

Porto Di Taranto

REALIZZAZIONE DELLA NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO

LOTTO II: TRATTO DI LEVANTE



**PROGETTO DI FATTIBILITA'
TECNICO ECONOMICA RAFFORZATO**

Progettazione:



Responsabile Integrazioni Prestazioni Specialistiche:
Ing. M. DI STEFANO

Autorità Di Sistema Portuale Del Mar Ionio:

Responsabile Unico del Procedimento:
Ing. Gaetano Internò

Direttore dell'Esecuzione del Contratto:
Ing. Vincenzo Elia

Codice commessa:
2202.DTA.PFTE

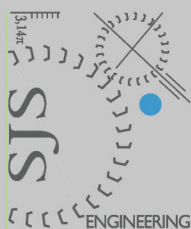
Titolo Elaborato:

Studio meteomarinò

Codice elaborato:

REL 05

Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
A	Ottobre 2022	Prima emissione			



A DBA Group Company
Capogruppo

- 1) Certified office 2) Certified office

COMPANY WITH
QUALITY SYSTEM
CERTIFIED BY DNV GL
= ISO 9001 =



Roma⁽¹⁾ ⁽²⁾ 00187

Via Collina, 36

Taranto⁽²⁾ 74123

Molo Polisettoriale
S.S. 106

Milano 20127

Via N. Battaglia, 10



E&G s.r.l.
ENVIRONMENT & GEOTECHNIC
STUDIO DI INGEGNERIA GEOTECNICA E AMBIENTALE

Mandante

Geol.
Teodoro Aldo
BATTAGLIA

Mandante

livello di progetto

PROGETTO ESECUTIVO

Capo progetto

dott. ing. **Michelangelo Lentini**



Responsabile integrazione prestazioni
specialistiche e progettazione opere
marittime

dott. ing. **Alessandro Porretti**



Gruppo di lavoro

dott. ing. B. Lentini (coord. sicur. in fase di progettazione)

dott. ing. C. Carrieri (progettazione opere marittime)

dott. ing. G. Tagliente (bim coordinator)

dott. ing. M. Tarlowski (bim coordinator)

dott. ing. Q. Napoleoni (progettazione geotecnica)

geol. A. Battaglia (geologia)

dott. ing. V. Colosimo (aspetti ambientali)

dott. ing. G. De Padova (studi meteomarini)

dott. ing. R. Isola (progettazione strutturale)

dott. ing. L. Drago (progettazione strutturale)

dott. ing. A. D'Agostino (progettazione strutturale)

arch. A. Adamo (aspetti urbanistici e paesaggistici)

dott. ing. P. Semeraro (capitolati e sicurezza)

geom. D. Di Summa (contabilità)

Incarico

Riqualificazione del Molo Polisettoriale - Nuova Diga Foranea di protezione del porto fuori rada di Taranto - Tratto di Ponente (CIG: 7590668165 - CUP: D51H15000180005)

Committente



Autorità di Sistema Portuale
del Mar Ionio

Autorità di Sistema Portuale del Mar Ionio
Porto di Taranto

Titolo documento

STUDIO METEOMARINO

Codice documento

area code

0130TAR

title code

16007 - 01

check

R01

job

C16

	data	Formato	nome file
	Settembre 2019		0130TAR16007-01-R01
redatto	controllato	approvato	
GD	AP	ML	

01	Set. 2019	Aggiornamento del progetto in riscontro alla nota di Conteco check s.r.l. prot. 2019LT0516 del 07.08.2019	SJS Engineering
00	Lug. 2019	Prima emissione	SJS Engineering
emissione	data	motivazione	proponente

This drawing and the information contained on it are exclusive property of S.J.S. Engineering s.r.l.
This drawing is not to be reproduced, further distributed or used for any purpose without written permission of S.J.S. Engineering s.r.l.

INDICE

1	PREMESSA.....	7
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DEL PARAGGIO	9
3	FONTI DI DATI METEOMARINI	13
3.1	INDIVIDUAZIONE DELLE MAREGGIATE.....	14
3.1.1	Regime dei venti.....	15
3.1.2	Ricostruzione del moto ondoso.....	17
4	VARIAZIONI DEL LIVELLO MARINO.....	20
4.1	COMPONENTE DETERMINISTICA DEI LIVELLI MISURATI: EFFETTO DELLA MAREA ASTRONOMICA	20
4.2	COMPONENTE DETERMINISTICA DEI LIVELLI MISURATI: EFFETTO DELLA MAREA METEOROLOGICA.....	21
4.3	ANALISI STATISTICA DEI LIVELLI ESTREMI DI MAREA	22
4.3.1	Modellazione delle eccedenze.....	23
4.3.2	Definizione del campione e inferenza della DGP	23
4.3.3	Risultati.....	24
5	MODELLO SW DI PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSO SOTTOCOSTA	27
5.1	APPROCCIO METODOLOGICO	27
5.2	COSTRUZIONE DEL MODELLO E BATIMETRIA	28
6	CLIMA ORDINARIO: ANALISI STATISTICA E PROPAGAZIONE SOTTOCOSTA	30
6.1	ANALISI STATISTICA DEL CLIMA ORDINARIO	30
6.2	PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSO SOTTOCOSTA	35
6.2.1	Risultati del modello numerico.....	35
6.2.2	Analisi del moto ondoso sottocosta.....	36
7	ONDE ESTREME: ANALISI STATISTICA E SUCCESSIVA PROPAGAZIONE DELLE ONDE SOTTOCOSTA	41
7.1	PREVISIONE DEGLI EVENTI ESTREMI A LARGO	41
7.1.1	Analisi statistica delle mareggiate individuate con il metodo diretto	45
7.2	ANALISI STATISTICA DELLE MAREGGIATE INDIVIDUATE CON IL METODO INDIRETTO	51
7.3	PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSO SOTTOCOSTA	57
8	STIMA DELL'ONDA DI PROGETTO	60
9	MODELLO BW DI AGITAZIONE RESIDUA INTERNA.....	63
9.1	APPROCCIO METODOLOGICO	63
9.2	COSTRUZIONE DEL MODELLO E BATIMETRIA	64

9.3	CLIMA ONDOSO IN INGRESSO	65
9.4	PARAMETRI DI RIFLESSIONE E TRASMISSIONE	67
9.5	DURATA DELLE SIMULAZIONI E STEP DI CALCOLO	67
10	STUDIO DELLA PENETRAZIONE DEL MOTO ONDOSO	68
10.1	SCENARI DI SIMULAZIONE	68
10.2	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI.....	68
11	CONSIDERAZIONI FINALI SULLA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO	79
ALLEGATO 1	81
	Base modellistica e parametri del modello	81
ALLEGATO 2	83
	Moto ondosso ordinario: Propagazione da largo a sottocosta.....	83
ALLEGATO 3	92
	Agitazione residua interna - settore di traversia principale -Raffronto tra soluzione 1 e soluzione 2	92
ALLEGATO 4	94
	Agitazione residua interna - settore di traversia secondario -Raffronto tra soluzione 1 e soluzione 2.....	94
ALLEGATO 5	96
	Agitazione residua interna - settore di traversia principale -Raffronto tra soluzione 2 e soluzione 3	96
ALLEGATO 6	98
	Agitazione residua interna - settore di traversia secondario -Raffronto tra soluzione 2 e soluzione 3.....	98
ALLEGATO 7	100
	Agitazione residua interna - settore di traversia principale -Raffronto tra soluzione 3 e soluzione 4	100
ALLEGATO 8	102
	Agitazione residua interna - settore di traversia secondario -Raffronto tra soluzione 3 e soluzione 4.....	102
ALLEGATO 9	104
	Agitazione residua interna - settore di traversia principale -Raffronto tra soluzione 4 e soluzione 5	104
ALLEGATO 10	106
	Agitazione residua interna - settore di traversia secondario -Raffronto tra soluzione 4 e soluzione	106

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: Inquadramento geografico del paraggio.....	9
Figura 2: Fetch geografici	10
Figura 3: Localizzazione delle boe ondametriche e delle stazioni mareografiche più vicine a Taranto.....	13
Figura 4: Individuazione delle mareggiate.....	14
Figura 5: Andamento nel tempo delle altezze d'onda (Hs) e direzioni di provenienza (Dir) delle mareggiate individuate sulla base dei dati ondametrici trasposti dalla boa di Crotona.....	15
Figura 6: Velocità del vento registrata presso l'anemometro di Taranto con indicazione delle soglie di velocità di 10 m/s (in verde) e 20 m/s (in rosso).....	16
Figura 7: Rappresentazione polare della velocità massima delle folate in funzione della loro direzione di provenienza con indicazione (in rosso) degli eventi esclusi dalle analisi statistiche	17
Figura 8: Andamento nel tempo delle altezze e delle direzioni dell'onda significativa, individuati a partire dai dati di vento, applicando il metodo indiretto SPM.....	19
Figura 9: Stazione mareografica Molo San Egidio – Taranto	20
Figura 10: Water level Ispra Station - Molo Sant'Eligio.....	21
Figura 11: Grafico vita residua della media (metodo diretto)	24
Figura 12: Stima parametri di scala e di forma (metodo indiretto).....	24
Figura 13: Grafici diagnostici per il caso di inferenza della GDP (metodo diretto)	25
Figura 14: Grafico vita residua della media e stima parametri di scala e di forma (metodo indiretto).....	25
Figura 15:Grafici diagnostici per il caso di inferenza della GDP (metodo diretto).....	26
Figura 16: Dominio di calcolo e isobate.....	28
Figura 17: Mesh di calcolo e condizioni al contorno	29
Figura 18: Localizzazione della boa ondametrica di Taranto	30
Figura 19: Diagramma polare del clima ondoso ordinario al largo.....	31
Figura 20: Relazione tra altezza d'onda significative e periodo di picco	34
Figura 21: JONSWAP – type Spectrus.....	35
Figura 22: Clima ordinario - caratteristiche dell'onda al largo: Hs=4,10m; Tp=8,38s; MWD=145°N.....	36
Figura 23: Punto di estrazione 1 per l'analisi del moto ondoso sottocosta.....	37
Figura 24: Diagramma polare del clima ondoso ordinario sottocosta	38
Figura 25: Valori di χ^2 tabulati	44
Figura 26: Tavola delle frequenze osservate e delle distribuzioni teoriche per le onde provenienti dal settore compreso tra 110 e 130°N.....	45
Figura 27: Tavola delle frequenze osservate e delle distribuzioni teoriche per le onde provenienti dal settore compreso tra 130 e 150°N.....	46
Figura 28: Tavola delle frequenze osservate e delle distribuzioni teoriche per le onde provenienti dal settore compreso tra 150 e 170°N.....	46
Figura 29: Tavola delle frequenze osservate e delle distribuzioni teoriche per le onde provenienti dal settore compreso tra 170 e 190°N.....	47
Figura 30: Tavola delle frequenze osservate e delle distribuzioni teoriche per le onde provenienti dal settore compreso tra 190 e 210°N.....	47
Figura 31: Tavola delle frequenze osservate e delle distribuzioni teoriche per le onde provenienti dal settore compreso tra 210 e 230°N.....	48

Figura 32: Tavola delle frequenze osservate e delle distribuzioni teoriche per le onde provenienti dal settore compreso tra 230 e 250°N.....	48
Figura 33: Tavola delle frequenze osservate e delle distribuzioni teoriche per le onde provenienti dal settore compreso tra 110 e 130°N.....	52
Figura 34: Tavola delle frequenze osservate e delle distribuzioni teoriche per le onde provenienti dal settore compreso tra 130 - 150°N.....	52
Figura 35: Tavola delle frequenze osservate e delle distribuzioni teoriche per le onde provenienti dal settore compreso tra 150-170 °N.....	53
Figura 36: Tavola delle frequenze osservate e delle distribuzioni teoriche per le onde provenienti dal settore compreso tra 170 e 190°N.....	53
Figura 37: Tavola delle frequenze osservate e delle distribuzioni teoriche per le onde provenienti dal settore compreso tra 190 e 210°N.....	54
Figura 38: Tavola delle frequenze osservate e delle distribuzioni teoriche per le onde provenienti dal settore compreso tra 210 e 230°N.....	54
Figura 39: Tavola delle frequenze osservate e delle distribuzioni teoriche per le onde provenienti dal settore compreso tra 230 e 250°N.....	55
Figura 40: Punto di estrazione delle altezze d'onda propagate sottocosta (Punto di estrazione 2).....	57
Figura 41: Batimetria di calcolo.....	64
Figura 42: Assegnazione dello "sponge" (strato assorbente) lungo il contorno del dominio di calcolo.....	65
Figura 43: Batimetria di calcolo prima e dopo il processo di ottimizzazione, e indicazione della linea di generazione.....	65
Figura 44: Esempio di vettore di flusso introdotto lungo la linea di generazione, ad un particolare istante di simulazione.....	66
Figura 45: Esempio di onde irregolari direzionali.....	66
Figura 46: Soluzione 1 - Stato attuale: MWD 186°N, Hs=3,06m, Tp=7.98s.....	69
Figura 47: Soluzione 1 - Stato attuale: MWD 212°N, Hs=1,92m, Tp=6,34s.....	69
Figura 48: Soluzione 2 - Scenario di progetto: nuova diga foranea – I Lotto (500m); ammodernamento della banchina di ormeggio del Terminal Container: MWD 186°N, Hs=3,06m, Tp=7.98s.....	70
Figura 49: Soluzione 2 - Scenario di progetto: nuova diga foranea – I Lotto (500m); ammodernamento della banchina di ormeggio del Terminal Container: MWD 212°N, Hs=1,92m, Tp=6,34s.....	71
Figura 50: Soluzione 3 - Scenario di progetto: nuova diga foranea – I Lotto (500m); ammodernamento della banchina di ormeggio del Terminal Container; dragaggio a -16,50m dell'area del Molo Polisettoriale e cassa di colmata del V Sporgente - I lotto: MWD 186°N, Hs=3,06m, Tp=7.98s.....	72
Figura 51: Soluzione 3 - Scenario di progetto: nuova diga foranea – I Lotto (500m); ammodernamento della banchina di ormeggio del Terminal Container; dragaggio a -16,50m dell'area del Molo Polisettoriale e cassa di colmata del V Sporgente - I lotto: MWD 212°N, Hs=1,92m, Tp=6,34s.....	73
Figura 52: Soluzione 4 - Scenario del nuovo Piano Regolatore Portuale e nuova diga foranea – I Lotto (500m): MWD 186°N, Hs=3,06m, Tp=7.98s.....	74
Figura 53: Soluzione 4 - Scenario del nuovo Piano Regolatore Portuale e nuova diga foranea – I Lotto (500m): MWD 212°N, Hs=1,92m, Tp=6,34s.....	75
Figura 54: Soluzione 5 - Scenario del nuovo Piano Regolatore Portuale e nuova diga foranea – II Lotto (1.300m): MWD 186°N, Hs=3,06m, Tp=7.98s.....	76
Figura 55: Soluzione 5 - Scenario del nuovo Piano Regolatore Portuale e nuova diga foranea – II Lotto (1.300m): MWD 212°N, Hs=1,92m, Tp=6,34s.....	77
Figura 56 Direzione 115°N, Hs 1,10m, Tp 5,10s.....	84

Figura 57 Direzione 125°N, Hs 3,10m, Tp 7,54s.....	84
Figura 58 Direzione 135°N, Hs 4,50m, Tp 8,68s.....	85
Figura 59 Direzione 145°N, Hs 4,10m, Tp 8,38s.....	85
Figura 60: Direzione 155°N, Hs 4,70m, Tp 8,82s.....	86
Figura 61: Direzione 165°N, Hs 4,10m, Tp 8,38s.....	86
Figura 62 Direzione 175°N, Hs 2,30m, Tp 6,74s.....	87
Figura 63 Direzione 185°N, Hs 2,50m, Tp 6,95s.....	88
Figura 64 Direzione 195 °N, Hs 2,30m, Tp 6,74s.....	88
Figura 65 Direzione 205°N, Hs 2,10m, Tp 6,51s.....	89
Figura 66 Direzione 215°N, Hs 2,10m, Tp 6,51s.....	89
Figura 67 Direzione 225°N, Hs 1,30m, Tp 5,44s.....	90
Figura 68 Direzione 235°N, Hs 1,30m, Tp 5,44s.....	90
Figura 69 Direzione 245°N, Hs 0,90m, Tp 4,73s.....	91

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 Fetch geografici ed efficaci nel paraggio di Taranto.....	11
Tabella 2 Tempi di ritorno e livelli per il caso di inferenza della GDP (metodo diretto e indiretto)	26
Tabella 3 Numero di osservazioni per classi di altezza d’onda significativa e direzione di provenienza	31
Tabella 4 Eventi ordinari simulati per classi di altezza d’onda significativa e direzione di provenienza	32
Tabella 5 Clima ondoso ordinario sottocosta: numero di osservazioni per classi di altezza d’onda significativa e direzione di provenienza	38
Tabella 6 Valori di Hs, Tp e MWD al largo e sottocosta (punto di estrazione 1: UTM33 680500 E 4481500 N).....	39
Tabella 7 Parametri delle distribuzioni di eventi estremi per la serie delle altezze d’onda al variare delle classi di direzione di provenienza	45
Tabella 8 Risultati del test di Pearson alle distribuzioni di probabilità delle altezze d’onda per eventi estremi	49
Tabella 9 Stima dell’intensità di campionamento, dipendente dal numero di eventi afferenti ad ogni classe direzionale..	49
Tabella 10 Valutazione della altezza d’onda significativa, Hs [m], per fissati tempi di ritorno e direzioni di provenienza....	50
Tabella 11 Valutazione del periodo significativo, Ts [s]	50
Tabella 12 Parametri delle distribuzioni di eventi estremi per la serie delle altezze d’onda al variare delle classi di direzione di provenienza	51
Tabella 13 Risultati del test di Pearson alle distribuzioni di probabilità delle altezze d’onda per eventi estremi	55
Tabella 14 Stima dell’intensità di campionamento in funzione del numero di eventi afferenti ad ogni classe direzionale.	56
Tabella 15 Valutazione della altezza d’onda, Hs[m], per fissati tempi di ritorno e direzioni di provenienza	56
Tabella 16 Valutazione del periodo significativo Ts [s]	57
Tabella 17 Altezze massime Hmax [m] delle onde estreme stimate al largo per fissati tempi di ritorno, mediante il metodo diretto, e successivamente propagate sottocosta – Point (682.200 E; 4.482.200 N).....	59
Tabella 18 Altezze massime Hmax [m] delle onde estreme stimate al largo per fissati tempi di ritorno, mediante il metodo indiretto, e successivamente propagate sottocosta – Point (682.200 E; 4.482.200 N).....	59
Tabella 19 Altezze significative Hs [m] delle onde estreme stimate al largo per fissati tempi di ritorno, mediante il metodo diretto, e successivamente propagate sottocosta – Point (682.200 E; 4.482.200 N).....	59
Tabella 20 Altezze significative Hs [m] delle onde estreme stimate al largo per fissati tempi di ritorno, mediante il metodo indiretto, e successivamente propagate sottocosta – Point (682.200 E; 4.482.200 N).....	59

Tabella 21 Durata minima di vita per opere e strutture di carattere definitivo (Tv)	60
Tabella 22 Massima probabilità di danneggiamento Pf ammissibile nel periodo di vita operativa	61
Tabella 23 Riepilogo dei risultati dello studio finalizzato all'individuazione dell'onda di progetto	62
Tabella 24 Onda di progetto al largo	62
Tabella 25 Clima ordinario	67
Tabella 26 Coefficienti di riflessione	67
Tabella 27 Coordinate dei punti di estrazione dell'output di BW.....	77
Tabella 28 Coefficienti di disturbo – Settore di traversia principale (MWD=186°N; Hs=3,06 m; Tp=7,98 sec).....	78
Tabella 29 Coefficienti di disturbo – Settore di traversia secondario (MWD=212°N; Hs=1,92 m; Tp=6,34 sec).....	78

1 PREMESSA

Lo studio idraulico marittimo, allegato al Progetto Esecutivo della Nuova Diga Foranea a difesa del porto fuori rada di Taranto, ha un duplice obiettivo:

- Stimare l'altezza d'onda di progetto per assegnato periodo di ritorno;
- Valutare l'efficacia dell'opera di difesa progettata in termini di riduzione della agitazione ondosa residua all'interno del bacino portuale, in particolare agli accosti del Terminal Container del Molo Polisettoriale

I due obiettivi sono stati perseguiti ricorrendo alla modellazione numerica dei fenomeni che governano la trasformazione del moto ondoso nel suo propagarsi dal largo a sottocosta. In particolare, sono stati utilizzati due moduli, SW (Spectral Waves) e BW (Boussinesq Waves), del codice di calcolo MIKE 21 del Danish Hydraulic Institute (DHI).

I dati disponibili per lo studio meteo marino sono i seguenti:

- Dati ondametrici registrati dalla boa di Taranto (Capo S. Vito);
- Dati ondametrici registrati dalla boa di Crotone, previa trasposizione delle onde da Crotone a Taranto;
- Dati anemologici registrati dalla stazione di Taranto (Molo S. Eligio), per la ricostruzione del moto ondoso a partire dai dati di vento (metodo indiretto).

Ai fini del progetto in esame, i dati di cui sopra sono stati elaborati come segue:

- Le registrazioni della boa della Rete Ondametrica Nazionale (RON) di Taranto, operativa dal 2006, sono stati utilizzati per lo studio del clima ondoso ordinario;
- I dati della boa di Crotone, trasposti in corrispondenza al paraggio di Taranto, sono stati impiegati per la stima degli eventi estremi al largo, finalizzata all'individuazione dell'onda di progetto (metodo diretto);
- I dati di vento della stazione mareografica di Taranto, gestita dall'ISPRA e riferiti al periodo 1998 – 2019, sono stati impiegati per la stima degli eventi estremi al largo finalizzata all'individuazione dell'onda di progetto (metodo indiretto).

Pertanto, in merito alla stima dell'altezza significativa e del periodo di picco dell'onda di progetto della diga, sono state utilizzate due diverse metodologie di calcolo:

- Nel primo caso, è stata condotta un'analisi statistica sui dati ondametrici trasposti da Crotone a Taranto (metodo diretto);
- Nel secondo caso, è stata condotta un'analisi statistica sui dati ondametrici ricostruiti attraverso il metodo SPM a partire dai dati anemometrici registrati della stazione mareografica di Taranto (metodo indiretto).

Per entrambi i casi, una volta ottenuta l'onda estrema a largo in funzione del periodo di ritorno, questa è poi stata propagata sottocosta con il modulo SW del MIKE 21 per ricavare le caratteristiche dell'onda in prossimità della diga foranea di progetto.

Allo scopo di valutare l'efficacia della nuova diga foranea a difesa del porto fuori rada, una volta simulata la propagazione del clima ondoso ordinario (boa di Taranto) da largo a sottocosta con l'ausilio del modulo di calcolo SW, e ricavati, dall'output del modello, i valori dei parametri caratteristici dell'onda (H_s , T_p e M.W.D.) in un punto di riferimento del dominio sottocosta, è stato applicato il modello BW. Con tale strumento è stato possibile stimare le caratteristiche delle onde all'interno del porto e calcolare, in tutti i punti del dominio di calcolo, il coefficiente di disturbo.

Il coefficiente di disturbo è, per ogni direzione d'onda, il rapporto adimensionale tra l'altezza d'onda determinata in un punto del dominio di calcolo di BW e la H_s di input del modello che ha generato quello stesso evento. Esso assume valori costanti in ogni punto (tempo-invarianti) ed è il principale parametro indicatore dell'agitazione interna che residua dopo la dissipazione dell'energia associata al moto ondoso nel suo propagarsi da largo a riva.

I risultati del presente studio meteomarino hanno confermato quanto emerso in fase di Progettazione Definitiva, nell'ambito del quale i dati di output provenienti dai modelli matematici sono stati successivamente utilizzati per lo studio sperimentale su modello fisico condotto per la stabilità degli elementi della mantellata e dei livelli di tracimazione.

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DEL PARAGGIO

Il Porto di Taranto si sviluppa a Nord dell'omonimo golfo. Il settore di traversia principale del paraggio ricade nel II quadrante ed è delimitato dalla penisola salentina, ad oriente (direzione 125°N) e dalla costa ionica della Calabria, ad occidente (direzione 175°N). Il settore secondario, con fetch di lunghezza molto limitata, è compreso tra le direzioni 175°N e 245°N.

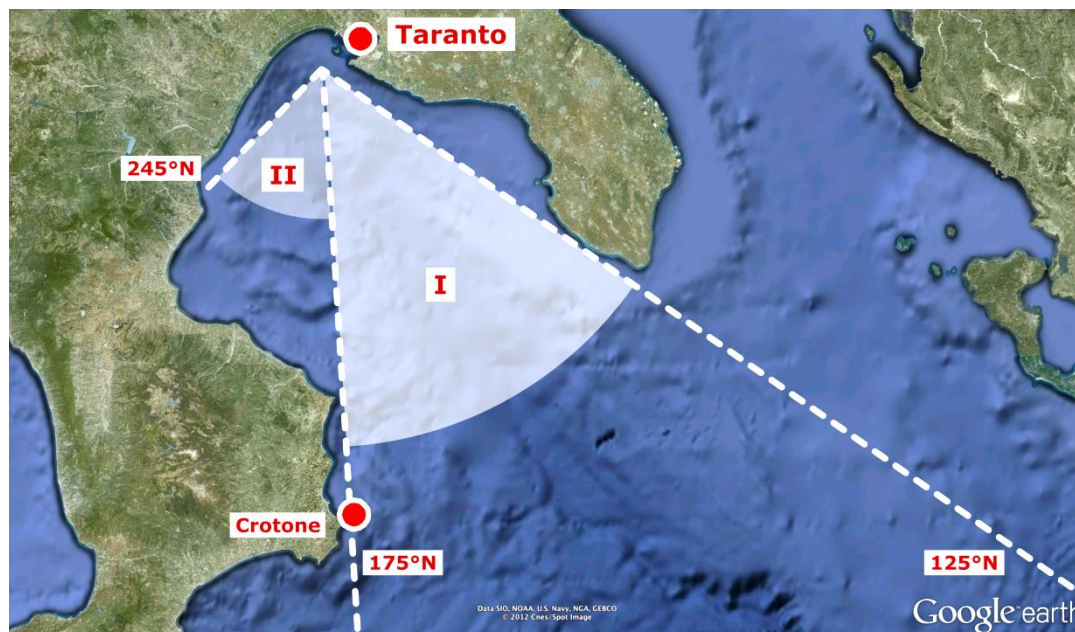


Figura 1: Inquadramento geografico del paraggio

Definiti i limiti del paraggio è possibile tracciare i fetch geografici, ovvero la distanza tra un punto di riferimento del paraggio e la costa opposta, in una prefissata direzione. Il fetch geografico rappresenta il tratto di mare lungo il quale si genera il moto ondoso ad opera dell'azione del vento. Nel caso in esame, per le direzioni comprese tra 175° N e 245° N, i fetch geografici ricadono all'interno del Golfo di Taranto e, quindi, risultano poco estesi.

Noti i fetch geografici, è possibile calcolare i fetch efficaci, una grandezza fittizia che consente di tener conto del contributo alla generazione del moto ondoso del vento che spirava in un settore di $\pm 90^\circ$ rispetto ad una certa direzione.

Nel caso in esame i fetch efficaci sono stati calcolati come media ponderale dei fetch geografici applicando la formula seguente (metodo di Saville):

$$F_{e,w} = \frac{\sum_{\phi_i = \phi_w - \theta}^{\phi_w + \theta} F_i \cos^{n+1}(\phi_i - \phi_w)}{\sum_{\phi_i = \phi_w - \theta}^{\phi_w + \theta} \cos^n(\phi_i - \phi_w)}$$

dove:

$F_{e,w}$ lunghezza del fetch efficace lungo la direzione ϕ_w ;

F_i lunghezza del fetch geografico nella direzione i -esima ϕ_i ;

ϕ_w direzione media (riferita al nord geografico) di possibile provenienza del vento responsabile del fenomeno di generazione del moto ondoso;

$\phi_w - \theta \leq \phi_i \leq \phi_w + \theta$ direzione i -esima (riferita al nord geografico) di un settore di ampiezza 2θ considerato nell'intorno della direzione ϕ_w ;

θ ampiezza del settore di possibile provenienza del moto ondoso (il metodo di Saville prevede un valore di $\theta = \pm 45^\circ$; Seymour fa riferimento ad un valore di $\theta = \pm 90^\circ$);

n termine esponenziale definito in funzione della legge di distribuzione direzionale degli spettri di moto ondoso che caratterizzano il sito in esame (solitamente si assume $n = 2$).

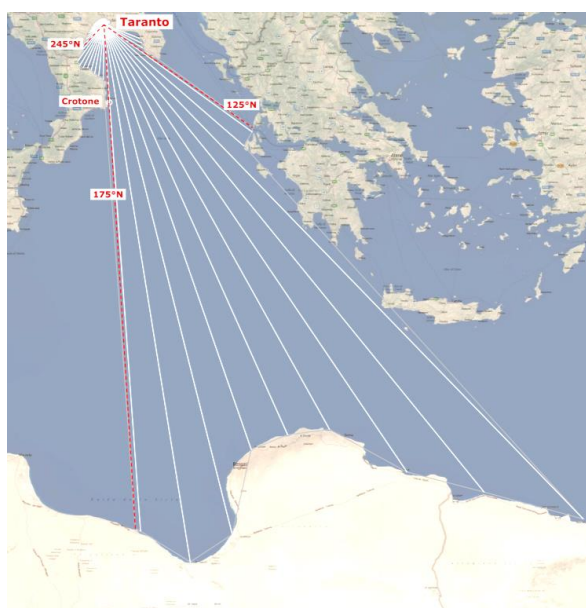


Figura 2: Fetch geografici



Tabella 1 Fetch geografici ed efficaci nel paraggio di Taranto

DIREZIONE	FECTH GEOGRAFICO (km)	FECTH EFFICACE (km)
0	12,04	12
10	11,67	12
20	10,92	11
30	10,15	12
40	9,84	14
50	11,61	21
60	12,47	46
70	11,54	84
80	7,64	133
90	7,19	194
100	12,62	251
110	74,78	302
120	87,82	346
130	36,57	380
140	119,05	405
150	915,58	417
160	888,04	418
170	1075,25	407
180	108,01	383
190	97,79	349
200	90,949	304
210	94,16	251
220	61,48	193
230	43,98	134
240	33,21	90
250	25,68	56
260	21,12	35
270	19,24	29
280	17,15	25
290	15,77	21
300	14,35	18
310	13,38	16

DIREZIONE	FECTH GEOGRAFICO (km)	FECTH EFFICACE (km)
320	12,82	14
330	12,61	14
340	12,37	13
350	12,21	12

Di prassi nel Mar Mediterraneo il fetch geografico viene limitato a 500 km, estensione massima delle perturbazioni cicloniche in quest'area geografica. Nel caso in esame, tuttavia, a vantaggio di sicurezza, si è preferito considerare il valore "reale" dei fetch geografici. Si precisa che l'altezza d'onda stimata dal modello è comunque coerente con il paraggio e con i dati meteomarini riportati in altri studi meteomarini condotti per il porto di Taranto

3 FONTI DI DATI METEOMARINI

Le fonti di dati che sono state utilizzate per la ricostruzione del moto ondoso sono sia di tipo diretto (altezze d'onda) che di tipo indiretto (velocità e direzione del vento). Nel caso dei dati meteomarini bisogna individuare le più vicine boe ondometriche e stazioni mareografiche che registrano, rispettivamente, le principali caratteristiche delle onde di mare e del vento (nonché livelli e temperature).

Il paraggio di mare antistante Taranto presenta entrambe le fonti dirette di dati meteomarini (boe ondometriche e mareografi) ed in particolare la Figura 3 mostra che quelle più vicine ricadono proprio nel tratto di mare di interesse, essendo prospicienti all'abitato di Taranto.



Figura 3: Localizzazione delle boe ondometriche e delle stazioni mareografiche più vicine a Taranto

Altre stazioni di misura dei dati meteomarini, che possono ritenersi rappresentative del paraggio, a meno di opportune trasposizioni, sono presenti nel tratto di mare antistante Crotona. A tale proposito è opportuno specificare che la boa ondometrica di Taranto è operativa dal 2006 e, quindi, non è rappresentativa per un'analisi di eventi estremi. Al contrario la boa ondometrica di Crotona è attiva dal 1989 e dunque i suoi dati sono di particolare interesse per lo studio in esame, previa applicazione della metodologia di trasposizione basata sul metodo SPM e sui fetches efficaci di Crotona e di Taranto stimati nella sezione precedente.

Per quanto riguarda i dati anemometrici, la stazione di Taranto è attiva dal 1998 e dunque il periodo di funzionamento risulta compatibile con l'utilizzo di tali dati a fini statistici.

3.1 INDIVIDUAZIONE DELLE MAREGGIATE

Come anticipato nel precedente paragrafo, i dati registrati dalla boa ondometrica di Taranto, in funzione dal 2006, non risultano sufficientemente rappresentativi ai fini di un'analisi degli eventi estremi di moto ondoso; di conseguenza, per individuare le mareggiate da sottoporre ad analisi statistica sono stati presi in considerazione i dati registrati dalla boa ondometrica di Crotona, una volta trasposti in corrispondenza al paraggio di Taranto. Le relazioni utilizzate per la trasposizione delle altezze d'onda H_{m0} e dei corrispondenti periodi T_m derivano dal metodo SPM:

$$\frac{H_{m0}^P}{H_{m0}^O} = \left(\frac{F^P}{F^O}\right)^{1/2} \quad \frac{T_m^P}{T_m^O} = \left(\frac{F^P}{F^O}\right)^{1/3} \quad (3.1)$$

nelle quali con gli apici O e P si intendono rispettivamente le grandezze relative al punto di osservazione ed al punto di trasposizione, e con F il fetch efficace relativo alla direzione geografica considerata.

I dati riguardanti le altezze d'onda registrate dalla boa ondometrica di Crotona e trasposte in un punto al largo di Taranto, sono stati poi opportunamente trattati al fine di individuare le mareggiate.

È opportuno specificare che ciascuna mareggiata è definita come successione di stati di mare durante la quale l'altezza d'onda significativa (H_s) supera una soglia critica (h_{crit}) e non scende al di sotto di tale soglia per durate di tempo superiori ad un valore dt_{crit} , con $h_{crit}=1,5m$ e $dt_{crit}=12$ ore.

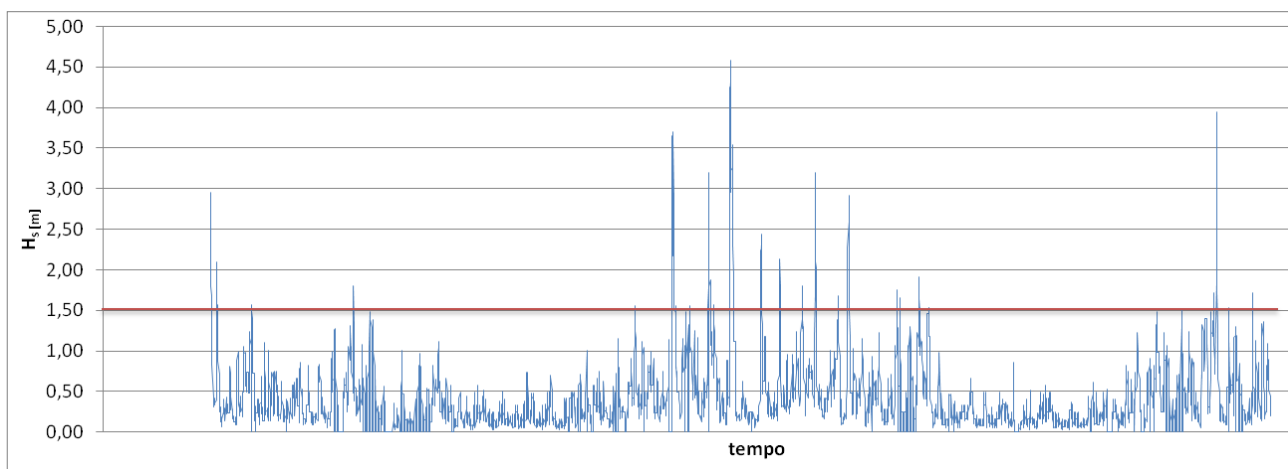


Figura 4: Individuazione delle mareggiate

Inoltre, se durante l'analisi degli stati di mare la direzione dell'onda varia di oltre 60°, la mareggiata termina e ne inizia un'altra. Al termine di tale analisi, si procede ad una ulteriore aggregazione considerando che due "eventi di mareggiata" consecutivi (la cui distanza temporale non supera le 48 ore) possono essere considerati realmente indipendenti se e solo se la differenza tra le loro direzioni di provenienza è superiore a 60 gradi.

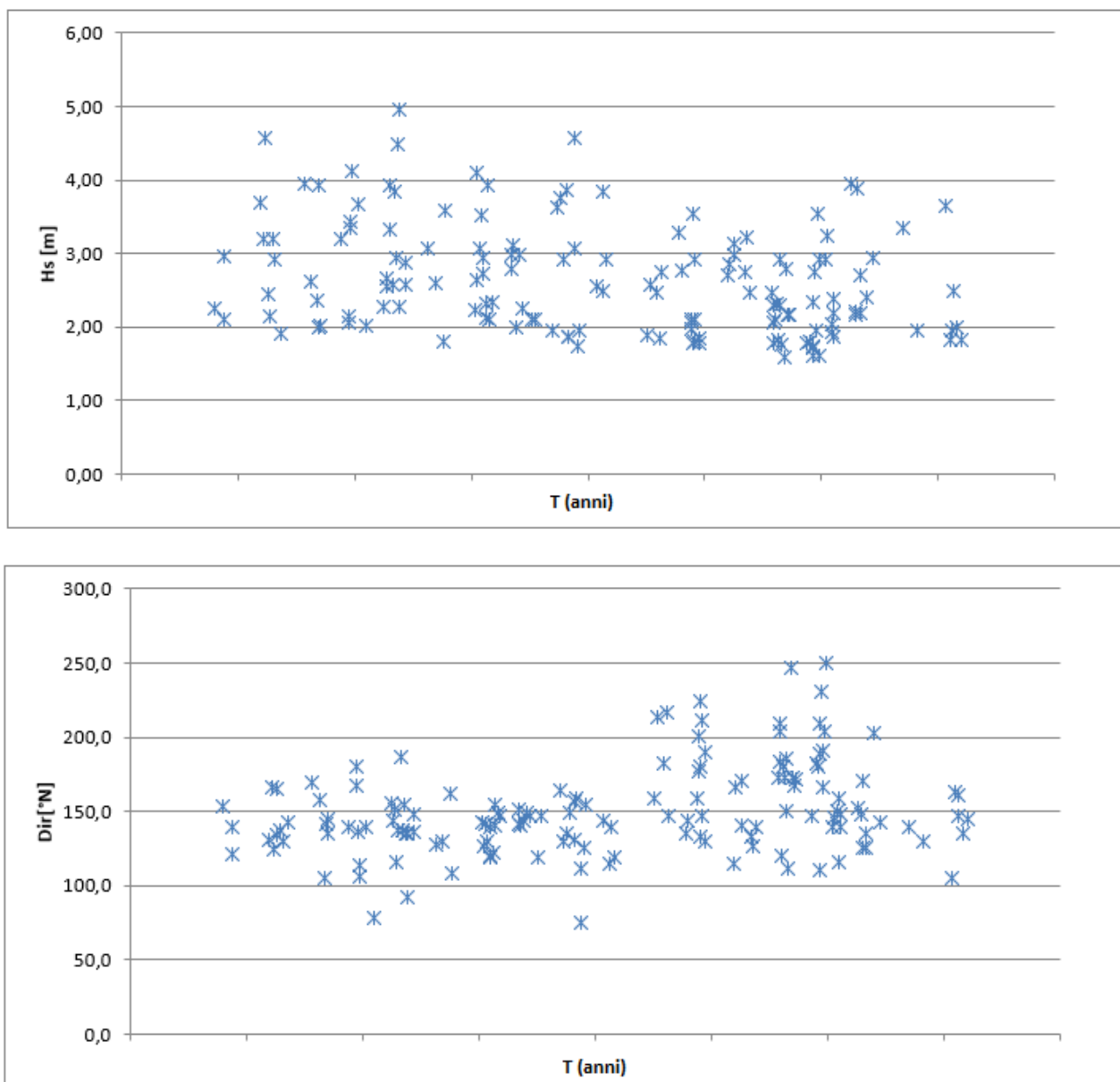


Figura 5: Andamento nel tempo delle altezze d'onda (Hs) e direzioni di provenienza (Dir) delle mareggiate individuate sulla base dei dati ondametrici trasposti dalla boa di Crotona

Le mareggiate da considerare nel presente studio sono state filtrate in base alla direzione di provenienza delle onde; in particolare, sono state escluse le mareggiate esterne al settore di traversia, compreso tra 110° e 250° N.

3.1.1 Regime dei venti

Ai fini della progettazione di un'opera costiera, è di primaria importanza la conoscenza del regime dei venti per la caratterizzazione del clima marino. Per venti si intendono le correnti orizzontali, o quasi, determinate dagli spostamenti delle masse d'aria, generati in conseguenza delle differenze di pressione esistenti tra zone contigue.

Per lo studio del regime dei venti nell'area in esame sono disponibili le misure rilevate da Luglio 1998

a Giugno 2019 (vedi Figura 6) presso la stazione mareografica gestita dall'ISPRA, localizzata all'interno del porto di Taranto ed in particolare presso il molo S. Eligio (l'anemometro è posto a 10 m s.l.m.m.). I dati originari riportano la velocità in m/s e la direzione di provenienza del vento con cadenza oraria.

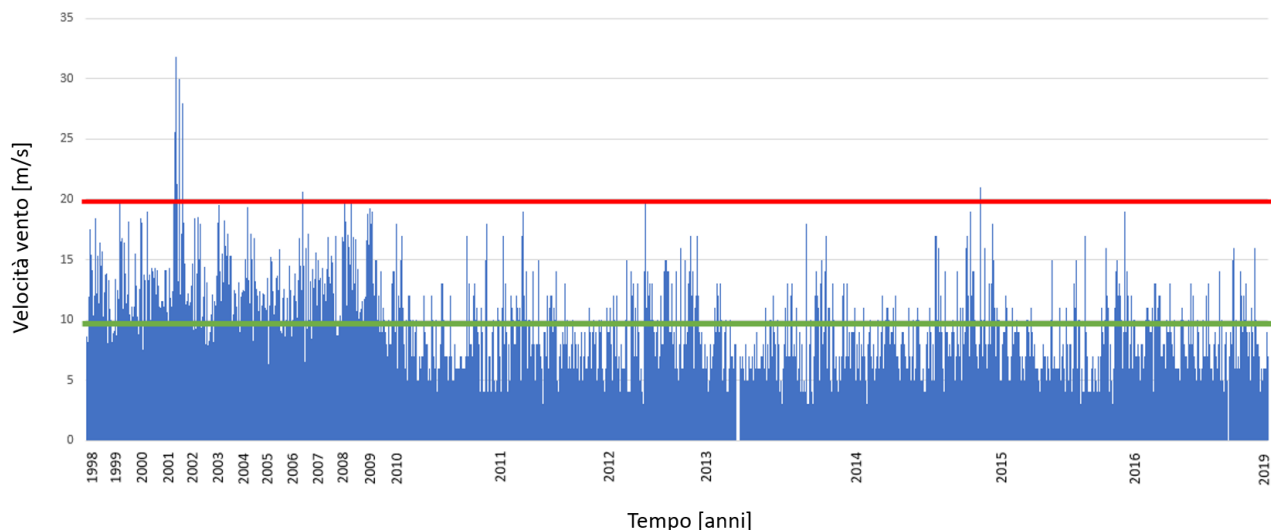


Figura 6: Velocità del vento registrata presso l'anemometro di Taranto con indicazione delle soglie di velocità di 10 m/s (in verde) e 20 m/s (in rosso)

Al fine di utilizzare tale serie di dati anemometrici per caratterizzare gli eventi estremi prevedibili, dalla serie dei dati originari vengono ricavate le serie dei massimi degli eventi sopra soglia (10m/s), nell'ipotesi che due picchi consecutivi appartengono allo stesso evento se più vicini di 24 ore. Inoltre, vengono esclusi dall'analisi gli eventi esterni al settore di traversia (110-250°N). La Figura 7 mostra la distribuzione delle massime velocità delle folate così ottenute in relazione alla direzione di provenienza del vento. Si evidenzia che i valori di velocità del vento maggiori di 25 m/s si scostano dalla restante popolazione di eventi estremi, che invece risultano essere quasi tutti al di sotto di 20 m/s. Inoltre, da una più attenta analisi della Figura 6, si evince che i valori di velocità del vento maggiori di 20 m/s sono molto ravvicinati tra di loro e ricadono tutti all'interno dello stesso anno, ovvero il 2002. È dunque lecito ipotizzare un malfunzionamento dell'anemometro; per tale motivo tutti gli eventi registrati nel 2002, compresi i quattro eventi estremi con velocità maggiore di 25m/s, sono stati esclusi dalle analisi statistiche.

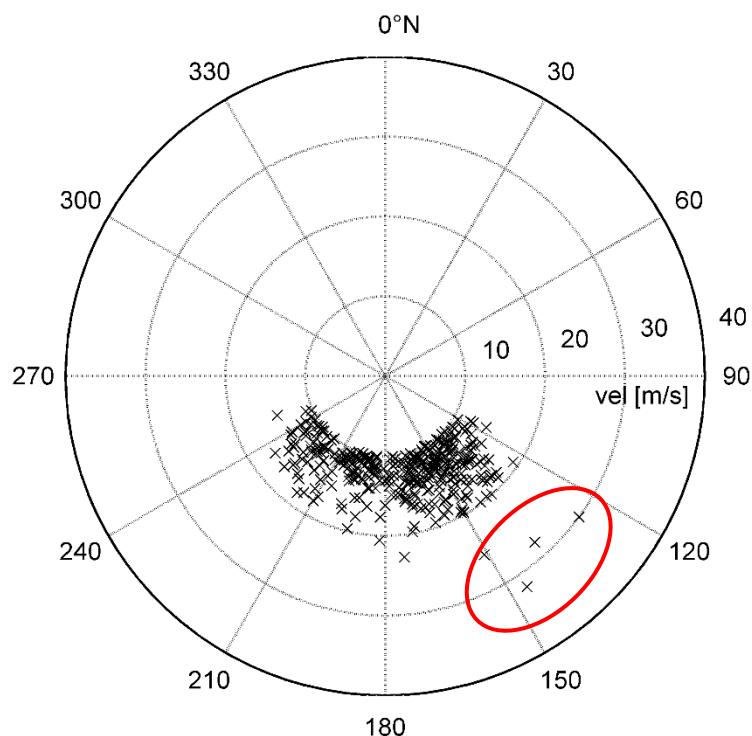


Figura 7: Rappresentazione polare della velocità massima delle folate in funzione della loro direzione di provenienza con indicazione (in rosso) degli eventi esclusi dalle analisi statistiche

3.1.2 Ricostruzione del moto ondoso

La stima del moto ondoso viene qui eseguita attraverso una procedura di Hindcasting, a partire dai fetches efficaci e dalle osservazioni anemometriche della stazione di Taranto.

Infatti, in generale, per ricavare le caratteristiche dell'onda dalle informazioni meteorologiche (metodo indiretto), è necessario conoscere:

- la direzione e la velocità media (U) del vento in superficie;
- la lunghezza del fetch F (distesa di mare libero sulla quale il vento sia ragionevolmente costante in direzione e velocità);
- la durata (t) del vento sul fetch.

Tra i metodi di previsione indiretta adottati per la ricostruzione del moto ondoso partendo dalla conoscenza del campo di vento che lo genera e del fetch, è molto noto il metodo SMB (Sverdrup, Munk e Bretshneider). Tale metodo permette di determinare l'altezza ed il periodo dell'onda significativa a partire da relazioni empiriche, che considerano, appunto, la velocità del vento U rilevata a 10 m s.l.m.m., l'estensione del fetch F e la durata t dell'evento eolico.

Un aggiornamento del metodo SMB, entrato nel comune uso ingegneristico, è il metodo SPM, che fornisce l'altezza ed il periodo dell'onda significativa in funzione dell'estensione del fetch, della durata del vento e del fattore di forza del vento U_A , detto anche velocità del vento adattata, che rappresenta un valore medio, relativamente costante lungo il fetch.

Per gli eventi ondosi si distinguono tre particolari condizioni:

- evento limitato dal fetch;
- evento limitato dalla durata;
- evento completamente sviluppato.

Un evento risulta limitato dal fetch se il vento soffia costante per un tempo abbastanza lungo da far raggiungere l'equilibrio al moto ondoso. L'evento risulta invece limitato dalla durata se l'altezza delle onde risulta limitata dalla durata del tempo per cui il vento ha spirato. Qualora l'evento ondoso non risulti limitato né dal fetch né dalla durata, esso si dice completamente sviluppato ed è funzione esclusivamente della velocità del vento.

La condizione di mare completamente sviluppato si ottiene per:

$$\frac{gF}{U_A^2} \geq 23123 \quad (3.2)$$

Per onde su acque profonde, la condizione di fetch limitante si ha se la durata dell'azione del vento supera la durata minima fornita dalla equazione:

$$\frac{gt_{min}}{U_A} = 68,8 \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{2/3} \quad (3.3)$$

In tal caso il valore dell'altezza e del periodo dell'onda significativa sono dati dalle relazioni:

$$\frac{gH_{mo}}{U_A^2} = 0,0016 \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/2} \quad (3.4)$$

$$\frac{gT_p}{U_A} = 0,2857 \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/3} \quad (3.5)$$

Nel caso invece di durata limitata, ossia di durata del vento inferiore alla durata minima, si pone la condizione $t_{min}=t_r$ nell'equazione (3.3), ottenendo un valore di fetch fittizio da porre nelle equazioni (3.4) e (3.5). Da quest'ultime, per il valore del fetch fittizio, si ottengono l'altezza ed il periodo dell'onda significativa.

Nei grafici a seguire, sono riportati i valori di altezza e direzione dell'onda significativa, determinati applicando il metodo SPM sopra descritto.

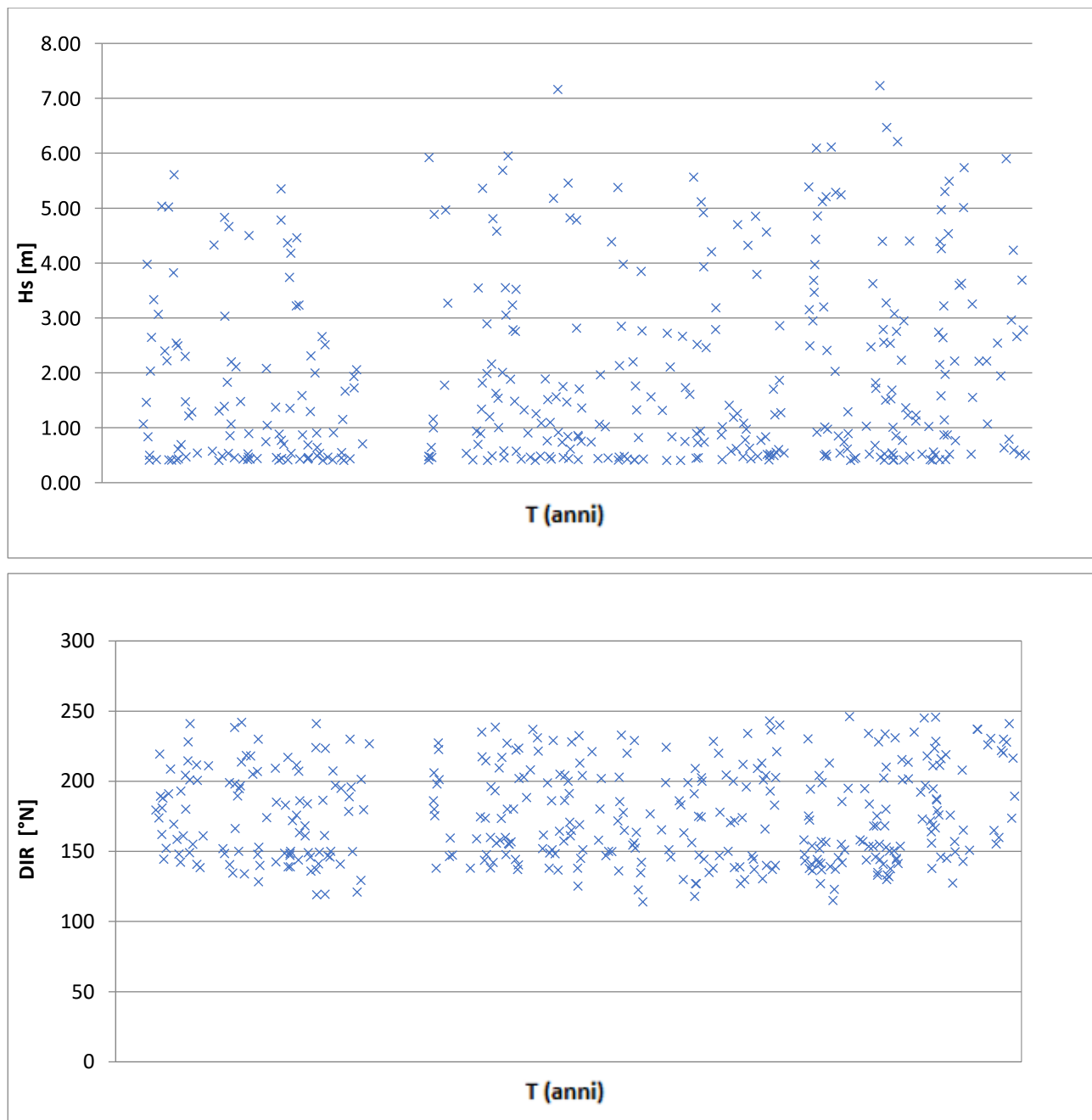


Figura 8: Andamento nel tempo delle altezze e delle direzioni dell'onda significativa, individuati a partire dai dati di vento, applicando il metodo indiretto SPM

4 VARIAZIONI DEL LIVELLO MARINO

Dal punto di vista progettuale, risulta importante analizzare le massime variazioni quasi statiche del livello medio marino indotte sia dalla marea astronomica che da quella meteorologica. La loro conoscenza è necessaria per la corretta progettazione delle quote da assegnare alle opere di difesa, delle profondità di dragaggio nei bacini portuali e nel caso di applicazioni della dinamica costiera, per la determinazione dell'altezza limite di swash. In generale per quanto riguarda le variazioni a breve termine, periodiche e non, occorre distinguere gli effetti della marea astronomica da quelli della marea "meteorologica" (indotta essenzialmente dall'azione del vento e delle variazioni di pressione atmosferica). Nella zona del Mar Ionio, ove ricade il paraggio costiero in esame, le escursioni quasi statiche del livello del mare sono di fatto modeste.

4.1 COMPONENTE DETERMINISTICA DEI LIVELLI MISURATI: EFFETTO DELLA MAREA ASTRONOMICA

La marea astronomica è dovuta principalmente all'azione esercitata dal campo gravitazionale del sole e della luna sulle masse oceaniche. Per la stima della componente oscillatoria della marea astronomica le ampiezze ed i tempi di marea sono prevedibili per alcuni porti principali in funzione delle "Tavole di marea" pubblicate annualmente dall'Ufficio Idrografico della Marina Militare. Per il caso in esame si sono utilizzati i dati registrati dalla in corrispondenza della stazione mareografica di Taranto, facente parte della Rete Mareografica Nazionale, e ubicata presso l'estremità del molo Sant' Eligio (coordinate 40°28' 31" N -17°13'29" E) (Figura 34)

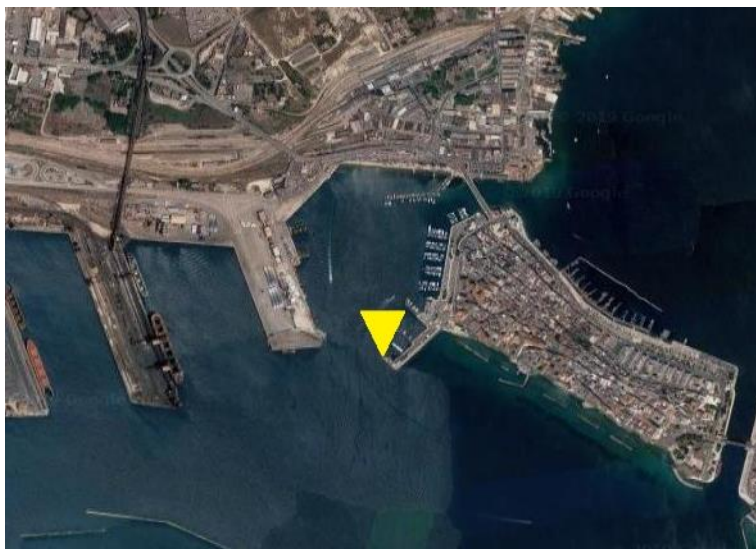


Figura 9: Stazione mareografica Molo San Egidio – Taranto

Si riporta di seguito grafico, relativo alla serie storica dei dati disponibili (con un *lack* di circa 2 anni e mezzo), registrati dal 1 gennaio 2010 al giugno 2019.

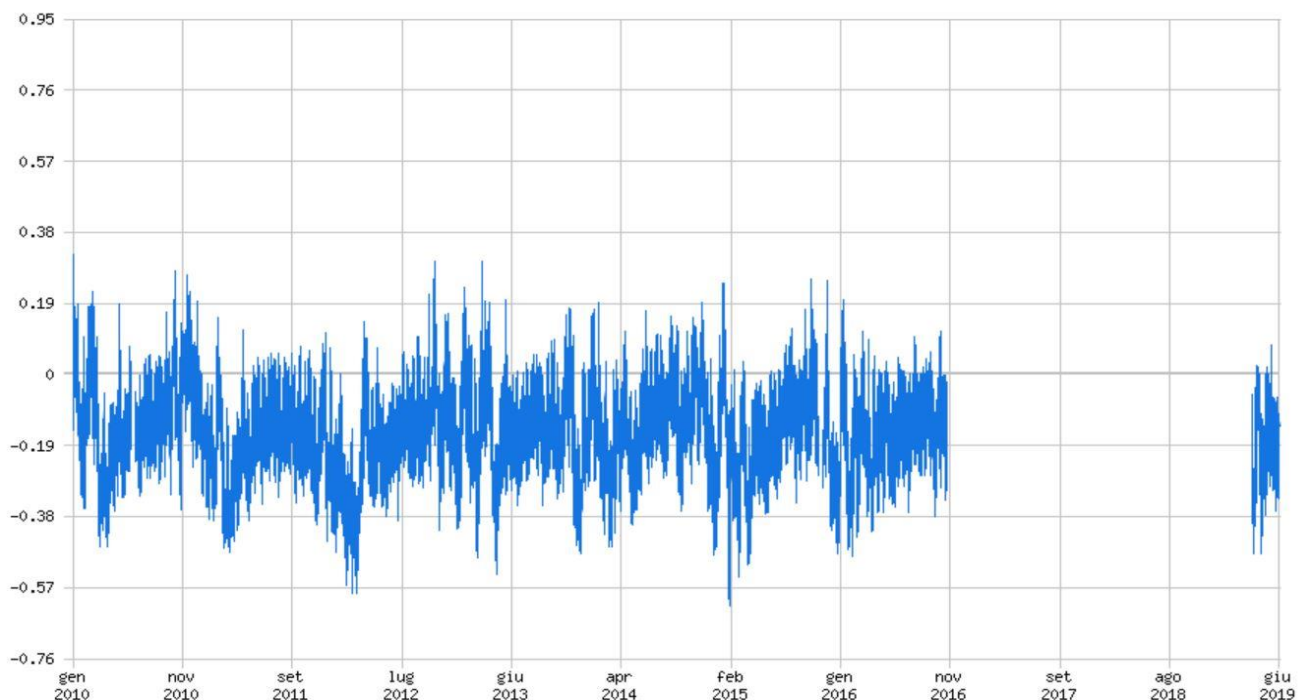


Figura 10: Water level Ispra Station - Molo Sant'Eligio

Come si evince dal grafico, il bacino di Taranto è caratterizzato da un ambiente nanotidale, ossia con escursioni di marea < 0.5 m. Le maree sono di tipo semidiurno (periodo 12 ore e 30 minuti) con due alte maree e due basse maree al giorno di ampiezza diversa (marea di tipo sinodico-declinazionale). Le escursioni di marea astronomica sono contraddistinte da una periodicità bimensile distinta nelle fasi di sizigie (luna piena e nuova) e di quadratura.

Nei periodi di quadrature si registrano escursioni di maree di circa 3-7 cm mentre, nei periodi di sizigie, si registrano i massimi dislivelli di oscillazione che raggiungono valori di circa 20 cm (livello massimo assoluto pari a circa 0,33m riferito ad un livello medio delle minime maree sizigiali Z0 pari a 0,12 m).

$$S_{ma} = 0,33 - 0,12 = 0,21 \text{ m s.l.m.m}$$

4.2 COMPONENTE DETERMINISTICA DEI LIVELLI MISURATI: EFFETTO DELLA MAREA METEOROLOGICA

Le variazioni del livello medio marino indotte da cause meteorologiche vengono indicate con il termine di marea meteorologica. Le due cause principale che possono dar luogo alle accennate variazioni di livello sono costituite dalle variazioni di pressione atmosferica rispetto alla pressione normale del suolo (effetto barico inverso **Sb**) e dall'azione dei venti persistenti sulla superficie del mare al di sopra della piattaforma continentale **Sv**.

Per quanto riguarda la prima causa, considerata una condizione di minimo barico (legata al passaggio dei centri di bassa pressione caratterizzanti i cicloni) pari a 975 mb (plausibile come valore estremo per il paraggio in esame) rispetto ad una condizione media di 1013 mb ed ipotizzando 0,01 m/mb, ne consegue (da un punto di vista prettamente statistico) un effetto di sovrizzo marino

dipendenza tra le due componenti (*approccio indiretto*)

Per quanto riguarda l'approccio indiretto, seppur da preferire, presenta una qualche difficoltà nella modellazione della dipendenza esistente tra la componente deterministica e quella stocastica.

A tal proposito, nel caso di studio presente, si è quindi scelto di applicare principalmente il metodo diretto, ovvero di modellare i valori estremi della serie storica originale, e, parzialmente, il metodo indiretto, modellando i valori estremi della serie dei residui ed escludendo la modellazione della dipendenza tra la componente deterministica e stocastica.

4.3.1 Modellazione delle eccedenze

L'estensione della serie storica disponibile (10 anni) ha consigliato l'applicazione della modellazione delle eccedenze, definendo gli eventi estremi indipendenti superiori a una certa soglia prefissata (peak over threshold). La modellazione è stata effettuata assumendo la funzione di Distribuzione Generalizzata di Pareto (*GPD – Generalized Pareto Distribution*)

$$H(x) = \left[1 + \xi \left(\frac{x-u}{\sigma} \right) \right]^{-\frac{1}{\xi}} \quad \begin{cases} u = \text{soglia} \\ \xi = \text{parametro di forma} \\ \sigma = \text{parametro di scala} \end{cases}$$

Risultando questa (Coles,200) la funzione secondo la quale si distribuisce una popolazione di massimi sopra una soglia sufficientemente alta, nell'ipotesi che la corrispondente popolazione dei massimi annuali si distribuisca secondo la funzione Generalizzata dei Valori Estremi (GEV- Generalized Extreme value).

4.3.2 Definizione del campione e inferenza della DGP

La costruzione del campione indipendente e omogeneo ha previsto la definizione di una opportuna soglia (threshold), la definizione di gruppi di dati sopra di essa associabili a aventi indipendenti (clusters) e l'individuazione del massimo di ciascun gruppo.

In particolare, sia nell'analisi delle serie storica completa che in quella dei residui, si è proceduto nel seguente modo:

- Si è scelta una prima soglia pari a 0.00 m, definendo i clusters di eventi indipendenti ipotizzando una persistenza di soglia tra un evento e l'altro pari a 12 ore (intervallo tra due massimi di marea astronomica) nel caso di serie storica completa e 24-48 ore nel caso di serie dei residui (intervallo tra due perturbazioni meteorologiche nel Mediterraneo centrale);
- Tracciamento del "*grafico di vita residua della media*" utilizzando i campioni di massima dei clusters e individuando su di esso la soglia oltre la quale la media della variabile causale assume andamento lineare;
- Procedura di *declustering* dei nuovi campioni ottenuti;
- Utilizzando i nuovi campioni di eventi si è verificata la costanza dei parametri di scala e di forma della DGP all'aumentare della soglia;

- Calcolo dell'inferenza della distribuzione di campioni attraverso il *metodo della verosomiglianza* con verifica dell'analisi attraverso grafici (*Diagnostic Plots*), confronto tra le probabilità del modello e le frequenze empiriche (*Probability Plot*), confronto tra i quantili della distribuzione considerata ed empirici (*Quantile Plot*), nonché verificando l'andamento delle funzioni di distribuzione di probabilità (*Return Level Plot*) e densità di probabilità (*Density Plot*)

4.3.3 Risultati

Nelle figure sottostanti sono rappresentati i grafici di vita residua della media (s_x) e la stima dei parametri di scala e di forma della GPD al variare della soglia (d_x) per entrambi i metodi.

- Metodo diretto

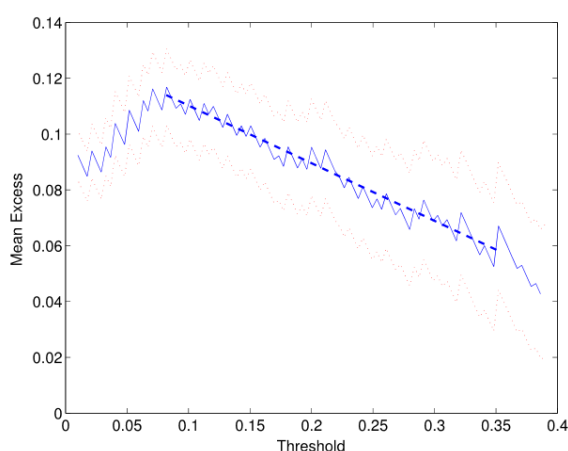


Figura 11: Grafico vita residua della media (metodo diretto)

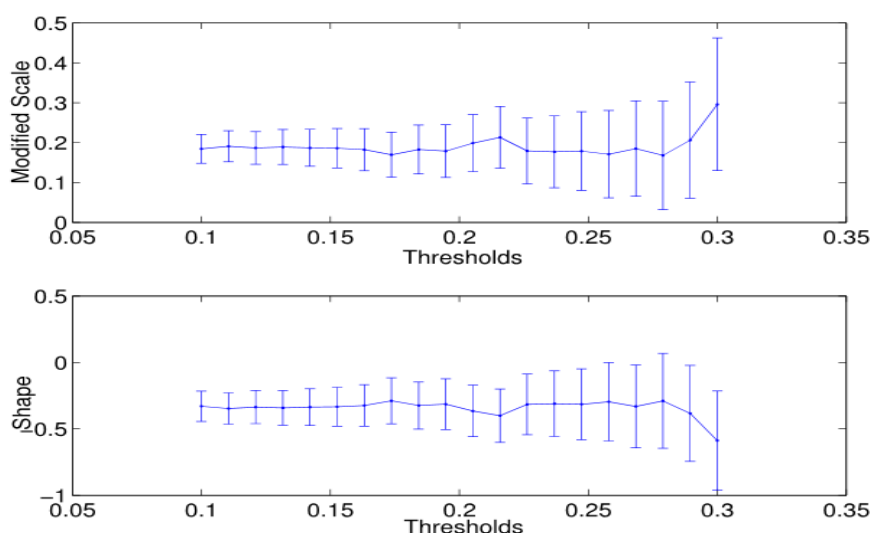


Figura 12: Stima parametri di scala e di forma (metodo indiretto)

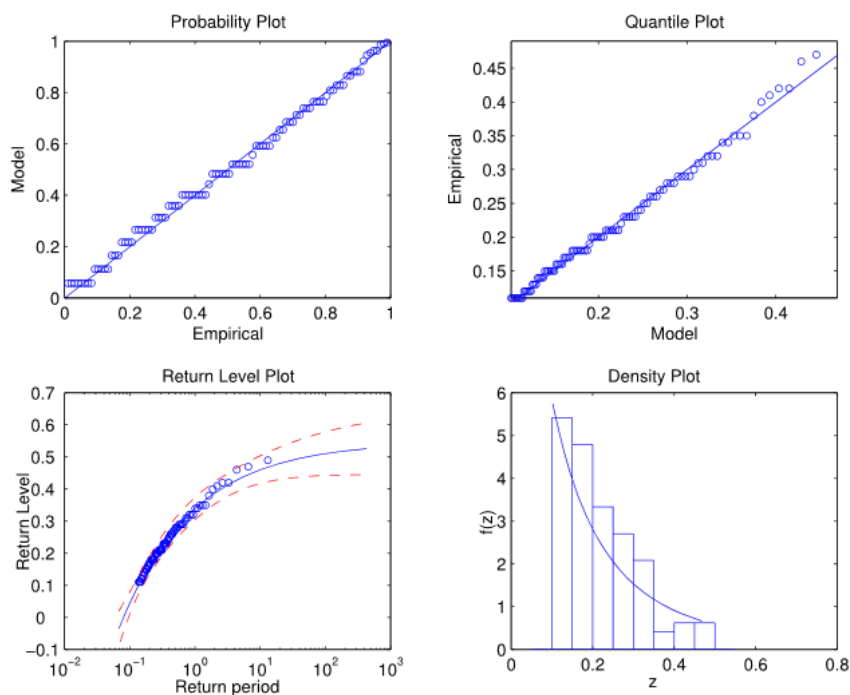


Figura 13: Grafici diagnostici per il caso di inferenza della GDP (metodo diretto)

- Metodo indiretto

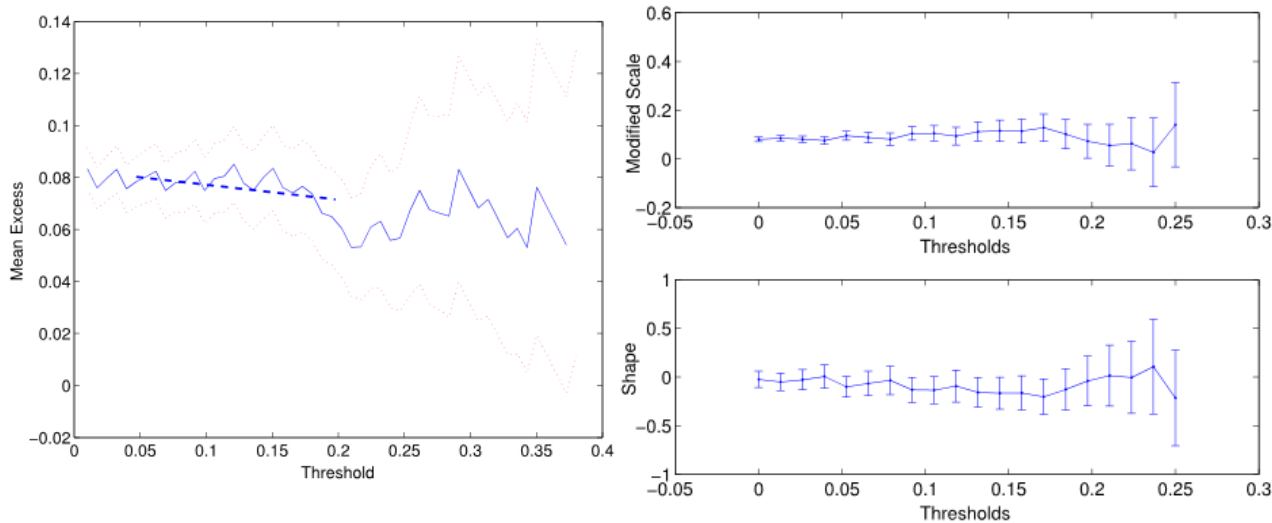


Figura 14: Grafico vita residua della media e stima parametri di scala e di forma (metodo indiretto)

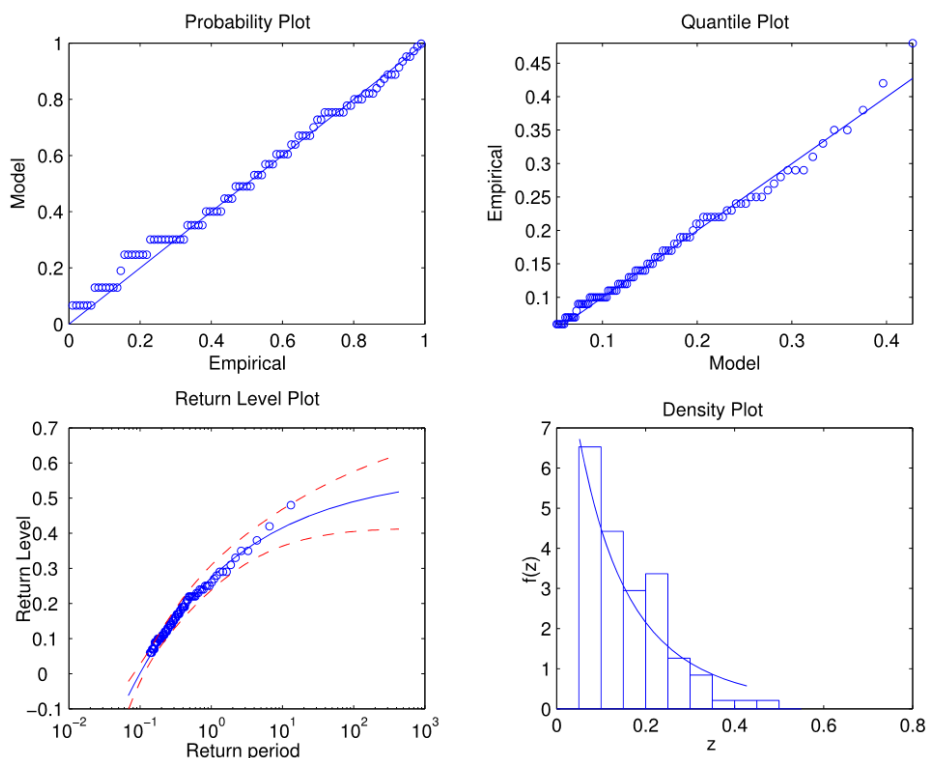


Figura 15:Grafici diagnostici per il caso di inferenza della GDP (metodo diretto)

L'analisi compiuta secondo il metodo di porta a concludere che il sovrizzo atteso del livello medio marino a causa delle componenti deterministica e stocastica della marea possa ritenersi pari a **50 cm** con un tempo di ritorno **Tr=100 anni**. Tale ordine di grandezza del sovrizzo risulta per altro confermata dall'analisi della sola componente stocastica (metodo indiretto) che indica per tale tempo di ritorno un sovrizzo atteso pari a 49 cm.

Di seguito sono riportate le tabelle che illustrano i livelli (con i limiti di confidenza) relativi a precisi tempi di ritorno per entrambi i metodi.

Tabella 2 Tempi di ritorno e livelli per il caso di inferenza della GDP (metodo diretto e indiretto)

	METODO DIRETTO	METODO INDIRETTO
Tr (anni)	Lv(m)	Lv(m)
2	0.39	0.33
5	0.45	0.38
10	0.46	0.42
20	0.48	0.44
50	0.50	0.47
100	0.51	0.49

5 MODELLO SW DI PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDO SO SOTTOCOSTA

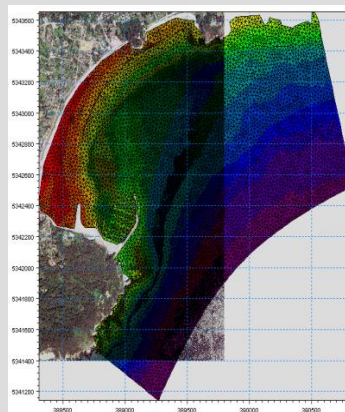
5.1 APPROCCIO METODOLOGICO

Propagandosi da largo sottocosta le onde subiscono delle trasformazioni in termini di direzione, altezza e periodo. Per simulare tale trasformazione è stato implementato un modello matematico bidimensionale, il modulo SW (Spectral Waves) del codice di calcolo MIKE 21 del DHI (Danish Hydraulic Institute).

MIKE 21 SW è un modello spettrale per vento ed onde di nuova generazione, basato su una griglia non strutturata. Il modello simula la trasformazione di onde generate dal vento ed onde di swell sia offshore sia in aree costiere.

MIKE 21 SW include due differenti formulazioni: "Directional decuple parametric" e "Fully spectral". La prima delle due formulazioni è basata su una parametrizzazione dell'equazione di conservazione dell'energia del moto ondoso. La parametrizzazione è effettuata nel dominio della frequenza mediante l'introduzione come variabili dipendenti del momento di ordine zero e del momento di primo ordine dello spettro (Holthuijsen, 1989). La seconda formulazione è basata sulla conservazione dell'energia del moto ondoso come descritta da Komen (1994) e Young (1999). I fenomeni fisici che sono modellati con MIKE 21 SW sono i seguenti:

1. Generazione dell'onda ad opera del vento;
2. Interazione non lineare onda-onda;
3. Dissipazione dovuta al cosiddetto "whitecapping";
4. Dissipazione dovuta all'attrito con il fondo;
5. Dissipazione dovuta al frangimento;
6. Rifrazione e shoaling dovuti alle variazioni del fondale;
7. Interazione onde-correnti;
8. Diffrazione;
9. Riflessione.



MIKE 21 SW è un modello a maglie triangolari, che permette di assegnare una diversa risoluzione spaziale all'interno del dominio di calcolo. In questo modo, è possibile attribuire una risoluzione più elevata nelle aree in cui è richiesto un maggior dettaglio per il verificarsi di fenomeni quali rifrazione, shoaling, attrito con il fondo e, eventualmente, frangimento, che provocano una significativa trasformazione delle caratteristiche dell'onda incidente su distanze relativamente limitate.

5.2 COSTRUZIONE DEL MODELLO E BATIMETRIA

Il dominio di calcolo del modulo Mike 21 SW include il tratto di costa che si estende da Castellaneta Marina, ad Ovest, a Lama, ad Est; il limite al largo è definito dall'isobata dei -225,0m s.l.m.

Per la ricostruzione della batimetria di area vasta, sono stati combinati i dati di un rilievo del 25.01.2012 (cod. CSE 11_01) commissionato da SOGESID S.p.A. ed Autorità Portuale, integrati con dati rinvenuti dalle cartografie nautiche digitali nonché con ulteriori indagini commissionate durante la redazione della presente progettazione esecutiva, condotte dalla Società Prisma srl.

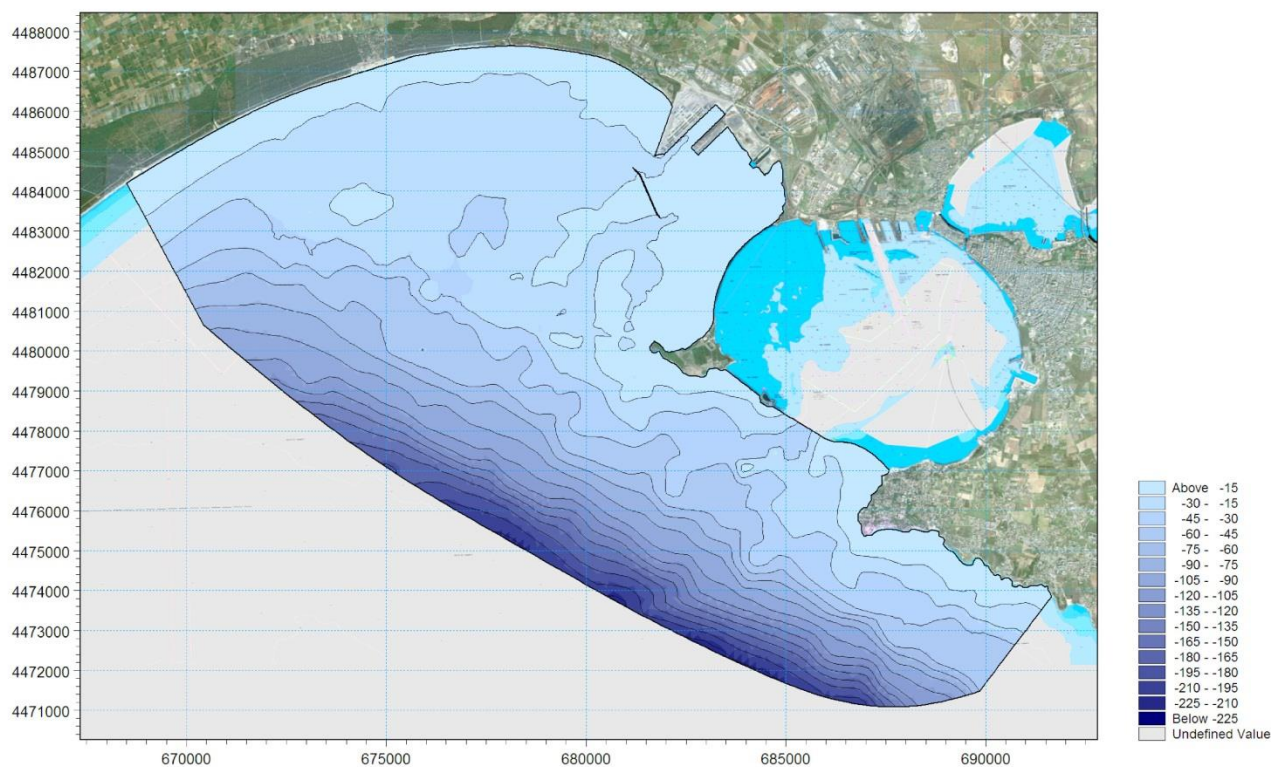


Figura 16: Dominio di calcolo e isobate

È stata poi assegnata la risoluzione del modello, cioè la lunghezza media dei lati dei triangoli che, nel caso in esame, varia da 200m al largo fino a 20m sotto costa.

Il modulo SW di Mike 21 impone che siano assegnate le condizioni al contorno lungo le *boundaries* aperte del dominio di calcolo. In particolare, al limite al largo del modello è stata attribuita la condizione "*off-shore boundary*"; ai contorni laterali Castellaneta Marina, ad Ovest, e Lama, ad Est, è stata assegnata la condizione "*lateral boundaries*".

Lungo l' "*off-shore boundary*" sono stati assegnati i dati di input del modello riferiti al moto ondoso al largo (altezza d'onda significativa, periodo di picco e direzione media di provenienza).

Per simulare la condizione per la quale anche onde più inclinate possono penetrare all'interno del dominio di calcolo e propagarsi da e verso l'esterno attraverso le "*lateral boundaries*", SW calcola una soluzione semplificata delle equazioni lungo il contorno (approccio monodimensionale), a partire dalle caratteristiche dell'onda nel punto di intersezione dell' "*lateral boundary*" con l' "*off-shore*" e dallo sviluppo delle isobate lungo i contorni laterali.

La *mesh* di calcolo e le condizioni al contorno sono illustrate nella figura seguente.

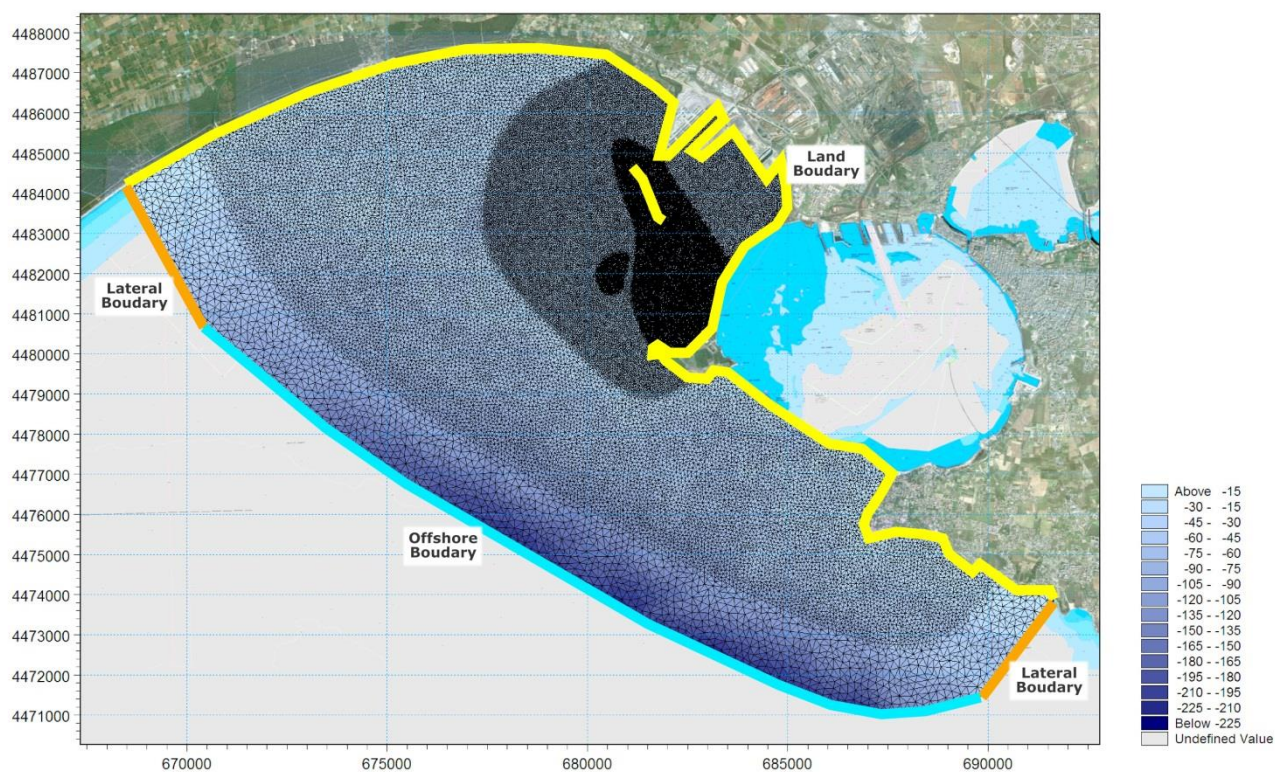


Figura 17: Mesh di calcolo e condizioni al contorno

Lo step successivo per la configurazione del modello è la definizione delle onde da simulare sia nel caso di clima ordinario, sia di eventi estremi.

6 CLIMA ORDINARIO: ANALISI STATISTICA E PROPAGAZIONE SOTTOCOSTA

6.1 ANALISI STATISTICA DEL CLIMA ORDINARIO

Il clima ondoso ordinario rappresenta la distribuzione media annua dell'altezza d'onda significativa in un determinato tratto di mare e per una fissata direzione di provenienza dell'onda. A ciascun evento è poi associata una frequenza media di accadimento.

L'analisi del clima meteomarino medio al largo del porto di Taranto è stata eseguita sulla base dei dati registrati dalla boa ondometrica di tipo "Data well Directional Wave rider MKIII" di Taranto. Il dispositivo è stato ormeggiato il 16 marzo 2006 al largo di Capo San Vito, nel punto di coordinate E: 2705492; N: 4474188 (Gauss-Boaga fuso Est), su fondale di 70,5m.

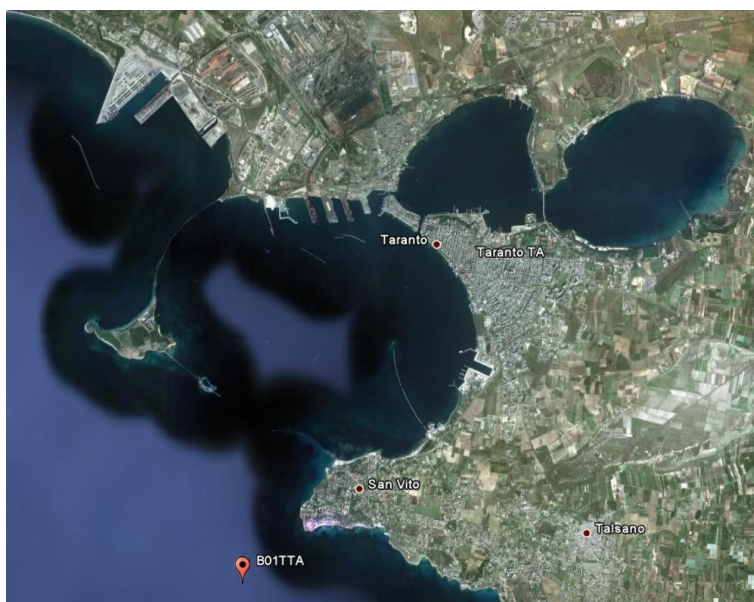


Figura 18: Localizzazione della boa ondometrica di Taranto

I dati sono disponibili dalle 12:00 del 12/09/2006 alle 00:00 del 14/07/2011, anche se presentano dei gap dovuti ad un atto vandalico e ad un guasto causato dall'infiltrazione di acqua a seguito di un urto. La serie storica delle registrazioni, inaffidabile per un'analisi di tipo statistico degli eventi estremi visto l'esiguo numero di dati, è ritenuta sufficiente ai fini di uno studio sul clima ordinario, il cui obiettivo è definire mareggiate con un flusso di energia equivalente a quello di tutta la serie storica, comprese le mareggiate energeticamente modeste.

I dati triorari registrati dalla boa sono stati aggregati in classi di altezza d'onda, periodo e direzione.

Nella figura e nella tabella seguenti sono illustrate le frequenze di accadimento delle classi di altezza d'onda in funzione dei settori di direzione di ampiezza 10°.

Nel diagramma polare si è scelto di considerare le onde con altezza inferiore a 0,25m come eventi di calma.

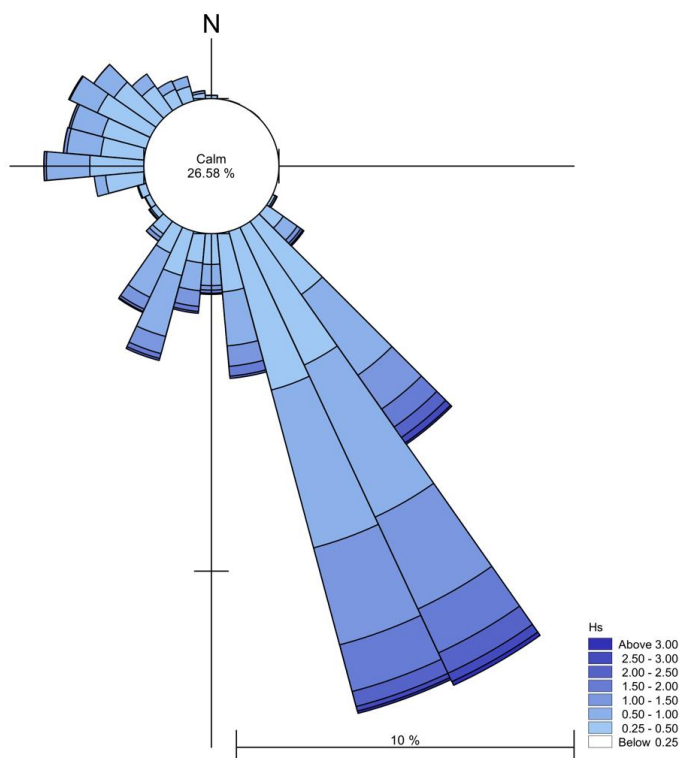


Figura 19: Diagramma polare del clima ondoso ordinario al largo

Tabella 3 Numero di osservazioni per classi di altezza d'onda significativa e direzione di provenienza

MWD (N°)	Hs (m)										Tot.	Tot. %
	0-0,5	0,5-1,0	1,0-1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0	3,0-3,5	3,5-4,0	4,0-4,5	4,5-5,0		
0-10	12.646	4.518	1.115	6	0	0	0	0	0	0	18.2885	6,44%
10-20	18303	2.290	314	6	0	0	0	0	0	0	20.9113	7,36%
20-30	15.077	762	60	0	0	0	0	0	0	0	15.899	5,60%
30-40	11.886	363	48	0	0	0	0	0	0	0	12.297	4,33%
40-50	9.487	291	26	0	0	0	0	0	0	0	9.804	3,45%
50-60	8.167	454	45	31	6	0	0	0	0	0	8.703	3,06%
60-70	6.718	687	150	35	25	6	0	0	0	0	7.621	2,68%
70-80	5.870	763	218	163	43	12	6	0	0	0	7.075	2,49%
80-90	5.088	818	297	120	88	19	1	0	0	0	6.431	2,26%
90-100	4.764	1.082	416	119	165	81	42	7	0	0	6.676	2,35%
100-110	4.662	1.184	483	137	215	138	74	44	36	0	6.973	2,46%
110-120	5.239	1.385	629	241	264	170	118	103	42	6	8.197	2,89%
120-130	5.898	1.931	1.112	682	625	598	294	231	84	6	11.461	4,04%
130-140	7.193	2.893	1.495	914	743	1.010	693	308	96	12	15.357	5,41%
140-150	7.685	3.323	1.646	879	500	620	288	104	0	0	15.045	5,30%
150-160	9.222	4.122	1.808	635	376	441	14	24	0	0	16.642	5,86%
160-170	12.250	5.480	1.739	408	65	80	39	61	0	0	20.122	7,09%
170-180	15.015	6.320	1.881	186	67	40	6	37	0	0	23.553	8,29%
180-190	13.649	6.177	1.167	136	62	20	1	0	0	0	21.212	7,47%

MWD (N°)	Hs (m)										Tot.	Tot. %
	0-0,5	0,5-1,0	1,0-1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0	3,0-3,5	3,5-4,0	4,0-4,5	4,5-5,0		
190-200	7.140	3.084	492	95	28	16	1	0	0	0	10.856	3,82%
200-210	2.605	925	124	64	16	16	0	0	0	0	3.750	1,32%
210-220	865	313	105	57	14	19	0	0	0	0	1.373	0,48%
220-230	581	235	81	33	15	1	2	0	0	0	948	0,33%
230-240	511	197	73	18	6	9	0	0	0	0	814	0,29%
240-250	502	217	64	22	6	0	0	0	0	0	811	0,29%
250-260	520	188	69	18	10	0	0	0	0	0	805	0,28%
260-270	443	253	82	46	3	1	0	0	0	0	828	0,29%
270-280	345	224	85	41	24	13	1	0	0	0	733	0,26%
280-290	296	228	108	89	31	24	3	4	0	0	783	0,28%
290-300	365	213	92	57	28	20	8	0	12	0	795	0,28%
300-310	469	196	93	62	30	24	7	0	0	0	881	0,31%
310-320	558	191	53	47	26	12	0	0	0	0	887	0,31%
320-330	650	178	69	59	7	0	0	0	0	0	963	0,34%
330-340	710	167	98	56	0	0	0	0	0	0	1.031	0,36%
340-350	891	222	154	1	0	0	0	0	0	0	1.268	0,45%
360-0	2.362	1.399	410	17	0	0	0	0	0	0	4.188	1,47%
Tot.	198.632	53.273	16.901	5.480	3.488	3.390	1.598	923	270	24	283.979	100%
Tot. %	69,95%	18,76%	5,95%	1,93%	1,23%	1,19%	0,56%	0,33%	0,10%	0,01%	100%	

Dal diagramma polare appare evidente che al largo le mareggiate più intense e più frequenti provengono da Sud Sud-Est, in particolare dalle direzioni comprese tra 135° e 175°N. Meno rilevante, ma comunque significativo, il moto ondoso con origine da Ovest Sud-Ovest, dalle direzioni comprese tra 175° e 215°N. Scelto il settore nel quale rientrano le onde da simulare (115°-245°N), sono stati individuati **152 eventi** (o classi) **ordinari** rappresentativi del clima meteomarino al largo, caratterizzati da altezza d'onda significativa (Hs), periodo di picco (Tp), direzione media di propagazione (MWD) e frequenza di accadimento (percentuale annua).

Tabella 4 Eventi ordinari simulati per classi di altezza d'onda significativa e direzione di provenienza

N. eventi	Hs (m)	Tp (s)	MWD (°)	N. eventi	Hs (m)	Tp (s)	MWD (°)	N. eventi	Hs (m)	Tp (s)	MWD (°)
1	0,30	3,13	115	52	1,10	5,10	155	103	1,50	5,74	185
2	0,50	3,79	115	53	1,30	5,44	155	104	1,70	6,01	185
3	1,10	5,10	115	54	1,50	5,74	155	105	1,90	6,27	185
4	0,30	3,13	125	55	1,70	6,01	155	106	2,10	6,51	185
5	0,50	3,79	125	56	1,90	6,27	155	107	2,50	6,95	185
6	0,70	4,30	125	57	2,10	6,51	155	108	0,30	3,13	195
7	0,90	4,73	125	58	2,30	6,74	155	109	0,50	3,79	195
8	1,10	5,10	125	59	2,50	6,95	155	110	0,70	4,30	195
9	1,30	5,44	125	60	2,70	7,16	155	111	0,90	4,73	195
10	1,70	6,01	125	61	2,90	7,35	155	112	1,10	5,10	195



N. eventi	Hs (m)	Tp (s)	MWD (°)	N. eventi	Hs (m)	Tp (s)	MWD (°)	N. eventi	Hs (m)	Tp (s)	MWD (°)
11	1,90	6,27	125	62	3,10	7,54	155	113	1,30	5,44	195
12	3,10	7,54	125	63	3,30	7,72	155	114	1,50	5,74	195
13	0,30	3,13	135	64	3,50	7,90	155	115	1,70	6,01	195
14	0,50	3,79	135	65	3,70	8,06	155	116	1,90	6,27	195
15	0,70	4,30	135	66	3,90	8,22	155	117	2,10	6,51	195
16	0,90	4,73	135	67	4,10	8,38	155	118	2,30	6,74	195
17	1,10	5,10	135	68	4,30	8,53	155	119	0,30	3,13	205
18	1,30	5,44	135	69	4,50	8,68	155	120	0,50	3,79	205
19	1,50	5,74	135	70	4,70	8,82	155	121	0,70	4,30	205
20	1,70	6,01	135	71	0,30	3,13	165	122	0,90	4,73	205
21	1,90	6,27	135	72	0,50	3,79	165	123	1,10	5,10	205
22	2,10	6,51	135	73	0,70	4,30	165	124	1,30	5,44	205
23	2,30	6,74	135	74	0,90	4,73	165	125	1,50	5,74	205
24	2,50	6,95	135	75	1,10	5,10	165	126	1,70	6,01	205
25	2,70	7,16	135	76	1,30	5,44	165	127	1,90	6,27	205
26	2,90	7,35	135	77	1,50	5,74	165	128	2,10	6,51	205
27	3,10	7,54	135	78	1,70	6,01	165	129	0,30	3,13	215
28	4,50	8,68	135	79	1,90	6,27	165	130	0,50	3,79	215
29	0,30	3,13	145	80	2,10	6,51	165	131	0,70	4,30	215
30	0,50	3,79	145	81	2,30	6,74	165	132	0,90	4,73	215
31	0,70	4,30	145	82	2,50	6,95	165	133	1,10	5,10	215
32	0,90	4,73	145	83	2,70	7,16	165	134	1,30	5,44	215
33	1,10	5,10	145	84	3,50	7,90	165	135	1,50	5,74	215
34	1,30	5,44	145	85	4,10	8,38	165	136	1,70	6,01	215
35	1,50	5,74	145	86	0,30	3,13	175	137	1,90	6,27	215
36	1,70	6,01	145	87	0,50	3,79	175	138	2,10	6,51	215
37	1,90	6,27	145	88	0,70	4,30	175	139	0,30	3,13	225
38	2,10	6,51	145	89	0,90	4,73	175	140	0,50	3,79	225
39	2,30	6,74	145	90	1,10	5,10	175	141	0,90	4,73	225
40	2,50	6,95	145	91	1,30	5,44	175	142	1,10	5,10	225
41	2,70	7,16	145	92	1,50	5,74	175	143	1,30	5,44	225
42	2,90	7,35	145	93	1,70	6,01	175	144	0,30	3,13	235
43	3,10	7,54	145	94	1,90	6,27	175	145	0,50	3,79	235
44	3,30	7,72	145	95	2,10	6,51	175	146	0,70	4,30	235

N. eventi	Hs (m)	Tp (s)	MWD (°)	N. eventi	Hs (m)	Tp (s)	MWD (°)	N. eventi	Hs (m)	Tp (s)	MWD (°)
45	3,50	7,90	145	96	2,30	6,74	175	147	0,90	4,73	235
46	3,70	8,06	145	97	0,30	3,13	185	148	1,30	5,44	235
47	4,10	8,38	145	98	0,50	3,79	185	149	0,30	3,13	245
48	0,30	3,13	155	99	0,70	4,30	185	150	0,50	3,79	245
49	0,50	3,79	155	100	0,90	4,73	185	151	0,70	4,30	245
50	0,70	4,30	155	101	1,10	5,10	185	152	0,90	4,73	245
51	0,90	4,73	155	102	1,30	5,44	185				

Per trovare la relazione tra le altezze d'onda ed i periodi, è stato elaborato il grafico illustrato nella figura successiva in cui sono state riportate le grandezze Tp/Hs in funzione di Hs.

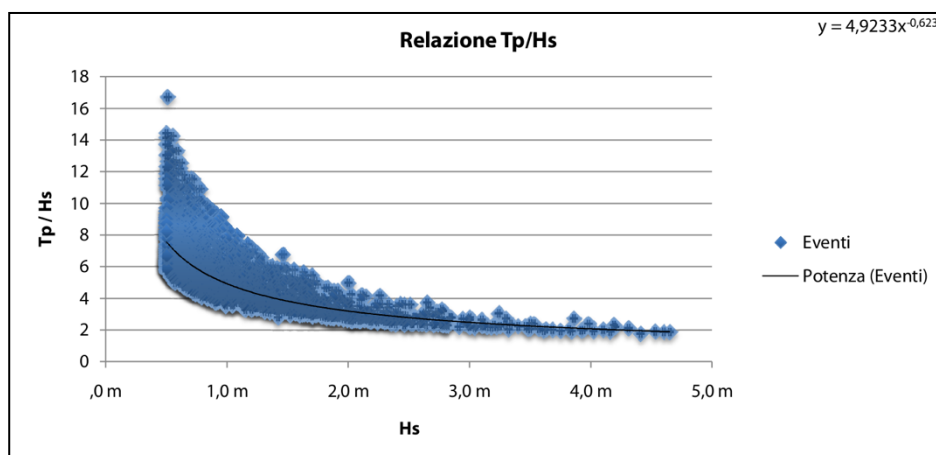


Figura 20: Relazione tra altezza d'onda significative e periodo di picco

Tracciando la linea di tendenza della distribuzione delle suddette grandezze, si è ottenuta la seguente equazione empirica:

$$\frac{T_p}{H_s} = 4.9233 \cdot H_s^{-0.623}$$

Il periodo di picco medio T_m può essere calcolato secondo la teoria statistica delle onde random (Random seas and design of Maritime structures, Y.Goda) con riferimento allo spettro di tipo JONSWAP (vedi figura sottostante)

Wave Period Ratio	Wallops-type Spectrum				JONSWAP-type Spectrum		
	$m = 3$	$m = 5$	$m = 10$	$m = 20$	$\gamma = 3.3$	$\gamma = 10$	$\gamma = 20$
$T_{1/10}/T_p$	0.82	0.89	0.93	0.96	0.93	0.96	0.97
$H_{1/3}/T_p$	0.78	0.88	0.93	0.96	0.93	0.97	0.98
\bar{T}/T_p	0.58	0.74	0.89	0.95	0.80	0.87	0.91
$T_{max}/T_{1/3}$	1.07	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
$T_{1/10}/T_{1/3}$	1.06	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00
$T_{1/3}/\bar{T}$	1.35	1.19	1.06	1.02	1.16	1.11	1.09

Figura 21: JONSWAP – type Spectrus

ottenendo pertanto, per un valore del $\gamma = 3.3$ la seguente relazione

$$T_m = \frac{T_p}{1.18}$$

6.2 PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSO SOTTOCOSTA

Il modello SW, modulo del Mike 21 per simulare la propagazione del clima ondoso da largo a sottocosta, è stato fatto girare per i 152 eventi ordinari registrati dalla boa ondometrica di Taranto elencati in Tabella 4.

6.2.1 Risultati del modello numerico

Terminate le simulazioni di cui al paragrafo precedente sono stati estratti, dai file di output di MIKE 21 SW, i valori dei parametri caratteristici del moto ondoso sottocosta (altezza d'onda significativa, periodo di picco e direzione media di propagazione) in tutti i punti del dominio di calcolo. La distribuzione delle altezze d'onda è più dettagliata nelle aree del modello in cui è stata assegnata alla *mesh* di calcolo una maggiore risoluzione (20m). L'analisi degli output è di notevole interesse per valutare gli effetti, sui valori dei parametri caratteristici dell'onda, dei fenomeni di rifrazione, shoaling ed attrito col fondo.

Nella figura seguente è illustrata, a titolo di esempio, la distribuzione di Hs e M.W.D. in tutto il dominio di calcolo per un'onda ordinaria. Per gli altri risultati si rimanda all'Allegato n.2 (Moto ondoso ordinario: Propagazione da largo a sottocosta).

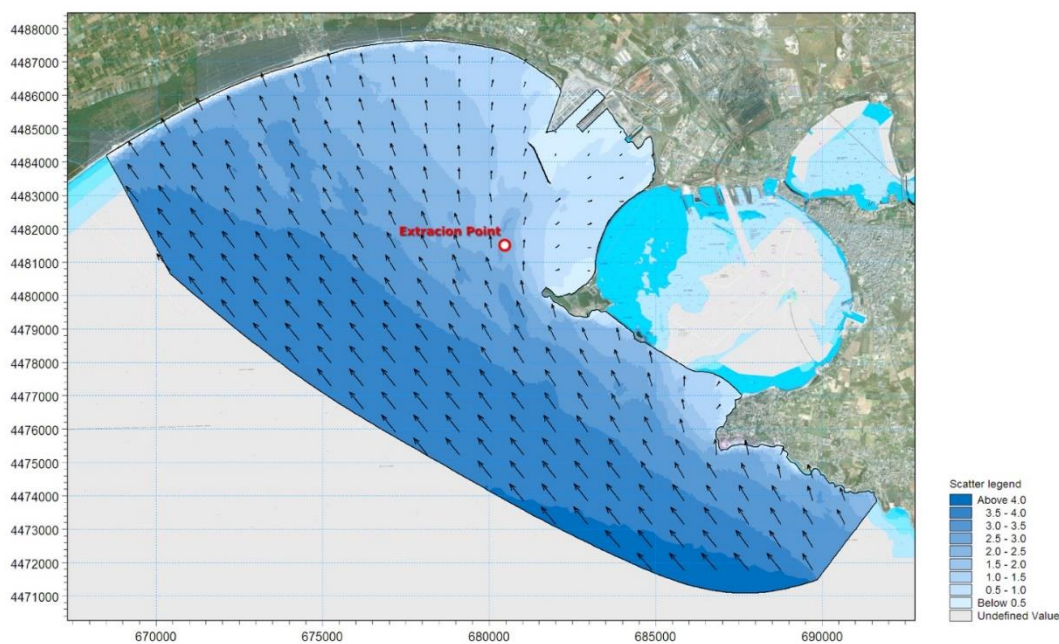


Figura 22: Clima ordinario - caratteristiche dell'onda al largo: $H_s=4,10\text{m}$; $T_p=8,38\text{s}$; $MWD=145^\circ\text{N}$

6.2.2 Analisi del moto ondoso sottocosta

Al fine di caratterizzare il clima ondoso sottocosta nel paraggio in esame, sono stati estratti dagli output di SW i valori dei parametri caratteristici delle onde in un punto di coordinate UTM33: 680500 E, 4481500 N (*punto di estrazione I*), situato ad una profondità di circa 25m e ad una distanza di circa 4km dalla costa. Questo punto di estrazione dei parametri caratteristici delle onde sottocosta (H_s , T_p e M.W.D.) è finalizzato a fornire i dati di input al modulo BW del MIKE 21, con cui stimare le caratteristiche delle onde all'interno del porto e calcolare, in tutti i punti del dominio di calcolo, il coefficiente di disturbo.

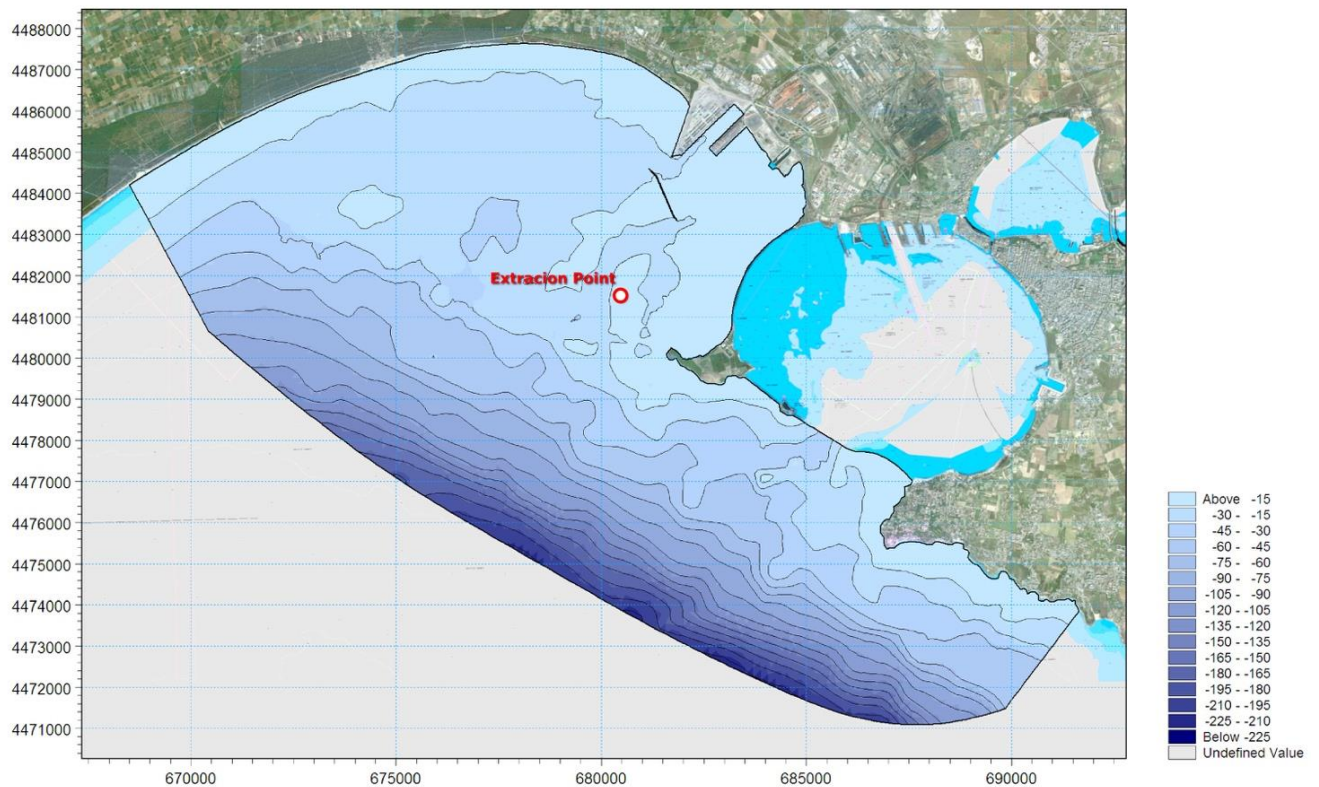


Figura 23: Punto di estrazione 1 per l'analisi del moto ondoso sottocosta

Con il modello di calcolo SW sono stati propagati verso riva i **152 eventi ordinari** (classi) per simulare come variano le caratteristiche delle onde, in termini di altezza d'onda significativa (H_s), periodo di picco (T_p) e direzione media di provenienza (MWD), dal largo in un punto qualsiasi sotto costa.

Elaborando i risultati alla stregua di quanto fatto sui dati ondametrici al largo, è stata stimata la frequenza di accadimento di classi di altezza d'onda in funzione di settori di direzione di ampiezza 10° .

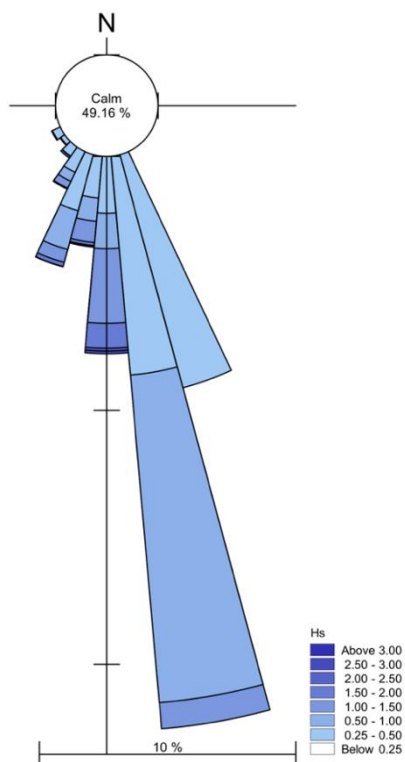


Figura 24: Diagramma polare del clima ondoso ordinario sottocosta

Tabella 5 Clima ondoso ordinario sottocosta: numero di osservazioni per classi di altezza d'onda significativa e direzione di provenienza

MWD (N°)	Hs (m)										Tot.	Tot. %	
	0-0,5	0,5-1,0	1,0-1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0	3,0-3,5	3,5-4,0	4,0-4,5	4,5-5,0			
0-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
10-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
20-30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
30-40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
40-50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
50-60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
60-70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
70-80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
80-90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
90-100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
100-110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
110-120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
120-130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
130-140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
140-150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
150-160	583	0	0	0	0	0	0	0	0	0	583	6,50%	
160-170	1.905	485	0	0	0	0	0	0	0	0	2.390	26,65%	
170-180	153	748	349	41	0	0	0	0	0	0	1.291	14,40%	
180-190	140	53	33	52	10	12	3	0	0	0	303	3,38%	
190-200	149	82	49	11	3	0	0	0	0	0	294	3,28%	

MWD (N°)	Hs (m)										Tot.	Tot.%
	0-0,5	0,5-1,0	1,0-1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0	3,0-3,5	3,5-4,0	4,0-4,5	4,5-5,0		
200-210	264	142	47	10	0	0	0	0	0	0	463	5,16%
210-220	61	37	33	3	0	0	0	0	0	0	134	1,49%
220-230	17	2	1	0	0	0	0	0	0	0	20	0,22%
230-240	30	3	0	0	0	0	0	0	0	0	33	0,37%
240-250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
250-260	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
260-270	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
270-280	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
280-290	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
290-300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
300-310	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
310-320	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
320-330	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
330-340	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
340-350	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
360-0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
Tot.	3.302	1.552	512	117	13	12	3	0	0	0	5.511	61,46%
Tot.%	36,82%	17,31%	5,71%	1,30%	0,14%	0,13%	0,03%	0,00%	0,00%	0,00%	61,46%	

Dall'esame del diagramma polare è evidente come, approssimandosi alla riva, le onde tendono a ruotare e disporsi ortogonalmente alla costa, per cui la varianza di distribuzione di M.W.D. è inferiore rispetto ai dati al largo. Si osserva altresì che le mareggiate più frequenti sono quelle provenienti dal settore di direzione media 170°N.

Le altezze d'onda maggiore sono invece associate al settore 180°-200°N.

Nella seguente tabella sono riportati i risultati delle simulazioni, in termini di altezza d'onda significativa, periodo e direzione nel punto di coordinate UTM33 680500 E 4481500 N (*punto di estrazione I*) e i corrispettivi valori al largo.

Per ognuna delle 14 direzioni medie del moto ondoso è stato scelto l'evento peggiore in termini di altezza d'onda.

Tabella 6 Valori di Hs, Tp e MWD al largo e sottocosta (punto di estrazione 1: UTM33 680500 E 4481500 N)

CLIMA A LARGO				CLIMA SOTTOCOSTA			
N. eventi	Hs (m)	Tp (s)	MWD (°)	N. eventi	Hs (m)	Tp (s)	MWD (°)
3	1,10	5,10	115	3	0,17	5,04	158
12	3,10	7,54	125	12	0,92	7,07	180
28	4,50	8,68	135	28	1,96	7,91	183
47	4,10	8,38	145	47	2,23	7,66	183
70	4,70	8,82	155	70	3,07	7,99	186
85	4,10	8,38	165	85	3,03	7,68	187
96	2,30	6,74	175	96	1,85	6,43	185

CLIMA A LARGO				CLIMA SOTTOCOSTA			
N. eventi	Hs (m)	Tp (s)	MWD (°)	N. eventi	Hs (m)	Tp (s)	MWD (°)
107	2,50	6,95	185	107	2,16	6,63	191
118	2,30	6,74	195	118	2,07	6,49	197
128	2,10	6,51	205	128	1,92	6,32	204
138	2,10	6,51	215	138	1,92	6,35	212
143	1,30	5,44	225	143	1,21	5,39	220
148	1,30	5,44	235	148	1,19	5,40	229
152	0,90	4,73	245	152	0,83	4,72	236

7 ONDE ESTREME: ANALISI STATISTICA E SUCCESSIVA PROPAGAZIONE DELLE ONDE SOTTOCOSTA

A partire dai dati di moto ondoso e di vento disponibili per il paraggio di mare in esame, si è proceduto a stimare gli eventi estremi al largo e sottocosta mediante metodi diretti e indiretti (vedi Capitolo 3). A tale scopo, è stata svolta un'analisi dei dati disponibili per stimare le mareggiate e le folate da utilizzare per la stima degli eventi estremi mediante l'applicazione di opportune curve probabilistiche. Infine gli eventi estremi sono stati stimati sottocosta ed è stata eseguita un'analisi riguardante la rappresentatività di tali dati al variare dei settori di provenienza delle onde.

7.1 PREVISIONE DEGLI EVENTI ESTREMI A LARGO

I dati che rappresentano le mareggiate individuate mediante il metodo diretto ed indiretto nei paragrafi precedenti vengono qui utilizzati per la stima delle altezze d'onda estreme al largo per fissati tempi di ritorno. In particolare, le analisi statistiche sono state elaborate sui massimi delle mareggiate determinate in precedenza.

L'approccio probabilistico, partendo dall'analisi dei valori d'altezza d'onda scelti come valori che superano una soglia assegnata e stimati in un certo periodo di tempo, porta alla determinazione del valore massimo più probabile che si verificherà entro un certo tempo futuro. I risultati riportano, quindi, i valori di altezza d'onda massimi in funzione di precisi tempi di ritorno, ossia del tempo durante il quale possono essere uguagliate o superate mediamente una volta.

Per estrapolare i valori statistici stimati delle altezze d'onda, in letteratura sono proposte numerose leggi o funzioni di distribuzione, tra le quali le più usate e suggerite, tra l'altro, dall'AIPCN, sono:

1. La funzione di distribuzione di *Fischer-Tippet I* (Gumbel)
2. La funzione di distribuzione di *Weibull*

Non esiste una dimostrazione rigorosa che attesti l'adeguatezza di una legge di distribuzione piuttosto di un'altra, per cui è necessario procedere all'esame dei dati disponibili e verificare la migliore adattabilità ad essi di uno o dell'altro tipo di distribuzione probabilistica.

Per valutare i parametri della distribuzione con un metodo numerico, si utilizza il metodo della massima verosimiglianza suggerito da Goda (1988): l'approccio consiste nel ricercare fra cinque distribuzioni di probabilità selezionate ed applicate al campione di valori di altezza d'onda significativa, quella che meglio si adatta. Le distribuzioni individuate sono la *Fischer-Tippet I* (Gumbel) e *Weibull* per quattro differenti valori del parametro di forma k . Il metodo permette così di identificare la distribuzione che meglio si adatta al campione di dati in input e stimare i valori di altezza d'onda corrispondenti a determinati tempi di ritorno.

Distribuzione di Fischer-Tippet I (Gumbel)

$$F(H_s \leq \widehat{H}_s) = e^{-e^{-\left(\frac{\widehat{H}_s - B}{A}\right)}}$$

Distribuzione di Weibull

$$F(H_s \leq \widehat{H}_s) = 1 - e^{-\left(\frac{\widehat{H}_s - B}{A}\right)^k}$$

dove:

$F(H_s \leq \widehat{H}_s)$ è la probabilità che H_s non superi il valore assegnato \widehat{H}_s

H_s è l'altezza d'onda significativa

\widehat{H}_s è il valore soglia imposto per l'individuazione delle mareggiate

B è un parametro del sito

A è un parametro di scala

k è il parametro di forma ($k=0.75$; 1.00 ; 1.40 ; 2.00 distintamente per ognuna delle distribuzioni scelte)

I dati di input devono essere ordinati in ordine decrescente e ad ogni valore deve essere attribuito una probabilità data dalle espressioni:

$$F(H_s \leq H_{sm}) = 1 - \frac{m-0.44}{N_T+0.12} \quad \text{Fischer-Tippet I (Gumbel)}$$

$$F(H_s \leq H_{sm}) = 1 - \frac{m-0.20-\frac{0.27}{\sqrt{k}}}{N_T+0.2+\frac{0.23}{\sqrt{k}}} \quad \text{Weibull}$$

dove:

$F(H_s \leq H_{sm})$ è la probabilità che la m -esima altezza d'onda significativa non sia superata;

H_{sm} è l' m -esimo valore nel campione delle altezze significative;

m è il livello del valore dell'altezza significativa = $1,2 \cdot N_T$

N_T è il numero totale degli eventi durante la lunghezza della registrazione (dati disponibili)

Nota, quindi, $F(H_s \leq H_{sm})$, è possibile ricavare:

$$y_m = -\ln[-\ln F(H_s \leq H_{sm})] \quad \text{Fischer-Tippet I (Gumbel)}$$

$$y_m = \{-\ln[1 - F(H_s \leq H_{sm})]\}^{\frac{1}{k}} \quad \text{Weibull}$$

Avendo posto $y_m = \frac{H_{sm}-B}{A}$ e, dunque, $H_{sm} = \widehat{A}y_m + \widehat{B}$, sono state rappresentate graficamente le altezze d'onda significative in funzione delle corrispondenti variabili ridotte y_m . Pertanto, è stata verificata l'adattabilità delle cinque distribuzioni ai dati di input calcolando, col metodo dei minimi quadrati, il coefficiente di determinazione R^2 ed il coefficiente angolare e l'intercetta della retta interpolante. Il parametro R^2 confronta i valori previsti con quelli effettivi e può avere un valore compreso tra 0 ed 1: se è tendente ad 1, significa che esiste un'ottima correlazione, vale a dire che la distribuzione di probabilità in questione rappresenta bene il campione di dati; se, invece, il coefficiente è tendente a 0, la regressione non sarà di alcun aiuto nella stima dei valori cercati.

Le mareggiate estreme, individuate sia con il metodo diretto che con il metodo indiretto, ricadenti nel settore di traversia compreso tra 110 e $250^\circ N$, sono state suddivise in classi direzionali di ampiezza pari a 20° ed il procedimento appena descritto è stato svolto per ciascuna delle sette classi così ottenute; per le diverse direzioni è stato verificato l'adattamento a cinque distribuzioni di

probabilità di non superamento: una di Gumbel e quattro di Weibull.

Dopo aver calcolato i parametri delle sopra descritte distribuzioni di probabilità di eventi estremi, è stato necessario procedere alla verifica di adattamento delle stesse ai dati originari, sia attraverso il confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni teoriche ottenute, sia attraverso il test di Pearson o del χ^2 .

Il test di Pearson o del χ^2 consente di verificare quanto una distribuzione si adatta bene ad una serie di dati e quindi anche quale distribuzione tra più proposte si adatta meglio alla stessa serie.

Se N è il numero di dati a disposizione per ciascun settore di provenienza, si suddivide il campione di N dati, ordinati in senso decrescente, in K classi di equiprobabilità $p=1/K$, in cui il limite superiore è calcolato applicando la formula:

$$H_{sm} = \hat{A}y_m + \hat{B}$$

dove per A e B si intendono i parametri caratteristici individuati per la definizione della distribuzione di probabilità per la quale si sta verificando l'accuratezza, e per y_m si utilizza la formula riportata precedentemente, nella quale come probabilità di non superamento si inserisce la probabilità cumulata corrispondente a ciascuna classe K.

Per la suddivisione si segue generalmente il criterio empirico di delimitare le classi in modo che sia $Np > 5$, l'applicazione del test richiede, infatti, che almeno 5 osservazioni ricadano mediamente nel medesimo intervallo.

Suddiviso il campione di dati in K classi in base ai limiti superiori individuati si indica con N_i il numero delle osservazioni che ricadono nel medesimo intervallo e si calcola quanto N_i si discosti dal numero atteso di valori secondo la distribuzione di probabilità (Np), ovvero:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^K \frac{(N_i - Np)^2}{Np}$$

Il valore del parametro $\overline{\chi^2}$ con cui confrontare i valori ottenuti si ricava da dati tabulati riportati in e dipende dai gradi di libertà v ($v=K-m-1$ con m pari al numero di parametri della distribuzione scelta) e dal livello di significatività voluto.

P	.995	.99	.975	.95	.90	.75	.50	.25	.10	.05	.025	.01	.005
f													
1	7.88	6.63	5.02	3.84	2.71	1.32	.455	.102	.0158	.0039	.0010	.0002	.0000
2	10.6	9.21	7.38	5.99	4.61	2.77	1.39	.575	.211	.103	.0506	.0201	.0100
3	12.8	11.3	9.35	7.81	6.25	4.11	2.37	1.21	.594	.352	.216	.115	.072
4	14.9	13.3	11.1	9.49	7.78	5.39	3.36	1.92	1.06	.711	.484	.297	.207
5	16.7	15.1	12.8	11.1	9.24	6.63	4.35	2.67	1.61	1.15	.831	.554	.412
6	18.5	16.8	14.4	12.6	10.6	7.84	5.35	3.45	2.20	1.64	1.24	.872	.676
7	20.3	18.5	16.0	14.1	12.0	9.04	6.35	4.25	2.83	2.17	1.69	1.24	.989
8	22.0	20.1	17.5	15.5	13.4	10.2	7.34	5.07	3.49	2.73	2.16	1.65	1.34
9	23.6	21.7	19.0	16.9	14.7	11.4	8.34	5.90	4.17	3.33	2.70	2.09	1.73
10	25.2	23.2	20.5	18.3	16.0	12.5	9.34	6.74	4.87	3.94	3.25	2.56	2.16
11	26.8	24.7	21.9	19.7	17.3	13.7	10.3	7.58	5.58	4.57	3.82	3.05	2.60
12	28.3	26.2	23.3	21.0	18.5	14.8	11.3	8.44	6.30	5.23	4.40	3.57	3.07
13	29.8	27.7	24.7	22.4	19.8	16.0	12.3	9.30	7.04	5.89	5.01	4.11	3.57
14	31.3	29.1	26.1	23.7	21.1	17.1	13.3	10.2	7.79	6.57	5.63	4.68	4.07
15	32.8	30.6	27.5	25.0	22.3	18.2	14.3	11.0	8.55	7.26	6.26	5.23	4.60
16	34.3	32.0	28.8	26.3	23.5	19.4	15.3	11.9	9.31	7.96	6.91	5.81	5.14
17	35.7	33.4	30.2	27.6	24.8	20.5	16.3	12.8	10.1	8.67	7.56	6.41	5.70
18	37.2	34.8	31.5	28.9	26.0	21.6	17.3	13.7	10.9	9.39	8.23	7.01	6.28
19	38.6	36.2	32.9	30.1	27.2	22.7	18.3	14.6	11.7	10.1	8.91	7.63	6.84
20	40.0	37.6	34.2	31.4	28.4	23.8	19.3	15.5	12.4	10.9	9.59	8.26	7.43
21	41.4	38.9	35.5	32.7	29.6	24.9	20.2	16.3	13.2	11.6	10.3	8.90	8.03
22	42.8	40.3	36.8	33.9	30.8	26.0	21.3	17.2	14.0	12.3	11.0	9.54	8.54
23	44.2	41.6	38.1	35.2	32.0	27.1	22.3	18.1	14.9	13.1	11.7	10.2	9.28
24	45.6	43.0	39.4	36.4	33.2	28.2	23.3	19.0	15.7	13.8	12.4	10.9	9.89
25	46.9	44.3	40.6	37.7	34.4	29.3	24.3	19.9	16.5	14.6	13.1	11.5	10.5
26	48.3	45.6	41.9	38.9	35.6	30.4	25.3	20.8	17.3	15.4	13.6	12.2	11.2
27	49.6	47.0	43.2	40.1	36.7	31.5	26.3	21.7	18.1	16.2	14.6	12.9	11.8
28	51.0	48.3	44.5	41.3	37.9	32.6	27.3	22.7	18.9	16.9	15.3	13.6	12.5
29	52.3	49.6	45.7	42.6	39.1	33.7	28.3	23.6	19.8	17.7	16.0	14.3	13.1
30	53.7	50.9	47.0	43.8	40.3	34.8	29.3	24.5	20.6	18.5	16.8	15.0	13.8
40	66.8	63.7	59.3	55.8	51.8	45.8	39.3	33.7	29.1	26.5	24.4	22.2	20.7
50	79.5	76.2	71.4	67.5	63.2	55.3	49.3	42.9	37.7	34.8	32.4	29.7	29.0
60	92.0	88.4	83.3	79.1	74.4	67.0	59.3	52.3	46.5	43.2	40.5	37.5	35.5
70	104.2	100.4	95.0	90.5	85.5	77.6	69.3	61.7	55.3	51.7	48.8	45.4	43.3
80	116.3	112.3	106.6	101.9	96.6	88.1	79.3	71.1	64.3	60.4	57.2	53.5	51.2
90	128.3	124.1	118.1	113.1	107.6	98.6	89.3	80.6	73.3	69.1	65.8	61.8	59.2
100	140.2	135.8	129.6	124.3	118.5	109.1	99.3	90.1	82.4	77.9	74.2	70.1	67.3

Figura 25: Valori di χ^2 tabulati

Individuati i parametri caratteristici \hat{A} e \hat{B} delle distribuzioni di probabilità che meglio rappresentano il campione di dati, sono state stimate le altezze d'onda per un assegnato periodo di ritorno mediante le seguenti equazioni:

$$H_{sr} = \hat{A}y_r + \hat{B}$$

dove:

H_{sr} = altezza d'onda significativa con periodo di ritorno T_r ;

$$y_r = -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{\lambda T_r} \right) \right] \quad \text{Fischer-Tippet I (Gumbel)}$$

$$y_r = [\ln(\lambda T_r)]^{\frac{1}{k}} \quad \text{Weibull}$$

λ = numero medio degli eventi per anno (frequenza di accadimento)

Fissati i tempi di ritorno in corrispondenza ai quali calcolare l'altezza d'onda, nota la frequenza di accadimento, sono state calcolate le altezze significative per ogni settore direzionale individuato.

7.1.1 Analisi statistica delle mareggiate individuate con il metodo diretto

La Tabella 7 riporta i valori dei parametri delle distribuzioni che meglio interpretano l'andamento delle frequenze di superamento della altezza d'onda al variare delle classi di direzione considerate.

Tabella 7 Parametri delle distribuzioni di eventi estremi per la serie delle altezze d'onda al variare delle classi di direzione di provenienza

Dir [°N]	Gumbel			Weibull		
	ν	α	R^2	ν	α	R^2
110 - 130	2,316	0,703	0,952	1,463	1,369	1,4
130 - 150	2,567	0,558	0,976	1,548	1,544	2,0
150 - 170	2,152	0,506	0,934	1,535	0,99	1,4
170 - 190	2,098	0,524	0,977	1,464	1,016	1,4
190 - 210	2,071	0,287	0,953	1,844	0,382	1,00
210 - 230	1,844	0,305	0,79	1,643	0,304	0,75
230 - 250	1,72	0,552	0,837	1,346	0,551	0,75

Il confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni teoriche è riportato dalla Figura 26 alla Figura 32 in funzione del settore di provenienza delle onde.

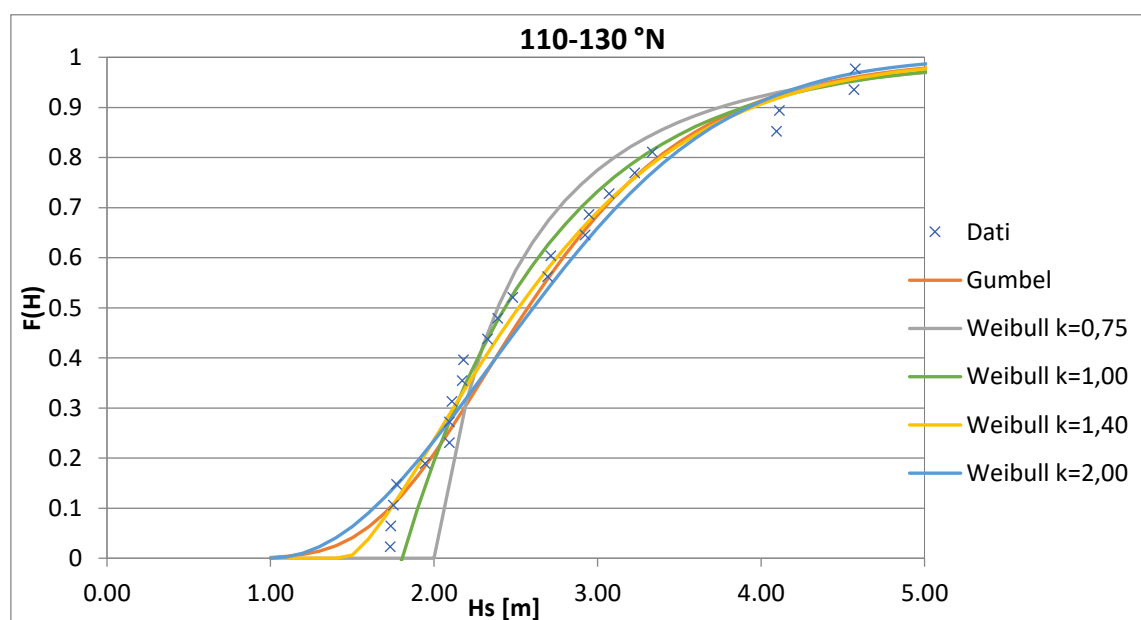


Figura 26: Tavola delle frequenze osservate e delle distribuzioni teoriche per le onde provenienti dal settore compreso tra 110 e 130°N

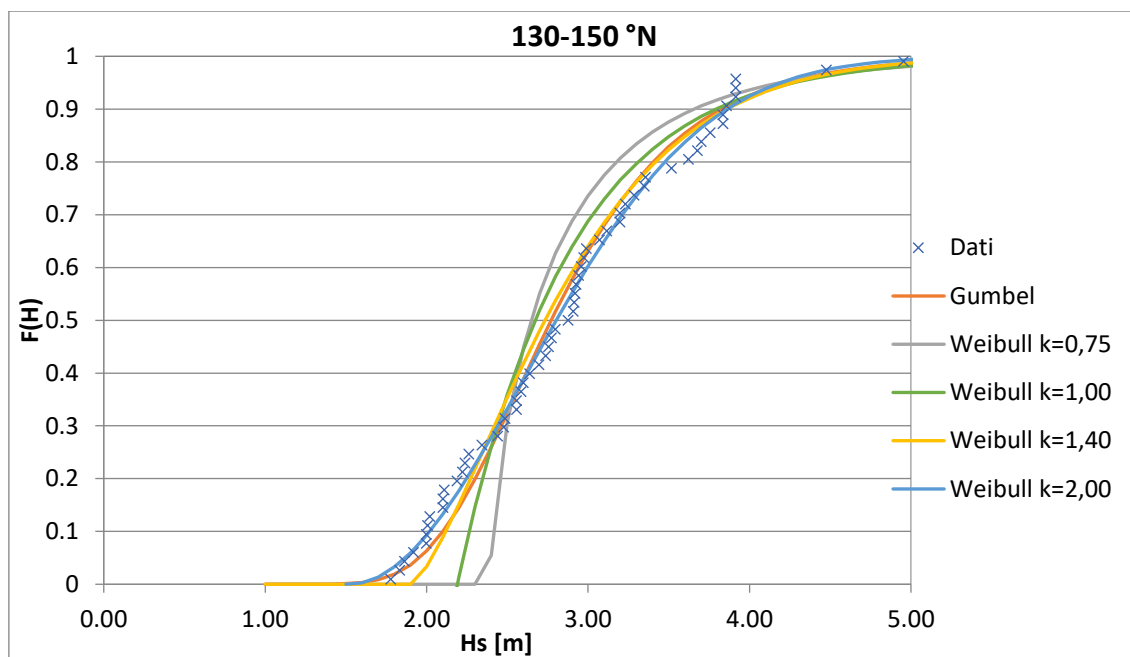


Figura 27: Tavola delle frequenze osservate e delle distribuzioni teoriche per le onde provenienti dal settore compreso tra 130 e 150°N

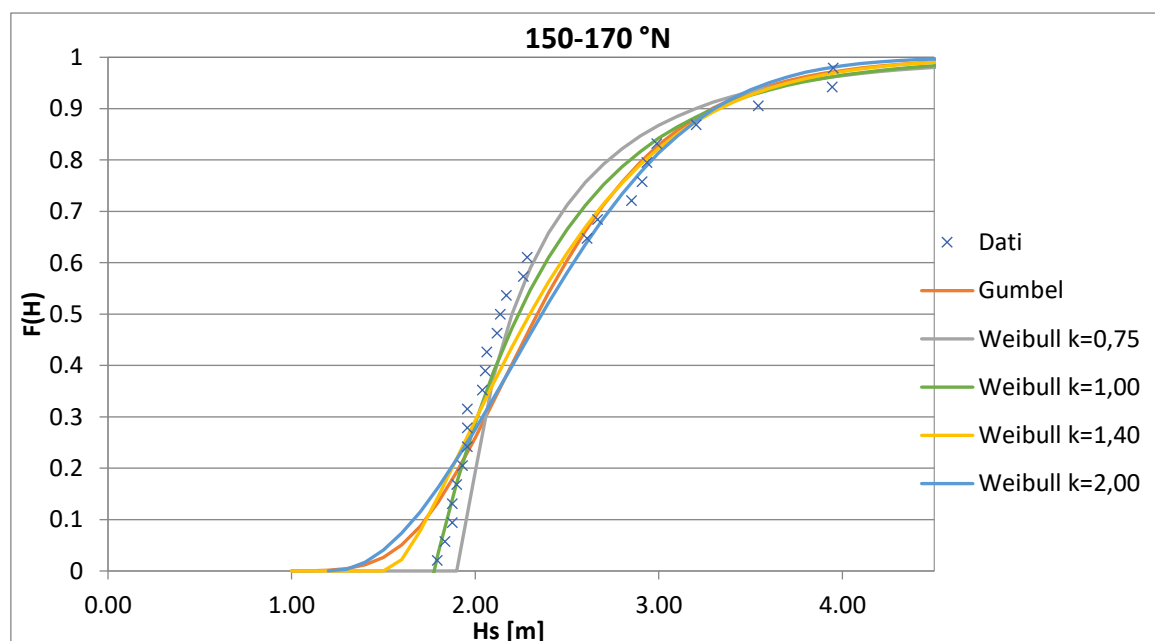


Figura 28: Tavola delle frequenze osservate e delle distribuzioni teoriche per le onde provenienti dal settore compreso tra 150 e 170°N

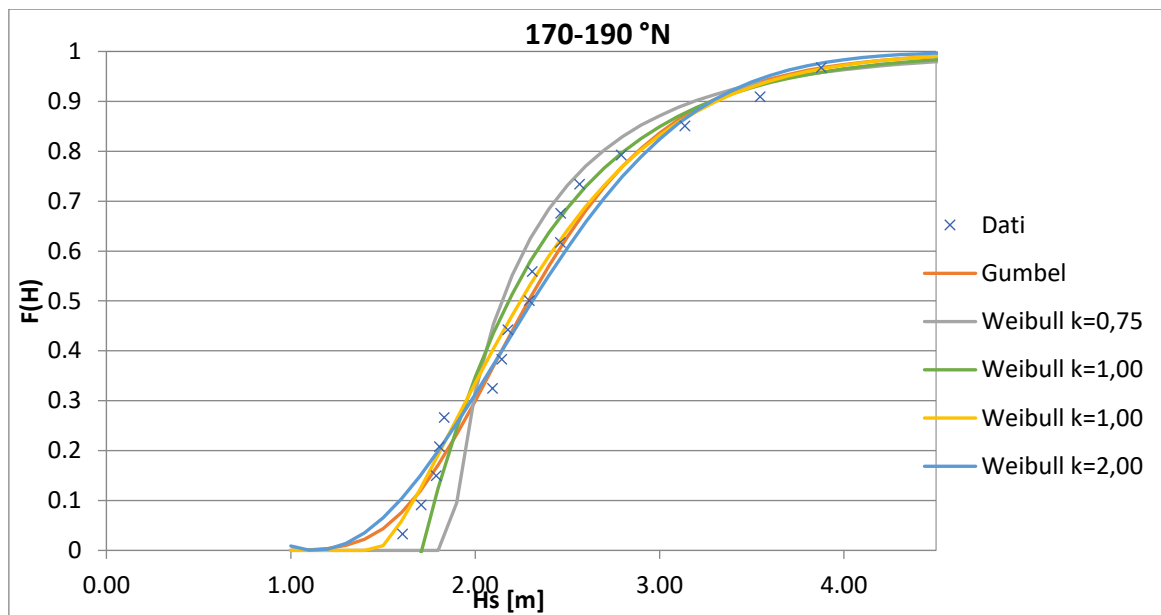


Figura 29: Tavola delle frequenze osservate e delle distribuzioni teoriche per le onde provenienti dal settore compreso tra 170 e 190°N

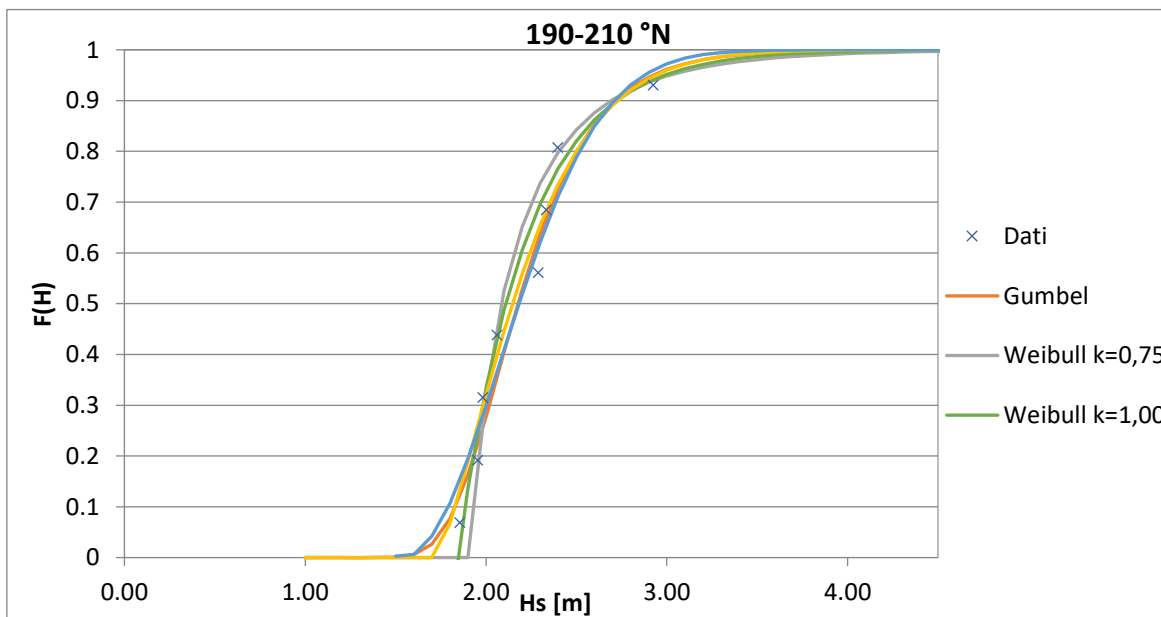


Figura 30: Tavola delle frequenze osservate e delle distribuzioni teoriche per le onde provenienti dal settore compreso tra 190 e 210°N

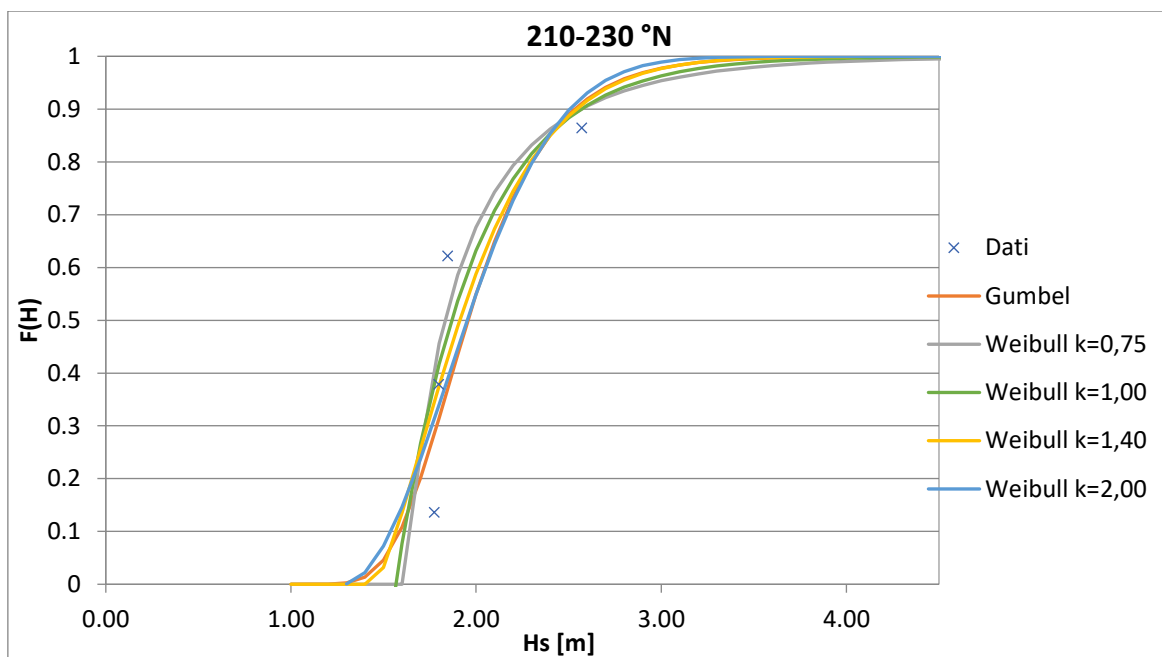


Figura 31: Tavola delle frequenze osservate e delle distribuzioni teoriche per le onde provenienti dal settore compreso tra 210 e 230°N

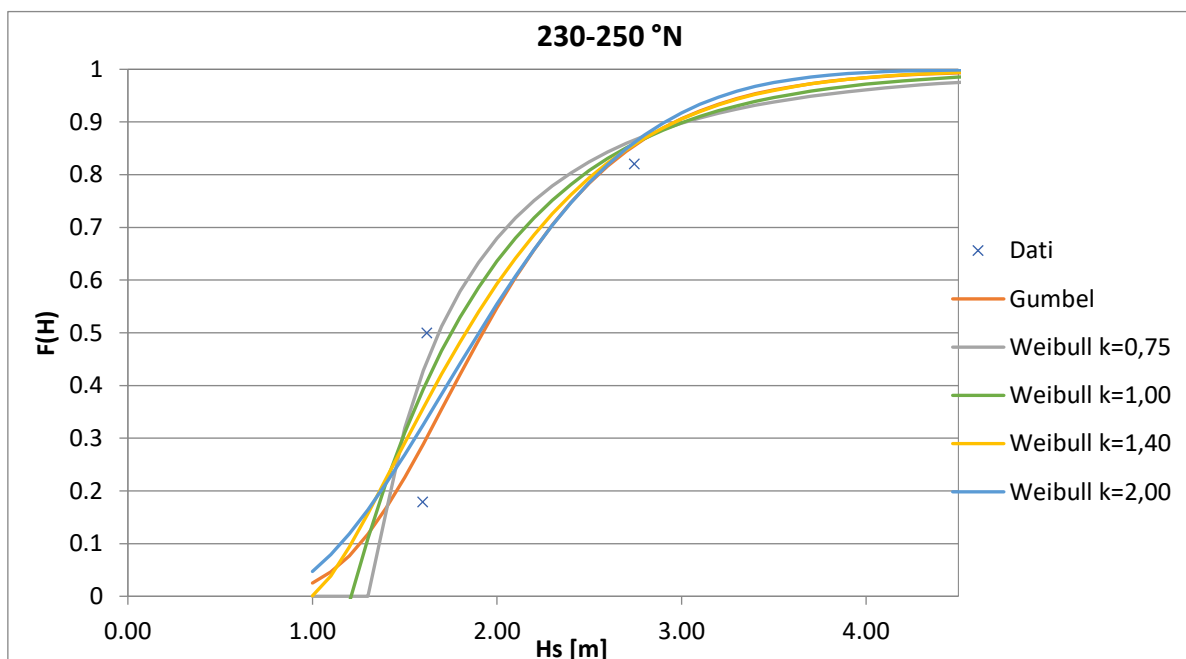


Figura 32: Tavola delle frequenze osservate e delle distribuzioni teoriche per le onde provenienti dal settore compreso tra 230 e 250°N

Per ciascuna distribuzione di probabilità delle altezze d'onda è stata verificata l'accuratezza dell'adattamento sulla base del test di Pearson o del χ^2 , nonché mediante il confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni teoriche. I risultati dell'applicazione del test di Pearson alle distribuzioni dei dati di moto ondoso sono sintetizzati nella Tabella 8, nella quale, per ogni settore di provenienza delle onde e per ogni distribuzione di probabilità, è stato riportato il valore del χ^2 calcolato e di quello di riferimento.

Tabella 8 Risultati del test di Pearson alle distribuzioni di probabilità delle altezze d'onda per eventi estremi

Dir [°N]	Distribuzione		
	χ^2 - Gumbel	χ^2 - Weibull	$\bar{\chi}^2$
110 - 130	5,67	1,00	6,63
130 - 150	10,54	5,32	20,10
150 - 170	6,52	5,78	9,21
170 - 190	1,53	0,47	6,63
190 - 210	-	-	-
210 - 230	-	-	-
230 - 250	-	-	-

Come si può notare dalla tabella sovrastante, nel caso in cui il campione di dati a disposizione sia eccessivamente ridotto, non è possibile effettuare un test per valutare l'accuratezza dell'adattamento, in quanto fornirebbe un risultato non attendibile. Per le direzioni che ricadono nel settore di traversia principale, per le quali si disponeva di un numero di eventi sufficientemente elevato, invece, è stato possibile verificare positivamente l'adattabilità di entrambe le distribuzioni probabilistiche individuate, in quanto i χ^2 calcolati sia per la distribuzione di Gumbel sia per la distribuzione di Weibull risultano sempre inferiori al $\bar{\chi}^2$.

La stima del tempo di ritorno può essere eseguita sulla base dell'intensità di campionamento. Nel presente caso il periodo di osservazione risulta essere pari a circa 20 anni. Di conseguenza può essere calcolata l'intensità di campionamento a partire dal numero di eventi ricadenti nelle varie classi di direzione; i risultati sono mostrati in Tabella 9.

Tabella 9 Stima dell'intensità di campionamento, dipendente dal numero di eventi afferenti ad ogni classe direzionale

Dir [°N]	λ
110 - 130	1,33
130 - 150	3,28
150 - 170	1,50
170 - 190	0,94
190 - 210	0,44
210 - 230	0,22
230 - 250	0,17

Sulla base dei parametri fin qui calcolati, per ogni settore direzionale, sono state stimate le altezze d'onda corrispondenti a fissati tempi di ritorno, considerando, di volta in volta, la distribuzione probabilistica che, nel rispetto dei test statistici, restituisse i maggiori valori di altezza. Le tabelle seguenti mostrano i risultati di tale analisi, dai quali si evince che i massimi valori di altezza d'onda si hanno per le direzioni ricadenti nel settore di traversia principale, ovvero 110-170°N. Peraltro tali direzioni sono quelle per cui è osservabile una minore differenza tra i fetches efficaci tra Crotona e

Taranto e, dunque, i risultati ricadenti in tale settore sono più attendibili, in quanto la procedura di trasposizione geografica del moto ondoso è più affidabile. Viceversa, gli eventi estremi ottenuti dall'applicazione della metodologia fin qui descritta e che provengono dal settore di traversia secondario sono meno attendibili e, di conseguenza, per essi è preferibile procedere con metodi indiretti, a partire dai dati di vento registrati presso la stazione anemometrica di Taranto. Tuttavia, nel paragrafo successivo, il metodo indiretto è stato applicato per tutto il settore di traversia, al fine di confrontare i risultati dei due metodi (diretto e indiretto) per le direzioni ricadenti nel settore direzionale compreso tra 110 e 170°N.

Tabella 10 Valutazione della altezza d'onda significativa, H_s [m], per fissati tempi di ritorno e direzioni di provenienza

Tr (anni)	Direzione di provenienza (°N)						
	110 - 130	130 - 150	150 - 170	170 - 190	190 - 210	210 - 230	230 - 250
10	4,16	4,51	3,55	3,27	2,46	2,00	1,77
20	4,66	4,90	3,91	3,66	2,68	2,26	2,29
50	5,28	5,41	4,35	4,13	3,03	2,62	2,87
100	5,75	5,80	4,69	4,48	3,29	3,02	3,55
225	6,32	6,25	5,10	4,90	3,60	3,52	4,44

Tabella 11 Valutazione del periodo significativo, T_s [s]

Tr (anni)	Direzione di provenienza (°N)						
	110 - 130	130 - 150	150 - 170	170 - 190	190 - 210	210 - 230	230 - 250
10	8,77	9,12	8,10	7,78	6,75	6,08	5,72
20	9,28	9,51	8,50	8,22	7,04	6,46	6,50
50	9,88	10,00	8,96	8,73	7,48	6,96	7,28
100	10,31	10,35	9,31	9,10	7,80	7,47	8,11
225	10,81	10,75	9,70	9,52	8,16	8,06	9,05

7.2 ANALISI STATISTICA DELLE MAREGGIATE INDIVIDUATE CON IL METODO INDIRECTO

Le altezze d'onda ottenute dal metodo indiretto, ricadenti nel settore di traversia compreso tra 110 e 250°N, sono state suddivise in classi direzionali di ampiezza 20°. Per ciascuna delle sette classi così ottenute, ossia per le diverse direzioni, è stato verificato l'adattamento dei dati alle distribuzioni di probabilità di non superamento (probabilità cumulata). In particolare, sono state utilizzate la distribuzione di Gumbel e la distribuzione di Weibull.

La Tabella 12 riporta i valori dei parametri delle distribuzioni che meglio interpretano, in base al valore del coefficiente di determinazione R^2 , l'andamento delle frequenze di superamento della altezza d'onda al variare delle classi di direzione considerate.

Tabella 12 Parametri delle distribuzioni di eventi estremi per la serie delle altezze d'onda al variare delle classi di direzione di provenienza

Dir [°N]	Gumbel			Weibull		
	ν	α	R^2	ν	α	R^2
110 - 130	3,149	1,027	0,840	1,168	2,808	2,00
130 - 150	3,079	1,066	0,924	1,039	2,988	2,00
150 - 170	2,830	1,280	0,953	0,421	3,537	2,00
170 - 190	2,659	1,125	0,917	0,524	3,123	2,00
190 - 210	2,451	0,962	0,903	0,626	2,664	2,00
210 - 230	2,574	0,699	0,943	1,255	1,929	2,00
230 - 250	1,996	0,420	0,922	1,203	1,145	2,00

Il confronto grafico tra la serie delle frequenze osservate e le distribuzioni di probabilità teoriche è riportato dalla

Figura 33 alla Figura 39, in funzione del settore di provenienza delle onde.

Per ciascuna distribuzione di probabilità delle altezze d'onda è stata verificata l'accuratezza dell'adattamento sulla base dei test χ^2 , nonché dal confronto grafico tra la serie delle frequenze osservate e le funzioni di distribuzione teoriche.

I risultati dell'applicazione del test di Pearson alle serie di dati sono sintetizzati nella

Tabella 13 in cui, per ogni settore di provenienza delle onde e per ogni distribuzione adottata, è riportato il valore del χ^2 calcolato.

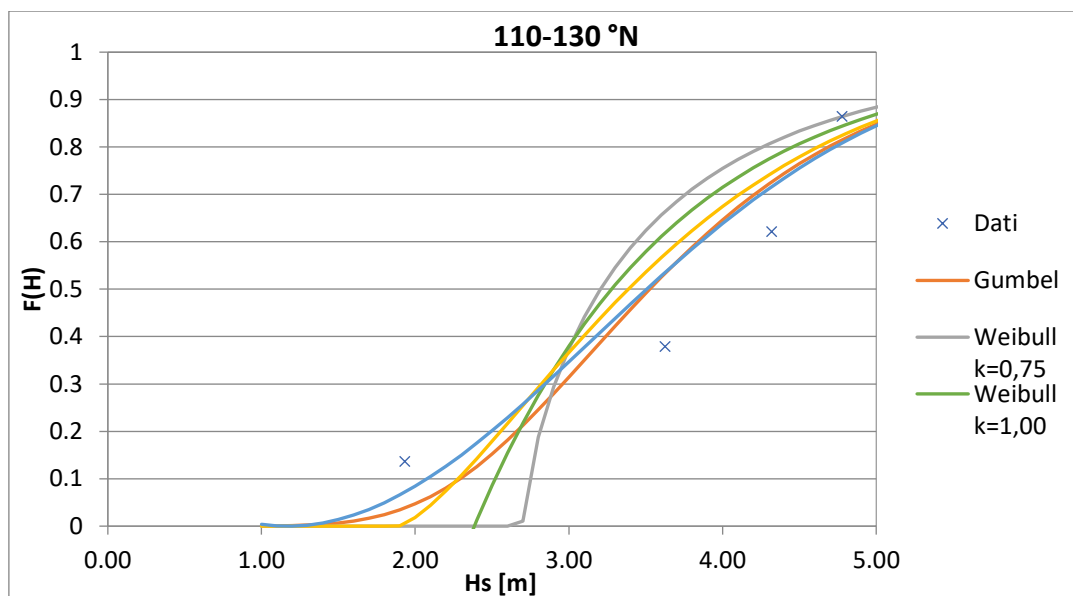


Figura 33: Tavola delle frequenze osservate e delle distribuzioni teoriche per le onde provenienti dal settore compreso tra 110 e 130°N

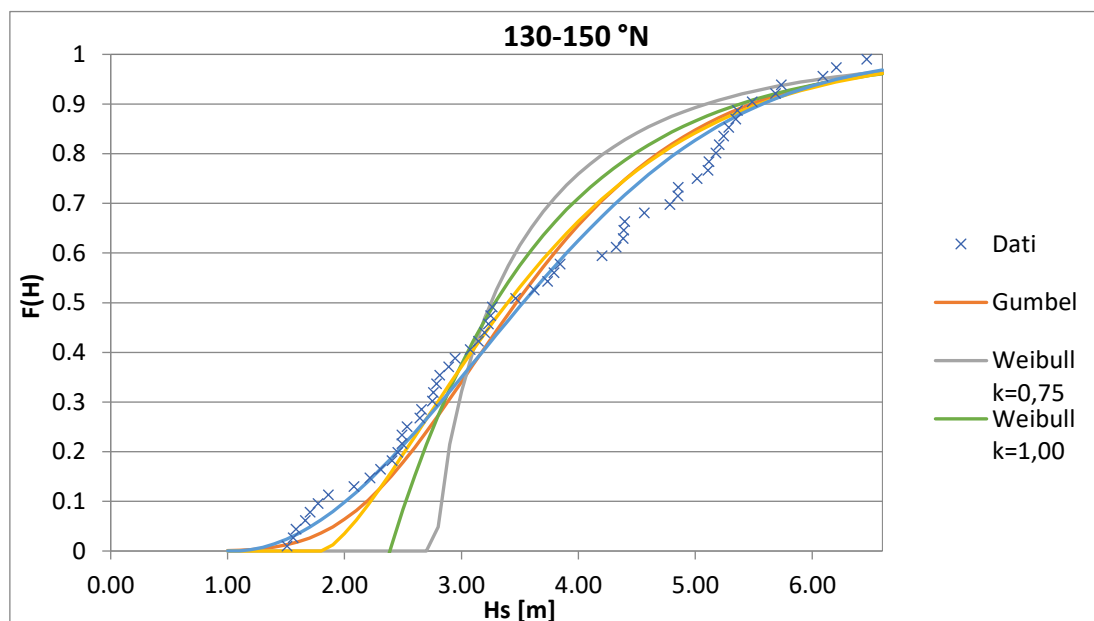


Figura 34: Tavola delle frequenze osservate e delle distribuzioni teoriche per le onde provenienti dal settore compreso tra 130 - 150°N

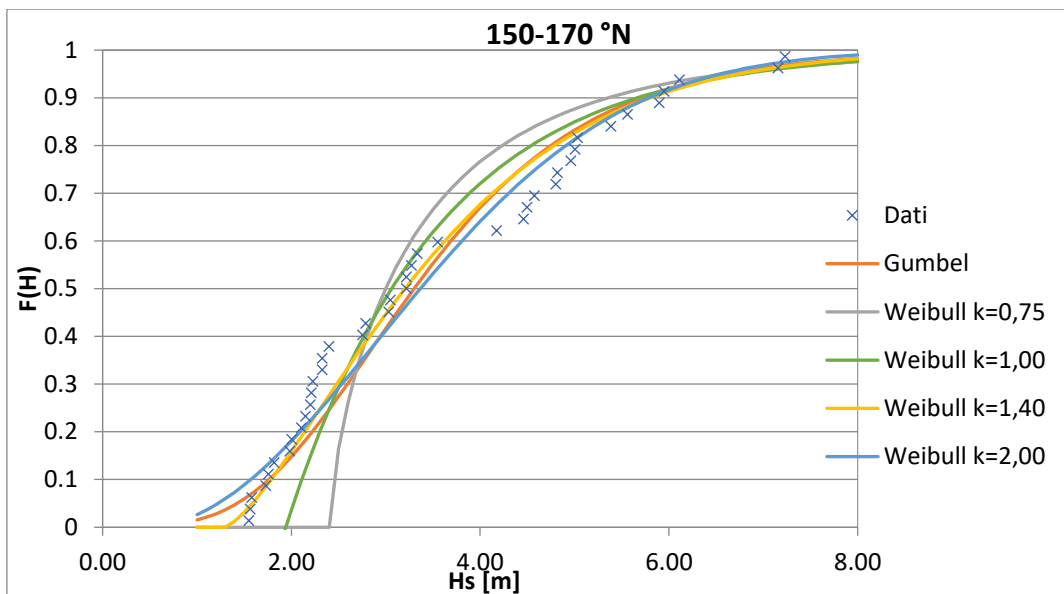


Figura 35: Tavola delle frequenze osservate e delle distribuzioni teoriche per le onde provenienti dal settore compreso tra 150-170 °N

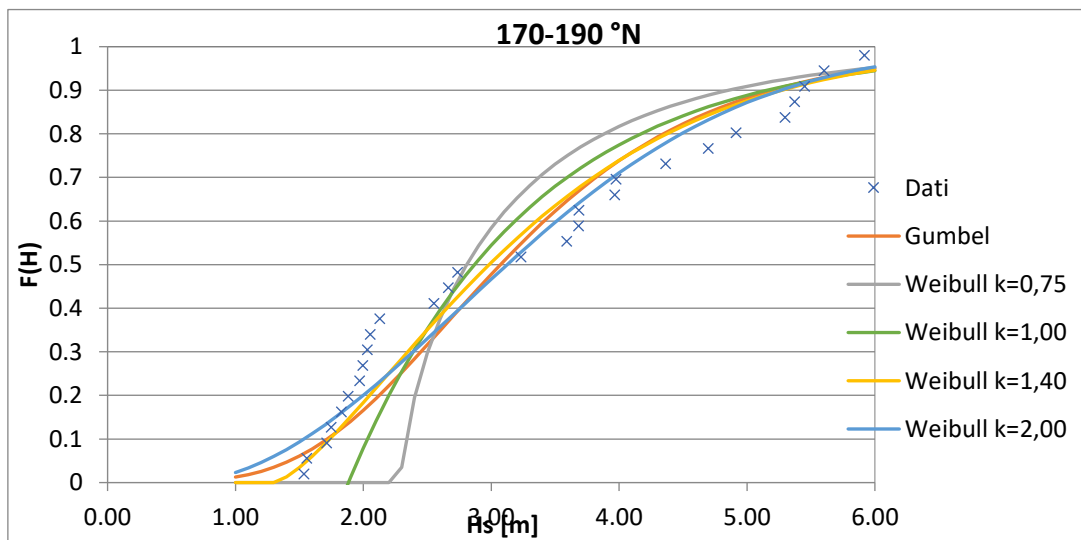


Figura 36: Tavola delle frequenze osservate e delle distribuzioni teoriche per le onde provenienti dal settore compreso tra 170 e 190°N

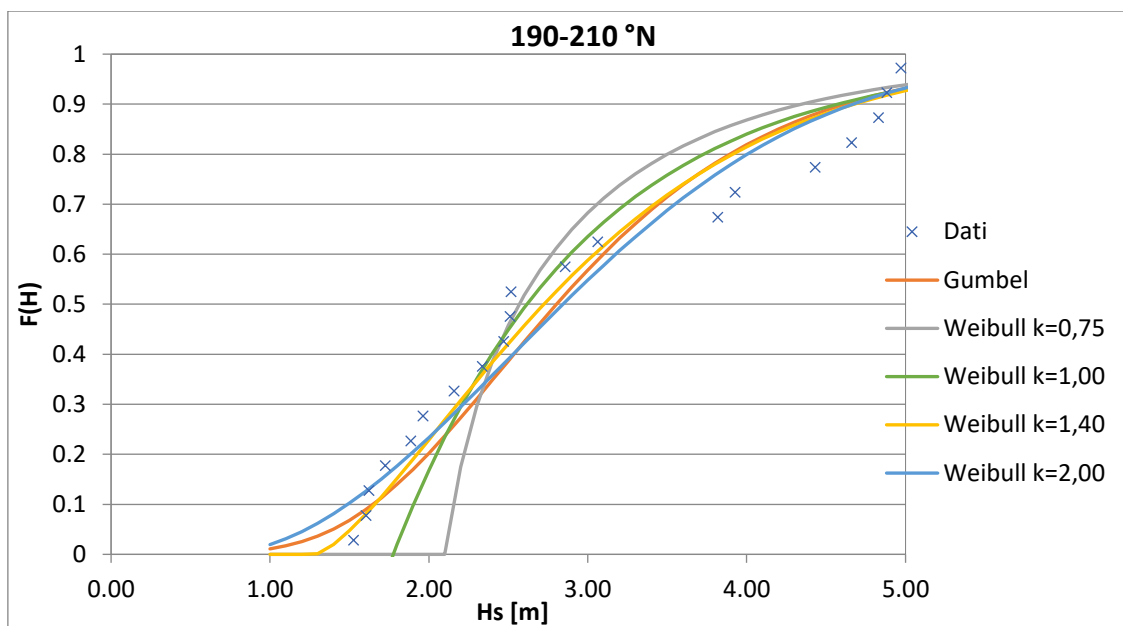


Figura 37: Tavola delle frequenze osservate e delle distribuzioni teoriche per le onde provenienti dal settore compreso tra 190 e 210°N

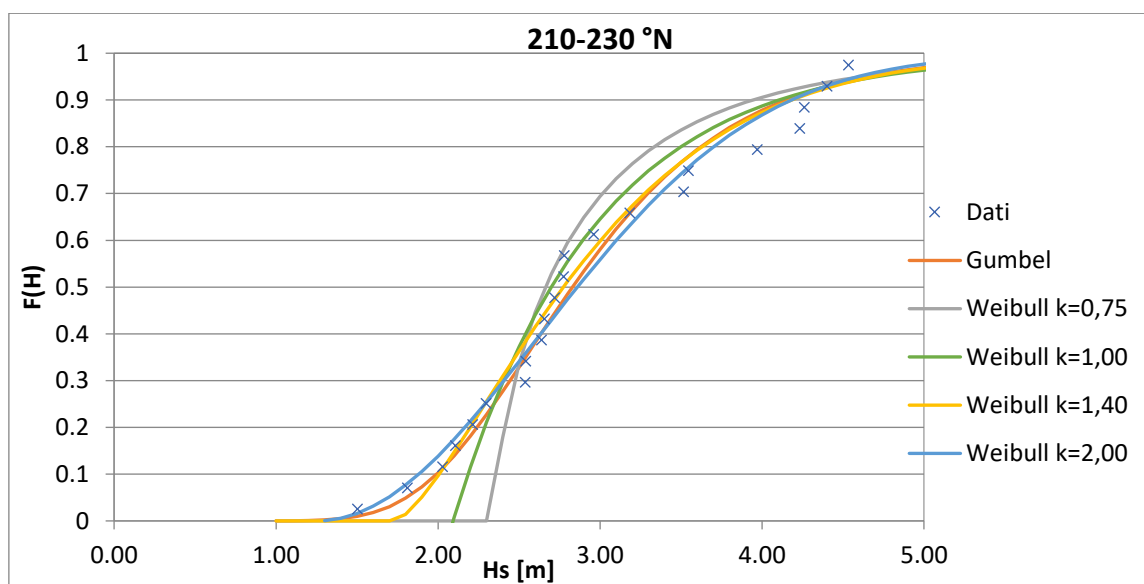


Figura 38: Tavola delle frequenze osservate e delle distribuzioni teoriche per le onde provenienti dal settore compreso tra 210 e 230°N

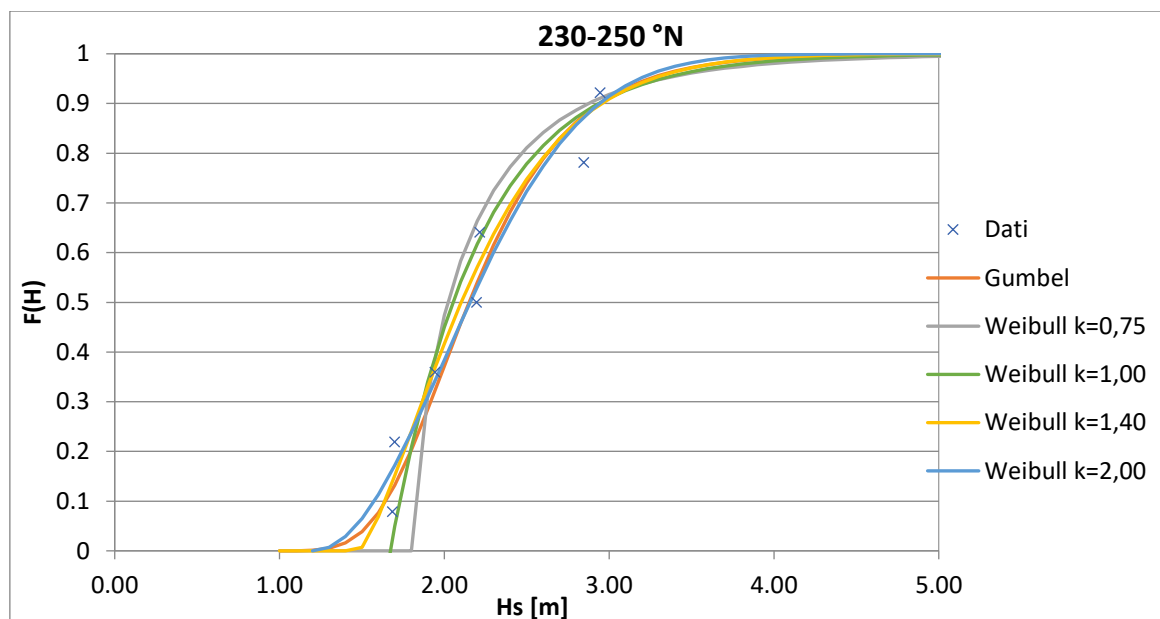


Figura 39: Tavola delle frequenze osservate e delle distribuzioni teoriche per le onde provenienti dal settore compreso tra 230 e 250°N

Tabella 13 Risultati del test di Pearson alle distribuzioni di probabilità delle altezze d'onda per eventi estremi

Dir [°N]	Distribuzione		
	χ^2 - Gumbel	χ^2 - Weibull	$\bar{\chi}^2$
110 - 130	-	-	-
130 - 150	18,62	9,90	20,10
150 - 170	15	9,54	15,10
170 - 190	8,79	5,21	9,21
190 - 210	2,80	2,80	6,63
210 - 230	3,09	2,36	6,63
230 - 250	-	-	-

Dall'analisi dei valori del χ^2 riportati in tabella e calcolati sia per la distribuzione di Gumbel sia per la distribuzione di Weibull, si evince che questi risultano sempre inferiori al $\bar{\chi}^2$, a testimonianza del buon adattamento delle distribuzioni di probabilità adottate.

Come già indicato in precedenza, la stima del tempo di ritorno può essere eseguita sulla base dell'intensità di campionamento. In questo caso il periodo di osservazione è pari a circa 13 anni. Di conseguenza l'intensità di campionamento può essere calcolata a partire dal numero di eventi ricadenti nelle varie classi di direzione; i risultati sono mostrati in Tabella 14.

Tabella 14 Stima dell'intensità di campionamento in funzione del numero di eventi afferenti ad ogni classe direzionale

Dir [°N]	λ
110 - 130	0,31
130 - 150	4,46
150 - 170	3,15
170 - 190	2,15
190 - 210	1,54
210 - 230	1,69
230 - 250	0,54

Sulla base dei parametri fin qui calcolati, per ogni settore direzionale, sono state stimate le altezze d'onda per fissati tempi di ritorno, considerando di volta in volta la distribuzione probabilistica che, nel rispetto dei test statistici, restituisce i maggiori valori di altezza. La Tabella 15 mostra il risultato dell'analisi, da cui si evince che i massimi valori di altezza d'onda si hanno per direzioni comprese tra 130°N e 190°N. Il settore 230-250°N è quello invece che fornisce i valori minori in quanto, appartenendo appunto al settore secondario che presenta fetch di lunghezza molto limitata. Ulteriori considerazioni sulle altezze d'onda estreme sono riportate nel Capitolo relativo alla "Stima dell'onda di progetto" (Rif. Capitolo 8).

Tabella 15 Valutazione della altezza d'onda, H_s [m], per fissati tempi di ritorno e direzioni di provenienza

Tr (anni)	Direzione di provenienza (°N)						
	110 - 130	130 - 150	150 - 170	170 - 190	190 - 210	210 - 230	230 - 250
10	4,15	7,12	7,23	6,09	5,05	4,53	2,69
20	4,96	7,86	8,12	6,88	5,73	5,03	2,97
50	5,92	8,84	9,30	7,92	6,62	5,67	3,37
100	6,65	9,58	10,19	8,70	7,29	6,16	3,67
225	7,49	10,45	11,23	9,61	8,07	6,73	4,01

Tabella 16 Valutazione del periodo significativo T_s [s]

Tr (anni)	Direzione di provenienza (°N)						
	110 - 130	130 - 150	150 - 170	170 - 190	190 - 210	210 - 230	230 - 250
10	8,76	11,47	11,56	10,60	9,66	9,15	7,05
20	9,57	12,05	12,25	11,27	10,29	9,64	7,41
50	10,46	12,78	13,11	12,10	11,06	10,24	7,89
100	11,09	13,31	13,72	12,68	11,61	10,67	8,23
225	11,77	13,89	14,41	13,33	12,21	11,15	8,61

7.3 PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSO SOTTOCOSTA

Le onde estreme al largo, ricavate a partire dai dati di moto ondoso (metodo diretto) e di vento (metodo indiretto), sono state propagate sottocosta con il modello numerico MIKE 21 SW (Spectral Waves) del DHI precedentemente descritto. Il punto di estrazione dei risultati del modello ha coordinate UTM 33 682.200 E e 4.482.200 N ed è situato ad una profondità di circa 10 m, in prossimità della diga di cui al presente progetto. Tale punto (*punto di estrazione 2*) è infatti finalizzato alla determinazione dei parametri caratteristici dell'onda di progetto per il dimensionamento dell'opera, a differenza del punto di estrazione 1 impiegato invece per la stima dell'agitazione residua con il modulo BW.

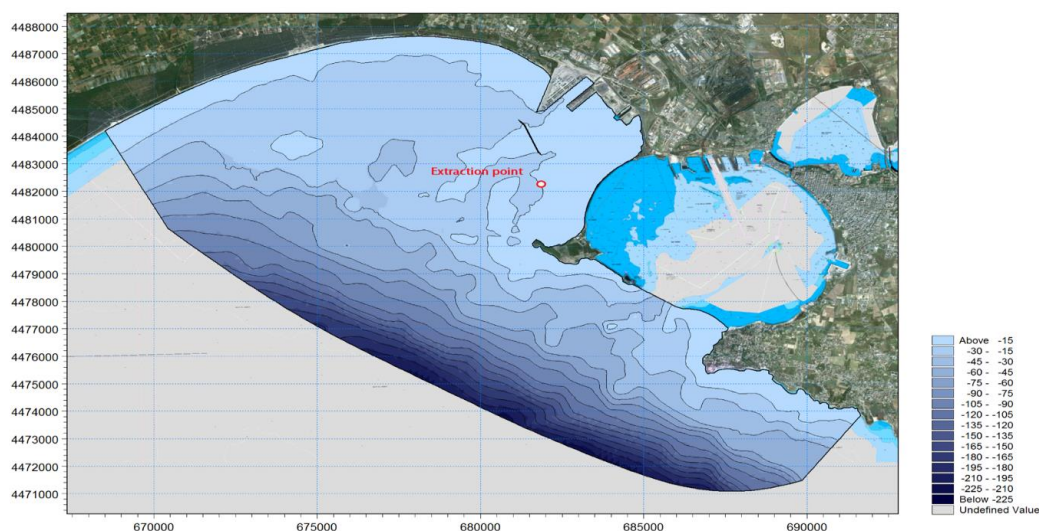


Figura 40: Punto di estrazione delle altezze d'onda propagate sottocosta (Punto di estrazione 2)

I risultati sono mostrati dalla Tabella 17 alla Tabella 19, in cui son riportate le altezze d'onda sottocosta al variare delle direzioni di provenienza delle onde a largo. Osservando le tabelle sottostanti, si può notare come i massimi valori di altezza d'onda provengano dal settore di traversia secondario e non da quello principale, come avviene per le onde a largo. Tale risultato è legato al fenomeno del frangimento e, dunque, alla batimetria del paraggio. Infatti, alle altezze d'onda al largo provenienti dal settore di traversia principale corrispondono delle profondità di frangimento maggiori della profondità del punto in cui sono stati calcolati i valori delle altezze d'onda sottocosta, mentre alle altezze d'onda al largo provenienti dal settore secondario corrispondono delle profondità di frangimento minori. Di conseguenza, in corrispondenza del punto di estrazione 2, le onde provenienti dal settore principale si riducono, mentre quelle provenienti dal settore secondario, trovandosi nella fase di crescita che precede il fenomeno del frangimento, restituiscono un valore maggiore.

Tabella 17 Altezze massime Hmax [m] delle onde estreme stimate al largo per fissati tempi di ritorno, mediante il metodo diretto, e successivamente propagate sottocosta – Point (682.200 E; 4.482.200 N)

Tr (anni)	Direzione di provenienza al largo(°N)						
	110 - 130	130 - 150	150 - 170	170 - 190	190 - 210	210 - 230	230 - 250
50	0,936	2,464	2,779	3,635	3,586	4,120	4,494
100	1,104	2,679	3,030	3,931	3,875	4,552	5,187
225	1,320	2,913	3,294	4,238	4,204	5,065	5,994

Tabella 18 Altezze massime Hmax [m] delle onde estreme stimate al largo per fissati tempi di ritorno, mediante il metodo indiretto, e successivamente propagate sottocosta – Point (682.200 E; 4.482.200 N)

Tr (anni)	Direzione di provenienza al largo(°N)						
	110 - 130	130 - 150	150 - 170	170 - 190	190 - 210	210 - 230	230 - 250
50	1,167	3,957	4,924	5,449	5,971	6,401	5,009
100	1,446	4,189	5,108	5,602	6,104	6,518	5,311
225	1,772	4,431	5,284	5,743	6,221	6,617	5,633

Tabella 19 Altezze significative Hs [m] delle onde estreme stimate al largo per fissati tempi di ritorno, mediante il metodo diretto, e successivamente propagate sottocosta – Point (682.200 E; 4.482.200 N)

Tr (anni)	Direzione di provenienza al largo(°N)						
	110 - 130	130 - 150	150 - 170	170 - 190	190 - 210	210 - 230	230 - 250
50	0,489	1,286	1,443	1,886	1,847	2,114	2,312
100	0,578	1,401	1,576	2,044	2,000	2,345	2,683
225	0,694	1,527	1,717	2,209	2,175	2,169	3,118

Tabella 20 Altezze significative Hs [m] delle onde estreme stimate al largo per fissati tempi di ritorno, mediante il metodo indiretto, e successivamente propagate sottocosta – Point (682.200 E; 4.482.200 N)

Tr (anni)	Direzione di provenienza al largo (°N)						
	110 - 130	130 - 150	150 - 170	170 - 190	190 - 210	210 - 230	230 - 250
50	0,612	2,096	2,614	2,880	3,140	3,353	2,558
100	0,761	2,225	2,720	2,969	3,219	3,421	2,750
225	0,935	2,360	2,830	3,054	3,291	3,482	2,923

8 STIMA DELL'ONDA DI PROGETTO

Nella progettazione delle opere marittime è necessario valutare la durata di vita presunta della struttura in relazione al progetto in cui è inserita e considerando le sue caratteristiche funzionali.

Si deve valutare inoltre il livello di rischio e la probabilità di superamento dell'onda di progetto, tenuto conto dei danni che tali onde possono arrecare all'opera e della possibilità di ripristinare la sua normale funzionalità con interventi di manutenzione.

Nelle Istruzioni Tecniche per la progettazione delle dighe frangiflutti, edite dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (1996) si consigliano i valori riportati nella seguente tabella.

Tabella 21 Durata minima di vita per opere e strutture di carattere definitivo (Tv)

TIPO DELL'OPERA	Direzione di provenienza al largo(°N)		
	1	2	3
	Vita di progetto (anni)		
Infrastrutture di uso generale	25	50	100
Infrastrutture ad uso specifico	15	25	50

Per infrastrutture di uso generale si intendono le opere di difesa di complessi civili o industriali, che non siano destinati ad uno specifico scopo e per i quali non è chiaramente identificabile il termine della vita funzionale dell'opera. Per infrastrutture ad uso specifico si intendono le opere di difesa di singole installazioni industriali, di porti industriali, di depositi o piattaforme di carico e scarico, di piattaforme petrolifere, ecc.

Il livello di sicurezza 1 è associato ad opere o installazioni di interesse locale ed ausiliario, comportanti un rischio minimo di perdita di vite umane o di danni ambientali in caso di collasso della struttura (difese costiere, opere in porti minori o marina, scarichi a mare, strade litoranee ecc.).

Il livello di sicurezza 2 è associato ad opere e installazioni di interesse generale, comportanti un moderato rischio di perdita di vite umane o di danni ambientali in caso di collasso dell'opera (opere di grandi porti, scarichi a mare di grandi città, ecc.).

Il livello di sicurezza 3 è associato ad opere o installazioni per la protezione dalle inondazioni o di interesse sopranazionale, comportanti un elevato rischio di perdita di vite umane o di danno ambientale in caso di collasso della struttura (difese di centri urbani o industriali, ecc.).

La nuova diga foranea di difesa del porto fuori rada di Taranto può essere considerata un'infrastruttura ad uso generale, con un livello di sicurezza pari a 2; pertanto si può assumere che il tempo di vita dell'opera sia pari a 50 anni.

In merito alla probabilità di occorrenza dell'onda di progetto, si considera quella corrispondente al danneggiamento incipiente o alla distruzione totale, in relazione alle deformazioni-modificazioni subite dall'opera in caso di danneggiamento ed alla difficoltà di riparare il danno subito.

Per strutture flessibili o comunque per opere riparabili come la scogliera a gettata di progetto, si può considerare la probabilità corrispondente al danneggiamento incipiente, inteso come il livello di

danneggiamento oltre il quale il danno è apprezzabile ed è necessario intervenire con lavori di manutenzione. Per queste opere va comunque verificato anche lo scenario di rovina totale, cioè il superamento del livello di danneggiamento, oltre il quale l'opera perde la sua funzionalità.

Tabella 22 Massima probabilità di danneggiamento P_f ammissibile nel periodo di vita operativa
DANNEGGIAMENTO INCIPIENTE

Ripercussione economica	Rischio per la vita umana	
	Limitato	Elevato
Bassa	0,50	0,30
Media	0,30	0,20
Alta	0,25	0,15

DISTRUZIONE TOTALE

Ripercussione economica	Rischio per la vita umana	
	Limitato	Elevato
Bassa	0,20	0,15
Media	0,15	0,10
Alta	0,10	0,05

Per "rischio limitato per la vita umana" si intendono i casi in cui, a seguito del danneggiamento, non è prevedibile alcuna perdita di vite umane. In caso contrario, quando cioè perdite sono preventivabili, il rischio è elevato.

Per ripercussione economica bassa, media ed alta si intendono casi in cui il rapporto fra i costi diretti del danneggiamento, sommati a quelli per la perdita di funzionalità delle opere protette, ed il costo totale di realizzazione dell'opera è rispettivamente minore di 5, compreso fra 5 e 20 o maggiore di 20.

La combinazione del tempo di vita dell'opera T_v e della probabilità di danneggiamento P_f , determina il tempo di ritorno dell'evento di progetto T_{rp} :

$$T_{rp} = T_v / [-\ln(1 - P_f)]$$

Nel caso in esame si considera un rischio limitato di perdita di vita umana ed una ripercussione economica bassa.

Assumendo uno scenario di danneggiamento incipiente dell'opera, si impone $P_f = 0,5$ e quindi $T_{rp} = 50 / [-\ln(0,5)] = 72$ anni.

A favore di sicurezza, si è considerato un $T_{rp} = 100$ anni.

Considerando, quindi, un tempo di ritorno pari a 100 anni, si mettono a confronto i valori delle altezze d'onda al largo, ottenute sia con il metodo diretto che con il metodo indiretto, ed i corrispondenti valori ricavati a valle della propagazione sotto costa.

Tabella 23 Riepilogo dei risultati dello studio finalizzato all'individuazione dell'onda di progetto

Metodo diretto							
Direzione [°N]	110 - 130	130 - 150	150 - 170	170 - 190	190 - 210	210 - 230	230 - 250
Al largo H_s [m]	5,75	5,80	4,69	4,48	3,29	3,02	3,55
Sottocosta H_s [m]	0,58	1,40	1,58	2,04	2,00	2,34	2,68
Sottocosta H_{max} [m]	1,10	2,68	3,03	3,93	3,88	4,55	5,19

Metodo indiretto							
Direzione [°N]	110 - 130	130 - 150	150 - 170	170 - 190	190 - 210	210 - 230	230 - 250
Al largo H_s [m]	6,65	9,58	10,19	8,70	7,29	6,16	3,67
Sottocosta H_s [m]	0,76	2,23	2,72	2,97	3,22	3,42	2,75
Sottocosta H_{max} [m]	1,45	4,19	5,11	5,60	6,10	6,52	5,31

Osservando la Tabella 23, si può notare come il metodo indiretto fornisca i maggiori valori di altezza d'onda sia al largo sia sottocosta; pertanto, per ragioni di sicurezza, si è deciso di individuare tra questi ultimi l'onda di progetto. Inoltre, dall'analisi della tabella si evince che al massimo valore di altezza d'onda significativa al largo non corrisponda il massimo valore al piede dell'opera. Tale risultato è legato al fenomeno del frangimento e, dunque, alla batimetria del paraggio. All'altezza d'onda al largo $H_s=10,19$ con $T_p=18,68s$ m corrisponde una profondità di frangimento $d_b=13,15$ m, mentre l'onda $H_s=6,16$ m frange alla profondità $d_b=7,9$ m. Il punto in cui sono stati calcolati i valori delle altezze d'onda sottocosta, attraverso il modulo SW del Mike21, è caratterizzato da una profondità $d=10$ m. Di conseguenza, in corrispondenza a tale profondità, l'onda significativa al largo $H_s=10,19$ m risulta notevolmente ridotta, mentre l'onda significativa al largo $H_s=6,16$ m, trovandosi nella fase di crescita che precede il fenomeno del frangimento, restituisce un valore di altezza d'onda significativa maggiore rispetto al valore sottocosta della massima altezza d'onda significativa al largo.

Si ritiene opportuno, quindi, individuare come onda di progetto al largo quella alla quale corrisponde il massimo valore, sia in termini di altezza significativa, che in termini di altezza massima, alla profondità $d=10$ m, ovvero:

Tabella 24 Onda di progetto al largo

TEMPO DI RITORNO T_{rp}	ALTEZZA SIGNIFICATIVA H_s	PERIODO SIGNIFICATIVO
[anni]	[m]	[s]
100	6,16	10,7

9 MODELLO BW DI AGITAZIONE RESIDUA INTERNA

Nell'ambito dello studio dell'agitazione ondosa residua all'interno di un porto è necessario tenere conto di fenomeni fisici come la rifrazione, lo shoaling, l'attrito con il fondo, il frangimento, la diffrazione e la riflessione.

Nel caso in esame si è scelto di simulare la complessità dei fenomeni menzionati con l'ausilio del modulo BW (Boussinesq Waves) del codice bidimensionale MIKE 21 del DHI Water & Environment – Danish Hydraulic Institute, uno degli strumenti più avanzati e completi per la simulazione di onde corte e lunghe in bacini portuali, darsene ed aree costiere in generale.

Dopo aver definito il paraggio di riferimento ed aver individuato il settore di traversia principale, sono stati individuati 152 eventi di mare ordinari da propagare con il modulo MIKE 21 SW da largo a sotto costa. Sono quindi stati estratti, dall'output del modello, i valori dei parametri caratteristici dell'onda (H_s , T_p e $M.W.D.$) in un punto di riferimento del dominio sottocosta (punto di estrazione 1 di coordinate UTM33 680500 E, 4481500 N). Tali valori rappresentano l'input del modulo BW con cui sono state determinate le caratteristiche delle onde all'interno del porto e, quindi, calcolato il coefficiente di disturbo nei punti di interesse.

Il coefficiente di disturbo è, per ogni direzione d'onda, il rapporto adimensionale tra l'altezza d'onda determinata in un punto del dominio di calcolo da BW e la H_s di input al modello che ha generato quell'evento. Esso assume valori costanti in ogni punto (tempo-invarianti) ed è il principale parametro indicatore dell'agitazione interna che residua dopo la dissipazione dell'energia associata al moto ondoso nel suo propagarsi da largo a riva.

9.1 APPROCCIO METODOLOGICO

Il modulo Boussinesq Wave (BW) del codice di calcolo MIKE 21 risolve, nel dominio del tempo, le equazioni bidimensionali di Boussinesq con il metodo alle differenze finite.

Le equazioni includono i termini non lineari e gli effetti delle accelerazioni verticali sulla distribuzione di pressione. Tali equazioni "estese" consentono al modello di simulare onde direzionali che viaggiano dalle acque profonde a quelle basse. La profondità massima rappresentabile con le equazioni di Boussinesq estese è pari a circa mezza lunghezza d'onda, mentre con le equazioni classiche tale rapporto si riduce a 0,22.

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, attrito del fondo, frangimento, riflessione parziale e propagazione di spettri d'onda (direzione e frequenza) su fondali con batimetrie complesse.

In MIKE 21 BW è possibile assegnare la porosità delle strutture per simulare la riflessione parziale e la trasmissione attraverso pali o frangiflutti, nonché applicare dei contorni assorbenti per riprodurre la dissipazione di energia dell'onda, per esempio, ad opera di una spiaggia.

L'input dei dati d'onda nel dominio di calcolo può essere assegnato sui contorni aperti o direttamente lungo linee di generazione interne.

Uno dei principali campi di applicazione di MIKE 21 BW è lo studio dell'agitazione residua (wave disturbance) all'interno di un bacino portuale, analisi di riferimento per la progettazione del layout di una nuova infrastruttura.

9.2 COSTRUZIONE DEL MODELLO E BATIMETRIA

Il dominio di calcolo del modulo MIKE 21 BW include il tratto di costa che si estende dalla foce del fiume Tara, ad Ovest, a Punta Rondinella, ad Est; il limite al largo è definito dall'isobata dei - 25m s.l.m.m..

Per la ricostruzione della batimetria sono stati acquisiti i dati di un rilievo del 25.01.2012 (cod. CSE 11_01) commissionato da SOGESID S.p.A. ed Autorità Portuale, integrati con dati rinvenuti dalle cartografie nautiche digitali, aggiornati con i rilievi condotti nel Luglio 2019.

La batimetria è composta da un totale di 1.417.500 celle, copre un'area pari a 22,68 Km² ed è orientata a 46°N al fine di ridurre il numero di punti di calcolo.

La risoluzione spaziale è vincolata dalla necessità di disporre di almeno 7 punti di calcolo per ogni lunghezza d'onda rappresentata.

Le aree emerse e le strutture hanno una quota costante; l'ipotesi alla base del modello è che non possa verificarsi il sormonto da parte delle acque.

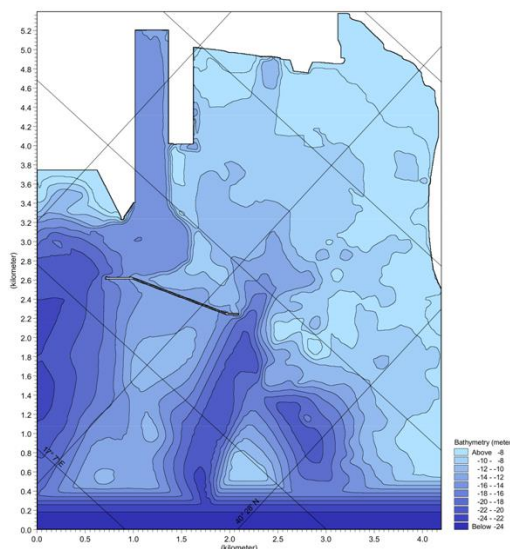


Figura 41: Batimetria di calcolo

Le aree caratterizzate da profondità molto basse (>-6,0m s.l.m.m.) possono essere escluse dal dominio di calcolo senza alterare i risultati nell'area di interesse. Con tale assunzione si esclude il fenomeno del frangimento. Lungo i limiti del dominio di calcolo, ad eccezione della costa, è stato inserito uno strato assorbente, che impedisce la riflessione delle onde in corrispondenza dei contorni fittizi del modello.

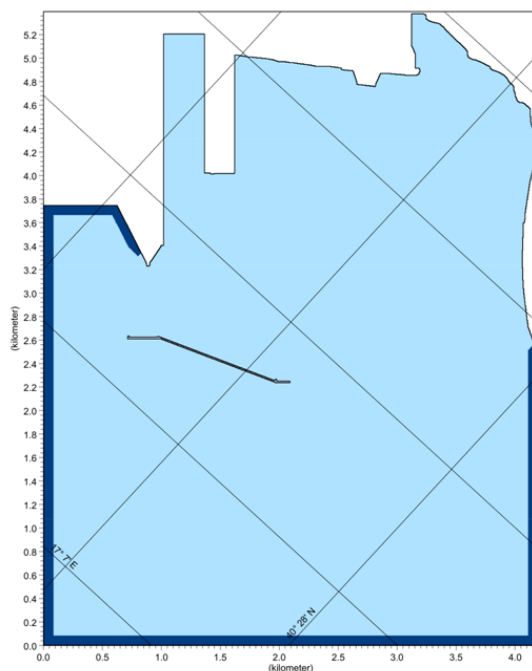


Figura 42: Assegnazione dello "sponge" (strato assorbente) lungo il contorno del dominio di calcolo

9.3 CLIMA ONDOSO IN INGRESSO

Nel modello numerico MIKE 21 BW le caratteristiche del moto ondoso sono assegnate lungo una linea di generazione interna alla batimetria, sulla quale sono definiti i vettori tempo varianti di densità di flusso e pendenza della superficie libera.

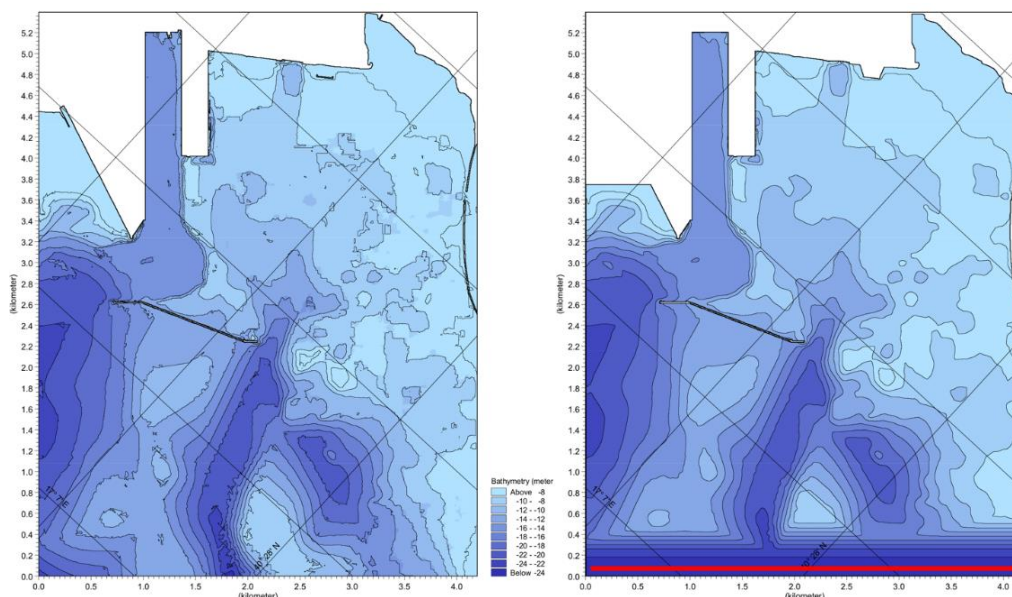


Figura 43: Batimetria di calcolo prima e dopo il processo di ottimizzazione, e indicazione della linea di generazione

Nella figura che segue è illustrato un esempio di vettore tempo variante, utilizzato come condizione al contorno interna per la rappresentazione del moto ondoso; l'immagine successiva mostra delle onde irregolari direzionali.

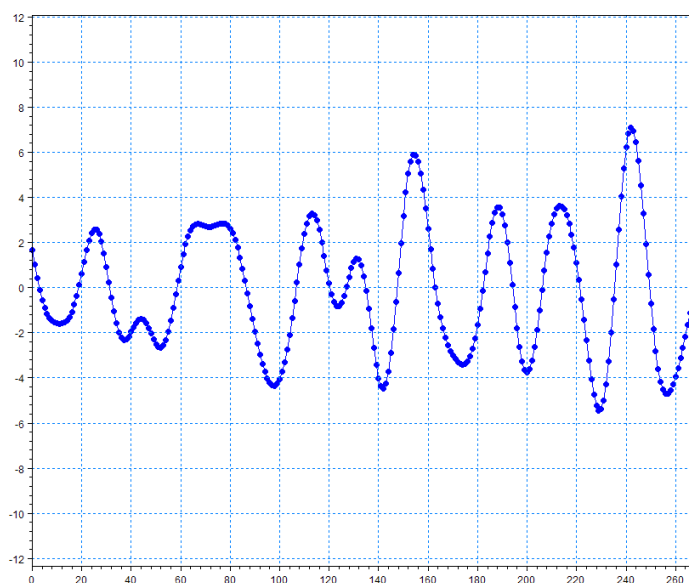


Figura 44: Esempio di vettore di flusso introdotto lungo la linea di generazione, ad un particolare istante di simulazione

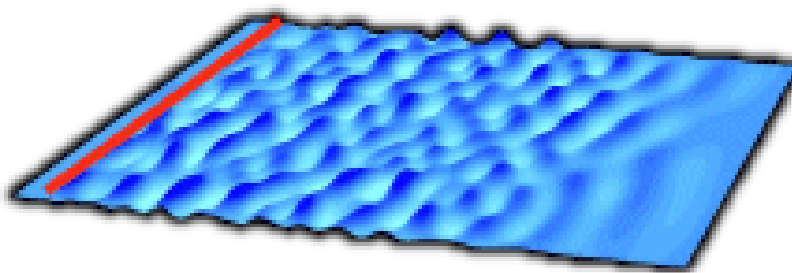


Figura 45: Esempio di onde irregolari direzionali

Note le caratteristiche del clima ondoso sottocosta, risultato delle simulazioni elaborate dal modello SW, nel punto di coordinate UTM33 680500E 4481500N, sono state selezionate 2 onde ordinarie, che per ogni classe di direzione, assumono valori di altezza significativa estremi, caratterizzati da una frequenza di accadimento prossima ad 1 giorno/anno. Le direzioni d'onda in questione, sono state scelte sulla base dell'obiettivo del progetto, ovvero incrementare il livello di protezione della Darsena Polisettoriale, e in funzione della frequenza di accadimento, della direzione di provenienza "critica" ai fini dell'accosto e di altre considerazioni di carattere tecnico.

Gli scenari simulati con il BW sono sintetizzati nella seguente tabella.

Tabella 25 Clima ordinario

DESCRIZIONE	Hs (m)	Tp (s)	MWD (°N)
Moto ondoso ordinario: settore di traversia principale	3,07	7,99	186
Moto ondoso ordinario: settore di traversia secondario	1,92	6,35	212

9.4 PARAMETRI DI RIFLESSIONE E TRASMISSIONE

In corrispondenza degli elementi rigidi del dominio di calcolo (linea di costa e opere marittime), è stato definito un coefficiente di porosità che regola i fenomeni di riflessione e trasmissione dovuti alla presenza di tali elementi. Questo parametro è definito in funzione delle caratteristiche medie dell'onda incidente e della profondità dei fondali antistanti la linea di costa e le opere marittime.

Con riferimento alla tipologia delle opere presenti nel paraggio in esame e alle diverse condizioni simulate, nella tabella seguente sono riportati i valori del coefficiente di riflessione assegnati sulla base dei dati riportati in letteratura ed all'esperienza dei progettisti.

Attribuiti i coefficienti di riflessione, nota la profondità e le caratteristiche dell'onda incidente, sono stati calcolati i coefficienti di porosità da inserire nel modello numerico.

Tabella 26 Coefficienti di riflessione

TIPOLOGIA	COEFFICIENTE DI RIFLESSIONE
Cassoni riflettenti	1
Cassoni antiriflettenti	0,75
Nuovo impalcato su pali	0,55
Cofferdam	0,75
Scogliera (alti fondali)	0,5
Scogliera (bassi fondali)	0,2

9.5 DURATA DELLE SIMULAZIONI E STEP DI CALCOLO

Nel modello MIKE 21 BW è necessario definire, oltre ai dati di input descritti nei paragrafi precedenti, la durata delle simulazioni ed il numero di integrazioni.

La durata delle simulazioni deve essere sufficientemente estesa per consentire al moto ondoso di svilupparsi completamente in tutto il dominio di calcolo. Tale grandezza è funzione delle dimensioni dell'area di studio e della velocità di propagazione delle onde.

Il numero di integrazioni è uno dei parametri che condiziona la stabilità delle simulazioni; esso è definito in funzione della risoluzione spaziale della griglia di calcolo, del numero di Courant e del periodo delle onde. Se il problema è risolto con le equazioni di Boussinesq estese, è necessario che gli step di calcolo siano almeno 25-30.

Nel caso in esame, è stato stimato che una durata di 2 ore sia più che sufficiente affinché il moto ondoso raggiunga il completo sviluppo. Lo step temporale assegnato è di 0,1secondi.

10 STUDIO DELLA PENETRAZIONE DEL MOTO ONDOSO

Lo studio della penetrazione del moto ondoso all'interno del porto si pone l'obiettivo di stimare le condizioni di agitazione ondosa residua all'interno del bacino e, quindi, l'efficacia del sistema di opere di difesa di progetto.

10.1 SCENARI DI SIMULAZIONE

Dal punto di vista della configurazione portuale, gli scenari presi a riferimento per studiare l'efficienza del sistema delle opere di difesa in termini di riduzione dell'agitazione ondosa residua all'interno del porto di Taranto, sono i seguenti:

- Soluzione 1: Stato attuale
- Soluzione 2: Scenario di progetto: nuova diga foranea – I Lotto (500m); ammodernamento della banchina di ormeggio del Polisettoriale realizzata;
- Soluzione 3: Scenario di progetto: nuova diga foranea – I Lotto (500m); ammodernamento della banchina di ormeggio Molo Polisettoriale; dragaggio a -16,50m dell'area del Molo Polisettoriale e cassa di colmata del V Sporgente - I lotto;
- Soluzione 4: Scenario del nuovo Piano Regolatore Portuale e nuova diga foranea – I Lotto (500m);
- Soluzione 5: Scenario del nuovo Piano Regolatore Portuale e nuova diga foranea – II Lotto (1.300m).

10.2 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

Nelle figure seguenti sono illustrati i risultati delle simulazioni eseguite con MIKE 21 BW per i diversi scenari di progetto e per le due onde definite nei paragrafi precedenti.

Le figure mostrano il campo dei valori di altezza d'onda significativa (H_s) al termine delle diverse simulazioni e, quindi, in condizioni di mare completamente sviluppato.

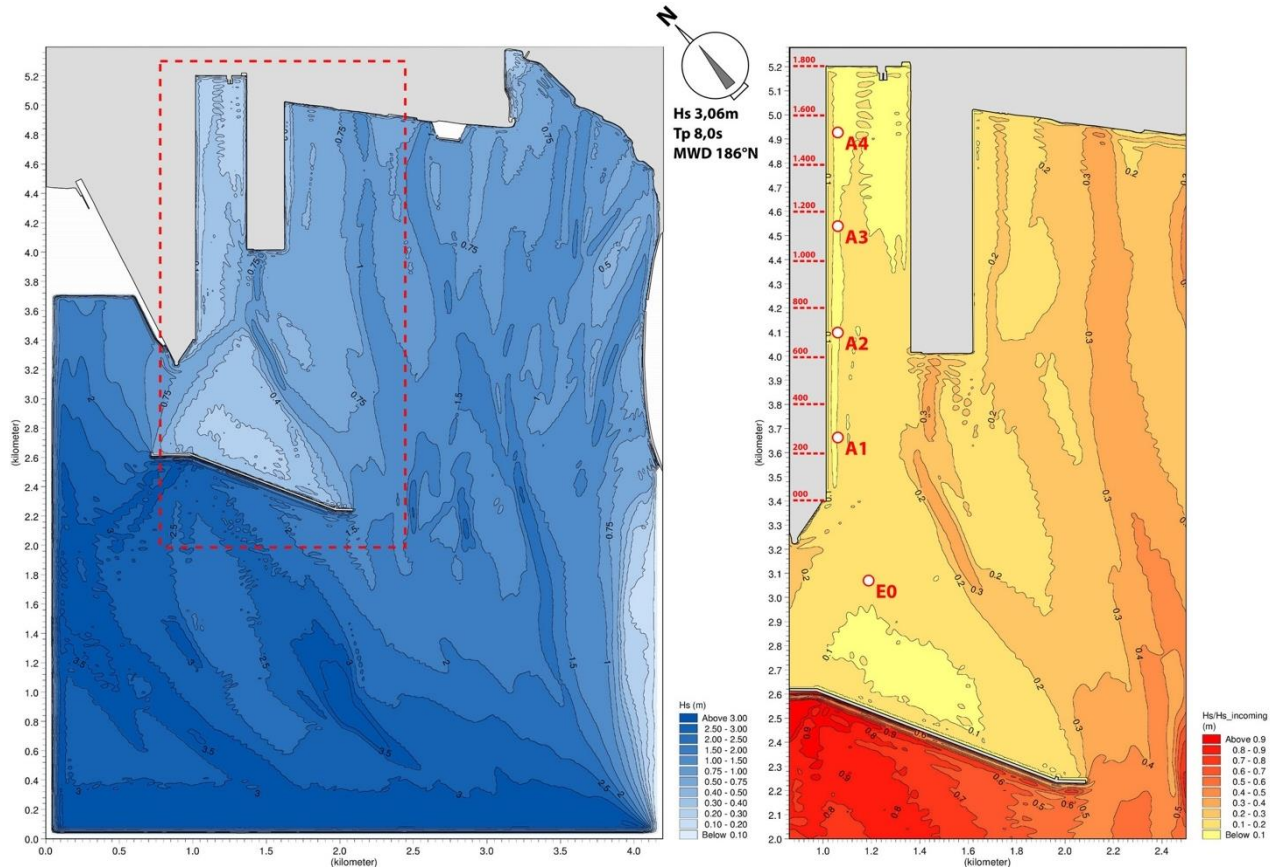


Figura 46: Soluzione 1 - Stato attuale: MWD 186°N, Hs=3,06m, Tp=7.98s

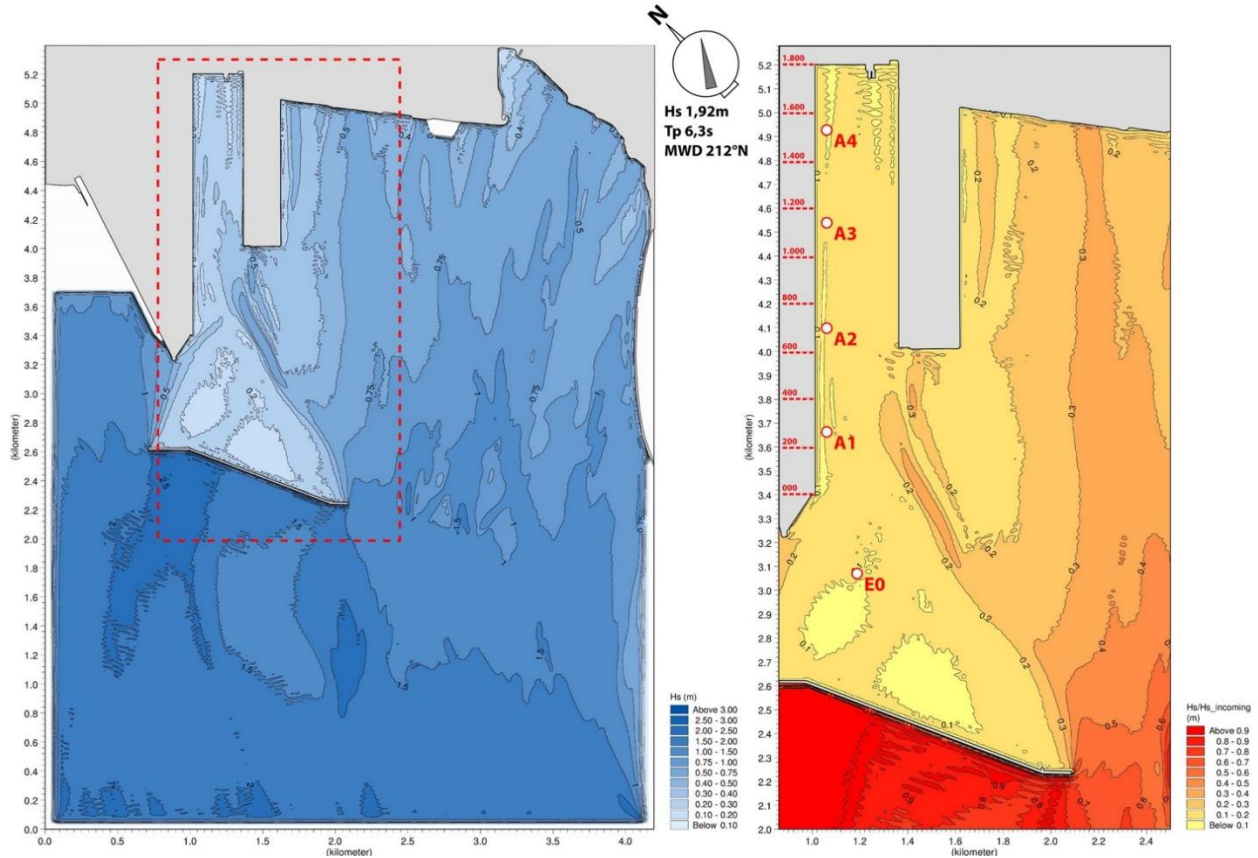


Figura 47: Soluzione 1 - Stato attuale: MWD 212°N, Hs=1,92m, Tp=6,34s

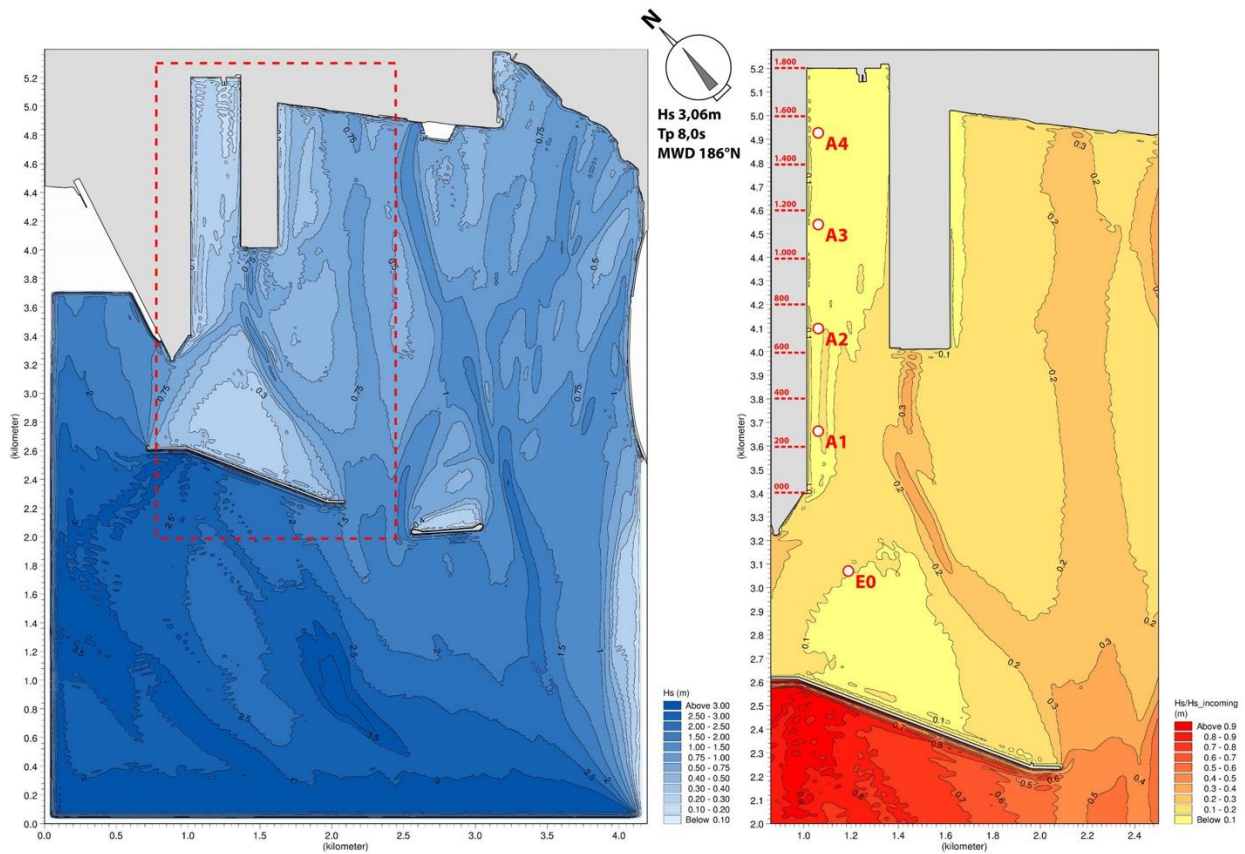


Figura 48: Soluzione 2 - Scenario di progetto: nuova diga foranea – I Lotto (500m); ammodernamento della banchina di ormeggio del Terminal Container: MWD 186°N, Hs=3,06m, Tp=7.98s

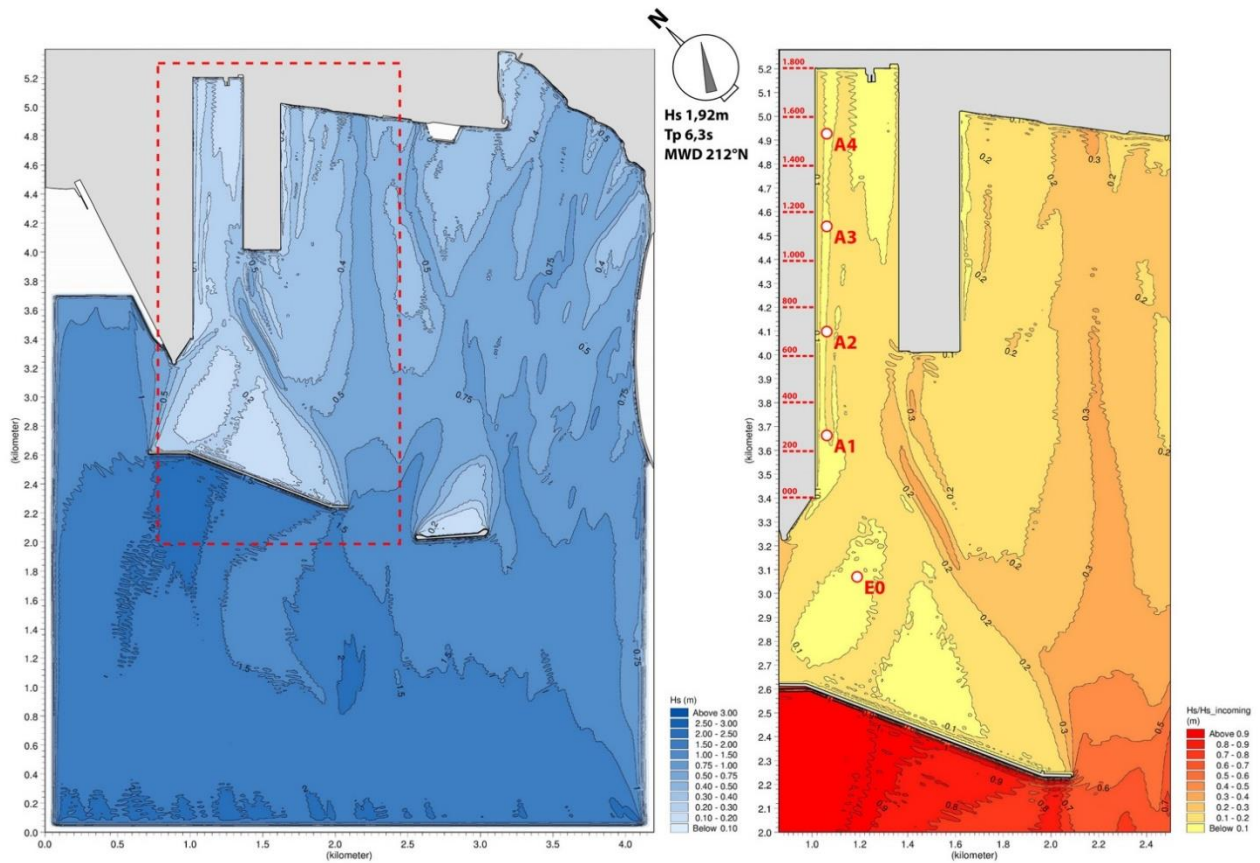


Figura 49: Soluzione 2 - Scenario di progetto: nuova diga foranea – I Lotto (500m); ammodernamento della banchina di ormeggio del Terminal Container: MWD 212°N, Hs=1,92m, Tp=6,34s

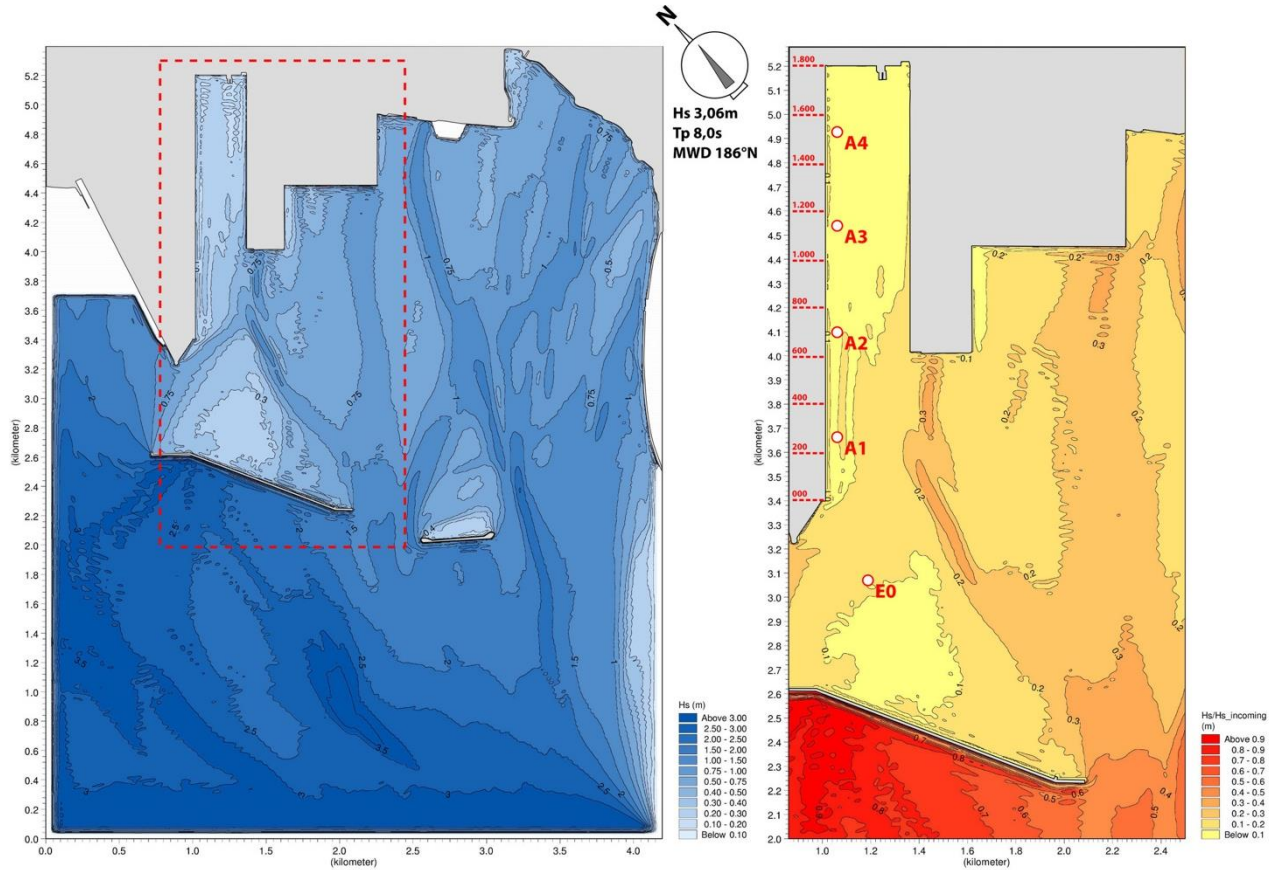


Figura 50: Soluzione 3 - Scenario di progetto: nuova diga foranea – I Lotto (500m); ammodernamento della banchina di ormeggio del Terminal Container; dragaggio a -16,50m dell'area del Molo Polisettoriale e cassa di colmata del V Sporgente - I lotto: MWD 186°N, Hs=3,06m, Tp=7.98s

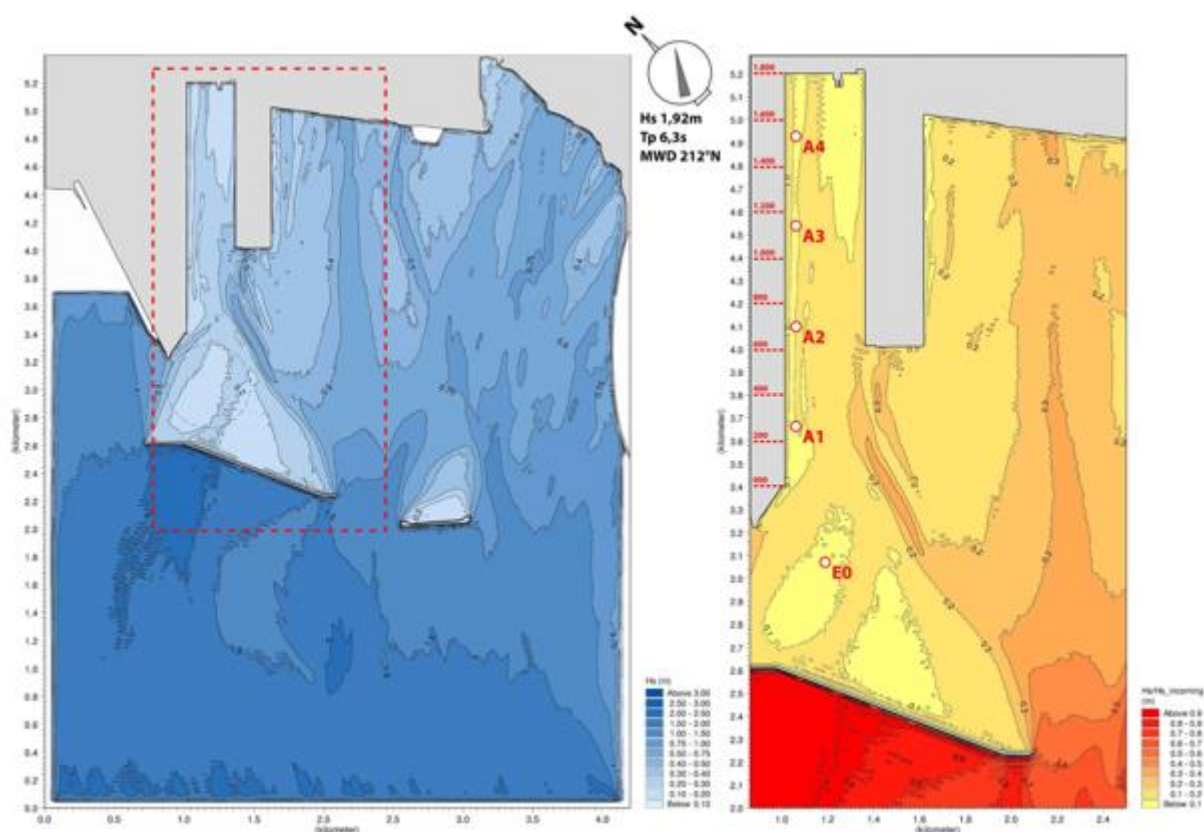


Figura 51: Soluzione 3 - Scenario di progetto: nuova diga foranea – I Lotto (500m); ammodernamento della banchina di ormeggio del Terminal Container; dragaggio a -16,50m dell'area del Molo Polisetoriale e cassa di colmata del V Sporgente - I lotto: MWD 212°N, Hs=1,92m, Tp=6,34s

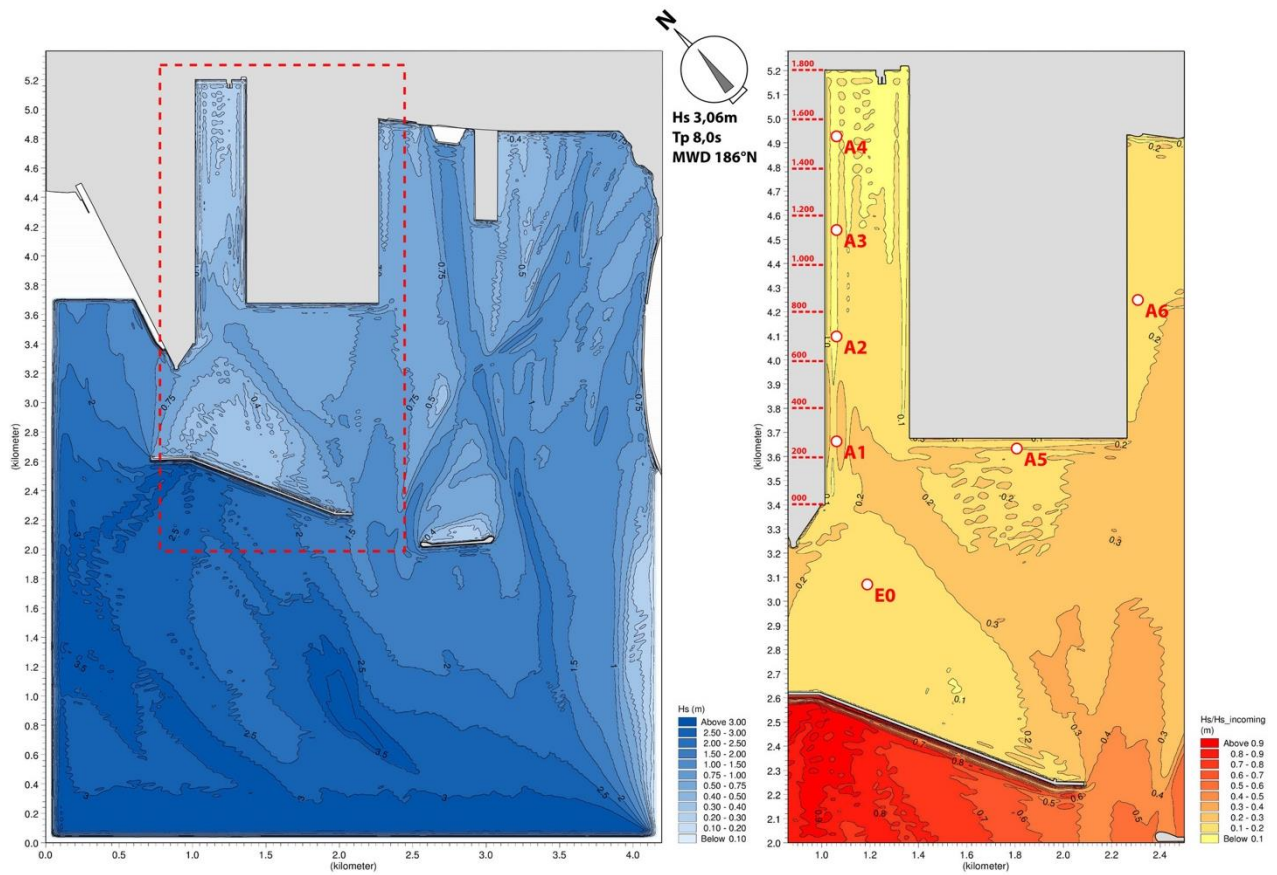


Figura 52: Soluzione 4 - Scenario del nuovo Piano Regolatore Portuale e nuova diga foranea – I Lotto (500m): MWD 186°N, Hs=3,06m, Tp=7.98s

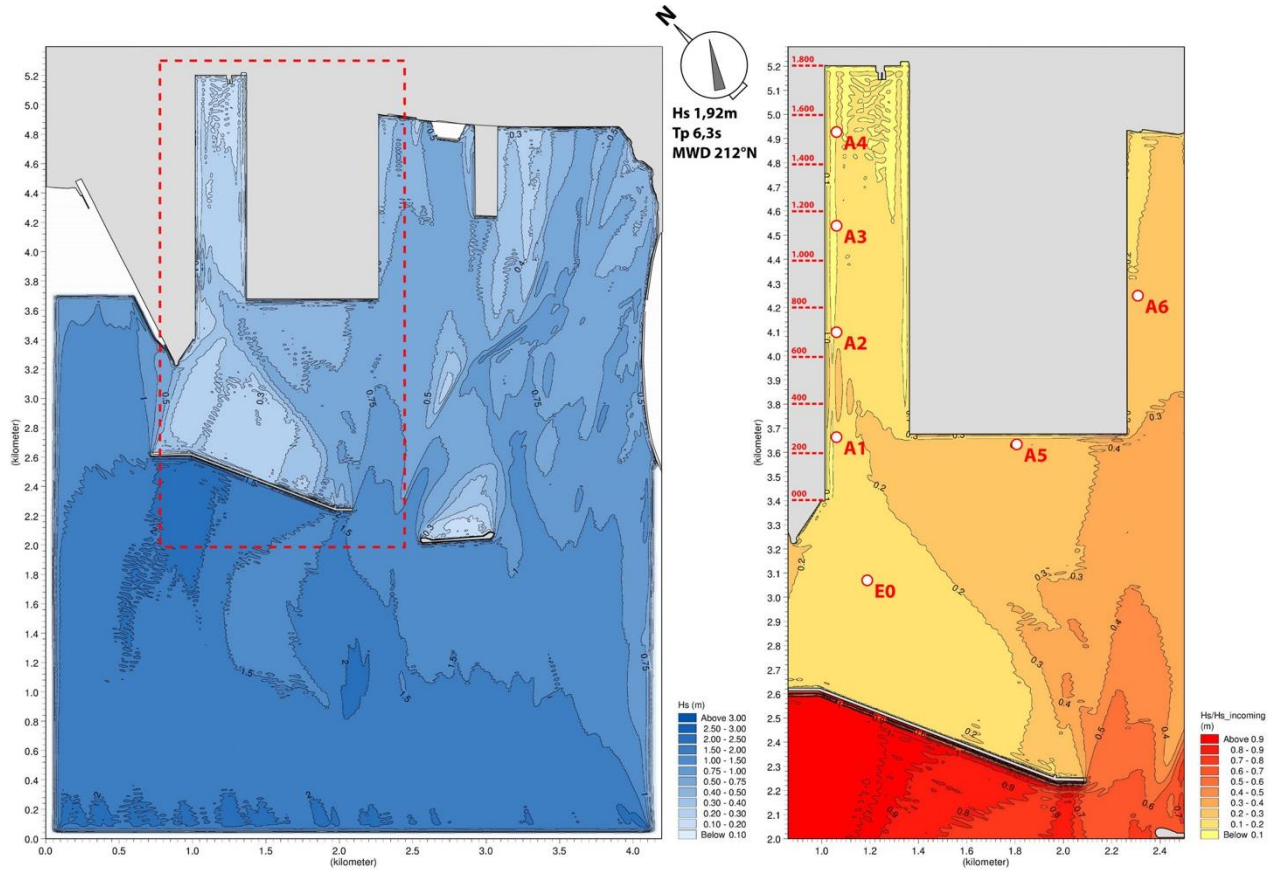


Figura 53: Soluzione 4 - Scenario del nuovo Piano Regolatore Portuale e nuova diga foranea – I Lotto (500m): MWD 212°N, Hs=1,92m, Tp=6,34s

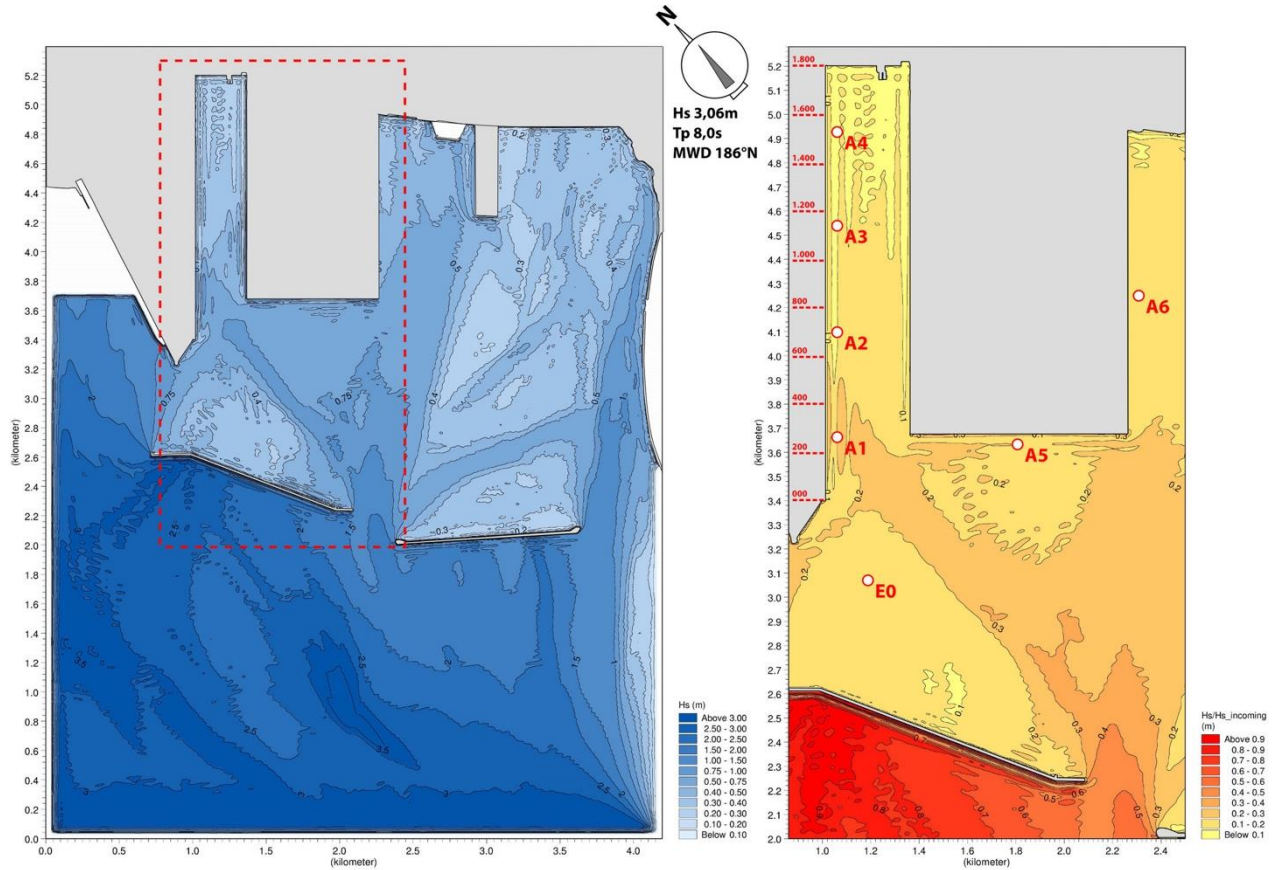


Figura 54: Soluzione 5 - Scenario del nuovo Piano Regolatore Portuale e nuova diga foranea – Il Lotto (1.300m): MWD 186°N, Hs=3,06m, Tp=7.98s

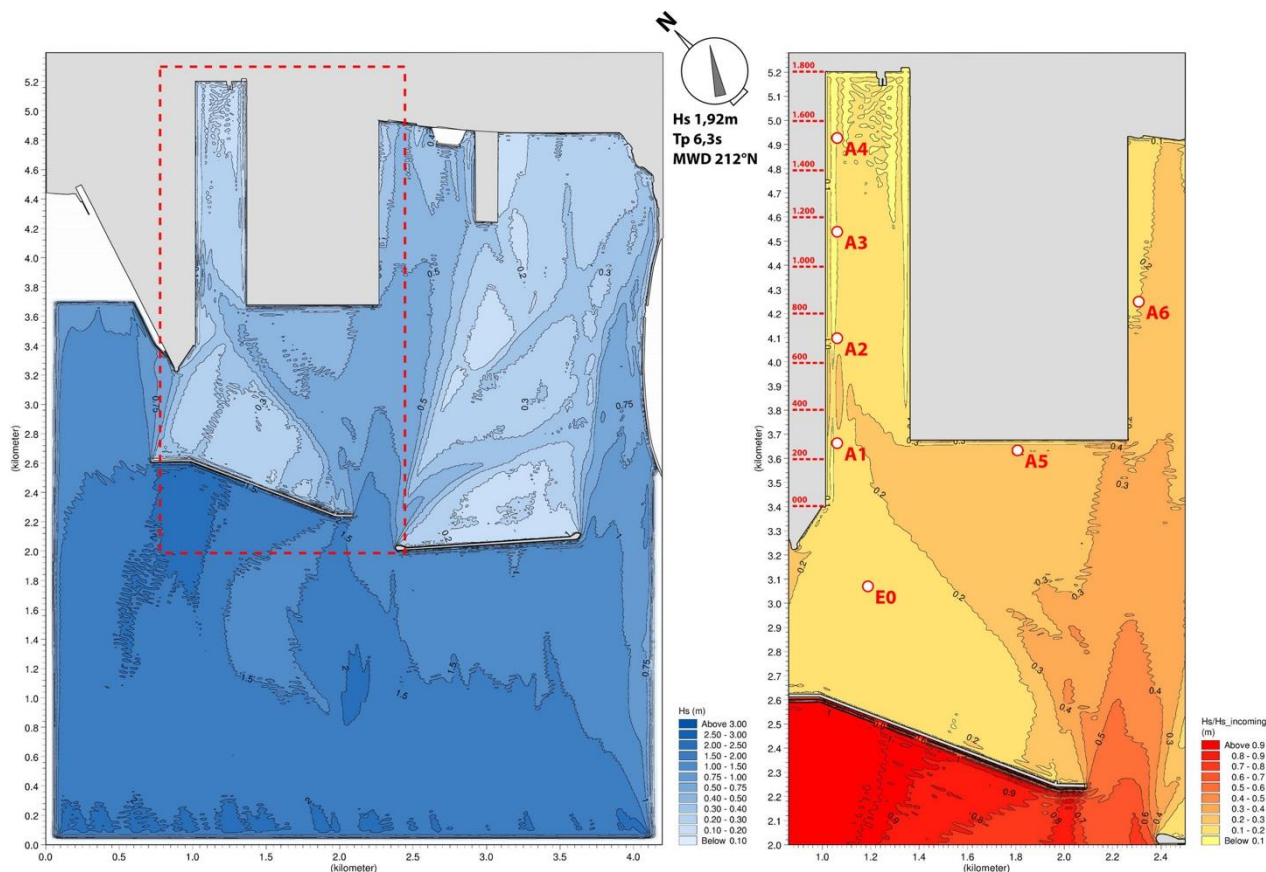


Figura 55: Soluzione 5 - Scenario del nuovo Piano Regolatore Portuale e nuova diga foranea – Il Lotto (1.300m): MWD 212°N, Hs=1,92m, Tp=6,34s

Il coefficiente di disturbo, parametro adimensionale che indica l'abbattimento dell'altezza d'onda in termini percentuali, è stato calcolato in 7 punti significativi del dominio di calcolo, ovvero all'interno del cerchio di evoluzione (E0), agli accosti del Molo Polisetoriale (da A1 a A4) e agli accosti della nuova colmata del V Sporgente (A5 e A6).

Tabella 27 Coordinate dei punti di estrazione dell'output di BW

PUNTI DI ESTRAZIONE	COORDINATE GAUSS BOAGA	
	E	N
E0	2.701.763	4.484.499
A1	2.702.153	4.485.083
A2	2.702.480	4.485.397
A3	2.702.794	4.485.700
A4	2.703.073	4.485.981
A5	2.702.636	4.484.591
A6	2.703.419	4.484.580

I valori del coefficiente di disturbo, riportati nelle seguenti tabelle, sono una media dei Cd calcolata in un intorno dei suddetti punti di estrazione, per tener conto del fatto che le navi hanno un ingombro e non sono oggetti puntuali.

Tabella 28 Coefficienti di disturbo – Settore di traversia principale (MWD=186°N; Hs=3,06 m; Tp=7,98 sec)

SCENARI DI RIFERIMENTO	COEFFICIENTE DI DISTURBO						
	E0	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Soluzione 1 -Stato Attuale	0,15	0,16	0,15	0,15	0,13	-	-
Soluzione 2 -Scenario di progetto: nuova diga foranea – I Lotto (500m); ammodernamento della banchina di ormeggio del Molo Polisettoriale	0,10	0,09	0,08	0,08	0,09	-	-
Soluzione 3 - Scenario di progetto: nuova diga foranea – I Lotto (500m); ammodernamento della banchina di ormeggio del Molo Polisettoriale; dragaggio a -16,50m dell'area del Molo Polisettoriale; Cassa di colmata del V Sporgente - I lotto	0,10	0,09	0,08	0,08	0,09	-	-
Soluzione 4 - Scenario del nuovo Piano Regolatore Portuale e nuova diga foranea – I Lotto (500m)	0,13	0,17	0,11	0,10	0,09	0,18	0,17
Soluzione 5 -Scenario del nuovo Piano Regolatore Portuale e nuova diga foranea – II Lotto (1.300m)	0,13	0,18	0,11	0,10	0,10	0,18	0,14

Tabella 29 Coefficienti di disturbo – Settore di traversia secondario (MWD=212°N; Hs=1,92 m; Tp=6,34 sec)

SCENARI DI RIFERIMENTO	COEFFICIENTE DI DISTURBO						
	E0	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Soluzione 1 -Stato Attuale	0,12	0,17	0,18	0,20	0,19	-	-
Soluzione 2 -Scenario di progetto: nuova diga foranea – I Lotto (500m); ammodernamento della banchina di ormeggio del Molo Polisettoriale	0,10	0,09	0,10	0,11	0,13	-	-
Soluzione 3 - Scenario di progetto: nuova diga foranea – I Lotto (500m); ammodernamento della banchina di ormeggio del Molo Polisettoriale; dragaggio a -16,50m dell'area del Molo Polisettoriale; Cassa di colmata del V Sporgente - I lotto	0,09	0,09	0,10	0,11	0,12	-	-
Soluzione 4 - Scenario del nuovo Piano Regolatore Portuale e nuova diga foranea – I Lotto (500m)	0,15	0,14	0,14	0,10	0,10	0,23	0,22
Soluzione 5 -Scenario del nuovo Piano Regolatore Portuale e nuova diga foranea – II Lotto (1.300m)	0,15	0,14	0,15	0,10	0,10	0,23	0,20

11 CONSIDERAZIONI FINALI SULLA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO

Allo scopo di illustrare l'effetto della costruzione della nuova diga foranea in termini di agitazione interna residua nel porto fuori rada di Taranto, si è proceduto al raffronto dei diversi scenari di progetto, confrontando i valori del coefficiente di disturbo nei punti di estrazione precedentemente selezionati.

Rispetto allo stato attuale, la costruzione del Tratto di Ponente della diga foranea determina un miglioramento in termini di agitazione residua agli accosti del Molo Polisettoriale e all'interno del cerchio di evoluzione.

Dalle simulazioni condotte relativamente allo scenario 3 che risulta essere quello più di immediata configurazione, si evince come la realizzazione del I lotto della diga foranea (500 m) unitamente all'ammodernamento della banchina di ormeggio del Molo Polisettoriale, all'esecuzione del dragaggio a -16,50m dell'area del Molo Polisettoriale, e la realizzazione del I lotto della cassa di colmata del V Sporgente, comporta un notevole miglioramento in termini sia di agitazione interna residua rispetto allo scenario attuale (stato attuale) e sia in termini di altezze d'onda.

Quest'ultime risultano essere compatibili con i limiti di operatività all'interno del cerchio di evoluzione e per gli accosti delle navi operative in corrispondenza Molo Polisettoriale che risulterà essere, per il prossimo futuro, l'unico accosto abilitato all'attracco di navi commerciali all'interno del porto fuori rada di Taranto.

Il moto ondoso di direzione 212°N subisce una rotazione verso levante per la diffrazione provocata dalla testata settentrionale della nuova opera di difesa, il che determina un netto miglioramento in termini di agitazione residua agli accosti del Molo Polisettoriale, meno marcato all'interno del cerchio di evoluzione.

Nella configurazione finale del porto fuori rada prevista dal PRP, ovvero ampliamento del V Sporgente, realizzazione del VI Sporgente e dragaggio a -16,50m dei fondali del V Sporgente, le condizioni agli accosti in testata al Molo Polisettoriale (A1 e A2) e nel cerchio di evoluzione peggiorano a causa della riflessione del moto ondoso in ingresso. Questo fenomeno è causato essenzialmente dalla tipologia della struttura di confinamento della cassa di colmata. Pertanto, si dovrà valutare l'opportunità di modificare strutturalmente l'opera di confinamento della cassa di colmata per migliorare le condizioni meteomarine all'interno del bacino nella configurazione finale prevista dal PRP. Dal confronto dei risultati delle simulazioni per lo scenario di PRP, con la diga foranea di 500m e quella definitiva di 1300m, si evince che una volta terminata la costruzione della cassa di colmata in ampliamento al V Sporgente, la nuova opera di difesa di 500m di lunghezza è insufficiente a proteggere i nuovi accosti del V Sporgente dal moto ondoso.

L'intervento di prolungamento della diga non determina effetti significativi agli accosti del Molo Polisettoriale e all'interno del cerchio di evoluzione che sono sufficientemente protetti già dalla realizzazione del Tratto di Ponente (primo lotto da 500m).

Un ulteriore miglioramento delle condizioni all'accosto potrebbe invece essere ottenuto andando a modificare lo sviluppo planimetrico del II Lotto dei lavori, ruotando verso sud il tratto di ampliamento della testata più vicina all'opera di difesa esistente, ottenendo un'ulteriore riduzione dell'agitazione residua interna. L'individuazione e la progettazione di questo nuovo scenario meriterebbero, tuttavia, approfondimenti di indagine per mezzo di ulteriori simulazioni con modelli matematici. Tale attività

è rimandata alla fase di progettazione del II lotto dei lavori.

I risultati dello studio idraulico marittimo condotto sono allegati alla presente relazione.

Roma, Settembre 2019

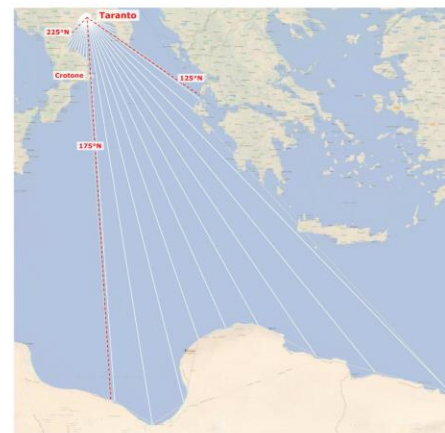
Il Capo Progetto
Dott. Ing. Michelangelo Lentini



ALLEGATO 1

Base modellistica e parametri del modello

FETCH GEOGRAFICI
GEOGRAPHIC FETCH



SETTORI DI TRAVERSA
WAVE CLIMATE SECTORS

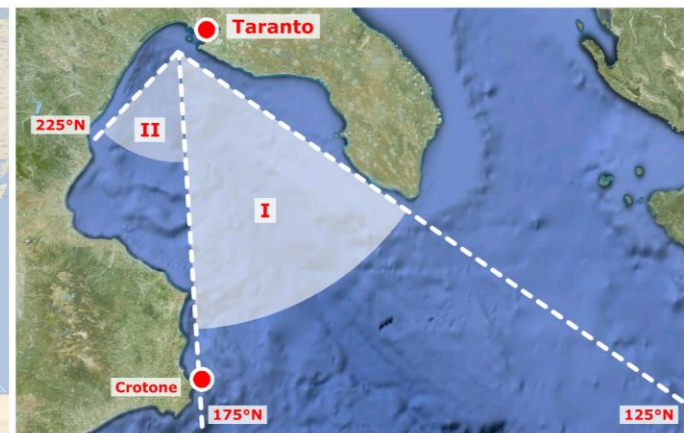
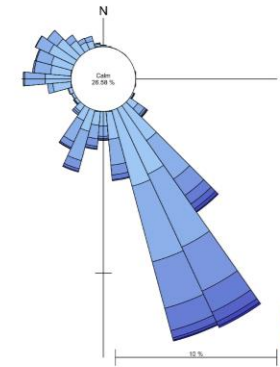


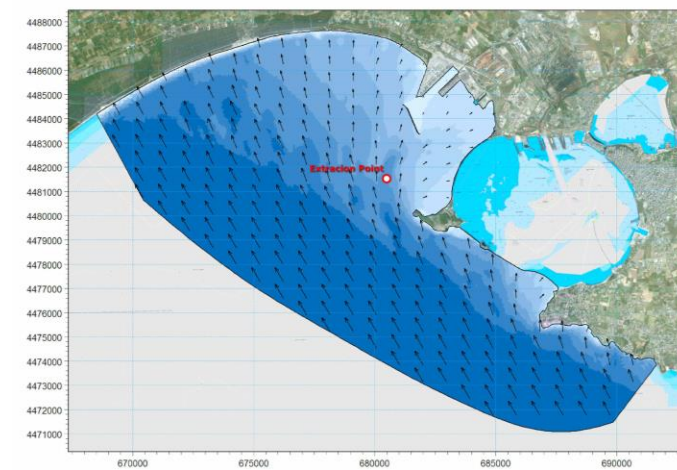
DIAGRAMMA POLARE DEL CLIMA A LARGO
ROSE PLOT OF OFFSHORE WAVE CLIMATE



CLIMA ORDINARIO A LARGO
OFFSHORE WAVE CLIMATE

MWD (°)	Hs (m)										Tot.	Tot. %
	0-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-3.5	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0		
0-10	12.646	4.518	1.115	6	0	0	0	0	0	0	18.285	6.44%
10-20	18.303	2.290	314	6	0	0	0	0	0	0	20.913	7.36%
20-30	15.077	762	40	0	0	0	0	0	0	0	15.839	5.60%
30-40	11.886	363	48	0	0	0	0	0	0	0	12.297	4.33%
40-50	9.487	291	26	0	0	0	0	0	0	0	9.804	3.45%
50-60	8.167	454	45	31	6	0	0	0	0	0	8.703	3.06%
60-70	6.718	687	150	35	25	0	0	0	0	0	7.621	2.68%
70-80	5.870	763	218	163	43	12	6	0	0	0	7.075	2.49%
80-90	5.088	818	297	120	88	19	1	0	0	0	6.431	2.26%
90-100	4.764	1.082	416	119	165	81	42	7	0	0	6.676	2.35%
100-110	4.662	1.184	483	137	215	138	74	44	36	0	6.973	2.46%
110-120	5.239	1.385	629	241	264	170	118	103	42	6	8.197	2.89%
120-130	5.898	1.931	1.112	682	625	598	294	231	84	6	11.461	4.04%
130-140	7.193	2.893	1.495	914	743	1.010	693	308	96	12	15.357	5.41%
140-150	7.685	3.323	1.646	879	500	620	288	104	0	0	15.045	5.30%
150-160	9.222	4.122	1.808	635	376	441	14	24	0	0	16.642	5.86%
160-170	12.250	5.480	1.739	408	65	80	39	61	0	0	20.122	7.09%
170-180	15.015	6.320	1.881	186	67	40	6	37	0	0	23.552	8.29%
180-190	13.649	6.177	1.167	136	62	20	1	0	0	0	21.212	7.47%
190-200	7.140	3.084	492	95	28	16	1	0	0	0	10.856	3.82%
200-210	2.605	925	124	64	16	16	0	0	0	0	3.750	1.32%
210-220	865	313	105	57	14	19	0	0	0	0	1.373	0.48%
220-230	581	235	81	33	15	1	2	0	0	0	948	0.33%
230-240	511	197	73	18	6	9	0	0	0	0	814	0.29%
240-250	502	217	64	22	6	0	0	0	0	0	811	0.29%
250-260	520	188	69	18	10	0	0	0	0	0	805	0.28%
260-270	443	253	82	46	3	1	0	0	0	0	828	0.29%
270-280	345	224	85	41	24	13	1	0	0	0	753	0.26%
280-290	296	228	108	89	31	24	3	4	0	0	783	0.28%
290-300	365	213	92	57	28	20	8	12	0	0	795	0.28%
300-310	469	196	93	62	30	24	7	0	0	0	881	0.31%
310-320	558	191	53	47	26	12	0	0	0	0	887	0.31%
320-330	650	178	69	59	7	0	0	0	0	0	963	0.34%
330-340	710	167	86	56	0	0	0	0	0	0	1.031	0.36%
340-350	891	222	154	1	0	0	0	0	0	0	1.268	0.45%
360-0	2.362	1.399	410	17	0	0	0	0	0	0	4.188	1.47%
Tot.	198.632	53.273	16.901	5.480	3.488	3.390	1.598	923	270	24	283.979	100%
Tot. %	69.95%	18.76%	5.95%	1.93%	1.23%	1.19%	0.56%	0.33%	0.10%	0.01%	100%	

PROPAGAZIONE DA LARGO A SOTTO COSTA: SETTORE DI TRAVERSA PRINCIPALE
PROPAGATION OF WAVES: MAIN SECTOR



PROPAGAZIONE DA LARGO A SOTTO COSTA: SETTORE DI TRAVERSA SECONDARIO
PROPAGATION OF WAVES: SECONDARY SECTOR

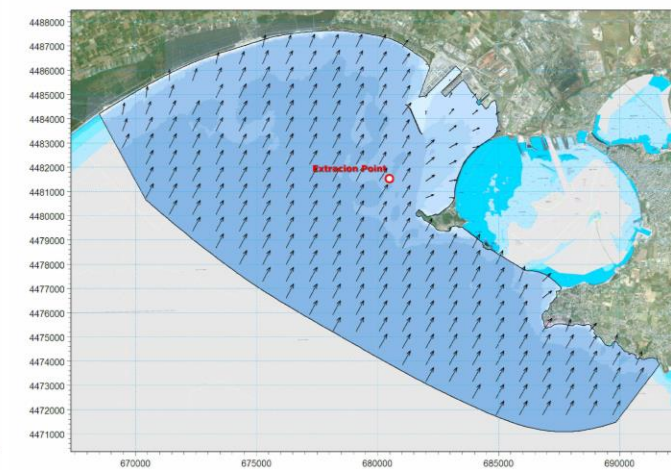
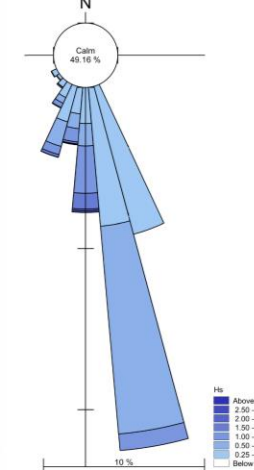
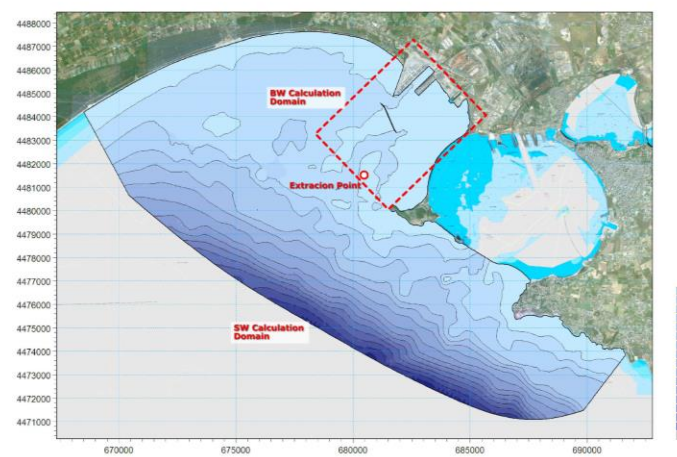


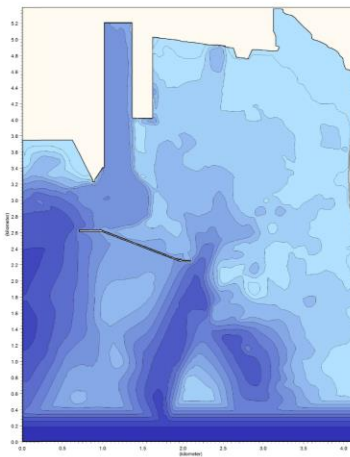
DIAGRAMMA POLARE DEL CLIMA SOTTO COSTA
ROSE PLOT OF NEARSHORE WAVE CLIMATE



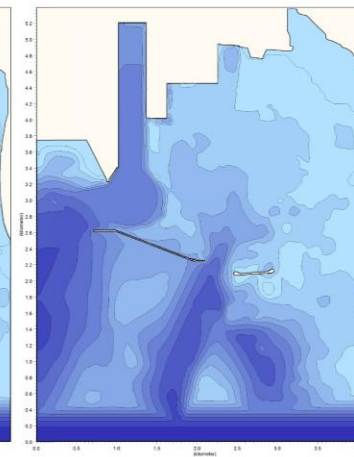
DOMINIO DI CALCOLO
MODEL DOMAIN



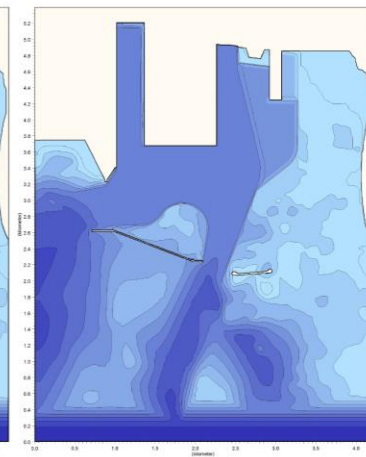
STATO DI FATTO
EXISTING CONDITION



I LOTTO CASSA DI COLMATA PARZIALE V SPORGENTE
1st LOT PARTIAL CONFINED DISPOSAL FACILITY JETTY V



CONFIGURAZIONE DI PRP NUOVA DIGA 500m
PMP NEW BREAKWATER 500m





ALLEGATO 2

Moto ondoso ordinario: Propagazione da largo a sottocosta

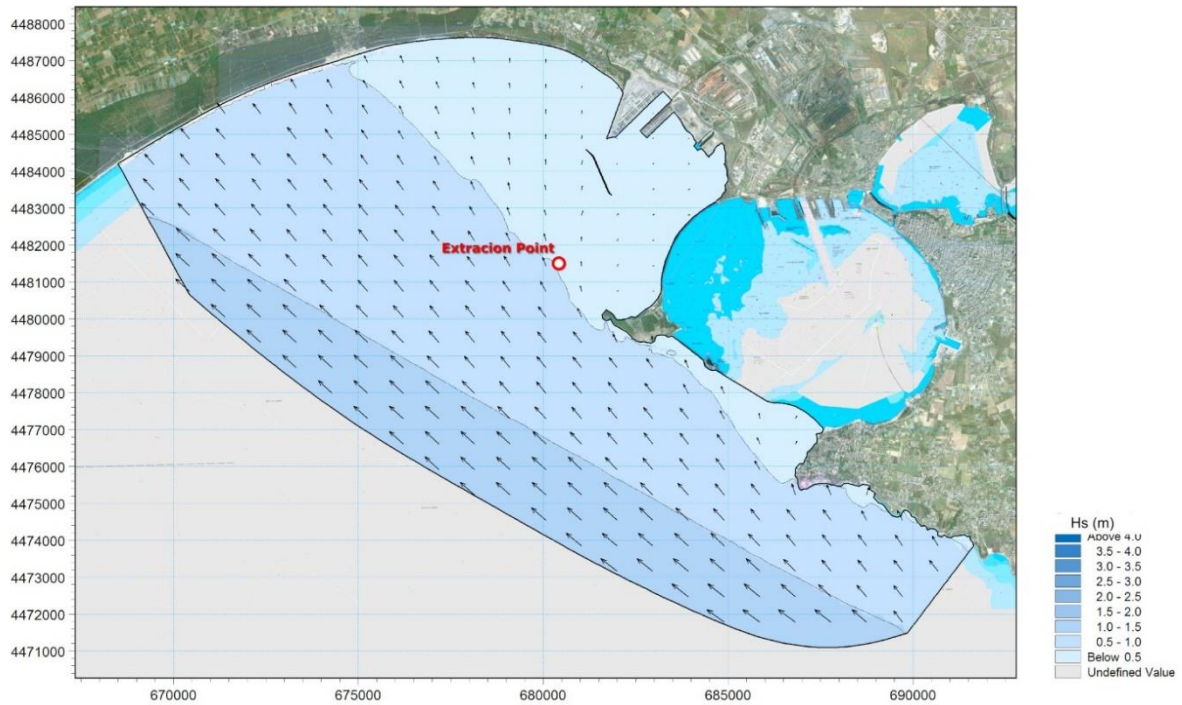


Figura 56 Direzione 115°N, Hs 1,10m, Tp 5,10s

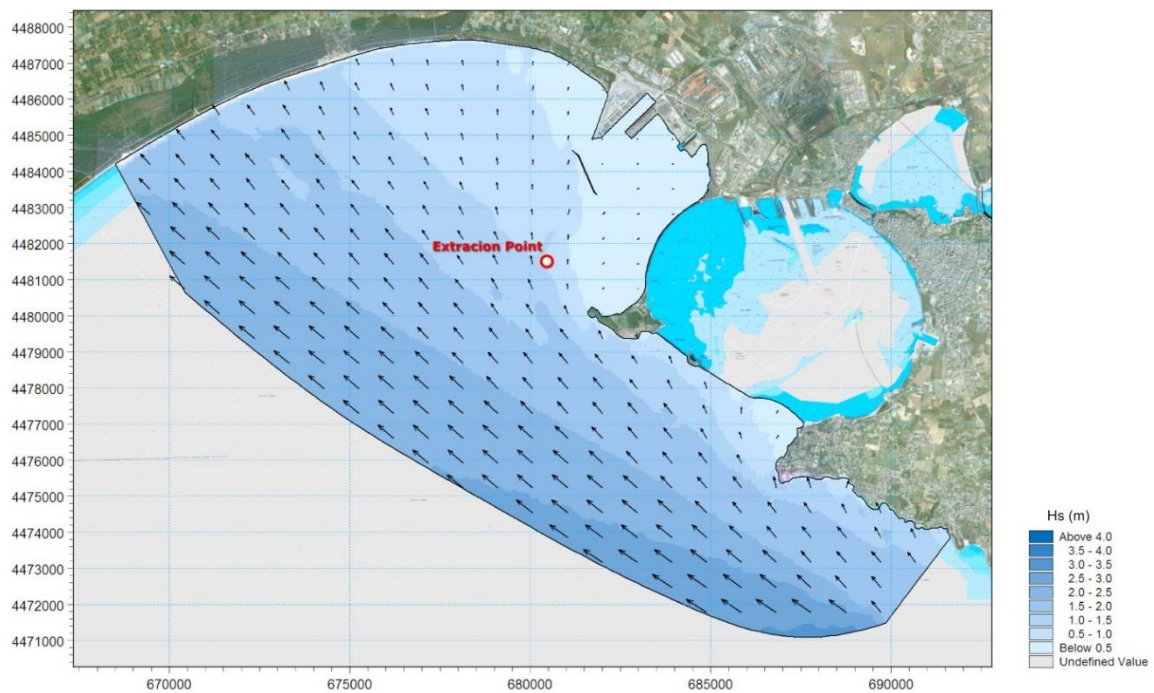


Figura 57 Direzione 125°N, Hs 3,10m, Tp 7,54s

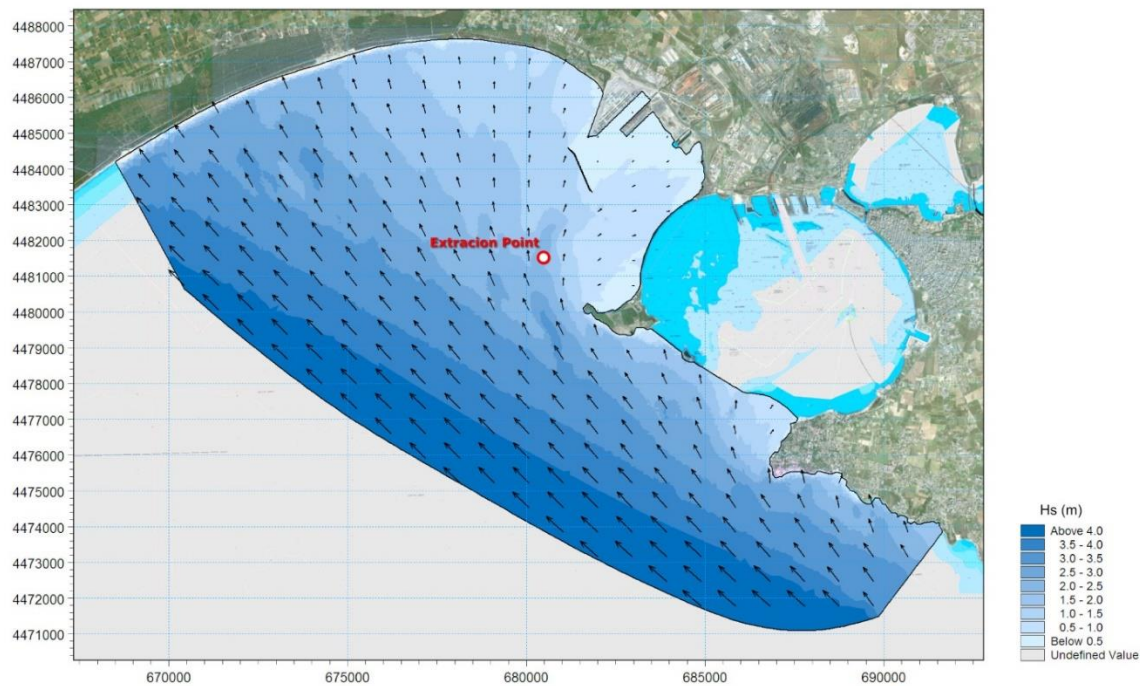


Figura 58 Direzione 135°N, Hs 4,50m, Tp 8,68s

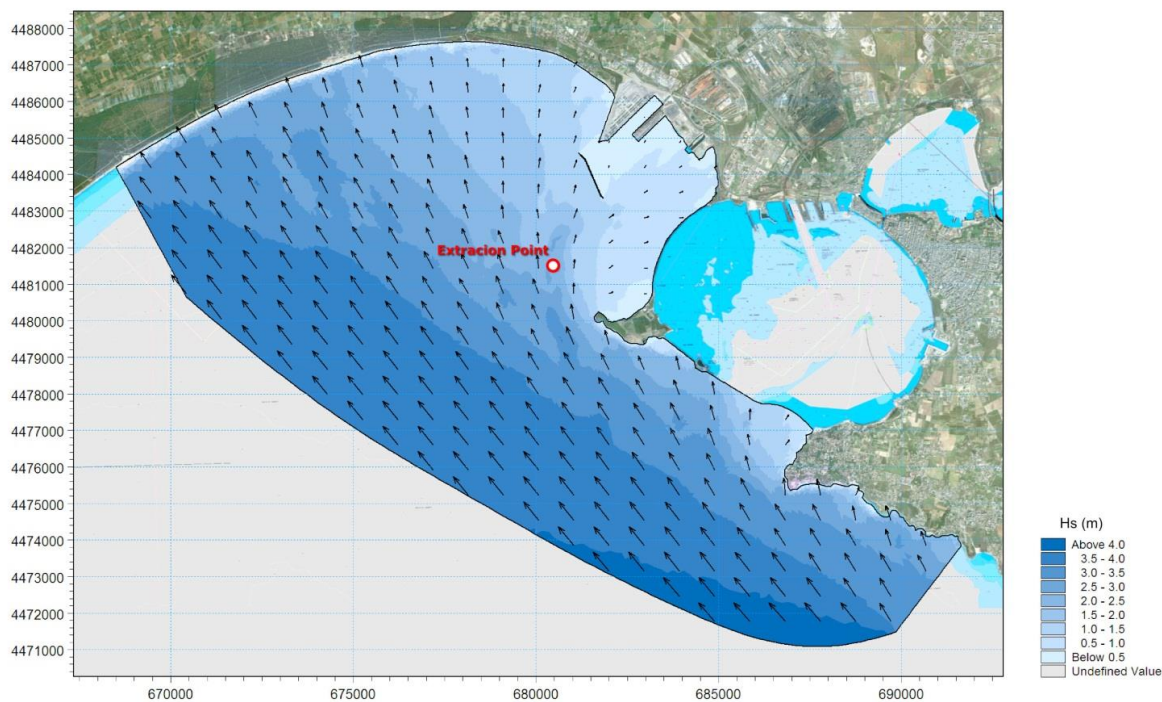


Figura 59 Direzione 145°N, Hs 4,10m, Tp 8,38s

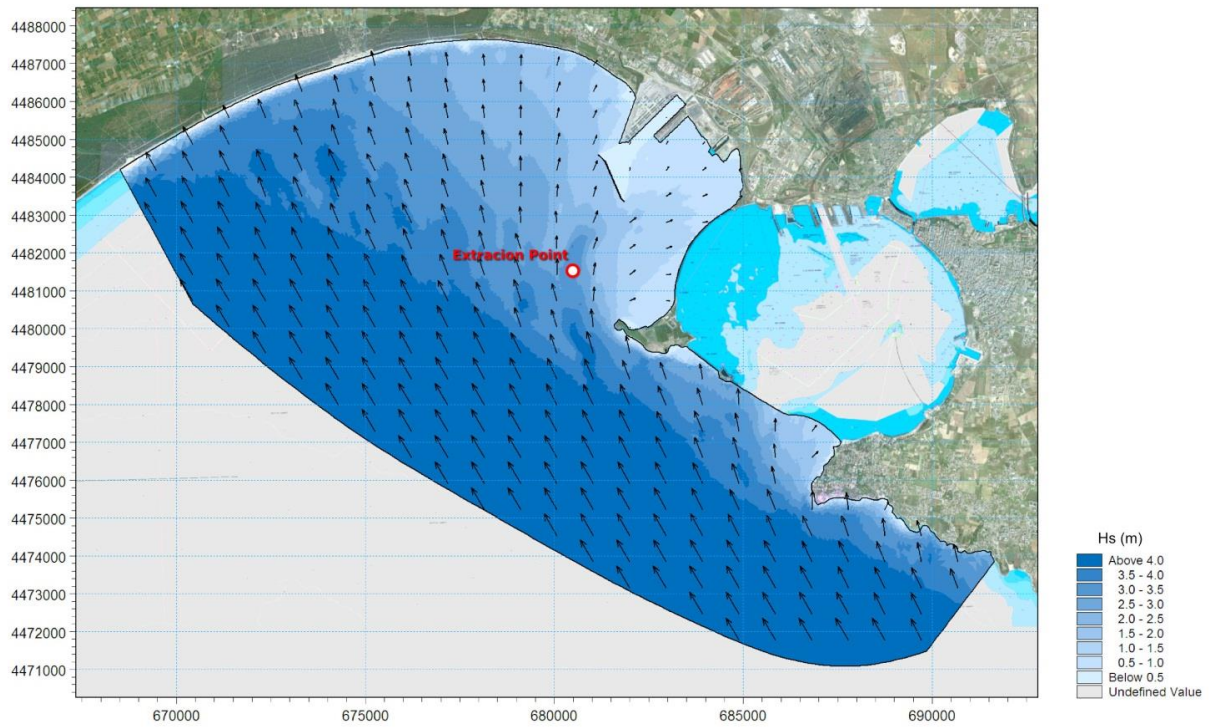


Figura 60: Direzione 155°N, Hs 4,70m, Tp 8,82s

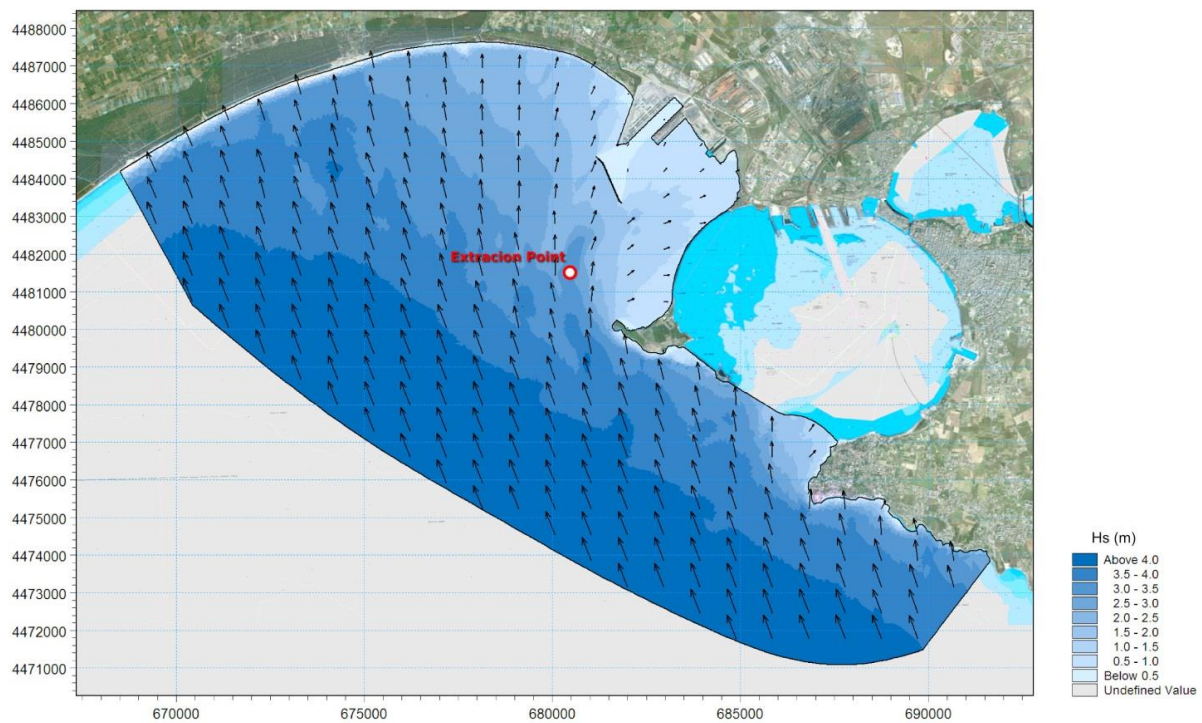


Figura 61: Direzione 165°N, Hs 4,10m, Tp 8,38s

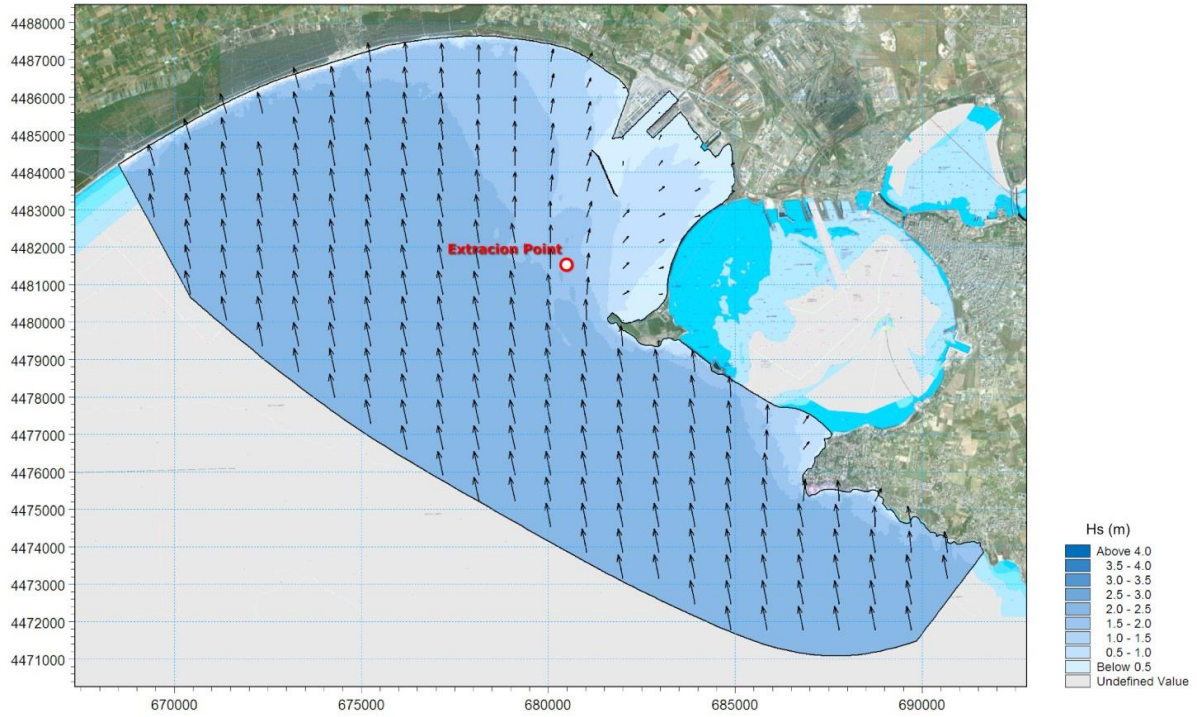


Figura 62 Direzione 175°N, Hs 2,30m, Tp 6,74s

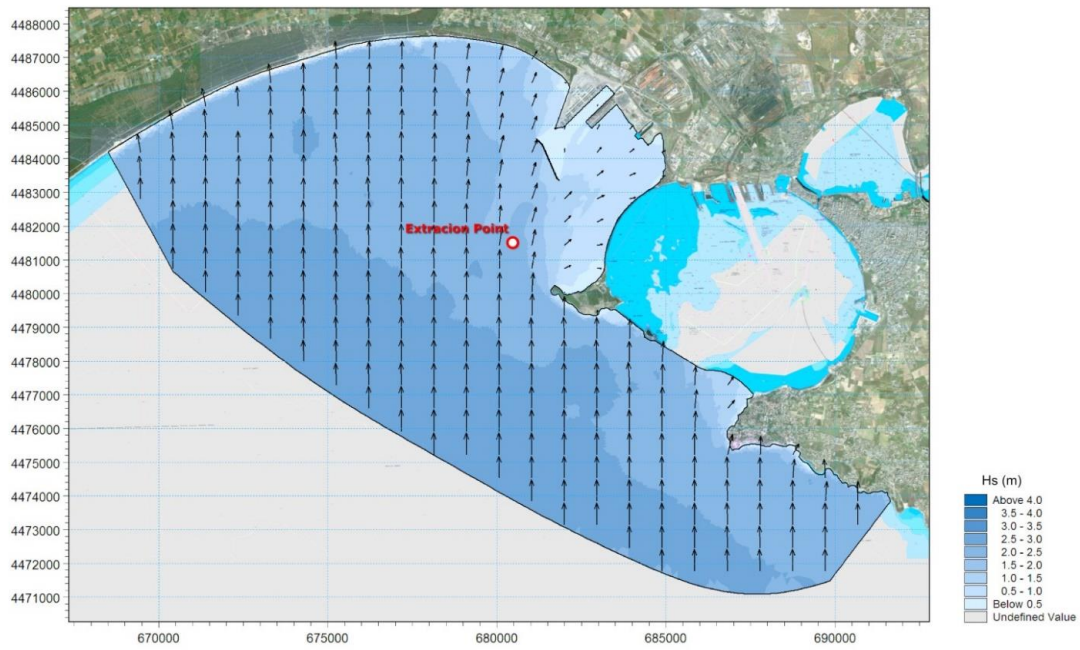


Figura 63 Direzione 185°N, Hs 2,50m, Tp 6,95s

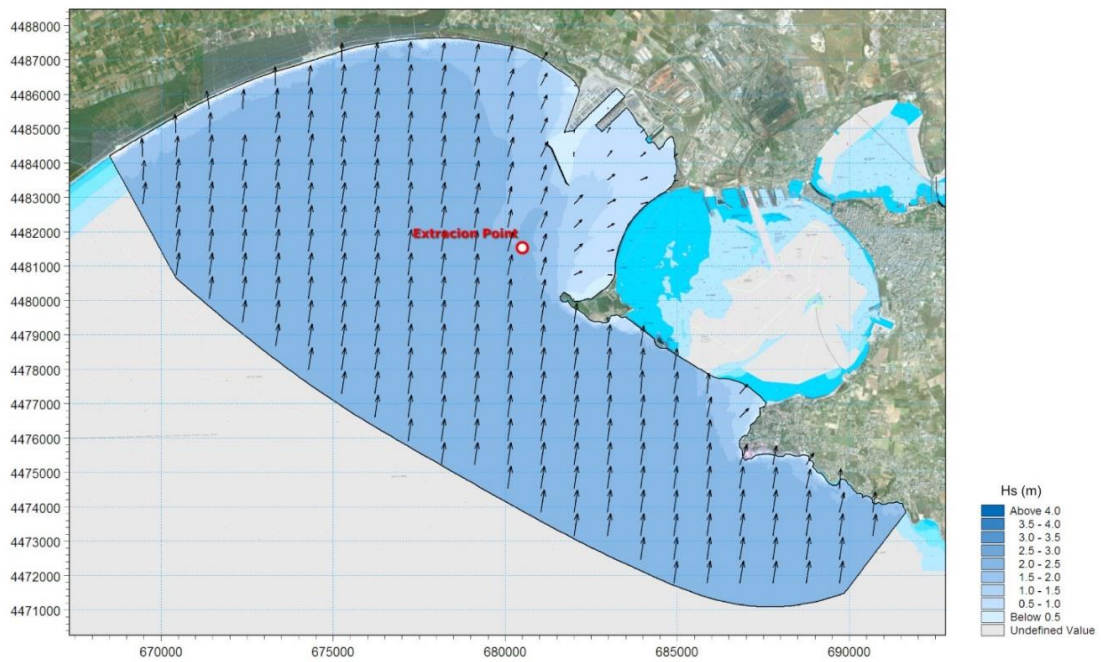


Figura 64 Direzione 195 °N, Hs 2,30m, Tp 6,74s

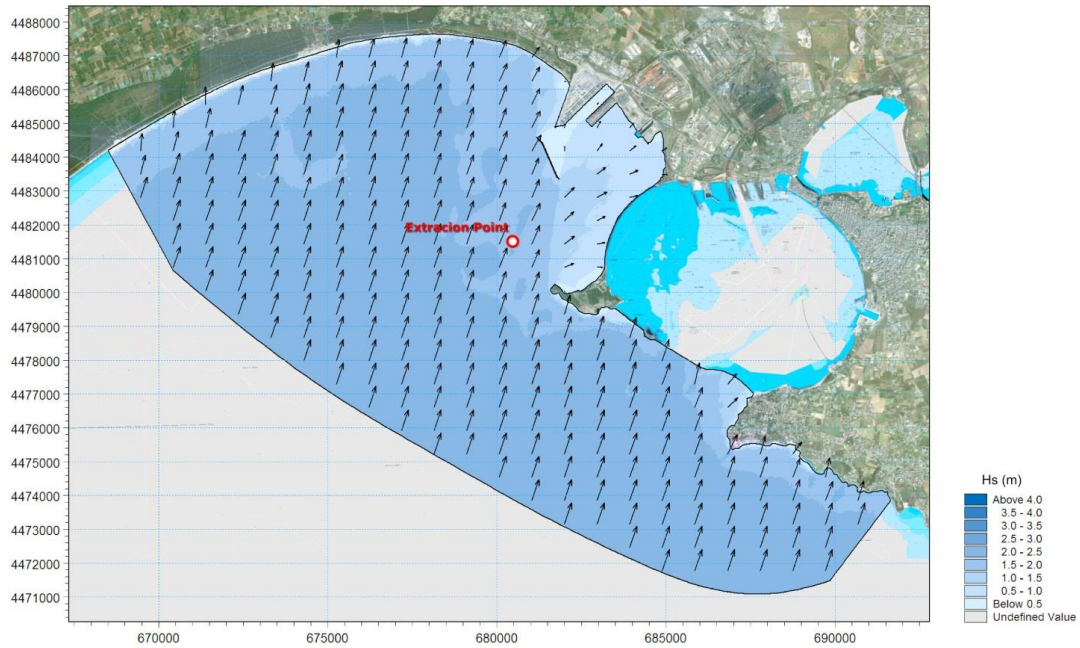


Figura 65 Direzione 205°N, Hs 2,10m, Tp 6,51s

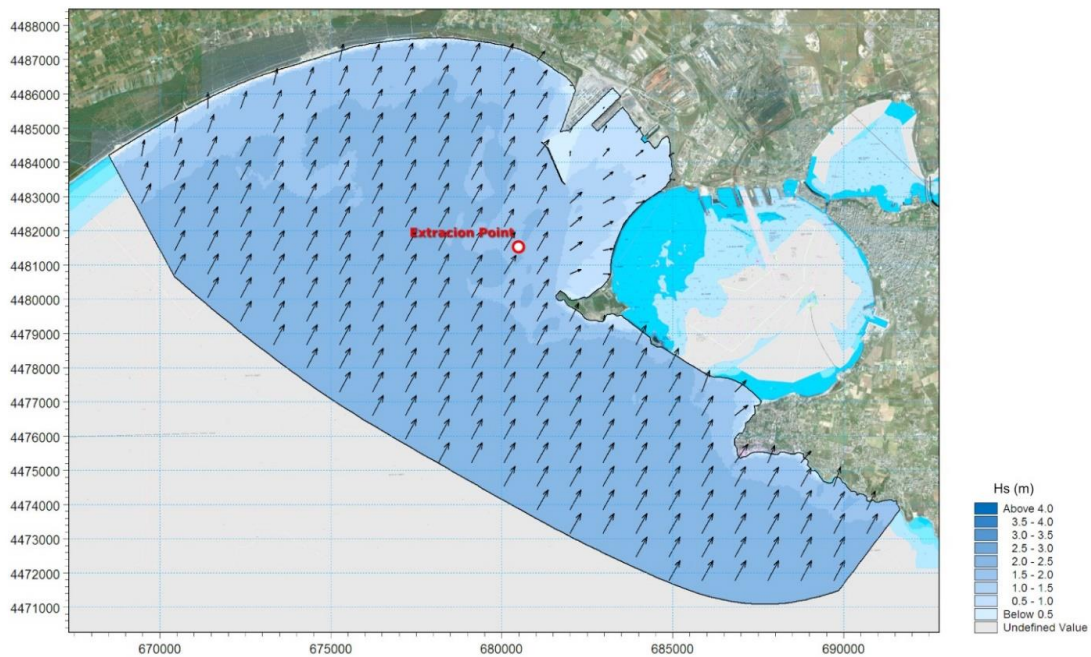


Figura 66 Direzione 215°N, Hs 2,10m, Tp 6,51s

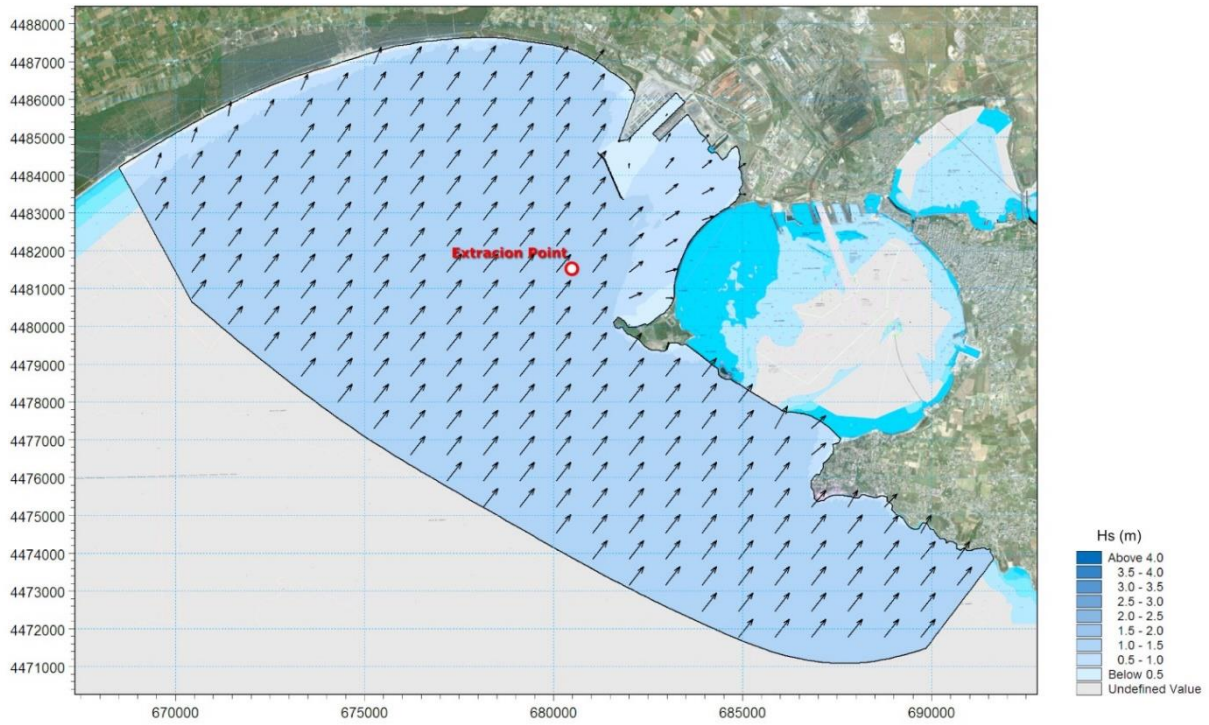


Figura 67 Direzione 225°N, Hs 1,30m, Tp 5,44s

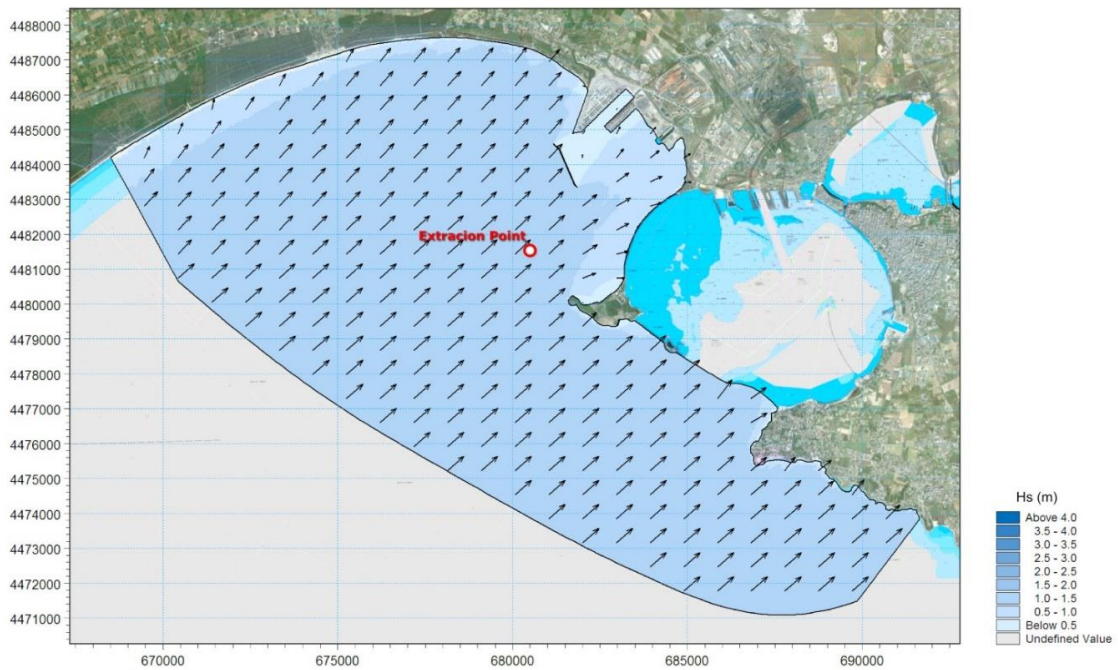


Figura 68 Direzione 235°N, Hs 1,30m, Tp 5,44s

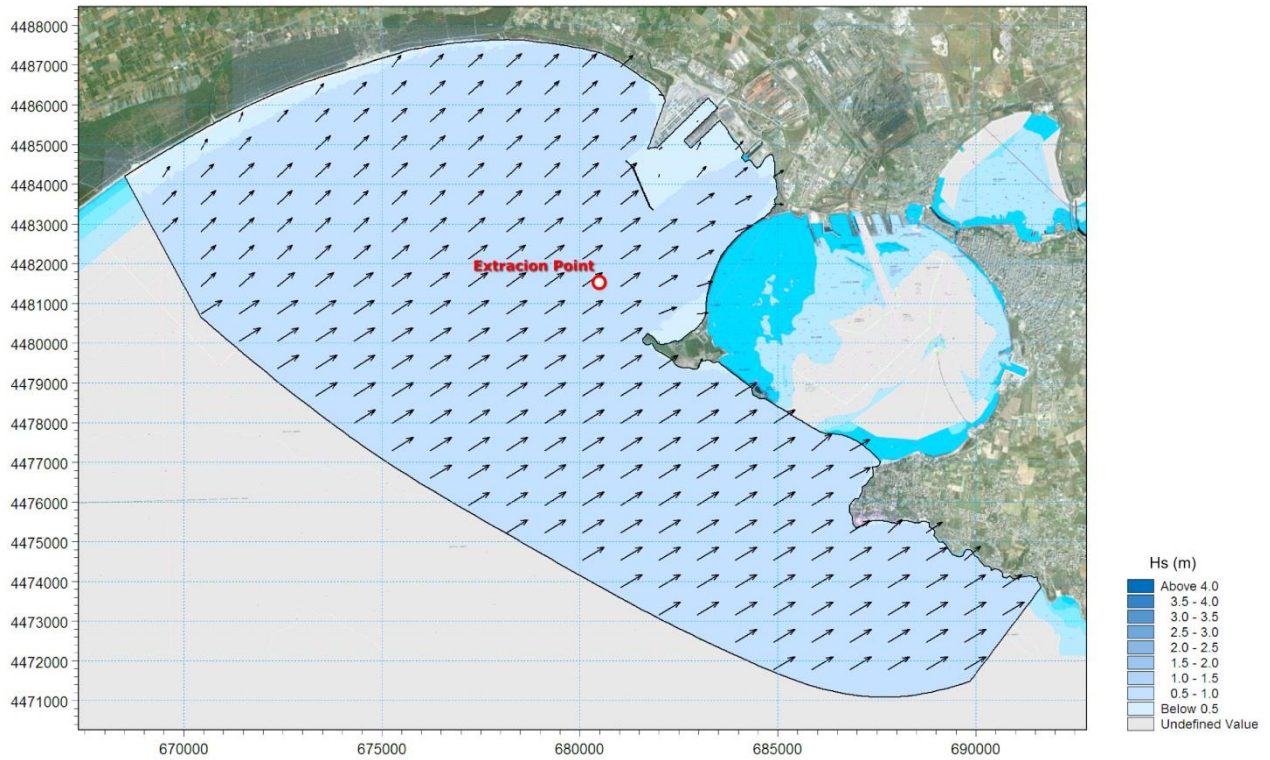


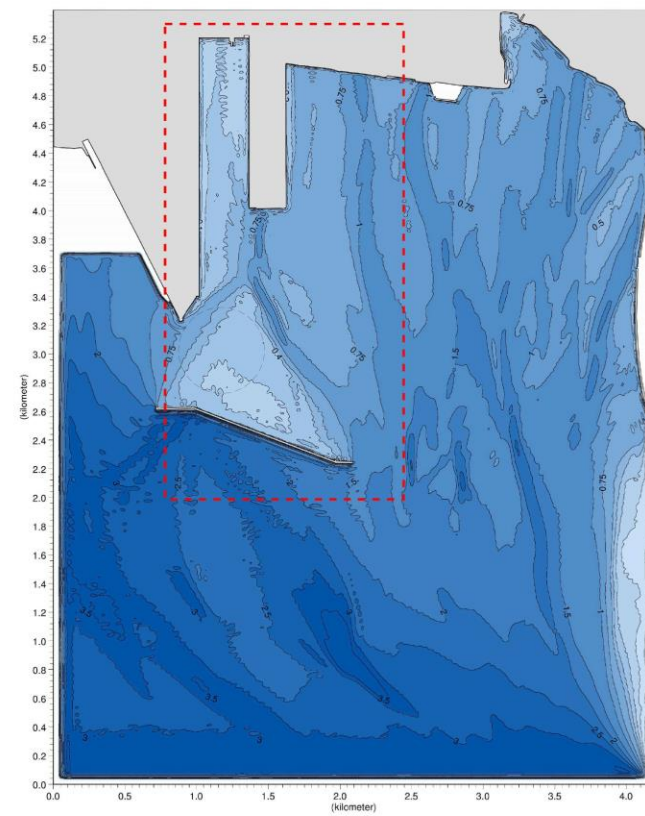
Figura 69 Direzione 245°N, Hs 0,90m, Tp 4,73s



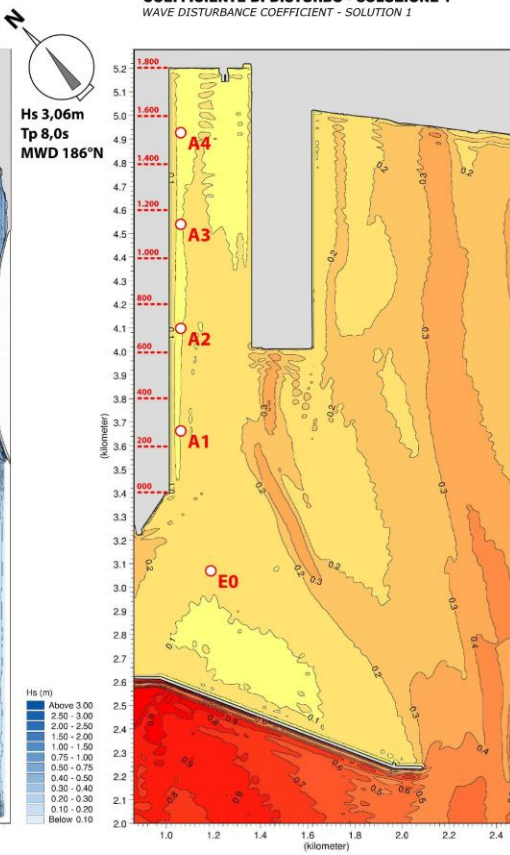
ALLEGATO 3

Agitazione residua interna - settore di traversia principale - Raffronto tra soluzione 1 e soluzione 2

AGITAZIONE RESIDUA INTERNA - SOLUZIONE 1
INNER WAVE DISTURBANCE - SOLUTION 1

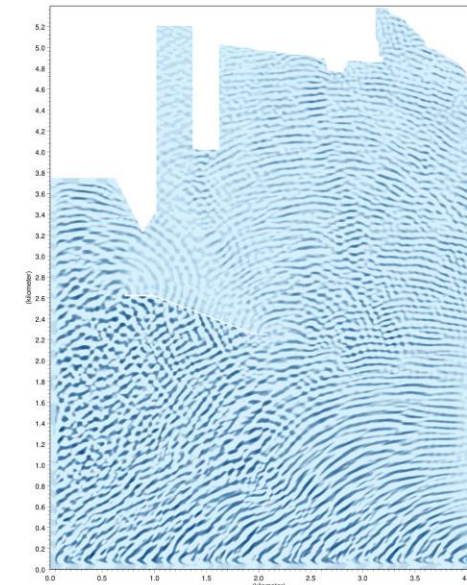


COEFFICIENTE DI DISTURBO - SOLUZIONE 1
WAVE DISTURBANCE COEFFICIENT - SOLUTION 1

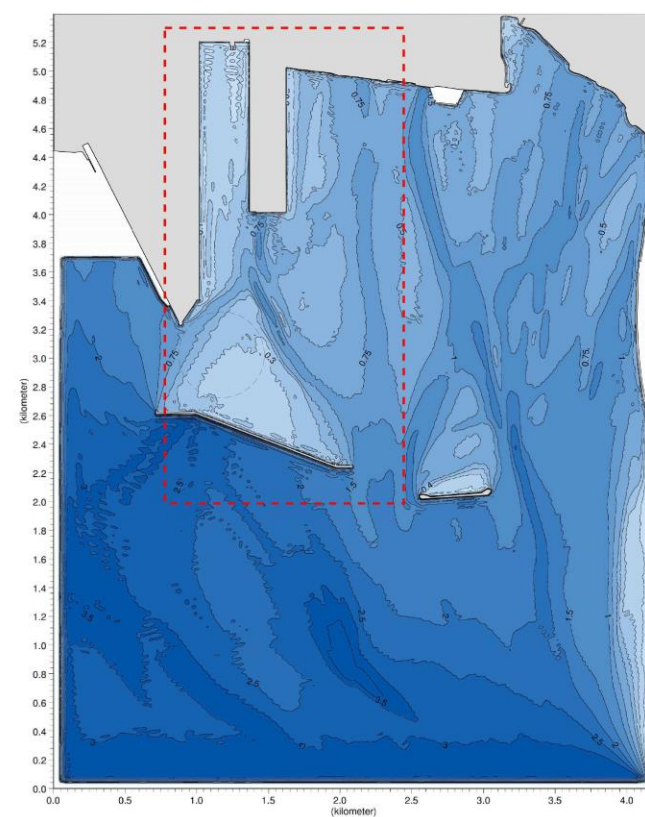


SCENARIO	
1	STATO ATTUALE EXISTING CONDITION
2	SCENARIO DI PROGETTO: NUOVA DIGA FORANEA - I LOTTO (500M); AMMODERNAMENTO DELLA BANCHINA DI ORMEGGIO DEL TERMINAL CONTAINER; REDEVELOPMENT OF THE MOLO POLISETTORIALE QUAY DECK EXTENSION
3	SCENARIO DI PROGETTO: NUOVA DIGA FORANEA - I LOTTO (500M); AMMODERNAMENTO DELLA BANCHINA DI ORMEGGIO DEL TERMINAL CONTAINER; DRAGAGGIO A -16,50M DELL'AREA DEL MOLO POLISETTORIALE; CASSA DI COLMATA DEL V SPORGENTE - I LOTTO
4	SCENARIO DEL NUOVO PIANO REGOLATORE PORTUALE E NUOVA DIGA FORANEA - I LOTTO (500M)
5	SCENARIO DEL NUOVO PIANO REGOLATORE PORTUALE E NUOVA DIGA FORANEA - II LOTTO (1.300M)

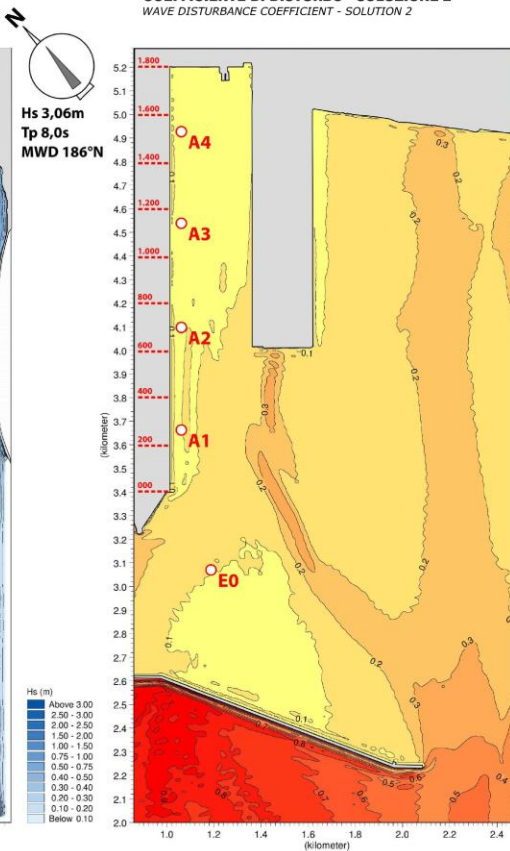
SUFACE ELEVATION - SOLUTION 1



AGITAZIONE RESIDUA INTERNA - SOLUZIONE 2
INNER WAVE DISTURBANCE - SOLUTION 2



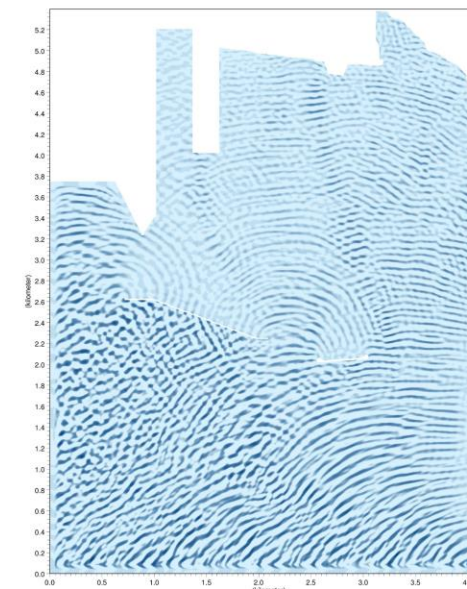
COEFFICIENTE DI DISTURBO - SOLUZIONE 2
WAVE DISTURBANCE COEFFICIENT - SOLUTION 2



PUNTI DI ESTRAZIONE EXTRACTION POINTS	COORDINATE GAUSS BOAGA	
	E	N
E0	2.701.763	4.484.699
A1	2.702.153	4.485.083
A2	2.702.480	4.485.397
A3	2.702.794	4.485.700
A4	2.703.073	4.485.981
A5	2.702.636	4.484.931
A6	2.703.419	4.484.580

SCENARI DI RIFERIMENTO SCENARIO	COEFFICIENTE DI DISTURBO WAVE DISTURBANCE COEFFICIENT						
	E0	A1	A2	A3	A4	A5	A6
1	0,15	0,16	0,15	0,15	0,13	-	-
2	0,10	0,09	0,08	0,08	0,09	-	-

SUFACE ELEVATION - SOLUTION 2

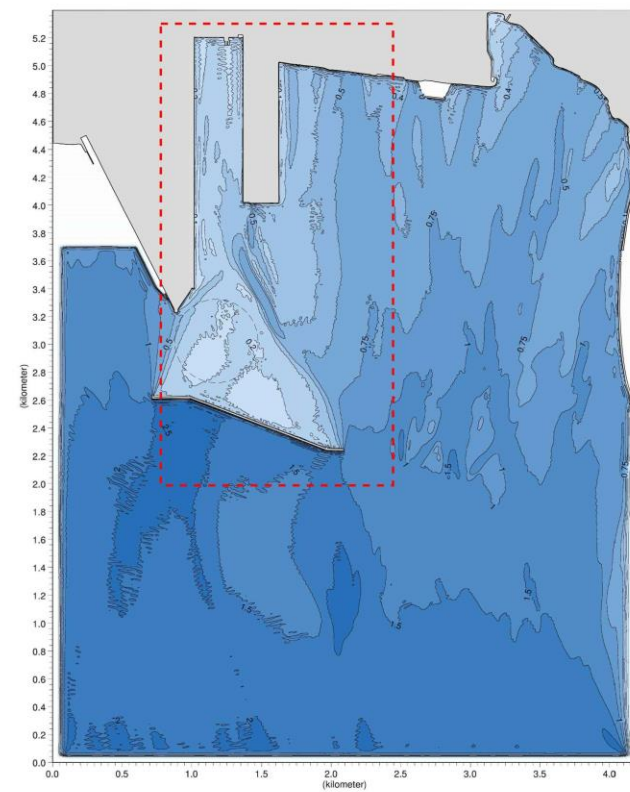




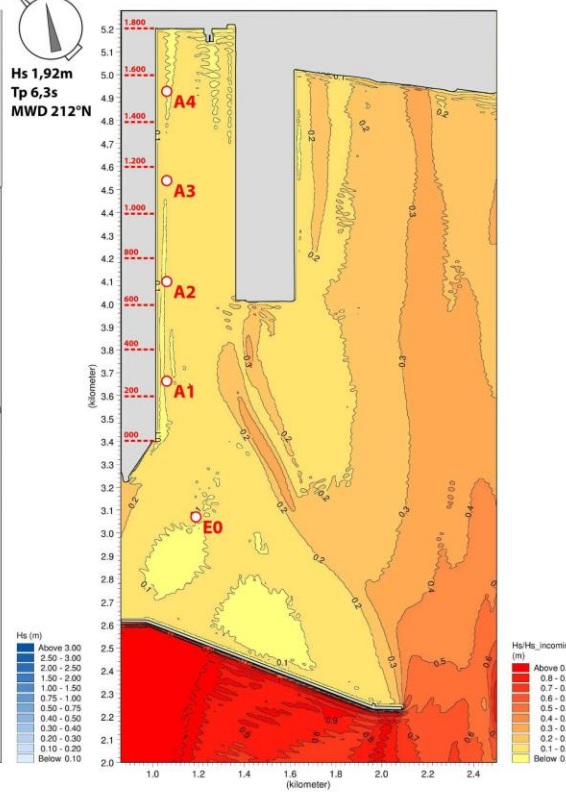
ALLEGATO 4

Agitazione residua interna - settore di traversia secondario - Raffronto tra soluzione 1 e soluzione 2

AGITAZIONE RESIDUA INTERNA - SOLUZIONE 1
INNER WAVE DISTURBANCE - SOLUTION 1

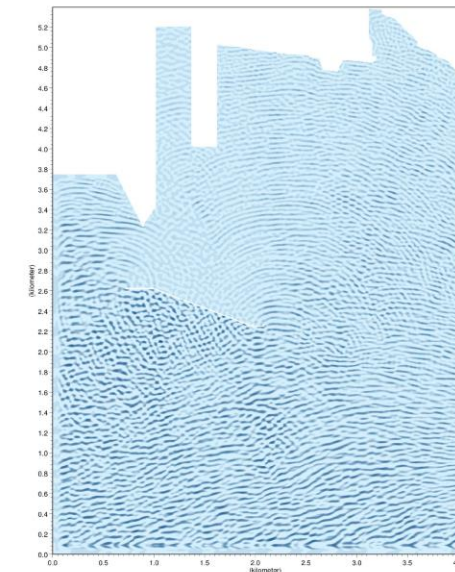


COEFFICIENTE DI DISTURBO - SOLUZIONE 1
WAVE DISTURBANCE COEFFICIENT - SOLUTION 1

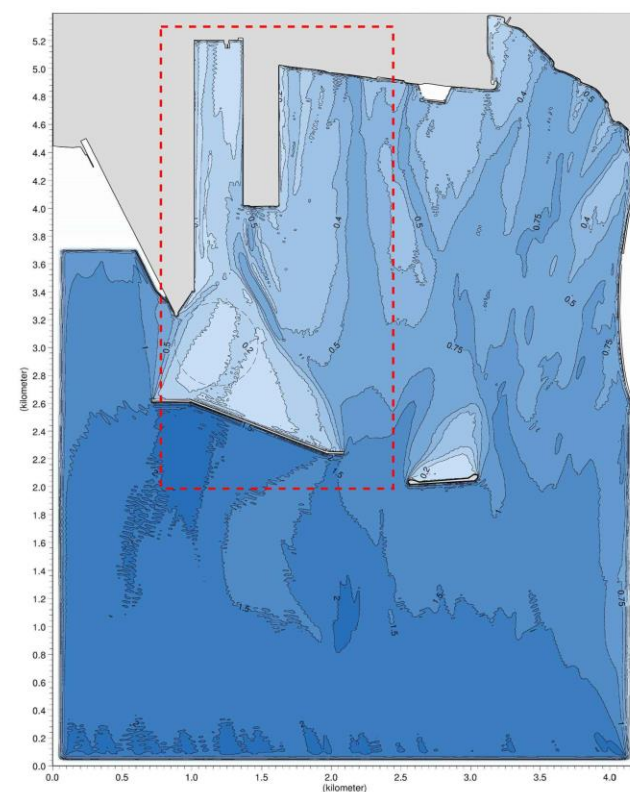


SCENARIO		EXISTING CONDITION
1	STATO ATTUALE	
2	SCENARIO DI PROGETTO: NUOVA DIGA FORANEA - I LOTTO (300M); AMMODERNAMENTO DELLA BANCHINA DI ORMEGGIO DEL TERMINAL CONTAINER	PROJECT SCENARIO: 1st FUNCTIONAL LOT NEW BREAKWATER 300m; REDEVELOPMENT OF THE MOLO POLISETTORIALE QUAY DECK EXTENSION
3	SCENARIO DI PROGETTO: NUOVA DIGA FORANEA - I LOTTO (500M); AMMODERNAMENTO DELLA BANCHINA DI ORMEGGIO DEL TERMINAL CONTAINER; DRAGAGGIO A -16,50M DELL'AREA DEL MOLO POLISETTORIALE; CASSA DI COLMATA DEL V SPORGENTE - I LOTTO	PROJECT SCENARIO: 1st FUNCTIONAL LOT NEW BREAKWATER 500m; REDEVELOPMENT OF THE MOLO POLISETTORIALE QUAY DECK EXTENSION - 16,50m; DREDGING: 1st LOT PARTIAL CONFINED DISPOSAL FACILITY JETTY V
4	SCENARIO DEL NUOVO PIANO REGOLATORE PORTUALE E NUOVA DIGA FORANEA - I LOTTO (300M)	NEW PMP SCENARIO: 1st FUNCTIONAL LOT NEW BREAKWATER 300m
5	SCENARIO DEL NUOVO PIANO REGOLATORE PORTUALE E NUOVA DIGA FORANEA - II LOTTO (1.300M)	NEW PMP SCENARIO: 2nd LOT NEW BREAKWATER 1300m

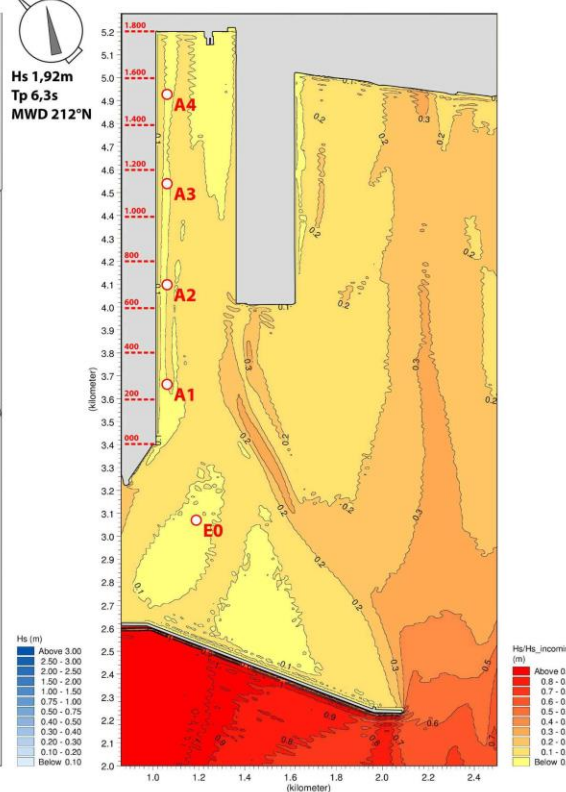
SUFACE ELEVATION - SOLUTION 1



AGITAZIONE RESIDUA INTERNA - SOLUZIONE 2
INNER WAVE DISTURBANCE - SOLUTION 2



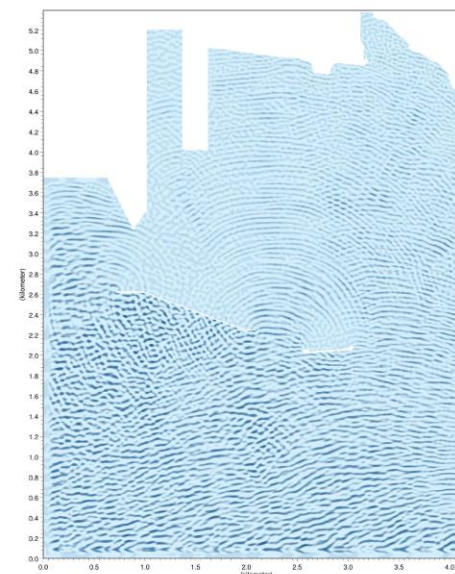
COEFFICIENTE DI DISTURBO - SOLUZIONE 2
WAVE DISTURBANCE COEFFICIENT - SOLUTION 2



PUNTI DI ESTRAZIONE EXTRACTION POINTS	COORDINATE GAUSS BOGGA	
	E	N
E0	2.701.763	4.484.499
A1	2.702.153	4.485.083
A2	2.702.480	4.485.397
A3	2.702.794	4.485.700
A4	2.703.073	4.485.981
A5	2.703.436	4.484.591
A6	2.703.419	4.484.580

SCENARI DI RIFERIMENTO SCENARIO	COEFFICIENTE DI DISTURBO WAVE DISTURBANCE COEFFICIENT						
	E0	A1	A2	A3	A4	A5	A6
1	0,12	0,17	0,18	0,20	0,19	-	-
2	0,10	0,09	0,10	0,11	0,13	-	-

SUFACE ELEVATION - SOLUTION 2

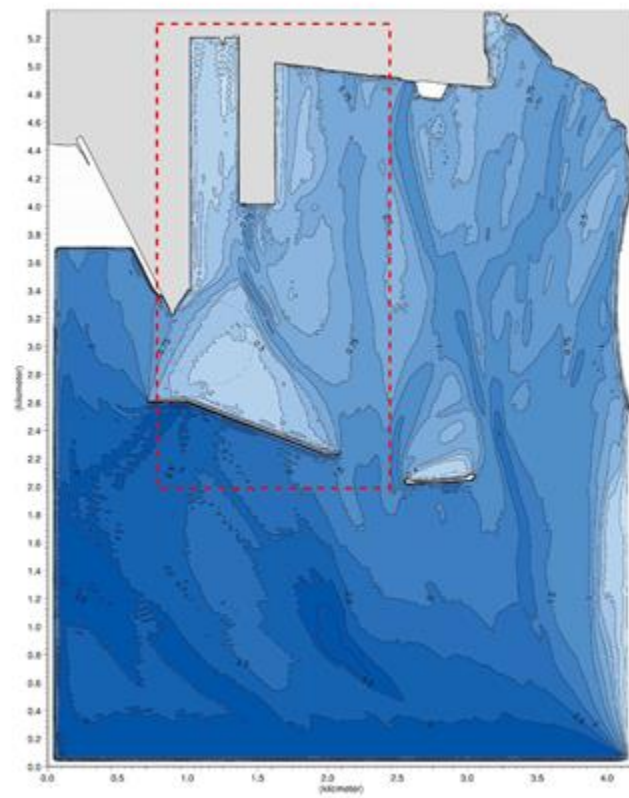




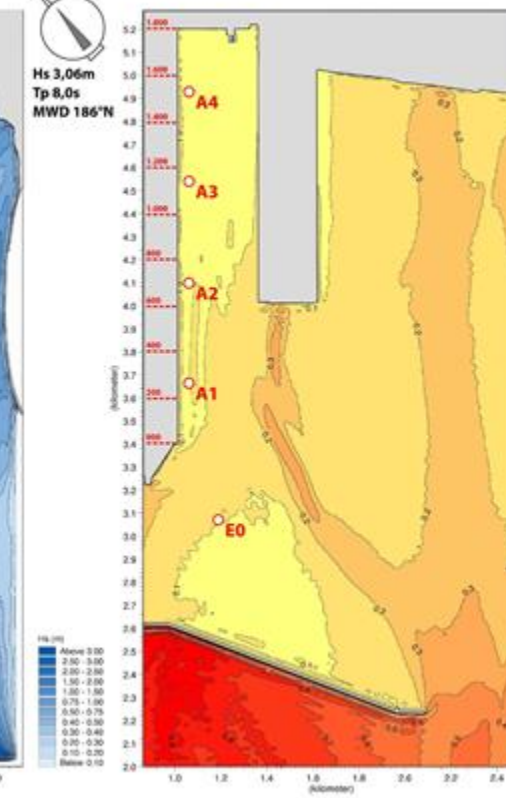
ALLEGATO 5

Agitazione residua interna - settore di traversia principale - Raffronto tra soluzione 2 e soluzione 3

AGITAZIONE RESIDUA INTERNA - SOLUZIONE 2
INNER WAVE DISTURBANCE - SOLUTION 2

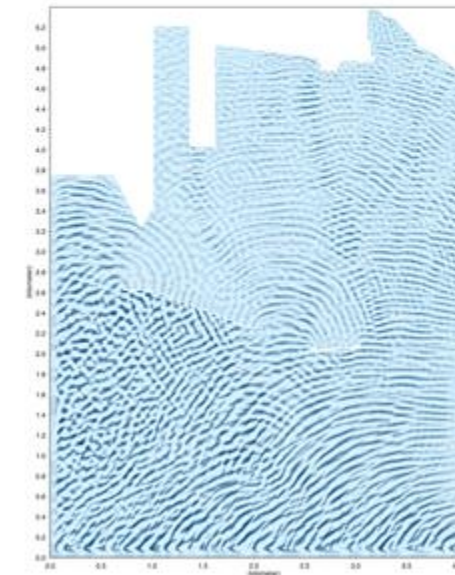


COEFFICIENTE DI DISTURBO - SOLUZIONE 2
WAVE DISTURBANCE COEFFICIENT - SOLUTION 2

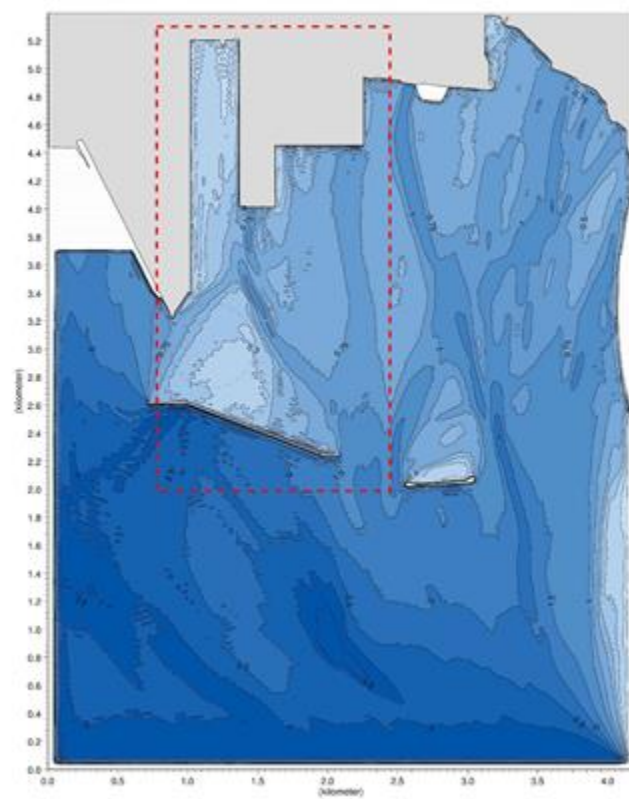


SCENARIO	
1	STATO ATTUALE EXISTING CONDITION
2	SCENARIO DI PROGETTO: NUOVA DIGA FORANEA - I (LOTTO 0300); AMMODOVERAMENTO DELLA BANCHINA DI ORMEGGIO DEL TERMINAL CONTAINER PROJECT SCENARIO: 1st FUNCTIONAL LOT NEW BREAKWATER 500m; REDEVELOPMENT OF THE MOLO POLISETTORIALE QUAY DECK EXTENSION
3	SCENARIO DI PROGETTO: NUOVA DIGA FORANEA - II (LOTTO 0300); AMMODOVERAMENTO DELLA BANCHINA DI ORMEGGIO DEL TERMINAL CONTAINER; SPRANGIOGGIO 4 - 16,50M DELL'AREA DEL MOLO POLISETTORIALE; CASA DI COLMATE DEL V SPORGENTE - I (LOTTO 0300) PROJECT SCENARIO: 1st FUNCTIONAL LOT NEW BREAKWATER 500m; REDEVELOPMENT OF THE MOLO POLISETTORIALE QUAY DECK EXTENSION - 16,50m; ORMEGGIO 1st LOT PARTIAL CONFINED DISPOSAL FACILITY JETTY V
4	SCENARIO DEL NUOVO PIANO REGOLATORE PORTUALE E NUOVA DIGA FORANEA - I LOTTO 0300 NEW PMP SCENARIO: 1st FUNCTIONAL LOT NEW BREAKWATER 500m
5	SCENARIO DEL NUOVO PIANO REGOLATORE PORTUALE E NUOVA DIGA FORANEA - I LOTTO 113000 NEW PMP SCENARIO: 2nd LOT NEW BREAKWATER 1300m

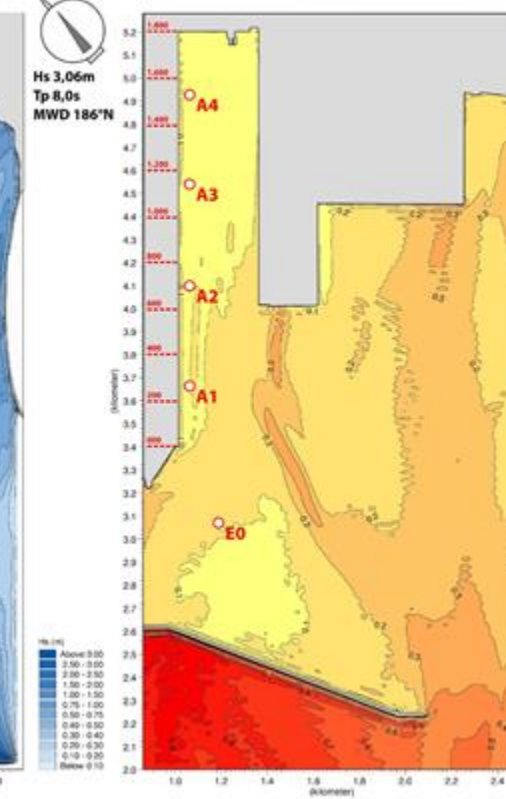
SUFACE ELEVATION - SOLUTION 1



AGITAZIONE RESIDUA INTERNA - SOLUZIONE 3
INNER WAVE DISTURBANCE - SOLUTION 3



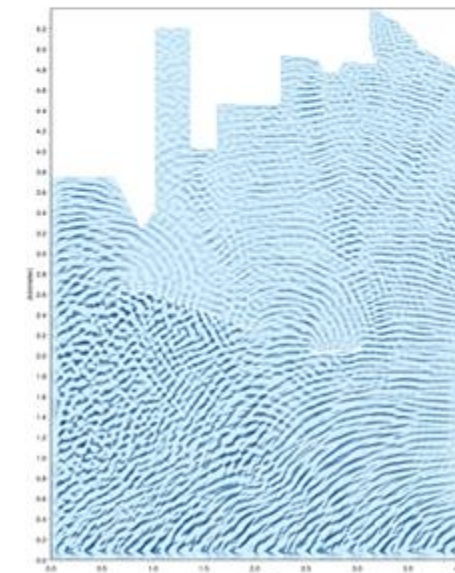
COEFFICIENTE DI DISTURBO - SOLUZIONE 3
WAVE DISTURBANCE COEFFICIENT - SOLUTION 3



PUNTO DI ESTRAZIONE EXTRACTION POINT	COORDINATE GAZZU BEGALIA	
	E	N
A0	2.701.703	4.481.600
A1	2.702.713	4.481.600
A2	2.702.690	4.481.500
A3	2.702.704	4.481.700
A4	2.702.673	4.481.600
A5	2.702.638	4.481.600
A6	2.702.619	4.481.500

SCENARIO DI RIFERIMENTO SCENARIO	COEFFICIENTE DI DISTURBO WAVE DISTURBANCE COEFFICIENT					
	A0	A1	A2	A3	A4	A6
1	0.10	0.18	0.13	0.13	0.10	
2	0.10	0.09	0.08	0.08	0.09	
3	0.10	0.09	0.08	0.08	0.09	

SUFACE ELEVATION - SOLUTION 2

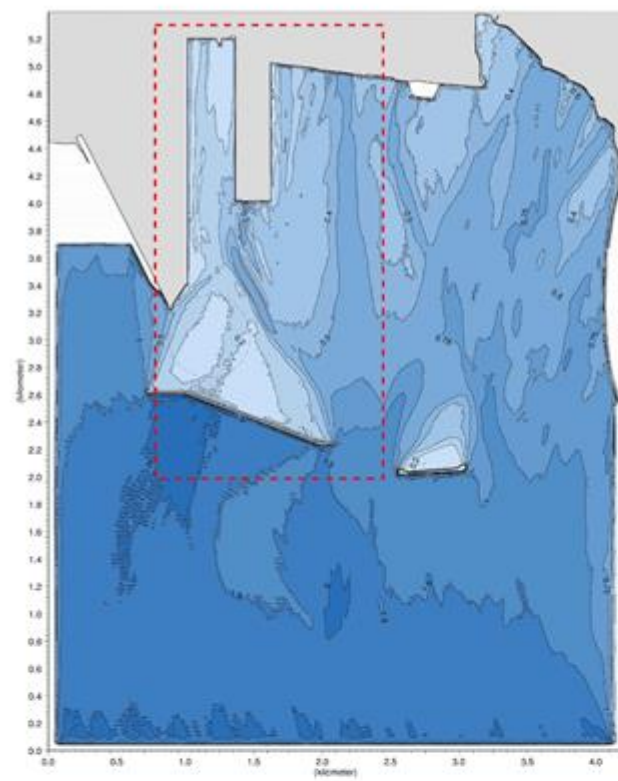




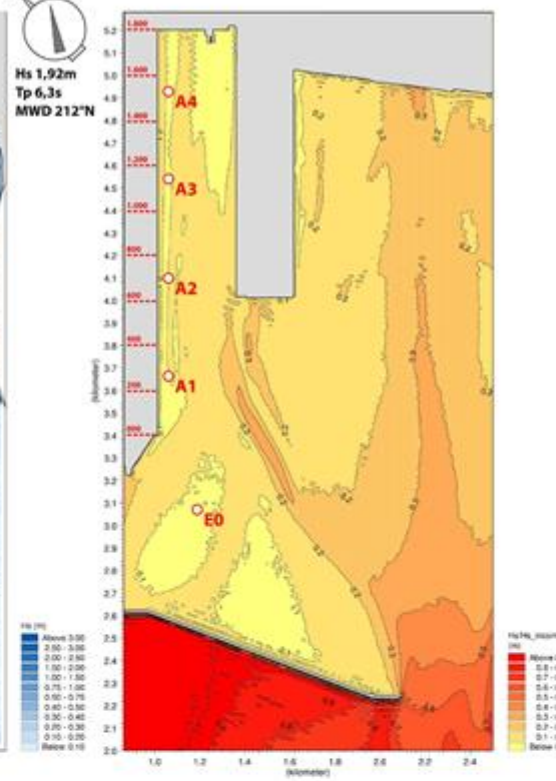
ALLEGATO 6

Agitazione residua interna - settore di traversia secondario - Raffronto tra soluzione 2 e soluzione 3

AGITAZIONE RESIDUA INTERNA - SOLUZIONE 2
INNER WAVE DISTURBANCE - SOLUTION 2

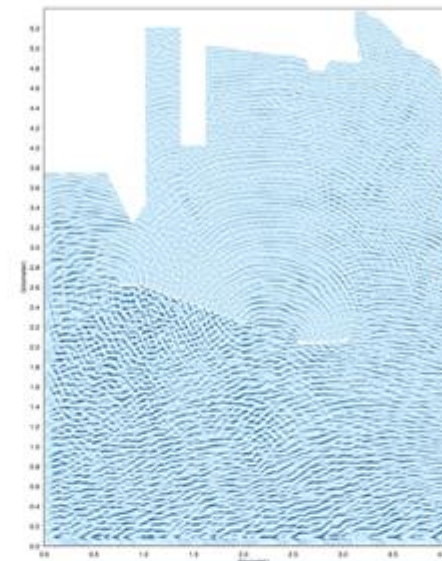


COEFFICIENTE DI DISTURBO - SOLUZIONE 2
WAVE DISTURBANCE COEFFICIENT - SOLUTION 2

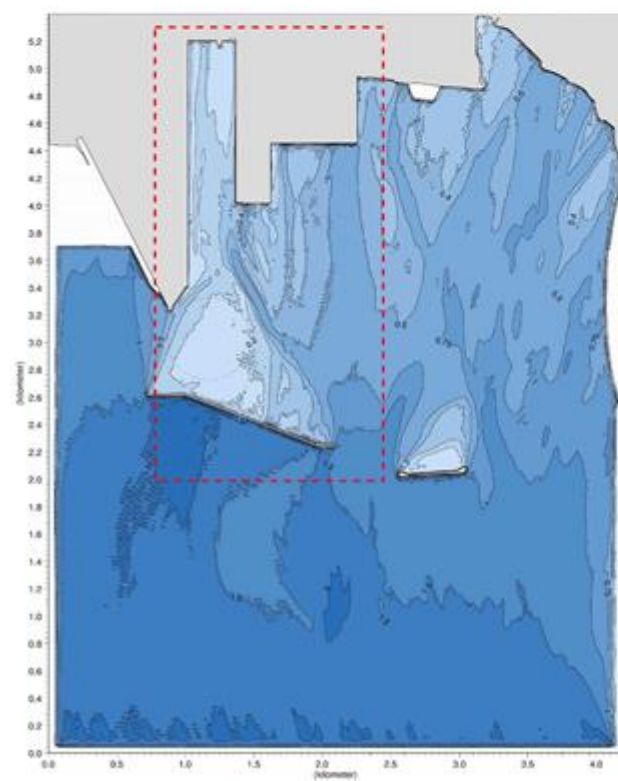


SCENARIO	
1	STATO ATTUALE
2	SCENARIO DI PROGETTO NUOVA DIGA FORANEA - LOTTO 300M; ARMANDAMENTO DELLA BANCHINA DI ORMEGGIO DEL TERMINAL CONTAINER
3	SCENARIO DI PROGETTO NUOVA DIGA FORANEA - LOTTO 300M; ARMANDAMENTO DELLA BANCHINA DI ORMEGGIO DEL TERMINAL CONTAINER; BRACCIAGGIO A - PILON DEL MOLO POLISETTORIALE; CASA DI COLMATA DEL VIGNONTE - LOTTO
4	SCENARIO DEL NUOVO PIANO REGOLATORE PORTUALE E NUOVA DIGA FORANEA - I LOTTO (300M)
5	SCENARIO DEL NUOVO PIANO REGOLATORE PORTUALE E NUOVA DIGA FORANEA - II LOTTO (1.300M)

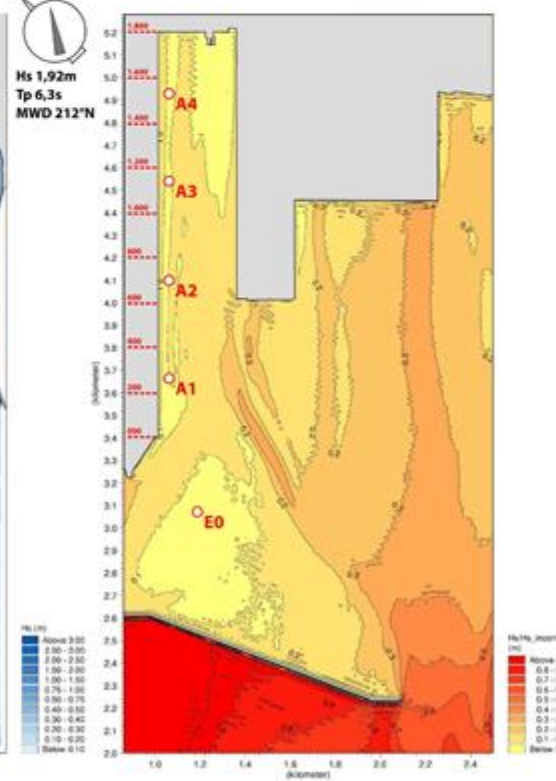
SUFACE ELEVATION - SOLUTION 1



AGITAZIONE RESIDUA INTERNA - SOLUZIONE 3
INNER WAVE DISTURBANCE - SOLUTION 3



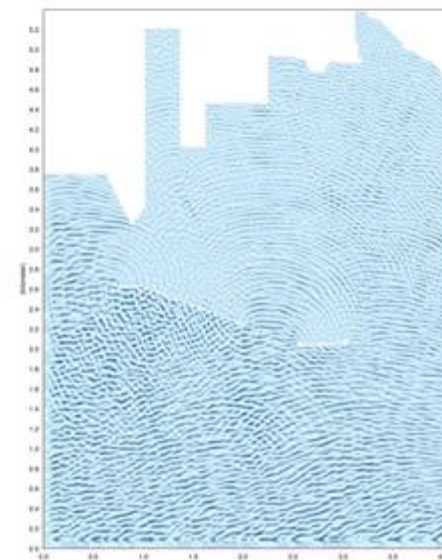
COEFFICIENTE DI DISTURBO - SOLUZIONE 3
WAVE DISTURBANCE COEFFICIENT - SOLUTION 3



PUNTI DI ESTRAZIONE (EXTRACTION POINT)	COORDINATE GARS BORDA	
	X	Y
A0	2.702.762	4.464.464
A1	2.702.762	4.464.464
A2	2.702.762	4.464.464
A3	2.702.762	4.464.464
A4	2.702.762	4.464.464
A5	2.702.762	4.464.464
A6	2.702.762	4.464.464

SCENARI DI RIFERIMENTO (SCENARIO)	COEFFICIENTE DI DISTURBO (WAVE DISTURBANCE COEFFICIENT)						
	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6
1	0,10	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
2	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07

SUFACE ELEVATION - SOLUTION 2

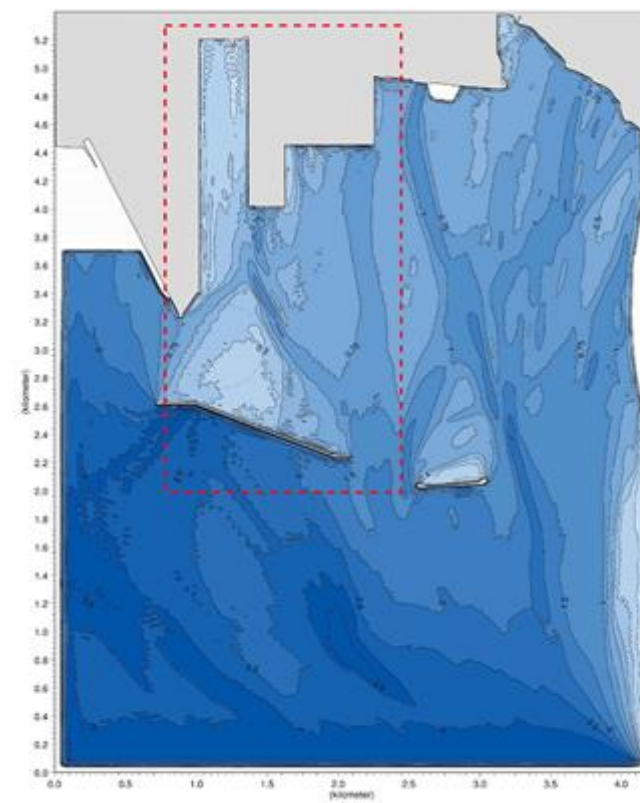




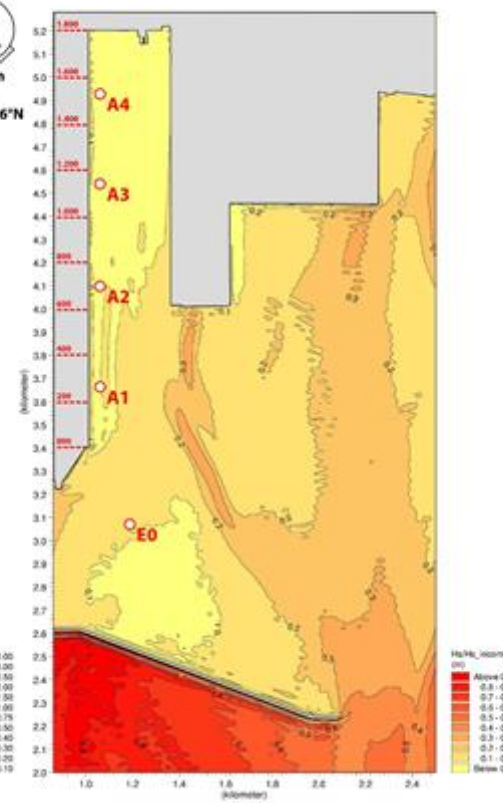
ALLEGATO 7

Agitazione residua interna - settore di traversia principale - Raffronto tra soluzione 3 e soluzione 4

AGITAZIONE RESIDUA INTERNA - SOLUZIONE 3
INNER WAVE DISTURBANCE - SOLUTION 1

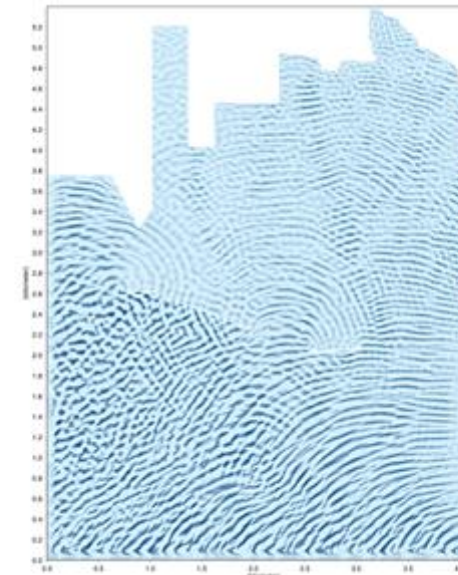


COEFFICIENTE DI DISTURBO - SOLUZIONE 3
WAVE DISTURBANCE COEFFICIENT - SOLUTION 1



SCENARIO	
1	STATO ATTUALE EXISTING CONDITION
2	SCENARIO DI PROGETTO: NUOVA DIGA FORANEA - 1 LOTTO (500M); AMMODERNAMENTO DELLA BANCHINA DI ORMEGGIO DEL TERMINAL CONTAINER; PROJECT SCENARIO: 1st FUNCTIONAL LOT NEW BREAKWATER 500M; REDEVELOPMENT OF THE MOLO POLISETTORIALE QUAY DECK EXTENSION
3	SCENARIO DI PROGETTO: NUOVA DIGA FORANEA - 1 LOTTO (500M); AMMODERNAMENTO DELLA BANCHINA DI ORMEGGIO DEL TERMINAL CONTAINER; DRAGAGGIO IN ALZAN DELL'AREA DEL MOLO POLISETTORIALE, CASA DI COLMATA DEL V-SPOZENTE - 1 LOTTO PROJECT SCENARIO: 1st FUNCTIONAL LOT NEW BREAKWATER 500M; REDEVELOPMENT OF THE MOLO POLISETTORIALE QUAY DECK EXTENSION; 16.50M DREDGING THE LOT PARTIAL CONFINED DISPOSAL FACILITY JETTY V
4	SCENARIO DEL NUOVO PIANO REGOLATORE PORTUALE E NUOVA DIGA FORANEA - 1 LOTTO (500M) NEW PMP SCENARIO: 1st FUNCTIONAL LOT NEW BREAKWATER 500M
5	SCENARIO DEL NUOVO PIANO REGOLATORE PORTUALE E NUOVA DIGA FORANEA - 1 LOTTO (500M) NEW PMP SCENARIO: 2nd LOT NEW BREAKWATER 1.000M

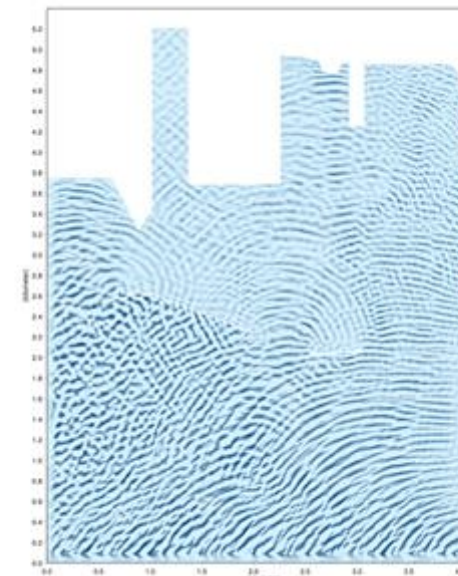
SUFACE ELEVATION - SOLUTION 1



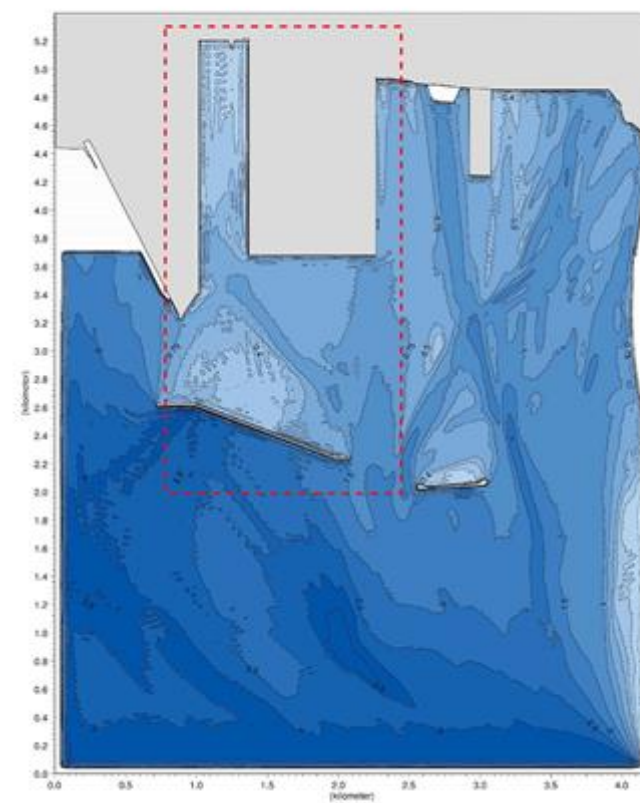
PUNTI DI ESTRAZIONE EXTRACTION POINTS	COORDINATE GAZZO WADA	
	E	N
A0	2.701.760	4.484.490
A1	2.702.100	4.484.490
A2	2.702.440	4.484.490
A3	2.702.780	4.484.490
A4	2.703.120	4.484.490
A5	2.703.460	4.484.490
A6	2.703.800	4.484.490

SCENARI DI INTERVENTO INTERVENTION SCENARIO	COEFFICIENTE DI DISTURBO WAVE DISTURBANCE COEFFICIENT						
	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6
1	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
2	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
3	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
4	0,10	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07

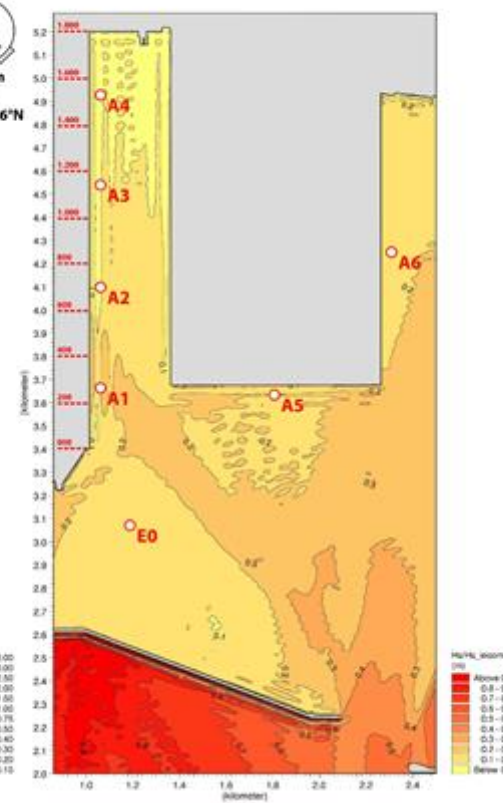
SUFACE ELEVATION - SOLUTION 2



AGITAZIONE RESIDUA INTERNA - SOLUZIONE 4
INNER WAVE DISTURBANCE - SOLUTION 2



COEFFICIENTE DI DISTURBO - SOLUZIONE 4
WAVE DISTURBANCE COEFFICIENT - SOLUTION 2

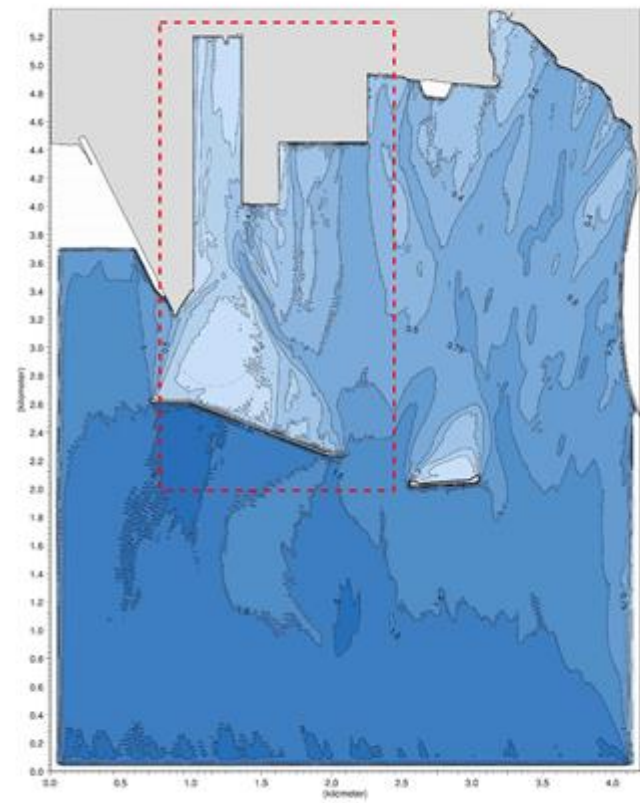




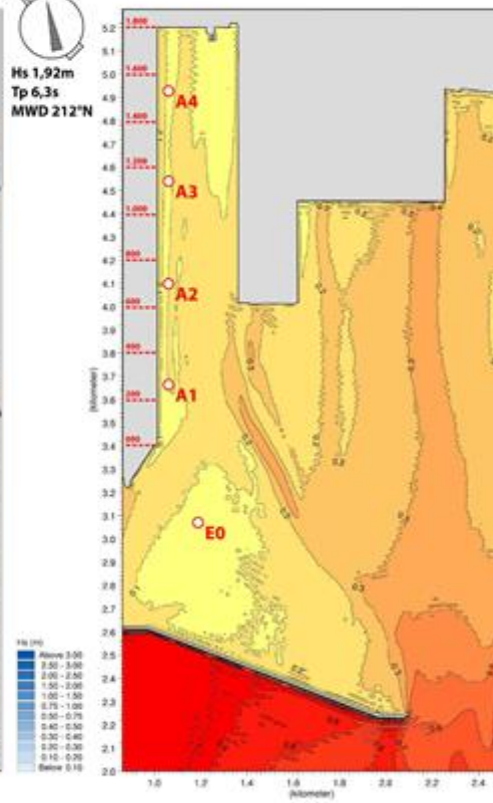
ALLEGATO 8

Agitazione residua interna - settore di traversia secondario - Raffronto tra soluzione 3 e soluzione 4

AGITAZIONE RESIDUA INTERNA - SOLUZIONE 3
INNER WAVE DISTURBANCE - SOLUTION 1

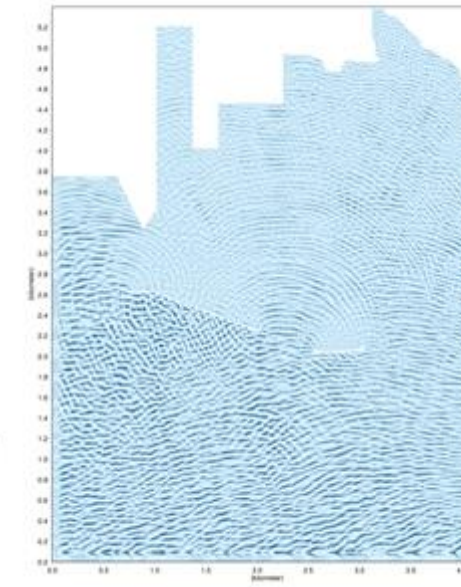


COEFFICIENTE DI DISTURBO - SOLUZIONE 3
WAVE DISTURBANCE COEFFICIENT - SOLUTION 1

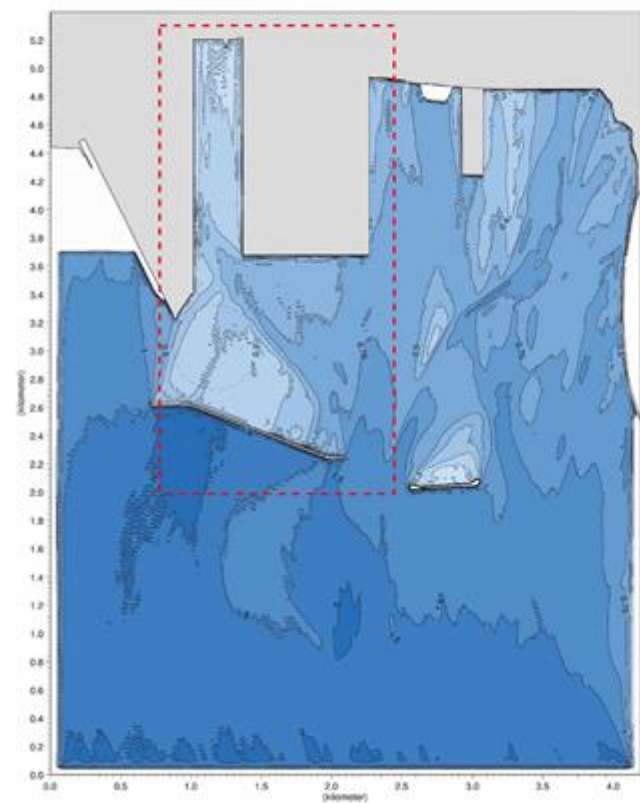


SCENARIO	
1	STATO ATTUALE
2	SCENARIO DI PROGETTO NUOVA DIGA FORANEA - I LOTTO (500M)
3	SCENARIO DI PROGETTO NUOVA DIGA FORANEA - I LOTTO (500M) AMMODERNAMENTO DELLA BANCHINA DI ORAGGIO DEL TERMINAL CONTAINER
4	SCENARIO DI PROGETTO NUOVA DIGA FORANEA - I LOTTO (500M) AMMODERNAMENTO DELLA BANCHINA DI ORAGGIO DEL TERMINAL CONTAINER DRAGAGGIO A 14,50M DELL'AREA DEL MOLO POLISETTORIALE-CASSA DI COLMATA DEL V SPORGENTE - I LOTTO
5	SCENARIO DEL NUOVO PIANO REGOLATORE PORTUALE E NUOVA DIGA FORANEA - I LOTTO (500M)

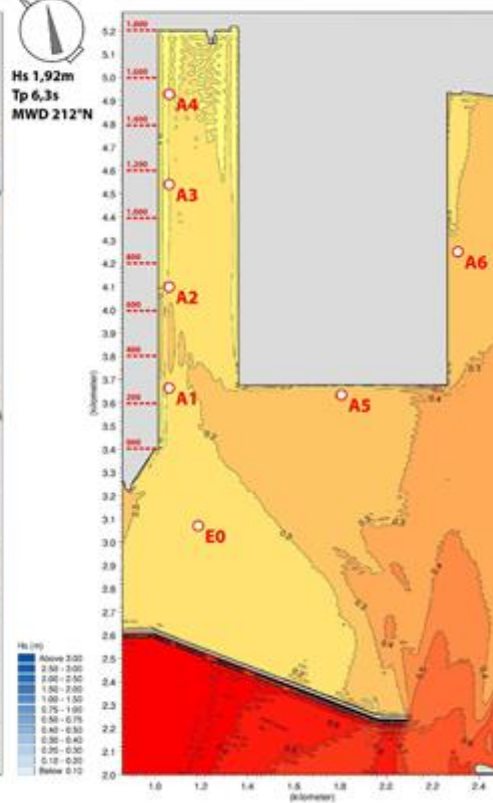
SUFACE ELEVATION - SOLUTION 1



AGITAZIONE RESIDUA INTERNA - SOLUZIONE 4
INNER WAVE DISTURBANCE - SOLUTION 2



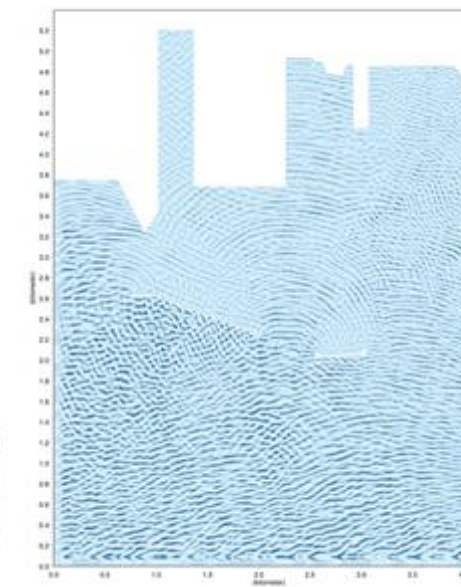
COEFFICIENTE DI DISTURBO - SOLUZIONE 4
WAVE DISTURBANCE COEFFICIENT - SOLUTION 2



PUNTI DI ESTRAZIONE EXTRACTION POINTS	COORDINATE SAUVY BORGIA	
	X	Y
A1	2.751.763	4.885.490
A2	2.752.115	4.885.803
A3	2.751.480	4.885.317
A4	2.752.794	4.885.728
A5	2.753.073	4.885.561
A6	2.752.038	4.884.317
A6	2.753.419	4.884.581

SCENARIO DI RIFORMATO SCENARIO	COEFFICIENTI DI DISTURBO WAVE DISTURBANCE COEFFICIENT							
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A6	A6
1	0.10	0.17	0.18	0.20	0.19	-	-	-
2	0.10	0.09	0.10	0.11	0.11	-	-	-
3	0.09	0.09	0.10	0.11	0.11	-	-	-
4	0.11	0.12	0.14	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15

SUFACE ELEVATION - SOLUTION 2

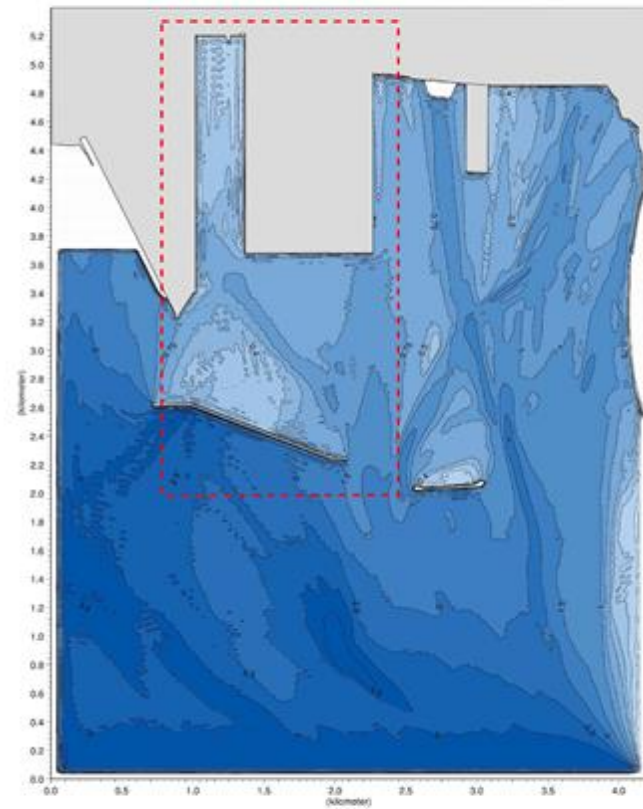




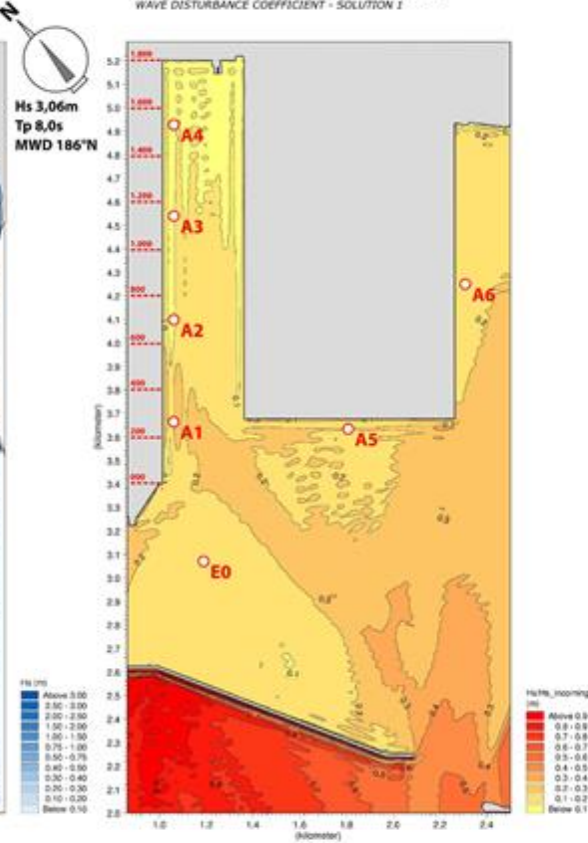
ALLEGATO 9

Agitazione residua interna - settore di traversia principale - Raffronto tra soluzione 4 e soluzione 5

AGITAZIONE RESIDUA INTERNA - SOLUZIONE 4
 INNER WAVE DISTURBANCE - SOLUTION 1

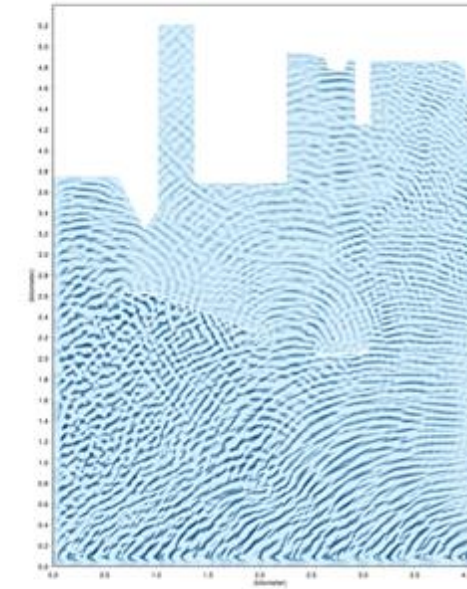


COEFFICIENTE DI DISTURBO - SOLUZIONE 4
 WAVE DISTURBANCE COEFFICIENT - SOLUTION 1



SCENARIO	
1	STATO ATTUALE EXISTING CONDITION
2	SCENARIO DI PROGETTO: NUOVA DIGA FORANEA - LOTTO 2006; IMMEDIAMENTO DELLA BANCHINA DI ORMEGGIO DEL TERMINAL CONTAINER PROJECT SCENARIO: 1a FUNCTIONAL LOT NEW BREAKER REDEVELOPMENT OF THE MOLO POLISETTORIALE QUART
3	SCENARIO DI PROGETTO: NUOVA DIGA FORANEA - LOTTO 2006; IMMEDIAMENTO DELLA BANCHINA DI ORMEGGIO DEL TERMINAL CONTAINER; CANTAGGIO A 14,50M DELL'AREA DEL MOLO POLISETTORIALE, CASA DI COLONNATA DEL VORRENTE (LOTTO) PROJECT SCENARIO: 1a FUNCTIONAL LOT NEW BREAKER REDEVELOPMENT OF THE MOLO POLISETTORIALE QUART DREDGING 1a LOT PARTIAL CONFINED DISPOSAL FACIL
4	SCENARIO DEL NUOVO PIANO REGOLATORE PORTUALE E NUOVA DIGA FORANEA - I LOTTO 2006 NEW PMP SCENARIO: 1a FUNCTIONAL LOT NEW BREAKER
5	SCENARIO DEL NUOVO PIANO REGOLATORE PORTUALE E NUOVA DIGA FORANEA - I LOTTO 1, 2006 NEW PMP SCENARIO: 2a+1 LOT NEW BREAKER+180

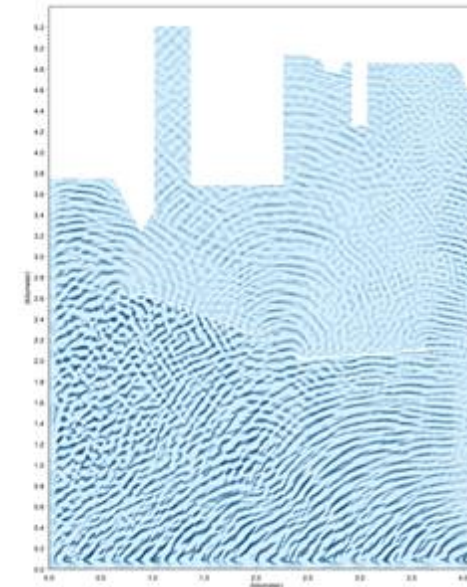
SUFACE ELEVATION - SOLUTION 1



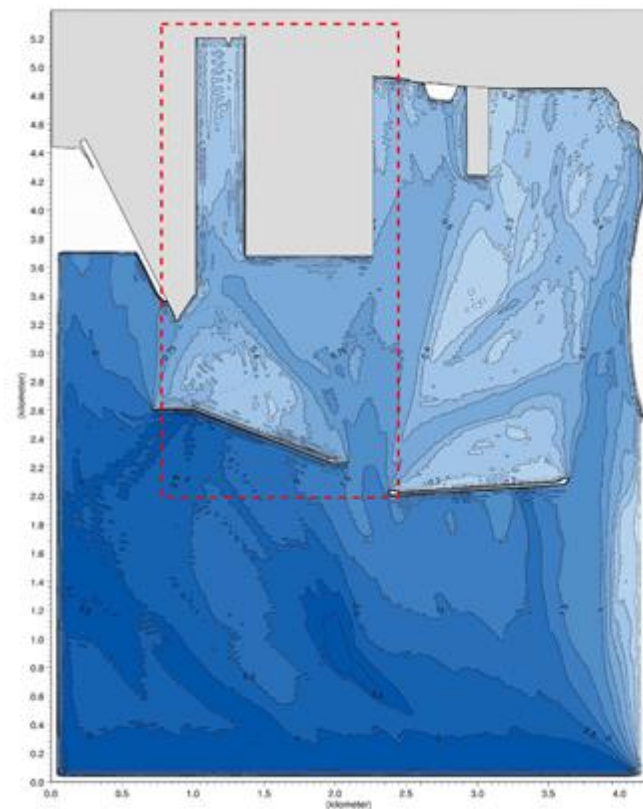
PUNTI DI ESTRAZIONE EXTRACTION POINTS	COORDINATE GAUSS BOGOTA	
	E	N
B0	2.701.763	4.484.000
A1	2.702.710	4.483.980
A2	2.702.488	4.483.950
A3	2.702.768	4.483.700
A4	2.703.073	4.483.981
A5	2.702.638	4.484.001
A6	2.703.419	4.484.190

SCENARI DI RIFERIMENTO SCENARI	COEFFICIENTI DI DISTURBO WAVE DISTURBANCE COEFFICIENT							
	B0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	
1	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	-	-
2	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	-	-
3	0,10	0,11	0,11	0,10	0,09	0,09	0,10	0,11
4	0,10	0,08	0,08	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10

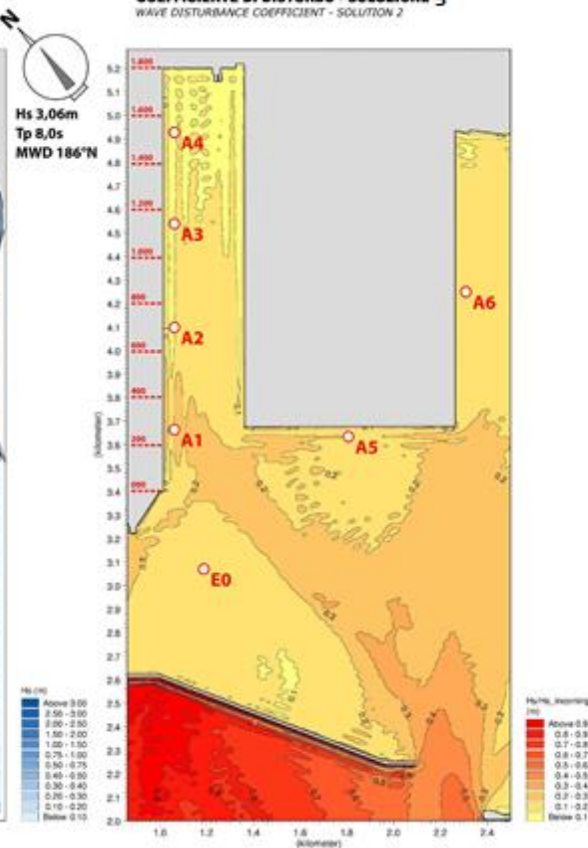
SUFACE ELEVATION - SOLUTION 2



AGITAZIONE RESIDUA INTERNA - SOLUZIONE 5
 INNER WAVE DISTURBANCE - SOLUTION 2



COEFFICIENTE DI DISTURBO - SOLUZIONE 5
 WAVE DISTURBANCE COEFFICIENT - SOLUTION 2

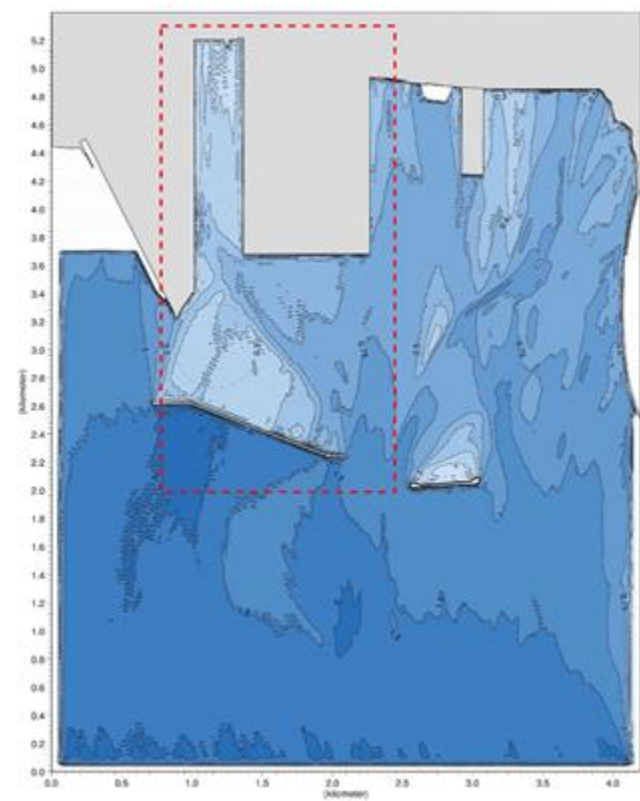




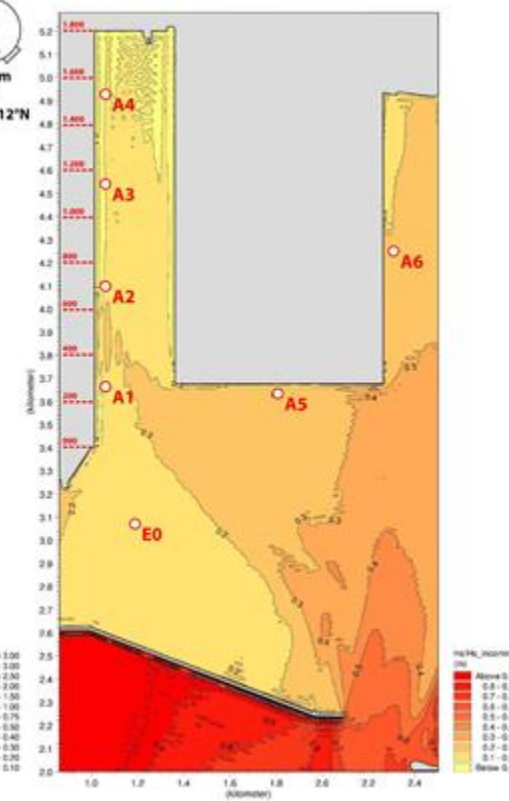
ALLEGATO 10

**Agitazione residua interna - settore di traversia secondario -
Raffronto tra soluzione 4 e soluzione 5**

AGITAZIONE RESIDUA INTERNA - SOLUZIONE 4
INNER WAVE DISTURBANCE - SOLUTION 1

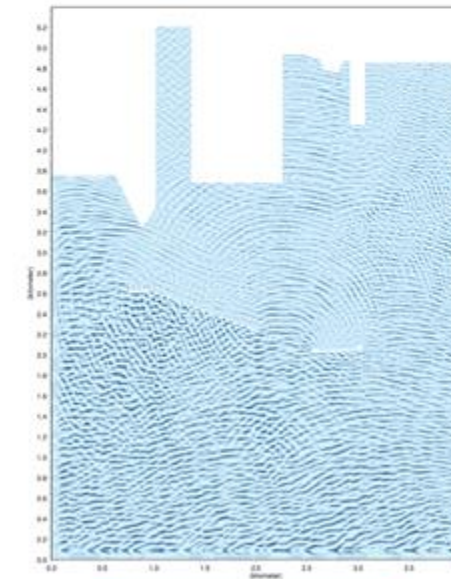


COEFFICIENTE DI DISTURBO - SOLUZIONE 4
WAVE DISTURBANCE COEFFICIENT - SOLUTION 1



SCENARIO	
1	STATO ATTUALE EXISTING CONDITION
2	SCENARIO DI PROGETTO NUOVA DIGA FORANEA - (LOTTO 500M) AMMODERNAMENTO DELLA BANCHINA DI ORMEGGIO DEL TERMINAL CONTAINER PROJECT SCENARIO 1a FUNCTIONAL LOT NEW BREAKWATER 500M REDEVELOPMENT OF THE MOLO POLISETTORIALE QUAY DECK EXTENSION
3	SCENARIO DI PROGETTO NUOVA DIGA FORANEA - (LOTTO 500M) AMMODERNAMENTO DELLA BANCHINA DI ORMEGGIO DEL TERMINAL CONTAINER DRAGAGGIO A 16,5M DELL'AREA DEL MOLO POLISETTORIALE, CASSA DI COLMATA NEL V. SPORONTE (LOTTO 500M) PROJECT SCENARIO 1a FUNCTIONAL LOT NEW BREAKWATER 500M REDEVELOPMENT OF THE MOLO POLISETTORIALE QUAY DECK EXTENSION - 16,5M DRAGGING 16 LOT PARTIAL CONFINED DISPOSAL FACILITY JETTY V
4	SCENARIO DEL NUOVO PIANO REGOLATORE PORTUALE E NUOVA DIGA FORANEA - I (LOTTO 500M) NEW PMP SCENARIO 1a FUNCTIONAL LOT NEW BREAKWATER 500M
5	SCENARIO DEL NUOVO PIANO REGOLATORE PORTUALE E NUOVA DIGA FORANEA - II (LOTTO 500M) NEW PMP SCENARIO 2a LOT NEW BREAKWATER 1000M

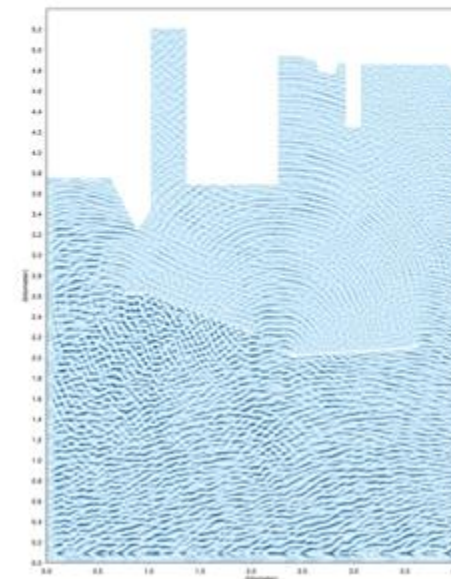
SUFACE ELEVATION - SOLUTION 1



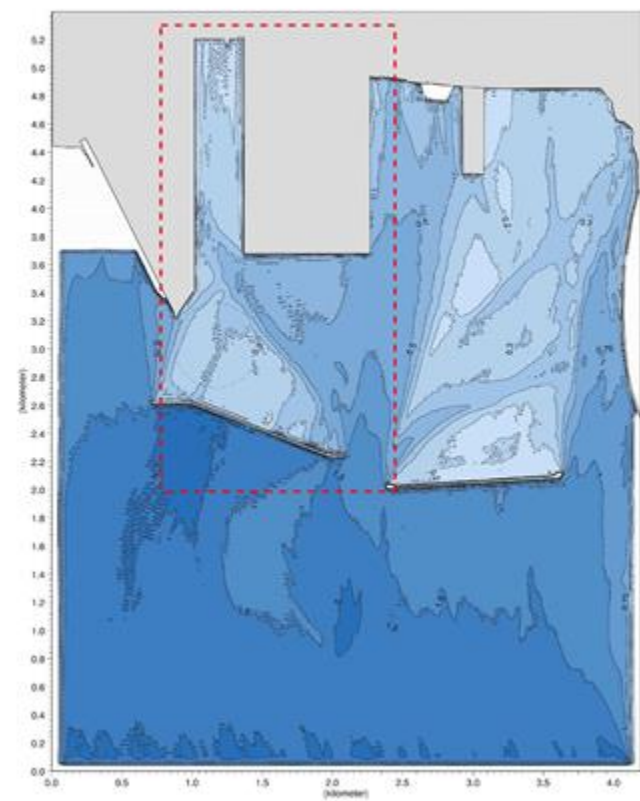
PUNTI DI ESTRAZIONE EXTRACTION POINTS	COORDINATE GAZDA BOGDA	
	E	N
A0	2.702.762	6.486.496
A1	2.702.763	6.486.495
A2	2.702.485	6.485.937
A3	2.702.704	6.485.700
A4	2.702.073	6.485.961
A5	2.702.608	6.486.201
A6	2.702.419	6.486.580

SCENARIO DI RIFERIMENTO SCENARIO	COEFFICIENTE DI DISTURBO WAVE DISTURBANCE COEFFICIENT					
	A0	A1	A2	A3	A4	A6
1	0,12	0,17	0,16	0,20	0,18	-
2	0,19	0,29	0,19	0,11	0,12	-
3	0,10	0,14	0,14	0,10	0,10	0,11
4	0,10	0,14	0,12	0,10	0,10	0,11

SUFACE ELEVATION - SOLUTION 2



AGITAZIONE RESIDUA INTERNA - SOLUZIONE 5
INNER WAVE DISTURBANCE - SOLUTION 2



COEFFICIENTE DI DISTURBO - SOLUZIONE 5
WAVE DISTURBANCE COEFFICIENT - SOLUTION 2

