

CONTROLLO DELL'EROSIONE COSTIERA CON GEOSINTETICI TUBOLARI DI GRANDI DIMENSIONI

Pierpaolo Fantini e Alberto Simini

Huesker S.r.l.

Introduzione

L'utilizzo di geosintetici nelle opere di ingegneria civile è ormai diventata una prassi comune per la soluzione di un gran numero di problematiche in maniera efficace ed economica. Anche nelle opere a mare i geosintetici vengono spesso utilizzati sia come elementi di rinforzo, separazione o filtrazione sia per la realizzazione di contenitori che vengono poi riempiti in sabbia o malta cementizia.

A seconda della funzione che devono svolgere, tali contenitori possono essere prodotti in diverse forme e dimensioni (sacchi, materassi o tubi). Una delle loro prime applicazioni in grande scala risale ad oltre 40 anni fa nell'ambito di sistemazioni costiere in Olanda, ma è negli anni '80 che si è avuta un'accelerazione nel loro sviluppo.

Nel presente articolo l'attenzione sarà rivolta verso i contenitori di forma tubolare e grandi dimensioni realizzati in geosintetico, riempiti in sabbia ed utilizzati con funzione di pennelli o barriere soffolte.

Descrizione del sistema

Il geosintetico che costituisce i contenitori tubolari è tale da essere permeabile all'acqua, ma in grado di trattenere al suo interno la sabbia con

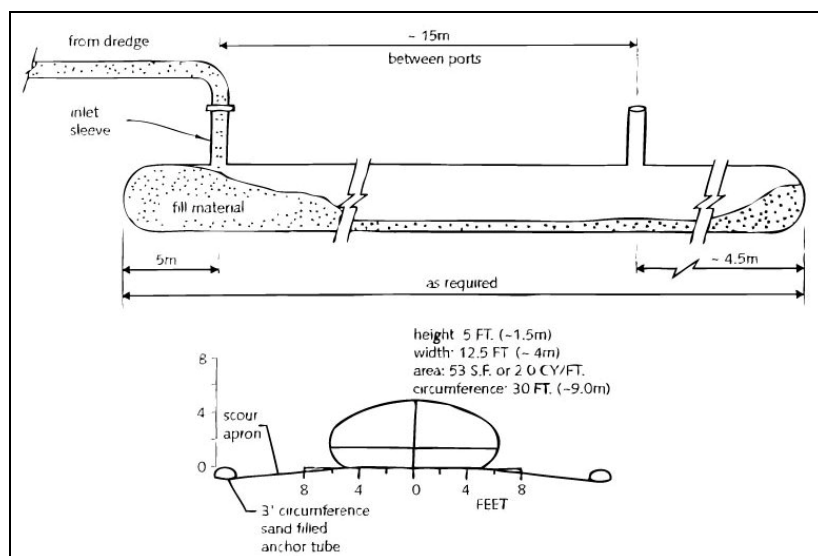
cui i contenitori vengono riempiti. I tubi vengono prodotti “su misura” in termini di lunghezza e diametro a seconda delle esigenze progettuali, e spesso gli unici vincoli sono dati da eventuali problematiche di posa e dalle condizioni del sito.



Il tubo viene riempito con una miscela di sedimenti e acqua in proporzioni variabili a seconda dell'avanzamento delle fasi di riempimento mediante l'impiego di idonei apparati di pompaggio. A seconda della tipologia di materiale di riempimento dovrà essere opportunamente scelto il geosintetico, in modo che abbia un diametro di filtrazione compatibile con il materiale pompato. Il tubo acquisirà la forma desiderata quando riempito a circa l'80% del volume massimo teorico.

I tubi in geosintetico vengono forniti in cantiere arrotolati su un tubo in acciaio e uniformemente sulla loro lunghezza sono provvisti di bocchettoni per l'ingresso del materiale pompato e di uscita dell'acqua.

Dal punto di vista della progettazione, gli aspetti a cui è necessario prestare attenzione sono la resistenza del geosintetico e delle cuciture, che devono essere tali da resistere alle pressioni a cui il tubo è soggetto durante le fasi di riempimento, la compatibilità del geosintetico con il terreno (in modo che la parte solida del materiale di riempimento venga trattenuta all'interno, senza il verificarsi di fuoriuscite) e la sua resistenza ai raggi UV, all'abrasione, allo strappo ed al punzonamento. Un altro aspetto che deve essere opportunamente valutato è anche lo schiacciamento del tubo a causa dei fenomeni di consolidazione del fango al suo interno.



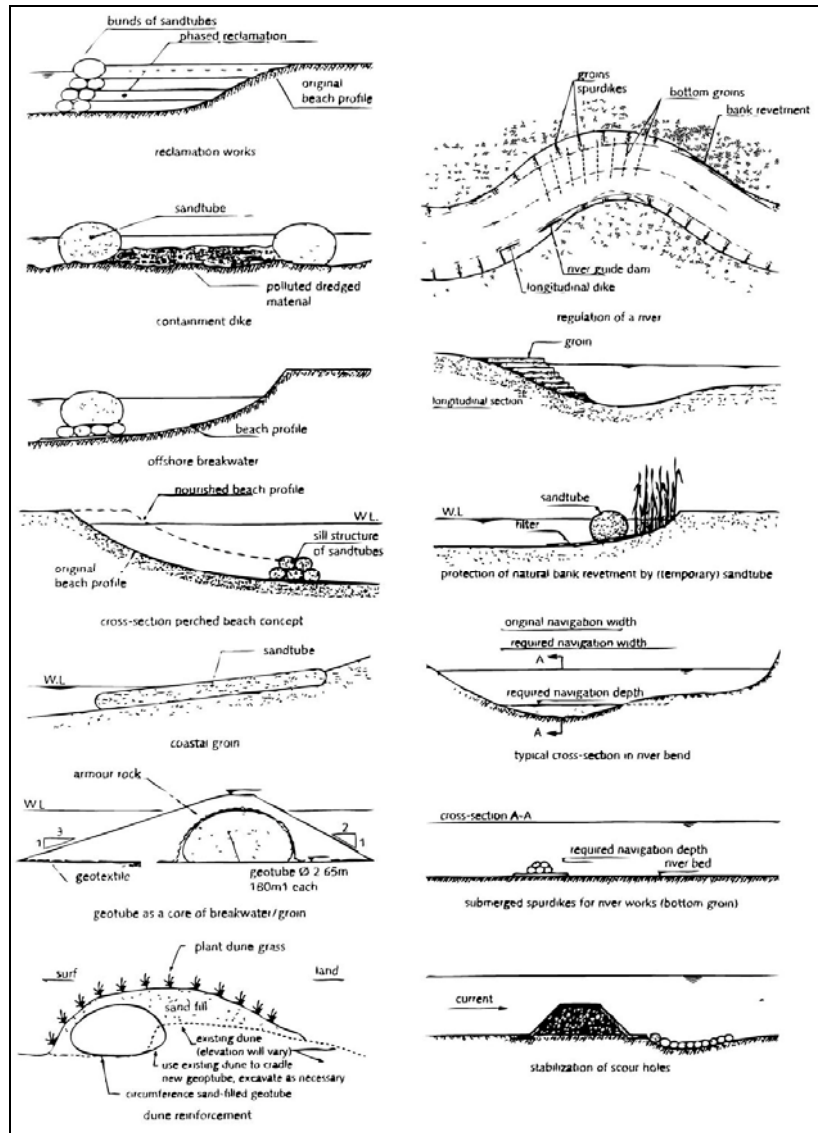
I tubi possono essere riempiti ed utilizzati in condizioni asciutte, ad esempio come nuclei di dighe, oppure sommersi, ad esempio come barriere soffolte o pennelli. Il tubo viene srotolato nella posizione prevista con le bocchette di ingresso ed uscita disposte al centro nella parte superiore e, quando la posa avviene sott'acqua, bisogna anche prestare attenzione al galleggiamento del geosintetico prima del suo riempimento.

Nelle figure che seguono sono riportate alcune delle possibili applicazioni in campo costiero e fluviale di questo tipo di strutture.

I vantaggi di questo sistema rispetto a metodi tradizionali (roccia, elementi prefabbricati in calcestruzzo, asfalto, ecc.) sono notevoli: riduzione delle lavorazioni necessarie all'esecuzione dell'opera, riduzione dei tempi di esecuzione, riduzione del costo e possibilità di riutilizzo di materiali già presenti in sito.

Normalmente i tubi sono costituiti da teli in geosintetico di larghezza 4 o 5 metri, cuciti lungo i bordi e provvisti di bocchette per il pompaggio del fango ed il deflusso dell'acqua. Il geosintetico ideale per la realizzazione dei tubi è un geocomposito ottenuto dall'accoppiamento di un geotessile tessuto ed un geotessile non tessuto, entrambi in poliestere. In questo modo si separano le funzioni che il geosintetico deve svolgere: il geotessile non tessuto avrà la funzione di filtro e separatore, andando a trattenere anche le particelle più fini del fango e può inoltre fungere da substrato per la crescita della flora marina; il geotessile tessuto invece svolgerà una funzione resistente e dovrà essere dimensionato in modo tale da resistere al peso del

materiale di riempimento ed alla pressione di pompaggio necessarie per raggiungere l'altezza di progetto del tubo.



La scelta del poliestere come materia prima deriva sia dalle sue ottime caratteristiche meccaniche (ovvero elevata resistenza a trazione sia a breve che a lungo termine), sia dalla sua alta resistenza all'ossidazione (non

modifica le sue proprietà quando esposto a temperature elevate ed ai raggi UV).



La resistenza delle cuciture (sia tra pannelli di geosintetico che in corrispondenza delle bocchettoni di ingresso ed uscita) normalmente è il punto più critico per quanto riguarda la resistenza del tubo e dunque nelle fasi di produzione, particolare cura deve essere rivolta a questo aspetto.

La distanza tra le bocchettoni di ingresso ed uscita varia a seconda delle caratteristiche della miscela con cui il tubo viene riempito e della potenza delle pompe usate per il pompaggio, ma la distanza che spesso viene scelta è di circa 15 m, il che permette un di ottenere un buon risultato in termini di riempimento utilizzando macchinari standard.

I tubi sono inoltre dotati di resistenti asole disposte ad intervalli regolari sui lati per consentirne il fissaggio a picchetti guida allo scopo di assicurare la richiesta precisione in fase di posizionamento e riempimento.

Una volta che il tubo è stato posizionato e fissato al fondo si inizierà l'operazione di riempimento dalle apposite manichette utilizzando una sorbona prendendo la sabbia presente sul fondo all'esterno del contenitore.

Quando i tubi in geosintetico vengono utilizzati come barriere soffolte è opportuno, prima della loro posa, disporre sul fondo un "tappeto" di protezione in geosintetico con due piccoli tubi di ancoraggio (tipicamente di diametro pari a 1 metro) alle estremità con lo scopo di proteggere il contenitore dalle sollecitazioni a punzonamento e dallo scalzamento dovuto a fenomeni erosivi su fondali sabbiosi. Un'analoga precauzione è da

prevedere anche nel caso di pennelli a mare, in particolar modo sul loro lato terminale.



Sul lato offshore delle opere a mare il geosintetico rinforzato dovrà essere posato per una lunghezza non inferiore al doppio dell'altezza caratteristica del moto ondoso, mentre sul lato verso costa, il tratto da proteggere dovrà essere non inferiore all'altezza dell'opera stessa.

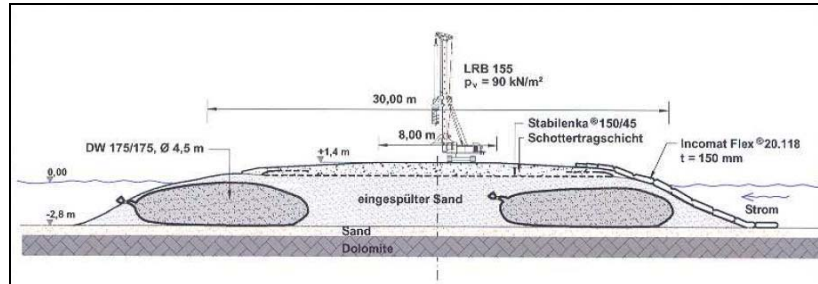
Il geosintetico dovrà essere caratterizzato da un idoneo diametro di filtrazione al fine di trattenere la sabbia permettendone l'accumulo e da una superficie molto ruvida per facilitare la crescita della flora marina.

Esempio di utilizzo di tubi di grande diametro con geosintetici per la realizzazione di una arginatura

L'utilizzo di differenti tipologie di geosintetici ha permesso la costruzione di un argine artificiale nel fiume Daugava (Riga, Lettonia), in modo da creare una piattaforma di lavoro necessaria per la costruzione di due pile da ponte. Geosintetici di forma tubolare sono stati posati ai due lati dell'argine in modo da permettere il successivo riempimento del nucleo con sabbia.

A causa degli elevati sovraccarichi previsti in sommità dell'argine, la sovrastruttura portante è stata rinforzata con lo Stablenka[®], un tessuto in poliestere ad alta resistenza ed elevato modulo, mentre il lato dell'argine

esposto alla corrente è stato protetto con materassi Incomat® iniettati in miscela cementizia.



Il progetto iniziale prevedeva la costruzione dell'argine mediante la posa di ghiaia scaricata nel letto del fiume direttamente dalle sponde e portata in sito attraverso la zona residenziale della città di Riga. L'impresa esecutrice, BGS, assieme alla Huesker, azienda produttrice di geosintetici, ha proposto una soluzione alternativa che prevedeva, come detto in precedenza, due tubi di grandi dimensioni realizzati in geosintetico e riempiti in sabbia, posati ai due lati del rilevato da realizzare. L'utilizzo di questi tubi ha permesso di evitare il trasporto e la posa di enormi quantità di ghiaia ed il riutilizzo della sabbia direttamente scavata dal letto del fiume. In questo modo si è potuto ridurre il costo complessivo dell'opera ed anche il suo impatto ambientale.



Progettazione ed esecuzione

L'argine è stato diviso longitudinalmente in due sezioni di lunghezza 100 m ciascuna, al fine di adattarne la geometria alla profondità variabile del letto del fiume. Dove la profondità era minore, fino ad un massimo di 1,5 m, sono stati usati tubi di diametro 3 m; nel rimanente tratto, dove la profondità variava fino ad un massimo di 2,8 m, sono invece stati usati tubi di 4,5 m di diametro. All'interno dell'area delimitata dai quattro tubi si è andato così a formare una zona, non influenzata dalla corrente, che è stata poi riempita con sabbia direttamente pompata dal letto del fiume. La resistenza del geosintetico di cui è costituito il tubo è stata calcolata considerando la condizione più sfavorevole, ovvero posa e riempimento in condizioni asciutte ed elevate pressioni di pompaggio, mediante un software sviluppato appositamente dalla Adama Engineering per il dimensionamento di questo tipo di strutture. In tal modo si è calcolata la tensione agente nella direzione anulare che è risultata essere pari a 150 kN/m. I tubi sono stati prodotti con il geosintetico, HaTe® 175/175 DW, avente un'apertura caratteristica tale da trattenere la sabbia ed essere al tempo stesso permeabile all'acqua.

La stabilità interna ed esterna dell'argine sono state verificate considerando un sovraccarico molto elevato (90 kN/m^2) per la presenza dei macchinari da cantiere per la realizzazione dei pali di sostegno delle pile da ponte. Le verifiche sono state eseguite secondo la norma DIN 4048 utilizzando il software Stability della GGU Software International.

Ai fini del calcolo, la sabbia confinata nei tubi è stata simulata aumentandone la resistenza al taglio ed il peso specifico rispetto alla sabbia che costituisce il corpo dell'argine.

E' stato possibile ottenere il fattore di sicurezza minimo richiesto solamente grazie all'utilizzo di un geosintetico ad elevata resistenza, posato alla base dello strato di 80 cm di roccia frantumata previsto in sommità del rilevato. Dal momento che il letto del fiume è costituito da uno strato sabbioso su di una base rocciosa, la stabilità globale dell'argine è stata verificata senza la necessità di ulteriori rinforzi alla base del rilevato.

La realizzazione dell'opera è avvenuta all'inizio dell'inverno, tra novembre e dicembre 2004. I lavori sono partiti dal tratto in acqua più bassa: i tubi sono stati fissati nella posizione corretta e poi riempiti pompando sabbia al loro interno, presa direttamente dal letto del fiume in una zona limitrofa. In seguito, con analoghe operazioni di pompaggio è stato riempito il nucleo del rilevato nel primo tratto e poi si è proceduto alla realizzazione del secondo tratto.

In seguito sono stati posati lo Stablenka[®] e lo strato di ghiaia in sommità; le scarpate del rilevato sono state sagomate con sabbia e sul lato di monte, come protezione dall'erosione, è stato posato un materasso flessibile Incomat[®] Flex iniettato con miscela cementizia.

Prestazioni del sistema

Poco dopo il completamento dell'opera, c'è stato un evento di piena che ha fatto alzare il livello del fiume fino +2,14 m rispetto al livello medio e tale da sommergere l'intero argine. Accurate indagini effettuate al termine dell'evento di piena hanno permesso di osservare come nessuna parte della struttura sia stata danneggiata. In questo modo le operazioni di realizzazione delle pile da ponte si sono potute svolgere senza alcun ritardo.

L'argine, realizzato con tecnologie decisamente innovative, ha così mostrato un ottimo comportamento anche in condizioni estreme e non previste all'inizio della fase progettuale e realizzativa.



Bibliografia

Pilarczyk K.W. (2000) - *Geosynthetics & Geosystems in hydraulic and coastal engineering*. Balkema, Rotterdam