



COMUNE DI CAGLIARI



# **AUTORITA' PORTUALE DI CAGLIARI**

## ADEGUAMENTO TECNICO FUNZIONALE DEL PIANO REGOLATORE PORTUALE

Elaborato:

**R.3**

Oggetto:

**STUDIO DI AGITAZIONE INTERNA**

AUTORITA' PORTUALE DI CAGLIARI

Dott. Ing. Sergio MURGIA

Dott. Ing. Alessandra MANNAI

Data:

**NOVEMBRE 2014**

Scala:

Aggiornamento:



**AUTORITÀ PORTUALE DI CAGLIARI**

**BANCHINAMENTO AVAMPORTO  
PER NAVI RO-RO  
DEL PORTO CANALE**

Titolo elaborato :

**STUDIO DELL'AGITAZIONE INTERNA PORTUALE**

1 2 0 0 7 S R 0 0 2 0 - M A R

Committente :  
AUTORITÀ PORTUALE DI CAGLIARI  
Stazione Marittima Molo Sanità  
09123 CAGLIARI

Progettazione:

**MODIMAR**  
Via Monte Zebio 40  
00195 ROMA

	Dicembre 2012	0	EMISSIONE	DEL BIANCO	CONTINI	TARTAGLINI
	Data	Rev.	DESCRIZIONE	Redatto:	Verificato:	Approvato:

La MODIMAR s.r.l. si riserva la proprietà di questo documento 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:

**MODIMAR s.r.l.**

Via Monte Zebio 40  
00195 - Roma

06-3269361      telefono  
06-32694630      fax  
info@modimar.it      email  
www.modimar.it      web

Cliente	AUTORITÀ PORTUALE DI CAGLIARI
Progetto	BANCHINAMENTO AVAMPORTO DEL PORTO CANALE PER NAVI RO-RO
Codice Progetto	12 007
Specifiche documento	
Codice Elaborato	12 007 SR 002 0- MAR
Titolo	Studio Agitazione Interna Portuale
Autori	Ing. Marco Del Bianco
Riferimento	\\PC-SERVER\MODIMAR\COMMESSE\ANNO 2012\CC 12 007 - AP CAGLIARI - STUDIO METEOMARINO\ELABORATI CC 12 007 12 007 SR 002 0- MAR- STUDIO AGITAZIONE PORTUALE.DOC

## Indice

<b>Capitolo 1</b>	<b>Premessa, obiettivi e metodologia di lavoro .....</b>	<b>3</b>
<b>Capitolo 2</b>	<b>Condizioni di moto ondoso.....</b>	<b>6</b>
<b>Capitolo 3</b>	<b>Studio dell'agitazione interna portuale .....</b>	<b>8</b>
3.1	Applicazione del sistema di modellazione SMS.....	8
3.2	Ipotesi di calcolo e condizioni di calcolo .....	8
3.3	Discretizzazione dello specchio liquido .....	8
3.4	Definizione delle condizioni al contorno.....	9
<b>Capitolo 4</b>	<b>Simulazione della soluzione 1 .....</b>	<b>10</b>
4.1	Primo stralcio funzionale.....	10
4.2	Secondo stralcio funzionale .....	21
4.3	Alternativa primo stralcio funzionale (assenza di diga) .....	32
4.4	Stralcio intermedio.....	43
<b>Capitolo 5</b>	<b>Simulazione soluzione 2.....</b>	<b>54</b>
5.1	Primo stralcio funzionale.....	54
5.2	Secondo stralcio funzionale .....	65
5.3	Alternativa Primo Stralcio Funzionale (assenza di diga) .....	76
5.4	Stralcio intermedio.....	87
<b>Appendice: descrizione del modello matematico CGWAVE.....</b>		<b>98</b>

## Capitolo 1

# Premessa, obiettivi e metodologia di lavoro

La presente relazione è stata redatta a supporto delle attività per la progettazione degli interventi per la realizzazione di un terminal RO-RO nel porto canale di Cagliari e riporta, per due diverse configurazioni planimetriche portuali, lo studio della penetrazione del moto ondoso ed i conseguenti livelli di agitazione d'onda residui.

Lo studio è stato condotto applicando il modello matematico agli elementi finiti CGWAVE, appartenente al pacchetto applicativo SMS (Surfacewater Modeling System), che risolve le equazioni non lineari per le acque basse (non linear shallow water equations).

Tale modello consente di simulare la propagazione del moto ondoso all'interno di un bacino portuale tenendo conto dei fenomeni combinati di diffrazione, rifrazione e riflessione, nonché degli effetti dissipativi dovuti al frangimento ed all'attrito sul fondo.

In Figura 1 ed in Figura 2 sono riportati gli schemi portuali relativi alle due soluzioni analizzate nel presente studio.

Entrambe le soluzioni prevedono un primo stralcio funzionale che prevede la realizzazione di un diga posta a protezione dello specchio liquido destinato al terminal RO-RO, una realizzazione parziale delle banchine di ormeggio ed il dragaggio dei fondali fino alla quota -10.0 m sul l.m.m..

Il secondo stralcio funzionale prevede, per entrambe le soluzioni analizzate, la realizzazione di un canale e di un cerchio di evoluzione approfonditi alla quota di -18.0 m sul l.m.m, il completamento delle banchine del terminal RO-RO e il contestuale approfondimento dei fondali fino alla quota -11.0 m sul l.m.m..

È stato inoltre analizzato un scenario intermedio tra i due stralci sopra descritti rappresentativo dello scenario in cui gli interventi per la realizzazione del nuovo terminal RO-RO vengano eseguiti in assenza degli interventi di dragaggio del canale e del cerchio di evoluzione nell'avamporto.

Visto che i risultati preliminari dello studio relativo alle configurazioni del primo stralcio funzionale avevano evidenziato una modesta protezione fornita dalla diga per entrambe le soluzioni è stata analizzata anche una configurazione di primo stralcio funzionale che non prevede la sua realizzazione.

Lo studio è stato condotto con l'obiettivo di ottenere indicazioni oggettive sulla validità e funzionalità degli schemi portuali proposti in relazione alle condizioni di sicurezza ed operatività del terminal per navi RO-RO all'interno del porto canale di Cagliari.

Le simulazioni sono state condotte utilizzando come forzanti gli eventi di moto ondoso più gravosi ai fini dell'agitazione ondosa residua, compatibilmente con le condizioni meteomarine raggiungibili nel paraggio in esame con un tempo di ritorno di 5 anni.

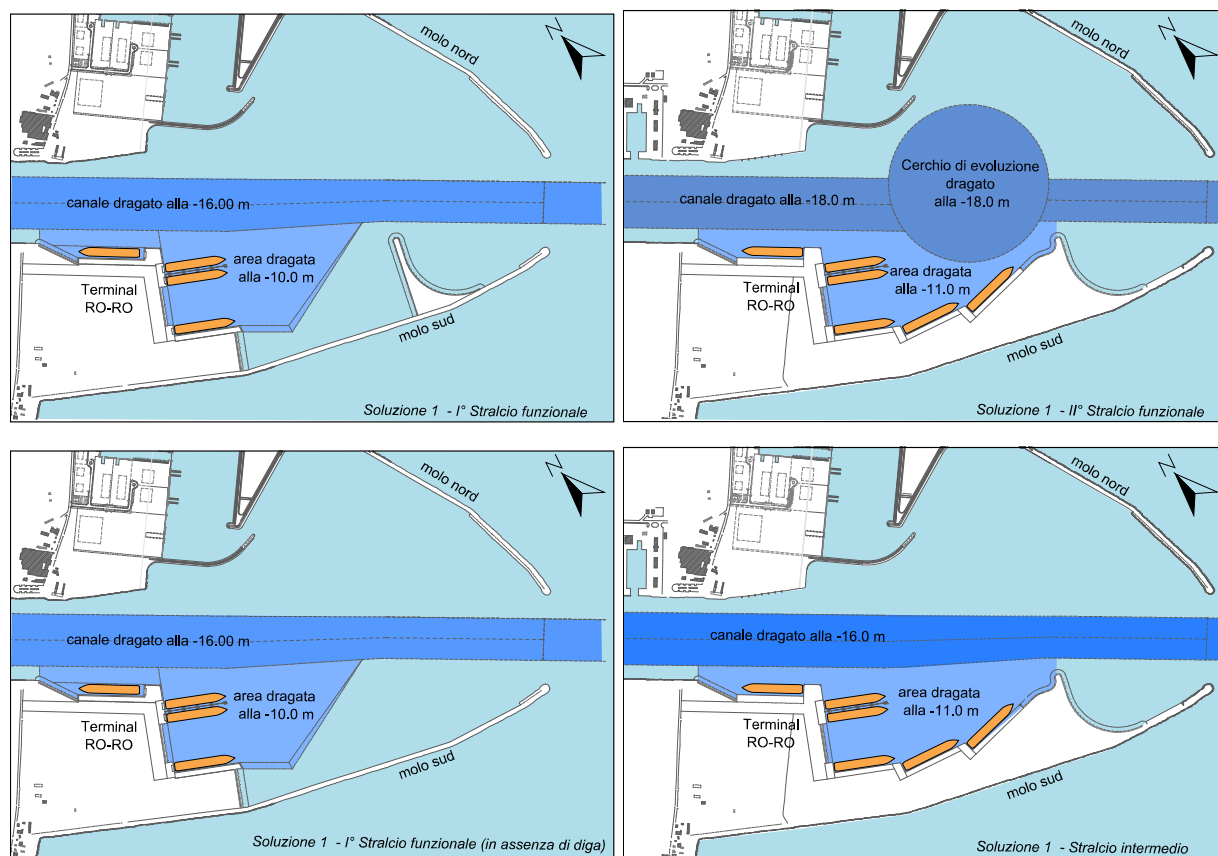
Le condizioni di moto ondoso sono state definite sulla base dei risultati ottenuti con le analisi statistiche e di propagazione del moto ondoso effettuate per lo studio meteomarinario.

L'applicazione del modello di calcolo CGWAVE ha richiesto, per ogni scenario analizzato, la definizione di un dominio di calcolo nel quale lo specchio liquido è stato discretizzato secondo la tecnica degli elementi finiti, assegnando ad ogni tratto di costa un coefficienti rappresentativo del grado di riflessione del moto ondoso.

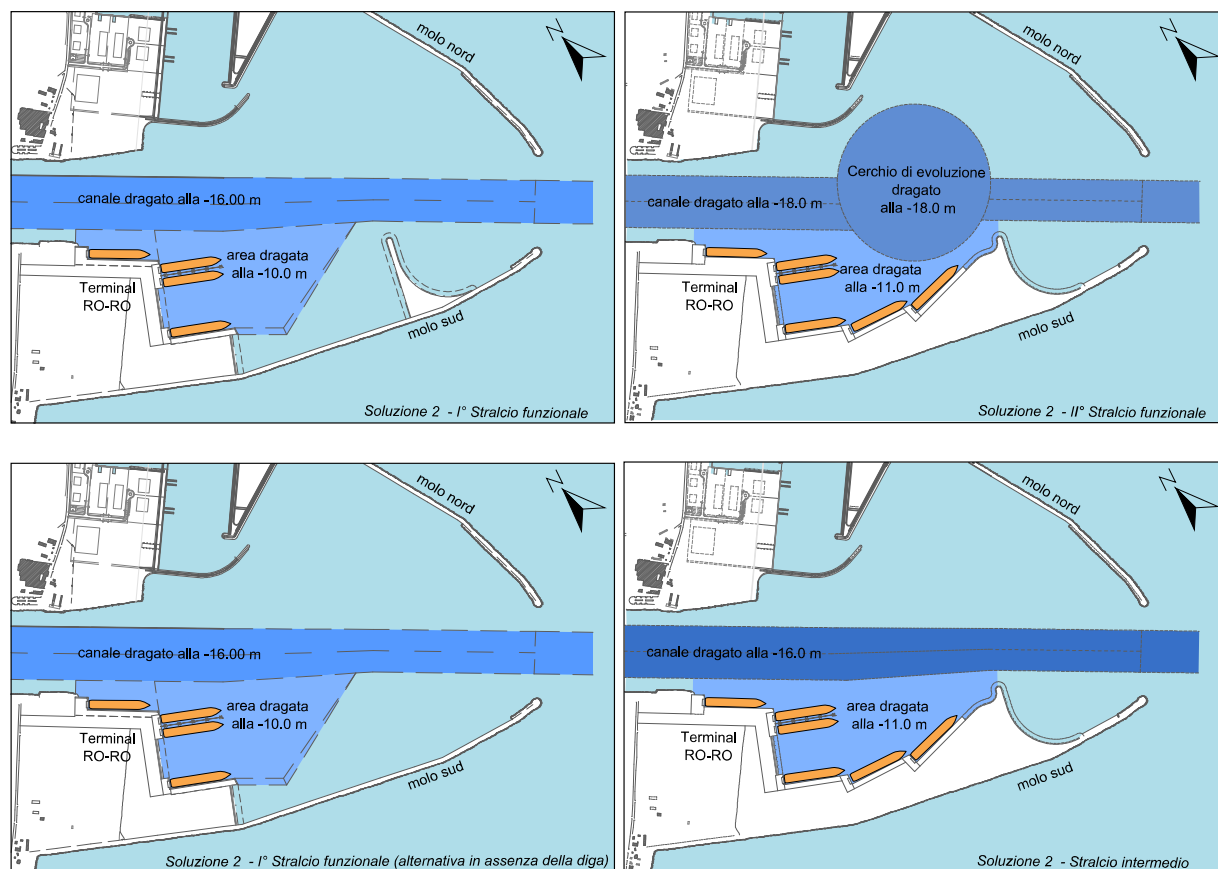
I risultati delle simulazioni effettuate, considerando due diversi schemi portuali, hanno evidenziato che relativamente alle configurazioni di I stralcio funzionale le condizioni di agitazione ondosa residua in corrispondenza degli ormeggi nelle due soluzioni esaminate non presentano sostanziali differenze e non condizionano l'operatività degli ormeggi. Inoltre sempre in relazione alle configurazioni di I lotto lo studio ha evidenziato la scarsa protezione offerta dalla diga prevista nell'avamporto.

Per quanto riguarda la configurazione di II stralcio le simulazioni eseguite hanno evidenziato, per entrambe le soluzioni esaminate, l'ottima protezione offerta dalle opere di protezione che garantiscono, per tutte le condizioni di moto ondoso simulate, con valori dell'altezza d'onda residua nelle aree di evoluzione ed in corrispondenza degli ormeggi ( $< 50$  cm) che non condizionano l'operatività del terminale.

Per quanto riguarda infine la configurazione intermedia i risultati dello studio condotto hanno mostrato che se non viene eseguito il dragaggio a quota -18.00 m s.l.m.m. del canale navigabile e del cerchio di evoluzioni si verifica un modesto incremento dei valori dell'altezza d'onda all'interno dell'avamporto ed in corrispondenza degli ormeggi, incremento peraltro che comunque non pregiudica l'operatività del terminale.



**Figura 1. Schemi planimetrici analizzati per la Soluzione 1: in alto I° e II° stralcio funzionale, in basso l'alternativa del primo stralcio in assenza di diga e lo stralcio intermedio.**



**Figura 2. Schemi planimetrici analizzati per la Soluzione 2: in alto I° e II° stralcio funzionale, in basso l'alternativa del primo stralcio in assenza di diga e lo stralcio intermedio.**

## Capitolo 2

# Condizioni di moto ondoso

Per la definizione del clima di moto ondoso e la valutazione delle condizioni di moto ondoso più gravose al largo del porto canale di Cagliari è stato condotto uno specifico studio meteomarinario.

La valutazione delle condizioni di moto ondoso è stata effettuata partendo dalla serie storica trioraria (1992 -2011) dei dati di vento e moto ondoso nel punto di coordinate 39.0°N - 9.25°E al largo di Cagliari, acquisita dal servizio di *hindcasting* della società olandese BMT ARGOSS.

In Figura 3 è riportato il diagramma polare della frequenza di accadimento degli eventi di moto ondoso di altezza significativa superiore a 0.5 m al largo di Cagliari.

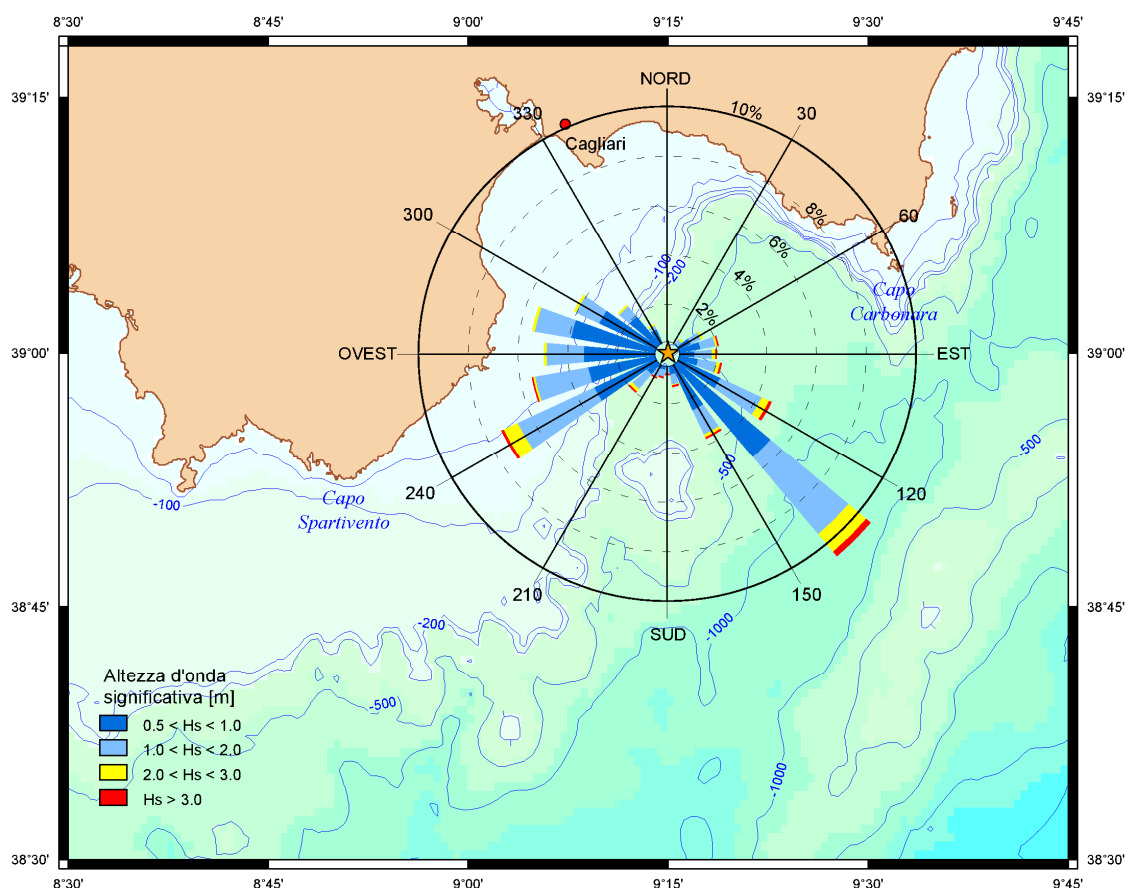


Figura 3. Clima di moto ondoso al largo di Cagliari nel punto di coordinate 39.0°N – 9.25°E.

L'analisi statistica dei valori estremi di moto ondoso ha permesso di valutare le condizioni di moto ondoso in funzione del tempo di ritorno riportate in Tabella 2-1. Sono stati individuati due distinti settori di provenienza del moto ondoso: un settore di traversia principale compreso tra 100 °N e 170 °N, ed uno secondario compreso tra 190 °N e 260 °N. Per ogni settore di traversia è stata inoltre trovata la legge di correlazione tra altezza significativa e periodo di picco che ha permesso di associare alle altezza d'onda estreme il periodo di picco proprio della mareggiata.

**Tabella 2-1. Eventi estremi di moto ondoso al largo di Cagliari in funzione del tempo di ritorno  $T_r$ .**

Settore di traversia 100-170 °N			Settore di traversia 190-260 °N		
$T_r$ (anni)	$H_s$ (m)	$T_p$ (s)	$T_r$ (anni)	$H_s$ (m)	$T_p$ (s)
5	4.1	8.4	5	3.3	10.7
10	4.5	8.7	10	3.5	11.0
25	4.9	9.0	25	3.8	11.3
50	5.3	9.2	50	4.0	11.6
100	5.6	9.4	100	4.2	11.9

L'applicazione del modello numerico di propagazione inversa spettrale MEROPE ha permesso di trasferire sottocosta, in prossimità dell'imboccatura portuale, le condizioni di moto ondoso definite al largo di Cagliari.

Come premesso lo studio dell'agitazione interna portuale è stato condotto facendo riferimento alle condizioni di moto ondoso con tempo di ritorno  $T_r = 5$  anni. La Tabella 2-2 riporta le condizioni di moto ondoso sottocosta con  $T_r = 5$  anni, ottenute con il modello MEROPE ed utilizzate come forzanti per il modello di agitazione interna portuale.

**Tabella 2-2. Condizioni di moto ondoso associate a  $T_r=5$  anni per i due settori di traversia individuati.**

Settore di traversia 100-170 °N			Sottocosta		
$H_s$ (m)	$T_p$ (s)	Dir (°N)	$H_s'$ (m)	$T_p'$ (s)	Dir' (°N)
4.1	8.4	110	3.4	9.8	125
4.1	8.4	130	3.7	8.5	135
4.1	8.4	110	3.8	8.5	150
Settore di traversia 190-260 °N			Sottocosta		
$H_s$ (m)	$T_p$ (s)	Dir (°N)	$H_s'$ (m)	$T_p'$ (s)	Dir' (°N)
3.3	10.7	190	2.8	11.4	170
3.3	10.7	220	2.3	8.5	180

## Capitolo 3

### Studio dell'agitazione interna portuale

#### 3.1 Applicazione del sistema di modellazione SMS

Il modello numerico agli elementi finiti CGWAVE, appartenente al sistema di modellazione SMS, consente di simulare fenomeni combinati di diffrazione, riflessione e rifrazione, tenendo conto degli effetti dissipativi dovuti al frangimento ed all'attrito sul fondo. In particolare i primi tre fenomeni sono di fondamentale importanza durante la propagazione del moto ondoso all'interno di un bacino portuale, mentre gli altri due assumono particolare importanza in casi ove sono presenti bassi fondali caratterizzati da una batimetria sensibilmente variabile.

Nella fase preliminare dello studio (procedura di pre-processor), è stato utilizzato il codice GFGEN per la costruzione del reticolo geometrico, agli elementi finiti, con cui sono stati discretizzati gli specchi liquidi da simulare. Successivamente, all'interno del modello di calcolo sono state definite le condizioni al contorno sia in termini di forzanti di moto ondoso (altezza, periodo e direzione dell'altezza d'onda incidente) sia come valori del coefficiente di riflessione da associare ai diversi contorni che caratterizzano gli schemi portuali presi in esame per il porto di Cagliari.

#### 3.2 Ipotesi di calcolo e condizioni di calcolo

Per la determinazione dei livelli di agitazione ondosa residua che si verificano all'interno del nuovo Avamporto Est del porto canale di Cagliari sono stati esaminati gli scenari che prevedono le seguenti forzanti di moto ondoso.

**Tabella 3-1. Forzanti di moto ondoso utilizzate per le simulazioni con il modello numerico CGWAVE.**

Settore di traversia principale			Settore di traversia secondario		
Hs' (m)	Tp' (s)	Dir' (°N)	Hs' (m)	Tp' (s)	Dir' (°N)
3.4	9.8	125	2.8	11.4	170
3.7	8.5	135	2.3	8.5	180
3.8	8.5	150			

#### 3.3 Discretizzazione dello specchio liquido

Per l'applicazione del modello numerico CGWAVE è stato necessario effettuare un'attenta e dettagliata discretizzazione dello specchio liquido delle configurazioni portuali in esame.

Per definire la batimetria dei fondali all'esterno del porto canale di Cagliari si è fatto riferimento alle carte nautiche edite dall'Istituto Idrografico della Marina Militare ("CN. 45 – Da Capo Carbonara a Capo Spartivento – Scala 1:100.000" e "CN. 311 – Porto di Cagliari – Scala 1:10.000"). In merito ai fondali interni al porto canale si è fatto riferimento ai rilievi batimetrici di dettaglio effettuati di recente ed alle configurazioni planimetriche e rappresentate in Figura 1 e Figura 2.

### 3.4 Definizione delle condizioni al contorno

Al fine di poter determinare i livelli di agitazione ondosa residua all'interno dello specchio liquido è stato necessario definire le condizioni al contorno del dominio di calcolo.

Per ogni configurazione analizzata il contorno dello specchio liquido è stato suddiviso in tratti di costa caratterizzati da un diverso grado di riflessione del moto ondoso.

Nel dettaglio, così come riportato negli schemi di calcolo presentati per ogni scenario analizzato, lungo i contorni che rappresentano la linea di costa sono stati imposti i seguenti coefficienti di riflessione R:

Opere a pareti verticali piena	$R = 0.90$ ;
Tratti rocciosi naturali ed opere a scogliera	$R = 0.35$ ;
Spiagge assorbenti	$R = 0.15$ ;
Confini aperti (completamente permeabili)	$R = 0.00$ .

Il dominio di calcolo è stato delimitato da un arco di cerchio sufficientemente distante dall'area oggetto di studio lungo la quale sono state imposte le forzanti di moto ondoso prese come riferimento (Tabella 3-1).

Inoltre, per tenere conto degli effetti dissipativi dovuti al frangimento del moto ondoso ed all'attrito sul fondo, all'interno del modello di calcolo si è assunto un valore del coefficiente di frangimento pari a 0.15 ed un coefficiente di attrito sul fondo pari a 0.12.

Nei capitoli successivi sono presentati gli schemi di calcolo ed i risultati ottenuti per ogni configurazione analizzata.

## Capitolo 4 Simulazione della soluzione 1

### 4.1 Primo stralcio funzionale

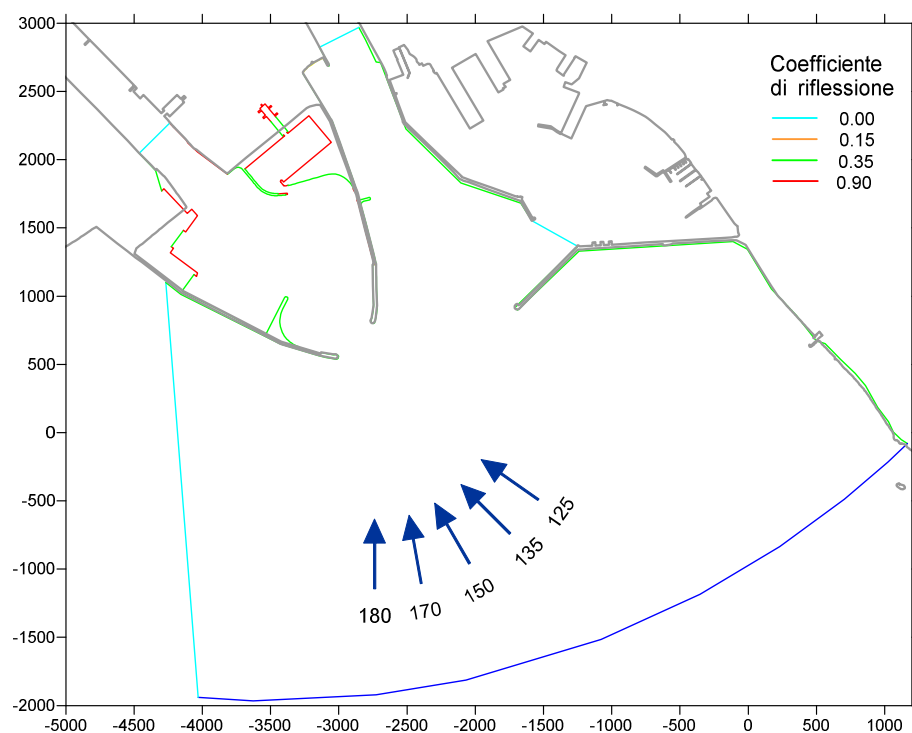


Figura 4. Soluzione 1 – Primo Stralcio Funzionale. Condizioni al contorno.

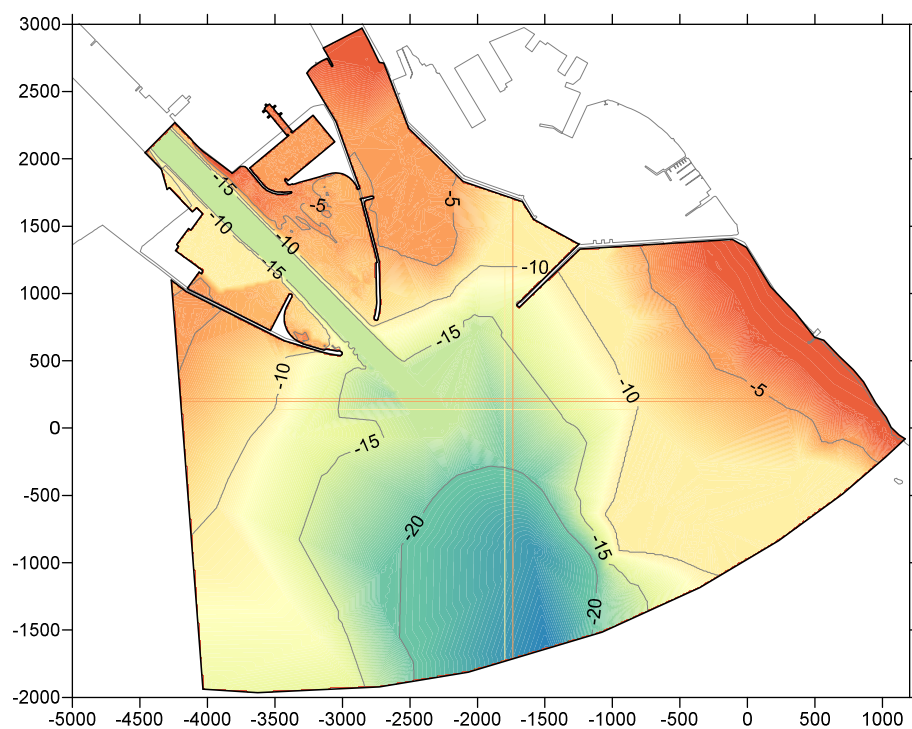


Figura 5. Soluzione 1 – Primo Stralcio Funzionale. Batimetria.

**CGWAVE**modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

oggetto:

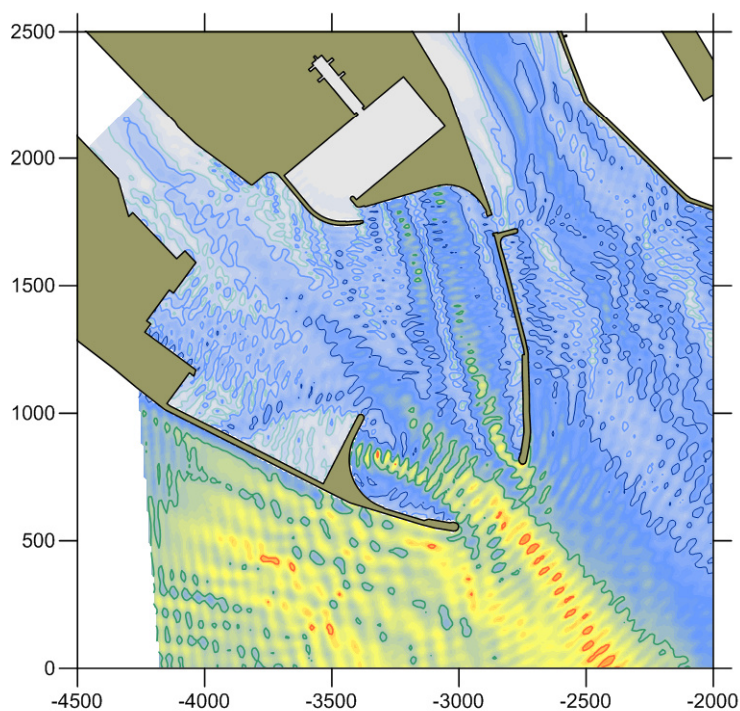
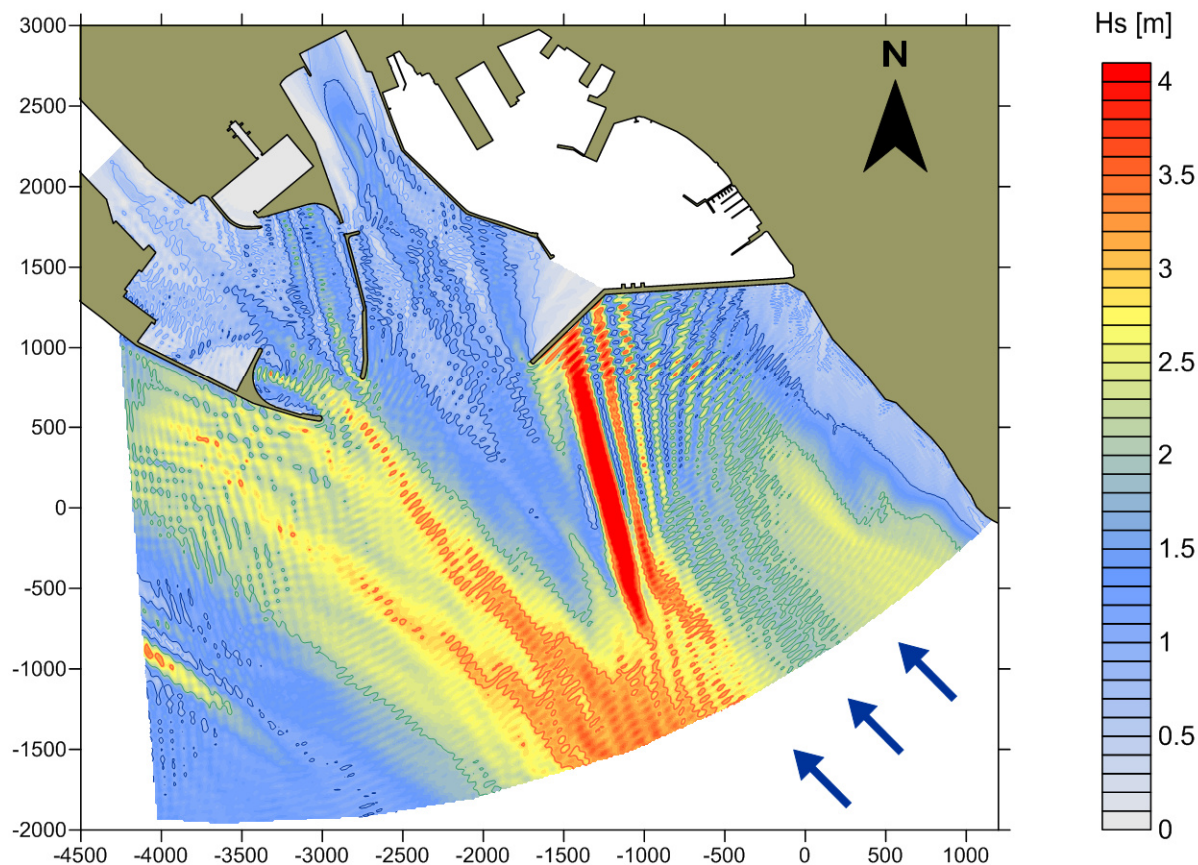
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:

SOLUZIONE 1  
1° STRALCIO

Caratteristiche dell'onda

Altezza	Hs	3.7 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	135



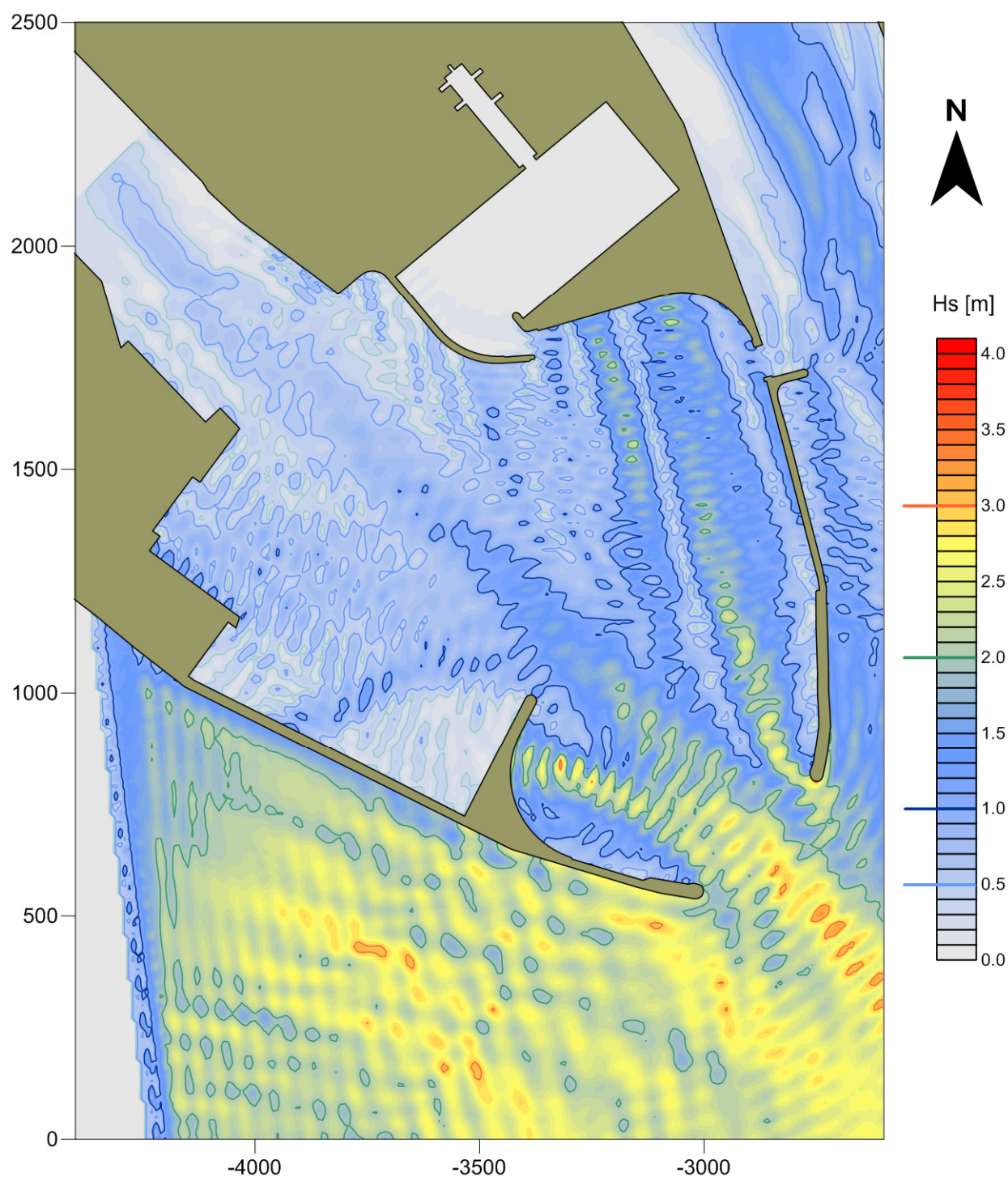
**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

## Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 1**  
**1° STRALCIO**

Altezza	Hs	3.7 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	135



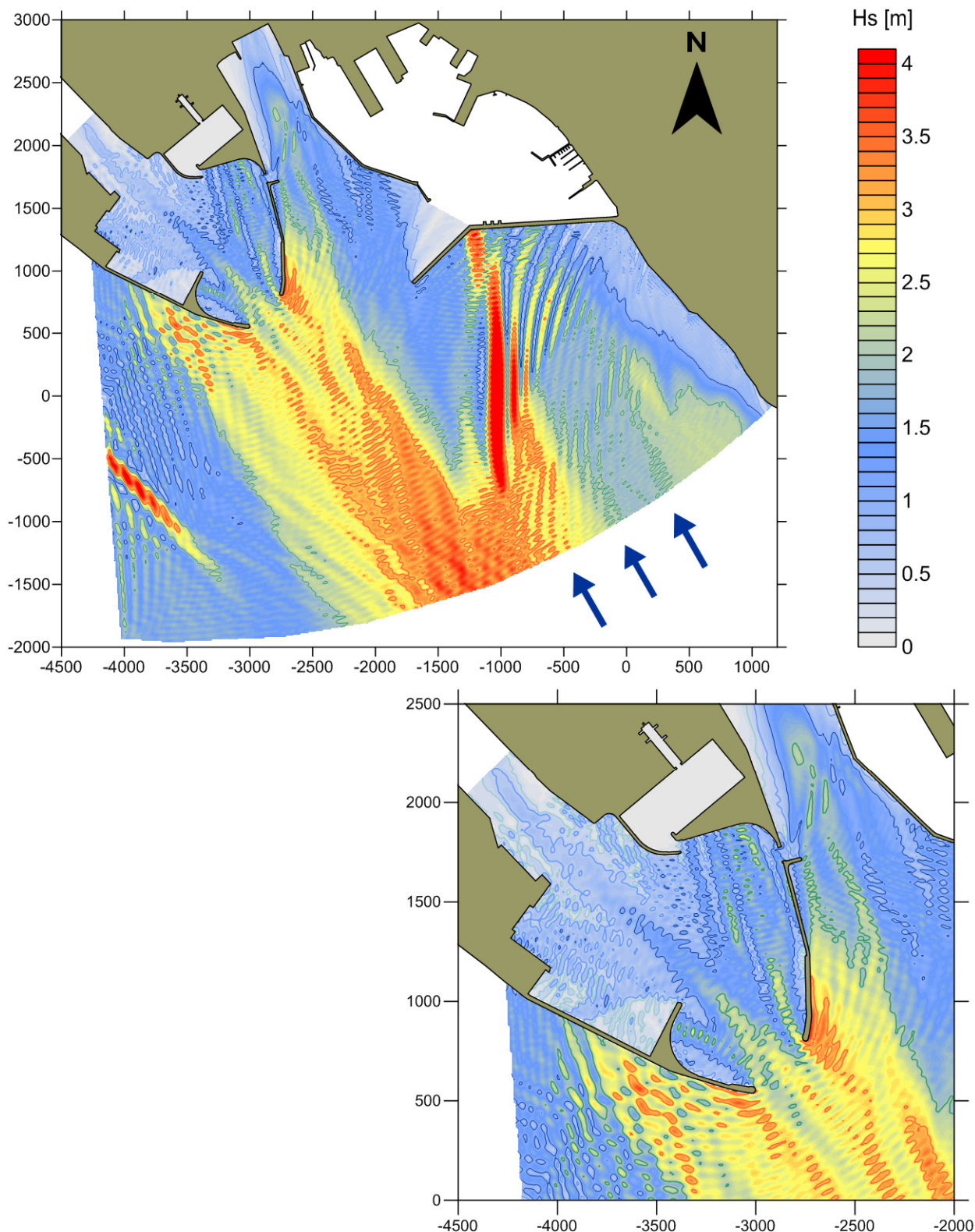
**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

## Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 1**  
**1° STRALCIO**

Altezza	Hs	3.8 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	150

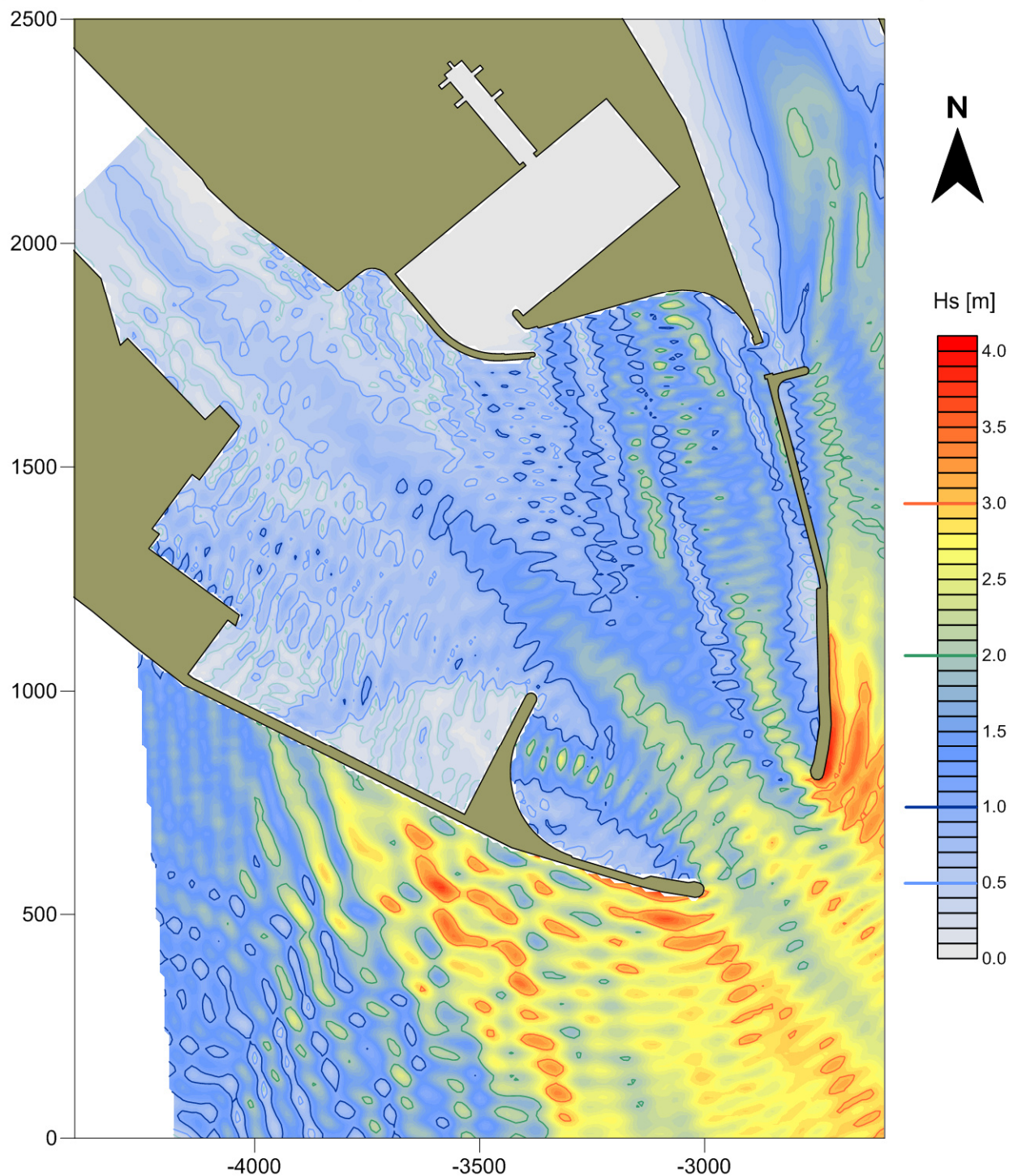


**CGWAVE**modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-ROsimulazione:  
**SOLUZIONE 1**  
**1° STRALCIO**

Altezza	Hs	3.8 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	150



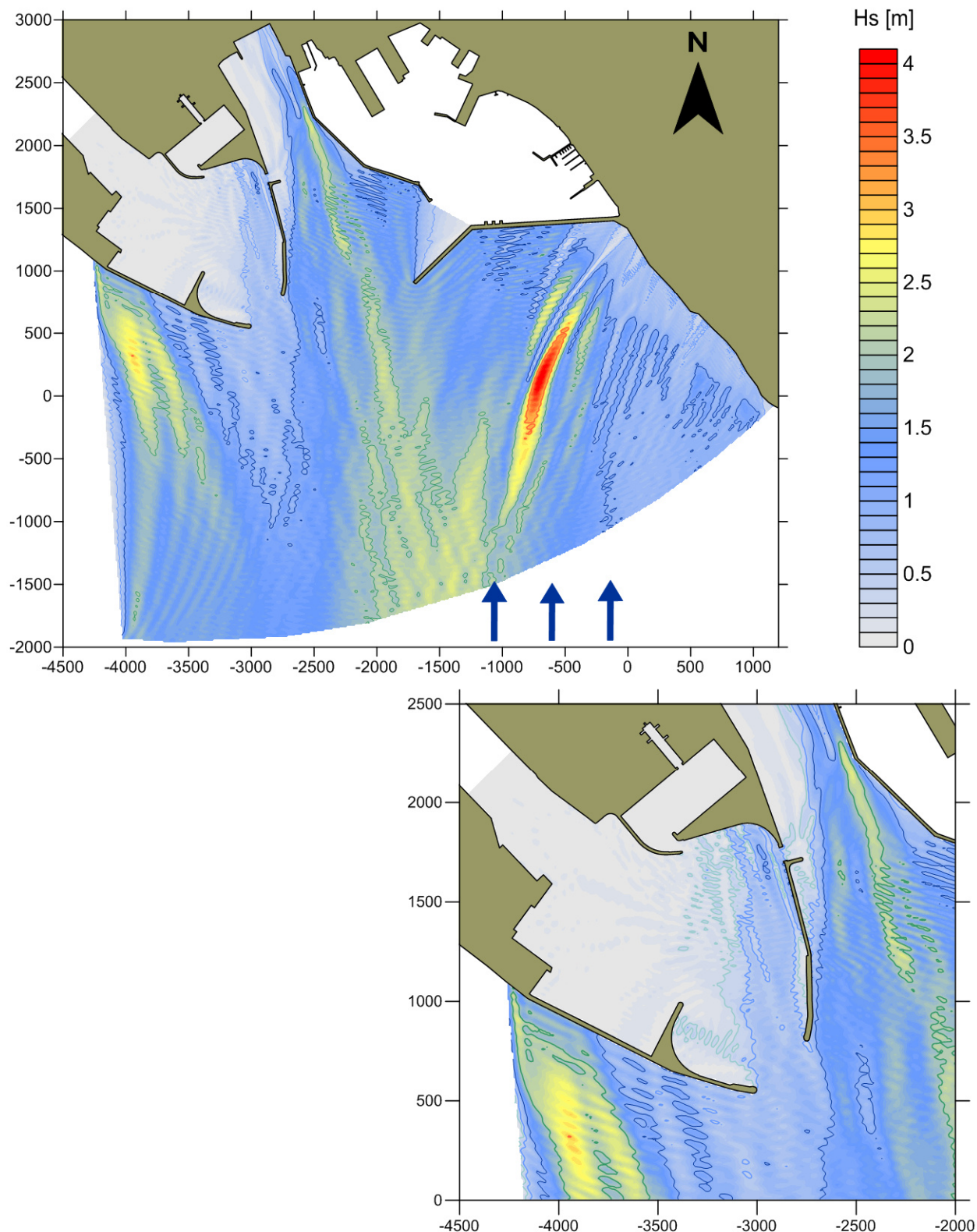
**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 1**  
**I° STRALCIO**

Altezza	Hs	2.3 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	180



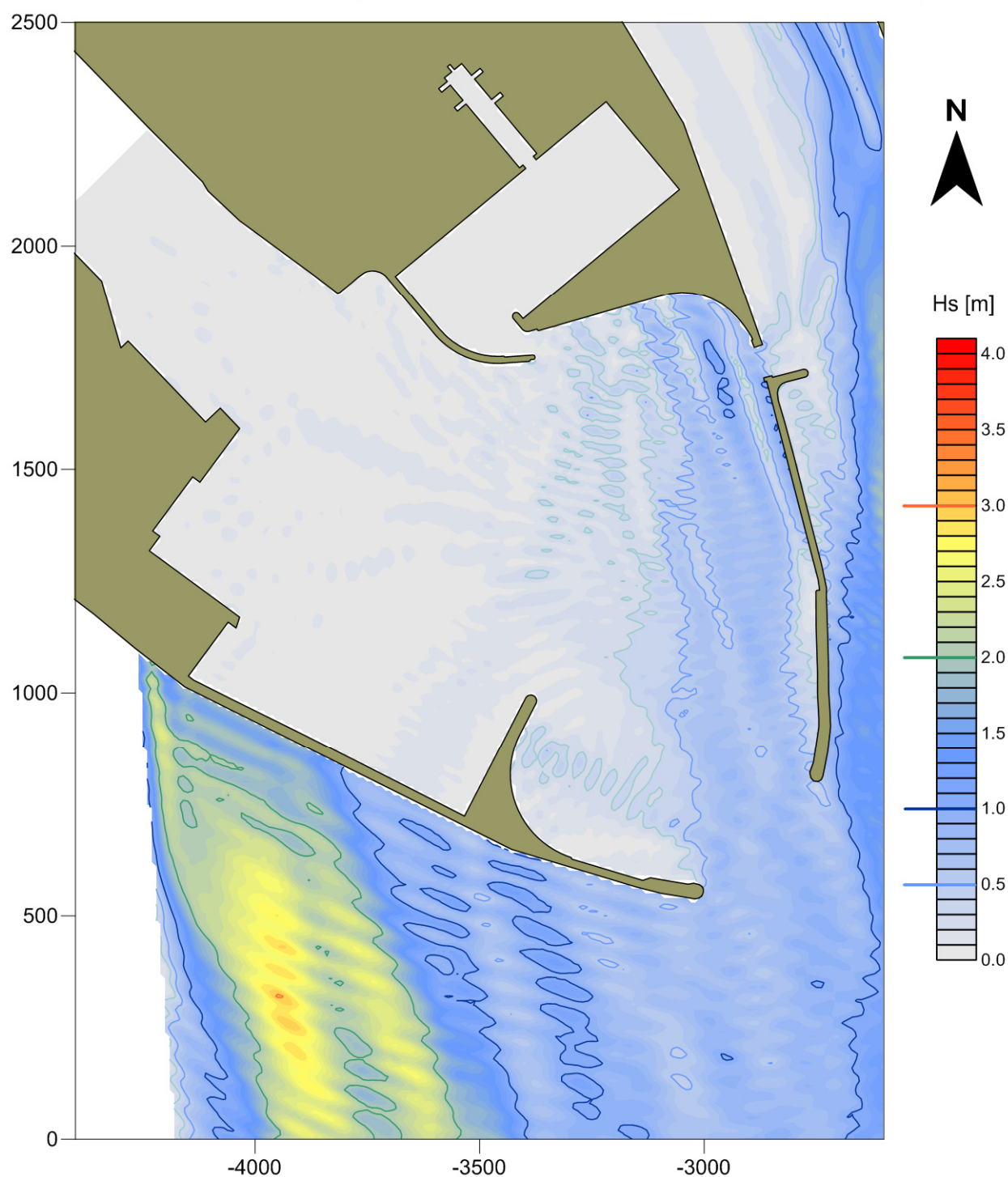
**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

## Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 1**  
I° STRALCIO

Altezza	Hs	2.3 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	180



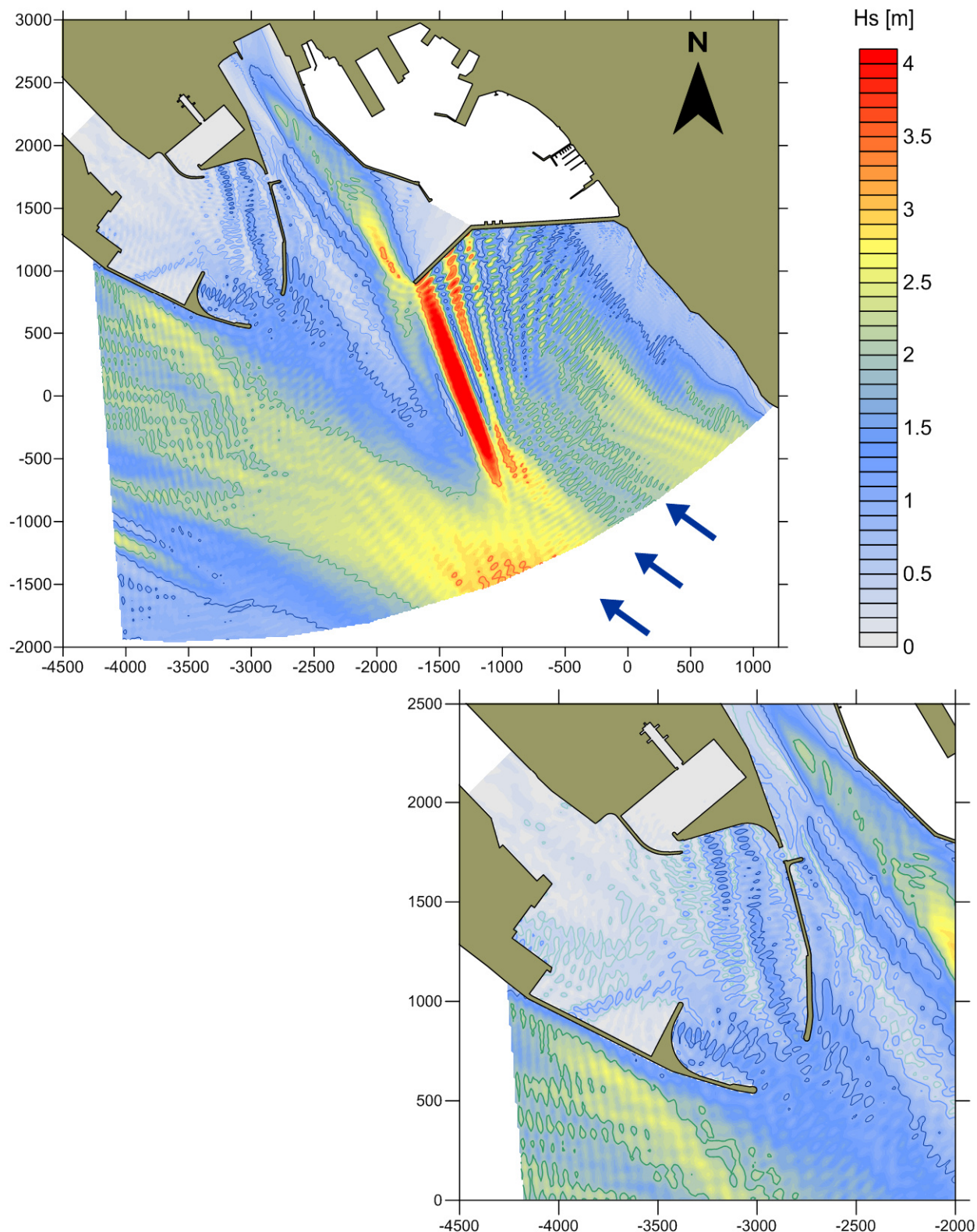
**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

## Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 1**  
**I° STRALCIO**

Altezza	Hs	3.4 m
Periodo	Tp	9.8 s
Direzione	°N	125



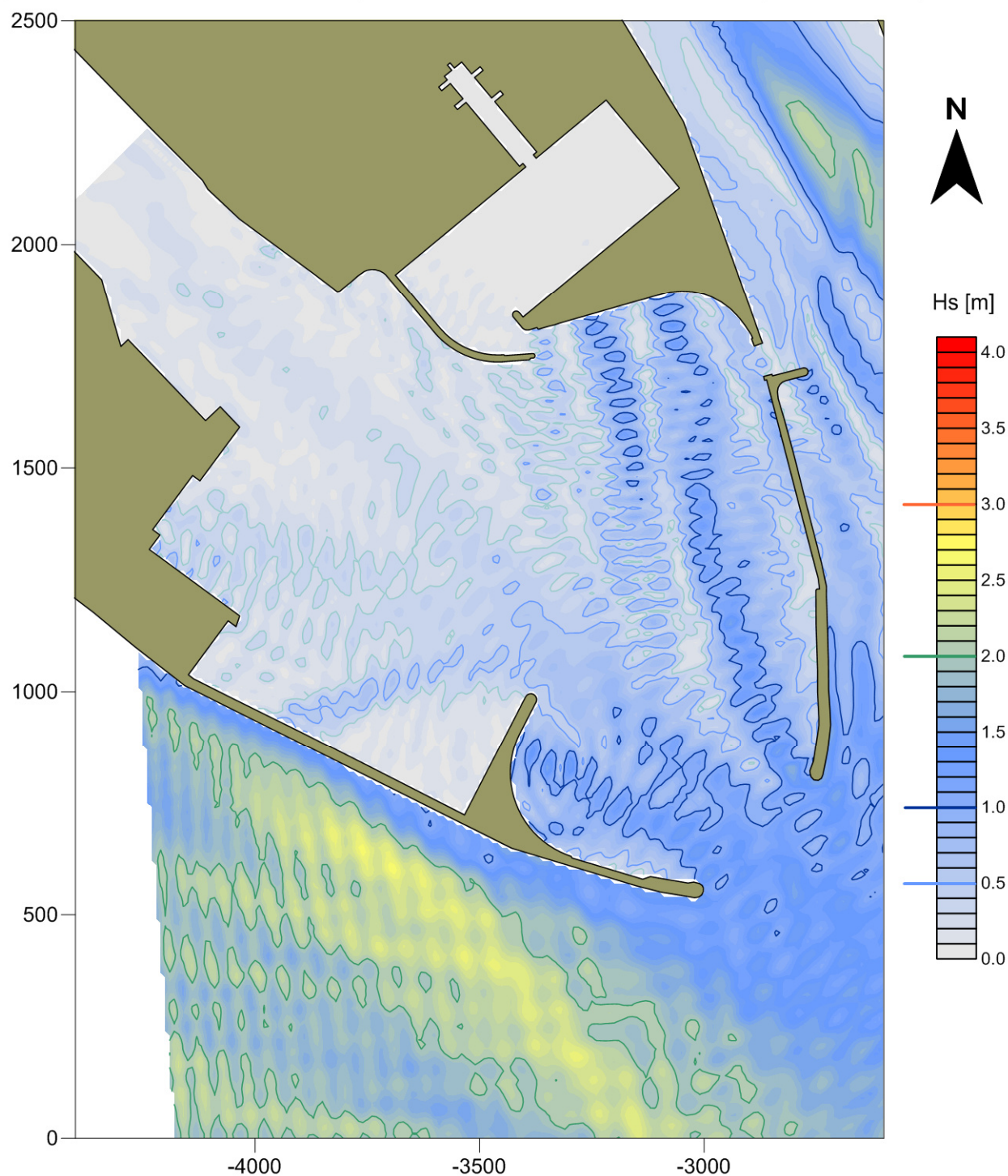
**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

## Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 1**  
1° STRALCIO

Altezza	Hs	3.4 m
Periodo	Tp	9.8 s
Direzione	°N	125

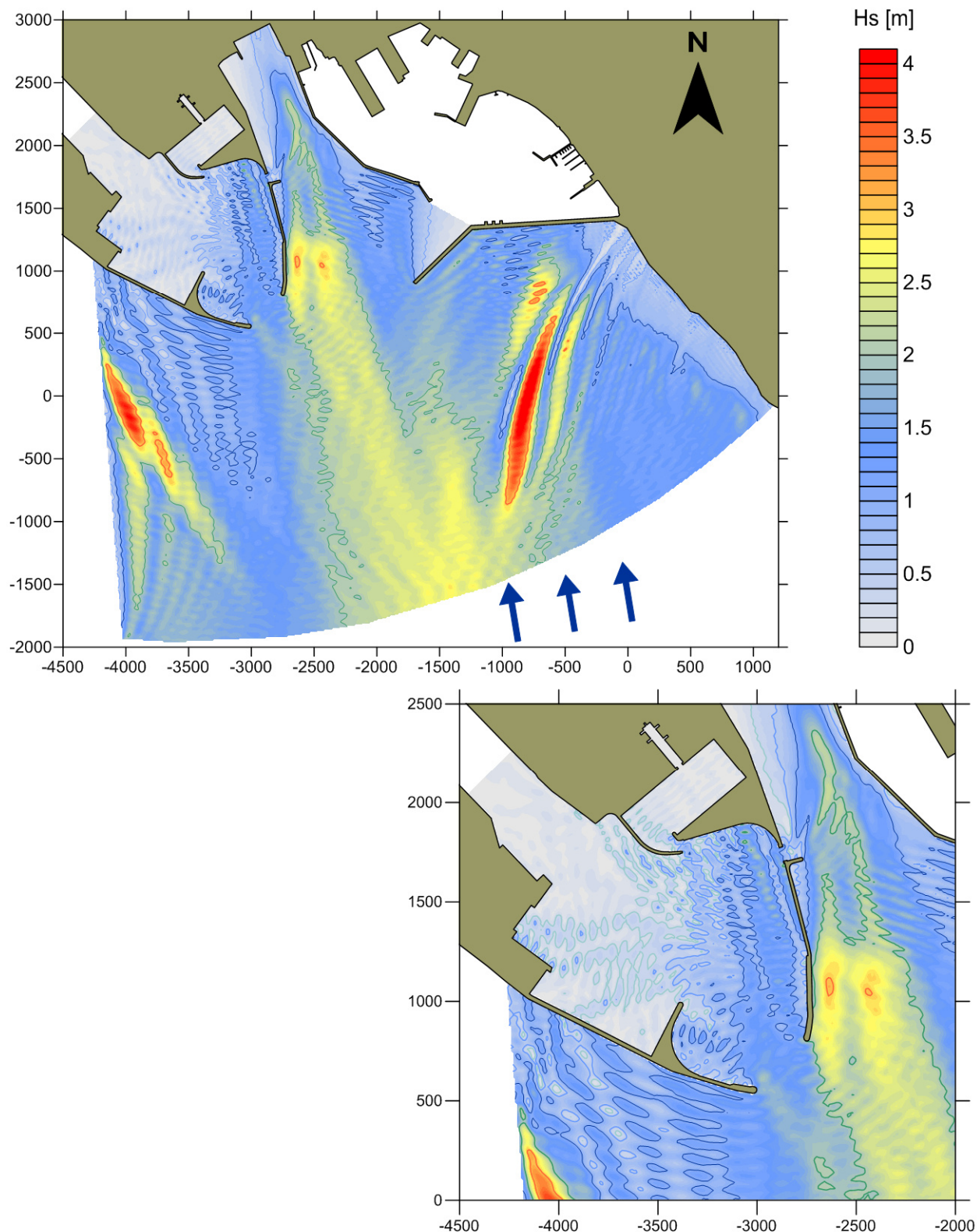


**CGWAVE**modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-ROsimulazione:  
**SOLUZIONE 1**  
**1° STRALCIO**

Altezza	Hs	2.8 m
Periodo	Tp	11.4 s
Direzione	°N	170



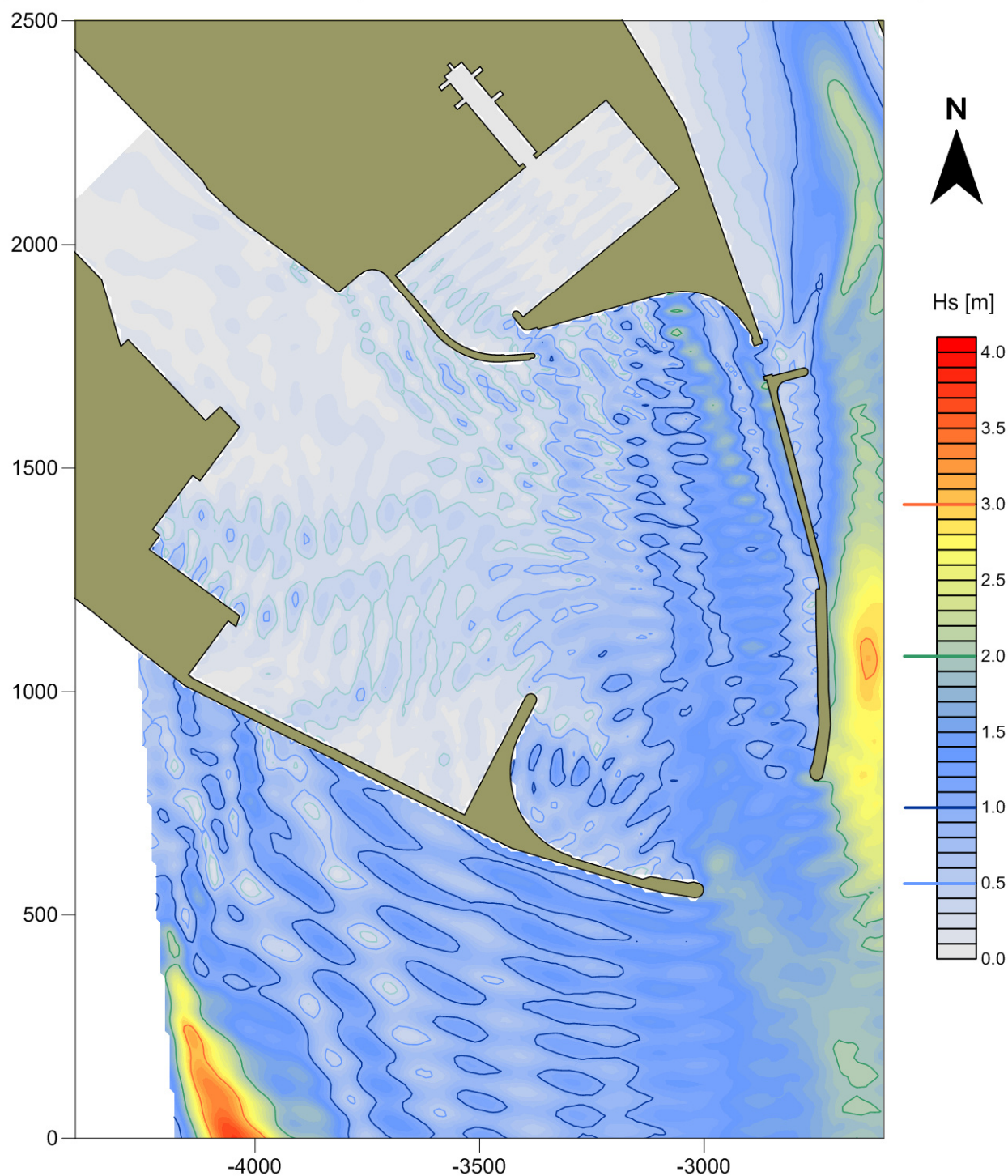
**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

## Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 1**  
1° STRALCIO

Altezza	Hs	2.8 m
Periodo	Tp	11.4 s
Direzione	°N	170



## 4.2 Secondo stralcio funzionale

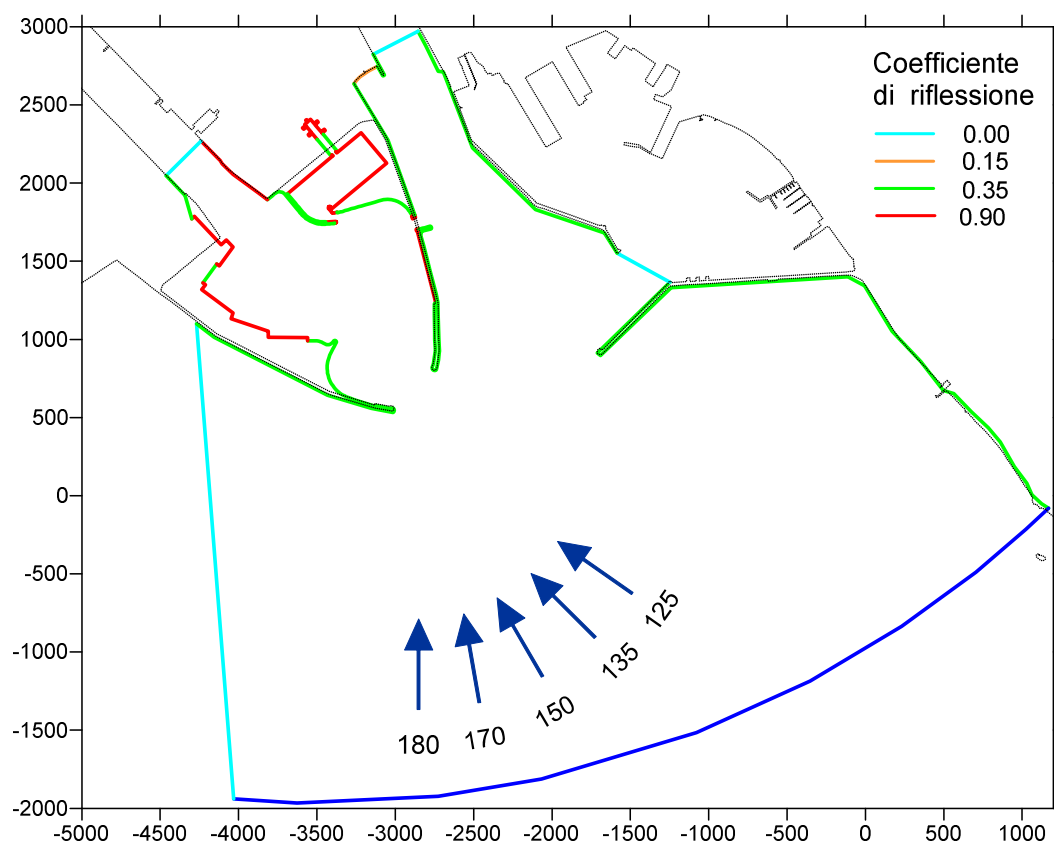


Figura 6. Soluzione 1 – Secondo Stralcio Funzionale. Condizioni al contorno.

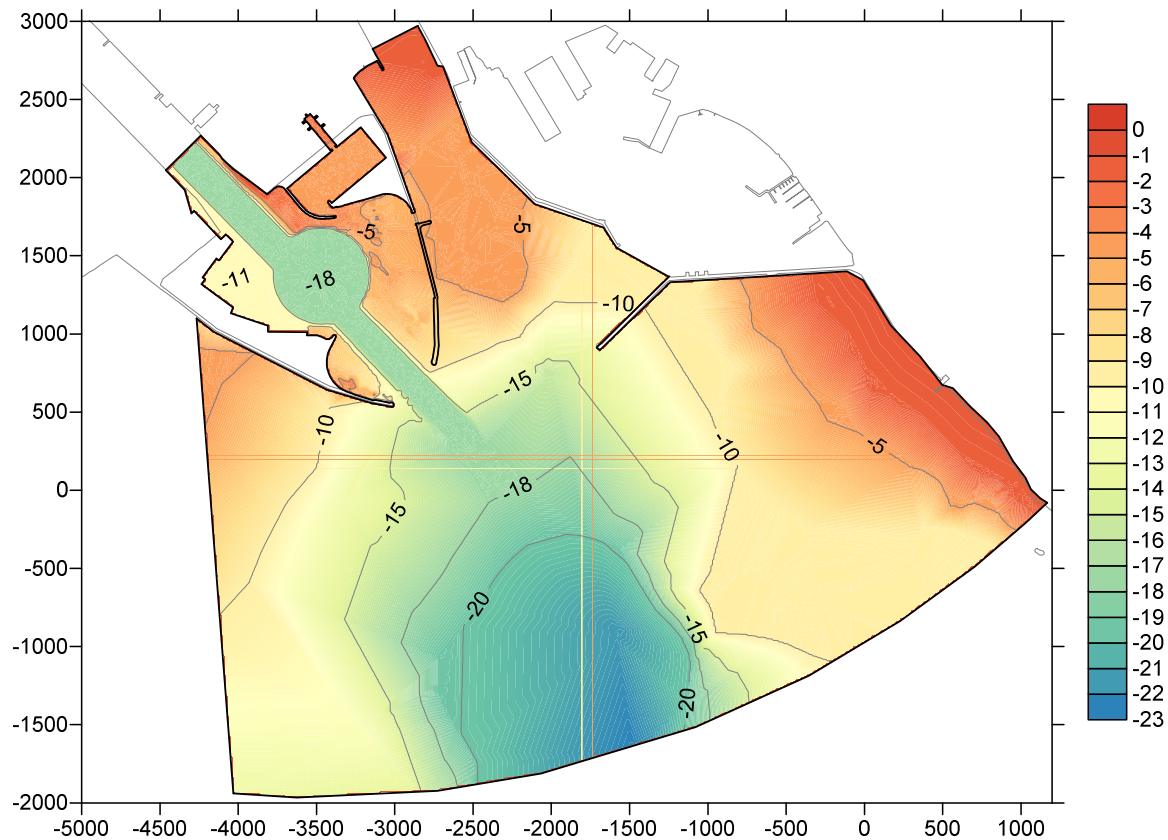


Figura 7. Soluzione 1 – Secondo Stralcio Funzionale. Batimetria.

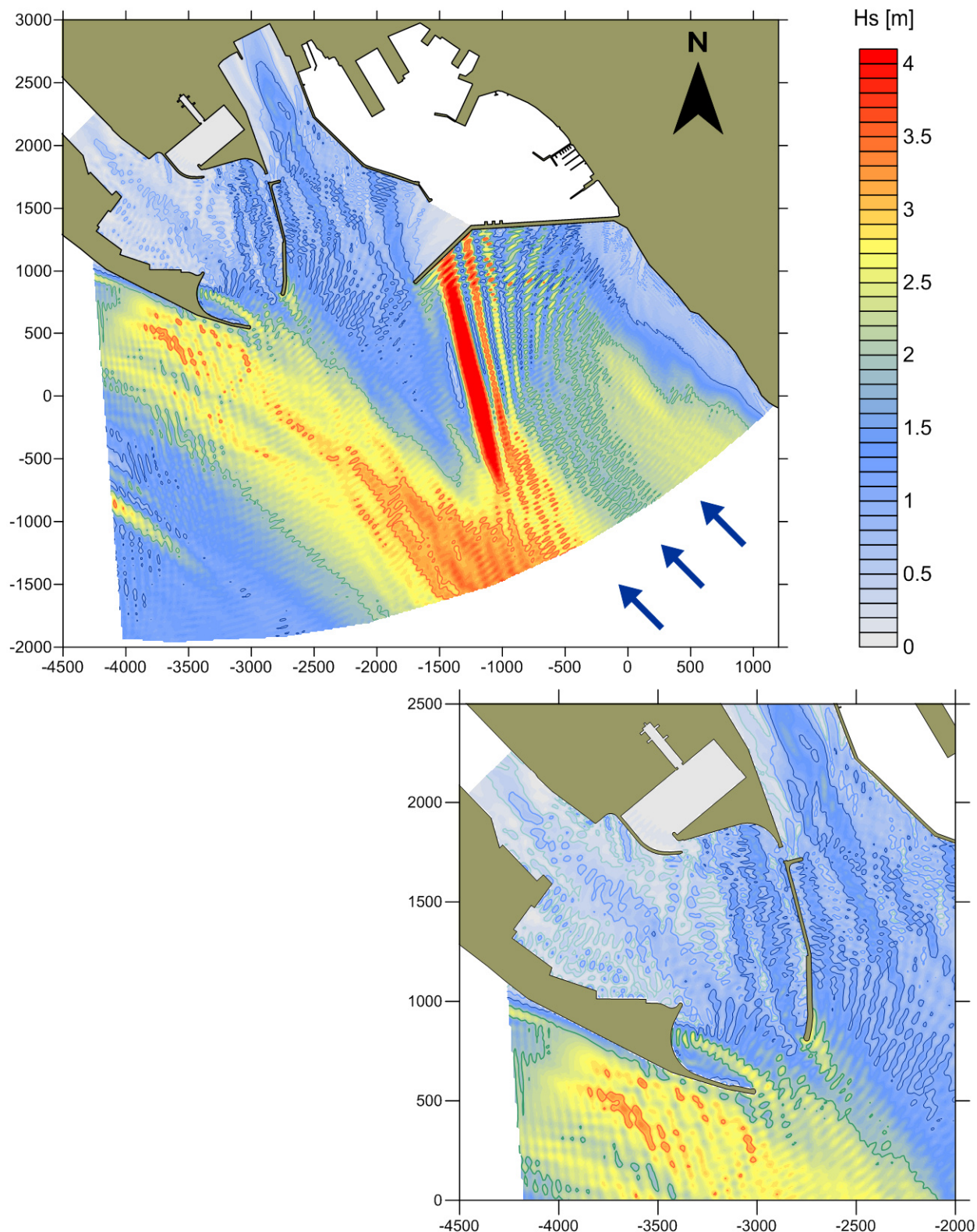
**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 1**  
**II° STRALCIO**

Altezza	Hs	3.7 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	135



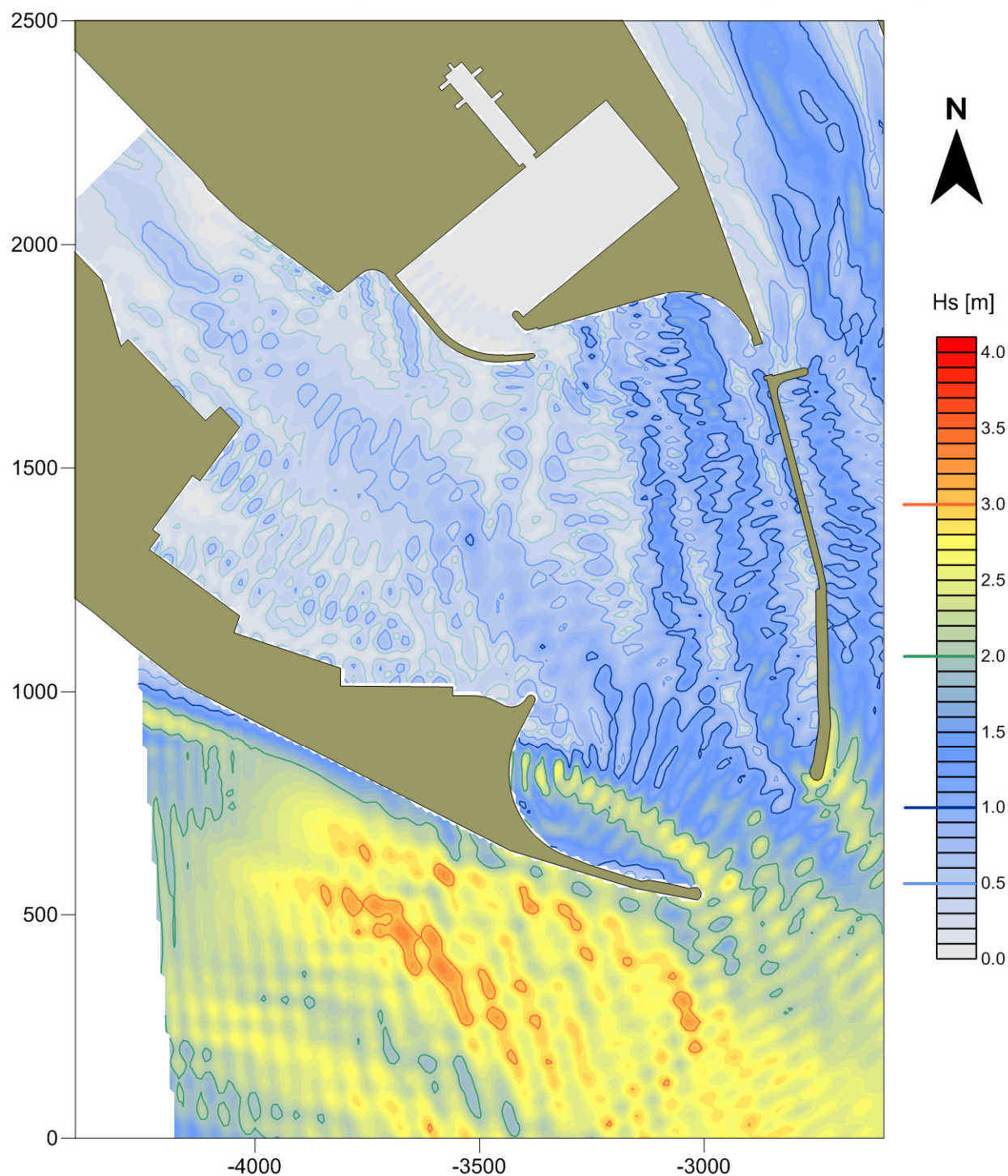
**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

## Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 1**  
**II° STRALCIO**

Altezza	Hs	3.7 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	135



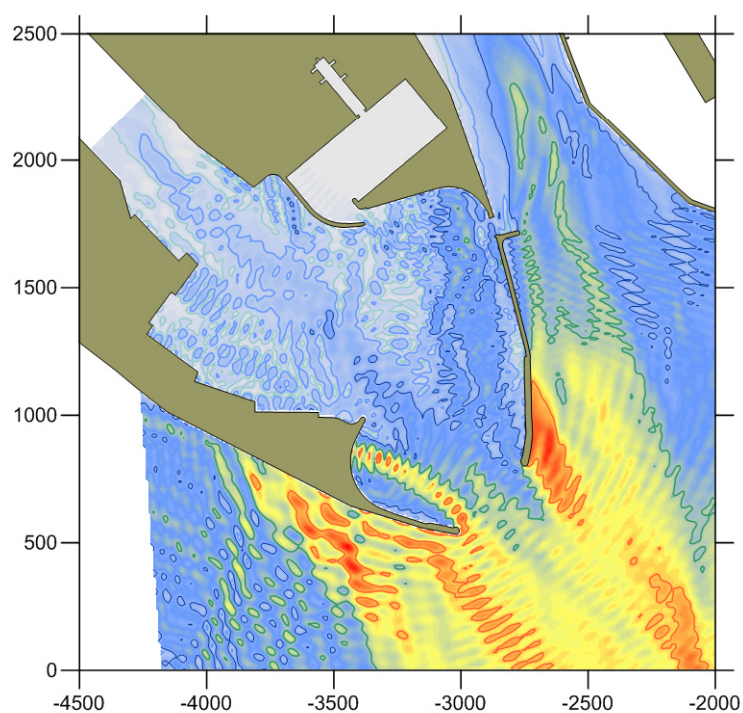
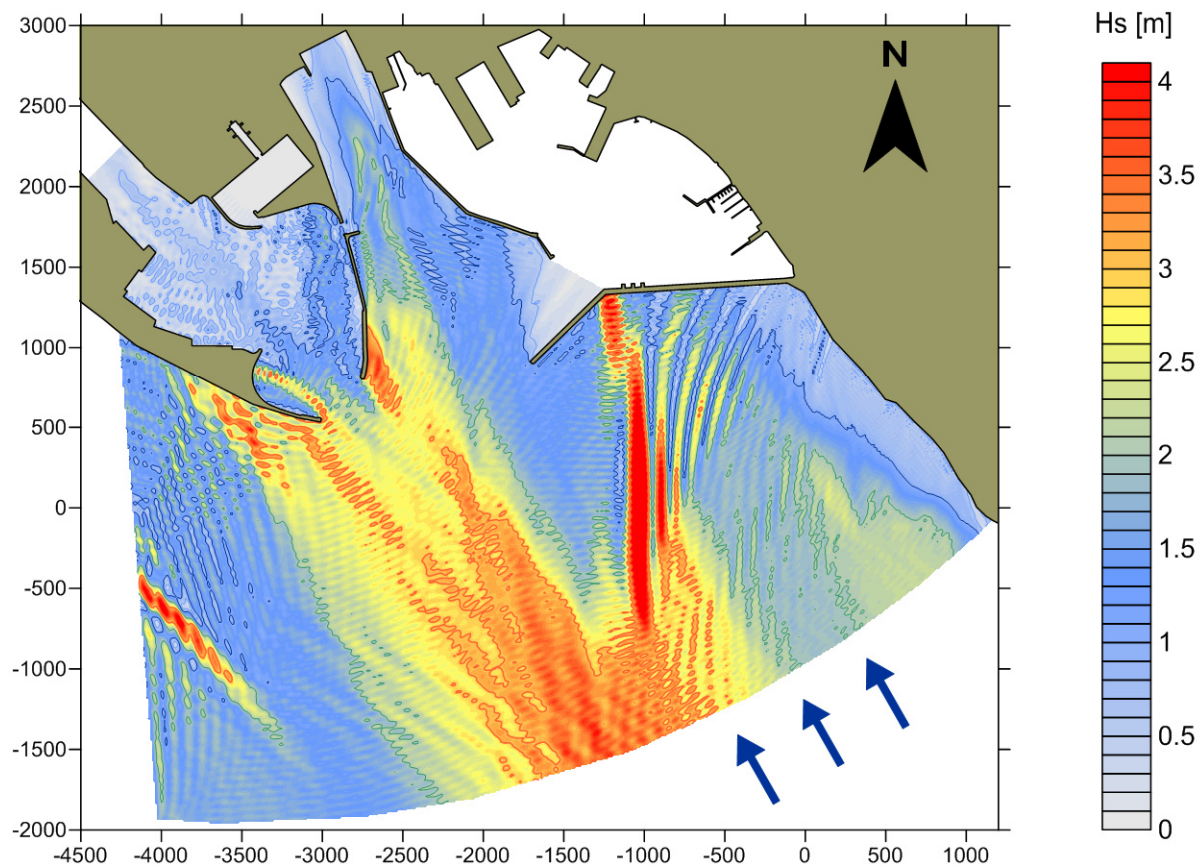
**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

## Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 1**  
**II° STRALCIO**

Altezza	Hs	3.8 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	150



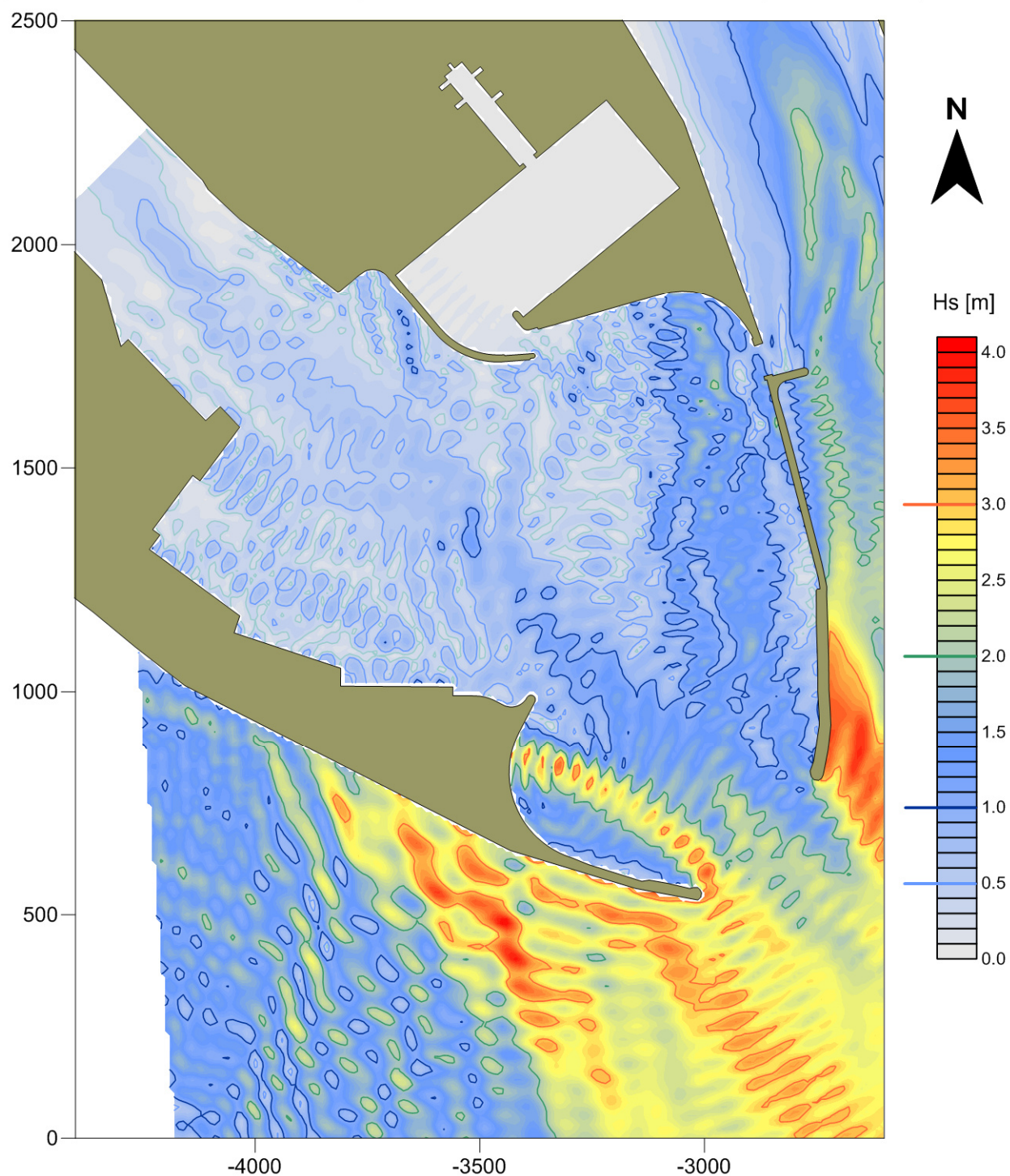
**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

## Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 1**  
**II° STRALCIO**

Altezza	Hs	3.8 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	150

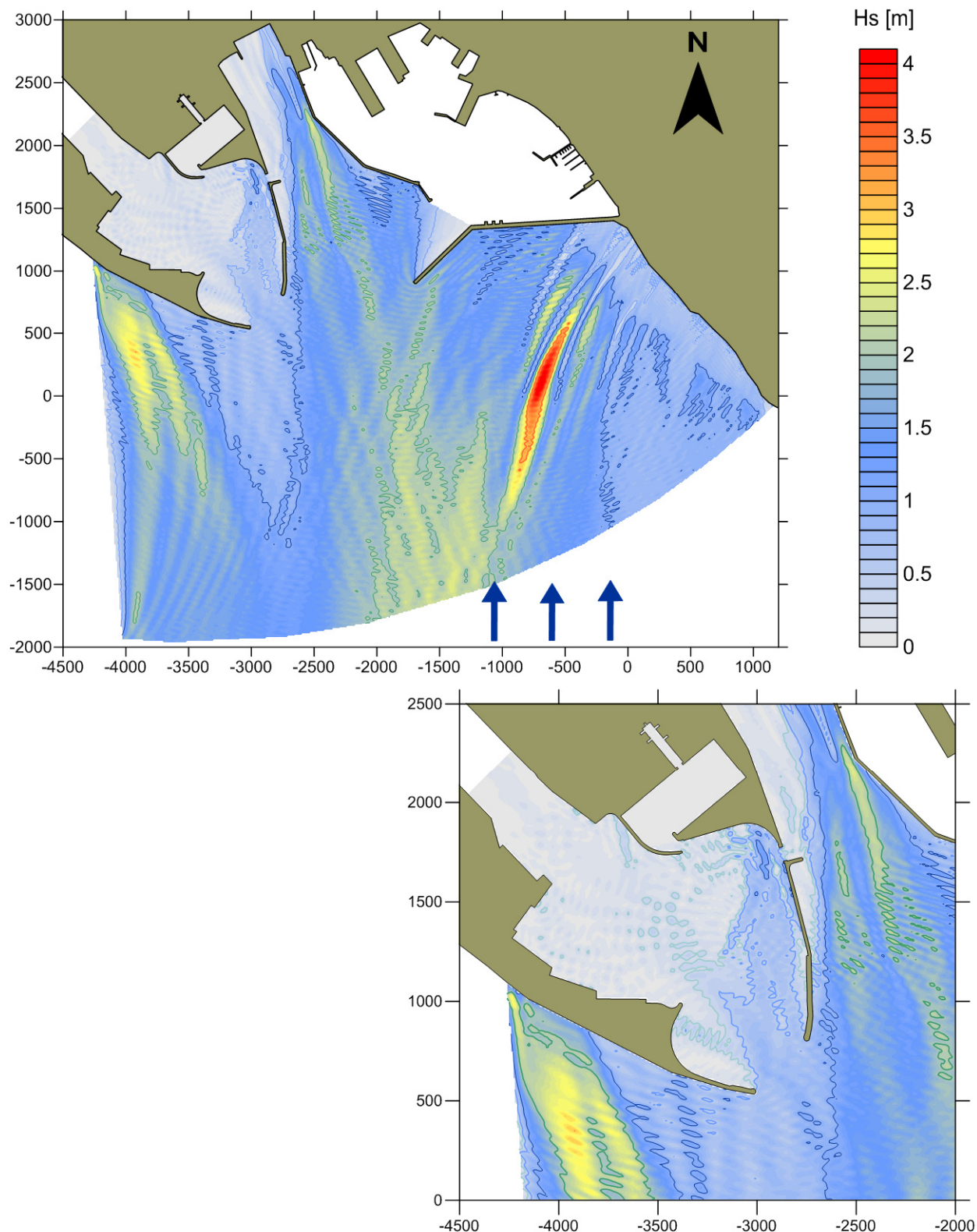


**CGWAVE**modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-ROsimulazione:  
**SOLUZIONE 1**  
**II° STRALCIO**

Altezza	Hs	2.3 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	180



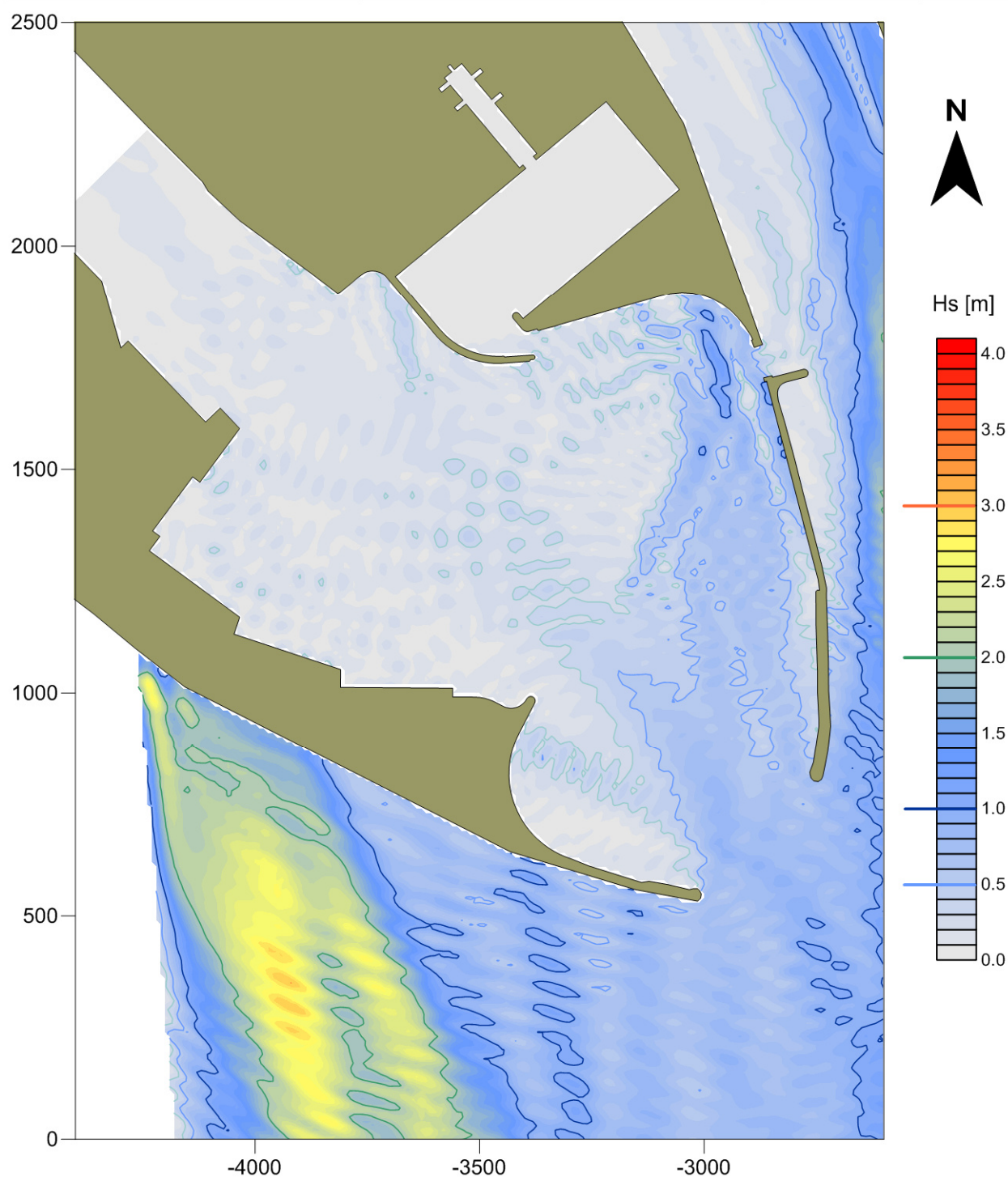
**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

## Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 1**  
**II° STRALCIO**

Altezza	Hs	2.3 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	180



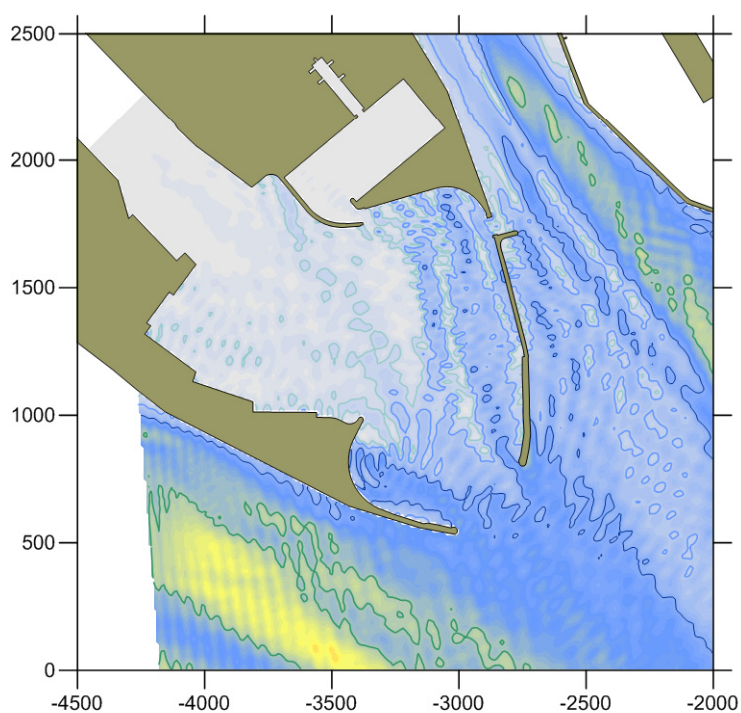
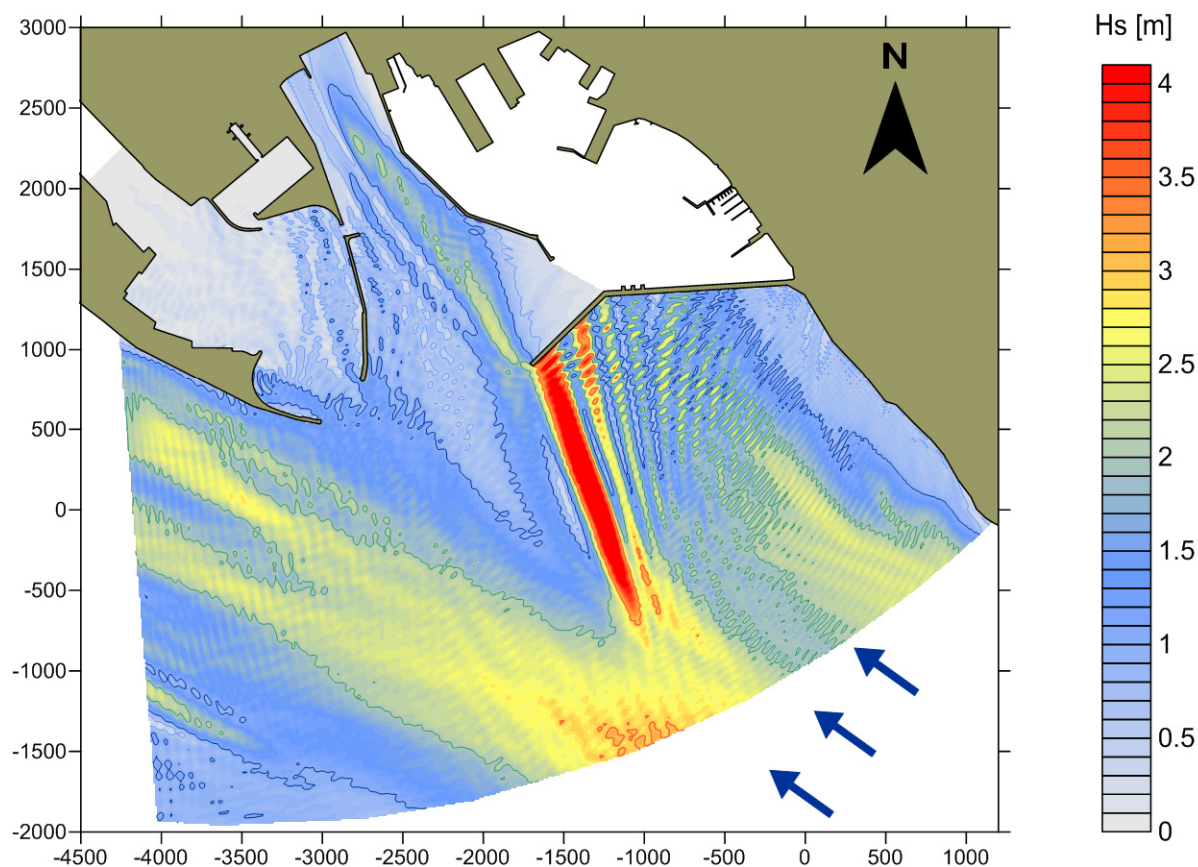
**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

## Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 1**  
**II° STRALCIO**

Altezza	Hs	3.4 m
Periodo	Tp	9.8 s
Direzione	°N	125



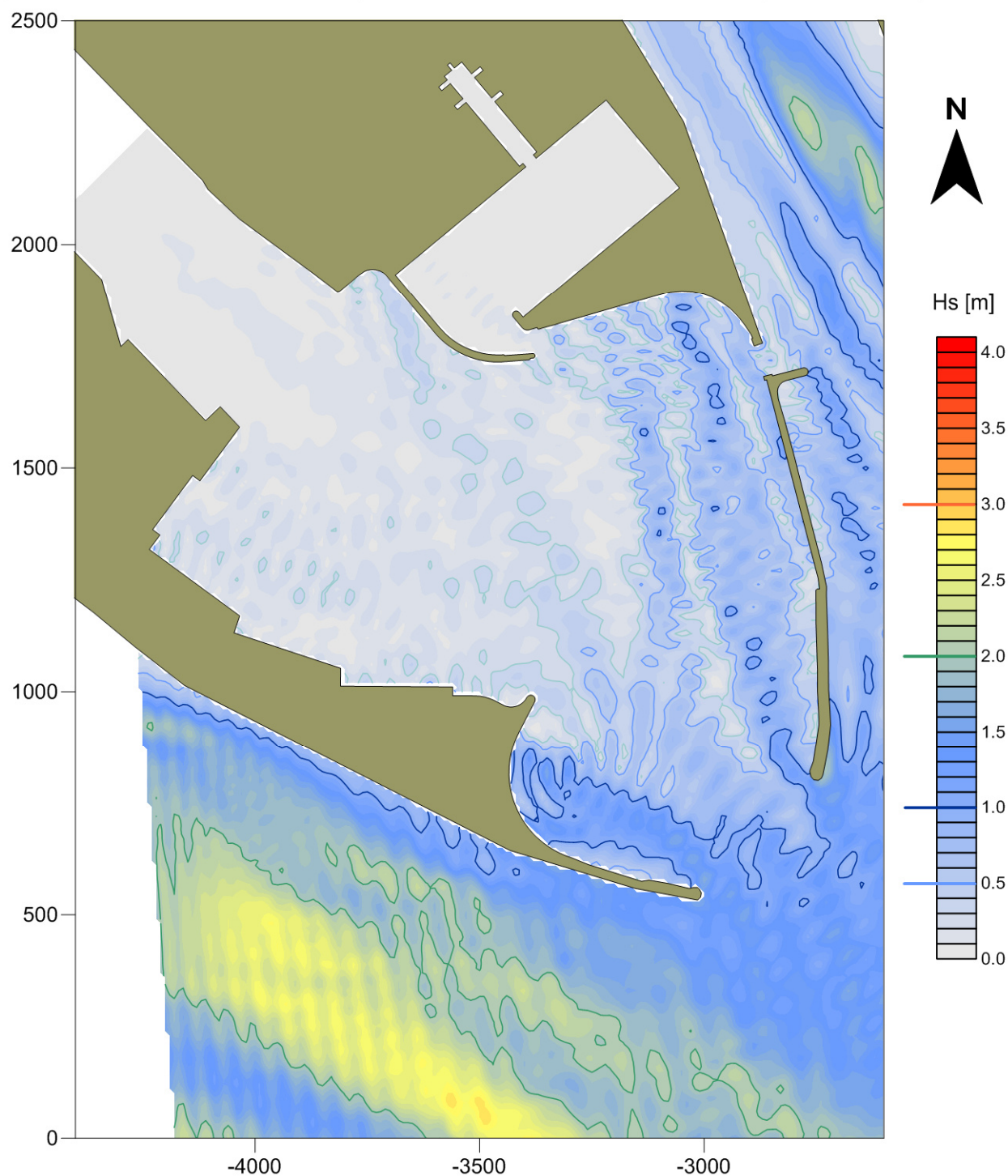
**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

## Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 1**  
**II° STRALCIO**

Altezza	Hs	3.4 m
Periodo	Tp	9.8 s
Direzione	°N	125

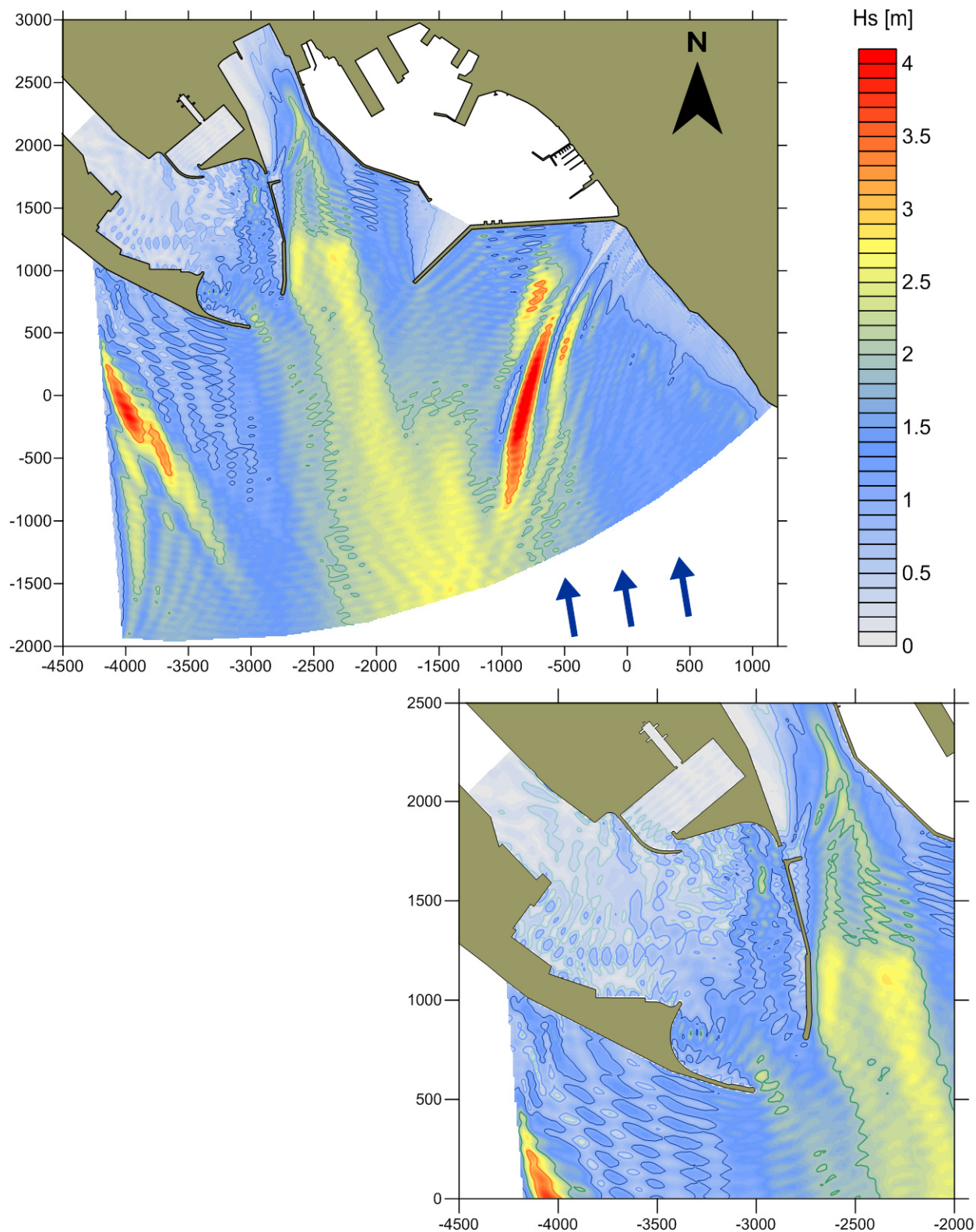


**CGWAVE**modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-ROsimulazione:  
**SOLUZIONE 1**  
**II° STRALCIO**

Altezza	Hs	2.8 m
Periodo	Tp	11.4 s
Direzione	°N	170



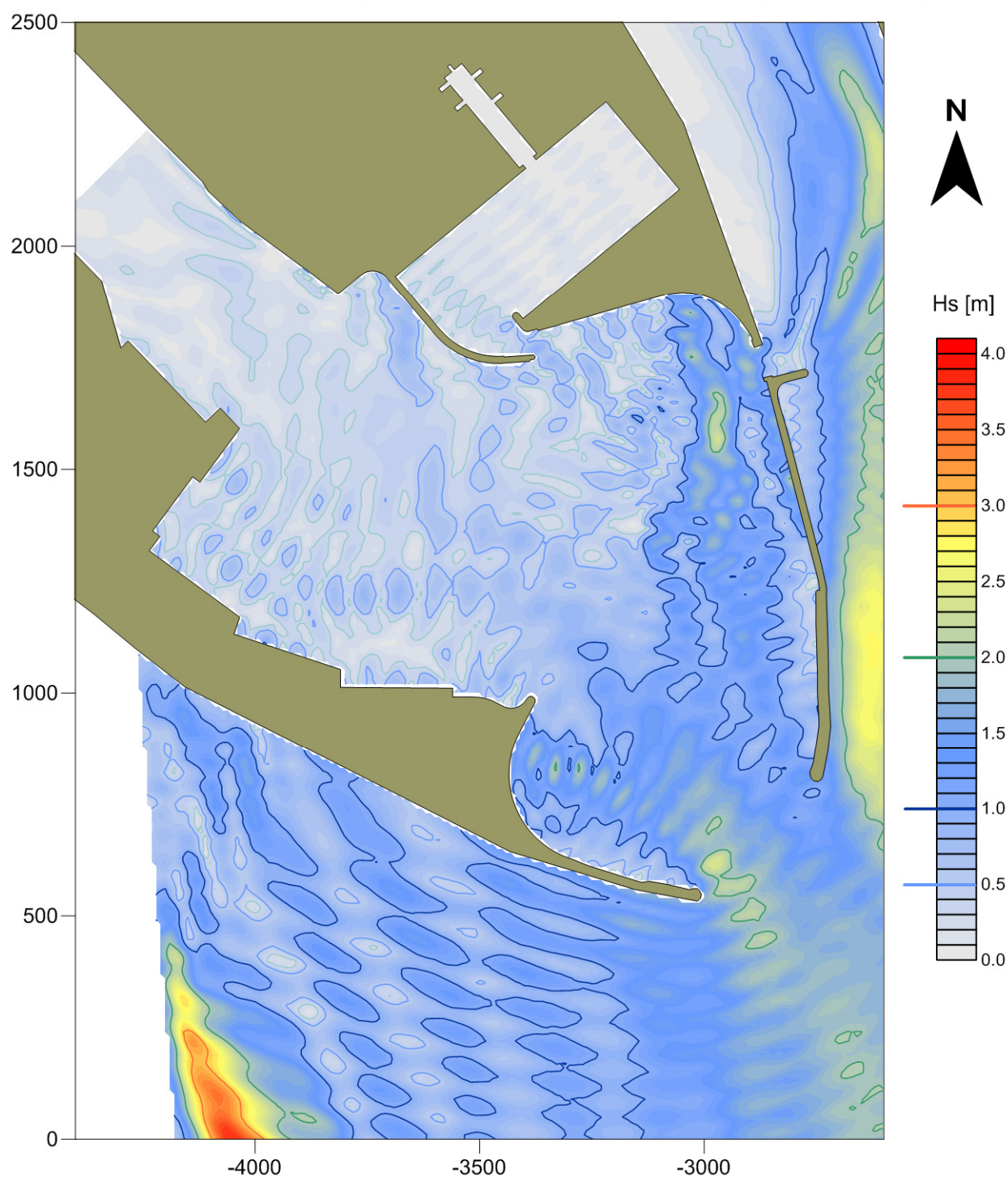
**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

## Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 1**  
**II° STRALCIO**

Altezza	Hs	2.8 m
Periodo	Tp	11.4 s
Direzione	°N	170



### 4.3 Alternativa primo stralcio funzionale (assenza di diga)

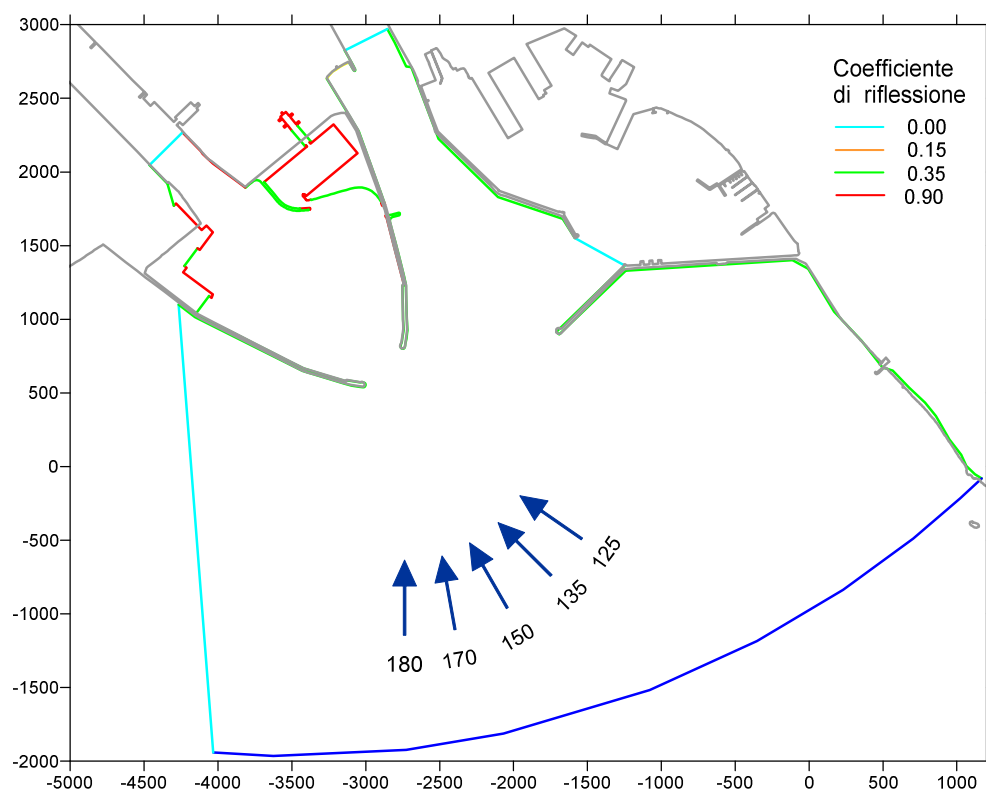


Figura 8. Soluzione 1 – Alternativa Primo Stralcio Funzionale (assenza di diga). Condizioni al contorno.

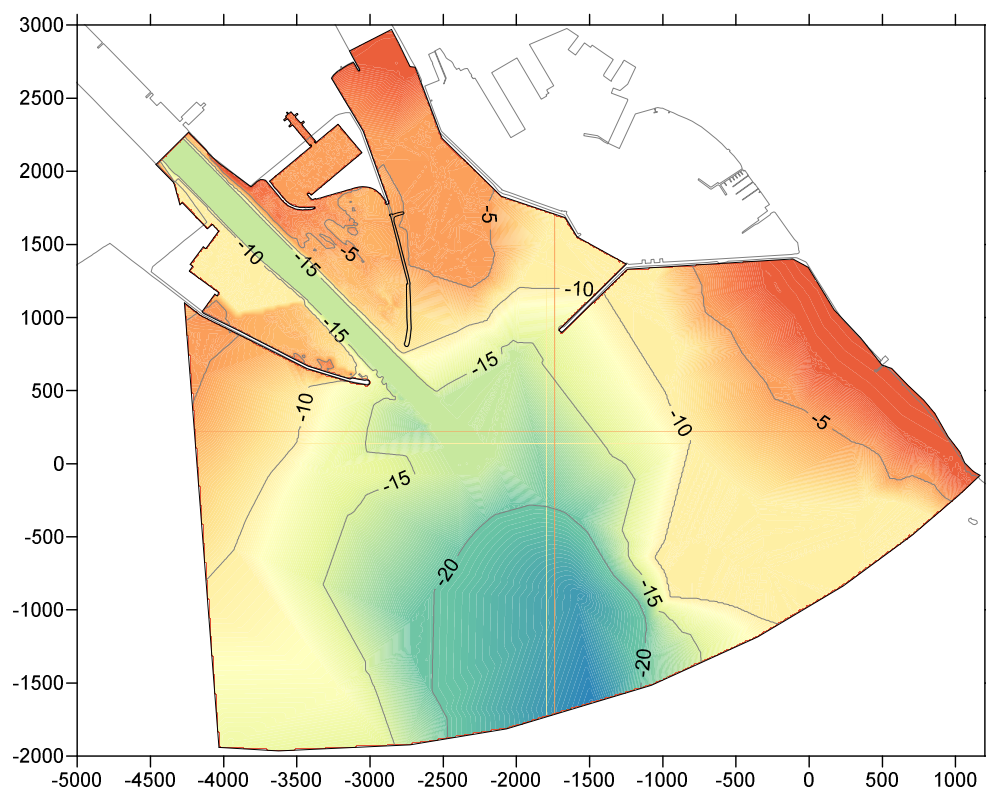


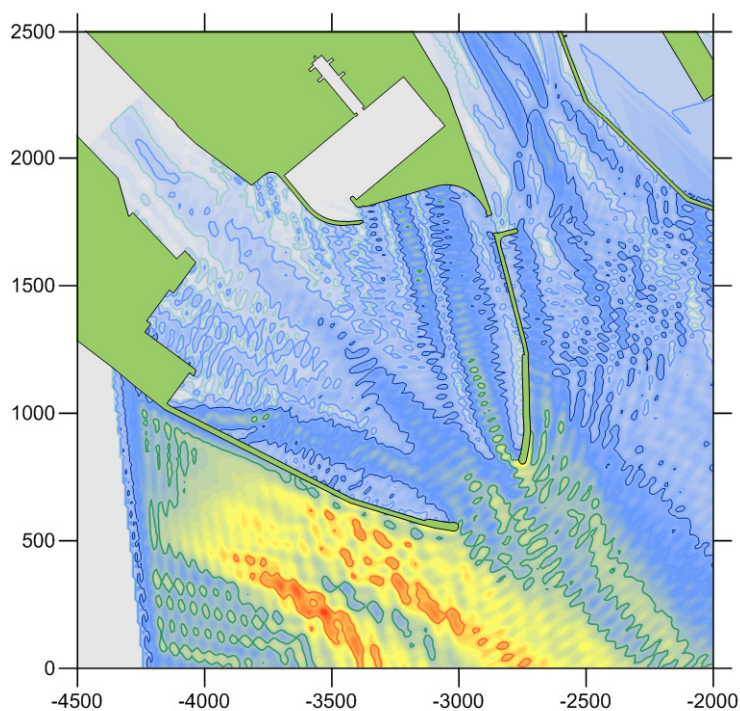
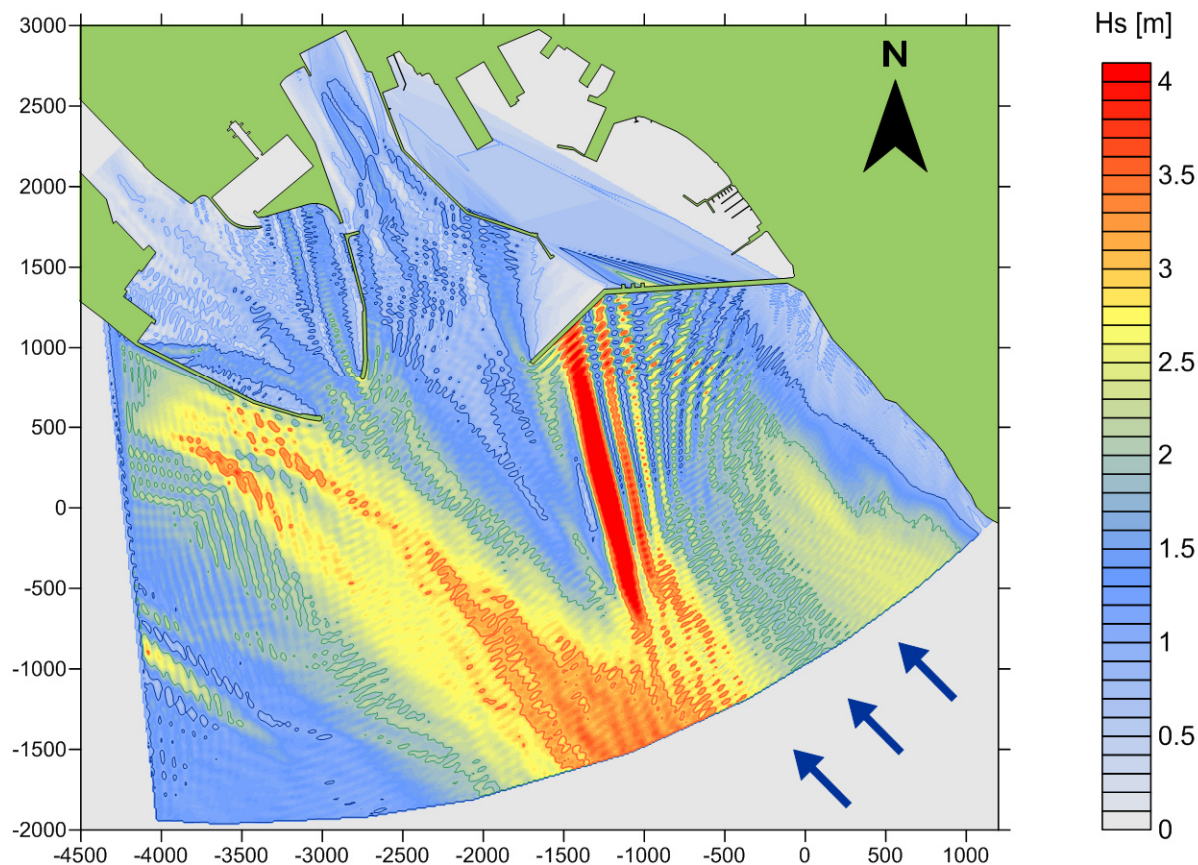
Figura 9. Soluzione 1 - Alternativa Primo Stralcio Funzionale (assenza di diga). Batimetria.

**CGWAVE**modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-ROsimulazione:  
**SOLUZIONE 1**  
**1° STRALCIO - ALTERNATIVA**

Altezza	Hs	3.7 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	135

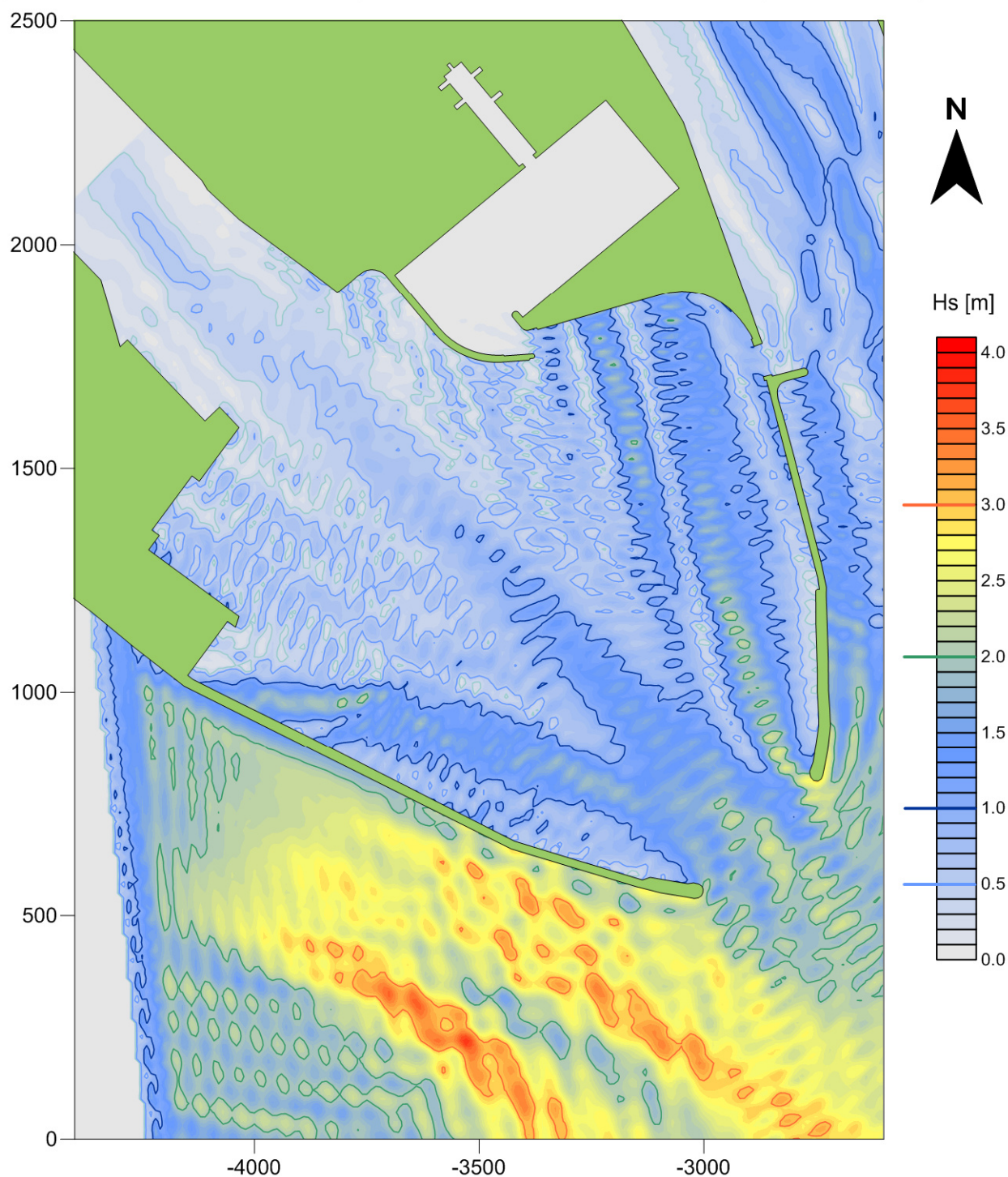


**CGWAVE**modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-ROsimulazione:  
**SOLUZIONE 1**  
**1° STRALCIO - ALTERNATIVA**

Altezza	Hs	3.7 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	135



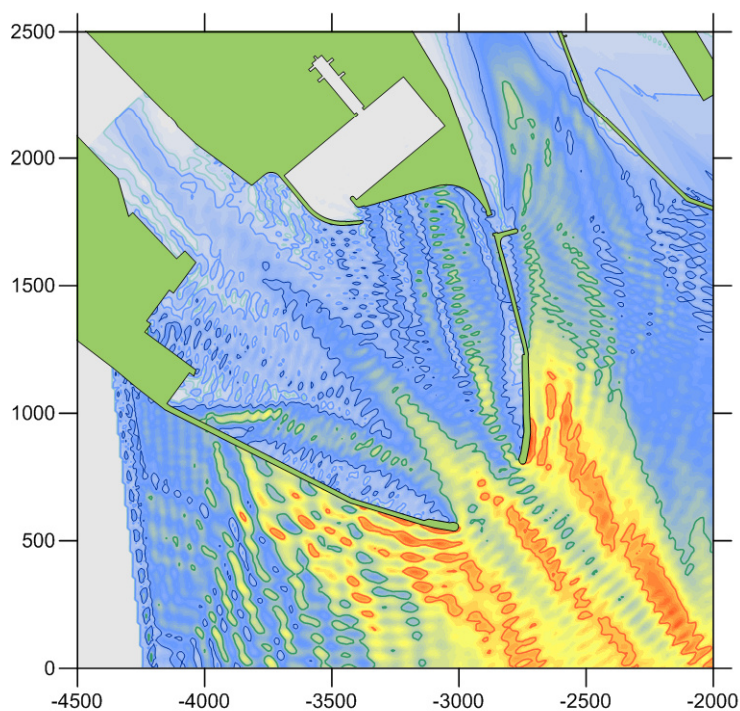
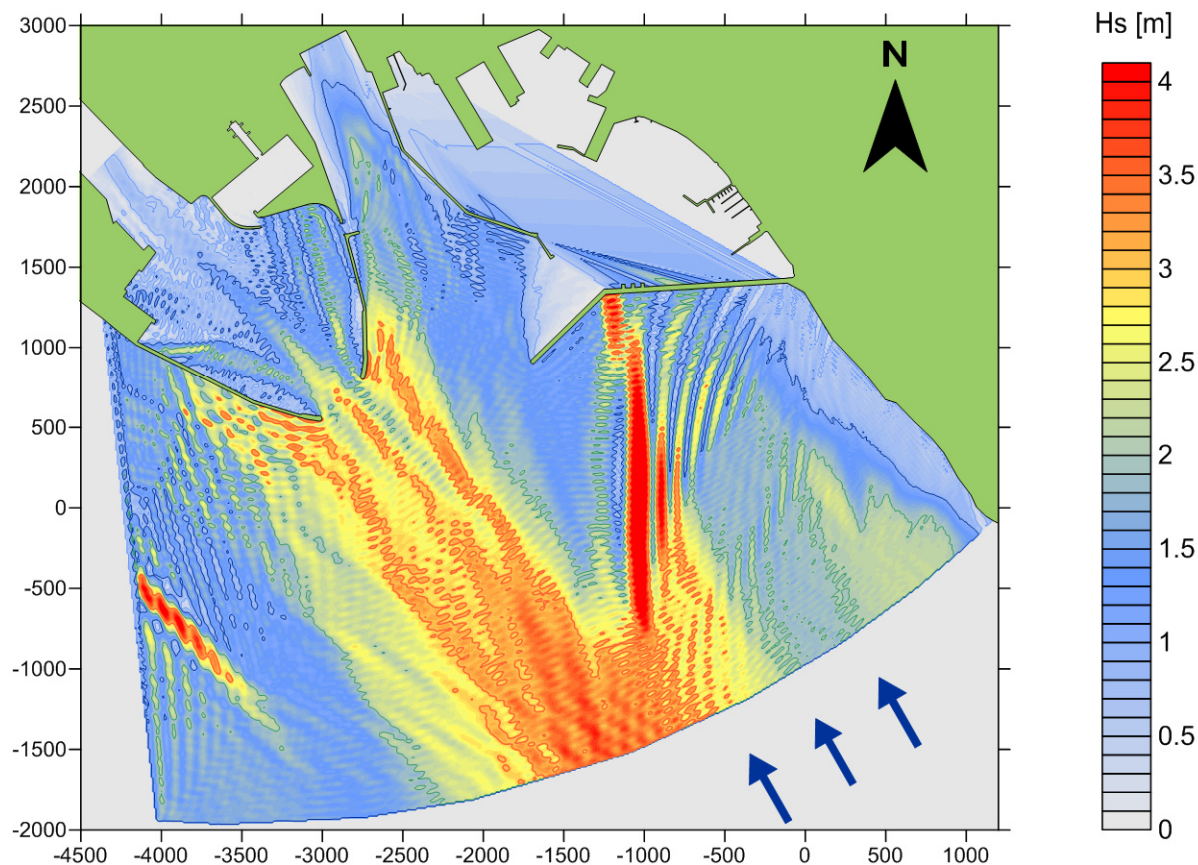
**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 1**  
**1° STRALCIO - ALTERNATIVA**

Altezza	Hs	3.8 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	150



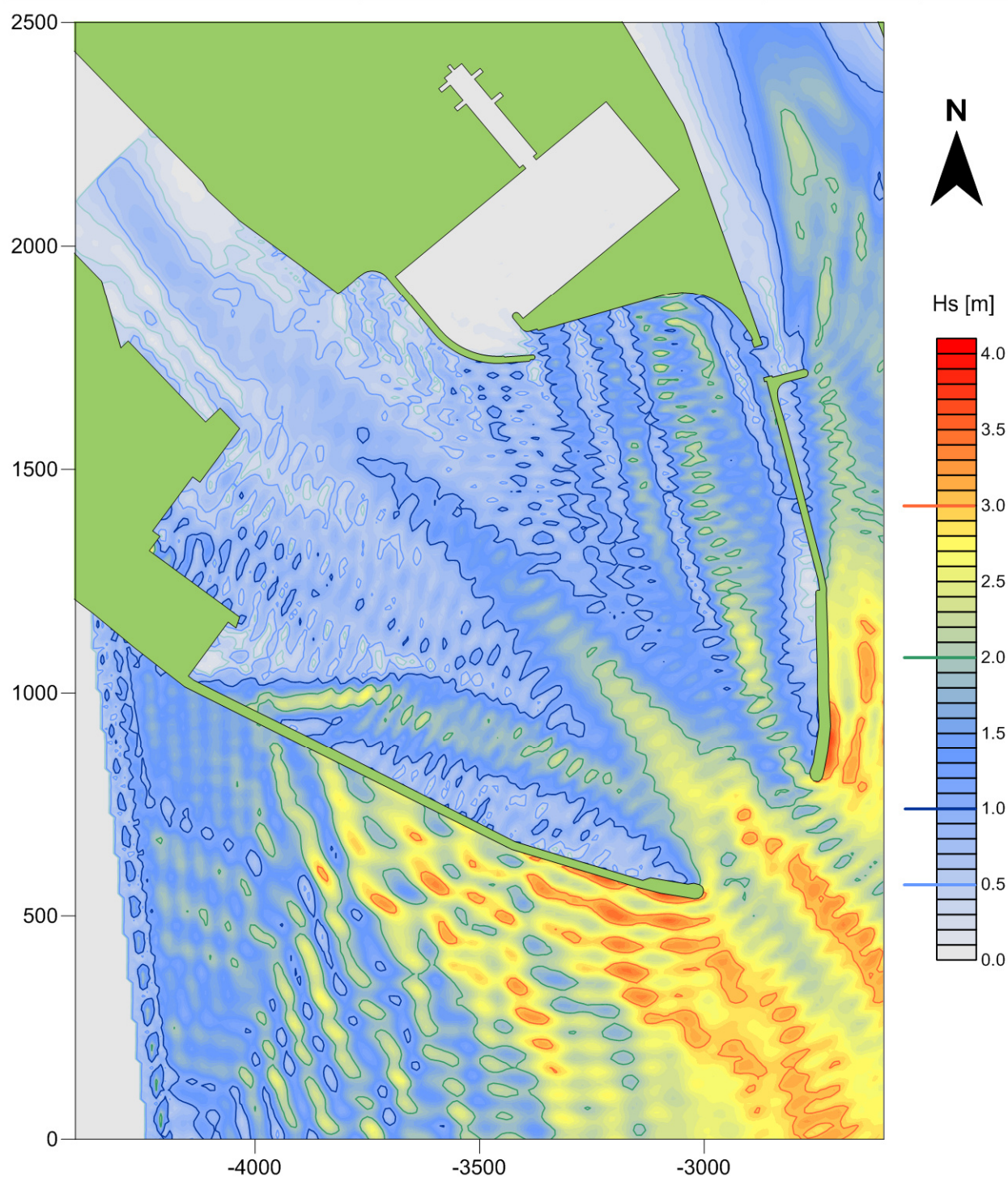
**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

## Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 1**  
**1° STRALCIO - ALTERNATIVA**

Altezza	Hs	3.8 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	150



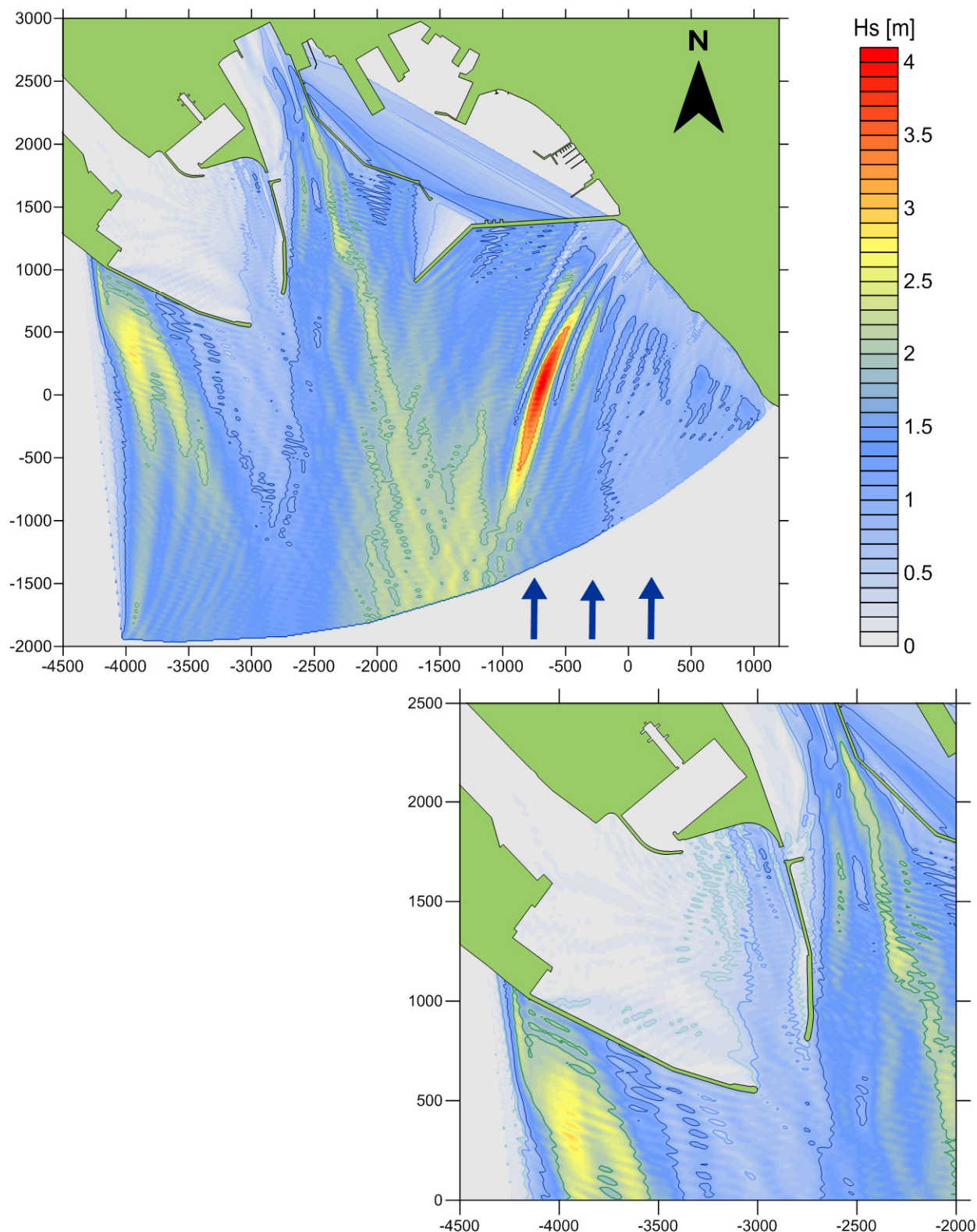
**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 1**  
**1° STRALCIO - ALTERNATIVA**

Altezza	Hs	2.3 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	180



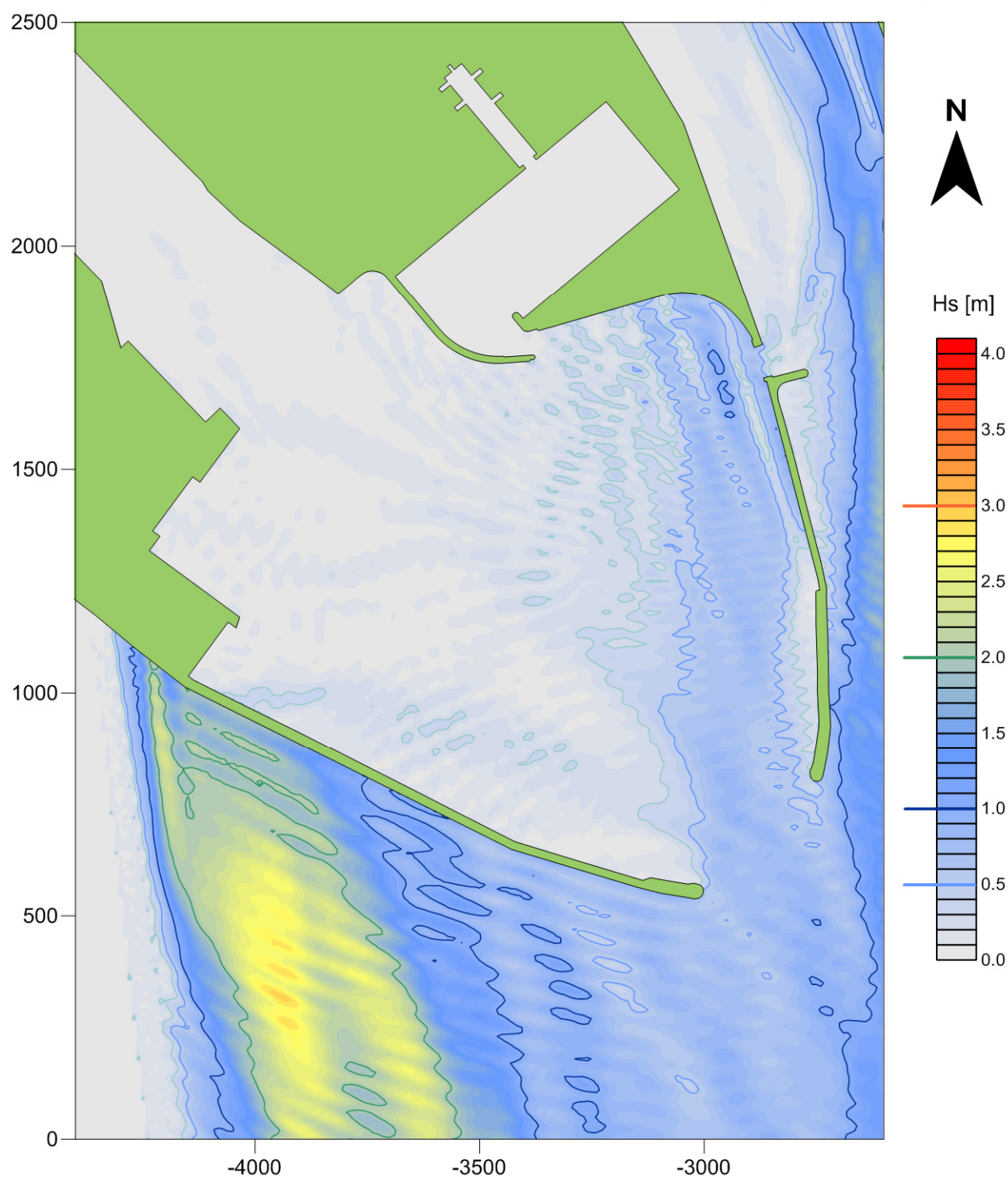
**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

## Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 1**  
**I° STRALCIO - ALTERNATIVA**

Altezza	Hs	2.3 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	180



**CGWAVE**modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:

Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

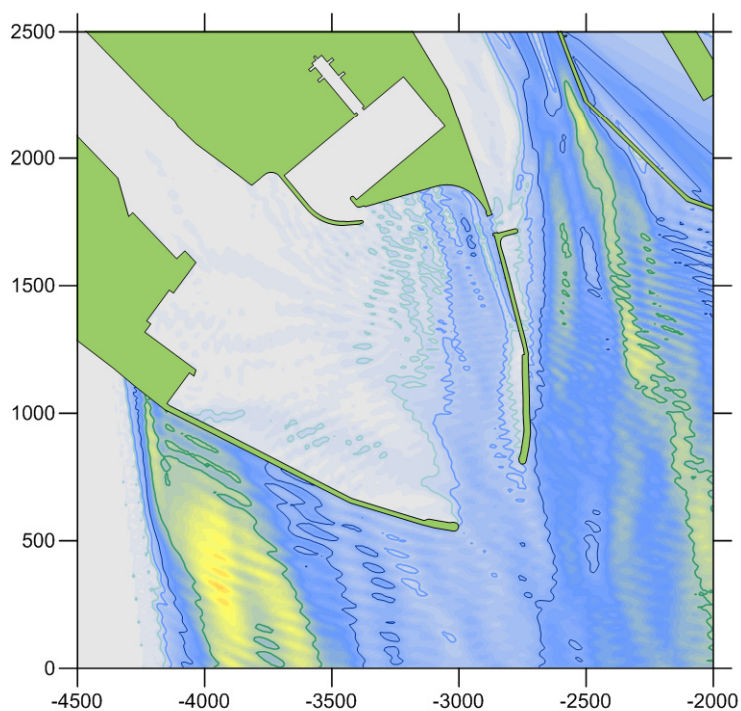
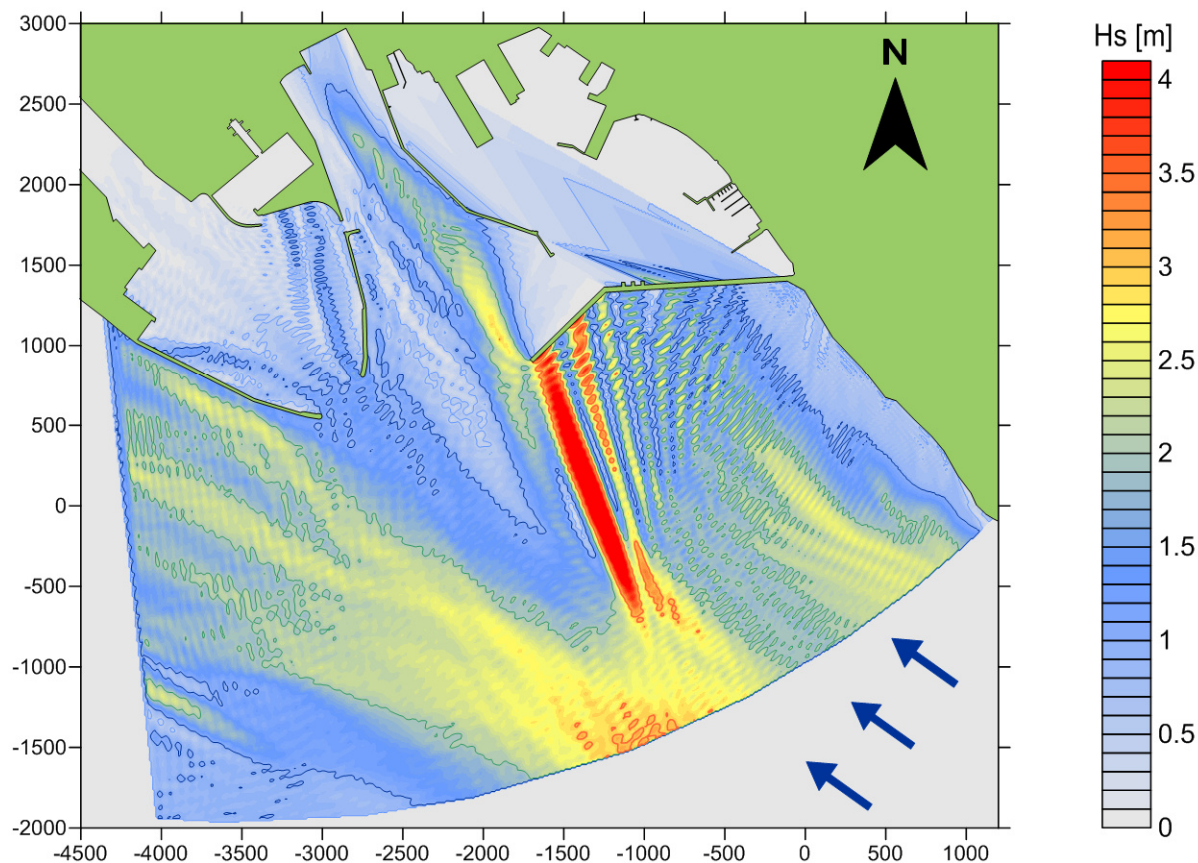
simulazione:

**SOLUZIONE 1**  
**I° STRALCIO - ALTERNATIVA**

Altezza Hs 3.4 m

Periodo Tp 9.8 s

Direzione °N 125



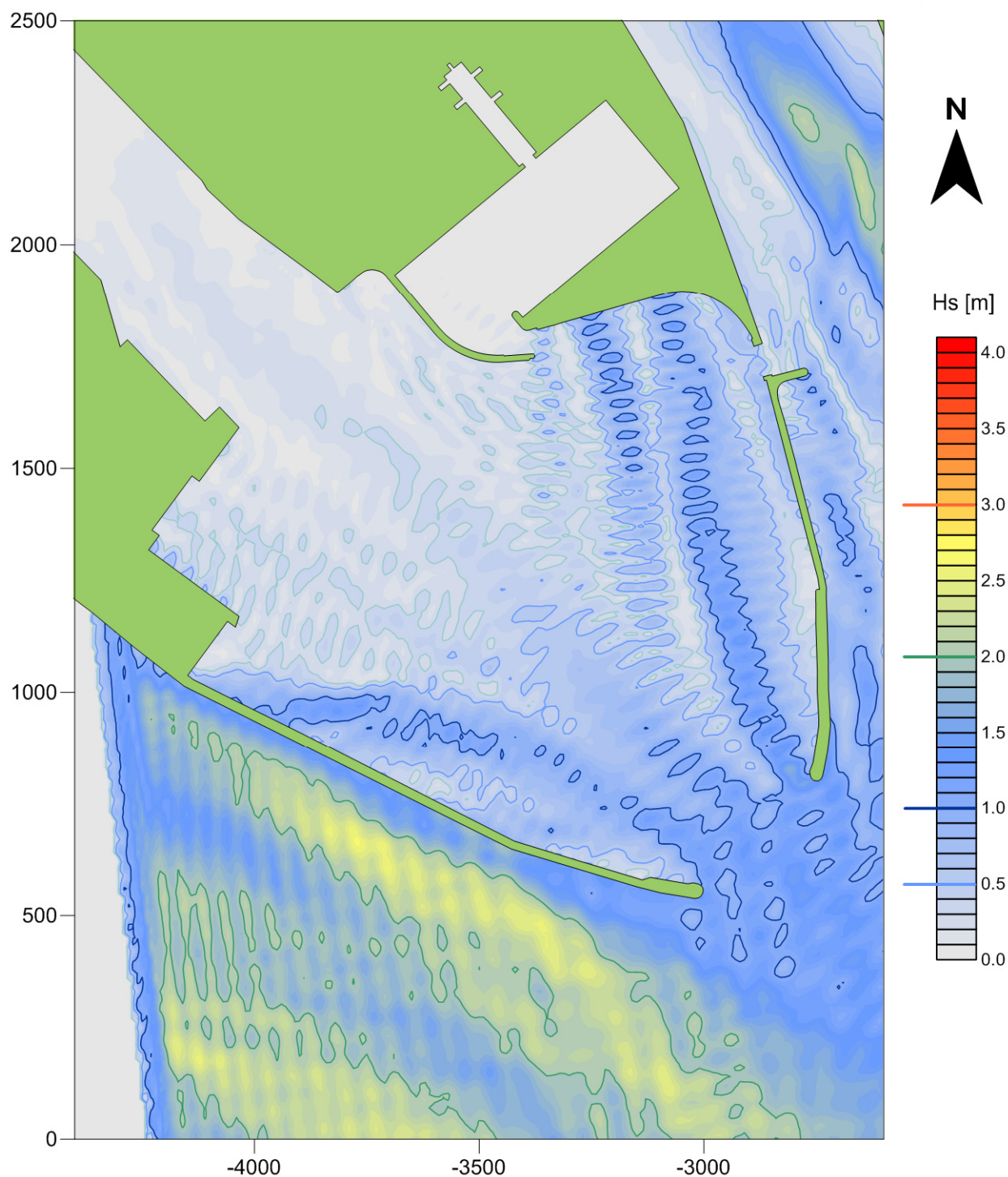
**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

## Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 1**  
**1° STRALCIO - ALTERNATIVA**

Altezza	Hs	3.4 m
Periodo	Tp	9.8 s
Direzione	°N	125



**CGWAVE**modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:

Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

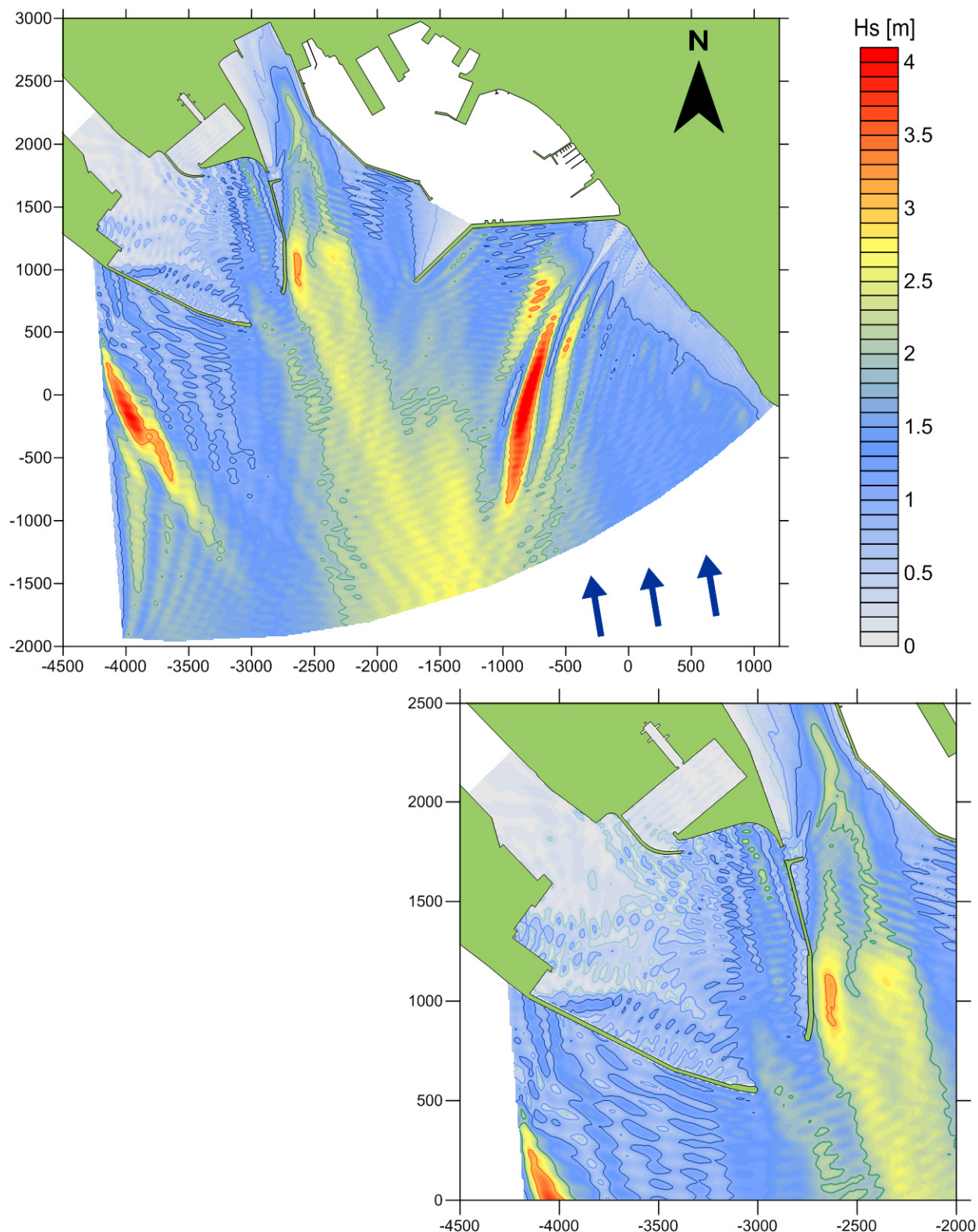
simulazione:

**SOLUZIONE 1**  
**I° STRALCIO - ALTERNATIVA**

Altezza Hs 2.8 m

Periodo Tp 11.4 s

Direzione °N 170

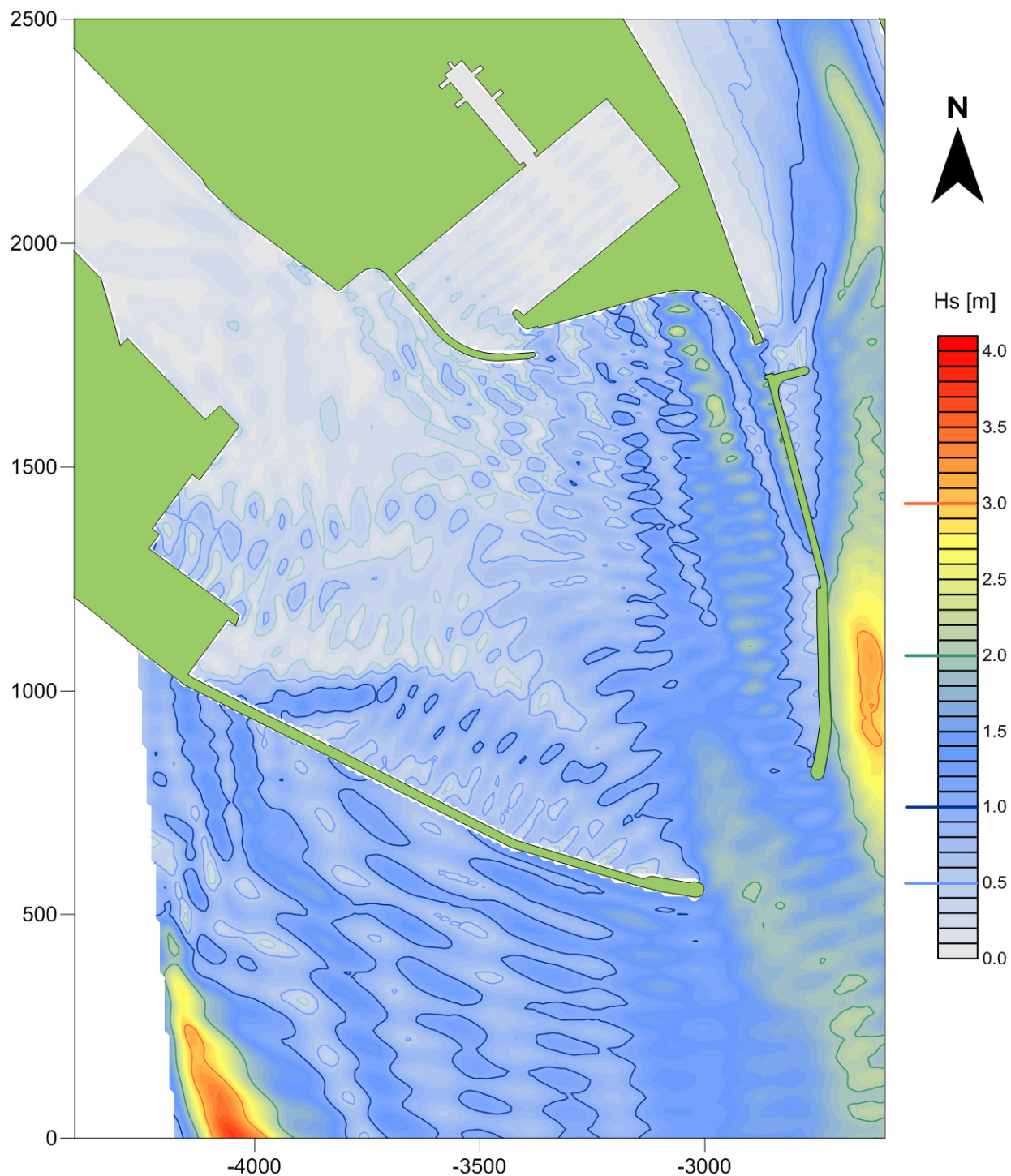


**CGWAVE**modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-ROsimulazione:  
**SOLUZIONE 1**  
**I° STRALCIO - ALTERNATIVA**

Altezza	Hs	2.8 m
Periodo	Tp	11.4 s
Direzione	°N	170



#### 4.4 Stralcio intermedio

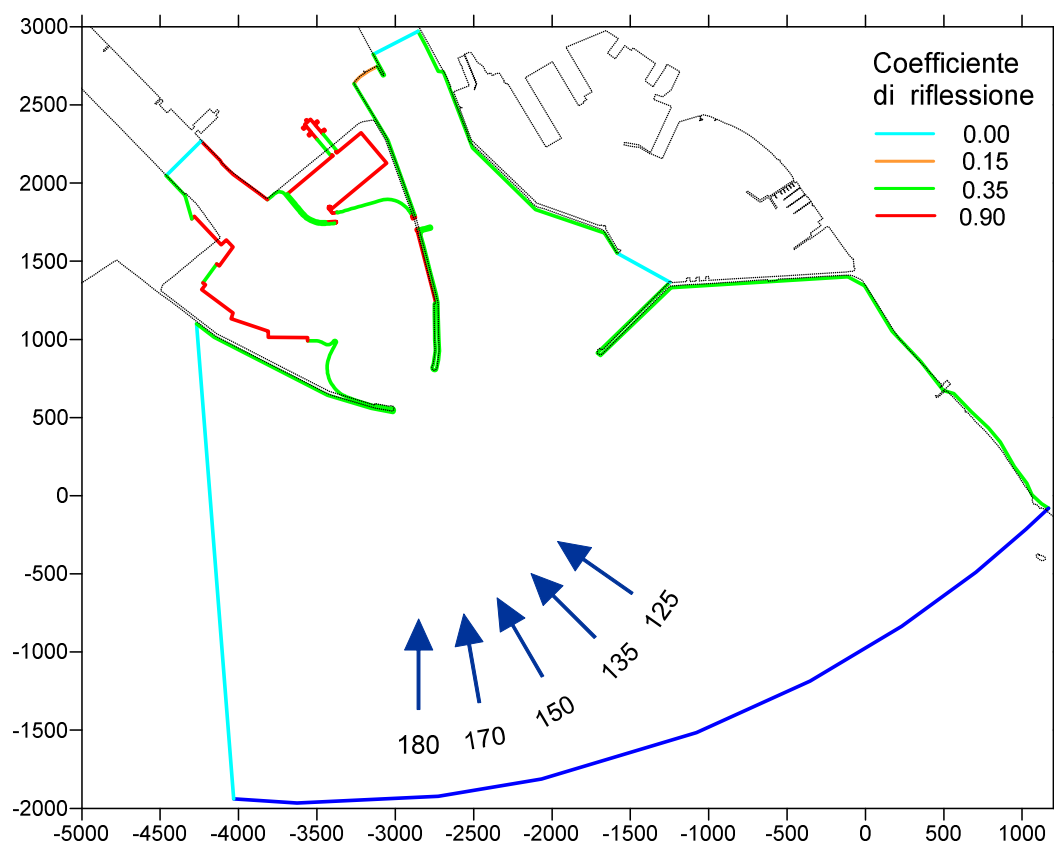


Figura 10. Soluzione 1 –Stralcio Intermedio. Condizioni al contorno.

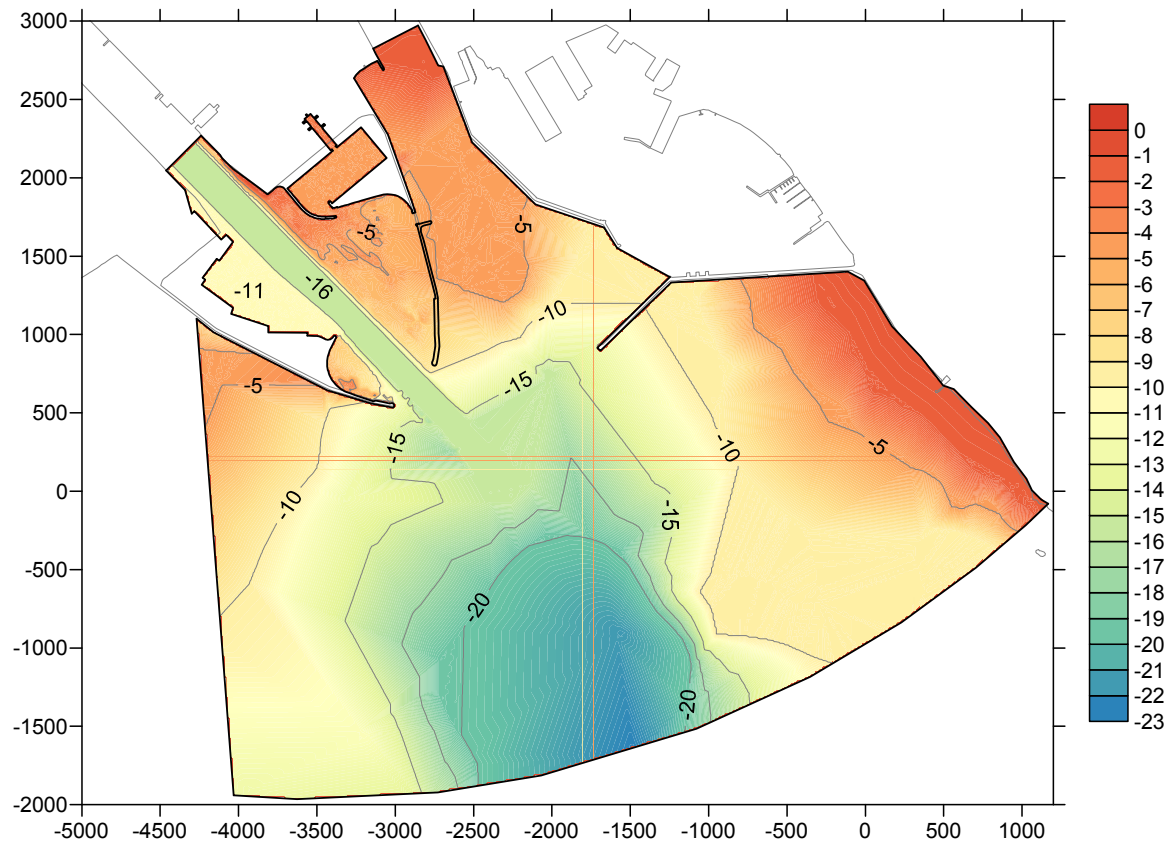
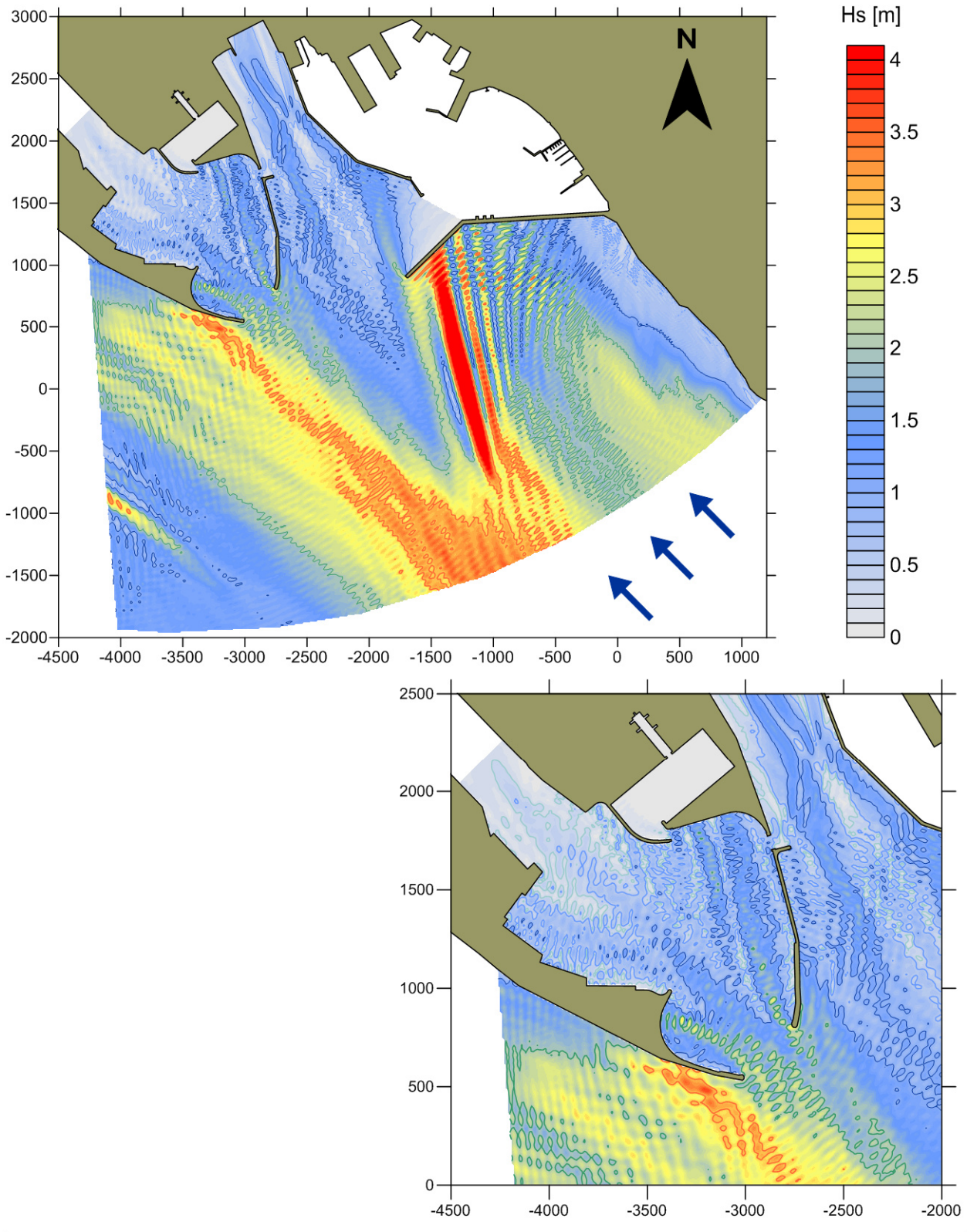


Figura 11. Soluzione 1 –Stralcio Intermedio. Batimetria.

CGWAVE modello matematico di agitazione ondosa all'interno dei porti		Caratteristiche dell'onda		
oggetto: Porto Canale di Cagliari Nuovo terminal RO-RO	simulazione: SOLUZIONE 1 STRALCIO INTERMEDIO	Altezza	Hs	3.7 m
		Periodo	Tp	8.5 s
		Direzione	°N	135



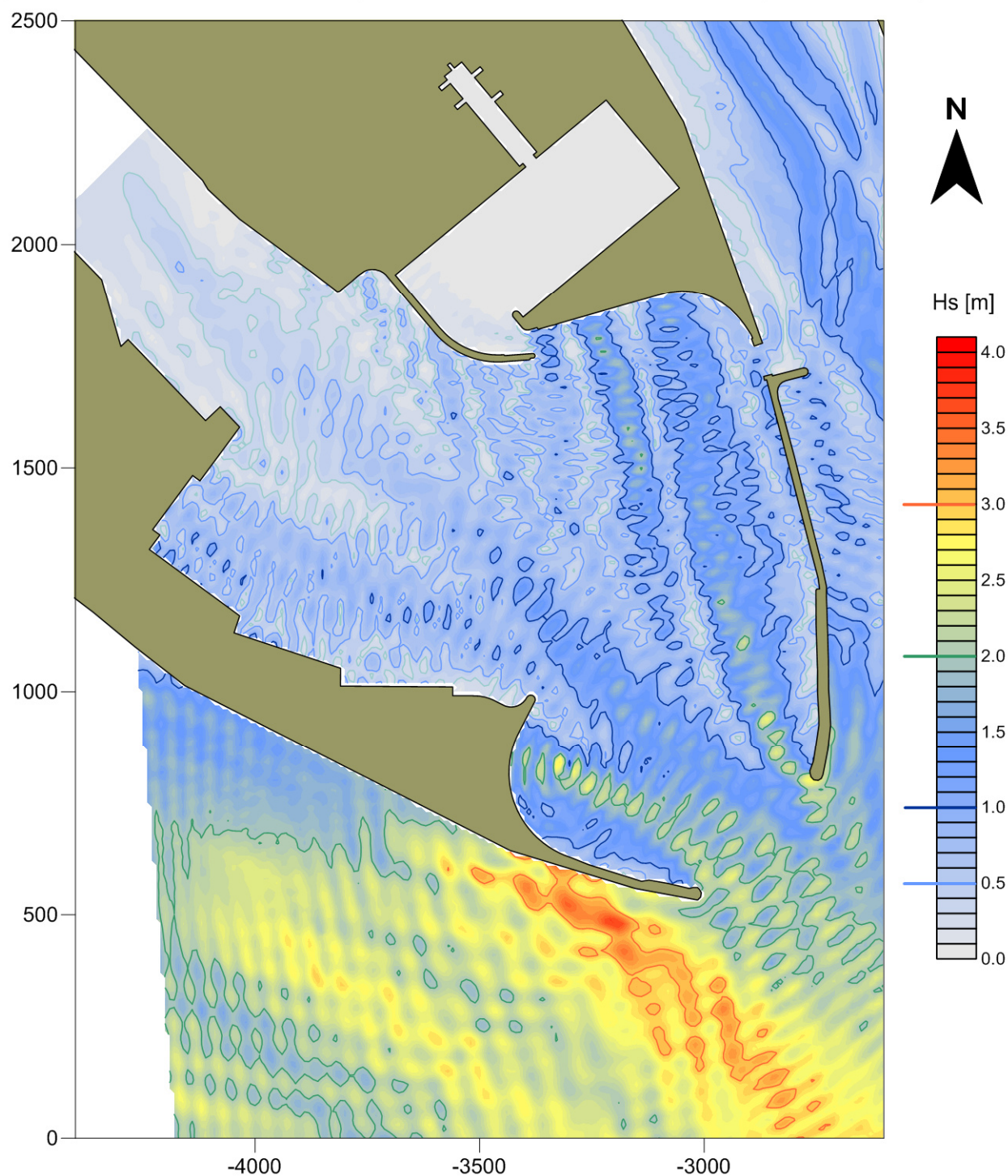
**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

## Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 1**  
**STRALCIO INTERMEDIO**

Altezza	Hs	3.7 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	135

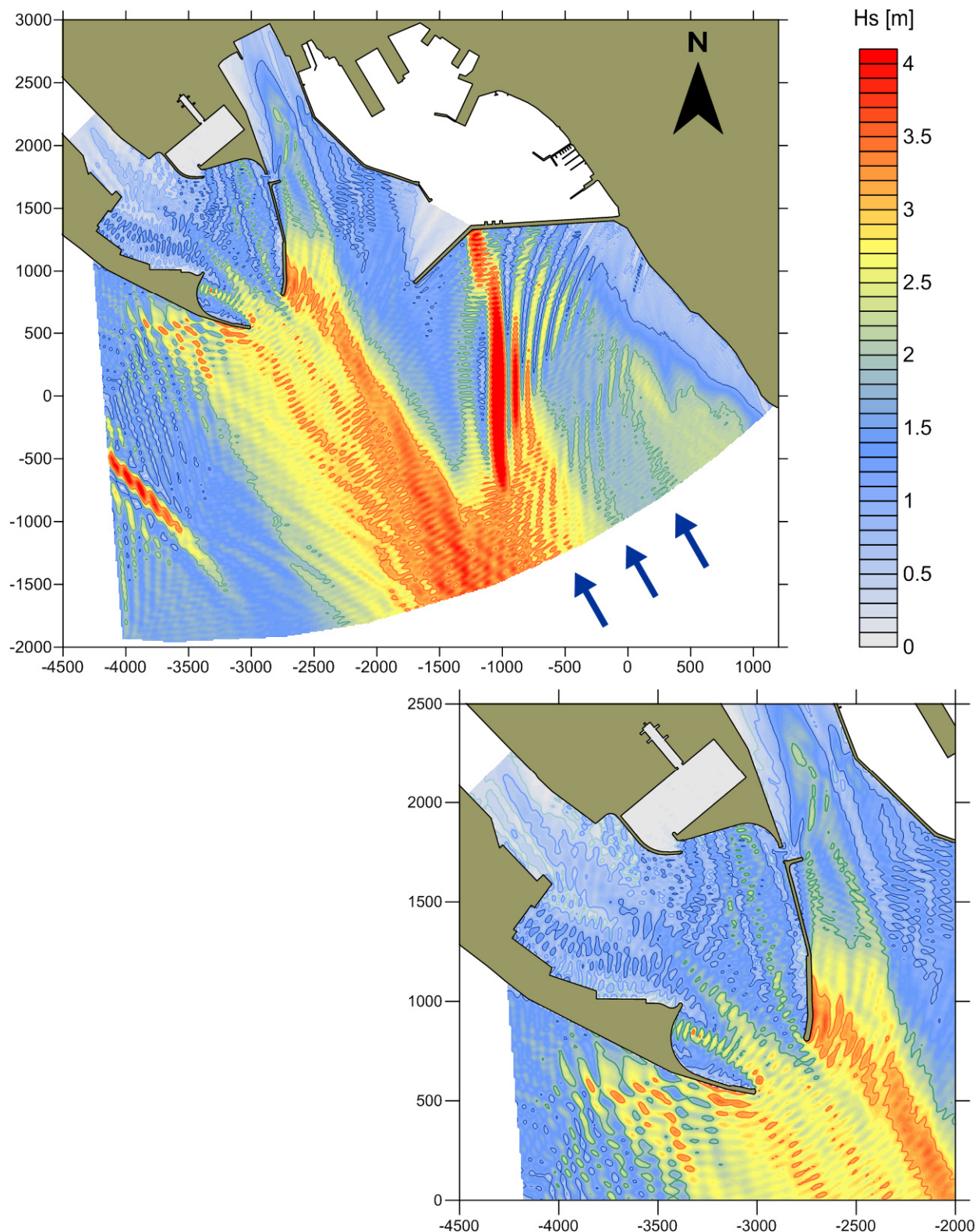


**CGWAVE**modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-ROsimulazione:  
**SOLUZIONE 1**  
**STRALCIO INTERMEDIO**

Altezza	Hs	3.8 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	150

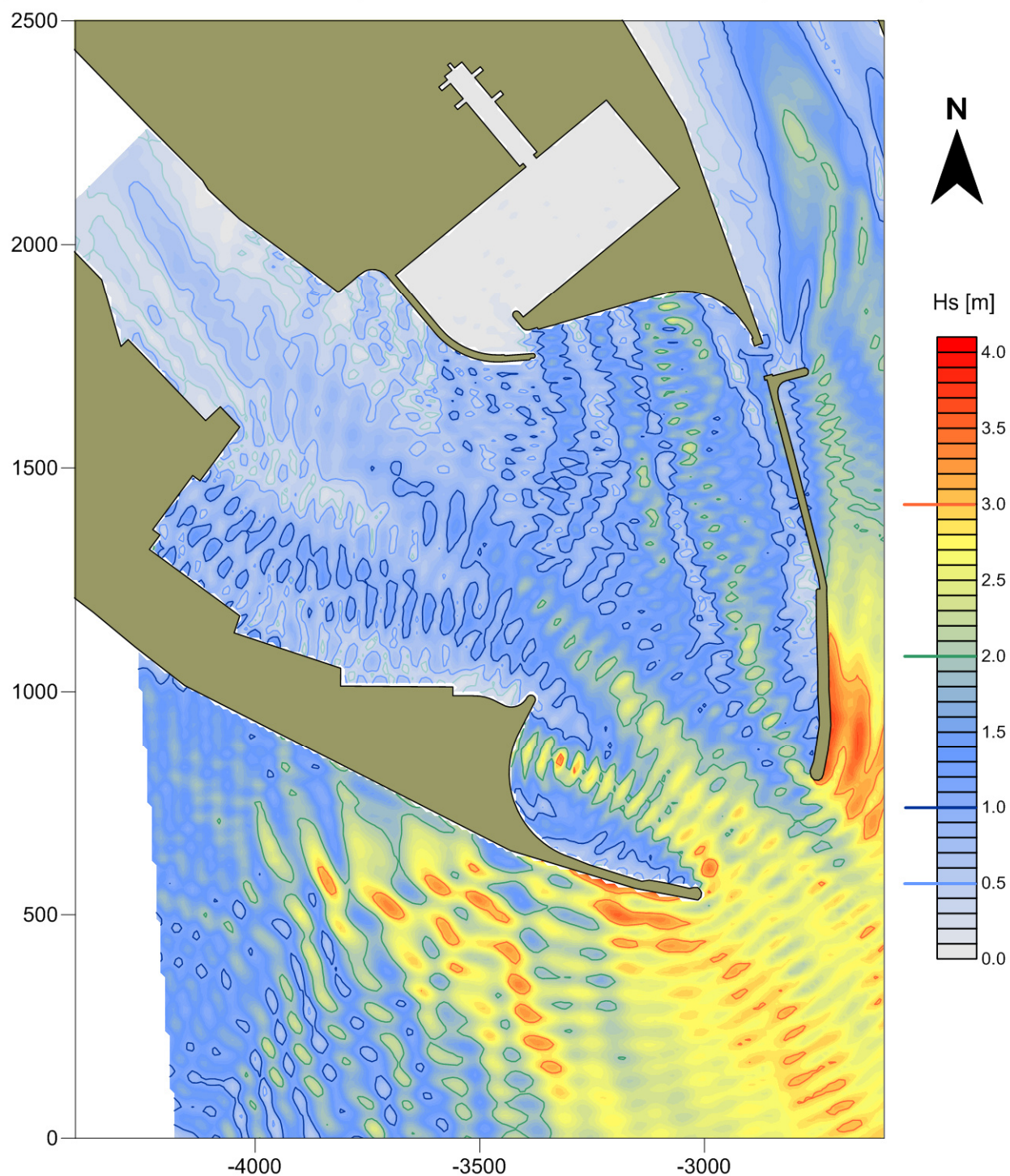


**CGWAVE**modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-ROsimulazione:  
**SOLUZIONE 1**  
**STRALCIO INTERMEDIO**

Altezza	Hs	3.8 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	150



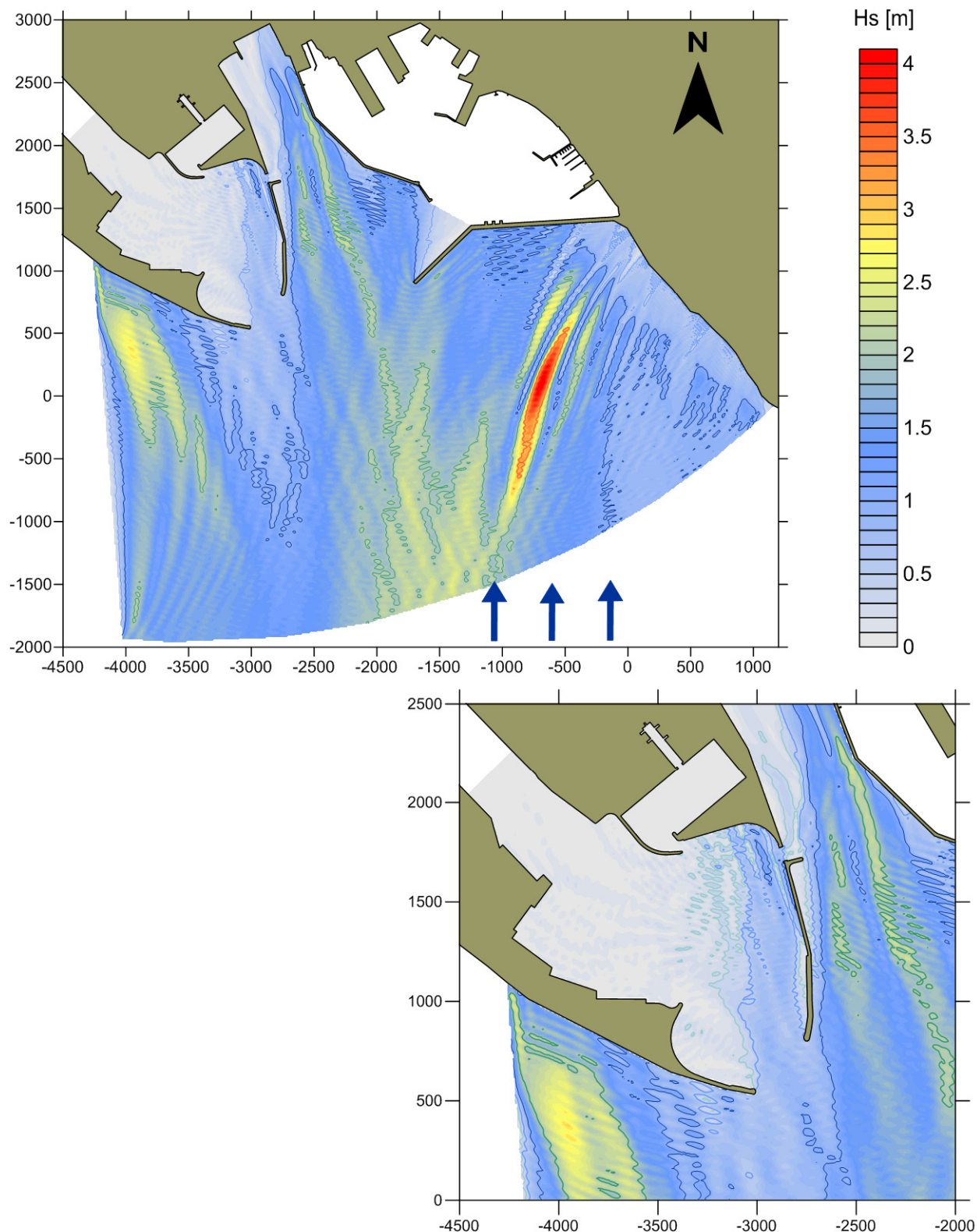
**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 1**  
**STRALCIO INTERMEDIO**

Altezza	Hs	2.3 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	180

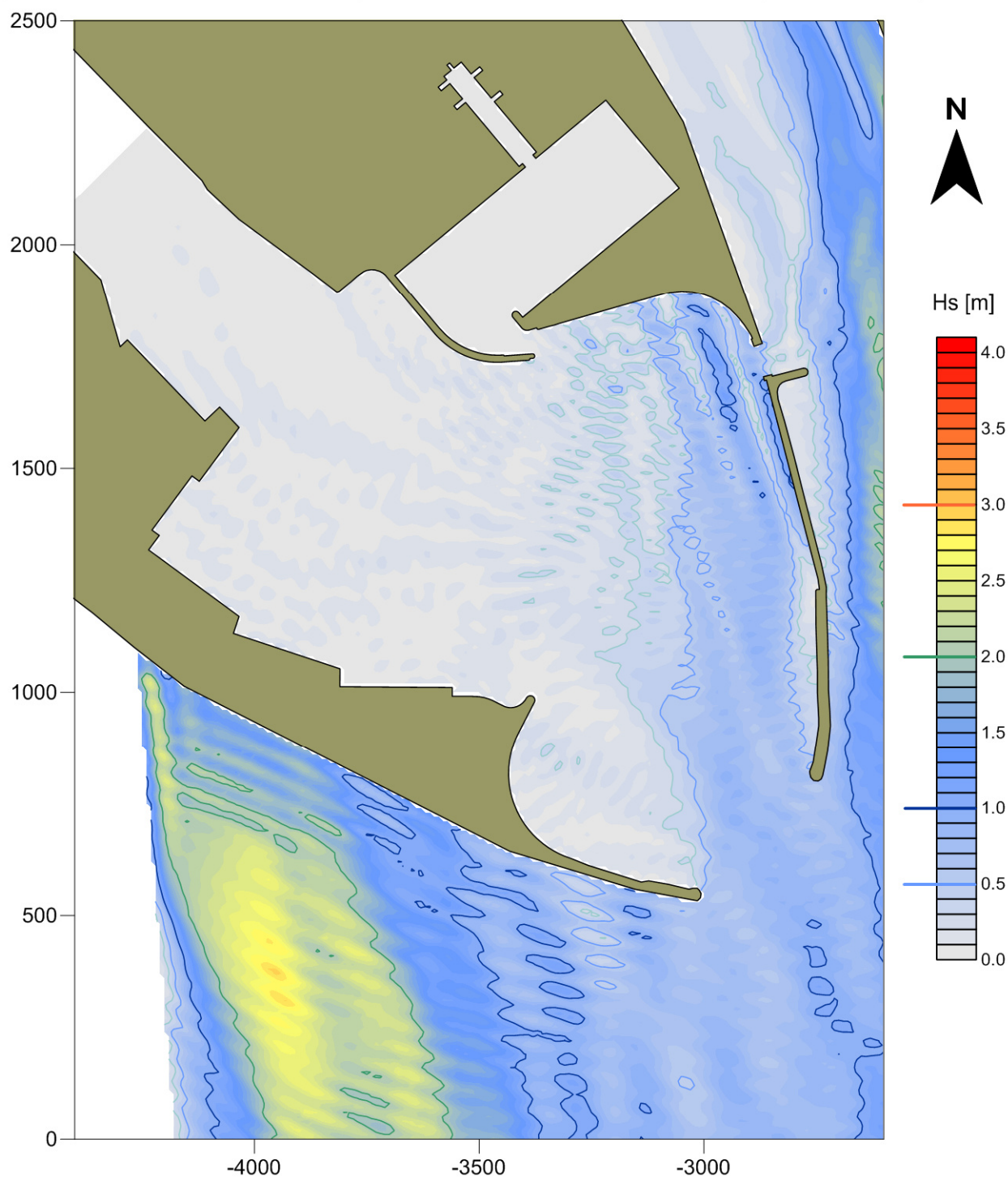


**CGWAVE**modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-ROsimulazione:  
**SOLUZIONE 1**  
**STRALCIO INTERMEDIO**

Altezza	Hs	2.3 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	180



**CGWAVE**modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:

Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

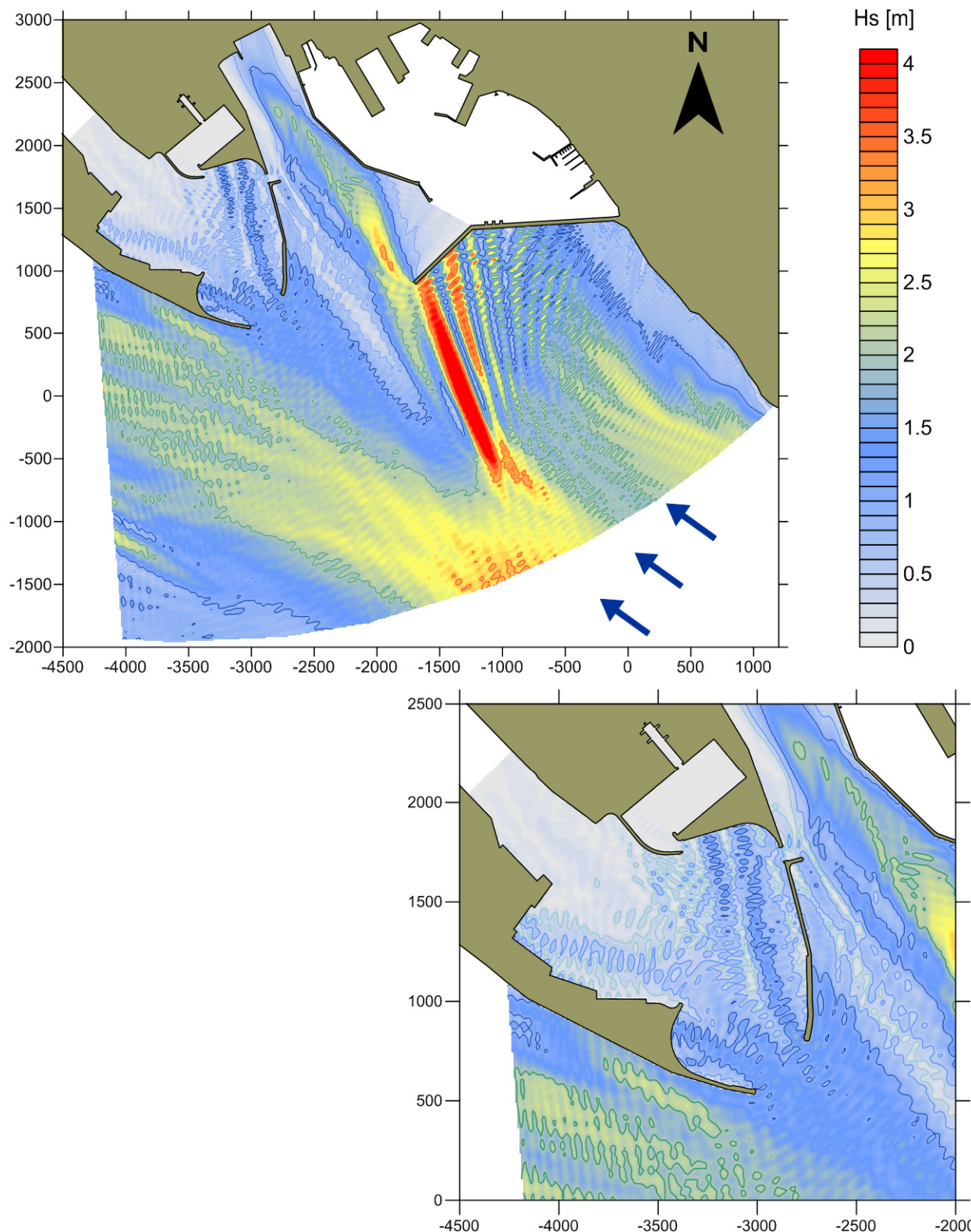
simulazione:

**SOLUZIONE 1**  
**STRALCIO INTERMEDIO**

Altezza Hs 3.4 m

Periodo Tp 9.8 s

Direzione °N 125

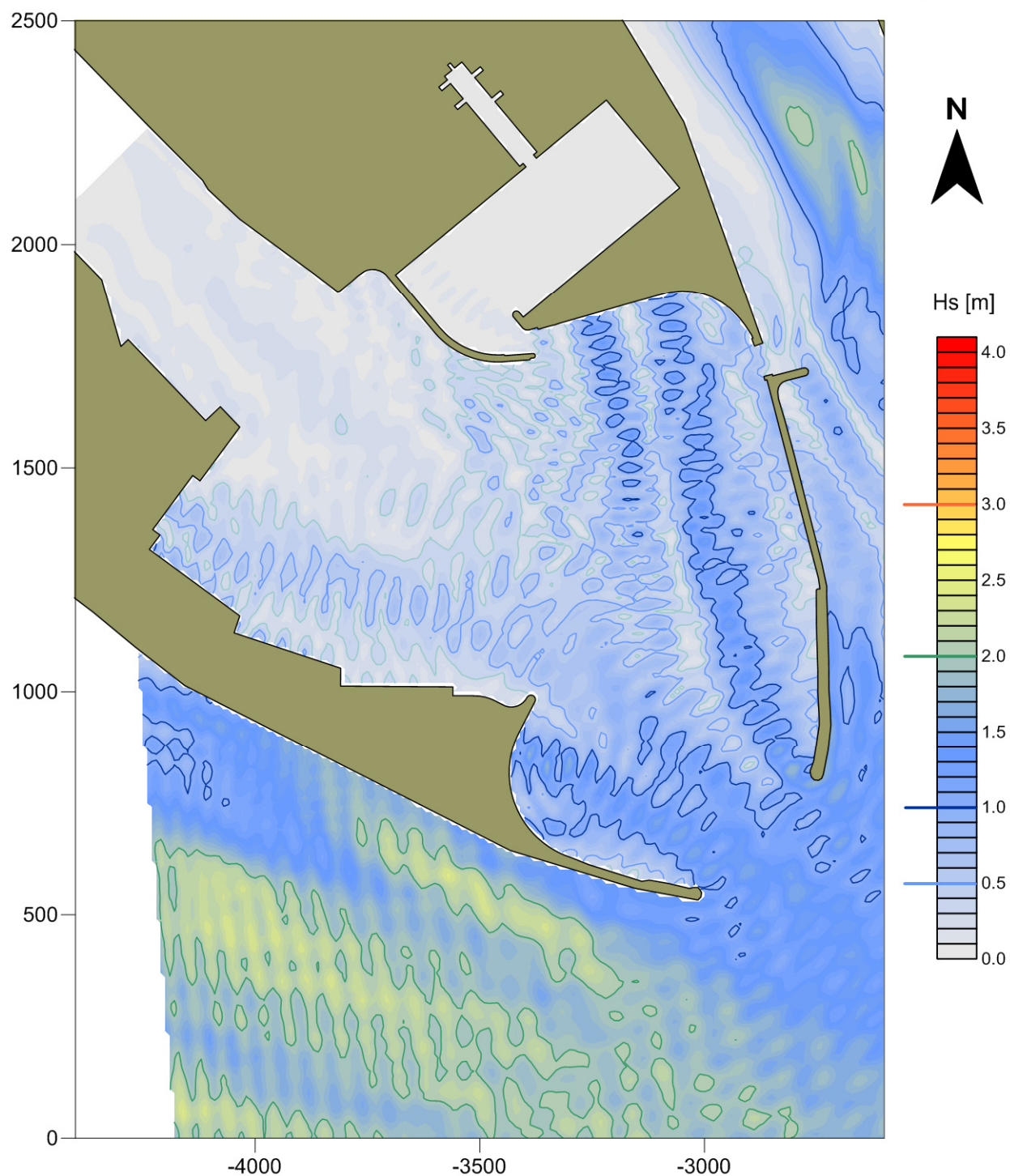


**CGWAVE**modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-ROsimulazione:  
**SOLUZIONE 1**  
**STRALCIO INTERMEDIO**

Altezza	Hs	3.4 m
Periodo	Tp	9.8 s
Direzione	°N	125

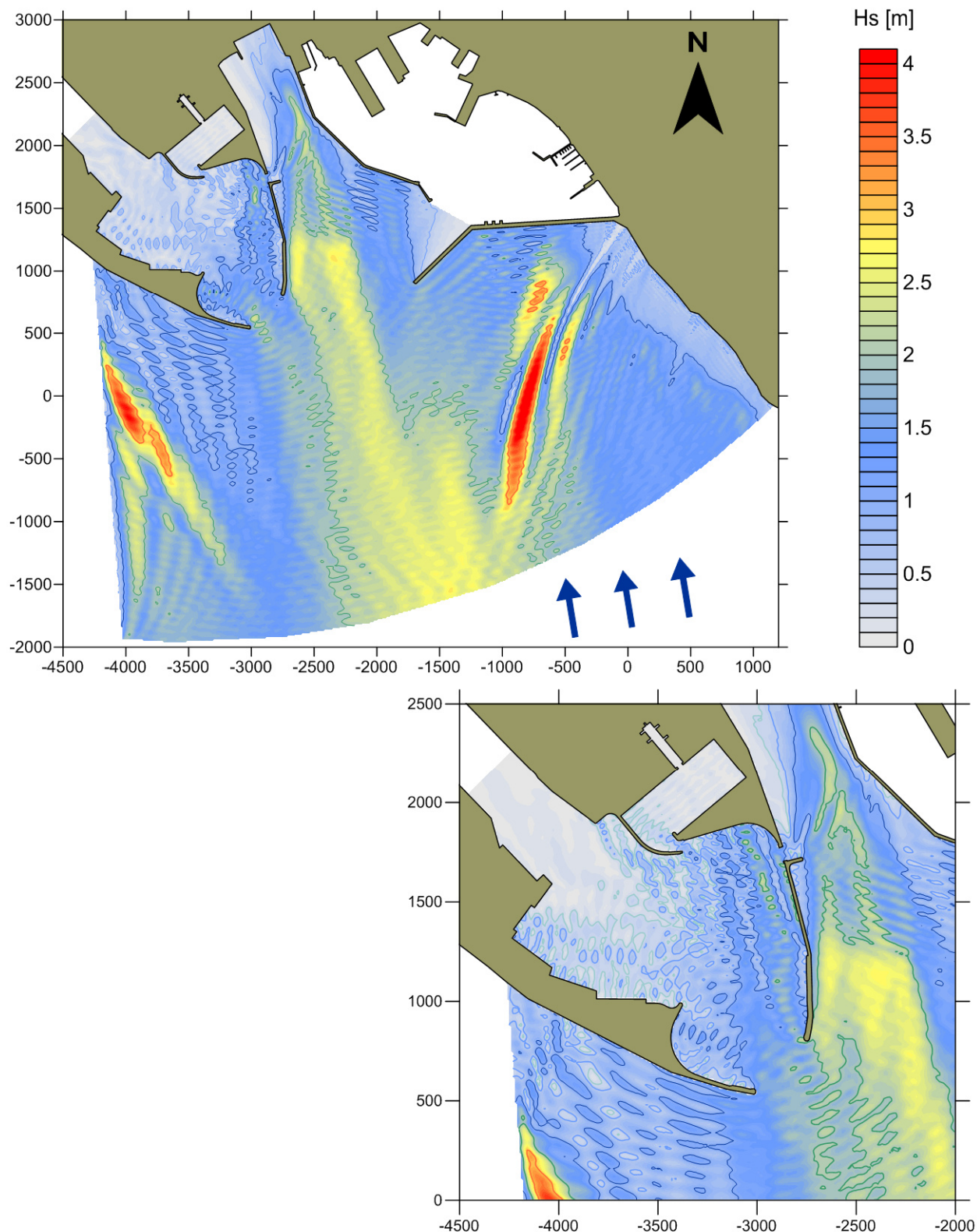


**CGWAVE**modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-ROsimulazione:  
**SOLUZIONE 1**  
**STRALCIO INTERMEDIO**

Altezza	Hs	2.8 m
Periodo	Tp	11.4 s
Direzione	°N	170

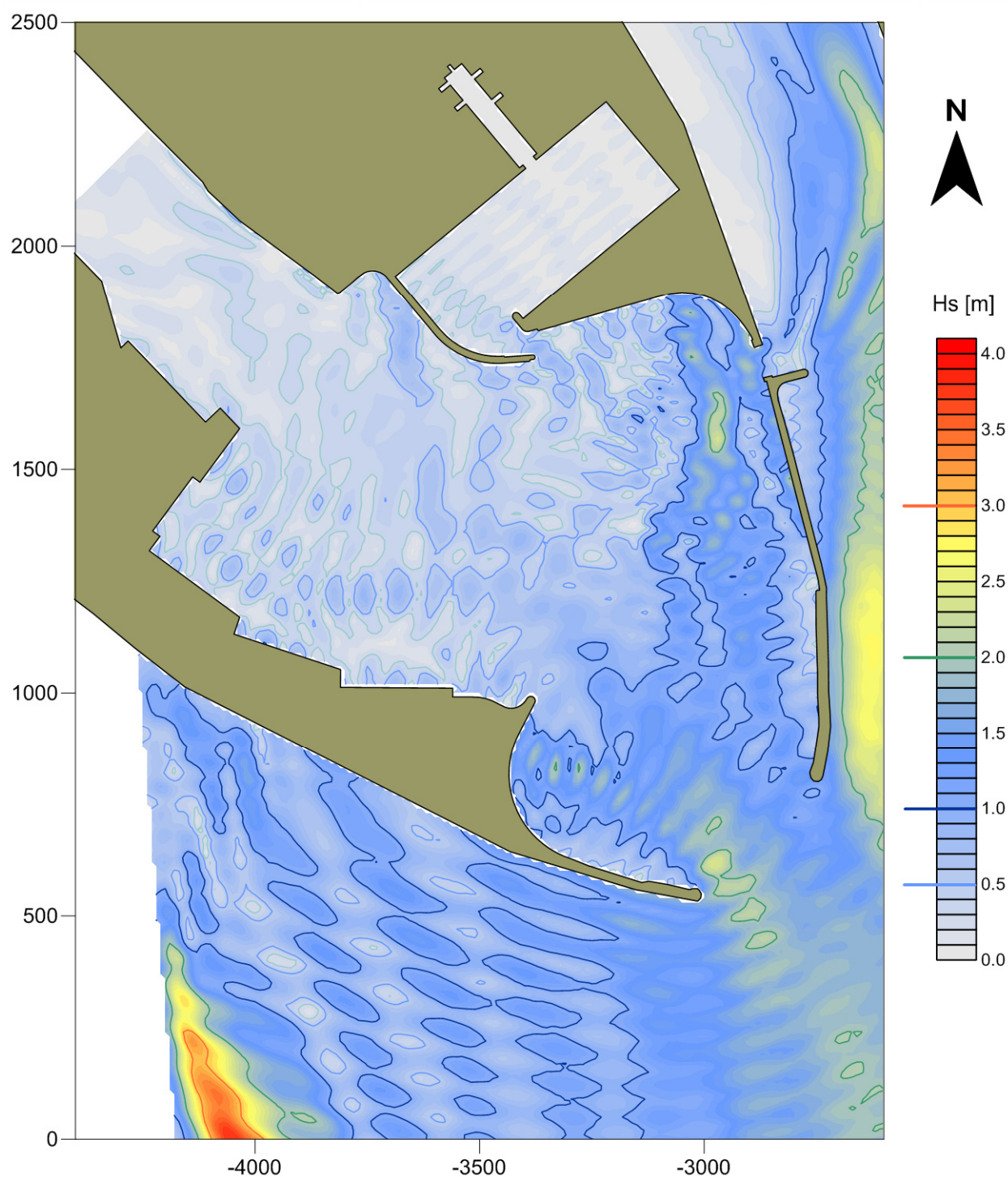


**CGWAVE**modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-ROsimulazione:  
**SOLUZIONE 1**  
**STRALCIO INTERMEDIO**

Altezza	Hs	2.8 m
Periodo	Tp	11.4 s
Direzione	°N	170



## Capitolo 5

# Simulazione soluzione 2

### 5.1 Primo stralcio funzionale

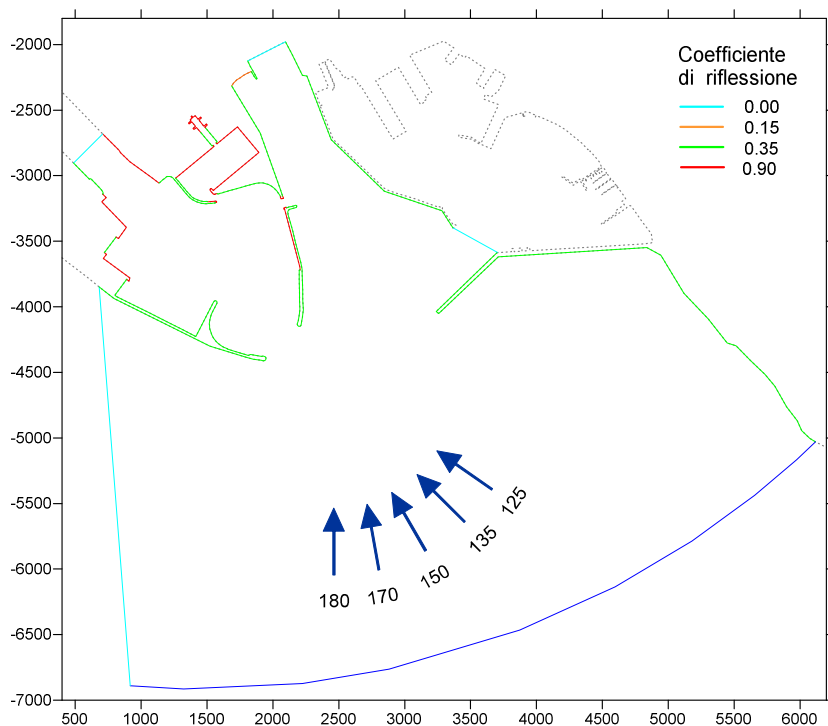


Figura 12. Soluzione 2 – Primo Stralcio Funzionale. Condizioni al contorno.

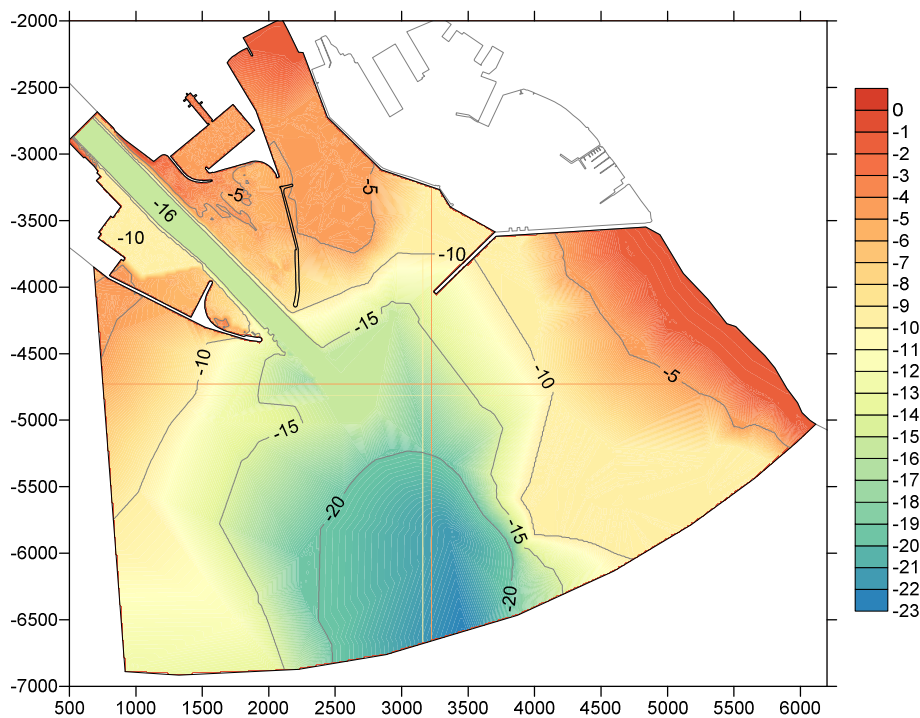


Figura 13. Soluzione 2 – Primo Stralcio Funzionale. Batimetria.

**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 2**  
**1° STRALCIO**

Altezza	Hs	3.7 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	135

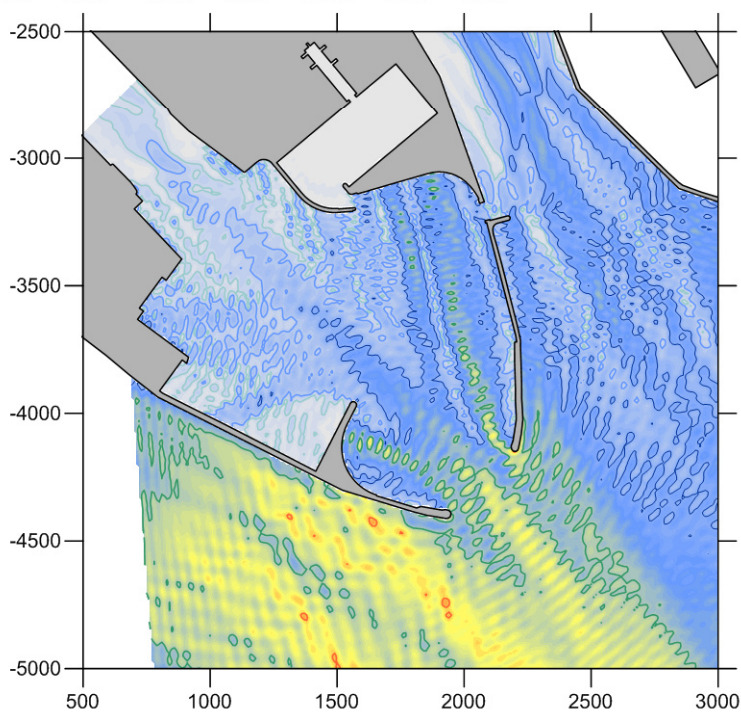
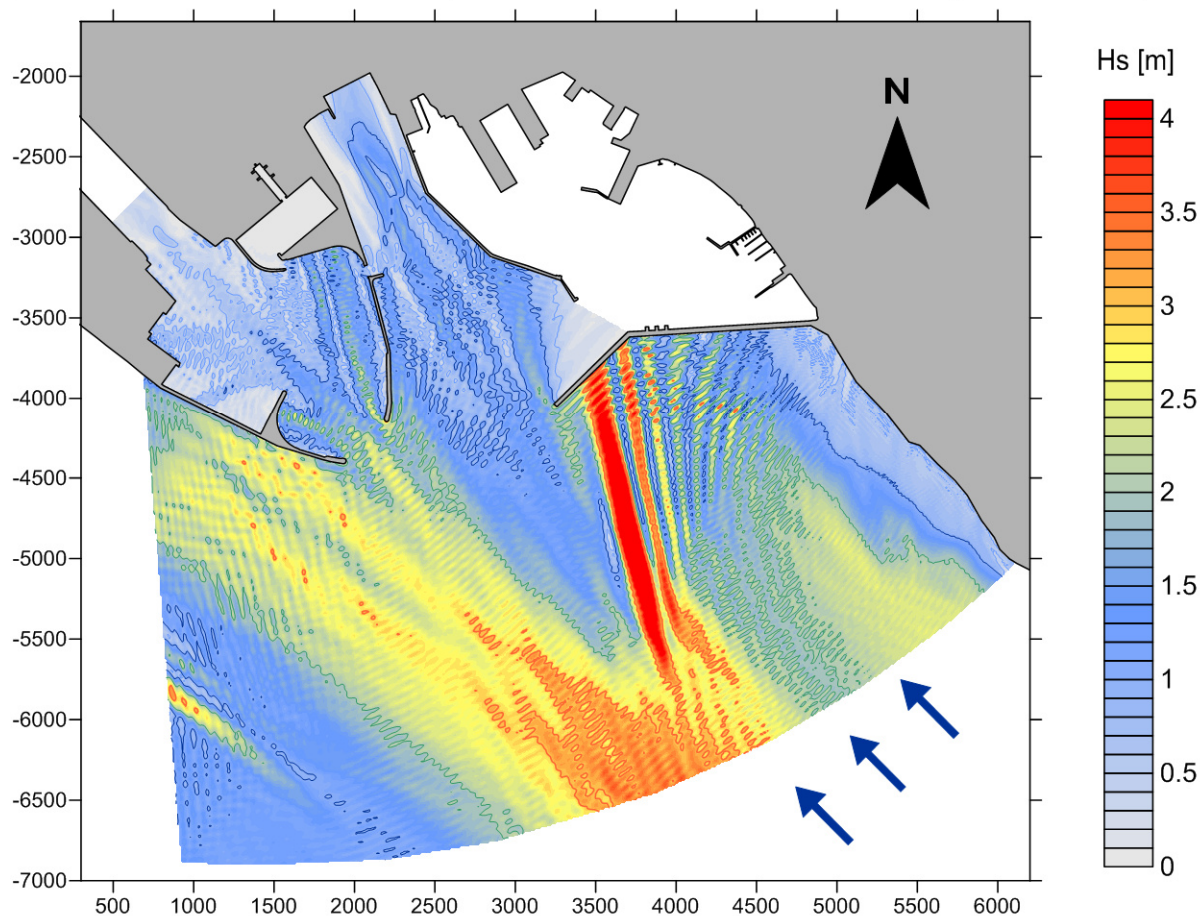
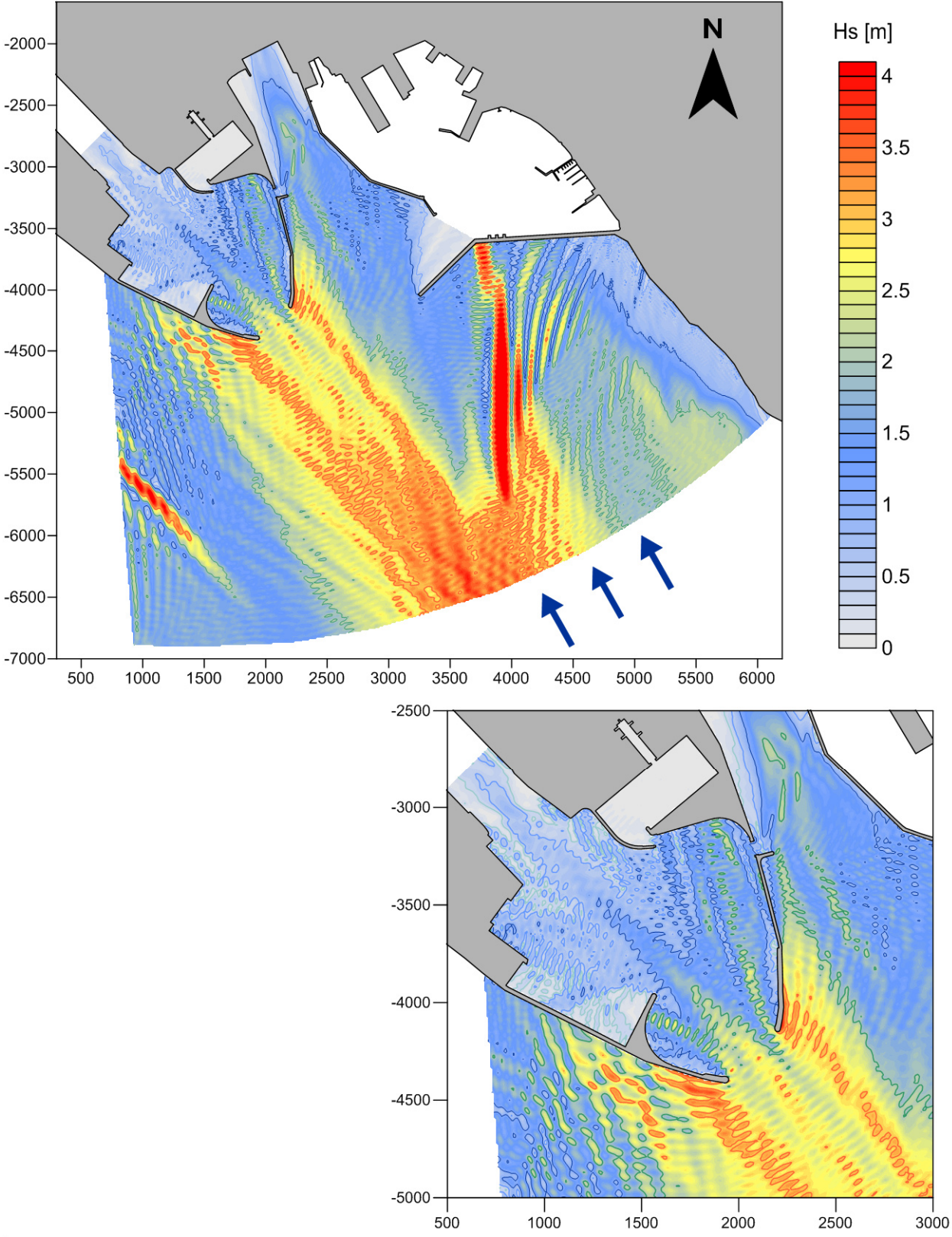


Figure 1 is a map of the study area, showing the location of the offshore wind farm. The map displays the coastline of the Netherlands, the North Sea, and the location of the offshore wind farm. A color scale indicates the water depth (Hs [m]) ranging from 0 to 4 meters. The map includes a north arrow and a scale bar.

<b>CGWAVE</b> modello matematico di agitazione ondosa all'interno dei porti		Caratteristiche dell'onda		
oggetto: Porto Canale di Cagliari Nuovo terminal RO-RO	simulazione: <b>SOLUZIONE 2</b> 1° STRALCIO	Altezza	Hs	3.8 m
		Periodo	Tp	8.5 s
		Direzione	°N	150

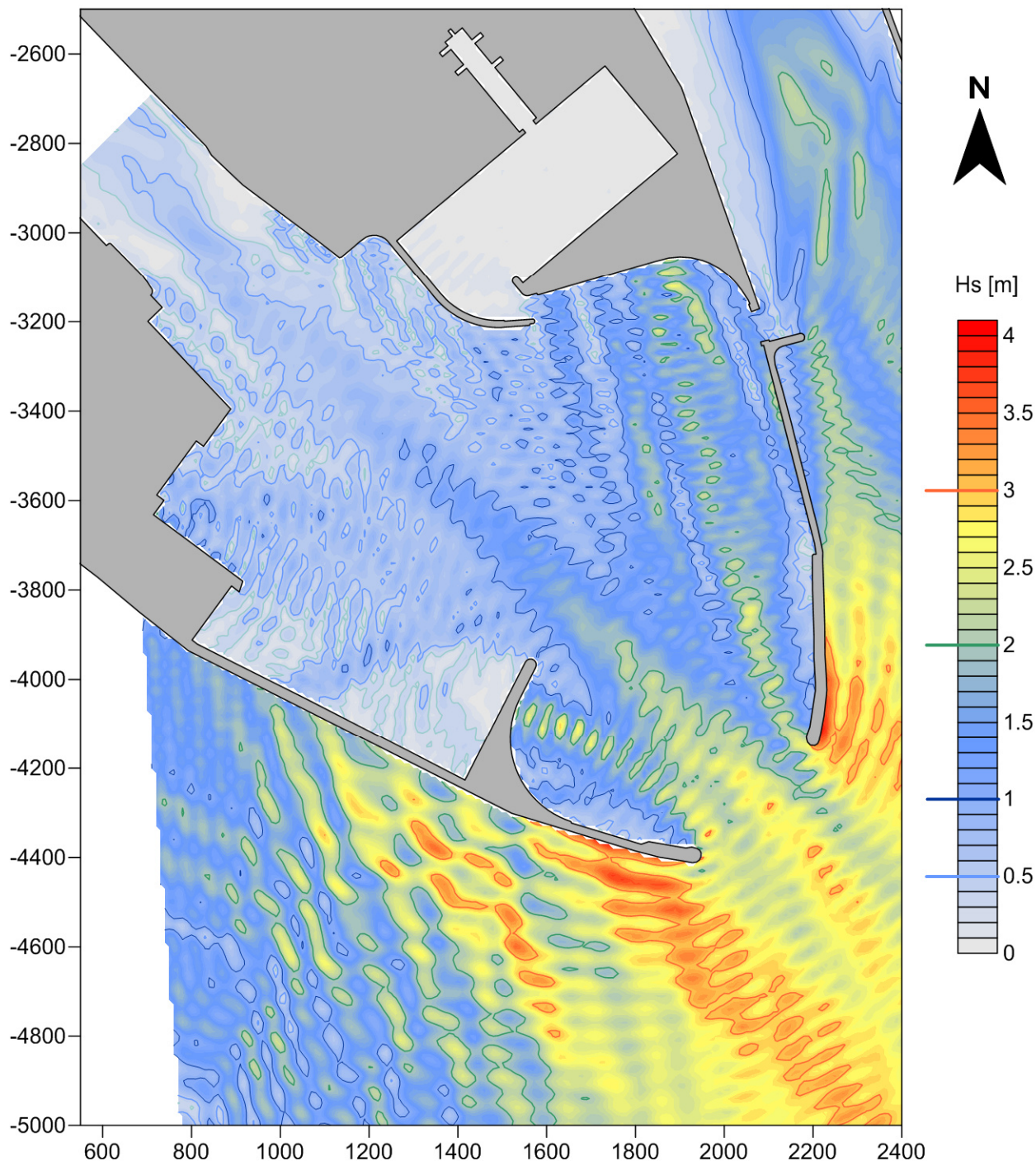


**CGWAVE**modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-ROsimulazione:  
**SOLUZIONE 2**  
**1° STRALCIO**

Altezza	Hs	3.8 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	150



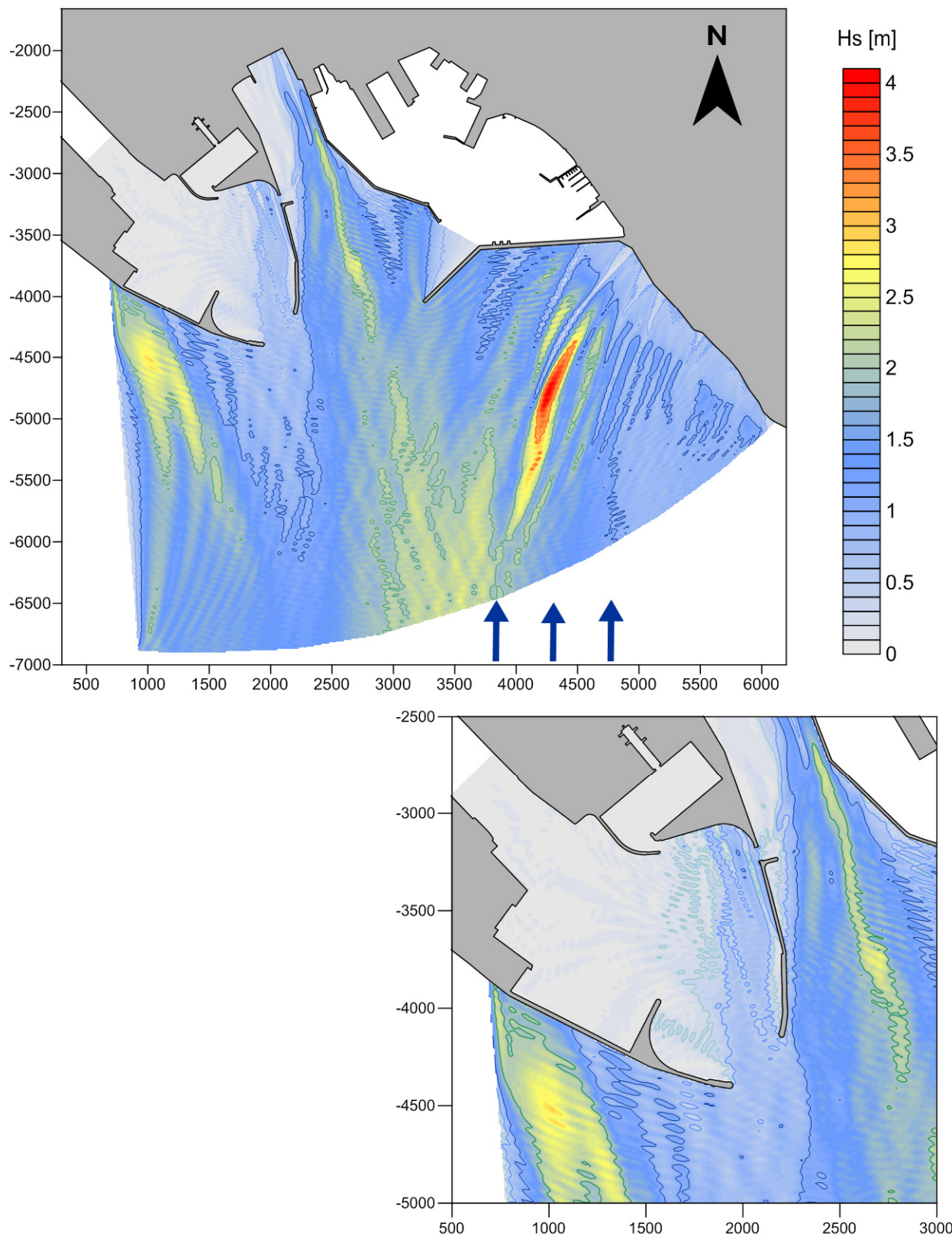
**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

## Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 2**  
**1° STRALCIO**

Altezza	Hs	2.3 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	180

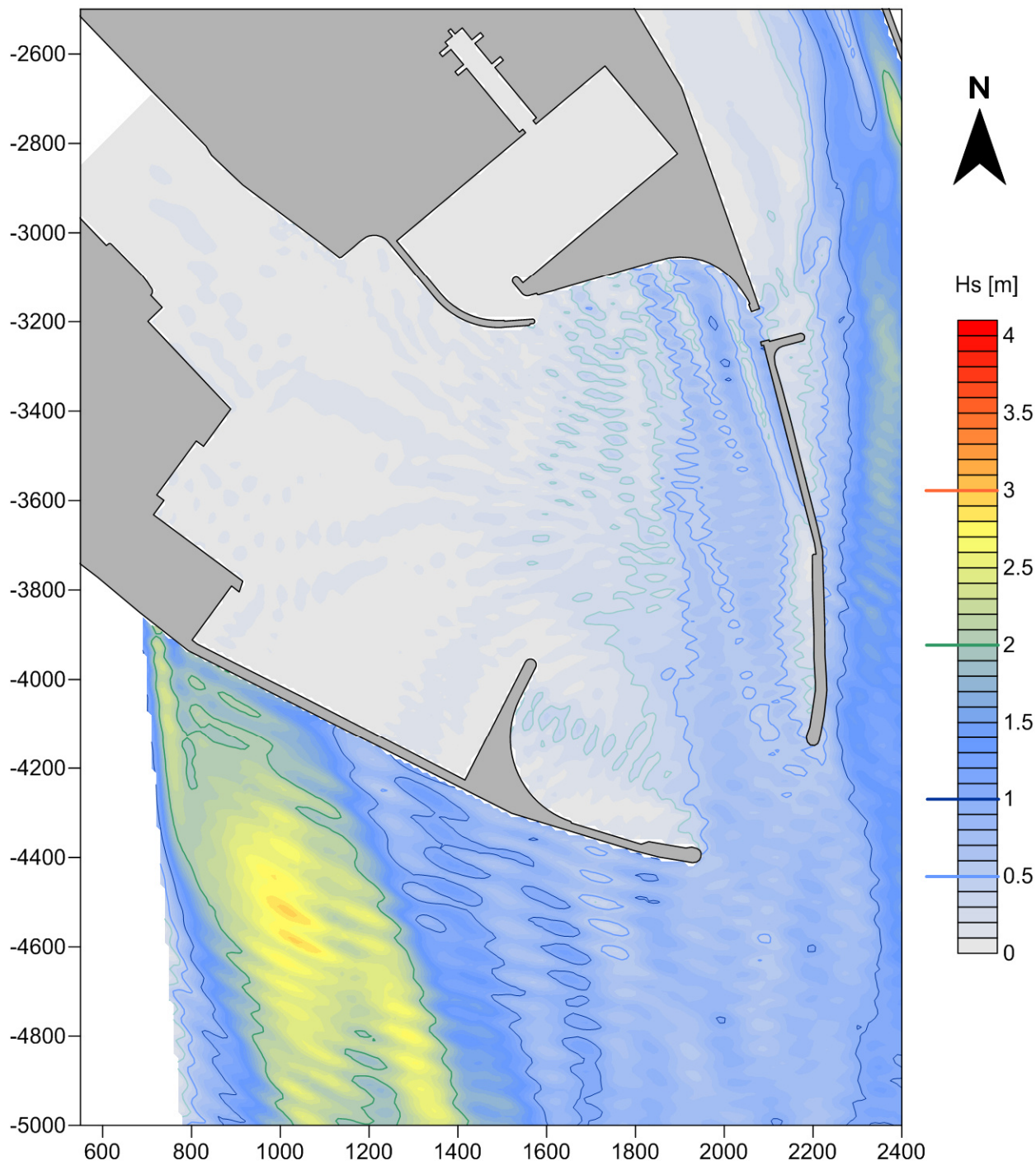


**CGWAVE**modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-ROsimulazione:  
**SOLUZIONE 2**  
**1° STRALCIO**

Altezza	Hs	2.3 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	180



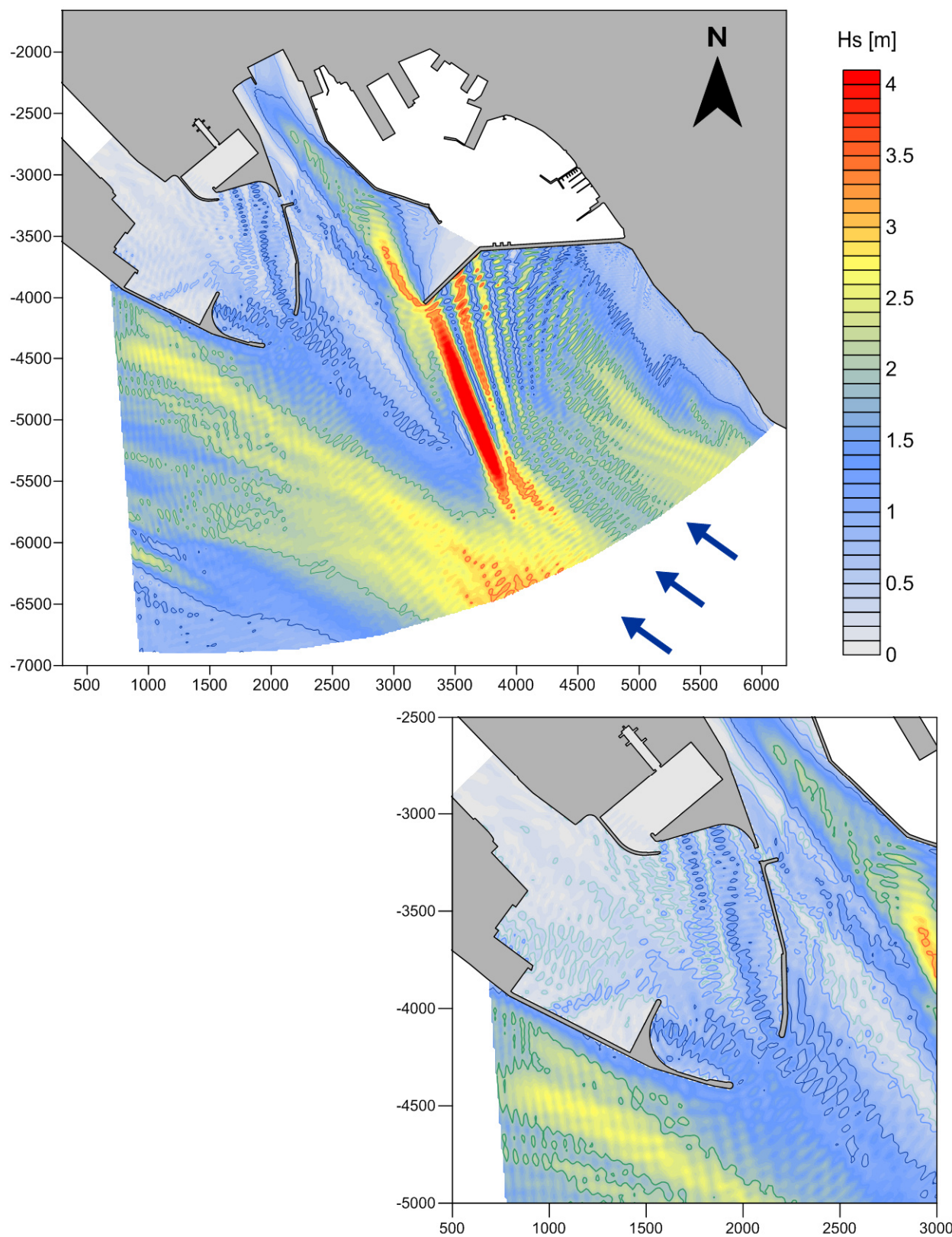
**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 2**  
**I° STRALCIO**

Altezza	Hs	3.4 m
Periodo	Tp	9.8 s
Direzione	°N	125



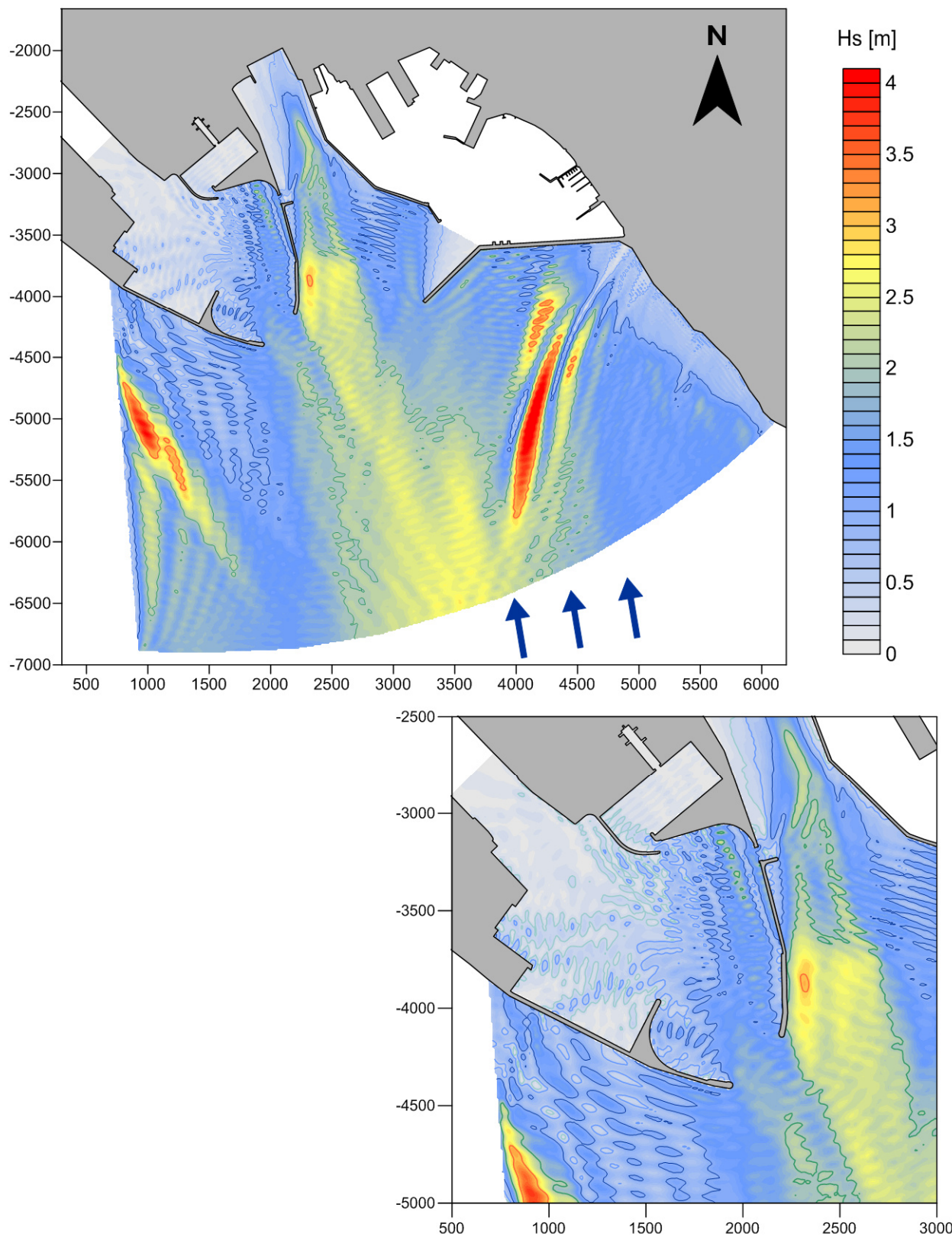
A map of the study area showing bathymetry and wave height contours. The map includes a color scale for wave height (Hs) in meters, ranging from 0 to 4. The map also shows the coastline of the study area, with a north arrow indicating the orientation. The map is labeled with coordinates (X and Y) and a scale bar.

**CGWAVE**modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-ROsimulazione:  
**SOLUZIONE 2**  
**1° STRALCIO**

Altezza	Hs	2.8 m
Periodo	Tp	11.4 s
Direzione	°N	170

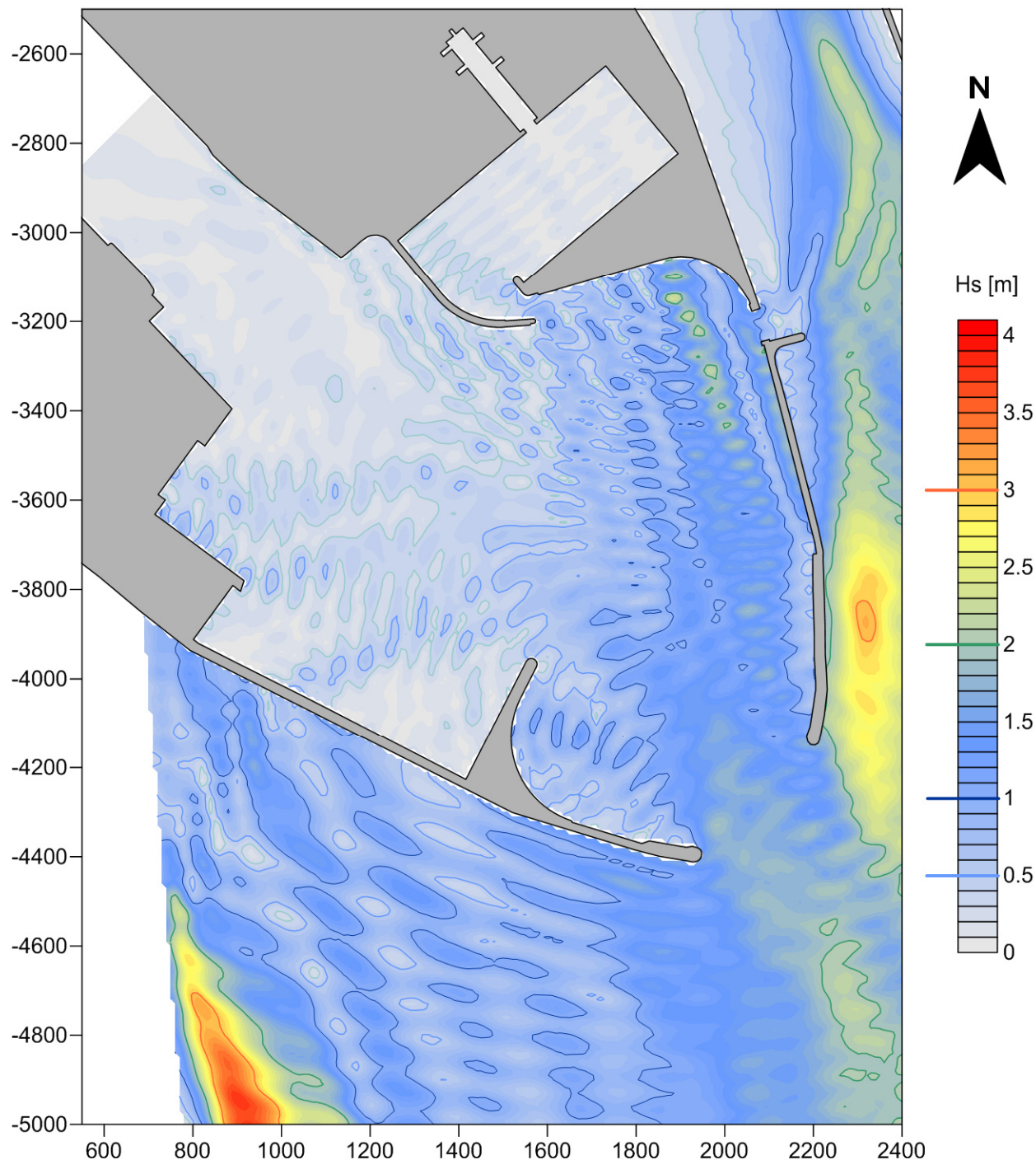


**CGWAVE**modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-ROsimulazione:  
**SOLUZIONE 2**  
**1° STRALCIO**

Altezza	Hs	2.8 m
Periodo	Tp	11.4 s
Direzione	°N	170



## 5.2 Secondo stralcio funzionale

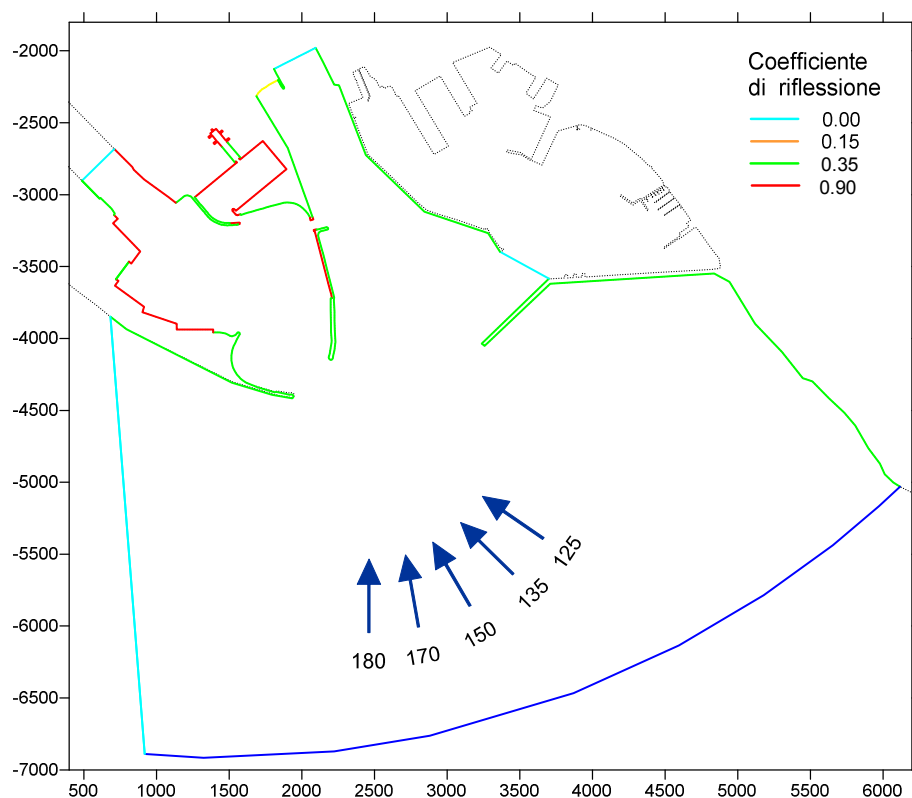


Figura 14. Soluzione 2 – Secondo Stralcio Funzionale. Condizioni al contorno.

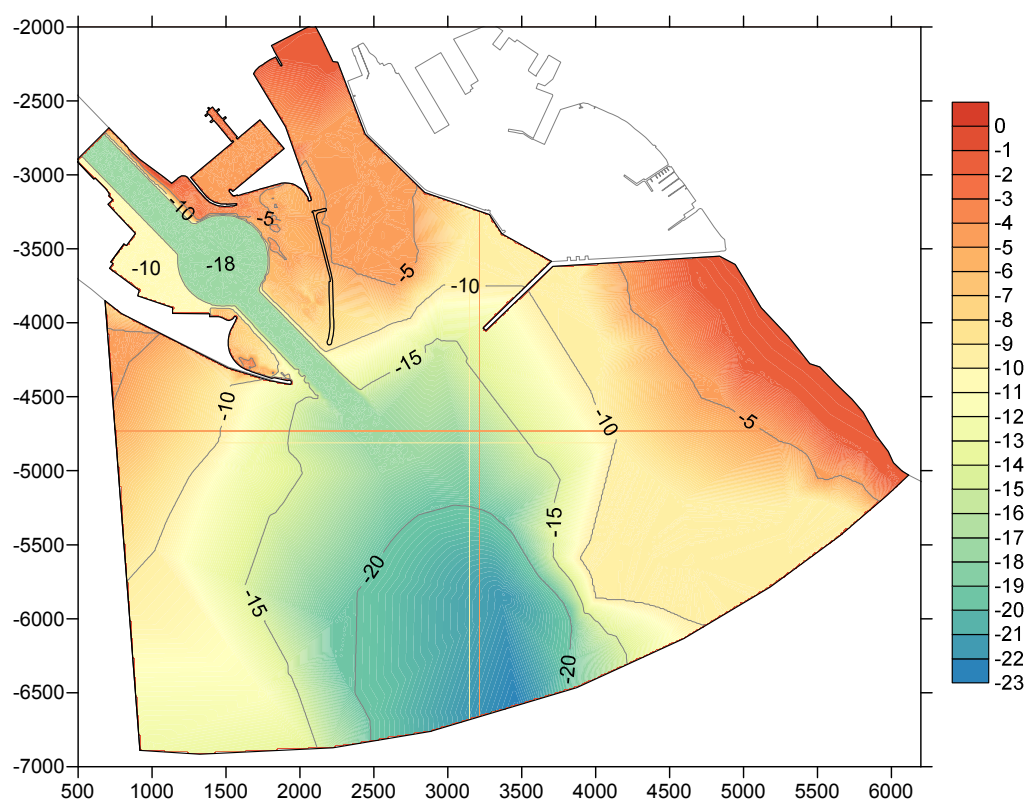


Figura 15. Soluzione 2 – Secondo Stralcio Funzionale. Batimetria.

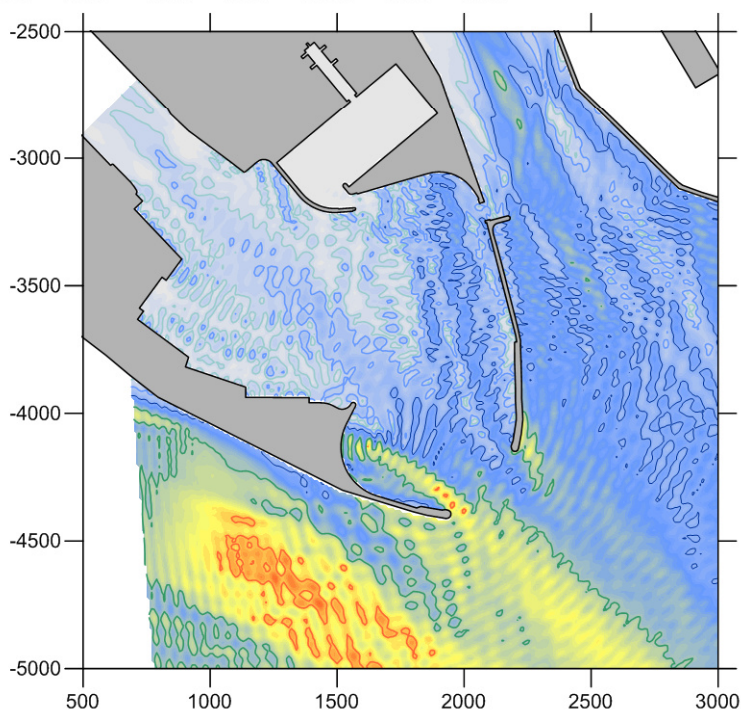
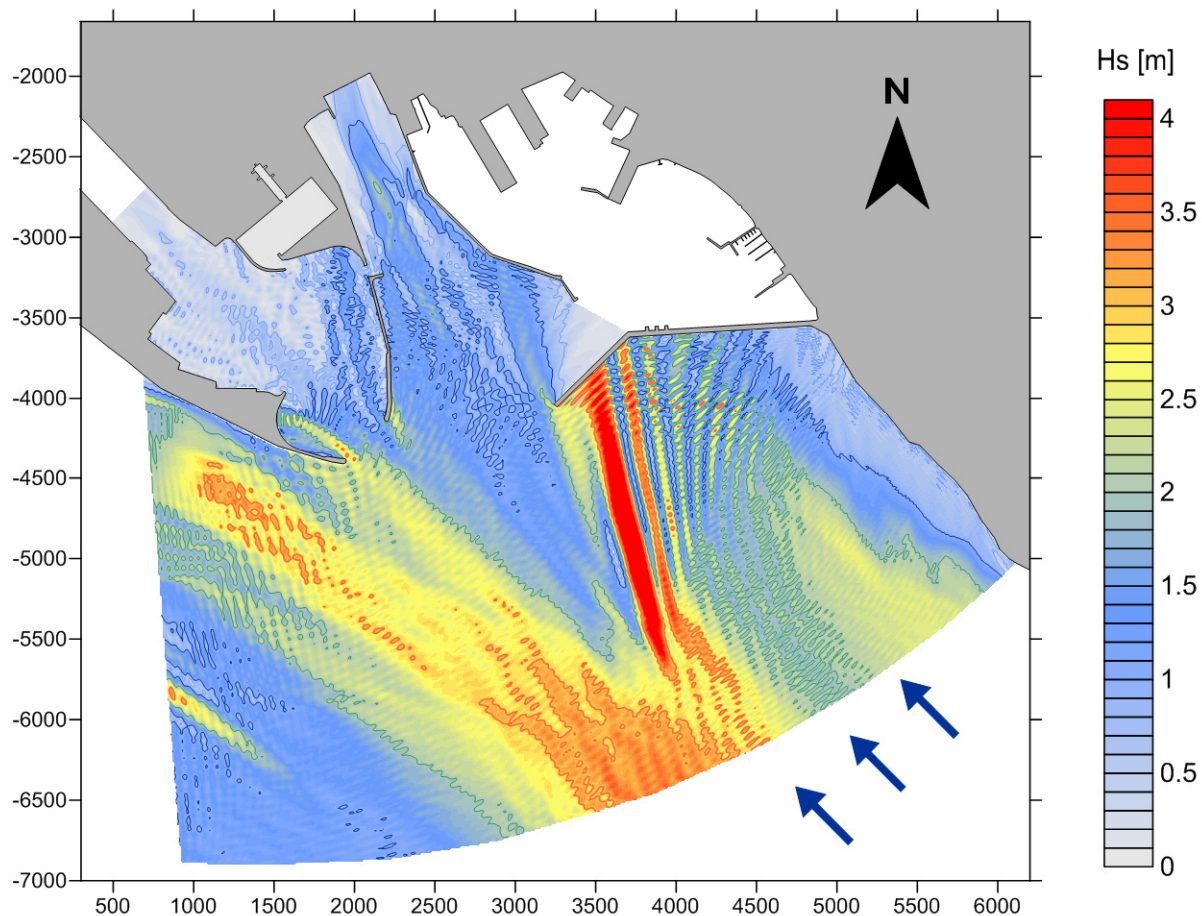
**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 2**  
**II° STRALCIO**

Altezza	Hs	3.7 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	135



**CGWAVE**modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

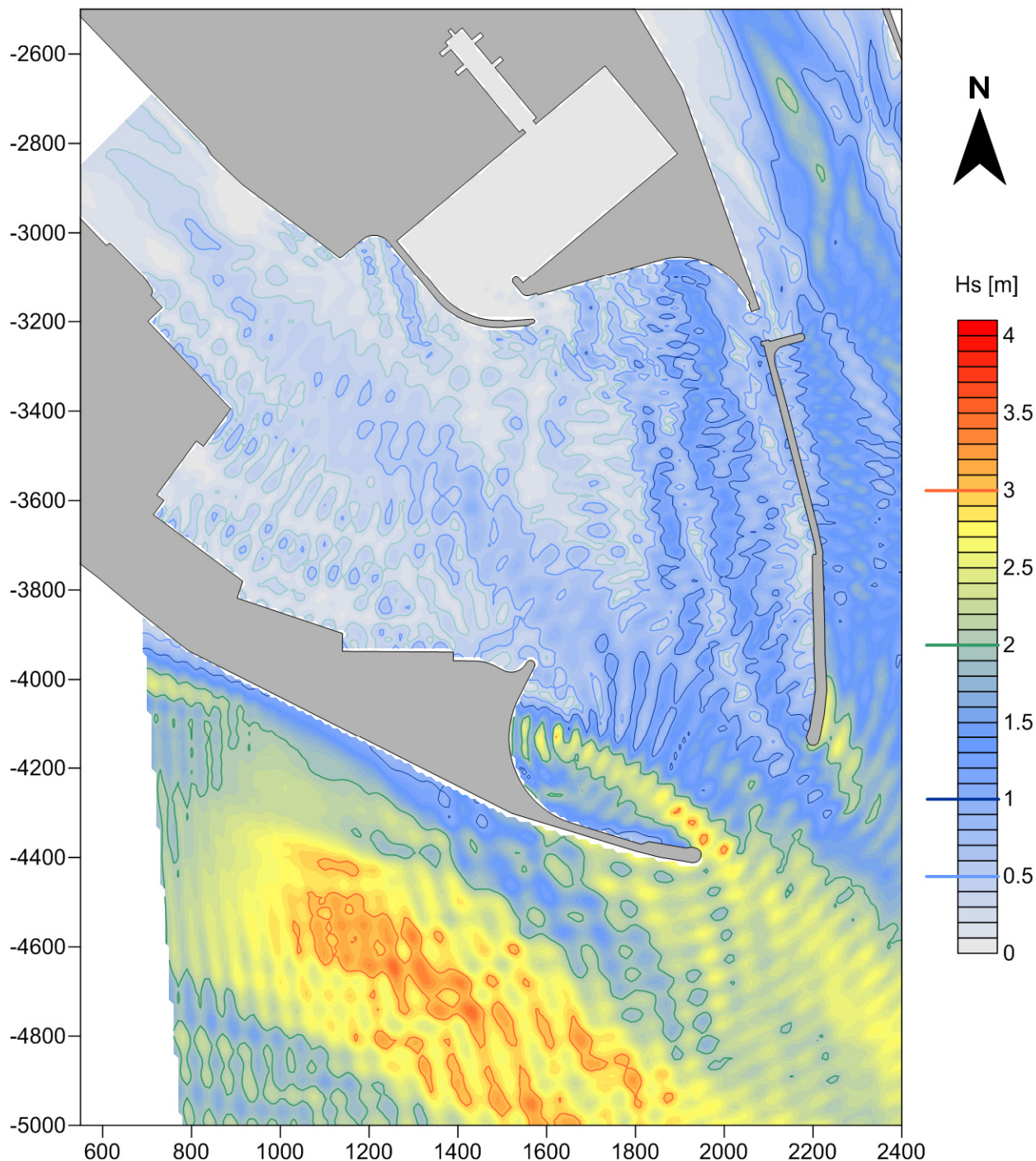
Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-ROsimulazione:  
**SOLUZIONE 2**  
**II° STRALCIO**

Altezza Hs 3.7 m

Periodo Tp 8.5 s

Direzione °N 135



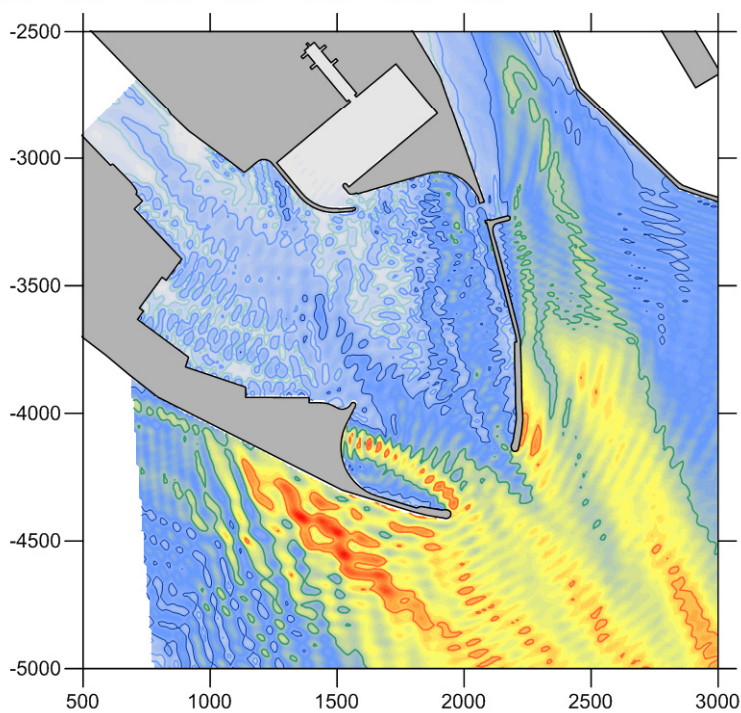
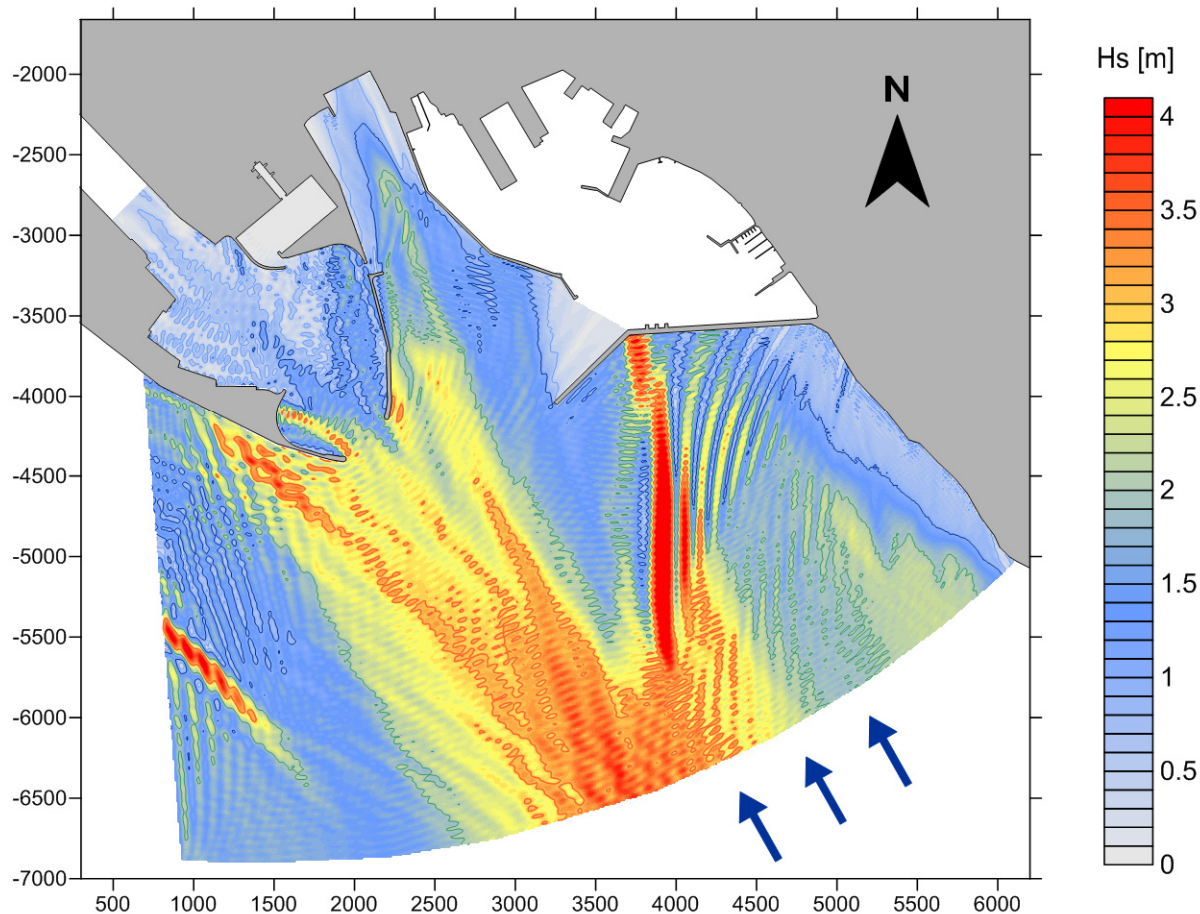
**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

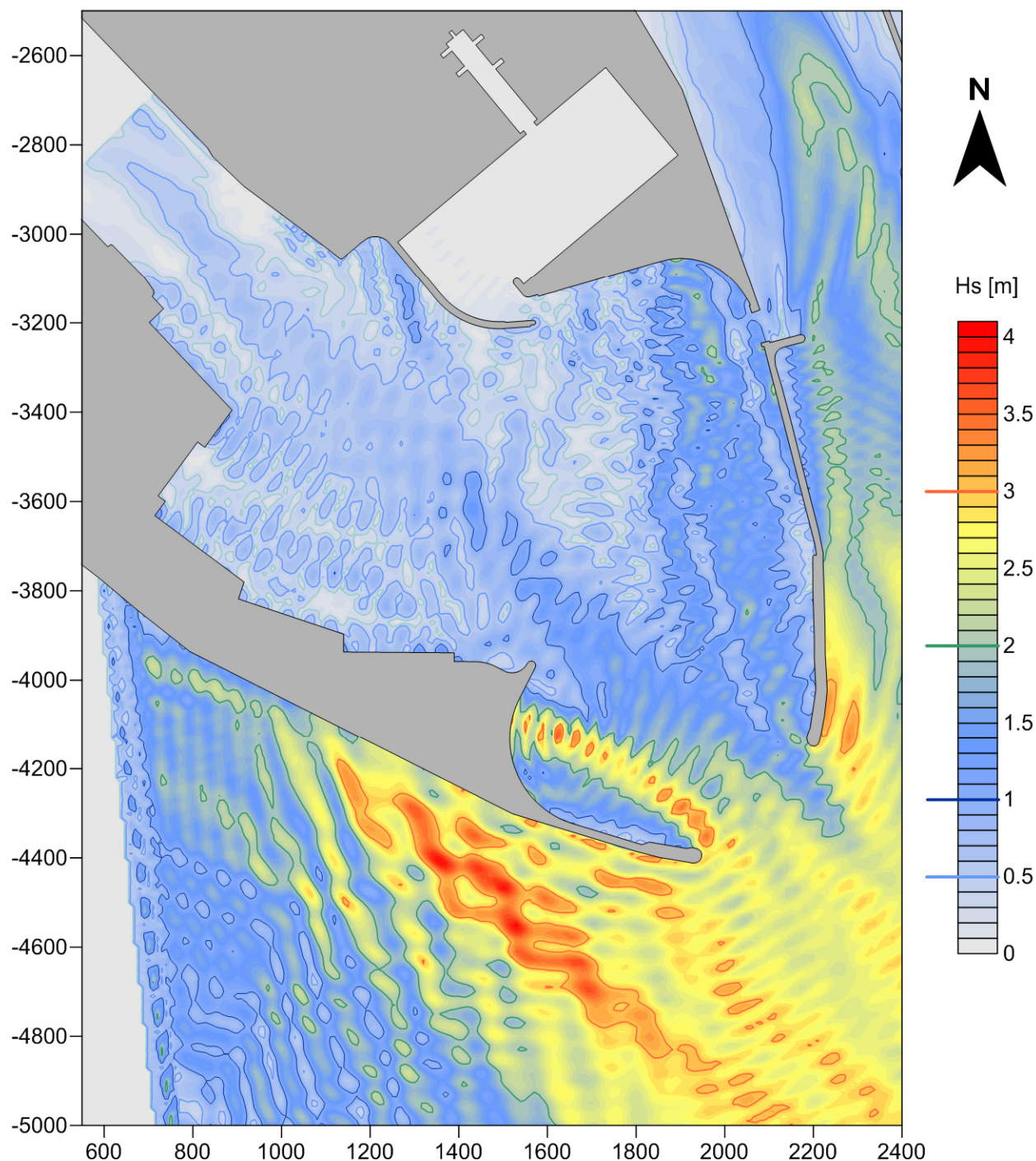
oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 2**  
**II° STRALCIO**

Altezza	Hs	3.8 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	150



<b>CGWAVE</b> modello matematico di agitazione ondosa all'interno dei porti		Caratteristiche dell'onda		
oggetto: Porto Canale di Cagliari Nuovo terminal RO-RO	simulazione: <b>SOLUZIONE 2</b> <b>II° STRALCIO</b>	Altezza	Hs	3.8 m
		Periodo	Tp	8.5 s
		Direzione	°N	150



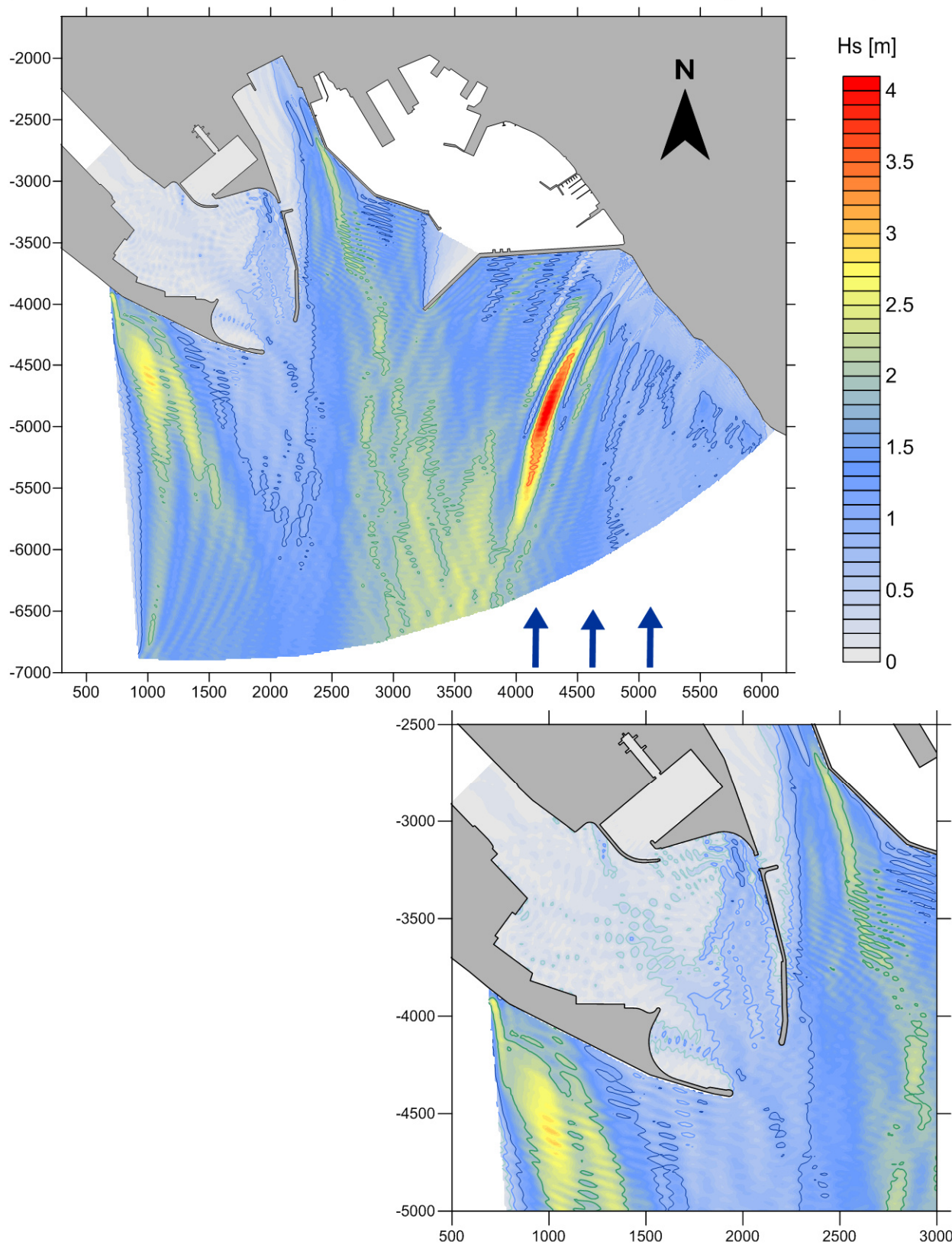
**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 2**  
**II° STRALCIO**

Altezza	Hs	2.3 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	180





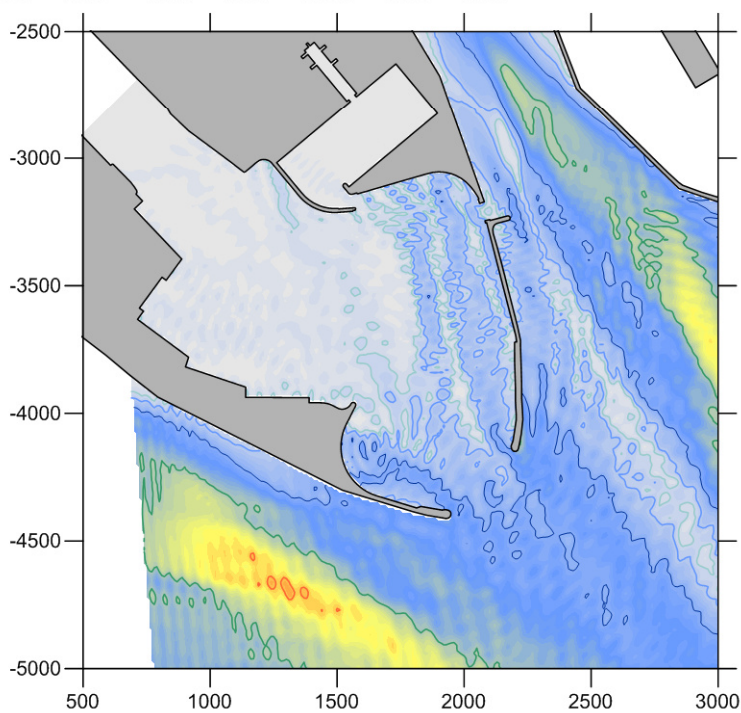
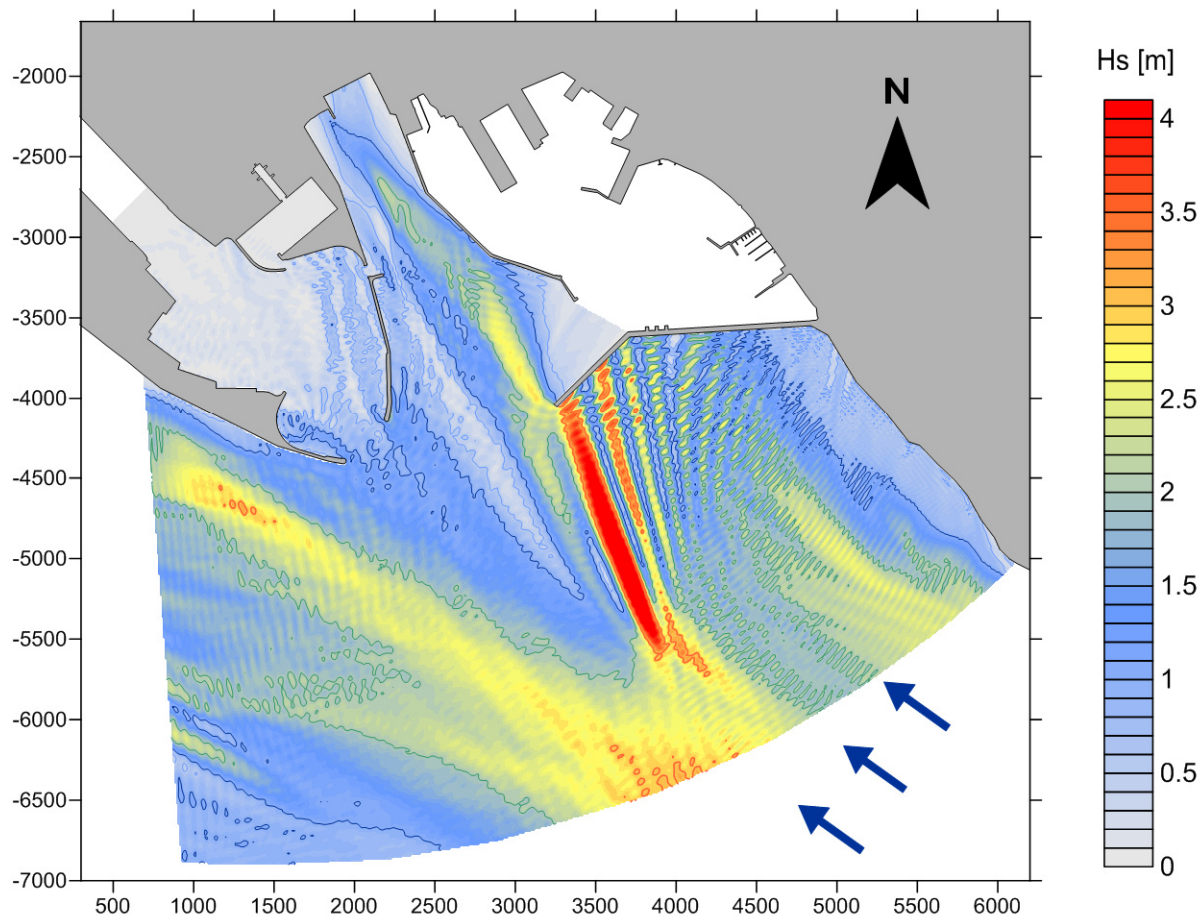
**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 2**  
**II° STRALCIO**

Altezza	Hs	3.4 m
Periodo	Tp	9.8 s
Direzione	°N	125



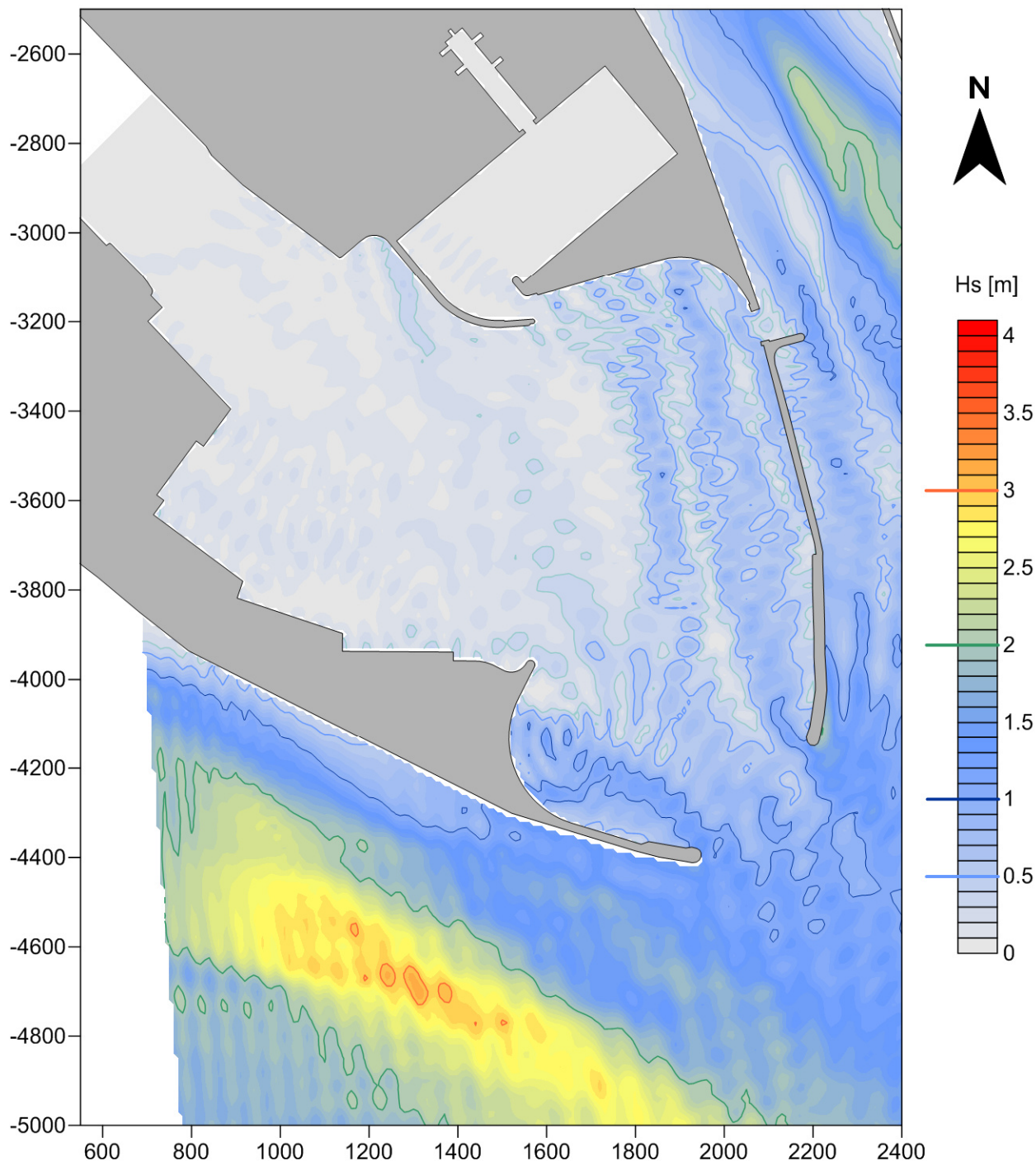
**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

## Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 2**  
**II° STRALCIO**

Altezza	Hs	3.4 m
Periodo	Tp	9.8 s
Direzione	°N	125



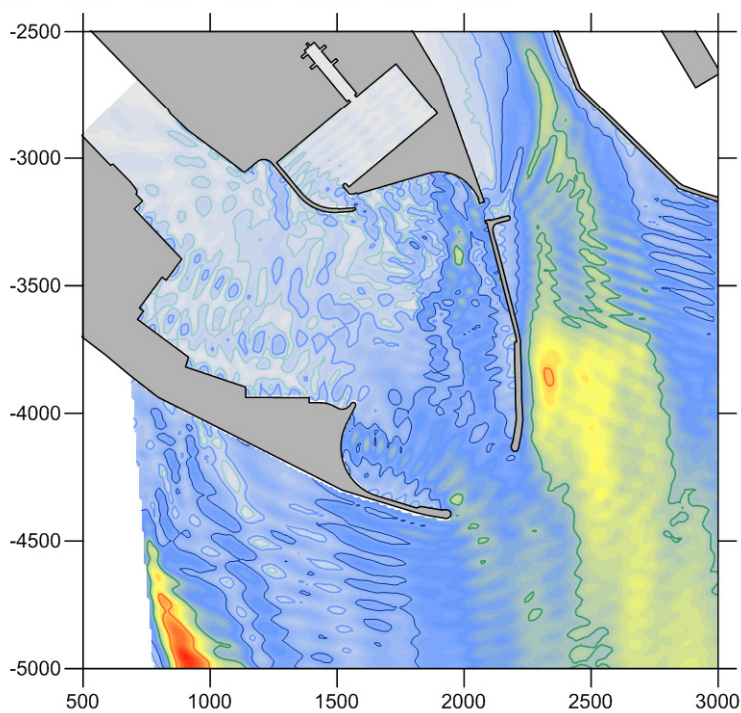
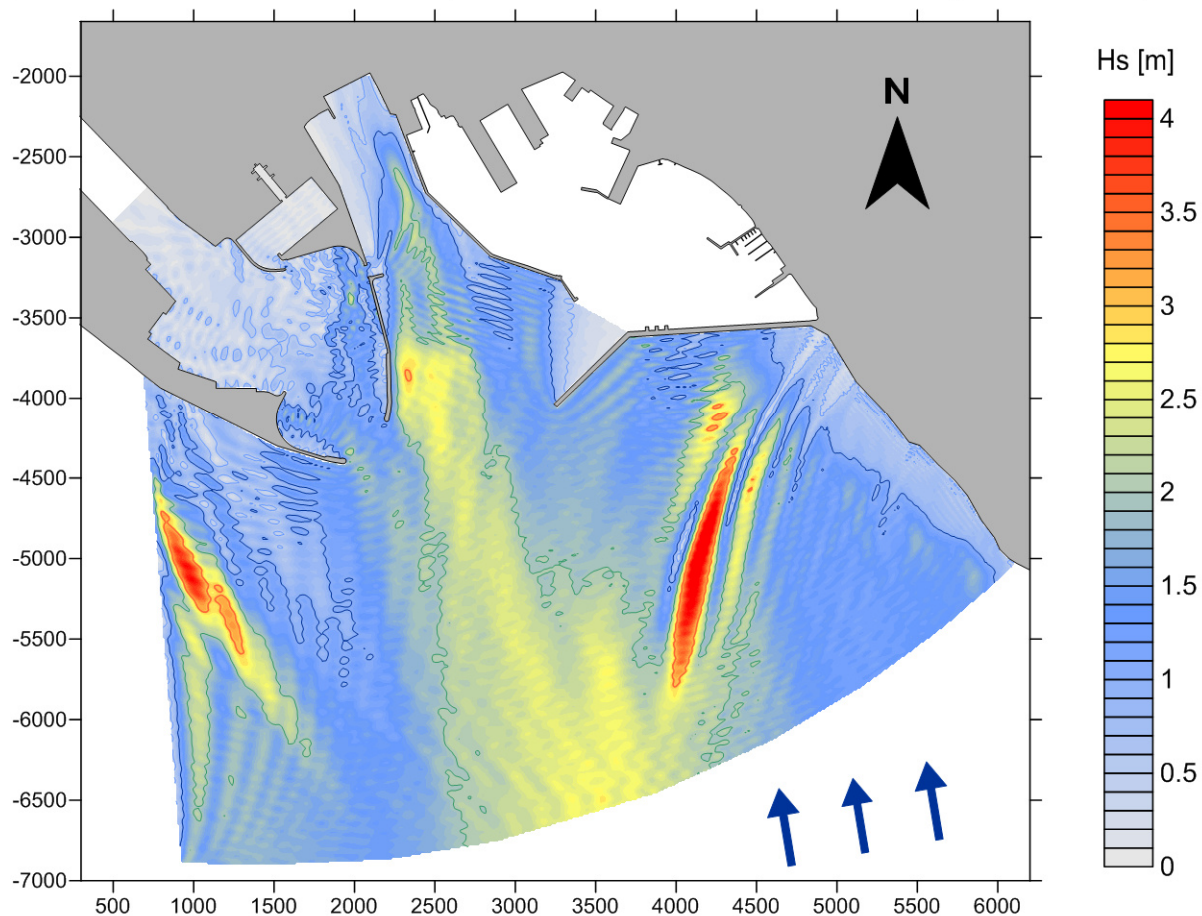
**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 2**  
**II° STRALCIO**

Altezza	Hs	2.8 m
Periodo	Tp	11.4 s
Direzione	°N	170

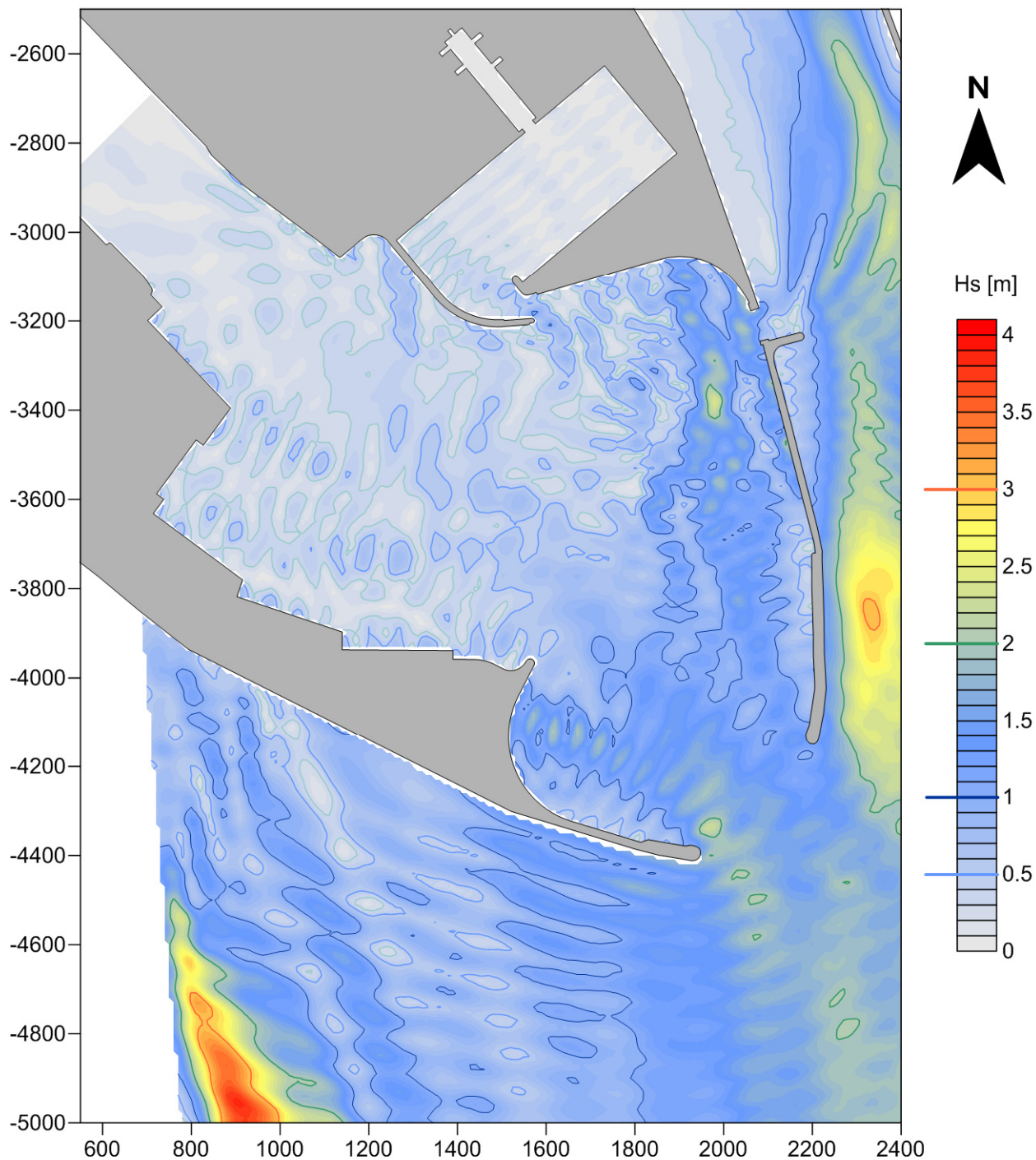


**CGWAVE**modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-ROsimulazione:  
**SOLUZIONE 2**  
**II° STRALCIO**

Altezza	Hs	2.8 m
Periodo	Tp	11.4 s
Direzione	°N	170



### 5.3 Alternativa Primo Stralcio Funzionale (assenza di diga)

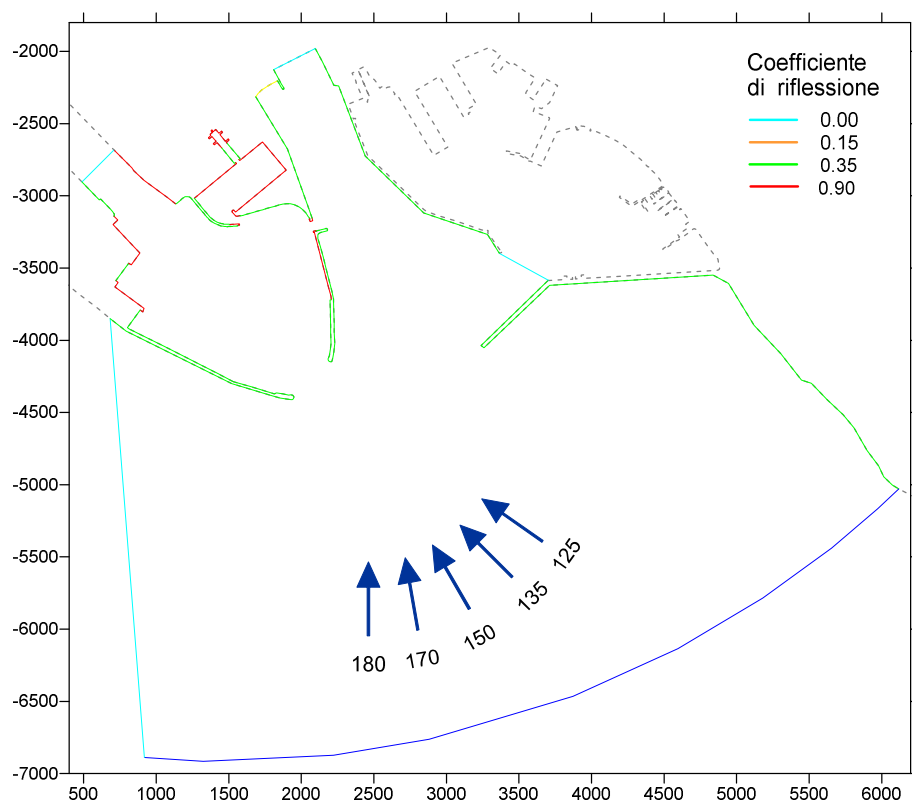


Figura 16 Soluzione 2 – Alternativa Primo Stralcio Funzionale (assenza di diga). Condizioni al contorno.

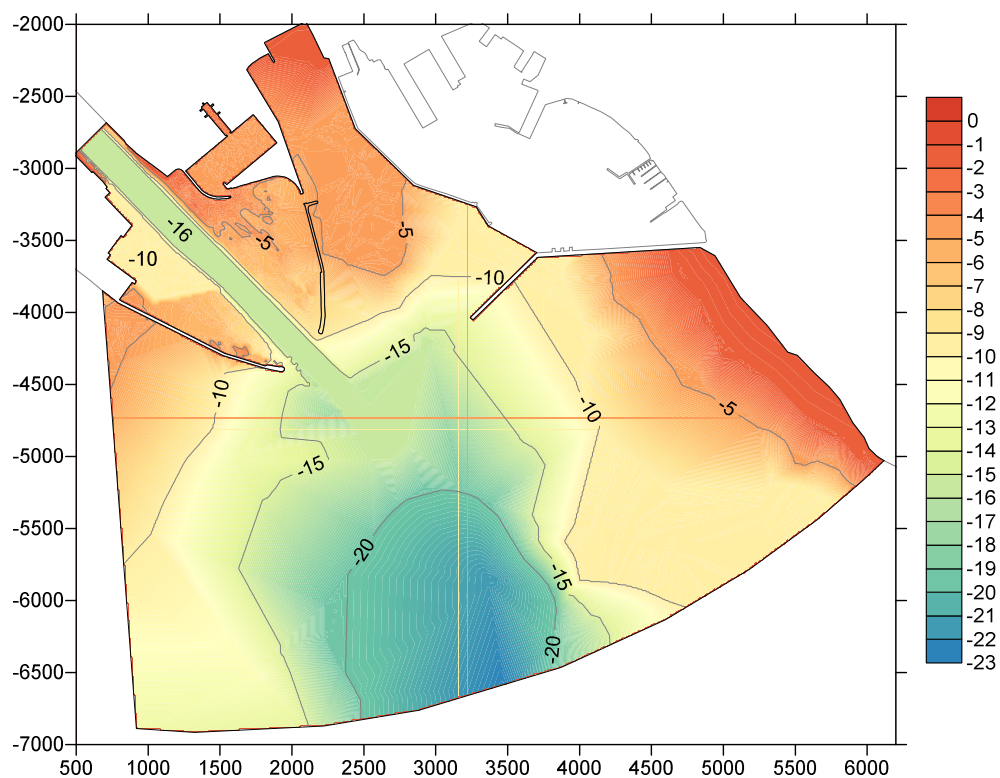


Figura 17 Soluzione 2.- Alternativa Primo Stralcio Funzionale (assenza di diga). Batimetria.

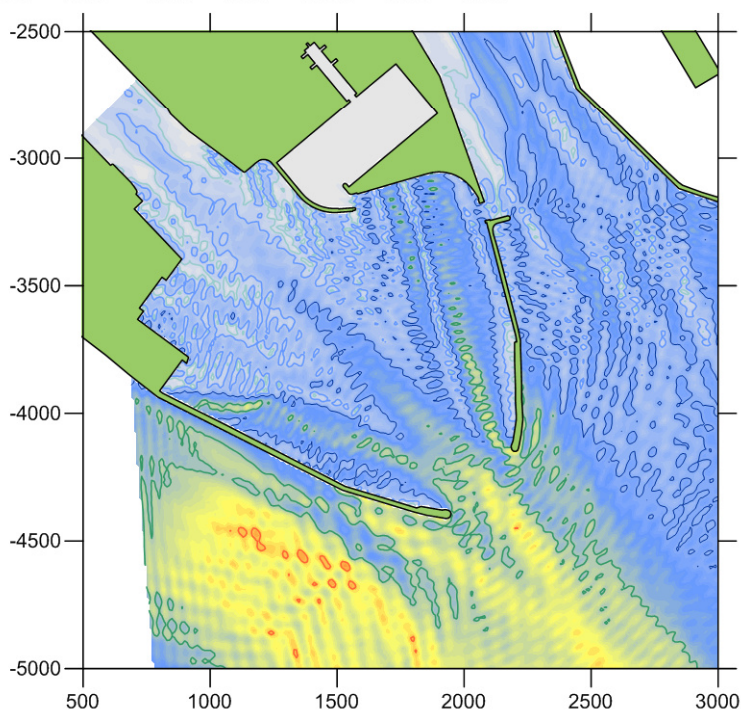
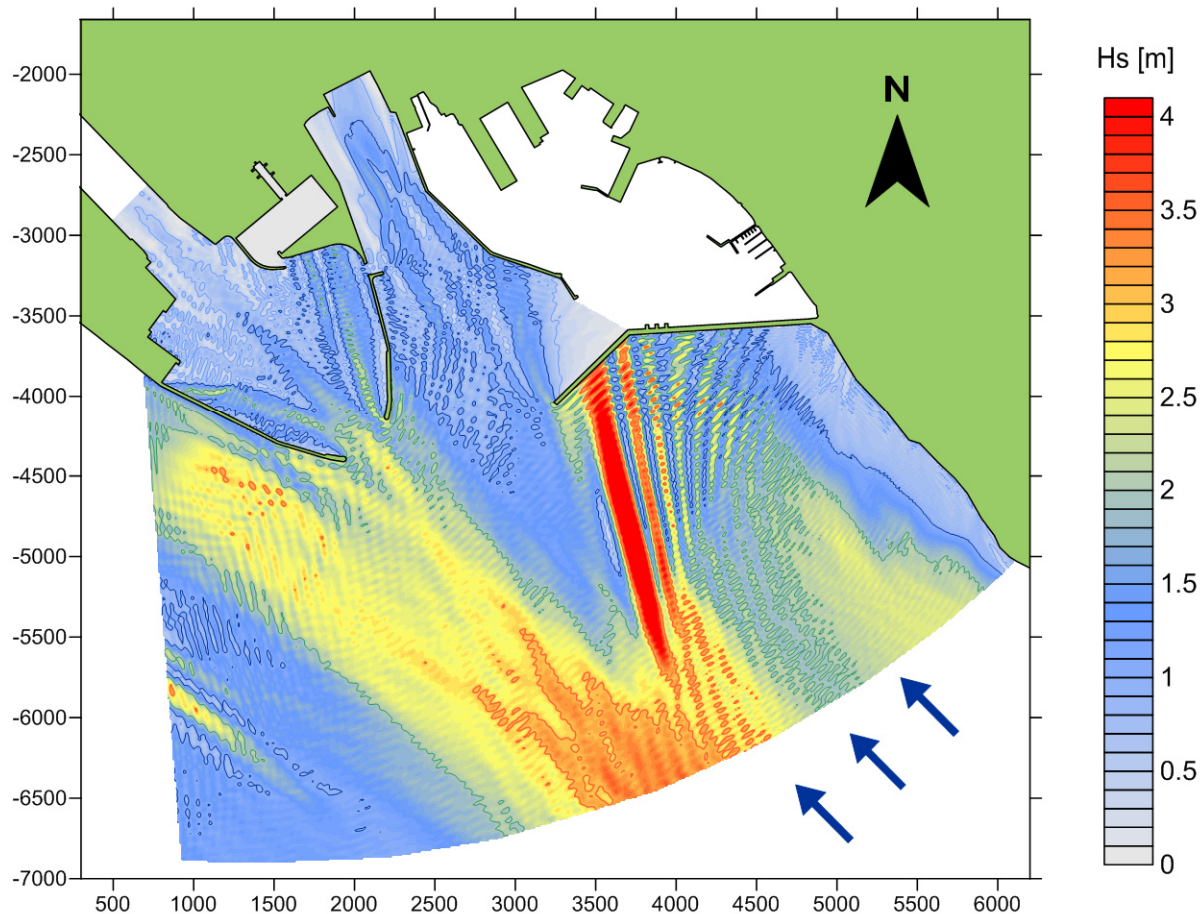
**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

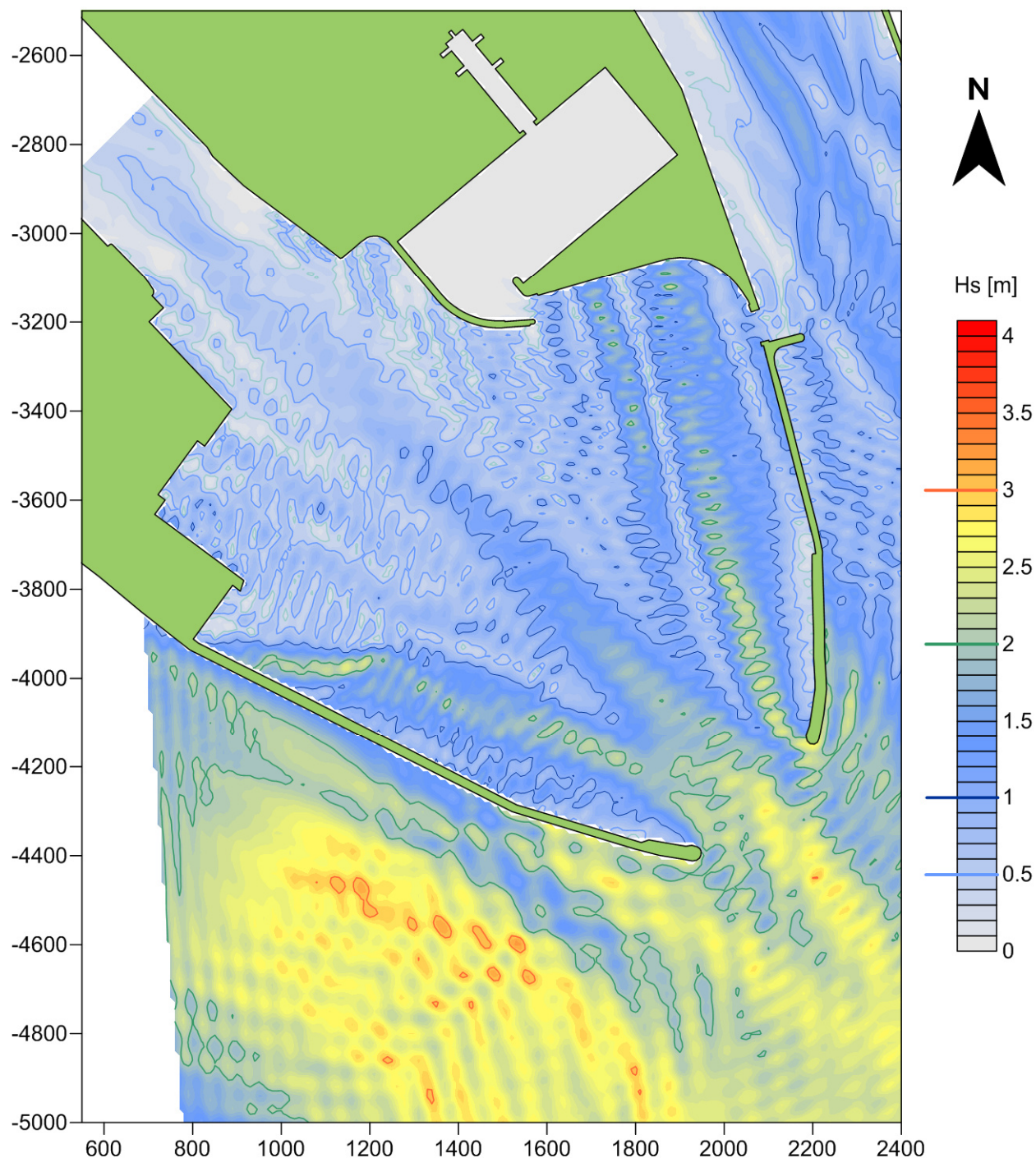
oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 2**  
**1° STRALCIO - ALTERNATIVA**

Altezza	Hs	3.7 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	135



<b>CGWAVE</b> modello matematico di agitazione ondosa all'interno dei porti		Caratteristiche dell'onda		
oggetto: Porto Canale di Cagliari Nuovo terminal RO-RO	simulazione:	Altezza	Hs	3.7 m
	SOLUZIONE 2	Periodo	Tp	8.5 s
	1° STRALCIO - ALTERNATIVA	Direzione	°N	135



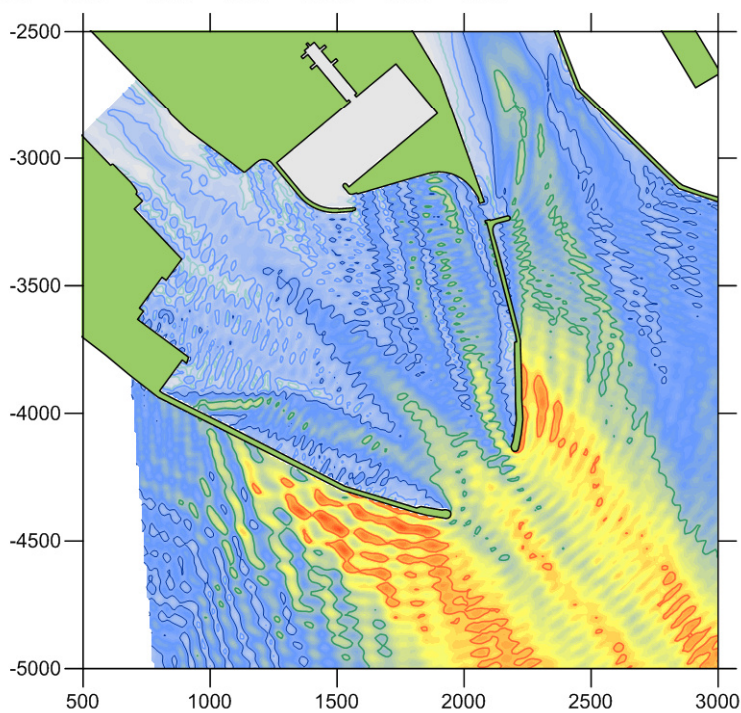
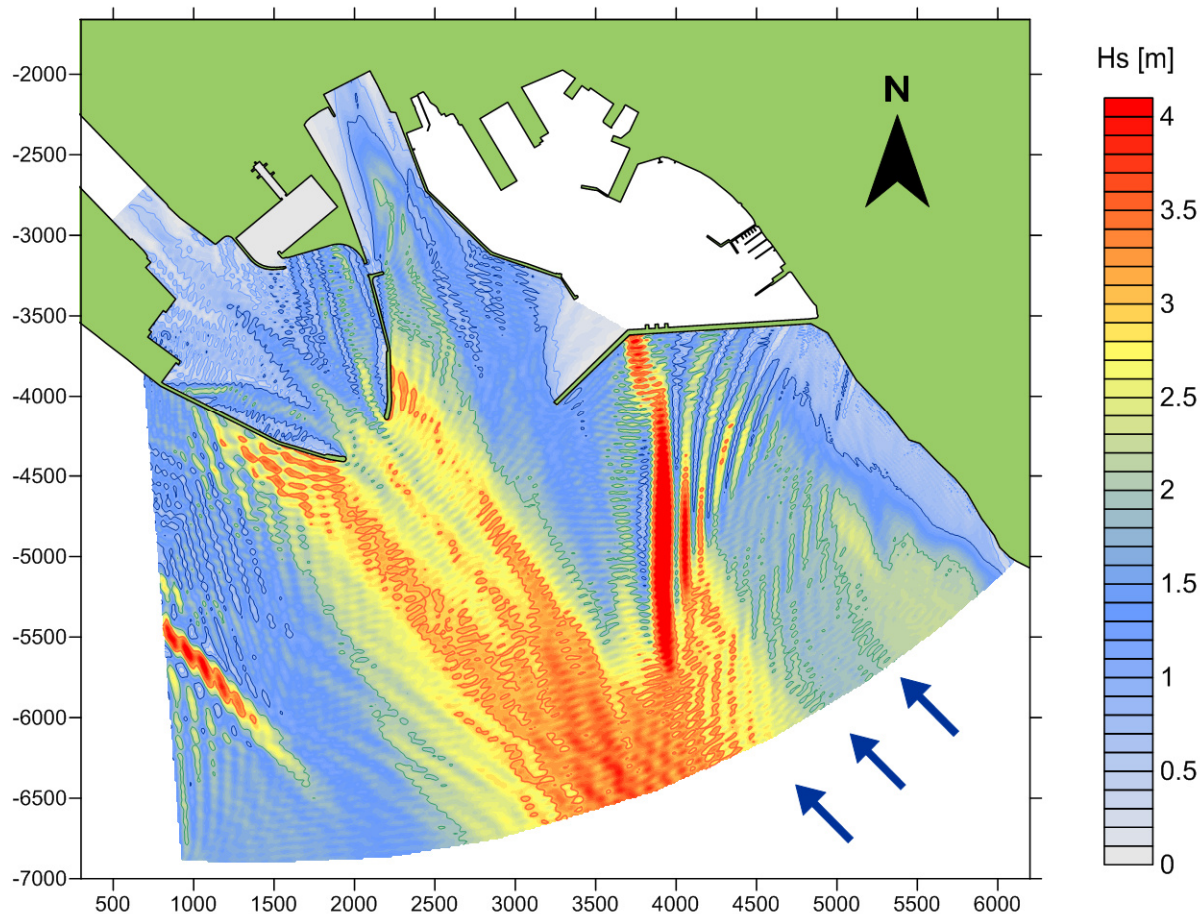
**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 2**  
**1° STRALCIO - ALTERNATIVA**

Altezza	Hs	3.8 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	150

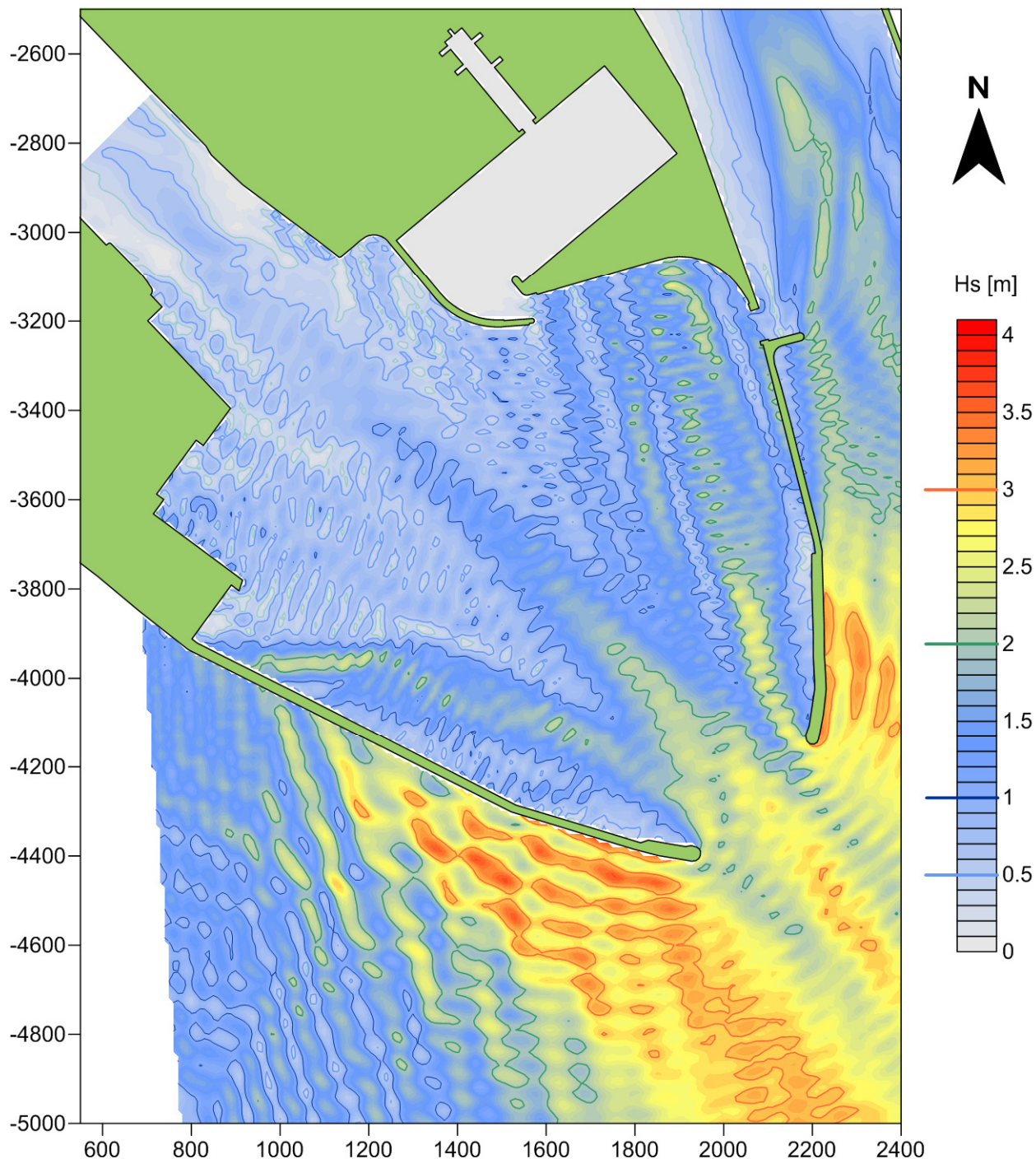


**CGWAVE**modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-ROsimulazione:  
**SOLUZIONE 2**  
**1° STRALCIO - ALTERNATIVA**

Altezza	Hs	3.8 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	150



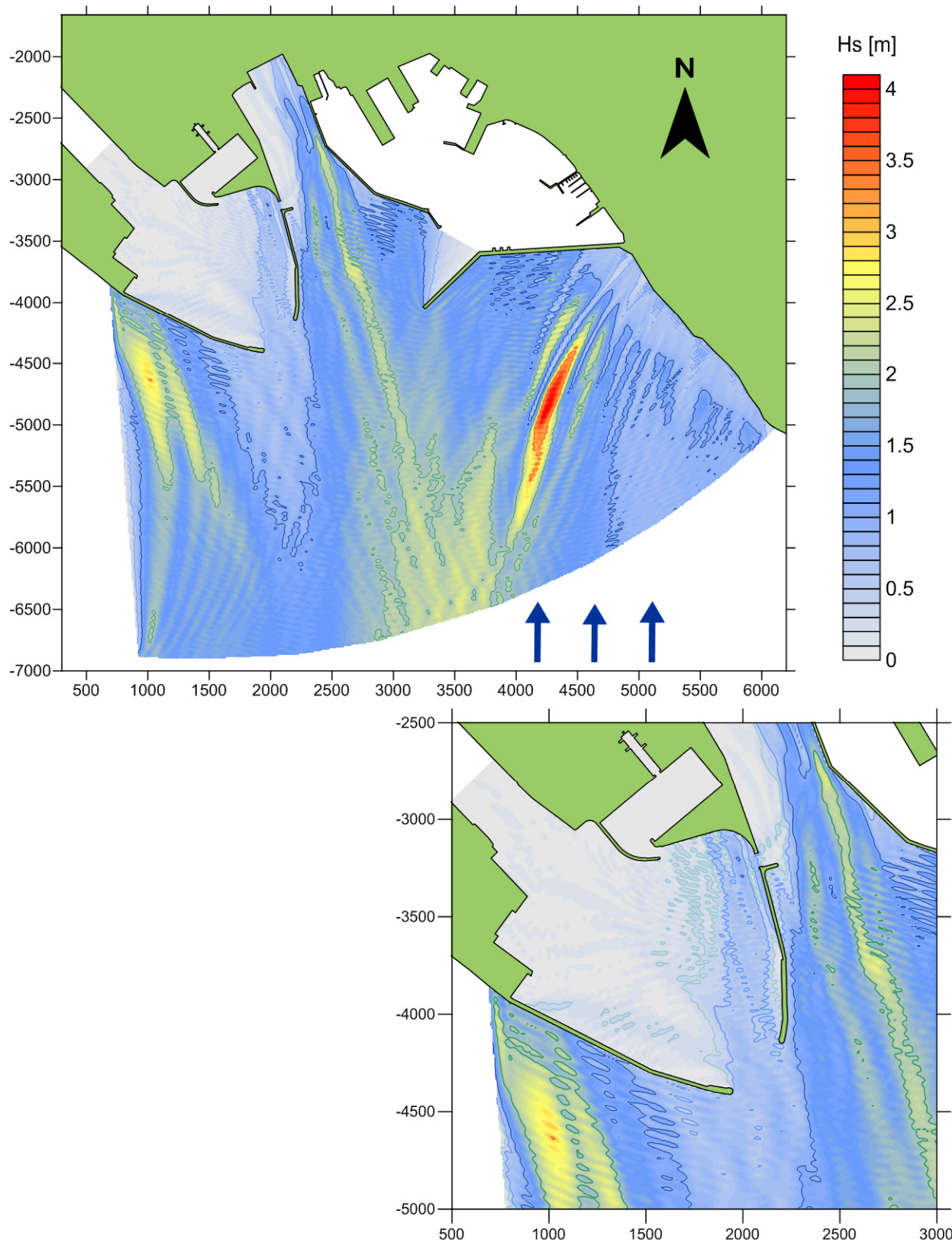
**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 2**  
**I° STRALCIO - ALTERNATIVA**

Altezza	Hs	2.3 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	180

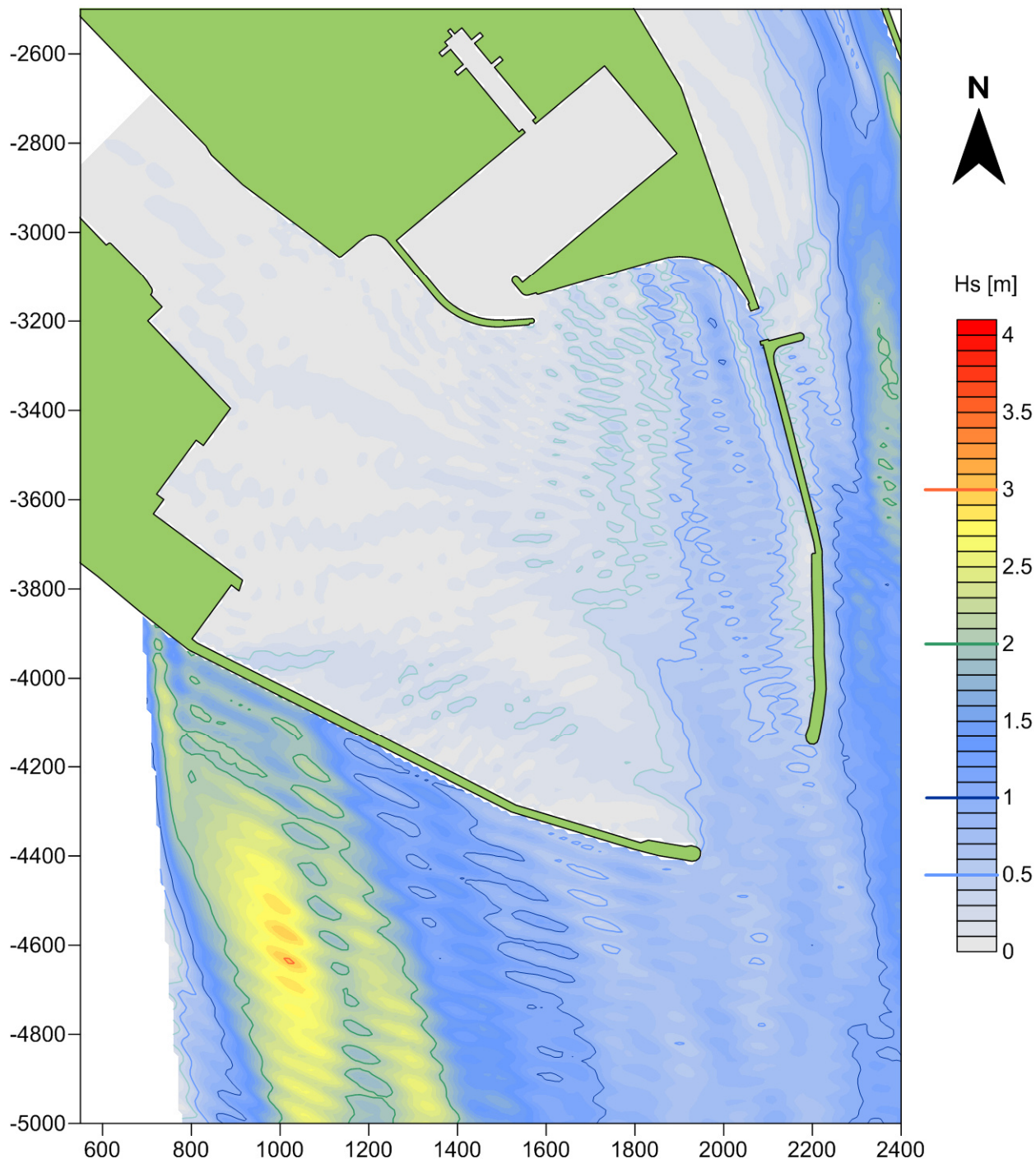


**CGWAVE**modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-ROsimulazione:  
**SOLUZIONE 2**  
**1° STRALCIO - ALTERNATIVA**

Altezza	Hs	2.3 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	180



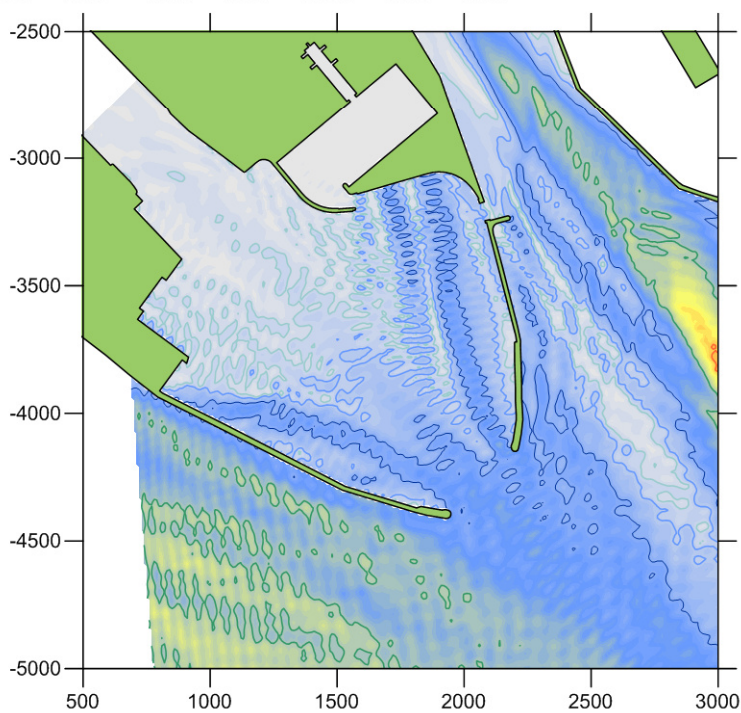
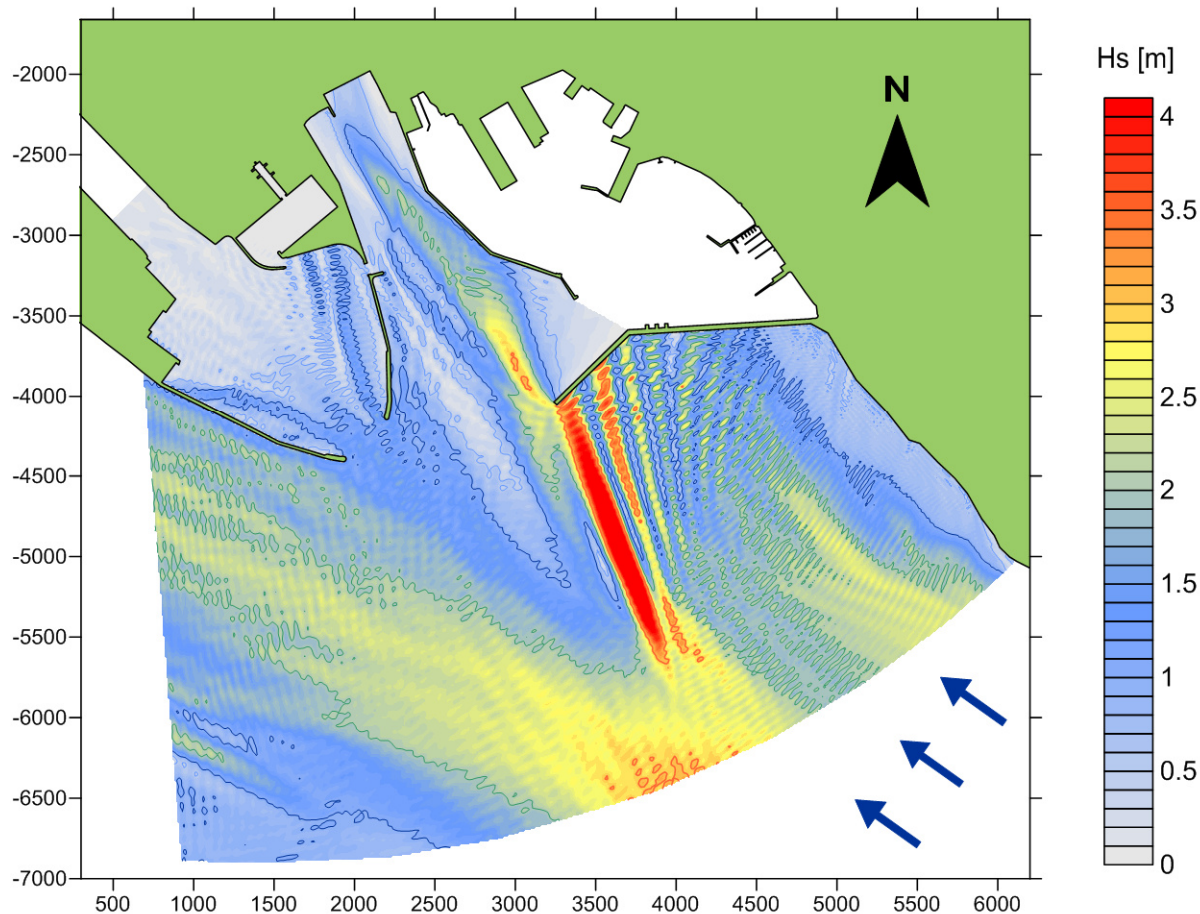
**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

## Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 2**  
**1° STRALCIO - ALTERNATIVA**

Altezza	Hs	3.4 m
Periodo	Tp	9.8 s
Direzione	°N	125

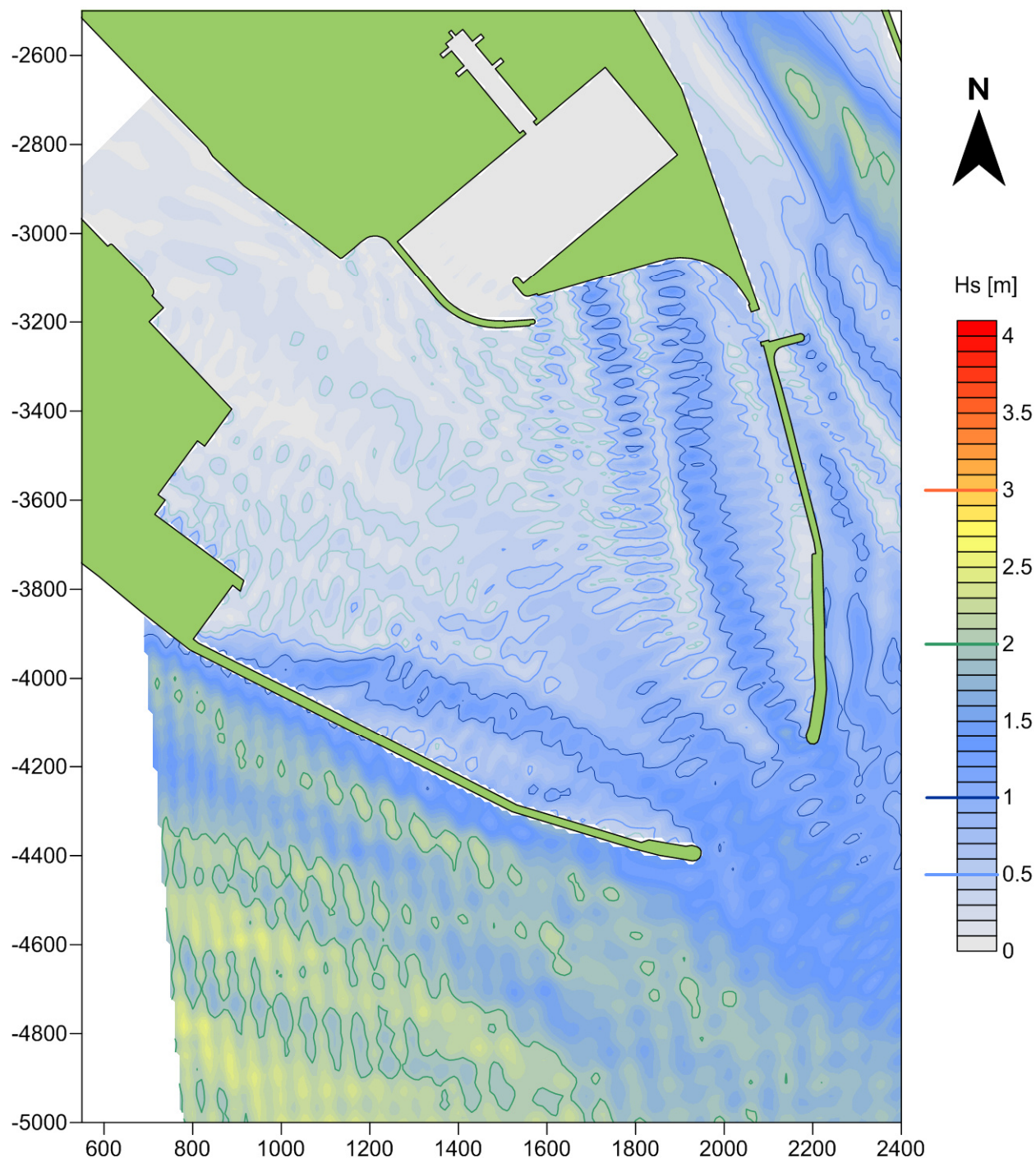


**CGWAVE**modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-ROsimulazione:  
**SOLUZIONE 2**  
**1° STRALCIO - ALTERNATIVA**

Altezza	Hs	3.4 m
Periodo	Tp	9.8 s
Direzione	°N	125

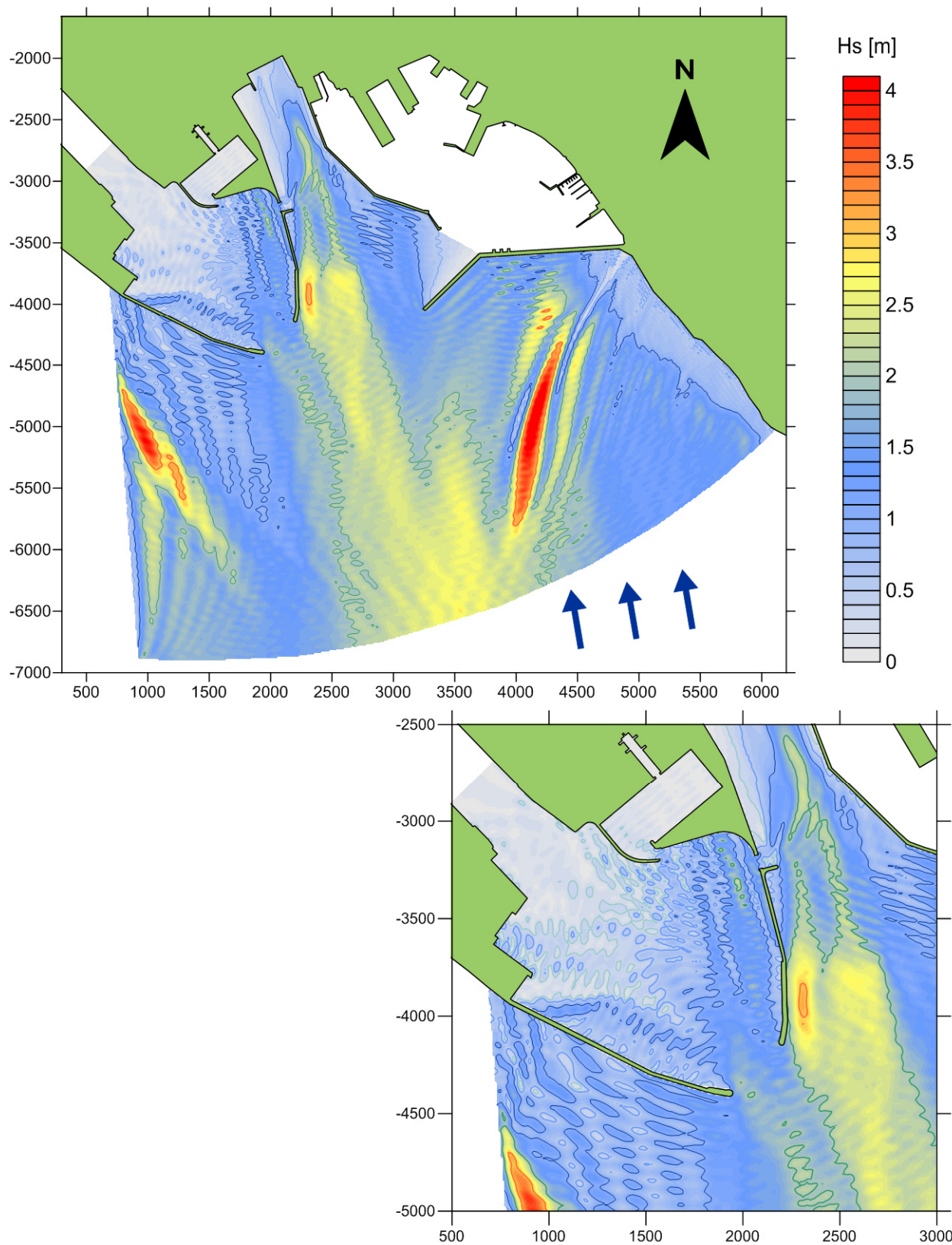


**CGWAVE**modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-ROsimulazione:  
**SOLUZIONE 2**  
**1° STRALCIO - ALTERNATIVA**

Altezza	Hs	2.8 m
Periodo	Tp	11.4 s
Direzione	°N	170

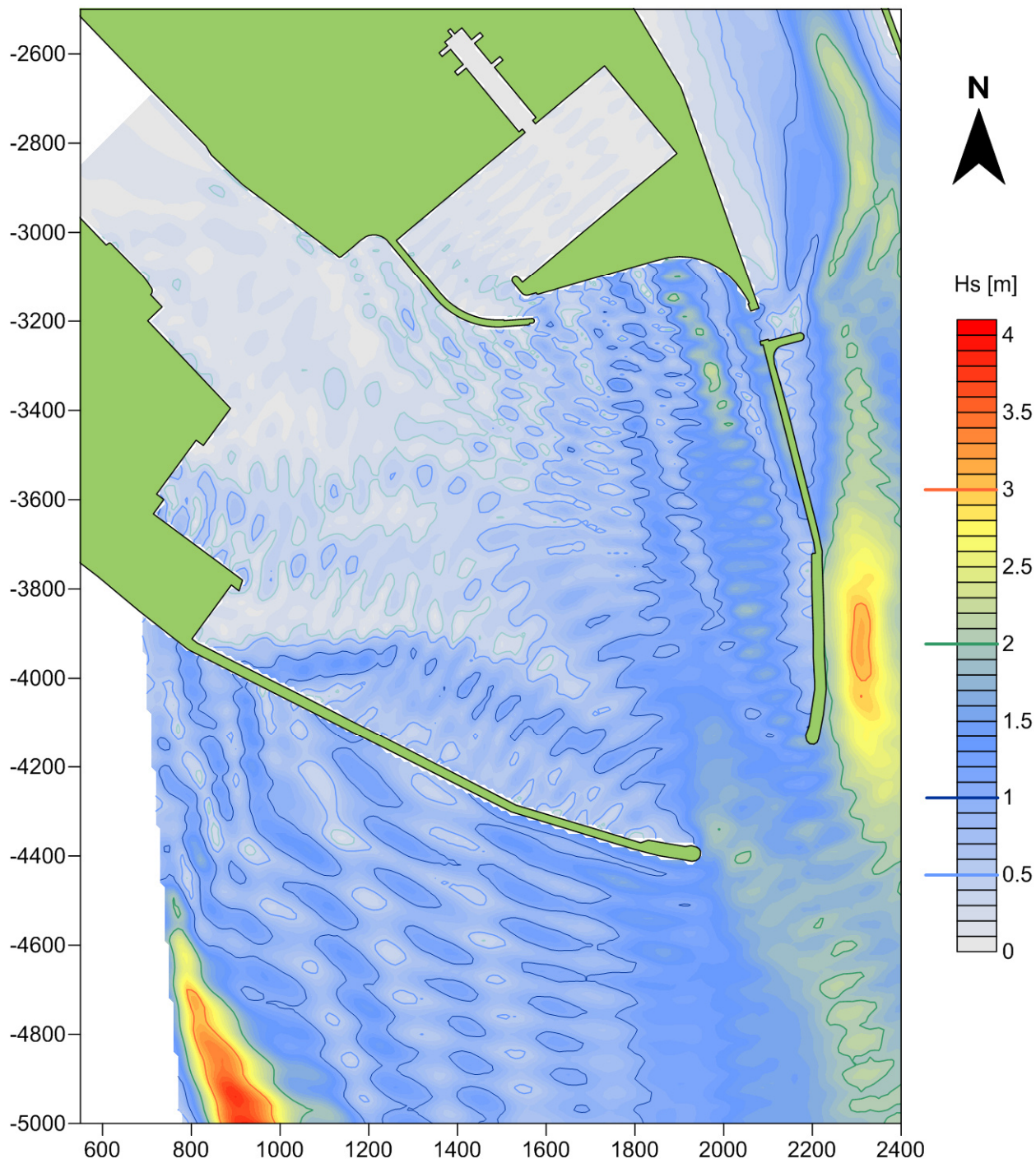


**CGWAVE**modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-ROsimulazione:  
**SOLUZIONE 2**  
**1° STRALCIO - ALTERNATIVA**

Altezza	Hs	2.8 m
Periodo	Tp	11.4 s
Direzione	°N	170



## 5.4 Stralcio intermedio

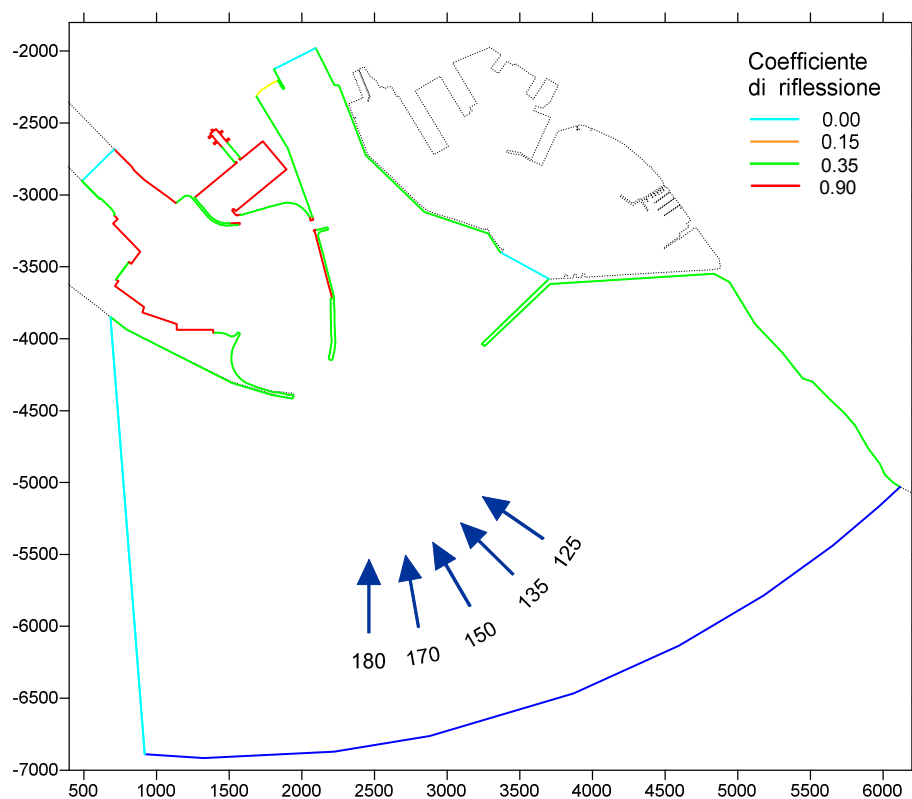


Figura 18. Soluzione 2 –Stralcio Intermedio. Condizioni al contorno.

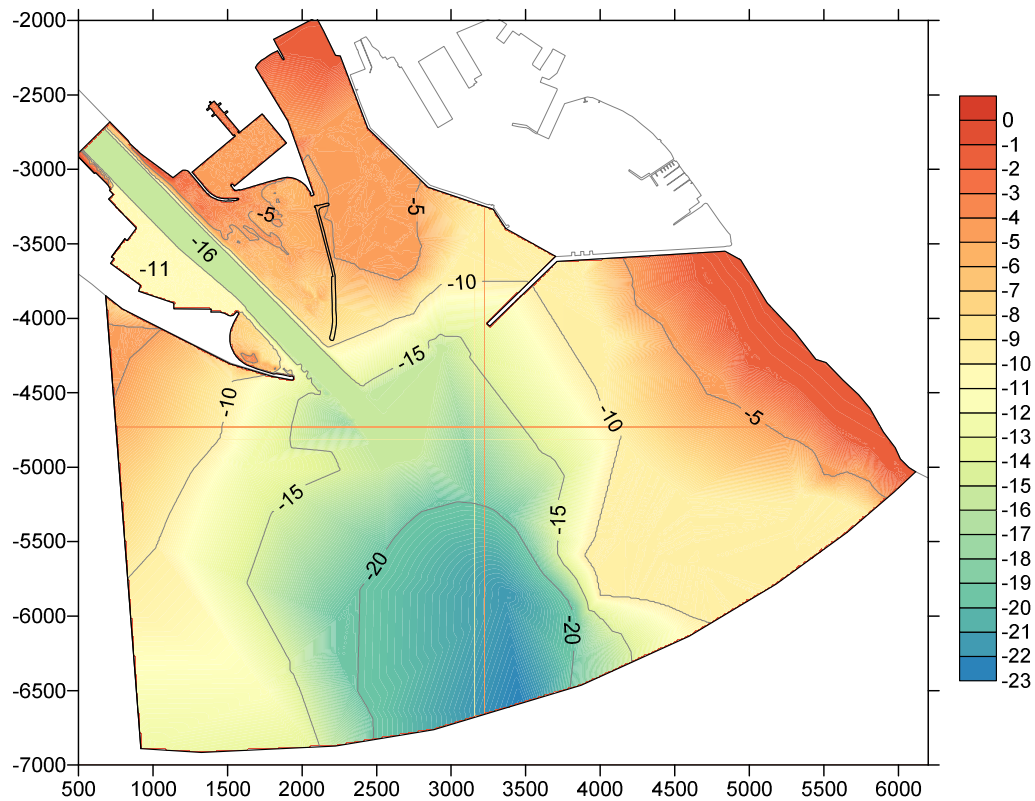


Figura 19. Soluzione 2 –Stralcio Intermedio. batimetria.

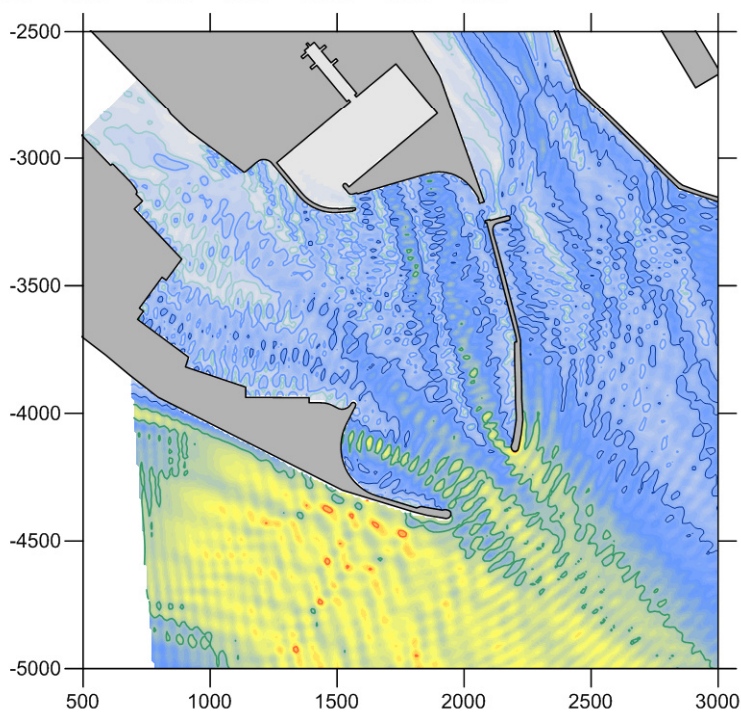
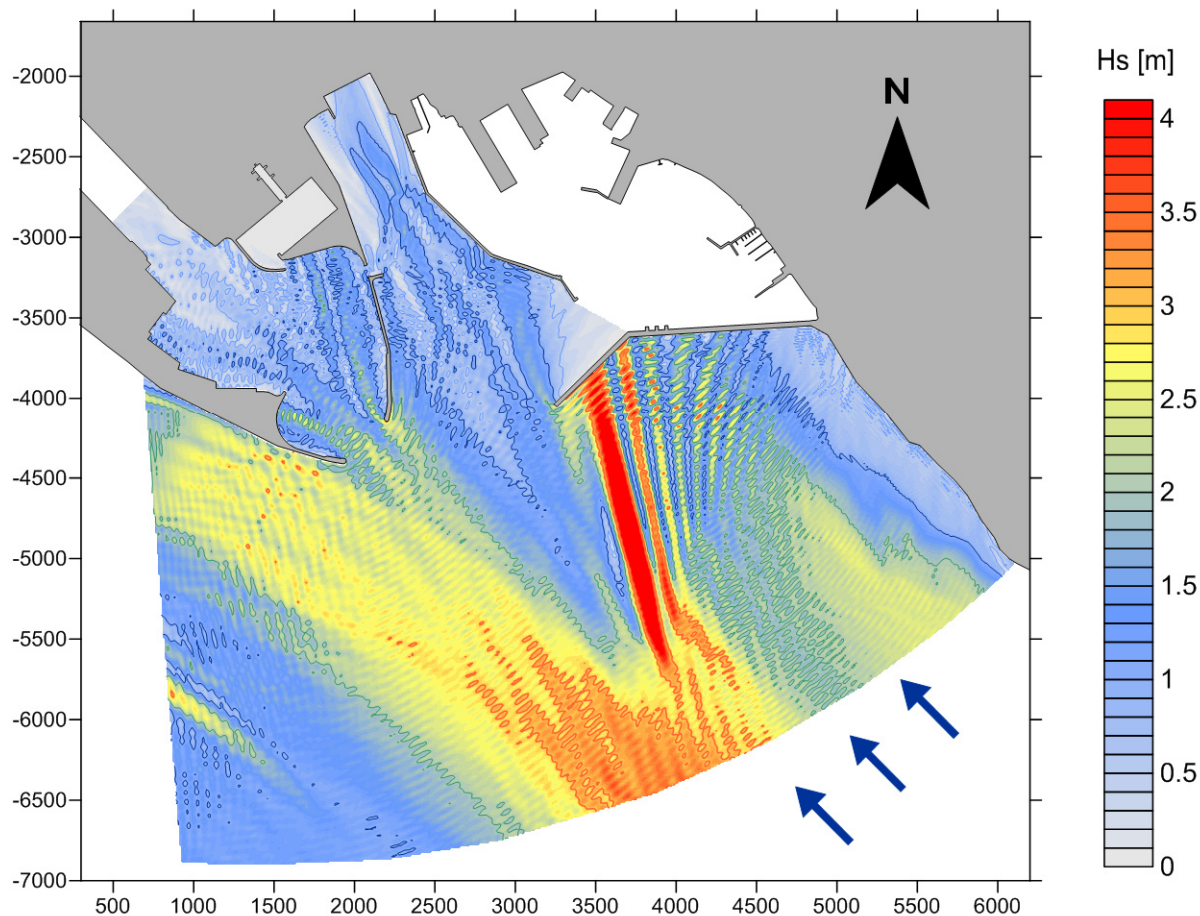
**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 2**  
**SITUAZIONE INTERMEDIA**

Altezza	Hs	3.7 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	135

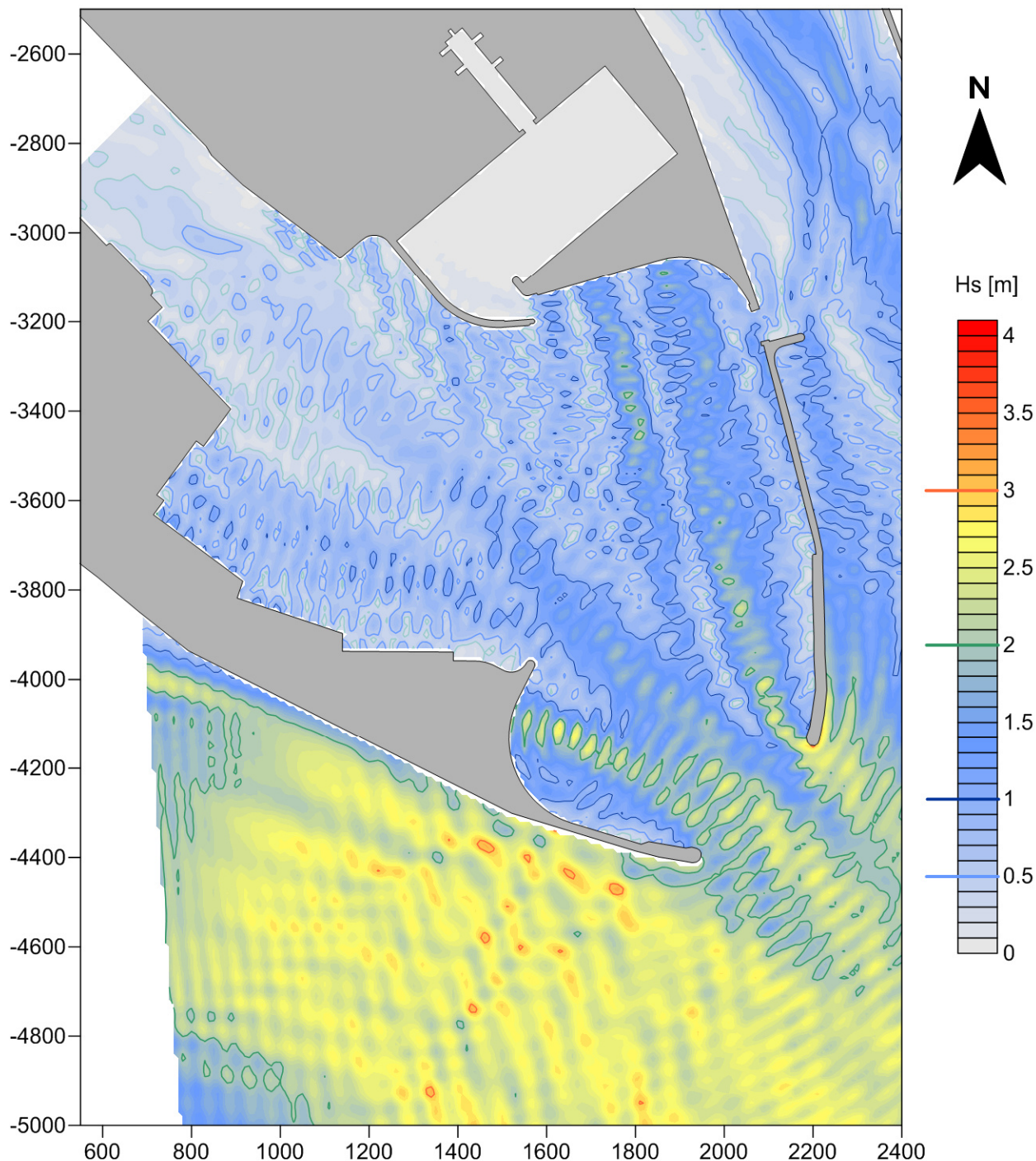


**CGWAVE**modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-ROsimulazione:  
**SOLUZIONE 2**  
**SITUAZIONE INTERMEDIA**

Altezza	Hs	3.7 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	135

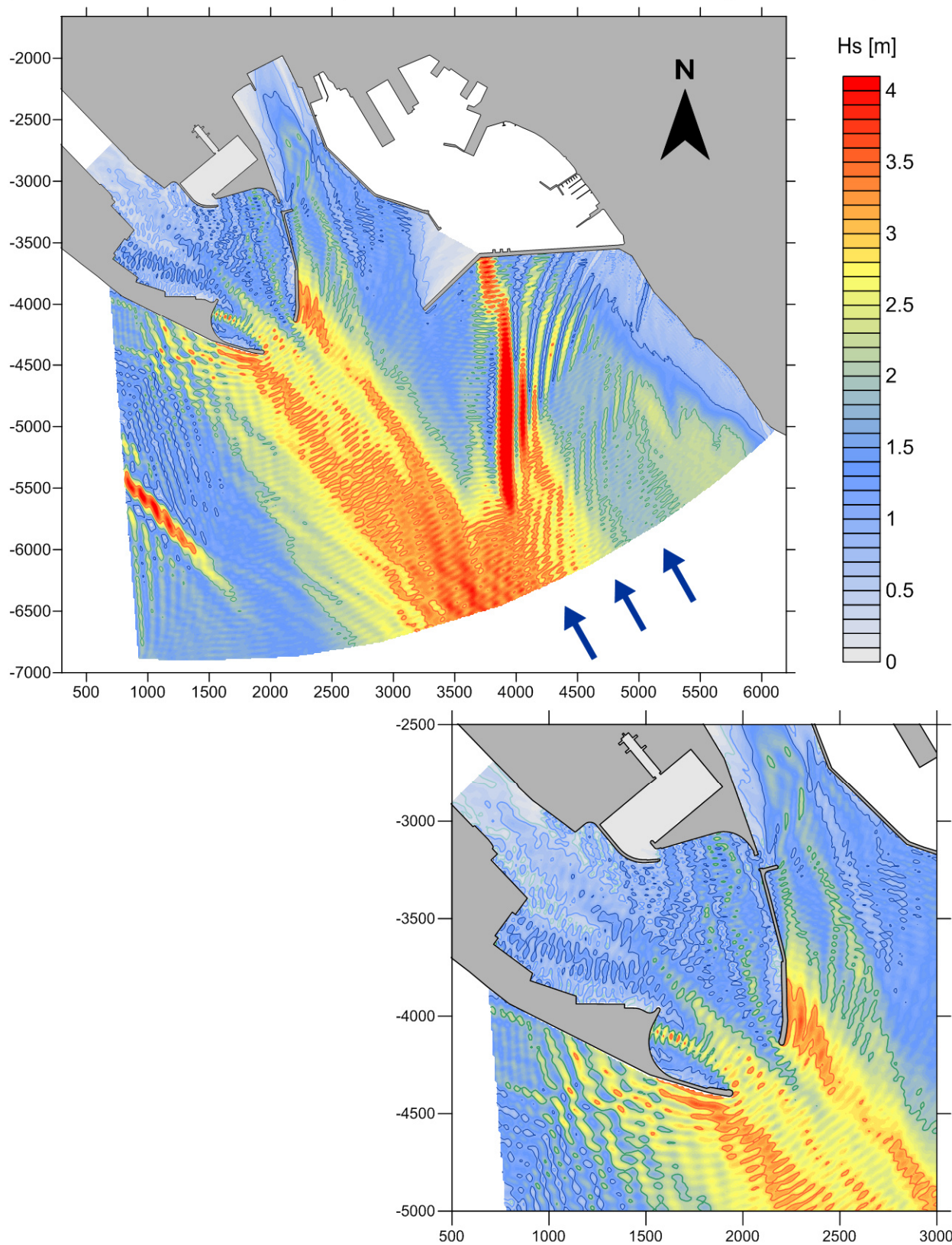


**CGWAVE**modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-ROsimulazione:  
**SOLUZIONE 2**  
**SITUAZIONE INTERMEDIA**

Altezza	Hs	3.8 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	150





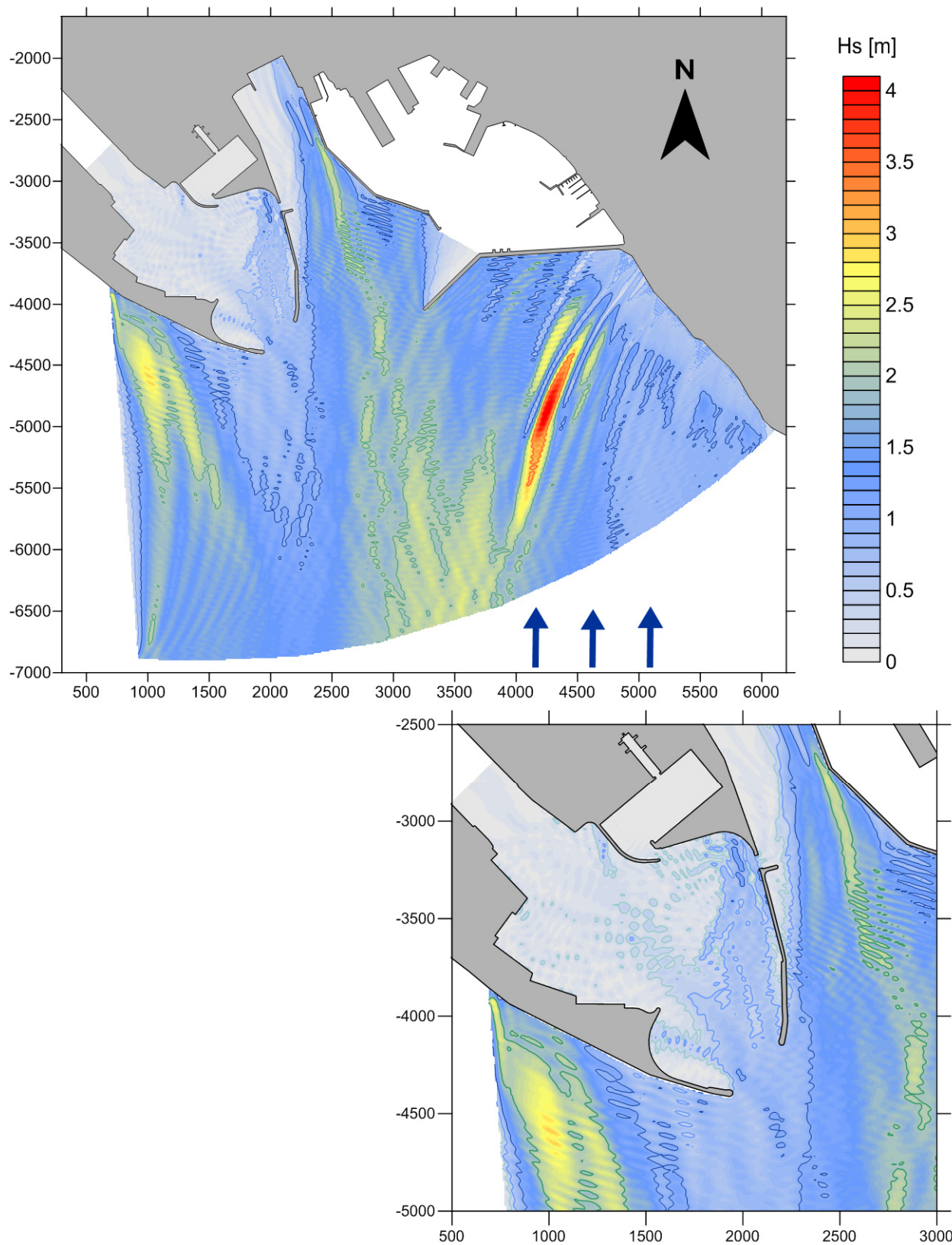
**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 2**  
**SITUAZIONE INTERMEDIA**

Altezza	Hs	2.3 m
Periodo	Tp	8.5 s
Direzione	°N	180



**CGWAVE**modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

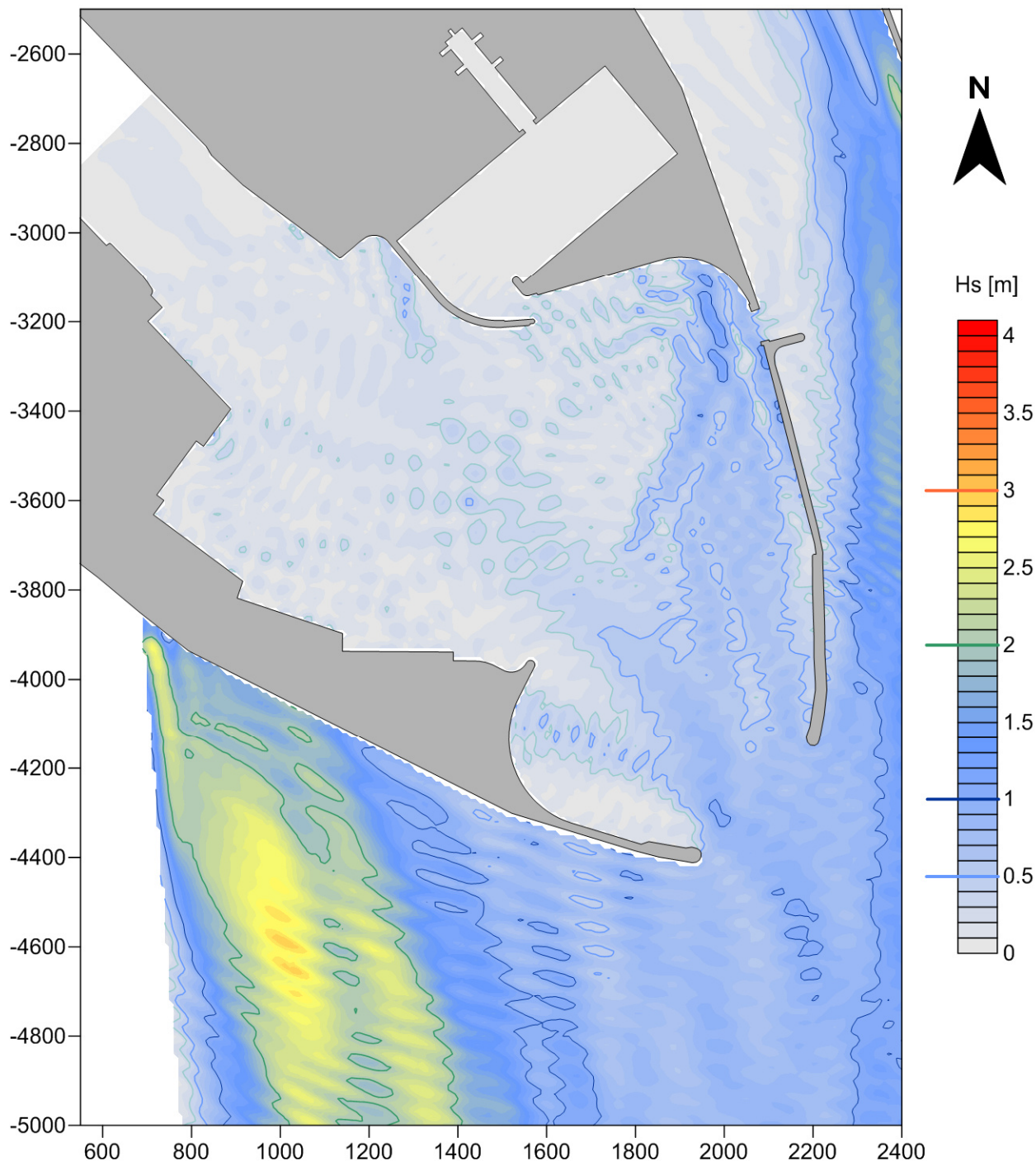
Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-ROsimulazione:  
**SOLUZIONE 2**  
**SITUAZIONE INTERMEDIA**

Altezza Hs 2.3 m

Periodo Tp 8.5 s

Direzione °N 180



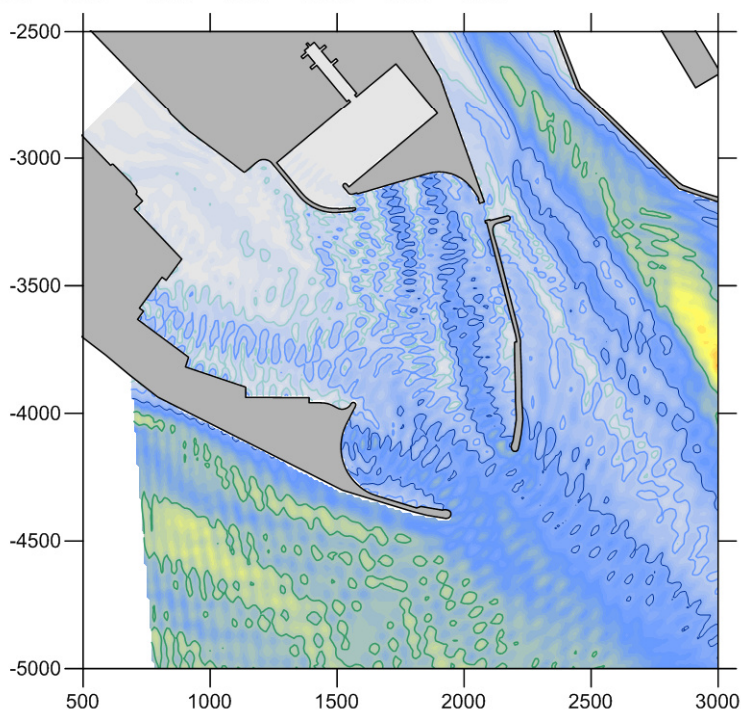
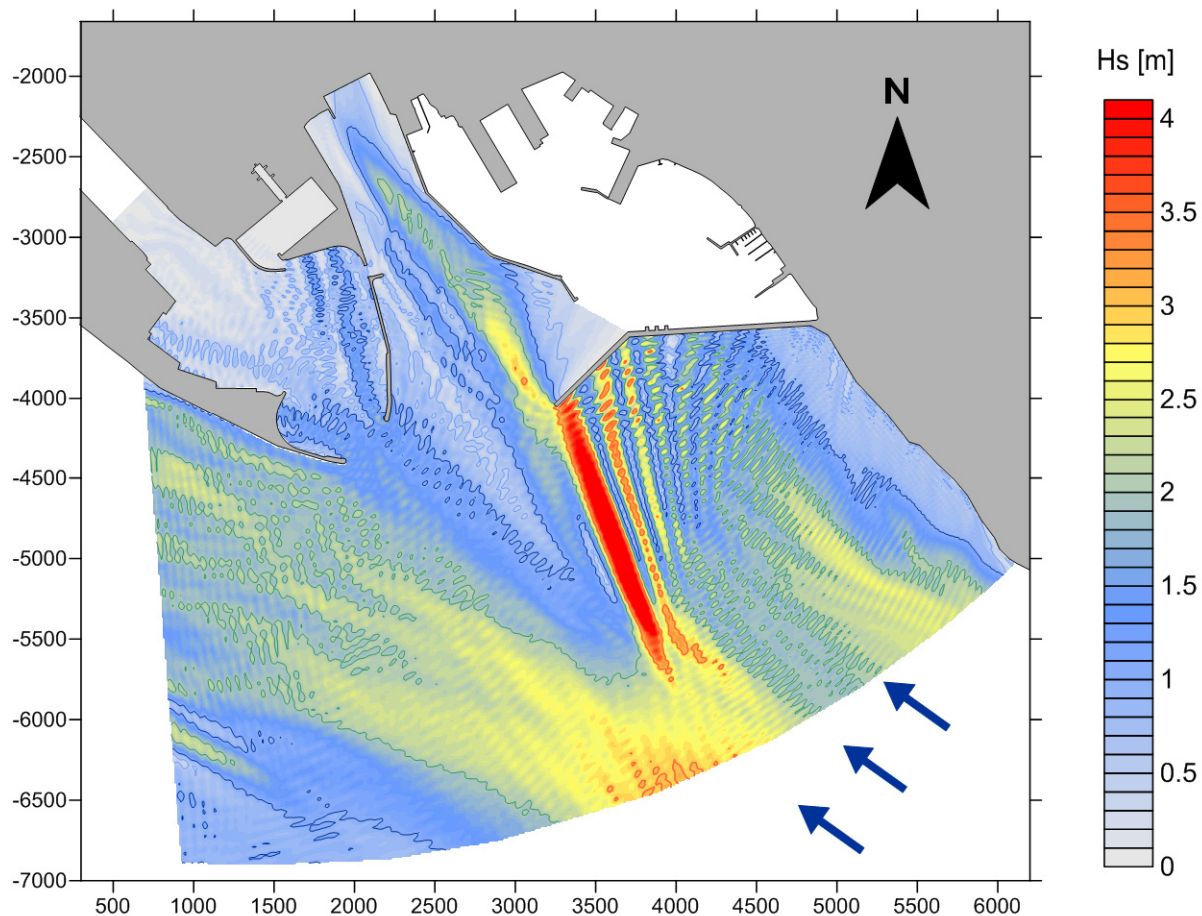
**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 2**  
**SITUAZIONE INTERMEDIA**

Altezza	Hs	3.4 m
Periodo	Tp	9.8 s
Direzione	°N	125



**CGWAVE**modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

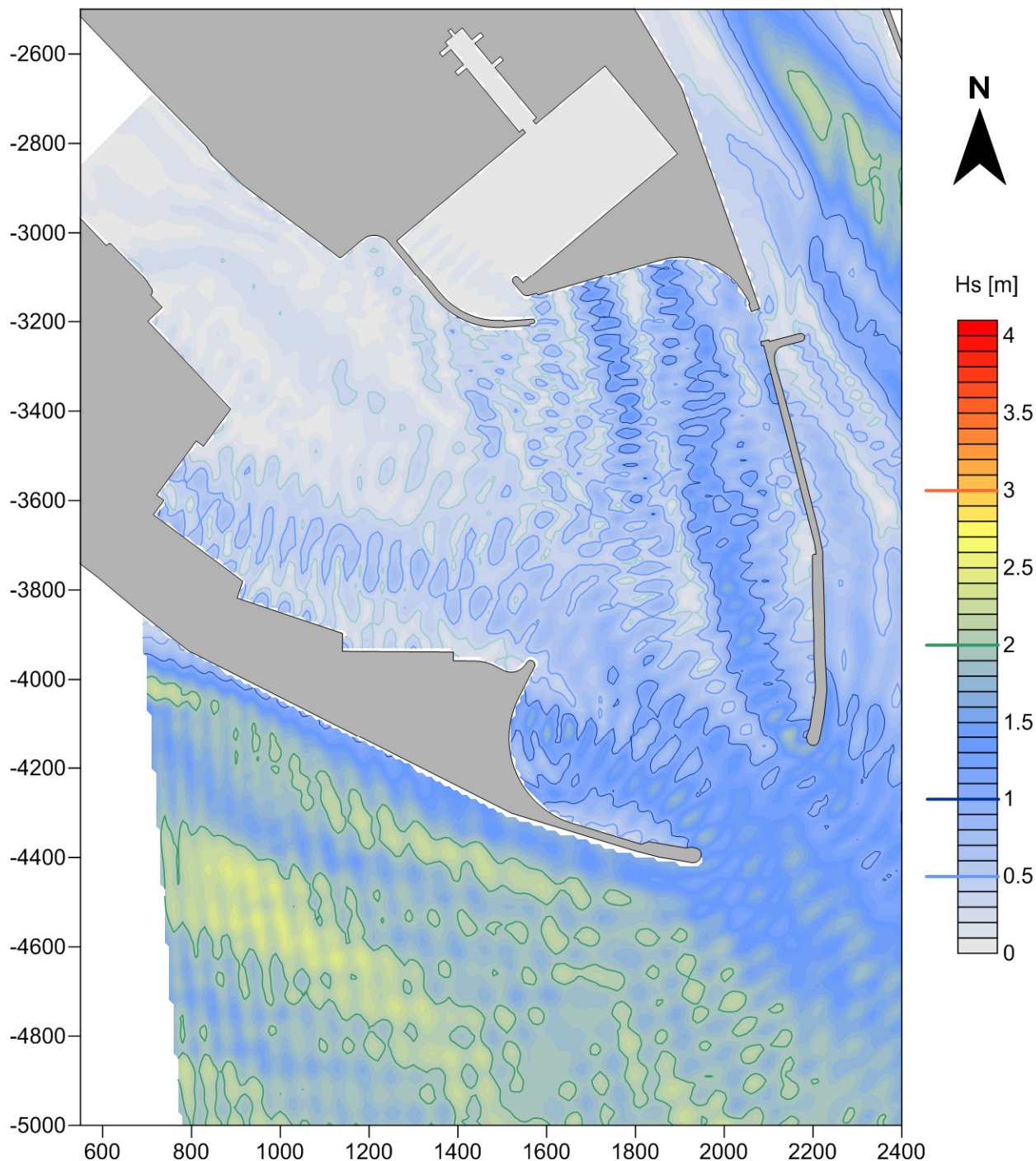
## Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-ROsimulazione:  
**SOLUZIONE 2**  
**SITUAZIONE INTERMEDIA**

Altezza Hs 3.4 m

Periodo Tp 9.8 s

Direzione °N 125



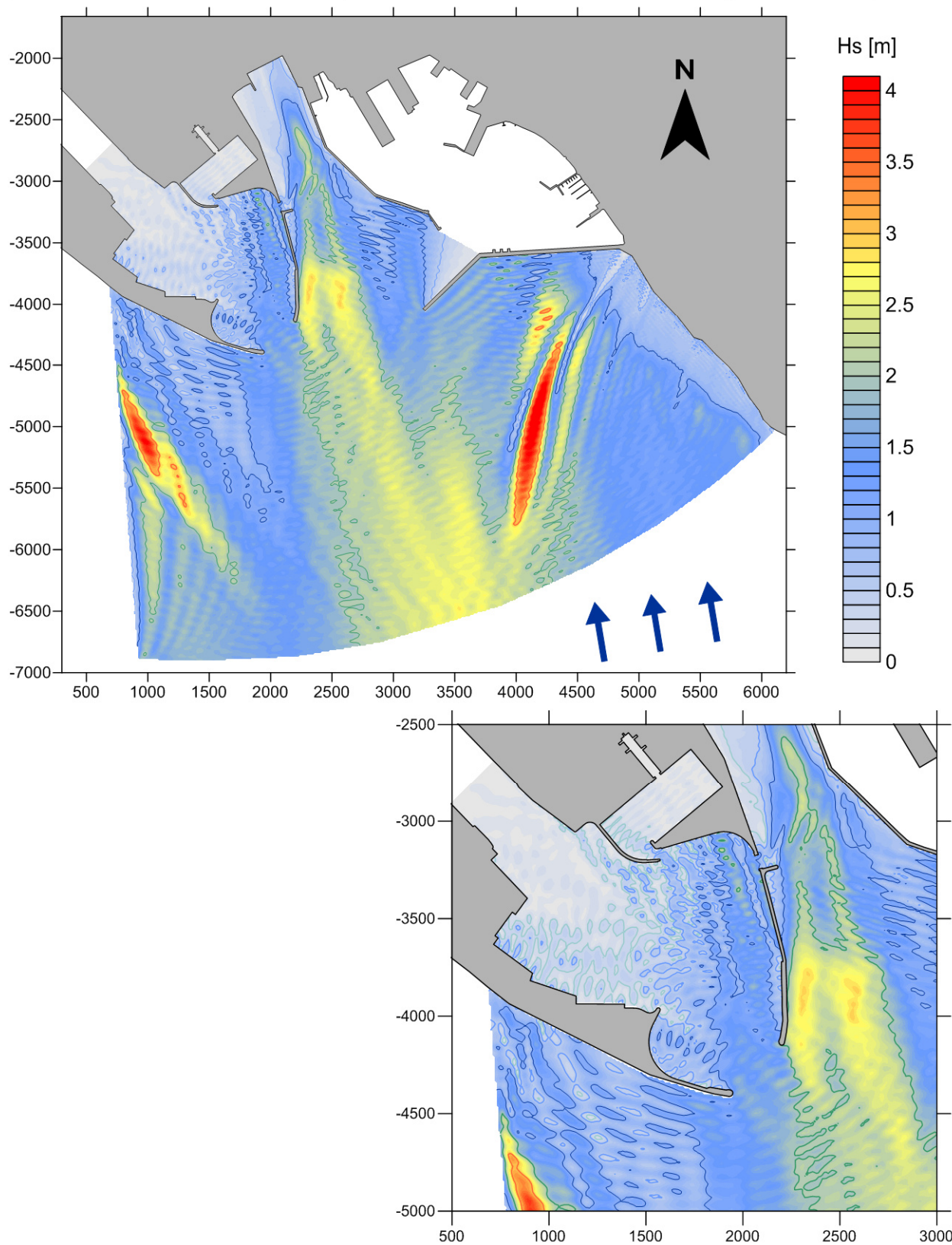
**CGWAVE** modello matematico di agitazione ondosa  
all'interno dei porti

Caratteristiche dell'onda

oggetto:  
Porto Canale di Cagliari  
Nuovo terminal RO-RO

simulazione:  
**SOLUZIONE 2**  
**SITUAZIONE INTERMEDIA**

Altezza	Hs	2.8 m
Periodo	Tp	11.4 s
Direzione	°N	170





## Appendice: descrizione del modello matematico CGWAVE

### Introduzione

Il sistema CGWAVE è stato sviluppato dalla University of Maine per conto della United States Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station per stimare il campo d'onda all'interno dei porti, in prossimità della costa, nelle insenature costiere ed in prossimità delle strutture fisse e mobili.

Infatti tale modello è in grado di simulare la propagazione del moto ondoso tenendo conto degli effetti combinati della rifrazione, diffrazione e riflessione, e dei fenomeni dissipativi dovuti al frangimento del moto ondoso ed all'attrito sul fondo, di fondamentale importanza per la determinazione dell'agitazione ondosa residua all'interno dei bacini portuali.

Il modello SMS è provvisto di pre-post processore grafico per programmi che richiedono griglie 2D agli elementi finiti sviluppato dall'Engineering Computer Graphics Laboratory a Brigham.

### Equazioni di base

La soluzione della forma ellittica bidimensionale dell'equazione delle onde che si propagano su fondali lentamente variabili (mild-slope wave equation) è un criterio generalmente adottato per lo studio delle onde di gravità nelle aree costiere.

Questa equazione, che simula la diffrazione, la rifrazione e la riflessione delle onde in una regione costiera caratterizzata da fondali aventi pendenza variabile, può essere scritta nel modo seguente:

$$\nabla(CC_g \nabla \hat{\eta}) + \frac{C_g}{C} \sigma^2 \hat{\eta} = 0 \quad (1)$$

dove:

$\hat{\eta}(x, y)$  : funzione complessa dell'elevazione della superficie libera dalla quale può essere stimato il valore dell'altezza d'onda;

$\sigma$  = frequenza angolare;

$C(x, y)$  : celerità di fase ( $\sigma/k$ );

$C_g(x, y)$  : celerità di gruppo ( $\partial\sigma/\partial k = nC$ ) con  $n = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right)$ ;

$k(x, y)$  : numero d'onda ( $= 2\pi/L$ ) correlato alla profondità locale  $d(x, y)$  attraverso la relazione di dispersione lineare  $\sigma^2 = gk \tanh(kd)$ .

Per tenere conto degli effetti dissipativi dovuti all'attrito sul fondo ed al frangimento del moto ondoso l'equazione 1 può essere modificata nel modo seguente:

$$\nabla(CC_g \nabla \hat{\eta}) + \left( \frac{C_g}{C} \sigma^2 + i\sigma w + iC_g \sigma \gamma \right) \hat{\eta} = 0 \quad (2)$$

dove  $w$  è un fattore d'attrito e  $\gamma$  il parametro di frangimento dell'onda.

Seguendo la formulazione di Dalrymple et al. (1984), CGWAVE utilizza la seguente espressione per il fattore di dissipazione  $w$ :

$$w = \left( \frac{2n\sigma}{k} \right) \left[ \frac{2f_r}{3\pi} \frac{ak^2}{(2kd + \sinh 2kd) \sinh kd} \right]$$

dove  $a = H/2$ , ampiezza d'onda, e  $f_r$ , coefficiente d'attrito, sono parametri scelti come condizioni di input per il modello e definiti dall'utente.

Per il parametro che tiene conto del frangimento viene utilizzata la seguente espressione:

$$\gamma = \frac{\chi}{d} \left( 1 - \frac{\Gamma^2 d^2}{4a^2} \right)$$

Dove  $\chi$  è una costante assunta nel modello pari a 0.15 e  $\Gamma$  è una costante empirica assunta nel modello pari a 0.4.

### Condizioni al contorno

L'equazione 2 utilizzata dal modello CGWAVE per la stima del campo d'onda richiede l'imposizione di opportune condizioni al contorno da introdurre lungo tutto il perimetro del dominio di calcolo. In generale lungo il contorno che rappresenta la costa o le strutture viene applicata la seguente condizione di riflessione:

$$\frac{\partial \hat{\eta}}{\partial n} = \alpha \hat{\eta} \quad (3)$$

dove  $\alpha = \alpha_1 + i\alpha_2$  è un coefficiente di riflessione complesso e vale  $\alpha = 0$  per strutture completamente riflettenti.

Per semplicità  $\alpha$  è generalmente rappresentato come:

$$\alpha = ik \frac{1 - K_r}{1 + K_r}$$

dove  $K_r$  è il coefficiente di riflessione.

Lungo il contorno che rappresenta le condizioni di mare aperto, dove le onde direzionate verso il largo devono propagarsi verso l'infinito viene applicata la condizioni di radiazione Sommerfeld:

$$\lim_{kr \rightarrow \infty} \sqrt{kr} \left( \frac{\partial}{\partial r} - ik \right) \hat{\eta}_s \rightarrow 0 \quad (4)$$

dove  $\hat{\eta}_s$  è il potenziale dell'onda dispersa, la quale è una soluzione dell'equazione 1 (mild-slope equativo) e soddisfa la condizione di radiazione appena sopra riportata (equazione 4), che può essere scritto come:

$$\hat{\eta}_s = \sum_{n=0}^{\infty} H_n(kr) (\alpha_n \cos n\vartheta + \beta_n \sin n\vartheta) \quad (5)$$

dove  $H_n(kr)$  sono le funzioni di Hankel del primo genere.

Il potenziale  $\hat{\eta}_s$  dato nella (4) richiede una profondità costante all'esterno del dominio di calcolo. Inoltre nei problemi portuali lo stesso potenziale richiede nella regione esterna al porto stesso una linea di costa rettilinea, allineata e completamente riflettente. Per superare questo problema all'interno del modello, lungo il contorno che rappresenta le condizioni di mare aperto, viene utilizzata la seguente approssimazione parabolica (Xu, Panchang e Demirebilek, 1996):

$$\frac{\partial \hat{\eta}_s}{\partial r} + p \hat{\eta}_s + q \frac{\partial \hat{\eta}_s^2}{\partial \vartheta^2} = 0 \quad (6)$$

dove

$$p = \frac{k^2 r^2 + k_0^2 r^2 + ik_0 r + \frac{1}{4}}{2ik_0 r^2} \text{ e } q = \frac{1}{2ik_0 r^2}.$$

Nell'equazione sopra riportata  $k_0$  può essere assunto pari al numero d'onda corrispondente alla profondità media che si ha lungo il contorno aperto del dominio di calcolo schematizzato.

L'equazione 6 viene utilizzata dal modello CGWAVE solo lungo la linea di contorno semi-circolare che delimita, lato mare, il dominio di calcolo; all'interno del dominio stesso viene applicata l'equazione di "mild-slope"