

**TeMa**  
Technologies  
and Materials

## **TSystem**

sistemi di rinforzo, drenaggio, controllo dell'erosione superficiale



## **STRUTTURE DI SOSTEGNO IN TERRA RINFORZATA**

**sistemi di rinforzo, drenaggio,  
controllo dell'erosione superficiale**

# Il funzionamento del rinforzo dei terreni



Struttura in terra rinforzata  
Talaña - Nuoro

Le strutture di sostegno in terra rinforzata possono essere impiegate in diversi campi di applicazione, i principali dei quali sono:

- Rilevati stradali e ferroviari
- Ripristino e consolidamento di un terreno franato in ambito stradale
- Realizzazione di rampe di ascesa e discesa dai cavalcavia
- Rialzi arginali di canali o fiumi
- Barriere paramassi
- Barriere antirumore in ambito stradale o ferroviario
- Allargamento di parcheggi sopraelevati
- Realizzazione terrazzamenti in terreni coltivati a vigneti
- Consolidamento del terreno all'imboccatura dei tunnel

Le strutture di sostegno in terra rinforzata hanno riscosso negli ultimi anni un consenso crescente da parte di progettisti che si occupano sia di appalti pubblici che di lavori rivolti all'edilizia residenziale.

Gli elementi geosintetici utilizzati per rinforzare il terreno naturale sono geometricamente delle strutture planari bidimensionali dotati di una curva caratteristica sforzi/deformazioni confrontabile con quella della matrice solida in cui verranno inseriti.

Installati opportunamente all'interno del terreno da "armare", i rinforzi geosintetici (geotessili tessuti o geogriglie) sviluppano, per attrito, uno stato tensionale di natura tangenziale che consente al sistema composito di sostenere dei livelli di sollecitazione, altrimenti incompatibili con la natura del materiale tal quale. Dal punto di vista geotecnico, infatti, i terreni sono caratterizzati da una buona resistenza alla compressione ma da una resistenza a trazione virtualmente nulla.

La presenza del rinforzo geosintetico conferisce pertanto al terreno quelle caratteristiche di resistenza a trazione di cui è naturalmente sprovvisto.



Terra rinforzata in contesto di edilizia privata



Opera di sostegno in ambito stradale



Terrazzamento di vigneto

# Interazione terreno-rinforzo geosintetico

L'utilità nell'inserire dei materiali geosintetici di rinforzo all'interno del terreno (nel nostro caso delle geogriglie tessute in PET tipo XGrid PET PVC), consiste sostanzialmente nel creare un materiale pseudo naturale composito, le cui caratteristiche meccaniche risultano decisamente più performanti rispetto al terreno originario "non armato".

L'effetto che si genera all'interno della struttura composita (terreno-rinforzo), dipende prevalentemente dalla rigidità flessionale del rinforzo impiegato; l'inclusione di elementi flessibili, quali le geogriglie, determina l'insorgere di tensioni di natura tangenziale, per effetto dell'attrito che si genera all'interfaccia tra i due materiali (terreno-geosintetico).

Nel caso invece di inclusioni rigide (tipo barre, profilati metallici...), l'interazione tra i due materiali determina l'insorgere non solo di sollecitazioni di tipo tangenziale, ma anche stati tensionali di tipo flessionale e di taglio.

Per quanto attiene ai soli rinforzi di tipo "flessibile", perché ci sia effettiva sinergia tra i due materiali e possa quindi registrarsi il trasferimento di carico dal terreno al rinforzo, è necessario che il rinforzo disponga di alcune caratteristiche, quali ad esempio:

- idonee caratteristiche di resistenza a trazione e rigidità.
- Impiego di materie prime (polimeri) in grado di poter resistere anche in condizioni chimico-fisiche aggressive (attacchi degli agenti chimici, pH dei terreni...).
- disporre di una struttura geometrica adeguata, per poter sviluppare al meglio l'effetto stabilizzante.



Applicazione delle geogriglie come rinforzo di fondo stradale

Anche il terreno deve disporre di opportune caratteristiche, per poter interagire al meglio con l'elemento geosintetico. In particolare occorrerà porre particolare attenzione alle seguenti grandezze:

- Granulometria;
- Stato di addensamento;
- Resistenze al taglio e il fenomeno della dilatanza.

Il modello analitico che si utilizza per rappresentare il comportamento geomeccanico del terreno rinforzato è il tradizionale criterio di Mohr - Coulomb.

Ammettendo che il contributo reso disponibile dal rinforzo sia pari alla massima resistenza a trazione che il materiale è in grado di attivare, il suo stato limite ultimo corrisponderà ovviamente al valore di rottura.

In questo frangente quindi, il materiale composito (terreno-geosintetico) è rappresentabile, sul piano di Mohr, come se fosse un terreno dotato di coesione efficace  $c'_r$  (Schlosser e Long, 1972).

$$C'_r = \frac{\sigma'_r \cdot \sqrt{K_p}}{2} = \frac{\sigma_s \cdot A_s}{2 \cdot \Delta B \cdot \Delta H \cdot K_a}$$

Dove:

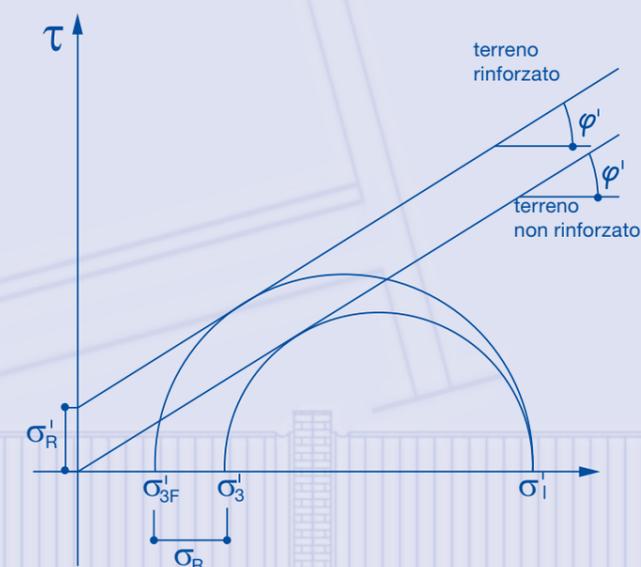
$\sigma'_r$  = tensione efficace di confinamento equivalente sviluppata dal rinforzo;

$\sigma_s$  = resistenza a trazione del rinforzo;

$A_s$  = sezione trasversale del rinforzo;

$\Delta B$  e  $\Delta H$  = interasse verticale e orizzontale del rinforzo.

coesione apparente nel caso di terreno rinforzato



Vista del vigneto:  
a) opera ultimata



Vista del vigneto:  
b) opera in fase di rinverdimento



Vista del vigneto:  
c) opera rinverditata

# Perché usare una geogriglia anziché un geotessile tessuto

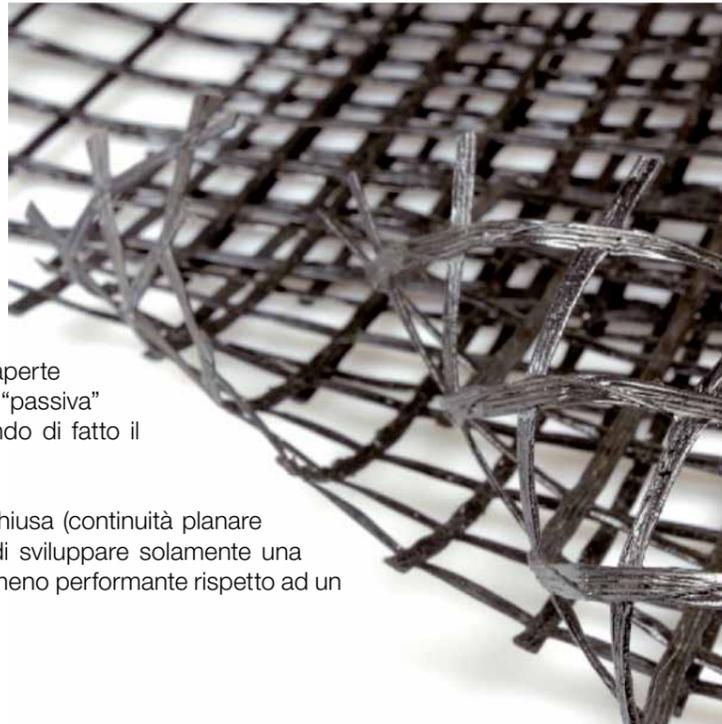
Sostanzialmente esistono due tipologie di rinforzi geosintetici impiegati per rinforzare un terreno:

- **Geogriglie;**
- **Geotessili tessuti.**

Geometricamente, la geogriglia dispone di una struttura a maglia aperta, mentre il geotessile tessuto una superficie a maglia chiusa.

Dal punto di vista prestazionale le due tipologie di materiali presentano delle sostanziali differenze proprio a seguito della loro intrinseca differente configurazione geometrica.

- **Geogriglia:** la presenza di una struttura a maglie aperte consente al prodotto di sviluppare delle resistenze di natura "passiva" in corrispondenza degli elementi trasversali, incrementando di fatto il suo intrinseco effetto stabilizzante
- **Geotessile tessuto:** avendo una geometria a maglia chiusa (continuità planare della sua superficie di contatto) il materiale è in grado di sviluppare solamente una componente di attrito di natura "attiva", risultando di fatto meno performante rispetto ad un prodotto a maglia aperta



# Possibili meccanismi di interazione geosintetico - terreno

Il problema dell'interazione terreno/geosintetico viene affrontato introducendo il concetto di tensione tangenziale di attrito equivalente.

La tensione tangenziale che si genera all'interfaccia rappresenta la resistenza allo scorrimento del geosintetico nei confronti del terreno in cui è inserito.

Attraverso la stima di questa grandezza (che si traduce nell'introduzione di opportuni coefficienti), è possibile valutare quindi l'entità della resistenza mobilitata dal geosintetico in rapporto a due possibili cinematismi critici:

- **lo scivolamento di una porzione di manufatto su un singolo elemento di rinforzo (direct sliding),**
- **lo sfilamento del rinforzo dalla porzione stabile di terreno (pullout).**

Jewell introdusse nel 1991 delle relazioni volte ad esprimere compiutamente ed analiticamente i concetti sopra espressi.

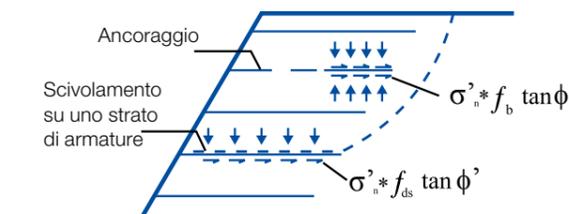
$$T_{ds} = L_r * W_r * \sigma'_n * f_{ds} * \tan(\phi)$$

$$T_b = 2 * L_r * W_r * \sigma'_n * f_b * \tan(\phi)$$

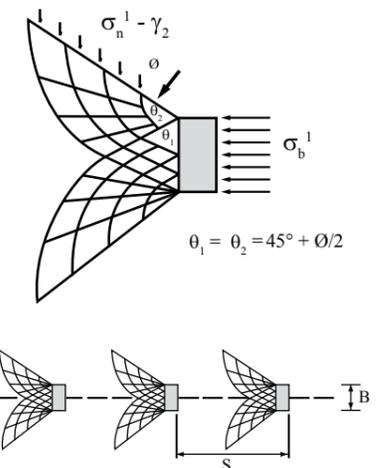
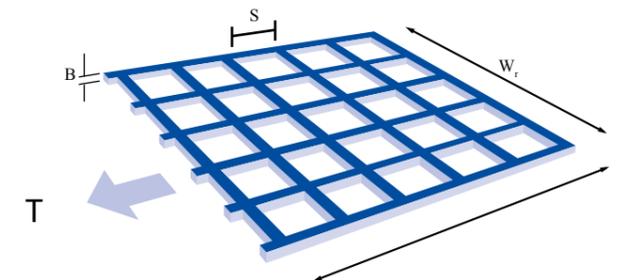
Dove:  
 $W_r$  = larghezza del rinforzo;  
 $L_r$  = lunghezza del rinforzo;  
 $\sigma'_n$  = tensione efficace in direzione ortogonale al piano del rinforzo;  
 $f_{ds}$  = coefficiente di attrito equivalente per scorrimento;  
 $f_b$  = coefficiente di attrito equivalente per sfilamento;  
 $\phi$  = angolo di attrito interno.

Ipotizzando la completa compenetrazione del terreno all'interno delle maglie aperte di un elemento di rinforzo sintetico quale può essere una geogriglia, Jewell formulò le seguenti espressioni per i coefficienti di attrito:

$$f_{ds} = 1 - \alpha_s \left( 1 - \frac{\tan(\delta)}{\tan(\phi)} \right) \quad f_b = \alpha_s * \left( \frac{\tan(\delta)}{\tan(\phi)} \right) + \left( \frac{\alpha_b * B}{S} \right) * \left( \frac{\sigma'_b}{\sigma'_n} \right) * \frac{1}{2 * \tan(\phi)}$$



Forme di interazione tra il rinforzo sintetico e il terreno



Schema di comportamento di una geogriglia per la definizione di  $f_{ds}$  e  $f_b$

Dove:

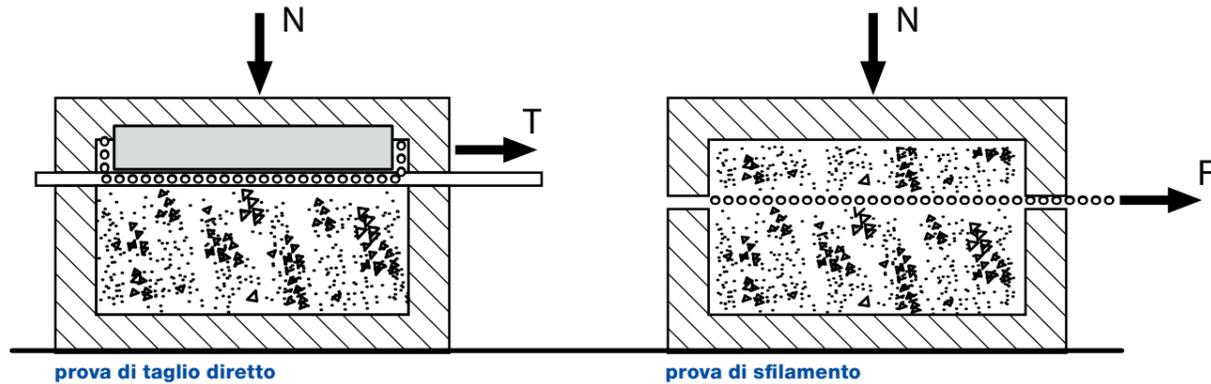
- $\alpha_s$  = frazione solida della superficie della geogriglia;
- $\alpha_b$  = quota parte della larghezza della geogriglia capace di mobilitare resistenza passiva;
- S = distanza tra gli elementi trasversali capaci di mobilitare resistenza passiva;
- B = spessore degli elementi trasversali;
- $\sigma'_b$  = pressione limite passiva lungo la direzione di sfilamento;
- $\delta$  = angolo di attrito tra parte solida della geogriglia e terreno.

Nella foto, compenetrazione del terreno nelle maglie



Solitamente per riprodurre in laboratorio il comportamento sforzi-deformazioni del materiale composito, si ricorre all'utilizzo di particolari strumentazioni che simulano il taglio diretto dei terreni.

**Prova di taglio diretto e sfilamento (ISO 13430);**



stato avanzamento lavori

terra rinforzata ultimata

terra rinforzata rivegetata

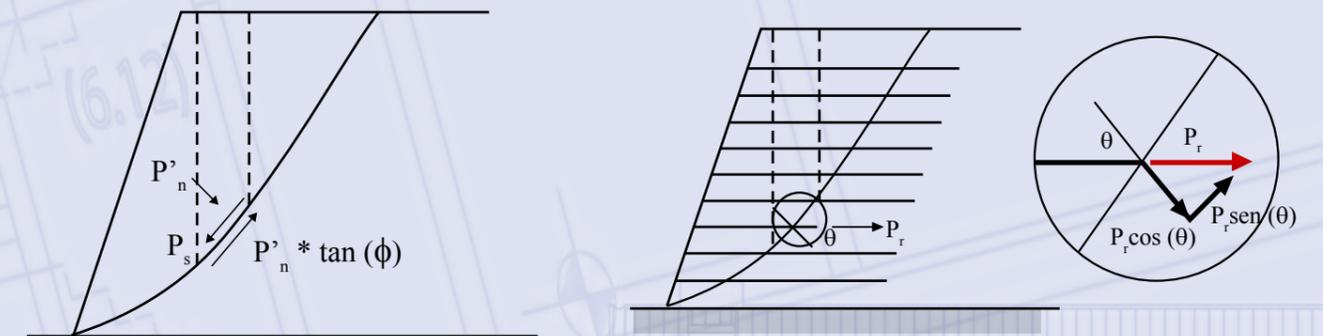


Tamponamento di locali interrati in complesso residenziale mediante manufatti di sostegno in terra rinforzata

# Il contributo del rinforzo geosintetico

Per valutare il reale beneficio che si registra nell'inserire un rinforzo geosintetico all'interno di una matrice solida, è possibile ricorrere ad un semplice modello concettuale che riproduce fedelmente cosa accade quando si crea un materiale composito. Ipotizziamo di sottoporre un provino di terreno ad una prova di taglio diretto; il materiale permane nel suo stato indisturbato fintanto che il valore della sollecitazione applicata (carico assiale e di taglio) non determina il raggiungimento della resistenza limite del campione. Partendo dal presupposto che i terreni hanno scarse propensioni a sostenere sforzi di trazione ma hanno una buona resistenza al taglio, è chiaro che se si riuscisse a trovare un sistema in grado di trasferire le sollecitazioni di

trazione dal terreno ad un'altra componente, si garantirebbe al sistema composito una maggiore capacità di resistenza nei confronti delle sollecitazioni esterne. La formazione, quindi, di un sistema bicomponente sintetico/terreno, avrebbe il pregio di sfruttare al meglio le caratteristiche prestazionali dei due materiali utilizzati. Per comprovare la reale efficacia del sistema, si può ipotizzare di sottoporre un provino di terreno, privo di rinforzo sintetico, ad un sistema di carichi esterni ( $P_v$  e  $P_s$ ) e portarlo a rottura, mediante una generica prova di taglio. Il campione di terreno è infatti in grado di sostenere le sollecitazioni esternamente trasmesse, fintanto che la sua legge costitutiva lo consente, cioè fino a quando non vengono raggiunte le condizioni di incipiente collasso.



Attivazione della resistenza a trazione del rinforzo quando intercettato dalla curva di scivolamento



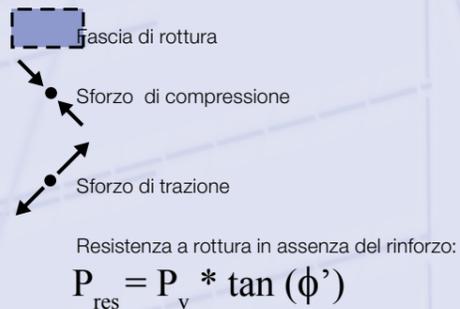
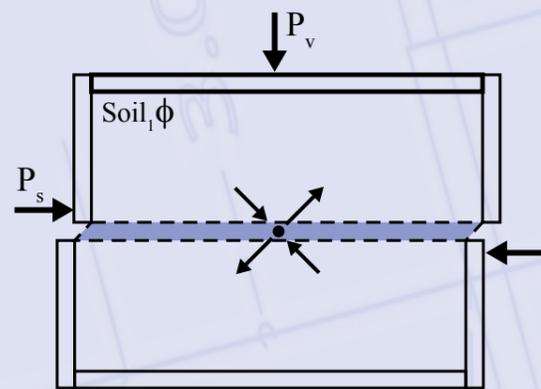
Consolidamento di un canale durante la ristrutturazione di un edificio privato. Nel dettaglio, applicazione della geostuoia preseminata KMat F Sedum

# Il concetto di resistenza a trazione ammissibile

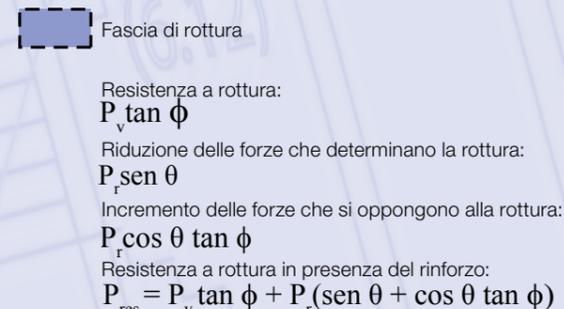
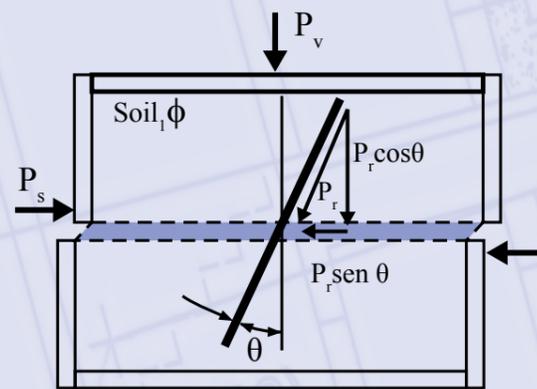
In assenza di rinforzo, il terreno, dotato di angolo di attrito interno pari a  $\phi'$ , a fronte di un carico assiale  $P_v$  (sforzo pari a  $\sigma_v$ ), sviluppa una resistenza al taglio pari a:

$$P_{res} = P_v * \tan(\phi')$$

**Provino di terreno soggetto alla prova di taglio in assenza di rinforzo;**



**Provino di terreno soggetto alla prova di taglio in presenza di rinforzo;**



L'inserimento di un rinforzo sintetico nel provino determina l'insorgere all'interno del rinforzo medesimo di due componenti:

$$P'_{res} = P_r * \sin(\theta)$$

La prima componente riduce la sollecitazione che tende a portare il provino verso le condizioni di rottura, mentre la seconda tende a incrementare la capacità resistente del terreno.

$$P''_{res} = P_r * \cos(\theta)$$

Analizzando quindi lo schema esemplificativo riportato, appare immediato comprendere l'effettivo beneficio che l'inserimento all'interno del terreno di un elemento sintetico di rinforzo determina nel sistema bifase.

**Resistenza a trazione esplicitata dal provino in assenza di rinforzo**

$$P_{res} = P_v * \tan(\phi')$$

**Resistenza a trazione esplicitata dal provino in presenza di rinforzo**

$$P_{res} = P_v \tan \phi + P_r (\sin \theta + \cos \theta \tan \phi)$$

Il concetto di terreno rinforzato ha la sua validità nel momento in cui viene garantito il perfetto collegamento tra i due materiali (terreno e rinforzo), potendo in questo modo contare sulle migliori caratteristiche geomeccaniche delle due componenti.

Per dimensionare correttamente un'opera di sostegno in terra rinforzata occorre che il progettista conosca il significato delle seguenti tre grandezze:

- Resistenza richiesta ( $T_{design}$ ): rappresenta la resistenza che il geosintetico di rinforzo deve poter rendere disponibile per stabilizzare il manufatto;
- Resistenza nominale ( $T_{ult}$ ): in funzione del test di laboratorio condotto, rappresenta la resistenza nominale al tempo  $t=0$  del rinforzo;
- Resistenza ammissibile ( $T_{allow}$ ): è il valore di resistenza del rinforzo che si ottiene applicando dei fattori riduttivi al dato di resistenza nominale. Il numero ed il significato dei fattori riduttivi dipende dall'algoritmo di calcolo adottato (BS 8006/1995, FHWA, etc..).

Il metodo di calcolo che viene presentato a solo titolo di esempio è tratto dal documento del *Geosynthetic Research Institute (GRI)* statunitense **"GRI standard practice GG4(b) - Determination of the long term design strenght of flexible geogrids"**.

Per valutare la resistenza a trazione ammissibile del rinforzo è necessario adottare dei fattori riduttivi. Tali coefficienti andranno applicati, in funzione della procedura di calcolo utilizzata, alla resistenza normale.

L'approccio adottato dal **GRI** è sostanzialmente analogo a quello adottato dalla procedura anglosassone (BS 8006) la quale prevede i seguenti steps:

$$T_{allow} < T_{ult}$$

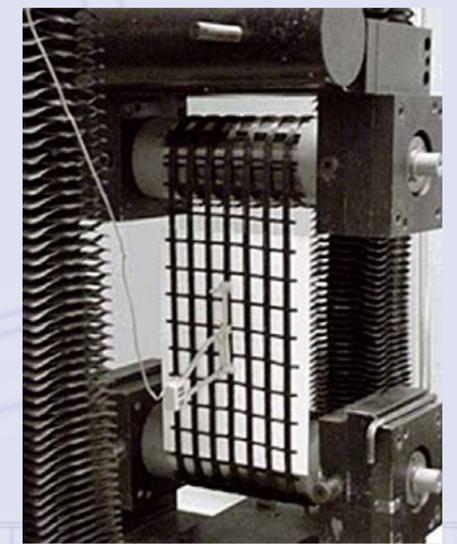
$$T_{allow} = \frac{T_{ult}}{\prod_{i=1}^5 FS_i} = \frac{T_{ult}}{(FS_{ID} * FS_{CR} * FS_{BD} * FS_{JNT})}$$

Dove:

- $T_{allow}$  = resistenza a trazione ammissibile (kN/m);
- $T_{design}$  = resistenza di progetto utilizzata per dimensionare l'opera (kN/m);
- $T_{ult}$  = resistenza nominale del rinforzo (kN/m);
- $FS_{ID}$  = fattore riduttivo per la posa in opera del materiale (ad.);
- $FS_{CR}$  = fattore riduttivo per effetto del creep della materia plastica (ad.);
- $FS_{CD}$  = fattore riduttivo per effetto del livello di aggressività chimica del suolo (ad.);
- $FS_{BD}$  = fattore riduttivo per effetto del livello di aggressività biologica del suolo (ad.);
- $FS_{JNT}$  = fattore riduttivo per effetto delle sovrapposizioni (ad.);
- $FS_{design}$  = fattore di sicurezza aggiuntivo (ad.)

$$T_{design} = \frac{T_{allow}}{FS_{design}}$$

Alcuni fattori riduttivi sono indipendenti dal tempo mentre altri dipendono fortemente dalla variabile tempo (proprietà tempo varianti), come ad esempio il creep.



Prova di laboratorio per calcolare la resistenza della geogriglia alla massima trazione (valore  $T_{ult}$ )

## Dimensionamento delle strutture di sostegno in terre rinforzate: verifiche di calcolo

Per dimensionare un'opera in terra rinforzata occorre eseguire, mediante appositi programmi di calcolo, delle verifiche di natura sia esterna sia interna.

Le verifiche di natura interna sono finalizzate ad analizzare i possibili meccanismi di collasso che coinvolgono parzialmente o integralmente la porzione di terreno rinforzato. La finalità principale delle verifiche interne è quella di determinare le caratteristiche dei rinforzi geosintetici, in termini di spaziatura, lunghezza e resistenza a trazione richiesta, perché il sistema composito rinforzato risulti stabile.

È pertanto necessario verificare che il rinforzo, inserito all'interno del terreno, non si rompa e non si sfilii dalla parte

- **verifica di resistenza dei rinforzi;**
- **verifica allo sfilamento (pullout);**

stabile del pendio (in termini tecnici internal e compound check).

Oltre a definire un layout che garantisca il sistema dal manifestarsi di fenomeni di rottura e/o sfilamento, è importante verificare che non avvengano possibili moti traslativi lungo i piani di posa definiti da ciascun rinforzo (direct sliding). Nel caso infine in cui si dovesse optare per una soluzione costruttiva che preveda il risvolto al fronte del rinforzo (tecnica del wrap around) è necessario accertarsi preventivamente che la lunghezza praticata nella parte superiore del singolo strato risulti stabile.

Le verifiche interne che è necessario eseguire sono:

- **verifica allo scorrimento (direct sliding);**
- **verifica del risvolto.**

"Oltre alle verifiche di natura interna, occorrerà eseguire in fase esecutiva anche delle verifiche esterne, quali:

- **verifica di scivolamento**
- **verifica a ribaltamento**
- **verifica di capacità portante**
- **verifica di stabilità globale**

Vigneto terrazzato mediante terre armate  
Farra di Soligo - Treviso

## Dati preliminari che è necessario conoscere per dimensionare una terra rinforzata

Al fine di valutare la fattibilità tecnica di un'opera di sostegno in terra rinforzata occorre acquisire una serie di informazioni preliminari fondamentali.

I dati di input sui quali è possibile realizzare uno studio di fattibilità sono i seguenti:

- **indagini geognostiche relative all'area su cui si è ipotizzata la realizzazione della struttura**
- **rilievi planoaltimetrici**
- **sezioni significative circa lo stato di fatto**
- **geometria della futura opera (in termini di inclinazione del fronte, altezza, suddivisione in più balze, pendenza della parte sommitale)**
- **carichi esterni applicati alla struttura (carichi sommitali nel caso si debba prevedere un parcheggio oppure una strada)**
- **classificazione sismica**
- **caratteristiche geotecniche (angolo di attrito interno, coesione e peso specifico) del terreno a tergo la futura opera, del terreno di fondazione, del terreno di riempimento**
- **presenza di falde sospese o infiltrazioni di altra natura**

Ricostruite le condizioni al contorno, è possibile iniziare il processo di dimensionamento utilizzando specifici programmi di calcolo.

### Terrazzamento armato con elemento drenante a tergo.

La funzione del geocomposito drenante a tergo delle strutture in terra rinforzata è di mantenere drenata l'area interna dell'opera, al fine di evitare possibili infiltrazioni che possano diminuire dal punto di vista geomeccanico le prestazioni del sistema. In funzione dell'altezza della struttura sarà opportuno inserire alla base del QDrain dei collettori fessurati per la raccolta ed il successivo smaltimento delle acque intercettate.



## Case histories

### Terrazzamenti di vigneti realizzati mediante la tecnica delle terre rinforzate - Treviso 2008

A volte il ruscellamento superficiale delle acque meteoriche associato alla natura geotecnica non eccelsa dei terreni di riempimento può determinare problematiche di stabilità nei terrazzamenti dei vigneti.

In questi frangenti l'inserimento di elementi geosintetici di rinforzo associati alle pennellature metalliche di contenimento frontale (reti elettrosaldate sagomate) riesce a conferire al terreno maggiore stabilità.

Il caso descritto sinteticamente in questa scheda progetto espone infatti l'utilizzo della tecnica del rinforzo dei terreni mediante l'inserimento all'interno della matrice solida di elementi sintetici a maglia aperta (geogriglie XGrid PET PVC) per la costituzione di nuove balze in un vigneto.

L'opera in terra rinforzata risulta perciò una valida soluzione da prendere in considerazione, specialmente se abbinata all'utilizzo di particolari sistemi drenanti in trincea sottile (**Speedrain**) per il controllo del deflusso sub-superficiale delle acque di origine meteorica.



Per la fase della compattazione del terreno di riempimento viene abitualmente impiegato un minicompattatore al fronte per non danneggiare la casseratura metallica.



Particolare dell'opera terminata, da cui è evidente l'utilizzo tra elemento rigido metallico e geogriglia di rinforzo dell'elemento per il controllo dell'erosione Ecovernet J 500 (in fibra di juta al 100%).

Speedrain è un geocomposito drenante studiato specificatamente per il drenaggio in trincea sottile. La sua conformazione geometrica a canali paralleli rivolti verso il collettore di raccolta ottimizza la percentuale di flusso idrico intercettato dal sistema. La possibilità di ridurre le geometrie di scavo, mediante Speedrain, evitando di inserire all'interno dello stesso ingenti quantitativi di ghiaia, lo rende un sistema veloce da posare, economico e tecnicamente più performante dei drenaggi classici in geotessile e ghiaia.

## Case histories

### Ricostruzione sponda di un canale in prossimità di un edificio privato - Verona 2008

In prossimità di un complesso residenziale in fase di ristrutturazione si è registrato il cedimento di una porzione di sponda del corso d'acqua adiacente. La volontà da parte del proprietario del fabbricato era quella di ricostituire lo stato di fatto ante cedimento, senza ricorrere all'utilizzo di opere di sostegno tradizionali in c.a..

A fronte di questa esigenza specifica, è stata studiata un'opera in terra rinforzata chiaramente dotata degli opportuni accorgimenti tecnici in grado di gestire in modo ottimale l'eventuale interferenza dell'acqua.

Al fronte dell'opera in terra rinforzata è stato posato del materiale granulare di opportuna pezzatura per evitare possibili erosioni con conseguente asportazione di materiale al transito dell'acqua.

Per attenuare fenomeni di corrosione dovuti alla presenza dell'acqua, si è deciso di adottare dei pannelli rigidi zincati, mentre per separare il materiale granulare dal retrostante materiale coesivo, si è interposta una membrana impermeabile (**Isostud**).

Per aumentare il margine di sicurezza al fronte, ed evitare anche la minima fuoriuscita di materiale, si è deciso di prevedere l'installazione tra il materiale granulare e il cassero zincato di una geostuoia sintetica in PP accoppiata ad un biofiltro vegetale preseminato (**KMat F Sedum**). La geogriglia adottata, per 4 ordini di strati equidistanti 30 cm, è di tipo tessuta in PET ad alta tenacità, avente resistenza a trazione nominale pari a 40 kN/m (**XGrid PET PVC 60/30**).

L'altezza del manufatto è di 1,2 m, con inclinazione al fronte di 70°.



La sponda del canale presentava evidenti cedimenti che necessitavano interventi di ripristino in considerazione anche del fatto che nelle aree adiacenti il committente aveva la necessità di disporre di una zona di transito in sicurezza.



L'opera in terra rinforzata ultimata con alla base massicciata legata in cls per proteggere il piede della sponda da possibili erosioni.



Particolare della sponda

## Case histories

### Opere di tamponamento di locali interrati in complesso residenziale mediante manufatti di sostegno in terra rinforzata - Varese 2006

La realizzazione di nuove unità abitative, soprattutto in contesti geografici prettamente a carattere collinare, sta comportando negli ultimi anni l'insorgere di una nuova problematica: il tamponamento dei locali interrati fuori terra.

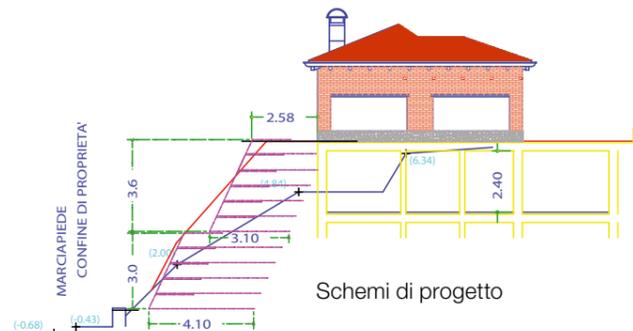
Sempre più spesso, infatti, si costruiscono i locali interrati fuori terra, con la conseguente problematica di dover trovare una soluzione capace di rivestire la parete occupando il minor spazio possibile.

I nuovi materiali e soprattutto le nuove tecniche in seno al comparto del settore costruttivo hanno individuato una soluzione che non solo risolve il problema ma appaga anche il gusto estetico. Si tratta sostanzialmente di realizzare a ridosso della parete una struttura in terra rinforzata, mediante il riporto del terreno derivante dagli scavi, previo l'inserimento, per strati successivi, di rinforzi geosintetici (tipicamente delle geogriglie).

Un'opera in terra rinforzata è genericamente un'opera di sostegno a tutti gli effetti ottenuta combinando due materiali aventi differenti caratteristiche prestazionali: il terreno, materiale con buone caratteristiche a compressione ma praticamente nullo dal punto di vista della sua intrinseca resistenza a trazione e l'elemento geosintetico di rinforzo avente invece ottime caratteristiche a trazione ma assolutamente nullo dal punto di vista della compressione.

L'abbinamento di questi due materiali riesce ad ottenere un composto ibrido altamente performante. Nel caso specifico l'opera non riveste chiaramente alcuna funzione di stabilità, cioè non lavora come se fosse un'opera di sostegno in quanto posta a tergo di un manufatto in c.a.; il riporto

Fase di installazione dell'opera in terra rinforzata a metà della parete da rivestire. Sullo sfondo si possono intravedere le membrane bugnate nere a protezione meccanica dell'impermeabilizzazione.



Particolare del drenaggio a tergo dell'opera all'inizio dell'installazione del sistema terra rinforzata. Il collettore drenante viene posto alla base del locale interrato.

rinforzato non riceve infatti alcun tipo di sollecitazione, dovendosi semplicemente autosostenersi.

L'opera è costituita da una pennellatura frontale in rete elettrosaldata presagomata, per rendere la facciata il più regolare possibile e contenere meglio gli strati di terreno precedentemente costipati.

Gli elementi di rinforzo utilizzati sono delle geogriglie tessute in fibre di poliestere **XGrid PET PVC 60/30** risvoltate al fronte secondo la tecnica del wrap around, installate ogni 60 cm. Per evitare che, nel corso di eventi meteorici, ci possa essere un dilavamento al fronte prima che sia avvenuta la vegetazione, è stata installata una biorete in fibre di juta da 500 gr/mq **Ecovonet J 500**.

La biorete è stata installata tra la casseratura e la geogriglia in PET.

A tergo dell'opera, per poter creare un presidio idraulico in grado di garantire un opportuno drenaggio del manufatto, è stata prevista la posa di collettori drenanti in HDPE **TPipe 125**.

Al termine dell'intervento è stata prevista un'idrosemina a spessore per agevolare la crescita del manto erboso.

L'altezza massima del manufatto è di 6 m, con inclinazione al fronte di 70°.



L'opera di sostegno in terra rinforzata ha raggiunto la sommità dell'edificio, rivestendo integralmente il locale interrato. E' già stata eseguita l'idrosemina a spessore per garantire una buona copertura del manto erboso.



Dopo alcune settimane dall'idrosemina, il fronte è completamente rinverdito.

Vista del cantiere in tre diverse fasi dei lavori.



# Analisi prezzi comparativa: soluzione in terra rinforzata

<b>SVILUPPO IN METRI LINEARI</b>	m	<b>35</b>	<b>Prezzo a metro lineare</b>
<b>ALTEZZA DEL MURO</b>	m	<b>3</b>	<b>€/m 335,48</b>
<b>AREA COMPLESSIVA DI FRONTE</b>	m <sup>2</sup>	<b>105</b>	
<b>altezza fuori terra</b>	m	<b>3</b>	<b>Prezzo a metro quadrato di fronte</b>
<b>zoccolo di fondazione</b>	m	<b>0</b>	<b>€/mq 111,83</b>

DESCRIZIONE	um	quantità	prezzo	importo
Scavo a sezione obbligata eseguito con mezzi meccanici in terreno di qualsiasi natura e consistenza, escluso la roccia, compreso eventuali demolizioni di vecchie murature e trovanti di dimensioni non superiori a mc 0,50, lo spianamento e la configurazione del fondo, anche se a gradoni, l'eventuale profilatura di pareti, scarpate e cigli, il paleggio ad uno o più sbracci, il tiro in alto, il trasporto del materiale di risulta a riempimento o in rilevato fino alla distanza media di m 100 e la sua sistemazione nei siti di deposito, oppure il trasporto fino al sito di carico sui mezzi di trasporto entro gli stessi limiti di distanza. Profondità da m 2,01 a m 4,00 <b>larghezza scavo: 2,7 m</b> <b>lunghezza scavo: 35 m</b> <b>altezza scavo: 3,5 m</b> <b>3 x 35 x 2,7</b>	m <sup>3</sup>	283,5	€ 3,71	€ 1.051,79
Geogriglia tessuta in fibre di poliestere rivestite in PVC avente resistenza minima pari a 40 kN/m ed allungamento a carico massimo non superiore al 12%, per il rinforzo strutturale del terreno di riempimento compensato a parte, compreso lo sfrido del 5% e il trasporto in cantiere <b>numero strati di rinforzo: 5</b> <b>lunghezza di ancoraggio: 2,7 m</b> <b>lunghezza di risvolto: 1,5 m</b> <b>lunghezza tratto frontale: 0,66 m</b> <b>lunghezza rinforzo tot. Per singolo strato: 2,7 + 1,5 + 0,66 = 4,86 m</b> <b>sfrido 5% : 5,10 m</b> <b>metri quadrati di rinforzo per metro lineare: 5,10 x 5 = 25,5 mq/m</b> <b>metri quadrati di prodotto tot: 25,5 x 35 = 892,5 mq</b>	m <sup>2</sup>	892,5	€ 3,12	€ 2.784,60
Geostuoia sintetica ad elevato indice dei vuoti in PP accoppiata ad un biofiltro preseminato tipo KMat F Sedum, posta al fronte dell'opera in terra rinforzata per evitare il dilavamento del terreno fine posto in opera per garantire la crescita della colture vegetale. Compreso lo sfrido del 5% ed il trasporto in cantiere <b>numero strati di rinforzo: 5</b> <b>larghezza per strato : 1 m</b> <b>sfrido 5% : 1,05 m</b> <b>metri quadrati di geostuoia per metro lineare: 1,05 x 5 = 5,25 mq/m</b> <b>metri quadrati di prodotto tot: 5,25 x 35 = 183,75 mq</b> <b>5,25 x 35</b>	m <sup>2</sup>	183,75	€ 8,90	€ 1.635,38
Geomcomposito drenante tridimensionale tipo QDrain ZM 8 14P ottenuto accoppiando due geotessili non tessuti ad un'anima drenante interna in monofilamenti di PP avente geometria a canali paralleli posti in direzione trasversale alla lunghezza del fronte. Alla base del sistema occorrerà prevedere la posa in opera di collettore drenante tipo T Pipe 125 corrugato esternamente ed internamente per agevolare l'evacuazione delle acque di infiltrazione. Compreso sfrido del 5% e trasporto in cantiere <b>metri quadrati per metro lineare: 3/sen(65) = 3,3 mq/m</b> <b>sfrido 5% : 3,46 m</b> <b>lunghezza fronte: 35 m</b> <b>metri quadrati di prodotto tot: 3,46 x 35 = 121,1 mq</b> <b>3,46 x 35</b>	m <sup>2</sup>	121,1	€ 11,20	€ 1.356,32
Cassero in rete elettrosaldata sagomata a 65° compreso di 7 tiranti a cassero per l'irrigidimento del tratto inclinato, costituita da tondini diam. 8 mm. <b>metro quadrato a vista per cassero: 4,0 x 0,6 = 2,4 mq</b> <b>area complessiva di fronte: 35 x 3 = 105 mq</b> <b>numero di casseri: 105 / 2,4 = 44</b>	cad	44	€ 44	€ 1.936,00
Manodopera composta da 1 operaio specializzato e da 2 comuni (8 ore al giorno per 3 giorni) <b>Operaio specializzato</b> <b>Operaio comune</b> <b>TOT.</b>	ore	24 48	€ 19,15 € 16,54	€ 459,60 € 793,92 € 1.253,52
Noli mezzi (ipotizzato 3 giorni per 8 ore al giorno) <b>Escavatore</b> <b>Compattatore</b> <b>Vibrocostipatore</b> <b>Miniescavatore</b> <b>TOT.</b>	ore	24 24 24 24	€ 40,50 € 10,35 € 8,00 € 13,00	€ 972,00 € 248,40 € 192,00 € 312,00 € 1.724,40
<b>TOTALE € 11.742,01</b>				



Struttura di sostegno in terra rinforzata

## Analisi prezzi comparativa: soluzione in cemento armato

<b>SVILUPPO IN METRI LINEARI</b>	m	35	<b>Prezzo a metro lineare</b>
<b>ALTEZZA DEL MURO</b>	m	3,3	<b>€/m 631,43</b>
<b>AREA COMPLESSIVA DI FRONTE</b>	m <sup>2</sup>	98	
<b>altezza fuori terra</b>	m	2,8	<b>Prezzo a metro quadrato di fronte</b>
<b>zoccolo di fondazione</b>	m	0,5	<b>€/mq 225,51</b>

DESCRIZIONE	um	quantità	prezzo	importo
Scavo a sezione obbligata eseguito con mezzi meccanici in terreno di qualsiasi natura e consistenza, escluso la roccia, compreso eventuali demolizioni di vecchie murature e trovanti di dimensioni non superiori a mc 0,50, lo spianamento e la configurazione del fondo, anche se a gradoni, l'eventuale profilatura di pareti, scarpate e cigli, il paleggio ad uno o più sbracci, il tiro in alto, il trasporto del materiale di risulta a riempimento o in rilevato fino alla distanza media di m 100 e la sua sistemazione nei siti di deposito, oppure il trasporto fino al sito di carico sui mezzi di trasporto entro gli stessi limiti di distanza. di profondità da m 2.01 a m 4.00 <b>larghezza scavo: 3 m</b> <b>lunghezza scavo: 35 m</b> <b>altezza scavo: 3,5 m</b> <b>3,5 x 35 x 3</b>	m <sup>3</sup>	367,5	€ 3,71	€ 1.363,43
Fornitura e posa in opera di calcestruzzo per sottofondazioni, confezionato con 2 o più pezzature di inerte, in modo da ottenere una distribuzione granulometrica adeguata all'opera da eseguire, gettato con l'ausilio dei casseri, questi contabilizzati a parte. Sono compresi i ponteggi, i piani di lavoro, il trasporto, il sollevamento e la vibrazione. Con resistenza caratteristica cubica a 28 gg. di maturazione non inferiore a kg/cmq 150 <b>35 x 2,5 x 0,2</b>	m <sup>3</sup>	17,5	€ 110,00	€ 1.925,00
Fornitura e posa in opera di calcestruzzo per fondazioni continue, plinti e platee di c.a., confezionato con 2 o più pezzature di inerte, in modo da ottenere una distribuzione granulometrica ed una categoria di consistenza adeguata all'opera da eseguire, gettato con l'ausilio dei casseri, armatura in ferro e casseri contabilizzati a parte. Sono compresi i ponteggi, i piani di lavoro, il trasporto, il sollevamento e la vibrazione con resistenza caratteristica cubica a 28 gg. di maturazione Rck kg/cmq 350 <b>35 x 2,2 x 0,5</b>	m <sup>3</sup>	38,5	€ 120,00	€ 4.620,00
Fornitura e posa in opera di calcestruzzo per travi, pilastri, solette piane, muri di vano scala e ascensore di c.a., confezionato con 2 o più pezzature di inerte, in modo da ottenere una distribuzione granulometrica ed una categoria di consistenza adeguata all'opera da eseguire, gettato con l'ausilio dei casseri, armatura in ferro e casseri contabilizzati a parte. Sono compresi i ponteggi, i piani di lavoro, il trasporto, il sollevamento e la vibrazione d) con resistenza caratteristica cubica a 28 gg. di maturazione Rck kg/cmq 350 <b>[(0,5 + 0,3)x2,8/2] x 35</b>	m <sup>3</sup>	39,2	€ 120,00	€ 4.704,00
Acciaio in barre per armature di conglomerato cementizio, lavorato e tagliato a misura, sagomato e posto in opera, compreso lo sfrido, le legature e gli oneri relativi ai controlli di legge, del tipo Fe B 44 K ad aderenza migliorata controllato in stabilimento <b>nervatura tipo 1 2x 167x 0.882x 3.84</b> <b>armatura superiore fondazione 11x 1.201x 35</b> <b>armatura inferiore fondazione 11x 1.201x 35</b> <b>riprese tipo 1 167x 1.201x 3.52</b> <b>rete elettrosaldata superiore 9.18x 2.80x 35</b> <b>rete elettrosaldata inferiore 9.18x 2.80x 35</b> <b>chiusura tipo 1 167x 1.201x 1.85</b> <b>ferri di chiusura 2x 1.201x 35</b> <b>TOT.</b>	kg	1131,22		
	kg	462,39		
	kg	462,39		
	kg	706,00		
	kg	899,64		
	kg	899,64		
	kg	371,05		
	kg	84,07		
	kg	<b>5016,38</b>	€ 0,90	€ 4.514,74
Casseforme, rette realizzate in legname, per getti di conglomerati cementizi semplici o armati con altezza netta dal piano di appoggio fino a m 4.00, compreso il montaggio, l'impiego di idonei disarmanti e lo smontaggio a) per opere in fondazione poste in opera piane <b>fondazione: 2 x 0,5 x 35</b>	m <sup>2</sup>	35	€ 18,10	€ 633,50
Casseforme, rette realizzate in legname, per getti di conglomerati cementizi semplici o armati con altezza netta dal piano di appoggio fino a m 4.00, compreso il montaggio, l'impiego di idonei disarmanti e lo smontaggio b) per opere in elevazione quali muri, vani ascensori, delimitazioni di interrati <b>muri in elevazione: 2 x 2,8 x 35</b>	m <sup>2</sup>	196	€ 22,14	€ 4.339,44
<b>TOTALE € 22.100,11</b>				



Struttura di sostegno in cemento armato





## Tema: tecnologie e materiali per l'edilizia e l'ambiente.



Nella realizzazione di opere edilizie e interventi di ingegneria ambientale esistono fondamentalmente due aspetti: quello visibile, in gran parte estetico, e quello non visibile, che coinvolge elementi strutturali, di protezione, mantenimento e sicurezza. Di quest'ultimo aspetto si occupa **Tema** da oltre 10 anni distinguendosi sia per le soluzioni applicative originali (in numerosi casi fortemente competitive) che per le innovazioni tecnologiche e l'utilizzo di nuovi materiali.

**Tema** si avvale di un moderno sistema produttivo con stabilimenti in Italia, Spagna, Turchia, Romania e Russia. Opera quotidianamente in oltre 60 paesi dove è protagonista nel mercato con soluzioni e prodotti per il drenaggio e l'isolamento nei settori dell'edilizia residenziale e civile.

Altrettanto importanti sono le innovative soluzioni ideate appositamente per le grandi opere d'intervento ambientale: **Tema** propone difatti la più vasta e completa gamma di geocomposti drenanti e geostuoie tridimensionali antierosione.

**Tema** si caratterizza inoltre per la continua ricerca di nuovi prodotti, il coinvolgimento attivo di progettisti e imprese, l'affiancamento ai clienti nelle fasi progettuali e realizzative.

**TeMa Technologies and Materials srl**  
via dell'Industria 21  
31029 Vittorio Veneto (TV) ITALY  
Tel. +39 0438 5031  
fax +39 0438 503462  
e-mail: [info@temacorporation.com](mailto:info@temacorporation.com)  
[www.temacorporation.com](http://www.temacorporation.com)

**Ufficio tecnico divisione geosintetici**  
corso del Popolo 56  
20056 Seregno (MI) ITALY  
Tel. +39 0362 245179  
Fax +39 0362 242256  
e-mail: [tecnico@temageo.com](mailto:tecnico@temageo.com)  
[www.temageo.com](http://www.temageo.com)

**Tema North**  
142641 (FR) Moskovskaja obl.  
Orekhovo-zuevskij r-n  
d. Davydovo  
ul. Zavodskaja  
Tel. /fax: +7(4964) 174204.

**Tema Ibérica S.I.**  
C/Bélgica  
Pol. Ind. de Rossanes  
08769 Castellví de Rossanes  
España

**Tema Med Ltd.Sti.**  
Ege Serbest Bolgesi Mumtaz  
Sok. No:23  
35410 Gaziemir/Izmir Turkiye  
Tel. +90 232 252 04 24  
Fax +90 232 252 16 44