

ISTANZA DI CONVOCAZIONE DI CONFERENZA DEI SERVIZI  
PRELIMINARE A SENSI DELL'ART. 14 E SEGUENTI, L. 241/1990 PER  
MODIFICA DEI TITOLI CONVENZIONALI ED ABILITATIVI, IVI  
COMPRESA LA CONCESSIONE DEMANIALE MARITTIMA, PER LA  
REALIZZAZIONE, IL COMPLETAMENTO E LA GESTIONE DEL PORTO  
TURISTICO DI FIUMICINO, LOCALITÀ ISOLA SACRA

## STUDIO DI FATTIBILITA'

Proponente

### Royal Caribbean cruises ltd.

1050 Cribbean Way, 33132 Miami, Florida (USA)  
rclcruisesltd@winpec.it



### Team di Consulenti

© Alfonso Femia 2018 © AF517 2018 all rights reserved

## ATELIER(S) ALFONSO FEMIA

via interiano 3/11, 16124 Genova tel. 010.540095 fax 010.5702094  
via cadolini 32/38, 20137 Milano tel. 02.54019701 fax 010.54115512  
55 rue des petites écuries, 75010 Paris tel +331.42462894  
genova@atelierfemia.com www.atelierfemia.com

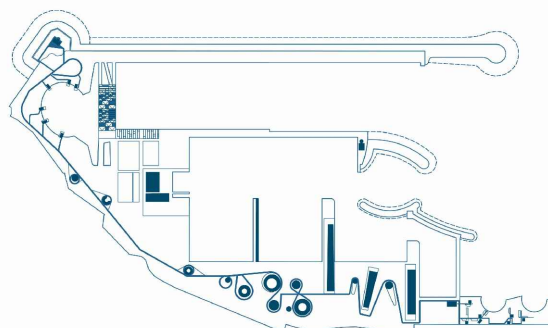


### RINA CONSULTING SPA

Via San Nazaro 19, 16145 Genova, Italia  
tel +39 010 3628148, fax +390103621078  
info@rina.org  
http://www.rinagroup.org



STUDIO DI FATTIBILITA'



n.tavola	<b>021</b>
cod. tavola	<b>TpTrel006</b>
scala	-
oggetto	<b>Studio di agitazione del moto ondoso</b>
tipo elaborato	<b>Progetto opere marittime</b>
data di consegna	<b>28/09/2018</b>
nome file	<b>TpTrel006.pdf</b>
commessa	<b>FFR_0007221-2</b>

rev.	data	redatto	verificato	approvato	oggetto revisione
a	18/09/28	mfi	ems/ete	RINA/ao	studio di fattibilità

**Studio di Fattibilità per l'Inserimento della Funzione  
Crocieristica nel Porto di Isola Sacra**

**Studio di Agitazione del Moto Ondoso**

---

<b>Rev.</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Preparato da</b>	<b>Controllato da</b>	<b>Approvato da</b>	<b>Data</b>
0	Prima Emissione	M. Fruzzetti	E. Terrile	O. Zanolì	28/09/2018

Tutti i diritti, traduzione inclusa, sono riservati. Nessuna parte di questo documento può essere divulgata a terzi, per scopi diversi da quelli originali, senza il permesso scritto di Royal Caribbean Cruises Ltd.

## INDICE

	Pag.
<b>LISTA DELLE TABELLE</b>	<b>2</b>
<b>LISTA DELLE FIGURE</b>	<b>2</b>
<b>1 SCOPO</b>	<b>3</b>
<b>2 AREA DI STUDIO E METODOLOGIA</b>	<b>4</b>
<b>3 VALORI ESTREMI DEL MOTO ONDOSO DI INPUT</b>	<b>7</b>
<b>4 AGITAZIONE ONDOSA RESIDUA ALL'INTERNO DEL BACINO PORTUALE</b>	<b>8</b>
4.1 SCHEMATIZZAZIONE DELL'AREA PORTUALE	8
4.2 PRESENTAZIONE DEI RISULTATI	9
4.3 ANALISI CRITICA DEI RISULTATI	14
<b>5 CONCLUSIONI</b>	<b>18</b>
<b>RIFERIMENTI</b>	<b>19</b>

### APPENDICE A: MODELLO PORTOS

## LISTA DELLE TABELLE

Tabella 3.1:	Dati di Moto Ondoso Estremo all'Esterno del Bacino Portuale	7
Tabella 4.1:	Risultati Agitazione Ondosa – Valori Medi	16
Tabella 4.2:	Risultati Agitazione Ondosa – Valori Massimi	17

## LISTA DELLE FIGURE

Figura 2.1:	Area di Studio (da Google Earth)	4
Figura 2.2:	Layout Progettuale	5
Figura 4.1:	Schematizzazione dell'Area Portuale e Coefficienti di Riflessione Utilizzati per la Configurazione di Progetto	9
Figura 4.2:	Agitazione Ondosa Residue Indotta dall'Onda Estrema dei 2 Anni Proveniente al Largo da 280°N	10
Figura 4.3:	Agitazione Ondosa Residue Indotta dall'Onda Estrema dei 2 Anni Proveniente al Largo da 290°N	10
Figura 4.4:	Agitazione Ondosa Residue Indotta dall'Onda Estrema dei 2 Anni Proveniente al Largo da 300°N	11
Figura 4.5:	Agitazione Ondosa Residue Indotta dall'Onda Estrema dei 10 Anni Proveniente al Largo da 280°N	11
Figura 4.6:	Agitazione Ondosa Residue Indotta dall'Onda Estrema dei 10 Anni Proveniente al Largo da 290°N	12
Figura 4.7:	Agitazione Ondosa Residue Indotta dall'Onda Estrema dei 10 Anni Proveniente al Largo da 300°N	12
Figura 4.8:	Agitazione Ondosa Residue Indotta dall'Onda Estrema dei 100 Anni Proveniente al Largo da 280°N	13
Figura 4.9:	Agitazione Ondosa Residue Indotta dall'Onda Estrema dei 100 Anni Proveniente al Largo da 290°N	13
Figura 4.10:	Agitazione Ondosa Residue Indotta dall'Onda Estrema dei 100 Anni Proveniente al Largo da 300°N	14
Figura 4.11:	Suddivisione del Bacino Portuale ai Fini dell'Analisi dei Risultati	15

## 1 SCOPO

Scopo del presente studio è l'analisi, a livello di fattibilità e mediante modello numerico, dell'agitazione ondosa interna al Porto della Concordia a Isola Sacra (Fiumicino) sulla base del nuovo progetto, in cui è prevista la suddivisione del porto in due principali bacini, il primo dedicato all'attracco per navi da crociera e grandi yacht, il secondo dedicato alla marina.

Lo studio è stato effettuato applicando il modello numerico PORTOS, descritto in Appendice A e capace di riprodurre i principali processi connessi con l'interazione tra onde incidenti e strutture portuali. Le simulazioni sono state eseguite sulla base delle mareggiate estreme come individuate nello studio Meteomarina messo a disposizione da Royal Caribbean Cruise Ltd.

I risultati della modellazione numerica hanno permesso di analizzare nel dettaglio l'altezza d'onda residua all'interno del nuovo bacino, al fine di individuare le condizioni di tranquillità delle acque interne.

I risultati sono presentati sia in forma grafica sia tabellare, per una immediata comprensione dei fenomeni indagati.

## 2 AREA DI STUDIO E METODOLOGIA

Il Porto della Concordia (Figura 2.1), situato nei pressi del Faro di Isola Sacra (Fiumicino), attualmente è costituito da un bacino protetto da un molo di sopraflutto lungo circa 750 m. Il settore di traversia del paraggio di Isola Sacra presenta un angolo di apertura di circa 150°, limitato a Sud dalla tangente a Capo Anzio (160°N) e a Nord dalla tangente a Capo Linario (310°N).

In Figura 2.2 è mostrato il layout progettuale, che prevede la suddivisione del bacino portuale in due settori: il primo dedicato all'attracco delle navi da crociera e grandi yacht, il secondo, protetto da delle scogliere che dissipano il moto ondoso in ingresso, dedicato alla marina.



Figura 2.1: Area di Studio (da Google Earth)

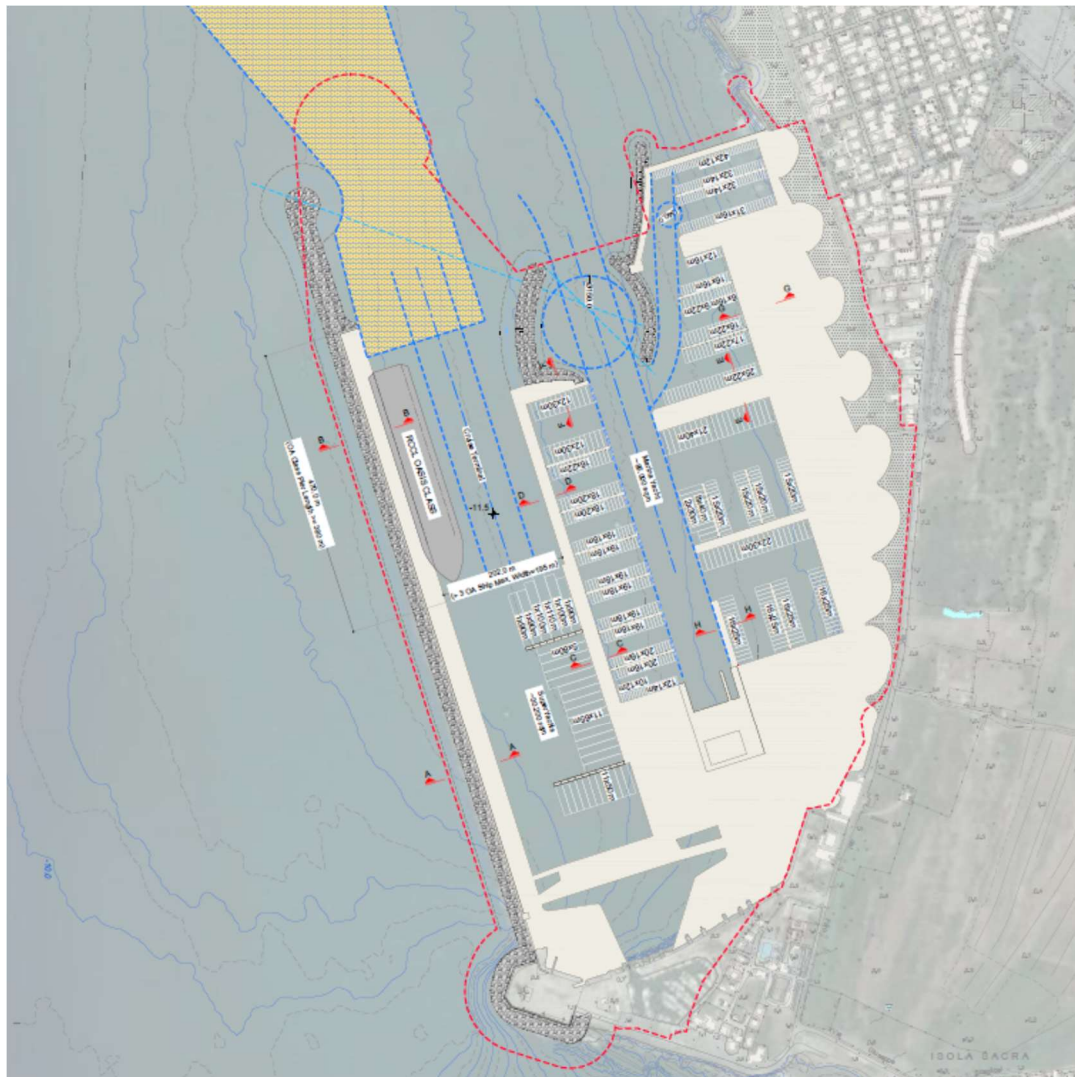


Figura 2.2: Layout Progettuale

Nell'ambito del presente studio si è fatto uso dei dati di moto ondoso valutati all'imboccatura portuale e contenuti nello studio effettuato nell'ambito della conferenza dei servizi svolta nel 2008. Lo studio "Relazione Idraulico-Marittima: Studio del Moto Ondoso al Largo e Sottocosta" [1] 2008, di seguito richiamato come MM08, fornisce un inquadramento generale dell'area, ed in particolare, riporta i valori di altezza d'onda estrema all'imboccatura portuale.

I dati batimetrici utilizzati ai fini dell'attività modellistica sono stati forniti dal Committente mentre la planimetria dell'area portuale e le caratteristiche strutturali della configurazione di progetto sono quelli riportati in [2].

Nel seguito vengono riportate le attività facenti parte della metodologia adottata nel presente studio:

- ✓ schematizzazione dell'area di studio secondo configurazione progettuale prescelta;
- ✓ scelta dei coefficienti di riflessione più adatti per la caratterizzazione delle pareti interne e del molo sopraflutto;
- ✓ selezione delle mareggiate estreme che più incidono nell'agitazione interna del porto a partire dai dati contenuti nello studio MM08 [1];

**Studio di Agitazione del Moto Ondoso**

---

- ✓ realizzazione delle simulazioni numeriche assumendo in input le direzioni e le coppie (H,T) delle mareggiate estreme rappresentative. La penetrazione delle onde all'interno del porto e la conseguente agitazione residua interna sono state indagate applicando il modello numerico PORTOS. Il modello, sviluppato in-house e verificato in molteplici progetti negli ultimi 20 anni, permette di simulare l'agitazione ondosa residua nell'area di studio, indotta dalla diffrazione delle onde che, propagando dal largo verso costa, incidono sulle strutture e riescono a penetrare nella rada, totalmente o solo in parte, attraverso l'imboccatura portuale;
- ✓ analisi e finalizzazione dei risultati.



### 3 VALORI ESTREMI DEL MOTO ONDOSO DI INPUT

Nel presente capitolo vengono riportati i valori estremi delle onde che sono stati utilizzati per le simulazioni, riportati nello studio MM08 [1]. Si rimanda a questo studio per una descrizione dettagliata delle procedure di calcolo.

In Tabella 3.1 sono riportate la direzione di provenienza dell'onda al largo, la direzione di incidenza dell'onda locale (cioè la direzione dell'onda che si presenta all'imboccatura, utilizzata per la simulazione), il periodo significativo dell'onda e i valori di onda estrema all'imboccatura portuale. I periodi di ritorno considerati permettono di quantificare il grado di agitazione ondosa all'interno del porto in condizioni tipiche (2 anni e 10 anni) ed estreme (100 anni). Le direzioni di provenienza delle onde considerate (280, 290 e 300°N) sono le direzioni che possono penetrare maggiormente all'interno del porto.

**Tabella 3.1: Dati di Moto Ondoso Estremo all'Esterno del Bacino Portuale**

Periodo di ritorno (anni)	Direzione dell'onda al largo (°N)	Direzione dell'onda all'imboccatura portuale (°N)	Hs (m)	Ts (s)
<b>2</b>	280	270	3.8	8.8
	290	276	3.4	8.3
	300	295	1.8	6.1
<b>10</b>	280	270	5.2	10.3
	290	275	4.2	9.3
	300	288	2.8	7.6
<b>100</b>	280	270	7.0	12.0
	290	272	5.4	10.4
	300	282	4.0	9.0

## 4 AGITAZIONE ONDOSA RESIDUA ALL'INTERNO DEL BACINO PORTUALE

Con riferimento alle condizioni estreme con periodo di ritorno di 2, 10 e 100 anni, l'agitazione ondosa residua all'interno del bacino portuale è stata ricostruita per mezzo del modello numerico PORTOS (Appendice A). Il modello è stato sviluppato in-house e permette di simulare l'agitazione ondosa residua nell'area di studio, indotta dalla diffrazione delle onde che propagando dal largo verso costa, incidono sulle strutture e riescono a penetrare, totalmente o solo in parte, attraverso le imboccature alle estremità della diga.

Il modello calcola il coefficiente di riduzione/amplificazione dell'onda ( $K_d$ ), cioè il rapporto tra l'altezza d'onda locale effettiva e l'altezza d'onda incidente, in ogni punto della griglia di calcolo, tenendo in considerazione i fenomeni di diffrazione e riflessione che possono avvenire per interazione delle onde con le strutture.

Le simulazioni sono state effettuate con lo scopo di quantificare l'agitazione residua all'interno dei due bacini principali del porto in modo da verificare la tranquillità e la sicurezza delle navi all'interno del bacino portuale, assumendo in input le onde ricavate dallo studio Meteomarin di riferimento, MM08 [1].

Di seguito, dopo una breve descrizione della schematizzazione dell'area di studio e degli input utilizzati, vengono presentati i risultati delle simulazioni.

### 4.1 SCHEMATIZZAZIONE DELL'AREA PORTUALE

Lo schema utilizzato a fini modellistici è mostrato in Figura 4.1. L'area di calcolo è di circa 4000 x 5000 m, idonea a garantire risultati non affetti dalle condizioni ai contorni aperti del modello e allo stesso tempo ragionevoli tempi di calcolo numerico.

Il dominio di calcolo viene quindi definito schematizzando le opere portuali attraverso un determinato numero di vertici, ai quali sono associate le coordinate X e Y del sistema di riferimento a disposizione, che delimitano i tratti in corrispondenza dei quali il modello risolve le equazioni differenziali per il calcolo dei coefficienti di diffrazione e riflessione dell'onda. La profondità del bacino è stata assunta costante, pari a 11 m per il bacino di approdo delle navi da crociera e pari a 5.5 m per la marina.

In Figura 4.1 è mostrato l'intero dominio di calcolo in cui sono messi in evidenza i tratti che definiscono la geometria per il calcolo numerico, caratterizzati da diversi colori a seconda della loro natura riflettente, come descritto nel seguito.

I valori del coefficiente di riflessione adottati sono i seguenti:

- ✓ tratti a parete verticale:  $K_r = 95\%$
- ✓ tratti con scogliere:  $K_r = 40\%$
- ✓ tratti con banchine a celle antirisacca:  $K_r = 50\%$
- ✓ tratti con scogliere/spiaggia  $K_r = 30\%$
- ✓ tratti esterni al porto con pennelli :  $K_r = 20\%$
- ✓ confini del modello:  $K_r = 0\%$ .

Il modello di agitazione ondosa, oltre alla geometria del porto e ai coefficienti di riflessione per i singoli tratti/strutture schematizzate, richiede in input i seguenti parametri:

- ✓ Profondità del bacino: assunta costante, pari a 11 m per il bacino di approdo delle navi da crociera e pari a 5.5 m per la marina;
- ✓ Risoluzione spaziale del grigliato di calcolo: sono state utilizzate maglie di 10 m in X e in Y;
- ✓ Altezza, periodo e direzione dell'onda incidente: sono state utilizzate le onde estreme, con periodo di ritorno di 2, 10, e 100 anni, valutate in prossimità dell'imboccatura portuale nel report MM08 [1] e riportate in Tabella 3.1.

Per quanto riguarda la direzione delle onde incidenti, sono state effettuate molteplici analisi preliminari finalizzate ad individuare le direzioni più critiche all'interno dei settori di provenienza considerati, cioè quelle che possono creare condizioni di maggiore agitazione residua nel canale di calma e nelle aree limitrofe.

I confini del modello sono stati caratterizzati da assorbimento totale dell'energia, in modo da evitare riflessioni varie che avrebbero potuto interferire con i risultati.

I tratti a parete verticale sono stati considerati invece non perfettamente riflettenti per compensare, in minima parte, i fenomeni di attrito trascurati dal modello.

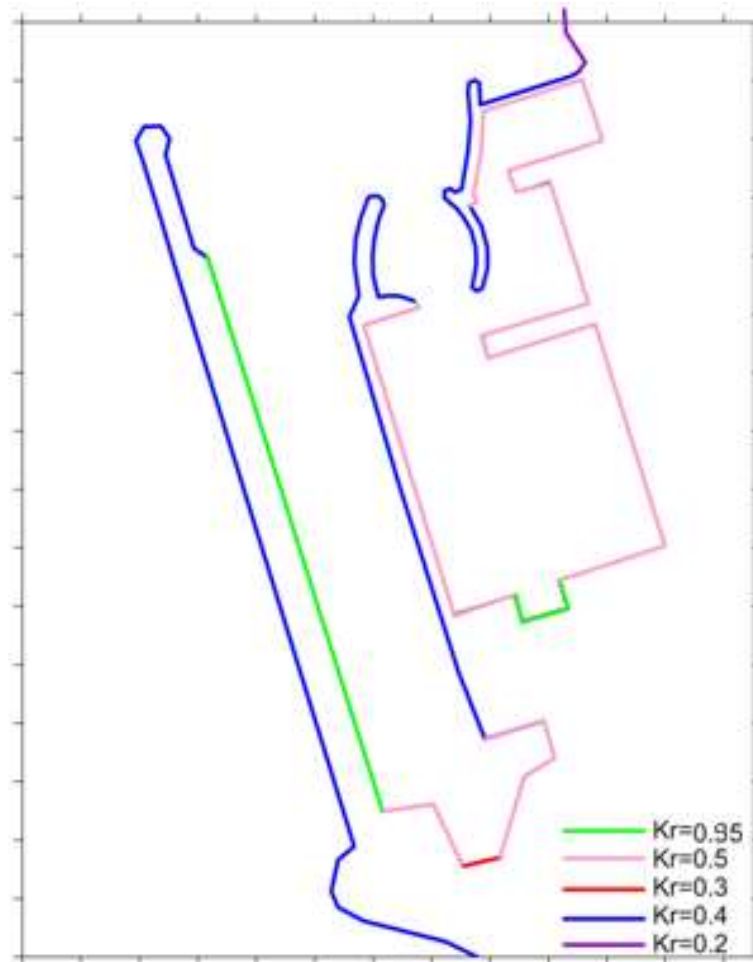


Figura 4.1: Schematizzazione dell'Area Portuale e Coefficienti di Riflessione Utilizzati per la Configurazione di Progetto

## 4.2 PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

I risultati dell'applicazione del modello PORTOS vengono presentati sia in forma grafica che tabellare, per evidenziare le condizioni di agitazione ondosa residua interna al bacino portuale.

Le seguenti figure (Figura 4.2 - Figura 4.10) rappresentano i risultati dell'applicazione del modello, per i tre periodi di ritorno considerati (2, 10 e 100 anni) e le tre direzioni di provenienza delle onde estreme a largo considerate (280°N, 290°N e 300°N). Nelle figure seguenti vengono riportate le variazioni del coefficiente di diffrazione  $K_d$  all'interno dell'area indagata, descritto da un'unica scala di colori per un confronto più immediato, per tutte le direzioni indagate e per i vari periodi di ritorno considerati. Il coefficiente di diffrazione ottenuto dalle simulazioni, moltiplicato per l'altezza d'onda all'imboccatura del porto, fornisce il valore di altezza d'onda locale.

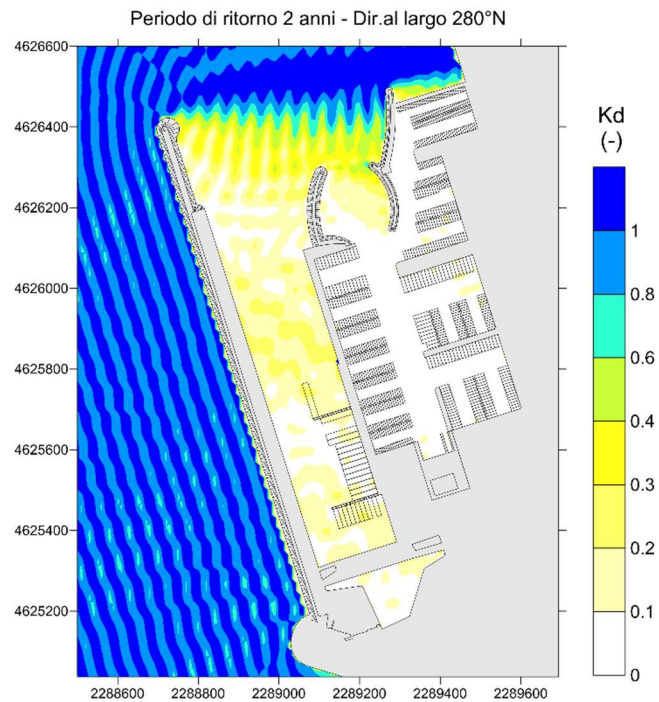


Figura 4.2: Agitazione Ondosa Residue Indotta dall'Onda Estrema dei 2 Anni Proveniente al Largo da 280°N

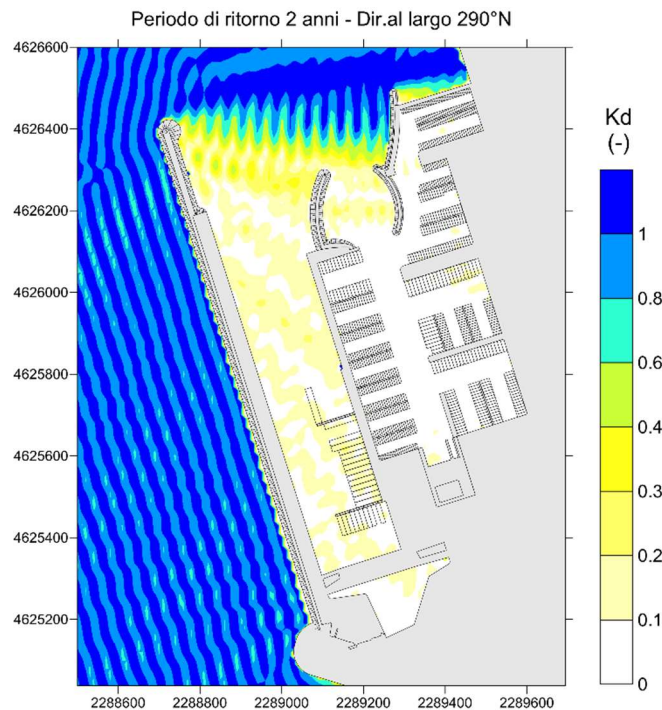


Figura 4.3: Agitazione Ondosa Residue Indotta dall'Onda Estrema dei 2 Anni Proveniente al Largo da 290°N

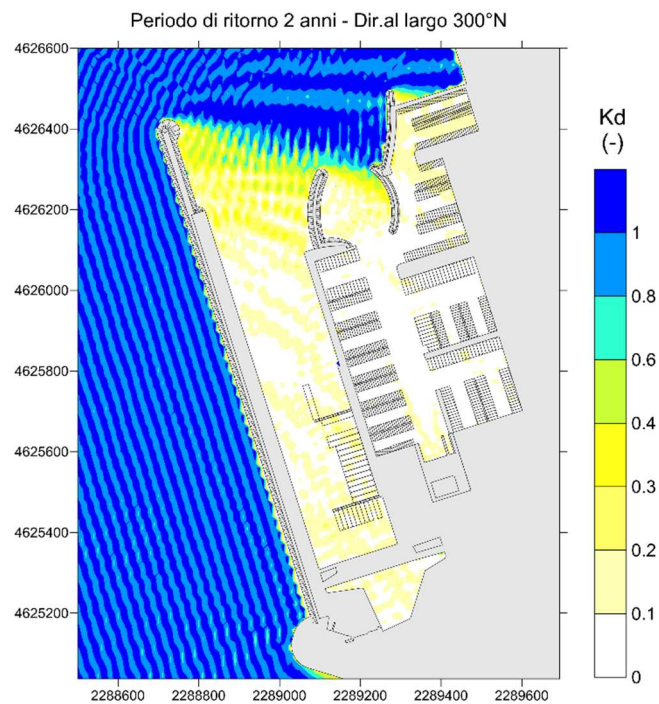


Figura 4.4: Agitazione Ondosa Residue Indotta dall'Onda Estrema dei 2 Anni Proveniente al Largo da 300°N

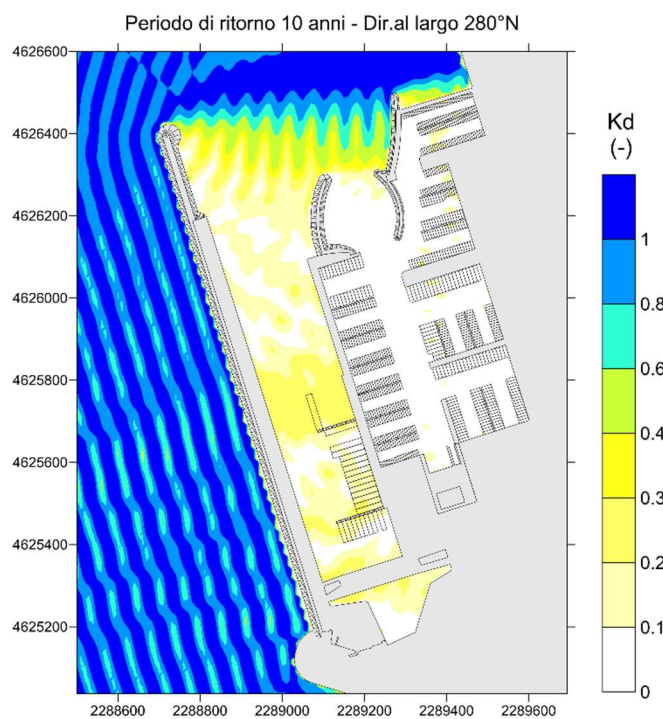


Figura 4.5: Agitazione Ondosa Residue Indotta dall'Onda Estrema dei 10 Anni Proveniente al Largo da 280°N

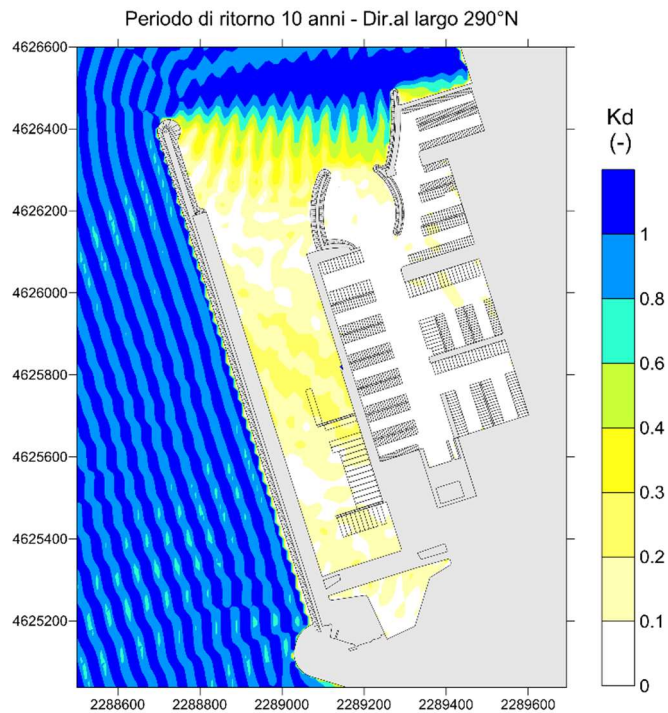


Figura 4.6: Agitazione Ondosa Residue Indotta dall'Onda Estrema dei 10 Anni Proveniente al Largo da 290°N

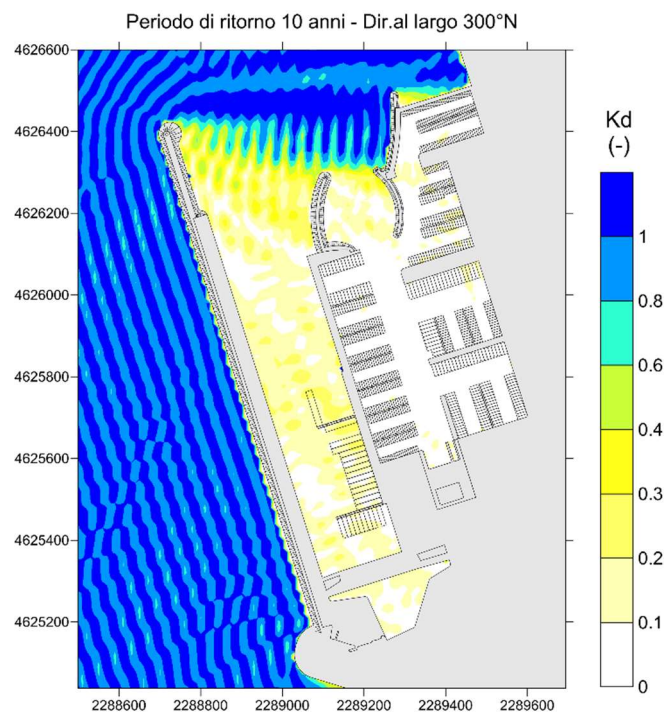


Figura 4.7: Agitazione Ondosa Residue Indotta dall'Onda Estrema dei 10 Anni Proveniente al Largo da 300°N

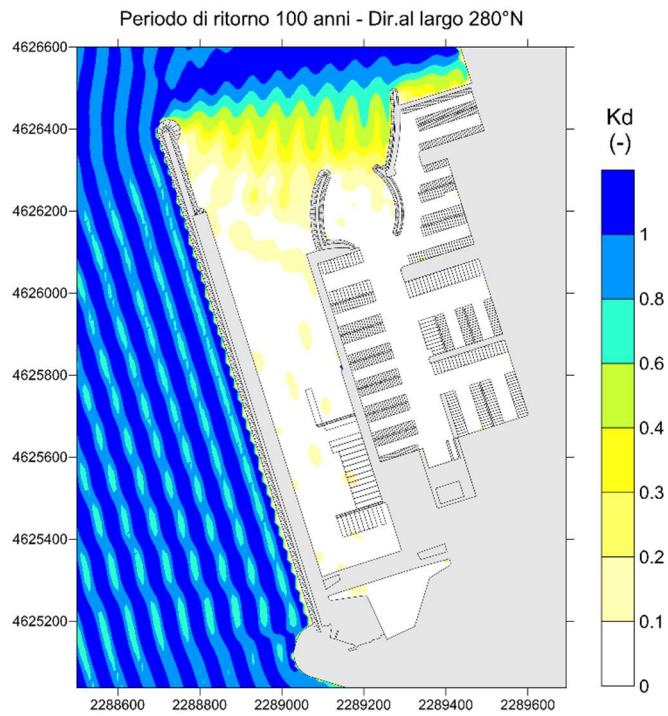


Figura 4.8: Agitazione Ondosa Residue Indotta dall'Onda Estrema dei 100 Anni Proveniente al Largo da 280°N

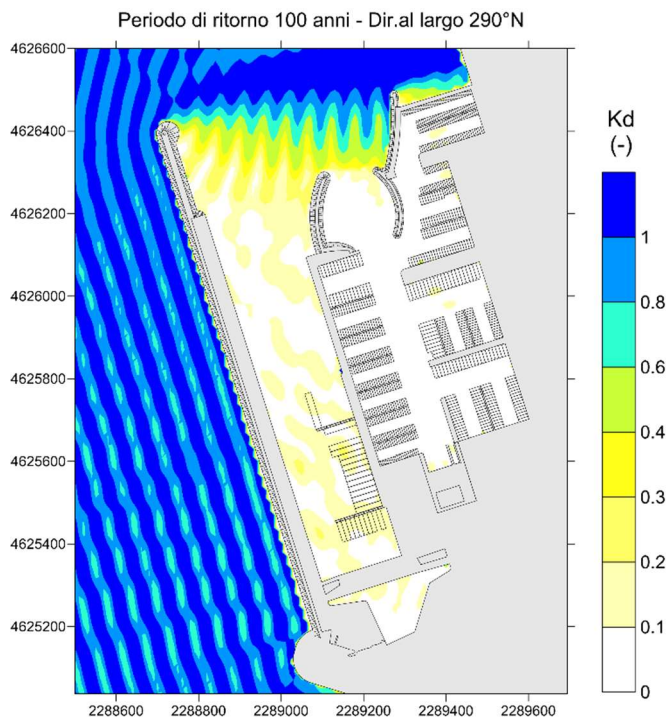


Figura 4.9: Agitazione Ondosa Residue Indotta dall'Onda Estrema dei 100 Anni Proveniente al Largo da 290°N

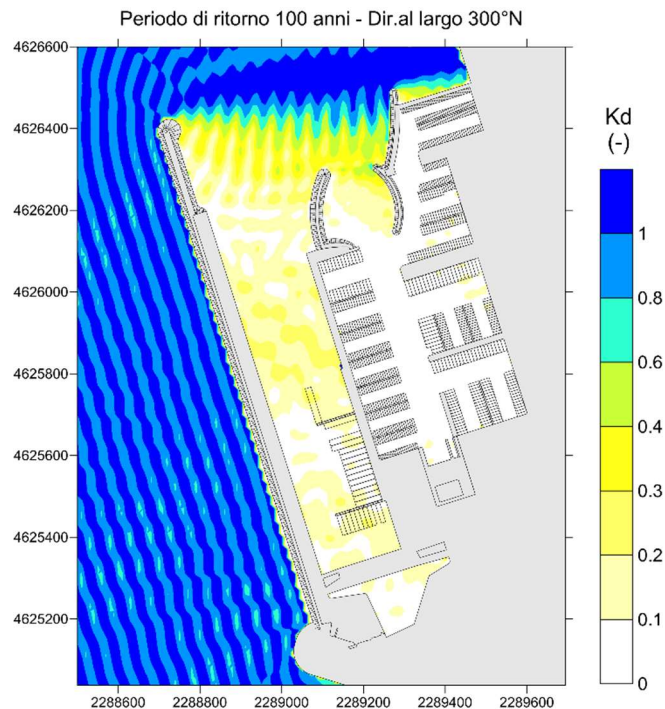


Figura 4.10: Agitazione Ondosa Residua Indotta dall'Onda Estrema dei 100 Anni Proveniente al Largo da 300°N

### 4.3 ANALISI CRITICA DEI RISULTATI

Dall'analisi delle figure si nota che le onde provenienti dal largo con direzione di provenienza di 280 e 290°N penetrano all'interno del bacino in misura minore rispetto alle onde da 300°N, che essendo anche caratterizzate da periodi significativi minori, inducono un'agitazione ondosa residua più elevata. Va sottolineato tuttavia che onde provenienti da 300°N, come riportato nello studio MM08 [1], sono poco frequenti e caratterizzate da contenute altezze d'onda.

In generale si osserva che benché l'imboccatura del porto sia caratterizzata ancora da un'agitazione residua piuttosto elevata, il bacino dedicato all'attracco delle navi da crociera, l'imboccatura della marina (caratterizzata da scogliere curve) e il bacino della marina presentano un moto ondoso fortemente ridotto.

In Figura 4.11 sono indicate le aree di analisi dei risultati suddivise come riportato nel seguito:

- ✓ Area A: zona dell'imboccatura portuale e in particolare dell'imboccatura del bacino dedicato all'attracco delle navi da crociera;
- ✓ Area B: zona del bacino dedicato all'attracco delle navi da crociera;
- ✓ Area C: zona dell'imboccatura della marina;
- ✓ Area D: zona del primo bacino della marina più soggetto alla penetrazione delle onde dal largo;
- ✓ Area E: zona del secondo bacino della marina;
- ✓ Area F: zona del terzo bacino della marina.

I risultati sono stati presentati anche in termini quantitativi in Tabella 4.1 e in Tabella 4.2. Le tabelle riportano le onde incidenti, in termini di altezza d'onda significativa e periodo significativo associato per ciascuna direzione indagata, e i risultati delle simulazioni (onda all'opera) in termini di coefficiente di diffrazione  $K_d$  (valore medio e massimo nell'area selezionata) e la corrispondente altezza d'onda diffratta  $H_d$ .



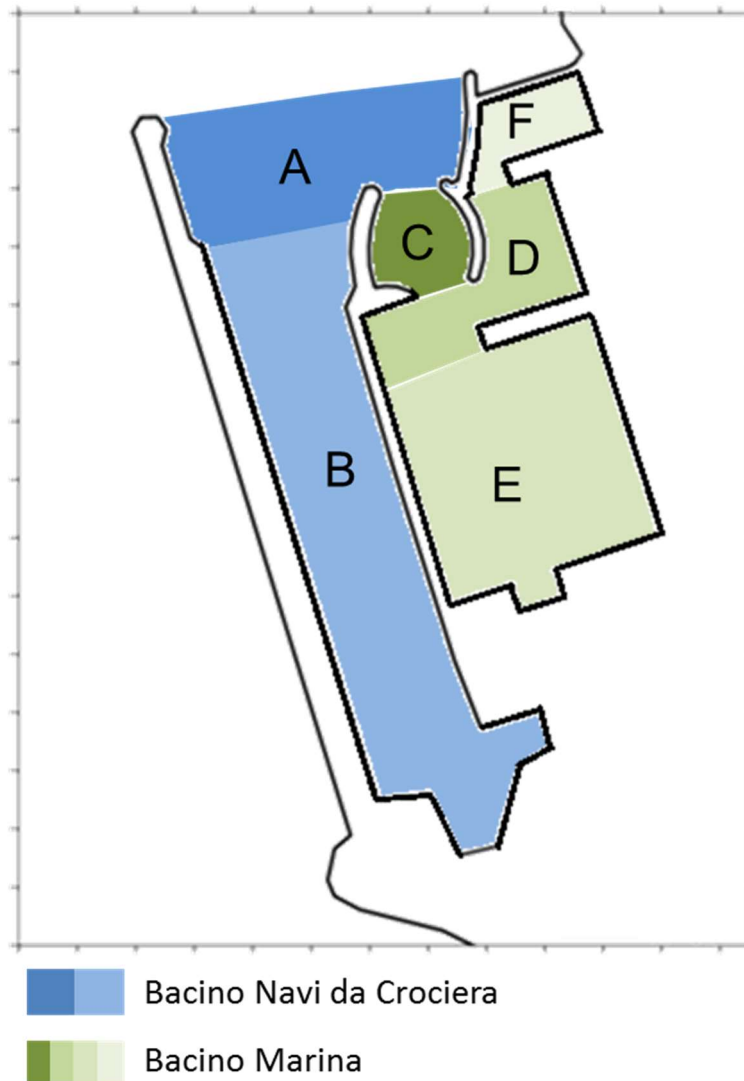


Figura 4.11: Suddivisione del Bacino Portuale ai Fini dell'Analisi dei Risultati

L'Area A, in corrispondenza dell'imboccatura del porto, è il settore caratterizzato dalle condizioni peggiori di agitazione ondosa. Le condizioni peggiori in termini di coefficiente di diffrazione si osservano per le onde provenienti da  $300^{\circ}\text{N}$ , quelle che penetrano maggiormente all'interno del porto, che sono però caratterizzate da altezze d'onda ridotte. Le onde provenienti da  $280^{\circ}$  e  $290^{\circ}\text{N}$  presentano valori di coefficiente di diffrazione inferiori, ma essendo caratterizzati da valori di altezza d'onda elevati, le risultanti altezze d'onda locale, per queste onde, risultano essere le più elevate. I valori medi dell'altezza d'onda residua nell'area A sono pari a 1.7 m, 2.1 m e 2.2 m (rispettivamente per i periodi di ritorno di 2, 10 e 100 anni), mentre i valori massimi che si ritrovano localmente nell'area più esposta, sono poco inferiori all'altezza d'onda all'imboccatura esterna del porto.

L'Area B, che corrisponde al bacino dedicato all'attracco delle navi da crociera e dei grandi yacht, presenta valori medi di coefficiente di diffrazione di 0.1. I valori peggiori di altezza d'onda residua media sono pari a 0.4 m, 0.5 m e 0.7 m (rispettivamente per i periodi di ritorno di 2, 10 e 100 anni). Come evidente dalle figure, le onde più alte si verificano solo localmente in prossimità dell'Area A.

L'Area C, che corrisponde all'imboccatura della marina, limitata da due scogliere curve, presenta valori medi di coefficiente di diffrazione di 0.1 per tutti i periodi di ritorno considerati a cui corrispondono valori d'altezza d'onda residua media pari a circa 0.4, 0.5 e 0.7 m (rispettivamente per i periodi di ritorno di 2, 10 e 100 anni). I valori

Studio di Agitazione del Moto Ondoso

peggiori di altezza d'onda residua massima che si ritrovano solo localmente nell'area più vicina all'area A, sono inferiori a 1.4 m (periodo di ritorno centennale).

L'Area D, E ed F, che corrispondono ai vari bacini in cui è suddivisa la marina, presentano valori medi di coefficiente di diffrazione minori di 0.1 (situazione di calma per tutti i periodi di ritorno e le direzioni di provenienza considerate).

Si noti che in Tabella 4.2 i valori massimi di altezza d'onda residua all'interno delle aree analizzate si verificano in zone circoscritte e non sono omogeneamente distribuiti nelle aree di riferimento.

Infine, si ritiene opportuno sottolineare alcuni aspetti che, se trascurati, possono portare ad erranee interpretazioni dei risultati:

- ✓ le isolinee presentate nei grafici si riferiscono ai valori di coefficiente di diffrazione così come calcolati dal modello: non sono cioè stati effettuati "smoothing" di nessun tipo sui grafici presentati. Tale scelta è giustificata dal fatto che si è preferito mostrare risultati oggettivi, non influenzati in alcun modo da interpolazioni soggettive. E' ovvio che in mare esiste uno smussamento naturale, e non esistono "gradini" tra i vari punti di calcolo del reticolo;
- ✓ si evidenzia, infine, che tutti i risultati qui presentati sono da considerarsi cautelativi, in quanto il modello non tiene debitamente conto dell'attrito al fondo, che avrebbe l'effetto di smorzare l'onda che propaga all'interno del bacino portuale.

**Tabella 4.1: Risultati Agitazione Ondosa – Valori Medi**

Valori medi																
Area di Analisi	Periodo di Ritorno 2 anni					Periodo di Ritorno 10 anni					Periodo di Ritorno 100 anni					
	Onda al largo			Onda nel bacino		Onda al largo			Onda nel bacino		Onda al largo			Onda nel bacino		
	Hs (m)	Ts (s)	Dir. (°N)	Kd (-)	Hd (m)	Hs (m)	Ts (s)	Dir. (°N)	Kd (-)	Hd (m)	Hs (m)	Ts (s)	Dir. (°N)	Kd (-)	Hd (m)	
Bacino Crociere	A	3.80	8.0	280	0.3	1.1	5.20	10.3	280	0.4	2.1	7.00	12.0	280	0.3	2.1
		3.40	8.3	290	0.5	1.7	4.20	9.3	290	0.4	1.7	5.40	10.4	290	0.4	2.2
		1.80	6.1	300	0.7	1.3	2.80	7.6	300	0.5	1.4	4.00	9.0	300	0.4	1.6
	B	3.80	8.0	280	0.1	0.4	5.20	10.3	280	0.1	0.5	7.00	12.0	280	0.1	0.7
		3.40	8.3	290	0.1	0.3	4.20	9.3	290	0.1	0.4	5.40	10.4	290	0.1	0.5
		1.80	6.1	300	0.1	0.2	2.80	7.6	300	0.1	0.3	4.00	9.0	300	0.1	0.4
	C	3.80	8.0	280	0.1	0.4	5.20	10.3	280	0.1	0.5	7.00	12.0	280	0.1	0.7
		3.40	8.3	290	0.1	0.3	4.20	9.3	290	0.1	0.4	5.40	10.4	290	0.1	0.5
		1.80	6.1	300	0.1	0.2	2.80	7.6	300	0.1	0.3	4.00	9.0	300	0.1	0.4
Bacino Marina	D	3.80	8.0	280	0.1	0.4	5.20	10.3	280	<0.1	<0.5	7.00	12.0	280	<0.1	<0.7
		3.40	8.3	290	0.1	0.3	4.20	9.3	290	0.1	0.4	5.40	10.4	290	<0.1	<0.5
		1.80	6.1	300	0.1	0.2	2.80	7.6	300	0.1	0.3	4.00	9.0	300	<0.1	<0.4
	E	3.80	8.0	280	<0.1	<0.4	5.20	10.3	280	<0.1	<0.5	7.00	12.0	280	<0.1	<0.7
		3.40	8.3	290	<0.1	<0.3	4.20	9.3	290	<0.1	<0.4	5.40	10.4	290	<0.1	<0.5
		1.80	6.1	300	0.1	0.2	2.80	7.6	300	<0.1	<0.3	4.00	9.0	300	<0.1	<0.4
	F	3.80	8.0	280	<0.1	<0.4	5.20	10.3	280	0.1	0.5	7.00	12.0	280	<0.1	<0.7
		3.40	8.3	290	0.1	0.3	4.20	9.3	290	<0.1	<0.4	5.40	10.4	290	0.1	0.5
		1.80	6.1	300	0.1	0.2	2.80	7.6	300	0.1	0.3	4.00	9.0	300	<0.1	<0.4

Tabella 4.2: Risultati Agitazione Ondosa – Valori Massimi

Valori massimi																
Area di Analisi		Periodo di Ritorno 2 anni					Periodo di Ritorno 10 anni					Periodo di Ritorno 100 anni				
		Onda al largo			Onda nel bacino		Onda al largo			Onda nel bacino		Onda al largo			Onda nel bacino	
		Hs (m)	Ts (s)	Dir. (°N)	Kd (-)	Hd (m)	Hs (m)	Ts (s)	Dir. (°N)	Kd (-)	Hd (m)	Hs (m)	Ts (s)	Dir. (°N)	Kd (-)	Hd (m)
Bacino Crociere	A	3.80	8.0	280	0.8	3.0	5.20	10.3	280	0.8	4.2	7.00	12.0	280	0.6	4.2
		3.40	8.3	290	1.0	3.4	4.20	9.3	290	1.0	4.2	5.40	10.4	290	0.9	4.9
		1.80	6.1	300	1.0	1.8	2.80	7.6	300	1.0	2.8	4.00	9.0	300	1.0	4.0
	B	3.80	8.0	280	0.2	0.8	5.20	10.3	280	0.2	1.0	7.00	12.0	280	0.2	1.4
		3.40	8.3	290	0.2	0.7	4.20	9.3	290	0.2	0.8	5.40	10.4	290	0.2	1.1
		1.80	6.1	300	0.4	0.7	2.80	7.6	300	0.3	0.8	4.00	9.0	300	0.3	1.2
	C	3.80	8.0	280	0.1	0.4	5.20	10.3	280	0.1	0.5	7.00	12.0	280	0.2	1.4
		3.40	8.3	290	0.2	0.7	4.20	9.3	290	0.2	0.8	5.40	10.4	290	0.2	1.1
		1.80	6.1	300	0.4	0.7	2.80	7.6	300	0.3	0.8	4.00	9.0	300	0.4	1.6
Bacino Marina	D	3.80	8.0	280	0.1	0.4	5.20	10.3	280	0.1	0.5	7.00	12.0	280	0.1	0.7
		3.40	8.3	290	0.1	0.3	4.20	9.3	290	0.1	0.4	5.40	10.4	290	0.1	0.5
		1.80	6.1	300	0.1	0.2	2.80	7.6	300	0.1	0.3	4.00	9.0	300	0.1	0.4
	E	3.80	8.0	280	0.1	0.4	5.20	10.3	280	0.1	0.5	7.00	12.0	280	0.1	0.7
		3.40	8.3	290	0.1	0.3	4.20	9.3	290	0.1	0.4	5.40	10.4	290	0.1	0.5
		1.80	6.1	300	0.1	0.2	2.80	7.6	300	0.1	0.3	4.00	9.0	300	0.1	0.4
	F	3.80	8.0	280	0.1	0.4	5.20	10.3	280	0.1	0.5	7.00	12.0	280	<0.1	<0.7
		3.40	8.3	290	0.1	0.3	4.20	9.3	290	0.1	0.4	5.40	10.4	290	0.1	0.5
		1.80	6.1	300	0.1	0.2	2.80	7.6	300	0.1	0.3	4.00	9.0	300	0.1	0.4

## 5 CONCLUSIONI

Nell'ambito del progetto di fattibilità di ampliamento/modifica dei moli del Porto della Concordia a Isola Sacra (Fiumicino) è stato effettuato lo studio dell'agitazione residua interna al bacino, al fine di individuare le condizioni di tranquillità delle acque interne.

Lo studio è stato effettuato applicando il modello numerico PORTOS, capace di riprodurre i principali processi connessi con l'interazione tra onde incidenti e strutture portuali, assumendo in input le peggiori mareggiate estreme selezionate dallo studio Meteomarino a disposizione.

I periodi di ritorno considerati permettono di quantificare il grado di agitazione ondosa all'interno del porto in condizioni tipiche (2 anni e 10 anni) ed estreme (100 anni). Le direzioni di provenienza delle onde considerate (280, 290 e 300°N) sono le direzioni che possono penetrare maggiormente all'interno del porto.

I risultati, mostrati sia in forma grafica che tabellare, hanno evidenziato che il bacino dedicato all'attracco delle navi da crociera, l'imboccatura della marina (caratterizzata da scogliere curve) e il bacino della marina presentano un moto ondoso locale fortemente ridotto.

Si è scelto di estrapolare i valori medi e massimi dell'altezza d'onda locale all'interno di 6 aree selezionate in modo da caratterizzare ogni porzione del Porto della Concordia. Le zone individuano pertanto le caratteristiche:

- ✓ dell'imboccatura portuale e in particolare dell'imboccatura del bacino dedicato all'attracco delle navi da crociera (A);
- ✓ del bacino dedicato all'attracco delle navi da crociera (B);
- ✓ dell'imboccatura della marina (C);
- ✓ del primo bacino della marina più soggetto alla penetrazione delle onde dal largo (D);
- ✓ del secondo bacino della marina (E);
- ✓ del terzo bacino della marina (F).

Per quanto riguarda il bacino dedicato all'attracco delle navi da crociera (Aree A e B in Figura 4.11), l'agitazione ondosa in prossimità dell'imboccatura portuale è ovviamente l'area caratterizzata dalle condizioni peggiori di agitazione ondosa con valori medi dell'altezza d'onda residua pari a 1.7 m, 2.1 m e 2.2 m (rispettivamente per i periodi di ritorno di 2, 10 e 100 anni), mentre all'interno del bacino nella zona di attracco delle navi da crociera, i valori peggiori di altezza d'onda residua media sono pari a 0.4 m, 0.5 m e 0.7 m (rispettivamente per i periodi di ritorno di 2, 10 e 100 anni).

Per quanto riguarda la marina (Aree C, D, E e F in Figura 4.11) l'agitazione residua in prossimità dell'imboccatura è piuttosto modesta con valori di altezza d'onda residua media pari a circa 0.4-0.7 m per tutti i periodi di ritorno considerati. All'interno del bacino l'agitazione ondosa è pressoché nulla.

Concludendo, i risultati ottenuti col presente studio sono da ritenere validi esclusivamente per la fase di fattibilità del progetto. Per le fasi successive del progetto si sottolinea la necessità di revisionare il presente studio, che dovrà essere basato su dati meteo marini aggiornati, maggiormente rappresentativi delle condizioni meteo marine locali, ottenuti per mezzo di modellistica numerica allo stato dell'arte.

MFI/ETE/OZ: tds

## RIFERIMENTI

- [1] INT-1-OM-INF-REL-00-00-01, 2008, Relazione Idraulica-Marittima: Studio del Moto Ondoso al Largo e Sottocosta - Porto Turistico di Fiumicino in Località Isola Sacra - Progetto Definitivo
- [2] Tav. S\_p\_T\_plm\_001\_Layout Opere Marittime.

## Appendice A

### Modello Portos

TpTreI006\_a\_Studio di Agitazione del Moto  
Ondoso

## MODELLO PORTOS

# MODELLO NUMERICO PER LA SIMULAZIONE DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'ESTERNO E ALL'INTERNO DI UN BACINO PORTUALE E NEI PRESSI DI STRUTTURE MARINE ANCHE COMPLESSE

## A.1 INTRODUZIONE

La progettazione di una struttura marina richiede la conoscenza delle forze che l'ambiente esercita sulla stessa, in particolare le azioni idrodinamiche dovute al moto ondoso.

La difficoltà del calcolo di queste azioni è collegata al fatto che la presenza delle strutture modifica il campo imperturbato. Questa mutua interazione tra ambiente marino e strutture immerse può essere opportunamente modellizzata ipotizzando che la struttura sia un corpo rigido che perturba il campo di velocità incidente con fenomeni di diffrazione e di riflessione.

Mediante opportune ipotesi sulla geometria del volume liquido da esaminare e sulla natura del fluido, è possibile impiegare, per la risoluzione del problema descritto, modelli numerici particolarmente efficienti ed efficaci, in domini di estensione illimitata (mare aperto), utilizzando la tecnica dei "boundary elements".

L'uso di questa tecnica consente di affrontare problemi anche complessi con medie e/o modeste risorse computazionali.

## A.2 EQUAZIONI

Il modello matematico si basa sull'integrazione delle equazioni di Navier-Stokes nelle ipotesi:

- ✓ fluido incomprimibile e privo di viscosità;
- ✓ campo di velocità irrotazionale.

Con tali ipotesi è possibile introdurre una funzione potenziale  $\phi$ , detta potenziale di velocità, il cui gradiente rappresenta in ogni punto il vettore velocità del fluido, in modo tale che le equazioni di Navier-Stokes si riducono alle equazioni di conservazione della massa in condizioni stazionarie, ovvero:

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad [1]$$

Tale equazione deve essere integrata nel dominio occupato dal fluido, tridimensionale ed illimitato.

Sui contorni del dominio al finito (detto  $\Gamma$  il contorno) deve essere soddisfatta la condizione:

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} - iK\alpha\phi \Big|_{\Gamma} = 0 \quad [2]$$

essendo:

$i$	=	unità immaginaria;
$n$	=	la normale uscente dal dominio;
$K$	=	il numero d'onda, funzione del periodo dell'onda incidente e della profondità del mare ( $=2\pi/L$ , dove $L$ è la lunghezza d'onda);
$\alpha$	=	il coefficiente di assorbimento delle pareti che costituiscono il contorno ( $\alpha=0$ per pareti completamente riflettenti, $\alpha=1$ per pareti totalmente assorbenti, $0<\alpha<1$ per pareti parzialmente riflettenti).

Una semplificazione si ottiene se il fondale è di profondità costante ovunque e le pareti che costituiscono il contorno sono verticali.

La prima condizione (profondità costante) permette di calcolare il potenziale di velocità dell'onda incidente (imperturbata in assenza di ostacoli) nella forma:

$$\phi^{(i)} = \frac{Hg}{2iw} e^{i(K\tau.r - wt)} \frac{\cosh K(z+h)}{\cosh Kh} \quad [3]$$

essendo:

H l'altezza dell'onda;

$w = 2\pi/T$  la pulsazione (T periodo);

g l'accelerazione di gravità;

$\tau$  il versore di propagazione dell'onda;

r un punto qualsiasi del piano orizzontale di componenti x,y;

z le coordinate verticali, variabili nell'intervallo - h

(fondo del mare), 0 (superficie libera).

Nel caso di onde di piccola ampiezza le due condizioni, cinematica e dinamica (teorema di Bernoulli in condizioni dinamiche), si traducono nel soddisfacimento da parte di K della relazione di dispersione:

$$K \tanh(Kh) = w^2/g \quad [4]$$

La seconda condizione (pareti verticali) porta alla conclusione che il potenziale di velocità totale ha la stessa dipendenza da z (coordinate verticali) del potenziale incidente, ovvero si comporta come:

$$\frac{\cosh K(z+h)}{\cosh Kh}$$

Ciò consente di ricondurre il problema al calcolo del potenziale totale (incidente + diffratto) sulla superficie  $z=0$  (livello del mare).

Posti:

$$\phi^{(i)} = \phi^{(i)}(x,y) \frac{\cosh K(z+h)}{\cosh Kh} \text{ potenziale incidente}$$

$$\phi^{(D)} = \phi^{(D)}(x,y) \frac{\cosh K(z+h)}{\cosh Kh} \text{ potenziale diffratto}$$

$$\phi(x,y) = \phi^{(i)}(x,y) + \phi^{(D)}(x,y)$$

e determinata una soluzione fondamentale  $G(x,y/x_0,y_0)$  dell'equazione  $\nabla^2 U = \delta(x-x_0,y-y_0)$ , essendo  $\delta$  la distribuzione di Dirac, che soddisfi le condizioni di superficie libera, le equazioni sul fondo ( $\partial G/\partial z = 0$ ), e la condizione di irraggiamento (per  $r \rightarrow \infty$ ,  $r = \sqrt{x^2+y^2}$ ) si vede che  $\phi$  è la soluzione dell'equazione integrale sul contorno  $\Gamma$ :

$$\frac{1}{2} \phi(x_0, y_0) = \int_{\Gamma} \left( \frac{\partial G}{\partial n} \phi - G \frac{\partial \phi}{\partial n} \right) d\Gamma \quad [5]$$

che, risolta, fornisce il valore del potenziale totale di velocità sul contorno  $\phi^*$ .

Noto il potenziale di velocità sul contorno, quello in ogni altro punto del dominio è determinato da:

$$\phi = \int_{\Gamma} \left( \frac{\partial G}{\partial n} \phi^* - G \frac{\partial \phi^*}{\partial n} \right) d\Gamma \quad [6]$$



### A.3 METODOLOGIA DI CALCOLO

La schematizzazione consiste nel suddividere l'area portuale in esame in due domini: il primo esterno ("dominio dell'infinito") corrispondente al mare aperto, il secondo interno, corrispondente alla configurazione portuale ("dominio interno").

Il dominio interno alla rada,  $D_1$ , è limitato da pareti verticali e da un fondale costituito da una superficie la cui profondità  $h$  è costante.

Il dominio esterno alla rada,  $D_2$ , è rappresentato dal mare aperto, è delimitato dalla geometria della costa e si estende all'infinito. Il fondale ha la stessa profondità costante  $h$ . La superficie di separazione da  $D_1$  è costituita dall'imboccature della rada portuale e dalle strutture presenti nell'area.

Sia all'interno di  $D_1$  che in  $D_2$  possono essere inseriti ostacoli di forma qualsiasi, descritti mediante poligoni chiusi a pareti verticali.

L'onda progressiva incidente è approssimata da un'onda di Airy in acqua di profondità finita costante (dominio  $D_2$ ) di cui sono noti ampiezza, periodo, direzione di propagazione (riferita ad un sistema di riferimento fissato arbitrariamente).

Tale caratterizzazione del moto ondoso può essere estesa, su richiesta dell'utente, a trattare casi in cui è assegnata la densità spettrale di energia  $S(\omega, \theta)$ , di tipo JONSWAP, in funzione della pulsazione e della direzione.

Finalità del modello è la valutazione del coefficiente di amplificazione dell'onda, rapporto tra l'ampiezza dell'onda effettiva e quella incidente, in posizioni definite, qualsiasi, nei domini  $D_1$  e  $D_2$ .

I confini del modello, la rada portuale e le strutture principali vengono suddivise in tratti: ogni tratto viene a sua volta suddiviso in elementi ed in ogni elemento ("mesh-point") viene posizionata una "sorgente potenziale" che rappresenta una soluzione.

Viene quindi costruito e risolto un sistema di equazioni in campo complesso la cui soluzione consente di determinare il potenziale di velocità e quindi l'altezza dell'onda in ogni elemento in cui è stata suddivisa l'area.

La soluzione del sistema lineare complesso è effettuata mediante la triangolarizzazione di Gauss.

Successivamente vengono calcolate isolinee di altezza d'onda all'interno e all'esterno della rada portuale.

Su richiesta dell'utente è possibile aumentare la risoluzione di calcolo per punti di particolare importanza.

### A.4 PARAMETRI DI INPUT

Vanno forniti in input:

- ✓ la geometria del bacino;
- ✓ la geometria degli eventuali ostacoli presenti;
- ✓ la profondità del bacino costante;
- ✓ la direzione di incidenza dell'onda;
- ✓ altezza e periodo dell'onda monocromatica ( $\omega$ , in alternativa, lo spettro JONSWAP del moto ondoso).

### A.5 OUTPUT

Il modello fornisce in output:

- ✓ tabella contenente le coordinate dei punti di calcolo ed il valore del coefficiente di amplificazione;
- ✓ graficazione delle isolinee e della geometria portuale.