

Opere di difesa della costa costruite con contenitori in geotessuto riempiti di sabbia: monitoraggio della struttura a protezione della spiaggia di San Vincenzo

Enrica Mori¹, Pierluigi Aminti¹ e Ilaria Crema¹

¹ Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Firenze, Via di Santa Marta 3 - 50139 Firenze.

Riassunto

Dopo una breve introduzione sulle caratteristiche ed i vantaggi in termini di impatto ambientale delle opere di protezione della costa realizzate con contenitori in geosintetico riempiti di sabbia, vengono illustrati i risultati del monitoraggio di circa due anni condotto su una barriera sperimentale sommersa parallela a riva costruita sul litorale di San Vincenzo.

Sono stati condotti rilievi sulle variazioni di forma subite dalla barriera sia per assestamenti interni sia ad opera del moto ondoso. E' stato osservato il comportamento a medio termine dei materiali costituenti il contenitore e l'influenza del tappeto di protezione posto come fondazione della struttura.

Osservazioni periodiche hanno permesso di effettuare delle valutazioni preliminari sugli aspetti biologici, sui popolamenti algali e sui tempi necessari a raggiungere una completa copertura ed una condizione di equilibrio con lo sviluppo di un ecosistema.

Parole chiave: opere di difesa costiera, barriere sommerse, geotessuti, geocontenitori.

Abstract

After a brief introduction on features and benefits (in terms of environmental impacts) of coastal defence structures built with geosynthetic containers filled with sand, the article presents results from a one-year monitoring of an experimental submerged reef constructed parallel to the shore, on the coast San Vincenzo (Li). Surveys on modifications of barrier shape due to wave action and bottom adjustment were carried out, together with studies on bottom variations and medium-term performance of container fabrics.

The influence of the carpet as foundation of the structure was also evaluated.

Regular observations allowed to consider biological aspects of algal populations and to estimate the time required to achieve full coverage, as well as an equilibrium state, with the formation of an ecosystem. Efficiency of scour aprons under the containers was also observed. Periodic surveys on biological accretion on top of the fabric may show how fast geotextile surface can be fully colonised.

Keywords: Coastal defence, submerged barriers, geotextiles, geocontainers.

Introduzione

L'uso di contenitori in materiale geosintetico riempiti di sabbia per la costruzione di opere di protezione della costa comincia diffondersi spinto da diversi fattori:

- la disponibilità in commercio di prodotti molto differenziati fra i quali il progettista può scegliere in funzione delle diverse applicazioni;
- la maggiore esperienza che viene acquisita sulla base dei controlli sulle prime applicazioni;
- il limitato impatto delle operazioni di cantiere che rendono possibili interventi anche in prossimità

della stagione balneare;

- la rapidità dei tempi di costruzione;
- il costo sensibilmente ridotto rispetto ad opere tradizionali a scogliera.

Un limite alla diffusione di queste opere è costituito dalla carenza di metodi progettuali consolidati e dalle limitate conoscenze di campo sulla durabilità dei geosintetici usati per la protezione delle coste. Inoltre la tecnologia relativamente nuova fa sì che l'opera compiuta non sia sempre corrispondente ai requisiti di progetto.

Il presente lavoro ha avuto l'obiettivo di analizzare, per mezzo di una sperimentazione di campo su un prototipo, la risposta a lungo periodo di una barriera sommersa parallela a riva costruita con elementi in geotessuto riempiti di sabbia, monitorando la forma iniziale e le successive variazioni, e l'idoneità di diversi materiali a mantenere nel tempo le caratteristiche di resistenza iniziale.

Protezione delle coste con contenitori in geotessuto riempiti di sabbia: stato dell'arte

Negli anni passati la costruzione di difese costiere utilizzando geocontenitori riempiti di sabbia era limitata, in Italia, ad opere provvisorie o ad opere sperimentali per le quali non si riteneva indispensabile una lunga durabilità.

La forte diffusione di geosintetici come elementi filtro nelle costruzioni marittime e in opere di fondazione in presenza di acqua, ha evidenziato la loro stabilità chimica e la loro resistenza alla maggior parte delle aggressioni nell'ambiente marino (Pilarczyk, 2000), ma si hanno ancora poche informazioni sulla durabilità di opere marittime esposte direttamente al moto ondoso. Solo negli ultimi anni sono state costruite importanti opere di difesa della costa sia pennelli (Luger et al., 2006) sia barriere sommerse costruite in sacchi.

Altre recenti applicazioni importanti riguardano opere di protezione antierosione al piede di sostegni per turbine eoliche nel Mare de Nord, (Grune et al., 2006) o per la protezione del piede delle dune costiere (Restall, 2002).

In Italia le opere di difesa costiera realizzate utilizzando geosintetici non sono attualmente molto diffuse, nonostante i primi interventi risalgano alla fine degli anni '80 e all'inizio degli anni '90. I più importanti interventi furono eseguiti a Caorle (Liberatore, 1993), a Lido di Dante, e su diversi tratti della costa della Regione Emilia Romagna (Preti, 1993). In questi ultimi interventi furono utilizzati sacchi riempiti di sabbia del volume di circa 2 m³, utilizzando geotessuti non specificamente studiati per impiego in ambiente marino. Solo negli ultimi anni sono state realizzate difese con nuovi geosintetici utilizzando contenitori cilindrici di diametro compreso fra 3 e 4 m come per due barriere parallele sommerse ad Alasio, e per pennelli sommersi a protezione di una spiaggia a San Rossore ed una a Capalbio o pennelli sommersi in sacchi a Marina di Massa (Aminti, 2004, D'Eliso et al., 2006, Mori e Aminti, 2008).

Materiali usati per i geocontenitori

Nella varietà di geosintetici esistenti (geotessuti, geogriglie, geomembrane, etc.) solo i geotessuti sono adatti ad essere usati nell'ingegneria costiera per costruire contenitori da riempire di sabbia. I geotessili sono manufatti permeabili e filtranti disponibili in fogli, strisce e pannelli e possono essere di tipo tessuto, tessuto "maglieria" e non tessuto; esistono inoltre geocompositi, ottenuti appunto dall'accoppiamenti di strati di geosintetici diversi.

I geotessili tessuti sono strutture piane e regolari formate dall'intreccio di due o più serie di fili costituiti da fibre sintetiche: fili di ordito (paralleli al senso di produzione) e fili di trama (perpendicolari ai primi), che consentono di ottenere aperture regolari e di dimensioni appositamente studiate in modo da risultare permeabili all'acqua, ma in grado di trattenere la sabbia.

La normale disposizione delle due serie di fili conferisce ai geotessili tessuti una spiccata anisotropia nei confronti della resistenza, della rigidità e dell'attrito superficiale. Questa caratteristica richiede una particolare attenzione nel caso del loro utilizzo in condizioni di deformazione piana.

I geotessili nontessuti sono strutture piane, con spessore variabile tra i decimi di millimetro e diversi millimetri, composte da fibre sintetiche disposte casualmente e tenute insieme fra loro con metodi meccanici o termici. I non tessuti assemblati meccanicamente vengono ottenuti attraverso l'inclusione ciclica di migliaia di aghi uncinati nella matrice dei filamenti sciolti, provocando un aggrovigliatura degli stessi. In relazione alla lunghezza delle fibre, i geotessili non tessuti agugliati possono essere a filamento continuo oppure a

fibra corta (“fiocco”). L'assenza di una qualsiasi direzione privilegiata conferisce una sostanziale isotropia meccanica; inoltre i non tessuti sono caratterizzati da maggiore deformabilità e minore resistenza a trazione rispetto ai geotessili tessuti. I geosintetici non tessuti sono stati storicamente i primi tipi di materiali prodotti dall'industria che hanno avuto un largo impiego in opere di ingegneria geotecnica e rappresentano ancor oggi la tipologia quantitativamente più utilizzata in Italia.

Tutti i polimeri impiegati per la produzione dei geosintetici sono termoplastici, ovvero sono costituiti da macromolecole lineari o ramificate che per effetto del riscaldamento rammolliscono e passano allo stato liquido. I polimeri adoperati nella manifattura delle fibre dei geotessili, elencati in ordine decrescente di utilizzo, sono (Koerner, 2005):

- Polipropilene, PP ($\approx 92\%$)
- Poliestere, PET ($\approx 5\%$)
- Polietilene, PE ($\approx 2\%$)
- Poliammide (nylon), PA ($\approx 1\%$)

Con il grado di polimerizzazione, che è il numero medio di unità strutturali contenute in una catena macromolecolare, cambiano radicalmente le proprietà del polimero. All'aumentare del grado di polimerizzazione aumentano le forze attrattive intermolecolari. Il polipropilene è di gran lunga il polimero più utilizzato per il buon rapporto qualità prezzo. La struttura semicristallina gli conferisce una notevole stabilità chimica. Il principale limite d'uso del polipropilene è la tendenza a perdere di efficacia sottoposto ad elevati carichi costanti, ovvero ha una scarsa resistenza al creep viscoso. In ogni caso, con l'estrema varietà di prodotti esistenti sul mercato, più che alle caratteristiche del polimero costituente, sono le proprietà del geotessile finale che il progettista deve analizzare per la scelta del prodotto; i metodi di prova codificati dalla normativa internazionale (ISO), europea (EN) e recepiti dalla normativa italiana (UNI) (Van Santvoort, 1994).

Nel considerare le prestazioni a lungo termine di un'opera in geotessuto è necessario differenziare tra le proprietà funzionali disponibili e quelle richieste. La Figura 1 è una rappresentazione schematica dell'evoluzione di una proprietà disponibile come funzione del tempo, come rappresentato dalla curva superiore del grafico. In questo caso è rappresentata la resistenza a trazione, ma il grafico non sarebbe molto differente per una proprietà diversa come la permeabilità. Lungo l'asse dei tempi è la vita d'esercizio del manufatto a partire dalla produzione.

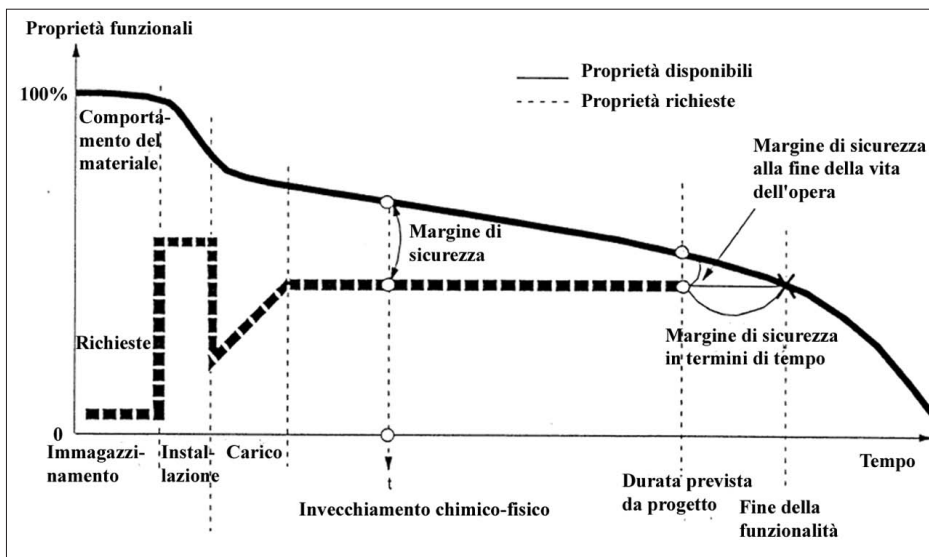


Figura 1 - Andamento delle proprietà richieste e disponibili in funzione del tempo (da ISO Tecnical Report 13434).

La curva inferiore rappresenta i cambiamenti nel tempo delle caratteristiche richieste al prodotto durante le successive fasi. Si può vedere che dopo un massimo in fase d'installazione, la proprietà richiesta si considera in generale costante (ISO Tecnical Report 13434). E' necessario accertarsi che, dopo la durata di progetto dell'opera, ci sia ancora un margine di sicurezza sufficiente per la proprietà funzionale richiesta.

Requisiti di progetto per contenitori o tubi in geotessuto riempiti di sabbia

Nel progetto di qualsiasi tipo di contenimento con geotessuti occorre prendere in considerazione gli aspetti di durabilità della struttura e di stabilità (Buckley, 2006).

Per la durabilità aspetti da tenere in considerazione sono:

- resistenza ai raggi ultravioletti: ha un effetto significativo sull'efficienza della struttura, se non coperta ed in zone dove la radiazione UV è notevole.
- Resistenza all'abrasione: il tubo od i contenitori devono resistere all'abrasione generata dalla sabbia sotto l'azione del moto ondoso.
- Resistenza a trazione nel tempo e scorrimento viscoso (creep) : anche se la resistenza a trazione più elevata è richiesta in fase di installazione, la resistenza residua è strettamente collegata al comportamento viscoso tipico dei materiali polimerici. Inoltre tale scorrimento viscoso porta ad allungamenti che cambiano la geometria della struttura, discostandola da quella di progetto.
- Resistenza al danneggiamento: il danneggiamento di tubi o container può avvenire per mezzo di: (i) oggetti trasportati dalle onde come i detriti legnosi (ii) azioni causate dalle imbarcazioni (iii) atti vandalici.
- Ritenzione di materiali fini: le forze idrodinamiche e il rilassamento viscoso possono variare la capacità iniziale del tubo o del container di trattenere i materiali fini. In altre parole le caratteristiche idrauliche richieste al tessuto aumentano all'aumentare dell'esposizione della struttura a onde frangenti e correnti.
- Permeabilità: la permeabilità del geotessuto determina quanto velocemente l'acqua viene drenata dal riempimento in sabbia.
- Resistenza delle cuciture: durante il riempimento e l'installazione si raggiunge un alto livello di sforzo nelle cuciture. La resistenza a trazione delle cuciture dovrebbe essere almeno l'80% della resistenza del tessuto ma questi valori per i tessuti più resistenti non sono mai raggiunti. Le cuciture dovrebbero inoltre soddisfare i criteri di durabilità della struttura.

I fattori da considerare per la stabilità di tubi e contenitori sono:

- massa del contenitore: il clima ondoso del sito deve essere considerato al fine di ottenere strutture non soggette ad alcun movimento;
- protezione dall'erosione: la superficie di posa della struttura dovrebbe essere ad un livello tale da non avere problemi di erosione localizzata. Strutture di protezione al piede adeguatamente flessibili incrementano significativamente la stabilità a lungo termine;
- disposizione e continuità: gli elementi dovrebbero essere posti a contatto tra loro per minimizzare i vuoti, usando uno schema ad elementi sfalsati, preferibilmente a doppio strato nel caso di opere in sacchi;
- Coefficiente d'attrito: per i sacchi, questa proprietà assume particolare importanza per la porzione superiore della struttura. Un tipico malfunzionamento è infatti lo scivolamento dei contenitori superiori;
- allungamento: tubi e contenitori fabbricati con tessuto ad alta deformabilità (geotessili non tessuti) hanno buone caratteristiche di plasmabilità e auto aggiustamento. Per contro è più difficile controllare la geometria finale della struttura, sia realizzata in sacchi che con tubi riempiti idraulicamente.

Tipologie di sistemi di contenimento in geotessuto



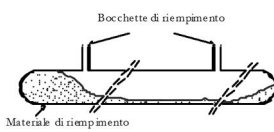
Esistono tre tipi fondamentali di unità di contenimento in geotessile le quali si differenziano per la geometria, volume, metodi di riempimento (Tabella 1). I container non sono usati per le opere di protezione costiera, per le profondità richieste dal metodo di posa e la scarsa accuratezza nel posizionamento. Per le opere costiere quindi, sono stati usati frequentemente sacchi, di dimensioni adeguate ad assicurarne la stabilità riempiti a terra e posizionati con mezzi terrestri o con pontone. I criteri di stabilità utilizzati per le opere in massi non sono adeguati per la progettazione di opere in sacchi e pertanto sono in corso indagini sperimentali di laboratorio indirizzate a determinare relazioni più attendibili fra le caratteristiche delle onde incidenti ed il peso e la forma dei sacchi in equilibrio. (Recio e Oumeraci, 2007; Mori et al., 2008).

In tempi più recenti le opere realizzate con tubi in geotessuto di grandi dimensioni sono sempre più frequenti, data la possibilità di ottenere un accurato posizionamento e la riduzione dei costi rispetto alle opere in sacchi. I tubi in geotessuto sono ottenuti assemblando in stabilimento teli di geotessuto con specifiche procedure di cucitura. Questi, una volta posizionati sul fondo, vengono riempiti idraulicamente con una miscela di acqua e sabbia generalmente prelevata in zona. I geotessuti impiegati devono avere un'adeguata permeabilità tale

da consentire l'espulsione dell'acqua impiegata nella fase di riempimento ma non la fuoriuscita della sabbia. L'involucro in geotessuto assolve tre funzioni che sono decisive sulla funzionalità della struttura:

- sufficiente resistenza a trazione per resistere alle sollecitazioni meccaniche durante il riempimento e durante la vita della struttura, e per non deformarsi nel tempo facendo cambiare forma alla struttura;
- permeabilità sufficiente a trattenere la sabbia, anche fine, e permettere il deflusso dell'acqua;
- durabilità tale da rimanere integro durante tutto il tempo di vita della struttura.

Tabella 1 - Tipologie di unità di contenimento.

			
Forma	SACCHI	CONTAINER	TUBI
Volume contenuto	0.05 ÷ 5 m ³	100 ÷ 700 m ³	Diametro 1 ÷ 5 m; Lunghezza oltre i 200 m
Metodo di riempimento	a terra	a terra	idraulico, in acqua

Durante il processo di riempimento e in seguito nella vita dell'opera le tensioni maggiori sono generate in tre aree: lungo la circonferenza del tubo ($[T]_c$), lungo l'asse ($[T]_a$) ed alle connessioni delle bocche di immissione della miscela ($[T]_p$).

L'analisi delle tensioni generate nel geotessuto è complicata dalla geometria del tubo; inoltre durante il processo di riempimento la miscela iniziale è in fase liquida, ovvero con sforzi tangenziali nulli, e con il consolidamento successivo arriva a raggiungere una fase solida. Questo cambio di fase del riempimento, la massa totale di sabbia immessa, la pressione di immissione della miscela e la durata del processo sono i fattori che influenzano le tensioni generate nel tessuto. Sono stati usati due diversi approcci nel loro studio: la teoria delle membrane e la meccanica del continuo. La teoria delle membrane proposta da diversi autori quali Leschinsky et al. (1996) e Palmerton (2002) assume che la miscela di riempimento sia in fase liquida ovvero che non si creino sforzi tangenziali. La procedura di riempimento viene modellata fino a raggiungere la forma finale. Questi metodi sono appropriati a descrivere la forma finale del tubo, ma non determinano in modo accurato le tensioni lungo la circonferenza in caso di riempimento in sabbia ovvero nel caso in cui si arrivi velocemente alla fase solida. Altri autori, ad esempio Cantré (2002), usano la meccanica del continuo per modellare il comportamento dei tubi: mentre questo approccio può modellare accuratamente le tensioni di esercizio, è impossibile modellare il processo di riempimento, che influenza la forma finale e di conseguenza le tensioni sulla superficie. Questo metodo è però efficace nel caso interessi modellare i cedimenti della fondazione.

Le tensioni massime di trazione sul tessuto si hanno direzione coincidente con la circonferenza del tubo e rag-

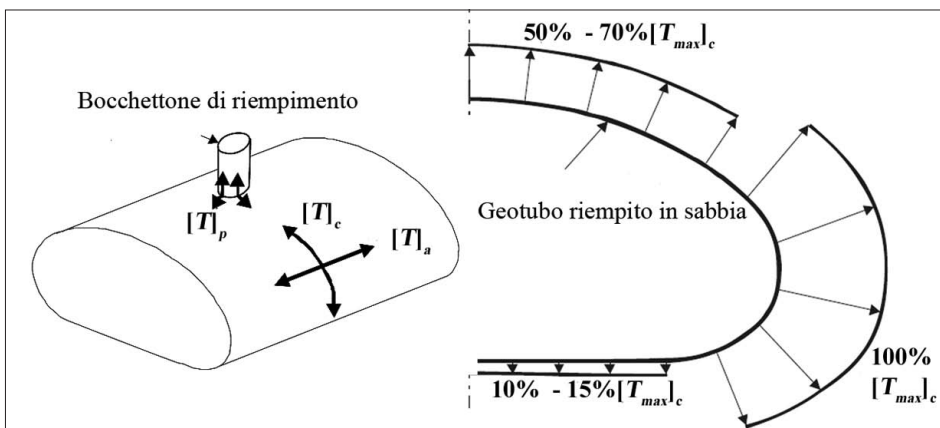


Figura 2 - Tensioni generate nel geotubo (da Lawson, 2006).

giungono il valore massimo in fase di riempimento. In Figura 2 si osserva che la distribuzione delle tensioni di trazione lungo la circonferenza non è uniforme e raggiunge valore massimo in prossimità dell'appoggio sul fondo. Considerando che le cuciture non garantiscono resistenza a trazione pari a quella del tessuto in fase di costruzione dei contenitori occorre prevedere accuratamente la posizione della cucitura longitudinale.

Aspetti ecologici delle strutture in geotessuto

E' prevedibile che l'introduzione di strutture in geotessuto nell'ecosistema marino abbia influenza sulle biocenosi presenti. La tipologia di substrato ha infatti un'importante influenza sulle modalità di distribuzione e composizione delle popolazioni e dei popolamenti a molteplici scale di osservazione (Lemire e Bourget 1996, Bavestrello et al., 2000; Cattaneo-Vietti et al., 2002; Schiaparelli et al., 2003; Faimali et al., 2004; Guidetti et al., 2004).

In particolare nel caso di introduzione di nuovi substrati in aree costiere (es. Connell, 2001; Pech, 2002; Chapman e Bulleri, 2003), è noto che spesso i popolamenti che si insediano sulle strutture artificiali presentano differenze sostanziali con i popolamenti naturali della stessa località infatti in seguito a fenomeni di "disturbo" dell'habitat, come nel nostro caso, l'introduzione di strutture in mare, si assiste ad un veloce processo di colonizzazione del substrato. Le popolazioni che per prime approfittano di queste condizioni e si riproducono rapidamente sono dette opportuniste o pioniere, a queste si contrappongono le popolazioni in equilibrio che tendono ad essere dominanti in condizioni di stabilità.

In una prima fase della colonizzazione di un substrato domineranno specie, come batteri e microalghe bentoniche (diatomee) dette pioniere perché cosmopolite opportuniste a rapidissima capacità di colonizzazione ed in grado di occupare il substrato diventando dominanti per riprodursi rapidamente.

Le specie pioniere poi preparano il substrato adatto all'insediamento delle macroalghe e di molti animali coloniali a crescita veloce come ad esempio idroidi e briozoi. La loro presenza però non è stabile in quanto sono sostituite da altre specie che trovano un vantaggio dalla loro presenza pioniera e possono quindi insediarsi iniziando quel processo di graduale sostituzione di specie verso una condizione finale di equilibrio tendenzialmente stabile (in assenza di disturbo). Questa sostituzione di specie prende il nome di successione ed è un concetto che deve essere legato al tempo per avere un corretto significato.

Le specie pioniere sono a rapida crescita, e sono inoltre molto idonee per i consumatori in quanto prive di protezioni chimiche (sostanze tossiche) o meccaniche (spine o altro).

Quindi si può ipotizzare una fase iniziale con specie pioniere ad ampia valenza ecologica e bassa diversità, tutte condizioni di ambienti instabili, per poi passare attraverso condizioni intermedie verso una fase finale di equilibrio, che a volte può richiedere molti anni per essere raggiunta, ed è caratterizzata da una elevata diversità e una specializzazione maggiore da parte delle specie presenti.

L'evoluzione temporale che si sviluppa da una condizione pioniera ad una condizione di equilibrio stabile può anche essere interrotta molte volte da fattori di disturbo (alterazioni idrodinamiche, inquinamento) che fanno tornare indietro la successione a nuove fasi pioniere e così più volte nel tempo.

Metodologia: il progetto sperimentale San Vincenzo (Li)

Il monitoraggio condotto su una barriera sperimentale sommersa parallela a riva costruita sul litorale di San Vincenzo ha avuto l'obiettivo di acquisire informazioni e suggerimenti utili per un progetto esecutivo di ampie dimensioni, e definizione delle più opportune modalità costruttive verificando:

- la forma finale assunta dalla struttura al termine della fase di consolidamento del materiale di riempimento e la variazione di forma della struttura a medio termine;
- la funzionalità dei tappeti interposti fra il fondo marino ed i contenitori, la loro durata nel tempo dei materiali e l'efficacia per aumentare la stabilità e la vita dell'opera;
- gli impatti della fase di cantiere e delle opere in fase di esercizio sugli ecosistemi marini.

L'intervento sperimentale è stato eseguito sul litorale antistante il centro di San Vincenzo dove è in atto un ampliamento del porto turistico ed un conseguente piano di riqualificazione delle spiagge basato sul ripascimento artificiale protetto. Proprio per i motivi citati è stato deciso di studiare delle opere protettive che tenessero conto dell'alto valore turistico delle spiagge antistanti l'abitato di San Vincenzo, evitando la realizzazione di opere di tipo tradizionale a scogliera e privilegiare la costruzione di barriere sommerse in geocontenitori riempiti di sabbia.

L'opera sperimentale oltre a raccogliere informazioni utilizzabili in contesti generali di protezione della costa, ha anche lo scopo di definire le linee guida per la progettazione e la manutenzione di un sistema di protezione che interessa le spiagge antistanti il centro urbano di San Vincenzo.

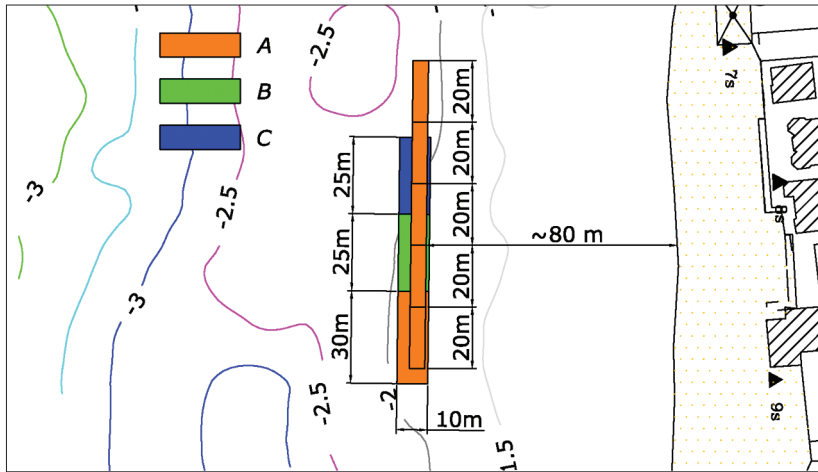


Figura 3 - Schema generale dell'opera sperimentale (i colori diversi indicano materiali diversi - vedi Tabella 2).

Progetto dell'opera sperimentale

Il tratto di barriera parallela costituito da cinque tubi in geotessuto, riempiti di sabbia è stato installato, nel periodo luglio - agosto 2008, ad una distanza da costa pari a circa 80 m (Fig. 3).

I tubi utilizzati sono caratterizzati da una sezione circolare di diametro nominale pari a 3 m e una lunghezza di circa 20 m e sono stati posizionati uno accanto all'altro, andando a costituire un sistema di difesa che si estende parallelamente alla linea di riva per circa 100 m.

Il sistema di difesa in esame è stato adagiato, secondo lo schema riportato in Figura 4, su un fondale avente una profondità che varia da 1.8 m a 2.5 m dove è presente sabbia con qualche affioramento roccioso di calcarenite.

Per il confezionamento dei tubi in geosintetico è stato impiegato un geocomposito tessuto/non tessuto, (Hate®175/175 DW A30) con le caratteristiche elencate in Tabella 2. Tale materiale è stato realizzato accoppiando un tessuto in poliestere con un non tessuto in poliestere, mediante cuciture eseguite in filo di poliestere stabilizzato UV.

I tubi sono dotati di cuciture trasversali all'asse del tubo stesso, e di un'unica cucitura lungo l'asse longitudinale mediano in posizione radialmente opposta ai bocchettoni di riempimento ed a contatto col fondale marino. La resistenza delle cuciture trasversali raggiunge almeno il 50% della resistenza nominale a rottura del geocomposito, mentre quella della cucitura longitudinale raggiunge il 30% della resistenza nominale a rottura del geocomposito (efficienze delle cuciture pari rispettivamente al 50% e 30% misurata in accordo

con la norma UNI EN ISO 10321).

I tubi sono dotati di specifici bocchettoni di lunghezza 1,40 m e diametro alla bocca di 25 cm per consentirne il riempimento con una miscela di sedimenti ed acqua mediante l'impiego di idonei apparati di pompaggio. Sono dotati di asole disposte ad intervalli regolari sui lati per consentirne il fissaggio a picchetti garantendo così la richiesta precisione in fase di montaggio. Al fine di monitorare la forma della struttura sono installate per ogni tubo 4 fasce intervallate longitudinalmente di 5 m; per ogni fascia sono presenti 5 markers (Fig. 6).

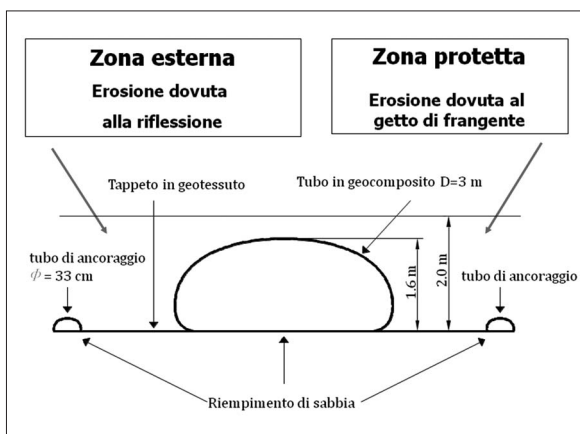


Figura 4 - Rappresentazione schematica della sezione trasversale della barriera.

Tabella 2 - Dati tecnici relativi ai Geotessili A.

Dati tecnici	Geotessile A	Geotessile B	Geotessile C
Materiali costituenti	Non Tessuto:PET Tessuto:PET/PET	Tessuto PP	Tessuto:PP Non Tessuto:PP
Peso unitario UNI EN ISO 9864	Non Tessuto 300 g/m ² Geocomposito 900 g/m ²	280 g/m ²	600 g/m ²
Resistenza ultima a rottura longitudinale	≥ 175 KN/m UNI EN ISO 10319	≥ 55 KN/m UNI EN ISO 10319	≥ 20 KN/m DIN EN 29073-3
Resistenza ultima a rottura trasversale	≥ 175 KN/m UNI EN ISO 10319	≥ 55 KN/m UNI EN ISO 10319	≥ 20 KN/m DIN EN 29073-3
Allungamento alla tensione nominale longitudinale	≤ 14 % UNI EN ISO 10319	15 % ± 4 % UNI EN ISO 10319	< 20 % DIN EN 29073-3
Allungamento alla tensione nominale trasversale	≤ 14 % UNI EN ISO 10319	11 % ± 3 % UNI EN ISO 10319	< 20 % DIN EN 29073-3
Resistenza al punzonamento - CBR UNI EN ISO 12236	/	7000 N	≥ 3000 N
Resistenza all'abrasione (Resistenza residua rispetto alla resistenza ultima a rottura iniziale) UNI EN ISO 13427	> 97 %	/	/
Permeabilità all'acqua UNI EN ISO 11058	3 x 10 ⁻² m/s	12 x 10 ⁻³ m/s	
Diametro di filtrazione UNI EN ISO 12956	0,11 mm	270 μm	0,10 mm

Tabella 3 - Dati di input e output del software GeoCoPS®.

Dati di input	
Circonferenza del tubo [m]	9,40
Densità dello strato inferiore del materiale di riempimento, [kN/m ³]	14,20
Densità dello strato superiore del materiale di riempimento, [kN/m ³]	14,20
Densità dello strato inferiore del fluido che circonda il tubo, [kN/m ³]	10,10
Densità dello strato superiore del fluido che circonda il tubo, [kN/m ³]	0,00
Altezza dello strato inferiore del materiale di riempimento, [m]	2,50
Altezza dello strato inferiore del fluido che circonda il tubo, [m]	2,00
Risultati corrispondenti alla simulazione	
Massima altezza del tubo in fase di costruzione, H [m]	2,60
Massima larghezza del tubo, W [m] (la massima larghezza si trova a 1,2 m dalla base)	3,30
Rapporto H / W	0,786
Larghezza della base del tubo (parte che poggia al suolo), [m]	1,10
Area (sezione trasversale) dello strato inferiore del materiale di riempimento, [m ²]	6,80
Area (sezione trasversale) dello strato superiore del materiale di riempimento, [m ²]	0,00
Capacità di riempimento del tubo per unità di lunghezza, [kN/m ³]	6,90
Pressione di pompaggio all'interno del tubo, [kPa]	20,60
Tensione massima raggiunta in condizione di lavoro, [kN/m]	41,00
Tensione massima richiesta, [kN/m]	113,00
Tensione massima raggiunta in condizione di lavoro, [kN/m]	23,00
Tensione massima richiesta, [kN/m]	64,00
Risultati corrispondenti al tubo consolidato.	
Densità del materiale di riempimento consolidato [kN/m ³]	17,00
Area della sezione trasversale, [m ²]	4,20
Altezza finale, H [m]	1,60

I tre tappeti di fondo sono realizzati rispettivamente con il geocomposito Hate®175/175 DW A30, Hate® A20.606, e Hate® B600J (Tab. 2). Tutti hanno larghezza pari a 10 m e lunghezza 30 m e sono dotati sui tre lati di un tubo di ancoraggio con diametro pari a 33 cm e bocchettoni di riempimento su ciascun lato aventi diametro di 10 cm. Tali tappeti sono posizionati sotto il tubo come mostrato in Figura 4. Inoltre su ogni tubo sono cuciti 4 campioni del geocomposito Hate®175/175 DW A30 di dimensioni di 1,00 m x 1,00 m e due campioni dello stesso materiale su ogni tappeto di fondo antierosione per monitorare la durabilità dei materiali sottoposti all'azione dei raggi UV e dell'azione abrasiva della sabbia.

Per determinare la resistenza necessaria del materiale per la costruzione della struttura, e per determinare la forma finale dell'opera, sono state effettuate verifiche su tubi di diametro 3 m mediante il programma GeoCoPS®, con i risultati riportati in Tabella 3; in Figura 5 viene riportata la restituzione grafica da parte del software nella quale sono evidenziati i parametri geometrici di interesse progettuale.

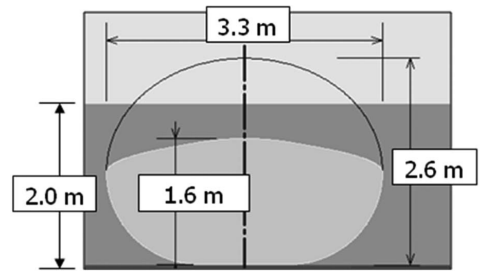


Figura 5 - Rappresentazione dell'output della simulazione.

Rilievi eseguiti

E' stata un rilievo batimetrico prima dell'installazione della barriera, e successivamente eseguite 4 campagne di rilievo complete di batimetria del fondo e della forma del tubo. Sono stati inoltre eseguiti dei sopralluoghi con documentazione fotografica allo scopo di verificare le tecniche di installazione in fase di costruzione e successivamente il comportamento generale della struttura e l'evoluzione della copertura vegetale. I sopralluoghi si sono svolti nell'arco di due anni, in dettaglio:

- 27/05/2008 fornitura del materiale: sistema di chiusura dei tubi in geotessuto;
- 30/06 /2008 stato dei fondali e materializzazione dell'asse del tubo;
- 04 /07/2008 dopo la posa del primo tappeto antierosione (estremo Sud);
- 29-30/07/2008 durante l'installazione del 4° tubo;
- 1-3-5-14/08/2008 dopo il termine dei lavori;
- 21/08/2008 dopo una mareggiata;
- 28/08/2008 1° campagna di misure del fondo e della forma dei tubi;
- 30/9 /2008 Chiusura bocchettoni e prima campagna biocenosi;
- 18/11/2008 2° campagna di misure del fondo e della forma dei tubi e seconda campagna biocenosi;
- 7/05/2009 la scarsa visibilità ha impedito l'esecuzione della terza campagna di misure. Anche le fotografie sono state possibili solo parzialmente;
- 21/05/2009 3° campagna di misure del fondo e della forma dei tubi;
- 17/08/2009-03/09/2009 Sopralluoghi e fotografie;
- 09/04/2010 4° campagna di misure del fondo e della forma dei tubi;
- 14/06/2010 ultimo sopralluogo fotografico.

Delle quattro campagne di misura per il controllo della forma della barriera la prima è stata compiuta nel mese di agosto 2008, pochi giorni dopo l'installazione della struttura, la successiva effettuata nel mese di novembre 2008 dopo le prime mareggiate autunnali e le ultime due nella primavera del 2009 e del 2010. La forma della barriera è stata controllata rilevando la posizione di 5 markers posti su 20 sezioni della struttura mediante una stazione totale GPS (Fig. 6). In questo modo è stata controllata con precisione la posizione nel tempo di cinque punti per sezione, individuando così gli eventuali spostamenti dei tubi, gli abbassamenti e le rotture. La localizzazione delle 20 sezioni è riportata in Figura 7.

In contemporanea ai rilievi GPS sui marker della barriera sono stati effettuati rilievi del fondo intorno alla struttura con tecnica single beam (Fig. 7), ma i risultati della campagna di monitoraggio del fondo non sono riportati in questo lavoro.

Tutti i campionamenti visivi sono stati eseguiti seguendo lo stesso percorso, cioè a partire dal primo contenitore in geotessuto in direzione Nord si è proseguito dal lato offshore in direzione Sud verso il quinto contenitore, fino a ritornare al primo percorrendo il lato inshore.

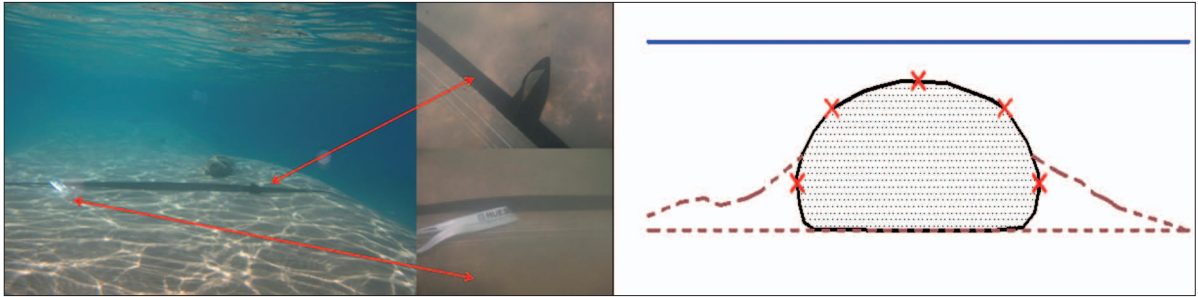


Figura 6 - Ubicazione dei markers nella sezione del tubo.

Risultati del Monitoraggio

Ispezioni periodiche

Dalle ispezioni subacquee in fase d'installazione è risultata evidente la difficoltà di posizionare i contenitori allineati in asse con i tappeti di protezione. I rilievi nei mesi successivi hanno permesso di evidenziare un buon funzionamento del tessuto costituente i tubi (Fig. 8) e rotture del tessuto dei tappeti di fondo che possono essere dovute all'usura causata dalla continua sollecitazione ondosa della struttura non sufficientemente

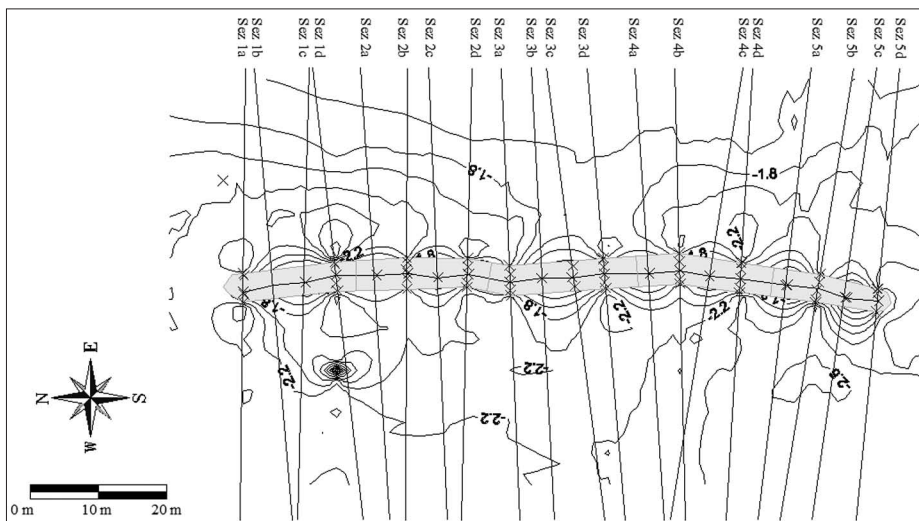


Figura 7 - Posizionamento dei tubi e delle sezioni di rilievo (agosto 2008).

ancorata al fondo. Un malfunzionamento riscontrato sui tubi riguarda le manichette di riempimento, che in alcuni casi si sono aperte, oppure, se non adeguatamente fissate al contenitore, hanno causato con le loro oscillazioni indotte dal moto ondoso un danneggiamento della superficie del contenitore (Fig. 9).

In Figura 10 sono evidenziati i principali tipi di funzionamento dei tappeti. Nella foto a è evidente uno svuotamento del tubo di ancoraggio, mentre nella foto b è un esempio di tappeto posizionato correttamente. Nel caso ci sia un non corretto ancoraggio il tessuto che tende a galleggiare (tessuto B – Fig. 10c) è maggiormente soggetto a rotture rispetto agli altri tessuti che si adagiano sul fondo. Dalla primavera del 2010 è stato inoltre riscontrato un forte abbassamento del terzo tubo dovuto ad una rottura causata nel tempo dalle sollecitazioni di abrasione causate dal tessuto galleggiante del tappeto.

Nel caso di presenza di rocce sul fondo, anche con una modesta mobilità del tappeto, sotto l'effetto del moto ondoso si verificano rotture per abrasione (Fig. 10d).

Da questa prima esperienza possiamo affermare che l'installazione corretta dei tappeti di fondo e del relativo tubo di ancoraggio necessita di condizioni di mare particolarmente calmo e con visibilità molto buona, più di quanto necessario per l'installazione del tubo. In ogni caso i materiali che galleggiano (polipropilene) sono estremamente difficili da posizionare. I tappeti di fondo non correttamente ancorati possono con i loro urti sui contenitori indurre danni significativi; risulta pertanto necessario valutare attentamente l'opportunità di questo tipo di protezione.



Figura 8 - Superficie di un tubo in perfette condizioni, Settembre 2009.



Figura 9 - Abrasione sulla superficie del tubo causata dalla manichetta di riempimento Settembre 2009.

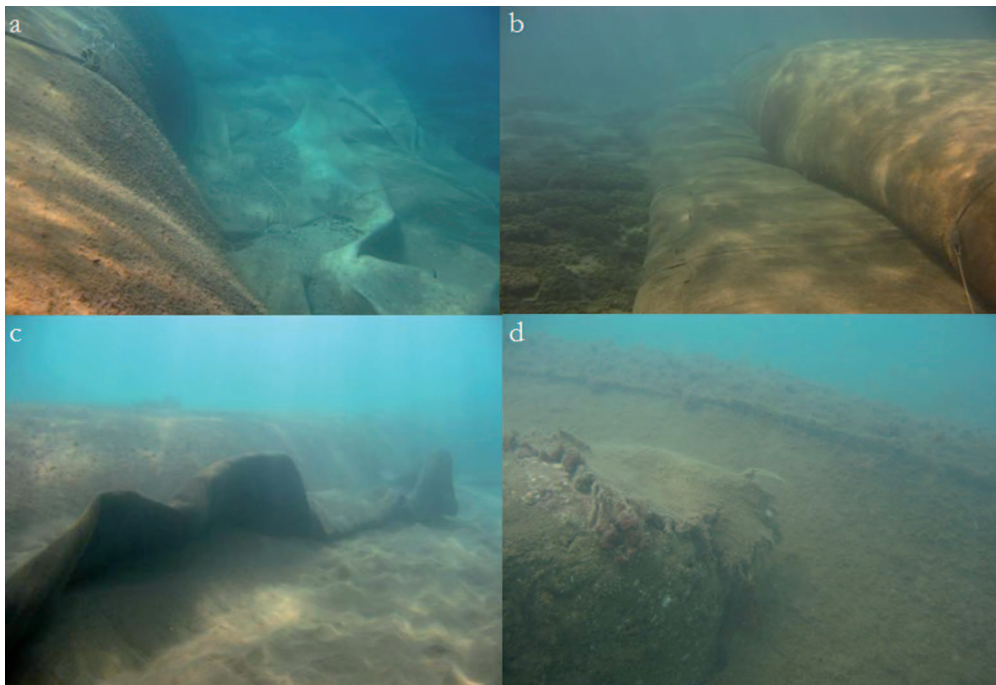


Figura 10 - Diverse performances dei tappeti di protezione: a tappeto di protezione in poliestere (tessuto A) con tubo di ancoraggio svuotato; b) buon funzionamento di una parte del tappeto di fondo in lato inshore (tessuto B); c) Tessuto galleggiante (tessuto B); d) rottura del tessuto A per abrasione esercitata dal fondo roccioso.

Osservazioni sulla geometria della struttura

Dall'analisi della posizione misurata dei marker posti sui tubi l'allineamento dei diversi moduli è risultato ragionevolmente vicino a quello di progetto (Fig. 7); la precisione è risultata fortemente influenzata dalle condizioni del mare in fase di posa sul fondo dei contenitori vuoti.

Le sezioni dei tubi pochi giorni dopo il riempimento, come risulta dal rilievo della posizione dei markers posti lungo le generatrici del cilindro, sono riportate in Figura 11.

I punti estremi destro e sinistro rappresentano il contatto fra la superficie del contenitore ed il fondo sabbioso o il tappeto di fondazione quando è presente. Il rilievo evidenzia i diversi gradi di sommergenza della struttura e le differenze sulla forma delle sezioni dovute al non uniforme grado di riempimento. La linea

tratteggiata indica la superficie del fondo prima della costruzione della barriera e quindi è indicativa solo in modo approssimato della forma della sezione per la parte non rilevabile. In Figura 12 è rappresentato il profilo della struttura ricavato dal primo rilievo, ed in Tabella 4 il confronto tra le dimensioni medie misurate e quelle di progetto.

Le differenze di geometria rispetto al progetto, per quanto ridotte, sono da imputare all'azione del moto ondoso che ha esercitato la sua influenza sia in fase di posizionamento del tubo che in fase di riempimento ed assestamento. Il riempimento dei geocontenitori è risultato per alcuni tratti irregolare; dal rilievo le profilo della sommità della barriera si possono osservare dossi in prossimità delle bocchette, ed avvallamenti nello spazio che intercorre tra due bocchette successive. Tale effetto è in parte dovuto alla imper-

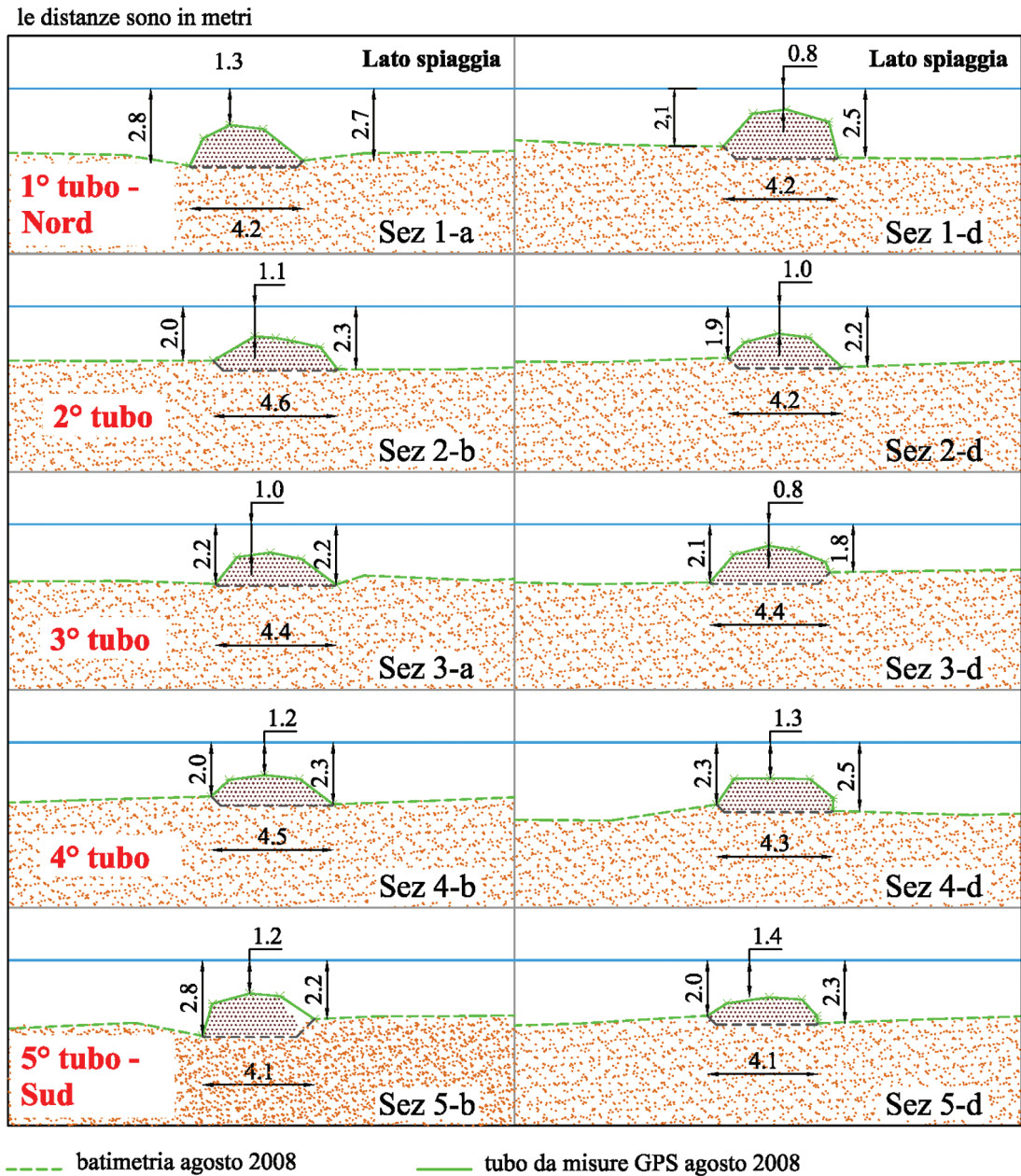


Figura 11 - Parte delle sezioni (10 su 20) relative al primo rilievo.

	Grandezze di progetto [m]	Grandezze medie misurate [m]
Sommergenza	0,4	1,1
Altezza della struttura	1,6	1,3
Larghezza della struttura	4,3	4,3

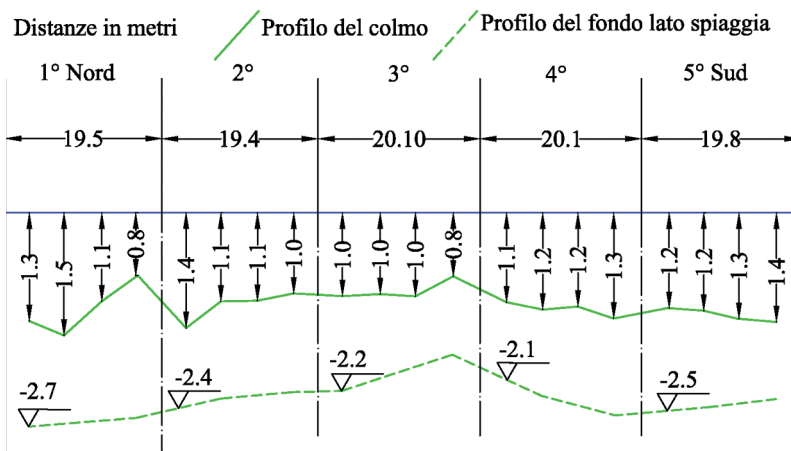
Tabella 4 - Confronto tra le dimensioni di progetto e quelle medie misurate dopo il consolidamento.

fetta distribuzione della miscela di acqua e sabbia all'interno del tubo, dovuta probabilmente alla limitata portata dell'impianto di pompaggio ed al suo funzionamento discontinuo. Altre cause sono da ricercare nell'interazione tra il tubo ed il fondale, infatti nel caso in esame riscontriamo un fondo misto a rocce e sabbia; la reazione della parte inferiore dei geocontenitori è stata quella di intrudersi negli interstizi tra uno scoglio e l'altro generando così rotazioni indesiderate per alcuni tratti.

In Figura 13 si riportano i confronti della situazione iniziale con i rilievi delle stesse sezioni eseguiti nel mese di novembre 2008, maggio 2009 e aprile 2010. Per i primi due intervalli di tempo si nota che il tubo tendenzialmente ha ruotato in direzione offshore si nota infatti uno spostamento medio del marker centrale sul colmo del tubo di circa 40 cm. Nell'ultimo rilievo invece questa tendenza pare smorzarsi; inoltre è evidente un forte abbassamento nella parte più a Sud del terzo tubo. Dal sopralluogo effettuato nel giugno 2010 si è notato che questo abbassamento è dovuto ad una rottura del tessuto costituente il tubo causata dalla frizione col tappeto di protezione non correttamente ancorato. Questo tappeto è costituito dal tessuto B, in polipropilene, che ha una densità inferiore a quella dell'acqua, e pertanto può galleggiare. Tale fenomeno pare interessare anche parte del quarto tubo, dove insiste il solito tappeto, anche se ancora non si sono verificate rotture. Un altro abbassamento è presente nell'ultima sezione a nord ma questa pare dovuta ad un'interazione con il fondale.

L'altezza della struttura risulta quindi sostanzialmente invariata, a parte nella zona dove si è verificata la rottura del tessuto: questo è indice del fatto che non si è avuta consistente perdita di sedimenti attraverso le maglie del tessuto, e che non si è verificato un rilevante scorrimento viscoso (creep) dei polimeri costituenti la struttura. La forma del tubo sembra stabile sotto l'azione di mareggiate ordinarie come quelle che si sono verificate nel periodo di osservazione, ovvero le dimensioni del tubo sono sufficienti a garantirne la stabilità.

Confrontando i profili del fondo paralleli al tubo lato offshore ed inshore, ricavati nelle quattro campagne di indagini, (Figg. 14 e 15) si evince che gli effetti alla base della struttura nel lato inshore sono gli stessi



sia nella parte dotata di protezione che in quella sprovvista, a differenza della parte offshore in cui si nota che la porzione di struttura sprovvista di tappeto di fondo ha subito scavo al piede. Questo può essere un indizio dell'efficacia della protezione data dai tappeti ma non ne è la prova.

Figura 12 - Profilo del tubo, lato inshore, ricavato nella prima campagna di indagini (agosto 2008).

Studio preliminare delle biocenosi

L'obiettivo di questa sezione è quella di descrivere la colonizzazione dei popolamenti, su un substrato artificiale in un habitat specifico, come può essere quello appunto delle difese parallele costituite da un sistema di tubi in geotessuto.

Il rilevamento descrittivo è stato effettuato nel settembre 2008, novembre 2008 e maggio 2009, con sopralluoghi eseguiti in immersione con autorespiratore, perlustrando tutta l'area indagata. La documentazione

le distanze sono in metri

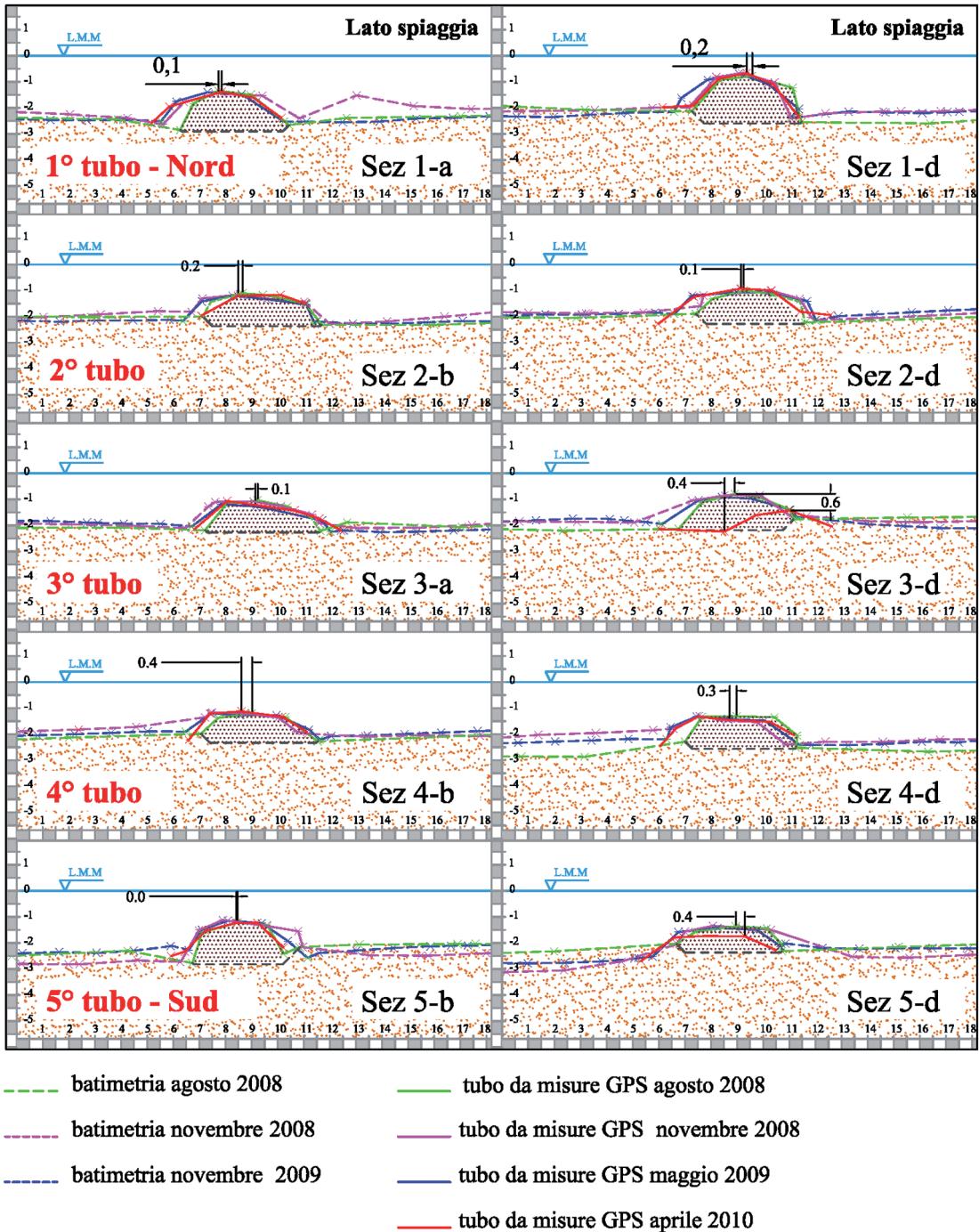


Figura 13 - Confronto nel tempo di parte delle sezioni (10 su 20).

degli organismi marini presenti è stata realizzata tramite un campionamento vivo e con l'utilizzo di una macchina fotografica digitale subacquea.

Il sistema di difesa in esame, adagiato su un fondale avente una profondità che varia da 1.5 m a 2.5 m, appartiene alla zona di transizione tra piano infralitorale inferiore e medio, quindi è caratterizzato da un forte

idrodinamismo che insieme a luce, temperatura e salinità costituisce un fattore ecologico dominante.

Dall'indagine effettuata il giorno 31 settembre 2008, è emerso che dopo circa tre mesi dalla sua messa in opera, il sistema di tubi in geotessuto presenta una copertura algale pressoché uniforme.

È stata riscontrata una maggiore predominanza di alghe appartenenti al gruppo morfologico delle Feoficee o Alghe brune, principalmente in tratti più riparati dal moto ondoso e ben illuminati. In particolare è stato possibile riscontrare la presenza di specie come *Dictyota dichotoma*, *Stypocaulon scoparmi* (Fig. 17) e in minor numero di *Padina pavonica*.

Sono risultate molto abbondanti, anche alghe corallinacee, appartenenti al gruppo delle Rodoficee o Alghe rosse, come ad esempio *Jania rubens*, che sotto forma di ciuffi piumosi ricopre gran parte della superficie dei tubi in geotessuto, con una caratteristica colorazione bianco-giallastra in zone fortemente esposte alla luce e rosa-violacea in zone meno illuminate.

La presenza di questi popolamenti algali, essenzialmente fotofili, ha richiamato diverse specie di pesci, appartenenti alla famiglia degli Sparidi, come ad esempio *Diplodus vulgaris*, *Oblada melanura* e *Sarpa salpa* (Fig. 16), che brucano sul substrato.

Il sopralluogo effettuato in data 18 Novembre 2008, al contrario del precedente ha messo in evidenza una modesta riduzione dello sviluppo di alcune specie algali, soprattutto di quelle appartenenti al gruppo delle Rodoficee, come ad esempio *J. rubens*. La causa di questa diminuzione probabilmente è da attribuirsi alle forti mareggiate, che hanno interessato il periodo intercorso tra i due campionamenti. Inoltre è stato possibile riscontrare che lungo tutta la struttura, ci sono delle zone principalmente interessate da questo fenomeno, che si trovano in corrispondenza di quei tratti del geocontenitore che presentano una notevole mobilità, come ad esempio intorno ad un manicotto che è stato trovato aperto o nei tratti in cui il tappeto sottostante la struttura non è più adeso al substrato.

Le specie algali appartenenti alle Feoficee, come *D. dichotoma*, rispetto al sopralluogo precedente, hanno effettuato un significativo accrescimento vegetativo, mentre altre alghe brune, come *P. pavonica*, sono risultate pressoché assenti su tutta la struttura.

Infine oltre alle specie animali trovate nel mese di settembre, sono state rilevate specie di pesci appartenenti alla famiglia dei Blennidi (Bavose) e dei Gobidi (Ghiozzi), è stata riscontrata inoltre un'abbondante presenza di crostacei, come ad esempio gamberetti del genere *Palemon* e di meduse della famiglia dei Pelagidi, come *Pelagia noctiluca*.

Il monitoraggio effettuato in data 07 Maggio 2009 ha messo in evidenza un ricoprimento algale ben strutturato e sviluppato, prevalentemente sulle superfici laterali del sistema di tubi in geotessuto, sia nel lato offshore che nel lato inshore, con la predominanza di specie algali appartenenti alle Feoficee, come *D. dichotoma* e *S. scoparium* e alle Rodoficee, come *J. rubens*.

Sulla sommità del geocontenitore invece, a causa del forte idrodinamismo e della costante azione abrasiva provocata dai manicotti aperti, sono presenti pochi esemplari di *J. rubens* e *S. scoparium*, caratterizzate entrambe da una struttura del tallo poco sviluppata e ramificata di altezza inferiore a 5 cm. Rispetto ai sopralluoghi precedentemente effettuati si osserva invece una maggiore colonizzazione del substrato da parte di *P. pavonica*.

Infine per quanto riguarda le specie animali, sono state rilevate specie di pesci appartenenti alla famiglia degli Sparidi (*Boops boops*), caratterizzate da piccole dimensioni, mentre su un lembo del tappeto sottostante il geocontenitore sono state trovate delle uova di seppia (*Sepiidae*).

I fondali su cui sono stati installati i cinque tubi in geotessuto, sono costituiti prevalentemente da uno strato roccioso di Panchina (arenarie di origine marina) coperto da uno strato di spessore variabile di sabbia. Lo strato roccioso viene in generale scoperto durante le mareggiate e ricoperto durante la fase di onde lunghe di fine tempesta. La forte mobilità dei sedimenti e la frequente ricopertura dello strato roccioso con la sabbia impedisce la colonizzazione permanente della superficie del fondo, rappresentando un'importante forma di disturbo per i popolamenti bentonici. Un elevato tasso di sedimentazione, infatti, può determinare profonde alterazioni nella struttura dei popolamenti, direttamente, attraverso il soffocamento degli organismi ed indirettamente, attraverso la riduzione della disponibilità di luce, ossigeno e substrato.

In alcune sacche di sabbia, permanentemente presente in corrispondenza di buche più profonde del substrato roccioso, sono presenti molluschi bivalvi, ma non sono presenti né fitocenosi (popolamenti algali), né fanerogame marine.

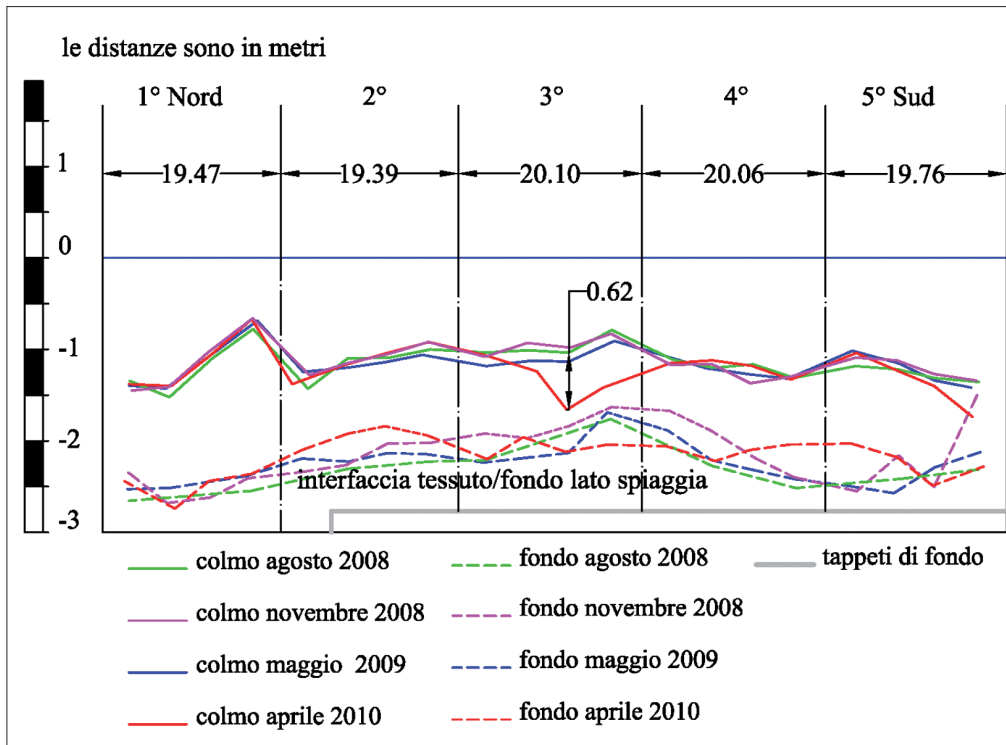


Figura 14 - Confronto, lato inshore, tra i profili ricavati nelle due campagne di indagini sul colmo e alla base della struttura.

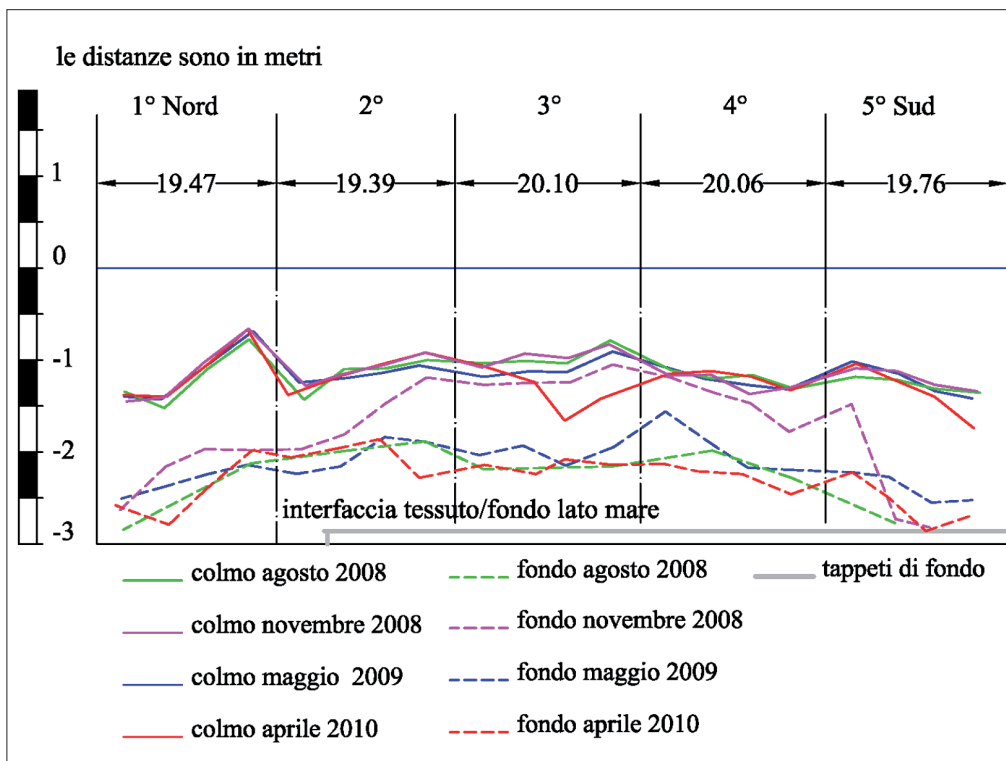


Figura 15 - Confronto, lato offshore, tra i profili ricavati nelle due campagne di indagini sul colmo e alla base della struttura.

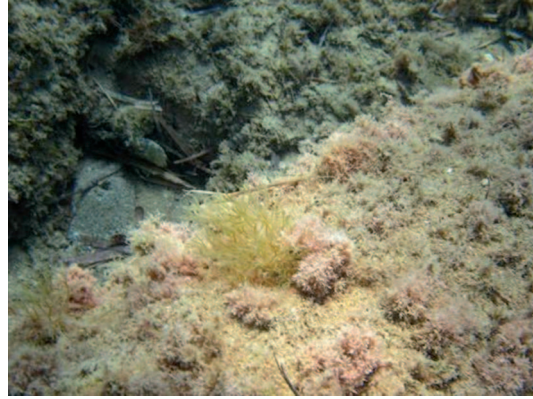


Figura 16 - Branco di *Sarpa salpa* (Salpa) al “pascolo”. Figura 17 - *Jania rubens* (alga rossa) e *Dictyota dichotoma* (alga bruna).

Conclusioni

Le opere di difesa della costa costruite con contenitori riempiti di sabbia hanno una affidabilità molto superiore alle barriere costruite negli anni '90 grazie alla disponibilità di materiali e di tecniche di confezionamento che permettono la realizzazione di contenitori di grandi dimensioni che possono essere riempiti con la sabbia prelevata dal fondo. Questa tecnica permette di ottenere un'accurata precisione nella costruzione di barriere e pennelli nonostante si debba operare solo con mezzi marittimi all'interno della surf zone dove le azioni sul fondo dovute alle onde sono sempre significative. Un miglioramento delle tecniche costruttive dovrebbe permettere di riempire i contenitori in modo da ottenere una generatrice superiore perfettamente orizzontale.

La tecnologia di posa delle protezioni con tappeti anti erosione del fondo non è ancora consolidata e richiede ulteriori approfondimenti.

Il monitoraggio, effettuato per circa due anni sulla barriera parallela a San Vincenzo, ha permesso di evidenziare che, una volta completato il processo di espulsione di acqua dalla miscela di riempimento, i contenitori raggiungono una condizione di equilibrio con un'altezza della struttura sostanzialmente stabile nel tempo, ed i problemi riscontrati sono dovuti esclusivamente alla tecnologia di posa. Visto il carattere temporaneo della barriera, la durabilità dei materiali verrà comunque testata in dettaglio con apposite prove distruttive sui materiali.

Per quanto semplificati rispetto agli ambienti “naturali”, i contenitori in geotessuto appaiono come sistemi “semi naturali” complessi, offrendo quindi la possibilità di una colonizzazione stabile alle specie animali e vegetali che non possono svilupparsi su tali fondali: questo processo pare favorito dalla costruzione di contenitori in geocomposito con uno strato di non tessuto all'esterno.

Ringraziamenti

Si ringraziano il Comune di San Vincenzo e la Huesker s.r.l per la collaborazione ed il supporto a questa attività di ricerca.

Bibliografia

- Aminti P.L., Cammelli C., Cappiotti L., Jackson N.L., Nordstrom K.F., Pranzini E. (2004) - *Evaluation of beach response to submerged groin construction at Marina di Ronchi, Italy, using field data and a numerical simulation model. Journal of coastal research. Special Issue No. 33: 99-120.*
- Aminti P.L., Zanuttigh B., Lorenzoni L., Martinelli L., Clementi L. (2005) - *Esperimenti di Laboratorio e osservazioni di campo sulle modifiche indotte al fondo da opere trascinabili.* Studi costieri, 9: 159-190.
- Bavestrello G., Cerrano C., Puce S., Bianchi C.N., Calcinaï B., Cattaneo-Vietti R., Morri C. e Sarà M. (2000) - *Bio-mineralogy as a structuring factor for marine epibenthic communities.* - Marine Ecology Progress Series 193: 241-249.

- Buckley J. e Hornsey W. (2006) - *Woorim beach protection – chasing the tide sand filled tubes vs. sand filled containers* - Atti VIII International conference on Geosynthetics, Yokohama: pp. 761-764.
- Cantré S. (2002) - *Geotextile tubes - analytical design aspects*, Geotextiles and Geomembranes, 20, Elsevier: 305-319.
- Cattaneo-Vietti R., Albertelli G., Bavestrello G., Bianchi C.N., Cerrano C., Chiantore M., Gaggero L., Morri C. e Schiaparelli S. (2002)- *Can rock composition affect sublittoral epibenthic communities?* - PSZNI Marine Ecology, 23 (suppl.): 65-77.
- Chapman M.G. e Bulleri F. (2003) - *Intertidal seawalls, new features of landscape in intertidal environments.*- Landscape and Urban Planning, 62: 159-172.
- Connell S.D. (2001) - *Urban structure as marine habitat: an experimental comparison of the composition and abundance of subtidal epibiota among pilings, pontoons and rocky reefs.* - Marine Environmental. Research 52: 115-125.
- D'Eliso C. Cappiotti L. Pranzini E. (2006) *Field monitoring of a submerged groin*. 2nd. Intern Short Course and Workshop on Coastal Processes and Coastal Eng. Nuova Ed. Bios 2007: 189 - 200.
- Faimali M., Garaventa F., Terlizzi A., Chiantore M. e Cattaneo-Vietti. R. (2004) - *The interplay of substrate nature and biofilm formation in regulating Balanus amphitrite Darwin. 1854 larval settlement*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 306: 37-50.
- Grune J., Sparboom U., Schmidt-Koppenhagen R. , Wang Z., Oumeraci H. (2006) - *Stability Tests of Geotextile Sand Containers for Monopile Scour Protection* Atti XXX International Conference of Coastal Engineering, San Diego: 5093-5105.
- Guidetti P., Bianchi C.N., Chiantore M., Schiaparelli S., Morri. C. e Cattaneo-Vietti R. (2004) - *Living on the rocks: substrate mineralogy and the structure of subtidal rocky substrate communities in the Mediterranean Sea.* - Marine Ecology Progress Series, 274: 57-68.
- Koerner R.M. (2005) - *Designing with Geosynthetics*, V ed., Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 796 pp.
- Lawson C.R. (2006) - *Geotextile containment for hydraulic and environmental engineering* - Atti VIII International Conference on Geosynthetics, Yokohama: 9-48.
- Lemire M. e Bourget E. (1996) - *Substratum heterogeneity and complexity influence micro-scale selection of Balanus sp. And Tubularia crocea larvae.*- Marine Ecology Progress Series, 135: 77-87.
- Leschinsky D., Leschinsky O., Ling H.I. e Gilbert P.A. (1996) - *Geosynthetic tubes for confining pressurized slurry: some design aspects*, Journal of the Geotechnical Engineering Division, American Society of Civil Engineers, Vol. 122, No. 8: 682-690.
- Liberatore G. (1993) - *L'uso di barriere sommerse per la protezione di ripascimenti artificiali un esempio di realizzazione nel Veneto Orientale*. In *La difesa dei Litorali* a cura di P.L.Aminti E.Pranzini Edizioni delle Autonomie, Roma: 253-268.
- Luger S. ,Prestedge G., McClarty A., Soltau C., Schoonees K., Fleming C. - *Morphodynamic Modelling for Design of a Beach Restoration Project*. Atti XXX International Conference of Coastal Engineering, San Diego: 4046 4055.
- Mori E., D'Eliso C., Aminti P. (2008) - *Geotextile Sand Containers used for submerged breakwater: scaling effects and stability*. Atti del convegno Coastlab08 2nd International Conference on the Application of Physical Modelling to Port and Coastal Protection 2-5 Luglio 2008, Bari, pp. 181-191.
- Mori E., Aminti P. (2008) - *Field experiment on a submerged barrier built with geotextile tubes*. Atti del convegno: Mediterranean Days of Coastal and Port Engineering, Palermo 7-9 Ottobre 2008, pp. 1-8.
- Palmerton J.B. (2002) - *Distinct element modelling geosynthetic fabric containers*. Atti VII Int. Conf. Geosynthetics, Nice, France: pp. 1021-1024.
- Pech D. (2002) - *Settlement of a tropical marine epibenthic assemblage on artificial panels: influence of substratum heterogeneity and complexity scales.*- Estuarine Coastal and Shelf Science, 55: 743-750.
- Pilarczyk K.W. (2000) - *Critical review of geosystems in hydraulics and coastal engineering application*. Atti II European Geosynthetics Conference, Bologna: pp. 65-76.
- Preti M., (1993) - *La difesa del territorio costiero in Emilia_Romagna: esperienze e considerazioni*. In *La difesa dei Litorali* a cura di P.L.Aminti E.Pranzini Edizioni delle Autonomie, Roma: pp. 283-296.
- Recio J. and Oumeraci H. (2007) - *Effect of deformations on the hydraulic stability of coastal structures made of geotextile sand containers*, Geotextiles and Geomembranes 25: 278-292.

- Restall, S.J., Jackson, L.A., Heerten, G., Hornsey, W.P., (2002) - *Case studies showing the growth and development of geotextile sand containers: an Australian perspective*, Geotextiles and Geomembranes 20: 321 - 342.
- Van Santvoort, G. P. T. M., ed. (1994) - *Geotextiles and Geomembranes in Civil Engineering*. A. A. Balkema, Rotterdam.
- Schiaparelli S., Guidetti P. e Cattaneo-Vietti R. (2003) - *Can mineralogical features affect the distribution of sessile gastropods? The Vermetidae case in the Mediterranean Sea*. Journal of Marine Biology Association UK, 83: 1267-1268.

Ricevuto il 16/11/2009, accettato il 2/2/2010.