

PROGETTO DEFINITIVO MARINA DI MARSALA FUTURO PIANO REGOLATORE PORTUALE



Tav.

Stato Progetto **DEFINITIVO**

Rev.

Data **Apr. 2014**

Scala

MM

Descrizione

**Modello matematico dell'agitazione interna dell'area portuale
(configurazione di progetto)**

R.03

Committente

M.Y.R. Marsala Yachting Resort S.r.l.
Via Favara 452/c bis- T. +39 0923 722319

Marsala Yachting Resort

Capo Progetto e Marina Designer

Ing. Massimo Ombra

Ordine degli Ing. della Provincia di Trapani n°1046

Timbro e Firma



Progettisti

Coordinamento gruppo di progettazione:

Ing. Francesco Di Noto

Progettazione Architettonica:

Arch. Stefania Bacci

Progettazione Architettonica:

Itineralab Srl - Architetti Nuzzo

Ingegneria marittima / civile e studi ambientali:

Ing. Antonio D'Arrigo

Collaborazioni

Opere marittime:

Ing. Agostino La Rosa

Analisi strutturali e geotecniche:

Ing. Nicola Rustica

Impianti idrici:

Ing. Giovanni Berbiglia

Impianti elettrici e di illuminazione:

Ing. Pietro Inferrera / Ing. Massimo Brancatelli

Aspetti ambientali:

Ing. Domenico Mangano

Studi geologici e geotecnici:

Dott. Piero Merk Ricordi

REGIONE SICILIANA



COMUNE DI MARSALA

Provincia di Trapani



**PROGETTO DEFINITIVO MARINA DI MARSALA
FUTURO PIANO REGOLATORE PORTUALE**

Committente: M.Y.R. Marsala Yachting Resort S.r.l

**MODELLO MATEMATICO DI AGITAZIONE INTERNA
DELL'AREA PORTUALE (CONFIGURAZIONE DI PROGETTO)**

INDICE

1. GENERALITÀ	1
1.1. PREMESSA	1
2. ANALISI DEL MOTO ONDOSO FINALIZZATA ALLA VERIFICA DELL'AGITAZIONE INTERNA .2	2
2.1. APPROCCIO METODOLOGICO E MODELLO NUMERICO UTILIZZATO	2
2.2. SCELTA DELLE ONDE DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO	3
2.3. CARATTERIZZAZIONE DEGLI EVENTI ESTREMI	5
2.4. ANALISI DELLE ALTERNATIVE PROGETTUALI	8
2.5. COSTRUZIONE DEL MODELLO NUMERICO	12
2.5.1. <i>COSTRUZIONE DELLA BATIMETRIA DI CALCOLO</i>	12
2.5.2. <i>ONDE IN INGRESSO AL SISTEMA</i>	15
2.5.3. <i>PARAMETRI DI RIFLESSIONE E TRASMISSIONE</i>	17
2.5.4. <i>PERIODO DI SIMULAZIONE E PASSO DI INTEGRAZIONE</i>	18
3. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI	19
3.1. CONDIZIONI DI CONFORT	19
3.1.1. <i>IPOTESI 1</i>	19
3.1.2. <i>IPOTESI 2</i>	21
3.1.3. <i>IPOTESI 3</i>	23
3.1.4. <i>ANALISI STATISTICA DELL'AGITAZIONE INTERNA RESIDUA E VERIFICA DELLE CONDIZIONI DI COMFORT</i>	25
3.2. ANALISI DEGLI EVENTI CON TR = 5 ANNI	29
3.2.1. <i>IPOTESI 1</i>	29
3.2.2. <i>IPOTESI 2</i>	31
3.2.3. <i>IPOTESI 3</i>	33
3.3. ANALISI DEGLI EVENTI CON TR = 50 ANNI	36
3.3.1. <i>IPOTESI 1</i>	36
3.3.2. <i>IPOTESI 2</i>	38
3.3.3. <i>IPOTESI 3</i>	40
4. CONCLUSIONI.....	43

1. GENERALITÀ

1.1. PREMESSA

La presente relazione si riferisce allo studio di agitazione interna dell'area portuale nell'ambito del *“Progetto Definitivo Marina di Marsala futuro Piano Regolatore Portuale”*.

In particolare è stato analizzato il moto ondoso, mediante modellazione bidimensionale, al fine di determinare l'agitazione ondosa residua all'interno del bacino portuale nelle condizioni di progetto, in termini di altezza d'onda e di coefficienti di disturbo.

Nella Relazione Idraulico Marittima è stato studiato il regime dei venti al fine di determinare le direzioni e le intensità dei venti prevalenti e dominanti. Dai valori massimi per i vari settori di provenienza sono stati determinati i valori delle velocità del vento per i vari settori in funzione del tempo di ritorno. Determinati i fetchs efficaci, per le varie direzioni di provenienza, con il metodo SMB si sono determinate le altezze d'onda al largo in funzione di vari tempi di ritorno. I dati ottenuti con questo metodo, sono stati confrontati con i dati ottenuti dalle elaborazioni dirette del moto ondoso desunte dai dati del Medatlas e dai dati Apat relativi alla boa di Mazara del Vallo definendo infine dei dati di onda di progetto.

In particolare il passo fondamentale per effettuare l'analisi dell'agitazione residua all'interno del porto è costituito dall'analisi del clima ondoso ordinario e degli eventi estremi in prossimità dell'imboccatura portuale. A tal fine, sono stati estratti dal modello di propagazione del moto ondoso dal largo a sottocosta i dati relativi al clima ordinario ed agli eventi di mareggiata sopra soglia in un punto di coordinate (nel sistema di riferimento UTM33) pari a 4184295,5N 273833,5E, posto ad una profondità di circa 11m.

Nella presente relazione vengono esaminati i concetti relativi alle dinamiche di propagazione di differenti onde corte, caratteristiche del paraggio, all'interno del porto, volta a valutare le condizioni di agitazione residua nella configurazione di progetto.

Lo studio recepisce le prescrizioni dettate dall'Ufficio del Genio Civile di Trapani che nella Conferenza di servizi del 21.06.10 esprimeva il seguente parere:

“Si rileva inoltre che nella verifica delle agitazioni interne non vengono rispettate, nell'area diportista i valori della altezza d'onda significativa ammissibile nella condizione di "confort" riportati nelle "Raccomandazioni tecniche per la progettazione dei porti turistici della AIPCN-PIANC”.

2. ANALISI DEL MOTO ONDO SO FINALIZZATA ALLA VERIFICA DELL'AGITAZIONE INTERNA

2.1. APPROCCIO METODOLOGICO E MODELLO NUMERICO UTILIZZATO

Lo studio dell'agitazione interna ad un bacino portuale richiede un'analisi complessa e dettagliata di tutte le fenomenologie che caratterizzano la propagazione e la trasformazione del moto ondoso nell'area di studio. E' quindi necessario tenere conto di tutti i fenomeni principali quali rifrazione, *shoaling*, attrito con il fondo, frangimento, diffrazione e riflessione.

A tal fine, l'approccio mediante modello numerico risulta la scelta più idonea, dato l'elevato livello di affidabilità e robustezza raggiunto ad oggi dai codici di calcolo.

In particolare, per l'analisi dell'agitazione interna al porto è stato utilizzato il modulo BW (*Boussinesq Waves*) del codice di calcolo bidimensionale MIKE 21 del DHI che è sicuramente oggi il codice di calcolo più avanzato e completo per la simulazione di onde corte e lunghe in bacini portuali, darsene ed aree costiere in generale.

MIKE 21 BW è basato sulla soluzione numerica nel dominio del tempo delle equazioni di *Boussinesq* in due dimensioni attraverso uno schema implicito alle differenze finite. Le equazioni includono i termini non lineari e la dispersione in frequenza che è introdotta nelle equazioni del moto considerando gli effetti delle accelerazioni verticali sulla distribuzione di pressione. Le equazioni di *Boussinesq* sono risolte in riferimento ad una formulazione basata sul flusso con un miglioramento nella descrizione della dispersione lineare.

Queste equazioni di *Boussinesq* "estese" rendono il modello adatto alla simulazione di onde direzionali che viaggiano da acque profonde a basse. La profondità massima rappresentabile con le equazioni di *Boussinesq* estese è pari a circa mezza lunghezza d'onda, mentre con le equazioni classiche tale rapporto si riduce a 0.22.

Il modello è in grado di riprodurre l'effetto combinato della maggior parte dei fenomeni che intervengono nella propagazione del moto ondoso in aree costiere e nei porti. Questi includono: *shoaling*, rifrazione, diffrazione, attrito del fondo, frangimento, riflessione parziale e trasmissione di spettri d'onda (direzione e frequenza) che si propagano in batimetrie complesse.

MIKE 21 BW offre la possibilità di considerare la porosità delle strutture per la simulazione della riflessione parziale e la trasmissione attraverso pali o frangiflutti.

Inoltre è possibile applicare dei contorni assorbenti laddove sia necessario simulare l'assorbimento dell'energia dell'onda (ad esempio un contorno off-shore od una spiaggia).

L'immissione delle onde all'interno del dominio di calcolo può avvenire attraverso i contorni aperti o direttamente da linee di generazione interne.

Il principale campo di applicazione di MIKE 21 BW è l'analisi delle dinamiche del moto ondoso nei porti e nelle aree costiere in genere. L'output principale fornito da MIKE 21 BW è il campo di agitazione residua (*wave disturbance*), che è la variabile di riferimento più importante per la progettazione di un porto in fase di definizione del layout ottimale.

MIKE 21 BW è stato quindi implementato relativamente all'area del porto turistico di Marsala, in riferimento alla soluzione progettuale prescelta considerando 3 layouts che si differenziano leggermente gli uni dagli altri.

Date le finalità dello studio e la conformazione batimetrica dell'area, è risultato necessario utilizzare le equazioni di *Boussinesq* estese, che, pur richiedendo nella soluzione maggiori risorse computazionali, consentono di rappresentare correttamente la propagazione del moto ondoso anche su profondità elevate.

Date le profondità dei fondali relativamente alte, anche in relazione alle onde estreme considerate nell'analisi, non è necessario includere il fenomeno del frangimento, assumendo che tale fenomeno non possa condizionare in modo significativo la propagazione delle onde nell'area di interesse.

Per ogni simulazione è stato possibile definire l'altezza d'onda significativa risultante in tutti i punti della griglia di calcolo e valutarne il relativo coefficiente di disturbo, che rappresenta il parametro principale di riferimento per la definizione dell'agitazione residua.

2.2. SCELTA DELLE ONDE DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO

La definizione delle onde di riferimento per le simulazioni è stata condotta nell'ottica di verificare, con il modello numerico, la rispondenza della soluzione progettuale alle indicazioni fornite dal PIANC-AIPCN, Associazione Internazionale di Navigazione, ai fini del controllo delle agitazioni degli specchi acquei protetti a servizio della nautica da diporto.

In particolare, il PIANC raccomanda le seguenti altezze d'onda significativa all'interno del porto:

- condizione di “comfort”, particolarmente importante nel caso di porti in cui si preveda la presenza prolungata di persone a bordo delle imbarcazioni: $H_s = 0.15$ m per eventi con frequenza massima complessiva indicativamente non superiori a 5 giorni all’anno;
- condizione di “sicurezza”: $H_s = 0.30$ metri per eventi con periodo di ritorno indicativamente non inferiore a 5 anni;
- condizione "limite": $H_s = 0.50$ m per eventi con periodo di ritorno indicativamente non inferiore a 50 anni.

La verifica relativa alla condizione di “comfort” è stata condotta selezionando 3 onde, una per ogni settore di traversia significativo per il paraggio in esame, a partire dal clima annuale al largo del bacino portuale, definito nell’ambito dello studio idraulico marittimo del progetto definitivo e riportato, per semplicità di lettura, nella successiva Tabella 1.

DIR.	H_s (m)	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	3.1	3.3	3.5	3.7	3.9	4.1	4.3	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	6.1	6.3	6.5	6.7		
5	1544	121	100	102	83	77	36	37	26	14	11	8	5	8	8	4	3	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15		105	95	92	68	53	26	29	25	15	11	10	1	7	8	0	2	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
25		104	77	73	59	53	23	21	24	12	13	15	5	4	4	5	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
35		75	79	71	55	54	41	30	21	14	19	16	11	2	3	2	4	2	3	3	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
45		72	72	66	55	50	21	25	21	17	12	6	8	6	4	1	4	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
55		94	80	49	40	28	23	24	14	9	8	10	4	0	4	1	0	1	2	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
65		100	86	75	48	44	32	32	24	19	10	5	4	6	0	2	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
75		90	79	44	49	36	27	12	9	8	10	11	3	6	4	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
85		107	94	65	65	53	43	36	10	15	11	6	5	6	4	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
95		126	91	94	74	50	60	27	16	23	16	6	6	3	2	2	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
105		166	127	90	95	55	39	31	19	20	16	6	8	3	4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
115		261	243	230	130	57	68	68	34	23	8	10	14	5	4	1	3	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
125		456	552	534	540	472	364	325	200	154	102	97	91	60	43	50	20	20	6	6	2	8	8	6	2	8	2	3	0	0	0	0	0	0		
135		587	742	851	925	916	665	504	524	240	207	157	126	55	68	53	28	24	12	13	9	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
145		702	986	1007	841	616	504	361	293	142	122	89	57	14	36	18	12	6	2	3	1	0	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
155		725	939	839	573	377	224	184	147	68	44	33	15	6	9	7	6	1	2	3	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
165		790	786	598	393	227	170	135	102	51	28	12	11	7	7	5	5	4	1	3	9	4	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
175		714	675	450	315	158	168	88	94	33	26	23	13	8	7	5	3	1	2	2	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
185		624	550	343	218	196	127	109	95	27	25	15	7	9	7	8	5	5	4	2	0	2	0	2	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
195		631	444	287	180	144	125	78	72	38	35	16	17	16	14	9	4	6	2	2	0	1	0	3	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	
205		606	355	266	193	128	91	77	64	23	28	18	15	10	9	18	9	2	1	0	0	0	1	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
215		634	343	202	147	102	79	88	47	32	23	17	16	10	17	11	9	5	1	2	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
225		246	229	140	104	70	55	43	38	33	25	19	11	11	10	8	1	4	5	6	2	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
235		300	282	150	84	67	58	68	22	34	17	16	11	14	7	8	6	4	5	8	5	3	1	1	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
245		576	318	217	134	121	62	77	36	28	20	19	10	6	9	5	7	3	2	2	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
255		703	449	333	207	124	154	106	105	68	50	41	29	30	8	15	10	4	5	5	2	2	2	3	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
265		935	850	750	629	510	411	307	297	179	153	123	91	56	52	47	29	20	15	8	10	9	10	5	6	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
275		1654	1627	1635	1475	1371	1075	1106	648	594	465	383	234	197	146	124	104	70	64	37	25	22	38	25	20	9	7	4	6	0	2	0	1	0		
285		1273	1854	1800	1696	1518	1353	1088	1169	559	528	397	335	166	199	137	100	100	64	49	56	21	16	30	21	24	4	9	4	3	1	0	2	1		
295		1128	1164	1017	834	655	502	382	337	187	162	91	89	49	42	41	29	14	8	6	1	5	5	6	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0		
305		857	1009	713	419	360	274	184	183	80	88	70	51	19	17	9	11	4	4	2	2	1	3	1	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
315		473	805	577	288	177	131	85	56	30	28	22	16	10	12	6	5	4	4	2	1	2	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
325		233	374	347	189	109	66	46	26	18	21	14	14	6	7	5	9	0	3	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
335		148	149	138	89	69	44	30	32	14	23	11	12	10	2	2	2	2	2	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
345		111	113	122	78	75	54	29	16	13	23	9	8	7	8	4	3	3	3	2	0	2	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	
355		100	116	119	79	99	43	25	26	5	15	15	9	12	6	5	4	2	2	1	1	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabella 1 – Distribuzione percentuale annuale per classi di H_s e direzione di provenienza degli eventi di moto ondoso rilevati dalla boa RON di Mazara del Vallo

In particolare, le 3 onde sono state selezionate dopo aver estratto il clima ondoso sottocosta, in termini di altezza significativa, sulla base delle seguenti caratteristiche:

- frequenza di accadimento nell’ordine di qualche giorno all’anno, tale da risultare significativa per la verifica della condizione di comfort (5 giorni all’anno);
- altezza significativa tale da determinare, all’interno del bacino, valori di altezza residua significativi per la verifica della condizione di comfort ($H_s = 0.15$ m);

- altezza significativa tale da poter assumere il coefficiente di disturbo, risultante dalla simulazione, valido per un più ampio insieme di altezze d'onda, a pari direzione, significative per l'analisi in atto.

Su queste basi, l'analisi relativa alle condizioni di comfort è stata condotta in riferimento alle 3 onde riportate nella seguente .

Onda	Hs (m)	Tm (s)	Tp (s)	MWD (°N)
1	1.5	4.2	5.0	195
2	1.3	3.9	4.6	225
3	2.5	5.4	6.5	255

Tabella 2 - Onde di riferimento per la verifica delle condizioni di comfort.

2.3. CARATTERIZZAZIONE DEGLI EVENTI ESTREMI

L'analisi degli eventi estremi è finalizzata alla stima dell'altezza d'onda significativa per diversi settori di provenienza, caratterizzata da tempi di ritorno indicativamente uguali o superiori ad un anno, in corrispondenza del nuovo porto turistico di Marsala.

In primo luogo si è individuato il paraggio interessato dal tratto di costa in esame e si è verificato che esso si estende da 160° N a 340° N. lo stesso è limitato a Nord dall'estrema punta occidentale dell'isola denominato Capo Lilibeo, e a Sud-Sud-Est da Torre Scibiliana nel comune di Petrosino.

L'ampiezza complessiva del paraggio è pari a 180°. Il fetch geografico relativo al paraggio in esame fa capire la notevole esposizione del sito oggetto di studio, proprio per la sua particolare orografia. Infatti la posizione prossima a Capo Lilibeo, estrema punta occidentale della Sicilia, fa sì che il sito abbia un'esposizione che va da Genova fino alla cittadina di Al-Khums in Libia, anticamente Leptis Magna, passando per la costa del Sole e Gibilterra.

Nello Studio Idraulico Marittimo si sono studiati i venti che soffiano all'interno della zona di generazione del moto ondoso. A questo scopo si sono utilizzati i dati riportati nel *Wind and Wave Atlas of the Mediterranean Sea* – Aprile 2004.

In particolare si è fatto riferimento ai dati MedAtlas corrispondenti alla stazione identificata dalle coordinate 38°N, 12°E. In particolare si evince che i venti dominanti provengono con maggiore frequenza da Ponente e da Libeccio e con minore frequenza da Nord e Ostro. I venti con alta frequenza, ma non classificabili regnanti, risultano provenire da tutto il paraggio interessato con picchi in corrispondenza di Ponente e Mezzogiorno Libeccio.

La seconda via adottata per il calcolo del moto ondoso al largo relativo al paraggio in

esame ha fatto riferimento ai dati di moto ondoso desunti dallo stesso atlante MedAtlas, rilevando che il moto ondoso con maggiore frequenza ma con una bassa altezza d'onda proviene da Ponente e da Scirocco. Le onde di altezza H_s superiore a 3,00 m provengono da NN-O, S e SS-E.

Inoltre si sono analizzati i valori degli eventi di moto ondoso rilevati dall'APAT (Boa RON Mazara del Vallo LAT. 37°31'05"N LON. 12°32'E). Anche qui, in accordo con le elaborazioni descritte sopra, la direzione di provenienza del moto ondoso di maggiore frequenza e bassa intensità risulta da Ponente e da Libeccio mentre il moto ondoso di maggiore intensità superiore a 3 m di altezza d'onda proviene da Maestrale-Ponente e da Libeccio-Mezzogiorno.

L'individuazione del settore geografico di traversia che sottende il paraggio in esame è stato eseguito sulle carte dell'Istituto Idrografico della Marina ed esso risulta compreso nelle direzioni 160° N e 340° N. Si sono ricavate quindi le distanze di mare libero per le varie direzioni suddividendo il settore geografico di traversia in angoli di 5°.

Per la previsione del moto ondoso al largo si è utilizzato il metodo di Sverdrup-Munch e Bretshneider (SMB) con il quale è stato possibile ricavare l'altezza H_s e il periodo di picco T_p per ogni valore del fetch F , della velocità del vento V , della durata t in funzione del tempo di ritorno T_r .

Si sono considerati i settori compresi tra l'11 e il 23 e per ognuno di essi si sono considerate le velocità del vento in funzione ai tempi di ritorno $T_r = 5, 10, 50, 100, 120$ anni.

Per definire il clima ondoso nelle condizioni estreme si sono verificate tutte le fonti di dati reperibili per la zona in esame.

Sono dunque stati presi in considerazione innanzitutto i dati di vento e di onda riportati nel *Wind and Wave Atlas of the Mediterranean Sea* – Aprile 2004 per ogni zona del Mediterraneo. I dati di interesse si riferiscono al punto di rilevamento individuato da 38° di latitudine Nord e 12° di longitudine Est.

Sono stati inoltre presi in considerazione i dati di onda provenienti dalla stazione RON di Mazara del Vallo, individuata dalle coordinate 37°31'05"N e 12°32'00"E (dati ISPRA), situata anch'essa in un'area piuttosto prossima a quella oggetto dell'intervento e quindi idonea a descriverne con buona accuratezza la previsione di moto ondoso.

Una volta ottenute le onde rispettivamente dai dati MEDATLAS ed APAT, è stata eseguita la opportuna "trasposizione" geografica.

È importante notare come i coefficienti di trasposizione dell'onda e del periodo, sia per Medatlas che per Apat, sono prossimi all'unità, il che comporta una forte compatibilità tra le stazione di misura scelte e il sito oggetto di studio.

I risultati dell'elaborazione di cui sopra, in termini di altezza d'onda significativa e direzione di provenienza, sono stati in seguito processati al fine di permettere una caratterizzazione statistica degli eventi estremi attesi in corrispondenza dell'area di studio.

Come onde di progetto, per quello detto sopra e soprattutto per quanto riportato in maniera esaustiva nello studio idraulico marittimo, si prendono i valori massimi tra le diverse elaborazioni per ogni settore e per ogni tempo di ritorno. Le onde di progetto a largo sono riportate nell'ultimo riquadro della Tabella 3.

RIEPILOGO ELABORAZIONI SUI DATI DI VENTO E DI MARE																					
Sett.	Fattori distrib.	SMB - DATI MEDATLAS					DATI DI ONDA MEDATLAS					DATI DI ONDA APAT					ONDE DI PROGETTO				
		Tr = 5	Tr = 10	Tr = 50	Tr = 100	Tr = 120	Tr = 5	Tr = 10	Tr = 50	Tr = 100	Tr = 120	Tr = 5	Tr = 10	Tr = 50	Tr = 100	Tr = 120	Tr = 5	Tr = 10	Tr = 50	Tr = 100	Tr = 120
11	Hs (ml)	3,40	3,78	4,80	5,35	5,57	3,43	3,86	4,91	5,39	5,52	4,34	4,81	5,95	6,46	6,60	4,34	4,81	5,95	6,46	6,60
	T (s)	6,64	6,88	7,51	7,85	7,99	7,56	8,03	9,09	9,53	9,65	8,48	8,94	9,98	10,41	10,52	8,48	8,94	9,98	10,41	10,52
12	Hs (ml)	3,44	4,02	4,91	5,36	5,58	3,54	3,96	5,02	5,49	5,62	4,79	5,40	6,89	7,56	7,74	4,79	5,40	6,89	7,56	7,74
	T (s)	6,78	7,24	7,74	7,97	8,13	7,67	8,13	9,18	9,61	9,72	8,97	9,54	10,81	11,34	11,47	8,97	9,54	10,81	11,34	11,47
13	Hs (ml)	3,52	4,08	4,92	5,60	5,59	3,52	3,97	5,06	5,56	5,69	4,77	5,38	6,86	7,53	7,71	4,77	5,38	6,86	7,53	7,71
	T (s)	6,93	7,35	7,78	8,21	8,16	7,73	8,22	9,32	9,77	9,89	9,01	9,58	10,85	11,38	11,52	9,01	9,58	10,85	11,38	11,52
14	Hs (ml)	2,58	2,82	3,64	3,96	4,07	2,53	2,86	3,67	4,04	4,13	4,71	5,30	6,74	7,39	7,57	4,71	5,30	6,74	7,39	7,57
	T (s)	5,99	6,13	6,72	6,90	6,98	6,57	7,00	7,95	8,35	8,46	8,99	9,55	10,81	11,33	11,47	8,99	9,55	10,81	11,33	11,47
15	Hs (ml)	2,52	2,87	3,70	4,10	4,29	2,50	2,86	3,75	4,15	4,26	4,69	5,29	6,74	7,40	7,57	4,69	5,29	6,74	7,40	7,57
	T (s)	6,01	6,29	6,87	7,15	7,30	6,51	6,98	8,01	8,45	8,56	8,98	9,55	10,82	11,35	11,48	8,98	9,55	10,82	11,35	11,48
16	Hs (ml)	2,43	2,84	3,68	4,07	4,19	2,48	2,83	3,71	4,11	4,22	4,99	5,62	7,17	7,86	8,05	4,99	5,62	7,17	7,86	8,05
	T (s)	5,80	6,16	6,77	7,04	7,11	6,43	6,89	7,91	8,34	8,45	9,30	9,88	11,19	11,74	11,88	9,30	9,88	11,19	11,74	11,88
17	Hs (ml)	3,37	4,02	5,16	5,76	5,86	3,48	3,98	5,23	5,79	5,94	5,04	5,67	7,21	7,90	8,08	5,04	5,67	7,21	7,90	8,08
	T (s)	6,81	7,34	8,03	8,39	8,43	7,64	8,18	9,41	9,92	10,05	9,31	9,89	11,19	11,73	11,87	9,31	9,89	11,19	11,73	11,87
18	Hs (ml)	5,94	6,64	8,46	9,28	9,51	5,95	6,69	8,49	9,31	9,53	5,00	5,54	6,86	7,45	7,61	5,95	6,69	8,49	9,31	9,53
	T (s)	9,20	9,57	10,45	10,82	10,92	10,06	10,69	12,08	12,66	12,81	9,25	9,75	10,89	11,36	11,48	10,06	10,69	12,08	12,66	12,81
19	Hs (ml)	6,89	7,74	9,80	10,54	10,80	7,05	7,85	9,81	10,68	10,92	6,30	6,89	8,31	8,94	9,11	7,05	7,85	9,81	10,68	10,92
	T (s)	9,85	10,29	11,23	11,49	11,63	11,01	11,64	13,04	13,63	13,78	10,40	10,88	11,98	12,44	12,56	11,01	11,64	13,04	13,63	13,78
20	Hs (ml)	7,06	7,92	9,93	10,69	11,02	7,11	7,94	9,96	10,87	11,12	6,14	6,70	8,05	8,65	8,82	7,11	7,94	9,96	10,87	11,12
	T (s)	9,89	10,33	11,22	11,48	11,64	11,10	11,75	13,20	13,80	13,96	10,23	10,70	11,76	12,20	12,32	11,10	11,75	13,20	13,80	13,96
21	Hs (ml)	6,20	6,98	8,90	9,68	9,99	6,21	7,00	8,96	9,84	10,07	5,36	5,91	7,22	7,81	7,97	6,21	7,00	8,96	9,84	10,07
	T (s)	9,32	9,74	10,67	11,00	11,15	10,42	11,08	12,57	13,19	13,35	9,58	10,07	11,16	11,62	11,74	10,42	11,08	12,57	13,19	13,35
22	Hs (ml)	5,62	6,49	8,34	9,22	9,52	5,73	6,52	8,46	9,33	9,57	5,12	5,73	7,22	7,89	8,06	5,73	6,52	8,46	9,33	9,57
	T (s)	8,93	9,46	10,40	10,56	10,96	10,04	10,72	12,26	12,89	13,06	9,50	10,06	11,32	11,85	11,99	10,04	10,72	12,26	12,89	13,06
23	Hs (ml)	5,37	6,14	7,92	8,89	9,19	5,40	6,17	8,06	8,92	9,15	5,75	6,55	8,49	9,37	9,61	5,75	6,55	8,49	9,37	9,61
	T (s)	8,70	9,16	10,08	10,56	10,72	9,73	10,41	11,94	12,58	12,74	10,38	11,09	12,68	13,33	13,50	10,38	11,09	12,68	13,33	13,50

Tabella 3 – Confronto dei valori di Hs e Ts e onde di progetto

Una volta studiato il clima ondoso a largo si è “estratto” il clima ondoso sotto costa nel punto di coordinate UTM33 4184295,5N 273833,5E.

In particolare, per il modello di agitazione interna al bacino sono stati utilizzati i tempi di ritorno pari a 5 e 50 anni, come indicato dal PIANC, simulando con il modello numerico la propagazione delle onde riportate nelle successive tabelle.

Onda	Hs (m)	Tm (s)	Tp (s)	MWD (°N)
1	3.3	6.25	7.50	193
2	3.6	6.58	7.90	217
3	4.1	8.00	9.60	241
4	4.0	8.17	9.80	256

Tabella 4 - Onde di riferimento per la verifica delle condizioni di sicurezza (T=5 anni).

Onda	Hs (m)	Tm (s)	Tp (s)	MWD (°N)
1	4.5	8.25	9.90	200
2	4.7	8.83	10.60	219
3	4.8	9.33	11.20	238
4	4.7	9.75	11.70	250

Tabella 5 - Onde di riferimento per la verifica delle condizioni limite (T=50 anni).

Con riferimento a tutte le onde riportate nelle precedenti tabelle, è stata simulata la propagazione di onde irregolari direzionali, per cui, per ogni tipologia di onda soprariportata, è stato simulato l'intero spettro, assunto di tipo JONSWAP, sia in direzione che in frequenza.

2.4. ANALISI DELLE ALTERNATIVE PROGETTUALI

Il porto presenta allo stato attuale una significativa esposizione rispetto alle onde con direzione di provenienza Nord, come evidenziato dalla seguente figura 1.



Figura 1 - Planimetria del porto di Marsala allo stato attuale.

Al fine di ridurre il grado di agitazione interna ed aumentare conseguentemente la fruibilità del porto, sono state ipotizzate diverse tipologie di modifica al layout fino a giungere alla configurazione finale di PRP.

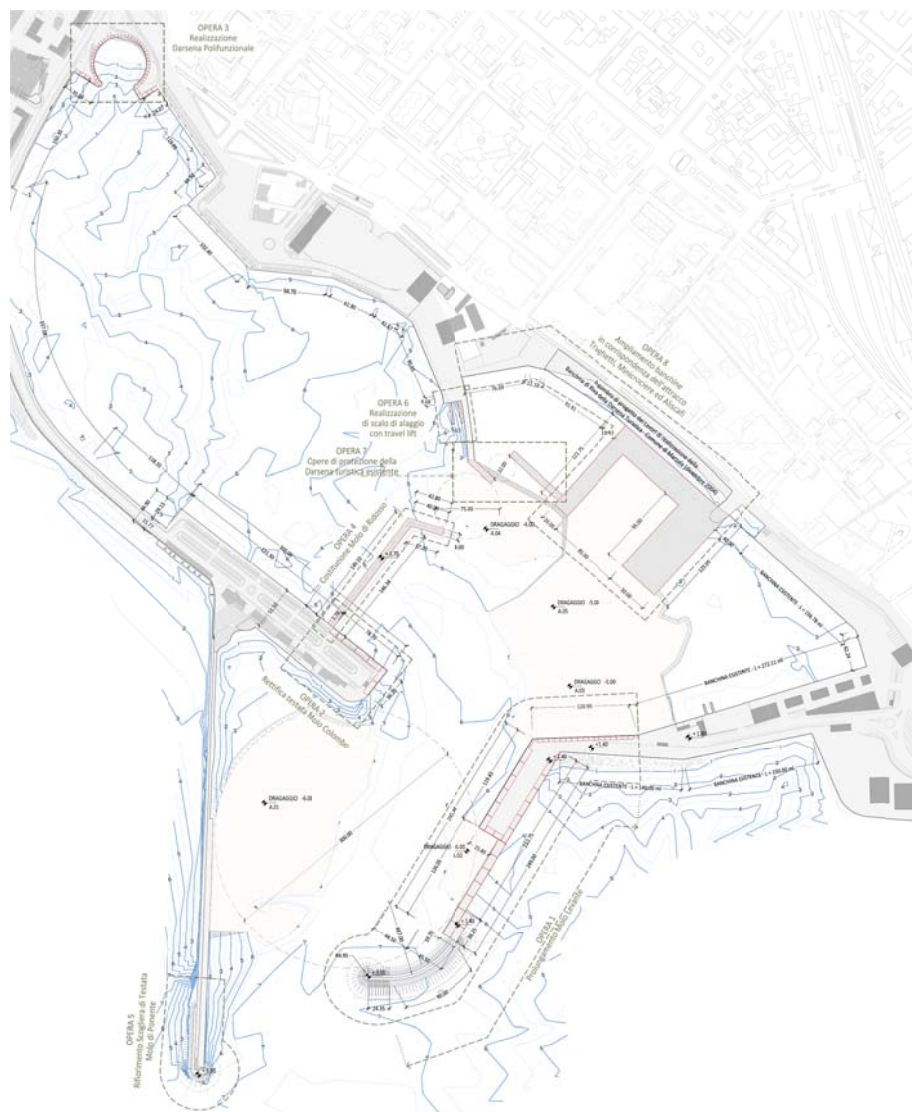


Figura 2 - Planimetria del porto di Marsala – futuro PRP.

In particolare per il PRP si sono previsti i seguenti interventi:

- realizzazione di una diga di sottoflutto radicata sulla testata dell'esistente Molo di Levante, con direzione NE-SO;
- banchinamento del tratto terminale del Molo di Levante e realizzazione di un dente per l'accosto delle navi Ro-Ro;
- banchinamento della testata del Molo Cristoforo Colombo;
- creazione di una darsena banchinata per i tender alla radice del Molo Cristoforo Colombo;
- realizzazione di un molo su pali per l'accosto di grandi *yachts*;
- rifiorimento della testata del molo di Ponente;
- prolungamento del molo in corrispondenza della darsena turistica esistente;
- realizzazione dei moli per attracco dei traghetti;

- realizzazione banchine a giorno per allargamento strada come da progetto già esistente presso il Comune di Marsala;
- dragaggi per la correzione dei fondali portuali e del canale di accesso.

A seguito della conferenza dei servizi per l'approvazione del progetto preliminare, la M.Y.R. s.r.l. si è dichiarata disponibile ad eseguire:

- realizzazione di una diga di sottoflutto radicata sulla testata dell'esistente Molo di Levante, con direzione NE-SO;
- banchinamento del tratto terminale del Molo di Levante e realizzazione di un dente per l'accosto delle navi Ro-Ro;
- banchinamento della testata del Molo Cristoforo Colombo;
- creazione di una darsena banchinata per i tender alla radice del Molo Cristoforo Colombo;
- realizzazione di un molo su pali per l'accosto di grandi *yachts*;
- dragaggi per la correzione dei fondali portuali e del canale di accesso.

Tale prima ipotesi di intervento è presentata nella figura seguente.



Figura 3 - Planimetria del porto di Marsala – ipotesi di intervento n.ro 1.

Ad integrazione della prima soluzione di intervento, è stata successivamente ipotizzata la posa in opera di una barriera per rifiorire la testata del molo di Ponente.



Figura 4 - Planimetria del porto di Marsala – ipotesi di intervento n.ro 2.

In ultimo è stata considerata una possibile variante alla realizzazione del molo per l'accosto di grandi yachts mediante un prolungamento dello stesso.

Le tre alternative progettuali sopra descritte sono state analizzate con il modello numerico come presentato nei paragrafi a seguire.



Figura 5 - Planimetria del porto di Marsala – ipotesi di intervento n.ro 3.

2.5. COSTRUZIONE DEL MODELLO NUMERICO

2.5.1. COSTRUZIONE DELLA BATIMETRIA DI CALCOLO

Integrando i dati batimetrici a disposizione con la planimetria di progetto relativa alle soluzioni prescelte, è stato possibile costruire una batimetria di calcolo a maglia quadrata relativa all'intero bacino portuale e ad una porzione sufficientemente estesa di mare antistante.

La risoluzione spaziale è vincolata dalla necessità di disporre di punti di calcolo per ogni lunghezza d'onda rappresentata nonché al dettaglio nella descrizione degli elementi strutturali che costituiscono il layout di progetto.

In funzione delle caratteristiche del sito, è stato necessario adottare celle di lato pari a 2 metri, costruendo quindi una batimetria composta complessivamente da 1200 x 900 (1.080.000) celle per una superficie totale pari ad 0.27 Km² circa.

I valori batimetrici sono stati interpolati al fine di ricostruire la geometria del fondale nell'area esterna al bacino portuale.

In tale fase sono stati adottati opportuni accorgimenti finalizzati a rendere la batimetria regolare ed aderente alla realtà fisica.

I dati batimetrici a disposizione sono quelli del rilievo di dettaglio dell'area portuale, messo a disposizione da M.Y.R. S.r.l. integrati con i dati da carta nautica.

Relativamente alle aree emerse ed alle strutture, è stato imposto un valore di quota costante, pari a 10 metri, ipotizzando l'impossibilità di sormonto da parte delle acque.

Le batimetrie così costruite sono riportate nelle figure seguenti.

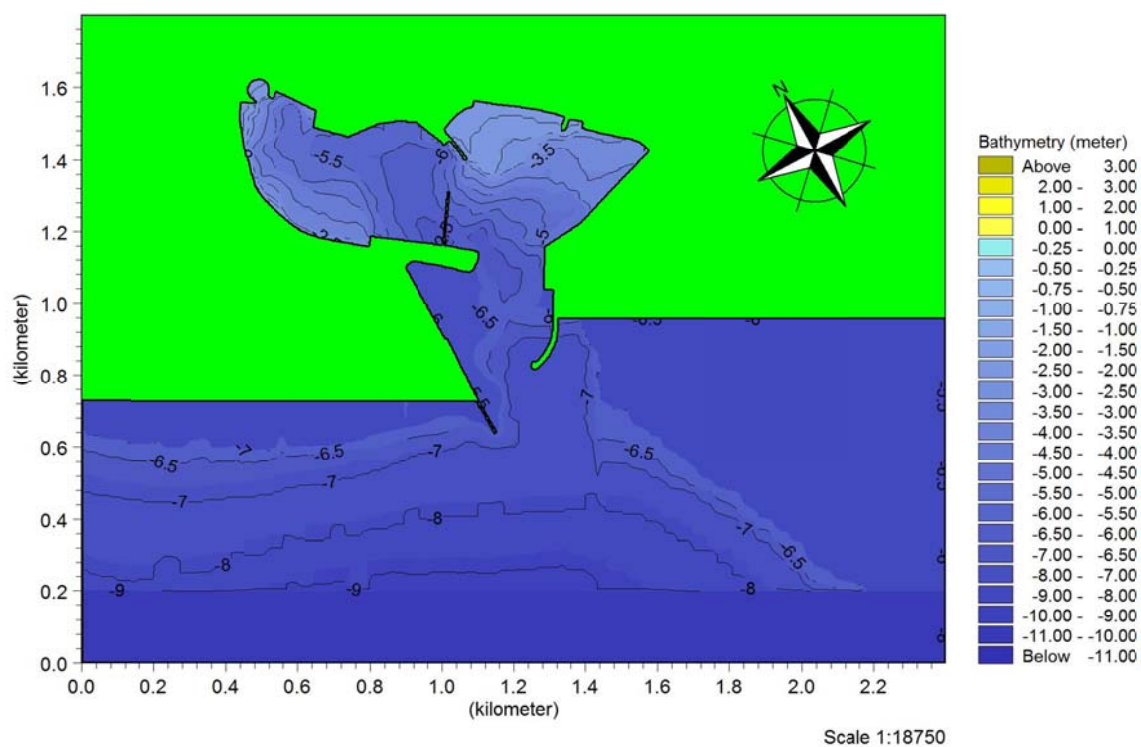


Figura 6 - Batimetria del porto di Marsala – ipotesi di intervento n.ro 1.

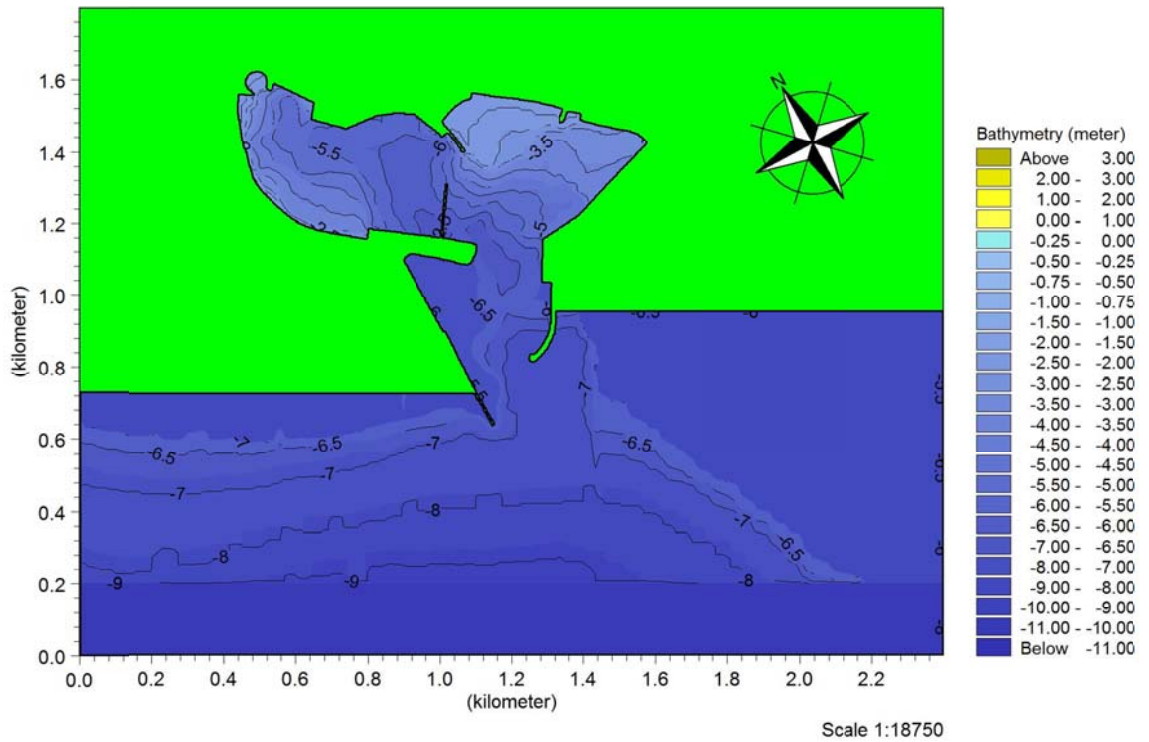


Figura 7 - Batimetria del porto di Marsala – ipotesi di intervento n.ro 2.

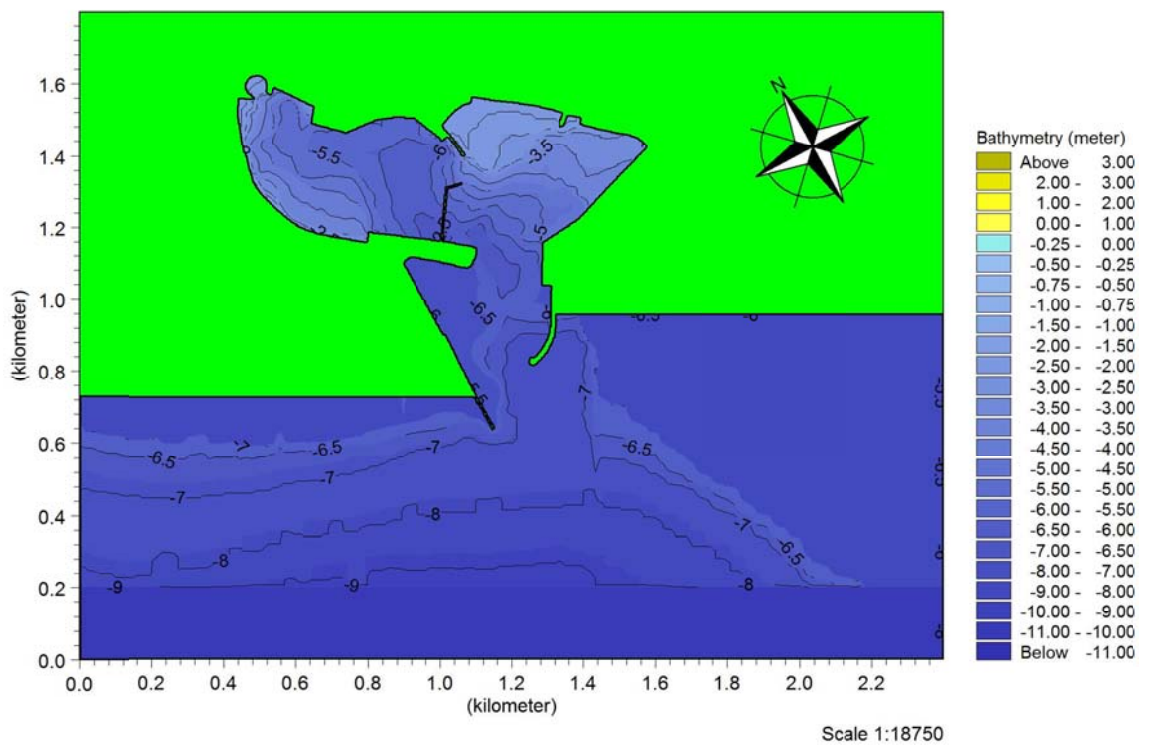


Figura 8 - Batimetria del porto di Marsala – ipotesi di intervento n.ro 3.

In tutti i casi in corrispondenza dei limiti del dominio di calcolo sono stati introdotti appositi strati assorbenti che evitano il fenomeno di riflessione che verrebbe a crearsi in

corrispondenza di tale limite fittizio.

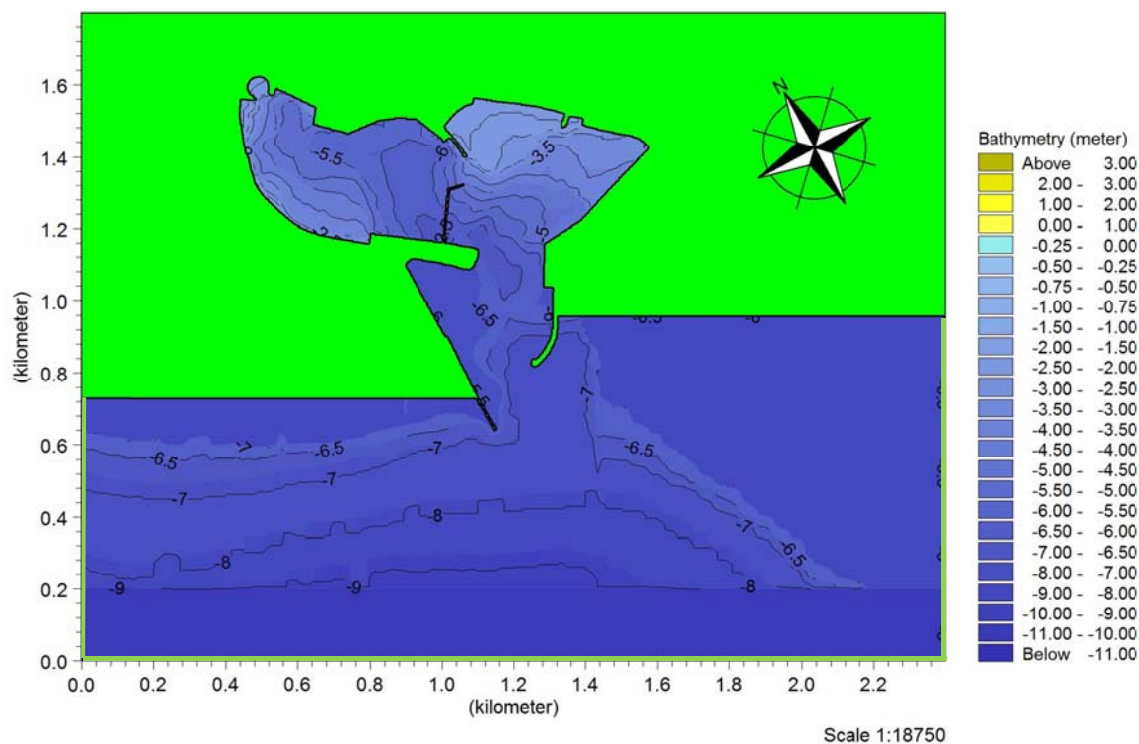


Figura 9 - Localizzazione degli strati assorbenti in corrispondenza delle estremità del dominio di calcolo.

Le figure evidenziano come l'area oggetto di studio sia parzialmente ridotta rispetto all'estensione complessiva della griglia di calcolo. Tale scelta consente di ridurre il numero dei punti di calcolo pur garantendo la totale affidabilità della soluzione nell'area di interesse dello studio.

2.5.2. ONDE IN INGRESSO AL SISTEMA

La propagazione delle onde prescelte è stata analizzata simulandone l'intero spettro in termini di direzione e frequenza, utilizzando onde direzionali irregolari, generate da un apposito applicativo di MIKE 21 BW. Per ogni onda di riferimento è stato adottato uno spettro di tipo JONSWAP. Le onde sono state introdotte nel sistema attraverso una linea di generazione interna al dominio di calcolo, per la quale sono stati elaborati i vettori tempovarianti di densità di flusso e pendenza della superficie libera.

Relativamente all'orientazione, è stata imposta una variabilità pari a $\pm 15^\circ$ rispetto alla direzione principale di provenienza, definita in funzione delle onde selezionate per lo studio, al fine di coprire l'intero spettro direzionale, avendo assunto settori di traversia pari a 30° .

Rappresentando l'intero spettro, il risultato fornito dalle simulazioni tiene quindi conto anche di componenti caratterizzate da lunghezze d'onda e direzioni non uniformi, offrendo l'informazione più completa disponibile da un'unica simulazione. La linea di generazione adottata è rappresentata nella figura seguente.

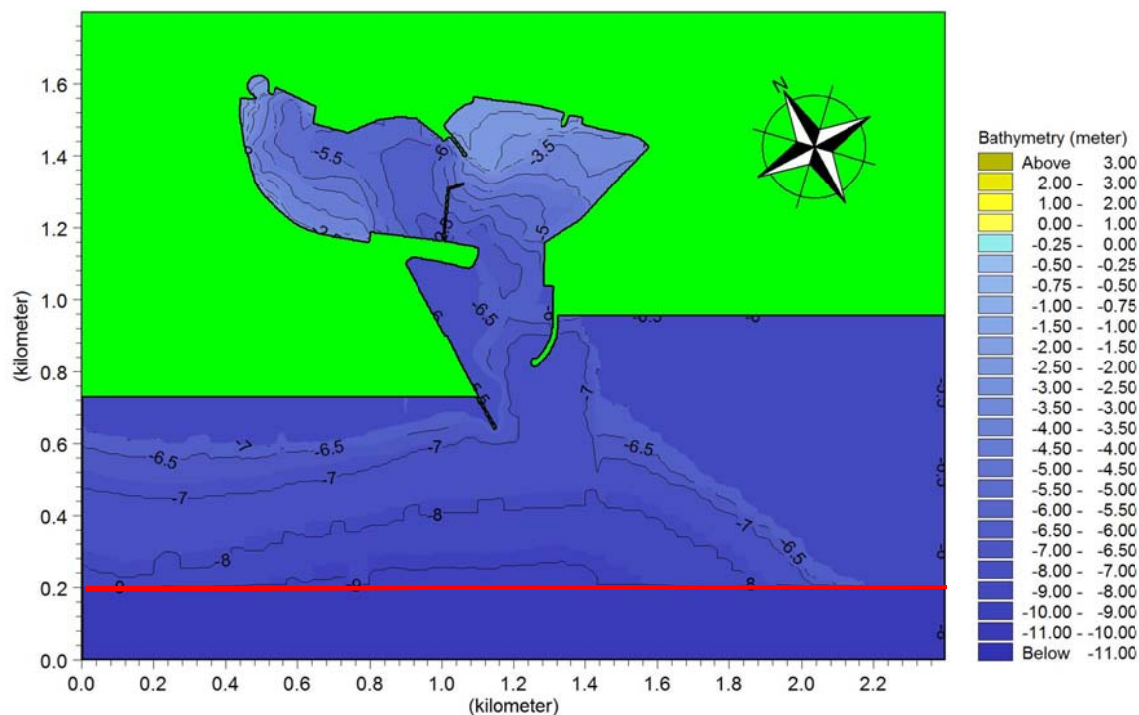


Figura 10 - Linea di generazione adottata per le simulazioni numeriche.

La Figura 11 mostra un esempio del vettore tempovariante di flusso e pendenza della superficie d'acqua utilizzato come condizione al contorno interna per la rappresentazione del moto ondoso, mentre la Figura 12 presenta la tipologia di onde irregolari direzionali utilizzate per lo studio.

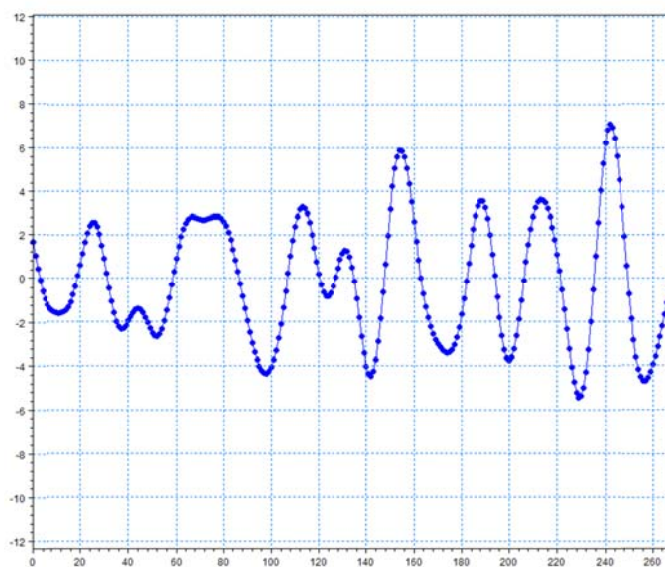


Figura 11 - Esempio di vettore di flusso introdotto lungo la linea di generazione ad un particolare istante di simulazione.

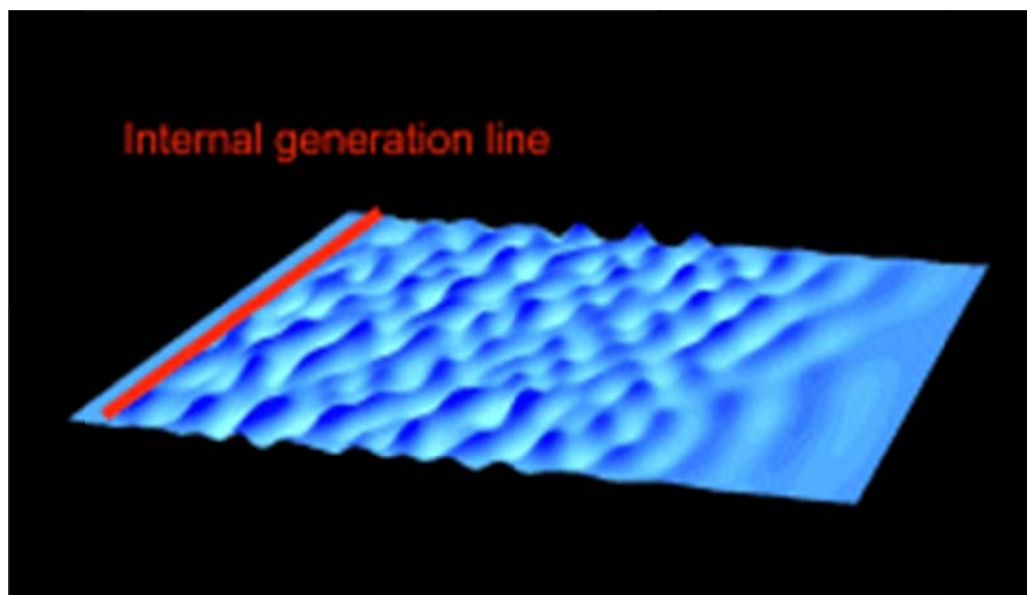


Figura 12 - Esempio di onde irregolari direzionali, simulate da MIKE 21 BW.

2.5.3. PARAMETRI DI RIFLESSIONE E TRASMISSIONE

In corrispondenza di tutti gli elementi rigidi del dominio di calcolo è stato definito un coefficiente di porosità del materiale che regola i fenomeni di riflessione dovuti alla presenza delle strutture. Tale parametro è definito per ogni tratto in funzione delle caratteristiche medie dell'onda incidente e della profondità d'acqua antistante la struttura.

In riferimento alla tipologia delle opere presenti nel dominio di simulazione, sono stati adottati i parametri di riflessione riportati nella , definiti in base a quanto riportato in letteratura.

Tipologia	C riflessione
Banchina a parete verticale	1
Cassoni antiriflettenti	0.6
Banchina a giorno	0.4
Spiaggia o scogliera naturale	0.3

Tabella 6 - Parametri di riflessione e trasmissione utilizzati nel modello.

In base a tali parametri, alla profondità ed alle caratteristiche dell'onda incidente sono stati successivamente definiti i coefficienti di porosità di ogni tratto, richiesti dal modello numerico. Nella figura seguente si riporta la planimetria del porto con indicazione dei tratti a diversa riflessione.

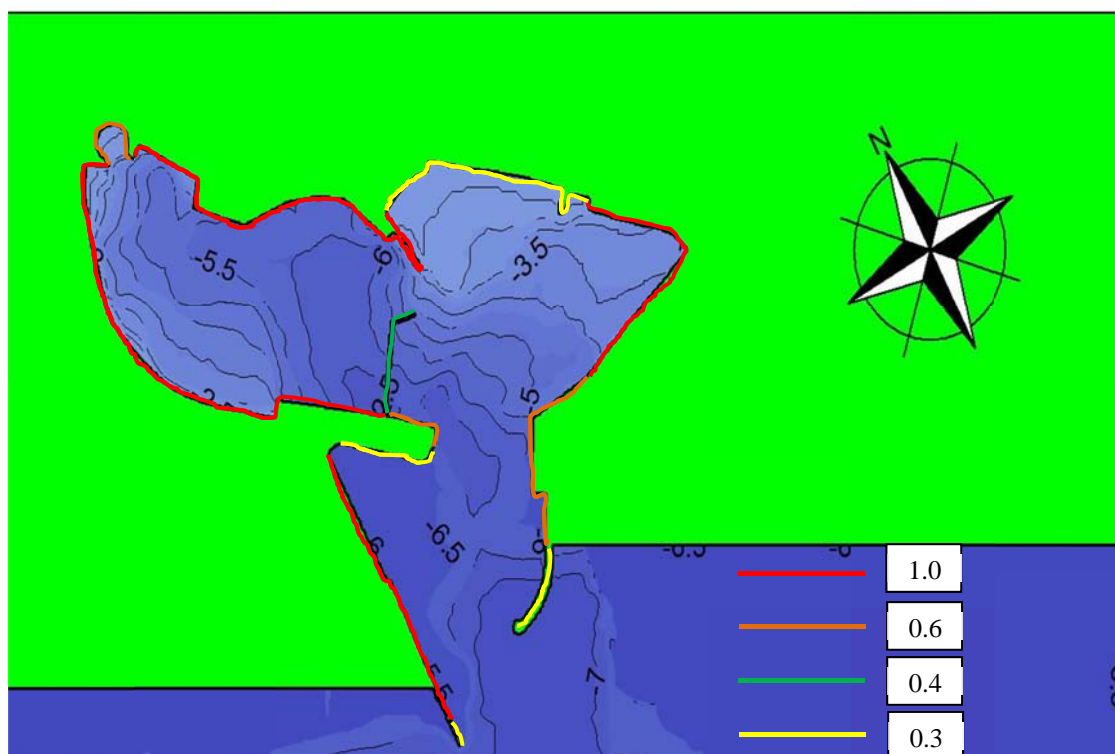


Figura 13 – Planimetria con indicazione dei tratti a diversa riflessione

2.5.4. PERIODO DI SIMULAZIONE E PASSO DI INTEGRAZIONE

In aggiunta ai parametri descritti nei paragrafi precedenti, il modello numerico necessita della definizione del periodo di simulazione e del passo temporale di integrazione.

Il periodo di simulazione deve essere sufficientemente esteso al fine di consentire il completo sviluppo del moto ondoso in tutto il dominio di calcolo. Tale periodo è funzione delle dimensioni dell'area di studio e della velocità di propagazione delle onde.

Per tutte le simulazioni condotte è stato considerato un intervallo di tempo pari ad 1 ora che risulta più che sufficiente per lo sviluppo del moto ondoso in tutto il dominio di calcolo.

Il passo temporale di integrazione è uno dei termini fondamentali per la stabilità numerica della soluzione ed è definito in funzione sia della risoluzione spaziale della griglia di calcolo, in base al numero di Courant, sia del periodo delle onde analizzate. In particolare, utilizzando le equazioni di Boussinesq estese, è necessario che il periodo minimo sia risolto in almeno 25-30 passi di calcolo.

Per tutte le simulazioni condotte è stato adottato un passo temporale di integrazione pari a 0.1 secondi che verifica entrambi i criteri sopra esposti.

3. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

3.1. CONDIZIONI DI CONFORT

Le seguenti immagini presentano il campo dei valori di altezza d'onda significativa (H_s) relativamente alle 3 onde assunte di riferimento per la verifica delle condizioni di comfort per tutti i layouts esaminati.

Tali valori corrispondono alla conclusione del periodo di simulazione, per cui presentano il campo completamente sviluppato, tale da non risentire delle condizioni iniziali imposte. Al fine di poter estendere i risultati delle simulazioni condotte, relativamente ad una sola onda per settore di traversia, anche ad ulteriori valori di altezza prossimi a quelli considerati nelle simulazioni, oltre al campo di altezza d'onda residuo, con il modello numerico è stata calcolata anche la distribuzione del coefficiente di disturbo. Tale coefficiente, adimensionale, è definito per ogni punto di calcolo come rapporto tra l'altezza d'onda risultante e l'altezza d'onda in ingresso al sistema e rappresenta il principale indicatore dell'agitazione interna conseguente a tutte le trasformazioni complessivamente subite dall'onda dal largo verso l'interno del porto. Tale coefficiente può essere ragionevolmente assunto costante, per ogni direzione d'onda, all'interno di un intervallo di valori di altezza tale da poter trascurare i termini non lineari della trasformazione del campo d'onda dal largo verso il bacino.

Attraverso questa assunzione, è possibile considerare quindi costanti, a pari direzione di provenienza, i valori dei coefficienti di disturbo forniti dal modello numerico relativamente all'insieme delle onde che costituiscono il clima al largo, presentato nelle figure seguenti, avendo utilizzato per le simulazioni valori di altezza d'onda medi sull'intervallo di riferimento per ogni direzione, selezionati sulla base dei criteri esposti nei paragrafi precedenti.

Tale approccio ha consentito di verificare la rispondenza dei layouts progettuali alle condizioni di "comfort". L'assunzione di invariabilità dei coefficienti di disturbo con la direzione non risulta più valida in corrispondenza delle più alte onde risultanti dall'analisi degli eventi estremi, in riferimento alle quali è stato necessario condurre ulteriori simulazioni al fine di verificare le condizioni "di sicurezza" e "limite".

3.1.1. IPOTESI 1

Configurazione portuale a seguito della conferenza dei servizi per l'approvazione del progetto preliminare con costruzione di un molo su pali con scogliera antiriflettente.

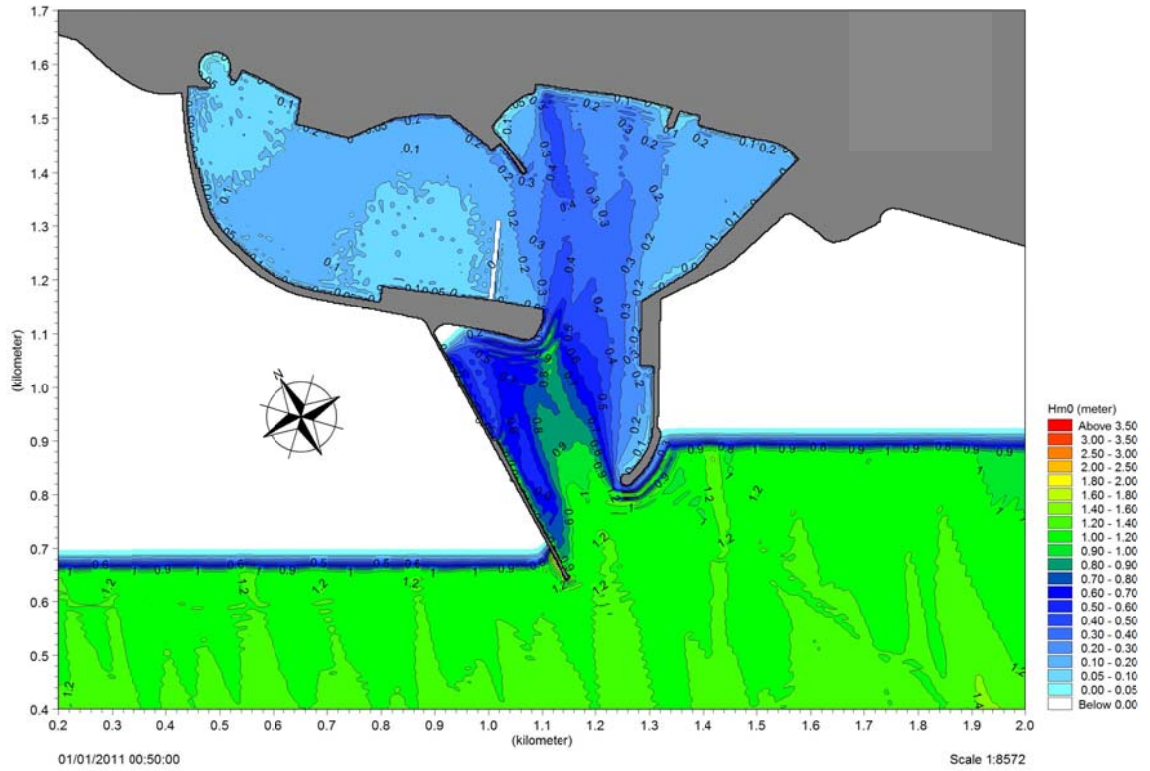


Figura 14 – Campo di altezze d’onda significativa risultante con un’onda al largo con direzione = 195°N, Hs = 1.5 m, Tp = 5.0 s.

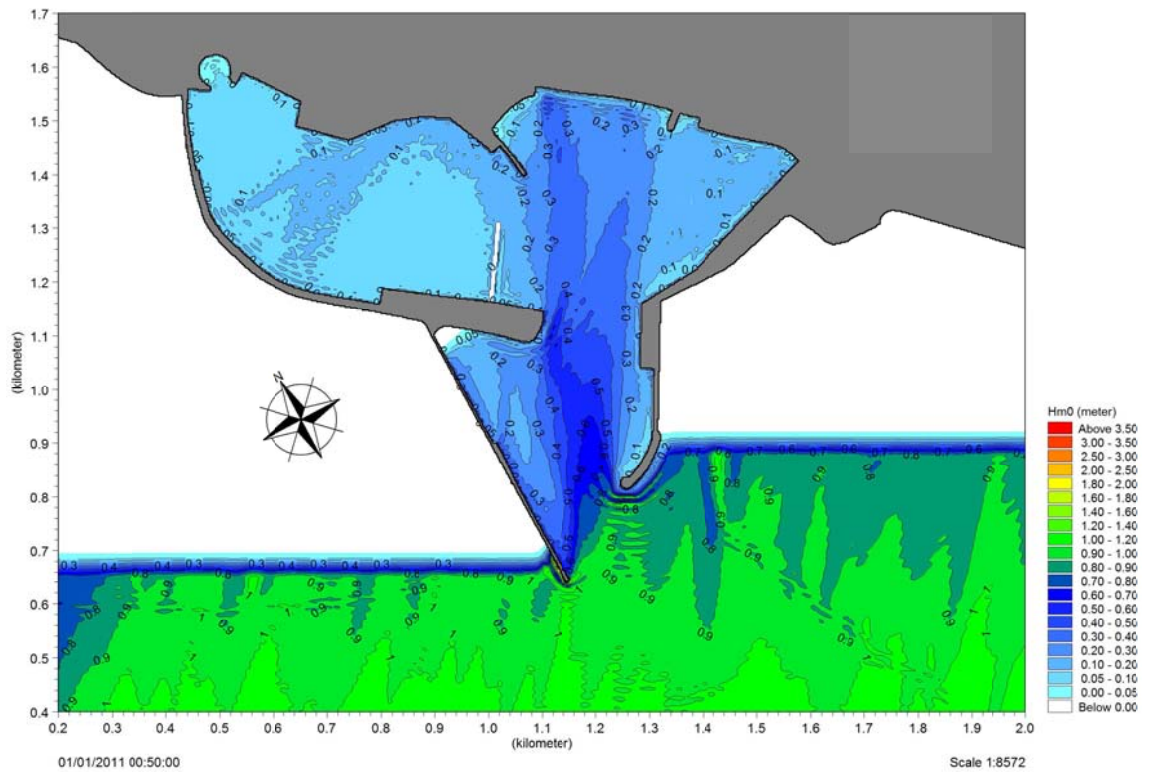


Figura 15 – Campo di altezze d’onda significativa risultante con un’onda al largo con direzione = 225°N, Hs = 1.3 m, Tp = 4.6 s.

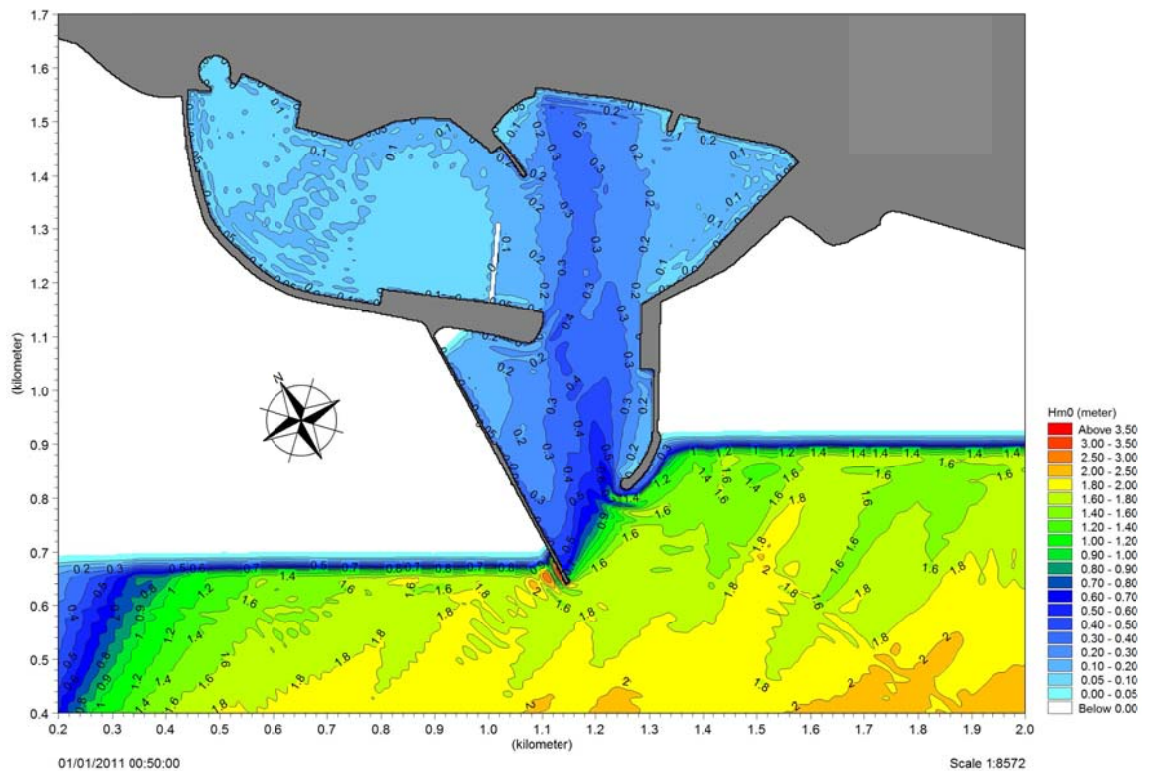


Figura 16 – Campo di altezze d’onda significativa risultante con un’onda al largo con direzione = 255°N, Hs = 2.5 m, Tp = 6.5 s.

Per l’onda in ingresso in direzione 195° si ha una agitazione residua nella zona dell’avamposto di 0,80 m 0,90 m che si smorza progressivamente durante il suo ingresso verso la zona centrale del bacino portuale. Si fa notare un fenomeno di diffrazione in corrispondenza delle teste dei moli che fanno propagare l’onda internamente al bacino portuale.

Per l’onda in ingresso in direzione 225° si attenua il moto ondoso nell’avamposto, ma il fenomeno della diffrazione fa sì che nella zona centrale del bacino portuale ci sia un’onda residua di circa 0,2-0,3 m.

Per l’onda in ingresso in direzione 255° l’avamposto subisce un ulteriore miglioramento, ma la diffrazione dovuta alla testa dei moli foranei consente l’ingresso dell’onda nella zona interna al bacino portuale.

3.1.2. IPOSTESI 2

Stessa configurazione precedente con rifiorimento della testata del molo di ponente con scogliera naturale.

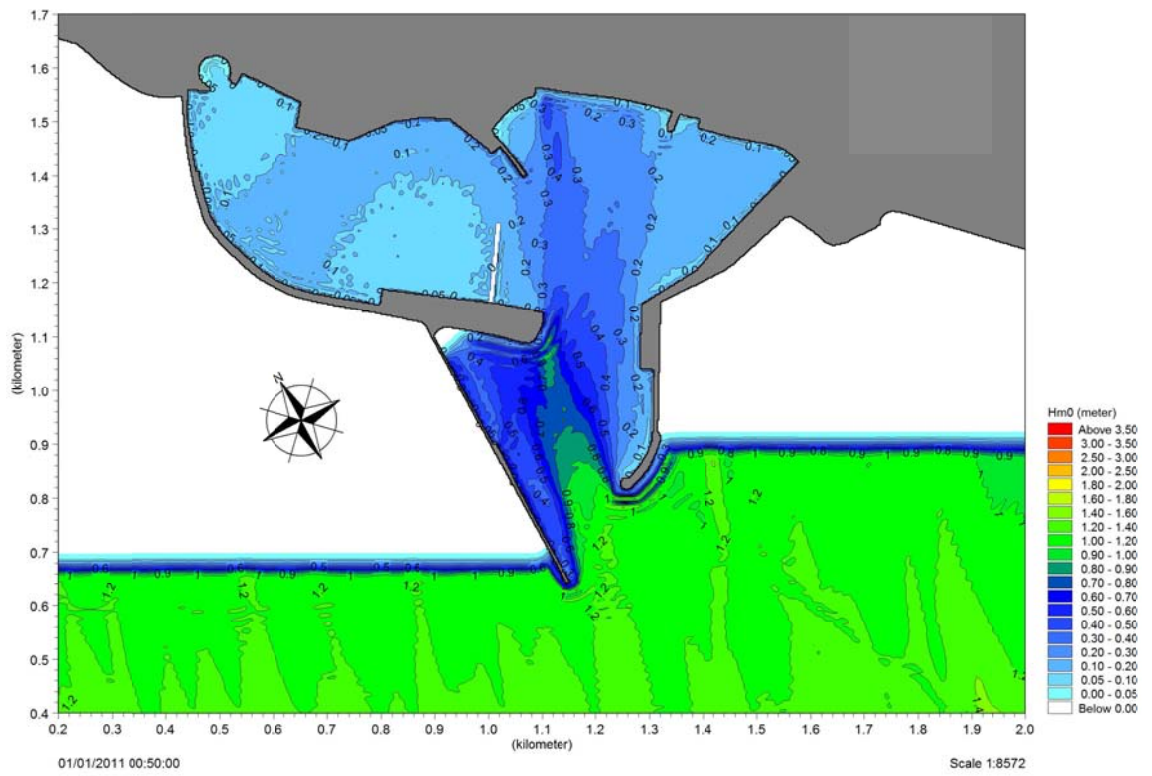


Figura 17 – Campo di altezze d’onda significativa risultante con un’onda al largo con direzione = 195°N, Hs = 1.5 m, Tp = 5.0 s.

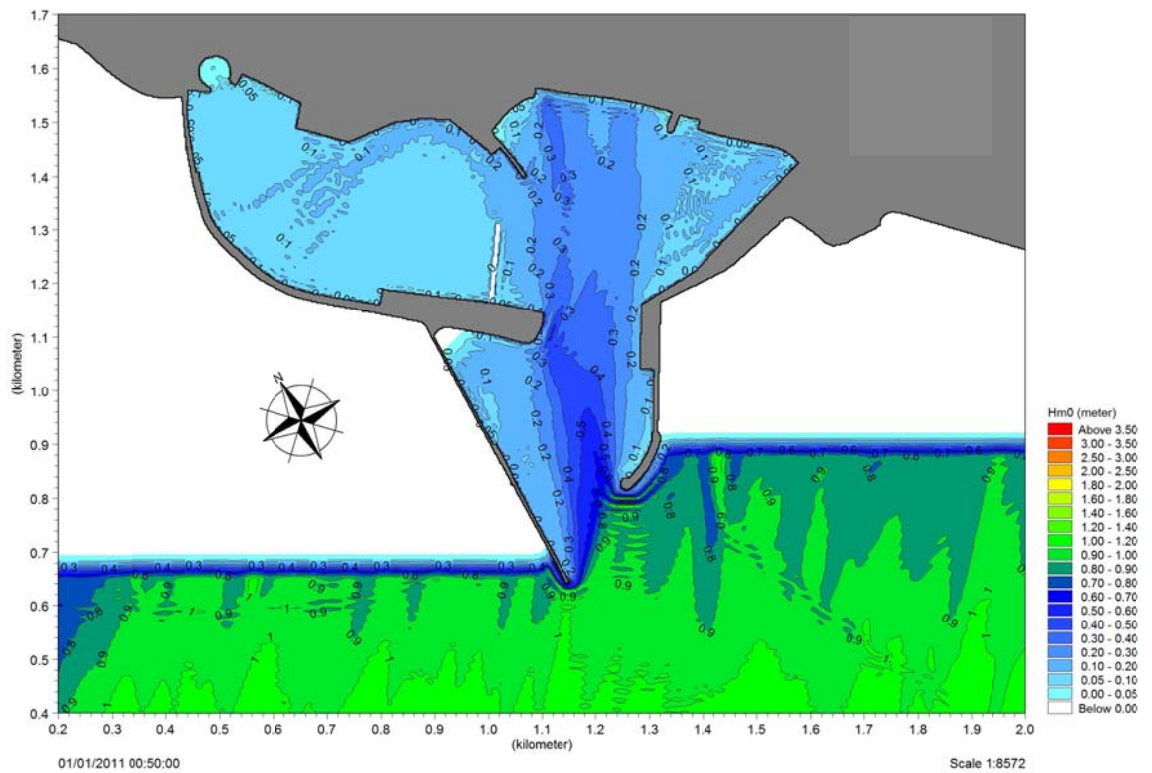


Figura 18 – Campo di altezze d’onda significativa risultante con un’onda al largo con direzione = 225°N, Hs = 1.3 m, Tp = 4.6 s.

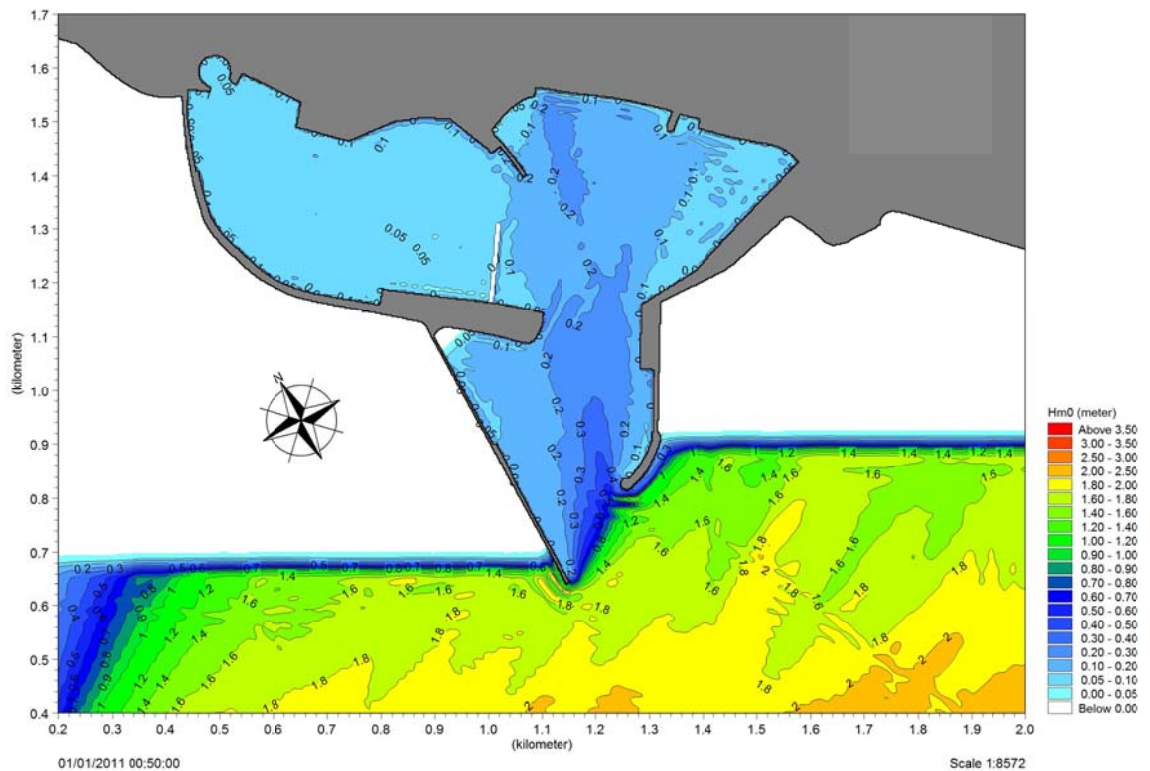


Figura 19 – Campo di altezze d’onda significativa risultante con un’onda al largo con direzione = 255°N, Hs = 2.5 m, Tp = 6.5 s.

Il rifiorimento del riccio di testata del molo di sopraflutto consente di ottenere margini di miglioramento importanti in quanto per tutte e tre le onde simulate si ha una notevole diminuzione dell’agitazione interna grazie a una forte diminuzione del fenomeno della diffrazione. In particolare si ha un netto miglioramento per le onde provenienti da 225° e 250°.

3.1.3. IPOTESI 3

Stessa configurazione precedente con prolungamento del molo su pali.

Per la zona dell’avamposto e della parte centrale del bacino non cambia l’agitazione rispetto alla soluzione precedente, mentre con l’aggiunta di questa appendice su pali si ha un netto miglioramento della darsena turistica per tutte le onde in ingresso.

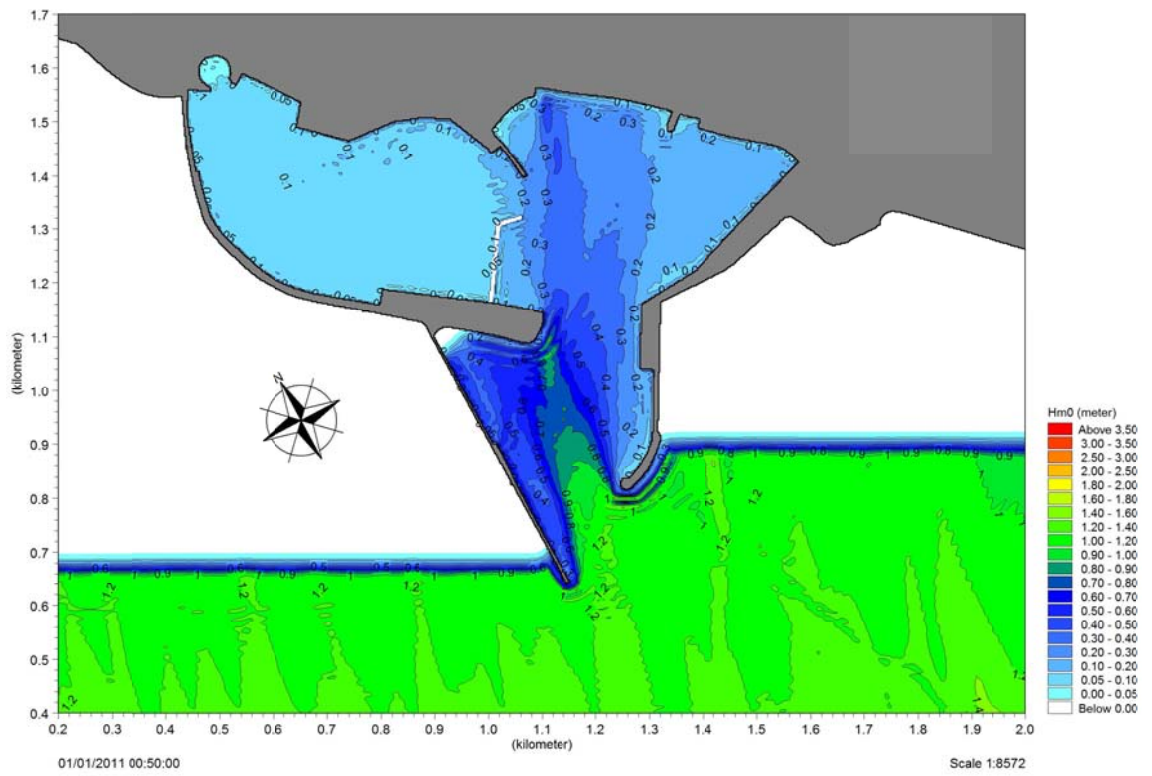


Figura 20 – Campo di altezze d’onda significativa risultante con un’onda al largo con direzione = 195°N , $H_s = 1.5\text{ m}$, $T_p = 5.0\text{ s}$.

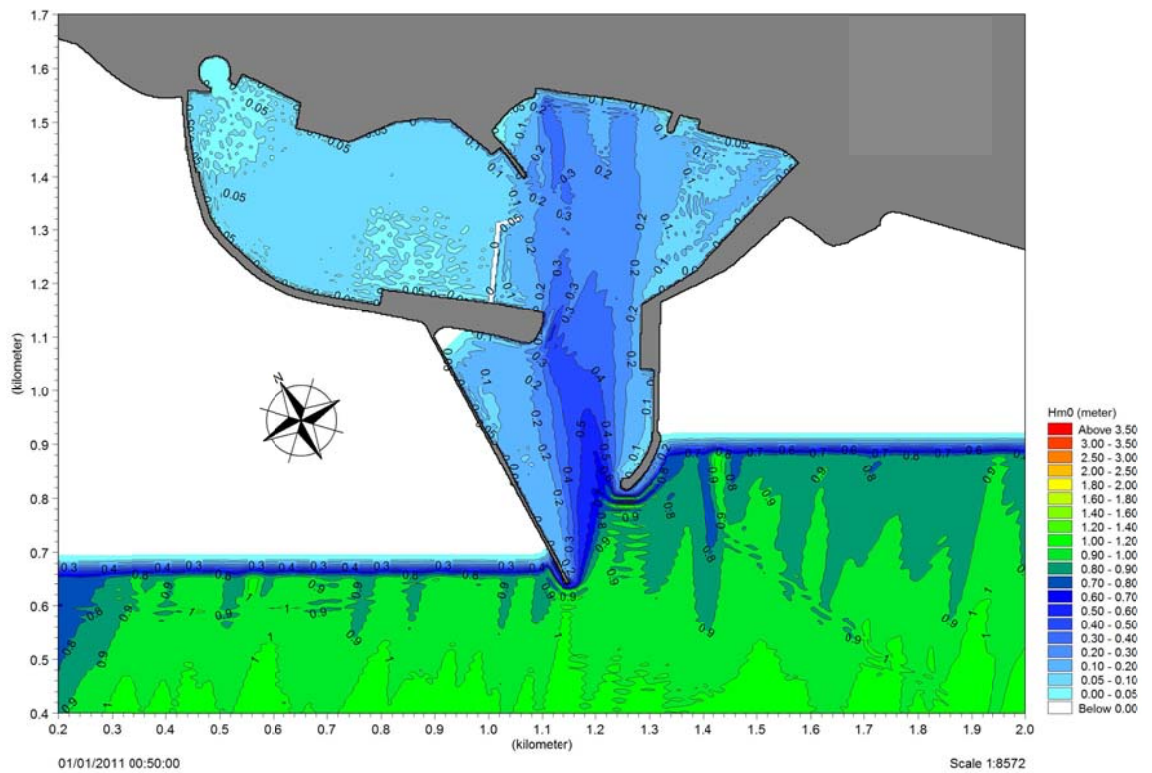


Figura 21 – Campo di altezze d’onda significativa risultante con un’onda al largo con direzione = 225°N , $H_s = 1.3\text{ m}$, $T_p = 4.6\text{ s}$.

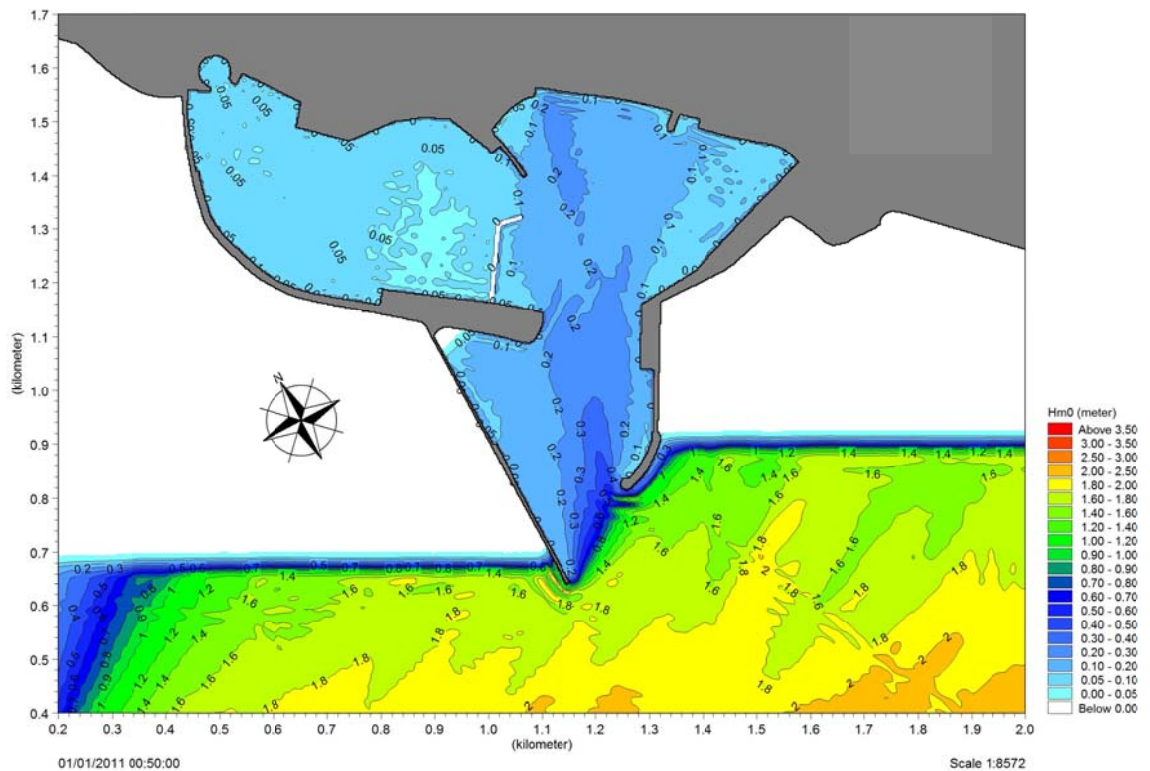


Figura 22 – Campo di altezze d’onda significativa risultante con un’onda al largo con direzione = 255°N, Hs = 2.5 m, Tp = 6.5 s.

3.1.4. ANALISI STATISTICA DELL’AGITAZIONE INTERNA RESIDUA E VERIFICA DELLE CONDIZIONI DI COMFORT

Sulla base dei dati relativi al clima ondoso al largo e dei risultati delle simulazioni numeriche, è stato possibile condurre un’analisi statistica relativa all’agitazione residua interna al nuovo porto turistico di Marsala.

In particolare, risulta significativo valutare il numero medio di giorni all’anno per il quale è previsto il superamento di prefissati valori di altezza d’onda nelle diverse aree del bacino portuale, facendo in particolare riferimento alla zona richiesta in concessione della M.Y.R. s.r.l. che facendo riferimento alle indicazioni del PIANC, ed in particolare alla condizione definita “di confort”, l’analisi è stata condotta in riferimento al valore soglia di 0.15 m, rispetto al quale è prevista una tolleranza di superamento massima pari a 5 giorni all’anno.

Le aree di riferimento per l’analisi sono state così differenziate:

- 1) Area richiesta in concessione dalla M.Y.R. s.r.l. per darsena turistica;
- 2) Area darsena prevista nel P.R.P. vigente;
- 3) Area destinata a zona pescherecci;
- 4) Area destinata ai traghetti e alle navi ro-ro;

5) Avamporto;

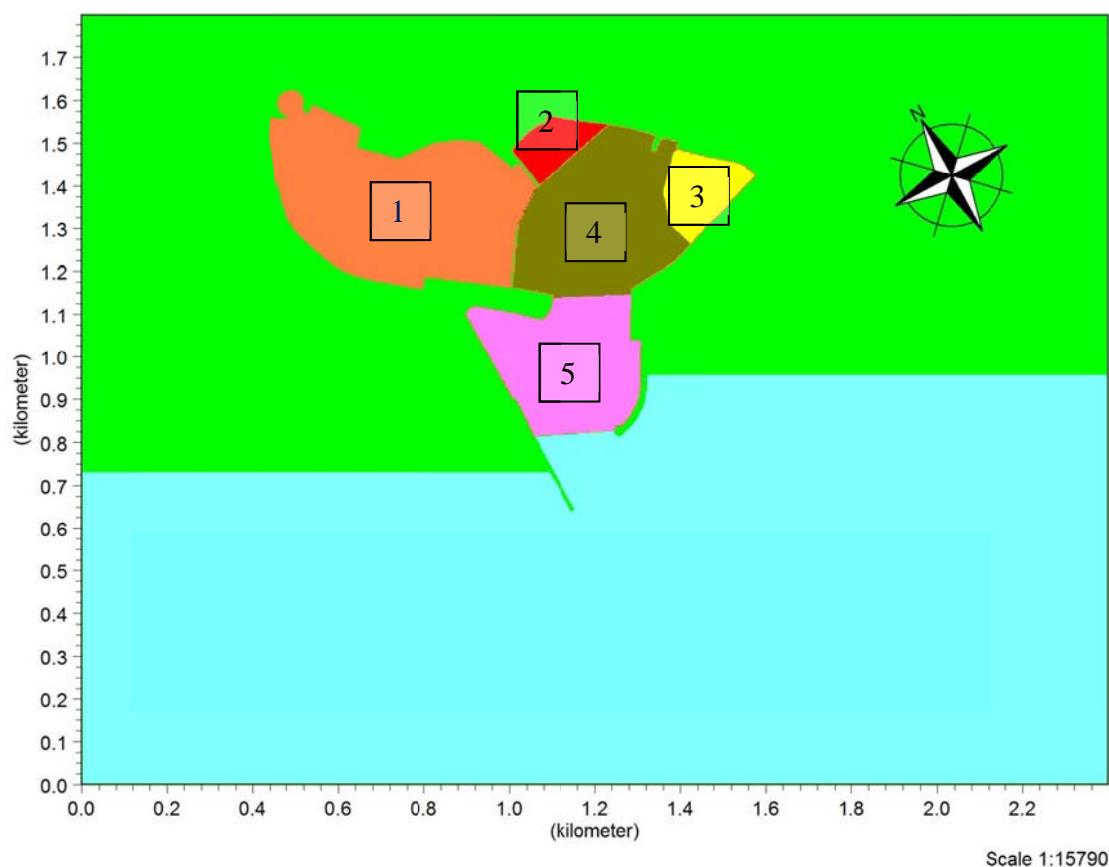


Figura 23 – Localizzazione delle aree di riferimento per l’analisi del disturbo

L’analisi è stata condotta utilizzando i campi di distribuzione del coefficiente di disturbo risultanti dalle simulazioni condotte in riferimento ad onde con altezza ordinaria.

Come già anticipato in precedenza tale coefficiente può essere ragionevolmente assunto costante, per ogni direzione d’onda, all’interno di un intervallo di valori di altezza tale da poter trascurare i termini non lineari della trasformazione del campo d’onda dal largo verso il bacino.

Attraverso questa assunzione, è stato quindi possibile considerare costanti, per ogni direzione di provenienza, i valori dei coefficienti di disturbo forniti dal modello numerico, consentendo di verificare la rispondenza dei layouts progettuali alle condizioni di “comfort”, ed il numero di giorni medio annuo di superamento dei predefiniti valori soglia di altezza d’onda residua.

Le tabelle successive presentano i valori medi del coefficiente di disturbo risultanti nelle diverse aree del porto in corrispondenza delle varie direzioni di provenienza delle

onde, assunti costanti per le singole direzioni e selezionati, a partire dalla distribuzione fornita dal modello numerico, secondo un criterio cautelativo.

Coeff. Di Disturbo	Direzione (°N)		
	195	225	255
AREA			
1	0.0775	0.0713	0.0384
2	0.1606	0.1592	0.0846
3	0.1017	0.091	0.0489
4	0.1788	0.1847	0.0908
5	0.3753	0.2557	0.1192

**Tabella 7 - Valori del coefficiente di disturbo nelle diverse aree del porto di Marsala
In funzione delle diverse direzioni di provenienza – Ipotesi 1**

Coeff. Di Disturbo	Direzione (°N)		
	195	225	255
AREA			
1	0.073	0.064	0.0291
2	0.1482	0.1393	0.0588
3	0.0961	0.081	0.0378
4	0.1648	0.1574	0.0621
5	0.3326	0.1991	0.0782

**Tabella 8 - Valori del coefficiente di disturbo nelle diverse aree del porto di Marsala
In funzione delle diverse direzioni di provenienza – Ipotesi 2**

Coeff. Di Disturbo	Direzione (°N)		
	195	225	255
AREA			
1	0.0524	0.0472	0.0243
2	0.1479	0.1392	0.0585
3	0.0932	0.078	0.037
4	0.1631	0.1559	0.0616
5	0.3324	0.1989	0.0781

**Tabella 9 - Valori del coefficiente di disturbo nelle diverse aree del porto di Marsala
In funzione delle diverse direzioni di provenienza – Ipotesi 3**

L'analisi combinata dei valori riportati in ha permesso di calcolare, per ogni zona di riferimento, il numero di giorni medio annuo per il quale é previsto il superamento del valore soglia prefissato, pari a 0.15 m.

Le successive tabelle presentano la frequenza media annua di superamento del valore soglia per ogni area del bacino portuale e direzione di provenienza, unitamente al numero di giorni totale per ogni area.

Hs > 15 cm	195 °N	225 °N	255 °N	TOT (%)	TOT (giorni/anno)
AREA	(%)	(%)	(%)		
1	0.762991	0.909895	0.026979	1.699865	6.20
2	8.807152	5.135099	10.45346	24.39572	89.04
3	2.479725	1.825971	1.019427	5.325124	19.44
4	10.40251	5.790335	15.88128	32.07413	117.07
5	17.13485	7.928484	28.07445	53.13778	193.95

Tabella 10 - Frequenza e n° totale di giorni all'anno di superamento del valore soglia 0.15m – Ipotesi 1

Hs > 15 cm	195 °N	225 °N	255 °N	TOT (%)	TOT (giorni/anno)
AREA	(%)	(%)	(%)		
1	0.632562	0.652041	0	1.284602	4.69
2	7.21179	3.691191	2.656659	13.55964	49.49
3	2.00143	1.163265	0.011991	3.176685	11.59
4	8.807152	5.135099	3.196419	17.13867	62.56
5	17.13485	6.859409	8.490761	32.48502	118.57

Tabella 11 - Frequenza e n° totale di giorni all'anno di superamento del valore soglia 0.15m – Ipotesi 2

Hs > 15 cm	195 °N	225 °N	255 °N	TOT (%)	TOT (giorni/anno)
AREA	(%)	(%)	(%)		
1	0.155881	0.071945	0	0.227825	0.83
2	7.21179	3.691191	2.656659	13.55964	49.49
3	1.523134	1.163265	0.011991	2.69839	9.85
4	8.807152	3.691191	3.196419	15.69476	57.29
5	17.13485	5.135099	8.490761	30.76071	112.28

Tabella 12 - Frequenza e n° totale di giorni all'anno di superamento del valore soglia 0.15m – Ipotesi 3

Le tabelle evidenziano come il valore soglia indicato dal PIANC risulti superato per un numero di giorni molto basso (minore di 5) su base media annua per l'area di interesse (Area 1) solo nelle ipotesi 2 e 3.

E' bene evidenziare che nelle altre zone, oltre a non essere richieste in concessione dalla M.Y.R. s.r.l, non è previsto l'ormeggio di imbarcazioni e che quindi la condizione di "comfort" non rappresenta un parametro realmente vincolante.

3.2. ANALISI DEGLI EVENTI CON TR = 5 ANNI

Al fine di verificare le condizioni “di sicurezza” indicate dal PIANC, come anticipato in precedenza, sono state condotte ulteriori simulazioni relative alle onde estreme caratterizzate da un tempo di ritorno pari a 5 anni, per tutti i settori di provenienza.

Come già riportato, le indicazioni del PIANC suggeriscono un limite di 0.30 m per l'altezza residua all'interno del bacino, in corrispondenza di tale tempo di ritorno.

Per tali onde, non è possibile assumere costanti i valori dei coefficienti di disturbo, calcolati in relazione ad onde con altezza inferiore, utilizzati nelle elaborazioni di cui al paragrafo precedente, stante la non linearità dei processi di trasformazione dei fronti d'onda.

Da qui la necessità di condurre le ulteriori simulazioni presentate in questo paragrafo.

I risultati delle simulazioni relative al tempo di ritorno di 5 anni per tutte le soluzioni progettuali sono presentati nelle successive immagini in termini di campi d'altezza d'onda residua.

3.2.1. IPOTESI 1

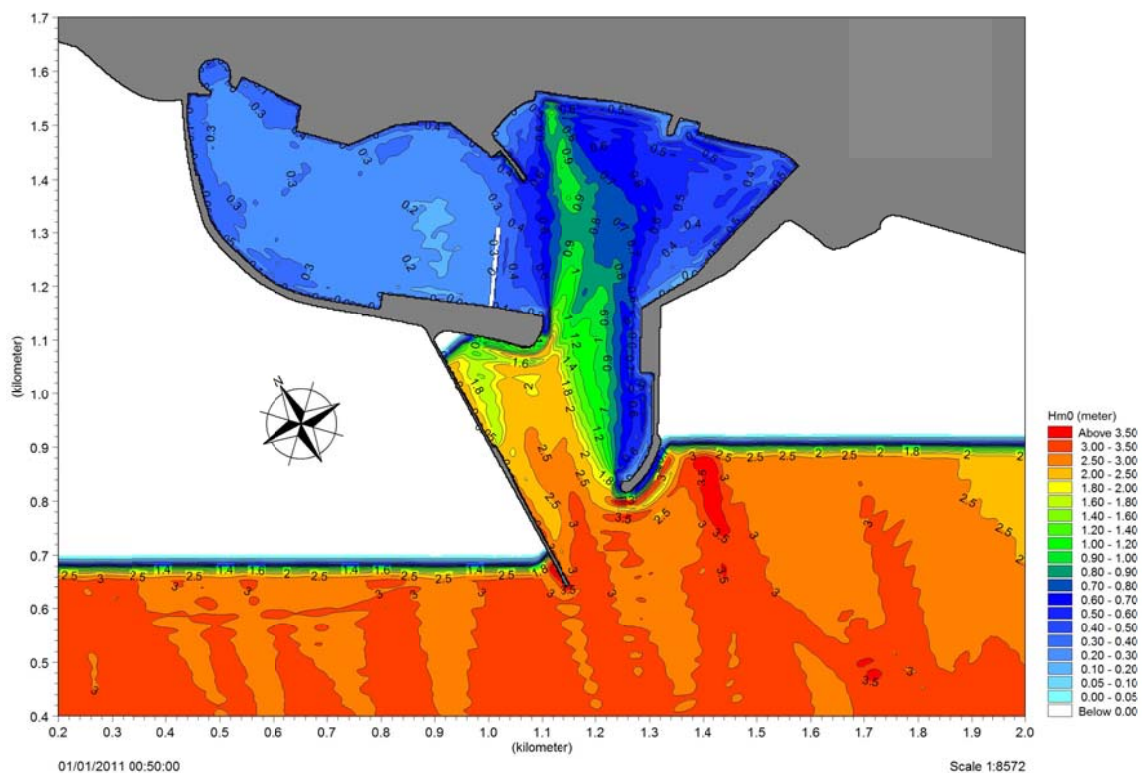


Figura 24 – Campo di altezze d’onda significativa risultante con un’onda al largo con direzione = 193°N, $H_s = 3.28$ m, $T_p = 7.50$ s.

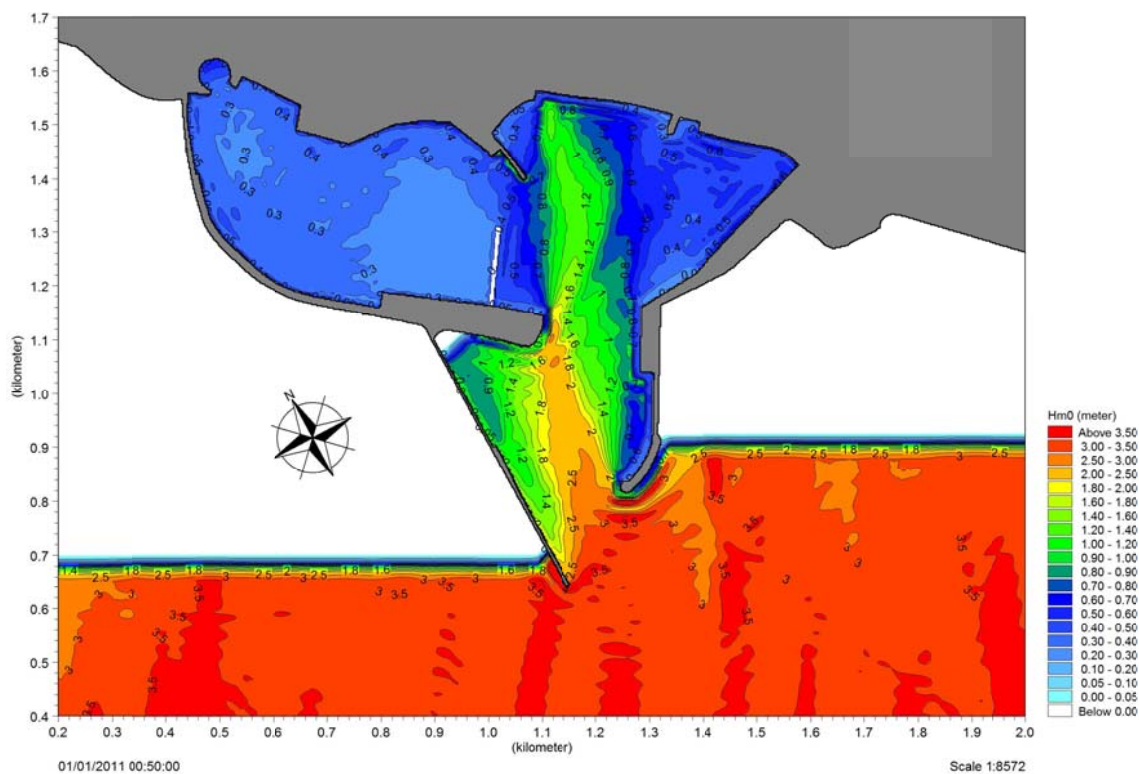


Figura 25 – Campo di altezze d’onda significativa risultante con un’onda al largo con direzione = 217°N, Hs = 3.62 m, Tp = 7.90 s.

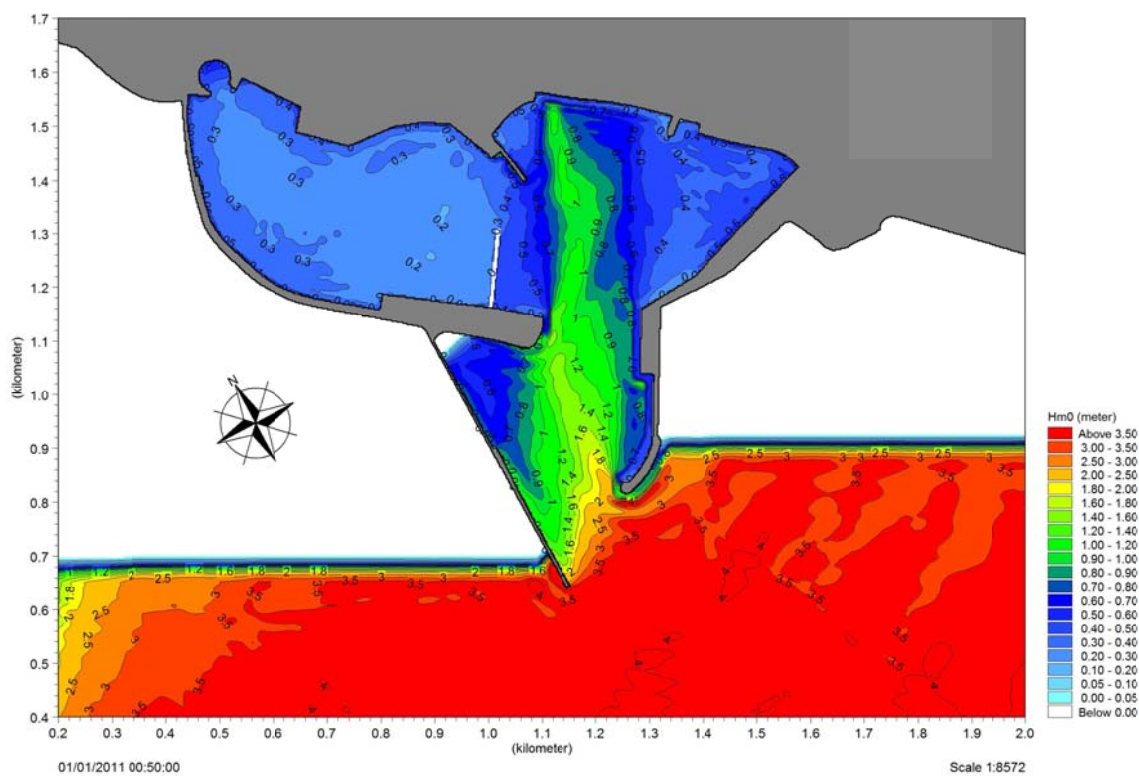


Figura 26 – Campo di altezze d’onda significativa risultante con un’onda al largo con direzione = 241°N, Hs = 4.1 m, Tp = 9.60 s.

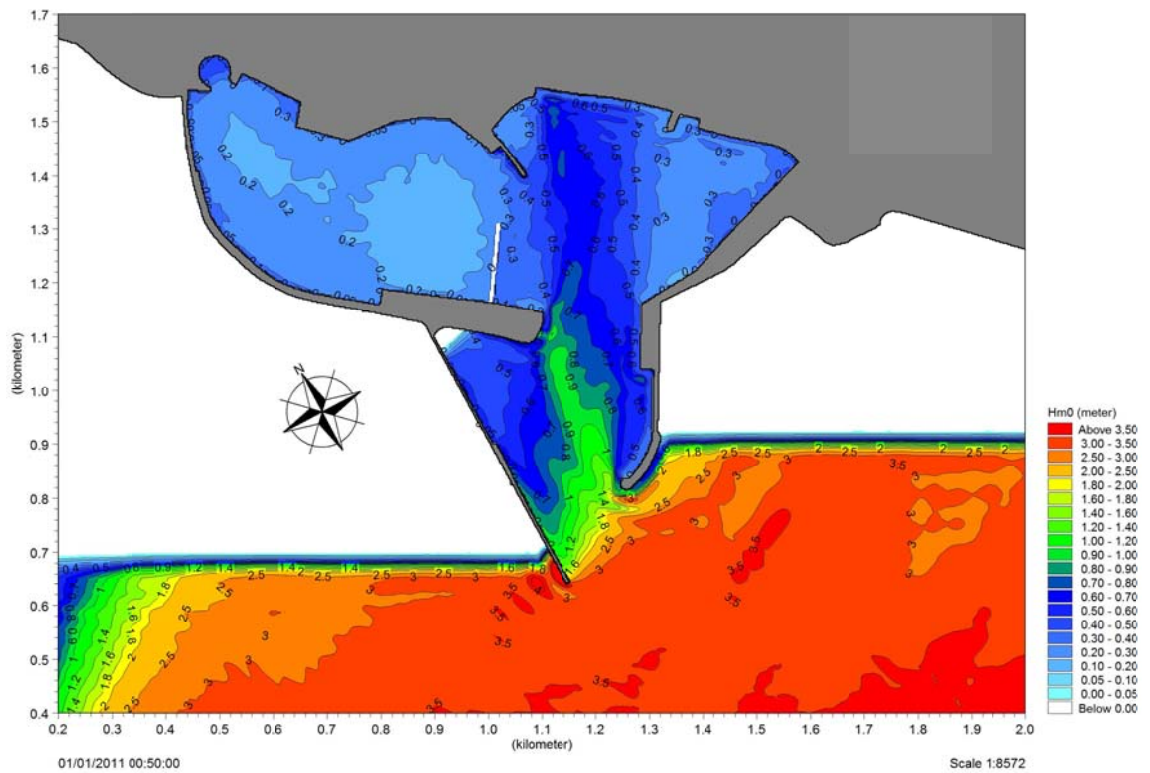


Figura 27 – Campo di altezze d’onda significativa risultante con un’onda al largo con direzione = 256°N, Hs = 4.0 m, Tp = 9.80 s.

3.2.2. IPOTESI 2

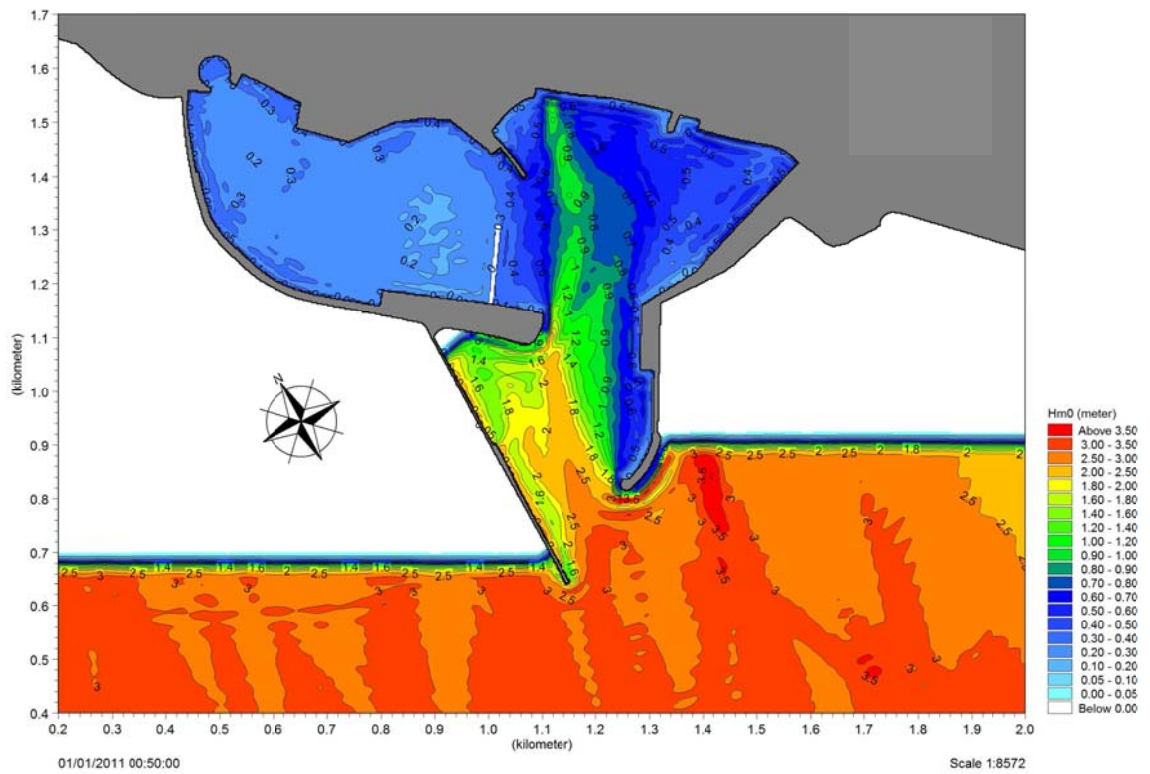


Figura 28 – Campo di altezze d’onda significativa risultante con un’onda al largo con direzione = 193°N, Hs = 3.28 m, Tp = 7.50 s.

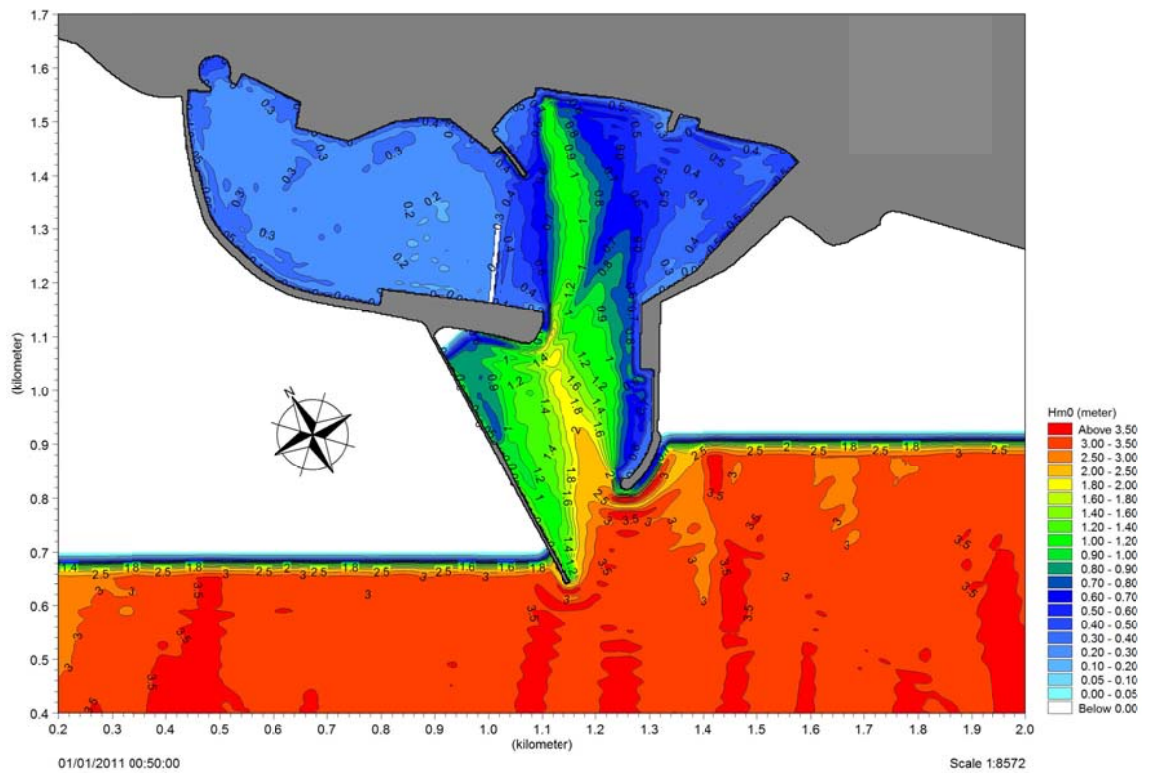


Figura 29 – Campo di altezze d’onda significativa risultante con un’onda al largo con direzione = 217°N, Hs = 3.62 m, Tp = 7.90 s.

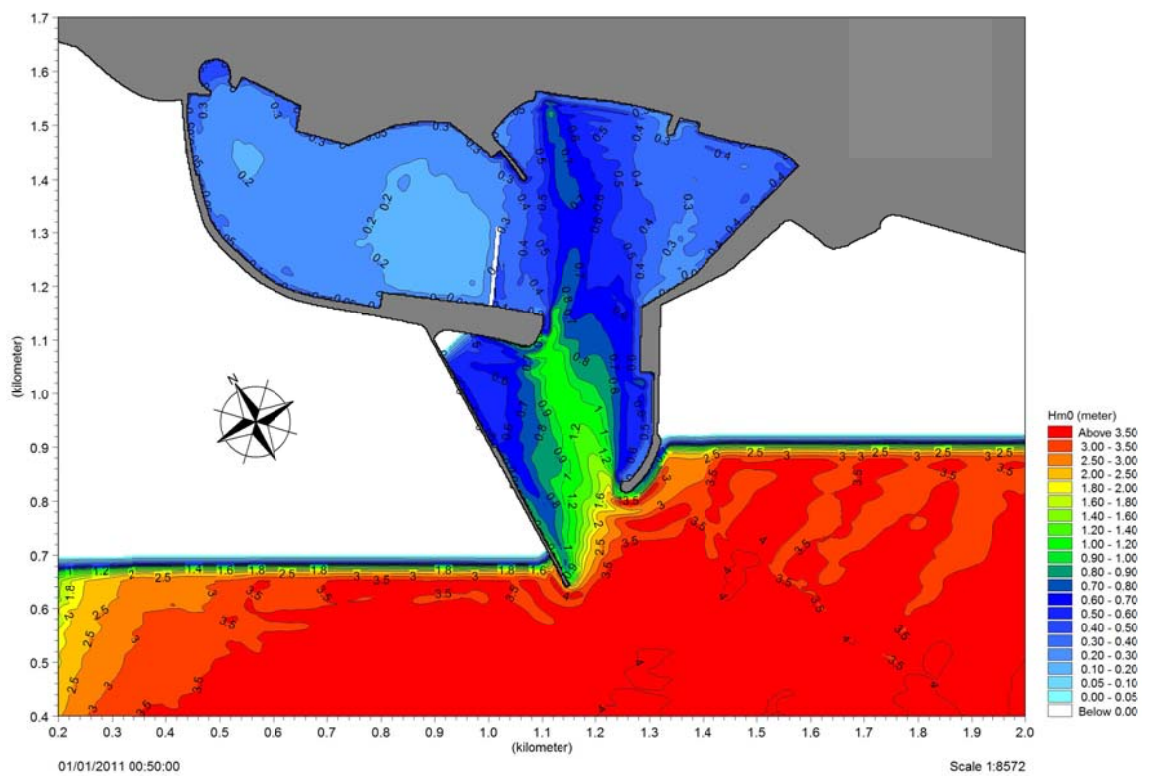


Figura 30 – Campo di altezze d’onda significativa risultante con un’onda al largo con direzione = 241°N, Hs = 4.1 m, Tp = 9.60 s.

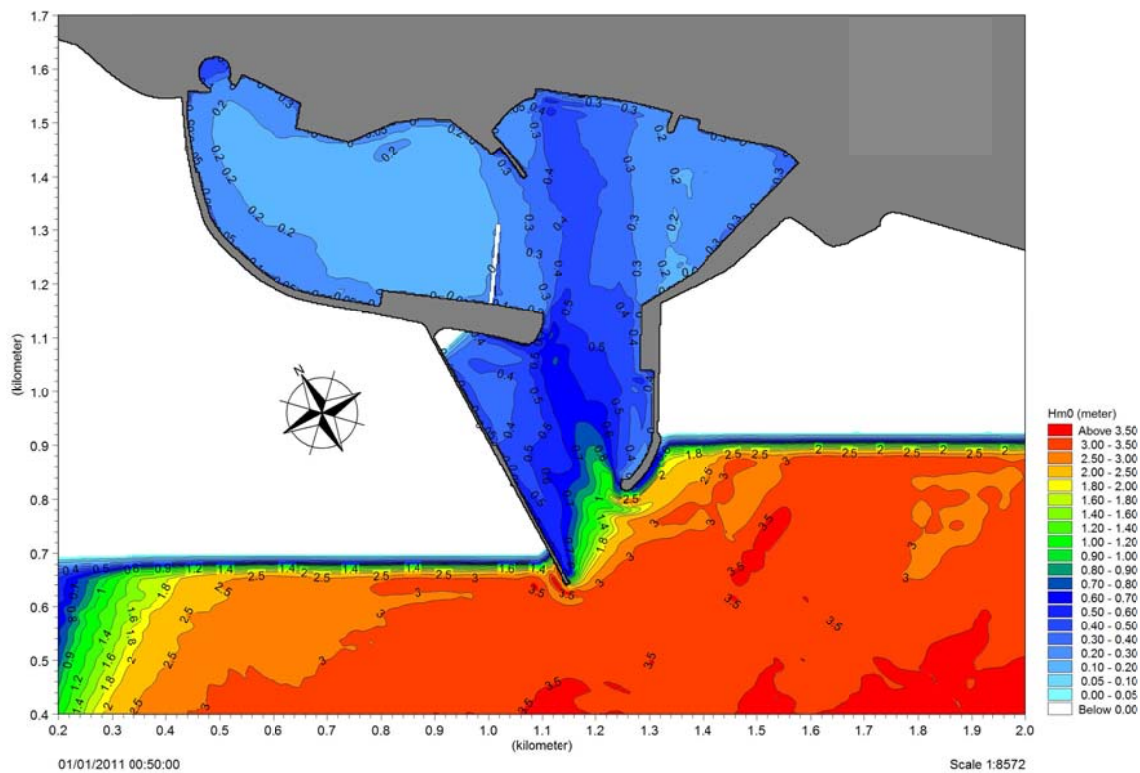


Figura 31 – Campo di altezze d’onda significativa risultante con un’onda al largo con direzione = 256°N, Hs = 4.0 m, Tp = 9.80 s.

3.2.3.

IPOTESI 3

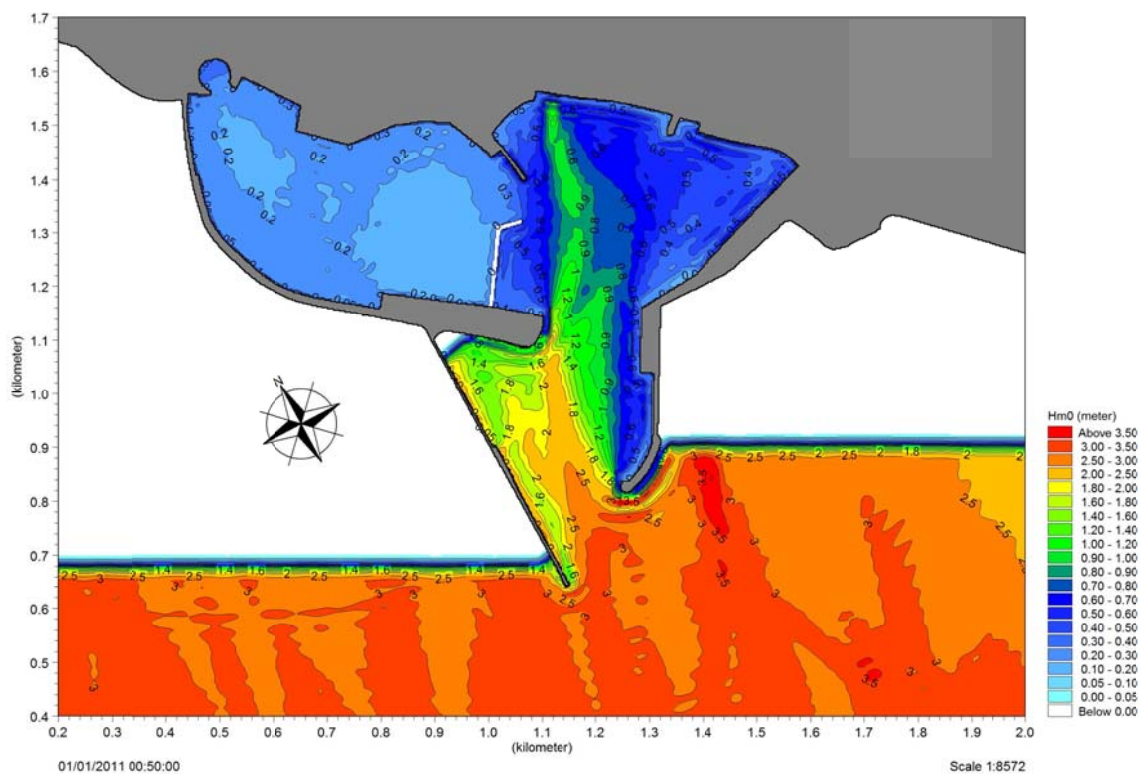


Figura 32 – Campo di altezze d’onda significativa risultante con un’onda al largo con direzione = 193°N, Hs = 3.28 m, Tp = 7.50 s.

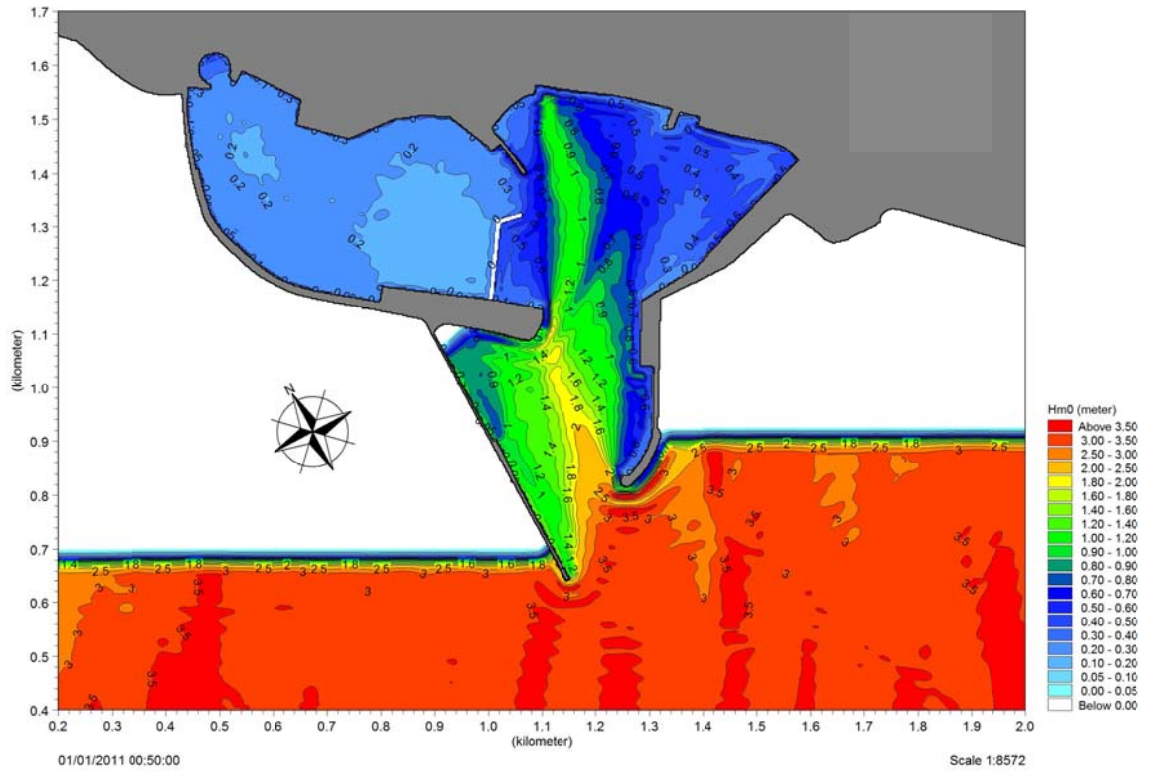


Figura 33 – Campo di altezze d’onda significativa risultante con un’onda al largo con direzione = 217°N, Hs = 3.62 m, Tp = 7.90 s.

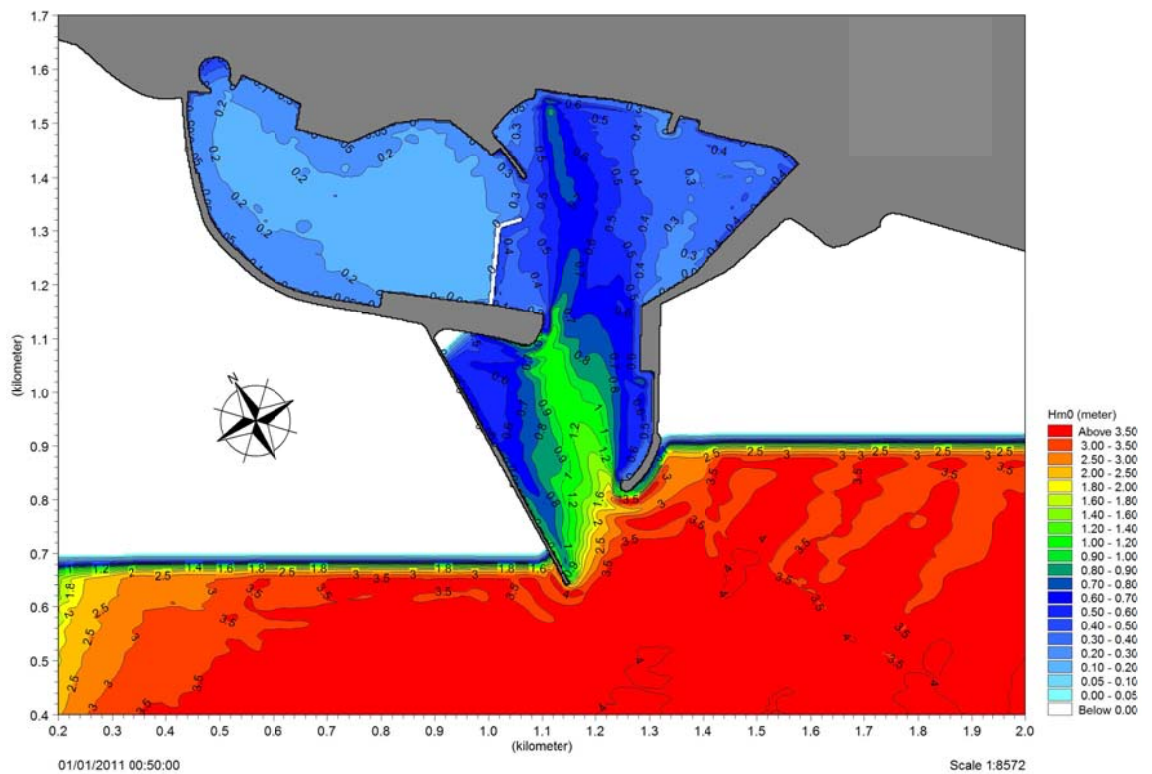


Figura 34 – Campo di altezze d’onda significativa risultante con un’onda al largo con direzione = 241°N, Hs = 4.1 m, Tp = 9.60 s.

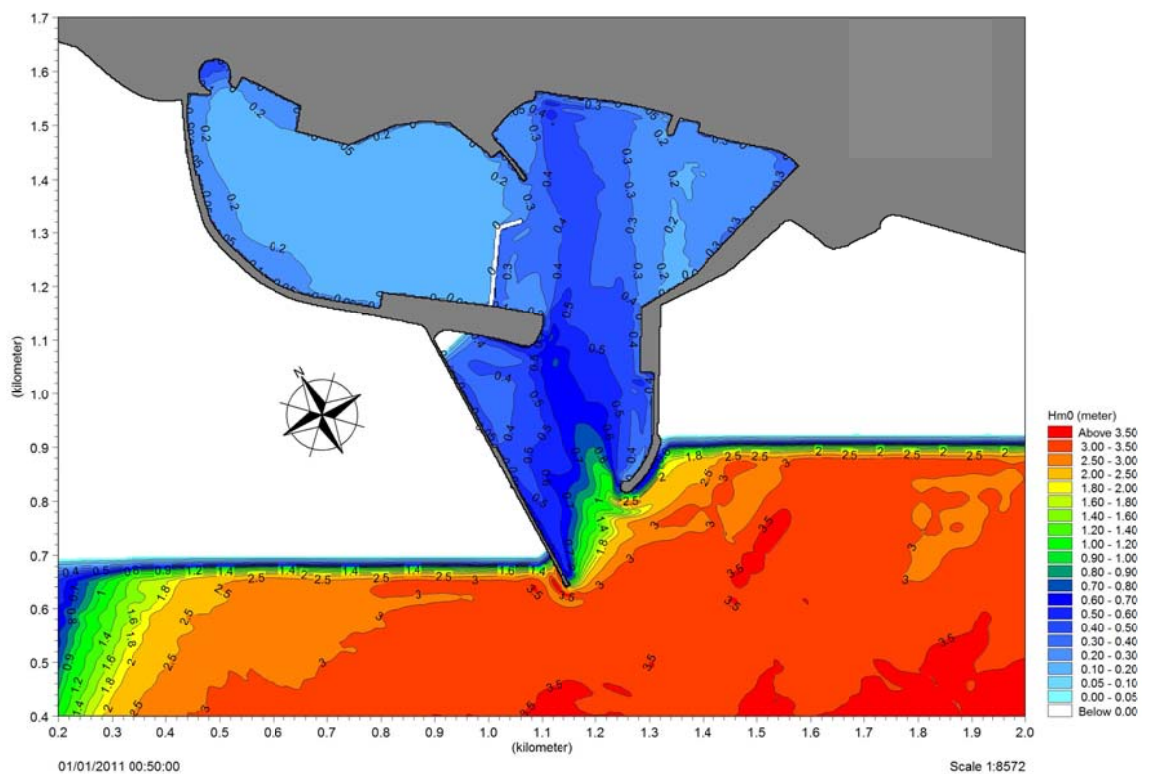


Figura 35 – Campo di altezze d’onda significativa risultante con un’onda al largo con direzione = 256°N, Hs = 4.0 m, Tp = 9.80 s.

Le figure evidenziano come il limite suggerito dal PIANC sia rispettato abbondantemente per tutte le direzioni relativamente alla zona richiesta in concessione dalla M.Y.R. s.r.l. solo per l’ipotesi n.ro 3.

Inoltre è peraltro necessario ricordare come le indicazioni fornite dal PIANC siano riferite a periodi compresi tra 2 ed 8 secondi mentre le onde estreme qui considerate, le cui caratteristiche sono state definite nell’ambito delle analisi di cui ai paragrafi precedenti, presentano periodi di picco spettrale superiori, compresi tra 7.5 ed 9.8 secondi per il tempo di ritorno di 5 anni.

Le mappe dei coefficienti di disturbo non sono presentate in relazione alle onde estreme stante la non necessità di applicare gli stessi a campi d’onda differenti da quelli simulati.

3.3. ANALISI DEGLI EVENTI CON TR = 50 ANNI

Al fine di verificare le condizioni “limite” indicate dal PIANC sono state condotte ulteriori simulazioni relative alle onde estreme caratterizzate da un tempo di ritorno pari a 50 anni, per tutti i settori di provenienza precedentemente considerati.

Come già riportato, le indicazioni del PIANC suggeriscono un limite di 0.50 m per l'altezza residua all'interno del bacino, in corrispondenza del tempo di ritorno 50 anni.

Anche per tali onde, così come per il tempo di ritorno 5 anni, non è possibile assumere costanti i valori dei coefficienti di disturbo, calcolati in relazione ad onde con altezze inferiori ed utilizzate nelle elaborazioni relative alle condizioni di “comfort”, stante la non linearità dei processi di trasformazione dei fronti d'onda.

Da ciò la necessità di condurre le ulteriori simulazioni presentate in questo paragrafo.

I risultati delle simulazioni relative al tempo di ritorno di 50 anni sono presentati nelle successive immagini in termini di campi d'altezza d'onda residua.

3.3.1. IPOTESI 1

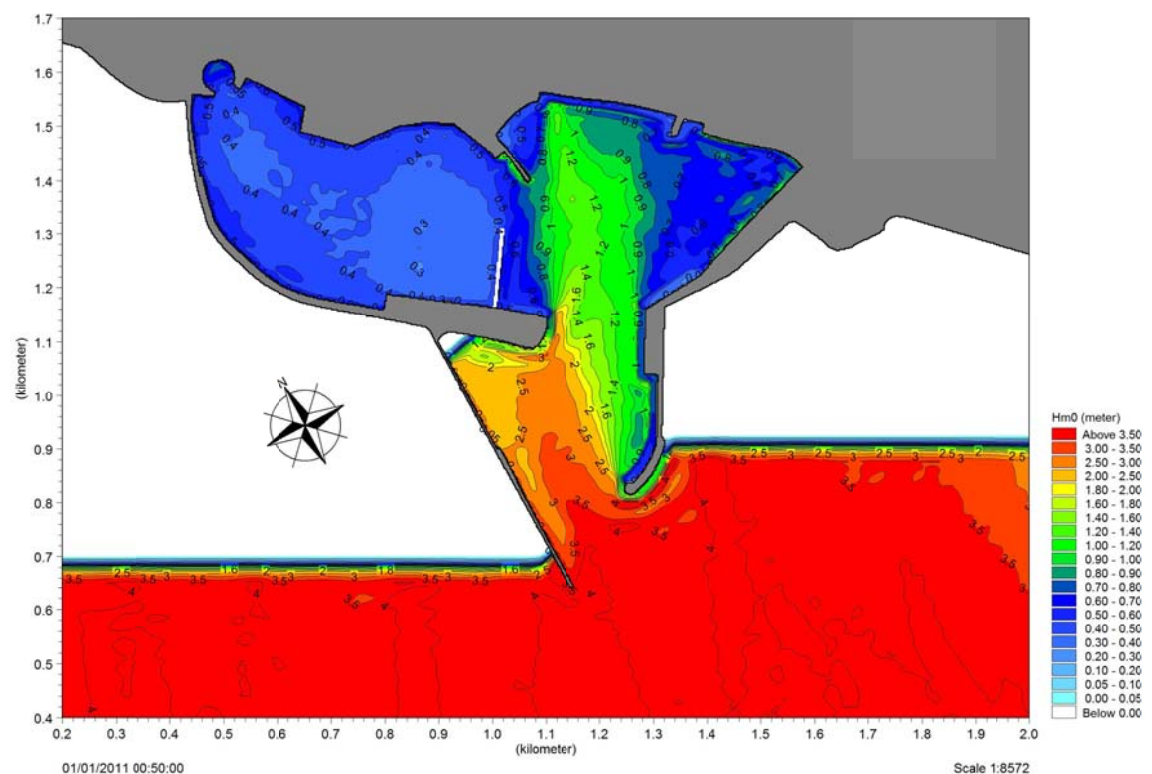


Figura 36 – Campo di altezze d'onda significativa risultante con un'onda al largo con direzione = 200°N, Hs = 4.50 m, Tp = 9.90 s.

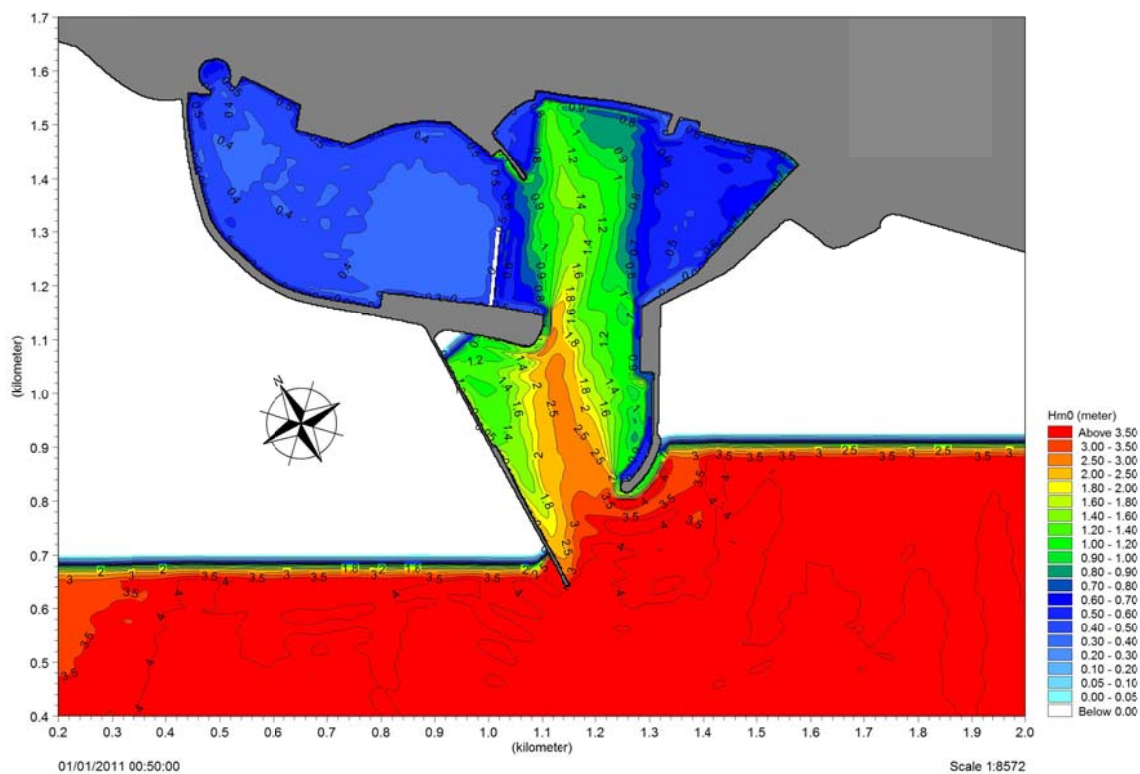


Figura 37 – Campo di altezze d’onda significativa risultante con un’onda al largo con direzione = 219°N, Hs = 4.70 m, Tp = 10.60 s.

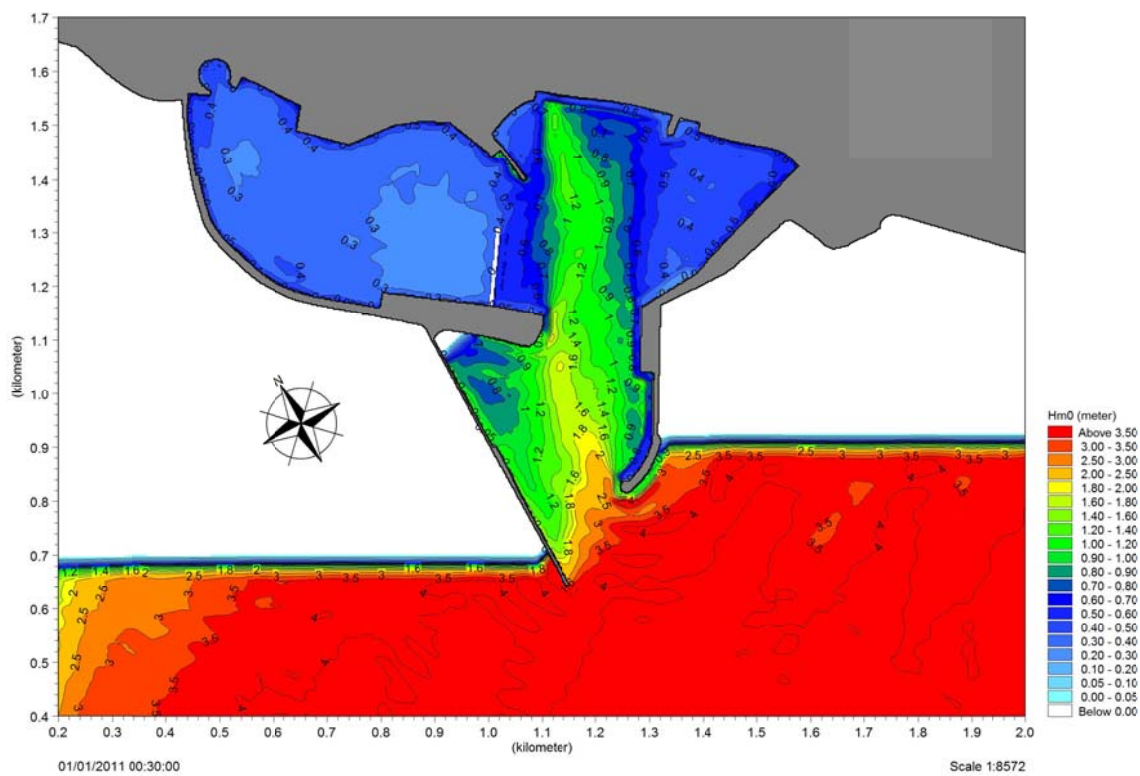


Figura 38 – Campo di altezze d’onda significativa risultante con un’onda al largo con direzione = 238°N, Hs = 4.80 m, Tp = 11.20 s.

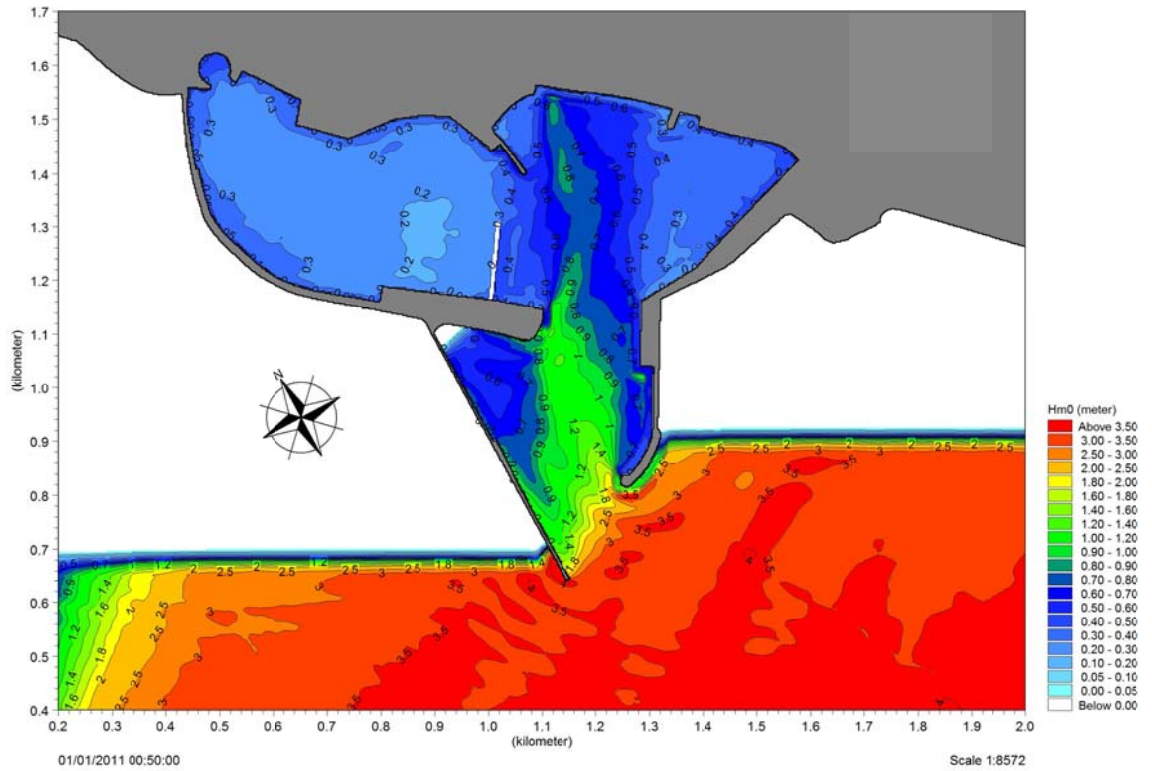


Figura 39 – Campo di altezze d’onda significativa risultante con un’onda al largo con direzione = 250°N, Hs = 4.70 m, Tp = 11.70 s.

3.3.2. IPOSTESI 2

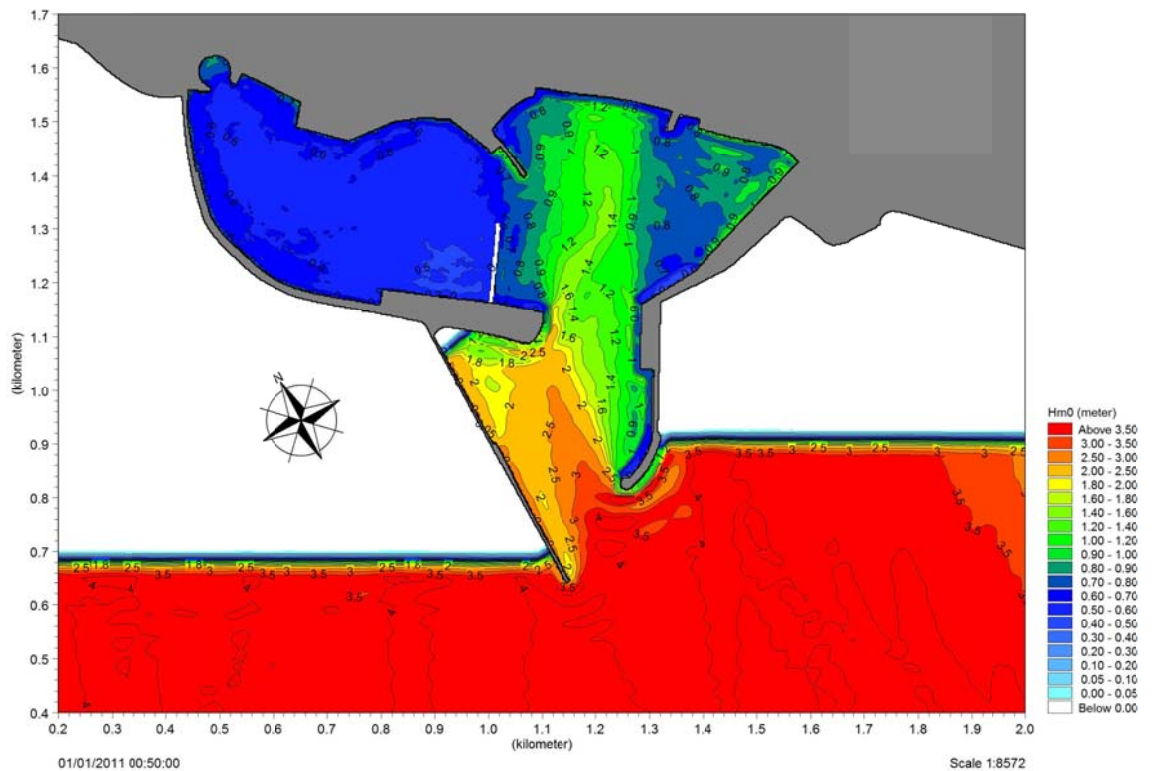


Figura 40 – Campo di altezze d’onda significativa risultante con un’onda al largo con direzione = 200°N, Hs = 4.50 m, Tp = 9.90 s.

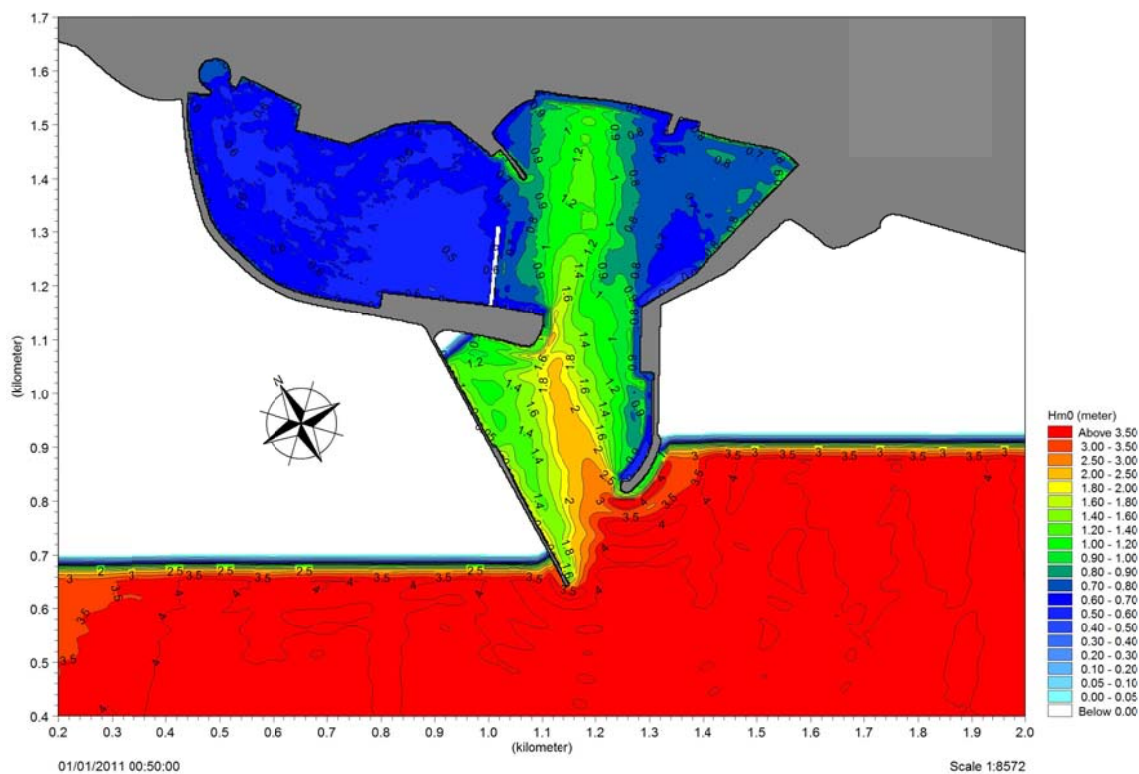


Figura 41 – Campo di altezze d’onda significativa risultante con un’onda al largo con direzione = 219°N, Hs = 4.70 m, Tp = 10.60 s.

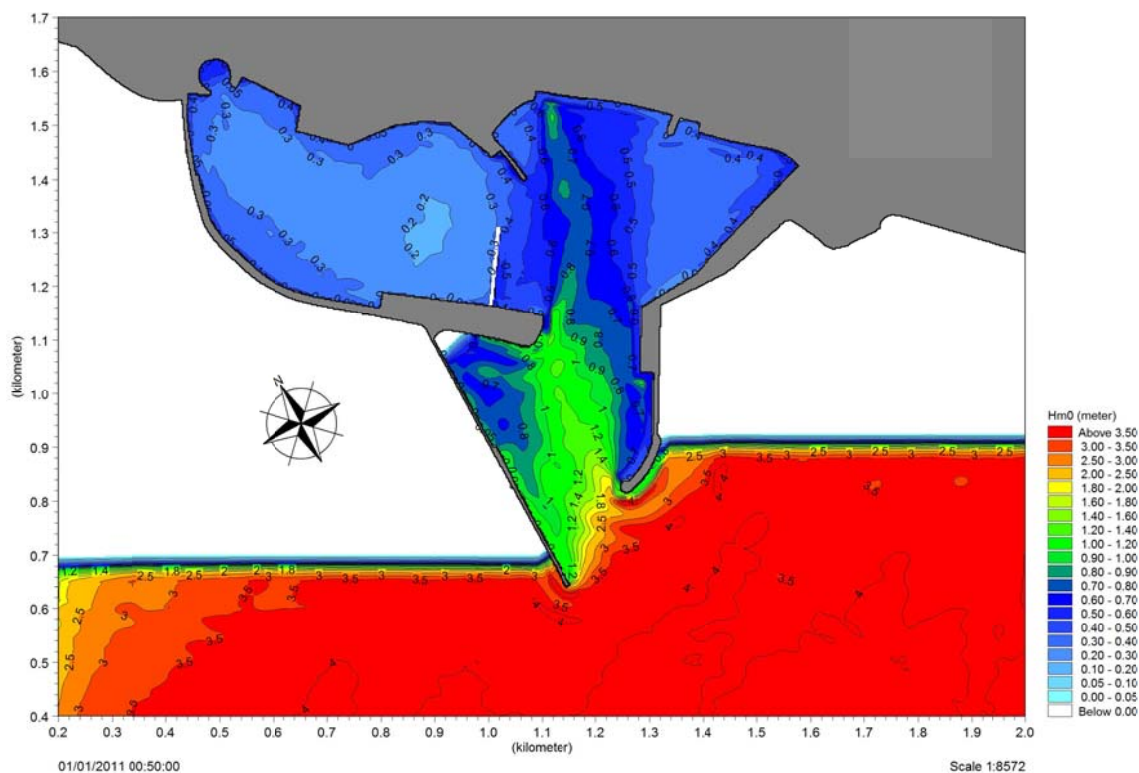


Figura 42 – Campo di altezze d’onda significativa risultante con un’onda al largo con direzione = 238°N, Hs = 4.80 m, Tp = 11.20 s.

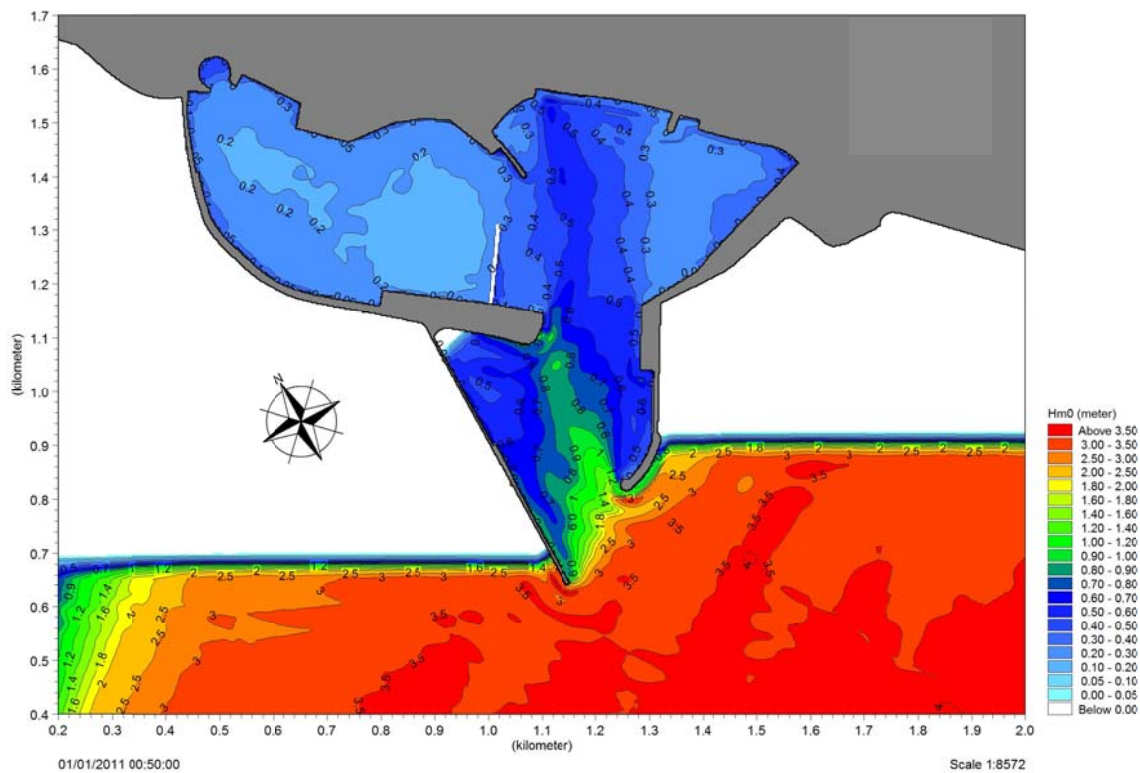


Figura 43 – Campo di altezze d’onda significativa risultante con un’onda al largo con direzione = 250°N, Hs = 4.70 m, Tp = 11.70 s.

3.3.3.

IPOTESI 3

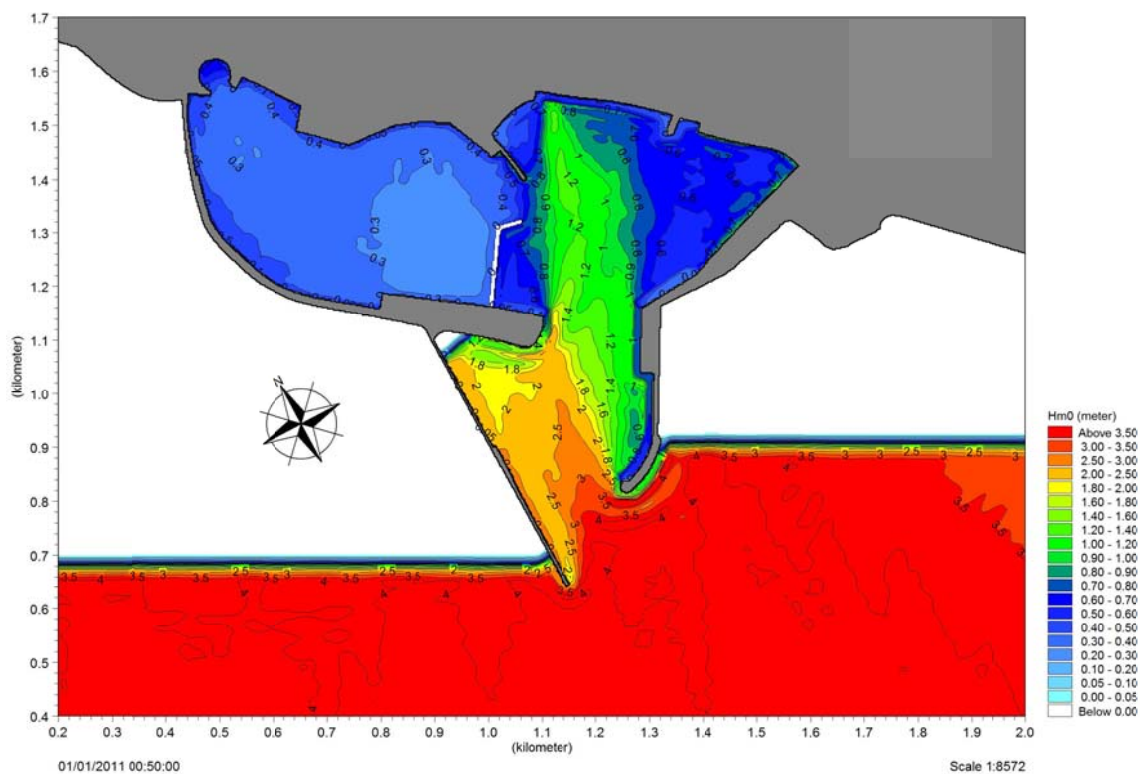


Figura 44 – Campo di altezze d’onda significativa risultante con un’onda al largo con direzione = 200°N, Hs = 4.50 m, Tp = 9.90 s.

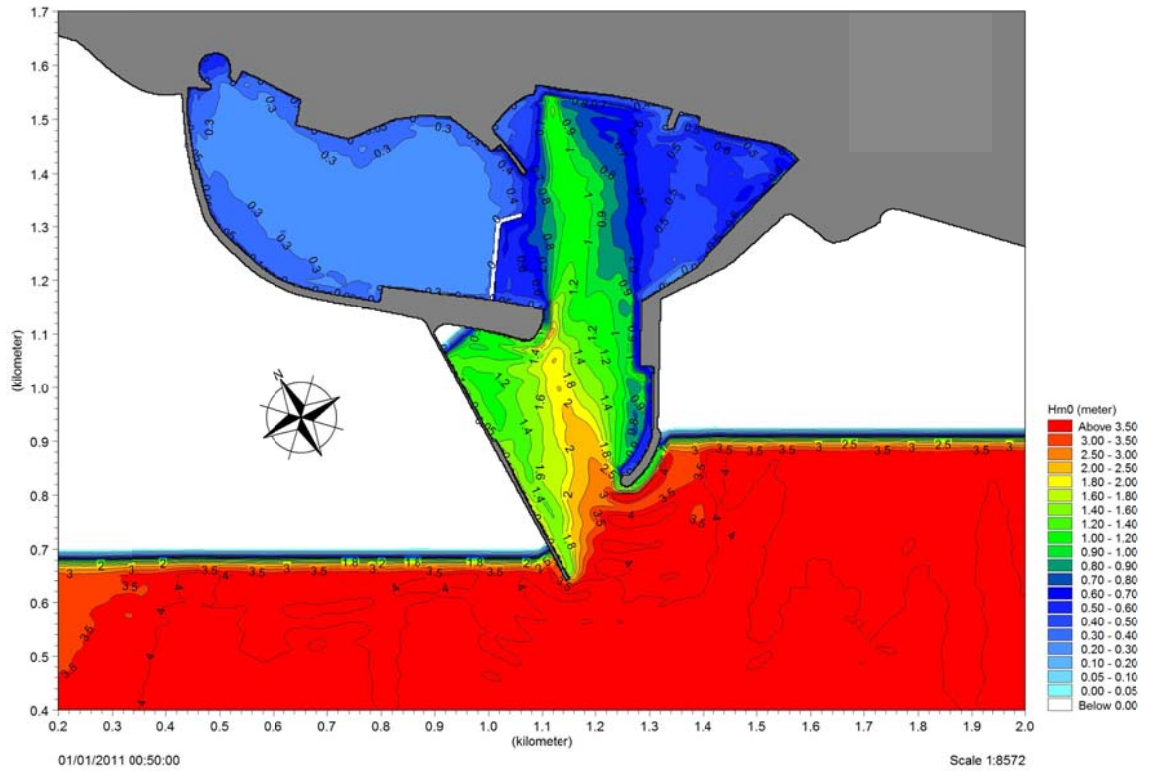


Figura 45 – Campo di altezze d’onda significativa risultante con un’onda al largo con direzione = 219°N, Hs = 4.70 m, Tp = 10.60 s.

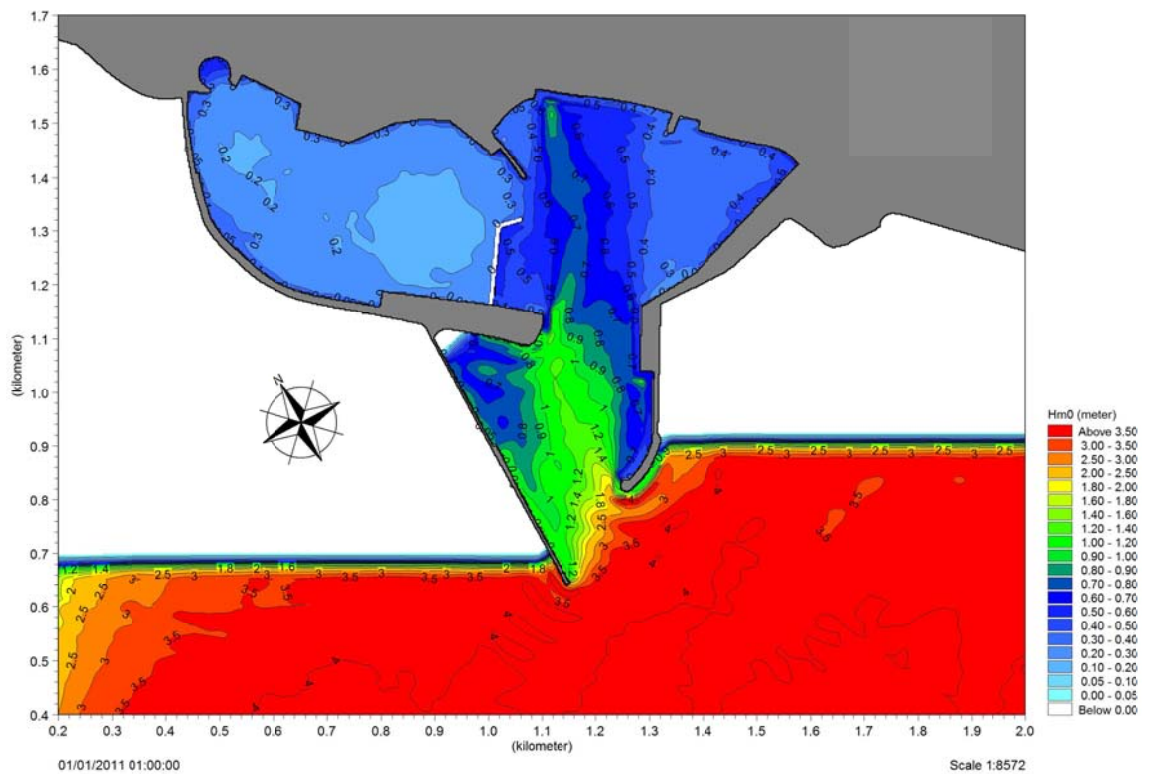


Figura 46 – Campo di altezze d’onda significativa risultante con un’onda al largo con direzione = 238°N, Hs = 4.80 m, Tp = 11.20 s.

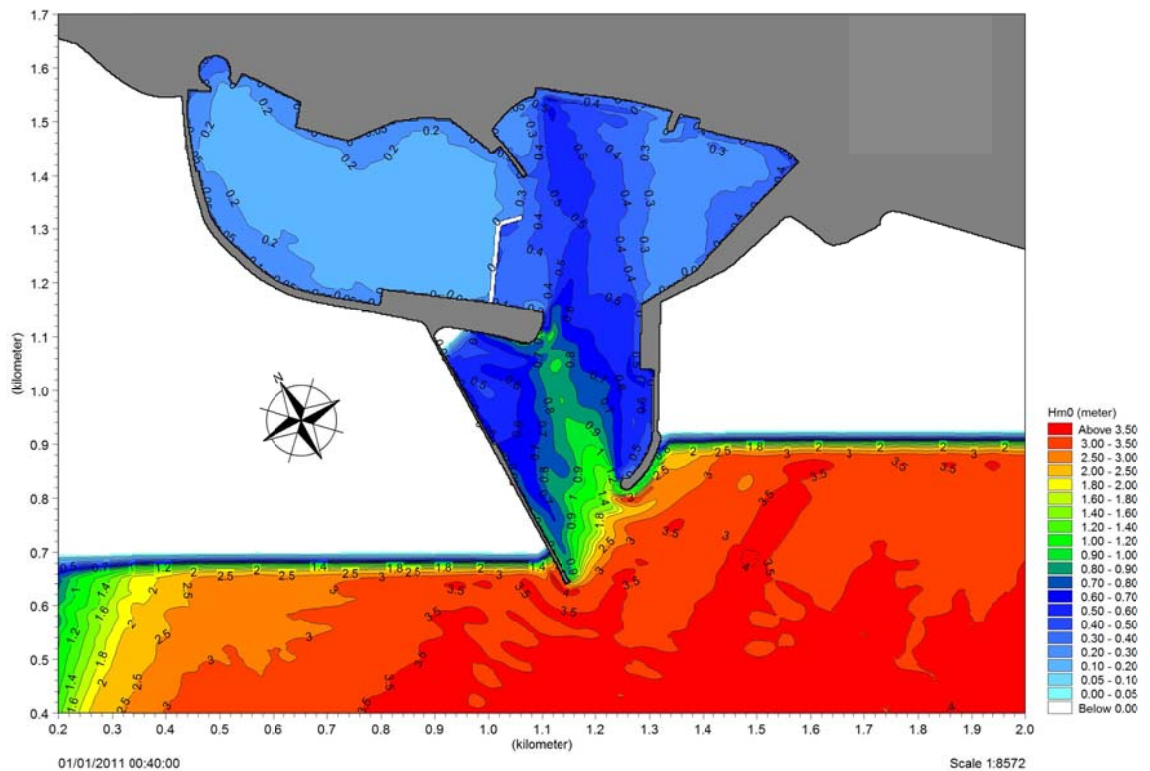


Figura 47 – Campo di altezze d’onda significativa risultante con un’onda al largo con direzione = 250°N, Hs = 4.70 m, Tp = 11.70 s.

Le figure evidenziano come il limite suggerito dal PIANC sia rispettato abbondantemente per tutte le direzioni relativamente alla zona richiesta in concessione dalla M.Y.R. s.r.l. solo per l’ipotesi n.ro 3.

Inoltre è peraltro necessario ricordare come le indicazioni fornite dal PIANC siano riferite a periodi compresi tra 2 ed 8 secondi mentre le onde estreme qui considerate, le cui caratteristiche sono state definite nell’ambito delle analisi di cui ai paragrafi precedenti, presentano periodi di picco spettrale superiori, compresi tra 9.9 ed 11.70 secondi per il tempo di ritorno di 50 anni.

Le mappe dei coefficienti di disturbo non sono presentate in relazione alle onde estreme stante la non necessità di applicare gli stessi a campi d’onda differenti da quelli simulati.

4. CONCLUSIONI

Nel presente elaborato si è effettuata l'analisi del moto ondoso finalizzata allo studio, mediante modellazione bidimensionale, dell'agitazione ondosa residua all'interno del bacino portuale nelle condizioni di progetto, in termini di altezza d'onda e di coefficienti di disturbo.

Sulla base dei dati relativi al clima ondoso al largo e dei risultati delle simulazioni numeriche, è stato possibile condurre un'analisi statistica relativa all'agitazione residua interna al nuovo porto turistico di Marsala.

Facendo riferimento alle indicazioni, ed in particolare alla condizione definita "di comfort", l'analisi è stata condotta in riferimento al valore soglia di 0.15 m, rispetto al quale è prevista una tolleranza di superamento massima pari a 5 giorni all'anno.

L'analisi ha evidenziato come il valore soglia indicato dal PIANC risulta superato per un numero di giorni molto basso (minore di 5) su base media annua per l'area richiesta in concessione dalla M.Y.R. s.r.l. per l'ipotesi 3.

Per quanto concerne la verifica delle condizioni di sicurezza e delle condizioni limite, il limite suggerito dal PIANC è risultato rispettato per tutte le direzioni relativamente alla zona interna del porto, laddove è previsto l'ormeggio di imbarcazioni da parte della M.Y.R. s.r.l.