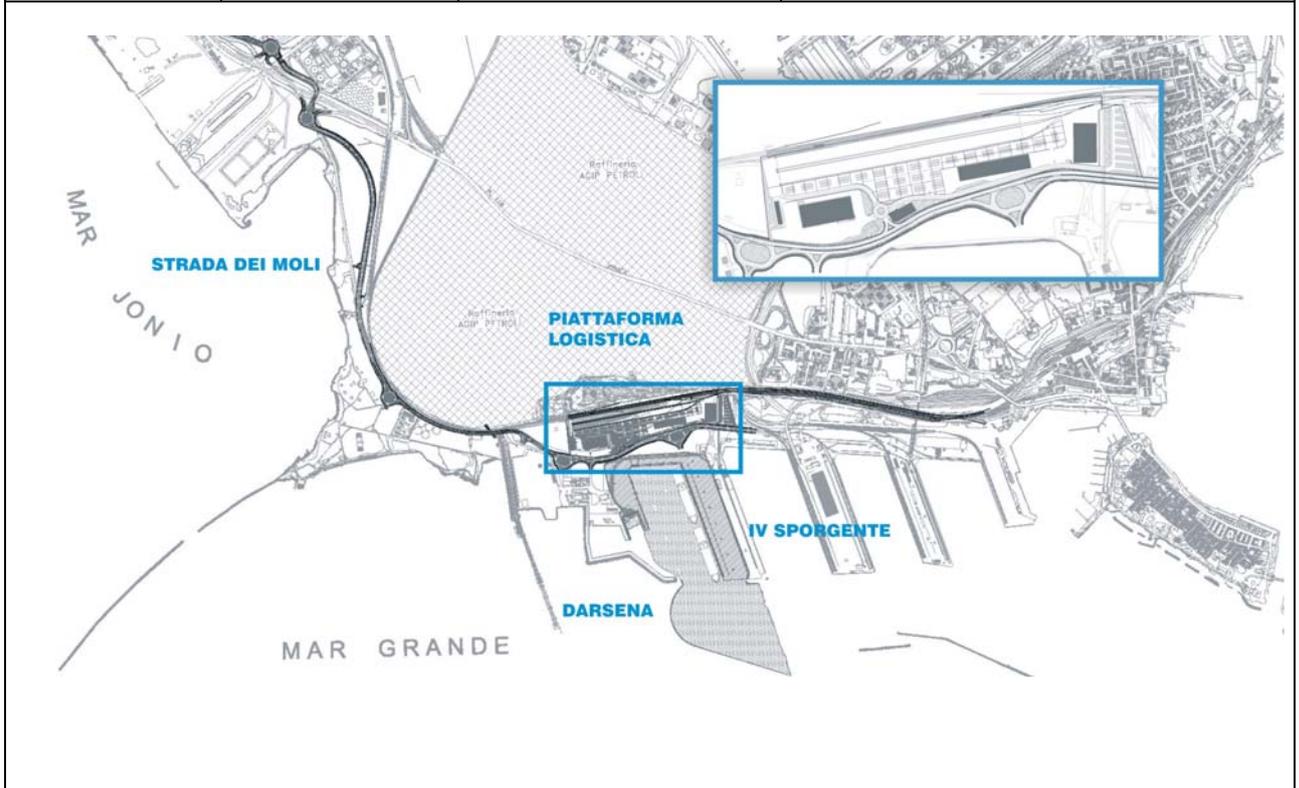




Titolo PROGETTO DEFINITIVO Ampliamento IV Sporgente e Darsena Ovest Studio Meteomarinario e Agitazione residua interna			Documento no. 123.700 B1 OOA S 003	Rev 01	Pag. 1	di 62
			 Autorità Portuale di Taranto			
Tipo doc. MR1	Emesso da DTL	Commessa no. 123-700	Progetto: Piastra Portuale di Taranto Legge obiettivo delibera CIPE 74/03 Responsabile del procedimento: Ing. D. Daraia			



Progettazione 	Consulenti Progettisti   	Il Direttore Tecnico: Dott. Ing. Andrea PANIZZA Il Direttore Tecnico: Dott. Ing. Marco GONELLA
---	--	---

P	A	Redatto	Controllato	Controllato	Approvato	Rev.	Prima emissione	Data
P	A	P. Atzeni	M.Soldati	A.Panizza	G.Geddo	01	Prima emissione	29-09-2006
P	A	P. Atzeni	M.Soldati	A.Panizza	G.Geddo	00	Emissione in bozza	31-05-2006
St.	Sc.	Redatto	Controllato	Controllato	Approvato	Rev.	Tipo di revisione	Data

SOCIETA' DI PROGETTO:
TARANTO LOGISTICA S.p.A



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	2	62

1	PREMESSE	3
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DEL PARAGGIO	3
2.1	FETCH GEOGRAFICI E FETCH EFFICACI.....	3
3	DATI METEOMARINI	11
3.1	DATI ONDAMETRICI	11
4	STATISTICA DEGLI EVENTI ESTREMI	12
5	TRASFERIMENTO DEL MOTO ONDOSI DA LARGO VERSO RIVA	14
5.1	DOMINIO DI CALCOLO	14
5.2	DATI DI INPUT	17
5.3	RISULTATI	18
6	APPLICAZIONE DEL MODELLO DI AGITAZIONE	27
6.1	SCENARI DI MODELLAZIONE.....	27
6.2	DATI DI INPUT	32
6.2.1	<i>Onde estreme</i>	32
6.2.2	<i>Onde con durata annuale</i>	32
6.2.3	<i>Onde di lungo periodo</i>	32
6.3	RISULTATI	32
6.3.1	<i>Onde estreme</i>	32
6.3.2	<i>Onde con durata annuale</i>	41
6.3.3	<i>Onde di lungo periodo</i>	50
7	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	54
	APPENDICE A – DESCRIZIONE DEL MODELLO MIKE21 NSW	56
	APPENDICE B – DESCRIZIONE DEL MODELLO MIKE21 BW	59



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	3	62

1 PREMESSE

Nell'ambito della progettazione dell'ampliamento del IV sporgente e della realizzazione della nuova darsena di servizio del Porto di Taranto è stato impostato uno studio meteomarinario in modo da mettere in evidenza le forzanti che insistono sul paraggio e in particolare sulla nuova calata che si realizzerà tra la banchina Ovest del IV Sporgente e la darsena dei servizi.

Lo studio è stato eseguito ricorrendo ai dati disponibili in letteratura e analizzando lo studio pregresso effettuato per la redazione del Piano Regolatore Portuale.

In particolare vengono analizzati i dati ondametrici relativi ai rilievi effettuati dalla Boa Ondametrica della Rete Ondametrica Nazionale situata nel paraggio di Crotone ed elaborati con il metodo della trasposizione geografica per renderli compatibili con il paraggio di Taranto. L'elaborazione statistica quindi permette di verificare quali siano le ondate estreme e relative ai tempi di ritorno adottati per la progettazione. Tali ondate verranno poi trasferite sottocosta mediante l'applicazione di un modello di rifrazione spettrale diretta che permette di calcolare il campo di moto ondoso tenendo conto dei fenomeni principali di attenuazione come la rifrazione, lo shoaling, il frangimento, l'attrito con il fondo.

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DEL PARAGGIO

Il paraggio del porto di Taranto è sito nel Mar Ionio nell'intorno di coordinate geografiche 40°28'N e 17°13'E, il settore di traversia principale è compreso tra 123°N verso la costa ionica del Salento e 178°N fino al Capo Rizzuto in Calabria. Il settore di traversia secondario è invece compreso tra i 178°N ed i 229°N fino alle coste della Basilicata.

La batimetria del paraggio è quella tipica del Mar Ionio con profondità elevate a pochi chilometri dalla costa. La piattaforma continentale infatti si trova ad appena due o tre chilometri dalla costa.

Il porto è situato all'interno di un bacino racchiuso da due dighe foranee che individuano il cosiddetto Mar Grande. Quest'ultimo ha circa una forma ellittica con l'asse maggiore orientato per circa 300°N e lungo circa 7.8 km ed ha un'area complessiva di circa 4.100 ha. L'imboccatura principale del Mare Grande è larga circa 1500 m ed ha l'asse medio orientato per 34°N. Un'altra imboccatura, larga circa 90 m, si trova sul versante occidentale dell'opera foranea e collega il Mare Grande con l'area polisettoriale.

2.1 Fetch geografici e fetch efficaci

La lunghezza di mare libero interessata dai fenomeni di generazione e sviluppo del moto ondoso, misurata nella direzione del vento, è detta fetch. Per fetch geografico si intende la distanza del paraggio in studio dalla costa opposta. Nel caso specifico, in considerazione del fatto che per alcune direzioni il fetch geografico si estende anche oltre i 1000 km, ipotizzando che sia molto improbabile che il vento possa mantenere la stessa direzione ed intensità per distanze tanto grandi e per tempi tanto lunghi da condizionare lo sviluppo delle onde, si è imposto un limite meteorologico di 600 km alla sua estensione. Questa ipotesi, suggerita anche dall'Atlante delle Onde nei mari Italiani, redatto dall'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici (APAT), è valida soprattutto nei mari italiani dove le condizioni di variabilità del clima possono cambiare repentinamente e da zona a zona.

Inoltre, nel caso di mari di estensioni ridotte come il Mare Mediterraneo risulta opportuno considerare il fetch efficace, inteso come porzione di mare effettivamente interessata dagli stati di agitazione ondosa, che tiene dunque conto dei fenomeni di dispersione direzionale dell'energia associata al vento e al moto ondoso.

Il calcolo è stato fatto mediante la formula di Seymour in cui la lunghezza del fetch efficace per una determinata direzione è data da:

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	4	62

$$F_{e,w} = \frac{\sum_{\phi_i = \phi_w - \theta}^{\phi_w + \theta} F_i \cos^{n+1}(\phi_i - \phi_w)}{\sum_{\phi_i = \phi_w - \theta}^{\phi_w + \theta} \cos^n(\phi_i - \phi_w)}$$

dove:

ϕ_w è la direzione del fetch;

ϕ_i è la direzione i^{esima} relativa ad un settore di 2θ considerato nell'intorno della direzione ϕ_w ;

θ è la semi ampiezza del settore angolare considerato (2θ vale 90° per Seaville e 180° per Seymour)

$F_{e,w}$ è la lunghezza del fetch efficace relativa alla direzione ϕ_w ;

F_i è la lunghezza del fetch efficace relativa alla direzione i^{esima} : ϕ_i ;

n è il termine esponenziale definito in funzione della legge di distribuzione direzionale degli spettri (generalmente si assume $n=2$).

Per il paraggio in esame è stato fatto il calcolo delle lunghezze del fetch efficace applicando il metodo di Seymour in un punto posto all'esterno delle opere foranee del Mar Grande, considerando il fetch geografico limitato a 600 km. In Figura 1 è rappresentata l'estensione del fetch geografico ed efficace relativo al paraggio di Taranto.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	5	62

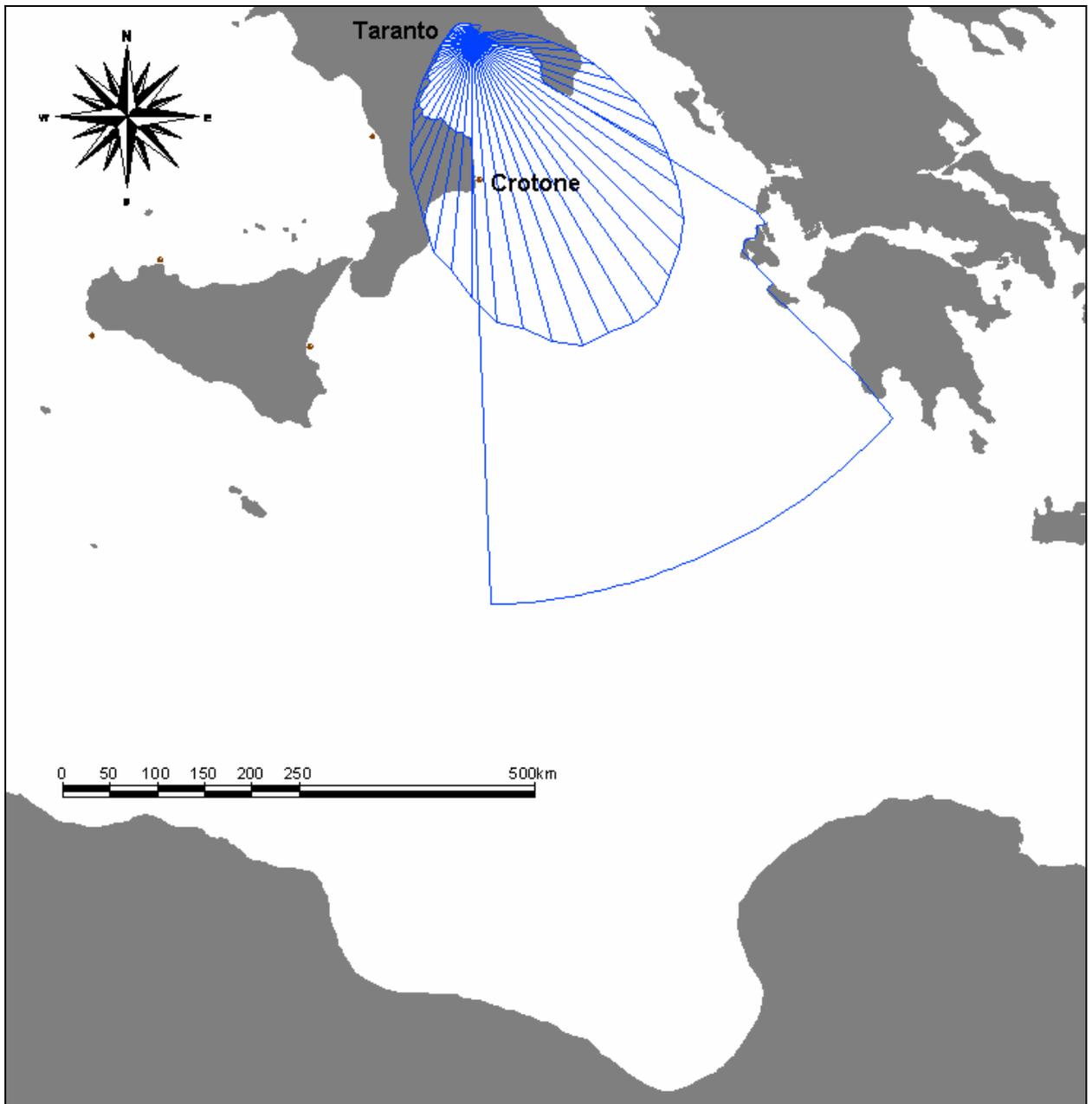


Figura 1 – Fetch geografico ed efficace per il paraggio di Taranto

Nella Tabella 1 sono riportate le lunghezze di fetch efficace calcolate per settori di 5° e riportate, per semplicità, ogni 15°

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	6	62

dir (°N)	Fetch ef (km)	Fetch geo (km)
15	14.2	18.8
30	12.9	19.4
45	13.3	8.6
60	19.7	9.5
75	40.9	12.1
90	85.8	23.6
105	156.1	73.5
120	239.4	103.7
135	310.5	600
150	344.4	600
165	329.6	600
180	273.4	121.9
195	198.1	93.1
210	128.5	93.2
225	79.4	64.2
240	51.6	46.8
255	37.8	35.2
270	30.2	30
285	25.2	26.1
300	22.1	24.3
315	20.2	23.7
330	18.8	22.7
345	17.5	20.7
360	15.9	18.5

Tabella 1 – Fetch efficaci e geografici per il paraggio di Taranto

Come si può notare dalla tabella il fetch con lunghezze maggiori si ha nell'intervallo compreso all'interno del settore di traversia principale con lunghezze dell'ordine delle centinaia di km, con una punta di circa 350 km nella direzione di 150°N.

Un'analisi del fetch fatta mediante metodi più aggiornati (SPM84) mette in evidenza maggiormente le morfologie delle coste adiacenti e, a causa del metodo di calcolo, individua sostanzialmente delle lunghezze maggiori. Il metodo suggerito nello Shore Protection Manual del 1984 e riconfermato nel più recente Coastal Engineering Manual prevede il calcolo delle lunghezze dei fetch geografici dei nove raggi, spazati di 3°, adiacenti alla direzione principale presa in considerazione. La lunghezza del fetch efficace non è altro che la media aritmetica della lunghezza dei nove raggi (quattro a destra, quattro a sinistra e uno relativo alla direzione principale).

Il calcolo del fetch efficace è stato fatto anche per il paraggio di Crotona laddove è posizionata la boa della Rete Ondametrica Nazionale. In tal modo, confrontando i digrammi e le lunghezze dei fetch, è possibile fare la trasposizione geografica dei dati rilevati dalla boa, verso il paraggio di Taranto.

Nella seguente figura sono riportati i fetch geografici ed efficaci del sito di Crotona. Tali fetch sono stati calcolati utilizzando i medesimi parametri impostati per il calcolo del fetch di Taranto, ovvero è stato utilizzato il metodo di Seymour con raggi ogni 5° e considerando la posizione stessa della boa ondametrica.

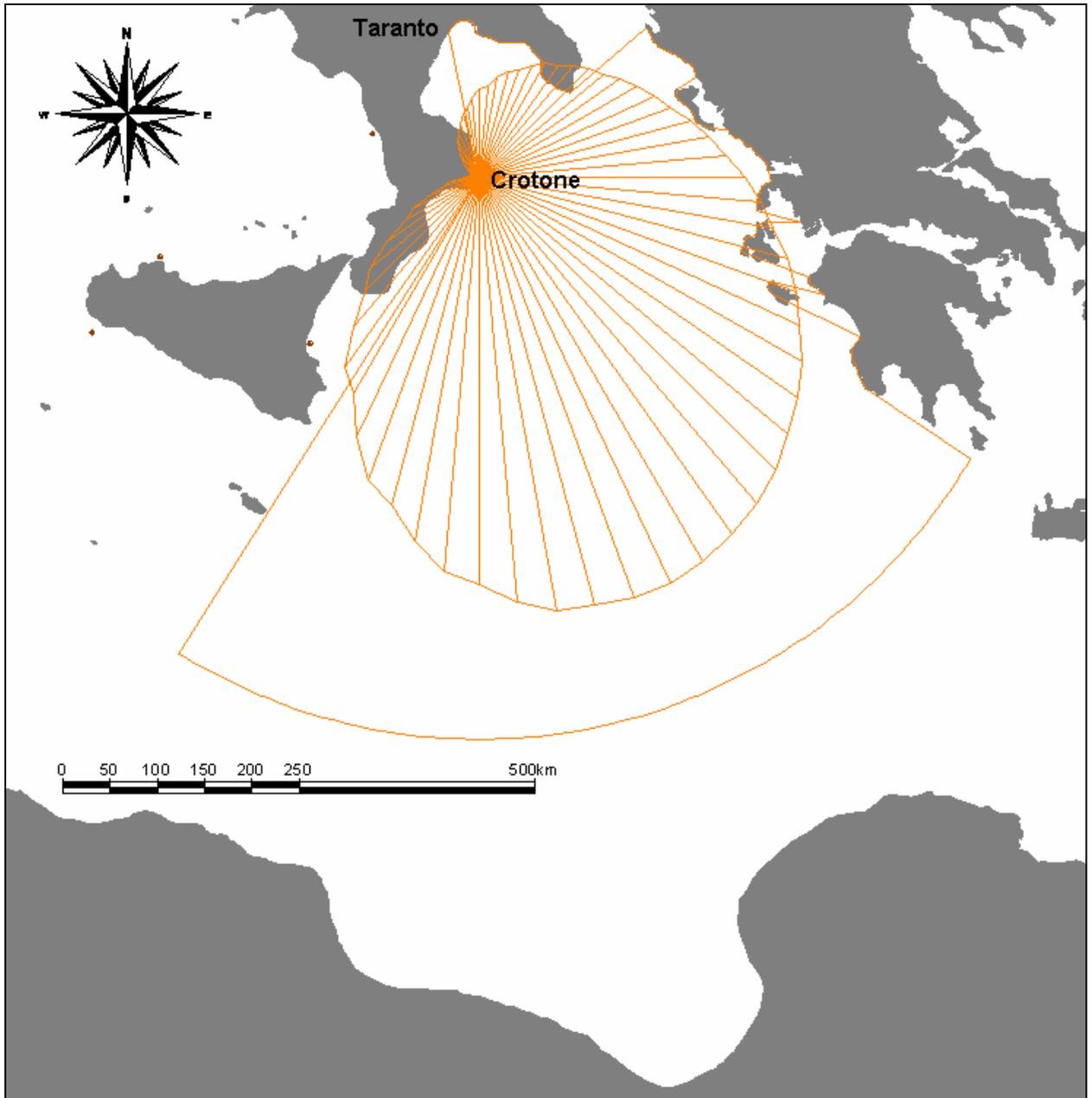


Figura 2 – Fetch geografico ed efficace per il paraggio di Taranto

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	8	62

dir (°N)	Fetch ef (km)	Fetch geo (km)
15	14.2	18.8
30	12.9	19.4
45	13.3	8.6
15	116.8	148.2
30	139.8	132
45	163.9	129.5
60	193	248.9
75	231.7	235.9
90	281	308.3
105	337.4	288.3
120	394.1	600
135	443.1	600
150	473.7	600
165	473.5	600
180	435.1	600
195	361.7	600
210	267.1	600
225	170.4	6.2
240	90.2	4.9
255	37.8	4.9
270	13.3	5.4
285	8.5	5.9
300	14.5	6.1
315	27.4	12

Tabella 2 – Fetch efficaci e geografici per il paraggio di Crotona

Dalla sovrapposizione dei due Fetch in Figura 3 è possibile osservare che il fetch di Taranto risulta meno esteso a causa del fatto che si ha un settore di traversia fondamentale più stretto e pertanto anche i dati estremali delle onde che raggiungono Taranto dovrebbero essere inferiori. E' quindi accettabile che per la caratterizzazione dei mari di Taranto si faccia riferimento ai dati di Crotona. Quest'ultimo infatti, avendo un maggiore fetch, ha, in teoria, delle altezze d'onda maggiori, ma con le stesse caratteristiche in termini di frequenza e ciò va a favore della sicurezza per la valutazione dell'onda di progetto.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
	Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	9

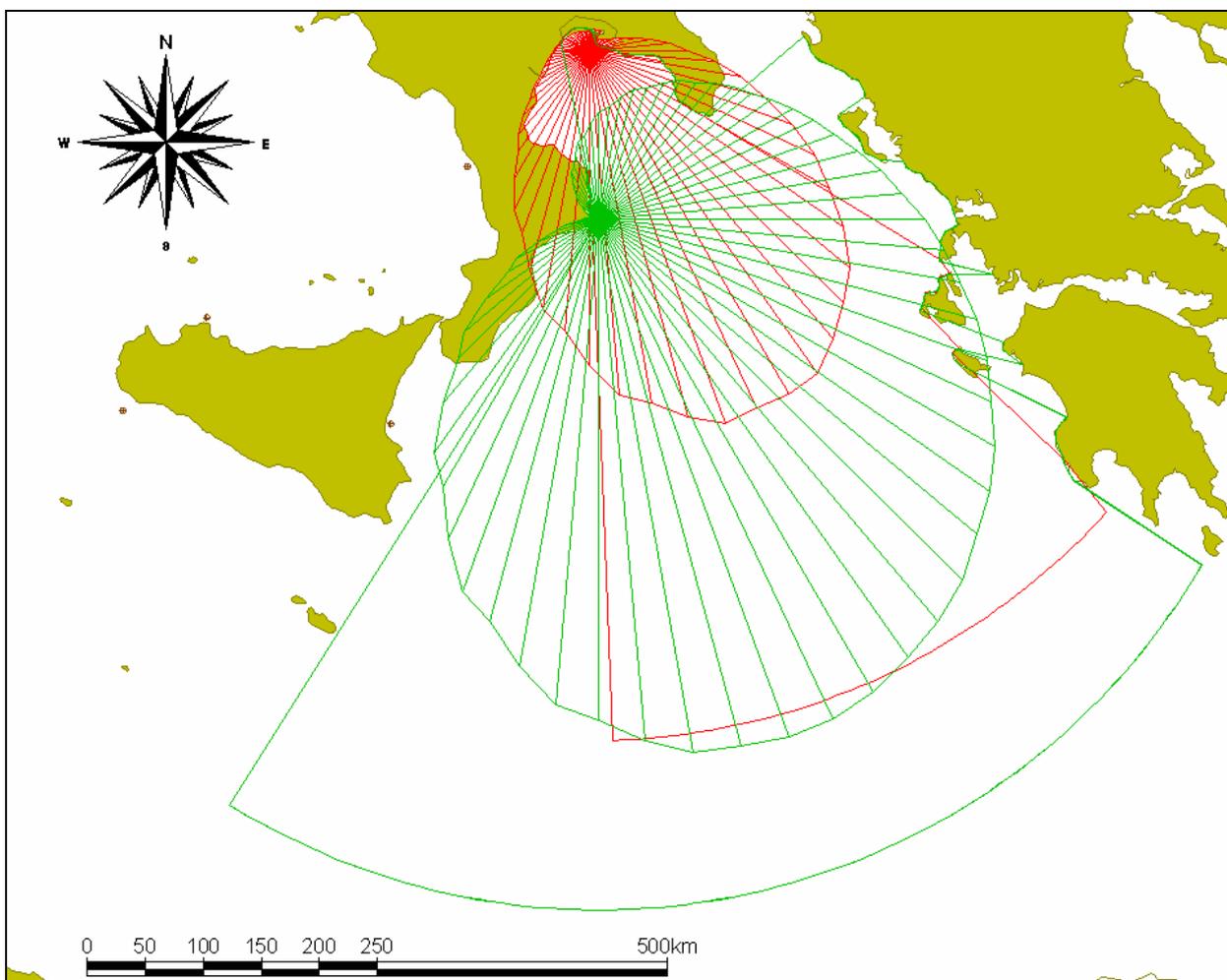


Figura 3 – Sovrapposizione dei fetch efficaci di Taranto e di Crotona calcolati con il metodo di Seymour

La sovrapposizione dei fetch in Figura 3 tiene conto dei fetch efficaci calcolati con il metodo di Seymour, il quale considera le estensioni di fetch compresi nei settori di 90° per parte rispetto alla direzione assunta come principale. Pertanto, avendo Taranto un settore di traversia più stretto di quello di Crotona, anche le direzioni con fetch geografici maggiori vengono influenzate dalle direzioni adiacenti e danno luogo ad un fetch efficace minore. Anche per i fetch efficaci calcolati con il metodo dello SPM 84, dove si considerano solamente 4 raggi per parte con un gap angolare di 3° (in totale 12° per parte anziché i 90° di Seymour), come risulta dalla Figura 4, si hanno per Taranto fetch inferiori a Crotona. L'unica differenza rispetto al criterio di Seymour riguarda l'estensione più ampia del fetch efficace per i due siti in esame che per alcune direzioni raggiunge i 600 km, ovvero il limite meteorologico assunto come ipotesi.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	10	62

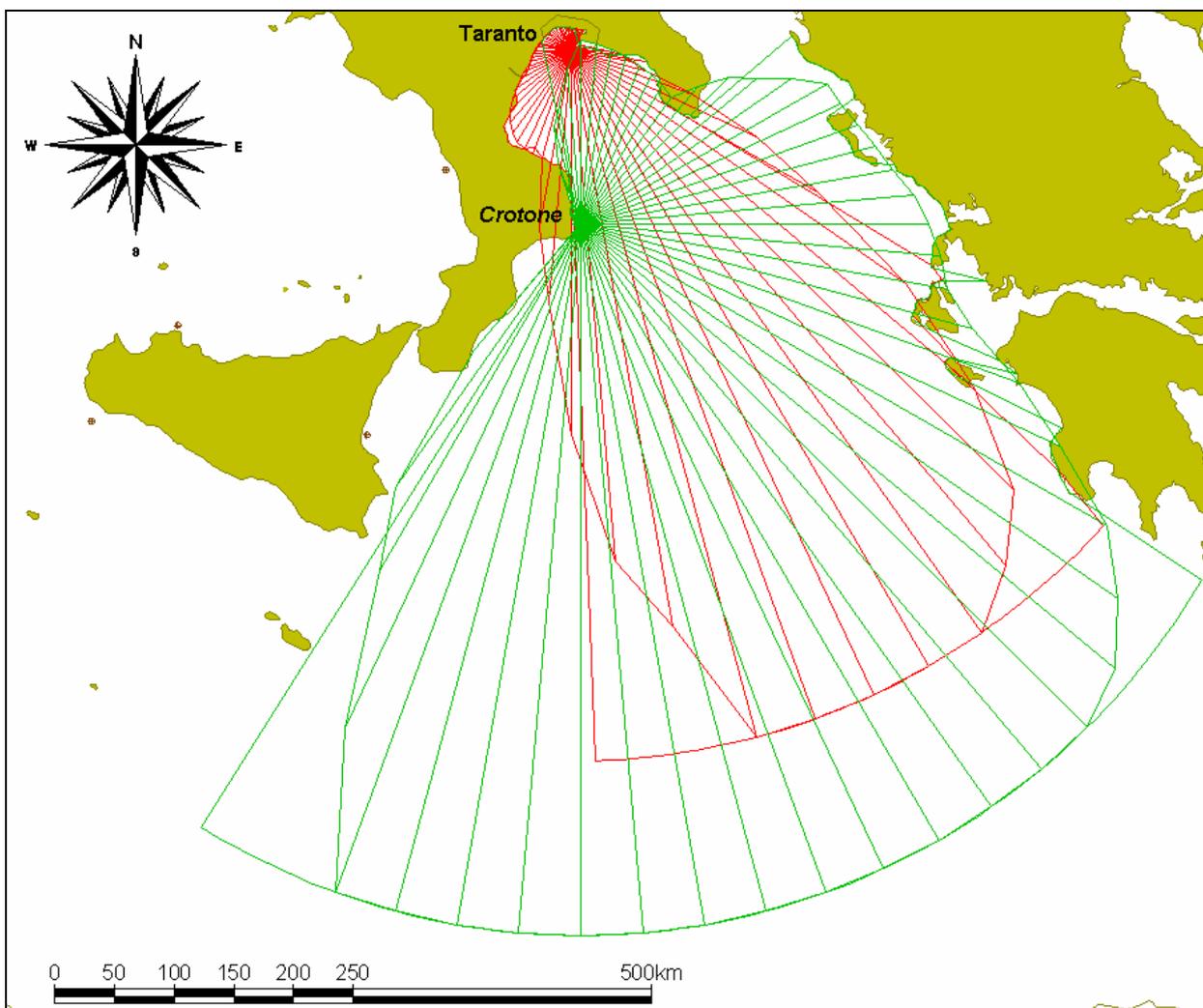


Figura 4 – Sovrapposizione dei fetch efficaci di Taranto e di Crotona calcolati con il metodo SPM84

Da tale analisi si conferma l'attendibilità dell'ipotesi di considerare valide per Taranto le stesse ondazioni che pervengono al paraggio di Crotona.

Nella seguente Tabella 3 vengono riportati i valori delle lunghezze dei fetch calcolate con i vari metodi presenti in letteratura sia per il paraggio di Taranto che per quello di Crotona.

Come si può notare dalla Tabella 3 le lunghezze dei fetch di Taranto relative alle direzioni del settore di traversia sono sempre inferiori a quelle di Crotona.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	11	62

dir. (°N)	TARANTO (in km)				CROTONE (in km)			
	Saville	Seymour	SPM	geografico	Saville	Seymour	SPM	geografico
15	15	14	19	19	126	117	147	148
30	13	13	15	19	152	140	135	132
45	12	13	9	9	173	164	176	130
60	15	20	10	10	200	193	238	249
75	24	41	13	12	239	232	255	236
90	71	86	30	24	299	281	291	308
105	156	156	64	74	362	337	340	288
120	263	239	239	104	429	394	508	600
135	366	311	525	600	486	443	600	600
150	406	344	600	600	527	474	600	600
165	387	330	600	600	548	474	600	600
180	307	273	324	122	492	435	600	600
195	206	198	94	93	402	362	600	600
210	121	129	90	93	289	267	337	600
225	62	79	72	64	173	171	7	6
240	50	52	48	47	77	90	5	5
255	39	38	36	35	14	38	5	5
270	30	30	30	30	6	13	6	6
285	26	25	27	26	7	9	6	6
300	23	22	24	24	9	15	7	6
315	22	20	24	24	25	28	12	12
330	20	19	23	23	48	46	17	17
345	19	18	21	21	75	69	86	37
360	17	16	19	19	99	93	155	152

Tabella 3 – Riepilogo delle lunghezze dei fetch calcolate con i vari metodi per i paraggi di Taranto e di Crotone

3 DATI METEOMARINI

3.1 Dati ondametrici

Seguendo la linea anticipata sopra, i dati ondametrici più idonei per la valutazione del moto ondoso nel paraggio di Taranto sono sicuramente quelli del rilievo strumentale effettuato dalla boa ondametrica di Crotone della Rete Ondametrica Nazionale che registra il moto ondoso del paraggio da circa 16 anni.

La boa è posizionata nel punto di coordinate 39°01'N e 17°13'E, è in funzione dal 01 luglio 1989 e campiona lo stato del mare ogni 3 ore se l'altezza d'onda significativa non supera i 3 m, altrimenti restituisce una misura ogni 30 minuti.

L'intensificazione della frequenza di campionamento è indispensabile al fine di mettere in evidenza, nell'ambito di una data mareggiata (con $H_s > 3.0$ m appunto) l'altezza massima.

I dati rilevati, che attualmente sono pubblici e scaricabili tramite Internet, fanno riferimento al periodo dal 9 luglio 1989 fino al 5 giugno 2005 con una efficienza (calcolata al 2001) del 93.2%. Sono pertanto disponibili ben 14 anni completi di rilevamenti che permettono di effettuare elaborazioni statistiche attendibili anche per estrapolazioni di oltre 50 anni.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	12	62



Strumenti	Boa DATAWELL Directional wavec MKI dal 01.07.1989 al 31.12.2001	
Posizione	39°01.4N	17°13.2E
Altezze di soglia	2.0 m	3.0 m
Misure	Periodicità 3 ore	30 min
Altezza significativa (Hm0)	Hm0 < 3.0m	Hm0 > 3.0m
Periodo di picco (Tp)	Hm0 < 3.0m	Hm0 > 3.0m
Periodo medio (Tm)	Hm0 < 3.0m	Hm0 > 3.0m
Direzione media totale di propagazione	Hm0 < 3.0m	Hm0 > 3.0m
Temperatura dell'acqua	Hm0 < 3.0m	Hm0 > 3.0m

Figura 5 – Scheda sintetica relativa alla boa ondometrica nel sito di Crotona (fonte www.idromare.com)

L'applicabilità dei dati rilevati dalla Boa di Crotona direttamente al paraggio di Taranto è giustificabile tenendo conto del fatto che, come anticipato nel paragrafo precedente, le lunghezze dei fetch efficaci di Crotona sono sempre maggiori di quelle di Taranto, pertanto anche effettuando una trasposizione geografica dei dati di moto ondoso si otterrebbero delle altezze d'onda minori. Pertanto applicare direttamente i dati di Crotona risulta una sovrastima cautelativa e a favore di sicurezza.

Il metodo della trasposizione geografica è basato sulle formule che permettono di calcolare l'altezza ed il periodo dell'onda in funzione del fetch e della velocità del vento (Vincent, 1984, Shore Protection Manual, 1984 – SPM 84). In particolare considerando tali formule si ha che l'altezza d'onda H_{m0} è proporzionale alla radice quadrata della lunghezza del fetch e il periodo T_m è proporzionale alla radice cubica. In questo modo considerando due punti A e B uno con fetch F_A e uno con fetch F_B è possibile affermare che il rapporto tra le altezze d'onda nei due punti è pari alla radice quadrata del rapporto tra i due fetch. Analogamente il rapporto tra i periodi è pari alla radice cubica del rapporto tra i fetch dei due siti.

L'assunzione necessaria è che nei due punti si abbiano le stesse condizioni anemologiche. Tale assunzione è plausibile in due siti non particolarmente distanti e con caratteristiche analoghe di esposizione come Taranto e Crotona, nonché per estensioni dei due fetch non molto estese oltre i 100 km.

4 STATISTICA DEGLI EVENTI ESTREMI

Il Piano Regolatore Portuale fa una valutazione degli eventi estremi di moto ondoso che possono interessare il porto di Taranto partendo dalla ricostruzione della serie storica ottenuta dai dati di vento registrati nella stazione anemometrica di Taranto. Il metodo impiegato per la ricostruzione è quello noto con l'acronimo SMB (dagli autori *Sverdrup, Munk e Bretschneider*) che, partendo dai dati di velocità media del vento, dalla sua durata e dall'estensione del fetch sul quale esso agisce, permette di determinare l'altezza dell'onda significativa. Il metodo presenta considerevoli limiti collegati alle ipotesi sulle quali si regge (soprattutto quella riguardante la velocità media del vento su tutto il fetch e per tutta la durata) per cui è considerato affidabile per estensioni di fetch non superiori ai 120 km anche se, di fatto, come nel caso di Taranto lo si è impiegato anche per ricostruzioni di moto ondoso con estensioni di fetch molto superiori al suddetto limite.

La ragione per cui la stima degli eventi estremi approvata dal Piano Regolatore Portuale sia quella ottenuta da una serie storica ricostruita è stata attribuita al fatto che, al momento, la serie storica dei dati di moto ondoso osservati strumentalmente dalla boa di Crotona non possedeva una serie annuale abbastanza estesa per effettuare una stima

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	13	62

affidabile degli eventi estremi. Peraltro, la serie storica ricostruita dai dati di vento, cautelativamente, è stata calcolata senza mettere alcun limite all'estensione del fetch. Conseguentemente, i risultati ottenuti dalla ricostruzione del moto ondoso e quindi impiegati per la stima degli eventi estremi hanno dato luogo a risultati particolarmente pessimistici dei valori di altezza d'onda.

Attualmente, disponendosi di una serie di dati registrati dalla boa di Crotone estesa per oltre 15 anni, tenuto conto del fatto che tale periodo corrisponde all'ordine di grandezza del ciclo solare da cui dipendono le condizioni meteorologiche, si può tranquillamente ritenere di disporre di una serie abbastanza estesa per rappresentare lo spettro degli eventi eccezionali sui quali basare la stima degli eventi estremi. Sulla scorta di queste considerazioni e sulla base del fatto che un dato osservato ha un valore di livello superiore rispetto ad un dato ricostruito, specialmente se la ricostruzione è affidata ad un metodo semplificato, si è ritenuto opportuno preferire la fonte dei dati osservati per la valutazione degli eventi estremi.

Pertanto, il calcolo dell'onda estrema, come riferimento dell'onda di progetto, è stato fatto considerando la serie storica dell'ondametro di Crotone. La serie storica è stata analizzata utilizzando le distribuzioni estremali di Gumbel e di Weibull.

Di seguito vengono riportati i risultati dell'analisi statistica sotto forma tabellare e in grafico.

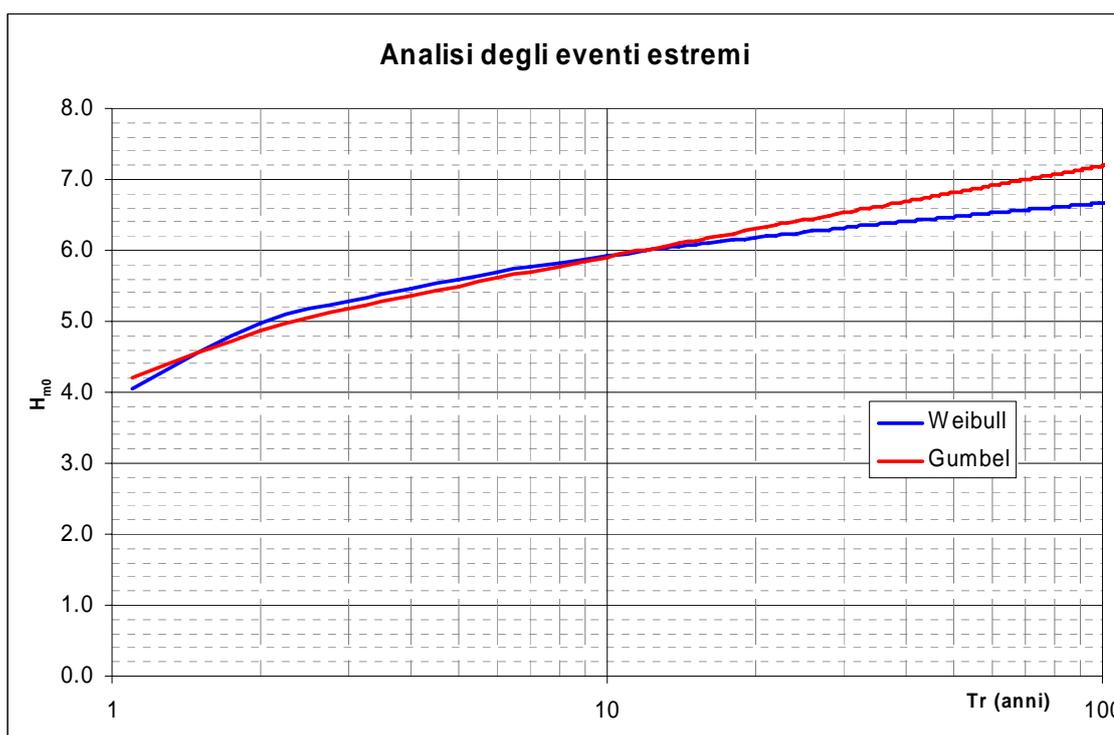


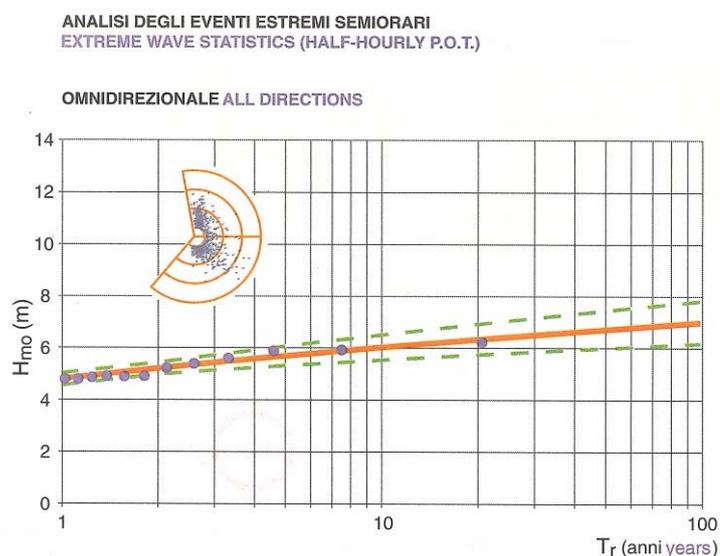
Figura 6 – Altezze d'onda in funzione dei tempi di ritorno analizzate con Gumbel e con Weibull

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	14	62

Tr (anni)	Weibull (m)	Gumbel (m)
5	5.6	5.5
10	5.9	5.9
20	6.2	6.3
50	6.5	6.8
100	6.7	7.2

Tabella 4 - Altezze d'onda in funzione dei tempi di ritorno analizzate con Gumbel e con Weibull

L'analisi statistica è stata fatta sulla base dei massimi annuali e i valori calcolati sono confortati da studi pregressi. Ad esempio l'analisi riportata nell'Atlante delle onde nei mari italiani riporta un grafico analogo e con valori del tutto simili.


 Figura 7 – Analisi degli eventi estremi per i dati relativi alla boa di Crotona (*fonte: Atlante delle onde nei mari italiani*)

5 TRASFERIMENTO DEL MOTO ONDOSO DA LARGO VERSO RIVA

Il trasferimento del moto ondoso da largo verso il porto di Taranto è stato affrontato mediante l'applicazione del modello di rifrazione spettrale diretta contenuto nel pacchetto di calcolo MIKE21 sviluppato dal Danish Hydraulic Institute. Il codice di calcolo, denominato NSW (Near shore Spectral wind Waves) consente di calcolare il campo di moto ondoso all'interno di un dominio di calcolo tenendo conto dei fenomeni di rifrazione, shoaling, attrito con il fondo e frangimento.

5.1 Dominio di calcolo

Il codice è stato applicato ad un modello numerico che rappresenta il paraggio di Taranto da Capo S.Vito a Est fino alla diga Sotoflutto del Molo Polisettoriale. Verso Sud il modello si estende fino all'isobate di 100 m e comprende tutto il Mar Grande.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	15	62

Il modello numerico è rappresentato da due matrici di calcolo con maglie rettangolari con lati 10×30 m e con differente orientazione. L'orientazione è stata variata al fine di garantire una corretta propagazione delle onde con diversi angoli di attacco ondoso.

La prima griglia ha origine nel punto di coordinate E = 693400, N = 4474500 nel sistema UTM fuso 33 e con riferimento WGS84; l'inclinazione dell'asse y è di 250°N. La griglia è costituita da 1500 celle lungo l'asse x e da 466 celle lungo l'asse y per un totale di 699000 celle e dato che le celle sono rettangolari con lati 10 ×30 m l'area del modello si estende su una superficie di 15000 × 13980 m . La seconda griglia ha origine nel punto di coordinate E= 688900, N = 4472300 sempre nel sistema UTM fuso 33 e con riferimento WGS84; l'inclinazione dell'asse y è di 290°N. Questa è costituita da 1200 × 400 celle per un totale di 480000 celle ed un'area di 12000 × 12000 m.

Nella seguente Figura 8 si riporta la sovrapposizione delle due griglie di calcolo con la carta dell'Istituto Idrografico della Marina utilizzata per la ricostruzione e digitalizzazione della batimetria del fondale.

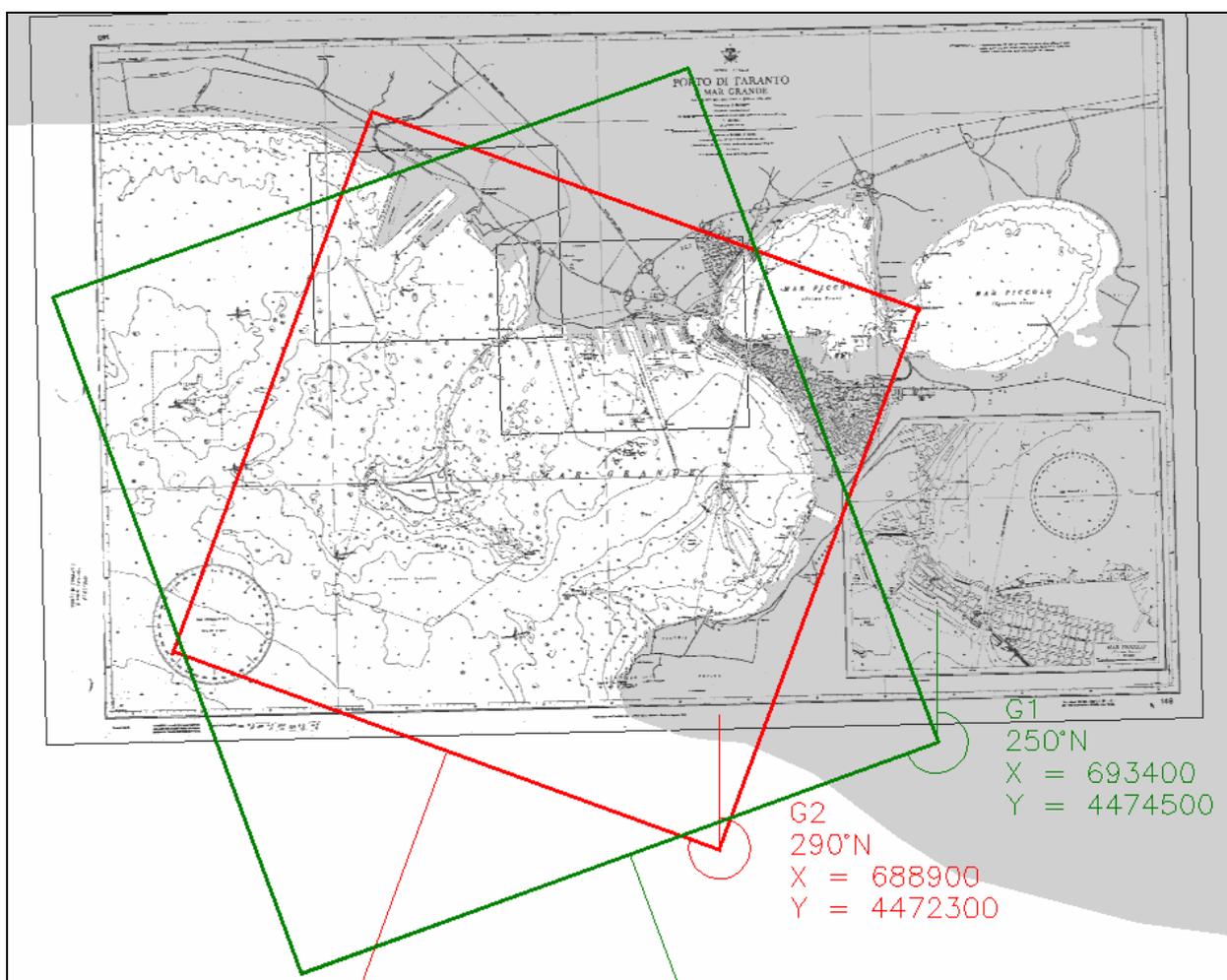


Figura 8 – Posizione e orientamento delle griglie di calcolo per il modello di rifrazione MIKE21 NSW

La discretizzazione della batimetria è stata fatta sulla base delle carte dell'Istituto Idrografico della Marina, in particolare sono state usate le carte n°27 Da Foce del Sinni a Torre dell'Ovo in scala 1:100'000, la carta n° 147 "Litorale di Taranto" in scala 1:40'000 e la carta n° 148 "Porto di Taranto e Mar Grande" in scala 1:20'000. Inoltre,

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	16	62

per la parte più prossima alla zona di intervento è stato utilizzato il rilievo batimetrico effettuato nell'ambito della precedenti fasi progettuali del presente progetto.

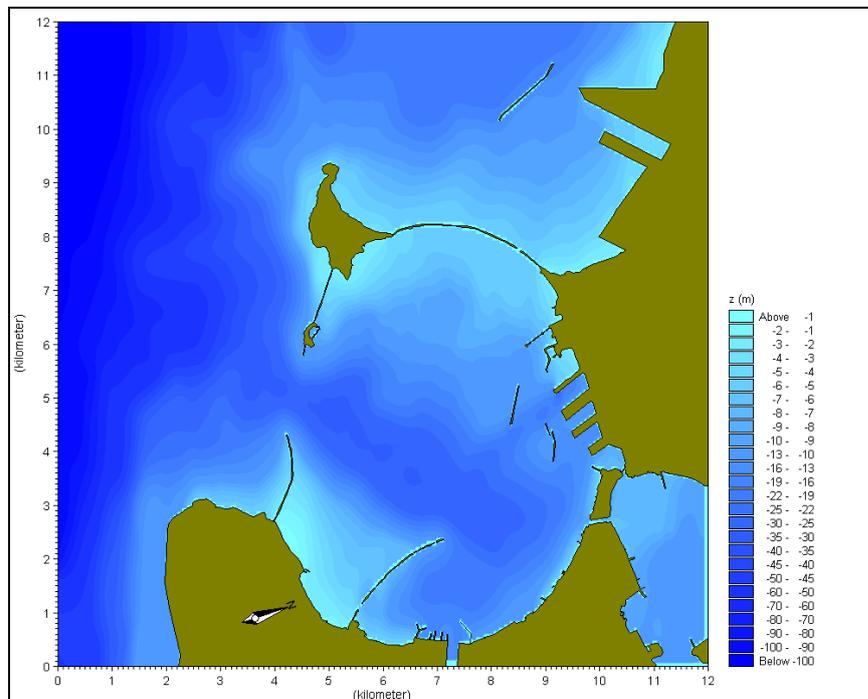
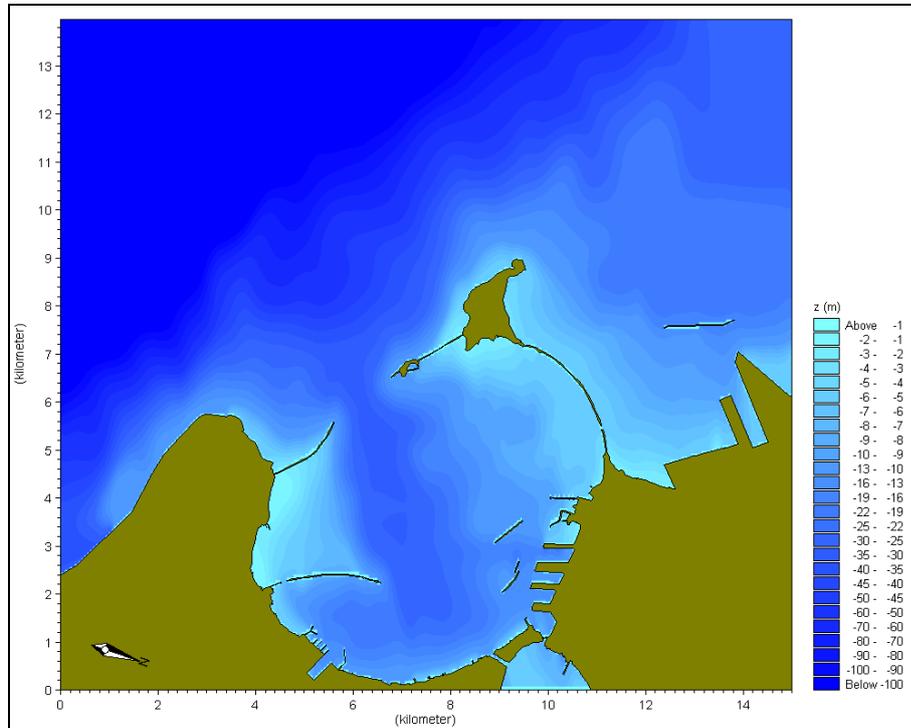


Figura 9 – Batimetrie di calcolo per il trasferimento da largo verso riva



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	17	62

5.2 Dati di input

I dati di input sono relativi alle onde del clima medio annuo ricavato dalla serie storica rilevata a Crotona. Le onde sono state imputate nel modello considerando solamente le direzioni di provenienza all'interno del settore di traversia da 130° fino a 230°.

Si noti che l'applicazione del clima ondoso annuo di Crotona al paraggio del porto di Taranto potrebbe non essere del tutto corretta, infatti come detto precedentemente, tali dati sono leggermente sovrastimati per il sito in esame. Tuttavia ai fini del presente studio meteomarinario, che non contempla la determinazione di un regime litoraneo di correnti, ma che necessita di dati progettuali per il dimensionamento delle opere oggetto dello studio e per la verifica dell'agitazione all'interno dell'area banchinata in progetto, i dati di Crotona sono da ritenersi più che attendibili.

Le onde sono state inserite nel modello in classi di altezza di 0.50 m e divise per settori di provenienza di 15° lungo i contorni off-shore delle griglie di calcolo. Per la prima griglia sono state impostate le onde con direzione di provenienza da 127.5°N a 172.5°N. Mentre per la seconda griglia sono state impostate le onde con direzione da 187.5°N a 232.5°N. Le direzioni di provenienza rappresentano la bisettrice del settore rappresentato di 15°, ad esempio le onde con direzione 187.5°N rappresentano quelle comprese nel settore da 180°N a 195°N. Anche per le altezze è stato considerato un valore medio rappresentativo della classe d'altezza d'onda, quindi un valore di 1.25 m impostato nel modello, rappresenta le onde che appartengono alla classe da 1.00 a 1.50 m.

Nella seguente figura è rappresentato a sinistra il diagramma della rosa delle onde rilevate a Crotona e a destra quelle del paraggio di Taranto in prossimità dell'imboccatura del Mar Grande.

Inoltre sono state implementate le onde estreme derivanti dall'analisi statistica omnidirezionale, imponendo la direzione più gravosa per il Porto ed in particolare per la zona della futura Piattaforma Logistica, tra il IV Sporgente e la Darsena Ovest, ma direzioni plausibili dal punto di vista geografico.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	18	62

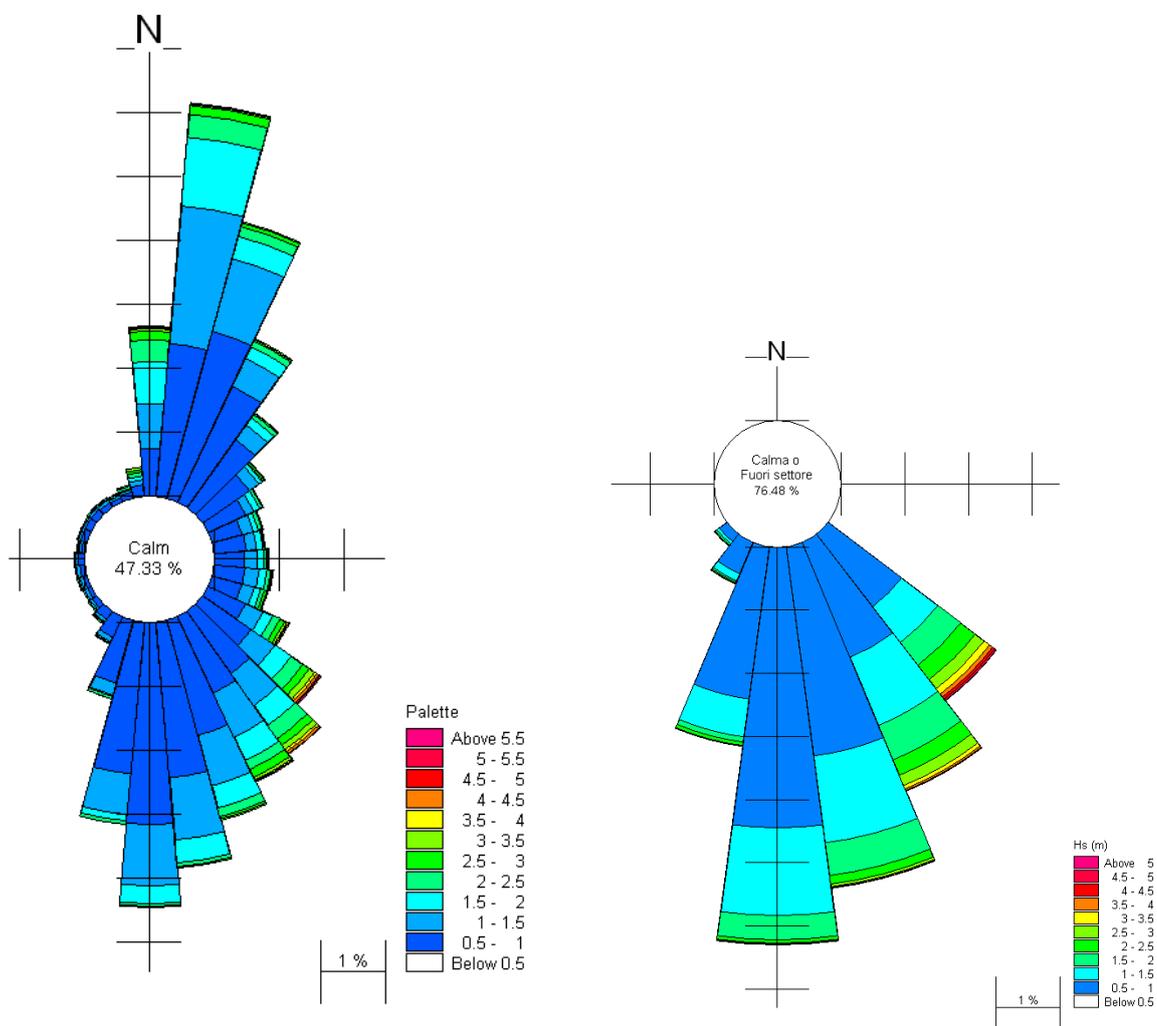


Figura 10 – Rosa delle onde per il paraggio di Crotona (a sinistra) e per il paraggio di Taranto in prossimità dell'imboccatura del Mar Grande (a destra)

5.3 Risultati

Il modello MIKE21 NSW restituisce il campo di moto ondoso che si instaura sotto le condizioni imposte nel contorno off-shore in termini di altezza d'onda significativa, periodo medio e direzione media di provenienza.

Ai fini del progetto sono stati estratti dai campi di moto ondoso le caratteristiche delle onde in alcuni punti di interesse per il progetto.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	19	62

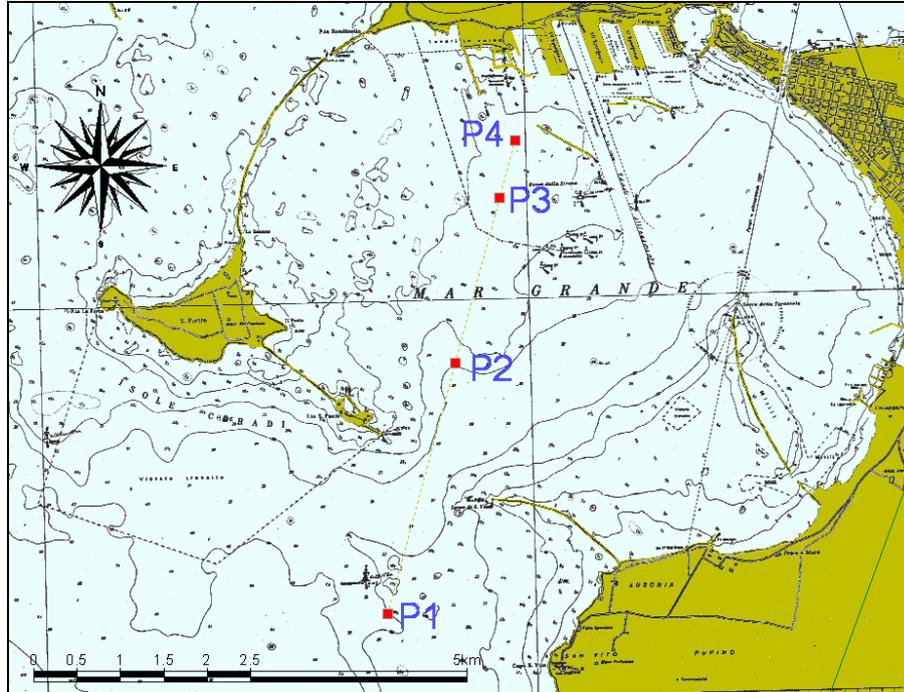


Figura 11 – Posizione dei punti di estrazione del moto ondoso dal modello di rifrazione

Di seguito sono riportati alcuni campi significativi di moto ondoso.

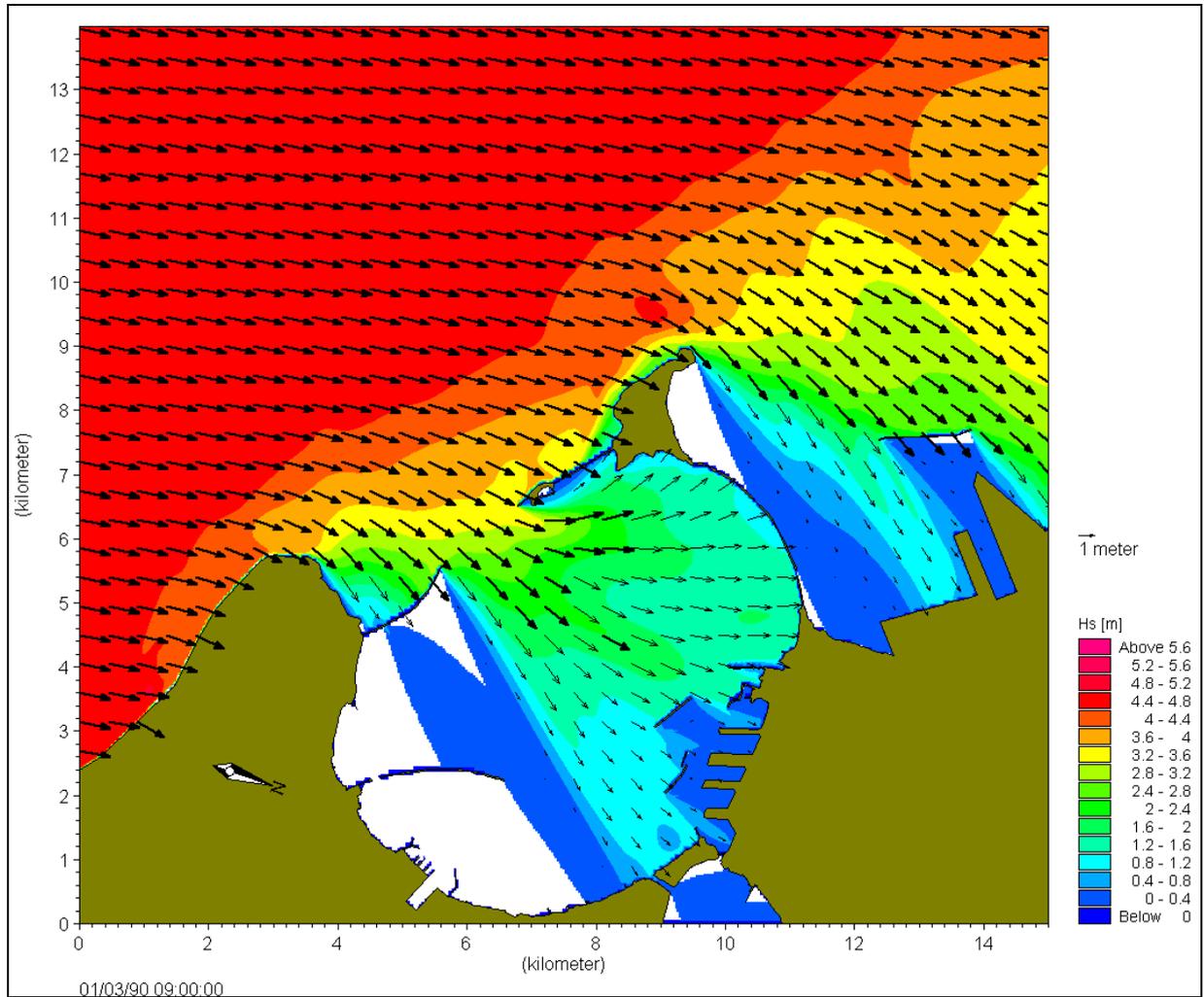


Figura 12 – Campo di moto ondoso per un'onda al largo con $H_{s0} = 4.75$ m, $T_m = 8.3$ s e $Dir = 172.5^\circ N$

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	21	62

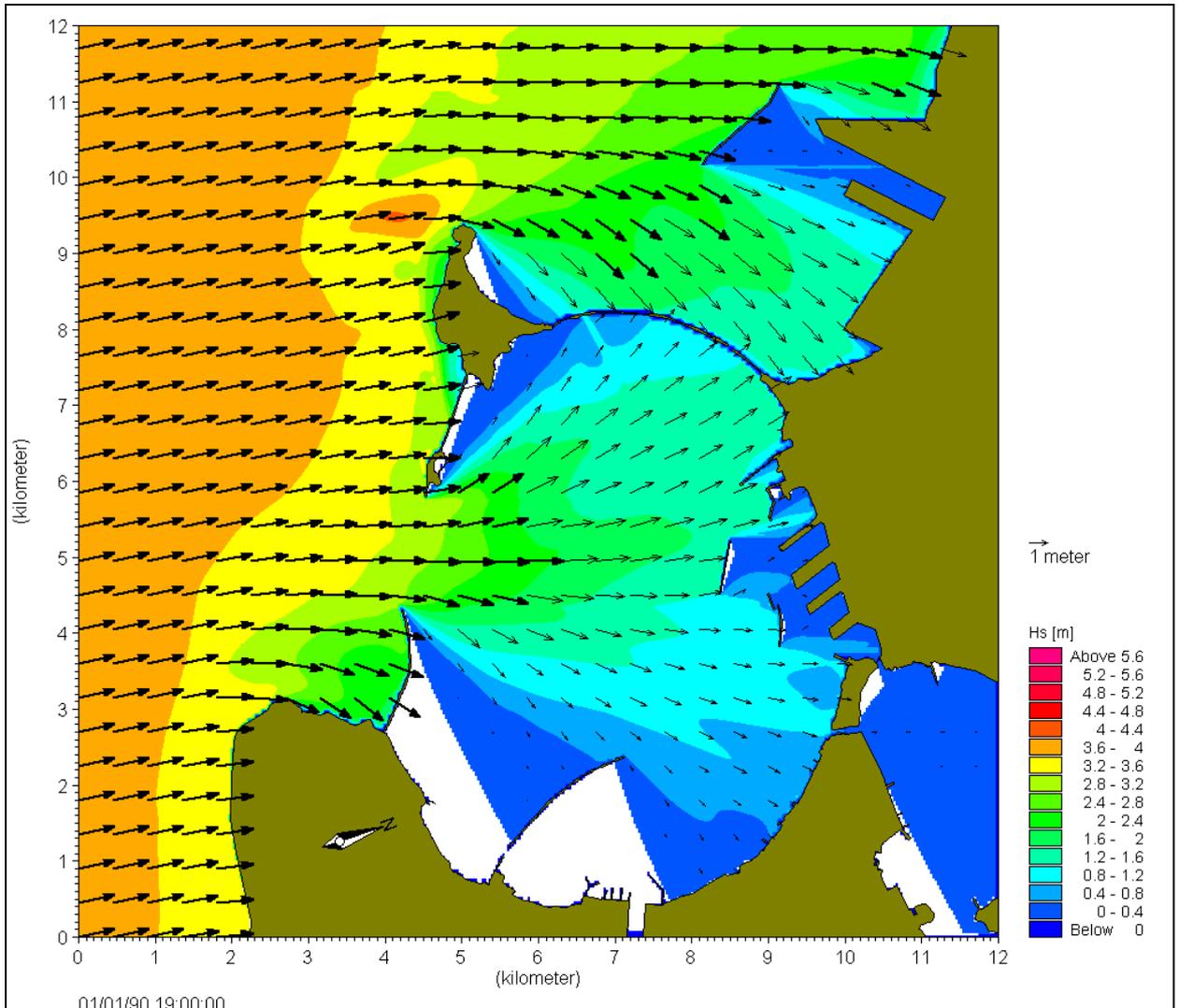


Figura 13 – Campo di moto ondoso per un'onda al largo con $H_{s0} = 3.25$ m, $T_m = 6.8$ s e $Dir = 187.5^\circ N$

Come si nota dalla Figura 12 e dalla Figura 13 la zona interessata dal progetto è soggetta ad ondatazioni dirette che non vengono attenuate, o sono attenuate solo in parte, dalle opere foranee interne al Mar Grande. In particolare la zona della futura Piattaforma Logistica è investita quasi direttamente dalle onde che al largo hanno direzione di provenienza dal settore compreso tra 170 e $190^\circ N$, quindi tali onde, non subendo deviazioni dovute alla rifrazione e non trovando opere di difesa lungo la direzione di propagazione, non vengono particolarmente laminate e risultano pertanto le più gravose per l'operatività della calata.

Sarebbe pertanto opportuno verificare con ulteriori studi la possibilità di un allungamento o comunque di una ridefinizione dell'antemurale prospiciente alla calata in modo da difendere la stessa dalle ondatazioni del settore meridionale, come analogamente è stato fatto per la protezione della III calata (tra il II ed il III Sporgente).



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	22	62

%	ONDE AL LARGO			punto P1			punto P2			punto P3			punto P4		
	Hs (m)	Tm (s)	MWD	Hs (m)	Tm (s)	MWD	Hs (m)	Tm (s)	MWD	Hs (m)	Tm (s)	MWD	Hs (m)	Tm (s)	MWD
2.431	0.25	1.90	127.5	0.2	1.9	144.1	0.1	1.9	174.3	0.0	1.9	186.3	0.0	1.9	189.9
1.263	0.75	3.29	127.5	0.6	3.3	144.2	0.2	3.3	174.2	0.1	3.3	186.2	0.1	3.3	189.8
0.597	1.25	4.25	127.5	0.9	4.3	145.1	0.3	4.3	174.0	0.1	4.3	184.8	0.1	4.3	188.3
0.378	1.75	5.03	127.5	1.2	5.0	147.5	0.4	5.0	175.6	0.2	5.0	183.8	0.2	5.0	186.1
0.296	2.25	5.70	127.5	1.5	5.7	150.2	0.5	5.7	178.3	0.3	5.7	183.1	0.3	5.7	184.7
0.176	2.75	6.30	127.5	1.7	6.3	152.9	0.7	6.3	180.2	0.4	6.3	182.4	0.4	6.3	184.0
0.125	3.25	6.85	127.5	2.0	6.9	155.6	0.8	6.9	181.5	0.5	6.9	181.9	0.5	6.9	183.4
0.064	3.75	7.36	127.5	2.2	7.4	158.2	0.9	7.4	182.5	0.7	7.4	181.4	0.6	7.4	182.9
0.037	4.25	7.83	127.5	2.4	7.8	160.6	1.0	7.8	183.3	0.8	7.8	181.0	0.6	7.8	182.5
0.029	4.75	8.28	127.5	2.6	8.3	162.8	1.1	8.3	183.8	0.9	8.3	180.7	0.8	8.3	182.2
0.007	5.25	8.71	127.5	2.9	8.7	164.9	1.2	8.7	184.3	1.0	8.7	180.4	0.9	8.7	182.0
0.004	5.75	9.11	127.5	3.1	9.1	166.6	1.3	9.1	184.6	1.2	9.1	180.1	1.0	9.1	181.8
2.865	0.25	1.90	142.5	0.2	1.9	164.4	0.1	1.9	188.5	0.1	1.9	193.5	0.1	1.9	194.4
1.811	0.75	3.29	142.5	0.7	3.3	164.5	0.4	3.3	188.5	0.3	3.3	193.5	0.3	3.3	194.2
0.951	1.25	4.25	142.5	1.1	4.3	165.4	0.7	4.3	189.2	0.4	4.3	192.4	0.4	4.3	192.8
0.595	1.75	5.03	142.5	1.5	5.0	167.6	0.9	5.0	190.2	0.6	5.0	190.2	0.5	5.0	190.3
0.327	2.25	5.70	142.5	1.8	5.7	169.9	1.1	5.7	190.5	0.7	5.7	187.8	0.6	5.7	188.1
0.200	2.75	6.30	142.5	2.1	6.3	172.1	1.2	6.3	190.4	0.9	6.3	185.9	0.8	6.3	186.4
0.090	3.25	6.85	142.5	2.5	6.9	174.3	1.4	6.9	190.2	1.0	6.9	184.5	0.9	6.9	185.2
0.059	3.75	7.36	142.5	2.8	7.4	176.3	1.5	7.4	190.1	1.1	7.4	183.5	1.0	7.4	184.4
0.035	4.25	7.83	142.5	3.1	7.8	178.2	1.6	7.8	189.9	1.3	7.8	182.7	1.1	7.8	183.7
0.015	4.75	8.28	142.5	3.4	8.3	179.9	1.7	8.3	189.8	1.4	8.3	182.1	1.2	8.3	183.2
0.004	5.25	8.71	142.5	3.7	8.7	181.4	1.9	8.7	189.7	1.6	8.7	181.6	1.4	8.7	182.9
0.000	6.25	9.50	142.5	4.3	9.5	184.0	2.1	9.5	189.6	1.9	9.5	181.0	1.6	9.5	182.3
3.801	0.25	1.90	157.5	0.2	1.9	169.6	0.2	1.9	191.3	0.1	1.9	194.1	0.1	1.9	194.7
2.527	0.75	3.29	157.5	0.7	3.3	169.6	0.5	3.3	191.3	0.3	3.3	194.0	0.3	3.3	194.5
1.263	1.25	4.25	157.5	1.1	4.3	170.5	0.8	4.3	192.0	0.5	4.3	193.0	0.5	4.3	193.1
0.549	1.75	5.03	157.5	1.5	5.0	172.4	1.0	5.0	192.6	0.7	5.0	190.7	0.6	5.0	190.7
0.222	2.25	5.70	157.5	1.9	5.7	174.6	1.2	5.7	192.6	0.8	5.7	188.4	0.7	5.7	188.5
0.105	2.75	6.30	157.5	2.3	6.3	176.6	1.4	6.3	192.3	1.0	6.3	186.5	0.9	6.3	186.8
0.048	3.25	6.85	157.5	2.6	6.9	178.5	1.5	6.9	191.9	1.1	6.9	185.0	1.0	6.9	185.5
0.007	3.75	7.36	157.5	2.9	7.4	180.4	1.6	7.4	191.6	1.2	7.4	183.9	1.1	7.4	184.6
0.002	4.25	7.83	157.5	3.2	7.8	182.0	1.7	7.8	191.3	1.4	7.8	183.1	1.2	7.8	184.0
0.002	4.75	8.28	157.5	3.5	8.3	183.5	1.9	8.3	191.1	1.5	8.3	182.4	1.4	8.3	183.4
0.000	5.25	8.71	157.5	3.8	8.7	184.9	2.0	8.7	190.9	1.7	8.7	181.9	1.5	8.7	183.0
0.000	6.25	9.50	157.5	4.5	9.5	187.1	2.3	9.5	190.6	2.0	9.5	181.2	1.8	9.5	182.5
5.166	0.25	1.90	172.5	0.2	1.9	172.9	0.2	1.9	186.6	0.1	1.9	192.9	0.1	1.9	194.0
3.994	0.75	3.29	172.5	0.7	3.3	172.9	0.6	3.3	186.7	0.4	3.3	192.9	0.4	3.3	193.9
1.460	1.25	4.25	172.5	1.2	4.3	173.3	0.9	4.3	187.9	0.6	4.3	191.9	0.5	4.3	192.4
0.505	1.75	5.03	172.5	1.7	5.0	174.3	1.2	5.0	189.3	0.8	5.0	189.8	0.7	5.0	190.0
0.070	2.25	5.70	172.5	2.1	5.7	175.5	1.4	5.7	189.9	1.0	5.7	187.6	0.8	5.7	187.9
0.033	2.75	6.30	172.5	2.6	6.3	177.1	1.6	6.3	190.1	1.1	6.3	185.8	1.0	6.3	186.3
0.002	3.25	6.85	172.5	2.9	6.9	178.9	1.7	6.9	190.2	1.3	6.9	184.5	1.1	6.9	185.2



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	23	62

%	ONDE AL LARGO			punto P1			punto P2			punto P3			punto P4		
	Hs (m)	Tm (s)	MWD	Hs (m)	Tm (s)	MWD	Hs (m)	Tm (s)	MWD	Hs (m)	Tm (s)	MWD	Hs (m)	Tm (s)	MWD
0.002	3.75	7.36	172.5	3.3	7.4	180.7	1.9	7.4	190.1	1.5	7.4	183.5	1.3	7.4	184.4
0.000	4.25	7.83	172.5	3.7	7.8	182.4	2.0	7.8	190.1	1.6	7.8	182.8	1.4	7.8	183.7
0.004	4.75	8.28	172.5	4.0	8.3	184.1	2.2	8.3	190.1	1.8	8.3	182.2	1.6	8.3	183.3
0.000	5.25	8.71	172.5	4.4	8.7	185.6	2.3	8.7	190.0	2.0	8.7	181.7	1.7	8.7	182.9
0.000	6.25	9.50	172.5	5.2	9.5	188.1	2.7	9.5	190.0	2.3	9.5	181.0	2.0	9.5	182.4
4.025	0.25	1.90	187.5	0.3	1.9	187.6	0.2	1.9	192.2	0.2	1.9	194.3	0.1	1.9	194.6
3.950	0.75	3.29	187.5	0.7	3.3	187.6	0.7	3.3	192.3	0.5	3.3	194.3	0.4	3.3	194.5
1.157	1.25	4.25	187.5	1.2	4.3	187.7	1.1	4.3	192.9	0.7	4.3	193.3	0.7	4.3	193.3
0.231	1.75	5.03	187.5	1.7	5.0	188.0	1.4	5.0	193.5	1.0	5.0	190.9	0.9	5.0	191.1
0.057	2.25	5.70	187.5	2.2	5.7	188.7	1.7	5.7	193.6	1.2	5.7	188.5	1.0	5.7	189.0
0.015	2.75	6.30	187.5	2.7	6.3	189.7	1.9	6.3	193.5	1.3	6.3	186.7	1.2	6.3	187.3
0.004	3.25	6.85	187.5	3.1	6.9	191.1	2.1	6.9	193.1	1.5	6.9	185.2	1.4	6.9	186.0
0.000	3.75	7.36	187.5	3.5	7.4	192.7	2.2	7.4	192.8	1.7	7.4	184.1	1.5	7.4	185.0
0.000	4.25	7.83	187.5	3.9	7.8	194.2	2.4	7.8	192.4	1.9	7.8	183.2	1.7	7.8	184.2
0.000	4.75	8.28	187.5	4.3	8.3	195.7	2.5	8.3	192.1	2.0	8.3	182.5	1.8	8.3	183.6
0.000	5.25	8.71	187.5	4.7	8.7	197.2	2.7	8.7	191.8	2.2	8.7	182.0	2.0	8.7	183.1
0.000	6.25	9.50	187.5	5.5	9.5	199.7	3.1	9.5	191.4	2.6	9.5	181.2	2.3	9.5	182.4
1.135	0.25	1.90	202.5	0.3	1.9	201.9	0.2	1.9	198.2	0.1	1.9	195.3	0.1	1.9	197.2
1.243	0.75	3.29	202.5	0.7	3.3	201.9	0.6	3.3	198.2	0.4	3.3	195.3	0.4	3.3	197.0
0.239	1.25	4.25	202.5	1.2	4.3	202.0	1.0	4.3	198.7	0.6	4.3	194.3	0.6	4.3	195.3
0.037	1.75	5.03	202.5	1.7	5.0	202.6	1.3	5.0	199.2	0.8	5.0	191.9	0.7	5.0	192.8
0.031	2.25	5.70	202.5	2.2	5.7	203.4	1.5	5.7	199.4	1.0	5.7	189.7	0.9	5.7	190.5
0.007	2.75	6.30	202.5	2.6	6.3	204.5	1.8	6.3	199.1	1.2	6.3	187.9	1.1	6.3	188.8
0.004	3.25	6.85	202.5	3.1	6.9	205.7	2.0	6.9	198.6	1.4	6.9	186.6	1.2	6.9	187.4
0.000	3.75	7.36	202.5	3.5	7.4	207.0	2.1	7.4	198.0	1.5	7.4	185.5	1.4	7.4	186.4
0.000	4.25	7.83	202.5	3.9	7.8	208.2	2.3	7.8	197.4	1.7	7.8	184.6	1.6	7.8	185.5
0.000	4.75	8.28	202.5	4.3	8.3	209.4	2.5	8.3	196.9	1.9	8.3	183.9	1.7	8.3	184.8
0.000	5.25	8.71	202.5	4.7	8.7	210.5	2.7	8.7	196.4	2.1	8.7	183.3	1.9	8.7	184.3
0.000	6.25	9.50	202.5	5.5	9.5	212.2	3.0	9.5	195.6	2.4	9.5	182.5	2.2	9.5	183.4
0.296	0.25	1.90	217.5	0.3	1.9	212.9	0.2	1.9	201.1	0.1	1.9	195.8	0.1	1.9	199.7
0.281	0.75	3.29	217.5	0.7	3.3	212.9	0.6	3.3	201.1	0.4	3.3	195.8	0.3	3.3	198.9
0.079	1.25	4.25	217.5	1.2	4.3	213.0	0.9	4.3	201.6	0.6	4.3	194.7	0.5	4.3	196.5
0.026	1.75	5.03	217.5	1.7	5.0	213.2	1.3	5.0	202.0	0.8	5.0	192.4	0.7	5.0	193.7
0.022	2.25	5.70	217.5	2.2	5.7	213.6	1.5	5.7	202.1	1.0	5.7	190.3	0.9	5.7	191.4
0.007	2.75	6.30	217.5	2.7	6.3	214.4	1.8	6.3	201.7	1.1	6.3	188.6	1.1	6.3	189.5
0.002	3.25	6.85	217.5	3.1	6.9	215.3	2.0	6.9	201.1	1.3	6.9	187.2	1.2	6.9	188.1
0.002	3.75	7.36	217.5	3.5	7.4	216.3	2.1	7.4	200.4	1.5	7.4	186.2	1.4	7.4	186.9
0.000	4.25	7.83	217.5	3.9	7.8	217.2	2.3	7.8	199.7	1.7	7.8	185.3	1.6	7.8	186.0
0.000	4.75	8.28	217.5	4.3	8.3	218.1	2.5	8.3	199.1	1.9	8.3	184.6	1.7	8.3	185.3
0.000	5.25	8.71	217.5	4.7	8.7	218.9	2.7	8.7	198.6	2.1	8.7	184.0	1.9	8.7	184.7
0.000	6.25	9.50	217.5	5.5	9.5	220.2	3.0	9.5	197.6	2.4	9.5	183.1	2.2	9.5	183.8
0.261	0.25	1.90	232.5	0.3	1.9	230.3	0.2	1.9	213.3	0.1	1.9	199.2	0.1	1.9	209.7
0.134	0.75	3.29	232.5	0.8	3.3	230.3	0.5	3.3	213.2	0.2	3.3	199.1	0.2	3.3	208.8
0.051	1.25	4.25	232.5	1.2	4.3	230.3	0.8	4.3	213.0	0.4	4.3	197.9	0.4	4.3	204.0

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	24	62

%	ONDE AL LARGO			punto P1			punto P2			punto P3			punto P4		
	Hs (m)	Tm (s)	MWD	Hs (m)	Tm (s)	MWD	Hs (m)	Tm (s)	MWD	Hs (m)	Tm (s)	MWD	Hs (m)	Tm (s)	MWD
0.042	1.75	5.03	232.5	1.7	5.0	230.4	1.1	5.0	212.3	0.6	5.0	195.4	0.5	5.0	198.7
0.011	2.25	5.70	232.5	2.2	5.7	230.5	1.4	5.7	211.1	0.8	5.7	193.2	0.7	5.7	195.2
0.007	2.75	6.30	232.5	2.7	6.3	230.9	1.7	6.3	209.6	1.0	6.3	191.3	0.9	6.3	192.5
0.004	3.25	6.85	232.5	3.1	6.9	231.4	1.9	6.9	208.0	1.2	6.9	189.8	1.1	6.9	190.4
0.002	3.75	7.36	232.5	3.5	7.4	232.0	2.1	7.4	206.7	1.4	7.4	188.5	1.3	7.4	188.9
0.000	4.25	7.83	232.5	3.9	7.8	232.6	2.3	7.8	205.5	1.6	7.8	187.5	1.5	7.8	187.8
0.000	4.75	8.28	232.5	4.3	8.3	233.2	2.5	8.3	204.5	1.8	8.3	186.7	1.6	8.3	186.8
0.000	5.25	8.71	232.5	4.7	8.7	233.7	2.7	8.7	203.7	1.9	8.7	186.0	1.8	8.7	186.1
0.000	6.25	9.50	232.5	5.5	9.5	234.4	3.0	9.5	202.3	2.3	9.5	185.0	2.1	9.5	185.0

Tabella 5 – Risultati del modello di rifrazione per il clima ondoso medio annuo. In grassetto sono indicate le onde più gravose per la calata, in corsivo sono indicate le onde che non sono mai state registrate al largo

Anche per quanto riguarda le simulazioni per le onde estreme impostate secondo i valori riportati in Tabella 4 e secondo la direzione di 180°N sono stati estratti i valori dei quattro punti riportati nella Figura 11.

Tr (anni)	ONDE AL LARGO			punto P1			punto P2			punto P3			punto P4		
	Hs (m)	Tm (s)	MWD	Hs (m)	Tm (s)	MWD	Hs (m)	Tm (s)	MWD	Hs (m)	Tm (s)	MWD	Hs (m)	Tm (s)	MWD
1	5.5	8.9	180	4.75	8.9	203	2.61	8.9	194	2.08	8.9	183	1.88	8.9	184
10	5.9	9.2	180	5.07	9.2	204	2.75	9.2	194	2.23	9.2	182	2.01	9.2	183
20	6.3	9.5	180	5.39	9.5	204	2.90	9.5	194	2.38	9.5	182	2.14	9.5	183
50	6.8	10	180	5.81	10.0	206	3.07	10.0	193	2.57	10.0	182	2.31	10.0	183
100	7.2	10.5	180	6.16	10.5	207	3.22	10.5	193	2.74	10.5	181	2.45	10.5	182

Tabella 6 – Risultati del modello di rifrazione per le onde estreme

Nella Figura 14 e nella Figura 15 sono riportate le elaborazioni del modello di rifrazione spettrale per le onde estreme.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	25	62

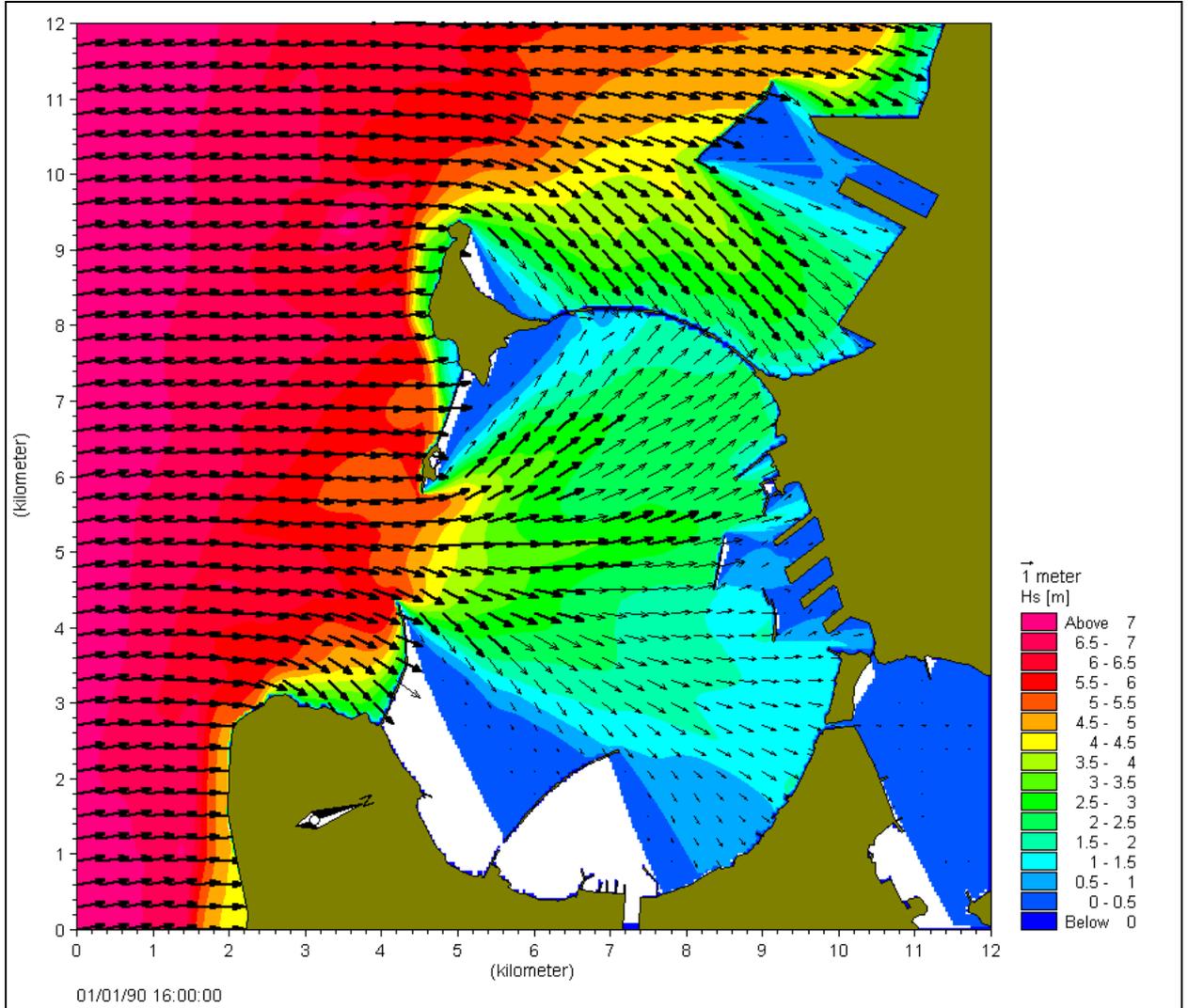


Figura 14 – Rifrazione all'interno del Mar Grande dell'onda con tempo di ritorno di 100 anni proveniente da 180°N e con altezza significativa di 7.2m

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	26	62

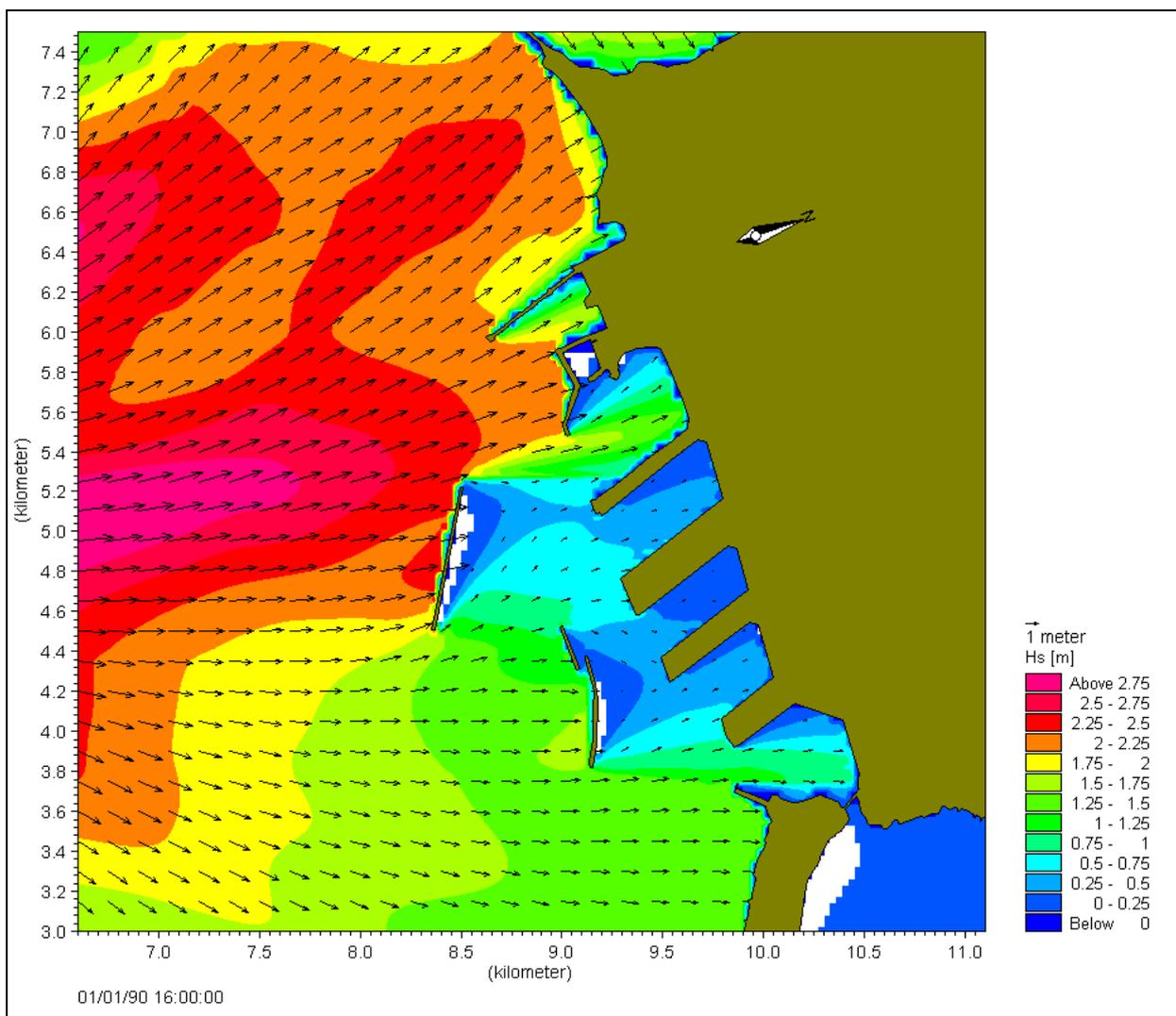


Figura 15 – Dettaglio del modello di rifrazione spettrale nella zona di intervento per l'onda con tempo di ritorno di 100 anni con altezza significativa di 7.2m e direzione di provenienza al largo di 180°N

Per quanto riguarda le altezze d'onda all'interno del porto, ed in particolare all'interno dello specchio di mare al quale si affaccia la calata, è necessario mettere in evidenza che il modello di rifrazione tiene conto solamente della rifrazione, dello shoaling, del frangimento e dell'attrito con il fondo mentre all'interno della calata sono molto influenti altri fenomeni come la riflessione e la diffrazione. Il modello di rifrazione deve quindi essere considerato fino all'area esterna all'antemurale corrispondente. Infatti, anche se la simulazione mette in evidenza le onde che si propagano fin dentro la calata, queste potrebbero essere sottostimate in quanto il modello non considera gli effetti della riflessione e della diffrazione. La stima delle altezze d'onda all'interno della calata relativa al IV sporgente e alla darsena ovest verrà pertanto effettuata mediante un modello più sofisticato che, implementando le equazioni complete di Boussinesq permette di tenere conto anche della riflessione e della diffrazione. Quest'ultimo è però applicato solamente ad una zona più ristretta di quella utilizzata per lo studio della rifrazione nel Mar Grande sia perché si tratta di un modello molto più complesso, e quindi ha bisogno di tempi di calcolo notevolmente maggiori, sia perché si andrebbe a calcolare l'agitazione in zone del tutto estranee all'intervento in oggetto e che non



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	27	62

interferiscono nel calcolo, ed infine perché per un'adeguata rappresentazione dello scenario è necessario adottare griglie di calcolo molto più definite e quindi con dei tempi di calcolo e impiego della memoria dei calcolatori molto maggiori.

È pertanto necessario accoppiare i due modelli estraendo dal primo i dati da utilizzare come input nel secondo. Tali dati dovranno quindi essere estratti in una posizione in cui gli effetti della riflessione e della diffrazione non siano evidenti o comunque trascurabili. A tal fine verranno quindi utilizzati i dati estratti nel punto denominato P4.

6 APPLICAZIONE DEL MODELLO DI AGITAZIONE

Il modello di agitazione residua interna è stato messo a punto mediante il codice di calcolo MIKE21 del quale è stato applicato il modulo Boussinesq Wave (d'ora in poi BW) che consente di propagare le onde all'interno di un dato dominio di calcolo.

Il MIKE21 BW consente di tenere conto dei fenomeni di rifrazione, diffrazione, shoaling, attrito con il fondo, frangimento e riflessione. Pertanto è particolarmente adatto a simulare le condizioni di moto ondoso all'interno dei porti e di simulare l'effetto delle strutture portuali come ad esempio le banchine e le scogliere.

Le onde di input vengono impostate sulla base di uno spettro di frequenza e con un prefissato valore di spreading direzionale. In parole povere è possibile simulare onde molto simili alle onde reali. Le simulazioni hanno riguardato tre differenti layout che sono stati sviluppati durante la fase progettuale. Si è partiti infatti dal layout progettuale previsto nel progetto preliminare e quindi sono state fatte delle ipotesi migliorative al fine di ottimizzare l'agitazione interna. Tali modifiche sono state impostate fondamentalmente sulla base di differenti tipologie costruttive tenendo comunque fissa la disposizione planimetrica approvata nella fase progettuale precedente.

Inoltre sono state fatte alcune simulazioni tenendo conto della presenza di una o due navi ormeggiate nella banchina ovest del IV sporgente in modo da tenere conto della presenza delle stesse.

Le onde di input sono quelle relative agli eventi estremi per la valutazione dei parametri dimensionanti per le banchine e per i cassoni, agli eventi con una determinata durata all'interno dell'anno medio per la determinazione dei periodi di "down-time" delle banchine e infine sono state valutate alcune onde di lungo periodo per la valutazione della risonanza della calata e delle darsene.

6.1 Scenari di modellazione

Come primo scenario di modellazione è stato impostato lo scenario corrispondente allo stato di fatto. Tale scenario serve infatti per avere dei termini di paragone con gli scenari di progetto.

Il primo scenario di progetto riguarda il layout relativo al progetto preliminare nel quale sono presenti le banchine realizzate su cassoni con paramento forato al fine di ridurre il coefficiente di riflessione delle pareti. Nella Figura 16 sono rappresentati i contorni del layout 1 con indicato il coefficiente di riflessione utilizzato per ogni banchina.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	30	62

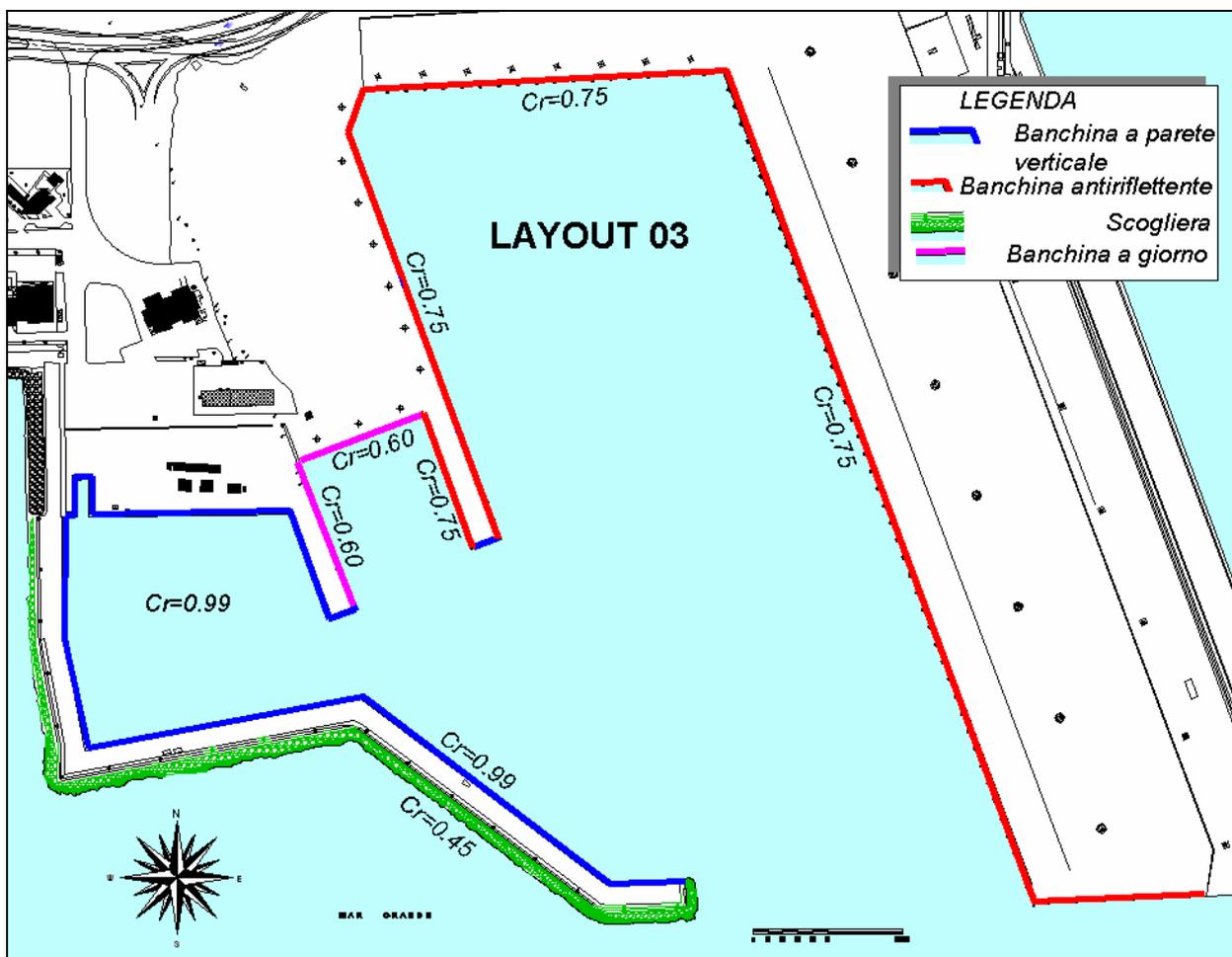


Figura 18 – Coefficienti di riflessione per i contorni del layout 03

Le griglie di calcolo dei vari scenari sono state costruite sulla base della batimetria del rilievo di dettaglio, esse hanno l'origine degli assi nel punto di coordinate nel sistema UTM fuso 33 WGS84 $e = 686113$; $n = 4481861$ con asse y orientato di $0^\circ N$. La griglia è a struttura regolare con maglie quadrate di 3 m di lato e copre un'area di 350 celle lungo l'asse x e di 500 celle lungo l'asse y per un totale di 1050×1500 m.

I contorni della griglia sono chiusi pertanto, al fine di assorbire le onde residue che si propagherebbero al di fuori del dominio di calcolo e al fine di non farle riflettere verso l'interno e creare quindi delle interferenze con il calcolo, è stata creata una griglia con dei contorni assorbenti "sponge layer".

Inoltre per tenere conto della riflessione è stata creata una griglia con i coefficienti di porosità che sono direttamente legati al coefficiente di riflessione.

Progetto	Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
		123.700 B1 OOA S 003	01	31	62

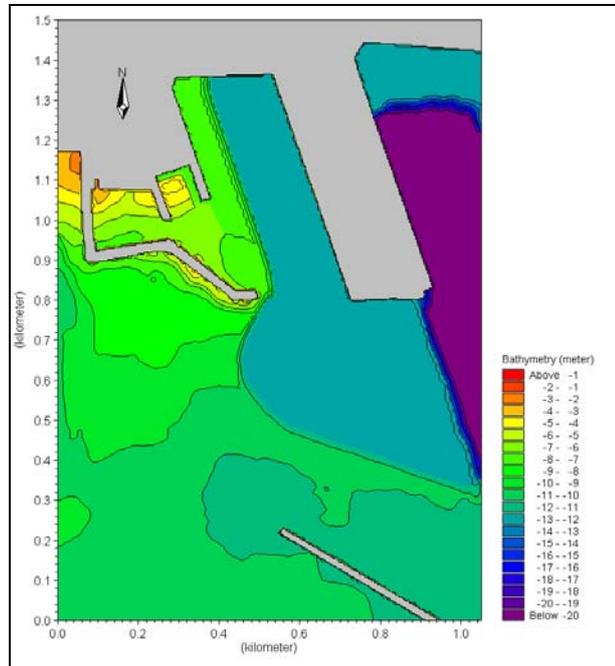


Figura 19 – Batimetria per il calcolo della propagazione interna delle onde

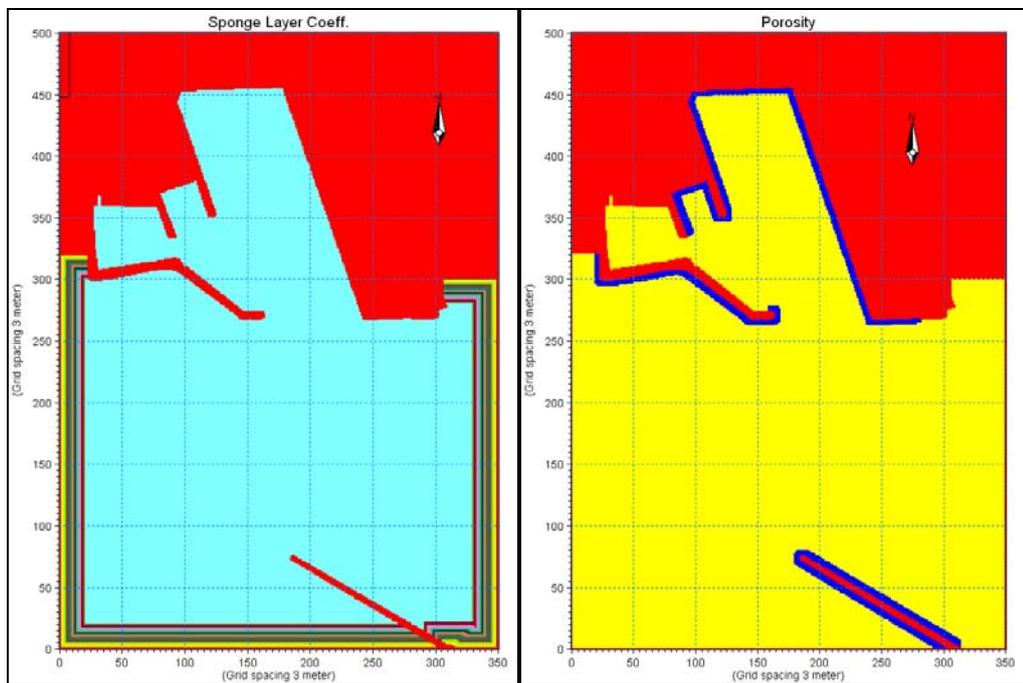


Figura 20 – Griglie con i contorni assorbenti (a sinistra) e con i contorni riflettenti (a destra)



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	32	62

6.2 Dati di input

6.2.1 Onde estreme

Le onde estreme sono state simulate sulla base delle statistiche definite nella Tabella 4 del capitolo 4. In particolare sono state simulate le onde con tempo di ritorno di 1 anno, 20 anni e 100 anni. Queste sono state impostate con direzione di 180°N e ricostruendo uno spettro di frequenza di tipo JONSWAP con angolo di dispersione direzionale di 30°.

6.2.2 Onde con durata annuale

Al fine di definire un periodo di inoperatività delle operazioni di carico e scarico sono state scelte delle onde che avessero una durata complessiva annuale di 10 giorni, di 5 giorni e di un giorno. Tale metodologia risulta obbligata in quanto è necessario procedere per tentativi al fine di individuare l'altezza d'onda al di fuori della calata (in prossimità del punto P4) che determini all'interno e in prossimità delle banchine un'altezza d'onda che può mettere in crisi le operazioni di carico e scarico. Tuttavia non essendo ancora definita la destinazione d'uso delle banchine ci si limiterà in questo contesto ad individuare le altezze d'onda presenti in banchina in relazione alla durata cumulata e alle altezze d'onda esterne

6.2.3 Onde di lungo periodo

Per la verifica della risonanza del bacino di calata sono state impostate due onde con lungo periodo. Un'onda con periodo di 30 s e una con periodo di 60 s. Queste sono state imputate nel modello come onde monocromatiche.

6.3 Risultati

6.3.1 Onde estreme

Lo scopo della simulazione delle onde estreme è quello di verificare quali siano i parametri dell'onda al fine del dimensionamento e verifica dei cassoni di banchina.

I tempi di ritorno utilizzati per tale dimensionamento sono i 100 anni per la verifica in assenza di sisma e il periodo di ritorno di 1 anno per la verifica in presenza di sisma. come si vedrà nella Relazione di calcolo dei cassoni il parametro dimensionate non è tanto legato all'onda ma ai parametri di azione sismica.

Le simulazioni fatte con tempo di ritorno di 100 anni hanno riguardato il layout 1 con e senza presenza di navi.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	33	62

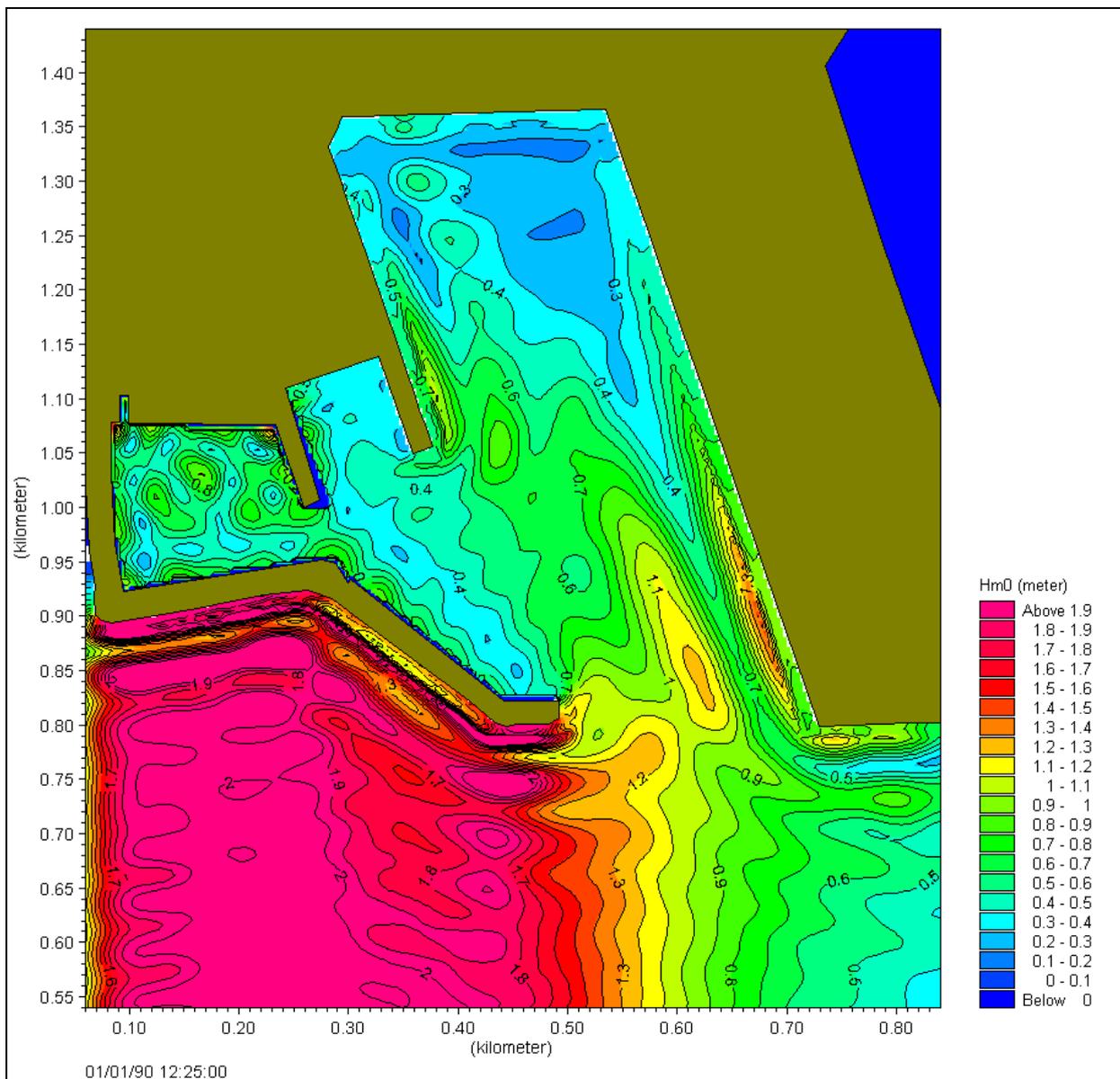


Figura 21 – Campo di agitazione ondosa per il layout 1 con onda con Tr 100 anni

Come si nota dalla Figura 21 le altezze d'onda significativa che si riscontrano a ridosso della banchina del IV sporgente sono dell'ordine di 1.3 m nel tratto più meridionale, mentre più verso l'interno di hanno altezze di circa 0.3 – 0.4 m.

Analogamente si ha per la banchina di riva, sia per quanto riguarda il tratto afferente allo sporgente che per quello afferente alla darsena. Quest'ultimo però mette in evidenza, nel tratto terminale verso Sud delle altezze d'onda di circa 0.7 m.

Analizzando i risultati dell'agitazione all'interno della nuova darsena si hanno invece delle altezze d'onda dell'ordine dei 0.3 m lungo le banchine Est e di riva, mentre lungo la banchina ovest, dove la banchina è a paramento verticale e quindi totalmente riflettente si hanno altezze d'onda dell'ordine dei 0.7 m. Tali onde

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	34	62

potrebbero, anche se si tratta sempre di un'onda con 100 anni di tempo di ritorno, mettere in crisi le imbarcazioni ivi ormeggiate.

Il layout 2 mostra come rendendo completamente riflettenti le pareti dei cassoni si abbia un'agitazione maggiore del caso precedente pertanto l'effetto antiriflettente delle banchine a cassoni danno un contributo notevole all'attenuazione delle onde all'interno della calata. Di conseguenza, nonostante la realizzazione di cassoni non forati, sia più agevole per gli impianti di prefabbricazione e per il dimensionamento stesso dei cassoni, saranno utilizzati cassoni forati.

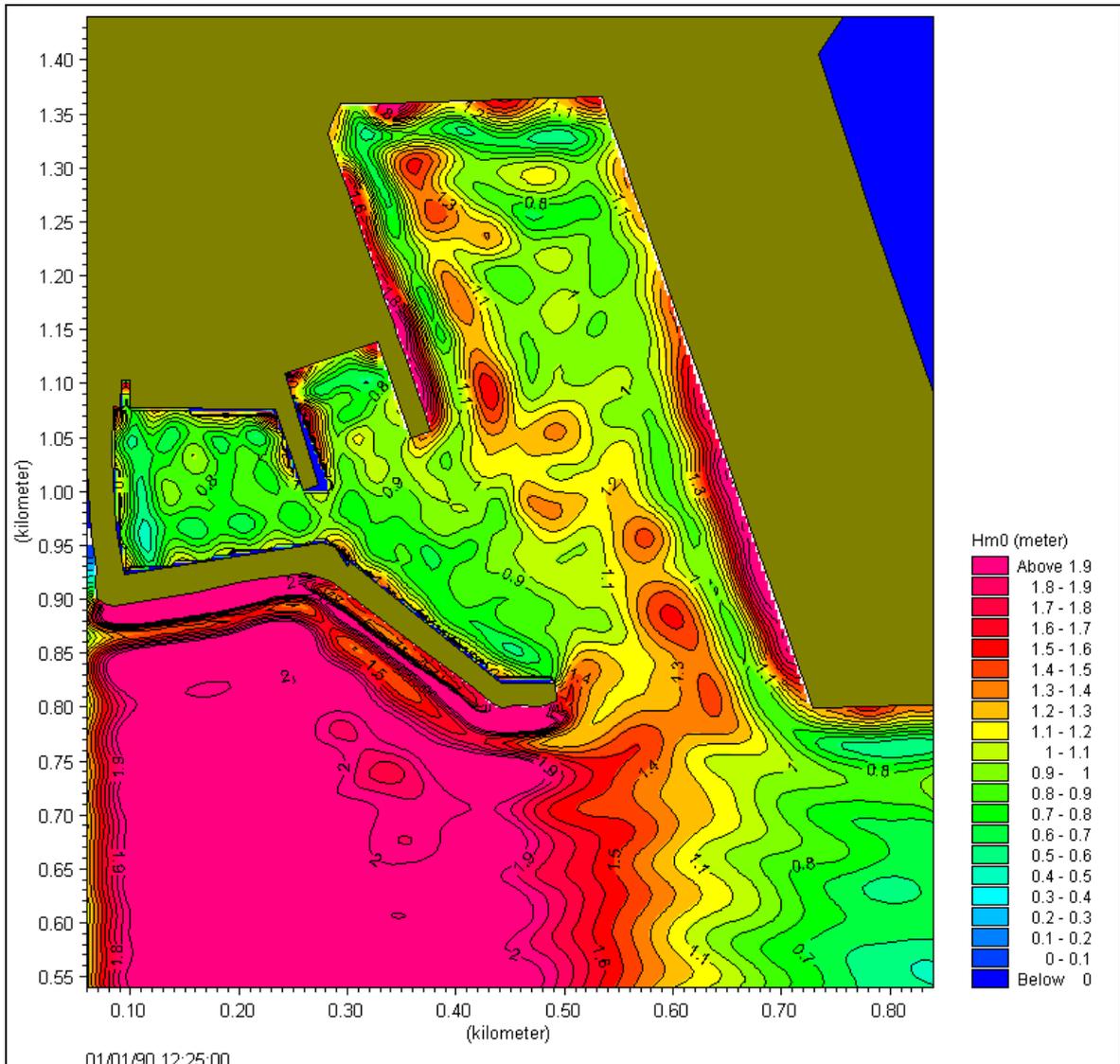


Figura 22 – Campo di agitazione ondosa per il layout 2 con onda con Tr 100 anni

Il layout 3 presenta una banchina a giorno lungo la darsena (vedi Figura 18). Questa soluzione ottimizza notevolmente l'agitazione all'interno della darsena. Infatti le banchine a giorno consentono di ridurre notevolmente l'effetto della riflessione all'interno.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	35	62

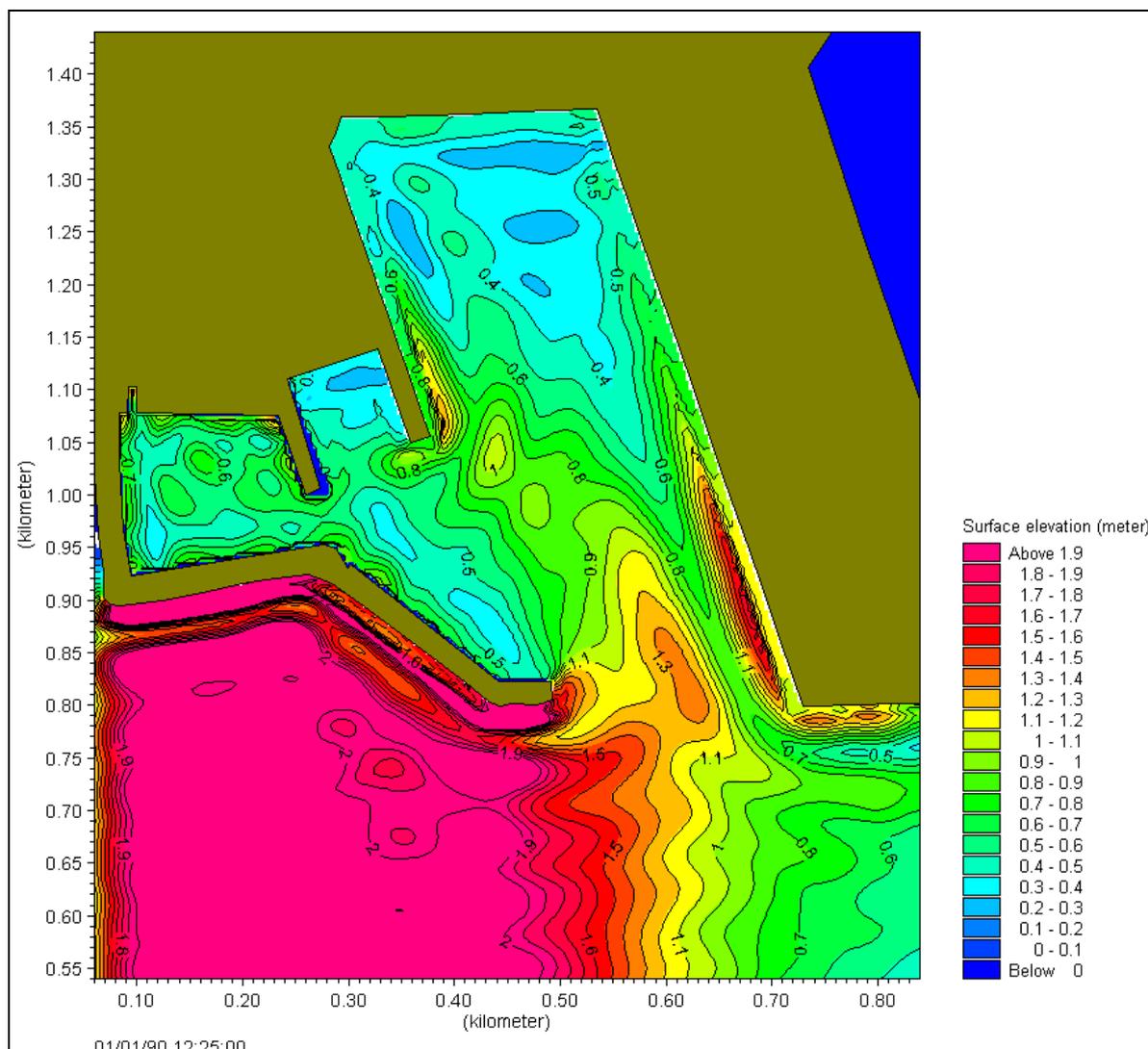


Figura 23 -- Campo di agitazione ondosa per il layout 3 con onda con Tr 100 anni

Nel layout 3 l'agitazione lungo la banchina dello sporgente non cambia in maniera sostanziale rispetto al layout 1 tuttavia sono evidenti i benefici all'interno della darsena, in particolar modo lungo la banchina ovest. Da un rapido confronto infatti si nota che le altezze d'onda sono inferiori.

L'effetto positivo delle banchine a giorno si nota soprattutto in presenza di navi in particolare con una nave ormeggiata presso la parte di estremità dello sporgente (posizione 1, vedi Figura 24).

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	36	62

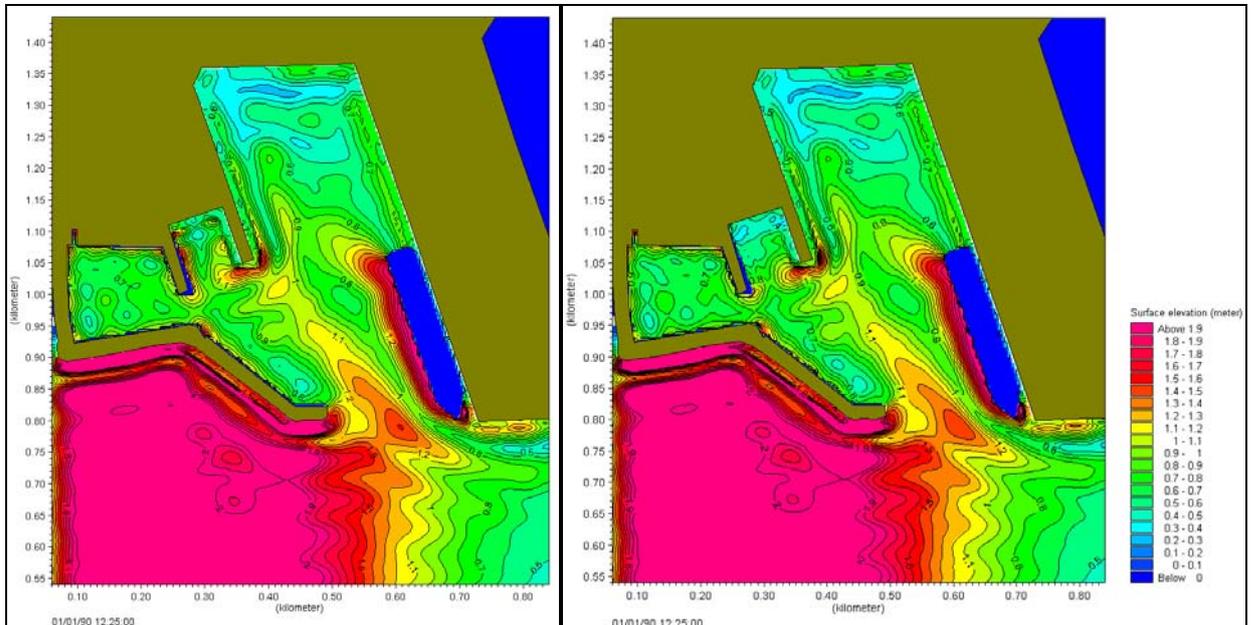


Figura 24 – Confronto dei campi di altezza d’onda per il layout 1 e 3, rispettivamente a sinistra e a destra, con nave ormeggiata in posizione 1

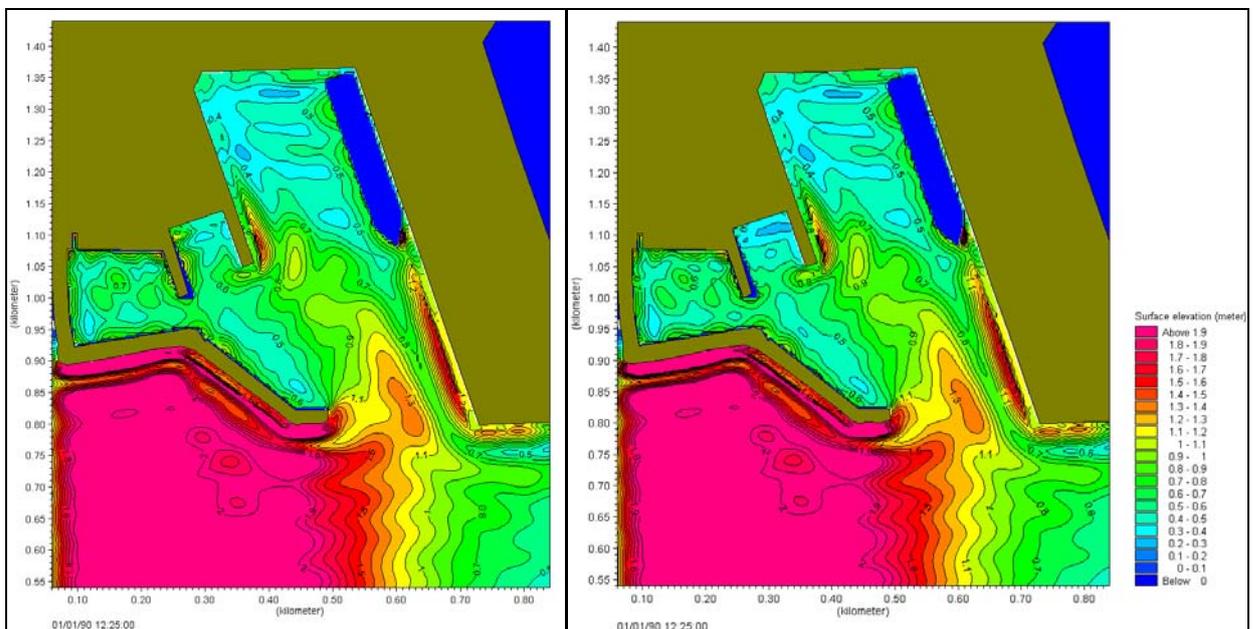


Figura 25 – Confronto dei campi di altezza d’onda per il layout 1 e 3, rispettivamente a sinistra e a destra, con nave ormeggiata in posizione 2

Progetto Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	Identificativo documento 123.700 B1 OOA S 003	Rev. 01	Pagina 37	Di 62
--	---	-------------------	---------------------	-----------------

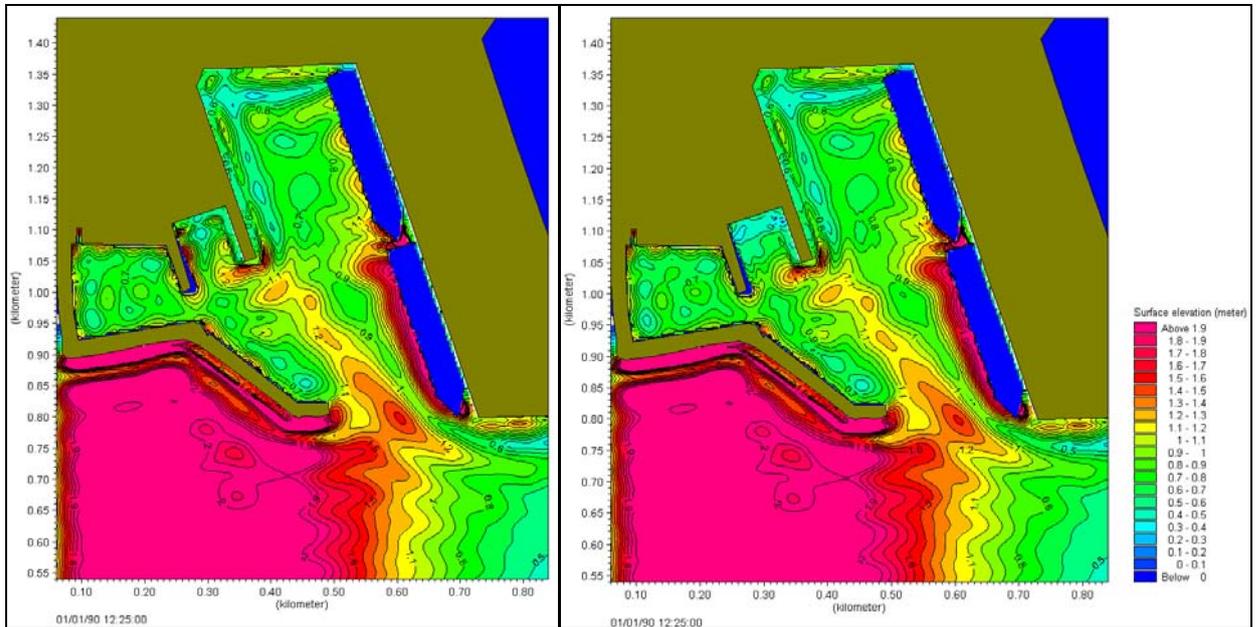


Figura 26 – Confronto dei campi di altezza d’onda per il layout 1 e 3, rispettivamente a sinistra e a destra, con due navi ormeggiate in posizione 1 e 2

Per quanto riguarda il layout 3 sono state fatte anche delle simulazioni con un’onda con periodo di ritorno di 1 anno e di 5 anni.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	38	62

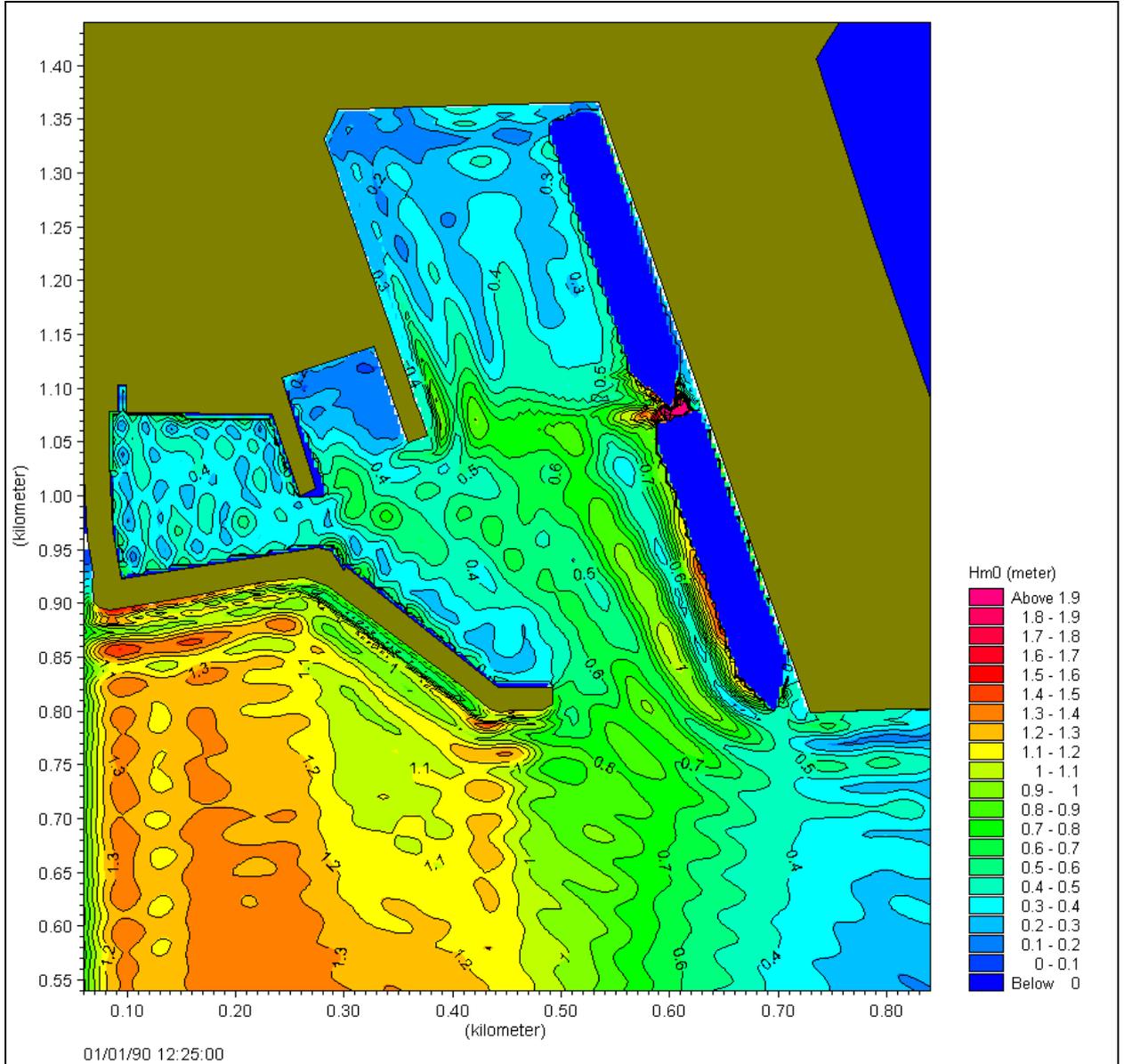


Figura 27 – Campo di agitazione ondosa per il layout 3 con onda con Tr 1 anno e due navi in banchina

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	39	62

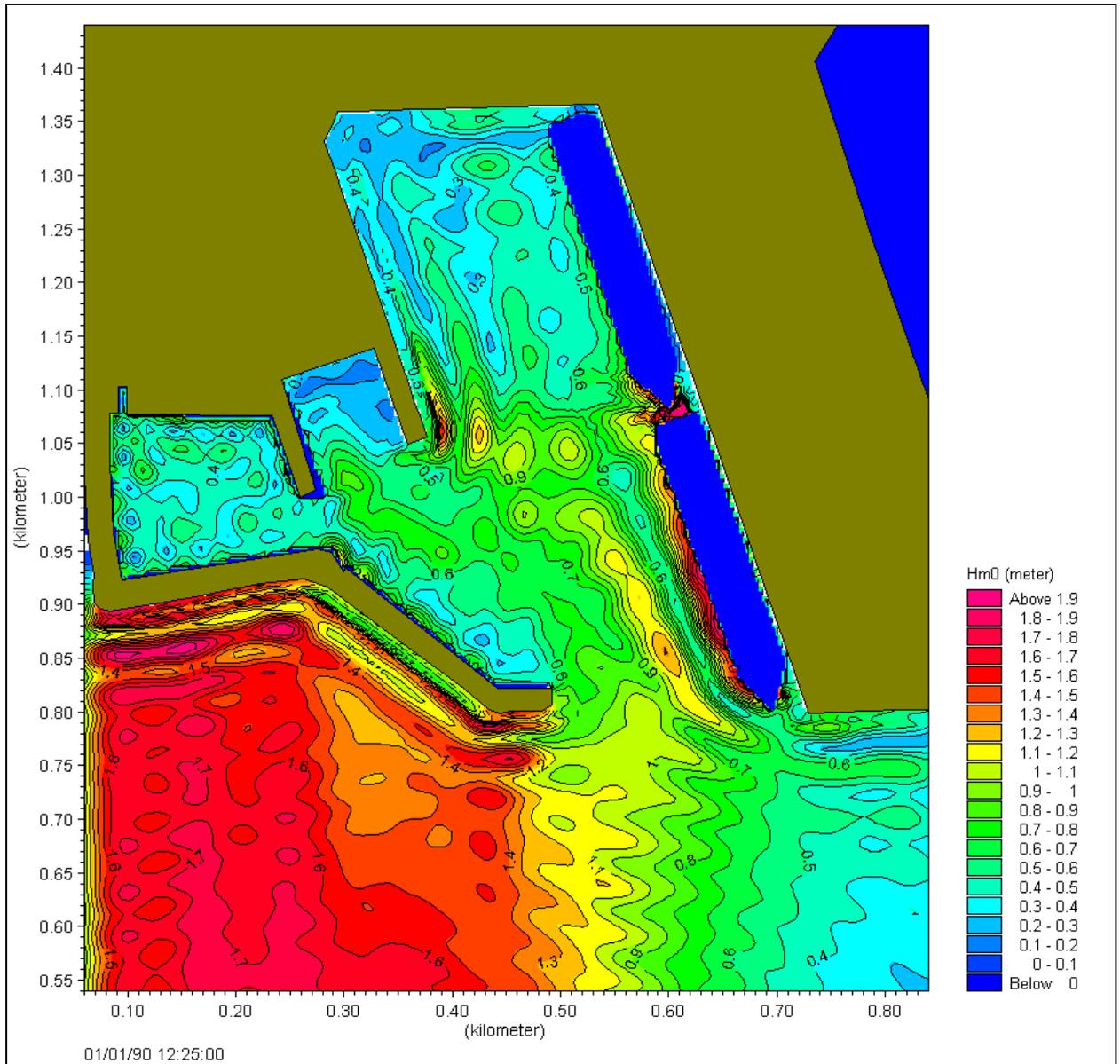


Figura 28 – Campo di agitazione ondosa per il layout 3 con onda con Tr 5 anni e due navi in banchina

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	40	62

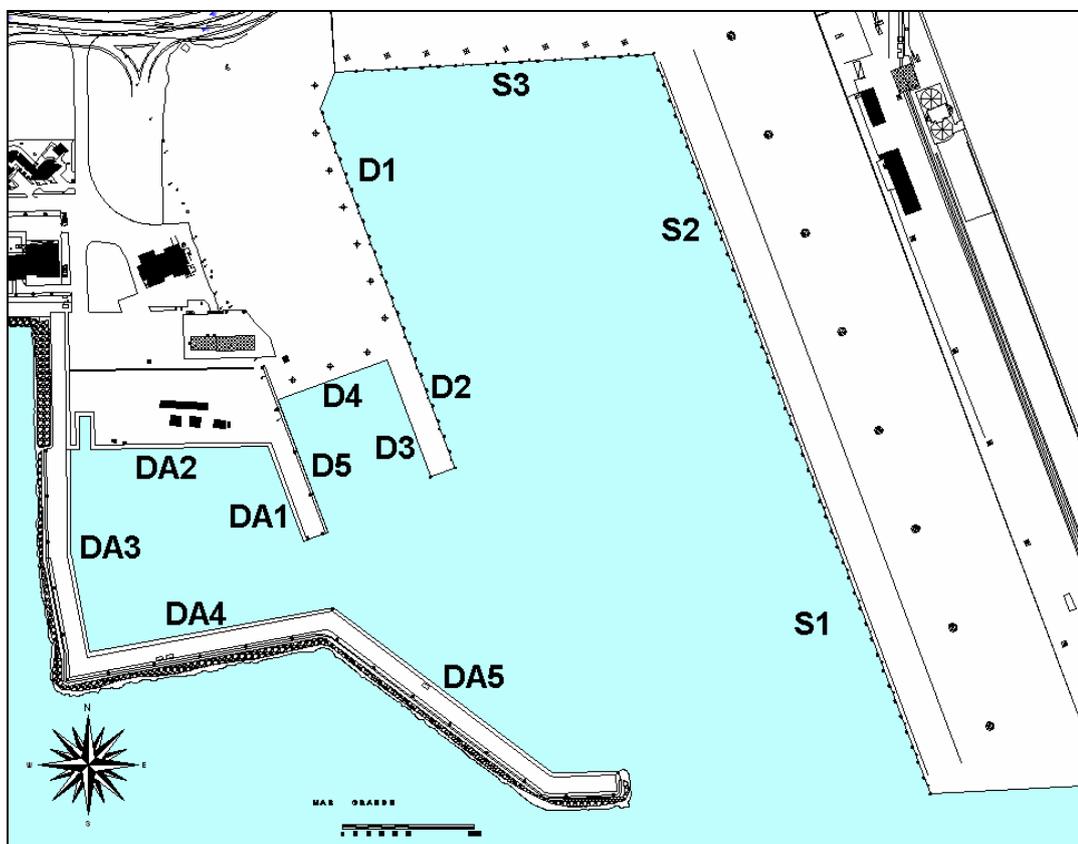


Figura 29 – Localizzazione dei punti per la stima dell'agitazione ondosa interna

Punto	Tr 1 anno	Tr 5 anni	Tr 100 anni
	Hs (m)	Hs (m)	Hs (m)
S1	1.52	1.95	2.26
S2	0.51	0.67	1.28
S3	0.43	0.55	1.07
D1	0.29	0.34	1.03
D2	0.95	1.54	1.13
D3	0.23	0.25	0.54
D4	0.23	0.31	0.53
D5	0.47	0.61	0.64
DA1	0.61	0.68	1.15
DA2	0.83	0.96	1.07
DA3	0.58	0.82	1.00
DA4	0.63	0.69	0.99
DA5	0.81	1.12	1.66

Tabella 7 – Altezze d'onda in diversi punti della calata e delle darsene per il layout 3 con diversi tempi di ritorno.

Dall'osservazione delle altezze d'onda all'interno della calata e delle darsene si osservano delle altezze d'onda piuttosto elevate per il tipo di destinazione d'uso dei luoghi. Soprattutto per quanto riguarda le darsene. Preme sottolineare che tuttavia tali altezze si verificano con un certo periodo di ritorno e comunque solamente nel caso che vi siano le navi ormeggiate nella banchina del IV sporgente. A questo proposito occorre tener presente che a regime

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	41	62

L'utilizzo ottimale delle calate si ottiene con un grado di occupazione delle banchine dell'ordine del 50%, per cui la condizione di agitazione collegata alla durata assegnata può produrre effetti negativi solo per la metà di tale durata, quando cioè la nave è effettivamente all'ormeggio. Si tratta quindi di frequenze di apparizione molto basse e con durate molto ridotte, che comunque potranno mettere in difficoltà momentaneamente l'operatività del porto. Al fine di dedurre un periodo di "down time" del porto dovrà peraltro essere fatta un'ulteriore analisi.

6.3.2 Onde con durata annuale

La valutazione del periodo di "down time" del porto è particolarmente delicata per la tipologia del sito in oggetto. Infatti, se per un certo tipo di ormeggio potrebbero essere tollerabili alcuni valori di altezza d'onda, lo stesso non potrebbe dirsi per altri tipi di ormeggi o per altri tipi di operazioni.

In ogni caso sono state valutate tre differenti condizioni di moto ondoso che, sulla base della tabella delle occorrenze degli eventi ondosi, si verificano per una durata complessiva di 1, 5 e 10 giorni all'anno.

Tali eventi che sono stati calcolati e trasferiti da largo verso riva con il modello di rifrazione sono stati poi estratti nel punto P4 (vedi Figura 11) per essere poi propagati con il modello MIKE21 BW all'interno della calata. Nella seguente Tabella 8 vengono riportati i valori delle altezze d'onda valutate al largo che hanno una frequenza cumulata di circa 1, 5 e 10 giorni all'anno.

Hs (m)	0.60	0.72	1.00
Tp (s)	3.50	3.83	4.52
gg/anno	10	5	1

Tabella 8 – Altezze d'onda nel punto P4 con durata annuale

Le tre onde così definite sono state simulate con il MIKE21 BW ed hanno messo in evidenza lo stato di agitazione ondosa all'interno. Per tener conto degli effetti delle navi all'ormeggio la simulazione è stata fatta con la presenza di queste ultime che possono dare un contributo peggiorativo data la riflessione causata dalle loro fiancate.

Come si nota dai risultati ottenuti riportati nelle figure sotto le maggiori altezze d'onda si verificano in corrispondenza delle fiancate delle navi e tra la prua della nave in posizione 2 (verso la banchina di riva) e la poppa della nave in posizione 1 (verso la testata). Inoltre si nota una zona con altezze d'onda maggiori in corrispondenza della testata del molo di levante della darsena.

Per quanto riguarda le onde con frequenza cumulata di 1 giorno all'anno (Figura 30) si nota che in assenza di navi si ha un campo di agitazione piuttosto contenuto soprattutto nella parte più interna della calata. Solamente nella zona più verso la testata del IV sporgente si hanno delle altezze d'onda significativa dell'ordine dei 0.50 m laddove l'onda arriva più diretta e viene riflessa parzialmente dalla struttura di banchina. Lungo la banchina Ovest della calata e all'interno della nuova darsena si hanno valori di altezza significativa di circa 0.30÷0.20 m del tutto accettabili per qualsiasi tipo di ormeggio (si noti infatti che tali valori di agitazione sono tollerati anche dalle prescrizioni tecniche del Consiglio Superiore LLPP per i porti turistici).

Anche la darsena esistente non risente particolarmente di tale agitazione infatti si hanno anche in questo caso delle onde significative con altezze dell'ordine dei 0.20 m eccezion fatta per l'angolo di Nord Ovest dove vi è una concentrazione di onde riflesse che danno valori di circa 0.40÷0.50 m ma che risultano comunque in una zona molto limitata.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	42	62

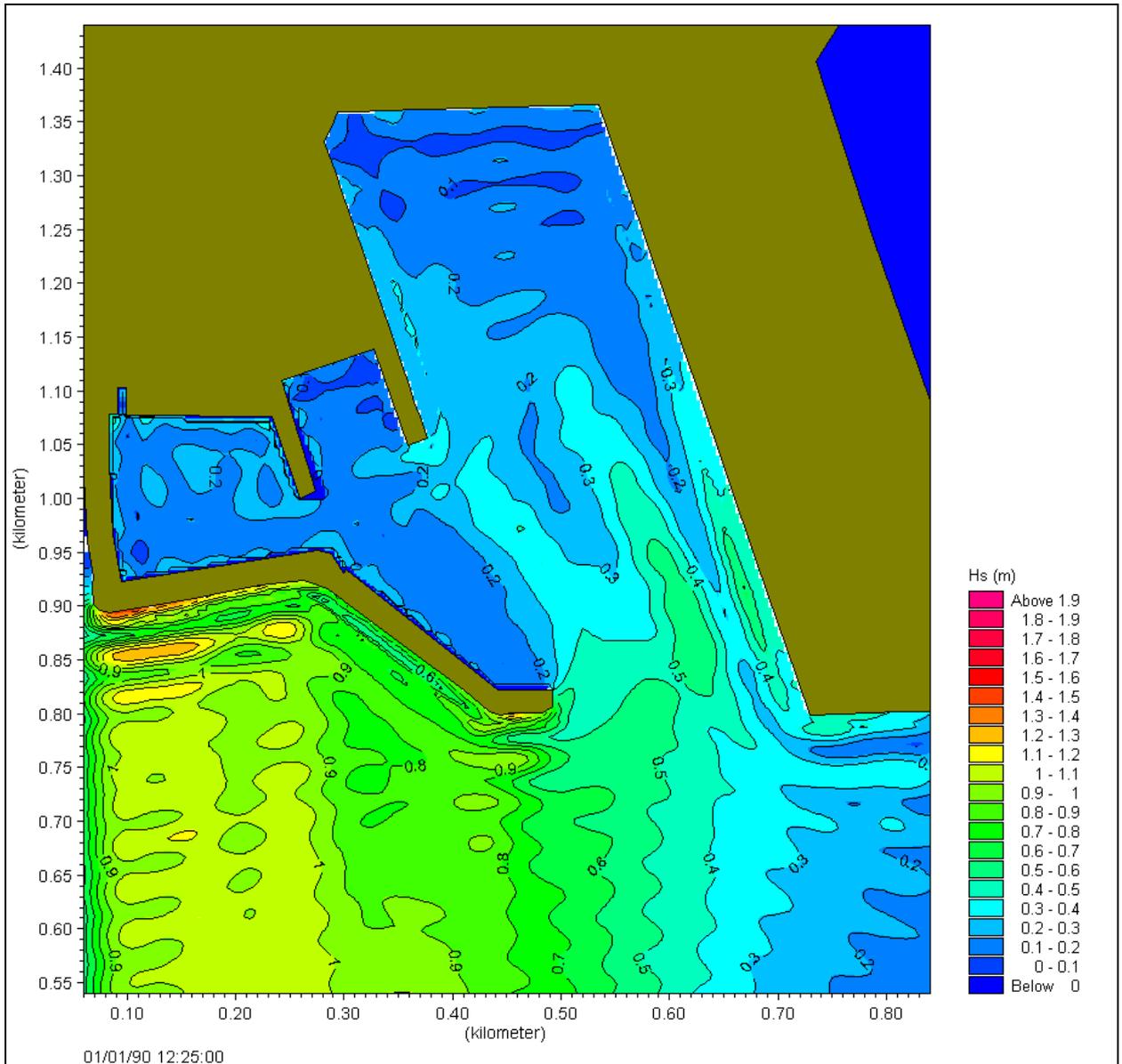


Figura 30 – Campo di agitazione interna con onda che si verifica per un giorno all’anno senza navi all’ormeggio

Nel caso di onde con una frequenza di un giorno all’anno e con la presenza delle due navi ormeggiate nella banchina dello sporgente (vedi Figura 31) si ha invece un’agitazione più importante in quanto le fiancate delle navi, a parete verticale, determinano una riflessione quasi totale delle onde incidenti. Tali onde riflesse si propagano quindi all’interno della calata e successivamente delle darsene.

Si nota quindi che nel campo di agitazione si hanno delle onde dell’ordine dei 0.90 m, con punte di 1m, lungo la fiancata della nave in posizione 1 mentre la fiancata della nave in posizione 2 presenta altezze inferiori grazie al fatto che non è direttamente esposta alle ondatazioni. Si hanno infatti altezze significative dell’ordine dei 0.30-0.40m con punte di circa 0.50 m in corrispondenza della prua della nave. In quest’ultima zona il modello restituisce delle particolari esaltazioni del moto ondoso, tuttavia si tratta, probabilmente, più di effetti dovuti ad instabilità numeriche che di reali effetti idrodinamici.



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	43	62

La presenza delle navi si fa sentire anche nel versante opposto della calata, in corrispondenza della banchina della darsena, con valori di Hs dell'ordine dei 0.30 m dall'angolo di riva fino a circa metà darsena, mentre più verso Sud, fino all'estremità, le altezze d'onda sono di oltre 0.40 con punte di 0.70÷0.80 m. Tali valori sono decisamente elevati per il tipo di imbarcazioni previsto che potrebbe mettere in difficoltà i dispositivi di ormeggio delle stesse.

All'interno della nuova darsena si hanno altezze d'onda di circa 0.30÷0.40 m soprattutto lungo la banchina a giorno parallela allo sporgente che guarda direttamente la calata. In questo caso si fa sentire l'effetto positivo di smorzamento delle onde incidenti della banchina a giorno (alcune simulazioni effettuate con banchina a parete verticale mettevano infatti in evidenza, in queste zone, Hs dell'ordine dei 0.60 m). In queste condizioni la darsena risulta comunque sicura per il naviglio previsto anche se potrebbe non essere prudente effettuare le manovre di ormeggio e/o di scarico e carico.

La darsena attuale risente invece, in maniera più importante, della presenza della navi ormeggiate alla banchina dello sporgente in quanto si verificano delle altezze d'onda dell'ordine dei 0.30÷0.40 m lungo quasi tutto il perimetro e all'interno con punte di 0.50 m.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	44	62

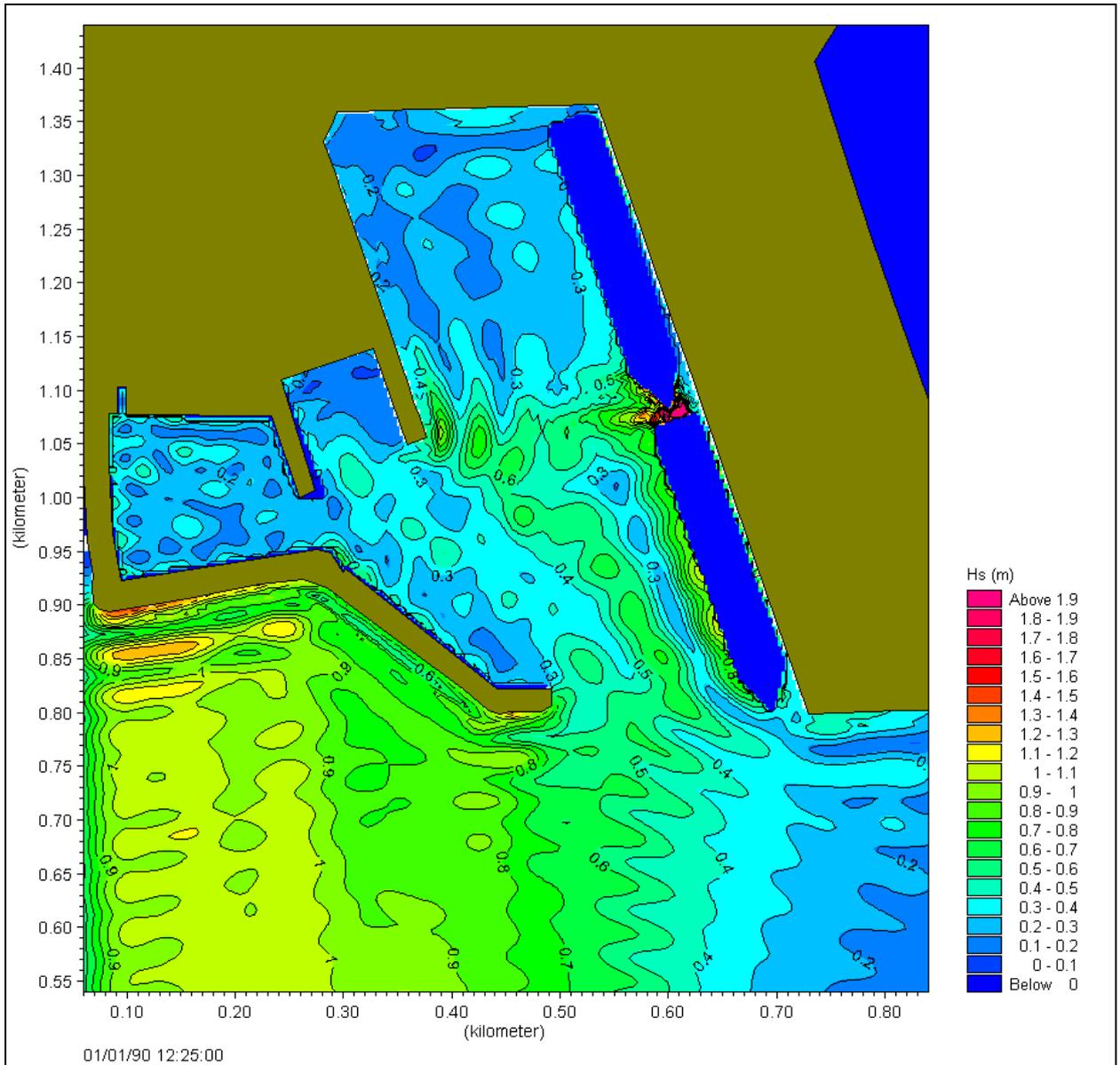


Figura 31 – Campo di agitazione interna con onda che si verifica per un giorno all’anno con navi ormeggiate nella banchina del IV sporgente

Le condizioni di moto ondoso con frequenza di 5 giorni all’anno, in assenza di navi, come mostra la Figura 32, inducono all’interno della calata e delle darsene delle agitazioni molto limitate con altezze significative massime al di sotto dei 0.30 m. Le massime si verificano infatti in corrispondenza della banchina del IV sporgente nella seconda metà verso Sud dove le onde sono più dirette.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	45	62

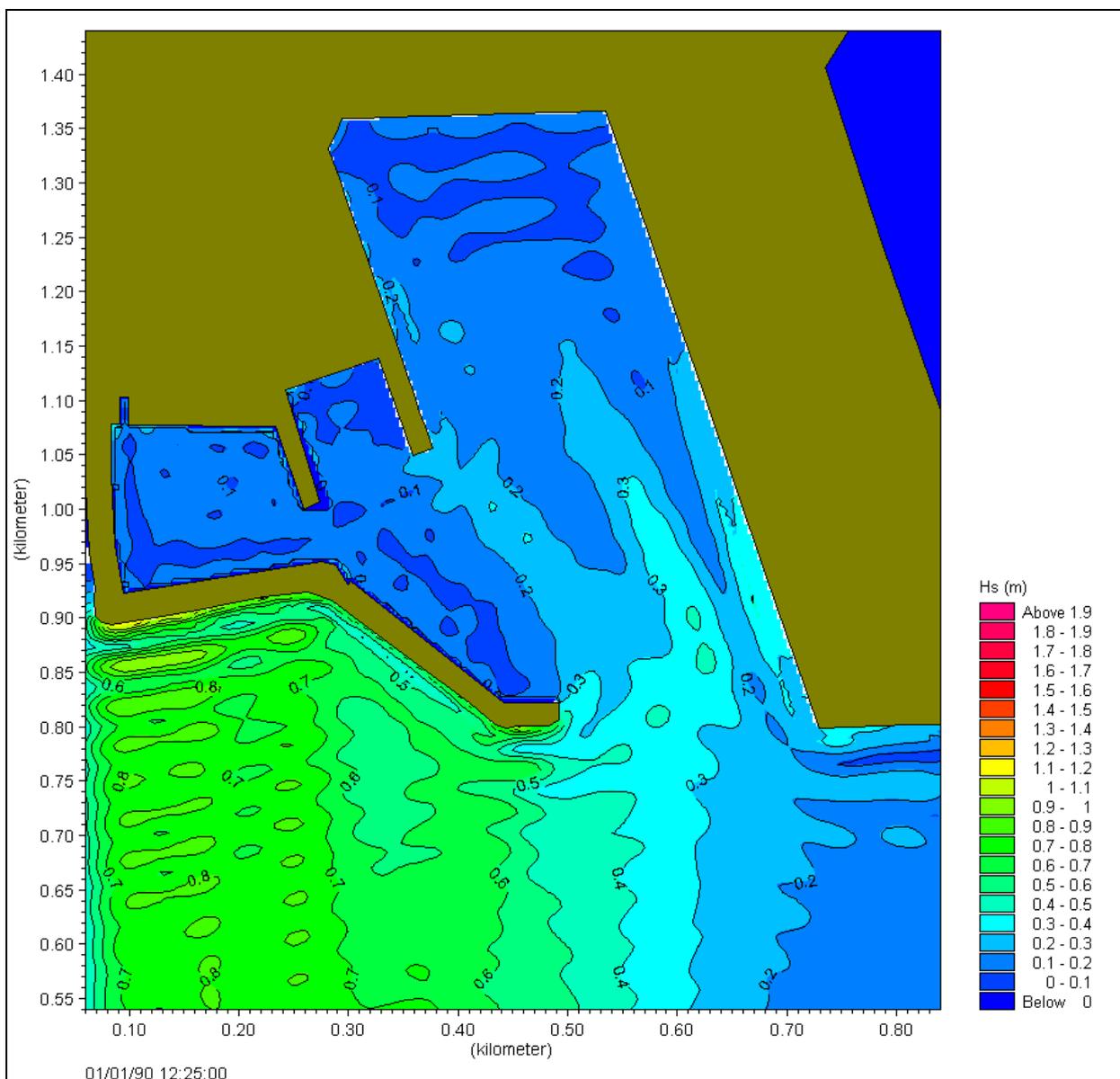


Figura 32 – Campo di agitazione interna con onda che si verifica per 5 giorni all’anno senza navi all’ormeggio

Nel caso dell’inserimento delle navi si ha però un notevole incremento (vedi Figura 33) delle altezze d’onda che, pur risultando inferiori che nel caso dell’onda con frequenza di un giorno all’anno, sono dell’ordine dei 0.70 m in corrispondenza della fiancata della nave in posizione 1 e dell’ordine dei 0.50 m con punte di 0.70 in corrispondenza della banchina Ovest della calata.

Per quanto riguarda le darsene non presentano un’agitazione eccessiva, si hanno infatti onde con valori dell’ordine dei 0.30 m, con punte di altezza significativa di 0.40 m che costituisce un limite per la sicurezza di alcuni ormeggi e di alcune operazioni portuali.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	46	62

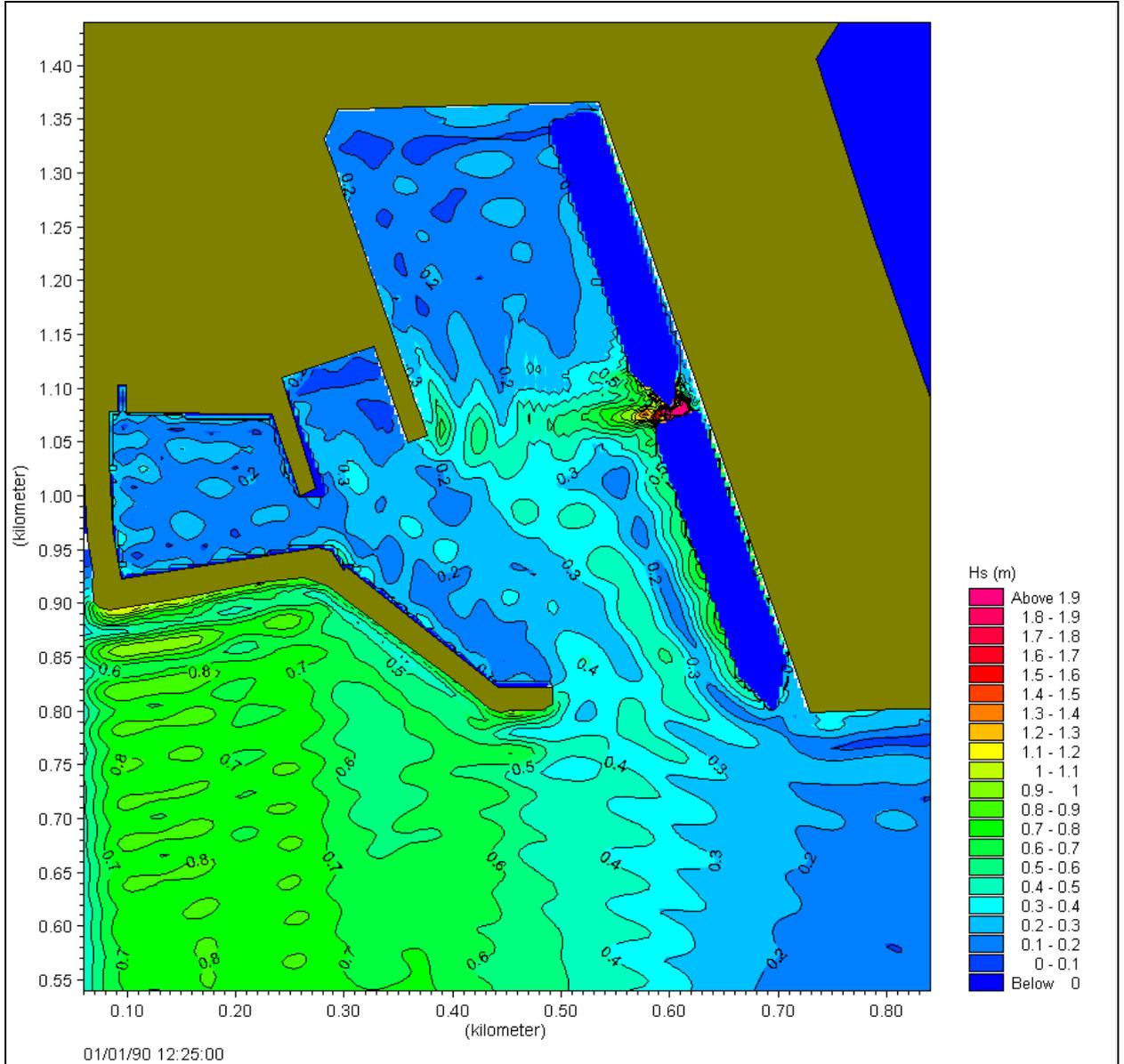


Figura 33 – Campo di agitazione interna con onda che si verifica per 5 giorni all'anno con navi ormeggiate nella banchina del IV sporgente

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	47	62

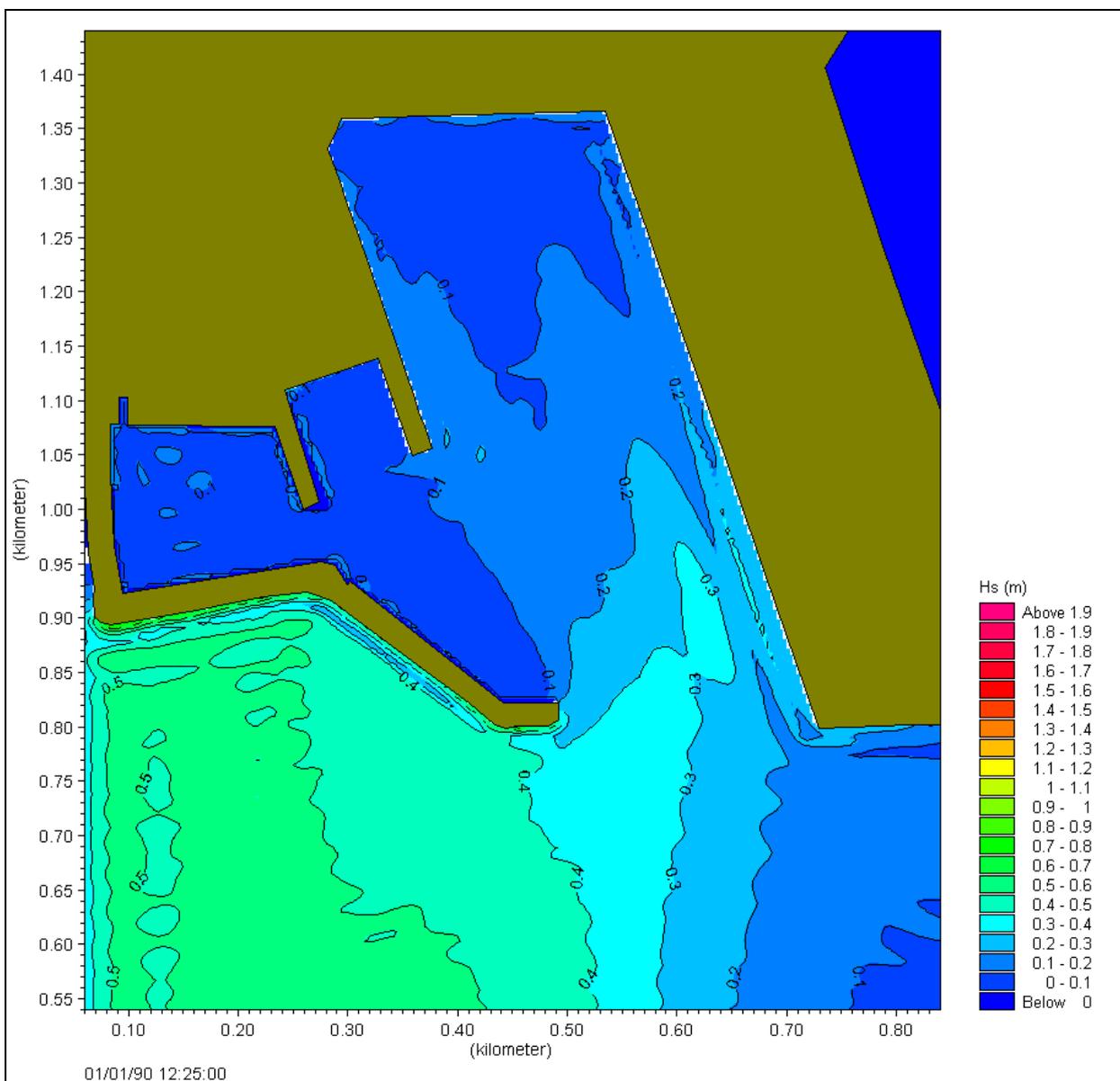


Figura 34 – Campo di agitazione interna con onda che si verifica per 10 giorni all’anno senza navi all’ormeggio

Per quanto riguarda l’agitazione indotta dall’onda con frequenza di 10 giorni all’anno e senza presenza di navi in banchina sia ha un’agitazione molto ridotta con massimi nel punto più esposto di circa 0.30 m (vedi Figura 34). Anche in presenza di navi tale agitazione non peggiora in maniera sostanziale. Si hanno circa 0.60 m di Hs in corrispondenza della fiancata della nave in posizione 2 e circa 0.30-0.35 m in corrispondenza dell’estremità sud della banchina ovest. Per quanto riguarda le darsene invece si hanno altezze d’onda significativa massime dell’ordine dei 0.20 m.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	48	62

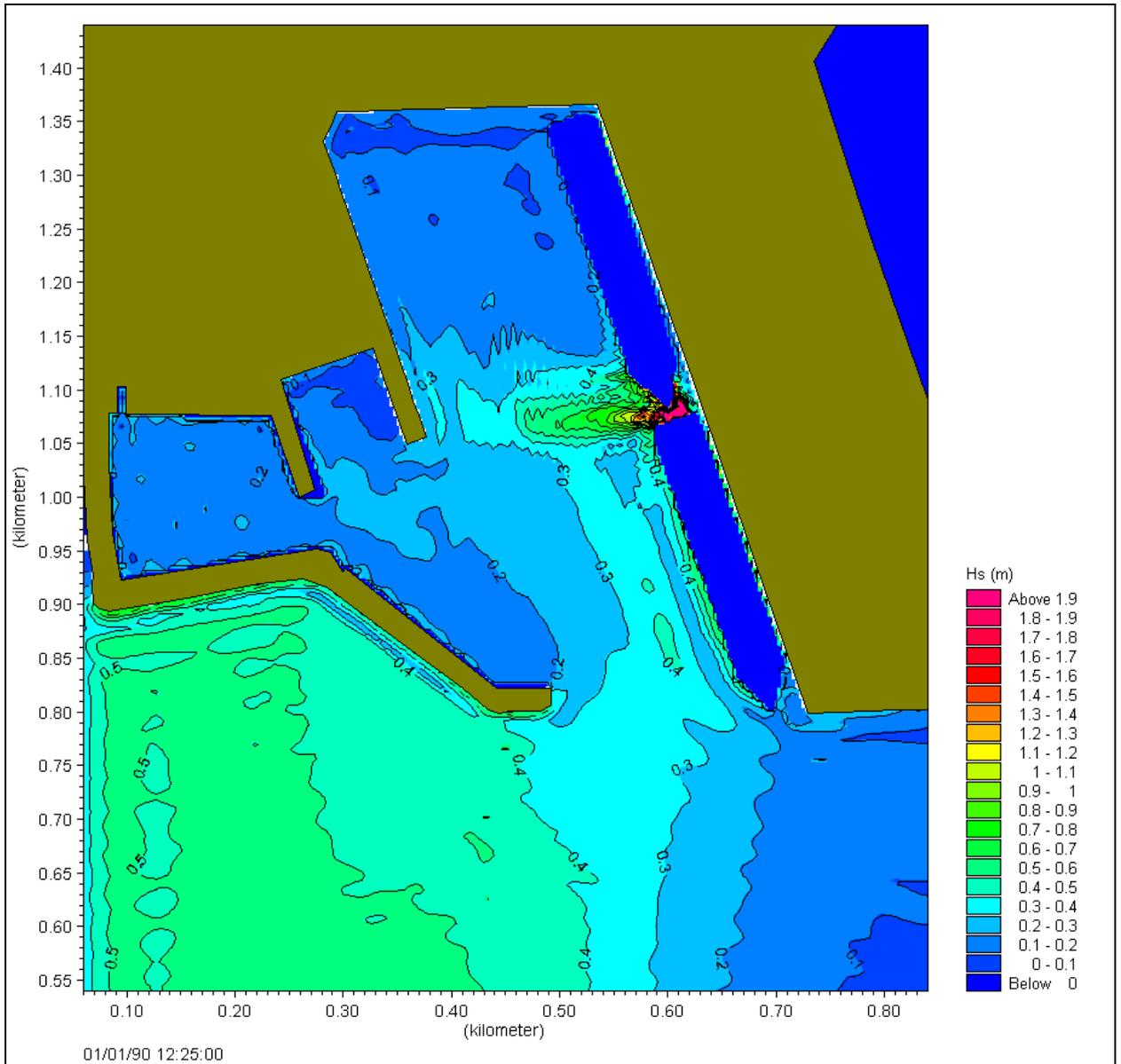


Figura 35 – Campo di agitazione interna con onda che si verifica per 10 giorni all’anno con navi ormeggiate nella banchina del IV sporgente

Progetto	Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
		123.700 B1 OOA S 003	01	49	62

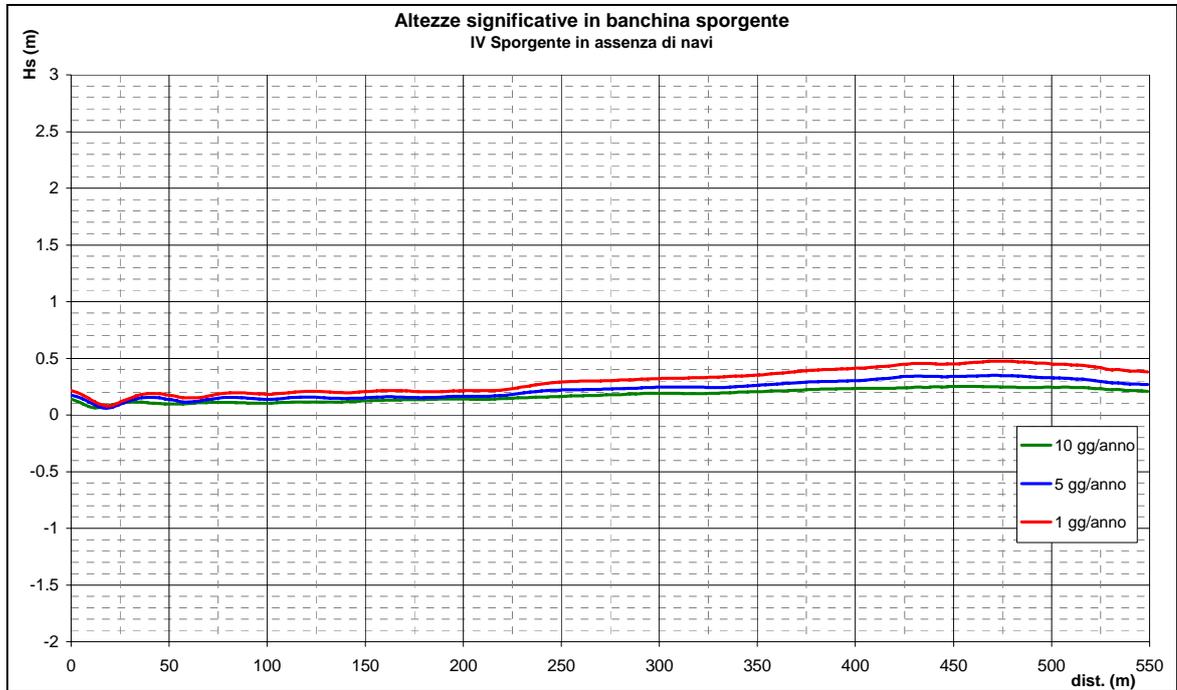


Figura 36 – Altezze d’onda lungo la banchina del IV sporgente in assenza di navi per 1, 5, 10 giorni all’anno

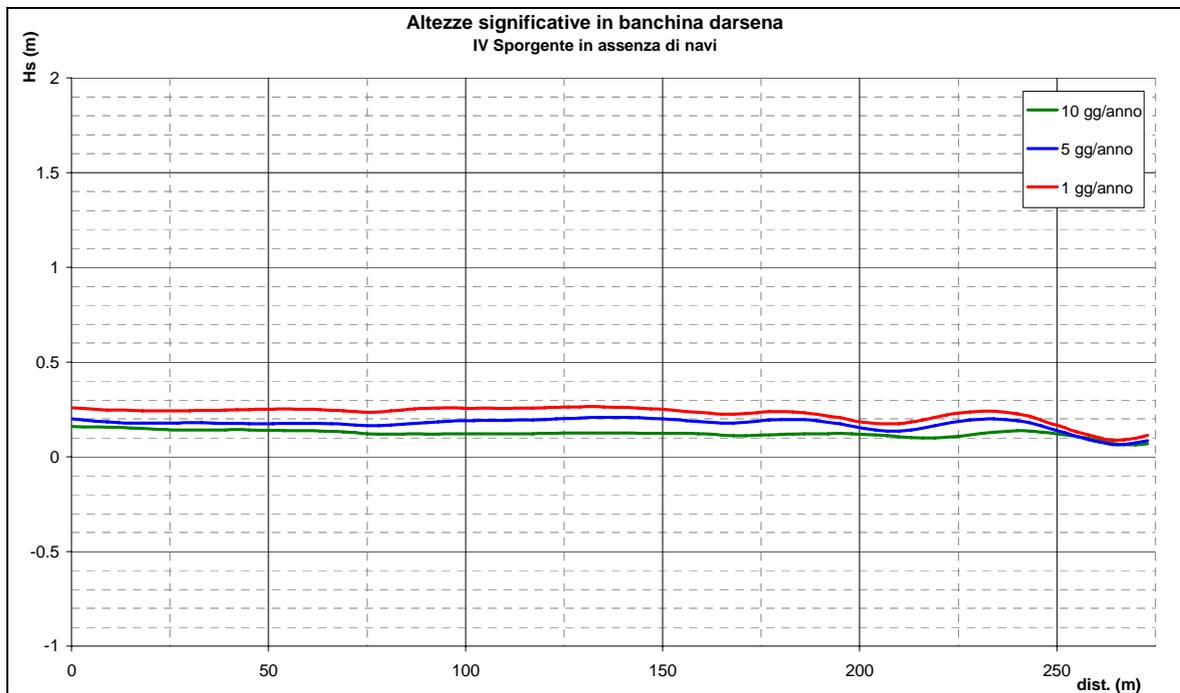


Figura 37 – Altezze d’onda lungo la banchina Ovest della calata in assenza di navi per 1, 5, 10 giorni all’anno

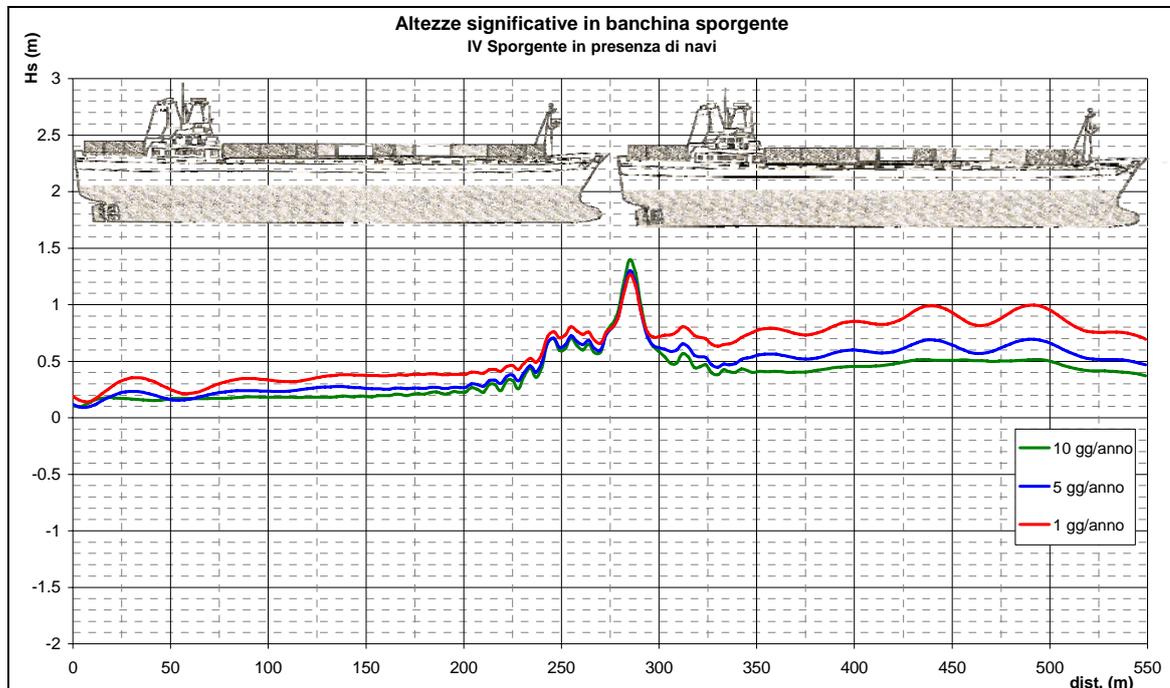


Figura 38 – Altezze d'onda lungo la banchina del IV sporgente in presenza di navi per 1, 5, 10 giorni all'anno

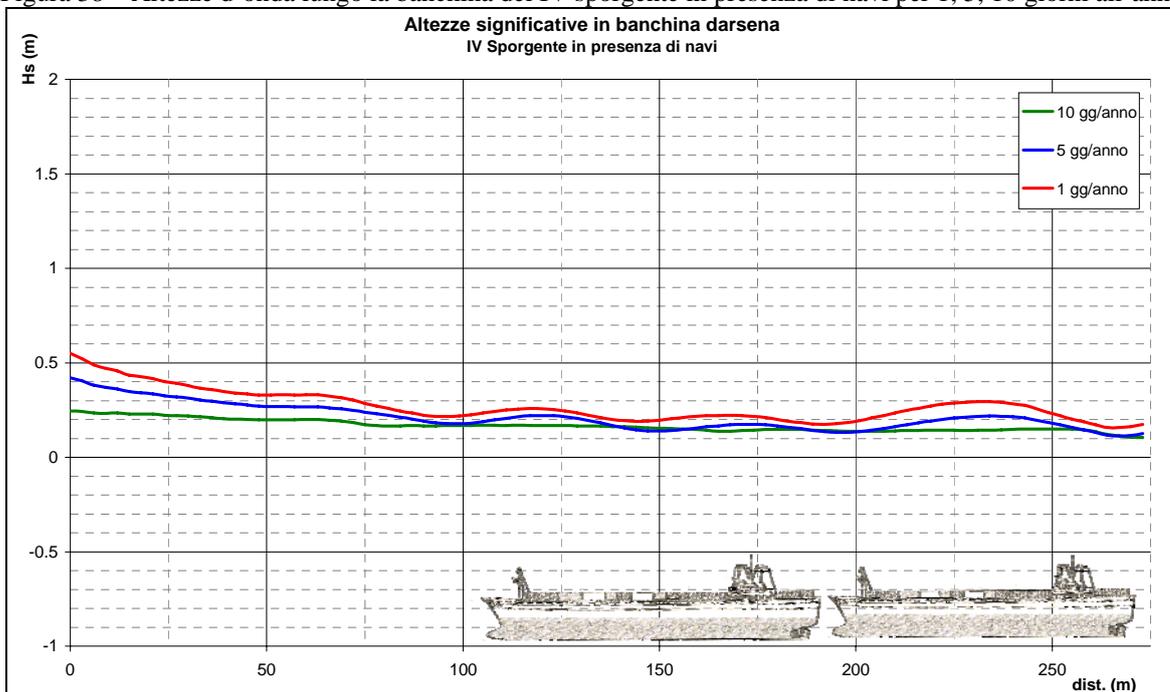


Figura 39 – Altezze d'onda lungo la banchina Ovest della calata in presenza di navi ormeggiate lungo la banchina del IV sporgente per 1, 5, 10 giorni all'anno

6.3.3 Onde di lungo periodo

Per valutare la risonanza della futura calata e della darsena Ovest sono state fatte delle simulazioni con onde di lungo periodo ed in particolare con onde di periodo pari a 30 e 60 secondi. Si noti che questo tipo di onde non sono



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	51	62

facilmente rilevabili dagli attuali strumenti di misura del moto ondoso, ma che tuttavia sono presenti. Tali onde sono di ampiezza dell'ordine della decina di centimetri e pertanto per una valutazione degli effetti indotti su una struttura portuale, come una calata od una darsena, è più opportuno riferirsi al potere riduttore/esaltatore del porto che si può esprimere come il valore del rapporto tra l'altezza dell'onda residua e quella dell'onda incidente. Se ad esempio il valore riportato nei risultati è 2 e l'onda incidente è di 10 cm significa che in quel punto si avranno delle onde di 20 cm.

I risultati delle onde di lungo periodo sono riportate nelle Figura 40 e Figura 41. Come si nota dai risultati non vi sono esaltazioni particolari del moto ondoso.

Per l'onda con periodo di 30 s si hanno, all'interno della calata, esaltazioni dell'ordine di 2÷2.5 volte l'onda incidente, localizzate all'interno della darsena attuale, nell'angolo tra la banchina di riva e la banchina Ovest e in prossimità della testata del molo di sopraflutto. Si hanno inoltre dei picchi di 2.5 ÷3 volte l'onda incidente a metà della banchina interna del molo di sopraflutto della darsena. All'interno della nuova darsena si hanno invece esaltazioni di circa 2 volte l'onda incidente.

Come si nota dalla figura si hanno delle linee nodali distanti tra di loro di circa 100÷200 m. Tali valori di esaltazione di moto ondoso non sono particolarmente importanti per quanto riguarda le navi ormeggiate nella banchina dello sporgente, in quanto non superano il limite riportato in letteratura di 5 volte l'onda incidente. Per quanto riguarda invece le imbarcazioni minori, si hanno dei periodi di oscillazione sufficientemente lunghi da non indurre i movimenti di rollio o beccheggio (rotazioni attorno all'asse orizzontale in direzione prua-poppa e trasversale della nave), ma tali da indurre movimenti sussultori (traslazioni verso l'alto e verso il basso) che tuttavia non danno particolari problemi per gli ormeggi anche di piccole navi (dell'ordine dei 30 m).

Per quanto riguarda l'onda con periodo di 60 s si hanno delle esaltazioni del moto ondoso in prossimità dell'angolo tra la banchina di riva e la banchina Ovest, in prossimità della testata dello sporgente e in prossimità della banchina di riva della nuova darsena. Anche in questo caso le esaltazioni sono dell'ordine di 2÷3 volte l'onda incidente. Valgono anche in questo caso le medesime considerazioni fatte per l'onda di 30 s.

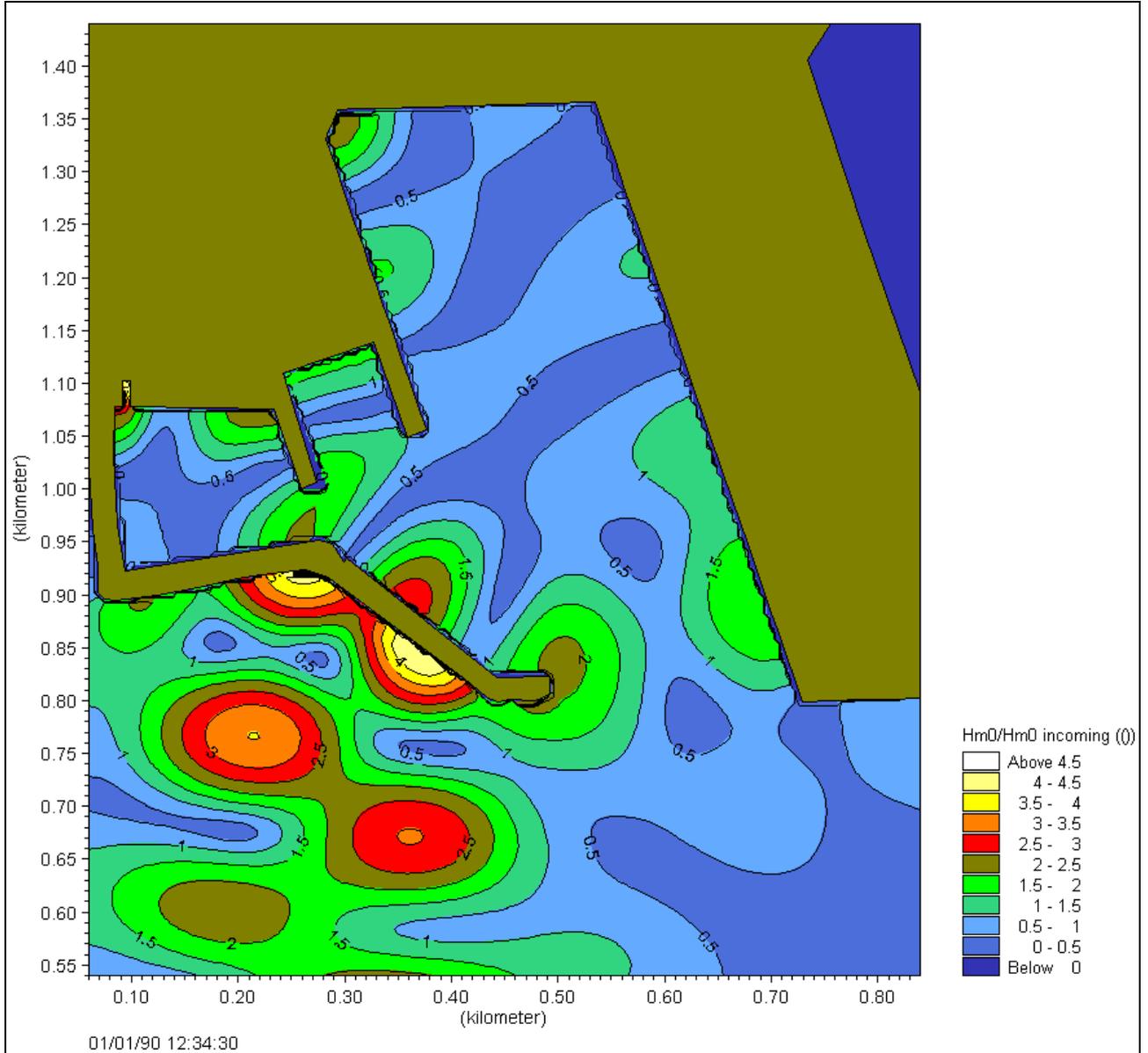


Figura 40 – Campo di moto ondoso per un'onda con periodo di 30 s

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	53	62

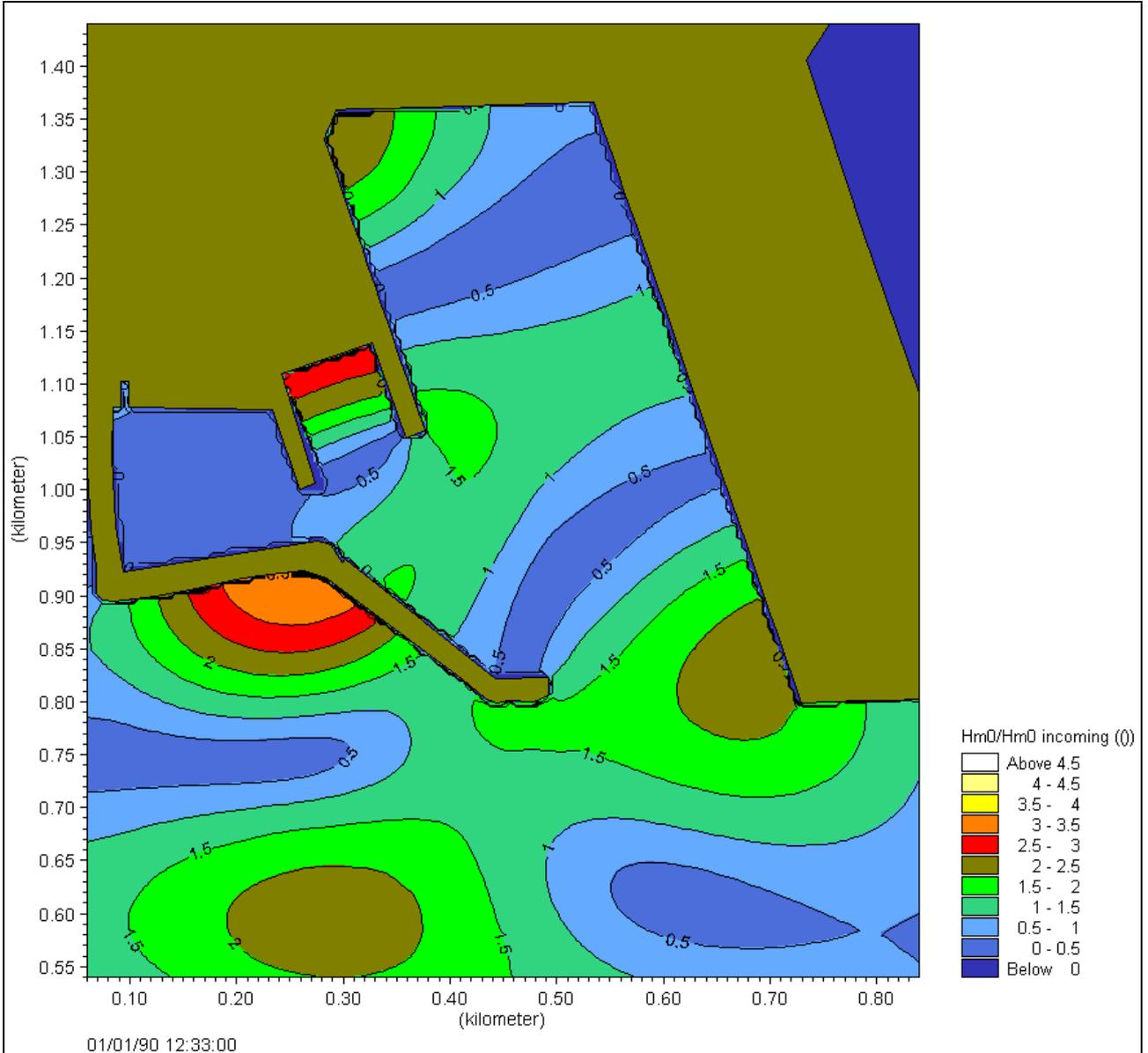


Figura 41 – campo di moto ondoso per un'onda con periodo di 60 s

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	54	62

7 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Dalle simulazioni fatte si deduce che la calata è in una buona posizione ed ha una buona conformazione planimetrica per quanto riguarda le onde di lungo periodo. Purtroppo non è possibile dire lo stesso per quanto riguarda invece onde caratterizzate da un certo periodo di ritorno e in alcuni casi per le onde con una certa durata annuale, a causa della particolare esposizione della calata nei confronti dei mari provenienti dalle direzioni del III Quadrante. Il settore compreso tra 186 e 202°N risulta infatti scoperto e permette quindi l'ingressione delle mareggiate provenienti da quelle direzioni, senza che vi siano opere di difesa ad attenuare l'energia delle onde.

Per tale motivo si hanno agitazioni eccessive in corrispondenza delle opere di ormeggio, soprattutto durante eventi con tempo di ritorno di 1, 5 o 100 anni. Analogamente si hanno delle condizioni importanti anche con onde con durata di 1 giorno all'anno o 5 giorni all'anno. Per questi ultimi casi è necessario però distinguere vari scenari che possono essere caratterizzati dalla presenza di una o più navi. La presenza della nave infatti rende vano o quasi l'effetto antiriflettente della banchina su cassoni forati, presentando al mare un paramento verticale continuo che riflette quasi totalmente l'onda incidente.

E' necessario pertanto prevedere un periodo di inoperatività delle banchine dal punto di vista delle operazioni di carico e scarico che tenga conto delle ondatazioni che possono verificarsi in diverse condizioni. Tale periodo però può essere solamente definito in funzione delle utenze che utilizzeranno le banchine della calata e le darsene. Si riporta in ogni caso una tabella riepilogativa con le altezze significative che si verificano in alcune posizioni notevoli, in cui si indicano in grassetto i valori che probabilmente non potranno essere superati per garantire l'operatività del porto.

				Hs (m)		
		sporgente	posizione	1 gg/anno	5 gg/anno	10 gg/anno
banchina sporgente	con navi		2	0.40	0.30	0.20
			1	1.00	0.70	0.50
	senza navi		2	0.10	0.15	0.20
			1	0.50	0.35	0.25

Tabella 9 – Altezze d'onda in varie posizioni della banchina dello sporgente con diverse durate annuali

				Hs (m)		
		sporgente	posizione	1 gg/anno	5 gg/anno	10 gg/anno
banchina sporgente	con navi		testata	0.50	0.40	0.20
			riva	0.30	0.25	0.15
	senza navi		testata	0.35	<0.20	<0.20
			riva	0.20	<0.20	<0.20
darsena ovest	con navi			0.35	<0.30	<0.20
	senza navi			0.20	<0.20	<0.20
darsena attuale	con navi			0.35	<0.30	<0.20
	senza navi			0.20	<0.20	<0.20

Tabella 10 – Altezze d'onda in varie posizioni della banchina ovest e nelle darsena con diverse durate annuali

Si noti infine che tali durate potrebbero essere ulteriormente ridotte adeguando l'antemurale prospiciente alla calata in modo da chiudere il settore che rimane attualmente esposto alle ondatazioni che provengono dall'esterno del Mar Grande. Tale adeguamento, che allo stato attuale va oltre gli scopi del presente studio e progetto, potrà ragionevolmente essere costituito da un allungamento dell'antemurale di circa 300-400 m con un'inclinazione che dovrà tener conto della presenza del pontile petrolifero, in modo da non interferire con le navi che ivi attraccano.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	55	62

Per questo si suggerisce pertanto, oltre che una valutazione delle condizioni ondamiche e dell'agitazione residua, anche una valutazione della capacità di manovra delle navi mediante modellazione numerica con pilota.



Figura 42 – Possibile posizione dell'adeguamento dell'antemurale prospiciente la calata di futura realizzazione

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	56	62

APPENDICE A – DESCRIZIONE DEL MODELLO MIKE21 NSW

Il codice consente di simulare il moto ondoso in zone costiere tenendo conto dei fenomeni di shoaling e di rifrazione, dell'attrito di fondo, del frangimento, dell'interazione tra moto ondoso e correnti, della generazione locale di onde dovuta al vento e della dispersione direzionale dello spettro energetico che caratterizza il moto ondoso.

Le equazioni che stanno alla base del MIKE 21 NSW sono derivate dall'equazione di conservazione dello spettro di energia del moto ondoso. Una parametrizzazione di tale equazione nel dominio della frequenza è stata eseguita introducendo i momenti di ordine zero e di ordine uno dello spettro energetico (variabile dipendente del problema). Questo porta alle seguenti equazioni accoppiate alla derivate parziali:

$$\frac{\partial(c_{gx}m_0)}{\partial x} + \frac{\partial(c_{gy}m_0)}{\partial y} + \frac{\partial(c_q m_0)}{\partial q} = T_0$$

$$\frac{\partial(c_{gx}m_1)}{\partial x} + \frac{\partial(c_{gy}m_1)}{\partial y} + \frac{\partial(c_q m_1)}{\partial q} = T_1$$

nelle quali:

- $m_0(x,y,\theta)$ - momento di ordine zero dello spettro di energia;
- $m_1(x,y,\theta)$ - momento di ordine uno dello spettro di energia;
- c_{gx} e c_{gy} - componenti nella direzione x e y della velocità di gruppo c_g ;
- c_θ - velocità di propagazione rappresentante la variazione di energia nella direzione θ ;
- x e y - coordinate cartesiane;
- θ - direzione di propagazione dell'onda;
- T_0 e T_1 - termini di sorgente.

Il momento $m_n(\theta)$ è definito come:

$$m_n(\theta) = \int_0^\infty \omega^n A(\omega, \theta) d\omega$$

dove ω è la frequenza assoluta e A è lo spettro energetico.

Le velocità di propagazione c_{gx} , c_{gy} e c_θ sono ottenute utilizzando la teoria lineare del moto ondoso.

I due momenti m_0 e m_1 sono calcolati dalle condizioni al contorno H_s e T_m come:

$$m_0 = \frac{H_s^2}{16},$$

$$m_1 = \frac{m_0}{T_m}.$$

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	57	62

Le equazioni prendono in considerazione gli effetti della rifrazione e dello shoaling, i termini di sorgente gli effetti locali dovuti al vento ed alla dissipazione di energia per attrito sul fondo e frangimento. Sono inoltre inclusi gli effetti generati sui fenomeni principali dalle correnti.

La discretizzazione spaziale delle equazioni alle derivate parziali è eseguita utilizzando il metodo delle differenze finite. La griglia con cui viene discretizzato il campo di integrazione è costante sia nelle direzioni x e y che nella direzione di propagazione θ . La griglia deve essere scelta in modo tale da garantire un'adeguata risoluzione nella rappresentazione della batimetria, del campo di venti e di correnti nel piano x, y e del campo d'onda nello spazio x, y, θ .

Le caratteristiche della griglia devono inoltre essere selezionate in modo tale da garantire la stabilità dello schema numerico applicato in MIKE 21 NWS. Utilizzando uno schema alle differenze centrali nella direzione y ed uno schema alle differenze in avanti nella direzione θ , il criterio di stabilità è dato da (Abbott, 1979):

$$\left| \frac{c_{gy} \Delta x}{c_{gx} \Delta y} \right| + \left| \frac{c_{\theta} \Delta x}{c_{gx} \Delta \theta} \right| \leq 1$$

dove Δx , Δy e $\Delta \theta$ rappresentano le dimensioni (costanti) della griglia lungo le tre direzioni x, y, θ . In pratica tale criterio è però di difficile applicazione in quanto non sono note a priori le componenti della velocità di propagazione. Nel caso in cui non sono previste correnti, possono essere utilizzate le seguenti due approssimazioni (Holthuijsen et al., 1989):

$$\frac{\Delta x}{\Delta \theta} \leq \frac{1}{2} \frac{d}{|\nabla d|}$$

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} \geq 2 \tan(\theta)$$

dove d è la profondità e $|\nabla d|$ la pendenza del fondo.

Tali condizioni di stabilità indicano che una griglia spaziale piccola ed un grande settore di direzioni di provenienza del moto ondoso (un grande numero di direzioni discrete) richiedono una discretizzazione spaziale piccola nella direzione x. Per garantire un settore di provenienza di circa 120° (condizione accettabile nella maggioranza delle applicazioni) il rapporto $\Delta y/\Delta x$ deve essere maggiore di 4.

La perdita di energia per attrito sul fondo viene regolata con il parametro di scabrezza di Nikuradse K_N . Per quanto concerne la perdita di energia dovuta al frangimento il MIKE 21 NSW utilizza la formulazione di Battjes e Janssen da cui risulta:

$$\frac{dE}{dt} = \frac{-\alpha}{8\pi} \cdot Q_b \omega H_m^2$$

dove:

- E: energia totale del moto ondoso;
- ω : frequenza;
- H_{rms} : altezza quadratica media che caratterizza il moto ondoso;



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	58	62

H_m : altezza massima possibile del moto ondoso;
 Q_b : percentuale delle onde che frangono;
 α : costante.

Q_b è definito da:

$$\frac{1 - Q_b}{\ln(Q_b)} = - \left(\frac{H_{rms}}{H_m} \right)^2,$$

H_m massima altezza d'onda che si può verificare è definita da:

$$H_m = \frac{\gamma_1}{k} \cdot \tanh \left(\frac{\gamma_2 \cdot k \cdot d}{\gamma_1} \right),$$

k è il numero d'onda;

d è la profondità;

γ_1 è un parametro che regola il frangimento dovuto alla ripidità dell'onda;

γ_2 è un parametro che regola il frangimento dovuto all'interazione con il fondo.

In pratica, considerando un treno d'onde caratterizzato da una certa altezza d'onda significativa H_s , ipotizzando valida la distribuzione di Rayleigh si ha:

$$H_{rms} = \frac{H_s}{\sqrt{2}}.$$

Q_b è la percentuale di onde che, sempre secondo la distribuzione di Rayleigh, ha un'altezza superiore ad H_m e per le quali viene imposta un'altezza pari ad H_m avendo così una perdita di energia indicata dalla equazione precedente.



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	59	62

APPENDICE B – DESCRIZIONE DEL MODELLO MIKE21 BW

Il modulo Boussinesq Wave che fa parte del codice di calcolo MIKE21 è attualmente uno dei più potenti strumenti per la modellazione matematica delle onde corte. Esso è basato sulla soluzione numerica delle equazioni di Boussinesq in due dimensioni.

Tali equazioni includono i termini non lineari e la dispersione in frequenza. Inizialmente la dispersione della frequenza viene introdotta come un'equazione di flusso tenendo conto degli effetti che hanno le accelerazioni verticali nella distribuzione della pressione.

Il limite maggiore delle equazioni di Boussinesq è la loro validità in acque profonde. La nuova forma delle equazioni comprende un significativo miglioramento nella caratteristica della dispersione. Questo permette al MIKE21 BW di simulare la propagazione di treni d'onda che viaggiano da acque profonde ad acque basse (deep/shallow). La massima profondità simulabile è dell'ordine di mezza lunghezza d'onda al largo.

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 e riflessione parziale di onde di ampiezza finita che si propagano in batimetrie complesse.

Il MIKE21 include la porosità 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 o una spiaggia).

L'immissione delle onde all'interno del dominio di calcolo può essere fatta mediante dei contorni aperti o direttamente mediante delle linee di generazione interne.

Il modello può essere applicato allo studio dell'agitazione di porti o in aree costiere ove sia limitato il frangimento. Questo permette anche di includere nello studio il campo di agitazione dovuto alla penetrazione di treni regolari o irregolari, lo studio della risonanza portuale e le sesse dovute a onde di lungo periodo a onde di mare morto o a maremoti.

Il campo di agitazione (*wave disturbance*) è uno degli aspetti più importanti per la manovra di ormeggio delle navi e per le operazioni di carico e scarico; nell'ingegneria delle costruzioni marittime l'agitazione interna è, pertanto, uno dei dati da tener in maggior considerazione per la progettazione.

Descrizione Generale:

I due moduli inclusi nel MIKE21 BW sono basati sulla soluzione numerica nel dominio del tempo delle equazioni di Boussinesq. Le equazioni di Boussinesq includono termini non lineari così come la dispersione nella frequenza. Inizialmente tale dispersione è introdotta nelle equazioni della quantità di moto, tenendo conto dell'effetto che le accelerazioni verticali hanno sulla distribuzione della pressione. Entrambi i metodi risolvono le equazioni tipo di Boussinesq usando un'equazione del flusso con caratteristiche di dispersione lineare migliorate. Queste equazioni di Boussinesq avanzate fanno sì che i moduli siano adatti per simulazioni della propagazione di treni d'onda direzionali che viaggiano dalle acque profonde alle acque basse. La profondità massima relativa alla lunghezza d'onda in acque profonde è $h/L_0 \approx 0.5$, mentre per le equazioni classiche di Boussinesq $h/L_0 \approx 0.22$.

Le equazioni del modello sono state estese per tenere conto del frangimento e dello spostamento della linea di riva.

Il MIKE21 BW include i due moduli:

- 2DH Boussinesq wave module;



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	60	62

- 1H Boussinesq wave module.

2DH Boussinesq wave module

Il modulo 2DH (due coordinate spaziali orizzontali) risolve le equazioni avanzate di Boussinesq con una tecnica alle differenze finite in uno dominio definito da una griglia rettangolare. Il modulo è in grado di riprodurre gli effetti combinati della maggior parte dei fenomeni che interessano porti, marine e l'ingegneria costiera in generale. Questi includono:

- shoaling
- rifrazione
- diffrazione
- attrito col fondo
- riflessione parziale e trasmissione
- interazione non lineare tra le onde
- dispersione in frequenza
- dispersione direzionale

I fenomeni non lineari come i wave-group, generazione di sub-armoniche e superarmoniche e risonanze portuali possono essere tutte modellizzate mediante il MIKE21 BW.

1DH Boussinesq wave module

Nel modulo 1DH (una coordinata orizzontale spaziale) le aree costiere e le oscillazioni della swash-zone possono essere simulate per qualsiasi profilo della costa. In aggiunta ai fenomeni citati sopra (eccezion fatta per la rifrazione) questo modello include anche:

- frangimento
- spostamento della linea di riva

L'effetto del movimento dell'onda è modellizzato con l'introduzione di un addizionale termine convettivo, e la determinazione della superficie è basata su un approccio geometrico. Il frangente è considerato una massa passiva di acqua isolata dal resto del movimento dell'onda, mentre viene tralata con la celerità dell'onda. Il frangimento inizia se la pendenza della superficie dell'acqua supera un certo angolo e in tal caso la geometria del frangente è determinata.

L'introduzione di un movimento della linea di riva nel modulo monodimensionale del BW è basata sul seguente approccio: il dominio di calcolo è esteso in maniera fittizia sostituendo la spiaggia solida con una spiaggia permeabile caratterizzata da una porosità molto bassa. Vicino al movimento della linea di riva la superficie dell'acqua interseca il fondo marino e continua a propagarsi nel mezzo poroso. Quindi la posizione istantanea della linea di riva è semplicemente determinata da questa intersezione.

I dettagli sulla generazione e il rilascio su basse frequenze dovute a una primaria trasformazione dell'onda sono ben rappresentate in questo modulo. Questo è molto importante per le risonanze portuali. Il modulo risolve l'equazione avanzata di Boussinesq con un metodo standard agli elementi finiti di Galerkin.

EQUAZIONI DI BASE

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	61	62

Il modulo BW del MIKE21 risolve l'equazione avanzata di Boussinesq espressa in una delle due dimensioni orizzontali in termini di elevazione della superficie libera, ξ , e le componenti della velocità integrate sulla verticale, P e Q.

L'equazione di Boussinesq:

Continuità

$$n \frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} = 0$$

Quantità di moto rispetto a x

$$n \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{P^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{PQ}{h} \right) + \frac{\partial R_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial R_{xy}}{\partial x} + n^2 gh \frac{\partial \xi}{\partial x} + n^2 P \left[\alpha + \beta \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{h} \right] + \frac{gP\sqrt{P^2 + Q^2}}{h^2 C^2} + n \Psi_1 = 0$$

Quantità di moto rispetto a y

$$n \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{Q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{PQ}{h} \right) + \frac{\partial R_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial R_{yy}}{\partial y} + n^2 gh \frac{\partial \xi}{\partial y} + n^2 Q \left[\alpha + \beta \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{h} \right] + \frac{gQ\sqrt{P^2 + Q^2}}{h^2 C^2} + n \Psi_2 = 0$$

dove i termini di dispersione Ψ_1 e Ψ_2 sono definiti come:

$$\Psi_1 \equiv - \left(B + \frac{1}{3} \right) d^2 (P_{xxt} + Q_{xyt}) - nBgd^3 (\xi_{xxx} + \xi_{xyy}) - dd_x \left(\frac{1}{3} P_{xt} + \frac{1}{6} Q_{yt} + nBgd(2\xi_{xx} + \xi_{yy}) \right) - dd_y \left(\frac{1}{6} Q_{xt} + nBgd\xi_{xy} \right)$$

$$\Psi_2 \equiv - \left(B + \frac{1}{3} \right) d^2 (Q_{yyt} + P_{xyt}) - nBgd^3 (\xi_{yyy} + \xi_{xxy}) - dd_y \left(\frac{1}{3} Q_{yt} + \frac{1}{6} P_{xt} + nBgd(2\xi_{yy} + \xi_{xx}) \right) - dd_x \left(\frac{1}{6} P_{yt} + nBgd\xi_{xy} \right)$$

I pedici x, y e t indicano le derivate parziali fatte rispetto allo spazio e al tempo.

Lista dei simboli:

P	densità di flusso nella direzione x in m ³ /m/s
Q	densità di flusso nella direzione Y in m ³ /m/s
B	Fattore di dispersione di Boussinesq
x,y	Coordinate cartesiane in m
t	tempo in s
h	altezza d'acqua (profondità + elevazione disuperficie) in m
d	profondità in m
g	accelerazione di gravità in m ² /s
n	porosità
C	numero di Chezy in m ^{0.5} /s
α	coefficiente di resistenza nel moto laminare del fluido in un mezzo poroso
β	coefficiente di resistenza nel moto turbolento del fluido in un mezzo poroso
ξ	elevazione di superficie in m

I termini indicati con R_{xx} , R_{xy} ed R_{yy} tengono conto dell'eccesso di quantità di moto originato dalla distribuzione non uniforme della velocità dovuta alla presenza di frangenti e sono definiti da:

$$R_{xx} = \frac{\delta}{1 - \delta/d} \left(c_x - \frac{P}{d} \right)^2$$

$$R_{xy} = \frac{\delta}{1 - \delta/d} \left(c_x - \frac{P}{d} \right) \left(c_y - \frac{Q}{d} \right)$$



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOA S 003	01	62	62

$$R_{yy} = \frac{\delta}{1 - \delta/d} \left(c_y - \frac{Q}{d} \right)^2$$

dove $\delta = \delta(t,x,y)$ è lo spessore della superficie del frangente e c_x e c_y sono le componenti della celerità del frangente.

Si noti che i termini di eccesso di quantità di moto vengono risolti solamente nel modulo 1DH e non nel modulo 2DH. In pratica, come già citato sopra solamente il modulo monodimensionale è in grado di rappresentare anche il fenomeno del frangimento.

Schema di Calcolo del modulo bi-dimensionale

Il metodo numerico di calcolo è basato sul cosiddetto SYSTEM21 scheme che è stato introdotto nel 1973 da Mike Abbott et al. Tale schema è stato successivamente esteso alla modellazione di onde corte nel 1978 sempre da Abbott et al. Da allora, questo robusto schema di calcolo è in costante sviluppo.

Le equazioni differenziali sono discretizzate nello spazio all'interno di una griglia rettangolare strutturata a maglie quadrate. Le quantità scalari come l'elevazione della superficie liquida sono definite nei nodi della griglia mentre le componenti del flusso sono definite nel punto intermedio tra due nodi adiacenti nelle rispettive direzioni.

L'approssimazione alle differenze finite delle derivate spaziali è del tipo in avanti ad eccezione dei termini convettivi.

L'integrazione nel tempo è basata usando uno schema implicito centrato nel tempo.

L'algoritmo applicato è del tipo ADI (Alternating Direction Implicit) con l'uso della tecnica del passo frazionato e del "side-feeding" (semi-linearizzazione dei termini non lineari). Il sistema di equazione risultante è tri-diagonale e viene risolto con la nota tecnica del Double-Sweep.