



COMUNE DI CASTIGLIONE DELLA PESCAIA



**MARINA DI PUNTA ALA S.P.A.**  
 LOCALITA' IL PORTO SNC  
 PUNTA ALA - CASTIGLIONE DELLA PESCAIA (GR)  
 42°48',48 N - 10°44',22 E

# AMPLIAMENTO DEL PORTO TURISTICO DI PUNTA ALA STRALCIO FUNZIONALE OPERE CIVILI MARITTIME

# B.13

## PROGETTO DEFINITIVO

**RILIEVI, INDAGINI E STUDI SPECIALISTICI**  
**MODELLISTICA NUMERICA VALUTAZIONE  
 DEGLI EFFETTI INDOTTI SULLA COSTA**

20 012 DR B 013 0

Committente

Marina di Punta Ala S.p.a.  
 sede legale:  
 Castiglione della Pescaia (GR)  
 Loc. Il Porto - Punta Ala

Progettazione opere marittime:

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

  
 Modimar Project S.r.l.  
 Via Asmara 72 - 00199 Roma

Progettazione:

Ing. Marco TARTAGLINI  
 Ing. Marco DEL BIANCO  
 Ing. Andrea SANZONE

Gruppo di lavoro:

Ing. Alessio CAMUSI  
 Ing. Valerio TRULLI  
 Dott.ssa Sara SCRIMIERI

Consulenza geotecnica:

AGiS Ingegneria s.r.l.  
 Ing. Giuseppe IORIO

**ELABORATO REDATTO DA:**  
**DICEA**  
 DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E  
 AMBIENTALE DELL'UNIVERSITÀ DI  
 FIRENZE

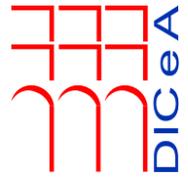
05.04.2024	0	EMISSIONE			M.T.
Data	Rev.	DESCRIZIONE	Redatto:	Verificato:	Approvato:
La MODIMAR s.r.l. si riserva la proprietà di questo documento con la proibizione di riprodurlo o trasferirlo a terzi senza autorizzazione scritta. This document is property of MODIMAR s.r.l. Reproduction and divulgation forbidden without written permission					



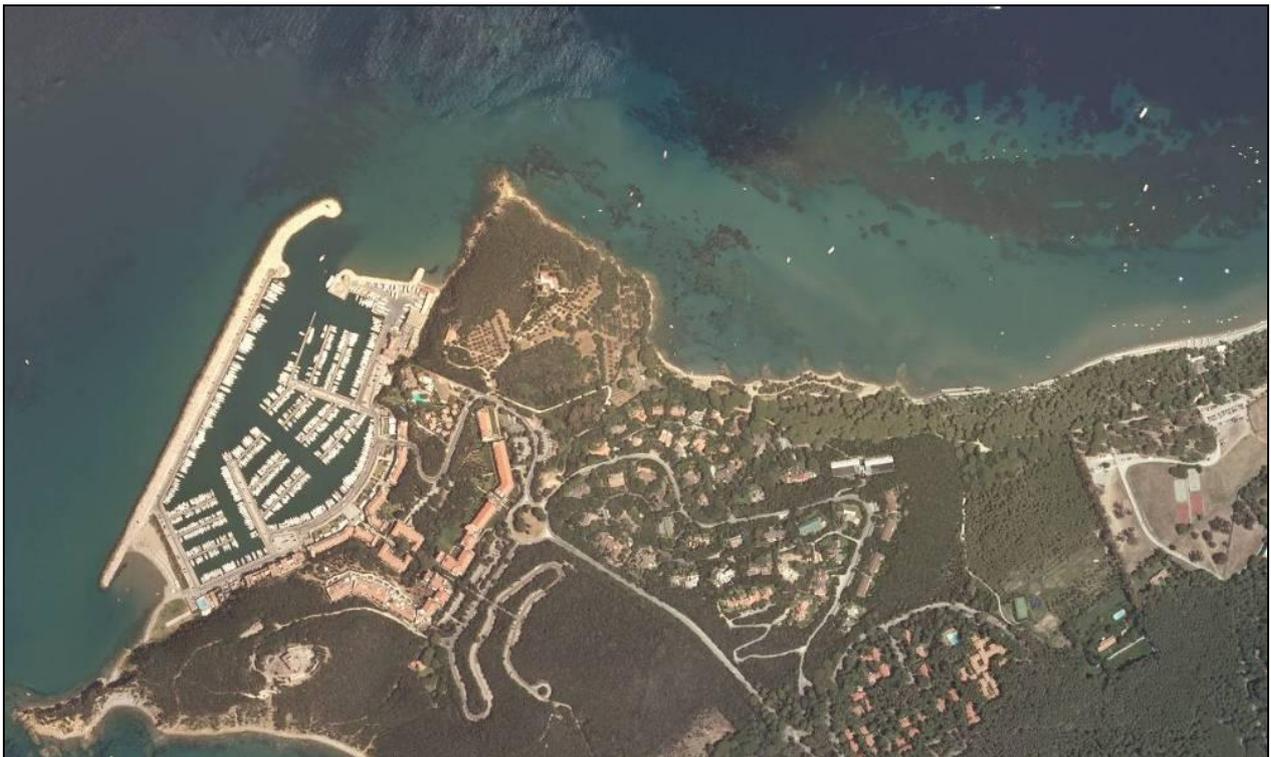
Università degli Studi di Firenze

Dipartimento di Ingegneria

Civile e Ambientale



*Modellistica numerica per la valutazione degli  
effetti indotti sulla costa con la modifica  
dell'imboccatura del Porto di Punta Ala*



## 1 PREMESSA

Il Porto Turistico di Punta Ala, in presenza di tempeste di vento da Grecale, è soggetto a fenomeni di agitazione sia interna sia nell'area dell'imboccatura. Le onde generate, che dati i fetch molto limitati hanno un'altezza non superiore al metro ma frequenza elevata, possono penetrare direttamente nel porto creando problemi prevalentemente alle imbarcazioni ormeggiate dietro la diga foranea.

Questi fenomeni si sono verificati con maggiore frequenza negli ultimi anni.

La Società Marina di Punta Ala S.p.A. ha commissionato al Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università di Firenze una serie di modellazioni numeriche aventi lo scopo:

- a) di verificare l'efficacia di una serie di possibili alternative per la modifica dell'imboccatura che permetta di ridurre il fenomeno dell'Agitazione interna conseguente a queste tempeste di vento;
- b) di valutare gli effetti sulla dinamica dei sedimenti (modellando le condizioni d'onda, le correnti indotte e conseguente trasporto solido sotto costa) e prevedere eventuali modifiche, indotte dalle nuove opere, alla dinamica delle spiagge a Est del Porto già severamente colpite da fenomeni erosivi.

I risultati dello studio di cui al punto a), contenuti nella relazione Università degli Studi di Firenze Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale "Studio dell'Agitazione Interna del Porto" hanno evidenziato la possibilità di diverse alternative.

Quella che, oltre a fornire adeguata schermatura dai venti di Grecale, presenta la migliore sicurezza alla navigazione, il minore impatto visivo ed il minore impatto sui fondali, prevede il prolungamento della diga frangiflutto verso mare e verso Nord e la traslazione verso Nord dell'attuale molo di sottoflutto.

Lo spostamento verso mare del prolungamento è stato posizionato in modo ottimale rispetto all'interazione con la Posidonia oceanica presente al largo.

La presente relazione contiene i risultati dello studio di cui al punto b) effettuato per la morfologia dell'imboccatura del porto attuale e per quella modificata, risultata più praticabile tra quelle considerate nello studio di cui al punto a).

## 2 STUDIO METEOMARINO

### 2.1 Caratterizzazione dell'area di studio e clima meteomarinario

Il settore di traversia che interessa l'area di studio (Figura 1) è rappresentato dal settore compreso fra il Porto di Punta Ala e l'Isola d'Elba da 170°N a 240°N e dal settore compreso fra l'Isola d'Elba e Piombino da 280°N a 300°N:

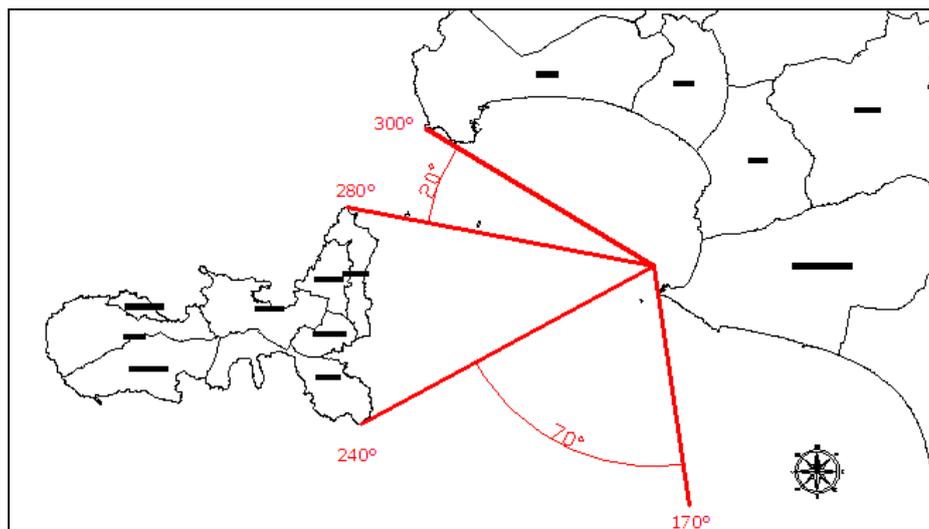


Figura 1. Settore di traversia

Per la definizione del clima meteomarinario è stato fatto riferimento ai dati del World Wave Atlas (nel seguito denominati WWA). Tali dati, ovvero i valori di altezza d'onda e di direzione utilizzati, sono ottenuti da simulazioni numeriche che uniscono un modello meteorologico ad un modello di propagazione ondosa e sono centrati sul punto WWA, a cui può essere fatto corrispondere un ondometro virtuale.

Per il settore di traversia 170°N-240°N sono stati utilizzati i dati del punto di coordinate geografiche 42°30' N -10° 30'E, mentre per il settore 280°N-300°N sono stati utilizzati i dati del punto di coordinate geografiche 43° N - 10° E (Figura 2). Per tali punti sono state utilizzate le ricostruzioni eseguite, quattro volte al giorno, nel periodo dal Luglio 1992 alla fine del 2004.

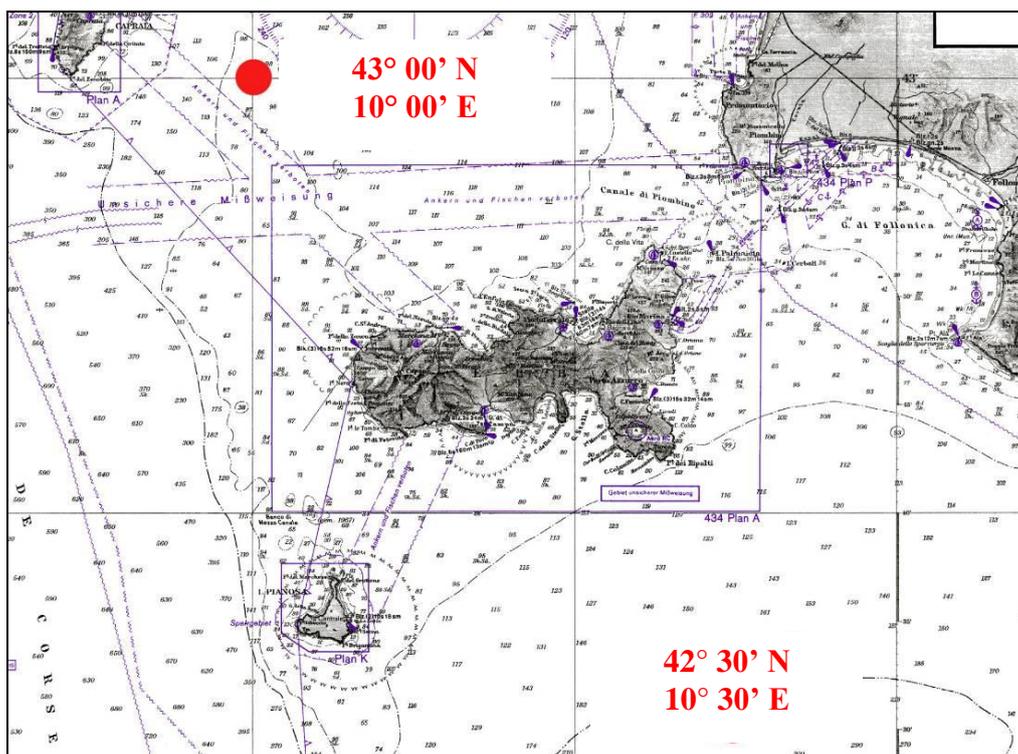
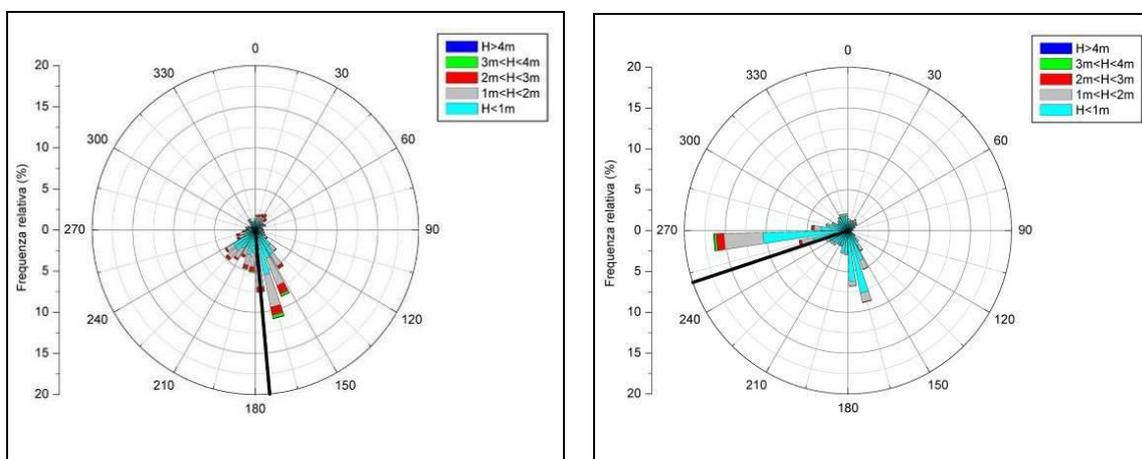


Figura 2. Coordinate dati WWA

I dati sono stati analizzati per determinare la distribuzione direzionale della frequenza del moto ondoso per i due punti.



a)

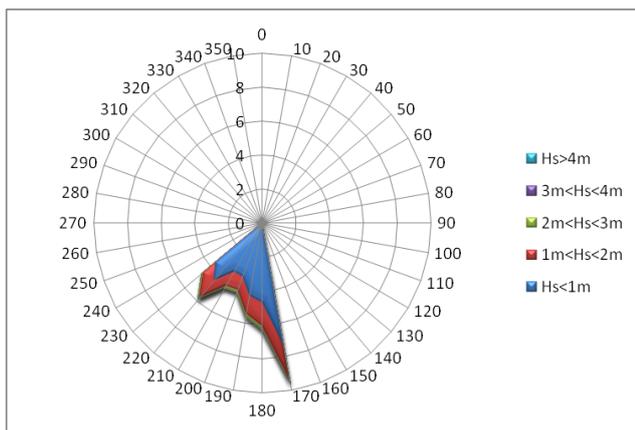
b)

Figura 3. a) Distribuzione direzionale in frequenza delle onde per il punto  $42^{\circ}30'N - 10^{\circ}30'E$   
 b) Distribuzione in frequenza delle onde per il punto  $43^{\circ}00'N - 10^{\circ}00'E$

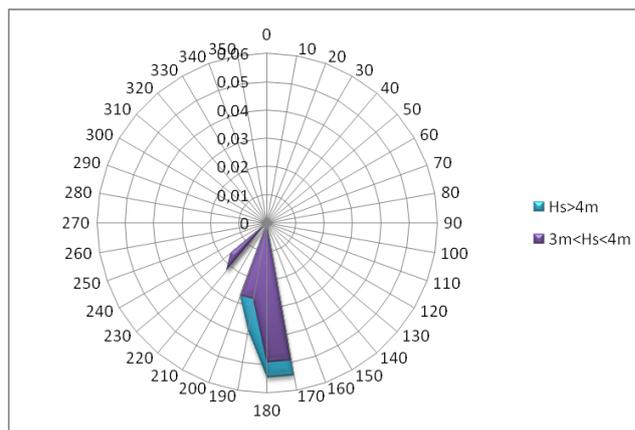
Di seguito si riporta, per il settore di interesse, sia per il punto WWA di coordinate  $42^{\circ}30'N - 10^{\circ}30'E$  sia per quello di coordinate  $43^{\circ}N - 10^{\circ}E$ , una tabella riassuntiva della distribuzione in frequenza per classi di altezza d'onda e direzione (Tabelle 1 e 2) e le relative rose delle onde per tutte le classi di altezza d'onda (Figure 4a e 6a) e in dettaglio per altezza d'onda maggiore di 2 m (Figura 5b) o di 3 m (Figure 4b).

**Tabella 1. Distribuzione della frequenza (%) per classi di altezza d'onda e direzione.**

Settore [°]	N. registrazioni	Hs > 4m	3m ≤ Hs ≤ 4m	2m ≤ Hs ≤ 3m	1m ≤ Hs ≤ 2m	Hs ≤ 1m
170-180	1781	0,01	0,05	0,32	1,94	7,43
180-190	1165	0,01	0,05	0,24	1,37	4,71
190-200	1037	0,01	0,03	0,20	1,07	4,36
200-210	804	0,00	0,03	0,17	0,82	3,38
210-220	815	0,00	0,00	0,16	0,97	3,33
220-230	1078	0,00	0,02	0,14	1,29	4,45
230-240	852	0,00	0,02	0,11	0,94	3,60



a)

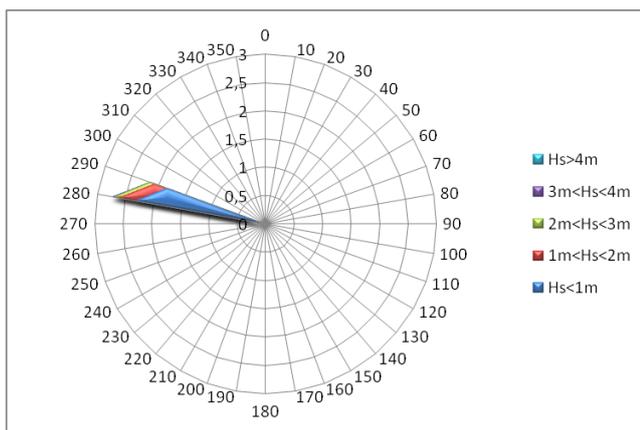


b)

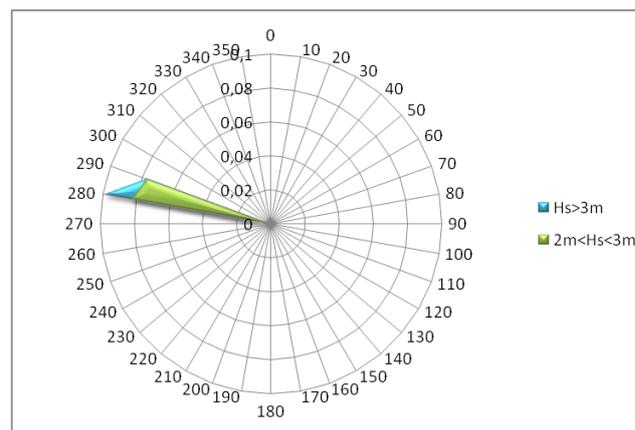
**Figura 4. WWA 42°30'N-10°30'E settore 170°N-240°N: a) rosa delle onde b) rosa delle onde con Hs>3m**

**Tabella 2. Distribuzione della frequenza (%) per classi di altezza d'onda e direzione.**

Settore [°]	N. registrazioni	Hs > 4m	3m ≤ Hs ≤ 4m	2m ≤ Hs ≤ 3m	1m ≤ Hs ≤ 2m	Hs ≤ 1m
280-290	497	0,00	0,02	0,08	0,30	2,32
290-300	391	0,00	0,00	0,08	0,24	1,83



a)



b)

**Figura 5. WWA 43°N-10°E settore 280°N-300°N: a) rosa delle onde b) rosa delle onde con Hs>2m**

## 2.2 Scelta delle onde per il modello

Una volta analizzati i dati per i due settori di traversia ricavati precedentemente e dedotte le direzioni prevalenti del moto ondoso dai grafici precedenti, sono state scelte le onde più rappresentative del clima ondoso per eseguire le simulazioni numeriche. Trascurando le onde basse che hanno limitati effetti sul litorale è stata concentrata attenzione sui valori di altezza significativa a largo superiore ai 2 m.

Quindi per il settore 170°N-240°N sono state scelte le due onde seguenti:

- $H_s=2.90$  m,  $T_p=6.3$  sec, Dir=190°N
- $H_s=2.30$  m,  $T_p=6.3$  sec, Dir=215°N
- $H_s=3.10$  m,  $T_p=6.9$  sec, Dir=230°N

Per il settore 280°-300° le onde scelte sono le seguenti:

- $H_s=3.10$  m,  $T_p=9.0$  sec, Dir=280°N
- $H_s=2.40$  m,  $T_p=6.9$  sec, Dir=290°N
- $H_s=2.80$  m,  $T_p=6.9$  sec, Dir=300°N

## 2.3 Descrizione del modello numerico

Per la ricostruzione dei modelli digitali dei fondali da utilizzare nelle simulazioni numeriche sono stati utilizzati i dati ottenuti dai rilievi di dettaglio dell'intera zona di studio, fino alla batimetria dei -6 m, integrati mediante digitalizzazione delle carte nautiche per quanto riguarda i fondali a profondità maggiore (Figura 6); nella stessa figura è visibile anche la griglia di calcolo utilizzata nelle diverse simulazioni numeriche.

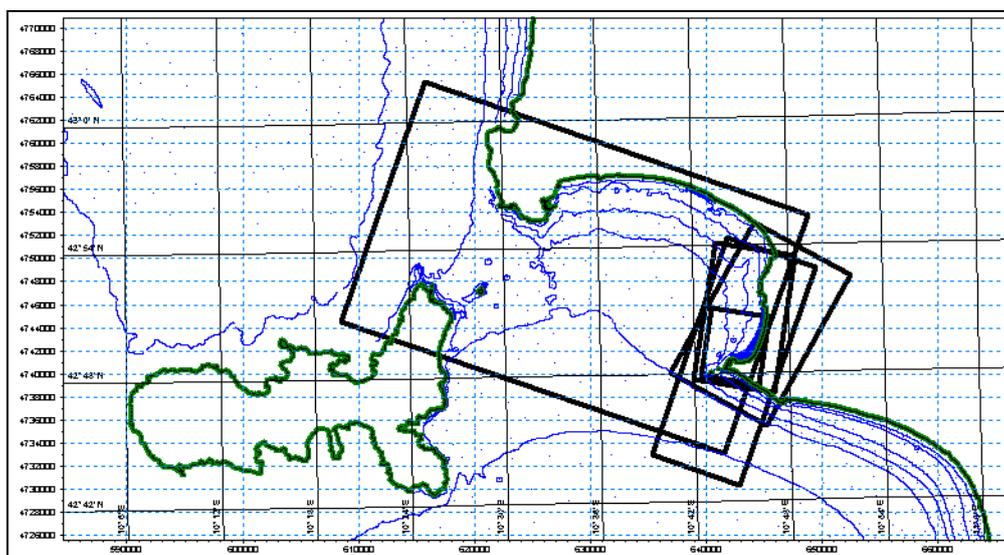


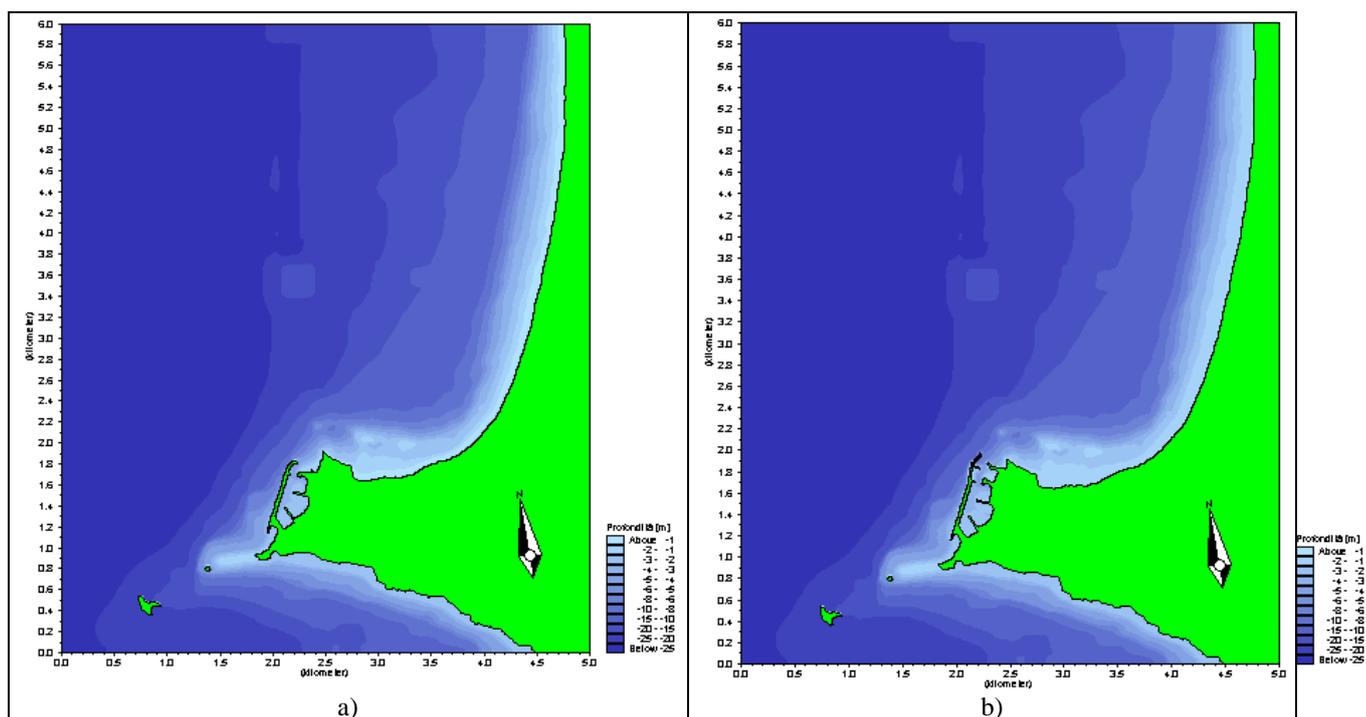
Figura 6. Mappa dei punti utilizzati per la costruzione dei modelli digitali dei fondali (dati da Carta Nautica e rilievo di dettaglio).

Le caratteristiche geometriche delle griglie di calcolo sono riportate in tabella 3:

**Tabella 3. Caratteristiche griglia di calcolo**

n.	Onda [°N]	Scala	Dimensioni [m]		Passo [m]	
			Lx	Ly	Dx	Dy
1	190-215-230	generale per modulo spettrale	20000	8000	20	20
2	280-290-300	generale per modulo spettrale	35000	22000	20	20
3	190-215-230	dettaglio per modulo parabolico	15000	9500	5	5
4	280-285 <sup>1</sup> -295 <sup>2</sup>	dettaglio per modulo parabolico	7000	12000	5	5
5	190-215-230-280-285 <sup>1</sup> -295 <sup>2</sup>	dettaglio per modulo idrodinamico	5000	6000	5	5

Per la modellazione è stata presa in considerazione una configurazione rappresentativa dello scenario attuale (Figura 7) ed è stata eseguita un'analisi della propagazione ondoso e del campo di correnti nel caso dei sei attacchi ondosi di progetto scelti in precedenza.



**Figura 7. Batimetria a)configurazione attuale, b)configurazione progettuale**

<sup>1</sup> La stessa onda che in ingresso al modello generale presenta una direzione di 290°N, in ingresso al modello di dettaglio presenta una direzione pari a 285°N, in seguito ai fenomeni di rifrazione e diffrazione.

<sup>2</sup> La stessa onda che in ingresso al modello generale presenta una direzione di 300°N, in ingresso al modello di dettaglio presenta una direzione pari a 295°N, in seguito ai fenomeni di rifrazione e diffrazione.

### 3 SIMULAZIONI NUMERICHE

#### 3.1. Stato attuale

##### 3.1.1. Modulo d'onda spettrale e parabolico

Nella propagazione del moto ondoso è stato utilizzato il modulo NSW (Nearshore Spectral Wave), nel modulo generale, al fine di trasferire le condizioni a largo dalla batimetria dei 100 m alla batimetria dei 35 m. Tale modulo non simula le dinamiche di riflessione e diffrazione, ma è adatto alla riproduzione di fenomeni quali la rifrazione, la dispersione direzionale, la dissipazione di energia per attrito al fondo e frangimento.

Per lo studio di dettaglio sono stati utilizzati come dati di ingresso le caratteristiche dell'onda, alla batimetria dei 35 m, risultanti dal modello generale (Tabella 4) e come modulo d'onda il PMS (Parabolic Mild Slope Equation) che, nella propagazione del moto ondoso, tiene conto dei fenomeni di rifrazione, shoaling, attrito con il fondo, frangimento e diffrazione (Figura 8).

Tabella 4. Caratteristiche delle onde di progetto alla batimetria dei 35 m

n.	Onda [°N]	Hs [m]	Tp [s]
1	190	2.80	6.3
2	215	2.30	6.3
3	230	3.00	6.9
4	280	2.10	9.0
5	285	1.55	6.9
6	295	1.85	6.9

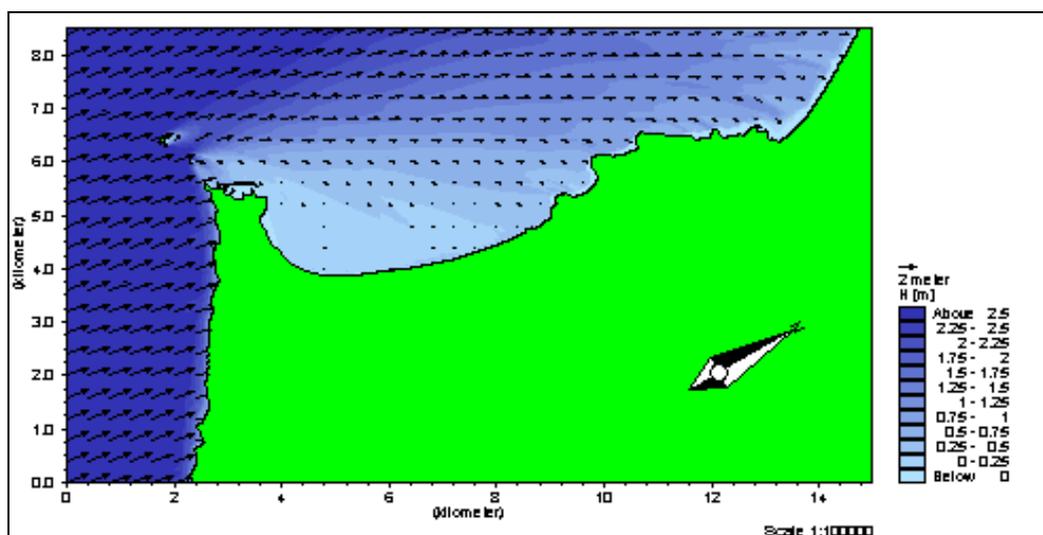


Figura 8a). Risultati del campo d'onda con il modulo PMS per le onde provenienti da 190°N,

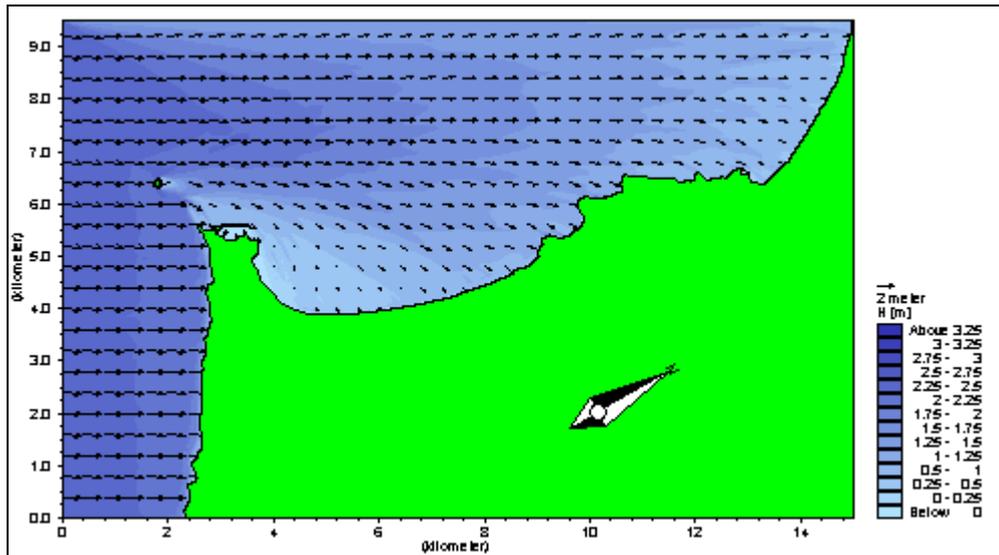


Figura 9b) . Risultati del campo d'onda con il modulo PMS per le onde provenienti da 215°N,

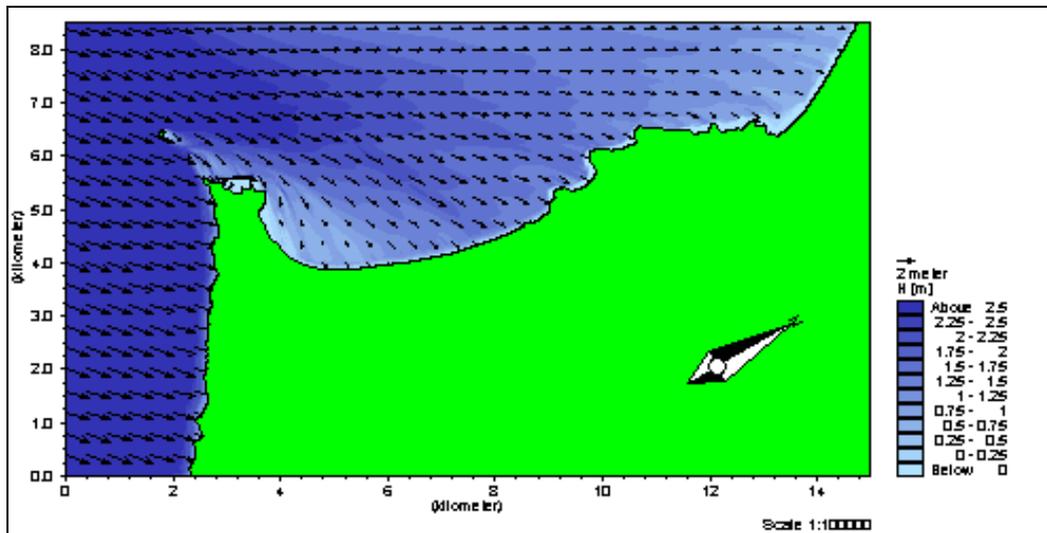


Figura 10c) . Risultati del campo d'onda con il modulo PMS per le onde provenienti da 230°N

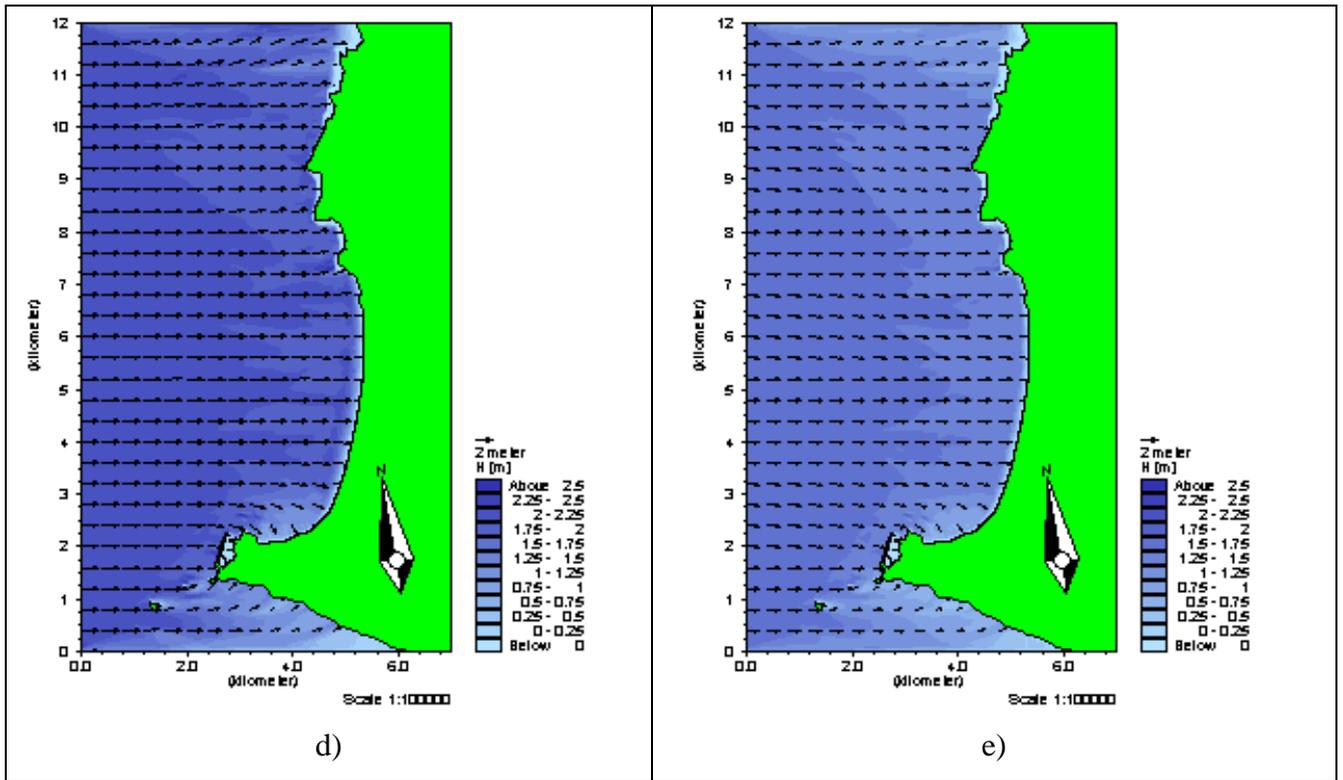


Figura 11 d) e). Risultati del campo d'onda con il modulo PMS per le onde provenienti da: d) 280°N, e) 285°N,

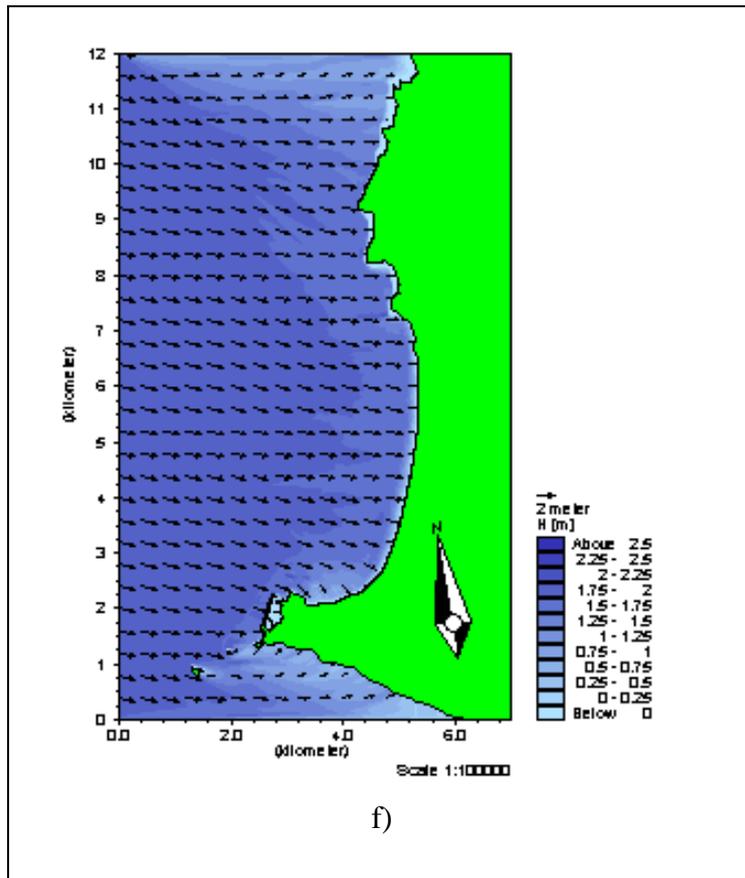
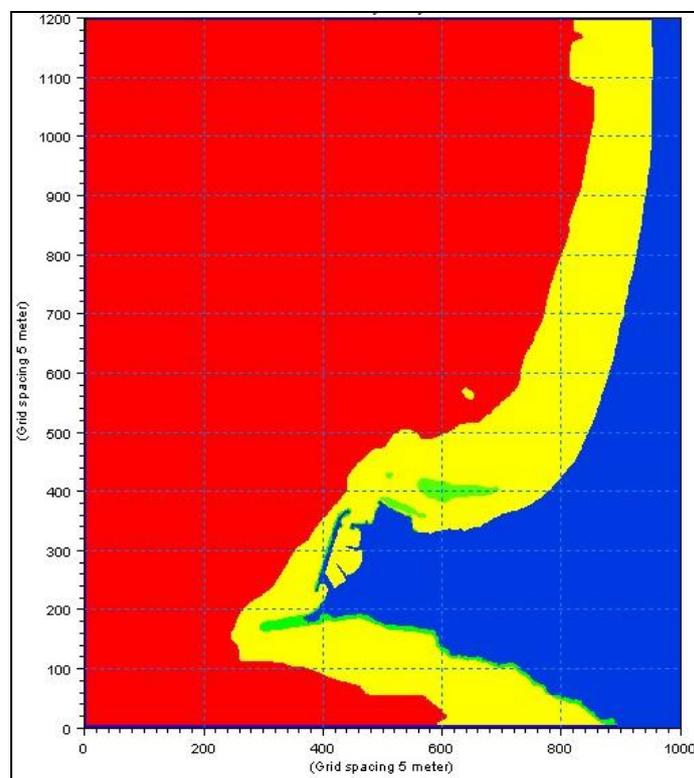


Figura 12f) . Risultati del campo d'onda con il modulo PMS per le onde provenienti da 295°N

### 3.1.2. Modulo idrodinamico

Per lo studio delle correnti sottocosta è stato utilizzato il modulo idrodinamico HD (HydroDynamic) del codice di calcolo MIKE 21, che permette il calcolo del campo delle correnti generato dalle onde in acque basse sulla base dei radiation stress trasmessi dalle onde tenendo conto della loro interazione con le strutture esistenti.

In ingresso a tale modulo è stata inserita la mappa dei coefficienti di scabrezza di Manning al fine di considerare anche l'interazione con i fondali: nel caso di sabbia fine il coefficiente è stato assunto pari a 40, nel caso di sabbia media, cioè dalla batimetrica dei 10 m a riva, un coefficiente pari a 32, e infine sono state inserite celle con valore pari a 24, nel caso di praterie di posidonia e davanti la costa alta e la mantellata della diga, per simulare l'effetto di attrito lungo la scogliera (Figura 9).



**Figura 13. Mappa dei coefficienti di scabrezza  
(in rosso valore pari a 40, in giallo 32, in verde 24)**

Di seguito si riportano i risultati del campo delle correnti (Figura 10).

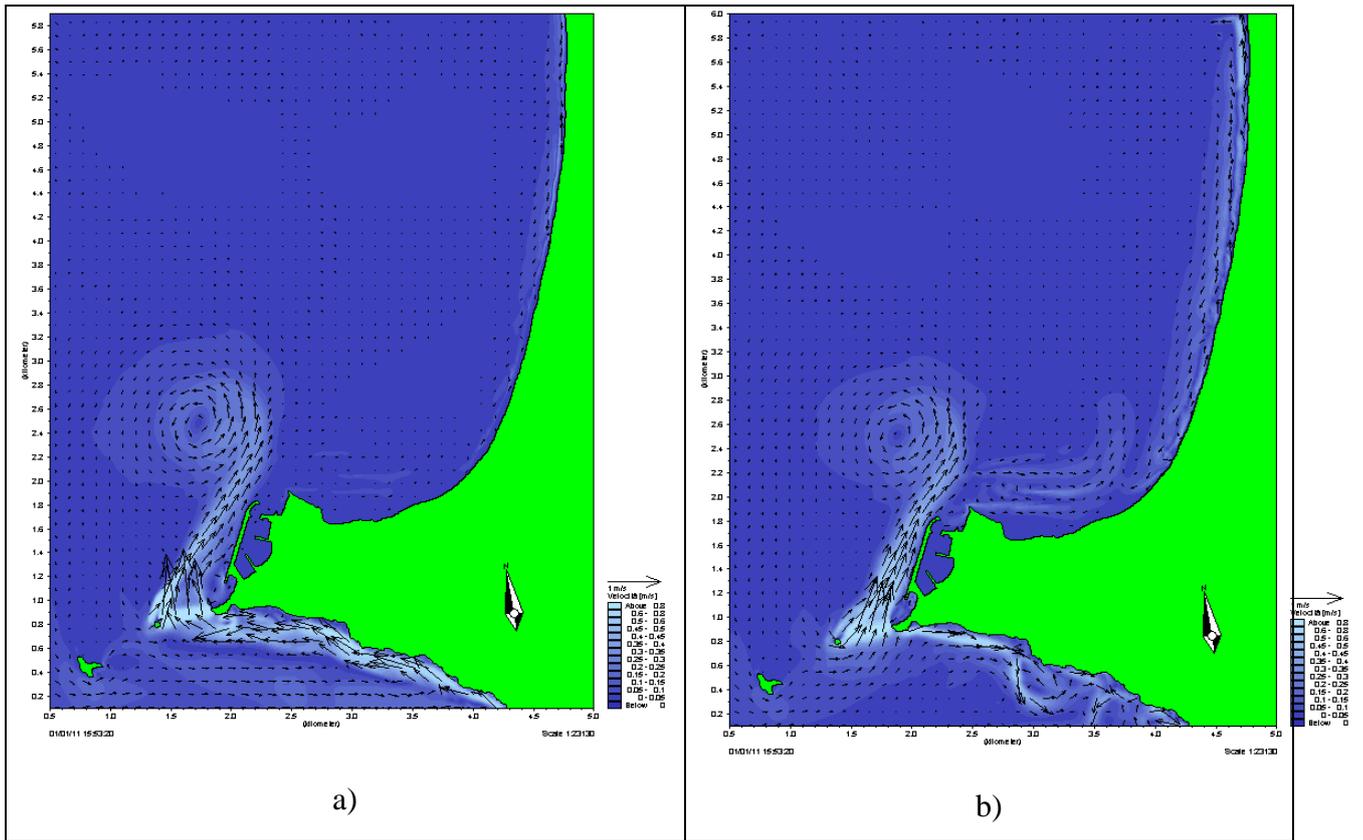
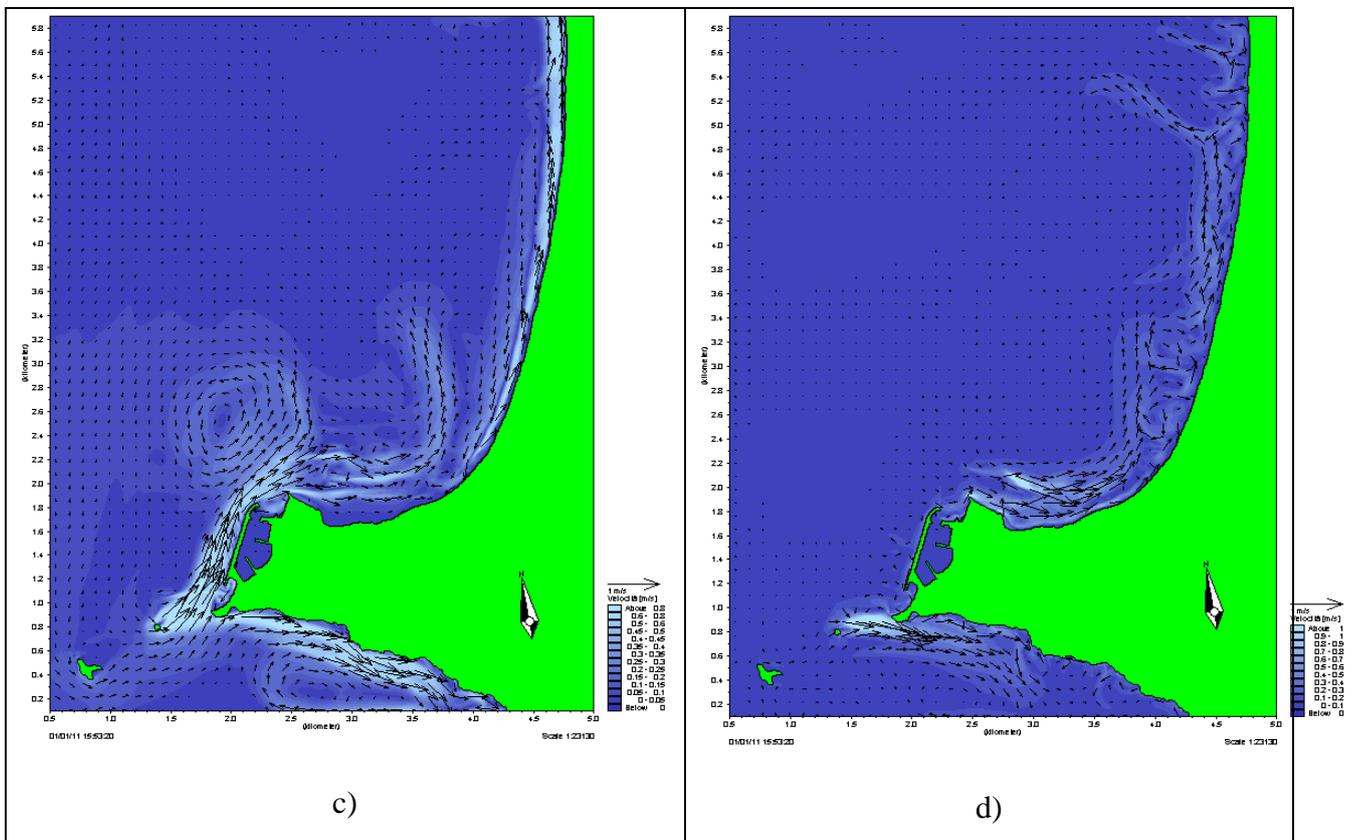
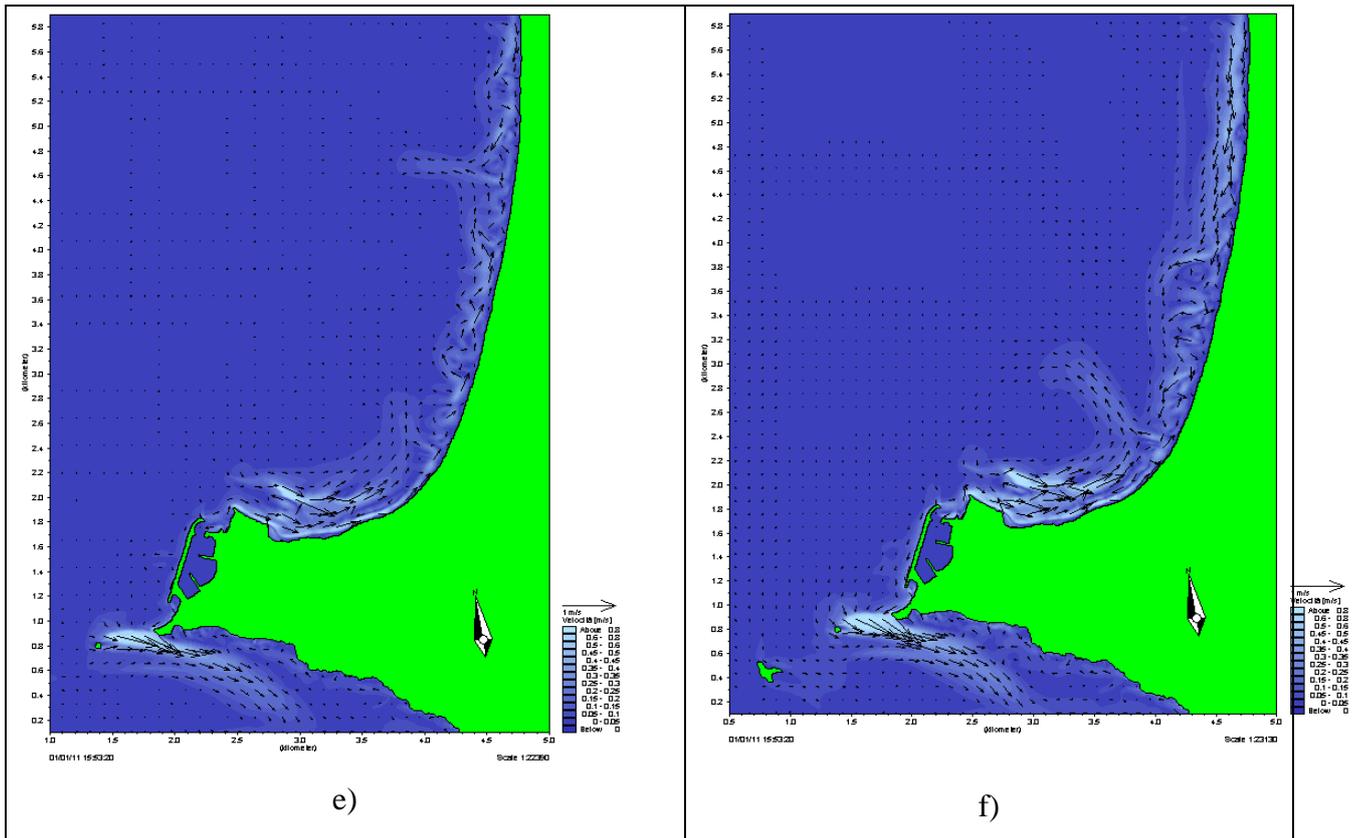


Figura 14 a,b). Risultati del campo delle correnti con il modulo HD per le onde provenienti da: a) 190°N, b) 215°N,





**Figura 15 c,d,e,f) . Risultati del campo delle correnti con il modulo HD per le onde provenienti da: c) 230°N, d) 280°N, e) 285°N, f) 295°N**

L'analisi del campo di correnti indotte nell'area di studio evidenzia che le onde provenienti dal settore meridionale danno origine a correnti che lambiscono la diga del porto e deviano verso il largo senza interessare la costa a nord del porto. Solo nel caso delle onde provenienti da 230°N si ha una separazione della corrente lungo la diga : una parte prosegue verso il largo mentre una parte viene deviata verso la costa a nord senza però avvicinarsi a riva. (Fig.10 c).

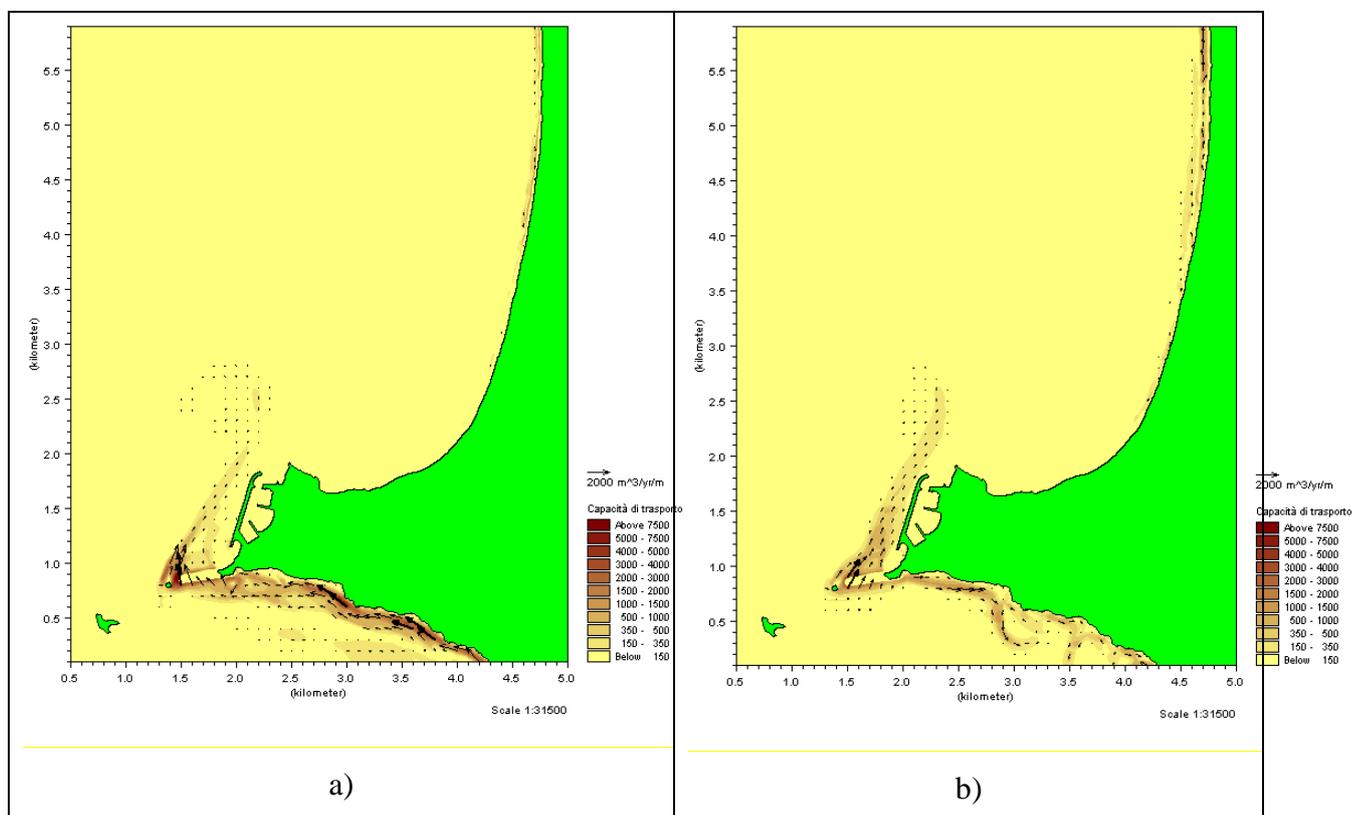
Le onde provenienti dal canale di Piombino danno origine a correnti lungo la costa a nord del porto ma non si evidenziano interazioni con le opere portuali.

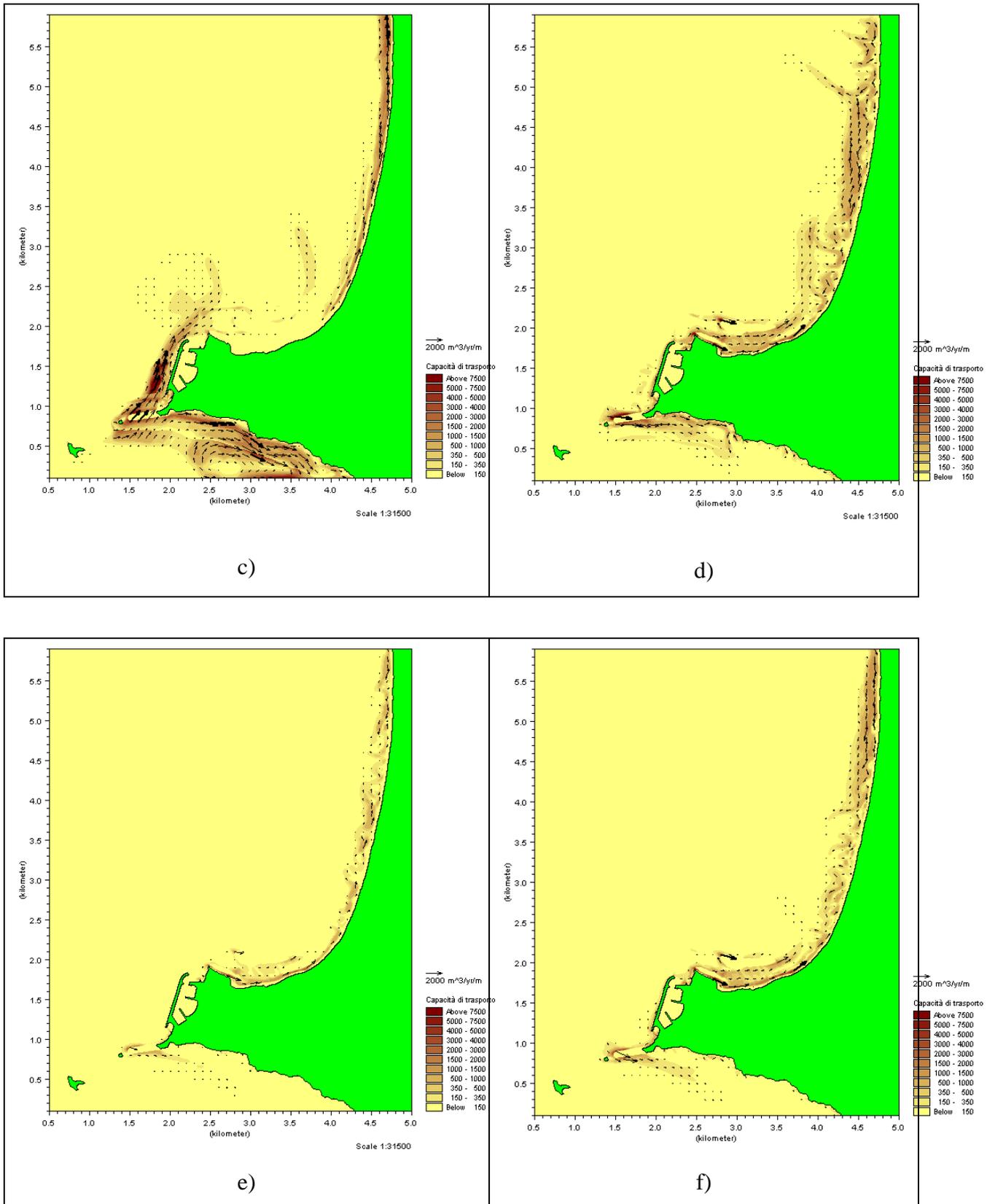
### **3.1.3. Modulo trasporto solido**

Il modulo ST è stato utilizzato per la stima dei tassi di trasporto di sedimenti incoerenti dovuti alle correnti o agli effetti combinati di onde e flusso di correnti. Il calcolo dei tassi di trasporto dei sedimenti viene condotto su una griglia di calcolo quadrata (griglia di dettaglio con passo 5m X 5m) che ricopre l'area di interesse sulla base dei dati idrodinamici ottenuti dalle simulazioni sul modello di dettaglio con MIKE 21 HD e dei dati di onde (in termini non solo di altezza d'onda significativa ma anche di direzione di provenienza) forniti da simulazioni sullo stesso modello di dettaglio mediante MIKE 21 PMS, insieme con le informazioni relative alle caratteristiche del materiale al fondo. Tale modulo è stato applicato per tutte le sei onde studiate (Fig.11).

Analizzando in dettaglio il trasporto solido davanti alla diga del porto si può osservare che per le onde provenienti da sud (Fig.11 a e b), il trasporto è diretto verso nord e si mantiene sempre al largo; solo per le onde da 230°N la sabbia viene trasportata nella zona antistante la testata della diga senza tuttavia interessare la zona dell'imboccatura (Fig.11c). Il trasporto indotto dalle onde provenienti dal canale di Piombino (Fig.11d,e,f) è caratterizzato da un flusso di sedimenti che scorrono verso nord lungo la spiaggia di Punta Ala e da valori praticamente nulli lungo la diga: solo nel caso di onde provenienti da 295°N si ha un trasporto lungo la diga diretto verso sud.

Per quanto riguarda le spiagge va osservato che sono queste le onde che determinano il flusso di sedimenti verso nord e che causano i noti fenomeni erosivi: le correnti trasportano i sedimenti verso nord ma non è presente un adeguato trasporto di sabbia in ingresso da sud, che superando punta Hidalgo alimenta le spiagge. Nella figura 12 sono riportati i dettagli del campo di trasporto intorno al porto: si osserva come le onde provenienti dal canale di Piombino muovano la sabbia lungo la diga verso la sua estremità sud e come queste sabbie vengano spinte dalle onde provenienti da 230°N verso la spiaggia a sud del porto che in questo modo viene lentamente ma continuamente alimentata. Si deve anche osservare che il trasporto verso nord non provoca insabbiamento dell'imboccatura: anche con onde provenienti dal canale di Piombino il trasporto non è mai diretto verso l'interno del porto e la sabbia depositata oltre la testata della diga supera in parte punta Hidalgo ed alimenta le spiagge di Punta Ala.





**Figura 16. Risultati del campo del trasporto solido con il modulo ST per le onde provenienti da: a) 190°N, b) 215°N, c) 230°N, d) 280°N, e) 285°N, f) 295°N**

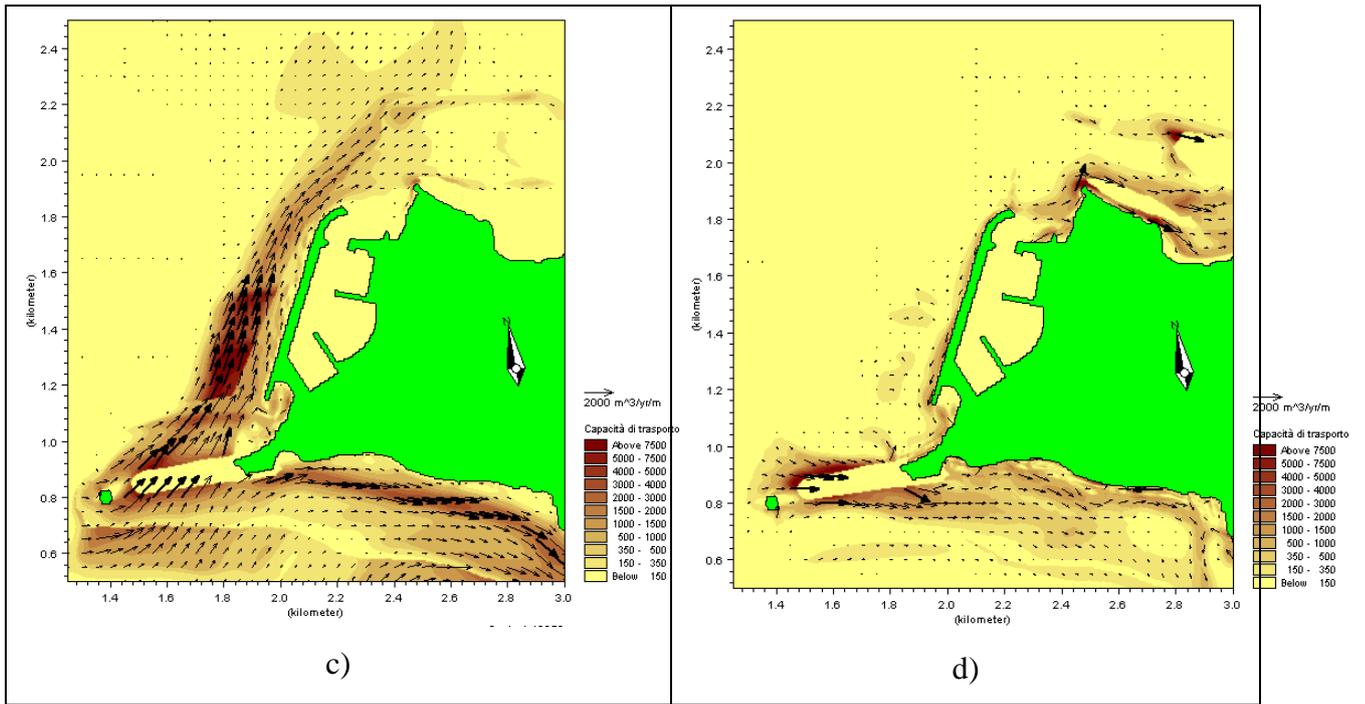


Figura 17. Zoom del campo del trasporto solido con il modulo ST per le onde provenienti da: c) 230°N, d) 280°N

## 3.2. Stato di progetto

### 3.2.1. Modulo d'onda spettrale e parabolico

Come nel caso dello stato attuale è stato utilizzato, per lo studio generale, il modulo NSW (Nearshore Spectral Wave) e, per lo studio di dettaglio, il modulo PMS (Parabolic Mild Slope Equation), le cui caratteristiche d'onda in ingresso sono state ottenute alla batimetrica dei -35 m dal modello generale.

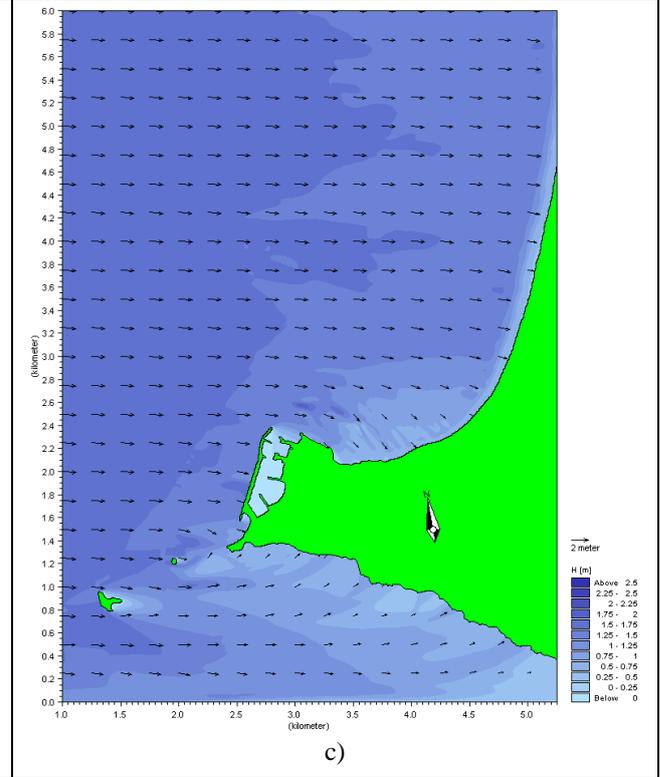
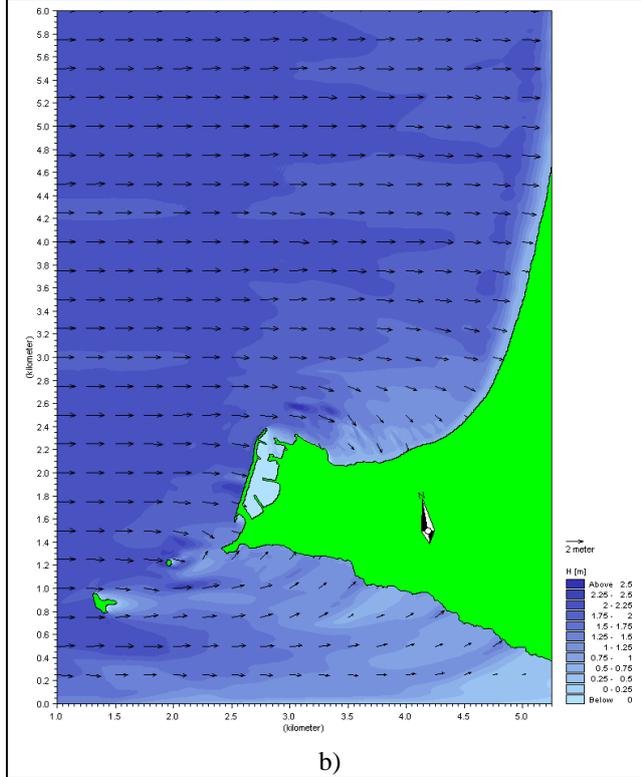
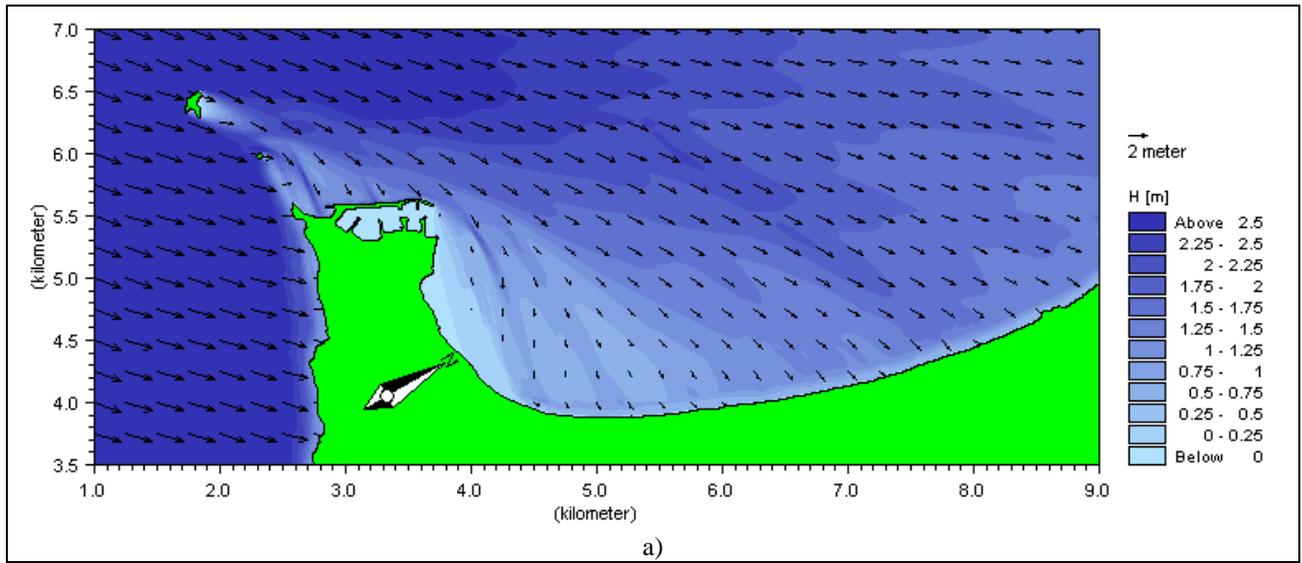
Per la scelta delle nuove simulazioni si è tenuto conto che i risultati delle analisi sullo stato attuale hanno evidenziato, per onde provenienti da sud, una sostanziale disconnessione del sistema di correnti e di trasporto fra l'area a sud dell'imboccatura del porto e l'area antistante la spiaggia di Punta Ala; conseguentemente qualunque cambiamento apportato alle dighe del porto non producono variazioni al sistema di trasporto che si ha attualmente nell'area antistante le spiagge. Solo per l'onda proveniente da 230°N non può essere esclusa qualche modifica al trasporto in prossimità di punta Hidalgo.

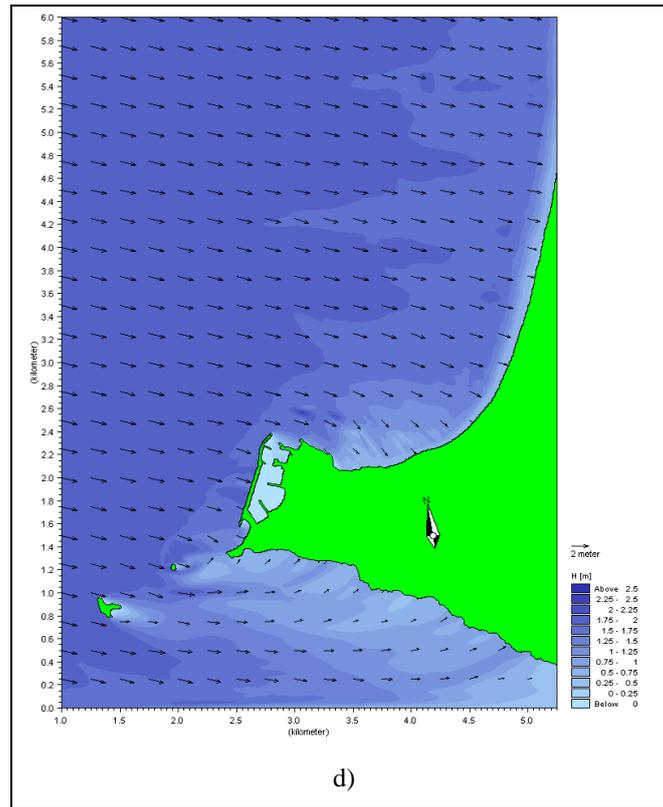
Su questa base, è stato scelto di simulare i campi d'onda e corrente delle tre onde provenienti dal canale di Piombino (280°N, 285°N e 295°N) e solo l'onda proveniente da 230°N per il settore meridionale (vedi Tab.5).

La configurazione dell'imboccatura del porto è stata modificata secondo le indicazioni del modello di agitazione prolungando la diga con un tratto scogliera con materiali e pendenza identici alla diga attuale e prevedendo la costruzione di un nuovo molo di sottoflutto. Per evidenziare in modo cautelativo le variazioni indotte, non sono stati riprodotti i raccordi e gli arrotondamenti sulle testate delle nuove opere che, se progettati adeguatamente, porterebbero ad una riduzione delle differenze con il campo di corrente presente con le opere attuali.

**Tabella 5. Caratteristiche delle onde di progetto alla batimetrica dei 35 m**

<b>n.</b>	<b>Onda [°N]</b>	<b>Hs [m]</b>	<b>Tp [s]</b>
<b>3</b>	230	3.00	6.9
<b>4</b>	280	2.10	9.0
<b>5</b>	285	1.55	6.9
<b>6</b>	295	1.85	6.9





**Figura 18. Risultati del campo d'onda con il modulo PMS per le onde provenienti nello stato di progetto da:  
a) 230°N, b) 280°N, c) 285°N, d) 295°N**

### 3.2.2. Modulo idrodinamico

Per lo studio delle correnti sottocosta è stato utilizzato il modulo idrodinamico HD (HydroDynamic) ed è stato nuovamente ricostruito il campo delle correnti generato dai radiation stress trasmessi dalle onde e della sua interazione con le strutture esistenti utilizzando le condizioni al contorno analoghe a quelle assunte per lo studio sulla configurazione attuale. (Fig.14) .

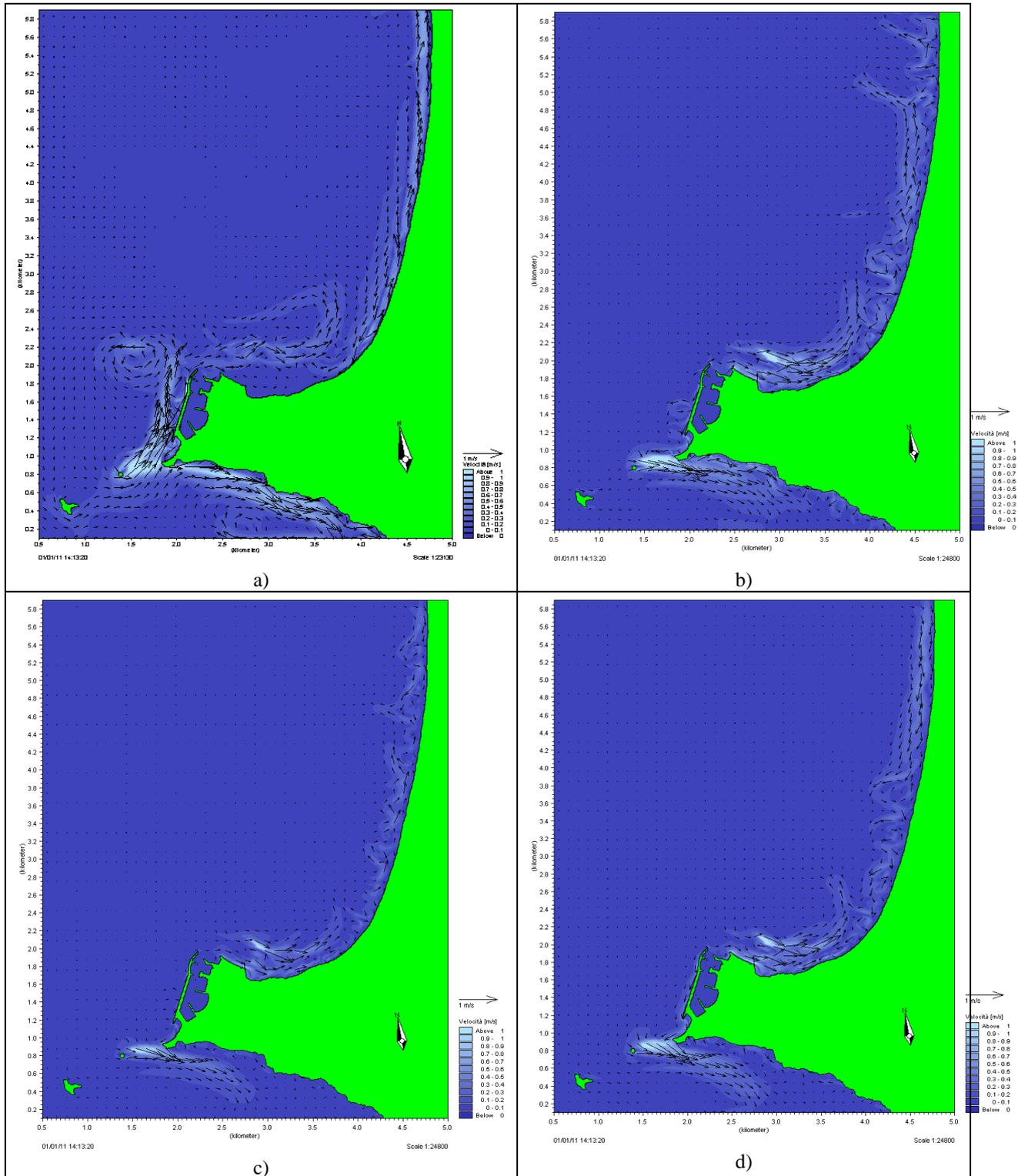


Figura 19. Risultati del campo delle correnti con il modulo HD per le onde provenienti da:  
a) 230°N, b) 280°N, c) 285°N, d) 295°N

### 3.2.3. Modulo trasporto solido

Il calcolo dei tassi di trasporto dei sedimenti, mediante il modulo ST, è stato condotto sulla stessa griglia di calcolo quadrata (5m X 5m) utilizzata per lo studio della configurazione attuale, sulla base dei dati idrodinamici ottenuti dalle simulazioni sul modello di dettaglio con MIKE 21 HD e PMS, insieme con le informazioni relative alle caratteristiche di scabrezza delle nuove opere (Fig.15).

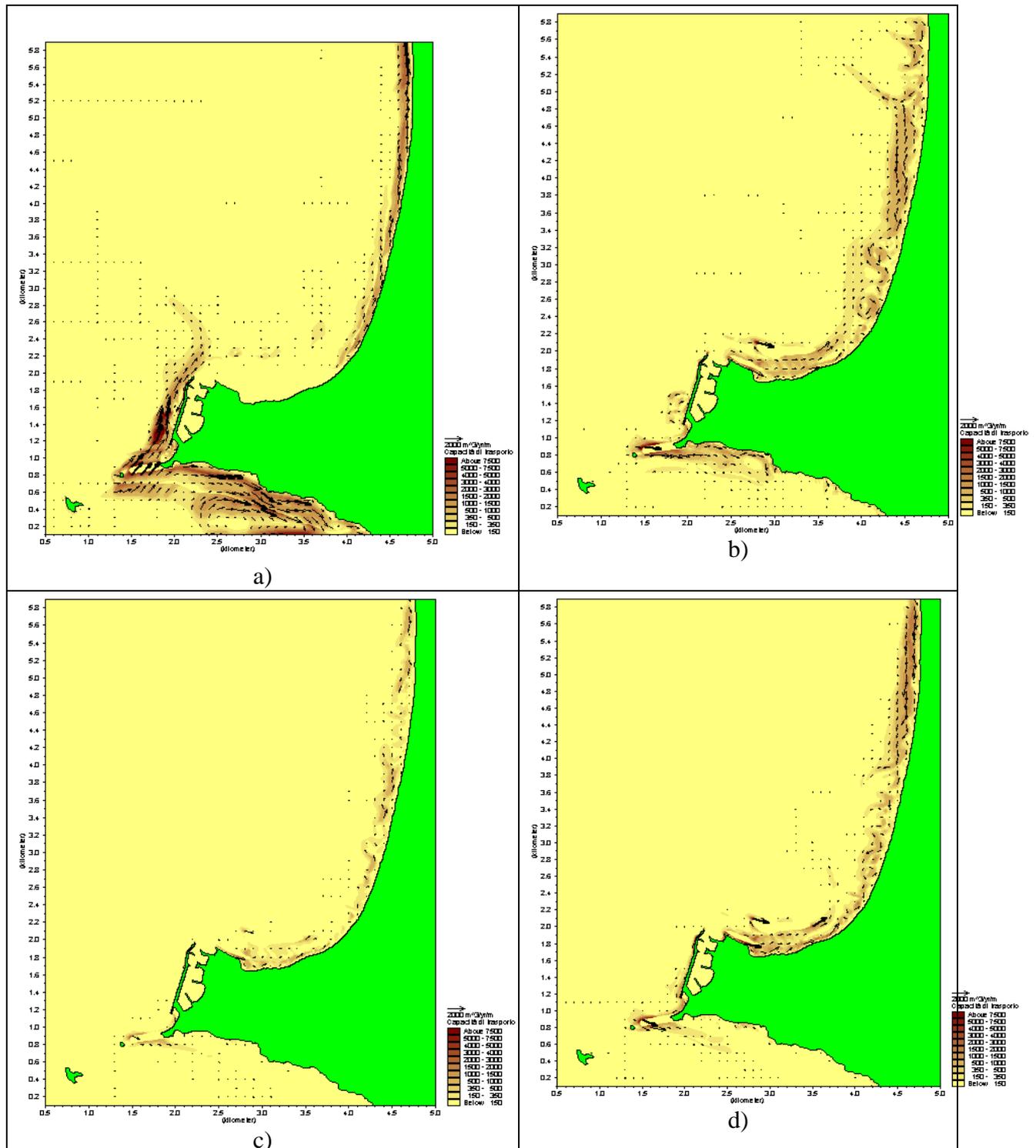


Figura 20. Risultati del campo del trasporto solido con il modulo ST per le onde provenienti da: a) 230°N, b) 280°N, c) 285°N, d) 295°N

## 2.4 Confronto stato attuale e di progetto

Per facilitare l'analisi delle differenze fra i campi di moto e di trasporto nella situazione attuale ed in quella di progetto sono stati riportati i risultati focalizzati sull'area intorno al porto e sulla prima parte delle spiagge di Punta Ala.

### 2.4.1 Modulo idrodinamico

Di seguito si riportano per confronto i risultati delle simulazioni sia dello stato attuale sia per quello di progetto, per le onde da 230°N (Fig.16), 280°N (Fig.17), 285°N (Fig.18) e 295°N (Fig.19).

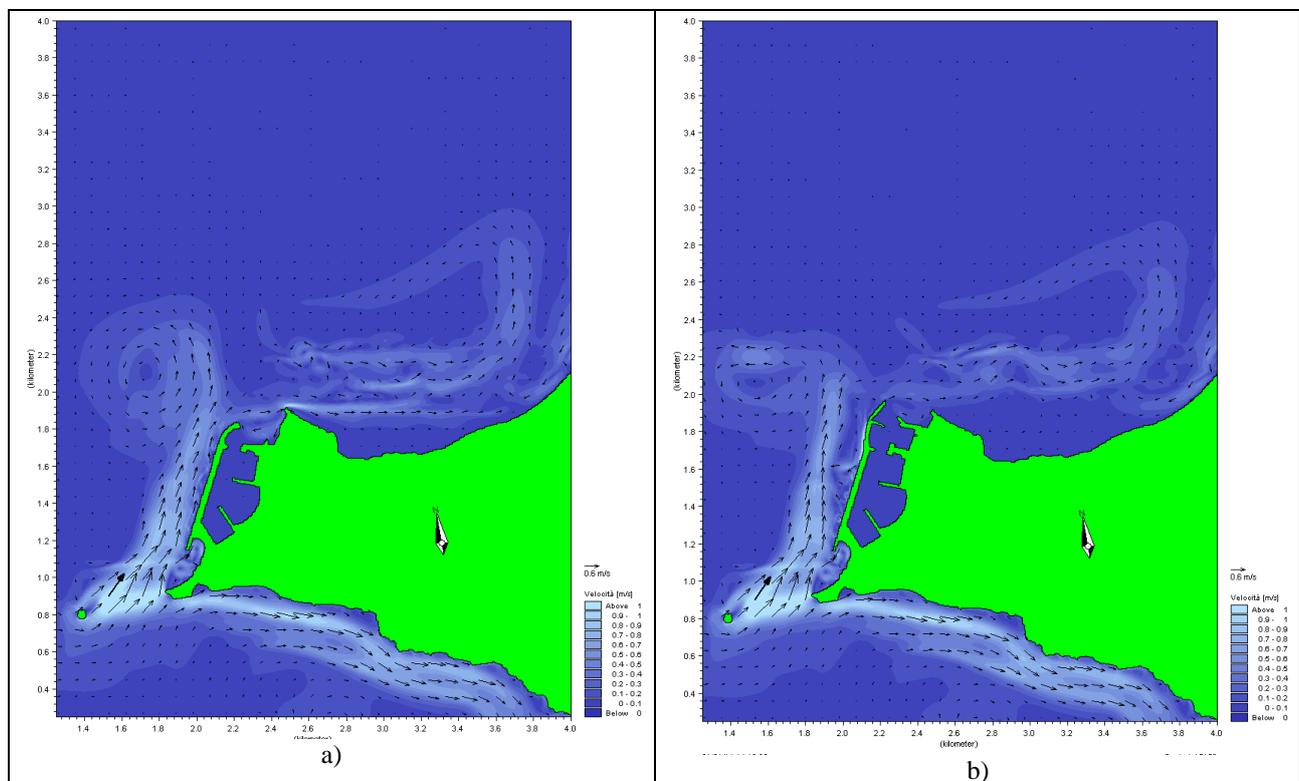


Figura 21. Risultati del campo idrodinamico per onda da 230°N: a)attuale, b)progetto

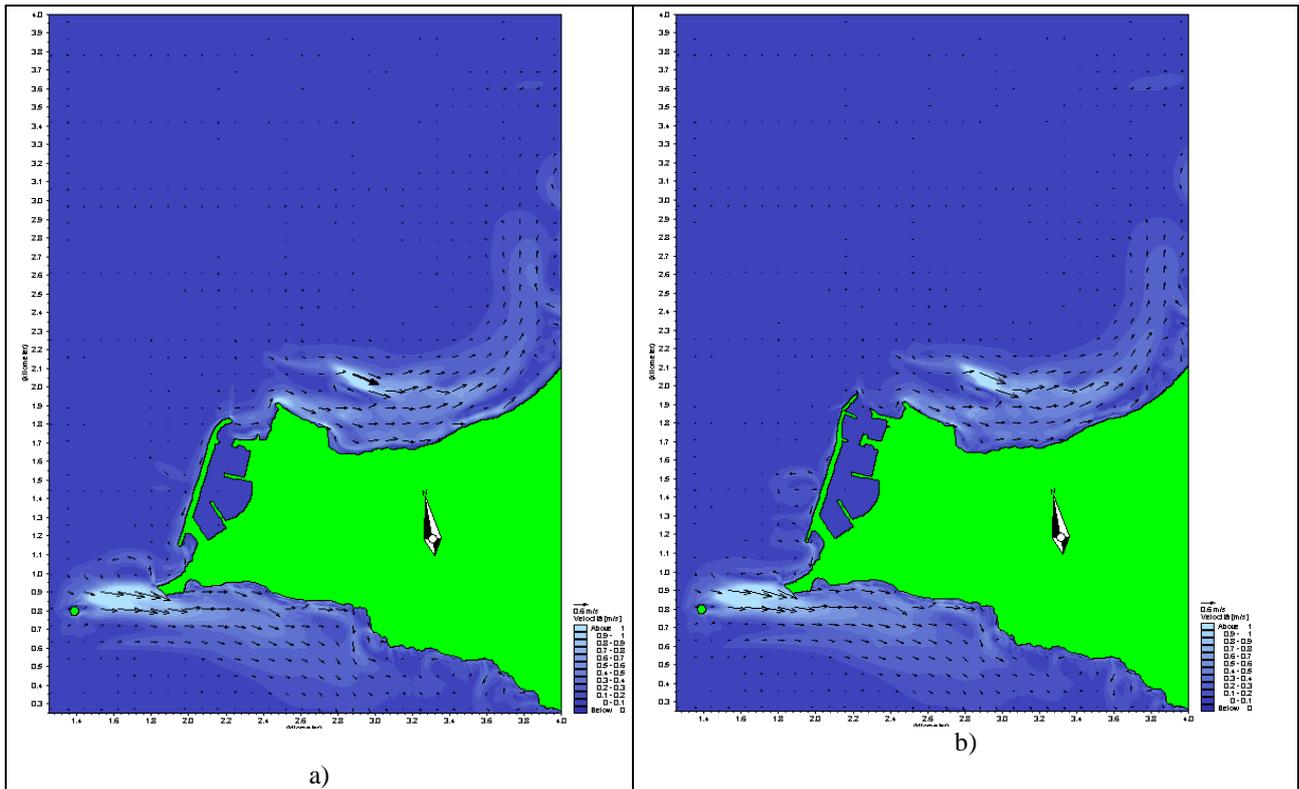


Figura 22. Risultati del campo idrodinamico per onda da 280°N: a) attuale, b) progetto

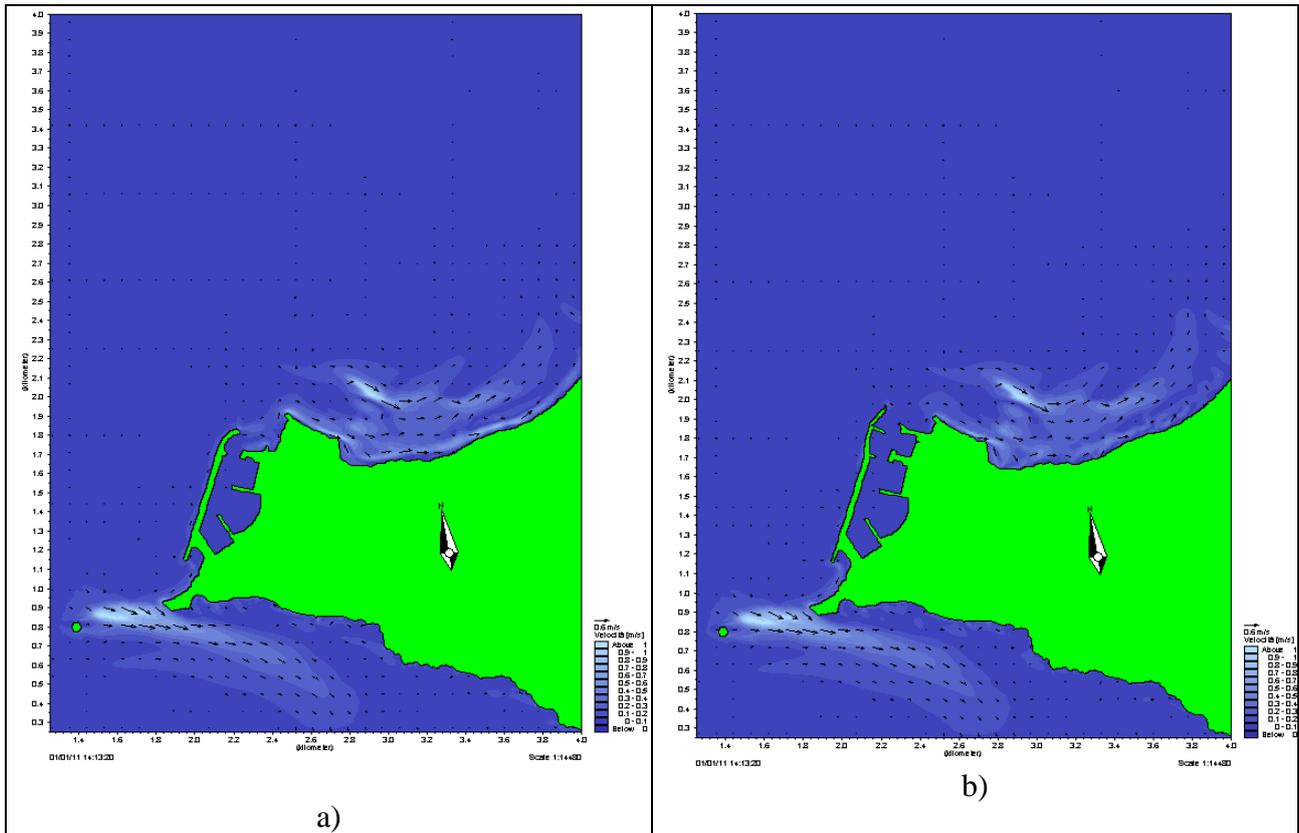


Figura 23. Risultati del campo idrodinamico per onda da 285°N: a) attuale, b) progetto

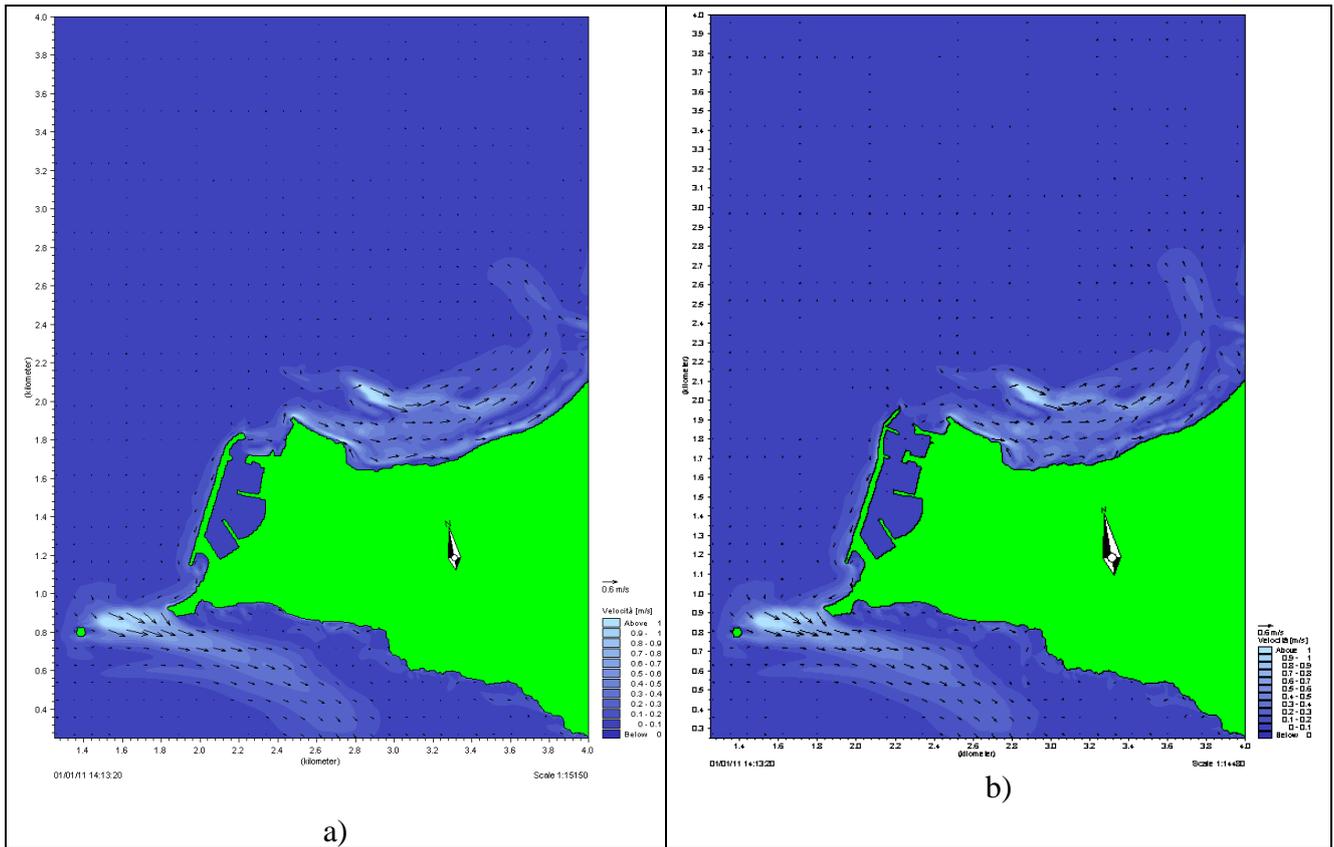


Figura 24. Risultati del campo idrodinamico per onda da 295°N: a) attuale, b) progetto

### 2.4.2. Modulo trasporto solido

Di seguito si riportano per confronto i risultati, e i relativi zoom di dettaglio, delle simulazioni sia dello stato attuale sia per quello di progetto, per le onde da 230°N (Fig.20-21), da 280°N (Fig.22-23), da 285°N (Fig.24-25) e da 295°N (Fig.26-27).

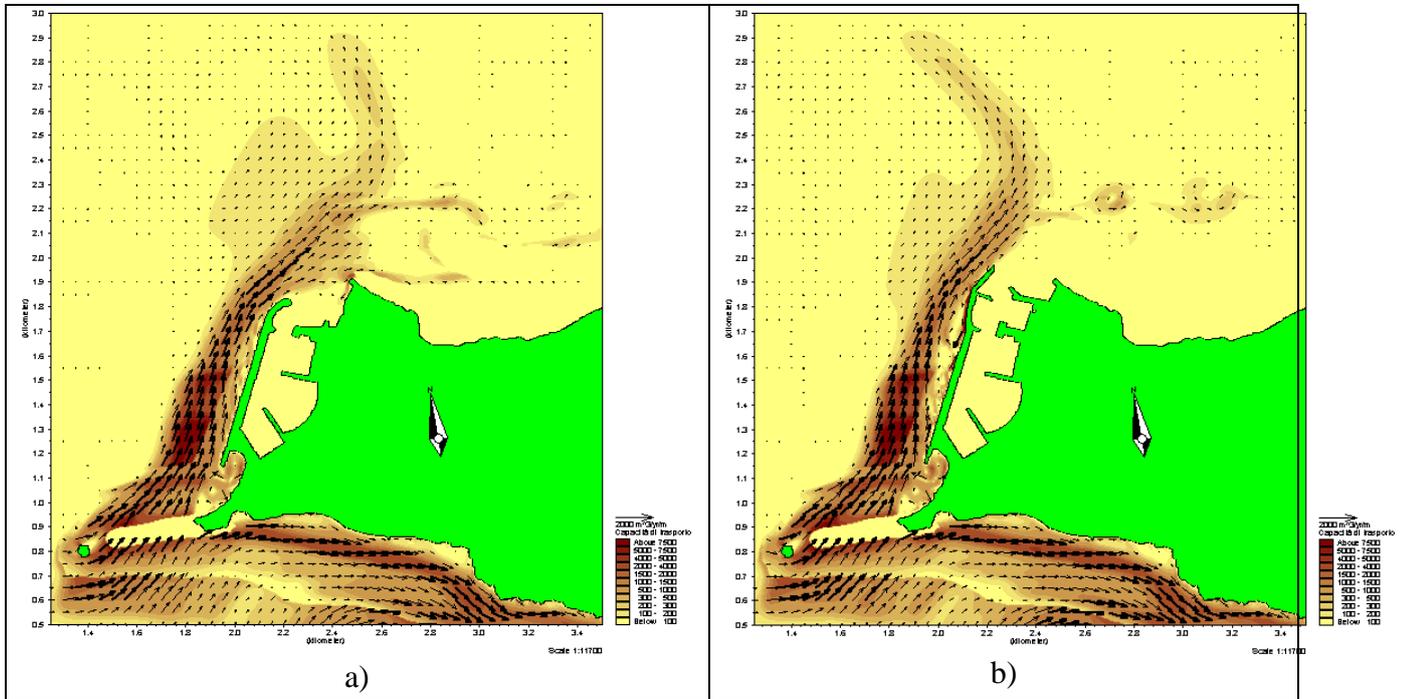


Figura 25. Risultati del campo del trasporto solido per l'onda da 230°N: a) attuale, b) progetto

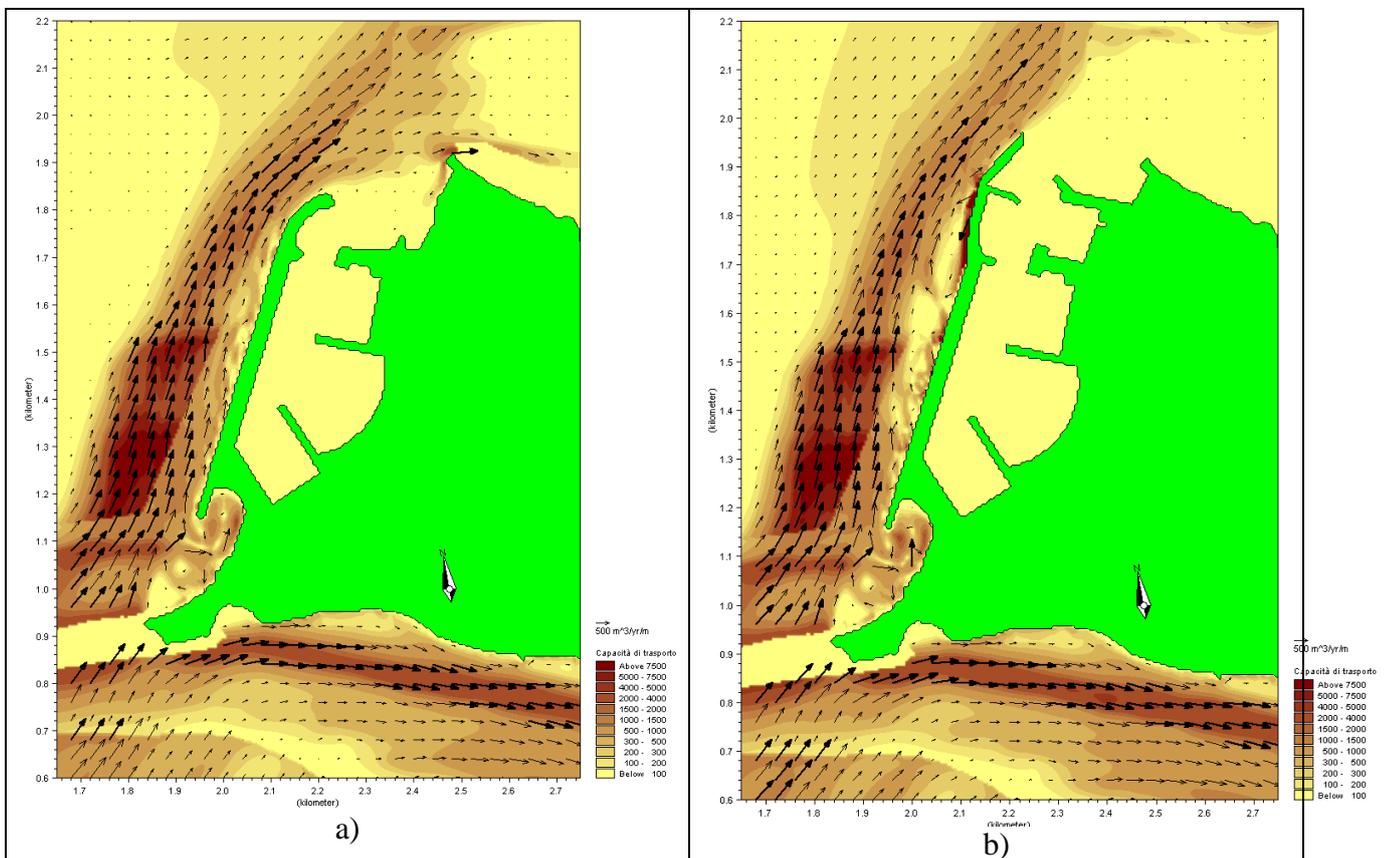


Figura 26. Zoom risultati del campo del trasporto solido per l'onda da 230°N: a) attuale, b) progetto

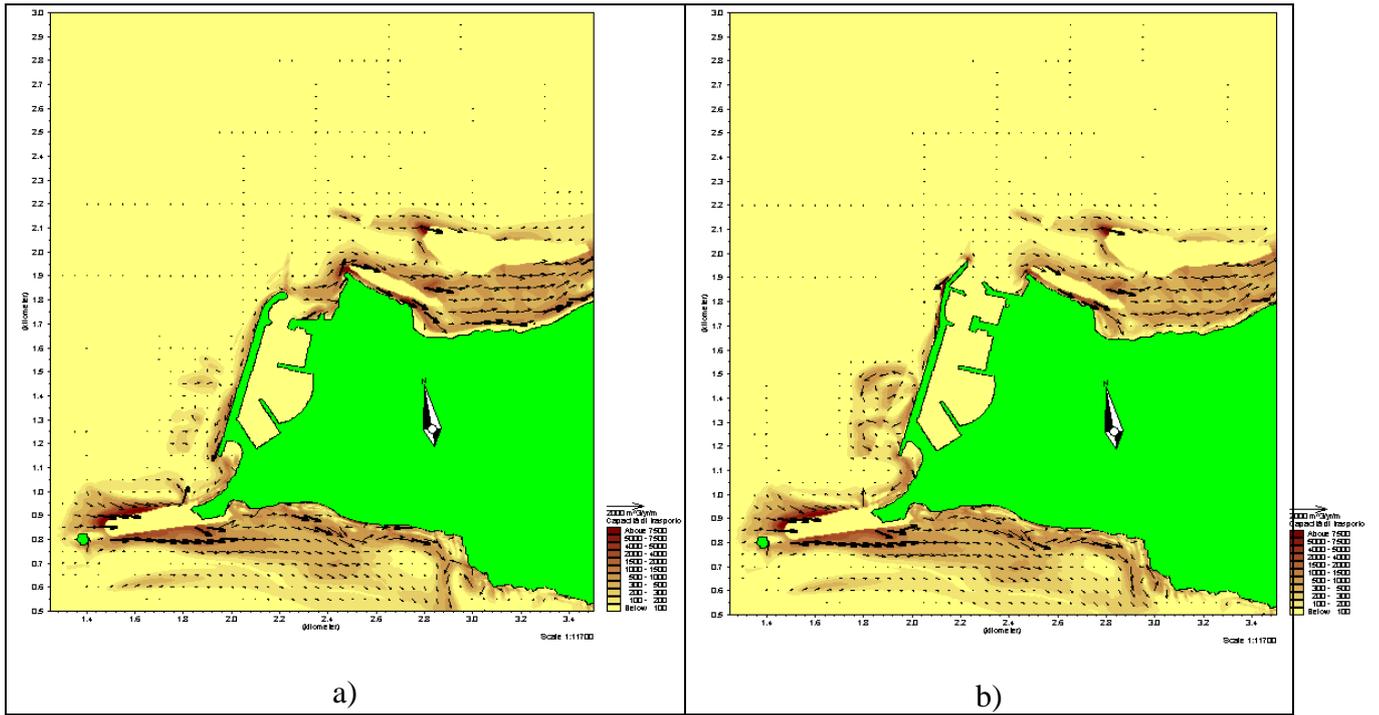


Figura 27. Risultati del campo del trasporto solido per l'onda da 280°N: a) attuale, b) progetto

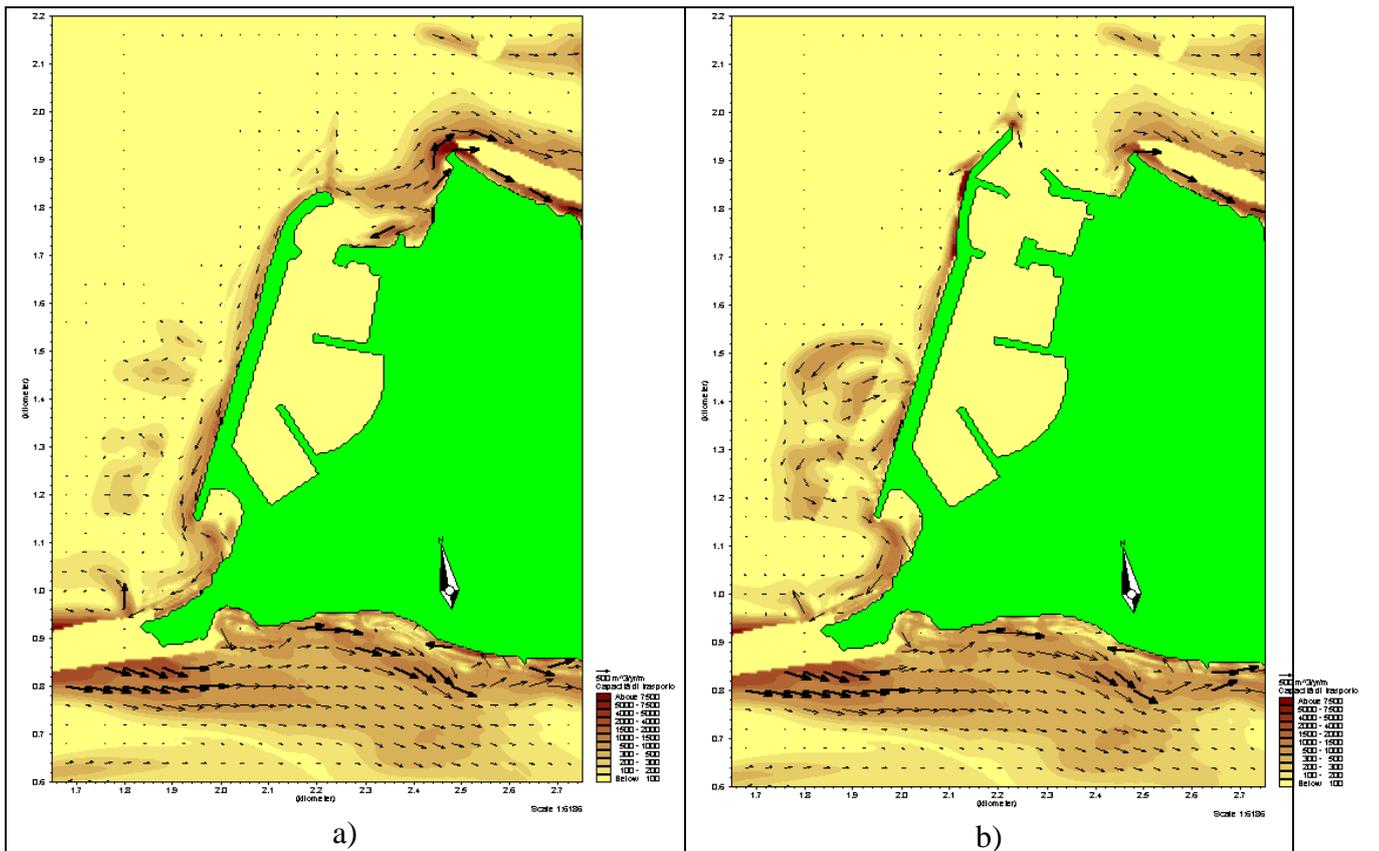


Figura 28. Zoom risultati del campo del trasporto solido per l'onda da 280°N: a) attuale, b) progetto

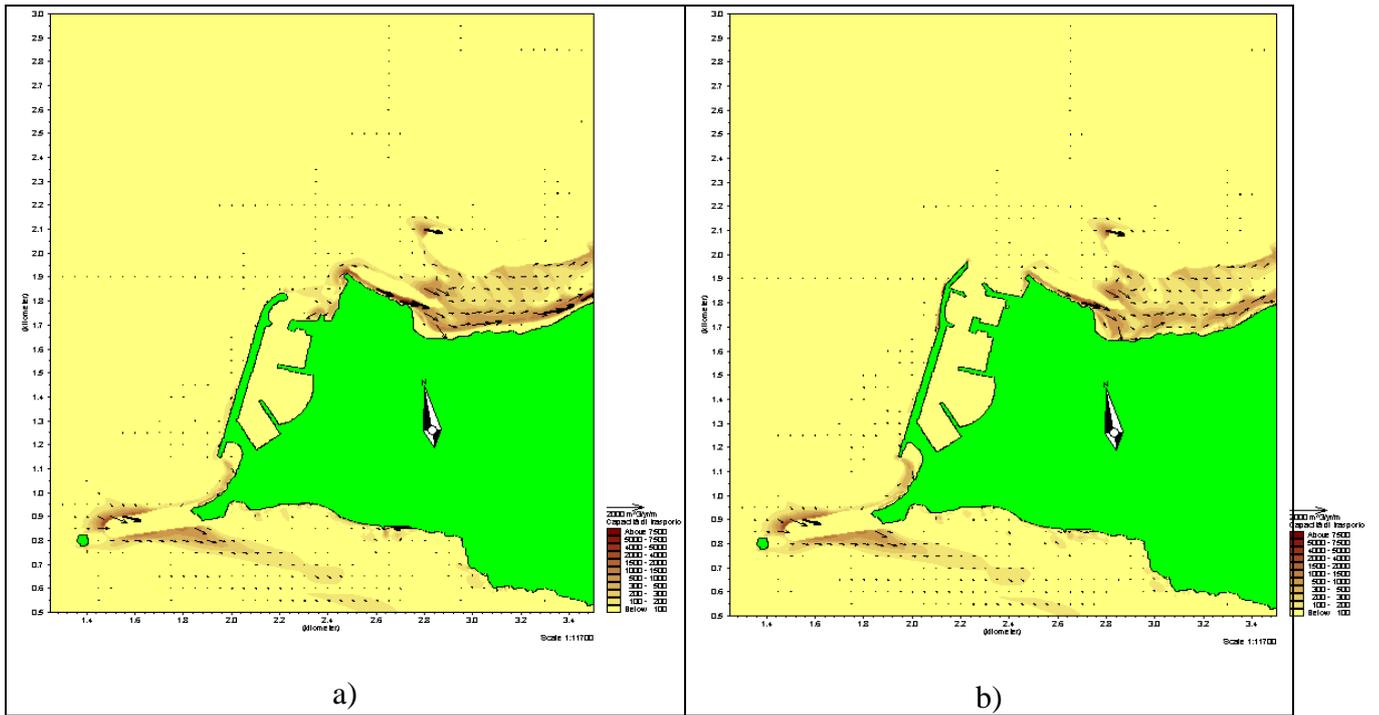


Figura 29. Risultati del campo del trasporto solido per l'onda da 285°N: a) attuale, b) progetto

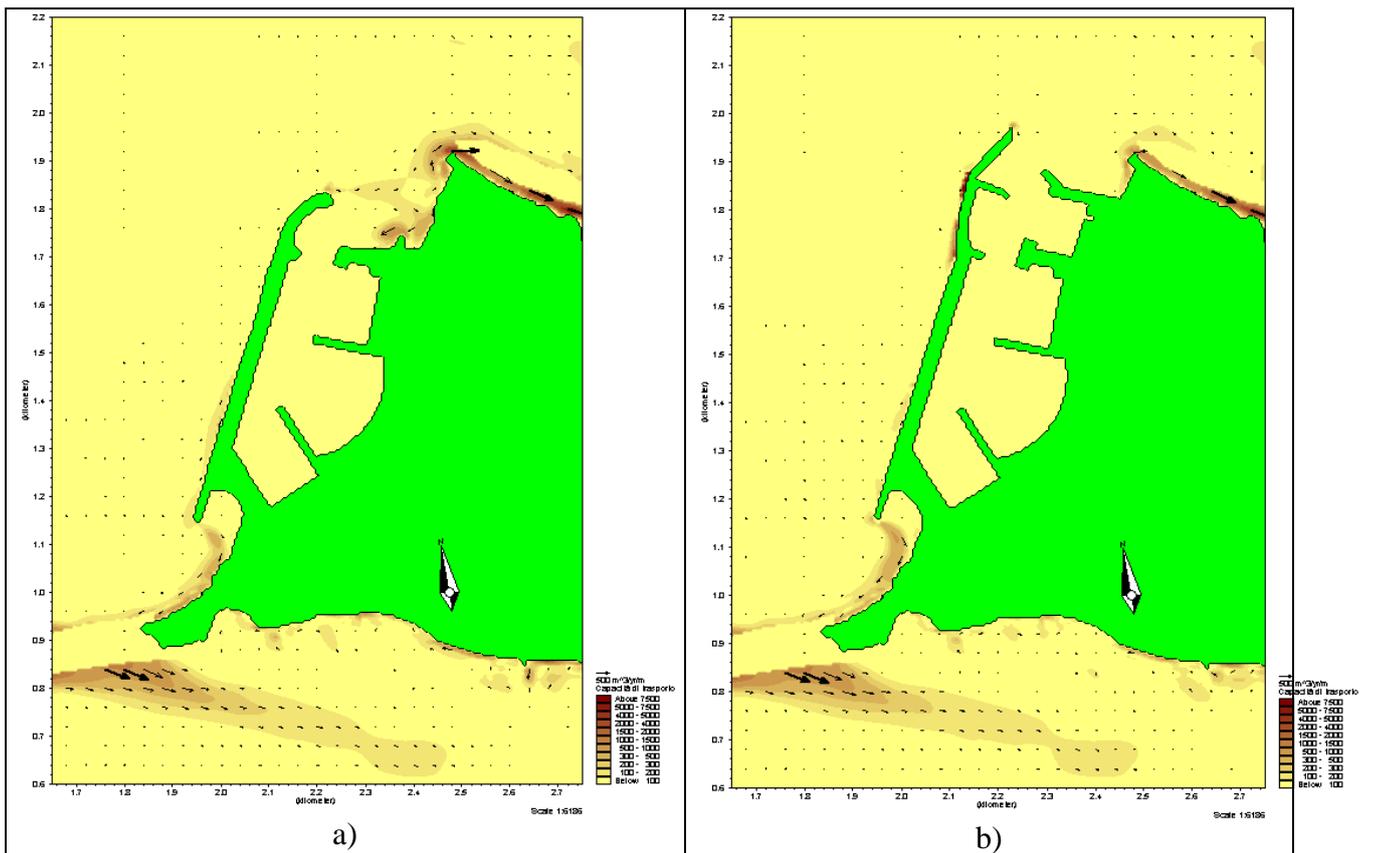


Figura 30. Zoom risultati del campo del trasporto solido per l'onda da 285°N: a) attuale, b) progetto

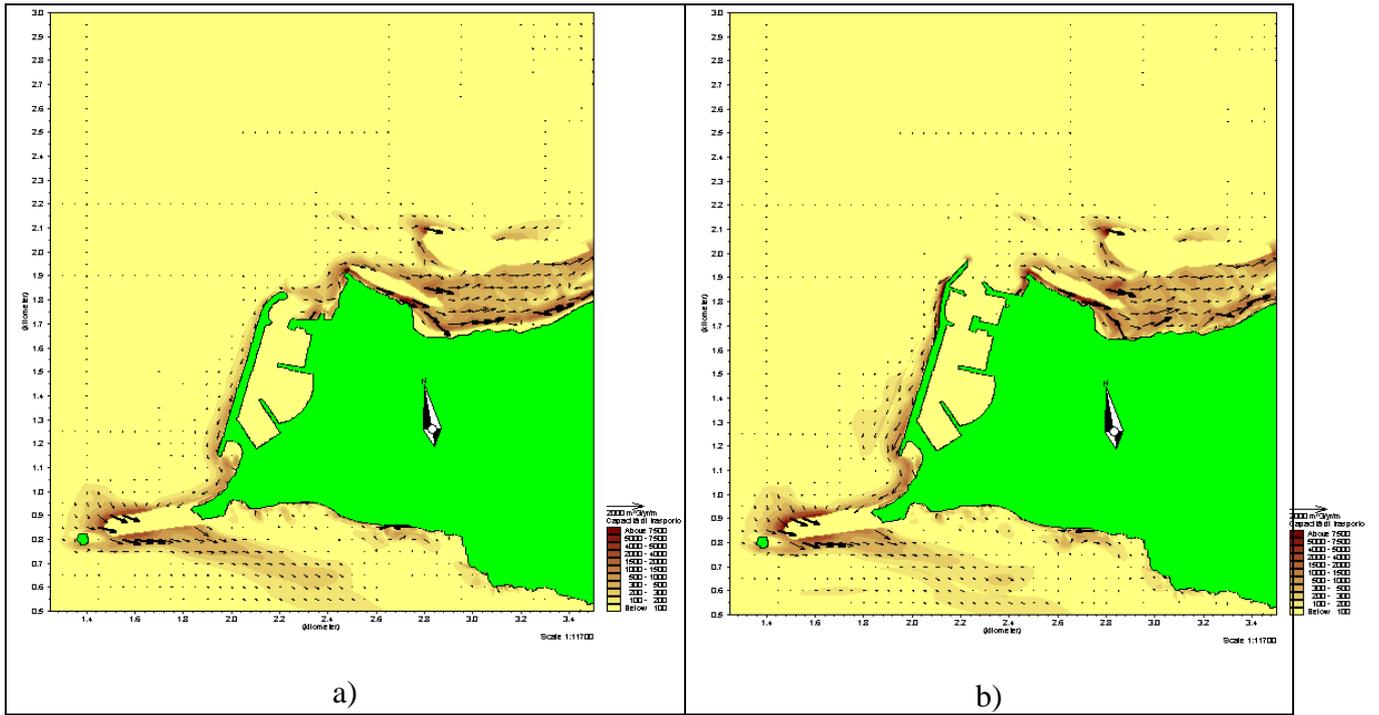


Figura 31. Risultati del campo del trasporto solido per l'onda da 295°N: a) attuale, b) progetto

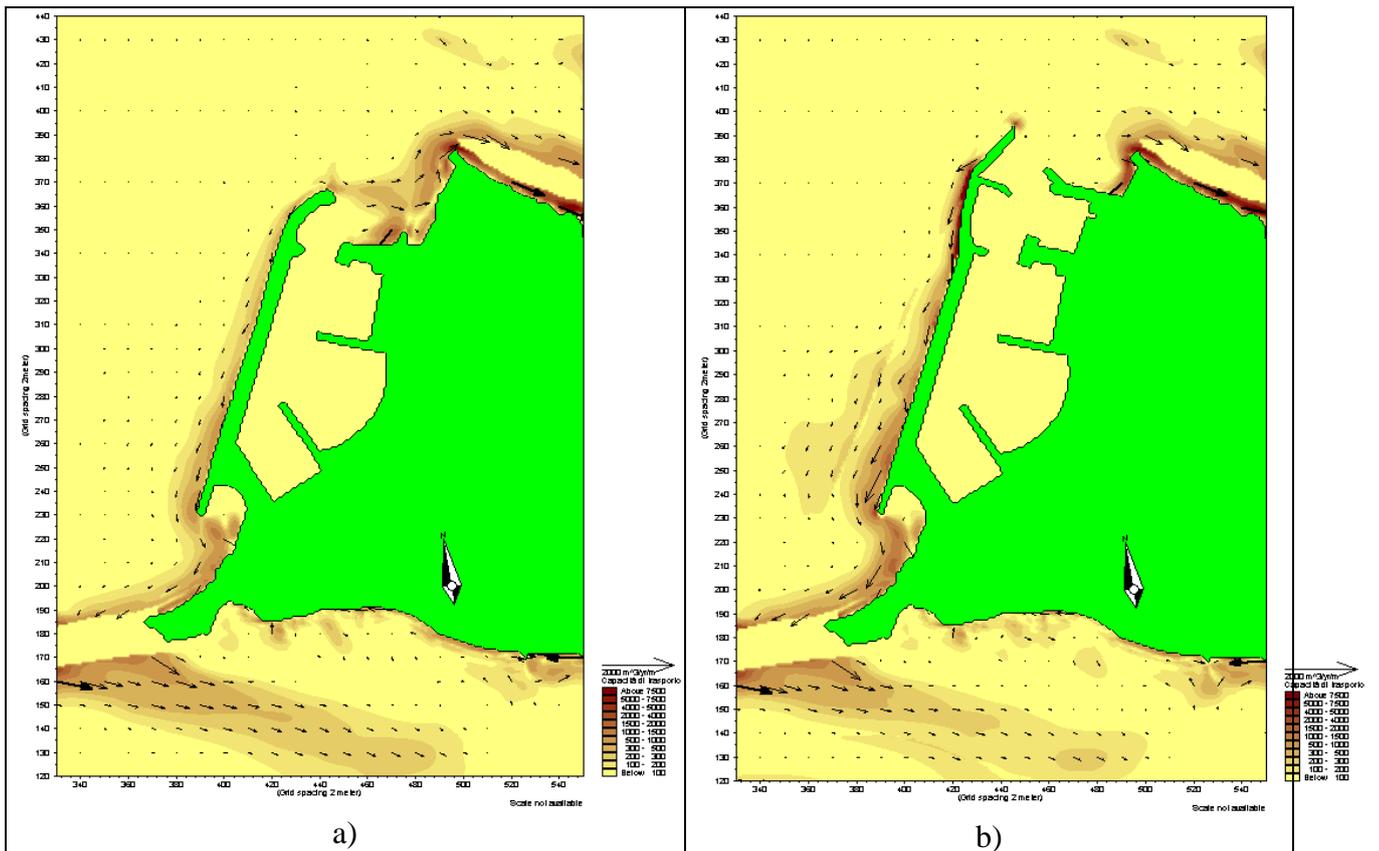


Figura 32. Zoom risultati del campo del trasporto solido per l'onda da 295°N: a) attuale, b) progetto

Le differenze più significative possono essere così sintetizzate:

- per le onde da  $230^{\circ}\text{N}$ , le correnti indotte da queste onde, già attualmente molto deboli ed influenti sulla spiaggia di Punta Ala, permangono deboli e non modificano il campo di trasporto. L'unica variazione apprezzabile sul campo di trasporto verso nord dovuto alle nuove opere è un ulteriore allontanamento dei flussi all'esterno dell'area antistante l'imboccatura. Le aree interessate, anche nella situazione attuale, sono a profondità superiori a 4-5 m e pertanto con limitato interesse per la morfodinamica delle spiagge;
- per onde provenienti dal canale di Piombino di direzione  $295^{\circ}\text{N}$  si osservano, modifiche al regime di correnti e di trasporto unicamente nell'area compresa fra la testata delle nuove opere e punta Hidalgo. Le correnti ed il conseguente trasporto, sia lungo la costa alta fra punta Hidalgo e l'inizio delle spiagge, sia lungo le spiagge di Punta Ala non evidenziano variazioni di rilievo, mentre per le onde provenienti dalle direzioni  $280^{\circ}\text{N}$  e  $285^{\circ}\text{N}$  si osserva una apprezzabile riduzione del trasporto vicino a riva nel tratto di costa sabbiosa prossima al porto.

### 3 CONCLUSIONI

Lo studio condotto ha permesso di evidenziare le variazioni indotte al campo di correnti e di trasporto solido dovute alla modifica dell'imboccatura del porto finalizzata alla riduzione dell'agitazione indotta dalle tempeste di vento da Grecale.

Il prolungamento della diga principale del porto, purchè non sporga oltre Punta Hidalgo, non influenza in modo significativo il campo di correnti e di trasporto sulle spiagge di Punta Ala.

Il modello evidenzia che le variazioni del trasporto di sedimenti sono limitate all'area antistante l'attuale imboccatura dove si ha una sensibile riduzione del trasporto ed una prevedibile assenza di fenomeni di insabbiamento.

Per le onde provenienti da direzione  $280^{\circ}$  N e  $285^{\circ}$  N si osserva una riduzione apprezzabile del trasporto dei sedimenti lungo costa in prossimità della riva

Per le onde provenienti da  $230^{\circ}$  N il flusso dei sedimenti che si muovono lungo la diga viene allontanato verso il largo in misura maggiore che nella situazione attuale, ma questo interessa fondali piuttosto elevati dove sono praticamente trascurabili gli scambi di sedimenti con le spiagge.

Complessivamente le nuove opere appaiono per lo più ininfluenti sull'equilibrio della spiaggia ma per le mareggiate provenienti da  $280^{\circ}$  e  $285^{\circ}$  N il modello evidenzia che la nuova configurazione della diga concorre al riequilibrio dei fenomeni erosivi sulla spiaggia riducendo l'entità del trasporto litoraneo vicino a riva.

Il responsabile scientifico  
Prof. Ing. Pier Luigi Aminti

Il Direttore del Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale  
Prof. Fausto Sacerdote



Lo studio è stato condotto dall'Ing., Valentina Vannucchi con la supervisione scientifica del Prof. P.L.Aminti