



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 - II STRALCIO



## PROGETTO DEFINITIVO

Titolo elaborato :

Studio penetrazione moto ondoso e agitazione interna

Scala: Var.

1 9 0 0 2 A D R 0 0 4 0 0 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

PROGETTISTI

Responsabile integrazione  
prestazioni specialistiche  
Prof. Ing. Alberto NOLI

Mandanti



| Rif. Dis. | Data        | Rev. | DESCRIZIONE | Redatto:   | Controllato: | Validato:  |
|-----------|-------------|------|-------------|------------|--------------|------------|
|           | Luglio 2022 | 0    | EMISSIONE   | P. Contini | P. Contini   | P. Contini |

Le Società dell' RTI si riservano la proprietà di questo disegno con la proibizione di riprodurlo o trasferirlo a terzi senza autorizzazione scritta.  
This document is property of RTI. 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 – II STRALCIO  
PROGETTO DEFINITIVO**

**STUDIO SPECIALISTICO  
STUDIO PENETRAZIONE MOTO ONDO SO ED AGITAZIONE INTERNA**

**Indice**

|   |    |
|---|----|
| 1. Introduzione .....   | 2  |
| 2. Configurazioni esaminate: ipotesi di calcolo e condizioni di input ..... | 3  |
| 3. Studio della penetrazione del moto ondoso .....                          | 12 |
| 4. Analisi dei risultati e conclusioni.....                                 | 37 |
| 5. ALLEGATO 1: Descrizione sintetica del modello VEGA .....                 | 40 |

|   |  |  |     |   |    |     |    |
|---|--|--|-----|---|----|-----|----|
|  | Porto di Napoli<br>Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione<br>del nuovo Terminal contenitori di Levante<br>II° Stralcio – Progetto Definitivo | Titolo elaborato: Penetrazione moto ondoso e agitazione<br>interna.<br>Data: luglio 2022 |     |   |    |     |    |
|   |  | 19   | 002 | A | DR | 004 | 00 |

## 1. Introduzione

Il presente studio specialistico aggiorna gli analoghi studi redatti in precedenza per fine di definire il grado di agitazione ondosa residua per gli specchi portuali e le banchine interne del porto di Napoli ponendo l'attenzione in particolare sull'area prospiciente la banchina del nuovo Terminal contenitori.

In particolare, gli studi precedenti che avevano riguardato il prolungamento della diga foranea Duca D'Aosta previsto per un primo prolungamento di 105 m (rispetto alla configurazione attuale) inquadrato come I Stralcio nell'ipotesi di attuare con un successivo intervento il prolungamento sino a 900 m complessivi (rispetto alla configurazione attuale) denominandolo intervento di II Stralcio.

Successivamente l'AdSP-MTC, come definito dal Documento di Pianificazione Strategica di Sistema recentemente approvato, ha rimodulato il II Stralcio limitando l'estensione del prolungamento a levante della diga foranea Duca d'Aosta sino ad uno sviluppo complessivo al massimo di 270 m rispetto alla configurazione attuale.

Per completezza nel seguito si riportano i risultati ottenuti relativamente alla configurazione attuale e alle tre configurazioni esaminate per il prolungamento della diga 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<br>Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione<br>del nuovo Terminal contenitori di Levante<br>II° Stralcio – Progetto Definitivo | Titolo elaborato: Penetrazione moto ondoso e agitazione<br>interna.<br>Data: luglio 2022 |     |   |    |     |    |
|   |  | 19   | 002 | A | DR | 004 | 00 |

## 2. Configurazioni esaminate: ipotesi di calcolo e condizioni di input

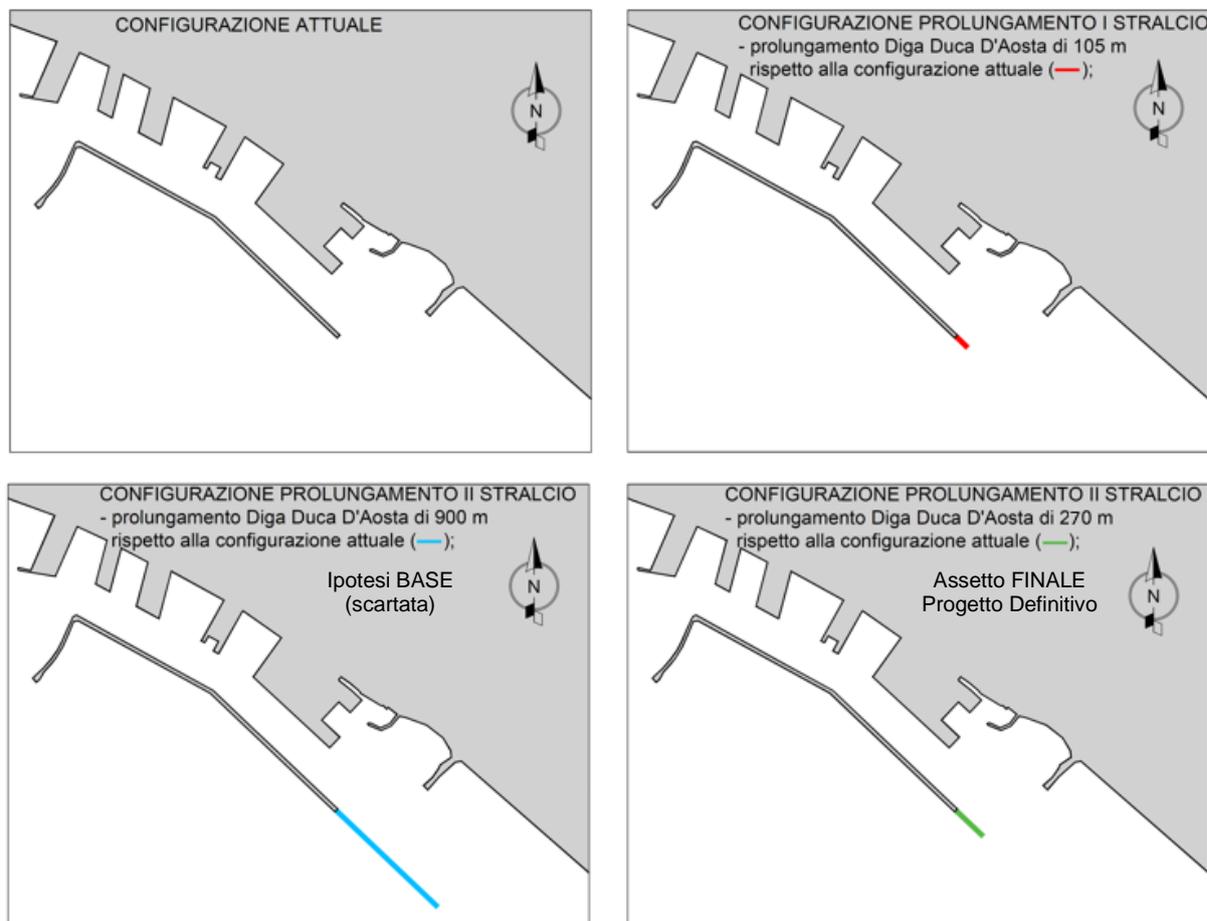
Al fine di condurre una analisi del grado di protezione offerto dal prolungamento della diga foranea Duca D'Aosta alla banchina del nuovo Terminal di Levante dall'ingresso del moto ondoso, sono state prese in considerazione, oltre alla configurazione attuale del porto, le tre configurazioni di prolungamento della diga Duca D'Aosta riportate, insieme alla configurazione attuale, nella Figura 2-1.

Le tre configurazioni esaminate vengono di seguito brevemente descritte:

- Prolungamento 105 m (oggetto del Progetto Definitivo del I Stralcio del prolungamento a levante):** la Diga Duca D'Aosta è prolungata di 105 m rispetto alla configurazione attuale come previsto dal progetto definitivo del I Stralcio del prolungamento della diga. Il prolungamento è in asse alla diga esistente ed è previsto con cassoni cellulari senza celle assorbenti.
- Prolungamento 900 m (Ipotesi Base del II Stralcio di prolungamento a levante):** la Diga Duca D'Aosta è completata con un prolungamento di ulteriori 795 m rispetto al progetto definitivo del I Stralcio (prolungamento di 900 m complessivi rispetto alla configurazione attuale come previsto dal Masterplan 2018 del porto. Il prolungamento è in asse alla diga esistente ed è previsto con cassoni cellulari senza celle assorbenti. Nel seguito per analogia con la relazione del precedente studio specialistico di agitazione ondosa residua questa configurazione viene menzionata come "Configurazione di II Stralcio"
- Prolungamento di 270 m (Assetto Finale del II Stralcio di prolungamento a levante oggetto del Progetto Definitivo):** la Diga Duca D'Aosta è prolungata solo per 270 m rispetto al rispetto alla configurazione attuale come definito dal Documento di Pianificazione Strategica di Sistema recentemente approvato. Il prolungamento è in asse alla diga esistente ed è previsto con cassoni cellulari senza celle assorbenti. Nel seguito questa nuova configurazione planimetrica rappresentativa dell'assetto finale del prolungamento a levante della diga viene menzionata semplicemente come "prolungamento di 270 m".

|   |  |  |     |   |    |     |    |
|---|--|--|-----|---|----|-----|----|
|  | Porto di Napoli<br>Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione<br>del nuovo Terminal contenitori di Levante<br>II° Stralcio – Progetto Definitivo | Titolo elaborato: Penetrazione moto ondoso e agitazione<br>interna.<br>Data: luglio 2022 |     |   |    |     |    |
|   |  | 19   | 002 | A | DR | 004 | 00 |

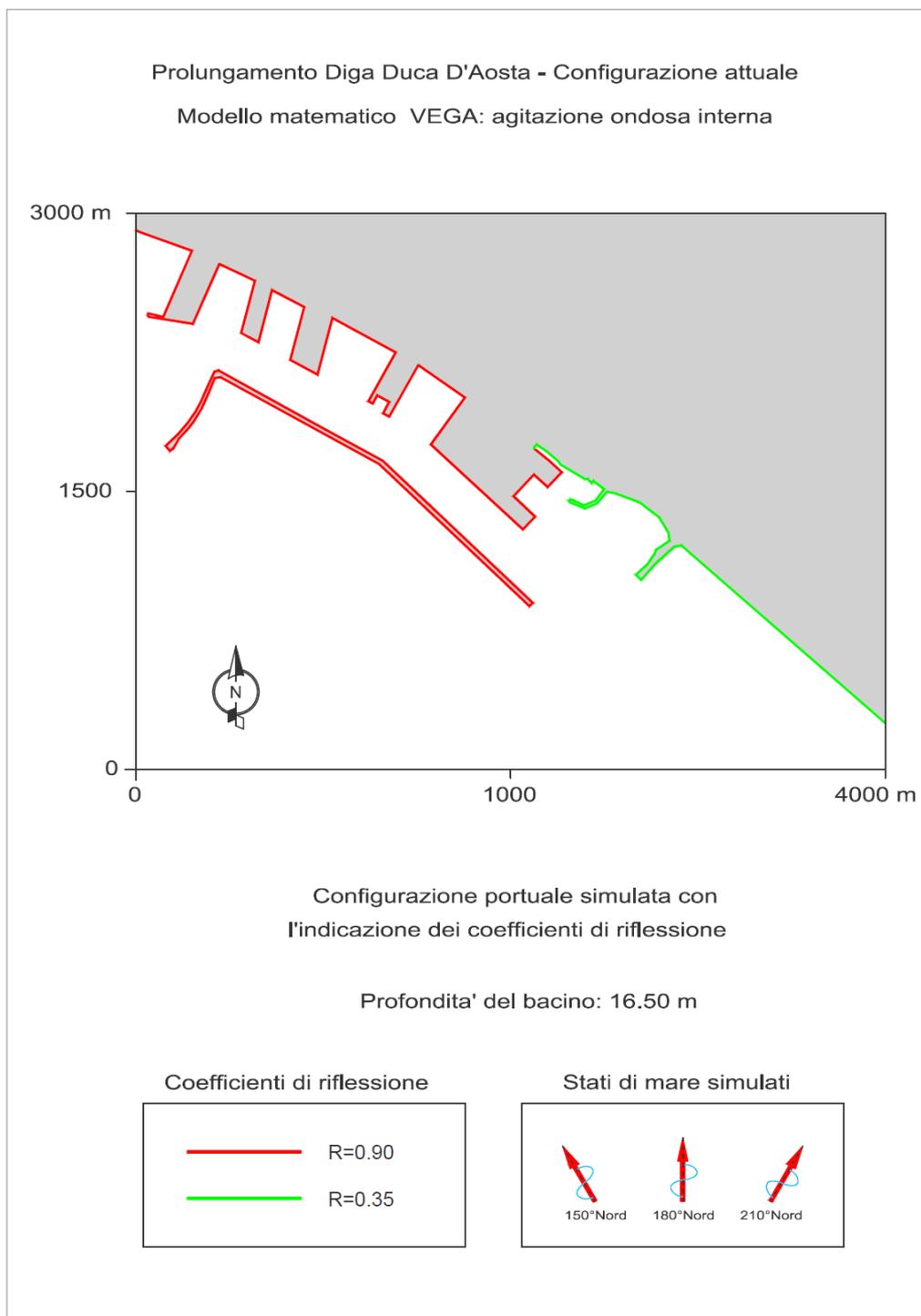
**PROLUNGAMENTO DIGA DUCA D'AOSTA  
CONFRONTO TRA LE CONFIGURAZIONI ESAMINATE**



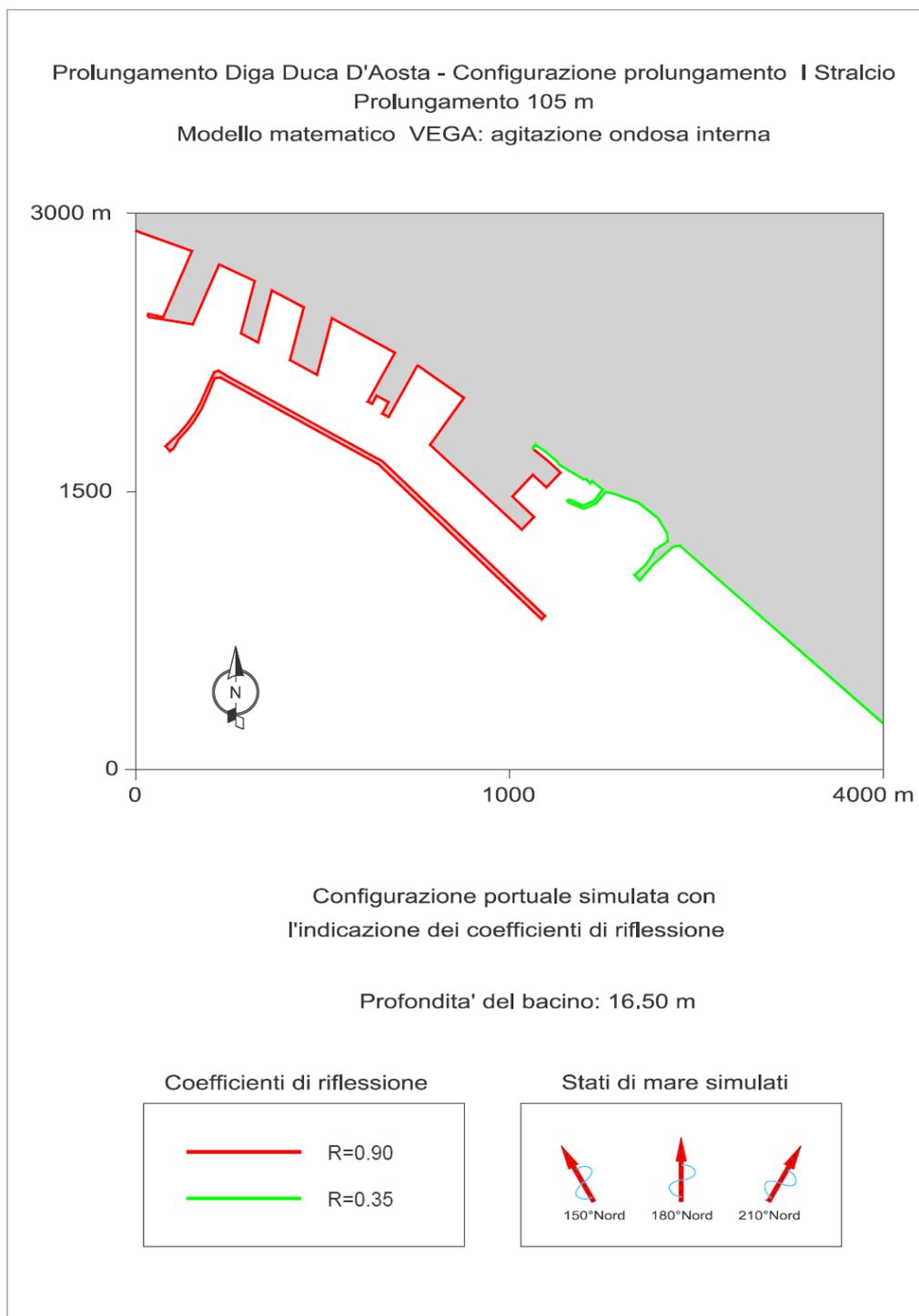
**Figura 2-1: Confronto tra la configurazione attuale e le alternative esaminate**

Nelle figure seguenti (Figura 2-2 ÷ Figura 2-5) sono rappresentate le configurazioni di prolungamento della diga prese in considerazione, compresa la configurazione attuale, con l'indicazione dei coefficienti di riflessione utilizzati e le direzioni del moto ondoso incidente esaminate.

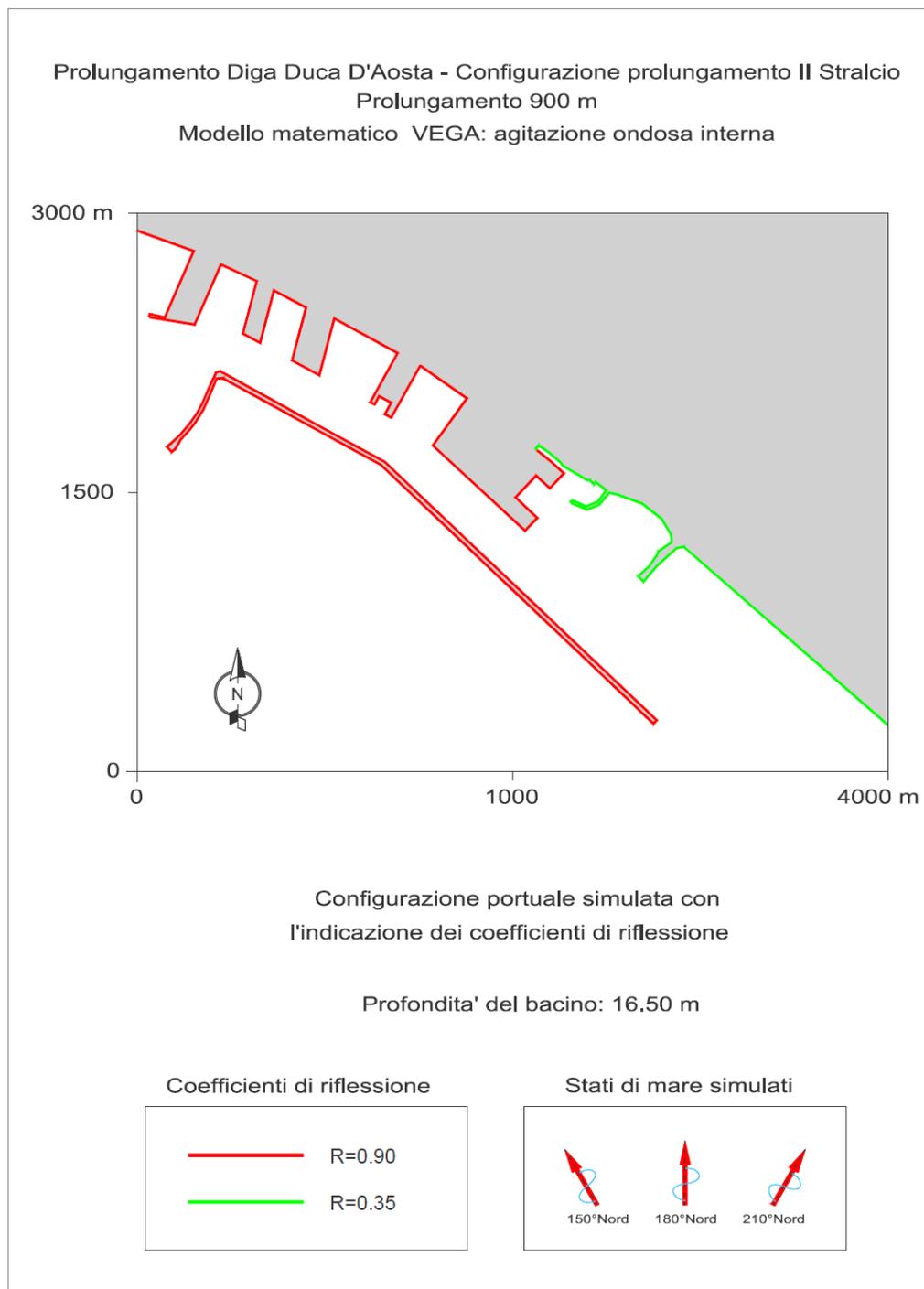
Per tutte le elaborazioni condotte si è considerata una profondità media costante del bacino portuale pari a 16.50 m.



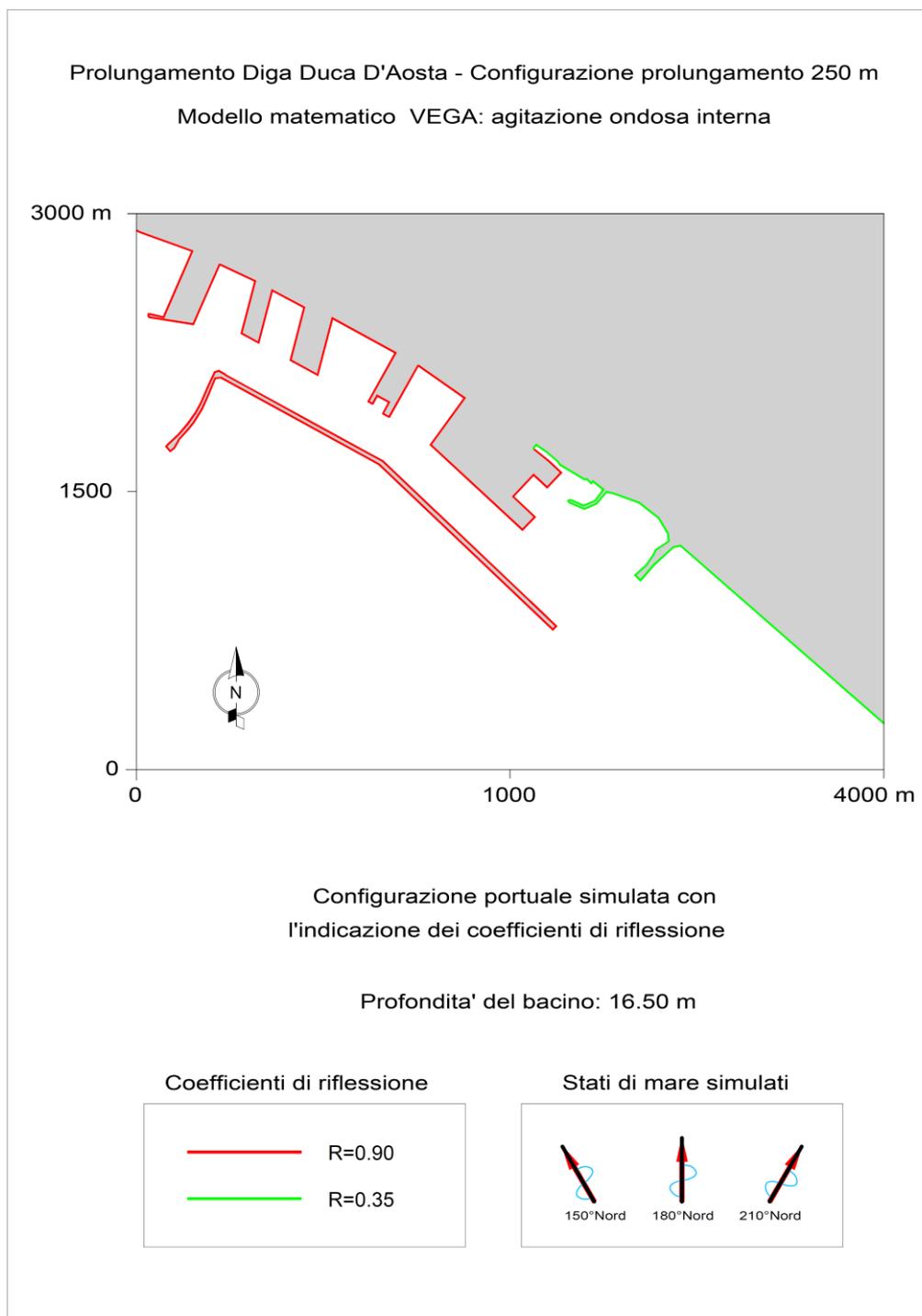
**Figura 2-2: Configurazione attuale**



**Figura 2-3: Configurazione I Stralcio – prolungamento 105 m.**



**Figura 2-4: Configurazione II Stralcio (ipotesi Base)- prolungamento 900 m.**



**Figura 2-5 Prolungamento di 270 m – Assetto Finale configurazione di II Stralcio**

|   |  |  |     |   |    |     |    |     |
|---|--|--|-----|---|----|-----|----|-----|
|  | Porto di Napoli<br>Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione<br>del nuovo Terminal contenitori di Levante<br>II° Stralcio – Progetto Definitivo | Titolo elaborato: Penetrazione moto ondoso e agitazione<br>interna.<br>Data: luglio 2022 |     |   |    |     |    |     |
|   |  | 19   | 002 | A | DR | 004 | 00 | MAR |

I coefficienti di riflessione  $R$  delle opere delimitanti le aree portuali interne ed esterne, riportati nelle Figura 2-2 ÷ Figura 2-5, sono stati scelti in funzione delle caratteristiche riflettenti delle stesse e vengono qui di seguito nuovamente elencati:

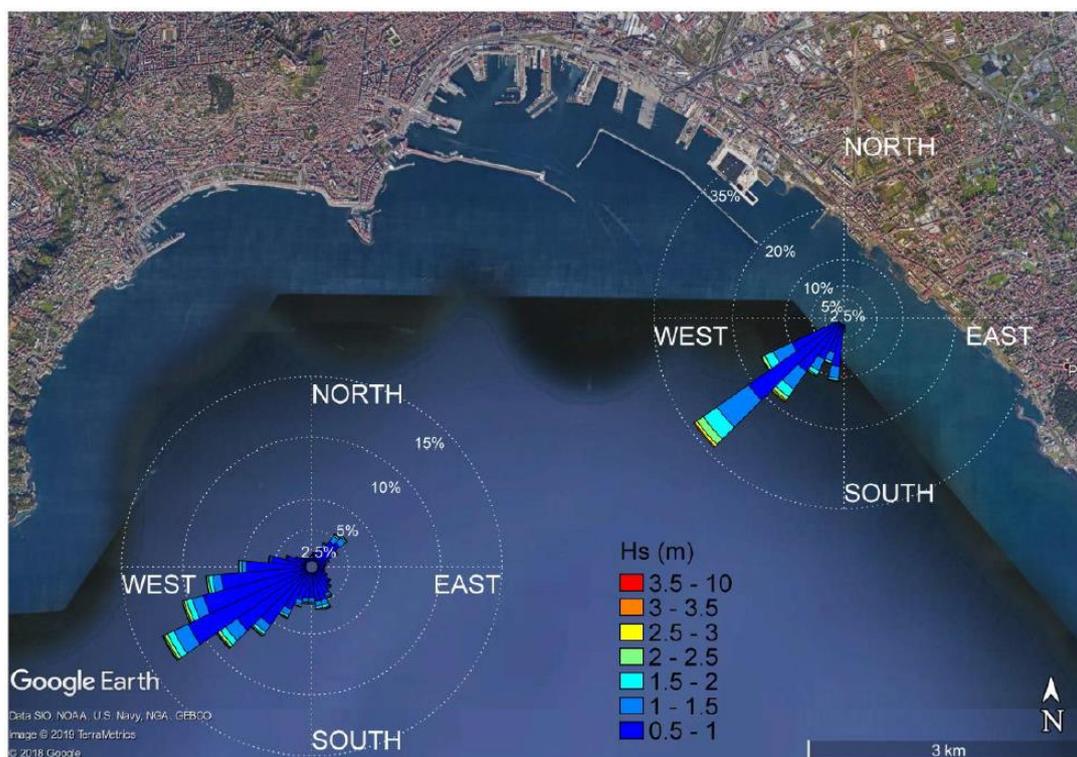
- opere a pareti verticali riflettenti  $R = 0.90$ ;
- opere a scogliera  $R = 0.35$ ;
- spiagge assorbenti  $R = 0.10$ ;
- pontili su pali o galleggianti (completamente permeabili)  $R = 0.00$ .

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  $\xi$  (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 2-2 ÷ Figura 2-5.

Lo studio meteomarinario di progetto (vedi elaborato *19\_002\_A\_DR\_003\_00\_MAR\_studio meteomarinario*) ha mostrato (vedi Figura 2-6) 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<br>Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione<br>del nuovo Terminal contenitori di Levante<br>II° Stralcio – Progetto Definitivo | Titolo elaborato: Penetrazione moto ondoso e agitazione<br>interna.<br>Data: luglio 2022 |     |   |    |     |    |
|   |  | 19   | 002 | A | DR | 004 | 00 |



**Figura 2-6: Combinazione delle rose ondamiche a largo e propagata al piede della struttura (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  $150^{\circ}\text{N}$ ), 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  $210^{\circ}\text{N}$  del settore di traversia principale anche quelle settore di traversia secondario secondo le direzioni di  $150^{\circ}\text{N}$  e  $180^{\circ}\text{N}$ . Gli input di progetto delle forzanti di moto ondoso (vedi Tabella 2.1) 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<br>Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione<br>del nuovo Terminal contenitori di Levante<br>II° Stralcio – Progetto Definitivo | Titolo elaborato: Penetrazione moto ondoso e agitazione<br>interna.<br>Data: luglio 2022 |     |   |    |     |    |
|   |  | 19   | 002 | A | DR | 004 | 00 |

**Tabella 2.1 – Input delle forzanti di moto ondoso**

|                             |             |   |
|-----------------------------|-------------|---|
| <b>Traversia secondaria</b> | Dir = 150°N | $T = 5 \text{ s}$                                   |
|                             | Dir = 180°N | $T = 5 \text{ s} \div 7 \text{ s}$                  |
| <b>Traversia principale</b> | 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<br>Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione<br>del nuovo Terminal contenitori di Levante<br>II° Stralcio – Progetto Definitivo | Titolo elaborato: Penetrazione moto ondoso e agitazione<br>interna.<br>Data: luglio 2022 |     |   |    |     |    |     |
|   |  | 19   | 002 | A | DR | 004 | 00 | MAR |

### 3. 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 2-2÷Figura 2-5). 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 3-1 ÷ Figura 3-24. 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

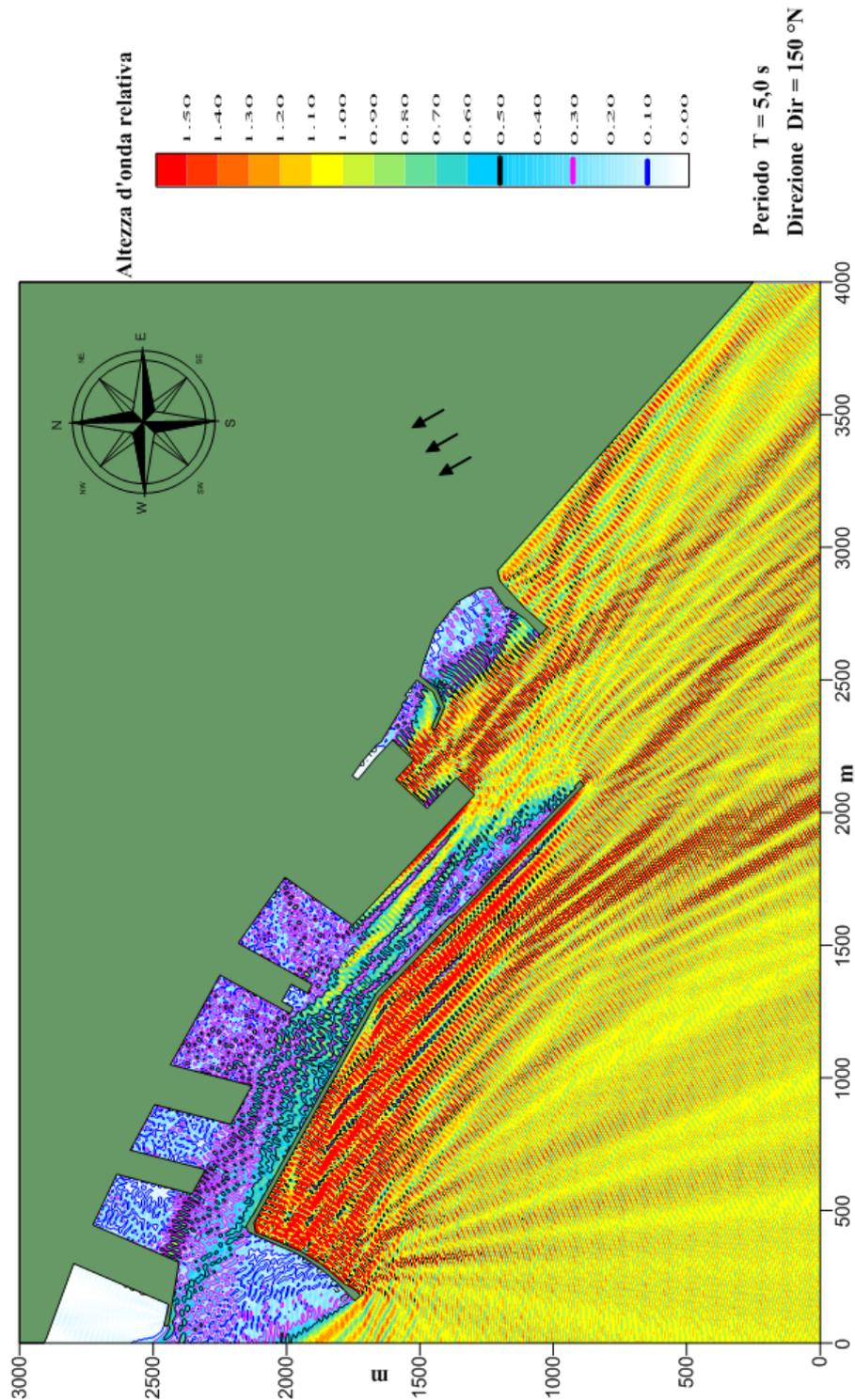


Figura 3-1: Configurazione Attuale  
Agitazione ondosa con eventi provenienti da  $150^\circ N$  e periodo 5 s

Porto di Napoli - Prolungamento Diga Duca D'Aosta - Configurazione I Stralcio - Prolungamento 105 m  
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

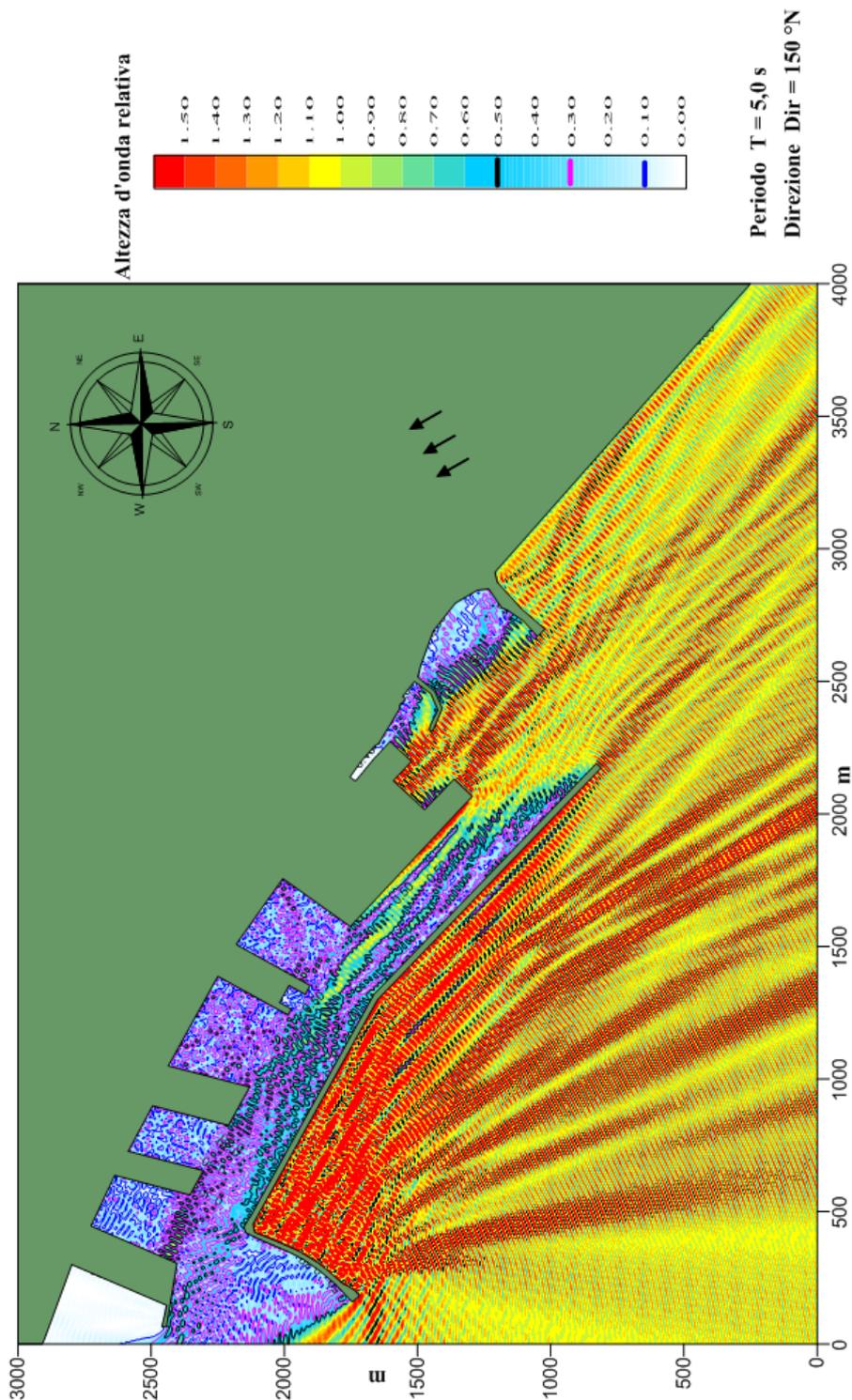


Figura 3-2: Configurazione I Stralcio (prolungamento 105 m)  
Agitazione ondosa con eventi provenienti da  $150^\circ N$  e periodo 5 s

Porto di Napoli - Prolungamento Diga Duca D'Aosta - Configurazione II Stralcio - Prolungamento 900 m  
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

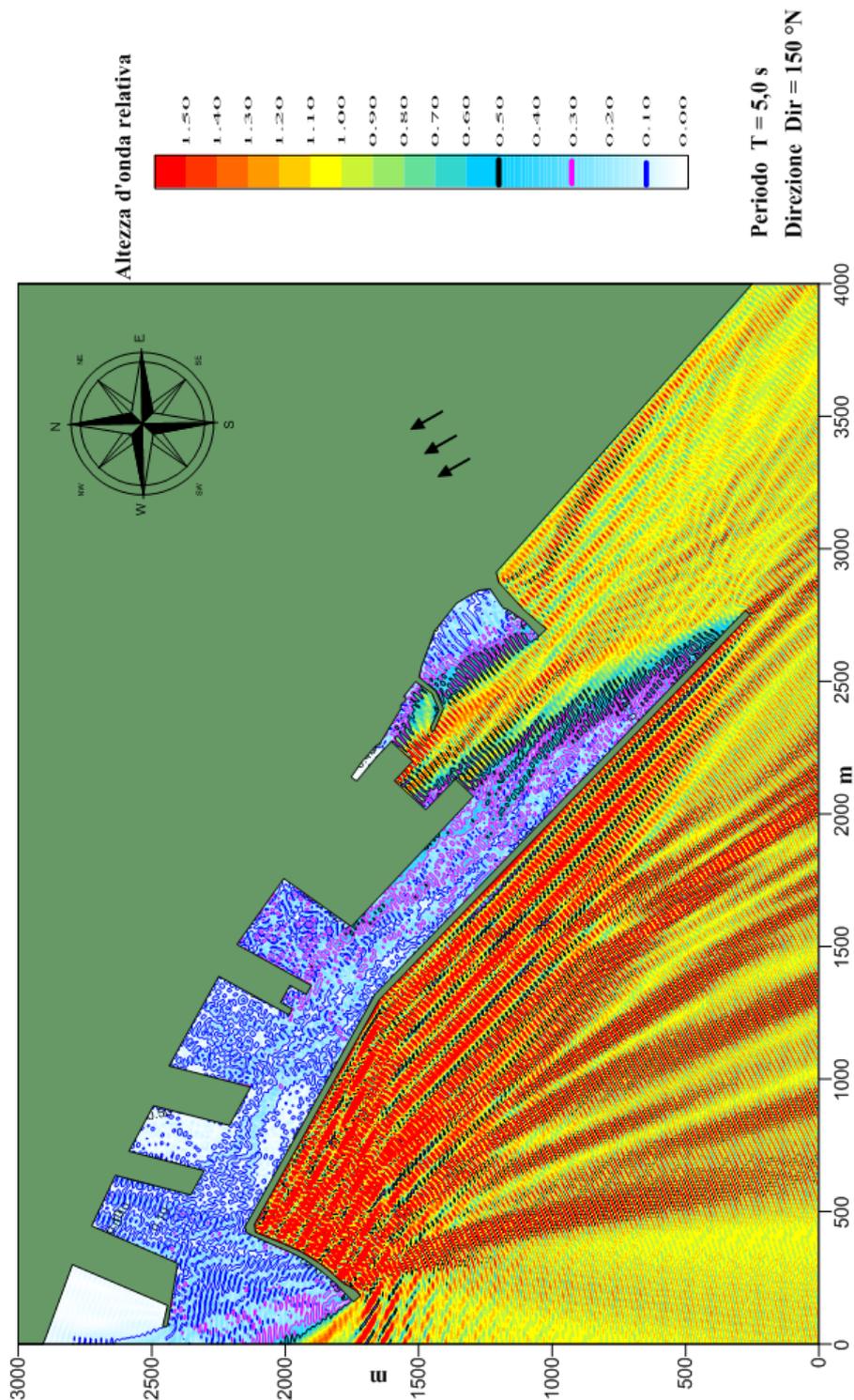


Figura 3-3: Configurazione II Stralcio (Ipotesi Base prolungamento 900 m)  
Agitazione ondosa con eventi provenienti da  $150^\circ \text{ N}$  e periodo 5 s

Porto di Napoli - Prolungamento Diga Duca D'Aosta - Configurazione prolungamento 250 m  
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

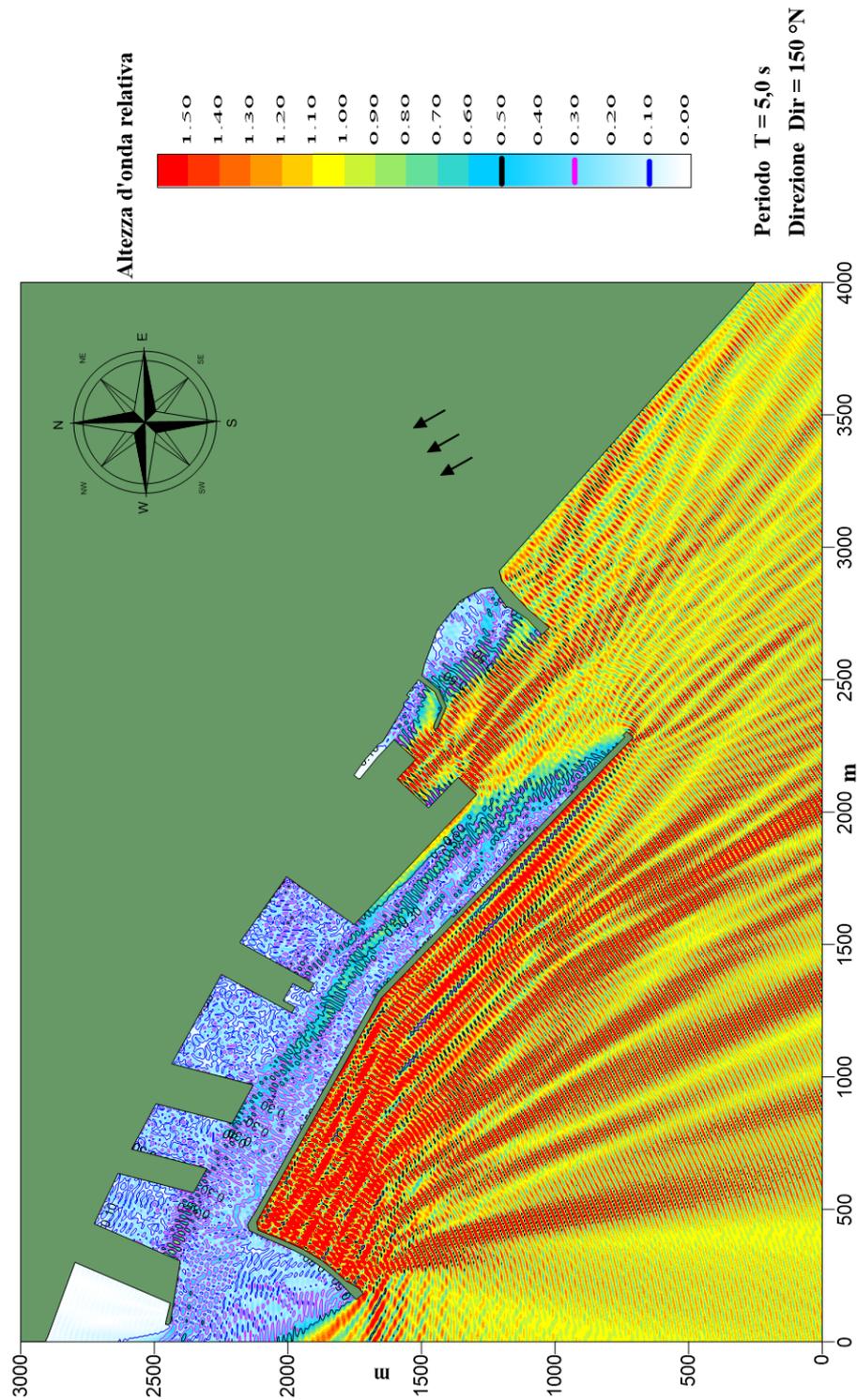


Figura 3-4 Configurazione Finale II Stralcio (Assetto Finale prolungamento di 270 m)  
Agitazione ondosa con eventi provenienti da 150° N e periodo 5 s

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

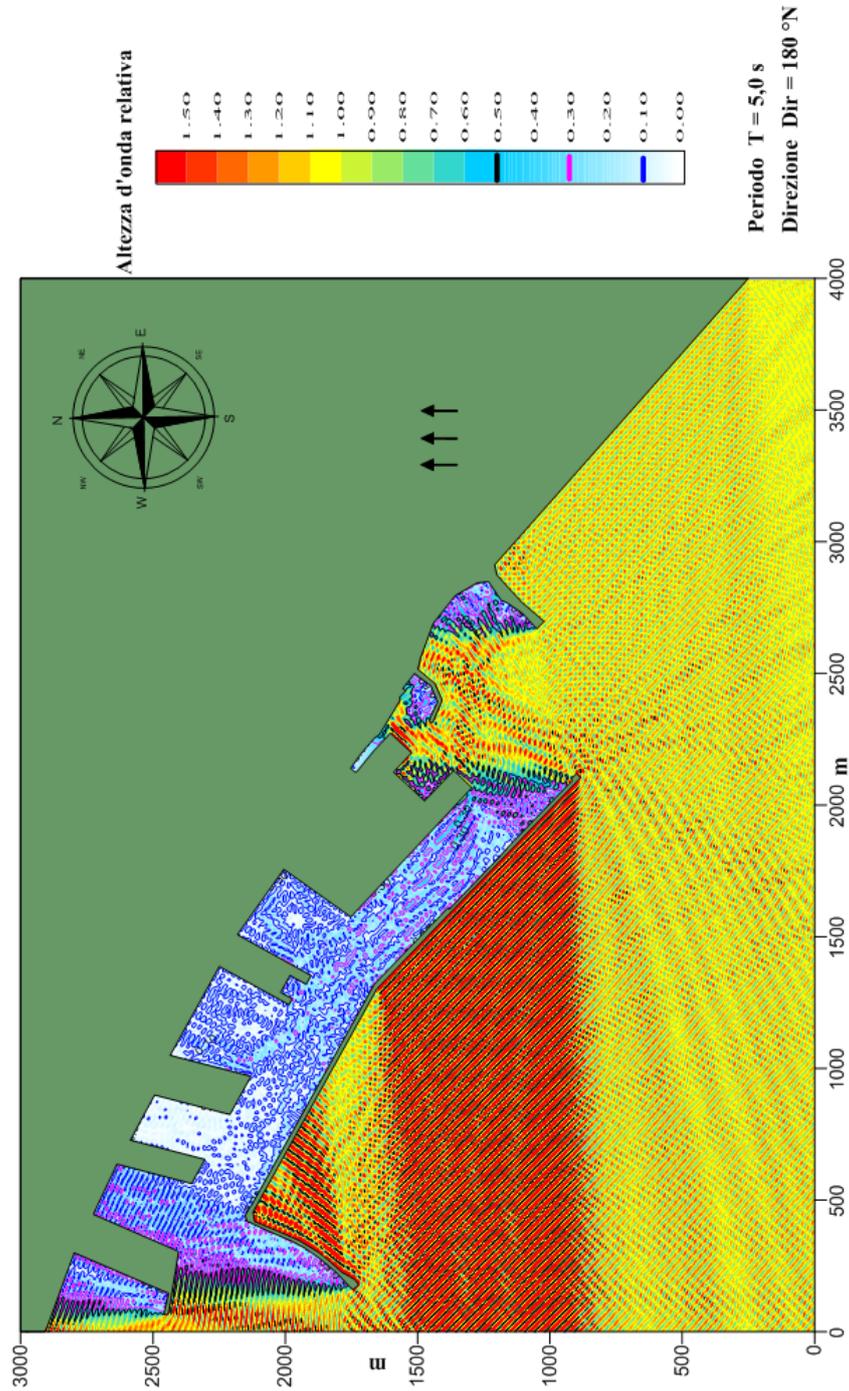


Figura 3-5: Configurazione Attuale  
Agitazione ondosa con eventi provenienti da 180° N e periodo 5 s

Porto di Napoli - Prolungamento Diga Duca D'Aosta - Configurazione I Stralcio - Prolungamento 105 m  
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

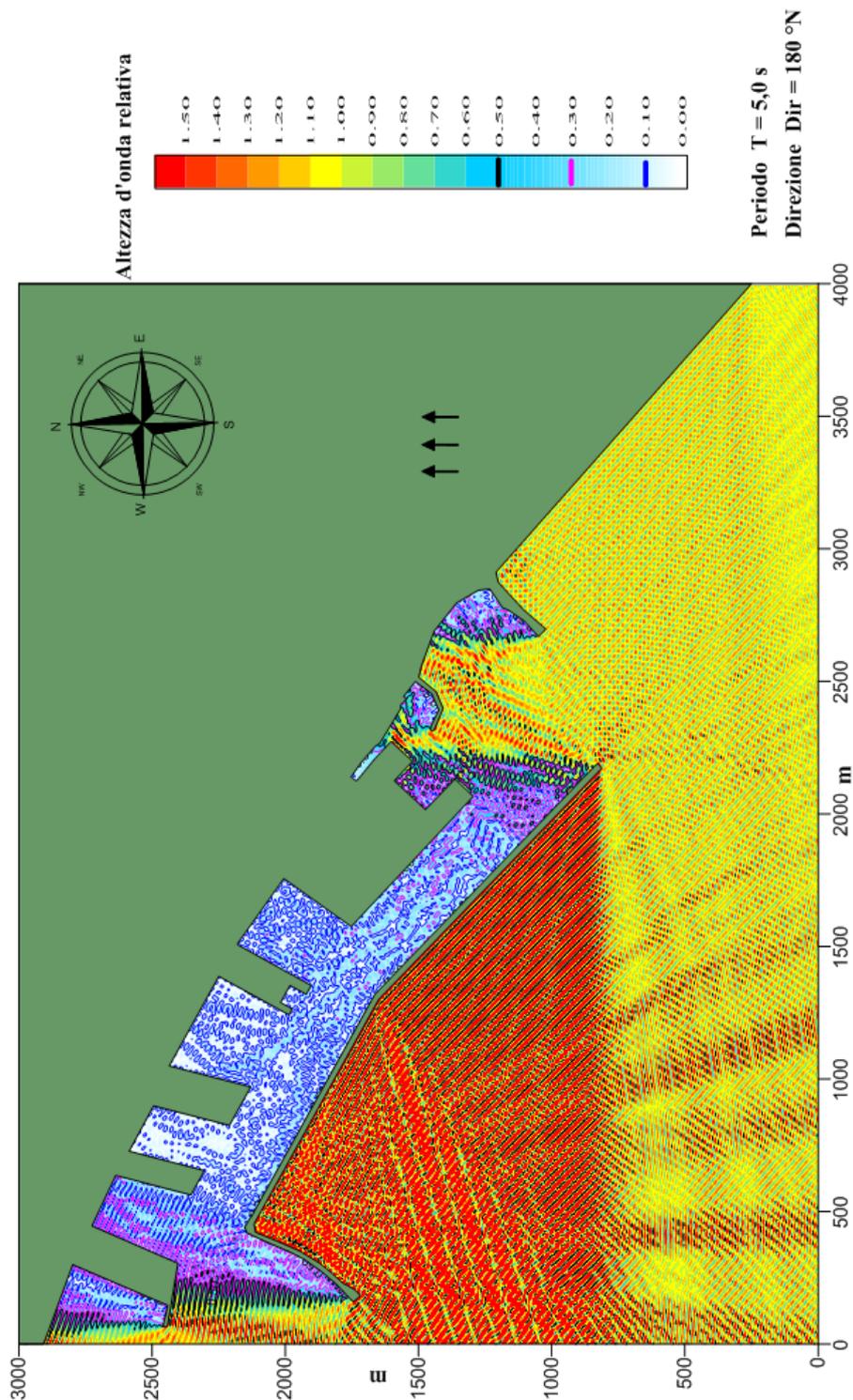


Figura 3-6: Configurazione I Stralcio (prolungamento 105 m)  
Agitazione ondosa con eventi provenienti da  $180^\circ \text{ N}$  e periodo 5 s

Porto di Napoli - Prolungamento Diga Duca D'Aosta - Configurazione II Stralcio - Prolungamento 900 m  
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

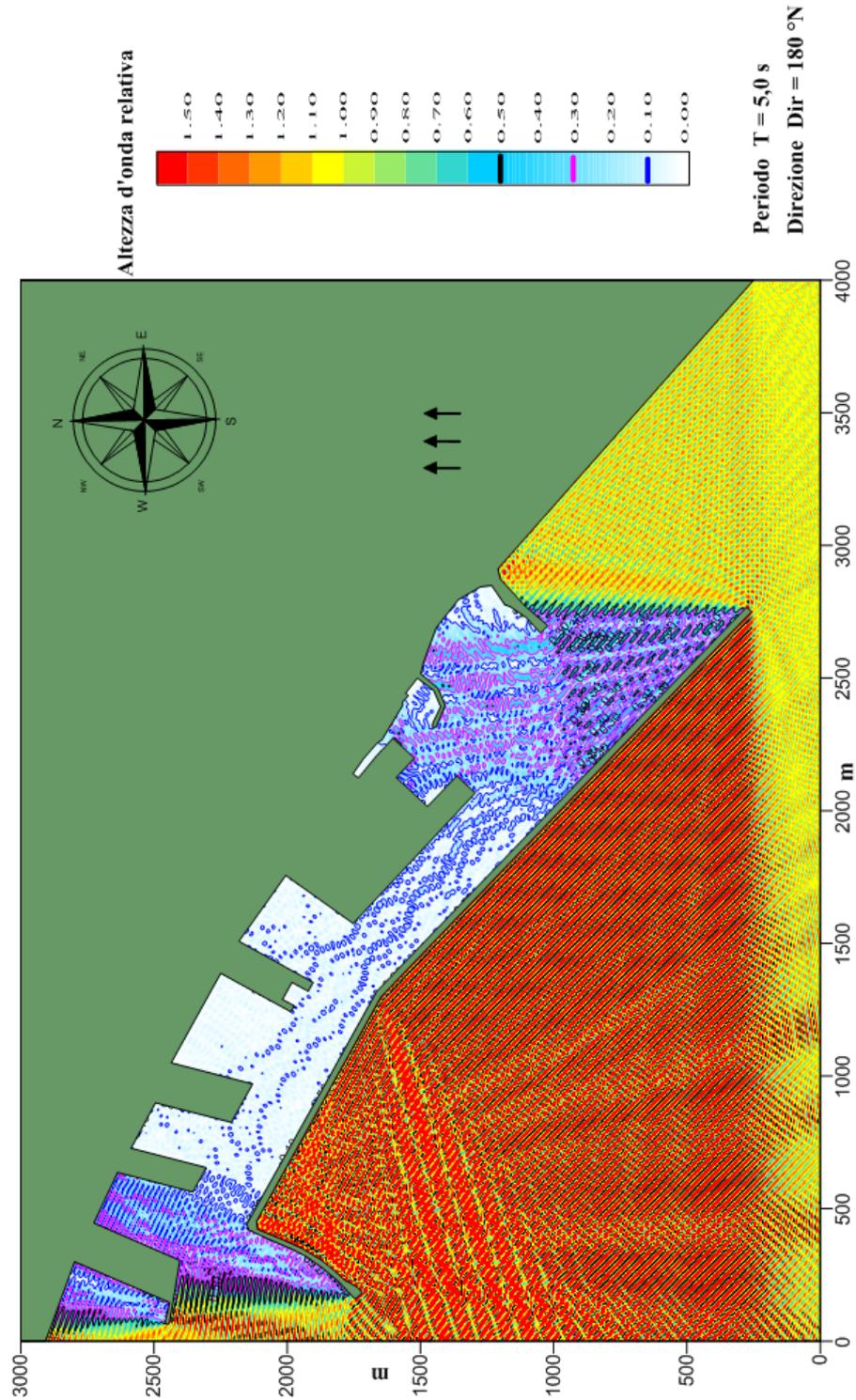


Figura 3-7: Configurazione II Stralcio (Ipotesi Base prolungamento 900 m)  
Agitazione ondosa con eventi provenienti da  $180^\circ \text{ N}$  e periodo 5 s

Porto di Napoli - Prolungamento Diga Duca D'Aosta - Configurazione prolungamento 250 m  
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

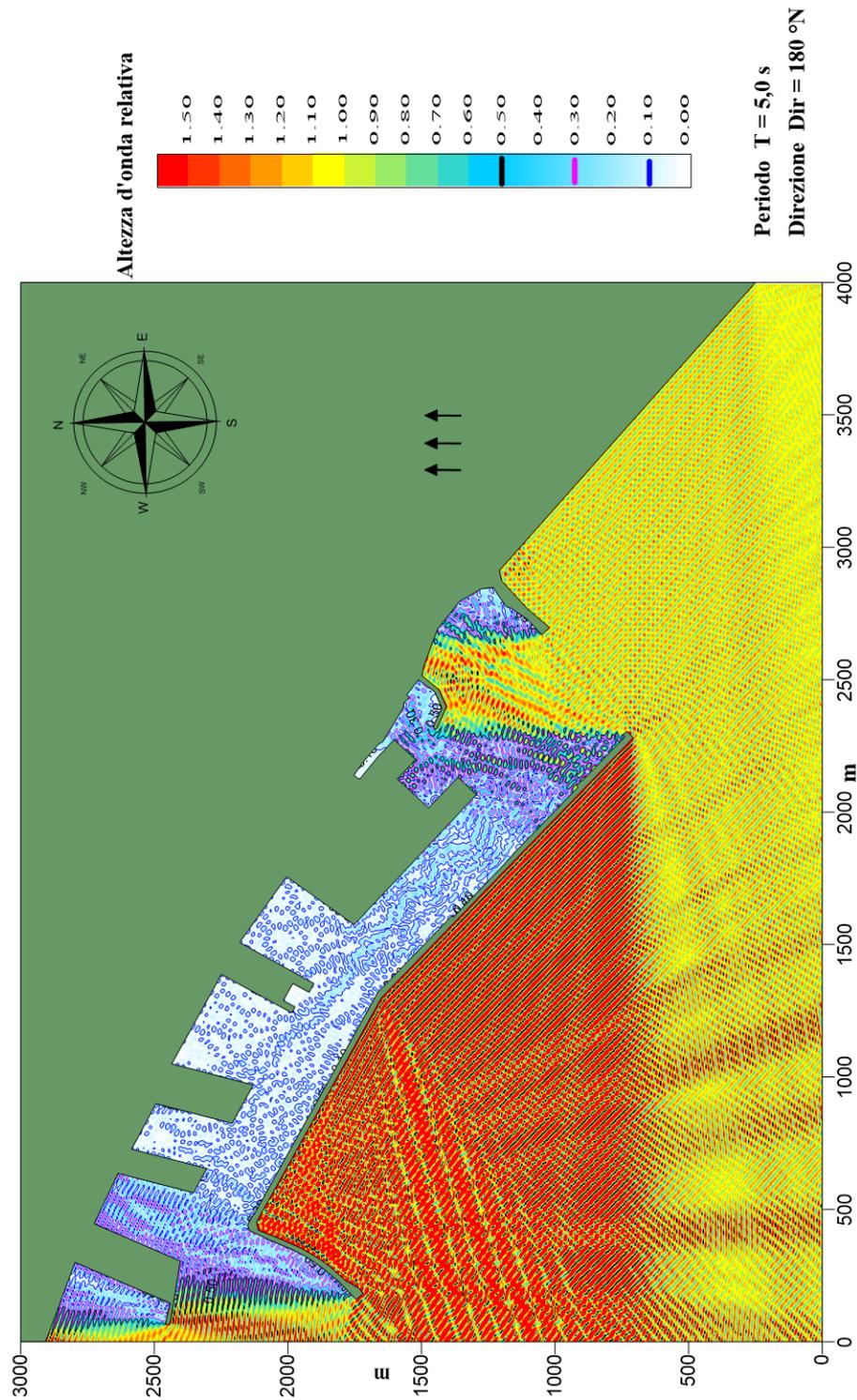


Figura 3-8 Configurazione Finale II Stralcio (Assetto Finale prolungamento di 270 m)  
Agitazione ondosa con eventi provenienti da  $180^\circ$  N e periodo 5 s

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

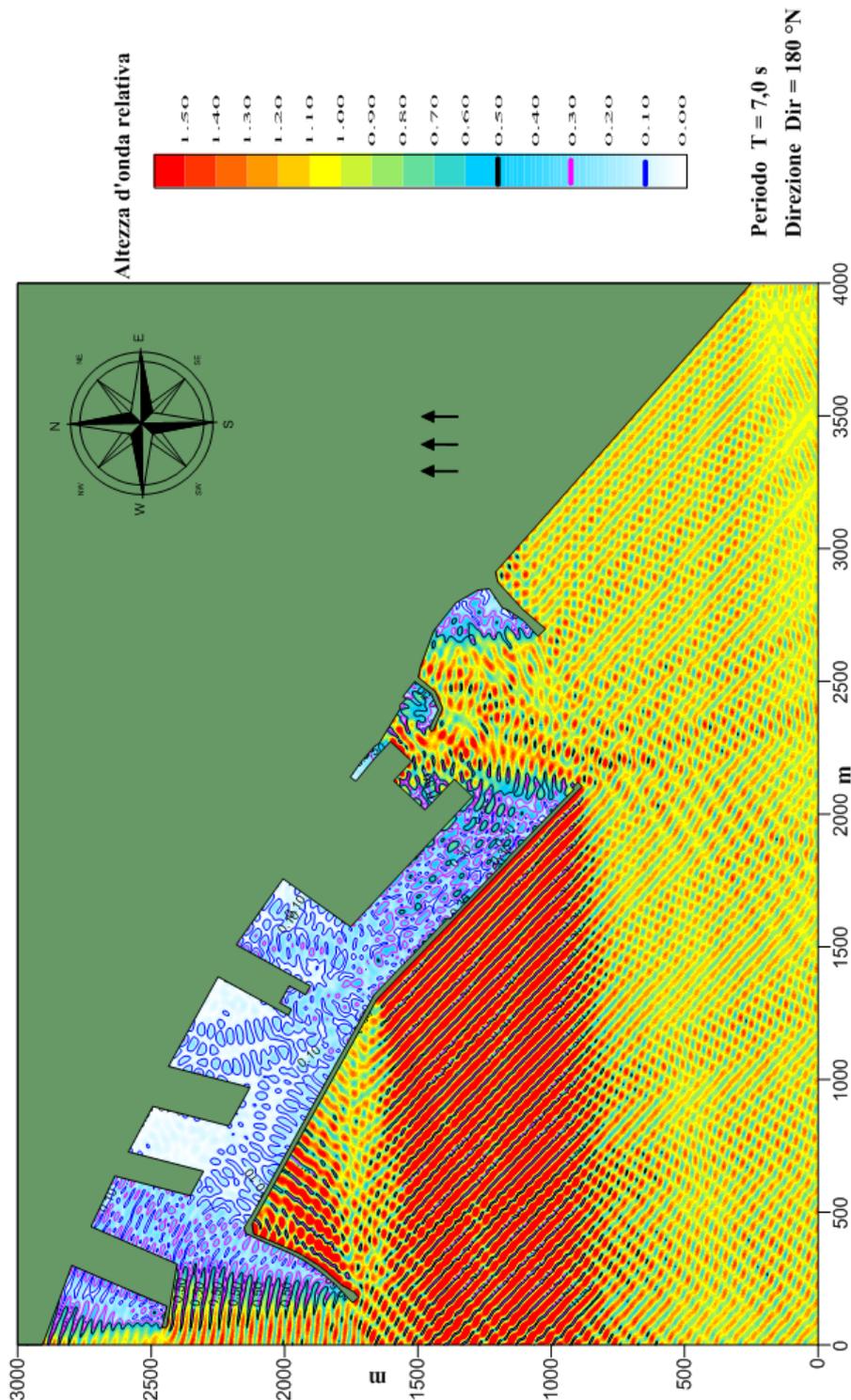


Figura 3-9: Configurazione Attuale  
Agitazione ondosa con eventi provenienti da 180° N e periodo 7 s

Porto di Napoli - Prolungamento Diga Duca D'Aosta - Configurazione I Stralcio - Prolungamento 105 m  
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

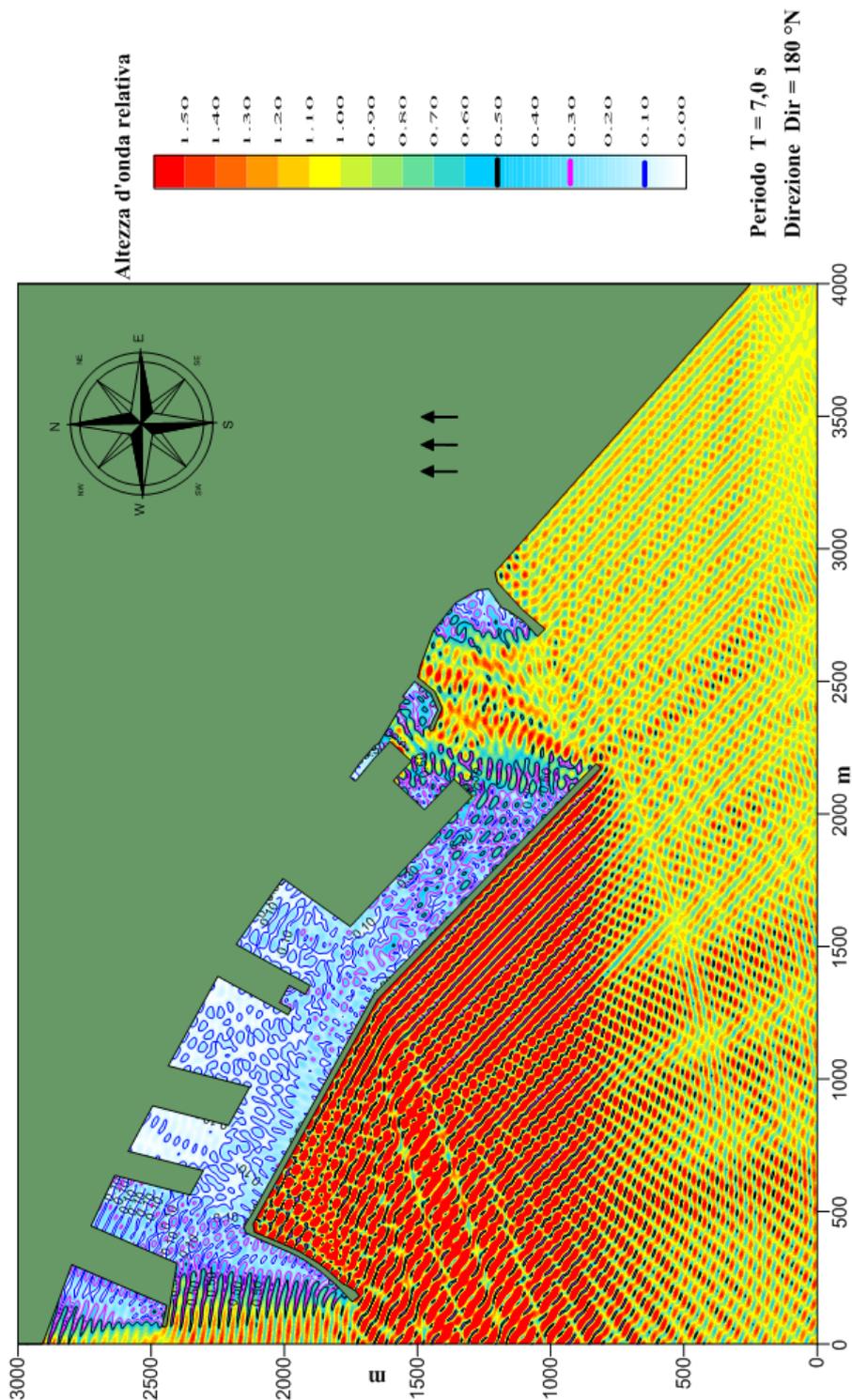


Figura 3-10: Configurazione I Stralcio (prolungamento 105 m)  
Agitazione ondosa con eventi provenienti da 180° N e periodo 7 s

Porto di Napoli - Prolungamento Diga Duca D'Aosta - Configurazione II Stralcio - Prolungamento 900 m  
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

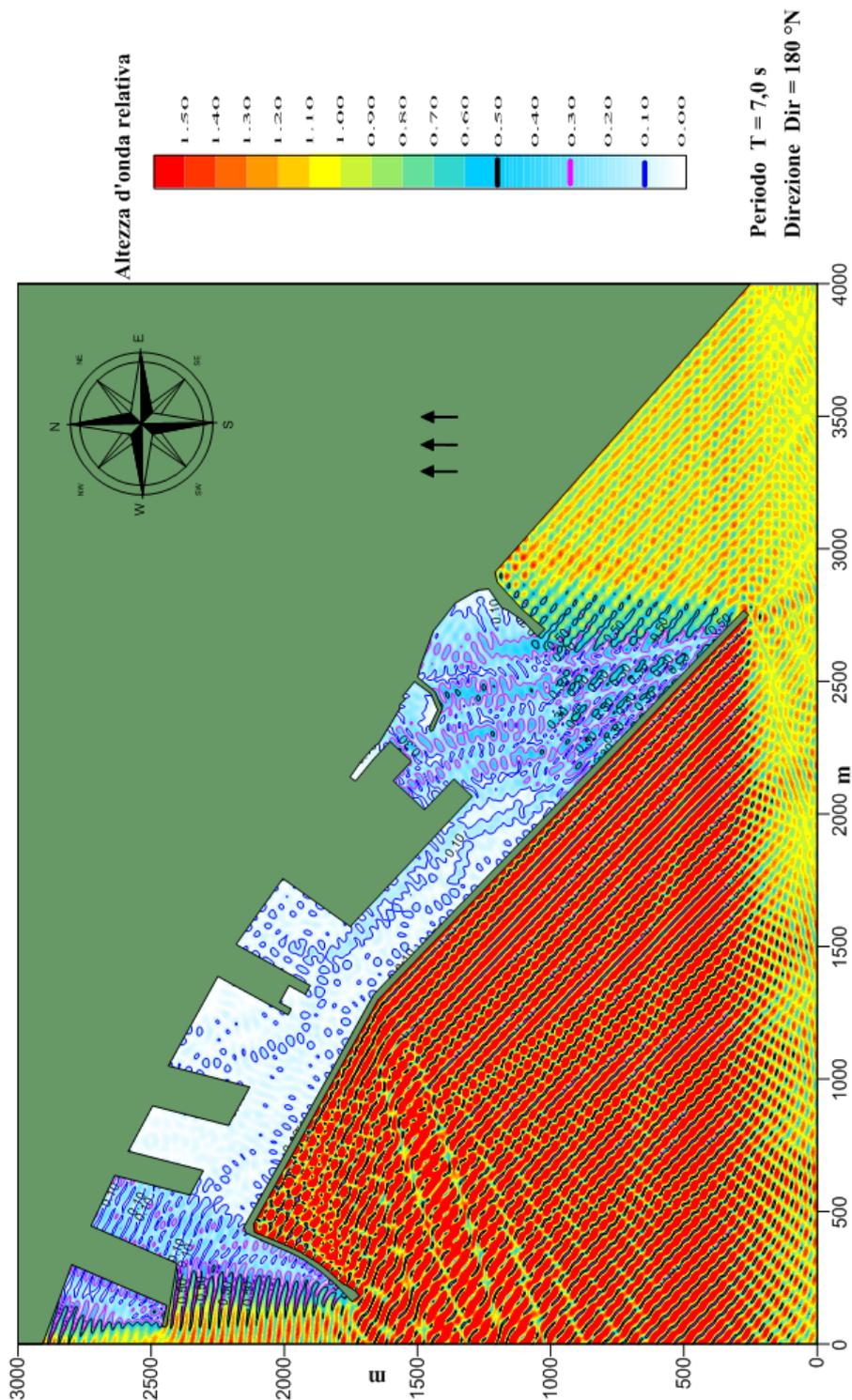


Figura 3-11: Configurazione II Stralcio (Ipotesi Base prolungamento 900 m)  
Agitazione ondosa con eventi provenienti da 180° N e periodo 7 s

Porto di Napoli - Prolungamento Diga Duca D'Aosta - Configurazione prolungamento 250 m  
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

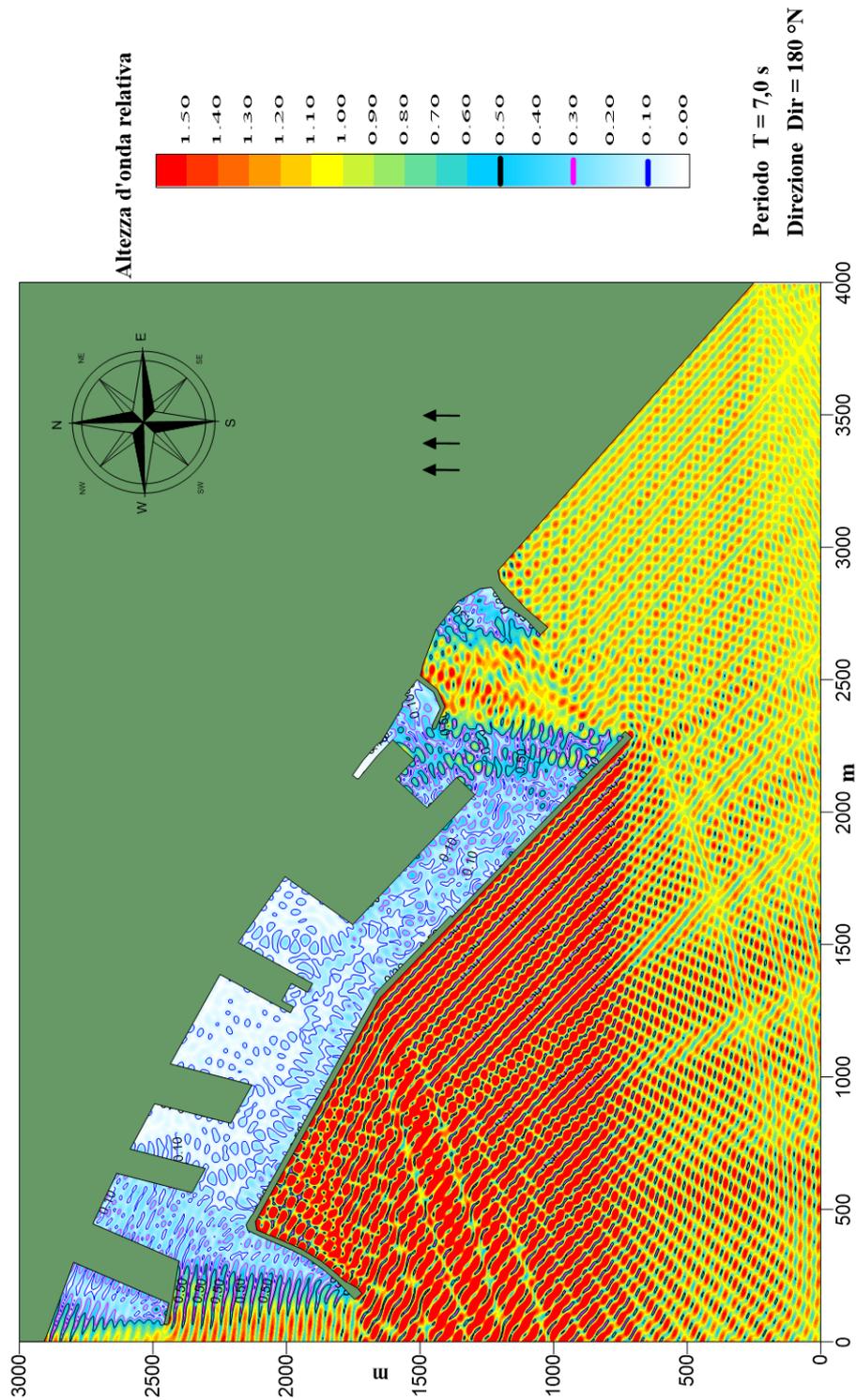


Figura 3-12 Configurazione Finale II Stralcio (Assetto Finale prolungamento di 270 m)  
Agitazione ondosa con eventi provenienti da  $180^\circ N$  e periodo 7 s

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

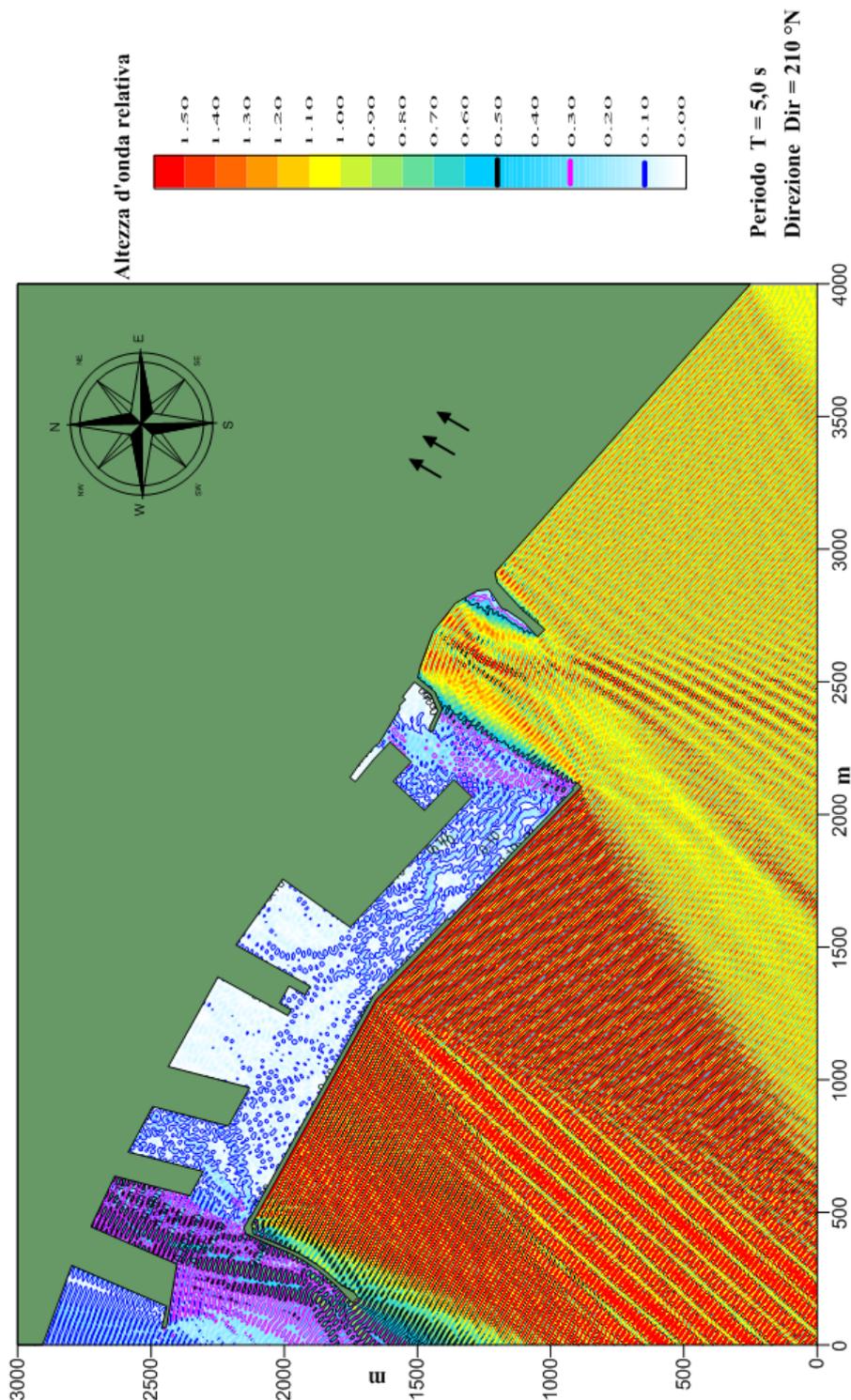


Figura 3-13: Configurazione Attuale  
Agitazione ondosa con eventi provenienti da  $210^\circ \text{ N}$  e periodo  $5 \text{ s}$

Porto di Napoli - Prolungamento Diga Duca D'Aosta - Configurazione I Stralcio - Prolungamento 105 m  
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

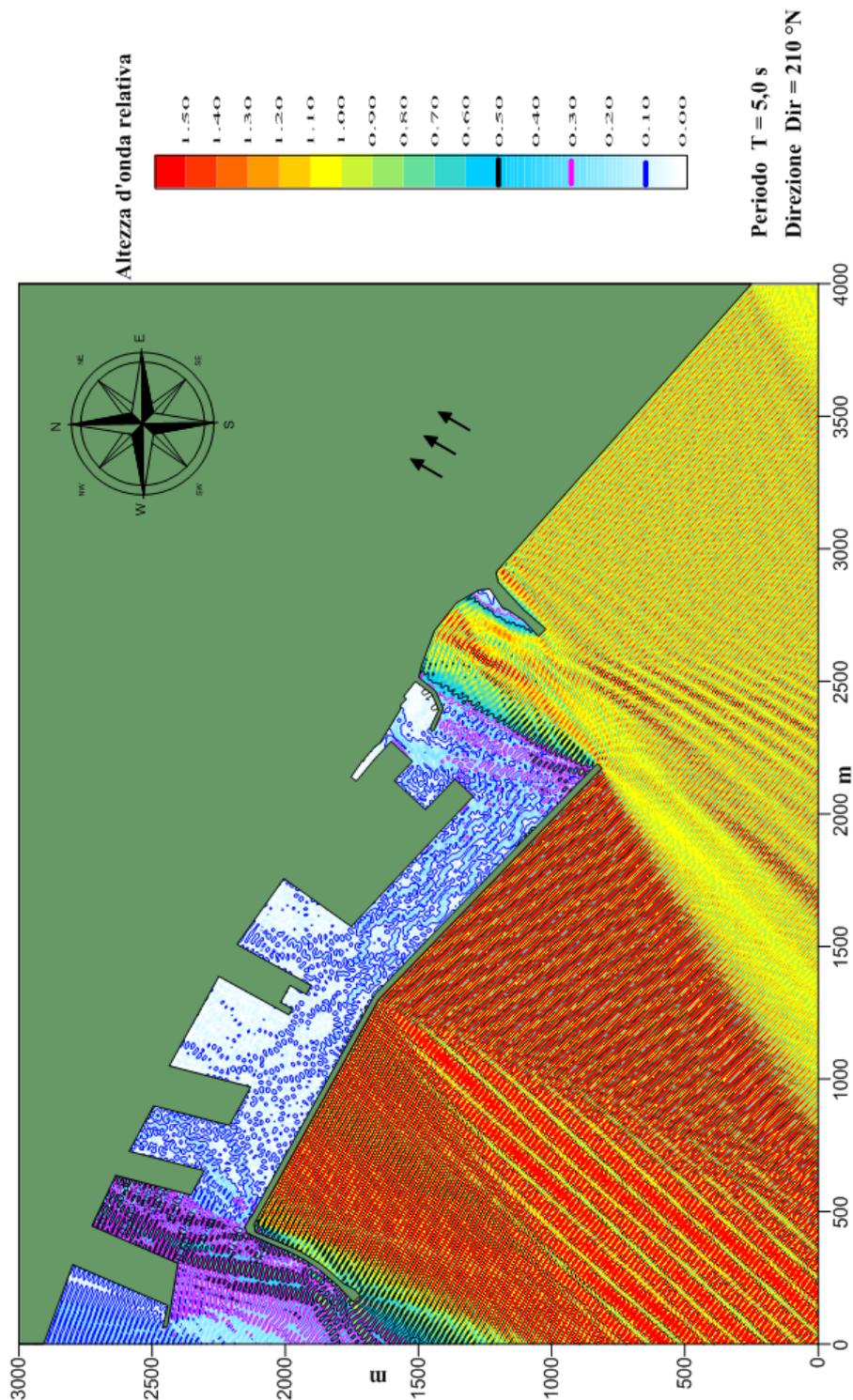


Figura 3-14: Configurazione I Stralcio (prolungamento 105 m)  
Agitazione ondosa con eventi provenienti da  $210^\circ \text{ N}$  e periodo 5 s

Porto di Napoli - Prolungamento Diga Duca D'Aosta - Configurazione II Stralcio - Prolungamento 900 m  
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

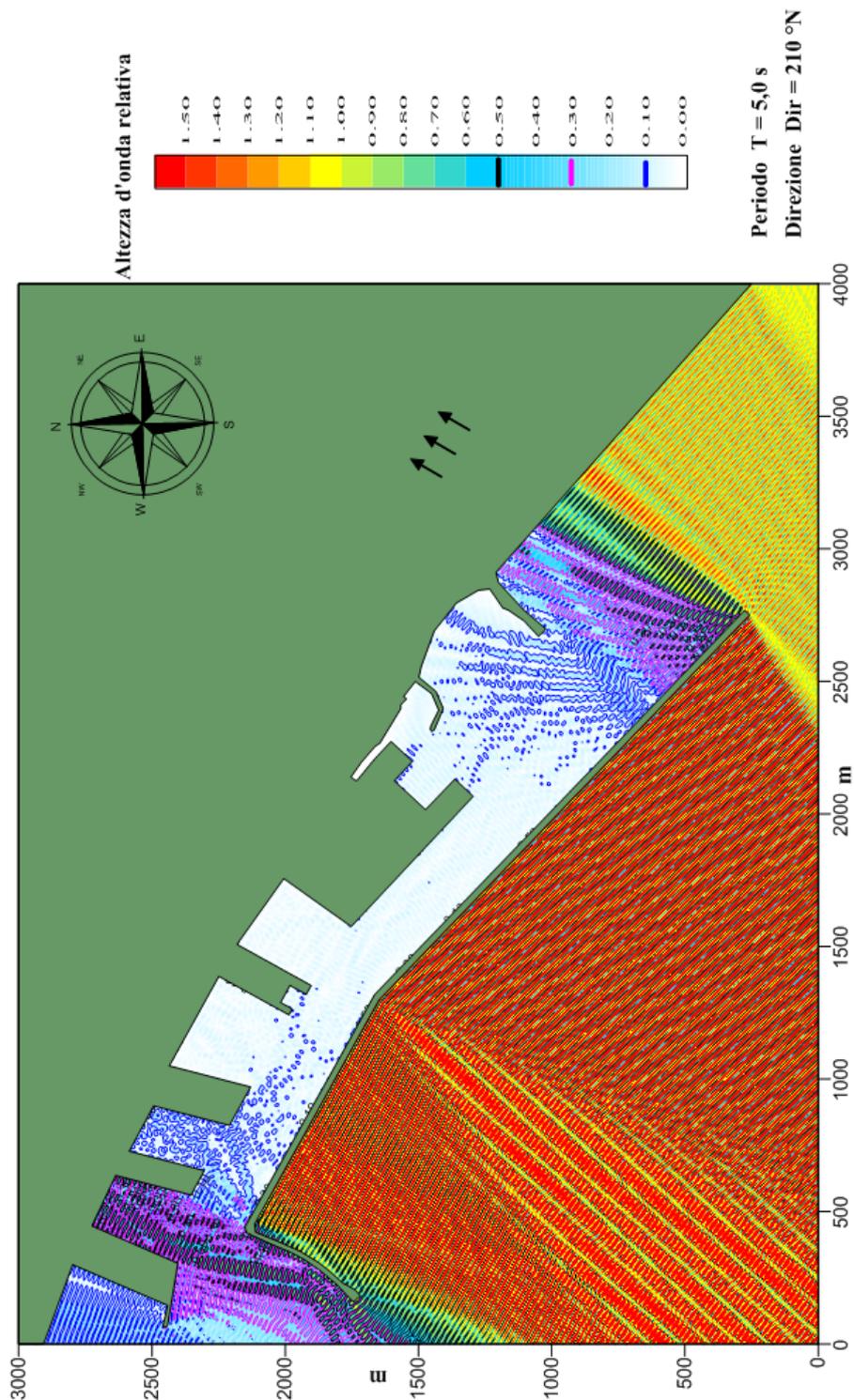


Figura 3-15: Configurazione II Stralcio (Ipotesi Base prolungamento 900 m)  
Agitazione ondosa con eventi provenienti da 210° N e periodo 5 s

Porto di Napoli - Prolungamento Diga Duca D'Aosta - Configurazione prolungamento 250 m  
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

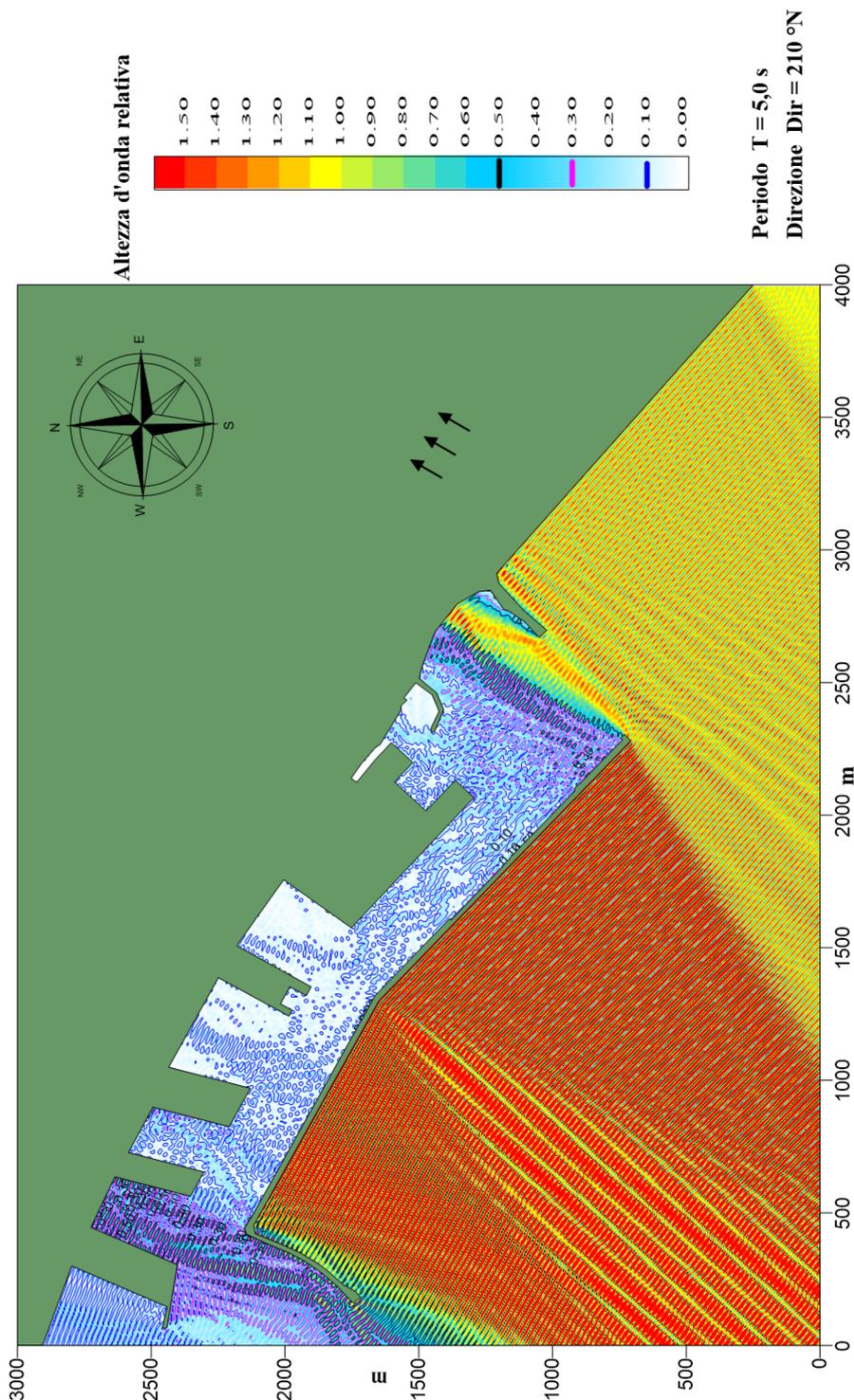


Figura 3-16 Configurazione Finale II Stralcio (Assetto Finale prolungamento di 270 m)  
Agitazione ondosa con eventi provenienti da 210° N e periodo 5 s

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

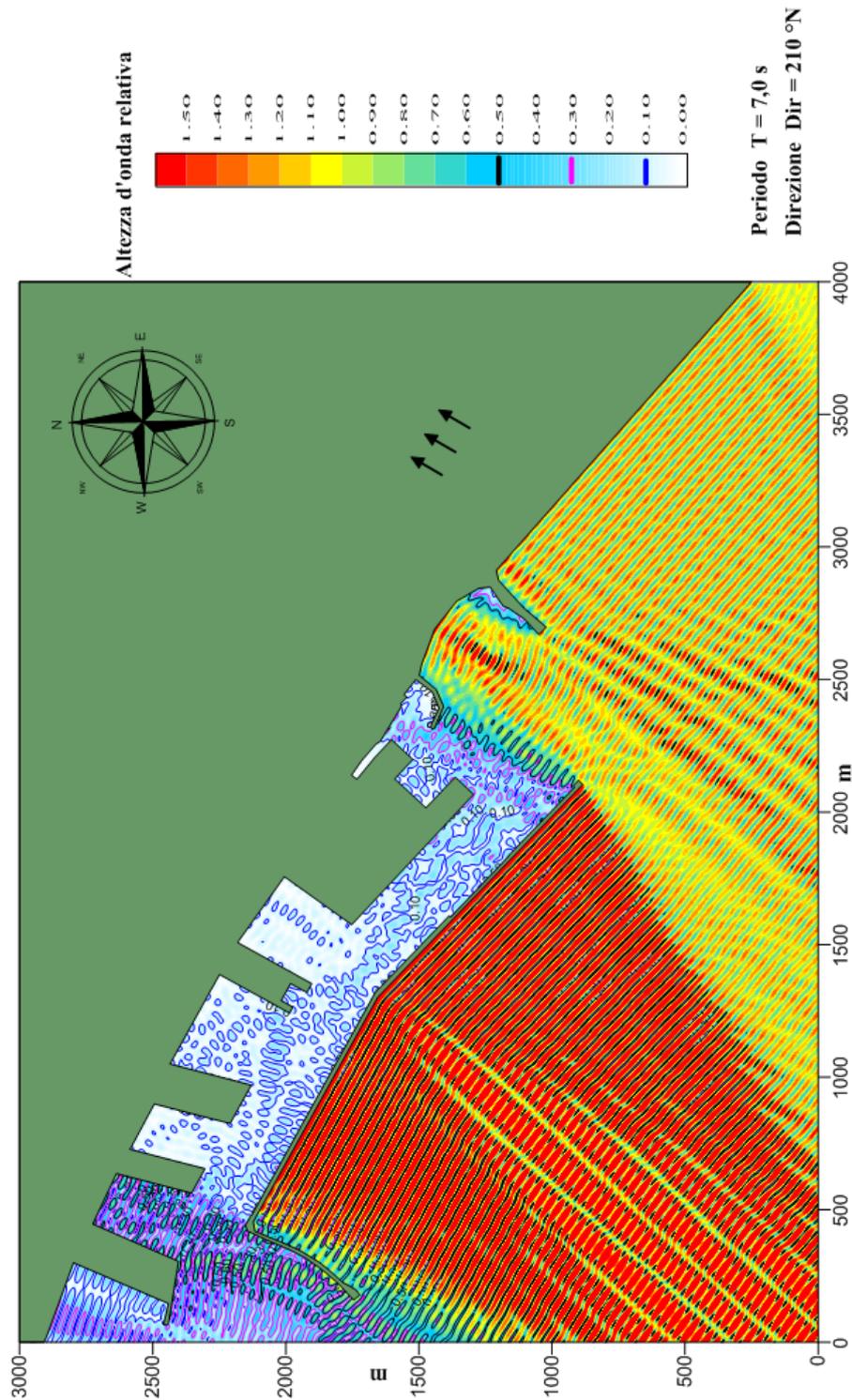
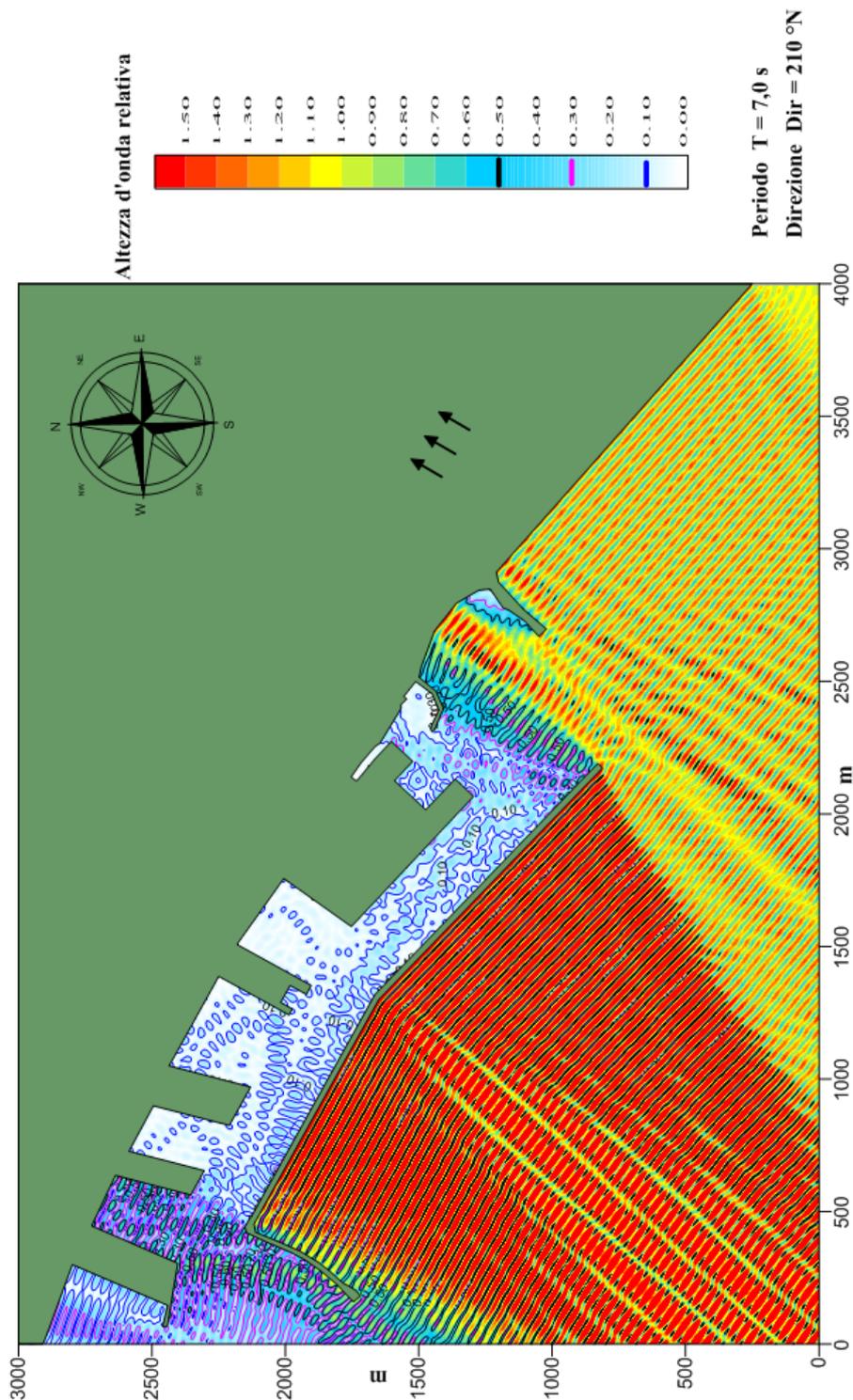


Figura 3-17: Configurazione Attuale  
Agitazione ondosa con eventi provenienti da  $210^\circ \text{ N}$  e periodo  $7 \text{ s}$

Porto di Napoli - Prolungamento Diga Duca D'Aosta - Configurazione I Stralcio - Prolungamento 105 m  
**Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna**



**Figura 3-18: Configurazione I Stralcio (prolungamento 105 m)  
Agitazione ondosa con eventi provenienti da  $210^\circ \text{ N}$  e periodo 7 s**

Porto di Napoli - Prolungamento Diga Duca D'Aosta - Configurazione II Stralcio - Prolungamento 900 m  
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

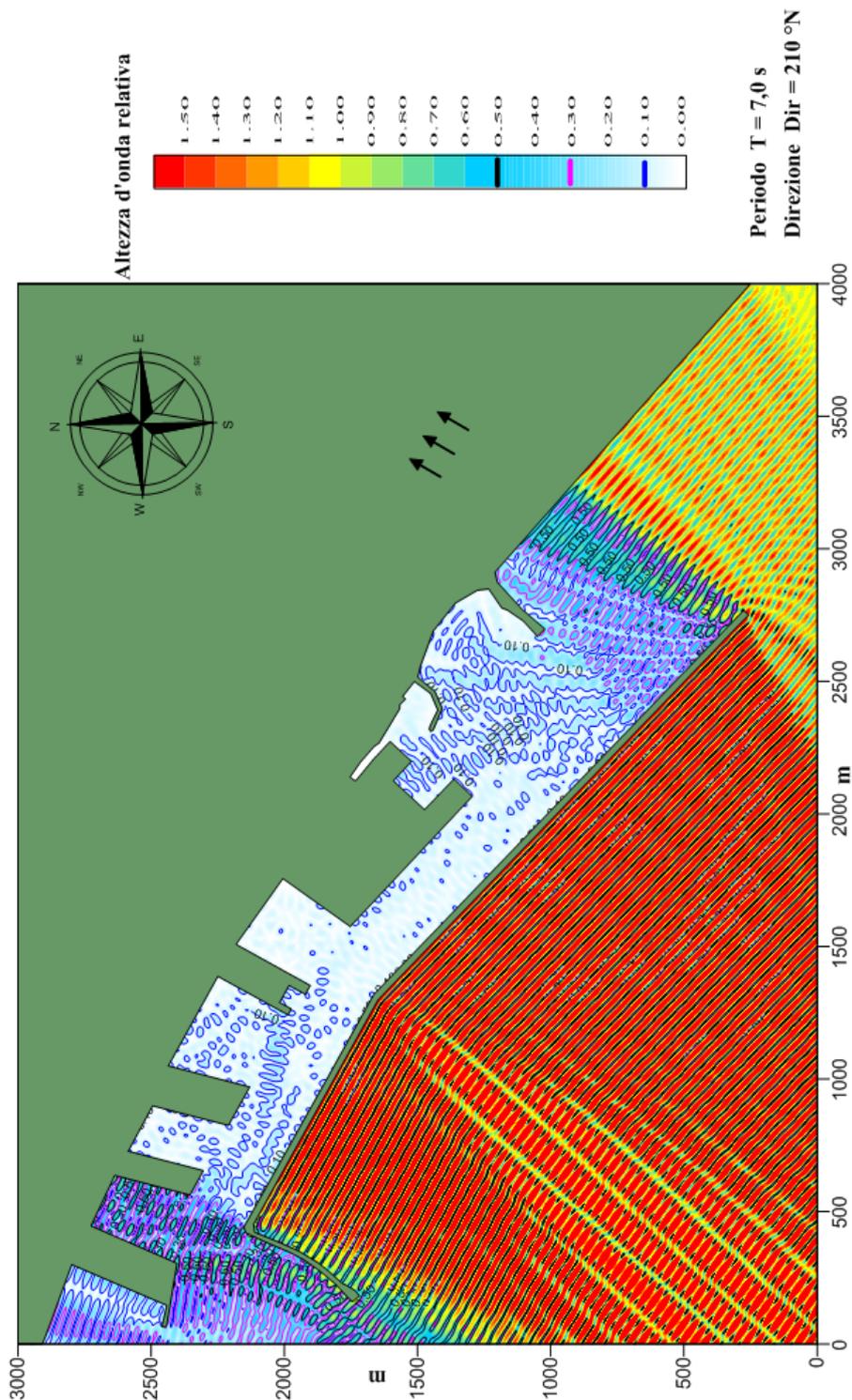


Figura 3-19: Configurazione II Stralcio (Ipotesi Base prolungamento 900 m)  
Agitazione ondosa con eventi provenienti da 210° N e periodo 7 s

Porto di Napoli - Prolungamento Diga Duca D'Aosta - Configurazione prolungamento 250 m  
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

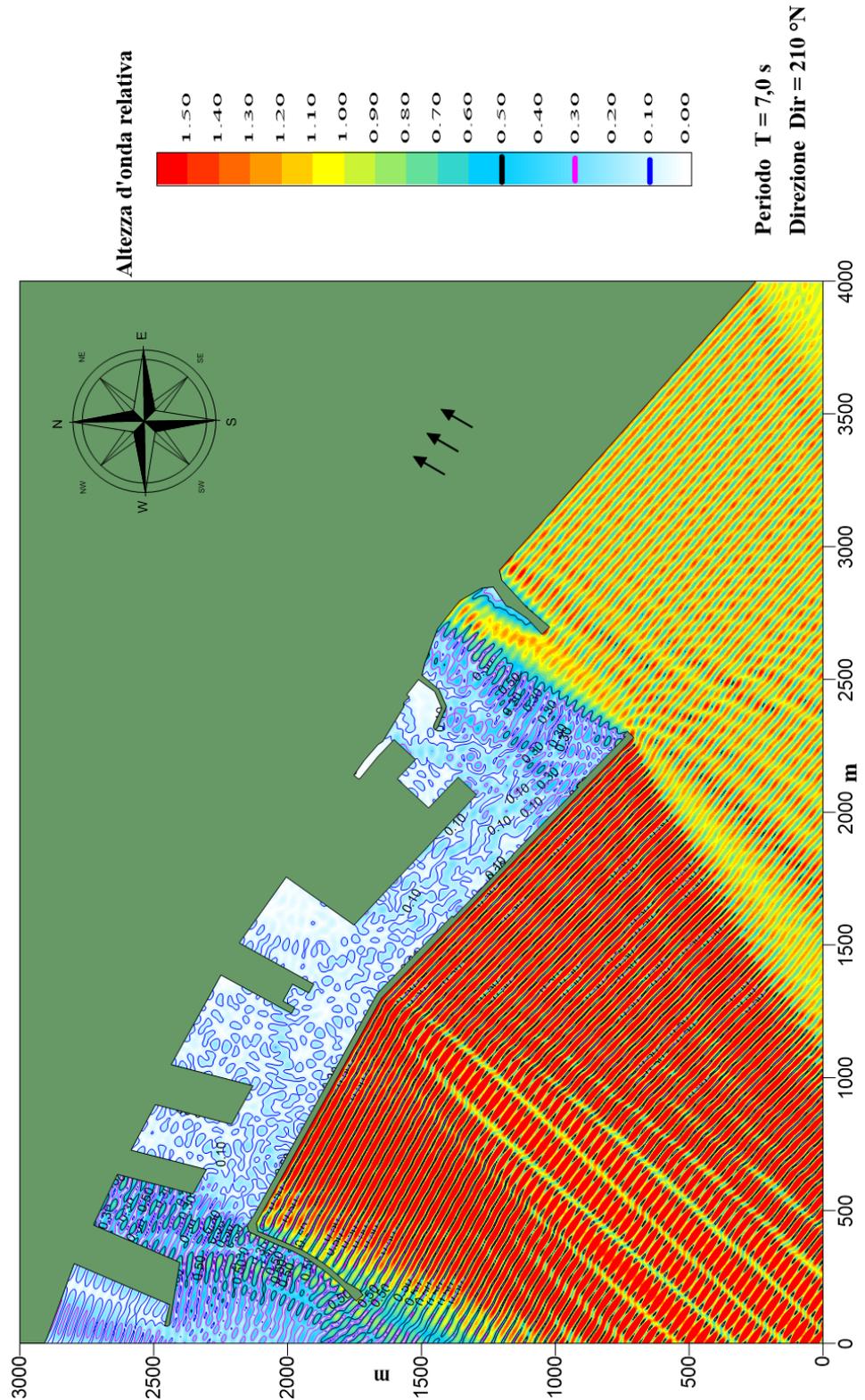


Figura 3-20 Configurazione Finale II Stralcio (Assetto Finale prolungamento di 270 m)  
Agitazione ondosa con eventi provenienti da  $210^\circ N$  e periodo 7 s

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

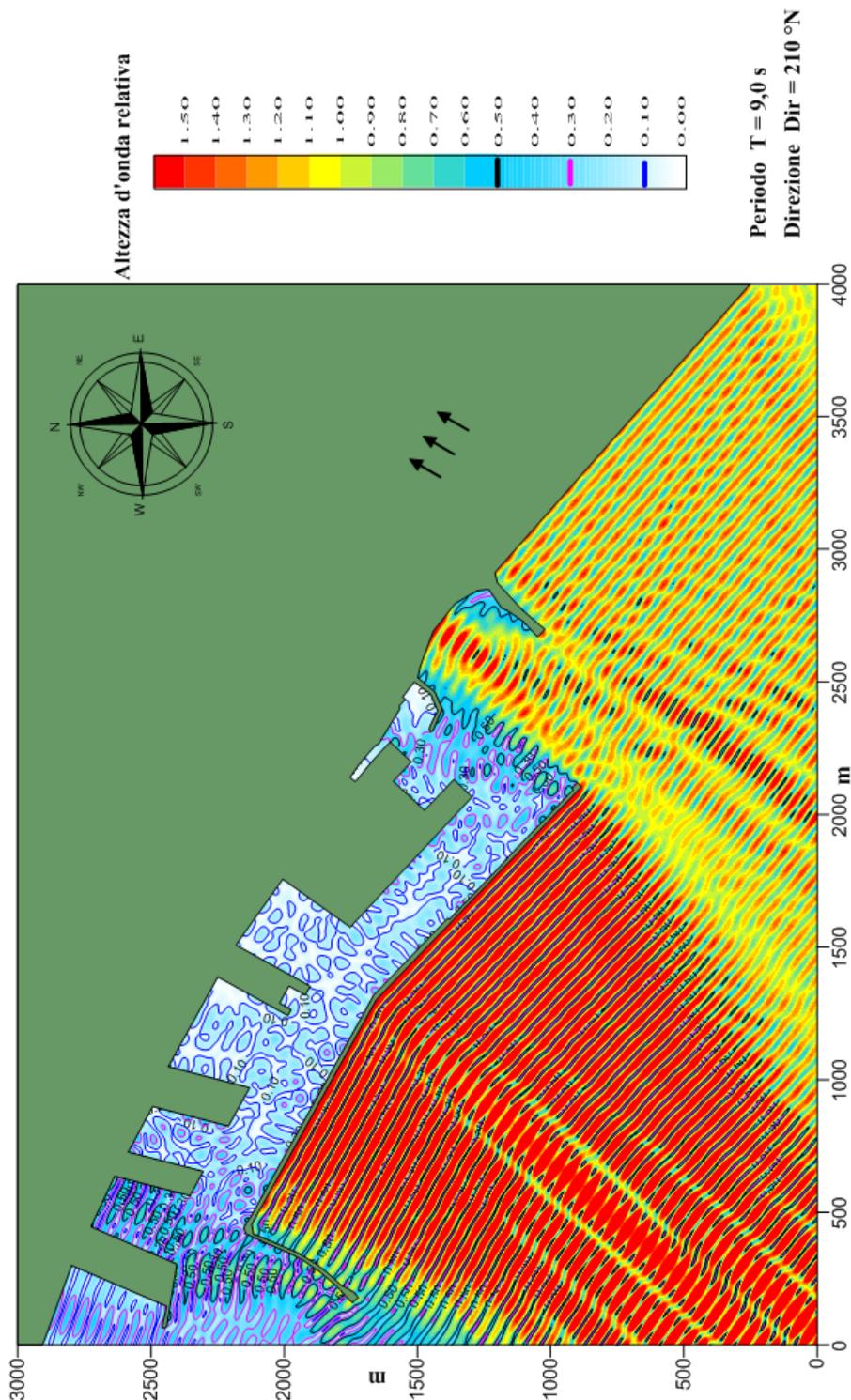


Figura 3-21: Configurazione Attuale  
Agitazione ondosa con eventi provenienti da  $210^\circ \text{ N}$  e periodo  $9 \text{ s}$

Porto di Napoli - Prolungamento Diga Duca D'Aosta - Configurazione I Stralcio - Prolungamento 105 m  
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

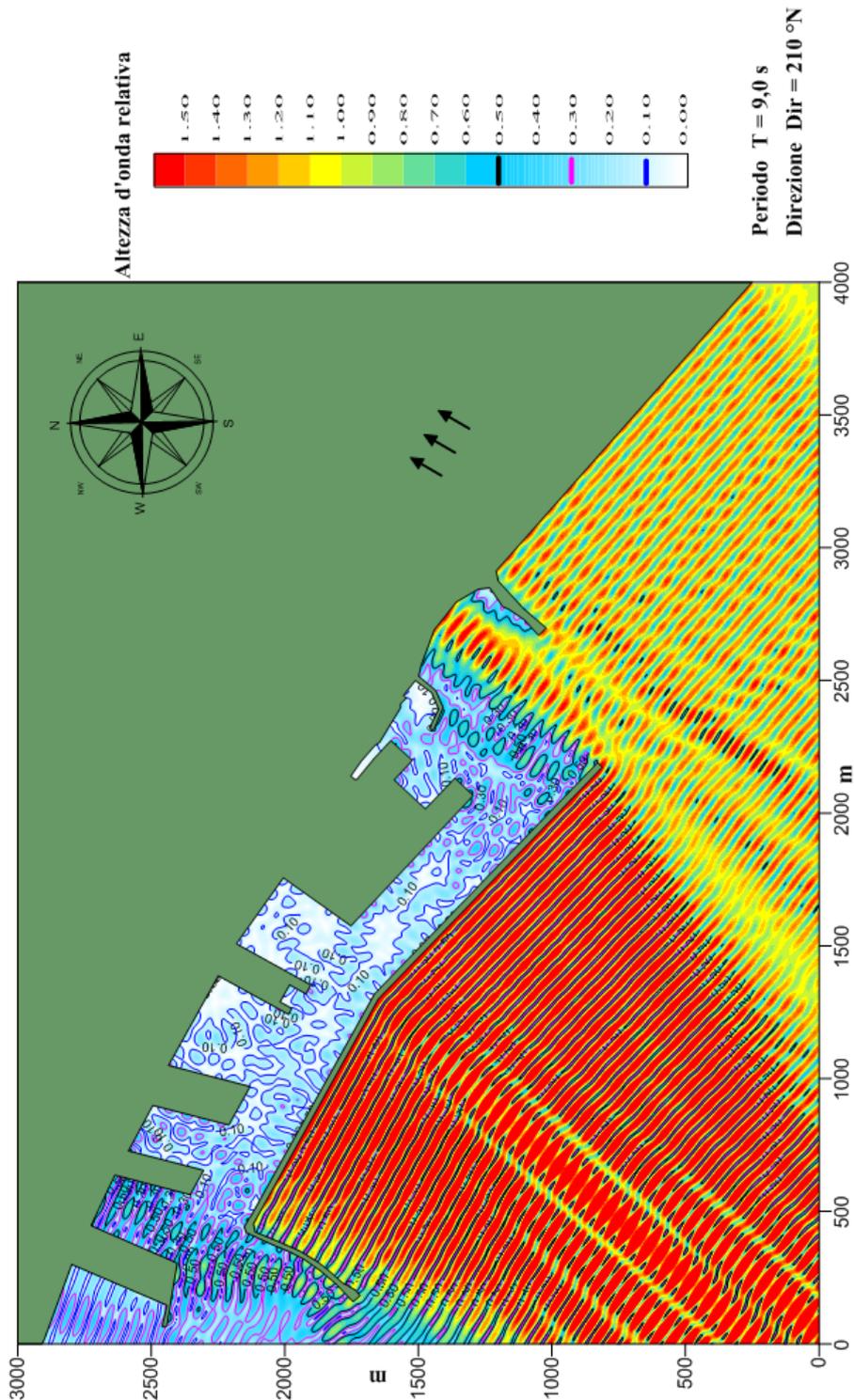


Figura 3-22: Configurazione I Stralcio (prolungamento 105 m)  
Agitazione ondosa con eventi provenienti da  $210^\circ \text{ N}$  e periodo 9 s

Porto di Napoli - Prolungamento Diga Duca D'Aosta - Configurazione II Stralcio - Prolungamento 900 m  
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

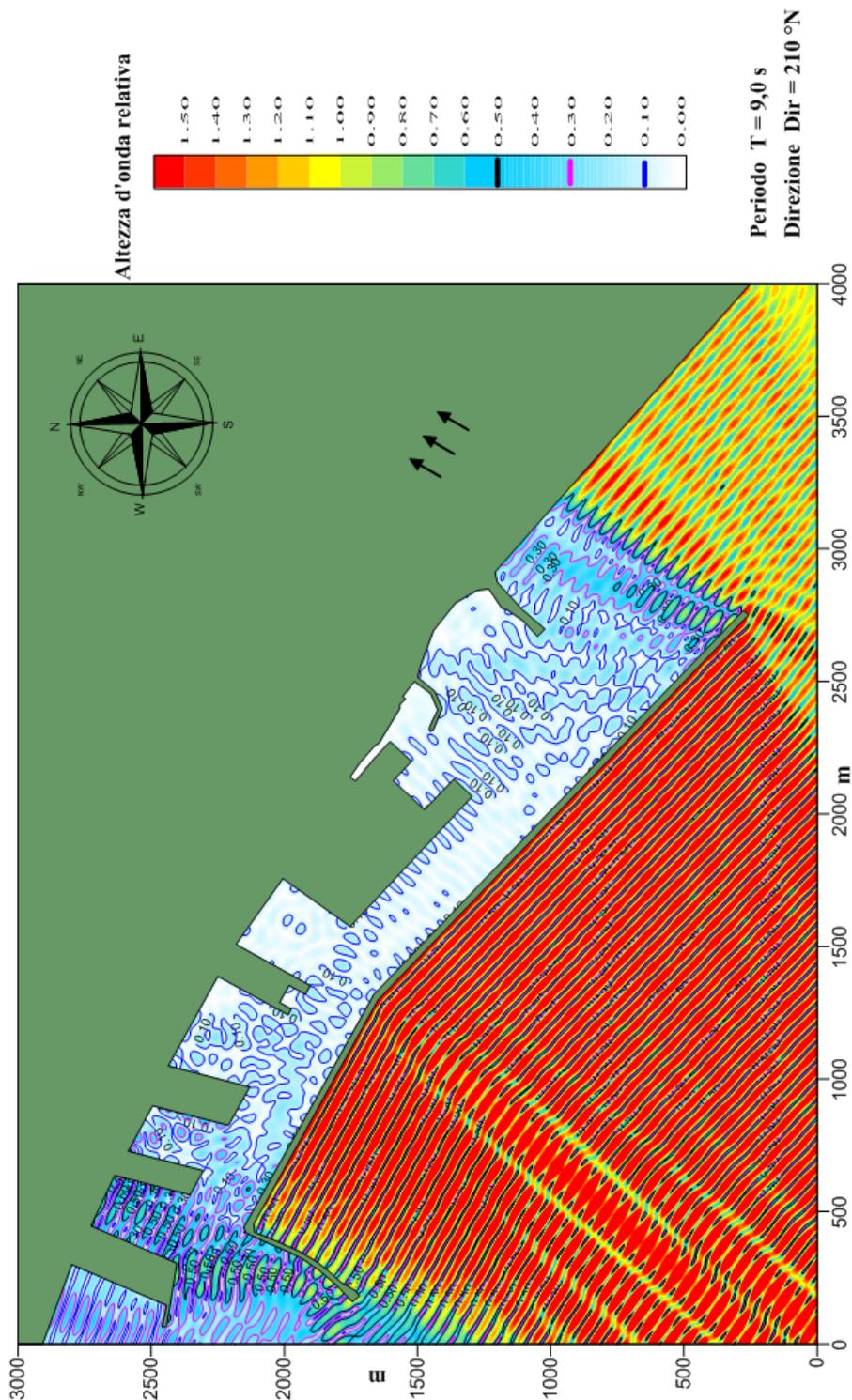


Figura 3-23: Configurazione II Stralcio (Ipotesi Base prolungamento 900 m)  
Agitazione ondosa con eventi provenienti da 210° N e periodo 9 s

Porto di Napoli - Prolungamento Diga Duca D'Aosta - Configurazione prolungamento 250 m  
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

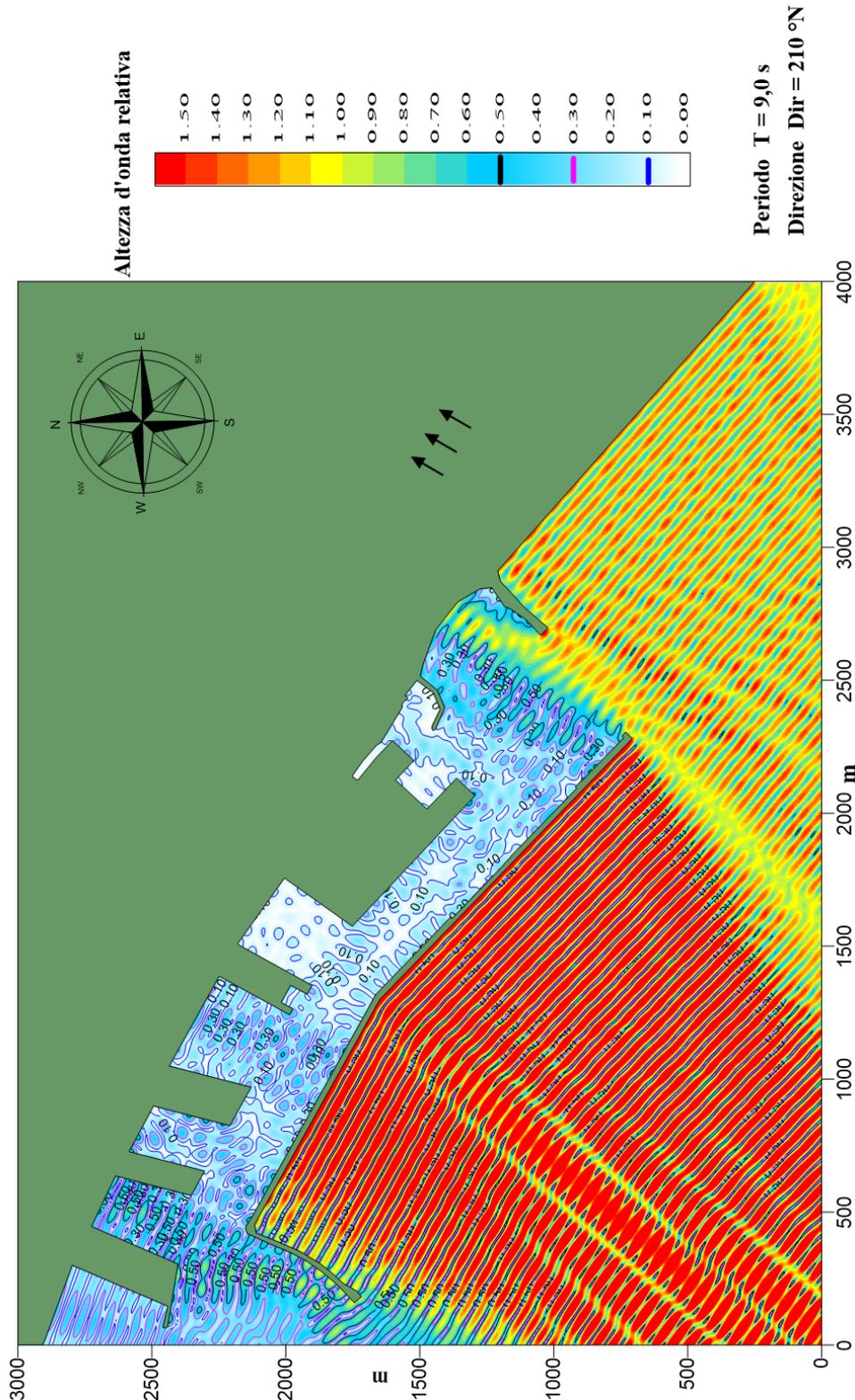


Figura 3-24 Configurazione Finale II Stralcio (Assetto Finale prolungamento di 270 m)  
Agitazione ondosa con eventi provenienti da  $210^\circ N$  e periodo 9 s

|   |  |  |     |   |    |     |    |     |
|---|--|--|-----|---|----|-----|----|-----|
|  | Porto di Napoli<br>Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione<br>del nuovo Terminal contenitori di Levante<br>II° Stralcio – Progetto Definitivo | Titolo elaborato: Penetrazione moto ondoso e agitazione<br>interna.<br>Data: luglio 2022 |     |   |    |     |    |     |
|   |  | 19   | 002 | A | DR | 004 | 00 | MAR |

#### 4. Analisi dei risultati e conclusioni

Dall'analisi dei risultati ottenuti dall'applicazione del modello VEGA per le configurazioni analizzate, è evidente come rispetto alla situazione attuale, all'aumentare dell'entità del prolungamento a levante della Diga Duca D'Aosta (105, 270 e 900 m) si introduce una progressiva attenuazione del moto ondoso incidente nella zona prospiciente la banchina del nuovo Terminal contenitori di Levante. Tale considerazione risulta più evidente ovviamente per la configurazione relativa alla configurazione ipotizzata come BASE di riferimento per l'eventuale II Stralcio di prolungamento che prevede il prolungamento a levante della diga attuale sino a 900 m, cui corrisponde una sostanziale riduzione dei livelli di agitazione ondosa residua per tutte le direzioni di provenienza del moto ondoso analizzate. Per la configurazione del I Stralcio che prevede il prolungamento della diga di soli 105 m, l'attenuazione dei livelli di agitazione ondosa residua risulta più contenuta con benefici evidenti per gli stati di mare provenienti dalle direzioni di 180°N e 210°N in cui si nota un miglioramento anche all'interno del canale di Levante rispetto alla configurazione attuale. 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 2 della presente relazione).

Per quanto riguarda invece il prolungamento di 270 m rappresentativo dell'Assetto Finale considerato per il Progetto Definitivo del prolungamento di II Stralcio, come riportato in Tabella 4.1, rispetto alla configurazione attuale si nota un fattore di riduzione congruente con quelli ottenuti per le configurazioni di I e II stralcio (rispettivamente 105 m e 900 m di prolungamento rispetto alla configurazione attuale).

Per fornire un rapido confronto tra le configurazioni analizzate, nella Tabella 4.1 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 4-1, per tutte le configurazioni descritte nel Capitolo 2 e per le condizioni di moto ondoso analizzate.

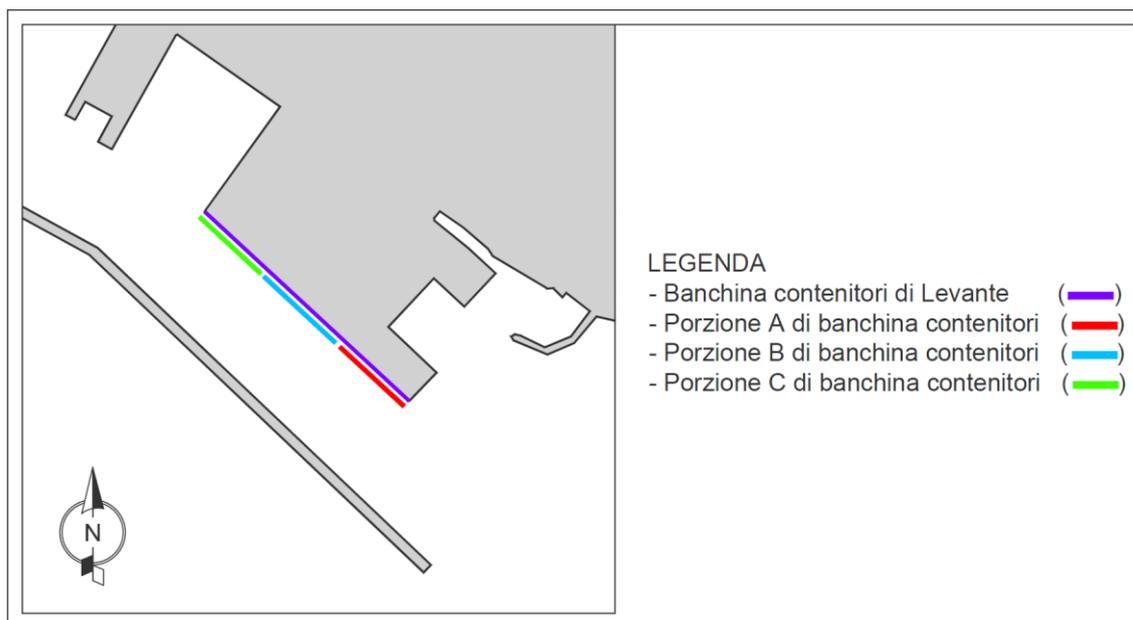


Figura 4-1: Porzioni di banchina contenitori analizzati

Tabella 4.1 – Valori dell'altezza d'onda relativa k

| Configurazione portuale           | eventi di moto ondoso |       | valori di altezza d'onda relativa k |      |      |             | % di riduzione di k<br>rispetto alla conf.<br>attuale |
|-----------------------------------|-----------------------|-------|-------------------------------------|------|------|-------------|---|
|                                   | Dir (°N)              | T (s) | A                                   | B    | C    | media A+B+C |   |
| Configurazione attuale            | 150                   | 5     | 1.07                                | 0.78 | 0.54 | 0.79        | -   |
| I Stralcio - Prolungamento 105 m  | 150                   | 5     | 0.95                                | 0.68 | 0.48 | 0.70        | 11%   |
| II Stralcio - Prolungamento 900 m | 150                   | 5     | 0.31                                | 0.28 | 0.34 | 0.31        | 61%   |
| Prolungamento di 250 m            | 150                   | 5     | 0.49                                | 0.62 | 0.45 | 0.52        | 34%   |
| Configurazione attuale            | 180                   | 5     | 0.30                                | 0.19 | 0.17 | 0.22        | -   |
| I Stralcio - Prolungamento 105 m  | 180                   | 5     | 0.24                                | 0.17 | 0.14 | 0.18        | 17%   |
| II Stralcio - Prolungamento 900 m | 180                   | 5     | 0.09                                | 0.08 | 0.08 | 0.08        | 62%   |
| Prolungamento di 250 m            | 180                   | 5     | 0.11                                | 0.13 | 0.12 | 0.12        | 45%   |
| Configurazione attuale            | 180                   | 7     | 0.38                                | 0.27 | 0.20 | 0.28        | -   |
| I Stralcio - Prolungamento 105 m  | 180                   | 7     | 0.32                                | 0.26 | 0.19 | 0.26        | 9%  |
| II Stralcio - Prolungamento 900 m | 180                   | 7     | 0.12                                | 0.12 | 0.12 | 0.12        | 58%   |
| Prolungamento di 250 m            | 180                   | 7     | 0.22                                | 0.25 | 0.15 | 0.21        | 74%   |
| Configurazione attuale            | 210                   | 5     | 0.14                                | 0.11 | 0.10 | 0.12        | -   |
| I Stralcio - Prolungamento 105 m  | 210                   | 5     | 0.13                                | 0.10 | 0.10 | 0.11        | 6%  |
| II Stralcio - Prolungamento 900 m | 210                   | 5     | 0.05                                | 0.04 | 0.05 | 0.05        | 60%   |
| Prolungamento di 250 m            | 210                   | 5     | 0.12                                | 0.09 | 0.09 | 0.10        | 14%   |
| Configurazione attuale            | 210                   | 7     | 0.15                                | 0.12 | 0.11 | 0.13        | -   |
| I Stralcio - Prolungamento 105 m  | 210                   | 7     | 0.14                                | 0.12 | 0.10 | 0.12        | 5%  |
| II Stralcio - Prolungamento 900 m | 210                   | 7     | 0.07                                | 0.08 | 0.08 | 0.07        | 45%   |
| Prolungamento di 250 m            | 210                   | 7     | 0.13                                | 0.11 | 0.09 | 0.11        | 13%   |
| Configurazione attuale            | 210                   | 9     | 0.22                                | 0.20 | 0.15 | 0.19        | -   |
| I Stralcio - Prolungamento 105 m  | 210                   | 9     | 0.20                                | 0.17 | 0.15 | 0.17        | 9%  |
| II Stralcio - Prolungamento 900 m | 210                   | 9     | 0.08                                | 0.08 | 0.07 | 0.08        | 60%   |
| Prolungamento di 250 m            | 210                   | 9     | 0.16                                | 0.16 | 0.14 | 0.15        | 19%   |

|   |  |  |     |   |    |     |    |
|---|--|--|-----|---|----|-----|----|
|  | Porto di Napoli<br>Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione<br>del nuovo Terminal contenitori di Levante<br>II° Stralcio – Progetto Definitivo | Titolo elaborato: Penetrazione moto ondoso e agitazione<br>interna.<br>Data: luglio 2022 |     |   |    |     |    |
|   |  | 19   | 002 | A | DR | 004 | 00 |

Come evidenziato nei risultati grafici delle simulazioni condotte riportati nelle Figura 3-1 ÷ Figura 3-24 e riassunti nella Tabella 4.1 nelle porzioni di banchina contenitori presi a riferimento, si evidenzia una progressiva riduzione dei livelli di agitazione ondosa residua ottenuto con l'aumento del prolungamento della Diga Duca d'Aosta rispetto alla configurazione attuale.

L'attenuazione media complessiva dei valori di altezza d'onda relativa rispetto alla configurazione attuale si attesta a circa il 10% col prolungamento delle dighe di 105 m, previsti nel I Stralcio, di circa il 33% per la configurazione corrispondente all'Assetto Finale del II stralcio di prolungamento assunto pari a 270 m.

|   |  |  |     |   |    |     |    |
|---|--|--|-----|---|----|-----|----|
|  | Porto di Napoli<br>Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione<br>del nuovo Terminal contenitori di Levante<br>II° Stralcio – Progetto Definitivo | Titolo elaborato: Penetrazione moto ondoso e agitazione<br>interna.<br>Data: luglio 2022 |     |   |    |     |    |
|   |  | 19   | 002 | A | DR | 004 | 00 |

## 5. 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

$\nabla^2$  = 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<br>Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione<br>del nuovo Terminal contenitori di Levante<br>II° Stralcio – Progetto Definitivo | Titolo elaborato: Penetrazione moto ondoso e agitazione<br>interna.<br>Data: luglio 2022 |     |   |    |     |    |     |
|   |  | 19   | 002 | A | DR | 004 | 00 | 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.