stabilità, compatibile con le esigenze tecnico operative dell'area, e fare ricorso all'impiego di tecniche di ingegneria naturalistica (cfr. § 2.3).

In generale, sono state previste:

- 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 14);
- 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 14);
- 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 quello effettuato in passato che presentava le seguenti criticità:

- l'uso di geostuoie 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 geostuoie 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 identificate (la parete verticale con rete Krismer, le scarpate laterali alla galleria e il versante in destra), le soluzioni identificate sono le seguenti:

- Parete verticale con rete Krismer (indicato con la lettera AA in Figura 15): 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 15): 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 14) 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 14.

4.1.2.1 Aree A

Si trattava di aree in materiale di grandi e medie dimensioni (massi e ciottoli) realizzate come scarpate di valle della strada di servizio al pozzo di areazione 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 con collante a base di alghe. 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'impiuvio 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 idroritentori.

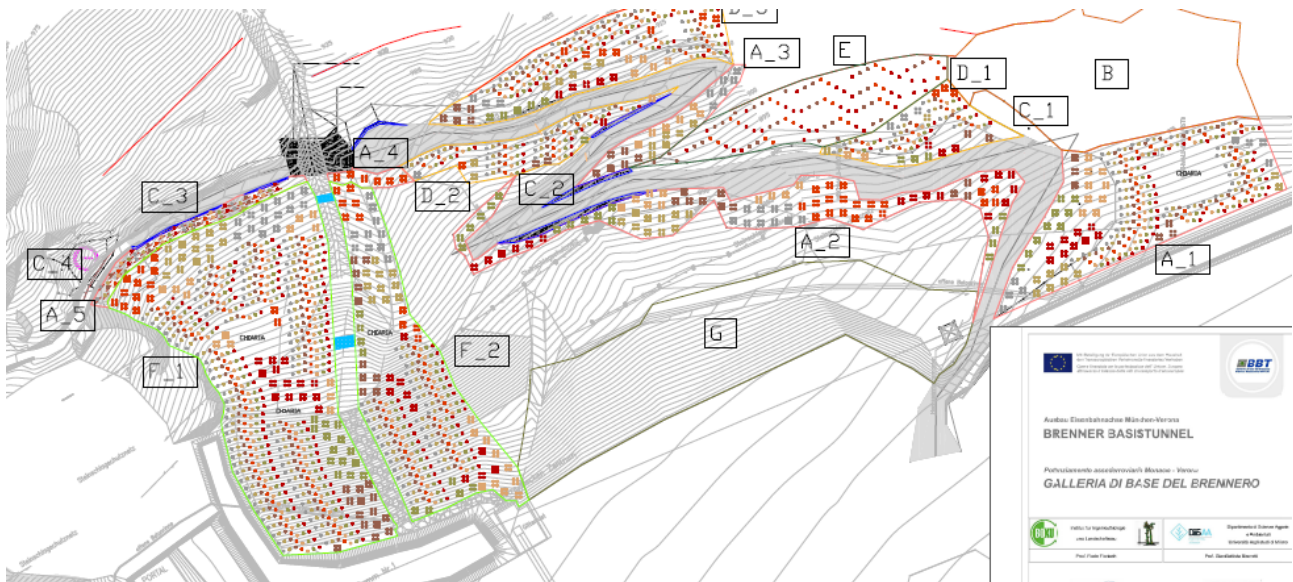


Figura 14: carta dei lavori effettuati nel sito di Mules

4.2 IL PORTALE DI AICA

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 15) 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 15) sono state rimosse le ali gocciolanti dell'impianto di irrigazione 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*.

4.2.4 Adeguamento dell'impianto irrigazione

Data la verticalità dell'area da rivegetare, non si può ricorrere a metodi per aspersione che disperderebbero la maggior parte dell'acqua senza riuscire ad umettare il terreno. Si è quindi deciso di innestare sulla tubazione principale pre-esistente una serie di tubi porosi in orizzontale, le cui caratteristiche tecniche sono: i) Pressione di esercizio: 0,5-2,0 bar, Portata erogata: 1-2 l/h per metro di condotta, Diametro: 20-22 mm, Spaziatura tra le linee: 2 m.

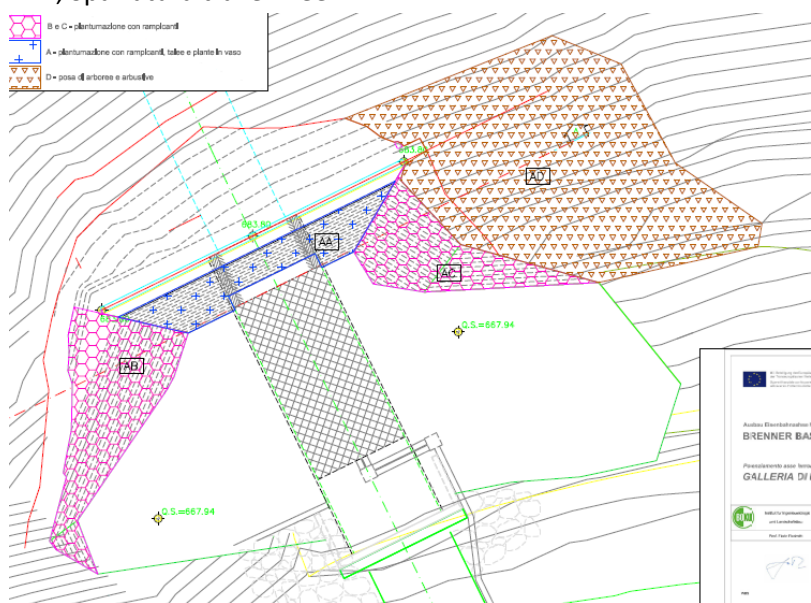


Figura 15: lavori effettuati nel sito di Aica

5 RISULTATI OTTENUTI

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 2017, settembre 2017.

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 m² (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 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).

I risultati dell'attività di monitoraggio ha permesso di mettere in evidenza alcune criticità che sono poi state oggetto di intervento. In particolare, le principali criticità possono essere sintetizzate come segue:

- scarso attecchimento della prima idrosemina a seguito di precipitazioni intense avvenute subito dopo la semina;
- fallanze nella piantumazione che hanno riguardato principalmente le latifoglie;
- disseccamento della piantumazione sul portale di Aica a seguito di un cattivo funzionamento dell'impianto di irrigazione

Tali criticità sono state in gran parte risolte, mentre le rimanenti saranno oggetto di intervento nella primavera 2018.

In generale è possibile osservare che:

- l'idrosemina sulle scarpate rocciose, in combinazione con l'irrorazione con invecchiante, ha dato ottimi risultati e presentano buoni livelli di copertura del suolo (Figura 16);
- le scarpate di riporto sono stabilizzate, con una buona copertura erbacea e con una successione vegetazionale ben avviata, salvo aree limitate su cui occorre re-intervenire (Figura 18 e Figura 19)
- le piantumazioni hanno mostrato la capacità delle latifoglie di emettere ricacci alla base di piante apparentemente seccate e l'efficacia del *Pinus sylvestris* che ha mostrato indici di attecchimento vicini al 100% (Figura 17)
- la crescita delle rampicanti è risultata ottima per il portale di Mules, dove l'impianto è avvenuto in vasche con terreno di coltura opportunamente irrigato, mentre è più stentato nel caso del portale di Aica dove minore è il terreno di riporto (Figura 20)
- Il portale di Aica, opportunamente ripiantumato nell'estate 2017, si presenta a settembre in buono stato di vegetazione ad eccezione di una zona in cui l'impianto di irrigazione ha avuto problemi di funzionamento che saranno risolti a primavera 2018 (Figura 22)
- Sul portale di Aica hanno avuto un buon successo le diverse specie del genere *Salix*, mentre per le altre solamente *Ligustrum vulgare* ha dato buoni risultati.
- L'esame ravvicinato ha evidenziato come nella parte vegetata vi sia stato un buon grado di attecchimento delle talee del genere *Salix*, mentre pochi sono stati gli esemplari degli altri generi impiantati, e tra questi è stato osservato esclusivamente il ligustro. Affianco alle specie impiantate, si è riscontrata la presenza di specie cresciute spontaneamente, con particolare riferimento a: *Chenopodium album*, *Artemisia vulgare*, *Setaria verticillata*, *Medicago lupulina* e *Digitaria sanguinalis*. Tali specie fanno parte della classe delle nitrofile ruderali, che rappresenta lo stadio che anticipa il mantello arbustivo costituito dalle specie effettivamente impiantate, ed è segno dell'avvio della successione ecologica, come ci si proponeva con tale soluzione progettuale (Figura 23).
- Il mancato attecchimento e/o vegetazione nella parte destra della parete è da imputare a carenza idrica, che verosimilmente si è manifestata anche prima della chiusura dell'impianto per la succitata rottura, forse per un non ottimale funzionamento dell'impianto di irrigazione (Figura 24).



Figura 16: scarpate in roccia, a sinistra prima dell'utilizzo, a destra settembre 2017



Figura 17: ricacci da latifoglie e buona riuscita delle piantumazioni con *Pinus sylvestris* e latifoglie (*Alnus incana*)



Figura 18: scarpate riprofilate: a sinistra prima dell'intervento, a destra nel settembre 2017



Figura 19: visione d'insieme della strada prima dell'intervento e a settembre 2017



Figura 20: portale di Mules prima dell'intervento e a settembre 2017



Figura 21: parete laterale del portale di Aica prima dell'intervento e a settembre 2017



Figura 22: portale di Aica prima dell'intervento e a settembre 2017



Figura 23: particolare del portale di Aica settembre 2017 - piantine di Salice attecchite



Figura 24: particolare del portale di Aica settembre 2017 – are con piantine non attecchite nell'area che ha sofferto di carenza idrica