

# STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA PER LA STABILIZZAZIONE DI FRONTI DI GALLERIE E LA REALIZZAZIONE DI RILEVATI STRADALI - LA NUOVA STRADA STATALE 38 “VARIANTE DI MORBEGNO” (SO)

## 1. INTRODUZIONE

La nuova statale 38 “dello Stelvio”, in provincia di Sondrio, nasce come alternativa alla statale esistente che attraversa i centri abitati di Cosio Valtellino e Morbegno. Mentre il primo tratto è completamente pianeggiante, la seconda parte del tracciato si sviluppa a ridosso delle pareti montuose, su una topografia piuttosto complessa.

Lo stato dei luoghi ha reso necessario la ricerca di soluzioni per la stabilizzazione del terreno agli imbocchi delle gallerie “Selva “Piana” e “Paniga”, e la costruzione di un nuovo rilevato intersecante un sottovia scatolare.

## 2. DESCRIZIONE DELLE SOLUZIONI ADOTTATE

La realizzazione di opere in terra rinforzata si è rivelata essere la soluzione più adatta e vantaggiosa ai problemi di stabilizzazione del terreno all’imbocco delle gallerie e di costruzione del nuovo rilevato stradale. Questa tecnologia prevede l’introduzione di elementi di rinforzo metallici e/o polimerici all’interno del terreno, al fine di migliorarne la resistenza al taglio. L’interazione tra il materiale di riempimento e gli elementi di rinforzo rende possibile la messa in opera di strutture in terra perfettamente verticali o a forte pendenza.

Per sfruttare in modo ottimale lo spazio disponibile offerto dal sito e ridurre al minimo i tempi e i costi di costruzione, sono state adottate diverse combinazioni di terre rinforzate, a parete verticale e/o inclinata.

### 2.1 Fronti di imbocco delle gallerie

Il terreno in adiacenza agli imbocchi delle gallerie “Selva Piana” e “Paniga” è stato stabilizzato ricorrendo a strutture in terre rinforzate inclinate a 65°, realizzate mediante elementi modulari tipo Green Terramesh® (0.73 m x 3.00 m, lunghezza variabile dai 3.00 m ai 6.00 m) in rete a doppia torsione a maglia esagonale, posizionate su più livelli intervallati da berme.

Il filo della rete è protetto dalla corrosione da un rivestimento metallico in lega di zinco-alluminio (Galfan) ed un rivestimento addizionale polimerico in PVC, fornendo una vita utile di oltre 100 anni. Il pannello di rete in facciata, inclinato di 65° secondo i requisiti di progetto, è accoppiato ad un pannello in rete elettrosaldata, che ne garantisce adeguata rigidità. In aggiunta, un geotessile trattiene le particelle fini di terreno impedendone l’espulsione attraverso la facciata. Ciascuna unità è provvista di una coda di lunghezza variabile, costituente l’elemento di rinforzo vero e proprio, ed un risvolto sommitale di lunghezza 0.65 m, come mostrato in Fig. 1.

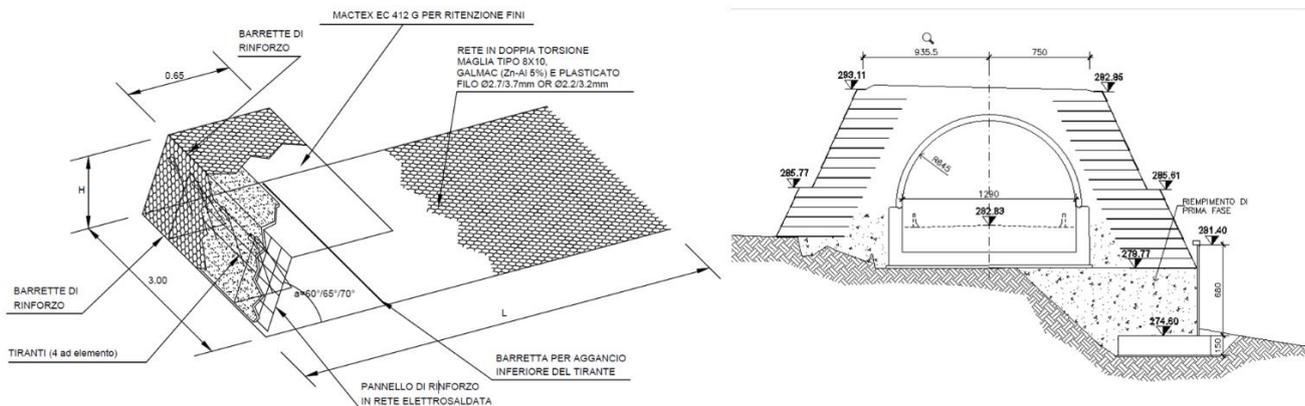


Figura 1. Green Terramesh® (a sinistra) e sezione all’imbocco ovest della galleria “Selva Piana” (a destra).

## 2.2 Rilevato stradale

Il rilevato stradale è stato realizzato mediante terre rinforzate inclinate a  $70^\circ$  con doppio rinforzo, intervallate da berme ogni 5.32 metri. In Fig. 2 è mostrato il prospetto di valle del rilevato. Nel punto più alto, la struttura raggiunge un'altezza fuori terra di circa 25 metri.

In questo caso, gli elementi modulari tipo Green Terramesh® (0.76 m x 3.00 m x 3.00 m) in rete a doppia torsione a maglia esagonale, costituiscono il rinforzo secondario e sono combinati con geogriglie di rinforzo polimeriche tipo ParaLink®, di lunghezza variabile. Le geogriglie utilizzate nel progetto sono strutture planari a nastri termosaldati, prodotte con filamenti di poliestere (PET) ad alta tenacità allineati ed incapsulati in una guaina protettiva di rivestimento di polietilene a bassa densità (LLDPE). Per il progetto sono state utilizzate geogriglie caratterizzate da una resistenza a trazione (UTS – Ultimate Tensile Strength) di 300 kN/m, allo scopo di fornire una resistenza di lungo termine (LTDS – Long Term Design Strength) adeguata alla vita utile dell'opera. I fattori riduttivi da applicare al valore di UTS sono determinati sulla base del certificato emesso dal BBA – British Board of Agrément, noto organismo di approvazione esterno britannico.

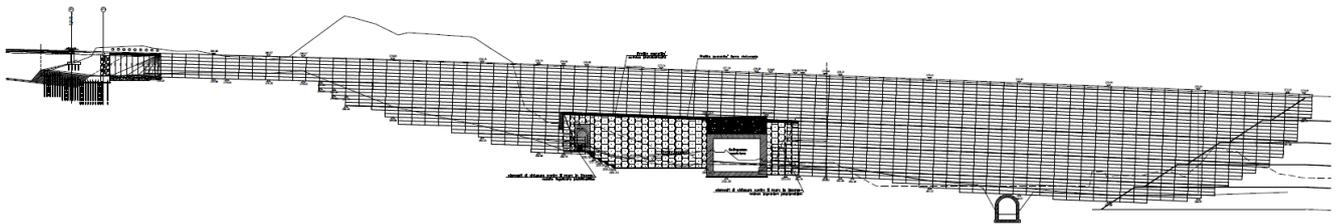


Figura 2. Prospetto geometrico del rilevato in terra rinforzata tra le gallerie "Selva Piana" e "Paniga".

In corrispondenza dell'intersezione con lo scatolare, è stata proposta una soluzione composita, costituita da un muro in terra armata a parete verticale in pannelli di calcestruzzo (MacRes® system) e, per la parte sommitale, una terra rinforzata inclinata a  $70^\circ$  di caratteristiche analoghe a quelle delle sezioni adiacenti costituite da terre rinforzate a tutt'altezza. La parete verticale è realizzata con pannelli prefabbricati in calcestruzzo armato (dimensione standard 1.50 m x 1.50 x 0.14 m), caratterizzati da una classe di resistenza minima a compressione C32/40. L'appoggio tra i pannelli è realizzato mediante l'interposizione di placche in gomma EPDM. I pannelli sono dotati di opportuni elementi di attacco per il collegamento dei rinforzi. Nel caso in esame, sono stati utilizzati rinforzi metallici in strisce di acciaio zincato ad aderenza migliorata, sezione 50 x 4 mm e lunghezza 12.0 m. Le superfici delle strisce metalliche sono prodotte con particolari scanalature allo scopo di favorire la mobilitazione della resistenza attrito a contatto con il terreno di riempimento.

### 3. ASPETTI GENERALI DI PROGETTAZIONE

Le verifiche di stabilità delle terre rinforzate a paramento rinverdibile sono state eseguite utilizzando il software di calcolo interno MACSTARS. Per il calcolo sono state considerate superfici di scivolamento circolari (Bishop, 1955) e poligonali (Janbu, 1973), al fine di verificare nel dettaglio sia le sezioni standard che le situazioni di interferenza, quali la presenza di manufatti in calcestruzzo intersecanti l'opera (gallerie naturali e sottovia scatolare) o la presenza di pareti rocciose nelle vicinanze della terra rinforzata che limitavano la lunghezza dei rinforzi. Le sezioni sono state verificate in condizioni statiche e sismiche, applicando i fattori di sicurezza per le azioni e i parametri geotecnici del terreno, nonché le combinazioni di carico, in accordo con le NTC del 2008. Per il dimensionamento delle geogriglie, sono state effettuate le verifiche di stabilità interna delle terre rinforzate, analizzando le superfici di scorrimento che intercettano totalmente o parzialmente la porzione rinforzata del rilevato. Per la verifica di stabilità globale, sono stati valutati i coefficienti di sicurezza relativi alle superfici di scivolamento passanti esternamente al volume di terreno rinforzato, con particolare attenzione alle superfici all'interfaccia con le infrastrutture e gli scavi in roccia.

Le verifiche di stabilità del muro in terra rinforzata con paramento verticale sono state eseguite con il software di calcolo interno MACRES 2.0. In questo caso, il dimensionamento dei rinforzi è stato fatto adottando come metodo di calcolo il *Coherent Gravity Method* (Juran & Schlosser, 1978) per rinforzi inestensibili, adatto nel caso strisce di rinforzo metalliche. Una volta dimensionati gli elementi di rinforzo del sistema Macres®, si è proceduto a modellare l'intera struttura (muro verticale + terra rinforzata a paramento inclinato) in MACSTARS, al fine di verificare la stabilità della sezione nel suo complesso.

### 3. COSTRUZIONE DELLE TERRE RINFORZATE

I due fattori principali che hanno portato alla scelta di procedere con le terre rinforzate sono stati la velocità di installazione del sistema e la capacità della facciata di rinverdire, minimizzando così l'impatto ambientale dell'opera, andando a migliorarne l'estetica.

Gli elementi modulari tipo Green Terramesh® sono unità prodotte in fabbrica, fornite in sito completamente preassemblate. Le uniche connessioni richieste in cantiere sono state quelle per collegare ciascuna unità a quelle adiacenti. Le irregolarità del piano di posa, la vegetazione ed eventuale materiale a ridotte caratteristiche meccaniche presente in sito, sono stati preventivamente rimossi durante la fase di preparazione della fondazione. Dopodiché l'unità modulare è stata semplicemente posizionata e fissata alle altre unità lungo tutti i bordi, in modo da formare un elemento strutturale di facciata monolitico, come mostrato in Fig. 3.



Figura 3. Vista frontale (a sinistra) e laterale (a destra) dell'imbocco ovest della galleria "Selva Piana".

La procedura di installazione è la stessa nel caso in cui le unità modulari di facciata sono accoppiate a geogriglie di rinforzo. Quest'ultime, fornite in cantiere direttamente in rotoli, sono tagliate della lunghezza richiesta da progetto e posizionate preventivamente alla posa delle unità prefabbricate in rete a doppia torsione. Le successive fasi di collegamento delle unità, riempimento e compattazione del terreno, ed idrosemina della parete sono eseguite in maniera del tutto analoga al caso precedente. In Fig. 4, una vista del rilevato stradale in terra rinforzata, completamente rinverdito al termine dei lavori.



*Figura 4. Vista laterale del rilevato in terra rinforzata con paramento verde a 70° e geogriglie di rinforzo, in corrispondenza della sezione massima (circa 25 metri).*

La semplicità e la velocità di posa sono stati fattori determinanti anche per la realizzazione della terra armata a parete verticale in calcestruzzo, col sistema MacRes®: i pannelli di facciata, le strisce di rinforzo metalliche, gli appoggi in gomma EPDM e le strisce di geotessile per la copertura dei giunti, sono elementi prefabbricati forniti direttamente in cantiere secondo le specifiche di progetto. In Fig. 5, una vista del muro all'imbocco dello scatolare.



*Figura 5. Vista del rilevato in terra rinforzata con paramento verde a 70° e geogriglie di rinforzo, in corrispondenza dell'intersezione con lo scatolare.*