

TECCO®

**Sistemi per il consolidamento
di scarpate**

**Congresso AGI
XXII Convegno Nazionale di Geotecnica
Palermo, 22 - 24 Settembre 2004**

L'impiego di sistemi di consolidamento flessibili in reti di acciaio ad alta resistenza nell'ingegneria geotecnica in ambiti di adeguamento e protezione delle infrastrutture



**XXII CONVEGNO
NAZIONALE
DI GEOTECNICA**



Palermo, 22-24 Settembre 2004

*"Sicurezza e adeguamento
delle opere esistenti"*

© Geobrugg Italia SrL
Via C. Battisti 17
IT-20097 San Donato Milanese - MI

Tel. 0251 877 240
Fax 0251 877 241
E-Mail: info@it.geobrugg.com
www.geobrugg.com

L'impiego di sistemi di consolidamento flessibili in reti di acciaio ad alta resistenza nell'ingegneria geotecnica in ambiti di adeguamento e protezione delle infrastrutture.

D.Flum

Fatzer AG Geobruigg Protection Systems,
Romanshorn – Svizzera

L. Borgonovo

SPEA – Ingegneria Europea
Milano

T.Frenez, G.U. Guasti

Geobruigg Italia, Fatzer SA - Sistemi di Protezione,
S.Donato Milanese

SOMMARIO

Le reti metalliche costituiscono una tipologia di materiali largamente utilizzata in Italia e nel mondo per la soluzione di problemi geotecnici da media a modesta entità ma aventi comunque forte peso sull'opinione pubblica per la elevata frequenza di accadimento. Le reti sono normalmente abbinata a sistemi di consolidamento di diversa concezione e campo di impiego, in maniera da consentire in un'unica tipologia di intervento, il consolidamento di versanti che denotano problemi di stabilità sia a livello superficiale, sia a livello profondo. Nella memoria vengono presentati alcuni esempi di interventi eseguiti in ambiti differenti: stabilizzazione di frane superficiali attive, sistemazione spondale, consolidamenti di pareti naturali in arretramento per erosione progressiva. Il sistema descritto è estremamente versatile e permette con impegni economici non elevati di porre in sicurezza opere e infrastrutture che nel tempo hanno subito degrado o che necessitano di adeguamento ai parametri di sicurezza di volta in volta più severi, nonché per l'espandersi dei nuclei abitati in aree non edificate.

Parole chiave: sistemi di consolidamento, frane, ripristino funzionalità, protezione delle infrastrutture

1 INTRODUZIONE

L'impiego di reti in filo e di pannelli di rete in fune d'acciaio ha mostrato grandi potenzialità e adeguatezza in numerosi casi di consolidamento di versanti instabili. Tali tecnologie, usate in tutto il mondo, hanno spesso sostituito massicci e onerosi interventi di stabilizzazione tradizionalmente legati all'utilizzo del calcestruzzo. La superficie aperta delle maglie permette di conseguire ottimi risultati anche in tema di ripristino ambientale o di mitigazione dell'intervento, grazie alla possibilità di rinverdimento su versanti adatti dal punto di vista geomorfologico. Nella maggior parte dei casi, l'utilizzo di reti in filo avente classe di resistenza dell'acciaio di circa 500 N/mm² è sufficiente per conseguire eccellenti risultati in termini di rapporto costi-benefici per scopi di contenimento di detrito. In caso di problematiche di ordine maggiore, tali reti possono diventare insufficienti poiché portate a rottura nel tentativo di trasmettere le forze ai punti di vincolo limitrofi (ancoraggi) per una loro opportuna collaborazione.

Ecco perché, per risolvere casi di instabilità di maggiori proporzioni, sono state introdotte tecnologie di rinforzo costituite da intrecci di funi disposte in geometrie romboidali, o da pannelli di fune di acciaio questi ultimi tuttavia di dimensioni contenute e di per sé discontinui.

Lo sviluppo tecnologico ha permesso di lavorare e produrre reti flessibili costituite da fili in acciaio ad alta resistenza, della classe di 1.770 N/mm² per risolvere i più severi problemi di consolidamento di versanti instabili.

E' inoltre stato sviluppato un sistema di dimensionamento degli interventi (in accordo con l'Eurocodice 7) che, partendo dall'inquadramento geotecnico e geometrico del problema e individuando la tipologia degli elementi di ancoraggio più adatti, permette di giungere al layout definitivo dello schema di consolidamento delle instabilità in terreni, rocce alterate e degradate e rocce massicce.

Gli elementi base del sistema di consolidamento sono la rete flessibile realizzata con il filo elementare di cui si è detto, e gli ancoraggi in barra rigida, piena o cava, la cui disposizione può essere determinata sulla base delle scelte progettuali, fatti salvi, naturalmente, i requisiti di stabilità e relativi Fattori di Sicurezza.

2 IL SISTEMA DI CONSOLIDAMENTO E IL DIMENSIONAMENTO

2.1 Il sistema di consolidamento

E' stata negli anni scorsi messa a punto e introdotta sui

mercati internazionali una rete flessibile in filo di acciaio ad alta resistenza, denominata TECCO®. Nella sua configurazione standard, essa è ottenuta da un filo di acciaio di diametro 3,0 mm con rivestimento in lega Zinco-Alluminio sperimentalmente da 2 a 3 volte più resistente di tradizionali protezioni anticorrosive. La maglia, di forma romboidale, ha misure di 83 x 143 mm ed è ottenuta per semplice torsione del filo agli incroci.

La rete in filo di acciaio presenta resistenze a trazione minime nel senso longitudinale di 150 kN/m, e nel senso trasversale di 60 kN/m.

Questi elevati valori di resistenza nelle due direzioni, permettono agli ancoraggi di collaborare e contribuire al contenimento del movimento franoso, o, in generale, al consolidamento superficiale del versante.

La struttura tridimensionale della rete consente l'ottimale trasmissione delle forze dal terreno alla rete stessa, così come è eccellente la possibilità di fornire supporto alle semine a spruzzo per la rivegetazione dei versanti. Lo sviluppo vegetazionale è indubbiamente favorito dall'abbinamento con una geostuoia in materiale sintetico o una biostuoia antierosione, le quali possono trattenere efficacemente in sito, oltre alle miscele di semina spruzzate, i grani del terreno di dimensioni più minute; l'apertura della maglia della rete in acciaio, avente diametro del cerchio inscritto di 65 mm, richiede infatti che un filtro più fitto impedisca la fuoriuscita ed il colamento del terreno.

Le speciali piastre di ripartizione consentono di fissare la rete in maniera molto aderente al terreno, grazie al pre-tensionamento che la barra di ancoraggio trasmette attraverso la piastra. Tale contributo viene ottenuto serrando il dado dell'ancoraggio fino ad un massimo di 50 kN: valori superiori potrebbero danneggiare la rete per punzonamento e comunque l'operazione, da eseguirsi manualmente per mezzo di chiavi dinamometriche tarate, potrebbe risultare difficile considerate le condizioni di acclività dei versanti sui quali si interviene.



Figura 1. La rete ad alta resistenza, in questo caso accoppiata a geostuoie sintetica anti-erosione.

2.2 Il sistema di dimensionamento

Come ogni corretto approccio alle problematiche geotecniche dovrebbe suggerire, anche i consolidamenti di instabilità superficiali così come per quelle profonde, dovrebbero prevedere un dimensionamento rigoroso. Vero è che per instabilità prevalentemente superficiali, i modelli di calcolo sviluppati ad oggi sono piuttosto carenti in letteratura, intervenendo nella modellazione parametri la cui approssimazione, sui piccoli volumi, può avere un peso determinante. Di conseguenza, il ricorso all'esperienza, ed alla "buona misura" per tenere in conto l'incertezza del problema, è il canone di dimensionamento più utilizzato.



Figura 2. La speciale piastra cuspidata di ripartizione dei carichi dell'ancoraggio, fermamente pressata sul terreno.

La metodologia di consolidamento precedentemente esposta, trova applicazione specialmente per casi più complessi del semplice ciottolo che si distacca da un versante, supera questa incertezza introducendo un modello di dimensionamento denominato RUVOLUM®.

Il nome deriva dall'acronimo degli ideatori del modello (Dipl.Ing. Rudolf Ruegger e Dipl.Ing. Daniel Flum), integrato dal concetto di "pre-tensionamento" attribuibile al sistema di consolidamento, in lingua tedesca *Vorspannung*.

Il modello permette di dimensionare interventi che prevedono l'utilizzo di tecniche di consolidamento superficiale costituito da rivestimenti flessibili in abbinamento a ancoraggi in barra rigida per versanti in terreni ed in rocce alterate. Lo spessore massimo indagabile è quello che permette di idealizzare la superficie di scivolamento principale come piano-parallela al versante, ossia, secondo gli ideatori del modello, entro 2,00m di spessore misurato normalmente alla giacitura del versante. Tale valore può apparire limitato ma d'altro canto, per spessori maggiori, il meccanismo di rottura piano-parallelo, assimilabile al modello del pendio indefinito, diviene decisamente meno probabile e comunque diviene indispensabile un'analisi di stabilità globale secondo criteri di verifica noti ed usati; in questi casi, come illustrato in uno degli esempi descritti in seguito, l'integrazione dei due sistemi (analisi di stabilità superficiale e profonda) appare corretta ed esaustiva.

E' generalmente applicabile a tutti i sistemi di consolidamento superficiale, purché di questi siano note tutte le caratteristiche tecniche e prestazionali, ossia le capacità e le resistenze specifiche determinate sulla base di test di laboratorio.

Il sistema di dimensionamento comprende le verifiche di stabilità per corpi potenzialmente coinvolti in scivolamenti piano-paralleli al versante e le verifiche di stabilità locali per delaminazioni superficiali comprese tra i differenti ordini di ancoraggi. Per ragioni di semplificazione del metodo, l'influenza delle pressioni idrostatiche, pressione dei pori, accelerazioni sismiche e sovraccarichi sono trascurati: un opportuno inserimento critico dei dati di input ne deve tenere conto.

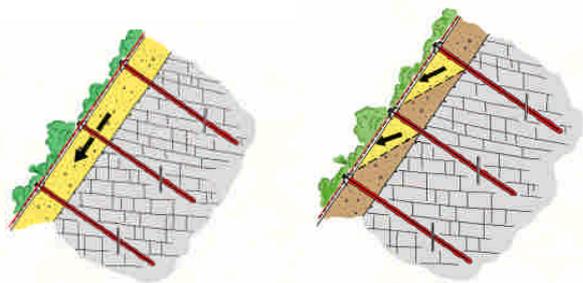


Figura 3. Il sistema di dimensionamento è basato sulla ricerca delle potenziali instabilità lungo superfici piano-parallele (a sinistra) e lungo superfici complesse tra i differenti ordini di ancoraggi (a destra).

2.2.1 Ricerca di instabilità piano-parallele

Gli ancoraggi, concepiti nella tecnica del *soil-nailing*, sono intesi per il consolidamento di uno strato di copertura instabile indefinito rispetto al substrato stabile. Di conseguenza un corpo prismatico, di ampiezza a , lunghezza b e spessore t è stabilizzato tramite un ancoraggio con un certo grado di sicurezza. Dalle considerazioni all'equilibrio, per il corpo prismatico (Figura 4), tenendo conto le condizioni di rottura alla Mohr-Coulomb, può essere formulata l'equazione generale (1) per l'individuazione della forza stabilizzante S , in funzione della geometria e dei parametri di caratterizzazione geotecnica.

Un fattore di sicurezza parziale F_{mod} viene applicato per via della incertezza del modello.

La forza S deve essere assorbita dall'ancoraggio e trasferita ad una profondità sufficiente da oltrepassare, con adeguata sicurezza, la porzione instabile di spessore t , per prevenire fenomeni di pull-out. Un adeguato dimensionamento della profondità cui spingere la perforazione deve essere svolta sulla base di:

- diametro della perforazione
- tipologia della miscela di intasamento
- adesione tra miscela e barra d'acciaio
- adesione tra miscela e pareti del foro (dipendente, quest'ultima, dalle caratteristiche geotecniche dei terreni attraversati con la perforazione).

V rappresenta la forza di pre-tensionamento del sistema (indotta sugli ancoraggi), G il peso del prisma e N e T le forze di reazione esplicitate dal terreno. Il termine $c \cdot A$, compreso nella forza T , descrive l'influenza positiva della coesione lungo la superficie di scivolamento ipotizzata,

che è inclinata di un angolo α (parallela al versante) rispetto all'orizzontale.

$$S \text{ [kN]} = 1 / F_{mod} \cdot \{ F_{mod} \cdot G \cdot \sin \alpha - V \cdot F_{mod} \cdot \cos (\Psi + \alpha) - c \cdot A - [G \cdot \cos \alpha + V \cdot \sin (\Psi + \alpha)] \cdot \tan \varphi \}$$

Equazione 1

Le seguenti tre verifiche di sicurezza devono essere sviluppate relativamente alle instabilità superficiali piano-parallele:

1. verifica della resistenza dell'ancoraggio relativamente allo scivolamento dello strato superficiale
2. verifica della resistenza della rete relativamente al punzonamento (perforazione)
3. verifica della resistenza dell'ancoraggio allo sforzo combinato di scivolamento e punzonamento

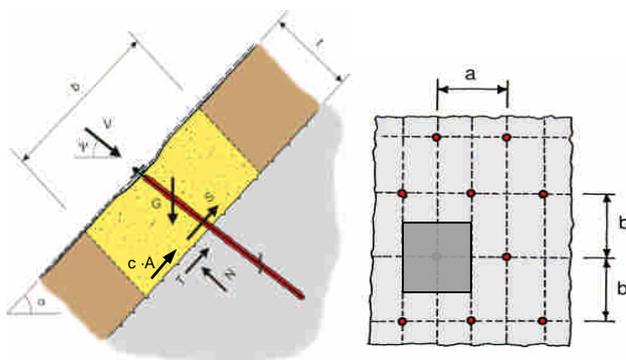


Figura 4. Instabilità superficiali piano-parallele: viene considerato un corpo di spessore costante.

2.2.2 Ricerca di instabilità locali tra linee orizzontali di ancoraggi

La seconda serie di verifiche riguarda corpi in grado di scivolare tra i diversi ordini di ancoraggi. Il sistema di consolidamento superficiale deve essere dimensionato in maniera tale che tutti i corpi compresi tra due linee orizzontali adiacenti di ancoraggi siano stabilizzati, ovvero in maniera che le massime forze agenti siano inferiori alle forze reagenti, mobilizzate in parte tramite gli ancoraggi che trasmettono in profondità le sollecitazioni, ed in parte tramite il rivestimento flessibile.

Per il campo di ampiezza a e lunghezza $2b$ al di sopra di ogni ancoraggio deve essere impedita ogni instabilità locale. All'interno di questo campo, i corpi in grado di scivolare sono di lunghezza massima complessiva $2b$, suddivisi in due porzioni, di lunghezza L_1 e L_2 , queste ultime variabili in funzione delle caratteristiche intrinseche del terreno e del problema nel suo complesso.

Il concetto di dimensionamento andrà sostanzialmente e verificare quali configurazioni nel rapporto L_1 e L_2 sono quelle più gravose per il sistema, secondo i meccanismi di rottura illustrati in Figura 5.

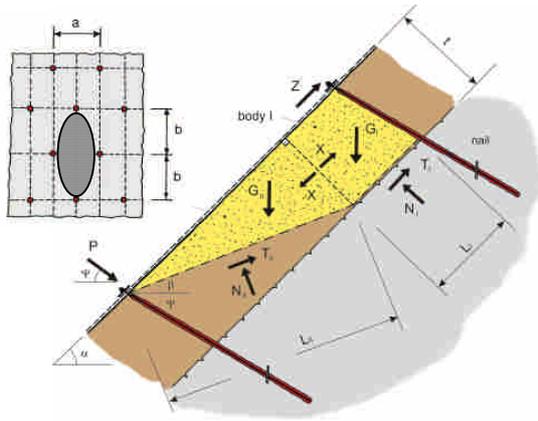


Figura 5. Instabilità locali tra linee orizzontali di ancoraggi.

La rete è pre-tensionata al di sotto dell'estremità dell'ancoraggio con una forza V ottenuta serrando il dado dell'ancoraggio stesso che determina la penetrazione della piastra di ripartizione nel terreno. L'area del terreno nelle immediate adiacenze dell'ancoraggio sarà pertanto influenzata dal carico applicato. Si assume che il tronco di cono stabilizzato nello strato superficiale (Figura 6) rimanga esterno al parallelepipedo potenzialmente instabile che deve essere verificato. La risultante sezione teorica trapezoidale può essere trasformata per semplicità in un rettangolo di uguale area di ampiezza a_{red} e spessore t.

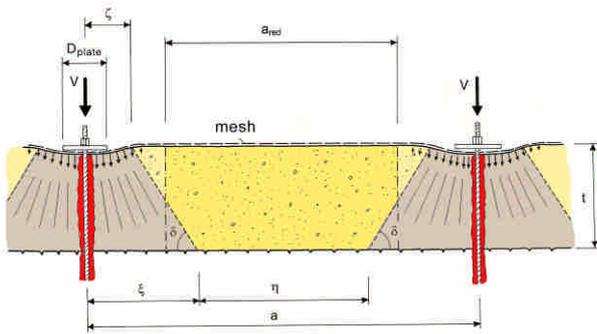


Figura 6. Sezione schematizzata del prisma di spessore t potenzialmente instabile.

$$P \text{ [kN]} = \frac{G_{II} \cdot [F_{mod} \cdot \sin \beta - \cos \beta \cdot \tan \varphi] + (X-Z) \cdot \dots}{F_{mod} \cdot \cos (\beta+\Psi) + \sin (\beta+\Psi) \cdot \tan \varphi}$$

$$\dots \cdot \frac{[F_{mod} \cdot \cos (\alpha-\beta) - \sin (\alpha-\beta) \cdot \tan \varphi] - c \cdot A_{II}}{F_{mod} \cdot \cos (\beta+\Psi) + \sin (\beta+\Psi) \cdot \tan \varphi}$$

Equazione 2

$$X \text{ [kN]} = 1 / F_{mod} \cdot \{ G_I \cdot (F_{mod} \cdot \sin \alpha - \cos \alpha \cdot \tan \varphi) - c \cdot A_I \}$$

Equazione 3

Le equazioni (2) e (3) risultano dalle considerazioni d'equilibrio per un meccanismo di scivolamento di due corpi (Figura 5) e tengono conto del criterio di rottura di Mohr-Coulomb così come, ancora una volta, di un fattore di correzione F_{mod} per l'incertezza del modello. La massima forza P deve essere calcolata al variare della inclinazione β della superficie di scivolamento.

Le seguenti due verifiche di sicurezza devono essere svolte in merito alla ricerca delle instabilità locali tra gli ordini di ancoraggi:

1. verifica della resistenza della rete nei confronti del taglio lungo il bordo superiore della piastra attraverso la massima forza P calcolabile
2. verifica della resistenza della rete nei confronti della trasmissione della forza Z all'ancoraggio superiore.

3 IL CASO DI HELGOLAND (GERMANIA)

Nell'isola di Helgoland, in Germania, sul Mare del Nord, la ripida scarpata "Falm" esposta a Est-Sud Est e costituita da arenarie e siltiti, è interessata da sistemi di fratturazione aventi elevata persistenza, ampie aperture e fitta spazatura. In simili condizioni di intense e importanti discontinuità primarie e secondarie (fratture di rilascio), la presenza di uno strato superficiale alterato e disarticolato rispetto al substrato ha provocato l'innesco di scivolamenti piano-paralleli che hanno danneggiato in maniera sensibile le abitazioni sottostanti (Figura 7).

Il piano di intervento che si è reso necessario ha previsto la rimozione del materiale franato al piede del versante, la bonifica delle porzioni in stato di equilibrio precario rimasto in parete, sostanzialmente nella zona della nicchia e dei fianchi della frana, ma soprattutto il consolidamento delle porzioni laterali alla frana che presentavano le stesse caratteristiche geotecniche e geometriche della zona franata.



Figura 7. La massa di materiale franato in forma sostanzialmente piano-parallela lungo la superficie superiore del substrato stabile ha danneggiato alcune abitazioni a Helgoland (Germania).

Per tale intervento sono stati adottati il sistema di dimensionamento Ruvolum[®] ed il sistema di consolidamen-

to Tecco®, a partire dai dati di input riportati in tabella 1 e dedotti da analisi in sito e in laboratorio. Analisi di stabilità globali, intese nel senso classico con metodi tipo Bishop e Sarna, hanno escluso dinamiche di scivolamenti profondi fondamentalmente poiché al di sotto di uno strato areato, di potenza massima di 1.80 m, la roccia presenta notevole compattezza e discontinuità non significative.

Nel caso specifico, sono stati utilizzati ancoraggi in barra piena, di diametro 32 mm, di acciaio con limite di snervamento

$$\sigma_e \leq 500 \text{ N/mm}^2$$

Considerata la prossimità alla linea di costa, nel rispetto delle Recommendations Clouterre francesi, è stata considerata una riduzione del diametro della barra di 4 mm per effetto della corrosione.

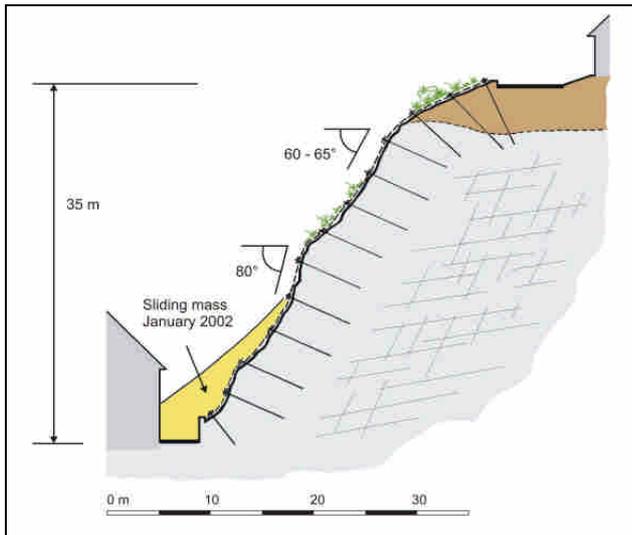


Figura 8. Sezione schematica del sito

I risultati ottenuti con l'applicazione del sistema di dimensionamento sono riepilogati nella tabella 2: la massima interdistanza tra gli ancoraggi è funzione della inclinazione variabile del versante, assumendo uno spessore instabile di circa 1.0 m nelle aree a maggiore acclività. Nella zona sommitale del versante, caratterizzato dalla presenza di terreni di copertura delle rocce, prodotti dall'alterazione e dalla pedogenizzazione di quest'ultime, la profondità degli ancoraggi è stata determinata di 6.0 m, mentre nelle zone rocciose, la profondità è stata di 4.0 m.

Infine, è stato richiesto un sistema di rinverdimento immediato sia per l'inserimento ottimale dell'opera, sia per evitare il continuo dilavamento delle porzioni fini da parte delle frequenti precipitazioni. A tale scopo è stata eseguita in stagione propizia un'idrosemina potenziata di essenze idonee al clima della regione su tutta l'area trattata.

Tabella 1. Inquadramento geotecnico
Caratterizzazione tipica dei terreni

Angolo di attrito	$\phi_k = 45$	gradi
Coesione	$c_k = 0$	kPa
Peso di Volume	$\gamma_k = 24$	kN/m ³

Tabella 2. Risultati ottenuti

Massime interdistanze tra ancoraggi GEWI diam.= 32 mm				
Inclinazione del versante [°]	α	55	65	75
Max. distanza orizzontale [m]	a	3.65	3.00	2.35
Max. distanza verticale [m]	b	3.65	3.00	2.35



Figura 9. Fasi di bonifica controllata del versante



Figura 10. Fasi di perforazione su slitte sospese

Tabella 3. Risultati ottenuti

Area consolidata	7,300 m ²
Numero di ancoraggi GEWI	950
Profondità degli ancoraggi	4.0 – 6.0 m
Totale perforazioni	4,600 m
Tempi di realizzazione	5 mesi

4 IL CASO DI PALENA (CHIETI, ITALIA)

Il Torrente Aventino è caratterizzato da una portata liquida sostanzialmente costante ma soggetto, come molti dei torrenti dell'Appennino Centrale, a rapido innalzamento del livello fino a raggiungere il bordo superiore dell'argine, in occasione di piogge intense o prolungate. Indipendentemente da ciò, in prossimità di una curva dell'alveo presso il centro abitato di Palena, la sponda si-

nistra è stata da sempre interessata da fenomeni erosivi accentuati, che hanno imposto un piano di intervento efficace, veloce nella realizzazione e di impatto ambientale compatibile con il paesaggio.

Fondamentalmente, l'opera progettata e realizzata si inserisce dunque in un intervento d'ambito fluviale, finalizzato ad un piano di recupero dell'area e di protezione del centro abitato dalle esondazioni.

La sezione tipo dell'alveo e lo schema dell'intervento sono rappresentate nelle figure 11 e 12.

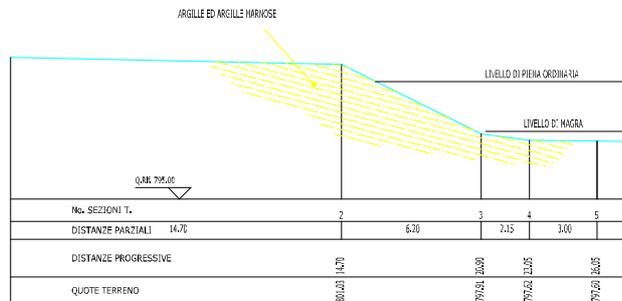


Figura 11. Sezione tipo dell'alveo.

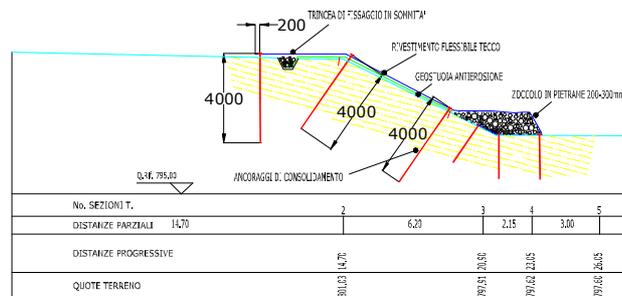


Figura 12. Schema dell'intervento

Anche in questo caso il sistema di consolidamento descritto è stato prescelto per le caratteristiche intrinseche del materiale e segnatamente per la resistenza dell'acciaio alla corrosione, all'abrasione superficiale, nonché per la possibilità di dimensionare l'intervento.

Per ragioni di carattere paesaggistico, il versante dell'argine è stato rivestito, prima della realizzazione dell'opera di contenimento e consolidamento, con una geostuoia tridimensionale antierosione, che ha permesso, con il trattenimento della porzione fine dei terreni affioranti, un pronto ripristino della copertura vegetazionale spontanea.

In merito all'intervento di consolidamento, deve essere aggiunta tuttavia un'ulteriore considerazione: la griglia degli ancoraggi realizzata è più fitta di quanto desunto dal dimensionamento, poiché la morfologia stessa del versante imponeva la realizzazione degli elementi di vincolo in zone ben definite, quali i cambi di inclinazione o la base dello zoccolo in pietra.

Questo sovradimensionamento, a favore di sicurezza, appare comunque ben motivato visto il contesto fluviale, particolarmente severo.

E'interessante notare infatti come a seguito dell'alluvione che ha interessato l'Abruzzo e il Molise ne-

gli ultimi giorni del gennaio 2003, il livello del torrente è salito notevolmente. In occasione di tale piena si è verificato un fenomeno di cospicuo trasporto solido che tuttavia non ha minimamente danneggiato l'intervento, rimasto sostanzialmente nelle condizioni di fine lavori.



Figura 13. L'intervento di messa in sicurezza della sponda sinistra del Torrente Aventino. E' visibile dopo alcuni mesi lo sviluppo vegetazionale al di sopra dello zoccolo in pietra.

5 IL CASO DEL VIADOTTO TECCIO - AUTOSTRADA TORINO-SAVONA

Nell'ambito degli interventi straordinari di ristrutturazione dei Viadotti dell'Autostrada A6 Torino-Savona, è stato previsto un intervento di consolidamento superficiale dei versanti su cui insistono le fondazioni delle pile del Viadotto Teccio, ubicato alla progressiva km 116+599 in Comune di Altare (Savona). I terreni in oggetto, interessati da evidenti fenomeni locali di erosione, sono costituiti dalla coltre detritica proveniente dalle profonde alterazioni e fratturazioni delle rocce anfibolitiche della zona.

I processi erosivi sono causati principalmente dallo scorrimento delle acque meteoriche superficiali, amplificato dalla notevole acclività dei versanti, nonché dalle caratteristiche litologiche e geomeccaniche della copertura detritico-colluviale, caratterizzabile mediante i seguenti parametri di resistenza meccanica:

Tabella 4. Inquadramento geotecnico
Caratterizzazione della coltre superficiale

Angolo di attrito	$\phi_k = 30$	gradi
Coesione drenata	$c_k = 0$	kPa
Peso di Volume	$\gamma_k = 19$	kN/m ³

Oltre alle opere di consolidamento strutturale localizzate alla base delle due pile ubicate a cavallo dell'incisione torrentizia, per le quali i fenomeni erosivi sono più profondi a causa dell'azione di scalzamento del rio, sono stati previsti diffusi interventi di *soil nailing* a valle delle altre pile; tali interventi consistono nella realizzazione di barre in acciaio ad asta cava (diametro esterno 29 mm e spessore 2.7 mm), cementate con malte reoplastiche premiscelate a ritiro compensato.



Figura 14. Dettaglio di una pila del Viadotto Teccio interessata da scaldamento alla base

Anche in questo caso, le barre di ancoraggio ($L = 6 \div 8$ m) saranno attrezzate alla sommità con le speciali piastre cuspidate agenti sul rivestimento flessibile in acciaio ad alta resistenza descritto al paragrafo 2.1.

Drenaggi e captazione delle acque completano il piano degli interventi.

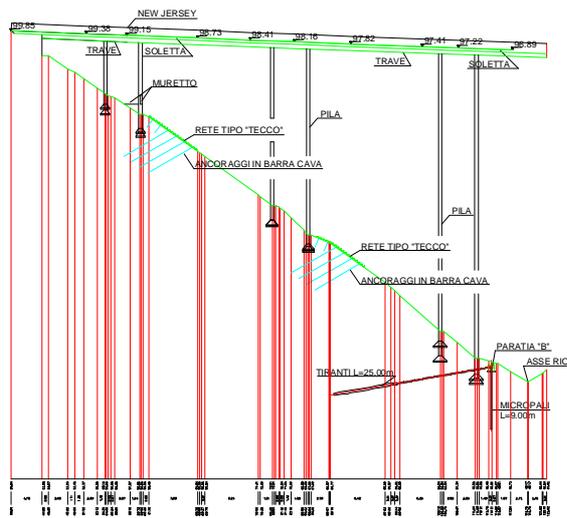


Figura 15. Sezione schematica degli interventi al Viadotto Teccio

Date le condizioni stratigrafiche e geomorfologiche che caratterizzano i versanti in esame, le quali inducono a ritenere più probabili meccanismi di collasso di tipo rotazionale, il dimensionamento dell'intervento di *soil nailing* è stato condotto mediante analisi di stabilità all'equilibrio limite; in particolare, per le analisi di stabilità globale è stato utilizzato il metodo di Bishop. Tale procedura è assolutamente compatibile, anzi complementare, con il sistema di dimensionamento Ruvolum® (illustrato nel paragrafo 2.2), che limita le proprie verifiche di stabilità globale a meccanismi di rottura di tipo traslazionale.

6 CONCLUSIONI

Gli interventi sulle grandi frane concentrano l'attenzione dell'opinione pubblica per gli evidenti rischi e disagi che esse provocano, ma anche il fermento del mondo accademico e industriale per le soluzioni tecniche chiamate a limitare o a annullare tali disagi. Accanto a questi eventi, con frequenza decisamente maggiore, piccole e grandi comunità sono coinvolte in dissesti del territorio che altrettanto pesantemente possono incidere sul tessuto economico e sociale di determinate aree. In parecchie occasioni, per frane di carattere prevalentemente superficiale, sono stati adottati sistemi di contenimento di limitate prestazioni e dimensionate sulla base di esperienze precedenti. Il panorama delle soluzioni è stato recentemente implementato con una tipologia di consolidamento fondata su specifici criteri di dimensionamento che adottano un sistema flessibile costituito da reti in acciaio ad alta resistenza (1770 N/mm^2), in grado di distribuire i carichi agli elementi di ancoraggio profondi per una loro efficace collaborazione nella dissipazione delle sollecitazioni indotte da collassi e smottamenti superficiali.

Diversi casi sono stati affrontati e risolti con il metodo descritto, che si è dimostrato, a distanza di alcuni anni dagli interventi, completamente efficiente in ambiti estremamente differenti tra loro.

7 RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano l'Ing. Vittorio Chiarella di SPEA Ingegneria Europea e l'Ing. Massimo Marini per avere permesso la pubblicazione di questo articolo.

BIBLIOGRAFIA

- Brändlein, P. 2003. Monitoring and supervision of laboratory testing of TECCO® mesh and system components. *LGA Nuremberg, Germany, Test report BGT 0230101*.
- Flum, D. & Rügger, R. 2000. Slope stabilization with high-performance steel wire meshes in combination with nails and anchors. *Symposium on Rock Slope Stability, Seoul, Korea*.
- Flum, D. & Rügger, R. 2001. Slope stabilization with high-performance steel wire meshes in combination with nails and anchors. *International Symposium Earth Reinforcement, Fukuoka, Japan*.
- Flum, D. & Rügger, R. 2002. Die Bemessung flexibler Oberflächenstabilisierungssysteme aus hochfesten Drahtgeflechten in Kombination mit Vernagelungen und Verankerungen in Boden und Fels. *Technical Academy Esslingen, Bauen in Boden und Fels, Germany*.
- Flum, D., Rügger, R. & Guasti G.U., 2004. Dimensionamento di sistemi di consolidamento flessibili superficiali costituiti da reti in acciaio ad alta resistenza in combinazione a elementi di ancoraggio in barra. In *Convegno GEAM: Bonifica dei versanti rocciosi per la protezione del territorio, Trento*, pagg. 461-470.
- Fritz, P. & Kovari, K. 1979. Böschungsstabilität mit ebenen, keilförmigen und polygonalen Gleitflächen. *Rock*

Mechanics, Suppl. 8, 291-316 (1979). Springer-Verlag, Germany.

- Guasti, G.U., 2003: Dimensionamento degli interventi di frane superficiali con il programma Ruvolum, in *Dimensionamento delle strutture, stabilità e materiali per interventi minori su versante*, Facoltà di Agraria - Università di Torino.
- Guasti, G.U., Groner E., 2003. Sistemazione di versanti in frana con geosintetici e reti in acciaio, SAIE - XVI *Convegno Nazionale Geosintetici*, Bologna.
- Norman, Norrish, Duncan 1996. Landslides, investigation and mitigation, special report 247. *Rock slope stability analysis (chapter 15)*. National Academy Press Washington D.C.
- Pont et Chaussées, 1991. *Recommandations Clouterre*, Paris.

ABSTRACT

Use of flexible surface stabilization systems made of high-tensile wire meshes in geotechnical engineering to update and protect existing infrastructures.

Keywords

Slope stabilization, nailing, high-tensile steel wire mesh, dimensioning concept.

Flexible surface stabilization systems consisting in of wire meshes and wire-rope nets in combination with nailing are widely used to stabilize soil and rock slopes. They are relatively cheap solutions and a good alternative to rigid concrete liner walls or massive supporting structures. Apart from conventional steel wire, meshes of high-tensile steel wire are now also available on the market. The latter can absorb substantially higher forces and transfer them onto the nailing.

Special concepts have been developed for the dimensioning of flexible surface stabilization systems for use on steep slopes in more or less homogeneous soil or heavily weathered loosened rock, but also on jointed and layered rock where the bodies liable to break out are determined by joint and layer planes.

Stabilizations implemented in soil and rock, with and without vegetated face, confirm that these measures are suitable for practical application. Compared to the usual superficial systems, it is now possible to design the application starting from geotechnical data and geometrical data as well. The layout, once fixed the type of nails, as GEWI bars as well as self-drilling bars, is given by the grids of the inclusions, whose the corrosion may be taken into account following French recommendations.

The paper refers to three applications of such a system, developed in different ambits.

In Helgoland, Germany, a big weathered and jointed rock cliff was stabilised by means of GEWI bars diam.32mm in addition to the high tensile wire mesh. The design considered different slope angles.

In Palena (Province of Chieti, central Italy), a river bank interested by continuous erosion due to the fluctuation of the water table was protected and stabilised by a boulder (250 to 300mm) embankment rolled up with flexible steel mesh, firmly pressed and anchored to the silty-clay soil by nails. A geosynthetic erosion mat, made of a polyester "spaghetti structure", was underlaid between the wire steel mesh and the soil itself in order to prevent loosen fine grains form eroding.

In Altare (Province of Savona, northern Italy) the piers of the Teccio Viaduct of Torino-Savona motorway are exposed to a weathered rocky cliff. The stabilisation of such a cliff was claimed in order to assure the necessary protection to the piers. Recent big works of modernisation of that motorway would have been left uncompleted, if any of the main infrastructures, as viaducts, had been left in continuous maintenance-needed conditions.

All the jobs, after a variable period of 1 and 2 years up to present, well performed, as no damage has been revealed up to now. Furthermore, one of the shown above examples, the Palena project, underwent to a flood in January 2003, without any sign of failure or damage.

One can drive the conclusion that the system, if properly designed by means of a rigorous geotechnical approach, can be the solution to very serious troubles that infrastructures can suffer due to aging and increasing of solicitations.

Several positive experiences of these and other applications confirm that in several cases the system and its dimensioning concept can really be the answer to superficial instabilities which occur worldwide more often than reported.