

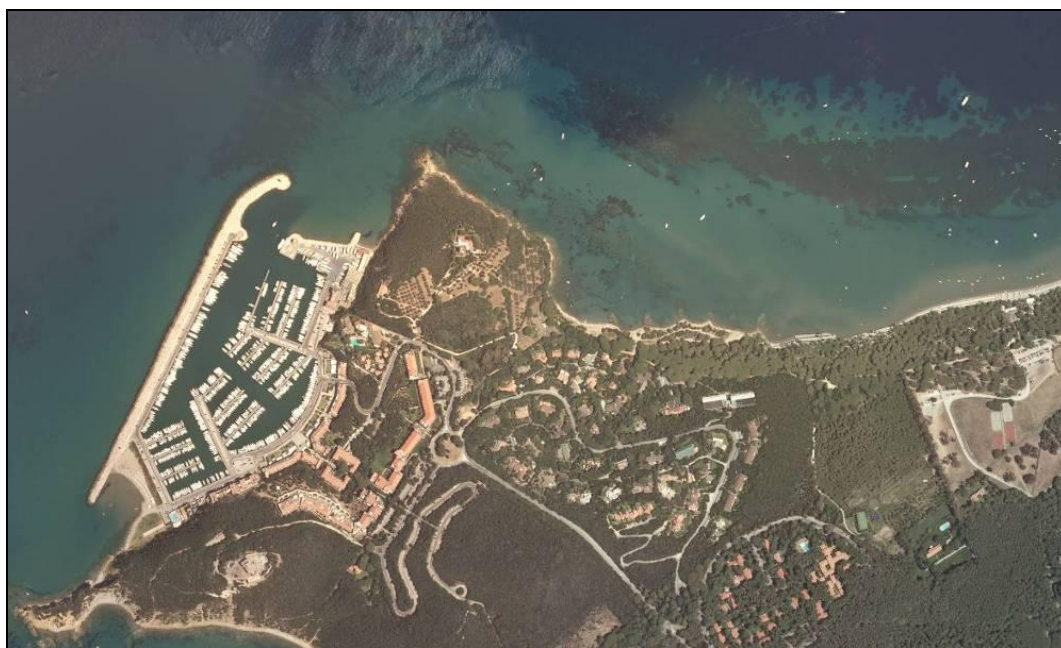


**Università degli Studi di
Firenze**



**Dipartimento di Ingegneria
Civile e Ambientale**

***Studio dell'agitazione interna
del Porto di Punta Ala***



Firenze, Settembre 2010

PREMESSA

Il porto turistico di Punta Ala, in esercizio ormai da circa 40 anni, non ha mai subito danni ad opera di mareggiate di forte intensità, tuttavia negli ultimi anni si sono verificate forti tempeste di vento dal settore orientale dal quale le onde generate, che dati i fetch molto limitati hanno un'altezza non superiore al metro, possono penetrare direttamente nel porto creando problemi di agitazione interna prevalentemente alle imbarcazioni ormeggiate dietro la diga foranea.

La soc. Marina di Punta Ala Spa ha commissionato al Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale di Firenze uno studio su modello numerico allo scopo 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.

Lo studio deve essere completato con un secondo modello che riproduca le condizioni di onda, correnti indotte e conseguente trasporto solido sotto costa allo scopo di prevedere eventuali modifiche, indotte dalle nuove opere, al trasporto solido litoraneo sulle spiagge ad est del porto già severamente colpite da fenomeni erosivi.

Lo studio relativo alla sicurezza dell'imboccatura è stato condotto con due diversi attacchi ondosi che differiscono unicamente per la direzione di provenienza: la prima serie di prove ha preso in esame onde provenienti da 46°N e la seconda onde provenienti da 50°N

CONDIZIONI DI PROVA PER LA PRIMA SERIE DI SIMULAZIONI

Come situazione di riferimento per le simulazioni numeriche è stata assunta quella conseguente ad una tempesta di vento di 60 nodi diretta secondo l'asse dell'imboccatura, cioè proveniente dalla direzione 46°N (Figura 1). Questa condizione, secondo il committente, rappresenta la situazione che crea maggiore agitazione e che si è verificata alcune volte negli ultimi anni.

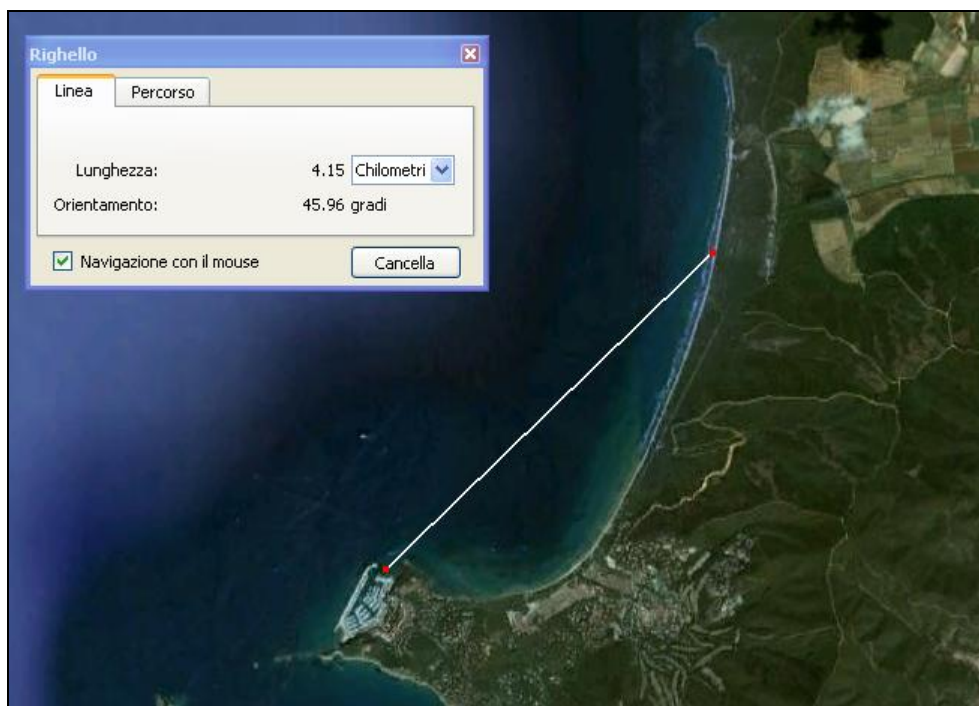


Figura 1. Foto satellitare da Google Earth con indicazione della lunghezza del fetch

Per la determinazione delle condizioni di prova è stato utilizzato il metodo SMB, nella sua ben nota forma di grafico previsionale (Figura 2), in modo da verificare la correttezza delle stime a vista eseguite durante le tempeste di vento.

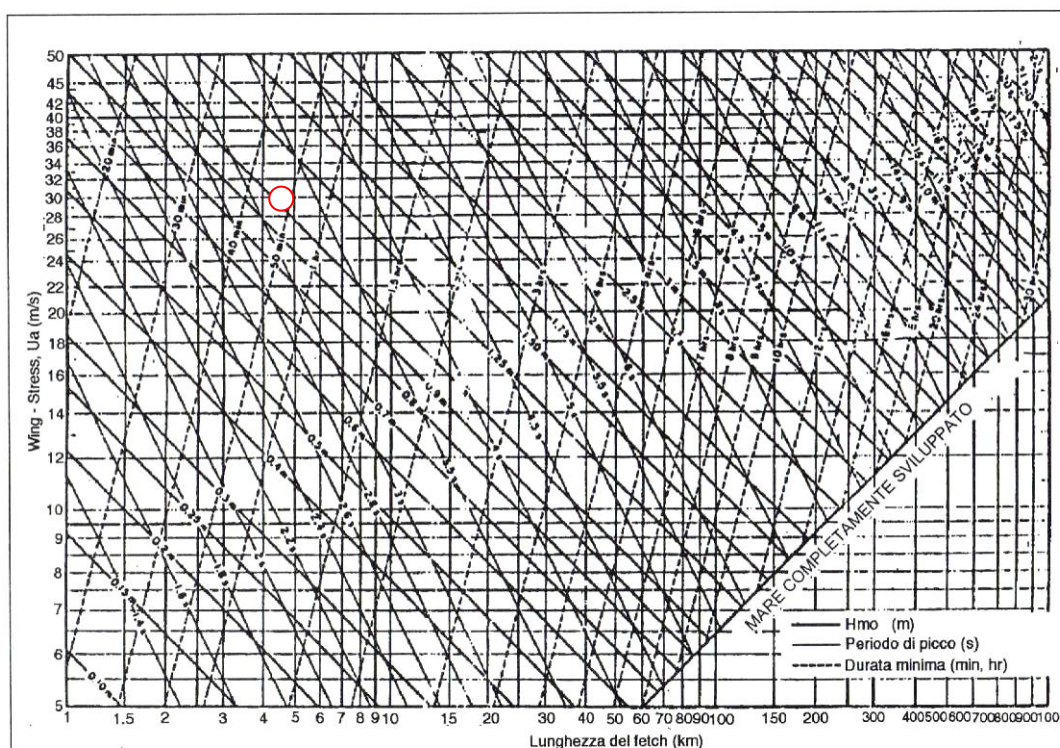


Figura 2. Grafico revisionale del metodo SMB con indicazione delle caratteristiche utilizzate per l'onda di progetto

Il metodo SMB permette di stimare la massima altezza d'onda significativa e il periodo di picco di un'onda generata da un vento di cui si conosce la velocità, il fetch di provenienza e la durata. Nel nostro caso si conosce che la massima velocità di vento misurata in condizioni di tempesta è pari a 60 nodi (circa 30 m/s) e il fetch massimo ottenibile dalla direzione di 46°N ha una lunghezza pari a circa 4 km. Quindi, supponendo che la persistenza del vento sia superiore a 40 minuti, si ottiene un'onda con un'altezza significativa pari a 1 m e un periodo di picco di circa 4 sec. Questi valori sono stati ritenuti compatibili con le osservazioni a vista durante le maggiori tempeste di vento e sono stati pertanto scelti per la simulazione numerica.

Lo studio su modello è stato condotto sulla configurazione attuale e su tre diverse ipotesi di modifica dell'imboccatura (Figura 3). Le prime due ipotesi sono basate sulla ricostruzione di una diga di sottoflutto, la demolizione e la ricostruzione del tratto non banchinato della diga principale, mentre la terza ipotesi prevede anche la costruzione di una diga a cresta bassa (1 m s.l.m.) isolata e posizionata ortogonalmente alla direzione di provenienza del vento.

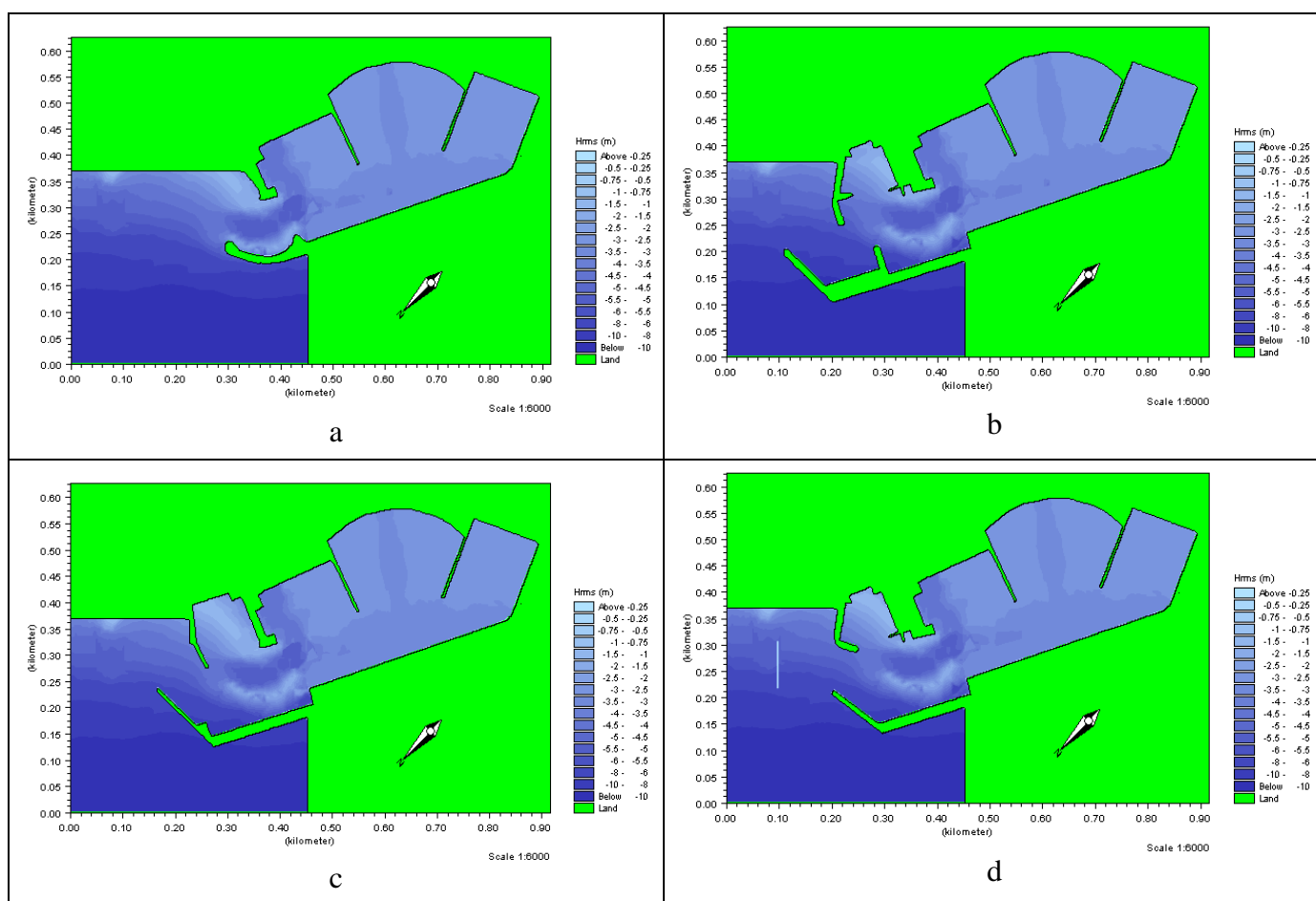


Figura 3. Batimetria: a) stato attuale, b) prima ipotesi progettuale, c) seconda ipotesi progettuale, d) terza ipotesi progettuale

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 batimetrica dei -6 m, integrati mediante digitalizzazione delle carte nautiche per quanto riguarda i fondali a profondità maggiore (Figura 4); nella stessa figura è visibile anche la griglia di calcolo utilizzata nelle simulazioni numeriche.

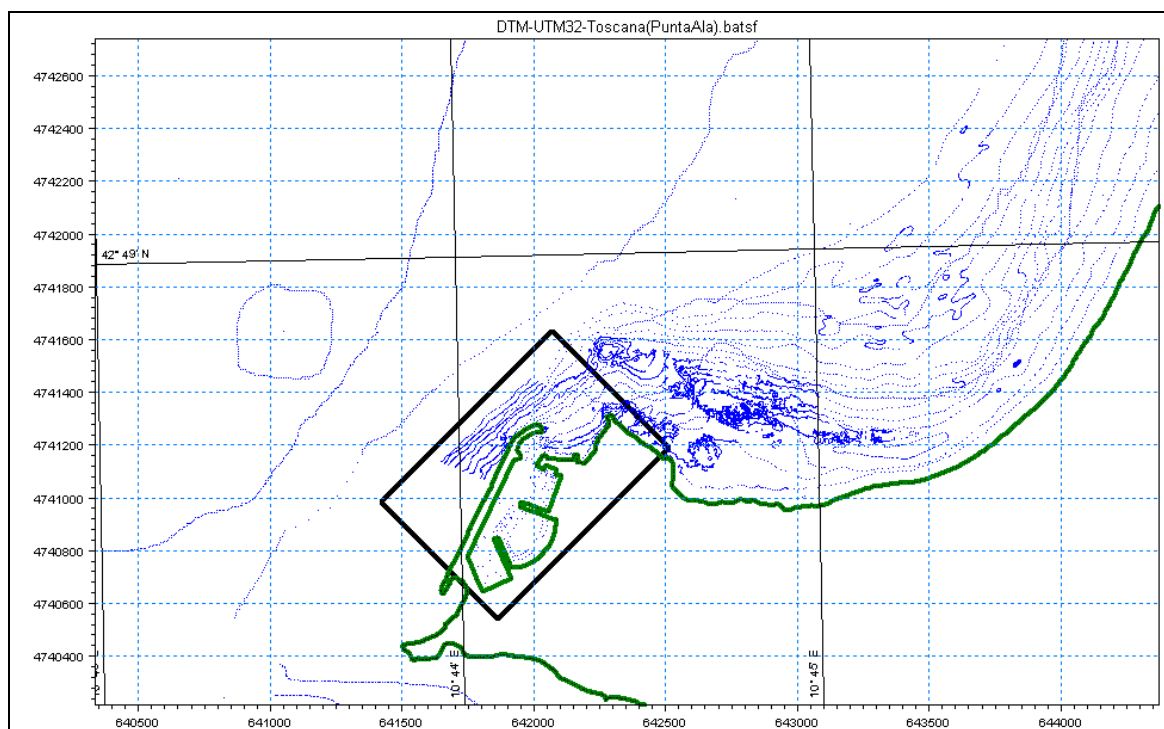


Figura 4. Mappa dei punti utilizzati per la costruzione dei modelli digitali dei fondali (dati da Carta Nautica e rilievo di dettaglio).

Le caratteristiche geometriche delle griglie di calcolo sono riportate in tabella 1:

Tabella 1. Caratteristiche griglia di calcolo

n.	Onda [°N]	Scala	Dimensioni [m]		Passo [m]	
			Lx	Ly	Dx	Dy
1	46	dettaglio per modulo ellittico	916	626	1	1

Per l'analisi dell'agitazione portuale interna è stato utilizzato il modulo d'onda ellittico EMS (Elliptic Mild-Slope) del codice di calcolo MIKE 21, che simula il campo d'onda dovuto sia a diffrazione che a riflessione.

Le caratteristiche dell'onda simulata sono: $H_s = 1\text{m}$, $T_p = 4\text{ sec}$, direzione 46°N .

Per ridurre al minimo le impurità numeriche del modello è stato deciso di aggiungere 'terra fittizia' nella zona di cui non vi era interesse a studiare il moto ondoso e uno 'strato assorbente' (Figura 5) tutto intorno in modo da annullare gli effetti di bordo nella propagazione dell'onda.

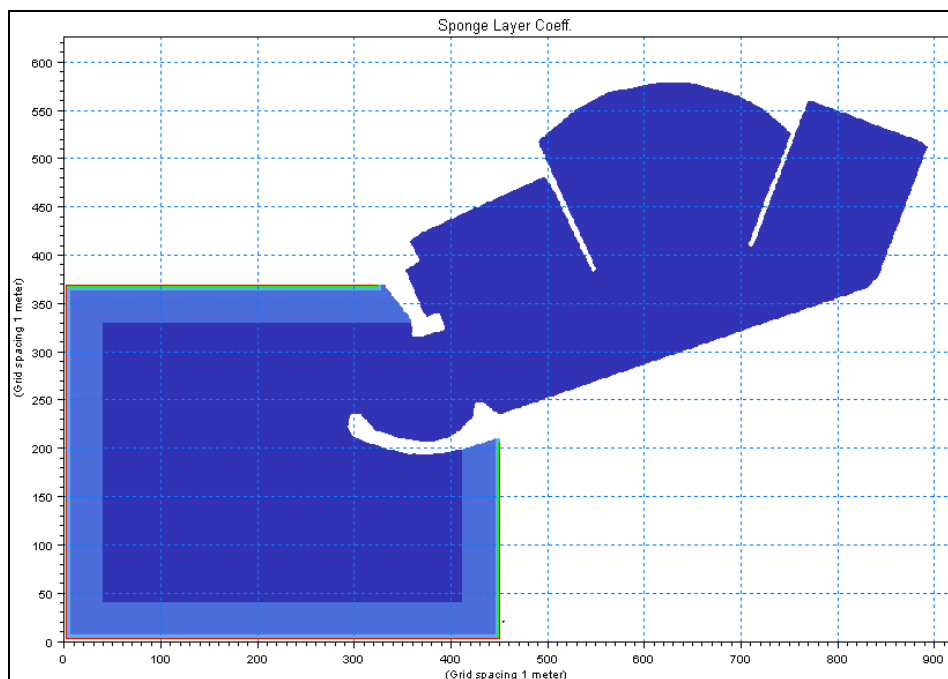


Figura 5. Disposizione dello 'strato assorbente'

Per studiare correttamente l'agitazione interna del porto sono stati assegnati dei coefficienti di riflessione alle opere portuali sia esterne che interne (Figura 6). Inizialmente si è esaminato una situazione cautelativa ipotizzando, sia per la situazione attuale che per le tre ipotesi progettuali, un coefficiente di riflessione omogeneo pari a 0.9; successivamente si è considerato una situazione più realistica utilizzando un coefficiente pari a 0.9 solo per le opere con banchina a parete verticale e un coefficiente pari a 0.7 per tutte le opere a scogliera in corrispondenza dell'imboccatura.

Per la diga a cresta bassa isolata della terza ipotesi progettuale (Figura 6d) non è stato attribuito un coefficiente di riflessione, ma solo un coefficiente di trasmissione pari a 0.4, in quanto la struttura non è impermeabile, ma è stata considerata molto bassa e quindi sormontabile dalle onde.

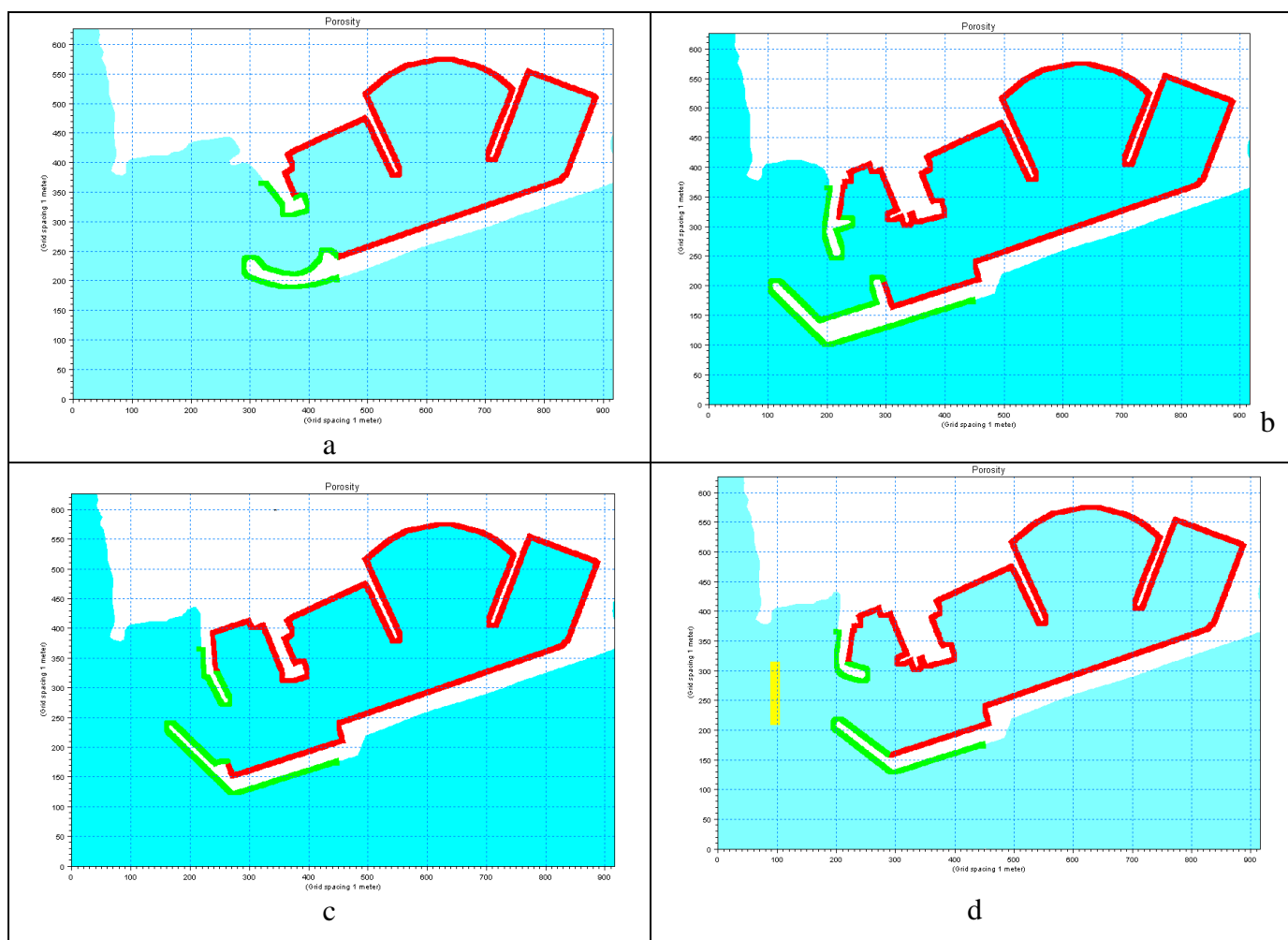


Figura 6. Coefficienti di riflessione, in rosso pari a 0.9, in verde pari a 0.7, a) stato attuale, b) prima ipotesi progettuale, c) seconda ipotesi progettuale, d) terza ipotesi progettuale (in giallo coefficiente di trasmissione pari a 0.4)

SIMULAZIONI NUMERICHE – PRIMA SERIE

Configurazione attuale

Le prove eseguite con attacco ondoso proveniente da 46°N evidenziano la penetrazione del moto ondoso in tutte e tre le darsene interne e un'agitazione con onde di altezza compresa fra 50 cm ed 1 m nella zona dell'avamposto ed un'agitazione di 20 - 60 cm nel primo tratto banchinato dietro la diga foranea (Figura 7b).

I risultati della simulazione evidenziano che nel caso di coefficienti di riflessione omogenei (Figura 7a) si ha un'agitazione fino a 1.2 m nella zona dell'imboccatura, e valori inferiori nel caso di coefficienti differenziati. In entrambi i casi è presente un livello di agitazione dell'ordine

di 50 -60 cm all'inizio della banchina dietro la diga foranea. Le onde riflesse penetrano in profondità nelle prime due darsene del porto.

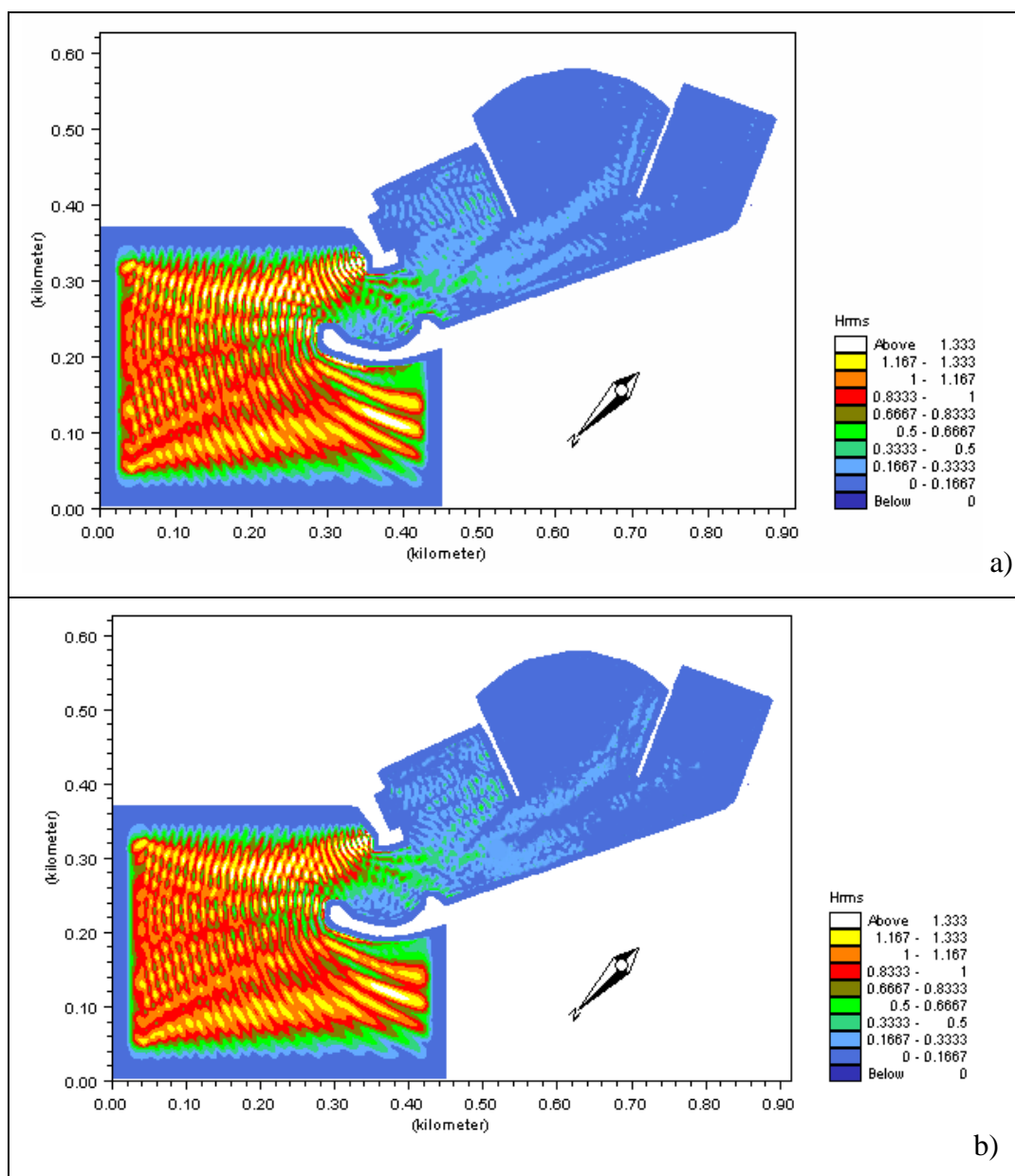


Figura 7. Stato attuale: a) coefficienti uniformi b) coefficienti differenziati

Prima ipotesi progettuale

In questa configurazione le onde provenienti da 46° N vengono schermate molto bene dal molo di sottoflutto: infatti si osserva un'agitazione con onde di altezza compresa fra 20 - 60 cm nella zona dell'avamposto e una totale assenza di onde nelle quattro darsene interne (Figura 8b).

Nella situazione con coefficienti di riflessione omogenei corrispondente all'ipotesi di strutture a parete verticale senza provvedimenti antiriflessione (Figura 8a) si ha un diffuso livello di agitazione compreso fra 50 e 65 cm in tutta l'area dell'avamposto. Nell'ipotesi di costruire

strutture antiriflettenti l'agitazione è contenuta quasi ovunque al di sotto di 30 cm. Il moto ondoso non penetra nelle darsene in nessuno dei due casi.

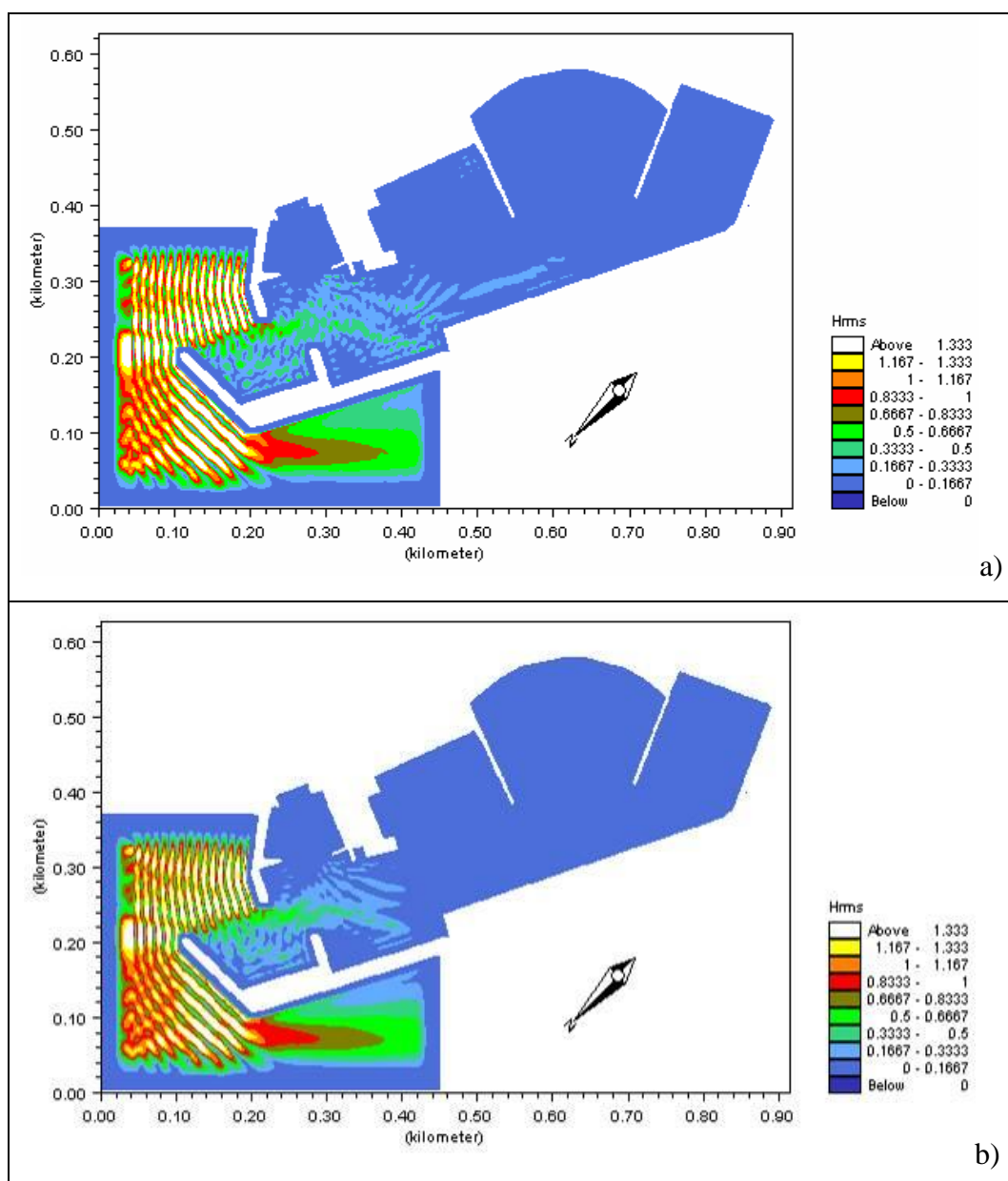


Figura 8. Prima ipotesi progettuale: a) coefficienti uniformi b) coefficienti differenziati

Seconda ipotesi progettuale

La diga di sopraflutto e quella di sottoflutto schermano in maniera quasi completa le onde di progetto. Rispetto al caso precedente l'agitazione nella zona dell'avamporto è molto bassa (inferiore ai 50 cm), ma si propaga leggermente anche nella darsena adiacente alla diga di sottoflutto (Figura 9b).

Il confronto fra le simulazioni con coefficienti uniformi (figura 9a) e coefficienti differenziati (figura 9b) evidenzia, nel primo caso, una maggiore agitazione nella prima darsena e un livello di agitazione di circa 20 cm superiore nell'area immediatamente all'interno dell'imboccatura.. Ipotizzando la costruzione delle nuove opere con strutture antiriflettenti l'agitazione è contenuta in circa 30 cm.

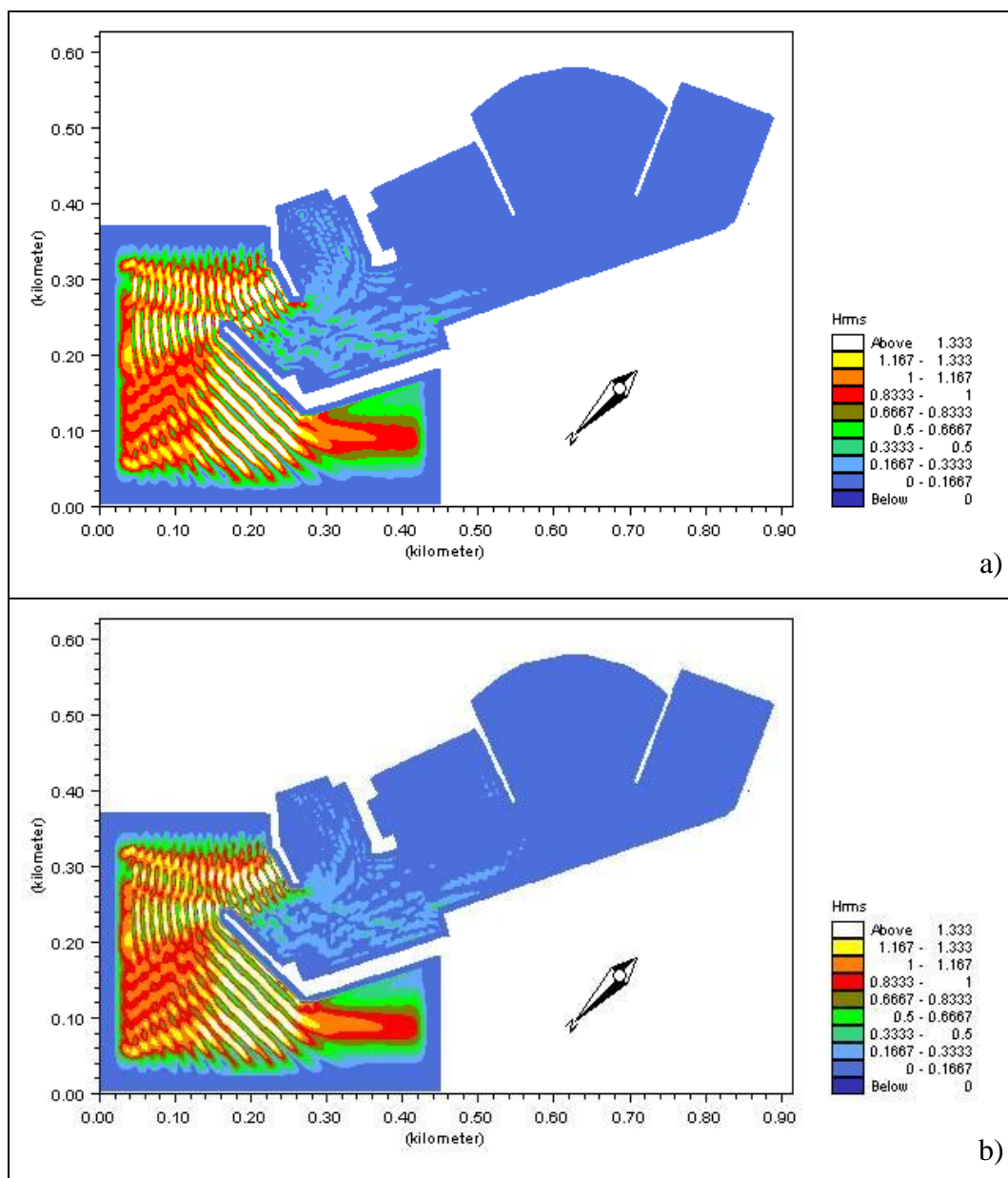


Figura 9. Seconda ipotesi progettuale: a) coefficienti uniformi b) coefficienti differenziati

Terza ipotesi progettuale

La barriera a cresta bassa esterna protegge in maniera molto efficiente l'imboccatura, in quanto crea un'agitazione massima intorno ai 60 cm solo nella zona davanti all'imboccatura del porto e in quella compresa tra le due dighe esterne. Le darsene interne non presentano nessun tipo di agitazione ondosa (Figura 10b), così come non si ha agitazione lungo la banchina dietro la diga foranea.

La simulazione rimane sostanzialmente la medesima anche adottando la simulazione con coefficienti di riflessioni omogenei (Figura 10a).

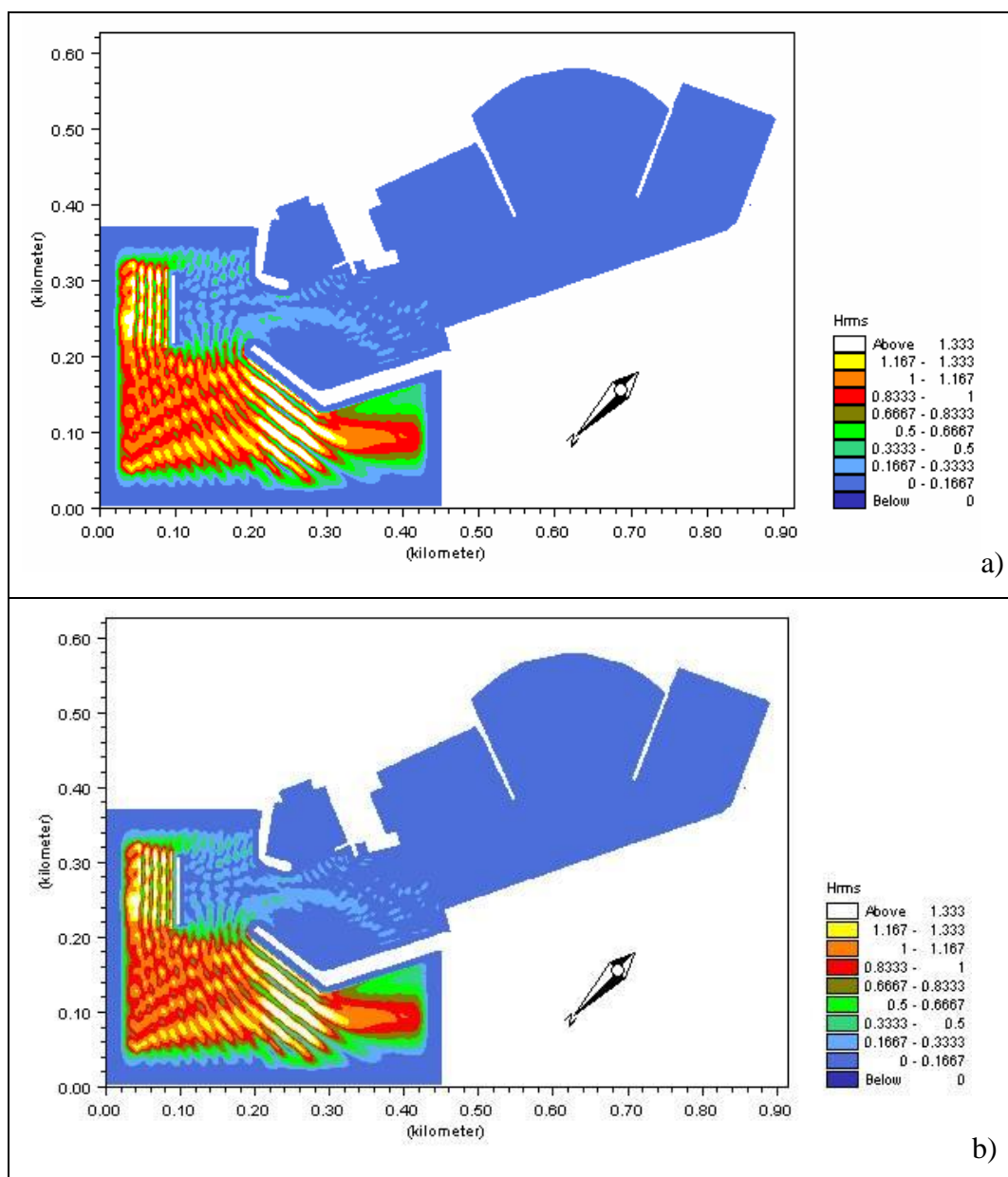


Figura 10. Terza ipotesi progettuale: a) coefficienti uniformi b) coefficienti differenziati

CONDIZIONI DI PROVA PER LA SECONDA SERIE DI SIMULAZIONI

Per le ulteriori simulazioni numeriche si è assunto come situazione di riferimento sempre quella conseguente ad una tempesta di vento di 60 nodi, ma stavolta proveniente dalla direzione di 51°N , in quanto è stato osservato che le onde provenienti da tali direzioni si riflettono sulla parte interna della diga di sopraflutto e creano maggiore agitazione nelle darsene interne. Le onde provenienti da questa direzione hanno un fetch più corto e quindi a parità di condizioni di venti un'altezza inferiore ma per poter eseguire agevolmente un confronto con le prove precedenti è stato riprodotto ancora una attacco ondoso con onde di 1 m e periodo di 4 s.

Lo studio è stato condotto nuovamente sulla configurazione attuale e sulle tre diverse ipotesi di modifica dell'imboccatura, la cui batimetria è già stata riportata in Figura 3.

DESCRIZIONE DEL MODELLO NUMERICO

L'inclinazione fra l'onda simulata nella prima parte e l'onda simulata in questa seconda parte è solo di 5° , quindi si è ritenuto un'approssimazione più che accettabile utilizzare la medesima griglia di calcolo utilizzata nel caso precedente (Figura 4), le cui caratteristiche geometriche sono riassunte in tabella 1:

La differenza sostanziale con le simulazioni precedenti è l'assegnazione dei coefficienti di riflessione per le tre ipotesi progettuali. Lo stato attuale è stato simulato come il caso di coefficienti differenziati, cioè si è utilizzato un coefficiente pari a 0.9 solo per le opere con banchina a parete verticale e un coefficiente pari a 0.7 per le opere a scogliera delle dighe esterne.

Nelle tre ipotesi progettuali invece si è adottato un coefficiente di 0.9 per tutte le opere già presenti e un coefficiente di 0.75 per tutte le opere di nuova costruzione, nell'ipotesi di costruire strutture antiriflettenti.

Per la diga a cresta bassa isolata della terza ipotesi progettuale (Figura 11d) si è attribuito un coefficiente di trasmissione pari a 0.4, come nelle simulazioni precedenti.

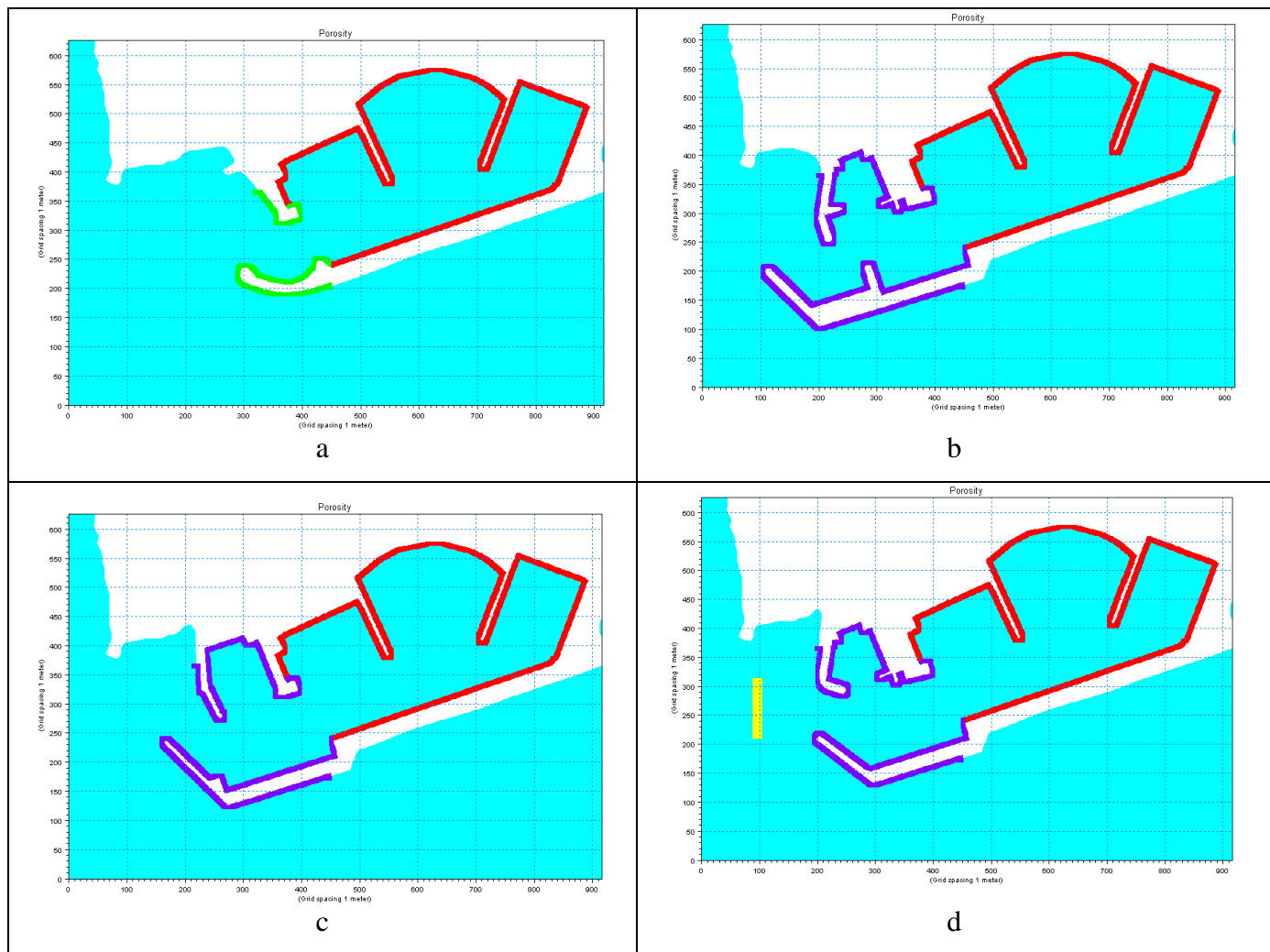


Figura 11. Coefficienti di riflessione, in rosso pari a 0.9, in verde pari a 0.7, in viola pari a 0.75
a) stato attuale, b) prima ipotesi progettuale, c) seconda ipotesi progettuale, d) terza ipotesi progettuale
(in giallo coefficiente di trasmissione pari a 0.4)

SIMULAZIONI NUMERICHE

Configurazione attuale

Le prove eseguite con attacco ondoso proveniente da 51°N evidenziano la penetrazione del moto ondoso in tutte e tre le darsene interne e un'agitazione con onde di altezza compresa fra 50 cm ed 1.20 m nella zona dell'avamposto ed un'agitazione di 30 - 70 cm nel primo tratto banchinato dietro la diga foranea (Figura 12). Risulta pertanto evidente che onde provenienti da questa direzione causano generalmente un livello di agitazione maggiore rispetto alle onde da 46°

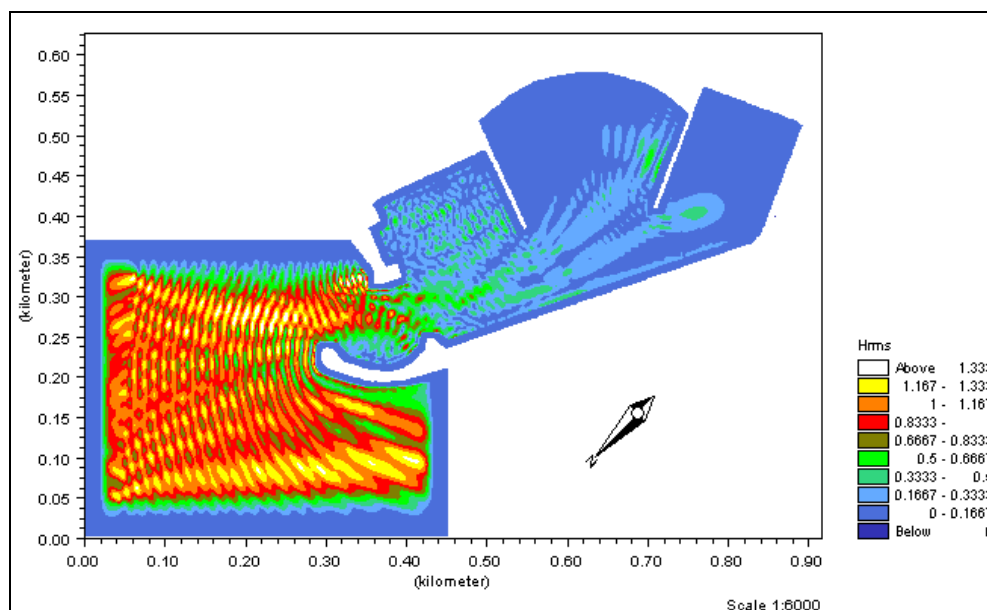


Figura 12. Stato attuale onda 51°N

Prima ipotesi progettuale

In questa configurazione le onde provenienti da 51° N non si propagano nelle darsene interne, ma rimangono confinate nell'area di transito vicino all'imboccatura e lungo la banchina dietro la diga foranea. La situazione è migliorativa rispetto allo stato attuale, ma permane un'agitazione con onde di altezza compresa fra 20 - 70 cm nella zona dell'avamporto (Figura 13).

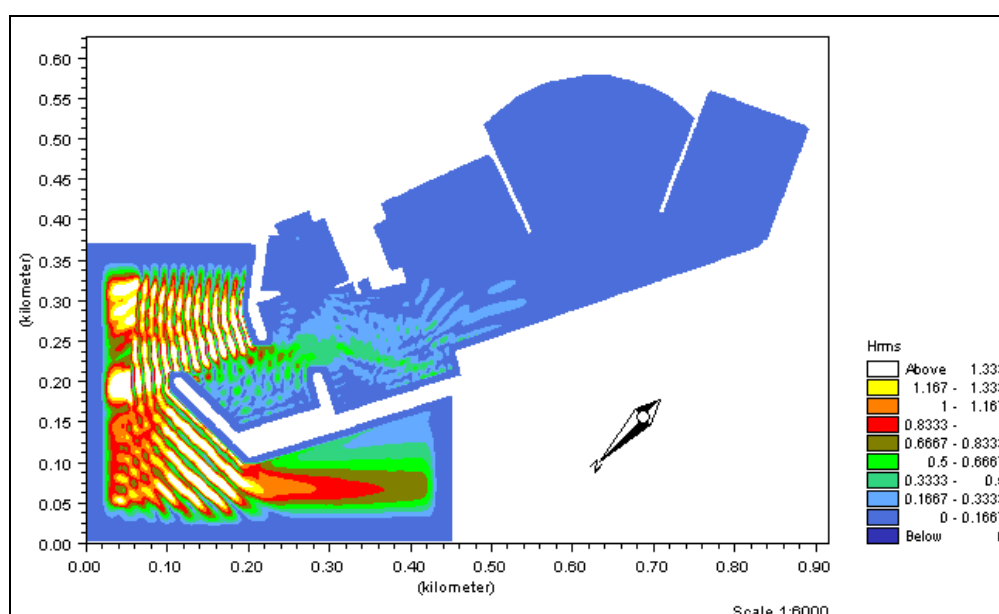


Figura 13, Prima ipotesi progettuale onda 51°N

Seconda ipotesi progettuale

La situazione nella zona dell'avamporto è simile al caso precedente cioè si generano onde di altezza fino a 60 cm, ma si verifica una propagazione delle onde anche nella darsena adiacente alla diga di sottoflutto (Figura 14).

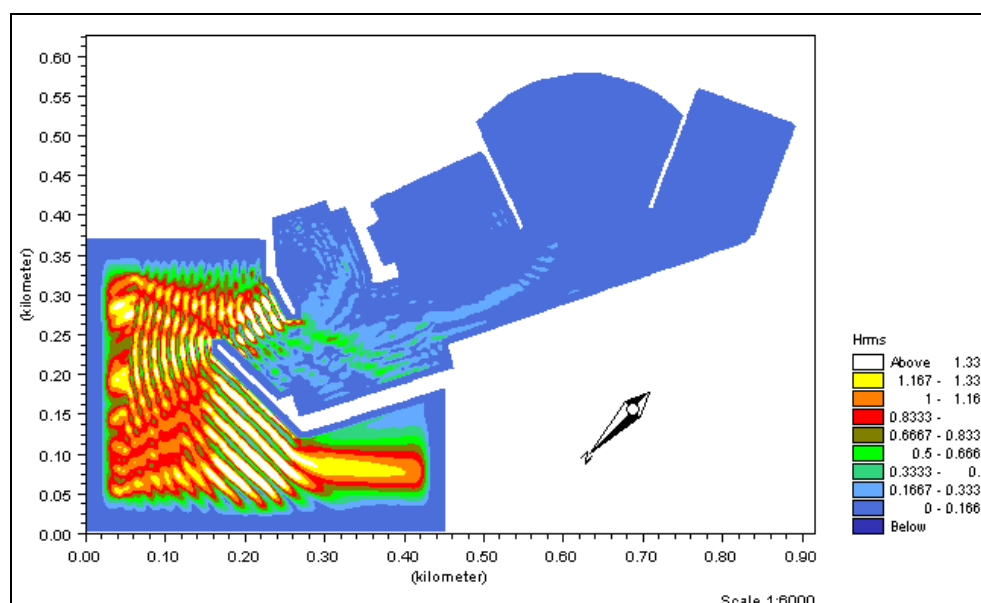


Figura 13. Seconda ipotesi progettuale onda 51°N

Terza ipotesi progettuale

La barriera a cresta bassa esterna protegge in maniera molto efficiente l'imboccatura, in quanto crea un'agitazione massima intorno ai 60 cm solo nella zona dell'imboccatura. Le darsene interne e gli accosti dietro la diga foranea non presentano nessun tipo di agitazione ondosa (Figura 15).

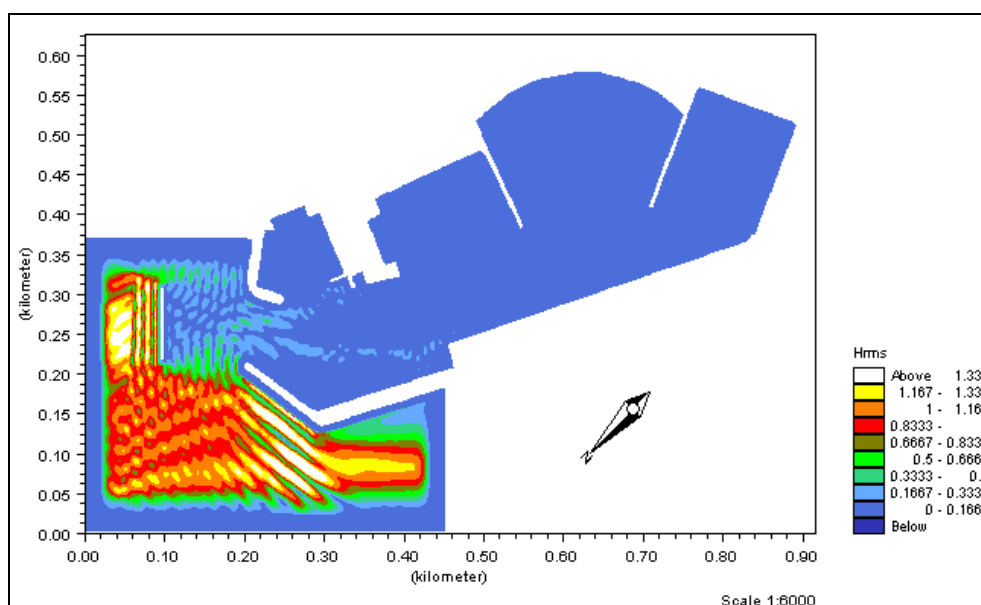


Figura 14. Terza ipotesi progettuale onda 51°N

CONCLUSIONI

La situazione attuale conseguente alla propagazione dell'onda proveniente dalla direzione di 51°N (Figura 13) risulta indurre un'agitazione maggiore rispetto all'onda proveniente dalla direzione di 46°N (Figura 7).

Comunque in entrambi i casi le prove evidenziano che in tutte le ipotesi di intervento si ottengono significative riduzioni dei livelli di agitazione all'imboccatura ed all'interno del porto. In tutti i casi le nuove opere se realizzate con elementi antiriflettenti, consentono di mantenere i livelli di agitazione all'imboccatura e sulle nuove banchine, in presenza di un'onda di 1 m di altezza all'esterno, a livelli inferiori a 50 cm, nel caso di onda proveniente da 46°N , e inferiore a 70 cm, nel caso di onda da 51°N .

La diga a cresta bassa posizionata davanti all'imboccatura, nella terza ipotesi, in entrambi i casi, appare la più efficace riducendo a soli 30 cm i livelli di agitazione all'imboccatura e quasi a zero l'altezza d'onda prevedibile lungo le nuove banchine.

Le prove eseguite con onde leggermente più inclinate che provocano una maggiore agitazione all'imboccatura e sulle banchine lungo la diga foranea evidenziano risultati simili a quelli ottenuti nella prima serie di simulazioni ed in particolare il miglior funzionamento della difesa con barriera parallela.

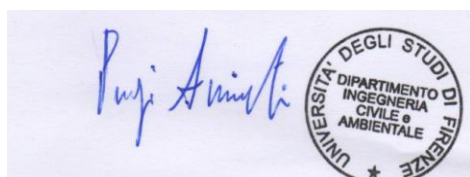
La costruzione di banchine assorbenti lungo tutto il perimetro interno delle nuove opere contribuisce in modo importante a ridurre le altezze d'onda all'interno del porto

Il responsabile scientifico

Il Direttore del Dip. di Ingegneria
Civile e Ambientale

Prof. Ing. Pier Luigi Aminti

Prof. Fausto Sacerdote



Lo studio è stato condotto dagli Ingg. Lorenzo Cappietti, Valentina Vannucchi e dalla Dott.ssa Ilaria Crema.