



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

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

R.T.P.



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

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



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

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



35027 Noventa Padovana (PD)  
Via Panà 56/a

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



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

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

PROGETTO

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

EMISSIONE

**PROGETTO PRELIMINARE**

TITOLO

**D - IDRAULICA MARITTIMA**  
Relazione idraulico-marittima

REV.	DATA	FILE	OGGETTO	DIS.	APPR.
1	12/12/2019	1233_PP-D-001_1.doc	Riscontro mail AdSP-MTS del 11/12/2019	S. Beriotto	T. Tassi
2					
3					
4					
5					

ELABORATO N.

**D001**

DATA: 08/11/2019	SCALA: -	FILE: 1233_PP-D-001_0.doc	J.N. 1233/'19
PROGETTO S. Beriotto	DISEGNO S. Beriotto	VERIFICA M. Tondello	APPROVAZIONE T. Tassi

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PP-D-001\_1.docx

## Indice generale

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DEL PARAGGIO</b>	<b>9</b>
2.1	FETCH GEOGRAFICI ED EFFICACI	11
<b>3</b>	<b>DEFINIZIONE DEL TEMPO DI RITORNO PER LE OPERE IN PROGETTO</b>	<b>13</b>
3.1	DEFINIZIONE DELL'APPROCCIO ADOTTATO	13
3.1.1	TIPO DI INFRASTRUTTURA	13
3.1.2	LIVELLO DI SICUREZZA	14
3.1.3	DURATA MINIMA DI VITA	14
3.1.4	RISCHIO DI PERDITE DI VITE UMANE	14
3.1.5	CONDIZIONI DI DANNEGGIAMENTO	14
3.1.6	RIPERCUSSIONE ECONOMICA	15
3.1.7	MASSIMA PROBABILITÀ DI DANNEGGIAMENTO AMMISSIBILE	15
3.1.8	TEMPO DI RITORNO DELL'EVENTO DI PROGETTO	15
3.2	SUDDIVISIONE PER CORPI D'OPERA E PERIODI DI RITORNO ASSOCIATI	16
<b>4</b>	<b>REGIME DELLE MAREE</b>	<b>20</b>
4.1	DATI DI MAREA	20
4.2	INNALZAMENTO DEL LIVELLO MEDIO DEL MARE	21
<b>5</b>	<b>CLIMA ONDOSO AL LARGO</b>	<b>22</b>
5.1	DATI ACQUISITI DAL DICCA	22
5.1.1	ANALISI STATISTICA DEGLI EVENTI ESTREMI	27
5.1.2	CORRELAZIONE TRA ALTEZZA-E PERIODO PER GLI EVENTI ESTREMI	31
5.2	DATI REGISTRATI DALLA BOA DI GORGONA	34
<b>6</b>	<b>REGIME ANEMOLOGICO</b>	<b>38</b>
<b>7</b>	<b>MONITORAGGIO DELLE ONDE DI LUNGO PERIODO</b>	<b>41</b>
7.1	ONDE DI LUNGO PERIODO E RISONANZA	41
7.2	UBICAZIONE ONDAMETRO E INSTALLAZIONE STRUMENTAZIONE	42
7.3	ANALISI ED ELABORAZIONE DEI DATI REGISTRATI	43
<b>8</b>	<b>PROPAGAZIONE SOTTO COSTA DEL CLIMA ONDOSO</b>	<b>49</b>
8.1	SETTAGGIO DEL MODELLO	49
8.2	CLIMA ONDOSO SOTTOCOSTA	52
<b>9</b>	<b>PROPAGAZIONE DEGLI EVENTI ESTREMI</b>	<b>65</b>
9.1	CARATTERISTICHE DEGLI EVENTI ESTREMI PROPAGATE	65
9.1.1	EVENTI ESTREMI INDIVIDUATI PER L'AGITAZIONE ONDOSAE IL CALCOLO DELLA TRACIMAZIONE ( $T_R$ 50 ANNI)	65

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto di fattibilità tecnico economica	Elaborato: IDRAULICA MARITTIMA 1233_PP-D-001_1.docx
--	---	---

9.1.2	EVENTI ESTREMI INDIVIDUATI PER I DIMENSIONAMENTI ( $T_R$ 140, 224 E 475 ANNI)	66
9.2	SETTAGGIO DEL MODELLO	68
9.3	RISULTATI DELLE PROPAGAZIONI	69
9.3.1	EVENTI ESTREMI INDIVIDUATI PER L'AGITAZIONE ONDOSA ( $T_R$ 50 ANNI)	69
9.3.2	EVENTI ESTREMI INDIVIDUATI PER I DIMENSIONAMENTI (TR 140, 224 E 475 ANNI)	71
<b>10</b>	<b>ONDE DI PROGETTO</b>	<b>75</b>
<b>11</b>	<b>APPENDICE – DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO SWAN</b>	<b>81</b>
11.1	CAPACITÀ E LIMITAZIONI DI SWAN	81
11.2	CENNI SULLA FORMULAZIONE DEL MODELLO SWAN	81
11.3	EQUAZIONE DI CONSERVAZIONE DELL'AZIONE	81
11.3.1	INPUT DOVUTO AL VENTO	82
11.3.2	DISSIPAZIONE	82
11.3.3	INTERAZIONI NON LINEARI	83
11.4	CENNI SULLA NUMERICA DI SWAN	84

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto di fattibilità tecnico economica	Elaborato: IDRAULICA MARITTIMA 1233_PP-D-001_1.docx
--	---	---

## Indice delle figure

Figura 2.1- Inquadramento geografico del paraggio .....	9
Figura 2.2- Dettaglio area di intervento: ambito portuale (a sinistra) e litorale settentrionale (a destra) .....	10
Figura 2.3- Fetch geografici per il paraggio di Livorno .....	11
Figura 2.4- Fetch efficaci per il paraggio di Livorno .....	12
Figura 3.1- Planimetria di progetto con rappresentazione dei corpi d’opera (sostituire demolizione con smontaggio) .....	17
Figura 4.1- Ubicazione stazione RMN di Livorno .....	20
Figura 4.2- Livello della marea registrata dalla stazione RMN dell’ISPRA sita nel porto di Livorno (periodo gennaio 2010 – gennaio 2019).....	20
Figura 4.3- Proiezioni del sollevamento del livello marino per i prossimi 100 anni riportate nei rapporti IPCC del 2013, con riferimento ai 4 scenari RCP analizzati ( <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Representative_Concentration_Pathways">https://en.wikipedia.org/wiki/Representative_Concentration_Pathways</a> ) .....	21
Figura 5.1- Dominio del modello di generazione tipo Wave Watch III per l’area del Mediterraneo .....	22
Figura 5.2- Posizione del punto (UNIGE, 10°8’38.4’’E, 43°30’00’’N) cui si riferiscono i dati di moto ondoso dell’Università di Genova.....	23
Figura 5.3- Rosa delle registrazioni (in blu), delle energie (rosso) e delle altezze massime (verde) Punto UNIGE .....	25
Figura 5.4 - Curva di durata globale e per il settore di traversia (in alto) e curva di durata per i subsettori (in basso) Punto UNIGE .....	27
Figura 5.5- Distribuzione dei massimi annui considerati nell’analisi di Gumbel .....	28
Figura 5.6- Elaborazione statistica degli eventi estremi (metodo di Gumbel) per i tre settori individuati: in alto 150°÷220°N (Mezzogiorno-Libeccio), al centro 220°÷280°N (Libeccio-Ponente) e in basso 280°÷340°N (Maestrale) .....	30
Figura 5.7- Elaborazione statistica degli eventi estremi (metodo di Gumbel): tre settori a confronto... 31	
Figura 5.8- Correlazione altezza-periodi per gli eventi estremi appartenenti ai tre settori individuati: in alto 150°÷220°N (Mezzogiorno-Libeccio), al centro 220°÷280°N (Libeccio-Ponente) e in basso 280°÷340°N (Maestrale) .....	32
Figura 5.9 - Posizione della BOA di Gorgona a confronto con il punto UNIGE .....	34
Figura 5.10- Confronto tra la serie storica dei dati misurati dalla boa di Gorgona e dei dati relativi al punto UNIGE (parametro rappresentato: altezza d’onda significativa).....	35
Figura 5.11- Confronto tra la rosa dei massimi annui della boa di Gorgona (a sinistra) e del punto UNIGE (a destra) per il periodo da ottobre 2008 a ottobre 2018. I picchi anomali della boa sono evidenziati in rosso.....	36
Figura 5.12- Picchi anomali (massimi annui registrati dalla Boa di Gorgona) per il settore 150°÷220°N	37
Figura 5.13- Picco anomalo (massimo annuo registrato dalla Boa di Gorgona) per il settore 280°÷340°N .....	37
Figura 6.1- Rosa a cannocchiale [Punto UNIGE] .....	38
Figura 6.2- Rosa delle registrazioni anemometriche (a sx, in blu) e delle velocità massime del vento (a dx, in verde) [Punto UNIGE] .....	39
Figura 7.1 – Ubicazione misuratore di moto ondoso .....	42
Figura 7.2 – Schema di installazione del misuratore di moto ondoso.....	42
Figura 7.3 – Esempio di spettro ottenuto con l’analisi FFT (in rosso la componente delle onde da vento) .....	44

Progetto:	Livello progettazione:	Elaborato:
Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Progetto di fattibilità tecnico economica	IDRAULICA MARITTIMA 1233_PP-D-001_1.docx

Figura 7.4 – Valori dell’altezza significativa calcolati con l’analisi FFT e “up-crossing” Periodo dal 30 aprile al 5 maggio .....	44
Figura 7.5 - Valori del periodo di picco calcolati con l’analisi FFT Periodo dal 30 aprile al 5 maggio .....	45
Figura 7.6 – Andamento della direzione e della velocità del vento Periodo dal 30 aprile al 5 maggio ...	45
Figura 7.7 – Andamento del livello di marea e della pressione Periodo dal 30 aprile al 5 maggio.....	45
Figura 7.8 – Spettri calcolati con l’analisi FFT per il mese di agosto.....	46
Figura 7.9 –Dettaglio dello spettro con evidenza del picco a 28.4 s .....	46
Figura 7.10 - Spettri triorari e grafico della somma giornaliera degli spettri per il giorno 20 agosto .....	47
Figura 7.11 – Elaborazione dei dati di moto ondoso e dei dati meteorologici per il giorno 20 agosto... ..	48
Figura 8.1- Griglie e dominio di calcolo impiegati per lo studio della propagazione del moto ondoso ..	50
Figura 8.2- Batimetria della griglia di calcolo SMALL GRID 2 con ubicazione dei punti di output del clima locale .....	51
Figura 8.3- Punto P1: rosa delle registrazioni (in blu), delle energie (rosso) e delle altezze massime (verde) a confronto configurazione attuale e di progetto del Porto .....	54
Figura 8.4- Punto P2: rosa delle registrazioni (in blu), delle energie (rosso) e delle altezze massime (verde) a confronto configurazione attuale e di progetto del Porto .....	56
Figura 8.5 -Punto P3: rosa delle registrazioni (in blu), delle energie (rosso) e delle altezze massime (verde) a confronto configurazione attuale e di progetto del Porto .....	58
Figura 8.6- Punto P4: rosa delle registrazioni (in blu), delle energie (rosso) e delle altezze massime (verde) a confronto configurazione attuale e di progetto del Porto .....	60
Figura 8.7- Punto P5: rosa delle registrazioni (in blu), delle energie (rosso) e delle altezze massime (verde) a confronto configurazione attuale e di progetto del Porto .....	62
Figura 8.8- Punto P6: rosa delle registrazioni (in blu), delle energie (rosso) e delle altezze massime (verde) a confronto configurazione attuale e di progetto del Porto .....	64
Figura 9.1- Eventi massimi annuali e individuazione delle direzioni di provenienza delle mareggiate estreme propagate.....	66
Figura 9.2- Batimetria della griglia di calcolo BIG GRID (a sinistra) e SMALL GRID 1 – LOCAL GRID (a destra) .....	68
Figura 9.3- TEST A 2: Evento estremo $T_R$ 50 anni dal settore $150^\circ\div 220^\circ N$ (Mezzogiorno-Libeccio) Caratteristiche al largo: $H_s = 5.22$ m; $T_p = 9.50$ s; $DIR = 195^\circ N$ ; Sovralzo = +1.52 m s.m.m. ....	69
Figura 9.4- TEST A 4: Evento estremo $T_R$ 50 anni dal settore $220^\circ\div 280^\circ N$ (Libeccio-Ponente) Caratteristiche al largo: $H_s = 7.74$ m; $T_p = 12.00$ s; $DIR = 245^\circ N$ ; Sovralzo = +1.52 m s.m.m. ....	70
Figura 9.5- TEST A 9: Evento estremo $T_R$ 50 anni dal settore $280^\circ\div 340^\circ N$ (Maestrale) Caratteristiche al largo: $H_s = 5.26$ m; $T_p = 9.06$ s; $DIR = 315^\circ N$ ; Sovralzo = +1.52 m s.m.m.....	70
Figura 9.6 - TEST D4 Evento estremo $T_R$ 224 anni dal settore $150^\circ\div 220^\circ N$ (Mezzogiorno-Libeccio) Caratteristiche al largo: $H_s = 6.06$ m; $T_p = 10.17$ s; $DIR = 185^\circ N$ ; Sovralzo = +1.52 m s.m.m. ....	72
Figura 9.7- TEST D10 Evento estremo $T_R$ 140 anni dal settore $220^\circ\div 280^\circ N$ (Libeccio-Ponente) Caratteristiche al largo: $H_s = 8.44$ m; $T_p = 12.52$ s; $DIR = 245^\circ N$ ; Sovralzo = +1.52 m s.m.m. ....	72
Figura 9.8- TEST D13 Evento estremo $T_R$ 224 anni dal settore $220^\circ\div 280^\circ N$ (Libeccio-Ponente) Caratteristiche al largo: $H_s = 8.76$ m; $T_p = 12.75$ s; $DIR = 245^\circ N$ ; Sovralzo = +1.52 m s.m.m. ....	73
Figura 9.9- TEST D16 Evento estremo $T_R$ 475 anni dal settore $220^\circ\div 280^\circ N$ (Libeccio-Ponente) Caratteristiche al largo: $H_s = 9.27$ m; $T_p = 13.11$ s; $DIR = 245^\circ N$ ; Sovralzo = +1.52 m s.m.m. ....	73
Figura 9.10 - TEST D23 Evento estremo $T_R$ 224 anni dal settore $280^\circ\div 340^\circ N$ (Maestrale) Caratteristiche al largo: $H_s = 6.12$ m; $T_p = 9.27$ s; $DIR = 305^\circ N$ ; Sovralzo = +1.52 m s.m.m.....	74
Figura 9.11 - TEST D24 Evento estremo $T_R$ 224 anni dal settore $280^\circ\div 340^\circ N$ (Maestrale) Caratteristiche al largo: $H_s = 6.12$ m; $T_p = 9.27$ s; $DIR = 315^\circ N$ ; Sovralzo = +1.52 m s.m.m.....	74

<p>Progetto:</p> <p>Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale</p>	<p>Livello progettazione:</p> <p>Progetto di fattibilità tecnico economica</p>	<p>Elaborato:</p> <p>IDRAULICA MARITTIMA</p> <p>1233_PP-D-001_1.docx</p>
---	--	--

Figura 10.1- Planimetria con indicazione dei corpi d’opera e ubicazione delle sezioni tipologiche..... 75

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA  
1233\_PP-D-001\_1.docx

## Indice delle tabelle

Tabella 3.1- Durata minima di vita dell'opera.....	14
Tabella 3.2- Massima probabilità di danneggiamento ammissibile nel periodo di vita operativa dell'opera .....	15
Tabella 3.3- Tempo di ritorno dell'evento di progetto per il corpo d'opera WBS 1 .....	18
Tabella 3.4- Tempo di ritorno dell'evento di progetto per i corpi d'opera WBS 2a, WBS 2b e WBS 2c...	18
Tabella 3.5- Tempo di ritorno dell'evento di progetto per il corpo d'opera WBS 3 .....	18
Tabella 3.6- Tempo di ritorno dell'evento di progetto per i corpi d'opera WBS 4a e WBS 4b .....	19
Tabella 3.7- Tempo di ritorno dell'evento di progetto per i corpi d'opera WBS 5a e WBS 5b .....	19
Tabella 3.8- Tempo di ritorno dell'evento di progetto per il corpo d'opera WBS 6 .....	19
Tabella 5.1- Registros ordinate per altezza significativa e direzione di provenienza (in parti per 350'635) - Punto UNIGE (10°8'38.4"E, 43°30'00"N) .....	24
Tabella 5.2- Eventi massimi annuali ricavati dalla serie storica per i tre settori individuati: 150°÷220°N (Mezzogiorno-Libeccio), 220°÷280°N (Libeccio-Ponente) e 280°÷340°N (Maestrale).....	29
Tabella 5.3- Risultati statistica degli estremi per i tre settori individuati: 150°÷220°N (Mezzogiorno-Libeccio), 220°÷280°N (Libeccio-Ponente) e 280°÷340°N (Maestrale) .....	31
Tabella 5.4- Periodi di picco associati agli estremi per i tre settori individuati: 150°÷220°N (Mezzogiorno-Libeccio), 220°÷280°N (Libeccio-Ponente) e 280°÷340°N (Maestrale).....	33
Tabella 6.1- Registros ordinate per velocità del vento e direzione di provenienza (in parti per 350'635) - Punto UNIGE (10°8'38.4"E, 43°30'00"N) .....	40
Tabella 8.1- Punto P1 – Configurazione attuale del Porto Tabella delle registros ordinate per altezza significativa e direzione di provenienza (in parti per 350'635).....	53
Tabella 8.2- Punto P1 – Configurazione di progetto del Porto Tabella delle registros ordinate per altezza significativa e direzione di provenienza (in parti per 350'635) .....	53
Tabella 8.3- Punto P2 – Configurazione attuale del Porto Tabella delle registros ordinate per altezza significativa e direzione di provenienza (in parti per 350'635).....	55
Tabella 8.4- Punto P2 – Configurazione di progetto del Porto Tabella delle registros ordinate per altezza significativa e direzione di provenienza (in parti per 350'635) .....	55
Tabella 8.5- Punto P3 – Configurazione attuale del Porto Tabella delle registros ordinate per altezza significativa e direzione di provenienza (in parti per 350'635).....	57
Tabella 8.6- Punto P3 – Configurazione di progetto del Porto Tabella delle registros ordinate per altezza significativa e direzione di provenienza (in parti per 350'635) .....	57
Tabella 8.7- Punto P4 – Configurazione attuale del Porto Tabella delle registros ordinate per altezza significativa e direzione di provenienza (in parti per 350'635).....	59
Tabella 8.8 -Punto P4 – Configurazione di progetto del Porto Tabella delle registros ordinate per altezza significativa e direzione di provenienza (in parti per 350'635) .....	59
Tabella 8.9- Punto P5 – Configurazione attuale del Porto Tabella delle registros ordinate per altezza significativa e direzione di provenienza (in parti per 350'635).....	61
Tabella 8.10- Punto P5 – Configurazione di progetto del Porto Tabella delle registros ordinate per altezza significativa e direzione di provenienza (in parti per 350'635) .....	61
Tabella 8.11- Punto P6 – Configurazione attuale del Porto Tabella delle registros ordinate per altezza significativa e direzione di provenienza (in parti per 350'635) .....	63
Tabella 8.12- Punto P6 – Configurazione di progetto del Porto Tabella delle registros ordinate per altezza significativa e direzione di provenienza (in parti per 350'635) .....	63

<b>Progetto:</b> Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	<b>Livello progettazione:</b> Progetto di fattibilità tecnico economica	<b>Elaborato:</b> IDRAULICA MARITTIMA 1233_PP-D-001_1.docx
---	--	--

Tabella 9.1- Mareggiate individuate per la propagazione degli eventi estremi TR 50 anni Caratteristiche delle'evento nel punto UNIGE al largo .....	66
Tabella 9.2- Mareggiate individuate per la propagazione degli eventi estremi TR 140, 224 e 475 anni Caratteristiche delle'evento nel punto UNIGE al largo .....	67
Tabella 10.1 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della DIGA NORD CASSONI (testata).....	76
Tabella 10.2 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della DIGA NORD CASSONI (corrente).....	76
Tabella 10.3 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della DIGA NORD CHIUSURA (lato esterno).....	76
Tabella 10.4 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della DIGA NORD CHIUSURA (lato interno) .....	76
Tabella 10.5 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della DIGA NORD ESTERNA COLMATA.....	77
Tabella 10.6 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della DIGA NORD DARSENA .....	77
Tabella 10.7 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento del MOLO FORANEO DARSENA.....	77
Tabella 10.8 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-OVEST .....	77
Tabella 10.9 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-EST .....	78
Tabella 10.10 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della DIGA SUD .....	78
Tabella 10.11 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della DIGA SUD ARGINE COLMATA.....	78
Tabella 10.12 -Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della NUOVA DIGA DELLA MELORIA .....	78
Tabella 10.13 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il calcolo di risalita e tracimazione - DIGA NORD ESTERNA COLMATA.....	80
Tabella 10.14 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il calcolo di risalita e tracimazione - DIGA NORD DARSENA.....	80
Tabella 10.15 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il calcolo di risalita e tracimazione DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-OVEST.....	80
Tabella 10.16 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il calcolo di risalita e tracimazione DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-EST.....	80



Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PP-D-001\_1.docx

## 1 PREMESSA

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

In particolare, lo studio è stato articolato nelle seguenti fasi:

- inquadramento geografico;
- definizione dei tempi di ritorno delle opere di progetto;
- analisi dei dati meteomarini disponibili al largo del paraggio (dati di moto ondoso, vento e marea);
- analisi statistica di dettaglio degli eventi estremi al largo del paraggio;
- monitoraggio delle onde di lungo periodo;
- propagazione del clima ondoso sottocosta in una serie di punti antistanti il tratto di litorale a Nord del porto (tra la foce dello scolmatore e la foce dell'Arno);
- propagazione sottocosta di eventi estremi caratterizzati da un tempo di ritorno di 50 anni, finalizzata all'ottimizzazione della soluzione progettuale, allo studio dell'agitazione ondosa del bacino portuale e al calcolo della risalita dell'onda e della portata di tracimazione;
- propagazione sottocosta di eventi estremi finalizzata al dimensionamento delle opere;
- definizione delle caratteristiche locali (al piede delle opere) delle onde di progetto utilizzate per i dimensionamenti e i calcoli di risalita e tracimazione.

Lo studio è stato condotto utilizzando approcci e codici di calcolo allo stato dell'arte e verrà aggiornato/integrato nella successiva fase di progettazione (livello definitivo).

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PP-D-001\_1.docx

## 2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DEL PARAGGIO

L'area oggetto di intervento, collocata nel settore settentrionale del litorale tirrenico della Regione Toscana, ricade nel territorio della provincia di Livorno.

Nel dettaglio, la conformazione della costa tirrenica determina la presenza di un settore di traversia esposto a Mezzogiorno, Libeccio, Ponente e Maestrale (all'incirca tra 150°N e 340°N), delimitato dal promontorio di Portovenere a Nord e da quello di Piombino a Sud (Figura 2.1).

Il paraggio è parzialmente protetto dai mari di Mezzogiorno e Libeccio per la presenza delle isole (Corsica e isole dell'arcipelago Toscano); risulta quindi più esposto alle mareggiate di Ponente e Maestrale che sono parzialmente attenuate dalle secche antistanti.

L'area di intervento riguarda in dettaglio il Porto di Livorno e il litorale a Nord tra la foce dello scolmatore e la foce dell'Arno, che comprende gli arenili di Calambrone, Tirrenia e Marina di Pisa (Figura 2.2).

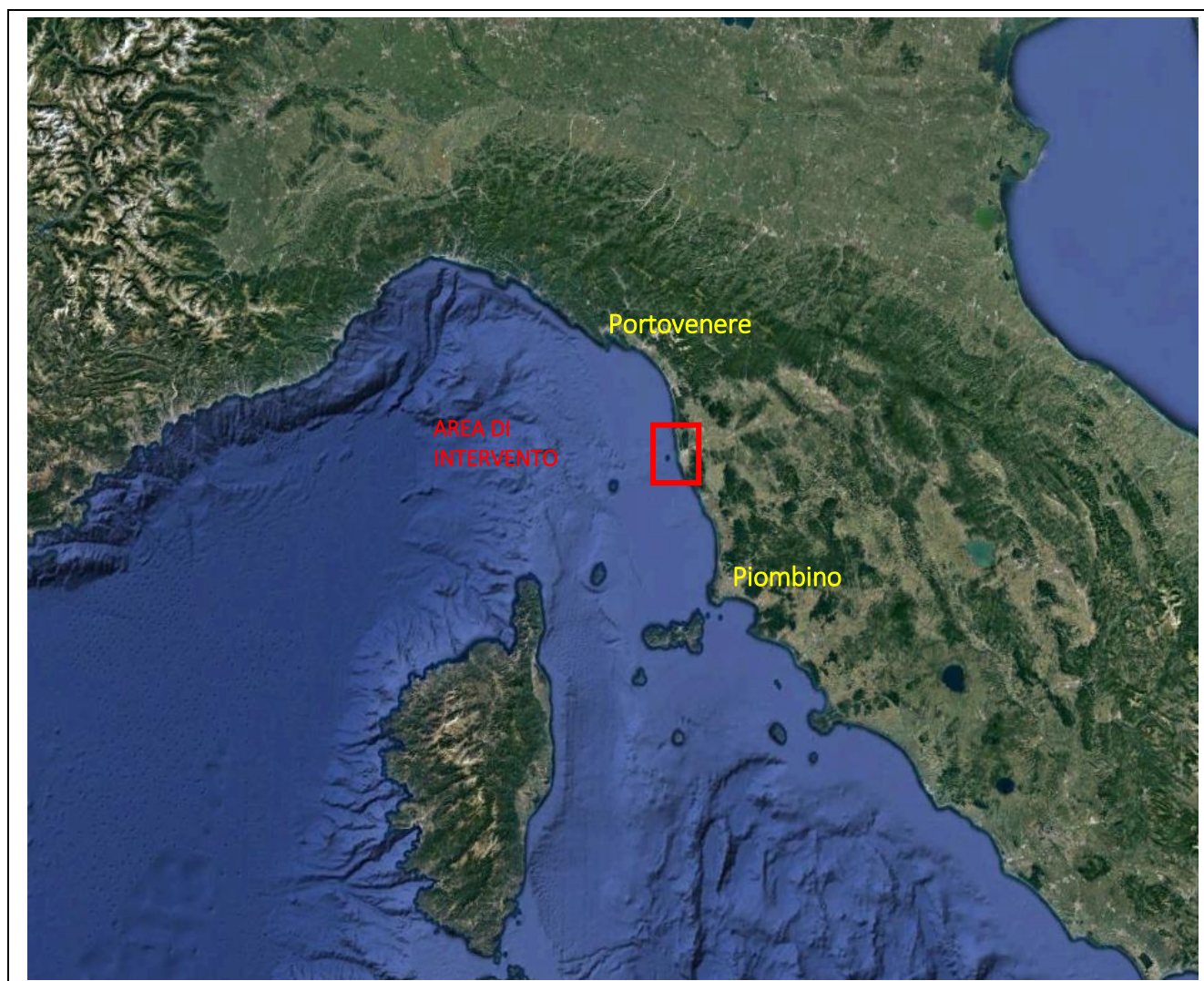


Figura 2.1- Inquadramento geografico del paraggio

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PP-D-001\_1.docx



Figura 2.2- Dettaglio area di intervento: ambito portuale (a sinistra) e litorale settentrionale (a destra)

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PP-D-001\_1.docx

## 2.1 Fetch geografici ed efficaci

I fetch geografici (ossia le cosiddette “lunghezze di mare libero”), determinati in funzione dell’esposizione del paraggio, sono graficamente rappresentati nella seguente Figura 2.3.

Per quanto concerne invece la determinazione dei fetch efficaci, è stata utilizzata la procedura proposta nello “Shore Protection Manual” (1984). La metodologia proposta consiste nel costruire, a partire dal punto di interesse, nove raggi con spaziatura 3° estesi fino ad incontrare la linea di riva. Il fetch efficace, per ciascuna direzione, risulta dalla media aritmetica delle 9 lunghezze dei raggi così tracciati.

I risultati ottenuti da tale calcolo sono rappresentati graficamente nella seguente Figura 2.4. Si può notare che i massimi fetch corrispondono alle mareggiate provenienti da Ponente, per le quali il massimo fetch efficace è dell’ordine dei 400 km (circa 215 NM).



Figura 2.3- Fetch geografici per il paraggio di Livorno

Progetto:

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

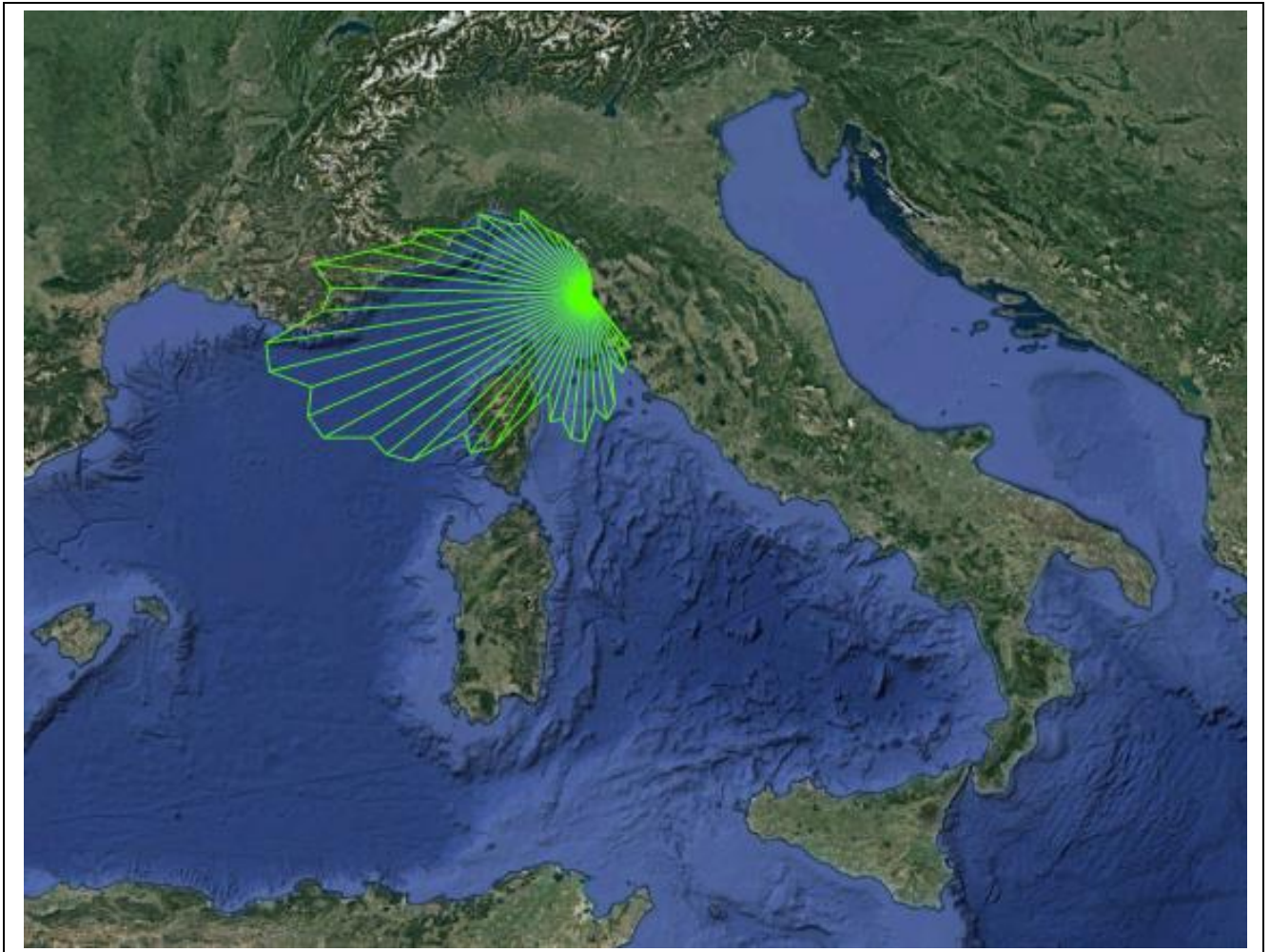
Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PP-D-001\_1.docx



*Figura 2.4- Fetch efficaci per il paraggio di Livorno*

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA  
1233\_PP-D-001\_1.docx

### 3 DEFINIZIONE DEL TEMPO DI RITORNO PER LE OPERE IN PROGETTO

Nel presente capitolo vengono definite le caratteristiche del moto ondoso assunte per il dimensionamento delle diverse parti delle opere a mare previste nell'ambito del presente progetto.

Per procedere alla definizione delle caratteristiche delle onde di progetto si è proceduto come di seguito specificato:

- descrizione dell'approccio adottato per la definizione del tempo di ritorno delle opere marittime;
- individuazione delle diverse opere o corpi d'opera che compongono il progetto (in funzione della tipologia e della destinazione d'uso);
- individuazione, per ciascuna opera o corpo d'opera, degli aspetti progettuali da esaminare (stabilità al moto ondoso, dimensionamento strutturale, trascinamento, etc.);
- scelta del periodo di ritorno degli eventi da considerare per i diversi aspetti in funzione della tipologia della struttura e della destinazione d'uso;
- individuazione dei punti di output significativi per l'individuazione delle onde di progetto;
- valutazione delle caratteristiche del moto ondoso per i periodi di ritorno considerati.

In merito agli ultimi due aspetti, ovvero alla definizione delle caratteristiche delle onde di progetto di fronte alle opere, si rimanda al successivo paragrafo 10, dove sulla base delle simulazioni condotte sono state estratte le condizioni di input utilizzate per le verifiche e i dimensionamenti.

#### 3.1 Definizione dell'approccio adottato

Per definire il periodo di ritorno degli eventi ondosi da considerare nel dimensionamento delle opere, si è fatto riferimento a quanto riportato nelle "Istruzioni Tecniche per la progettazione delle dighe marittime" edite a cura del Consiglio Superiore LL.PP. nel 1996, nel seguito "Istruzioni".

Nelle "Istruzioni" sopra citate il tempo di ritorno viene definito in funzione di:

- a) tipo di infrastruttura,
- b) livello di sicurezza richiesto,
- c) danneggiamento ammesso,
- d) ripercussione economica in caso di danneggiamento.

Premesso che l'intervento rappresenta uno stralcio funzionale dell'attuazione del P.R.P. e che le opere realizzate saranno soggette a successive implementazioni e modifiche, gli scriventi hanno condiviso e concordato con la Stazione Appaltante i principi base che disciplineranno l'uso e il livello di sicurezza atteso per le opere previste in progetto in modo tale da definire, per ciascun corpo d'opera, il tempo di ritorno da considerare ai fini del dimensionamento.

##### 3.1.1 Tipo di infrastruttura

L'opera in oggetto, come richiesto dalla Stazione Appaltante, è stata cautelativamente inquadrata come ad "uso generale", da intendersi come "opere di difesa di complessi civili, commerciali e industriali, che non siano destinati ad uno specifico scopo e per i quali non è chiaramente identificabile il termine della vita funzionale dell'opera".

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA  
1233\_PP-D-001\_1.docx

### 3.1.2 Livello di sicurezza

Per l'opera in oggetto è stato assunto un "livello di sicurezza 2", richiesto per "opere o 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.)".

### 3.1.3 Durata minima di vita

In funzione del tipo di infrastruttura e del livello di sicurezza è possibile definire la **durata minima di vita**  $T_V$  secondo la seguente Tabella 3.1; considerato che si **tratta di un infrastruttura di uso generale** con un livello di sicurezza richiesto 2, la durata minima di vita  $T_V$  risulta essere **50 anni**.

Tipo di infrastruttura	Livello di sicurezza		
	1	2	3
Uso Generale	25	50	100
Uso Specifico	15	25	50

Tabella 3.1- Durata minima di vita dell'opera

### 3.1.4 Rischio di perdite di vite umane

Per quanto riguarda il rischio di perdita di vita umana, in linea generale, si considera:

- rischio limitato se non è logico prevedere alcuna perdita di vite umane in seguito al danneggiamento;
- rischio elevato se sono preventivabili delle perdite di vite umane.

Nel caso specifico per l'opera in progetto si ritiene che il rischio di perdite di vite umane sia limitato per i tratti o corpi d'opera in cui non è previsto l'accesso a persone e mezzi (con l'eccezione di mezzi e personale per interventi di manutenzione). Le aree interdette al transito o non accessibili sono sostanzialmente la Nuova Diga della Meloria, la Diga Sud, il molo foraneo della darsena e la Diga Nord tratto a cassoni e chiusura; per un dettaglio si rimanda al successivo paragrafo 3.2 in cui vengono individuati e rappresentati i vari corpi d'opera.

Per quanto riguarda la diga Nord chiusura, considerando che nelle future fasi di sviluppo della piattaforma Europa l'opera cambierà destinazione d'uso diventando di fatto accessibile (cfr. banchina traghetti), si è comunque scelto in accordo con il Committente di eseguire già in questa fase i dimensionamenti delle scogliere con rischio elevato di perdite di vite umane. Anche il molo foraneo della darsena è stato dimensionato come opera potenzialmente accessibile nell'ipotesi di sviluppi futuri della darsena. Si fa presente che tali strutture (diga Nord chiusura e molo foraneo darsena) non sono state verificate e dimensionate con riferimento alla tracimazione in quanto, in questa fase di progettazione, non saranno accessibili e fruibili se non per le manutenzioni, che non dovranno comunque essere eseguite nel corso di mareggiate estreme.

Per tutte le altre opere il rischio di perdite di vite umane è stato assunto elevato; si tratta di tutte le opere accessibili a mezzi e/o persone in quanto collegate a terra e funzionali al Nuovo Terminal Autostrade del mare (in sostanza le opere a scogliera che con terminano il terrapieno della colmata).

### 3.1.5 Condizioni di danneggiamento

Per ciascuna opera o corpo d'opera deve inoltre essere individuata la specifica condizione di danneggiamento:

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto di fattibilità tecnico economica	Elaborato: IDRAULICA MARITTIMA 1233_PP-D-001_1.docx
--	---	---

- danneggiamento incipiente per strutture flessibili o comunque riparabili;
- danneggiamento totale per strutture rigide per le quali è difficile riparare il danno.

Si ritiene quindi di poter assumere una condizione di **danneggiamento incipiente** per tutte le **opere a gettata**, che di fatto sono assimilabili a strutture flessibili e riparabili.

Per le **strutture in cassoni** (sostanzialmente il primo tratto della Diga Nord) è stata invece assunta una condizione di **danneggiamento totale**, in quanto si tratta di opere per le quali è estremamente complesso riparare eventuali danni.

### 3.1.6 Ripercussione economica

Per quanto riguarda la ripercussione economica derivante da eventuali danni e rischi di perdite di vite umane, in linea generale, si definisce:

- ripercussione economica bassa nel caso in cui il rapporto fra i costi diretti del danneggiamento, sommati a quelli indiretti dovuti alla perdita di funzionalità delle opere protette ed il costo totale per la realizzazione dell'opera è minore di 5;
- ripercussione economica media nel caso in cui questo rapporto è compreso tra 5 e 20;
- ripercussione economica alta nel caso in cui questo rapporto è maggiore di 20.

La definizione di questi costi per un'opera complessa come quella oggetto del presente intervento richiederebbe un'analisi economica di dettaglio che prevede differenti scenari di rischio. In via preliminare sono state cautelativamente assunte le seguenti condizioni: **ripercussione economica media per le opere a gettata** e **ripercussione economica elevata** mentre per il tratto a cassoni (opere rigide).

### 3.1.7 Massima probabilità di danneggiamento ammissibile

In funzione del rischio di perdite di vite umane, delle condizioni di danneggiamento e della ripercussione economica è possibile definire la **massima probabilità di danneggiamento ammissibile nel periodo di vita operativa dell'opera  $P_f$**  secondo la seguente Tabella 3.2.

Tipo di danneggiamento	Ripercussione economica	Rischio per la vita umana	
		Limitato	Elevato
Danneggiamento incipiente	Bassa	0.5	0.3
	Media	0.3	0.2
	Alta	0.25	0.15
Danneggiamento totale	Bassa	0.2	0.15
	Media	0.15	0.1
	Alta	0.1	0.05

Tabella 3.2- Massima probabilità di danneggiamento ammissibile nel periodo di vita operativa dell'opera

### 3.1.8 Tempo di ritorno dell'evento di progetto

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  $T_{rp}$** , secondo la seguente espressione:

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

L'onda associata a questo tempo di ritorno (opportunosamente definita per ciascun corpo d'opera sulla base dell'analisi statistica degli estremi di cui al successivo 5.1.1) ha approssimativamente la



Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto di fattibilità tecnico economica	Elaborato: IDRAULICA MARITTIMA 1233_PP-D-001_1.docx
--	---	---

probabilità  $P_f$  di essere superata nell'arco di vita dell'opera.

### 3.2 Suddivisione per corpi d'opera e periodi di ritorno associati

Il progetto prevede l'ampliamento del Porto di Livorno mediante la realizzazione di un nuovo molo di sopraflutto (Nuova Diga Nord – 1° fase di attuazione del PRP), la riconfigurazione e il prolungamento della diga del Marzocco (Nuova Diga Sud) e lo smontaggio e riconfigurazione del tratto settentrionale della diga della Meloria (Nuova Diga della Meloria).

Più in dettaglio, in funzione della tipologia di infrastruttura e della destinazione d'uso prevista, sono stati individuati i seguenti corpi d'opera (identificati dalla sigla WBS; cfr. Figura 3.1):

- WBS 1 - DIGA NORD CASSONI  
Tratto più esterno della nuova Diga Nord, realizzato a gettata (sezione di testata con scogliera in accropode che protegge il cassone centrale) e per il restante sviluppo in cassoni (sezione corrente).  
Opera non accessibile: rischio della vita umana limitato  
Struttura a gettata (riparabile): danneggiamento incipiente, ripercussione economica media  
Struttura a cassoni (non riparabile): danneggiamento totale, ripercussione economica alta
- WBS 2 - DIGA NORD COMPLETAMENTO  
Collegamento verso terra della Diga Nord, composto dai seguenti corpi d'opera: tratto di chiusura (WBS 2a), tratto esterno colmata (WBS 2b) e tratto interno della darsena che verrà realizzata alla foce dello scolmatore (WBS 2c); l'opera verrà interamente realizzata a gettata.  
Opera accessibile: rischio della vita umana elevato  
Struttura a gettata (riparabile): danneggiamento incipiente, ripercussione economica media
- WBS 3 –MOLO FORANEO DARSENA  
Molo esterno della darsena che verrà realizzata alla foce dello scolmatore (opera a gettata).  
Opera accessibile: rischio della vita umana elevato  
Struttura a gettata (riparabile): danneggiamento incipiente, ripercussione economica media
- WBS 4 - DIGA NORDCOLMATA ARGINI  
Perimetro interno della Diga Nord che contermina la colmata interamente a gettata, composto da un tratto di argine Sud-Ovest (WBS 4a) e da un argine Sud-Est (WBS 4b).  
Opera accessibile: rischio della vita umana elevato  
Struttura a gettata (riparabile): danneggiamento incipiente, ripercussione economica media
- WBS 5 - DIGA SUD  
Riconfigurazione e completamento della diga del Marzocco interamente a gettata (ad eccezione di un piccolo tratto lato interno della testata in palancole), composto da un tratto esterno (WBS 5a) e da un tratto di argine che contermina la colmata lato interno (WBS 5b).  
Opera non accessibile: rischio della vita umana limitato  
Struttura a gettata (riparabile): danneggiamento incipiente, ripercussione economica media
- WBS 6–NUOVA DIGA MELORIA  
Riconfigurazione del tratto settentrionale della Diga della Meloria, previa demolizione di parte dell'esistente scogliera; la nuova opera sarà interamente del tipo a gettata.  
Opera non accessibile: rischio della vita umana limitato  
Struttura a gettata (riparabile): danneggiamento incipiente, ripercussione economica media

Progetto:

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

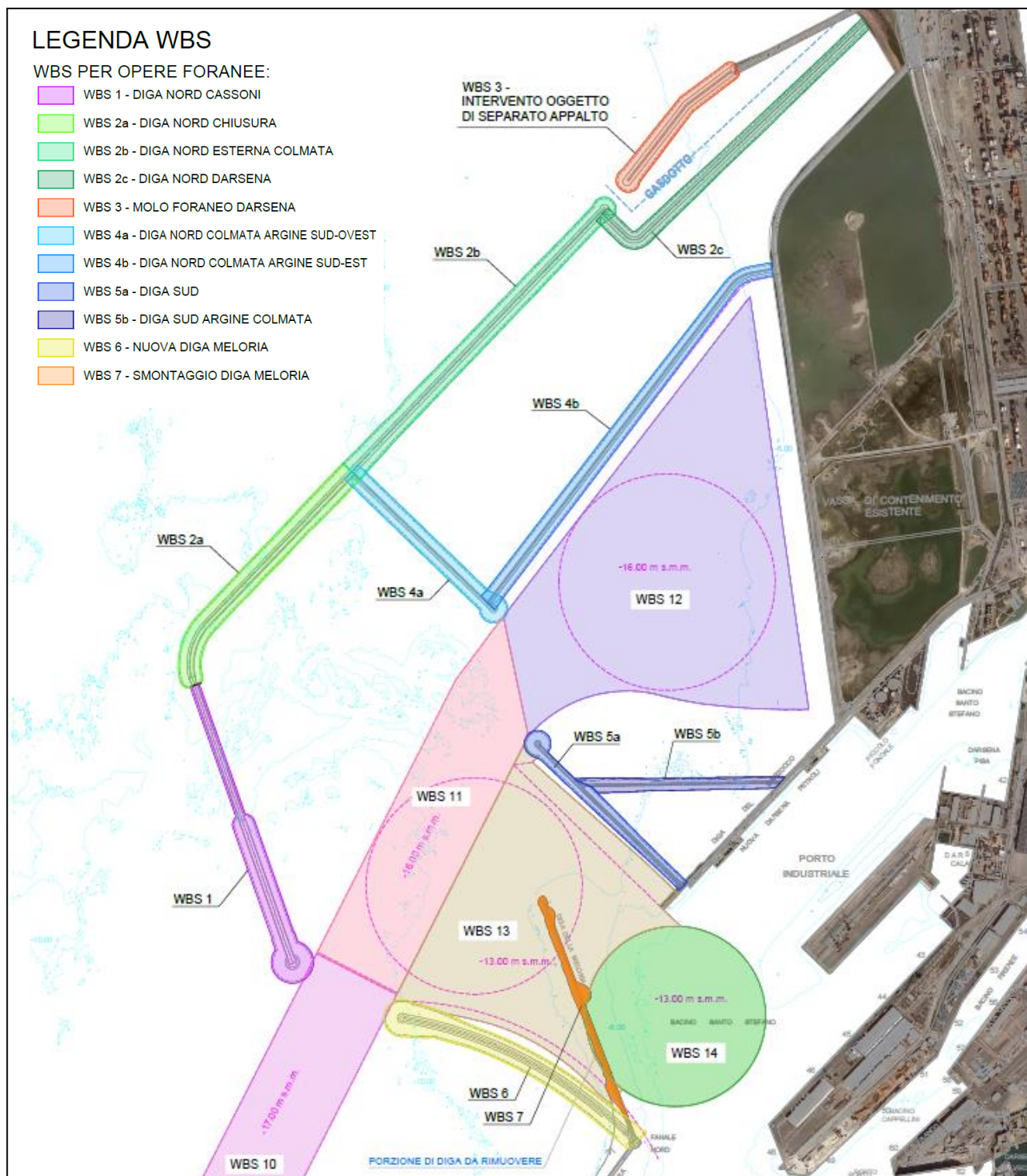
Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA  
1233\_PP-D-001\_1.docx

In funzione delle caratteristiche specifiche individuate per i differenti corpi d'opera è stato possibile definire il tempo di ritorno dell'evento di progetto; il dettaglio per ciascun corpo d'opera è riportato nelle successive tabelle (da Tabella 3.3 a Tabella 3.8).



Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA  
1233\_PP-D-001\_1.docx

<b>CORPO D'OPERA WBS 1- DIGA NORDCASSONI TESTATA E CORRENTE</b>		
Tipologia sezione	<b>TESTATA(scogliera)</b>	<b>CORRENTE(cassoni)</b>
Tipo di opera	uso generale	uso generale
Livello di sicurezza richiesto	2	2
Durata minima di vita $T_v$	50 anni	50 anni
Condizione di danneggiamento	Incipiente	Totale
Rischio per la vita umana	Limitato	Limitato
Ripercussione economica	Media	Alta
Massima probabilità di danneggiamento $P_f$	0.30	0.10
<b>Tempo di ritorno <math>T_{rp}</math></b>	<b>140</b>	<b>475</b>

Tabella 3.3- Tempo di ritorno dell'evento di progetto per il corpo d'opera WBS 1

<b>CORPI D'OPERA WBS 2 - DIGA NORD: CHIUSURA (2a), ESTERNACOLMATA (2b) E DARSENA (2c)</b>	
Tipologia sezione	<b>CORRENTE(scogliera)</b>
Tipo di opera	uso generale
Livello di sicurezza richiesto	2
Durata minima di vita $T_v$	50 anni
Condizione di danneggiamento	Incipiente
Rischio per la vita umana	Elevato
Ripercussione economica	Media
Massima probabilità di danneggiamento $P_f$	0.20
<b>Tempo di ritorno <math>T_{rp}</math></b>	<b>224</b>

Tabella 3.4- Tempo di ritorno dell'evento di progetto per i corpi d'opera WBS 2a, WBS 2b e WBS 2c

<b>CORPO D'OPERA WBS 3 –MOLO FORANEO DARSENA</b>	
Tipologia sezione	<b>TESTATA/CORRENTE(scogliera)</b>
Tipo di opera	uso generale
Livello di sicurezza richiesto	2
Durata minima di vita $T_v$	50 anni
Condizione di danneggiamento	Incipiente
Rischio per la vita umana	Elevato
Ripercussione economica	Media
Massima probabilità di danneggiamento $P_f$	0.20
<b>Tempo di ritorno <math>T_{rp}</math></b>	<b>224</b>

Tabella 3.5- Tempo di ritorno dell'evento di progetto per il corpo d'opera WBS 3

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA  
1233\_PP-D-001\_1.docx

**CORPI D'OPERA WBS 4 - DIGA NORDCOLMATA ARGINI: ARGINE SUD-OVEST (4a) E ARGINE SUD-EST (4b)**

Tipologia sezione	<b>TESTATA/CORRENTE(scogliera)</b>
Tipo di opera	uso generale
Livello di sicurezza richiesto	2
Durata minima di vita $T_v$	50 anni
Condizione di danneggiamento	Incipiente
Rischio per la vita umana	Elevato
Ripercussione economica	Media
Massima probabilità di danneggiamento $P_f$	0.20
<b>Tempo di ritorno <math>T_{rp}</math></b>	<b>224</b>

Tabella 3.6- Tempo di ritorno dell'evento di progetto per i corpi d'opera WBS 4a e WBS 4b

**CORPI D'OPERA WBS 5 - DIGA SUD (5a) E DIGA SUD ARGINE COLMATA (5b)**

Tipologia sezione	<b>TESTATA/CORRENTE(scogliera)</b>
Tipo di opera	uso generale
Livello di sicurezza richiesto	2
Durata minima di vita $T_v$	50 anni
Condizione di danneggiamento	Incipiente
Rischio per la vita umana	Limitato
Ripercussione economica	Media
Massima probabilità di danneggiamento $P_f$	0.30
<b>Tempo di ritorno <math>T_{rp}</math></b>	<b>140</b>

Tabella 3.7- Tempo di ritorno dell'evento di progetto per i corpi d'opera WBS 5a e WBS 5b

**CORPI D'OPERA WBS 6 – NUOVA DIGA MELORIA**

Tipologia sezione	<b>TESTATA/CORRENTE(scogliera)</b>
Tipo di opera	uso generale
Livello di sicurezza richiesto	2
Durata minima di vita $T_v$	50 anni
Condizione di danneggiamento	Incipiente
Rischio per la vita umana	Limitato
Ripercussione economica	Media
Massima probabilità di danneggiamento $P_f$	0.30
<b>Tempo di ritorno <math>T_{rp}</math></b>	<b>140</b>

Tabella 3.8- Tempo di ritorno dell'evento di progetto per il corpo d'opera WBS 6

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PP-D-001\_1.docx

## 4 REGIME DELLE MAREE

### 4.1 Dati di marea

I dati di marea sono stati scaricati dal sito dell'APAT ([www.mareografico.it](http://www.mareografico.it)) e si riferiscono alla stazione RMN di Livorno. Il mareografo si trova presso il Porto Mediceo, accanto al ricovero delle lance di Polizia in corrispondenza del punto di coordinate UTM – ETRF 2000 (4822300.6 m Nord, 604989.2 m Est; vedi Figura 4.1). I livelli di marea registrati sono riferiti allo zero dell'I.G.M..

I valori registrati ad intervalli orari si riferiscono al periodo 1 gennaio 2010 – 30 gennaio 2019 (vedi Figura 4.2). Si osserva che, mediamente, il range di variazione dei livelli è di circa 70 cm: il livello varia tra +0.4 m s.m.m. e -0.3 m s.m.m., con poche eccezioni. Il valore massimo di +0.86 è stato registrato il 29/10/2018 alle ore 14:00 ed è associato alle mareggiate eccezionali che hanno investito sia la costa tirrenica che quella adriatica tra fine ottobre e i primi di novembre dello scorso anno (tempesta VAIA).



Figura 4.1- Ubicazione stazione RMN di Livorno

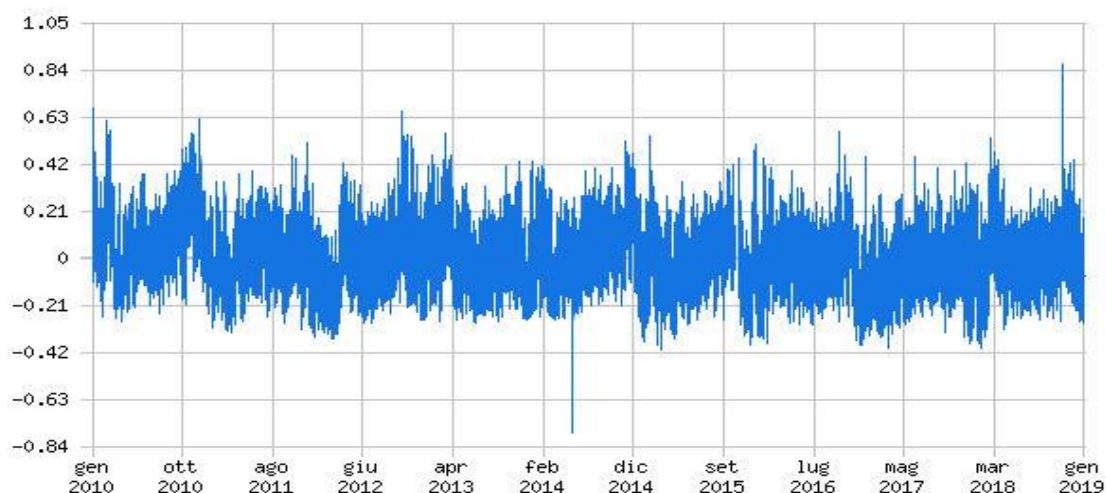


Figura 4.2- Livello della marea registrata dalla stazione RMN dell'ISPRA sita nel porto di Livorno (periodo gennaio 2010 – gennaio 2019)

## 4.2 Innalzamento del livello medio del mare

La comunità scientifica internazionale è pressoché unanimemente concorde nell'affermare che l'incremento dei gas serra sta modificando il clima del pianeta in modo tale da innescare una risalita del livello del mare su scala globale. Gli scenari individuati dai modelli per l'ultimo decennio sono stati addirittura superati dai fatti: il mare (a livello globale) è risalito con tassi superiori a quanto ci si attendeva qualche anno fa.

In Figura 4.3 sono rappresentati i prevedibili scenari sulla base del rapporto IPCC 2013 e sulla base del trend dei livelli misurati (da dati mareografici o da satellite).

Dalle figure si può osservare che l'incremento del livello del mare nei prossimi 60 anni (considerando la durata minima di vita dell'opera di 50 anni e 10 anni necessari per la progettazione e realizzazione dell'opera) varia da un minimo di 45 cm fino ad un massimo di circa 66 cm per lo scenario peggiore (RCP 8.5), considerando l'estremo della fascia di confidenza.

Considerando a favore di sicurezza lo scenario peggiore (RCP 8.5) e l'estremo superiore della fascia di confidenza, è stato assunto un incremento del livello medio del mare a 60 anni (ovvero al 2080) pari a circa 0.66 m.

Complessivamente, è stato assunto un **sovrizzo del livello di progetto** pari a  $0.66 + 0.86 = +1.52$  m.

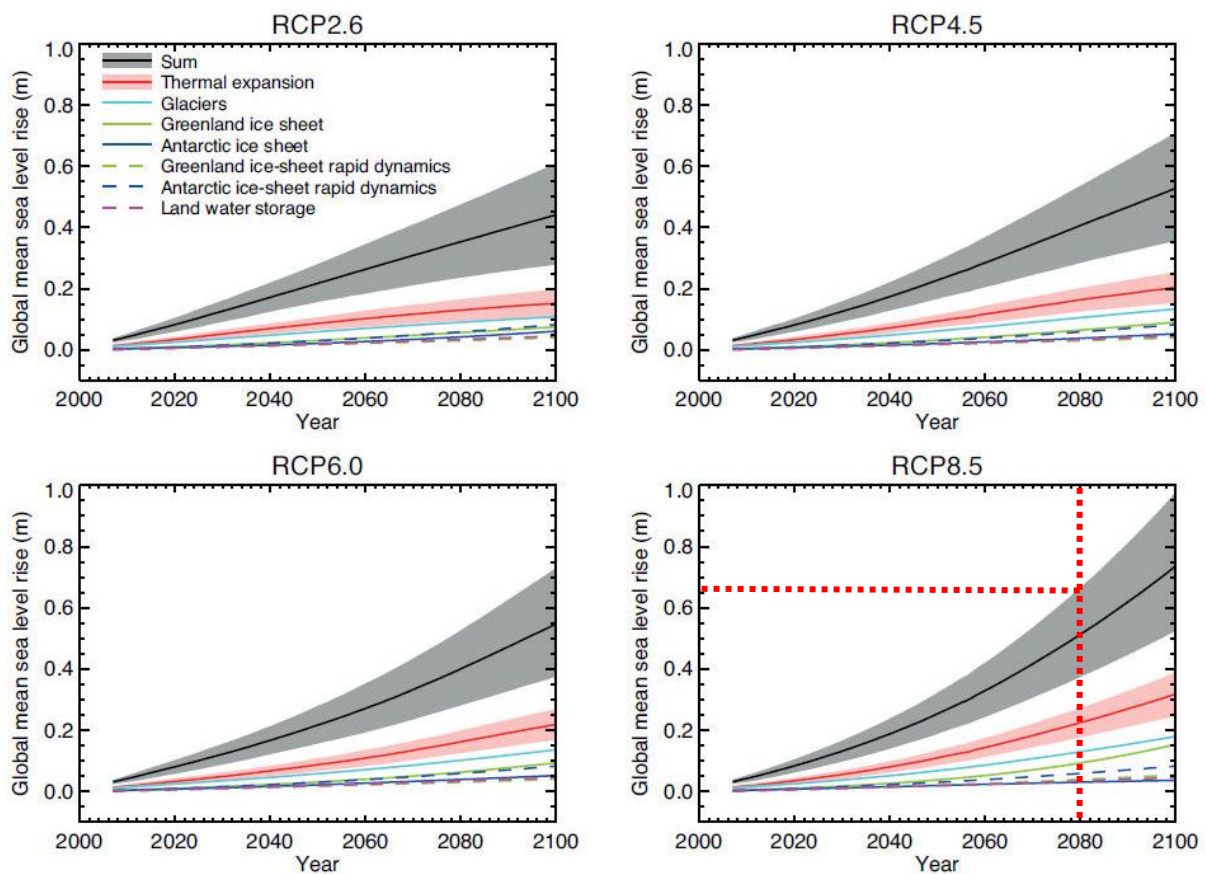


Figura 4.3- Proiezioni del sollevamento del livello marino per i prossimi 100 anni riportate nei rapporti IPCC del 2013, con riferimento ai 4 scenari RCP analizzati ([https://en.wikipedia.org/wiki/Representative\\_Concentration\\_Pathways](https://en.wikipedia.org/wiki/Representative_Concentration_Pathways))

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA  
1233\_PP-D-001\_1.docx

## 5 CLIMA ONDOSO AL LARGO

Per la definizione del clima ondoso al largo del paraggio di interesse sono stati acquisiti i dati risultanti da un'attività di ricerca del Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale (DICCA) dell'Università di Genova. I dati (<http://www.dicca.unige.it>) sono ottenuti da una reanalisi delle condizioni meteomarine estesa da gennaio 1979 a dicembre 2018 e coprono quindi un periodo di circa 40 anni.

Per confronto sono stati forniti dal Committente i dati registrati dalla boa di Gorgona; le registrazioni analizzate coprono il periodo da ottobre 2008 a ottobre 2018.

### 5.1 Dati acquisiti dal DICCA

I dati sono ricavati con la procedura del “wave hindcasting” (ricostruzione dello stato del mare sulla base di dati meteorologici, mediante l'utilizzo di modelli numerici). I dati forniti dal DICCA dell'Università di Genova derivano da una reanalisi condotta impiegando i dati meteorologici NOAA (<http://cfs.ncep.noaa.gov>), rielaborati attraverso il modello WRF-ARW versione 3.3.1 (Skamarock et al., 2008) per ottenere i campi di vento a 10 m di quota con risoluzione di circa 10 km.

Le condizioni di moto ondoso sono state ricavate attraverso l'impiego di un modello di generazione tipo Wave Watch III, versione 3.14 (Komen et al., 1994; Tolman, 2009), anch'esso con risoluzione spaziale di 10 km e temporale di 1 ora (Figura 5.1).

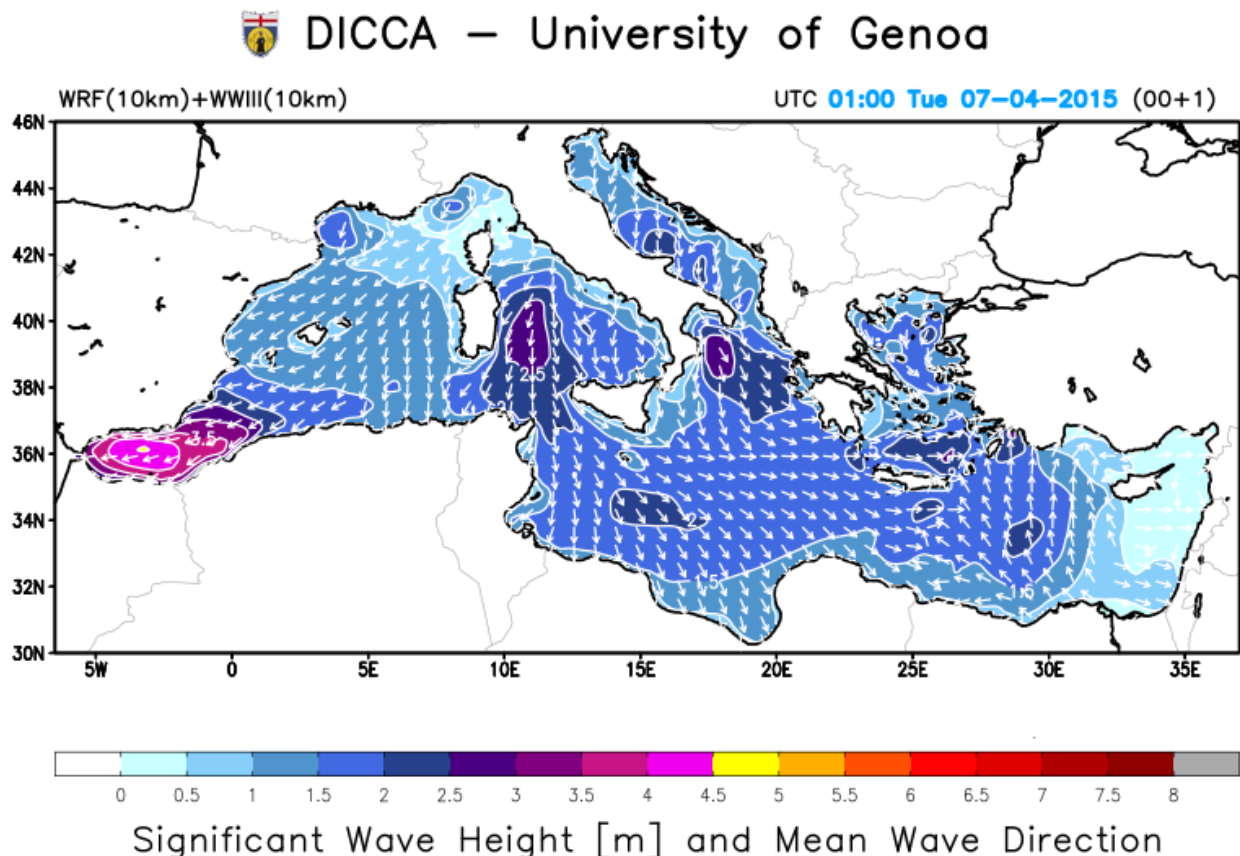


Figura 5.1- Dominio del modello di generazione tipo Wave Watch III per l'area del Mediterraneo

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PP-D-001\_1.docx

Per la generazione del moto ondoso attraverso il WWIII è stata impiegata la forzante atmosferica (vento) ricavata in forma di campi di vento a 10 m dal suolo, attraverso l'impiego del modello non idrostatico, sviluppato allo stato dell'arte, WRF-ARW versione 3.3.1 (Skamarock et al., 2008). Per il modello WRF è stato definito uno specifico dominio di calcolo costituito da 328x265 punti che copre il Mediterraneo occidentale e centrale con risoluzione orizzontale di 10 km. Le condizioni iniziali e al contorno per le simulazioni atmosferiche con il modello WRF sono stati ricavati dal database del CFSR che fornisce i dati con una risoluzione orizzontale di 0.5 ° x 0.5 °, su 37 livelli di pressione. Il modello WAVEWATCH III™ (Tolman 1997 1999a, 2009) utilizzato per la generazione del moto ondoso è un modello di terza generazione sviluppato al NOAA / NCEP sulla base del modello WAM (WAMDIG 1988, Komen et al. 1994). Si tratta di un ulteriore sviluppo del modello WAVEWATCH, sviluppato presso la Delft University of Technology (Tolman 1989 1991a) e WAVEWATCH II, sviluppato alla NASA, Goddard Space Flight Center (Tolman 1992).

I dati di moto ondoso forniti dall'Università di Genova si riferiscono al punto ("UNIGE") di coordinate 10°8'38.4"E, 43°30'00"N (cfr. Figura 5.2).



Figura 5.2- Posizione del punto (UNIGE, 10°8'38.4"E, 43°30'00"N) cui si riferiscono i dati di moto ondoso dell'Università di Genova



Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA  
1233\_PP-D-001\_1.docx

Nella successiva Tabella 5.1 sono riportate le caratteristiche delle onde “al largo”; i dati del clima ondoso al largo sono stati ordinati per classi di altezza significativa e direzione media di provenienza. Il numero di registrazioni si riferisce al totale delle “registrazioni” (350.635) nel periodo di analisi (da gennaio 1979 a dicembre 2018).

		Hs (m)															
DIR		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5
(°N)		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
0	10	1100	786	281	36	14	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	20	1102	863	327	52	14	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	30	1240	1136	445	110	31	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	40	1592	1503	683	214	49	25	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	50	2383	2354	1358	405	121	50	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0
50	60	3389	4065	2812	1113	311	64	14	1	0	0	0	0	0	0	0	0
60	70	3666	5948	3788	1249	319	73	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0
70	80	3010	4832	2127	540	95	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	90	1751	1912	427	82	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	100	1032	740	205	40	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	110	724	430	166	32	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
110	120	685	358	115	25	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	130	630	391	142	28	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
130	140	676	441	169	41	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
140	150	849	574	263	71	15	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150	160	1326	1255	635	269	85	18	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0
160	170	2746	3714	1909	990	337	120	17	3	1	2	0	0	0	0	0	0
170	180	5050	5027	2020	722	240	103	24	8	2	2	0	0	0	0	0	0
180	190	5534	2926	1009	376	182	100	28	11	6	2	0	0	0	0	0	0
190	200	4039	1869	712	353	173	79	37	23	11	4	0	0	0	0	0	0
200	210	3302	1599	658	330	178	63	27	13	4	2	0	0	0	0	0	0
210	220	3328	1679	766	343	127	55	20	9	3	0	0	0	0	0	0	0
220	230	3907	2218	986	324	168	57	21	8	3	0	0	0	0	0	0	0
230	240	6758	4616	2224	839	382	162	51	21	19	1	0	0	0	0	0	0
240	250	18709	15530	11454	8225	4369	2198	851	378	143	65	26	5	1	0	0	0
250	260	22126	19253	11688	5946	3327	2307	1377	847	526	256	124	55	26	10	4	2
260	270	8416	6025	2975	1254	477	265	185	125	94	47	18	9	0	0	0	0
270	280	4957	3373	1355	714	324	140	68	29	10	1	0	0	0	0	0	0
280	290	3788	2516	986	527	242	121	52	12	5	0	0	0	0	0	0	0
290	300	4003	2232	709	354	156	72	57	13	1	0	0	0	0	0	0	0
300	310	4278	2140	525	210	114	51	38	14	10	2	0	0	0	0	0	0
310	320	3184	1772	397	137	67	29	18	8	4	0	0	0	0	0	0	0
320	330	2670	1260	257	108	26	6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
330	340	2278	1001	218	62	8	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
340	350	1778	737	192	45	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
350	360	1241	738	222	38	13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 5.1- Registros ordinati per altezza significativa e direzione di provenienza (in parti per 350'635) - Punto UNIGE (10°8'38.4"E, 43°30'00"N)

In Figura 5.3 vengono riportate rispettivamente le rose delle registrazioni, delle energie e delle altezze significative massime al largo.

Si può notare che gli eventi con percentuale di apparizione più elevata appartengono al settore di Libeccio-Ponente. Anche gli eventi caratterizzati da maggiore energia sono quelli compresi nel settore 240÷260°N e presentano un picco di energia in corrispondenza della direzione di provenienza 255°N. Le mareggiate caratterizzate dai valori massimi di altezza significativa sono quelle provenienti da Ponente (255°N), per le quali si raggiungono valori di  $H_s$  prossimi agli 8 m. Per gli altri settori i valori massimi di altezza significativa sono invece inferiori a 5 m.

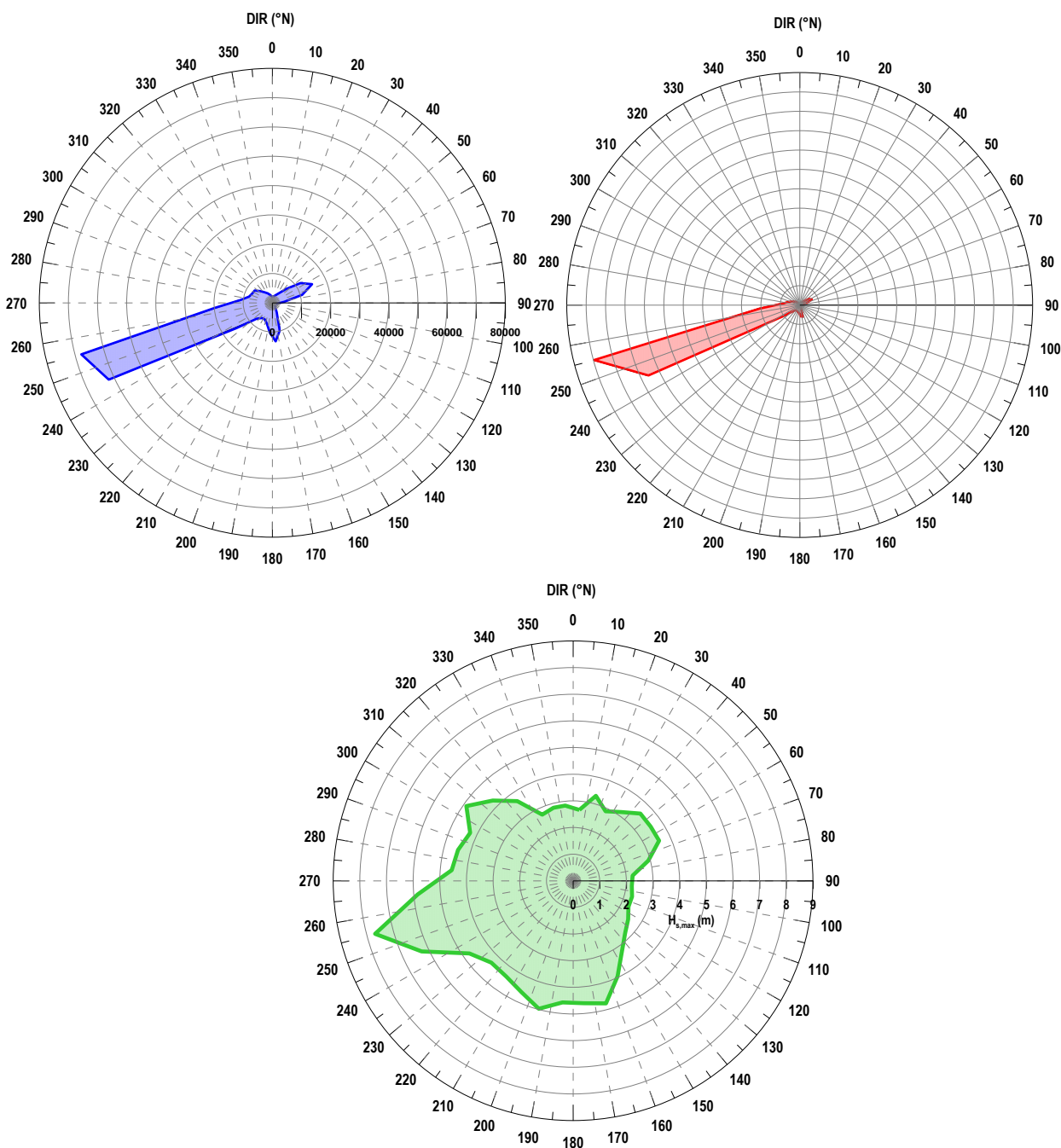


Figura 5.3- Rosa delle registrazioni (in blu), delle energie (rosso) e delle altezze massime (verde)  
Punto UNIGE

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

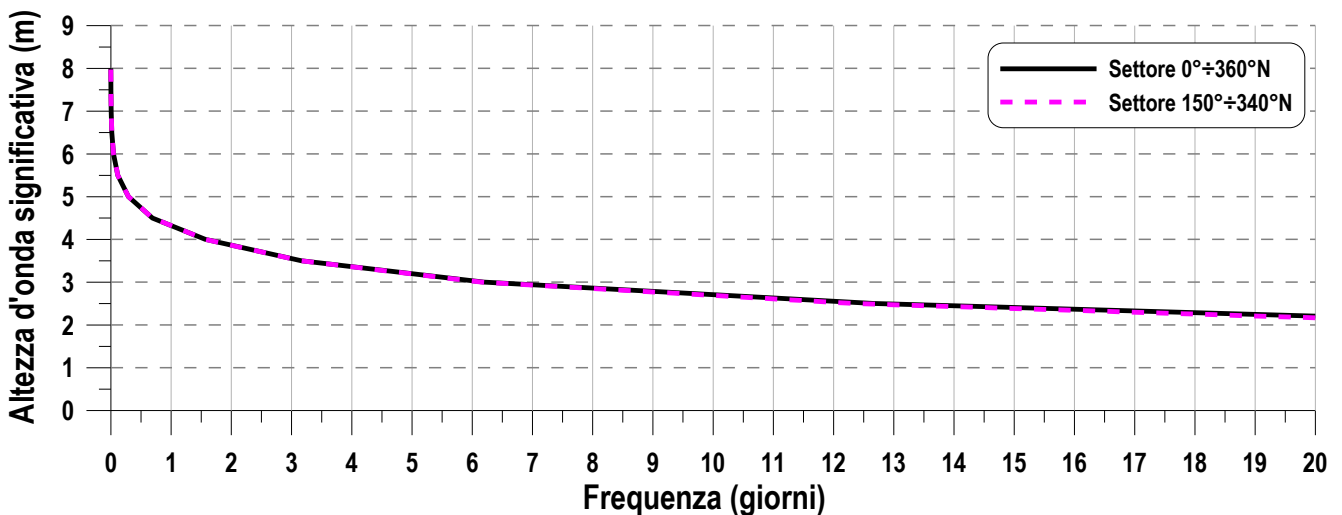
Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA  
1233\_PP-D-001\_1.docx

A partire dai dati disponibili, è stato possibile ricostruire anche la curva di durata relativa alle registrazioni al largo; la curva di durata consente di mettere in relazione le caratteristiche di un evento con la sua durata media annuale.

In Figura 5.4 (in lato) viene riportata la curva di durata globale (riferita al tutte le direzioni) e quella relativa al settore di traversia caratteristico del paraggio ( $150^{\circ}\div 340^{\circ}\text{N}$ ). Si può osservare come le due curve siano sostanzialmente coincidenti: il settore di traversia del paraggio comprende infatti la quasi totalità degli eventi.

Considerate le caratteristiche del moto ondoso al largo e la conformazione geografica del paraggio di interesse (esposto alle mareggiate provenienti dal IV, III e, parzialmente, II quadrante), la curva di durata è stata successivamente ricostruita suddividendo il settore di traversia  $150^{\circ}\text{-}340^{\circ}\text{N}$  nei seguenti 3 subsettori:  $150^{\circ}\div 220^{\circ}\text{N}$  (Mezzogiorno-Libeccio),  $220^{\circ}\div 280^{\circ}\text{N}$  (Libeccio-Ponente) e  $280^{\circ}\div 340^{\circ}\text{N}$  (Maestrale). In Figura 5.4 (in basso) sono rappresentate le curve di durata per i tre subsettori individuati; si osserva come l'altezza significativa di 2 venga raramente superata per le mareggiate provenienti dai settori di Mezzogiorno-Libeccio e Maestrale ( $1\div 2$  giorni all'anno) mentre sia più frequente per il settore centrale di Libeccio-Ponente (circa 32 giorni all'anno).



Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA  
1233\_PP-D-001\_1.docx

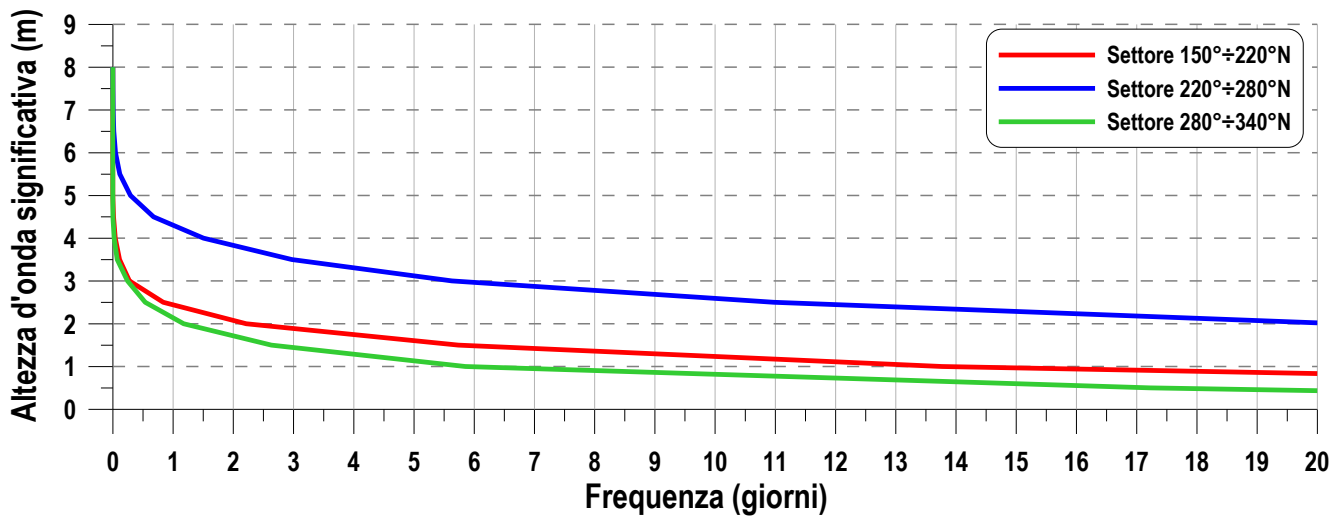


Figura 5.4 - Curva di durata globale e per il settore di traversia (in alto) e curva di durata per i subsettori (in basso)  
Punto UNIGE

#### 5.1.1 Analisi statistica degli eventi estremi

Per l'elaborazione degli eventi estremi al largo si è fatto riferimento alla serie storica dei dati di moto ondoso acquisita dal Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale (DICCA) dell'Università di Genova, con riferimento al periodo compreso tra il 1979 e il 2018.

L'elaborazione degli eventi estremi è stata condotta suddividendo il settore di traversia 150°-340°N nei 3 subsettori precedentemente individuati: 150°÷220°N (Mezzogiorno-Libeccio), 220°÷280°N (Libeccio-Ponente) e 280°÷340°N (Maestrale). Di seguito in Tabella 5.2 vengono riportati gli eventi massimi annuali ricavati dalla serie storica disponibile, rispettivamente per il settore 150°÷220°N, 220°÷280°N e 280°÷340°N. Si osserva che gli eventi caratterizzati dai valori più elevati di altezza significativa provengono dal settore di Ponente. Nella successiva Figura 5.5 si riporta graficamente la distribuzione degli eventi massimi annuali individuati per i tre settori, in funzione della direzione di provenienza.

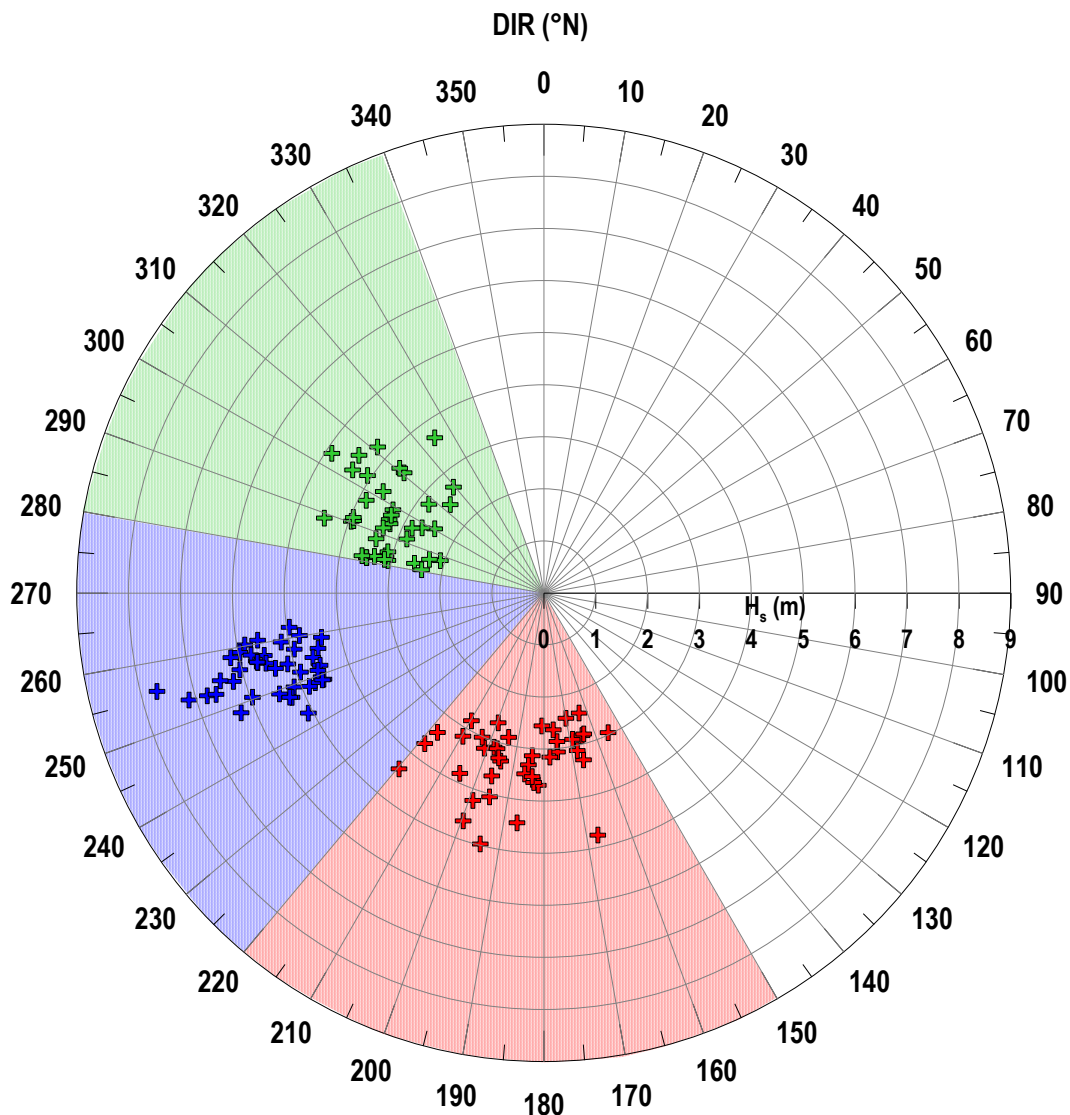


Figura 5.5- Distribuzione dei massimi annui considerati nell'analisi di Gumbel

Anno	Settore 150°÷220°N						Settore 220°÷280°N						Settore 280°÷340°N					
	Data (mm/gg/hh)			Hs (m)	Tp (s)	DIR (°N)	Data (mm/gg/hh)			Hs (m)	Tp (s)	DIR (°N)	Data (mm/gg/hh)			Hs (m)	Tp (s)	DIR (°N)
1979	12	22	19	3.82	7.7	205.1	1	1	9	5.85	10.6	260.2	1	1	21	4.47	10.2	288.8
1980	10	18	2	3.37	9.2	217.5	12	6	10	5.69	11.1	256.8	10	25	11	3.96	7.6	290.4
1981	12	29	7	3.06	7.2	175.1	12	16	14	5.97	10.7	259.0	12	1	16	3.12	10.7	282.8
1982	11	8	20	3.69	8.4	181.7	12	11	2	4.48	9.2	256.3	3	11	12	3.48	8.4	281.3
1983	3	15	23	2.86	7.7	168.9	11	27	19	4.78	9.1	260.2	1	31	6	4.89	9.2	303.3
1984	10	4	23	2.86	7.0	175.0	1	24	3	5.52	10.6	257.5	2	9	5	3.66	7.9	302.2
1985	1	26	16	2.64	7.0	199.5	11	13	17	5.14	10.1	249.5	3	2	23	2.56	7.6	282.9
1986	1	31	1	2.95	8.3	155.2	12	19	9	6.22	10.4	254.2	1	6	20	3.30	8.7	295.3
1987	11	24	9	3.31	7.6	185.2	6	15	23	5.12	9.3	254.6	11	20	19	2.44	7.8	300.4
1988	2	12	6	3.16	7.3	209.6	12	6	3	6.46	10.4	254.9	2	13	0	3.49	11.2	281.3
1989	2	25	21	3.11	7.6	198.0	2	27	3	5.45	10.3	249.2	9	2	18	2.68	6.4	319.4
1990	11	25	12	4.05	8.4	195.0	2	27	17	6.78	11.0	253.1	12	13	5	2.09	9.9	287.4

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA  
1233\_PP-D-001\_1.docx

1991	11	15	18	<b>2.82</b>	7.7	209.7	11	14	20	<b>4.62</b>	9.2	254.5	12	21	5	<b>3.07</b>	10.4	281.8
1992	3	31	15	<b>3.49</b>	7.8	186.1	10	26	2	<b>5.77</b>	10.2	258.1	9	4	20	<b>3.14</b>	8.5	283.2
1993	4	2	18	<b>3.64</b>	8.0	183.1	12	24	18	<b>4.95</b>	9.9	262.4	12	11	18	<b>3.11</b>	8.5	284.8
1994	1	6	18	<b>3.19</b>	7.3	201.1	9	16	23	<b>5.25</b>	9.8	247.6	1	1	16	<b>3.92</b>	8.8	290.8
1995	1	19	3	<b>2.85</b>	7.0	193.8	3	27	21	<b>5.59</b>	10.2	260.7	3	29	21	<b>4.26</b>	9.0	311.2
1996	11	12	4	<b>3.15</b>	7.4	177.9	11	20	18	<b>4.53</b>	9.3	252.2	7	8	21	<b>3.34</b>	11.1	282.2
1997	1	1	0	<b>3.13</b>	7.5	184.1	2	13	17	<b>4.93</b>	9.4	257.4	2	27	11	<b>3.25</b>	8.9	294.2
1998	4	15	17	<b>2.44</b>	6.7	170.0	9	12	15	<b>4.55</b>	9.3	248.7	1	20	14	<b>2.66</b>	8.9	298.1
1999	3	4	13	<b>3.12</b>	7.2	196.8	12	28	7	<b>7.69</b>	12.2	255.8	11	17	18	<b>3.58</b>	8.3	281.6
2000	11	6	14	<b>4.97</b>	9.2	194.3	9	21	4	<b>4.73</b>	9.2	248.7	3	2	7	<b>2.84</b>	8.5	291.5
2001	3	8	15	<b>2.83</b>	6.9	165.0	11	8	21	<b>5.52</b>	10.1	255.9	9	5	13	<b>2.40</b>	6.6	280.8
2002	11	16	10	<b>3.29</b>	7.7	166.6	2	20	20	<b>5.96</b>	10.5	250.4	2	21	19	<b>2.30</b>	9.4	286.4
2003	10	31	22	<b>3.65</b>	8.0	196.0	10	5	7	<b>5.67</b>	10.2	256.4	2	4	22	<b>3.86</b>	8.7	297.5
2004	12	27	19	<b>2.55</b>	7.0	180.9	1	14	0	<b>5.68</b>	10.1	256.5	12	18	11	<b>4.44</b>	8.9	306.6
2005	12	3	3	<b>4.64</b>	8.6	199.6	3	12	19	<b>4.93</b>	9.7	252.1	12	17	15	<b>3.55</b>	7.5	310.6
2006	3	5	7	<b>3.69</b>	10.1	218.5	4	11	2	<b>4.58</b>	9.4	248.7	3	12	10	<b>2.80</b>	7.1	307.6
2007	11	23	0	<b>2.40</b>	6.4	163.6	1	24	10	<b>5.29</b>	10.8	247.8	11	9	18	<b>3.67</b>	7.8	310.8
2008	12	1	5	<b>4.38</b>	8.4	219.6	3	21	18	<b>7.14</b>	11.9	253.3	11	22	11	<b>3.32</b>	7.3	298.8
2009	1	20	9	<b>3.33</b>	7.6	194.5	4	29	12	<b>4.60</b>	9.2	251.2	10	12	22	<b>2.48</b>	6.8	313.3
2010	10	31	0	<b>3.09</b>	7.0	168.0	3	31	14	<b>4.86</b>	9.3	248.4	11	26	14	<b>3.34</b>	7.6	292.0
2011	11	5	15	<b>2.81</b>	7.1	164.2	12	16	20	<b>6.27</b>	10.9	248.5	9	19	11	<b>3.4</b>	7.9	287.9
2012	12	15	6	<b>3.01</b>	7.1	203.3	10	28	3	<b>5.09</b>	9.9	243.1	1	6	7	<b>4.08</b>	9.2	303.6
2013	12	26	3	<b>4.44</b>	8.9	186.7	3	19	2	<b>5.37</b>	10.1	254.4	5	24	8	<b>3.95</b>	9.0	291.6
2014	2	5	19	<b>3.28</b>	7.4	195.4	12	27	17	<b>4.37</b>	8.9	258.8	10	22	5	<b>3.65</b>	6.8	324.8
2015	4	27	13	<b>2.63</b>	6.8	176.1	11	20	23	<b>6.04</b>	11.0	255.9	11	21	16	<b>2.83</b>	8.5	296.2
2016	3	5	13	<b>3.53</b>	7.8	183.7	1	12	5	<b>6.16</b>	10.3	258.4	3	3	4	<b>3.30</b>	8.6	297.0
2017	12	11	11	<b>4.21</b>	8.5	199.0	3	6	20	<b>5.15</b>	9.3	259.5	11	13	4	<b>4.38</b>	7.7	302.7
2018	10	29	15	<b>4.76</b>	9.2	167.4	1	17	4	<b>6.61</b>	10.5	252.9	1	17	17	<b>3.14</b>	9.1	281.9

Tabella 5.2- Eventi massimi annuali ricavati dalla serie storica per i tre settori individuati: 150°÷220°N (Mezzogiorno-Libeccio), 220°÷280°N (Libeccio-Ponente) e 280°÷340°N (Maestrale)

Utilizzando le altezze significative massime relative a ciascun anno di osservazione, è stata condotta una statistica degli eventi estremi “al largo”, per i tre settori individuati, per il periodo da gennaio 1979 a dicembre 2018. L’analisi statistica è stata condotta utilizzando il metodo sviluppato da Gumbel; in Figura 5.6 sono riportati i risultati delle elaborazioni statistiche per i tre settori considerati.

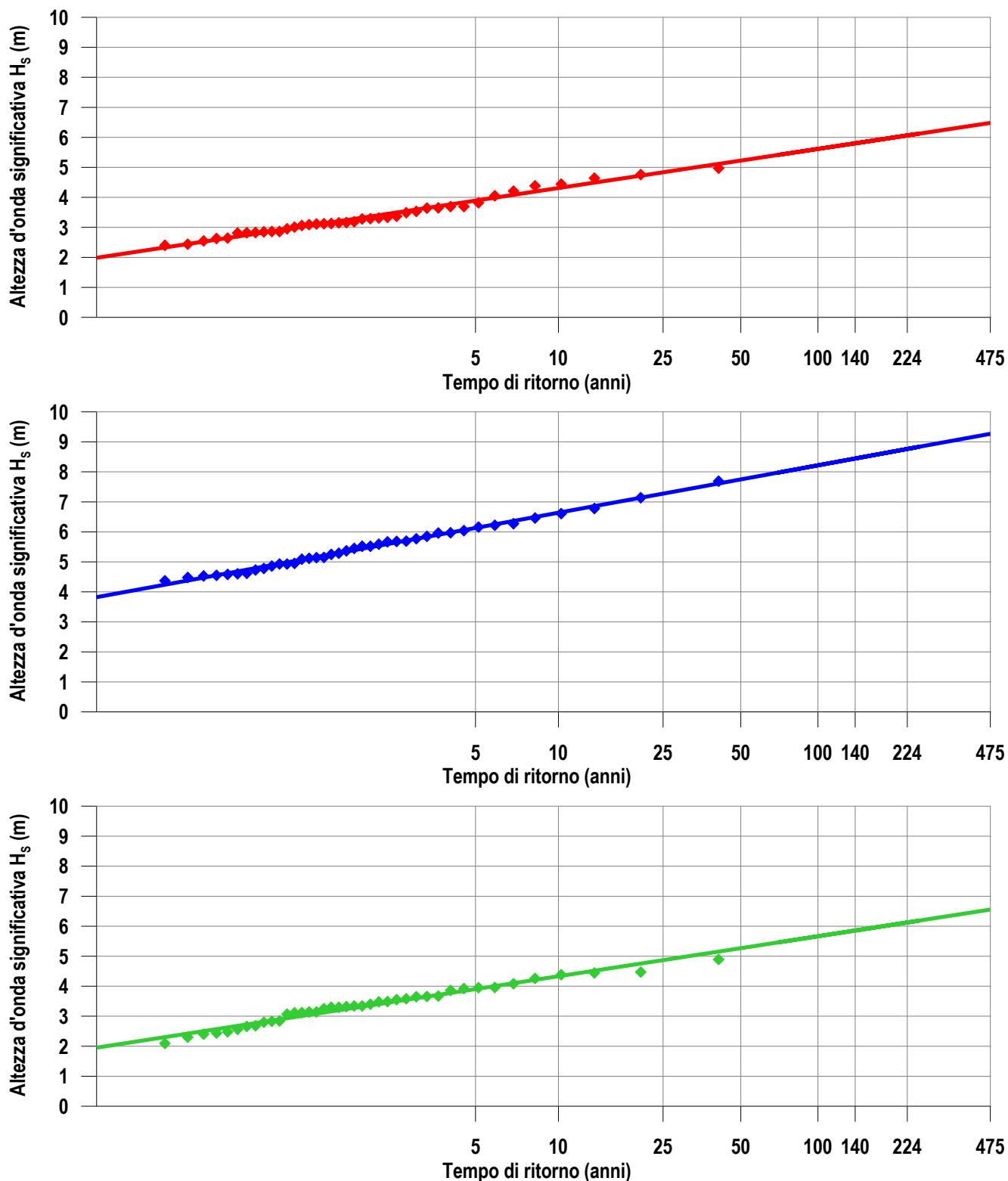


Figura 5.6- Elaborazione statistica degli eventi estremi (metodo di Gumbel) per i te settori individuati: in alto  $150^{\circ}\div 220^{\circ}N$  (Mezzogiorno-Libeccio), al centro  $220^{\circ}\div 280^{\circ}N$  (Libeccio-Ponente) e in basso  $280^{\circ}\div 340^{\circ}N$  (Maestrale)

Nella successiva Tabella 5.3 si riportano i valori di altezza significativa ricavati dall'analisi statistica degli eventi estremi in funzione del tempo di ritorno; per quanto riguarda i tempi di ritorno in tabella sono evidenziati in grassetto i valori utilizzati per l'analisi dell'agitazione ondosa e per il calcolo delle portate di tracimazione ( $T_R$  50 anni) e per i dimensionamenti delle opere ( $T_R$  140, 224 e 475 anni).

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA  
1233\_PP-D-001\_1.docx

In Figura 5.7 si riporta in un unico grafico, a titolo di confronto, l'analisi statistica degli estremi per i tre settori; si osserva come i due settori di Mezzogiorno-Libeccio e Maestrale siano caratterizzati da valori di altezza d'onda pressoché coincidenti, mentre il settore centrale (Libeccio-Ponente) è invece caratterizzato dagli eventi più intensi (con valori di  $H_s$  maggiori di 8 m per tempi di ritorno superiori ai 100 anni).

$T_R$ (anni)	Settore 150°÷220°N	Settore 220°÷280°N	Settore 280°÷340°N
	$H_s$ (m)	$H_s$ (m)	$H_s$ (m)
1	1.98	3.82	1.95
25	4.83	7.27	4.86
50	5.22	7.74	5.26
100	5.61	8.21	5.66
140	5.80	8.44	5.85
224	6.06	8.76	6.12
475	6.48	9.27	6.55

Tabella 5.3- Risultati statistica degli estremi per i tre settori individuati: 150°÷220°N (Mezzogiorno-Libeccio), 220°÷280°N (Libeccio-Ponente) e 280°÷340°N (Maestrale)

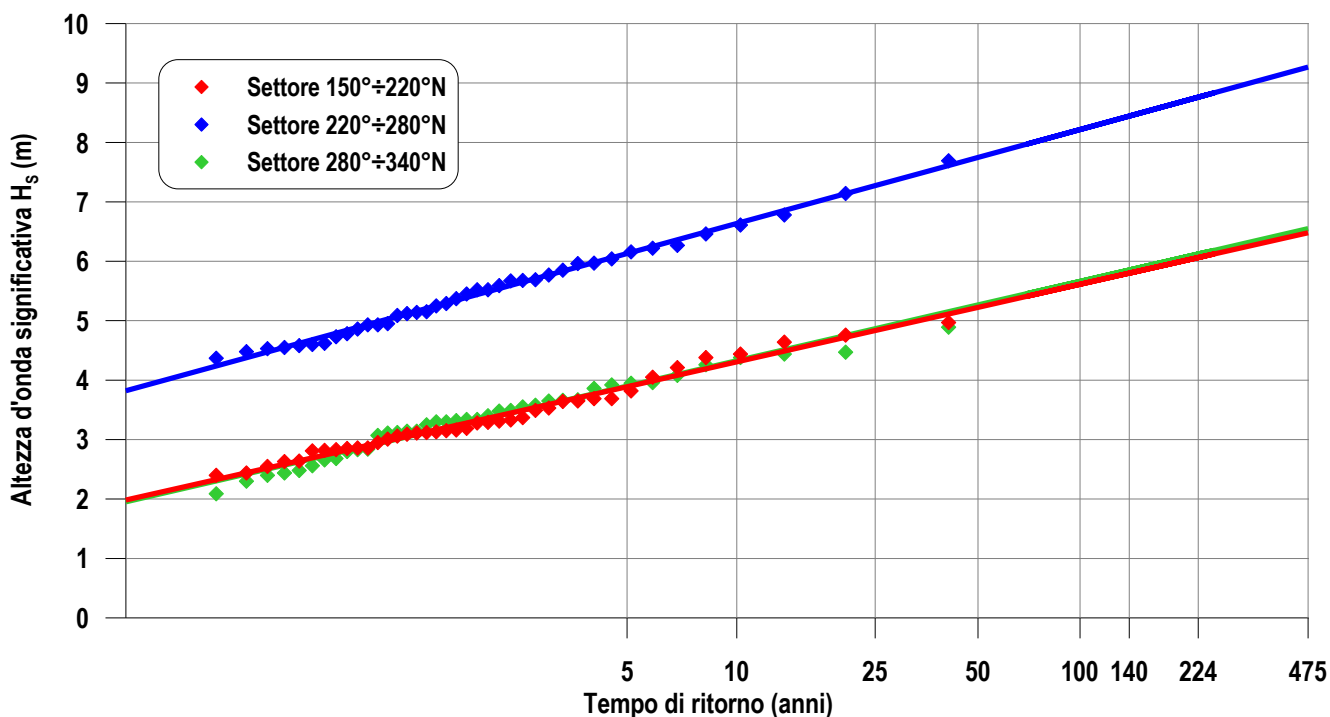


Figura 5.7- Elaborazione statistica degli eventi estremi (metodo di Gumbel): tre settori a confronto

### 5.1.2 Correlazione tra altezza-e periodo per gli eventi estremi

Al fine di associare a ciascun evento estremo al largo (caratterizzato da una determinata altezza d'onda significativa) il corrispondente periodo di picco, è stata eseguita un'analisi della correlazione tra



periodo e altezza significativa per gli eventi massimi annuali considerati nell'analisi statistica degli estremi (gennaio 1979 - dicembre 2018).

Nel dettaglio, è stata ricavata per ciascuno dei tre settori una curva di interpolazione dei dati di altezza d'onda significativa in funzione del periodo di picco ( $H_s - T_p$ ), del tipo  $T_p = A+B*H_s^{0.5}$ ; le curve ottenute da tale analisi sono riportate nella successiva Figura 5.8.

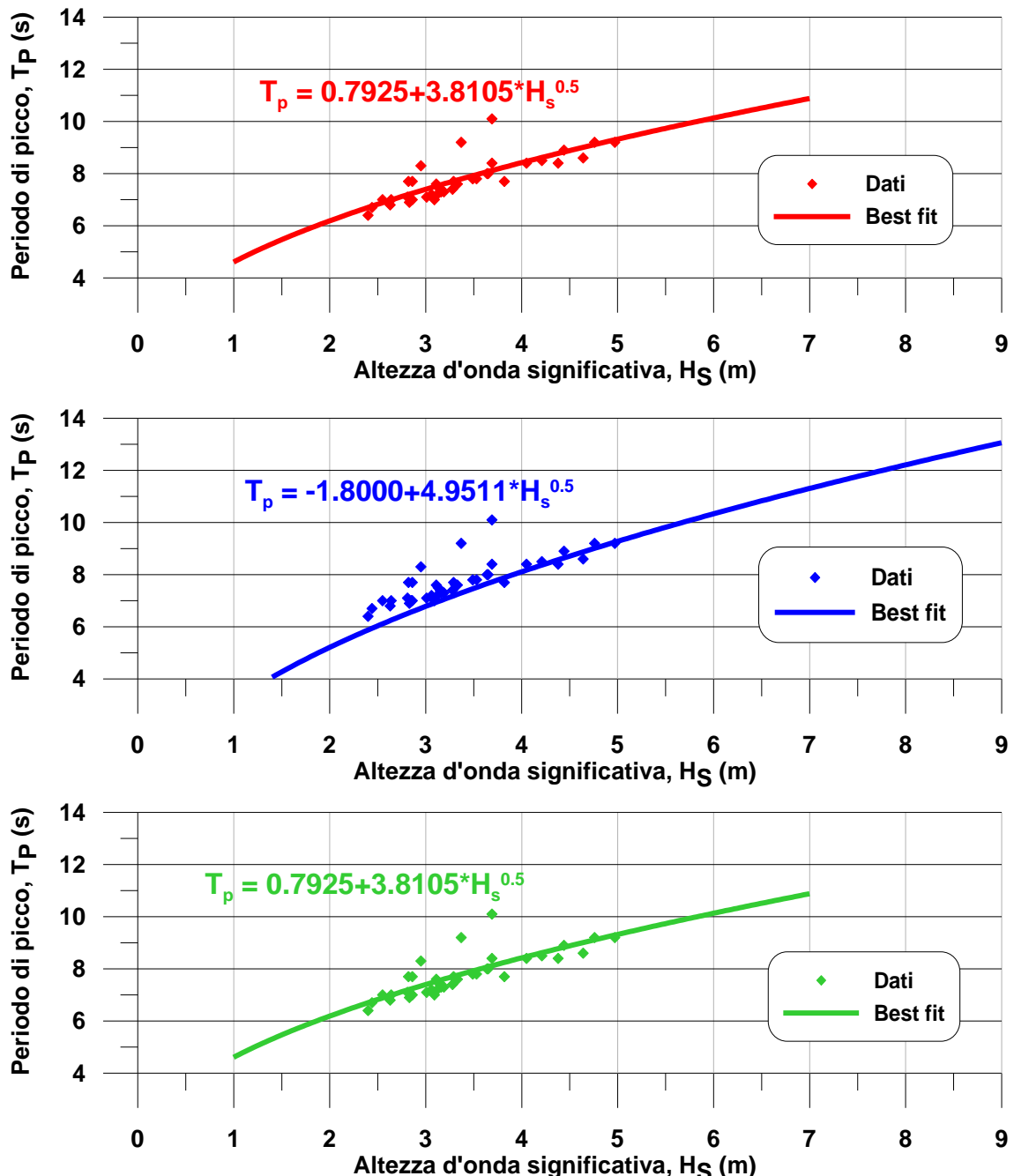


Figura 5.8- Correlazione altezza-periodi per gli eventi estremi appartenenti ai tre settori individuati: in alto  $150^\circ \div 220^\circ N$  (Mezzogiorno-Libeccio), al centro  $220^\circ \div 280^\circ N$  (Libeccio-Ponente) e in basso  $280^\circ \div 340^\circ N$  (Maestrale)

Utilizzando le correlazioni ricavate dall'interpolazione dei dati di base, è stato possibile associare a ciascun evento estremo il corrispondente periodo di picco  $T_p$  (Tabella 5.4); in grassetto sono evidenziati i valori utilizzati per l'analisi dell'agitazione ondosa e per il calcolo della portata di tracimazione ( $T_R$  50 anni) e per i dimensionamenti delle opere ( $T_R$  140, 224 e 475 anni).

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA  
1233\_PP-D-001\_1.docx

T <sub>R</sub> (anni)	Settore 150°÷220°N		Settore 220°÷380°N		Settore 280°÷340°N	
	Hs (m)	Tp (s)	Hs (m)	Tp (s)	Hs (m)	Tp (s)
1	1.98	6.15	3.82	8.46	1.95	8.04
25	4.83	9.17	7.27	11.63	4.86	8.96
50	<b>5.22</b>	<b>9.50</b>	<b>7.74</b>	<b>12.00</b>	<b>5.26</b>	<b>9.06</b>
100	5.61	9.82	8.21	12.40	5.66	9.16
140	<b>5.80</b>	<b>9.97</b>	<b>8.44</b>	<b>12.52</b>	<b>5.85</b>	<b>9.21</b>
224	6.06	10.17	8.76	12.75	6.12	9.27
475	6.48	10.49	9.27	13.11	6.55	9.37

Tabella 5.4- Periodi di picco associati agli estremi per i tre settori individuati:  
150°÷220°N (Mezzogiorno-Libeccio), 220°÷280°N (Libeccio-Ponente) e 280°÷340°N (Maestrale)

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PP-D-001\_1.docx

## 5.2 Dati registrati dalla BOA di Gorgona

I dati utilizzati nello studio per confronto con i dati acquisiti dal DICCA sono stati forniti dal Committente e si riferiscono alla boa ondometrica di Gorgona; il periodo analizzato va da ottobre 2008 a ottobre 2018 (circa 10 anni di misurazioni). La boa è ubicata al largo della costa tirrenica della Toscana, in corrispondenza del punto di coordinate E 577279 m, N 4824560 m (sistema di riferimento UTM32 WGS84). La boa si trova più al largo rispetto al punto UNIGE su un fondale di oltre 100 m (Figura 5.9).

Nella successiva Figura 5.10 si riportano a confronto i valori di altezza significativa misurati dalla boa ondometrica di Gorgona e i valori ricavati con la procedura del “wave hindcasting” (punto UNIGE) per il periodo ottobre 2008 – ottobre 2018. Si osserva una buona compatibilità e sincronia tra le due serie di dati, anche se va osservato che mediamente i picchi di altezza significativa sono più elevati per la boa ondometrica rispetto al punto UNIGE.

Al fine di valutare la veridicità e l’attendibilità dei dati misurati (boa) rispetto a quelli ricostruiti da modello (UNIGE), soprattutto per quanto riguarda i valori massimi e di conseguenza l’analisi statistica degli eventi estremi, si è proceduto ad un confronto diretto tra le rose dei massimi annui (Figura 5.11); l’analisi è stata condotta sempre con riferimento al periodo 2008-2018. Dall’analisi delle rose si osserva una buona corrispondenza dei massimi, che risultano in entrambi i casi di poco inferiori a 8 m, per il settore centrale (Libeccio-Ponente  $220^{\circ}\div 280^{\circ}\text{N}$ ); mentre per i settori di Mezzogiorno-Libeccio ( $150^{\circ}\div 220^{\circ}\text{N}$ ) e Maestrale ( $280^{\circ}\div 340^{\circ}\text{N}$ ) la boa ha registrato valori di altezza significativa più elevati (valori evidenziati in rosso in Figura 5.11). Si è quindi proceduto ad un’analisi di dettaglio dei 3 eventi evidenziati in rosso; si tratta di due mareggiate ricadenti nel settore  $150^{\circ}\div 220^{\circ}\text{N}$  (eventi del 18 luglio 2009 e del 10 febbraio 2016) e uno nel settore  $280^{\circ}\div 340^{\circ}\text{N}$  (evento del 14 settembre 2015).



Figura 5.9 - Posizione della BOA di Gorgona a confronto con il punto UNIGE

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PP-D-001\_1.docx

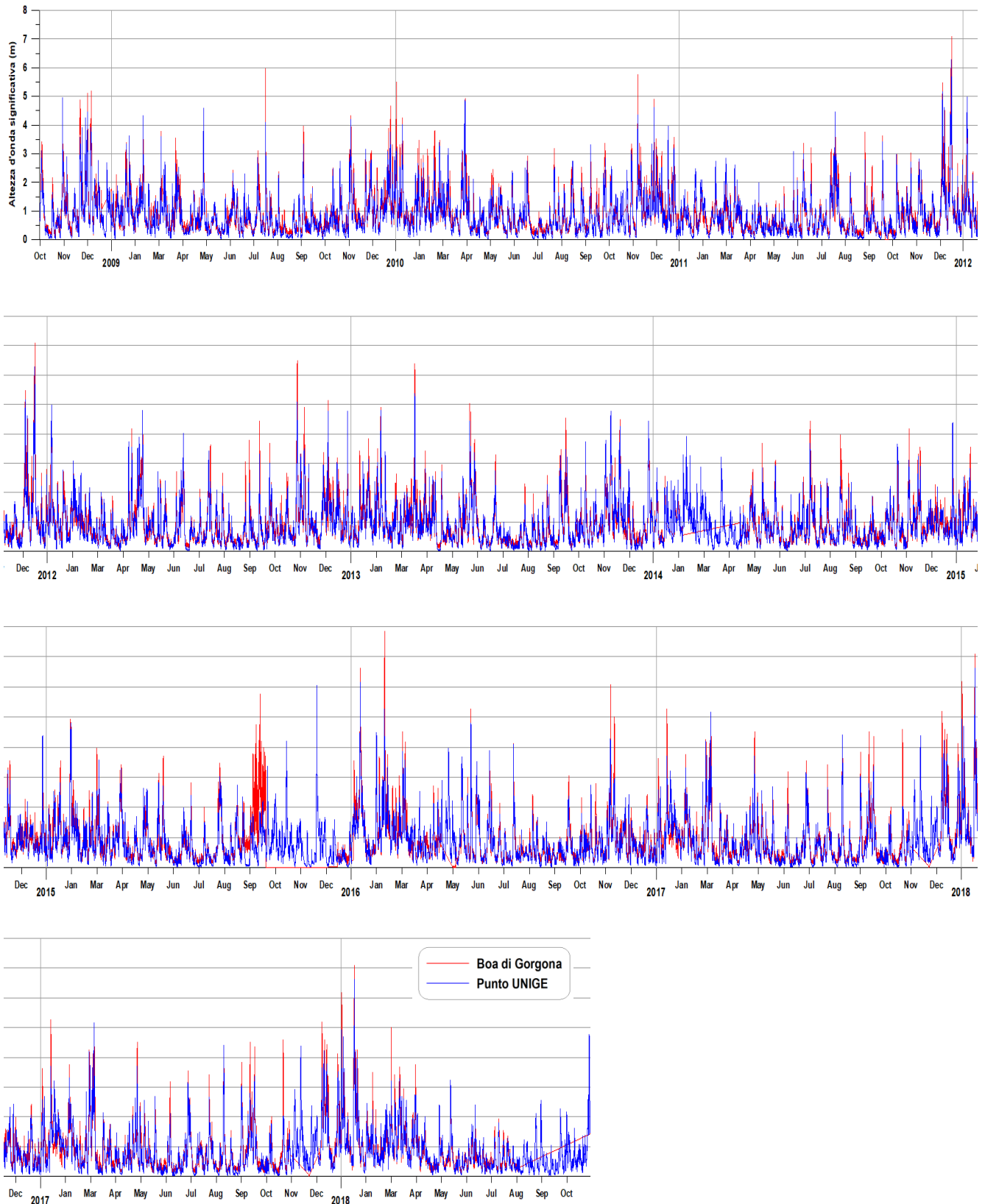


Figura 5.10- Confronto tra la serie storica dei dati misurati dalla boa di Gorgona e dei dati relativi al punto UNIGE (parametro rappresentato: altezza d'onda significativa)

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PP-D-001\_1.docx

Per gli eventi estremi provenienti dal settore di Mezzogiorno-Libeccio ( $150^{\circ}\div 220^{\circ}\text{N}$ ) si osserva come in corrispondenza del picco di  $H_s$  la direzione di provenienza registrata dal sensore della boa subisca una brusca variazione (Figura 5.12): durante tutta la mareggiata i valori della direzione si mantengono pressoché costanti attorno ai  $240^{\circ}\text{N}$  per poi “saltare” di circa  $30^{\circ}$  in corrispondenza del picco (passando rispettivamente a  $205^{\circ}$  e  $210^{\circ}\text{N}$ ). Analizzando solo il valore massimo, i due eventi verrebbero quindi inseriti nel settore  $150^{\circ}\div 220^{\circ}\text{N}$  (cfr. vedi analisi rosa dei massimi annui in Figura 5.11) mentre in realtà, osservando l’andamento della direzione di provenienza per tutta la mareggiata, sarebbe più corretto inserirli nel settore di Libeccio-Ponente ( $220^{\circ}\div 280^{\circ}\text{N}$ ), dove peraltro i valori misurati per i massimi annui sono confrontabili con quelli del punto UNIGE.

Per quanto riguarda, invece, l’evento di Maestrale (setto  $280^{\circ}\div 340^{\circ}\text{N}$ ), si osserva un andamento anomalo sia delle altezze significative che delle direzioni di provenienza con valori che variano bruscamente di oltre 1 m per le altezze e quasi  $100^{\circ}$  per le direzioni (Figura 5.13).

In base all’analisi condotta si può affermare che gli eventi massimi annui “anomali” registrati dalla boa per il settore  $150^{\circ}\div 220^{\circ}\text{N}$  appartengano di fatto al settore principale di Libeccio-Ponente ( $220^{\circ}\div 280^{\circ}\text{N}$ ), mentre l’evento anomalo registrato per il settore  $280^{\circ}\div 340^{\circ}\text{N}$  non è inquadrabile in nessun settore specifico (a causa di un probabile malfunzionamento dei sensori).

Alla luce di quanto evidenziato, si ritiene che i massimi annui registrati dalla boa (con le dovute correzioni delle anomalie) siano sostanzialmente analoghi, per provenienza e altezza massima, a quelli del punto UNIGE. Per l’analisi statistica degli estremi, utilizzata ai fini dello studio della penetrazione del moto ondoso e del dimensionamento delle opere, si è quindi fatto riferimento al database fornito dal DICCA che copre un periodo di 40 anni (cfr. precedente paragrafo 5.1.1).

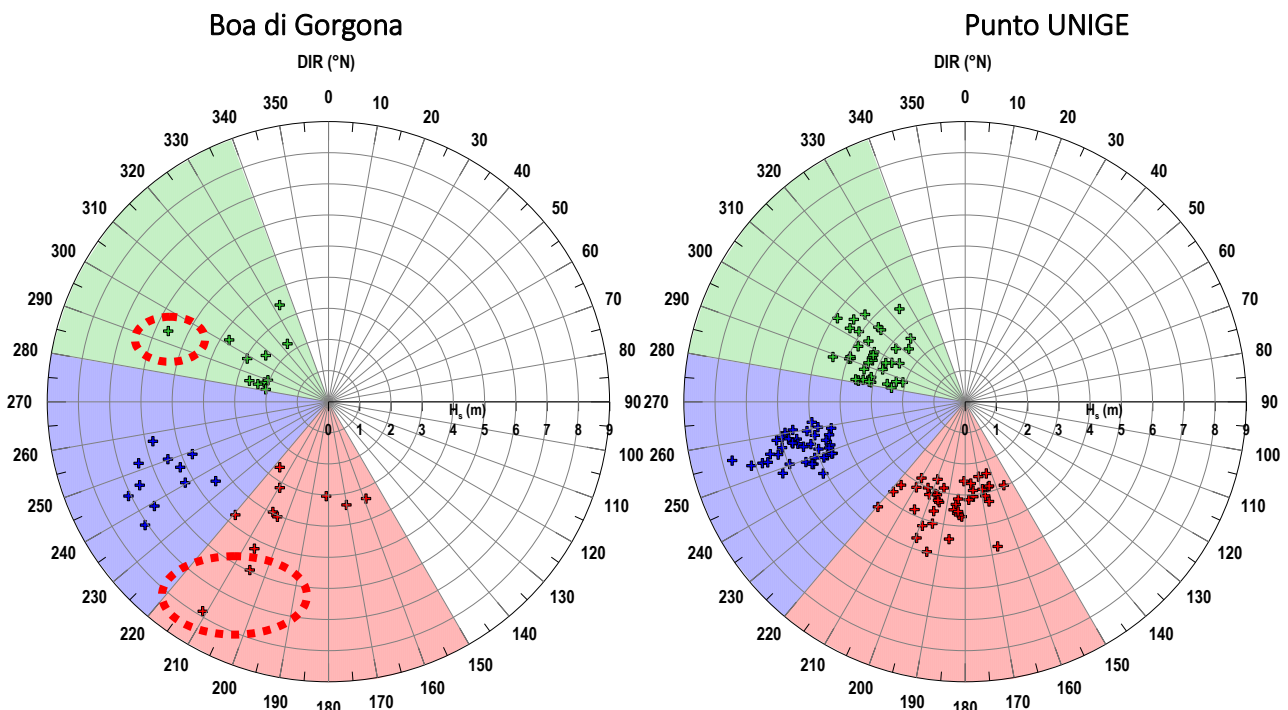


Figura 5.11- Confronto tra la rosa dei massimi annui della boa di Gorgona (a sinistra) e del punto UNIGE (a destra) per il periodo da ottobre 2008 a ottobre 2018. I picchi anomali della boa sono evidenziati in rosso.

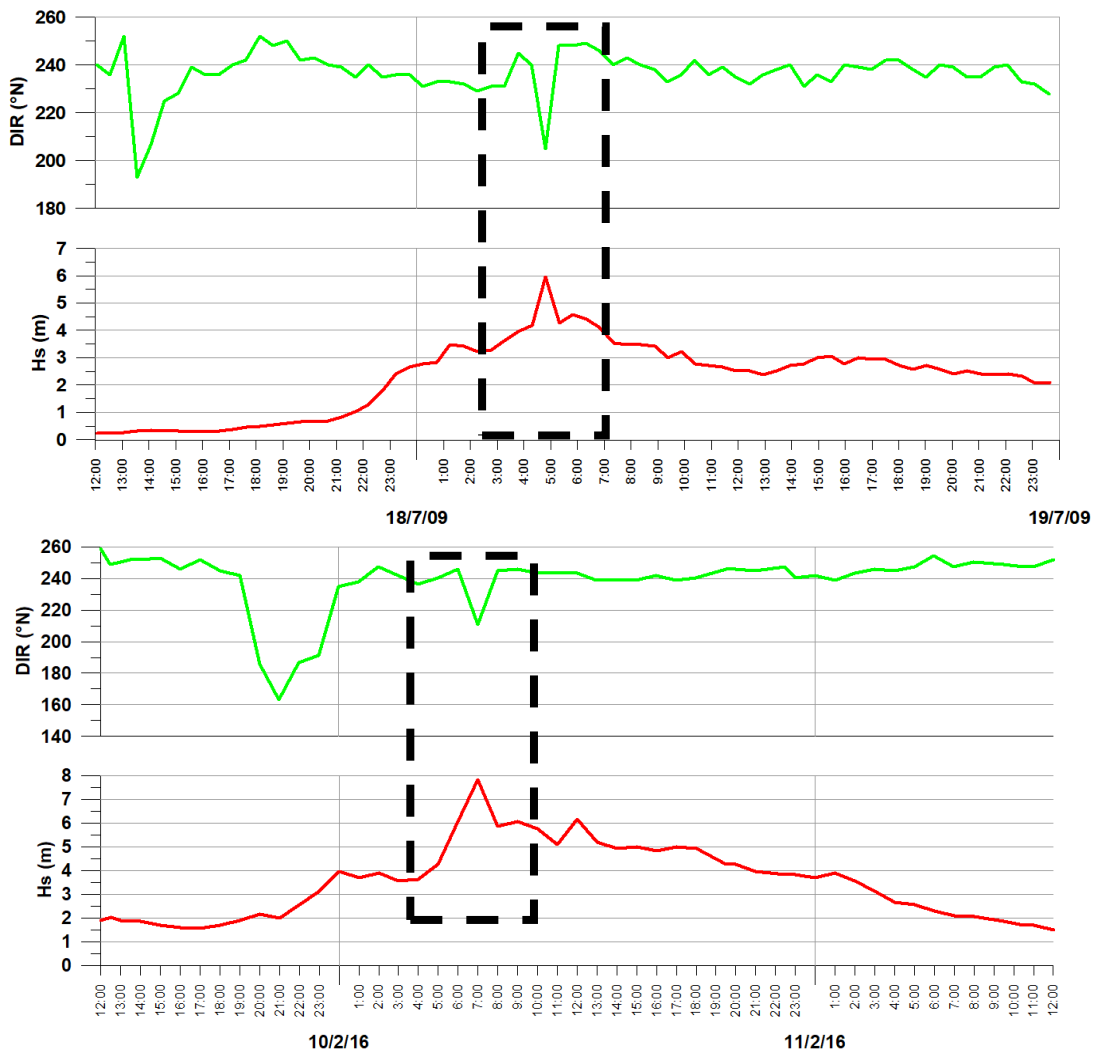


Figura 5.12- Picchi anomali (massimi annui registrati dalla Boa di Gorgona) per il settore 150°÷220°N

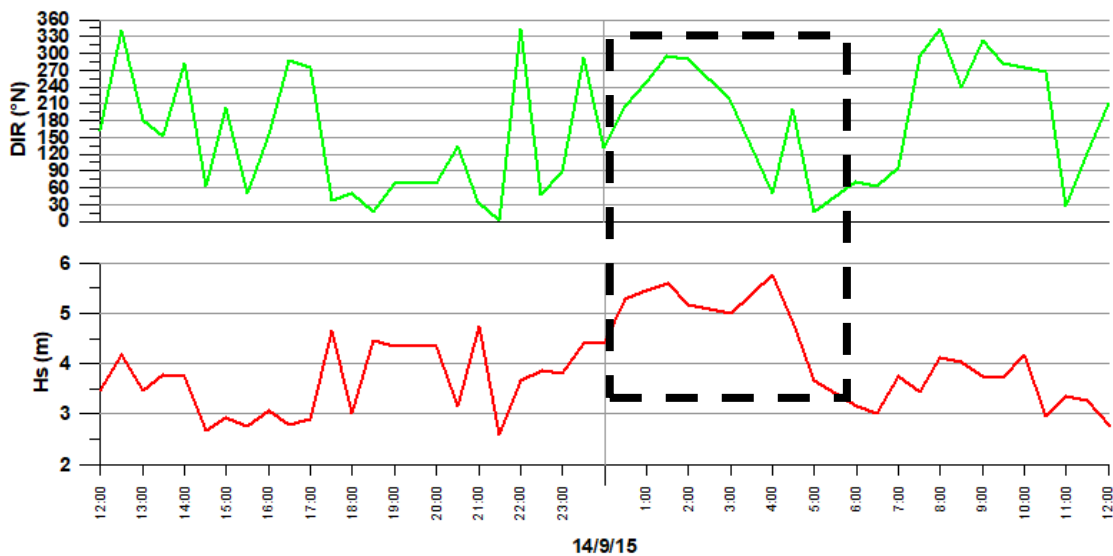


Figura 5.13- Picco anomalo (massimo annuo registrato dalla Boa di Gorgona) per il settore 280°÷340°N

## 6 REGIME ANEMOLOGICO

Il regime anemologico del paraggio è stato rappresentato con riferimento ai dati acquisiti dal Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale (DICCA) dell'Università di Genova; tali dati coprono il periodo da gennaio 1979 a dicembre 2018.

Nella successiva Tabella 6.1 sono riportate le caratteristiche del regime anemologico riferito al punto UNIGE; i dati di vento sono stati ordinati per classi di velocità e direzione media di provenienza (Figura 6.1). Il numero di registrazioni si riferisce al totale delle "registrazioni" (350.635) nel periodo di analisi (da gennaio 1979 a dicembre 2018).

In Figura 6.2 sono riportate rispettivamente le rose delle registrazioni e delle velocità massime del vento per il paraggio di Livorno. Si può notare che i venti regnanti provengono da Greco Levante, mentre i venti dominanti (caratterizzati da velocità massime di poco superiori ai 23 m/s) provengono da grecale (55 °N) e Ponente (255 °N).

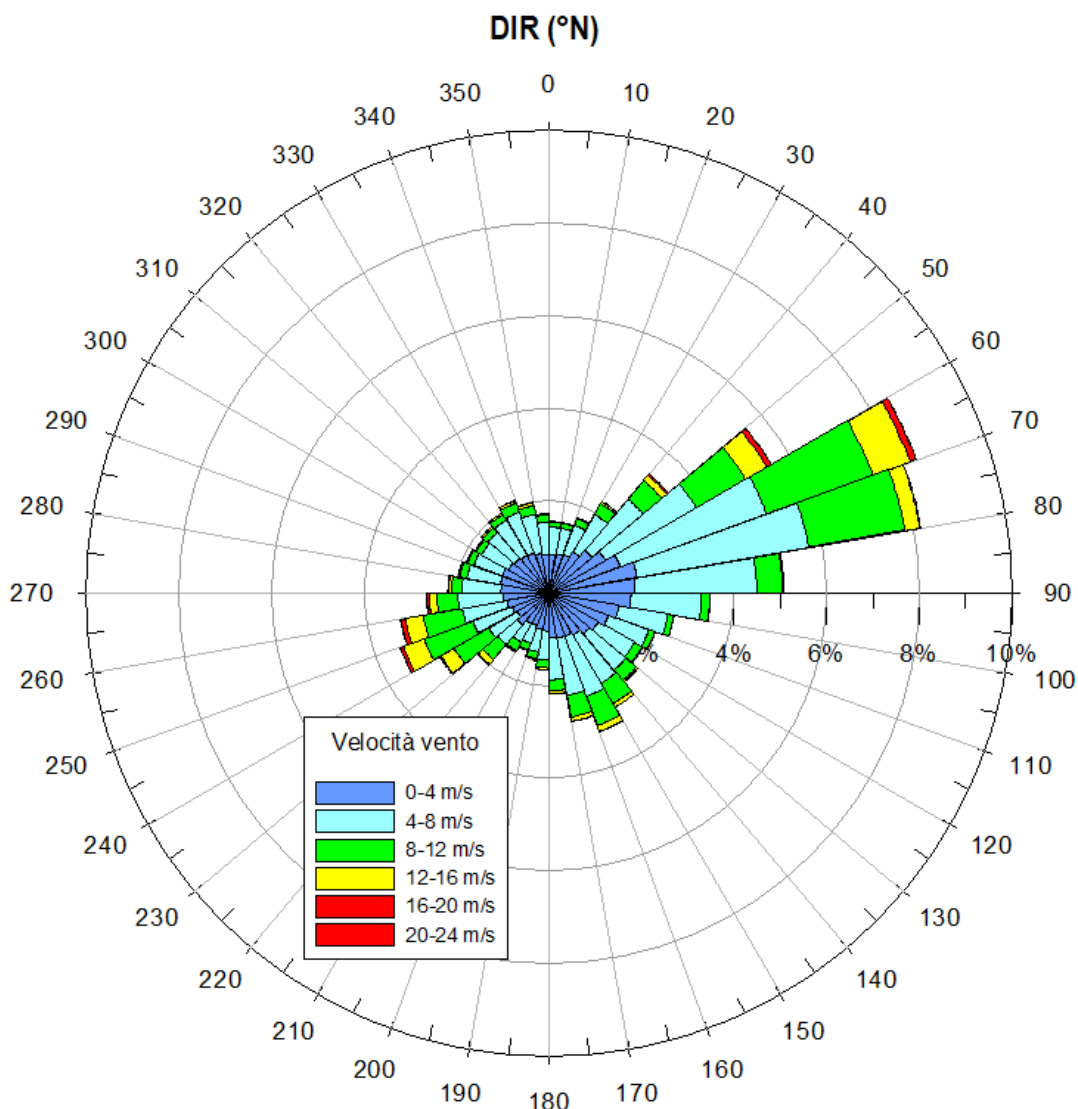


Figura 6.1- Rosa a cannocchiale [Punto UNIGE]

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PP-D-001\_1.docx

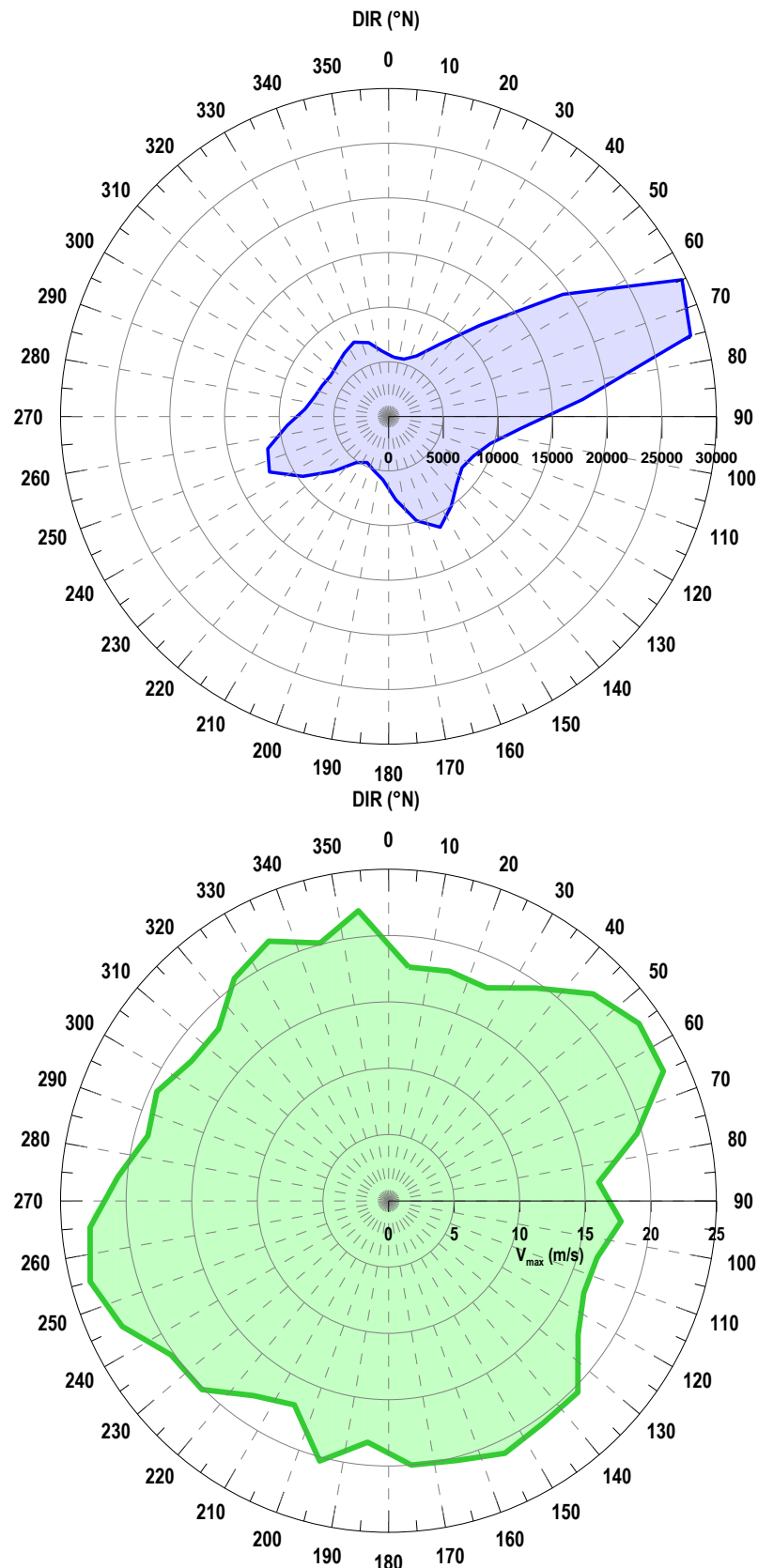


Figura 6.2- Rosa delle registrazioni anemometriche (a sx, in blu) e delle velocità massime del vento (a dx, in verde) [Punto UNIGE]



Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA  
1233\_PP-D-001\_1.docx

		Velocità del vento (m/s)											
DIR		0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0	22.0
(°N)		2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0	22.0	24.0
0	10	1041	1867	1401	698	285	107	28	13	1	0	0	0
10	20	1072	1930	1362	644	265	106	26	21	4	0	0	0
20	30	1088	2039	1561	803	365	184	46	20	5	0	0	0
30	40	1207	2406	2032	1246	595	350	126	38	16	2	0	0
40	50	1270	2952	2978	2111	1157	682	363	149	77	48	8	1
50	60	1374	3562	4244	3711	2550	1773	1210	622	273	117	20	10
60	70	1379	4381	5958	5847	4652	3901	2162	839	335	130	23	5
70	80	1438	5347	6997	6213	4757	2636	951	213	50	7	0	0
80	90	1467	5072	5718	3498	1462	465	97	28	1	0	0	0
90	100	1569	4637	3808	1554	485	120	31	13	1	0	0	0
100	110	1460	3924	2733	1036	331	109	27	3	2	0	0	0
110	120	1374	3436	2227	1024	363	111	29	12	1	0	0	0
120	130	1289	3020	2096	1071	489	181	41	5	3	0	0	0
130	140	1192	2827	2168	1417	704	356	112	31	7	1	1	0
140	150	1163	2487	2255	1970	1231	569	231	77	14	3	1	0
150	160	1122	2349	2366	2466	1605	769	344	125	36	4	1	0
160	170	1095	2350	2302	2106	1141	526	228	98	25	2	2	0
170	180	1197	2166	1856	1335	557	280	156	81	20	11	0	0
180	190	995	1862	1421	792	358	225	115	39	14	1	0	0
190	200	1078	1721	1040	678	314	216	73	12	6	1	1	0
200	210	986	1635	892	538	370	156	44	18	4	0	0	0
210	220	1083	1585	893	699	502	251	89	35	9	0	0	0
220	230	1484	1620	970	972	871	642	377	109	30	12	1	0
230	240	1041	1738	1175	1320	1553	1481	843	307	77	20	1	0
240	250	1019	1948	1485	1704	2107	1830	1092	566	195	55	8	4
250	260	1082	2156	1658	1776	1676	1332	888	498	237	103	23	12
260	270	1145	2377	1825	1560	996	598	344	239	146	49	13	3
270	280	1112	2526	1793	1183	524	246	155	68	43	14	2	0
280	290	1114	2622	1723	869	399	149	70	32	13	5	0	0
290	300	1157	2620	1564	735	334	163	80	27	4	3	0	0
300	310	1129	2432	1575	751	311	153	80	26	9	2	0	0
310	320	1113	2328	1686	909	309	162	86	44	15	2	0	0
320	330	1128	2188	1867	1234	305	182	92	46	11	4	1	0
330	340	1096	2150	1922	1379	451	264	132	73	27	4	3	0
340	350	1061	2015	1815	1173	406	256	152	67	30	12	1	0
350	360	1017	1915	1575	866	342	203	79	22	8	0	2	0

Tabella 6.1- RegISTRAZIONI ordinate per velocità del vento e direzione di provenienza (in parti per 350'635) - Punto UNIGE (10°8'38.4"E, 43°30'00"N)

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PP-D-001\_1.docx

## 7 MONITORAGGIO DELLE ONDE DI LUNGO PERIODO

### 7.1 Onde di lungo periodo e risonanza

La conformazione dei bacini portuali, unitamente a particolari condizioni meteomarine, può determinare il manifestarsi di fenomeni di risonanza, o comunque di oscillazioni di lungo periodo. Si tratta di fenomeni che possono determinare limitazioni all'operatività portuale (principalmente in relazione alle operazioni di carico/scarico e alla sicurezza degli ormeggi) e dovrebbero quindi essere oggetto di specifica valutazione.

Alcune componenti del moto ondoso o, più spesso, delle componenti infragravitazionali ad esso associate, tendono ad amplificarsi una volta entrate nel bacino; il fattore determinante per l'insorgere di tale fenomeno è il periodo dell'oscillazione. Le oscillazioni di lungo periodo, ancorché poco documentate in letteratura (perché richiedono una specifica e più complessa analisi del segnale rispetto alle tipiche onde da vento), nella pratica non sono infrequenti e possono generarsi durante le mareggiate (come conseguenza di surf beats o altri fenomeni ancora da investigare). In linea generale, il fenomeno della risonanza si manifesta quando il moto ondoso raggiunge l'imboccatura di un porto ed interagisce dinamicamente con lo specchio d'acqua protetto, provocando l'amplificazione (per riflessioni successive) ovvero lo smorzamento delle diverse componenti dello spettro d'onda incidente, a seconda che queste coincidano o meno con i periodi propri di oscillazione del bacino (determinati principalmente dalle caratteristiche geometriche dello stesso).

In particolare, le onde lunghe (cioè quelle infragravitazionali, generate dall'interazione non lineare delle onde da vento), caratterizzate da periodi dell'ordine delle centinaia di secondi, sono le più critiche per l'insorgere di fenomeni di risonanza; si è riscontrato infatti, per molti bacini portuali già realizzati, la corrispondenza tra i periodi di picco di tali onde con i periodi propri di oscillazione del bacino portuale. Più raramente, fenomeni simili possono essere innescati da oscillazioni del bacino durante un terremoto (tsunami) o dalle escursioni della pressione dovute al transito di celle di convezione atmosferiche. Queste oscillazioni di lungo periodo (dette anche "sesse") possono essere amplificate dalla risposta dinamica del bacino dando origine ad ampi movimenti delle navi in banchina e provocando sforzi addizionali particolarmente elevati sulle cime e sui dispositivi di ormeggio, fino a compromettere l'integrità strutturale dei dispositivi stessi o rendere pericolose le attività del porto e l'ormeggio stesso delle navi.

In base a quanto sopra esposto, in fase di progettazione definitiva della Piattaforma Europa, verrà pertanto approfondito lo studio dell'agitazione ondosa con particolare riferimento alla potenziale inoperatività del porto indotta dai fenomeni di risonanza. L'analisi sarà condotta mediante studio su modello matematico (CGWAVE) con l'obiettivo di valutare la capacità di amplificazione delle componenti di lungo periodo del moto ondoso e di determinare le frequenze delle onde che possono generare fenomeni di risonanza all'interno del bacino portuale (come peraltro suggerito anche nelle "Raccomandazioni Tecniche per la Progettazione dei Porti Turistici", AIPCN – PIANC 2016). Poiché tali fenomeni sono legati a particolari condizioni d'onda, in questa fase (Progetto di Fattibilità) si è proceduto all'installazione di un misuratore di moto ondoso in prossimità dell'area di interesse per verificare se tali condizioni si presentino, e con che frequenza ed intensità. Lo strumento impiegato per la misura è in grado di acquisire in continuo dati di onde con periodi fino a 120 secondi.

Le misure sono state condotte a partire da aprile 2019; l'attività è tuttora in corso e si protrarrà presumibilmente fino alla primavera del prossimo anno. Nei successivi paragrafi sono descritti i risultati del monitoraggio, con alcuni esempi di elaborazione di singole mareggiate.

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PP-D-001\_1.docx

## 7.2 Ubicazione ondometro e installazione strumentazione

Il misuratore di moto ondoso è stato installato in prossimità dell'area di interesse (Figura 7.1), in corrispondenza del molo a Nord della darsena Morosini (molo della "Madonnina"); l'area è protetta dalla Diga della Vegliaia e dalla Diga Curvilinea.

Lo strumento è stato fissato sul lato esterno della banchina con idonei supporti (Figura 7.2). Il sistema di misura, alimentato da un pannello solare, è composto da un acquirente di dati e da una serie di sensori (acustico, anemometrico, temperatura aria e pressione atmosferica).

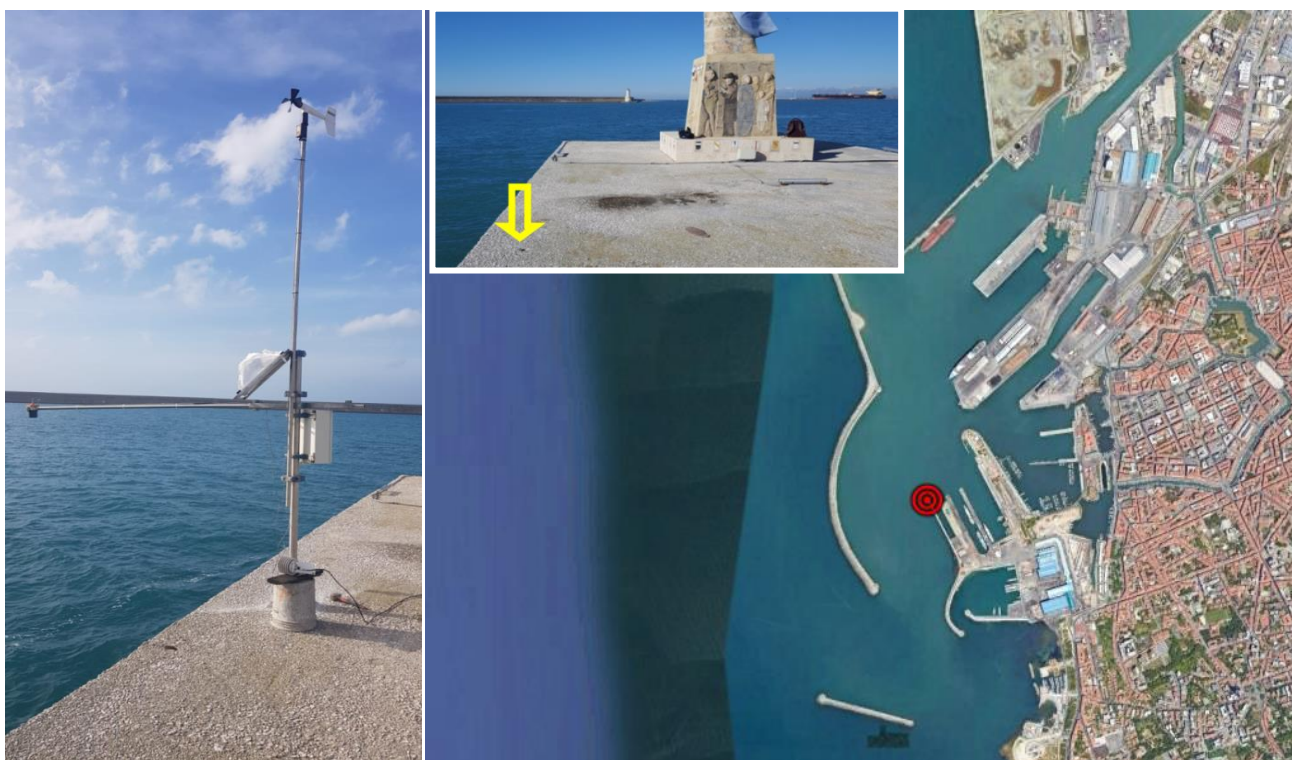


Figura 7.1 – Ubicazione misuratore di moto ondoso

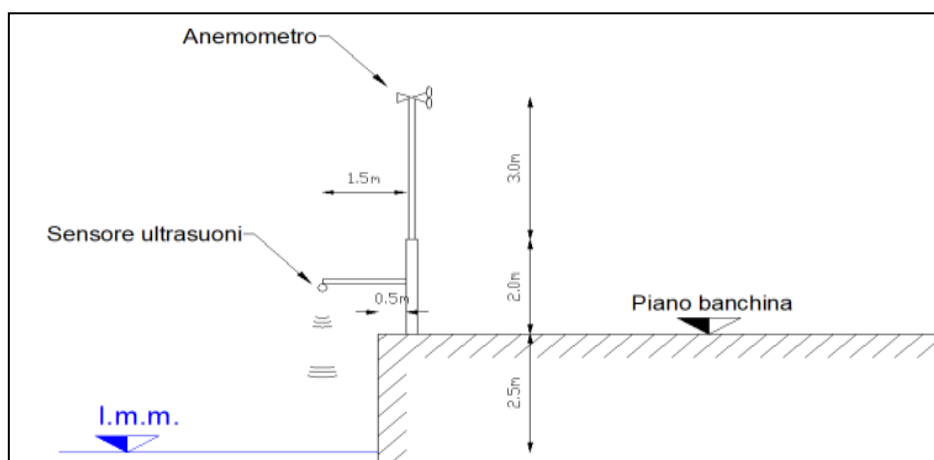


Figura 7.2 – Schema di installazione del misuratore di moto ondoso

Progetto:	Livello progettazione:	Elaborato:
Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Progetto di fattibilità tecnico economica	IDRAULICA MARITTIMA 1233_PP-D-001_1.docx

### 7.3 Analisi ed elaborazione dei dati registrati

Il datalogger gestisce le misure del sensore acustico posizionato ad un'altezza di circa 4 m dal livello del mare e campiona il segnale ad una frequenza di 4 Hz. Questa frequenza è considerata ottimale per l'acquisizione dei dati relativi alle onde da vento (tipicamente vengono campionati 10 punti per ogni periodo), consentendo una ottimale accuratezza e precisione nella determinazione delle grandezze caratteristiche del moto ondoso. Sull'unità di elaborazione della stazione è implementata una procedura di calcolo dei parametri caratteristici della mareggiata basata sia sul metodo delle onde apparenti che sull'analisi spettrale.

Per la gestione dei dati è stato installato nello strumento di misura un programma di analisi dei dati avente le seguenti funzioni:

- Acquisizione dati "Meteo" su base temporale oraria vengono acquisite dai sensori meteorologici le medie degli ultimi 5 minuti delle misure (marea, temperatura misura, pressione atmosferica, misura dell'alimentazione del sensore acustico, misura dell'alimentazione da pannello solare, misura della temperatura interna della scatola contenente la strumentazione); le ultime tre misure sono finalizzate al controllo del sistema;
- Acquisizione dati "Vento" ogni 15 minuti vengono acquisiti dal sensore anemometrico gli ultimi 5 minuti delle misure; tramite un calcolo vettoriale si determinano intensità e direzione vento e la deviazione standard della direzione.
- Acquisizione dati "Moto Ondoso": per l'analisi del moto ondoso vengono memorizzate 32.768 misure alla frequenza di 4 Hz per un tempo complessivo di circa 2 ore e 16 minuti (tempo necessario per individuare la presenza di onde lunghe).

Per l'analisi delle onde lunghe si applica la trasformata di Fast Fourier (FFT) con l'opzione di densità di potenza spettrale (PSD). Ciascun valore normalizzato fornisce la potenza spettrale su una data larghezza di banda e rappresenta la potenza totale in quella banda. Utilizzando lo spettro originale si ricavano i seguenti parametri:

- $H_{m0} = 4\sqrt{m_0}$  altezza d'onda significativa corrispondente al momento di ordine 0 dello spettro;
- $T_p = 1/f_p$  periodo di picco (inverso della frequenza di picco);
- $T_m = \sqrt{m_0/m_2}$  periodo medio (radice quadrata del rapporto momento di ordine 0 e momento di ordine 2 dello spettro).

Sulle sequenze misurate viene eseguita anche l'analisi "up-crossing", che ha consente di determinare i seguenti parametri:

- $H_{max}$  = altezza massima registrata;
- $H_s$  = altezza media corrispondente al terzo dei valori più alti;
- $T_s$  = periodo medio corrispondente al terzo delle onde con altezze più alte;
- $T_z$  = periodo medio di tutte le onde registrate.

Lo strumento ha iniziato ad acquisire le misure a partire dal 11 aprile di quest'anno; l'attività è tuttora in corso di esecuzione e si protrarrà presumibilmente fino alla primavera del prossimo anno.

Nella successiva Figura 7.3 si riporta lo spettro ottenuto con l'analisi FFT per il periodo dall'11 aprile al 5 maggio); sono evidenziati una serie di picchi sui lunghi periodi.

Con riferimento al primo mese di registrazioni, è stato selezionato un periodo rappresentativo di 5 giorni (dal 30 aprile al 5 maggio), in cui sono stati registrati i valori più elevati di altezza significativa. Di seguito si riportano le elaborazioni delle misure di moto ondoso e meteorologiche per tale periodo.

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA  
1233\_PP-D-001\_1.docx

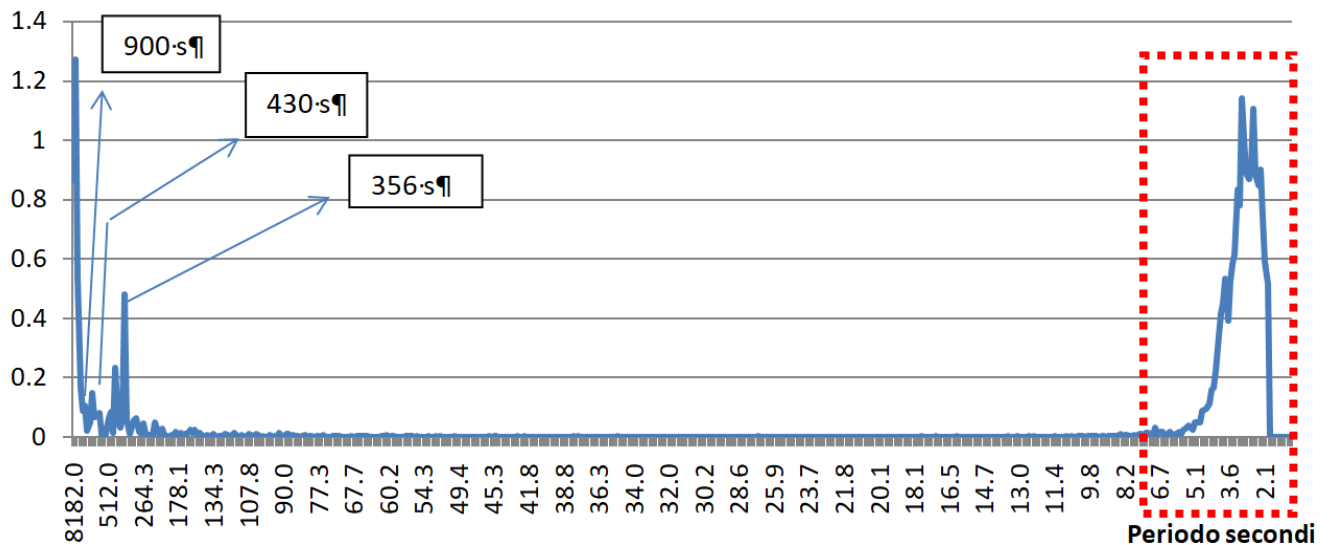


Figura 7.3 – Esempio di spettro ottenuto con l’analisi FFT (in rosso la componente delle onde da vento)

In Figura 7.4 sono riportate le misure di  $H_{m0}$  riferite al campione di 10 minuti su base oraria e le misure  $H_{moLong}$  riferite al campione di 2 ore e 16 minuti; per confronto si riportano anche le misure di  $H_s$  calcolate con l’analisi “up crossing”.

In Figura 7.5 sono riportati i periodi di picco:  $T_p$  è il periodo individuato con le sequenze da 10 minuti,  $T_{pL}$  quello individuato invece con le sequenze di 2 ore e 16 minuti. Per  $T_{pL}$  si nota che ricorre frequentemente il valore di 356 secondi.

I grafici seguenti (Figura 7.6 e Figura 7.7) sono relativi alle condizioni meteorologiche del periodo considerato (dal 30 aprile al 5 maggio) e riportano la velocità e la direzione del vento, l’andamento della marea e della pressione atmosferica, la rosa dei venti prevalenti.

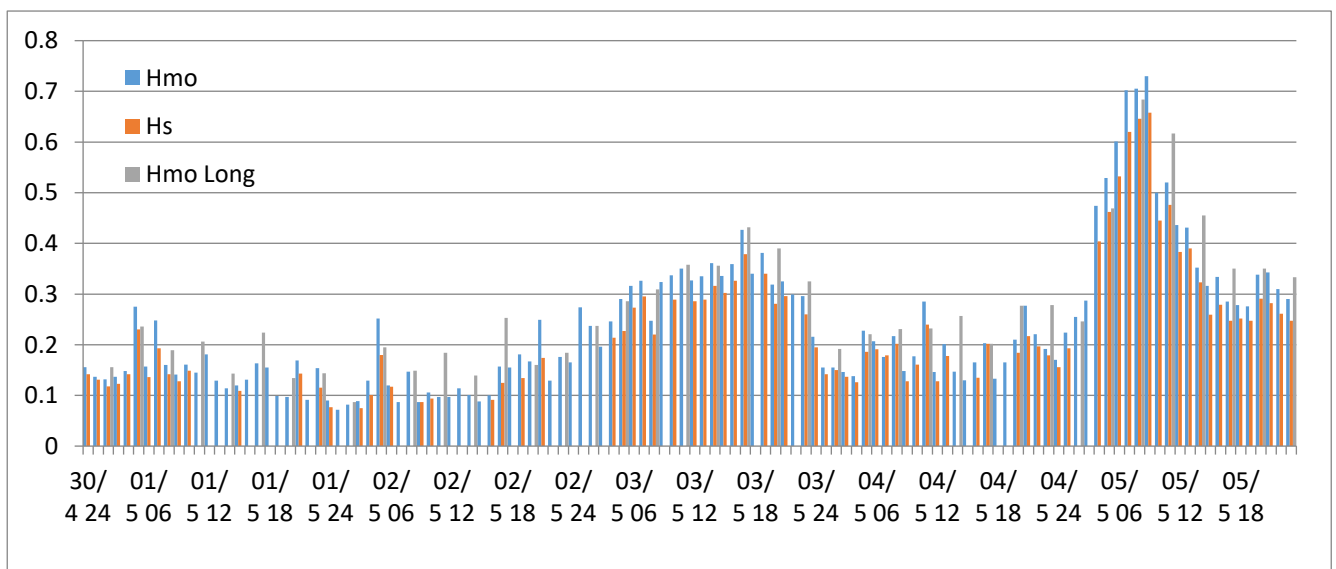


Figura 7.4 – Valori dell’altezza significativa calcolati con l’analisi FFT e “up-crossing”  
Periodo dal 30 aprile al 5 maggio

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PP-D-001\_1.docx

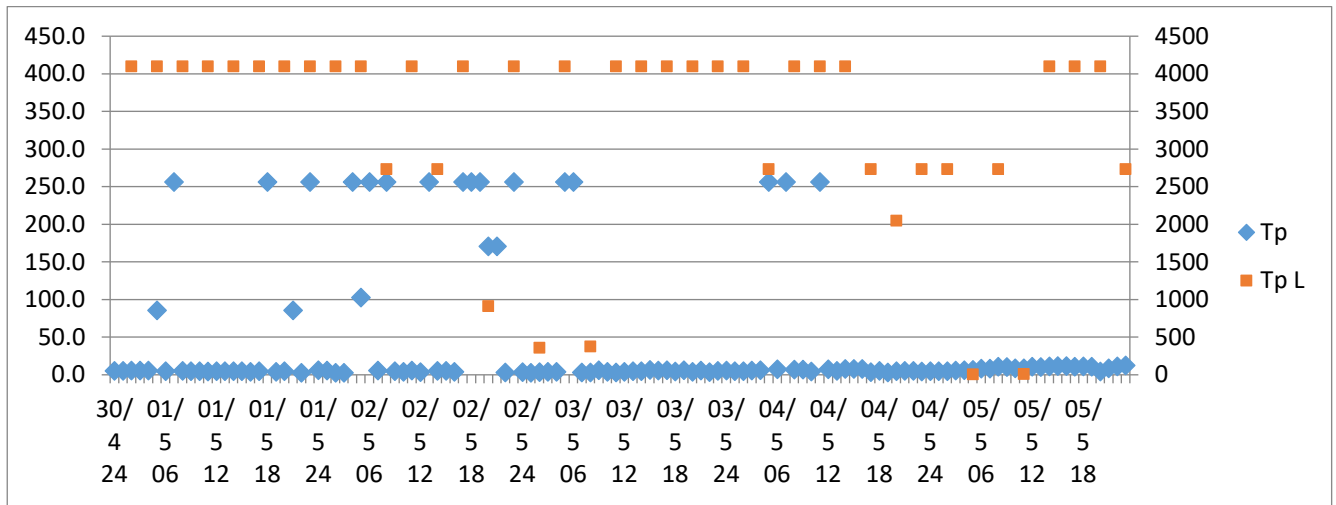


Figura 7.5 - Valori del periodo di picco calcolati con l'analisi FFT  
Periodo dal 30 aprile al 5 maggio

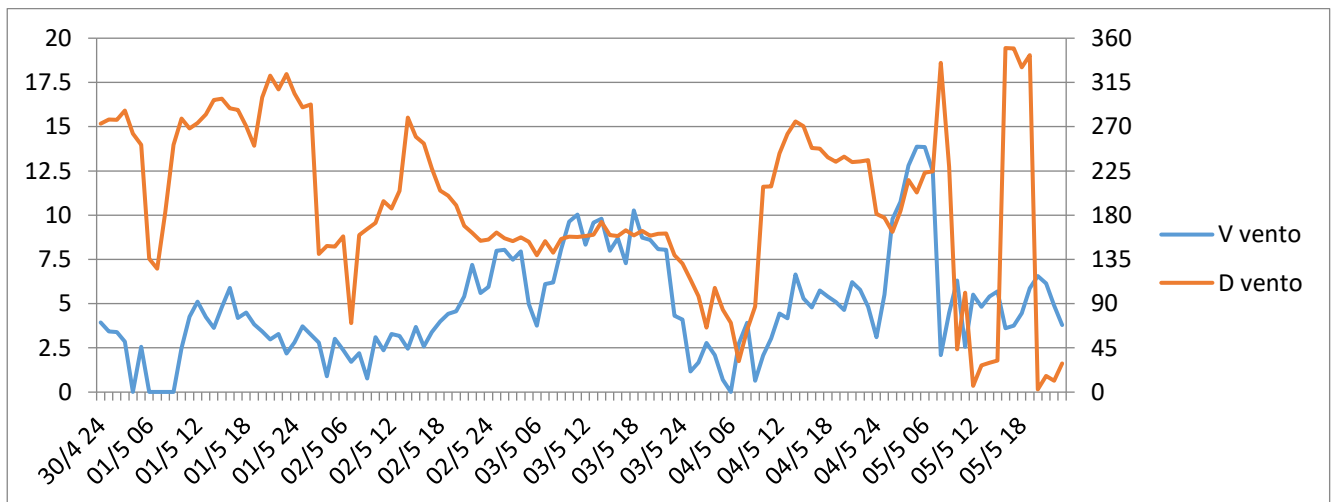


Figura 7.6 – Andamento della direzione e della velocità del vento  
Periodo dal 30 aprile al 5 maggio

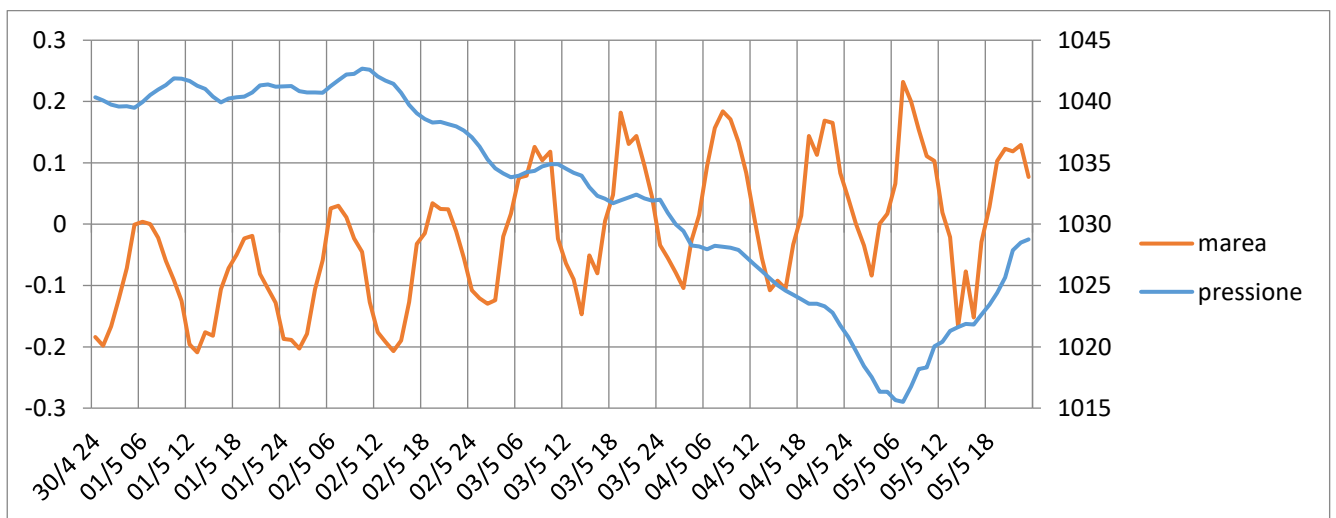


Figura 7.7 – Andamento del livello di marea e della pressione  
Periodo dal 30 aprile al 5 maggio

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA  
1233\_PP-D-001\_1.docx

La modalità di acquisizione ed elaborazione dei dati è stata successivamente affinata apportando alcune modifiche al programma di elaborazione; di seguito si riportano, a titolo di esempio, le elaborazioni condotte per il mese di agosto, caratterizzato da un costante regime di brezza con venti rari che non hanno mai superato la velocità di 6 m/s. In tutto il mese l'altezza dell'onda è risultata compresa tra 0.07 e 0.30 m (media di 0.17 m) ed il periodo medio tra 1.7 e 6.4 s (media di 2.5 s).

Per indagare la presenza di picchi su periodi lunghi sono stati sommati tutti gli spettri dell'intera sequenza, ottenendo il grafico in Figura 7.8. Analizzando la parte dello spettro con i periodi più lunghi, si evidenziano 7 picchi significativi riferiti rispettivamente ai seguenti periodi: 2048 s, 1024 s, 520/585 s, 409.6 s, 356.2 s, 292.6 s e 124.1 s; il periodo di 356.2 s è quello che ha la maggiore frequenza negli spettri analizzati. Inoltre si è notato, per tutti gli spettri analizzati, un picco secondario in corrispondenza del periodo di 28.4 s.

Le analisi di dettaglio sugli spettri e sui parametri di moto ondoso e meteorologici sono state suddivise per giornata di misura. A titolo di esempio, si riportano le elaborazioni relative al giorno 20 agosto, durante il quale si è registrato un valore di  $H_{m0}$  pressoché costante e pari a circa 0.3 m (valore massimo del mese di agosto). Di seguito, in Figura 7.10, sono riportati i grafici degli spettri triorari registrati e il grafico della somma giornaliera degli spettri per il giorno 20 agosto.

In Figura 7.11 si riportano le rose dei venti prevalenti giornalieri con relativa percentuale di calma, i grafici giornalieri dell'altezza dell'onda e del relativo periodo, il grafico giornaliero della velocità e direzione del vento ed infine i grafici che riportano le somme degli spettri su base notturna e diurna e relative espansioni per onde di periodo lungo fino a 128 s e di periodo breve da 7.4 a 1.0 s.

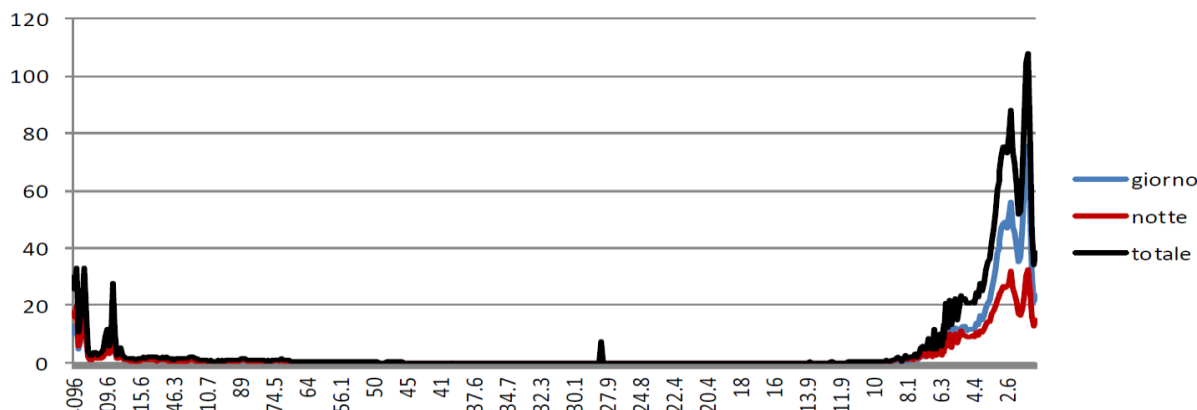


Figura 7.8 – Spettri calcolati con l'analisi FFT per il mese di agosto

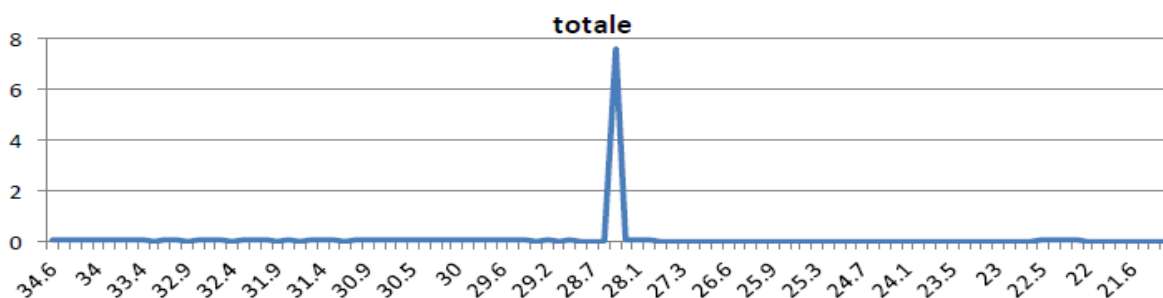


Figura 7.9 – Dettaglio dello spettro con evidenza del picco a 28.4 s

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PP-D-001\_1.docx

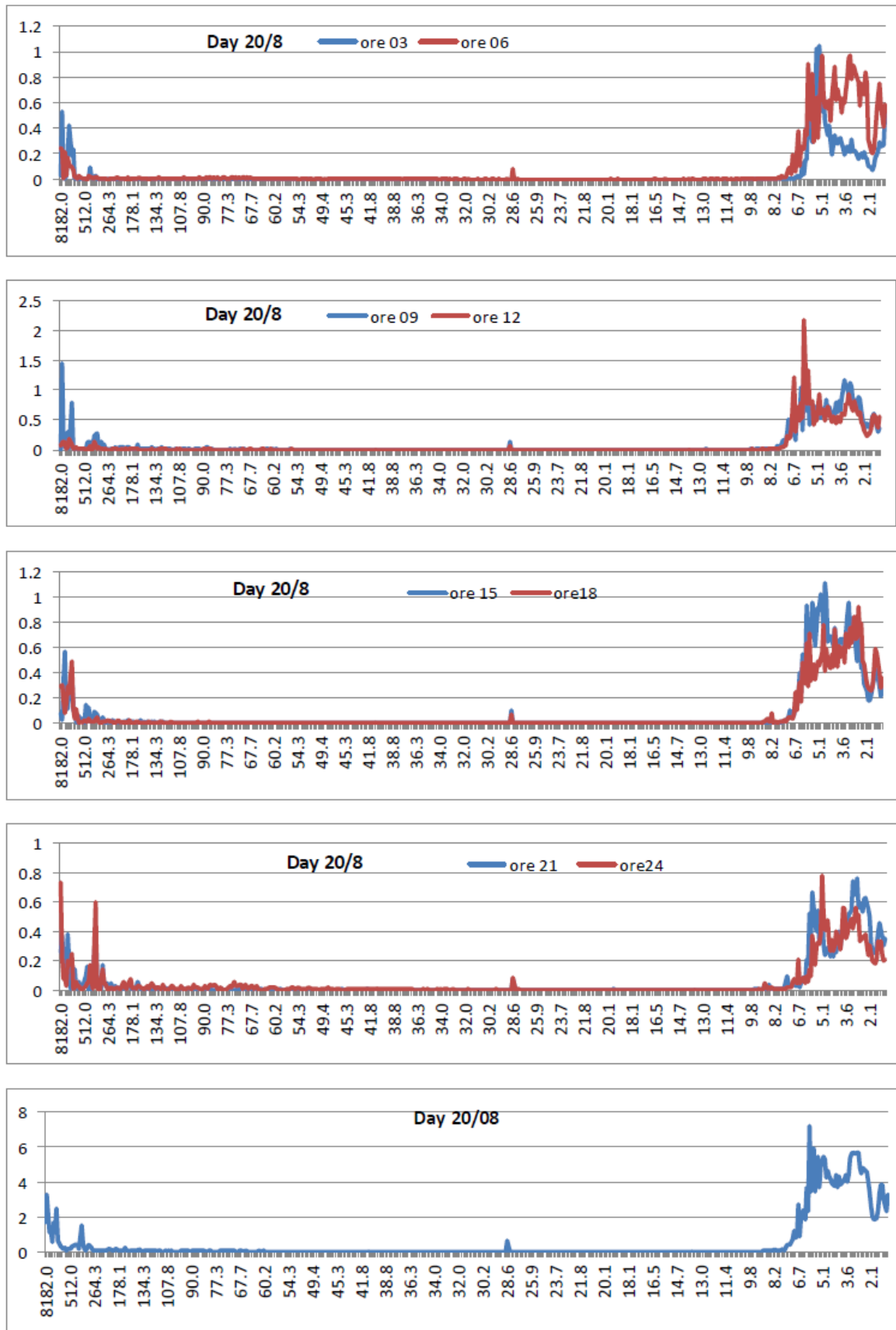


Figura 7.10 - Spettri triorari e grafico della somma giornaliera degli spettri per il giorno 20 agosto



Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PP-D-001\_1.docx

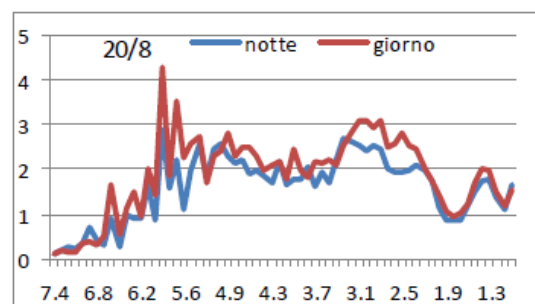
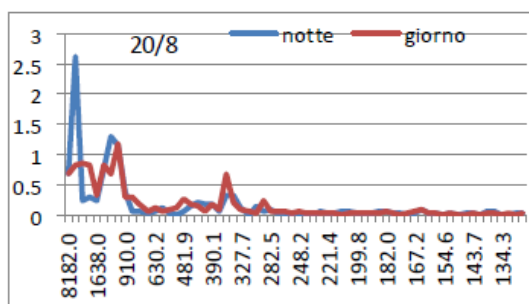
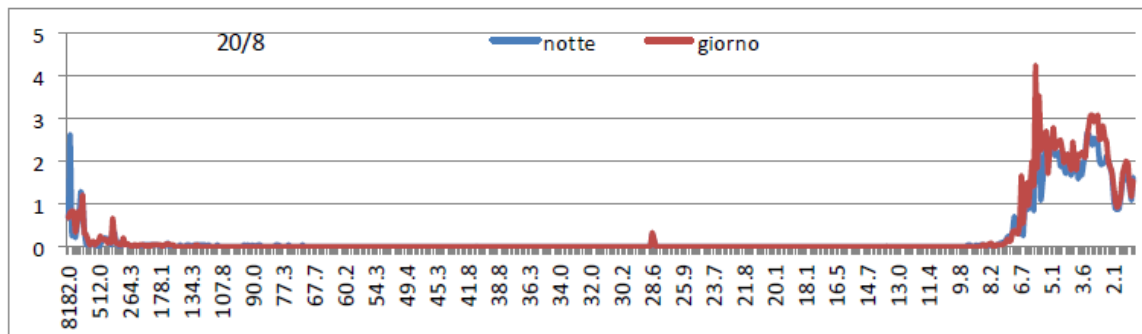
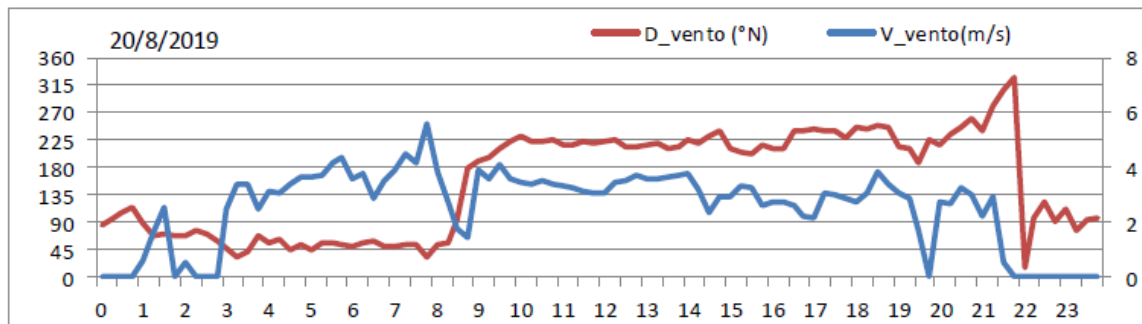
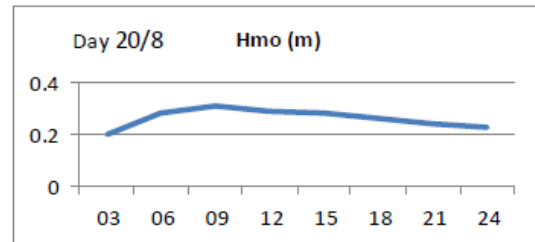
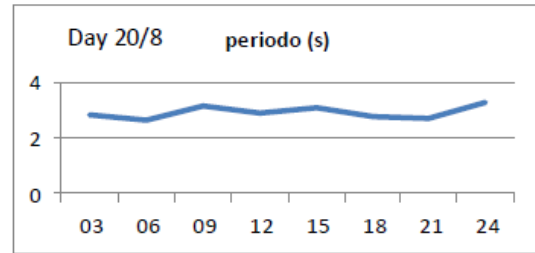
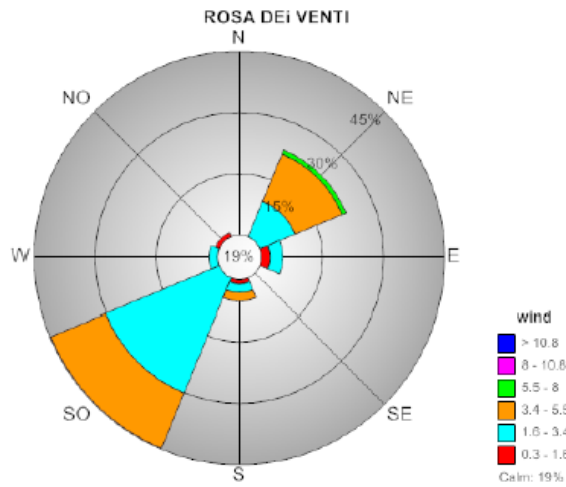


Figura 7.11 – Elaborazione dei dati di moto ondoso e dei dati meteorologici per il giorno 20 agosto

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PP-D-001\_1.docx

## 8 PROPAGAZIONE SOTTO COSTA DEL CLIMA ONDOSO

La propagazione locale del moto ondoso (dal largo fino ad una serie di punti antistanti il litorale oggetto di studio) è stata condotta utilizzando il modello matematico SWAN. I dati di moto ondoso, utilizzati come input per il modello, sono quelli acquisiti dal DICCA. La descrizione del codice di calcolo SWAN impiegato per la propagazione del moto ondoso è riportata in dettaglio nel successivo paragrafo 11.

In questa fase preliminare di progettazione il clima ondoso al largo è stato propagato in corrispondenza di una serie di punti lungo il litorale a Nord del Porto, ubicati al limite della fascia attiva del litorale su profondità variabili tra -4.5 e -10.0 m s.m.m. circa. L'analisi del clima ondoso sotto costa è finalizzata alla valutazione dell'evoluzione morfologica del litorale a Nord del Porto, con particolare riferimento alla stima del trasporto solido potenziale (cfr. Elaborato 1233\_PP-D-002\_0). La propagazione del clima ondoso è stata condotta con riferimento allo scenario di stato attuale (layout attuale del porto di Livorno) che con riferimento alla configurazione di progetto del porto prevista nell'ambito del presente progetto (layout di prima fase di PRP opportunamente ottimizzato). I risultati delle simulazioni a confronto, unitamente alle analisi preliminari sulla dinamica litoranea (cfr. Elaborato 1233\_PP-D-004\_0), hanno consentito di pervenire ad alcune considerazioni preliminari sull'evoluzione morfologica del litorale a Nord del porto e sull'influenza delle modifiche introdotte con la realizzazione delle opere previste per lo sviluppo della piattaforma portuale.

### 8.1 Settaggio del modello

La batimetria è stata ricavata usando come base la più recente cartografia dell'Istituto Idrografico Militare e i rilievi di dettaglio disponibili. Come precedentemente accennato, la batimetria dell'area di intervento è stata ricostruita sia con riferimento alla configurazione attuale delle opere portuali che nella configurazione di progetto (dragaggi e ampliamento del bacino portuale). Le infrastrutture a mare (moli foranei e dighe) sono stati rappresentati nel modello come elementi distinti (del tipo "obstacle"), fornendo in input le relative caratteristiche (altezza del coronamento e coefficiente di trasmissione).

Il dominio di calcolo è stato discretizzato con un sistema di griglie annidate con passo decrescente. La griglia più grande (BIG GRID, vedi Figura 8.1) ha origine nel punto di coordinate (1593180 E, 4813250 N), ha dimensione 16000 × 33000 m, maglia quadrata di passo 100 m ed è inclinata di 10° rispetto all'asse WE. È stata successivamente predisposta una seconda griglia MEDIUM GRID (centrata nell'area di intervento: porto di Livorno e litorale settentrionale), avente le seguenti caratteristiche: origine nel punto di coordinate (1598250 E, 4819650 N), dimensione 8480 × 17000 m, maglia quadrata di passo 40 m, inclinazione di 10° rispetto all'asse EW.

Sono state definite quindi due griglie di dettaglio (SMALL GRID 1 e 2 centrate rispettivamente nell'area portuale e lungo il litorale a Nord del Porto; le griglie hanno le seguenti caratteristiche:

- SMALL GRID 1: origine (1601350 E, 4821150 N), dimensione 4200 × 4950 m, maglia quadrata passo 15 m, lati paralleli agli assi cartesiani;
- SMALL GRID 2: origine (1602550 E, 4825500 N), dimensione 3000 × 12050 m, maglia quadrata passo 20 m, inclinata di 10° rispetto all'asse WE.

Al fine di ottenere un maggior dettaglio nella zona del porto (con particolare riferimento all'estrazione delle condizioni di input per i dimensionamenti delle strutture), è stata definita una ulteriore griglia di dettaglio, annidata all'interno della SMALL GRID 1. La griglia (LOCAL GRID) ha origine nel punto di

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PP-D-001\_1.docx

coordinate (1602750 E, 4822750 N), dimensione 3348 × 2196 m, ha maglia quadrata di passo 6 m e lati paralleli agli assi cartesiani.

Per le simulazioni oggetto del presente studio, i parametri significativi del moto ondoso sono stati rappresentati con uno spettro bidimensionale di tipo JONSWAP avente fattore di appuntimento del picco ( $\gamma$ ) e "spreading" direzionale ( $s$ ) desunti dalla ripidità dell'onda (mediante la formula di Wilson, 1965). In questo contesto è stata utilizzata la tecnica del ciclo annidato utilizzando inizialmente una griglia di calcolo (BIG GRID), discretizzata in maglie di calcolo di 100 m di lato, e successivamente le griglie di dettaglio interne alla precedente (come da schema rappresentato in Figura 8.1), fino ad arrivare alla griglia LOCAL GRID avente passo di 6 m. Le condizioni al contorno sono state assunte costanti lungo i bordi della griglia (e pari a quelle esistenti nel punto UNIGE al largo), con l'accortezza di scalare i parametri d'onda in funzione della profondità nella porzione di bordo immediatamente sottoriva, dove avvengono fenomeni di frangimento dovuti al fondale. I risultati della prima simulazione sono serviti da input per i successivi cicli di calcolo effettuati sulle griglie di dettaglio. Considerando la conformazione e il settore di traversia del paraggio, si è scelto di propagare solo gli eventi ondosi provenienti dal settore precedentemente analizzato tra 150° e 340°N

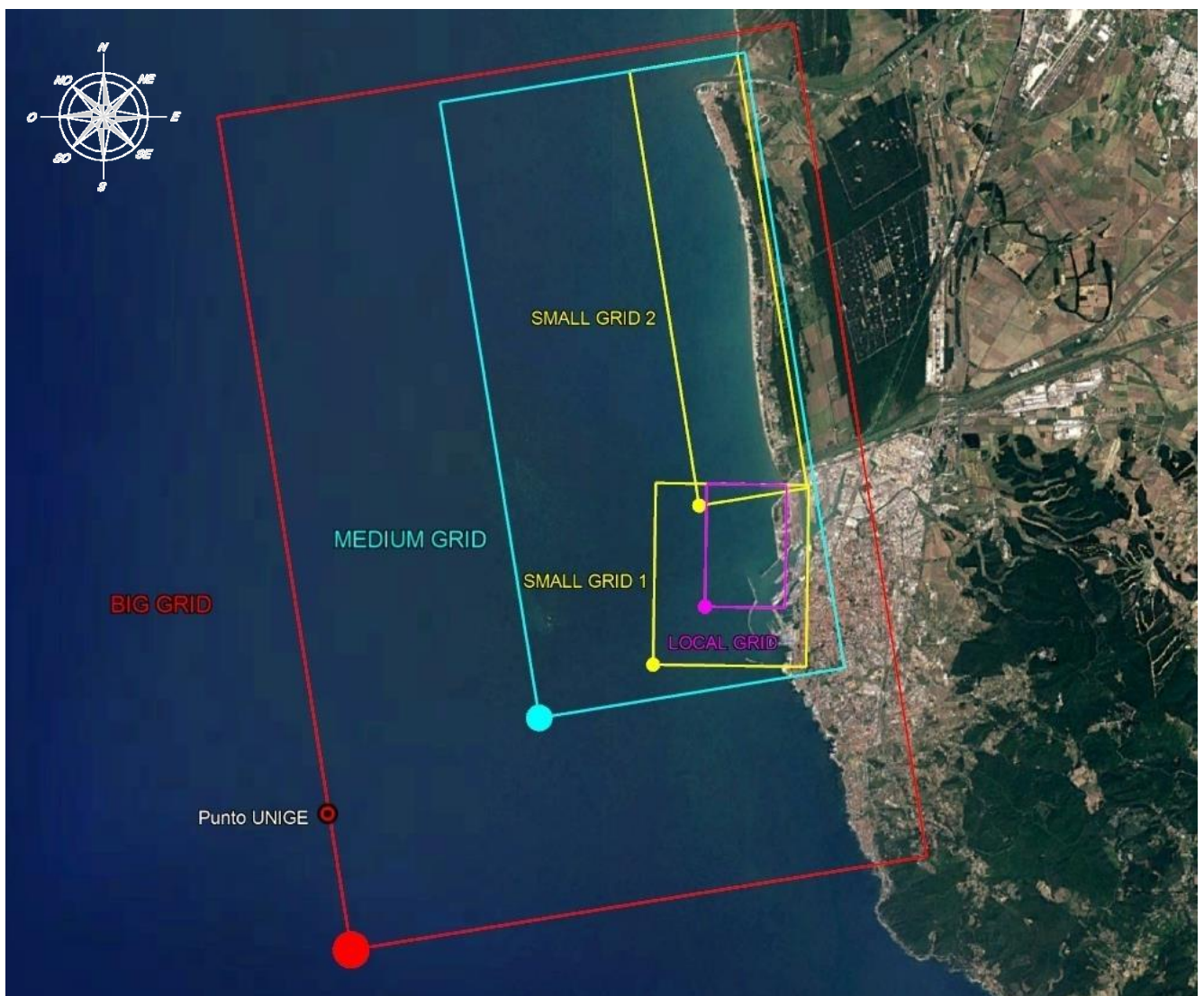


Figura 8.1- Griglie e dominio di calcolo impiegati per lo studio della propagazione del moto ondoso

Lungo il litorale a Nord del Porto di Livorno, al limite della fascia attiva (ad una distanza di circa 600 m dalla costa, sono stati individuati 6 punti di output del clima locale (la cui ubicazione è riportata in Figura 8.2), aventi le seguenti caratteristiche:

- punto P1: coordinate (1603965 E, 4826730 N), profondità pari a circa -4.5 m;
- punto P2: coordinate (1603516 E, 4828676 N), profondità pari a circa -4.8 m;
- punto P3: coordinate (1603303 E, 4830664 N), profondità pari a circa -5.4m;
- punto P4: coordinate (1603152 E, 4832656 N), profondità pari a circa -6.3 m;
- punto P5: coordinate (1602677 E, 4834590 N), profondità pari a circa -7.2 m;
- punto P6: coordinate (1601849 E, 4836410 N), profondità pari a circa -9.8 m.

Le coordinate dei punti di output e dei punti di origine delle griglie (vertici in basso a sinistra) sono espresse nel sistema di riferimento Gauss Boaga Fuso Ovest.

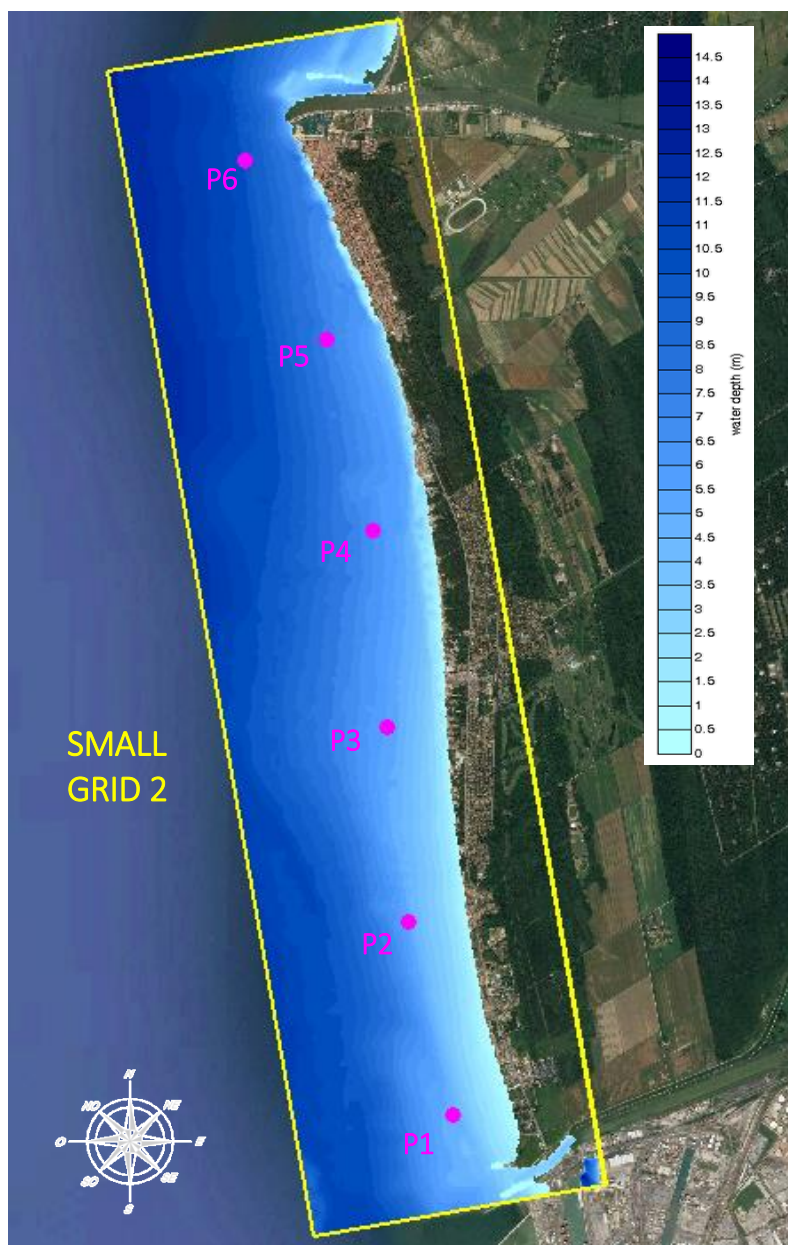


Figura 8.2- Batimetria della griglia di calcolo SMALL GRID 2 con ubicazione dei punti di output del clima locale

Progetto:	Livello progettazione:	Elaborato:
Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Progetto di fattibilità tecnico economica	IDRAULICA MARITTIMA 1233_PP-D-001_1.docx

## 8.2 Clima ondoso sottocosta

Nel presente paragrafo sono riassunti i risultati della propagazione del clima ondoso dal punto UNIGE ai punti sottocosta, posti lungo il litorale a Nord del Porto (tra la foce dello scolmatore e la foce dell'Arno).

I climi locali sono stati ottenuti attraverso una serie di simulazioni numeriche condotte con il codice di calcolo SWAN: il clima al largo (relativo al settore di traversia  $150^{\circ}$ ÷ $340^{\circ}$ N) è stato discretizzato per classi di altezza significativa e direzione di provenienza (vedi precedente Tabella 5.1).

Il clima locale è stato quindi ricostruito ordinando i risultati delle propagazioni per classi di altezza significativa e di direzione locale di provenienza. Utilizzando le corrispondenze tra i risultati delle simulazioni (clima locale) e quelli relativi al clima nel punto UNIGE al largo (cfr. Tabella 5.1), è stato possibile associare a ciascun evento nei punti sottocosta una percentuale di apparizione e, quindi, ricostruire le rose delle registrazioni e delle energie sottocosta.

Per ciascun punto si riportano le tabelle con i risultati delle propagazioni con riferimento alle due simulazioni eseguite, ovvero con il porto di Livorno in configurazione attuale e di progetto (da Tabella 8.1 a Tabella 8.12)

Di seguito, da Figura 8.3 a Figura 8.8, si riportano graficamente i risultati delle elaborazioni del clima locale; in particolare, per ciascun punto sono rappresentate le rose delle registrazioni (in blu), delle energie (in rosso) e delle altezze massime (in verde). Nello stesso grafico sono riportate a confronto le rose ricostruite con riferimento alle simulazioni in configurazione attuale e di progetto. Si fa presente che, vista la variabilità dei dati, le scale grafiche di rappresentazione (Registrazioni, Energia e  $H_{s,max}$ ) sono state adattate per ciascun punto in modo tale da rendere più evidente il confronto tra le due configurazioni analizzate.

In linea generale si osserva come procedendo da Sud verso Nord (dal punto P1 al punto P6), l'energia risulti più intensa con una rotazione di circa  $20^{\circ}$  del picco, che passa da  $245^{\circ}$  N a  $255^{\circ}$ ÷ $265^{\circ}$ N; l'energia è comunque sempre concentrata nel settore di Ponente. Anche le altezze massime che si mantengono con valori inferiori a 3 m fino al punto P4 (posto a Nord del litorale di Tirrenia) aumentano procedendo verso Nord per raggiungere valori di oltre 4 m nel punto P6.

Dal confronto tra i risultati delle simulazioni in configurazione attuale e di progetto, si osserva come la nuova configurazione prevista per il porto di Livorno (prima fase di attuazione della piattaforma Europa) comporti una modifica del clima locale nel primo tratto a Nord del Calambrone (per circa 3 km). Le rose ricostruite nei punti P1 e P2 (Figura 8.3 e Figura 8.4) mostrano l'effetto di schermatura dovuto all'ampliamento della piattaforma portuale, con attenuazione delle altezze significative massime per gli eventi provenienti da Libeccio ( $225^{\circ}$ ÷ $235^{\circ}$ N) e rotazione del picco della rosa di energia verso Ponente. L'influenza è più evidente nel punto P1 (ubicato immediatamente a Nord del Calambrone); a Nord del punto P2 le differenze sono pressoché trascurabili.

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA  
1233\_PP-D-001\_1.docx

DIR		Hs (m)								
		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
(^N)		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
150	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160	170	0	0	0	0	0	0	0	0	0
170	180	0	0	0	0	0	0	0	0	0
180	190	0	0	0	0	0	0	0	0	0
190	200	1326	0	0	0	0	0	0	0	0
200	210	17792	0	0	0	0	0	0	0	0
210	220	13134	6919	0	0	0	0	0	0	0
220	230	10098	2121	836	109	0	0	0	0	0
230	240	12344	3642	1153	111	0	0	0	0	0
240	250	18709	34810	14469	9318	2	0	0	0	0
250	260	22126	41296	12042	963	0	0	0	0	0
260	270	8416	4359	769	190	0	0	0	0	0
270	280	4957	3225	510	142	1	0	0	0	0
280	290	3788	2757	347	253	6	0	0	0	0
290	300	8281	4566	178	131	0	0	0	0	0
300	310	6072	1260	2278	0	0	0	0	0	0
310	320	1001	0	0	0	0	0	0	0	0
320	330	0	0	0	0	0	0	0	0	0
330	340	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 8.1- Punto P1 – Configurazione attuale del Porto

Tabella delle registrazioni ordinate per altezza significativa e direzione di provenienza (in parti per 350'635)

DIR		Hs (m)								
		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
(^N)		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
150	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160	170	0	0	0	0	0	0	0	0	0
170	180	0	0	0	0	0	0	0	0	0
180	190	0	0	0	0	0	0	0	0	0
190	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	210	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	220	4072	0	0	0	0	0	0	0	0
220	230	27545	0	0	0	0	0	0	0	0
230	240	21592	5484	493	10	0	0	0	0	0
240	250	32301	19849	16926	1826	0	0	0	0	0
250	260	22126	51395	14349	3968	0	0	0	0	0
260	270	8416	5714	769	219	0	0	0	0	0
270	280	4957	3225	510	142	1	0	0	0	0
280	290	3788	2757	210	235	6	0	0	0	0
290	300	8281	4566	315	149	0	0	0	0	0
300	310	6072	1260	2278	0	0	0	0	0	0
310	320	1001	0	0	0	0	0	0	0	0
320	330	0	0	0	0	0	0	0	0	0
330	340	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 8.2- Punto P1 – Configurazione di progetto del Porto

Tabella delle registrazioni ordinate per altezza significativa e direzione di provenienza (in parti per 350'635)

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PP-D-001\_1.docx

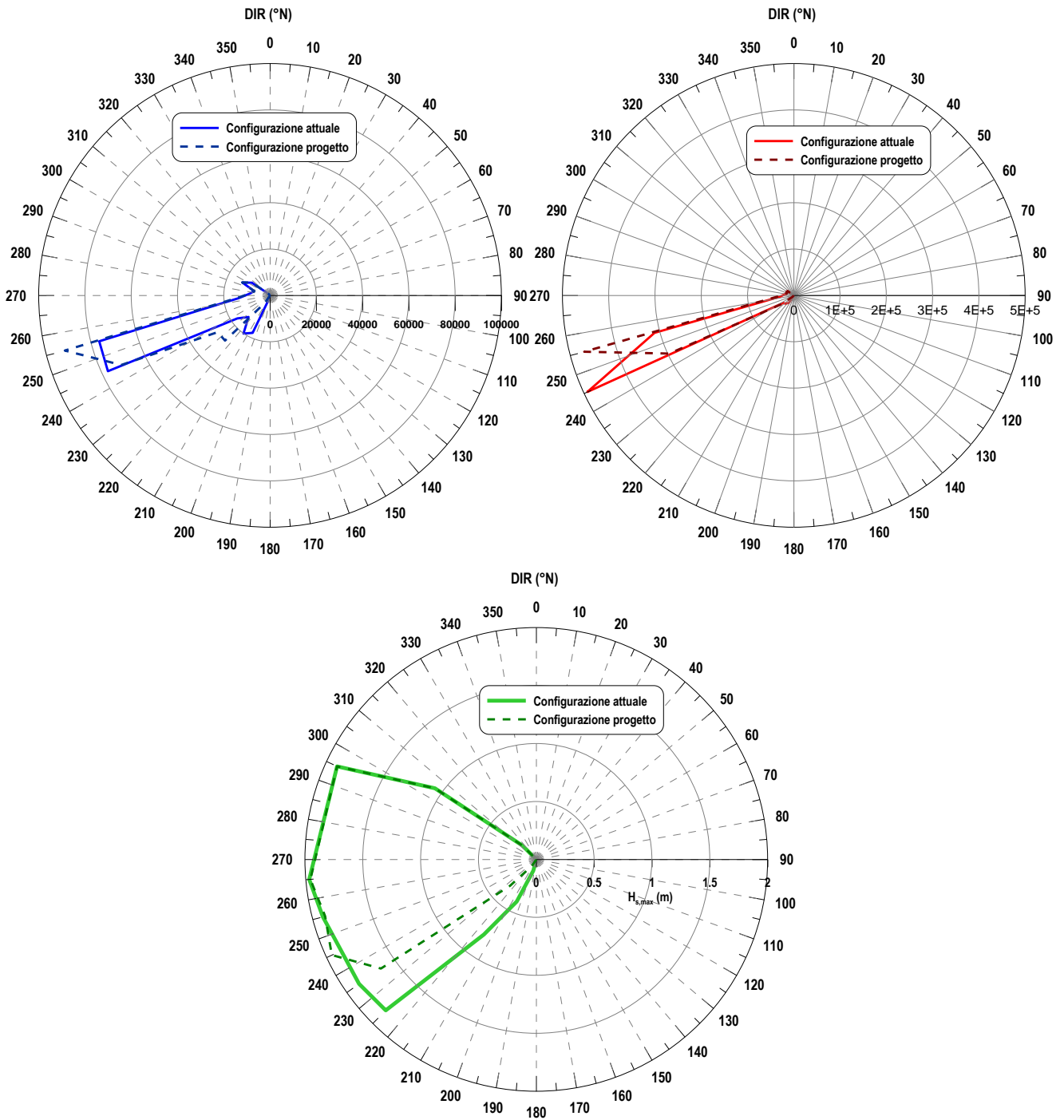


Figura 8.3- Punto P1: rosa delle registrazioni (in blu), delle energie (rosso) e delle altezze massime (verde) a confronto configurazione attuale e di progetto del Porto

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA  
1233\_PP-D-001\_1.docx

DIR		Hs (m)								
		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
(^N)		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
150	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160	170	0	0	0	0	0	0	0	0	0
170	180	0	0	0	0	0	0	0	0	0
180	190	0	0	0	0	0	0	0	0	0
190	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	210	14091	0	0	0	0	0	0	0	0
210	220	20070	2020	0	0	0	0	0	0	0
220	230	10098	5889	736	14	0	0	0	0	0
230	240	5586	3970	1457	116	0	0	0	0	0
240	250	25467	33824	14202	3550	33	0	0	0	0
250	260	22126	39941	11004	4939	1095	0	0	0	0
260	270	8416	5714	1241	649	374	0	0	0	0
270	280	8745	3225	354	519	214	0	0	0	0
280	290	4003	5294	347	267	92	0	0	0	0
290	300	4278	3289	2456	28	1	0	0	0	0
300	310	6072	0	0	0	0	0	0	0	0
310	320	1001	0	0	0	0	0	0	0	0
320	330	0	0	0	0	0	0	0	0	0
330	340	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 8.3- Punto P2 – Configurazione attuale del Porto

Tabella delle registrazioni ordinate per altezza significativa e direzione di provenienza (in parti per 350'635)

DIR		Hs (m)								
		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
(^N)		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
150	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160	170	0	0	0	0	0	0	0	0	0
170	180	0	0	0	0	0	0	0	0	0
180	190	0	0	0	0	0	0	0	0	0
190	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	210	4072	0	0	0	0	0	0	0	0
210	220	29454	0	0	0	0	0	0	0	0
220	230	10733	7433	247	0	0	0	0	0	0
230	240	7804	2745	1136	99	0	0	0	0	0
240	250	25467	33824	14526	3173	32	0	0	0	0
250	260	22126	39941	11004	5317	1095	0	0	0	0
260	270	8416	5714	1241	649	374	0	0	0	0
270	280	8745	3225	354	519	214	0	0	0	0
280	290	4003	5294	347	267	92	0	0	0	0
290	300	4278	3289	2456	28	1	0	0	0	0
300	310	6072	0	0	0	0	0	0	0	0
310	320	1001	0	0	0	0	0	0	0	0
320	330	0	0	0	0	0	0	0	0	0
330	340	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 8.4- Punto P2 – Configurazione di progetto del Porto

Tabella delle registrazioni ordinate per altezza significativa e direzione di provenienza (in parti per 350'635)



Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PP-D-001\_1.docx

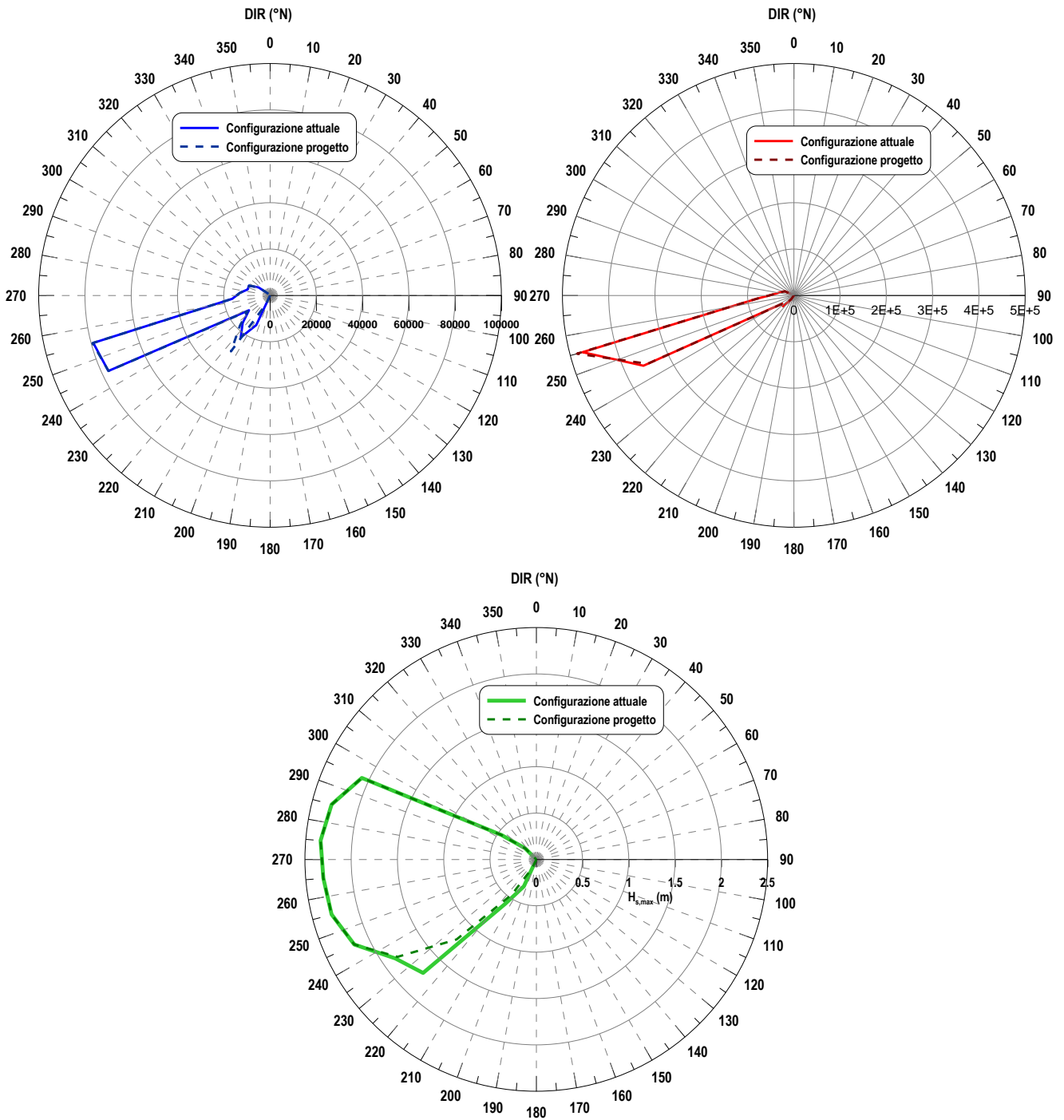


Figura 8.4- Punto P2: rosa delle registrazioni (in blu), delle energie (rosso) e delle altezze massime (verde) a confronto configurazione attuale e di progetto del Porto

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA  
1233\_PP-D-001\_1.docx

		Hs (m)								
DIR		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
(°N)		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
150	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160	170	0	0	0	0	0	0	0	0	0
170	180	0	0	0	0	0	0	0	0	0
180	190	0	0	0	0	0	0	0	0	0
190	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	210	14091	0	0	0	0	0	0	0	0
210	220	20070	2020	0	0	0	0	0	0	0
220	230	6770	5111	422	0	0	0	0	0	0
230	240	8914	1754	1044	107	0	0	0	0	0
240	250	6758	10044	1513	120	0	0	0	0	0
250	260	40835	26984	8607	6780	927	0	0	0	0
260	270	8416	36966	10175	3804	6864	0	0	0	0
270	280	4957	5889	2341	1241	1003	0	0	0	0
280	290	7791	2232	709	678	418	0	0	0	0
290	300	4278	4309	662	93	62	0	0	0	0
300	310	3402	1517	2456	2	0	0	0	0	0
310	320	3671	0	0	0	0	0	0	0	0
320	330	0	0	0	0	0	0	0	0	0
330	340	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 8.5- Punto P3 – Configurazione attuale del Porto

Tabella delle registrazioni ordinate per altezza significativa e direzione di provenienza (in parti per 350'635)

		Hs (m)								
DIR		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
(°N)		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
150	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160	170	0	0	0	0	0	0	0	0	0
170	180	0	0	0	0	0	0	0	0	0
180	190	0	0	0	0	0	0	0	0	0
190	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	210	14091	0	0	0	0	0	0	0	0
210	220	20070	2020	0	0	0	0	0	0	0
220	230	6770	5231	285	0	0	0	0	0	0
230	240	8914	1754	1061	103	0	0	0	0	0
240	250	6758	10044	1513	124	0	0	0	0	0
250	260	40835	26984	8607	6780	927	0	0	0	0
260	270	8416	36966	10175	3804	6864	0	0	0	0
270	280	4957	5889	2341	1241	1003	0	0	0	0
280	290	7791	2232	709	678	418	0	0	0	0
290	300	4278	4309	662	93	62	0	0	0	0
300	310	3402	1517	2456	2	0	0	0	0	0
310	320	3671	0	0	0	0	0	0	0	0
320	330	0	0	0	0	0	0	0	0	0
330	340	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 8.6- Punto P3 – Configurazione di progetto del Porto

Tabella delle registrazioni ordinate per altezza significativa e direzione di provenienza (in parti per 350'635)

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PP-D-001\_1.docx

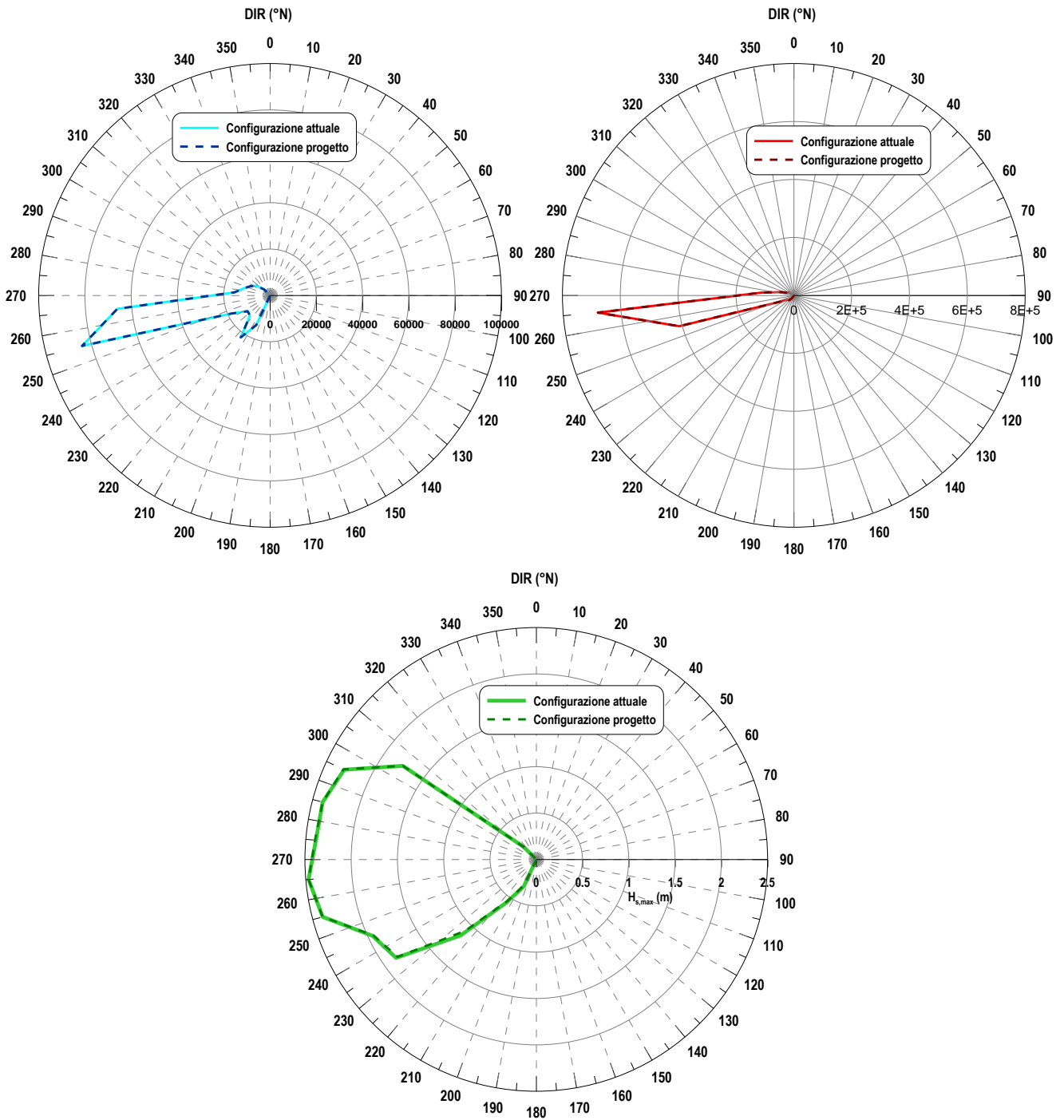


Figura 8.5 -Punto P3: rosa delle registrazioni (in blu), delle energie (rosso) e delle altezze massime (verde) a confronto configurazione attuale e di progetto del Porto

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA  
1233\_PP-D-001\_1.docx

		Hs (m)								
DIR		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
(°N)		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
150	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160	170	0	0	0	0	0	0	0	0	0
170	180	0	0	0	0	0	0	0	0	0
180	190	0	0	0	0	0	0	0	0	0
190	200	1326	0	0	0	0	0	0	0	0
200	210	17792	0	0	0	0	0	0	0	0
210	220	15043	5010	0	0	0	0	0	0	0
220	230	6770	2423	438	0	0	0	0	0	0
230	240	8914	1754	741	92	0	0	0	0	0
240	250	6758	10044	1458	162	13	0	0	0	0
250	260	40835	26984	8607	6729	926	527	0	0	0
260	270	8416	36966	10175	3804	3949	2450	0	0	0
270	280	4957	5889	2341	1241	827	167	0	0	0
280	290	7791	2757	919	624	123	138	0	0	0
290	300	4278	4566	333	73	48	8	0	0	0
300	310	8333	0	2286	2	0	0	0	0	0
310	320	0	0	0	0	0	0	0	0	0
320	330	0	0	0	0	0	0	0	0	0
330	340	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 8.7- Punto P4 – Configurazione attuale del Porto

Tabella delle registrazioni ordinate per altezza significativa e direzione di provenienza (in parti per 350'635)

		Hs (m)								
DIR		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
(°N)		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
150	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160	170	0	0	0	0	0	0	0	0	0
170	180	0	0	0	0	0	0	0	0	0
180	190	0	0	0	0	0	0	0	0	0
190	200	1326	0	0	0	0	0	0	0	0
200	210	17792	0	0	0	0	0	0	0	0
210	220	15043	4288	0	0	0	0	0	0	0
220	230	6770	3145	255	0	0	0	0	0	0
230	240	8914	1754	924	88	0	0	0	0	0
240	250	6758	10044	1513	111	13	0	0	0	0
250	260	40835	26984	8607	6729	926	527	0	0	0
260	270	8416	36966	10175	3804	3949	2450	0	0	0
270	280	4957	5889	2341	1241	827	167	0	0	0
280	290	7791	2757	919	624	123	138	0	0	0
290	300	4278	4566	333	73	48	8	0	0	0
300	310	8333	0	2286	2	0	0	0	0	0
310	320	0	0	0	0	0	0	0	0	0
320	330	0	0	0	0	0	0	0	0	0
330	340	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 8.8 -Punto P4 – Configurazione di progetto del Porto

Tabella delle registrazioni ordinate per altezza significativa e direzione di provenienza (in parti per 350'635)

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PP-D-001\_1.docx

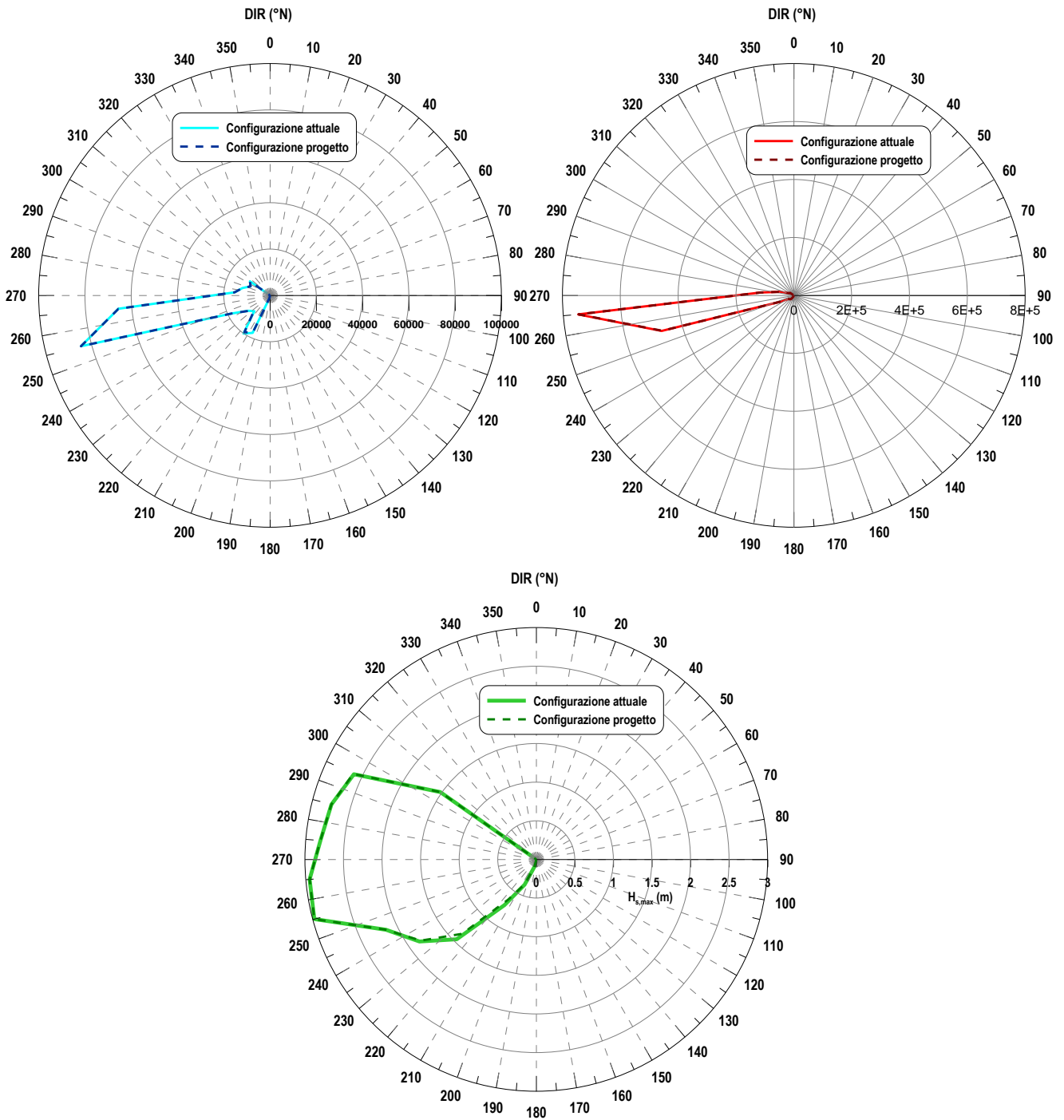


Figura 8.6- Punto P4: rosa delle registrazioni (in blu), delle energie (rosso) e delle altezze massime (verde) a confronto configurazione attuale e di progetto del Porto

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA  
1233\_PP-D-001\_1.docx

DIR		Hs (m)								
		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
(^N)		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
150	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160	170	0	0	0	0	0	0	0	0	0
170	180	0	0	0	0	0	0	0	0	0
180	190	0	0	0	0	0	0	0	0	0
190	200	9041	0	0	0	0	0	0	0	0
200	210	21081	2020	0	0	0	0	0	0	0
210	220	5908	4171	17	0	0	0	0	0	0
220	230	8229	1905	536	8	0	0	0	0	0
230	240	3907	4993	748	76	10	0	0	0	0
240	250	25467	7826	1163	844	33	11	0	0	0
250	260	22126	46237	25859	4369	2249	1269	462	0	0
260	270	8416	6025	2975	4581	2784	2674	1086	0	0
270	280	8745	5889	2341	1241	566	381	46	0	0
280	290	4003	4897	919	624	123	109	30	0	0
290	300	8722	2488	281	102	19	8	0	0	0
300	310	3889	2278	0	0	0	0	0	0	0
310	320	0	0	0	0	0	0	0	0	0
320	330	0	0	0	0	0	0	0	0	0
330	340	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 8.9- Punto P5 – Configurazione attuale del Porto

Tabella delle registrazioni ordinate per altezza significativa e direzione di provenienza (in parti per 350'635)

DIR		Hs (m)								
		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
(^N)		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
150	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160	170	0	0	0	0	0	0	0	0	0
170	180	0	0	0	0	0	0	0	0	0
180	190	0	0	0	0	0	0	0	0	0
190	200	4072	0	0	0	0	0	0	0	0
200	210	23124	0	0	0	0	0	0	0	0
210	220	8834	6191	0	0	0	0	0	0	0
220	230	8229	1905	553	2	0	0	0	0	0
230	240	5586	3314	748	82	10	0	0	0	0
240	250	25467	7826	1163	844	33	11	0	0	0
250	260	22126	46237	25859	4369	2249	1269	462	0	0
260	270	8416	6025	2975	4581	2784	2674	1086	0	0
270	280	8745	5889	2341	1241	566	381	46	0	0
280	290	4003	4897	919	624	123	109	30	0	0
290	300	8722	2488	281	102	19	8	0	0	0
300	310	3889	2278	0	0	0	0	0	0	0
310	320	0	0	0	0	0	0	0	0	0
320	330	0	0	0	0	0	0	0	0	0
330	340	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 8.10- Punto P5 – Configurazione di progetto del Porto

Tabella delle registrazioni ordinate per altezza significativa e direzione di provenienza (in parti per 350'635)

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PP-D-001\_1.docx

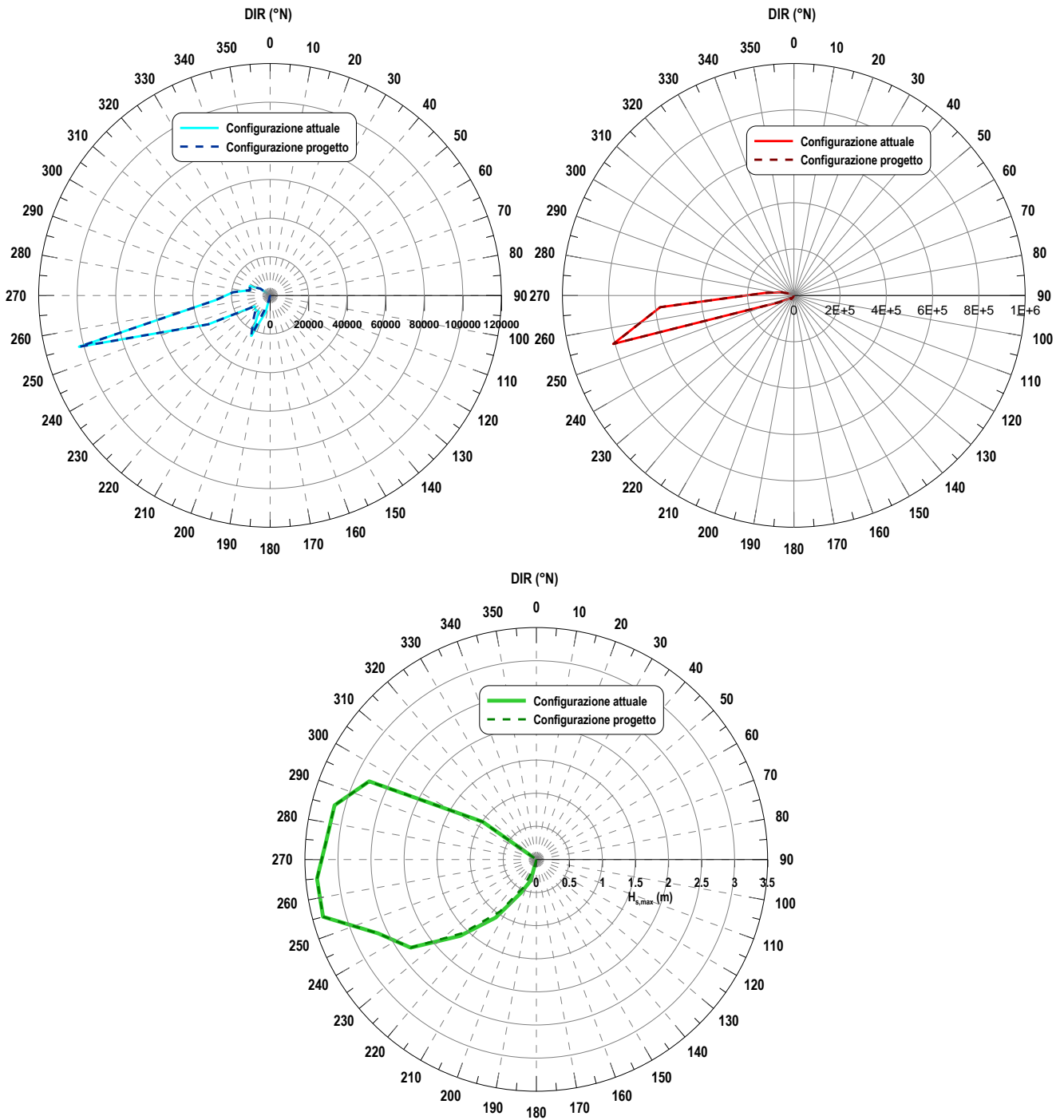


Figura 8.7- Punto P5: rosa delle registrazioni (in blu), delle energie (rosso) e delle altezze massime (verde) a confronto configurazione attuale e di progetto del Porto

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA  
1233\_PP-D-001\_1.docx

		Hs (m)								
DIR		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
(°N)		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
150	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160	170	0	0	0	0	0	0	0	0	0
170	180	0	0	0	0	0	0	0	0	0
180	190	1326	0	0	0	0	0	0	0	0
190	200	18427	1909	0	0	0	0	0	0	0
200	210	12499	5450	0	0	0	0	0	0	0
210	220	5171	1806	440	2	0	0	0	0	0
220	230	3328	3936	788	83	11	0	0	0	0
230	240	10665	3970	794	145	50	5	0	0	0
240	250	18709	22370	839	607	183	83	19	0	0
250	260	22126	19253	31367	13642	4505	2228	1225	235	227
260	270	13373	9398	4330	1968	801	590	222	923	27
270	280	7791	5457	1867	398	193	122	13	15	1
280	290	12634	1287	446	213	46	28	2	0	0
290	300	3889	2350	0	0	0	0	0	0	0
300	310	0	0	0	0	0	0	0	0	0
310	320	0	0	0	0	0	0	0	0	0
320	330	0	0	0	0	0	0	0	0	0
330	340	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 8.11- Punto P6 – Configurazione attuale del Porto

Tabella delle registrazioni ordinate per altezza significativa e direzione di provenienza (in parti per 350'635)

		Hs (m)								
DIR		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
(°N)		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
150	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160	170	0	0	0	0	0	0	0	0	0
170	180	0	0	0	0	0	0	0	0	0
180	190	0	0	0	0	0	0	0	0	0
190	200	14726	0	0	0	0	0	0	0	0
200	210	13487	6350	0	0	0	0	0	0	0
210	220	9210	2815	440	2	0	0	0	0	0
220	230	3328	3936	788	83	11	0	0	0	0
230	240	10665	3970	794	145	50	5	0	0	0
240	250	18709	22370	839	607	183	83	19	0	0
250	260	22126	19253	31367	13642	4505	2228	1225	235	227
260	270	13373	9398	4330	1968	801	590	222	923	27
270	280	7791	5457	1867	398	193	122	13	15	1
280	290	12634	1287	446	213	46	28	2	0	0
290	300	3889	2350	0	0	0	0	0	0	0
300	310	0	0	0	0	0	0	0	0	0
310	320	0	0	0	0	0	0	0	0	0
320	330	0	0	0	0	0	0	0	0	0
330	340	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 8.12- Punto P6 – Configurazione di progetto del Porto

Tabella delle registrazioni ordinate per altezza significativa e direzione di provenienza (in parti per 350'635)



Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PP-D-001\_1.docx

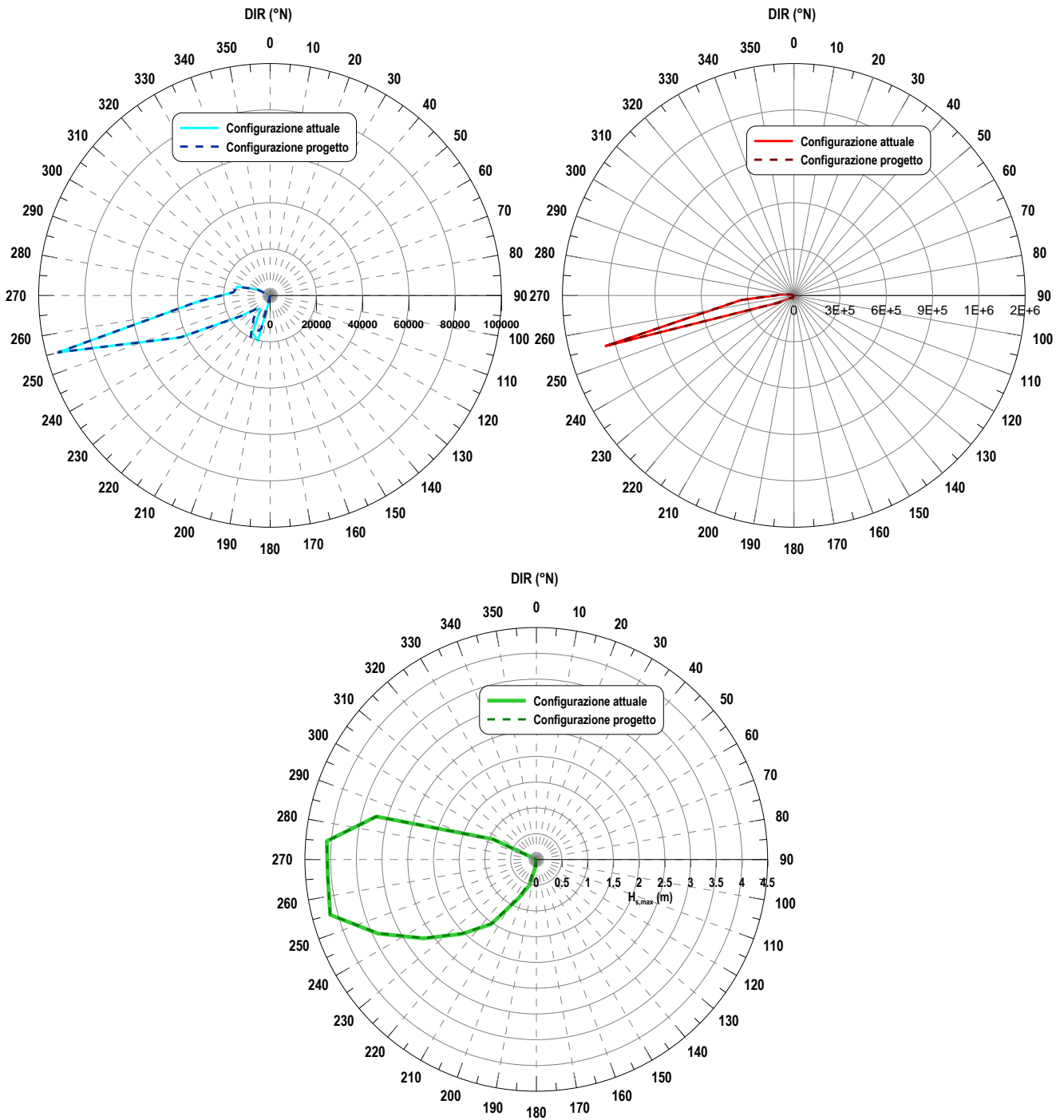


Figura 8.8- Punto P6: rosa delle registrazioni (in blu), delle energie (rosso) e delle altezze massime (verde) a confronto configurazione attuale e di progetto del Porto

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA  
1233\_PP-D-001\_1.docx

## 9 PROPAGAZIONE DEGLI EVENTI ESTREMI

Lo studio della propagazione locale delle mareggiate estreme è un'attività indispensabile ai fini della progettazione, sia per gli aspetti riguardanti l'analisi dell'agitazione ondosa all'interno del porto che per gli aspetti legati al dimensionamento e alla verifica delle opere previste in progetto.

Nel caso specifico, con riferimento alla statistica degli eventi estremi riportata nel precedente paragrafo 5.1.1 sono state propagate una serie di mareggiate provenienti dai 3 settori caratteristici del paraggio ( $150^{\circ}\div 220^{\circ}\text{N}$ ,  $220^{\circ}\div 280^{\circ}\text{N}$  e  $280^{\circ}\div 340^{\circ}\text{N}$ ) finalizzate rispettivamente a:

- studio dell'agitazione ondosa all'interno del bacino portuale e verifiche della portata di tracimazione ( $T_R$  50 anni);
- dimensionamenti delle opere ( $T_R$  140, 224 e 475 anni a seconda di tipologia di struttura e destinazione d'uso dell'opera).

Le prime simulazioni ( $T_R$  50 anni) sono state finalizzate a determinare l'input per il modello impiegato per lo studio dell'agitazione ondosa (cfr. Elaborato 1233\_PP-D-003\_0), ovvero di ricavare le caratteristiche dell'evento ondoso (altezza significativa, direzione e periodo) lungo il bordo della griglia di calcolo (codice di calcolo Boussinesq). Gli eventi caratterizzati da un tempo di ritorno di 50 anni sono stati utilizzati, in via preliminare, anche per il calcolo delle portate di tracimazione dei corpi d'opera per i quali è previsto l'accesso a persone e mezzi (sostanzialmente tutti i tratti di scogliera che delimitano il perimetro del terrapieno della colmata: corpi d'opera WBS 2b, 2c, 4a e 4b).

Per quanto riguarda i dimensionamenti delle opere, le simulazioni di dettaglio hanno consentito di definire i piani d'onda per l'area di intervento e di estrarre le condizioni più gravose per il dimensionamento dei vari corpi d'opera (dimensionamento delle mantellate delle scogliere e dei cassoni), con riferimento alle condizioni definite al precedente paragrafo 3.

Nei paragrafi successivi sono riportate le caratteristiche delle mareggiate estreme simulate e riassunti i risultati dello studio della propagazione di tali mareggiate nell'area di intervento. Le simulazioni sono state condotte con riferimento alla configurazione di progetto del porto di Livorno (prima fase di attuazione della piattaforma Europa).

### 9.1 Caratteristiche degli eventi estremi propagate

A partire dalle elaborazioni svolte sulla serie storica delle onde al largo e dalle indicazioni fornite nei precedenti paragrafi, sono stati individuati gli eventi estremi da propagare. Nello specifico, considerando la conformazione del paraggio e le analisi svolte sul clima ondoso al largo (cfr. precedente paragrafo 5).

#### 9.1.1 Eventi estremi individuati per l'agitazione ondosa e il calcolo della tracimazione ( $T_R$ 50 anni)

Per l'analisi dell'agitazione ondosa, finalizzata alla scelta del layout progettuale di prima fase e all'ottimizzazione della configurazione di progetto delle opere, si è scelto di considerare mareggiate estreme caratterizzate da un tempo di ritorno di 50 anni.

Per ciascuno dei tre subsettori in cui è stato suddiviso il settore di traversia del paraggio è stata individuata la corrispondente mareggiata caratterizzata da un  $T_R$  di 50 anni, sulla base dell'analisi statistica riportata al precedente paragrafo 5.1.1.

Le direzioni di provenienza delle mareggiate sono state individuate sulla base della distribuzione delle altezze d'onda massime e in funzione della capacità di penetrare all'interno dell'imboccatura portuale, valutata sulla base della direzione di provenienza e di una serie di simulazioni numeriche preliminari (Figura 9.1). I periodi da associare alle mareggiate così individuate sono stati ricavati sulla base di

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA  
1233\_PP-D-001\_1.docx

specifiche correlazioni  $H_s-T_p$  elaborate per ciascun settore sulla base degli eventi massimi annuali (cfr. precedente paragrafo 5.1.2).

Complessivamente, sono state propagate 9 mareggiate (3 per ciascun sub settore); le caratteristiche delle diverse mareggiate sono riportate nella seguente Tabella 9.1. Le simulazioni sono state condotte considerando un sovrizzo del livello medio del mare di +1.52 m s.m.m., derivante dalla somma del massimo livello di marea registrato dal mareografo della rete RMN e dal prevedibile incremento del livello medio del mare (cfr. precedente paragrafo 4).

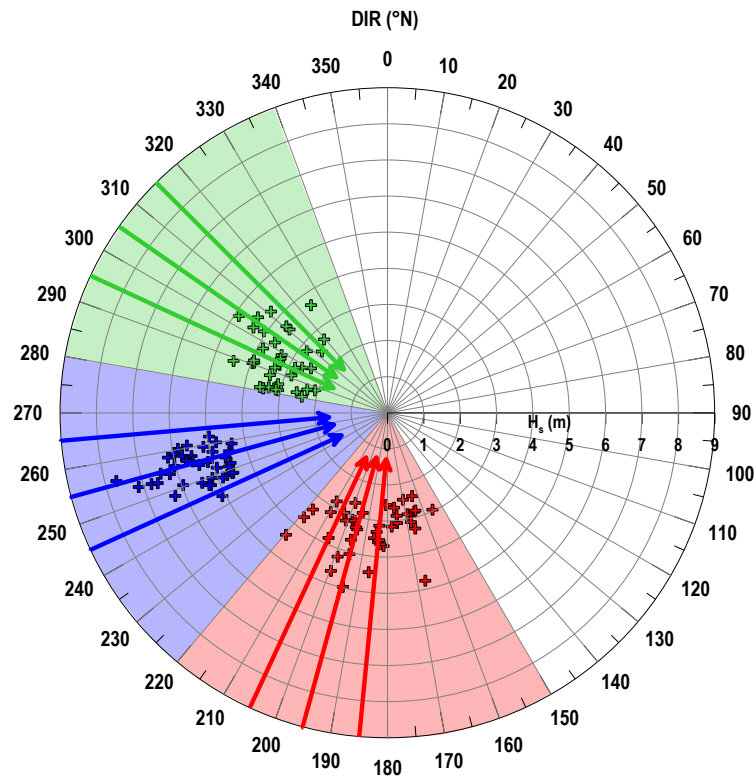


Figura 9.1- Eventi massimi annuali e individuazione delle direzioni di provenienza delle mareggiate estreme propagate

SETTORE	TEST	$T_R$ (anni)	$H_s$ (m)	$T_p$ (s)	DIR ( $^{\circ}$ N)
Mezzogiorno-Libeccio 150°÷220°N	A 1	50	5.22	9.50	185
	A 2	50	5.22	9.50	195
	A 3	50	5.22	9.50	205
Libeccio-Ponente 220°÷280°N	A 4	50	7.74	12.00	245
	A 5	50	7.74	12.00	255
	A 6	50	7.74	12.00	265
Maestrale 280°÷340°N	A 7	50	5.26	9.06	295
	A 8	50	5.26	9.06	305
	A 9	50	5.26	9.06	315

Tabella 9.1- Mareggiate individuate per la propagazione degli eventi estremi  $T_R$  50 anni  
Caratteristiche delle evento nel punto UNIGE al largo

### 9.1.2 Eventi estremi individuati per i dimensionamenti ( $T_R$ 140, 224 e 475 anni)

Per il dimensionamento delle opere, in funzione della tipologia di infrastruttura, della destinazione d'uso e del livello di sicurezza atteso (cfr. precedente paragrafo 3, sono stati individuati i seguenti

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA  
1233\_PP-D-001\_1.docx

tempi di ritorno significativi: 140, 224 e 475 anni. Per ciascuno dei tre subsettori in cui è stato suddiviso il settore di traversia del paraggio sono state individuate le corrispondenti mareggiate caratterizzate rispettivamente da un  $T_R$  di 140, 224 e 475 anni (cfr. paragrafo 5.1.1).

Per quanto riguarda le direzioni di provenienza, in modo analogo a quanto riportato al precedente paragrafo 9.1.1 per le mareggiate  $T_R$  50 anni, sono state considerate per ciascun sub settore 3 possibili direzioni di provenienza dell'evento estremo rappresentativo (Figura 9.1). I periodi da associare alle mareggiate così individuate sono stati ricavati sulla base di specifiche correlazioni  $H_S-T_p$  elaborate per ciascun settore sulla base degli eventi massimi annuali (cfr. precedente paragrafo 5.1.2).

Complessivamente, sono state propagate 27 mareggiate (9 per ciascun sub settore); le caratteristiche delle diverse mareggiate sono riportate nella seguente Tabella 9.2. Anche in questo caso le simulazioni sono state condotte considerando un sovrizzo del livello medio del mare di +1.52 m s.m.m. (cfr. precedente paragrafo 4).

SETTORE	TEST	$T_R$ (anni)	$H_s$ (m)	$T_p$ (s)	DIR ( $^{\circ}$ N)
Mezzogiorno-Libeccio 150 $^{\circ}$ ÷220 $^{\circ}$ N	D 1	140	5.80	9.97	185
	D 2	140	5.80	9.97	195
	D 3	140	5.80	9.97	205
	D 4	224	6.06	10.17	185
	D 5	224	6.06	10.17	195
	D 6	224	6.06	10.17	205
	D 7	475	6.48	10.49	185
	D 8	475	6.48	10.49	195
	D 9	475	6.48	10.49	205
Libeccio-Ponente 220 $^{\circ}$ ÷280 $^{\circ}$ N	D 10	140	8.44	12.52	245
	D 11	140	8.44	12.52	255
	D 12	140	8.44	12.52	265
	D 13	224	8.76	12.75	245
	D 14	224	8.76	12.75	255
	D 15	224	8.76	12.75	265
	D 16	475	9.27	13.11	245
	D 17	475	9.27	13.11	255
	D 18	475	9.27	13.11	265
Maestrale 280 $^{\circ}$ ÷340 $^{\circ}$ N	D 19	140	5.85	9.21	295
	D 20	140	5.85	9.21	305
	D 21	140	5.85	9.21	315
	D 22	224	6.12	9.27	295
	D 23	224	6.12	9.27	305
	D 24	224	6.12	9.27	315
	D 25	475	6.55	9.37	295
	D 26	475	6.55	9.37	305
	D 27	475	6.55	9.37	315

Tabella 9.2- Mareggiate individuate per la propagazione degli eventi estremi  $T_R$  140, 224 e 475 anni  
Caratteristiche delle evento nel punto UNIGE al largo

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PP-D-001\_1.docx

## 9.2 Settaggio del modello

La propagazione locale delle mareggiate estreme è stata condotta per mezzo del codice di calcolo SWAN; il dominio di calcolo impiegato è quello descritto al precedente paragrafo 8.1 (cfr. Figura 8.1).

Di seguito in Figura 9.2(a sinistra) si riporta una rappresentazione della griglia batimetrica BIG GRID da cui sono state estratte le condizioni al contorno per il modello di agitazione ondosa e i parametri di progetto per il calcolo delle portate di tracimazione, con riferimento alle mareggiate caratterizzate da un tempo di ritorno di 50 anni.

In Figura 9.2(a destra) si riporta invece una rappresentazione della griglia batimetrica SMALL GRID 1 e della relativa griglia annidata LOCAL GRID da cui sono state estratte le caratteristiche delle onde di progetto per il dimensionamento delle opere ( $T_R$  140, 224 e 475 anni).

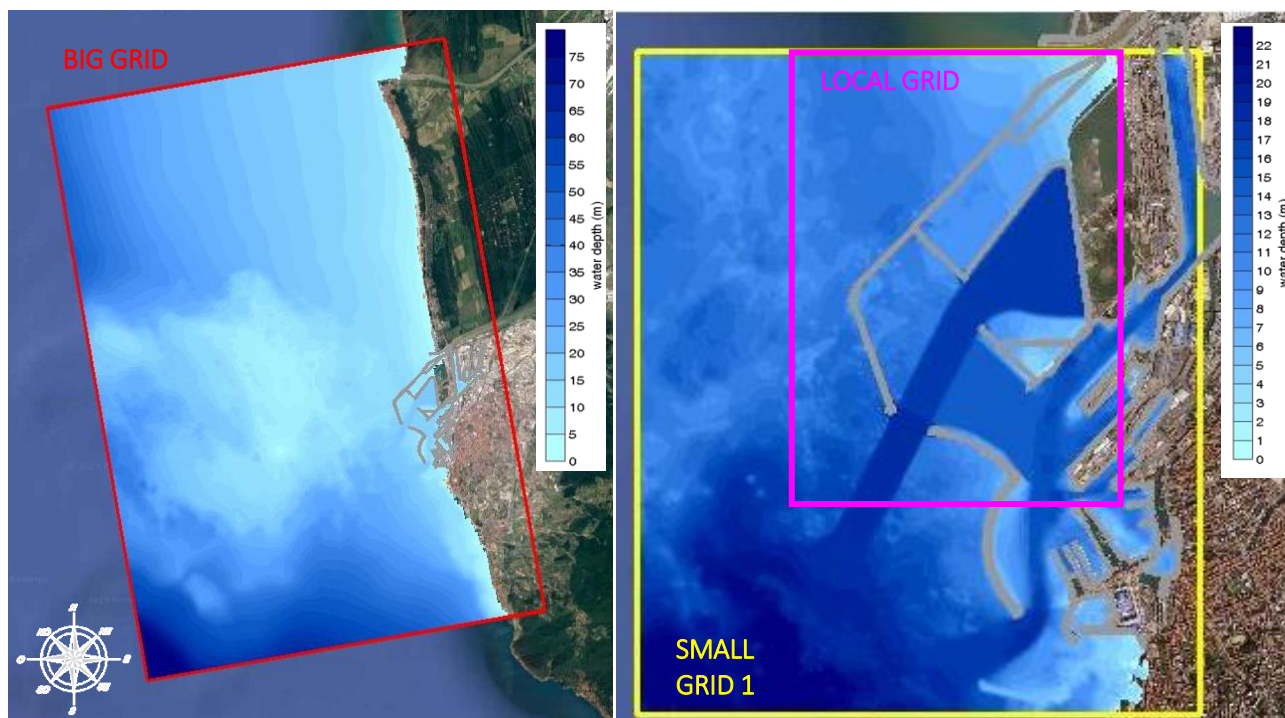


Figura 9.2- Batimetria della griglia di calcolo BIG GRID (a sinistra) e SMALL GRID 1 – LOCAL GRID (a destra)

### 9.3 Risultati delle propagazioni

Nel presente paragrafo sono riportati i risultati delle simulazioni della propagazione delle mareggiate estreme, ottenute per mezzo del codice di calcolo SWAN.

I risultati delle propagazioni sono riportati in termini di piani d'onda nelle successive figure (da cfr. paragrafi 9.3.1 e 9.3.2). Le figure rappresentano, in termini di gradazione cromatica, le altezze d'onda significative, mentre le direzioni locali dell'onda sono indicate mediante vettori il cui modulo è proporzionale all'altezza d'onda significativa.

#### 9.3.1 Eventi estremi individuati per l'agitazione ondosa ( $T_R$ 50 anni)

Per quanto riguarda le mareggiate estreme caratterizzate da un tempo di ritorno di 50 anni, si riportano di seguito i piani d'onda per i 3 TEST più gravosi (uno per settore di provenienza), utilizzati per estrarre le condizioni al contorno del modello di agitazione ondosa e per il calcolo delle portate di tracimazione.

Si osserva come le mareggiate più intense provengano dal settore centrale di Libeccio-Ponente (TEST A 4 - Figura 9.4) con valori di altezza significativa pari a circa 4.5 m in corrispondenza delle opere foranee e 3.5 m all'imboccatura. La mareggiata di Mezzogiorno-Libeccio (TEST A 2 - Figura 9.3) pur essendo meno intensa, considerata la direzione di provenienza, potrebbe esser maggiormente significativa al fine dello studio dell'agitazione ondosa di alcune aree del bacino (come ad esempio l'attracco traghetti sulla diga Nord interna). La mareggiata di Maestrale (TEST A 9 - Figura 9.5) è risultata invece di fondamentale importanza per la scelta del layout progettuale di prima fase (chiusura della diga Nord e riassetto delle opere interne).

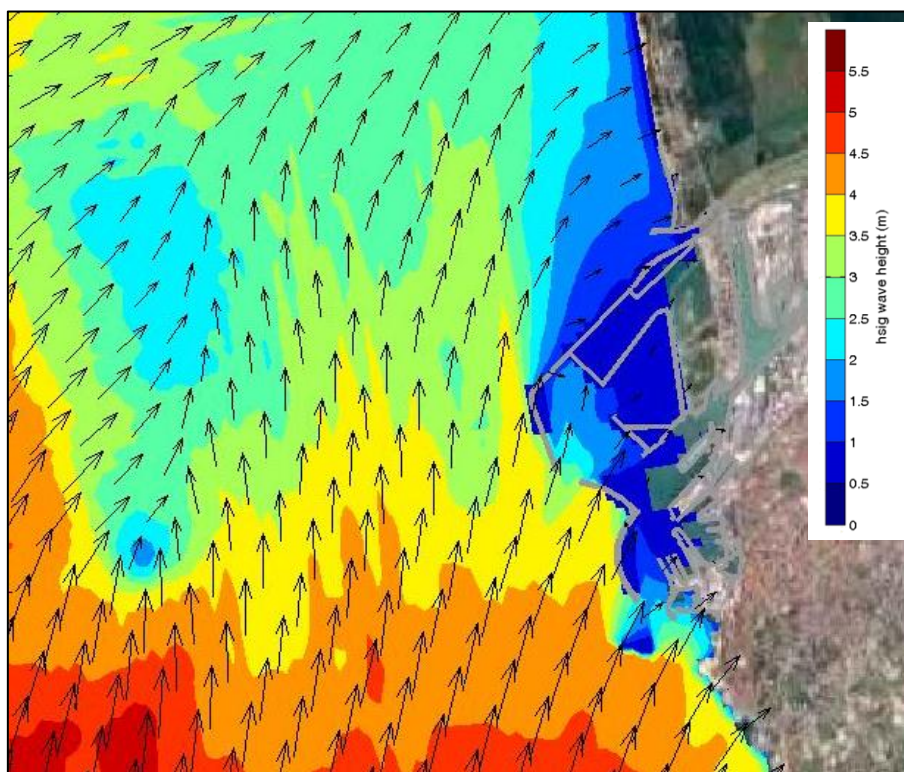


Figura 9.3- TEST A 2: Evento estremo  $T_R$  50 anni dal settore  $150^\circ \div 220^\circ N$  (Mezzogiorno-Libeccio)  
Caratteristiche al largo:  $H_s = 5.22$  m;  $T_p = 9.50$  s;  $DIR = 195^\circ N$ ; Sovralzo = +1.52 m s.m.m.

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PP-D-001\_1.docx

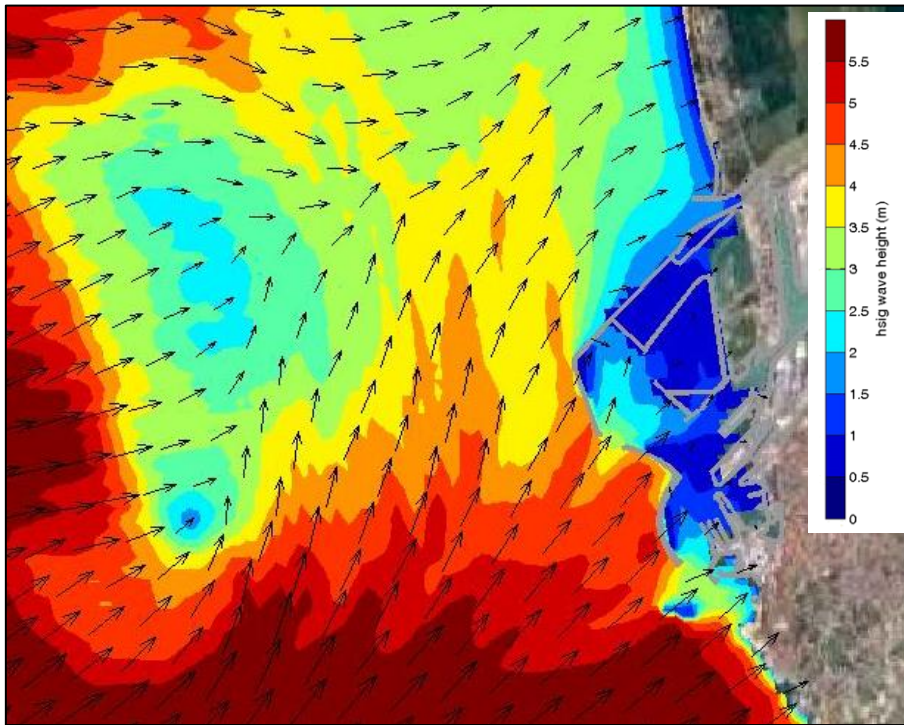


Figura 9.4- TEST A 4: Evento estremo  $T_R$  50 anni dal settore  $220^\circ \div 280^\circ N$  (Libeccio-Ponente)  
Caratteristiche al largo:  $H_s = 7.74$  m;  $T_p = 12.00$  s;  $DIR = 245^\circ N$ ; Sovralzo = +1.52 m s.m.m.

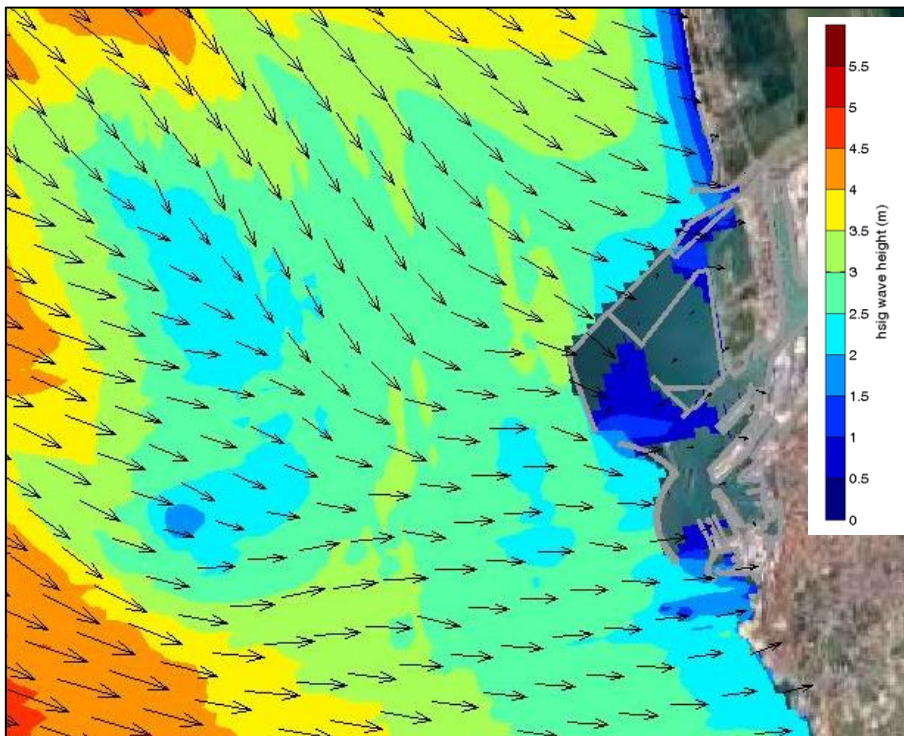


Figura 9.5- TEST A 9: Evento estremo  $T_R$  50 anni dal settore  $280^\circ \div 340^\circ N$  (Maestrale)  
Caratteristiche al largo:  $H_s = 5.26$  m;  $T_p = 9.06$  s;  $DIR = 315^\circ N$ ; Sovralzo = +1.52 m s.m.m.

Progetto:	Livello progettazione:	Elaborato:
Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Progetto di fattibilità tecnico economica	IDRAULICA MARITTIMA 1233_PP-D-001_1.docx

### 9.3.2 Eventi estremi individuati per i dimensionamenti (TR 140, 224 e 475 anni)

Per quanto riguarda le mareggiate estreme considerate per il dimensionamento delle opere (mantellate in massi naturali e artificiali) si riportano di seguito i piani d'onda per i 3 TEST più gravosi, utilizzati per estrarre i parametri di progetto in prossimità delle opere.

Le mareggiate estreme provenienti da Mezzogiorno-Libeccio  $150^{\circ}\div 220^{\circ}\text{N}$  (TEST D 4 -Figura 9.6) sono state impiegate per il dimensionamento del tratto interno della chiusura della diga Nord; si osserva infatti come nel TEST D 4 sia evidente una maggiore penetrazione dell'onda all'interno del bacino sul lato Ovest rispetto alle mareggiate provenienti dal settore di Libeccio-Ponente  $220^{\circ}\div 280^{\circ}\text{N}$  (TEST D13, confrontabile con D 4 a parità di tempo di ritorno).

Le mareggiate provenienti da Libeccio-Ponente  $220^{\circ}\div 280^{\circ}\text{N}$  (TEST D 10 - Figura 9.7, TEST D 13 - Figura 9.8 e TEST D 16 - Figura 9.9), che raggiungono l'imboccatura portuale con direzione pressoché coincidente con la rotta di ingresso al porto, sono state invece utilizzate per il dimensionamento di tutte le opere più esterne (diga Nord testata, diga Nord tratto in cassoni e testata del tratto curvo di chiusura), parte delle opere interne (scogliera diga Nord che contermina la colmata e diga Sud) e nuova diga della Meloria. Le altezze d'onda significativa più elevate variabili tra 5.5 e 6.5 m circa in funzione del tempo di ritorno si osservano in corrispondenza del primo tratto della diga Nord e della nuova diga della Meloria; all'interno del bacino in corrispondenza della diga Sud i valori si dimezzano (si passa ad un valore massimo di Hs di 2.5 m).

Le mareggiate provenienti da Maestrale  $280^{\circ}\div 340^{\circ}\text{N}$  (TEST D 23 - Figura 9.10 e TEST D 13 - Figura 9.11), vista la direzione di provenienza sono state impiegate per il dimensionamento dei corpi d'opera direttamente esposti al settore di Nord-Ovest, ovvero al tratto di chiusura e a tutto il prolungamento della diga Nord fino a terra (scogliere della nuova darsena comprese). In questo caso si osservano valori di altezza significativa più contenuti rispetto alle mareggiate provenienti dal settore principale di Libeccio-Ponente e i valori massimi di Hs sono di poco superiori ai 3 m.



Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PP-D-001\_1.docx

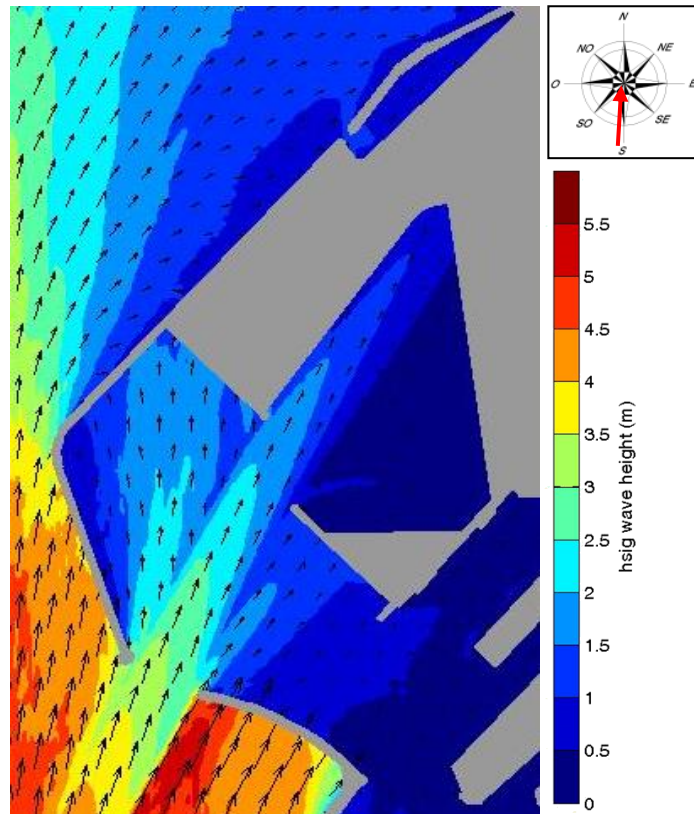


Figura 9.6 - TEST D4 Evento estremo  $T_R$  224 anni dal settore  $150^\circ \div 220^\circ N$  (Mezzogiorno-Libeccio)  
Caratteristiche al largo:  $H_s = 6.06$  m;  $T_p = 10.17$  s;  $DIR = 185^\circ N$ ; Sovralzo = +1.52 m s.m.m.

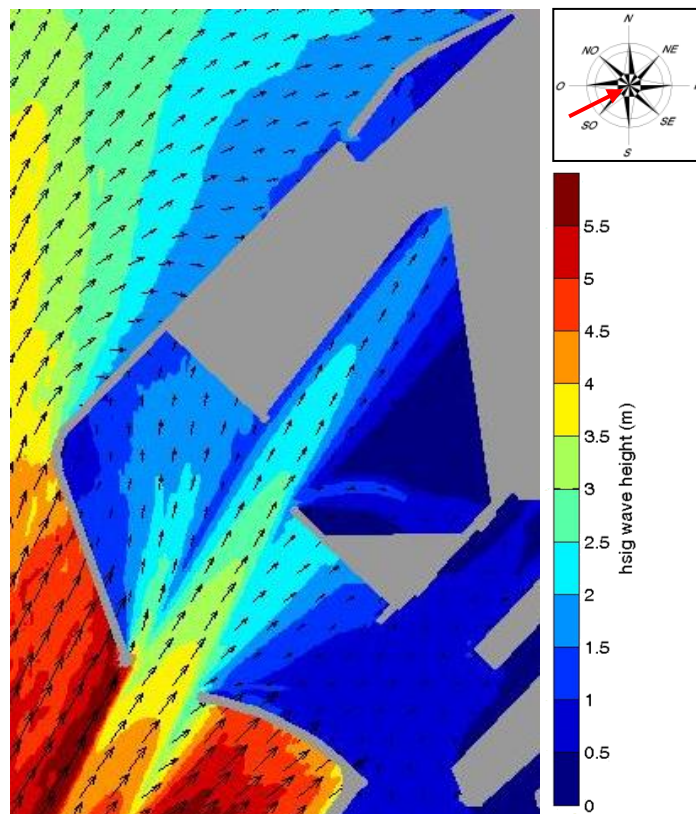


Figura 9.7- TEST D10 Evento estremo  $T_R$  140 anni dal settore  $220^\circ \div 280^\circ N$  (Libeccio-Ponente)  
Caratteristiche al largo:  $H_s = 8.44$  m;  $T_p = 12.52$  s;  $DIR = 245^\circ N$ ; Sovralzo = +1.52 m s.m.m.

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PP-D-001\_1.docx

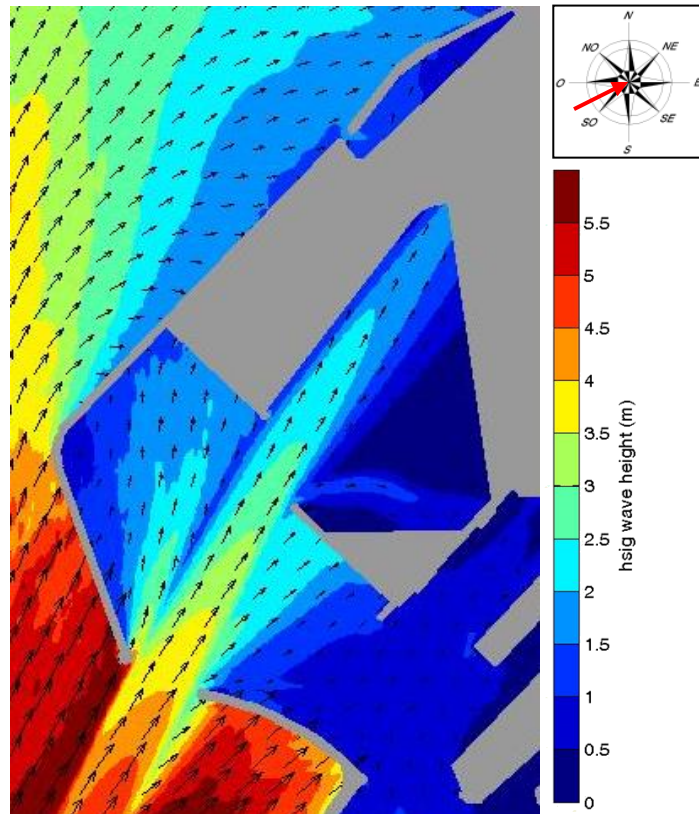


Figura 9.8- TEST D13 Evento estremo  $T_R$  224 anni dal settore  $220^\circ \div 280^\circ N$  (Libeccio-Ponente)  
Caratteristiche al largo:  $H_s = 8.76$  m;  $T_p = 12.75$  s;  $DIR = 245^\circ N$ ; Sovralzo = +1.52 m s.m.m.

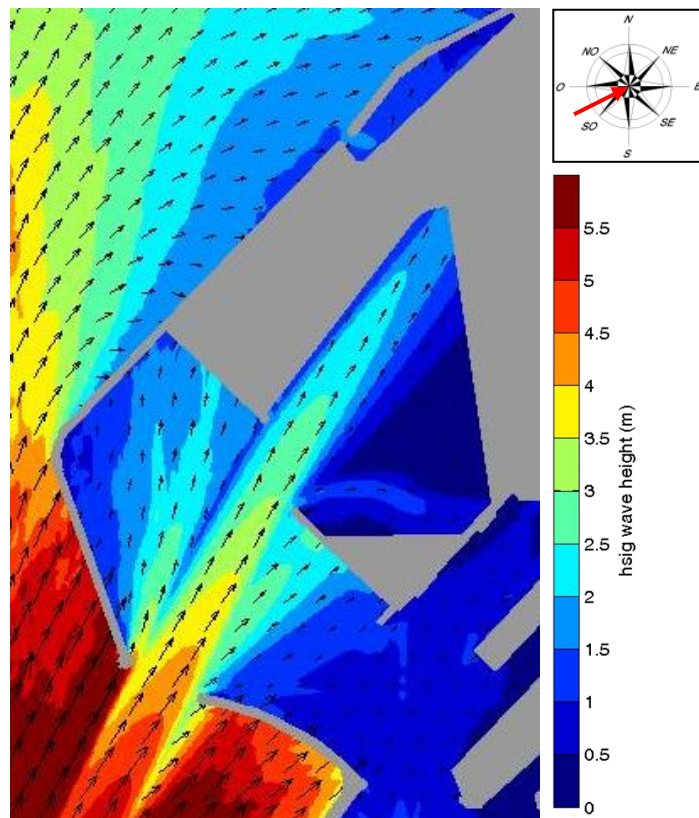


Figura 9.9- TEST D16 Evento estremo  $T_R$  475 anni dal settore  $220^\circ \div 280^\circ N$  (Libeccio-Ponente)  
Caratteristiche al largo:  $H_s = 9.27$  m;  $T_p = 13.11$  s;  $DIR = 245^\circ N$ ; Sovralzo = +1.52 m s.m.m.

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PP-D-001\_1.docx

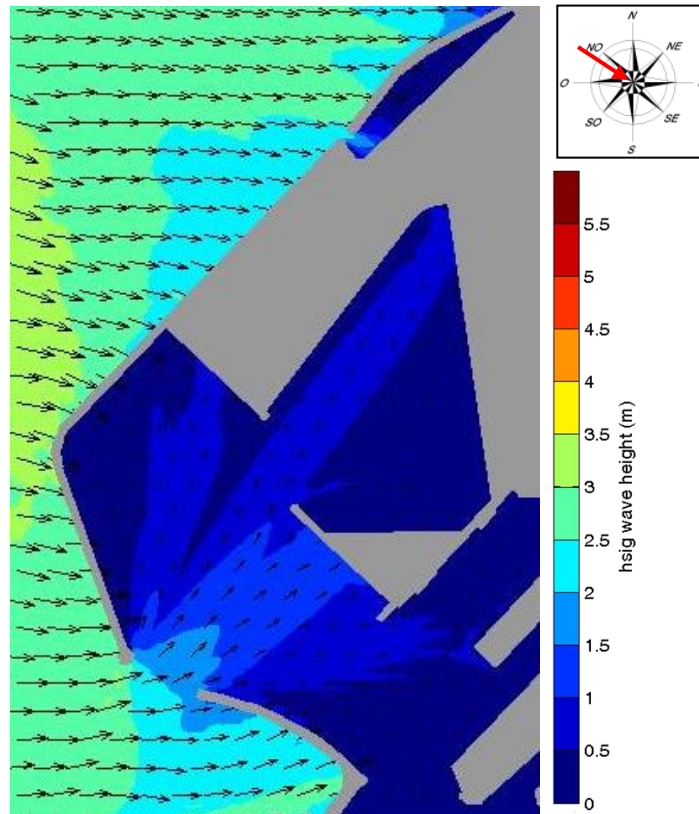


Figura 9.10 - TEST D23 Evento estremo  $T_R$  224 anni dal settore  $280^\circ\div 340^\circ N$  (Maestrale)  
Caratteristiche al largo:  $H_s = 6.12$  m;  $T_p = 9.27$  s;  $DIR = 305^\circ N$ ; Sovralzo = +1.52 m s.m.m.

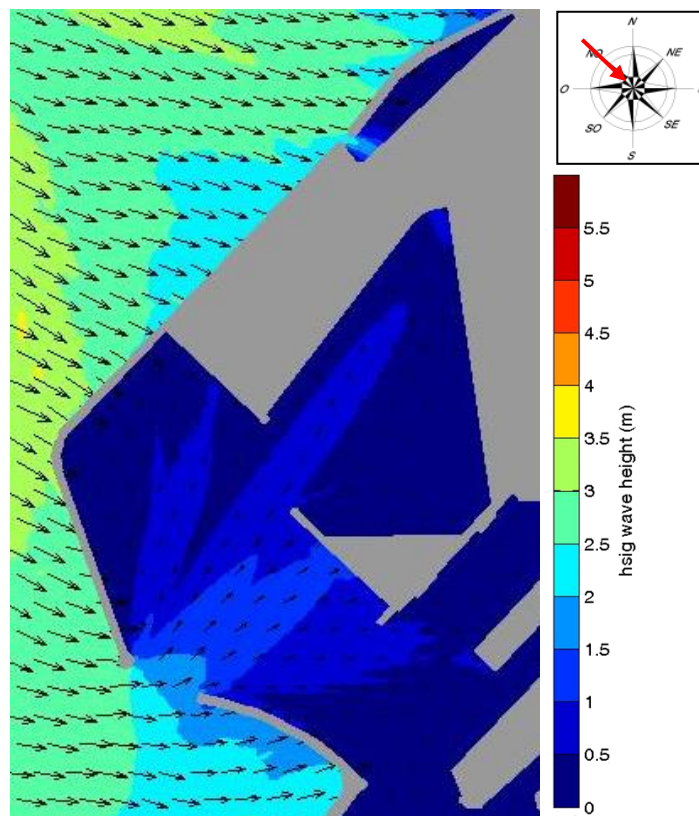


Figura 9.11 - TEST D24 Evento estremo  $T_R$  224 anni dal settore  $280^\circ\div 340^\circ N$  (Maestrale)  
Caratteristiche al largo:  $H_s = 6.12$  m;  $T_p = 9.27$  s;  $DIR = 315^\circ N$ ; Sovralzo = +1.52 m s.m.m.

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PP-D-001\_1.docx

## 10 ONDE DI PROGETTO

Nel presente paragrafo si riportano le onde di progetto, per i dimensionamenti delle opere (mantellate e cassoni) e per il calcolo delle portate di tracimazione, estratte dalle simulazioni SWAN i cui risultati sono rappresentati graficamente (piani d'onda) nei precedenti paragrafi 9.3.1 e 9.3.2.

Dall'output della griglia di dettaglio (LOCAL GRID centrata nell'area portuale) sono state estratte, lungo transetti opportunamente tracciati in corrispondenza del piede delle opere, i parametri dell'onda: altezza significativa, periodo di picco e direzione media di provenienza. Le condizioni sono state estratte ad una distanza pari a circa 5 volte l'altezza significativa (come suggerito in letteratura; cfr. "Random Seas and Design in Maritime Structures" Goda).

Per ciascun corpo d'opera, sulla base della tipologia di struttura, del tempo di ritorno precedentemente definito (cfr. paragrafo 3) e dell'esposizione del tratto da dimensionare, è stato individuato il TEST più gravoso. Nelle successive tabelle (da Tabella 10.1 a Tabella 10.12) sono riassunte le caratteristiche delle onde di progetto utilizzate per i dimensionamenti delle opere (mantellate delle scogliere e cassoni); nelle tabelle è indicata anche la sezione tipologica di riferimento (Figura 10.1) e il numero del TEST da cui sono stati estratti i parametri dell'onda.

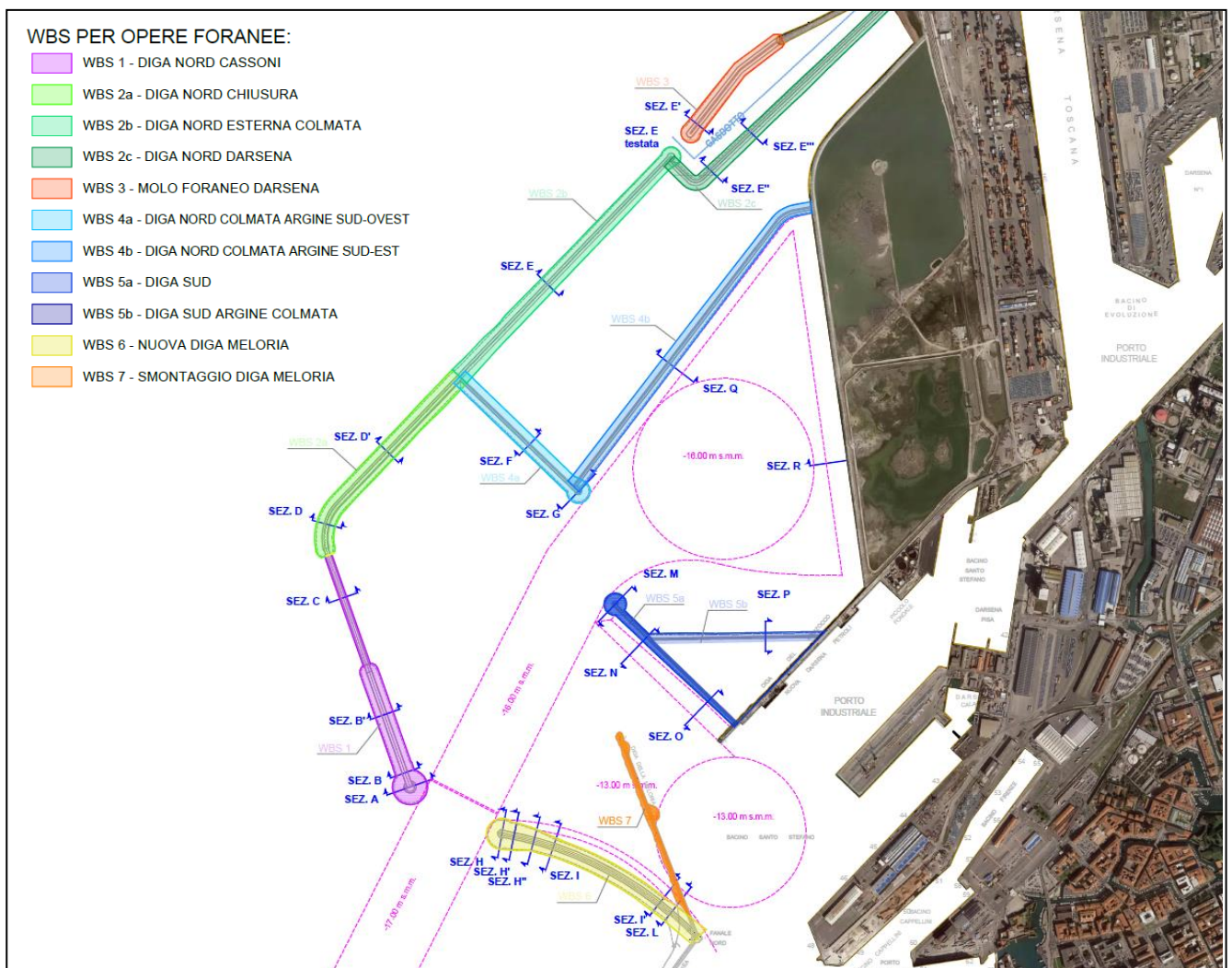


Figura 10.1- Planimetria con indicazione dei corpi d'opera e ubicazione delle sezioni tipologiche

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA  
1233\_PP-D-001\_1.docx

<b>CORPO D'OPERA WBS 1 –DIGA NORD CASSONI (testata)</b>	
<b>Tempo di ritorno <math>T_{rp}</math></b>	140 anni
<b>Tipologia di opera</b>	a gettata (scogliera in accropodi)
<b>Sezioni tipologiche</b>	SEZ. A
<b>Numero di TEST</b>	D 10 (settore 220°÷280°N)
<b>Altezza significativa</b>	5.71 m
<b>Periodo di picco</b>	12.52 s
<b>Direzione di provenienza</b>	200°N

Tabella 10.1 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della DIGA NORD CASSONI (testata)

<b>CORPO D'OPERA WBS 1 – DIGA NORD CASSONI (corrente)</b>		
<b>Tempo di ritorno <math>T_{rp}</math></b>	475 anni	
<b>Tipologia di opera</b>	cassoni	
<b>Sezioni tipologiche</b>	SEZ. B-B'	SEZ. C
<b>Numero di TEST</b>	D 16 (settore 220°÷280°N)	D 16 (settore 220°÷280°N)
<b>Altezza significativa</b>	6.31 m	5.51 m
<b>Periodo di picco</b>	13.11 s	13.11 s
<b>Direzione di provenienza</b>	200°N	205°N

Tabella 10.2 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della DIGA NORD CASSONI (corrente)

<b>CORPO D'OPERA WBS 2a – DIGA NORD CHIUSURA (lato esterno)</b>		
<b>Tempo di ritorno <math>T_{rp}</math></b>	224 anni	
<b>Tipologia di opera</b>	a gettata (scogliera in accropodi)	
<b>Sezioni tipologiche</b>	SEZ. D	SEZ. D'
<b>Numero di TEST</b>	D 13 (settore 220°÷280°N)	D 24 (settore 280°÷340°N)
<b>Altezza significativa</b>	4.31 m	3.12 m
<b>Periodo di picco</b>	12.75 s	9.27 s
<b>Direzione di provenienza</b>	213°N	306°N

Tabella 10.3 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della DIGA NORD CHIUSURA (lato esterno)

<b>CORPO D'OPERA WBS 2a – DIGA NORD CHIUSURA (lato interno)</b>	
<b>Tempo di ritorno <math>T_{rp}</math></b>	224 anni
<b>Tipologia di opera</b>	a gettata (scogliera in massi naturali)
<b>Sezioni tipologiche</b>	SEZ. D'
<b>Numero di TEST</b>	D 4 (settore 150°÷220°N)
<b>Altezza significativa</b>	1.64 m
<b>Periodo di picco</b>	10.17 s
<b>Direzione di provenienza</b>	174°N

Tabella 10.4 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della DIGA NORD CHIUSURA (lato interno)

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA  
1233\_PP-D-001\_1.docx

<b>CORPO D'OPERA WBS 2b – DIGA NORD ESTERNA COLMATA</b>		
<b>Tempo di ritorno <math>T_{rp}</math></b>	224 anni	
<b>Tipologia di opera</b>	a gettata (scogliera in massi naturali)	
<b>Sezioni tipologiche</b>	SEZ. E (corrente)	SEZ. E (testata)
<b>Numero di TEST</b>	D 23 (settore 280°÷340°N)	D 24 (settore 280°÷340°N)
<b>Altezza significativa</b>	2.57 m	2.48 m
<b>Periodo di picco</b>	9.27	9.27 s
<b>Direzione di provenienza</b>	293°N	286°N

Tabella 10.5 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della DIGA NORD ESTERNA COLMATA

<b>CORPO D'OPERA WBS 2c – DIGA NORD DARSENA</b>		
<b>Tempo di ritorno <math>T_{rp}</math></b>	224 anni	
<b>Tipologia di opera</b>	a gettata (scogliera in massi naturali)	
<b>Sezioni tipologiche</b>	SEZ. E''	SEZ. E'''
<b>Numero di TEST</b>	D 24 (settore 280°÷340°N)	D 24 (settore 280°÷340°N)
<b>Altezza significativa</b>	1.10 m	1.75 m
<b>Periodo di picco</b>	9.27	9.27 s
<b>Direzione di provenienza</b>	301°N	295°N

Tabella 10.6 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della DIGA NORD DARSENA

<b>CORPO D'OPERA WBS 3 – MOLO FORANEO DARSENA</b>		
<b>Tempo di ritorno <math>T_{rp}</math></b>	224 anni	
<b>Tipologia di opera</b>	a gettata (scogliera in massi naturali)	
<b>Sezioni tipologiche</b>	SEZ. E' (corrente)	SEZ. E (testata)
<b>Numero di TEST</b>	D 24 (settore 280°÷340°N)	D 24 (settore 280°÷340°N)
<b>Altezza significativa</b>	2.76 m	2.60m
<b>Periodo di picco</b>	9.27 s	9.27 s
<b>Direzione di provenienza</b>	285°N	285°N

Tabella 10.7 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento del MOLO FORANEO DARSENA

<b>CORPO D'OPERA WBS 4a - DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-OVEST</b>		
<b>Tempo di ritorno <math>T_{rp}</math></b>	224 anni	
<b>Tipologia di opera</b>	a gettata (scogliera in massi naturali)	
<b>Sezioni tipologiche</b>	SEZ. F (corrente)	SEZ. G (testata)
<b>Numero di TEST</b>	D 13 (settore 220°÷280°N)	D 13 (settore 220°÷280°N)
<b>Altezza significativa</b>	1.92 m	1.35m
<b>Periodo di picco</b>	12.75 s	12.75 s
<b>Direzione di provenienza</b>	194°N	198°N

Tabella 10.8 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-OVEST

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA  
1233\_PP-D-001\_1.docx

<b>CORPO D'OPERA WBS 4b - DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-EST</b>	
<b>Tempo di ritorno <math>T_{rp}</math></b>	224 anni
<b>Tipologia di opera</b>	a gettata (scogliera in massi naturali)
<b>Sezioni tipologiche</b>	SEZ. Q
<b>Numero di TEST</b>	D 13 (settore 220°÷280°N)
<b>Altezza significativa</b>	1.46 m
<b>Periodo di picco</b>	12.75 s
<b>Direzione di provenienza</b>	185°N

Tabella 10.9 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-EST

<b>CORPO D'OPERA WBS 5a - DIGA SUD</b>		
<b>Tempo di ritorno <math>T_{rp}</math></b>	140 anni	
<b>Tipologia di opera</b>	a gettata (scogliera in massi naturali)	
<b>Sezioni tipologiche</b>	SEZ. N-O (corrente)	SEZ. M (testata)
<b>Numero di TEST</b>	D 10 (settore 220°÷280°N)	D 10 (settore 220°÷280°N)
<b>Altezza significativa</b>	2.27 m	1.74 m
<b>Periodo di picco</b>	12.52 s	12.52 s
<b>Direzione di provenienza</b>	228°N	227°N

Tabella 10.10 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della DIGA SUD

<b>CORPO D'OPERA WBS 5b - DIGA SUD ARGINE COLMATA</b>	
<b>Tempo di ritorno <math>T_{rp}</math></b>	140 anni
<b>Tipologia di opera</b>	a gettata (scogliera in massi naturali)
<b>Sezioni tipologiche</b>	SEZ. P
<b>Numero di TEST</b>	D 10 (settore 220°÷280°N)
<b>Altezza significativa</b>	0.72 m
<b>Periodo di picco</b>	12.52 s
<b>Direzione di provenienza</b>	311°N

Tabella 10.11 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della DIGA SUD ARGINE COLMATA

<b>CORPO D'OPERA WBS 6 - NUOVA DIGA MELORIA</b>		
<b>Tempo di ritorno <math>T_{rp}</math></b>	140 anni	
<b>Tipologia di opera</b>	a gettata (scogliera in accropodi)	
<b>Sezioni tipologiche</b>	SEZ. H'-H''-I-I'-L (corrente)	SEZ. H(testata)
<b>Numero di TEST</b>	D 10 (settore 220°÷280°N)	D 10 (settore 220°÷280°N)
<b>Altezza significativa</b>	4.80 m	3.00 m
<b>Periodo di picco</b>	12.52 s	12.52 s
<b>Direzione di provenienza</b>	226°N	230°N

Tabella 10.12 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della NUOVA DIGA DELLA MELORIA

<p>Progetto:</p> <p>Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale</p>	<p>Livello progettazione:</p> <p>Progetto di fattibilità tecnico economica</p>	<p>Elaborato:</p> <p>IDRAULICA MARITTIMA</p> <p>1233_PP-D-001_1.docx</p>
---	--	--

Nelle successive tabelle (da Tabella 10.13 a Tabella 10.16) sono riassunte le caratteristiche delle onde di progetto utilizzate per il calcolo della risalita dell'onda e delle portate di tracimazione (tratti in scogliera accessibili); nelle tabelle è indicata anche la sezione tipologica di riferimento (Figura 10.1) e il numero del TEST da cui sono stati estratti i parametri dell'onda.



Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA  
1233\_PP-D-001\_1.docx

<b>CORPO D'OPERA WBS 2b – CORPO D'OPERA WBS 2b – DIGA NORD ESTERNA COLMATA</b>	
<b>Tempo di ritorno <math>T_{rp}</math></b>	50 anni
<b>Sezioni tipologiche</b>	SEZ. E
<b>Numero di TEST</b>	A 9 (settore 280°÷340°N)
<b>Altezza significativa</b>	2.50 m
<b>Periodo di picco</b>	9.06 s
<b>Direzione di provenienza</b>	298°N

Tabella 10.13 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il calcolo di risalita e tracimazione - DIGA NORD ESTERNA COLMATA

<b>CORPO D'OPERA WBS 2c – DIGA NORD DARSENA</b>	
<b>Tempo di ritorno <math>T_{rp}</math></b>	50 anni
<b>Sezioni tipologiche</b>	SEZ. E''
<b>Numero di TEST</b>	A 9 (settore 280°÷340°N)
<b>Altezza significativa</b>	1.63 m
<b>Periodo di picco</b>	9.06 s
<b>Direzione di provenienza</b>	296°N

Tabella 10.14 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il calcolo di risalita e tracimazione - DIGA NORD DARSENA

<b>CORPO D'OPERA WBS 4a - DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-OVEST</b>	
<b>Tempo di ritorno <math>T_{rp}</math></b>	50 anni
<b>Sezioni tipologiche</b>	SEZ. F
<b>Numero di TEST</b>	A 4 (settore 220°÷280°N)
<b>Altezza significativa</b>	1.63 m
<b>Periodo di picco</b>	12.00 s
<b>Direzione di provenienza</b>	193°N

Tabella 10.15 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il calcolo di risalita e tracimazione  
DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-OVEST

<b>CORPO D'OPERA WBS 4b - DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-EST</b>	
<b>Tempo di ritorno <math>T_{rp}</math></b>	50 anni
<b>Sezioni tipologiche</b>	SEZ. Q
<b>Numero di TEST</b>	A 4 (settore 150°÷220°N)
<b>Altezza significativa</b>	1.20 m
<b>Periodo di picco</b>	12.00 s
<b>Direzione di provenienza</b>	186°N

Tabella 10.16 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il calcolo di risalita e tracimazione  
DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-EST

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA  
1233\_PP-D-001\_1.docx

## 11 APPENDICE – DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO SWAN

Il modello SWAN (Simulation Waves Nearshore) è un modello numerico espressamente sviluppato per ottenere stime attendibili dei parametri d'onda in aree costiere. Il modello si basa sull'equazione di conservazione dell'azione, e tiene conto di varie forzanti e fattori dissipativi. SWAN è un modello della terza generazione, cioè dinamico e completamente spettrale in frequenza e direzione. Il modello è stato sviluppato dall'Università di Delft (Olanda) e conta ormai come utenti - validatori moltissimi Istituti di Ricerca in più di trenta paesi.

### 11.1 Capacità e limitazioni di SWAN

Il modello SWAN può tenere conto dei seguenti processi: rifrazione dovuta al fondo e ai gradienti di corrente, shoaling dovuto al fondo e ai gradienti di corrente, blocking e riflessione dovuti alla corrente. Il modello inoltre considera le seguenti forzanti/processi dissipativi: generazione dovuta al vento, dissipazione dovuta al whitecapping, frangimento, attrito al fondo, redistribuzione dell'energia sullo spettro dovuta ad interazioni non lineari (interazioni a tre e a quattro onde).

Si ricorda che la significatività dei risultati di qualsiasi modello di propagazione di moto ondoso è vincolata alla qualità dei dati impiegati. In particolare per SWAN, in acque basse (prima della zona dei frangenti) i risultati dipendono in maniera critica dall'attrito sul fondo. In presenza di informazioni dettagliate sul fondo (materiale, conformazione ecc) e di una taratura mediante misure in sito i risultati sono generalmente affetti da un errore inferiore al 5% per quanto riguarda l'altezza d'onda ed inferiore al 10% per il periodo.

### 11.2 Cenni sulla formulazione del modello SWAN

In SWAN le onde sono modellate mediante uno spettro bidimensionale della densità d'azione. Lo spettro considerato è quello della densità d'azione  $N(\sigma, \theta)$  e non quello della densità d'energia  $E(\sigma, \theta)$ , in quanto la densità d'azione si conserva anche in presenza di correnti, mentre ciò non accade per la densità di energia (Whitham, 1974). Le variabili indipendenti sono la frequenza relativa  $\sigma$  (osservata in un sistema di riferimento che si muove con la velocità di propagazione dell'azione) e la direzione dell'onda  $\theta$ . La densità di azione è pari alla densità di energia divisa per la frequenza:

$$N(\sigma, \theta) = E(\sigma, \theta) / \sigma.$$

### 11.3 Equazione di conservazione dell'azione

In SWAN l'evoluzione dello spettro è descritta dall'equazione di conservazione dell'azione spettrale che, in coordinate cartesiane è (Hasselmann et al., 1973):

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} c_x N + \frac{\partial}{\partial y} c_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} c_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} c_\theta N = \frac{S}{\sigma}.$$

Il primo termine del primo membro rappresenta la variazione locale, in funzione del tempo, della densità di azione; il secondo e terzo termine rappresentano la propagazione dell'azione nello spazio (con velocità di propagazione  $c_x$  e  $c_y$  rispettivamente in  $x$  - e  $y$  -). Il quarto termine rappresenta lo shift della frequenza relativa dovuta a variazioni di profondità e a correnti (con velocità di propagazione  $c_\sigma$  nello spazio  $\sigma$ ). Il quinto termine rappresenta la rifrazione indotta dalla batimetria e dalla corrente (con velocità di propagazione  $c_\theta$  nello spazio  $\theta$ ). Le suddette velocità di propagazione

Progetto:	Livello progettazione:	Elaborato:
Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Progetto di fattibilità tecnico economica	IDRAULICA MARITTIMA 1233_PP-D-001_1.docx

sono ricavate dalla teoria lineare (Dingemans, 1997). Il termine  $S (= S(\sigma, \theta))$  a secondo membro è il cosiddetto termine sorgente e rappresenta gli effetti generativi, dissipativi e le interazioni non lineari. Di seguito viene riportata, in breve, la formulazione dei vari termini sorgenti.

### 11.3.1 Input dovuto al vento

Il trasferimento di energia dal vento alle onde è descritto in SWAN sulla base del meccanismo di risonanza di Phillips (1957) e del meccanismo di feedback di Miles (1957). Il corrispondente termine sorgente può essere schematizzato come la somma di una crescita lineare e di una esponenziale:

$$S_{in}(\sigma, \theta) = A + B E(\sigma, \theta),$$

dove A e B dipendono dalla frequenza e dalla direzione dell'onda e dalla frequenza e direzione del vento. L'effetto di correnti è modellato in SWAN mediante l'uso, per il vento, della velocità e direzione apparenti. L'espressione per A è dovuta a Cavaleri e Malanotte-Rizzoli (1981), come modificata da Tolman (1992). L'espressione per B è mutuata dalla versione più recente del modello WAM (WAM Cycle 4, Komen et al., 1994). E' dovuta a Janssen (1991) e tiene conto delle interazioni tra vento e onde considerando esplicitamente effetti atmosferici di interfaccia e la lunghezza d'onda caratteristica della superficie del mare. Il corrispondente insieme di equazioni viene risolto mediante la procedura iterativa di Mastenbroek et al. (1993).

### 11.3.2 Dissipazione

I termini dissipativi sono rappresentati dalla somma di tre contributi: whitecapping  $S_{ds,w}(\sigma, \theta)$ , attrito sul fondo  $S_{ds,b}(\sigma, \theta)$  e frangimento dovuto alla profondità  $S_{ds,br}(\sigma, \theta)$ . Il whitecapping è essenzialmente controllato dalla ripidità dell'onda. La formulazione del fenomeno è basata su un adattamento del modello di Hasselmann (WAMDI group 1988):

$$S_{ds,w}(\sigma, \theta) = -\Gamma \tilde{\sigma} \frac{k}{\tilde{k}} E(\sigma, \theta),$$

dove  $\Gamma$  è un coefficiente che dipende dalla ripidità dell'onda,  $k$  è il numero d'onda,  $\tilde{\sigma}$  e  $\tilde{k}$  sono rispettivamente la frequenza media e il numero d'onda medio. Il coefficiente  $\Gamma$  è basato sull'espressione di Janssen (1991).

La dissipazione energetica dovuta alle interazioni con il fondo può essere causata dall'attrito sul fondo, da movimenti del materiale del fondo, da percolazione e riflessione dovuta ad irregolarità del fondo stesso. Il meccanismo dominante è l'attrito sul fondo, che può essere rappresentato come:

$$S_{ds,b}(\sigma, \theta) = -C_{bottom} \frac{\sigma^2}{g^2 \sinh^2(kd)} E(\sigma, \theta),$$

dove  $C_{bottom}$  è il coefficiente di attrito sul fondo. A partire dal primo lavoro di Putnam e Johnson (1949), sono stati proposti moltissimi modelli per la stima di  $C_{bottom}$ . Dal momento che nelle aree costiere le condizioni del fondo (caratteristiche del materiale, conformazione del fondo, ecc.) sono estremamente varie, non esiste evidenza sperimentale che porti a preferire una qualche formulazione per il coefficiente di attrito. Per questo motivo in SWAN sono attualmente implementati solo i modelli più semplici: il modello empirico JONSWAP di Hasselmann et al. (1973), il modello di Madsen et al. (1988) ed il modello di Collins (1972). L'utente deve scegliere la formulazione ed i coefficienti che più si

Progetto:	Livello progettazione:	Elaborato:
Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Progetto di fattibilità tecnico economica	IDRAULICA MARITTIMA 1233_PP-D-001_1.docx

adattano alle caratteristiche del fondale. In mancanza di informazioni dettagliate, il modello usa dei coefficienti di attrito che garantiscono la conservatività dei risultati. L'effetto della corrente sulla dissipazione dovuta all'attrito sul fondo non è modellata, essendo di ordine superiore Tolman (1992b).

Il processo del frangimento spettrale dovuto alla profondità è ancora poco conosciuto. Al contrario, la dissipazione totale (cioè integrata su tutto lo spettro) può essere ben modellata (Battjes and Janssen, 1978; Thornton and Guza, 1983). Il modello di Battjes e Janssen è stato perfezionato in termini spettrali da Eldeberky e Battjes (1995).

Generalizzando la loro espressione per includere le direzioni, si ottiene la formulazione implementata nel modello:

$$S_{dsbr}(\sigma, \theta) = - \frac{D_{tot}}{E_{tot}} E(\sigma, \theta)$$

dove  $E_{tot}$  è l'energia totale dell'onda e  $D_{tot}$  rappresenta la dissipazione dell'energia totale dovuta al frangimento, come in Battjes e Janssen (1978). Il valore di  $D_{tot}$  dipende dal valore del parametro  $\gamma = H_{max}/d$  (dove  $H_{max}$  è la massima altezza possibile per un'onda monocromatica, in una profondità  $d$ ). In SWAN all'indice di frangimento viene dato un valore costante  $\gamma = 0.73$  (che costituisce la media del data set riportato in Battjes e Stive, 1985). Come opzione si può impostare un valore di  $\gamma$  variabile in funzione della pendenza del fondo, come suggerito da Nelson (1987, 1994), oppure in funzione della ripidità dell'onda al largo, come suggerito dagli stessi Battjes e Stive (1985) nei casi di onda irregolare.

SWAN può stimare la trasmissione delle onde oltre una struttura semisommersa, tramite la formulazione di Goda et al. (1967), modificata secondo Seelig (1979) per tenere conto della sezione della barriera. Il programma può inoltre tenere conto del set-up indotto dall'onda, secondo la procedura avanzata da Dingemans (1997). Se non diversamente specificato, il setup viene assunto come nullo nel punto più profondo della griglia di calcolo.

### 11.3.3 Interazioni non lineari

In acque profonde, le interazioni a quattro onde dominano l'evoluzione dello spettro. Queste interazioni trasferiscono energia dal picco verso le basse frequenze (con l'effetto netto di diminuire la frequenza di picco) e verso le alte frequenze (aumentando così l'energia dissipata dal whitecapping).

In acque molto basse, le interazioni a tre onde trasferiscono l'energia dalle basse alle alte frequenze, dando luogo ad armoniche di ordine superiore (Beji and Battjes, 1993).

In SWAN il calcolo delle interazioni a quattro onde è eseguito tramite la tecnica "Discrete Interaction Approximation" (DIA) di Hasselmann et al. (1985), tecnica che è risultata efficace nel descrivere lo sviluppo dello spettro (Komen et al., 1994).

Il calcolo delle interazioni a quattro onde è eseguito tramite la tecnica "Lumped Triad Approximation" (LTA) sviluppata da Eldeberky (1996). Questa tecnica si è dimostrata utile nel descrivere il trasferimento di energia dal picco dello spettro verso le armoniche di ordine superiore.

Progetto:

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

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PP-D-001\_1.docx

#### 11.4 Cenni sulla numerica di SWAN

L'integrazione dell'equazione di bilancio dell'azione è stata implementata in SWAN mediante uno schema alle differenze finite in tutte e cinque le dimensioni (tempo, spazio e direzione spettrale).

Nel modello lo spettro è discretizzato con una risoluzione direzionale costante (tipicamente 30° o 15°) e una risoluzione in frequenza con  $f_n/f_{n+1}$  costante (in genere =1.1). Le frequenze (tipicamente 15-30) sono definite tra una frequenza minima (tipicamente 0.6 fp) ed una frequenza massima (tipicamente 2.5 fp). Per frequenze superiori alla frequenza massima il modello aggiunge una "coda" allo spettro, per rendere possibile il calcolo delle interazioni non lineari ad alta frequenza e per calcolare i parametri integrati. In SWAN questa coda viene calcolata seguendo la formulazione di Phillips (1985).

Per la propagazione lo schema numerico di SWAN è uno schema "upwind" implicito del primo ordine nello spazio geografico (x-y). Uno schema implicito, essendo incondizionatamente stabile, permette di usare passi di integrazione lunghi. Molti anni di sperimentazione e validazione del modello di seconda generazione HISWA (Holthuijsen et al., 1989) hanno mostrato che lo schema numerico usato è sufficientemente accurato nello spazio geografico. Nello spazio spettrale è tuttavia richiesta, specialmente in acque basse, una maggiore accuratezza. Questa è stata ottenuta integrando, nello spazio spettrale, lo schema di primo ordine con uno schema del secondo ordine ad approssimazione centrale (più economico, in termini computazionali, di uno schema "upwind" di secondo ordine). I due schemi vengono combinati linearmente mediante due coefficienti di somma unitaria.

Le condizioni al contorno in SWAN, sia nello spazio geografico che spettrale, sono di completo assorbimento dell'energia che esce dalla griglia di calcolo o che attraversa la linea di riva. L'energia entrante dai bordi della griglia di calcolo deve essere indicata dall'utente, con particolare cautela sui bordi che intersecano la linea di riva.