



AUTORITÀ DI SISTEMA PORTUALE
DEL MAR TIRRENO CENTRALE
NAPOLI · SALERNO · CASTELLAMMARE DI STABIA

AUTORITA' DI SISTEMA PORTUALE DEL MAR TIRRENO CENTRALE - PORTO DI NAPOLI

PROLUNGAMENTO DELLA DIGA DUCA D'AOSTA A PROTEZIONE DEL NUOVO TERMINAL CONTENITORI DI LEVANTE - I STRALCIO

PROGETTO DEFINITIVO

Titolo elaborato :

Studio penetrazione moto ondoso e agitazione interna

Scala:

1 9 0 0 2 D R 0 0 5 0 1 M A R

Committente:



AUTORITA' DI SISTEMA PORTUALE
DEL MAR TIRRENO CENTRALE

Responsabile Unico del Procedimento:
Dott. Ing. Rosa PALMISANO

Mandataria



Via Monte Zebio, 40
00195 ROMA

Coordinamento di progetto
Dott. Ing. Marco TARTAGLINI

PROGETTISTI

Responsabile integrazione
prestazioni specialistiche
Prof. Ing. Alberto NOLI

Mandanti



Rif. Dis.	Data	Rev.	DESCRIZIONE	Redatto:	Controllato:	Validato:
	15.10. 2019	1	REVISIONE	M. Castellino	P. Contini	M. Tartaglino
	05.06. 2019	0	EMISSIONE	M. Castellino	P. Contini	M. Tartaglino

La MODIMAR s.r.l. si riserva la proprietà di questo disegno con la proibizione di riprodurlo o trasferirlo a terzi senza autorizzazione scritta.
This document is property of MODIMAR s.r.l. Reproduction and divulgation forbidden without written permission

Visto del Committente:



AUTORITÀ DI SISTEMA PORTUALE
DEL MAR TIRRENO CENTRALE
NAPOLI · SALERNO · CASTELLAMMARE DI STABIA

AUTORITA' DI SISTEMA PORTUALE DEL MAR TIRRENO CENTRALE
PORTO DI NAPOLI
PROLUNGAMENTO DIGA DUCA D'AOSTA A PROTEZIONE DEL NUOVO
TERMINAL CONTENITORI DI LEVANTE – I STRALCIO
PROGETTO DEFINITIVO

STUDIO PENETRAZIONE MOTO ONDOSI ED AGITAZIONE INTERNA

Indice

1. Premessa	2
2. Introduzione	3
3. Configurazioni esaminate: ipotesi di calcolo e condizioni di input	4
4. Studio della penetrazione del moto ondoso	12
5. Analisi dei risultati	31
6. Conclusioni.....	34
7. ALLEGATO 1: Descrizione sintetica del modello VEGA	35

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante I° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE	Titolo elaborato: studio penetrazione moto ondoso e agitazione interna. Data: 15.10.2019					
		19	002	DR	005	01	MAR

1. Premessa

Con Bando di Gara del 21 marzo 2018, l'Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Centrale ha dato avvio ad una procedura aperta ex art. 60, D.Lgs 50/2016 (delibera A.P. 71/18 del 5 marzo 2018) per l'affidamento dei servizi tecnici di architettura e ingegneria per la progettazione definitiva ed esecutiva, il coordinamento della sicurezza in fase di progettazione, la direzione dei lavori, il coordinamento della sicurezza in fase esecutiva, oltre a prestazioni integrative, inerenti ai lavori del "Prolungamento della diga Duca d'Aosta a protezione del nuovo terminal contenitori di levante – I stralcio". CUP: I61H12000220006, CIG: 74271749DE.

Il raggruppamento temporaneo costituito fra MODIMAR s.r.l. (mandataria) e VDP s.r.l., VAMS Ingegneria s.r.l., React Studio s.r.l., G.I.A. Consulting s.r.l., S.I.S.P.I. s.r.l., Install s.r.l. (mandanti) – RT Modimar nel prosieguo - è risultato aggiudicatario del servizio, giusta delibera n. 412/18 del Presidente dell'Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Centrale del 21 dicembre 2019 e successiva integrazione del 4 aprile 2019. La presente relazione è parte del Progetto Definitivo.

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante I° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE	Titolo elaborato: studio penetrazione moto ondoso e agitazione interna. Data: 15.10.2019					
		19	002	DR	005	01	MAR

2. Introduzione

La presente relazione illustra i risultati dello studio di penetrazione del moto ondoso, necessario per una corretta definizione del grado di protezione offerto dall'ingresso del moto ondoso alle banchine interne del porto di Napoli. In particolare sono stati studiati i valori di agitazione ondosa residua prospicienti la banchina del nuovo Terminal contenitori di Levante e il grado di protezione offerto dal prolungamento della diga foranea Duca D'Aosta.

L'agitazione ondosa interna al bacino portuale è stata studiata utilizzando un modello numerico che integra in modo esatto l'equazione di Helmholtz. Tale equazione, come è noto, consente di ricavare i valori dell'agitazione in uno "specchio liquido" tenendo conto dei fenomeni combinati di diffrazione e riflessione, che nel caso specifico risultano i più importanti dal punto di vista della penetrazione delle onde nel bacino portuale. Il modello numerico utilizzato, denominato VEGA (vedi ALLEGATO 1 della presente relazione), è stato sviluppato dalla MODIMAR per ambienti operativi Windows ed è corredato di interfaccia grafica per l'input della geometria di specchi portuali e di output dei risultati numerici interpolabili in grafici di sintesi rappresentativi delle iso-altezze d'onda lungo tutto il dominio di calcolo.

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante I° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE	Titolo elaborato: studio penetrazione moto ondoso e agitazione interna. Data: 15.10.2019					
		19	002	DR	005	01	MAR

3. Configurazioni esaminate: ipotesi di calcolo e condizioni di input

Al fine di condurre una analisi del grado di protezione offerto dal prolungamento della diga foranea Duca D'Aosta alla banchina del nuovo Terminal di Levante dall'ingresso del moto ondoso, sono state prese in considerazione, oltre alla configurazione attuale del porto, due configurazioni di prolungamento della diga Duca D'Aosta (vedi Figura 3.1) che vengono di seguito brevemente descritte:

- **Prolungamento 100 m** (Figura 3.3): la Diga Duca D'Aosta è prolungata di 100 m rispetto alla configurazione attuale (vedi Figura 3.2) come previsto dal I° Stralcio del progetto di prolungamento della diga. Il prolungamento è in asse alla diga esistente ed è previsto con cassoni cellulari senza celle assorbenti.
- **Prolungamento 150 m** (Figura 3.4): la Diga Duca D'Aosta è prolungata di 150 m rispetto alla configurazione attuale (vedi Figura 3.2), allo scopo di analizzare le differenze del grado di protezione offerto con un prolungamento di ulteriori 50 m rispetto al prolungamento previsto dal I° Stralcio (100 m). Il prolungamento è in asse alla diga esistente ed è previsto con cassoni cellulari senza celle assorbenti.



Figura 3.1: Confronto tra la configurazione attuale e le alternative esaminate

Nelle figure seguenti (Figura 3.2÷Figura 3.4) sono rappresentate le configurazioni di prolungamento della diga prese in considerazione, compresa la configurazione attuale, con l'indicazione dei coefficienti di riflessione utilizzati. Nelle elaborazioni per il bacino portuale è stata assunta una profondità media costante del bacino portuale pari a 16.50 m.

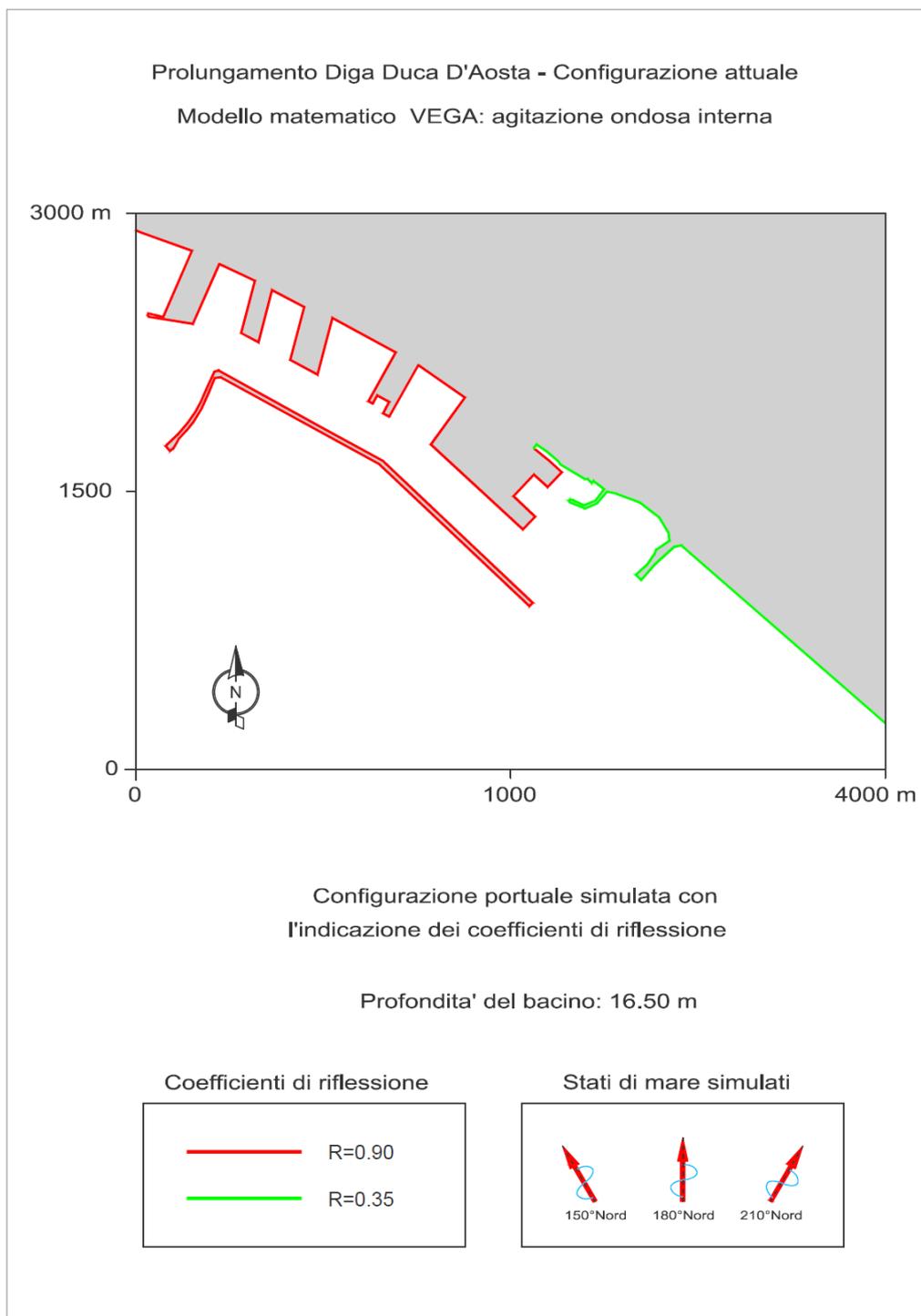


Figura 3.2: Configurazione attuale

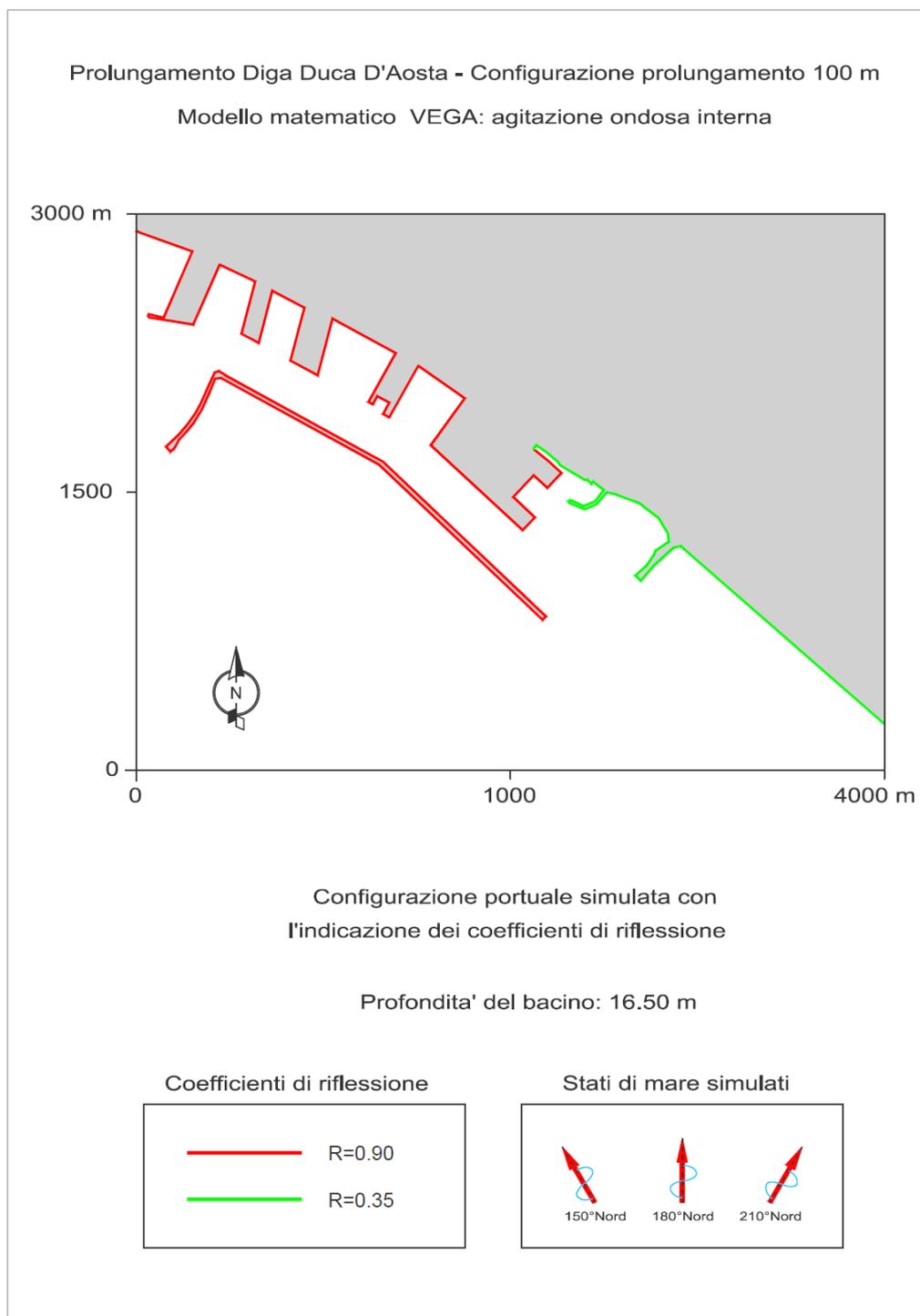


Figura 3.3: Configurazione prolungamento 100 m

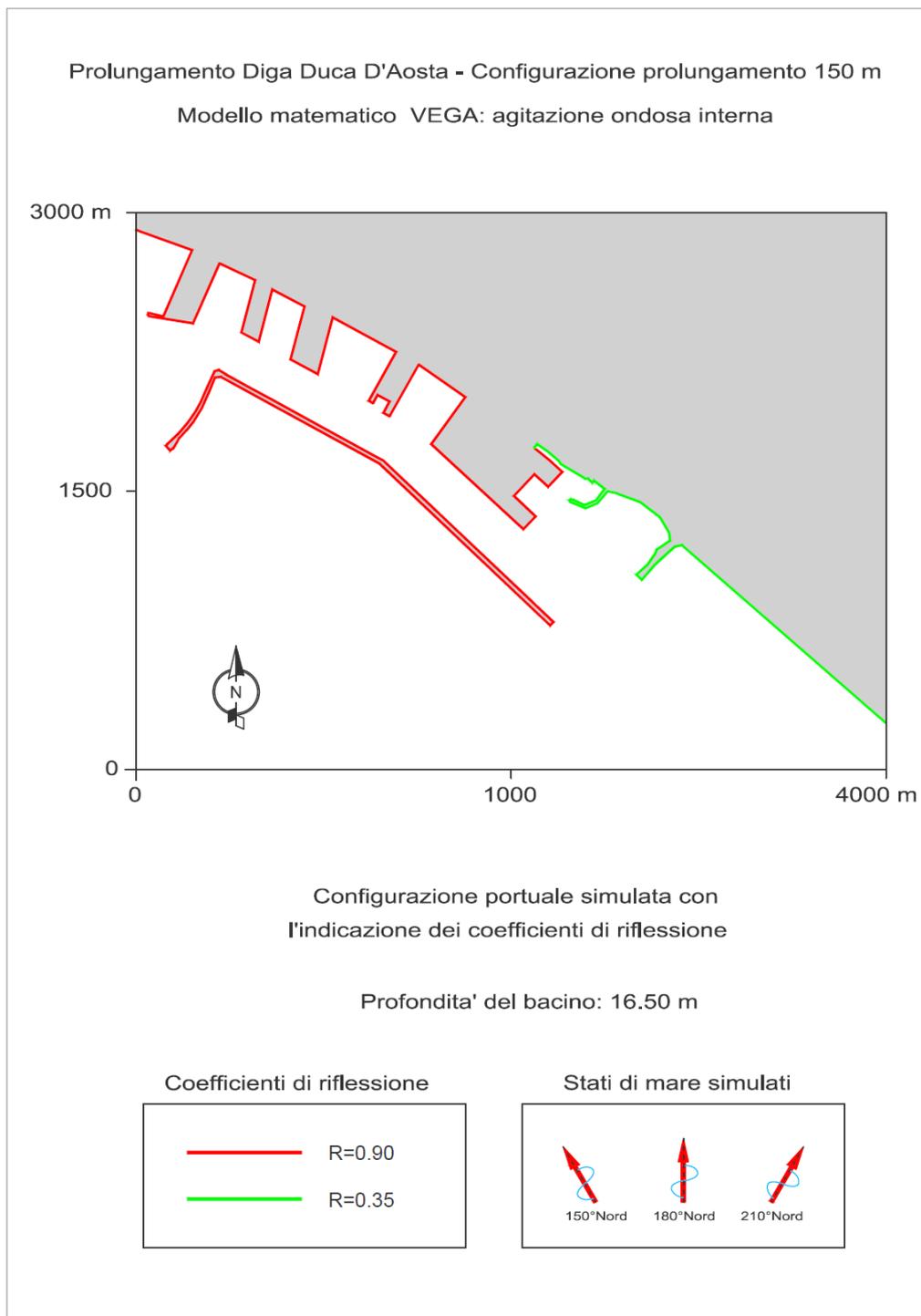


Figura 3.4: Configurazione prolungamento 150 m

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante I° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE	Titolo elaborato: studio penetrazione moto ondoso e agitazione interna. Data: 15.10.2019					
		19	002	DR	005	01	MAR

I coefficienti di riflessione R delle opere delimitanti le aree portuali interne ed esterne, riportati nelle Figura 3.2÷Figura 3.4, sono stati scelti in funzione delle caratteristiche riflettenti delle stesse e vengono qui di seguito nuovamente elencati:

- opere a pareti verticali riflettenti $R = 0.90$;
- opere a scogliera $R = 0.35$;
- spiagge assorbenti $R = 0.10$;
- pontili su pali o galleggianti (completamente permeabili) $R = 0.00$.

Si vuole sottolineare che tali coefficienti di riflessione sono stati mantenuti costanti, lungo tutto il perimetro di una stessa opera, effettuando, a favore della sicurezza, un'approssimazione per eccesso. Essi sono desunti dalla letteratura in base ad esperienze su modelli fisici e sono funzione dei parametri dell'onda incidente, del tipo di struttura (opera a parete verticale, opera a scogliera, spiaggia, etc.) e dalla pendenza delle opere interessate dall'agitazione del moto ondoso. Per le scogliere, ad esempio, si può far riferimento alla formula di Zanutting e Van der Meer (2006) dove il coefficiente di riflessione R è funzione del parametro di surf ξ (numero di Iribarren) $\xi = \tan(\alpha) / \sqrt{H/L}$.

Per quanto riguarda le direzioni di provenienza delle onde da simulare in corrispondenza dell'imboccatura di Levante del porto di Napoli, si sono preventivamente individuati, compatibilmente con l'esposizione del paraggio in esame, i settori di attacco degli stati di mare più gravosi ai fini dell'agitazione ondosa all'interno del bacino portuale secondo gli schemi planimetrici riportati nelle Figura 3.2÷Figura 3.4.

Lo studio meteomarino di progetto (vedi elaborato *19_002_DR_004_00_MAR_studio meteomarino*) ha mostrato (vedi Figura 3.5) come gli eventi di moto ondoso provenienti dai settori di traversia principale (terzo quadrante) e secondario (secondo quadrante), durante il processo di propagazione largo/riva, subiscano una rotazione concentrandosi nel settore 210–220°N.

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante I° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE	Titolo elaborato: studio penetrazione moto ondoso e agitazione interna. Data: 15.10.2019				
		19	002	DR	005	01

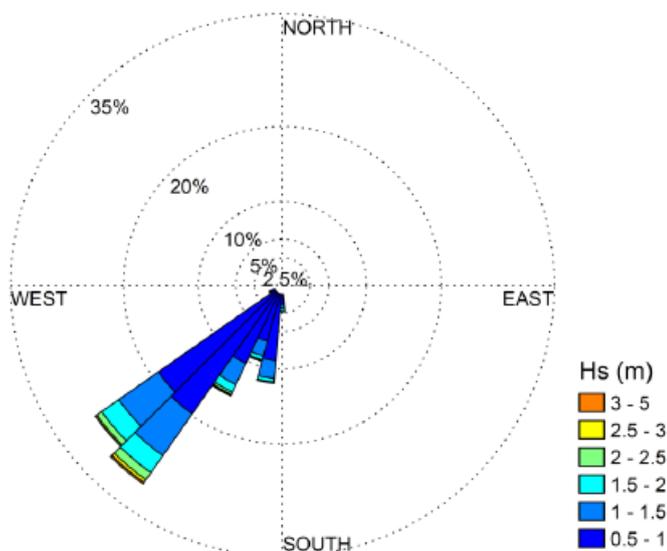


Figura 3.5: Distribuzione degli eventi di moto ondoso con altezza d'onda superiore a 0.5 m sotto costa (fonte studio meteomarinario di progetto)

Considerando la configurazione portuale, la banchina del nuovo Terminal contenitori di Levante risulta potenzialmente esposta agli eventi di moto ondoso provenienti dal secondo quadrante (direzione limite 150°N), generati in questo caso dall'azione del vento che agisce lungo un tratto di mare di circa 20 km che va dalla penisola sorrentina all'imboccatura del canale di Levante del porto di Napoli. Questi eventi di moto ondoso seppure caratterizzati da valori di altezza d'onda inferiori rispetto a quelli di progetto, possono indurre a livelli di agitazione ondosa residua rilevanti e paragonabili a quelli provenienti dai settori di traversia principale e secondario.

Pertanto le simulazioni sono state effettuate imponendo, come condizioni di input per il modello di calcolo VEGA utilizzato, oltre alle forzanti di moto ondoso provenienti dalla direzione limite di 210°N del settore di traversia principale anche quelle settore di traversia secondario secondo le direzioni di 150°N e 180°N. Gli input di progetto delle forzanti di moto ondoso (vedi Tabella 3.1) rappresentano sia le condizioni di operatività ordinaria e perciò raggiungibili qualche volta nel corso dell'anno ($T = 5 \div 7$ s), sia condizioni più rare e gravose associate a tempeste con tempo di ritorno decennale e cinquantennale ($T = 9$ s).

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante I° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE	Titolo elaborato: studio penetrazione moto ondoso e agitazione interna. Data: 15.10.2019					
		19	002	DR	005	01	MAR

Tabella 3.1 – Input delle forzanti di moto ondoso

Traversia secondaria	Dir = 150°N	$T = 5 \text{ s}$
	Dir = 180°N	$T = 5 \text{ s} \div 7 \text{ s}$
Traversia principale	Dir = 210°N	$T = 5 \text{ s} \div 7 \text{ s} \div 9 \text{ s}$

Essendo il modello lineare, le simulazioni sono state condotte in forma parametrica imponendo un valore unitario dell'altezza d'onda incidente.

Tali forzanti di moto ondoso sono state imposte, con riferimento all'origine della griglia di calcolo scelta per il modello Vega, in corrispondenza di un segmento opportunamente scelto, $A_1A_2 = \{(-2000, -2000); (6000, -2000)\}$, che rappresenta un generatore di moto ondoso interpretato dal modello come contorno di radiazione (la perturbazione riflessa dalle strutture portuali è libera di transitare per tale contorno irradiandosi nel campo, supposto infinito, posto all'esterno del dominio di calcolo schematizzato).

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante I° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE	Titolo elaborato: studio penetrazione moto ondoso e agitazione interna. Data: 15.10.2019					
		19	002	DR	005	01	MAR

4. Studio della penetrazione del moto ondoso

Lo studio della penetrazione del moto ondoso all'interno dello specchio portuale è stato condotto con il modello di diffrazione – riflessione VEGA la cui descrizione sintetica viene allegata al presente documento (vedi ALLEGATO 1).

Il modello è in grado di simulare la propagazione di onde armoniche lineari in presenza dei fenomeni combinati di diffrazione e riflessione che risultano dominanti nel caso in esame. Questi fenomeni sono regolati dall'equazione di Helmholtz che viene risolta dal modello numerico VEGA con la tecnica degli elementi di contorno (boundary elements). Tale tecnica richiede che venga discretizzato il contorno del dominio di calcolo.

Le opere foranee e le banchine all'interno degli specchi d'acqua portuali sono stati quindi schematizzati per mezzo di una serie di segmenti (vedi Figura 3.2÷Figura 3.4). Ciascun segmento è stato a sua volta suddiviso in elementi di lunghezza compresa tra 1/6 ed 1/7 della lunghezza d'onda, assicurandosi in tal modo che in tutte le simulazioni fossero introdotti almeno 5 elementi (sorgenti) per ogni segmento considerato. L'altezza d'onda relativa è stata calcolata in corrispondenza di circa 480000 nodi della griglia (4000m x 3000m; $\Delta x = \Delta y = 5$ m) computazionale posti all'interno del dominio che rappresenta l'area in esame.

I risultati delle simulazioni effettuate sono rappresentati a colori e con curve di eguale agitazione ondosa nelle Figura 4.1÷Figura 4.18. Essendo il modello lineare, i risultati sono stati rappresentati utilizzando il coefficiente di diffrazione che esprime il rapporto tra l'altezza d'onda calcolata nel punto e l'altezza d'onda incidente.

Per ottenere il valore dell'altezza d'onda in un punto è sufficiente moltiplicare il coefficiente di diffrazione per l'altezza dell'onda incidente.

I valori di output sono stati elaborati per tutte le simulazioni effettuate con il programma di interpolazione "SURFER" che restituisce i dati come curve di uguale entità dell'agitazione ondosa e/o scale cromatiche differenziate. Per chiarezza sono evidenziate solo le curve di iso-altezza d'onda pari a 0.1, 0.3 e 0.5.

Porto di Napoli - Prolungamento Diga Duca D'Aosta - Configurazione attuale
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

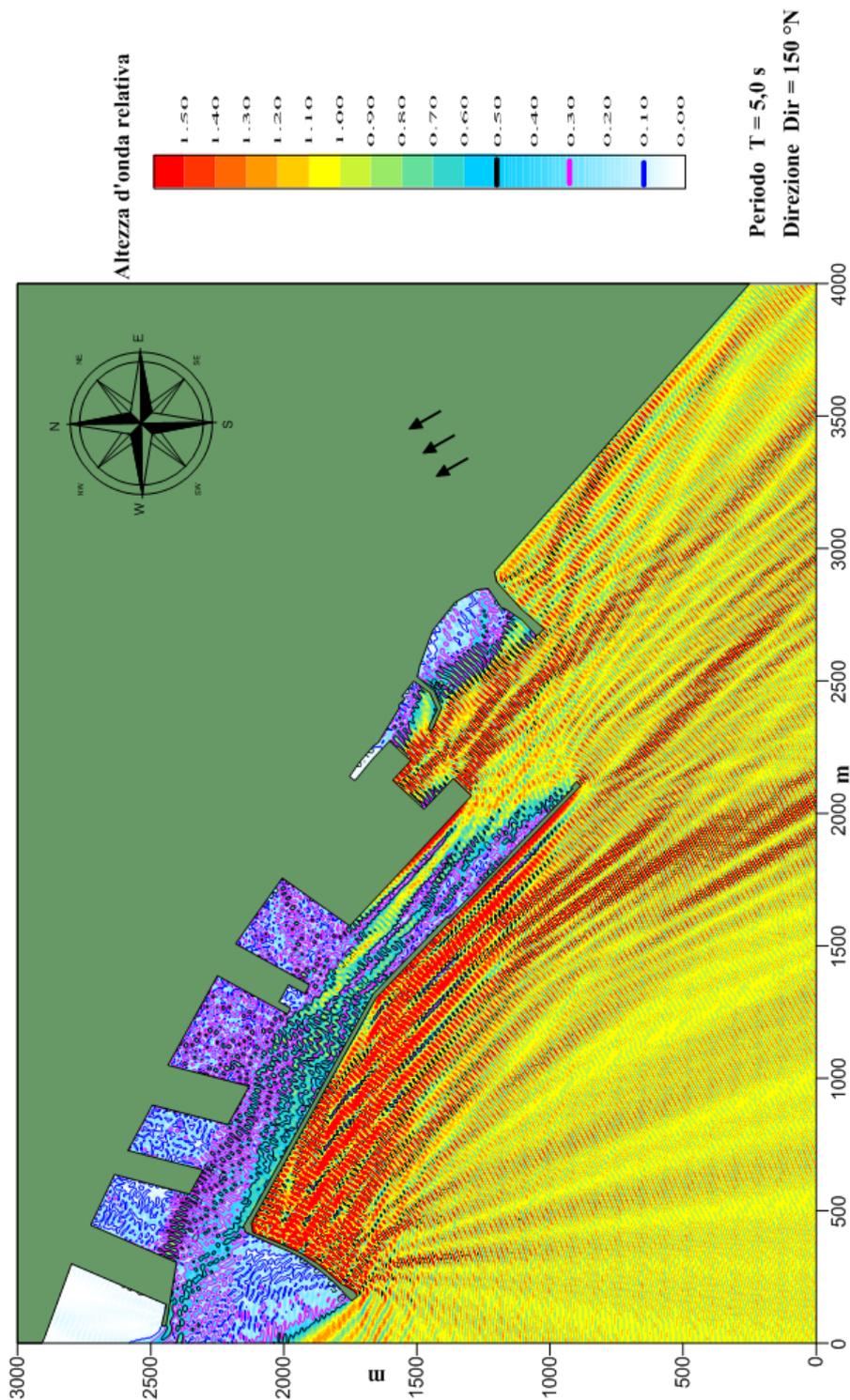


Figura 4.1: Configurazione attuale – agitazione ondosa con eventi provenienti da 150° N e periodo 5 s

Porto di Napoli - Prolungamento Diga Duca D'Aosta - Configurazione prolungamento 100 m
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

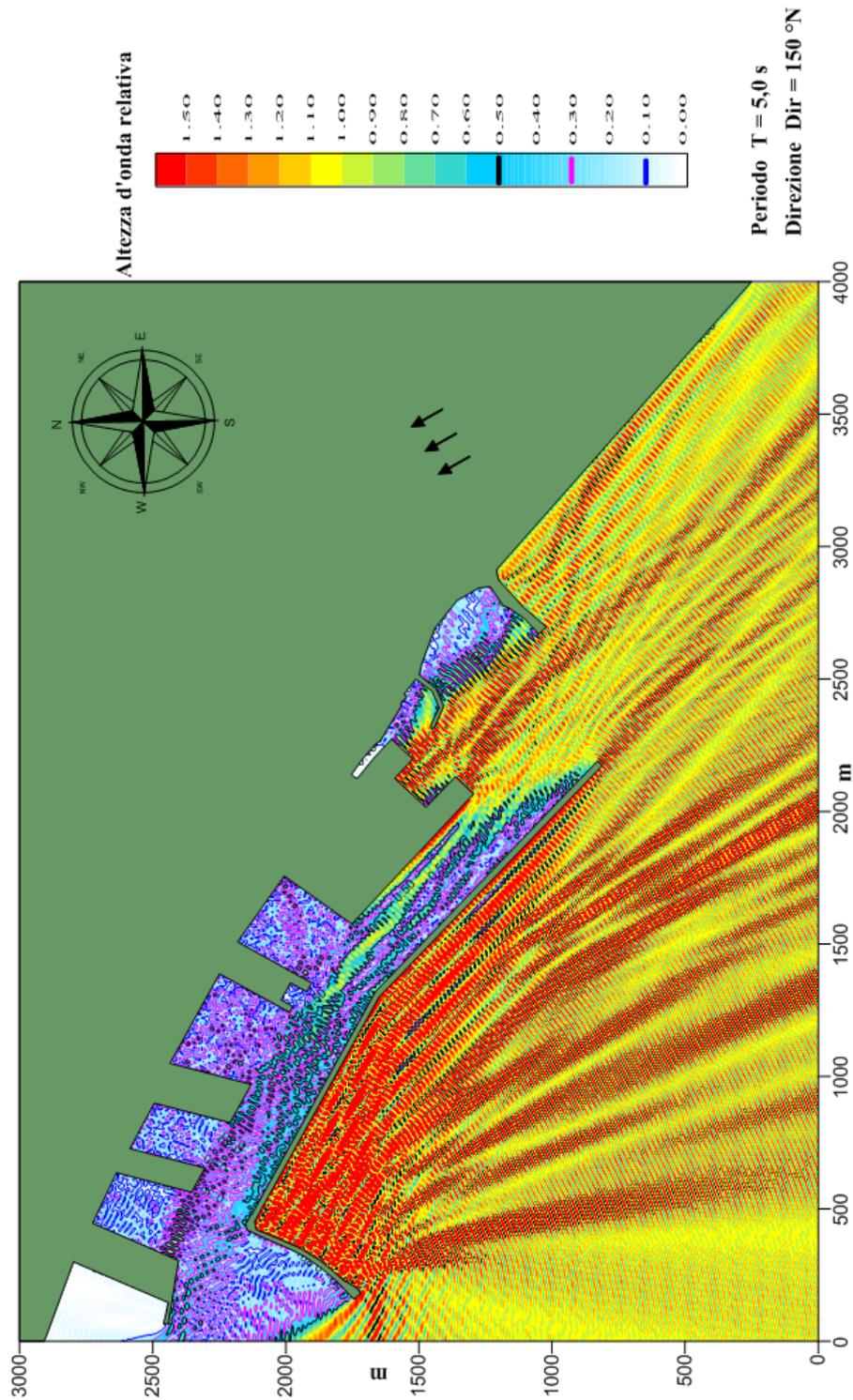


Figura 4.2: Configurazione prolungamento 100 m – agitazione ondosa con eventi provenienti da $150^\circ N$ e periodo 5 s

Porto di Napoli - Prolungamento Diga Duca D'Aosta - Configurazione prolungamento 150 m
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

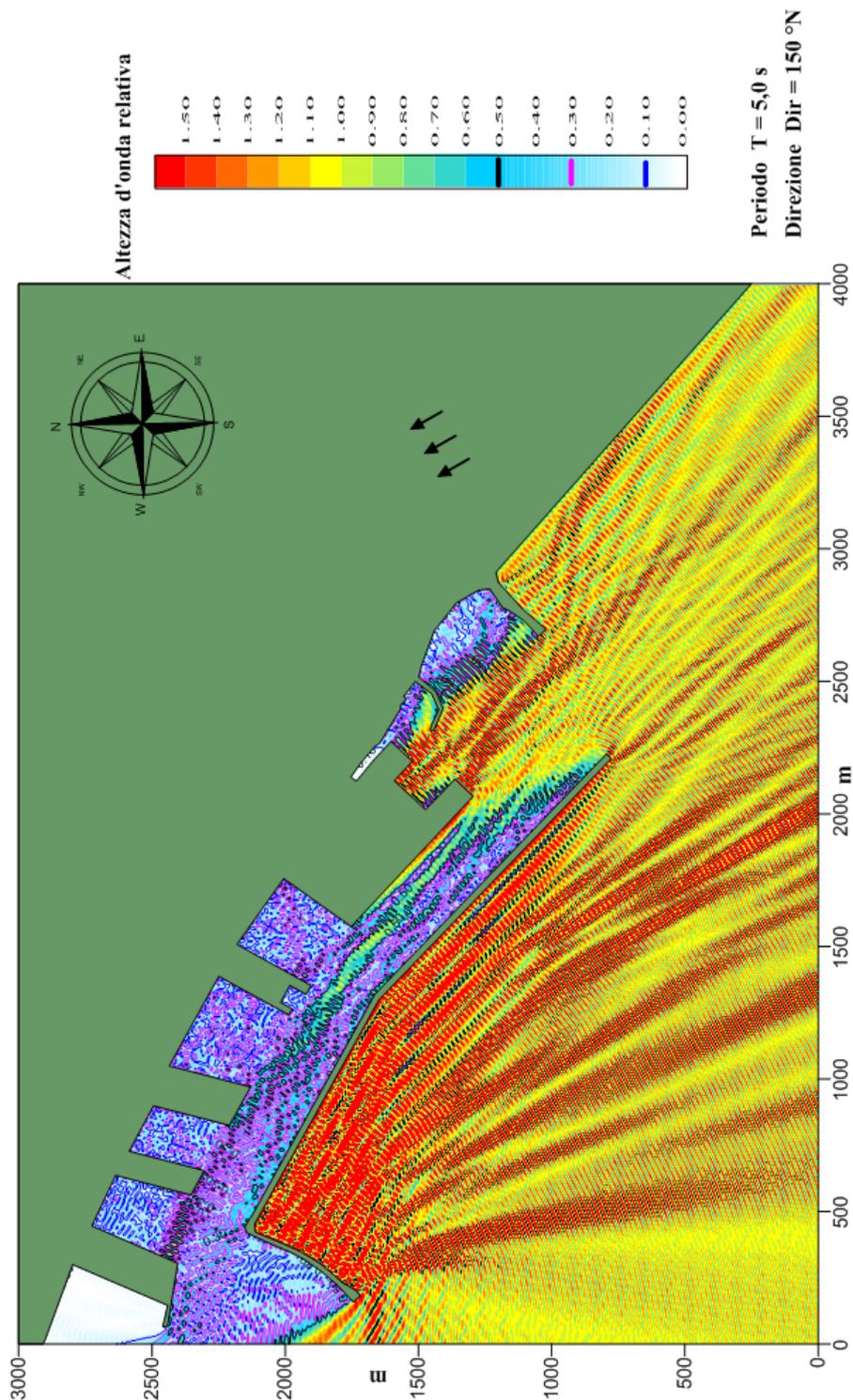


Figura 4.3: Configurazione prolungamento 150 m – agitazione ondosa con eventi provenienti da $150^\circ N$ e periodo 5 s

Porto di Napoli - Prolungamento Diga Duca D'Aosta - Configurazione attuale
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

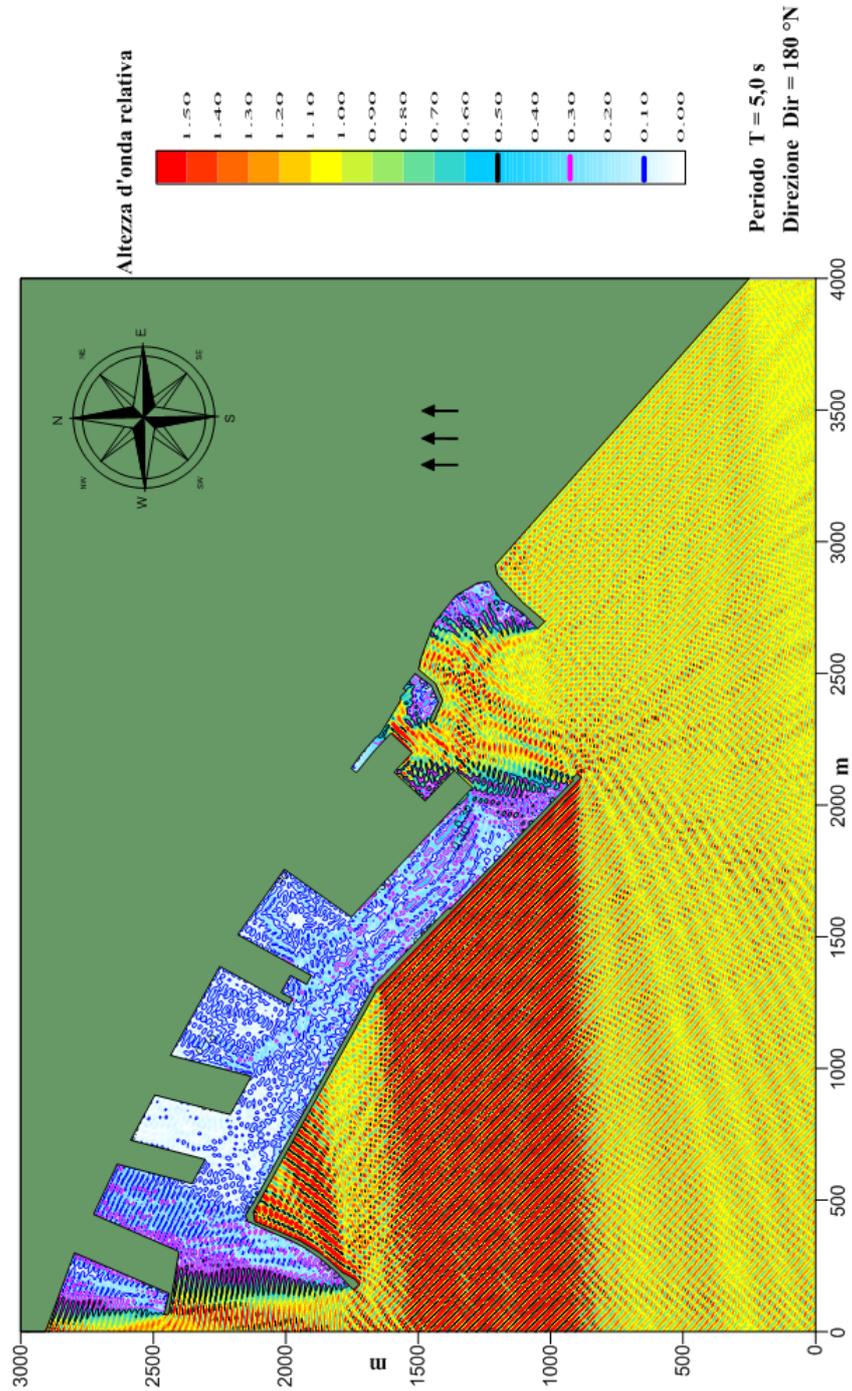


Figura 4.4: Configurazione attuale – agitazione ondosa con eventi provenienti da 180° N e periodo 5 s

Porto di Napoli - Prolungamento Diga Duca D'Aosta - Configurazione prolungamento 100 m
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

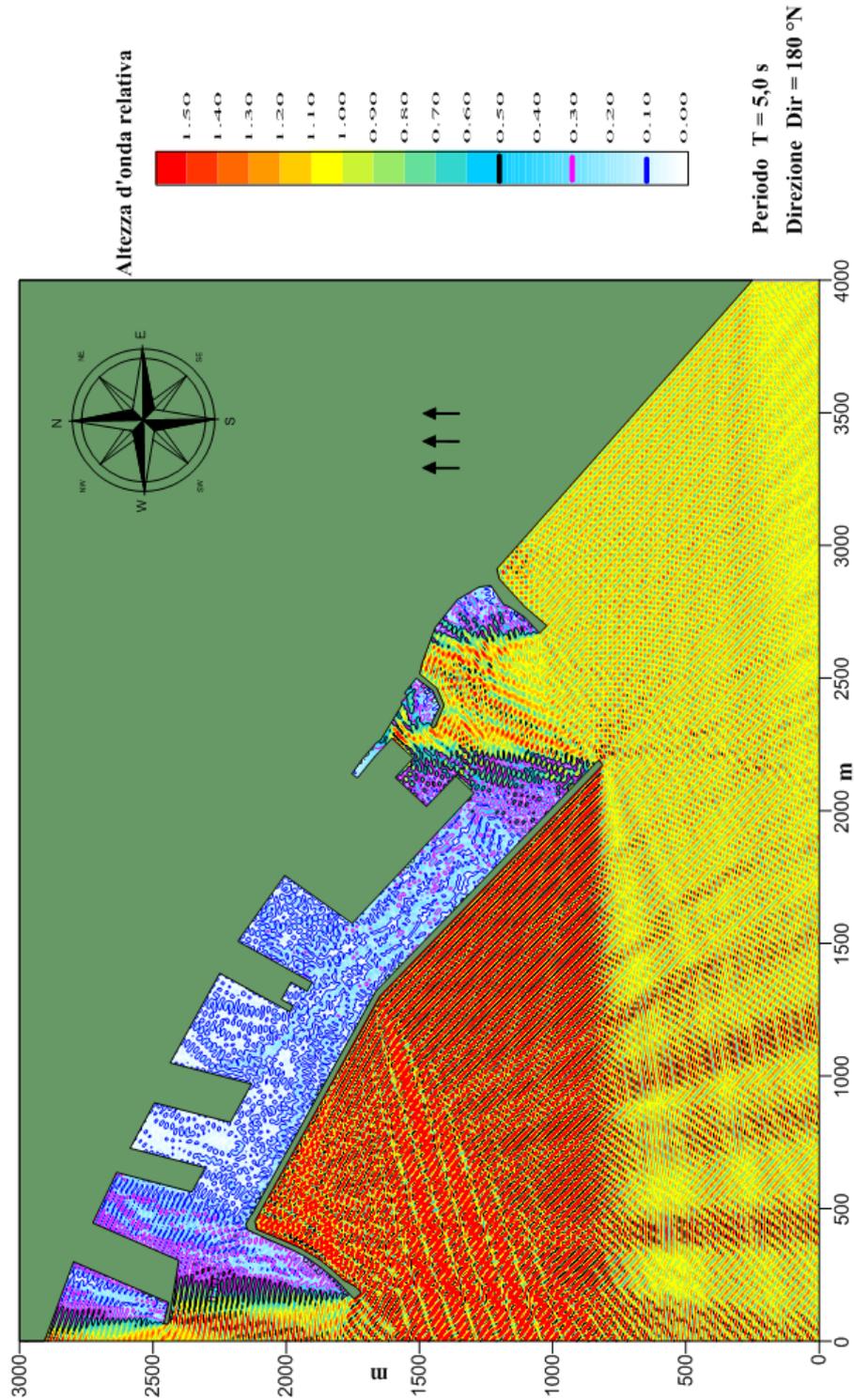


Figura 4.5: Configurazione prolungamento 100 m – agitazione ondosa con eventi provenienti da $180^\circ N$ e periodo 5 s

Porto di Napoli - Prolungamento Diga Duca D'Aosta - Configurazione prolungamento 150 m
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

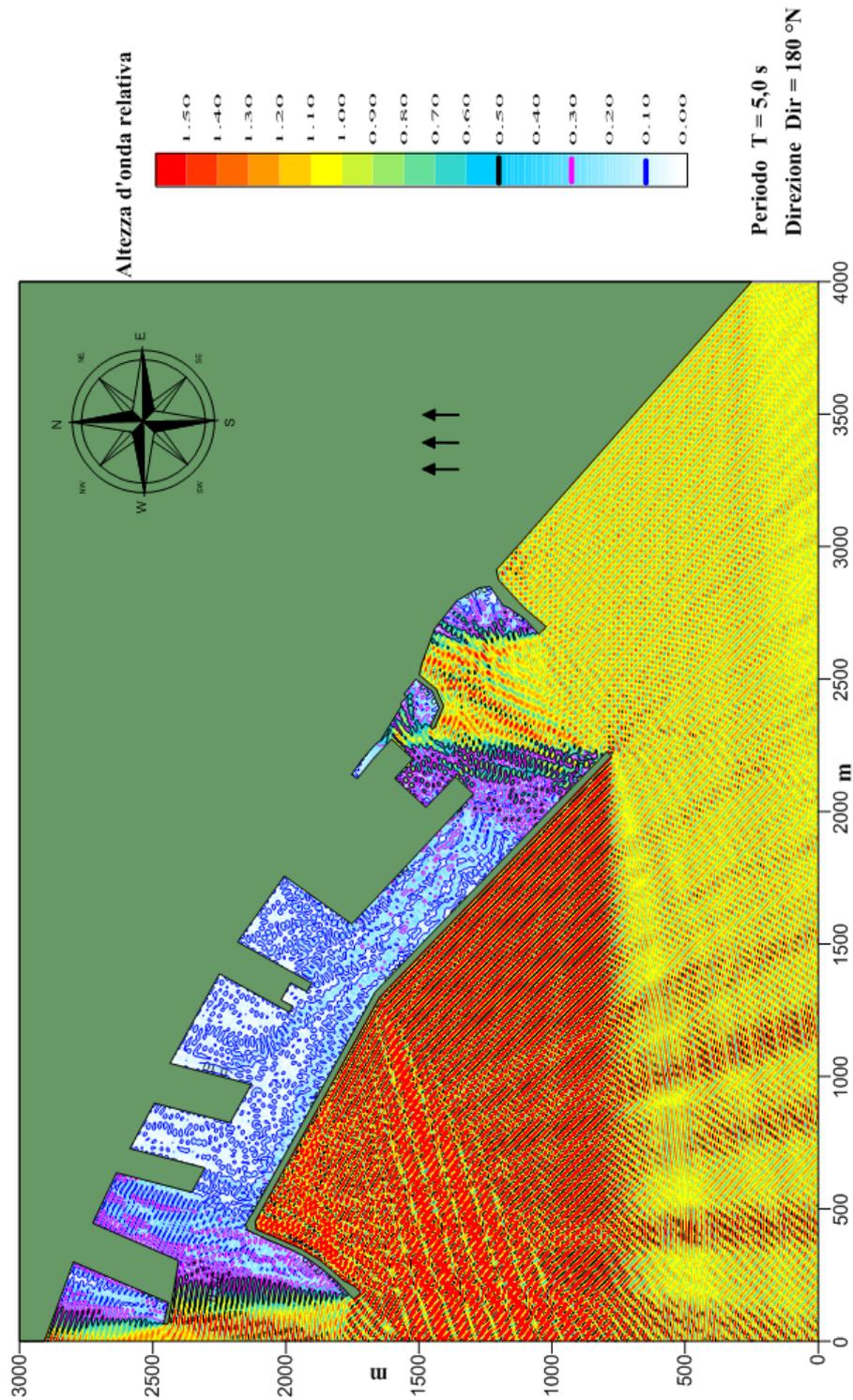


Figura 4.6: Configurazione prolungamento 150 m – agitazione ondosa con eventi provenienti da $180^\circ N$ e periodo 5 s

Porto di Napoli - Prolungamento Diga Duca D'Aosta - Configurazione attuale
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

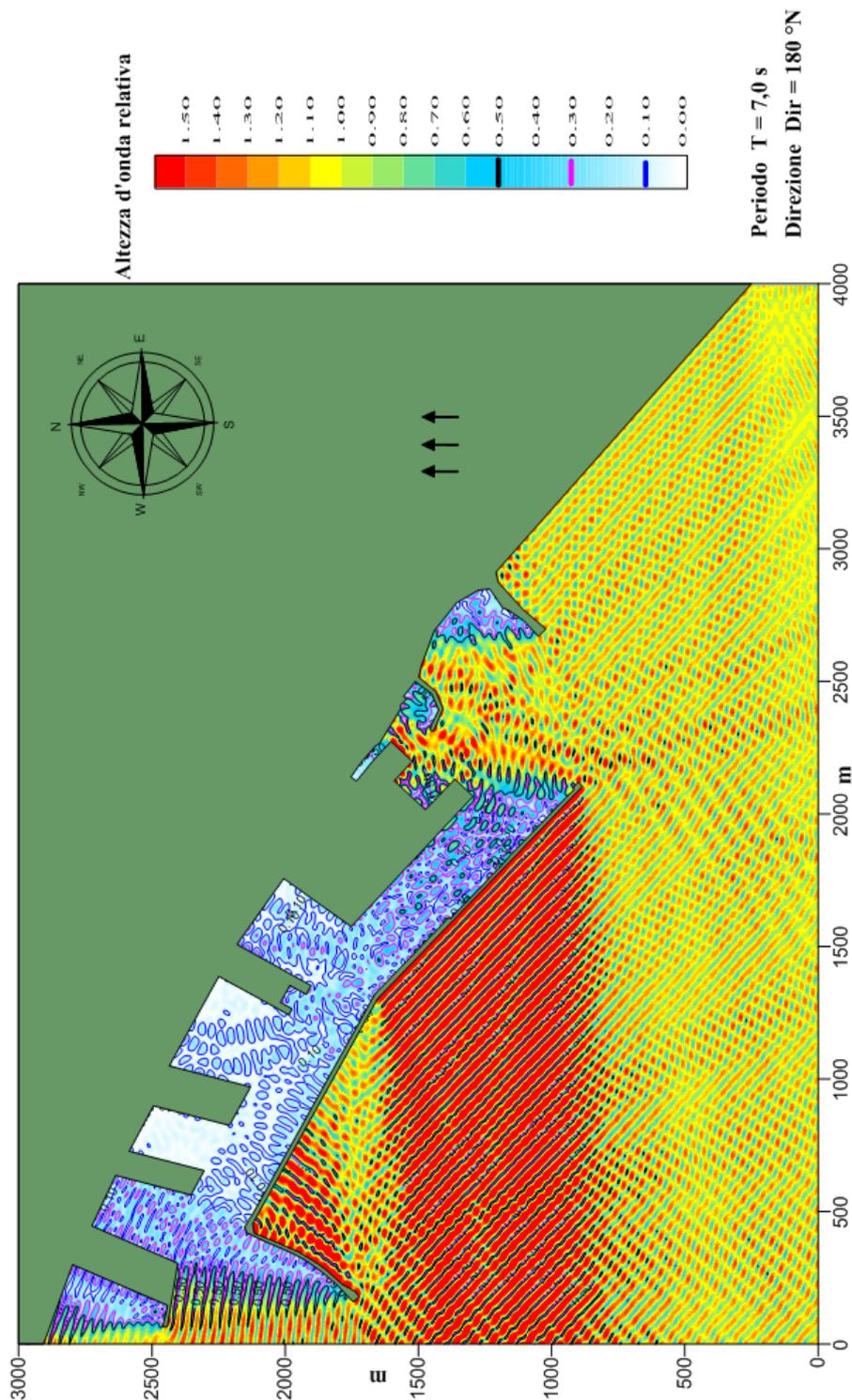


Figura 4.7: Configurazione attuale – agitazione ondosa con eventi provenienti da 180° N e periodo 7 s

Porto di Napoli - Prolungamento Diga Duca D'Aosta - Configurazione prolungamento 100 m
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

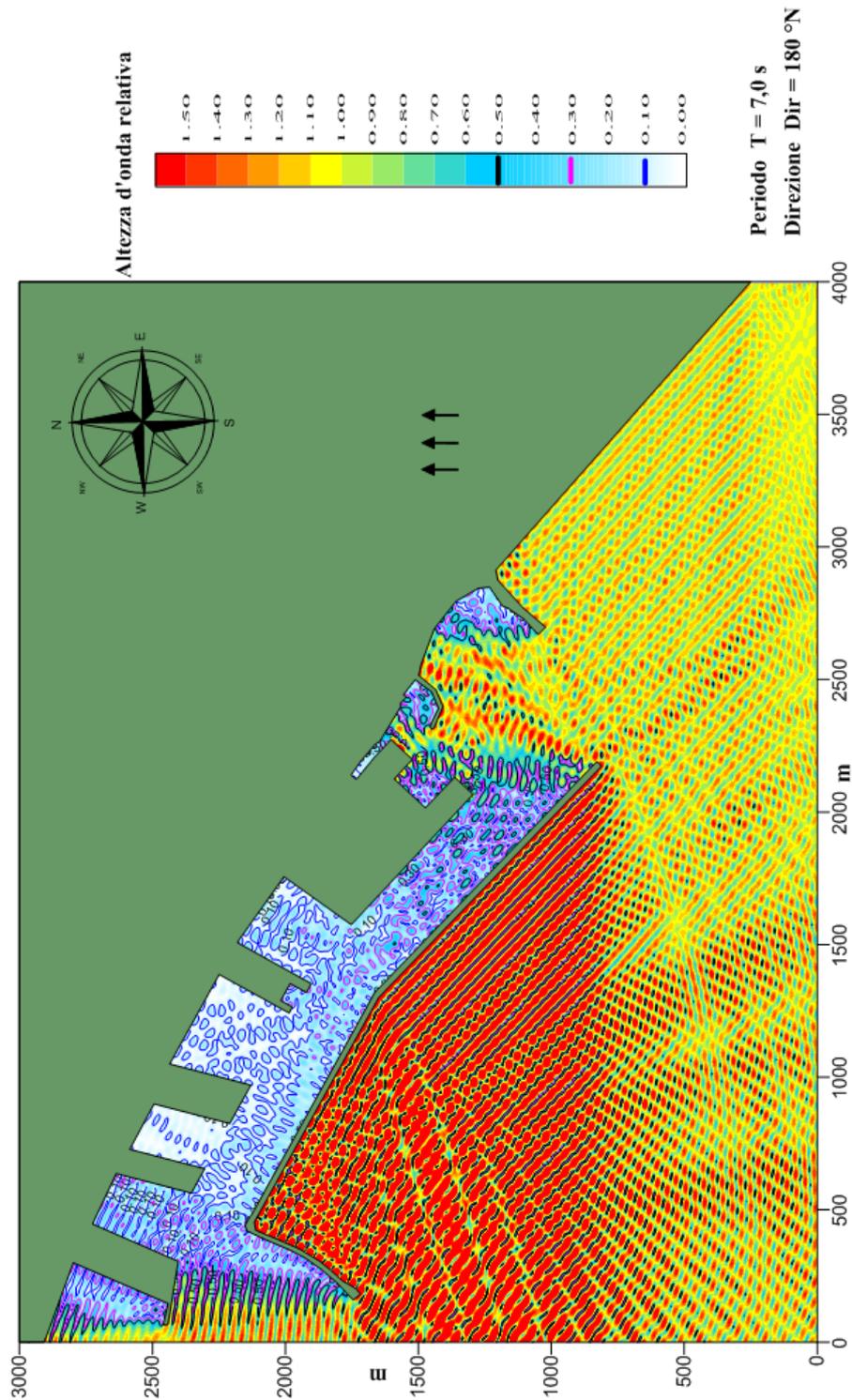


Figura 4.8: Configurazione prolungamento 100 m – agitazione ondosa con eventi provenienti da 180° N e periodo 7 s

Porto di Napoli - Prolungamento Diga Duca D'Aosta - Configurazione prolungamento 150 m
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

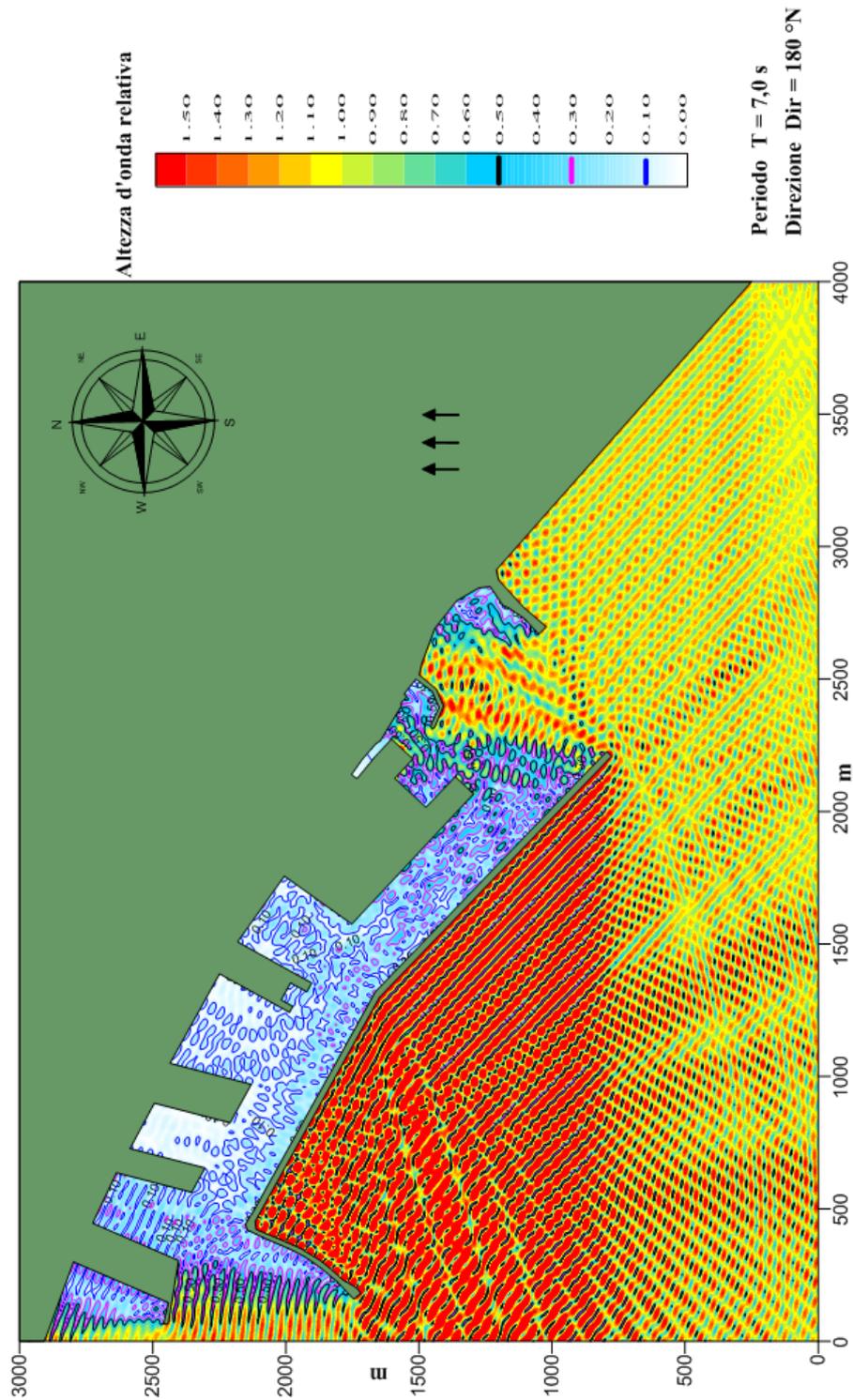


Figura 4.9: Configurazione prolungamento 150 m – agitazione ondosa con eventi provenienti da 180° N e periodo 7 s

Porto di Napoli - Prolungamento Diga Duca D'Aosta - Configurazione attuale
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

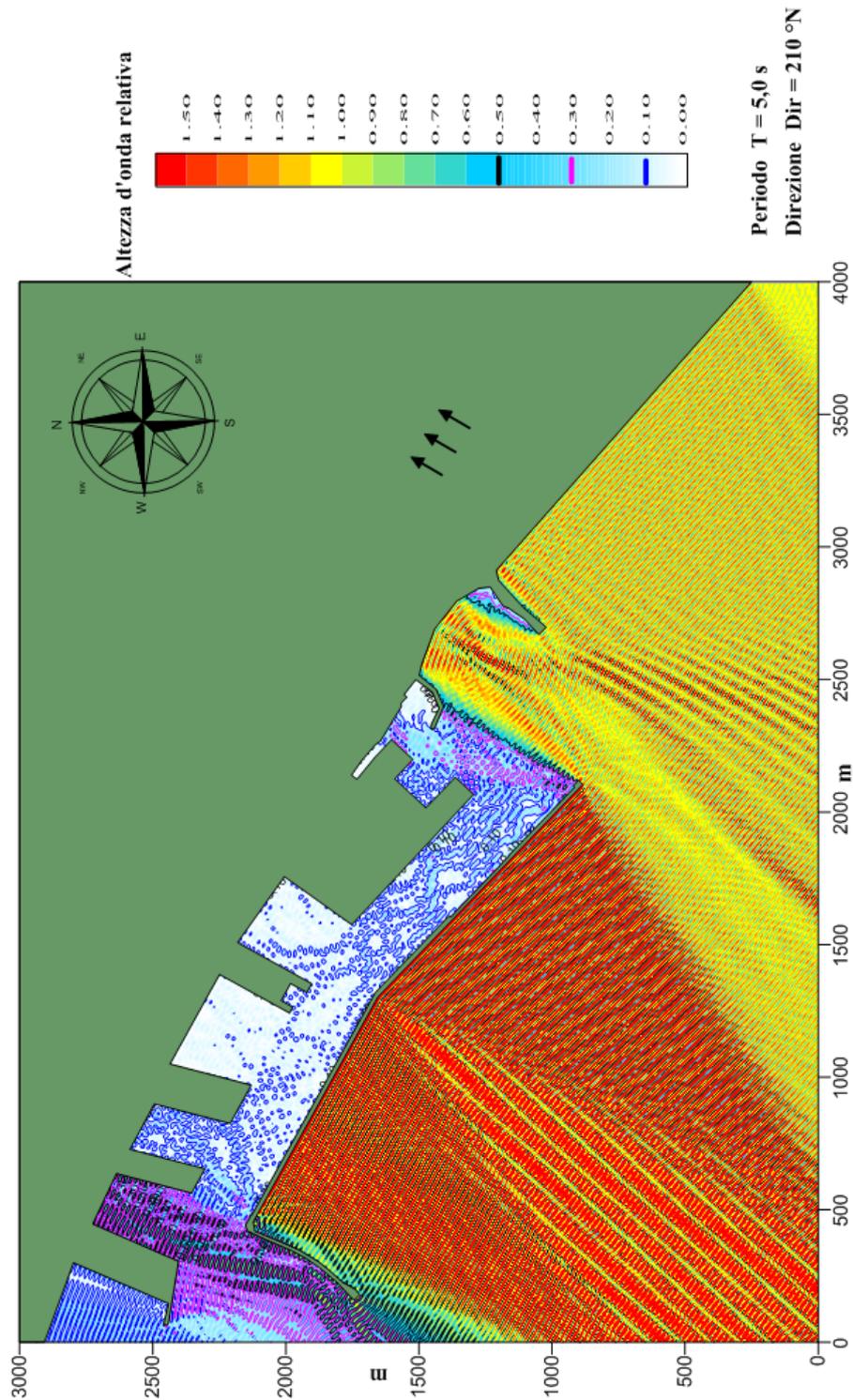


Figura 4.10: Configurazione attuale – agitazione ondosa con eventi provenienti da 210° N e periodo 5 s

Porto di Napoli - Prolungamento Diga Duca D'Aosta - Configurazione prolungamento 100 m
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

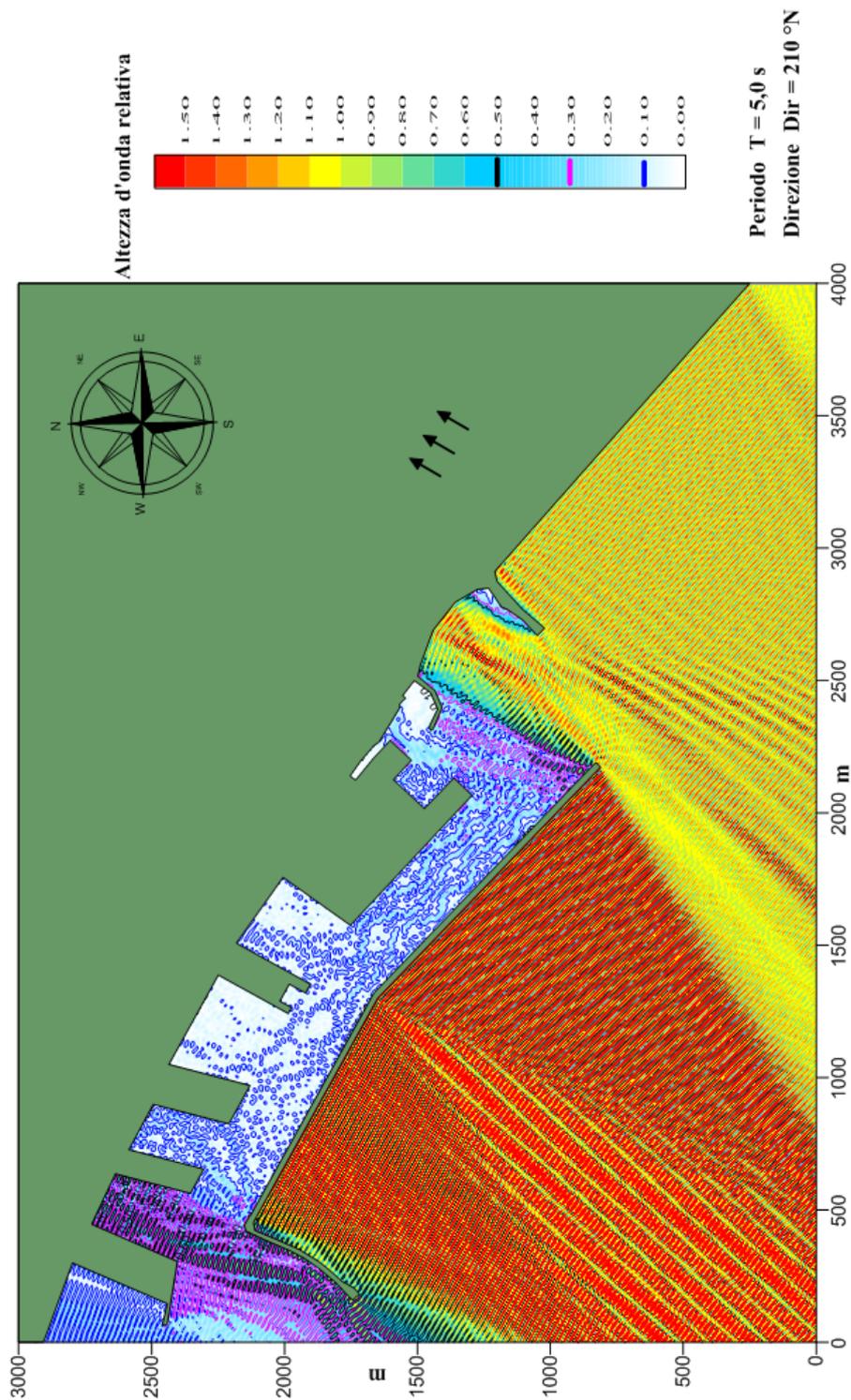


Figura 4.11: Configurazione prolungamento 100 m – agitazione ondosa con eventi provenienti da 210° N e periodo 5 s

Porto di Napoli - Prolungamento Diga Duca D'Aosta - Configurazione prolungamento 150 m
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

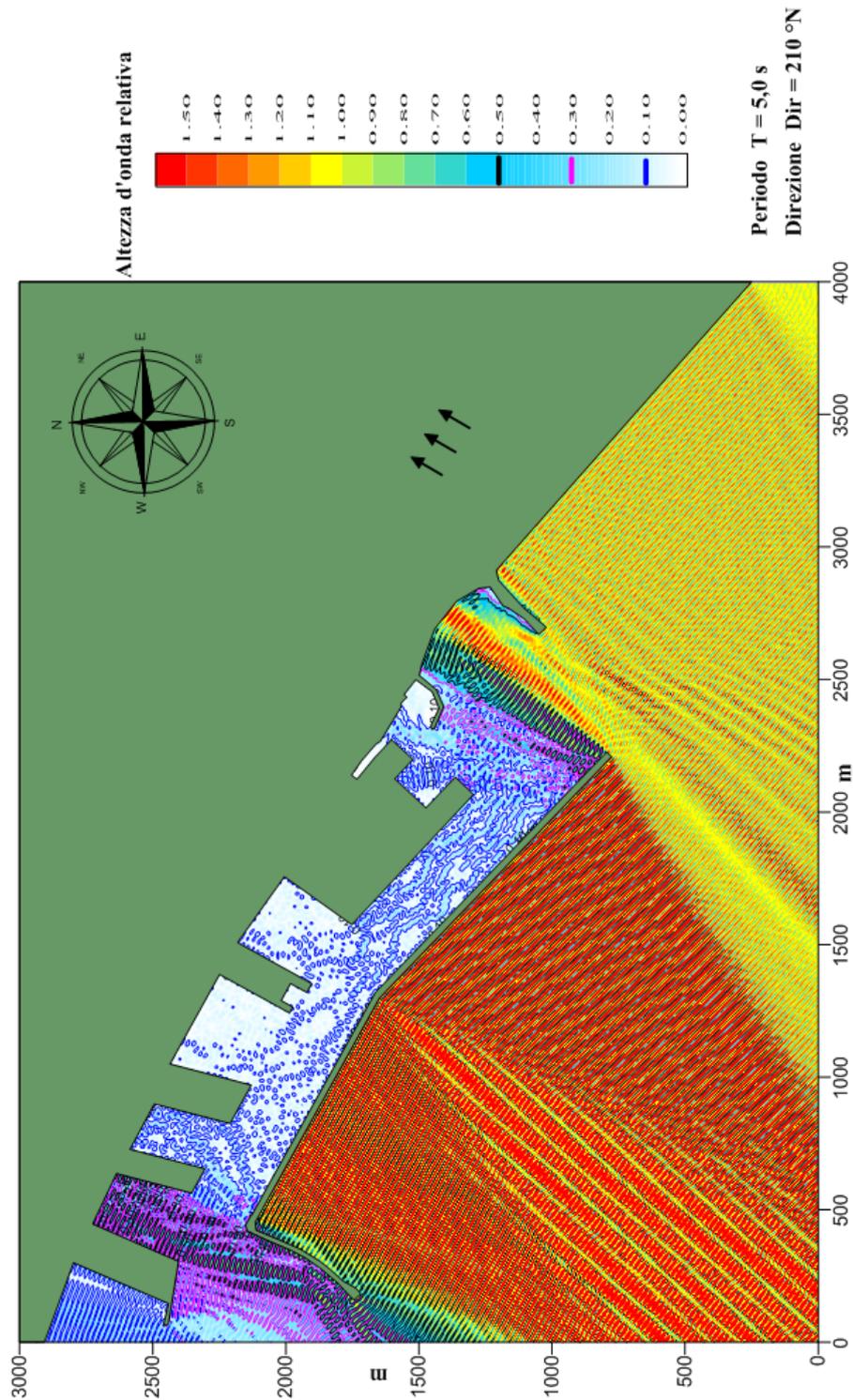


Figura 4.12: Configurazione prolungamento 150 m – agitazione ondosa con eventi provenienti da $210^\circ N$ e periodo 5 s

Porto di Napoli - Prolungamento Diga Duca D'Aosta - Configurazione attuale
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

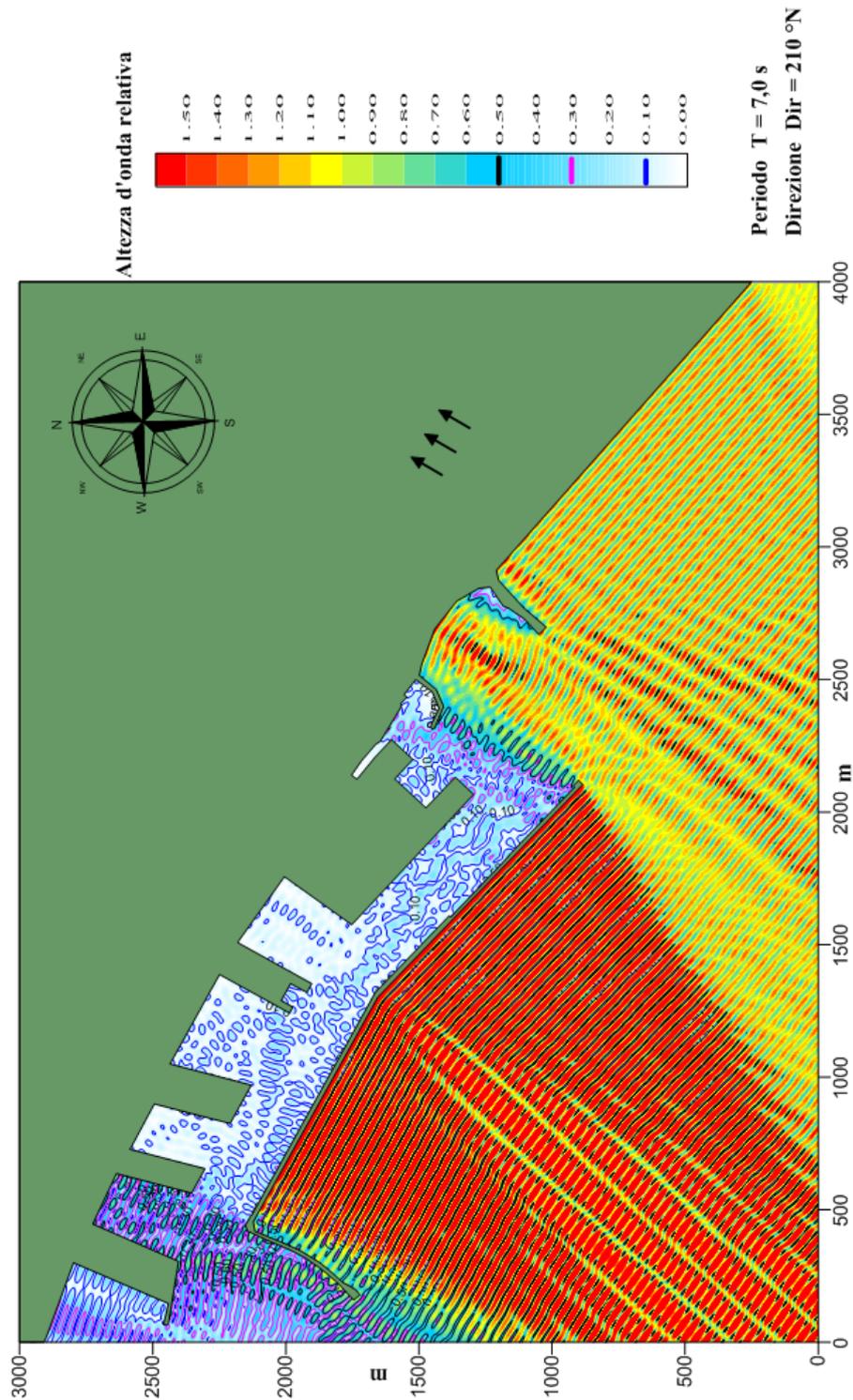


Figura 4.13: Configurazione attuale – agitazione ondosa con eventi provenienti da 210° N e periodo 7 s

Porto di Napoli - Prolungamento Diga Duca D'Aosta - Configurazione prolungamento 100 m
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

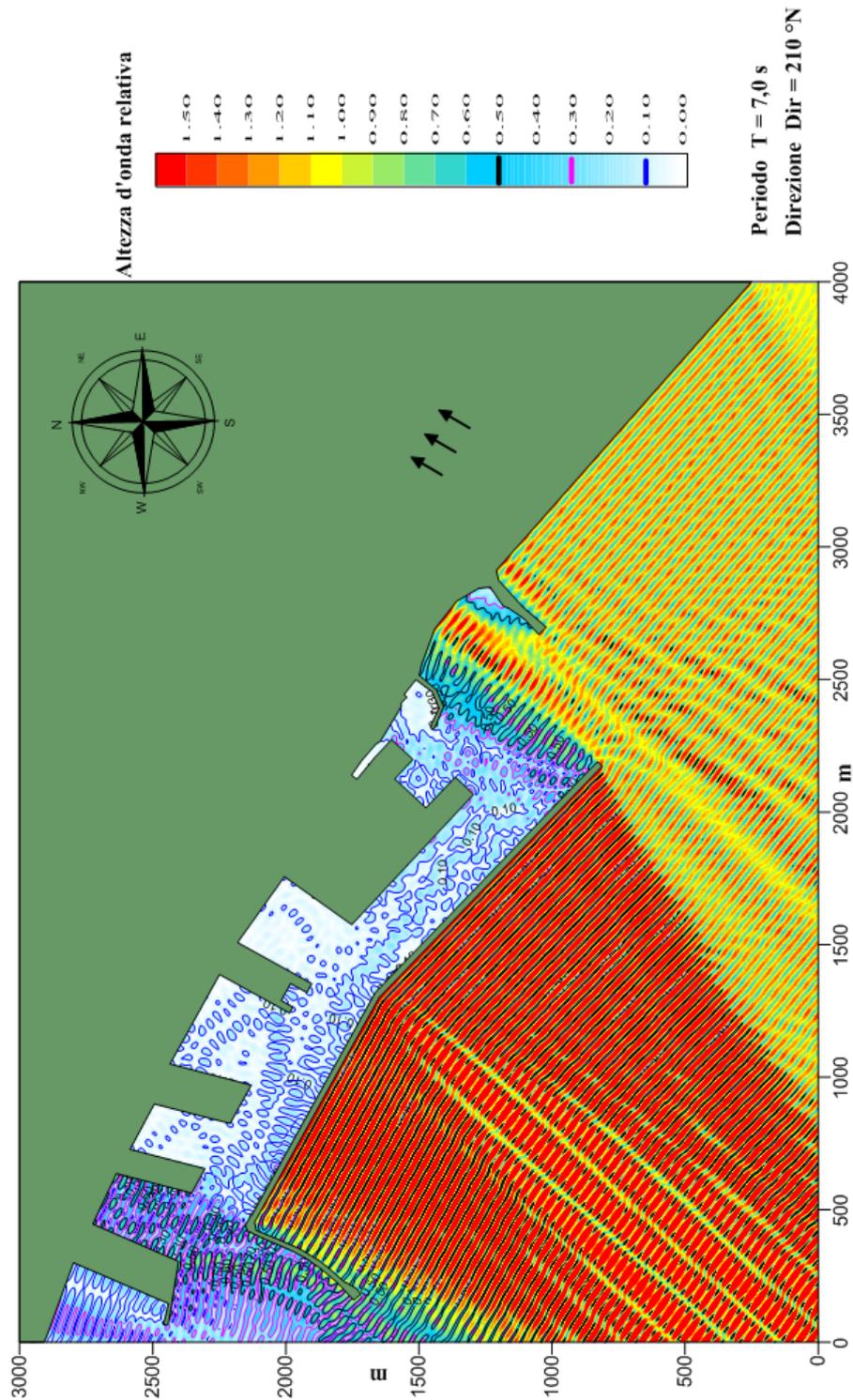


Figura 4.14: Configurazione prolungamento 100 m – agitazione ondosa con eventi provenienti da 210° N e periodo 7 s

Porto di Napoli - Prolungamento Diga Duca D'Aosta - Configurazione prolungamento 150 m
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

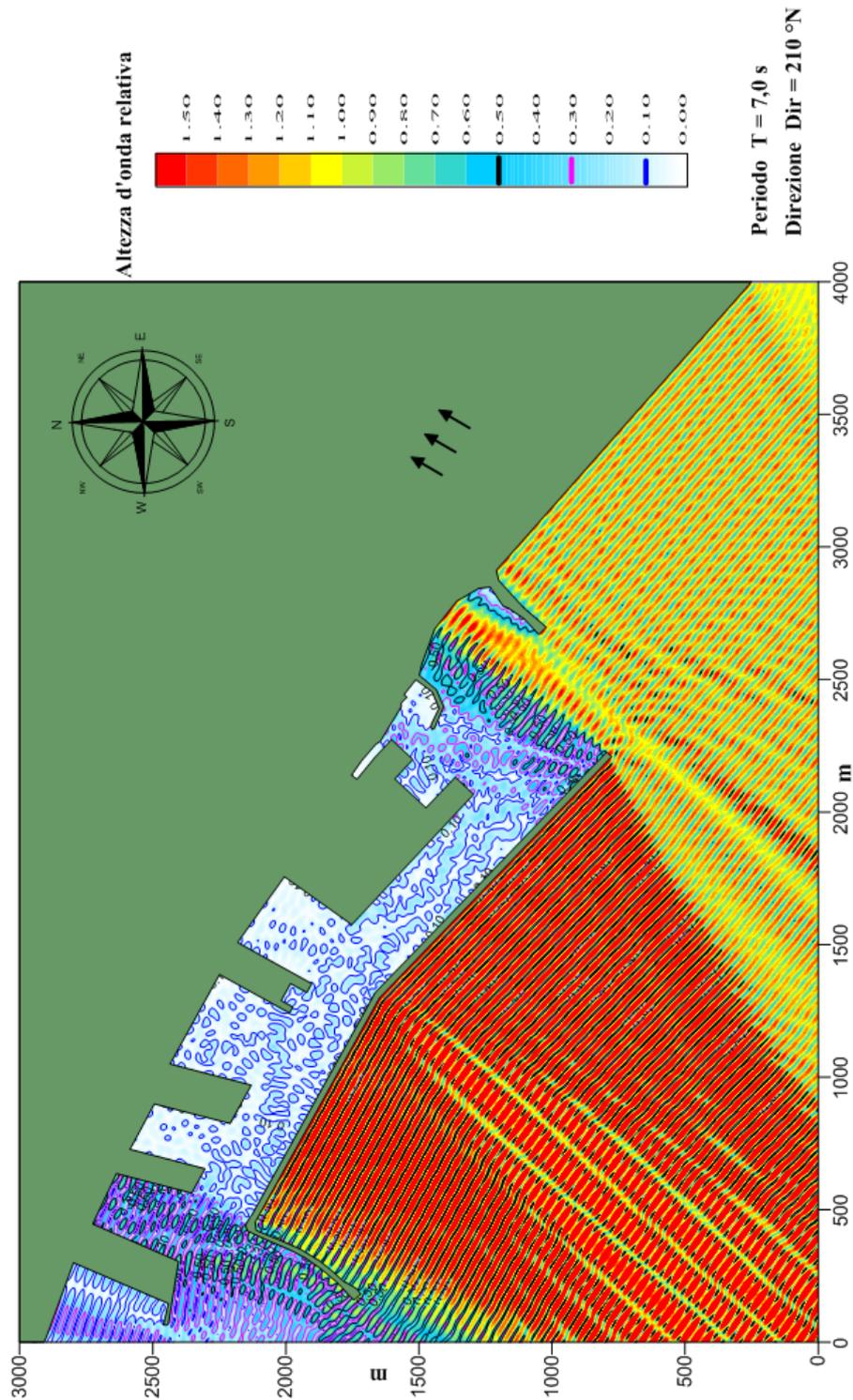


Figura 4.15: Configurazione prolungamento 150 m – agitazione ondosa con eventi provenienti da 210° N e periodo 7 s

Porto di Napoli - Prolungamento Diga Duca D'Aosta - Configurazione attuale
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

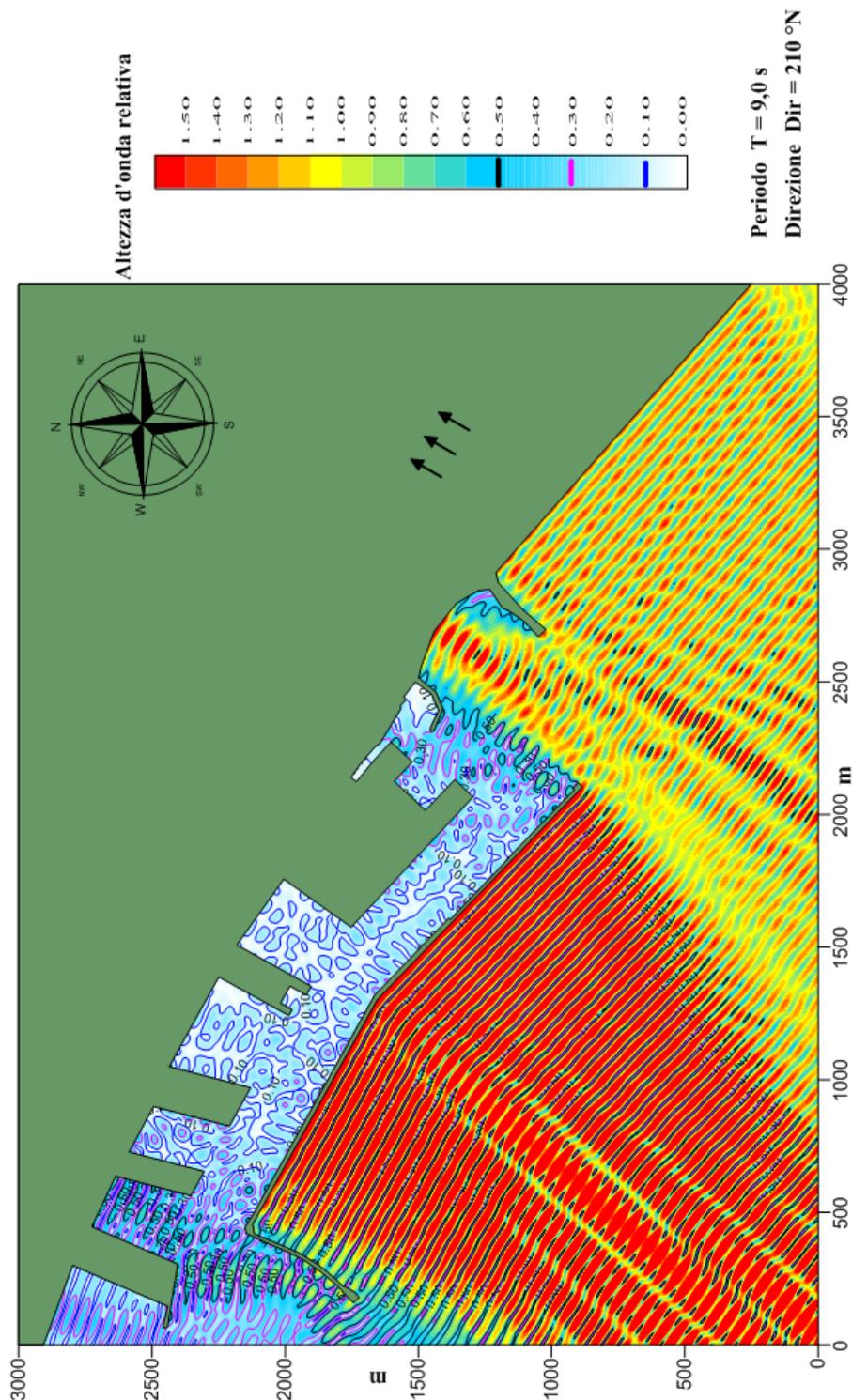


Figura 4.16: Configurazione attuale – agitazione ondosa con eventi provenienti da 210° N e periodo 9 s

Porto di Napoli - Prolungamento Diga Duca D'Aosta - Configurazione prolungamento 100 m
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

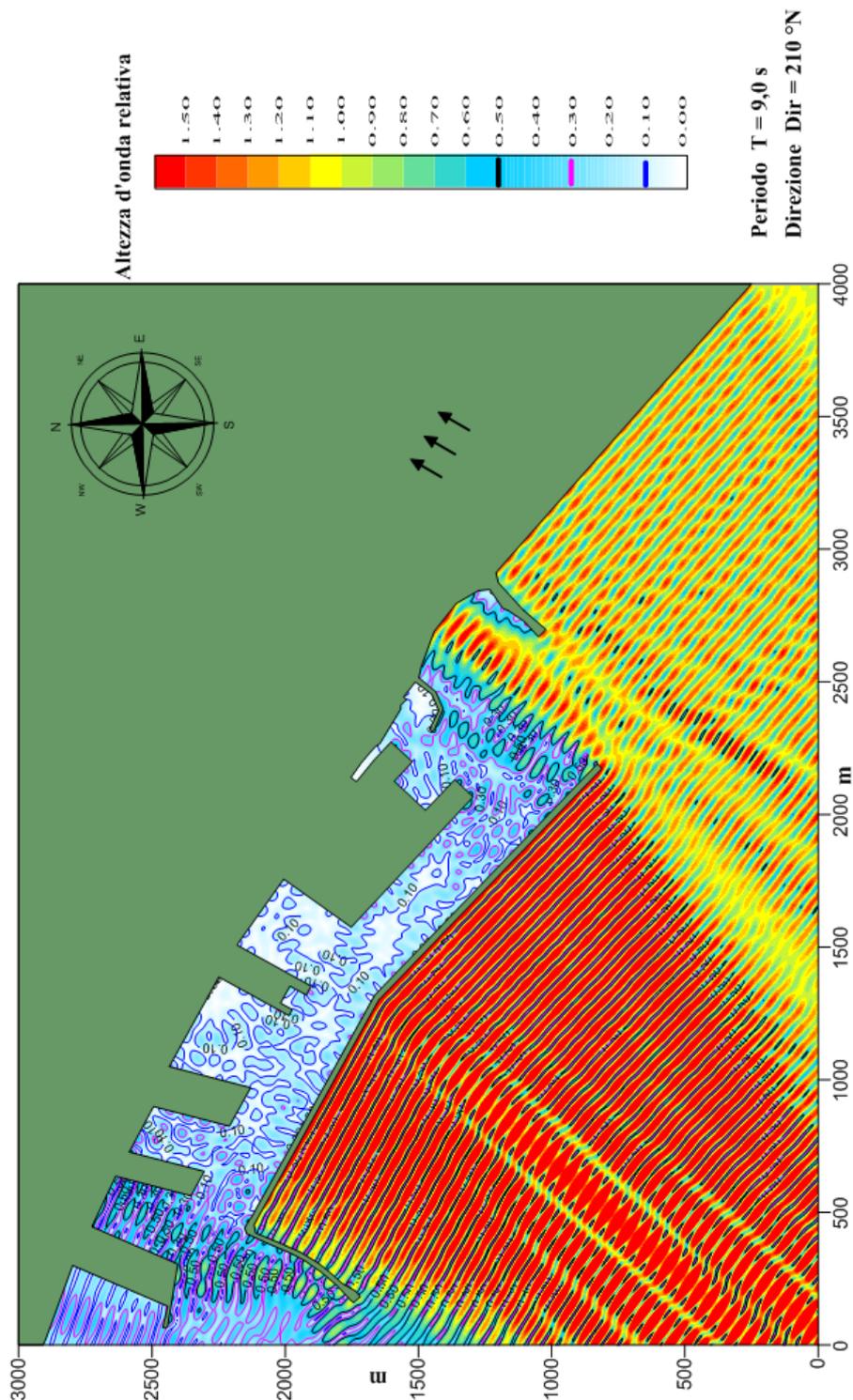


Figura 4.17: Configurazione prolungamento 100 m – agitazione ondosa con eventi provenienti da 210° N e periodo 9 s

Porto di Napoli - Prolungamento Diga Duca D'Aosta - Configurazione prolungamento 150 m
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

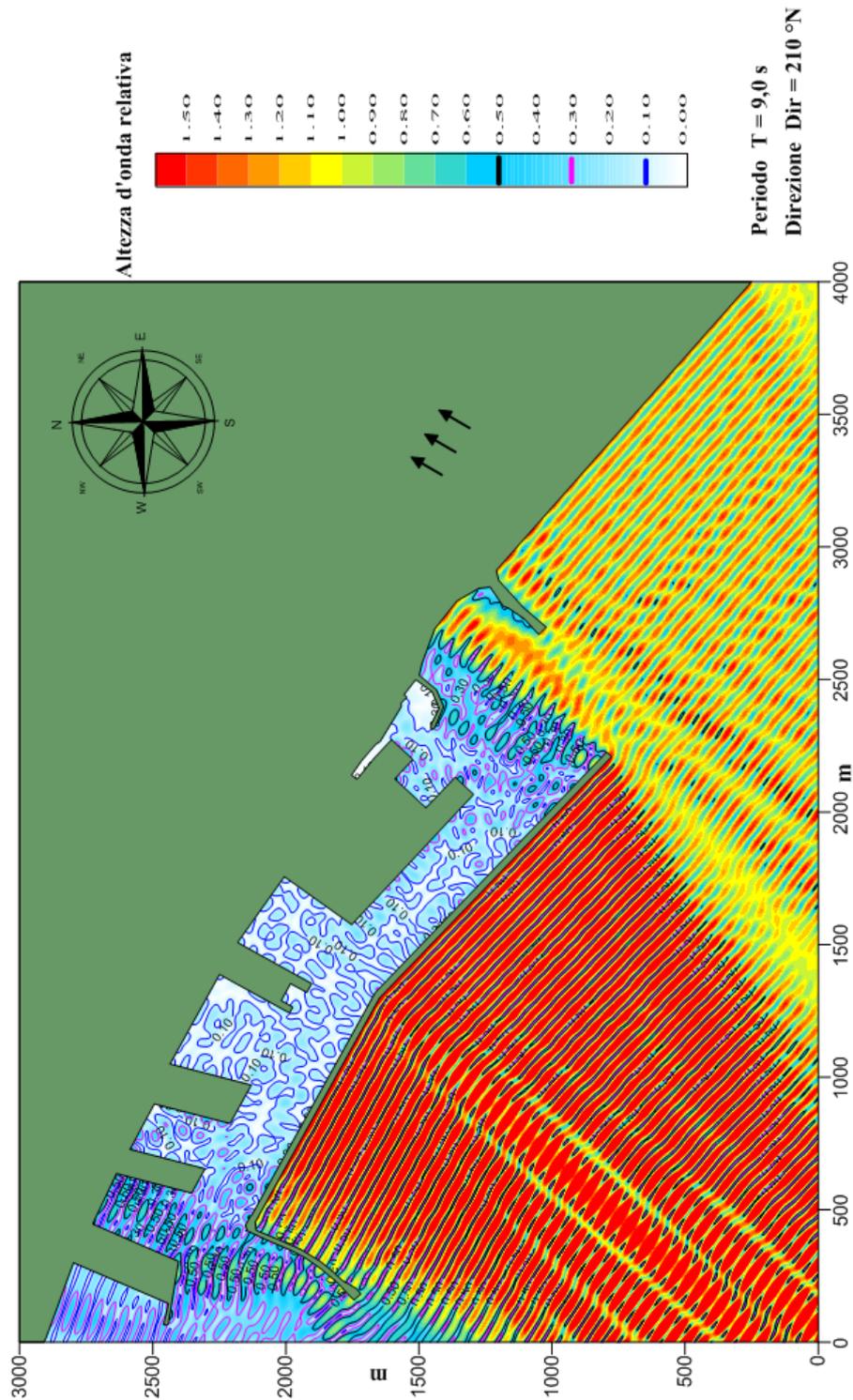


Figura 4.18: Configurazione prolungamento 150 m – agitazione ondosa con eventi provenienti da 210° N e periodo 9 s

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante I° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE	Titolo elaborato: studio penetrazione moto ondoso e agitazione interna. Data: 15.10.2019					
		19	002	DR	005	01	MAR

5. Analisi dei risultati

Dall'analisi dei risultati ottenuti dall'applicazione del modello VEGA per le configurazioni analizzate, emerge che il prolungamento, seppur modesto, della Diga Duca D'Aosta produca una progressiva attenuazione del moto ondoso incidente prospiciente la banchina del nuovo Terminal contenitori di Levante. Il grado di attenuazione del valore di altezza d'onda cresce all'aumentare dell'entità del prolungamento dell'opera stessa rispetto alla configurazione attuale della diga. Tale considerazione risulta maggiormente evidente soprattutto in occasione di moti ondosi provenienti dalle direzioni di 180°N e 210°N in cui si nota anche un miglioramento dei livelli di agitazione ondosa residua all'interno del canale di Levante. Dato l'orientamento della diga (circa 135°N), del canale e delle banchine, la direzione di 150°N è quella associata "geometricamente" ad un minor grado di protezione dal moto ondoso. La propagazione da 150°N rimane comunque una direzione limite di provenienza del moto ondoso che risulta associata a valori di altezze d'onda più modesti (vedi Capitolo 3 della presente relazione).

Per fornire un rapido confronto tra le configurazioni analizzate, nella Tabella 5.1 sono stati riportati i valori medi dell'altezza d'onda relativa, calcolati mediante il modello numerico, per una porzione di specchio acqueo di 50 m prospiciente la banchina contenitori per porzioni di banchina di circa 200 m, come riportato graficamente in Figura 5.1, per tutte le configurazioni descritte nel Capitolo 3 e per le condizioni di moto ondoso analizzate.

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante 1° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE	Titolo elaborato: studio penetrazione moto ondoso e agitazione interna. Data: 15.10.2019					
		19	002	DR	005	01	MAR

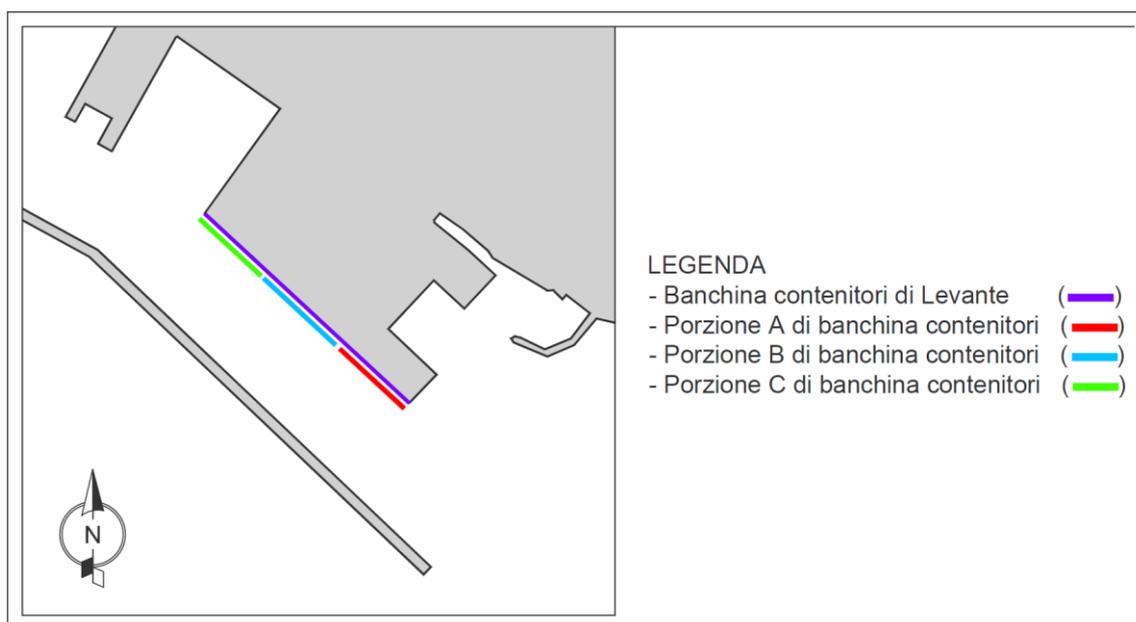


Figura 5.1: Porzioni di banchina contenitori analizzati

Tabella 5.1 – Valori dell'altezza d'onda relativa k

Configurazione portuale	eventi di moto ondoso		valori di altezza d'onda relativa k				% di riduzione di k	
	Dir ($^{\circ}$ N)	T (s)	A	B	C	media A+B+C	rispetto a conf. attuale	rispetto a conf. 100 m
Configurazione attuale	150	5	1.07	0.78	0.54	0.79	-	-
Prolungamento 100 m	150	5	0.95	0.68	0.48	0.70	11%	-
Prolungamento 150 m	150	5	0.86	0.63	0.47	0.65	18%	7%
Configurazione attuale	180	5	0.30	0.19	0.17	0.22	-	-
Prolungamento 100 m	180	5	0.24	0.17	0.14	0.18	18%	-
Prolungamento 150 m	180	5	0.22	0.15	0.13	0.17	24%	7%
Configurazione attuale	180	7	0.38	0.27	0.20	0.28	-	-
Prolungamento 100 m	180	7	0.32	0.26	0.19	0.26	10%	-
Prolungamento 150 m	180	7	0.28	0.25	0.19	0.24	15%	6%
Configurazione attuale	210	5	0.14	0.11	0.10	0.12	-	-
Prolungamento 100 m	210	5	0.13	0.10	0.10	0.11	6%	-
Prolungamento 150 m	210	5	0.12	0.09	0.09	0.10	13%	8%
Configurazione attuale	210	7	0.15	0.12	0.11	0.13	-	-
Prolungamento 100 m	210	7	0.14	0.12	0.10	0.12	6%	-
Prolungamento 150 m	210	7	0.13	0.11	0.10	0.11	12%	6%
Configurazione attuale	210	9	0.22	0.20	0.15	0.19	-	-
Prolungamento 100 m	210	9	0.20	0.17	0.15	0.17	8%	-
Prolungamento 150 m	210	9	0.19	0.17	0.15	0.17	9%	2%

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante I° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE	Titolo elaborato: studio penetrazione moto ondoso e agitazione interna. Data: 15.10.2019					
		19	002	DR	005	01	MAR

Come evidenziato nei risultati delle simulazioni nelle Figura 4.1÷Figura 4.18 e riassunti nella Tabella 5.1 nelle porzioni di banchina contenitori presi a riferimento, si evidenzia una riduzione dei livelli di agitazione ondosa residua ottenuto col prolungamento della Diga Duca D'Aosta rispetto alla configurazione attuale. L'attenuazione dei valori di altezza d'onda relativa cresce all'aumentare del prolungamento della diga ma non si evidenziano attenuazioni significative con la variazione di lunghezza di prolungamento tra 100 m e 150 m che si attesta su una riduzione di altezza d'onda relativa di pochi punti percentuale.

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante I° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE	Titolo elaborato: studio penetrazione moto ondoso e agitazione interna. Data: 15.10.2019					
		19	002	DR	005	01	MAR

6. Conclusioni

Dall'esame dei risultati dello studio di penetrazione del moto ondoso all'interno del bacino di Levante del porto di Napoli emerge che la soluzione di prolungare la Diga Duca D'Aosta di 100 m risulti il miglior compromesso tecnico-economico per la protezione della banchina del nuovo Terminal contenitori di Levante. Infatti il prolungamento di 100 m della diga foranea produce una riduzione dei livelli di agitazione ondosa residua prospiciente la banchina contenitori e lungo l'asse del canale di Levante rispetto alla configurazione attuale del porto mentre un suo ulteriore prolungamento di 50 m non evidenzia miglioramenti così significativi da poter giustificare l'aumento di spesa per la realizzazione della porzione aggiuntiva di opera, a meno che non si voglia garantire una operatività maggiore in tutto il terminale per tutte le condizioni di moto ondoso incidenti.

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante I° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE	Titolo elaborato: studio penetrazione moto ondoso e agitazione interna. Data: 15.10.2019					
		19	002	DR	005	01	MAR

7. ALLEGATO 1: Descrizione sintetica del modello VEGA

Il modello numerico VEGA utilizzato è classificabile come modello irrotazionale lineare bidimensionale per onde armoniche. Il modello è basato sull'equazione di Helmholtz valida sotto le seguenti ipotesi:

- irrotazionalità del moto;
- rapporto $H/L \ll 1$ dove H ed L sono rispettivamente l'altezza e la lunghezza d'onda;
- assenza di dissipazioni;
- assenza di forze legate alla rotazione terrestre (forze di Coriolis);
- profondità del fondale costante;
- fondo impermeabile;
- 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 = numero d'onda calcolato tramite la relazione di dispersione della teoria lineare
 $(\omega^2 = gk \tanh(kd))$

$\phi(x,y)$ = potenziale bidimensionale delle velocità orbitali delle particelle

∇^2 = 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-riflessione di onde armoniche lineari. Per risolvere l'equazione di Helmholtz, di tipo ellittico, è necessario imporre 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 (totale o parziale riflessione).

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

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante I° Stralcio – Progetto Definitivo CUP: I61H12000220006 CIG: 74271749DE	Titolo elaborato: studio penetrazione moto ondoso e agitazione interna. Data: 15.10.2019					
		19	002	DR	005	01	MAR

Helmholtz 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 che risulta essere a sua volta funzione della lunghezza d'onda (sono necessarie almeno 5 sorgenti per lunghezza d'onda) e della dimensione dell'elemento (banchina, canale) più corto presente nell'area da simulare (sono necessarie almeno 6 sorgenti per ogni elemento). 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;
- passo di discretizzazione del contorno;
- coefficienti di riflessione delle banchine;
- coordinate dei punti dove devono essere calcolati i risultati.

Il modello fornisce come risultati:

- altezza d'onda, potenziale delle velocità e fase nei punti richiesti.

I risultati ottenuti possono essere restituiti sia sotto forma numerica che grafica.