



I prodotti forniti dalla Società Geosintex impiegati nell'esecuzione dei lavori di scavo nella zona antistante la banchina di riva lato Sud e la testata del molo Salvo D'acquisto realizzati all'opera dell'Impresa CMC di Ravenna

GEOSINTETICI NEI LAVORI DI AMPLIAMENTO DEL PORTO COMMERCIALE DI GAETA

Lorenzo Frigo*

Il porto di Gaeta costituisce una struttura essenziale per la logistica dei trasporti del Lazio meridionale, con particolare predisposizione per il cabotaggio nel bacino mediterraneo. I dati evidenziano una movimentazione di oltre 600.000 t di merci secche alla rinfusa e 1.100 t l'anno di prodotti siderurgici e petroliferi.



Figura 1

La descrizione dei lavori

Il porto di Gaeta dispone oggi di 900 m di accosti e 12.000 m² di piazzale. Sono in fase di realizzazione ulteriori 500 m di banchine, un'area per la movimentazione merci di 60.000 m², strutture per la movimentazione e la sosta dei container e lavori alla viabilità per un'area di 20.000 m².

In particolare, si prende in esame l'ampliamento in corso del porto attuale che consta nell'esecuzione dei lavori di scavo nella zona antistante la Banchina di riva Lato Sud e la testata del molo Salvo D'Acquisto e comprende nello specifico:

il prolungamento di 314 m dell'attuale banchina Cicconardi;
lo scavo del fondale esistente fino alla quota -10 m s.m.m.;
la realizzazione di una vasca di colmata.

L'Impresa esecutrice è la Cooperativa Muratori & Cementisti (CMC) di Ravenna.

I materiali geosintetici utilizzati

In ausilio alla realizzazione della colmata, sono stati utilizzati due tipi di geosintetici: un geocomposito drenante steso in orizzontale all'interno del corpo della colmata in modo da ridurre i tempi di consolidazione della stessa e un materasso tipo Flexitex Filter Point in grado di proteggere dall'erosione le scarpate degli argini di confinamento della colmata, realizzati in materiale di cava.

Il geocomposito drenante Interdrain GMG 512

E' stato previsto l'inserimento all'interno della colmata di drenaggi orizzontali con lo scopo di ridurre i tempi di consolidazione della stessa. Le prestazioni indicate sono le seguenti:

- ◆ tappeto di fondo: portata minima garantita di efflusso orizzontale Q

= 0,05-0,1 l/(s*m) con geosintetico sottoposto a carico verticale pari a 200 kPa;

- ◆ strati intermedi: portata minima garantita di efflusso orizzontale Q = 0,05-0,1 l/(s*m) con geosintetico sottoposto a carico verticale pari a 100 kPa.

La colmata avrà un'altezza variabile tra 6 m e 11 m.

Il geocomposito GMG 512 è in grado di garantire il drenaggio richiesto sotto i carichi di progetto.

I geocompositi drenanti Interdrain sono costituiti da una georete drenante (anima) accoppiata, su uno o su entrambi i lati, con un geotessile filtrante termofissato. Le georeti Interdrain sono strutture biplanari di polietilene ad alta densità (HDPE) con angoli d'incrocio a 60° e formano canali a elevata capacità di evacuazione dell'acqua. I geotessili standard Interdrain sono non-tessuti in polipropilene (PP) agugliati e termosaldati, nel pieno rispetto dei requisiti fissati dal PG3.

Il Flexitex Filter Point

Il Flexitex Filter Point si può definire un cassero tessile (materasso) per il contenimento di miscele cementizie o bentonitiche. E' costituito da due geotessili tessuti in poliestere ad alta tenacità, sovrapposti e collegati fra loro da punti di contatto a singolo telo con funzione filtrante, atti a formare una struttura di un determinato spessore con bugne qua-

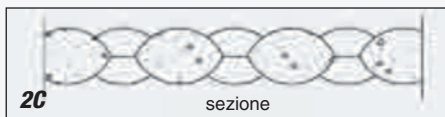
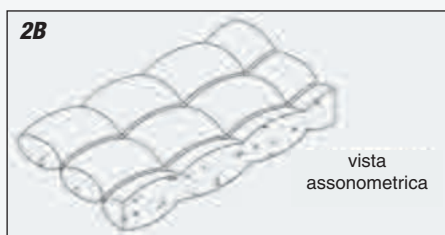
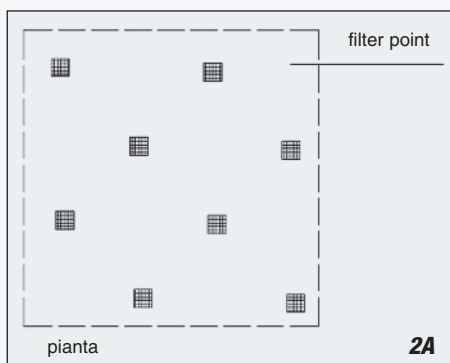


Figure 2A, 2B e 2C

drate di dimensioni regolari e costanti (10x15 cm). Il materasso ha una resistenza a trazione di 60kN/m in direzione longitudinale e trasversale (UNI EN ISO 10319), allungamenti del 12% in longitudinale e in trasversale (UNI EN ISO 10319).

Nel progetto in esame si è utilizzato un Flexitex con spessore 13 cm riempito con miscela cementizia. I calcoli per la determinazione di tale spessore saranno descritti più avanti. Il prodotto è stato utilizzato anche per la protezione degli argini del fosso di Arzano, che presenta una sezione trapezoidale con luce di fondo pari a 7,0 m, una quota del fondale a -2,0 m e scarpa degli argini 2:3. La sezione tipo del Flexitex è illustrata nelle Figure 2A, 2B e 2C.

Alcune immagini illustrano le fasi lavorative (Figure 3, 4, 5 e 6).



Figure 3 - L'Ante Operam



Figure 5 - Il riempimento



Figure 4 - La stesa del Flexitex



Figure 6 - Il Post Operam

Criteria di progetto per "concrete geomattresses" (da K. W. Pilarczyk, Geosynthetics and Geosystems in Hydraulic and Coastal Engineering)

I contenitori in materiale geosintetico "geobags" e "geomattresses", in generale, possono essere riempiti con sabbia oppure con malta. Le strutture riempite con sabbia vengono utilizzate per impieghi temporanei oppure permanenti nel caso in cui la sollecitazione (altezza dell'onda incidente) sia modesta ($H < 1,50$ m), o per strutture sommer-

se. I sistemi riempiti con malta hanno una maggiore resistenza e possono venire interconnessi mediante barre in modo da creare una struttura ben collegata.

La difficoltà principale per l'applicazione di queste strutture (bags, geotubes, geocontainers) è la mancanza di criteri di progetto ben definiti. In letteratura è possibile reperire alcuni studi che illustrano metodi per determinare la stabilità delle sponde rivestite, basati sul parametro k_D (formula di Hudson) oppure sul rapporto $H/\Delta D_n$ (più avanti illustrato).

Questi studi sono stati eseguiti per l'analisi della stabilità di sponde rivestite in pietraie soggette alla corrente e alla sollecitazione del moto ondoso.

Di seguito verrà brevemente descritto il metodo di calcolo per valutare la stabilità al moto ondoso (Klein Breteler 1998, Stoutjesdijk 1998, Delft Hydraulics/Delft Geotechnics 1998). Verrà anche analizzato il significato dei parametri Δ e D_n presenti nelle relazioni di stabilità (Wouters 1998, Delft Hydraulics/Delft Geotechnics 1998, Annex 7).

Il criterio generale di stabilità

La stabilità nei confronti della sollecitazione provocata dall'onda

Ci sono due metodi di calcolo disponibili: un modello "black-box" e un modello analitico. In entrambi i casi si arriva ad una relazione tra sol-

lecitazione e resistenza, funzione del tipo di onda incidente:

$$\left(\frac{H_s}{\Delta \cdot D}\right)_{cr} = f(\xi_{op}) \quad (1)$$

Per rivestimenti la (1) diventa:

$$\left(\frac{H_s}{\Delta \cdot D}\right)_{cr} = \frac{F}{\xi_{op}^{2/3}} \quad (2)$$

con massimo

$$\left(\frac{H_s}{\Delta \cdot D}\right)_{cr} = 8.0 \quad (3)$$

dove:

F = fattore di stabilità [-];

H_s = altezza significativa dell'onda [m];

Δ = densità relativa [-];

D = spessore del rivestimento [m];

ξ_{op} = breaker parameter [-].

La densità relativa è definita come:

$$\Delta = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \quad (4)$$

Nella (4) il significato dei simboli è il seguente:

ρ_s = densità del materiale di protezione [kg/m^3];

ρ_w = densità dell'acqua [kg/m^3].

Per rivestimenti che presentano elevata porosità, come materassi in sabbia e gabbioni, la densità relativa va determinata tenendo conto dei vuoti:

$$\Delta_t = (1 - n)\Delta \quad (5)$$

dove:

Δ_t = densità relativa (compresi i vuoti) [-];

n = porosità del materiale di rivestimento [-].



Il "breaker parameter" è definito come:

$$\xi_{op} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H_s/L_{op}}} \quad (6)$$

Definiamo ora il parametro S_{op} (Wave steepness) nel seguente modo:

$$S_{op} = \frac{H_s}{L_o} = \frac{2\pi H_s}{gT_p^2} \quad (7)$$

Dalla (7) si può notare il parametro L_{op} (lunghezza d'onda relativa al periodo del picco, riferita alle acque profonde) dato dalla relazione:

$$L_{op} = \frac{g}{2\pi} T_p^2 \quad (8)$$

Nelle relazioni precedenti il significato dei simboli è il seguente:

α = inclinazione del pendio [°];

T_{op} = periodo riferito al picco dello spettro [°].

Quanto appena descritto è il metodo "black-box", che ha il pregio di essere semplice e come controparte il fatto che il valore del parametro F è noto, per la maggior parte delle strutture, solo in modo approssimato. Il modello analitico si basa sulla teoria sviluppata per i rivestimenti in pietraie posti su un filtro granulare (CUR/RWS, 1995a): in questo modello quasi tutti i parametri fisici rilevanti per questo fenomeno sono raccolti nel fattore "leakage length". Il risultato finale di questo modello si può esprimere mediante una relazione $F = f(\Lambda)$. Per sistemi posti su uno strato filtrante, il parametro "leakage length" è dato da:

$$\Lambda = \sqrt{\frac{b_f D k_f}{k'}} \quad (9)$$

dove:

b_f = spessore dello strato filtrante [m];

k_f = permeabilità dello strato filtrante o del terreno in sito [m/s];

k' = permeabilità dello strato superiore (rivestimento) [m/s].

Se non è presente lo strato filtrante (sistema appoggiato direttamente su sabbia o argilla, senza canali formati al di sotto del rivestimento) occorre introdurre la permeabilità del terreno in sito. Per lo spessore, nel caso di terreni sabbiosi si può utilizzare $b_f = 0,3$ m e per terreni argillosi $b_f = 0,03$ m il valore di D o Δ dipende dal tipo di rivestimento. Considerando una sezione costituita, partendo dall'alto, da strato di copertura, geotessile, canalette e sabbia, la (9) può essere espressa come:

$$\Lambda = \sqrt{\frac{(k_f d_g + k_g T_g) D}{k'}} \quad (10)$$

dove:

k_f = permeabilità dello strato filtrante (o dei canali) [m/s];

d_g = profondità delle canalette [m];

k_g = permeabilità del geotessile [m/s];

T_g = spessore del geotessile [m];

D = spessore dello strato di rivestimento [m];

k' = permeabilità dello strato di rivestimento [m/s].

Per applicare i metodi di calcolo esposti, determinati per rivestimenti in pietraie, a sistemi come "geobags" e "geomattresses", occorre pertanto adattare i seguenti parametri:

- ◆ F ;
- ◆ Δ e D ;
- ◆ H_s ;
- ◆ Λ ;
- ◆ Γ .

Si esamina ora la stabilità dei materassi riempiti di miscela di cemento nei confronti della sollecitazione dell'onda.

Concrete Geomattresses

Criterio di progettazione per la sollecitazione provocata dall'onda
Viene adattato il metodo sopra esposto per determinare il parametro Λ . Durante la sollecitazione provocata dal moto ondoso, il materasso è soggetto ad una differenza di pressione. Definiamo il parametro Λ per materassi riempiti di malta:

$$\Lambda = \sqrt{\frac{b_f D \cdot k_f}{k'}} \quad (11)$$

dove:

b_f = spessore dello strato filtrante [m];

k_f = permeabilità dello strato filtrante o del terreno in sito [m/s];

k' = permeabilità dello strato superiore (rivestimento) [m/s];

D = spessore dello strato superiore [m].

Nel caso di cavità al di sotto del materasso (superficie irregolare e/o erosione) la (11) diventa (Luth, 1993):

$$\Lambda = \sqrt{\frac{d D k}{k'}} \quad (12) \quad \text{con} \quad k = 5.75 \sqrt{g} \sqrt{\frac{d}{0.6}} \log\left(\frac{6d}{k_{nik}}\right) \quad (13)$$

dove, nella (13):

d = profondità della cavità [m];

k = permeabilità della cavità [m/s];

k_{nik} = scabrezza di Nikuradse (per le cavità) [m].

Se il parametro Λ è piuttosto elevato (5-10 m) possono svilupparsi notevoli sovrappressioni. La relazione di stabilità per i materassi riempiti di malta si può esprimere come:

$$\frac{H_s}{\Delta D} = \frac{F}{\xi_{op}^{2/3}} \quad (14)$$

dove:

D = massa per m^2/ρ_s

Δ = densità relativa del materasso [-] = $(\rho_s - \rho)/\rho$

ρ_s = densità del conglomerato [kg/m³];

F = fattore di stabilità[-].

Applicando questa relazione è possibile determinare F (funzione di Λ) per il caso di un materasso riempito di malta posto su sabbia con cavità o su un filtro. Alcuni risultati sono riportati nella Tabella.

Leakage length	Mattress on sand	Mattress on filter
$\Lambda = 0,5$ to $0,65$ m	$F = 4,0$	$F = 4,0$
$\Lambda = 1,0$ m	$F = 3,5$	$F = 3,3$
$\Lambda = 2,4$ m	$F = 2,9$	$F = 2,5$
$\Lambda = 8,0$ m	$F = 2,7$	$F = 2,2$
$F(L)$ per $0,2 < \tan \alpha < 0,4$ sb = 5 MPa $H_s < 1,5$ m $\rho_s = 2.300$ kg/m ³		

Conclusioni

Nel caso esaminato si è visto che i geosintetici possono contribuire alla riduzione dei tempi di realizzazione del progetto e contemporaneamente aumentare la stabilità delle opere controllando l'erosione. ■

BIBLIOGRAFIA

- [1]. AA.VV., "Manuale di Ingegneria Civile e Ambientale", Zanichelli/Esac.
- [2]. Colombo, Colleselli - "Elementi di Geotecnica", Zanichelli.
- [3]. Franco, Tomasicchio, Lamberti - "Coastal Structures 2007", Vol. I-II.
- [4]. K. W. Pilarczyk - "Geosynthetics and Geosystems in Hydraulic and Coastal Engineering".
- [5]. Da Deppo, Datei, Salandin, Sistemazione dei corsi d'acqua, Edizioni Libreria Cortina Padova.

* *Ingegnere Civile Geotecnico di Geosintex Srl*

Ringraziamenti

Si ringrazia l'Impresa CMC per la gentile concessione delle immagini contenute nel presente articolo.