



Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Settentrionale
Scali Rosciano, 6 - 57123 Livorno, Italia

R.U.P. ing. Enrico Pribaz
D.E.C. ing. Ilaria Lotti

R.T.P.



30035 Mirano (VE)
Viale Belvedere, 8/10
www.fm-ingegneria.com

Tel. +39 041 5785 711
Fax +39 041 4355 933
portolivorno@fm-ingegneria.com



P.O. Box 1132
3800 BC Amersfoort
The Netherlands
www.royalhaskoningdhv.com

Tel. +44 (0)207 222 2115
Fax +44 (0)207 222 2659
info@rhdhv.com



35027 Noventa Padovana (PD)
Via Panà 56/a

Tel. +39 049 8945 087
Fax +39 049 8707 868
mail@hsmarinesrl.com



31027 Spresiano (TV)
Via Tiepolo, 8
www.gtgeo.it

Tel. +39 0422 8870 31
Fax +39 0422 8895 89
info@gtgeo.it

PROGETTO

**PROGETTAZIONE PRELIMINARE E DEFINITIVA DELLE
OPERE MARITTIME DI DIFESA E DEI DRAGAGGI PREVISTI
NELLA NUOVA PRIMA FASE DI ATTUAZIONE DELLA
PIATTAFORMA EUROPA, COMPRESO LO STUDIO DI
IMPATTO AMBIENTALE E LA VALUTAZIONE DI INCIDENZA
AMBIENTALE**

EMISSIONE

PROGETTO DEFINITIVO

TITOLO

D - IDRAULICA MARITTIMA
Studio dell'agitazione oncosa

REV.	DATA	FILE	OGGETTO	DIS.	APPR.
1	31/05/2021	1233_PD-D-003_1.doc	Riscontro Rapporto di Ispezione no. IT20056AR-0PP del 19/3/2021	N. Sguotti	T. Tassi
2	30/07/2021	1233_PD-D-003_2.doc	Riscontro Rapporto di Ispezione no. IT20056AR-PDS del 22/6/2021	N. Sguotti	T. Tassi
3	31/10/2022	1233_PD-D-003_3.doc	Aggiornamento a seguito della caratterizzazione ambientale	N. Sguotti	T. Tassi
4					
5					

ELABORATO N.

D003

DATA: 04/09/2020	SCALA: -	FILE: 1233_PD-D-003_0.doc	J.N. 1233/'19
PROGETTO N. Sguotti	DISEGNO N. Sguotti	VERIFICA S. Beriotto	APPROVAZIONE T. Tassi

Progetto:
Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:
Progetto Definitivo

Elaborato:
IDRAULICA MARITTIMA
1233_PD-D-003_3.docx

Indice generale

1	PREMESSA	5
2	CARATTERISTICHE METEOMARINE	6
2.1	DATI DI MOTO ONDOSI AL LARGO DEL PARAGGIO	6
2.1.1	ANALISI STATISTICA DEGLI EVENTI ESTREMI	9
2.2	LIVELLO DEL MARE	10
3	STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSI IN CONFIGURAZIONE DI PROGETTO	11
3.1	SETTAGGIO DEL MODELLO	11
3.1.1	DEFINIZIONE DEL DOMINIO DI CALCOLO	11
3.1.2	MAREGGIATE ANALIZZATE	13
3.1.3	CONDIZIONI AL CONTORNO DEL MODELLO	18
3.2	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI	24
3.2.1	MAREGGIATE CON $T_R = 50$ ANNI	24
3.2.2	MAREGGIATE CON $T_R = 5$ ANNI	31
3.2.3	MAREGGIATE CON DURATA 1 GIORNO/ANNO	38
3.2.4	MAREGGIATE CON DURATA 7 GIORNI/ANNO	45
4	CONCLUSIONI	52
5	APPENDICE – DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO BOUSSINESQ	57
5.1	DESCRIZIONE GENERALE	57
5.2	2DH BOUSSINESQ WAVE MODULE	58
5.3	1DH BOUSSINESQ WAVE MODULE	58
5.4	EQUAZIONI DI BASE	59
5.5	SCHEMA DI CALCOLO DEL MODULO BI-DIMENSIONALE	60

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto Definitivo	Elaborato: IDRAULICA MARITTIMA 1233_PD-D-003_3.docx
--	---	---

Indice delle figure

Figura 2.1 - Posizione del punto (UNIGE, 10°8'38.4"E, 43°30'00"N) cui si riferiscono i dati di moto ondoso dell'Università di Genova.....	6
Figura 2.2 - Rosa delle registrazioni (in blu), delle energie (rosso) e delle altezze massime (verde). Punto UNIGE.....	7
Figura 2.3 - Curva di durata per il settore di traversia 150°÷340°N	8
Figura 2.4 - Curva di durata per il settore di traversia per i 3 subsettori: 150°÷220°N (Mezzogiorno-Libeccio), 220°÷280°N (Libeccio-Ponente) e 280°÷340°N (Maestrale).	8
Figura 2.5 - Distribuzione dei massimi annui considerati nell'analisi di Gumbel.....	9
Figura 2.6 - Livello della marea registrata dalla stazione RMN dell'ISPRA sita nel porto di Livorno (periodo gennaio 2010 – gennaio 2019)	10
Figura 2.7 - Proiezioni del sollevamento del livello marino per i prossimi 100 anni riportate nei rapporti IPCC del 2013 (scenario RCP 8.5).....	10
Figura 3.1 - Griglia di calcolo Boussinesq (in azzurro) e griglia di calcolo SWAN (in rosso).....	11
Figura 3.2 - Batimetria della griglia di calcolo Boussinesq	12
Figura 3.3 - TEST A 6- BIG GRID (dettaglio): Evento estremo T_R 50 anni dal settore 150°÷220°N (Mezzogiorno-Libeccio) Caratteristiche al largo: $H_s = 5.22$ m; $T_p = 9.50$ s; $DIR = 215^\circ N$; Sovralzo = +1.52 m s.m.m.	14
Figura 3.4 - TEST A 7 - BIG GRID (dettaglio): Evento estremo T_R 50 anni dal settore 220°÷280°N (Libeccio-Ponente) Caratteristiche al largo: $H_s = 7.74$ m; $T_p = 12.00$ s; $DIR = 245^\circ N$; Sovralzo = +1.52 m s.m.m..	14
Figura 3.5 - TEST B 6 - BIG GRID (dettaglio): Evento estremo T_R 5 anni dal settore 150°÷220°N (Mezzogiorno-Libeccio) Caratteristiche al largo: $H_s = 3.89$ m; $T_p = 8.30$ s; $DIR = 215^\circ N$; Sovralzo = +1.52 m s.m.m.	15
Figura 3.6 - TEST B 7 - BIG GRID (dettaglio): Evento estremo T_R 5 anni dal settore 220°÷280°N (Libeccio-Ponente) Caratteristiche al largo: $H_s = 6.13$ m; $T_p = 10.68$ s; $DIR = 245^\circ N$; Sovralzo = +1.52 m s.m.m..	15
Figura 3.7 - TEST C 6 - BIG GRID (dettaglio): Evento durata 1 g/anno dal settore 150°÷220°N (Mezzogiorno-Libeccio) Caratteristiche al largo: $H_s = 2.44$ m; $T_p = 6.73$ s; $DIR = 215^\circ N$	16
Figura 3.8 - TEST C 13 - BIG GRID (dettaglio): Evento durata 1 g/anno dal settore 220°÷280°N (Libeccio-Ponente) Caratteristiche al largo: $H_s = 4.31$ m; $T_p = 9.40$ s; $DIR = 225^\circ N$	16
Figura 3.9 - TEST C 12 - BIG GRID (dettaglio): Evento durata 7 g/anno dal settore 150°÷220°N (Mezzogiorno-Libeccio) Caratteristiche al largo: $H_s = 1.42$ m; $T_p = 5.82$ s; $DIR = 215^\circ N$	17
Figura 3.10 - TEST C 18 - BIG GRID (dettaglio): Evento durata 7 g/anno dal settore 220°÷280°N (Libeccio-Ponente) Caratteristiche al largo: $H_s = 2.87$ m; $T_p = 8.44$ s; $DIR = 225^\circ N$	17
Figura 3.11 - Esempio di posizione delle generatrici di moto ondoso all'interno del modello per l'onda dalla direzione 245°N	20
Figura 3.12 - Griglia dello "sponge" (contorni assorbenti) usata nelle simulazioni	21
Figura 3.13 - Caratteristiche delle opere in progetto	22
Figura 3.14 - Esempio di grafico della "porosity" in funzione del coefficiente di riflessione	22
Figura 3.15 - Esempio di griglia della "porosity" usata nelle simulazioni	23
Figura 3.16 - Campo delle altezze d'onda significative per il TEST A 6 (mareggiata T_R 50 anni) proveniente dal settore 150°÷220°N (Mezzogiorno-Libeccio) – direzione al largo 215°N	25
Figura 3.17 - Dettaglio del campo di moto ondoso per il TEST A 6 (mareggiata T_R 50 anni) proveniente dal settore 150°÷220°N (Mezzogiorno-Libeccio) – direzione al largo 215°N	26
Figura 3.18 - Rappresentazione planimetrica dell'elevazione di superficie per il TEST A 6 (mareggiata T_R 50 anni) proveniente dal settore 150°÷220°N (Mezzogiorno-Libeccio) – direzione al largo 215°N.....	27

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto Definitivo	Elaborato: IDRAULICA MARITTIMA 1233_PD-D-003_3.docx
--	---	---

Figura 3.19 - Campo delle altezze d'onda significative per il TEST A 7 (mareggiata T_R 50 anni) proveniente dal settore $220^\circ \div 280^\circ N$ (Libeccio-Ponente) – direzione al largo $245^\circ N$	28
Figura 3.20 - Dettaglio del campo di moto ondoso per il TEST A 7 (mareggiata T_R 50 anni) proveniente dal settore $220^\circ \div 280^\circ N$ (Libeccio-Ponente) – direzione al largo $245^\circ N$	29
Figura 3.21 - Rappresentazione planimetrica dell'elevazione di superficie per il TEST A 7 (mareggiata T_R 50 anni) proveniente dal settore $220^\circ \div 280^\circ N$ (Libeccio-Ponente) – direzione al largo $245^\circ N$	30
Figura 3.22 - Campo delle altezze d'onda significative per il TEST B 6 (mareggiata T_R 5 anni) proveniente dal settore $150^\circ \div 220^\circ N$ (Mezzogiorno-Libeccio) – direzione al largo $215^\circ N$	32
Figura 3.23 - Dettaglio del campo di moto ondoso per il TEST B 6 (mareggiata T_R 5 anni) proveniente dal settore $150^\circ \div 220^\circ N$ (Mezzogiorno-Libeccio) – direzione al largo $215^\circ N$	33
Figura 3.24 - Rappresentazione planimetrica dell'elevazione di superficie per il TEST B 6 (mareggiata T_R 5 anni) proveniente dal settore $150^\circ \div 220^\circ N$ (Mezzogiorno-Libeccio) – direzione al largo $215^\circ N$	34
Figura 3.25 - Campo delle altezze d'onda significative per il TEST B 7 (mareggiata T_R 5 anni) proveniente dal settore $220^\circ \div 280^\circ N$ (Libeccio-Ponente) – direzione al largo $245^\circ N$	35
Figura 3.26 - Dettaglio del campo di moto ondoso per il TEST B 7 (mareggiata T_R 5 anni) proveniente dal settore $220^\circ \div 280^\circ N$ (Libeccio-Ponente) – direzione al largo $245^\circ N$	36
Figura 3.27 - Rappresentazione planimetrica dell'elevazione di superficie per il TEST B 7 (mareggiata T_R 5 anni) proveniente dal settore $220^\circ \div 280^\circ N$ (Libeccio-Ponente) – direzione al largo $245^\circ N$	37
Figura 3.28 - Campo delle altezze d'onda significative per il TEST C 6 (mareggiata durata 1g/anno) proveniente dal settore $150^\circ \div 220^\circ N$ (Mezzogiorno-Libeccio) – direzione al largo $215^\circ N$	39
Figura 3.29 - Dettaglio del campo di moto ondoso per il TEST C 6 (mareggiata durata 1g/anno) proveniente dal settore $150^\circ \div 220^\circ N$ (Mezzogiorno-Libeccio) – direzione al largo $215^\circ N$	40
Figura 3.30 - Rappresentazione planimetrica dell'elevazione di superficie per il TEST C 6 (mareggiata durata 1g/anno) proveniente dal settore $150^\circ \div 220^\circ N$ (Mezzogiorno-Libeccio) – direzione al largo $215^\circ N$	41
Figura 3.31 - Campo delle altezze d'onda significative per il TEST C 13 (mareggiata durata 1g/anno) proveniente dal settore $220^\circ \div 280^\circ N$ (Libeccio-Ponente) – direzione al largo $225^\circ N$	42
Figura 3.32 - Dettaglio del campo di moto ondoso per il TEST C 13 (mareggiata durata 1g/anno) proveniente dal settore $220^\circ \div 280^\circ N$ (Libeccio-Ponente) – direzione al largo $225^\circ N$	43
Figura 3.33 - Rappresentazione 3D del campo di moto ondoso per il TEST C 13 (mareggiata durata 1g/anno) proveniente dal settore $220^\circ \div 280^\circ N$ (Libeccio-Ponente) – direzione al largo $225^\circ N$	44
Figura 3.34 - Campo delle altezze d'onda significative per il TEST C 12 (mareggiata durata 7 gg/anno) proveniente dal settore $150^\circ \div 220^\circ N$ (Mezzogiorno-Libeccio) – direzione al largo $215^\circ N$	46
Figura 3.35 - Dettaglio del campo di moto ondoso per il TEST C12 (mareggiata durata 7 gg/anno) proveniente dal settore $150^\circ \div 220^\circ N$ (Mezzogiorno-Libeccio) – direzione al largo $215^\circ N$	47
Figura 3.36 - Rappresentazione planimetrica dell'elevazione di superficie per il TEST C 12 (mareggiata durata 7 gg/anno) proveniente dal settore $150^\circ \div 220^\circ N$ (Mezzogiorno-Libeccio) – direzione al largo $215^\circ N$	48
Figura 3.37 - Campo delle altezze d'onda significative per il TEST C 18 (mareggiata durata 7 gg/anno) proveniente dal settore $220^\circ \div 280^\circ N$ (Libeccio-Ponente) – direzione al largo $225^\circ N$	49
Figura 3.38 - Dettaglio del campo di moto ondoso per il TEST C 18 (mareggiata durata 7 gg/anno) proveniente dal settore $220^\circ \div 280^\circ N$ (Libeccio-Ponente) – direzione al largo $225^\circ N$	50
Figura 3.39 - Rappresentazione planimetrica dell'elevazione di superficie per il TEST C 18 (mareggiata durata 7 gg/anno) proveniente dal settore $220^\circ \div 280^\circ N$ (Libeccio-Ponente) – direzione al largo $225^\circ N$	51

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto Definitivo	Elaborato: IDRAULICA MARITTIMA 1233_PD-D-003_3.docx
--	---	---

Figura 4.1 - Posizione delle sezioni di estrazione dei valori di altezza significativa lungo la banchina di riva 53

Figura 4.2 - Valori di altezza significativa lungo la banchina di riva per le mareggiate estreme..... 54

Indice delle tabelle

Tabella 2.1 - Periodi di picco associati agli estremi per i tre settori individuati: 150°÷220°N (Mezzogiorno-Libeccio), 220°÷280°N (Libeccio-Ponente) e 280°÷340°N (Maestrale) 9

Tabella 3.1 - Mareggiate utilizzate per lo studio dell'agitazione interna Caratteristiche degli eventi nel punto UNIGE al largo..... 19

Tabella 3.2 - Caratteristiche delle onde impostate in corrispondenza dei generatori d'onda condizioni al contorno del modello di penetrazione..... 19

Tabella 4.1 - Valori di riferimento per le condizioni limite all'ormeggio (PIANC HARBOUR APPROACH CHANNELS DESIGN GUIDELINES, PIANC 2014) 55

Tabella 4.2 - Valori di riferimento tradizionali per ottenere il 100% di operatività in fase di sbarco dei container in termini di massimo spostamento della nave (Criteria for the (Un)loading of Container Vessels, PIANC 115/2012) 56

Tabella 4.3 - Valori di riferimento proposti dal PIANC per ottenere il 95% di operatività in fase di sbarco dei container in termini di movimento verticale della nave (Criteria for the (Un)loading of Container Vessels, PIANC 115/2012) 56

Progetto:	Livello progettazione:	Elaborato:
Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Progetto Definitivo	IDRAULICA MARITTIMA 1233_PD-D-003_3.docx

1 PREMESSA

Il presente studio è stato sviluppato a supporto della progettazione definitiva delle opere previste dalla prima fase di attuazione della Piattaforma Europa.

Lo studio della penetrazione del moto ondoso ha l'obiettivo di stimare le condizioni di agitazione ondosa residua del nuovo bacino portuale, all'interno del quale dovranno in seguito essere realizzati un terminal container e, successivamente alla costruzione del nuovo antemurale esterno ("fase 2" di attuazione del P.R.P., cfr. Elab. A03), un terminal ro-ro e ro-pax. Nella successiva fase di attuazione del P.R.P. verranno modificate sostanzialmente sia le opere interne che quelle foranee.

Lo studio in questa fase è stato eseguito con la finalità di valutare le sole condizioni di agitazione ondosa in prossimità della banchina del futuro terminal container, che dovrebbe diventare operativo con la configurazione delle opere foranee prevista dal presente progetto; in questo contesto, sono state eseguite una serie di simulazioni per condizioni di moto ondoso ritenute significative per il paraggio di studio e per la configurazione di progetto individuata.

Nel presente elaborato sono riportati i risultati di una serie di simulazioni finalizzate a fornire una stima delle altezze significative per le condizioni di sicurezza e operatività: eventi estremi, caratterizzati da tempi di ritorno (T_R) pari a 50 e 5 anni, ed eventi più frequenti, caratterizzati da frequenze medie annue di superamento pari a 1 e 7 giorni/anno.

Le caratteristiche delle mareggiate sono state ricavate sulla base delle analisi del clima meteomarinario e dei risultati della propagazione degli eventi estremi e di durata assegnata, riportati nell'elaborato 1233_PD-D-001 ("Relazione idraulico marittima"). L'analisi è stata condotta impiegando il codice di calcolo Boussinesq Wave (BW) della suite MIKE21 sviluppata da DHI.

I risultati dello studio dell'agitazione ondosa sono propedeutici principalmente alla verifica delle condizioni di sicurezza e, secondariamente, alla valutazione delle condizioni di operatività della nave ormeggiata al Terminal Container e impegnata nelle operazioni di carico/scarico. Si tratta di una valutazione che, a rigore, dovrebbe essere valutata di concerto con il terminalista ed in sintonia con i dispositivi di ormeggio previsti; i risultati dello studio hanno comunque permesso di fornire utili indicazioni sulla sicurezza e, in via preliminare, sul downtime, con riferimento a condizioni limite dell'operatività ricavate da letteratura.

I risultati ottenuti in termini di agitazione ondosa hanno evidenziato altezze d'onda massime in prossimità della banchina prossime ai valori limite di letteratura; l'indicazione di portare al limite l'agitazione interna per ampliare il più possibile gli spazi di manovra è stata la direttiva della stazione appaltante in fase di revisione del layout progettuale, una volta constatato con Capitaneria, Piloti e CETENA che la manovra non poteva essere eseguita in sicurezza con il layout di PFTE.

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

2 CARATTERISTICHE METEOMARINE

2.1 Dati di moto ondoso al largo del paraggio

Per la definizione del clima ondoso al largo del paraggio di interesse sono stati acquisiti i dati risultanti da un'attività di ricerca del Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale (DICCA) dell'Università di Genova. I dati (<http://www.dicca.unige.it>) sono ottenuti da una rianalisi delle condizioni meteomarine estesa da gennaio 1979 a dicembre 2018; coprono quindi un periodo di circa 40 anni e si riferiscono al punto di coordinate 10°8'38.4"E, 43°30'00"N ("UNIGE", cfr. Figura 2.1), posto su un fondale di circa 50 m.

La descrizione dettagliata dei dati di moto ondoso al largo del paraggio oggetto di studio è riportata nell'elaborato 1233_PD-D-001 ("Relazione idraulico marittima"). Di seguito si riporta una sintesi dei dati e la descrizione delle analisi propedeutiche alla ricostruzione dei dati di input, utilizzati per il settaggio del modello predisposto per lo studio dell'agitazione ondosa (modello Boussinesq Wave - BW del pacchetto di calcolo del MIKE21).

Lo studio dell'agitazione ondosa è stato condotto con riferimento a condizioni di moto ondoso estreme, ovvero con riferimento a mareggiate caratterizzate da un tempo di ritorno di 50 anni e 5 anni, e a condizioni più frequenti, ovvero con riferimento a mareggiate caratterizzate da una frequenza di superamento media annua pari a 1 e 7 giorni. Lo studio è finalizzato alla valutazione preliminare dei potenziali downtime dei nuovi accosti al Terminal Container (la cui progettazione, si ricorda, non fa parte dell'incarico affidato agli scriventi).

La serie storica dei dati di moto ondoso è stata opportunamente ordinata per classi di altezza significativa e direzione media di provenienza; nella successiva Figura 2.2 si riportano le rose delle registrazioni, delle energie e delle altezze massime relative al punto UNIGE al largo.



Figura 2.1 - Posizione del punto (UNIGE, 10°8'38.4"E, 43°30'00"N) cui si riferiscono i dati di moto ondoso dell'Università di Genova

Si può notare che gli eventi con percentuale di apparizione più elevata e maggiore energia (con picco a 255°N) provengono dal settore di Libeccio-Ponente. Le mareggiate caratterizzate dai valori massimi di altezza significativa sono quelle di Ponente (255°N), per le quali si raggiungono valori di H_s prossimi agli 8 m; per gli altri settori i valori massimi di altezza significativa sono invece inferiori a 5 m.

A partire dai dati disponibili è stata inoltre ricostruita la curva di durata, che consente di mettere in relazione le caratteristiche di un evento con la sua durata media annuale; la curva è stata ricostruita con riferimento al settore di traversia caratteristico del paraggio e ad alcuni sottosectori individuati sulla base delle caratteristiche del moto ondoso.

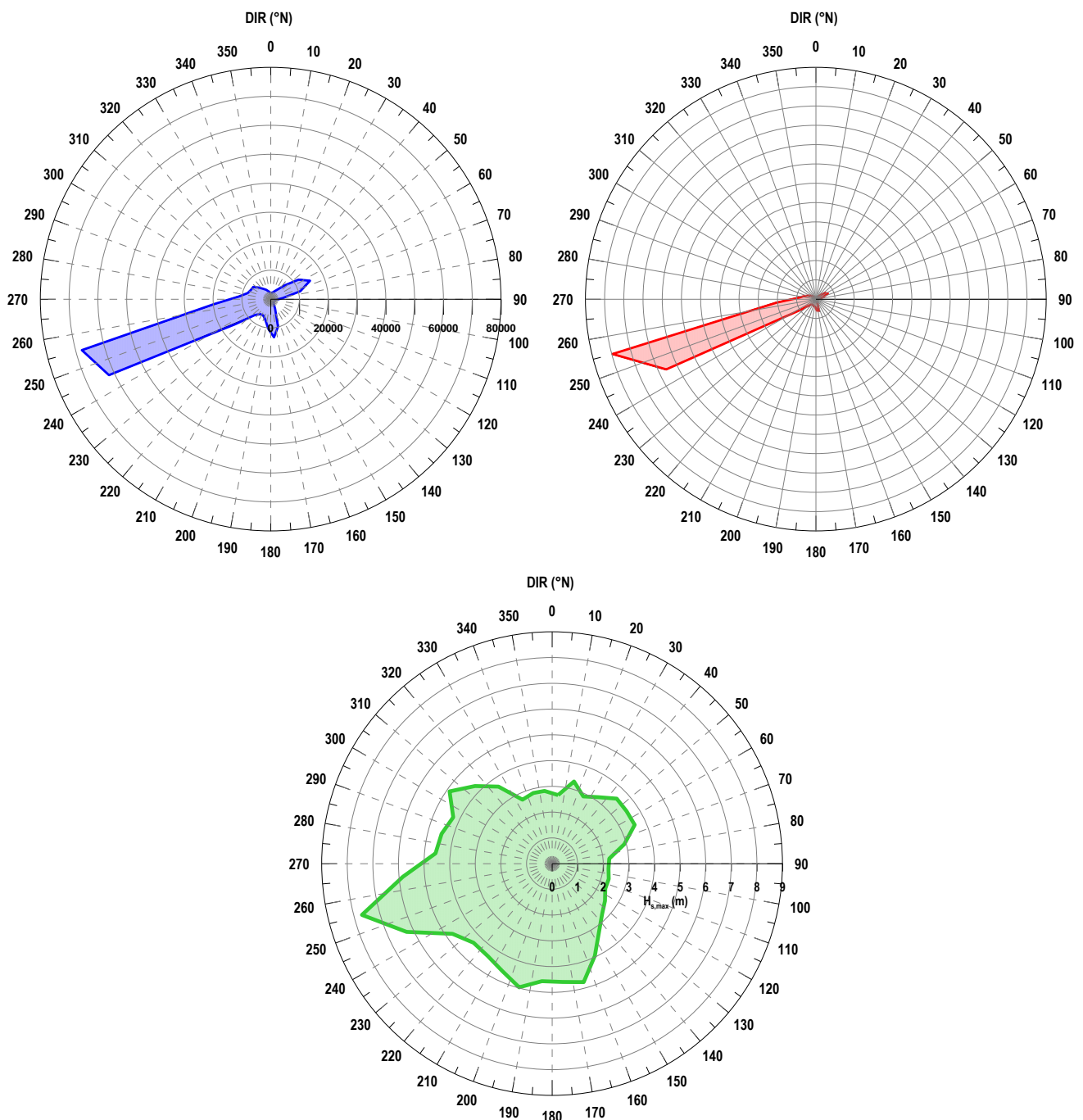


Figura 2.2 - Rosa delle registrazioni (in blu), delle energie (rosso) e delle altezze massime (verde). Punto UNIGE

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

In particolare, sulla base delle caratteristiche del moto ondoso al largo (cfr. rose di Figura 2.2) e della conformazione geografica del sito di interesse (esposto alle mareggiate provenienti dal IV, III e, parzialmente, II quadrante), è stato definito il settore di traversia caratteristico del paraggio, corrispondente alle direzioni di provenienza comprese tra 150° e 340° N.

La curva di durata è stata quindi inizialmente ricavata per l'intero settore di traversia individuato (Figura 2.5), e successivamente suddividendo il settore di traversia 150° ÷ 340° N nei seguenti 3 sottosettori (Figura 2.4): 150° ÷ 220° N (Mezzogiorno-Libeccio), 220° ÷ 280° N (Libeccio-Ponente) e 280° ÷ 340° N (Maestrale). A titolo di esempio, si può osservare come l'altezza significativa di 3 m, con riferimento all'intero settore, venga complessivamente superata, al largo, per circa 150 ore all'anno. Per quanto riguarda invece i sottosettori, si può osservare come il settore di Libeccio-Ponente (più rilevante in termini di frequenza ed energia) abbia una curva di durata molto simile a quella totale (l'energia è sostanzialmente associata solamente a tale settore, cfr. Figura 2.2) e, conseguentemente, i 3 m siano superati per poco meno delle 150 ore all'anno; per gli altri settori, i 3 m sono superati poche ore all'anno

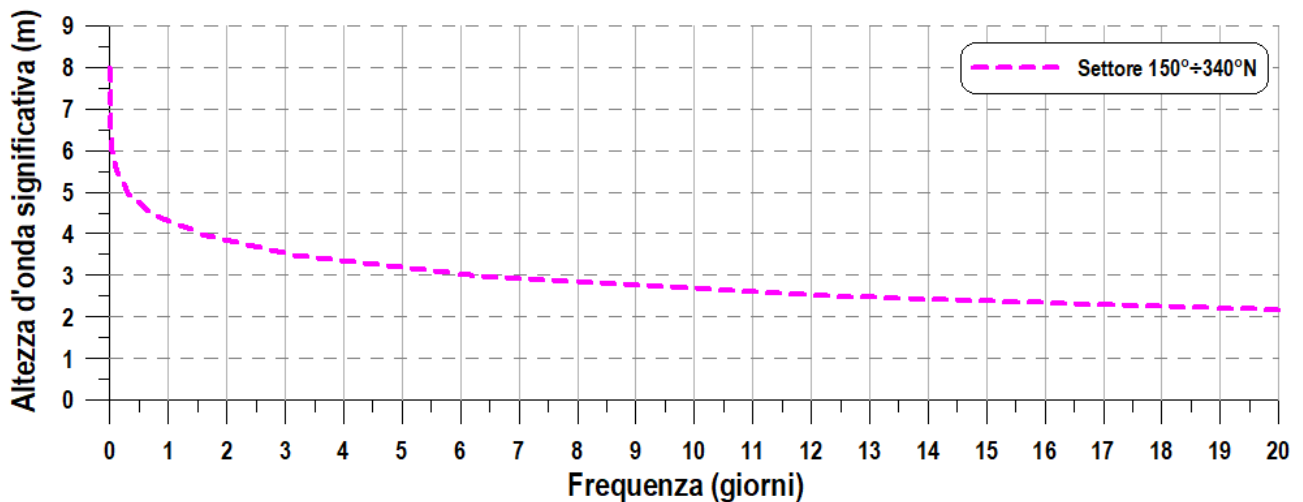


Figura 2.3 - Curva di durata per il settore di traversia 150° ÷ 340° N

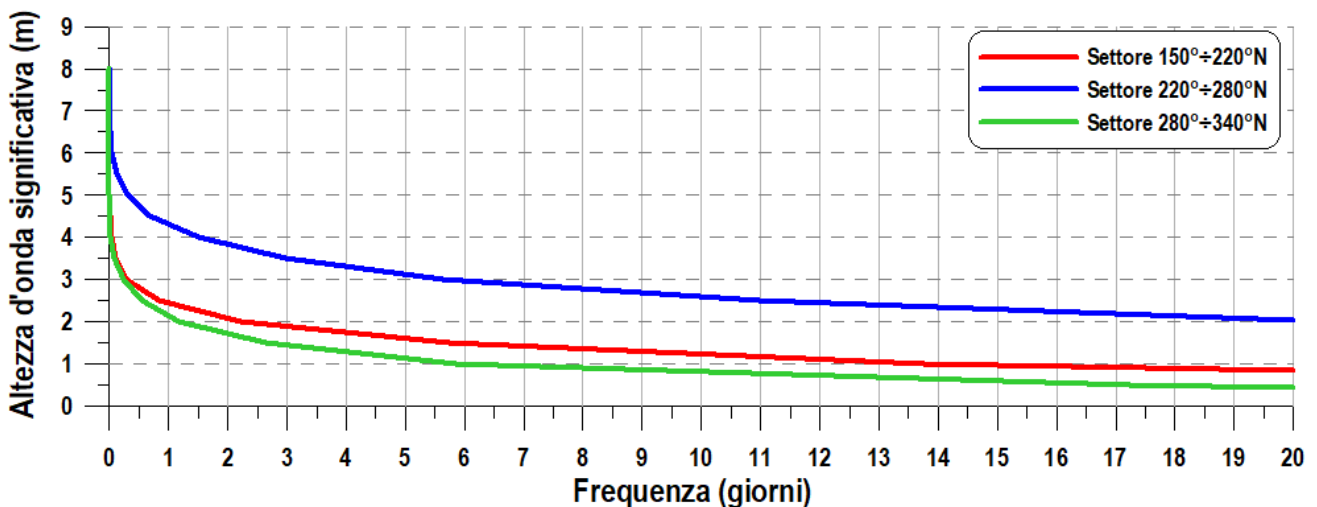


Figura 2.4 - Curva di durata per il settore di traversia per i 3 subsettori: 150° ÷ 220° N (Mezzogiorno-Libeccio), 220° ÷ 280° N (Libeccio-Ponente) e 280° ÷ 340° N (Maestrale).

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

2.1.1 Analisi statistica degli eventi estremi

Anche l'elaborazione statistica degli eventi estremi è stata condotta suddividendo il settore di traversia $150^{\circ}\div 340^{\circ}\text{N}$ nei seguenti 3 subsettori: $150^{\circ}\div 220^{\circ}\text{N}$ (Mezzogiorno-Libeccio), $220^{\circ}\div 280^{\circ}\text{N}$ (Libeccio-Ponente) e $280^{\circ}\div 340^{\circ}\text{N}$ (Maestrale). In Figura 2.5 si riporta graficamente la distribuzione degli eventi massimi annuali individuati per i tre settori in funzione della direzione di provenienza, sovrapposta alla rosa delle altezze massime; si osserva che gli eventi caratterizzati dai valori più elevati di altezza significativa provengono dal settore di Ponente.

Utilizzando le altezze significative massime relative a ciascun anno di osservazione, è stata condotta una statistica degli eventi estremi "al largo", per i tre settori individuati; l'analisi statistica è stata condotta utilizzando il metodo sviluppato da Gumbel. A ciascun evento estremo al largo (caratterizzato da una determinata altezza d'onda significativa) è stato associato, mediante opportune correlazioni (cfr. Elaborato 1233_PD-D-001), il corrispondente valore del periodo di picco T_p .

Nella successiva Tabella 2.1 si riportano le caratteristiche delle mareggiate estreme caratterizzate da un tempo di ritorno di 50 e 5 anni (altezza significativa H_s e periodo di picco T_p), derivanti dall'analisi statistica e utilizzate nello studio dell'agitazione ondosa.

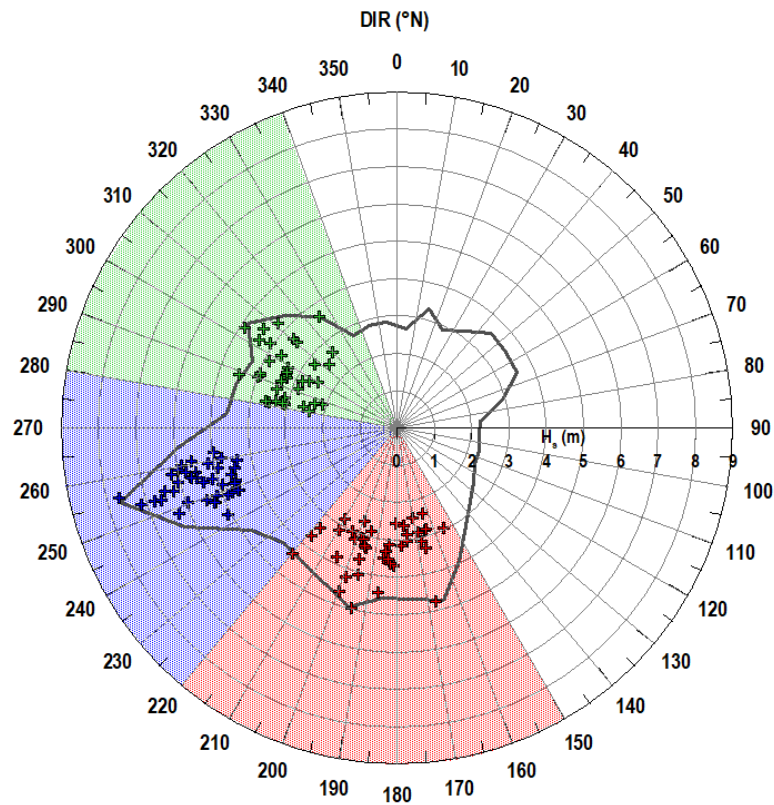


Figura 2.5 - Distribuzione dei massimi annui considerati nell'analisi di Gumbel

T_R (anni)	Settore $150^{\circ}\div 220^{\circ}\text{N}$		Settore $220^{\circ}\div 280^{\circ}\text{N}$		Settore $280^{\circ}\div 340^{\circ}\text{N}$	
	H_s (m)	T_p (s)	H_s (m)	T_p (s)	H_s (m)	T_p (s)
50	5.22	9.50	7.74	12.00	5.26	9.06
5	3.89	8.30	6.13	10.68	3.90	8.70

Tabella 2.1 - Periodi di picco associati agli estremi per i tre settori individuati: $150^{\circ}\div 220^{\circ}\text{N}$ (Mezzogiorno-Libeccio), $220^{\circ}\div 280^{\circ}\text{N}$ (Libeccio-Ponente) e $280^{\circ}\div 340^{\circ}\text{N}$ (Maestrale)

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

2.2 Livello del mare

I dati di marea utilizzati nell'ambito del presente studio sono stati scaricati dal sito dell'APAT (www.mareografico.it) e si riferiscono alla stazione R.M.N. di Livorno; i valori registrati dal mareografo, ad intervalli orari, si riferiscono al periodo 1 gennaio 2010 – 30 gennaio 2019.

Nella successiva Figura 2.6 si riporta, oltre all'ubicazione del mareografo (immagine a sinistra), l'andamento dei livelli di marea per il periodo considerato; il range di variazione dei livelli è di circa 70 cm: il livello varia tra +0.4 m e -0.3 m s.m.m., con poche eccezioni. Il valore massimo di +0.86 è stato registrato il 29/10/2018 alle ore 14:00 ed è associato all'evento eccezionale che ha investito sia la costa tirrenica che quella adriatica tra la fine ottobre e i primi di novembre del 2018 (tempesta VAIA).

Per definire il sovralzato del livello del mare da associare alle mareggiate estreme, sono stati considerati i prevedibili scenari sulla base del rapporto IPCC 2013 (cfr. Elaborato 1233_PD-D-001). Considerando, a favore di sicurezza, lo scenario peggiore (RCP 8.5) e l'estremo superiore della fascia di confidenza, è stato assunto un incremento del livello medio del mare a 60 anni (considerando la durata minima di vita dell'opera di 50 anni e 10 anni per la progettazione e realizzazione dell'opera) pari a circa 0.66 m.

Complessivamente, è stato assunto un **sovralzato del livello di progetto** pari a $0.66 + 0.86 = +1.52$ m. Tale valore risulta ampiamente cautelativo, soprattutto se associato a tempi di ritorno elevati per quanto riguarda il moto ondoso. Le caratteristiche locali del moto ondoso sono infatti significative influenzate dal livello in ragione della presenza dei bassi fondali delle Secche della Meloria.

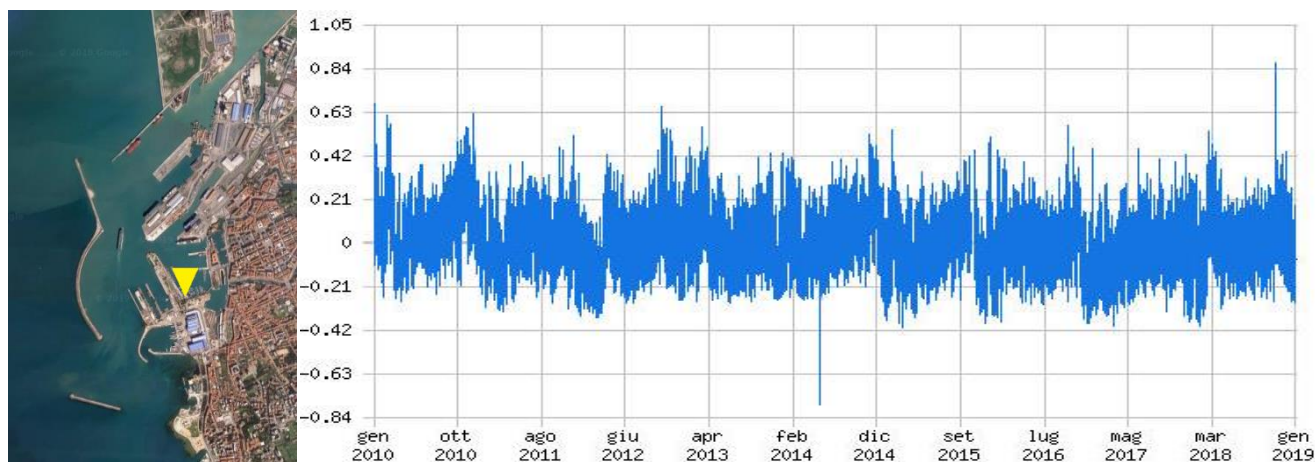


Figura 2.6 - Livello della marea registrata dalla stazione RMN dell'ISPRA sita nel porto di Livorno (periodo gennaio 2010 – gennaio 2019)

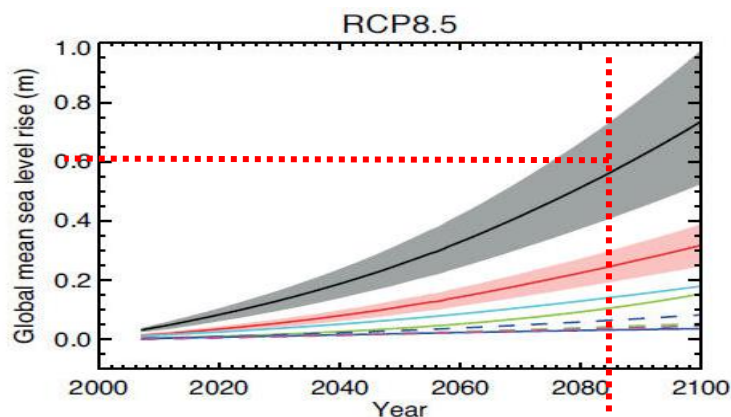


Figura 2.7 - Proiezioni del sollevamento del livello marino per i prossimi 100 anni riportate nei rapporti IPCC del 2013 (scenario RCP 8.5)

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

3 STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA IN CONFIGURAZIONE DI PROGETTO

Nel presente paragrafo si riportano i risultati dello studio di dettaglio della penetrazione del moto ondoso all'interno del bacino portuale in configurazione di progetto (opere previste dal presente progetto), con riferimento a condizioni di moto ondoso estreme (tempo di ritorno 50 e 5 anni) ed intense più frequenti (durata 1 e 7 giorni all'anno).

3.1 Settaggio del modello

3.1.1 Definizione del dominio di calcolo

Per lo studio dell'agitazione interna della nuova Piattaforma Europa (prima fase di attuazione) è stato definito un idoneo dominio di calcolo, al fine di ottimizzare il modello per tutte le mareggiate simulate, nonché per ottenere una accurata rappresentazione di tutte le opere presenti (esistenti e di nuova realizzazione). Il dominio di calcolo è stato discretizzato attraverso una griglia con maglia strutturata a celle quadrate; il passo della griglia e il dominio di calcolo sono stati opportunamente ottimizzati e definiti con riferimento alle specifiche limitazioni del modello Boussinesq utilizzato.

L'analisi delle condizioni di penetrazione del moto ondoso e di agitazione è stata condotta con riferimento alle mareggiate provenienti dai due settori principali di Mezzogiorno-Libeccio (settore $150^{\circ}\div 220^{\circ}\text{N}$) e Libeccio-Ponente (settore $220^{\circ}\div 280^{\circ}\text{N}$). L'effetto delle mareggiate provenienti da Maestrale (settore $280^{\circ}\div 340^{\circ}\text{N}$) risulta infatti di scarsa rilevanza grazie alla protezione offerta dal molo di sopraflutto. La griglia è stata pertanto orientata in modo tale da propagare al suo interno gli eventi provenienti dai due sottosettori di Mezzogiorno-Libeccio ($150^{\circ}\div 220^{\circ}\text{N}$) e Libeccio-Ponente ($220^{\circ}\div 280^{\circ}\text{N}$).



Figura 3.1 - Griglia di calcolo Boussinesq (in azzurro) e griglia di calcolo SWAN (in rosso)

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

La griglia ha origine nel punto di coordinate Gauss Boaga Fuso Ovest 1600145.0, m E; 4819919.0 m N (vertice in basso a sinistra di Figura 3.1), dimensioni 5700 x 5700 m con asse Y orientato parallelamente al Nord. Le celle di calcolo sono di forma quadrata con lato di 6 m; pertanto si ha un dominio di calcolo di 950x950 per un totale di 902500 celle (Figura 3.2); le dimensioni scelte hanno consentito di rappresentare con buona approssimazione la batimetria del fondale e le opere presenti (esistenti e di progetto). Per quanto riguarda la batimetria, è stato necessario adattare le profondità massime e minime del fondale in maniera tale da rispettare le limitazioni sulla rappresentazione dei periodi dell'onda imposte dal modello. Ulteriori aggiustamenti (principalmente semplificazioni) della batimetria sono stati apportati nelle aree più interne del porto e nelle zone esterne all'area di interesse, laddove il calcolo dell'agitazione non era peraltro rilevante ai fini del presente studio. La batimetria impiegata nel modello è stata ricavata sulla base delle più recenti carte nautiche e dei rilievi locali di dettaglio (utilizzati anche per la costruzione del modello di propagazione SWAN descritto nell'Elaborato 1233_PD-D-001). Sono stati inoltre rappresentati nel modello gli interventi previsti in progetto (realizzazione delle nuove Dighe Nord e Sud, del terrapieno della colmata, riconfigurazione della Diga della Meloria e dragaggio del canale di accesso al porto e degli specchi acquei interni). Nella successiva Figura 3.2 si riporta la batimetria ricostruita nel dominio di calcolo; la parte di opere a terra è stata semplificata al di fuori della zona di interesse.

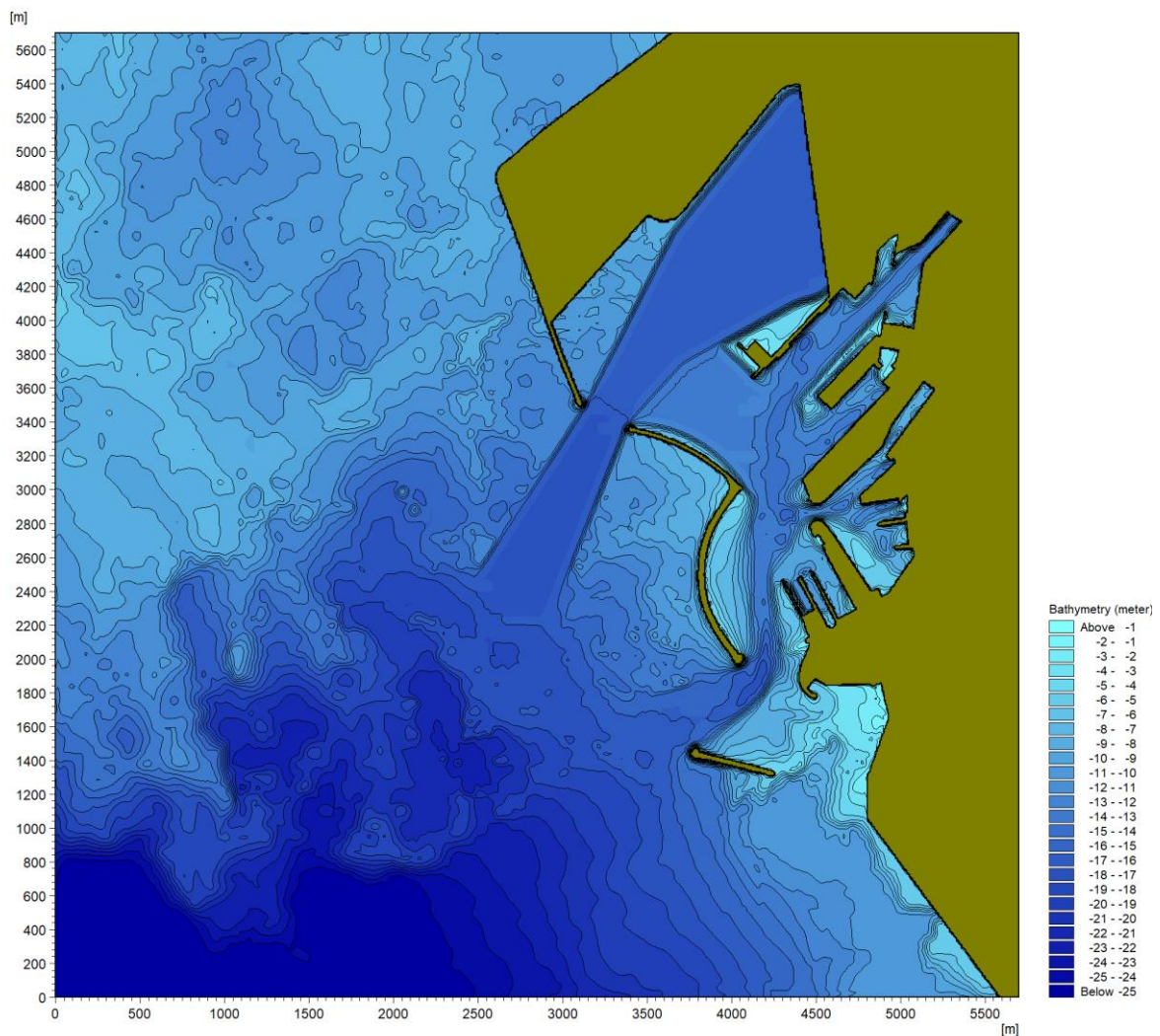


Figura 3.2 - Batimetria della griglia di calcolo Boussinesq

Progetto:	Livello progettazione:	Elaborato:
Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Progetto Definitivo	IDRAULICA MARITTIMA 1233_PD-D-003_3.docx

3.1.2 Mareggiate analizzate

Sulla base dei risultati ottenuti dalle simulazioni della propagazione sotto costa (cfr. Elaborato 1233_PD-D-001), sono state individuate le caratteristiche locali delle mareggiate, utilizzate come condizioni al contorno per lo studio della penetrazione del moto ondoso all'interno dell'infrastruttura portuale.

In particolare, per i due settori analizzati (Mezzogiorno-Libeccio e Libeccio-Ponente) e con riferimento ai tempi di ritorno e alle durate definite (T_R 50 e 5 anni, durata 1 e 7 gg/anno), sono state individuate le mareggiate più critiche (in prossimità dell'imboccatura portuale) in termini di valori locali di altezza d'onda e direzione di provenienza. Il dominio di calcolo è stato opportunamente esteso per poter utilizzare condizioni di input più uniformi ed includere le trasformazioni del moto ondoso che avvengono lungo il canale di accesso.

Si rimanda al succitato elaborato (Elab. 1233_PD-D-001) per il dettaglio dell'analisi eseguita; in sintesi, la valutazione è stata condotta estraendo i piani d'onda per la griglia di dettaglio (LOCAL GRID) e valutando la condizione più critica in corrispondenza della nuova imboccatura portuale, ovvero individuando la mareggiata che si presenta in corrispondenza dell'imboccatura con i valori massimi di altezza significativa. Dall'analisi è risultato che, per il settore di Mezzogiorno-Libeccio (settore $150^\circ \div 220^\circ N$), il TEST più critico è quello denominato "A 6", corrispondente alla mareggiata T_R 50 anni con direzione al largo di $215^\circ N$, mentre per il settore di Libeccio-Ponente (settore $220^\circ \div 280^\circ N$) la mareggiata più critica è quella caratterizzata da direzione al largo pari a $245^\circ N$ (TEST A 7). L'analisi comparativa di dettaglio è stata condotta anche per le mareggiate estreme caratterizzate da T_R 5 anni e, anche in questo caso, le direzioni più critiche sono risultate $215^\circ N$ per il settore di Mezzogiorno-Libeccio (TEST B 6) e $245^\circ N$ per il settore di Libeccio-Ponente (TEST B 7).

In maniera analoga, sono state individuate le mareggiate più critiche anche per gli eventi più frequenti caratterizzati da una durata di 1 e 7 giorni/anno; in questo caso, le direzioni più critiche sono risultate $215^\circ N$ per il settore di Mezzogiorno-Libeccio (TEST C 6 per l'evento di durata 1 g/anno e C 12 per quello di 7 gg/anno) e $225^\circ N$ per il settore di Libeccio-Ponente (TEST C 13 per l'evento di durata 1 g/anno e C 18 per quello di 7 gg/anno). Nelle successive figure (da Figura 3.3 a Figura 3.10) sono riportati i piani d'onda per le condizioni individuate, con riferimento ad un dettaglio della griglia BIG GRID.

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

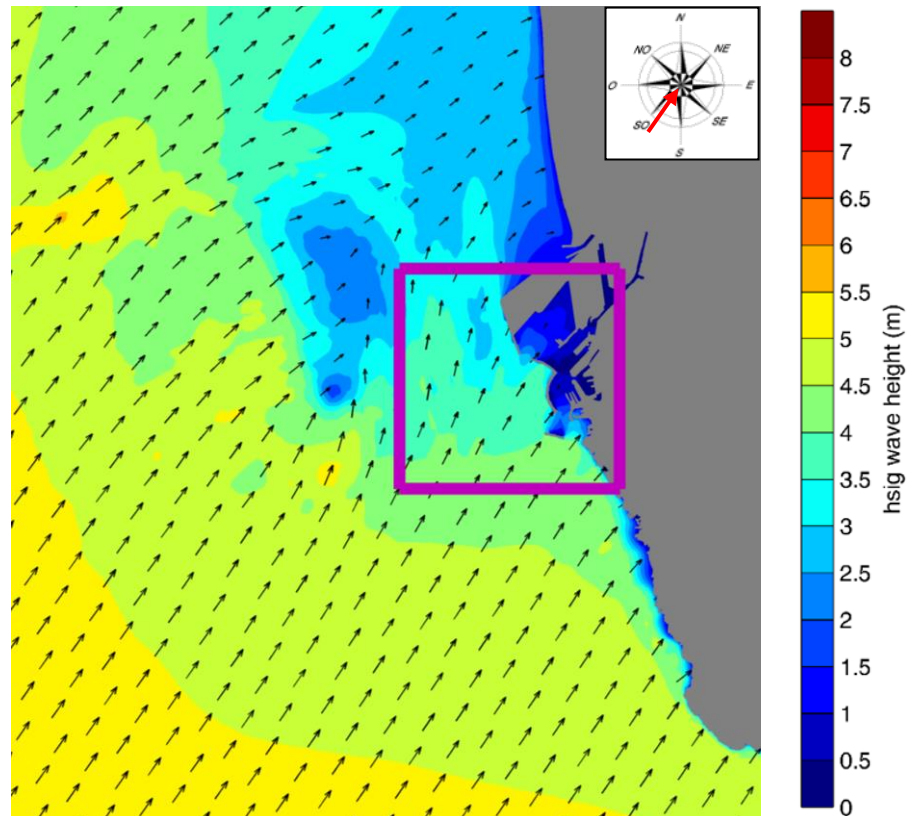


Figura 3.3 - TEST A 6 - BIG GRID (dettaglio): Evento estremo T_R 50 anni dal settore $150^\circ \pm 220^\circ N$ (Mezzogiorno-Libeccio)
Caratteristiche al largo: $H_s = 5.22$ m; $T_p = 9.50$ s; $DIR = 215^\circ N$; Sovralzo = +1.52 m s.m.m.

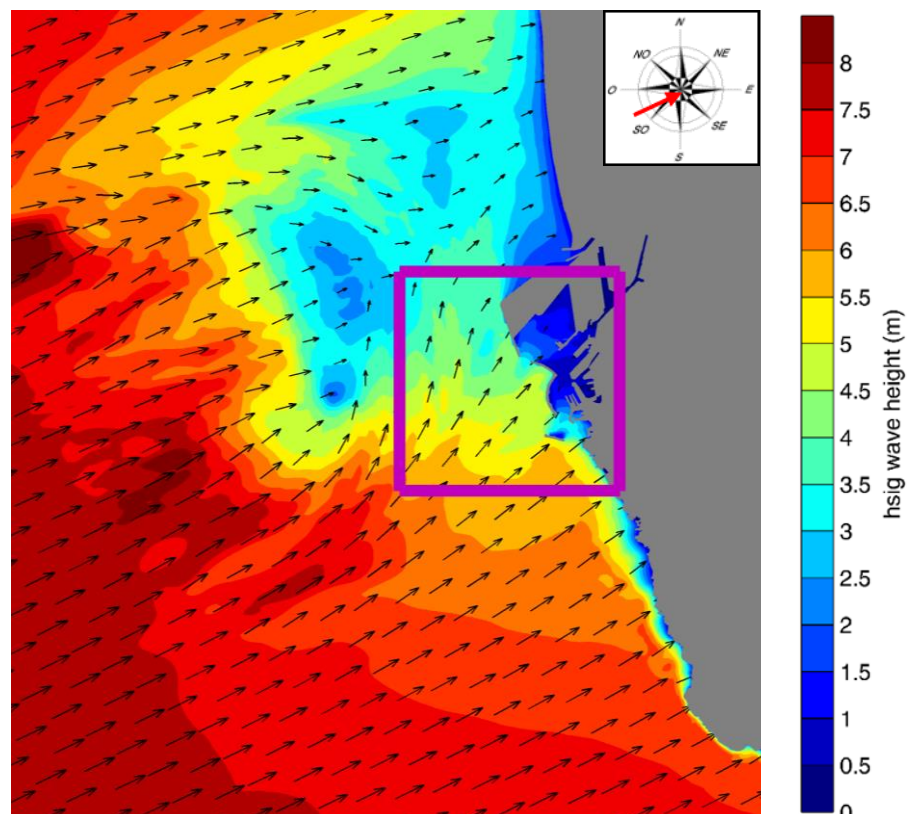


Figura 3.4 - TEST A 7 - BIG GRID (dettaglio): Evento estremo T_R 50 anni dal settore $220^\circ \pm 280^\circ N$ (Libeccio-Ponente)
Caratteristiche al largo: $H_s = 7.74$ m; $T_p = 12.00$ s; $DIR = 245^\circ N$; Sovralzo = +1.52 m s.m.m.

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

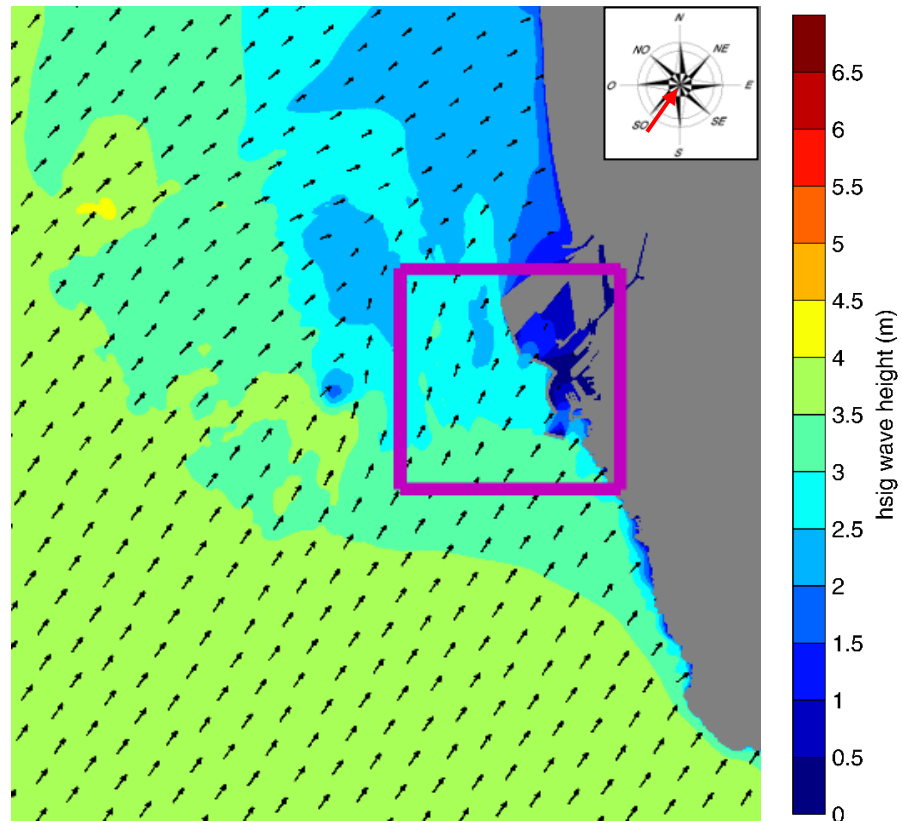


Figura 3.5 - TEST B 6 - BIG GRID (dettaglio): Evento estremo T_R 5 anni dal settore $150^\circ \div 220^\circ N$ (Mezzogiorno-Libeccio)
Caratteristiche al largo: $H_s = 3.89$ m; $T_p = 8.30$ s; $DIR = 215^\circ N$; Sovralzo = +1.52 m s.m.m.

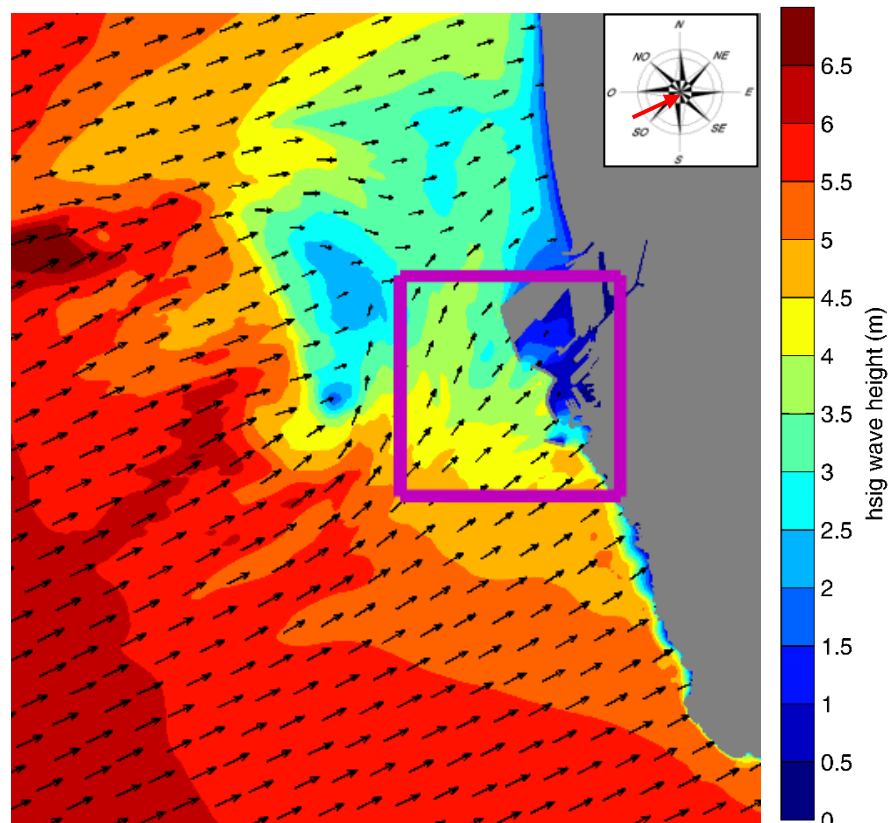


Figura 3.6 - TEST B 7 - BIG GRID (dettaglio): Evento estremo T_R 5 anni dal settore $220^\circ \div 280^\circ N$ (Libeccio-Ponente)
Caratteristiche al largo: $H_s = 6.13$ m; $T_p = 10.68$ s; $DIR = 245^\circ N$; Sovralzo = +1.52 m s.m.m.

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

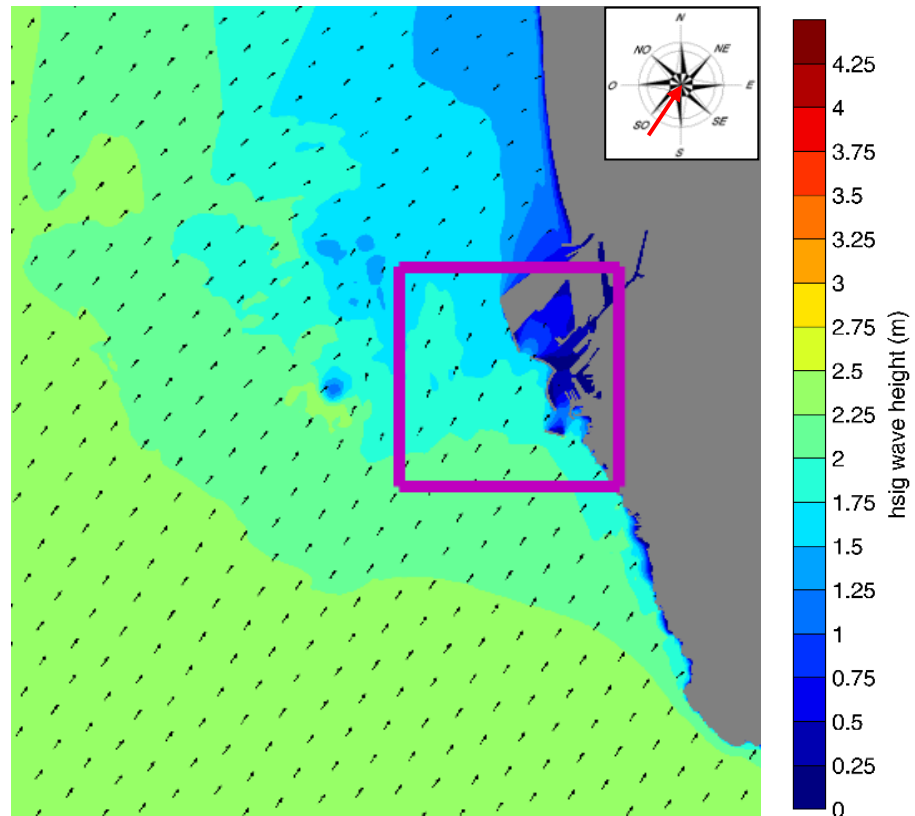


Figura 3.7 - TEST C 6 - BIG GRID (dettaglio): Evento durata 1 g/anno dal settore $150^{\circ}\div 220^{\circ}N$ (Mezzogiorno-Libeccio)
Caratteristiche al largo: $H_s = 2.44$ m; $T_p = 6.73$ s; $DIR = 215^{\circ}N$

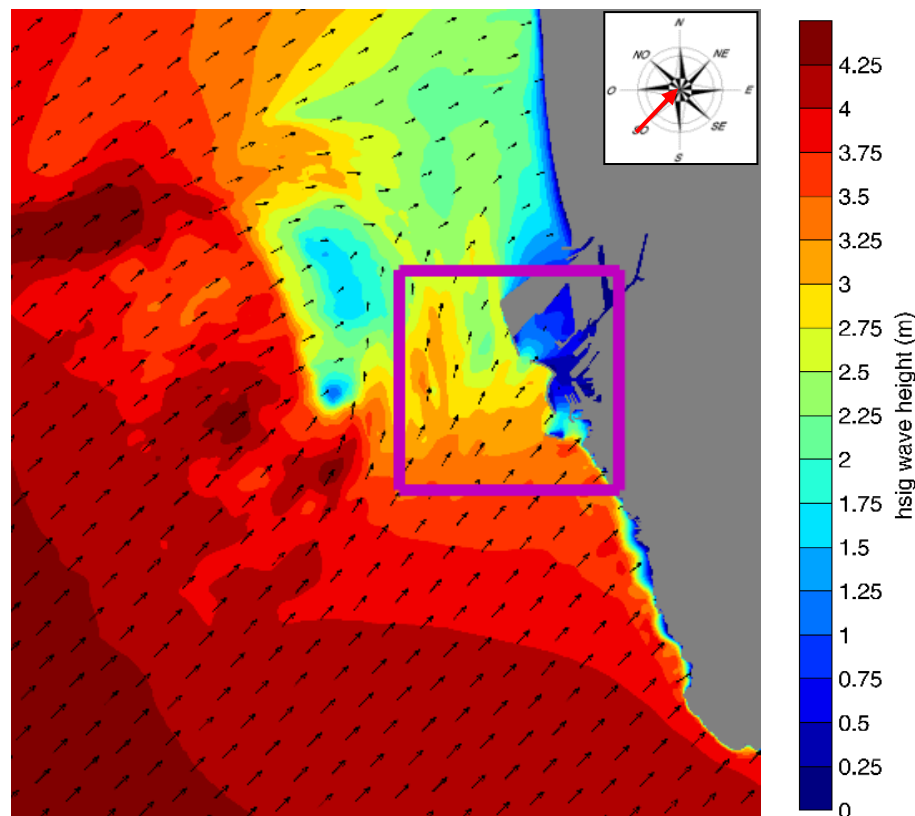


Figura 3.8 - TEST C 13 - BIG GRID (dettaglio): Evento durata 1 g/anno dal settore $220^{\circ}\div 280^{\circ}N$ (Libeccio-Ponente)
Caratteristiche al largo: $H_s = 4.31$ m; $T_p = 9.40$ s; $DIR = 225^{\circ}N$

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

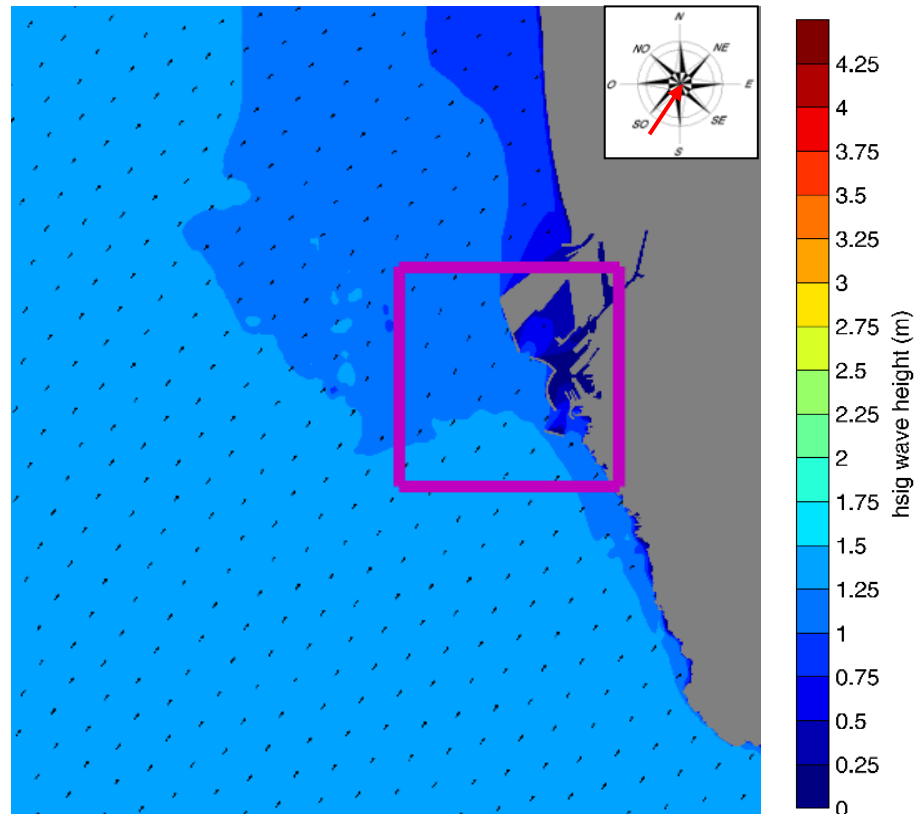


Figura 3.9 - TEST C 12 - BIG GRID (dettaglio): Evento durata 7 g/anno dal settore $150^{\circ}\div 220^{\circ}N$ (Mezzogiorno-Libeccio)
Caratteristiche al largo: $H_s = 1.42\text{ m}$; $T_p = 5.82\text{ s}$; $DIR = 215^{\circ}N$

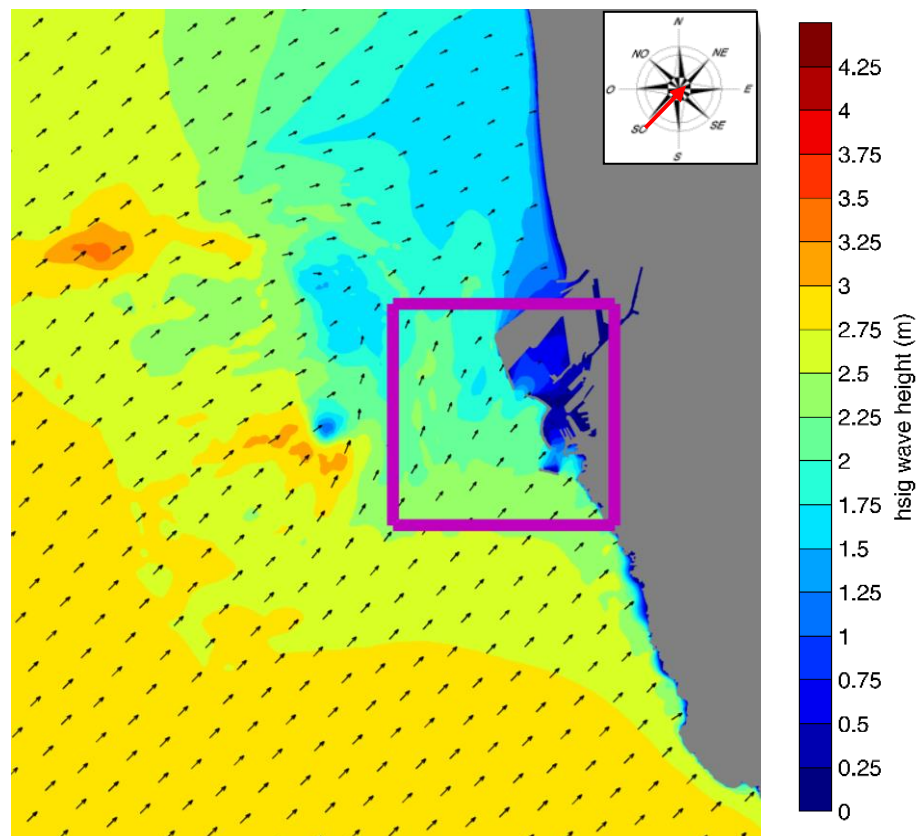


Figura 3.10 - TEST C 18 - BIG GRID (dettaglio): Evento durata 7 g/anno dal settore $220^{\circ}\div 280^{\circ}N$ (Libeccio-Ponente)
Caratteristiche al largo: $H_s = 2.87\text{ m}$; $T_p = 8.44\text{ s}$; $DIR = 225^{\circ}N$

Progetto:	Livello progettazione:	Elaborato:
Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Progetto Definitivo	IDRAULICA MARITTIMA 1233_PD-D-003_3.docx

3.1.3 Condizioni al contorno del modello

A partire dalle mareggiate individuate nel precedente paragrafo, dalla griglia di calcolo utilizzata per la propagazione delle mareggiate sotto costa (modellazione SWAN) sono state estratte le caratteristiche delle mareggiate sulla frontiera del dominio del modello Boussinesq (MIKE21 Boussinesq Wave di DHI). Nella successiva Tabella 3.1 si riportano le caratteristiche al largo delle mareggiate più critiche individuate ai fini dello studio dell'agitazione ondosu; in tabella si riporta anche il riferimento al numero di test SWAN (cfr. simulazioni descritte nell'Elaborato 1233_PD-D-001). Alle mareggiate estreme T_R 50 e 5 anni è associato il sovrizzo di progetto di +1.52 m s.m.m., derivante dalla somma del massimo livello di marea registrato dal mareografo della rete RMN e dal prevedibile incremento del livello medio del mare (cfr. precedente paragrafo 2.2); gli eventi di durata 1 e 7 gg/anno sono stati invece simulati con livello coincidente con il medio mare.

Le condizioni al contorno estratte dal modello di propagazione sono state quindi opportunamente schematizzate (in termini di altezza significativa e direzione media di provenienza) lungo i bordi della griglia di calcolo Boussinesq. Considerando la variabilità dei parametri caratteristici dell'onda (altezza e direzione) lungo il contorno della griglia Boussinesq, le condizioni di input lungo i bordi offshore del dominio sono state rappresentate individuando, per ciascun bordo, tratti omogenei (con profondità ragionevolmente costante e limitata variabilità dei parametri della mareggiata) dove posizionare i "generatori" d'onda (vedi schema battitori riportato in Figura 3.11). L'onda impostata nei generatori è stata definita considerando, a favore di sicurezza, per ciascun battitore:

- altezza significativa coincidente con il valore massimo di H_s estratto dal transetto di bordo;
- direzione di provenienza più sfavorevole in termini di condizioni di moto ondosu all'imboccatura portuale (altezza d'onda più elevata e direzione parallela al canale di accesso).

Nella successiva Tabella 3.2 sono riportate le caratteristiche delle onde impostate lungo i generatori d'onda, utilizzate come condizioni di input per il modello di penetrazione.

La simulazione è stata estesa nel tempo fino al raggiungimento, per ciascuna mareggiata, di un regime stazionario in tutto il dominio di calcolo.

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

SETTORE	TEST	Caratteristiche	H _s (m)	T _p (s)	DIR (°N)	Sovralzo (m s.m.m.)
Mezzogiorno-Libeccio 150°÷220°N	A 6	T _R =50 anni	5.22	9.50	215	+1.52
Libeccio-Ponente 220°÷280°N	A 7	T _R =50 anni	7.74	12.00	245	+1.52
Mezzogiorno-Libeccio 150°÷220°N	B 6	T _R =5 anni	3.89	8.30	215	+1.52
Libeccio-Ponente 220°÷280°N	B 7	T _R =5 anni	6.13	10.68	245	+1.52
Mezzogiorno-Libeccio 150°÷220°N	C 6	Durata = 1 g/anno	2.44	6.73	215	-
Libeccio-Ponente 220°÷280°N	C 13	Durata = 1 gg/anno	4.31	9.40	225	-
Mezzogiorno-Libeccio 150°÷220°N	C 12	Durata = 7 g/anno	1.42	5.82	215	-
Libeccio-Ponente 220°÷280°N	C 18	Durata = 7 gg/anno	2.87	8.44	225	-

Tabella 3.1 - Mareggiate utilizzate per lo studio dell'agitazione interna
Caratteristiche degli eventi nel punto UNIGE al largo

TEST	CONTORNO SUD			CONTORNO OVEST		
	H _s (m)	T _p (s)	Dir (°N)	H _s (m)	T _p (s)	Dir (°N)
A 6	4.32	9.50	210	4.13	9.50	205
A 7	6.04	12.00	220	6.14	12.00	220
B 6	3.32	8.30	210	3.23	8.30	210
B 7	4.78	10.68	225	4.82	10.68	225
C 6	2.13	6.73	210	2.09	6.73	210
C 13	3.54	9.40	215	3.37	9.40	215
C 12	1.33	5.82	215	1.31	5.82	215
C 18	2.48	8.44	215	2.41	8.44	215

Tabella 3.2 - Caratteristiche delle onde impostate in corrispondenza dei generatori d'onda
condizioni al contorno del modello di penetrazione

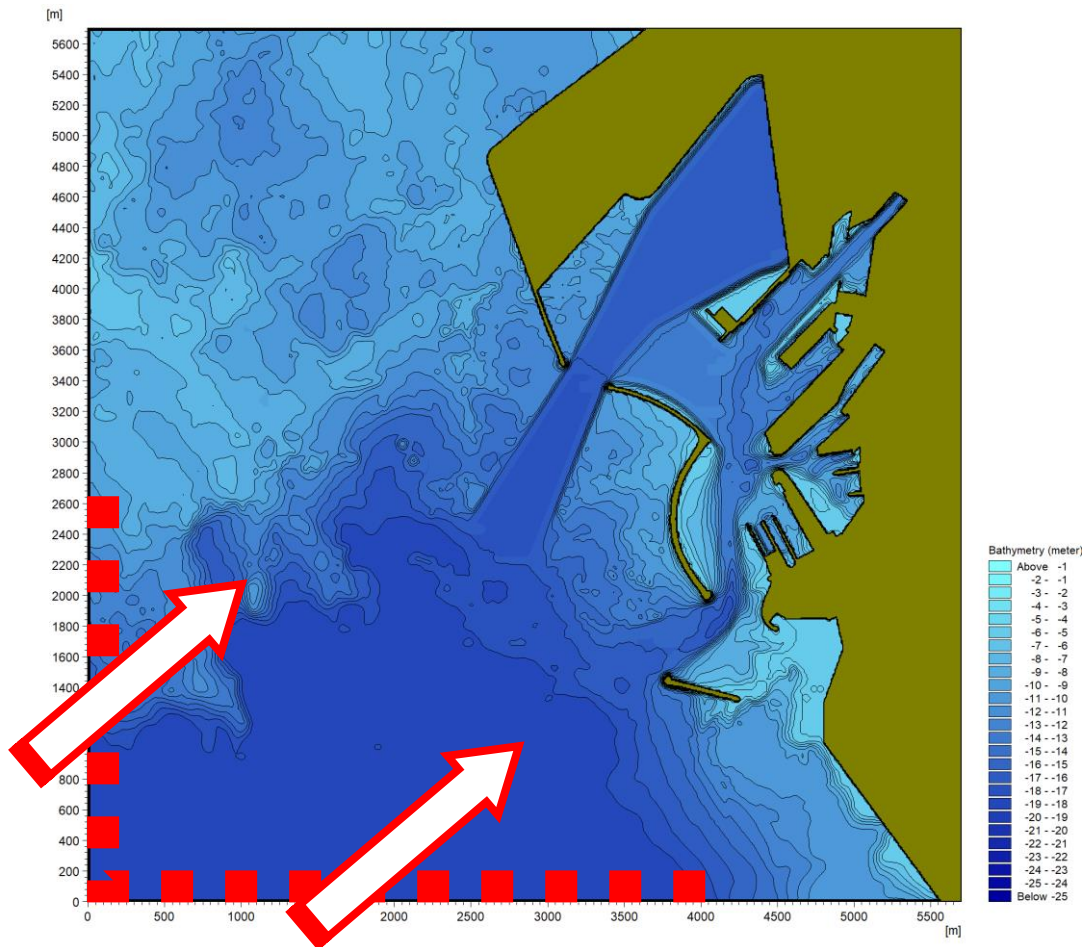


Figura 3.11 - Esempio di posizione delle generatrici di moto ondoso all'interno del modello per l'onda dalla direzione 245°N

Oltre alla griglia di calcolo, con la rappresentazione della batimetria sono state definite e ricostruite altre due griglie, con caratteristiche geometriche (dimensioni e passo di calcolo) coincidenti con la precedente, che rappresentano rispettivamente i contorni assorbenti ("sponge") ed i contorni riflettenti ("porosity"). La griglia dello "sponge", che definisce i contorni assorbenti, è stata impostata utilizzando un numero di layer pari a 20, al fine di migliorare la stabilità del modello ed evitare la riflessione di sub-armoniche di bassa frequenza. I contorni assorbenti sono stati posizionati lungo tutto il bordo lato mare della griglia di calcolo, in corrispondenza delle "spiagge" (considerate come completamente assorbenti) e in corrispondenza dello Scolmatore e del Canale Industriale (Figura 3.12).

Oltre ai contorni assorbenti, nel modello sono state definite anche le caratteristiche riflettenti delle opere da rappresentare. La griglia con i contorni riflettenti o parzialmente riflettenti è stata messa a punto sulla base delle tipologie costruttive delle opere esistenti e di quelle in progetto. Nello specifico, le caratteristiche delle strutture (esistenti e di futura realizzazione) sono state messe in relazione alla capacità di riflettere/dissipare il moto ondoso, al fine di definire le proprietà di ciascuna di esse in termini di riflessione. Uno schema delle caratteristiche delle diverse opere in progetto è riportato nella successiva Figura 3.13: le opere a scogliera in massi naturali o artificiali sono state considerate parzialmente riflettenti, mentre le pareti verticali sono state considerate completamente riflettenti. Si sottolinea che si è ipotizzato che la futura banchina verrà realizzata con una struttura del tipo "a giorno", con sottostante scogliera in massi naturali (parzialmente riflettente).

Il codice di calcolo Boussinesq consente di definire le caratteristiche delle opere in termini di riflessione, assegnando a ciascun tratto uno specifico valore di "porosity". Per la rappresentazione del porosity layer

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

in corrispondenza delle opere (contorno assorbente/riflettente) sono state usate 5 celle, per uno spessore pari a 30 m (valore maggiore di un quarto della lunghezza d'onda locale, riferita al periodo di picco come consigliato nel manuale). Conseguentemente, i valori di altezza d'onda riportati in relazione si riferiscono allo specchio acqueo fino a circa 30 m dal contorno delle opere.

Il valore della porosity da assegnare ad un determinato tratto di opera (banchina, molo o scogliera, ecc...) viene individuato attraverso un grafico del tipo di quello riportato in Figura 3.14. L'andamento della curva rappresentata nel grafico varia in funzione dell'altezza significativa H_s , del periodo di picco T_p e della profondità d al piede dell'opera; pertanto, per ogni tripletta (H_s, T_p, d) , il tool di calcolo interno del modello genera una curva differente. La griglia della "porosity" varia quindi per ciascuna simulazione in funzione delle caratteristiche delle onde (H_s , T_p) e dei fondali (d) in prossimità dei vari tratti di opera e del coefficiente di riflessione.

Pertanto per ciascuna mareggiata sono stati dedotti i valori di "porosity" dalle curve "Coefficiente di riflessione – porosità" calcolate per le varie combinazioni (H_s, T_p, d) , ed è stata costruita una specifica griglia di "porosity". Per quanto riguarda le strutture totalmente riflettenti il valore della porosità è posto pari a 1. In Figura 3.15 si riporta un esempio della griglia di "porosity".

La trasmissione delle onde determinata dalla tracimazione è stata considerata trascurabile, in quanto puntuale ed episodica; la configurazione delle opere è tale da determinare portate di tracimazione inferiore ai 50 l/s/m anche in condizioni estreme (T_R 140/224 anni associato al livello estremo di progetto di +1.52 m s.m.m.)

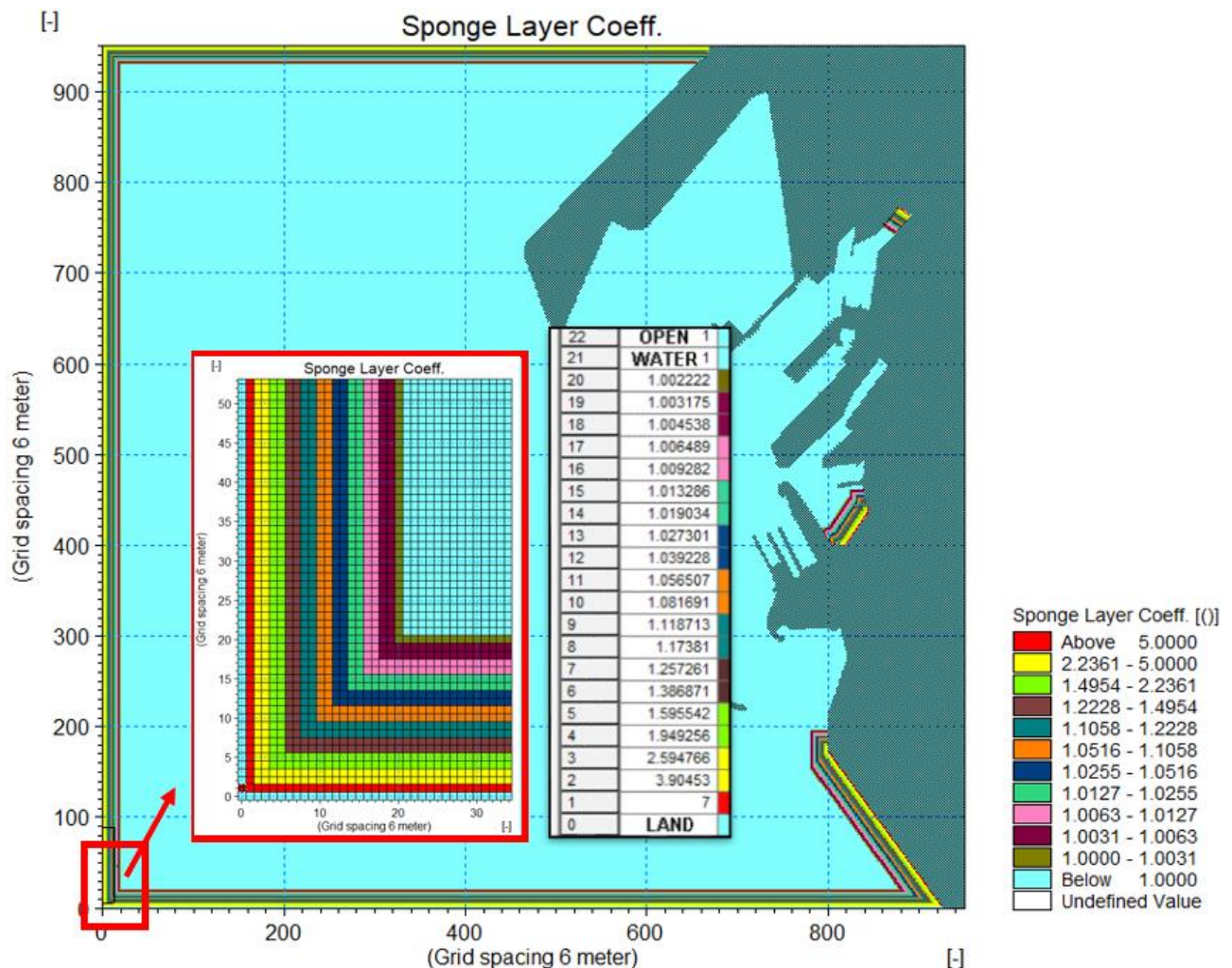


Figura 3.12 - Griglia dello "sponge" (contorni assorbenti) usata nelle simulazioni

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

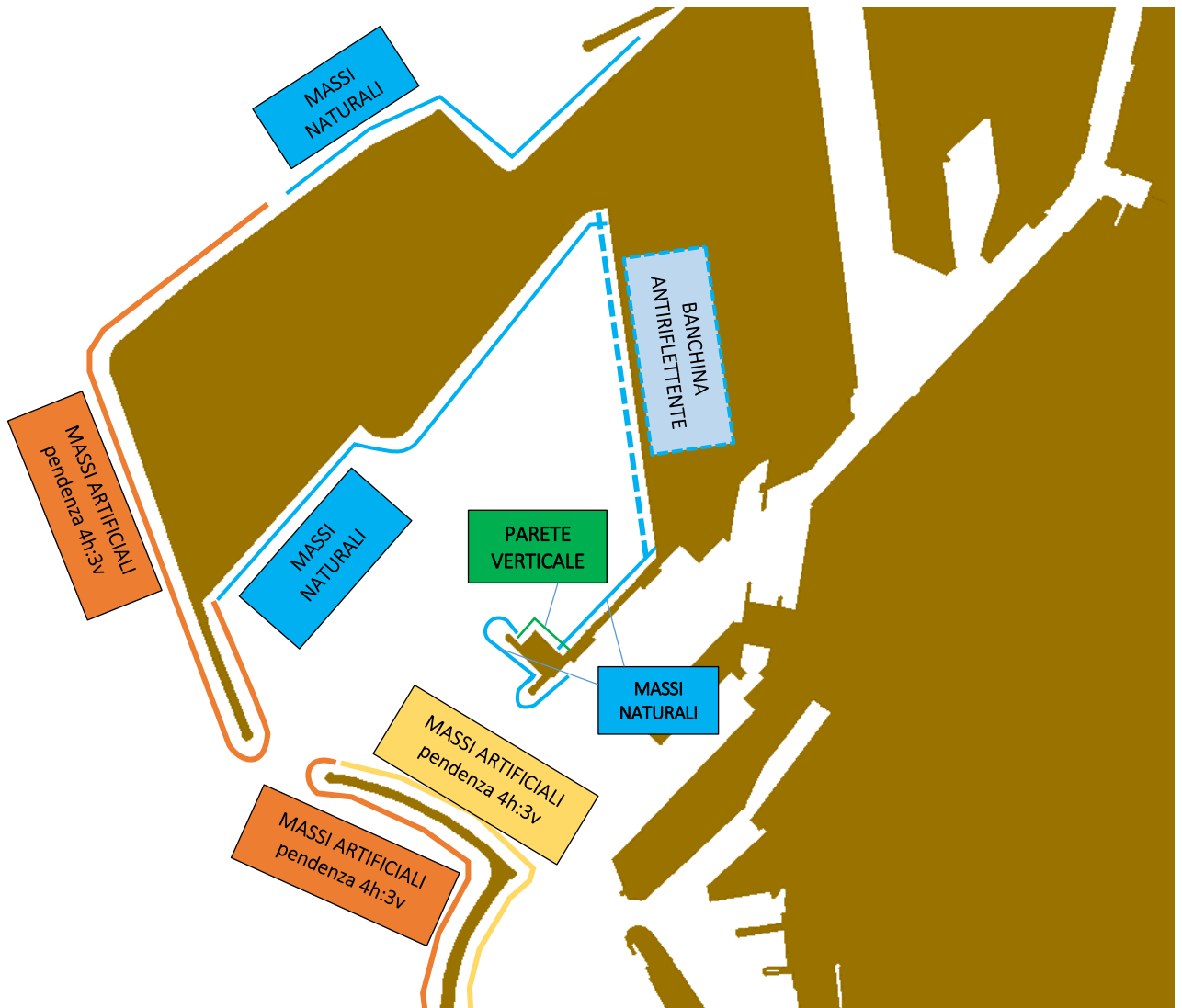


Figura 3.13 - Caratteristiche delle opere in progetto

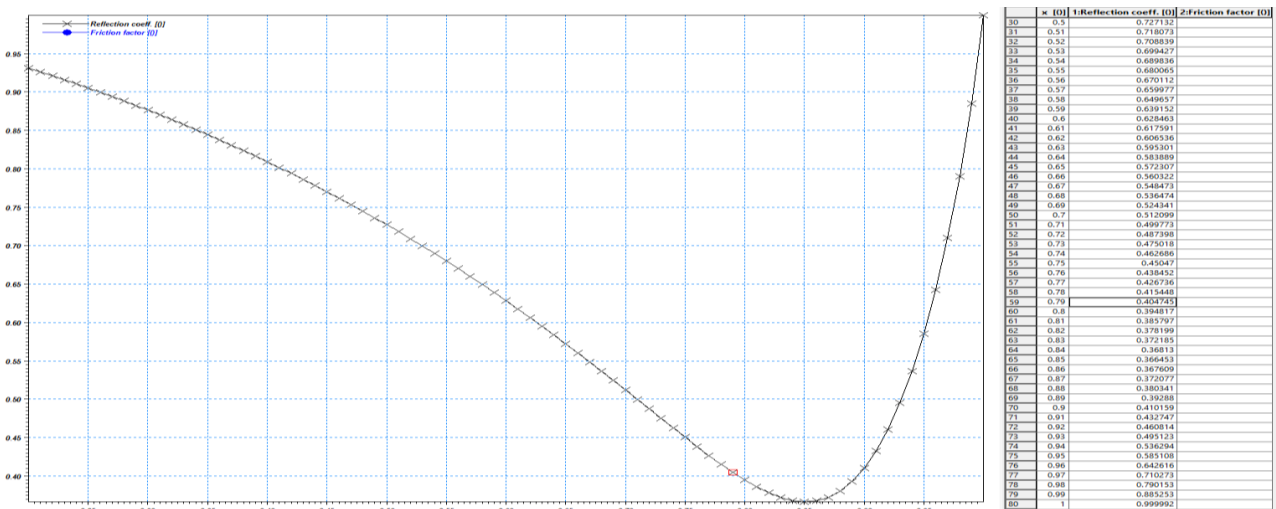


Figura 3.14 - Esempio di grafico della "porosity" in funzione del coefficiente di riflessione

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

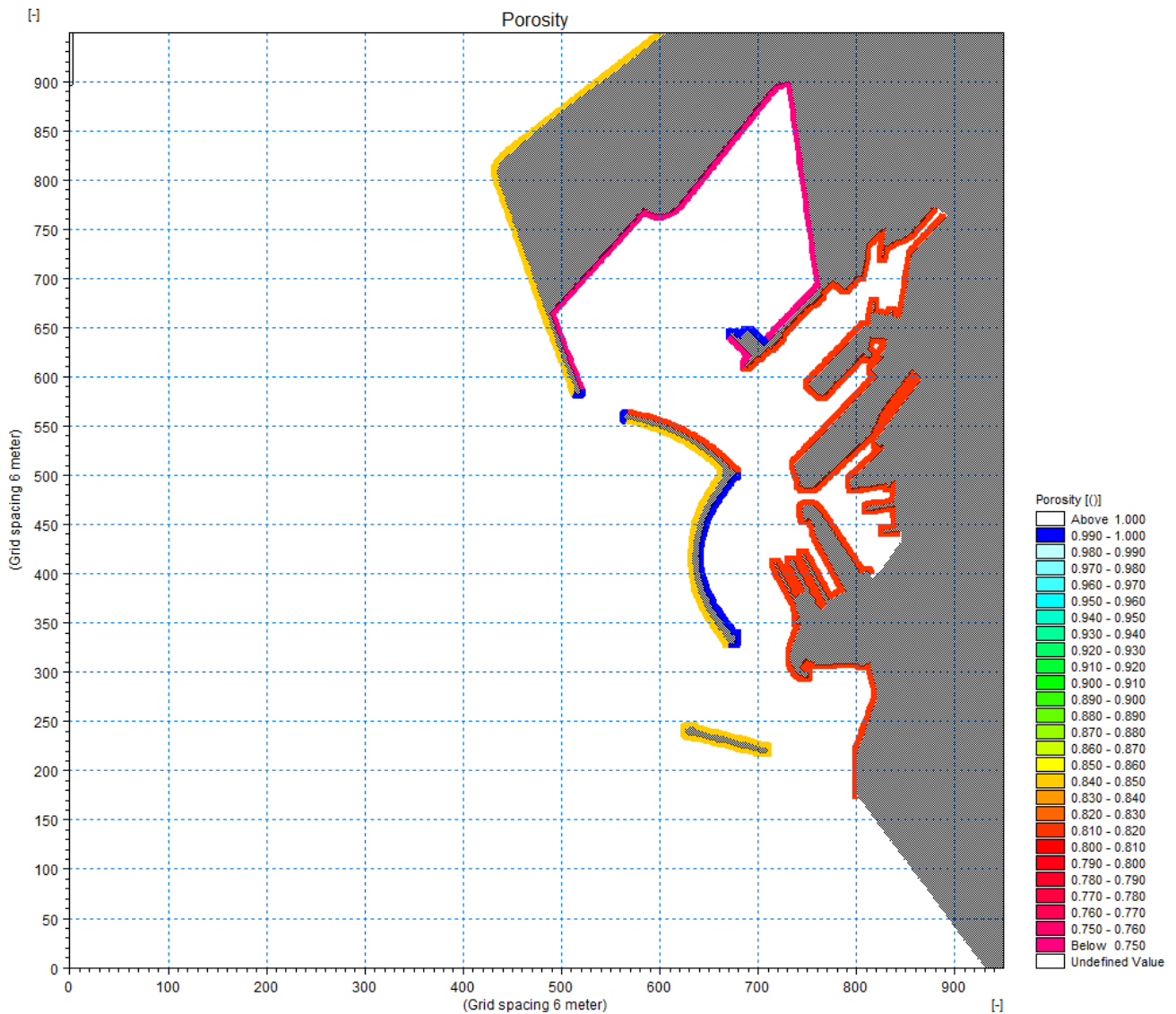


Figura 3.15 - Esempio di griglia della "porosity" usata nelle simulazioni

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto Definitivo	Elaborato: IDRAULICA MARITTIMA 1233_PD-D-003_3.docx
--	---	---

3.2 Risultati delle simulazioni

I risultati ottenuti dalle simulazioni della penetrazione del moto ondoso per le mareggiate analizzate sono riportati nelle figure alle pagine seguenti.

3.2.1 Mareggiate con $T_R = 50$ anni

Nelle successive figure (Figura 3.16 e Figura 3.17) è riportato il campo di moto ondoso, in termini di altezza significativa risultante dalla composizione dell'onda incidente e di quella riflessa, per la mareggiata da 215°N (TEST A 6), con riferimento all'intera griglia di calcolo e ad un dettaglio centrato nell'area di interesse (imboccatura Nord e bacini interni).

Dalle simulazioni risulta evidente l'effetto del canale dragato, che determina un abbattimento dell'altezza d'onda da circa 3.5 m (all'imbocco del canale) a circa 2.5 m (di fronte all'imboccatura). All'interno dell'area protetta dai moli foranei, l'altezza d'onda si riduce progressivamente: lungo il canale di accesso interno l'onda presenta valori massimi di 1.5 m, mentre nel bacino di evoluzione e in prossimità della banchina del futuro Terminal Container, i valori di altezza significativa sono inferiori ad 1 m (con valori mediamente pari a 0.5 m). In Figura 3.18 si riporta una rappresentazione tridimensionale, con focus nell'area dell'imboccatura (mareggiata A 6), da cui si evince che attraverso l'imboccatura penetra un'onda con altezza già notevolmente ridotta rispetto all'onda alla frontiera del dominio. L'onda, una volta entrata all'interno del bacino portuale, si riduce quindi progressivamente grazie all'apertura del fronte per diffrazione e alla notevole estensione degli specchi acquei interni, dove l'energia del moto ondoso può efficacemente dissiparsi.

Nelle successive figure (Figura 3.19 e Figura 3.20) è riportato il campo di moto ondoso in termini di altezza significativa (onda incidente e riflessa) per la mareggiata da 245°N al largo, TEST A 7. La prima figura fa riferimento all'intera griglia di calcolo e la seconda ad un dettaglio del nuovo bacino portuale.

La mareggiata di Libeccio-Ponente è caratterizzata da una maggiore altezza d'onda al largo, rispetto alla mareggiata di Mezzogiorno-Libeccio (A 6), ed ha una direzione di propagazione pressoché ortogonale alla costa; conseguentemente, per tale mareggiata si osservano valori di altezza d'onda più elevati anche in prossimità dell'imboccatura portuale (pari a circa 4 m). Nella successiva penetrazione dell'onda all'interno del bacino portuale, si osserva un abbattimento dell'altezza significativa: a circa 500 m dall'allineamento delle testate si hanno altezze dell'ordine di 2.5 m, che si riducono a valori di poco superiori a 1.5 m nello specchio acqueo più interno.

In prossimità della banchina del futuro Terminal Container, i valori di altezza significativa sono in questo caso superiori ad 1 m in quasi tutta la banchina, con valori massimi superiori ad 1.5 m solo nel tratto più settentrionale.

In Figura 3.21 si riporta una rappresentazione tridimensionale, da cui si evince come, analogamente a quanto avviene per la mareggiata A 7, l'onda una volta entrata all'interno del bacino si riduca progressivamente grazie all'apertura del fronte d'onda e alla notevole estensione degli specchi acquei interni.

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

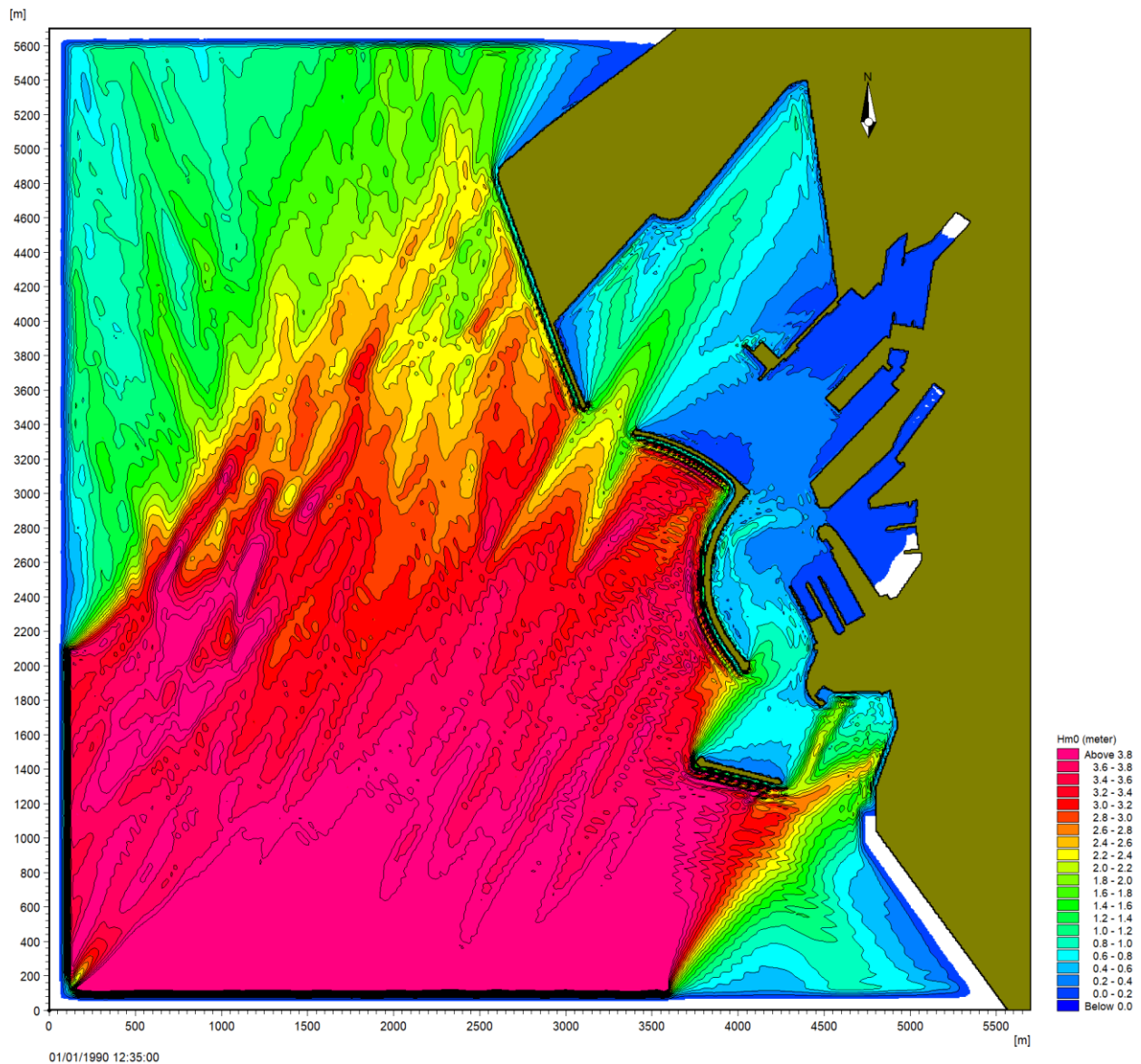


Figura 3.16 - Campo delle altezze d'onda significative per il TEST A 6 (mareggiata T_R 50 anni) proveniente dal settore $150^\circ \div 220^\circ N$ (Mezzogiorno-Libeccio) – direzione al largo $215^\circ N$

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

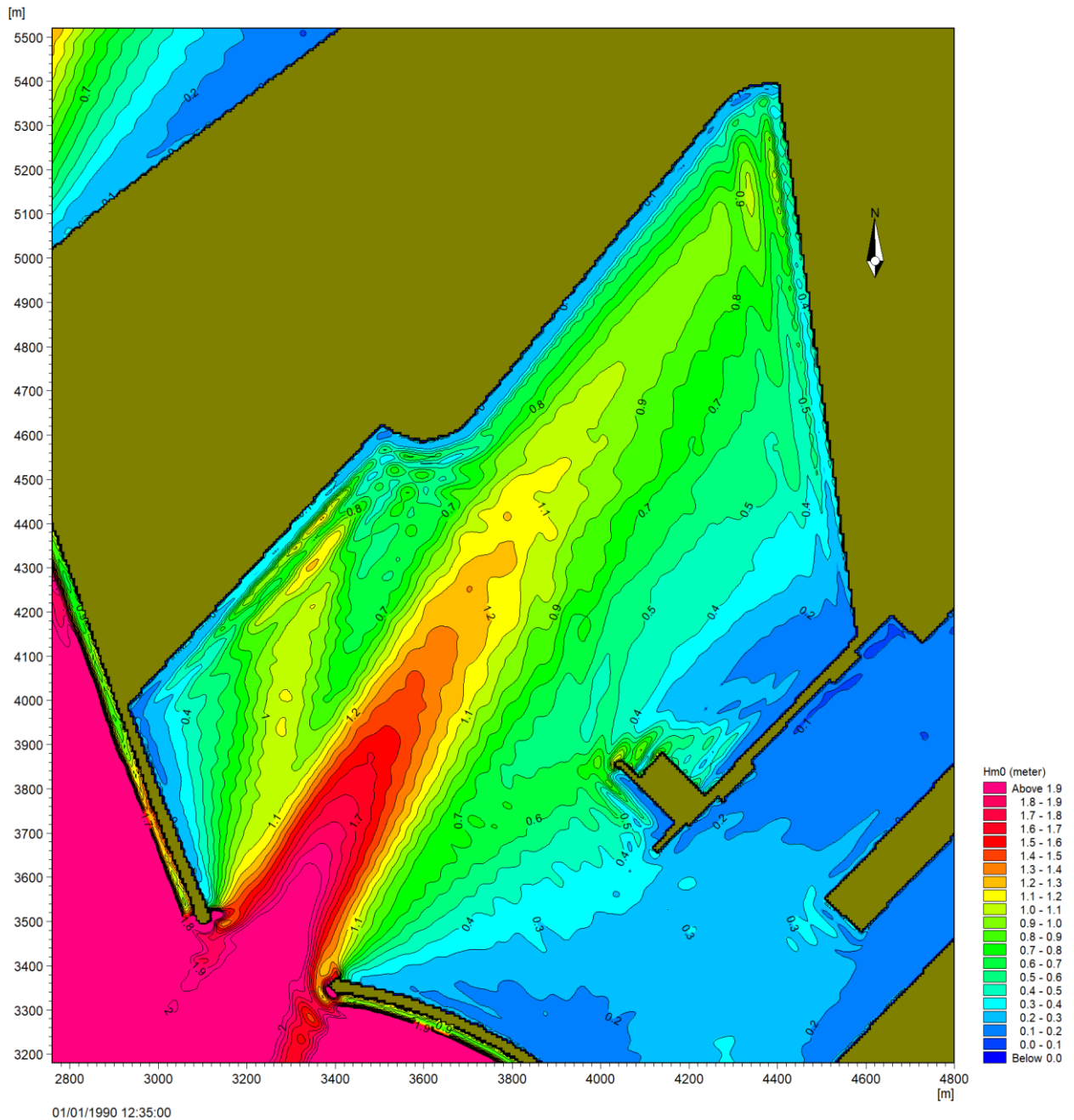


Figura 3.17 - Dettaglio del campo di moto ondoso per il TEST A 6 (mareggiata T_R 50 anni) proveniente dal settore $150^\circ \div 220^\circ N$ (Mezzogiorno-Libeccio) – direzione al largo $215^\circ N$

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

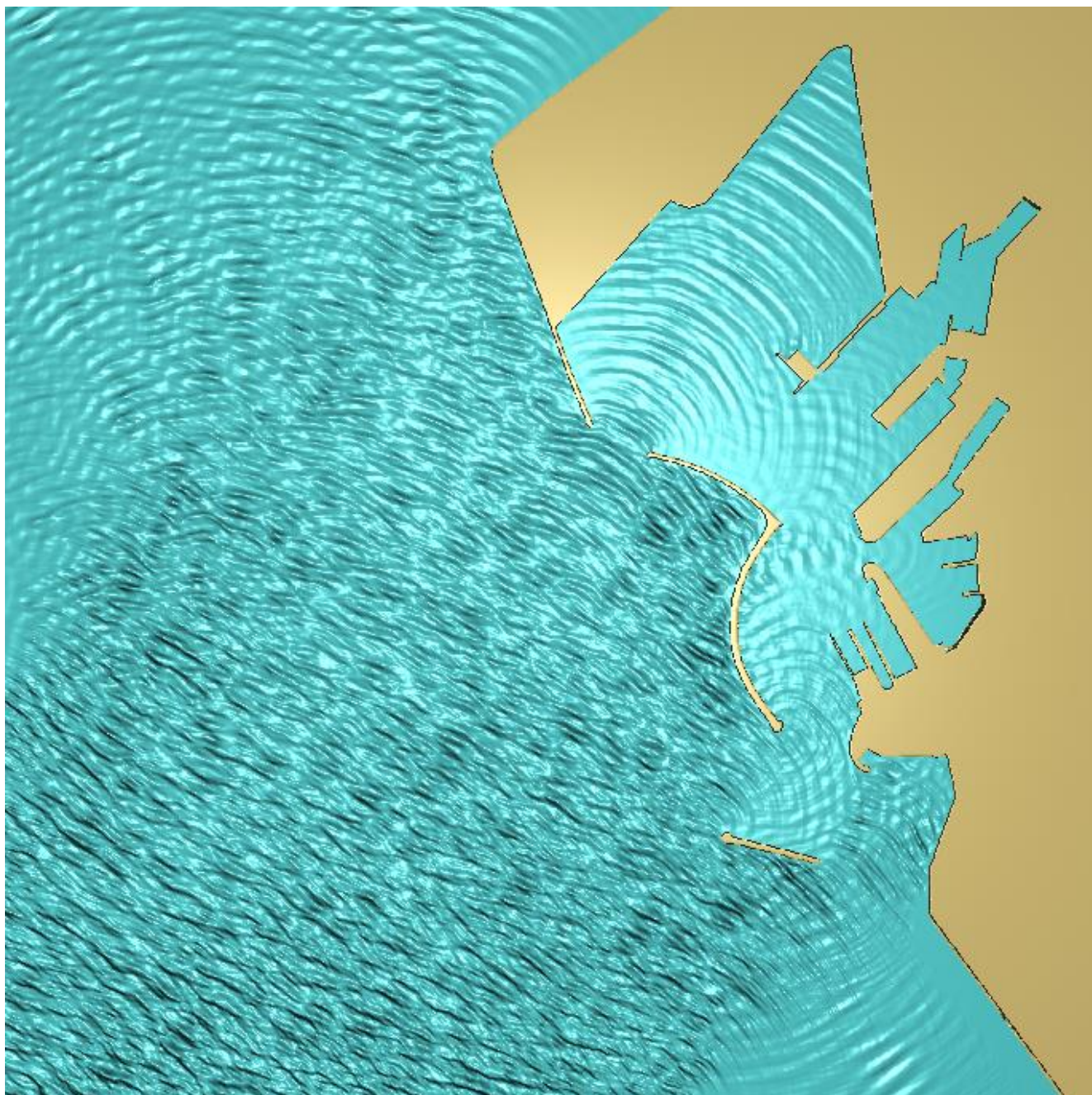


Figura 3.18 - Rappresentazione planimetrica dell'elevazione di superficie per il TEST A 6 (mareggiata T_R 50 anni) proveniente dal settore $150^\circ \div 220^\circ N$ (Mezzogiorno-Libeccio) – direzione al largo $215^\circ N$

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

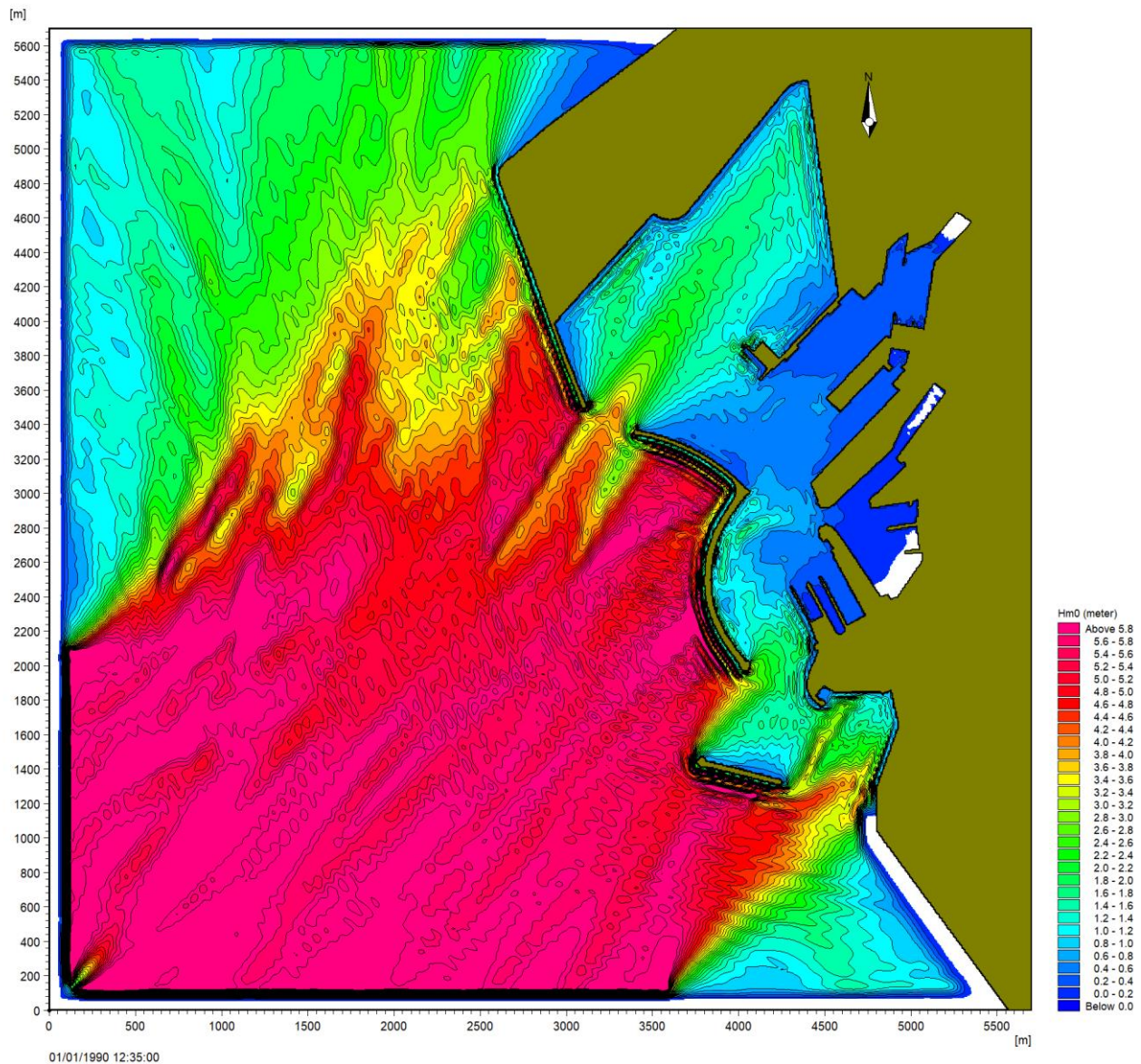


Figura 3.19 - Campo delle altezze d'onda significative per il TEST A 7 (mareggiata T_R 50 anni) proveniente dal settore $220^\circ \div 280^\circ N$ (Libeccio-Ponente) – direzione al largo $245^\circ N$

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

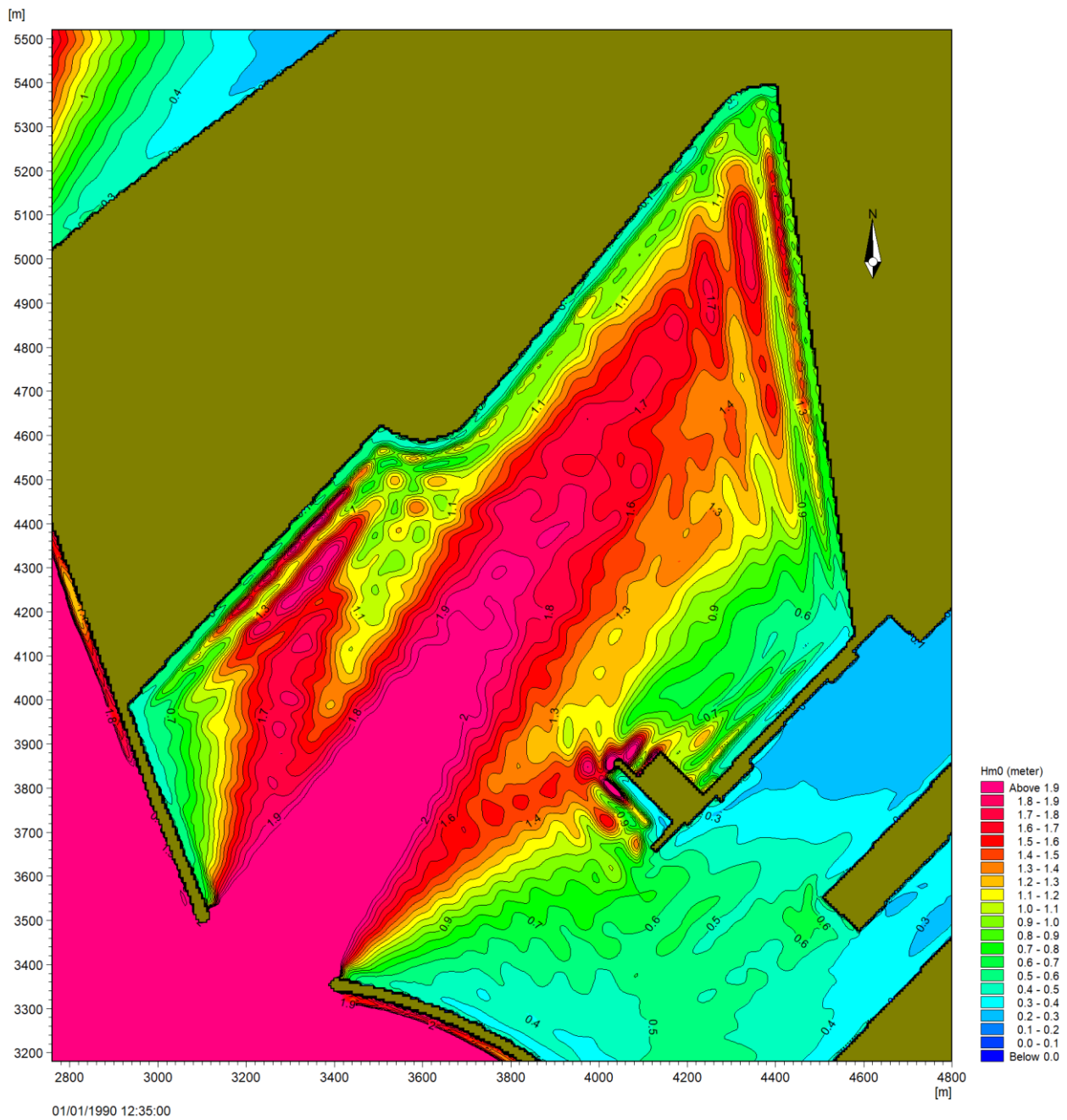


Figura 3.20 - Dettaglio del campo di moto ondoso per il TEST A 7 (mareggiata T_R 50 anni) proveniente dal settore $220^\circ \pm 280^\circ N$ (Libeccio-Ponente) – direzione al largo $245^\circ N$

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

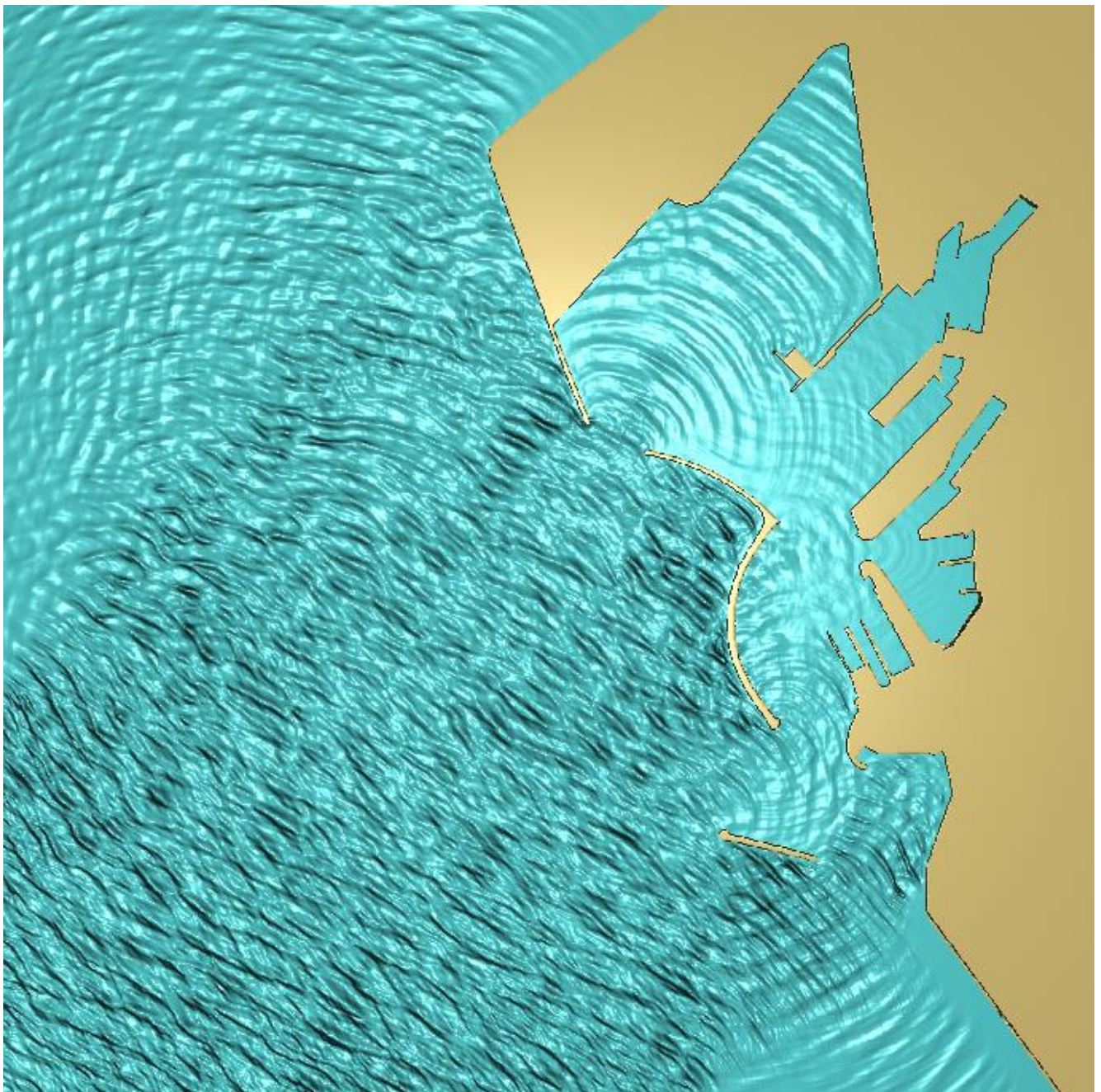


Figura 3.21 - Rappresentazione planimetrica dell'elevazione di superficie per il TEST A 7 (mareggiata T_R 50 anni) proveniente dal settore $220^\circ \div 280^\circ N$ (Libeccio-Ponente) – direzione al largo $245^\circ N$

Progetto:	Livello progettazione:	Elaborato:
Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Progetto Definitivo	IDRAULICA MARITTIMA 1233_PD-D-003_3.docx

3.2.2 Mareggiate con $T_R = 5$ anni

Nelle successive figure è riportato il campo di moto ondoso in termini di altezza significativa (onda incidente e riflessa), per le mareggiate caratterizzate da un tempo di ritorno di 5 anni provenienti al largo da 215°N (TEST B 6, Figura 3.22 e Figura 3.23) e da 245°N (TEST B 7, Figura 3.25 e Figura 3.26). Le figure fanno riferimento all'intera griglia di calcolo e ad un dettaglio del nuovo bacino portuale.

Dai risultati ottenuti si può osservare che, anche in questo caso, all'interno dell'area protetta dai moli foranei l'altezza d'onda va via via riducendosi; nell'area del nuovo bacino portuale l'onda presenta valori massimi inferiori ad 1.5 m, per la mareggiata di 245°N (TEST B 7 - Libeccio-Ponente), e inferiori al metro, per quella da 215°N (TEST B 6 - Mezzogiorno-Libeccio). Per la mareggiata B 7, i valori di altezza significativa sono superiori al metro in buona parte della banchina del futuro terminal container, con valori massimi prossimi a 1.5 m nel tratto settentrionale; l'altezza risulta invece inferiore al metro, con valori mediamente pari a 0.5 m, per la mareggiata B 6.

In Figura 3.24 e Figura 3.27 è riportata una rappresentazione tridimensionale, con focus nell'area dell'imboccatura, rispettivamente per la mareggiata di B 6 e B 7; le figure evidenziano il processo di attenuazione dell'altezza d'onda che penetra all'interno del bacino, per effetto dell'apertura del fronte d'onda e della dissipazione nell'ampia estensione degli specchi acquei interni.

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

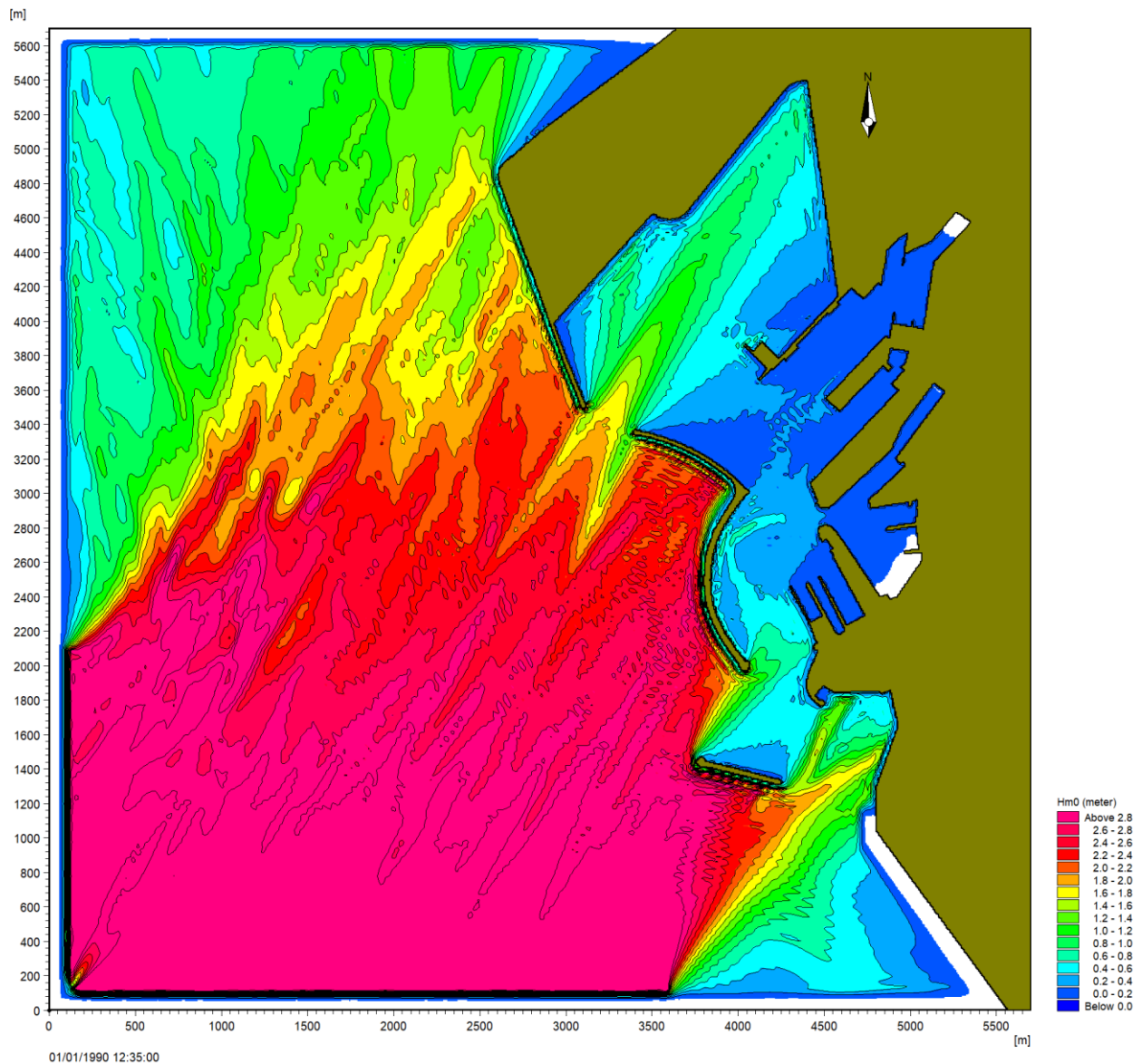


Figura 3.22 - Campo delle altezze d'onda significative per il TEST B 6 (mareggiata T_R 5 anni) proveniente dal settore $150^\circ \div 220^\circ N$ (Mezzogiorno-Libeccio) – direzione al largo $215^\circ N$

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

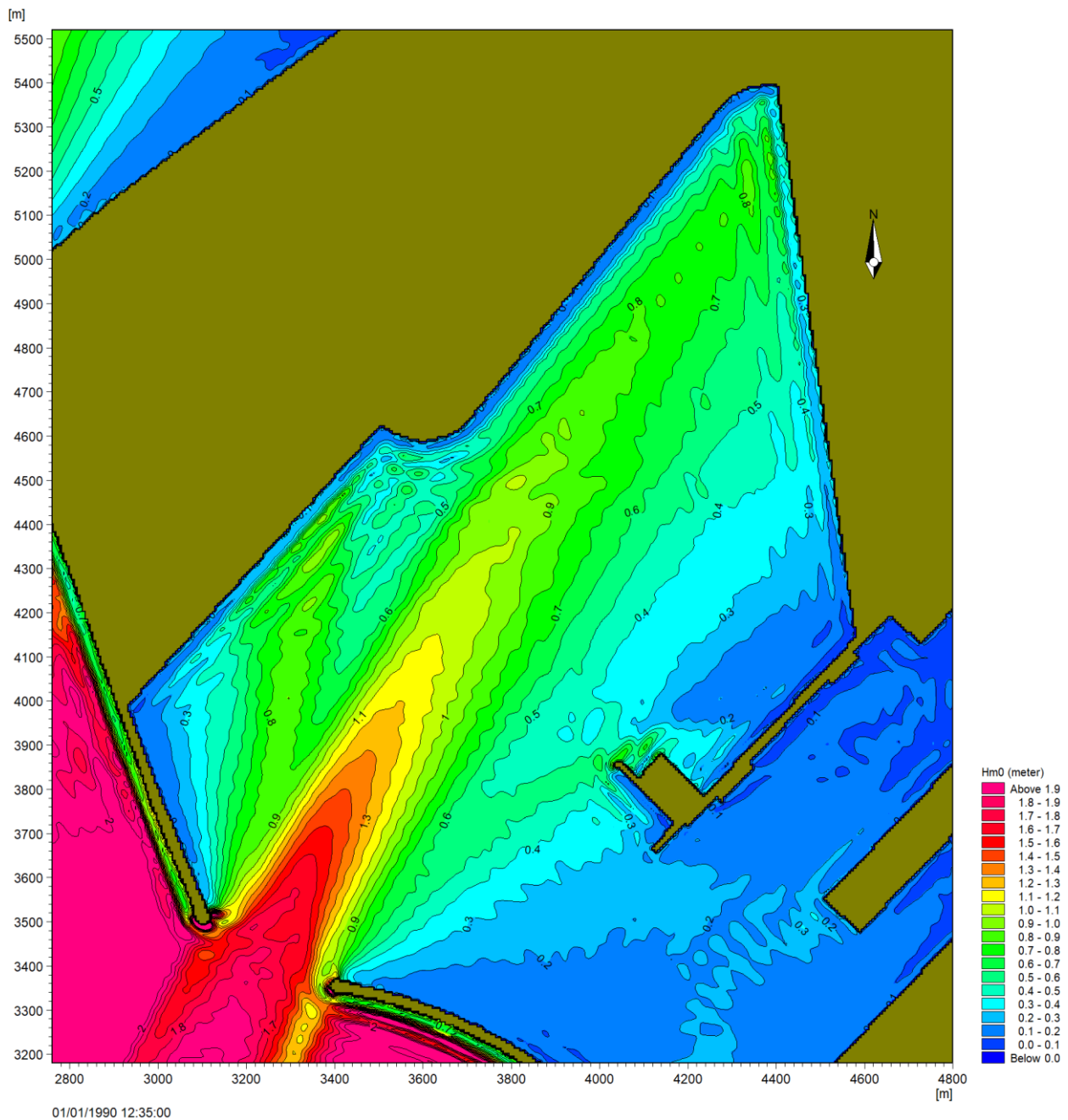


Figura 3.23 - Dettaglio del campo di moto ondoso per il TEST B 6 (mareggiata T_R 5 anni) proveniente dal settore $150^\circ \div 220^\circ N$ (Mezzogiorno-Libeccio) – direzione al largo $215^\circ N$

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

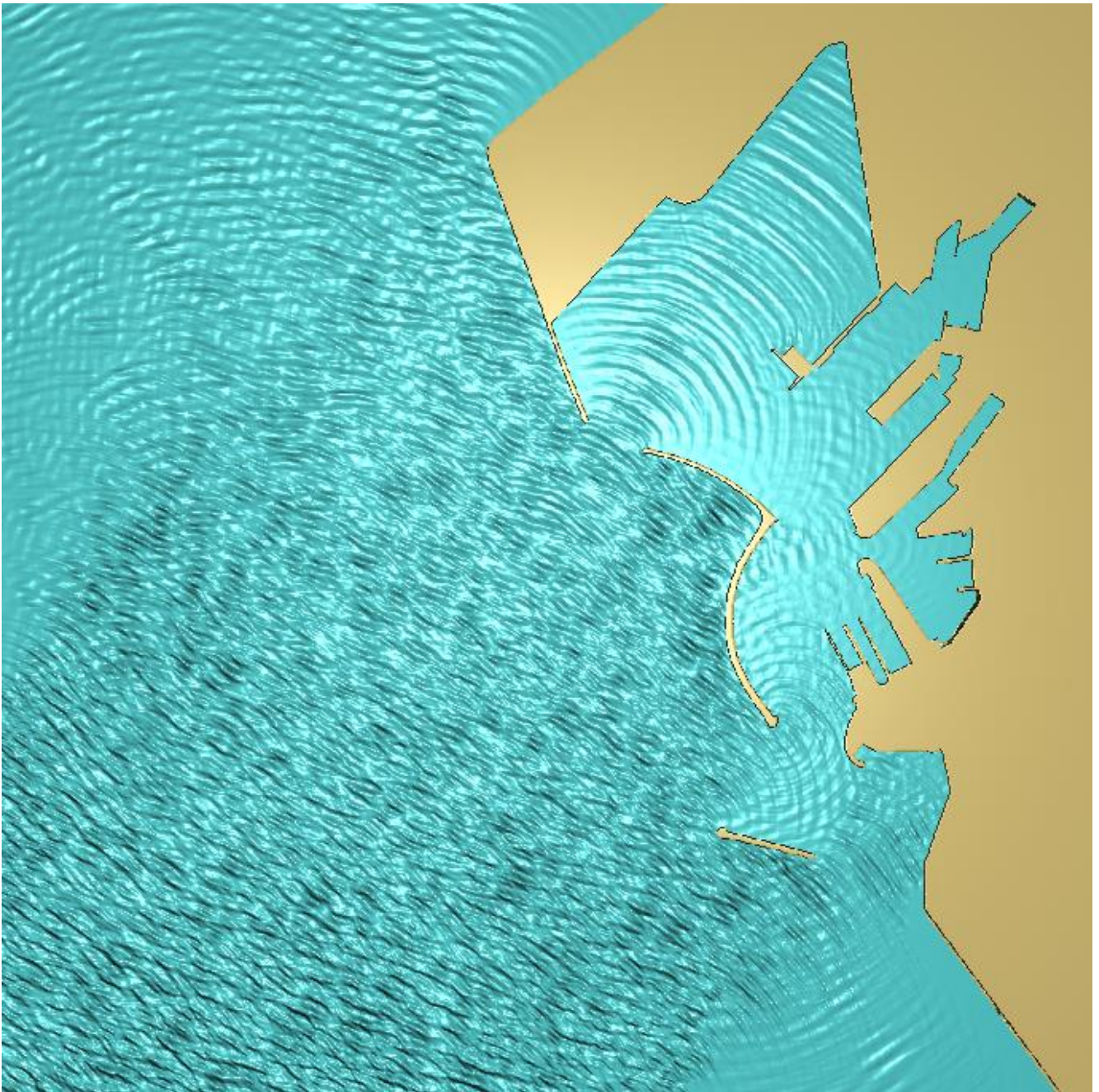


Figura 3.24 - Rappresentazione planimetrica dell'elevazione di superficie per il TEST B 6 (mareggiata T_R 5 anni) proveniente dal settore $150^\circ \div 220^\circ N$ (Mezzogiorno-Libeccio) – direzione al largo $215^\circ N$

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

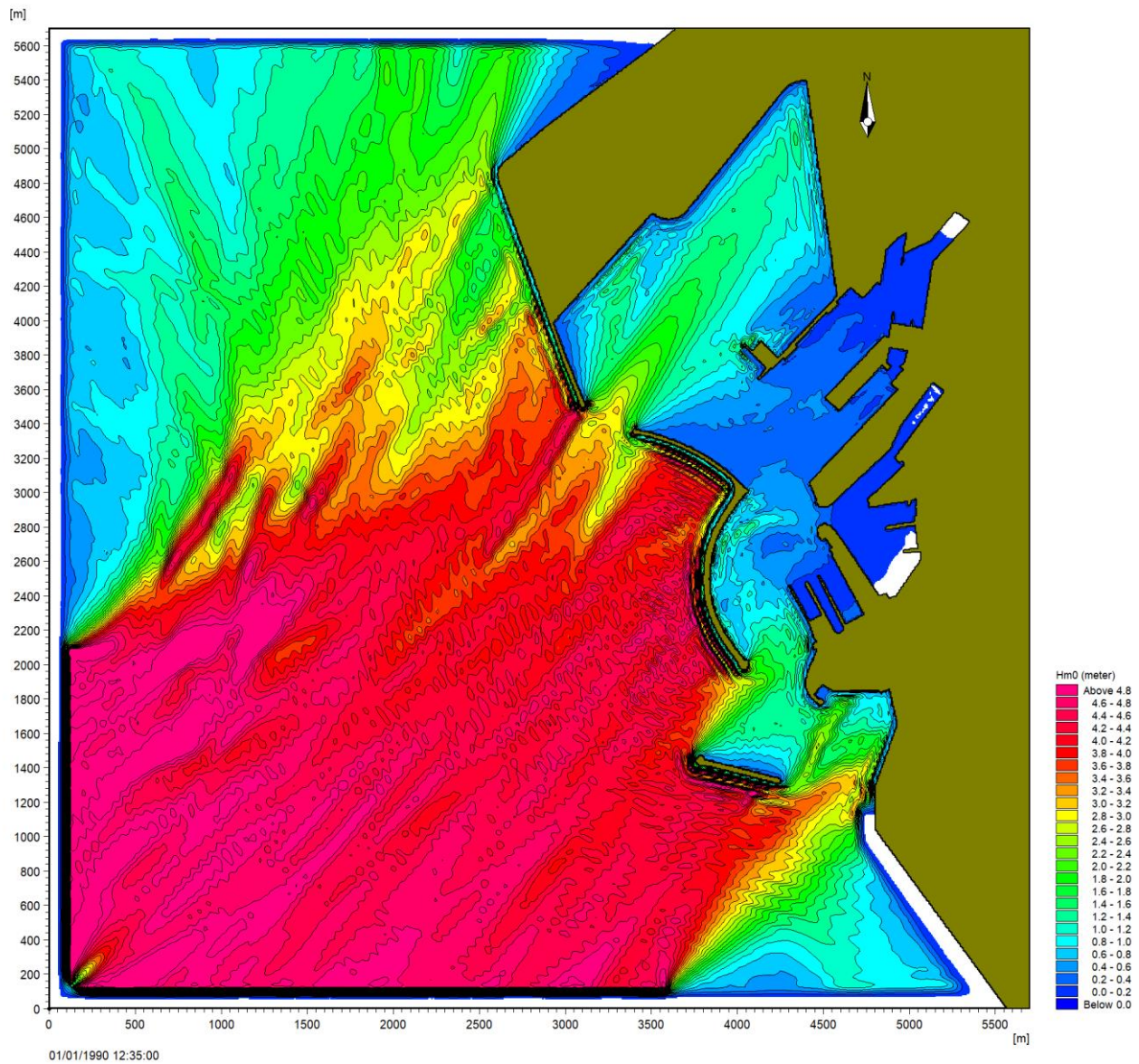


Figura 3.25 - Campo delle altezze d'onda significative per il TEST B 7 (mareggiata T_R 5 anni) proveniente dal settore $220^\circ \div 280^\circ N$ (Libeccio-Ponente) – direzione al largo $245^\circ N$

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

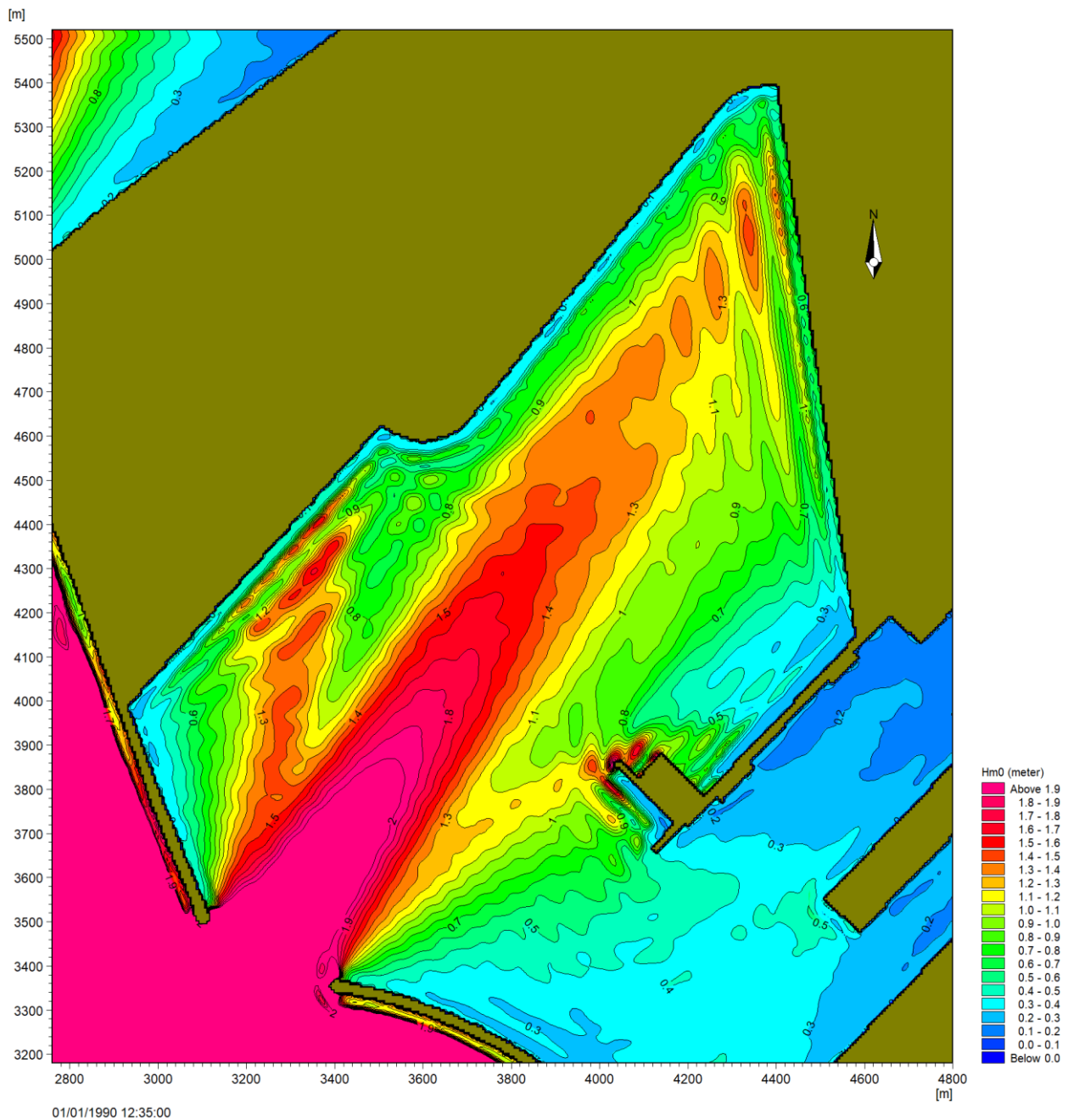


Figura 3.26 - Dettaglio del campo di moto ondoso per il TEST B 7 (mareggiata T_R 5 anni) proveniente dal settore $220^\circ \div 280^\circ N$ (Libeccio-Ponente) – direzione al largo $245^\circ N$

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

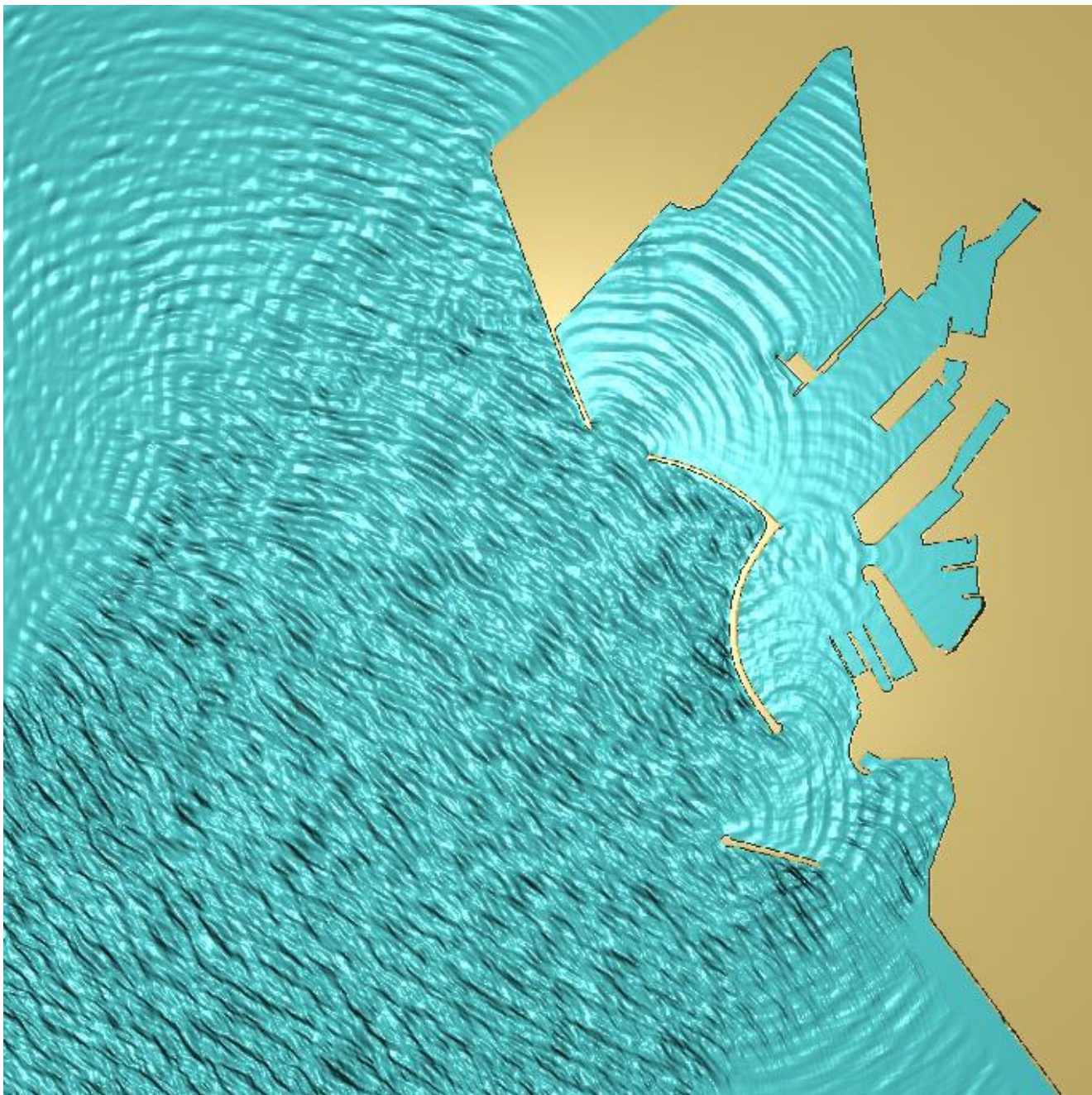


Figura 3.27 - Rappresentazione planimetrica dell'elevazione di superficie per il TEST B 7 (mareggiata T_R 5 anni) proveniente dal settore $220^\circ \div 280^\circ N$ (Libeccio-Ponente) – direzione al largo $245^\circ N$

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto Definitivo	Elaborato: IDRAULICA MARITTIMA 1233_PD-D-003_3.docx
---	--	--

3.2.3 Mareggiate con durata 1 giorno/anno

Nelle successive figure, è riportato il campo di moto ondoso in termini di altezza significativa per la mareggiata proveniente al largo da 215°N (TEST C 6 da Mezzogiorno-Libeccio, Figura 3.28 e Figura 3.29) e da 225°N (TEST C 13 da Libeccio-Ponente, Figura 3.31 e Figura 3.32). Le figure fanno riferimento all'intera griglia di calcolo e ad un dettaglio del nuovo bacino portuale.

Le mareggiate caratterizzate da durata pari a 1 giorno all'anno penetrano nello specchio acqueo antistante il nuovo terminal con valori massimi dell'altezza d'onda significativa dell'ordine del mezzo metro per la mareggiata da Mezzogiorno-Libeccio (TEST C 6) e dell'ordine di un metro per quella da Libeccio-Ponente (TEST C 13).

In corrispondenza della banchina del futuro Terminal Container, i valori di altezza significativa sono ampiamente inferiori al metro, con valori mediamente pari a circa 0.4 m per la mareggiata C 6; per la mareggiata C 13 si osservano valori di altezza d'onda inferiori al metro in buona parte della banchina, con valori massimi prossimi al metro nel solo tratto settentrionale.

In Figura 3.30 e Figura 3.33 è riportata una rappresentazione tridimensionale, con focus nell'area dell'imboccatura, rispettivamente per la mareggiata C 6 e C 13, nella quale si evidenzia la progressiva diminuzione dell'altezza d'onda che penetra all'interno del bacino.

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

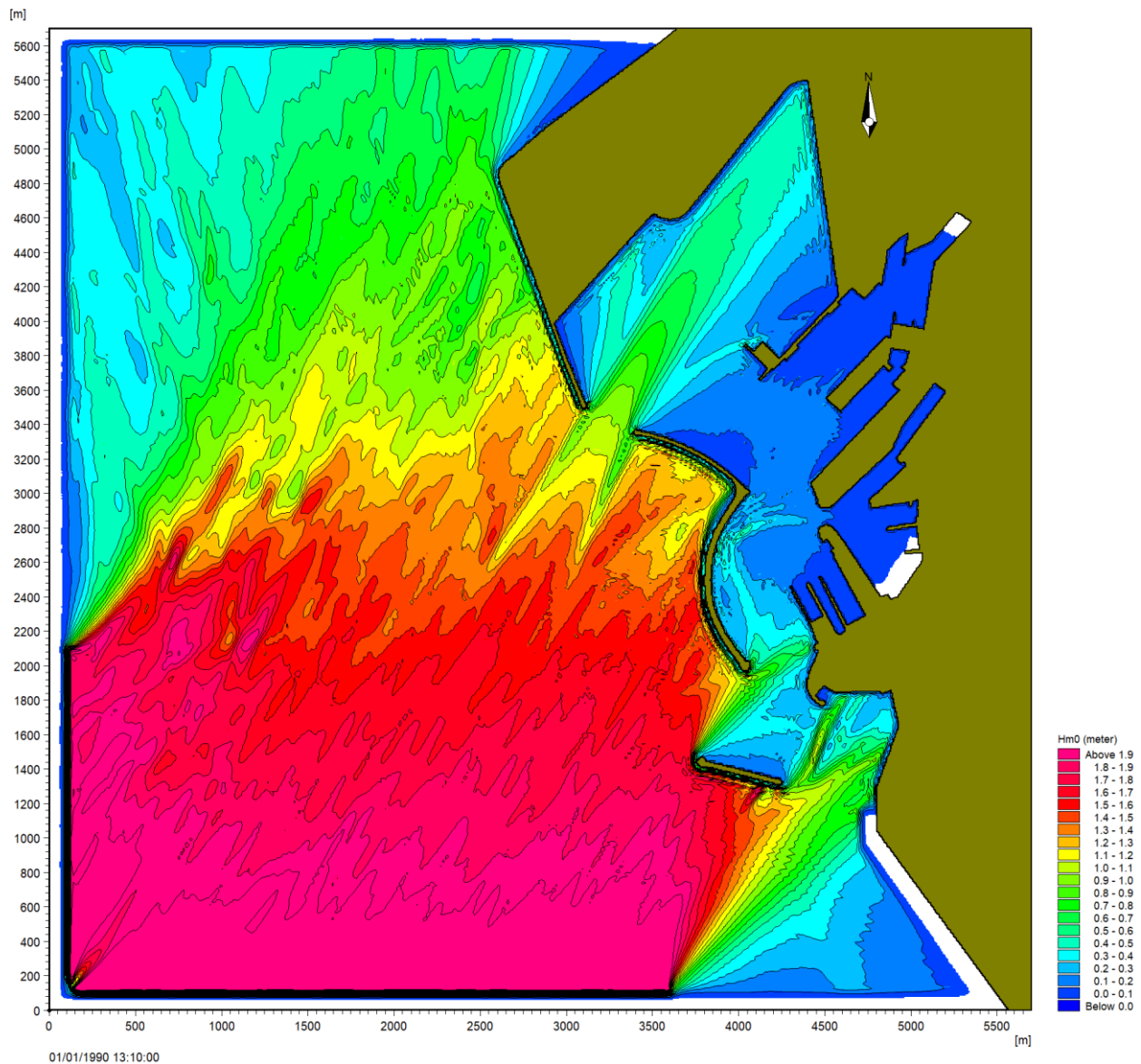


Figura 3.28 - Campo delle altezze d'onda significative per il TEST C 6 (mareggiata durata 1g/anno) proveniente dal settore $150^{\circ}\div 220^{\circ}N$ (Mezzogiorno-Libeccio) – direzione al largo $215^{\circ}N$

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

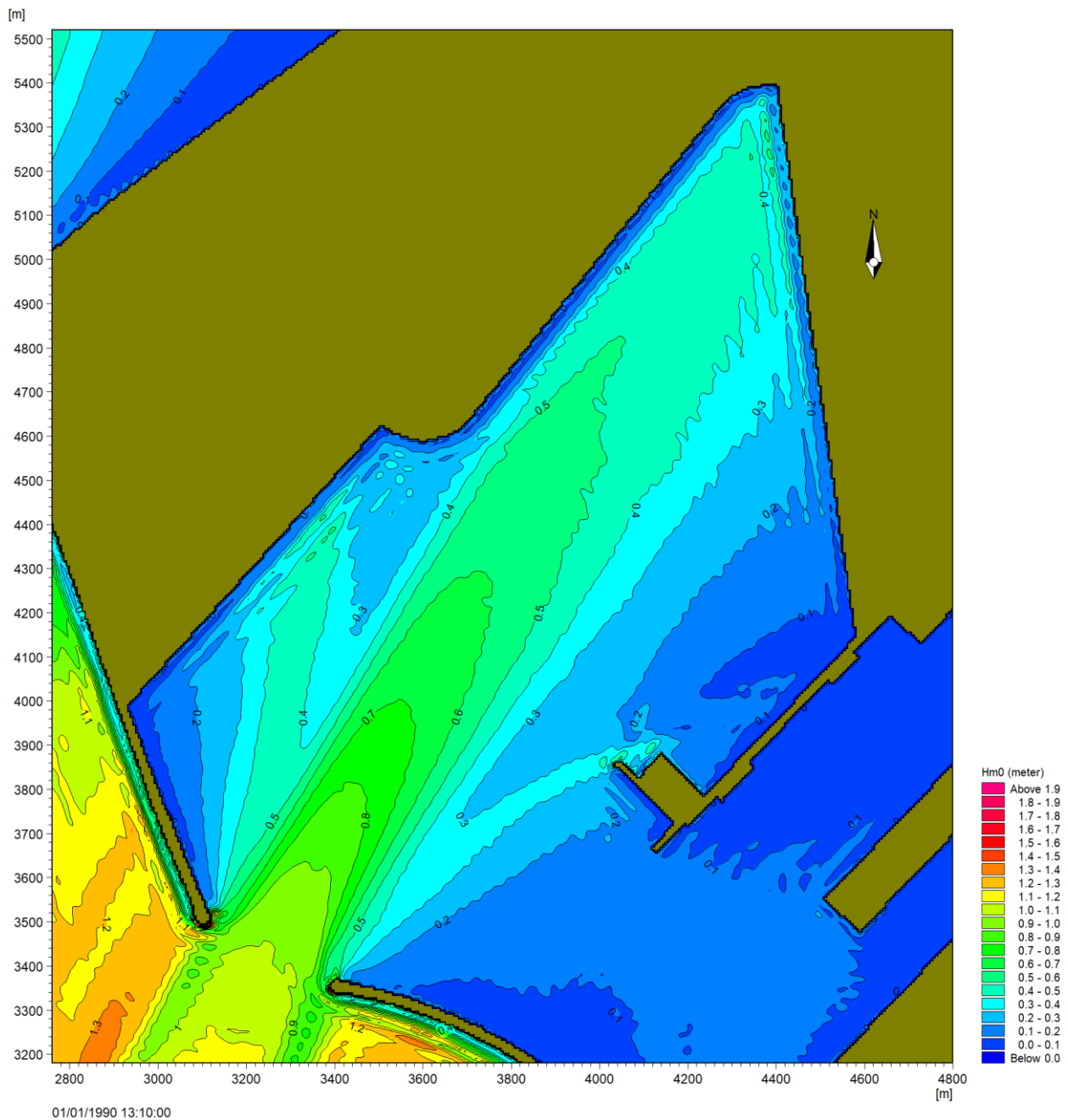


Figura 3.29 - Dettaglio del campo di moto ondoso per il TEST C 6 (mareggiata durata 1g/anno) proveniente dal settore $150^{\circ} \div 220^{\circ} N$ (Mezzogiorno-Libeccio) – direzione al largo $215^{\circ} N$

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

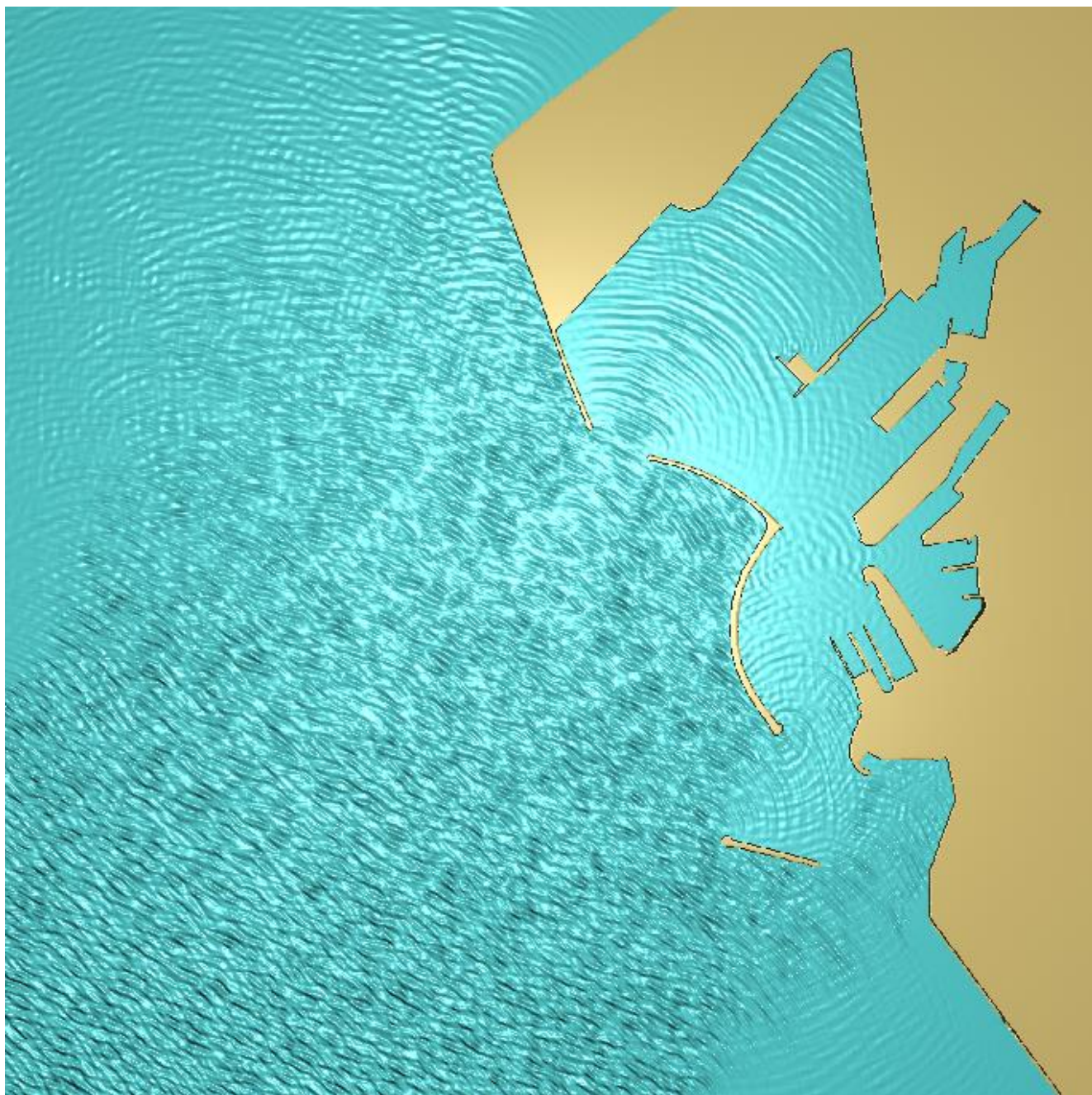


Figura 3.30 - Rappresentazione planimetrica dell'elevazione di superficie per il TEST C 6 (mareggiata durata 1g/anno) proveniente dal settore 150°÷220°N (Mezzogiorno-Libeccio) – direzione al largo 215°N

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

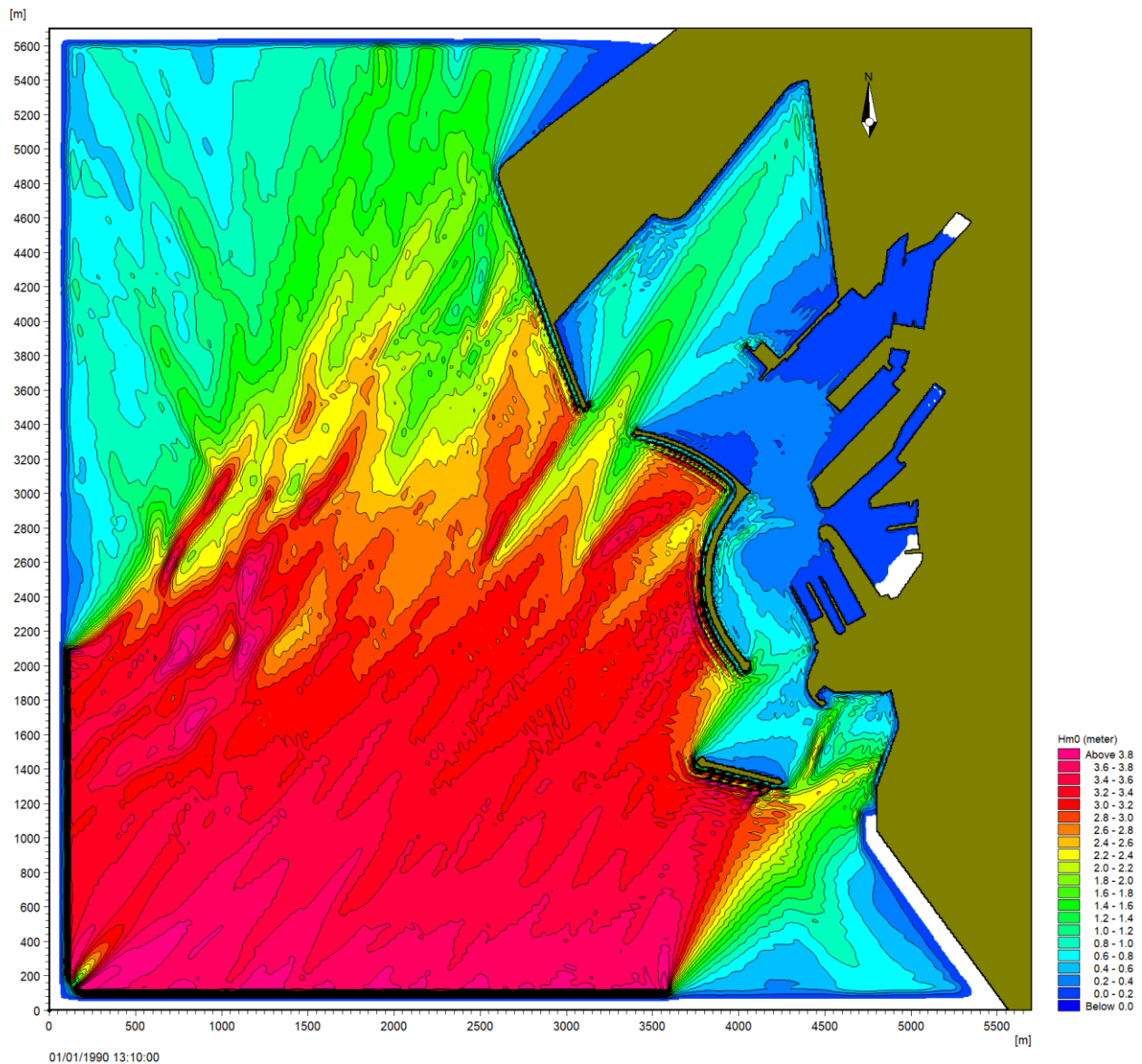


Figura 3.31 - Campo delle altezze d'onda significative per il TEST C 13 (mareggiata durata 1g/anno) proveniente dal settore 220°÷280°N (Libeccio-Ponente) – direzione al largo 225°N

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

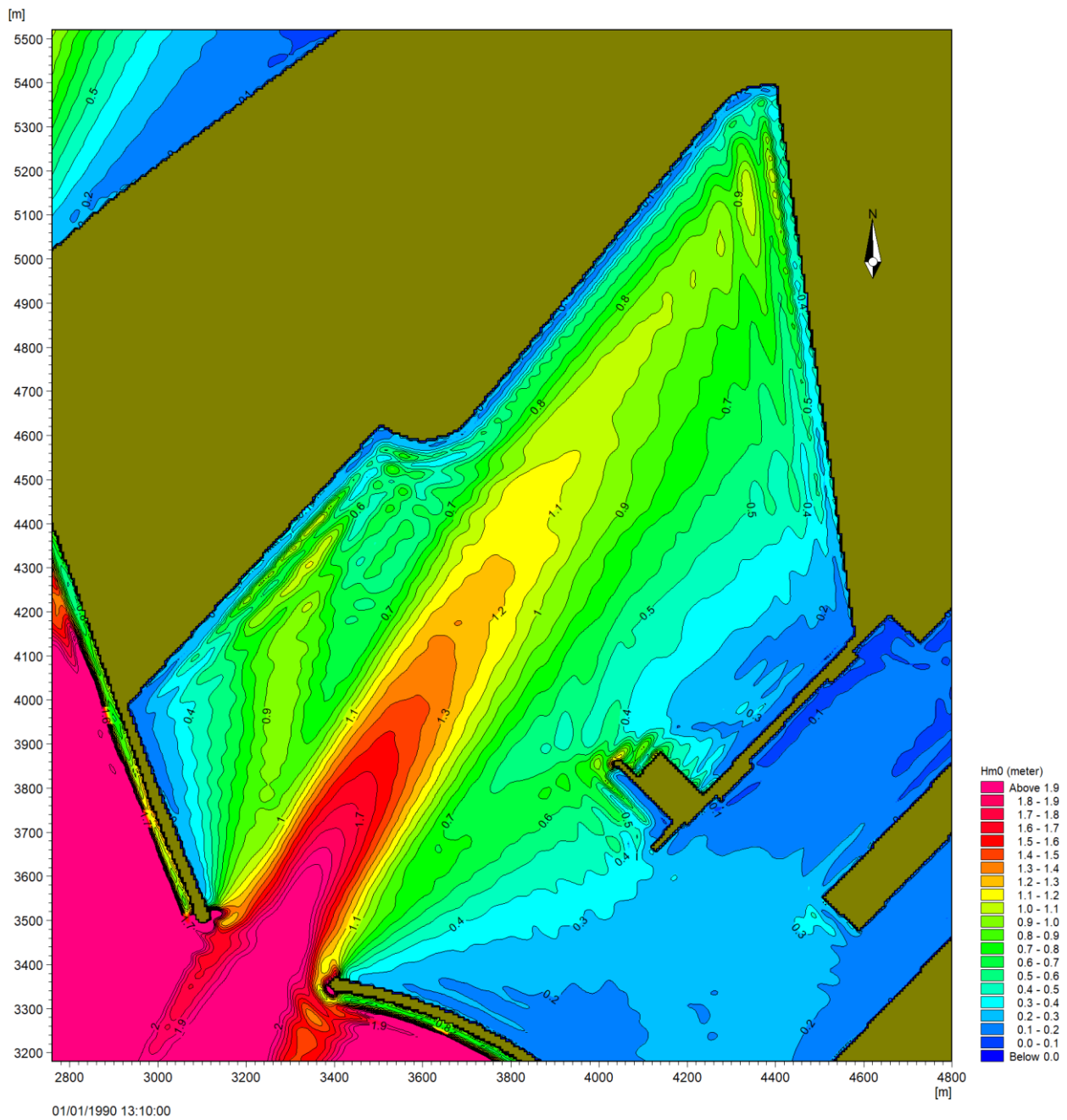


Figura 3.32 - Dettaglio del campo di moto ondoso per il TEST C 13 (mareggiata durata 1g/anno) proveniente dal settore $220^{\circ}\div 280^{\circ}$ N (Libeccio-Ponente) – direzione al largo 225° N

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

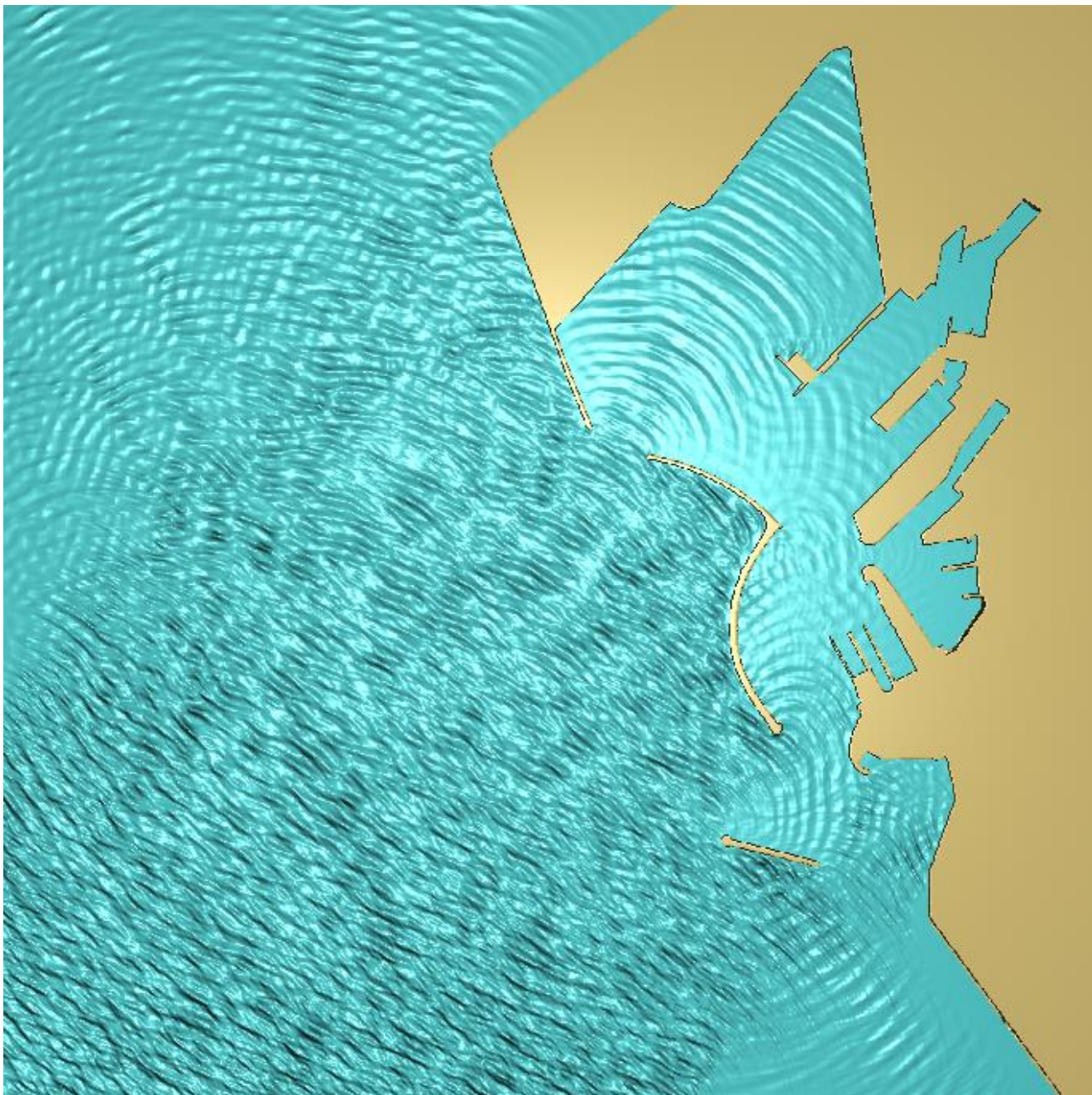


Figura 3.33 - Rappresentazione 3D del campo di moto ondoso per il TEST C 13 (mareggiata durata 1g/anno) proveniente dal settore 220°÷280°N (Libeccio-Ponente) – direzione al largo 225°N

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto Definitivo	Elaborato: IDRAULICA MARITTIMA 1233_PD-D-003_3.docx
---	--	--

3.2.4 Mareggiate con durata 7 giorni/anno

Nelle successive figure è riportato il campo di moto ondoso in termini di altezza significativa (onda incidente e riflessa) per la mareggiata proveniente al largo da 215°N, (TEST C 12 da Mezzogiorno-Libeccio, Figura 3.34 e Figura 3.35) e da 225°N, (TEST C18 da Libeccio-Ponente, Figura 3.37 e Figura 3.38). Le figure fanno riferimento all'intera griglia di calcolo e al dettaglio del nuovo bacino portuale.

Le mareggiate caratterizzate da durata pari a 7 giorni all'anno penetrano nel bacino più interno con valori massimi dell'altezza d'onda significativa inferiori ai 40 cm per la mareggiata C 12 (Mezzogiorno-Libeccio) e dell'ordine dei 70 cm per la C 18 (Libeccio-Ponente). In corrispondenza della banchina del futuro Terminal Container, i valori di altezza significativa sono ampiamente inferiori al mezzo metro per la mareggiata C 12, mentre per la C 18 si osservano valori di poco superiori al mezzo metro nel solo tratto settentrionale.

In Figura 3.36 e Figura 3.39 è riportata una rappresentazione tridimensionale della propagazione del moto ondoso, con focus nell'area dell'imboccatura, che si riferisce rispettivamente alla mareggiata C 12 e C 18.

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

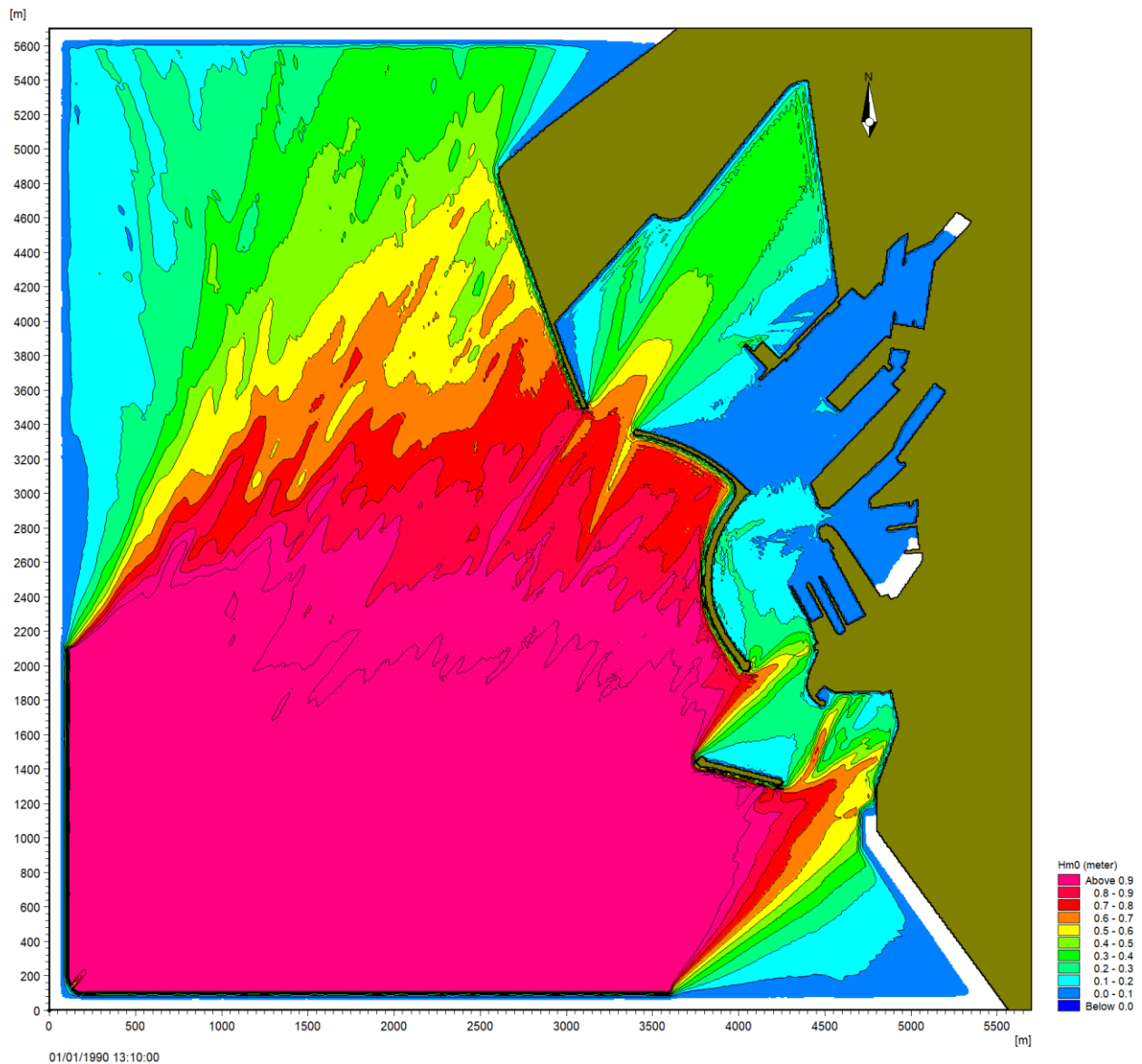


Figura 3.34 - Campo delle altezze d'onda significative per il TEST C 12 (mareggiata durata 7 gg/anno) proveniente dal settore 150°÷220°N (Mezzogiorno-Libeccio) – direzione al largo 215°N

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

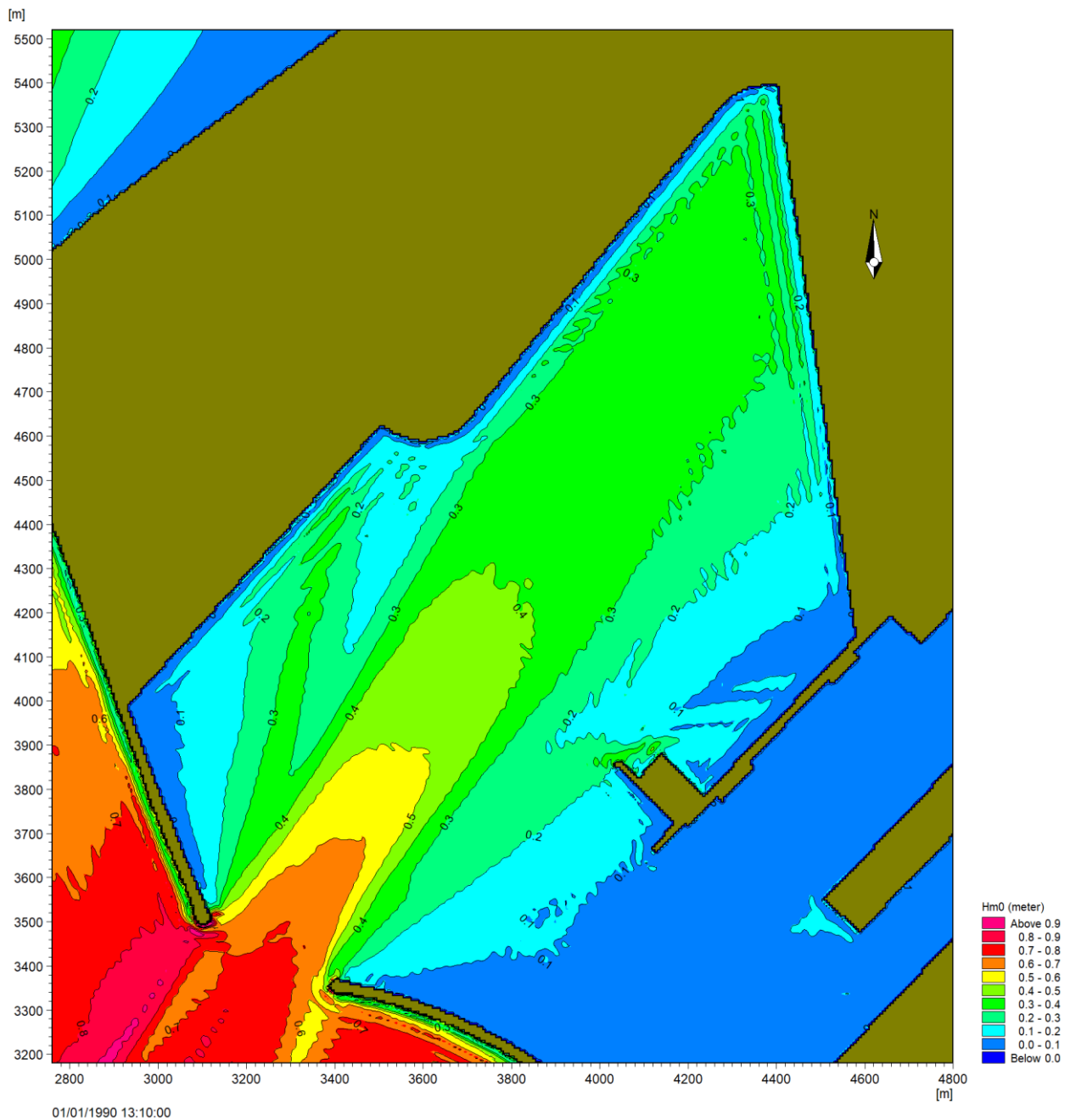


Figura 3.35 - Dettaglio del campo di moto ondoso per il TEST C12 (mareggiata durata 7 gg/anno) proveniente dal settore $150^{\circ} \div 220^{\circ}N$ (Mezzogiorno-Libeccio) – direzione al largo $215^{\circ}N$

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

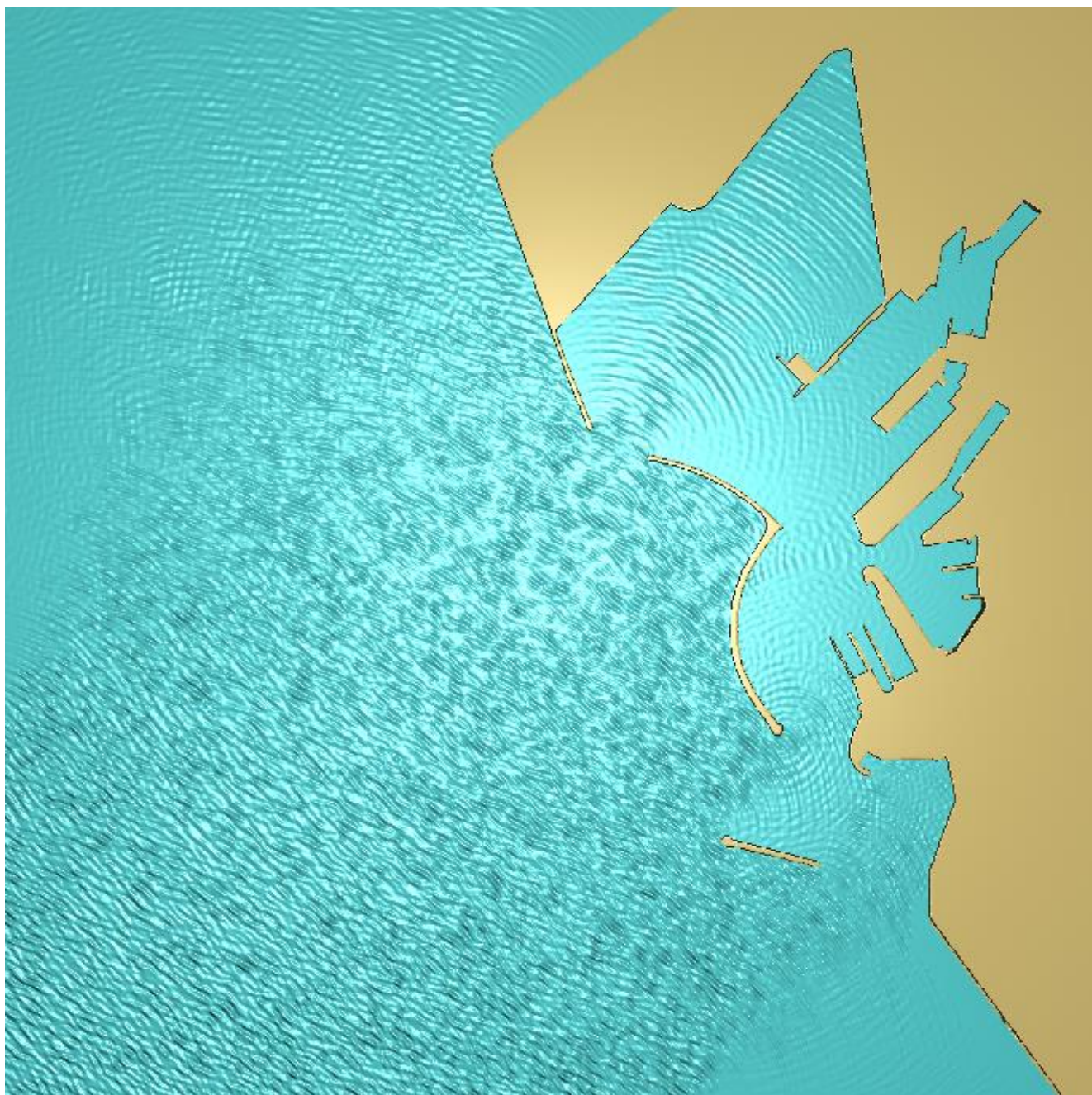


Figura 3.36 - Rappresentazione planimetrica dell'elevazione di superficie per il TEST C 12 (mareggiata durata 7 gg/anno) proveniente dal settore 150°÷220°N (Mezzogiorno-Libeccio) – direzione al largo 215°N

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

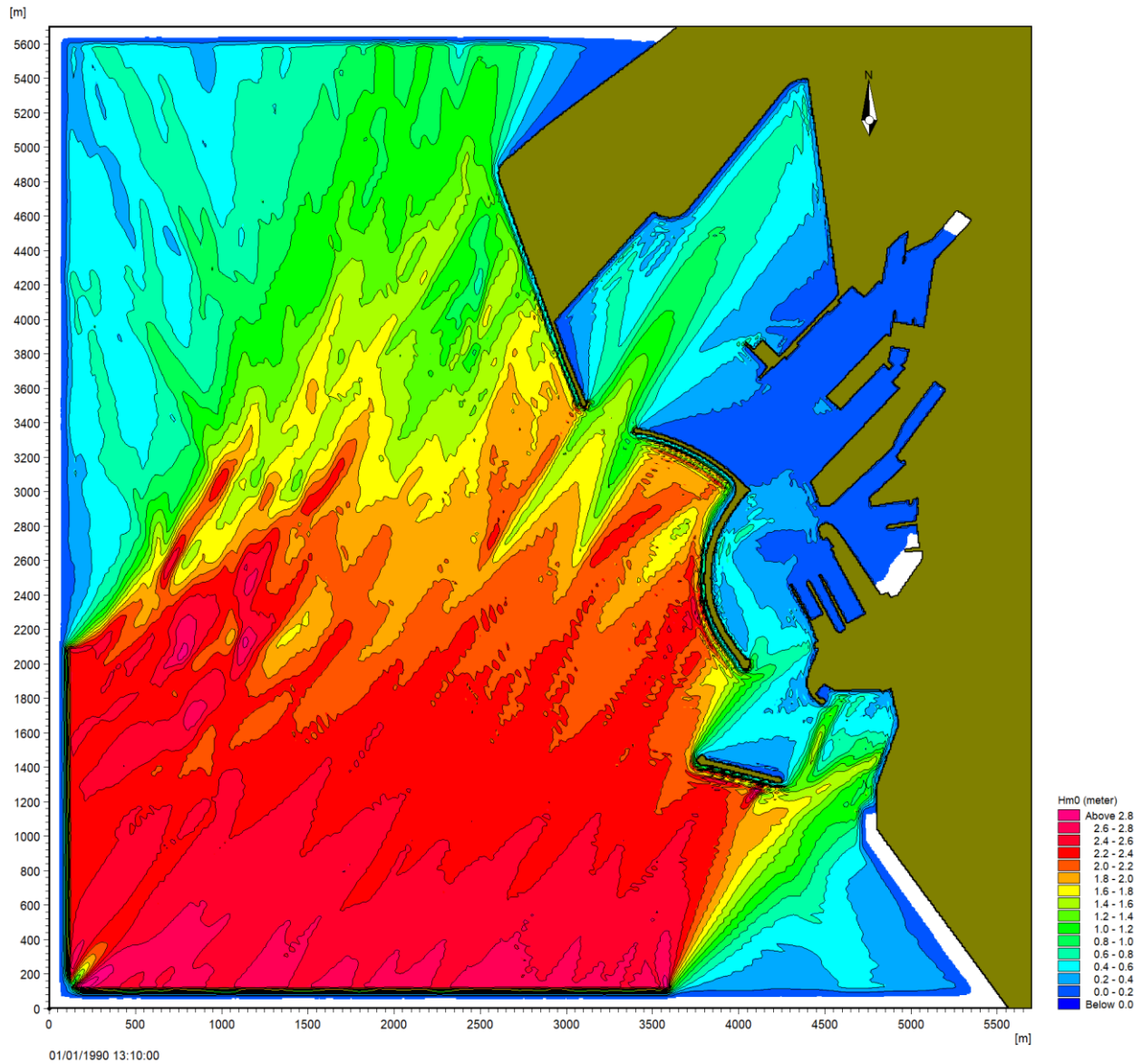


Figura 3.37 - Campo delle altezze d'onda significative per il TEST C 18 (mareggiata durata 7 gg/anno) proveniente dal settore $220^{\circ}\div 280^{\circ}$ N (Libeccio-Ponente) – direzione al largo 225° N

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

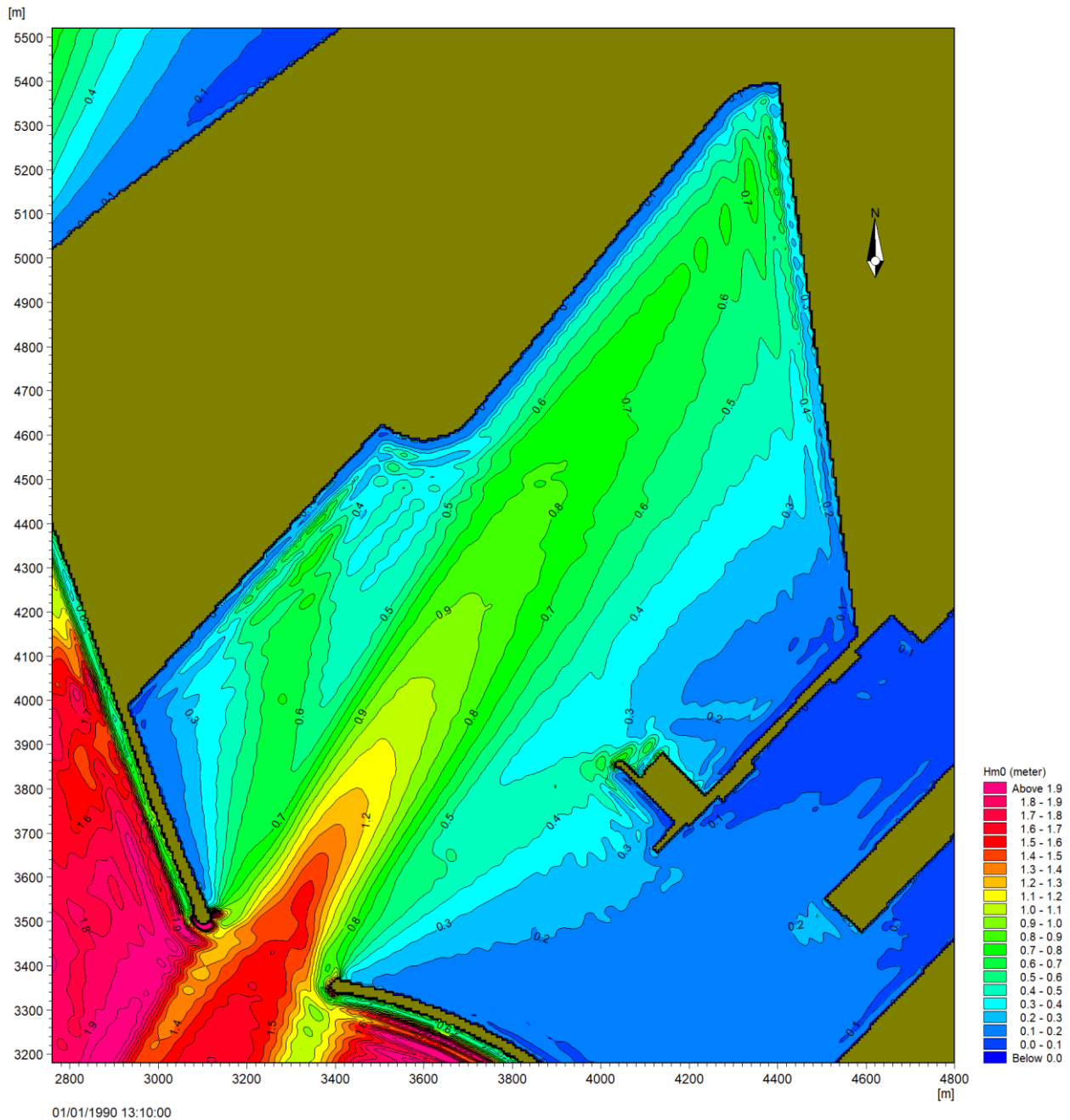


Figura 3.38 - Dettaglio del campo di moto ondoso per il TEST C 18 (mareggiata durata 7 gg/anno) proveniente dal settore $220^{\circ}\div 280^{\circ}$ N (Libeccio-Ponente) – direzione al largo 225° N

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

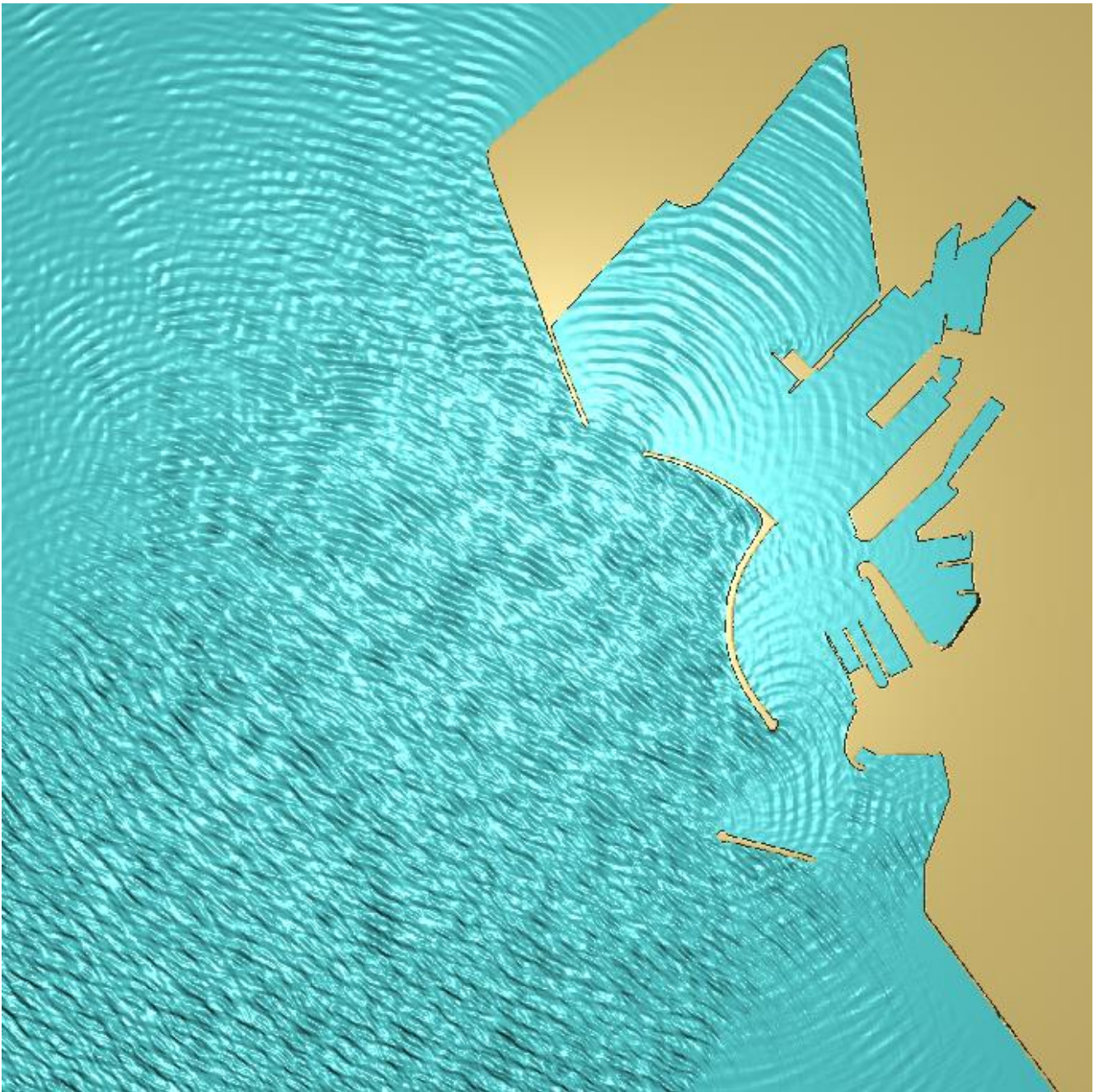


Figura 3.39 - Rappresentazione planimetrica dell'elevazione di superficie per il TEST C 18 (mareggiata durata 7 gg/anno) proveniente dal settore 220°÷280°N (Libeccio-Ponente) – direzione al largo 225°N

Progetto:	Livello progettazione:	Elaborato:
Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Progetto Definitivo	IDRAULICA MARITTIMA 1233_PD-D-003_3.docx

4 CONCLUSIONI

Le condizioni di operatività del futuro Terminal Container saranno oggetto dei più approfonditi studi che saranno eseguiti nell'ambito della progettazione di tale opera. Per le finalità del presente Progetto Definitivo, risulta invece di maggiore interesse valutare le condizioni di sicurezza per le navi. Nell'ambito di tale valutazione, va tenuto in considerazione che il layout di progetto discende da una serie di considerazioni in merito alla sicurezza ed alla fattibilità delle manovre di ingresso/accosto e di partenza/uscita, condotte dalla Stazione Appaltante con il supporto di Capitaneria e Piloti, comandanti dei locali rimorchiatori. Le valutazioni si basano su una serie di test al simulatore eseguiti presso il CETENA di Genova; le simulazioni hanno evidenziato le difficoltà ed i pericoli connessi alla manovra delle grandi navi con il layout previsto dal DPP (PRP fase 1) e dal PFTE ed hanno portato al layout di progetto attuale. Le modifiche apportate al PFTE hanno comportato l'estensione degli specchi acquei dragati e l'eliminazione o l'accorciamento delle opere in grado di creare intralcio alla manovra delle navi e dei rimorchiatori. Il layout risultante ha spinto al limite – ed era proprio questa la direttiva funzionale di progetto – l'esposizione delle banchine interne, privilegiando la sicurezza della manovra rispetto alla riduzione del moto ondoso in banchina.

Per definire i valori di altezza d'onda significativa limite la sicurezza e per l'esecuzione delle operazioni di carico/scarico sarebbe necessario fare riferimento alle caratteristiche delle navi e alla sensibilità e tolleranza operativa dei sistemi di ormeggio (attivi o passivi). Tali valori limite andrebbero più propriamente accordati con il Terminalista in relazione alla gestione del terminal stesso, della sua sicurezza e delle procedure operative in caso di eventi estremi. Poiché in questa fase non è ancora stato individuato il soggetto che gestirà il futuro Terminal Container, né è disponibile un progetto delle banchine, tali valori sono stati stimati sulla base di valori suggeriti nella letteratura di settore e dell'esperienza.

In Tabella 4.1 sono riportate le condizioni limite all'ormeggio in termini di velocità del vento e altezza d'onda; le grandi navi portacontainer possono essere in prima analisi assimilate alle petroliere, in grado di tollerare un'onda al traverso fino a 2 m di altezza (nel caso specifico l'incidenza è obliqua, vedi per esempio Figura 3.39).

In linea generale, si osserva che i risultati delle simulazioni eseguite per la configurazione di progetto hanno evidenziato come le condizioni di agitazione ondosa estrema ($T_R=50$ e 5 anni), in prossimità della banchina del futuro Terminal Container, siano caratterizzate da altezze significative massime inferiori ai 2 m (cfr. valore definito in Tabella 4.1 per la sicurezza all'ormeggio di una grande petroliera – assimilabile a una portacontainer di pari stazza - per onda al traverso). Le simulazioni sono state effettuate assumendo la concomitanza del livello di progetto di +1.52 m s.m.m. (combinazione certamente associabile a tempi di ritorno superiori) ed il modello è stato forzato imponendo ai battitori le condizioni più sfavorevoli presenti lungo lo sviluppo di ciascun battitore.

Va osservato anche che, in tutti i casi analizzati, i risultati delle simulazioni BOUSSINESQ fanno riferimento all'altezza d'onda risultante dalla somma dell'altezza incidente in banchina più quella riflessa. Fare riferimento a tale grandezza risulta di per sé già cautelativo, perché l'onda che investe la nave non riesce poi a riflettersi sulla retrostante banchina.

Al fine di fornire una valutazione delle condizioni di moto ondoso in prossimità della banchina, dalle simulazioni condotte sono state estratte le altezze d'onda relative alle condizioni di moto ondoso estreme lungo una serie di transetti paralleli alla banchina, a 20, 40, 60 e 80 m dal filo banchina (cfr. successiva Figura 4.1). I valori di altezza d'onda lungo i transetti, per le 4 mareggiate estreme (TEST A 6, A 7, B 6 e B 7) sono riportati nei grafici in Figura 4.2; la progressiva 0 corrisponde all'estremo Nord della

banchina. I grafici mostrano che i valori di altezza d'onda maggiori si rilevano nel tratto settentrionale della banchina. Per le onde da Mezzogiorno-Libeccio (TEST A 6 e B 6), la zona interessata dalle altezze maggiori è si trova a circa 200 m dall'estremo Nord della banchina. Per le mareggiate di Libeccio-Ponente (TEST A 7 e B 7), il tratto interessato dalle maggiori altezze, risulta invece circa 100 m più a Sud; le altezze d'onda massime sono comprese tra i 1.75 m (TEST A 7) e 0.90 m (TEST B 6).

È opportuno ricordare che tali condizioni di agitazione si riferiscono ad eventi estremi, per i quali, in prima approssimazione si ritiene che le navi possano restare ormeggiate in sicurezza, ancorché certamente non operative per il carico/scarico. Le operazioni di carico/scarico, in condizioni estreme (anche meno estreme), saranno presumibilmente comunque inibite dalla velocità del vento. Per valutare nel dettaglio le condizioni di sicurezza della nave è necessario definire i valori di altezza d'onda significativa limite per l'ormeggio, che dipendono dalle navi e dai sistemi di ormeggio.

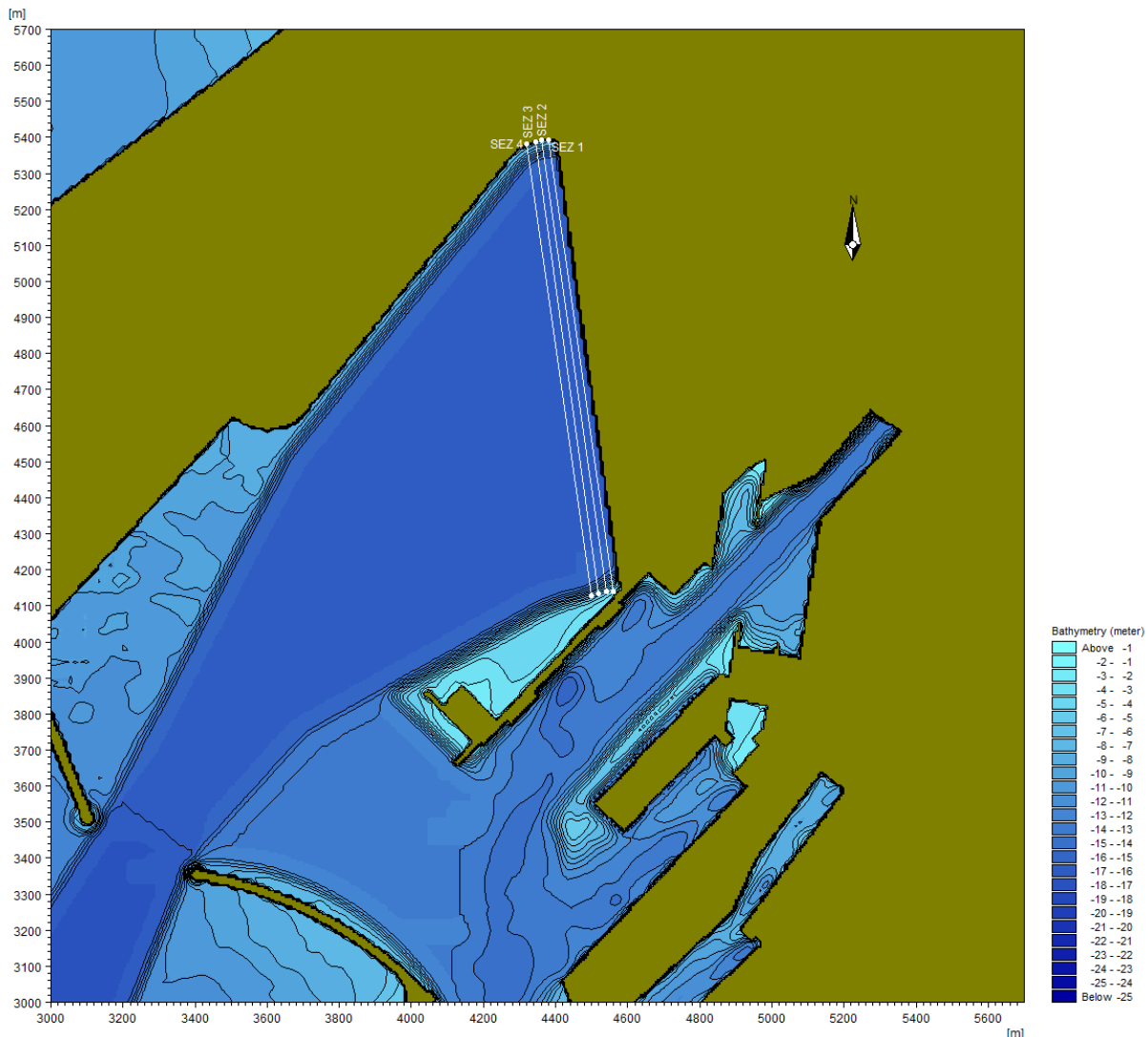


Figura 4.1 - Posizione delle sezioni di estrazione dei valori di altezza significativa lungo la banchina di riva

Per quanto riguarda le condizioni di agitazione ondosa in occasione delle mareggiate più frequenti, per le mareggiate aventi frequenza di superamento di 1 g/anno sono stati ottenuti valori di altezza d'onda massima di circa 0.8 m (Figura 3.32), mentre il valore di 0.5 m viene superato per circa i tre quinti dello sviluppo della banchina (tratto a Nord); si tratta di valori certamente superiori a quelli suggeriti per

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

l'operatività della banchina. Per le mareggiate più frequenti (7 gg/anno), l'altezza d'onda residua massima in banchina è di circa 0.7 m (Figura 3.38), ma il valore di 0.5 m viene superato solo nel terzo settentrionale della banchina.

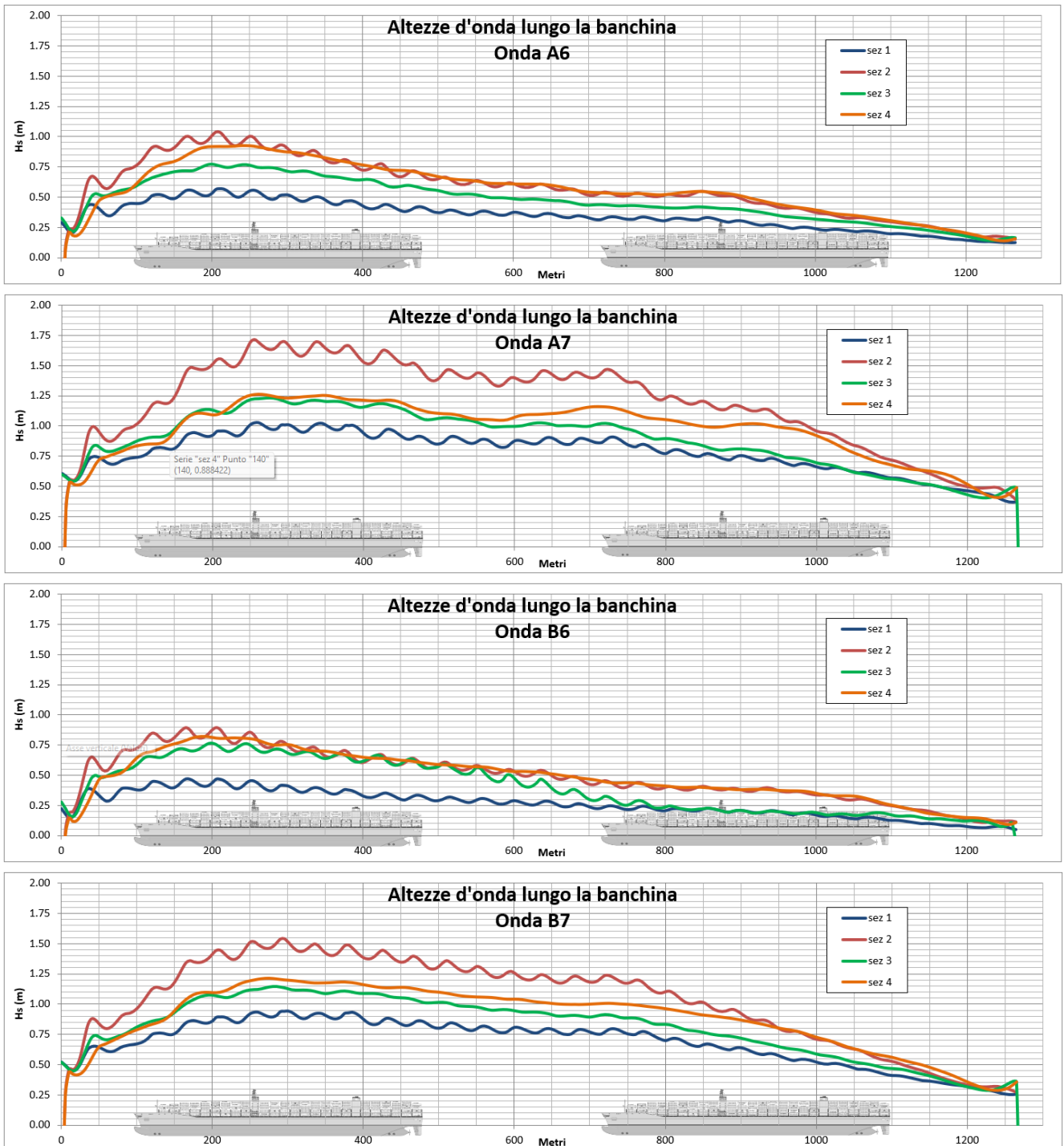


Figura 4.2 - Valori di altezza significativa lungo la banchina di riva per le mareggiate estreme

Va comunque evidenziato che le principali condizioni limitanti per le operazioni di carico e scarico saranno presumibilmente legate alla velocità del vento. L'analisi dettagliata dell'operatività sarà sviluppata in fase di progettazione del Terminal Containeri, sulla base dei sistemi di ormeggio e di

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233_PD-D-003_3.docx

movimentazione dei container. In Tabella 4.2 e Tabella 4.3 sono riportati alcuni riferimenti per le condizioni ottimali di operatività.

Description	$V_{W,1\ min}$	$V_{F,1\ min}$	H_s
1. Vessel berthing			
• Forces longitudinal to the quay	17.0 m/s	1.0 m/s	2.0 m
• Forces transverse to the quay	10.0 m/s	0.1 m/s	1.5 m
2. Loading and unloading operation stoppage (conventional equipment)			
• Forces longitudinal to the quay			
– Oil tankers			
< 30,000 DWT	22 m/s	1.5 m/s	1.5 m
30,000 DWT – 200,000 DWT	22 m/s	1.5 m/s	2.0 m
> 200,000 DWT	22 m/s	1.5 m/s	2.5 m
– Bulk carriers			
Loading	22 m/s	1.5 m/s	1.5 m
Unloading	22 m/s	1.5 m/s	1.0 m
– Liquid Gas Carriers			
< 60,000 m ³	22 m/s	1.5 m/s	1.2 m
> 60,000 m ³	22 m/s	1.5 m/s	1.5 m
– General cargo merchant ships, deep sea fishing boats and refrigerated vessels	22 m/s	1.5 m/s	1.0 m
– Container ships, RoRo ships and ferries	22 m/s	1.5 m/s	0.5 m
– Liners and Cruise ships ¹	22 m/s	1.5 m/s	0.5 m
– Fishing boats	22 m/s	1.5 m/s	0.6 m
• Forces transverse to the quay			
– Oil tankers			
< 30,000 DWT	20 m/s	0.7 m/s	1.0 m
30,000 DWT – 200,000 DWT	20 m/s	0.7 m/s	1.2 m
> 200,000 DWT	20 m/s	0.7 m/s	1.5 m
– Bulk carriers			
Loading	22 m/s	0.7 m/s	1.0 m
Unloading	22 m/s	0.7 m/s	0.8 m
– Liquid Gas Carriers			
< 60,000 m ³	16 m/s	0.5 m/s	0.8 m
> 60,000 m ³	16 m/s	0.5 m/s	1.0 m
– General cargo merchant ships, deep sea fishing boats and refrigerated vessels	22 m/s	0.7 m/s	0.8 m
– Container ships, RoRo ships and ferries	22 m/s	0.5 m/s	0.3 m
– Liners and Cruise ships ¹	22 m/s	0.7 m/s	0.3 m
– Fishing boats	22 m/s	0.7 m/s	0.4 m
3. Vessel at quay			
• Oil tankers and Liquid Gas Carriers			
– Actions longitudinal to the quay	30 m/s	2.0 m/s	3.0 m
– Actions transverse to the quay	25 m/s	1.0 m/s	2.0 m
• Liners and Cruise ships ²			
– Actions longitudinal to the quay	22 m/s	1.5 m/s	1.0 m
– Actions transverse to the quay	22 m/s	0.7 m/s	0.7 m
• Recreational boats ²			
– Actions longitudinal to the quay	22 m/s	1.5 m/s	0.4 m
– Actions transverse to the quay	22 m/s	0.7 m/s	0.2 m
• Other types of vessel	Limitations imposed by the design loads		
Notes:	1. Conditions relative to passengers embarking or disembarking. 2. Conditions relative to the limits for passenger's comfort on board. 3. Longitudinal = wind, current or waves taken as acting longitudinally when their direction lies in the sector of $\pm 45^\circ$ relative to the vessel's longitudinal axis. 4. Transverse = wind, current or waves taken as acting transversally when their direction lies in the sector of $\pm 45^\circ$ relative to the vessel's transverse axis.		

Tabella 4.1 - Valori di riferimento per le condizioni limite all'ormeggio
(PIANC HARBOUR APPROACH CHANNELS DESIGN GUIDELINES, PIANC 2014)

Progetto:
 Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:
 Progetto Definitivo

Elaborato:
 IDRAULICA MARITTIMA
 1233_PD-D-003_3.docx

Principal motion	Jensen <i>et al.</i> , 1990	Smitz, 1992	PIANC, 1995	D'Hondt, 1999	Moes, 2000
Surge (m)	0.50	0.50	0.50	0.24	0.30
Sway (m)	0.40	0.30	0.60 ³	0.22	0.30
Heave (m)	0.45	0.30	0.40	0.20	0.30
Roll (deg)	1.50	1.00	1.50	0.24	0.50
Pitch (deg)	0.75	-	0.50	0.40	0.50
Yaw (deg)	0.25	-	0.50	0.10	0.50

Tabella 4.2 - Valori di riferimento tradizionali per ottenere il 100% di operatività in fase di sbarco dei container in termini di massimo spostamento della nave

(Criteria for the (Un)loading of Container Vessels, PIANC 115/2012)

Placing criterion	Basis for placing criterion	Maximum allowable significant surge motion amplitude ($T_{\text{surge}} = 30 \text{ s} - 100 \text{ s}$)
0.1 m	Twist-lock pins	0.2 m
0.2 m	Spreader flaps	0.4 m

Tabella 4.3 - Valori di riferimento proposti dal PIANC per ottenere il 95% di operatività in fase di sbarco dei container in termini di movimento verticale della nave

(Criteria for the (Un)loading of Container Vessels, PIANC 115/2012)

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto Definitivo	Elaborato: IDRAULICA MARITTIMA 1233_PD-D-003_3.docx
--	---	---

5 APPENDICE – DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO BOUSSINESQ

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 delle equazioni comprende un significativo miglioramento nella caratteristica della dispersione. Questo permette al MIKE21BW 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 laddove 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 il 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.

5.1 Descrizione generale

I due moduli inclusi nel MIKE21BW sono basati sulla soluzione numerica nel dominio del tempo delle equazioni di Boussinesq. Le equazioni di Boussinesq includono termini non lineari così come la dispersione nella frequenza. Inizialmente tale dispersione è introdotta nelle equazioni della quantità di moto, tenendo conto dell'effetto che le accelerazioni verticali hanno sulla distribuzione della pressione. Entrambi i metodi risolvono le equazioni tipo di Boussinesq usando una equazione del flusso con caratteristiche di dispersione lineare migliorate. Queste equazioni di Boussinesq avanzate fanno sì che i moduli siano adatti per simulazioni della propagazione di treni d'onda direzionali che viaggiano dalle acque profonde alle acque basse. La profondità massima relativa alla lunghezza d'onda in acque profonde è $h/L_0 \approx 0.5$, mentre per le equazioni classiche di Boussinesq $h/L_0 \approx 0.22$. Le equazioni del modello sono state estese per tenere conto del frangimento e dello spostamento della linea di riva.

Il MIKE21BW include i due moduli:

- 2DHBoussinesqwavemodule;
- 1HBoussinesqwavemodule.

Progetto:	Livello progettazione:	Elaborato:
Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Progetto Definitivo	IDRAULICA MARITTIMA 1233_PD-D-003_3.docx

5.2 2DH Boussinesq wave module

Il modulo 2DH (due coordinate spaziali orizzontali) risolve le equazioni avanzate di Boussinesq con una tecnica alle differenze finite in uno dominio definito da una griglia rettangolare. Il modulo è in grado di riprodurre gli effetti combinati della maggior parte dei fenomeni che interessano porti, marine e l'ingegneria costiera in generale. Questi includono:

- shoaling
- rifrazione
- diffrazione
- attrito col fondo
- riflessione parziale e trasmissione
- interazione non lineare tra le onde
- dispersione in frequenza
- dispersione direzionale

I fenomeni non lineari come i wave-group, generazione di sub-armoniche e superarmoniche e risonanze portuali possono essere tutte modellizzate mediante il MIKE21BW.

5.3 1DH Boussinesq wave module

Nel modulo 1DH (una coordinata orizzontale spaziale) le aree costiere e le oscillazioni della swash-zone possono essere simulate per qualsiasi profilo della costa. In aggiunta ai fenomeni citati sopra (eccezion fatta per la rifrazione) questo modello include anche:

- frangimento
- spostamento della linea di riva.

L'effetto del movimento dell'onda è modellizzato con l'introduzione di un addizionale termine convettivo, e la determinazione della superficie è basata su un approccio geometrico. Il frangente è considerato una massa passiva di acqua isolata dal resto del movimento dell'onda, mentre viene traslata con la celerità dell'onda. Il frangimento inizia se la pendenza della superficie dell'acqua supera un certo angolo e in tal caso la geometria del frangente è determinata.

L'introduzione di un movimento della linea di riva nel modulo monodimensionale del BW è basata sul seguente approccio: il dominio di calcolo è esteso in maniera fittizia sostituendo la spiaggia solida con una spiaggia permeabile caratterizzata da una porosità molto bassa. Vicino al movimento della linea di riva la superficie dell'acqua interseca il fondo marino e continua a propagarsi nel mezzo poroso. Quindi la posizione istantanea della linea di riva è semplicemente determinata da questa intersezione.

I dettagli sulla generazione e il rilascio su basse frequenze dovute a una primaria trasformazione dell'onda sono ben rappresentate in questo modulo. Questo è molto importante per le risonanze portuali. Il modulo risolve l'equazione avanzata di Boussinesq con un metodo standard agli elementi finiti di Galerkin.

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto Definitivo	Elaborato: IDRAULICA MARITTIMA 1233_PD-D-003_3.docx
--	---	---

5.4 Equazioni di base

Il modulo BW del MIKE21 risolve l'equazione avanzata di Boussinesq espressa in una delle due dimensioni orizzontali in termini di elevazione della superficie libera, ξ , e le componenti della velocità integrate sulla verticale, P e Q.

L'equazione di Boussinesq:

Continuità

$$n \frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} = 0$$

Quantità di moto rispetto a x

$$n \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{P^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{PQ}{h} \right) + \frac{\partial R_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial R_{xy}}{\partial x} + n^2 gh \frac{\partial \xi}{\partial x} + n^2 P \left[\alpha + \beta \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{h} \right] + \frac{gP\sqrt{P^2 + Q^2}}{h^2 C^2} + n\Psi_1 = 0$$

Quantità di moto rispetto a y

$$n \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{Q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{PQ}{h} \right) + \frac{\partial R_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial R_{yy}}{\partial y} + n^2 gh \frac{\partial \xi}{\partial y} + n^2 Q \left[\alpha + \beta \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{h} \right] + \frac{gQ\sqrt{P^2 + Q^2}}{h^2 C^2} + n\Psi_2 = 0$$

dove i termini di dispersione Ψ_1 e Ψ_2 sono definiti come:

$$\Psi_1 \equiv - \left(B + \frac{1}{3} \right) d^2 (P_{xx} + Q_{yy}) - nBgd^3 (\xi_{xxx} + \xi_{yyy}) - dd_x \left(\frac{1}{3} P_{xx} + \frac{1}{6} Q_{yy} + nBgd(2\xi_{xx} + \xi_{yy}) \right) - dd_y \left(\frac{1}{6} Q_{xx} + nBgd\xi_{yy} \right)$$

$$\Psi_2 \equiv - \left(B + \frac{1}{3} \right) d^2 (Q_{yy} + P_{xx}) - nBgd^3 (\xi_{yyy} + \xi_{xxx}) - dd_y \left(\frac{1}{3} Q_{yy} + \frac{1}{6} P_{xx} + nBgd(2\xi_{yy} + \xi_{xx}) \right) - dd_x \left(\frac{1}{6} P_{yy} + nBgd\xi_{xx} \right)$$

I pedici x, y e t indicano le derivate parziali fatte rispetto allo spazio e al tempo.

Lista dei simboli:

- P densità di flusso nella direzione x in m³/m/s
- Q densità di flusso nella direzione Y in m³/m/s
- B Fattore di dispersione di Boussinesq
- x, y Coordinate cartesiane in m
- t tempo in s
- h altezza d'acqua (profondità + elevazione di superficie) in m
- d profondità in m
- g accelerazione di gravità in m²/s
- n porosità
- C numero di Chezy in m^{0.5}/s
- α coefficiente di resistenza nel moto laminare del fluido in un mezzo poroso
- β coefficiente di resistenza nel moto turbolento del fluido in un mezzo poroso
- ξ elevazione di superficie in m

I termini indicati con Rxx, Rxy ed Ryy tengono conto dell'eccesso di quantità di moto originato dalla distribuzione non uniforme della velocità dovuta alla presenza di frangenti e sono definiti da:

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale
--

Livello progettazione: Progetto Definitivo

Elaborato: IDRAULICA MARITTIMA 1233_PD-D-003_3.docx

$$R_{xx} = \frac{\delta}{1 - \delta/d} \left(c_x - \frac{P}{d} \right)^2$$

$$R_{xy} = \frac{\delta}{1 - \delta/d} \left(c_x - \frac{P}{d} \right) \left(c_y - \frac{Q}{d} \right)$$

$$R_{yy} = \frac{\delta}{1 - \delta/d} \left(c_y - \frac{Q}{d} \right)^2$$

dove $\delta = \delta(t, x, y)$ è lo spessore della superficie del frangente e c_x e c_y sono le componenti della celerità del frangente.

Si noti che i termini di eccesso di quantità di moto vengono risolti solamente nel modulo 1DH e non nel modulo 2DH. In pratica, come già citato sopra solamente il modulo monodimensionale è in grado di rappresentare anche il fenomeno del frangimento.

5.5 Schema di calcolo del modulo bi-dimensionale

Il metodo numerico di calcolo è basato sul cosiddetto SYSTEM21 scheme che è stato introdotto nel 1973 da Mike Abbott et al. Tale schema è stato successivamente esteso alla modellazione di onde corte nel 1978 sempre da Abbott et al. Da allora, questo robusto schema di calcolo è in costante sviluppo.

Le equazioni differenziali sono discretizzate nello spazio all'interno di una griglia rettangolare strutturata a maglie quadrate. Le quantità scalari come l'elevazione della superficie liquida sono definite nei nodi della griglia mentre le componenti del flusso sono definite nel punto intermedio tra due nodi adiacenti nelle rispettive direzioni.

L'approssimazione alle differenze finite delle derivate spaziali è del tipo in avanti ad eccezione dei termini convettivi.

L'integrazione nel tempo è basata usando uno schema implicito centrato nel tempo.

L'algoritmo applicato è del tipo ADI (Alternating Direction Implicit) con l'uso della tecnica del passo frazionato e del "side-feeding" (semi-linearizzazione dei termini non lineari). Il sistema di equazione risultante è tri-diagonale e viene risolto con la nota tecnica del Double-Sweep.