



TENAX

GEOSYNTHETICS

SISTEMA INTEGRATO
TENAX RIVEL
PER TERRE RINFORZATE



25.000mq di facciata di Terre Rinforzate nell'ambito degli interventi di sistemazione idraulica dell'area interessata dalla Frana della Val Pola – So

Lo sviluppo degli insediamenti umani è spesso avvenuto in luoghi favorevoli per posizione geografica e condizioni ambientali ma, in alcuni casi, non altrettanto adatti per l'edificazione delle strutture abitative, produttive e commerciali.

Pendii, coste e superfici inospitali sono state modificate nel tempo con tecniche e mezzi in continua evoluzione.

Sistemazioni montane, consolidamento di rilevati stradali, pendii in frana, opere paramassi, canali, dighe, discariche: sono solo alcuni dei numerosi campi d'applicazione delle terre rinforzate con elementi sintetici, una tecnica costruttiva utilizzata in tutto il mondo nelle più avanzate opere d'ingegneria civile, ambientale e geotecnica, nel completo rispetto dell'ambiente.

INTRODUZIONE ALLE TERRE RINFORZATE

Con la definizione "terra rinforzata" s'intende un materiale composito che combina la resistenza di due differenti materiali, il terreno e il geosintetico di rinforzo, in modo da migliorare sinergicamente le caratteristiche globali dell'insieme. In particolare, le proprietà geotecniche del terreno (resistenza a compressione e taglio), sono migliorate dalla combinazione con i geosintetici, materiali in plastica a elevata resistenza a trazione, grazie ai quali è possibile realizzare scarpate e sponde stabili con inclinazioni molto elevate e sezioni trasversali ridotte, risparmiando spazio e materiale di scavo.

Inoltre le terre rinforzate con paramento inerbito sono una valida alternativa al cemento armato, soprattutto quando la dimensione ciclopica dei manufatti comporta una valutazione d'impatto ambientale accurata.

Nel contesto degli interventi di protezione del suolo caratterizzati da un basso o nullo impatto ambientale, si colloca il Sistema brevettato **TENAX RIVEL**, una tecnologia evoluta di terre rinforzate, nel quale l'elemento sintetico di rinforzo è costituito da una geogriglia mono-orientata al 100% in HDPE (polietilene ad alta densità) e giunzione integrale della serie **TENAX TT**.



Nell'area industriale TENAX, situata nel cuore delle verdi colline brianzole, si è reso necessario l'ampliamento del piazzale di stoccaggio dei prodotti.

La realizzazione dei rilevati è stata effettuata con il sistema **TENAX RIVEL** che ha permesso di sfruttare lo spazio fino al limite di proprietà grazie alla realizzazione di muri alti 10 m, inclinati a 75°, completamente vegetati e con la messa a dimora di arbusti ed alberi ad alto fusto.



I GRANDI INTERVENTI E L'AMBITO PRIVATO



La tecnica delle terre rinforzate viene generalmente impiegata per grandi opere d'ingegneria ambientale e nell'ambito della progettazione paesaggistica perché costituisce un prezioso strumento d'intervento per il consolidamento dei versanti e la prevenzione dei fenomeni di dissesto idrogeologico. La flessibilità del sistema **TENAX RIVEL** e la semplicità dell'installazione ne consentono l'utilizzo anche in opere di piccola entità, come ad esempio richiesto in ambito privato per il consolidamento o la profilatura di pendii, scarpate e sponde o per ridurre l'impatto ambientale delle opere edili.

arginatura in terra rinforzata (h.35m) per dell'ampliamento mediante sopraelevazione della discarica di Nent (Hong Kong)

ripristino di versante franato
- fine lavori

ripristino di versante franato
- completamente vegetato

rilevato ferroviario e raccordo con
viadotto Newton Cap sul fiume
Wear, Inghilterra.

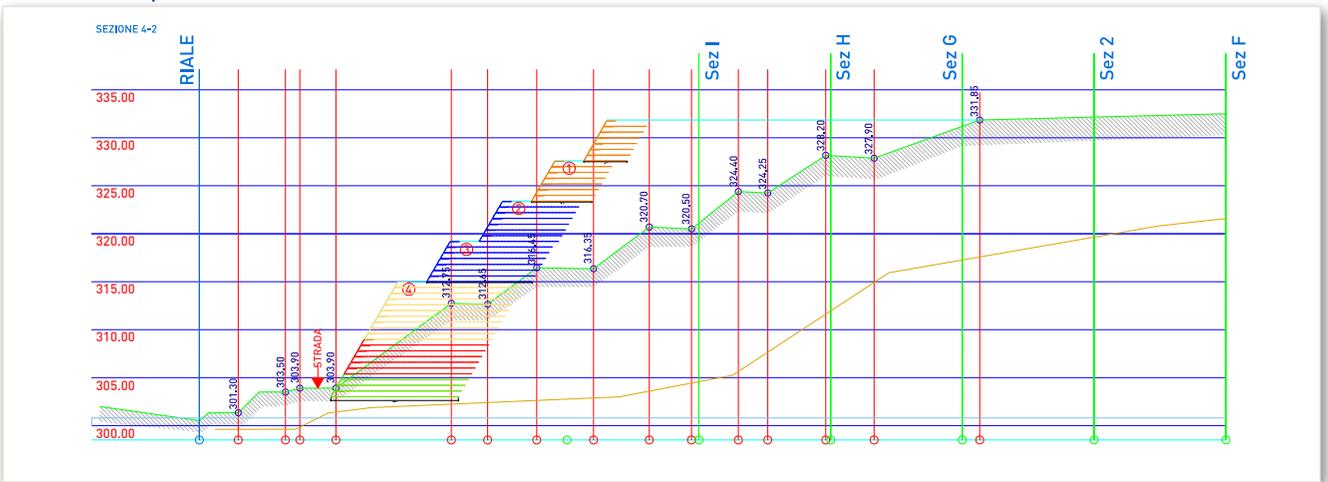
giardini sub-verticali in
terra rinforzata nell'Orto Botanico
Trautmannsdorf, Merano





Ripristino pendio franato (h.20m) in località Serravalle Pistoiese (PT) sulla linea ferroviaria Firenze-Lucca.

SEZ.TIPO A - Riqualficazione tenuta "Il Castello di Cantone"

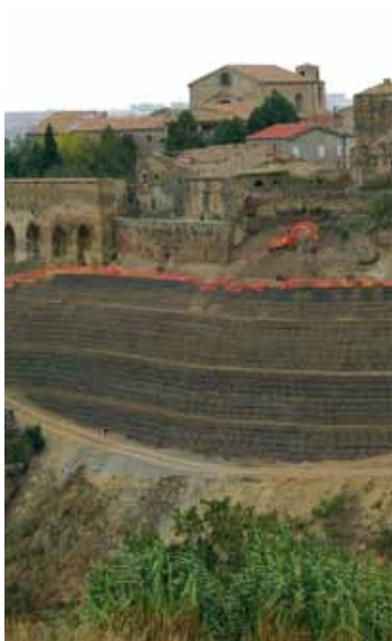


Riqualficazione discarica di inerti con realizzazione di un maneggio - tenuta "Il Castello di Cantone" (Svizzera) (SEZ.TIPO A)

Lavori di manutenzione straordinaria e consolidamento dei costoni a Genzano di Lucania (PZ)

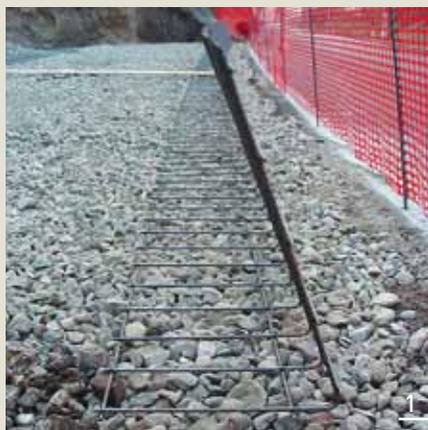
Barriera Fonoassorbente sulla Tangenziale Est di Milano in prossimità del Centro Commerciale Torri Bianche di Vimercate (MI)

Argine perimetrale di contenimento Discarica di Villaputzu (CA)



PROCEDURE D'INSTALLAZIONE E DETTAGLI COSTRUTTIVI

TENAX RIVEL è un sistema semplice da installare e non richiede l'impiego di manodopera specializzata. Per risultati ottimali occorre comunque attenersi alle specifiche indicazioni progettuali e alle procedure d'installazione.



1. Preparazione del piano di fondazione:
per evitare eccessivi assestamenti del manufatto e possibili deformazioni della geometria dell'opera è importante che il piano di fondazione sia predisposto adeguatamente per il carico previsto. È consigliabile prevedere anche la realizzazione di uno strato drenante di base. Eseguire il tracciamento del rilevato (**foto 1**).

2. Montaggio del sistema:

- 2.1. Posizionare e allineare i casseri metallici collegandoli tra loro con filo di ferro;
- 2.2. Svolgere le bobine di geogriglia e tagliarle con un cutter secondo le lunghezze indicate nel progetto (si consiglia la predisposizione di un'area per eseguire questa operazione). La lunghezza del taglio è determinata dalla profondità di ancoraggio, dal risvolto in facciata (circa cm 70) e dalla lunghezza del risvolto superiore (minimo cm 150);
- 2.3. Posizionare i tagli di geogriglia adagiandoli sul piano di fondazione, all'interno del cassero, in strati perpendicolari al fronte; la geogriglia dovrà scorrere aderente alla facciata interna del cassero e avanzare verso l'esterno di una porzione (risvolto) pari a circa cm 150 (**foto 2**);
- 2.4. L'estremità posteriore dei tagli di geogriglia dev'essere fissata al terreno con picchetti in ferro sagomati a "U" per mantenere la geogriglia tesa e in posizione;
- 2.5. Procedere con la posa della stuoia antierosiva: foderare internamente il fronte, svolgendo la stuoia già fornita in rotoli di altezza appropriata, di circa cm 100 (**foto 3**);
- 2.6. Posizionare i tiranti necessari per l'irrigidimento del cassero, uno ogni 45 cm circa (**foto 4**).



3. Stesa e compattazione del materiale di riempimento:

- 3.1. Stendere il materiale di riempimento previsto e fornito a piè d'opera sopra le geogriglie in strati di circa 30 cm; in prossimità della facciata è consigliabile l'utilizzo di terreno vegetale per circa 25-30 cm (**foto 5**).
- 3.2. Compattare fino ad ottenere una costipazione non inferiore al 95% dello Standard Proctor. In prossimità della facciata, per la profondità di circa 1,00 m, la compattazione avviene mediante vibro-costipatori o piastre vibranti; nella zona retrostante si utilizzano rulli compattatori di idonee capacità (**foto 6 e 7**).

3.3. Completato il riempimento, risvoltare la porzione di geogriglia precedentemente lasciata esterna al cassero metallico, sul terrapieno compattato, tenderla leggermente e fissarla con picchetti in ferro sagomati a "U".

4. Ripetere le operazioni di montaggio dal punto 2.1 al punto 3.3 fino al raggiungimento della quota di progetto.

5. Qualora non sia stato utilizzato un feltro vegetativo preseminato, procedere con l'idrosemina della facciata o con la messa a dimora di piante tappezzanti, arbustive o talee.





Esempio di posizionamento di un parapetto o guard-rail.



Particolare dell'angolo di raccordo della terra rinforzata con strutture già esistenti in cemento armato (tipo muri d'ala, spalle di ponte).

Dettagli architettonici e finitura con geotessile di pacciamatura in attesa di inserimento di tappezzanti.



Le geogriglie vengono sovrapposte in testa o in coda a seconda che il tratto sia concavo o convesso.

Parapetto in accordo alle normative di sicurezza in cantiere.

Posizionamento degli embrici metallici per il deflusso delle acque superficiali.

Prima del riempimento dell'ultimo corso del rilevato è possibile realizzare i pozzetti in cemento che contengono i pali d'illuminazione stradale.



I COMPONENTI DEL SISTEMA

L'elemento di rinforzo

Le geogriglie **TENAX TT** sono strutture bidimensionali realizzate in HDPE mediante processo di estrusione e stiratura mono-direzionale e sono certificate per la realizzazione di pendii ripidi rinforzati con inclinazione fino a 85° dall'ITC-CNR (Istituto per le Tecnologie della Costruzione-Consiglio Nazionale delle Ricerche).

Resistenza di progetto a lungo termine

Le geogriglie **TENAX TT** sono state sottoposte a prove di creep di trazione per oltre 10 anni, a varie temperature; dai risultati di tali prove, estrapolati a 1.000.000 di ore (120 anni), si ricava una resistenza a lungo termine superiore al 40% della resistenza di picco. La resistenza a lungo termine delle diverse geogriglie in commercio deve essere comparata sulla base di un metodo di prova comune, che rappresenti il comportamento delle geogriglie e non dei loro componenti; per esempio, test di creep sulle fibre delle geogriglie tessute sono fuorvianti: il valore di RPLT pari al 60% della resistenza a trazione è riferito alla fibra costituente la geogriglia tessuta mentre l'effettivo valore corrisponde al 40% del picco.

Tabella A RESISTENZA A TRAZIONE

| Caratteristica | U.M. | TT045 |
|--|------|-------|
| Resistenza a trazione | kN/m | 45 |
| Deformazione al picco | % | 11,5 |
| Resistenza delle giunzioni | kN/m | 35 |
| Resistenza a lungo termine (RPLT) a 120 anni | kN/m | 18,5 |
| Resistenza al 2% di allungamento | kN/m | 11,0 |



Resistenza al danneggiamento

Quando il terreno, specialmente se si tratta di ghiaia spaccata, viene steso sulle geogriglie e compattato, le stesse possono subire danneggiamenti dovuti al punzonamento e all'abrasione da parte dell'aggregato.

Estesi programmi di prove, condotti per valutare la resistenza a trazione residua di differenti geosintetici sottoposti a una procedura di danneggiamento in laboratorio e su scala reale, dimostrano come il comportamento di geogriglie estruse e geogriglie tessute sia completamente differente. Il processo produttivo delle geogriglie estruse **TENAX** consente di ottenere un prodotto con elementi (longitudinali e trasversali) tali da garantire la continuità delle catene molecolari su tutta la struttura monolitica della geogriglia. Tale struttura è meno sensibile

al taglio, all'abrasione, alla perforazione e al danneggiamento da compattazione, anche in occasione di notevoli energie d'impatto quali lo scarico diretto dell'aggregato sulle geogriglie. Il Fattore di Sicurezza al danneggiamento durante la costruzione può essere assunto come indicato in Tabella B1. Contrariamente, le singole fibre costituenti gli elementi longitudinali e trasversali delle geogriglie tessute, vengono facilmente tagliate dalle particelle di aggregato e il sottile strato di copertura in PVC o materiali simili non è sufficiente a proteggerle. Un'indicazione sui parametri di riduzione per danneggiamento meccanico per alcuni tipi di geosintetici di rinforzo in commercio è stata fornita dalla Federal Highway Administration statunitense (Elias, 1996), come illustrato in Tabella B2.



| Table B1 FATTORE DI SICUREZZA AL DANNEGGIAMENTO (I.T.C.) | | |
|--|----------------------------------|--------------------------|
| Tipo di terreno | D _{max} particelle (mm) | Fattore f _{red} |
| Ghiaia con Pietrame | < 125 | 1,07 |
| Ghiaia Spaccata Grosse | < 75 | 1,03 |
| Ghiaia Spaccata Media | < 40 | 1,00 |
| Sabbia, Argilla e Limi | < 5 | 1,00 |

| Table B2 FATTORE DI SICUREZZA AL DANNEGGIAMENTO (FHWA) | | | |
|--|----------------------|-------------------------|------------------------|
| Tipologia di rinforzo | Tipologia di terreno | D _{max} 100 mm | D _{max} 20 mm |
| | | D ₅₀ 30 mm | D ₅₀ 0,7 mm |
| Geogriglie tessute in PET ricoperto in PVC | | 1,30 - 1,85 | 1,10 - 1,30 |
| Geotessili tessuti [PP e PET] | | 1,40 - 2,20 | 1,10 - 1,40 |
| Geotessili nontessuti [PP e PET] | | 1,40 - 2,50 | 1,10 - 1,40 |
| Geotessili e bandelette [PP] | | 1,60 - 3,00 | 1,10 - 2,00 |

Bodkin:
collegamento
longitudinale
di due porzioni
di geogriglia
TENAX TT.



RESISTENZA DELLE GEOGRIGLIE TT (Certificato ITC N 580/02)

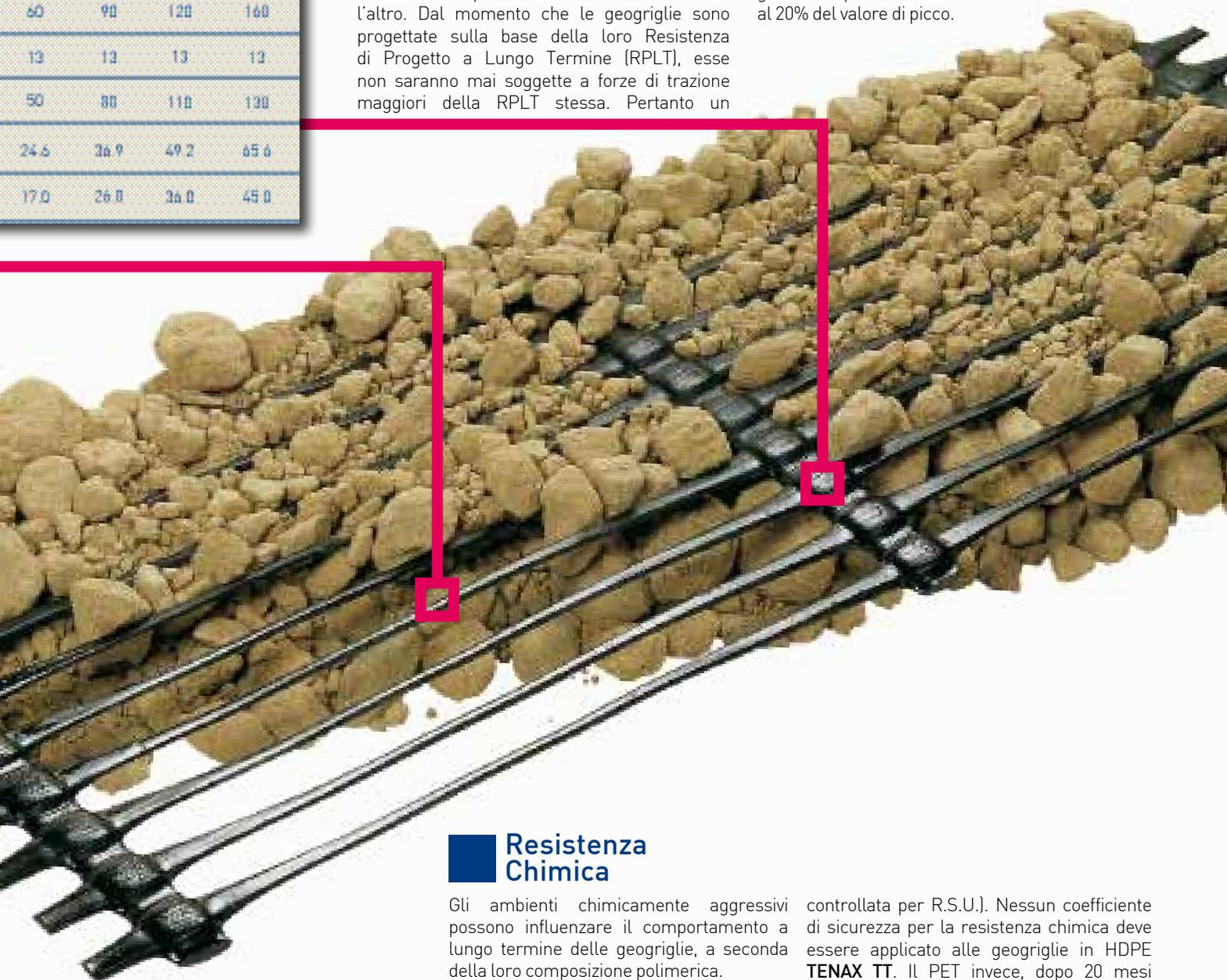
| TT060 | TT090 | TT120 | TT160 |
|-------|-------|-------|-------|
| 60 | 90 | 120 | 160 |
| 13 | 13 | 13 | 13 |
| 50 | 80 | 110 | 130 |
| 24.6 | 36.9 | 49.2 | 65.6 |
| 17.0 | 26.0 | 36.0 | 45.0 |

Resistenza delle giunzioni

La resistenza delle giunzioni è un parametro fondamentale per la valutazione del confinamento laterale provvisto dalla geogriglia al terreno e del comportamento a sfilamento della geogriglia stessa dal terreno. Inoltre ogni qual volta si debba realizzare una connessione longitudinale tra due porzioni di geogriglia (bodkin), la resistenza delle giunzioni assume anche un'importanza strutturale, dal momento che devono permettere la trasmissione degli sforzi tra una porzione e l'altra e tra un filo e l'altro. Dal momento che le geogriglie sono progettate sulla base della loro Resistenza di Progetto a Lungo Termine (RPLT), esse non saranno mai soggette a forze di trazione maggiori della RPLT stessa. Pertanto un

approccio razionale alle specifiche è che la resistenza delle giunzioni debba essere uguale perlomeno a $1.50 \times RPLT$, così come avviene per le geogriglie **TENAX TT**. Se questa relazione è soddisfatta, allora nessun ulteriore coefficiente di sicurezza deve essere applicato per la resistenza delle giunzioni.

La resistenza delle giunzioni differenzia in modo evidente le geogriglie estruse da quelle tessute o saldate, per le quali la resistenza a trazione delle giunzioni è pari al massimo al 20% del valore di picco.



Resistenza Chimica

Gli ambienti chimicamente aggressivi possono influenzare il comportamento a lungo termine delle geogriglie, a seconda della loro composizione polimerica.

L'HDPE è universalmente considerato il polimero più inerte e pertanto più resistente all'aggressione chimica.

Prove eseguite in U.S.A. su geogriglie **TENAX TT** in accordo agli Standard E.P.A. 9090, certificano che le stesse non temono attacchi chimici da parte delle sostanze presenti naturalmente nel terreno, o addirittura in ambienti particolarmente aggressivi (per esempio una discarica

controllata per R.S.U.). Nessun coefficiente di sicurezza per la resistenza chimica deve essere applicato alle geogriglie in HDPE **TENAX TT**. Il PET invece, dopo 20 mesi di esposizione ad un ambiente con $pH=9$, può subire una perdita di resistenza pari al 9% (persino in acqua pulita, per un tempo analogo, l'idrolisi causa una perdita di resistenza del 3%). Per i materiali in PET (geotessili o geogriglie tessute) privi di idonee certificazioni che ne garantiscano la resistenza, l'ente americano FHWA suggerisce di adottare dei fattori di sicurezza parziali molto conservativi (vedi Tabella C).

Il materiale di riempimento

La tecnica delle Terre Rinforzate consente di utilizzare qualsiasi tipo di terreno di riempimento; è comunque preferibile utilizzare un materiale granulare drenante con elevato angolo di attrito interno, possibilmente privo di ciottolame di grossa pezzatura che renderebbe difficoltosa la compattazione.

Nel caso in cui il materiale inerte reperibile in cantiere abbia scarse proprietà

geomeccaniche, si consiglia la miscelazione con sabbia e ghiaia.

È anche possibile utilizzare terreni scadenti stabilizzati a calce.

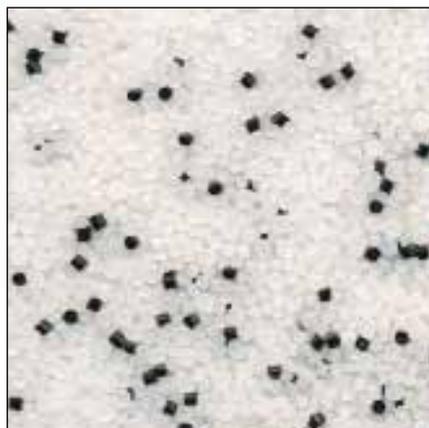
Questo accorgimento è efficace con geogriglie estruse in HDPE ma non è applicabile a rinforzi in PET, soggetti a decadimento chimico in ambiente basico. In prossimità del paramento si consiglia il riempimento con terreno vegetale, al

fine di creare le condizioni ottimali per l'attecchimento e la permanenza del cotico erboso.

Il materiale di riempimento verrà steso e compattato in più tornate dello spessore consigliato di 0,30 - 0,35 m, sino ad una costipazione non inferiore al 95% dello Standard Proctor.



Le geogriglie **TENAX TT** sono stabilizzate utilizzando un master di colore nero contenente Carbon Black che protegge il polimero dalla degradazione causata dai raggi U.V.



Resistenza al fuoco

Per verificare l'effettivo pericolo apportato alla stabilità ed all'integrità di una struttura in terra rinforzata con geogriglie **TENAX TT**, bisogna considerare le seguenti situazioni:

Incendio dopo la posa in opera, prima della crescita della vegetazione.

In queste condizioni, l'elemento di rinforzo presente in facciata potrebbe subire un danneggiamento a causa del fuoco; tuttavia, la cassetta metallica impiegata nel sistema **TENAX RIVEL** fornisce un efficace sostegno al terreno di facciata anche nel caso in cui l'elemento di rinforzo sia localmente distrutto.

La stabilità dell'opera, invece, non risulta essere in alcun modo compromessa poiché la parte del rinforzo che fornisce la stabilità è quella all'interno del terreno. Perché un incendio possa propagarsi, è necessaria la presenza di un combustibile

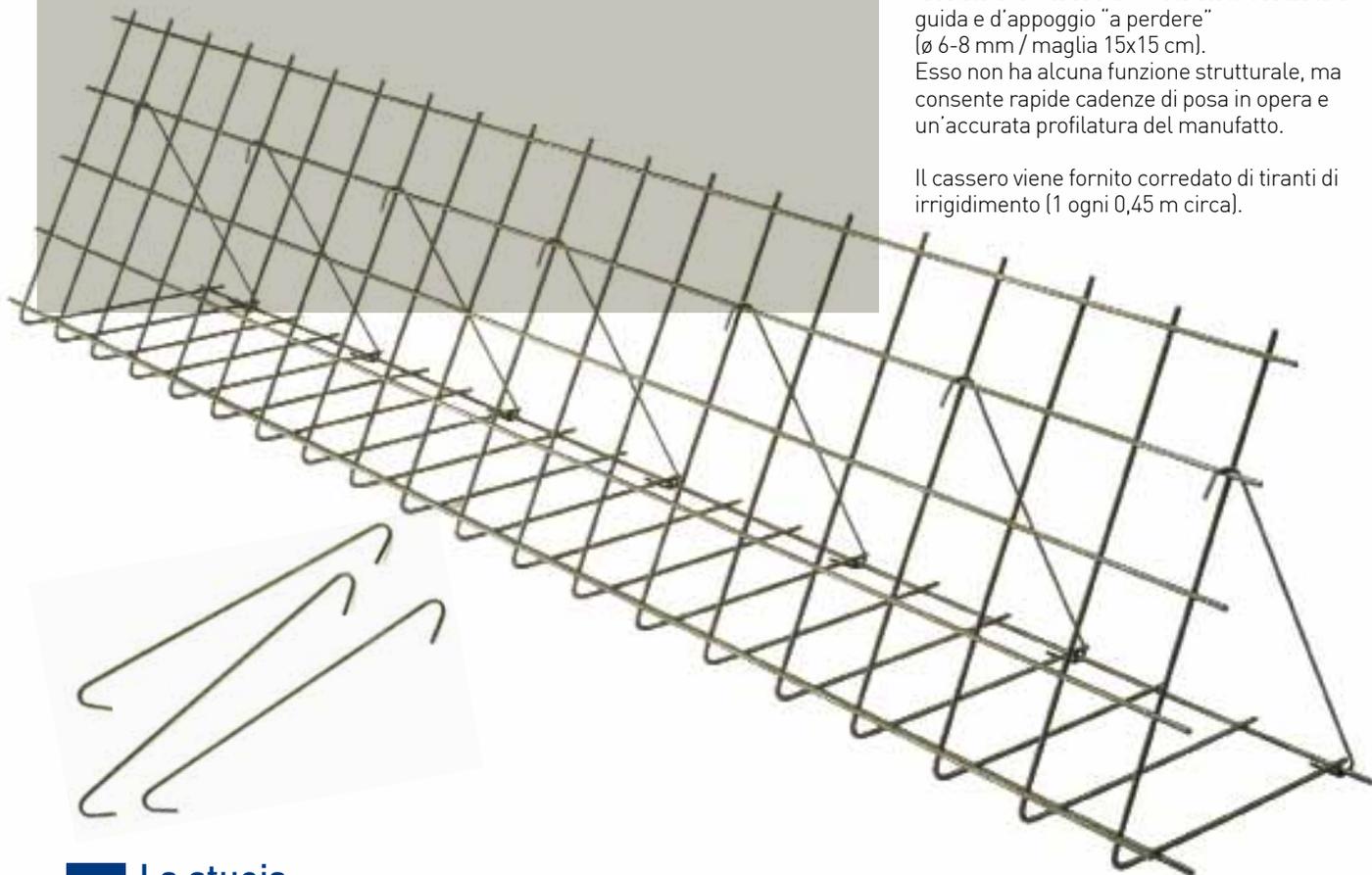
e di un comburente. Tutte le materie plastiche, ancorché autoestinguenti, sono dei combustibili; il comburente necessario per consentire la propagazione della fiamma è l'ossigeno.

All'interno del terreno costituente la terra rinforzata viene a mancare il comburente; la fiamma, non trovando possibilità di alimentazione, non ha quindi modo di propagarsi e danneggiare il tratto importante per la stabilità dell'opera.

Incendio dopo la posa in opera, con incendio inerbito. In questo caso il vero combustibile è l'erba: le fiamme si propagano al di sopra della superficie del terreno in quanto la fiamma tende a propagarsi verso l'alto; pertanto la superficie infiammata è distante dall'elemento di rinforzo presente in facciata.

| Tabella C FATTORI DI RIDUZIONE PER AGGRESSIONE CHIMICA PER DIFFERENTI GRADI DI ACIDITÀ DEL TERRENO (FHWA) | 3 ≤ pH < 5 | 5 ≤ pH ≤ 8 | 8 ≤ pH ≤ 9 |
|---|-------------------|------------|------------|
| | Geotessili in PET | 2,00 | 1,60 |
| Geogriglie tessute in PET ricoperte in PVC | 1,30 | 1,15 | 1,30 |

Gli elementi di facciata



Il Cassero in rete elettrosaldata

Il sistema **TENAX RIVEL** prevede l'utilizzo in facciata di un cassero in rete elettrosaldata di guida e d'appoggio "a perdere" (\varnothing 6-8 mm / maglia 15x15 cm).

Esso non ha alcuna funzione strutturale, ma consente rapide cadenze di posa in opera e un'accurata profilatura del manufatto.

Il cassero viene fornito corredato di tiranti di irrigidimento (1 ogni 0,45 m circa).

La stuoia antierosiva

In ogni intervento d'ingegneria naturalistica la vegetazione riveste un ruolo attivo nell'azione di protezione del versante. Senza il suo contributo l'intervento si presenta incompleto e di minor efficacia. L'inerbimento del paramento mediante idrosemina occulta completamente gli elementi artificiali del sistema e riduce drasticamente l'impatto ambientale dell'opera. Di norma, per l'inerbimento delle terre rinforzate vengono utilizzate specie erbacee perenni appartenenti alla famiglia delle leguminose e delle graminacee.

I tempi di germinazione e di finitura a verde del manufatto possono variare da quattro a otto settimane, a seconda delle condizioni climatiche della stagione.

Si consiglia di effettuare l'idrosemina durante i mesi più umidi dell'anno. Al fine di proteggere il paramento dei manufatti in terra rinforzata dall'azione erosiva degli agenti atmosferici e offrire una superficie idonea all'idrosemina, il sistema **TENAX RIVEL** prevede l'utilizzo in facciata di una biostuoia in fibre di juta o di paglia e cocco.

Per evitare l'intervento e gli oneri di idrosemina è possibile utilizzare un Feltro Vegetativo Preseminato.

Costituito da una trama di fibre in viscosa biodegradabili che incorporano sementi di diverse specie erbacee e fertilizzanti, il Feltro Vegetativo Preseminato consente una crescita veloce, diffusa e uniforme della vegetazione e garantisce la totale copertura del paramento minimizzando l'asportazione dei semi e del terreno vegetale da parte degli agenti atmosferici. La germinazione viene facilitata dalla lenta biodegradazione del tessuto che, non lasciando alcun residuo chimico-fisico, non altera l'equilibrio dell'ecosistema circostante. La scelta del mix e della quantità di semi per metro quadro può essere appositamente studiata per particolari esigenze progettuali, condizioni pedologiche e climatiche.

La copertura vegetale del paramento può essere effettuata anche tramite la messa a dimora di talle, rizomi e arbusti, inseriti tra uno strato di rinforzo e l'altro: in questo modo viene garantito un effetto coprente uniforme.



ACCENNI DI TEORIA

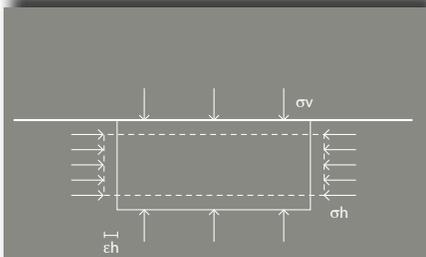


Fig. 1a

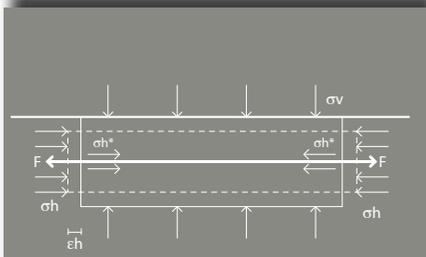


Fig. 1b

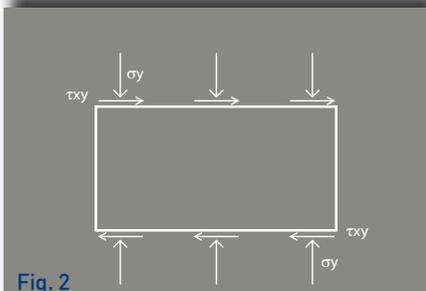


Fig. 2

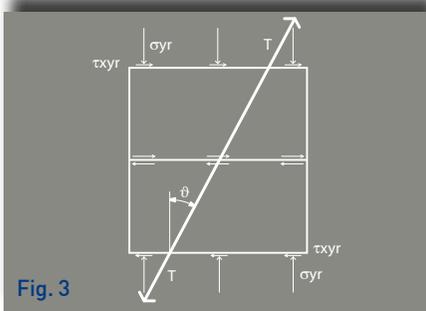


Fig. 3

Un semplice modello aiuta a spiegare il principio su cui si basa la tecnica delle terre rinforzate.

Un elemento di terreno (**Fig. 1a**), parte di una massa indefinita, a seguito dell'applicazione di uno sforzo verticale σ_v subisce una deformazione orizzontale ϵ_h ; a tale deformazione il terreno adiacente si oppone con un'azione di confinamento orizzontale σ_h .

Quando un elemento di rinforzo è inserito all'interno del terreno (**Fig. 1b**) la deformazione orizzontale ϵ_h subita dal terreno provoca una deformazione del rinforzo stesso, alla quale lo stesso rinforzo oppone una reazione F che si traduce in un'ulteriore sollecitazione a compressione σ_h^* . L'inclusione di un elemento di rinforzo consente quindi d'incrementare la resistenza a compressione del terreno. Considerando le sollecitazioni di taglio (**Fig. 2**), in un elemento di terreno incoerente abbiamo:

$$(\tau_{xy})_{\max} = \sigma_y \cdot \tan \phi_{\max}$$

dove:

ϕ_{\max} = massimo angolo di resistenza a taglio del terreno;

$(\tau_{xy})_{\max}$ = massimo sforzo di resistenza a taglio fornito dal terreno.

Quando l'elemento di terreno è attraversato da un elemento di rinforzo inclinato di un angolo θ rispetto alla verticale (**Fig. 3**), lo stato tensionale è modificato perchè la sollecitazione T genera uno sforzo di taglio prodotto dalla componente tangenziale $T \cdot \sin\theta$, mentre la componente normale $T \cdot \cos\theta$ genera un'altra τ_{xy} dovuta all'angolo d'attrito ϕ_{\max} del terreno.

$$(\tau_{xyr})_{\max} = \sigma_{yr} \cdot \tan \phi_{\max} + (T/A_s) \cdot \cos\theta \cdot \tan \phi_{\max} + (T/A_s) \cdot \sin\theta$$

| | | | |
|----------------------------------|--|--|--|
| Resistenza a taglio totale | Resistenza a taglio del solo terreno | Sforzo di taglio generato dalla componente normale di T | Sforzo di taglio generato dalla componente tangenziale di T |
|----------------------------------|--|--|--|

dove:

A_s = area dell'elemento di rinforzo.

$(\tau_{xyr})_{\max}$ = massimo valore di resistenza a taglio del terreno rinforzato. In tal modo lo sforzo normale sull'elemento di terreno è incrementato di:

$$\sigma_y \wedge = (T/A) \cdot \cos\theta$$

mentre il massimo sforzo di taglio che il terreno può sopportare è incrementato di:

$$\tau_{xyr} \wedge = (T/A_s) \cdot \cos\theta \cdot \tan \phi_{\max} + (T/A_s) \cdot \sin\theta$$



Prova di taglio eseguita presso il laboratorio di TENAX SpA.

I fattori influenzanti la resistenza a taglio del terreno rinforzato sono:

- ▶ resistenza e rigidità del rinforzo relativamente al terreno circostante;
- ▶ posizione del rinforzo;
- ▶ forma del rinforzo, che deve poter sviluppare un elevato angolo d'attrito apparente all'interfaccia con il terreno;
- ▶ caratteristiche di creep (allungamento sotto carico di trazione costante) del rinforzo durante la vita di progetto;
- ▶ durabilità del rinforzo.

In particolare la struttura geometrica del rinforzo deve garantire un attrito elevato, tale da evitare possibili sfilamenti del rinforzo stesso a causa della forza di trazione T cui è sottoposto. Bisogna rilevare che un rinforzo troppo rigido, per esempio un elemento metallico, può rompersi per piccole deformazioni senza mobilitare valori di resistenza elevati; materiali troppo estensibili (tipo geotessili non tessuti) non riuscirebbero a fornire un rinforzo sufficiente se prima non si verificano grosse deformazioni, solitamente incompatibili con la vita di una struttura.

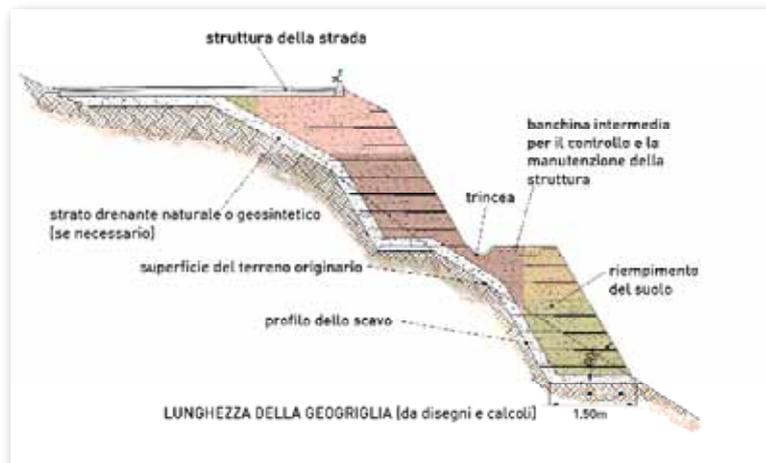
IL DIMENSIONAMENTO DELLE TERRE RINFORZATE

Elementi di supporto alla progettazione alla luce della normativa vigente

La verifica di stabilità di un'opera in terra rinforzata è un'operazione generalmente poco complessa, ma comunque necessaria; sottostimare l'importanza delle verifiche, così come trascurare le necessarie indagini propedeutiche indicate nel seguito, può causare errori nel dimensionamento o nella realizzazione, che potrebbero comportare, nel medio termine, problemi alla stabilità dell'opera.

Prima di progettare, è consigliabile procedere come segue:

- ▶ effettuare un rilievo plano-altimetrico dell'area oggetto dell'intervento per ricavare planimetria e sezioni trasversali;
- ▶ acquisire i dati geotecnici e idrogeologici del sito: struttura, andamento degli strati, presenza d'acqua nel pendio o nel sottosuolo, sismicità, caratteristiche geomeccaniche (angolo di attrito efficace ϕ' , coesione c' e peso specifico del terreno γ) e analisi granulometrica del terreno. La valutazione della presenza d'acqua è indispensabile per la corretta progettazione di un'opera che dovrà prevedere adeguati sistemi di captazione e drenaggio delle acque;
- ▶ raccogliere informazioni "storiche" relative ad eventi quali frane e superfici di scorrimento attive e potenziali che hanno interessato la zona;
- ▶ definire la geometria dell'opera e prevederne i sovraccarichi.



Il dimensionamento di una struttura in terra rinforzata segue un procedimento logico estremamente semplice. Per qualunque materiale esiste un'inclinazione limite β_{lim} entro la quale un pendio non rinforzato può essere costruito con sicurezza. Nel caso di materiale incoerente e secco, l'angolo d'inclinazione limite è uguale all'angolo di attrito interno del terreno:

$$\beta_{lim} = \phi$$

Un pendio con inclinazione maggiore di quella limite si definisce pendio ripido; per realizzare un rilevato con pendio ripido è necessario aggiungere forze addizionali per mantenerne l'equilibrio. La tecnologia delle terre rinforzate consiste nel fornire tali forze addizionali mediante posa di strati di rinforzo.

Le forze addizionali richieste per l'equilibrio di un pendio ripido, con un adeguato margine di sicurezza rispetto ad ogni potenziale meccanismo di rottura, possono essere determinate con un'analisi di equilibrio limite. Essa consiste nel considerare le possibili superfici di rottura e nel confrontare, per ognuna di esse, le forze che possono sviluppare il movimento del terreno (peso proprio, sovraccarichi, sollecitazioni dinamiche dovute a sisma o ad impatti, pressioni interstiziali) con le forze resistenti (attrito, coesione e, ovviamente, resistenza delle geogriglie). È possibile utilizzare superfici di forma differente: circolare, lineari, bi-lineari, a spirale logaritmica, a spezzata lineare; superfici con forme complesse comportano analisi molto prossime alla realtà, ma sicuramente oneri di calcolo superiori. Per ciascuna superficie il Fattore di

Sicurezza è calcolato come rapporto tra la massima forza di taglio resistente e la forza agente che si sviluppa lungo la superficie considerata. La superficie caratterizzata dal Fattore di Sicurezza più basso è quella critica. Esistono in commercio diversi programmi di calcolo, basati su meccanismi di rottura differenti ma che, di fatto, sfruttano lo stesso principio e consentono di effettuare tali verifiche, analizzando un numero considerevole di superfici e scegliendo, tra queste, quella critica. **Le verifiche di stabilità di una struttura in terra rinforzata debbono essere effettuate nel rispetto delle prescrizioni contenute nelle Norme Tecniche delle Costruzioni (di seguito NTC '08) approvate con D.M. il 14/01/2008 e nella bozza in via di approvazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.** Con riferimento a tale normativa la verifica della sicurezza dell'opera deve essere condotta agli stati limite ultimi (SLU). La verifica agli stati limiti di esercizio, considerata la natura dell'opera, la sua flessibilità e deformabilità, non risulta essere critica, in quanto l'opera può sopportare deformazioni che non ne pregiudicano la funzionalità e l'esercizio. Spostamenti e deformazioni che possano limitare l'uso della costruzione, la sua efficienza e il suo aspetto si potrebbero manifestare solo per collasso della struttura, e quindi a seguito di condizioni di carico e di sollecitazione ricoperte nelle verifiche allo SLU, più severo.

Sulla base delle NTC '08 le terre rinforzate vengono classificate come

muri di sostegno (par. 6.5 delle NTC '08: "Le norme si applicano a tutte le opere geotecniche e agli interventi atti a sostenere in sicurezza un corpo di terreno o di materiale con comportamento simile: ... - omissis - ... strutture miste, che esplicano la funzione di sostegno anche per effetto di trattamenti di miglioramento e per la presenza di particolari elementi di rinforzo e collegamento (ad esempio ... - omissis - ... terra rinforzata, muri cellulari)."

Per le verifiche sismiche dell'opera in oggetto si fa riferimento al sopraccitato D.M. del 14 gennaio 2008, utilizzando il foglio di calcolo "Spettri di Risposta - Versione 1.0.3", distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici per il calcolo degli spettri di risposta sismica per la determinazione delle azioni sismiche agenti sull'opera in oggetto.

Tutte le verifiche devono essere effettuate per tutte le sezioni sia in condizioni statiche che sismiche, considerando le varie combinazioni di carico ed i relativi coefficienti correttivi per le resistenze e per le azioni. Le verifiche di stabilità interna e globale, così come la verifica a scorrimento lungo la base che sono previste dalla nuova normativa Tecnica per le costruzioni descritta nel D.M. 14.01.2008 vengono effettuate mediante l'ausilio di appositi programmi di calcolo, appositamente sviluppati per lo studio di strutture in terra rinforzata. Le verifiche di stabilità esterna a ribaltamento e a carico ultimo possono essere invece svolte considerando la struttura in terra rinforzata come un blocco rigido ed analizzando le forze cui tale blocco risulta essere soggetto.

APPLICAZIONI SPECIALI: I RILEVATI PARAMASSI



Per garantire la protezione di strutture abitative o vie di transito collocate a ridosso di rilievi montuosi dal rischio di caduta massi è possibile impiegare soluzioni tecnologiche di tipo attivo (atte ad impedire il distacco) o di tipo passivo (atte ad intercettare o deviare i blocchi in movimento). Tali opere possono essere progettate e dimensionate per ridurre il rischio o la vulnerabilità connessi alle frane di distacco e crollo. In particolare le opere di difesa passiva sono, di norma, collocate in modo da intercettare la traiettoria dei massi in caduta

masso roccioso fermato da paramassi in terra rinforzata in località Créton nel Comune di Rhêmes Saint-Georges (AO).

La definizione del moto del blocco e dell'energia cinetica da assorbire sono fattori molto importanti per una corretta progettazione.

I rilevati paramassi realizzati con il Sistema **TENAX RIVEL** sono opere di protezione di tipo passivo più efficaci rispetto alle barriere metalliche ad elevato assorbimento di energia in quanto:

- ▶ offrono una protezione efficace anche in caso di "sciame" di frana, ovvero di crolli ripetuti lungo la medesima direttrice;
- ▶ richiedono una manutenzione molto ridotta anche a seguito di estesi fenomeni di crollo e non sono soggette a corrosione;
- ▶ sono durevoli e non sono soggette ad ammaloramenti o decadimento;
- ▶ l'impatto ambientale è trascurabile, specie se il manufatto viene mascherato con adeguati interventi d'ingegneria naturalistica;

▶ è possibile realizzarle riutilizzando il materiale precedentemente franato; I vantaggi che un rilevato in terra rinforzata **TENAX RIVEL** presenta rispetto a un rilevato tradizionale sono molteplici:

- ▶ minor ingombro alla base con conseguente riduzione del terreno da movimentare;
- ▶ minori difficoltà per individuare aree adeguate dal punto di vista plano-altimetrico;
- ▶ minore rischio di scavalamento dell'opera per rotolamento del masso grazie alla maggiore inclinazione della facciata.

Nei rilevati in terra rinforzata il terreno viene "legato" dalle geogriglie; la resistenza a trazione offerta dalle geogriglie e l'elevata resistenza allo sfilamento impediscono lo sfondamento del rilevato da parte del masso, nonostante la geometria estremamente

ridotta rispetto ad un rilevato tradizionale. Nel caso in cui la larghezza della sommità dell'opera sia minore di 2.00 m (strutture particolarmente snelle) per incrementare l'effetto di legatura è consigliabile posizionare un secondo ordine di rinforzi trasversalmente a quello principale (cioè longitudinalmente al rilevato).

Le geogriglie **TENAX TT** hanno un comportamento di tipo elasto-plasto-viscoso in relazione all'entità dei carichi e alle modalità di applicazione. L'analisi dello stato di sollecitazione indotto da un impatto (modellabile come carico istantaneo di elevata intensità) ha permesso di evidenziare un irrigidimento del sistema geogriglie-terreno ossia un incremento del modulo elastico (a seguito di tali sollecitazioni la curva forza-deformazione risulta essere più pendente, la geogriglia reagisce alle sollecitazioni con deformazioni minori). Data la durata pressoché istantanea del fenomeno le deformazioni di natura viscosa (creep) non hanno modo di manifestarsi; il rinforzo è quindi in grado di mobilitare una resistenza a trazione prossima al valore di picco, e non più alla resistenza di lungo termine cui si fa riferimento per l'applicazione di carichi statici. La maggior "legatura" del terreno comporta una distribuzione del carico dinamico su un cono con apertura maggiore, e quindi una massa maggiore di terreno coinvolta nella resistenza all'urto e nella dissipazione di energia. Numerosi test e conseguenti pubblicazioni scientifiche illustrano il modello di interazione, validato da diverse serie di prove di laboratorio, tra le geogriglie **TENAX TT** ed il terreno in caso di applicazione di carichi dinamici.



Confronto tra rilevati paramassi TENAX RIVEL e rilevato in gabbioni metallici riempiti di pietrame

L'impatto di un masso sulla facciata di un rilevato in gabbioni metallici produce delle schegge di pietrame che potrebbero oltrepassare il rilevato stesso non essendo possibile conoscere a priori la loro traiettoria. Al contrario, il rilevato **TENAX RIVEL** è in grado di "accogliere" il masso impattante senza frantumarlo.

A seguito dell'urto la rete metallica dei gabbioni può essere lacerata, provocando lo svuotamento parziale o totale del gabbione e compromettendo la stabilità di quelli sovrastanti con il reale rischio di innescare un pericoloso quanto incontrollabile effetto domino.

La funzione della rete metallica è solo di contenimento del materiale di riempimento; al contrario geogriglia e terreno interagiscono permanentemente con un conseguente miglioramento della resistenza del manufatto.

Ciascun gabbione del vallo paramassi trasmette in modo pressoché elastico l'urto al gabbione adiacente, e dall'ultimo al terreno, che può essere proiettato verso l'esterno. Il sistema **TENAX RIVEL** prevede che il terreno venga steso e compattato riducendo notevolmente la deformabilità

del materiale, garantendo così che i singoli elementi che compongono l'opera rimangano solidali anche a seguito di un impatto violento in facciata. La maggior "legatura" del terreno permette una distribuzione del carico su un volume maggiore; l'area di influenza, approssimativamente conica, ha quindi un'apertura più ampia coinvolgendo una massa maggiore di terreno interessata alla resistenza all'urto e alla dissipazione di energia.

L'esame delle riprese video delle prove in scala reale effettuate su rilevati paramassi in terra rinforzata con geogriglie TENAX ha evidenziato un movimento di richiamo della facciata di valle dopo il raggiungimento del picco di spostamento. Questo effetto è certamente da imputarsi alla presenza ed all'azione delle geogriglie. Tale effetto di richiamo, unito all'osservazione della formazione di tension crack sulla sommità del rilevato, consentono di affermare che in assenza di una connessione tra le facciate di monte e di valle la barriera può essere sfondata o, per lo meno, il volume di terreno isolato dai tension crack può crollare sul lato a valle.



il vallo paramassi in terra rinforzata, a seguito dell'urto, è danneggiato ma integro.



minima estrusione della facciata di valle del rilevato.

Le certificazioni delle barriere paramassi TENAX

Le barriere in terra rinforzata con geogriglie **TENAX TT** sono state sottoposte a ripetuti test presso il campo prove di Vigo di Meano (TN), accreditato dal Politecnico di Torino. A seguito di tali prove il sistema TENAX è stato certificato dallo stesso Politecnico di Torino che ha attestato l'efficacia di barriere aventi altezza pari a 4.20 m, larghezza minima in sommità pari a 0.90 m rinforzate con geogriglie estruse **TENAX TT 045**. I certificati rilasciati alle barriere rinforzate con geogriglie **TENAX TT 045** indicano come sia possibile realizzare le stesse tanto con terreni con comportamento di tipo frizionale (materiale di buona qualità) quanto con materiale coesivo di tipo plastico. In entrambi i casi le barriere hanno dimostrato di poter resistere a ripetuti urti con massi aventi energia pari a 4500kJ circa. I risultati possono essere estesi a tutte quelle strutture la cui geometria minima garantisca il rispetto delle proporzioni dei manufatti certificati.



(a sinistra) Varenna (LC) - Realizzazione di n.3 barriere paramassi a sezione trapezoidale in Terra Rinforzata.

(a destra) Altezza compresa tra 4,20 m e 7,20 m per complessivi 8.000 mq di facciata su doppio fronte.



TENAX è un gruppo internazionale che produce e vende una vasta gamma di geosintetici certificati dai maggiori organismi tecnici internazionali ed impiegati in opere di ogni dimensione e complessità realizzate in tutto il mondo.

Da oltre trent'anni **TENAX** è all'avanguardia nella costante ricerca di processo e di prodotto per garantire in ogni situazione i massimi standard qualitativi.

Alcuni esempi dei campi di applicazione dei geosintetici riguardano:

- ▶ la **stabilizzazione e il consolidamento** di sottofondi cedevoli e il miglioramento della loro capacità portante (TENAX LBO, GT, 3D GRID);
- ▶ il **drenaggio orizzontale e verticale** attraverso il trasporto di liquidi, fluidi e gas (TENAX CE, GNT, HF, NDP, TENDRAIN, TN, TNT, TDP);
- ▶ il **rinforzo** di rilevati in terra con paramento inerbito o a blocchi prefabbricati (TENAX TT, RIVEL, T-BLOCK);
- ▶ le **protezioni antierosive** e l'inerbimento di scarpate, anche impermeabilizzate (TENAX TENWEB, MULTIMAT).

Tecnici specializzati vi assistono in modo puntuale e veloce dalla progettazione alla realizzazione dell'opera, collaborando con voi nella scelta di soluzioni adeguate ai problemi d'ingegneria civile e ambientale.



SGS ITALY Certificate n°IT93/0008.01



0799-CPD-25



ISTITUTO PER LE TECNOLOGIE DELLA COSTRUZIONE

First issued: May 9, 1994

TENAX geosynths have obtained the I.T.C. Certification. I.T.C. is the Independent Institute in Italy and a member of the UEAtc. UEAtc is the European network of Independent Institutes formed by each country (ITC for Italy, BBA for UK, DIBt for Germany, etc), and engaged in the issue of Technical Approvals for innovative construction products or systems.

TENAX
GEOSYNTHETICS

TENAX SpA
Divisione Geosintetici
Via dell'Industria, 3
23897 Viganò (LC)
Tel. +39 039.9219307
Fax +39 039.9219200
email: geo@tenax.net

TENAX GTO
Geosynthetics Technical Office
Viale Monza, 1
20127 Milano
Tel. +39 02.26113532
Fax +39 02.28971107
email: gto@tenax.net

www.tenax.net

DISTRIBUITO DA:

