



## COMUNE DI ORTONA

Titolo progetto

**"COMPLETAMENTO INTERVENTI SUL  
PORTO DI ORTONA"**  
APPROFONDIMENTO DRAGAGGIO, PROLUNGAMENTO  
DIGA SUD  
CIG 7822604907 CUP D74B16000360001

Soggetto attuatore



**Azienda Regionale  
Attività Produttive**

Via Nazionale SS 602 km 51+355, Centro Direzionale 2°  
Piano - 65012 Villanova di Cepagatti (PE)  
C.F. 91127340684 - P.I. 02083310686  
arapabruzzo@pec.it - vasto@arapabruzzo.it

**DIPARTIMENTO LAVORI &  
MANUTENZIONI - DL**

**Resp: Ing. Nicola BERNABEO**

**RESPONSABILE UNICO DEL  
PROCEDIMENTO**  
Arch. Sergio PEPE

**IL GRUPPO DI LAVORO**

*Ing. Tommaso IMPICCIATORE  
Arch. Lorenzo DI GIROLAMO  
Geologo Mattia IPPOLITO*

Data 12/08/2023 23 004 DT 005 - 0 MAR

Fase progettuale

**- PROGETTO DEFINITIVO -**

Titolo elaborato

**B.04  
STUDI IDRAULICI MARITTIMI  
AGITAZIONE INTERNA-PORTUALE**

### Raggruppamento temporaneo di professionisti

**Mandataria**



MODIMAR s.r.l. Via Monte Zebio 40 00195 Roma  
06.3269461 - www.modimar.it

Prof. Ing. Alberto NOLI  
Dott. Ing. Paolo CONTINI  
Prof. Ing. Paolo DE GIROLAMO  
Dott. Ing. Giancarlo MILANA  
Dott. Ing. Alessia CURATOLO  
Dott. Ing. Giuseppe VELLA  
Dott. Ing. Valerio TRULLI

**Mandanti**

**Giovane Professionista**  
Dott. Ing. Myrta CASTELLINO  
**Geologo**  
Dott. Geol. Nicola TULLO



**Azienda Regionale Attività Produttive**

*D.L. – DIPARTIMENTO LAVORI & MANUTENZIONI*

*DL2 – Servizio lavori Pubblici*

**Completamento interventi sul porto di Ortona (approfondimento  
dragaggio, prolungamento diga sud)**

**CUP: D74B16000360001 - CIG: 7822604907**

**PROGETTO DEFINITIVO**

## **B.04 - Studi idraulici marittimi Agitazione interna-portuale**

---

**PROGETTAZIONE:**



**MODIMAR S.r.l.**

VIA MONTE ZEBIO, 40 ROMA

**Dott. Ing. Myrta CASTELLINO**

ROMA

**Dott. Geol. Nicola TULLO**

ATESSA (CH)

Azienda Regionale Attività Produttive	COMPLETAMENTO INTERVENTI SUL PORTO DI ORTONA (APPROFONDIMENTO DRAGAGGIO, PROLUNGAMENTO DIGA SUD) CUP: D74B16000360001 - CIG: 7822604907	B.04 - Studi idraulici marittimi					
		Agitazione interna-portuale					
		23	004	DR	005	0	MAR

## Indice

<b>Capitolo 1</b>	<b>Premesse .....</b>	<b>2</b>
1.1	Obiettivi e metodologia dello studio .....	2
<b>Capitolo 2</b>	<b>Moto ondoso di riferimento .....</b>	<b>4</b>
2.1	Condizioni di moto ondoso al largo .....	4
2.2	Condizioni di moto ondoso in prossimità del Porto di Ortona.....	5
<b>Capitolo 3</b>	<b>Applicazione del modello Vega .....</b>	<b>7</b>
3.1	Descrizione del modello di calcolo .....	7
3.2	Selezione delle forzanti di moto ondoso simulate.....	9
3.3	Schematizzazione delle configurazioni portuali nel dominio di calcolo del modello VEGA .....	9
<b>Capitolo 4</b>	<b>Risultati del modello VEGA.....</b>	<b>13</b>
4.1	Direzione del moto ondoso: 30°N .....	13
4.2	Direzione del moto ondoso: 80°N .....	16
4.3	Direzione del moto ondoso: 100°N .....	19
<b>Capitolo 5</b>	<b>Calcolo dell'agitazione ondosa media annuale lungo le banchine e il canale di accesso del porto .....</b>	<b>22</b>
5.1	Impostazione della metodologia di analisi .....	22
<b>Capitolo 6</b>	<b>Conclusioni .....</b>	<b>29</b>

Azienda Regionale Attività Produttive	COMPLETAMENTO INTERVENTI SUL PORTO DI ORTONA (APPROFONDIMENTO DRAGAGGIO, PROLUNGAMENTO DIGA SUD) CUP: D74B16000360001 - CIG: 7822604907	B.04 - Studi idraulici marittimi Agitazione interna-portuale					
		23	004	DR	005	0	MAR

## Capitolo 1 Premesse

Il presente elaborato, redatto ai sensi dell'art. 25 del D.P.R. 207/2010, costituisce lo studio specialistico di idraulica marittima condotto con idonea modellistica numerica per investigare i fenomeni di agitazione ondosa residua all'interno del porto di Ortona (zona Avamporto e Darsena interna) nello stato attuale e in presenza delle opere di "completamento interventi sul porto di Ortona (approfondimento dragaggio, prolungamento diga sud)".

### 1.1 Obiettivi e metodologia dello studio

Il presente studio si è posto l'obiettivo di valutare le problematiche relative all'agitazione ondosa nel bacino portuale indotta dalle onde di breve periodo relative a:

1. Attuale configurazione del porto di Ortona (Scenario 1);



Figura 1-1 Attuale configurazione planimetrica del Porto di Ortona

2. Configurazione di progetto che prevede il prolungamento dell'attuale Molo Sud senza la resecazione del vecchio Molo Nord (Scenario 2a).

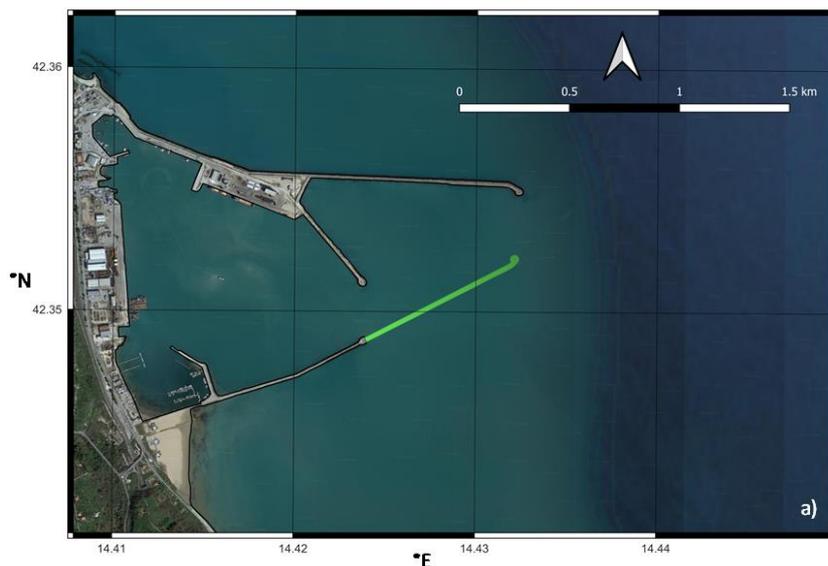


Figura 1-2 Configurazioni planimetriche di progetto con il solo prolungamento del Molo Sud (Scenario 2a)

Azienda Regionale Attività Produttive	COMPLETAMENTO INTERVENTI SUL PORTO DI ORTONA (APPROFONDIMENTO DRAGAGGIO, PROLUNGAMENTO DIGA SUD) CUP: D74B16000360001 - CIG: 7822604907	B.04 - Studi idraulici marittimi Agitazione interna-portuale					
		23	004	DR	005	0	MAR

3. Configurazione di progetto che prevede il prolungamento dell'attuale Molo Sud con la resecazione del vecchio Molo Nord per una lunghezza di circa 100 m. (Scenario 2b).

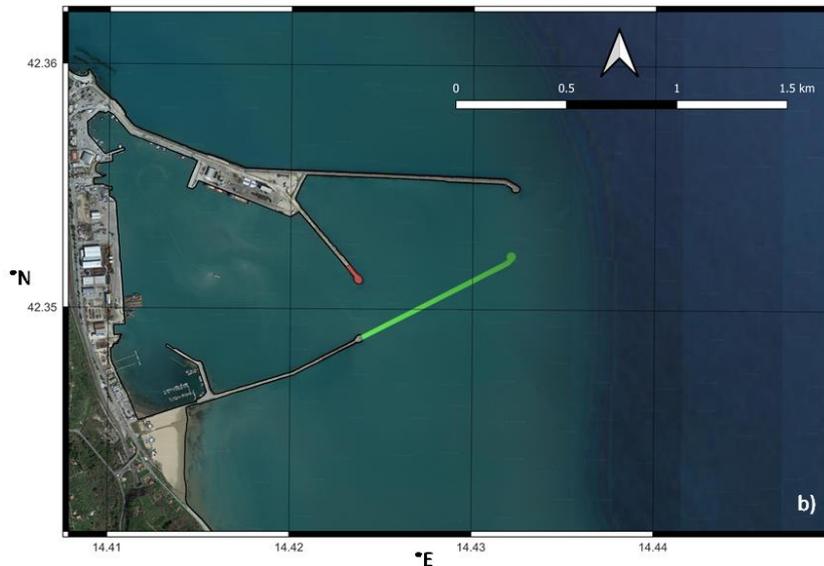


Figura 1-3 Configurazioni planimetriche di progetto con prolungamento del Molo Sud e resecazione del vecchio Molo Nord di 100 m (Scenario 2b)

Per le simulazioni dei fenomeni di penetrazione e dispersione del moto ondoso negli specchi portuali si è utilizzato il modello numerico di riflessione – diffrazione VEGA, già impiegato nel 2010 per gli studi specialistici condotti a supporto della redazione della proposta di nuovo PRP.

La peculiarità di questo codice di calcolo è quella di integrare in modo esatto l'equazione ellittica di Helmholtz con la tecnica a “boundary element” ovvero sulla base della definizione delle “condizioni al contorno” in termini di capacità di assorbimento/riflessione del moto ondoso per la “frontiera del dominio di integrazione”. Il codice di calcolo, tenendo conto dei fenomeni combinati di diffrazione e riflessione lungo il margine perimetrale del dominio di calcolo discretizzato agli elementi finiti, fornisce i valori di altezza d’onda per qualsiasi punto all’interno del dominio di calcolo.

Azienda Regionale Attività Produttive	COMPLETAMENTO INTERVENTI SUL PORTO DI ORTONA (APPROFONDIMENTO DRAGAGGIO, PROLUNGAMENTO DIGA SUD) CUP: D74B16000360001 - CIG: 7822604907	B.04 - Studi idraulici marittimi Agitazione interna-portuale					
		23	004	DR	005	0	MAR

## Capitolo 2 Moto ondoso di riferimento

Nei seguenti paragrafi si riportano in maniera sintetica i dati di moto ondoso utilizzati nel presente studio di agitazione ondosa, desunti dallo studio meteomarinario cui si rimanda per i dettagli.

### 2.1 Condizioni di moto ondoso al largo

Nella seguente Figura 2-1 è riportata la rosa ondometrica, desunta dallo studio meteomarinario, che rappresenta il clima di moto ondoso annuale in termini di frequenza, intensità e direzione. Tale rappresentazione fa riferimento alla serie ondometrica ERA5 riferita al periodo 1959-2022, nel punto di coordinate 42.50°N – 14.50°E posto al largo del porto di Ortona.

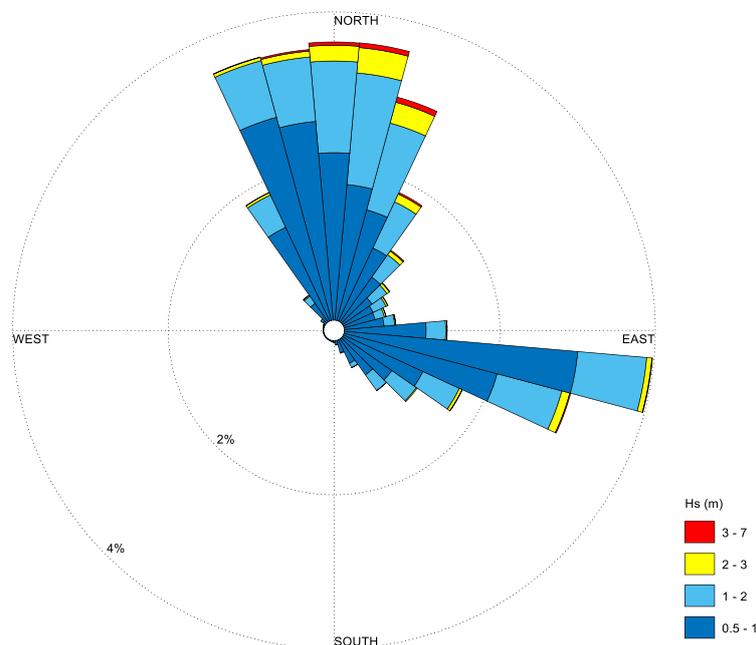


Figura 2-1 Distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso con  $H_s > 0.5$  m nel punto ERA5 Ortona di coordinate 42.50°N, 14.50°E

Dall'analisi del grafico è possibile desumere che al largo del Porto di Ortona il clima di moto ondoso è contraddistinto da due settori di traversia, principale e secondario identificabili nei seguenti range:

4. Settore principale: 320°N – 50°N (IV e I quadrante ovvero da tramontana, maestrale e grecale);
5. Settore secondario: 50°N – 120°N (I quadrante e II quadrante ovvero da levante a scirocco)

Gli stati di mare provenienti dal settore principale risultano di maggiore intensità e frequenza rispetto a quelli provenienti dal settore secondario. Il porto di Ortona, presentando l'imboccatura orientata verso Est, è maggiormente ridossato dagli stati provenienti da Nord-Ovest (tramontana) e Nord (maestrale), in misura più ridotta agli eventi provenienti da Nord-Est (grecale) mentre risulta decisamente più esposto agli eventi provenienti da Est (levante) e Sud-Est (scirocco).

## 2.2 Condizioni di moto ondoso in prossimità del Porto di Ortona

Nell'ambito dello studio di propagazione da largo verso riva è stato applicato il modello di propagazione inversa spettrale MEROPE (sviluppato da Modimar S.r.l.) per trasferire il clima di moto ondoso da largo a riva (-15.00 m s.l.m.) in prossimità della nuova imboccatura portuale (Figura 2-2)

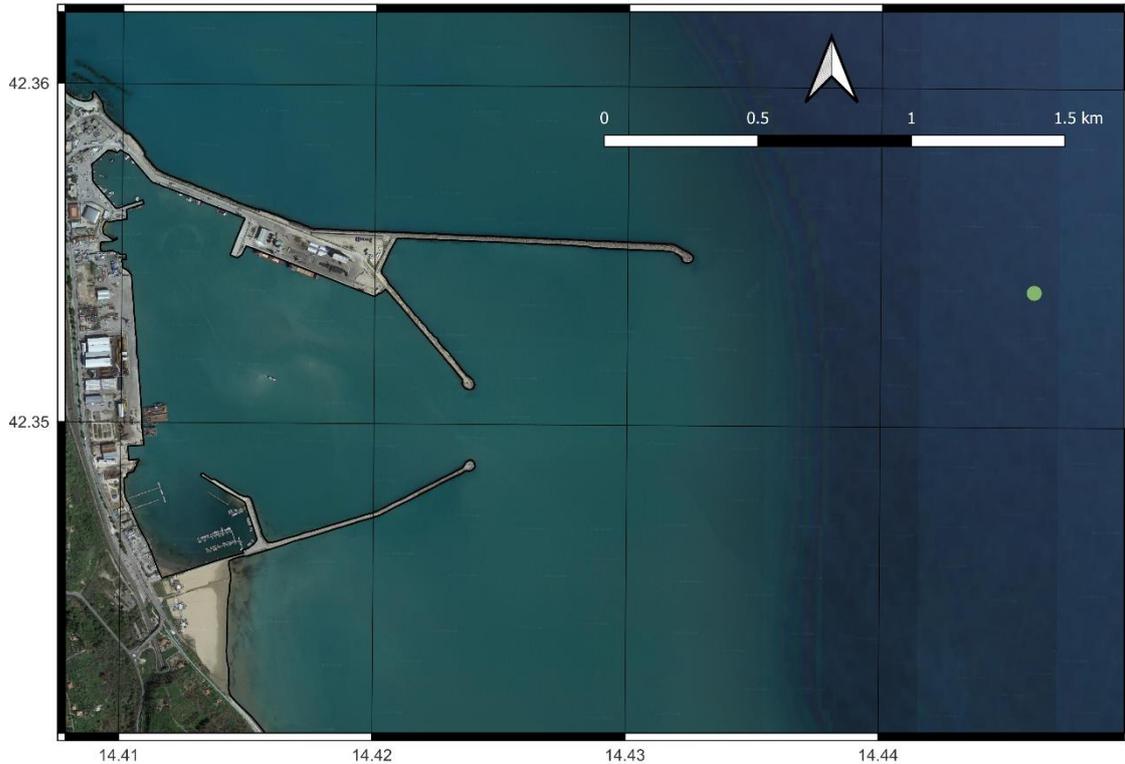


Figura 2-2 Ubicazione del punto di inversa al largo del Porto di Ortona

In Figura 2-3 e nella tabella 2.1 è rappresentato il clima di moto ondoso annuale al largo e in prossimità della nuova imboccatura portuale del Porto di Ortona. Osservando le rose ondometriche è possibile notare come gli stati di mare provenienti dal primo e dal secondo settore subiscano una leggera rotazione rispettivamente verso Nord e verso Est.

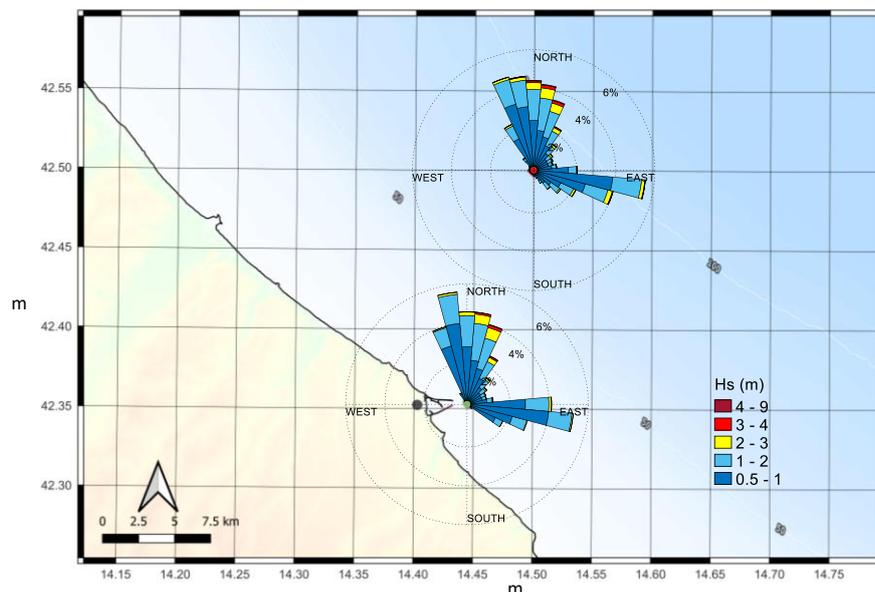


Figura 2-3 Rappresentazione polare del moto ondoso al largo del porto di Ortona ed in corrispondenza della nuova imboccatura

Azienda Regionale Attività Produttive	COMPLETAMENTO INTERVENTI SUL PORTO DI ORTONA (APPROFONDIMENTO DRAGAGGIO, PROLUNGAMENTO DIGA SUD) CUP: D74B16000360001 - CIG: 7822604907	B.04 - Studi idraulici marittimi Agitazione interna-portuale					
		23	004	DR	005	0	MAR

Tabella 2-1 Clima ondametrico medio annuale propagato in corrispondenza dell'imboccatura del Porto di Ortona (frequenza di accadimento)

Direzione d'onda °N	Frequenza di accadimento dell'altezza d'onda significativa															Tot
	Altezza d'onda (m)															
	0,00 0,25	0,25 0,50	0,50 1,00	1,00 1,50	1,50 2,00	2,00 2,50	2,50 3,00	3,00 3,50	3,50 4,00	4,00 4,50	4,50 5,00	5,00 5,50	5,50 6,00	6,00 > 6,0	0,0004	
10	1.2507	1.7618	2.0801	1.2367	0.6688	0.3183	0.1602	0.0602	0.0276	0.0127	0.0045	0.0007	0.0004	0.0004	7.583	
20	0.9973	1.3998	1.7124	1.0352	0.5807	0.3551	0.2148	0.0989	0.0449	0.0173	0.0034	0.0020	0.0002	6.462		
30	0.8230	1.1565	1.2702	0.6387	0.3210	0.1633	0.0775	0.0458	0.0228	0.0139	0.0037	0.0016		4.538		
40	0.7731	0.9738	0.8689	0.3358	0.1610	0.0717	0.0339	0.0169	0.0089	0.0050	0.0014	0.0011		3.251		
50	0.7916	0.8755	0.6406	0.2078	0.1071	0.0490	0.0205	0.0112	0.0029	0.0004				2.707		
60	0.8253	0.9231	0.5957	0.1663	0.0604	0.0321	0.0105	0.0039	0.0005					2.618		
70	1.0014	1.0741	0.6174	0.1405	0.0504	0.0194	0.0066	0.0002	0.0012					2.911		
80	1.2622	1.4575	0.8178	0.2200	0.0645	0.0250	0.0078	0.0034	0.0025	0.0004				3.861		
90	2.0275	3.2950	2.7878	0.9181	0.2793	0.1002	0.0307	0.0096	0.0005					9.449		
100	2.5724	4.7415	3.9897	0.9278	0.2649	0.0533	0.0121	0.0011						12.563		
110	1.6816	2.6888	2.1953	0.6076	0.1651	0.0324	0.0045							7.375		
120	1.1673	1.6618	1.4121	0.3479	0.0624	0.0030								4.655		
130	0.9386	0.3702	0.1062	0.0045										1.420		
140	0.0093													0.009		
150	0.0016													0.002		
160	0.0005													0.001		
170	0.0004													0.000		
180	0.0004													0.000		
190	0.0002													0.000		
200	0.0002													0.000		
210														0.000		
220	0.0004													0.000		
230	0.0002													0.000		
240	0.0002													0.000		
250	0.0002													0.000		
260	0.0004													0.000		
270	0.0004													0.000		
280														0.000		
290	0.0005													0.001		
300	0.0037													0.004		
310	0.1289													0.129		
320	0.4333	0.0471	0.0064											0.487		
330	0.5232	0.5634	0.3715	0.0627	0.0141	0.0027								1.538		
340	1.1192	2.3906	2.9097	0.7886	0.1823	0.0414	0.0119	0.0018	0.0002					7.446		
350	2.2389	4.2697	3.9795	1.2174	0.2896	0.0823	0.0235	0.0050	0.0014					12.108		
360	1.6853	2.6254	2.7619	1.1973	0.4137	0.1360	0.0415	0.0155	0.0048	0.0011	0.0004	0.0002	0.0002	8.883		
Freq. Accadimento	22.259	32.276	29.123	10.053	3.685	1.485	0.656	0.274	0.118	0.051	0.013	0.006	0.001	0.000	100	

Azienda Regionale Attività Produttive	COMPLETAMENTO INTERVENTI SUL PORTO DI ORTONA (APPROFONDIMENTO DRAGAGGIO, PROLUNGAMENTO DIGA SUD) CUP: D74B16000360001 - CIG: 7822604907	B.04 - Studi idraulici marittimi Agitazione interna-portuale					
		23	004	DR	005	0	MAR

## Capitolo 3 Applicazione del modello Vega

Per l'analisi oggettiva delle condizioni di agitazione ondosa all'interno del porto di Ortona si è utilizzato il modello numerico VEGA che risolve l'equazione di ellittica di Helmholtz, valida per onde regolari, mediante la tecnica "degli elementi di contorno" (boundary elements) e che è in grado di tenere conto dei fenomeni combinati di diffrazione e riflessione.

### 3.1 Descrizione del modello di calcolo

Il modello numerico VEGA, sviluppato dalla Modimar S.r.l. con il supporto scientifico del Prof. Paolo De Girolamo, è classificabile come modello irrotazionale bidimensionale per onde armoniche. Il modello è basato sulla risoluzione della seguente equazione ellittica di Helmholtz sulla base delle seguenti ipotesi semplificative:

- Irrotazionalità del moto nel dominio di calcolo nel sistema fluido in esame;
- Rapporto  $H/L \ll 1$  dove H e L sono rispettivamente l'altezza e la lunghezza d'onda;
- Assenza di dissipazioni;
- Profondità del fondale costante;
- Fondo impermeabili;
- Variazione verticale del potenziale delle velocità coincidente con la soluzione per onde progressive lineari su fondale costante;
- Onde armoniche nel tempo (monocromatiche).

L'equazione ellittica di Helmholtz risulta:

$$\nabla^2 \phi + k^2 \phi = 0$$

Dove:

- $k$  è il numero d'onda calcolato tramite la relazione di dispersione della teoria lineare  $\omega^2 = gk \tanh(kh)$
- $\Phi(x, y)$  è il potenziale bidimensionale delle velocità orbitali delle particelle;
- $\nabla^2$  è l'operatore di Laplace definito nel piano x,y coincidente con il livello medio marino.

Con le ipotesi poste tale equazione è in grado di simulare correttamente il fenomeno combinato di diffrazione e riflessione di onde armoniche lineari. Per risolvere l'equazione di Helmholtz, di tipo ellittico, è necessario definire le condizioni al contorno note su tutta la frontiera del dominio di integrazione. Nel caso di bacini portuali si impone lungo l'imboccatura portuale (o comunque lungo i contorni di continuità con il semispazio infinito escluso dal dominio di integrazione) che venga soddisfatta una opportuna condizione di radiazione. Contemporaneamente, lungo il resto della frontiera, vengono imposte condizioni sulla derivata direzionale del potenziale delle velocità (riflessione totale o parziale).

Il modello numerico VEGA risolve l'equazione di Helmholtz tramite la tecnica numerica degli elementi di contorno. In breve, la tecnica consiste nel ridurre l'equazione ellittica di Helmholtz

Azienda Regionale Attività Produttive	COMPLETAMENTO INTERVENTI SUL PORTO DI ORTONA (APPROFONDIMENTO DRAGAGGIO, PROLUNGAMENTO DIGA SUD) CUP: D74B16000360001 - CIG: 7822604907	B.04 - Studi idraulici marittimi					
		Agitazione interna-portuale					
		23	004	DR	005	0	MAR

definita sul campo bidimensionale di calcolo ad un'equazione integrale definita sulla sola frontiera del campo. La discretizzazione della frontiera permette quindi di ridurre l'equazione integrale ad un sistema di equazioni lineari definite nel campo complesso dove le incognite sono costituite da un sistema di sorgenti distribuite sulla frontiera discretizzata.

La risoluzione del sistema di equazioni, che costituisce la parte più onerosa dal punto di vista computazionale del modello numerico, è ottenuta utilizzando il metodo delle eliminazioni successive di Gauss. La dimensione del sistema di equazioni dipende dal numero di sorgenti incognite introdotte sulla frontiera. Ciascun segmento è stato a sua volta suddiviso in elementi di lunghezza compresa tra 1/6 ed 1/7 della lunghezza d'onda propagata, assicurandosi in tal modo che in tutte le simulazioni fossero introdotti almeno 5 elementi (sorgenti) per ogni segmento considerato.

La condizione al contorno lato mare è rappresentata da un contorno generatore, in cui vengono assegnati i valori di direzione e periodo dell'onda monocromatica di altezza unitaria.

Risolto il sistema di equazioni è quindi possibile calcolare in ogni punto del campo di potenziale delle velocità orbitali delle particelle idriche in superficie, l'altezza d'onda e la sua fase.

Il modello numerico richiede i seguenti dati in ingresso:

- coordinate dei vertici del contorno dell'area portuale;
- posizione dell'imboccatura/e portuale;
- direzione e periodo del moto ondoso sull'imboccatura portuale;
- profondità del fondale all'interno del porto;
- profondità del fondale all'esterno dell'imboccatura portuale;
- numero di sorgenti per l'impostazione dei passi di discretizzazione del contorno;
- coefficienti di riflessione delle banchine;
- coordinate dei punti dove devono essere calcolati i risultati.

Il modello fornisce come risultati l'altezza d'onda, il potenziale delle velocità e la fase nei punti richiesti. I risultati ottenuti possono essere restituiti sia sotto forma numerica che grafica.

Essendo il modello lineare, le simulazioni sono state condotte considerando sul contorno lato mare del dominio di calcolo, altezza d'onda  $H_0 = 1$  m associate alle distinte combinazioni di direzione e periodo delle forzanti di moto ondoso assunte come rappresentative per l'analisi dei fenomeni di agitazione ondosa residua all'interno del porto. In questo modo i valori di altezza d'onda calcolati all'interno del dominio di calcolo  $H_i$  di fatto rappresentano numericamente il "grado di agitazione" ( $K_a$ ), ovvero la combinazione degli effetti della diffrazione e della riflessione sulla propagazione dell'onda di altezza unitaria  $H_0$  fornendo l'altezza d'onda relativa  $H_i$ . Volendo ricavare per uno stato di mare al largo, contraddistinto quindi da uno specifico valore di altezza d'onda  $H_s$ , i corrispondenti valori di altezza d'onda all'interno del dominio di calcolo è sufficiente moltiplicare il suddetto grado di agitazione  $K_a$  per  $H_s$ , ovvero:

$$H_i = H_s \cdot K_a$$

Azienda Regionale Attività Produttive	COMPLETAMENTO INTERVENTI SUL PORTO DI ORTONA (APPROFONDIMENTO DRAGAGGIO, PROLUNGAMENTO DIGA SUD) CUP: D74B16000360001 - CIG: 7822604907	B.04 - Studi idraulici marittimi Agitazione interna-portuale					
		23	004	DR	005	0	MAR

### 3.2 Selezione delle forzanti di moto ondoso simulate

Gli stati di mare incidente simulati nel presente studio specialistico di agitazione interna portuale, sono riportati in Tabella 3-1. Tale tabella è stata sintetizzata a partire dalla tabella climatica presente nel rapporto di propagazione largo riva. Le frequenze di accadimento riportate fanno riferimento alla totalità degli stati di mare che nell'anno medio climatico interessano il paraggio del porto di Ortona. Complessivamente si sono considerate 48 condizioni di moto ondoso.

Tabella 3-1 Frequenze di accadimento annuali associate agli "stati di mare" simulati con il modello VEGA

Dir (°N)	Frequenza di accadimento				Tot.	
	Hs = 0.75 m Tp = 4.0 s	Hs = 1.5 m Tp = 4.0 s	Hs = 3.0 m Tp = 7.0 s	Hs = 5.0 m Tp = 10.0 s	%	gg/anno
0	2.7619	1.7470	0.0619	0.0018	4.57	16.69
10	2.0801	2.2238	0.2481	0.0185	4.57	16.68
20	1.7124	1.9710	0.3586	0.0228	4.06	14.84
30	1.2702	1.1229	0.1462	0.0193	2.56	9.34
40	0.8689	0.5684	0.0597	0.0075	1.50	5.49
50	0.6406	0.3640	0.0346	0.0004	1.04	3.79
60	0.5957	0.2588	0.0150	0.0000	0.87	3.17
70	0.6174	0.2103	0.0080	0.0000	0.84	3.05
80	0.8178	0.3094	0.0137	0.0004	1.14	4.17
90	2.7878	1.2976	0.0408	0.0000	4.13	15.06
100	3.9897	1.2459	0.0132	0.0000	5.25	19.16
110	2.1953	0.8051	0.0045	0.0000	3.00	10.97
Tot. %	20.338	12.124	1.004	0.071	33.54	
Tot. gg/anno	74.2330	44.2542	3.6655	0.2576	122.41	

Il modello VEGA risolve le equazioni in campo lineare, e quindi nella Tabella 3-1 gli stati di mare da simulare sono stati contraddistinti solo in funzione del periodo di picco spettrale  $T_p$  e della relativa direzione di provenienza espressa in gradi Nord, assumendo quindi per tutte le simulazioni l'altezza d'onda unitaria lungo tutto il contorno di generazione (posto lato mare).

### 3.3 Schematizzazione delle configurazioni portuali nel dominio di calcolo del modello VEGA

In questo paragrafo sono riepilogati i parametri considerati per schematizzare le distinte configurazioni portuali simulate con il modello VEGA.

Le opere esterne e le opere interne portuali sono state impostate schematizzando i loro contorni come intersezione tra il livello medio del mare e le opere stesse. Ad ogni contorno è stato attribuito un coefficiente di riflessione/assorbimento che dipende dalle caratteristiche della struttura nella sua "fascia di contatto" con la superficie marina che viene simulata (opere a parete verticale, celle antiriflettenti, opere a gettata, spiagge, coste rocciose etc.).

I contorni sono stati a loro volta discretizzati mediante l'inserimento lungo di essi un idoneo numero di sorgenti che dipende sia dalla lunghezza delle onde simulate, la quale risulta funzione della profondità e del periodo delle onde, sia della lunghezza del contorno stesso.

Il modello numerico VEGA risolve un sistema di equazioni definendo le caratteristiche di ogni sorgente utilizzata per descrivere il contorno del dominio di calcolo.

Calcolate le caratteristiche delle sorgenti, il modello consente di calcolare per qualsiasi punto posto all'interno del dominio di calcolo le caratteristiche del moto ondoso (ampiezza e fase). Nel

Azienda Regionale Attività Produttive	COMPLETAMENTO INTERVENTI SUL PORTO DI ORTONA (APPROFONDIMENTO DRAGAGGIO, PROLUNGAMENTO DIGA SUD) CUP: D74B16000360001 - CIG: 7822604907	B.04 - Studi idraulici marittimi Agitazione interna-portuale					
		23	004	DR	005	0	MAR

presente caso i risultati sono stati calcolati in corrispondenza dei nodi di una griglia con passo di discretizzazione regolare  $dx = dy = 10$  m per un totale di 185761 punti.

Essendo il modello lineare, i risultati sono stati rappresentati graficamente utilizzando il coefficiente di agitazione che esprime il rapporto tra l'altezza d'onda calcolata nel punto e l'altezza d'onda di input che nel presente caso è stata assunta unitaria. Per ottenere il valore dell'altezza d'onda in un punto è sufficiente moltiplicare il coefficiente di agitazione calcolato per l'altezza d'onda caratteristica dello stato di mare considerato in prossimità del porto.

I coefficienti di riflessione R (rapporto tra l'altezza d'onda incidente  $H_i$  e quella riflessa  $H_r$ ) delle opere delimitanti le aree portuali (interne ed esterne) sono stati scelti in funzione delle caratteristiche riflettenti delle stesse opere secondo quanto di seguito elencato:

Tabella 3-2 Definizione dei coefficienti di riflessione

Descrizione sintetica della tipologia degli "elemento di contorno"	Coefficiente di Riflessione $R=H_i/H_r$
Opere con pareti verticali riflettenti	0.9
Opere con pareti verticali antiriflettenti	0.6
Opere a scogliera o litorali rocciosi	0.35
Spiagge e litorali a debole pendenza	0.1
Limite del dominio fluido di calcolo	0.01

Di seguito si riporta la tabella riepilogativa delle combinazioni direzione-periodo d'onda simulate per la configurazione attuale, di progetto e con resecazione del Molo Nord (vedi Tabella 3-3).

Tabella 3-3 Stati di mare simulati con il modello VEGA per tutte le configurazioni portuali

	SOLUZIONE ATTUALE				SOLUZIONE PROGETTO				SOLUZIONE PROGETTO (RESECAZIONE)			
	SIM	DIR(*N)	H (m)	T (s)	SIM	DIR(*N)	H (m)	T (s)	SIM	DIR(*N)	H (m)	T (s)
SETTORE PRINCIPALE	1A	0	1	4	1P	0	1	4	1P_R	0	1	4
	2A	0	1	7	2P	0	1	7	2P_R	0	1	7
	3A	0	1	10	3P	0	1	10	3P_R	0	1	10
	4A	10	1	4	4P	10	1	4	4P_R	10	1	4
	5A	10	1	7	5P	10	1	7	5P_R	10	1	7
	6A	10	1	10	6P	10	1	10	6P_R	10	1	10
	7A	20	1	4	7P	20	1	4	7P_R	20	1	4
	8A	20	1	7	8P	20	1	7	8P_R	20	1	7
	9A	20	1	10	9P	20	1	10	9P_R	20	1	10
	10A	30	1	4	10P	30	1	4	10P_R	30	1	4
	11A	30	1	7	11P	30	1	7	11P_R	30	1	7
	12A	30	1	10	12P	30	1	10	12P_R	30	1	10
	13A	40	1	4	13P	40	1	4	13P_R	40	1	4
	14A	40	1	7	14P	40	1	7	14P_R	40	1	7
	15A	40	1	10	15P	40	1	10	15P_R	40	1	10
	16A	50	1	4	16P	50	1	4	16P_R	50	1	4
	17A	50	1	7	17P	50	1	7	17P_R	50	1	7
	18A	50	1	10	18P	50	1	10	18P_R	50	1	10
SETTORE SECONDARIO	19A	60	1	4	19P	60	1	4	19P_R	60	1	4
	20A	60	1	7	20P	60	1	7	20P_R	60	1	7
	21A	60	1	10	21P	60	1	10	21P_R	60	1	10
	22A	70	1	4	22P	70	1	4	22P_R	70	1	4
	23A	70	1	7	23P	70	1	7	23P_R	70	1	7
	24A	70	1	10	24P	70	1	10	24P_R	70	1	10
	25A	80	1	4	25P	80	1	4	25P_R	80	1	4
	26A	80	1	7	26P	80	1	7	26P_R	80	1	7
	27A	80	1	10	27P	80	1	10	27P_R	80	1	10
	28A	90	1	4	28P	90	1	4	28P_R	90	1	4
	29A	90	1	7	29P	90	1	7	29P_R	90	1	7
	30A	90	1	10	30P	90	1	10	30P_R	90	1	10
	31A	100	1	4	31P	100	1	4	31P_R	100	1	4
	32A	100	1	7	32P	100	1	7	32P_R	100	1	7
	33A	100	1	10	33P	100	1	10	33P_R	100	1	10
	34A	110	1	4	34P	110	1	4	34P_R	110	1	4
	35A	110	1	7	35P	110	1	7	35P_R	110	1	7
	36A	110	1	10	36P	110	1	10	36P_R	110	1	10

Azienda Regionale Attività Produttive	COMPLETAMENTO INTERVENTI SUL PORTO DI ORTONA (APPROFONDIMENTO DRAGAGGIO, PROLUNGAMENTO DIGA SUD) CUP: D74B16000360001 - CIG: 7822604907	B.04 - Studi idraulici marittimi Agitazione interna-portuale					
		23	004	DR	005	0	MAR

Si riportano di seguito le planimetrie di ciascuna configurazione esaminata con i relativi coefficienti di riflessione assunti per i “contorni” del dominio di calcolo (da Figura 3-1 a Figura 3-3).



Figura 3-1 - Coefficienti di riflessione degli elementi di contorno per il modello VEGA  
Configurazione Attuale



Figura 3-2 - Coefficienti di riflessione degli elementi di contorno per il modello VEGA.  
Configurazione di Progetto “parziale” (solo prolungamento della Diga Sud)

Azienda Regionale Attività Produttive	COMPLETAMENTO INTERVENTI SUL PORTO DI ORTONA (APPROFONDIMENTO DRAGAGGIO, PROLUNGAMENTO DIGA SUD) CUP: D74B16000360001 - CIG: 7822604907	B.04 - Studi idraulici marittimi Agitazione interna-portuale					
		23	004	DR	005	0	MAR



Figura 3-3 - Coefficienti di riflessione degli elementi di contorno per il modello VEGA-Configurazione di Progetto “completa” ovvero anche con la resecazione del Molo Nord

I risultati delle simulazioni numeriche, riportati nel seguito, sono espressi in termini di “coefficiente di agitazione”, ovvero del rapporto tra l’altezza d’onda calcolata per il generico punto all’interno del dominio di calcolo (quale risultante della combinazione dei processi di diffrazione e riflessione del moto ondoso) e l’altezza d’onda in ingresso (lato mare) del dominio di calcolo ed impostata con valore unitario (1.0 m).

## Capitolo 4 Risultati del modello VEGA

Nei seguenti paragrafi sono riportati in forma grafica alcuni dei risultati delle simulazioni condotte e riportate in Tabella 3-3. A titolo esemplificativo, sono confrontati i tre layout portuali per le seguenti caratteristiche del moto ondoso:

Direzione del moto ondoso (°N)	30			80			100		
Periodo del moto ondoso (s)	4	7	10	4	7	10	4	7	10
Figure	4-1	4-2	4-3	4-4	4-5	4-6	4-7	4-8	4-9

### 4.1 Direzione del moto ondoso: 30°N

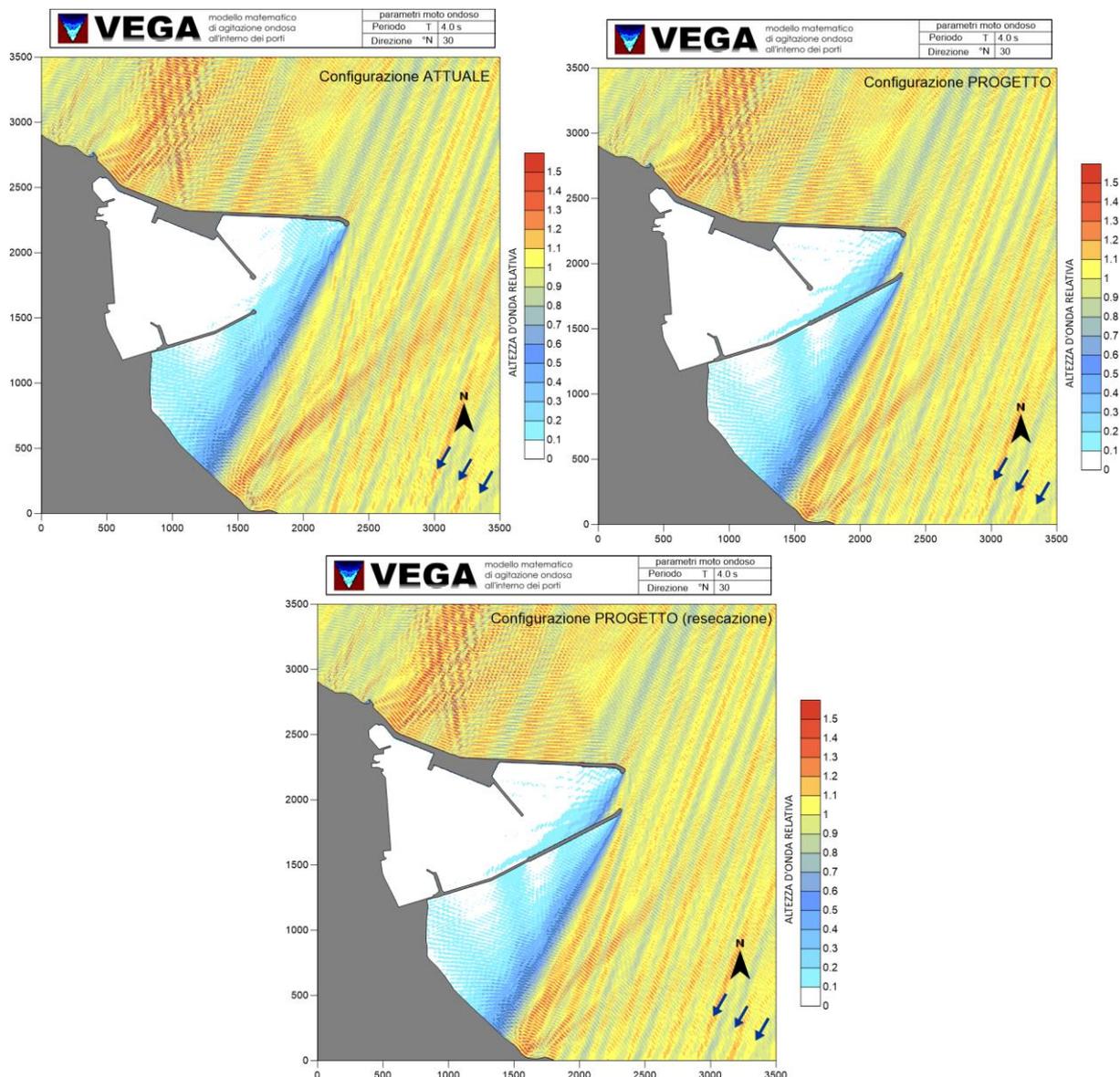


Figura 4-1 Confronto tra la soluzione attuale, soluzione di progetto e soluzione di progetto con resecazione del Molo Nord per la direzione 30°N e periodo pari a 4.0 s.

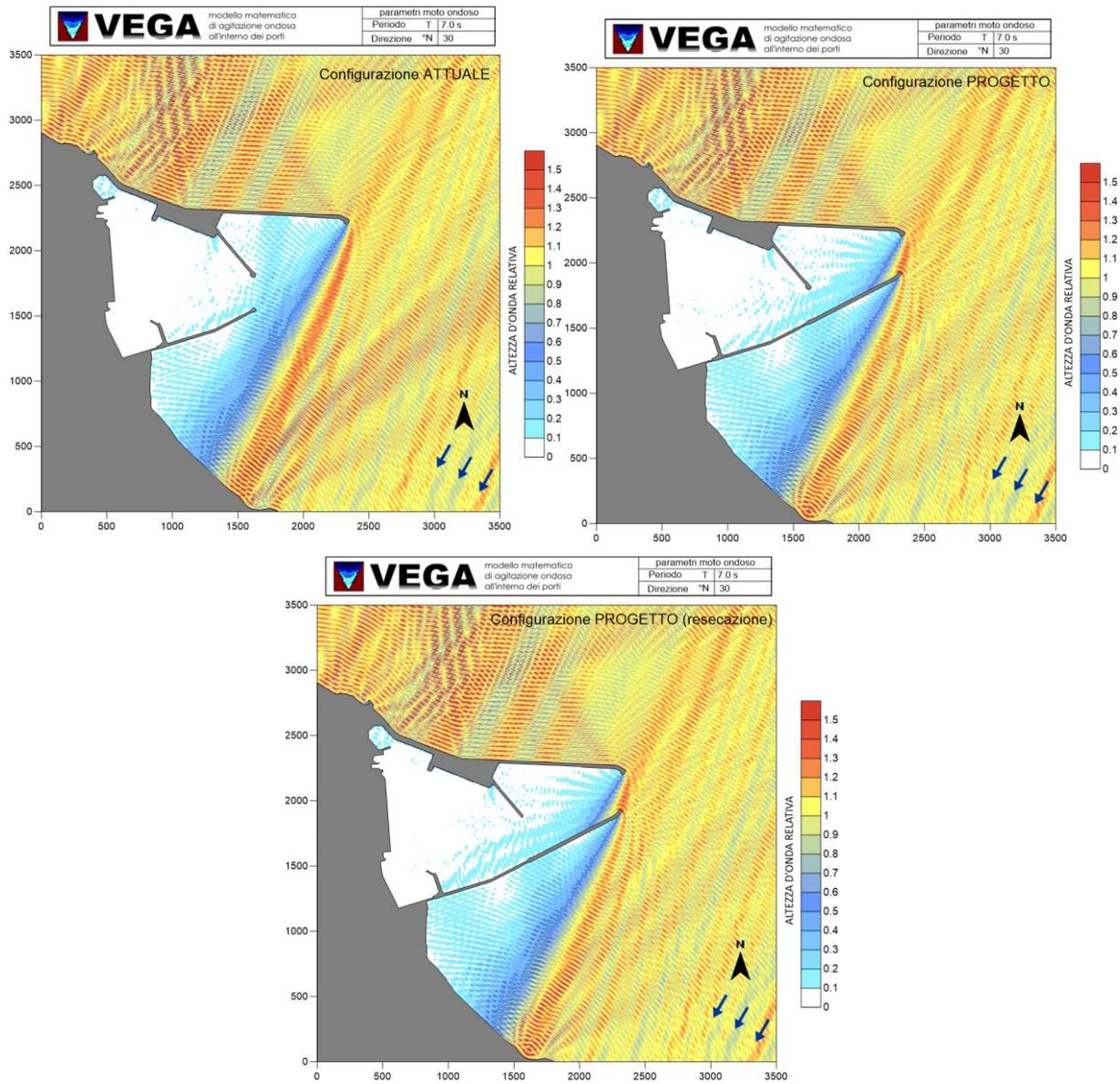


Figura 4-2 Confronto tra la soluzione attuale, soluzione di progetto e soluzione di progetto con reseczione del Molo Nord per la direzione 30°N e periodo pari a 7.0 s.

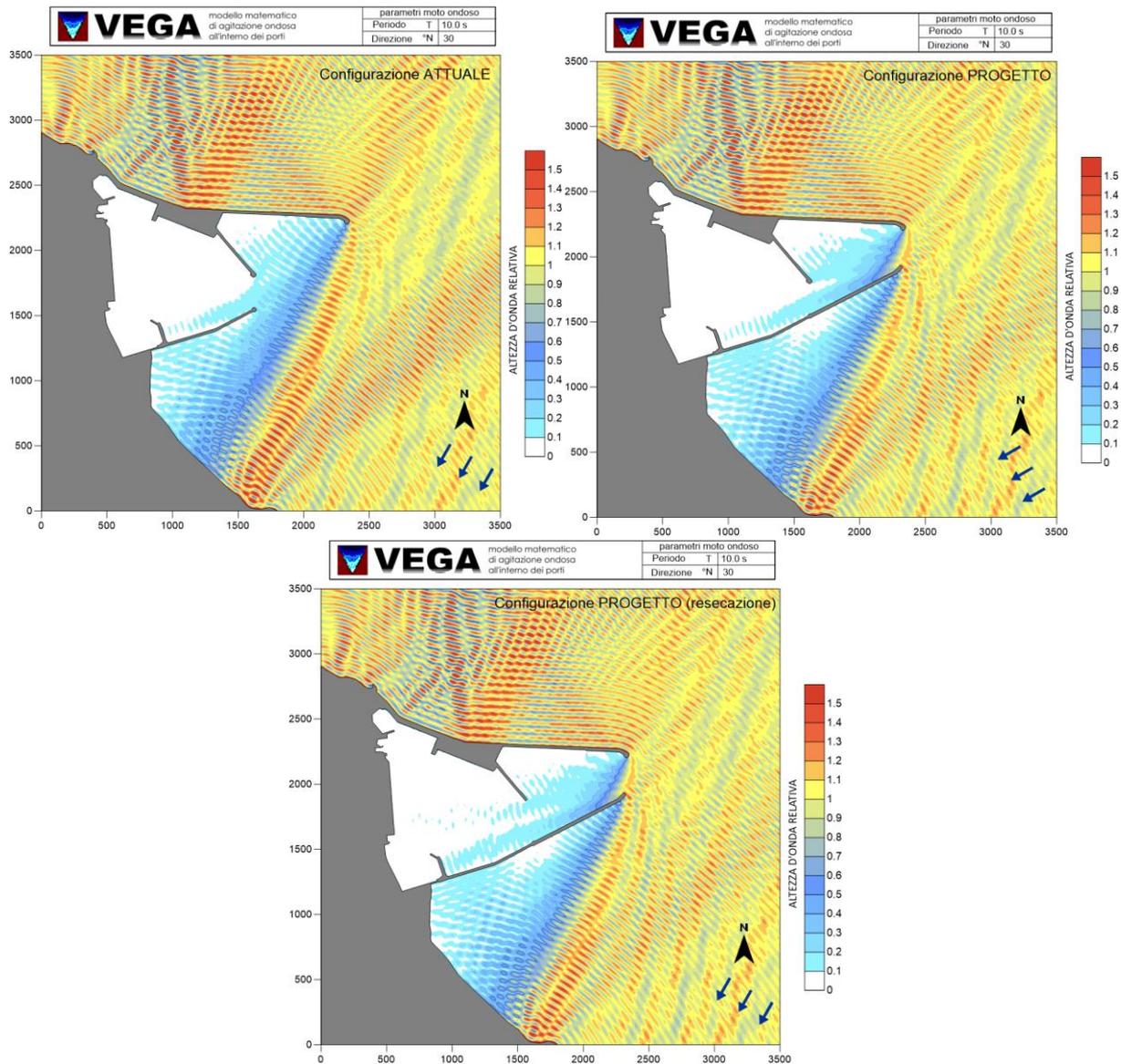


Figura 4-3 Confronto tra la soluzione attuale, soluzione di progetto e soluzione di progetto con resecazione del Molo Nord per la direzione 30°N e periodo pari a 10.0 s.

#### 4.2 Direzione del moto ondoso: 80°N

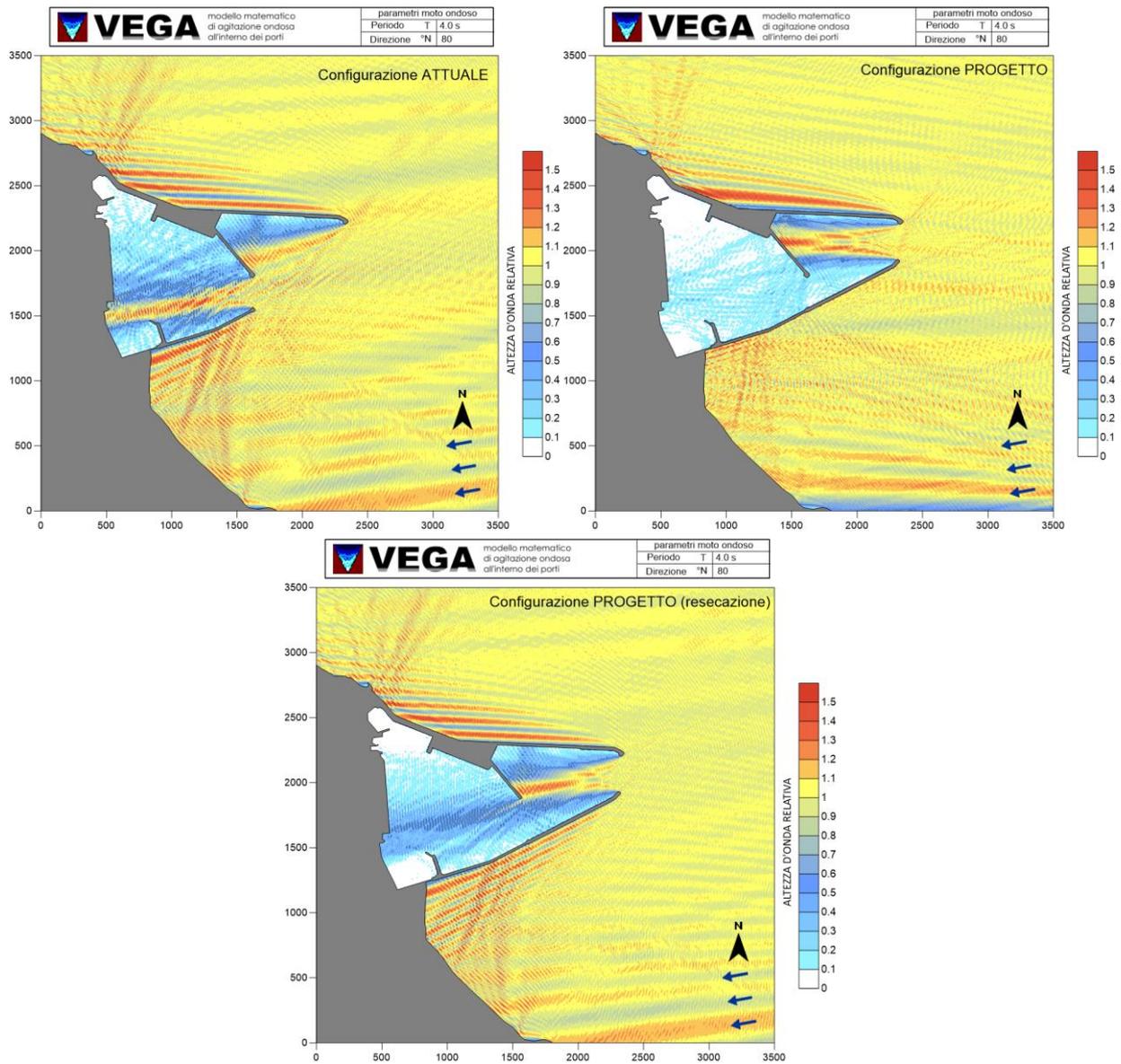


Figura 4-4 Confronto tra la soluzione attuale, soluzione di progetto e soluzione di progetto con resecazione del Molo Nord per la direzione 80°N e periodo pari a 4.0 s.

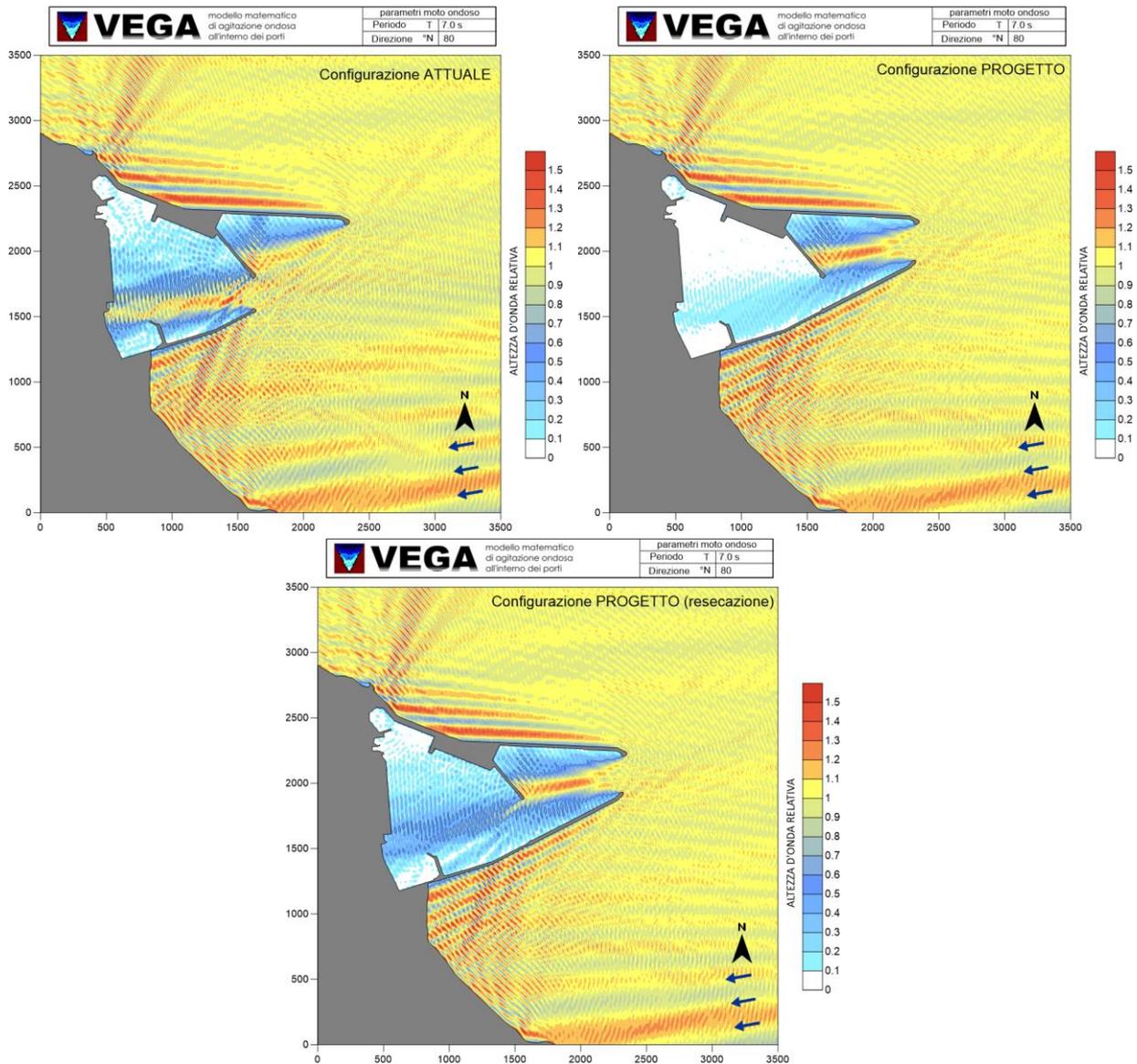


Figura 4-5 Confronto tra la soluzione attuale, soluzione di progetto e soluzione di progetto con resecazione del Molo Nord per la direzione 80°N e periodo pari a 7.0 s.

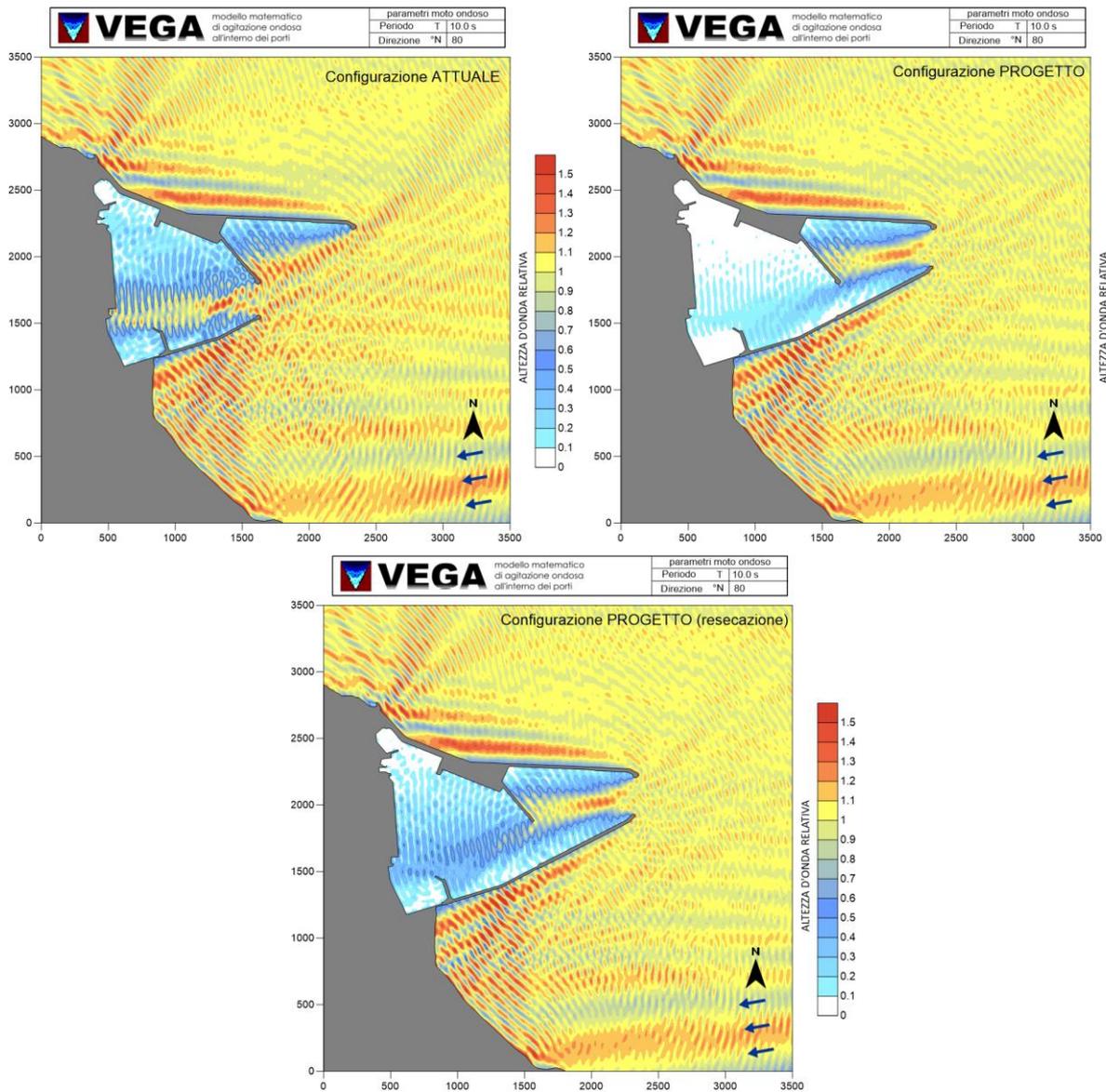


Figura 4-6 Confronto tra la soluzione attuale, soluzione di progetto e soluzione di progetto con reseczione del Molo Nord per la direzione 80°N e periodo pari a 10.0 s.

### 4.3 Direzione del moto ondoso: 100°N

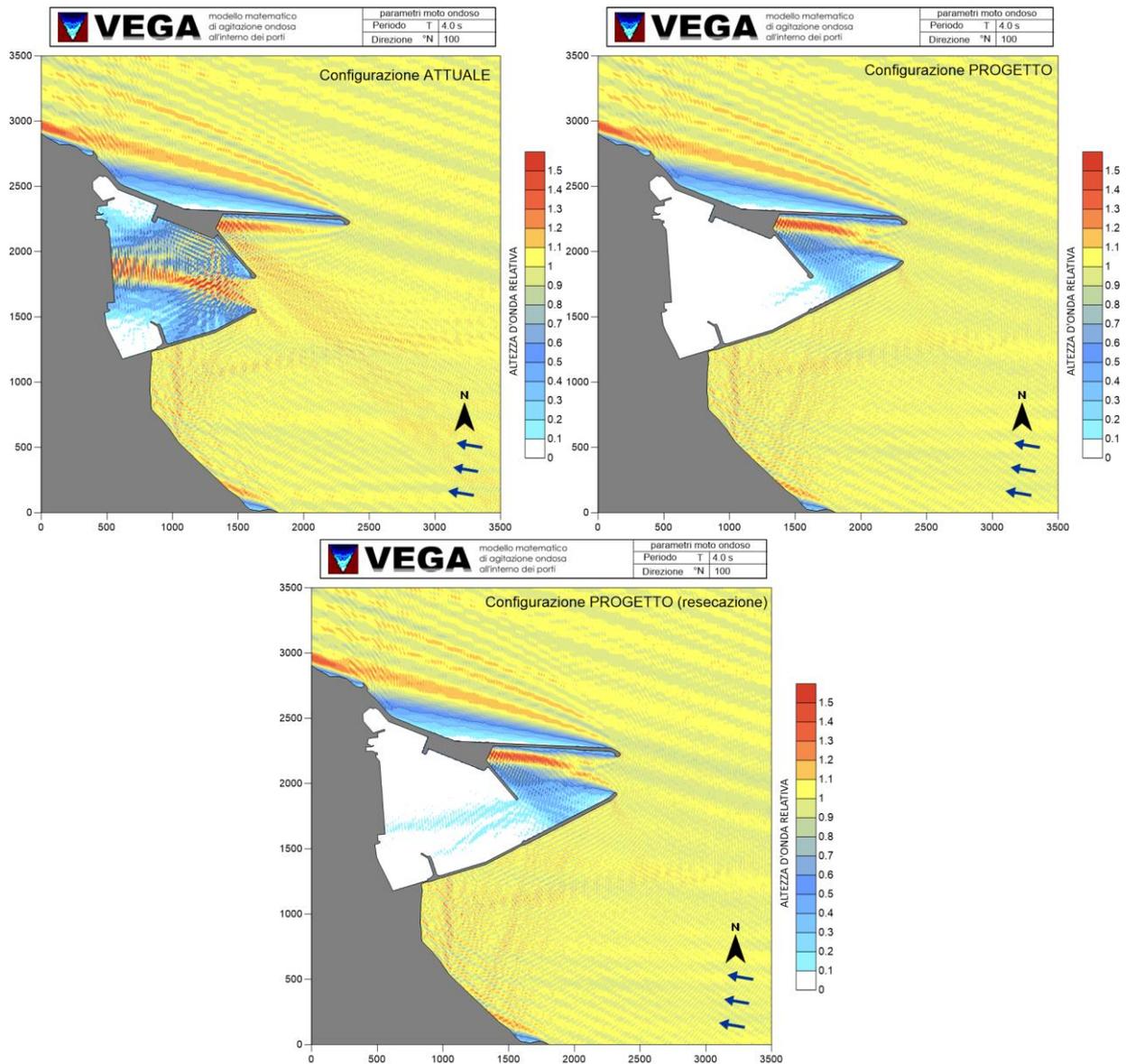


Figura 4-7 Confronto tra la soluzione attuale, soluzione di progetto e soluzione di progetto con resecazione del Molo Nord per la direzione 100°N e periodo pari a 4.0 s.

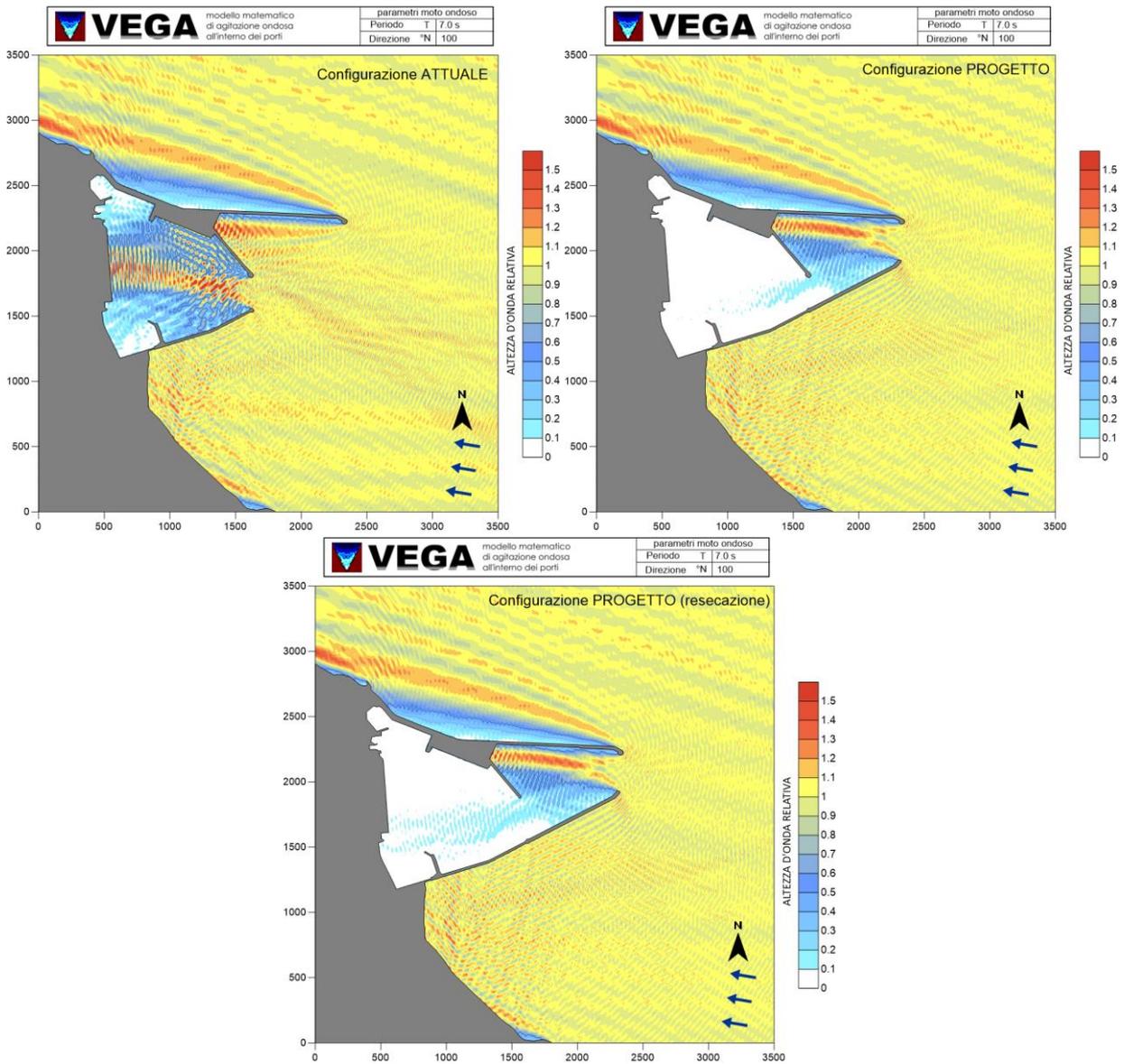


Figura 4-8 Confronto tra la soluzione attuale, soluzione di progetto e soluzione di progetto con resecazione del Molo Nord per la direzione 100°N e periodo pari a 7.0 s.

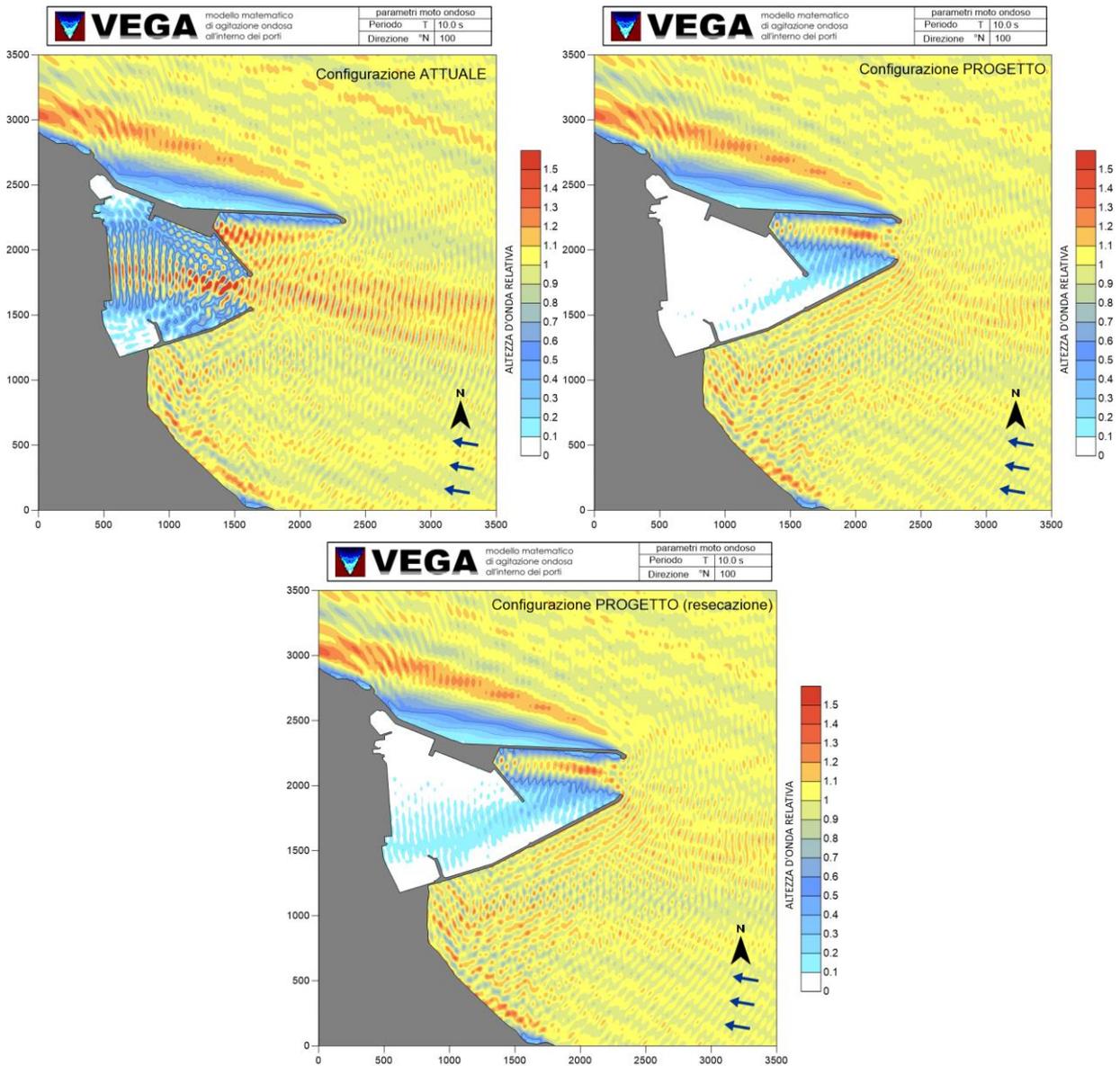


Figura 4-9 Confronto tra la soluzione attuale, soluzione di progetto e soluzione di progetto con resecazione del Molo Nord per la direzione 100°N e periodo pari a 10.0 s.

Azienda Regionale Attività Produttive	COMPLETAMENTO INTERVENTI SUL PORTO DI ORTONA (APPROFONDIMENTO DRAGAGGIO, PROLUNGAMENTO DIGA SUD) CUP: D74B16000360001 - CIG: 7822604907	B.04 - Studi idraulici marittimi Agitazione interna-portuale					
		23	004	DR	005	0	MAR

## Capitolo 5 Calcolo dell'agitazione ondosa media annuale lungo le banchine e il canale di accesso del porto

Per un'analisi oggettiva e comparativa delle diverse condizioni di agitazione residua portuale simulate per le distinte configurazioni analizzate è stato condotto uno studio volto a valutare le condizioni di agitazione medie annuali lungo le banchine e il canale di accesso al porto. In particolare, l'agitazione ondosa è stata calcolata in funzione della frequenza di superamento media annuale di prefissate soglie di altezza d'onda significativa lungo le banchine e il canale di accesso del porto. Per il calcolo della frequenza di superamento si è correlata la frequenza di accadimento ad ogni stato di mare simulato con il modello VEGA e sintetizzato nella Tabella 3-1.

I valori riportati nella tabella esprimono le frequenze medie annuali di accadimento degli stati di mare ricadenti nelle classi di direzione di provenienza ed altezza d'onda significativa indicate nella stessa tabella. La verifica è stata effettuata prendendo tutti gli stati di mare della serie storica, escludendo quelli caratterizzati da un'altezza d'onda inferiore a 0.5 m perché sostanzialmente ininfluenti per le esigenze di navigabilità e stazionamento all'ormeggio.

Nei paragrafi seguenti si riporta la metodologia adottata per il confronto tra la configurazione attuale, la configurazione di progetto e la stessa configurazione di progetto con resecazione del Molo Nord ed i relativi risultati e considerazioni cui si è pervenuti.

### 5.1 Impostazione della metodologia di analisi

L'analisi di superamento della soglia in termini di una fissata altezza d'onda per una banchina portuale viene eseguita calcolando il numero di ore l'anno durante le quali, mediamente, viene superata la soglia di altezza d'onda significativa massima fissata. Le soglie fissate per tale analisi sono le seguenti:

- 1)  $H_s \geq 0.5 \text{ m}$
- 2)  $H_s \geq 1.0 \text{ m}$
- 3)  $H_s \geq 1.5 \text{ m}$

Il calcolo, in termini di altezza d'onda media areale, viene effettuato nelle zone all'interno del bacino portuale evidenziate in Figura 5-1, Figura 5-2 e Figura 5-3.

La banchina di riva è stata divisa in tre aree, rispettivamente la zona 6, zona 7 e zona 8. Anche la Banchina Nord è stata suddivisa in più aree, rispettivamente la zona 1 e zona 2. Si sono individuate altre due aree rispetto a quelle inerenti alle banchine identificate come zona 11 e zona 12 rappresentative del canale di accesso del Porto di Ortona.

La stessa suddivisione per zone è stata utilizzata sia per la configurazione di progetto (vedi Figura 5-2) e per la configurazione con resecazione del Molo Nord (vedi Figura 5-3).

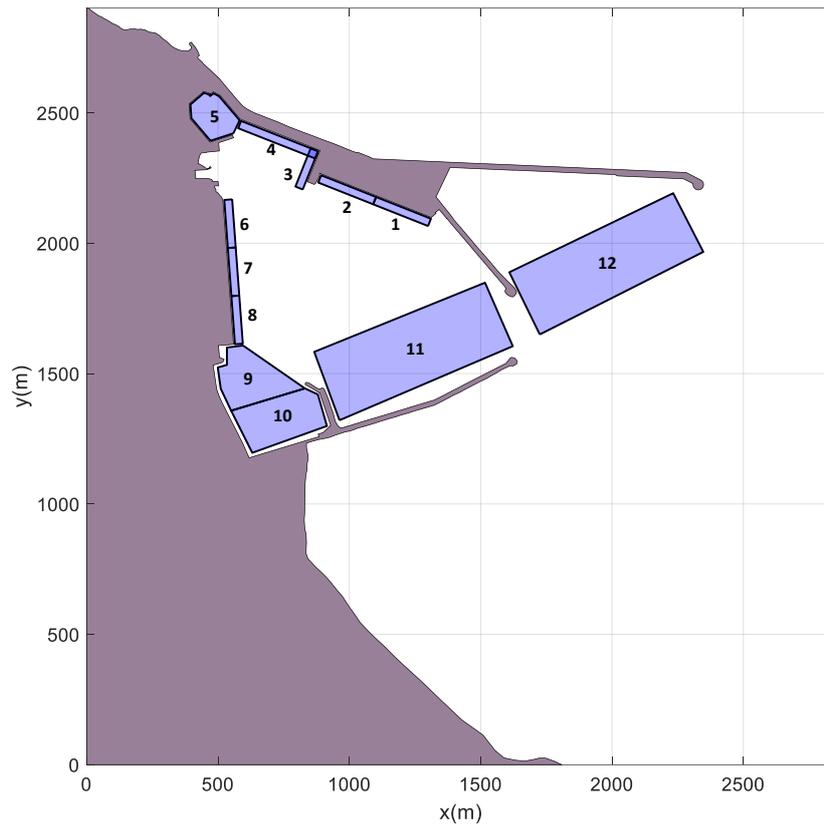


Figura 5-1 Configurazione attuale: definizione delle aree di influenza considerate per il calcolo dell'altezza d'onda media per il superamento della soglia

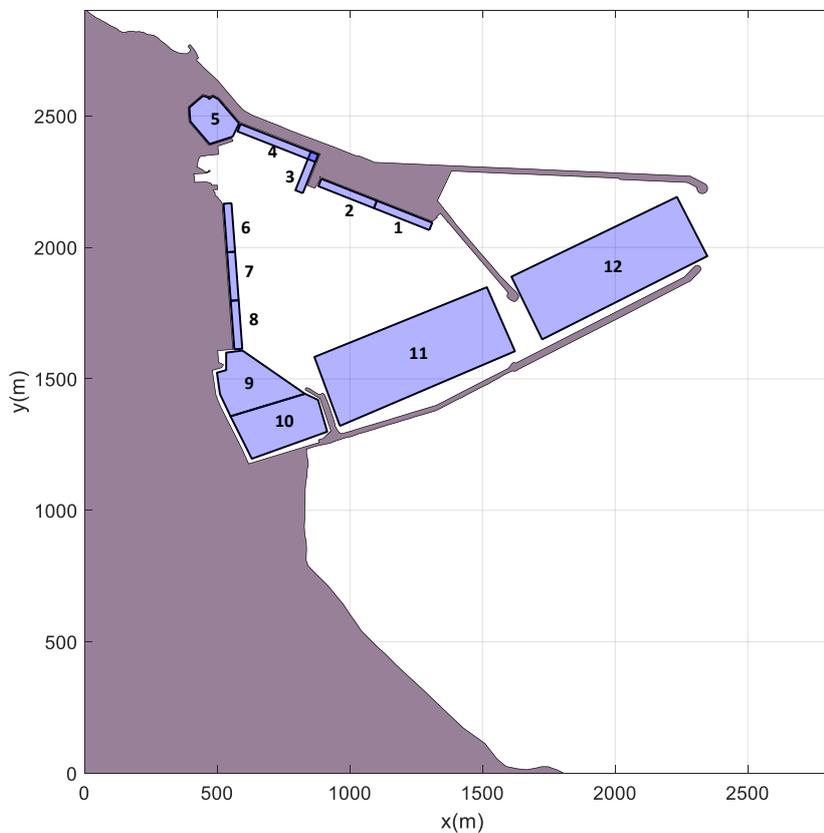


Figura 5-2 Configurazione di progetto: definizione delle aree di influenza considerate per il calcolo dell'altezza d'onda media per il superamento della soglia

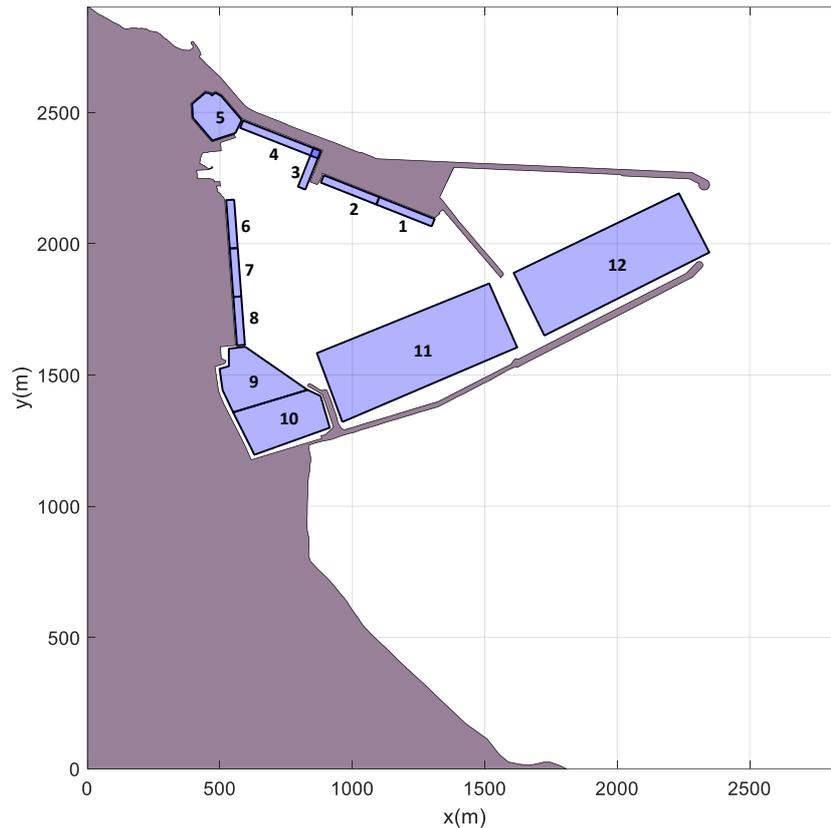


Figura 5-3 Configurazione di progetto con resecazione: definizione delle aree di influenza considerate per il calcolo dell'altezza d'onda media per il superamento della soglia

Nella Figura 5-4, è riportato il confronto tra le simulazioni in funzione della frequenza di superamento relative alle seguenti configurazioni: (i) attuale (blu), (ii) di progetto senza resecazione (rosso), (iii) di progetto con resecazione (giallo).

Per ognuna delle aree considerate e comparabili tra le tre distinte configurazioni sono stati riportati i risultati delle simulazioni condotte esplicitati percentuale, riferite all'anno medio climatico di accadimento degli stati di mare, in cui viene superata la soglia di 0.5 m, 1.0 m e 1.5 m nelle singole aree in cui è stato discretizzato il bacino portuale.

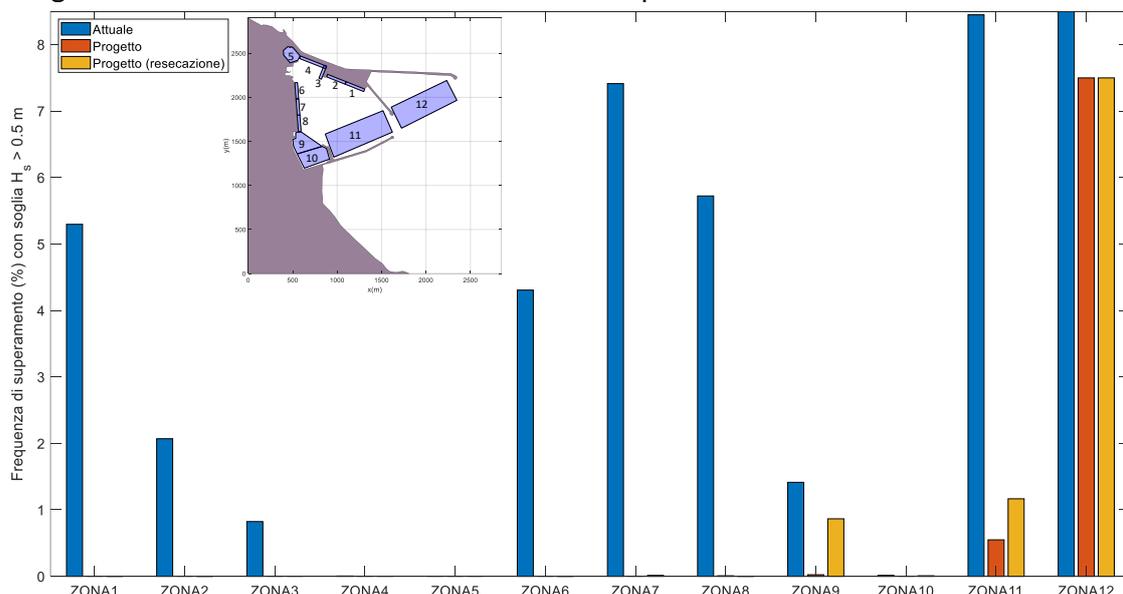


Figura 5-4 Confronto delle frequenze di superamento delle tre diverse configurazioni, nelle diverse aree adiacenti alle banchine; altezza di soglia  $H_s \geq 0.5$  m

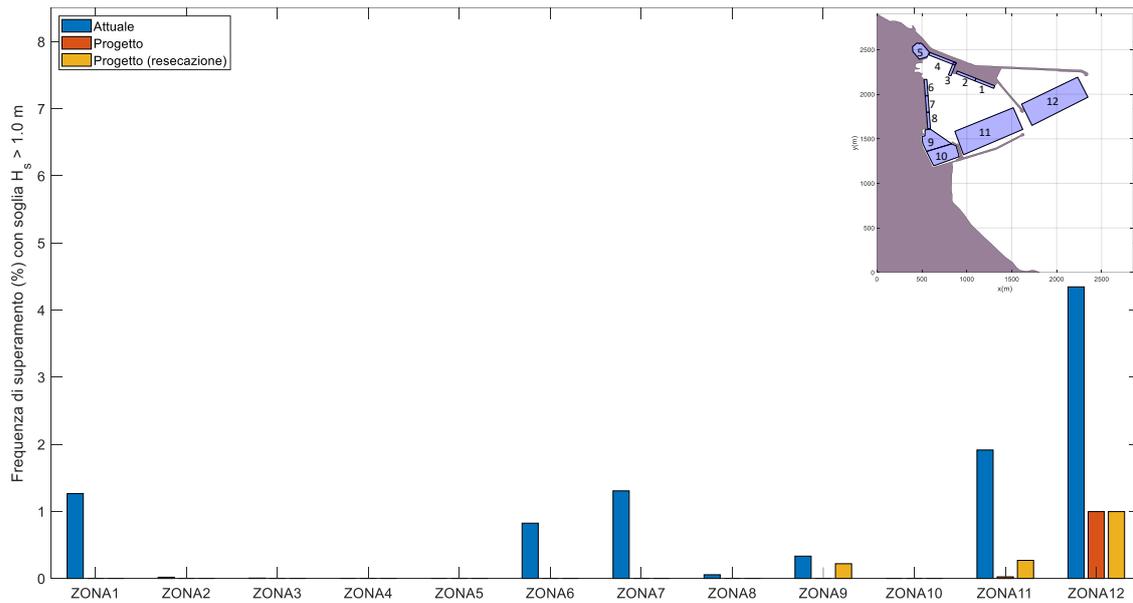


Figura 5-5 Confronto delle frequenze di superamento delle tre diverse configurazioni, nelle diverse aree adiacenti alle banchine; altezza di soglia  $H_s \geq 1.0$  m

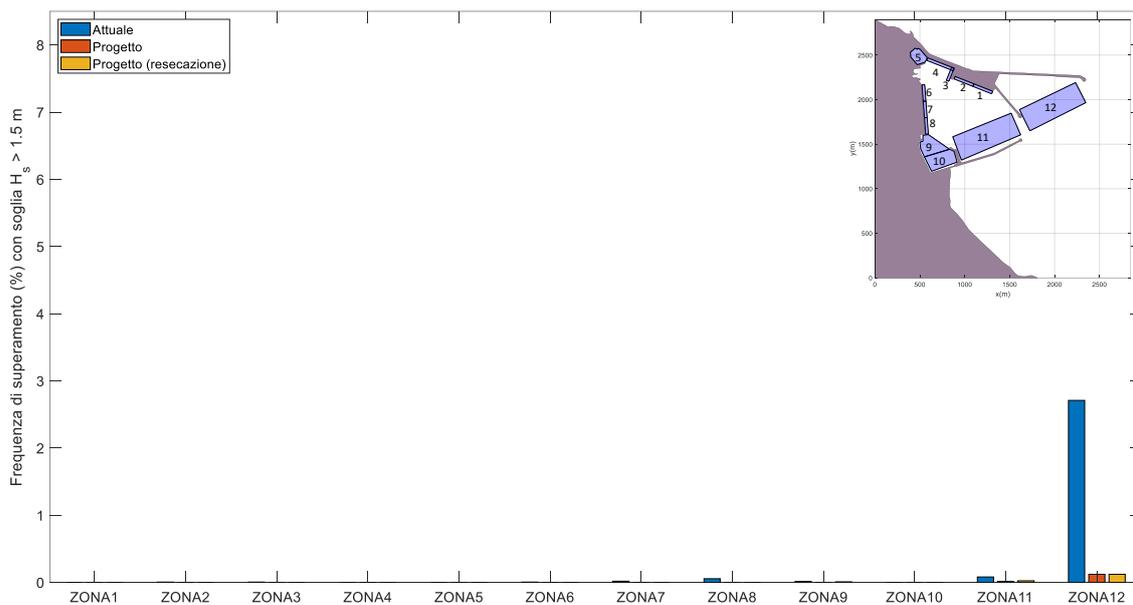


Figura 5-6 Confronto delle frequenze di superamento delle tre diverse configurazioni, nelle diverse aree adiacenti alle banchine; altezza di soglia  $H_s \geq 1.5$  m

I risultati sono riportati anche in forma tabellare (vedi Tabella 5-1, Tabella 5-2 e Tabella 5-3 sia in termini percentuali che di ore anno di superamento della soglia.

Come è possibile osservare dai grafici e dalle tabelle, la realizzazione del prolungamento del Molo Sud con o senza resecazione del vecchio molo Nord garantisce una riduzione significativa della agitazione residua per tutte le aree analizzate.

Tale miglioramento risulta particolarmente evidente per tutta la banchina di riva (zone 6, 7 e 8) con la frequenza di superamento della soglia di 0.5 m di circa 500 ore/anno (20 gg/anno - downtime di operatività della banchina), che si riduce drasticamente a meno di 0.5 ora/anno con

Azienda Regionale Attività Produttive	COMPLETAMENTO INTERVENTI SUL PORTO DI ORTONA (APPROFONDIMENTO DRAGAGGIO, PROLUNGAMENTO DIGA SUD) CUP: D74B16000360001 - CIG: 7822604907	B.04 - Studi idraulici marittimi Agitazione interna-portuale					
		23	004	DR	005	0	MAR

la realizzazione del prolungamento del molo Sud ed a circa un'ora/anno con la resecazione di 100 m del Molo Nord.

Nella zona 9, area posta immediatamente a sud della banchina di riva, la resecazione del molo Nord non determina il miglioramento atteso delle condizioni del moto ondos. Infatti, la frequenza di superamento passa dalle 123 ore/anno della configurazione attuale a 75 ore/anno in quelle di progetto con resecazione. La realizzazione del solo prolungamento del Molo Sud, invece, determina una frequenza di superamento di appena 2 ore/anno, compatibile con le attuali dotazioni presenti in quell'area (pontili galleggianti).

Tabella 5-1 Confronto tra le diverse configurazioni del superamento della soglia  $H_s \geq 0.5$  m caratteristica delle singole zone portuali in termini di frequenza e ore/anno.

ZONA N°	Freq. di superamento della soglia $H_s \geq 0.5$ m/ ore-anno di superamento della soglia $H_s \geq 0.5$ m		
	SOLUZIONE ATTUALE	SOLUZIONE PROGETTO	SOLUZIONE PROGETTO (RESECAZIONE)
1	5.3/ 463.8	0/ 0	0.0004/ 0.03
2	2.1/ 181.2	0/ 0	0.0004/ 0.03
3	0.8/ 72.1	0/ 0	0/ 0
4	0.004/ 0.42	0/ 0	0/ 0
5	0/ 0	0/ 0	0/ 0
6	4.3/ 377.1	0/ 0	0.0004/ 0.03
7	7.4/ 649.2	0/ 0	0.01/ 1.2
8	5.7/ 501.2	0.008 /0.7	0.0004/ 0.03
9	1.4/ 123.8	0.02/ 2.1	0.8/ 75.8
10	0.01/ 1.2	0/ 0	0.01/ 0.7
11	8.4/ 739.9	0.5/ 48.1	1.1/ 102.1
12	16.2/ 1424.3	7.4/ 656.7	7.5/ 656.7

Azienda Regionale Attività Produttive	COMPLETAMENTO INTERVENTI SUL PORTO DI ORTONA (APPROFONDIMENTO DRAGAGGIO, PROLUNGAMENTO DIGA SUD) CUP: D74B16000360001 - CIG: 7822604907	B.04 - Studi idraulici marittimi Agitazione interna-portuale					
		23	004	DR	005	0	MAR

Tabella 5-2 Confronto tra le diverse configurazioni del superamento della soglia  $H_s \geq 1.0$  m caratteristica delle singole zone portuali in termini di frequenza e ore/anno.

ZONA N°	Freq. di superamento della soglia $H_s \geq 1.0$ m/ ore-anno di superamento della soglia $H_s \geq 1.0$ m		
	SOLUZIONE ATTUALE	SOLUZIONE PROGETTO	SOLUZIONE PROGETTO (RESECAZIONE)
1	1.2/ 110.7	0/ 0	0/ 0
2	0.02/ 1.5	0/ 0	0/ 0
3	0.005/ 0.4	0/ 0	0/ 0
4	0/ 0	0/ 0	0/ 0
5	0/ 0	0/ 0	0/ 0
6	0.8/ 72.0	0/ 0	0/ 0
7	1.3/ 114.2	0/ 0	0/ 0
8	0.05/ 4.7	0/ 0	0/ 0
9	0.3/ 29.0	0/ 0	0.2/ 19.1
10	0/ 0	0/ 0	0/ 0
11	1.9/ 167.6	0.02/ 2.1	0.3/ 23.5
12	4.3/ 380.5	0.9/ 87.2	0.9/ 87.2

Azienda Regionale Attività Produttive	COMPLETAMENTO INTERVENTI SUL PORTO DI ORTONA (APPROFONDIMENTO DRAGAGGIO, PROLUNGAMENTO DIGA SUD) CUP: D74B16000360001 - CIG: 7822604907	B.04 - Studi idraulici marittimi Agitazione interna-portuale					
		23	004	DR	005	0	MAR

Tabella 5-3 Confronto tra le diverse configurazioni del superamento della soglia  $H_s \geq 1.5$  m caratteristica delle singole zone portuali in termini di frequenza e ore/anno.

ZONA N°	Freq. di superamento della soglia $H_s \geq 1.5$ m/ ore-anno di superamento della soglia $H_s \geq 1.5$ m		
	SOLUZIONE ATTUALE	SOLUZIONE PROGETTO	SOLUZIONE PROGETTO (RESECAZIONE)
1	0/ 0	0/ 0	0/ 0
2	0.005/ 0.4	0/ 0	0/ 0
3	0.005/ 0.4	0/ 0	0/ 0
4	0/ 0	0/ 0	0/ 0
5	0/ 0	0/ 0	0/ 0
6	0.005/ 0.4	0/ 0	0/ 0
7	0.02/ 1.5	0/ 0	0/ 0
8	0.05/ 4.7	0/ 0	0/ 0
9	0.01/ 1.2	0/ 0	0.008/ 0.73
10	0/ 0	0/ 0	0/ 0
11	0.08/ 7.0	0.02/ 1.3	0.023/ 2.07
12	2.7/ 237.3	0.12/ 10.5	0.12/ 10.5

Azienda Regionale Attività Produttive	COMPLETAMENTO INTERVENTI SUL PORTO DI ORTONA (APPROFONDIMENTO DRAGAGGIO, PROLUNGAMENTO DIGA SUD) CUP: D74B16000360001 - CIG: 7822604907	B.04 - Studi idraulici marittimi					
		Agitazione interna-portuale					
		23	004	DR	005	0	MAR

## Capitolo 6 Conclusioni

---

Sulla base delle simulazioni eseguite e delle considerazioni sull'operatività delle banchine si può concludere che:

- nella configurazione attuale le condizioni di agitazione ondosa residua più critiche si verificano per la Banchina di Riva includendo il raccordo con la darsena turistica, per la Banchina Nord per eventi provenienti dal settore Est/Sud-Est.
- La realizzazione del prolungamento del Molo Sud dà luogo ad un netto miglioramento lungo tutte le banchine portuali e l'attuale canale di accesso.
- La resecazione del tratto terminale del vecchio Molo Nord (100 m), pur inducendo un aumento della penetrazione del moto ondoso con stati di mare provenienti da Est e Sud-Est, o non dà luogo a sensibili incrementi della frequenza di superamento di prefissate soglie lungo le banchine a meno della zona di raccordo con la darsena turistica. In quanto questi stati di mare hanno complessivamente una modesta frequenza di accadimento. Comunque, l'agitazione ondosa per la configurazione resecata risulta essere decisamente inferiore rispetto a quella che si verifica nella configurazione attuale.