

# INTERVENTI GEOSINTETICI per la riduzione del rischio idrogeologico

**Le politiche e le strategie su cui si basa un corretto approccio gestionale delle risorse naturali prevede il ricorso a specifici strumenti pianificatori di cui la nostra Amministrazione Pubblica si è ormai da tempo dotata: gli studi di settore.**

Il PAI, Piano per l'Assetto Idrologico, rappresenta uno di questi strumenti pianificatori. La valutazione del rischio idraulico di un'area e la sua conseguente perimetrazione comporta necessariamente la definizione di una serie di opere al contorno in grado di migliorare la risposta del territorio in occasione di eventi atmosferici particolarmente critici.

Questo articolo, riprendendo quando già previsto negli allegati tecnici del PAI, analizza operativamente le principali fasi realizzative che hanno condotto all'adeguamento arginale del tratto terminale del torrente Carrione - ubicato in provincia di Massa Carrara - mediante opere in terra rinforzata.

La gestione, la conservazione e la conseguente valorizzazione delle risorse ambientali transita anche per i piani strategici di settore. Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico è a tutti gli effetti un piano territoriale di settore, il cui scopo è definire le azioni di intervento di natura programmatica, stabilendo le modalità attraverso cui essere in grado di gestire in maniera adeguata le risorse naturali del nostro territorio.

Il Piano Stralcio individua, in particolare, le aree a maggior rischio idraulico, delimitando spazialmente porzioni di territorio a cui sono associati indici di pericolosità variabili (livelli alti/medi/bassi). Esistono degli allegati di stampo tecnico all'interno del PAI che delineano la natura degli strumenti che debbono essere attivati per il conseguimento degli obiettivi prefissati.

Il PAI (Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico) prevede, all'interno dei suoi allegati tecnici, la Carta degli Interventi Strutturali. Le tipologie degli interventi previsti, siano essi strutturali o non strutturali, rappresentano possibili soluzioni per il risanamento idrogeologico e il recupero ambientale delle aste fluviali e dei versanti in frana.

Gli interventi di tipo non strutturale sono sostanzialmente finalizzati a prevedere e conseguentemente mitigare l'eventuale danno attraverso l'implementazione di azioni di natura norma-

tiva e/o pianificatoria.

Gli interventi, invece, di carattere strutturale si ispirano sostanzialmente a due differenti categorie di interventi:

- interventi di difesa attiva (preventivi), finalizzati a evitare il possibile innesco di fenomeni di dissesto;
- interventi di difesa passiva (protettivi), indirizzati a mitigare i possibili effetti derivanti dall'innesco del dissesto.

## **Interventi di sistemazione del reticolo idrografico**

Gli elementi principali che caratterizzano un reticolo idrografico assumono caratteristiche differenti a seconda della natura dei corsi d'acqua interessati:

- i torrenti montani - caratterizzati da alvei incisi nelle formazioni attraversate - per i quali si parla di dissesto a carattere prevalentemente erosivo, localizzato al piede del versante;
- i tratti pedemontani - caratterizzati da processi di deposito - con incremento dei rischi associati a fenomeni di esondazione, per riduzione delle sezioni trasversali;
- i tratti in pianura, caratterizzati da probabili fenomeni di esondazione nel caso in cui, per una data sezione, le portate provenienti da monte eccedono la capacità di invaso delle sezioni di valle.

In funzione delle caratteristiche intrinseche del tracciato, è possibile distinguere diversi interventi di sistemazione:

- interventi attivi (di natura preventiva) finalizzati a impedire l'innesco di fenomeni di dissesto;
- interventi passivi (di natura protettiva) indirizzati a mitigare gli effetti derivanti dall'innesco del dissesto.

Tra i possibili interventi di natura attiva, si possono avere:

- le vasche di laminazione;
- gli scolmatori e i diversivi.

Tra gli interventi strutturali di natura passiva, invece, si possono adottare le seguenti categorie di opere:

- arginature;
- difese spondali.

Demandando ad altra sede la trattazione degli interventi attivi, di seguito verranno esposte le principali caratteristiche degli interventi strutturali di carattere passivo, all'interno dei quali si colloca il lavoro descritto nella parte conclusiva dell'articolo.

### **Arginature**

Le arginature rappresentano sicuramente l'intervento strutturale di più lungo corso. La funzione prevalente è chiaramente l'ampliamento della sezione trasversale del corso d'acqua, allo scopo di convogliare la portata di piena, senza che questa abbia la possibilità di esondare.

I motivi che hanno spinto i tecnici a prevedere interventi di rialzo sono sostanzialmente correlati al cambiamento delle condizioni idrauliche e antropiche al contorno.

Gli argini, tipicamente a sezione trasversale trapezia, si distinguono in argini maestri (o principali) e argini golenali (o secondari). In particolare, gli argini golenali sono caratterizzati da altezze decisamente più ridotte rispetto a quelle degli argini principali, avendo soprattutto il compito di mantenere in alveo le piene ordinarie.

Possono essere classificati in:

- argini secondari interni, situati tra il letto del fiume e l'argine principale;
- argini secondari esterni, situati nell'area potenzialmente interessata dalla piena, posti direttamente alle spalle dell'argine principale.

La presenza di strutture arginali di dimensioni contenute quali quelle golenali garantisce il raggiungimento di un livello di protezione idraulica del territorio tale da preservare le aree limitrofe almeno dagli eventi di piena meno intensi ma più frequenti (golena difesa). Gli inconvenienti principali che intervengono nella realizzazione di arginature sono sostanzialmente correlati all'eventualità che si verificano i seguenti fenomeni:

- rottura per sormonto;
- rottura per sfianamento;
- cedimento per corrosione;
- rottura per filtrazione.

### **Difese spondali**

Le difese spondali sono realizzate mediante opere longitudinali che si sviluppano prevalentemente nella direzione di moto della corrente, inducendo un sostanziale incremento dei fattori stabilizzanti nelle sponde.

Le tipologie di opere previste sono:

- muri di sponda;
- rivestimenti spondali.

### **Muri di sponda**

I muri di sponda sono sostanzialmente delle strutture a parete verticale prevalentemente costruiti in calcestruzzo o in muratura di pietrame e malta.

Trattandosi di muri praticamente impermeabili, per agevolare il drenaggio retrostante si rende necessario realizzare degli interventi che evitino l'insorgere di differenziali di pressione tra i paramenti di monte e di valle, per via delle repentine oscillazioni del livello idrico nel corso d'acqua.

### **Sistemi di drenaggio sintetici a tergo dei muri di sponda**

In questo frangente è possibile prevedere l'installazione di un geocomposito drenante sintetico a tergo della struttura, in sostituzione dei classici strati drenanti in ghiaia.

Il sistema drenante sintetico (Q-Drain) è costituito da un'anima drenante interna in monofilamenti di polipropilene (PP) accoppiata a due geotessili non tessuti agugliati termosaldati, anch'essi in PP.

Il sistema può essere prodotto in spessori variabili, da 8 a 20 mm, in larghezze da 2 fino a 4 m. Si tratta sostanzialmente di una concezione nuova per il drenaggio dei muri contro terra, finalizzata alla sostituzione di materiali drenanti naturali, con l'ulteriore vantaggio di migliorare sensibilmente anche le prestazioni idrauliche del sistema. Per poter meglio valutare l'effettivo incremento prestazionale nel caso in cui si decidesse di adottare un sistema drenante sintetico invece che un sistema naturale in ghiaia, è necessario introdurre alcune definizioni:

- trasmissività idraulica di un GCD (geocomposito drenante);
- portata specifica di uno strato naturale.

Il concetto di trasmissività idraulica di un GCD identifica la quantità d'acqua che il prodotto è in grado di trasportare longitudinalmente il proprio piano, nell'unità di tempo e per unità



di larghezza.

Il dato idraulico dipende poi sostanzialmente dalla pressione e dal gradiente idraulico a cui il geosintetico è sottoposto in fase di esercizio. L'unità di misura che viene quindi adottata è pari a una portata per unità di larghezza e si misura quindi in l/m s. Considerando valida e applicabile la relazione di Darcy, è possibile impostare la seguente relazione:

$$Q = kiA$$

$$Q = ki(t \times W)$$

$$\frac{Q}{W} = i(k \times t)$$

$$\frac{Q}{W} = i\theta$$

Dove:

- Q = portata [m<sup>3</sup>/s];
- W = larghezza considerata unitaria del GCD [m];
- q = Q / W = portata specifica [m<sup>2</sup>/s];
- k = permeabilità [m/s];
- t = spessore [m];
- i = gradiente idraulico [ad.].

Da cui quindi la relazione che correla portata specifica e trasmittività:

$$= q/i$$

La norma che sottende al calcolo della capacità drenante di un geocomposito è la UNI EN ISO 12958.

L'applicazione della norma consente di calcolare il valore nominale del prodotto, non il suo valore ammissibile.

È importante chiarire la differenza tra capacità nominale e ammissibile, in quanto è necessario valutare il livello di abbattimento del rendimento idraulico del sistema sintetico per effetto delle condizioni al contorno.

Tali condizioni si riflettono sulle prestazioni del prodotto attraverso degli opportuni fattori di sicurezza FS<sub>i</sub>.

Pertanto, detta q<sub>nom</sub> la portata specifica nominale determinata in laboratorio, occorre introdurre dei fattori di danneggiamento FS<sub>i</sub> sulla base dei quali calcolare la portata specifica ammissibile (q<sub>amm</sub>):

$$q_{amm} = q_{nom} \left[ \frac{1}{FS_1 * FS_2 * FS_3 * FS_4} \right]$$

Dove:

- q<sub>nom</sub> = portata specifica nominale del GCD calcolata secondo EN ISO 12958 (l/sm);
- FS<sub>1</sub> = fattore di danneggiamento che tiene in considerazione il fenomeno dell'intrusione del geotessile all'interno dell'anima drenante;
- FS<sub>2</sub> = fattore di danneggiamento che tiene in considerazione il fenomeno del creep dei materiali polimerici;
- FS<sub>3</sub> = fattore di danneggiamento che tiene in considerazione il fenomeno del "clogging" di natura chimica;
- FS<sub>4</sub> = fattore di danneggiamento che tiene in considerazione il fenomeno del "clogging" di natura biologica.

È chiaro che il calcolo delle prestazioni del GCD vanno riferite al caso specifico, quindi al carico totale gravante sul prodotto (P<sub>tot</sub>) e al corrispondente valore di gradiente idraulico (i).

Noti che siano questi parametri, attraverso le tabelle prestazionali relative al prodotto testato si desume il valore di portata idraulica specifica nominale (q<sub>nom</sub>).

Dal dato idraulico nominale, applicando gli opportuni fattori di danneggiamento FS<sub>i</sub> si ottiene il valore di portata idraulica specifica ammissibile (q<sub>amm</sub>).

Nel caso specifico dei muri di sponda, il valore del gradiente idraulico è pari a i = 1, in quanto il prodotto verrà posizionato verticalmente, mentre il valore della sollecitazione a cui sarà sottoposto si calcola mediante le seguenti considerazioni.

Detta H la profondità massima a cui il sistema drenante verrà posizionato, nonché massima profondità del muro di sponda, per calcolare lo sforzo orizzontale massimo di confinamento occorre conoscere le caratteristiche dei terreni in termini di peso specifico (kN/m<sup>3</sup>), angolo di attrito (°), e coesione c (kPa).

$$\sigma_h = \gamma * H * k_A$$

Con K<sub>A</sub> coefficiente di spinta attiva del terreno.

$$k_A = \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$

Nel caso fossero previsti dei sovraccarichi (temporanei o permanenti) in prossimità della trincea, è necessario correggere il valore dell'altezza massima della trincea mediante la seguente equazione:

$$H' = \frac{\gamma * H + q}{\gamma}$$

La considerazione successiva è quella di valutare (sempre mediante la relazione di Darcy) la portata Q (m<sup>3</sup>/s) che uno strato di materiale naturale è in grado di drenare, noti i valori di permeabilità k (m/s), di gradiente idraulico i (ad.) di sezione di flusso A (m<sup>2</sup>) di spessore t (m) e di larghezza drenante L (m).

$$Q_{ghiaia} = k_{ghiaia} \cdot A \cdot i = k_{ghiaia} \cdot L \cdot t \cdot i$$

$$q_{ghiaia} = \frac{Q_{ghiaia}}{L} = k_{ghiaia} \cdot t \cdot i$$

Il passaggio finale consisterà nel confrontare i due dati idraulici (portata specifica relativa alla ghiaia e quella relativa al GCD) e ottenere il fattore di merito che giustifichi il ricorso alla soluzione sintetica.

$$FS = \frac{q_{GCD}}{q_{ghiaia}}$$

Geocomposito drenante tipo Q-Drain costituito da monofilamenti in polipropilene racchiusi tra due geotessili non tessuti per il drenaggio a tergo dei muri di sponda.

Un altro aspetto non trascurabile relativo ai muri di sponda riguarda lo strato di fondazione. Possibili fenomeni erosivi in corrispondenza del fondo alveo, determinati dall'effetto di trascinarsi della corrente, potrebbero infatti determinare dei cedimenti differenziali del terreno di fondazione oppure il possibile scalzamento della base di appoggio.

In questi frangenti è ipotizzabile la predisposizione degli interventi di approfondimento del piano di posa della fondazione, al fine di evitare il manifestarsi di possibili effetti negativi correlati al fenomeno erosivo; nel caso di evidente manifestazione del dissesto è possibile prevedere la protezione del piede dell'opera mediante paratie in cls, palancole metalliche, oppure fondare l'opera su pali.

### Rivestimenti spondali

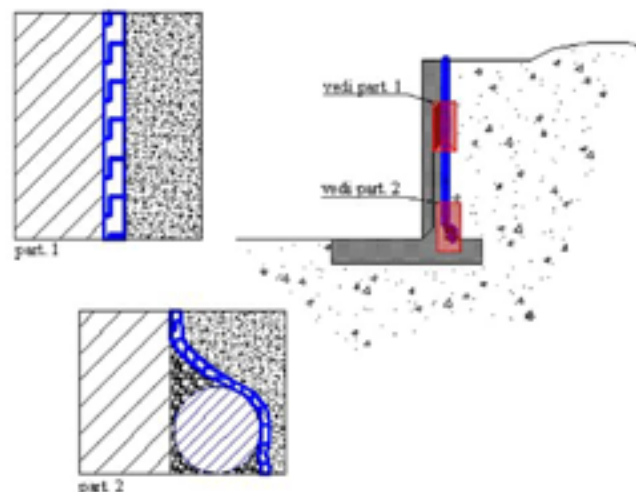
I rivestimenti spondali, invece, svolgono prevalentemente le seguenti funzioni:

- difendere la sponda dai fenomeni erosivi derivanti dal transito della corrente del corso d'acqua;
- migliorare, le condizioni di stabilità della scarpata.

La tecnica di sistemazione spondale più diffusa e riconosciuta è l'inerbimento. Un'adeguata copertura vegetale della sponda consente l'ottenimento di un adeguato livello di protezione della medesima, nei confronti dell'azione erosiva della corrente. Nel medio termine, prima cioè che sia avvenuta la completa rivegetazione della sponda, è possibile prevedere l'inserimento di materiali sintetici a struttura tridimensionale.

Si tratta sostanzialmente di inserire tra il substrato naturale e la ricarica di terreno, sottoposto a semina, una geostuoia.

Il prodotto geosintetico consiste in una struttura geometrica tridimensionale a elevato indice dei vuoti (superiore al 90%), ottenuta per estrusione di monofilamenti sintetici aggrovigliati e saldati nei punti di contatto in polipropilene (PP).



I dati caratteristici del prodotto sono i seguenti:

- spessore, misurato a 2 kPa secondo la norma EN 964-1, pari a 20 mm (toll. -10%);
- resistenza a trazione MD (direzione longitudinale al verso di produzione), secondo la norma EN ISO 10319, pari a 2,1 kN/m (toll. ± 10%);
- resistenza a trazione CMD (direzione trasversale al verso di produzione), secondo la norma EN ISO 10319, pari a 1,3 kN/m (toll. ± 10%);
- allungamento a carico max MD (direzione longitudinale al verso di produzione), secondo la norma EN ISO 10319, pari a 60% (toll. ± 15%);
- allungamento a carico max CMD (direzione trasversale al verso di produzione), secondo la norma EN ISO 10319, pari a 60% (toll. ± 15%).

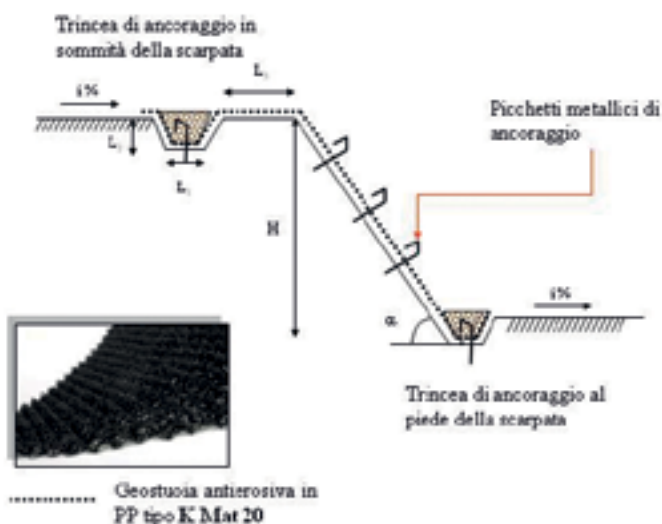
I rotoli verranno prodotti in larghezze variabili da 2 m fino a 4 m, per uno sviluppo longitudinale pari a 25 m.

Le modalità di installazione sono estremamente semplici: è necessario prevedere l'ancoraggio del rivestimento sintetico in sommità e al piede della sponda, all'interno di trincee in terra. Dovendo garantire un adeguato livello di adesione tra il rivestimento e il substrato, è necessario utilizzare dei picchetti metallici (a forma di U), in ragione di almeno 1,5 / 2 elementi per metro quadrato di superficie.

L'inserimento di strati sintetici ha anche la funzione di proteggere il sottofondo della sponda dall'azione erosiva dei comuni agenti atmosferici che potrebbero indurre la formazione di tracce e fessure all'interno del terreno.

A seconda delle finalità che si vogliono perseguire e dell'intensità presunta del fenomeno erosivo che si vuole contenere, esistono anche dei materiali composti prevalentemente da fibre naturali biodegradabili, come per esempio reti di juta o biostuoie di paglia o fibra di cocco.

Data la natura completamente biodegradabile del materiale, la



funzione delle biostuoie/bioreti è tesa a proteggere la sponda (soprattutto dagli agenti atmosferici) per una fase temporanea, in attesa che si sviluppi la vegetazione prevista.

### Il caso del ripristino spondale del torrente carrione

Il caso studio analizzato riguarda il ripristino idraulico del torrente Carrione, ubicato in Massa Carrara, a seguito degli interventi previsti per la messa in sicurezza idraulica stabiliti dal Settore Difesa del Suolo e Protezione Civile dell'amministrazione provinciale di Massa Carrara.

Ricadente nell'ambito delle opere finanziabili dal D.L. 180/98 Interventi per la riduzione del rischio idrogeologico, uno degli interventi previsti è consistito nel rialzare l'attuale muro di sponda in destra idraulica, mediante delle opere in terra rinforzata.

### Inquadramento idraulico d'area vasta

Dal punto di vista idrografico, il torrente Carrione ricade all'interno del bacino Regionale Toscana Nord. Territorialmente, il bacino regionale si estende per circa 375 kmq, tra le province di Massa Carrara e Lucca. L'area del bacino idrografico sotteso dal torrente Carrione ammonta a circa 46,6 kmq, per un lunghezza complessiva pari a 15,4 km.

Il torrente sostanzialmente si può suddividere in tre tratte principali:

- parte montana;
- parte intermedia con pendenze del fondo che si attestano su valori compresi tra l'1% e il 3% e sponde relativamente alte;
- parte terminale, sostanzialmente pensile, compresa tra il ponte della linea ferroviaria Pisa-Genova e il mare Tirreno.

I risultati degli studi idrologici hanno evidenziato rilevanti criticità idrauliche in corrispondenza delle portate critiche con tempo di ritorno di 30 e 200 anni, localizzate in corrispondenza del tratto compreso tra la foce e il centro abitato di Carrara.

### Principali fasi di lavoro

La necessità di prevedere un incremento della capacità di invaso del torrente in corrispondenza del tratto terminale a mare, ha suggerito il ricorso alla tecnica delle terre rinforzate.

Dal punto di vista realizzativo, le principali fasi di installazione del sistema, consistono in:

- Fase 1: pulizia dell'area e predisposizione del piano di posa.
- Fase 2: posizionamento dei casseri a perdere in rete elettrosaldata.
- Fase 3: posizionamento dell'elemento antierosivo al fronte, costituito da una biostuoia in paglia cocco tipo Ecovermat PC 450.
- Fase 4: posizionamento della geogriglia di rinforzo (X-Grid 55), per una lunghezza totale  $L_{tot}$  data dalla somma di tre componenti:

$$L_{tot} = L_a + 2 * L_s + 2 * L_p$$

$L_a$  : lunghezza della base del trapezio;

$L_s$  : lunghezza del risvolto;

$L_p$  : lunghezza dello strato  $i$ -esimo in corrispondenza del paramento frontale;

$S_v$  : spessore dello strato  $i$ -esimo.

- Fase 5: formazione dell'elemento  $i$ -esimo, prevedendo il riporto di terreno in funzione dello spessore  $S_v$  previsto (50 cm). Solitamente, le categorie di terreni da impiegarsi per la realizzazione dei manufatti in terre rinforzate appartengono alle classi A1, A2-4, A2-5 e A3 (secondo le norme italiane CNR-UNI 10006), prevedendo in fase di posa l'esecuzione di un'adeguata compattazione mediante rulli vibranti.

Solitamente è necessario il raggiungimento di valori di densità non inferiore al 90% di quella massima raggiungibile con la prova AASHTO modificata.

- Fase 6: ultimata la stesura dello strato  $i$ -esimo, sarà necessario prevedere il risvolto sia della geogriglia che della biostuoia.
- Fase 7: allestimento del sistema di cassetatura in corrispondenza dello strato successivo, ripetendo in modo sequenziale le fasi precedentemente analizzate.



### Caratteristiche costruttive dei manufatti in terra rinforzata

La sezione tipo di progetto ha uno sviluppo di tipo trapezoidale. Frontalmente è stata prevista l'installazione, su entrambi i lati, di una casserratura metallica avente maglia 15 x 15 cm dim. 8 mm, piegata a 65°. Lo spessore dell'elemento i-esimo costituente il sopralzo arginale risulta pari a 50 cm. Ciascuna casserratura (lunghezza 2,25 m) è provvista di 4 tiranti, utilizzati per mantenere l'inclinazione della rete, in fase di compattazione del terreno. L'elemento di rinforzo sintetico utilizzato è costituito da una geogriglia tessuta in poliestere, ad alta tenacità, rivestita in PVC tipo X-Grid PET PVC.

La resistenza nominale a trazione della geogriglia impiegata è pari a 55 kN/m, in direzione longitudinale.

Occorre a questo punto precisare che, quando si utilizzano materiali polimerici quali le geogriglie, per il rinforzo dei terreni, è necessario, in fase di progettazione, calcolare la resistenza del prodotto nel lungo periodo e non eseguire le verifiche di stabilità sul dato di targa del rinforzo (in questo caso appunto pari a 55 kN/m).

In letteratura esistono diverse procedure di calcolo introdotte per stimare il rendimento meccanico del prodotto in funzione della vita utile dell'opera.

Sostanzialmente il concetto è correlato al fatto che le prestazioni del rinforzo sintetico dipendono da due categorie di variabili:

- variabili tempo indipendenti;
- variabili tempo dipendenti.

Ciascuna variabile è quantificata mediante l'introduzione di opportuni fattori di sicurezza che riducono sostanzialmente il rendimento meccanico del prodotto nel medio-lungo periodo. La prima categoria di variabili si riferisce a fattori di danneggiamento riconducibili alle seguenti categorie:

- condizioni ambientali;

- condizioni legate alle fasi di posa in opera del prodotto;
- condizioni chimiche dei suoli.

La categoria invece relativa alle variabili tempo dipendenti si riferisce sostanzialmente al fenomeno del creep.

Per i prodotti polimerici di rinforzo, il creep riguarda il fenomeno dell'allungamento a carico costante del prodotto nel corso del tempo. Nel breve termine, la resistenza di un elemento di rinforzo sintetico viene calcolata in base ai dettami della norma EN ISO 10319, esprimendo il valore in kN/m.

Tale valore rappresenta il valore di resistenza nominale del prodotto. Nel lungo periodo, in accordo alla norma EN ISO 13431, occorre poter definire il livello prestazionale del rinforzo, sottoponendo il prodotto a test di trazione a carichi costanti.

Dai risultati ottenuti è possibile ricostruire le curve sforzi-deformazioni relative a un determinato intervallo temporale e quindi stimare la percentuale di resistenza residua associata al prodotto, imputabile al fenomeno del creep.

In linea di massima, l'espressione numerica che consente di calcolare la resistenza a lungo termine di un rinforzo è fornita dalla seguente equazione:

$$T_{allow} = \frac{T_{nom}}{F_{m11} * F_{m12} * F_{m21} * F_{m22} * F_{creep}}$$

Dove:

F<sub>creep</sub> = fattore di sicurezza al creep;

F<sub>m11</sub> = fattore di sicurezza correlato alle tolleranze produttive;

F<sub>m12</sub> = fattore di sicurezza correlato all'estrapolazione dei dati statistici di lungo periodo;

F<sub>m21</sub> = fattore di sicurezza correlato ai danneggiamenti in fase di posa;

F<sub>m22</sub> = fattore di sicurezza correlato alla natura dell'ambiente in cui è inserito il rinforzo sintetico;

T<sub>allow</sub> = resistenza a trazione del prodotto nel lungo periodo (allow significa "ammissibile") (kN/m);

T<sub>nom</sub> = resistenza a trazione nominale del prodotto, calcolata in base alla norma EN ISO 10319 (kN/m).

Tra la geogriglia e il cassero metallico viene inserita, come strato antierosivo, una biostuoia in paglia di cocco tipo Ecovermat PC 450. In questo caso, onde evitare in fase di stesura della geogriglia che la stessa possa impigliarsi tra i correnti del cassero, una guaina in plastica viene inserita longitudinalmente.

In questo modo si evita il danneggiamento della geogriglia, ottimizzando i tempi di posa. Soprattutto in questo tipo di applicazione, dove gli spazi di manovra sono comunque limitati e vi è la necessità di operare con doppia pannellatura ravvicinata, è importante rivolgere particolare attenzione anche a questo tipo di accorgimento.

**www.temacorporation.com**