



AUTORITA' PORTUALE DI ANCONA



Progetto di fattibilità tecnica ed economica banchinamento fronte esterno molo Clementino nel porto di Ancona

Progetto:



Studio
Zoppi
INGEGNERIA
& Associati

Dott. Ing. Paolo Zoppi
Dott. Ing. Caterina Zoppi
Dott. Ing. Giuseppe Di Cosmo

Il Responsabile del Procedimento:

Dott. Ing. Gianluca Pellegrini

RELAZIONE IDRAULICO MARITTIMA

base:

scala

data: giugno 2016

N.	AGGIORNAMENTI E MODIFICHE	DATA
1		
2		
3		

INDICE

1.	Premessa	3
2.	Inquadramento geografico del paraggio.....	5
3.	Definizione del clima di moto ondoso.....	6
3.1	Ondametro di Ancona - stazione di misura R.O.N.	7
3.2	Clima di moto ondoso al largo	7
3.3	Clima di moto ondoso sotto costa in prossimità dell'imboccatura portuale	12
4.	Regime anemologico	14
5.	Maree	15
6.	Moto ondoso all'interno del bacino portuale	15
6.1	Agitazione Ondosa Residua nella Darsena Piano di Sviluppo del Porto Dopo l'Esecuzione delle Opere del PRP: modello NEWAVE	15
6.2	Agitazione Ondosa Residua nello specchio acqueo antistante il Molo Nord e il Molo Clementino: modello MIKE 21 EMS.....	22
6.2.1	Dati di Input di Output	24
6.2.3	Dati Meteomarini.....	25
6.2.3	Dati di Output - Risultati della simulazione	31
6.2.4	Conclusioni.....	37
6.3.1	Agitazione Ondosa Residua nella Darsena dopo eventuale demolizione di un tratto del Molo Nord attuale: modello MIKE 21 BW	38
6.3.1	Sintesi degli studi.....	38
6.3.2	Verifiche della navigabilità: indicazioni ricavate dallo "Studio di navigabilità nel Nuovo Porto di Ancona, ad Opere di Sopraflutto completate con e senza demolizione di 100,00 m del Molo Nord"	39
6.3.3	Modello per lo studio dell'agitazione ondosa interna al porto: MIKE 21 BW.....	39
6.3.4	Risultati delle simulazioni di agitazione ondosa interna al porto	48
6.3.5	Esame dei risultati	48
6.3.6	Conclusioni	49
7.	Modello per la verifica degli ormeggi	51

1. Premessa

La presente relazione riguarda lo studio idraulico-marittimo e lo studio specialistico volto alla definizione del moto ondoso interno al bacino portuale, effettuato allo scopo di definire le caratteristiche delle onde in prossimità della banchina in oggetto.

Il presente documento è suddiviso in due parti:

- *STUDIO METEOMARINO, riportante:*
 - *le caratteristiche del moto ondoso al largo;*
 - *la trasposizione delle caratteristiche del moto ondoso a largo in prossimità dell'imboccatura portuale;*
- *STUDIO DELL' AGITAZIONE ONDOSA INTERNA, riportante:*
 - *i calcoli effettuati mediante il codice di calcolo NEWAVE volti a definire le condizioni di agitazione ondosa all'interno dello specchio acqueo del Porto di Ancona riferite alle condizioni del paraggio dopo la costruzione delle opere foranee previste nel Piano di Sviluppo;*
 - *i calcoli effettuati mediante il codice di calcolo MIKE 21 EMS (DHI) e MIKE 21 BW volti a definire le caratteristiche del moto ondoso in prossimità della banchina in oggetto effettuati a partire da eventi determinati sulla base dello studio del moto ondoso al largo e per differenti configurazioni.*

I dati relativi allo studio meteo - marino, sia al largo che sotto costa del paraggio dei Ancona, sono estrapolati dalla Relazione idraulico-marittima, redatta nel 2007 da parte dell'Acquatecno S.r.l. e Modimar S.r.l nell'ambito del Gruppo di Progettazione del Piano di Sviluppo del Porto per l'Autorità Portuale di Ancona ¹.

I dati relativi allo studio di agitazione ondosa interna sono ricavati dalle:

- *Relazione idraulico-marittima, redatta nel 2007 da parte dell'Acquatecno S.r.l. e Modimar S.r.l nell'ambito del Gruppo di Progettazione del Piano di Sviluppo del Porto per l'Autorità Portuale di Ancona;*
- *Relazione idraulico-marittima, redatta nel 2000 dallo STI - Studio tecnico di Ingegneria, in collaborazione con lo studio Zoppi di Ancona, nell'ambito dell'incarico ricevuto dall'Autorità Portuale di Ancona di effettuare alcune indagini e verifiche inerenti al progetto di una banchina di allestimento all'interno del porto di Ancona, nell'area Fincantieri;*
- *Convenzione per lo Studio dell'agitazione ondosa interna al nuovo Porto di Ancona, redatta il 12 Giugno 2014 dall' Università Politecnica delle Marche, Facoltà di Ingegneria, Dip. ICEA*

¹ E' stato anche esaminato il documento *Studi propedeutici alla progettazione di opere di terza fase relative all'ampliamento del porto di Ancona*, redatto nel 2002-05 dall'Università di Ancona - Facoltà di Ingegneria-, il quale è però incentrato sulle problematiche del nuovo molo nord e non contiene elementi utili per la ricostruzione del clima ondoso che interessa la darsena Fincantieri.

- Sez. Idraulica e Infrastrutture Viarie, nell'ambito dell'incarico ricevuto dall'Autorità Portuale di Ancona volto alla definizione dell'eventuale demolizione di un tratto del Molo Nord attuale, in risposta alle richieste del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

I dati ondametrici per il clima di moto ondoso al largo sono riferiti alle misure eseguite dalla boa ondametrica direzionale, ubicata al largo di Ancona, facente parte della R.O.N. (Rete Ondametrica Nazionale) gestita dall'APAT.

Per la caratterizzazione del moto ondoso in prossimità dell'imboccatura portuale, lo studio ha utilizzato il modello matematico di rifrazione inversa spettrale MEROPE, che consente di interpretare la propagazione dal largo a sotto costa della serie storica registrata dalla boa.

I primi due studi fanno riferimento a dati ondametrici riferiti ad un arco temporale antecedente il 2000, mentre il terzo si basa su dati più recenti della Rete Ondametrica Nazionale.

Le evidenti modifiche dei fenomeni meteorologici osservate negli ultimi anni e la realizzazione delle nuove opere poste a protezione del Porto di Ancona spingono a suggerire di ripetere le modellazioni per la definizione del moto ondoso interno al bacino portuale alla luce di dati meteo - marini più recenti preliminarmente alla progettazione definita della banchina.

2. Inquadramento geografico del paraggio

Una prima caratterizzazione delle condizioni di "esposizione geografica" del sito rispetto ai possibili fattori meteo marini come vento, moto ondoso, correnti e maree è stata condotta in funzione del fetch² geografico ed efficace, che rappresenta la massima estensione della distanza di superficie marina da cui possono provenire il vento ed il moto ondoso.

Il settore di traversia geografico al largo del Monte Conero, ove è posizionata la boa ondometrica, è delimitato del promontorio del Gargano a Sud, e risulta limitato ad est dalla costa Croata ed a nord dalla costa che si estende dal Veneto alla Slovenia.

Il paraggio è esposto al mare aperto per il settore complessivo compreso tra 290° e 130° N; i valori più elevati della lunghezza del fetch geografico si hanno per il settore di scirocco (Figura 1), mentre la Tabella 1 riporta gli stessi valori in forma numerica.

Considerate le estensioni massime delle perturbazioni cicloniche nel Mar Adriatico nell'ordine dei 500 km, i fetch geografici sono stati limitati a tale dimensione. Il fetch efficace massimo ottenuto (Figura 1) risulta, pertanto, pari a circa 193 km ed è riferito al settore di scirocco (110° Nord).

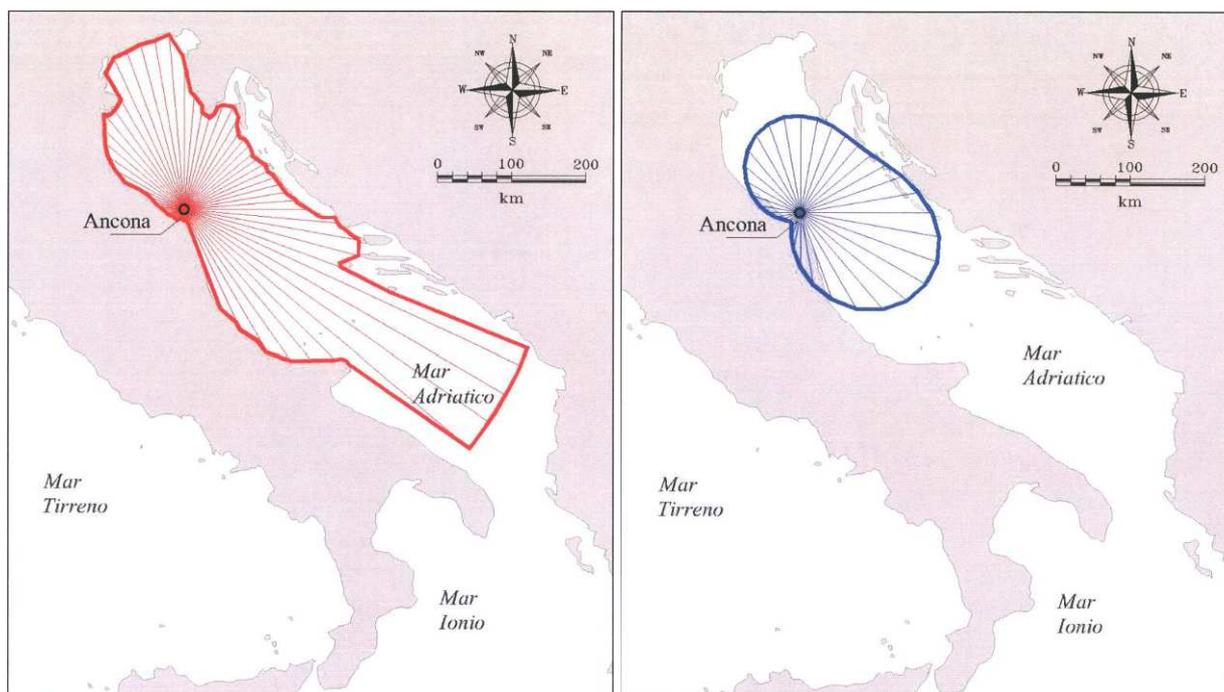


Figura 1. Fetch Geografici ed Efficaci al largo di Ancona.

² La traversia (fetch) geografica è suddivisa in un settore principale (massima estensione geografica cui sono associate le mareggiate più intense) ed in un settore secondario (distanze più contenute cui sono associati stati di mare meno gravosi). La lunghezza dei *fetch efficaci* risulta essere diversa da quelli *geografici*, in quanto alla generazione del moto ondoso contribuiscono anche i settori di ± 8 rispetto alla azione del vento, oltre alla superficie marina individuata nella direzione lungo la quale spira il vento.

Tabella 1. Fetch Geografici ed Efficaci al largo di Ancona.

Direzione Media Settore di Traversia [°]	Fetch Geografico [km]	Fetch Efficace [km]	Deviazione Direzione del Vento	Direzione Media Settore di Traversia [°]	Fetch Geografico [km]	Fetch Efficace [km]	Deviazione Direzione del Vento
0	192.76	130.19	-1	180	14.26	72.94	-30
10	133.43	127.76	-4	190	13.43	51.13	-34
20	150.81	123.95	-6	200	12.06	34.53	-38
30	144.39	120.35	-7	210	15.8	23.98	-43
40	124.44	119.27	10	220	16.89	18.9	-46
50	119.06	122.69	20	230	17.22	18.05	-50
60	123.52	131.15	20	240	18.42	20.58	41
70	128.58	143.98	17	250	21.2	25.82	38
80	137.12	159.37	14	260	24.63	33.42	35
90	167.47	174.51	10	270	28.54	43.41	31
100	236.82	186.5	6	280	36.77	55.66	28
110	223.85	193.11	2	290	48.05	69.47	24
120	498.4	192.88	-2	300	107.48	83.84	20
130	500	185.13	-7	310	138.57	97.74	16
140	265.02	170.21	-11	320	167.39	110.1	13
150	221.14	149.35	-16	330	211.53	119.97	9
160	141.99	124.53	-21	340	226.21	126.71	5
170	15.71	98.2	-25	350	230.95	130.06	2

3. Definizione del clima di moto ondoso

Per la definizione del clima di moto ondoso si è analizzato il regime del moto ondoso ed estrapolate le caratteristiche principali delle mareggiate estreme. Nel caso in esame, data la vicinanza e rappresentatività della stazione RON, si è proceduto con l'acquisizione ed analisi delle registrazioni effettuate alla boa ondometrica ubicata al largo di Ancona (Figura 2).

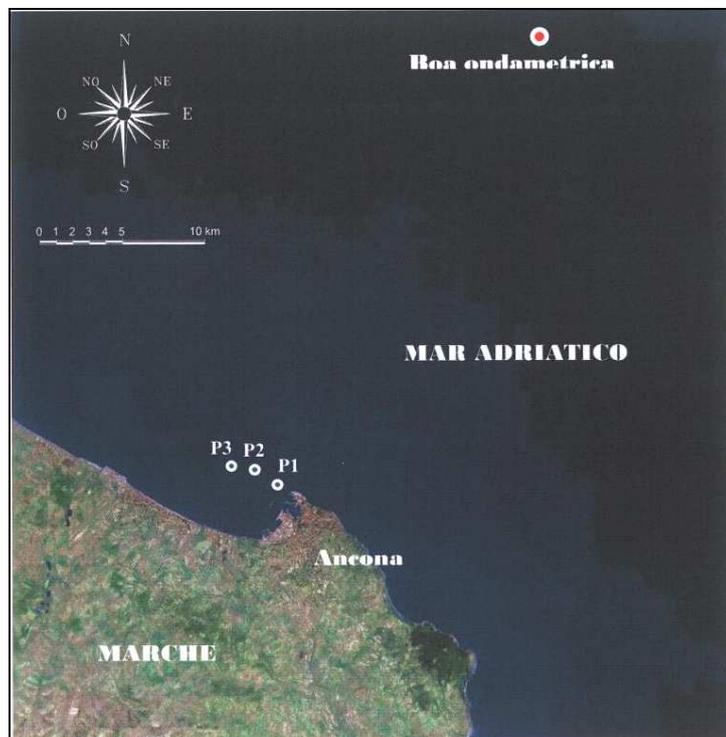


Figura 2. Inquadramento geografico con indicazione boa ondometrica e punti di propagazione sotto costa.

3.1 Ondametro di Ancona - stazione di misura R.O.N.

La stazione ondometrica di Ancona facente parte della Rete Ondometrica Nazionale, è costituita da una boa ondometrica direzionale del tipo TRIAXIS, posizionata su fondali di circa -70.00 m s.l.m.m. a circa 40.00 km dalla costa.

La serie storica analizzata nel documento si estende da gennaio 01 /01 /2002 al 31/12/2004, con rendimento complessivo dell'ondametro (percentuale degli eventi trionari misurati rispetto a quelli teorici) pari al 76.47%.

3.2 Clima di moto ondoso al largo

Le condizioni di mare registrati dalla boa ondometrica sono state suddivise in base al valore dell'altezza d'onda significativa ed alla direzione di provenienza per individuare la frequenza di ogni singola classe di eventi. Nelle Figura 3, Figura 4, Figura 5, sono riportate rispettivamente la rosa annuale e quelle stagionali del clima di moto ondoso relative alla boa (in settori di ampiezza di 15°).

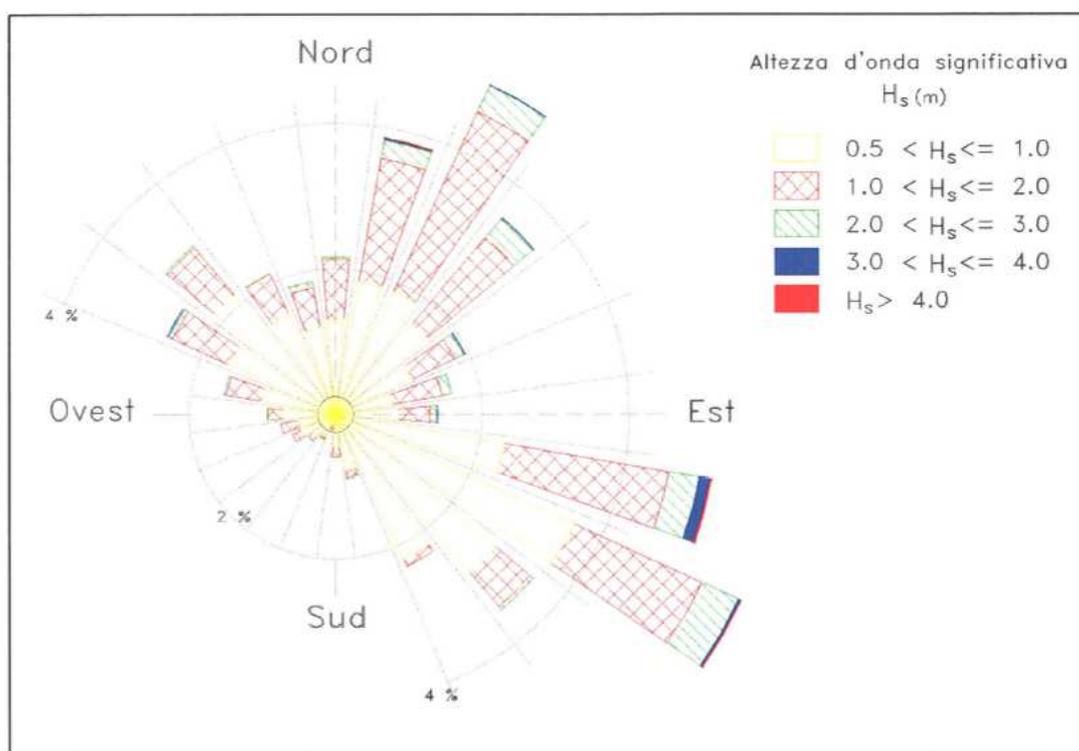


Figura 3. Rosa della distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso annuali al largo di Ancona.

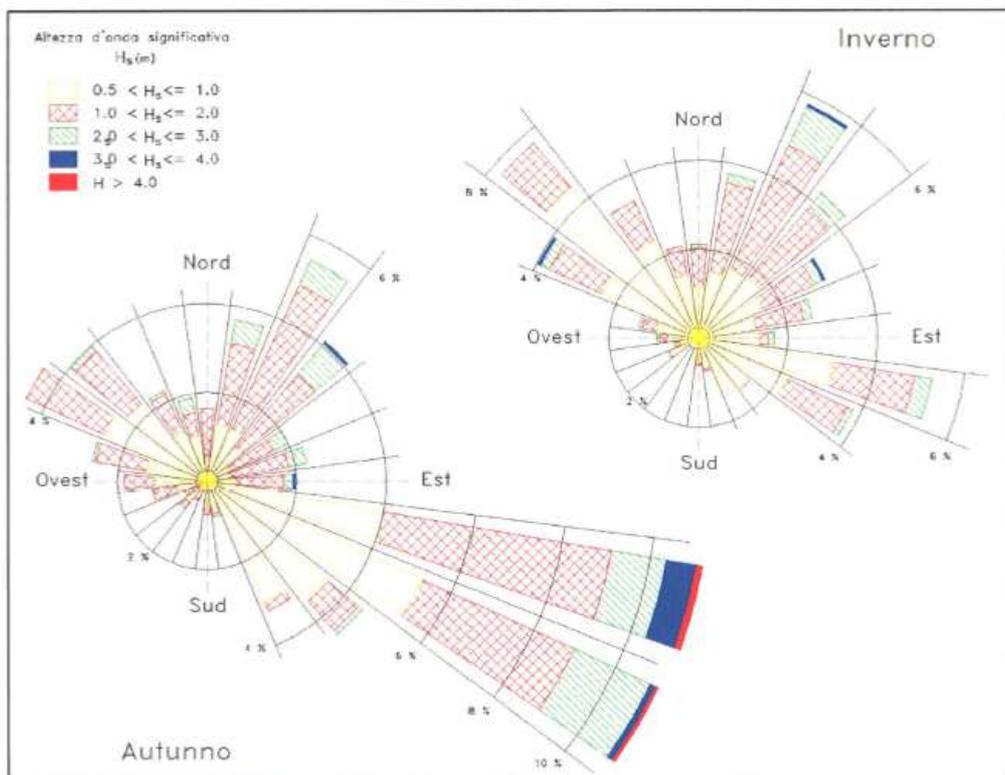


Figura 4. Rosa della distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso autunnali e invernali al largo di Ancona.

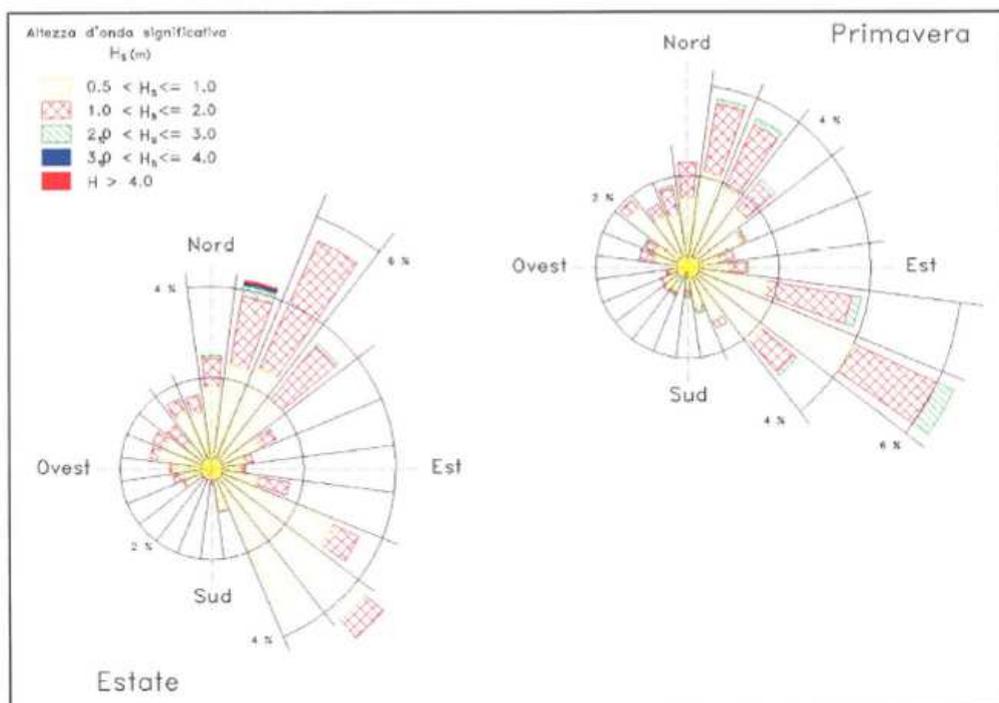


Figura 5. Rosa della distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso primaverili e estivi largo di Ancona.

La Figura 6 riporta per il clima annuale gli stessi risultati in forma numerica, da cui si evince che: "al largo di Ancona gli stati di mare più frequenti e caratterizzati da altezze d'onda più elevate provengono dal settore di traversia levante-sirocco (80°-170°N) che quindi può essere assunto quale settore di traversia principale; la percentuale degli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda inferiore a 0,5 m è

pari a circa il 47%; gli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda superiore a 0,5 m provengono per il 40% circa dal settore di traversia principale e per il rimanente 60% dalle altre direzioni; gli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda superiore a 0,5 m e provenienti dal settore di traversia principale hanno per circa il 97% altezza d'onda comunque inferiore a 2,5 m; il moto ondoso più intenso ($H_s > 3.0$ m) proviene in prevalenza dalla sola direzione 110°N con una frequenza di accadimento pari a circa 0.2%, anche se piccole percentuali di accadimento si riscontrano per varie direzioni del I° quadrante e le altezze d'onda maggiori (superiori a 5.0 m) sono state registrate per il settore di tramontana (20°N); nel settore di traversia principale (110°N) si sono verificate altezze d'onda significativa superiori a 4,5 m; il clima di moto ondoso presenta un carattere "trimodale" e non presenta sensibili variazioni stagionali; i tre distinti settori di traversia individuabili sono nell'ordine di importanza: 70°-130° N (levante-sirocco), 0°-70° N (grecale), 290°-360° N (maestrale-tramontana)".

Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di H_s e direzione di provenienza.
Ancona largo - Periodo di riferimento gennaio 2002 - dicembre 2004

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA H_s (m)																TOT.
	<0.25	0.25-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-3.5	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	>6.5		
10	0.39	0.73	0.98	0.63	0.27	0.04	0.03	0.01								3.05	
20	0.51	0.69	1.37	0.97	0.42	0.15	0.07				0.01					4.15	
30	0.43	0.63	1.33	1.21	0.64	0.21	0.08	0.01								4.52	
40	0.31	0.51	1.00	1.01	0.40	0.22	0.07	0.01								3.95	
50	0.38	0.45	1.13	0.52	0.31	0.12	0.03									2.92	
60	0.45	0.34	0.75	0.25	0.12	0.10		0.01								2.84	
70	0.40	0.46	0.95	0.16	0.19	0.06										1.83	
80	0.34	0.45	0.51	0.34	0.19	0.10	0.01	0.01								1.87	
90	0.51	0.51	0.48	0.12	0.09	0.03										1.73	
100	0.54	0.85	1.06	0.72	0.31	0.16	0.01									3.65	
110	0.67	1.19	2.12	1.03	0.55	0.25	0.15	0.18	0.01	0.03	0.01					6.17	
120	0.81	1.67	2.34	1.01	0.65	0.16	0.21									6.67	
130	0.84	2.12	1.98	0.40	0.16	0.07	0.03									5.81	
140	0.84	2.07	1.98	0.24	0.03											5.18	
150	1.07	2.48	1.51	0.07												5.13	
160	0.60	1.45	0.75	0.03	0.01											2.83	
170	0.70	0.76	0.40	0.04	0.01	0.03										1.95	
180	0.30	0.45	0.27	0.04	0.01											1.18	
190	0.28	0.36	0.10	0.03	0.01	0.01										0.88	
200	0.33	0.25	0.12	0.04	0.01	0.01										0.78	
210	0.18	0.27	0.22	0.01		0.01										0.70	
220	0.22	0.28	0.24	0.04	0.01	0.01										0.52	
230	0.19	0.43	0.34	0.04												1.01	
240	0.39	0.33	0.27	0.10	0.01											1.10	
250	0.22	0.42	0.43	0.16	0.03											1.27	
260	0.24	0.52	0.28	0.06												1.10	
270	0.33	0.67	0.51	0.10	0.00		0.01									1.65	
280	0.36	0.75	0.58	0.13	0.03											1.85	
290	0.52	1.00	0.81	0.33	0.09	0.03										2.77	
300	0.48	1.18	1.10	0.40	0.15	0.03	0.01	0.01								3.43	
310	0.43	1.19	1.34	0.43	0.13	0.03										3.58	
320	0.57	1.08	1.34	0.40	0.09	0.01										3.63	
330	0.46	1.34	1.07	0.29	0.05	0.01										3.34	
340	0.34	0.97	0.81	0.31	0.07	0.03										2.54	
350	0.49	0.87	0.76	0.22	0.06	0.01	0.04									2.48	
360	0.45	0.92	0.97	0.42	0.18	0.01										2.95	
TOT	18.61	30.62	31.93	12.66	5.22	1.97	0.76	0.25	0.01	0.03	0.01	0.01				100.00	
Tot. cumul.	47.23	78.16	91.72	96.94	98.91	99.67	99.93	99.94	99.97	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00		

Numero eventi validi : 6705

Figura 6. Eventi di moto ondoso triorari classificati per altezza e direzione.

Queste caratteristiche climatiche risultano sostanzialmente confermate anche analizzando i dati di onda su base stagionale, riscontrando quindi una certa omogeneità dell'esposizione climatica del moto ondoso, anche se si rileva una minore frequenza di mareggiate estreme in primavera ed estate.

Si nota che la breve durata del periodo di misura assunta non consente un'analisi statistica degli eventi estremi per estrapolazioni a lungo termine, ma le frequenze indicano che l'altezza d'onda significativa di picco con tempo di ritorno annuale ha un valore prossimo a 4,50 m al largo.

Al fine di individuare la frequenza di ogni singola classe di eventi di moto ondoso, questi sono stati suddivisi in base al valore dell'altezza d'onda significativa e del periodo; nella Tabella 2 è riportata la distribuzione percentuale degli eventi in base al periodo di picco ed all'altezza d'onda.

La legge di dipendenza tra il periodo di picco delle onde T_p e l'altezza d'onda significativa H_s per i tre settori di provenienza del moto ondoso (Mathiesen et al., 1994) è:

$$T_p = a \cdot (H_s)^b$$

ove i parametri a e b sono stati ricavati dall'analisi di correlazione statistica dei dati registrati dalla boa ondometrica.

Nella Figura 7 sono riportati, per i tre settori di traversia, gli eventi della serie storica, diagrammati in funzione del periodo T_p e dell'altezza d'onda H_s .

Tabella 2. Eventi di moto ondoso classificati per altezza d'onda e periodo.

Ripartizione percentuale per classi di altezze d'onda significative e periodo di picco									
Ancona largo - Periodo di riferimento gennaio 2002 - dicembre 2004									
Hs (m)	CLASSI DI PERIODO MEDIO T_p (s)							Tot	Tot. cumul.
	$T_p < 4$	$T_p < 6$	$T_p < 8$	$8 < T_p < 10$	$10 < T_p < 12$	$12 < T_p < 14$	$T_p > 14$		
< 0.25	12.07	4.16	0.33	0.01	0.01		0.03	16.61	16.61
0.25 - 0.75	43.64	5.43	0.43	0.1	0.06	0.01		49.68	66.29
0.75 - 1.25	11.6	8.77	0.4	0.01				20.79	87.08
1.25 - 1.75	0.43	7.1	0.48					8.01	95.09
1.75 - 2.25		2.45	0.39					2.83	97.93
2.25 - 2.75		0.97	0.43					1.4	99.33
2.75 - 3.25		0.19	0.3					0.49	99.82
3.25 - 3.75		0.01	0.1					0.12	99.94
3.75 - 4.25									99.94
4.25 - 4.75			0.04					0.04	99.99
4.75 - 5.25									99.99
>5.25			0.01					0.01	100
Tot.	67.74	29.08	2.92	0.13	0.07	0.01	0.03	100	
Tot. cumul.	67.74	96.82	99.75	100	100	100	100		

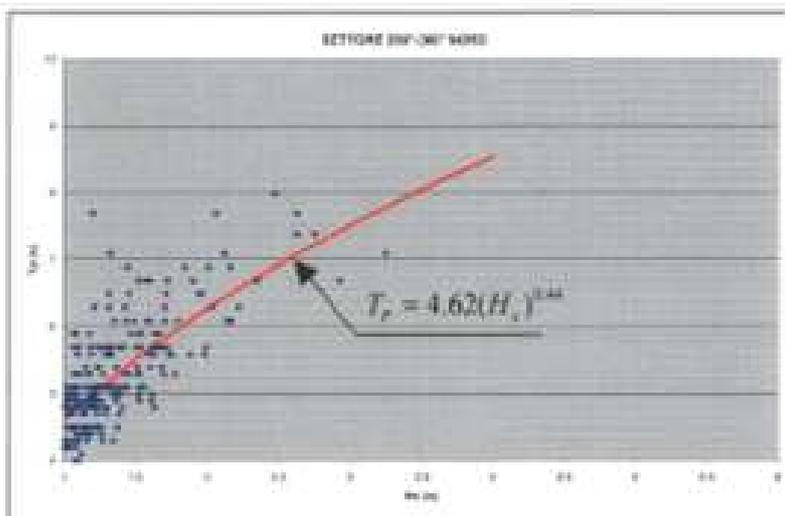


Figura 3.1.4-SETTORE 190°-360°N: correlazione statistica tra periodo di picco ed altezza d'onda significativa.

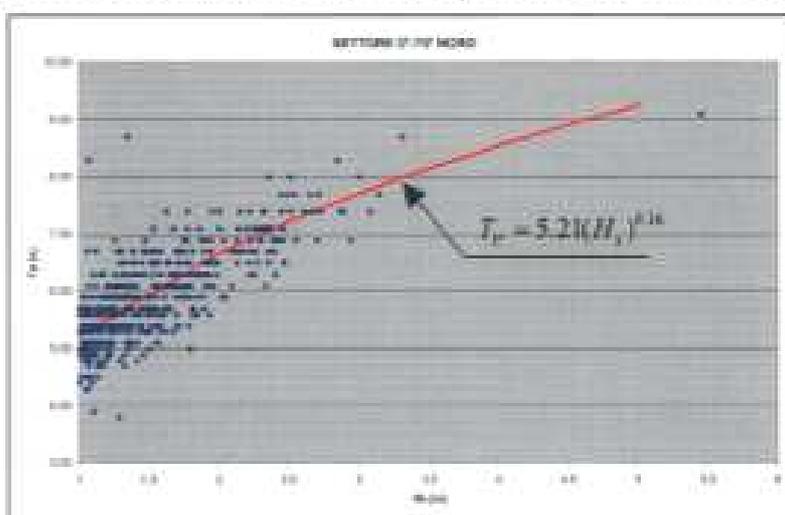


Figura 3.2.5- SETTORE 0°-70°N: correlazione statistica tra periodo di picco ed altezza d'onda significativa.

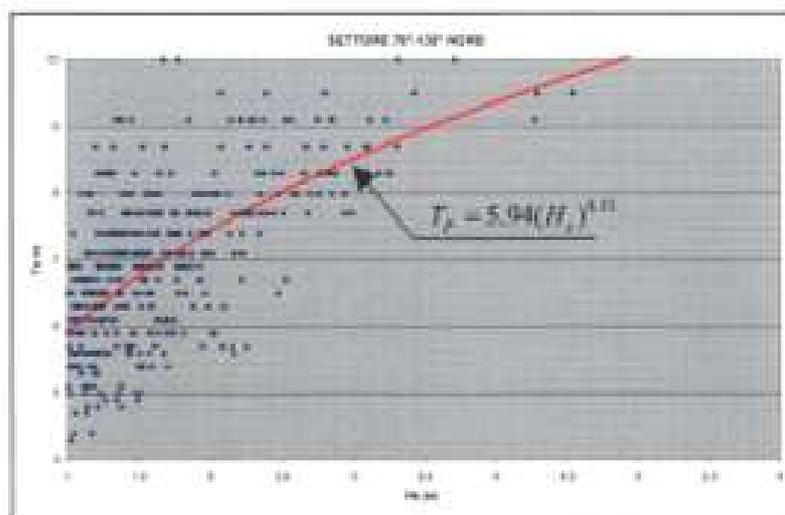


Figura 3.1.6- SETTORE 70°-130°N: correlazione statistica tra periodo di picco ed altezza d'onda significativa.

Figura 7. Correlazione statistica tra periodo di picco e altezza d'onda significativa.

3.3 Clima di moto ondoso sotto costa in prossimità dell'imboccatura portuale

Per definire le condizioni di moto ondoso all'imboccatura portuale di Ancona è stato eseguito uno studio di propagazione del moto ondoso dal largo a riva sulla base di un *modello numerico* che analizza i principali fenomeni fisici che condizionano l'evoluzione delle onde durante la propagazione (batimetria dei fondali, condizioni al contorno espresse in termini di altezza, direzione e periodo caratteristici del moto ondoso incidente). Lo studio in proposito afferma: "*Per quanto riguarda i meccanismi che possono alterare la propagazione delle onde sui fondali via via decrescenti che "collegano" il mare aperto alla zona di intervento, la regolarità dell'andamento delle linee batimetriche, che caratterizzano il litorale in esame, permette di ritenere che essi siano costituiti in modo dominante dalla rifrazione e dallo shoaling e che possano essere ritenuti trascurabili i processi diffrattivi (diffrazione esterna ed interna). Per quanto riguarda i processi dissipativi (attrito sul fondo e frangimento), nel caso in esame, si può affermare che la loro importanza diventa rilevante solo nella zona esterna all'area portuale su profondità inferiori a 10-15 m. Sulla base delle considerazioni appena effettuate si è scelto di propagare sotto costa la serie ondometrica registrata alla boa RON di Ancona attraverso il modello numerico di propagazione inversa spettrale MEROPE.*"

Nella Figura 8 è riportata la corografia dell'area interessata dalle simulazioni numeriche, i confini della griglia di calcolo utilizzata per l'applicazione del modello Merope ed i punti di inversa spettrale scelti per la propagazione sotto costa."

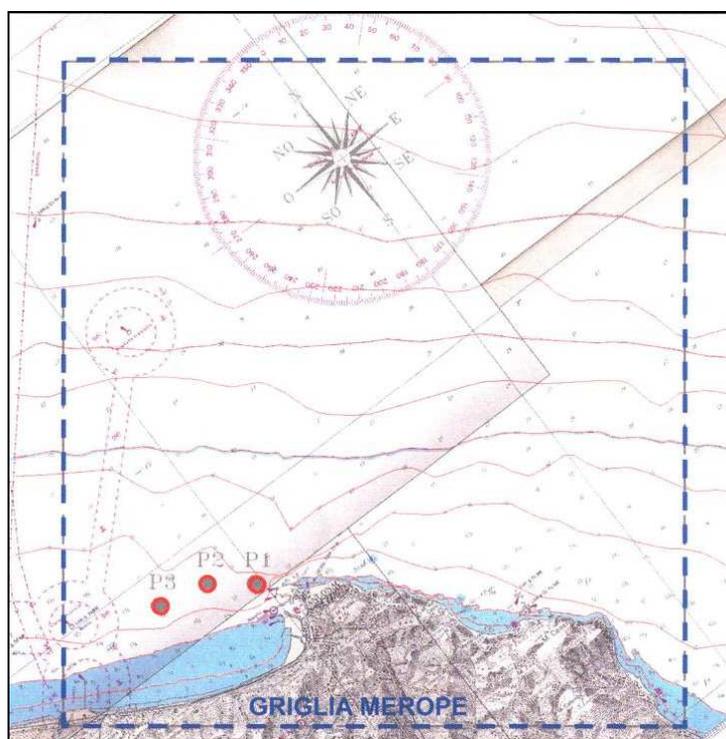


Figura 8. Corografia ed ubicazione della griglia di calcolo per il modello Merope con localizzazione dei punti di inversa spettrale prescelti all'ingresso del porto di Ancona.

Utilizzando tali dati è stato possibile effettuare un'adeguata modellazione digitale del fondale (Figura 9) all'interno di una vasta area che comprende la zona interessata dagli studi.

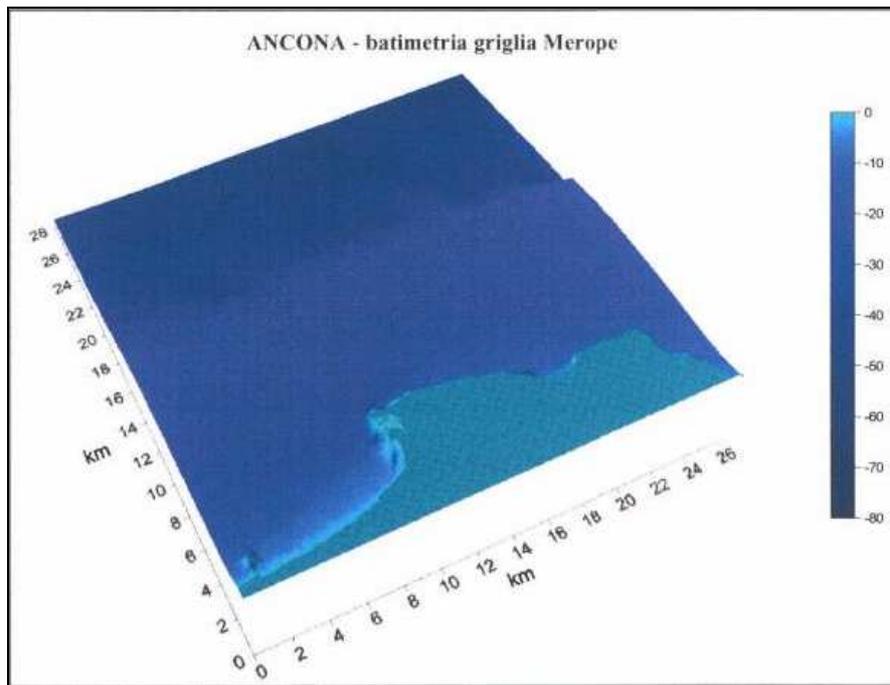


Figura 9. Rappresentazione 3D della batimetria fornita in ingresso al modello di calcolo Merope.

I grafici evidenziano un'attenuazione più marcata per le altezze d'onda provenienti da levante e da maestrale rispetto a quelle provenienti dal settore tramontana-grecale; i valori maggiori del coefficiente k (compresi tra 0.92 e 1.00) si hanno per onde provenienti da grecale (20° - 40° N).

Dall'analisi dei risultati ottenuti è evidente che in prossimità dell'imboccatura del porto di Ancona, su fondali di circa -15 m s.l.m., il clima di moto ondoso rimane sostanzialmente invariato, con eventi più intensi provenienti dal settore di tramontana-grecale (10° - 60° N) e da levante (80° - 90° N). Nel dettaglio si riscontra dallo studio in esame:

- *la traversia si restringe al settore compreso tra tramontana e levante (320° - 100° N); gli eventi con maggiore intensità ($H_s > 2.0$ m) provengono in prevalenza dal primo quadrante (10° - 80° N, in particolare per P1 dalle direzioni 20° N, 40° N ed 80° N) con una frequenza di superamento pari a circa lo 1.4% ed altezze d'onda non superiori a 5.0 m;*
- *le onde di grecale (30° - 50° N) non subiscono sostanziali rotazioni nella loro propagazione verso costa con un'attenuazione inferiore al 10%;*
- *le onde di tramontana, nella loro propagazione da largo, tendono a raggiungere l'imboccatura portuale ruotando a grecale mediamente di circa 10° ;*
le onde di maestrale (310° - 330° N) tendono a raggiungere l'imboccatura portuale ruotando a tramontana mediamente di circa 30° con forti attenuazioni dell'altezza d'onda;
- *le onde provenienti dal settore 80° - 110° N tendono a raggiungere l'imboccatura portuale con una direzione media di 70° N, ruotando di circa 20° a levante;*
- *le onde di levante (70° - 110° N) tendono a subire una leggera rotazione a grecale, giungendo sotto costa con una direzione media di 65° N.*

In conclusione, il moto ondoso a largo proveniente da tramontana-grecale, a causa della rifrazione e dello shoaling, propagandosi verso costa tende a ruotare a grecale, giungendo a ridosso delle opere con una deviazione dalla direzione di largo di circa 10°; gli eventi di levante (a largo) vengono invece ridotti e ruotati, durante la propagazione verso l'imboccatura portuale, a grecale."

4. Regime anemologico

Il regime dei venti, importante per gli ormeggi delle navi nella banchina di allestimento Fincantieri, lo studio ha fatto riferimento alla tavola tematica pubblicata dal TCI-CNR ove sono riportate le "rose dei venti" delle stazioni gestite dal Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare.

I valori delle frequenze di accadimento annuali ripartite per classi di velocità e direzione sono stati riassunti nella Tabella 3.

Tabella 3. Stazione meteorologica di Ancona - distribuzione frequenze annuali (n. delle osservazioni 78587).

SETTORI		CLASSI DI VELOCITA'						
N.	GRADI	0 - 1	2 - 4	5 - 7	8 - 12	13-23	24-99	TOTALE
1	0.0 -22.5		5.10	9.27	9.65	9.34	1.92	35.27
2	22.5 -45.0		4.86	6.65	5.25	4.22	0.60	21.58
3	45.0 -67.5		7.01	8.21	5.93	3.43	0.31	24.88
4	67.5 -90.0		7.54	8.26	4.81	1.68	0.04	22.34
5	90.0 - 112.5		8.30	12.26	8.10	2.56	0.08	31.30
6	112.5 - 135.0		8.39	14.73	13.20	3.32	0.09	39.74
7	135.0 - 157.5		8.59	12.44	9.87	3.11	0.10	34.12
8	157.5 - 180.0		14.60	25.68	15.72	3.64	0.03	59.66
9	180.0 - 202.5		13.62	25.23	15.57	2.63	0.06	57.10
10	202.5 - 225.0		14.48	17.36	8.67	2.84	0.15	43.51
11	225.0 - 247.5		24.45	30.83	15.05	3.95	0.07	74.35
12	247.5 - 270.0		26.59	35.58	17.32	3.90	0.07	83.47
13	270.0 - 292.5		16.94	28.57	16.48	4.82	0.24	67.04
14	292.5 - 315.0		10.91	21.32	18.96	10.04	0.72	61.95
15	315.0 - 337.5		9.74	17.93	20.47	14.94	1.59	64.67
16	337.5 - 360.0		7.97	17.10	19.99	16.16	2.88	64.10
VARIABILI			0.03	0.11	0.19	0.13	0.00	0.46
TOTALI		214.45	189,10	291,54	206,24	90,73	8,95	1000,00

(ELABORAZIONI DI DATI METEOROLOGICI - PERIODO DI OSSERVAZIONE DAL 1/1951 AL 12/1977)

E' riportata di seguito la rosa dei venti per la stazione di Monte Cappuccini (Ancona) elaborata, per il calcolo delle frequenze medie, dalle annate 1930-42, 1946-58, 1960-63 per un numero di anni pari a 30. I dati così raccolti mostrano che:

- ***i venti regnanti*** (associati a maggiori frequenze) provengono dal settore libeccio-ponente (circa il 16% dal settore 225°- 270°N) e dal settore di maestrale-tramontana (circa il 13% dal settore 315°- 360 °N);
- ***i venti dominanti*** (più intensi), sono quelli provenienti dal settore di maestrale - tramontana (circa lo 0.65% dal settore 315°- 20 °N) con classi di velocità superiori a 24 nodi e circa il 5% con classi di velocità superiori a 13 nodi dallo stesso settore.

5. Maree

E' molto importante, ai fini di un ormeggio sicuro, la ricostruzione del livello delle maree, sia quella astronomica (attrazione gravitazionale della luna e del sole) che quella meteorologica, ovvero indotta dall'azione del vento e dalle variazioni di pressione atmosferica.

Nel paraggio di Ancona , in cui la marea è classificata di tipo diurno, l'andamento temporale presenta un massimo ed un minimo durante il giorno. Le escursioni sono contraddistinte da una periodicità bimensile , sigizie e di quadratura; durante le prime si riscontrano i massimi dislivelli positivi (+0,20 m) e negativi (- 0,32 m).

Per quanto riguarda la marea meteorologica si può avere un effetto barico, legato ad alte e basse pressioni, che può determinare un sovrizzo massimo di 0,38 m e un abbassamento massimo di -0,30 m. Infine si può avere un innalzamento sottocosta del livello del mare per effetto del vento e del moto ondoso, stimabile in 0,33 sotto costa (profondità - 15 m) e di 0,63 lungo la battigia.

Trascurando piccole oscillazioni stagionali dovute alla differenza di densità (ordine di +5/-3 cm) lo studio ha calcolato le massime escursioni del livello marino, sommando tutti i contributi di cui sopra, ridotti del 25% per tener conto della non concomitanza di tutti i fenomeni.

Pertanto si può considerare un sovrizzo massimo di 0,73 m ed un abbassamento massimo di 0,50 m.

Da recenti fenomeni, anche se non verificati con dati aventi caratteristiche di certezza, si è constatato che in occasione della demolizione del muro paraonde della Fincantieri, avvenuto nella notte del 5 febbraio 2015, possano essersi avuti sopralzi di marea anche superiori a tali valori.

6. Moto ondoso all'interno del bacino portuale

Nel capitolo seguente si riporta uno stralcio dei tre differenti studi citati volti alla conoscenza dell'evoluzione del moto ondoso all'interno del bacino portuale a seguito della realizzazione di determinati interventi.

Il fine di tali studi è quello di dimostrare che le configurazioni derivanti dalle nuove disposizioni delle opere marittime non costituiscano criticità per quanto riguarda l'agitazione interna residua e che rispetto alle condizioni di sicurezza all'ormeggio.

6.1 Agitazione Ondosa Residua nella Darsena Piano di Sviluppo del Porto Dopo l'Esecuzione delle Opere del PRP: modello NEWAVE

Nel seguente paragrafo è stato preso in esame lo studio commissionato dall' Autorità Portuale di Ancona dell'Acquatecno S.r.l. e Modimar S.r.l nell'ambito del Gruppo di Progettazione del Piano di Sviluppo del Porto per l'Autorità Portuale di Ancona.

Per completezza di inquadramento si riportano alcune simulazioni sulla agitazione interna, eseguite con il modello matematico NEWAVE, riferite alle condizioni del paraggio dopo la costruzione delle opere foranee previste nel Piano di Sviluppo. Sono state considerate le condizioni di moto ondoso in uno scenario statistico frequente, indicativo delle peggiori condizioni di utilizzo dello specchio acqueo;

lo studio ha dimostrato che la configurazione delle nuove opere portuali relative al porto risulta soddisfacente rispetto alle condizioni di sicurezza all'ormeggio in condizioni di normale esercizio.

Con l'ausilio di un modello matematico agli elementi finiti chiamato NEWAVE, che risolve l'equazione mild-slope per onde monocromatiche, si sono definite le condizioni di agitazione ondosa all'interno dello specchio acqueo del Porto di Ancona ricostruendo la propagazione ondosa all'interno delle infrastrutture portuali.

Questo modello tiene correttamente conto sia degli effetti indotti dalle variazioni di fondali antistanti il porto, come la rifrazione, la diffrazione interna, lo shoaling e l'eventuale frangimento delle onde, sia degli effetti indotti dagli ostacoli emergenti.

Per lo studio si sono confrontate due diverse configurazioni del Molo Nord derivate dalla variante al Piano Regolatore Portuale, la prima considerando una riduzione del molo Nord di circa 195,00 m (Figura 10) la seconda considerando una riduzione del molo Nord di circa 60,00 m (Figura 11).

Lo studio di agitazione residua all'interno del porto di Ancona è stato condotto considerando la penetrazione del moto ondoso proveniente da 330° N, direzione che comporta la peggiore condizione per il porto. L'altezza d'onda è stata posta pari a 3,00 metri; il periodo dell'onda armonica è stato fissato pari ad 8 secondi. Lo scopo di questo studio è quello di verificare il comfort in termini di agitazione residua presso gli ormeggi oggetti di intervento. Si indicano di seguito i dettagli delle simulazioni svolte con il codice numerico NEWAVE ed i risultati ottenuti.

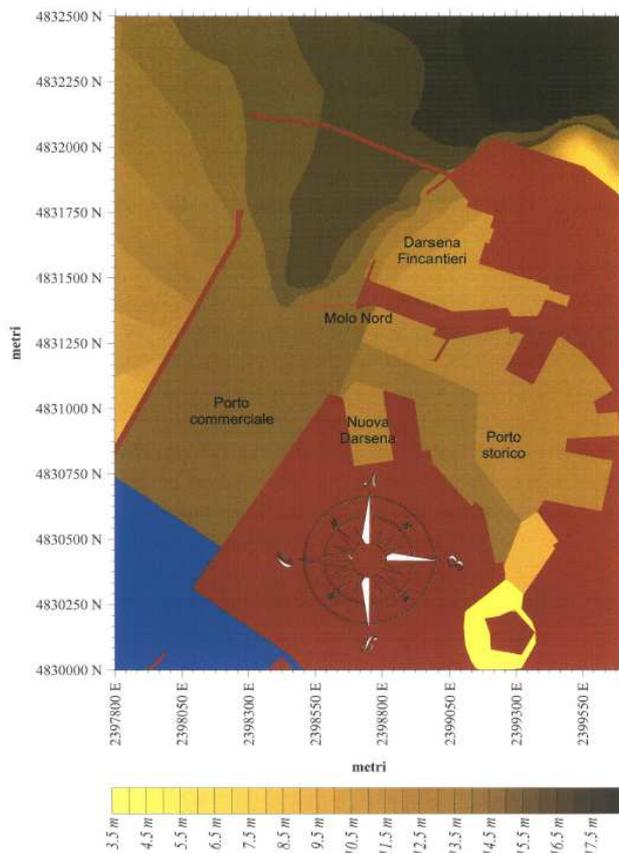


Figura 10. Configurazione 1 delle strutture portuali secondo la variante al Piano Regolatore del Porto di Ancona con riduzione di circa 2/3 della lunghezza del Molo Nord (tratto da demolire evidenziato in rosso).

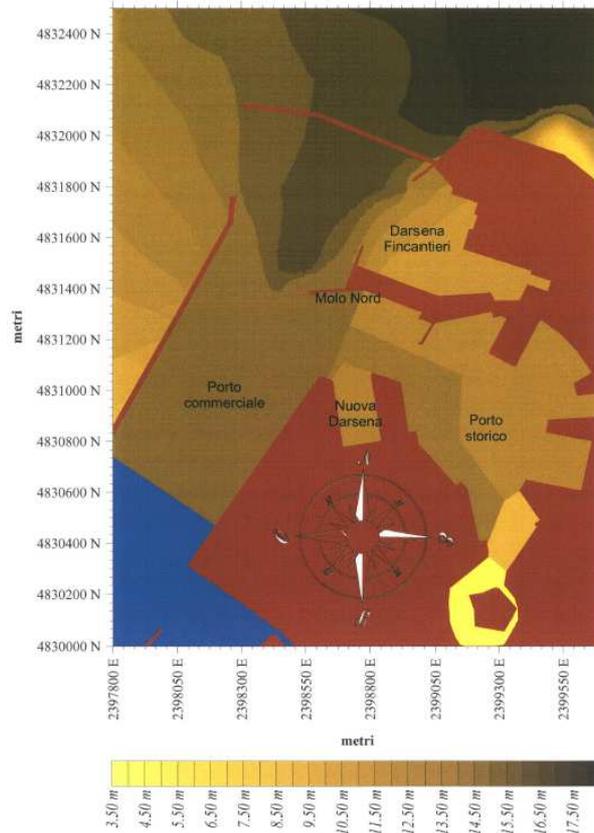


Figura 11. Configurazione 2 delle strutture portuali secondo la variante al Piano Regolatore del Porto di Ancona con riduzione di circa 3/4 (circa 60 m) della lunghezza del Molo Nord (tratto da demolire evidenziato in rosso).

Di seguito si riportano solamente alcune immagini estrapolate dal modello riportanti i risultati ottenuti per le due configurazioni sia per l'intero dominio di calcolo (Figura 12 e Figura 14) che per il dettaglio dello specchio acqueo corrispondente al porto storico e alla darsena Fincantieri (Figura 13 e Figura 15). I risultati delle simulazioni mostrano l'attenuazione dell'energia ondosa durante la propagazione all'interno delle aree portuali.

I risultati relativi alla prima configurazione mostrano che la Nuova Darsena e la Nuova Banchina rettilinea risultano maggiormente esposte al moto ondoso (Figura 12 e Figura 13). In particolare:

- *all'interno della darsena si ha la formazione di un campo di moto ondoso stazionario con altezza media di circa 2,00 m ed altezza massima di circa 3,00 m;*
- *le rimanenti banchine interne al bacino portuale presentano condizioni medie compatibili con ormeggi in sicurezza.*

E' quindi sconsigliabile la demolizione completa del Molo Nord: prima configurazione.

I risultati relativi alla seconda configurazione (demolizione dei 60,00 m terminali del Molo Nord) sono invece migliorativi in quanto mostrano all'interno della Nuova Darsena altezze medie di circa a 1,00 m e massime di circa 1,50 m (Figura 14 e Figura 15). Per entrambe le configurazioni è possibile inoltre visualizzare i valori numerici delle altezze d'onda medie (Tabella 4 e Tabella 6) e normalizzate sulle altezze d'onda incidenti (Tabella 5 e Tabella 7) sulle diverse aree prospicienti le banchine di ormeggio del Porto di Ancona (Figura 16).

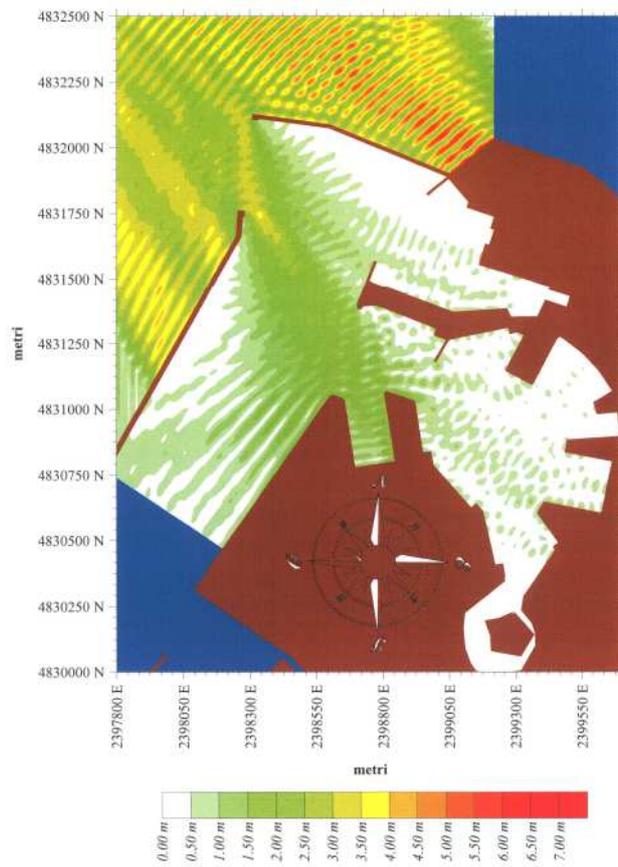


Figura 12. Campo d'onda per la configurazione 1 ($H_s = 3,00$ m, $T_p = 8,00$ s, $D = 330^\circ$ N).

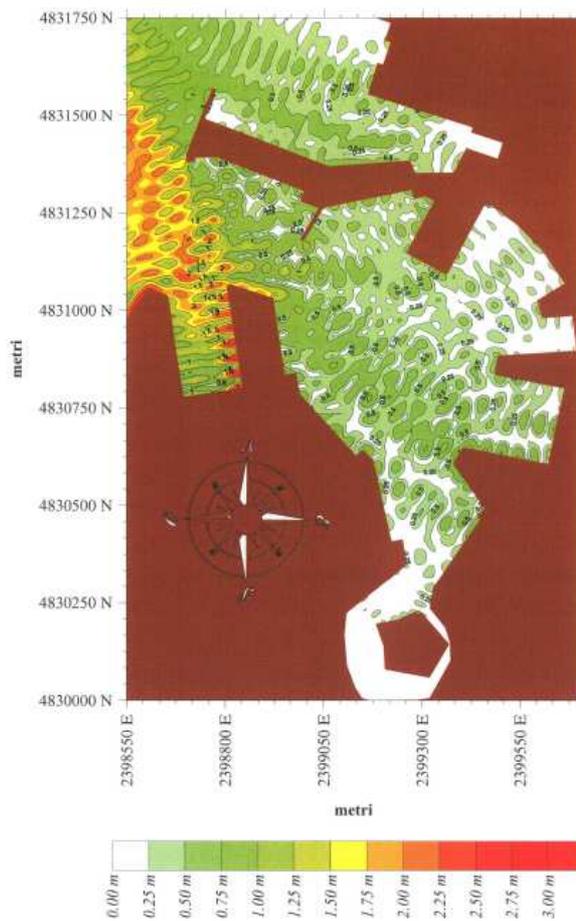


Figura 13. Dettaglio del campo d'onda per la configurazione 1 relativo allo specchio acqueo del porto storico e della darsena Fincantieri per $H_s = 3,00$ m, $T_p = 8,00$ s, $D = 330^\circ$ N.

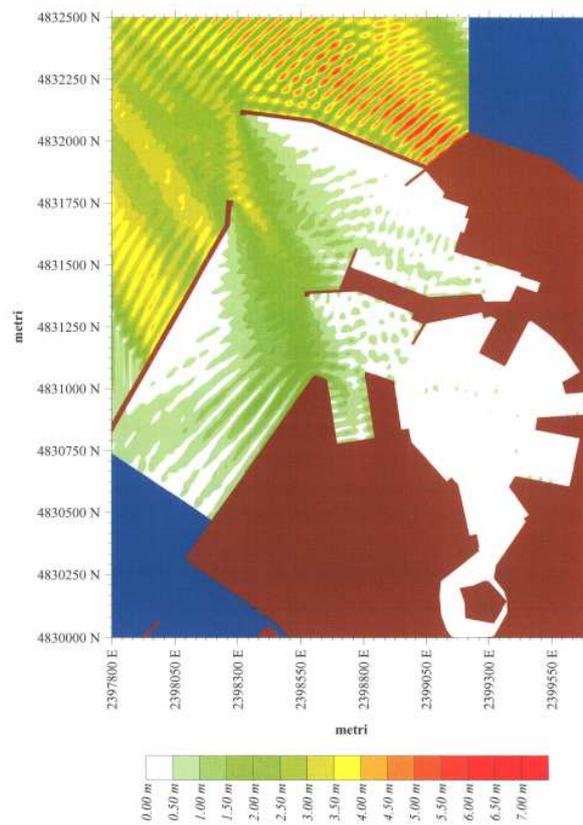


Figura 14. Campo d'onda per la configurazione 2 ($H_s = 3,00$ m, $T_p = 8,00$ s, $D = 330^\circ$ N).

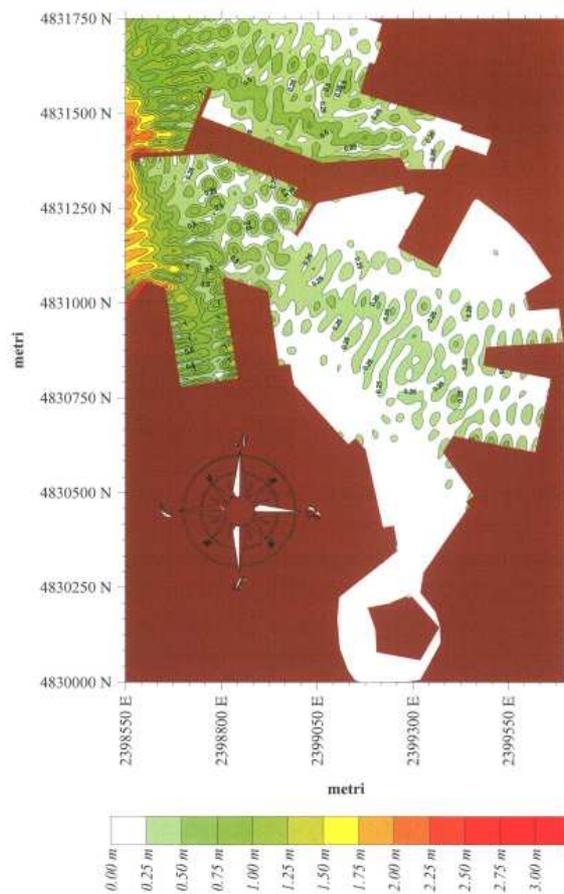


Figura 15. Dettaglio del campo d'onda per la configurazione 2 relativo allo specchio acqueo del porto storico e della darsena Fincantieri per $H_s = 3,00$ m, $T_p = 8,00$ s, $D = 330^\circ$ N.

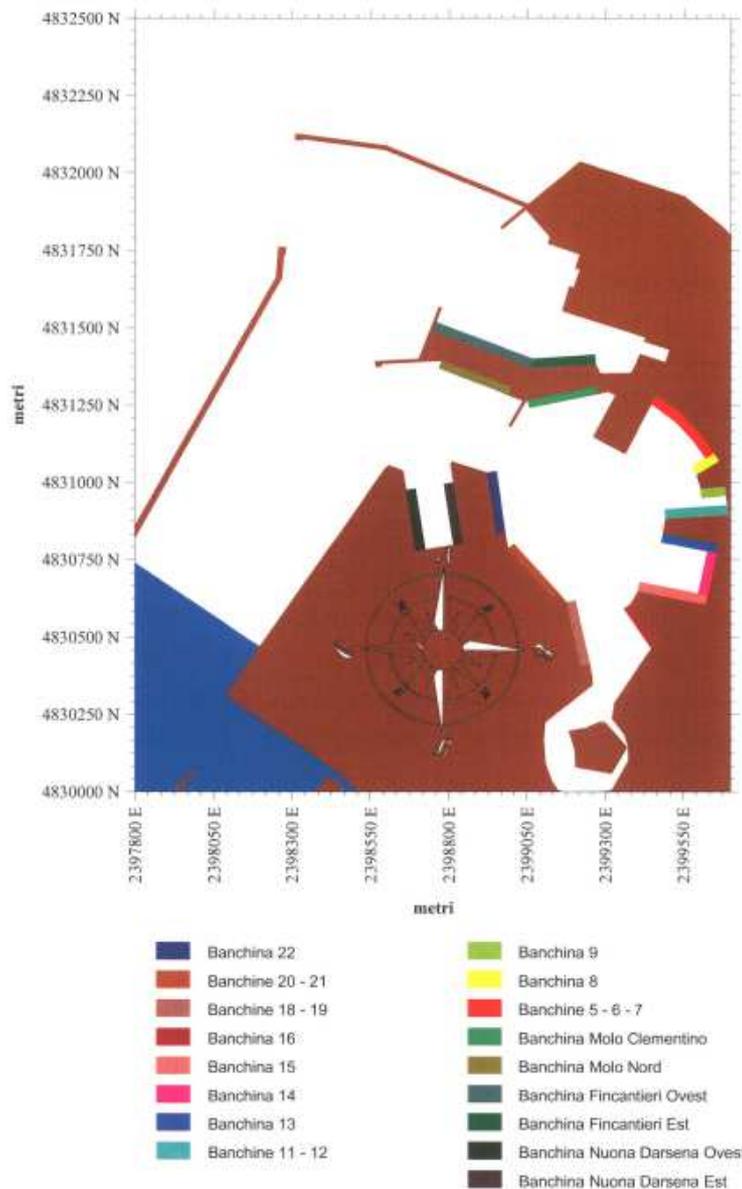


Figura 16. Ubicazione delle aree di restituzione dell'altezza d'onda media nel dominio di calcolo per la configurazione 2 (valida anche per la configurazione 1).

Tabella 4. Altezze d'onda medie per la configurazione 1 sulle diverse aree prospicienti le banchine del Porto di Ancona.

Area di restituzione	area m^2	H_m m
Banchina 22	-6700	0.67
Banchine 20 - 21	-5700	0.51
Banchine 18 - 19	-7000	0.32
Banchina 16	-3900	0.47
Banchina 15	-6900	0.60
Banchina 14	-4400	0.38
Banchina 13	-5660	0.36
Banchine 11-12	-6300	0.18
Banchina 9	-2400	0.20
Banchina 8	-2500	0.20
Banchine 5 - 6 - 7	-8100	0.20
Banchina Clementino	-5700	0.47
Banchina Molo Nord	-6200	0.56
Banchina Fincantieri Ovest	-10400	0.38
Banchina Fincantieri Est	-6200	0.45
Banchina Nuova Darsena Est	-6200	1.96
Banchina Nuova Darsena Ovest	-6200	1.06

Tabella 5. Altezze d'onda medie per la configurazione 1 normalizzate rispetto all'altezza d'onda incidente sulle diverse aree prospicienti le banchine del Porto di Ancona.

Area di restituzione	area m^2	H_m / H_i
Banchina 22	-6700	0.22
Banchine 20 - 21	-5700	0.17
Banchine 18 - 19	-7000	0.11
Banchina 16	-3900	0.16
Banchina 15	-6900	0.20
Banchina 14	-4400	0.13
Banchina 13	-5660	0.12
Banchine 11-12	-6300	0.08
Banchina 9	-2400	0.07
Banchina 8	-2500	0.07
Banchine 5 - 6 - 7	-8100	0.07
Banchina Clementino	-5700	0.16
Banchina Molo Nord	-6200	0.19
Banchina Fincantieri Ovest	-10400	0.13
Banchina Fincantieri Est	-6200	0.15
Banchina Nuova Darsena Est	-6200	0.65
Banchina Nuova Darsena Ovest	-6200	0.35

Tabella 6. Altezze d'onda medie per la configurazione 2 sulle diverse aree prospicienti le banchine del Porto di Ancona.

Area di restituzione	area m^2	H_m m
Banchina 22	-6700	0,27
Banchine 20 - 21	-5700	0,12
Banchine 18 - 19	-7000	0,11
Banchina 16	-3900	0,21
Banchina 15	-6900	0,34
Banchina 14	-4400	0,21
Banchina 13	-5660	0,22
Banchine 11-12	-6300	0,31
Banchina 9	-2400	0,13
Banchina 8	-2500	0,1
Banchine 5 - 6 - 7	-8100	0,08
Banchina Clementino	-5700	0,14
Banchina Molo Nord	-6200	0,45
Banchina Fincantieri Ovest	-10400	0,36
Banchina Fincantieri Est	-6200	0,45
Banchina Nuova Darsena Est	-6200	0,97
Banchina Nuova Darsena Ovest	-6200	0,74

Tabella 7. Altezze d'onda medie per la configurazione 2 normalizzate rispetto all'altezza d'onda incidente sulle diverse aree prospicienti le banchine del Porto di Ancona.

Area di restituzione	area m^2	H_m / H_i
Banchina 22	-6700	0,09
Banchine 20 - 21	-5700	0,04
Banchine 18 - 19	-7000	0,04
Banchina 16	-3900	0,07
Banchina 15	-6900	0,11
Banchina 14	-4400	0,07
Banchina 13	-5660	0,07
Banchine 11-12	-6300	0,10
Banchina 9	-2400	0,04
Banchina 8	-2500	0,03
Banchine 5 - 6 - 7	-8100	0,03
Banchina Clementino	-5700	0,05
Banchina Molo Nord	-6200	0,15
Banchina Fincantieri Ovest	-10400	0,12
Banchina Fincantieri Est	-6200	0,15
Banchina Nuova Darsena Est	-6200	0,32
Banchina Nuova Darsena Ovest	-6200	0,25

In conclusione, dallo studio è emerso che le banchine oggetto d'intervento presentano altezze d'onda medie compatibili con un ormeggio in condizioni di sicurezza, soprattutto nel caso di demolizione parziale del Molo Nord, come si intende realizzare.

Infatti le altezze d'onda sulle banchine interessate sono pienamente compatibili con condizioni di sicurezza e comfort, essendo inferiori a 0,50 m nelle peggiori condizioni .

6.2 Agitazione Ondosa Residua nello specchio acqueo antistante il Molo Nord e il Molo Clementino: modello MIKE 21 EMS

Nel seguente paragrafo è stato preso in esame ed integrato un precedente studio, redatto in collaborazione tra lo STI - Studio Tecnico di Ingegneria e lo Studio Zoppi, per il progetto della banchina di allestimento, con l'obiettivo di definire le caratteristiche delle onde nello specchio acqueo antistante il Molo Nord e il Molo Clementino (in prossimità della banchina in progetto), in assenza del nuovo molo foraneo nord.

I risultati sono in parte ripetitivi rispetto a quelli riportati nel precedente paragrafo, relativo alla ricostruzione del clima mete omarino al largo e sotto costa.

La loro utilità e' stata quella di testare e verificare su due studi diversi, condotti in anni differenti, la sostanziale assonanza dei dati di input (provenienza, periodo , altezza del moto ondoso) per la progettazione della banchina de quo.

Analizzando gli esiti dei due studi citati si procederà, in fase di progettazione, alla scelta dei dati più opportuni in termini di valori di altezze d'onda in ingresso nello specchio acqueo, ai fini di operare con la più ampia sicurezza. Inoltre sarà opportuno valutare la necessità di eseguire ulteriori studi modellistici, a partire da nuovi dati mete omarini al largo, in virtù delle evidenti variazioni climatiche manifestatesi con le violente mareggiate registrate negli ultimi anni.

In questo caso il calcolo è stato effettuato mediante il codice di calcolo MIKE 21 EMS del DHI a partire da 3 eventi determinati sulla base dello studio del moto ondoso al largo, per il quale si era fatto riferimento alla documentazione disponibile (studio effettuato dall' *Istituto di Idraulica dell' Università degli Studi di Ancona* per conto dell'Autorità Portuale di Ancona).

L'area oggetto di intervento è situata a nord della ex Sanità Marittima, costruzione posta sul basamento della Lanterna del Vanvitelli, in prossimità dell'arco Traiano e si affaccia sul bacino antistante il Cantiere Navale Fincantieri sul quale è posta anche la banchina di allestimento.

Ricade, quindi, nella zona settentrionale dell'area portuale che si sviluppa lungo il waterfront della città di Ancona (Figura 17). L'attuale Molo Nord presenta una lunghezza di circa 290,00 m misurata dal fronte della torre piloti all'imboccatura del molo; il fronte a mare del Molo Clementino (Figura 18 e Figura 19) misura 290,00 m fino alla cosiddetta Rotonda. Entrambi sono confinati verso terra da un muro che li separa dalla banchina in uso alla Marina Militare e dalle banchine 1, affacciate all'interno del bacino del porto storico; verso mare da una scogliera in massi in cls.

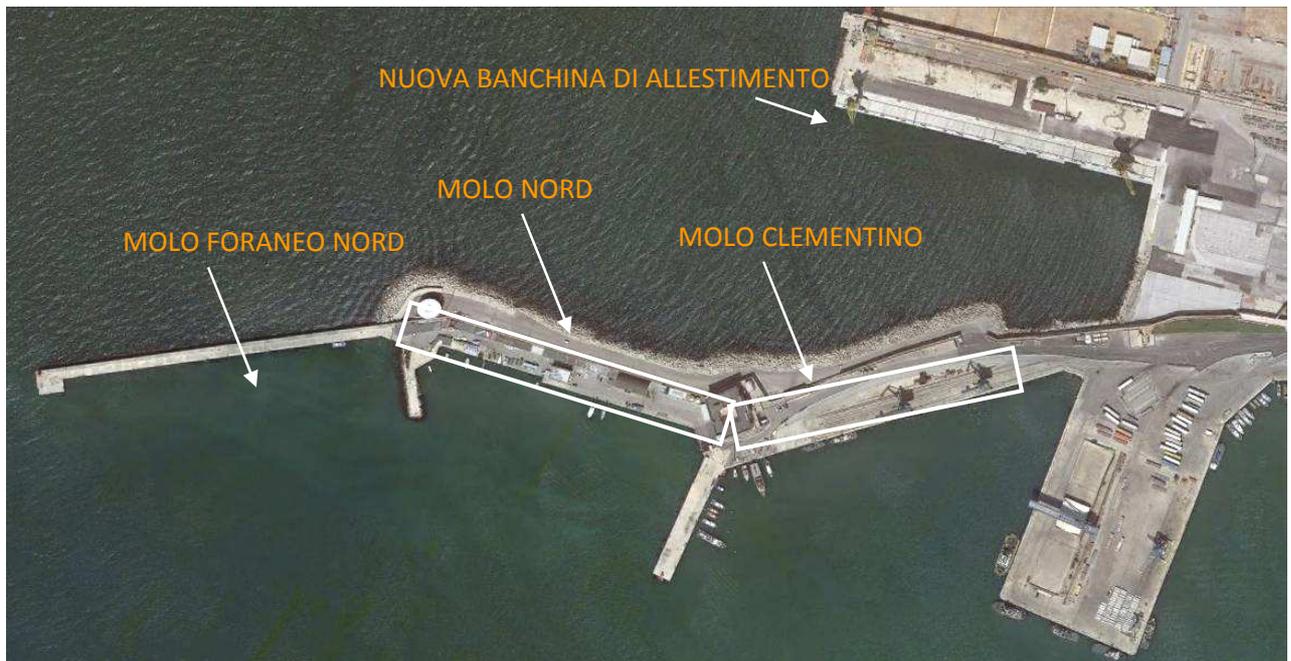


Figura 17. Inquadramento dell'area di intervento.



Figura 18. Immagine dall'alto dell'attuale Molo Nord.



Figura 19. Documentazione fotografica attuale Molo Nord.

Il codice di calcolo MIKE 21 EMS prodotto dal Danish Hydraulic Institute (DHI), consente di trasferire le condizioni del moto ondoso dal largo verso riva con una modellazione numerica 2DH (simulazioni per l'idrodinamica bidimensionale).

Questo modello è di tipo lineare e tiene conto dei fenomeni tipici di trasformazione dell'onda da largo a riva: *shoaling; diffrazione; rifrazione; riflessione; dispersione dell'energia ondosa per attrito con il fondale; frangimento.*

Le simulazioni prevedono l'utilizzo del modulo SW-Spectral Wave Module, per la propagazione delle onde dal largo al fronte delle strutture, che tiene conto degli effetti di rifrazione e shoaling, della generazione locale del vento, della dissipazione di energia dovuta all'attrito con il fondale, del frangimento delle onde e dell'interazione onda-corrente.

6.2.1 Dati di Input di Output

L'input del modello è costituito dalla batimetria dell'area da studiare discretizzata con griglia a maglie quadrate.

I parametri da definire sono:

- *batimetria dell'area in esame;*
- *parametri di attrito sul fondo (coefficiente di scabrezza di Nikuradse);*
- *parametri che regolano il frangimento (indice di frangimento di Battjes & Jannssen);*
- *coefficienti di attrito equivalenti per tenere in conto la riflessione delle onde.*

Sono stati assunti nel modello le condizioni al contorno rappresentate dai dati meteomarini interessanti il paraggio in oggetto: H_{rms} , T_p , *direzione dell'onda.*

I dati di OUTPUT forniti dal modello³ sono i valori in ogni punto di:

- H_{rms} ;
- *valori istantanei della superficie dell'acqua;*
- *velocità orbitale in due differenti istanti durante il periodo dell'onda ($wt=0$ e $wt=3\pi/2$);*
- *radiation stress.*

³ Non viene fornito il periodo T_p perché costante ed uguale al valore di input.

6.2.3 Dati Meteomarini

Fetch Geografici

Il calcolo dei Fetch efficaci fatto per settori di 10° per l'imboccatura del porto di Ancona, ha messo in evidenza fetch significativi per le direzioni Settentrionali (Figura 20 e Tabella 8).

In particolare si hanno lunghezze di circa 150-200 km per le direzioni comprese nel settore che va da 320°N a 50°N con fetch massimi per le direzioni 340 e 350°N che superano i 200 km.

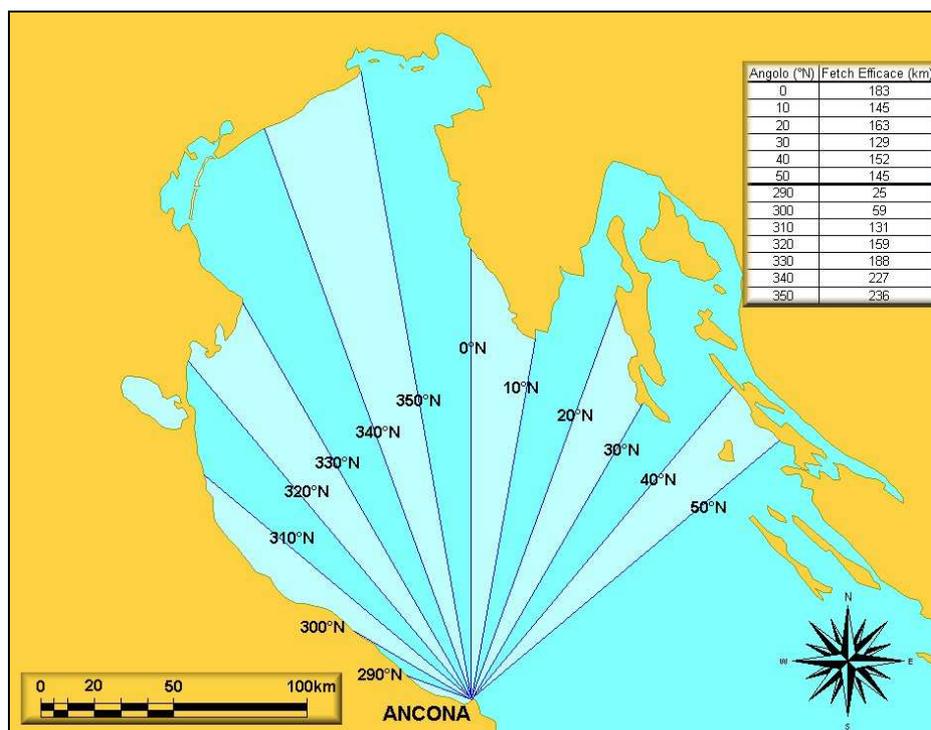


Figura 20. Fetch geografici ed efficaci per il paraggio del porto di Ancona.

Tabella 8. Fetch efficaci per il Porto di Ancona.

Angolo (°N)	Fetch Efficace (km)
0	183
10	145
20	163
30	129
40	152
50	145
290	25
300	59
310	131
320	159
330	188
340	227
350	236

La documentazione consultata relativa al paraggio di Ancona acquisita per l'analisi del grado di agitazione ondosa nello specchio acqueo in oggetto è riferita a precedenti studi di carattere meteo marino:

- studi e indagini preliminari alla progettazione del Porto Turistico di Ancona - Studi relativi al paraggio marittimo, TEI Spa (1988);
- studi meteo marini per la progettazione delle opere di sistemazione della grande frana di Ancona, Comune di Ancona;
- convenzione per la consulenza generale finalizzata alla progettazione delle opere relative all'ampliamento del Porto di Ancona - Studi meteo marini, Università di Ancona, Facoltà di Ingegneria, Istituto di Idraulica (1997).

Condizioni al Largo

Come già detto in precedenza il paraggio risulta aperto soltanto alle traversie dei settori settentrionali, cioè del I e IV quadrante, mentre risulta ridossato dalle traversie del II quadrante per la presenza del monte Conero e dell'area cantieristica della Fincantieri.

Con riferimento alla ubicazione della banchina in oggetto, gli estremi del settore considerato risultano compresi tra 300° N e 30° N.

Sono state selezionate le mareggiate con basso periodo di ritorno, cioè pari a circa un anno, per valutare le condizioni più frequenti di esposizione al moto ondoso, e le onde con caratteristiche estreme, per valutare le condizioni più pericolose.

In Tabella 9 si riportano per le direzioni di provenienza selezionate i valori di altezza d'onda (H_s) e periodo (T) relativi a :

- periodo di ritorno di 1 anno;
- onde estreme.

Tabella 9. Caratteristiche delle onde al largo.

Direzione di Provenienza	Periodo di Ritorno 1 Anno		Onde Estreme	
	T [s]	H_s [m]	T [s]	H_s [m]
300° N	5,5	2,3	-	-
330° N	6,9	3,2	9,3	8,2
0° N	6,9	3,2	9,0	7,4
30° N	6,9	3,2	9,3	8,2

Per la definizione delle altezze d'onda e dei relativi periodi di ritorno sono stati utilizzati i dati KNMI elaborati secondo la metodologia proposta da Goda, mentre le relazioni tra altezza e periodo d'onda sono state ricavate dai dati sperimentali rilevati dalla boa Wavec localizzata al largo di Ancona.

Dalle stesse registrazioni della boa ondometrica di Ancona, relative ai dati acquisiti in un singolo anno (1989 - 1990), si può osservare, a conferma delle indicazioni sopra riportate per le mareggiate più frequenti, cioè con periodo di ritorno pari a un anno, che si sono registrati diversi eventi con onde di altezza di circa 3,00 metri.

Condizioni Sottocosta

Elaborando i dati relativi allo spettro di energia direzionale al largo (spettro in frequenza JONSWAP) e la loro trasformazione su profondità limitate sono state ricavate le variazioni delle caratteristiche del moto ondoso verso riva.

In Tabella 10 si riportano per le direzioni di provenienza selezionate in precedenza i valori di altezza d'onda (H_s) e periodo (T) relativi a :

- periodo di ritorno di 1 anno;
- onde estreme.

Tabella 10. Caratteristiche delle onde sottocosta.

Direzione al Largo	Periodo di Ritorno 1 Anno		Onde Estreme	
	MWD	H_s [m]	MWD	H_s [m]
300° N	318° N	2,47	-	-
330° N	347° N	1,96	357° N	5,33
0° N	8° N	2,64	16° N	5,30
30° N	31° N	2,61	39° N	5,58

Si osserva che per le traversie settentrionali:

- le onde con minori altezze d'onda modificano la loro direzione media di provenienza di angoli inferiori a 20°;
- le onde estreme modificano la loro direzione media di provenienza di angoli superiori a 20°.

E' importante riportare le seguenti osservazioni:

- l'onda proveniente da 300°N e $H_s = 2,30$ m, non arriva facilmente al porto di Ancona a causa dei fetch molto limitati e paralleli alla linea di costa e di batimetrie dell'ordine dei 15,00 - 20,00 m che influenzano il moto ondoso;
- in base ai rilevamenti ondometrici della boa di Pescara-Ortona (RON) si notano frequenze di circa 0,02% per le altezze d'onda di classe 1,50 - 2,00 m provenienti dal settore 285-315 °N.

Si può affermare che le onde da tale direzione sono di altezza modesta. Tuttavia non è possibile escludere completamente a priori l'ondazione, seppur modesta, da tale direzione, per cui è stato ricostruito un moto ondoso in acque basse considerando che la sua zona di generazione risulti parallela alla costa e distante da essa mediamente 5 miglia.

Utilizzando il metodo SMB modificato per le acque basse e considerando:

- una profondità media di 15,00 m,
- una lunghezza di mare libero di 50,00 km;
- una velocità del vento di circa 15,00 m/s (circa 30 nodi) che si verifica nella stazione di Falconara circa una volta all'anno;

si ottiene un'onda con H_s pari a 1,80 m e periodo di 5,20 s che corrispondono ad una durata della perturbazione di circa 2h 40min. Una perturbazione di maggiore durata non genererebbe altezze d'onda maggiori, in quanto il fenomeno sarebbe comunque limitato dalla lunghezza del mare libero. Sulla base degli elementi individuati, è stata utilizzata come INPUT per l'esecuzione delle simulazioni l'onda con le seguenti caratteristiche (Tabella 11):

Tabella 11. Caratteristiche delle onde sottocosta.

Onda Sottocosta – $T_r = 1$ anno		
MWD (°N)	H_s (m)	T_p (s)
318	1.80	5.2

Il modello ellittico considera onde monocromatiche, per cui nel caso in cui si consideri il frangimento, valutato per onde irregolari con distribuzione di Rayleigh i valori da assegnare sono:

- per l'altezza d'onda, $H_{rms} = H_s / \sqrt{2}$;
- per il periodo, il periodo di picco $T_p = 1,22 T_s$;

calcolati sulla base delle caratteristiche delle mareggiate definite mediante H_s e T_s . Tutto quanto premesso, l'onda utilizzata nella simulazione per il calcolo dell'agitazione interna è riportata in Tabella 12:

Tabella 12. Onda utilizzata per il calcolo dell'agitazione interna.

	MWD (°N)	H (m)	T (s)
A	318	2.47	5.5

Batimetrie e griglia di calcolo

La batimetria porto di Ancona utilizzata è stata modellizzata sulla base dei rilievi batimetrici della carta nautica dell'Istituto Idrografico della Marina (Figura 21).

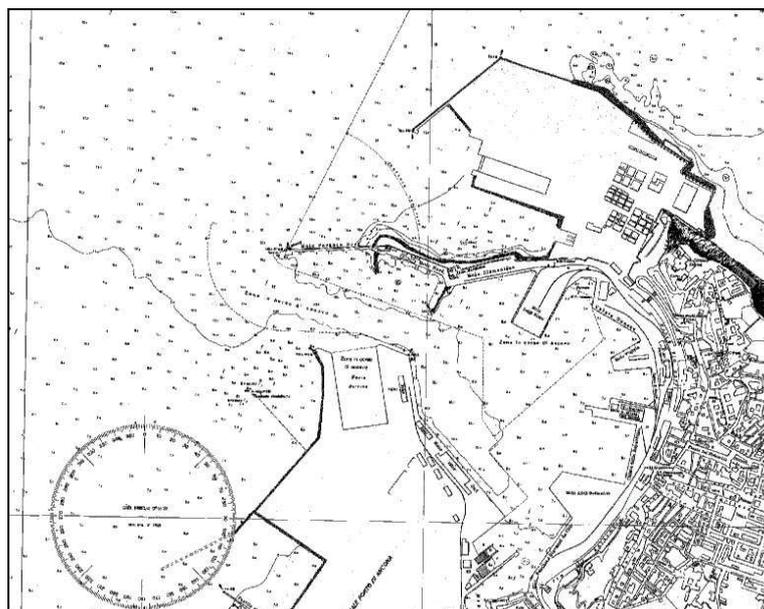


Figura 21. Carta Nautica del Porto di Ancona (Istituto Idrografico della Marina).

La griglia costruita ha dimensioni di 1.100,00 m × 800,00 m, è stata discretizzata con una maglia di calcolo di 4,00 m di lato ed è orientata con l'asse y lungo la direzione Sud-Nord (0°N).

Con la discretizzazione della batimetria con una maglia di lato 4,00 m, è possibile rappresentare bene onde con lunghezza superiore ai 75,00 m (Figura 22).

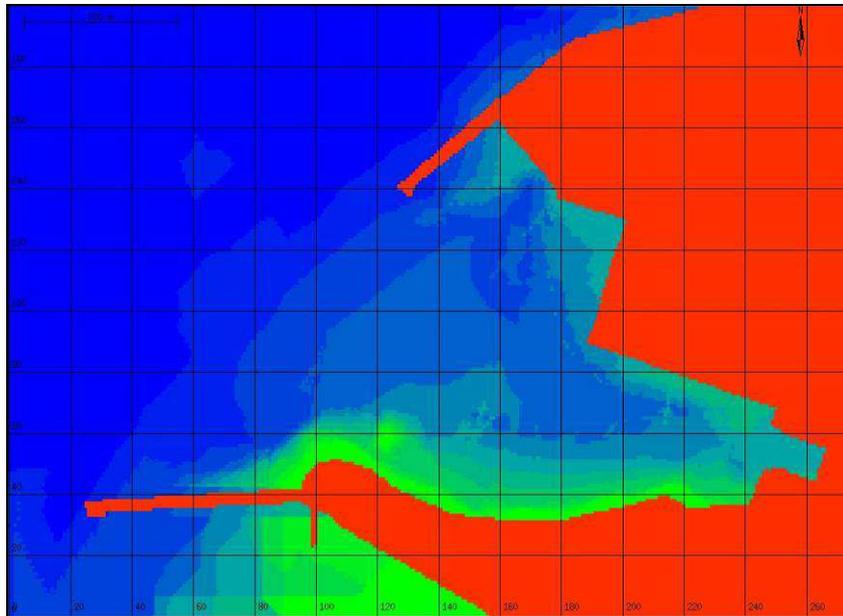


Figura 22. Batimetria usata per le simulazioni all'interno del bacino portuale. La griglia di calcolo è costituita da 55.000 punti.

Oltre alla batimetria sono state definite 2 ulteriori griglie per la definizione delle superfici assorbenti e riflettenti.

Sono state definite come superfici assorbenti i contorni esterni al porto. Tali superfici assorbenti sono state definite imponendo su 5 punti davanti al contorno un opportuno coefficiente d'attrito.

I restanti contorni sono stati imposti come riflettenti, con coefficiente di riflessione $c_r=0.45$ laddove si presenta una scogliera e $c_r = 0,95$ in presenza di pareti verticali lisce. Tali coefficienti sono stati imposti considerando un relativo coefficiente di porosità determinabile con un applicativo dedicato compreso nel pacchetto del codice MIKE 21.

Nel caso di un'opera su pali e quindi con una scogliera sottostante l'impalcato di banchina si è considerato il coefficiente di riflessione $c_r = 0,45$. Si sottolinea che tali valori sono stati reperiti in letteratura e sono da considerarsi come coefficienti medi ⁴.

Simulazioni eseguite

Sono stati considerati 3 eventi ondosi, le cui caratteristiche, di fronte all'imboccatura del porto, sono riportate nella Tabella 13.

⁴ Per una corretta valutazione di tali coefficienti sarebbe necessario operare tramite modello fisico in vasca in quanto ogni superficie risponde in maniera diversa a seconda del periodo dell'altezza d'onda considerata della conformazione e dalla profondità del fondale.

Tabella 13. Caratteristiche dei 3 eventi ondosi utilizzati nelle simulazioni.

	MWD (°N)	H (m)	T (s)
A	8	2.64	6.9
B	318	2.47	5.5
C	357	5.33	9.3

Il modello ellittico considera onde monocromatiche, per cui nel caso in cui si consideri il frangimento, valutato per onde irregolari con distribuzione di Rayleigh, l'altezza d'onda da assegnare è H_{rms} ed il periodo quello di picco T_p . Tali valori devono quindi essere calcolati sulla base delle caratteristiche delle mareggiate definite mediante H_s e T_s .

Considerando un treno d'onde con distribuzione di Rayleigh si ha:

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

Per quanto riguarda il periodo, considerando uno spettro di energia di tipo JONSWAP con parametro di picco 2,5, si ha $T_p=1,22 T_s$.

6.2.3 Dati di Output - Risultati della simulazione

Per una migliore comprensione dei risultati le altezze d'onda calcolate all'interno del bacino, che dal modello vengono determinate come H_{rms} , sono state moltiplicate per $\sqrt{2}$ in modo da ottenere l'altezza d'onda significativa H_s , alla quale usualmente si fa riferimento. Dalle rappresentazioni con le curve di egual altezza d'onda significativa è facile determinare l'altezza d'onda nel punto di maggior interesse.

ONDA A

Le caratteristiche dell'onda A sono (vedi anche la Tabella 13 riassuntiva):

- $H_{rms} = 1,86$ m $H_s = 2,64$ m
- $T_p = 8,40$ s $T_s = 6,90$ s
- MWD=8° N

I risultati sono riportati nelle Figura 23 e Figura 24.

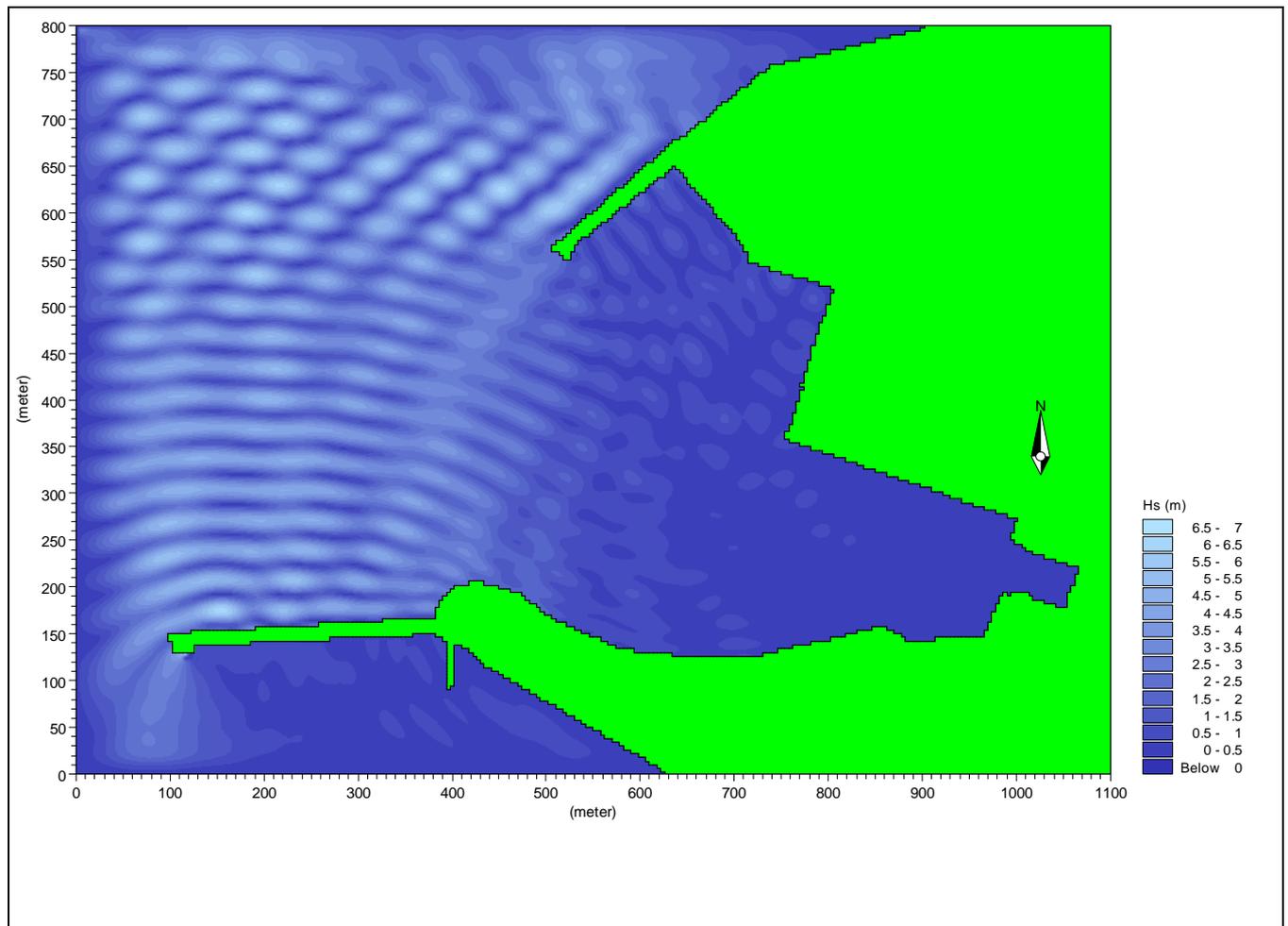


Figura 23. Vista globale del campo di moto ondoso generato dall'onda A con il porto nella configurazione con banchina su pali.

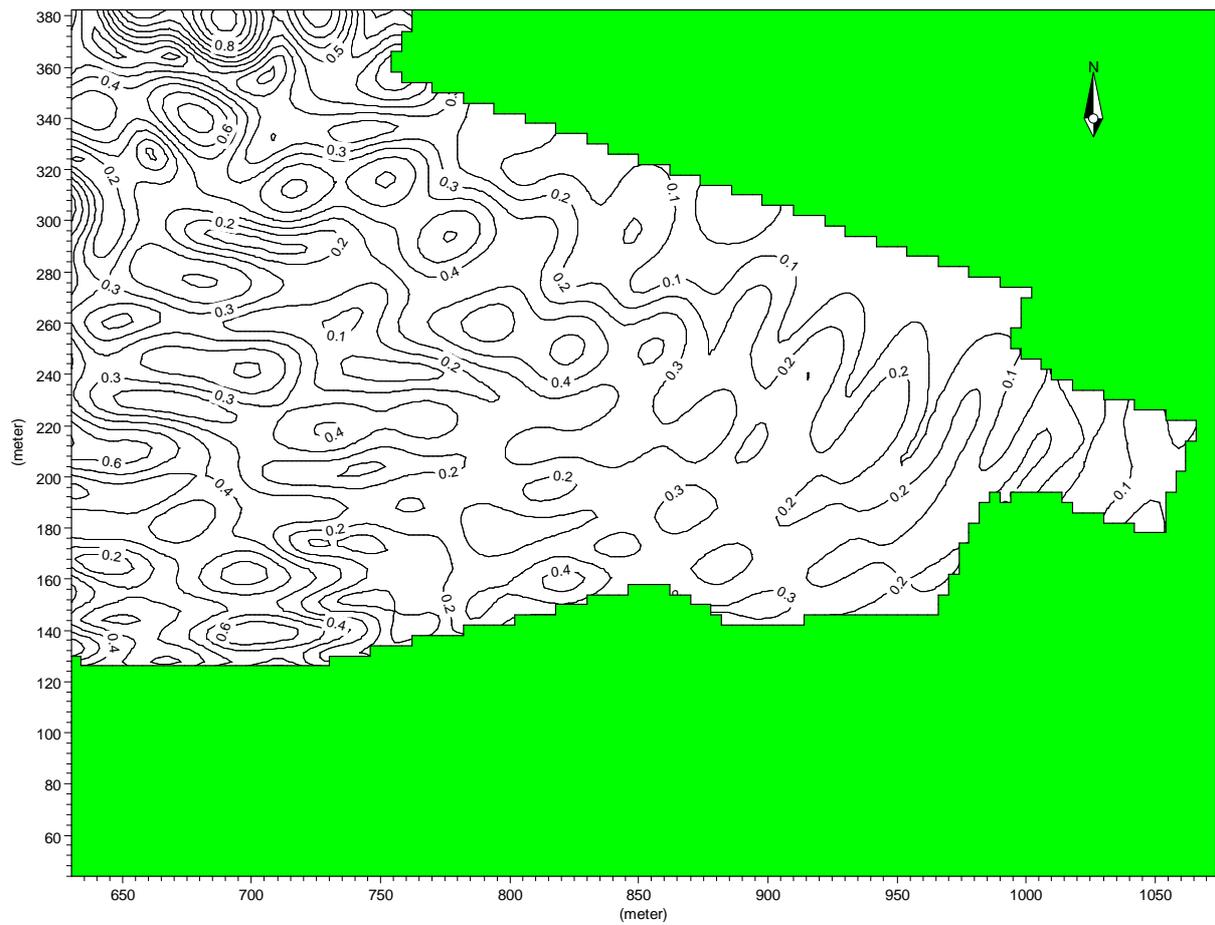


Figura 24. Isolinee dell'altezza d'onda significativa nella zona interessata dall'intervento con banchina su pali.

ONDA B

Le caratteristiche dell'onda B sono (vedi anche la Tabella 13 riassuntiva):

- $H_{rms} = 1,27$ m $H_s = 1,80$ m
- $T_p = 6,30$ s $T_s = 5,20$ s
- MWD=320° N

I risultati sono riportati nelle Figura 25 e Figura 26.

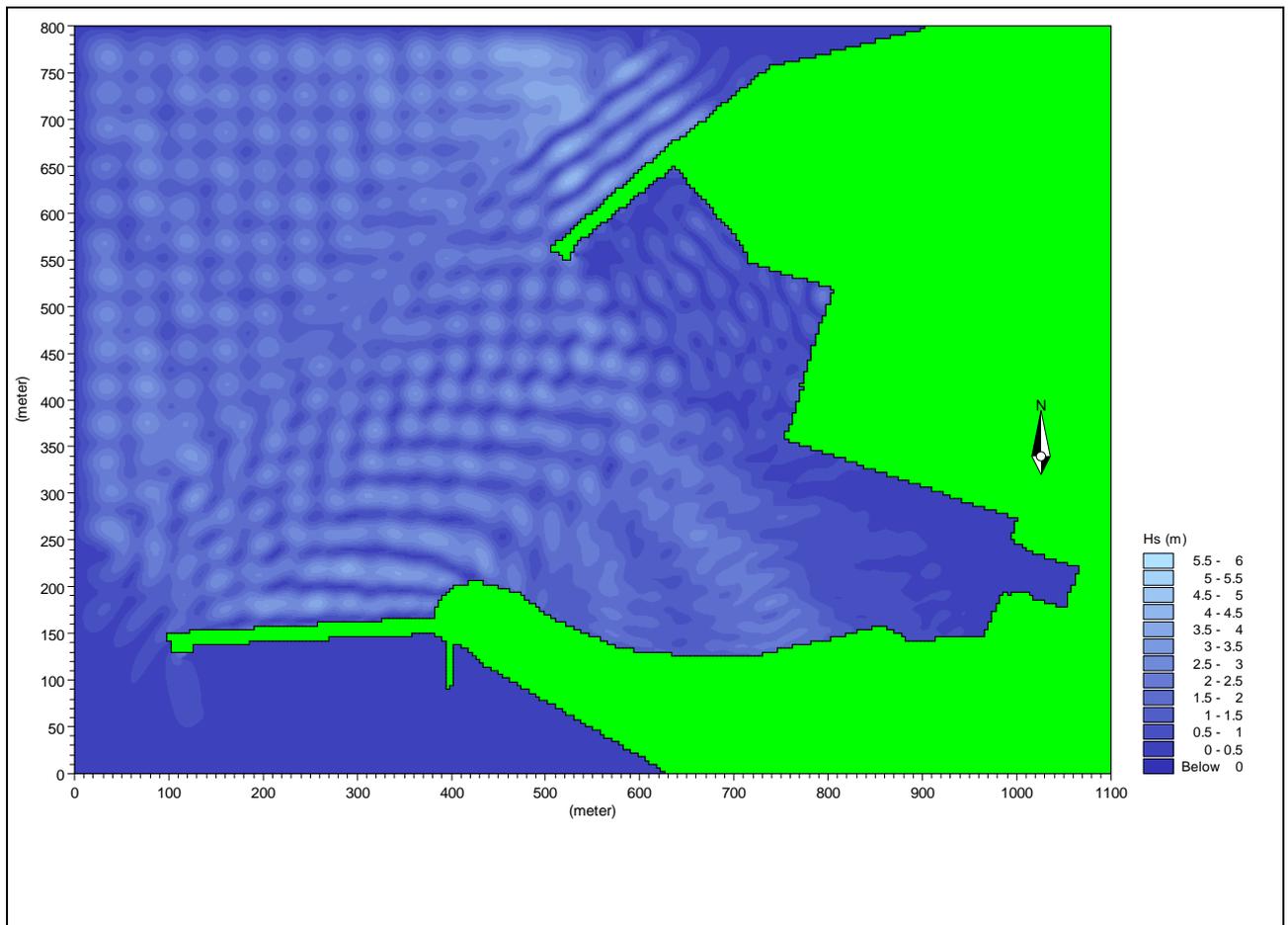


Figura 25. Vista globale del campo di moto ondoso generato dall'onda B con il porto nella configurazione con banchina su pali.

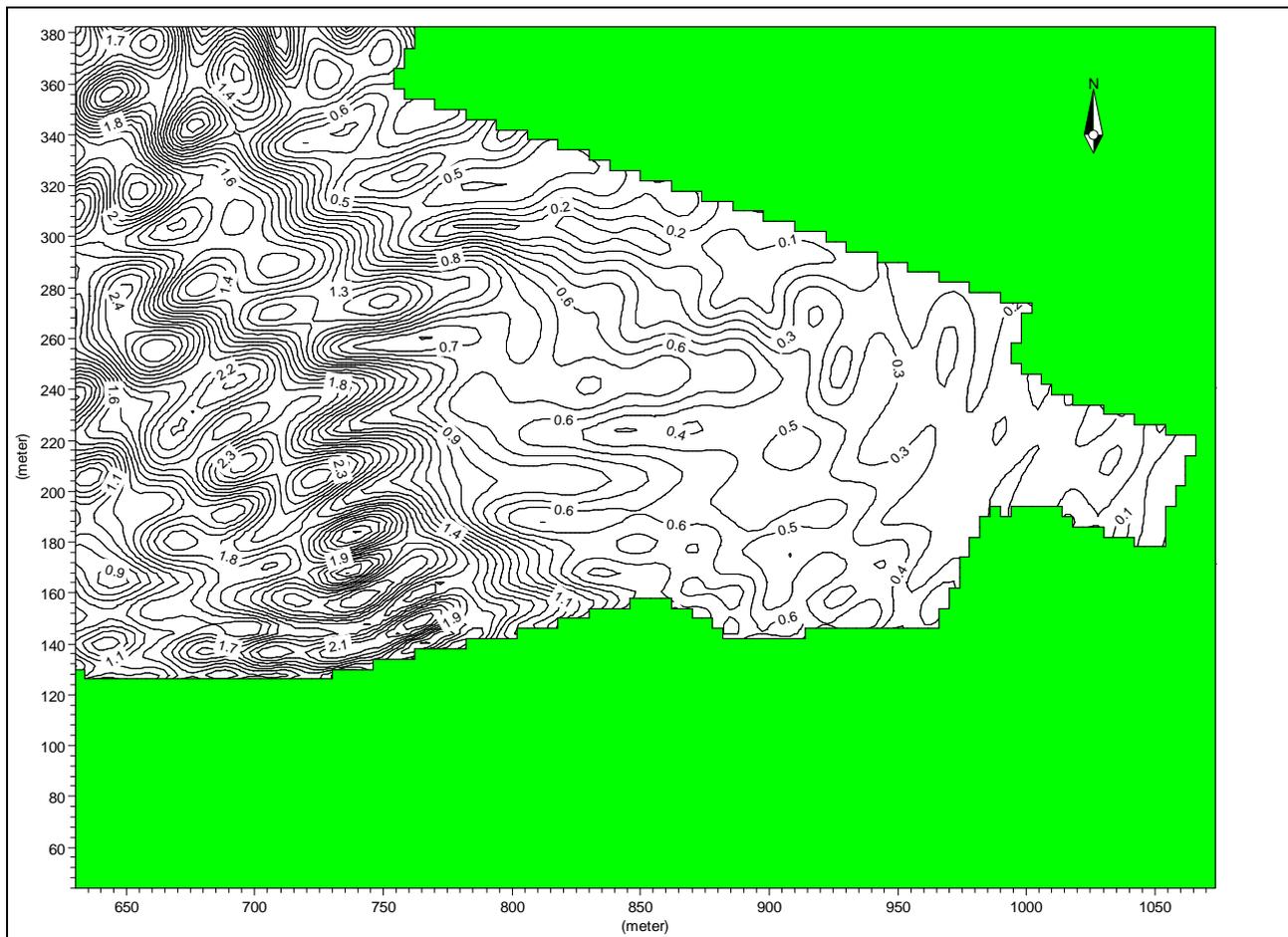


Figura 26. Isolinee dell'altezza d'onda significativa nella zona interessata dall'intervento con banchina su pali

ONDA C

Le caratteristiche dell'onda C sono (vedi anche la Tabella 13 riassuntiva):

- $H_{rms} = 3,76$ m $H_s = 5,33$ m
- $T_p = 11,30$ s $T_s = 9,30$ s
- MWD=357° N

I risultati sono riportati nelle Figura 27 e Figura 28.

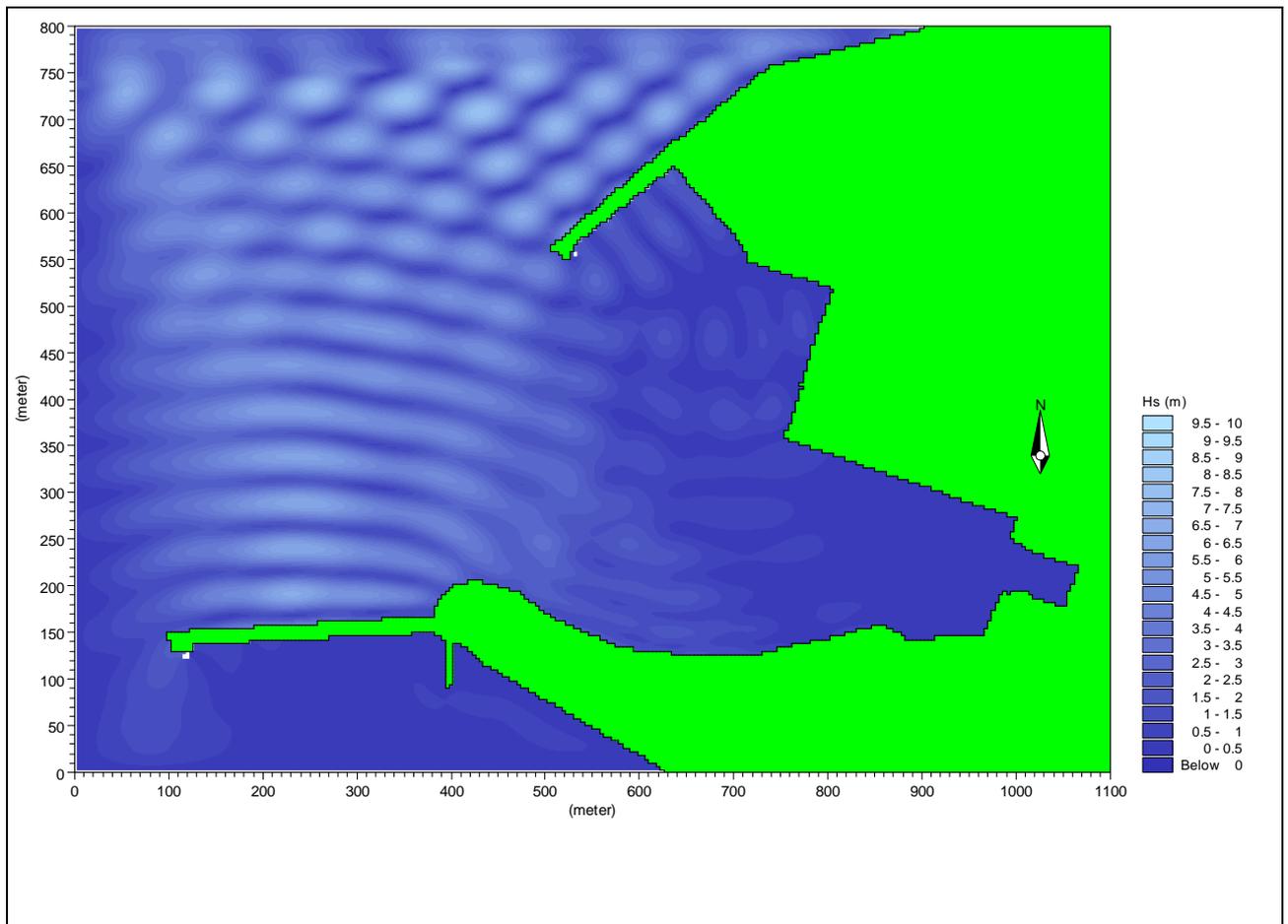


Figura 27. Vista globale del campo di moto ondoso generato dall'onda C con il porto nella configurazione con banchina su pali.

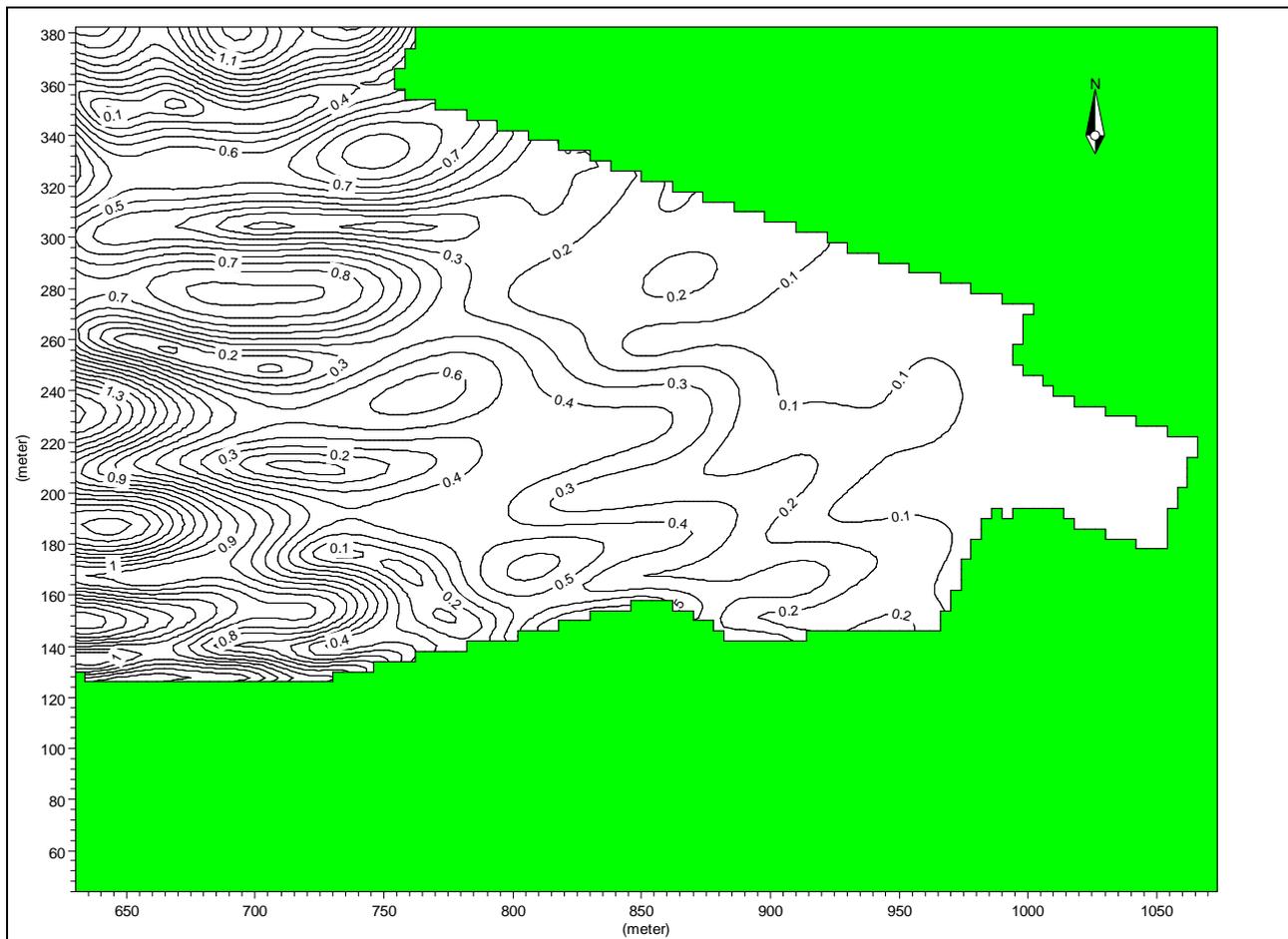


Figura 28. Isolinee dell'altezza d'onda significativa nella zona interessata dall'intervento con banchina su pali.

6.2.4 Conclusioni

In base ai risultati ottenuti mediante i calcoli effettuati con il MIKE 21 EMS è possibile determinare lo stato di agitazione interna del porto di Ancona.

Come dati di input per le simulazioni numeriche sono stati considerati i dati batimetrici pubblicati nella carta nautica dell'Istituto idrografico della Marina, i dati meteo marini riportati nella relazione Illustrativa dello Studio Meteo marino effettuato nel 1997 dall'Università degli Studi di Ancona.

La prima e la terza onda (A e C) sono state estrapolate dallo studio meteo marino dell'Università di Ancona, la seconda onda (B) che proviene da una direzione più occidentale, è stata ricostruita considerando un fetch di circa 50 km e, vista la direzione tangente alla costa, si è considerata una profondità relativamente ridotta, tanto da poter utilizzare le equazioni del metodo SMB modificato per le onde in acque basse.

Il vento generatore di tale onda è stato considerato in base alle registrazioni di vento delle stazioni di Falconara e di Monte Cappuccini considerando un vento che si verifica almeno una volta all'anno.

I dati utilizzati sono riportati in Tabella 13.

Considerando la zona antistante la banchina Fincantieri si avrebbero le seguenti altezze d'onda significative (Tabella 14):

Tabella 14. Riepilogo dei risultati delle simulazioni.

	MWD (°N)	H (m)	T (s)		altezza d'onda significativa davanti alla banchina (m)
A	8	2.64	6.9	→	0.3
B	318	2.47	5.5		0.7
C	357	5.33	9.3		0.3

Tali valori sono stati calcolati in assenza del molo foraneo nord, che ha migliorato la situazione per i porti e il moto ondoso provenienti dal I quadrante.

6.3.1 Agitazione Ondosa Residua nella Darsena dopo eventuale demolizione di un tratto del Molo Nord attuale: modello MIKE 21 BW

Nel seguente paragrafo sono parzialmente riportati gli studi contenuti nella “*Convenzione per lo studio dell’agitazione ondosa interna al nuovo Porto di Ancona*” stipulata tra l’Autorità Portuale di Ancona e la “Sezione di Idraulica e infrastrutture viarie” del Dipartimento di Ingegneria Civile Edile e Architettura (DICEA) della Facoltà di Ingegneria dell’Università Politecnica delle Marche di Ancona, finalizzati alla definizione dell’eventuale demolizione di un tratto del Molo Nord attuale, in risposta alle richieste del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, relativamente a tale questione.

I risultati delle simulazioni effettuate con il modello numerico MIKE 21 BW con il quale è stata determinata l’agitazione ondosa all’interno dell’area portuale sono riportati dalla Figura 42 alla Figura 116 in APPENDICE.

Il suddetto codice di calcolo è stato applicato alle direzioni del moto ondoso, settentrionali ed orientali, comprese nel settore di traversia del Porto, per un totale di 15 condizioni di moto ondoso (con altezze, periodi e direzioni diverse), per ciascuna delle configurazioni da provare:

- *configurazione finale delle opere foranee;*
- *configurazione che presenta il molo nord parzialmente demolito secondo le indicazioni emerse dai risultati dello studio di navigabilità.*

6.3.1 Sintesi degli studi

L’Autorità Portuale ha finanziato e fatto eseguire, in precedenza, presso la Società Centro Studi di Tecnica Navale (CETENA) di Genova, le prove di navigabilità per la simulazione dell’ingresso e uscita con diverse tipologie di navi e varie condizioni meteomarine, nelle condizioni di Molo Nord attuale e stesso molo parzialmente demolito. I risultati delle verifiche di navigabilità sono stati presi a riferimento nello studio in oggetto.

Il modello dell’agitazione ondosa interna al porto è stato costruito sulla configurazione finale delle opere foranee del Porto di Ancona e sulla batimetria ottenuta dai rilievi effettuati dall’Istituto Idrografico della Marina (IIM) di Genova nel 2011, integrata dalle previsioni di dragaggio della Variante al P.R.P. del Porto di Ancona (Piano di sviluppo).

Le suddette informazioni sono state fornite e messe a disposizione dalla Autorità Portuale.

Per quanto riguarda le caratteristiche meteomarine di interesse per il paraggio del Porto di Ancona, sono disponibili i seguenti dati:

- *misure ondametriche direzionali, rilevate dalla boa della Rete Ondametrica Nazionale (RON) posta al largo di Ortona (PE), periodo 1989-2006;*
- *misure ondametriche direzionali, rilevate dalla boa della Rete Ondametrica Nazionale (RON) posta al largo di Ancona, periodi 1999-2006 e 2009-2014;*

- misure ondametriche direzionali e non direzionali, rilevate dalle boe dell'ex Istituto di Idraulica dell'Università di Ancona, per conto della Regione Marche, periodo 1989-1990, poste al largo di Marina di Montemarciano (AN) ed Ancona;
- stime ondametriche a vista effettuate dalle navi in transito nell'Adriatico centrosettentrionale, periodo 1961-1995, registrate dall'Istituto Meteorologico Reale Olandese (KNMI) dei Paesi Bassi;
- ricostruzioni del campo di moto ondoso, nel Mare Adriatico, effettuate dal Centro Meteorologico Europeo (ECMWF) di Reading (UK) con il modello numerico WAM, periodo 1990-2009;
- registrazioni di vento delle stazioni ITAV, poi ENAV, di Monte Cappuccini di Ancona dal 1951 fino al 1978 (ora dismessa), di Falconara Marittima dal 1960 fino al 1996 e di Grottammare dal 1967 al 1977 (ora dismessa);
- dell'Istituto Idrografico della Marina (IIM) di Genova, periodi 1930-1942, 1946-1958 e 1960-1963;
- ondametrici non direzionali, rilevati dalla società API, dalla piattaforma fuoricosta dell'API al largo di Falconara Marittima, per complessivi 18 mesi suddivisi in tre diversi periodi negli anni 1981-82-83;
- misure ondametriche non direzionali eseguite sulle piattaforme AGIP in periodo vari;
- misure di livelli di marea, vento, oltre ad altri parametri meteorologici, rilevate dalla stazione della Rete Mareografica Nazionale (RMN) nel paraggio del Porto di Ancona, periodo 1986-2013 (marea) e 2000-2013 (vento);
- rilievi anemometrici effettuati dalla Marina Dorica di Ancona;
- rilievi anemometrici effettuati dall'Istituto Tecnico Nautico, nel Porto di Ancona, periodo 1980-1995.

Da questi dati considerati, sono stati scelti e selezionati quelli ritenuti più attendibili per le applicazioni di ingegneria marittima dello studio.

6.3.2 Verifiche della navigabilità: indicazioni ricavate dallo "Studio di navigabilità nel Nuovo Porto di Ancona, ad Opere di Sopraflutto completate con e senza demolizione di 100,00 m del Molo Nord"

Per tali aspetti si rimanda al documento *"Relazione TECNICA E ILLUSTRATIVA"*.

6.3.3 Modello per lo studio dell'agitazione ondosa interna al porto: MIKE 21 BW

Per analizzare il moto ondoso trasmesso dalle acque libere all'interno del bacino portuale, attraverso l'imboccatura, occorre studiare un problema di propagazione del moto ondoso in acque basse o intermedie in presenza di tutti i fenomeni di modifica del moto ondoso, quali rifrazione, frangimento, riflessione e diffrazione, ecc.

Lo studio dell'agitazione ondosa interna al futuro Porto di Ancona è stato condotto mediante utilizzo del modello matematico MIKE 21 BW sviluppato dal DHI - Danish Hydraulic Institute Water & Environment.

Il codice MIKE 21 ha una struttura modulare con quattro ambienti di applicazione principali, che comprendono i relativi moduli di applicazione: in questo studio è stato utilizzato il modulo BW (*Boussinesq Wave*) per determinare la propagazione in acque basse ed intermedie di onde irregolari corte o lunghe, condizione tipica delle aree portuali. Il modello è capace di riprodurre gli effetti combinati di più fenomeni d'onda in ambito costiero e nell'ingegneria portuale includendo rifrazione, diffrazione e riflessione parziale di onde corte irregolari e onde lunghe di ampiezza limitata che si propagano su batimetrie complesse.

Per il corretto funzionamento del modello, l'applicazione del codice di calcolo richiede la definizione preliminare dei seguenti dati di ingresso:

1. *batimetria dell'area da modellare;*
2. *condizioni al contorno;*
3. *caratteristiche delle strutture portuali;*
4. *condizione iniziale;*
5. *caratteristiche delle onde incidenti.*

Nel seguito sono definite tali caratteristiche di ingresso per l'applicazione del modello di calcolo.

1. Batimetria dell'area da modellare

Il primo passo per l'utilizzo del MIKE 21 è rappresentato dalla definizione della batimetria dell'area da modellare e conseguentemente si è proceduto alla raccolta di tutte le informazioni disponibili riguardanti la zona di mare sottocosta antistante il Porto di Ancona, che costituiranno l'area da simulare nel modello.

I dati di riferimento sono stati :

- *cartografia nautica dell'Istituto Idrografico della Marina (Figura 29), dalla analogha cartografia inglese e dalla planimetria degli escavi di dragaggio dei fondali previsti nel "Piano di sviluppo del Porto di Ancona";*
- *rilievo effettuato dall'Istituto Idrografico della Marina (Figura 30) nell'ottobre del 2011, relativo all'intera area portuale circostante le strutture attualmente presenti, alla zona del bacino dei cantieri navali della Fincantieri a quella del porto turistico i cui dati sono stati messi a disposizione dalla Autorità Portuale.*



Figura 29. Carta nautica n.209 dell'IIM della zona portuale di Ancona.

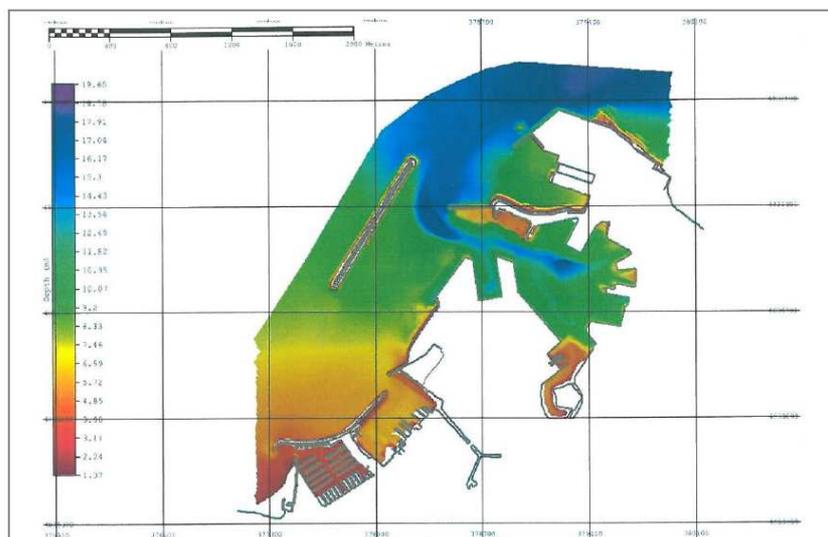


Figura 30. Configurazione morfologica dei fondali nella zona portuale di Ancona ricavata dai rilievi dell'Istituto Idrografico della Marina Militare nel 2011

I dati acquisiti sono stati interpolati e dalla combinazione di queste due serie di dati batimetrici è stato ottenuto lo schema batimetrico dei fondali dell'area portuale, considerato come quello "attuale" rappresentato in Figura 31.

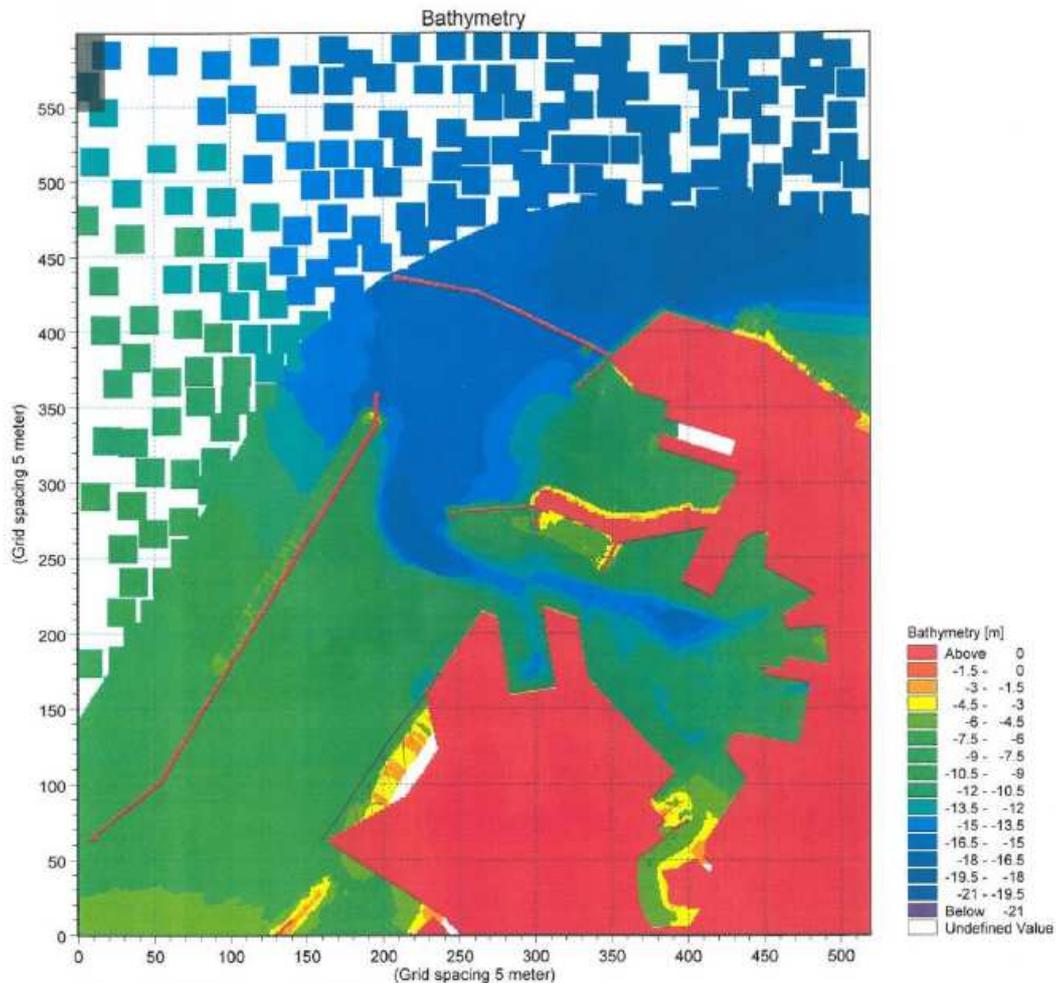


Figura 31. Batimetria dei fondali “attuali” considerata nella rappresentazione portuale.

Dalla combinazione delle suddette serie di dati batimetrici è stato ottenuto lo schema morfologico dei fondali dell’area portuale da simulare nel modello di studio dell’agitazione ondosa interna al porto.

Nella scelta dell’area da modellare con il codice di calcolo MIKE 21 BW si deve tener conto: della zona di interesse, dell’inclinazione del modello rispetto ai treni di onde incidenti e del tipo di condizioni al contorno. L’area di studio è stata scelta orientando il modello a 345°N, in modo tale da privilegiare le simulazioni con attacchi ondosi che provengono dalle direzioni di apertura della nuova imboccatura del Porto di Ancona .

La scelta della dimensione della griglia spaziale e del passo di integrazione temporale dipende dalle condizioni ondose che si vogliono simulare e dalla profondità dell’acqua nell’area del modello. In sintesi si deve tener presente che:

- il rapporto tra la massima profondità dell’acqua e la lunghezza d’onda in acque profonde deve essere inferiore a 0,22 per poter applicare le equazioni classiche di Boussinesq ed inferiore a 0,55 per l’applicazione delle equazioni modificate;
- la dimensione della griglia spaziale deve tener conto della più piccola lunghezza d’onda; per molte applicazioni 2DH sono sufficienti 7-10 punti griglia per lunghezza d’onda;

- il passo temporale deve tener conto del più piccolo periodo d'onda; generalmente per le equazioni classiche sono richiesti 8 - 10 passi temporali per periodo d'onda, mentre 25 - 35 passi per periodo d'onda sono necessari se si devono utilizzare le equazioni modificate;

- il numero di Courant deve essere inferiore ad 1.

Nel caso in oggetto il rispetto di tutte le condizioni precedentemente elencate ha condotto alla scelta di un passo temporale pari a 0,35 s. Il reticolo di calcolo per il modello numerico è stato definito da una maglia quadrata di passo $\Delta x = \Delta y = 5,00$ m. La maglia di calcolo è costituita da 420 celle in larghezza e 520 in altezza, per una estensione totale dell'area di 2.100,00 m x 2.600,00 m.

La Figura 32 mostra la batimetria ricavata per la configurazione attuale del Molo Nord, mentre la Figura 33 mostra la batimetria relativa alla configurazione del Molo Nord parzialmente demolito (100,00m).

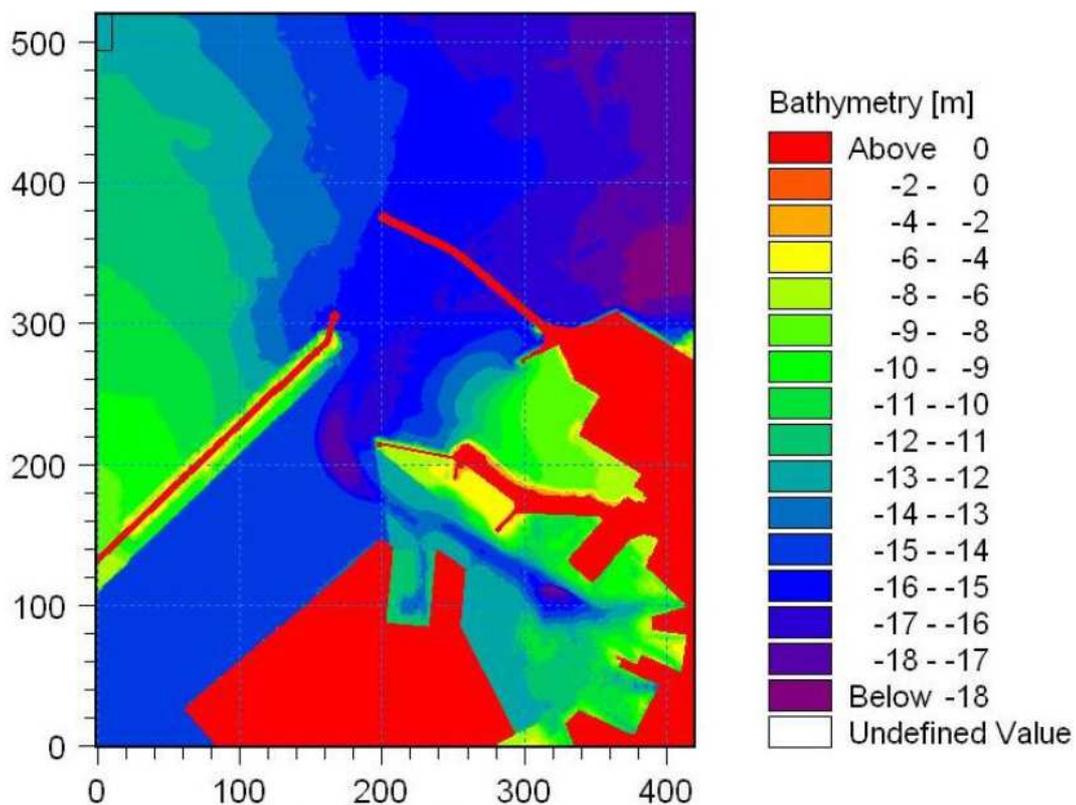


Figura 32. Configurazione morfologica dei fondali adattato utilizzata per le simulazioni dell'analisi dell'agitazione ondosa interna al Porto di Ancona, per la configurazione attuale del Molo Nord.

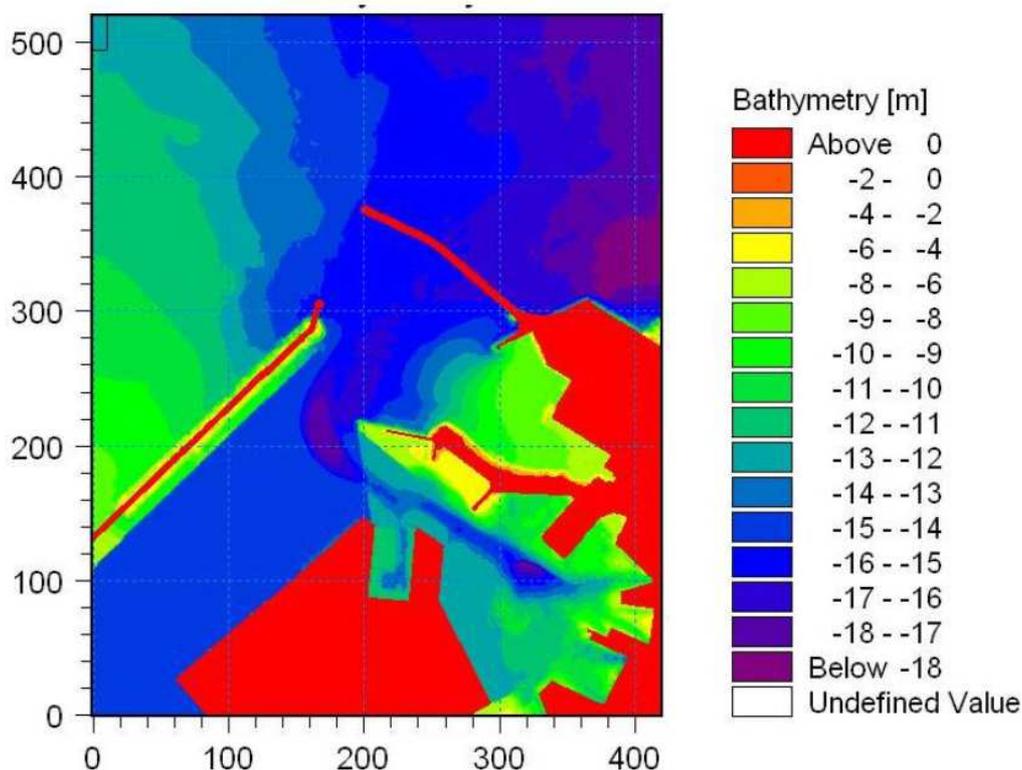


Figura 33. Configurazione morfologica dei fondali adattato utilizzata per le simulazioni dell'analisi dell'agitazione ondosa interna al Porto di Ancona, per la configurazione del Molo Nord *parzialmente demolito (100,00m)*.

Condizioni al contorno

"Il codice MIKE 21 BW può schematizzare i limiti del dominio di calcolo come contorni aperti o come contorni chiusi. I contorni aperti sono posti generalmente in corrispondenza di una linea di delimitazione in acqua, mentre quelli chiusi sono posti al limite tra acqua e terra. Il modello considera il contorno aperto come completamente riflettente e quindi non in grado di simulare la condizione "radiativa", cioè del contorno del modello capace di assorbire le onde in uscita dall'area di simulazione. Il contorno chiuso è invece capace di modellare la condizione di assorbimento tramite la definizione di una fascia di strati assorbenti disposti lungo il bordo del modello, in cui viene simulata la dissipazione del flusso per filtrazione attraverso un mezzo poroso.

Nello studio in oggetto si è scelto di utilizzare per l'area da modellare un contorno chiuso reso assorbente da un numero di 20 strati ("Sponge" layer)".

Caratteristiche delle strutture portuali

"In maniera simile al trattamento della condizione di assorbimento lungo i contorni chiusi, il modello può simulare il comportamento di strutture costiere o portuali riflettenti o parzialmente assorbenti tramite l'inserimento lungo il bordo delle strutture di una serie di strati porosi. Il coefficiente di porosità deve essere scelto in modo di riprodurre il desiderato grado di riflessione delle strutture.

In base alla configurazione tipologica e strutturale delle opere portuali presenti e di quelle previste nei lavori di ampliamento del Porto di Ancona, in particolare del loro fronte marino, è stato possibile assegnare a ciascuna di esse un grado di assorbimento o riflessione ondosa rispetto all'onda incidente. Tale comportamento delle strutture portuali, in relazione agli attacchi ondosi gravanti, è fondamentale per impostare le condizioni dei contorni terrestri degli specchi acquei da modellare negli studi di agitazione ondosa interna.

Nel caso del Porto di Ancona, nella configurazione da analizzare al termine dei previsti lavori di ampliamento del porto, sono state adottate 3 diverse tipologie strutturali da trattare in modo distinto fra loro, ma omogeneo all'interno della stessa tipologia, ai fini del predetto comportamento di riflessione/assorbimento ondoso.

In particolare, sono stati modellati i seguenti tre gruppi: il gruppo delle banchine e delle opere a parete verticale senza sistemi di smorzamento della capacità di riflessione ondosa, il gruppo delle sponde dei moli aventi paramenti costituiti da opere a gettata di massi, infine il gruppo delle banchine con parete contraddistinta da sistemi, sia pur diversi, ma aventi un comportamento cosiddetto antiriflettente.

Lo schema planimetrico dei tre gruppi di opere portuali è rappresentato in Figura 34.

Valori inferiori di porosità corrispondono ad un maggior grado di riflessione dell'onda".

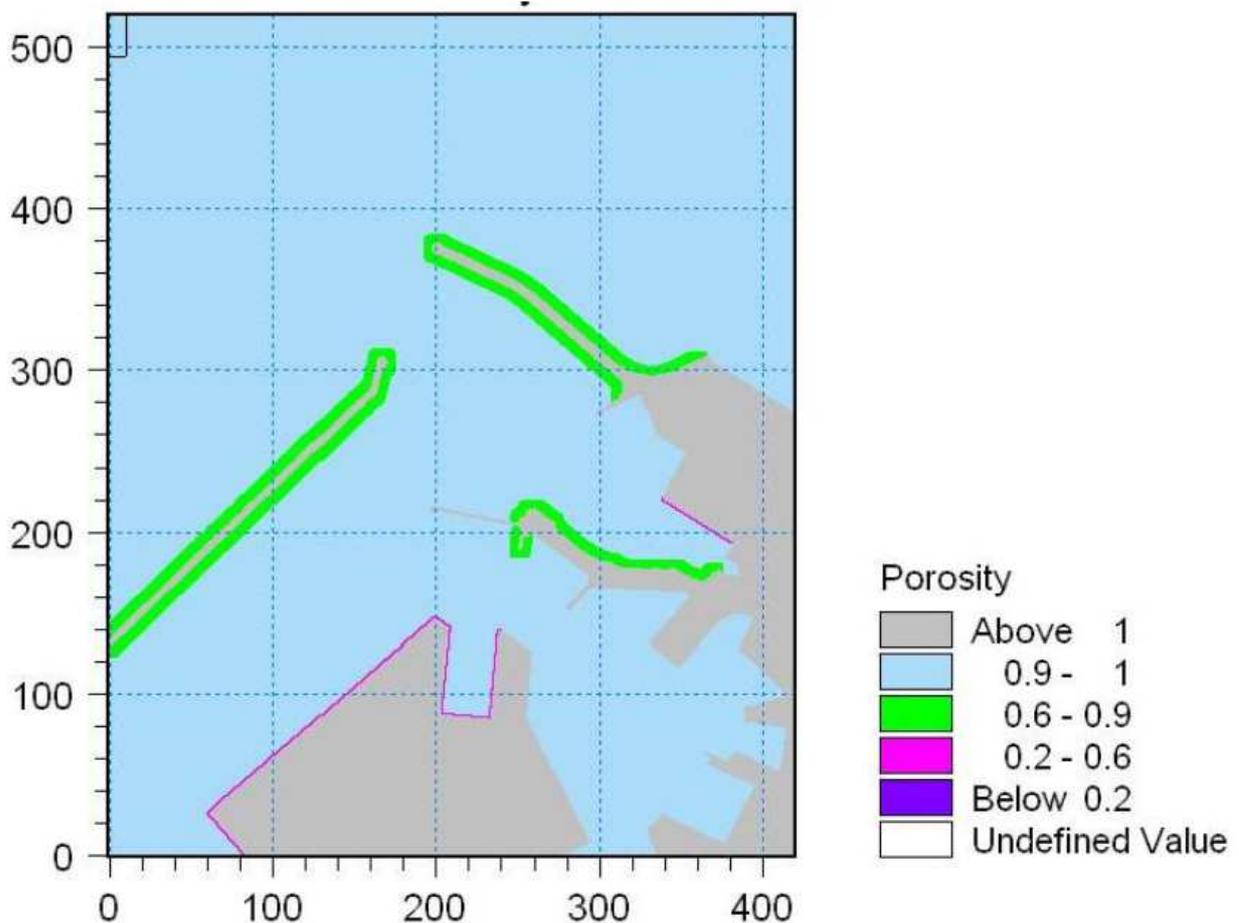


Figura 34. Mapa di porosità delle opere portuali.

"Al primo gruppo (rappresentate con il contorno rimasto in grigio nella planimetria schematica in Figura 34) a cui appartengono:

- il tratto terminale dell'attuale Molo Nord;*
- gran parte delle banchine interne del bacino storico e di quello dei cantieri navali Fincantieri;*

è stato assegnato un coefficiente di riflessione del 100% (condizione di riflessione totale).

Al secondo gruppo (rappresentate con il bordo di contorno in verde nella planimetria schematica in Figura 34) a cui appartengono:

- le due dighe di sopraflutto (in fase di realizzazione) e di sottoflutto (parzialmente realizzata);*
- il paramento a scogliera del lato esterno del Molo Nord attuale nel tratto che dalla radice, in corrispondenza del bacino dei cantieri navali della Fincantieri, giunge fino alla cosiddetta rotonda che ospita la sede a torre del Corpo dei Piloti e degli Ormeggiatori del porto;*

è stato assegnato un coefficiente di riflessione del 60%.

Al terzo gruppo (rappresentate con il bordo di contorno in magenta nella planimetria schematica in Figura 34) a cui appartengono:

- le banchine della Nuova Darsena (con celle di assorbimento);*
- la Banchina Marche (parzialmente realizzata);*
- la nuova banchina di allestimento dei cantieri navali Fincantieri;*

è stato attribuito un coefficiente di riflessione del 90%".

Condizione iniziale

"La condizione iniziale scelta è quella di superficie libera in quiete, trascurando le oscillazioni dovute ai dislivelli delle maree astronomiche e/o delle sopraelevazioni meteorologiche, in quanto entrambe di entità modesta nel paraggio, specie per le direzioni di esposizione dell'imboccatura portuale (aperta a Nord Ovest).

Nello studio oggetto della presente Convenzione si è scelto di disporre la linea di generazione ondosa in corrispondenza della linea batimetrica – 16,00 m perché caratterizzata da una maggiore regolarità e parallelismo rispetto alla linea di costa".

Condizioni ondose simulate

La prevista imboccatura del Porto di Ancona è esposta soprattutto alle direzioni nord occidentali.

Di seguito vengono specificate le caratteristiche degli attacchi ondosi analizzati per le simulazioni di agitazione ondosa interna al porto, tramite modello numerico.

Le direzioni di attacco ondoso all'imboccatura, per le quali la parziale demolizione del Molo Nord attuale risulta avere una influenza geometrica diretta, risultano quelle comprese tra 321°N e 346°N.

Analizzando le direzioni di provenienza ondosa quelle che sono state riconosciute più significative ed importanti, quindi da testare con particolare attenzione sul modello, risultano quelle da 330°N e 340°N. In particolare la direzione da:

- 330°N risulta in grado di impattare direttamente sulla Banchina n.23 della cosiddetta Nuova Darsena in assenza della protezione offerta dal tratto di Molo Nord (vedi schema grafico di Figura 35, pannello di sinistra);
- 340°N, risulta comunque in grado di incidere direttamente la Banchina n.24 della Nuova Darsena, sempre in assenza della protezione offerta dal tratto di Molo Nord (vedi schema grafico di Figura 35, pannello di destra).

Complessivamente, quindi, le due direzioni di provenienza ondosa individuate, 330°N e 340°N, risultano “scoprire” all’agitazione ondosa diretta, l’intero specchio acqueo (e le relative banchine) della Nuova Darsena.

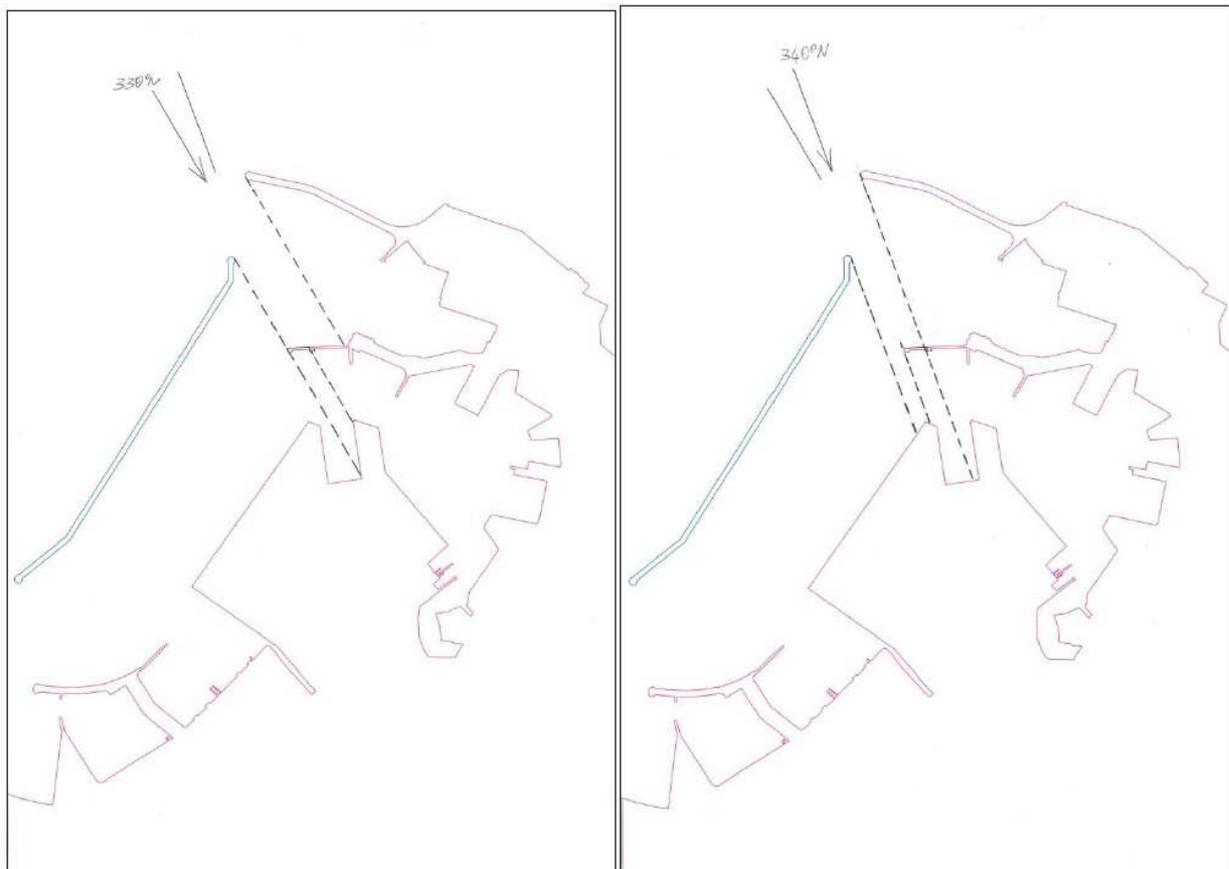


Figura 35. Effetto della demolizione dei 100,00 m del Molo Nord sulle banchine portuali interne del Porto di Ancona per gli attacchi ondosi che mostrano la pericolosità più diretta.

All’analisi dell’agitazione ondosa per tali direzioni di provenienza, che sono state ritenute direttamente più gravose, per effetto della parziale demolizione del Molo Nord, è stata aggiunta l’analisi prodotta dalle direzioni di attacco ondoso limitrofe al settore considerato come riferimento principale:

- 320°N e 350°N;
- 0°N e da 10°N.

Sono state considerate le misure ondametriche della boa della RON al largo di Ancona riferite ai dati del periodo 1999-2006.

Facendo riferimento a dati di ondate caratterizzate da altezze d'onda superiori a 2,00 - 3,00 metri, i valori più frequenti del periodo di picco sono pari a circa 7,50 s ed i periodi più alti di circa 9,00 s. Tali valori sono stati scelti come i principali da applicare per le ondate da esaminare sul modello di agitazione ondosa interna al porto provenienti dal settore nordoccidentale.

6.3.4 Risultati delle simulazioni di agitazione ondosa interna al porto

"I risultati delle simulazioni effettuate con il codice MIKE 21 BW consistono essenzialmente nella distribuzione, in ogni nodo della griglia di calcolo, del valore mediato sulla verticale, della profondità totale dell'acqua e delle componenti di flusso nelle due direzioni di moto.

I risultati vengono rappresentati graficamente in mappe planimetriche dell'elevazione della superficie libera del mare calcolata all'istante finale di una simulazione (dalla Figura 42 alla Figura 116 in APPENDICE). Tale rappresentazione grafica risulta utile per avere un'idea qualitativa generale dei fenomeni di riflessione e diffrazione che le onde subiscono per la presenza della struttura portuale.

In particolare per l'analisi dell'agitazione ondosa nelle configurazioni testate del Porto di Ancona, è stata ricavata, come risultato, la distribuzione planimetrica del coefficiente di diffrazione K_d nella zona portuale. Il coefficiente di diffrazione nei punti del reticolo di calcolo viene calcolato come rapporto tra l'altezza significativa nel punto e quella calcolata fuori dall'imboccatura portuale, in corrispondenza della linea di generazione ondosa ad una profondità media di 16 m. Esso può essere interpretato come la rappresentazione del disturbo d'onda nell'area del modello per la presenza delle strutture portuali e sono in grado di fornire un'idea immediata del grado di protezione offerto dalla configurazione planimetrica del porto rispetto alle diverse condizioni ondose.

Le mappe prodotte per le diverse condizioni ondose di prova e per le soluzioni da porre a confronto (configurazione attuale del Molo Nord, configurazione con parziale demolizione del Molo Nord per un tratto di 100,00 m) sono riportate in Appendice. Inoltre è stata studiata la configurazione con parziale demolizione del Molo Nord (100,00 m) e parziale realizzazione della diga di sottoflutto (assenza del tratto inclinato rispetto all'asse della diga previsto per deviare la corrente e quindi il trasporto dei sedimenti verso il largo)".

6.3.5 Esame dei risultati

Il porto di Ancona nella nuova configurazione prevista (soluzione D del P.R.P.), avrà l'imboccatura posizionata alla profondità di 14,00 m e con l'asse spostato verso il largo di circa 800,00 m rispetto all'imboccatura attuale.

Le opere foranee, come verificato nelle simulazioni effettuate, garantiscono il completo abbattimento delle onde provenienti dal settore di traversia principale (bora-greco), mentre per la traversie

secondarie la nuova imboccatura potrebbe essere attraversata da onde locali con venti provenienti da ovest, nord-ovest e *fetch* paralleli alla linea di costa.

Nello studio sono state quindi studiate le onde provenienti dalle direzioni 330°N-340°N per le quali l'effetto della parziale demolizione del Molo Nord risulta essere più significativa soprattutto per le banchine della Nuova Darsena. Le simulazioni sono state effettuate anche per le direzioni di provenienza limitrofe (320°N e 350°N). Pertanto, dai risultati delle simulazioni, si sono valutati i coefficienti di diffrazione K_d negli specchi acquei prospicienti la Nuova Darsena (banchine 23, 24, 25) e la Banchina Marche (banchine 26 e 27-30). I coefficienti di diffrazione K_d associati ad ogni banchina sono stati ottenuti mediando i valori di K_d dei punti della griglia appartenenti allo specchio acqueo di lunghezza pari a quella della banchina in esame e per una larghezza di 30,00 m.

Nel settore 320°N-350°N la configurazione con Molo Nord parzialmente demolito produce un aumento del coefficiente di diffrazione K_d per le banchine della Nuova Darsena (banchine 23, 24 e 25) ed una lieve riduzione di K_d per la Banchina Marche (banchine 26, 27-30). In particolare, per la banchina 23 si ha un aumento di K_d di 2.0-2.6 volte, mentre per le banchine 24 e 25 l'aumento risulta via via sempre più lieve. La direzione di provenienza dell'onda 330°N è quella che produce un più alto valore del coefficiente di diffrazione $K_d=0.43$ sulla banchina 23, banchina maggiormente esposta nel caso di demolizione del Molo Nord. Le onde che provengono dai settori nord-orientali (0°N, 10°N, 20°N, 30°N) producono, nella configurazione di Molo Nord parzialmente demolito, valori di K_d che si mantengono inferiori a 0.2 anche tenendo conto delle onde lunghe. Tutti i commenti sopra riportati si riferiscono alla configurazione finale delle opere foranee con il Molo Nord allo stato attuale o parzialmente demolito.

Le simulazioni effettuate per riprodurre condizioni di onde infragravitiche ($TP=30s$) rivelano che con onde di provenienza 330°N il coefficiente K_d per la banchina 23 si è ridotto a 0.33 nelle condizioni di Molo Nord parzialmente demolito. Si osserva invece che sotto l'azione di onde infragravitiche i valori di K_d aumentano per la banchina 24 ($K_d=0.38$) e per la Banchina Marche ($K_d=0.33$ per la banchina 26 e $K_d=0.26$ per le restanti banchine).

6.3.6 Conclusioni

"La conclusione principale è che la nuova imboccatura permette di disporre di un ampio bacino di manovra (avamposto) in grado di far transitare navi di oltre 300,00 m di lunghezza.

Il molo di sopraflutto e di sottoflutto forniscono, nella configurazione finale, una completa copertura dalle onde della traversia principale (bora-greco, levante-scirocco), riducendo le altezze d'onda in prossimità della banchina 23 a valori inferiori a 0,80 m per tutti i giorni dell'anno, anche con la demolizione del Molo Nord di 100,00 m, garantendo l'operatività al 100% per queste direzioni di provenienza del moto ondoso, salvo raggiungere i limiti per velocità massima del vento.

La demolizione del Molo Nord ha per la Banchina Marche un effetto positivo e le altezze d'onda risultano inferiori rispetto alla condizione di Molo Nord allo stato attuale per le direzioni di provenienza della traversia principale.

Per quanto riguarda le ondate secondarie rispetto a cui è posizionato l'asse della nuova imboccatura va osservato che la demolizione parziale del Molo Nord produce un lieve aumento dell'agitazione ondosa alla Nuova Darsena (le condizioni alla Banchina Marche migliorano con la demolizione del Molo Nord), che rimane comunque al di sotto dei valori accettabili. Alla banchina 23 il limite di altezza d'onda di 1,20m (che corrisponde alla operatività al 50% per movimentazione dei contenitori) verrebbe superato in media per 2 giorni all'anno ed il valore massimo dell'altezza d'onda sarebbe pari a 1,50 m - 1,70 m. In queste ultime condizioni estreme il limite di operatività sarebbe comunque raggiunto prima per eccesso di velocità del vento.

La costruzione dell'ultimo tratto di diga sottoflutto può essere programmata secondo la disponibilità finanziaria poiché l'influenza sull'agitazione interna è minima, mentre è fondamentale la sua costruzione per far deviare la corrente di circolazione ed i sedimenti in sospensione verso il largo.

La configurazione planimetrica del porto non produce fenomeni di risonanza pericolosi per la presenza di eventuali onde lunghe, che presentano comunque altezza trascurabili.

Il miglioramento della manovrabilità delle navi con la parziale demolizione del Molo Nord aumenterebbe la sicurezza e ridurrebbe i tempi di sosta senza penalizzare l'operatività del porto".

7. Modello per la verifica degli ormeggi

Per un ormeggio in sicurezza della nave è necessario implementare il progetto della banchina con uno studio, volto alla verifica, attraverso modelli matematici di simulazione statica e dinamica, sulla azione contemporanea degli agenti meteo-marini, sulle reazioni degli ormeggi (cavi e bitte) e dei parabordi in seguito ai movimenti della nave ed alla interazione idrodinamica tra lo scafo e la banchina (Figura 36).

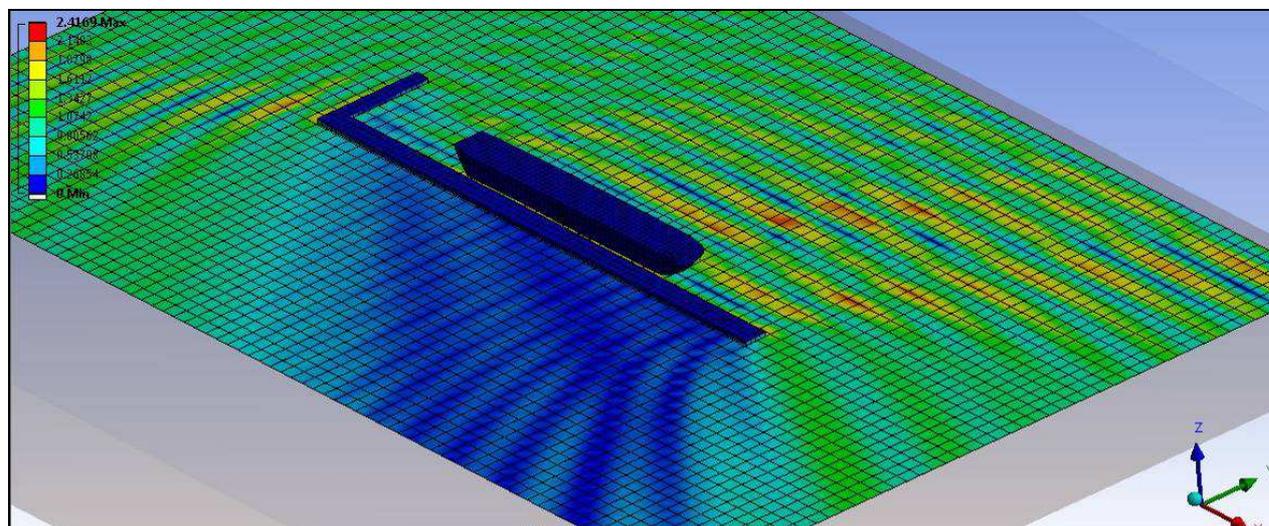


Figura 36. Esempio di modellazione dell'ormeggio.

Lo scopo dell'analisi è quello di definire il sistema di ormeggio in modo tale che i carichi massimi agenti sui componenti del sistema di ormeggio (bitte sulla diga, bitte e verricelli sulla nave, cavi e parabordi) siano entro i valori ammissibili, considerando il sistema soggetto ai carichi ambientali dovuti alle condizioni meteo marine di progetto.

Da quanto si apprende da studi pregressi, l'imboccatura della darsena è attualmente direttamente esposta a venti del IV quadrante (principalmente del settore O - NO), traversia peraltro caratterizzata da modesta agitazione ondosa.

È possibile, inoltre, la penetrazione per diffrazione di agitazione ondosa residua anche nel corso delle mareggiate dal primo quadrante con contemporanea presenza di venti trasversali alla banchina (provenienza da Bora). Tale situazione risulta considerevolmente migliorata grazie alla nuova importante opera di difesa di sopraflutto che è stata terminata.

Per lo studio saranno necessari i seguenti dati:

- CARATTERISTICHE DELLA BANCHINA E DELLA DARSENA:
 - localizzazione e caratteristiche geometriche e strutturali della banchina;
 - lunghezza della banchina;
 - quota s.l.m.m;
 - fondale attuale nella zona di ormeggio;
 - fondali medi della darsena;

- DATI METEO-MARINI:
 - *elaborazione dei dati meteo-marini disponibili e caratterizzazione idraulico marittima del paraggio;*
 - *vento registrato ed elaborati dal KNMI e dall'Istituto Idrografico della Marina;*
 - *caratterizzazione degli scenari delle azioni forzanti sui quali sono eseguite le simulazioni dinamiche;*
- CARATTERISTICHE PRINCIPALI DELLE NAVI DA ORMEGGIARE IN CONDIZIONE DI NAVE SCARICA E ASCIUTTA ("Lightship"):
 - *lunghezza fuori tutto, LOA;*
 - *lunghezza tra le perpendicolari, LPP;*
 - *larghezza, B;*
 - *altezza, D;*
 - *immersione media, T;*
 - *dislocamento;*
 - *posizione longitudinale del centro di gravità, LCG;*
 - *posizione trasversale del centro di gravità, TCG;*
 - *posizione verticale centro di gravità, VCG;*
 - *definizione della geometria dei piani di ormeggio e caratteristiche dei cavi utilizzati;*
 - *calcoli dei tiri agenti sulle diverse linee di ritenuta e caratteristiche delle stesse;*
 - *calcoli dei tiri agenti sulle bitte e caratteristiche delle stesse;*
 - *identificazione e verifica di eventuali installazioni integrative, qualora necessarie per un ormeggio in sicurezza.*

Il codice di calcolo utilizzabile è costituito da una serie di moduli integrati per l'utilizzo delle analisi associate con la valutazione del comportamento idrodinamico di strutture galleggianti marine/offshore.

A partire da tali dati si stabiliscono i layout di ormeggio e la scelta dei cavi da utilizzare, per quanto possibile, e in accordo con i requisiti dello standard OCIMF MEG3 applicabile nel caso di sistemi di ormeggio temporanei di navi ormeggiate in banchina..

La verifica del sistema sarà svolta attraverso simulazioni dinamiche nel dominio del tempo.

Il sistema sarà verificato nelle condizioni meteo marine con periodo di ritorno di 10 anni, considerando la nave soggetta a forze d'onda e di vento.

Potrebbero essere effettuate 3 simulazioni distinte dalle forzanti considerate:

1: *azione del vento, pari al valore estremo atteso, agente parallelamente e perpendicolarmente alla nave ormeggiata.*

2: *azione del mare estremo con provenienza prevalentemente da prua ;*

3: azione combinata di vento e mare con valori significativi nelle condizioni di contemporaneità più negativa;

e dalle quali, sulla base della geometria del piano di ormeggio (Figura 37) e delle caratteristiche di rigidità dei cavi (Figura 38 e Figura 39), sono estrapolati gli output seguenti:

- spostamenti e rotazioni del centro di gravità della nave nei sei gradi di libertà (x, y, z, r_x, r_y, r_z);
- tensioni sui cavi di ormeggio delle navi e ripartizioni dei tiri sulle linee di ritenuta (Figura 40 e Figura 41);
- carichi sui parabordi ($P1, P2, \dots$).

Le condizioni del moto ondoso (esterno ed interno porto) effettuato allo scopo di definire le caratteristiche delle onde in prossimità della banchina in oggetto, sono ricavabili dai dati meteo marini forniti dall'Università di Ancona e del Piano di Sviluppo del Porto. Pertanto, potrebbero essere considerate come input le predette condizioni del vento e del moto ondoso nell'area in esame (modellate con codice di calcolo) al fine di valutare l'agitazione ondosa residua e gli eventuali effetti di risacca nella zona delle banchine in oggetto.

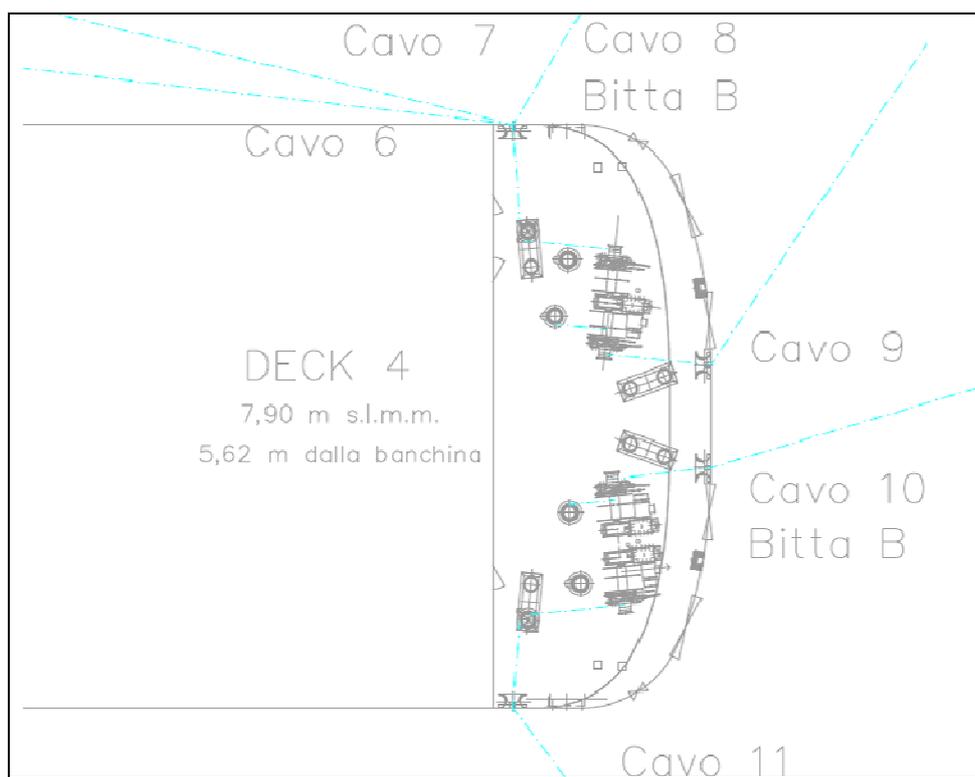


Figura 37. Esempio di geometria del piano di ormeggio.

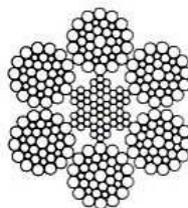


Figura 38. Esempio di sezione di un cavo.

CARATTERISTICHE DEI CAVI IN ACCIAIO - Endurance DYFORM 6		
Diametro	30	mm
n. dei Fili	216	-
Materiale	Acciaio Zincato	-
Peso	4,13	Kg/m
Rigidità	49	MN
Sezione	474	mm
Carico di Rottura	82,4	t

Figura 39. e caratteristiche dei cavi.

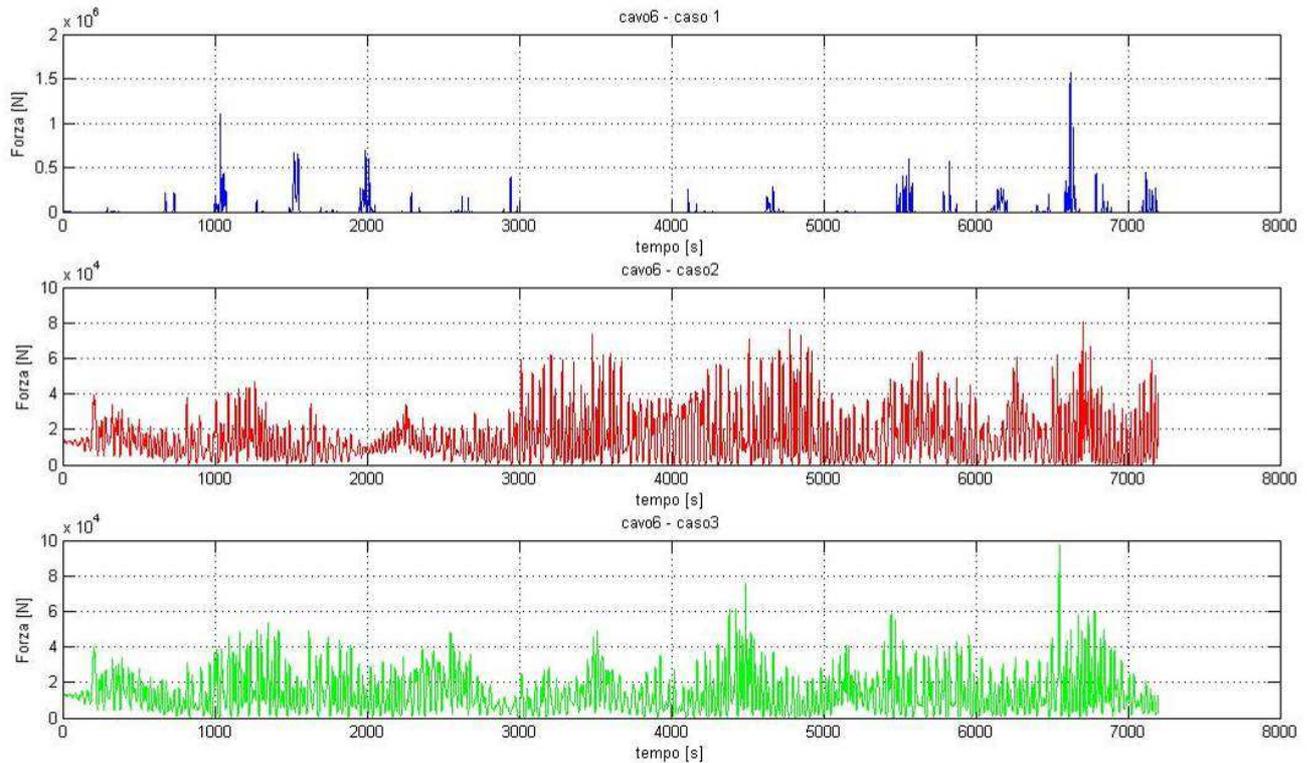


Figura 40. Esempio di grafici rappresentati la forza agente sul cavo di ormeggio.

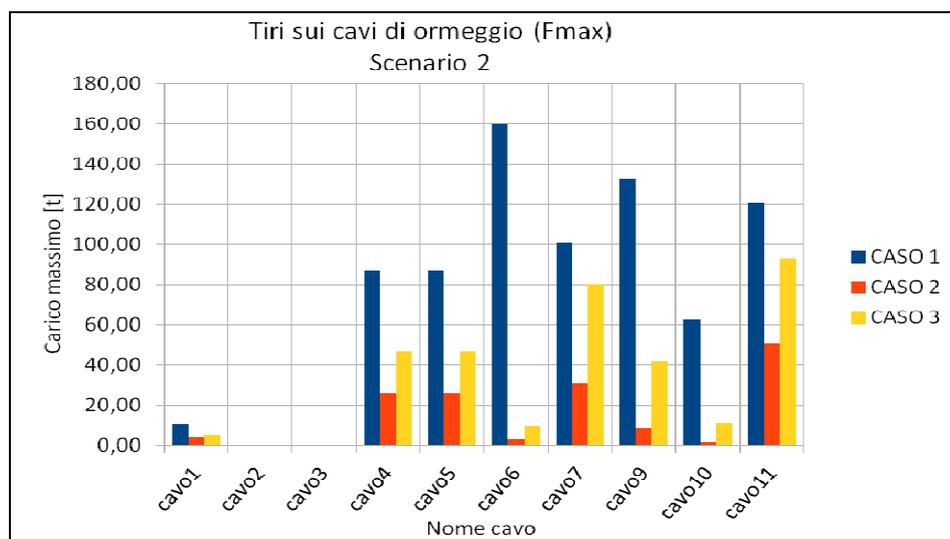


Figura 41. Grafico dei tiri sui cavi di ormeggio.

APPENDICE

CONFIGURAZIONE ATTUALE MOLO NORD

Simulazioni con periodo di picco pari a $TP=7.5s$

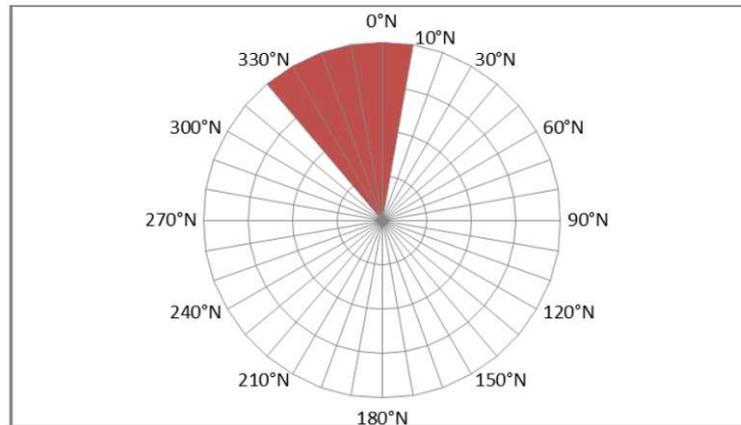


Figura 42. Schema con le direzioni ondose di provenienza considerate (320°N - 330°N - 340°N - 350°N - 0°N - 10°N) per il periodo di picco pari a $TP=7.5s$.

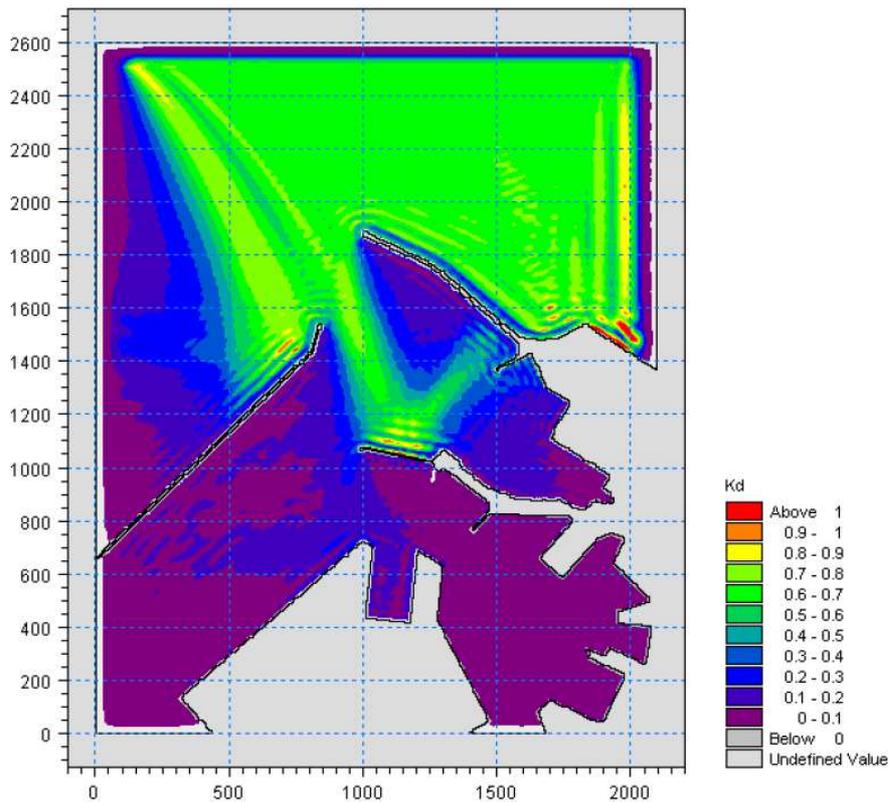


Figura 43. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 320°N con periodo $TP=7.5s$ nella zona portuale di Ancona per la configurazione attuale del Molo Nord.

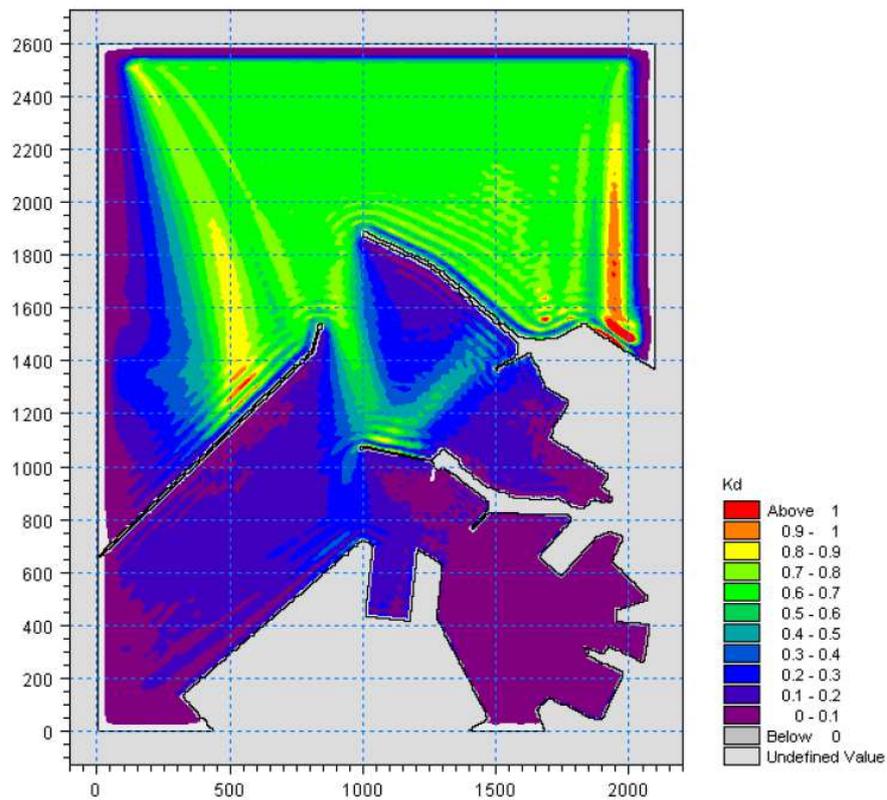


Figura 44. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 330°N con periodo TP=7.5s nella zona portuale di Ancona per la configurazione attuale del Molo Nord.

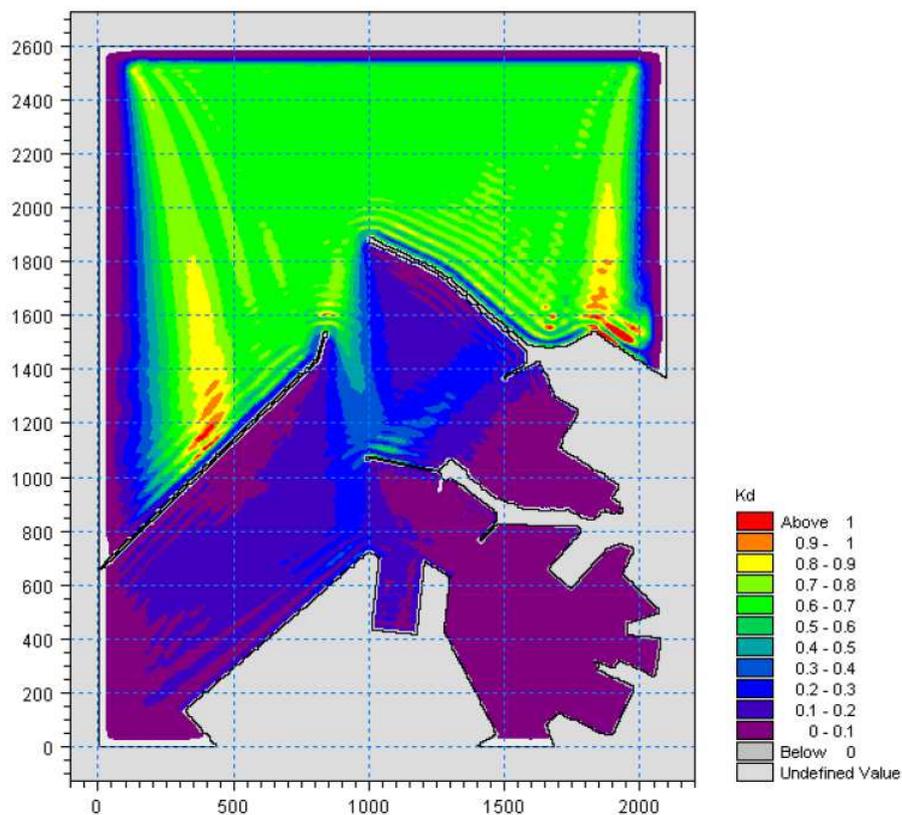


Figura 45. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 340°N con periodo TP=7.5s nella zona portuale di Ancona per la configurazione attuale del Molo Nord.

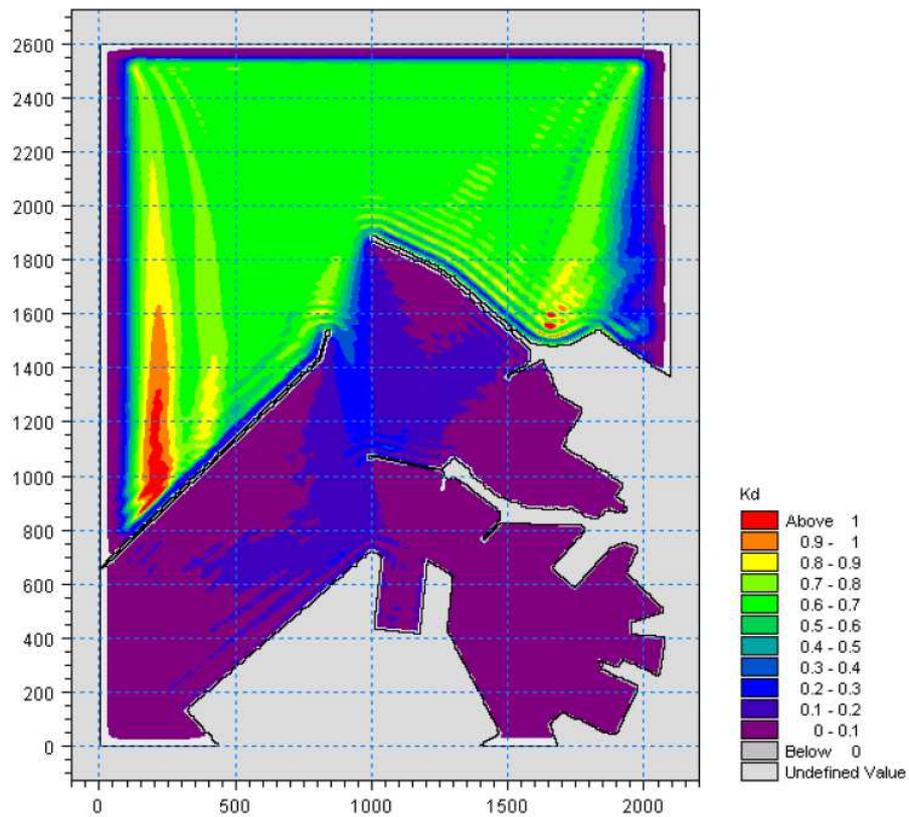


Figura 46. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 350°N con periodo TP=7.5s nella zona portuale di Ancona per la configurazione attuale del Molo Nord.

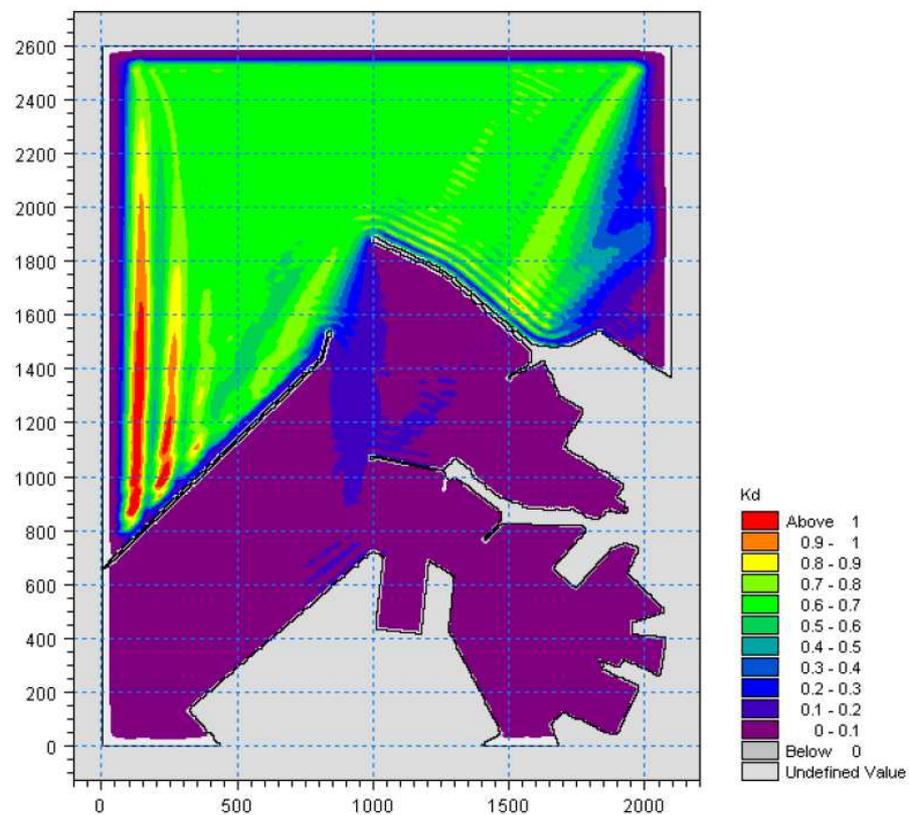


Figura 47. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 0°N con periodo TP=7.5s nella zona portuale di Ancona per la configurazione attuale del Molo Nord.

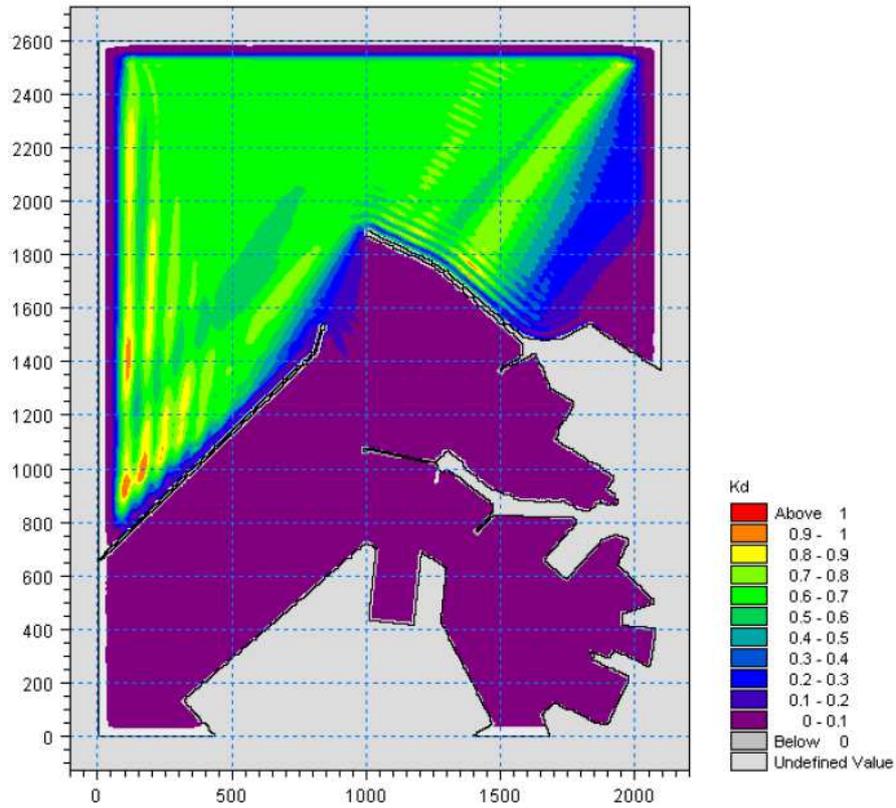


Figura 48. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 10°N con periodo TP=7.5s nella zona portuale di Ancona per la configurazione attuale del Molo Nord.

Simulazioni con periodo di picco pari a TP =9.0s

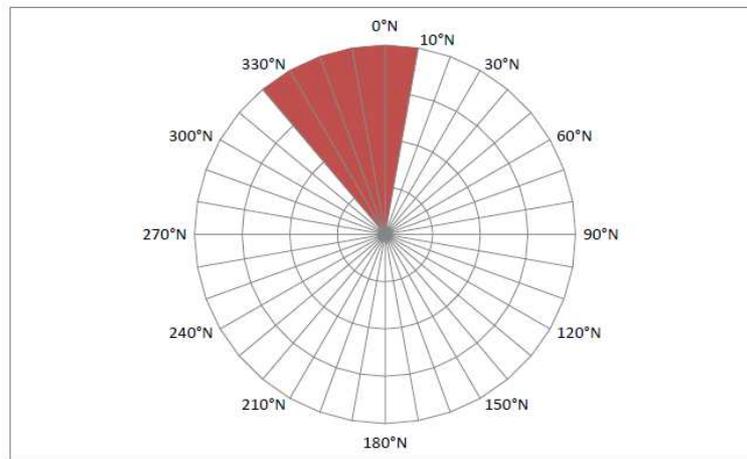


Figura 49. Schema con le direzioni ondose di provenienza considerate (320°N - 330°N - 340°N - 350°N - 0°N - 10°N) per il periodo di picco TP=9s.

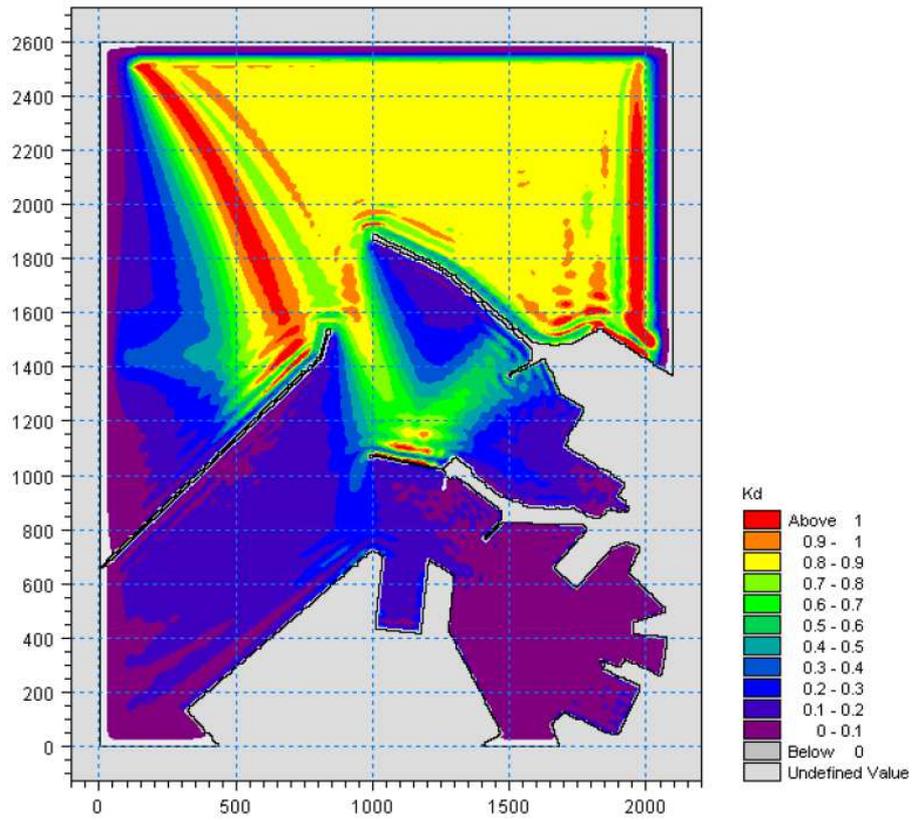


Figura 50. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 320°N conVperiodo TP=9s nella zona portuale di Ancona per la configurazione attuale del Molo Nord.

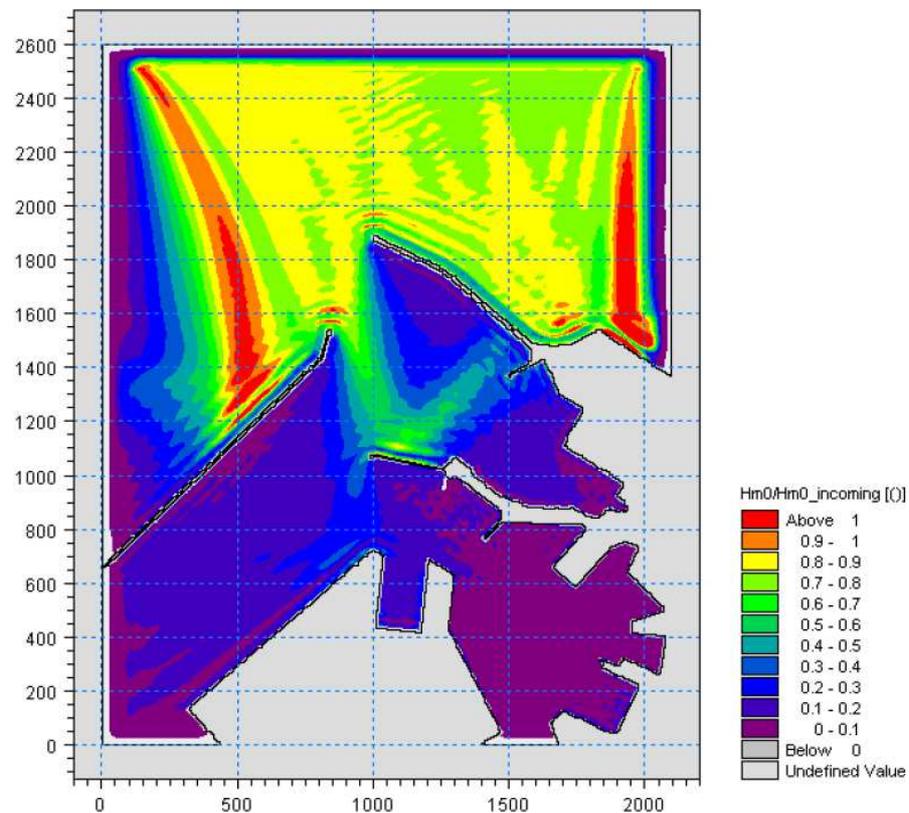


Figura 51. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 330°N con periodo TP=9s nella zona portuale di Ancona per la configurazione attuale del Molo Nord.

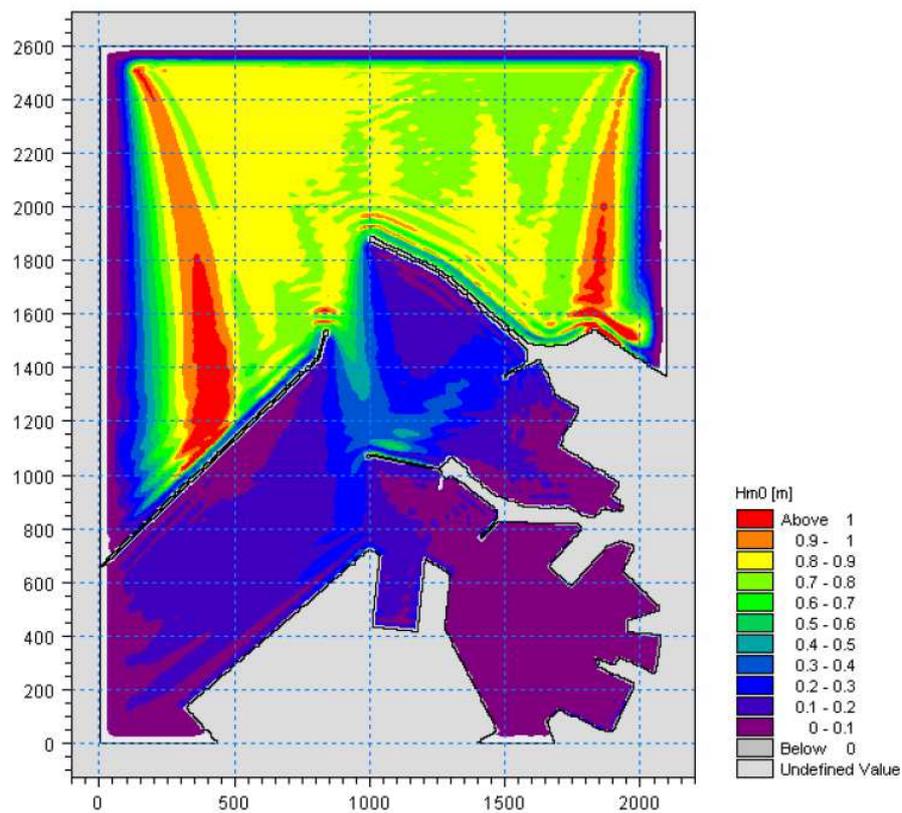


Figura 52. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 340°N con periodo $TP=9s$ nella zona portuale di Ancona per la configurazione attuale del Molo Nord.

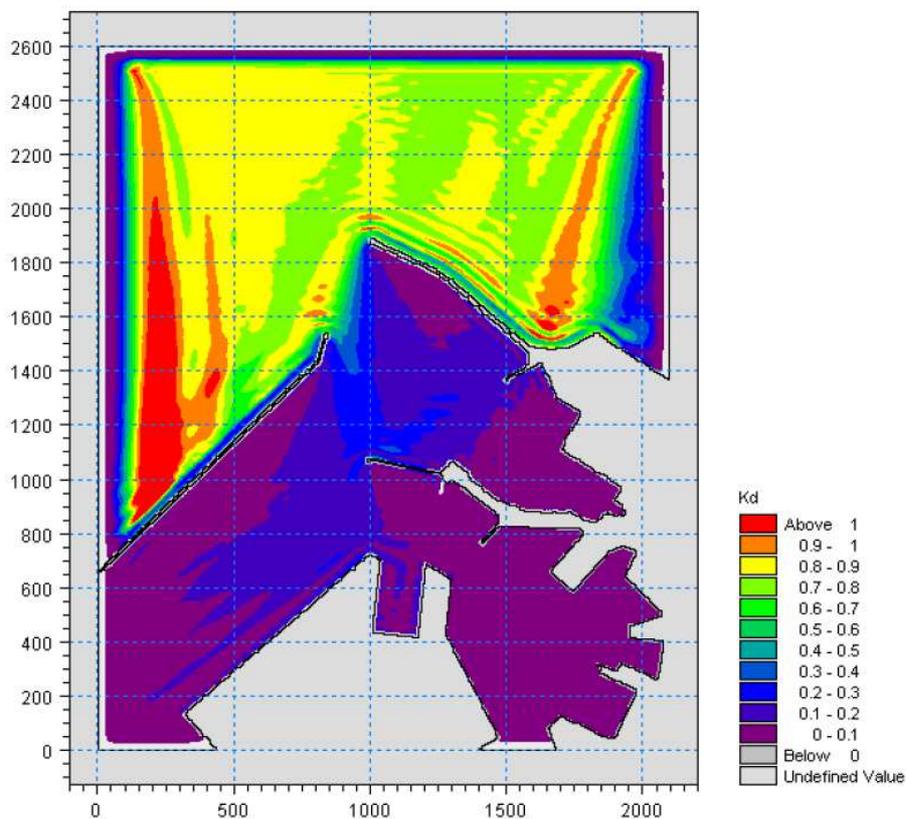


Figura 53. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 350°N con periodo $TP=9s$ nella zona portuale di Ancona per la configurazione attuale del Molo Nord.

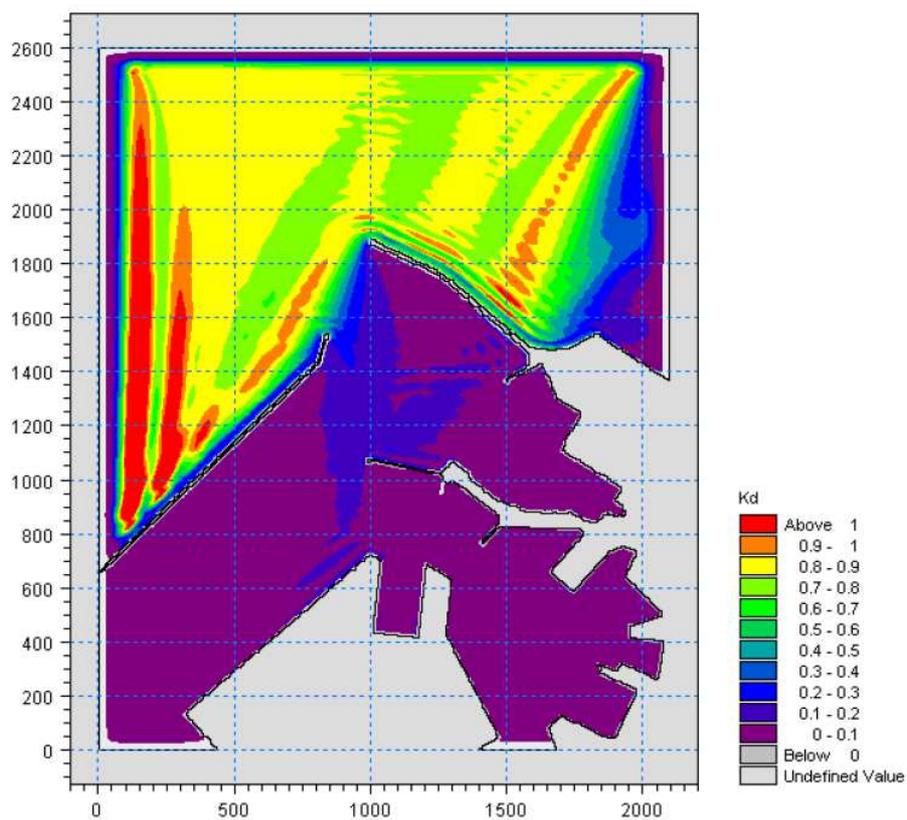


Figura 54. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 0°N con periodo TP=9s nella zona portuale di Ancona per la configurazione attuale del Molo Nord.

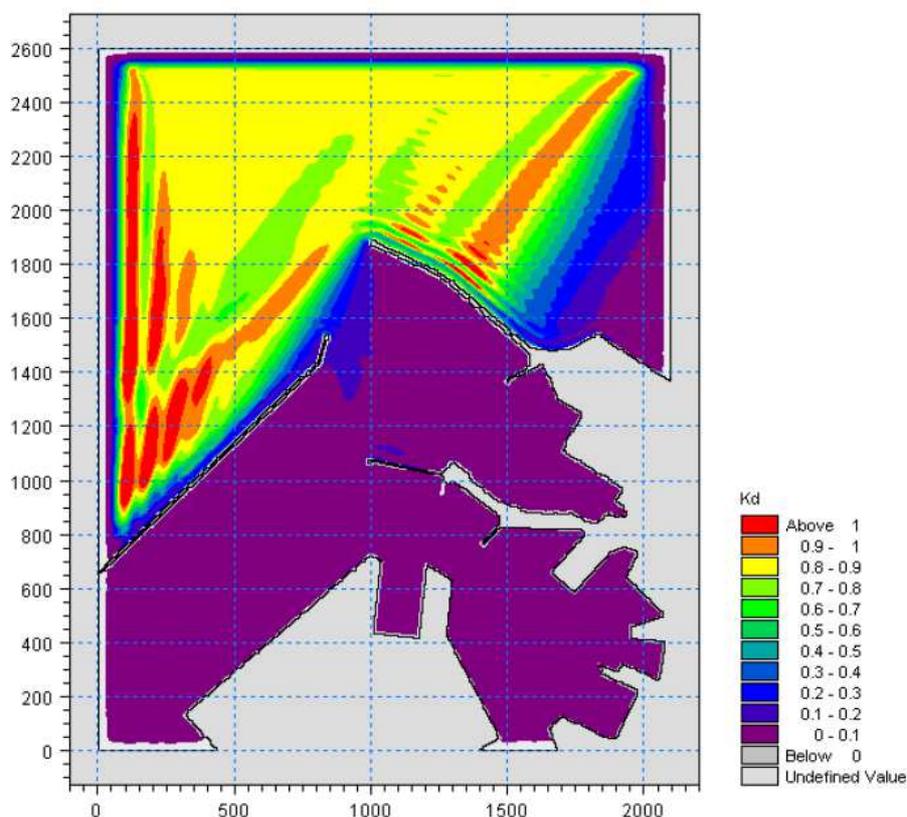


Figura 55. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 10°N con periodo TP=9s nella zona portuale di Ancona per la configurazione attuale del Molo Nord.

Simulazioni con periodo di picco pari a TP=10.5s

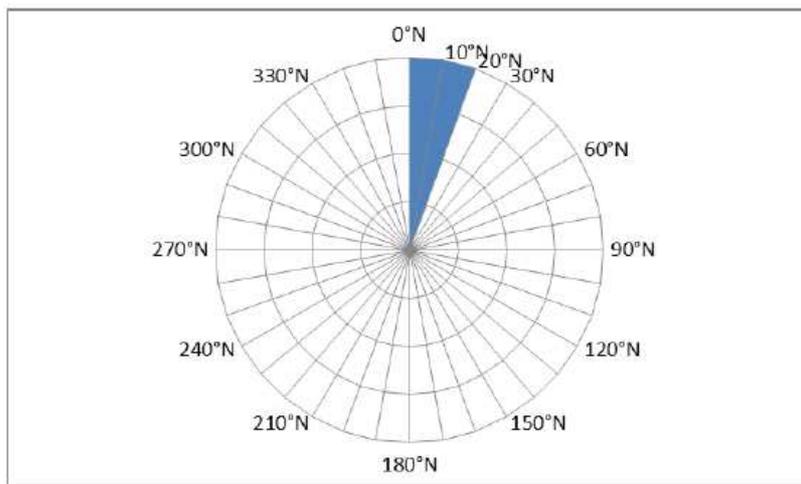


Figura 56. Schema con le direzioni ondose di provenienza considerate (0°N – 10°N – 20°N) per il periodo di picco TP=10.5s.

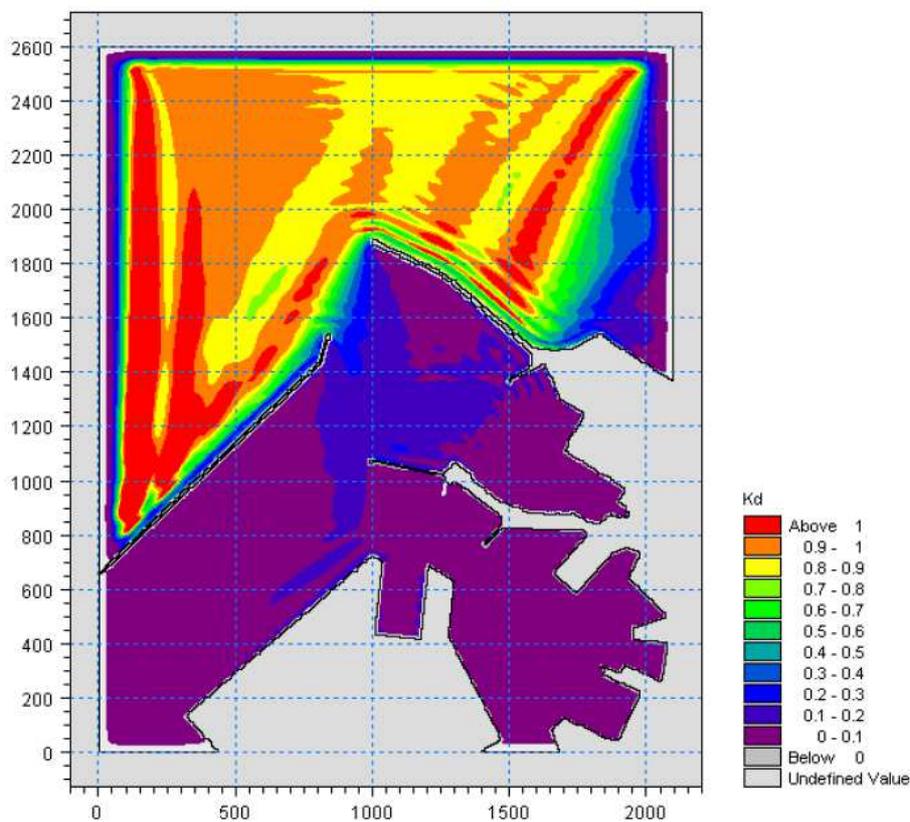


Figura 57. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 0°N con periodo TP=10.5s nella zona portuale di Ancona per la configurazione attuale del Molo Nord.

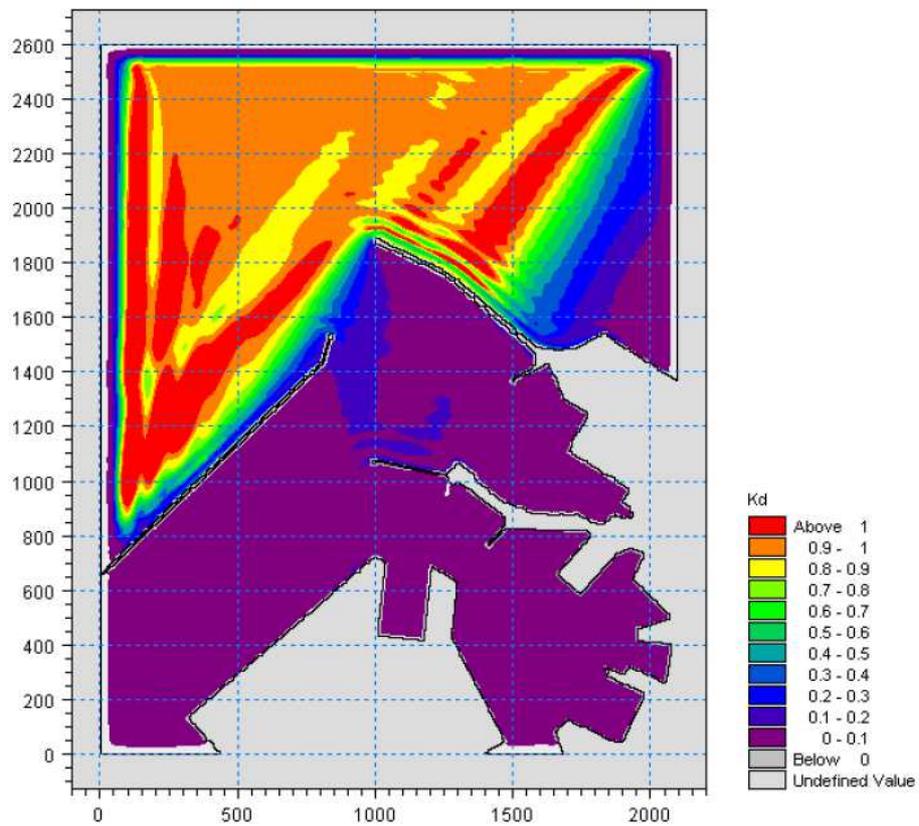


Figura 58. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 10°N con periodo TP=10.5s nella zona portuale di Ancona per la configurazione attuale del Molo Nord.

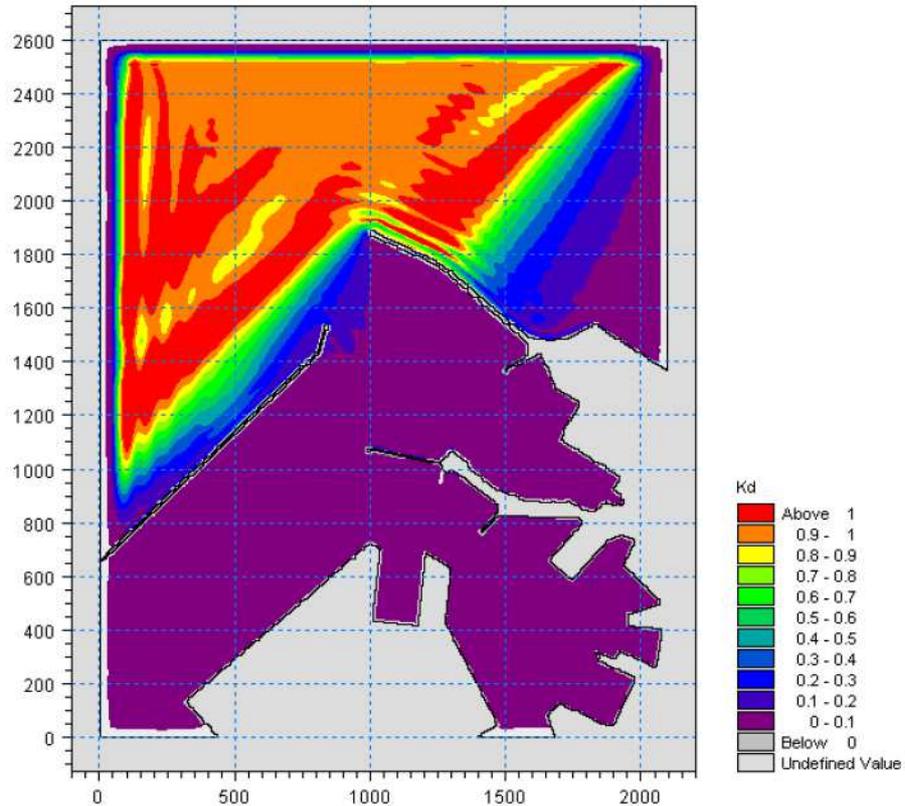


Figura 59. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 20°N con periodo TP=10.5s nella zona portuale di Ancona per la configurazione attuale del Molo Nord.

Simulazioni con periodo di picco pari a TP=12s

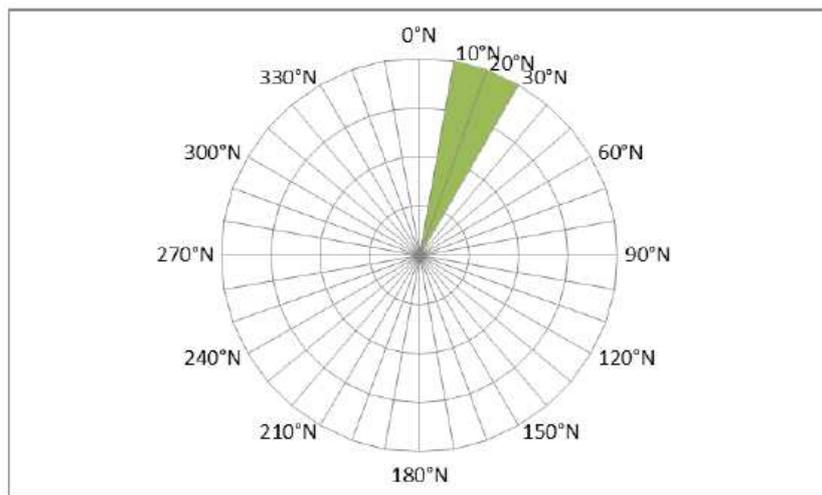


Figura 60. Schema con le direzioni ondose di provenienza considerate (10°N – 20°N - 30°N) per il periodo di picco TP=12s.

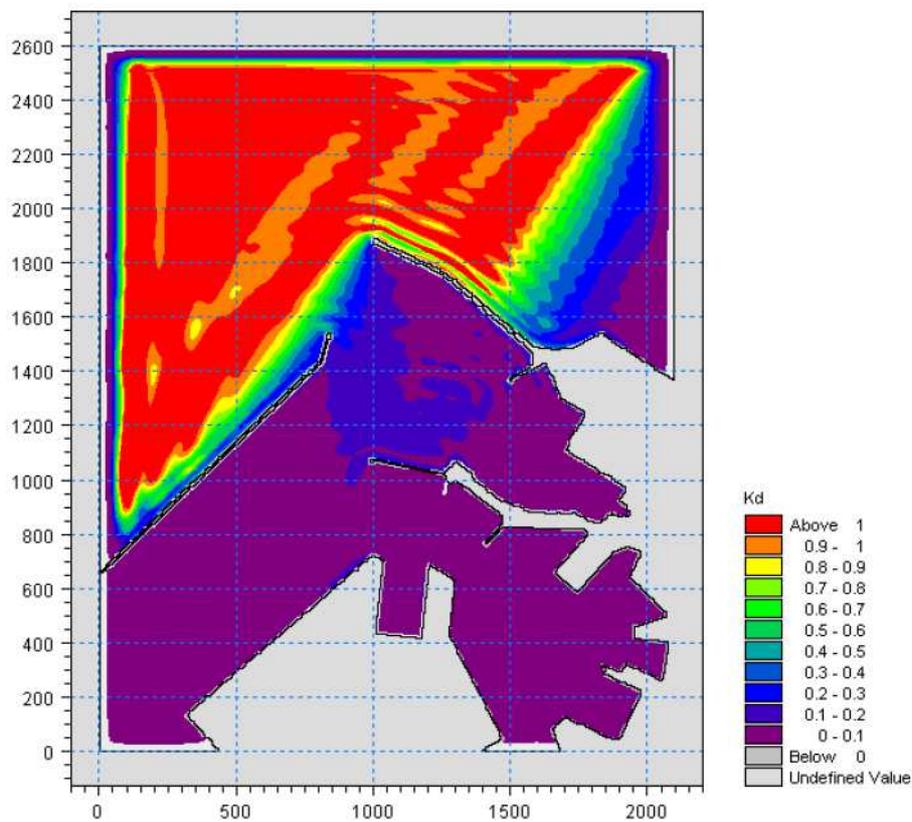


Figura 61. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 10°N con periodo TP=12s nella zona portuale di Ancona per la configurazione attuale del Molo Nord.

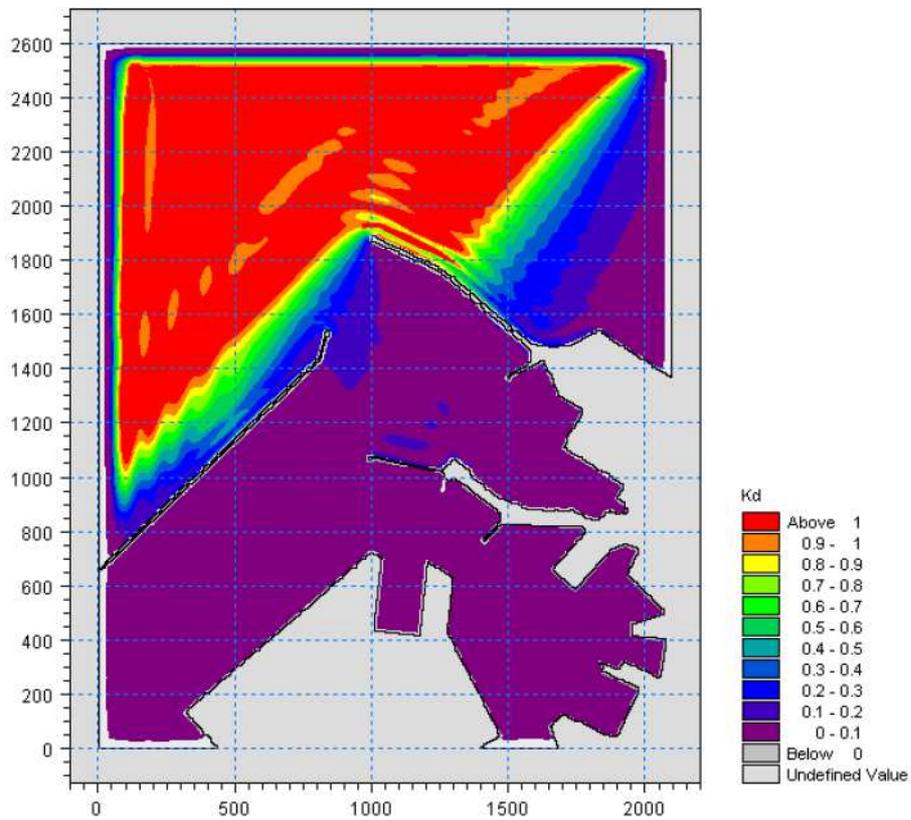


Figura 62. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 20°N con periodo TP=12s nella zona portuale di Ancona per la configurazione attuale del Molo Nord.

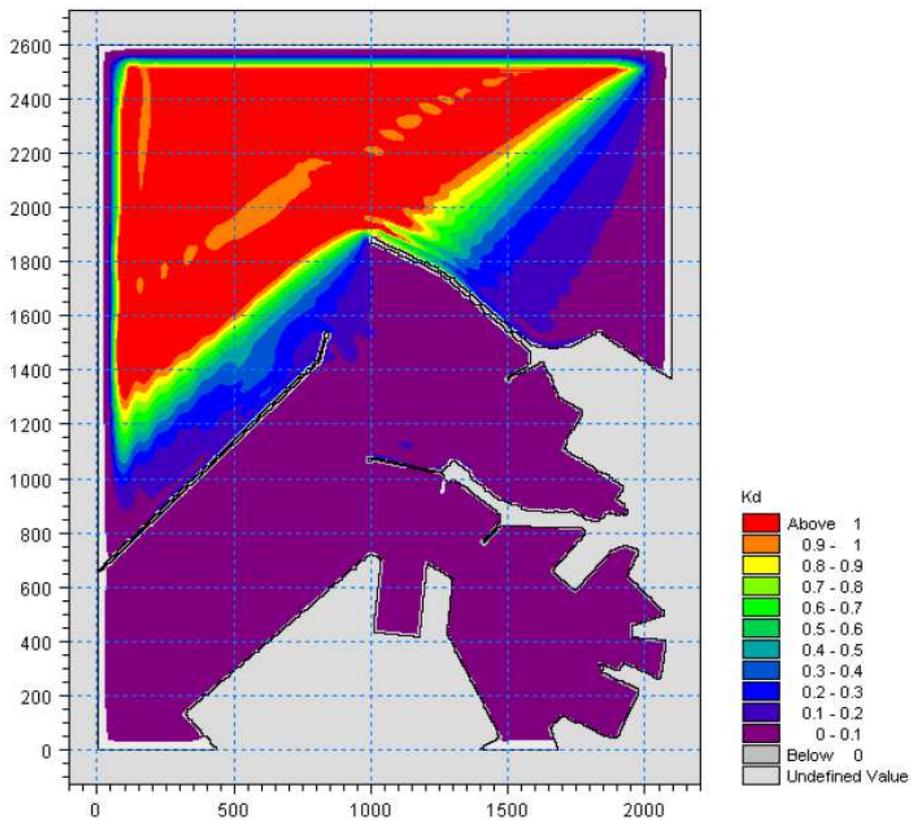


Figura 63. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 30°N con periodo TP=12s nella zona portuale di Ancona per la configurazione attuale del Molo Nord.

Simulazioni con periodo di picco pari a $TP=30s$

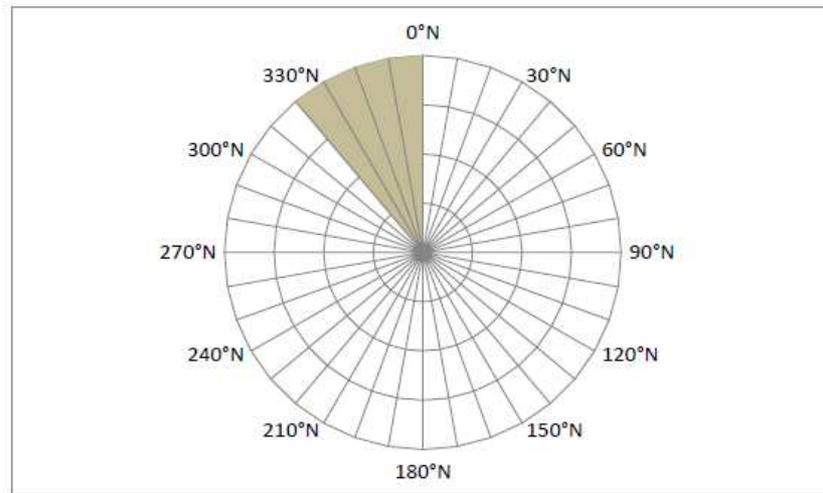


Figura 64. Schema con le direzioni ondose di provenienza considerate ($330^{\circ}N - 0^{\circ}N$) per il periodo di picco $TP=30s$.

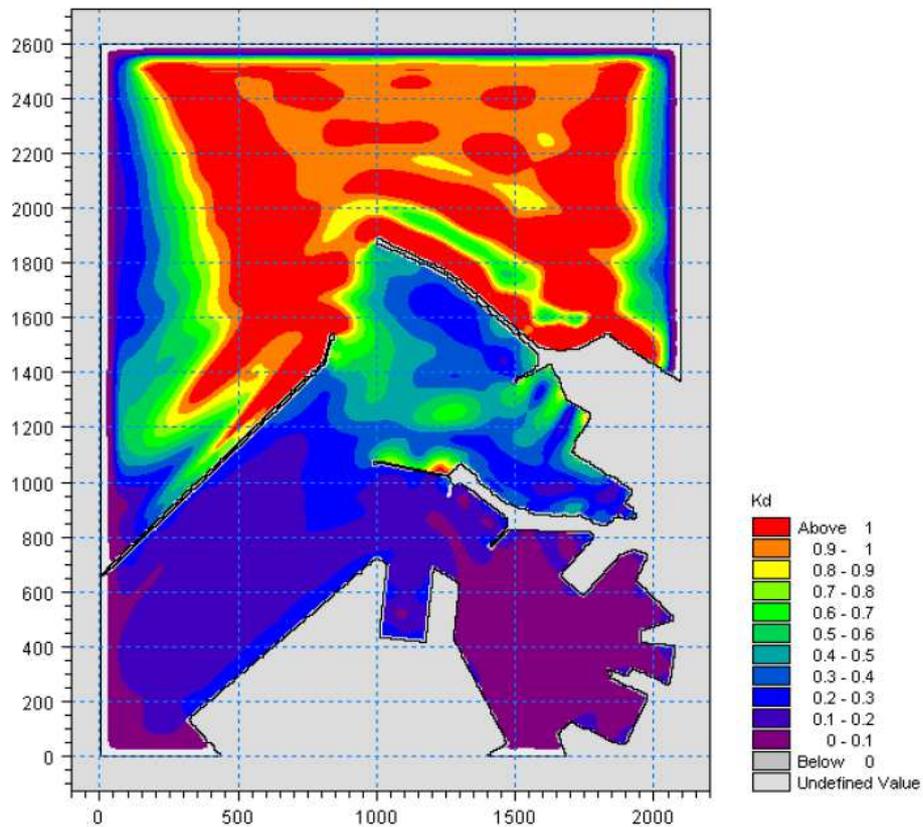


Figura 65. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da $330^{\circ}N$ con periodo $TP=30s$ nella zona portuale di Ancona per la configurazione attuale del Molo Nord.

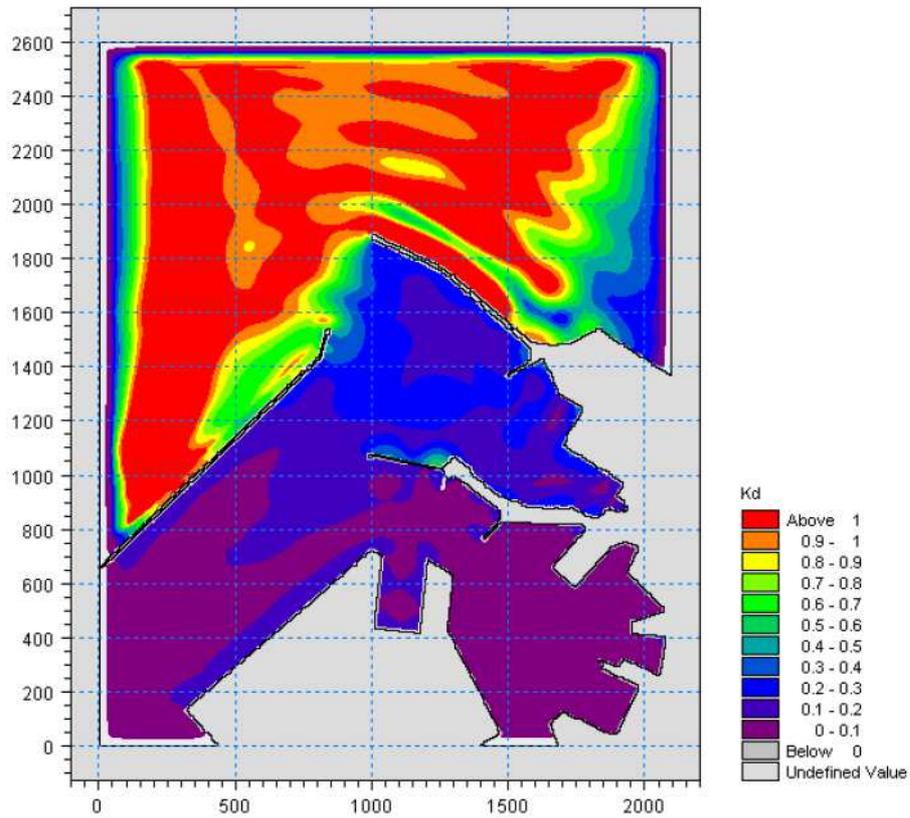


Figura 66. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 0°N con periodo TP=30s nella zona portuale di Ancona per la configurazione attuale del Molo Nord.

CONFIGURAZIONE CON PARZIALE DEMOLIZIONE (100M) DEL MOLO NORD

Simulazioni con periodo di picco pari a TP=7.5s

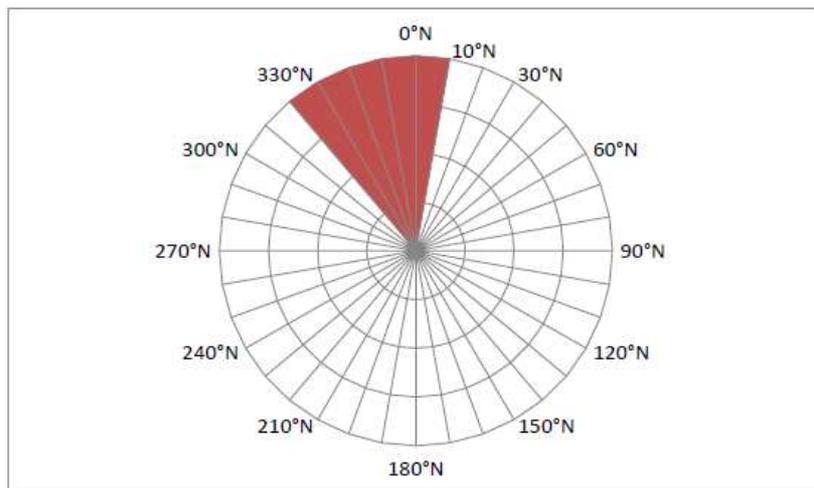


Figura 67. Schema con le direzioni ondose di provenienza considerate (320°N - 330°N - 340°N - 350°N - 0°N - 10°N) per il periodo di picco TP=7.5s.

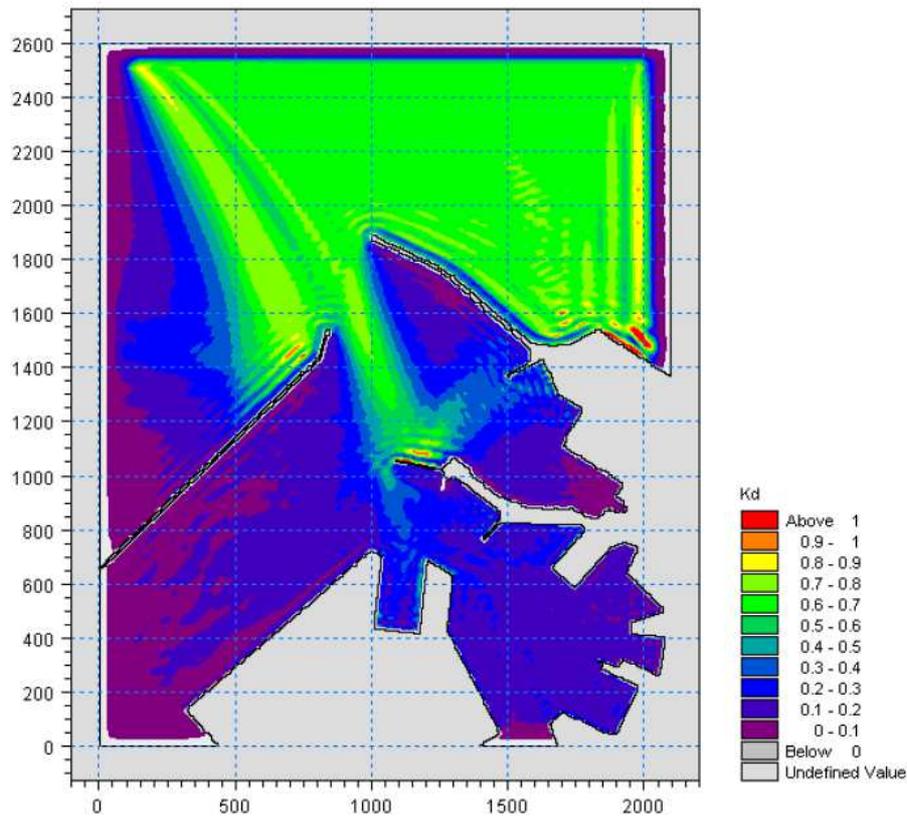


Figura 68. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 320°N con periodo TP=7.5s nella zona portuale di Ancona per la configurazione con parziale demolizione (100m) del Molo Nord.

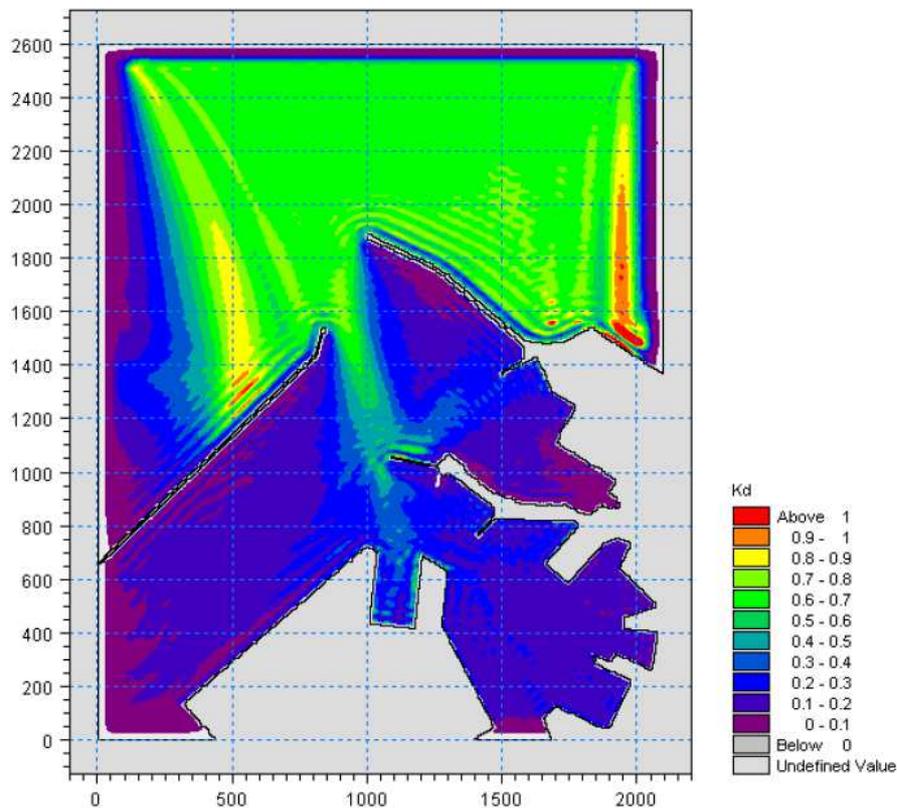


Figura 69. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 330°N con periodo TP=7.5s nella zona portuale di Ancona per la configurazione con parziale demolizione (100m) del Molo Nord.

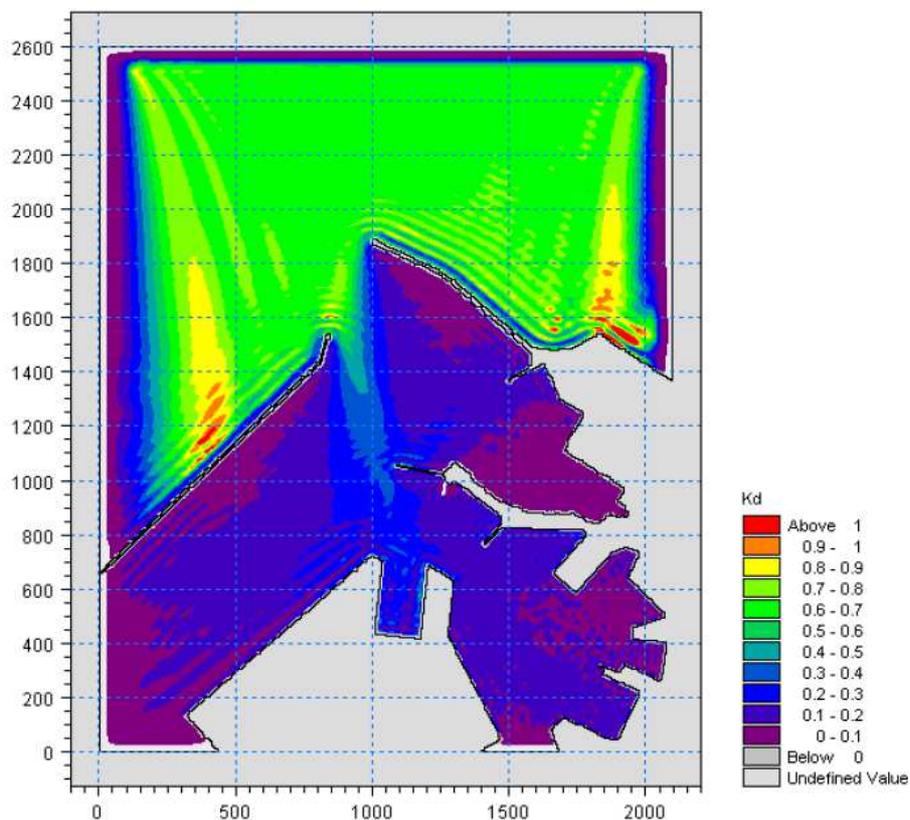


Figura 70. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 340°N con periodo TP=7.5s nella zona portuale di Ancona per la configurazione con parziale demolizione (100m) del Molo Nord.

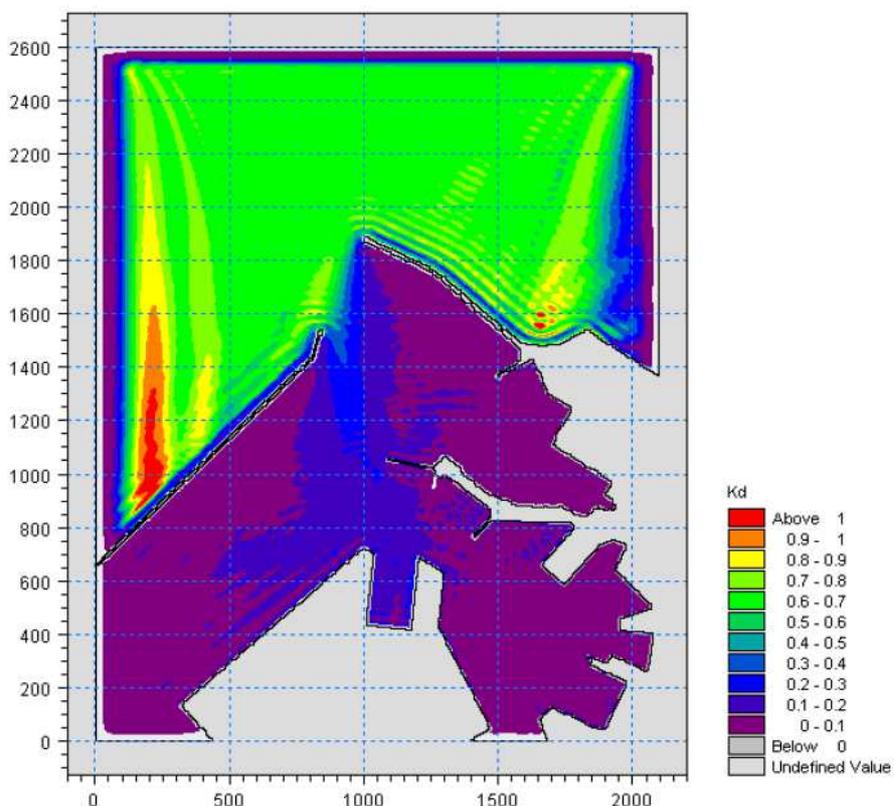


Figura 71. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 350°N con periodo TP=7.5s nella zona portuale di Ancona per la configurazione con demolizione del Molo Nord (100m) e parziale realizzazione della diga di sottoflutto (assenza tratto terminale inclinato).

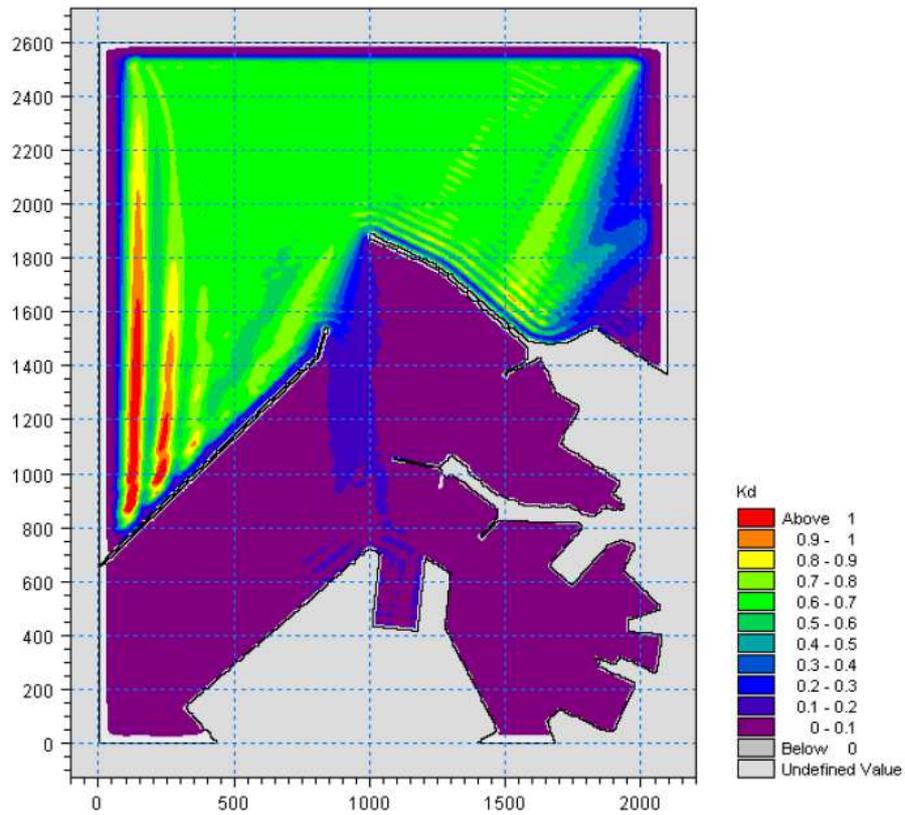


Figura 72. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 0°N con periodo TP=7.5s nella zona portuale di Ancona per la configurazione con demolizione del Molo Nord (100m) e parziale realizzazione della diga di sottoflutto (assenza tratto terminale inclinato).

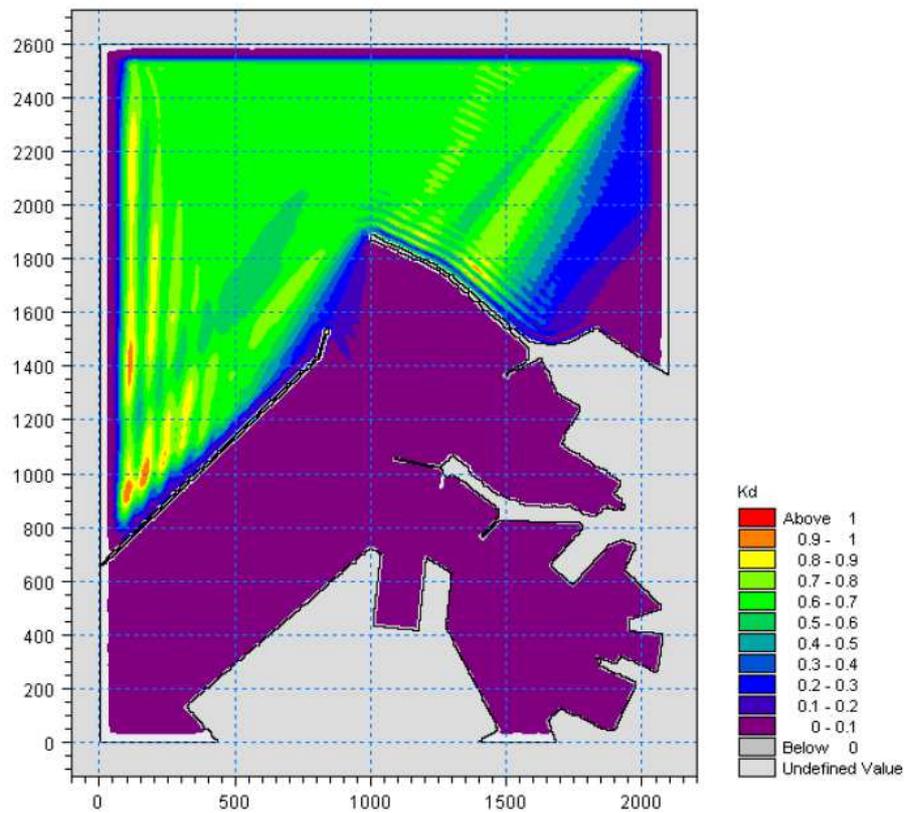


Figura 73. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 10°N con periodo TP=7.5s nella zona portuale di Ancona per la configurazione con parziale demolizione (100m) del Molo Nord.

Simulazioni con periodo di picco pari a $TP=9s$

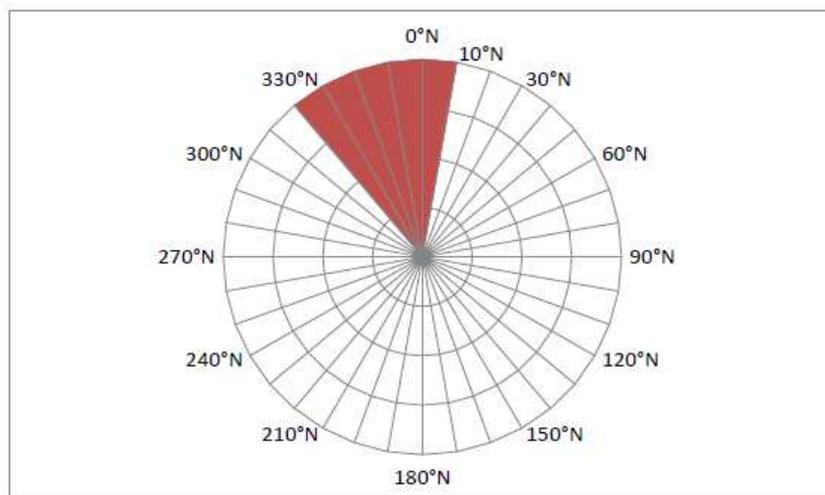


Figura 74. Schema con le direzioni ondose di provenienza considerate (320°N - 330°N - 340°N - 350°N - 0°N - 10°N) per il periodo di picco $TP=9s$.

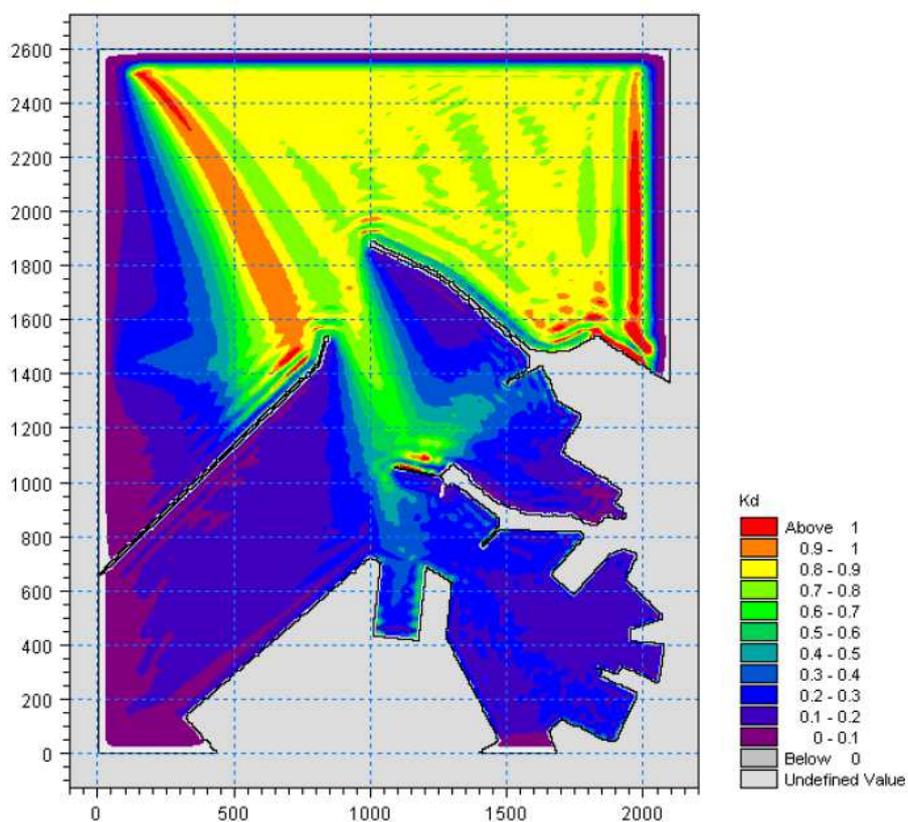


Figura 75. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 320°N con periodo $TP=9s$ nella zona portuale di Ancona per la configurazione con demolizione del Molo Nord (100m) e parziale realizzazione della diga di sottoflutto (assenza tratto terminale inclinato).

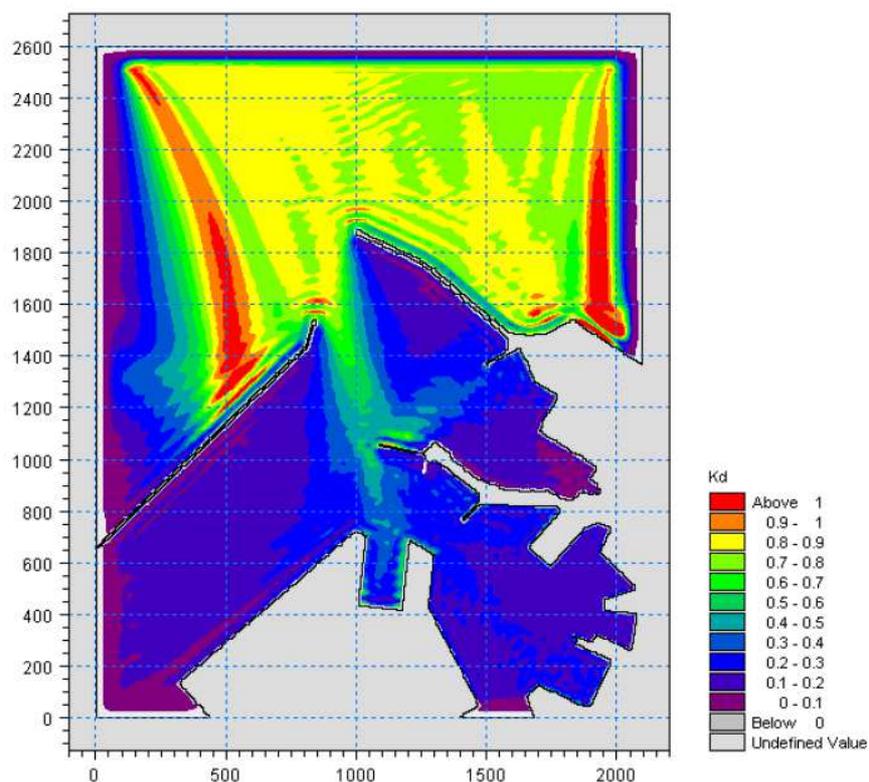


Figura 76. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 330°N con periodo TP=9s nella zona portuale di Ancona per la configurazione con demolizione del Molo Nord (100m) e parziale realizzazione della diga di sottoflutto (assenza tratto terminale inclinato).

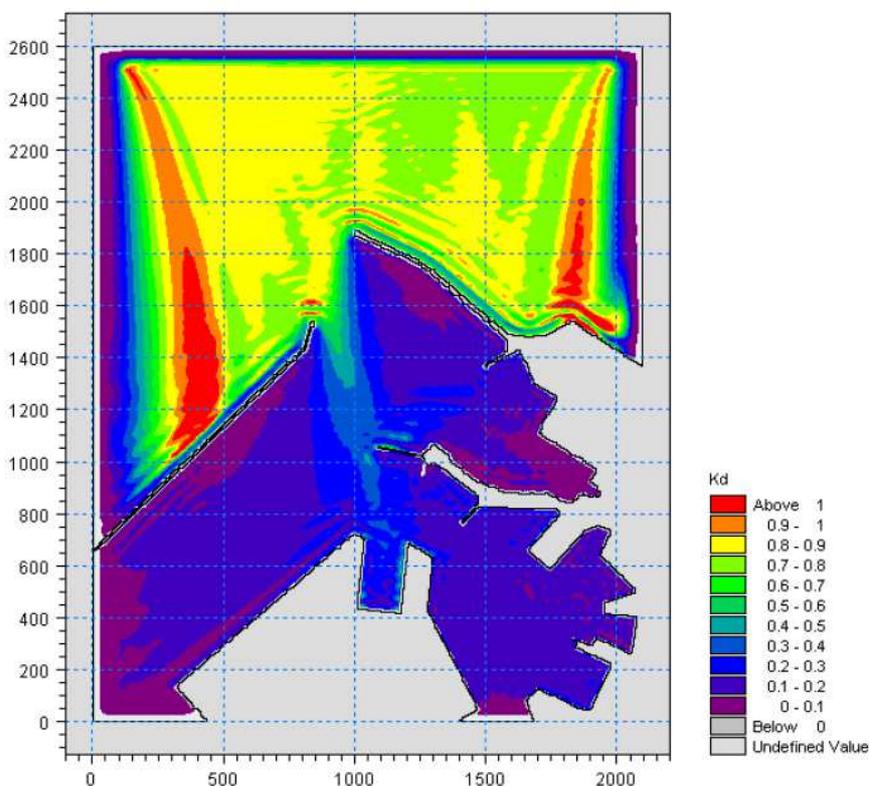


Figura 77. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 340°N con periodo TP=9s nella zona portuale di Ancona per la configurazione con demolizione del Molo Nord (100m) e parziale realizzazione della diga di sottoflutto (assenza tratto terminale inclinato).

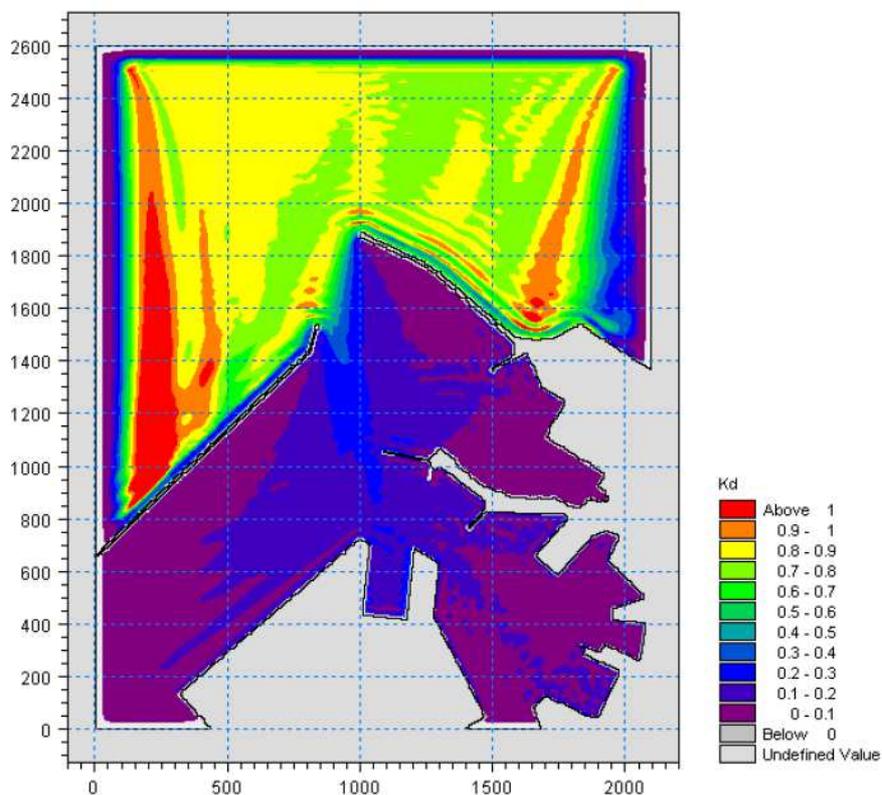


Figura 78. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 350°N con periodo TP=9s nella zona portuale di Ancona per la configurazione con demolizione del Molo Nord (100m) e parziale realizzazione della diga di sottoflutto (assenza tratto terminale inclinato).

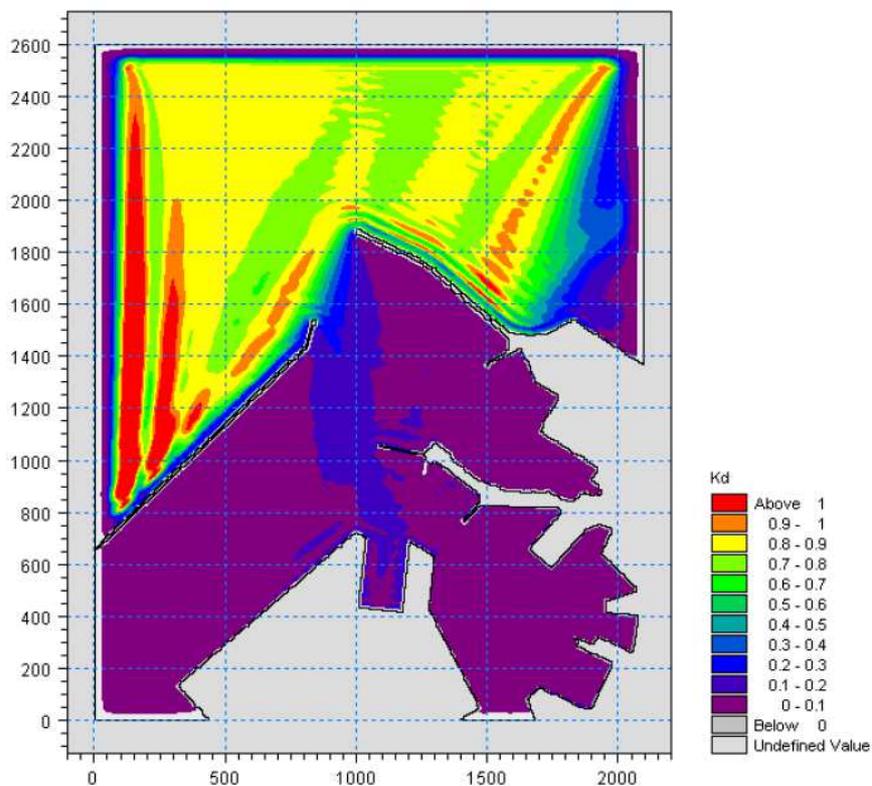


Figura 79. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 0°N con periodo TP=9s nella zona portuale di Ancona per la configurazione con demolizione del Molo Nord (100m) e parziale realizzazione della diga di sottoflutto (assenza tratto terminale inclinato).

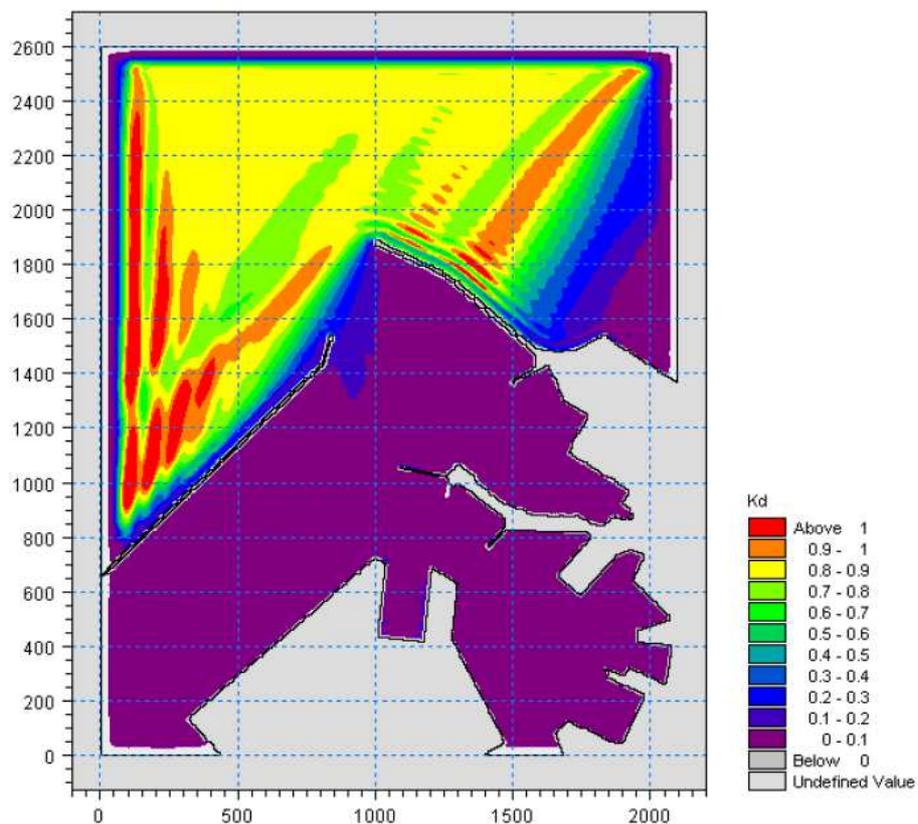


Figura 80. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 10°N con periodo TP=9s nella zona portuale di Ancona per la configurazione con demolizione del Molo Nord (100m) e parziale realizzazione della diga di sottoflutto (assenza tratto terminale inclinato).

Simulazioni con periodo di picco pari a TP=10.5s

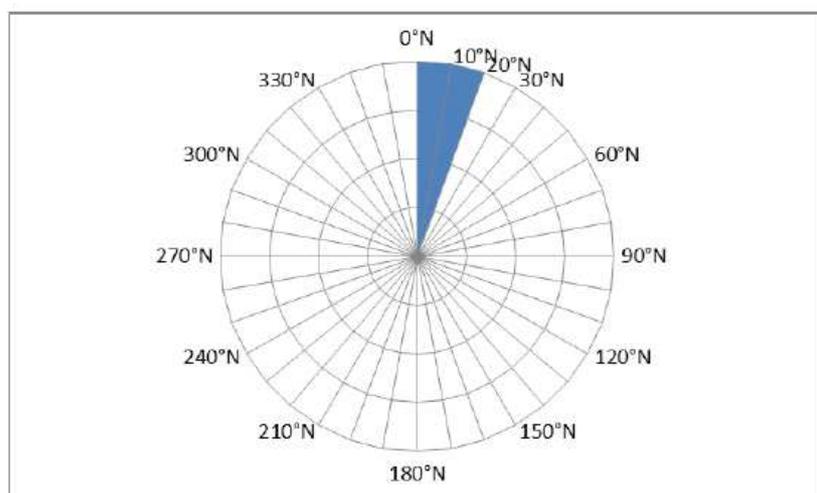


Figura 81. Schema con le direzioni ondose di provenienza considerate (0°N – 10° N - 20°N) per il periodo di picco TP=10.5s.

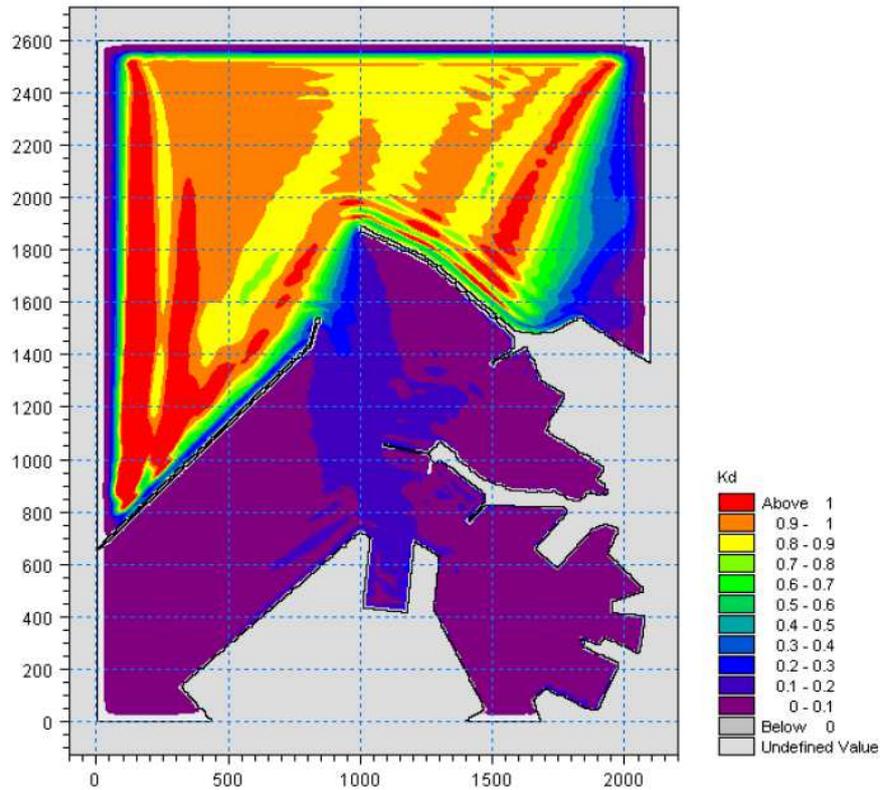


Figura 82. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 0°N con periodo TP=10.5s nella zona portuale di Ancona per la configurazione con demolizione del Molo Nord (100m) e parziale realizzazione della diga di sottoflutto (assenza tratto terminale inclinato).

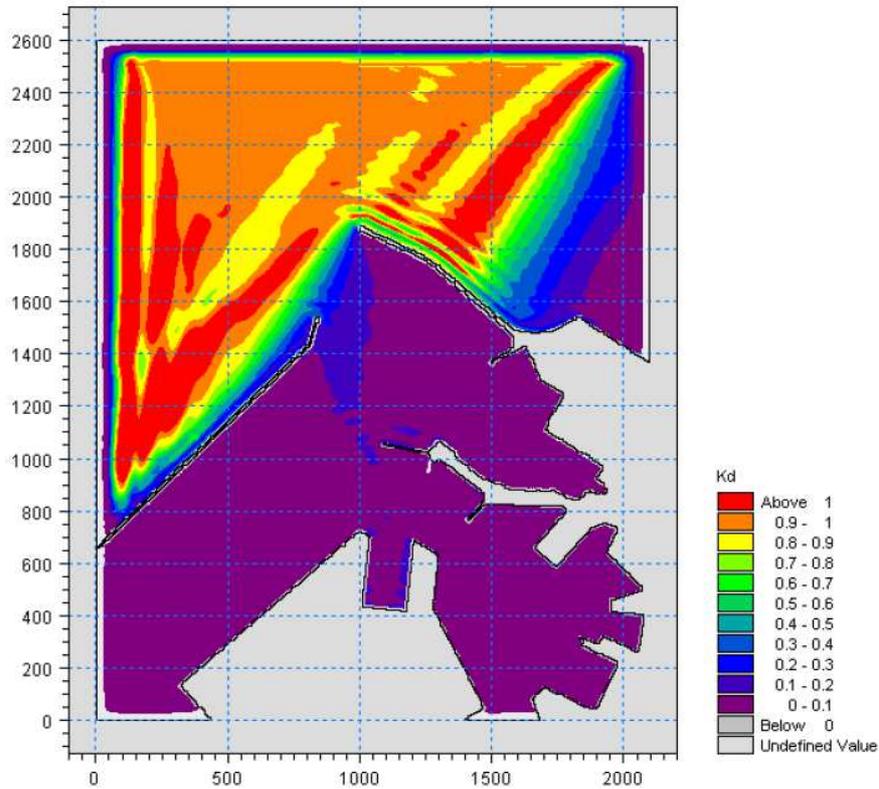


Figura 83. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 10°N con periodo TP=10.5s nella zona portuale di Ancona per la configurazione con demolizione del Molo Nord (100m) e parziale realizzazione della diga di sottoflutto (assenza tratto terminale inclinato).

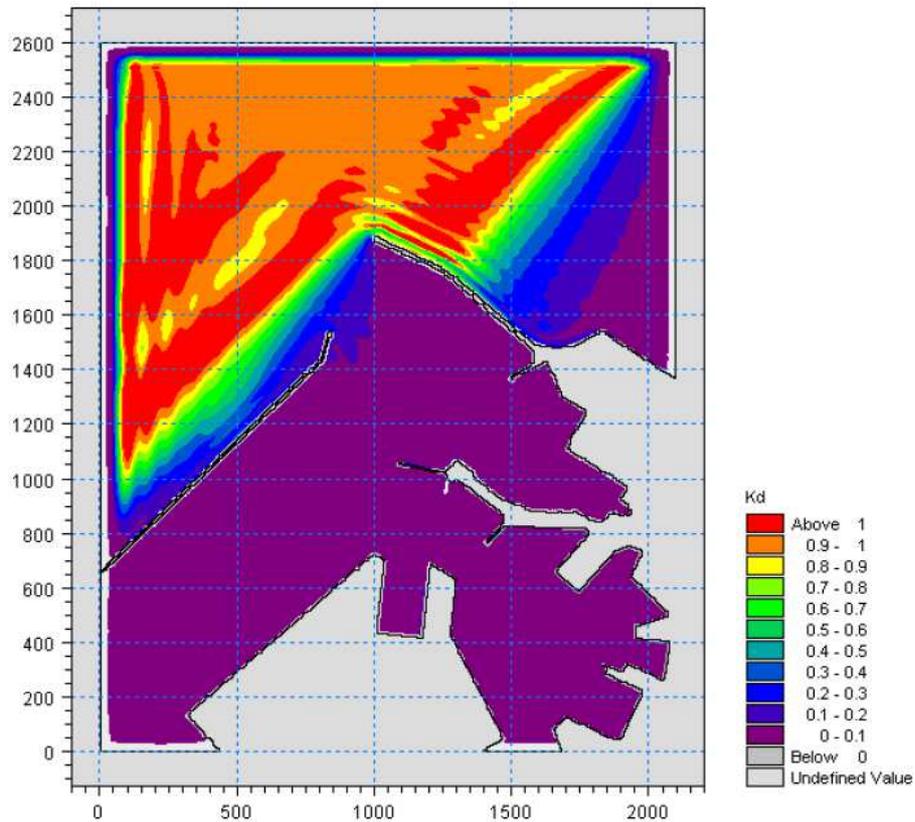


Figura 84. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 20°N con periodo TP=10.5s nella zona portuale di Ancona per la configurazione con demolizione del Molo Nord (100m) e parziale realizzazione della diga di sottoflutto (assenza tratto terminale inclinato).

Simulazioni con periodo di picco pari a TP=12s

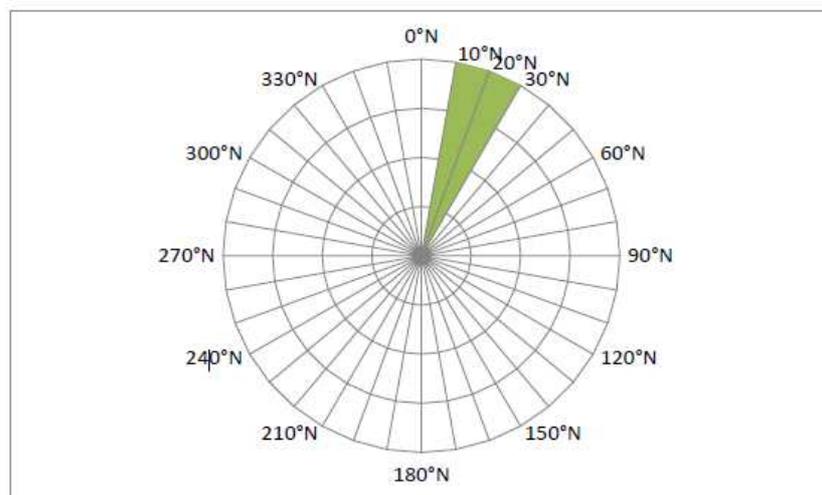


Figura 85. Schema con le direzioni ondose di provenienza considerate (10°N – 20°N - 30°N) per il periodo di picco TP=12s

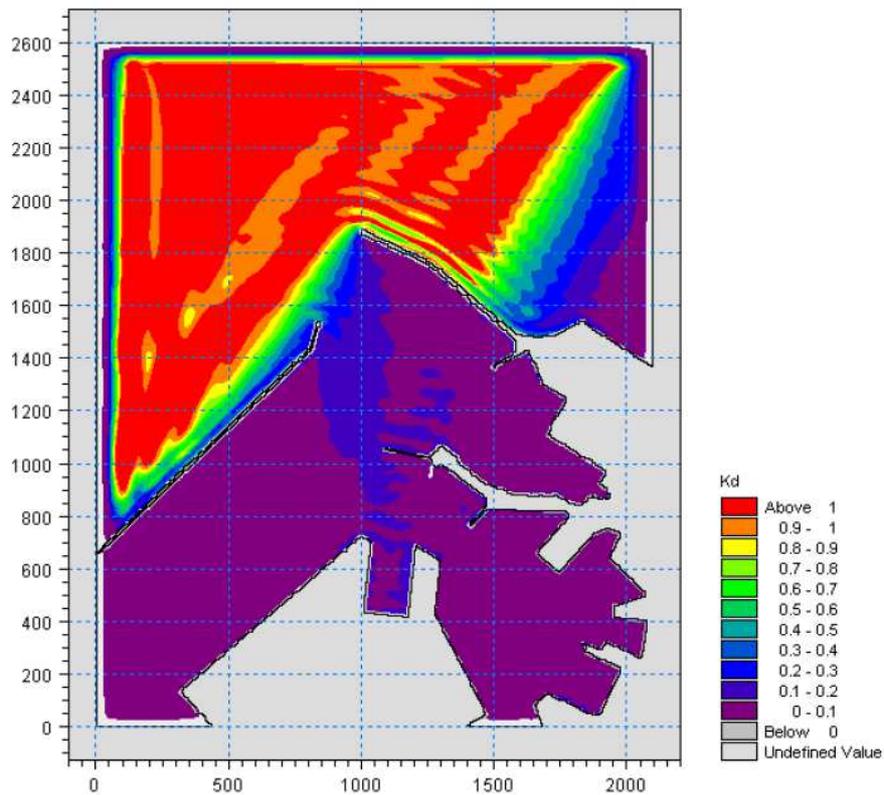


Figura 86. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 10°N con periodo TP=12s nella zona portuale di Ancona per la configurazione con demolizione del Molo Nord (100m) e parziale realizzazione della diga di sottoflutto (assenza tratto terminale inclinato).

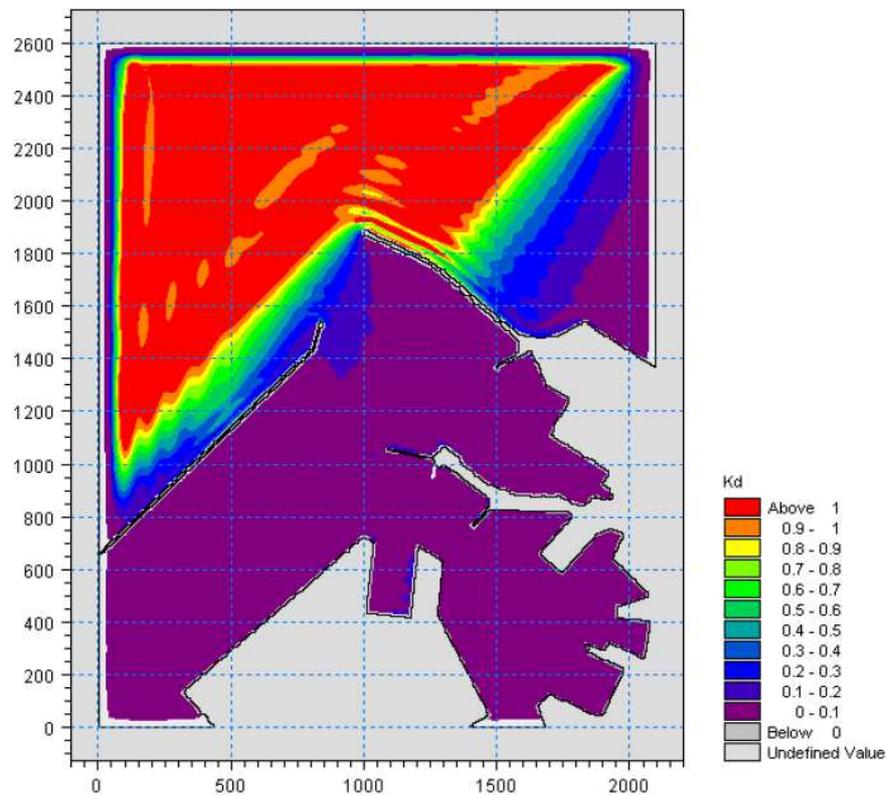


Figura 87. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 20°N con periodo TP=12s nella zona portuale di Ancona per la configurazione con demolizione del Molo Nord (100m) e parziale realizzazione della diga di sottoflutto (assenza tratto terminale inclinato).

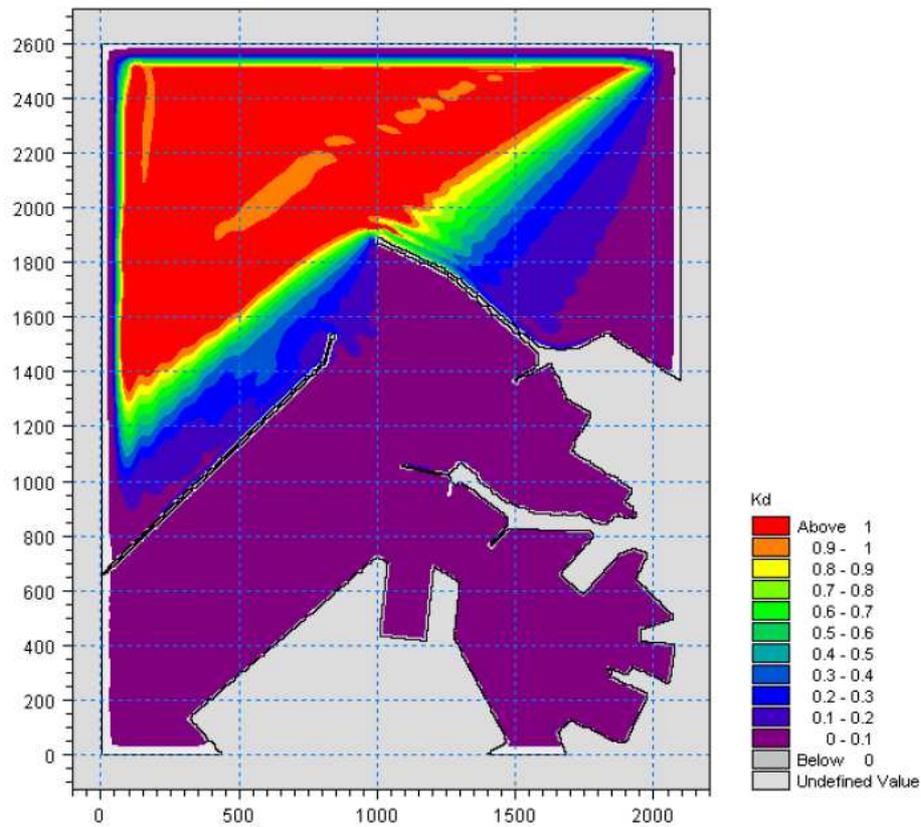


Figura 88. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 30°N con periodo TP=12s nella zona portuale di Ancona per la configurazione con demolizione del Molo Nord (100m) e parziale realizzazione della diga di sottoflutto (assenza tratto terminale inclinato).

Simulazioni con periodo di picco pari a TP=30s

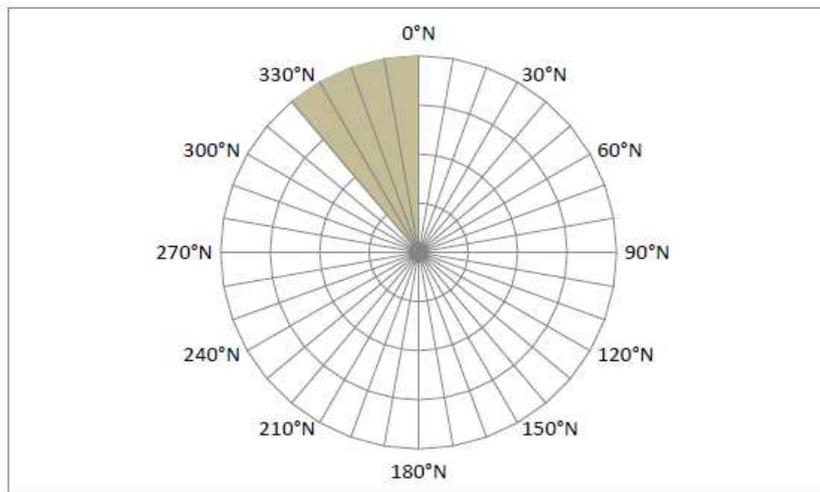


Figura 89. Schema con le direzioni ondose di provenienza considerate (330°N - 0°N) per il periodo di picco TP=30s.

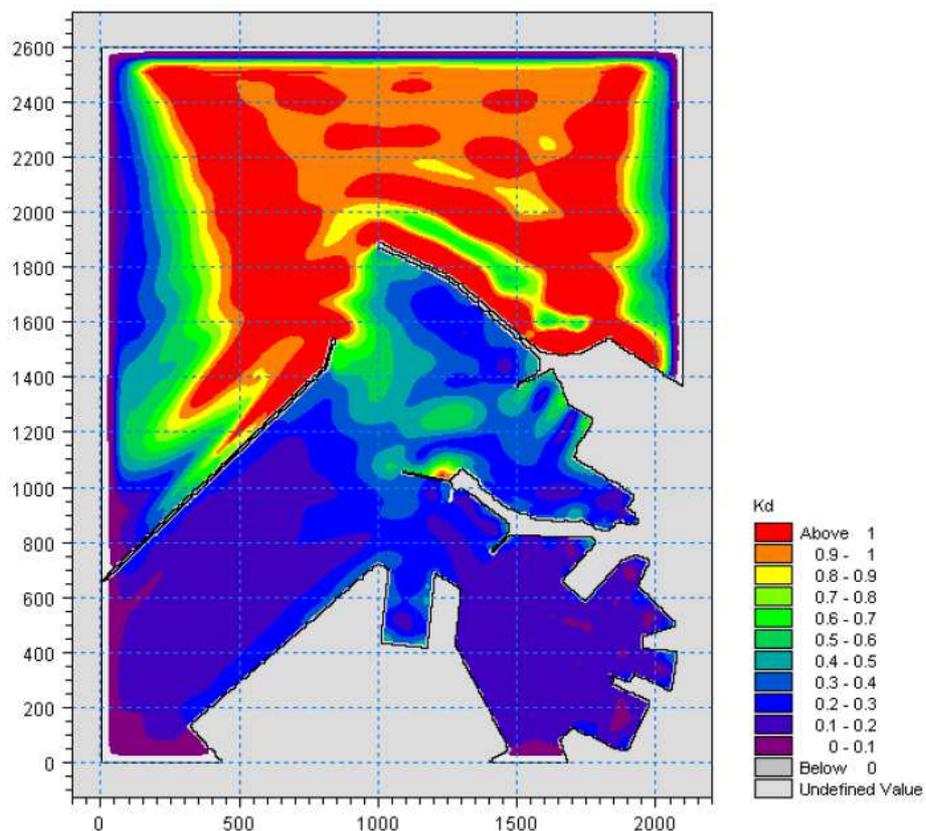


Figura 90. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 330°N con periodo TP=30s nella zona portuale di Ancona per la configurazione con parziale demolizione (100m) del Molo Nord.

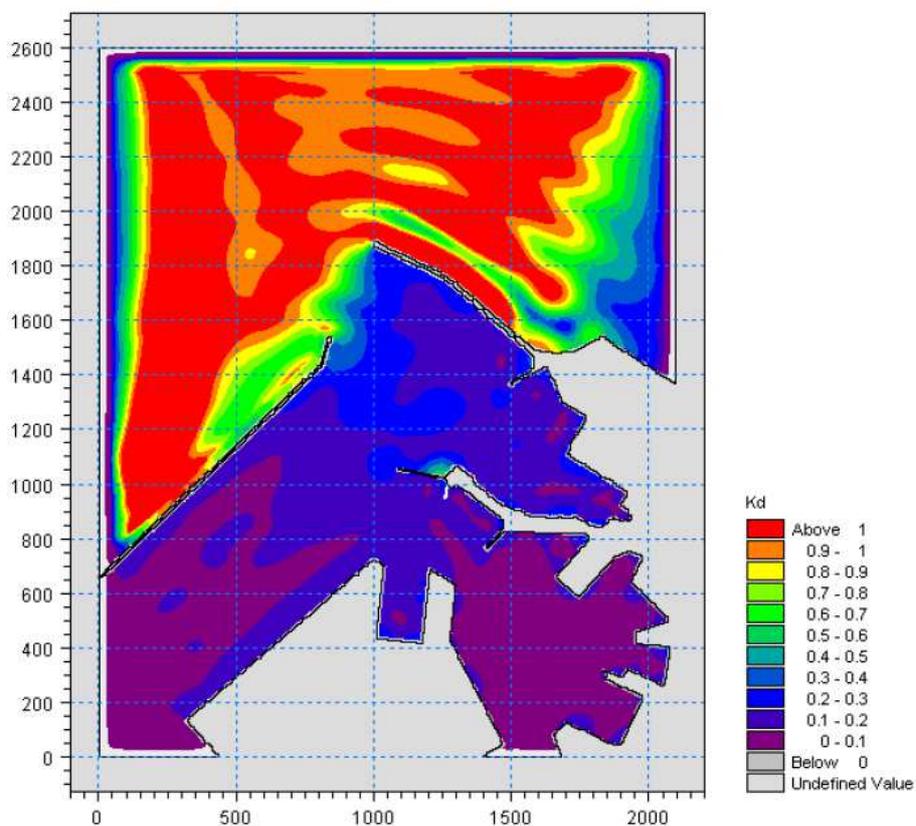


Figura 91. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 0°N con periodo TP=30s nella zona portuale di Ancona per la configurazione con parziale demolizione (100m) del Molo Nord.

CONFIGURAZIONE CON DEMOLIZIONE DEL MOLO NORD (100M) E PARZIALE REALIZZAZIONE DELLA DIGA DI SOTTOFLUTTO (ASSENZA TRATTO TERMINALE INCLINATO)

Simulazioni con periodo di picco pari a $TP=7.5s$

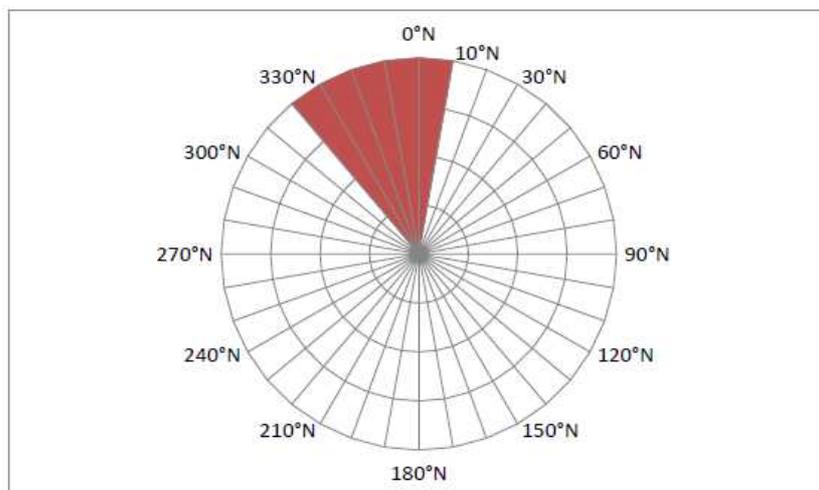


Figura 92. Schema con le direzioni ondose di provenienza considerate (320°N - 330°N - 340°N - 350°N - 0°N - 10°N) per il periodo di picco $TP=7.5s$.

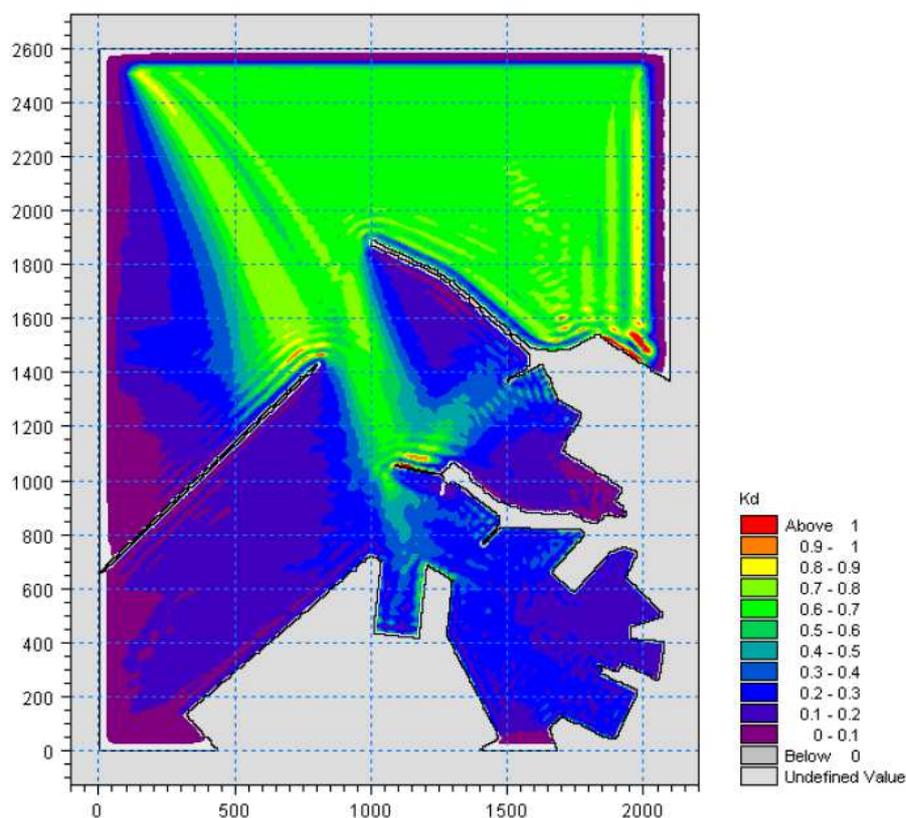


Figura 93. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 320°N con periodo $TP=7.5s$ nella zona portuale di Ancona per la configurazione con demolizione del Molo Nord (100m) e parziale realizzazione della diga di sottoflutto (assenza tratto terminale inclinato).

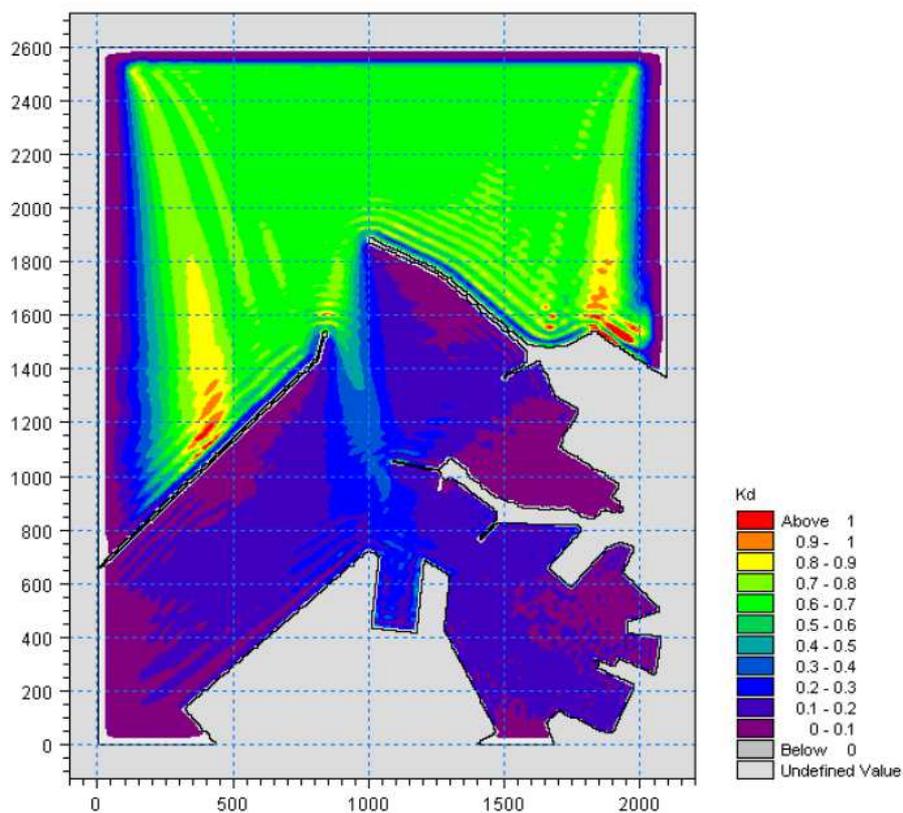


Figura 94. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 330°N con periodo TP=7.5s nella zona portuale di Ancona per la configurazione con demolizione del Molo Nord (100m) e parziale realizzazione della diga di sottoflutto (assenza tratto terminale inclinato).

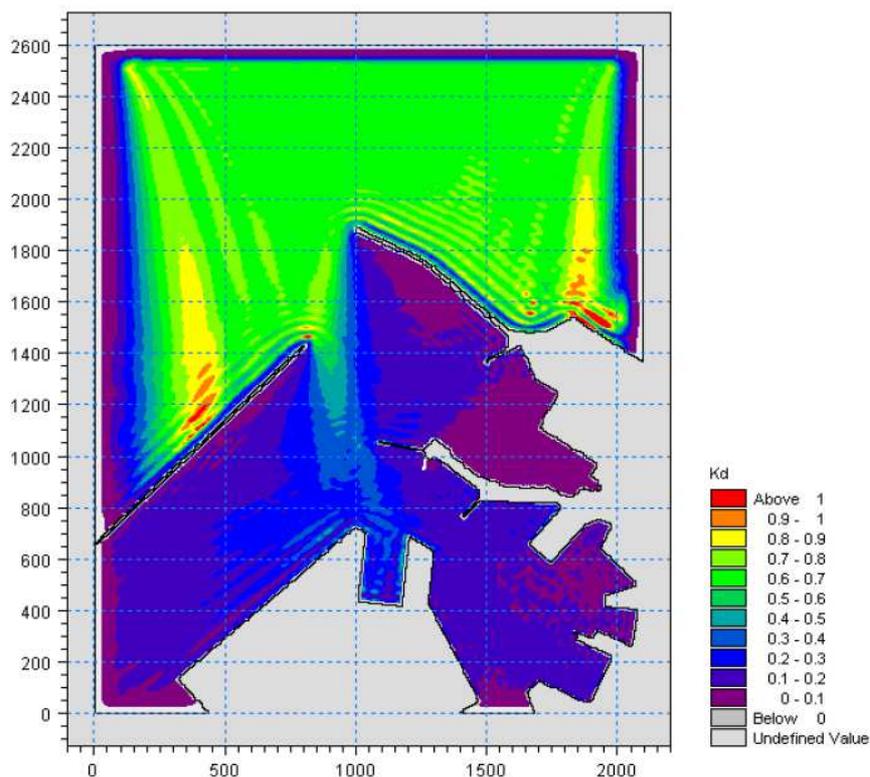


Figura 95. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 340°N con periodo TP=7.5s nella zona portuale di Ancona per la configurazione con demolizione del Molo Nord (100m) e parziale realizzazione della diga di sottoflutto (assenza tratto terminale inclinato).

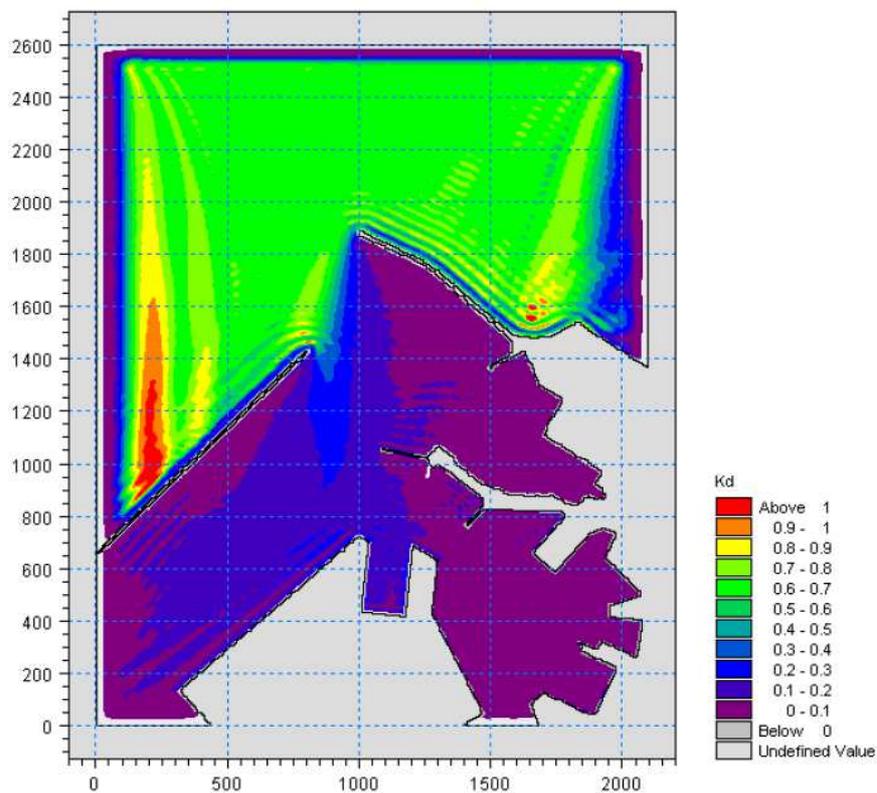


Figura 96. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 350°N con periodo TP=7.5s nella zona portuale di Ancona per la configurazione con demolizione del Molo Nord (100m) e parziale realizzazione della diga di sottoflutto (assenza tratto terminale inclinato).

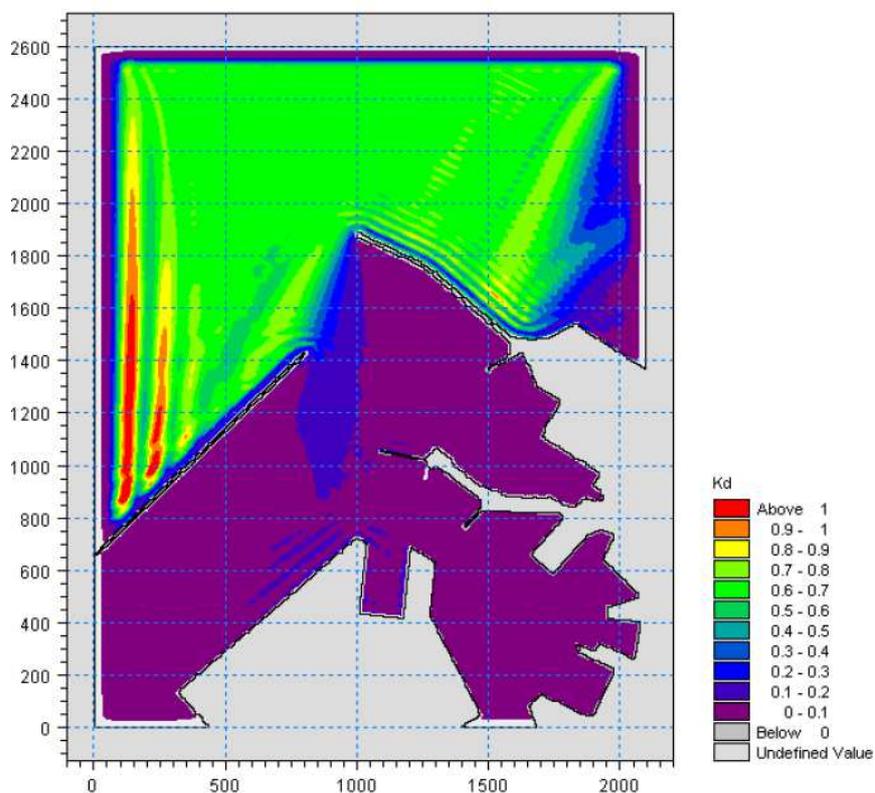


Figura 97. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 0°N con periodo TP=7.5s nella zona portuale di Ancona per la configurazione con demolizione del Molo Nord (100m) e parziale realizzazione della diga di sottoflutto (assenza tratto terminale inclinato).

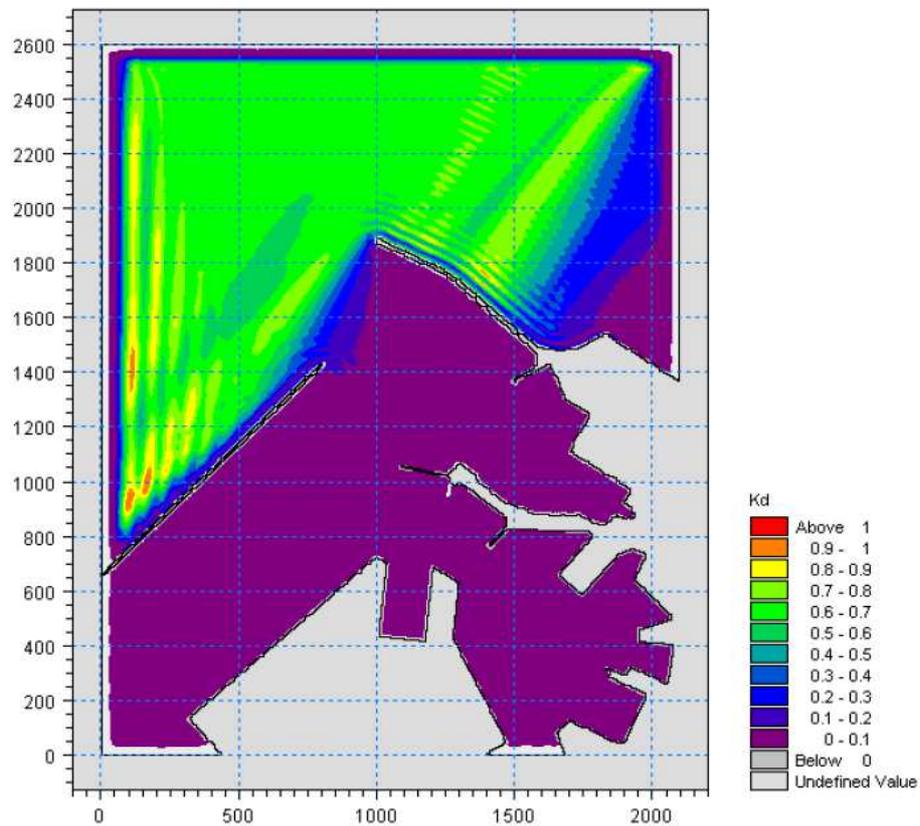


Figura 98. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 10°N con periodo TP=7.5s nella zona portuale di Ancona per la configurazione con demolizione del Molo Nord (100m) e parziale realizzazione della diga di sottoflutto (assenza tratto terminale inclinato).

Simulazioni con periodo di picco pari a TP=9s

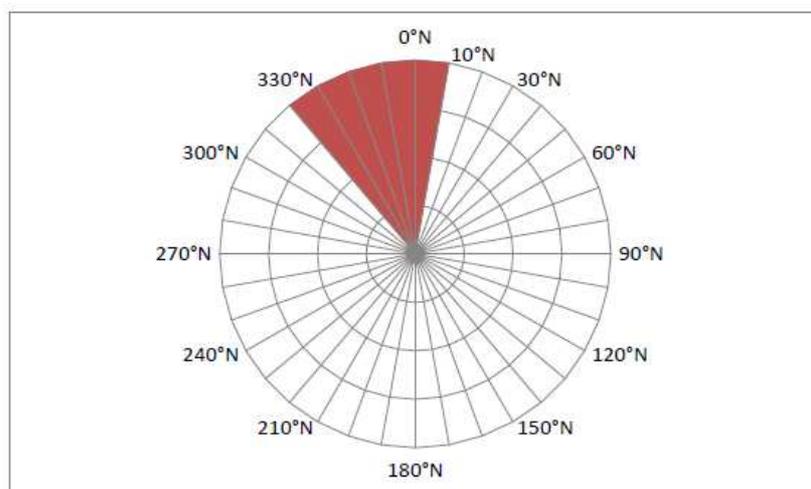


Figura 99. Schema con le direzioni ondose di provenienza considerate (320°N - 330°N - 340°N - 350°N - 0°N - 10°N) per il periodo di picco TP=9s.

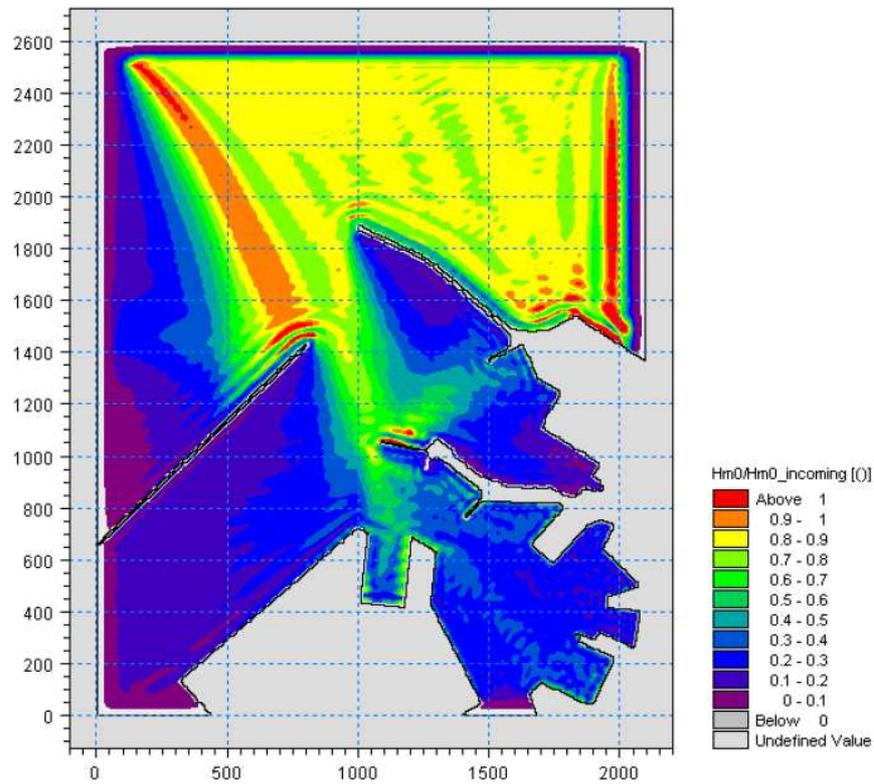


Figura 100. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 320°N con periodo TP=9s nella zona portuale di Ancona per la configurazione con demolizione del Molo Nord (100m) e parziale realizzazione della diga di sottoflutto (assenza tratto terminale inclinato).

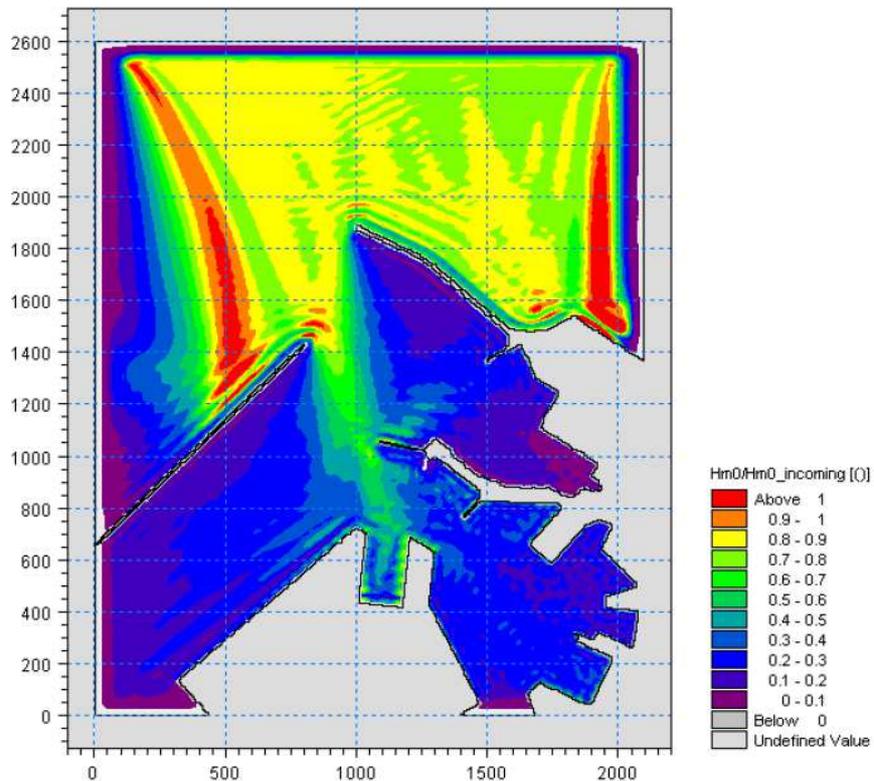


Figura 101. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 330°N con periodo TP=9s nella zona portuale di Ancona per la configurazione con demolizione del Molo Nord (100m) e parziale realizzazione della diga di sottoflutto (assenza tratto terminale inclinato).

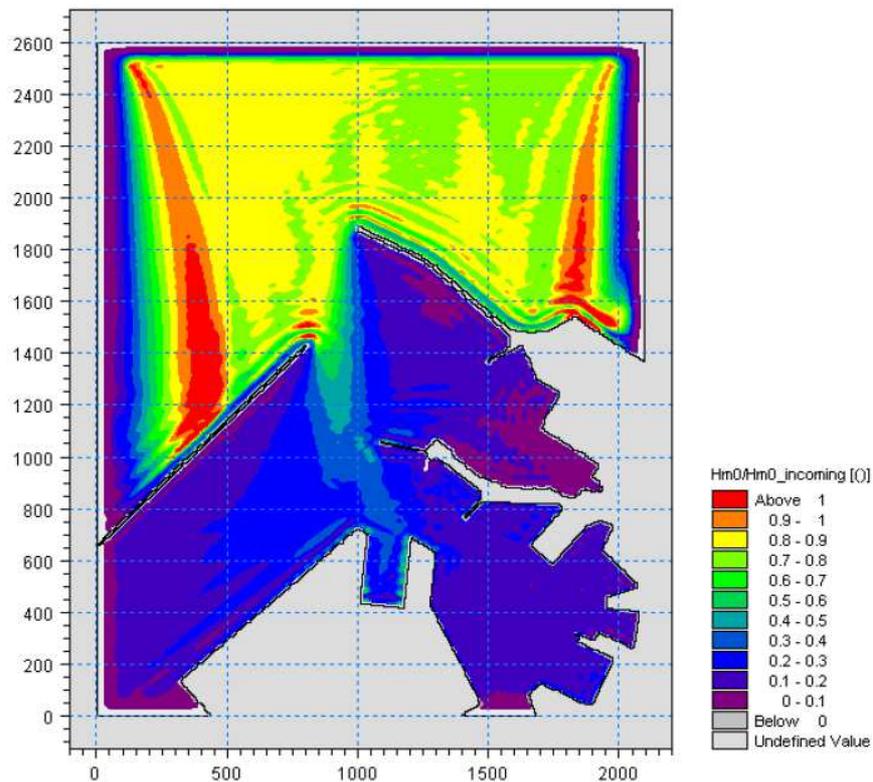


Figura 102. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 340°N con periodo TP=9s nella zona portuale di Ancona per la configurazione con demolizione del Molo Nord (100m) e parziale realizzazione della diga di sottoflutto (assenza tratto terminale inclinato).

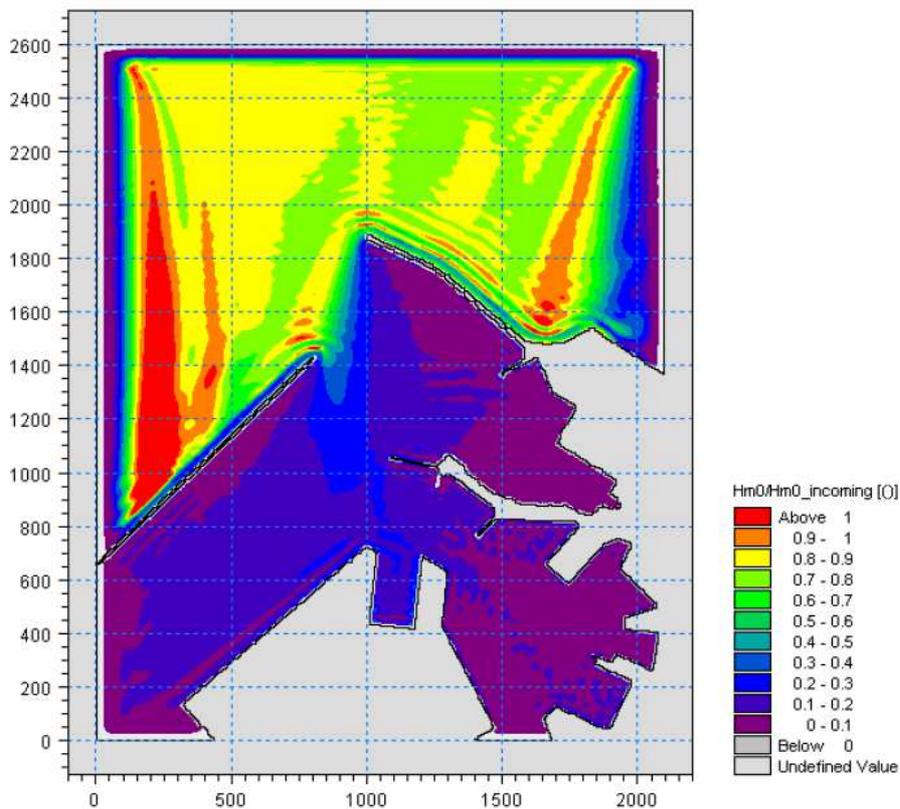


Figura 103. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 350°N con periodo TP=9s nella zona portuale di Ancona per la configurazione con demolizione del Molo Nord (100m) e parziale realizzazione della diga di sottoflutto (assenza tratto terminale inclinato).

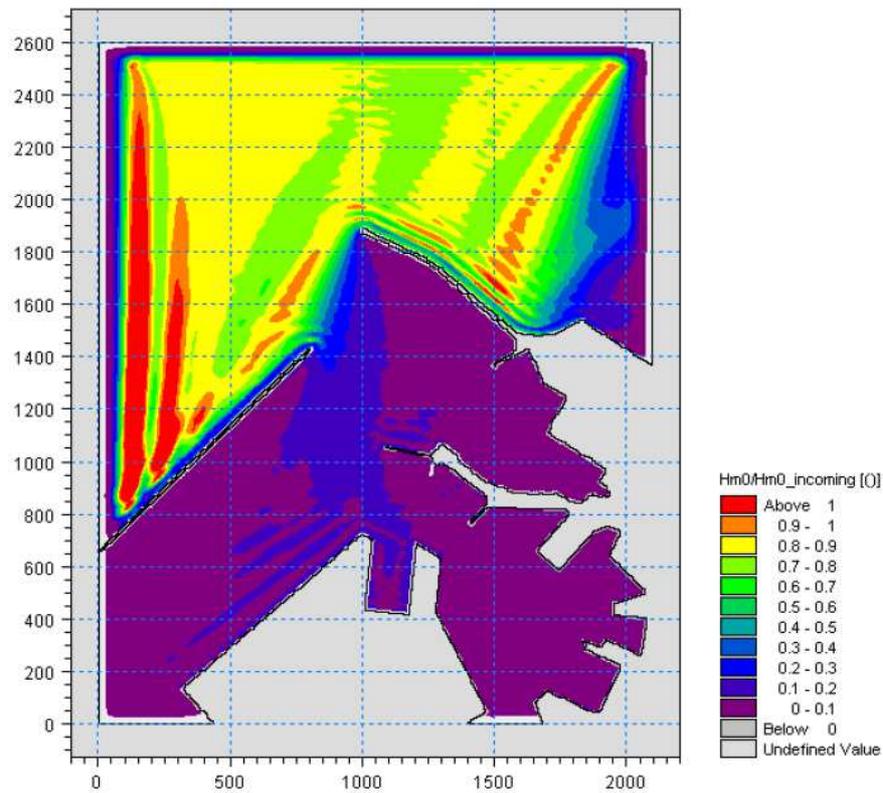


Figura 104. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 0°N con periodo TP=9s nella zona portuale di Ancona per la configurazione con demolizione del Molo Nord (100m) e parziale realizzazione della diga di sottoflutto (assenza tratto terminale inclinato).

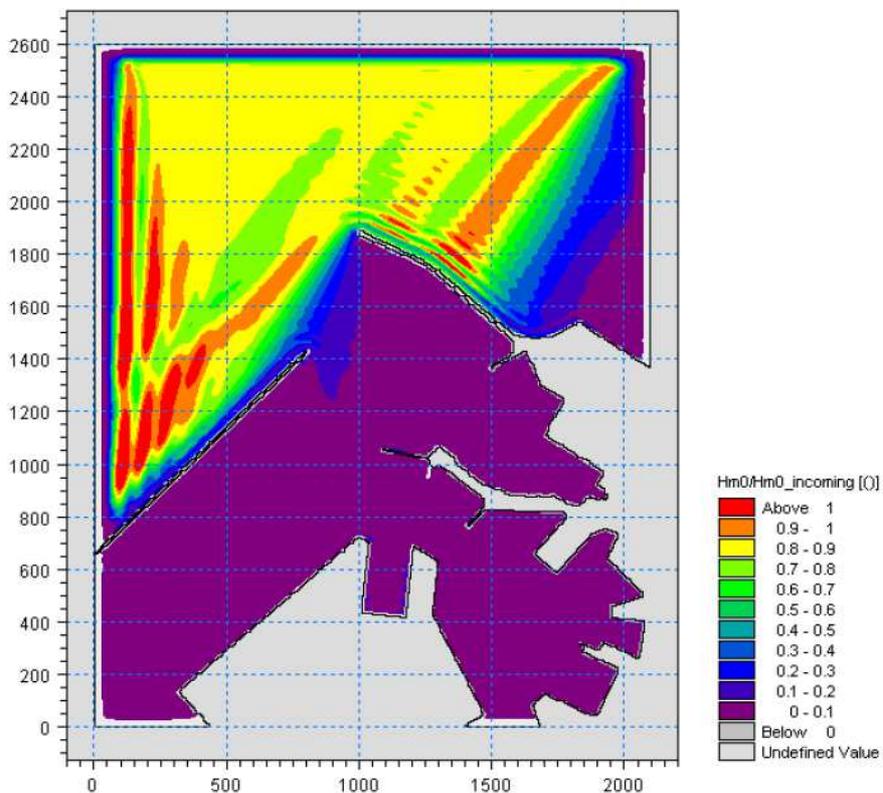


Figura 105. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 10°N con periodo TP=9s nella zona portuale di Ancona per la configurazione con demolizione del Molo Nord (100m) e parziale realizzazione della diga di sottoflutto (assenza tratto terminale inclinato).

Simulazioni con periodo di picco pari a TP=10.5s

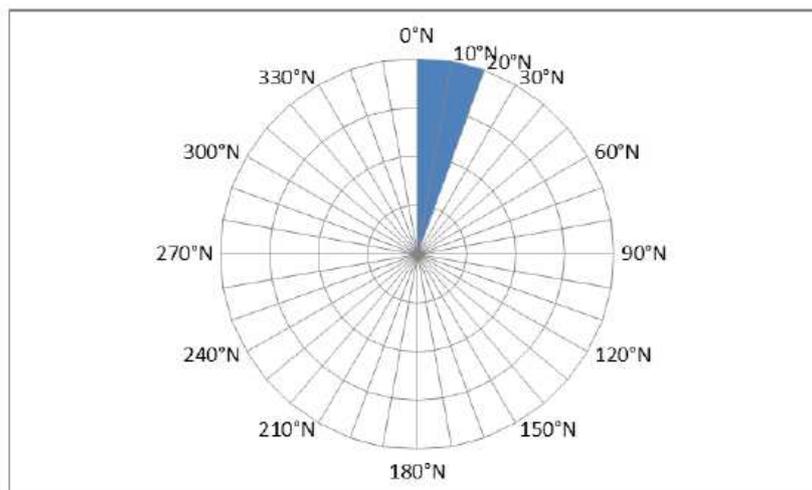


Figura 106. Schema con le direzioni ondose di provenienza considerate (0°N – 10° N - 20°N) per il periodo di picco TP=10.5s.

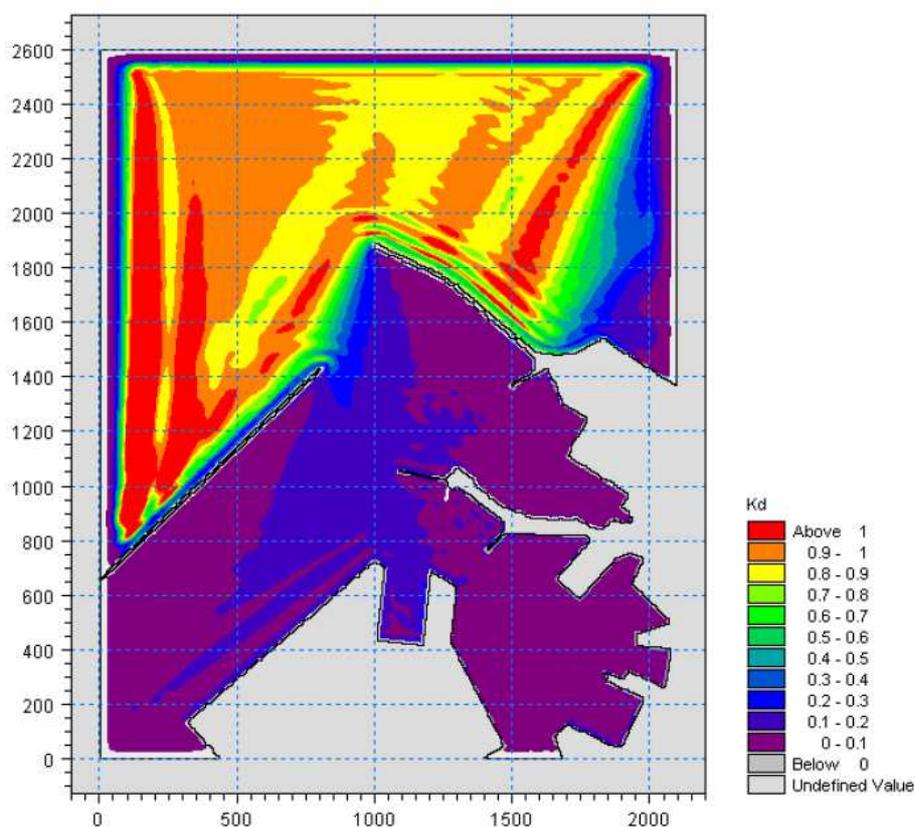


Figura 107. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 0°N con periodo TP=10.5s nella zona portuale di Ancona per la configurazione con demolizione del Molo Nord (100m) e parziale realizzazione della diga di sottoflutto (assenza tratto terminale inclinato).

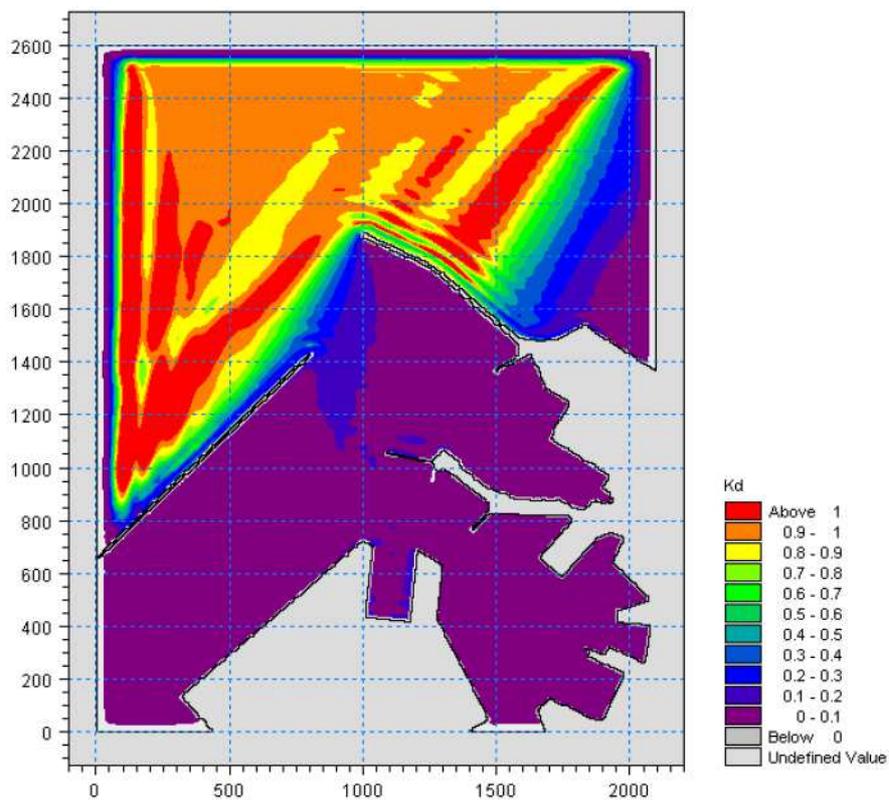


Figura 108. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 10°N con periodo TP=10.5s nella zona portuale di Ancona per la configurazione con demolizione del Molo Nord (100m) e parziale realizzazione della diga di sottoflutto (assenza tratto terminale inclinato).

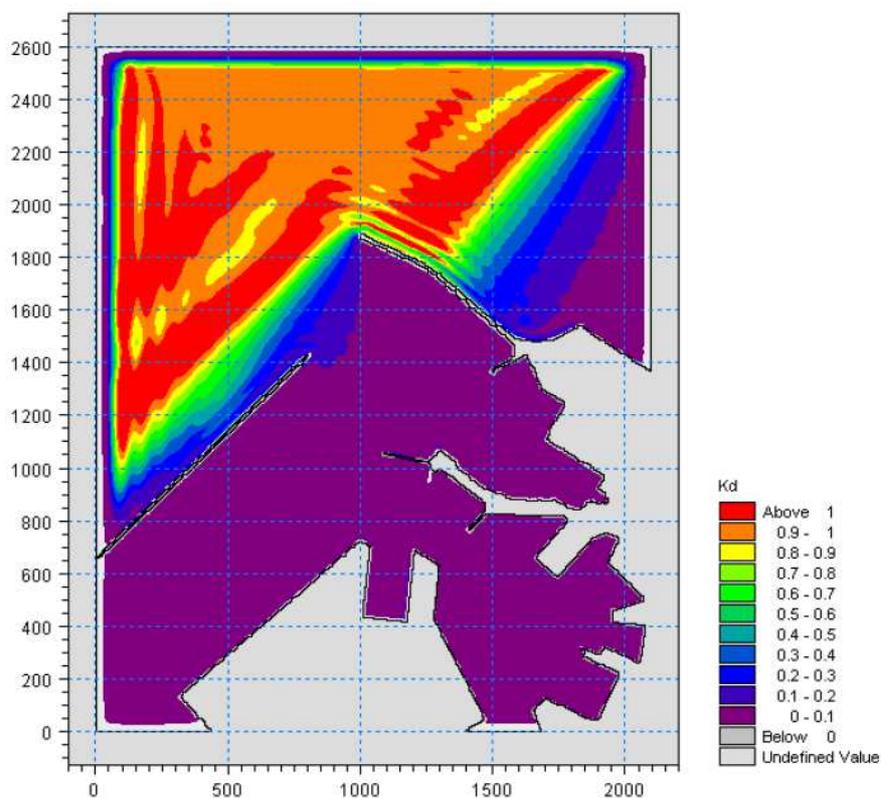


Figura 109. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 20°N con periodo TP=10.5s nella zona portuale di Ancona per la configurazione con demolizione del Molo Nord (100m) e parziale realizzazione della diga di sottoflutto (assenza tratto terminale inclinato).

Simulazioni con periodo di picco pari a $TP=12s$

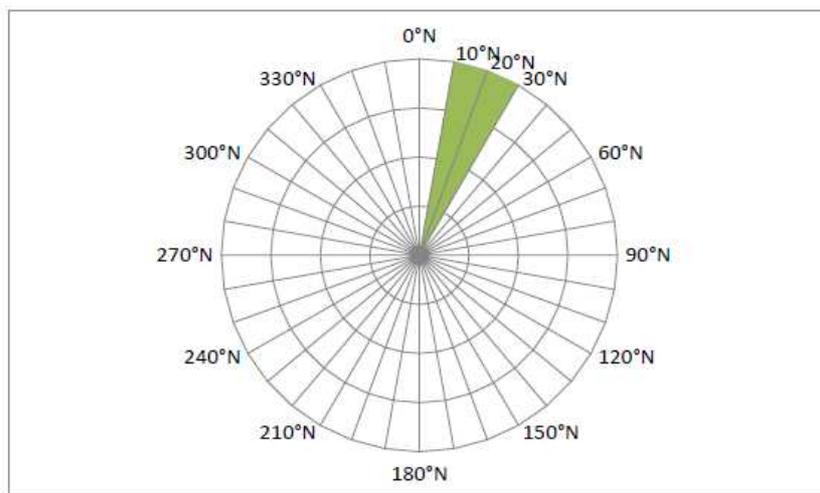


Figura 110. Schema con le direzioni ondose di provenienza considerate (10°N – 20°N - 30°N) per il periodo di picco $TP=12s$.

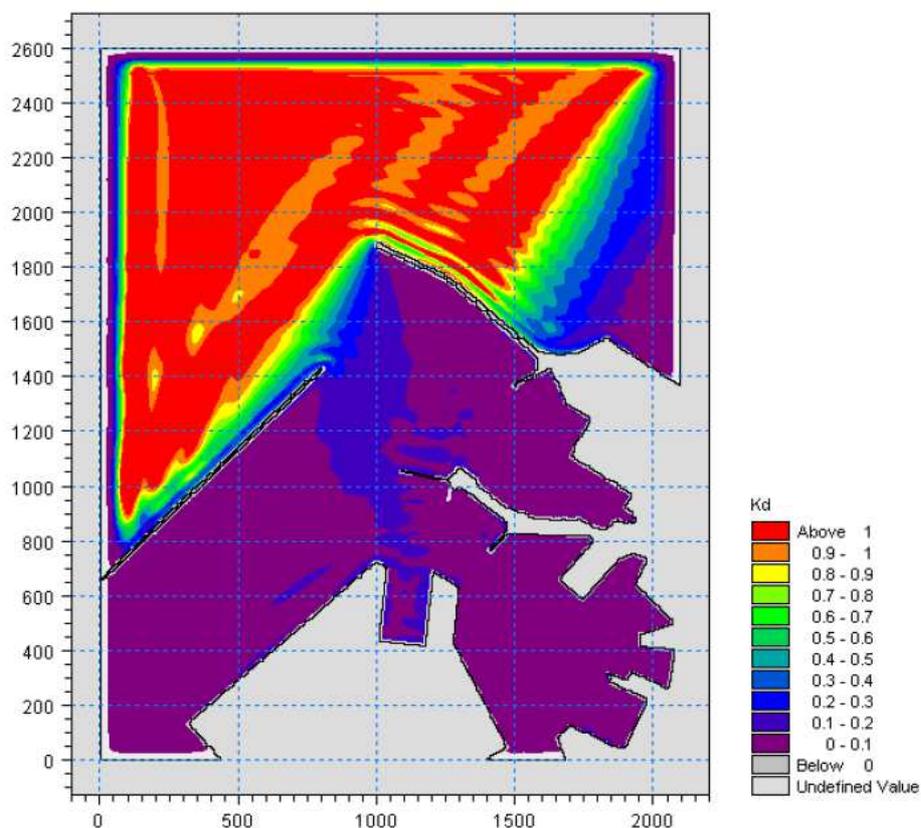


Figura 111. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 10°N con periodo $TP=12s$ nella zona portuale di Ancona per la configurazione con demolizione del Molo Nord (100m) e parziale realizzazione della diga di sottoflutto (assenza tratto terminale inclinato).

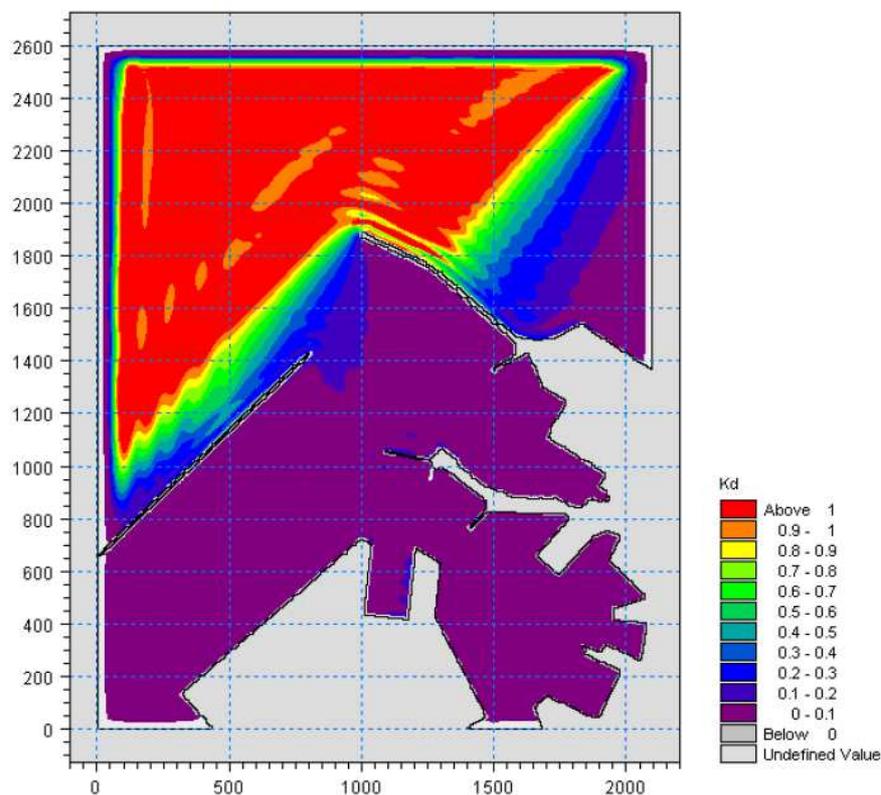


Figura 112. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 20°N con periodo TP=12s nella zona portuale di Ancona per la configurazione con demolizione del Molo Nord (100m) e parziale realizzazione della diga di sottoflutto (assenza tratto terminale inclinato).

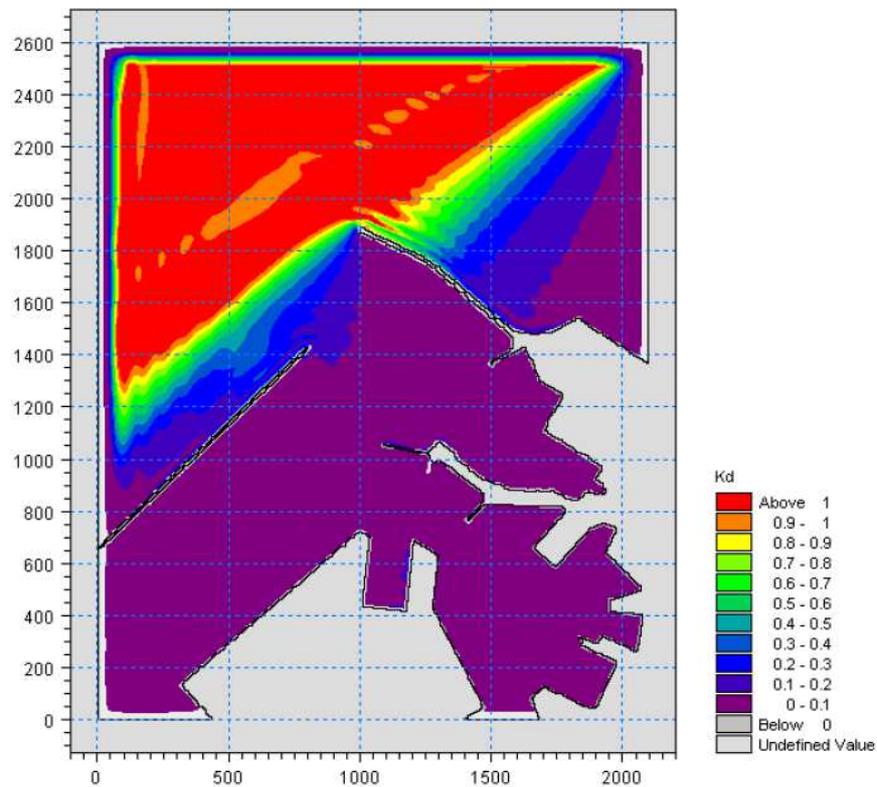


Figura 113. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 30°N con periodo TP=12s nella zona portuale di Ancona per la configurazione con demolizione del Molo Nord (100m) e parziale realizzazione della diga di sottoflutto (assenza tratto terminale inclinato).

Simulazioni con periodo di picco pari a $TP=30s$

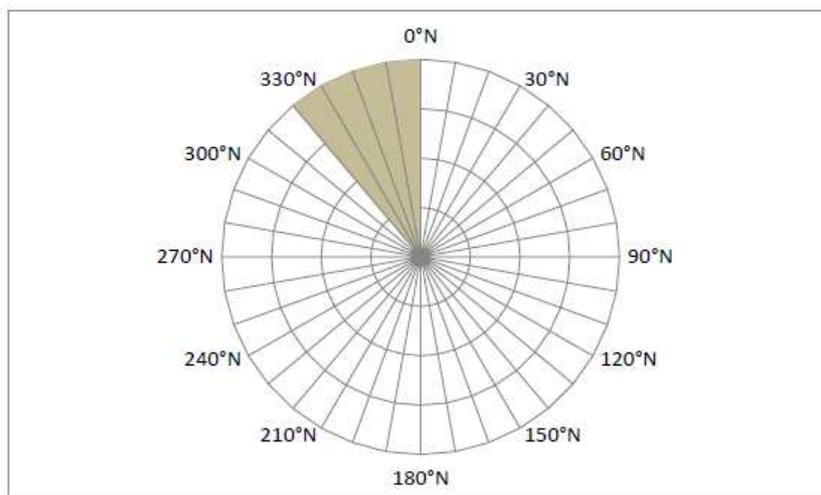


Figura 114. Schema con le direzioni ondose di provenienza considerate ($330^{\circ}N - 0^{\circ}N$) per il periodo di picco $TP=30s$.

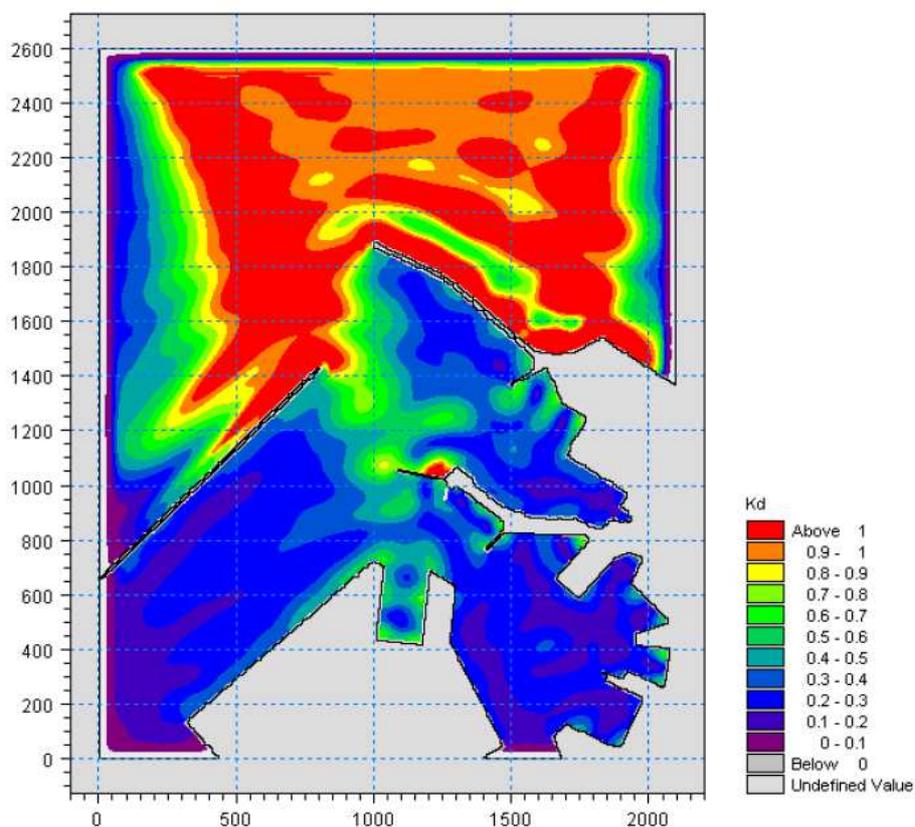


Figura 115. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da $330^{\circ}N$ con periodo $TP=30s$ nella zona portuale di Ancona per la configurazione con demolizione del Molo Nord (100m) e parziale realizzazione della diga di sottoflutto (assenza tratto terminale inclinato).

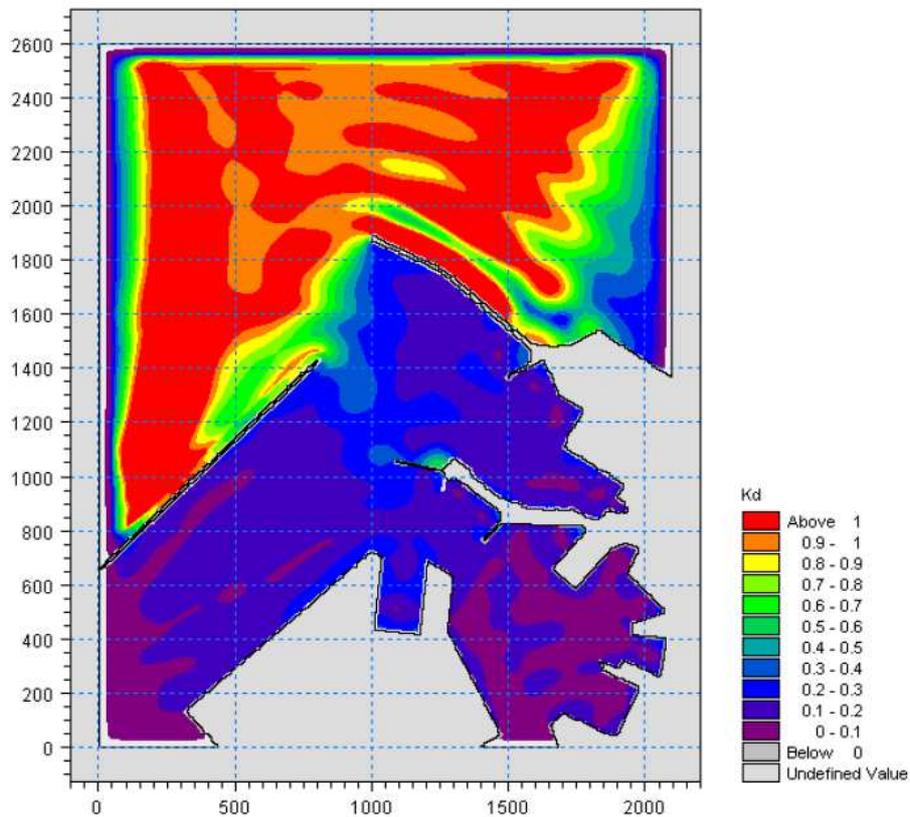


Figura 116. Valori del coefficiente di diffrazione per l'attacco ondoso proveniente da 0°N con periodo TP=30s nella zona portuale di Ancona per la configurazione con demolizione del Molo Nord (100m) e parziale realizzazione della diga di sottoflutto (assenza tratto terminale inclinato).