

LUIS EDUARDO RUSSO
Huesker Srl, Trieste

PIERPAOLO FANTINI
Huesker Srl, Trieste

ANALISI DELLA TENSIONE DI PROGETTO A LUNGO TERMINE DEI GEOSINTETICI IMPIEGATI NEI RILEVATI RINFORZATI

1. Introduzione

I geosintetici di rinforzo impiegati nelle opere di ingegneria sono, a tutti gli effetti, vere e proprie armature che svolgono una funzione strutturale. Vengono utilizzati in numerose tipologie di intervento, tra cui: nelle terre rinforzate, nel rinforzo alla base di rilevati per evitare problemi di instabilità globale, come elemento di rinforzo sulla testa dei pali per evitare l'effetto di punzonamento degli stessi nel corpo dei rilevati, nell'attraversamento di zone soggette alla formazione di cavità, nel rinforzo delle sovrastrutture stradali e dei conglomerati bituminosi e, più recentemente, nella realizzazione di pali portanti in sabbia incapsulati con geotessili tubolari.

Questi materiali, destinati a lavorare a trazione, possono essere sottoposti a sollecitazioni di vario tipo: permanenti e accidentali, statiche o dinamiche, ad attacchi chimici, ambientali, a danneggiamenti meccanici, ecc. Naturalmente queste sollecitazioni devono essere considerate nell'arco di tempo che inizia dal momento in cui il geosintetico viene posato e finisce con la vita utile prevista dell'opera stessa. Per questa ragione, la funzionalità e la sicurezza delle opere è direttamente legata alle prestazioni del rinforzo nelle condizioni di esercizio, sia a breve che a lungo termine.

Risulta evidente, quindi, l'importanza che riveste la corretta valutazione in fase di calcolo delle tensioni e delle deformazioni ammissibili dei geosintetici da parte dei progettisti come pure la verifica di queste prestazioni da parte della Direzione Lavori.

2. Sollecitazioni nei geosintetici di rinforzo in funzione dell'applicazione

Durante la vita utile di un'opera la tensione a cui il geosintetico di rinforzo sarà sottoposto può variare, sia in funzione del tipo di applicazione, che della variazione delle condizioni di carico nel tempo (per es. cambiamento delle pressioni neutre in una terra rinforzata). La stessa considerazione deve essere fatta per le deformazioni ammissibili, quando si analizza l'opera da un punto di vista dello stato di servizio. In condizioni esercizio, quindi, al rinforzo viene richiesto di "garantire" una tensione minima e/o una deformazione massima a lungo termine (vita utile dell'opera).

In una terra rinforzata si ipotizza che, ad opera ultimata, la tensione richiesta ad ogni geogriglia rimarrà costante nel tempo.

In un rinforzo alla base di un rilevato fondato su terreni soffici, la massima tensione richiesta al geosintetico si potrà verificare nel momento di ultimazione del rilevato.

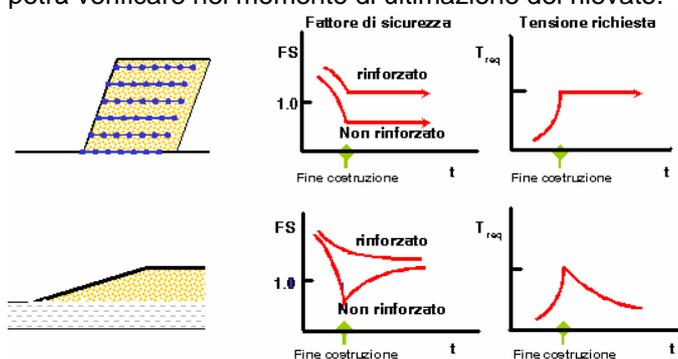


Fig. 1 - Variazione nel tempo del fattore di sicurezza e della tensione di esercizio in una terra rinforzata ed in un rinforzo di base di un rilevato.

Nei rilevati fondati su pali, ai rinforzi posizionati sulla testa degli stessi, è richiesta non solo una tensione ammissibile di esercizio, ma anche che le deformazioni siano limitate entro valori ammissibili nel tempo. Lo stesso accade nel caso dei pali portanti in sabbia incapsulata con geotessili tubolari o nel caso di geosintetici di rinforzo utilizzati per l'attraversamento di cavità (sink holes), dove le deformazioni ammissibili a lungo termine rivestono un ruolo fondamentale per limitare gli assestamenti.

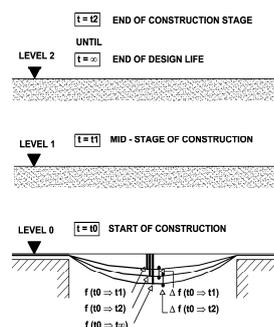


Fig. 2 - Variazione delle deformazioni nel tempo nei

rinforzi applicati sulla testa di pali di fondazione.

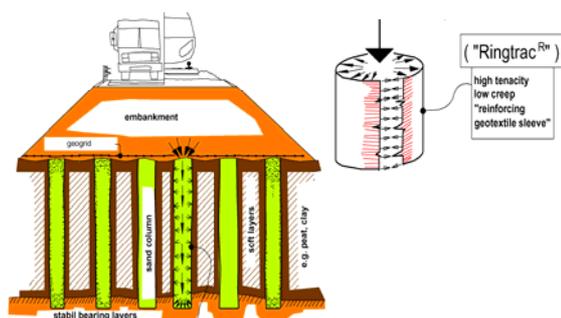


Fig. 3 - Nei pali portanti realizzati con geotessili di rinforzo tubolari, i cedimenti dipendono dalle deformazioni anulari del geosintetico nel tempo.

Nei rinforzi posizionati a livello della sovrastruttura stradale, invece, la sollecitazione più gravosa è il sovraccarico accidentale dinamico o ciclico di breve durata, dovuto al passaggio dei veicoli. Ad eccezione di quest'ultimo esempio, in tutti gli altri casi il comportamento al creep del materiale (deformazione viscosa del rinforzo sottoposto a carico costante), riveste un ruolo essenziale.

3. Principio del rinforzo delle terre

I geosintetici di rinforzo aumentano la resistenza al taglio del terreno lungo una superficie di rottura che li intercetta grazie a due effetti benefici:

- 1) Oppongono resistenza alla sollecitazione di taglio agente
- 2) Aumentano l'effetto d'attrito lungo la superficie di scorrimento giacché aumenta la tensione normale

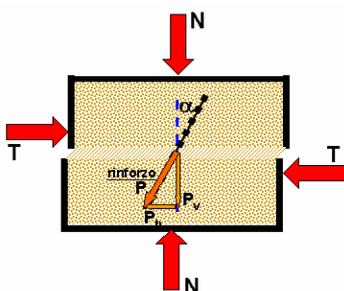


Fig. 4 - Rappresentazione schematica dell'effetto rinforzante di un geosintetico in una scatola di Casagrande.

L'incremento della resistenza al taglio ΔT del terreno per effetto del rinforzo può essere espresso nel seguente modo:

$$T + \Delta T = N \cdot \tan \phi' + P \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha \cdot \tan \phi')$$

con

ϕ' = angolo d'attrito del terreno

P = tensione nel geosintetico di rinforzo.

α = inclinazione rinforzo/superficie di rottura

L'effetto benefico di rinforzo del terreno è garantito se il geosintetico è in grado di garantire lo sviluppo della tensione di esercizio P nel tempo.

4. Tensione di progetto a lungo termine

Per tensione di progetto a lungo termine di un geosintetico s'intende la tensione critica cui sarà sottoposto il rinforzo in un periodo di tempo stabilito in fase di progettazione (vita utile dell'opera). In casi particolari, quando la tensione di esercizio è variabile nel tempo, risulta necessario verificare che il geosintetico sia in grado di assorbire le tensioni richieste in qualunque momento, tenendo in considerazione, inoltre, che la tensione ammissibile del geosintetico decade nel tempo per effetto di creep.

Diverse normative propongono metodi e formule per calcolare la tensione di progetto dei geosintetici. Al momento attuale la normativa italiana non prevede un metodo di calcolo specifico, quindi i progettisti fanno spesso riferimento ad altre normative disponibili a livello europeo ed internazionale o si affidano ai consigli forniti dai produttori e distributori dei materiali.

Alcune espressioni utilizzate per il calcolo della tensione di progetto sono le seguenti:

Paese	Tensione di progetto a lungo termine	Norma
UK	$T_{des} = \frac{F_{creep} \cdot T_{k ult.}}{f_m \cdot f_d \cdot f_e}$	BS 8006
DE	$F_d = \frac{F_k}{A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot \gamma_B}$	EBGEO
USA	$T_{al} = \frac{T_{ult}}{RF_{CR} \cdot RF_{ID} \cdot RF_D \cdot RF_{JT} \cdot FS}$	FHWA/GRI
FR	$T_{adm} = \frac{T_{ik}}{\gamma_{geo} \cdot \Gamma_{flu} \cdot \Gamma_{viel} \cdot \Gamma_{instal}}$	Pr NF G 38064

Tab. 1 - Formule impiegate in alcuni paesi per il calcolo della Tensione di progetto a lungo termine

In linee generali, in tutte queste espressioni la resistenza alla trazione a breve termine del materiale viene diminuita mediante l'applicazione di una serie di fattori di riduzione (FR) e, a volte, con fattori di sicurezza (FS). Questi fattori tengono conto della diminuzione della tensione per effetto di creep, del danneggiamento meccanico durante la posa, degli attacchi chimici/ambientali, ecc.. A differenza della normativa americana, nelle normative europee, si applica un fattore di riduzione che tiene conto del grado d'incertezza introdotto nell'effettuare l'estrapolazione dei dati di creep a partire dalle prove effettivamente realizzate sul materiale e, in alcuni casi, si applicano fattori di sicurezza che tengono conto dell'importanza dell'opera. Nella normativa tedesca (EBGEO) ed in quella americana (FHWA/GRI) si introduce un fattore di riduzione per la presenza di eventuali giunzioni tra geosintetici lungo la direzione principale di trazione. La distinzione realizzata precedentemente tra fattori di

riduzione e fattori di sicurezza è stata effettuata poiché vi è una differenza sostanziale di concetto: i primi riguardano il comportamento reale ed intrinseco di ogni geosintetico di rinforzo (ogni famiglia di prodotti possiede i propri fattori di riduzione caratteristici, per esempio il grado di danneggiamento che subisce una geogriglia durante la posa, oppure la deformazione per creep), mentre i secondi sono di natura convenzionale, vale a dire che vengono stabiliti dagli enti normativi o dalle leggi di ogni stato e sono di applicazione generica (per esempio: secondo la normativa italiana, per quanto riguarda la stabilità dei pendii, il fattore di sicurezza minimo richiesto è pari a 1,3).

Dal momento che la tensione di progetto a lungo termine è il dato di input che il progettista deve utilizzare in fase di verifica della stabilità di un'opera, si evince chiaramente l'importanza dell'affidabilità dei fattori di riduzione da applicare sul geosintetico adottato. E' responsabilità di ogni produttore fornire i fattori di riduzione dei propri prodotti sulla base di prove realizzate seguendo una norma specifica, supportati da certificati rilasciati da laboratori o istituti accreditati.

In alcuni casi può essere opportuno effettuare prove ad hoc che riflettano le condizioni specifiche del sito, in particolare per la determinazione del fattore di danneggiamento meccanico quando si utilizzano terreni di riempimento con pezzature che si discostano molto da quelli delle prove già effettuate.

Naturalmente, come è possibile immaginare, le tensioni di progetto che si ottengono applicando ognuna delle formule riportate nella tabella 1 non sono esattamente uguali, per il semplice fatto che il criterio con cui ogni norma è stata concepita è diverso. Fintanto che in Italia non verrà stabilita una normativa o un metodo unico da applicare, sarebbe auspicabile che i progettisti manifestassero esplicitamente nelle relazioni di calcolo la normativa adottata per il dimensionamento. Si evidenzia, tuttavia, che da diversi anni il BS 8006 è la norma più utilizzata in Italia nella progettazione di rilevati rinforzati con geosintetici. Per questo motivo, in questo articolo si analizza in dettaglio la formula proposta dal British Standard.

$$T_{des} = \frac{F_{creep} \cdot T_{kult}}{f_m \cdot f_d \cdot f_e} \quad (1)$$

5. Analisi dei parametri che influenzano la tensione di progetto (secondo il BS 8006).

5.1. Tensione di trazione a breve termine (T_{kult})

La T_{kult} si determina effettuando la prova di trazione su banda larga secondo quanto stabilito dalla norma EN ISO 10.319.

Questa prova permette di ottenere le curve tensione/deformazione a breve termine dei vari geosintetici di rinforzo come mostrato in fig. 1.

La T_{kult} da adottare dovrebbe essere la tensione caratteristica del materiale (con un limite di confidenza

minimo del 95%), risultante da una serie di almeno 5 prove di trazione e non la tensione media.

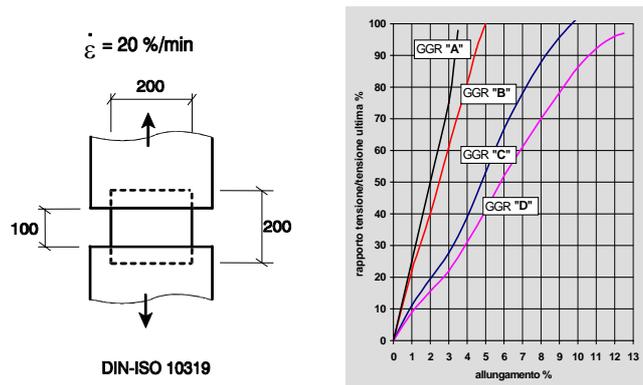


Fig. 5 - Schema della prova di trazione sui geosintetici (EN ISO 10.319) e curve tensione/deformazione a breve termine di 4 geogriglie diverse.

5.2. Fattore di riduzione per effetto di creep (F_{creep})

Quando i geosintetici di rinforzo sono sottoposti a sforzi di trazione permanente nel tempo, subiscono deformazioni di tipo viscoso (creep del materiale). E' importante evidenziare che si fa riferimento al creep del prodotto finito e non delle materie prime che lo costituiscono. L'entità di queste deformazioni dipende da vari fattori, tra cui: le materie prime, il processo di produzione, la percentuale del carico applicato rispetto al carico di rottura del materiale e la temperatura.

Tale comportamento deve essere tenuto in considerazione per la determinazione della tensione di progetto giacché, a causa del creep, la resistenza a trazione di un materiale diminuisce nel tempo.

Nella figura 2 (Lothspeich - Thornton) sono riportate le curve di deformazione per creep relative a vari tipi di geogriglie realizzate con diverse materie prime. Nel asse dell'ordinate sono riportate le deformazioni, mentre nell'asse delle ascisse il tempo in secondi in scala logaritmica. Per ogni geogriglia è stata indicata, tra parentesi, la percentuale di tensione (rispetto alla tensione di rottura) cui è stata caricata la geogriglia.

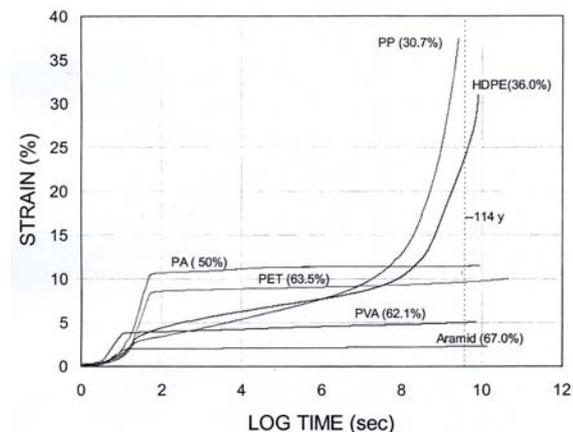


Fig. 6 - Deformazioni per creep di vari geosintetici di rinforzo con diversi rapporti di carico rispetto al carico di rottura (percentuali tra parentesi)

E' importante evidenziare che anche nella determinazione del F_{creep} , l'estrapolazione dei dati dovrebbe essere realizzata applicando il criterio del limite di confidenza min. del 95%; in altre parole, F_{creep} dovrebbe essere un valore caratteristico e non medio, affinché non si facciano assunzioni ottimistiche sul comportamento del materiale e, di conseguenza, rischiose per l'intera opera.

5.2.1. Curve isocrone

Le curve isocrone rappresentano la variazione delle tensioni e delle deformazioni dei geosintetici di rinforzo nel tempo, ovvero la variazione del modulo elastico per effetto di creep.

Sull'asse delle ordinate viene riportato il rapporto in percentuale tra la tensione considerata e la tensione ultima del materiale, mentre sull'asse delle ascisse la deformazione in percentuale. Queste curve rappresentano il comportamento caratteristico relativo ad una famiglia di rinforzi, a condizione che siano prodotti mantenendo gli stessi standard, dalla materia prima fino al prodotto finito. Stabilita la tensione di esercizio, dalle curve isocrone è possibile ricavare le deformazioni del rinforzo in qualunque momento della vita utile dell'opera. Dall'osservazione delle figure seguenti, dove sono riportate le curve isocrone relative a due geogriglie in PET e ad una geogriglia in HDPE (fig. 3), si desume che il comportamento di ogni prodotto è differente anche se realizzato con la stessa materia prima.

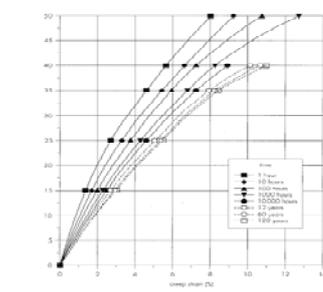
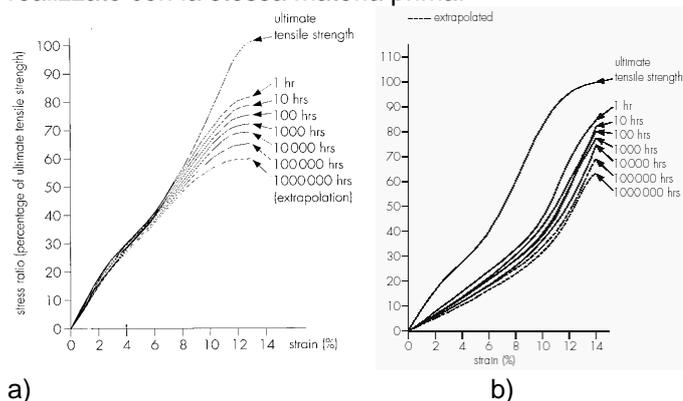


Fig. 7 - Curve isocrone corrispondenti a due geogriglie in Poliestere (curve "a" e "b") ed ad una geogriglia in HDPE (curva "c").

5.3. Fattore di riduzione per estrapolazione dei dati e per variabilità della produzione (f_m)

Questo fattore tiene conto di due aspetti: a) il grado di affidabilità che possiede ogni geosintetico di rinforzo per

essere usato come armatura in opere di vita utile prolungata, b) l'omogeneità delle caratteristiche tecniche su tutta la produzione (qualità).

$$f_m = f_{m11} \cdot f_{m12} \quad (2)$$

con:
 f_{m11} = variabilità della produzione (qualità)
 f_{m12} = dati disponibili delle prove di creep ed estrapolazione.

Il fattore f_{m11} tiene conto dell'omogeneità della produzione, la quale è direttamente legata al sistema di qualità con cui opera l'azienda produttrice; di conseguenza, f_{m11} può essere considerato pari a 1 se il produttore è certificato ISO 9001. Questo è un esempio concreto e quantificabile di trasferimento del concetto di qualità ad un aspetto strettamente prestazionale dei prodotti.

Nelle figure precedenti, le curve tensione/deformazione rappresentate con linee tratteggiate indicano che sono state estrapolate. Per pesare il grado d'incertezza introdotto nell'effettuare un'estrapolazione, il British Standard (BS) definisce il fattore parziale di riduzione f_{m122} che tiene conto della distanza temporale tra la banca di dati reali di prove di creep disponibile sul geosintetico di rinforzo e la vita utile dell'opera. Tale fattore si determina con la seguente espressione:

$$f_{m122} = \log_{10}(t_d / t_i) \quad (3)$$

Dove
 t_d = tempo di progetto o vita utile dell'opera
 t_i = durata delle prove di creep sul geosintetico di rinforzo

L'equazione precedente è rappresentata nel BS 8006, fino a due cicli logaritmici di estrapolazione, con il seguente grafico:

Fig. 8 - Variazione del fattore parziale f_{m122} in funzione dei cicli logaritmici di estrapolazione.

Se, ad esempio, un geosintetico di rinforzo dispone di prove di creep per una durata di 10.000 ore (1,14 anni) e il tempo di progetto (vita utile dell'opera) è di 1.000.000 ore (114 anni), il fattore f_{m122} risulta: $f_{m122} = \log_{10}(100) = 2$. Se, invece, per lo stesso progetto la durata delle prove di creep sul geosintetico fosse di 100.000 ore (11,4 anni) il fattore f_{m122} sarebbe pari a 1. Da qui ne consegue che, pur mantenendo invariabili tutti gli altri fattori di riduzione, la tensione di progetto del rinforzo verrebbe dimezzata nel primo caso per la sola applicazione di questo fattore.

Questo è, pertanto, uno dei fattori che influisce maggiormente nel calcolo della tensione di progetto di una geogriglia. A questo riguardo, il BS 8006 consiglia che il periodo di prova sia di almeno il 10% della vita utile prevista dell'opera per mettersi al riparo da eventuali cambiamenti nel meccanismo di degrado del rinforzo.

5.4. Fattore di riduzione per danneggiamento meccanico (f_d)

Durante la manipolazione e la posa, i geosintetici di rinforzo vengono sottoposti a danneggiamenti meccanici che causano la riduzione della resistenza alla trazione del materiale.

L'intensità del danno dipende dalla struttura e dal metodo di posa del geosintetico, dal tipo di terreno di riempimento (distribuzione granulometrica, forma e durezza degli inerti), dallo spessore del ricoprimento e dall'energia di compattazione.

Ogni fattore di riduzione f_d si ottiene mediante prove che simulano la posa in cantiere. Per realizzarle, si cambia il tipo di rinforzo, il tipo di terreno di riempimento (terreni argillosi, sabbiosi, ghiaiosi, con pezzatura arrotondata o spigolosa, ecc.) e si mantengono fisse le altre variabili come lo spessore dello strato di ricoprimento e l'energia di compattazione.

Quando il materiale di riempimento che si utilizza in cantiere si discosta molto da quello usato nelle prove, è consigliabile realizzare prove di danneggiamento in sito, con la modalità di posa prevista per l'intervento specifico.

Quando non si dispone del fattore f_d per un determinato modello di rinforzo, ma il materiale di riempimento è paragonabile a quelli impiegati nei certificati, è consentito adottare il fattore di sicurezza del rinforzo di minore resistenza, sempre che appartenga alla stessa famiglia di prodotti.

Dal momento che il fattore di riduzione per danneggiamento meccanico dà una misura reale di quanto si riduce la tensione del rinforzo durante la posa, è molto importante l'affidabilità di questo fattore.

Attualmente esiste un metodo normalizzato per determinare il danneggiamento meccanico dei geosintetici (norma EN ISO 10.722 Part.1). Questa normativa prevede l'utilizzo di un campione standardizzato di corindone come materiale di riempimento. La prova, che dà un'idea della robustezza di un geosintetico, fornisce un valore indice il quale, secondo il parere degli autori di questo articolo, non sempre riflette quello che accade nella pratica.

Molti geosintetici di rinforzo disponibili nel mercato italiano possiedono certificati emessi da diversi istituti (per es. BBA, ITC, TRI). In questi certificati vengono forniti i fattori f_d per tre tipologie di terreni con curve granulometriche non standardizzate le quali sono, a volte, diverse per ogni materiale certificato.

Nella tabella 2 sono riportati i valori di f_d relativi solo a geogriglie certificate, aventi tensione nominale pari a 80 kN/m. Dall'osservazione dei valori riportati si può notare la variabilità di questo fattore di riduzione a seconda del modello di geogriglia (fino al 50% e oltre).

Rinforzi: varie geogriglie di 80 kN/m	
Tipo di terreno ⁽²⁾	Variazione di f_d per le geogriglie ⁽¹⁾
Argilla - sabbia	1,0 a 1,20
Ghiaia	1,05 a 1,45
Ghiaia frantumata	1,05 a >1,50

Tab. 2 - Fattori di riduzione f_d per geogriglie certificate di 80 kN/m.

(1) Sono stati presi in considerazione valori tratti soltanto da certificati emessi da istituti accreditati e non quelli dichiarati dai produttori.

(2) I terreni sono stati raggruppati in tre categorie generiche giacché nei certificati analizzati, a volte, gli intervalli granulometrici sono diversi.

Come si evince dalla lettura dei valori riportati in tabella, a causa del danneggiamento meccanico, una geogriglia di 80 kN/m potrebbe diminuire la sua tensione da un 5% ad un 33% ed oltre, a seconda del tipo di terreno e di prodotto utilizzato.

Si fa notare che, in assenza di certificati di prova specifici, le normative e la letteratura specializzata suggeriscono l'applicazione di fattori di riduzione ben più penalizzanti rispetto a quelli riportati in tabella.

Dal momento che questo è un fattore nettamente prestazionale, sarebbe auspicabile la definizione di un metodo di prova normalizzato che prenda in considerazione almeno tre tipologie di terreni, in modo da coprire una vasta possibilità di applicazioni.

5.5. Fattore di riduzione per attacco chimico o ambientale (f_e)

Questo fattore tiene in considerazione quanto il mezzo in cui il geosintetico è posto influisca sulla resistenza a trazione del materiale. I principali agenti che possono condizionare il comportamento di un geosintetico sono la temperatura e la chimicità del terreno. In linee generali, se il geosintetico viene utilizzato a temperatura ambiente ed in terreni naturali non ci sono effetti negativi apprezzabili sulla resistenza a trazione. In ambienti alcalini o acidi è necessario applicare, in funzione del valore del pH del terreno, un fattore di riduzione sulla resistenza del materiale. Nei terreni molto alcalini (pH > 10), non è consigliabile l'uso del PET.

Nella tabella 3 si può osservare l'ordine di grandezza dei fattori di riduzione f_e per geogriglie realizzate con diversi polimeri.

PH del terreno	Variazione di f_e per le geogriglie considerate	Materia prima della geogriglia
2-4	1,0 - 1,05 1,15 - 1,20	HDPE - PVA PET
4-9	1,0 1,0 - 1,05	HDPE - PVA PET
9-10	1,0 - 1,05 1,10 - 1,20	HDPE - PVA PET
10-12	1,0	HDPE - PVA

12-13	1,0 -1,20	HDPE - PVA
-------	-----------	------------

Tab. 3 - Fattori di riduzione f_e per geogriglie realizzate con diverse materie prime.

6. Valori caratteristici e valori medi

La tensione di progetto a lungo termine dovrebbe essere calcolata applicando il criterio statistico dei valori caratteristici con limite di confidenza min. del 95% ma, a volte, grazie ad una ambiguità normativa, viene calcolata utilizzando valori medi. Con il primo criterio, il 95% dei risultati delle prove realizzate deve essere superiore al valore stabilito, mentre con il secondo sistema, naturalmente, i risultati si distribuiscono 50% al di sopra e 50% al di sotto del valore fissato.

Questo criterio statistico si può applicare sia sulla tensione di rottura a breve termine, sia su tutti i fattori di riduzione presenti nella formula per il calcolo della tensione di progetto a lungo termine (estrapolazione, danneggiamento meccanico, ecc.).

Per fornire una idea concreta di ciò che comporta adoperare valori caratteristici o medi, si cita il seguente esempio reale: da una serie di prove di danneggiamento meccanico realizzate sulla geogriglia Fortrac 35/20-20 utilizzando ghiaia grossa frantumata si ottiene un fattore di riduzione per danneggiamento meccanico medio $f_{d-medio} = 1,16$ mentre sulla stessa base di dati applicando il criterio dei valori caratteristici il fattore di riduzione aumenta a $f_{d-caratt.} = 1,29$. Appare evidente che la tensione di progetto che si ottiene applicando uno o l'altro fattore, anche se il materiale è lo stesso, è diversa; di conseguenza, anche il grado di sicurezza dell'opera è diverso.

Secondo il BS 8006, quando vengono utilizzati valori medi per la resistenza a breve termine è necessario applicare un'ulteriore fattore parziale di riduzione. Per quanto riguarda gli altri fattori si lascia spazio all'interpretazione. L'istituto di certificazione British Board of Agrément, che si basa sul BS 8006, esige invece l'uso di valori caratteristici per rilasciare i propri certificati.

Da un punto di vista ingegneristico, sarebbe auspicabile l'uso di valori caratteristici, come d'altra parte è già consuetudine con altri materiali da costruzione come l'acciaio o il calcestruzzo.

7. Certificati

La tensione di progetto di un geosintetico di rinforzo è garantita se i fattori di riduzione sono avallati da opportuni certificati rilasciati da istituti accreditati.

Alcuni di questi certificati inglobano tutti i fattori necessari per determinazione della tensione come, per esempio, quello rilasciato dall'istituto italiano ITC oppure quello del istituto inglese British Board of Agrément (BBA). Quest'ultimo, in particolare, è in accordo con la normativa BS 8006 ed adopera valori caratteristici.

Ogni fattore di riduzione può essere anche avallato da certificati individuali per quanto riguarda il comportamento al creep (curve isocrone), danneggiamento meccanico, chimico, ecc. Tra i laboratori specializzati in geosintetici in

grado di rilasciare certificati riconosciuti per la loro autorevolezza si possono evidenziare il CESI (IT), il TBU (DE), SKZ (DE), il TRI (USA).

La certificazione ISO 9001, che riguarda la produzione in regime di qualità, permette di diminuire l'incidenza del fattore di riduzione f_m (vedi punto 5.3).

I certificati di conformità rilasciati dal produttore permettono alla direzione di lavori verificare la rispondenza delle caratteristiche tecniche dei materiali forniti in cantiere ai certificati ed alle schede tecniche presentate, in particolar modo nei casi di materiali nominati con marchi assegnati dai distributori locali, diversi da quelli di origine del produttore. A tale proposito si ritiene opportuno segnalare che gli istituti di certificazione normalmente non ammettono l'uso dei propri certificati su materiali che possiedono nomi commerciali diversi da quelli riportati nei documenti di certificazione.

Per quanto riguarda la marcatura CE, anche se non è direttamente vincolata alla determinazione della tensione di progetto, è obbligatoria per i geosintetici di rinforzo secondo quanto stabilito dalla direttiva europea per i materiali da costruzione.

8. Grado di sicurezza e di servizio delle opere

Da quanto esposto emerge chiaramente che geogriglie diverse aventi la stessa tensione di trazione a breve termine, non hanno la stessa tensione di progetto a lungo termine e che questa differenza può essere molto rilevante.

Dato che le verifiche di stabilità allo stato limite vengono effettuate adottando una tensione di progetto, i geosintetici di rinforzo da impiegare devono garantire quel valore. Attualmente, per verificare la rispondenza al capitolato di un rinforzo, vengono soprattutto richieste soltanto la resistenza e la deformazione a breve termine; ne consegue che il fattore di sicurezza dell'opera può essere diverso a quello previsto in fase di progetto (a favore o a sfavore della sicurezza).

D'altra parte, dal momento che ad ogni tensione corrisponde naturalmente una deformazione del rinforzo, un altro aspetto non trascurabile da tenere sotto controllo sono precisamente le deformazioni in fase di esercizio, giacché sono direttamente legate alla funzionalità dell'opera. Due rinforzi, a parità di tensione di esercizio, possono subire deformazioni completamente differenti nell'arco del tempo. Le curve isocrone dei materiali forniscono l'informazione esauriente per valutare questo aspetto.

In una specifica capitolare, quindi, la tensione di progetto e la deformazione a lungo termine (vita utile dell'opera) del geosintetico di rinforzo, dovrebbero essere i parametri prestazionali più rilevanti da indicare.

E' quindi responsabilità del direttore dei lavori verificare che il materiale approvato sia in grado di garantire le tensioni minime o le deformazioni massime considerate in fase di progetto ed è responsabilità di ogni produttore esibire certificati di prova validi che riflettano il comportamento dei propri materiali.

9. Considerazioni conclusive

Da quanto esposto in precedenza è possibile affermare che:

- Da un punto di vista prestazionale in un geosintetico di rinforzo è determinante la tensione e/o la deformazione di progetto a lungo termine e non la resistenza/deformazione a breve termine.
- L'affidabilità dei fattori di riduzione da applicare nel calcolo della tensione di progetto può essere verificata solo attraverso metodi di prova normalizzati e mediante certificati rilasciati da istituti accreditati.

E' auspicabile che in futuro si definisca un unico metodo per la determinazione della tensione e della deformazione di progetto, a livello europeo o, almeno, a livello italiano.

BIBLIOGRAFIA

Lothspeich - Thornton (2000). "Comparison of different long term reduction factors for geosynthetics reinforcing materials", Second European Geosynthetics Conference - Bologna.

British Standard BS 8006:1995. "Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills".

British Board of Agrément. Technical approvals for construction. Road and Bridges Agrément Certificates.

Consiglio Nazionale delle Ricerche. Istituto per le tecnologie della costruzione. Certificato di idoneità tecnica N. 580/02

Greenwood – Kempton – Brady - Watts (2004). "Comparison Between Steeped Isothermal Method and Long-Term Creep Test on Geosynthetics", Eurogeo 3 – Third European Geosynthetics Conference – Munich.

Greenwood – Kempton – Watts - Bush (2000) "Twelve year creep tests on geosynthetic reinforcement" , Second European Geosynthetics Conference – Bologna.

Cazzuffi – Ghinelli – Sacchetti - Villa (1997) "European Experimental Approach to the Tensile Creep Behaviour of High-Strength Geosynthetics" – Geosynthetics '97

Robert M. Koerner "Designing with geosynthetics" – Third edition.

UNI ENV ISO 10.722-1 (2001). "Geotessili e prodotti affini. Procedura per la simulazione del danneggiamento durante la messa in opera - Messa in opera in materiali granulari". UNI, Milano.

RIASSUNTO

Analisi della tensione di progetto a lungo termine dei geosintetici impiegati nei rilevati rinforzati

Nel presente articolo si analizzano i parametri che influiscono direttamente nella determinazione della tensione di progetto di un geosintetico di rinforzo.

Si evidenzia, inoltre, l'importanza dell'affidabilità dei fattori di riduzione da applicare e quali sono le certificazioni usuali che attestano il comportamento dei materiali.

Si intende, inoltre, sottolineare la rilevanza di questo argomento che coinvolge la progettazione, il controllo di qualità e la sicurezza delle opere.

ABSTRACT

Analysis of the Ultimate Design Tensile Strength of geosynthetics used in reinforced embankments

The paper analyses the parameters that are directly involved in the determination of the ultimate design tensile strength of geosynthetics.

It is highlighted the importance of the affidability of reduction factors that should be used and the most common certifications that vouch for the material performance.

Furthermore, the intention is to point out the relevance of this subject that involves the design, the quality control and the safety.