

Verifica delle opere di difesa e di riqualificazione ambientale del Litorale Domizio - Indagine sperimentale

Michele Di Natale¹, Stefania Di Ronza¹, Caterina Eramo¹

¹DIC-SUN, Dipartimento di Ingegneria Civile, Seconda Università di Napoli
via Roma, 29 - 81031 Aversa (CE)

Riassunto

Il presente lavoro riporta i risultati dell'indagine sperimentale effettuata presso la vasca ondogenica del laboratorio della SUN finalizzata alla verifica delle opere di difesa e di riqualificazione ambientale del Litorale Domizio in provincia di Caserta. L'intervento di difesa della baia prevede la realizzazione di una opera di protezione a gettata di tipo soffolta con l'inserimento di due varchi che suddividono l'intera struttura in tre tronchi, ciascuno di sviluppo pari a 270 m; inoltre sono stati previsti in corrispondenza delle due estremità dei pennelli trasversali emersi di collegamento a terra della scogliera soffolta. Il comportamento dell'opera è stato studiato attraverso la realizzazione di un modello in scala in similitudine di Froude che riproduce due scogliere intervallate dai due varchi e uno dei due pennelli trasversali.

I risultati dell'indagine sperimentale hanno evidenziato che il fattore di trasmissione dell'altezza d'onda di mareggiata si attesta su valori più elevati rispetto a quelli riscontrati per l'onda di modellamento. Il grado di danneggiamento delle opere a seguito dell'azione della mareggiata di progetto è risultato di modesta entità. Le modificazioni subite dalla batimetria della spiaggia mostrano un arretramento medio della linea di riva.

Parole chiave: vasca ondogenica, scogliere sommerse, varchi, comportamento idraulico e strutturale, morfobatimetria.

Abstract

To protect the beach of "Litorale Domitio" the realization of only "cell" made at edges of two semi-submerged groins taking their roots on the ground and connected, on the sea side, to a continuous submerged breakwaters. The cell is divided by some gates. Taking into account the difficulty of this protection activity, an integration to the enquiries to support the technical solutions found is required, by means of the implementation of experimental tests of a three-dimensional physical model. The aim of the experimental survey carried out in the wave system basin of the Second University of Naples was that of assessing the hydraulic behaviour of the construction, its stability, as well as the beach morphodynamics. The results obtained prove that the breakwaters have a remarkable defence effect on the beach, since it proves to be sound from a structural point of view.

Keywords: wave basin, submerged breakwaters, submerged groin, breakwater stability, beach morphodynamics.

Introduzione

Il litorale della provincia di Caserta, caratterizzato da spiagge ampie, basse e sabbiose, si estende per circa 45 km dalla foce del fiume Garigliano a quella del lago di Patria, con un andamento NW-SE (Fig. 1). Il settore di traversia del paraggio in esame è compreso tra le direttrici 160°N (tangente a Capo Miseno) e 310° N (tangente a Punta Stendaro-Gaeta).

Da un punto di vista evolutivo la costa è risultata soggetta nell'ultimo secolo ad accelerati fenomeni erosivi. Studi recenti (Piano Stralcio per l'Erosione Costiera (PSEC) del Litorale Domizio - Autorità di Bacino dei fiumi Liri-Garigliano e Volturno e Piano Stralcio Difesa delle Coste - Autorità di Bacino nord occidentale) hanno infatti evidenziato che l'erosione lungo il tratto oggetto di studio, esteso per circa 3 km a sud dei pennelli di Pinetamare, è prevista dell'ordine di 30-40m a 20 anni; essa è stata, inoltre, drammaticamente accelerata dall'intensa mareggiata occorsa nel mese di Dicembre 2007, che ha determinato localmente una significativa erosione della duna a tergo della spiaggia.

La soluzione progettuale proposta prevede la realizzazione di una opera di protezione a gettata di tipo soffolta con quota di sommergenza posta pari a 0.50 m.s.m.(Fig. 2). Dal punto di vista strutturale, si prevede una mantellata costituita da massi di III cat. con paramento lato mare inclinato con una scarpa pari a 5/2; lo strato filtro ed il nucleo della scogliera sono previsti in scogli di I cat. Lo sviluppo longitudinale complessivo dell'opera di difesa è di 890 m. Lungo la scogliera di protezione sono stati inseriti due varchi di ampiezza pari a 40 m con quota di sommergenza pari a -2.50 m.s.m. e tali da suddividere l'intera struttura in tre tronchi. Altri varchi (di ampiezza di circa 70 m) sono stati introdotti in corrispondenza delle due estremità dei pennelli trasversali emersi di collegamento a terra della scogliera soffolta.

Con riferimento alle suddette opere, si è reso necessario effettuare una integrazione delle indagini a supporto delle soluzioni tecniche individuate, mediante la realizzazione di prove sperimentali su modello fisico tridimensionale. In particolare lo studio sperimentale è stato finalizzato all'esame dei seguenti aspetti:

- valutazione del comportamento idraulico del manufatto;
- valutazione della stabilità delle opere a gettata;
- valutazione qualitativa degli effetti morfodinamici indotti dalla realizzazione dell'opera sul litorale a tergo della stessa.

Nella presente memoria si riportano i risultati della suindicata indagine sperimentale ottenuti utilizzando la vasca ondogeno del laboratorio di Idraulica della Seconda Università di Napoli (LIM_SUN). Il comportamento dell'opera è stato studiato attraverso la realizzazione di un modello in scala 1:50. A causa del suo notevole sviluppo lineare, l'opera non è stata riprodotta interamente, ma sono state realizzate in modello due scogliere e i due varchi. Inoltre è stato riprodotto anche uno dei due pennelli trasversali emersi di collegamento a terra della scogliera soffolta.

Le condizioni ondose assunte per le prove eseguite sono rappresentate da un'onda morfologica, definita come l'altezza d'onda cui corrisponde un flusso di energia annuo pari a quello risultante dalle varie direzioni di provenienza delle onde e da un'onda di progetto, di altezza pari all'onda frangente sul fondale su cui verrà realizzata l'opera.

I risultati dell'indagine sperimentale hanno evidenziato che il fattore di trasmissione dell'altezza d'onda di mareggiata si attesta su valori più elevati rispetto a quelli riscontrati per l'onda di modellamento. Il grado di danneggiamento delle opere a seguito dell'azione della mareggiata di progetto è risultato di modesta entità. Inoltre il materiale asportato in prossimità della linea di riva rimane contenuto all'interno della zona compresa tra la spiaggia e le scogliere a protezione della stessa.

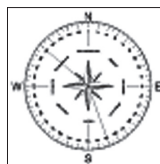


Figura 1 - Inquadramento del Litorale Domizio.

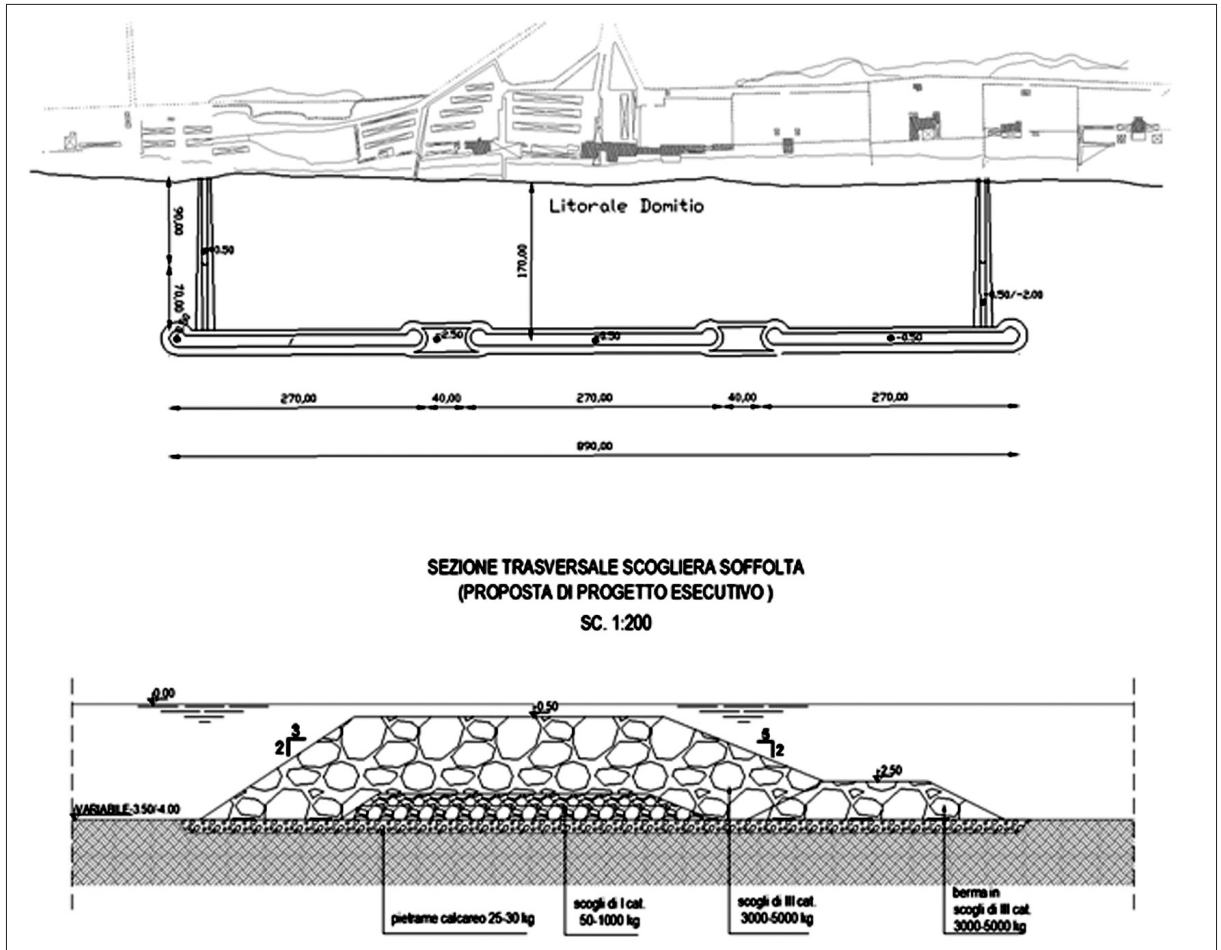


Figura 2 - Planimetria dell'opera di protezione e sezione tipo della scogliera soffolta.

Descrizione delle attrezzature utilizzate per il modello fisico

Le prove su modello fisico sono state eseguite nella vasca ondogena ubicata presso il Laboratorio di Idraulica Marittima della SUN (Fig. 3). La vasca ondogena, a pianta rettangolare, ha le dimensioni di 15.70 m x 12.45 m x 1.00 m, con un fondo a pendenza costante 1:20 per un tratto di lunghezza pari a 10 m. Pendenze del fondo diverse dal valore di 1:20 possono essere realizzate modellando opportunamente lo spessore dello strato di sabbia di diametro $d_{50}=0.2$ mm che ricopre il fondo della vasca.

La generazione del moto ondoso bi-tridimensionale (2-3D) avviene mediante l'impiego di 30 battitori a pale, azionati da motori elettrici passo-passo del tipo brushless con potenza di picco pari a 2000 W. Con tale sistema è possibile simulare moti ondosi regolari e random di prefissato spettro energetico e forme d'onde (onde short crested e onde long crested). Il sistema di generazione è dotato di assorbimento attivo della riflessione al battitore, implementato presso l'Hydraulics and Coastal Engineering Laboratory dell'Università di Aalborg (Frigaard e Brorsen, 1995; Frigaard e Christensen, 1994) e opportunamente adattato alla suddetta vasca (Di Natale et al., 2004a). La vasca è attrezzata, per la misura dei livelli idrici, con 30 sonde resistive che vengono opportunamente posizionate in funzione dello stato di mare che si intende riprodurre. Il tempo di campionamento delle onde generate è di 0.05 s. La variazione morfodinamica del fondo è stimata con un profilatore Laser M5L e con uno scandaglio manuale opportunamente posizionati su di un carroponete. L'M5L funziona mediante l'emissione di un laser, prodotto da un diodo laser pulsante e proiettato ortogonalmente alla superficie dell'oggetto da misurare. La luce emessa dal laser è riflessa dall'oggetto e proiettata su un PSD attraverso una lente. La misura dell'oggetto, ottenuta, applicando il principio della triangolazione, è compresa in un range tra ± 100 mm.



Figura 3 - Vasca ondogena tridimensionale.

Caratteristiche del modello utilizzato nell'indagine sperimentale

Realizzazione del modello fisico

Il comportamento dell'opera è stato studiato attraverso la realizzazione di un modello in scala 1:50 (Hughes, 1993). In Figura 4 è riportata una immagine del modello realizzato. Le scogliere sono state realizzate con pietre calcaree a spigoli vivi, di dimensioni e peso determinate in base al rapporto di scala 1:50. Il peso degli elementi lapidei è risultato pari a $P_{\min}=8$ g, per quanto riguarda il nucleo della struttura e pari a $P_{\min}=28$ g per la mantellata.

Particolare cura è stata posta nella riproduzione della batimetria del fondale in quanto essa influenza fortemente il campo di moto che si stabilisce all'interno del bacino. Il fondo della vasca è stato ricoperto con sabbia silicea fine di diametro caratteristico pari a 0.2mm che rappresenta il passante al 50% del fuso granulometrico prefissato (Di Natale et al., 2004b; 2008a; 2008b; 2008c). Tale scelta rappresenta il miglior compromesso tra le esigenze di scalatura geometrica dei sedimenti ottenuta secondo il criterio di scala proposto da Kamphuis Sand Model (Kamphuis, 1972a; 1972b; 1975) e la necessità di evitare che i sedimenti scalati siano così piccoli da manifestare proprietà colloidali e renderne il comportamento assai diverso da quello dei sedimenti reali (Kamphuis, 1991; 2000).



Figure 4 - Vista del modello.

Condizioni ondose

Le condizioni ondose assunte per la valutazione del comportamento idraulico e della stabilità delle opere a gettata, nonché per la valutazione qualitativa degli effetti morfodinamici indotti dalla realizzazione dell'opera sul litorale a tergo della stessa, desunte dallo studio meteomarinario e dalla relazione tecnica di progetto sono rappresentate da:

- onda morfologica, definita come l'altezza d'onda cui corrisponde un flusso di energia annuo pari a quello risultante dalle varie direzioni di provenienza delle onde ($H_s=1.27\text{m}$, $T_s=4.94\text{ s}$, $DD=255\text{ N}$);
- onda di progetto, di altezza pari all'onda frangente sul fondale su cui verrà realizzata l'opera ($H_s=5.3\text{ m}$, $T_s=12.55\text{ s}$, $DD=240\text{ N}$).

Le altezze d'onda corrispondenti alle due condizioni ondose sopra descritte sono risultate rispettivamente pari a 0.025m e a 0.106m nella scala del modello. Tali condizioni ondose sono state realizzate attraverso la generazione di onde pseudocasuali di assegnato spettro. Le altezze ed i periodi delle onde sono stati misurati usando le sonde resistive mobili opportunamente posizionate in vasca. In particolare sono state registrate le caratteristiche ondose al piede e a tergo della struttura, mediante 12 sonde posizionate su di un carroponete posto ad opportuna distanza dalla struttura stessa (Fig. 5). La necessità di misurare la direzione delle onde con attacco obliquo ha reso inoltre necessario l'utilizzo di sei sonde di cui cinque posizionate ai vertici di una struttura rigida in acciaio a forma di pentagono ed una al centro dello stesso (Fig. 5). La distanza delle cinque sonde rispetto a quella centrale è stata fissata in funzione della lunghezza d'onda L riprodotta; in particolare si è posto $\lambda = 0.25 L$ (CERC, 1984; Di Natale et al., 2008d). Durante la sperimentazione le sonde sono state calibrate e controllate regolarmente per una risposta lineare.

Le prove sperimentali con l'onda morfologica sono state protratte per una durata sufficiente al raggiungimento di una configurazione in equilibrio dinamico della spiaggia pari a 8 h, corrispondenti nella scala dei tempi del prototipo a circa 56 h, durante le quali transitano circa 39000 onde (Di Natale et al., 2008b; 2008c).

L'onda di progetto è stata fatta agire per circa 2.00 h, corrispondenti nel prototipo a circa 14 h e alla generazione di 4000 onde.

In Tabella 1 è riportata la sequenza delle prove sperimentali eseguite.

In Figura 5 è inoltre raffigurato il sistema di assi cartesiani utilizzato con l'origine degli assi posizionato in corrispondenza della linea di riva iniziale. L'asse verticale è stato assunto positivo verso il basso e con origine in corrispondenza del pelo libero della vasca.

Figura 5 - Posizione delle sonde e configurazione del modello per la valutazione della stabilità.

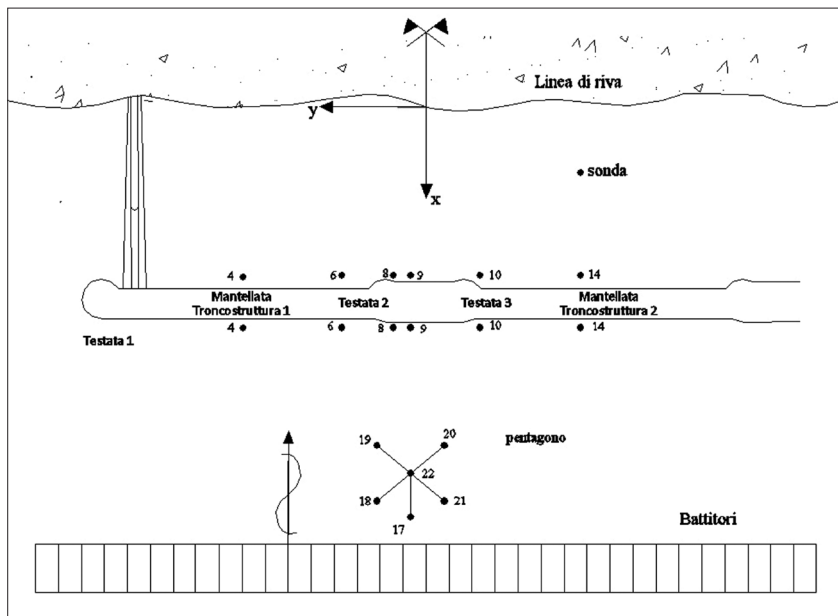


Tabella 1 - Prove sperimentali eseguite.

TEST	CONDIZIONE ONDOSA	H_{sm} [m]	T_{pm} [s]	α [°]	D [min]
A	Onda morfologica	0,025	0,7	12	480
B	Onda di progetto	0,106	1,77	0	120
C	Onda morfologica	0,025	0,7	12	480

Risultati delle prove sperimentali

Analisi del comportamento idraulico del manufatto

La valutazione dei coefficienti di trasmissione a tergo della struttura a protezione del litorale in esame è stata effettuata utilizzando due procedure di analisi del segnale ondosso acquisito al piede e a tergo dell'opera, una nel dominio del tempo, l'altra nel dominio della frequenza. Nel primo caso, la valutazione dell'altezza d'onda significativa incidente e trasmessa è stata effettuata mediando il terzo delle onde di altezza maggiore ($H_s = H_{1/3}$) ed il periodo $T_{H1/3}$ è stato ottenuto come media dei corrispondenti periodi. Nel secondo caso, l'altezza d'onda H_{mo} è stata assunta pari a quattro volte la radice quadrata dell'integrale dello spettro di energia ed il periodo T_p pari alla frequenza di picco dello spettro di energia del segnale. Inoltre sono stati valutati i valori dell'altezza d'onda significativa, del periodo e dell'angolo di inclinazione del fronte d'onda in prossimità del battitore mediante le sei sonde al pentagono.

I valori dei coefficienti di trasmissione, $K_{t_{Hmo}}$ e $K_{t_{H1/3}}$, sono riportati in Tabella 2. Come si evince i valori dei coefficienti di trasmissione valutati alle diverse sonde sono più bassi per l'onda di modellamento (Test A) con valore medio stimato pari a 0.47 e più elevati per l'onda di progetto (Test B) con valore medio pari a circa 0.50. Per il Test C, i valori di $K_{t_{Hmo}}$ e $K_{t_{H1/3}}$ si attestano intorno a 0.52. Per tutte le condizioni ondose riprodotte i valori del coefficiente di trasmissione più elevati si hanno in corrispondenza delle sonde posizionate lungo il varco ed in prossimità dello stesso (Fig. 5).

I valori dei coefficienti di trasmissione misurati sono risultati in buono accordo con quelli valutati, in fase progettuale con la nota formula di Van der Meer e Stam (1992). Si precisa che, dal momento che il sistema di difesa è costituito da scogliere soffolte intervallate da varchi, il valore di progetto del coefficiente di trasmissione è stato ricavato da una media pesata sulle lunghezze dei coefficienti di trasmissione relativi, rispettivamente, alle scogliere ed ai varchi.

Tabella 2 - Valori dei coefficienti di trasmissione, $K_{t_{Hmo}}$ e $K_{t_{H1/3}}$.

TEST				Sonda	Coefficiente di trasmissione	
	H_{sm} [m]	T_{sm} [s]	D [h]	n°	$K_{t_{Hmo}}$	$K_{t_{H1/3}}$
A	0,025	0,70	8,00	4	0,34	0,31
				6	0,42	0,38
				8	0,41	0,38
				9	0,55	0,55
				10	0,69	0,68
				14	0,41	0,40
B	0,106	1,77	2,00	4	0,43	0,42
				6	0,41	0,40
				8	0,41	0,40
				9	0,57	0,58
				10	0,70	0,70
				14	0,45	0,43
C	0,025	0,70	8,00	4	0,44	0,39
				6	0,44	0,41
				8	0,44	0,40
				9	0,67	0,68
				10	0,74	0,72
				14	0,42	0,40

Analisi della stabilità del manufatto

La stabilità dei massi è stata registrata usando sia la tecnica del confronto fotografico da una postazione fissa prima e dopo le prove che contando il numero di massi dislocati e rapportandoli a quello totale costituente la zona in esame. In particolare le foto sono state riportate in un programma per l'elaborazione delle immagini per consentire il confronto delle sequenze di prova.

L'assestamento della struttura è stato valutato tenendo conto del criterio secondo cui il dislocamento di un masso si verifica se questo si sposta di una quantità maggiore a una volta il diametro nominale del masso medio della struttura (D_{n50}); se il masso si sposta di una quantità compresa tra $0.5-1.0 D_{n50}$ il relativo dislocamento è ritenuto trascurabile (Burchart et al., 2006).

Le percentuali di danneggiamento valutate per la sola onda di progetto sono riportate in Tabella n 3 (Fig. 5). E' evidente che la mantellata del tronco struttura e della testata risulta stabile dal punto di vista strutturale con valori del grado di danneggiamento praticamente trascurabili e compresi tra 0.6% e 2%. Il grado di danneggiamento relativo ai varchi è risultato nullo.

Le verifiche di stabilità delle scogliere soffolte di progetto sono state effettuate mediante l'applicazione della relazione di Van der Meer e Pilarczyk (1990) e secondo le indicazioni riportate nelle "Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime" emanate dalla III Sez. del Consiglio Superiore LL. PP. nel 1994. I valori misurati del grado di danneggiamento (Tab. 3) rientrano pienamente nel range dei valori proposti dalla formula di Van der Meer ($S=2$ - danneggiamento nullo).

Tabella 3 - Grado di danneggiamento.

TEST B	LATO STRUTTURA	GRADO DI DANNEGGIAMENTO S
Testata 1	Lato mare	0,0%
	Lato terra	0,0%
Mantellata Troncostruttura 1	Lato mare	0,5%
	Lato terra	0,4%
Testata 2	Lato mare	0,0%
	Lato terra	0,0%
Varco	Lato mare	0,0%
	Lato terra	0,0%
Testata 3	Lato mare	1,2%
	Lato terra	1,9%
Mantellata Troncostruttura 2	Lato mare	0,4%
	Lato terra	0,6%

Analisi della evoluzione della morfobatimetria a tergo delle opere

L'evoluzione della morfobatimetria a tergo delle opere è stata studiata sottoponendo il litorale ad una sequenza temporale caratterizzata da una prima onda di modellamento ($H_{sm}=0.025$ m, corrispondenti a 1.27 m nel prototipo), per una durata sufficiente al raggiungimento di condizioni di equilibrio dinamico del fondale, da un'onda di progetto ($H_{sm}=0.106$ m, corrispondenti a 5.30 m nel prototipo), per una durata di 2 h, corrispondente alla generazione di 4000 onde e infine da una seconda onda di modellamento per una durata sufficiente al raggiungimento di un nuovo equilibrio dinamico del fondale (Tab. 1).

Durante l'azione della prima onda di modellamento, ad intervalli re-

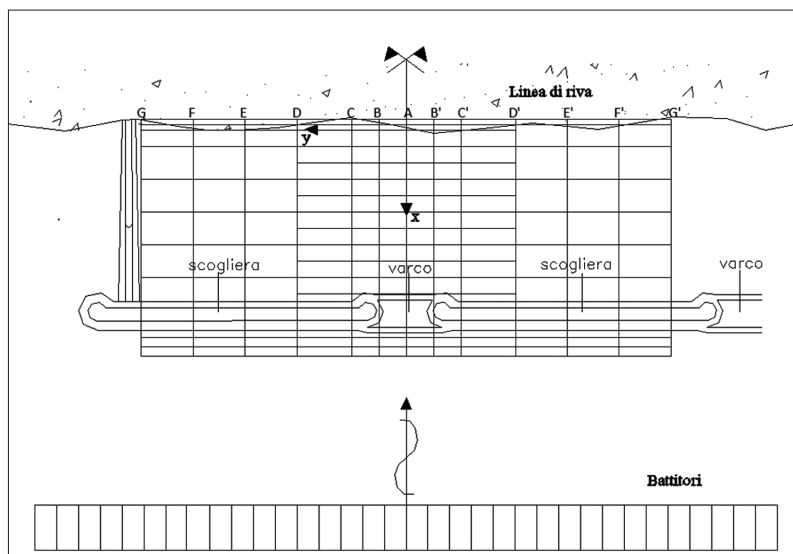


Figura 6 - Ubicazione delle sezioni di misura.

golari è stato eseguito il rilievo del fondale mediante la misura di 13 profili trasversali alla struttura posti ad opportuna distanza tra loro (Fig. 6). La prova è stata protratta fino a quando si è riscontrata un'assenza di variazioni significative tra due rilievi successivi. Successivamente si è fatta agire la mareggiata di progetto per la durata di 2 h ed è stato eseguito il rilievo del fondale nei punti prefissati al termine della prova stessa. Infine sono stati rilevati i nuovi profili di equilibrio, nelle stesse sezioni di misura, stabilitisi per effetto dell'azione della seconda onda di modellamento.

Il raggiungimento delle condizioni di equilibrio del fondale è stato osservato, durante la prima prova, dopo un tempo di circa 7,36 h. I rilievi acquisiti a tergo delle scogliere sommerse, lungo le sezioni di misura, mostrano chiaramente lo stabilirsi di un profilo di equilibrio caratterizzato da una pendenza pressoché coincidente con quella iniziale pari al 14%, per una fascia di 0.50 m. Analogamente la pendenza del fondale rimane costante e coincidente con quella iniziale pari a 1.0% nel restante tratto fino alle scogliere a protezione della spiaggia. Le figure 7 e 8 mostrano i profili di equilibrio stabilitisi lungo le diverse sezioni di misura e la rappresentazione per curve di livello della batimetria di equilibrio a tergo delle scogliere dopo l'azione della

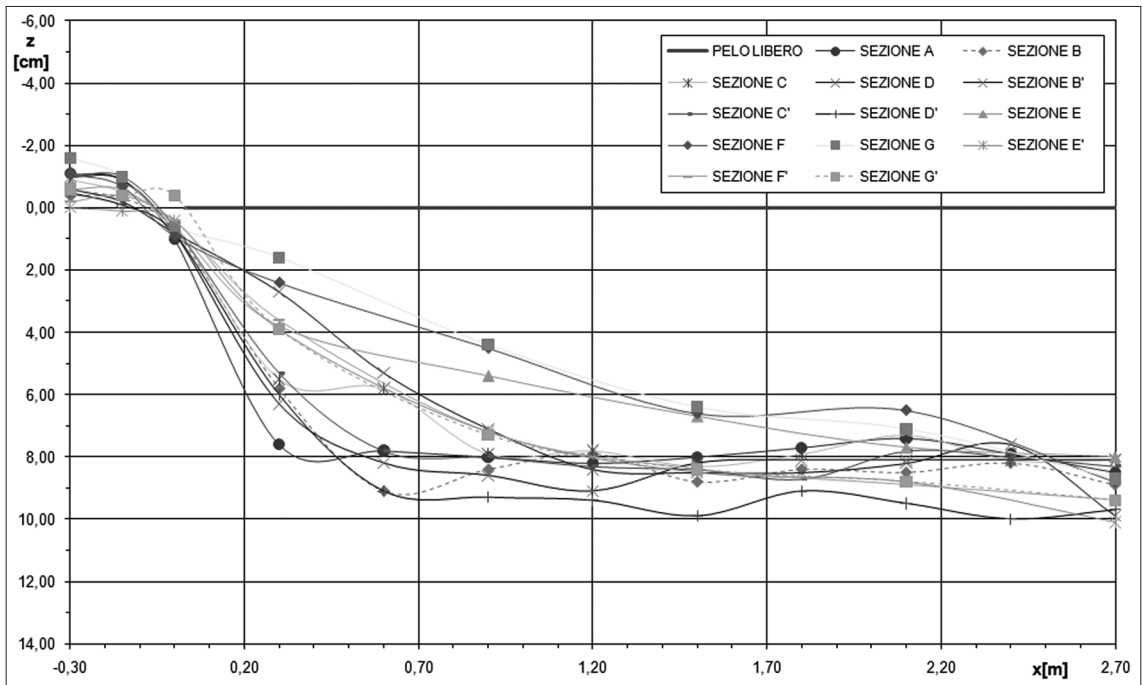


Figura 7 - Profili trasversali della spiaggia al termine della prima onda di modellamento.

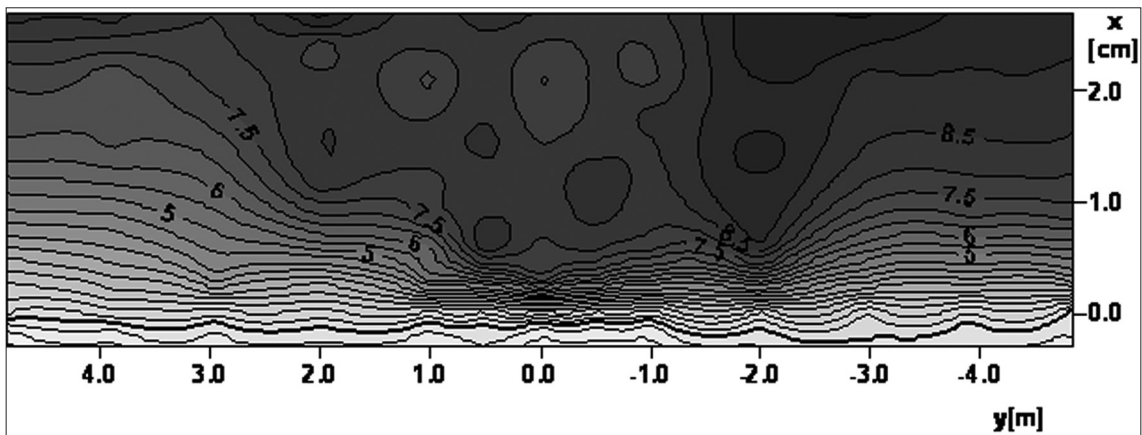


Figura 8 - Batimetria a tergo delle scogliere al termine della prima onda di modellamento.

prima onda di onda di modellamento. Nelle Figure 9 e 10 sono riportati invece i profili trasversali lungo le sezioni di misura e le curve di livello del fondale relativi all'onda di mareggiata.

Si evidenzia, come era da aspettarsi, la formazione di un profilo piuttosto ripido nella zona di azione dei frangenti, a partire dalla linea di riva che risulta arretrata di circa 0.12 m rispetto alla configurazione precedentemente stabilitasi. Il profilo di equilibrio è caratterizzato a partire dalla linea di riva da un primo tratto a pendenza pari a 16% esteso per circa 0.50 m e da un secondo, a pendenza pari a 2.0%, fino alle scogliere di protezione della spiaggia. Il materiale asportato dalle sezioni di misura più prossime al varco si ritrova accumulato nelle sezioni poste in prossimità delle testate del tronco struttura. In tale zona infatti tende a stabilirsi un profilo con pendenza pari a circa 1.0%.

La successiva azione dell'onda di modellamento ha determinato un lento raggiungimento di una nuova configurazione di equilibrio dinamico ed una trascurabile variazione della posizione della linea di riva.

Giova osservare pertanto che i profili di equilibrio stabilitasi al termine della sequenza temporale riprodotta risultano più ripidi in prossimità del varco centrale e meno ripidi in prossimità del pennello laterale; inoltre

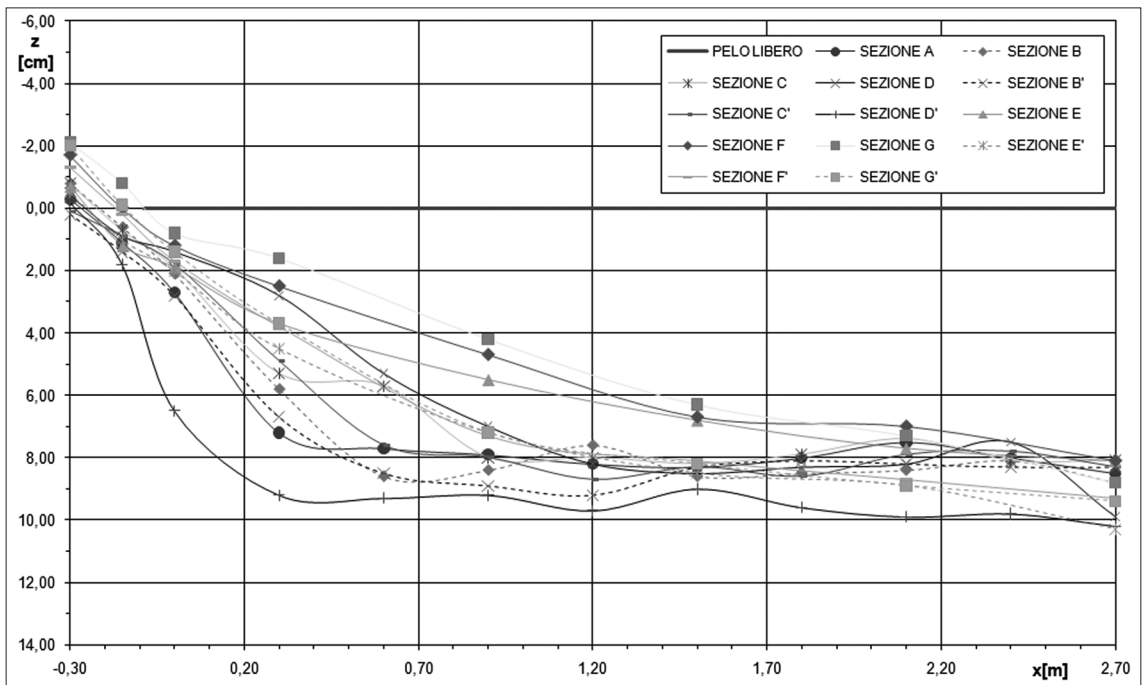


Figura 9 - Profili trasversali della spiaggia al termine della mareggiata.

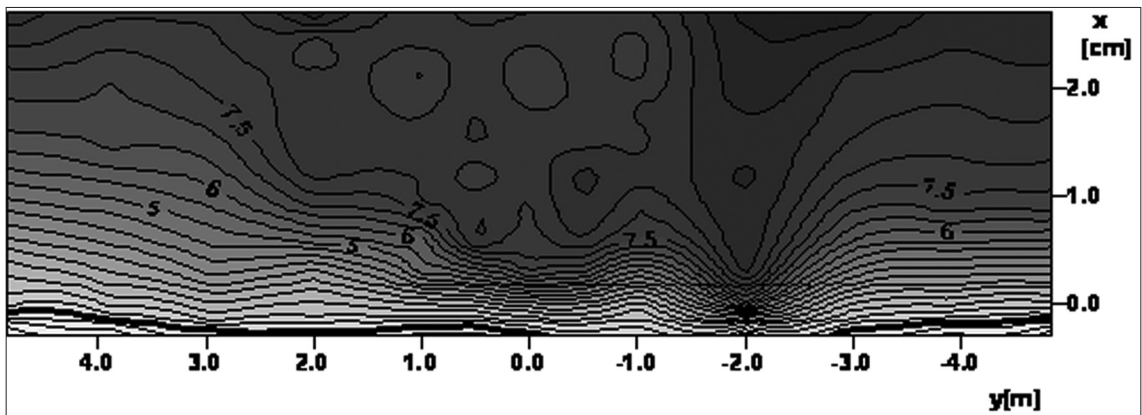


Figura 10 - Batimetria a tergo delle scogliere al termine della mareggiata.

l'arretramento della linea di riva è più marcato in corrispondenza del varco centrale raggiungendo il valore massimo lungo l'asse di simmetria.

L'arretramento medio della linea di riva è risultato pari a circa 0.12 m, corrispondenti a 6.0 m nel prototipo. Il materiale asportato rimane quindi contenuto all'interno della zona compresa tra la spiaggia e le scogliere a protezione della stessa.

La Figura 11 mostra la variazione morfologica subita dalla linea di riva.

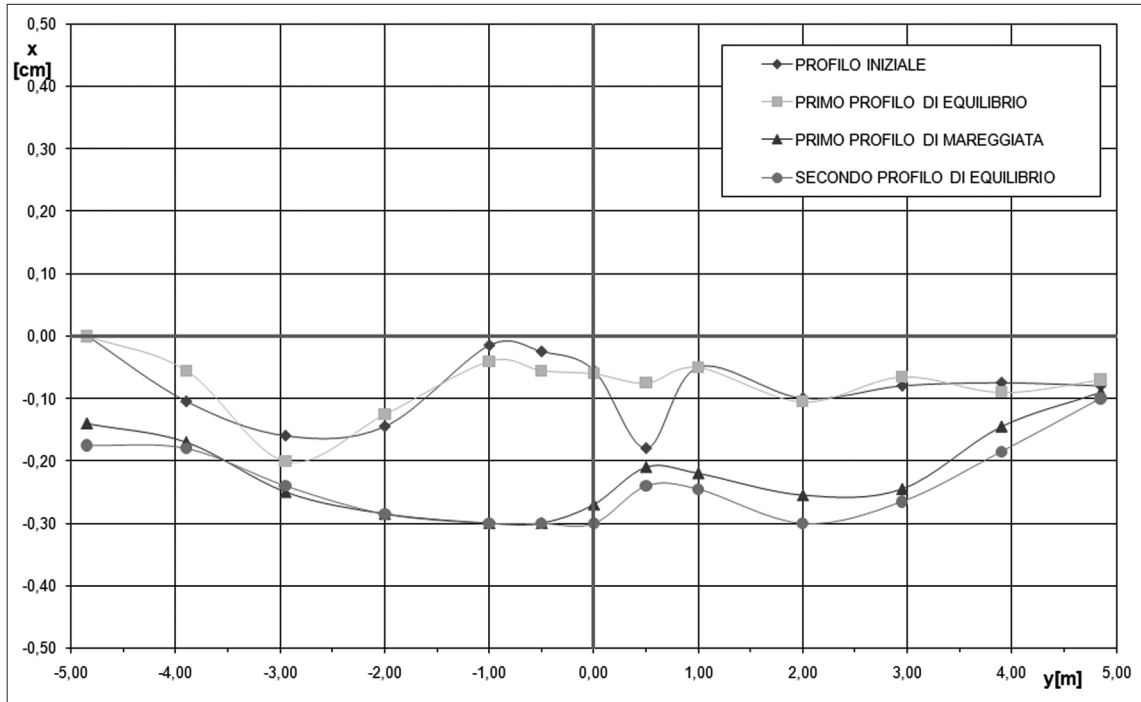


Figura 11 - Dinamica della linea di riva durante il ciclo di prove.

Considerazioni conclusive

L'indagine sperimentale svolta presso il laboratorio LIM_SUN è stata finalizzata alla valutazione del comportamento idraulico, della stabilità dell'opera a protezione del litorale Domitio nonché alla valutazione qualitativa degli effetti morfodinamici indotti dalla sua realizzazione sul litorale a tergo della stessa.

Il comportamento dell'opera è stato studiato attraverso la realizzazione di un modello in scala 1:50 che riproduce due scogliere, due varchi e uno dei due pennelli trasversali emersi di collegamento a terra della scogliera soffolta.

I risultati ottenuti possono essere così riassunti:

- valutazione del comportamento idraulico: il coefficiente di trasmissione dell'altezza d'onda a tergo del sistema di scogliere sommerse è risultato pari a circa 0.50 in corrispondenza della mareggiata di progetto, mentre assume valori pari a 0.47 in corrispondenza dell'onda di modellamento. I valori dei coefficienti di trasmissione misurati sono risultati in buono accordo con quelli valutati, in fase progettuale, con la nota formula di Van der Meer;
- valutazione della stabilità del manufatto: il grado di danneggiamento delle opere a seguito dell'azione della mareggiata di progetto è risultato compreso tra 0.6% e 2.0%. I valori misurati del grado di danneggiamento rientrano pienamente nel range dei valori proposti dalla formula di Van der Meer ($S=2$ -danneggiamento nullo);
- valutazione qualitativa degli effetti morfodinamici indotti dalla realizzazione dell'opera sul litorale a tergo della stessa: i profili di equilibrio stabilitisi al termine della sequenza temporale riprodotta risultano più ripidi in prossimità del varco centrale e meno ripidi in prossimità del pennello laterale; inoltre

l'arretramento della linea di riva è più marcato in corrispondenza del varco centrale raggiungendo il valore massimo lungo l'asse di simmetria. L'arretramento medio della linea di riva è risultato pari a circa 0.12m, corrispondenti a 6.0m nel prototipo. Il materiale asportato rimane quindi contenuto all'interno della zona compresa tra la spiaggia e le scogliere a protezione della stessa.

Bibliografia

- Burchart H.F., Kramer M., Lamberti A. e Zanuttigh B. (2006) - *Structural stability of detached low crested breakwaters*. Coastal Engineering, 53: 381-394.
- Coastal Engineering Research Center – CERC (1984) - *Shore Protection Manual*. U.S. Army Corps of Engineers.
- Di Natale M., Di Ronza S. e Vicinanza D. (2004a) - *Sul problema della doppia riflessione nelle vasche per la simulazione del moto ondoso tridimensionale*. Atti XXIX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche. Trento, pp. 769-776.
- Di Natale M., Eramo C. e Vicinanza D. (2004b) - *Realizzazione di un impianto sperimentale per lo studio degli effetti della subsidenza sulla dinamica di una spiaggia emersa*. Atti XXIX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche. Trento, pp. 761-768.
- Di Natale M., Eramo C. e Vicinanza D. (2008a) - *Experimental investigation on beach morphodynamics in presence of subsidence*. Journal of Coastal Research, 24: 222-231.
- Di Natale M., Di Ronza S., Eramo C. e Greco R. (2008b) - *Indagine sperimentale in vasca ondogenica per la verifica della stabilità degli interventi di ripascimento sul litorale di Spinesante e San Francesco ad Ischia*. Studi Costieri, vol. 14: 103-115.
- Di Natale M., Di Ronza S., Eramo C. e Greco R. (2008c) - *Verifica sperimentale di strutture per la protezione al piede di un intervento di ripascimento: il caso della spiaggia dei Maronti ad Ischia*. Studi Costieri, vol. 14: 117-134.
- Di Natale M., Di Ronza S., Eramo C. e Vicinanza (2008d) - *Il laboratorio di idraulica marittima della SUN: caratteristiche e potenzialità*. Atti 31° Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche. Perugia, pp. 1-8.
- Frigaard P. e Christensen M. (1994) - *An absorbing wave-maker based on digital filters*. Coastal Engineering, 13: 168-180.
- Frigaard P. e Brorsen M. (1995) - *A time domain method for separating incident and reflected irregular waves*. Coastal Engineering, 24 (3-4): 205-215.
- Hughes S.A. (1993) - *Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering*. World Scientific Ed., Advanced Series on Ocean Engineering, 7: 568 pp.
- Kamphuis J.W. (1972a) - *Scale selection for wave models*. Report no 71 of Queen's University C.E, Ontario, Canada. pp. 173-1196.
- Kamphuis J.W. (1972b) - *Scale selection for mobile bed wave models*. Proc. of 13th Conf. on Coast. Eng.. Vancouver, Canada, 63: 1173-1195.
- Kamphuis J.W. (1975) - *Coastal mobile bed models: does it work?*. Symposium on Modelling techniques, 2nd Annual Symposium of the Waterways Harbours and Coastal Eng. Division of ASCE. San Francisco, California, pp. 993-1009.
- Kamphuis J.W. (1991) - *Alongshore Sediment Transport*. SJ. Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng. ASCE, 117: 624-640.
- Kamphuis J.W. (2000) - *Introduction to Coastal Engineering and Management*. World Scientific Ed., Advanced Series on Ocean Engineering, 16: 43 pp.
- Van der Meer J.W. e Pilarczyk K.W. (1990) - *Stability of low-crested and reef breakwaters*. Proc. 22nd International Conference on Coastal Engineering. Delft, The Netherlands. pp. 1375-1388.
- Van der Meer J.W. e Stam C.J.M. (1992) - *Wave runup on smooth and rock slopes*. ASCE, Journal of WPC and OE, 188 (5): 534-550.

Ricevuto il 27/06/2011, accettato il 15/04/2012.