



Le strutture in terra rinforzata associano l'elemento strutturale di rinforzo a una copertura vegetativa frontale

## OPERE IN TERRA RINFORZATA: CORRETTA PROGETTAZIONE ED ESEMPI DI REALIZZAZIONI IN AMBITO MONTANO E IDRAULICO

Pierpaolo Fantini\*  
Alberto Simini\*\*

Nel presente contributo si esaminano le procedure per una corretta progettazione di opere in terra rinforzata. Sono inoltre descritti alcuni esempi di realizzazioni effettuate in ambito montano e idraulico.

### 1. Le verifiche di stabilità delle terre rinforzate

Le verifiche di stabilità di strutture in terra rinforzata si effettuano secondo i metodi "classici" che si applicano alle verifiche di stabilità dei pendii (Bishop, Janbu, Spencer, ecc.), considerando in aggiunta l'azione delle forze resistenti delle geogriglie di rinforzo presenti. Spesso si effettua una distinzione rigorosa tra le verifiche di stabilità esterne e le verifiche di stabilità interne alla terra rinforzata. Le verifiche di stabilità esterne considerano unicamente meccanismi di rottura che non intersecano la terra rinforzata, ma che si sviluppano all'esterno dell'armatura e del terreno di riempimento. Per la verifica di stabilità interna si considerano invece superfici di scivolamento che interessano unicamente la terra rinforzata.

Una distinzione formale di questo tipo tra le verifiche di stabilità ha come conseguenza il fatto che spesso si esaminano meccanismi di rottura che si sviluppano in una zona molto ristretta (solo all'interno oppure solo all'esterno della terra rinforzata).

L'analisi dei possibili meccanismi di rottura, che si sviluppano parzialmente all'esterno e parzialmente all'interno delle strutture armate, in molti casi è trascurata.

Proprio questi meccanismi di rottura, denominati "composti" o "compound mode", rappresentano spesso la forma di rottura più probabile e pertanto forniscono il fattore di sicurezza minimo della struttura. Trascurare questi meccanismi porta a un sottodimensionamento critico delle opere e quindi a un rischio di cedimento elevato.



Figura 1

Si vedano, a titolo di esempio, i fattori di sicurezza ottenuti nelle verifiche di stabilità interna, esterna e composta per una terra rinforzata "tipo" riportati in Figura 2, 3 e 4:

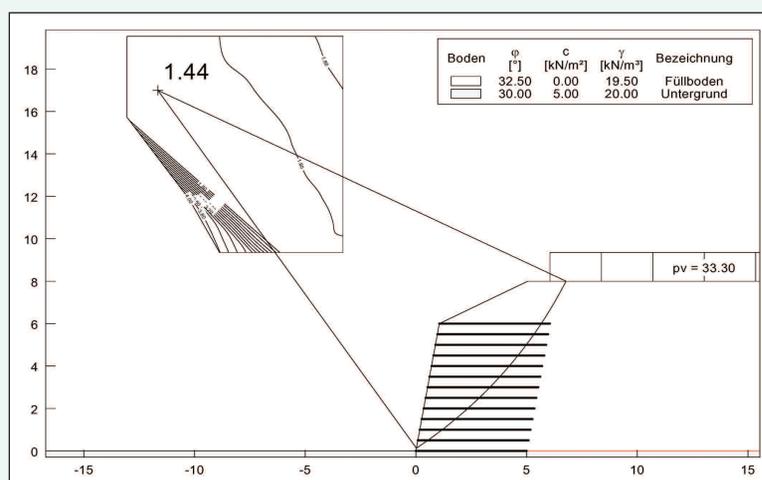


Figura 2 - La verifica di stabilità interna

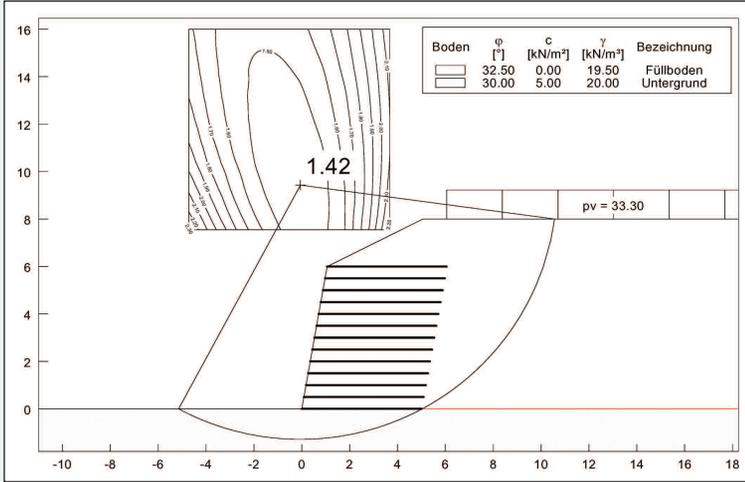


Figura 3 - La verifica di stabilità esterna

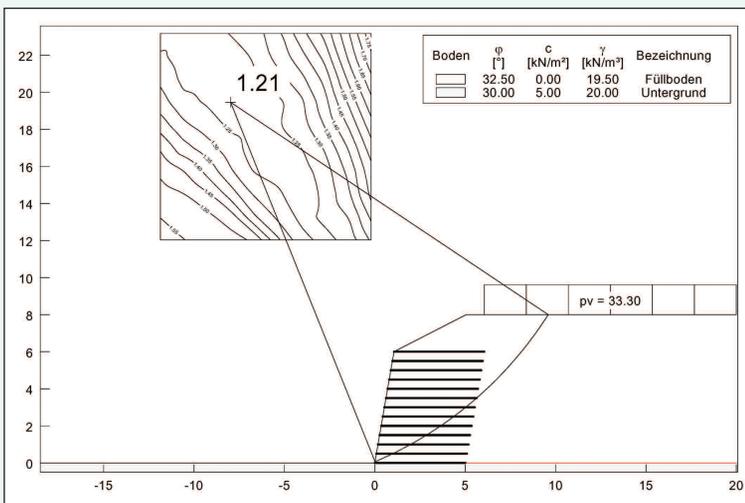


Figura 4 - La verifica di stabilità composta

Le verifiche di stabilità interna ed esterna forniscono come risultato un fattore di sicurezza al di sopra del minimo richiesto dalla normativa ( $FS_{min} = 1.30$ ), mentre la verifica di stabilità composta porta a un fattore di sicurezza molto più basso, inferiore al minimo consentito dalla Normativa.

Dal punto di vista estetico, i rilevati in terra rinforzata appaiono come stabili, indipendentemente dal fatto che abbiano un fattore di sicurezza globale di 1.40 o di 1.04.

Nel secondo caso il margine di sicurezza è esiguo e ci si trova vicino alle condizioni di equilibrio limite. Ciò significa che, in caso di azioni aggiuntive anche di lieve entità (sovraccarichi, spinte idrauliche, ecc.) oppure se vengono meno alcune delle ipotesi effettuate in sede progettuale, possono verificarsi danni o addirittura il collasso della struttura.

E' opportuno pertanto sottolineare che nell'ambito di una seria progettazione debbano essere considerate tutte le possibili superfici di scivolamento per determinare il meccanismo di rottura più sfavorevole; possono essere prese in considerazione sia superfici di scivolamento cilindriche che piane, logaritmiche o circolari o poligonali, purché si effettuino verifiche di stabilità interne, esterne e soprattutto composte.

## 2. Esempi di terre rinforzate con geogriglie Fortrac® in ambito montano e idraulico

### 2.1. Lona-Lases (TN): stabilizzazione di un versante in frana

Il versante del monte Gorsa, dopo numerosi anni di attività estrattiva del porfido, è stato interessato negli ultimi anni da un imponente fenomeno franoso nella zona sovrastante la strada provinciale S.P. 71 e il lago di Lases, con grave rischio per l'adiacente area abitata.

Per la stabilizzazione del versante, la soluzione adottata dai Progettisti è stata basata principalmente sui seguenti punti:

- ◆ ricostruzione morfologica del versante in frana mediante la rimozione del terreno in sommità del versante e trasporto al piede, per ripristinare l'azione di contenimento e per riportare lo stato tensionale di compressione dell'ammasso roccioso alle condizioni precedenti l'attività estrattiva del porfido;
- ◆ esecuzione di una struttura in terra rinforzata con geogriglie Fortrac® al piede del versante con pendenza di 60° e in grado di sopportare l'elevato carico soprastante. L'altezza della terra rinforzata è di 60 m a banche sovrapposte di 5 m ciascuna e berme di 3 m. La lunghezza complessiva è di circa 100 m;
- ◆ efficace sistema di drenaggio del corpo della frana per evitare incrementi delle pressioni neutre lungo la superficie di scorrimento del corpo di frana;
- ◆ sistema di monitoraggio con cinque inclinometri, sei piezometri a tubo aperto, tre estensimetri, due assestimetri a magneti, 62 caposaldi di monitoraggio.

La soluzione proposta prevedeva la realizzazione di terre rinforzate di altezza variabile fino a un massimo di 60 m, realizzate mediante rilevati sovrapposti di 5 m l'uno.

All'interno di ogni singolo rilevato da 5 m sono previsti quattro strati di griglie di rinforzo "principali" Fortrac® 110/30-20, spaziate di 1,5 m, e sei griglie "secondarie" Fortrac® 45/20-20, spaziate di 0,5 m, aventi unicamente la funzione di rendere stabile il fronte della terra rinforzata.

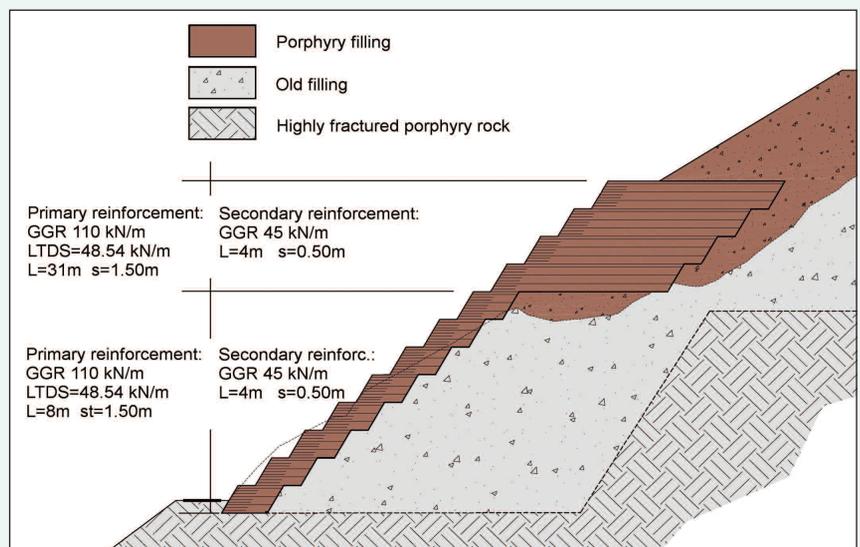


Figura 5 - La sezione tipo della terra rinforzata

Per minimizzare l'entità dello scavo, garantendo nel contempo la stabilità dell'opera sia con verifiche tenso-deformative sia secondo il metodo dell'equilibrio limite, le lunghezze previste delle griglie di rinforzo sono state scelte pari a 8 m nella parte basse del rilevato e pari a 16 m (o in alcune zone pari a 31 m) nella parte superiore del rilevato.



Figura 6 - Le fasi di posa della terra rinforzata



Figura 8 - I fenomeni erosivi causati dalle piene dei corsi d'acqua

Come terreno di riempimento è stato utilizzato il materiale grossolano e spigoloso presente in loco, mentre sul fronte della terra rinforzata è stato posato uno strato di 20-30 cm di terreno vegetale, in modo da facilitare l'attecchimento della vegetazione. Per impedire il dilavamento, la fuoriuscita del terreno e l'insorgere di fenomeni erosivi superficiali, sul fronte della terra rinforzata è stata posata una biorete antierosione in fibre di juta Bionet HJ/50, posizionata tra la geogriglia e il cassero a perdere in rete elettrosaldata.



Figura 7 - Vista aerea

## 2.2. Offagna (AN): ricostruzione di una scarpata fluviale

A seguito dell'alluvione che ha colpito Osimo Stazione e la frazione di San Biagio nel Settembre 2006, una vasta zona all'interno del Comune di Offagna ha subito eventi di tipo erosivo dovuti al forte ingrossamento dei corsi d'acqua a regime torrentizio.

In particolare alcune proprietà private sono state interessate da fenomeni come quelli riportati in Figura 8.

Per la ricostruzione di tali scarpate, la soluzione adottata è stata quella riportata in Figura 9, ovvero una terra rinforzata con geogriglie Fortrac® 35/20-20 che, nel tratto potenzialmente a contatto con il corso d'acqua (circa metà rilevato), presenta le seguenti caratteristiche:

- ◆ casseri zincati, in modo da evitare problemi di corrosione;
- ◆ elementi di rinforzo costituiti dal geotessile in poliestere Stablenka® 150/45 (anziché geogriglie Fortrac® 35/20-20) per evitare la fuoriuscita del terreno di riempimento, specialmente in caso di rapido abbassamento del livello dell'acqua;
- ◆ fronte realizzato con ghiaia grossolana per ridurre gli effetti del dilavamento dovuti alla corrente.

Figura 9 - La sezione tipo

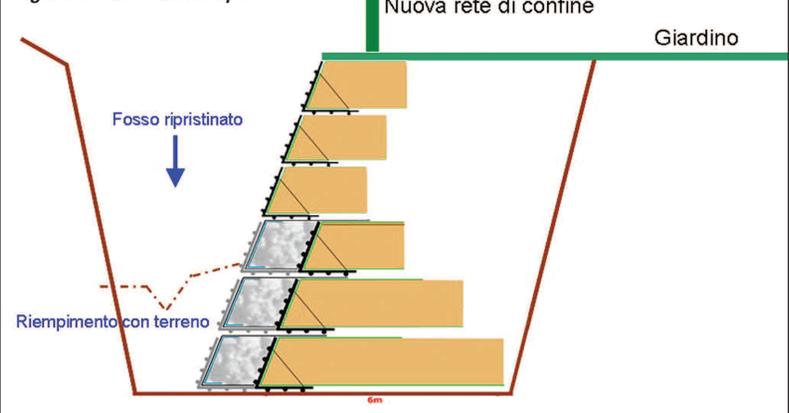


Figura 10: Vista della terra rinforzata a lavori ultimati

## 3. Conclusioni

Nel presente articolo è stato illustrato come le strutture in terra rinforzata associano l'elemento strutturale di rinforzo a una copertura vegetativa frontale per evitare l'insorgere di fenomeni erosivi superficiali. Particolare attenzione deve essere riposta nella progettazione e nel dimensionamento dei rinforzi utilizzati in termini di tensione di progetto a lungo termine, di verifica della stabilità interna, esterna e composta e nella corretta interpretazione delle certificazioni di qualità dei materiali impiegati. ■

\* Ingegnere della Huesker Srl

\*\* Ingegnere della Huesker Srl