

I Geotessili nelle opere drenanti: Tipologie e criteri di dimensionamento.

Dott. Geol. Enrico Farinatti – Segretario Tecnico ASSINGEO (Associazione Industrie Nontessuti Geotessili)

1. Premessa

Una delle finalità di questo intervento è quella di chiarire in maniera definitiva alcuni punti che sono ormai divenuti luoghi comuni ma che non hanno alcun fondamento tecnico e scientifico soprattutto per quanto concerne ipotetiche differenze qualitative tra geotessili nontessuti prodotti secondo differenti processi (è il caso dei geotessili nontessuti da fiocco e a filo continuo); a questo proposito si tenga presente **che non esiste definizione normativa di fiocco o filo continuo**.

In generale si può dire che i geotessili nontessuti sono strutture piane composte da fibre sintetiche disposte casualmente e coesionate con metodi meccanici (agugliati, fig. 1).

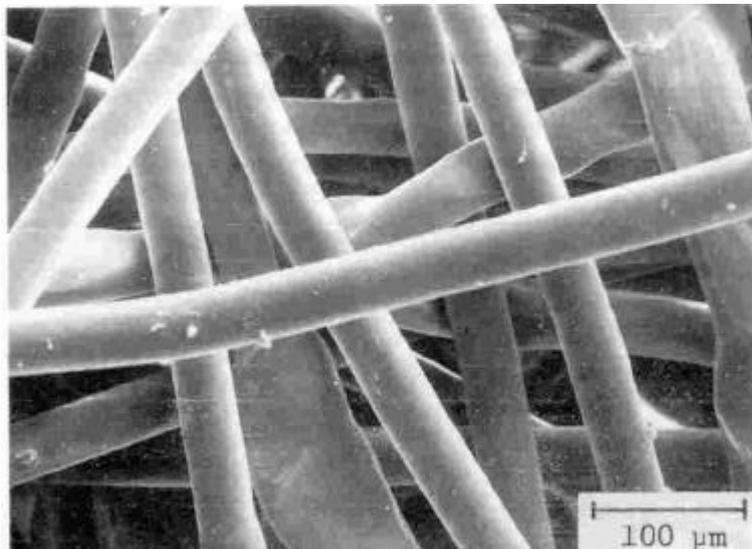


Fig. 1: geotessile nontessuto agugliato visto al microscopio

Tutto ciò che verrà esposto nel presente documento è sostenuto da ormai numerose ricerche e tests condotti in tutto il mondo ad ulteriore riprova del fatto che questi materiali sono ormai divenuti di fondamentale importanza in tutti i campi dell'ingegneria civile e idraulica.

2. Durabilità dei geotessili nontessuti da fiocco e a filo continuo

Il termine durabilità è generico e sta ad indicare la capacità di un geosintetico di resistere a vari processi degenerativi nel tempo. I più comuni processi di "invecchiamento" si debbono all'ossidazione, ad attacchi chimici dovuti ad ambienti di posa in opera acidi o basici, al danneggiamento meccanico, all'esposizione alla luce solare, ecc...

Uno dei luoghi comuni che sono spesso alla base di una scelta indirizzata verso i geotessili nontessuti a filo continuo piuttosto che da fiocco, è che, essendovi un minor numero di estremità in un geotessile nontessuto a filo continuo, si dovrebbe avere necessariamente un minor rischio di degradazione da parte degli agenti chimici rispetto alle fibre discontinue.

Questa argomentazione non risponde al vero in quanto, sia che si tratti di filo continuo che di fiocco, la lunghezza delle macromolecole (e quindi il loro peso molecolare) rimane infinitamente più piccola delle dimensioni di qualsiasi filato (si arriva al massimo all'ordine di grandezza del μm) e quindi la resistenza alla foto-termodegradazione dipende piuttosto dal titolo (sezione) della fibra e dal pacchetto formulativo antiossidanti+HALS. (che significa letteralmente ammine impedito stabilizzanti alla luce). E' dunque possibile trovare in commercio prodotti da fiocco che posseggono una durabilità maggiore di prodotti a filo continuo: tutto dipende dalla qualità delle fibre utilizzate nella produzione.

D'altra parte le stesse "linee guida sulla durabilità dei geotessili e prodotti affini" (doc. CEN CR ISO 13434) sono molto chiare in proposito e confermano quanto appena detto.

3. Caratteristiche meccaniche

Il test principale per misurare la resistenza meccanica di un geosintetico è quello relativo alla resistenza a trazione. In fig. 2 è riportata una curva sforzi/deformazioni tipica dei geotessili nontessuti.

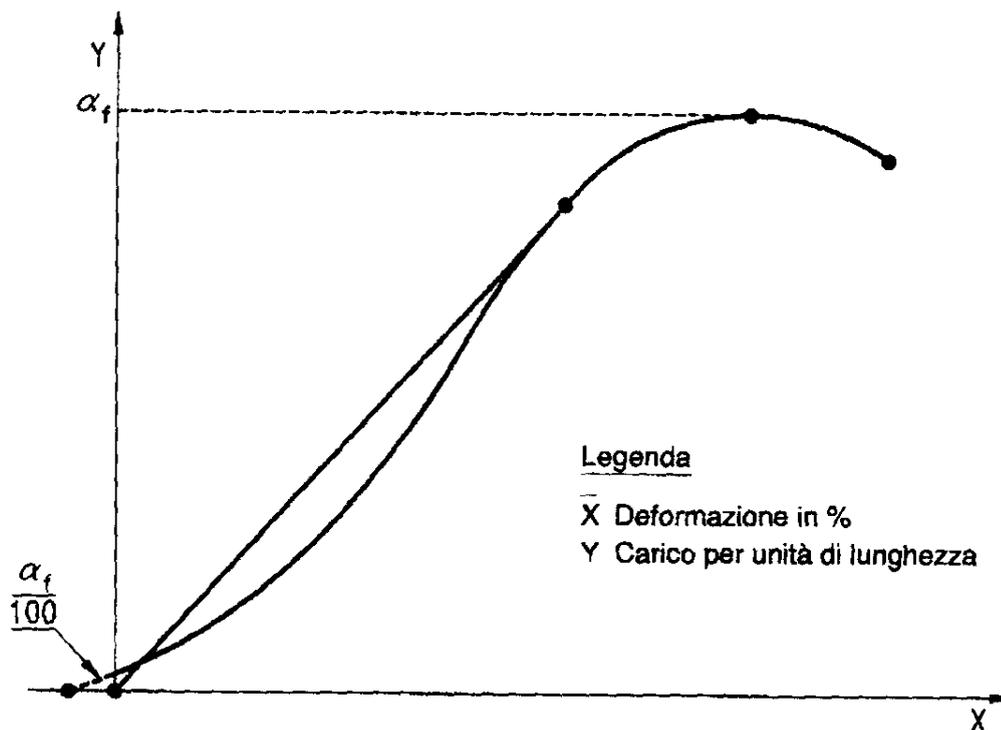


Fig. 2: Curva sforzi-deformazioni tipica di un geotessile nontessuto agugliato

Una diretta conseguenza di quanto sopra riportato è che non è necessariamente vero che, a parità di massa areica, un geotessile nontessuto da fiocco sia meno resistente di un nontessuto a filo continuo: anche in questo caso tutto dipende dalle caratteristiche della fibra utilizzata.

E' vero che una maggior continuità fisica dei filamenti aiuta senza dubbio il raggiungimento di buone caratteristiche meccaniche del prodotto finito per le sole grammature più leggere, ma è altrettanto vero che la condizione fondamentale per ottenere determinate

caratteristiche meccaniche (ad es. resistenza a trazione) è quella di utilizzare fibre di qualità. E in questo discorso si inserisce la versatilità della produzione italiana del geotessile nontessuto da fiocco che può differenziarsi a seconda delle esigenze e delle richieste e che viene offerta dai nostri associati.

E' inoltre inesatto dire che il geotessile nontessuto a filo continuo è necessariamente prodotto con materiale di base puro, perchè è tecnicamente possibile filare insieme al polimero vergine una percentuale di prodotto rigenerato.

Per quanto concerne la tenacità dei nontessuti da fiocco, la produzione prevede una filatura ed uno stiro meccanico successivo che impartisce una elevata tenacità al fiocco stesso (grazie all'orientamento delle molecole in senso longitudinale al filo stesso). Questo non avviene per il filo continuo che viene stirato solo ad aria sullo stesso impianto di estrusione. Il risultato è che, mentre nella produzione dei geotessili nontessuti da fiocco possono essere utilizzate fibre ad elevata tenacità (50-55 cN/dtex), nei geotessili nontessuti a filo continuo vengono utilizzate fibre a bassa tenacità (circa la metà del fiocco).

Sono inoltre stati condotti diversi tests di danneggiamento meccanico dovuto alle operazioni di posa di geotessili nontessuti a filo continuo e da fiocco (H. Rathmayer: "Evaluation of geotextiles' survivability by field tests"; A. Watn, G. Eiksund: "Specification profile for geotextiles for separation and filtration in roads – Norwegian standard"; atti 2nd European geosynthetics conference) ed è possibile dire che, a seguito delle prove di danneggiamento, non vi è nessuna relazione tra tecnologia produttiva e fattore residuo di resistenza.

4. Caratteristiche idrauliche

Tra le funzioni principali dei geotessili nontessuti vi sono senza dubbio quelle di filtrazione e drenaggio. Senza scendere nei particolari relativi al dimensionamento dei sistemi filtranti con geosintetici (che esulerebbero dalle finalità del presente articolo), è comunque opportuno citare i criteri fondamentali che devono essere soddisfatti da un geotessile in campo idraulico:

Criterio di filtrazione

Il geotessile deve essere abbastanza permeabile da consentire il flusso dell'acqua circolante nel terreno e da impedire la formazione di sovrappressioni idrauliche. Se viene soddisfatta questa condizione il filtro in geotessile è in grado di evitare l'eccessivo movimento delle particelle verso il dreno. Questo fatto dipende anche dalla natura del terreno in sito.

Criterio di ritenzione

Il geotessile deve essere sufficientemente "chiuso" da evitare l'eccessiva migrazione delle particelle fini attraverso il piano del geotessile stesso.

A questo proposito vi sono alcune curiose argomentazioni che indicano nel geotessile nontessuto da fiocco un materiale che, *"se provvisto di buone caratteristiche meccaniche, queste andrebbero a scapito di quelle idrauliche"*. Questo fatto sarebbe causato *"dall'intensa agugliatura necessaria"* a coesionare le fibre discontinue.

Probabilmente una simile argomentazione non abbisogna neppure di una risposta, poichè il tecnico ancorchè non esperto della materia che abbia seguito fin qui quanto esposto nel presente documento è probabilmente in grado di darsi comunque una risposta da solo.

E' altrettanto vero che non esiste alcuna pubblicazione tecnico-scientifica che possa suffragare una simile argomentazione e, d'altra parte, le tabelle tecniche relative alle caratteristiche dei geotessili nontessuti in commercio sono più che eloquenti.

E' invece vero che, grazie ancora una volta alla versatilità nella produzione del geotessile nontessuto da fiocco, è possibile ottenere le caratteristiche idrauliche volute adottando

alcuni accorgimenti in fase produttiva (ad es. utilizzando fibre aventi titolo differente per creare la porometria desiderata, cosa impossibile con la tecnologia del filo continuo).

Per quanto concerne poi la permeabilità del nontessuto (c'è chi sostiene che, essendo le fibre corte assimilabili a dipoli elettrici, il geotessile nontessuto da fiocco si impermeabilizza nel tempo perchè attrae le particelle argillose), bisogna sapere che il polipropilene è idrofobo per sua natura. Per renderlo idrofilo, qualora necessario, si aggiungono degli ensimaggi. Chi produce fiocco aggiunge questi ensimaggi sul fiocco stesso ottenendo un effetto uniforme sul prodotto finito. Chi produce filo continuo normalmente spruzza questi ensimaggi sul nontessuto e quindi, non penetrandone la struttura, restano prevalentemente in superficie.

Lo stesso discorso vale per l'elettrostaticità: gli ensimaggi contengono degli antistatici che sono presenti sul fiocco; comunque tutti i materiali sintetici tendono a caricarsi indipendentemente che si tratti di fibre lunghe o corte (avete presente l'effetto di quando ci si toglie una maglietta? Ebbene questi sono tessuti fatti con filati continui).

Bisogna inoltre sapere che nel terreno esistono cariche elettriche naturali che danno vita a differenze di potenziale: questo fenomeno è noto come potenziali spontanei. Tali potenziali possono essere di diversa natura e comunque quelli comunemente noti sono:

- potenziali di mineralizzazione o di ossido-riduzione;
- potenziali elettrochimici;
- potenziali di elettrofiltrazione (o elettrocinetici).

Talvolta tali potenziali possono essere piuttosto elevati (tanto da raggiungere il Volt).

Appare quindi piuttosto improbabile che le particelle argillose risentano di un dipolo elettricamente debole e destinato a perdere la sua carica nel tempo quale quello generato da una fibra polimerica piuttosto che dai campi elettrici naturali presenti nei terreni. Non ha quindi senso l'argomentazione secondo cui i geotessili nontessuti da fiocco (e solo loro) sarebbero più propensi ad intasarsi a causa dell'attrazione che le forze elettrostatiche generate dalle stesse fibre eserciterebbero sulle particelle argillose.

5. Isotropia Meccanica e Idraulica

Merita certamente qualche riga di approfondimento il problema dell'isotropia meccanica e idraulica dei geotessili nontessuti. E' infatti noto che, se si procedesse ad un campionamento sistematico di questi materiali, i geotessili nontessuti a filo continuo risulterebbero avere, per ogni caratteristica misurata, una elevata deviazione standard rispetto ai valori medi, che si potrebbe tradurre in una elevata disomogeneità. Tale disomogeneità si riflette necessariamente sia sulle caratteristiche meccaniche, sia sulle caratteristiche idrauliche. Tale fenomeno discende dal fatto che il filo continuo passa dall'estrusione alla formazione del velo, senza passare per la cardatura. I geotessili nontessuti da fiocco risentono in misura molto inferiore di questo problema proprio per il differente processo produttivo.

E' ovvio che questo problema si riflette anche nella corretta progettazione: dovendo ad esempio dimensionare un filtro con geotessile nontessuto si prende in considerazione l'apertura dei pori caratteristica del geotessile stesso, ma se questo presenta una deviazione standard elevata potranno verificarsi tanto problemi di intasamento quanto di dilavamento e, in sostanza, l'opera drenante non funzionerebbe a dovere.

6. Tipi di Geosintetici

Nella presente comunicazione si prenderanno in considerazione le applicazioni più classiche che vedono le opere drenanti come elementi fondamentali per consentire la realizzazione di infrastrutture e il risanamento di zone in frana. Verranno solo citate alcune

applicazioni (ad esempio in campo ambientale) poichè certi argomenti richiederebbero di essere sviluppati ed approfonditi a parte.

Verranno quindi rimarcate le differenze che hanno comportato l'avvento dei geosintetici sia in fase di dimensionamento, sia in fase realizzativa.

E' comunque opportuno introdurre le molteplici funzioni assolve dai geosintetici nei vari campi di applicazione. Si vedrà come uno stesso geosintetico svolga differenti funzioni a seconda di come e dove venga posato in opera. Prima di scorrere rapidamente le varie funzioni di cui sopra, è altrettanto opportuno introdurre le abbreviazioni corrispondenti ai differenti geosintetici:

Abbreviazione	Geosintetico
GT	Geotessile (generico)
GTW	Geotessile tessuto
GTN	Geotessile nontessuto
GG	Geogriglia (generico)
GN	Georete
GL	Geocella
GM	Geomembrana (generico)
GC	Geocomposito (generico)
GCD	Geocomposito drenante
GCR	Geocomposito di rinforzo
GCL	Geocomposito "clay liner"
GCM	Geocomposito "membrane liner"

Per quanto concerne le funzioni, esse possono essere differenti a seconda del geosintetico che si utilizza, pur essendoci geosintetici che svolgono più funzioni anche in uno stesso momento:

Geosintetico	Funzione
Geotessile (GTW, GTN)	Filtrazione, separazione, rinforzo, protezione
Geogriglia	Rinforzo
Georete	Drenaggio, protezione
Geomembrane (GM, GCL, GCM)	Barriera a gas e liquidi
Geocelle	Controllo erosione

Le tabelle appena riportate non sono complete, ma rendono un'idea delle molteplici applicazioni e della varietà di prodotti esistenti. Come si vedrà, alcuni prodotti sono stati appositamente studiati per il drenaggio dei terreni.

7. I sistemi drenanti: campi di impiego

I sistemi drenanti, sia di concezione classica che con geosintetici, vengono utilizzati in tutte le applicazioni in cui sia richiesto il controllo del livello delle acque sotterranee. In ogni situazione vi possono essere differenti tipi di drenaggio in grado di risolvere o mitigare il problema esistente:

- trincee drenanti per zone in frana;
- drenaggi per accelerare il consolidamento delle terre;
- drenaggi per il controllo delle acque sotterranee a fini edificatori;
- drenaggi per abbattere o limitare le spinte idrauliche sulle opere di sostegno;

- drenaggi nelle discariche per la raccolta del percolato.

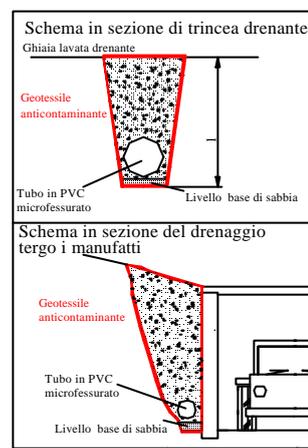
Quest'ultimo argomento, dal momento che interessa un campo del tutto particolare, non verrà trattato.

Tutti gli altri argomenti, direttamente o indirettamente, possono rivestire un'interesse nel campo delle grandi opere infrastrutturali e quindi anche in campo ferroviario.

Le trincee drenanti sono il mezzo più comune per il controllo del livello delle acque sotterranee tanto in pendii naturali, quanto in scarpate artificiali derivanti da movimenti terra (asporti e riporti). Normalmente sono opere che danno un contributo nei terreni più superficiali (fino al massimo a 6-8 m dal p.c.).

Per questo tipo di interventi si opera uno scavo a sezione obbligata, che viene poi riempito di materiale granulare (ghiaia). Per evitare l'intasamento del dreno vengono utilmente rivestiti gli scavi con geotessili nontessuti e/o con geotessili tessuti di adeguate caratteristiche idrauliche. Nel prossimo paragrafo si vedranno i criteri di dimensionamento. In figura è riportata la sezione schematica di una trincea drenante.

Le stesse trincee vengono utilizzate per deprimere il livello di falda anche in zone di



5

pianura, nel caso in cui sia necessario ottenere un consolidamento della porzione di terreno interessata o, più semplicemente, sia necessario operare degli scavi per cui si vuole lavorare all'asciutto. La stessa tipologia di opera può essere utilizzata per limitare le spinte idrauliche su opere di sostegno quali muri, paratie, terre rinforzate, ecc.... Nella stessa figura citata sopra vi è un esempio anche di questo tipo di intervento.

Vi sono poi geosintetici nati appositamente per drenare: si tratta di geocompositi drenanti e di strisce drenanti verticali. I primi possono sostituire con successo il classico scavo a tergo delle opere di sostegno riempito da materiale granulare, i secondi accelerano il consolidamento dei terreni anche a profondità elevate (possono sostituire i pali in sabbia).

In ogni caso si deve sempre rammentare che per progettare dei dreni in geotessile, questi devono svolgere la duplice funzione di drenaggio e di filtrazione e quindi è di vitale importanza identificare le condizioni in cui questi materiali dovranno "lavorare". Queste includono le condizioni di progetto (natura critica del progetto) e le condizioni fisiche (condizioni del suolo, idrauliche e tensionali).

La natura critica del progetto aiuterà a determinare il livello in termini di importanza dell'elemento drenante nell'economia del lavoro (la domanda fondamentale che ci si deve porre è: quali sono le conseguenze di un possibile fallimento?).

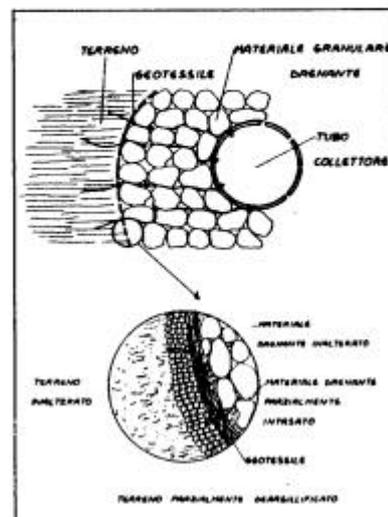
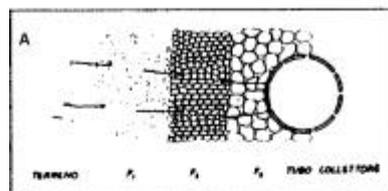
Le condizioni fisiche stabiliscono invece quelle che devono essere le caratteristiche del geosintetico. Ovviamente la scelta andrà fatta in base alle caratteristiche geotecniche del suolo e alle condizioni idrauliche; in poche parole la scelta è funzione della "severità" delle condizioni.

Nella tabella che segue sono schematizzati i concetti appena trattati:

Natura critica del progetto		
Argomento	Critico	Meno critico
Rischio di danno strutturale	alto	nessuno
Costi di ripristino	Elevati	bassi
Evidenze di intasamento prima della rottura	nessuna	sì
Severità delle condizioni		
Argomento	Severo	Meno severo
Terra da drenare	Non gradata, Soggetta a sifonamento	Ben gradata, uniforme
Gradiente idraulico	Alto	Basso
Condizioni di flusso	Dinamico, ciclico, "ad impulsi"	Stazionario

8. Utilità dei geotessili

Il geosintetico, e in particolare i geotessili nontessuti, hanno permesso notevoli vantaggi,



sia dal punto di vista della posa in opera dei filtri e dei sistemi drenanti, sia dal punto di vista del risparmio in termini quantitativi, dei materiali costituenti i drenaggi. In figura (tratta da Cancelli e Cazzuffi) è riportato lo schema di un dreno naturale in ghiaia attorno ad un tubo drenante, confrontato con un dreno il cui filtro è costituito da un geotessile.

Si tenga comunque sempre presente il fatto che, per poter funzionare adeguatamente, questi sistemi devono essere opportunamente dimensionati e per poter essere dimensionati bisogna conoscere sia le caratteristiche granulometriche del terreno in sito, sia le condizioni idrauliche esistenti, sia le caratteristiche del geotessile da utilizzare. La

causa dei fallimenti di questo tipo di opere è proprio imputabile ad un non adeguato livello di conoscenze riguardo le condizioni al contorno e le caratteristiche tecniche dei geotessili. In tutti i casi, un dreno, per essere tale, deve filtrare. La filtrazione da parte di un materiale geosintetico è possibile se vengono soddisfatti due criteri fondamentali:

- criterio di filtrazione;
- criterio di ritenzione.

Criterio di filtrazione

Il geotessile deve essere abbastanza permeabile da consentire il flusso dell'acqua circolante nel terreno e da impedire la formazione di sovrappressioni idrauliche. Se viene soddisfatta questa condizione il filtro in geotessile è in grado di evitare l'eccessivo movimento delle particelle verso il dreno. Questo fatto dipende anche dalla natura del terreno in sito.

Si dice che un suolo sia internamente stabile (o auto-filtrante) se le particelle più fini non si muovono attraverso i pori interconnessi. La stabilità interna dipende dalla forma della curva granulometrica delle terre non coesive e dalla capacità dispersiva delle terre coesive. L'assenza di stabilità interna può portare a sifonamento e intasamento del filtro.

Le relazioni empiriche che regolano questo criterio sono:

$K_{GT} > 5K_s$ (condizioni di flusso unidirezionale)

$K_{GT} > 10K_s$ (condizioni di flusso ciclico)

K_{GT} = permeabilità normale del geotessile

K_s = permeabilità terreno in sito

Criterio di ritenzione

Il geotessile deve essere sufficientemente "chiuso" da evitare l'eccessiva migrazione delle particelle fini attraverso il piano del geotessile stesso. Tutti i criteri di ritenzione applicati derivano da relazioni empiriche e possono essere espressi come segue:

$O_s \leq B \times D_n$

O_s = apertura dei pori del geotessile

B = coeff. adimensionale che tiene conto delle condizioni di flusso e del terreno in sito

D_n = diametro caratteristico delle particelle.

9. Applicazioni

Come detto in premessa, le applicazioni dei geosintetici nella costruzione di opere drenanti sono molteplici. Di seguito si riportano le applicazioni più comunemente utilizzate in funzione della costruzione di grandi opere infrastrutturali.

Trincee drenanti in assenza di ricarica

L'abbassamento della falda freatica (Δz) da parte di trincee drenanti in assenza di ricarica idrica dipende da diverse grandezze:

- s = interasse dei dreni (m)
- d = profondità della trincea da p.c. (m)
- K_s = permeabilità terreno in sito (m/s)
- q = portata per metro lineare di dreno (mc/s/m)
- t = tempo trascorso dalla posa dei dreni (s)
- n_d = porosità del terreno in sito (%)

La porosità è legata alla permeabilità da una relazione di cui si mostra la curva (non disponibile nel testo). Quindi, grazie ai rapporti adimensionali riportati in tabella, è possibile calcolare la grandezza cercata.

$t K_s d / n_d s^2$	Dz/d	$q/K_s d$
0.001	0.06	0.8
0.01	0.37	0.47
0.1	0.79	0.25

Il caso dell'assenza di ricarica è riconducibile a quelle applicazioni in cui la zona drenata è "protetta" da pavimentazioni stradali o da altro genere di impermeabilizzazioni.

Trincee drenanti in presenza di ricarica

Supponendo di avere un apporto costante d'acqua (ad esempio da precipitazioni meteoriche) r (m/s), è possibile quantificare la profondità che devono assumere le trincee in funzione dell'abbassamento di falda Δz voluto. In sostanza si dovrà ottenere un valore di portata d'acqua sufficiente a neutralizzare la totalità dell'apporto idrico per infiltrazione. La portata d'acqua è così quantificabile:

$$q = 1/2 r x r_s \text{ (mc/s/m)}$$

dalla teoria di Dupuit la profondità voluta (d), è data dall'espressione:

$$d = \Delta z + 1/2 s \sqrt{[(r/k_s) + (2d/s)^2]}$$

Si potrà notare che, a parità di caratteristiche tanto delle trincee quanto del terreno incassante, la profondità calcolata in presenza di ricarica è molto più elevata di quella calcolata in assenza di ricarica.

Drenaggi a tergo di opere di sostegno

Questi possono essere costituiti da materiale granulare contenuto in un telo geotessile nontessuto, oppure da un geocomposito drenante. Anche il modo di posizionare il dreno è importante per arrivare a ridurre il più possibile le spinte idrauliche laterali: ponendo il drenaggio inclinato rispetto alla verticale si riescono ad annullare le spinte idrauliche. Dall'analisi delle reti di flusso risulta evidente questo concetto (non disponibili nel testo).

L'effetto delle pressioni idrauliche su opere di sostegno quali muri e terre rinforzate è ben visibile dall'equazione di Coulomb per il calcolo del coeff. di spinta attiva K_a (modificata da Bathurst) nella quale è stato introdotto un termine relativo al coeff. di pressione interstiziale:

$$K_a = r_u + (1 - r_u) \frac{\cos^2(\mathbf{f} + \mathbf{b})}{\cos^2 \mathbf{b} \cos(\mathbf{b} - \mathbf{y}) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\mathbf{f} + \mathbf{y}) \sin(\mathbf{f} - i)}{\cos(\mathbf{b} - \mathbf{y}) \cos(\mathbf{b} + i)}} \right]^2}$$

Come si evince da questa relazione, a parità di condizioni geotecniche e geometriche, il coeff. di pressione interstiziale è in grado di far variare notevolmente le spinte sulle opere di sostegno.

Dreni verticali per il consolidamento dei terreni

Si tratta di una "famiglia" di geosintetici appositamente studiati per il consolidamento dei terreni. Più propriamente essi sono dei geocompositi formati da geotessile nontessuto all'esterno e da un'anima interna in materiale plastico con un'elevata percentuale di vuoti. Questi dreni vengono infissi nel suolo per mezzo di apposite macchine alla profondità voluta.

L'aspetto è quello di strisce a sezione ellittica o romboidale e vengono forniti in rotoli.

Drenaggi alla base di rilevati

In questo campo possono ricadere anche i dreni verticali sopra descritti, ma più comunemente, alla base di rilevati stradali o ferroviari, vengono predisposti dei materassi drenanti composti da geotessili inglobanti materiale arido. In questo modo non solo viene abbattuta la sovra pressione idraulica data dal sovraccarico del rilevato stesso, ma viene eliminata anche la risalita capillare dal terreno di fondazione.

Inoltre si ha un indubbio vantaggio nel caso di precipitazioni meteoriche, poichè si inducono le linee di flusso dell'acqua infiltratasi a dirigersi verticalmente dall'alto verso il basso e non lateralmente, cosa che incrementerebbe le spinte laterali e quindi la possibilità di rottura delle scarpate del rilevato stesso (figura non disponibile nel testo).