

ANALISI DELL'EVOLUZIONE DEL MOTO ONDOSO IN UN BACINO PORTUALE

Luigi Pratola ^{1*}, Antonio Rinaldi ¹, Matteo Gianluca Molfetta ¹, Maria Francesca Bruno ¹,
Daniele Celli ¹, Davide Pasquali ², Marcello Di Risio ² & Michele Mossa ¹

(1) Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, del Territorio, Edile e di Chimica – DICATECh, Politecnico di Bari (Bari)
(2) Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile- Architettura e Ambientale (DICEAA), Università degli Studi dell'Aquila (L'Aquila)

*email: luigi.pratola@poliba.it

ASPETTI CHIAVE

- È analizzato il caso studio della penetrazione del moto ondoso nel Porto Turistico di San Foca
- Lo studio è basato sull'utilizzo sinergico di modellazione fisica e numerica
- I dati sperimentali sono utilizzati per la validazione di un modello numerico non idrostatico

1 INTRODUZIONE

La distribuzione spaziale delle caratteristiche sintetiche del moto ondoso e dei livelli all'interno dei bacini portuali riveste particolare importanza sia durante la fase di progettazione, sia durante la fase di gestione legata all'operatività (es. *De Girolamo et al.*, 2017) e di eventuali ampliamenti. Esistono studi relativi al ruolo dei cambiamenti climatici sulla modifica dell'agitazione portuale (es. *Sierra et al.*, 2017). Da ciò emerge la necessità di dotarsi di strumenti tecnico-scientifici in grado di stimare le caratteristiche dell'agitazione ondosa nei bacini portuali. Tali strumenti, sviluppati nelle ultime decadi, sono sostanzialmente basati sull'utilizzo di modellazione fisica e modellazione numerica. Questa memoria ha l'obiettivo di illustrare sinteticamente le attività relative alla caratterizzazione della penetrazione del moto ondoso nel caso studio del Porto Turistico di San Foca (Melendugno, Lecce). Lo studio è basato sull'utilizzo sinergico della modellazione fisica e numerica. In particolare, è stato realizzato un modello fisico 3D in scala 1:30 in similitudine di Froude presso il Laboratorio di Ingegneria Costiera (LIC) del DICATECh del Politecnico di Bari. L'attività sperimentale, attualmente in fase di ultimazione, permette di caratterizzare l'agitazione ondosa all'interno del bacino portuale in termini di rapporto adimensionale tra l'altezza d'onda significativa locale e l'altezza d'onda significativa al largo. Tali risultanze sono utilizzate per la validazione di un modello numerico non idrostatico (*The Swash Team*, 2017), attività attualmente in corso. Nel seguito vengono riportati i risultati relativi al caso di studio, il modello fisico e alcuni risultati preliminari.

2 IL CASO STUDIO DEL PORTO TURISTICO DI SAN FOCA

San Foca è una località balneare a forte vocazione turistica, ricadente nel territorio comunale di Melendugno (LE), situata sulla costa adriatica a circa 11 miglia a Nord del porto di Otranto. Il paraggio presenta un ampio settore di traversia delimitato a NO dal promontorio del Gargano e a Sud da Capo D'Otranto. L'analisi del clima meteomarinario al largo, ricostruito con un modello di trasposizione geografica, a partire dai dati registrati dalla boa di Monopoli, evidenzia che gli stati di mare provenienti dai settori di Maestrale e Scirocco sono i più frequenti. Dallo studio degli eventi estremi si evince che le ondate più severe nel paraggio sono quelle generate dai venti di scirocco e raggiungono altezze di 6.5 m (tempo di ritorno pari a 50 anni). Il porto di S. Foca (figura 1) è protetto a Nord da un molo curvilineo di sopraflutto e a Sud da un piccolo molo di sottoflutto orientato verso NE; internamente le banchine ospitano pontili galleggianti fissi e stagionali. Nel tempo, sono state realizzate diverse opere interne lasciando a vista la conformazione originaria degli scogli, conservando, quindi, la memoria storica del paesaggio in cui insiste l'opera portuale. La presenza di tali scogli, tuttavia, pregiudica la sicurezza d'ormeggio delle imbarcazioni in particolari condizioni correntometriche all'interno del porto. Le opere previste nel progetto di ampliamento del porto prevedono, in sintesi, il prolungamento del molo di sopraflutto con realizzazione di uno sperone in corrispondenza del nuovo molo di sottoflutto che andrà realizzato, previo salpamento di quello esistente, in una posizione tale da garantire una completa protezione del porto dalle mareggiate provenienti da SE. Ad ulteriore protezione del bacino portuale si prevede anche la sistemazione della mantellata del molo di sopraflutto. Il progetto di ampliamento

prevede, altresì, la sistemazione delle opere interne, allo scopo di migliorare gli standard di sicurezza del porto in tutte le condizioni meteomarine. Entrambe le configurazioni del porto (attuale e di progetto) sono state oggetto di simulazioni in vasca e sono state analizzate generando gli stati di mare provenienti da due differenti direzioni di provenienza. L'applicazione del modello numerico spettrale SWAN (Booij et al., 1999) ha permesso di definire le caratteristiche delle onde riprodotte nel modello fisico in corrispondenza dalle due differenti posizioni assunte dal generatore di moto ondoso durante le sperimentazioni, partendo dalle caratteristiche delle onde al largo precedentemente ricostruite. Il modello permette di simulare l'influenza delle caratteristiche batimetriche del fondale sull'evoluzione dello spettro d'onda durante la propagazione da largo verso costa. L'area di studio è stata riprodotta mediante un reticolo di dettaglio, ricavato dalle campagne batimetriche appositamente condotte per la progettazione delle opere, innestato in una griglia a grande scala.



Figura 1. Configurazione attuale del porto di San Foca (Melendugno, Lecce).

3 L'INDAGINE SPERIMENTALE

Lo studio dell'agitazione nel bacino portuale è condotto mediante la sperimentazione su modello fisico tridimensionale in scala 1:30 in similitudine di Froude. Il modello è stato realizzato nella vasca per studi di dinamica costiera del LIC avente una lunghezza di 90 m, larghezza di 50 m e profondità di 1,20 m. La vasca è dotata di un sistema di generazione del moto ondoso in grado di riprodurre stati di mare con un fronte d'onda di 28,80 m. In particolare, esso è costituito da 48 pale della larghezza di 0,60 m ciascuna, movimentate elettricamente. Il modello, a fondo fisso, riproduce un'area della lunghezza di circa 900 m (in scala prototipo), comprensiva dell'area portuale vera e propria e di una porzione di costa ad essa adiacente, ed estesa per circa 600 m tra la linea di riva e la più profonda delle linee batimetriche riprodotte a scala di modello. Il fondale di generazione delle onde è stato posizionato alla profondità di 24,0 m e raccordato alla linea batimetrica più profonda riprodotta, ossia di -17,0 m mediante una rampa d'accosto. Nel rispetto del criterio di similitudine di Froude, gli elementi artificiali dell'opera sopraflutto (Antifer) e quelli naturali dell'opera sottoflutto che costituiscono la mantellata dell'opera a gettata sono stati ridotti in scala modello nel rispetto della conservazione del numero di stabilità (es. Hughes, 1993). Il nucleo e lo strato filtro dell'opera sono stati ridotti alla scala del modello nel rispetto della conservazione del numero di Froude delle velocità di filtrazione (es. Burchart & Andersen, 1995). La Figura 2 mostra la disposizione sperimentale nella configurazione esistente e nella configurazione progettuale, rispettivamente. Negli schemi sono mostrate le due configurazioni del generatore di moto ondoso necessarie alla riproduzione degli stati di mare provenienti dal settore di Grecale e di Levante, così come sintetizzato in Tabella 1, che riporta le caratteristiche sintetiche degli stati di mare riprodotti durante l'indagine sperimentale. Si osserva che, alla luce dei risultati dell'analisi dell'esposizione del paraggio, sono state considerate le caratteristiche delle onde incidenti in corrispondenza del contorno riprodotto, considerando le condizioni peggiori in termini di direzione di provenienza. Ogni stato di mare è stato riprodotto per una durata tale da assicurare la generazione di circa 1000 onde individuali.

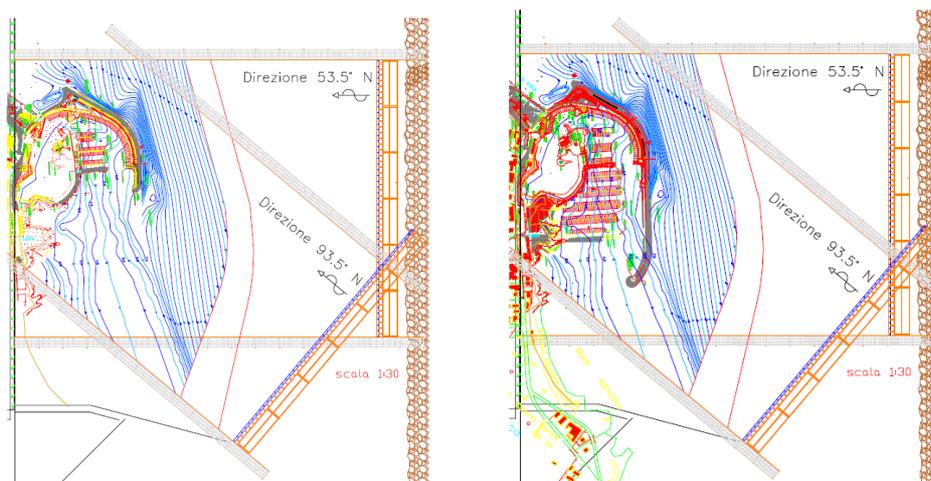


Figura 2. Geometria sperimentale riprodotta in scala 1:30 (in similitudine di Froude) in configurazione attuale (figura a sinistra) e in configurazione modificata (figura a destra). Negli schemi sono mostrate entrambe le configurazioni del generatore di moto ondoso.

Settore di traversia	Test	H_s (m)	T_p (s)	Tempo di ritorno (anni)	Settore di traversia	Test	H_s (m)	T_p (s)	Tempo di ritorno (anni)
Grecale	G01	2.5	6.5	<1	Levante	L01	2.5	6.5	<1
	G02	3.5	8.4	2		L02	3.9	8.4	2
	G05	3.9	8.4	5		L05	4.4	9.6	5
	G10	4.1	8.4	10		L10	4.8	9.6	10
	G50	4.9	9.6	50		L50	5.7	10.9	50

Tabella 1. Caratteristiche sintetiche degli stati di mare riprodotti sperimentalmente.

Sulla base dei valori contenuti in Tabella 1, si osserva che sono state riprodotte sia condizioni frequenti (con frequenza di accadimento pari a 5 giorni/anno), sia condizioni estreme, con tempi di ritorno compresi tra i 2 e i 50 anni. Le prove sperimentali sono finalizzate alla misura del coefficiente di penetrazione del moto ondoso nel bacino portuale. Pertanto, una serie di sonde sono state posizionate nel modello fisico (Figura 3) con l'obiettivo di valutare il rapporto tra l'altezza d'onda significativa al largo (H_0) e l'altezza d'onda significativa stimata nei punti di misura (H_p). A causa del ridotto tirante idrico nelle aree più interne del bacino portuale, alcune delle sonde utilizzate sono di tipo ultrasonico (nel seguito indicate con la sigla "US"), mentre nelle aree più profonde sono state impiegate sonde resistive (nel seguito indicate con la sigla "WG"). Con l'obiettivo di validare il modello numerico utilizzato, sono state acquisite anche misure di velocità locale in corrispondenza dell'imboccatura dell'avamposto e dell'imboccatura del bacino interno, utilizzando, rispettivamente, un ADV (Acoustic Doppler Velocimeter) di tipo 3D *down-looking* (nel seguito indicato con la sigla ADV3D) ed uno di tipo 2D *side-looking* (nel seguito indicato con la sigla ADV2D).

4 RISULTATI PRELIMINARI

Questo paragrafo ha l'obiettivo di illustrare sinteticamente i risultati preliminari delle prove sperimentali, ancora in corso. La Figura 4 mostra, in scala logaritmica, il rapporto tra l'altezza d'onda significativa locale e l'altezza d'onda significativa al largo nella configurazione attuale. I valori di H_p e H_0 sono valutati sulla base dei risultati dell'analisi spettrale effettuata sulle serie temporali acquisite tramite le sonde di livello. L'analisi dei risultati permette di osservare che nel bacino portuale il coefficiente di penetrazione è inferiore a 0.1 per gli stati di mare provenienti dal settore di Grecale e di poco superiore (comunque inferiori a circa 0.2) per gli stati di mare provenienti dal settore di Levante. In generale, peraltro come ovvio, il coefficiente di penetrazione è superiore per gli stati di mare provenienti dal settore di Levante rispetto a quelli provenienti dal settore di Grecale (si veda, a titolo di esempio, i risultati ottenuti per il punto di misura localizzato in corrispondenza dell'imboccatura, WG05). Inoltre, si osserva come, per la direzione di Levante, a partire dall'imboccatura del porto e per tutte le sonde ubicate all'interno, i valori del coefficiente di penetrazione più alti si riscontrino con

l'attacco ondoso avente tempo di ritorno 5 anni, diversamente da quanto succede con la direzione di Grecale, per la quale le sonde ubicate nella parte più interna (US03 e US04) hanno registrato un coefficiente di penetrazione più elevato con l'attacco ondoso avente tempo di ritorno 50 anni.

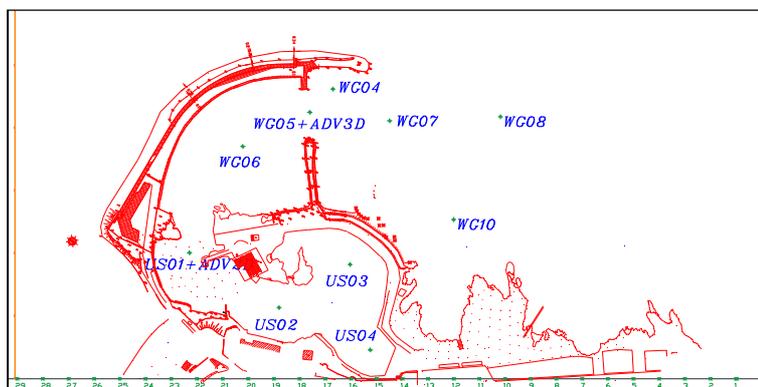


Figura 3. Schema di disposizione degli strumenti di misura

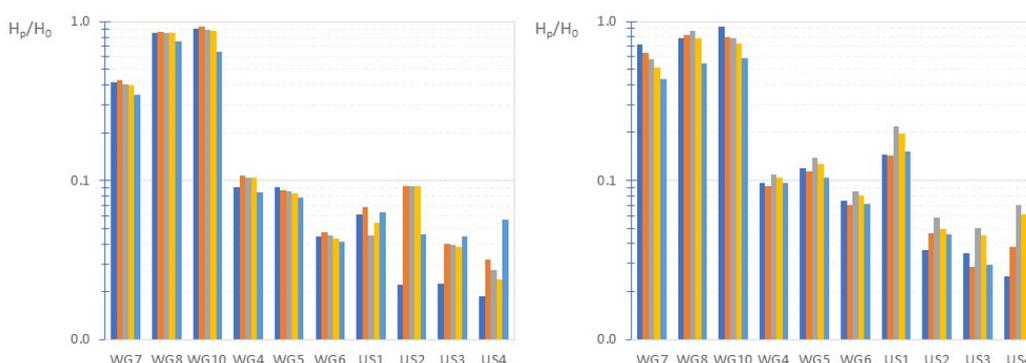


Figura 4. Rapporto tra l'altezza significativa locale e l'altezza significativa al largo misurata per lo stato di mare proveniente dal settore di Grecale (a sinistra) e dal settore di Levante (a destra). In corrispondenza di ogni punto di misura (asse delle ascisse), sono mostrati i risultati per ognuno degli stati di mare sintetizzati in Tabella 1 (barre verticali di diverso colore).

5 OSSERVAZIONI CONCLUSIVE E ATTIVITÀ IN CORSO

Questa breve memoria ha l'obiettivo di descrivere l'analisi della penetrazione del moto ondoso nel porto turistico di San Foca, con l'obiettivo di dare indicazioni generali sull'utilizzo congiunto della modellazione fisica e numerica. Infatti, lo studio è basato sull'osservazione sperimentale del coefficiente di penetrazione in due configurazioni diverse e la successiva verifica numerica. In questo modo, le osservazioni sperimentali sono utili per la validazione dell'approccio numerico. La memoria illustra i primi risultati della ricerca.

La presente attività è stata sviluppata e finanziata nell'ambito dell'Accordo di Programma Quadro "Sviluppo Locale". Delibera CIPE 41/2002. DGR n.2481/2012 (APQ Sviluppo Locale, APQ Italia Navigando, P.O. FESR 2007-2013).

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Booij, N., R.C. Ris and L.H. Holthuijsen, 1999, A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation, *J.Geoph.Research*, 104, C4, 7649-7666
- Burcharth, H.F. & Andersen, O.H. 1995. On the One-Dimensional Unsteady Porous Flow Equation. *Coastal Engineering* 24, pp. 233-257.
- De Girolamo, P., Di Risio, M., Beltrami, G.M., Bellotti, G. and Pasquali, D., 2017. The use of wave forecasts for maritime activities safety assessment. *Applied Ocean Research*, 62, pp.18-26.
- Hughes, S. A., 1993. Physical models and laboratory techniques in coastal engineering (Vol. 7). World Scientific.
- Sierra, J.P., Genius, A., Lionello, P., Mestres, M., Mösso, C. and Marzo, L., 2017. Modelling the impact of climate change on harbour operability: The Barcelona port case study. *Ocean Engineering*, 141, pp.64-78.
- The SWASH team (2017). SWASH user manual, version 4.01