

ALAIN HÉRAULT*, PAOLO ZORZENON*

* LOW & BONAR, Francia, HARPO, Italia

CONDIZIONI SPECIFICHE IN SITO PER LA CORRETTA VALUTAZIONE DELLA CAPACITÀ DRENANTE DEI GEOCOMPOSITI DRENANTI

1. Introduzione

Alcuni progettisti utilizzano solo talvolta i prodotti geosintetici e quindi potrebbero non essere esperti in merito al loro corretto utilizzo, non percependo alcuni dettagli di progettazione che sono importanti per il corretto funzionamento delle opere. Per quanto riguarda i geocompositi drenanti, il mercato offre molti prodotti realizzati con tecnologie diverse, specialmente per quanto riguarda la conformazione del nucleo drenante.

Poiché le strutture dei geocompositi drenanti a volte non sono confrontabili, il progettista deve prima di tutto verificare che il prodotto proposto sia adatto all'applicazione, tenendo conto delle reali condizioni del sito (Cancelli et al., 1987). A tal fine, egli realizza un progetto sulla base delle prestazioni più importanti richieste al prodotto, ovvero delle prestazioni misurate in fase di prova compatibili con l'uso previsto.

2. Test di capacità drenante nel piano

Fino ad ora, i valori di capacità drenante nel piano di un geocomposito venivano determinati secondo la norma di prova EN ISO 12958. Con il recente aggiornamento di questa norma, attualmente in fase di pubblicazione finale, è possibile eseguire due prove: una prova indice EN ISO 12958-1 per il controllo di qualità e il confronto dei prodotti e un test delle prestazioni EN ISO 12958-2 per la progettazione e la giustificazione tecnica dei geocompositi drenanti per progetti specifici.

Il test della nuova norma EN ISO 12958-1 è molto simile al precedente test EN ISO 12958 al fine di non modificare i valori di portata d'acqua nel piano attualmente dichiarati dai produttori. È un test a brevissimo termine (pochi minuti) che misura la capacità drenante nel piano tra due superfici di contatto standardizzate: una piastra rigida (contatto rigido - R) o una membrana di materiale elastomerico (contatto morbido o flessibile - F). Secondo la EN ISO 12958, un geocomposito drenante deve essere testato tra due strati di materiale elastomerico, tranne nel caso in cui è progettato per essere posato su una superficie rigida, cioè quando il geocomposito è costituito da un nucleo e da un non tessuto filtrante su un solo lato. In questo caso il geocomposito deve essere testato con uno strato di materiale elastomerico per simulare il terreno a contatto con il non tessuto filtrante e una piastra rigida a contatto con il nucleo

di drenaggio. Poiché questa clausola non è applicata correttamente sul mercato, non è più menzionata nella EN ISO 12958-1. Ciò significa che la capacità drenante nel piano di un geocomposito di drenaggio misurata secondo la EN ISO 12958-1 può essere ottenuta da una prova eseguita su provini situati o tra due piastre rigide (R/R), o tra una piastra rigida e una membrana elastomerica standard (R/F) o tra due strati di membrana elastomerica (F/F). È quindi essenziale che i produttori dichiarino in maniera chiara l'opzione considerata nelle loro schede tecniche e che i tecnici progettisti ne tengano conto per il controllo di qualità e il confronto dei prodotti.

La prova secondo la nuova norma EN ISO 12958-2 è un test di durata molto più lunga rispetto al test EN ISO 12958-1 e viene concordato tra le parti in base allo scopo del test. Tuttavia, la norma consiglia come durata standard che la pressione esercitata sul geocomposito sia applicata per 100 ore prima di misurare il valore della capacità drenante nel piano. Le superfici di contatto dovrebbero essere il più simili possibile a quelle previste a progetto; per fornire informazioni generiche sulla capacità drenante nel piano di un geocomposito drenante a contatto con il terreno, si può prendere come riferimento un terreno standard conforme a quanto definito nell'Allegato B della norma EN 196-1.

Il provino in fase di test può includere gli elementi specifici di un sistema di tenuta multistrato. Il rapporto di prova deve includere in particolare la descrizione accurata del sistema testato con le proprietà specifiche del suolo. Occorre pertanto dichiarare un valore prestazionale riferito a questa norma con, oltre al gradiente idraulico e allo stress di compressione, il tempo di assestamento e il tipo di superfici di contatto, Rigido/Terreno (R/S) o Terreno/Terreno (S/S) e qualsiasi ulteriore informazione specifica per consentire al progettista di utilizzare correttamente la prestazione dichiarata.

I prodotti formati da due parti aventi direzioni di flusso nel piano tra loro diverse devono essere testati in entrambe le direzioni (Cazzuffi et al., 1994).

Alcuni geocompositi sono costituiti da un'anima drenante impermeabile (es. foglio cuspidato simmetrico) che non consente che l'acqua drenata su un lato del prodotto si possa propagare su tutta la sezione del prodotto. La metodologia di prova deve essere eseguita tappando uno dei due lati del nucleo drenante, ad eccezione delle sottili strisce destinate a raccogliere l'acqua laterale. I laboratori di prova e i produttori devono fare in modo che,

in entrambi i casi, non vi sia alcun rischio di generare confusione al progettista.

Questo test di tipo prestazionale fornirà ora la base per la valutazione della capacità drenante nel piano a lungo termine del geocomposito drenante.

Qualunque sia il tipo di prodotto considerato, le prove EN ISO 12958/1 e EN ISO 12958-2 devono essere eseguite sul prodotto finito.

3. Condizioni al contorno

La struttura del nucleo drenante, le proprietà del non tessuto filtrante, il tipo di terreno e il livello di sollecitazione di compressione sono i parametri principali che determinano un maggiore o minore deformazione per creep del filtro nella sezione di flusso del nucleo di drenaggio, noto come fenomeno di intrusione.

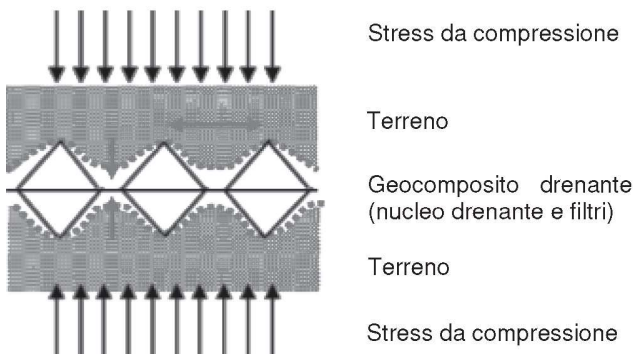


Fig. 1 - Fenomeno di intrusione dei filtri nel nucleo drenante.

Sono stati pubblicati diversi studi, in particolare Touze Foltz et al. (2014) e Stoltz & Hérault (2016) che confrontano questo fenomeno su vari tipi di geocompositi drenanti dimostrando l'effetto sulla loro capacità drenante.

3.1 Breve termine

Lo studio presentato da Touze Foltz et al. (2014) fornisce i dati sul cambiamento, nell'arco di sette giorni, del rapporto delle prestazioni di quattro tipi di struttura di geocompositi drenanti sottoposti a un test di capacità drenante nel piano con le condizioni al contorno F/F sotto uno stress di compressione di 200 kPa, rispetto ai risultati ottenuti con condizioni di prova più favorevoli utilizzando una o due superfici di contatto rigide R/R e R/F. La struttura drenante dei geocompositi drenanti sottoposti a test era la seguente:

- Struttura tridimensionale monofilamento racchiusa tra due filtri in geotessile nontessuto, termosaldati con cucitura nella parte centrale del provino;
- Struttura cuspidata rivestita (non incollata) su entrambi i lati da un filtro in geotessile nontessuto termosaldato;
- Lastra simmetrica termoformata ricoperta (non incol-

lata) su entrambi i lati da un filtro in geotessile nontessuto termosaldato;

- Georete incollata su entrambi i lati ad un filtro in geotessile nontessuto termosaldato.

Le misurazioni della portata sono state eseguite a 8, 15, 30, 60 minuti, 2, 6, 24 ore, 2, 3, 4 e 7 giorni.

La Figura 2 mostra che, per i geocompositi testati e le condizioni di prova, la capacità di flusso nel piano misurata dopo 8 minuti tra due strati di membrana elastomerica è compresa tra il 49% e il 74% della capacità di flusso misurata tra due piastre rigide, e tra il 62% e l'84% delle prestazioni misurate tra una piastra rigida e una membrana elastomerica. Questo grafico dimostra quanto sia importante indicare nelle schede tecniche dei geocompositi drenanti il tipo di superfici di contatto considerate.

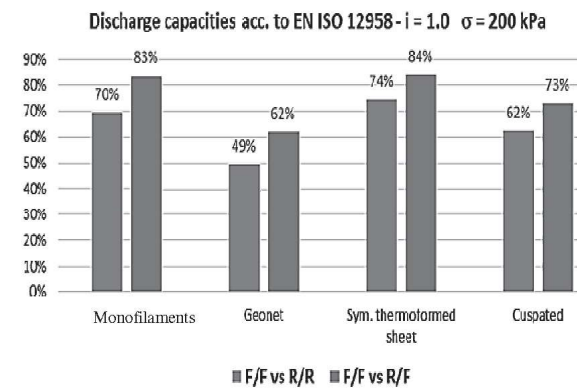
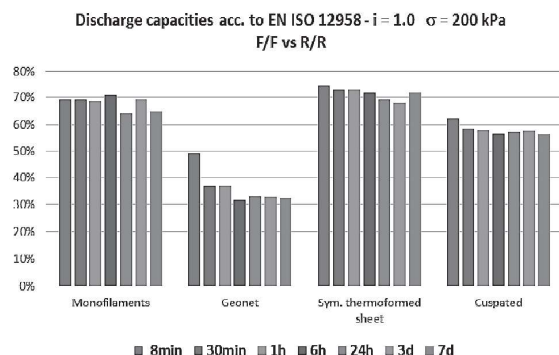


Fig. 2 - Rapporto prestazioni F/F al tempo di seduta 8 min rispetto alle prestazioni R/R & R/F.

La Figura 3 mostra il rapporto ottenuto da 8 min a 7 giorni di tempo di durata del test per i quattro campioni testati tra due membrane elastomeriche (opzione F/F) rispetto



Tipo di prodotto	Monofilamento	Georete	Lastra simmetrica termoformata	Cuspidata
8 min	70%	49%	74%	62%
30 min	69%	37%	73%	58%
1 h	69%	37%	73%	58%
6 h	71%	32%	72%	57%
24 h	64%	33%	69%	57%
3 gg	69%	33%	68%	58%
7 gg	65%	32%	72%	56%

Fig. 3 / Tab. 1 - Rapporto di prestazione F/F vs R/R per durata del test da 8 min a 7 giorni.

alle misurazioni tra due piastre rigide (opzione R/R). I valori R/R rappresentano solo una riduzione dovuta alla compressibilità del prodotto, proprietà misurabile nel test di scorrimento EN ISO 25 619-1. I valori F/F includono l'effetto della compressibilità del geocomposito e dell'intrusione del filtro nel nucleo.

Il rapporto di prestazione tra la capacità di flusso nel piano misurata tra due membrane elastomeriche e quella misurata tra due piastre rigide diminuisce nel tempo, più o meno a seconda del prodotto. La tabella 1 fornisce i valori di questo rapporto di prestazione per i 4 prodotti testati tra 8 min e 7 giorni. Il rapporto minimo di prestazione varia dal 32% al 68%.

Pertanto, nel caso in cui il geocomposito drenante è utilizzato tra due strati di terreno sotto un carico di compressione effettivo di 200 kPa, il progettista potrebbe sovrastimare la capacità drenante effettiva di un fattore $1/32\% = 3$ nel caso utilizzasse soltanto la riduzione dello spessore per il dimensionamento idraulico a lungo termine. Stoltz & Héroult (2016) hanno considerato una configurazione sabbia/sabbia in aggiunta alle configurazioni Rigida/Rigida e Flessibile/Flessibile (Fig. 4). La sabbia è derivata da una miscela di tre tipi di sabbie che soddisfa i requisiti della prova di dimensione dell'apertura EN ISO 12956.

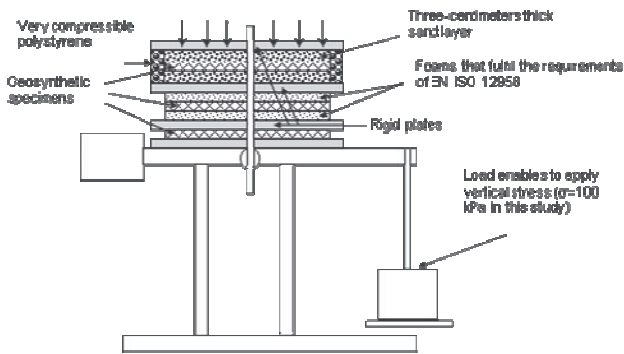


Fig. 4 - Prova di "compression creep" con tre superfici di contatto (Rigida/Rigida; Flessibile/Flessibile; Sabbia/Sabbia).

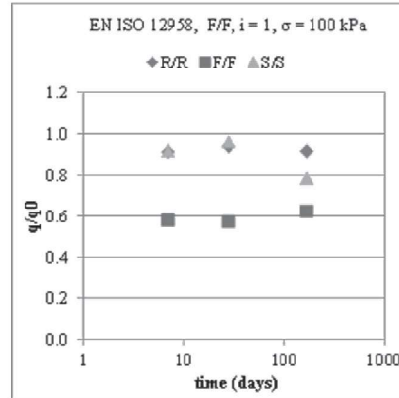
I provini vengono estratti dal dispositivo di prova del creep da compressione più volte durante la durata della prova per misurare, al di sotto di 100 kPa, la loro capacità di flusso d'acqua nel piano secondo EN ISO 12958 per gradiente idraulico $i = 1$ con opzione Flessibile/Flessibile per tutti i provini. I campioni vengono reinstallati nell'apparato di prova del "compression creep" dopo ogni misurazione della capacità del flusso d'acqua.

Essendo la dimensione dell'apertura del nucleo di drenaggio un parametro principale per definire la sensibilità di un nucleo di drenaggio all'intrusione del filtro, sono stati testati tre tipi di strutture di drenaggio con non tessuti filtranti simili ma varie dimensioni dell'apertura del nucleo di drenaggio:

- Struttura monofilamento 3D uniforme, dimensione apertura ≈ 4 mm, con geotessile agugliato 110 g/mq.

- Georete, apertura ≈ 10 mm, con geotessile agugliato 120 g/mq;
- Struttura monofilamento 3D eterogenea max. dimensione apertura ≈ 20 mm con geotessile agugliato 120 g/mq.

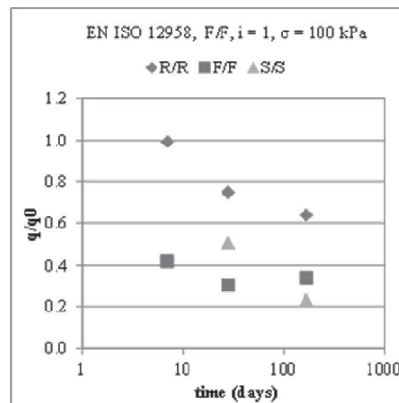
Le figure 5a, 5b e 5c riportano, per ogni prodotto, il rapporto q/q_0 in funzione del tempo fino a 6 mesi, dove q è



Capacità drenante residua F/F dovuta a compressive creep F/F (63%) inferiore a S/S (79%) e inferiore a R/R (91%).

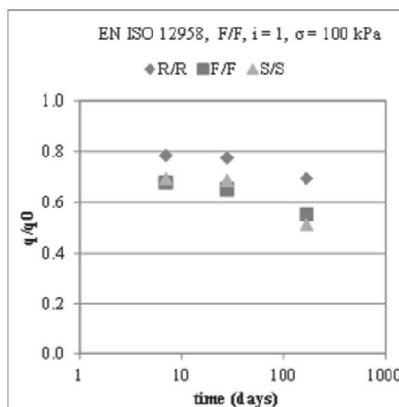
Valori S/S uguali o vicini ai valori R/R indicano che c'è un "effetto arco" nel terreno

Fig. 5a - Diminuzione della capacità drenante della struttura monofilamento 3D uniforme, dimensione dell'apertura ≈ 4 mm.



Capacità drenante residua F/F dovuta a compressive creep F/F (34%) superiore a S/S (23%) e molto inferiore a R/R (64%).

Fig. 5b - Diminuzione della portata d'acqua della georete, apertura ≈ 10 mm.



Capacità drenante residua F/F dovuta a compressive creep F/F (55%) vicino a S/S (51%) e inferiore a R/R (69%).

Fig. 5c - Diminuzione della capacità di flusso d'acqua di una struttura monofilamento 3D eterogenea, max. dimensione apertura ≈ 20 mm.

la capacità drenante al tempo considerato e q_0 è la capacità drenante iniziale, entrambe misurate tra due strati di membrana. Non tutti i geocompositi si comportano allo stesso modo nei confronti del fenomeno di creep da compressione.

Naturalmente, in tutti i casi, i test di compressive creep tra due piastre rigide portano a ottenere valori di capacità drenante nel piano più o meno significativamente superiori a quelli ottenuti tra strati di sabbia o di membrana. Nel caso della struttura monofilamento 3D uniforme, dimensione dell'apertura ≈ 4 mm, la capacità drenante residua F/F dopo la fase di compressive creep effettuata tra strati di sabbia è maggiore di quella misurata dopo la fase di compressive creep effettuata tra strati di membrana. Gli strati di membrana standard sono in questo caso condizioni al contorno conservative per la valutazione delle prestazioni a lungo termine.

3.2 Lungo termine

La valutazione della capacità drenante nel piano a lungo termine è attualmente effettuata sulla base del test di capacità drenante a breve termine EN ISO 12958 combinato con un test di creep da compressione. Il compressive creep test dovrebbe essere eseguito utilizzando superfici di contatto che simulino le reali condizioni in situ, al fine di simulare il fenomeno di intrusione del filtro, se necessario, a lungo termine. Tuttavia, al fine di ottenere i dati del test a lungo termine, la spinta del terreno può essere simulata utilizzando la pressione dell'aria su una membrana di gomma in una scatola di prova di compressive creep, come descritto da Böttcher (2006). Per quanto riguarda le misure dei valori di capacità drenante, in questo test si considera che il modo migliore per determinare lo spessore residuo che si raggiunge utilizzando le appropriate superfici di contatto, in un dato momento e per un dato carico, nella scatola di compressive creep, è applicare lo stesso carico allo stesso campione entro pochi minuti dal suo prelievo dalla scatola. Dal momento che la capacità drenante è la prestazione finale che si deve valutare per definire il fattore di riduzione appropriato nei progetti a lungo termine, sembra più giustificato e realistico l'utilizzo di dati ottenuti dall'estrapolazione diretta dei valori di capacità drenante.

Alcuni esperti sono dell'opinione che la deformazione dello strato di membrana utilizzata nella norma EN ISO 12958 possa amplificare in modo irrealistico il fenomeno dell'intrusione del non tessuto in quanto a volte può verificarsi un effetto arco nello strato di terreno. Nel caso della simulazione di superfici di contatto morbide mediante utilizzo della membrana con pressione dell'aria, come nel caso di queste scatole di prova di compressive creep, si potrebbero ottenere valori conservativi poiché non si tiene in considerazione il potenziale effetto arco.

Un altro metodo consiste nell'eseguire prima una prova di compressive creep secondo la norma EN ISO 25619-1, cioè con il provino testato tra due piastre rigide. Questo test fornisce la variazione di spessore del prodotto nel tempo. Il comportamento a lungo termine del geo-

composito è poi definito dal suo spessore residuo a fine vita utile estrapolato da questa prova, che non consente il fenomeno dell'intrusione del filtro. La corrispondente capacità drenante residua nel piano è attualmente misurata secondo la EN ISO 12958 con le superfici di contatto richieste (R/R, R/F o F/F) sotto la tensione di compressione letta sulla curva tensione/spessore del prodotto precedentemente stabilita.

Nel caso di prodotti comprimibili tale procedura può portare ad applicare sollecitazioni elevate, durante la prova di capacità drenante nel piano, per raggiungere, in brevissimo termine, lo spessore residuo del geocomposito a fine vita. Pertanto, si rischia di ottenere risultati non attendibili per quanto riguarda la determinazione del fenomeno dell'intrusione a lungo termine: tale fenomeno può essere sovrastimato sui prodotti comprimibili a causa dell'elevato stress da compressione rispetto ciò che realmente avviene a lungo termine considerando lo stress effettivo di servizio.

Al contrario, poiché la riduzione di spessore di un prodotto collassabile è solitamente minore, la sollecitazione di compressione applicata durante la prova di capacità drenante nel piano per raggiungere lo spessore residuo potrebbe non compensare l'effettivo fenomeno di intrusione a lungo termine (Fig. 5) che non viene preso in considerazione dalla prova di compressive creep EN ISO 25619-1 eseguita tra due piastre rigide. In questo caso, secondo la norma secondo EN ISO 12958, il fenomeno di intrusione è analizzato solo il tempo necessario per la durata del test di capacità drenante nel piano, e cioè per una durata di pochi minuti. Tuttavia, la variazione a lungo termine dell'area della sezione trasversale libera di un geocomposito drenante che può collassare nei confronti della capacità drenante nel piano è collegata anche all'intrusione del filtro. Il test condotto secondo la nuova norma EN ISO 12958/2, se effettuato per una durata appropriata, consentirà di ottenere dati migliori per descrivere il fenomeno di intrusione e nel determinare le prestazioni a lungo termine dei prodotti.

4. Specifiche del testo di gara

A seguito della sostituzione della EN ISO 12958 con le due prove EN ISO 12958-1 e EN ISO 12958-2, le specifiche dei testi di gara dovrebbero ora essere basate sulla EN ISO 12958-1 per il controllo di qualità e sulla EN ISO 12958-2 per la giustificazione tecnica del prodotto. Per determinare la capacità drenante nel piano, le specifiche tecniche dovrebbero definire i seguenti parametri:

- *Il gradiente idraulico di flusso*: normalmente si considera un flusso senza pressione dell'acqua al di sopra del geocomposito di drenaggio; questa pressione dell'acqua potrebbe ad es. influenzare la stabilità del suolo sovrastante. Il gradiente idraulico è quindi definito dalla sola pendenza del supporto (ISO TR 18228-4 p20). L'aggiunta della pressione dell'acqua nel terreno sopra il geocomposito drenante è un modo per aumentare la capacità drenante nel piano di un

- prodotto aumentando il gradiente idraulico del flusso; se applicabile, deve essere giustificato.
- *L'effettiva sollecitazione di compressione a cui sarà sottoposto il geocomposito drenante: sia le prestazioni del prodotto che il tipo di prodotto da utilizzare dipendono dall'effettiva sollecitazione di compressione. La sovrastima dell'effettiva sollecitazione di compressione può portare all'uso di un prodotto inappropriato e di un prodotto più costoso del necessario. Una soluzione vantaggiosa per tutte le parti è quella di specificare il corretto valore dello stress da compressione.*
 - *Superfici di contatto/condizioni al contorno del test:* quando il prodotto è posato su una geomembrana in HDPE o un supporto rigido, le prestazioni misurate tra uno strato di membrana elastomerica e una piastra rigida (R/F) devono essere specificate secondo la EN ISO 12958-1 per il controllo di qualità e le prestazioni tra una piastra rigida e un terreno rappresentativo (R/S) dovrebbero essere specificate secondo la EN ISO 12958-2 per la progettazione specifica. Per l'utilizzo con altre interfacce, ad es. geocomposito di drenaggio a contatto con un terreno o con un geocomposito bentonitico (GCL), il prodotto dovrebbe essere testato con una membrana elastomerica secondo la prova EN ISO 12958-1 e con uno strato di terreno o, il materiale stesso presente in situ nella prova EN ISO 12958-2.
 - *La vita utile della struttura:* questo dato è fondamentale per valutare le prestazioni a lungo termine del geocomposito drenante. Per definire la vita utile idonea di una struttura si può fare riferimento all'appendice nazionale della EN 1997-1 (Eurocodice 7).

5. Conclusioni

Il solo criterio dello spessore residuo al termine della vita utile non è sufficiente per definire il comportamento a lungo termine di un geocomposito drenante. Il test secondo la nuova norma EN ISO 12958-2 terrà maggiormente conto, se effettuato secondo una durata sufficiente, degli effetti del fenomeno dell'intrusione del filtro e dell'effettiva diminuzione della sezione del flusso d'acqua nel geocomposito di drenaggio. Inoltre, la progettazione specifica del tipo di geocomposito richiede la descrizione corretta e accurata, nei testi di gara, delle effettive condizioni nelle quali il geocomposito si troverà ad operare. In questo modo, i tecnici possono definire le soluzioni tecnicamente e finanziariamente ottimali.

BIBLIOGRAFIA

AFNOR NF G38-061 (2017). "Use of geotextiles and geotextiles related products - Drainage and filtration systems - Justification of dimensioning and design elements", 41p.

Böttcher, R.-D. (2006). "Long-term flow capacity of geo-

composites" Proc. 8th International Conference on Geosynthetics, Yokohama, Japan pp. 423-426.

Cancelli, A., Cazzuffi, D., Rimoldi, P. (1987) "Geocomposite drainage systems: mechanical properties and discharge capacity evaluation", Proceedings of Geosynthetics '87 Conference, Vol. 2, New Orleans, USA, pp. 393-404.

Cazzuffi, D., Avanzini, M., Rimoldi, P. (1994) "Interlaboratory study on drainage capacity of geosynthetics", Proceedings of the Fifth International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products, Vol. 2, Singapore, pp. 823-828.

C.F.G. (Comité Français des Géosynthétiques) (2014). "Recommandations pour l'emploi des Géosynthétiques dans les systèmes de Drainage et de Filtration", 54p.

EN 13252+A1 (2015). "Geotextiles and geotextile-related products - Characteristics required for use in drainage systems", 51p.

EN ISO 12956 (2020). "Geotextiles and geotextiles-related products - Determination of the characteristic opening size".

EN ISO 12958 (2010). "Geotextiles and geotextile-related products - Determination of water flow capacity in their plane", 13p.

EN ISO 25619-1 (2009). "Geosynthetics - Determination of compression behaviour - Part 1: compressive creep properties", 20p.

EN 1997-1/NA (2018). "Eurocode 7 - Calcul géotechnique - Partie 1: règles générales - Annexe Nationale à la NF EN 1997-1:2005.

Giroud, J.P., Zornberg, J.G., Zhao, A. (2000). "Hydraulic Design of Geosynthetic and Granular Liquid Collection Layers", Geosynthetic International, Special Issue on Liquid Collection Systems, Vol. 7(4-6), pp. 285-380.

Jarousseau, C., Gallo, R. (2004). "Drainage geocomposites: relation between water flow capacity and thickness in the long term", EuroGeo 3, München, Germany, pp. 349-354.

Koerner, R.M. (2005). "Designing With Geosynthetics", Fifth Edition, Prentice Hall, USA, 816 p.

Touze Foltz, N., Hérault, A., Stoltz, G. (2014). "Evaluation of the decrease in long term water flow capacity of geo-composites due to filter intrusion". 7th International Congress on Environmental Geotechnics, Melbourne, pp. 321-329.

Stoltz, G., Hérault, A. (2016). Long term filter intrusion phenomenon in several types of drainage structures. EuroGeo 6, Ljubljana, Slovenia, pp. 575-583.