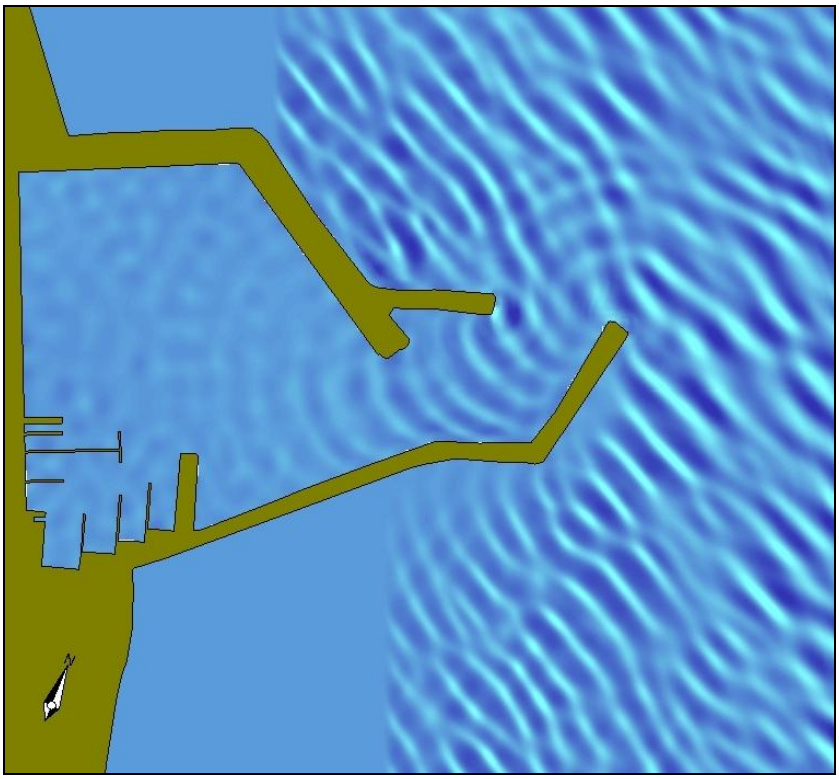
INTECNO-DHI WATER & ENVIRONMENT

MED INGEGNERIA

ENTE PORTO DI GIULIANOVA

ANALISI E STUDI A SUPPORTO DEL PIANO REGOLATORE PORTUALE DI GIULIANOVA



AGITAZIONE INTERNA PORTUALE E NAVIGABILITA' DELL'IMBOCCATURA

DATA:	APRILE 2003	
COMMESSA:	MED-177-GIULIANOVA	
FILE:	MED177-ALL 7.doc	
REDAZIONE:	ING. PAOLO ATZENI	
REVISIONE:	ING. MARCO GONELLA	
APPROVAZIONE:	ING. MARCO GONELLA	

INDICE

1. Premessa 1

2. Agitazione del bacino portuale 2

2.1 Descrizione sintetica del modulo BW del codice di calcolo MIKE 21 2

2.2 Griglia di calcolo 3

2.3 Coefficienti di riflessione 4

2.4 Simulazioni e risultati 5

2.5 Analisi dei risultati 11

3. Studio della navigabilità all'imboccatura..... 20

3.1 Analisi di dettaglio del layout C e proposte di affinamento progettuale 21

3.2 Stima del periodo di inoperatività dell'imboccatura 25

4. Conclusioni 27

1. PREMESSA

Nell'ambito dello sviluppo del Piano Regolatore Portuale per il porto di Giulianova è stata avviata l'attività di verifica delle soluzioni proposte per l'amplia mento e la regolamentazione del porto. La verifica è stata affrontata dal raggruppamento temporaneo costituito da Intecno-DHI e da MED INGEGNERIA mediante l'ausilio della modellazione matematica. Essa rappresenta, attualmente, lo strumento più idoneo per lo studio di una vasta serie di fenomeni da tener in conto per la valutazione delle modificazioni indotte dall'inserimento di una nuova configurazione portuale.

Nel presente studio vengono analizzati i vari layout progettuali mediante l'applicazione di un modello alle differenza finite che permette di calcolare l'agitazione interna ed in prossimità dell'imboccatura del porto al fine di verificare come rispondono le differenti opere foranee a diverse ondazioni che possono interessare il porto.

Il codice di calcolo utilizzato per il calcolo dell'agitazione è il MIKE21 Boussinesq Wave che permette di propagare un'onda irregolare all'interno di un dominio di calcolo tenendo conto degli effetti di rifrazione, shoaling, attrito con il fondo, diffrazione e riflessione parziale che il moto ondoso subisce nell'interazione con una determinata opera.

2. AGITAZIONE DEL BACINO PORTUALE

Lo studio dell'agitazione del bacino portuale è finalizzato sia all'ottimizzazione dei lay-out di disposizione interna che dell'imboccatura.

Per l'analisi è stato messo a punto un modello matematico costruito con il codice di calcolo MIKE 21 BW (Boussinesq Wave) che considera i fenomeni complessivi di traslazione del moto ondoso, con un approccio dinamico, compresi i fenomeni di riflessione e assorbimento ed escluso solo il frangimento.

2.1 Descrizione sintetica del modulo BW del codice di calcolo MIKE 21

Il modulo Boussinesq Wave che fa parte del codice di calcolo MIKE21 è attualmente uno dei più potenti strumenti per la modellazione matematica delle onde corte. Esso è basato sulla soluzione numerica delle equazioni di Boussinesq in due dimensioni.
Tali equazioni includono i termini non lineari e la dispersione in frequenza. Inizialmente la dispersione della frequenza viene introdotta come un'equazione di flusso tenendo conto degli effetti che hanno le accelerazioni verticali nella distribuzione della pressione.
Il limite maggiore delle equazioni di Boussinesq è la loro validità in acque profonde. La nuova forma della equazioni comprende un significativo miglioramento nella caratteristica della dispersione. Questo permette al MIKE21 BW di simulare la propagazione di treni d'onda che viaggiano da acque profonde ad acque basse (deep/shallow). La massima profondità simulabile è dell'ordine di mezza lunghezza d'onda al largo.

Il modello è in grado di riprodurre l'effetto combinato della maggior parte dei fenomeni che intervengono nella propagazione del moto ondoso in aree costiere e nei porti.

Questi includono: shoaling, rifrazione, diffrazione e riflessione parziale di onde di ampiezza finita che si propagano in batimetrie complesse.

Il MIKE21 include la porosità per la simulazione della riflessione parziale e la trasmissione attraverso pali o frangiflutti. Inoltre è possibile applicare dei contorni assorbenti laddoe sia necessario simulare l'assorbimento dell'energia dell'onda (ad esempio un contorno off-shore o una spiaggia).

L'immissione delle onde all'interno del dominio di calcolo può essere fatta mediante dei contorni aperti o direttamente mediante delle linee di generazione interne.

Il modello può essere applicato allo studio dell'agitazione di porti o in aree costiere ove sia limitato li frangimento. questo permette anche di includere nello studio il campo di agitazione dovuto alla penetrazione di treni regolari o irregolari, lo studio della risonanza portuale e le sesse dovute a onde di lungo periodo a onde di mare morto o a maremoti.

Il campo di agitazione (*wave disturbance)* è uno degli aspetti più importanti per la manovra di ormeggio delle navi e per le operazioni di carico e scarico; nell'ingegneria delle costruzioni marittime l'agitazione interna è, pertanto, uno dei dati da tener in maggior considerazione per la progettazione.

2.2 Griglia di calcolo

Il modello è stato costruito con un passo di griglia di 3 m a coprire un'area di circa 2,4 x 1,4 km. L'origine degli assi è fissata nel punto di coordinate UTM fuso 33, ED50 e=416214.08, n=4733327.06 e l'asse y è orientato di 337°N e la griglia è costituita da 400 celle lungo x e 770 celle lungo y per un totale di 308000 celle.

La dimensione dell'asse y della griglia è dovuta alla necessità di rappresentare al meglio anche le onde caratterizzate da una dispersione angolare dell'ordine dei ±30°, mentre la dimensione lungo l'asse x è dovuta all'aggetto delle opere verso largo e alla necessità dell'inserimento lungo il contorno off-shore di una serie di punti griglia per l'assorbimento delle onde verso largo.

La griglia è costituita da tre differenti layer che rappresentano rispettivamente la batimetria del sito, i contorni assorbenti ed i contorni riflettenti.

Sono stati costruiti quattro differenti sistemi di griglie al fine di rappresentare tutti e quattro i layout di progetto.

2.3 Coefficienti di riflessione

I coefficienti di riflessione applicati ai vari contorni del porto sono stati assunti in base ai valori tipici riportati in letteratura o verificati sperimentalmente mediante applicazioni pregresse di modellazioni fisiche.

Il porto attuale è stato caratterizzato da dei coefficienti di riflessione che vanno da un valore pressoché nullo nella spiaggia, a valori dei circa 0.9 nelle banchine a parete verticale.

Tutto il paramento esterno dei moli è stato impostato con un valore di 0.35 considerando che è costituito da una scogliera a massi con pendenze di progetto di 2/1.

La banchina interna, eccetto la banchina di riva, è stata caratterizzata da un valore di C_R pari a 0.9, mentre la banchina di riva è stata impostata con un valore di C_R pari a 0.7. La banchina di riva è infatti costituita da una trave di coronamento sorretta da pali e con una scogliera di massi di riempimento. In condizioni normali tale tipo di banchina dovrebbe risultare poco riflettente, in realtà la luce ridotta tra il medio mare e la quota di intradosso della trave fanno si che durante le mareggiate tale distanza venga quasi annullata, pertanto la banchina si comporta quasi come una parete verticale opponendo alle onde incidenti il paramento laterale della trave.
Nelle figure seguenti vengono riportati i coefficienti di riflessione impostati per tutti e quattro i layout.

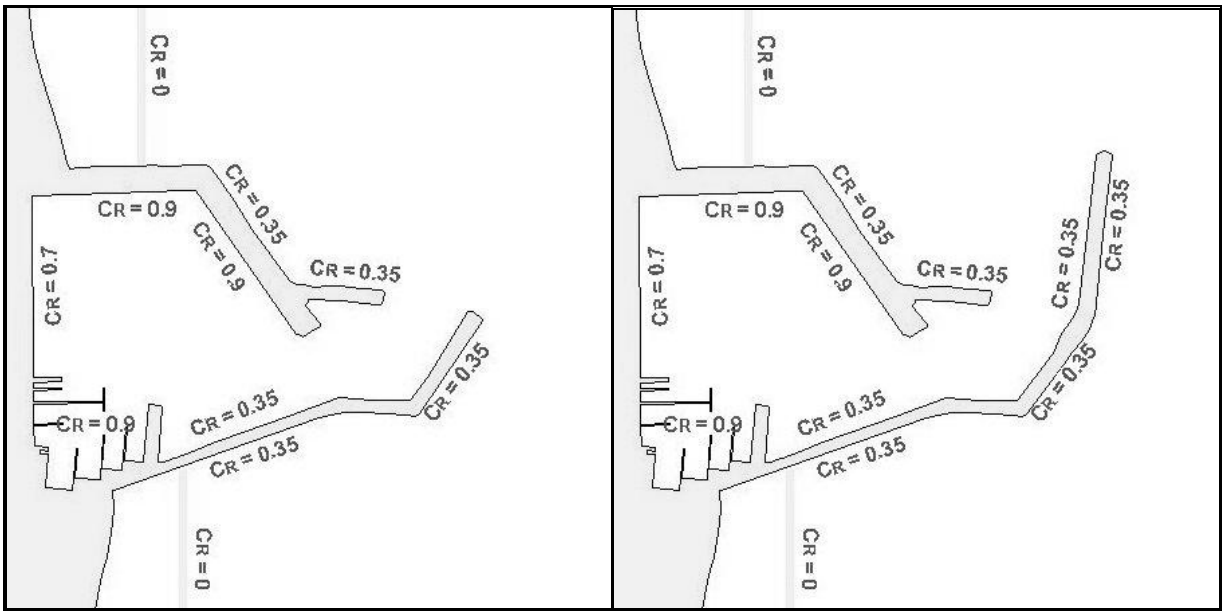


Figura 1 – Coefficienti di riflessione impostati per i layout 0 e A

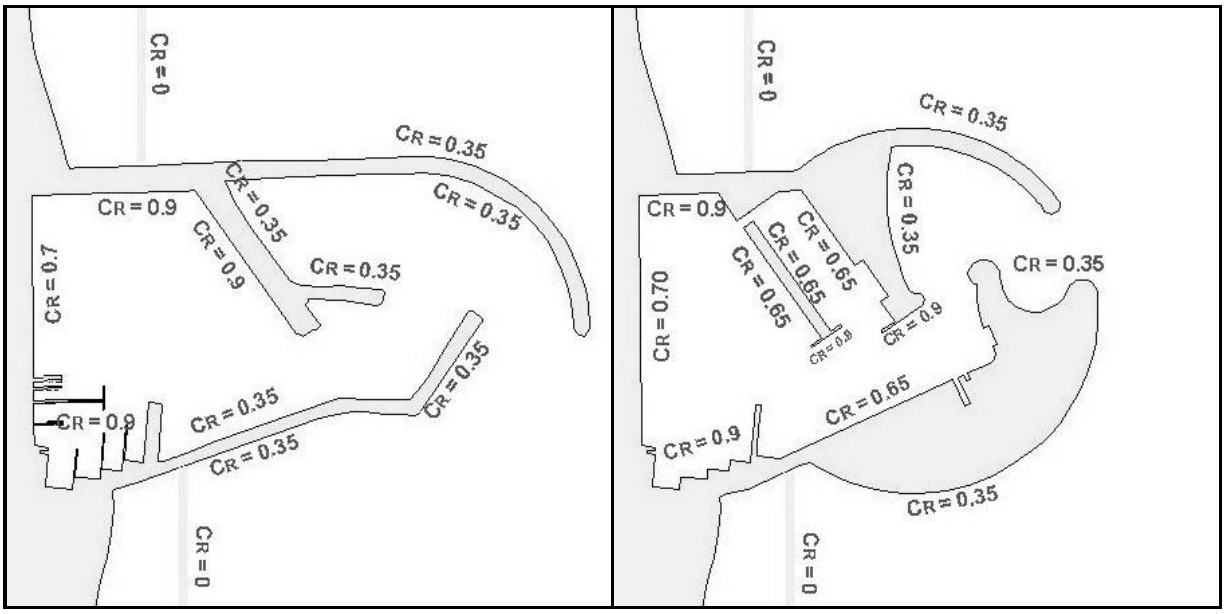


Figura 2 – Coefficienti di riflessione impostati per i layout B e C

2.4 Simulazioni e risultati

In prima analisi è stata realizzata una serie di simulazioni di prova in cui è stato valutato l'effetto di un'onda da 30°N, con altezza di 2 m e periodo di 6,7 s scelta, in fase preliminare, sulla base delle prime indicazioni sulla caratterizzazione del moto ondoso tipico del paraggio.

Sono riportate nel seguito una serie di immagini relative al comportamento delle onde nello specchio portuale nella configurazione attuale (layout 0) e nelle configurazioni di progetto (layout A, B e C). Oltre alle indicazioni progettuali indicate dall'Ente Porto è stata sviluppata una ulteriore alternativa di intervento (layout D) nel tentativo di ottimizzare la funzionalità delle strutture minimizzando l'impatto ambientale.

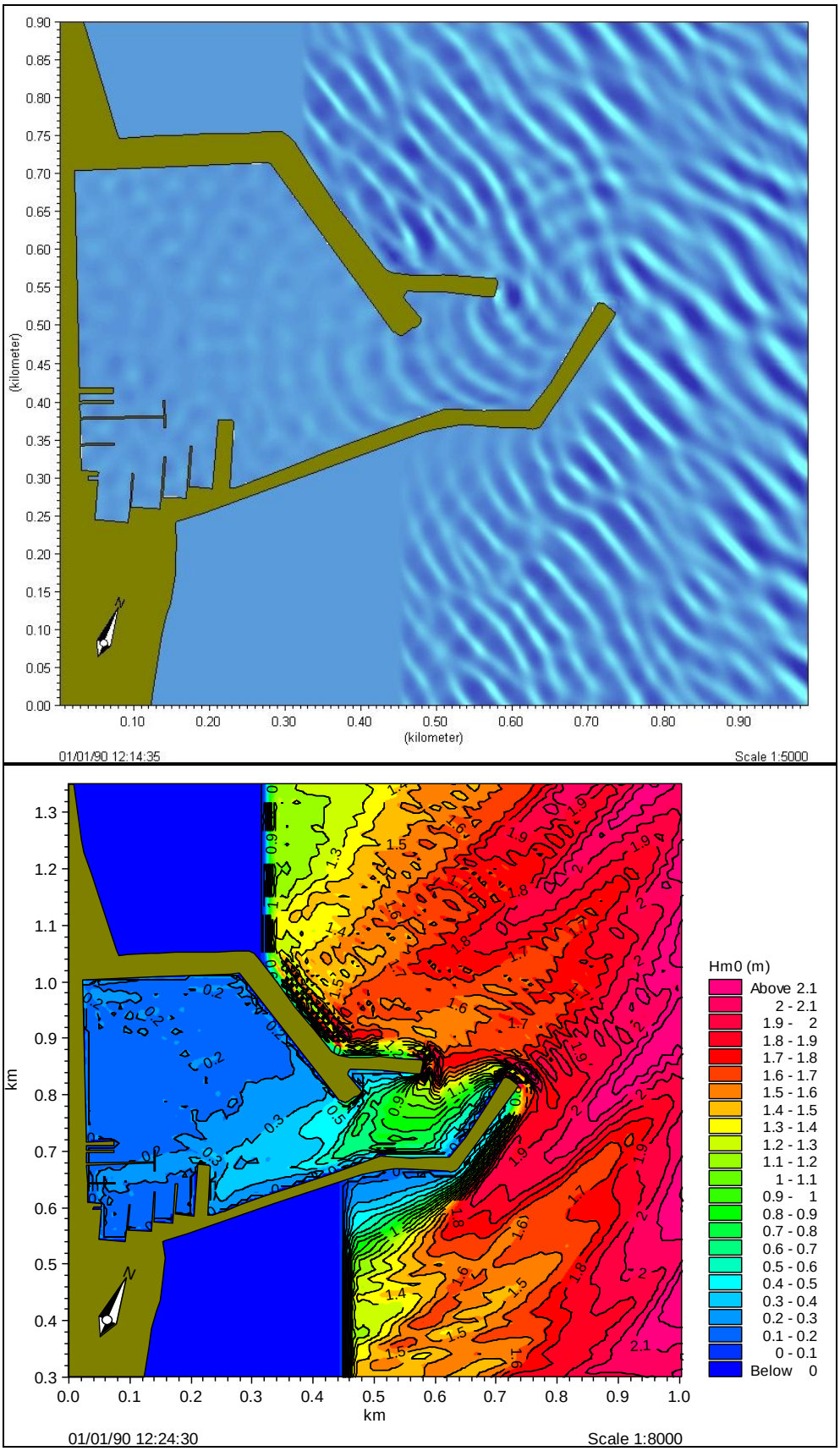


Figura 3 – Campo di moto ondoso e isolinee di altezza d'onda calcolati per la situazione attuale con onda da 30°N, Hm0=2.0m e Tp=6.7s

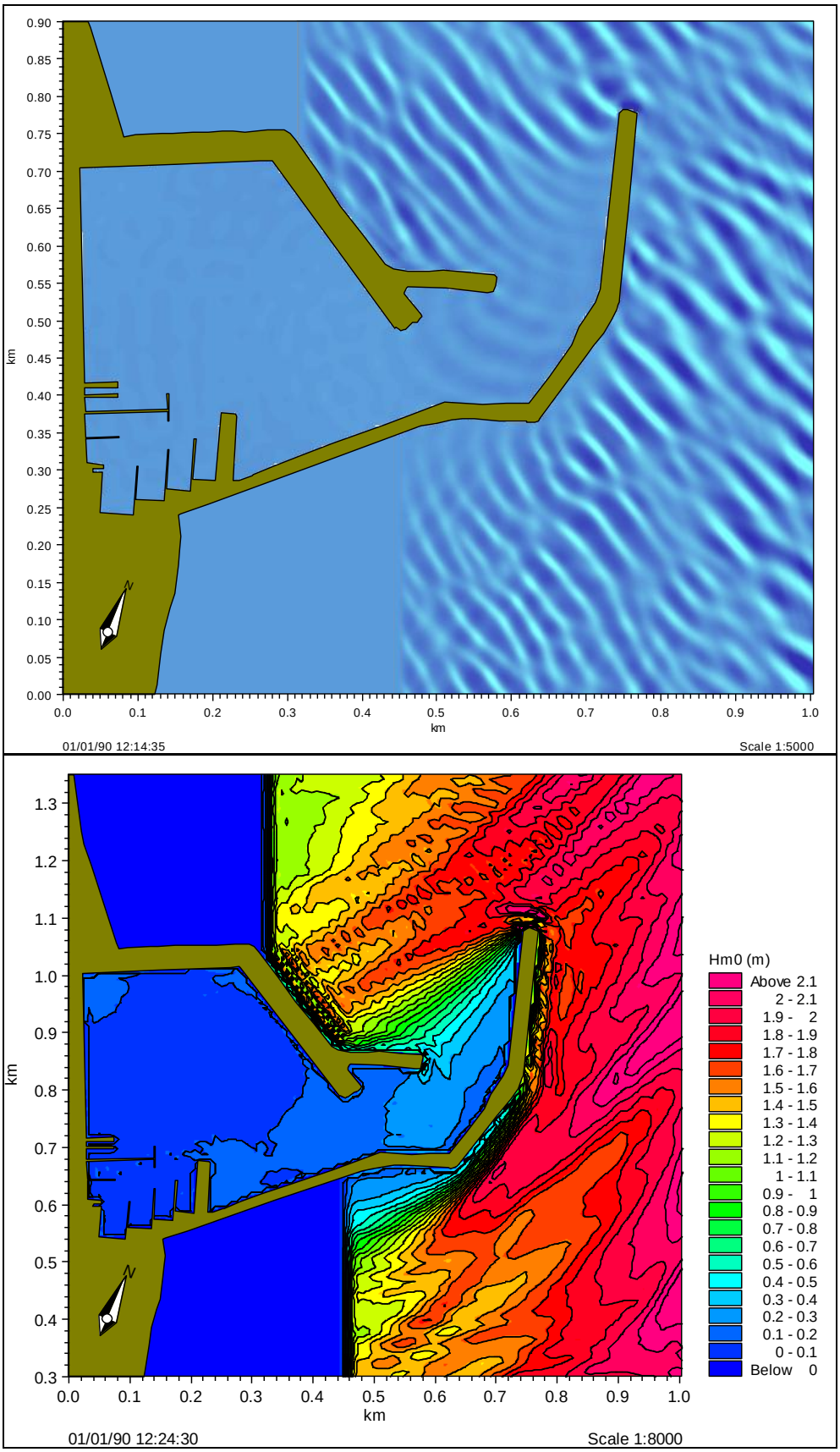


Figura 4 – Campo di moto ondoso e isolinee di altezza d'onda calcolati per la situazione di progetto A con onda da 30°N, Hm0=2.0m e Tp=6.7s

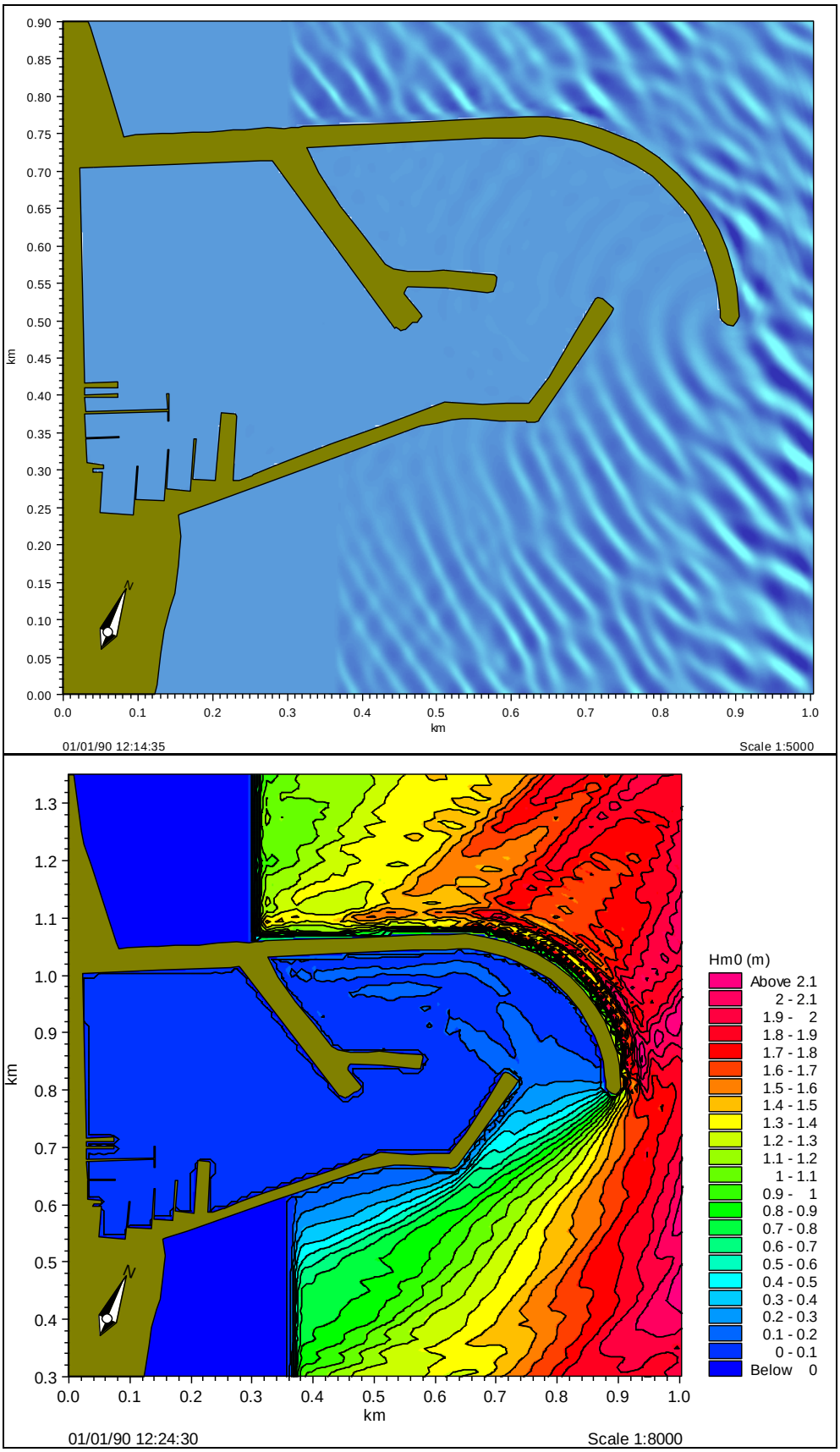


Figura 5 – Campo di moto ondoso e isolinee di altezza d'onda calcolati per la situazione di progetto B con onda da 30°N, Hm0=2.0m e Tp=6.7 s

Come si nota dai risultati ottenuti si ha una buona riduzione del moto ondoso residuo all'interno del porto con tutte le soluzioni.

Bisogna però notare come il layout A avendo l'imboccatura orientata verso Nord permette ad alcune onde, per il fenomeno di diffrazione, di interessare il tratto più a Nord Est della banchina del molo sud con altezze d'onda dell'ordine dei 0.3÷0.5 m. Questo fenomeno è fortemente limitante nella previsione di un ripristino della stessa banchina, che potrà essere utilizzata solamente in parte.

Si comporta certamente meglio il layout B che presenta un'apertura verso Sud. L'agitazione residua, in questo caso è molto bassa anche considerando ondazioni provenienti da settori più meridionali. La conformazione del prolungamento del molo nord, infatti, permette di schermare quasi tutte le onde del settore di traversia secondario ad eccezione di un piccolo settore periferico.

Le onde di quest'ultimo settore trovano comunque una zona di espansione piuttosto ampia e quindi la possibilità di dissipare gran parte della loro energia consentendo una facile e sicura manovra di accesso alle imbarcazioni.

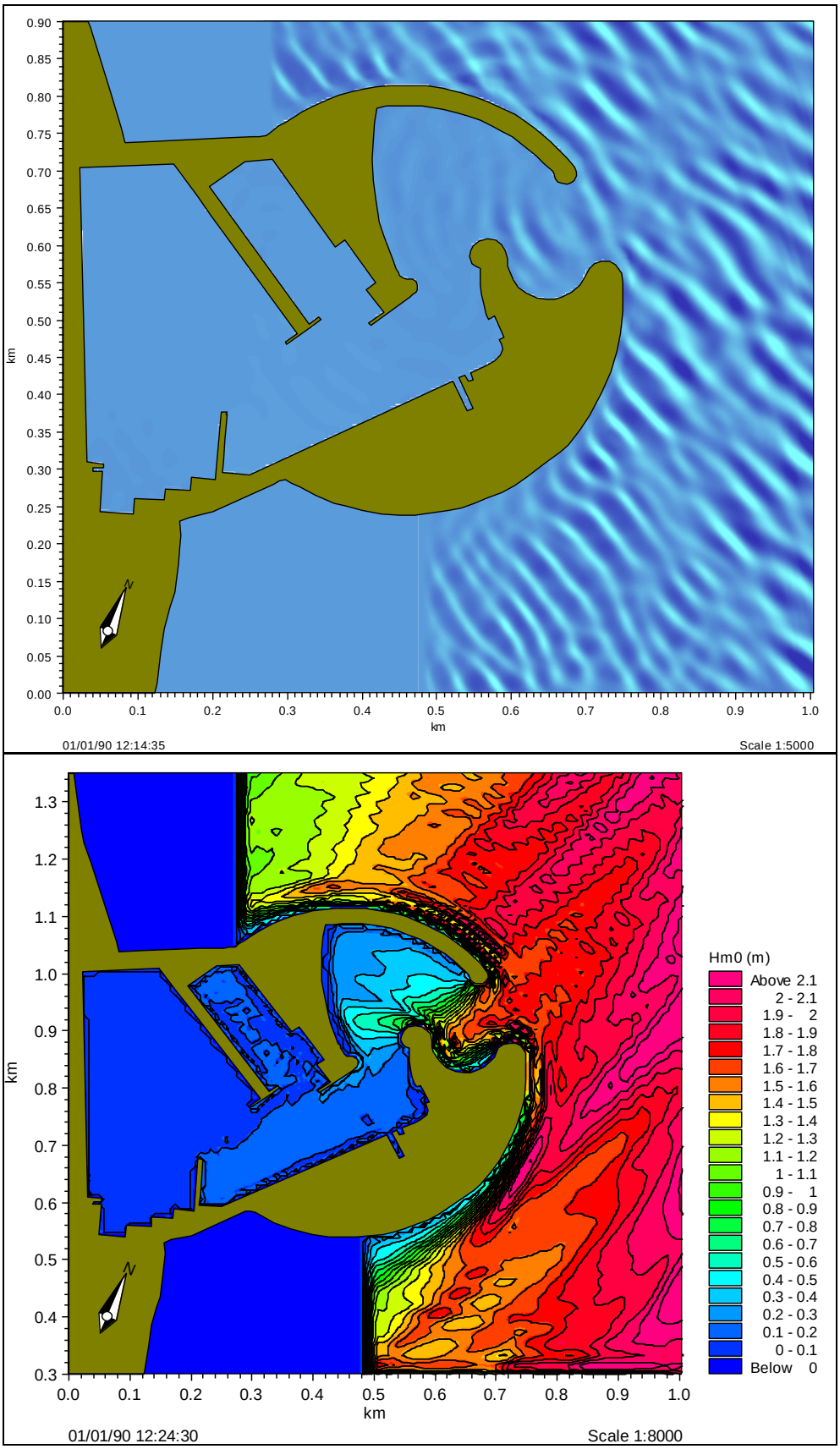


Figura 6 – Campo di moto ondoso e isolinee di altezza d'onda calcolati per la situazione di progetto C con onda da 30°N, Hm0=2.0m e Tp=6.7s

2.5 Analisi dei risultati

Il layout C esprime una tipologia portuale molto differente dai layout A e B in quanto permette l'attenuazione del moto ondoso grazie alla presenza di un sistema di moli convergenti. Il meccanismo di attenuazione del moto ondoso in questo caso non è assicurato dall'inserimento di una barriera direttamente interposta tra la zona da proteggere e il moto ondoso incidente, ma è garantito dal fatto che l'energia del moto ondoso che transita attraverso l'imboccatura con una luce delimitata, si trova, appena superata l'imboccatura stessa, in una zona di espansione nella quale deve disperdere la sua energia e quindi in condizioni favorevoli all'attenuazione dell'altezza d'onda.

Come mostrano i risultati ottenuti, il layout C, grazie anche alla presenza del trasversale interno che si diparte dalla banchina sud, ha un buon potere riduttore del moto ondoso residuo. La zona interna prospiciente alla banchina di riva presenta un'agitazione praticamente nulla, la zona di accesso lungo la banchina sud ha invece un'agitazione con altezze d'onda dell'ordine dei 20 cm, che è compatibile con la destinazione d'uso di tale banchina.

Sono state inoltre eseguite una serie di simulazioni per la verifica dell'agitazione interna del bacino considerando le onde caratteristiche delle direzioni principali con un tempo di ritorno di 1 anno. Tali onde sono riportate nella seguente tabella.

Hs (m)	Tp (s)	dir. (°N)
3.0	7.4	24
4.0	7.3	60
2.9	6.4	90
2.3	6.3	115

Tabella 1 – Onde sottocosta con tempo di ritorno di un anno

Le simulazioni effettuate mettono in luce come il layout C risponda molto bene dal punto di vista dell'agitazione interna. Le massime onde che si verificano all'interno sono praticamente trascurabili, mentre nella zona lungo la banchina del molo sud si hanno comunque dei valori molto bassi. In particolare con l'onda da 3 m proveniente da 24°N, che risulta essere l'onda più gravosa, si nota come le massime ondazioni residue siano dell'ordine dei 20 cm

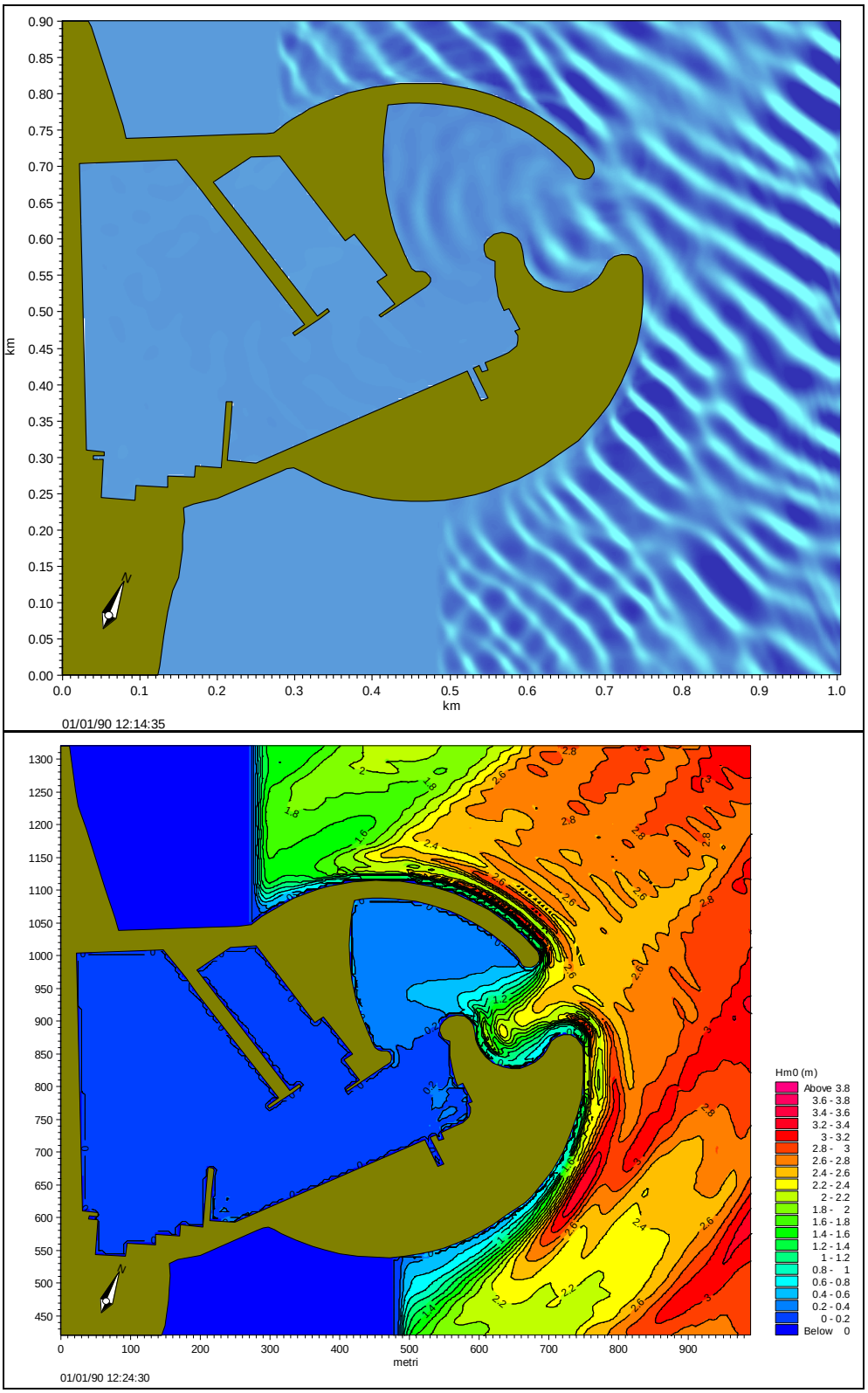


Figura 7 - Campo di moto ondoso e isolinee di altezza d'onda calcolati per la situazione di progetto C con onda con TR 1 anno Hs0=3.0m e Tp=7.4 s e dir 24°N

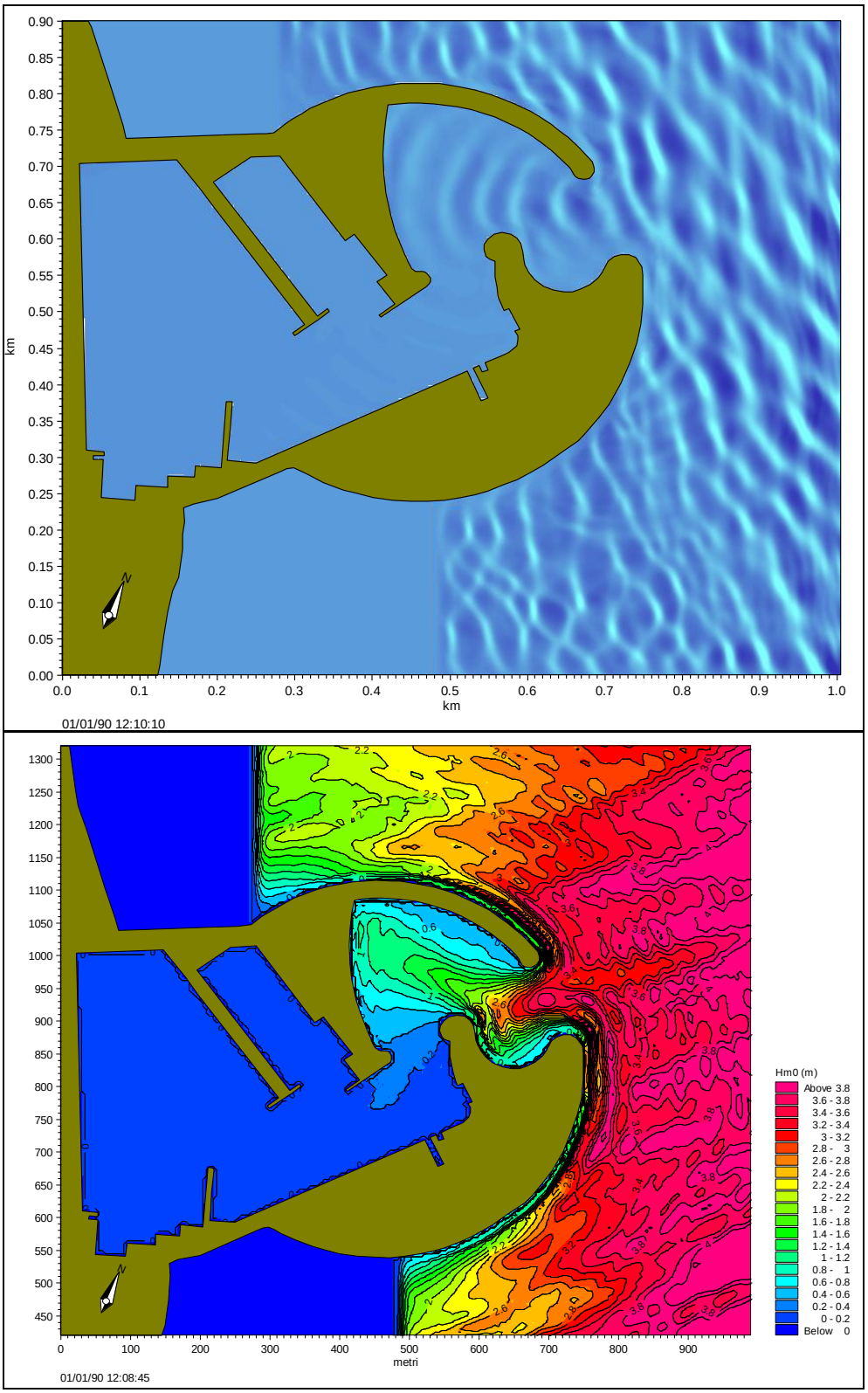


Figura 8 - Campo di moto ondoso e isolinee di altezza d'onda calcolati per la situazione di progetto C con onda con TR 1 anno Hs0=4.0m e Tp=7.3 s e dir 60°N

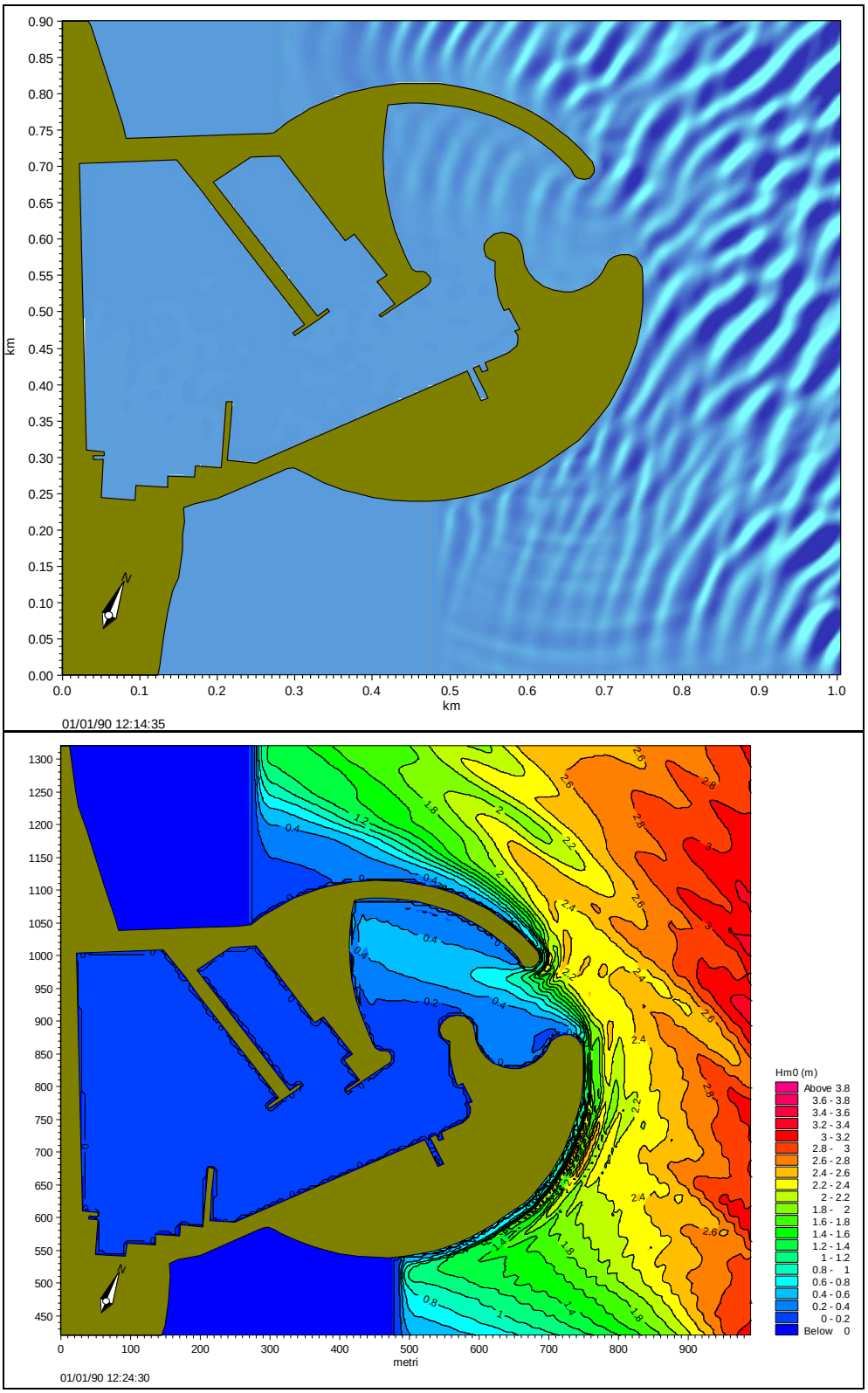


Figura 9 - Campo di moto ondoso e isolinee di altezza d'onda calcolati per la situazione di progetto C con onda con TR 1 anno Hs0=2.9m e Tp=6.4 s e dir 90°N

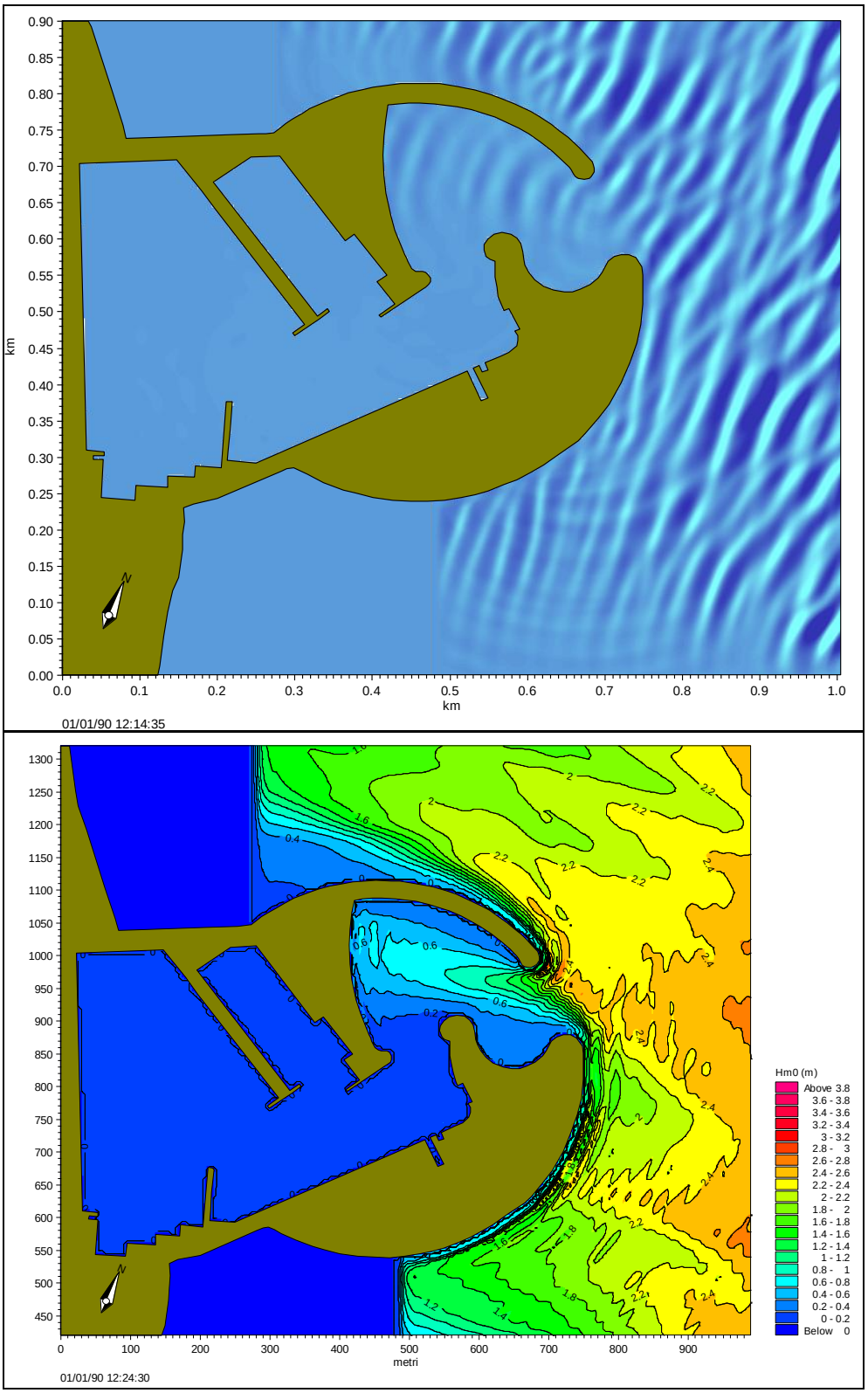


Figura 10 - Campo di moto ondoso e isolinee di altezza d'onda calcolati per la situazione di progetto C con onda con TR 1 anno Hs0=2.3m e Tp=6.3 s e dir 115°N

Il layout scelto per il Piano Regolatore Portuale di Giulianova risulta essere una variante del layout C studiato fino ad ora. tuttavia la configurazione della sistemazione interna non è variata. Per tale motivo per completezza si riportano i risultati del layout C adattati alla configurazione definitiva.

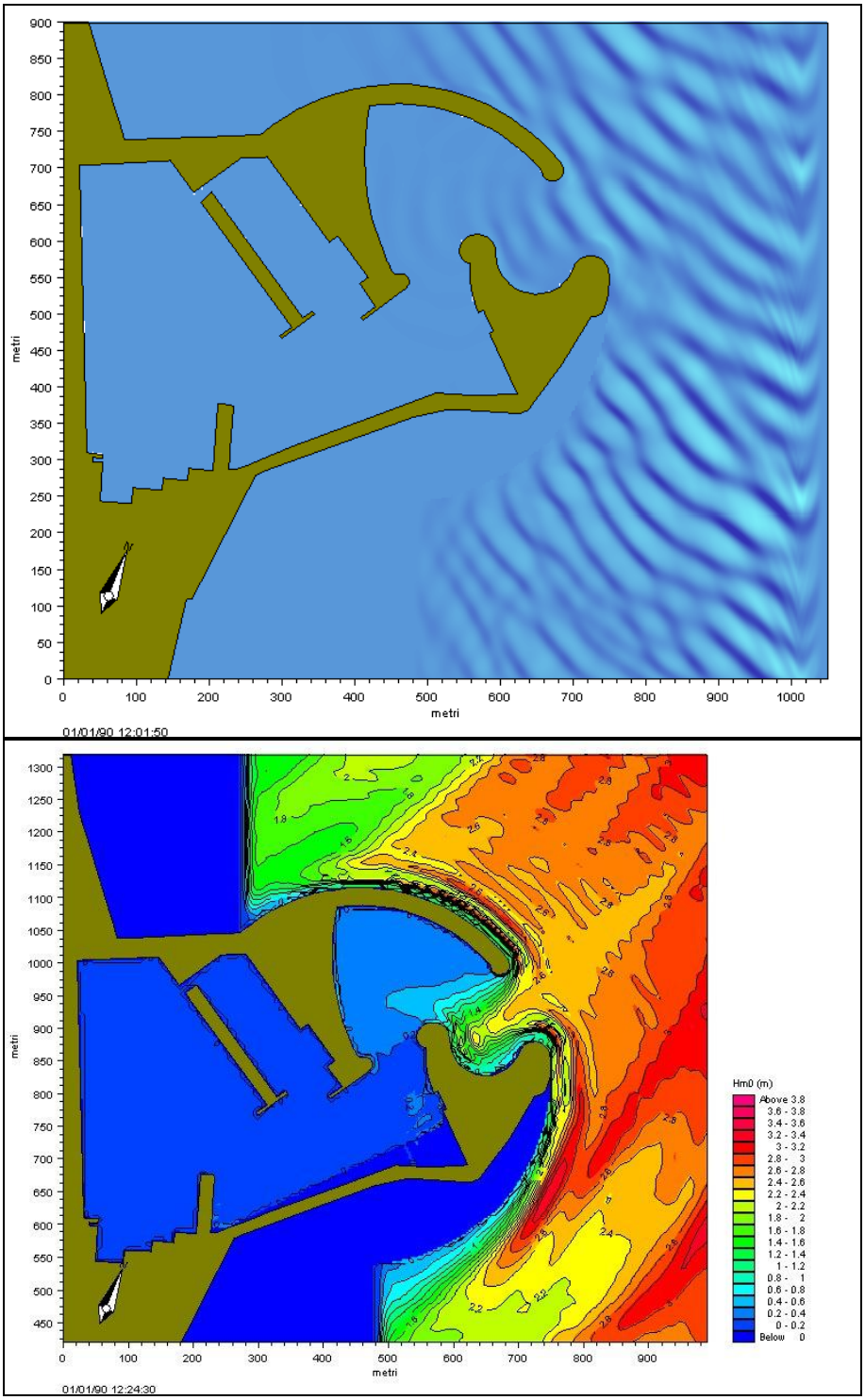


Figura 11 - Campo di moto ondoso e isolinee di altezza d'onda calcolati per la situazione di progetto con onda con TR 1 anno Hs0=3.0m e Tp=7.4 s e dir 24°N

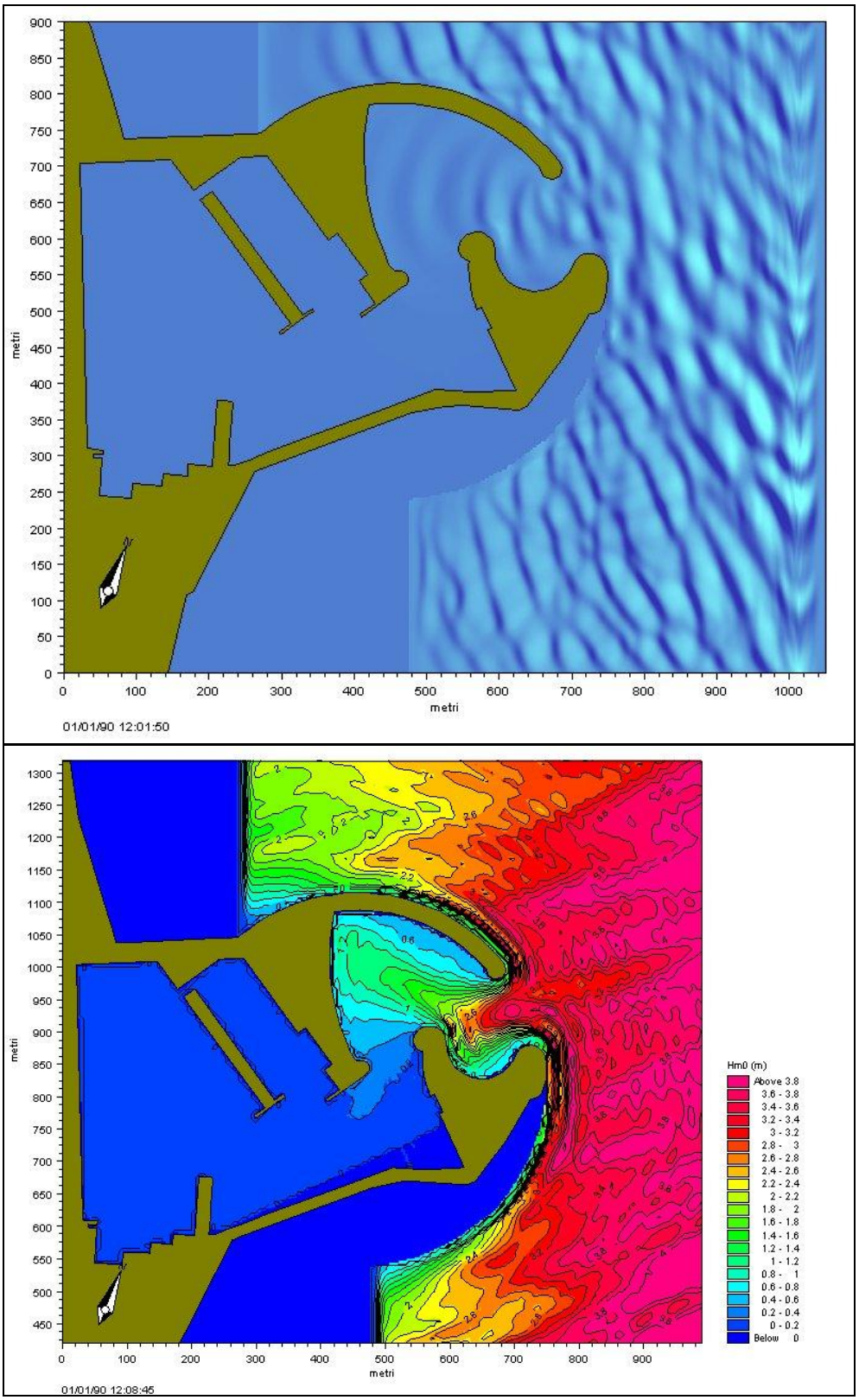


Figura 12 - Campo di moto ondoso e isolinee di altezza d'onda calcolati per la situazione di progetto con onda con TR 1 anno Hs0=4.0m e Tp=7.3 s e dir 60°N

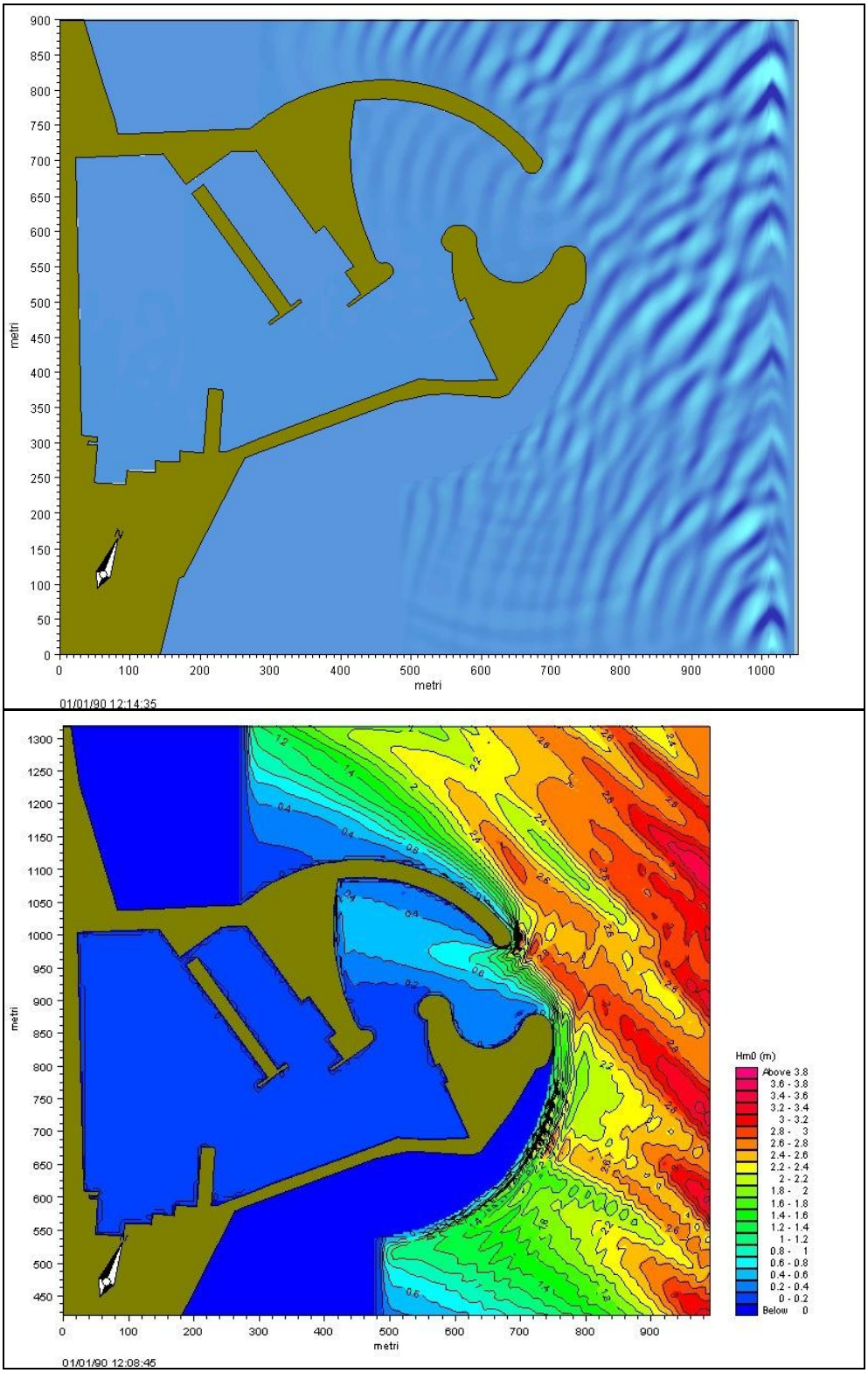


Figura 13 - Campo di moto ondoso e isolinee di altezza d'onda calcolati per la situazione di progetto con onda con TR 1 anno Hs0=2.9m e Tp=6.4 s e dir 90°N

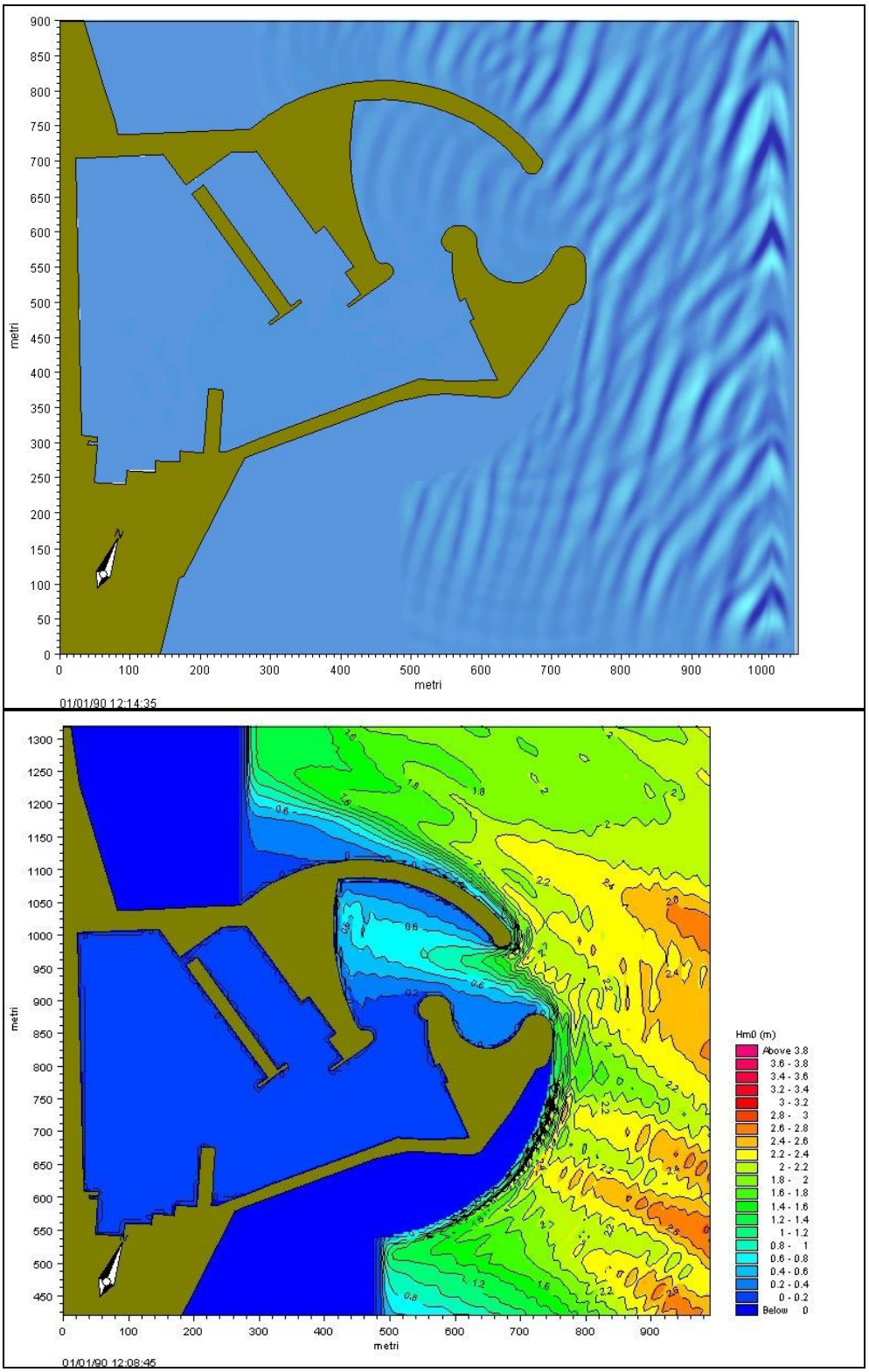


Figura 14 – Campo di moto ondoso e isolinee di altezza d'onda calcolati per la situazione di progetto con onda con TR 1 anno Hs0=2.3m e Tp=6.3 s e dir 115°N

3. STUDIO DELLA NAVIGABILITÀ ALL'IMBOCCATURA

In base ai risultati delle simulazioni effettuate il layout C è risultato preferibile perché appare il meno impattante dal punto di vista della dinamica costiera garantendo il by-pass dei sedimenti e permettendo alla spiaggia di mantenere circa il trend evolutivo attuale.

Tuttavia, come visto nel capitolo precedente, si nota una certa agitazione all'imboccatura che potrebbe compromettere l'ingresso in porto in sicurezza. Pertanto si è studiato con un maggior dettaglio, per quanto non si possa considerare uno studio a livello progettuale, l'imboccatura del layout C e una sua eventuale ottimizzazione nell'intento, non tanto di modificare il layout, quanto di verificare se una sua modifica possa migliorare le condizioni di navigabilità e di agitazione.

La verifica della navigabilità per il layout progettuale del porto di Giulianova è stata eseguita sulla base delle recenti normative e raccomandazioni dell'AIPCN che prescrivono le dimensioni ottimali per la sicurezza dell'accesso al porto e per la manovrabilità in fase di accostata.

Per quanto riguarda le dimensioni dell'imboccatura le raccomandazioni prevedono una dimensione minima di circa 5÷6 volte la larghezza massima dell'imbarcazione di calcolo per il traffico a doppio senso o comunque non inferiore a 30 m. Mentre per quanto riguarda il cerchio di evoluzione si prevede un diametro di circa 3 volte la lunghezza dell'imbarcazione.

Nel caso del porto di Giulianova si prevede una nave di calcolo con una lunghezza massima di circa 50 m, ed una larghezza di circa 12 m.
In Tabella 2 sono riportate le caratteristiche tipo dalla nave di calcolo.

L (lunghezza) (m)	50
B (larghezza) (m)	12
T (tirante) (m)	3.5

Tabella 2 – caratteristiche della nave di calcolo

L'imboccatura del porto in progetto per il PRP (Figura 15) risulta essere di circa 110 m che rispetta le raccomandazioni dell'AIPCN. Infatti considerando la larghezza massima dell'imbarcazione di 12 m risulterebbe una larghezza di 60÷72 m. Considerando inoltre che nel porto di Giulianova non vi è attualmente un traffico nei due sensi la dimensione di 110 m appare più che sufficiente.

Una volta varcata l'imboccatura con una rotta di circa 85°N, che rimane compreso all'interno del settore di traversia (25-110°N), la nave si trova all'interno dell'avamporto laddove le condizioni di agitazione sono decisamente ridotte e può iniziare la correzione di rotta al fine di entrare nel bacino più interno. Dalla planimetria di progetto è rilevabile un raggio di curvatura di circa 100 m che appare sufficiente per l'ingresso della nave. Tale raggio di curvatura infatti risulta essere di circa 5 volte la lunghezza della nave di calcolo.

Per quanto riguarda gli spazi destinati alle inversioni di marcia è presente un cerchio di evoluzione di 160 m nella zona avamportuale, un cerchio di 140 m nella imboccatura interna, ed un ulteriore cerchio di evoluzione nel bacino interno anch'esso di 140 m.

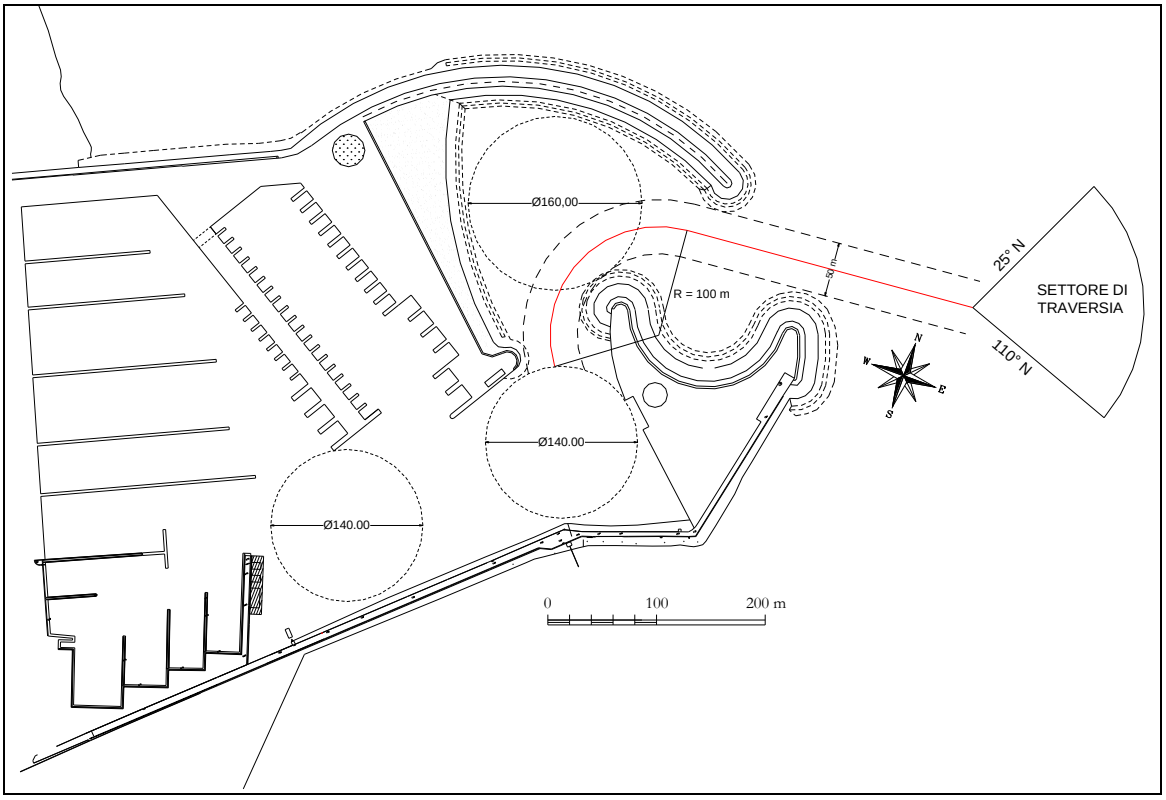


Figura 15 – Rotta di ingresso al porto

3.1 Analisi di dettaglio del layout C e proposte di affinamento progettuale

Dallo studio dell'agitazione interna si è potuto notare come l'agitazione nei pressi dell'imboccatura portuale possa rendere difficili le manovre di accesso a causa dell'effetto di riflessione parziale che è generato dalla presenza della scogliera dello sporgente interno. Tale problema si verifica prevalentemente con onde provenienti dal settore di Grecale.

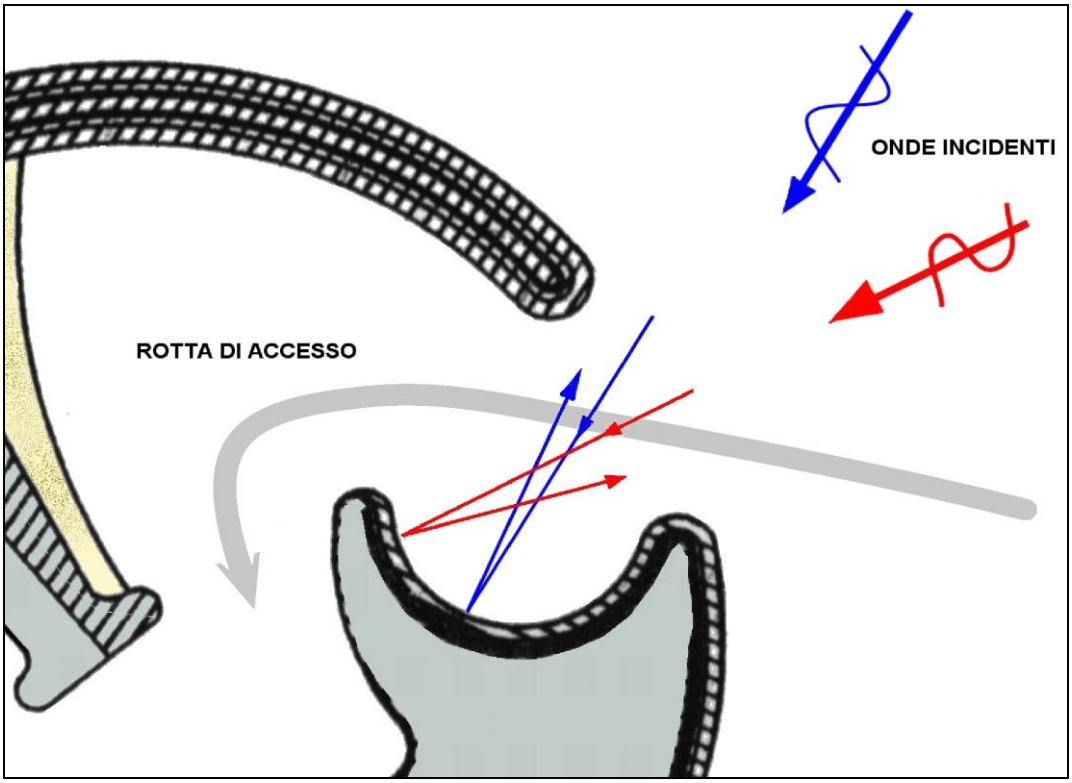


Figura 16 - Schematizzazione della riflessione prodotta dall'imboccatura del layout C

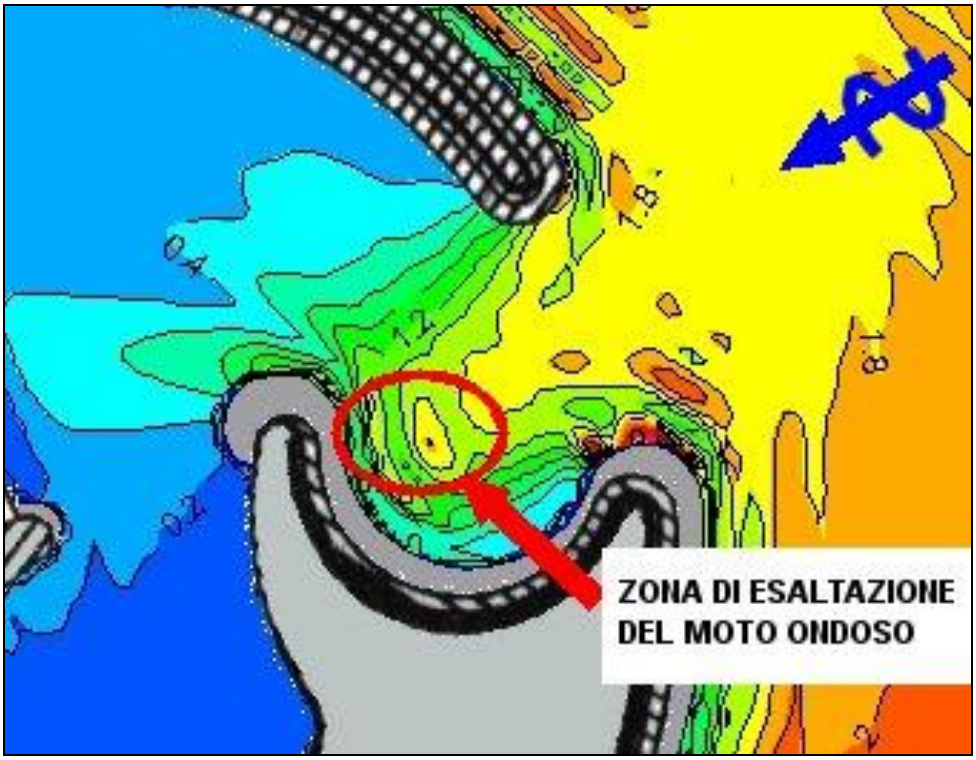


Figura 17 - Agitazione all'imboccatura del layout C con onde di altezza 2.2m periodo 7s e direzione 30°N

A tale proposito, in accordo con i Progettisti del layout, è stato fatto un tentativo di ottimizzazione della imboccatura, modificando la forma della zona interna compresa tra il lato interno del molo sud e il lato esterno dello sporgente. Inoltre si è tentato di ridurre i raggi di curvatura della rotta ideale accorciando lo sporgente stesso.

Il nuovo disegno dell'imboccatura è stato poi sottoposto all'analisi mediante il codice di calcolo Boussinesq Wave in modo da determinare il campo di moto ondoso e confrontarlo con il disegno originale del layout C.

Per il confronto è stata scelta un'onda di calcolo che risulta essere la più gravosa non tanto in termini di altezza significativa, quanto in termini di direzione. L'onda con direzione media di provenienza di 30°N presenta infatti dei fronti paralleli all'allineamento delle due testate. L'altezza significativa è stata considerata di 2m e il periodo di picco di 6.7 s.

Le principali modifiche all'imboccatura tengono conto di un ampliamento della zona di espansione subito all'interno delle testate. Questo favorisce, anche se di poco, la dissipazione dell'energia dell'onda.

La zona interna di raccordo tra il molo e lo sporgente è stata ipotizzata di forma concava verso largo, ma tracciata in maniera tale da evitare che le onde riflesse dalla stessa parete vengano rimandate verso il centro dell'imboccatura, si è cercato altresì di far riflettere le onde verso il paramento interno del molo sud in modo tale da consentire una maggiore dissipazione dell'energia dell'onda.

Il disegno dell'imboccatura è stato quindi rivisto varie volte in funzione dei risultati ottenuti con le simulazioni.

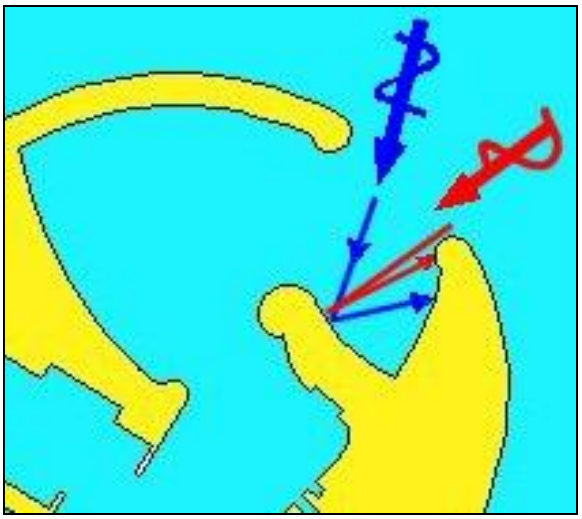


Figura 18 - Schematizzazione delle onde riflesse per il layout C con imboccatura ottimizzata

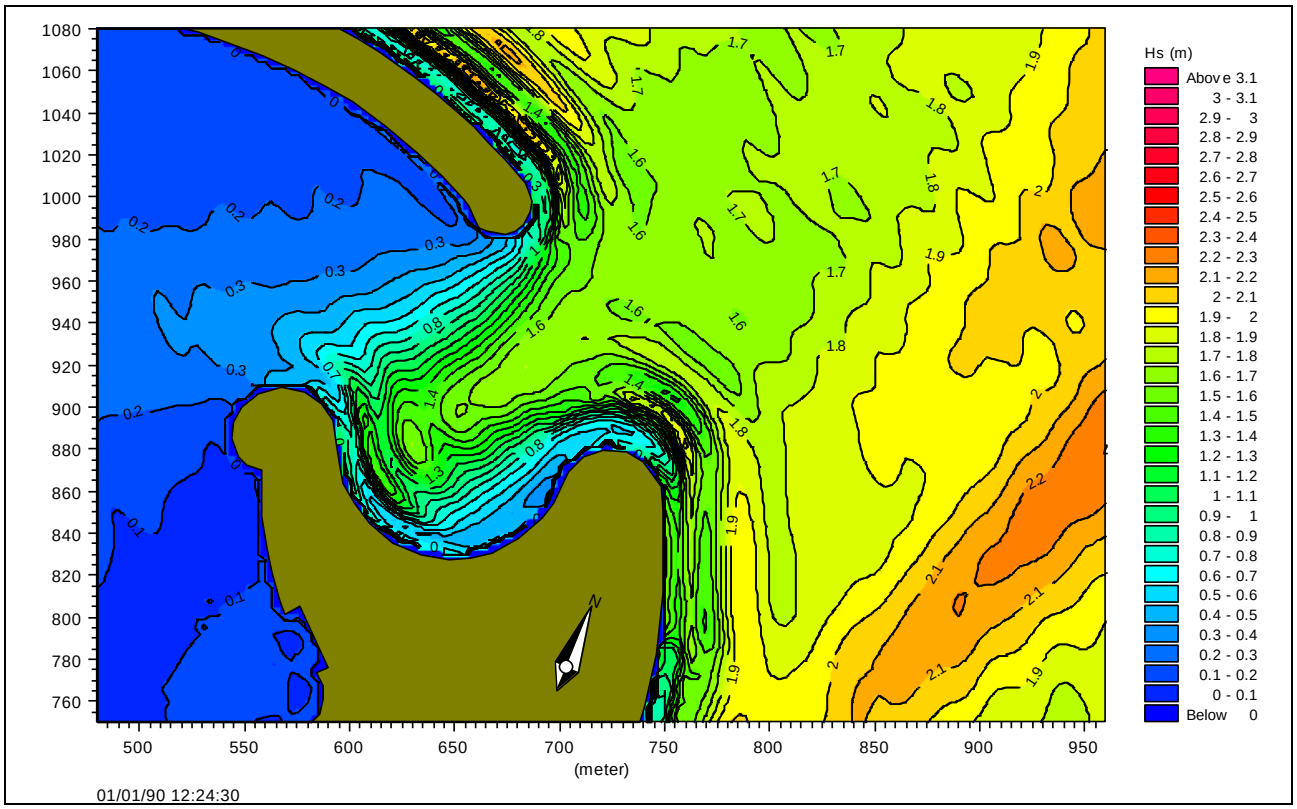


Figura 19 – Agitazione all'imboccatura del layout C, onda con Hs = 2m Tp=6.7 s e dir =30°N

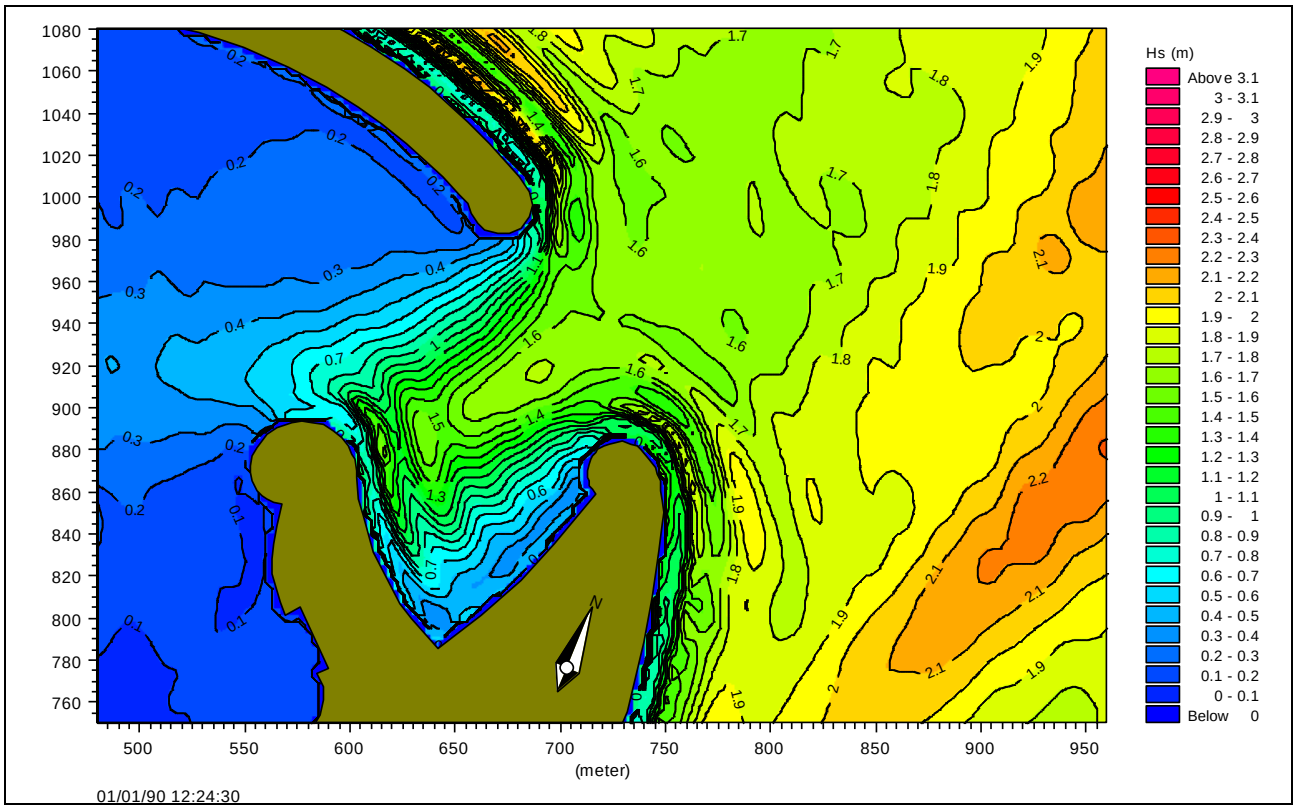


Figura 20 - Agitazione all'imboccatura modificata del layout C, onda con Hs = 2m Tp=6.7 s e dir =30°N

Benché i risultati del modello non mettano in evidenza un macroscopico miglioramento della situazione originale, si è comunque ottenuto l'effetto di mantenere l'agitazione agli stessi livelli della configurazione iniziale pur riducendo l'estensione dello sporgente e quindi rendendo la manovra di accesso più facile.

In base a questi risultati si ritiene comunque che sia possibile migliorare ulteriormente l'imboccatura, eventualmente agendo opportunamente sulla sua larghezza, riducendola. Ciò potrà essere svolto opportunamente nelle fasi di progettazione definitive dell'opera ricorrendo, oltre che alle simulazioni con il modello numerico, anche a prove in vasca per la corretta definizione del layout definitivo.

3.2 Stima del periodo di inoperatività dell'imboccatura

E' importante notare che comunque si migliori l'agitazione all'imboccatura, l'accesso sicuro al porto deve essere regolamentato adottando un periodo di inoperatività. In pratica quando si è in presenza di onda frangente in prossimità dell'imboccatura, la manovra di ingresso risulta rischiosa

in quanto la turbolenza messa in gioco dal frangente impedisce agli organi di manovra di mantenere la giusta rotta ed inoltre la massa d'acqua trasportata dello stesso frangente spinge l'imbarcazione in maniera imprevedibile.

In quest'ottica il sistema di moli convergenti è migliore di quello del porto a bacino in quanto l'imbarcazione in ingresso può affrontare le onde e i frangenti al giardinetto e non al traverso come sarebbe invece necessario con un molo parallelo a riva.

Il periodo previsto per l'inoperatività a causa di ondazioni frangenti, è di circa 1 giorno all'anno. Per tale calcolo si è considerata frangente un'onda di altezza maggiore o uguale a 3.5 m, che si verifica mediamente nella percentuale del 0.22% all'anno.

Un ulteriore criterio per determinare il periodo di inopertatività è quello di introdurre un'imbarcazione di calcolo e verificare la possibilità di accesso in base al pescaggio. In base a quest'ultimo criterio si è considerata un'imbarcazione con un pescaggio di 3.5 m che compete ad una nave di circa 35 m. In questo caso considerato un franco di 30 cm ed una profondità all'imboccatura di 5 m si ha che l'onda limite per tale imbarcazione è di 2.60 m la quale viene superata per l'1.8% dell'anno pertanto si ha un periodo di chiusura che, approssimato per eccesso, risulta essere di 7 giorni all'anno.

4. CONCLUSIONI

Lo studio della penetrazione del moto ondoso ha messo alla luce i seguenti punti:

- attualmente l'agitazione interna è molto limitante per l'utilizzo dello specchio d'acqua interno, la banchina del molo sud infatti è fortemente esposta alle ondazioni del settore principale di traversia, tanto che è attualmente inutilizzata e rinfiancata da una scogliera di massi;
- l'agitazione interna viene ridotta notevolmente in tutti e tre i casi proposti permettendo una migliore ridistribuzione delle destinazioni d'uso delle attività portuali.

Ai fini della navigabilità dell'imboccatura si evince che:

- attualmente si deve affrontare una manovra non in piena sicurezza ma possibile grazie al fatto che la rotta di ingresso risulta quasi perpendicolare alla disposizione dei fronti e che quindi le imbarcazioni entranti hanno le onde di poppa o al giardinetto;
- il layout A presenta maggiori problemi del layout attuale in quanto le onde devono essere affrontate dalle imbarcazioni al traverso e quindi non in sicurezza;
- il layout B grazie all'aggetto e alla geometria del molo nord offre una maggiore copertura del settore di traversia, inoltre avendo la testata fondata su maggiori profondità consente una minore frequenza di frangimento delle onde lungo la rotta delle navi in accesso;
- il layout C permette l'ingresso in porto affrontando le onde di poppa e presenta degli spazi sufficienti alla manovra di ingresso in porto.

Nonostante la buona risposta di tutti e tre i layout nei confronti dell'agitazione interna si ritiene che il layout C sia quello ottimale grazie alla direzione della rotta di accesso che permette alle imbarcazioni di affrontare le onde di poppa e non di traverso.