

RIPRISTINO DI UN MOVIMENTO FRANOSO MEDIANTE IMPIEGO DI GEOGRIGLIE IN HDPE.

1. Introduzione

Nel febbraio del 1995 in località Ligomena, nel comune di Plesio (CO), a seguito di scavi effettuati per la costruzione di alcuni edifici residenziali, si è sviluppato un fenomeno franoso che, in fasi successive, ha finito per interessare una strada sovrastante ed alcuni manufatti in calcestruzzo posti alla base delle recinzioni di edifici adiacenti (Fig. 1).

Sul corpo frana è stato effettuato un primo rilievo planoaltimetrico, dal quale si è potuto stabilire come la massima altezza fosse di circa 12.00 metri, su un fronte di oltre 30 metri.

Analisi granulometriche effettuate su campioni prelevati dal materiale franato hanno permesso di classificarlo come "Limo argilloso/sabbioso" o "Limo con sabbia". Le curve granulometriche hanno evidenziato inoltre una elevata disuniformità.



Fig. 1: il movimento franoso allo stato iniziale

Nella nicchia di distacco della frana c'erano evidenti tracce della presenza di acqua, ad una profondità di circa 8 metri dal piano campagna.

A seguito di successive precipitazioni il fenomeno franoso è continuato, rendendo quindi necessario un intervento risolutivo in grado di assicurare la stabilità al versante così gravemente compromesso.

2. Descrizione dell'intervento

La volontà di ripristinare la strada interrotta e, allo stesso tempo, di limitare al massimo l'ingombro dell'opera di ripristino nel terreno sottostante (al fine di permettere comunque la costruzione delle abitazioni sul terreno di fronte al pendio franato) rendeva necessaria la realizzazione di un'opera subverticale di notevoli dimensioni; la scelta poteva quindi ricadere solamente su un manufatto in calcestruzzo armato o su di un pendio ripido rinforzato mediante

geosintetici.

L'altezza dell'opera (un valore massimo di 9.20 metri) e il limitato tempo a disposizione per intervenire hanno suggerito la scelta della seconda soluzione. È stato pertanto dimensionato un manufatto in terra rinforzata da realizzarsi con la metodologia cosiddetta del wrap-around, che consiste nel risvoltare il geosintetico di rinforzo (in questo caso geogriglie estruse monostirate in HDPE) in facciata.

Al fine di consentire la realizzazione dell'opera in tempi brevi il terreno interessato dall'intervento è stato espropriato da parte del Comune di Plesio per ragioni di pubblica utilità; la progettazione che è seguita ha dovuto necessariamente tenere conto della volontà da parte dell'Amministrazione Comunale, ma anche dell'Impresa costruttrice del nuovo insediamento residenziale, di limitare il più possibile l'ingombro della nuova opera.

La prima fase dei lavori è consistita nella rimozione del corpo di frana al piede, costituito come visto in precedenza da materiale saturo di scarse caratteristiche meccaniche, sostituendolo con materiale di cava di buone caratteristiche, compattato accuratamente fino al raggiungimento di una altezza di 3.00 metri dal piano originario. Questo strato consentiva innanzi tutto di avere una ottima base di appoggio per il manufatto in terra rinforzata superiore; inoltre, la granulometria del materiale impiegato assicurava comunque il drenaggio delle acque, limitando il rischio di risalite d'acqua.

3. Descrizione del geosintetico utilizzato

Le geogriglie utilizzate sono strutture bidimensionali prodotte in polietilene ad alta densità (HDPE) mediante un processo di estrusione e successiva stiratura in una sola direzione: tali geogriglie sono pertanto indicate come mono-orientate o mono-direzionali. Questo particolare processo di produzione consente di ottenere una struttura monolitica (cioè non costituita per saldatura, tessitura o intreccio) con una distribuzione uniforme di aperture longitudinali allungate e di forma ellittica, aventi un elevato modulo di resistenza a trazione nella loro direzione longitudinale (Fig. 2).

La particolare struttura di questo tipo di geosintetico consente di ottenere un ottimale effetto di incastro con il terreno.

La tipologia di materiale rende le geogriglie utilizzate completamente inerti nei confronti di quelle condizioni chimiche e biologiche che, normalmente, si possono trovare all'interno del terreno.

La particolare tecnica di produzione, la struttura ed i materiali impiegati consentono di ottenere geogriglie con una resistenza a trazione massima che può arrivare a 200 kN/m.

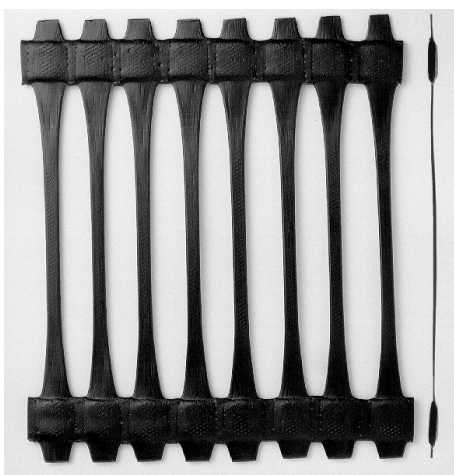


Fig. 2: una geogriglia monostirata in HDPE

4. Parametri di progetto

Le caratteristiche del materiale in sito, come visto in precedenza, erano tali da sconsigliarne l'impiego diretto per la realizzazione di una terra rinforzata; dato il basso valore dell'angolo di attrito, infatti, le lunghezze di ancoraggio necessarie sarebbero state tali da rendere poi impossibile l'ulteriore realizzazione degli edifici. Inoltre la possibile presenza d'acqua nel terreno suggeriva l'impiego di materiale con buone caratteristiche drenanti.

In base a queste considerazioni è stato richiesto all'impresa realizzatrice dell'opera di miscelare il materiale in sito con del misto di cava, simile a quello impiegato per il sottofondo; in questo modo è stato possibile assicurare un grado di addensamento ottimale al manufatto, anche in presenza di intense piogge.

Il solo terreno in sito è stato invece utilizzato in prossimità della facciata del manufatto al fine di facilitare l'inerbimento.

A ridosso del profilo originario, è stata poi realizzata un'opera di captazione e drenaggio delle acque superficiali mediante tubi in PVC microfessurati.

Il dimensionamento dell'opera è stato pertanto eseguito considerando i seguenti parametri di progetto:

peso di volume del terreno di riempimento: $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$;

attrito interno del terreno di riempimento: $\phi = 35^\circ$;

coefficiente della pressione dei pori: $R_u = 0$.

Il rilevato è stato poi dimensionato ipotizzando un sovraccarico verticale massimo in sommità di 20 kPa, corrispondente al valore tipico del sovraccarico stradale.

La verifica è stata fatta considerando una altezza massima del rilevato pari a 9.20 m, ed una inclinazione del paramento di facciata di 75° .

5. Dimensionamento dell'opera

5.1. Analisi di stabilità interna

Il dimensionamento dell'opera è stato effettuato secondo il metodo suggerito da Jewell (1991), mediante il programma di calcolo interattivo TNXSLOPE sviluppato dalla Divisione Geosintetici della TENAX SpA. Il software utilizzato consente di ricavare la resistenza del rinforzo, la spaziatura e la lunghezza di ancoraggio necessari per assicurare all'opera un prefissato fattore di sicurezza nei confronti della stabilità interna. In particolare, i meccanismi di collasso che vengono verificati riguardano lo scivolamento del blocco rinforzato al di sopra della prima strato di geosintetico, lo sfilamento (Pull-

Out) del rinforzo e la rottura del rinforzo stesso. Mediante analisi di una serie di possibili superfici di rottura bi-lineari viene determinato il meccanismo critico, in base al quale si determinano un coefficiente di spinta equivalente e la lunghezza di ancoraggio necessaria.

I calcoli hanno dimostrato come il blocco potesse essere realizzato mediante interposizione di strati di geogriglie TENAX TT 401 SAMP con resistenza a trazione pari a 80.0 kN/m, lunghezza di ancoraggio costante pari a 4.50 m, spaziate di 0.65 m e risvoltati per 1.50 m in sommità.

Tab. 1 - Proprietà delle geogriglie utilizzate

Proprietà	Valore	Unità	Metodo di prova
Polimero	100 % HDPE		
Struttura	Geogriglia estrusa mono-orientata		
Massa areica	770	g/m ²	ISO 9684
Resistenza. Max. a trazione	80	kN/m	GRI-GG1
Deformaz. al picco	13.0	%	GRI-GG1
Resistenza al 2% deformazione	26.0	%	GRI-GG1
Resistenza. al 5% deformazione	48.0	kN/m	GRI-GG1
Resistenza a lungo termine	33.0	kN/m	GRI-GG3

La resistenza ammissibile per le geogriglie utilizzate può essere desunta in base alla normativa GRI-GG4 a partire dal valore di Resistenza di Progetto a Lungo Termine (LTDS), mediante impiego di opportuni Fattori di Sicurezza:

$$P = \frac{LTDS}{(FS_{giunzione} \cdot FS_{chimico} \cdot FS_{biologico} \cdot FS_{danni ambientali})}$$

I Fattori di Sicurezza chimico e biologico per le geogriglie utilizzate sono pari a 1.00, in quanto la tecnologia costruttiva ed i materiali sono tali da garantire contro il rischio di danneggiamento a seguito di aggressione chimica o biologica (le geogriglie in HDPE sono chimicamente e biologicamente inerti). Il Fattore di Sicurezza per la resistenza delle giunzioni è assunto uguale a 1.00 in quanto i test di resistenza a trazione vengono eseguiti dal produttore "attraverso le giunzioni", cioè provando a rottura un campione di geogriglia contenente anche una giunzione.

Il Fattore di Sicurezza contro i danni ambientali è stato assunto pari a 1.00; tale valore è stato assunto in virtù di prove di danneggiamento eseguite in Gran Bretagna (Wright e Greenwood, 1994), che attestano come le geogriglie in polietilene impiegate in questo progetto, sottoposte a sforzi di compattazione a prove di danneggiamento con diversi tipi di terreno, ritengano pressoché completamente la resistenza iniziale.

La Resistenza di Progetto a Lungo Termine (LTDS) può essere ricavata in base a prove accelerate di creep di trazione eseguite a differenti temperature (tipicamente 10°, 20 e 40°C) e con una durata di almeno 10.000 ore, mediante estrapolazione dei risultati a 120 anni (Montanelli e Rimoldi, 1993).

La Resistenza di Progetto a Lungo Termine può quindi essere definita come quella forza che, applicata costantemente alla temperatura di 20°C per un periodo di tempo pari ad almeno 120 anni, produce un allungamento massimo del 10%. LTDS è pari, per le geogriglie impiegate nel progetto, a 33.0 kN/m. In tab. 1 sono riassunti i valori

caratteristici del rinforzo utilizzato.

La Resistenza di Progetto si determina applicando un ulteriore Fattore di Sicurezza Globale FS_g alla resistenza ammissibile: in base all'importanza ed alla durata prevista del progetto tale valore è stato assunto pari a 1.30, come richiesto dalla Normativa Italiana per le Opere in Terra.

5.2 Analisi di stabilità esterna

Come consueto per le opere in terra rinforzata, e come raccomandato dalla normativa italiana per le opere in terra, è stata effettuata la tipica verifica di stabilità esterna per le opere di sostegno (verifica allo scivolamento, al ribaltamento e di capacità portante). In questo caso il blocco rinforzato viene considerato come rigido. Le verifiche eseguite non rappresentano alcuna innovazione, e pertanto non si ritiene necessario descriverle in questa sede.

5.3 Analisi di stabilità globale

Alle verifiche interne ed esterne è doverosamente seguita una verifica di stabilità globale, particolarmente importante in questo caso, trattandosi di un ripristino di pendio franato. Al fine di considerare la presenza degli strati di rinforzo, l'analisi di stabilità deve essere fatta tenendo conto delle forze di trazione, che aumentano considerevolmente il momento resistente.

In tal modo l'analisi di stabilità deve essere modificata e il Fattore di Sicurezza può essere calcolato (Rimoldi e Ricciuti, 1992) mediante la relazione

$$FS = (M_s + M_g) / M_o$$

dove: M_s = momento stabilizzante dovuto alla resistenza a taglio del terreno;

M_g = momento stabilizzante dovuto alla forza di trazione delle geogriglie;

M_o = momento instabilizzante.

L'analisi di stabilità viene poi eseguita secondo i metodi tradizionali (es. Bishop modificato).

Nel caso in questione l'analisi è stata svolta utilizzando il programma di calcolo STABGM, sviluppato dal Virginia Polytechnic Institute and State University (USA).

Il programma ricerca quale sia la superficie di scivolamento circolare, passante per un punto prefissato o tangente a delle superfici piane orizzontali, caratterizzata dal minore fattore di sicurezza; la verifica viene svolta secondo il metodo di Bishop modificato. Il software consente di considerare direttamente la presenza del rinforzo.

In fig. 3 sono rappresentati i risultati relativi ad una sezione tipica del muro, caratterizzata dalla presenza di una berma intermedia.

Sono state considerate superfici di scivolamento circolari, tangenti a piani orizzontali posti a profondità -0.20, -0.60 e -1.00 m dal p.c.

La presenza del sovraccarico stradale è stata simulata con uno strato di terreno di spessore 0.20 m e con peso di volume di 100 kN/m³.

Il FS minimo, pari a 1.402, è stato trovato per il cerchio tangente al piano posto a -0.60 m dal p.c.

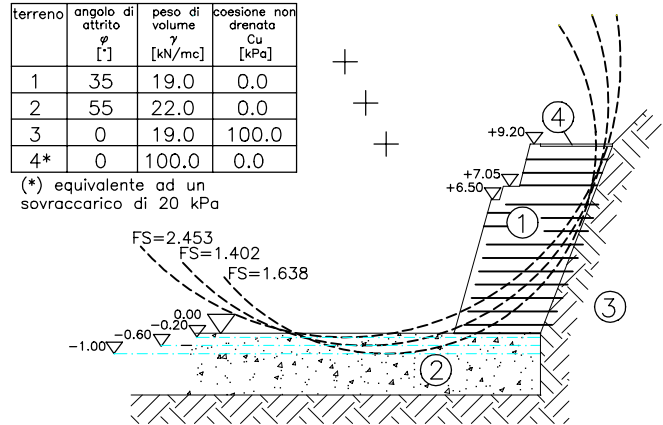


Fig. 3: Verifica di stabilità globale

6. Fasi costruttive

La necessità di ottenere un risultato esteticamente soddisfacente, e allo stesso tempo di operare velocemente, ha suggerito di utilizzare il sistema TENAX RIVEL.

Il sistema impiegato rappresenta una evoluzione della tecnica del "wrap-around", in grado di garantire maggior durata e sicurezza al manufatto e di proporre una miglior finitura dello stesso riducendone i tempi e i costi di realizzazione.

Il sistema prevede in facciata l'utilizzo di un cassero di guida e di appoggio "a perdere", realizzato mediante piegatura meccanica di un foglio di rete elettrosaldata (maglia = 150x150mm, $\phi = 8$ mm); tali casseri sono corredati di ferri distanziatori e puntoni. All'interno del risvolto in facciata della geogriglia di rinforzo è stata posta una stuoia in fibre vegetali (juta), avente la funzione di proteggere la facciata dall'azione erosiva degli agenti atmosferici e di costituire una superficie sulla quale andare ad eseguire l'idrosemina.

Il materiale di riempimento scelto è stato steso e compattato in più tornate dello spessore di 0,30-0,35m, sino ad una costipazione non inferiore al 95% dello Standard Proctor; in prossimità della facciata la compattazione è stata fatta mediante impiego di piastre vibranti, al fine di non caricare eccessivamente gli elementi di facciata; nella parte centrale è invece stato utilizzato un rullo compattatore. In prossimità della facciata, come detto in precedenza, è stato utilizzato il terreno presente in sito. Il sistema scelto ha consentito di procedere con la lavorazione perfino in condizioni climatiche proibitive, con frequenti ed intense precipitazioni temporalesche.

Al fine di ridurre al minimo gli sbancamenti, l'opera è stata realizzata con una geometria particolare, non lineare, che ha comunque assicurato, a lavori conclusi, un gradevole aspetto estetico (Fig. 4). In corrispondenza della sezione di altezza maggiore (9.20 m), il rilevato è stato realizzato con una berma intermedia, avente la funzione di alleggerire il blocco inferiore (Fig. 5). Al termine della realizzazione dell'opera si è provveduto ad idroseminare il rilevato mediante essenze erbacee locali. L'inerbimento ottenuto è stato ottimo, come è possibile vedere in Fig. 6.



Fig. 4: il rilevato durante la costruzione

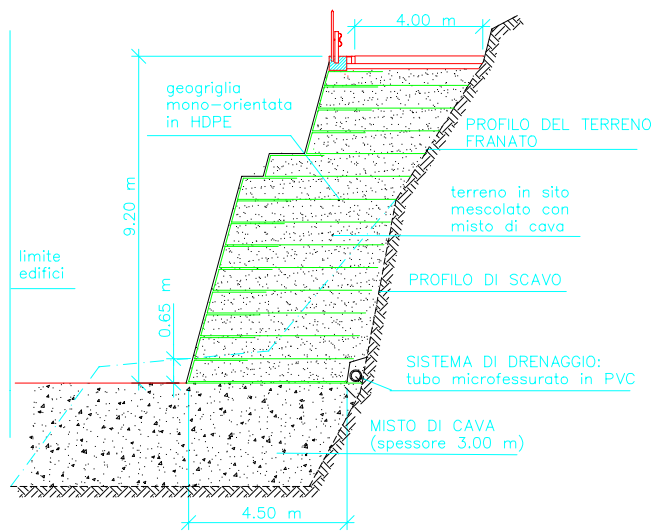


Fig. 5: sezione tipica dell'intervento

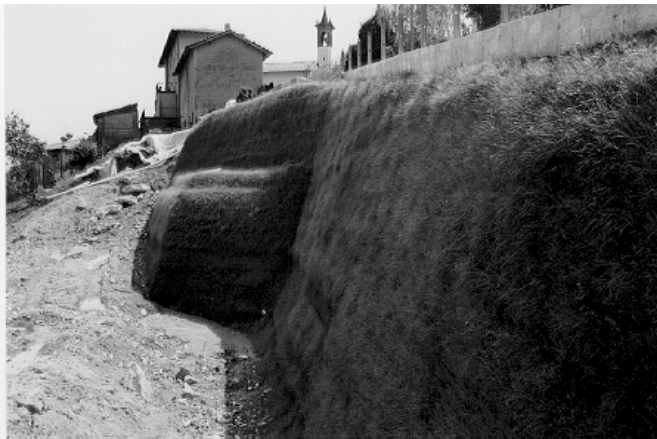


Fig. 6: il rilevato a costruzione ultimata

7. Conclusioni

L'impiego di geosintetici per la ricostruzione del versante ha consentito di:

- creare una struttura di rinforzo alta più di 9,00 m con un fattore di sicurezza soddisfacente;

- realizzare l'opera con estrema semplicità utilizzando e riqualificando i terreni franosi presenti in sito;
- realizzare l'opera con una squadra di soli 4 operatori in meno di 7 giorni lavorativi;
- risolvere il problema in modo economicamente conveniente;
- ripristinare la situazione originaria con un'opera artificiale ma che ha comunque salvaguardato il patrimonio paesaggistico dell'area e riaperto l'accesso carrabile all'abitato da tempo isolato.

8. Bibliografia

Geosynthetic Research Institute (1984), "GRI Test Methods & Standards", Drexel University, Philadelphia, USA.

Jewell, R.A. (1991), "Application of revised design charts for steep reinforced slopes", *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 10, No. 3, 1991, pag. 203 - 234.

Montanelli, F. and Rimoldi, P. (1993) "Creep and Accelerated Creep Testing for Geogrids", *Geosynthetics '93 Conference*, Vancouver, Canada.

Rimoldi, P.; Ricciuti, A. (1992) "The role of geogrid reinforced embankments in landslide stabilization: theory and practice in Italy". *Sixth International Symposium on Landslides*, Christchurch, New Zealand.

Wright, W.C.A. and Greenwood, J.H. (1994), "Interlaboratory trials on installation damage in geotextiles and comparison with site trials". ERA Technology, Report 93-0915, Leatherhead, Surrey, England.

Sommario

A seguito di uno scavo effettuato per realizzare le fondazioni di fabbricati per uso residenziale, nel Comune di Plesio (CO) si è verificato un fenomeno franoso che ha finito per interessare, in fasi successive e fino alla completa distruzione, una strada che sovrastava l'area interessata dai lavori, unico collegamento con alcune abitazioni sovrastanti. Il pendio è stato ripristinato mediante realizzazione di un manufatto in terra rinforzata, con altezza massima di 9.20 m e paramento di facciata inclinato di 75° rispetto al piano orizzontale. La scelta della tipologia di intervento è stata condizionata dalla necessità di operare il più rapidamente possibile, limitando al massimo l'area utilizzata e l'impatto ambientale dell'opera. L'articolo descrive l'intervento realizzato, le caratteristiche delle geogriglie utilizzate, nonché i metodi di calcolo e il sistema di installazione utilizzati per il muro in terra rinforzata.

Summary

During the slope cutting operations for the construction of a new residential building in Plesio (CO), a landslide occurred. A road immediately above the area interested by the cutting operations was almost completely destroyed, thus closing every car access to a part of the town. Severe space and time restrictions, together with environmental considerations, made it necessary to construct a steep reinforced slope, 9.20 m high, with the face inclined at 75°. The article describes the project, the characteristics of the geogrids used, the design methods and installation system adopted for the reinforced soil wall.