



REGIONE CAMPANIA



PROVINCIA DI SALERNO

## COMUNE DI SAPRI

LAVORI DI COMPLETAMENTO RIQUALIFICAZIONE TURISTICA DELLE AREE PORTUALI E COLLEGAMENTO DEL PORTO AL CENTRO URBANO.  
REALIZZAZIONE DI UN TERMINAL TURISTICO INTERMODALE  
IN LOCALITA' BRIZZI.  
IV LOTTO FUNZIONALE

# PROGETTO ESECUTIVO

Titolo elaborato :

STUDIO IDRODINAMICO

Scale:

1 9 0 1 0 E R 0 1 3 - 0 S P 2

Committente

COMUNE DI SAPRI  
Via Villa Comunale, n. 1  
84073 - Sapri (SA)

R.U.P.  
Ing. Alberto CIORCIARO

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti

Capogruppo (Mandataria)

**MODIMAR S.r.l.**  
SERVIZI DI INGEGNERIA

Dott. Ing. Paolo CONTINI  
(Direttore Tecnico)

Dott. Ing. Andrea SANZONE



Via Monte Zebio 40 - 00195 ROMA  
06.3269461 - www.modimar.it

Mandanti

**SPARTA INGEGNERIA S.r.l.**

Dott. Ing. Giustiniano CAGGIANO  
Dott. Arch. Franco MONTESANO

AGOSTO 2019

0

Data

Rev.

DESCRIZIONE

Redatto:

Verificato:

Approvato:

Dimensioni foglio: A1

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

Visto del Committente:

LAVORI DI COMPLETAMENTO RIQUALIFICAZIONE TURISTICA DELLE AREE  
PORTUALI E COLLEGAMENTO DEL PORTO AL CENTRO URBANO. REALIZZAZIONE  
DI UN TERMINAL TURISTICO INTERMODALE  
IN LOCALITA' BRIZZI.  
IV LOTTO FUNZIONALE

PROGETTO ESECUTIVO

STUDI SPECIALISTICI METEOMARINI E DI INGEGNERIA IDRAULICO-MARITTIMA

Si riporta in allegato lo studio specialistico condotto a supporto della presente progettazione ed affidato alla scivente ATI Modimar srl – Sparta Ingegneria srl, dal responsabile del settore Tecnico – Urbanistica con determinazione n. generale 280/n. sett. 63 del 7 maggio 2019.



REGIONE CAMPANIA



PROVINCIA DI SALERNO

## COMUNE DI SAPRI

LAVORI DI COMPLETAMENTO E RIQUALIFICAZIONE TURISTICA DELLE  
AREE PORTUALI E COLLEGAMENTO DEL PORTO AL CENTRO URBANO.  
REALIZZAZIONE DI UN TERMINAL TURISTICO INTERMODALE  
IN LOCALITA' BRIZZI  
IV LOTTO FUNZIONALE

### STUDI SPECIALISTICI METEOMARINI E DI INGEGNERIA IDRAULICO - MARITTIMA

Titolo elaborato : STUDI DI IDRAULICA MARITTIMA (I FASE)  
- STUDIO IDRODINAMICO SULLA PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSI

Scale:

1 9 0 0 9 D R 0 0 3 - 0 M A R

#### Committente

COMUNE DI SAPRI  
Via Villa Comunale, n. 1  
84073 - Sapri (SA)

R.U.P.

Ing. Alberto CIORCIARO

#### Raggruppamento Temporaneo di Professionisti

Capogruppo (Mandataria)

**MODIMAR S.r.l.**  
SERVIZI DI INGEGNERIA

Dott. Ing.  
Paolo CONTINI  
(Direttore Tecnico)

Dott. Ing.  
Andrea SANZONE



Via Monte Zebio 40 - 00195 ROMA  
06.3269461 - www.modimar.it

**MODIMAR S.r.l.**

Amministratore Unico  
*Dott. Ing. Marco Tartaglino*

Mandanti

**SPARTA INGEGNERIA S.r.l.**

Dott. Ing.  
Giustiniano CAGGIANO

Dott. Arch.  
Franco MONTESANO

24/07/2019	0		CASTELLINO	CONTINI	TARTAGLINI
Data	Rev.	DESCRIZIONE	Redatto:	Verificato:	Approvato:

Dimensioni foglio: A4

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

Visto del Committente:

**INDICE**

<b>1</b>	<b>APPLICAZIONE DEL MODELLO DI PROPAGAZIONE SWAN .....</b>	<b>2</b>
1.1	GRIGLIE DI CALCOLO .....	2
1.1.1	<i>Griglia strutturata ("structured grid")</i> .....	3
1.1.2	<i>Sottogriglia ("nested grid")</i> .....	4
<b>2</b>	<b>PROPAGAZIONE SOTTOCOSTA DEGLI STATI DI MARE DI PROGETTO.....</b>	<b>5</b>
2.1	INTRODUZIONE .....	5
2.2	DEFINIZIONE DEGLI STATI DI MARE DI PROGETTO E CONDIZIONI DI CALCOLO .....	5
2.2.1	<i>Condizioni al contorno</i> .....	6
2.2.2	<i>Condizioni di calcolo</i> .....	6
2.2.3	<i>Risultati forniti dal modello</i> .....	6
<b>3</b>	<b>PROPAGAZIONE DA LARGO VERSO RIVA – GRANDE SCALA E SCALA DI DETTAGLIO .....</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>23</b>

# 1 APPLICAZIONE DEL MODELLO DI PROPAGAZIONE SWAN

Il Comune di Sapri (SA), rappresentato dal Responsabile del Settore tecnico-urbanistica ing. Alberto CIORCIARO, a seguito della Determinazione generale 280/n. sett. 63 del 07/05/2019, in data 05/06/2019 ha affidato l'incarico al Raggruppamento Temporaneo MODIMAR S.R.L. (mandataria) e SPARTA INGEGNERIA SRL (mandante) per l'esecuzione degli "STUDI SPECIALISTICI METEOMARINI E DI INGEGNERIA IDRAULICO-MARITTIMA" propedeutici alla progettazione definitiva ed esecutiva dei "LAVORI DI COMPLETAMENTO RIQUALIFICAZIONE TURISTICA DELLE AREE PORTUALI E COLLEGAMENTO DEL PORTO AL CENTRO URBANO" e "REALIZZAZIONE DI UN TERMINAL TURISTICO INTERMODALE IN LOCALITÀ BRIZZI", identificati nell'intervento ID14\_1 di cui all'allegato 3 del DDR n.115 del 18/12/2018.

La presente relazione riportata l'aggiornamento dello studio della propagazione sotto costa del moto ondoso definito al largo di Sapri e redatto nel 2006 dal suddetto Raggruppamento Temporaneo attraverso l'applicazione del modello numerico SWAN.

Il modello numerico SWAN simula la generazione e la propagazione degli spettri di moto ondoso da largo verso riva. SWAN è modello spettrale bidimensionale di propagazione del moto ondoso in grado di simulare i processi di rifrazione e shoaling, l'interazione non lineare tra le componenti spettrali (Triads e Quadruplets), il frangimento in acque profonde e basse (indotto dal fondale) ed il sovrizzo indotto dal moto ondoso frangente (wave set-up).

La simulazione della propagazione di uno stato di mare effettuata con SWAN fornisce come risultato la distribuzione spaziale, all'interno del dominio di calcolo, dei parametri del moto ondoso (come altezza, periodo direzione dell'onda), ma anche le variazioni di livello indotte dal moto ondoso (wave set-up).

## 1.1 Griglie di calcolo

Per l'esecuzione delle simulazioni si sono utilizzate due differenti griglie di calcolo:

- una griglia di tipo strutturato ("structured grid") per la propagazione da largo verso riva degli stati di mare più significativi, sia dal punto di vista climatico che dal punto dei valori estremi di moto ondoso posta nel golfo di Policastro;
- una sottogriglia strutturata ("nested grid") per la propagazione di dettaglio in prossimità del tratto di litorale di interesse;

### 1.1.1 Griglia strutturata ("structured grid")

La griglia strutturata utilizzata per le simulazioni con il modello SWAN è stata creata direttamente dal codice numerico, e riprodotta in Figura 1 tramite codice che opera in ambiente MATLAB. Il dominio mostrato in tale figura si estende fino a posizionare il contorno rappresentativo del mare aperto a circa 30 km dal litorale di Sapri, in acque profonde e abbastanza lontano dalla costa al fine di evitare potenziali problemi di interferenza con il moto ondoso in ingresso.

Il DEM utilizzato per la generazione della mesh rettangolare proviene da diverse fonti batimetriche. Al largo la batimetria è stata ricavata dalla carta nautica CN 11 edita dall'Istituto Idrografico della Marina Militare Italiana. Le curve batimetriche e i punti quotati sono stati georeferenziati e digitalizzati con il software QGIS.

Sottocosta i dati desunti dalla carta nautica sono stati integrati con i dati ottenuti a seguito del rilievo batimetrico condotto in loco. Per favorire i calcoli, è stata fissata una profondità minima pari a 1 m per tutto il dominio di calcolo.

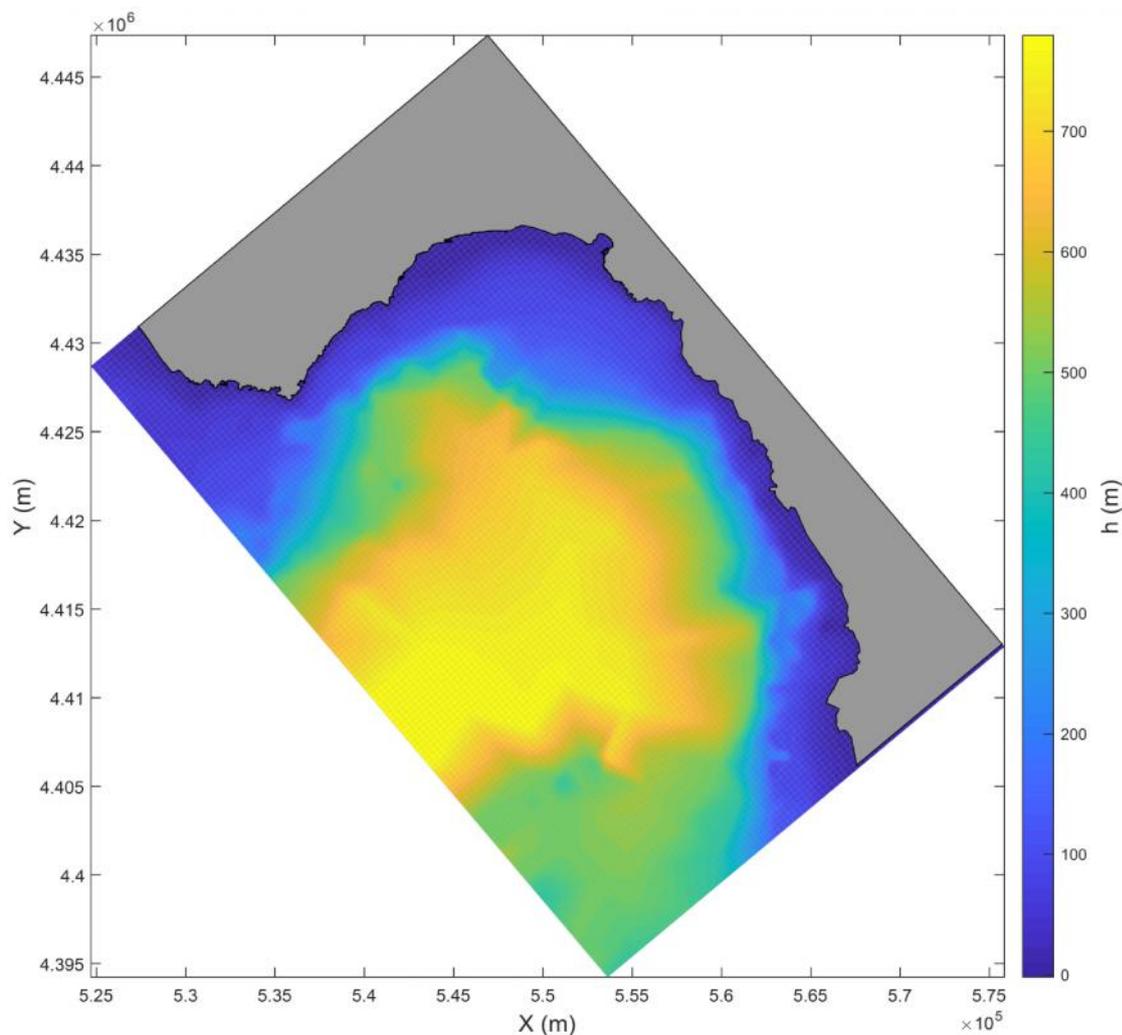


Figura 1 – Griglia strutturata che si estende nel golfo di Policastro. Il nord geografico è concorde con l'asse Y delle ordinate.

Per la costruzione della mesh strutturata formata da elementi quadrati, si è deciso di discretizzare il dominio con un passo lungo la direzione x e lungo y pari a 100 m. La lunghezza maggiore del dominio risulta pari a 45 km e quella minore pari a 29 km. Gli elementi totali costituenti il dominio è pari a 130500.

### 1.1.2 Sottogriglia (“nested grid”)

Per analizzare le condizioni di moto ondoso che si verificano in occasione degli stati di mare estremi di progetto, lungo la fascia litoranea emersa in presenza della struttura portuale sono state condotte ulteriori simulazioni utilizzando una griglia di dettaglio annidata (“nested grid”) al fine di definire con maggiore dettaglio il campo.

La sottogriglia presenta un’estensione di 1600 m lungo entrambe le direzioni principali ed è orientata con l’asse delle x orientato di 50° in senso orario. Tale griglia di calcolo presenta un passo di discretizzazione pari a 8 m che ha quindi permesso di ricostruire il dominio di calcolo con un elevato dettaglio. Il risultato è riportato in Figura 2.

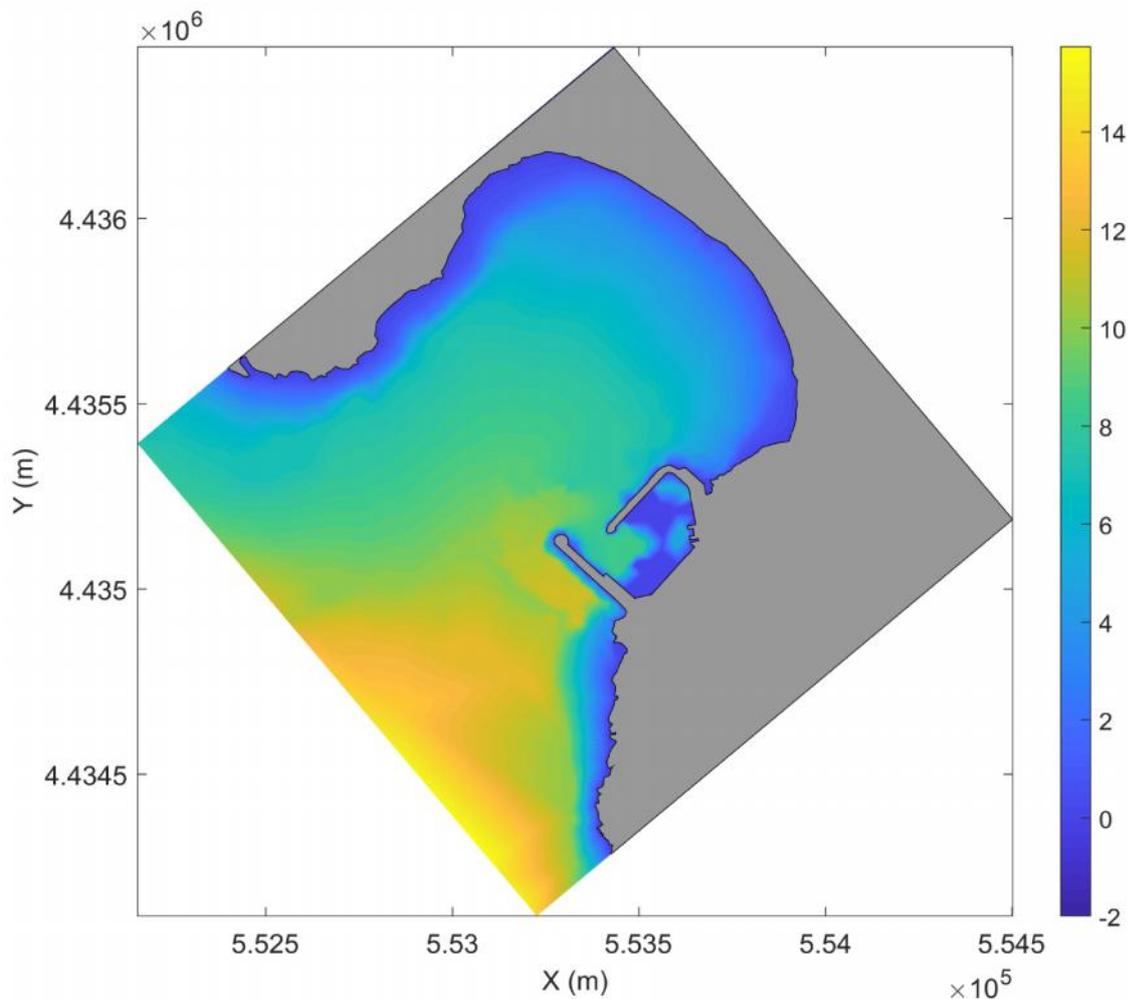


Figura 2 – Rappresentazione di linee e punti batimetrici interpolati nella sottogriglia con passo di 8 m nella zona a ridosso dell’infrastruttura portuale.

## **2 PROPAGAZIONE SOTTOCOSTA DEGLI STATI DI MARE DI PROGETTO**

### **2.1 Introduzione**

Nel presente capitolo sono illustrati i risultati delle simulazioni numeriche condotte con il modello SWAN per determinare le condizioni di moto ondoso di progetto in prossimità del litorale di Sapri e più specificatamente al piede dell'opera.

Nella prima fase, utilizzando la griglia di calcolo principale nella prima fase di studio sono state determinate le condizioni di moto ondoso per i diversi stati di mare selezionati. Nella seconda fase di studio, utilizzando le condizioni al contorno ottenute in precedenza, sono state effettuate una serie di simulazioni utilizzando la griglia di dettaglio precedentemente descritta.

Le simulazioni sono state condotte variando il livello marino in modo da ottenere tutte le possibili coppie di valori altezza d'onda-livello con le quali verificare il comportamento idraulico dell'opera.

### **2.2 Definizione degli stati di mare di progetto e condizioni di calcolo**

Sulla base dei risultati delle analisi condotte per lo studio meteomarinico di progetto, al quale si rimanda per ulteriori approfondimenti, sono stati selezionati gli stati di mare estremi più significativi per la verifica dell'opera.

Gli stati di mare di progetto, riportati in Tabella 1, sono stati definiti utilizzando una combinazione dei valori di livello marino, vento e moto ondoso al largo ( $H_s$ ,  $T_p$ ,  $Dir$ ) associati ad uno specifico tempo di ritorno e si riferiscono ad un punto posto al largo nel Golfo di Policastro.

$T_r$ (anni)	$H_s$ (m)	$T$ (s)	$DIR_{wave}(^{\circ}N)$	$DIR_{wind}(^{\circ}N)$
100	8.0	13.5	230	180
100	8.0	13.5	250	210
100	8.0	13.5	270	310
5	6.0	12.0	230	180
5	6.0	12.0	250	210
5	6.0	12.0	270	310
1	4.0	10.0	190	160
1	4.0	10.0	210	270
1	4.0	10.0	230	180
1	4.0	10.0	250	210
1	4.0	10.0	270	310
ordinarie	3.0	8.0	190	160
ordinarie	3.0	8.0	210	270

Tabella 1 – Elenco delle condizioni di moto ondoso simulate con il modello SWAN.

### 2.2.1 Condizioni al contorno

Come condizioni al contorno lungo i lati della griglia di calcolo principale esposti al mare aperto sono stati applicati i parametri di moto ondoso ( $H_s$ ,  $T_p$  e  $DIR_{wave}$ ) associati agli stati di mare estremi precedentemente definiti e riportati in Tabella 1. Il corrispondente vento ( $U_w$ ,  $DIR_{wind}$ ) è stato applicato uniformemente su tutto il dominio di calcolo.

### 2.2.2 Condizioni di calcolo

Le simulazioni sono state condotte sfruttando la capacità del modello SWAN di simulare la generazione e la propagazione del moto ondoso riproducendo i processi di rifrazione e shoaling.

I termini dissipativi di cui si è tenuto conto nelle simulazioni sono rappresentati dall'attrito sul fondo (poco significativo nelle zone con elevato fondale) e dal frangimento dovuto al fondale assumendo un coefficiente di frangimento  $\gamma_b = H_b/h_b = 0.75$ .

Nelle simulazioni di dettaglio sono inoltre stati attivati i termini non lineari di interazione del moto ondoso (TRIADS) che provocano il trasferimento di energia tra le varie frequenze che costituiscono lo spettro del moto ondoso.

### 2.2.3 Risultati forniti dal modello

SWAN risolve l'equazione che descrive la propagazione dell'energia associata al moto ondoso e consente di determinare, in ogni nodo della griglia di calcolo, la distribuzione,

in frequenza ed in direzione, della densità di energia,  $E(f, \theta)$ , detta anche spettro di moto ondoso.

Sulla base di questa elaborazione il modello può fornire i principali parametri del moto ondoso (altezza d'onda, direzione, periodo) ed altri parametri associati allo spettro di moto ondoso:

$$\text{Altezza d'onda significativa spettrale} \quad H_{m0} = 4\sqrt{m_0}$$

$$\text{Periodo medio spettrale} \quad T_{m-1,0} = \frac{m_{-1}}{m_0}$$

$$\text{Direzione media} \quad DIR = \arctan \left[ \frac{\int \int \sin \theta E(f, \theta) df d\theta}{\int \int \cos \theta E(f, \theta) df d\theta} \right]$$

dove i termini  $m_0$ ,  $m_{-1}$  ed  $m_1$  rappresentano i momenti di ordine  $n$  dello spettro:

$$m_n = \int \int f^n E(f, \theta) df d\theta$$

### 3 PROPAGAZIONE DA LARGO VERSO RIVA – GRANDE SCALA E SCALA DI DETTAGLIO

Nelle pagine seguenti, sono riportati risultati delle simulazioni per gli stati di mare associati ai valori riportati in Tabella 1, su grande scala e su scala di dettaglio.

I risultati presentati evidenziano in generale che durante la propagazione da largo verso riva il moto ondoso, risente dei fenomeni di rifrazione indotti dal fondale. Gli eventi di moto ondoso appartenenti al settore di traversia principale, con direzione di provenienza al largo  $230^\circ$  e  $270^\circ$ N, sono in parte schermati dal confine ovest del golfo, in particolare dal promontorio di Punta degli Infreschi, cosicché sottocosta si presentano attenuati e ruotati in direzione SudOvest (effetto schermo).

Gli stati di mare estremi provenienti da  $210^\circ$  N si propagano senza risentire dello schermo offerto dalla costa e si presentano sottocosta con un'energia maggiore. Sono questi gli stati di mare che possono generare le condizioni di moto ondoso più severe in termini di altezza d'onda significativa  $H_s$  in prossimità del litorale di Sapri.

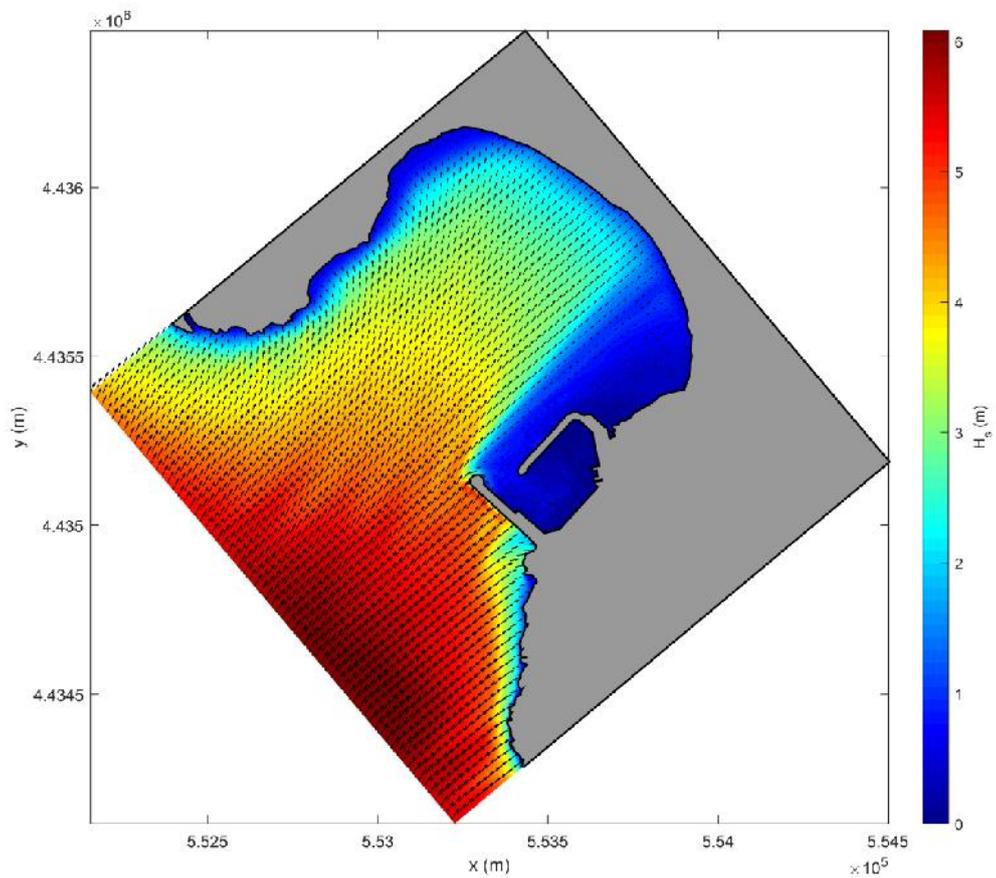
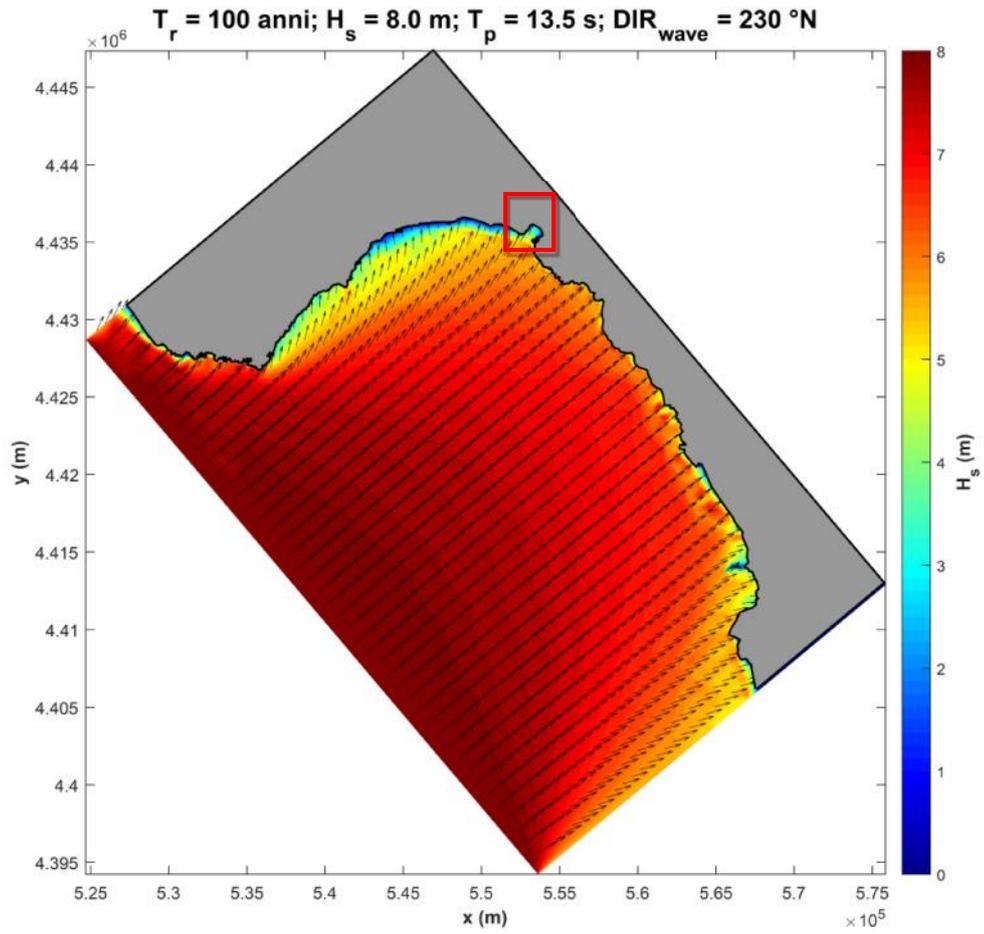
Gli stati di mare appartenenti al settore di traversia secondario, si propagano verso riva senza incontrare ostacoli e si presentano pertanto sottocosta poco attenuati e poco ruotati.

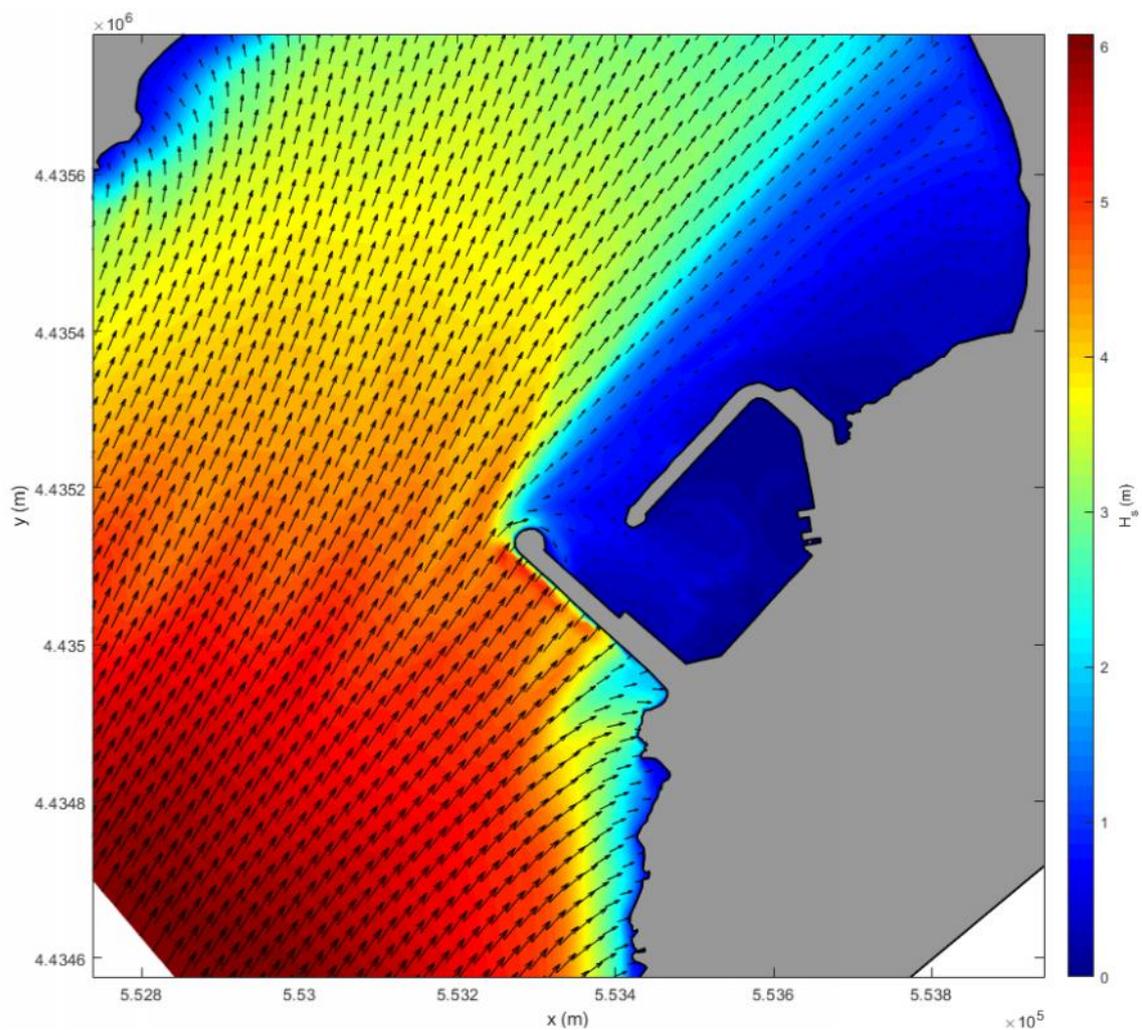
Sottocosta la propagazione del moto ondoso risente maggiormente della rotazione del moto ondoso che tende ad incidere normalmente sia al braccio esterno del porto che alla spiaggia antistante il comune di Sapri. Al margine delle griglie di calcolo sono state applicate le condizioni al contorno (in termini spettrali) estratte dalle simulazioni condotte sulla griglia principale. Le simulazioni sono state condotte abbinando alle condizioni di vento e moto ondoso diversi livelli di mare.

Di seguito sono riportati i risultati in forma grafica tramite la rappresentazione del campo di altezza d'onda significativa per tutti gli eventi riportati in tabella. Per ogni condizione di moto ondoso sono riportate due rappresentazioni grafiche, la prima relativa alla griglia grande, la seconda relativa alla griglia di dettaglio sottocosta.

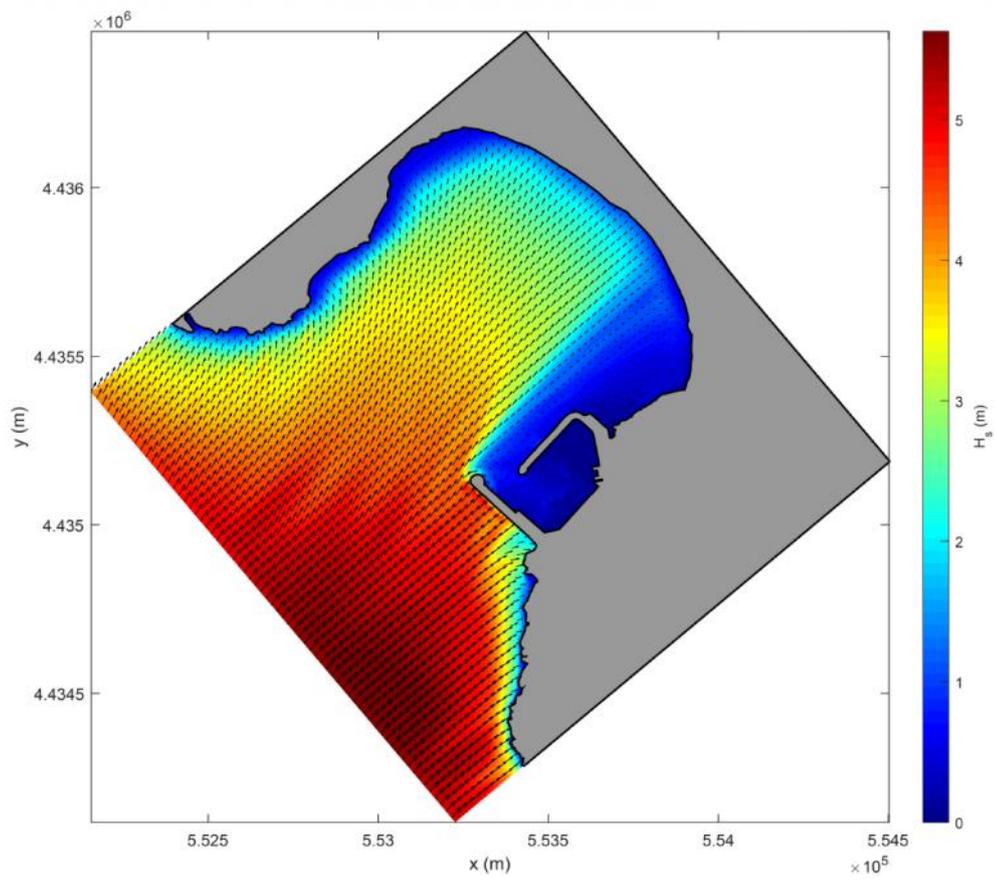
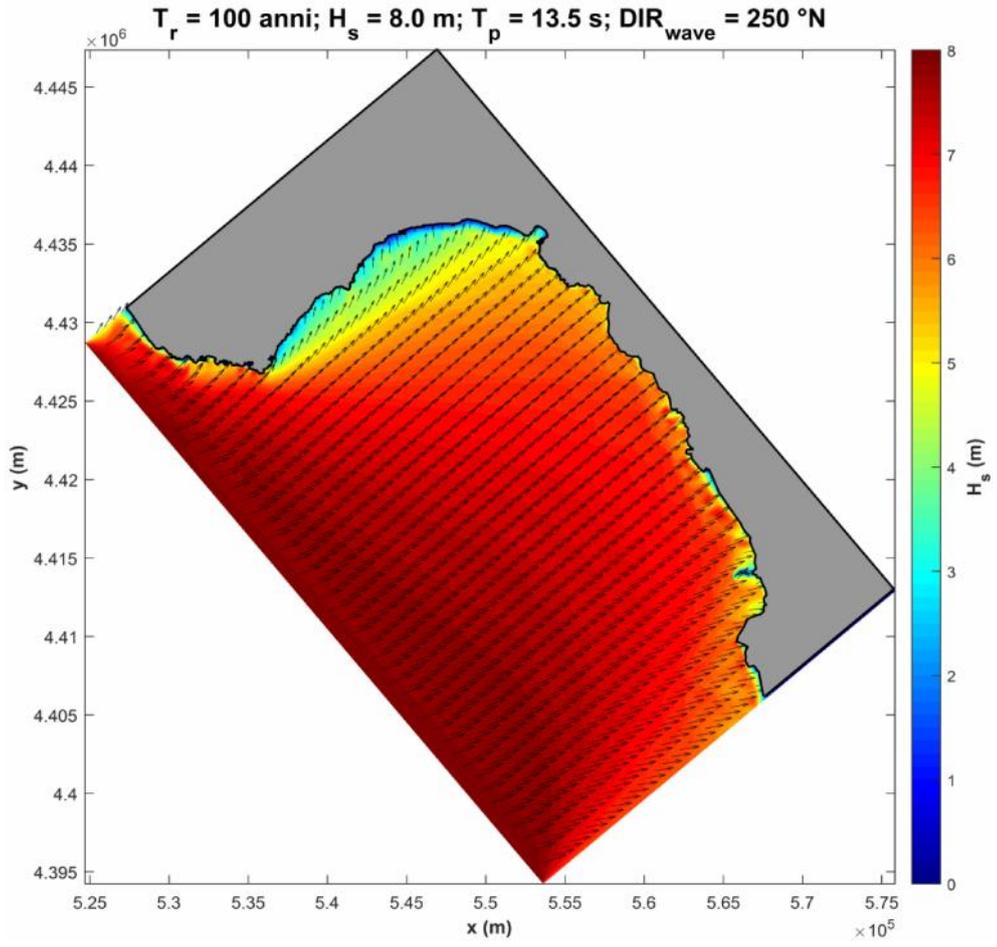
Le condizioni dalla 1 alla 3 fanno riferimento ad eventi con tempo di ritorno di 100 anni provenienti dal settore principale. Le condizioni dalla 4 alla 6 fanno riferimento ad eventi con tempo di ritorno di 5 anni provenienti dal settore principale. Le condizioni dalla 7 alla 11 fanno riferimento ad eventi con tempo di ritorno annuale provenienti sia da settore di traversia principale che secondario. Infine, le ultime due condizioni fanno riferimento ad eventi in condizioni ordinarie provenienti da settore secondario.

**Condizione 1:**

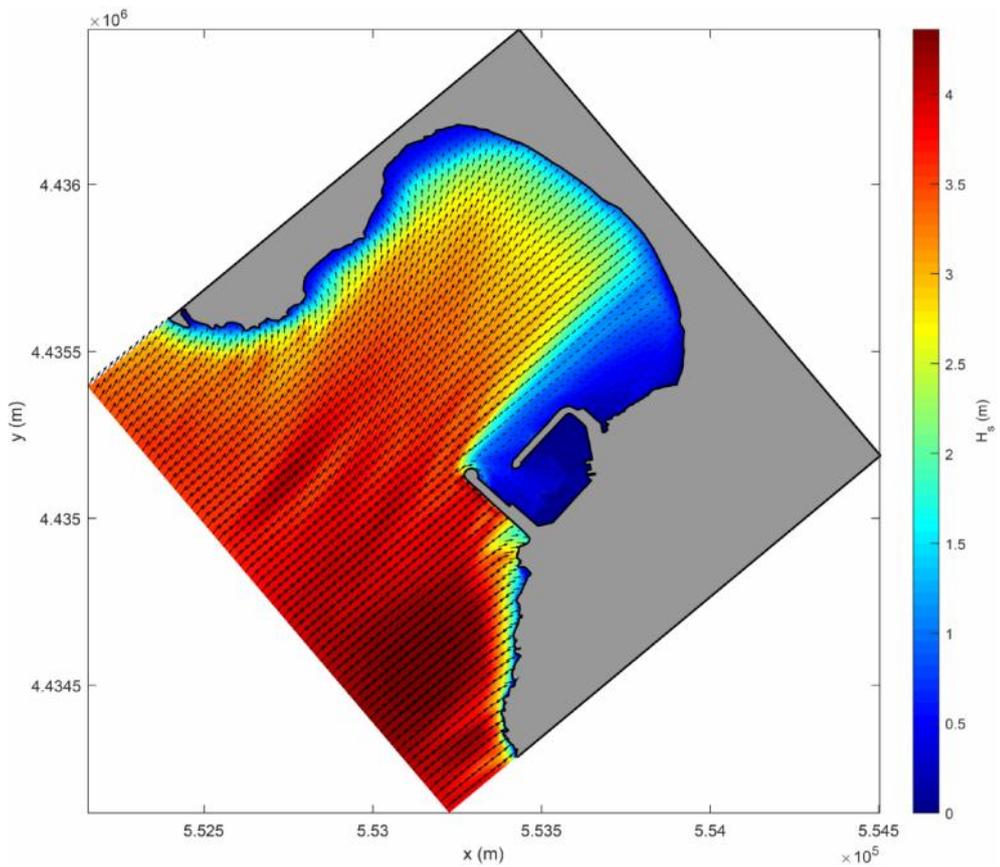
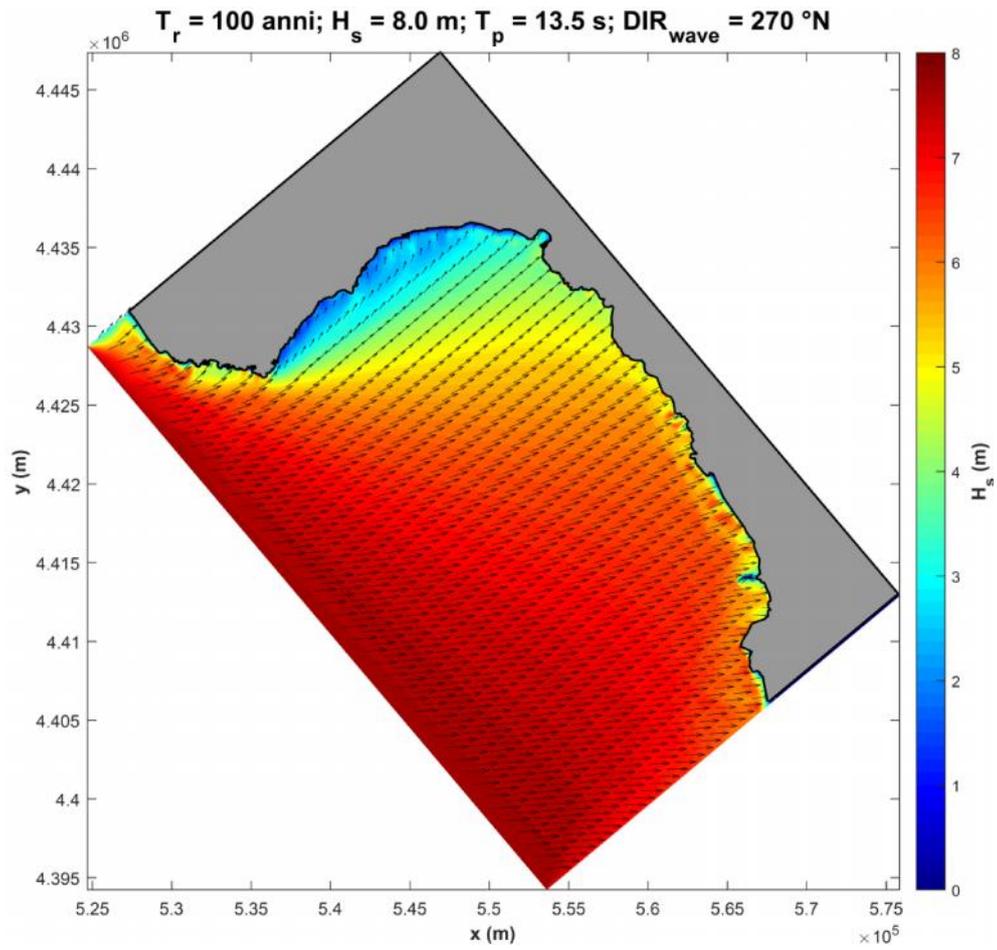




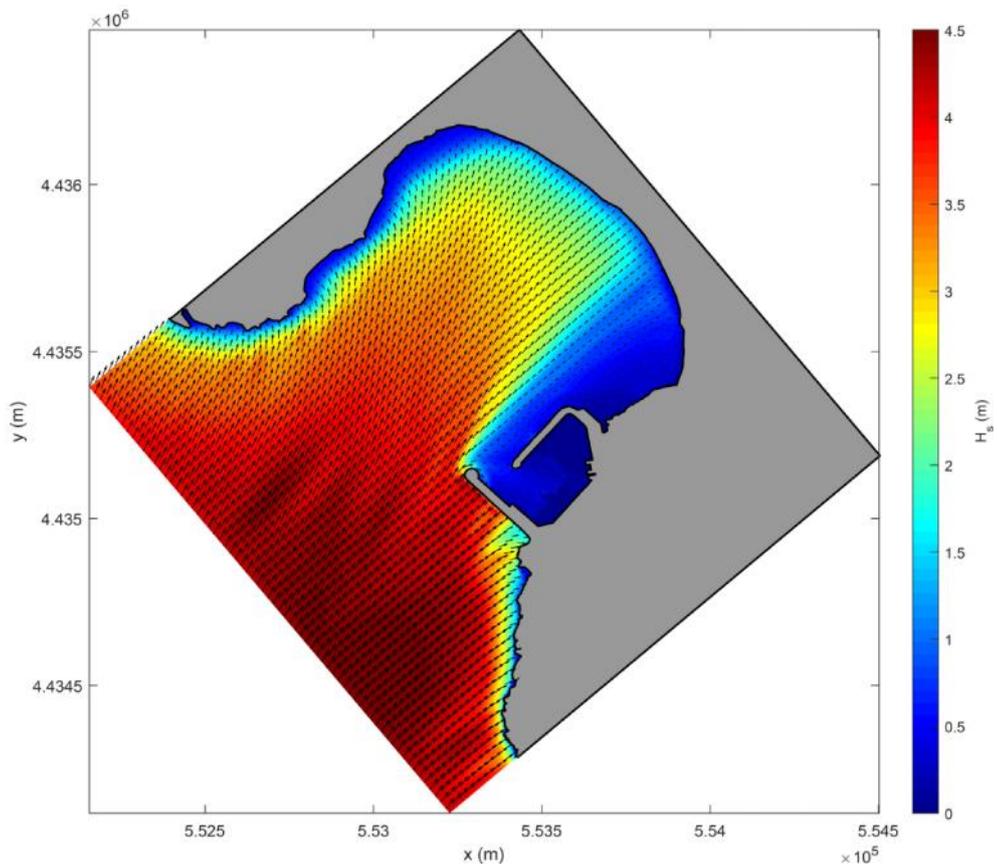
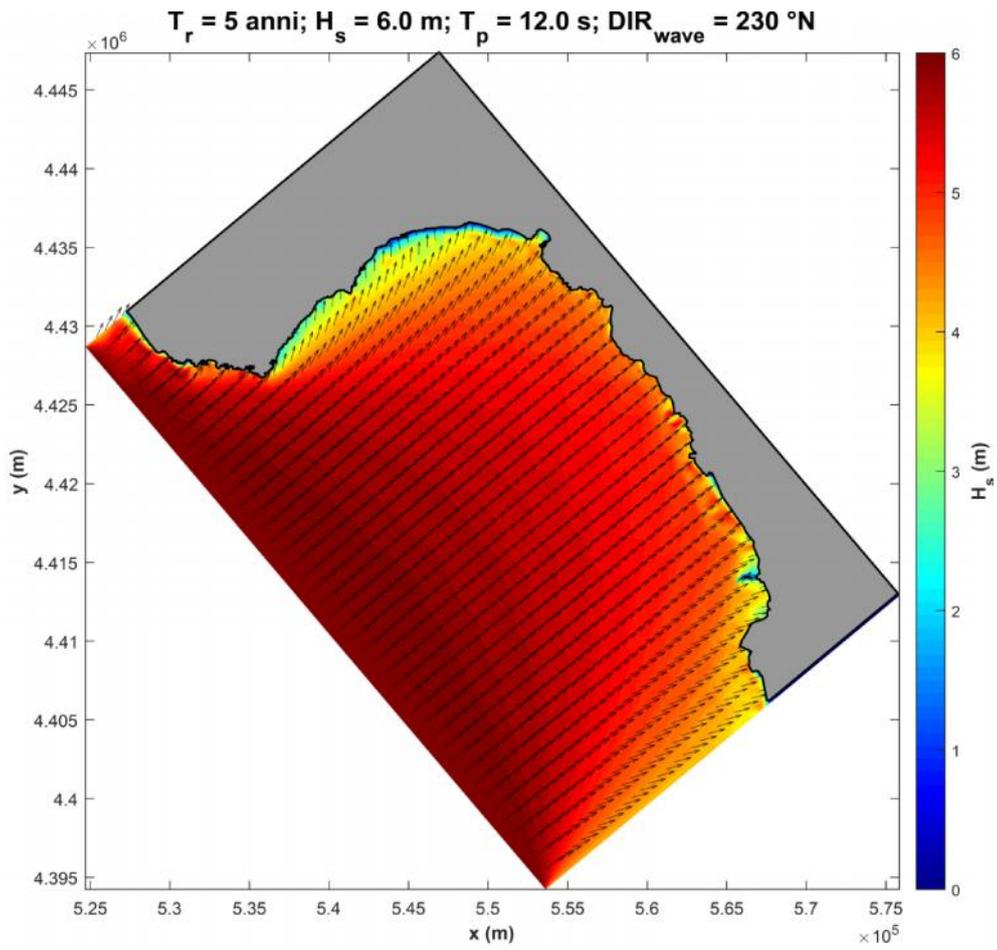
**Condizione 2:**



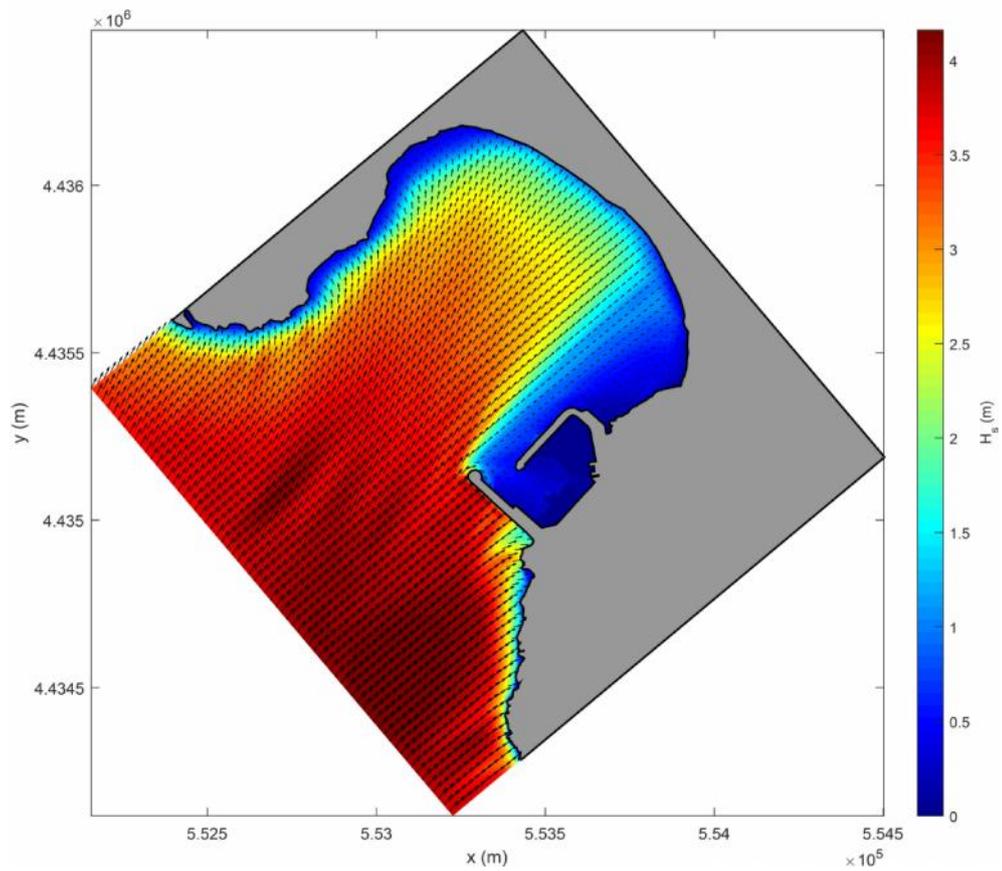
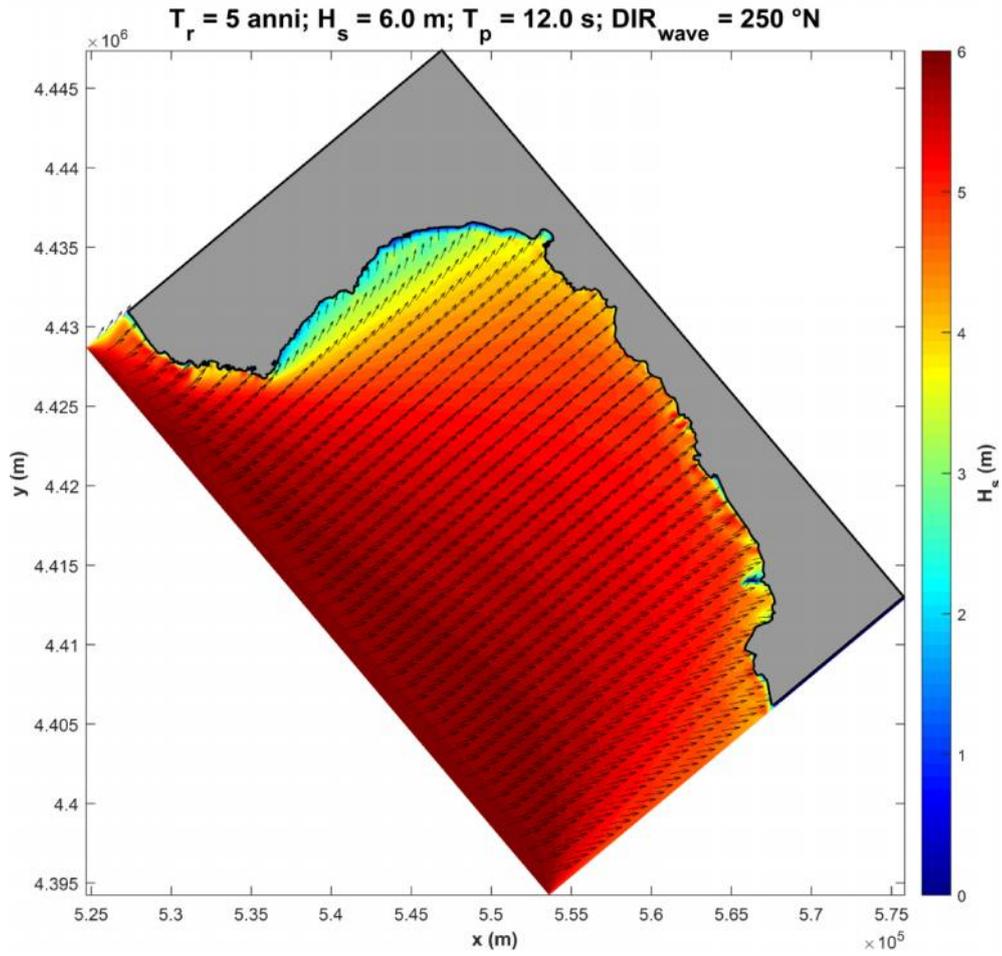
**Condizione 3:**



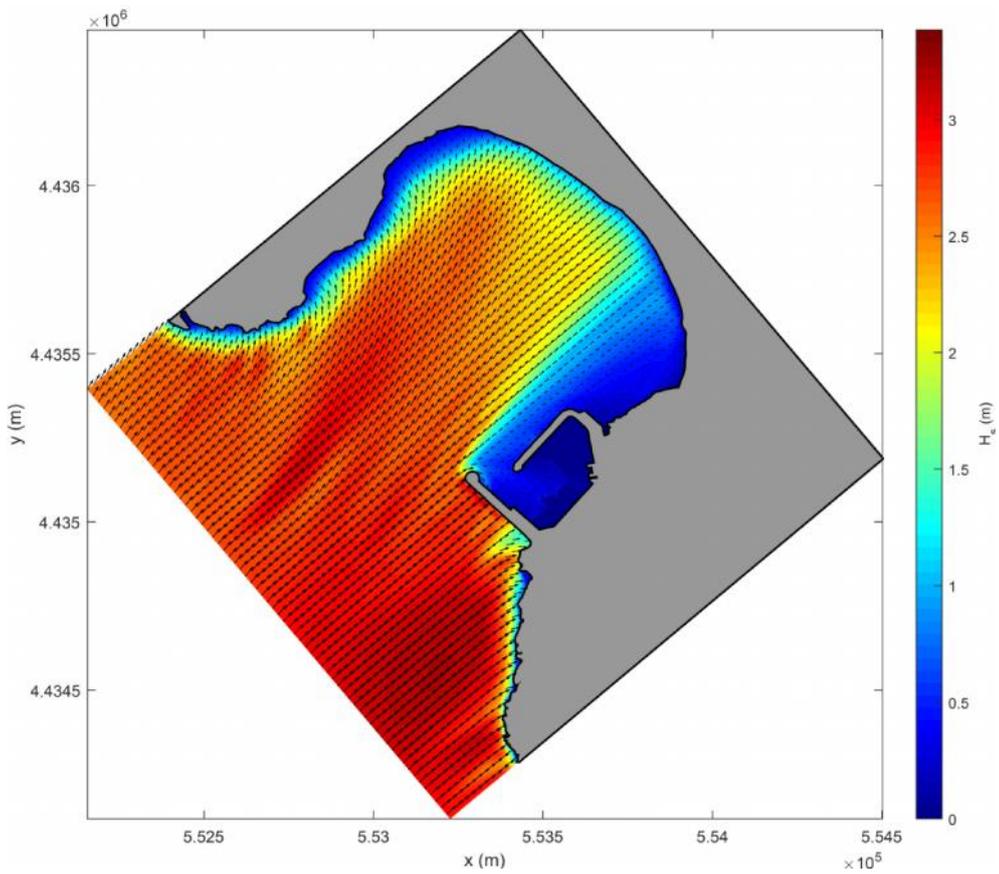
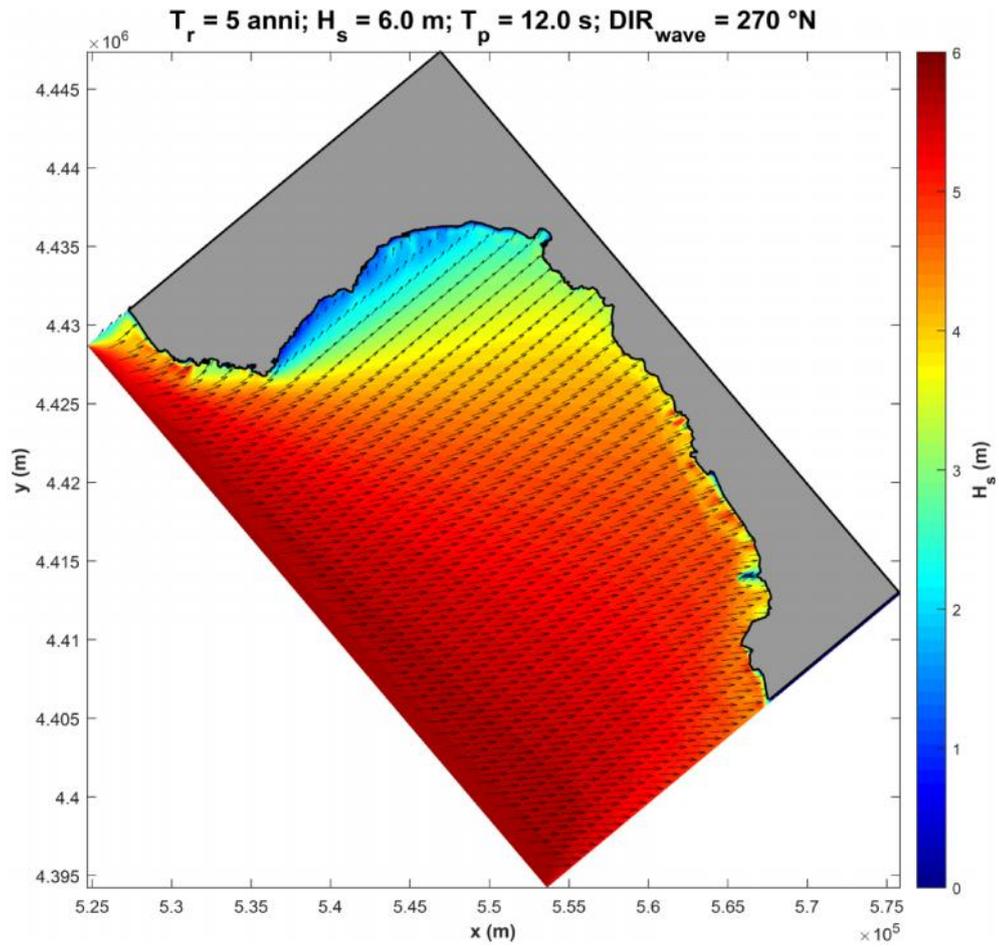
**Condizione 4:**



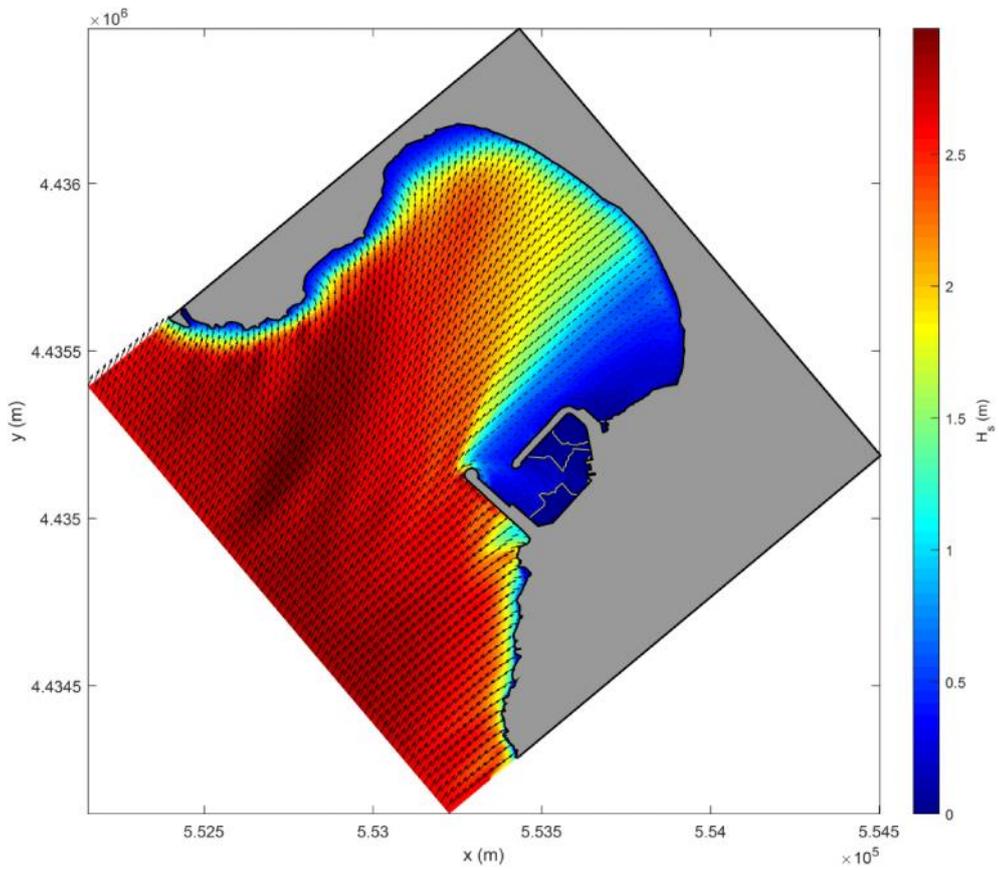
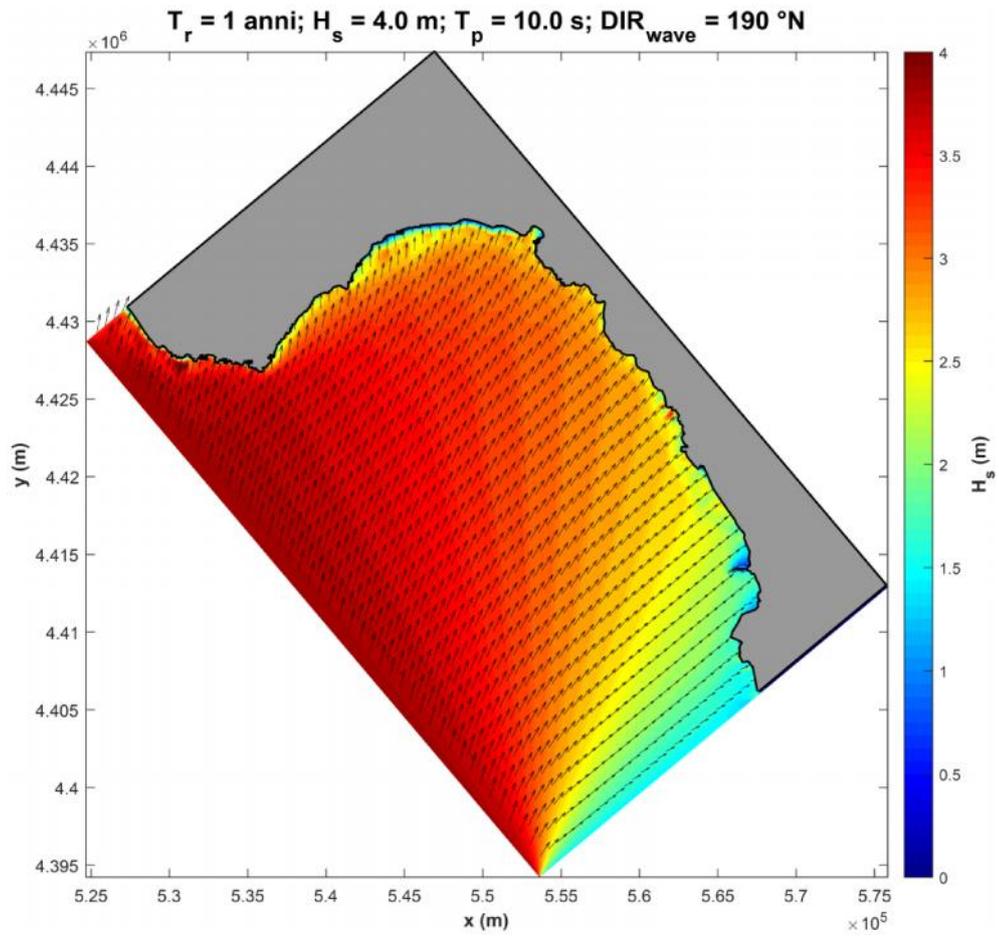
**Condizione 5:**



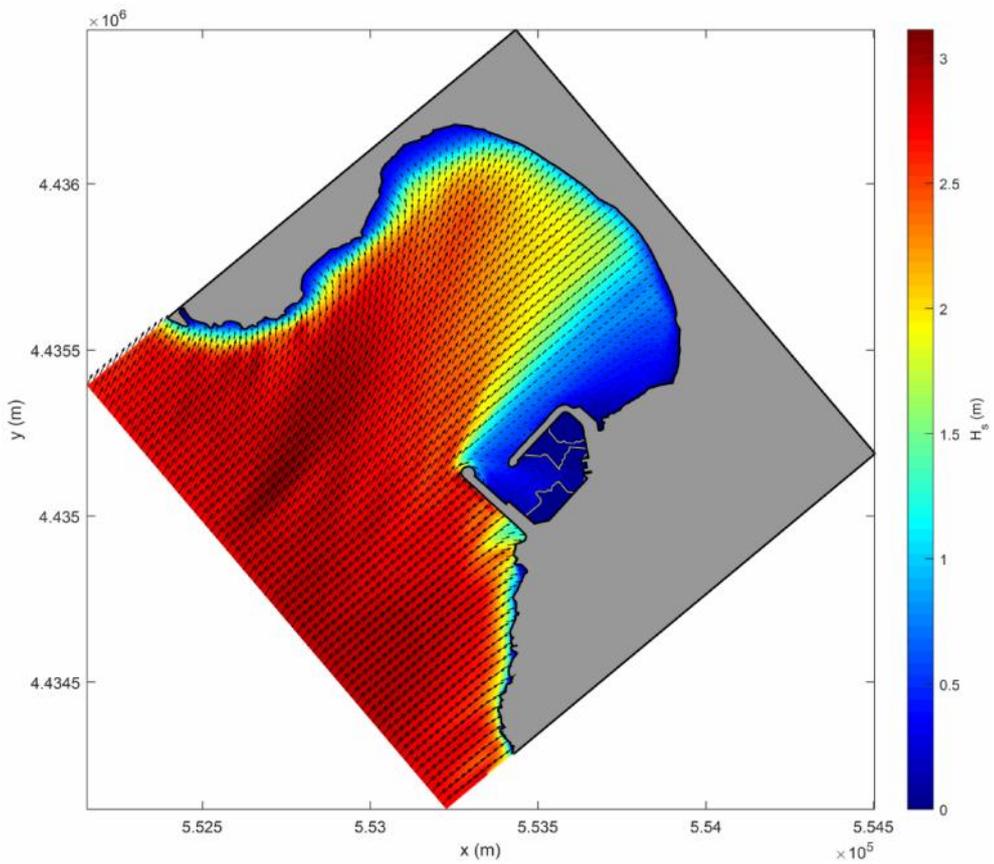
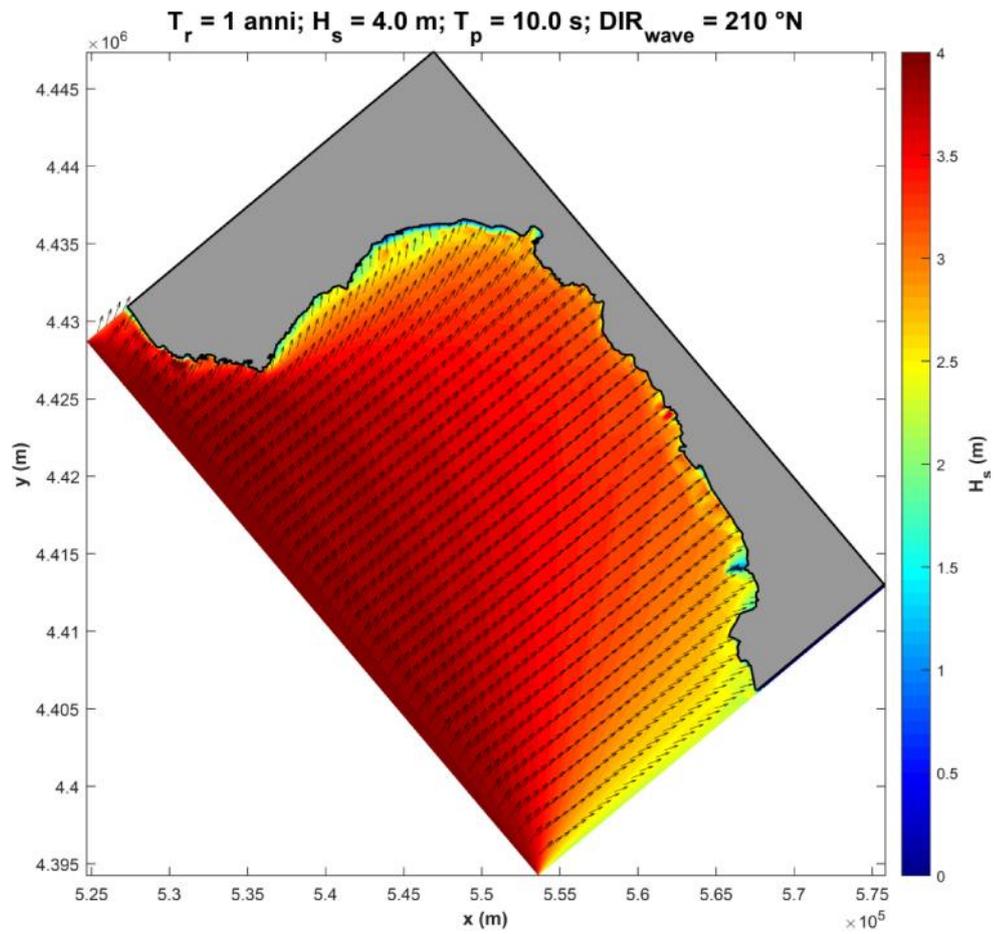
**Condizione 6:**



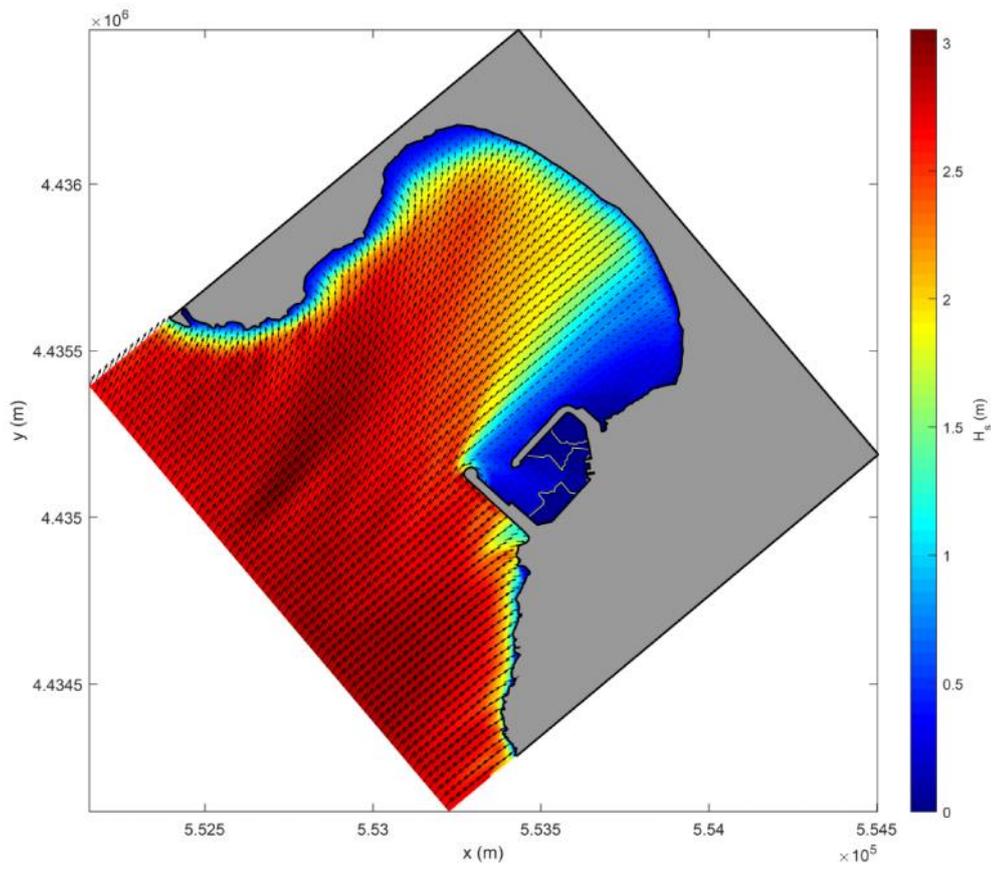
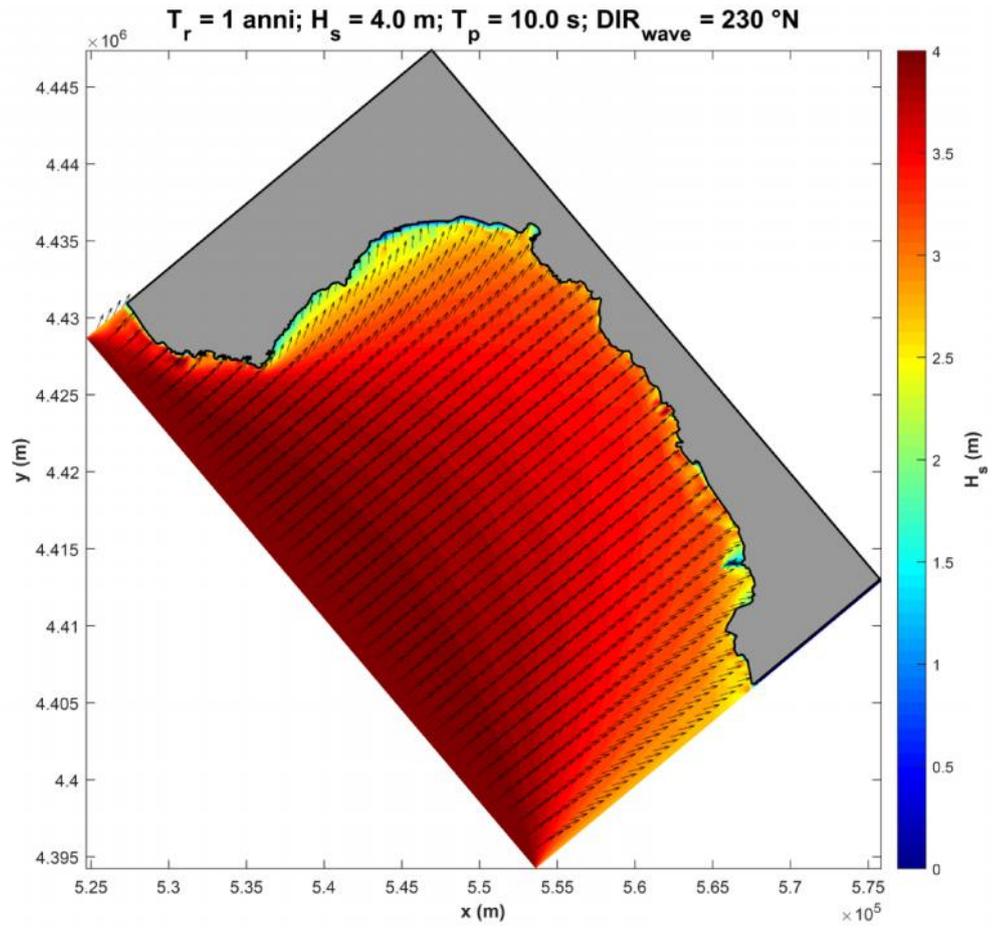
**Condizione 7:**



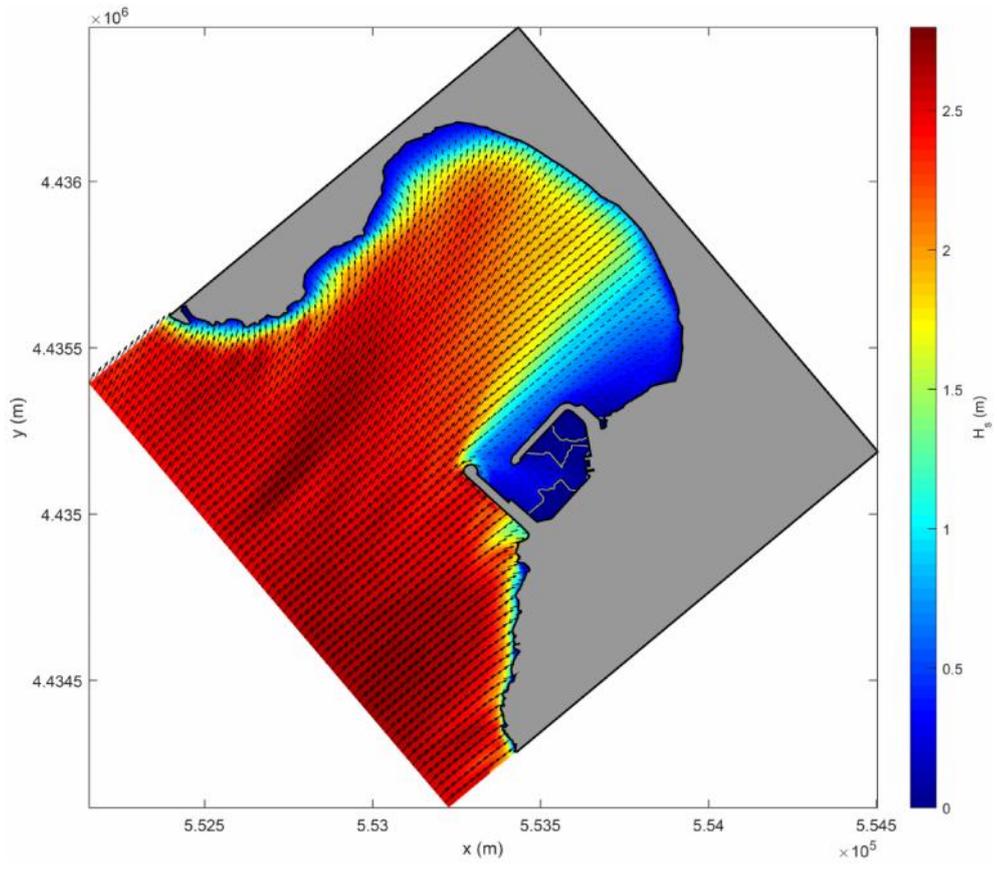
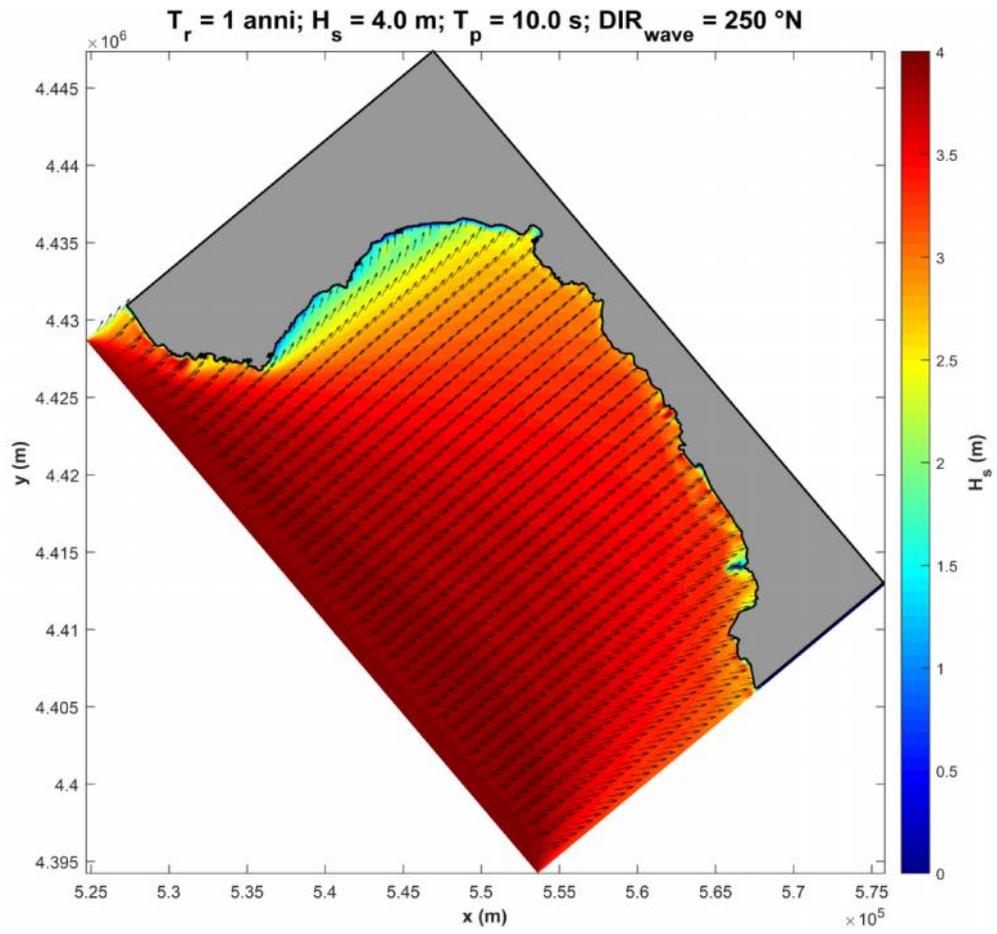
**Condizione 8:**



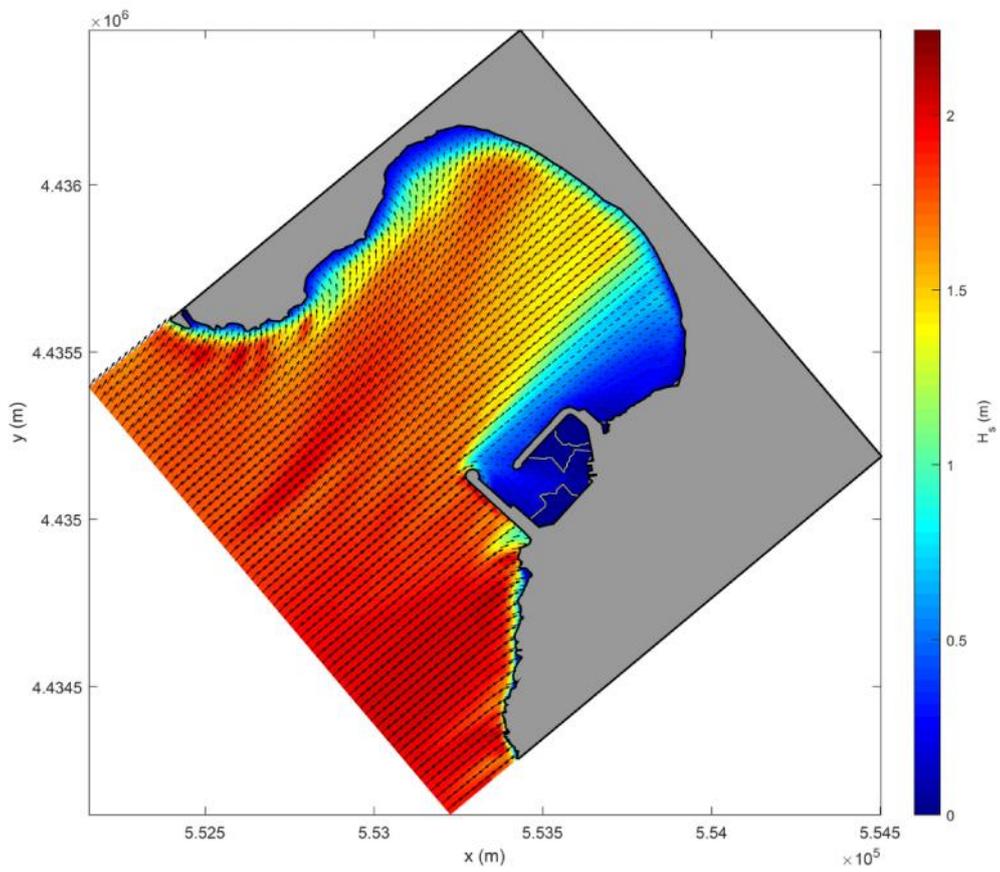
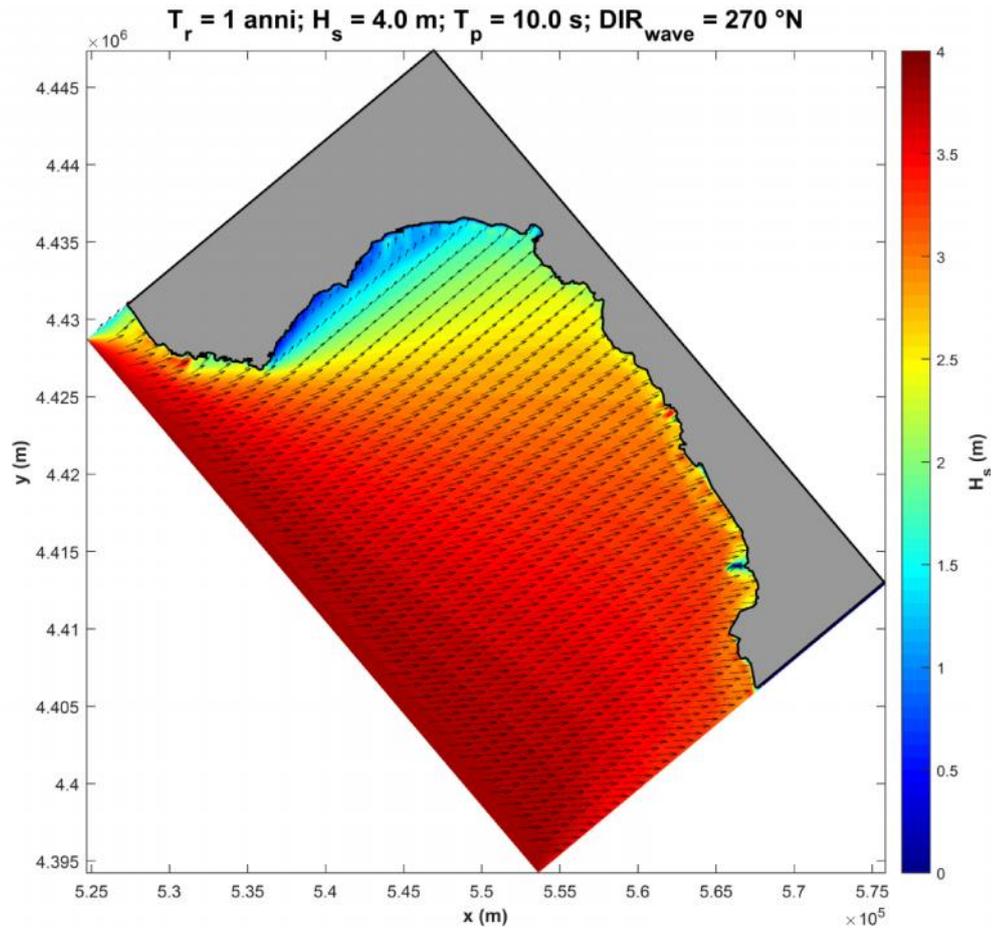
**Condizione 9:**



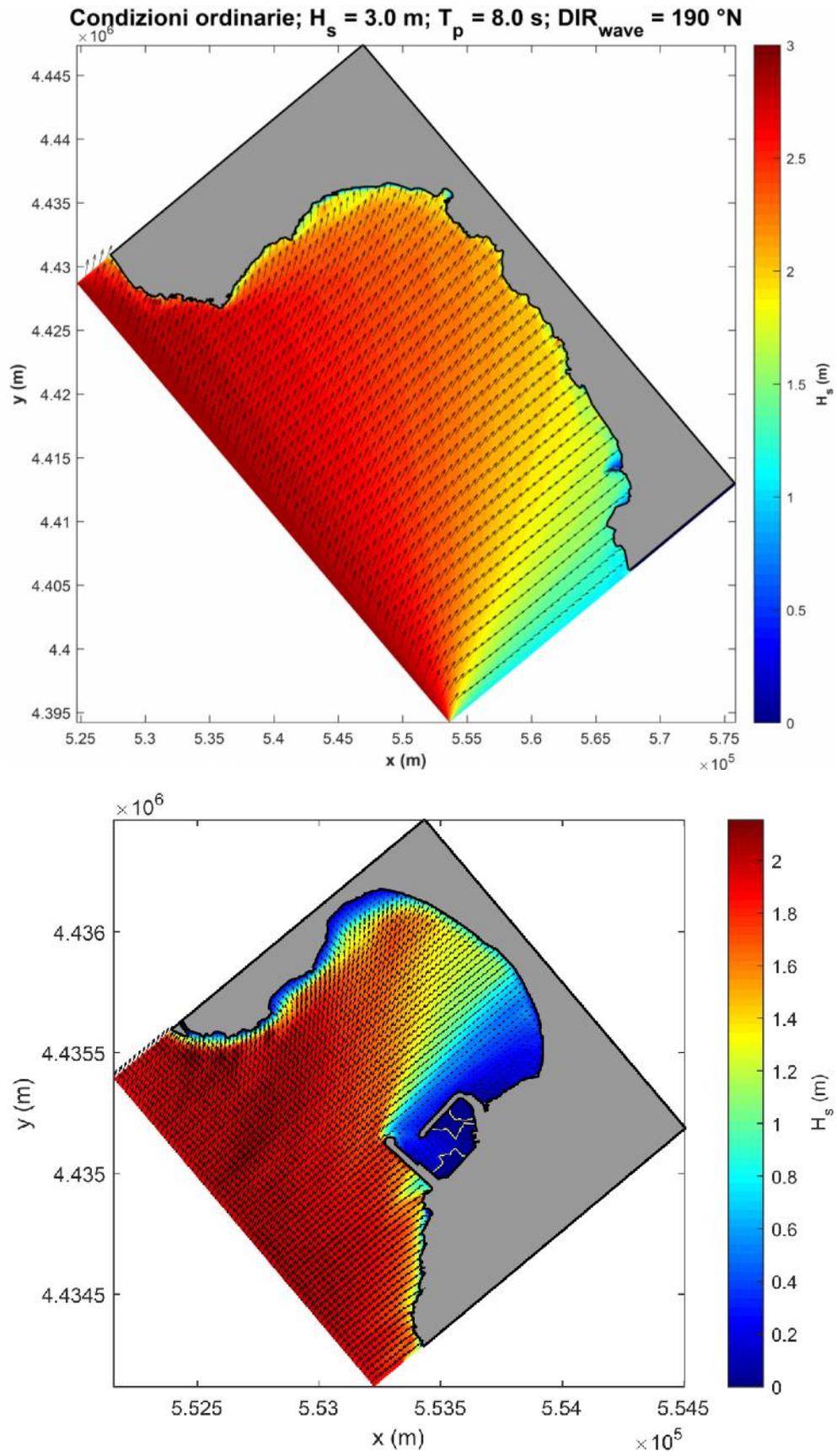
**Condizione 10:**



**Condizione 11:**

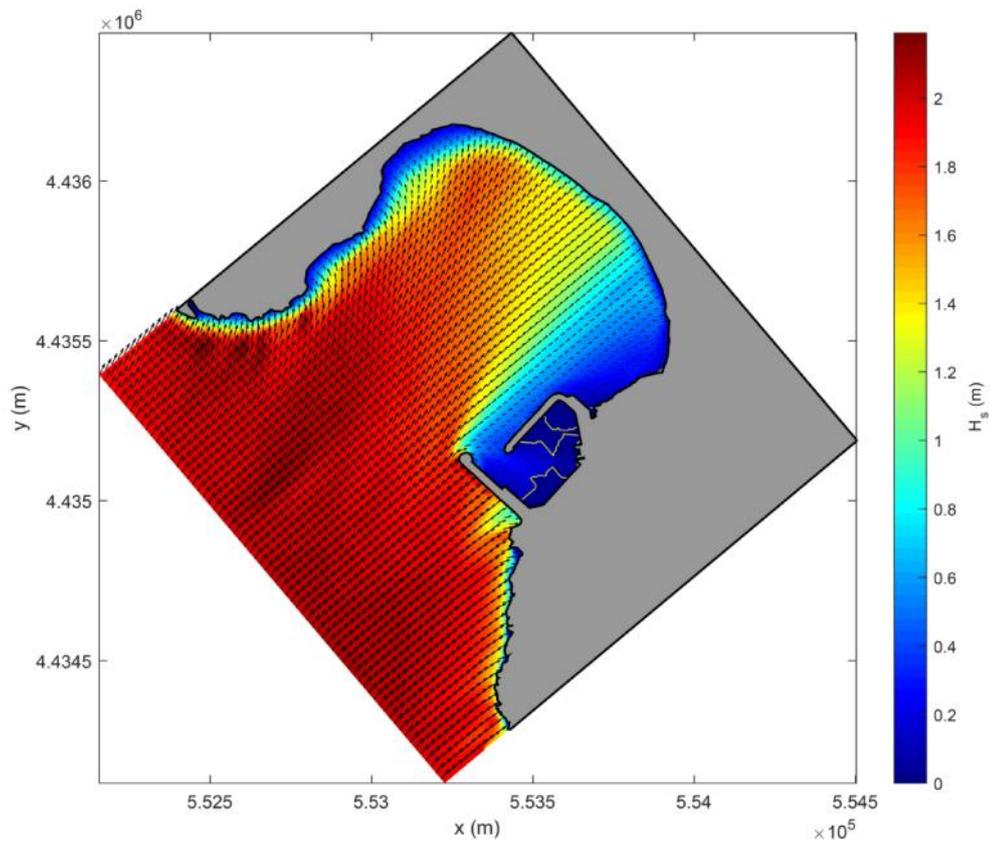
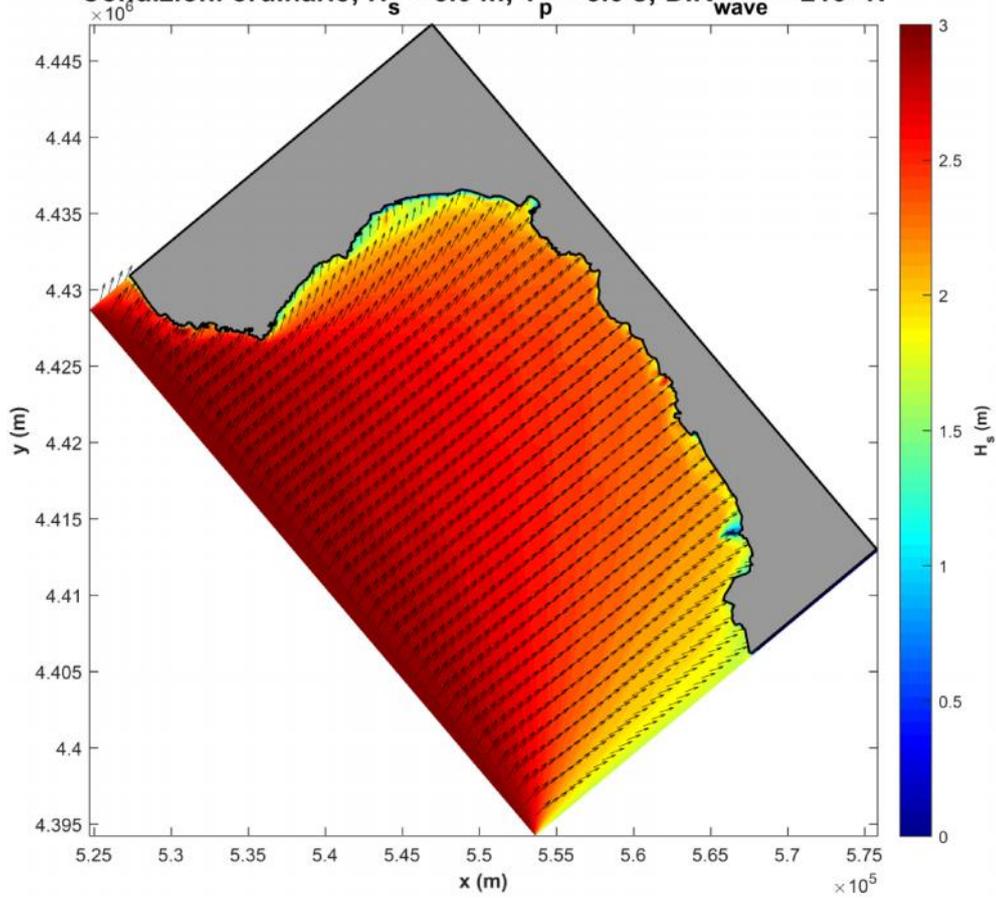


**Condizione 12:**



**Condizione 13:**

Condizioni ordinarie;  $H_s = 3.0$  m;  $T_p = 8.0$  s;  $DIR_{wave} = 210^\circ N$



## 4 CONCLUSIONI

Per l'analisi delle condizioni di esposizione della fascia litoranea di Sapri agli stati di mare estremi, sia ordinari (aventi tempo di ritorno 1 anno) che eccezionali (aventi tempo di ritorno 5 e 100 anni), si è utilizzato il modello SWAN (Simulating WAVes Nearshore) per simulare la propagazione spettrale del moto ondoso ed il conseguente innalzamento del livello marino (wave set-up), tenendo conto anche dei processi di generazione e/o incremento delle onde dovuti all'azione del vento.

In una prima fase di questo studio specialistico, per propagare gli stati di mare dal largo (alti fondali) verso costa, il modello SWAN è stato utilizzato impostando una griglia molto estesa a maglie regolari ("structured grid").

I risultati di questa prima serie di simulazioni hanno fornito le condizioni al contorno per una seconda fase di simulazioni di dettaglio dei processi di propagazione del moto ondoso e relativi campi idrodinamici sino al margine della fascia litoranea emersa in presenza della struttura portuale.