



Tutte le fasi di un'opera in terra rinforzata realizzata a Matera per la costruzione di un grande rilevato

TERRE RINFORZATE: CORRETTA PROGETTAZIONE ED ESECUZIONE



Vieni a leggere i contenuti extra multimediali su www.stradeeautostrade.it

Inquadra il codice QR qui sopra seguendo le istruzioni di pag. 8.

Giovanni Pietro Pinzani*
Antonio Paolicelli**

La sempre più diffusa attenzione all'ambiente richiede l'adozione di soluzioni che riducano l'impatto delle opere sul territorio. In linea con questa necessità, le terre rinforzate trovano sovente una diffusione sempre più ampia in sostituzione dei tradizionali muri in calcestruzzo armato. Nel presente documento viene descritta in tutte le sue fasi un'opera in terra rinforzata realizzata a Matera per la costruzione di un grande rilevato. L'opera, lunga circa 200 m presenta altezze variabili tra i 3 e i 12 m. Tale lavoro costituisce un esempio di come il buon risultato finale di un intervento sia il frutto di un'adeguata cura a tutte le sue fasi: dalle indagini, alla progettazione, al controllo sia in fase esecutiva che post-costruttiva.



L'inquadramento

L'area d'intervento è sita nella zona periferica della Città di Matera, lungo un versante collinare con pendenze medie intorno ai 12° e con presenza nella zona centrale di un modesto impluvio alimentato da due sorgenti stagionali.

La geologia del sito è caratterizzata dalla presenza di terreni superficiali costituiti da limi argillosi con frequenti livelli sabbiosi poggianti sul bed rock costituito dalle Calcareniti della Formazione di Gravina.

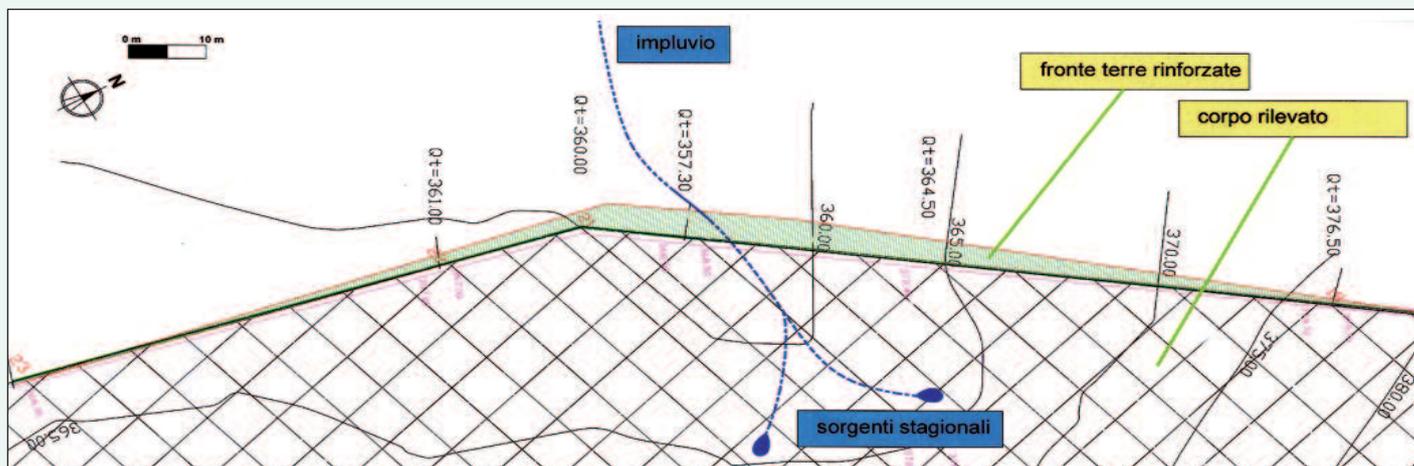


Figura 2 - La planimetria dell'area d'intervento



Le indagini geologiche e geotecniche

Per la definizione del modello geotecnico furono eseguiti una serie di sondaggi a carotaggio continuo con prove SPT e prelievo di campioni indisturbati sui quali furono effettuate una serie di prove di laboratorio. Furono fatte inoltre delle prove penetrometriche dinamiche DPM al fine di completare il quadro conoscitivo della zona e valutare in modo speditivo e qualitativo il comportamento meccanico dei primi metri di terreno.

Dalle indagini eseguite emerse che i terreni limo argillosi presentavano caratteristiche meccaniche diverse con valori di coesione non drenata variabili tra 30 e 150 kPa. Il bed rock era posto ad una profondità compresa tra i 6 e i 9 m con una falda mediamente a -4,5 m dal piano campagna.

Le scelte progettuali

Il modello geotecnico di comodo

Sulla base dei dati acquisiti e della loro elaborazione si definì un primo modello geotecnico (Figura 3), caratterizzato da una terra rinforzata con altezze comprese tra 3 e 12 m e pendenza di 70° poggianti direttamente sui terreni limo argillosi.

Per i nuovi riporti si prevede di utilizzare per il corpo in terra rinforzata del materiale granulare con buone proprietà meccaniche denominata localmente "calcareniti locali di cava" (o scaglie di tufo locale), adeguatamente posato, rullato e compattato, mentre a tergo si prevede di utilizzare i terreni limo-sabbiosi provenienti dagli sbancamenti eseguiti in un'altra zona del cantiere.

Per ogni tipo di suolo, in base alle prove geotecniche in sito ed in laboratorio, furono adottati i parametri geotecnici riportati in Tabella 1. In base ad alcune analisi preliminari, emerse il potenziale innesco di cedimenti differenziali nello strato costituito dai limi argillosi.

Terreni	γ_{des} (kN/m ³)	ϕ'_{des} (deg)	c'_{des} (kPa)	$c_{u,des}$ (kPa)
Corpo terra rinforzata	19	35°	0	/
Terreno a tergo	19	28°	0	/
Argilla siltosa	19	23°	31	50
Bed Rock	24	45°	200	500

Tabella 1 - I parametri geomeccanici di progetto

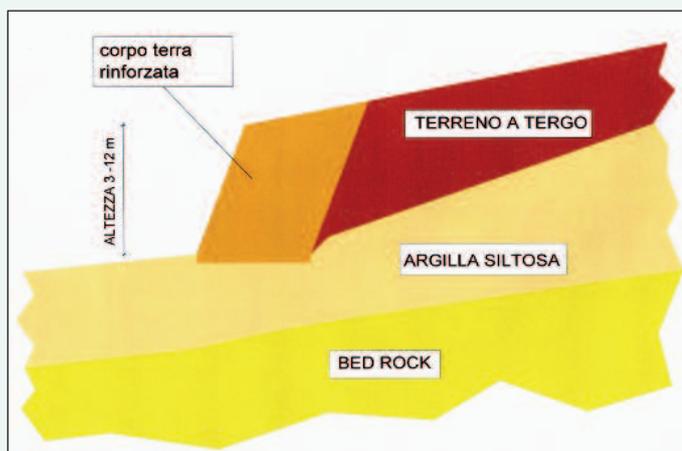


Figura 3 - Il modello geotecnico preliminare

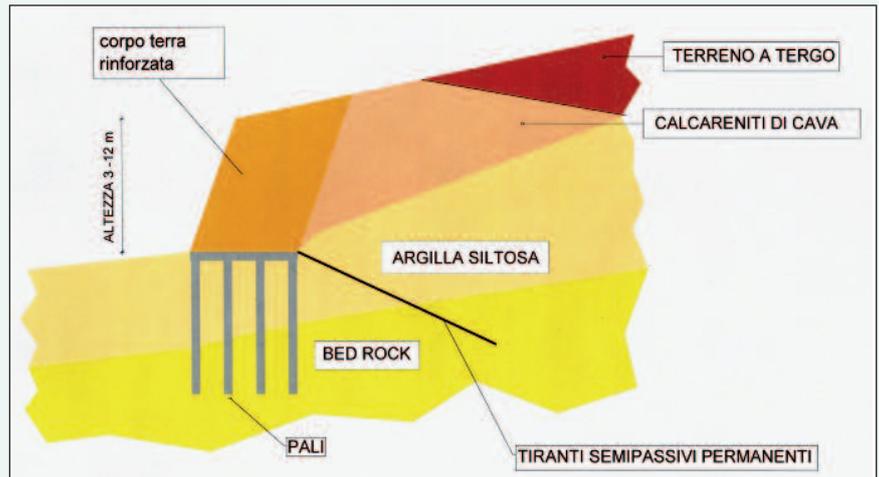


Figura 4 - Il modello geotecnico finale

Per evitare tale rischio si decise di appoggiare il rilevato in terra rinforzata su un graticcio in cemento armato fondato su pali con tiranti a tergo. Inoltre, sempre al fine di scongiurare possibili cedimenti differenziali, si decise di posare il materiale granulare calcarenitico, anche a tergo del rilevato strutturale in terra rinforzata propriamente detto, in modo da colmare l'intero alveo artificiale con l'utilizzo di materiale dotato di scheletro solido, consistente e poco cedevole, che avrebbe avuto, sottoposte, direttamente le argille locali non rimaneggiate e dotate pertanto della loro coesione naturale e grado di consolidazione. Fu definito quindi un modello geotecnico finale secondo lo schema di Figura 4.

Si analizzò infine la realizzazione di un sistema di captazione e convogliamento delle acque provenienti dalle sorgenti stagionali. Fu pertanto previsto il riempimento dell'impluvio con ghiaia avvolta in un geotessile e la posa di un tubo di convogliamento che passasse sotto la fondazione in cemento armato sino a sfociare a cielo aperto nella zona antistante l'opera, nonché strati drenanti di breccione di cava sottoposti alle varie platee in cemento armato (opere di sottofondazione alle terre rinforzate), presenti alle diverse quote di sedime.

La scelta e il dimensionamento del rinforzo

Poiché al di sopra della terra rinforzata si prevedeva la costruzione di una strada e di alcuni edifici, si decise di imporre una deformazione complessiva non superiore al 5% e, seguendo le indicazioni proposte nel BS8006 una deformazione post costruttiva non superiore allo 0,5%. Sulla base di tale indicazione, si optò per l'utilizzo di una geogriglia in nastri di poliestere a elevato modulo Enkagrid PRO. Esaminando le curve isocrone caratteristiche del rinforzo scelto e imponendo le deformazioni sopra citate, si osservò che la tensione disponibile a 120 anni era pari al 55% della tensione ultima UTS.

In base poi al certificato BBA n° 03/133 relativo all'Enkagrid PRO e ai terreni previsti per la costruzione della terra rinforzata, furono adottati i fattori di sicurezza parziali riportati in Tabella 2.

Voce fattore di sicurezza	Condizioni di progetto	Fattore di sicurezza
Vita utile dell'opera fm	120 anni	1,10
Danneggiamento durante l'installazione fd	Ghiaia con sabbia	1,03 - 1,05
Chimismo terreni fe	pH 4,1-8,9	1,00

Tabella 2 - I fattori di sicurezza parziali

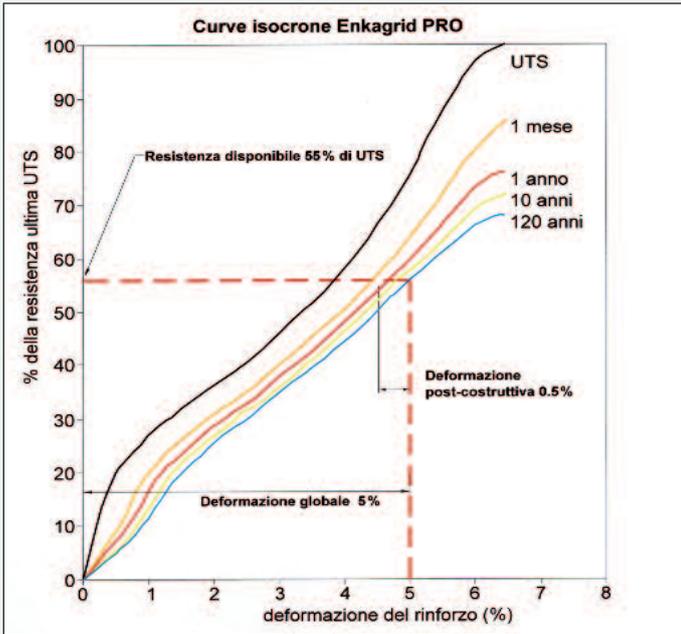


Figure 5 - La definizione della percentuale di resistenza ultima adottabile sul rinforzo imponendo una deformazione limitata (fonte isochronous curves - Colbond)

La progettazione delle terre rinforzate

Scelta la tipologia del rinforzo si passò al dimensionamento vero e proprio analizzando tutti i potenziali meccanismi di rottura. Sulla base delle verifiche eseguite fu previsto l'utilizzo dei rinforzi riportati in Tabella 3, disposti in strati di 50 cm a diversa lunghezza.

Gli interventi vegetazionali sul paramento

Al fine di favorire un buon rinverdimento del paramento frontale della terra rinforzata, si prevede già a livello progettuale la posa di circa 500 piantine di diverse specie autoctone.

Enkagrid PRO	40	60	90	120
Resistenza a trazione - (kN/m)	40,00	64,00	98,00	120,00
Resistenza al 2 % di deformazione - (kN/m)	17,00	26,00	42,00	48,00
Resistenza al 5 % di deformazione - (kN/m)	33,00	51,00	81,00	87,00
Resistenza al 5 % di deformazione dopo 120 anni con I fattori di sicurezza di tab. 2 - (kN/m)	19,41	30,48	42,86	57,14

Tabella 3 - Le proprietà meccaniche delle geogriglie

La realizzazione

La fase costruttiva

La costruzione iniziò con la realizzazione dei pali di fondazione e del sistema di convogliamento delle acque dell'impiuvio mediante una trincea in ghiaia avvolta in geotessile non tessuto Typar SF e un tubo microfessurato per il convogliamento delle acque.



Figure 8 - La costruzione del graticcio di fondazione della zona centrale

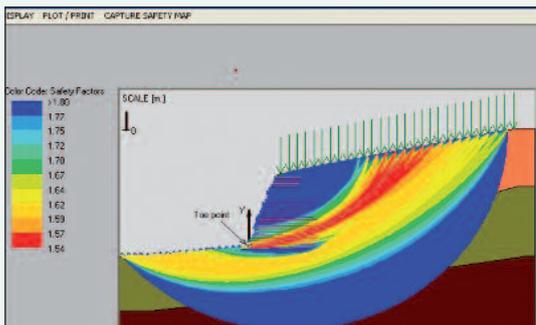


Figure 6 - La verifica di stabilità globale $h = 12$ m

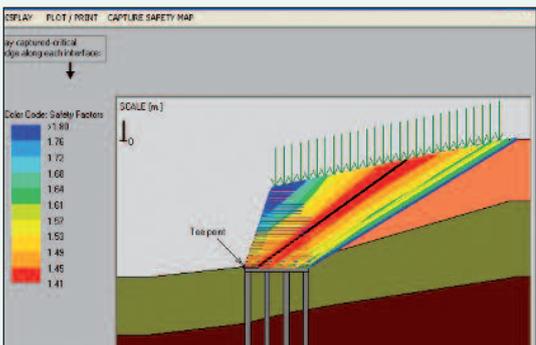


Figure 7 - La verifica di stabilità alla traslazione $h = 12$ m



Figure 9 - La fase di realizzazione della terra rinforzata



Successivamente, fu realizzato il graticcio centrale in calcestruzzo armato intasato con ghiaia ed i tiranti a tergo.

Terminate le opere di fondazione e drenaggio si iniziò la costruzione del rilevato. Il fronte fu realizzato con la tecnica del wrap around posizionando una geostuoia antierosione in nylon Enkamat 7010 ad eccezione dei primi strati realizzati con gabbioni. L'elevata permeabilità del terreno utilizzato per il corpo della terra rinforzata non richiede la posa di materiale drenante a tergo.

Durante la fase costruttiva furono eseguite periodiche prove in sito e in laboratorio sui materiali utilizzati per tra cui prove granulometriche, prove di taglio diretto, prove di densità in sito che prove su piastra. Tali test ebbero la funzione sia di controllare la qualità dei materiali utilizzati e sia il loro grado di costipamento raggiunto in cantiere.

La fase post-costruttiva

Terminata la costruzione del rilevato rinforzato, si diede inizio al monitoraggio plano-altimetrico del tratto ritenuto più critico e corrispondente alla zona di altezza massima pari a 12 m.

Per il monitoraggio furono posizionati sei pilastri alla sommità e quattro prismi ottici lungo la scarpata. Le misure, eseguite per più di un anno, evidenziarono movimenti molto modesti con un progressivo attenuarsi degli scostamenti.

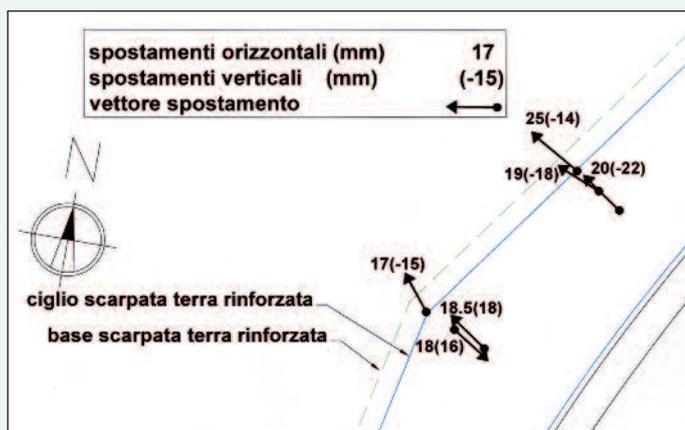


Figura 10 - I punti di monitoraggio e gli spostamenti rilevati nei 12 mesi

La vegetazione sul fronte

Al fine di ridurre al minimo l'impatto visivo ed ambientale del rilevato, furono piantate circa 500 piantine di specie autoctone. Si procedette inoltre a bagnare il fronte in un periodo particolarmente siccitoso durante l'estate. Tali scelte e accorgimenti consentirono la formazione di una copertura vegetale abbondante e ricca in specie vegetali.



Figura 11 - Un esemplare di piantina posizionata sul fronte

Lo stato attuale

Dopo oltre due anni dall'inizio della costruzione del rilevato la struttura ha pienamente raggiunto le condizioni richieste. In particolare:

- ◆ gli spostamenti sono terminati ed è stato dato inizio alla costruzione delle strutture;
- ◆ la crescita di una ricca copertura vegetale garantisce un ottimo inserimento ambientale dell'intervento nel territorio.



Figura 12 - L'inizio delle costruzioni

Conclusioni

Nel presente articolo sono state descritte tutte le principali fasi di progettazione e realizzazione di un importante rilevato in terra rinforzata. Gli autori ritengono che i buoni risultati raggiunti siano il frutto di un attento approccio progettuale basato sia sulla definizione delle prestazioni richieste ai materiali e sia su un continuo controllo delle fasi esecutive. Infine, oltre alla parte prettamente geotecnica, è stata curata con attenzione la parte vegetazionale che costituisce elemento fondamentale per un buon inserimento ambientale dell'opera. ■

* *Geologo Responsabile dell'Ufficio Tecnico di Harpo SpA, Seic Divisione Geotecnica*

** *Ingegnere Libero Professionista, Progettista e Direttore dei Lavori dell'intervento*

BIBLIOGRAFIA

- [1]. British Standard - "Strengthened/reinforced soils and other fills", BS8006, 1985.
- [2]. British Board of Agreement. Roads and Bridges Agreement Certificate n° 03/R133, 2003.
- [3]. J.H. Greenwood, W. Woskamp - "Prediction the long-term strength of geogrid using the stepped isothermal method", Second European Geosynthetics Conference, Vol. 1 pp. 329-331, 2000.
- [4]. R.A. Jewell - "Soil reinforcement with geotextiles", CIRIA, 1996.
- [5]. D. Leschinsky - "Stability of geosynthetic reinforced soil structure", 2002.
- [6]. A. McGown - "The behaviour of geosynthetic reinforced soil system in various geotechnical applications", Second European Geosynthetics Conference, Vol. 1 pp. 3-23, 2000.
- [7]. R. Berardi, G.P. Pinzani - "Strain compatibility and geogrid stiffness selection in the design of reinforced soil walls", Second European Geosynthetics Conference, EuroGeo paper 0187, 2000.