!

AUTORITÀ PORTUALE DI SAVONA

PORTO DI VADO LIGURE

PROJECT FINANCING PER:

PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA, ESECUZIONE DEI LAVORI DELLA NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE DEL PORTO DI VADO LIGURE E GESTIONE DELLA PARTE RELATIVA AL TERMINAL CONTENITORI

SOCIETÀ DI PROGETTO: APM TERMINALS VADO LIGURE S.p.A.

MAERSK

CLF GRANDI LAVORI FINCOSIT

PROGETTAZIONE:

TECHNITAL S.p.A.

IL RESPONSABILE:

Dott. Ing. Guido Fiorini

PERIZIA DI VARIANTE

ELABORATO N° :

TITOLO ELABORATO

ELABORATI GENERALI

RELAZIONE METEOMARINA

MI0102-PV-G-L-R-001-00

DATA	ELABORATO	CONTROLLATO	APPROVATO
Dicembre 2015	A. Monarcha	A. Lizzadro	G. Fiorini

REVISIONE N°	DATA	DESCRIZIONE
00	Dicembre 2015	EMISSIONE PER APPROVAZIONE

NOME FILE

MI0102-PV-G-L-R-001-00 .docx

A TERMINE DI LEGGE CI RISERVIAMO LA PROPRIETA' DI QUESTO ELABORATO CON DIVIETO DI RIPRODURLO RENDENDOLO NOTO A TERZI ANCHE PARZIALMENTE SENZA NOSTRA AUTORIZZAZIONE

AUTORITÀ PORTUALE DI SAVONA

PORTO DI VADO LIGURE

PROJECT FINANCING PER:

PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA, ESECUZIONE DEI LAVORI DELLA NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE DEL PORTO DI VADO LIGURE E GESTIONE DELLA PARTE RELATIVA AL TERMINAL CONTENITORI

PERIZIA DI VARIANTE

ELABORATI GENERALI
RELAZIONE METEOMARINA

INDICE

1. PREMESSA 14
2. IL PARAGGIO D'INTERESSE 17
3. I LIVELLI DEL MARE 20
4. LE CONDIZIONI ANEMOMETRICHE 25
   4.1. Le condizioni frequenti di vento 25
   4.2. Le condizioni estreme di vento 30
5. IL MOTO ONDOSO AL LARGO 32
   5.1. I dati di moto ondoso disponibili 32
   5.2. Le condizioni frequenti di moto ondoso al largo 36
      5.2.1. Il clima di moto ondoso al largo 36
      5.2.2. Caratteristiche delle mareggiate del paraggio d'interesse 39
   5.3. Gli eventi estremi di moto ondoso al largo - Settore di traversia 50°N-220°N 51
      5.3.1. Metodologia utilizzata 51
      5.3.2. Definizione degli eventi estremi al largo 54
      5.3.3. Correlazione altezza d'onda-periodo 64
      5.3.4. Analisi degli eventi estremi - conclusioni 69
   5.4. Gli eventi estremi di moto ondoso - Settore di traversia secondario 0°N-50°N 73
6. VITA UTILE DELL'OPERA E PERIODO DI RITORNO DELL'ONDA DI PROGETTO 76
   6.1. Vita utile e periodi di ritorno delle onde per le opere della piattaforma e della diga foranea 76
   6.2. Dettagli in merito alle configurazioni di progetto della diga foranea e tempi di ritorno delle onde associati 80
7. PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSO DAL LARGO ALLA DIGA FORANEA ESISTENTE 86
   7.1. Metodologia utilizzata 86
   7.2. Descrizione del modello matematico SWAN 87
   7.3. Schematizzazione e batimetrie del modello matematico SWAN 88
   7.4. Simulazioni e risultati ottenuti con il modello matematico SWAN 91
8. PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSO IN CORRISPONDENZA DELLE OPERE 101
   8.1. Metodologia utilizzata 101
   8.2. Descrizione del modello matematico PHAROS 104
   8.3. Diga foranea 104

8.3.1. Schematizzazione e batimetrie del modello matematico PHAROS 104
8.3.2. Simulazioni e risultati ottenuti: onde estreme per il dimensionamento idraulico e strutturale 111
8.4. Piattaforma 123
8.4.1. Schematizzazione e batimetrie del modello matematico PHAROS 123
8.4.2. Simulazioni e risultati ottenuti – onde estreme per il dimensionamento idraulico e strutturale 134
8.4.3. Simulazioni e risultati ottenuti – Agitazione ondosa interna al bacino 147
9. ONDE DI PROGETTO PER IL DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE 158
9.1. Diga foranea 159
9.2. Piattaforma 161
9.2.1. Scogliera alla radice della piattaforma 163
9.2.2. Cassoni reggispinta di conterminazione 163
9.2.3. Protezione dei fondali - Fondali antistanti le banchine 166
10. VERIFICHE IDRAULICHE DI TRACIMAZIONE 168
10.1. Criteri di progetto 168
10.2. Riferimenti teorici per la definizione della portata di tracimazione 171
10.3. Diga foranea 173
10.3.1. Condizioni di esercizio 174
10.3.2. Condizioni estreme 179
10.4. Piattaforma 184
10.4.1. Condizioni operative 186
10.4.2. Condizioni estreme 189
11. APPENDICE 1: QUALITY STATEMENT: UK MET OFFICE WAVE MODEL ARCHIVE 193
12. APPENDICE 2: MODELLO MATEMATICO PHAROS 195

ELENCO FIGURE

Fig. 1.1 - Modifiche apportate alle strutture del progetto definitivo: planimetria di progetto della nuova disposizione dei cassoni della piastra di Vado Ligure 15
Fig. 1.2 - Porto di Vado Ligure – Nuova diga foranea nella configurazione di prima fase e di PRP 16
Fig. 2.1 - Ubicazione del paraggio di Vado ligure 18
Fig. 2.2 - Le batimetrie nella zona di Vado Ligure 19
Fig. 3.1 - Genova: escursioni di marea nel periodo Agosto ’98-Novembre ’00 21
Fig. 3.2 - Imperia: escursioni di marea nel periodo Agosto ’98-Novembre ’00 21
Fig. 3.3 - Esempio di scomposizione della registrazione di marea nelle componenti meteorologica ed astronomica (stazione di Genova, anno 2006) 23
Fig. 4.1 - Vado Ligure, rosa dei venti - Dati orari, 1986-1997 26
Fig. 4.2 - Punto UKMO - rosa dei venti. Dati triorari, 1987-2008 28
Fig. 5.1 - Dati di moto ondoso KNMI - estensione delle aree di rilievo dei dati 35
Fig. 5.2 - Ubicazione dei punti di misura delle onde 35
Fig. 5.3 - Settore di traversia che interessa Vado Ligure 37
Fig. 5.4 - Rosa del moto ondoso al largo di Vado, nel punto di coordinate 44°N; 8,73°E, ottenuta con i dati UKMO 1987 - 2008 37
Fig. 5.5 - Distribuzione direzionale degli eventi (triorari) di moto ondoso con H_s maggiore di 2 m - dati UKMO 1987-2008 41
Fig. 5.6 - Distribuzione direzionale degli eventi (triorari) di moto ondoso (mare vivo) con H_s maggiore di 2 m - dati UKMO 1987-2008 42
Fig. 5.7 - Distribuzione direzionale degli eventi (triorari) di moto ondoso (swell) con H_s maggiore di 2 m - dati UKMO 1987-2008 43
Fig. 5.8 - Distribuzione direzionale delle mareggiate con $H_{s\ colmo}$ maggiore di 2 m relativamente al settore di maggiore interesse 50-220°N - dati UKMO 1987-2008 44
Fig. 5.9 - Mareggiata del 6 novembre 2000 - $H_{s\ colmo}$= 4,9 m e Dir.=191°N 45
Fig. 5.10 - Mareggiata del 30 ottobre 2008 - $H_{s\ colmo}$= 4,7 m e Dir.=199°N 46
Fig. 5.11 - Mareggiata dell’1 marzo 1993 - $H_{s\ colmo}$= 4,1 m e Dir.=105°N 47
Fig. 5.12 - Mareggiata del 9 dicembre 2006 - $H_{s\ colmo}$= 3,8 m e Dir.=168°N 48
Fig. 5.13 - Mareggiata del 14 dicembre 2001 - $H_{s\ colmo}$= 3,6 m e Dir.=99-135°N 49
Fig. 5.14 - Mareggiata del 23 dicembre 1994 - $H_{s\ colmo}$= 2,7 m e Dir.=54°N 50
Fig. 5.15 - Statistica delle onde estreme al largo del paraggio di Vado Ligure, riferita al settore di traversia 50 - 100 °N - Soglia H_s=1 m 57
Fig. 5.16 - Statistica delle onde estreme al largo del paraggio di Vado Ligure, riferita al settore di traversia 100-150 °N - Soglia H_s=1 m 59

Fig. 5.17 - Statistica delle onde estreme al largo del paraggio di Vado Ligure, riferita al settore di traversia 150-190 °N - Soglia H_s=1 m 61
Fig. 5.18 - Statistica delle onde estreme al largo del paraggio di Vado Ligure, riferita al settore di traversia 190-220 °N - Soglia H_s=1 m 63
Fig. 5.19 - Relazione H_s-T_z , dati UKMO 87-08 - settore 50-100°N 65
Fig. 5.20 - Correlazione H_s-T_z , dati UKMO 87-08 - il settore 100-150°N 66
Fig. 5.21 - Correlazione H_s-T_z , dati UKMO 87-08 - settore 150-190°N 67
Fig. 5.22 - Correlazione H_s-T_z , dati UKMO 87-08 - settore 190-220°N 68
Fig. 6.1 - Planimetria della diga di 1ª fase con ubicazione sezioni tipo 81
Fig. 7.1 - Griglia regionale e griglia di dettaglio usate nel modello di propagazione delle onde 89
Fig. 7.2 - Griglia regionale e griglia di dettaglio usate nel modello di propagazione delle onde 89
Fig. 7.3 - Batimetria ricostruita sulla griglia di calcolo regionale 90
Fig. 7.4 - Batimetria ricostruita sulla griglia di calcolo di dettaglio 91
Fig. 7.5 - Propagazione dell'onda in corrispondenza della diga foranea esistente - Caratteristiche dell'onda al largo con provenienza 70°N e Tr=1anno: Hs=1,6 m , Tp=6,2 s. 93
Fig. 7.6 - Propagazione dell'onda in corrispondenza della diga foranea esistente - Caratteristiche dell'onda al largo con provenienza 100°N e Tr=1anno: Hs=2,1 m , Tp=7,0 s. 94
Fig. 7.7 - Propagazione dell'onda in corrispondenza della diga foranea esistente - Caratteristiche dell'onda al largo con provenienza 130°N e Tr=1anno: Hs=2,1 m , Tp=7,0 s. 94
Fig. 7.8 - Propagazione dell'onda in corrispondenza della diga foranea esistente - Caratteristiche dell'onda al largo con provenienza 160°N e Tr= 1anno: Hs=2,2 m , Tp=7,2 s. 95
Fig. 7.9 - Propagazione dell'onda in corrispondenza della diga foranea esistente - Caratteristiche dell'onda al largo con provenienza 190°N e Tr= 1anno: Hs=3,2 m , Tp=8,7 s. 95
Fig. 7.10 - Propagazione dell'onda in corrispondenza della diga foranea esistente - Caratteristiche dell'onda al largo con provenienza 70°N e Tr=50 anni: Hs=3,3 m , Tp=8,8 s. 96
Fig. 7.11 - Propagazione dell'onda in corrispondenza della diga foranea esistente - Caratteristiche dell'onda al largo con provenienza 100°N e Tr=50 anni: Hs=4,6 m , Tp=10,4 s. 96
Fig. 7.12 - Propagazione dell'onda in corrispondenza della diga foranea esistente - Caratteristiche dell'onda al largo con provenienza 130°N e Tr=50 anni: Hs=4,5 m , Tp=10,4 s. 97

Fig. 7.13 - Propagazione dell'onda in corrispondenza della diga foranea esistente - Caratteristiche dell'onda al largo con provenienza 160°N e Tr=50 anni: Hs=4,7 m , Tp=10,6 s. 97
Fig. 7.14 - Propagazione dell'onda in corrispondenza della diga foranea esistente - Caratteristiche dell'onda al largo con provenienza 190°N e Tr=50 anni: Hs=6,0 m , Tp=11,9 s. 98
Fig. 7.15 - Propagazione dell'onda in corrispondenza della diga foranea esistente - Caratteristiche dell'onda al largo con provenienza 70°N e Tr=250 anni: Hs=4,1 m , Tp=9,8 s. 98
Fig. 7.16 - Propagazione dell'onda in corrispondenza della diga foranea esistente - Caratteristiche dell'onda al largo con provenienza 100°N e Tr=250 anni: Hs=5,7 m , Tp=11,6 s. 99
Fig. 7.17 - Propagazione dell'onda in corrispondenza della diga foranea esistente - Caratteristiche dell'onda al largo con provenienza 130°N e Tr=250 anni: Hs=5,7 m , Tp=11,6 s. 99
Fig. 7.18 - Propagazione dell'onda in corrispondenza della diga foranea esistente - Caratteristiche dell'onda al largo con provenienza 160°N e Tr=250 anni: Hs=5,9 m , Tp=11,8 s. 100
Fig. 7.19 - Propagazione dell'onda in corrispondenza della diga foranea esistente - Caratteristiche dell'onda al largo con provenienza 190°N e Tr=250 anni: Hs=7,1 m , Tp=13,0 s. 100
Fig. 8.1 - Schematizzazione della diga foranea da P.R.P. 105
Fig. 8.2 - Schematizzazione della diga foranea di 1°fase. 106
Fig. 8.3- Coefficienti di riflessione considerati nel modello matematico di propagazione delle onde PHAROS per la configurazione di diga foranea da P.R.P. 107
Fig. 8.4 - Coefficienti di riflessione considerati nel modello matematico di propagazione delle onde PHAROS per la configurazione di diga foranea di 1° fase 107
Fig. 8.5 - Batimetrie riprodotte sul modello – Diga da P.R.P. 109
Fig. 8.6 - Batimetrie riprodotte sul modello – Diga di 1° fase 109
Fig. 8.7 - Dettaglio della griglia di calcolo usata dal modello PHAROS 110
Fig. 8.8 - Propagazione dell'onda in corrispondenza della nuova diga foranea - Caratteristiche dell'onda al contorno del dominio con provenienza 90°N e Tr=250 anni: Hs=3,75 m , Tp=9,8 s. Config. diga da P.R.P. 114
Fig. 8.9 - Propagazione dell'onda in corrispondenza della nuova diga foranea - Caratteristiche dell'onda al contorno del dominio con provenienza 105°N e Tr=250 anni: Hs=6,45 m , Tp=11,6 s. Config. diga da P.R.P. 115

Fig. 8.10 - Propagazione dell'onda in corrispondenza della nuova diga foranea - Caratteristiche dell'onda al contorno del dominio con provenienza 125°N e Tr=250 anni: Hs=6,75 m , Tp=11,6 s. Config. diga da P.R.P. 116
Fig. 8.11 - Propagazione dell'onda in corrispondenza della nuova diga foranea - Caratteristiche dell'onda al contorno del dominio con provenienza 150°N e Tr=250 anni: Hs=5,85 m , Tp=11,8 s. Config. diga da P.R.P. 117
Fig. 8.12 - Propagazione dell'onda in corrispondenza della nuova diga foranea - Caratteristiche dell'onda al contorno del dominio con provenienza 165°N e Tr=250 anni: Hs=4,75 m , Tp=13,0 s. Config. diga da P.R.P. 118
Fig. 8.13 - Propagazione dell'onda in corrispondenza della nuova diga foranea - Caratteristiche dell'onda al contorno del dominio con provenienza 90°N e Tr=50 anni: Hs=2,9 m , Tp=8,8 s. Config. diga di 1° fase 119
Fig. 8.14 - Propagazione dell'onda in corrispondenza della nuova diga foranea - Caratteristiche dell'onda al contorno del dominio con provenienza 105°N e Tr=50 anni: Hs=4,9 m , Tp=10,4 s. Config. diga di 1° fase. 120
Fig. 8.15 - Propagazione dell'onda in corrispondenza della nuova diga foranea - Caratteristiche dell'onda al contorno del dominio con provenienza 125°N e Tr=50 anni: Hs=5,3 m , Tp=10,4 s. Config. diga di 1° fase. 121
Fig. 8.16 - Propagazione dell'onda in corrispondenza della nuova diga foranea - Caratteristiche dell'onda al contorno del dominio con provenienza 150°N e Tr=50 anni: Hs=4,85 m , Tp=10,6 s. Config. diga di 1° fase. 122
Fig. 8.17 - Propagazione dell'onda in corrispondenza della nuova diga foranea - Caratteristiche dell'onda al contorno del dominio con provenienza 165°N e Tr=50 anni: Hs=4,00 m , Tp=11,9 s. Config. diga di 1° fase 123
Fig. 8.18 - Schematizzazione della piattaforma in esercizio con diga da P.R.P (configurazione 1) 124
Fig. 8.19 - Schematizzazione della piattaforma in esercizio con diga di 1°fase (configurazione 2) 125
Fig. 8.20 - Coefficienti di riflessione considerati nel modello matematico di propagazione delle onde PHAROS per la configurazione 1A 127
Fig. 8.21 - Coefficienti di riflessione considerati nel modello matematico di propagazione delle onde PHAROS per la configurazione 2A 127
Fig. 8.22 - Coefficienti di riflessione considerati nel modello matematico di propagazione delle onde PHAROS per la configurazione 1B 128
Fig. 8.23 - Coefficienti di riflessione considerati nel modello matematico di propagazione delle onde PHAROS per la configurazione 2B 128
Fig. 8.24 - Batimetrie riprodotte sul modello - Piattaforma con diga da P.R.P. 130
Fig. 8.25 - Batimetrie riprodotte sul modello - Piattaforma con diga di 1° fase 130
Fig. 8.26 - Dettaglio della griglia di calcolo usata dal modello PHAROS 131

Fig. 8.27 - Propagazione dell'onda in corrispondenza della nuova piattaforma con la diga foranea da P.R.P - Caratteristiche dell'onda al contorno del dominio con provenienza 90°N e Tr=250 anni: Hs=3,65 m , Tp=9,8 s. Configurazione 1A 137
Fig. 8.28 - Propagazione dell'onda in corrispondenza della nuova piattaforma con la diga foranea da P.R.P - Caratteristiche dell'onda al contorno del dominio con provenienza 105°N e Tr=250 anni: Hs=6,0 m , Tp=11,6 s. Configurazione 1A 138
Fig. 8.29 - Propagazione dell'onda in corrispondenza della nuova piattaforma con la diga foranea da P.R.P - Caratteristiche dell'onda al contorno del dominio con provenienza 125°N e Tr=250 anni: Hs=6,45 m , Tp=11,6 s. Configurazione 1A 139
Fig. 8.30 - Propagazione dell'onda in corrispondenza della nuova piattaforma con la diga foranea da P.R.P - Caratteristiche dell'onda al contorno del dominio con provenienza 150°N e Tr=250 anni: Hs=5,25 m , Tp=11,8 s. Configurazione 1A 140
Fig. 8.31 - Propagazione dell'onda in corrispondenza della nuova piattaforma con la diga foranea da P.R.P - Caratteristiche dell'onda al contorno del dominio con provenienza 165°N e Tr=250 anni: Hs=4,3 m , Tp=13,0 s. Configurazione 1A 141
Fig. 8.32 - Propagazione dell'onda in corrispondenza della nuova piattaforma con la diga foranea di 1° fase - Caratteristiche dell'onda al contorno del dominio con provenienza 90°N e Tr=50 anni: Hs=2,8 m , Tp=8,8 s. Configurazione 2A 142
Fig. 8.33 - Propagazione dell'onda in corrispondenza della nuova piattaforma con la diga foranea di 1° fase - Caratteristiche dell'onda al contorno del dominio con provenienza 105°N e Tr=50 anni: Hs=4,7 m , Tp=10,4 s. Configurazione 2A 143
Fig. 8.34 - Propagazione dell'onda in corrispondenza della nuova piattaforma con la diga foranea di 1° fase - Caratteristiche dell'onda al contorno del dominio con provenienza 125°N e Tr=50 anni: Hs=5,1 m , Tp=10,4s. Configurazione 2A 144
Fig. 8.35 - Propagazione dell'onda in corrispondenza della nuova piattaforma con la diga foranea di 1° fase - Caratteristiche dell'onda al contorno del dominio con provenienza 150°N e Tr=50 anni: Hs=4,3 m , Tp=10,6 s. Configurazione 2A 145
Fig. 8.36 - Propagazione dell'onda in corrispondenza della nuova piattaforma con la diga foranea di 1° fase - Caratteristiche dell'onda al contorno del dominio con provenienza 165°N e Tr=50 anni: Hs=3,7 m , Tp=11,9 s. Configurazione 2A 146

Fig. 8.37 - Agitazione ondosa nel bacino portuale - Caratteristiche dell'onda al contorno del dominio con provenienza 90°N e Tr=1 anno: Hs=1,2 m , Tp=6,2 s. Configurazione 1B, diga foranea da P.R.P. 148
Fig. 8.38 - Agitazione ondosa nel bacino portuale - Caratteristiche dell'onda al contorno del dominio con provenienza 105°N e Tr=1 anno: Hs=1,75 m , Tp=7,0 s. Configurazione 1B, diga foranea da P.R.P. 149
Fig. 8.39 - Agitazione ondosa nel bacino portuale - Caratteristiche dell'onda al contorno del dominio con provenienza 125°N e Tr=1 anno: Hs=2,1 m , Tp=7,0 s. Configurazione 1B, diga foranea da P.R.P. 150
Fig. 8.40 - Agitazione ondosa nel bacino portuale - Caratteristiche dell'onda al contorno del dominio con provenienza 150°N e Tr=1 anno: Hs=2,1 m , Tp=7,2 s. Configurazione 1B, diga foranea da P.R.P. 151
Fig. 8.41 - Agitazione ondosa nel bacino portuale - Caratteristiche dell'onda al contorno del dominio con provenienza 170°N e Tr=1 anno: Hs=2,0 m , Tp=8,7 s. Configurazione 1B, diga foranea da P.R.P. 152
Fig. 8.42 - Agitazione ondosa nel bacino portuale - Caratteristiche dell'onda al contorno del dominio con provenienza 90°N e Tr=1 anno: Hs=1,2 m , Tp=6,2 s. Configurazione 2B, diga foranea di 1° fase 153
Fig. 8.43 - Agitazione ondosa nel bacino portuale - Caratteristiche dell'onda al contorno del dominio con provenienza 105°N e Tr=1 anno: Hs=1,75 m , Tp=7,0 s. Configurazione 2B, diga foranea di 1° fase 154
Fig. 8.44 - Agitazione ondosa nel bacino portuale - Caratteristiche dell'onda al contorno del dominio con provenienza 125°N e Tr=1 anno: Hs=2,1 m , Tp=7,0 s. Configurazione 2B, diga foranea di 1° fase 155
Fig. 8.45 - Agitazione ondosa nel bacino portuale - Caratteristiche dell'onda al contorno del dominio con provenienza 150°N e Tr=1 anno: Hs=2,1 m , Tp=7,2 s. Configurazione 2B, diga foranea di 1° fase 156
Fig. 8.46 - Agitazione ondosa nel bacino portuale - Caratteristiche dell'onda al contorno del dominio con provenienza 170°N e Tr=1 anno: Hs=2,0 m , Tp=8,7 s. Configurazione 2B, diga foranea di 1° fase 157
Fig. 9.1 - Schema delle strutture della piattaforma 162
Fig. 10.1 - Parametri geometrici per il calcolo della tracimazione 173
Fig. 10.2 - Geometria sezione critica per la tracimazione – banchina container 184
Fig. 10.3 - Geometria sezione critica per la tracimazione – banchina rinfuse 185
Fig. 10.4 - Geometria sezione critica per la tracimazione – banchina petroli 185

ELENCO TABELLE

Tab. 3.1 - Valori massimi annuali della marea meteorologica 22
Tab. 3.2 - Risultati dell'analisi statistica dei livelli estremi 24
Tab. 4.1 - Frequenze di occorrenza delle velocità e direzione del vento a Vado Ligure (1986-1997) 27
Tab. 4.2 - Frequenze di occorrenza delle velocità e direzione del vento al largo - dati UKMO (1987-2008) 29
Tab. 4.3 - Valori della velocità del vento (m/s) in funzione del tempo di ritorno - dati dell'anemometro di Vado Ligure alla quota di 220 m sul l.m.m. 30
Tab. 4.4 - Valori della velocità del vento (m/s) in funzione del tempo di ritorno - dati dell'anemometro di Vado Ligure riportati alla quota di 10 m sul l.m.m. 30
Tab. 4.5 - Valori della velocità del vento (m/s) in funzione del tempo di ritorno - dati dell'anemometro di Vado Ligure riportati alla quota di 10 m sul l.m.m. - Settore 0°-50°N 31
Tab. 4.6 - Valori della velocità del vento (m/s) in funzione del tempo di ritorno - dati nel punto al largo UKMO 31
Tab. 5.1 - Clima d'onda ottenuto con i dati UKMO per il periodo 1987-2008 38
Tab. 5.2 - Statistica degli eventi estremi, settore 50°-100°N 70
Tab. 5.3 - Statistica degli eventi estremi, settore 100°-150°N 71
Tab. 5.4 - Statistica degli eventi estremi, settore 150°-190°N 72
Tab. 5.5 - Statistica degli eventi estremi, settore 190°-220°N 73
Tab. 5.6 - Moto ondoso estremo per il settore 0°-50°N- Direzione di provenienza del vento 30°N 75
Tab. 6.1 - Durata minima di vita per opere o strutture di carattere definitivo T_v 76
Tab. 6.2 - Massima probabilità di danneggiamento ammissibile nel periodo di vita operativa dell'opera P_f 78
Tab. 6.3 - Periodi di ritorno dell'onda di progetto – Opere della Piattaforma con riferimento alla diga foranea estesa come da PRP 79
Tab. 6.4 - Periodi di ritorno dell'onda di progetto – Opere della Piattaforma con riferimento alla diga foranea di prima fase 80
Tab. 6.5 - Periodi di ritorno dell'onda di progetto – Diga Foranea 80
Tab. 6.6 - Configurazioni di progetto e tempo di ritorno delle onde associato – sez. A 82
Tab. 6.7 - Configurazioni di progetto e tempo di ritorno delle onde associato – sez. B 83
Tab. 6.8 - Configurazioni di progetto e tempo di ritorno delle onde associato – sez. C 84
Tab. 6.9 - Configurazioni di progetto e tempo di ritorno delle onde associato – sez. D e E 85
Tab. 7.1 - Caratteristiche del moto ondoso estremo al largo considerate per le simulazioni – Tr=50, 100 e 250 anni. 92

Tab. 7.2 - Caratteristiche del moto ondoso estremo al largo considerate per le simulazioni – Tr=1 anno 92
Tab. 8.1 - Configurazioni di diga simulate con il modello PHAROS 111
Tab. 8.2 - Caratteristiche del moto ondoso estremo considerate per le simulazioni con il modello PHAROS– Tr=250 anni 112
Tab. 8.3 - Caratteristiche del moto ondoso estremo considerate per le simulazioni con il modello PHAROS – Tr=50 anni 112
Tab. 8.4 - Caratteristiche del moto ondoso frequenti considerate per le simulazioni con il modello PHAROS– Tr=1 anno 113
Tab. 8.5 - Configurazioni simulate con il modello PHAROS – Piattaforma 133
Tab. 8.6 - Caratteristiche del moto ondoso estremo considerate come input per le simulazioni con il modello PHAROS – Tr=1 anno 134
Tab. 8.7 - Caratteristiche del moto ondoso estremo considerate come input per le simulazioni con il modello PHAROS – Tr=50 anni 135
Tab. 8.8 - Caratteristiche del moto ondoso estremo considerate come input per le simulazioni con il modello PHAROS – Tr=100 anni 135
Tab. 8.9 - Caratteristiche del moto ondoso estremo considerate per le simulazioni con il modello PHAROS– Tr=250 anni 136
Tab. 8.10 - Caratteristiche del moto ondoso estremo considerate come input per le simulazioni con il modello PHAROS – Tr=1 anno 147
Tab. 9.1 - Caratteristiche del moto ondoso estremo al largo considerate per il dimensionamento – Tr= 50-100-250 anni 158
Tab. 9.2 - Caratteristiche del moto ondoso estremo al largo considerate per il dimensionamento – Tr=1 anno 159
Tab. 9.3 - Onda di progetto in corrispondenza delle sezioni tipo A e delle serraglie della diga foranea – Tr=50 anni 160
Tab. 9.4 - Onda di progetto in corrispondenza delle sezioni tipo B, C, D ed E della diga foranea – Tr= 50 e 250 anni 160
Tab. 9.5 - Onda di progetto in corrispondenza delle sezioni tipo A, B, C, D ed E per Tr=1 anno 160
Tab. 9.6 - Onde in corrispondenza della scogliera alla radice della piattaforma 163
Tab. 9.7 - Onde in corrispondenza dei cassoni emersi reggispinta – Banchina Container 164
Tab. 9.8 - Onde in corrispondenza dei cassoni emersi reggispinta – Banchina Rinfuse 165
Tab. 9.9 - Onde in corrispondenza dei cassoni emersi reggispinta – Banchina petroli 166
Tab. 9.10 - Onde in corrispondenza delle varie banchine della piattaforma – Protezione dei fondali 167
Tab. 10.1 - Coefficiente di scabrezza/permeabilità 172
Tab. 10.2 - Livelli di calcolo associati alle onde di progetto 174

Tab. 10.3 - Livelli di calcolo associati alle onde di progetto 185

1. PREMESSA

Nell'ambito della presente perizia sono previste varianti alla configurazione di progetto esecutivo già approvata che consistono principalmente:

- Nella chiusura dell'area a giorno della piattaforma con cassoni reggispinta e quindi nell'estensione dell'area in rilevato a tutta la superficie della stessa (vedi Fig. 1.1);
- Nella realizzazione della diga foranea relativamente ad una prima fase funzionale, la cui configurazione è indicata in Fig. 1.2 insieme a quella finale di Piano Regolatore.

Il presente rapporto contiene le analisi specialistiche meteomarine di supporto alla progettazione delle opere della piattaforma tenendo conto delle modifiche previste nella presente variante, e delle opere della diga foranea.

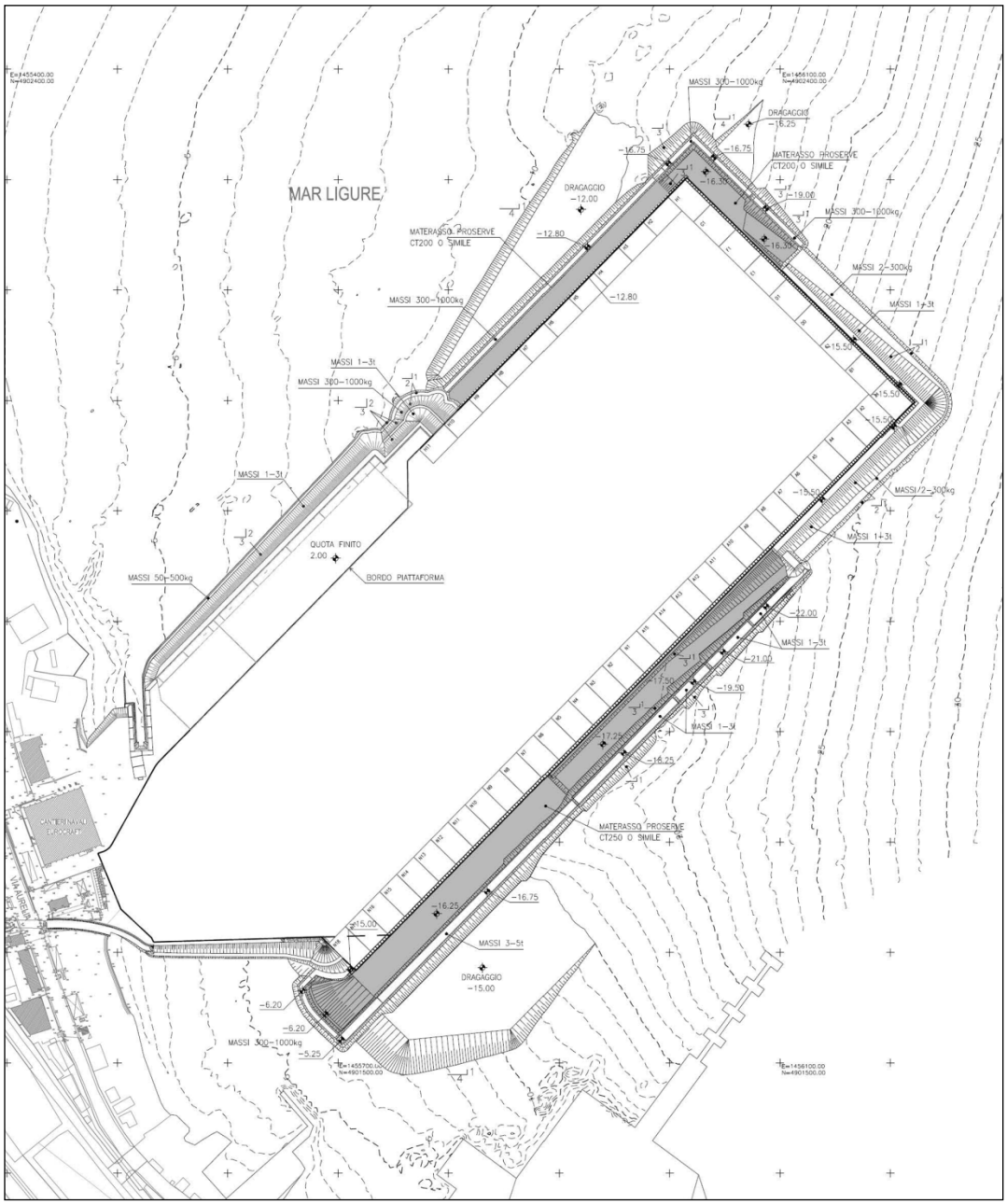


FIG. 1.1 - MODIFICHE APPORTATE ALLE STRUTTURE DEL PROGETTO DEFINITIVO: PLANIMETRIA DI PROGETTO DELLA NUOVA DISPOSIZIONE DEI CASSONI DELLA PIASTRA DI VADO LIGURE

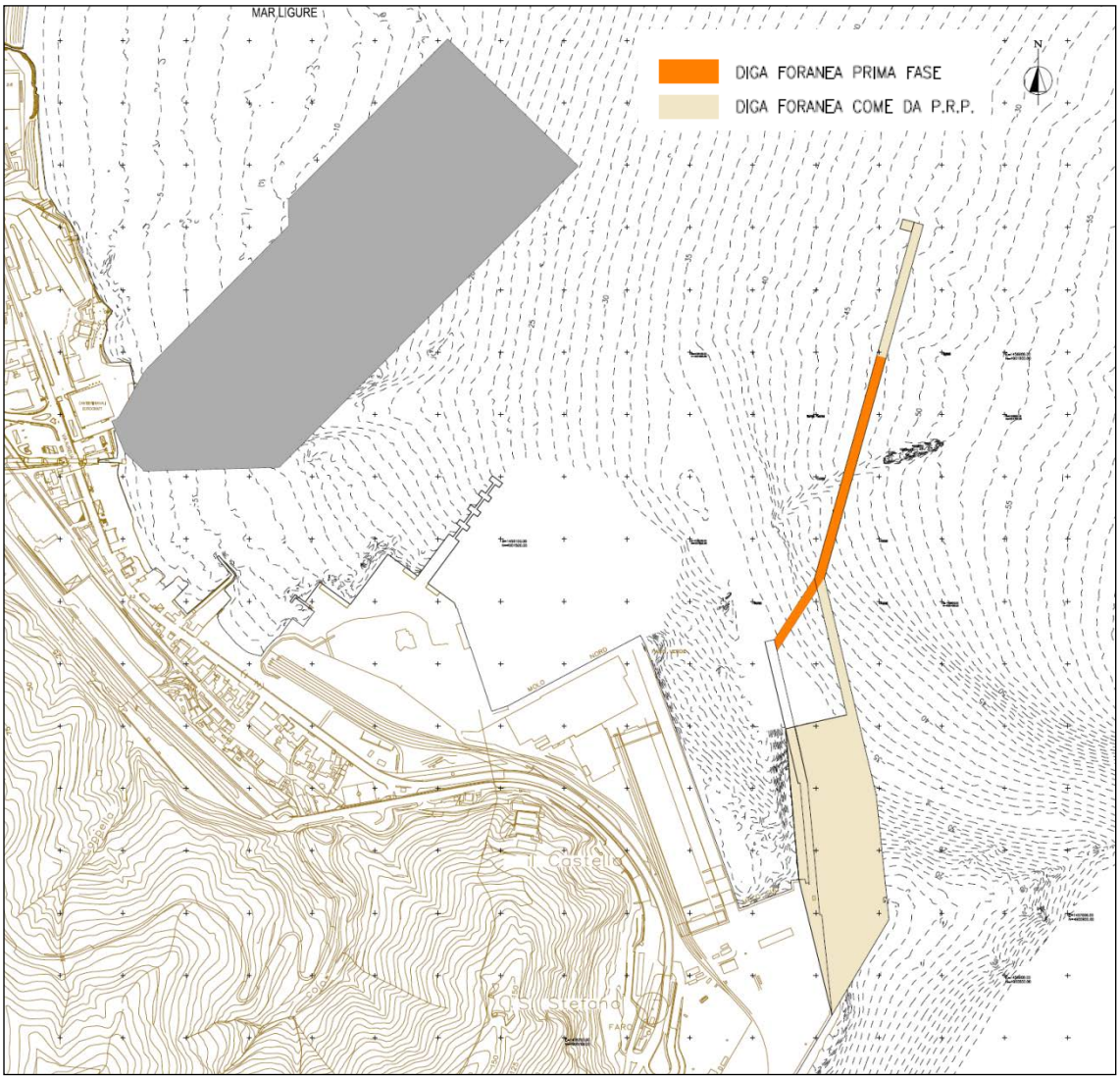


FIG. 1.2 - PORTO DI VADO LIGURE – NUOVA DIGA FORANEA NELLA CONFIGURAZIONE DI PRIMA FASE E DI PRP

2. IL PARAGGIO D'INTERESSE

Il paraggio di Vado è ubicato nella riviera di Ponente della costa ligure. La localizzazione del sito di indagine è rappresentata nella seguente Fig. 2.1.

L'esposizione della zona d'intervento è compresa tra 50° e 220°N con un settore di massimo fetch proveniente da sud e sud-est caratterizzato da valori di 150-200 km. Per le altre possibili direzioni di provenienza il fetch geografico si mantiene inferiore a 100 km.

Il sito risulta naturalmente protetto nei confronti degli eventi ondosi di maggiore intensità, provenienti da Libeccio, per effetto dell'azione schermante offerta da Capo Vado. Il sito risulta esposto direttamente solo agli eventi provenienti dal secondo quadrante, e, parzialmente dal primo che, come si è visto, non presenta fetch particolarmente estesi.

Il paraggio di Vado Ligure è caratterizzati da una batimetria, tipica delle coste liguri, per cui si raggiungono profondità superiori ai 50 e talora ai 100 m a ridotta distanza dalla costa (Fig. 2.2).

Già dalla semplice analisi di tale batimetria si può quindi intuire come le onde provenienti dal largo non subiscano rilevanti modificazioni delle loro grandezze fondamentali (altezza, periodo di picco e direzione di propagazione dell'onda) fintantoché non raggiungono zone molto prossime a riva.

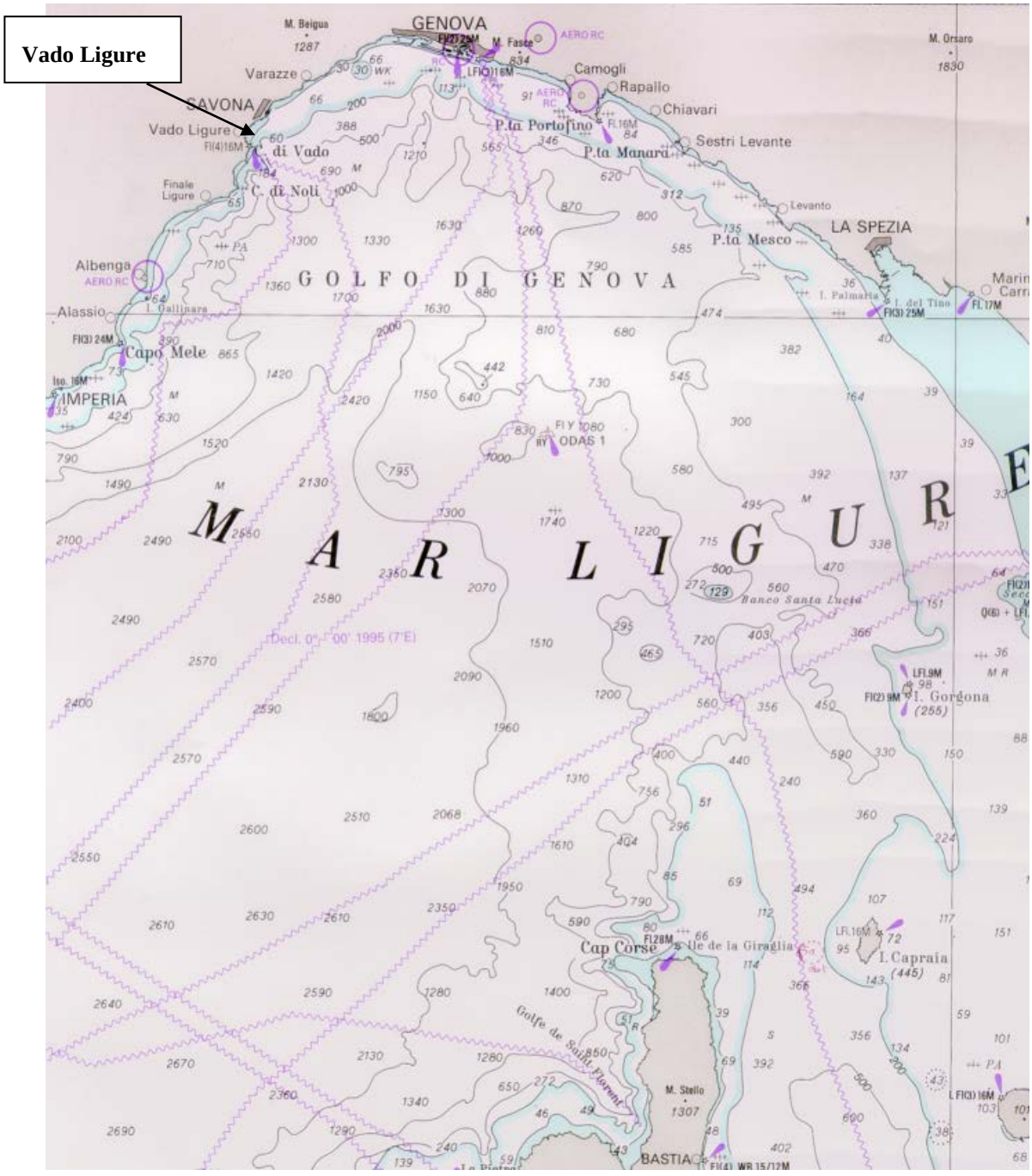


FIG. 2.1 - UBICAZIONE DEL PARAGGIO DI VADO LIGURE

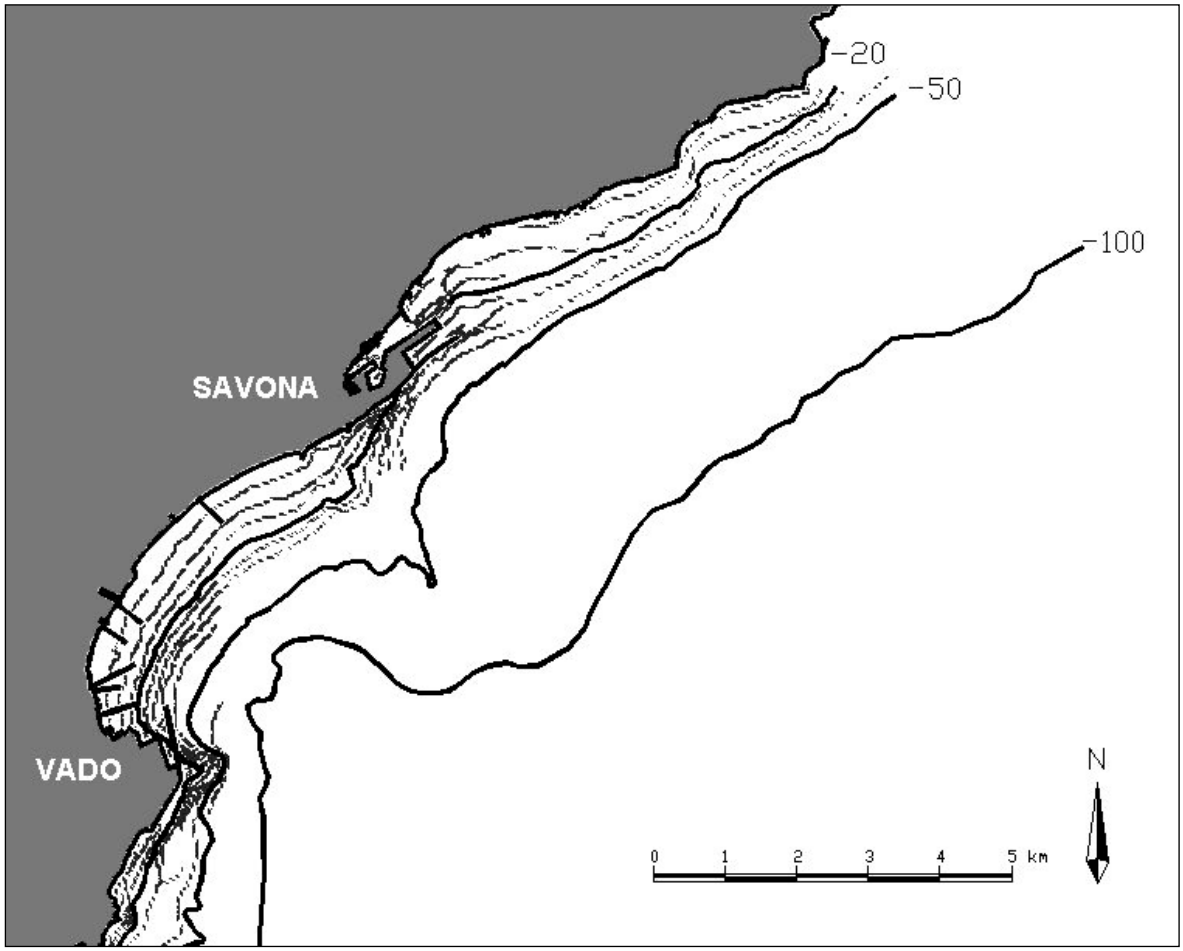


FIG. 2.2 - LE BATIMETRIE NELLA ZONA DI VADO LIGURE

3. I LIVELLI DEL MARE

Nel Golfo di Genova l'ampiezza di marea è modesta, come dimostrano i dati mareografici delle stazioni di Genova ed Imperia forniti dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale dei Servizi Tecnici Nazionali ora confluiti nell'APAT (Agenzia per l'Ambiente ed il Territorio) per il periodo 1998-2008. A titolo di esempio si riportano in Fig. 3.1 e Fig. 3.2 i livelli misurati ad Imperia e Genova nel periodo Agosto 98 - Novembre 2000.

I valori massimi di marea registrati nel periodo sono pari a +0,5 m per il sito di Genova e a +0,43 m per quello di Imperia. I valori minimi sono, rispettivamente, di -0,33 m e -0,36 m.

Le variazioni del livello marino definiscono un segnale complesso, che può considerarsi il risultato delle interazioni tra due componenti fondamentali: la marea astronomica, di natura periodica e causata dalle forze di attrazione combinate della luna e del sole, e la cosiddetta componente meteorologica, aleatoria e dovuta agli effetti indotti sulla superficie marina dalle variazioni delle condizioni atmosferiche. Con riferimento ai porti marittimi, i fenomeni meteorologici in grado di influenzare il livello del mare sono essenzialmente le variazioni di pressione atmosferica ed il vento, i cui effetti, in generale, non possono essere identificati separatamente.

Per poter eseguire un'analisi statistica della componente meteorologica del segnale di marea, e fare quindi previsioni di livello legate al tempo di ritorno, le registrazioni di marea sono state elaborate al fine di separare le due componenti astronomica e meteorologica. L'elaborazione è stata effettuata sulla serie storica delle registrazioni disponibili per il mareografo di Genova, relative al periodo 1998 - 2008. I dati hanno formato orario e sono riferiti allo 0 IGM.
La marea meteorologica, $\eta_m(t)$, può essere determinata eliminando dal segnale registrato, $\eta(t)$, le oscillazioni dovute alle componenti di frequenza tipiche della banda diurna della marea astronomica, $\eta_a(t)$. Gli effetti meteorologici, infatti, influenzano largamente

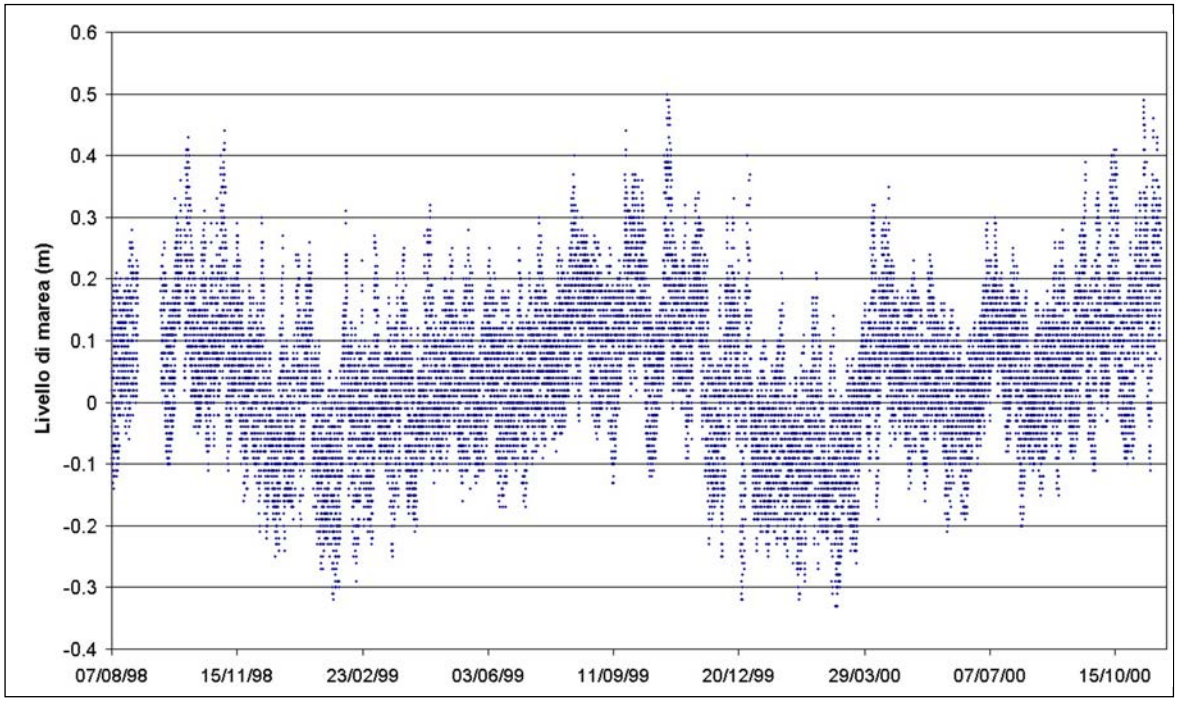


FIG. 3.1 - GENOVA: ESCURSIONI DI MAREA NEL PERIODO AGOSTO '98-NOVEMBRE '00

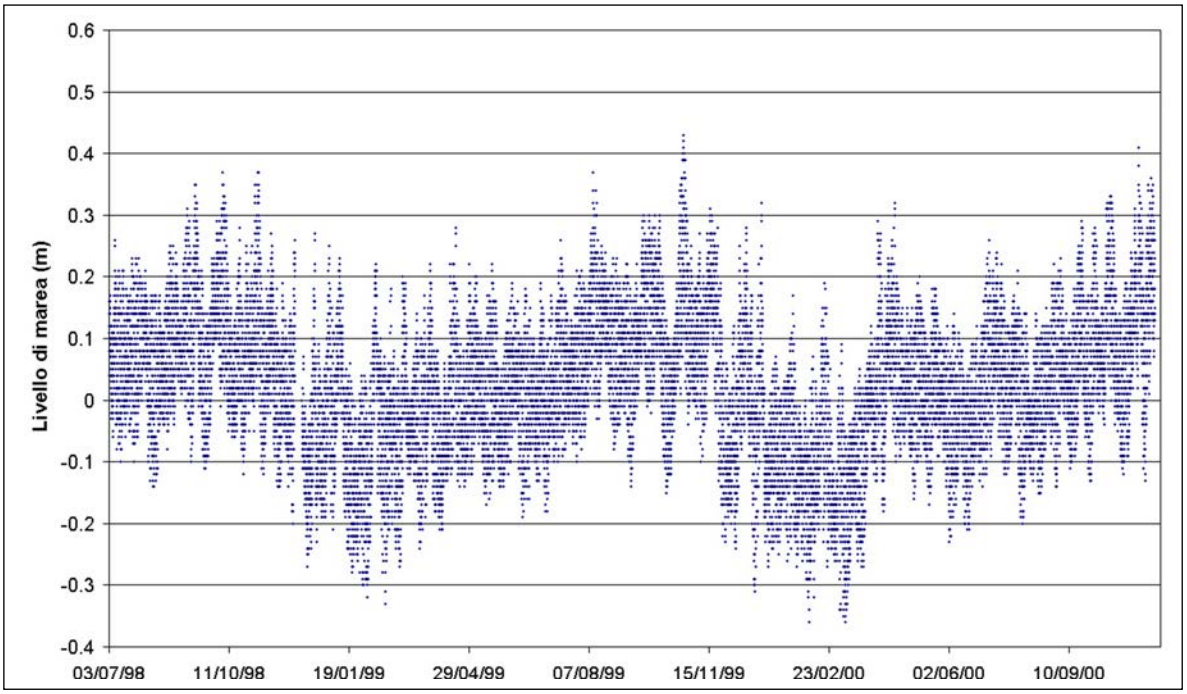


FIG. 3.2 - IMPERIA: ESCURSIONI DI MAREA NEL PERIODO AGOSTO '98-NOVEMBRE '00

le componenti armoniche sub-mareali dello spettro di frequenza del livello marino comprese nella banda limitata dalle componenti mareali diurna e mensile. Pertanto la componente meteorologica $\eta_m(t)$ è stata determinata applicando al mareogramma rilevato $\eta(t)$ un opportuno filtro orario passa-basso, in grado di trattenere le componenti semidiurna e diurna della marea lasciando passare i contributi associabili a frequenze più basse. La marea astronomica è costituita dalla differenza tra il mareogramma registrato e quello residuo ottenuto applicando il filtro passa-basso, ovvero il mareogramma meteorologico. Nella Fig. 3.3 si riporta a titolo di esempio il risultato dell'elaborazione per l'anno 2006.

Nella Tab. 3.1 sono riportati, per i diversi anni di registrazione considerati, i valori massimi della componente meteorologica della marea.

TAB. 3.1 - VALORI MASSIMI ANNUALI DELLA MAREA METEOROLOGICA

Anno	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
$\eta_{m,max}$ **(m)**	0,27	0,33	0,40	0,30	0,46	0,44	0,37	0,29	0,33	0,32	0,28

L'analisi statistica di tali valori estremi è stata effettuata adattando la distribuzione di probabilità di Gumbel e la distribuzione Tipo III di Pearson. I risultati dell'elaborazione sono riportati nella tabella Tab. 3.2, con riferimento a valori del tempo di ritorno pari a 1, 5, 10, 20, 50 e 100 anni.

Per determinare il livello estremo complessivo, occorre sommare al valore massimo stimato del contributo meteorologico un valore rappresentativo delle più elevate altezze di marea astronomica. A tale proposito sono stati individuati, per l'intero periodo 1998 - 2008 e relativamente a ciascun giorno mareale, i valori delle più elevate alte maree astronomiche. Facendo la media di tali dati si è stimata la marea astronomica di riferimento per il calcolo dei livelli estremi complessivi, che è risultata pari a +0,12 m. I valori estremi complessivi del livello marino sono indicati anch'essi in Tab. 3.2.

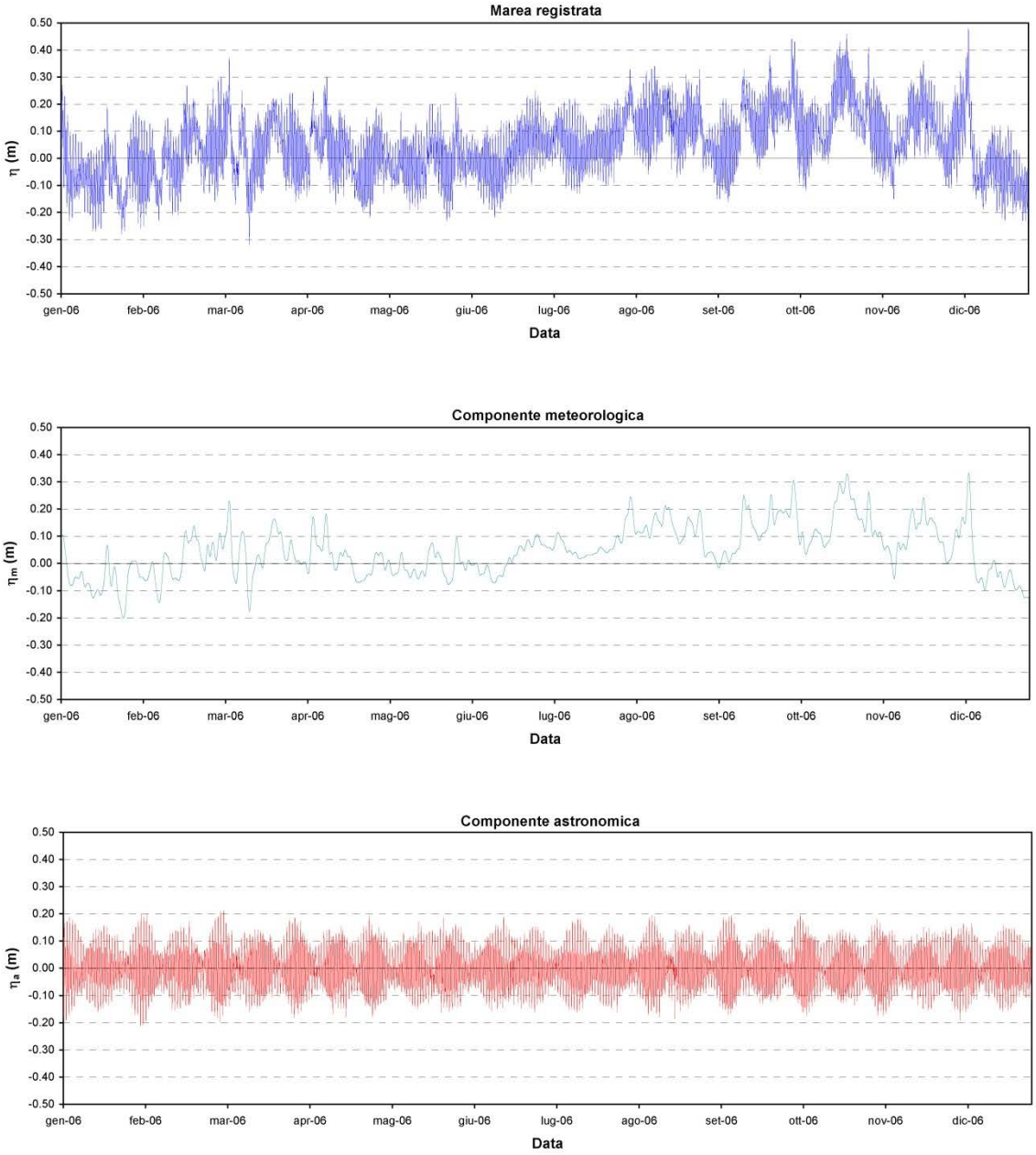


FIG. 3.3 - ESEMPIO DI SCOMPOSIZIONE DELLA REGISTRAZIONE DI MAREA NELLE COMPONENTI METEOROLOGICA ED ASTRONOMICA (STAZIONE DI GENOVA, ANNO 2006)

TAB. 3.2 - RISULTATI DELL'ANALISI STATISTICA DEI LIVELLI ESTREMI

T_r (anni)	M. Meteorologica (m)		M. Astronomica (m)	Livello marino (m)
	Pearson (tipo III)	Gumbel		
1	0,26	0,26	0,12	0,38 / 0,38
5	0,40	0,41	0,12	0,52 / 0,53
10	0,43	0,46	0,12	0,55 / 0,58
20	0,46	0,50	0,12	0,58 / 0,62
50	0,50	0,56	0,12	0,62 / 0,68
100	0,53	0,61	0,12	0,65 / 0,73

4. LE CONDIZIONI ANEMOMETRICHE

4.1. Le condizioni frequenti di vento

La disponibilità di serie storiche di dati di vento molto lunghe riguardano una stazione a terra in prossimità dell'intervento, proprio a Vado Ligure. I dati di Vado Ligure che si riferiscono al periodo 1986-1997, che come si può notare nel seguito sono stati selezionati per definire le condizioni di vento sottocosta, sono stati ottenuti dalla stazione ubicata in corrispondenza della postazione Capo Vado 1 sita in località Scoglio bianco (Lat. Nord 44°15'30", Long. Est 8°26'58") che si trova proprio vicino al porto di Vado, oggi gestita dall'ARPAL Liguria. L'anemometro è ubicato ad una quota piuttosto alta di 220 m sul l.m.m. (quota del terreno 200 m e l'anemometro posizionato a 20 m da terra) ed ha registrato i dati con cadenza semioraria. Si ritiene che questo anemometro sia in grado di fornire dati rappresentativi delle condizioni locali.

Sono stati poi raccolti i dati di vento (con cadenza trioraria) ricostruiti presso il Centro Meteorologico di Bracknell con riferimento al periodo 1987-2008, che vengono utilizzati per definire le condizioni di vento al largo e sulla base delle quali il Centro Meteorologico di Bracknell ha ricostruito le condizioni d'onda al largo. I dati raccolti sono stati elaborati al fine di ottenere le condizioni di vento nel paraggio d'interesse, con riferimento sia alle condizioni frequenti che a quelle estreme (vedi paragrafo seguente).
Nelle Fig. 4.1 e Fig. 4.2 sono mostrate la rose dei venti dedotte dalle due serie anemometriche e nelle Tab. 4.1, Tab. 4.2 le percentuali di occorrenza per classi di velocità e direzioni del vento. Si fa notare che i dati registrati all'anemometro di Vado Ligure sono stati riportati alla quota di 10 m sul l.m.m., utilizzando la nota formula di letteratura $u_{10}=u_z\,(10/z)^{1/7}$.

Le velocità del vento dell'UKMO risultano un po' più basse rispetto a quelle registrate all'anemometro di Vado Ligure. Anche le direzioni di provenienza del vento risentono per l'anemometro di Vado Ligure dei fenomeni legati alla particolare orografia del sito d'interesse.

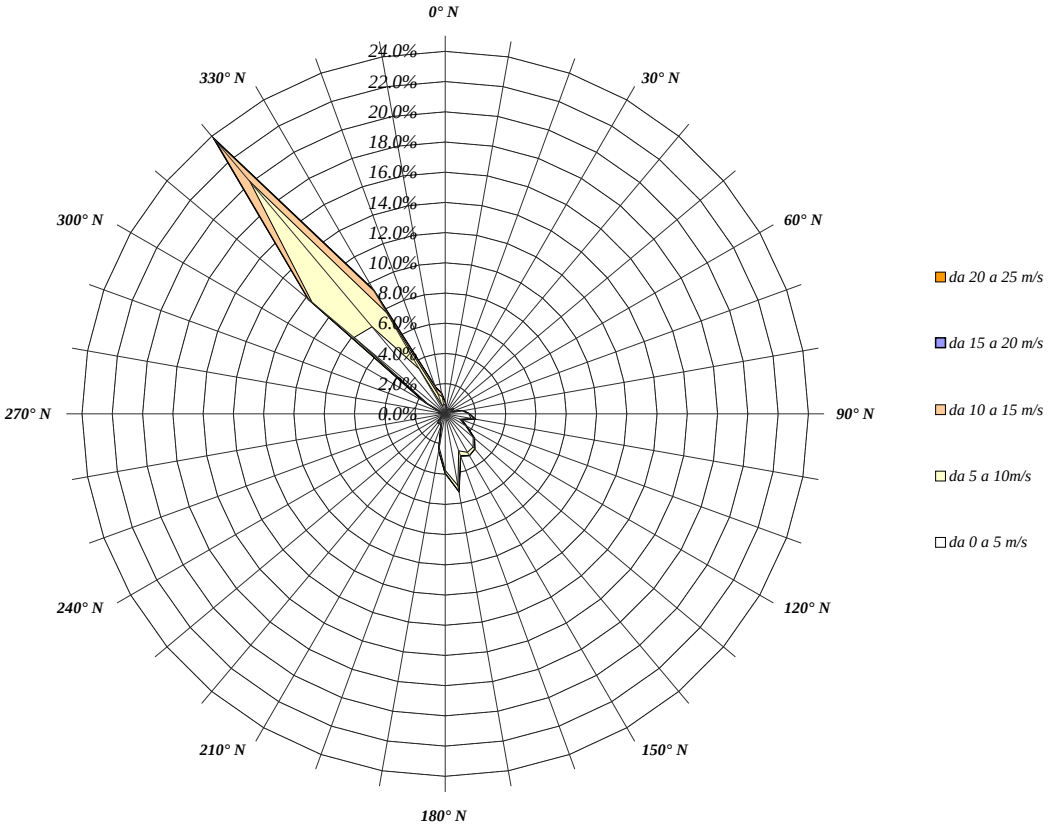


FIG. 4.1 - VADO LIGURE, ROSA DEI VENTI - DATI ORARI, 1986-1997

TAB. 4.1 - FREQUENZE DI OCCORRENZA DELLE VELOCITÀ E DIREZIONE DEL VENTO A VADO LIGURE (1986-1997)

VV (m/s)	≥ 0	≥ 5	≥ 10	≥ 15	≥ 20	≥ 25	≥ 30	≥ 35	Tot.
DIREZIONE °N	< 5	< 10	< 15	< 20	< 25	< 30	< 35	< 40	
5	**0.583**	**0.149**	**0.014**	**0.005**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.751**
15	**0.378**	**0.030**	**0.001**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.409**
25	**0.197**	**0.011**	**0.001**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.209**
35	**0.246**	**0.011**	**0.001**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.258**
45	**0.392**	**0.010**	**0.001**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.404**
55	**0.436**	**0.009**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.445**
65	**0.598**	**0.007**	**0.001**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.607**
75	**0.368**	**0.014**	**0.001**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.382**
85	**1.156**	**0.031**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.189**
95	**1.552**	**0.044**	**0.001**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.598**
105	**1.736**	**0.218**	**0.050**	**0.007**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**2.011**
115	**1.027**	**0.114**	**0.004**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.145**
125	**1.548**	**0.085**	*0.000*	**0.003**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.636**
135	**2.417**	**0.095**	**0.003**	*0.000*	**0.001**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**2.516**
145	**2.871**	**0.158**	**0.003**	**0.001**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**3.033**
155	**2.941**	**0.246**	**0.003**	**0.001**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**3.190**
165	**2.604**	**0.328**	**0.025**	**0.007**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**2.965**
175	**4.827**	**0.376**	**0.013**	**0.002**	**0.001**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**5.219**
185	**3.737**	**0.181**	**0.007**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**3.926**
195	**2.270**	**0.189**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**2.460**
205	**0.671**	**0.121**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.791**
215	**0.650**	**0.061**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.711**
225	**0.526**	**0.174**	**0.059**	**0.003**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.761**
235	**0.299**	**0.023**	**0.001**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.324**
245	**0.113**	**0.006**	**0.001**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.121**
255	**0.055**	**0.005**	**0.001**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.061**
265	**0.102**	**0.008**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.112**
275	**0.209**	**0.008**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.219**
285	**0.383**	**0.046**	**0.004**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.432**
295	**0.246**	**0.025**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.273**
305	**1.322**	**0.224**	**0.033**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.578**
315	**7.862**	**3.623**	**0.291**	**0.012**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**11.788**
325	**7.519**	**12.529**	**3.588**	**0.166**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**23.802**
335	**3.429**	**4.289**	**1.658**	**0.101**	**0.001**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**9.478**
345	**0.561**	**0.849**	**0.449**	**0.029**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.888**
355	**0.648**	**0.504**	**0.217**	**0.012**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.381**
Tot.	**56.480**	**24.799**	**6.442**	**0.351**	**0.002**	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**88.074**

4.580% **eventi di calme**

7.346% **eventi di direzione indeterminata**

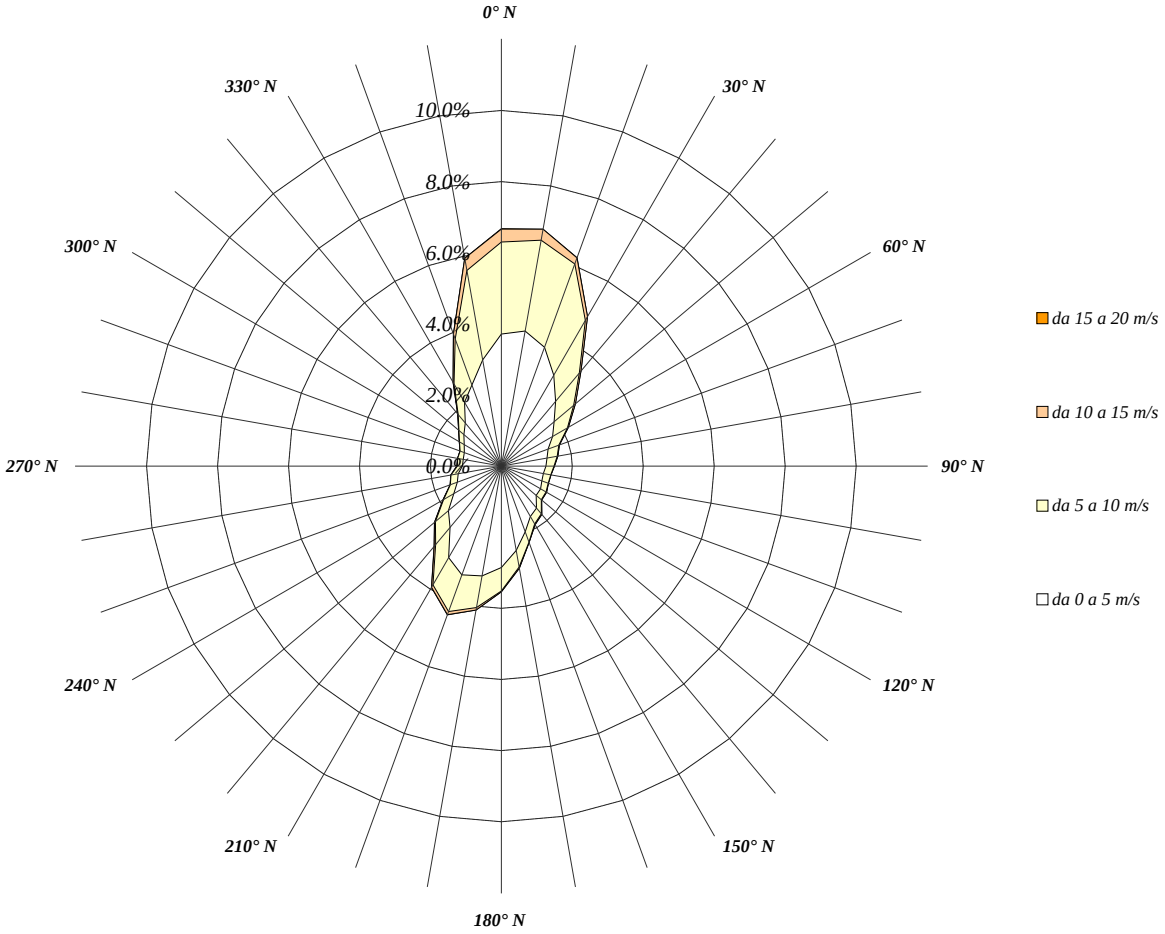


FIG. 4.2 - PUNTO UKMO - ROSA DEI VENTI. DATI TRIORARI, 1987-2008

TAB. 4.2 - FREQUENZE DI OCCORRENZA DELLE VELOCITÀ E DIREZIONE DEL VENTO AL LARGO - DATI UKMO (1987-2008)

VV (m/s)	≥ 0	≥ 5	≥ 10	≥ 15	≥ 20	≥ 25	≥ 30	≥ 35	Tot.
DIREZIONE °N	< 5	< 10	< 15	< 20	< 25	< 30	< 35	< 40	
5	3.714	2.586	0.364	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	6.677
15	3.856	2.593	0.314	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	6.765
25	3.555	2.495	0.180	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	6.234
35	2.951	1.784	0.119	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.853
45	2.379	1.039	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.488
55	1.941	0.718	0.061	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.721
65	1.668	0.482	0.032	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	2.183
75	1.402	0.321	0.016	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	1.743
85	1.307	0.291	0.018	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	1.617
95	1.255	0.230	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.496
105	1.200	0.212	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.419
115	1.214	0.191	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.410
125	1.274	0.179	0.018	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.470
135	1.279	0.193	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.484
145	1.542	0.209	0.021	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	1.773
155	1.633	0.244	0.021	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	1.899
165	1.964	0.308	0.011	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	2.285
175	2.409	0.471	0.037	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.917
185	2.851	0.661	0.021	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	3.536
195	3.135	0.902	0.072	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	4.110
205	3.254	1.099	0.095	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	4.452
215	2.970	0.887	0.077	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	3.940
225	2.253	0.627	0.063	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	2.954
235	1.947	0.478	0.035	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.460
245	1.545	0.333	0.021	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	1.901
255	1.319	0.212	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.538
265	1.235	0.207	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.447
275	1.099	0.142	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.255
285	1.088	0.163	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.253
295	1.111	0.126	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.240
305	1.207	0.154	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.372
315	1.377	0.180	0.018	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.575
325	1.584	0.310	0.019	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	1.915
335	2.076	0.590	0.051	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	2.721
345	2.428	1.374	0.147	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	3.955
355	3.033	2.553	0.349	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	5.938
Tot.	72.056	25.542	2.327	0.075	0.000	0.000	0.000	0.000	100.000

4.2. Le condizioni estreme di vento

Per la definizione dei valori estremi della velocità del vento sottocosta è stato elaborato il set di dati registrati all'anemometro di Vado Ligure presentato nel paragrafo precedente, mediante la distribuzione di probabilità di Gumbel con riferimento all'elaborazione dei massimi annuali.

Nelle tabelle riportate di seguito sono presentati i risultati delle elaborazioni svolte. I valori della velocità del vento di Vado Ligure indicati in Tab. 4.3 fanno riferimento alla quota di 220 m sul l.m.m., mentre quelli indicati in Tab. 4.4 sono riferiti alla quota di 10 m sul l.m.m..

In Tab. 4.5 sono inoltre riportati i risultati dell'analisi statistica per il solo settore 0°N-50°N, utilizzata in seguito per lo studio della generazione locale dell'onda.

TAB. 4.3 - VALORI DELLA VELOCITÀ DEL VENTO (M/S) IN FUNZIONE DEL TEMPO DI RITORNO - DATI DELL'ANEMOMETRO DI VADO LIGURE ALLA QUOTA DI 220 M SUL L.M.M.

Tempo di ritorno (anni)			
2	**10**	**50**	**100**
28	32	36	37

TAB. 4.4 - VALORI DELLA VELOCITÀ DEL VENTO (M/S) IN FUNZIONE DEL TEMPO DI RITORNO - DATI DELL'ANEMOMETRO DI VADO LIGURE RIPORTATI ALLA QUOTA DI 10 M SUL L.M.M.

Tempo di ritorno (anni)			
2	**10**	**50**	**100**
18	21	23	24

TAB. 4.5 - VALORI DELLA VELOCITÀ DEL VENTO (M/S) IN FUNZIONE DEL TEMPO DI RITORNO - DATI DELL'ANEMOMETRO DI VADO LIGURE RIPORTATI ALLA QUOTA DI 10 M SUL L.M.M. - SETTORE 0°-50°N

Tempo di ritorno (anni)				
2	**10**	**50**	**100**	**250**
9	19	28	31	36

Per la definizione dei valori estremi della velocità del vento al largo è stato elaborato il set di dati dell'UKMO presentato nel paragrafo precedente, mediante la distribuzione di probabilità di Gumbel con riferimento all'elaborazione dei massimi annuali.

Nella tabella riportata di seguito sono presentati i risultati delle elaborazioni svolte.

TAB. 4.6 - VALORI DELLA VELOCITÀ DEL VENTO (M/S) IN FUNZIONE DEL TEMPO DI RITORNO - DATI NEL PUNTO AL LARGO UKMO

Tempo di ritorno (anni)			
2	**10**	**50**	**100**
17	19	22	23

5. IL MOTO ONDOSO AL LARGO

5.1. I dati di moto ondoso disponibili

I dati che più si prestano ad una definizione delle caratteristiche meteomarine di un paraggio d'interesse sono riportati di seguito, insieme ad un commento inerente la relativa affidabilità ed una giustificazione circa il loro eventuale utilizzo nell'ambito del presente studio:

- Misurazioni di moto ondoso: rappresentano l'informazione migliore che possa essere utilizzata per la definizione delle condizioni marine esistenti al largo del sito in esame. La loro effettiva utilità e validità è legata al tipo di dati disponibili, alla durata del periodo di misurazione e, naturalmente, all'ubicazione dell'ondametro. Tali dati possono essere di tipo direzionale (all'altezza d'onda è associata la direzione di propagazione) o non direzionale.

I dati disponibili relativamente alla costa ligure sono quelli:

- misurati dall'ENEL e dall'Università di Genova, al largo di Nervi, nel periodo 1978-1982;
- quelli dell'ondametro di Vado Ligure, installato da poco (2007) e per cui sono disponibili i dati relativi al periodo 08/07 - 04/08;
- quelli dell'ondametro di Nizza relativi al periodo 2002-2007;
- quelli della Rete Ondametrica Nazionale di La Spezia, misurati dal 1989 ad oggi.

I primi due set di dati sono misurati in punti abbastanza vicini all'area in esame (quello di Vado in particolare) ma, oltre ad essere del tipo "non direzionale", coprono un periodo di tempo piuttosto breve ed hanno frequenti interruzioni. Ciononostante sono state comunque reperite le registrazioni dell'ondametro di Vado, allo scopo di confrontarle con gli altri set di dati.

L'ondametro di Nizza si trova su fondali di 190 m, nel punto di coordinate (43° 38,30' N; 7° 13,70' E) ed è direzionale. Il campione limitato di dati registrato è piuttosto esiguo e non sufficiente per un analisi degli estremi.

I dati della R.O.N., pur essendo direzionali, affidabili e con quasi 20 anni di registrazioni, risultano poco utili per ricavarne informazioni relative al paraggio di Vado Ligure data la notevole distanza e, soprattutto, la sostanziale differenza nell'esposizione geografica.

- Ricostruzione del moto ondoso dai dati di vento e di moto ondoso del Meteorological Office: i dati del MET OFFICE, ricostruiti a partire dalle carte sinottiche del tempo secondo il metodo di Bracknell, adottato dall'European Wave Model, forniscono, in corrispondenza dei nodi di una griglia, i dati triorari di vento e di moto ondoso dedotti attraverso l'applicazione del già citato metodo.

I valori di altezza significativa dell'onda vengono desunti dallo spettro dell'energia, quindi calcolati nel "dominio della frequenza". L'altezza significativa fornita è dunque quella che viene indicata come Hm_0 e che viene calcolata dal momento spettrale di ordine 0, che in pratica rappresenta l'energia dello spettro. Essa è in generale diversa da quella che viene indicata come Hs e che viene calcolata nel "dominio del tempo" attraverso l'analisi zero crossing; ai fini pratici però in acque profonde le differenze tra le due non sono sostanziali, quindi i valori forniti vengono assunti come Hs.

Tali informazioni sono considerate in generale dagli addetti ai lavori nell'ambito internazionale abbastanza affidabili (soprattutto per quanto riguarda il clima di moto ondoso). A questo va aggiunto la notevole mole di dati disponibili normalmente che consente di ricavare delle estrapolazioni affidabili. Si allega (vedi Appendice 2) a riguardo il 'Quality statement' del Met Office che presenta le caratteristiche degli strumenti che vengono utilizzati per la ricostruzione delle onde e le modalità di analisi.

Il nodo della griglia più vicino al sito in esame ha le coordinate 44° N e 8.74° E, ed è quello che è stato considerato negli studi dell'Università di Padova, in quanto ubicato in una posizione adeguata per lo studio delle onde al largo del sito d'interesse. L'Università di Padova aveva acquisito i dati in questo punto per il periodo 1987-1998. Nello stesso punto della griglia sono stati acquisiti da Technital anche i dati relativi all'ultimo decennio 1998-2007, in modo da disporre di un ampio campione di dati (20 anni di dati complessivamente).

- Dati di moto ondoso del K.N.M.I. (Istituto Reale Meteorologico dei Paesi Bassi): tali dati, pur presentando il pregio di essere ampiamente diffusi, a basso costo e spesso riferiti a punti in alto mare, hanno il grosso inconveniente di essere stimati e non misurati, cosa che ne penalizza notevolmente l'affidabilità sia in termini di altezza d'onda sia di direzione di provenienza.
  La notevole estensione dell'area di provenienza dei dati è un altro aspetto che ne mina notevolmente l'affidabilità, potendo appartenere alcune stime a punti anche molto distanti da quello in studio, con il rischio che il moto ondoso attribuito alla zona d'interesse risulti, in realtà, rappresentativo di altre zone, sottoposte a condizioni marine ed anemometriche ben diverse, per intensità e settore di provenienza, da quelle effettivamente esistenti in prossimità del sito in esame.
  Nel nostro caso si è fatto riferimento ai dati KNMI disponibili, relativi al periodo 1961 - 1980, nell'ambito del territorio di mare delimitato a sud dai punti di coordinate (43°N; 8°E) e (43°N; 10°E) e delimitato a Nord dalla costa ligure (vedi AREA 1 in Fig. 5.1).
  Sono state elaborate circa 17.000 osservazioni, ridotte a circa 15.000 dopo aver eliminato i dati non completi e non affidabili. Sono state inoltre apportate le "correzioni" secondo le indicazioni di Soares, Jardine e Hogben per rendere congruente il dato visivo (Hv) con l'altezza d'onda significativa (Hs).

In sintesi sono stati analizzati di seguito i seguenti dati:

- dati dell'UKMO, ricostruiti con il modello European Wave Model nel punto di coordinate 44° N e 8,74° E, relativi al ventennio 1987-2008 acquisiti dal Centro Meteorologico di Bracknell;
- i dati dell'ondametro direzionale di Nizza, ubicato nel punto di coordinate (43° 38,30' N; 7° 13,70' E), relativi al periodo 2002 - 2007;
- i dati KNMI relativi al periodo 1961-1980 osservati nell'ambito del territorio di mare delimitato dalle coordinate (43°N; 8°E) e (43°N; 10°E).

In Fig. 5.2 sono ubicati i punti di misura del moto ondoso, con riferimento ai dati precedentemente elencati.

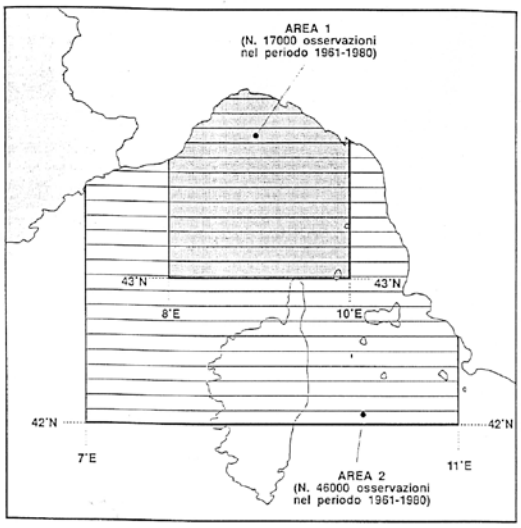


FIG. 5.1 - DATI DI MOTO ONDOSO KNMI - ESTENSIONE DELLE AREE DI RILIEVO DEI DATI

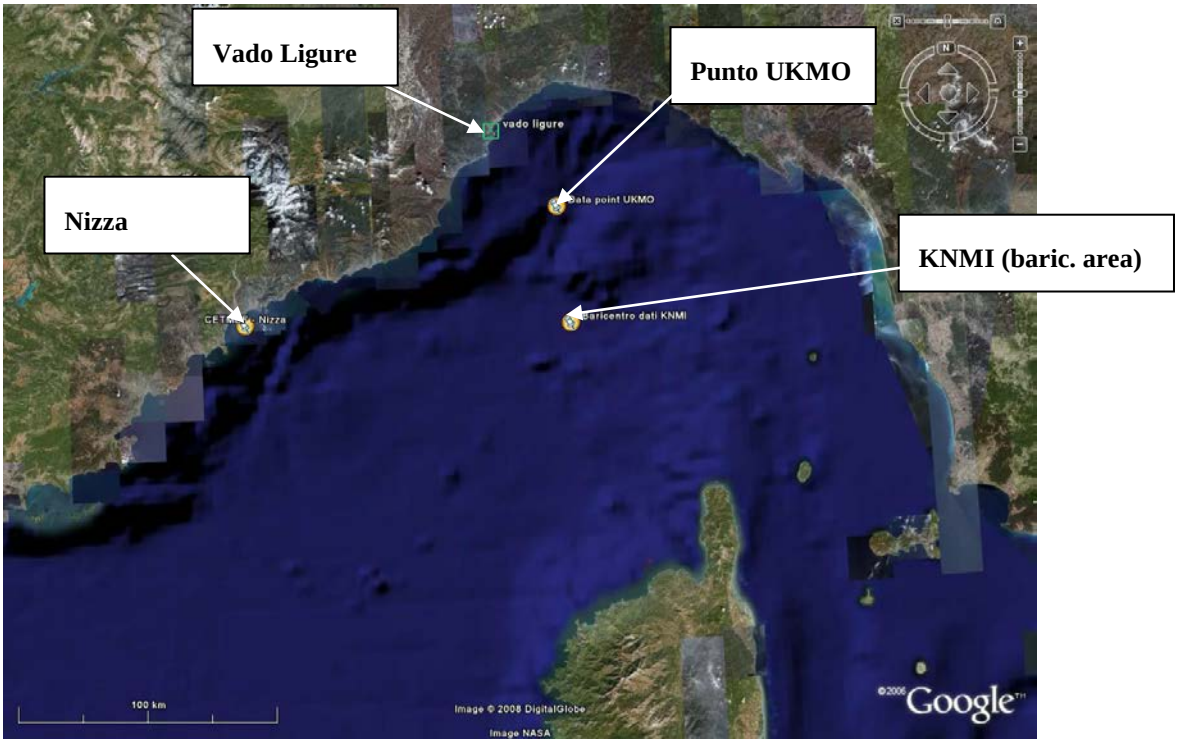


FIG. 5.2 - UBICAZIONE DEI PUNTI DI MISURA DELLE ONDE

5.2. Le condizioni frequenti di moto ondoso al largo

5.2.1. Il clima di moto ondoso al largo

Il porto di Vado Ligure ed il litorale compreso tra il Porto di Vado e il Porto di Savona sono interessati dalle onde provenienti dal settore 50-220°N, come è possibile dedurre dalla ubicazione e conformazione del paraggio d'interesse riportato in Fig. 5.3.

Nella relazione meteo marina del progetto definitivo sono stati analizzati i set di dati d'onda individuati nel capitolo precedente e per i dettagli a riguardo si rimanda alla relazione suddetta. Come detto in precedenza i dati del Centro Meteorologico di Bracknell sono considerati in generale dagli addetti ai lavori nell'ambito internazionale abbastanza affidabili (soprattutto per quanto riguarda il clima di moto ondoso). A questo va aggiunto la notevole mole di dati disponibili normalmente che consente di ricavare delle estrapolazioni affidabili. Si allega (vedi Appendice 2) a riguardo il 'Quality statement' del Met Office che presenta le caratteristiche degli strumenti che vengono utilizzati per la ricostruzione delle onde e le modalità di analisi.

Pertanto a questi dati dell'UKMO, anche in relazione alla estensione della serie storica (circa 20 anni), si è fatto riferimento per la definizione del clima di moto ondoso al largo. I dati dell'UKMO relativi al periodo 1987-2008, sono costituiti da registrazioni triorarie che sono stati elaborati in modo da ottenere il clima delle onde in forma di tabelle delle frequenze, organizzate secondo classi di direzione intervallate di 10° e di altezza d'onda con ampiezza 0,5 m.

In Fig. 5.4 è riportato il clima di moto ondoso ricostruito elaborando il ventennio di dati disponibile. Nel grafico è stato riportato anche il settore di traversia di interesse (50 °N-190°N), in modo da evidenziare con più facilità le direzioni di provenienza delle onde di interesse per Vado Ligure.

In Tab. 5.1 sono presentati i valori delle frequenze di occorrenza per determinate altezze d'onda significative e direzioni di provenienza.

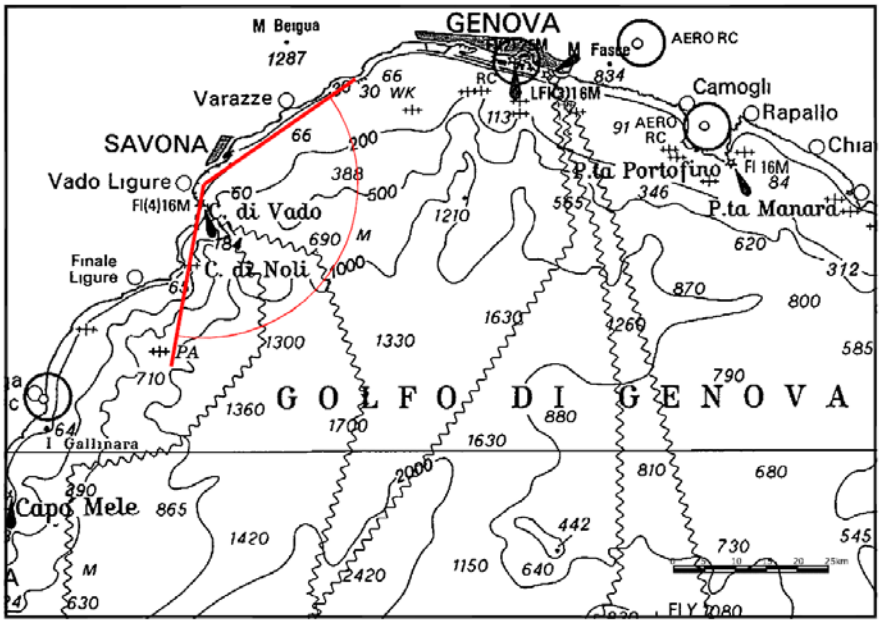


FIG. 5.3 - SETTORE DI TRAVERSIA CHE INTERESSA VADO LIGURE

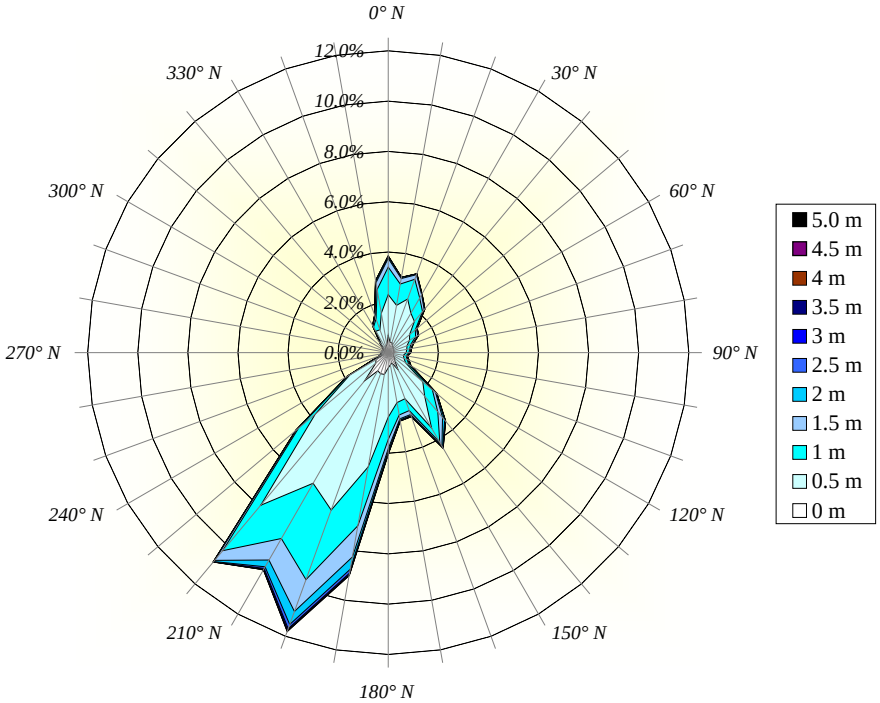


FIG. 5.4 - ROSA DEL MOTO ONDOSO AL LARGO DI VADO, NEL PUNTO DI COORDINATE 44°N; 8,73°E, OTTENUTA CON I DATI UKMO 1987 - 2008

TAB. 5.1 - CLIMA D'ONDA OTTENUTO CON I DATI UKMO PER IL PERIODO 1987-2008

Hs (m)	≥ 0	≥ 0.25	≥ 0.75	≥ 1.25	≥ 1.75	≥ 2.25	≥ 2.75	≥ 3.25	≥ 3.75	≥ 4.25	≥ 4.75	Tot.
DIREZIONE °N	< 0.25	< 0.75	< 1.25	< 1.75	< 2.25	< 2.75	< 3.25	< 3.75	< 4.25	< 4.75	< 5.25	
5	**0.694**	**1.614**	**1.092**	**0.345**	**0.065**	**0.023**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**3.832**
15	**0.415**	**1.495**	**0.860**	**0.223**	**0.039**	**0.005**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**3.036**
25	**0.424**	**1.843**	**0.836**	**0.193**	**0.033**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**3.331**
35	**0.328**	**1.479**	**0.704**	**0.154**	**0.019**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**2.686**
45	**0.303**	**1.319**	**0.506**	**0.100**	**0.042**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**2.271**
55	**0.252**	**0.866**	**0.289**	**0.068**	**0.019**	**0.005**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.500**
65	**0.251**	**0.729**	**0.282**	**0.098**	**0.037**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.398**
75	**0.228**	**0.568**	**0.163**	**0.084**	**0.018**	**0.005**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.065**
85	**0.226**	**0.522**	**0.121**	**0.046**	**0.019**	**0.005**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.939**
95	**0.235**	**0.482**	**0.109**	**0.042**	**0.019**	**0.011**	*0.000*	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.899**
105	**0.196**	**0.417**	**0.112**	**0.033**	**0.007**	**0.002**	**0.002**	**0.002**	**0.004**	*0.000*	*0.000*	**0.774**
115	**0.224**	**0.445**	**0.131**	**0.039**	**0.028**	**0.004**	**0.002**	**0.004**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.876**
125	**0.240**	**0.559**	**0.159**	**0.056**	**0.026**	**0.002**	*0.000*	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.044**
135	**0.336**	**1.463**	**0.505**	**0.161**	**0.046**	**0.016**	*0.000*	**0.002**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	**2.530**
145	**0.401**	**1.861**	**0.818**	**0.289**	**0.138**	**0.030**	**0.016**	**0.004**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**3.557**
155	**0.776**	**2.681**	**0.661**	**0.168**	**0.058**	**0.014**	**0.009**	**0.007**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**4.373**
165	**0.440**	**1.510**	**0.501**	**0.166**	**0.040**	**0.019**	**0.019**	**0.002**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	**2.700**
175	**0.489**	**1.526**	**0.503**	**0.154**	**0.044**	**0.030**	**0.007**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**2.754**
185	**0.606**	**1.959**	**0.887**	**0.370**	**0.105**	**0.063**	**0.018**	**0.011**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	**4.019**
195	**0.878**	**3.736**	**2.376**	**1.263**	**0.494**	**0.159**	**0.054**	**0.012**	**0.011**	**0.007**	**0.002**	**8.992**
205	**0.890**	**5.770**	**2.945**	**1.344**	**0.552**	**0.175**	**0.067**	**0.025**	**0.011**	**0.005**	*0.000*	**11.783**
215	**0.836**	**5.158**	**2.541**	**0.986**	**0.310**	**0.077**	**0.035**	**0.014**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	**9.959**
225	**1.458**	**6.464**	**2.358**	**0.499**	**0.063**	**0.014**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**10.858**
235	**0.647**	**3.163**	**0.866**	**0.112**	**0.026**	**0.002**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**4.817**
245	**0.566**	**1.207**	**0.098**	**0.012**	**0.007**	**0.004**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.894**
255	**0.217**	**0.119**	**0.014**	**0.009**	**0.002**	**0.004**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.364**
265	**0.170**	**0.100**	**0.016**	**0.007**	*0.000*	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.294**
275	**0.165**	**0.077**	**0.016**	**0.005**	**0.002**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.266**
285	**0.144**	**0.070**	**0.011**	**0.002**	**0.004**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.231**
295	**0.156**	**0.065**	**0.012**	**0.012**	**0.004**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.249**
305	**0.126**	**0.063**	**0.026**	**0.004**	**0.005**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.224**
315	**0.121**	**0.109**	**0.023**	**0.014**	**0.005**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.273**
325	**0.186**	**0.233**	**0.060**	**0.011**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.491**
335	**0.223**	**0.760**	**0.189**	**0.047**	**0.018**	**0.004**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.240**
345	**0.258**	**0.711**	**0.454**	**0.109**	**0.044**	**0.007**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.582**
355	**0.315**	**1.276**	**0.957**	**0.272**	**0.061**	**0.016**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**2.896**
Tot.	**14.418**	**52.416**	**22.199**	**7.497**	**2.400**	**0.706**	**0.231**	**0.086**	**0.032**	**0.012**	**0.002**	**100.00**

5.2.2. Caratteristiche delle mareggiate del paraggio d'interesse

Le mareggiate più frequenti e gravose provengono dal settore 195-220°N, tuttavia queste direzioni hanno un'influenza limitata sul dimensionamento delle opere della piattaforma in quanto il nuovo bacino portuale è protetto dalle onde provenienti da questo settore grazie alla costruzione della nuova diga foranea. Per quanto riguarda la diga foranea invece queste mareggiate risultano di interesse ai fini del dimensionamento.

Per evidenziare le caratteristiche degli eventi di moto ondoso più significativi occorsi nel ventennio sono presentati in Fig. 5.5÷Fig. 5.7 i diagrammi polari degli eventi di moto ondoso triorari con Hs superiore a 2 m rispettivamente per l'onda risultante, di mare vivo e di swell. Nella Fig. 5.8 è presentato il diagramma polare delle mareggiate con H_s al colmo superiore a 2 m.

Si fa notare che nel settore di traversia considerato delimitato dalle direzioni 50-220°N si possono individuare una serie di mareggiate con H_s al colmo superiore a 2,5 m di cui le più significative per le principali direzioni sono:

Mareggiata dell'6 novembre 2000 - $H_{s\ colmo}$= 4,9 m e Dir.=191°N
Mareggiata del 30 ottobre 2008 - $H_{s\ colmo}$= 4,7 m e Dir.=199°N
Mareggiata dell'1 marzo 1993 - $H_{s\ colmo}$= 4,1 m e Dir.=105°N
Mareggiata del 9 dicembre 2009 - $H_{s\ colmo}$= 3,8 m e Dir.=168°N
Mareggiata del 14 dicembre 2001 - $H_{s\ colmo}$= 3,6 m e Dir.=135°N
Mareggiata del 23 dicembre 1994 - $H_{s\ colmo}$= 2,7 m e Dir.=54°N

Per quanto riguarda la piattaforma la mareggiata più significativa è quella del 1 marzo 1993 in quanto proveniente da 105°N e quindi in grado di raggiungere le opere. Questa mareggiata è caratterizzata da una Hs superiore a 4 m con una predominante componente di mare vivo.
La mareggiata del 23 dicembre 1994 rappresenta l'unico evento relativo al primo quadrante di una certa intensità ed è caratterizzata da una componente significativa di mare vivo. Queste sono le uniche 2 mareggiate d'interesse che si sono verificate nel ventennio 1987-2008 che interessano il dimensionamento delle opere della piattaforma.

La mareggiata del 14 dicembre 2001 invece, è caratterizzata da una predominante componente da swell con direzione estremamente variabile tra 50 e 150°N. L'onda risultante in effetti presenta un valore al colmo (Hs=3,6 m) che nelle sei ore passa da 99° a 135°N. Rimangono a riguardo alcune perplessità in merito alle caratteristiche di queste mareggiata a cui non si riesce ad assegnare in modo preciso una direzione di provenienza.

Per quanto riguarda la diga foranea, oltre alle mareggiate sopra presentate, sono di interesse anche due mareggiate provenienti rispettivamente da 191, 199 e 168°N.

La mareggiata del 6 novembre 2000, proveniente da 191° presenta la massima altezza d'onda significativa della serie di dati per il ventennio in analisi (Hs=4,9m), ed è caratterizzata da componenti di mare vivo e di swell comparabili.

Per quanto riguarda invece sia la mareggiata del 30 ottobre 2008 proveniente da 199°N e avente Hs=4,7 m, che la mareggiata del 6 dicembre 2008 proveniente da 168°N e avente Hs=3,8 m, si osserva come l'onda totale sia composta completamente dalla sola componente di mare vivo.

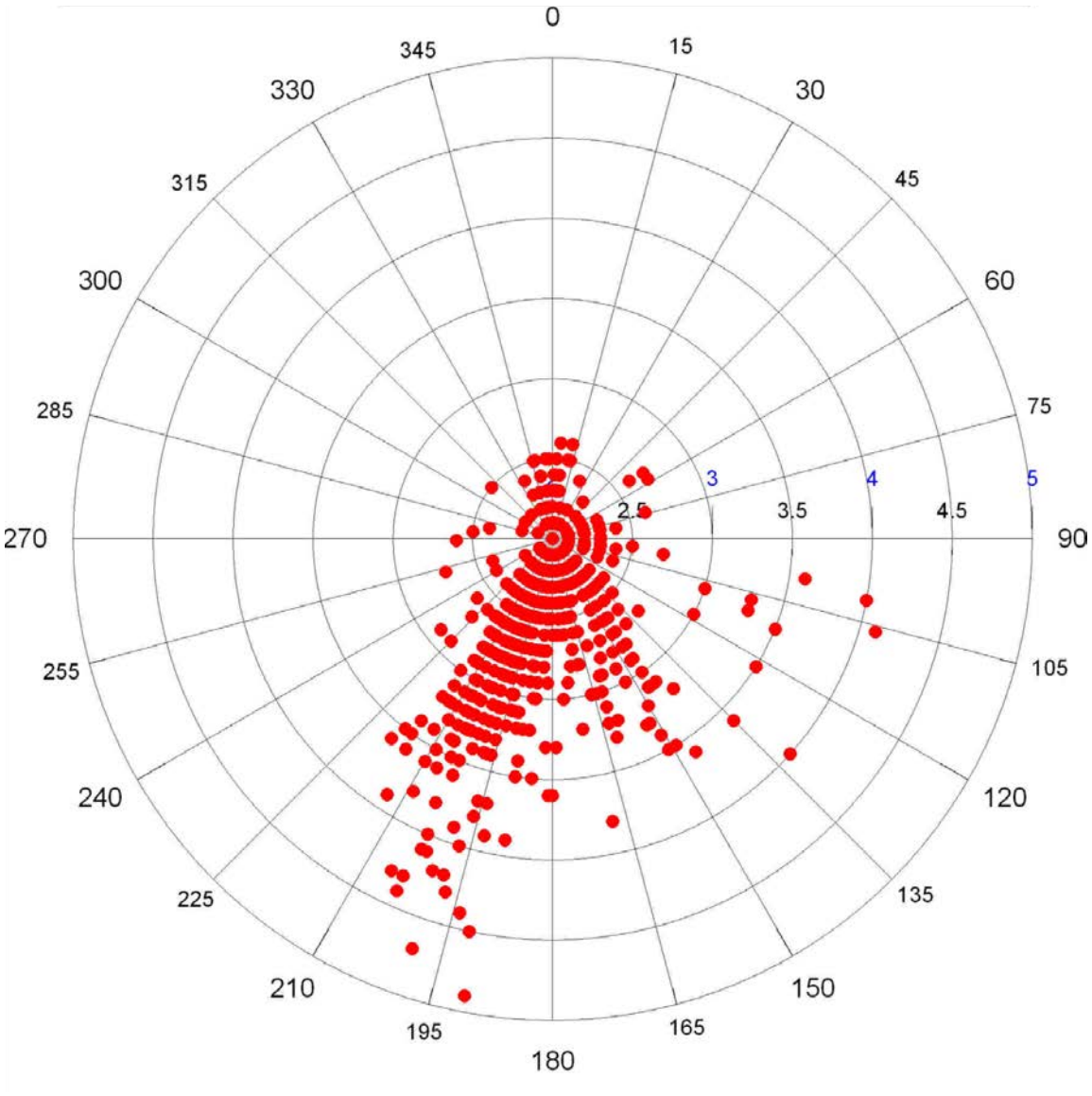


FIG. 5.5 - DISTRIBUZIONE DIREZIONALE DEGLI EVENTI (TRIORARI) DI MOTO ONDOSO CON H_S MAGGIORE DI 2 M - DATI UKMO 1987-2008

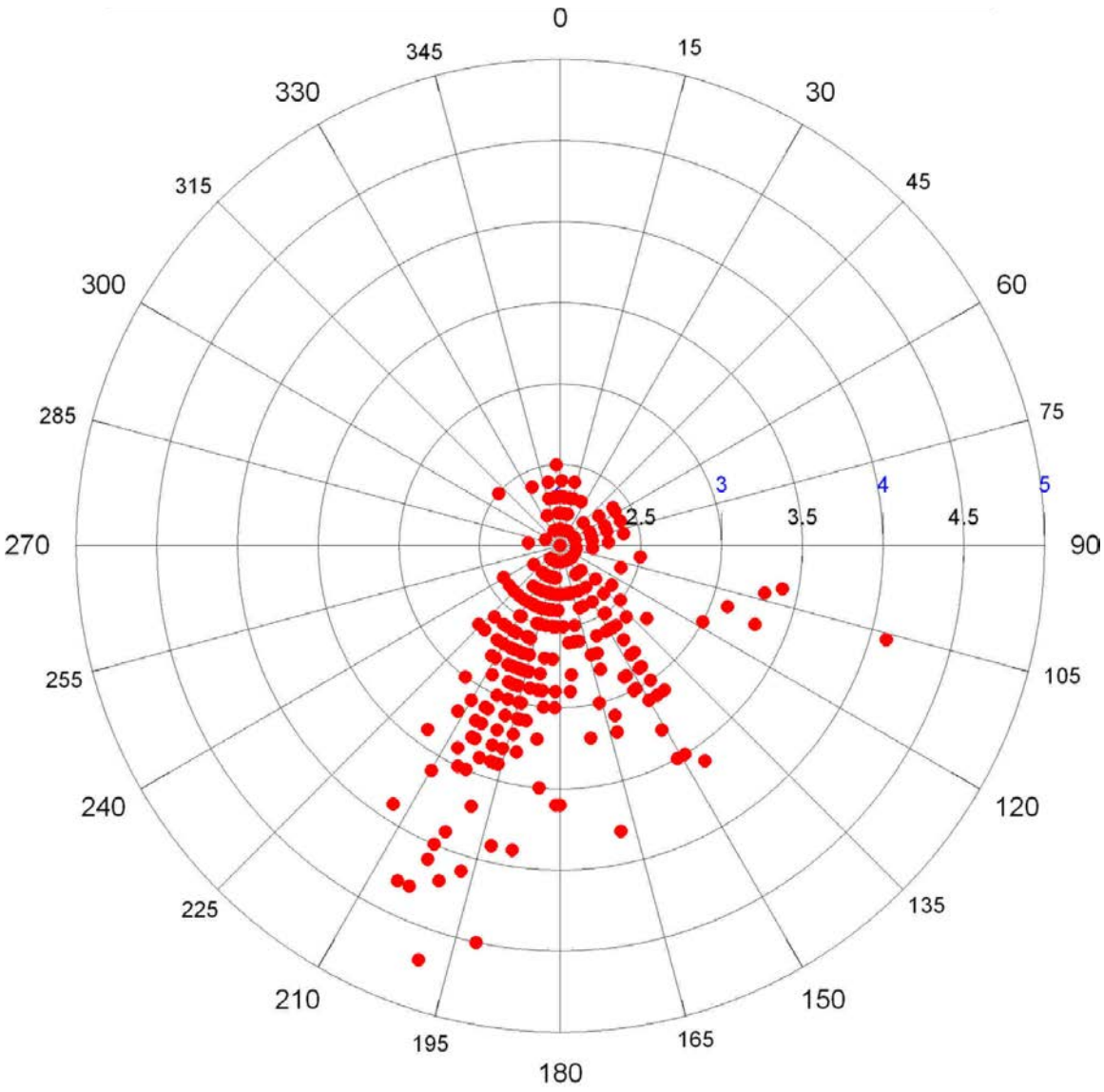


FIG. 5.6 - DISTRIBUZIONE DIREZIONALE DEGLI EVENTI (TRIORARI) DI MOTO ONDOSO (MARE VIVO) CON H_S MAGGIORE DI 2 M - DATI UKMO 1987-2008

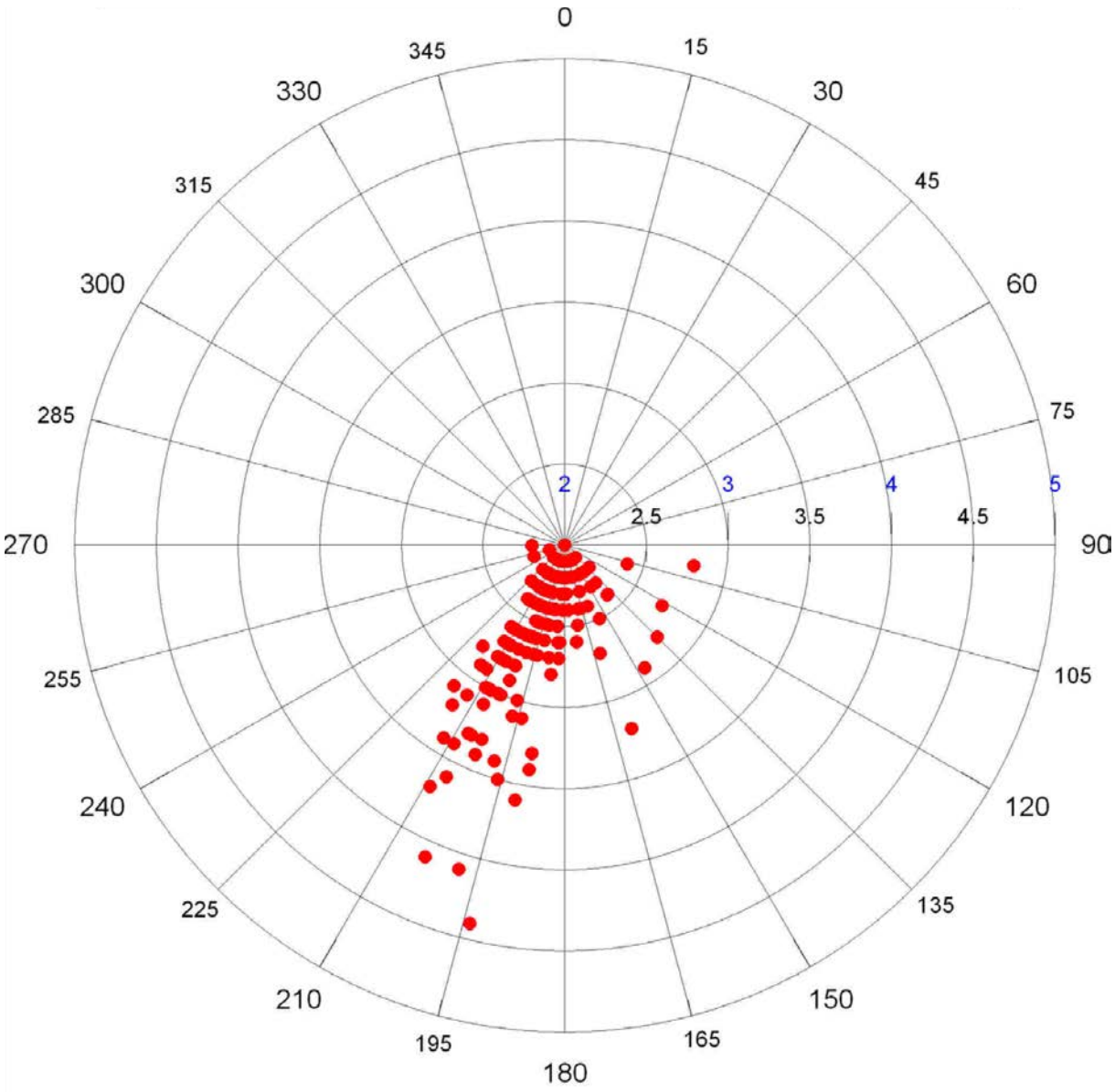


FIG. 5.7 - DISTRIBUZIONE DIREZIONALE DEGLI EVENTI (TRIORARI) DI MOTO ONDOSO (SWELL) CON H_S MAGGIORE DI 2 M - DATI UKMO 1987-2008

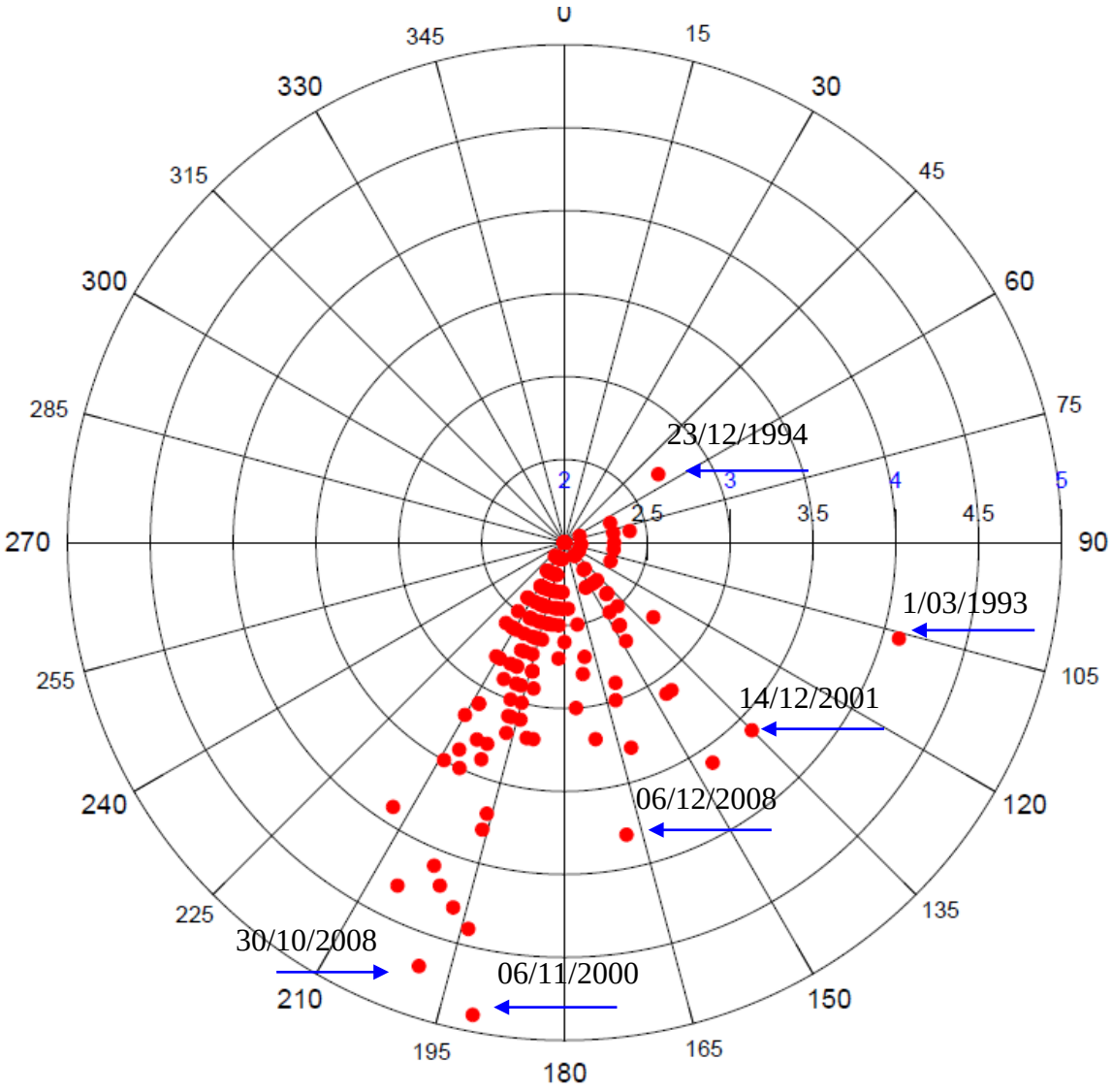
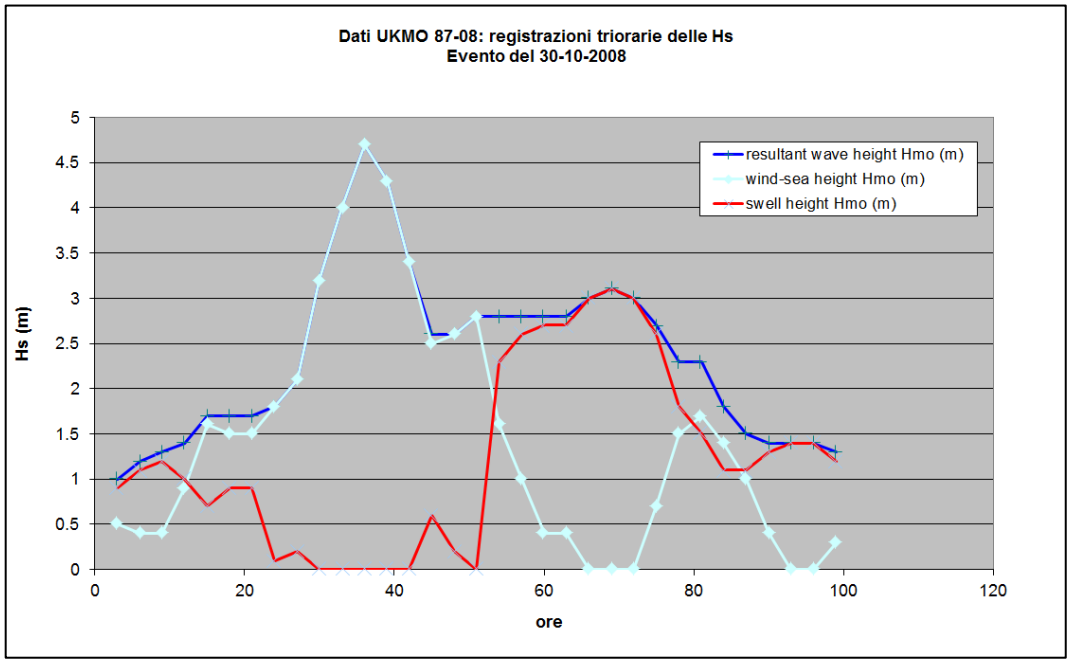


FIG. 5.8 - DISTRIBUZIONE DIREZIONALE DELLE MAREGGIATE CON $H_{S\ COLMO}$ MAGGIORE DI 2 M RELATIVAMENTE AL SETTORE DI MAGGIORE INTERESSE 50-220°N - DATI UKMO 1987-2008



FIG. 5.9 - MAREGGIATA DEL 6 NOVEMBRE 2000 - $H_{S\ COLMO}$= 4,9 M E DIR.=191°N



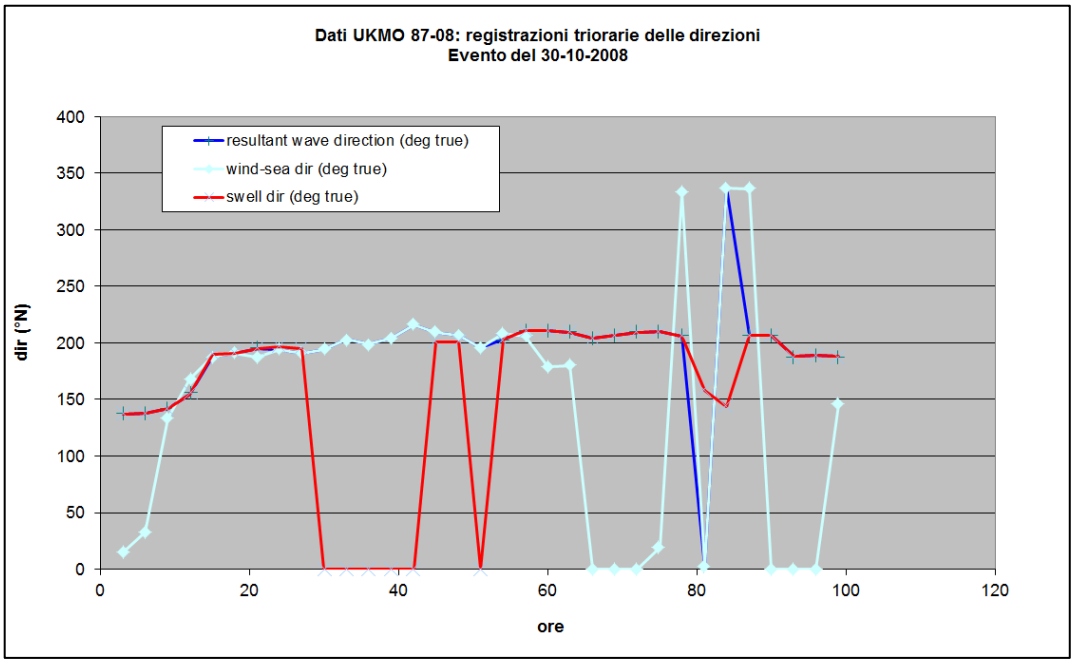
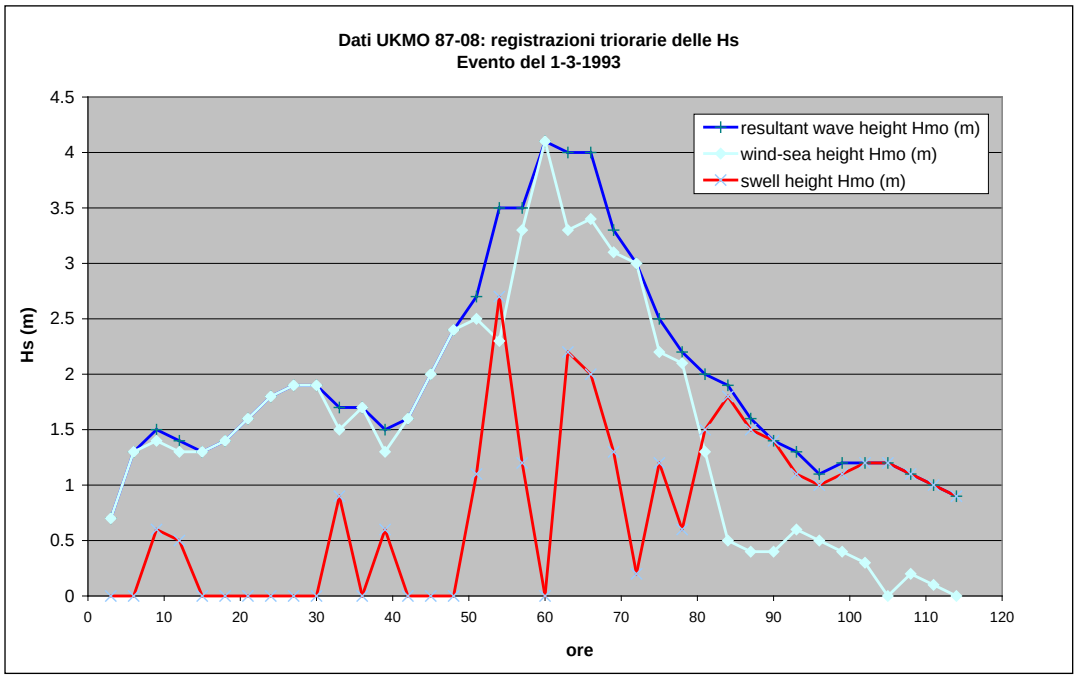


FIG. 5.10 - MAREGGIATA DEL 30 OTTOBRE 2008 - $H_{S\ COLMO}$= 4,7 M E DIR.=199°N



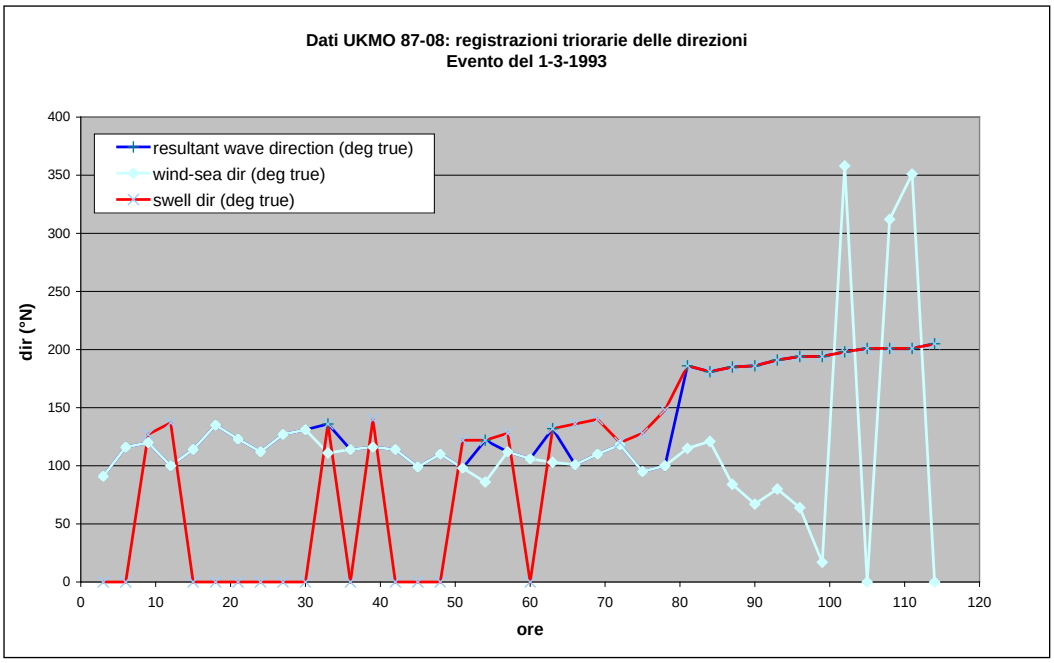
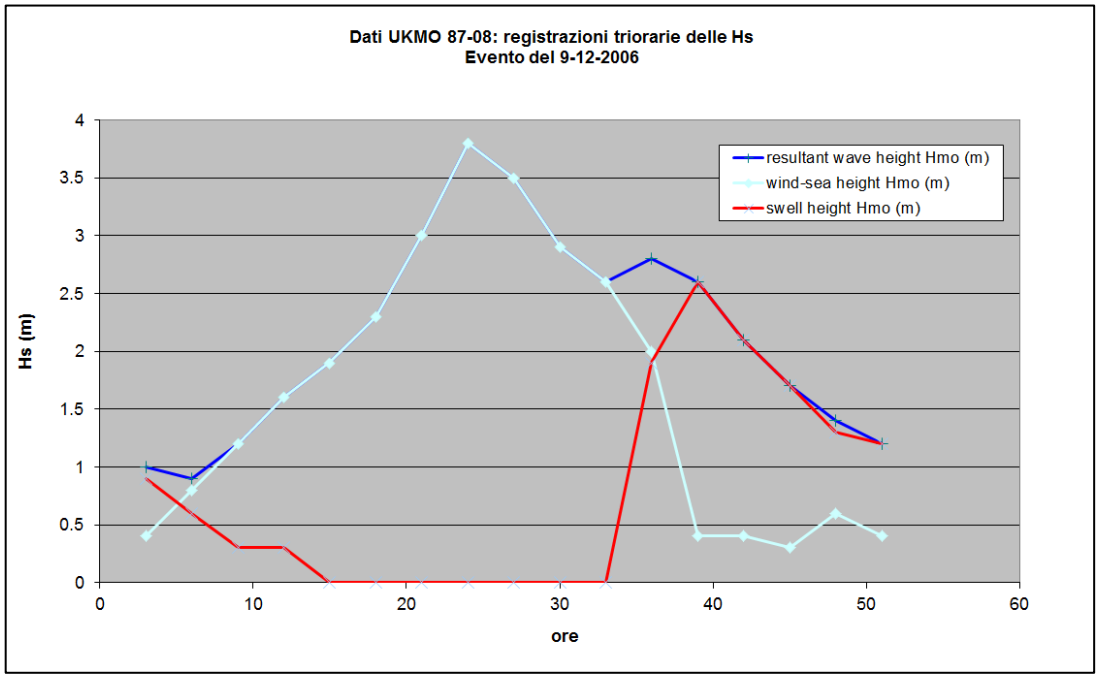


FIG. 5.11 - MAREGGIATA DELL'1 MARZO 1993 - $H_{S\ COLMO}$= 4,1 M E DIR.=105°N



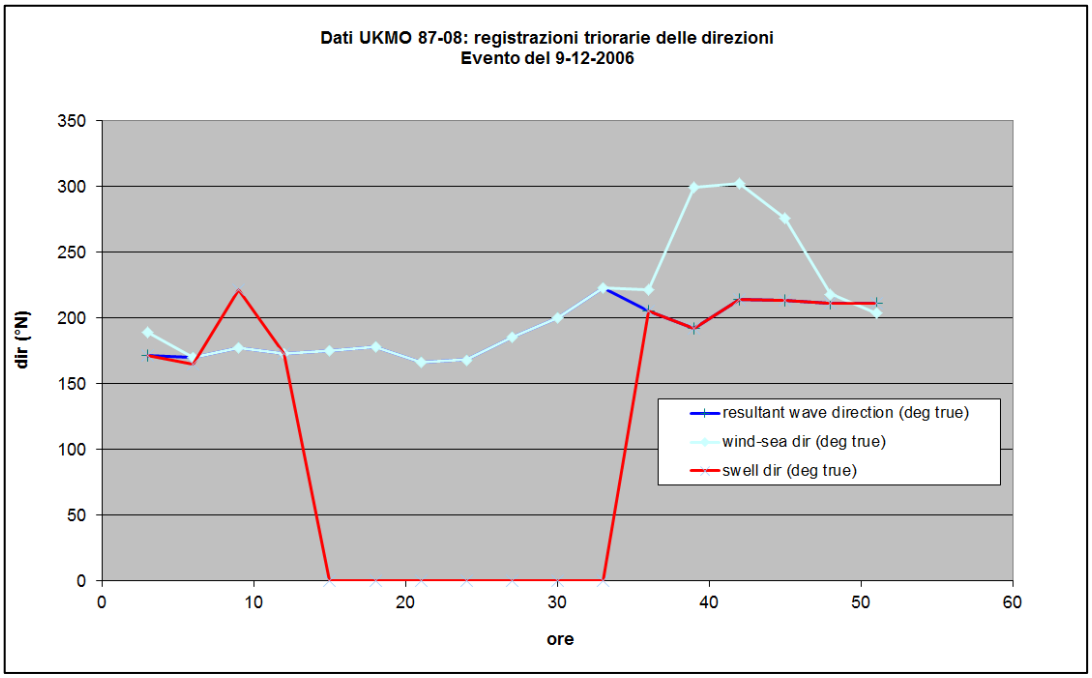
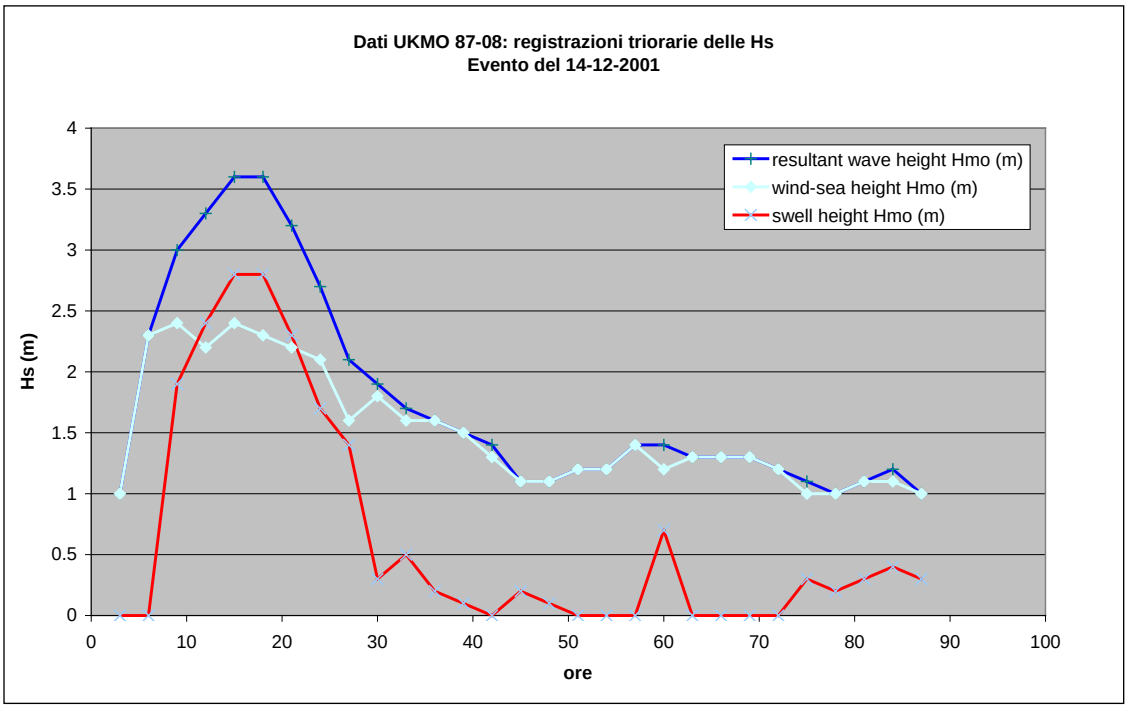


FIG. 5.12 - MAREGGIATA DEL 9 DICEMBRE 2006 - $H_{S\ COLMO}$= 3,8 M E DIR.=168°N



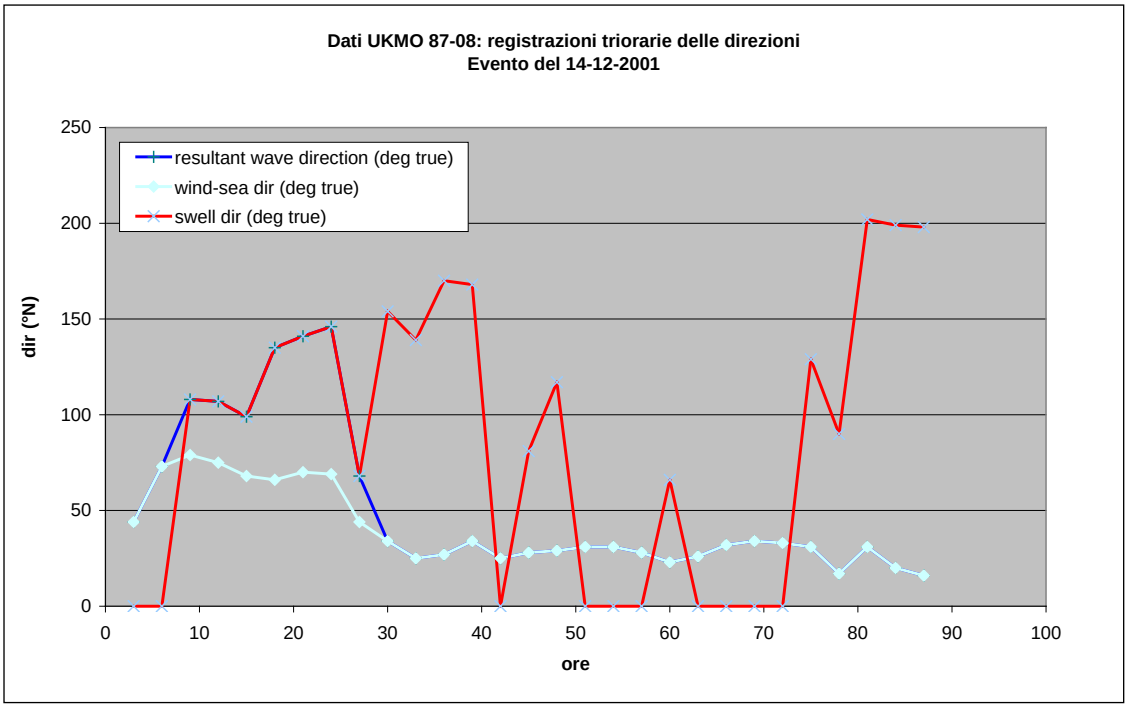
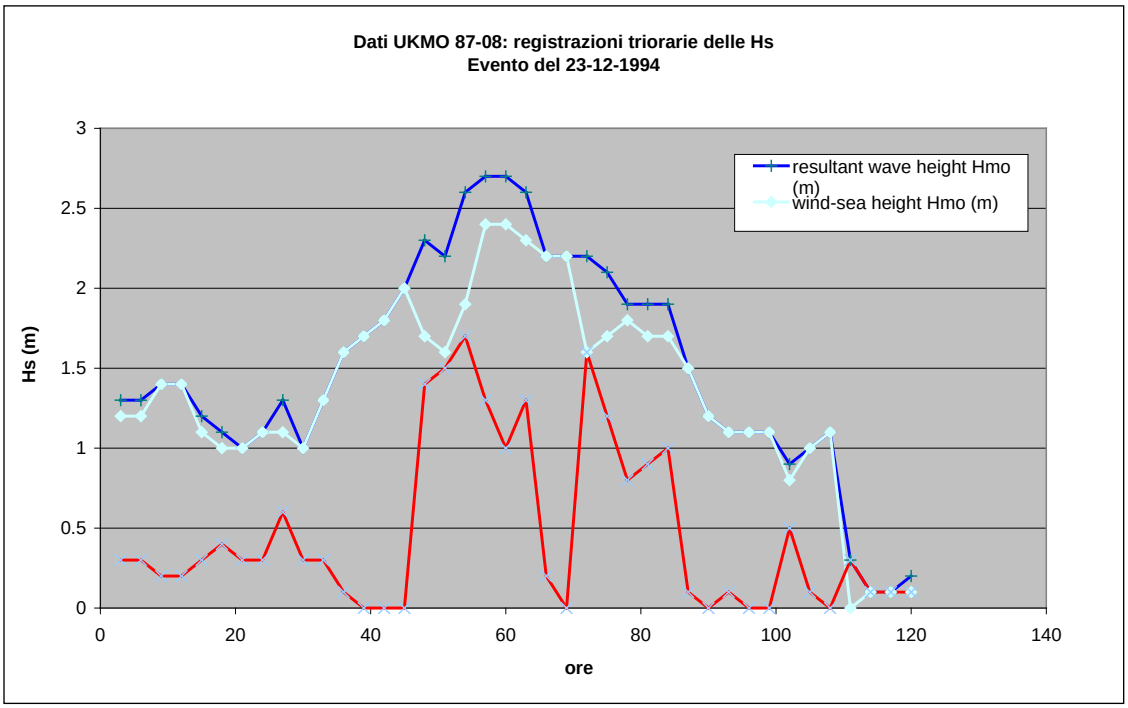


FIG. 5.13 - MAREGGIATA DEL 14 DICEMBRE 2001 - $H_{S\ COLMO}$= 3,6 M E DIR.=99-135°N



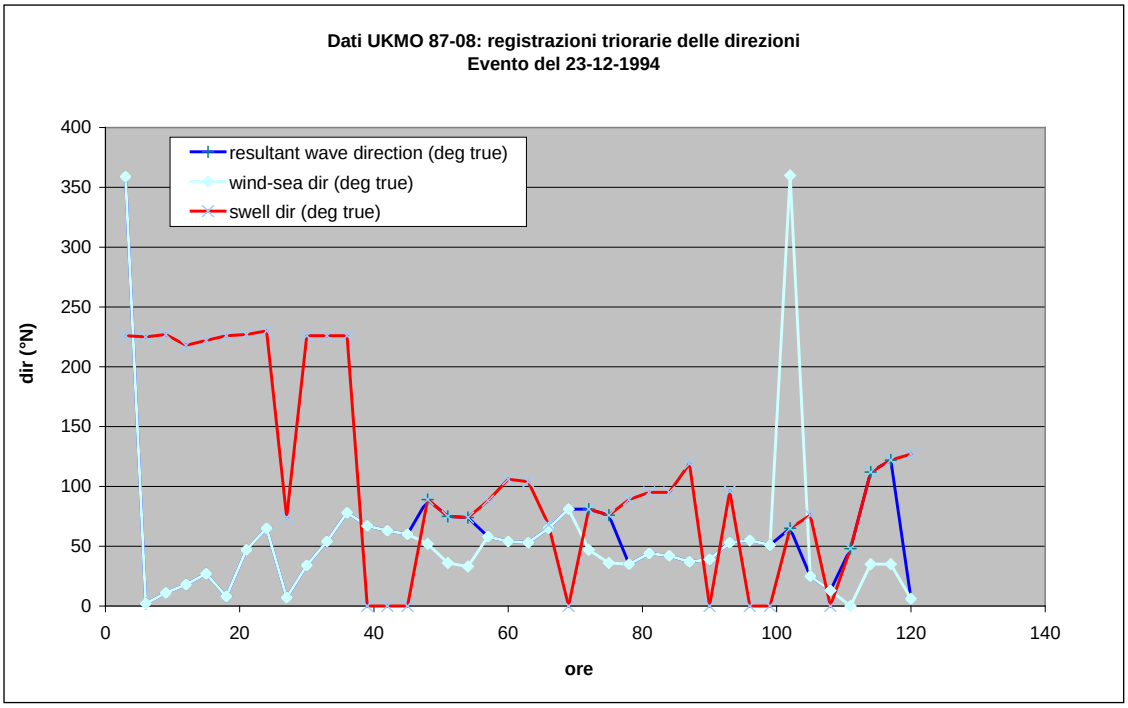


FIG. 5.14 - MAREGGIATA DEL 23 DICEMBRE 1994 - $H_{S\ COLMO}$= 2,7 M E DIR.=54°N

5.3. Gli eventi estremi di moto ondoso al largo - Settore di traversia 50°N-220°N

5.3.1. Metodologia utilizzata

La statistica degli eventi estremi è stata effettuata utilizzando un codice di calcolo che permette di elaborare la serie dei dati di moto ondoso al largo e di analizzare opportunamente gli eventi statisticamente più significativi, al fine di individuare le caratteristiche progettuali di maggiore importanza per il dimensionamento e la verifica delle strutture portuali.

La metodologia in uso, attualmente ritenuta lo schema di analisi più efficiente ed accurato a disposizione (proposta da Goda nel 1988), è quella detta della **serie di durata parziale sopra soglia** o, seguendo la terminologia anglosassone, del metodo **P.O.T.** (**P**eaks **O**ver **T**reshold).

Questo metodo consente di estrarre dalla serie temporale dei dati di moto ondoso quei valori che siano, contemporaneamente, descrittivi del fenomeno fisico e mutuamente indipendenti. L'individuazione di questi eventi indipendenti, definiti "mareggiate", eseguita in base a opportuni criteri di scelta, consente di poterli analizzare dal punto di vista statistico come un processo di variabili aleatorie equidistribuite ed indipendenti, la realizzazione delle quali è governata da un contatore casuale. Si può così ipotizzare che il numero atteso di eventi che rispondono ai criteri fissati sia rappresentabile statisticamente mediante una distribuzione di Poisson - esponenziale. Se risulta applicabile questo schema, si può dimostrare che la valutazione delle condizioni estreme equivale ad ipotizzare una distribuzione del primo tipo, più nota come distribuzione di Gumbel, o una distribuzione di Weibull a 3 parametri, cioè in altri termini è possibile per via analitica individuare la legge statistica che descrive la distribuzione degli estremi d'onda.

Il primo passo nella **P.O.T analysis** è dunque l'individuazione dell'evento indipendente "mareggiata", cioè di una successione temporale di stati di mare che:

- hanno altezza d'onda superiore ad un prefissato valore di soglia H0, che persiste al di sopra di tale valore per una durata prestabilita;

– hanno direzione contenuta all'interno di un determinato intervallo (di solito +/- 30° rispetto alla direzione media di provenienza).

Ognuno di questi eventi viene rappresentato dal suo valore al colmo, definito "picco di mareggiata".

Successivamente vengono individuati i parametri incogniti che permettono di adattare le distribuzioni teoriche prescelte ai dati sperimentali.

Sia Goda (1988) che Mathiesen (1994) consigliano di utilizzare come funzioni di distribuzione la funzione di Gumbel

$$F(x)= \exp\{-\exp[-(x-B)/A]\} \qquad (1)$$

o la distribuzione Weibull a tre parametri:

$$F(x)=1-\exp\{ -[(x-B)/A]^{k}\} \qquad (2)$$

con k = 0,75; 1.0; 1,4; e 2.0

e in cui A è il parametro di locazione, B il parametro di scala e k il parametro di forma.

Questi parametri vengono calcolati per mezzo di una parameter analysis, che viene condotta introducendo le seguenti variabili ridotte:

Gumbel:

$$y\,(m) = -\ln[-\ln F(x)] \qquad (3)$$

Weibull

$$y\,(m) = \{-\ln [1-F(x)] \}^{1/k} \qquad (4)$$

in modo che tra il valore della variabile x e quello della variabile ridotta y sussista una relazione lineare del tipo:

$$x = A\,y + B \qquad (5)$$

Risolvendo quest'ultima equazione con il metodo dei minimi quadrati si ottiene il valore dei parametri A e B, quindi si identifica la legge di distribuzione.

Il valore dell'altezza d'onda corrispondente ad un assegnato periodo di ritorno si ottiene dall'equazione (5), nella quale la variabile ridotta y viene calcolata a partire dalle equazioni (3) e (4), nelle quali la probabilità di non superamento F(x) viene riscritta in termini di tempo di ritorno Tr, secondo la relazione:

$$F(x)=1-[1/(\lambda Tr)] \qquad (6)$$

In cui λ è il numero medio di mareggiate sopra soglia osservate in 1 anno.

I valori delle altezze d'onda estreme corrispondenti ad assegnati periodi di ritorno secondo una delle 5 equazioni (Gumbel, Weibull (0,75), Weibull (1,0), Weibull (1,4) e Weibull (2,0)) soffrono ancora di incertezze legate alla scelta della distribuzione, nel senso che la scelta di una distribuzione piuttosto che un'altra, che è a discrezione del progettista, può introdurre un errore.

Il programma utilizzato per l'analisi degli estremi fornisce i valori dell'altezza d'onda corrispondente ad un assegnato periodo di ritorno, per ciascuna delle 5 distribuzioni, già depurati da questo errore. Il metodo seguito per effettuare questa correzione è quello proposto da Goda (2000), che fornisce una formulazione empirica per calcolare l'errore sulla stima della variabile x, dovuto al fatto che non se ne conosce la vera distribuzione:

$$x_{corr} = x - Zn\,\sigma_x \qquad (7)$$

in cui:

x_{corr} è il valore della variabile corretto;

x è il valore della variabile calcolato secondo la metodologia sinora illustrata;

σ_x è la deviazione standard del campione

Zn rappresenta l'errore tra il valore vero e quello calcolato, normalizzato rispetto alla deviazione standard

Le formule empiriche per il calcolo di Zn variano da distribuzione a distribuzione e sono piuttosto complesse, quindi per brevità si rimanda al testo originale per ulteriori approfondimenti (Goda Y., "On the methodology of selecting design wave height", Proc. 21st Coastal Engineering Conference, Malaga 1988).

Dopo aver calcolato il valore di H_s corrispondente ad un assegnato tempo di ritorno, occorre associare a tale onda un valore del periodo, espresso dal periodo di zero crossing T_z. In generale è consigliabile non effettuare un'analisi diretta sui periodi e quindi associare i valori H_s-T_z corrispondenti allo stesso T ma ricavare tramite i dati sperimentali il valore ottimale dei parametri a e b da inserire in una formula del tipo (Mathiesen et al., 1994):

$$Tz = a\, H_s^{b} \qquad (8)$$

5.3.2. Definizione degli eventi estremi al largo

Per estrapolare gli eventi estremi con periodi di ritorno elevati (50, 100 fino a 1000 anni) è stata presa in considerazione la serie storica dei dati dell'UKMO, costituita da una sequenza di registrazioni triorarie, riferite al punto di coordinate 44°N; 8,73°E e relative al periodo 1989 - 2008. I primi 2 anni del campione (1987 e 1988 con cadenza diversa esaoraria) presentano ampi periodi di dati mancanti e pertanto non sono stati considerati per l'analisi degli estremi.

Il settore di traversia di interesse è individuato dalle direzioni 50 °N- 220°N. Esso è stato suddiviso in 3 sotto-settori, caratterizzati da caratteristiche di esposizione, quindi da caratteristiche ondametriche simili:

- settore 50°N - 100°N
- settore 100°N - 150°N
- settore 150°N - 190°N
- settore 190°N - 220°N

Per tutti i settori l'analisi statistica degli estremi è stata svolta assumendo, con la metodologia operativa precedentemente descritta, varie soglie : H_0 pari a: 1 , 1,5 e 1,75 m.

A riguardo si fa notare che la soglia di 1 m scelta per filtrare le altezze d'onda da inserire nell'analisi è suggerita da diversi autori per definire l'evento "mareggiata", quindi per creare un campione di dati che siano descrittivi del fenomeno e al tempo stesso indipendenti (V. "Atlante delle onde nei mari Italiani", APAT- Università degli Studi di Roma Tre). L'uso di una soglia più alta determina normalmente una sottostima dei valori estremi di altezza d'onda. Anche nel nostro caso la soglia di 1 m è risultata più cautelativa.

Una volta elaborate le serie parziali, elaborate secondo il metodo P.O.T. e con riferimento alla soglia individuata, sono stati calcolati per ogni settore i valori delle altezze d'onda associati a diversi periodi di ritorno, utilizzando le seguenti distribuzioni statistiche:

- Gumbell
- Weibull (k=0,75)
- Weibull (k=1,0)
- Weibull (k=1,4)
- Weibull (k=2,0)

I risultati ottenuti per i 3 settori sono illustrati nei paragrafi che seguono.

Si precisa che i valori estremi ottenuti si riferiscono ad uno stato di mare triorario.

<u>Settore 50°N-100°N</u>

La statistica degli eventi estremi è stata svolta con riferimento alla serie parziale elaborata secondo il metodo P.O.T. e assumendo una soglia H0 pari a 1, 1,5 e 1,75. Per il dettaglio di tutte le elaborazioni si rimanda alla relazione meteomarina del progetto definitivo. Nel presente rapporto vengono riportati in Fig. 5.15 i risultati dell'analisi per la soglia H0 pari ad 1 m che ha fornito i valori più alti di altezza d'onda.

Nella tabella di Fig. 5.15 sono riportati Hs e Ic che rappresentano, rispettivamente, l'altezza d'onda significativa, in m, corrispondente al tempo di ritorno assegnato, e l'intervallo di confidenza della distribuzione.

Nella tabella in Fig. 5.15 sono riportati inoltre i parametri r, A e B. Il parametro r è il coefficiente di correlazione, che è un indicatore della bontà del fit dei dati alla distribuzione statistica; i parametri A e B invece sono rispettivamente il parametro di locazione e il parametro di scala, che identificano la legge di distribuzioni statistica degli estremi della variabile Hs secondo le equazioni (1) e (2).

La distribuzione statistica prescelta per rappresentare le onde estreme del settore in questione è quella di Weibull con parametro k = 1,0.

Sempre in Fig. 5.15 sono illustrate le curve di distribuzione dei valori estremi di Gumbel e di Weibull con riferimento alla soglia H_0 di 1 m..

T (anni)	Gumbel		Weibull k = 0,75		k = 1,00		k = 1,40		k = 2,00	
	Hs (m)	Ic (m)	Hs (m)	Ic (m)	Hs (m)	Ic (m)	Hs (m)	Ic (m)	Hs (m)	Ic (m)
1	1.7	0.1	1.6	0.2	1.6	0.2	1.7	0.2	1.8	0.1
2	1.9	0.2	1.8	0.3	1.9	0.3	2.0	0.2	2.0	0.2
5	2.2	0.2	2.2	0.4	2.3	0.5	2.4	0.4	2.3	0.3
10	2.4	0.3	2.5	0.6	2.6	0.6	2.6	0.5	2.5	0.3
15	2.6	0.3	2.7	0.7	2.8	0.7	2.7	0.6	2.7	0.4
20	2.7	0.3	2.8	0.7	2.9	0.8	2.8	0.6	2.7	0.4
25	2.7	0.4	2.9	0.8	3.0	0.9	2.9	0.7	2.8	0.4
50	2.9	0.4	3.2	1.0	3.3	1.1	3.1	0.8	3.0	0.5
100	3.1	0.5	3.6	1.1	3.6	1.3	3.4	1.0	3.1	0.6
150	3.3	0.6	3.8	1.3	3.8	1.5	3.5	1.1	3.2	0.7
250	3.4	0.6	4.0	1.4	4.1	1.7	3.7	1.2	3.4	0.8
500	3.6	0.7	4.4	1.6	4.4	2.0	3.9	1.4	3.5	0.9
1000	3.8	0.8	4.8	1.9	4.7	2.3	4.1	1.6	3.7	1.0

coeff.corr.	0.98	0.91	0.96	0.98	0.99

A:	0.32	0.24	0.40	0.62	0.88
B:	1.39	1.29	1.17	1.01	0.79

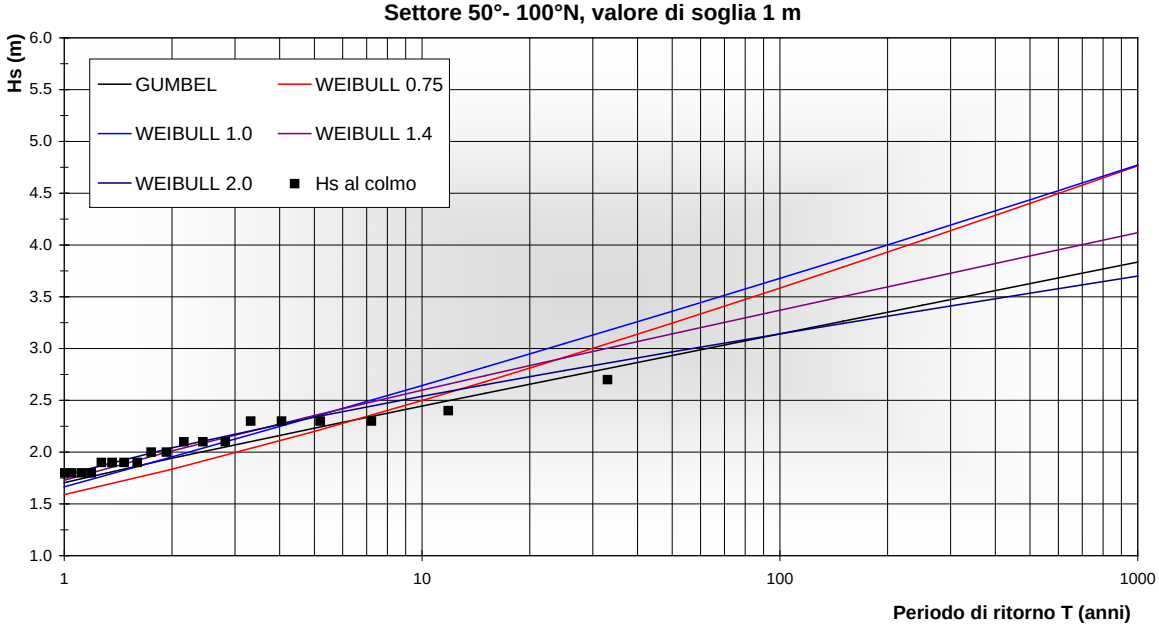


FIG. 5.15 - STATISTICA DELLE ONDE ESTREME AL LARGO DEL PARAGGIO DI VADO LIGURE, RIFERITA AL SETTORE DI TRAVERSIA 50 - 100 °N - SOGLIA H_S=1 M

Settore 100°N-150°N

La statistica degli eventi estremi è stata svolta con riferimento alla serie parziale elaborata secondo il metodo P.O.T. e assumendo una soglia H_0 pari a 1, 1,5 e 1,75. Per il dettaglio di tutte le elaborazioni si rimanda alla relazione meteomarina del progetto definitivo. Nel presente rapporto vengono riportati in Fig. 5.16 i risultati dell'analisi per la soglia H_0 pari ad 1 m che ha fornito i valori più alti di altezza d'onda.

Nella tabella in Fig. 5.16 sono riportati inoltre i parametri r, A e B. Il parametro r è il coefficiente di correlazione, che è un indicatore della bontà del fit dei dati alla distribuzione statistica; i parametri A e B invece sono rispettivamente il parametro di locazione e il parametro di scala, che identificano la legge di distribuzioni statistica degli estremi della variabile Hs secondo le equazioni (1) e (2).

La distribuzione statistica prescelta per rappresentare le onde estreme del settore in questione è quella di Weibull con parametro k = 1,0.

Sempre in Fig. 5.16 sono illustrate le curve di distribuzione dei valori estremi di Gumbel e di Weibull con riferimento alla soglia H_0 di 1 m..

T (anni)	Gumbel		Weibull k = 0,75		k = 1,00		k = 1,40		k = 2,00	
	Hs (m)	Ic (m)	Hs (m)	Ic (m)	Hs (m)	Ic (m)	Hs (m)	Ic (m)	Hs (m)	Ic (m)
1	2.2	0.2	2.0	0.3	2.1	0.3	2.2	0.2	2.2	0.2
2	2.5	0.2	2.4	0.4	2.5	0.4	2.6	0.3	2.5	0.3
5	2.9	0.3	3.0	0.6	3.1	0.7	3.0	0.5	2.9	0.3
10	3.2	0.4	3.5	0.8	3.5	0.9	3.3	0.6	3.2	0.4
15	3.4	0.4	3.8	0.9	3.8	1.0	3.5	0.7	3.3	0.5
20	3.5	0.4	4.0	1.0	4.0	1.1	3.7	0.7	3.4	0.5
25	3.6	0.5	4.2	1.1	4.1	1.2	3.8	0.8	3.5	0.5
50	3.9	0.5	4.7	1.3	4.6	1.5	4.1	0.9	3.7	0.6
100	4.2	0.6	5.3	1.5	5.0	1.8	4.4	1.1	3.9	0.8
150	4.4	0.7	5.6	1.7	5.3	2.0	4.5	1.2	4.0	0.8
250	4.7	0.8	6.1	1.9	5.7	2.2	4.8	1.4	4.2	0.9
500	5.0	0.9	6.6	2.1	6.1	2.6	5.0	1.6	4.4	1.0
1000	5.3	1.0	7.2	2.4	6.6	2.9	5.3	1.8	4.6	1.2

coeff.corr.	0.98	0.98	1.00	0.99	0.96

A:	0.45	0.36	0.59	0.88	1.22
B:	1.39	1.21	1.06	0.84	0.56

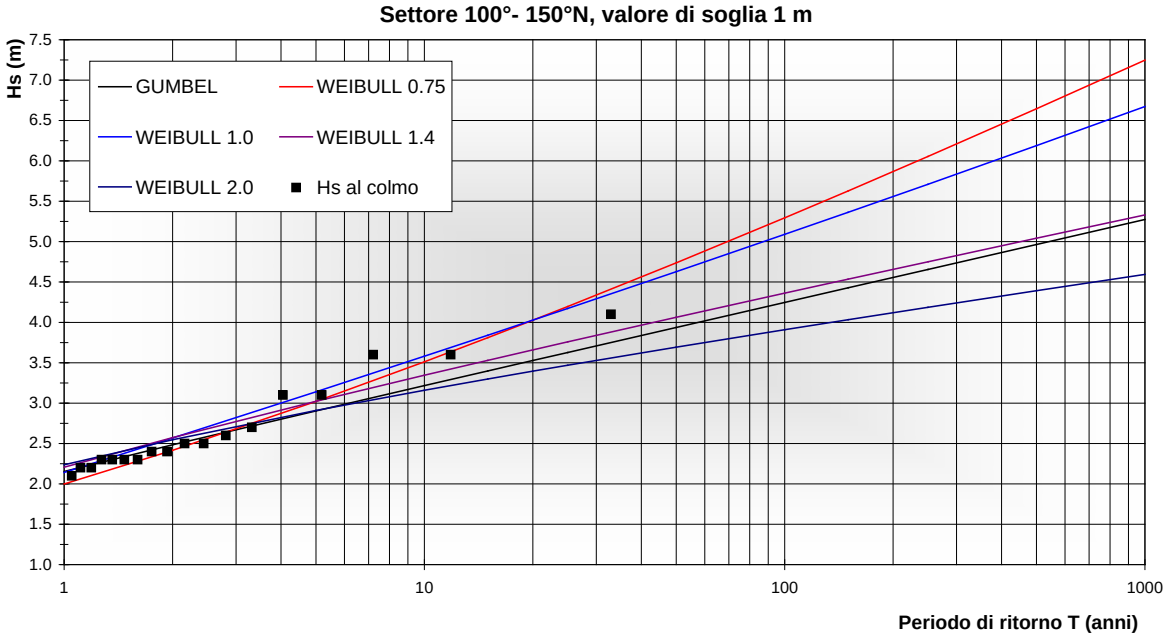


FIG. 5.16 - STATISTICA DELLE ONDE ESTREME AL LARGO DEL PARAGGIO DI VADO LIGURE, RIFERITA AL SETTORE DI TRAVERSIA 100-150 °N - SOGLIA H_S=1 M

Settore 150°N-190°N

La statistica degli eventi estremi è stata svolta con riferimento alla serie parziale elaborata secondo il metodo P.O.T. e assumendo una soglia H_0 pari a 1, 1,5 e 1,75. Per il dettaglio di tutte le elaborazioni si rimanda alla relazione meteomarina del progetto definitivo. Nel presente rapporto vengono riportati in Fig. 5.17 i risultati dell'analisi per la soglia H_0 pari ad 1 m che ha fornito i valori più alti di altezza d'onda.

Nella tabella di Fig. 5.17 sono riportati Hs e Ic che rappresentano, rispettivamente, l'altezza d'onda significativa, in m, corrispondente al tempo di ritorno assegnato, e l'intervallo di confidenza della distribuzione.

Nella tabella in Fig. 5.17 sono riportati inoltre i parametri r, A e B. Il parametro r è il coefficiente di correlazione, che è un indicatore della bontà del fit dei dati alla distribuzione statistica; i parametri A e B invece sono rispettivamente il parametro di locazione e il parametro di scala, che identificano la legge di distribuzioni statistica degli estremi della variabile Hs secondo le equazioni (1) e (2).

La distribuzione statistica prescelta per rappresentare le onde estreme del settore in questione è quella di Weibull con parametro k = 1,0.

Sempre in Fig. 5.17 sono illustrate le curve di distribuzione dei valori estremi di Gumbel e di Weibull con riferimento alla soglia H_0 di 1 m..

T (anni)	Gumbel		Weibull							
			k =	0.75	k =	1.00	k =	1.40	k =	2.00
	Hs (m)	Ic (m)	Hs (m)	Ic (m)	Hs (m)	Ic (m)	Hs (m)	Ic (m)	Hs (m)	Ic (m)
1	2.2	0.2	2.0	0.3	2.2	0.3	2.2	0.2	2.3	0.2
2	2.5	0.2	2.4	0.4	2.6	0.5	2.6	0.3	2.6	0.3
5	3.0	0.3	3.0	0.6	3.2	0.7	3.1	0.5	3.0	0.4
10	3.3	0.4	3.5	0.8	3.7	0.9	3.5	0.6	3.3	0.4
15	3.5	0.4	3.8	1.0	3.9	1.1	3.6	0.7	3.4	0.5
20	3.6	0.5	4.0	1.0	4.1	1.2	3.8	0.8	3.5	0.5
25	3.7	0.5	4.2	1.1	4.3	1.3	3.9	0.8	3.6	0.6
50	4.1	0.6	4.8	1.3	4.7	1.6	4.2	1.0	3.9	0.7
100	4.4	0.7	5.3	1.6	5.2	1.9	4.5	1.2	4.1	0.8
150	4.6	0.7	5.6	1.8	5.5	2.1	4.7	1.3	4.2	0.9
250	4.8	0.8	6.1	2.0	5.9	2.3	4.9	1.5	4.4	1.0
500	5.1	0.9	6.7	2.2	6.4	2.7	5.2	1.7	4.6	1.1
1000	5.5	1.0	7.3	2.5	6.9	3.1	5.6	1.9	4.8	1.2

coeff.corr.	0.99	0.95	0.99	0.99	0.98

A:	0.47	0.37	0.61	0.93	1.30
B:	1.43	1.26	1.09	0.86	0.55

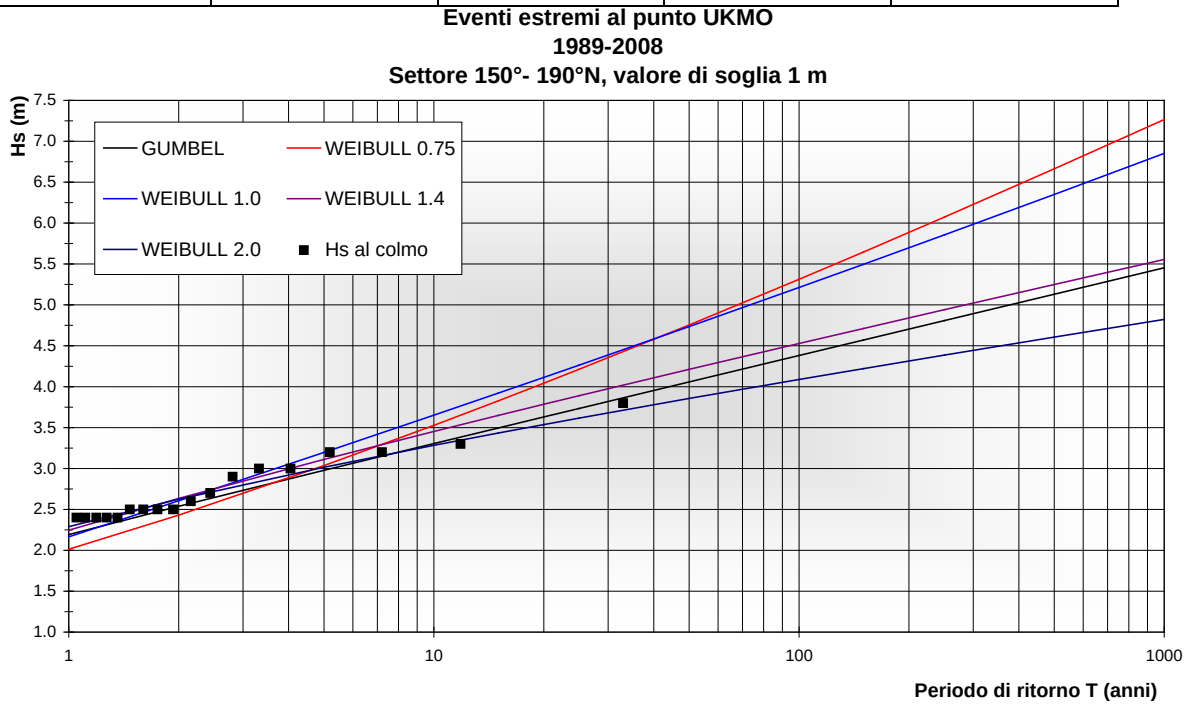


FIG. 5.17 - STATISTICA DELLE ONDE ESTREME AL LARGO DEL PARAGGIO DI VADO LIGURE, RIFERITA AL SETTORE DI TRAVERSIA 150-190 °N - SOGLIA H_S=1 M

Settore 190°N-220°N

La statistica degli eventi estremi è stata svolta con riferimento alla serie parziale elaborata secondo il metodo P.O.T. e assumendo una soglia H_0 pari a 1, 1,5 e 1,75. Per il dettaglio di tutte le elaborazioni si rimanda alla relazione meteomarina del progetto definitivo. Nel presente rapporto vengono riportati in Fig. 5.17 i risultati dell'analisi per la soglia H_0 pari ad 1 m che ha fornito i valori più alti di altezza d'onda.

Nella tabella di Fig. 5.17 sono riportati Hs e Ic che rappresentano, rispettivamente, l'altezza d'onda significativa, in m, corrispondente al tempo di ritorno assegnato, e l'intervallo di confidenza della distribuzione.

Nella tabella in Fig. 5.17 sono riportati inoltre i parametri r, A e B. Il parametro r è il coefficiente di correlazione, che è un indicatore della bontà del fit dei dati alla distribuzione statistica; i parametri A e B invece sono rispettivamente il parametro di locazione e il parametro di scala, che identificano la legge di distribuzioni statistica degli estremi della variabile Hs secondo le equazioni (1) e (2).

La distribuzione statistica prescelta per rappresentare le onde estreme del settore in questione è quella di Weibull con parametro k = 1,0.

Sempre in Fig. 5.17 sono illustrate le curve di distribuzione dei valori estremi di Gumbel e di Weibull con riferimento alla soglia H_0 di 1 m..

T (anni)	Gumbel		Weibull k = 0.75		k = 1.00		k = 1.40		k = 2.00	
	Hs (m)	Ic (m)	Hs (m)	Ic (m)	Hs (m)	Ic (m)	Hs (m)	Ic (m)	Hs (m)	Ic (m)
1	3.0	0.2	3.2	0.4	3.2	0.4	3.1	0.2	3.0	0.3
2	3.4	0.3	3.7	0.5	3.7	0.6	3.4	0.3	3.2	0.3
5	3.8	0.4	4.5	0.7	4.3	0.8	3.9	0.3	3.5	0.4
10	4.2	0.5	5.1	0.9	4.8	1.0	4.2	0.4	3.8	0.5
15	4.4	0.5	5.5	1.0	5.1	1.1	4.4	0.5	3.9	0.6
20	4.5	0.6	5.8	1.0	5.3	1.2	4.5	0.5	4.0	0.6
25	4.6	0.6	6.0	1.1	5.5	1.3	4.6	0.5	4.0	0.7
50	5.0	0.7	6.7	1.3	6.0	1.5	4.9	0.6	4.2	0.8
100	5.3	0.8	7.4	1.5	6.5	1.8	5.2	0.7	4.4	0.9
150	5.5	0.8	7.8	1.6	6.8	1.9	5.3	0.7	4.5	0.9
250	5.8	0.9	8.3	1.7	7.1	2.1	5.5	0.8	4.6	1.0
500	6.1	1.0	9.1	2.0	7.6	2.4	5.8	0.9	4.8	1.2
1000	6.5	1.2	9.8	2.2	8.2	2.7	6.1	1.0	5.0	1.3

coeff.corr.	0.98	0.98	1.00	0.99	0.96

A:	0.50	0.40	0.65	0.97	1.34
B:	1.39	1.21	1.03	0.80	0.49

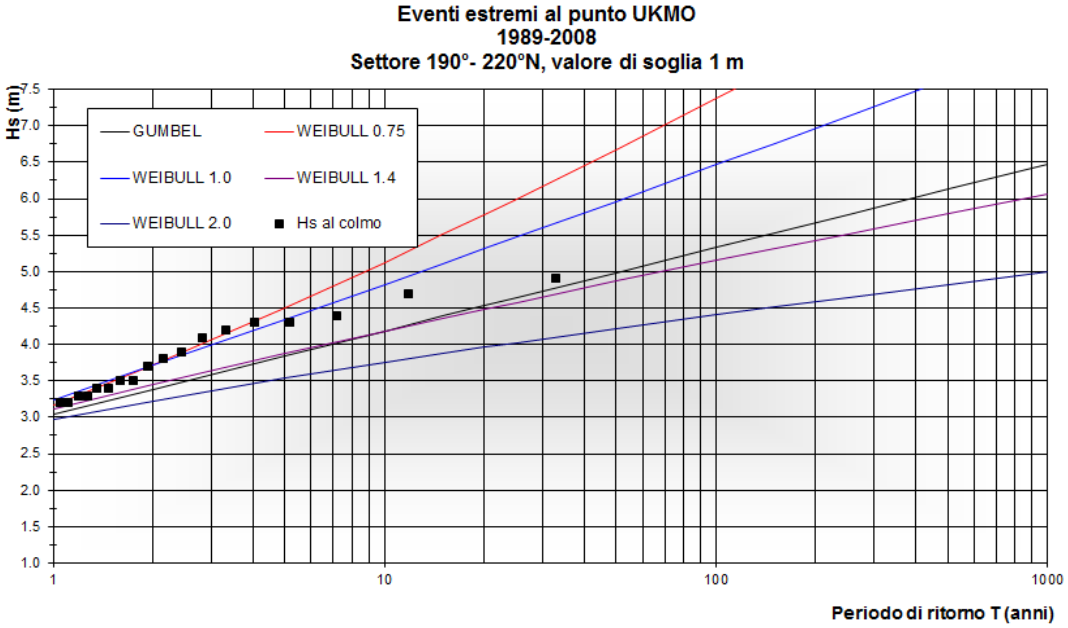


FIG. 5.18 - STATISTICA DELLE ONDE ESTREME AL LARGO DEL PARAGGIO DI VADO LIGURE, RIFERITA AL SETTORE DI TRAVERSIA 190-220 °N - SOGLIA H_S=1 M

5.3.3. Correlazione altezza d'onda-periodo

La correlazione tra altezza d'onda significativa e periodo per gli eventi estremi (Hs maggiore di 1 m) è stata determinata utilizzando la nota relazione:
$Tz = a\ H_s^b$

I coefficienti a e b sono stati determinati attraverso il metodo dei minimi quadrati, utilizzando le coppie di valori di Tz ed Hs acquisiti dall'UKMO.

Sono così stati individuati i seguenti valori dei suddetti coefficienti:

- a=3,8
- b=0,5

Questi valori sono in linea con i valori normalmente validi per il Mediterraneo e con quelli ottenuti nell'ambito di studi precedenti.

Se si applicano poi le note relazioni tra Tz, Ts e Tp: Tz=0,78*Tp (Carter et al.),Tz=0,83*Ts (Sapkaya), e quindi Tp= 1,28*Tz
si ottiene Tp=4,8*Hs ^0,5.

Nelle figure seguenti sono presentate le correlazioni altezza d'onda (Hs) periodo (Tz) relativamente a tutte le direzioni ed a ai 3 settori d'interesse. Nei grafici sono anche distinti i valori d'altezza d'onda di mare vivo, da swell ed i valori risultanti. Le relazioni ottenute fanno riferimento ai valori di altezza d'onda-periodo risultanti.

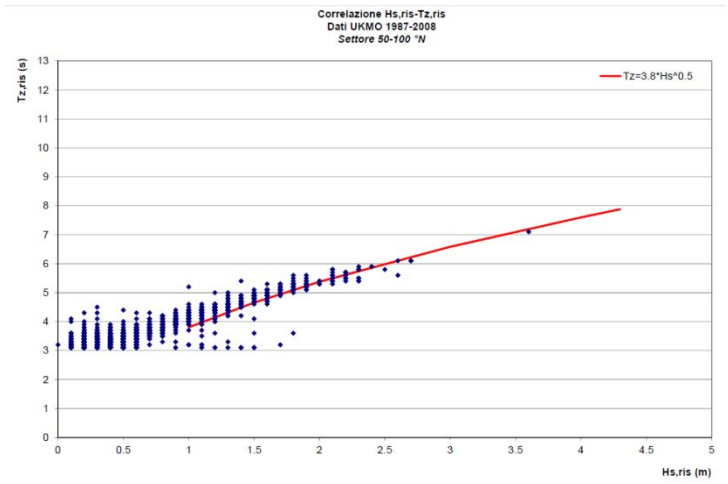
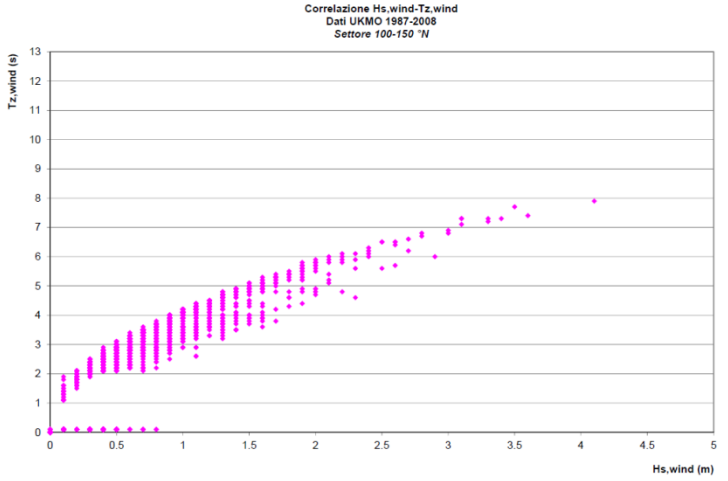
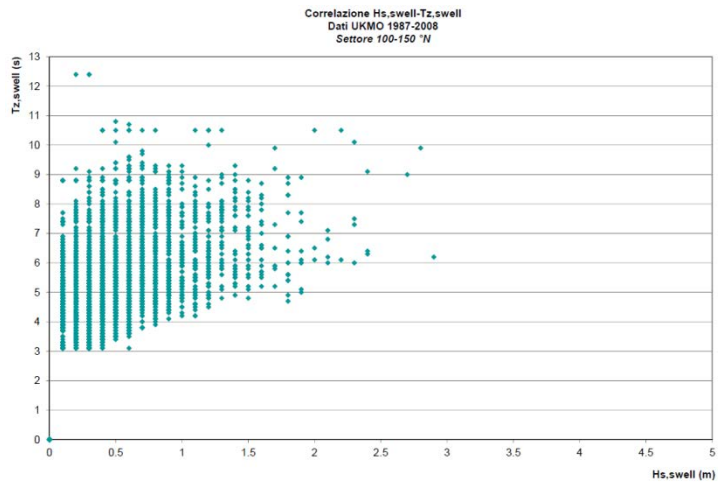
	Onda risultante
	Componente di mare vivo dell'onda risultante
	Componente di swell dell'onda risultante

FIG. 5.19 - RELAZIONE H_S-T_Z , DATI UKMO 87-08 - SETTORE 50-100°N

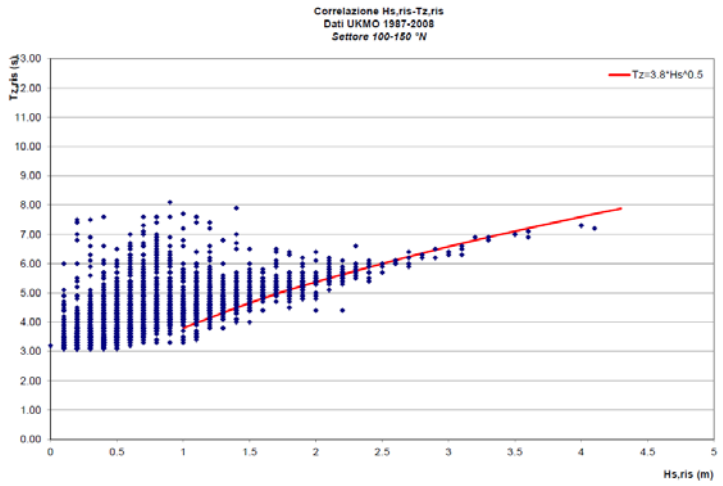
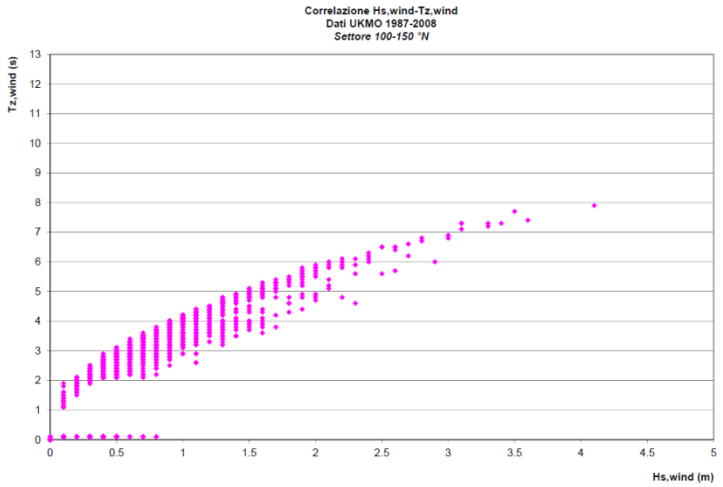
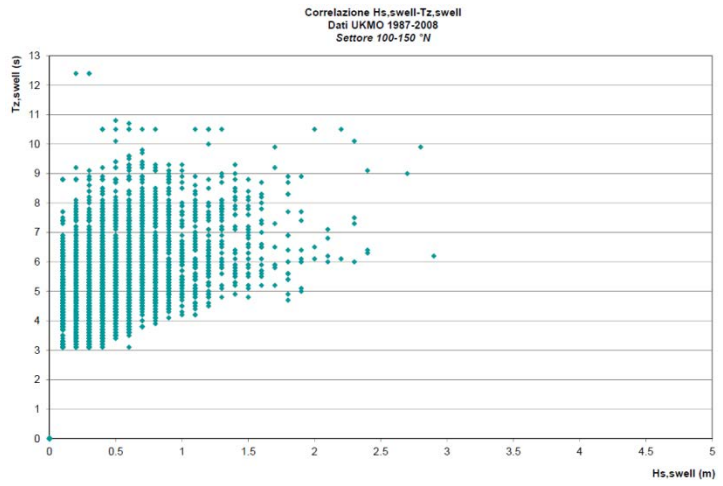
	Onda risultante
	Componente di mare vivo dell'onda risultante
	Componente di swell dell'onda risultante

FIG. 5.20 - CORRELAZIONE H_S-T_Z , DATI UKMO 87-08 - IL SETTORE 100-150°N

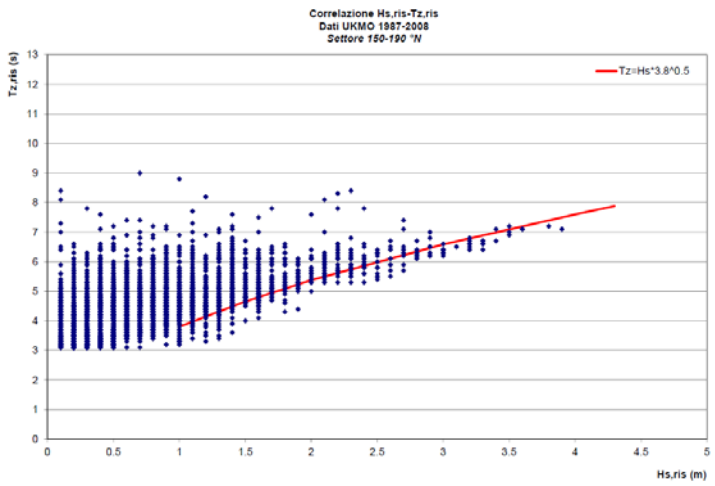
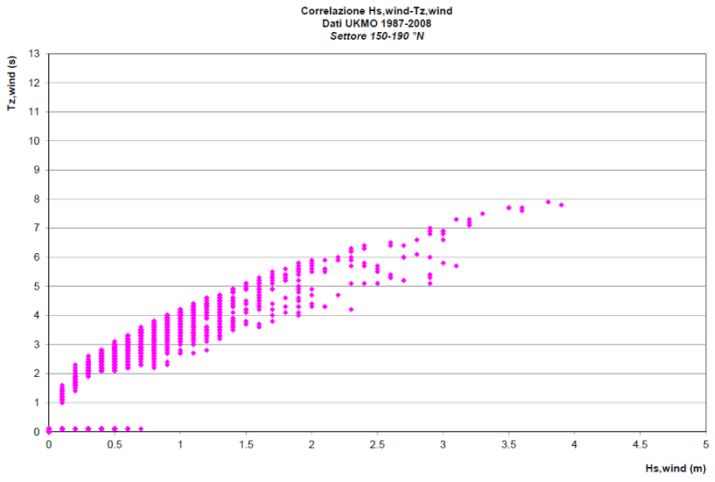
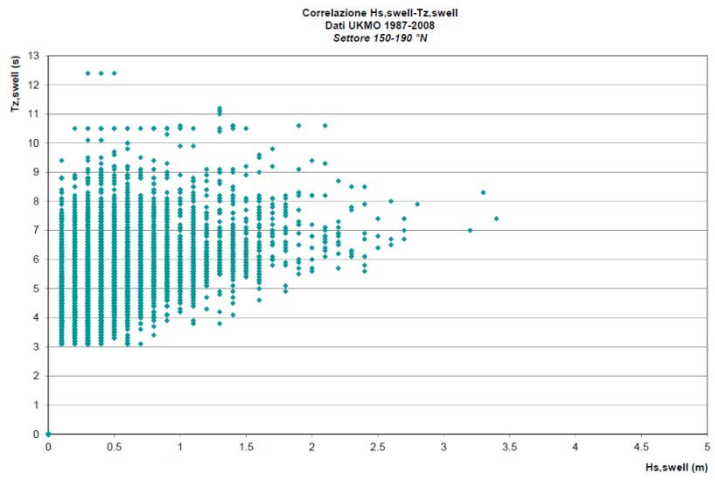
	Onda risultante
	Componente di mare vivo dell'onda risultante
	Componente di swell dell'onda risultante

FIG. 5.21 - CORRELAZIONE H_S-T_Z , DATI UKMO 87-08 - SETTORE 150-190°N

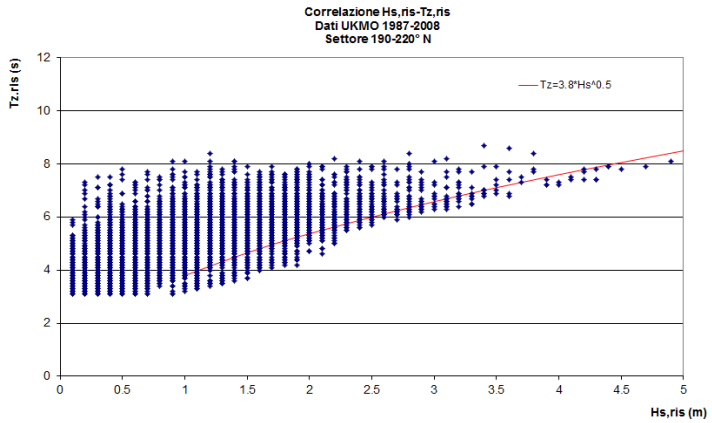
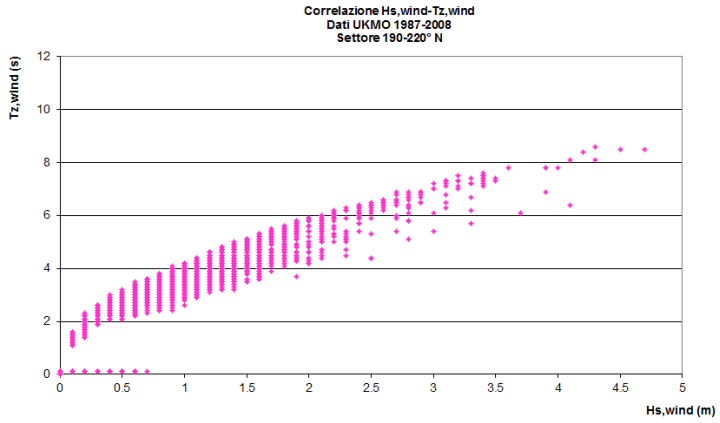
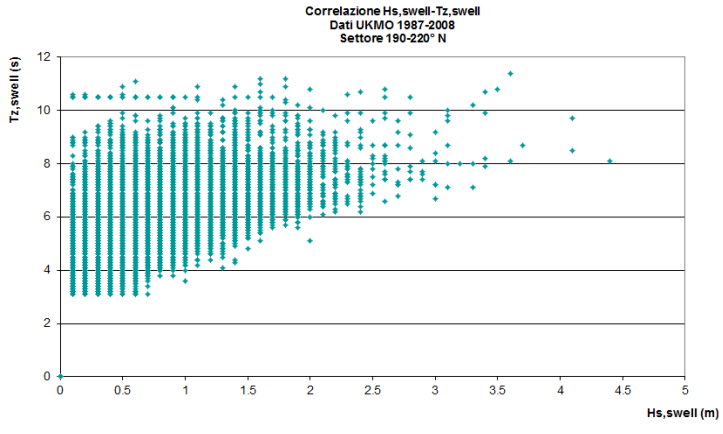
	Onda risultante
	Componente di mare vivo dell'onda risultante
	Componente di swell dell'onda risultante

FIG. 5.22 - CORRELAZIONE H_S-T_Z , DATI UKMO 87-08 - SETTORE 190-220°N

Analisi degli eventi estremi - conclusioni

Lo studio condotto ha permesso di definire le caratteristiche del moto ondoso al largo del sito in esame per i 3 settori di provenienza in cui esso è stato suddiviso. Sulla base della serie di dati dell'UKMO relativi al periodo 1989-2008, sono stati calcolati gli eventi estremi, per tempi di ritorno compresi tra 1 e 1000 anni, e per i settori 50°N - 100°N, e 100°N -150°N, 150°N -190°N e 190 - 220°N.

La scelta tra le cinque curve probabilistiche adottate per interpolare le serie parziali degli eventi estremi è stata effettuata assumendo di volta in volta quella caratterizzata dal coefficiente di correlazione più elevato, e, a parità di coefficiente di correlazione, scegliendo i valori considerati maggiormente cautelativi. I risultati, settore per settore, sono descritti nel seguito.

Le mareggiate più gravose sono quelle provenienti dai settori da 100-150°N e da 150-220°N . Queste mareggiate, tuttavia, data la loro inclinazione rispetto al molo foraneo previsto nel Piano Regolatore, riescono a penetrare all'interno dello specchio acqueo portuale solo per effetto dei fenomeni di diffrazione intorno al molo e risultano di entità più bassa in corrispondenza delle nuove opere (vedi a riguardo i capitoli seguenti).

Al contrario, le onde dal settore 50-100°N, sebbene di entità più modesta, interessano le nuove opere direttamente con pochi effetti di schermatura della diga foranea.

<u>Settore 50°N-100°N</u>

Gli eventi estremi, calcolati per i vari tempi di ritorno, sono riassunti nella Tab. 5.2, nella quale è riportato, per completezza, oltre al valore del periodo Tz associato al moto ondoso, anche il valore del periodo di picco T_p calcolato per mezzo della relazione Tp=1,28 Tz, comunemente utilizzata in letteratura.

Il periodo zero crossing è espresso dalla relazione $T_z = 3{,}8*(H_s)^{0.5}$ che, si è visto, bene interpreta la serie ondametrica ricostruita.

L'altezza dell'onda estrema, per i diversi periodi di ritorno, è stata valutata assumendo, tra le diverse curve probabilistiche, quella di Weibull a parametro 1,0.

TAB. 5.2 - STATISTICA DEGLI EVENTI ESTREMI, SETTORE 50°-100°N

Tr (anni)	Hs (m)	Tz (s)	Tp (s)
1	1,6	4,8	6,2
2	1,9	5,2	6,7
5	2,3	5,8	7,3
10	2,6	6,1	7,8
15	2,8	6,4	8,1
20	2,9	6,5	8,3
25	3,0	6,6	8,4
50	3,3	6,9	8,8
100	3,6	7,2	9,2
150	3,8	7,4	9,5
250	4,1	7,7	9,8
500	4,4	8,0	10,2
1000	4,7	8,2	10,5

Settore 100°N-150°N

I risultati dell'indagine statistica svolta per gli eventi estremi con riferimento al settore 100°N - 150°N sono riportati nella seguente Tab. 5.3.

Anche in questo caso la relazione H_s-T_z è espressa da $T_z = 3,8*(H_s)^{0.5}$.
La curva che rappresenta la distribuzione probabilistica degli eventi estremi del settore prescelta è quella di Weibull con k=1,0, che, a parità di coefficiente di correlazione r, fornisce i valori più cautelativi.

TAB. 5.3 - STATISTICA DEGLI EVENTI ESTREMI, SETTORE 100°-150°N

Tr (anni)	Hs (m)	Tz (s)	Tp (s)
1	2,1	5,5	7,0
2	2,5	6,0	7,7
5	3,1	6,7	8,6
10	3,5	7,1	9,1
15	3,8	7,4	9,5
20	4,0	7,6	9,7
25	4,1	7,7	9,9
50	4,6	8,2	10,4
100	5,0	8,5	10,9
150	5,3	8,7	11,2
250	5,7	9,1	11,6
500	6,1	9,4	12,0
1000	6,6	9,8	12,5

Settore 150°N-190°N:

Per rappresentare la distribuzione probabilistica delle onde estreme di questo settore è stata scelta la distribuzione di Weibull a parametro 1,0, che presentava i valori più cautelativi.

Le altezza d'onda ottenute con tale curva in corrispondenza dei vari tempi di ritorno sono riportate in Tab. 5.4.

La relazione $T_z = 3,8*(H_s)^{0.5}$ risulta valida anche per tale settore.

TAB. 5.4 - STATISTICA DEGLI EVENTI ESTREMI, SETTORE 150°-190°N

Tr (anni)	Hs (m)	Tz (s)	Tp (s)
1	2,2	5,6	7,2
2	2,6	6,1	7,9
5	3,2	6,8	8,7
10	3,7	7,3	9,3
15	3,9	7,5	9,6
20	4,1	7,7	9,9
25	4,3	7,8	10,0
50	4,7	8,3	10,6
100	5,2	8,7	11,1
150	5,5	8,9	11,4
250	5,9	9,2	11,8
500	6,4	9,6	12,3
1000	6,9	9,9	12,7

Settore 190°N-220°N:

Per rappresentare la distribuzione probabilistica delle onde estreme di questo settore è stata scelta la distribuzione di Weibull a parametro 1,0, che presentava i valori più cautelativi.

Le altezza d'onda ottenute con tale curva in corrispondenza dei vari tempi di ritorno sono riportate in Tab. 5.5.

La relazione $T_z = 3,8*(H_s)^{0.5}$ risulta valida anche per tale settore.

TAB. 5.5 - STATISTICA DEGLI EVENTI ESTREMI, SETTORE 190°-220°N

Tr (anni)	Hs (m)	Tz (s)	Tp (s)
1	3.2	6.8	8.8
2	3.7	7.3	9.4
5	4.3	7.9	10.1
10	4.8	8.3	10.7
15	5.1	8.6	11.0
20	5.3	8.8	11.2
25	5.5	8.9	11.4
50	6.0	9.3	11.9
100	6.5	9.7	12.4
150	6.8	9.9	12.6
250	7.1	10.1	13.0
500	7.6	10.5	13.4
1000	8.2	10.9	13.9

5.4. Gli eventi estremi di moto ondoso - Settore di traversia secondario 0°N-50°N

Per la definizione del moto ondoso relativo al settore di traversia secondario, si è preferito fare riferimento ad una valutazione basata sulla ricostruzione del moto ondoso a partire dai dati di vento misurati localmente nella stazione anemometrica di vado Ligure. I dati dell'UKMO in effetti sono relativi ad un punto al largo non rappresentativo delle condizioni locali di questo settore secondario.

Per la ricostruzione del moto ondoso per il settore 0°-50°N si è utilizzata la teoria di ricostruzione indiretta del moto ondoso, nota come metodo S.M.B. (Sverdrup, Munk e Bretschneider, 1947), successivamente aggiornate (Saville 1954, Seymour 1977, S.P.M. 1984, Smith 1991).
Le equazioni impiegate, nella forma più generale, sono le seguenti:

$$\frac{gH_{mo}}{u^2{}_A} = 1.6 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{gF}{u^2{}_A} \right)^{1/2}$$

$$\frac{gT_m}{u_A} = 2.857 \cdot 10^{-1} \cdot \left(\frac{gF}{u^2{}_A} \right)^{1/3}$$

$$\frac{gt}{u_A} = 6.88 \cdot 10 \cdot \left(\frac{gF}{u^2{}_A} \right)^{2/3}$$

dove:

- H_{m0} altezza significativa spettrale dell'onda
- T_m periodo di picco spettrale dell'onda
- U_a velocità (m/s) del vento "regolarizzata" con un termine (coefficient drag) dovuto alla non linearità del legame esistente tra la velocità del vento e l'azione tangenziale di questo sulla superficie marina
- F estensione della superficie d'acqua lungo la quale si esplica l'azione del vento (fetch)
- g accelerazione di gravità pari a 9.81 m/s^2
- t durata della perturbazione

Per la definizione del termine U_a si fa riferimento alla relazione (SPM, 1984):

$$u_A = 0.71 \cdot u^{1.23}$$

ove u esprime la velocità del vento in m/s.

I dati di progetto a partire dai quali è stata effettuata una previsione del moto ondoso sono le velocità del vento determinate in precedenza tramite l'analisi statistica dei dati di vento dell'anemometro di Vado Ligure, il fetch relativo al settore analizzato e la durata della perturbazione. I valori di altezza d'onda di interesse per la progettazione sono quelli relativi a Tr = 250 anni.

Il moto ondoso generato dal vento con una direzione media di provenienza 30° N, ovvero quella per la quale si ha il massimo fetch, riesce a svilupparsi completamente per t=1 ora; la ricostruzione del moto ondoso è stata quindi effettuata considerando una durata della perturbazione pari ad 1 ora.

I risultati ottenuti per il tempo di ritorno 250 anni sono riportati sinteticamente in Tab. 5.6.

TAB. 5.6 - MOTO ONDOSO ESTREMO PER IL SETTORE 0°-50°N- DIREZIONE DI PROVENIENZA DEL VENTO 30°N

Ricorrenza statistica	F (km)	u_A (m/s)	t (ore)	Hs (m)	Tp (s)
Tr = 5 anni	3,0	58,9	1,0	1,65	3,5
Tr = 250 anni	3,0	58,9	1,0	1,65	3,5

6. VITA UTILE DELL'OPERA E PERIODO DI RITORNO DELL'ONDA DI PROGETTO

6.1. Vita utile e periodi di ritorno delle onde per le opere della piattaforma e della diga foranea

Il periodo di ritorno dell'onda di progetto è stato definito in conformità alle Istruzioni Tecniche per la progettazione delle dighe frangiflutti edite dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (1996). Il periodo di ritorno dipende dalla vita tecnica dell'opera e dalla massima probabilità di danneggiamento ammissibile nel periodo di vita operativa dell'opera.

La durata minima di vita per le opere è definita nella Tab. 6.1.

TAB. 6.1 - DURATA MINIMA DI VITA PER OPERE O STRUTTURE DI CARATTERE DEFINITIVO T_V

Tipo dell'opera	Livello di sicurezza richiesto		
	1	2	3
	Vita di progetto (anni)		
Infrastrutture di uso generale	25	50	100
Infrastrutture ad uso specifico	15	25	50

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

Il livello di sicurezza 1 si riferisce ad opere o installazioni di interesse locale ed ausiliario, comportanti un rischio minimo di perdita di vite umane o di danni ambientali in ca-

so di collasso della stessa (difese costiere, opere in porti minori o marina, scarichi a mare, strade litoranee ecc.).

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

Il livello di sicurezza 3 si riferisce ad opere o installazioni per la protezione dall'inondazione o di interesse sopranazionale, comportanti un elevato rischio di perdita di vite umane o di danno ambientale in caso di collasso della stessa (difese di centri urbani o industriali, ecc.).

Per quanto riguarda la probabilità di occorrenza dell'onda di progetto, si assumeranno le probabilità corrispondenti al danneggiamento incipiente od alla distruzione totale in relazione alle deformazioni-modificazioni subite dall'opera in caso di danneggiamento ed alla difficoltà di riparare il danno subito (vedi Tab. 6.2).

Per strutture rigide (dighe a parete verticale e pertanto cassoni emersi), per le quali è estremamente difficile riparare il danno, si assume la probabilità di distruzione totale. Si è fatta la stessa assunzione per la protezione dei fondali vicino alle strutture a parete verticale e per lo scanno di imbasamento della diga foranea, al fine di fornire la stessa probabilità di danneggiamento attribuita alle strutture stesse.

Per strutture flessibili o comunque per opere riparabili (ad es. dighe a scogliera), si assume la probabilità corrispondente al danneggiamento incipiente inteso come il livello di danneggiamento predefinito in relazione al tipo di struttura, al di sopra del quale il danno è apprezzabile e risulta necessario intervenire con lavori di manutenzione. Per le scogliere si può assumere un rischio per la vita umana limitato e una ripercussione economica media o medio-bassa.

TAB. 6.2 - MASSIMA PROBABILITÀ DI DANNEGGIAMENTO AMMISSIBILE NEL PERIODO DI VITA OPERATIVA DELL'OPERA P_F

Danneggiamento incipiente		
Ripercussione economica	Rischio per la vita umana	
	Limitato	Elevato
Bassa	0,50	0,30
Media	0,30	0,20
Alta	0,25	0,15
Distruzione totale		
Ripercussione economica	Rischio per la vita umana	
	Limitato	Elevato
Bassa	0,20	0,15
Media	0,15	0,10
Alta	0,10	0,05

Per rischio limitato per la vita umana si intendono i casi in cui a seguito del danneggiamento non è prevista alcuna perdita di vite umane. Quando queste perdite sono preventivabili, il rischio è elevato. Per ripercussione economica bassa, media ed alta s'intendono casi 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, è compreso fra 5 e 20 o è maggiore di 20.

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

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

Alle opere presentate in questo progetto per la loro importanza si può associare un livello di sicurezza pari a 2. Tutte le opere definitive possono essere considerate come infrastrutture civili di uso generale, cui corrisponde quindi un vita tecnica di 50 anni. Questa è la vita tecnica di riferimento per la definizione delle onde di progetto per la piattaforma in esercizio con la diga foranea in configurazione finale, come prevista nel Piano

Regolatore. Tutta via nella presente iniziativa di project financing per la progettazione e costruzione della nuova piattaforma multifunzionale è stata inserita anche la realizzazione della diga foranea relativamente ad una prima fase funzionale, di lunghezza 460 m rispetto ai 600 m previsti in configurazione finale, che assicura una minor protezione alla piattaforma. Per questa configurazione di diga (che verrà di seguito presentata nella presente relazione) si è assunta una vita tecnica di 10 anni, conformemente all'impegno dell'Autorità Portuale di completare la diga foranea con riferimento alla configurazione finale da PRP.

Per quanto riguarda la massima probabilità di danneggiamento ammissibile nel periodo operativo dell'opera, riguardo alle opere in scogliera, si assume la probabilità corrispondente al danno incipiente. Inoltre si può assumere un rischio per la vita umana limitato e una ripercussione economica media o medio-bassa, a seconda dei casi.

Riguardo alle opere a parete verticale (i cassoni cellulari reggispinta emersi, sommersi, impalcato su pali e protezione dei fondali vicino alle strutture a parete verticale) si assume la probabilità corrispondente alla distruzione totale.

In definitiva per il dimensionamento delle opere in progetto si sono adottati i valori dell'altezza d'onda significativa corrispondenti ai periodi di ritorno indicati nelle seguenti tabelle.

TAB. 6.3 - PERIODI DI RITORNO DELL'ONDA DI PROGETTO – OPERE DELLA PIATTAFORMA CON RIFERIMENTO ALLA DIGA FORANEA ESTESA COME DA PRP

Tipo opera	Tv (anni)	Pf	Tro teorico (anni)	Tro adottato (anni)
Scogliere	50	0,4	98	**100**
Opere a parete verticale	50	0,2	224	**250**
Protezione dei fondali vicino alle strutture	50	0,2	224	**250**

TAB. 6.4 - PERIODI DI RITORNO DELL'ONDA DI PROGETTO – OPERE DELLA PIATTAFORMA CON RIFERIMENTO ALLA DIGA FORANEA DI PRIMA FASE

Tipo opera	Tv (anni)	Pf	Tro teorico (anni)	Tro adottato (anni)
Scogliere	10	0,4	20	**20**
Opere a parete verticale	10	0,2	45	**50**
Protezione dei fondali vicino alle strutture	10	0,2	45	**50**

TAB. 6.5 - PERIODI DI RITORNO DELL'ONDA DI PROGETTO – DIGA FORANEA

Configurazione	Tv (anni)	Pf	Tr teorico (anni)	Tr adottato (anni)
Finale da PRP	50	0,2	224	**250**
Prima fase	10	0,2	45	**50**

6.2. Dettagli in merito alle configurazioni di progetto della diga foranea e tempi di ritorno delle onde associati

Nella presente perizia di variante la diga foranea viene realizzata con riferimento ad una configurazione di esercizio temporaneo, denominata di 1° fase, a cui è associata una vita tecnica di 10 anni. Tuttavia è previsto che alcuni tratti di quest'opera (sezioni tipo B, C, D ed E) vadano a costituire anche la diga in configurazione finale da PRP, alla quale come già presentato, è associata una vita tecnica di 50 anni.

Infine si evidenzia che la quota di sommità delle opere della nuova diga prevista nel presente progetto, è pari a +2,5 m l.m.m. e nel breve l'Autorità Portuale provvederà alla realizzazione di un muro paraonde con quota di sommità a +7 m l.m.m..

Ne consegue che le varie fasi di progettazione e le rispettive vite utili definiscono una varietà di combinazioni di tipologie costruttive e tempi di ritorno dell'altezza d'onda significativa di progetto, che per chiarezza vengono riassunti nella seguente tabella con riferimento a ogni sezione tipo di progetto.

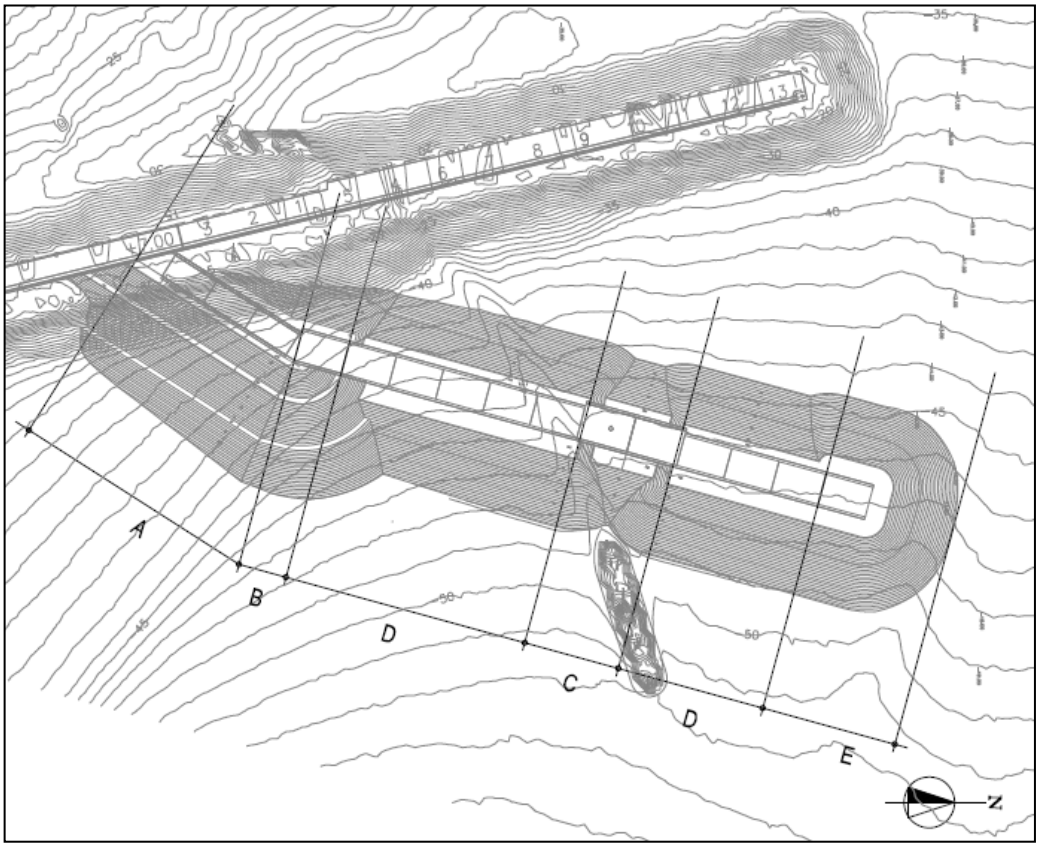
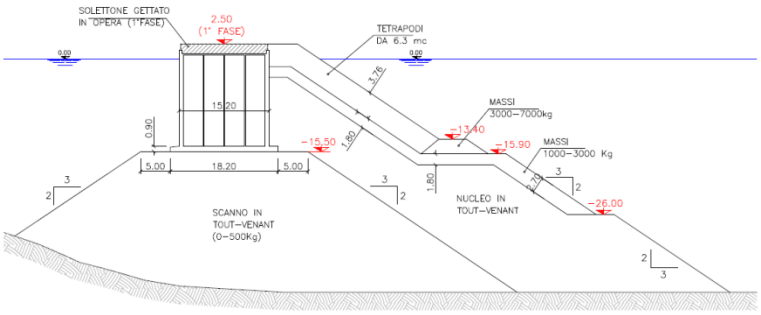
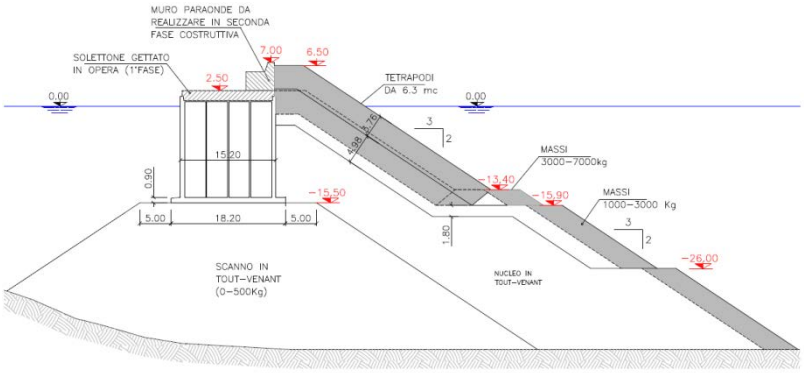
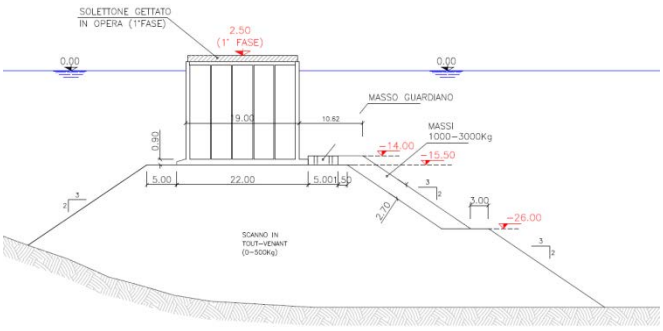
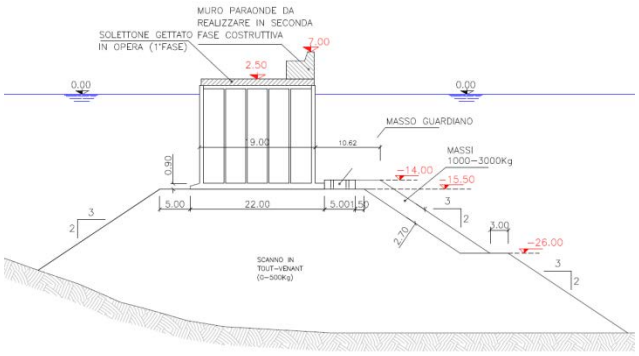
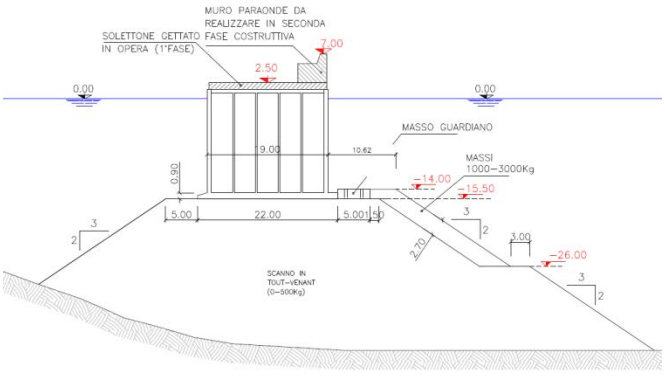


FIG. 6.1 - PLANIMETRIA DELLA DIGA DI 1A FASE CON UBICAZIONE SEZIONI TIPO

TAB. 6.6 - CONFIGURAZIONI DI PROGETTO E TEMPO DI RITORNO DELLE ONDE ASSOCIATO – SEZ. A

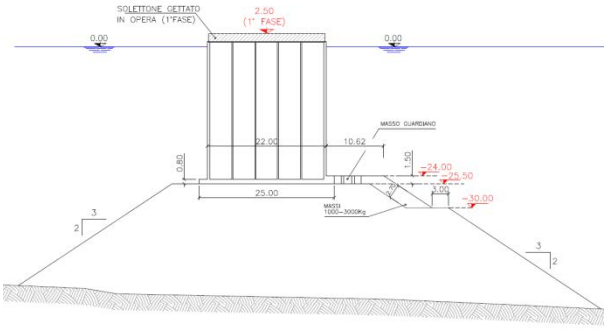
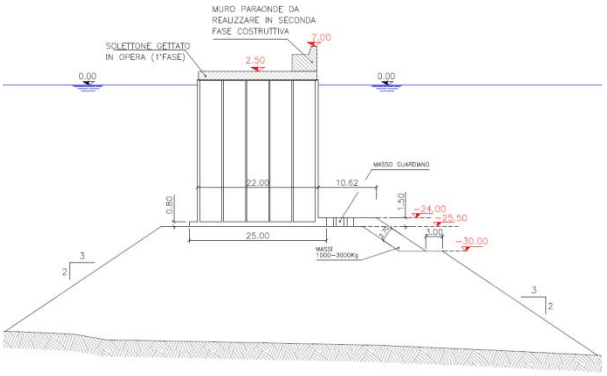
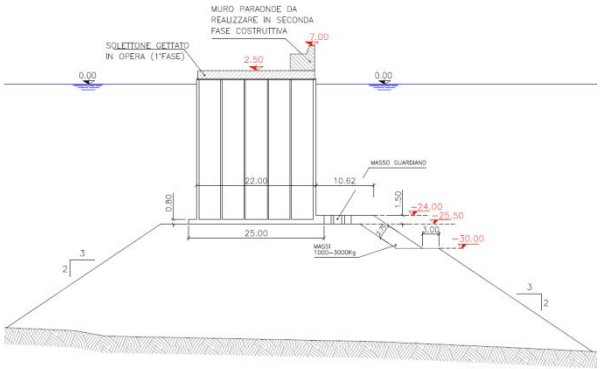
Sezione tipo	Configurazione di progetto	Vita utile	Tempo di ritorno	Schema sezione
A (1°fase)	• Cassone (18.20 x 30.2) imbasato alla -15.5 m • Sovrastruttura fino alla +2.5 m • Scogliera a protezione cassoni fino a +2.5 m	10 anni	50 anni	
A (APS)	• Cassone imbasato alla -15.5 m • Sovrastruttura con muro paraonde fino alla +7.0 m • Scogliera a protezione cassoni fino a +6.5 m	10 anni	50 anni	

TAB. 6.7 - CONFIGURAZIONI DI PROGETTO E TEMPO DI RITORNO DELLE ONDE ASSOCIATO – SEZ. B

Sezione tipo	Configurazione di progetto	Vita utile	Tempo di ritorno	Schema sezione
B (1°fase)	• Cassone (22.0 x 30.2) imbasato alla -15.5 m m • Sovrastruttura fino alla +2.5m	10 anni	50 anni	
B (APS)	• Cassone (22.0 x 30.2) imbasato alla -15.5m • Sovrastruttura con muro paraonde fino alla +7.0 m	10 anni	50 anni	
B (P.R.P.)*	• Cassone (22.0 x 30.2) imbasato alla -15.5 m • Sovrastruttura con muro paraonde fino alla +7.0 m	50 anni	250 anni	

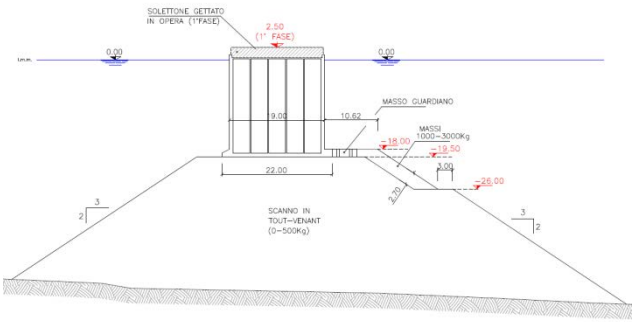
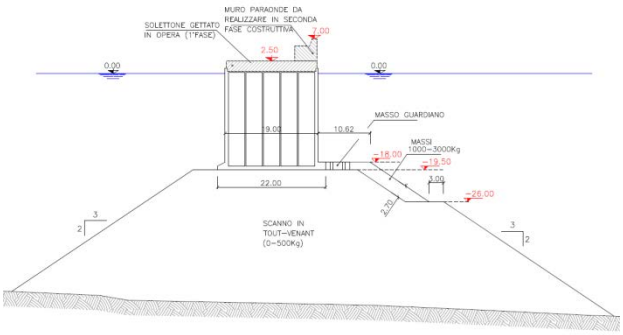
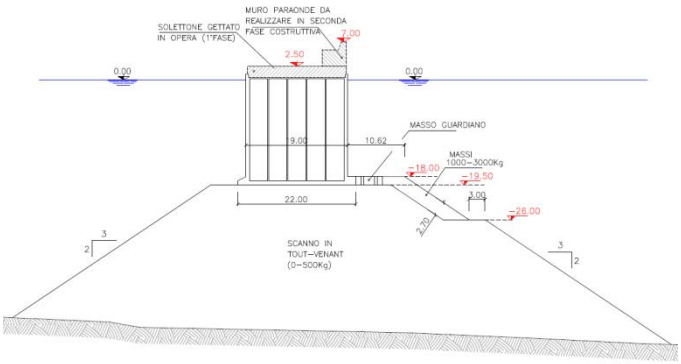
*Questo cassone oltre a costituire la diga di prima fase resterà in opera anche con la diga in configurazione da P.R.P..

TAB. 6.8 - CONFIGURAZIONI DI PROGETTO E TEMPO DI RITORNO DELLE ONDE ASSOCIATO – SEZ. C

Sezione tipo	Configurazione di progetto	Vita utile	Tempo di ritorno	Schema sezione
C (1°fase)	• Cassone di testata (22.0 x 32) imbasato alla -25.5 m • Sovrastruttura fino alla +2.5m	10 anni	50 anni	
C (APS)	• Cassone di testata (22.0 x 32) imbasato alla -25.5 m • Sovrastruttura con muro paraonde fino alla +7.0 m	10 anni	50 anni	
C (P.R.P.)*	• Cassone (22.0 x 32) imbasato alla -25.5 m • Sovrastruttura con muro paraonde fino alla +7.0 m	50 anni	250 anni	

*Questi cassoni oltre a costituire la diga di prima fase resteranno in opera anche con la diga in configurazione da P.R.P..

TAB. 6.9 - CONFIGURAZIONI DI PROGETTO E TEMPO DI RITORNO DELLE ONDE ASSOCIATO – SEZ. D E E

Sezione tipo	Configurazione di progetto	Vita utile	Tempo di ritorno	Schema sezione
D/E (1°fase)	• Cassone (22.0 x 30.2) imbasato alla -19.5 m • Sovrastruttura fino alla +2.5m	10 anni	50 anni	
D/E (APS)	• Cassone (22.0 x 30.2) imbasato alla -19.5 m • Sovrastruttura con muro paraonde fino alla +7.0 m	10 anni	50 anni	
D/E (P.R.P.)*	• Cassone (22.0 x 30.2) imbasato alla -19.5 m • Sovrastruttura con muro paraonde fino alla +7.0 m	50 anni	250 anni	

*Questi cassoni oltre a costituire la diga di prima fase resteranno in opera anche con la diga in configurazione da P.R.P.

7. PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSO DAL LARGO ALLA DIGA FORANEA ESISTENTE

7.1. Metodologia utilizzata

Nel capitolo precedente sono state definite le altezze d'onda al largo in termini di valori estremi da utilizzare ai fini della progettazione delle opere.
Nel presente capitolo vengono presentate le condizioni ondose risultanti dalla propagazione delle onde estreme dal largo alla diga foranea esistente. Queste verranno in seguito considerate come condizioni al contorno per la propagazione delle onde estreme dalla diga foranea alle opere di progetto, trattata nel successivo capitolo.

Per la propagazione delle onde dal largo fino alla diga foranea si è utilizzato il modello matematico SWAN (Simulating WAves Nearshore), messo a punto dal laboratorio idraulico di Delft, in grado di simulare i fenomeni di rifrazione e shoaling, generazione dell'onda da vento, dissipazione dovuta al whitecapping, attrito sul fondo, frangimento indotto dai bassi fondali e interazione non lineare tra le onde.

Nel presente studio, poiché la diga foranea esistente, e ancor più quella di progetto, sono imbasate su alti fondali (da -20 a -50 m sl.m.m.) l'effetto dell'incremento del livello del mare ad opera della marea (comunque limitato a poche decine di cm) sulla propagazione delle onde è stato ritenuto trascurabile. Conseguentemente è stato assunto come livello di riferimento il l.m.m..

Analogamente, anche per le correnti si è ritenuto di non introdurle nello studio della propagazione delle onde verso la diga foranea, data la loro modesta entità.

Sono state prese in considerazione le condizioni ondose relative ai 4 settori individuati nel capitolo precedente per l'analisi delle condizioni estreme:

- 50-100°N
- 100°-150°N
- 150-190°N
- 190-220°N.

Le condizioni ondose d'interesse ai fini della ricorrenza statistica, come detto nel capitolo precedente (Tab. 6.3), sono per la piattaforma quelle con periodo di ritorno di 100 anni (condizioni da utilizzare per le verifiche in fase di esercizio della scogliera alla radice della piattaforma), di 250 anni (condizioni da utilizzare per le verifiche in fase di esercizio per l'opera a parete verticale e per la protezione dei fondali con configurazione di diga estesa) e di 50 anni (condizioni da utilizzare per le verifiche in fase di esercizio per l'opera a parete verticale e per la protezione dei fondali con configurazione di diga di prima fase), mentre per la diga foranea di progetto quelle con periodo di ritorno 250 anni (condizioni da utilizzare per le verifiche dei cassoni a parete verticale e per la verifica dello scanno di imbasamento con configurazione di diga estesa) e di 50 anni (condizioni da utilizzare per le verifica dei cassoni a parete verticale, dell'opera composita cassoni a parete verticale-scogliera di protezione e dello scanno di imbasamento con configurazione di diga di prima fase).

Le attività svolte pertanto per valutare le condizioni ondose alla diga foranea esistente sono:

- messa a punto della schematizzazione dello stato di fatto, e riproduzione dei fondali per un'area sufficientemente ampia ad inglobare queste opere evitando gli effetti di bordo;
- inserimento delle condizioni di input al modello relative alle caratteristiche delle onde al largo;
- estrazione delle distribuzioni di moto ondoso nell'area antistante la diga;

Di seguito vengono illustrate in dettaglio le attività svolte con il modello matematico ed i risultati ottenuti, di riferimento per la successiva analisi della propagazione dell'onda alle opere e valutazione dei carichi sulle strutture portuali.

7.2. Descrizione del modello matematico SWAN

Il modulo del modello DELFT3D utilizzato per la propagazione del moto ondoso in ambito costiero WAVE fa riferimento al codice di calcolo SWAN (Simulating WAves Nearshore).

Questo modello è basato sull'equazione di bilancio energetico dell'energia dello spettro ondoso (in direzioni e frequenze) ed è in grado di simulare la propagazione di onde di piccolo periodo (wind waves e swell waves) dalle acque profonde verso le regioni costiere, caratterizzate da batimetrie irregolari e acque superficiali.

Nel modello sono implementati algoritmi di calcolo per tenere in considerazione i seguenti fenomeni fisici:

- Effetti della trasformazione delle onde dovuti allo shoaling
- Rotazione del fronte d'onda dovuti alla rifrazione
- Generazione delle onde per effetto del vento
- Fenomeni di dissipazione dovuti al white-capping, attrito con il fondale e frangimento
- Set-up da moto ondoso
- Fenomeni di trasmissione e riflessione dovuti alla presenza di ostacoli
- Interferenza e sovrapposizione di moto ondoso

7.3. Schematizzazione e batimetrie del modello matematico SWAN

Per procedere ad un'analisi modellistica del moto ondoso è stata individuato il cosiddetto "Dominio di Calcolo", cioè l'area in cui si intende studiare la propagazione del moto ondoso, e di definire le schematizzazioni delle opere. Il suddetto dominio di calcolo è stato quindi schematizzato da due diverse griglie di calcolo a maglia quadrata, una griglia regionale avente lato di 200m e che copre l'intero dominio di calcolo (Fig. 7.1) una griglia di dettaglio che si innesta sulla griglia regionale, ha lato di 30 m (Fig. 7.2) e copre un'area limitata alla zona di interesse dello studio.

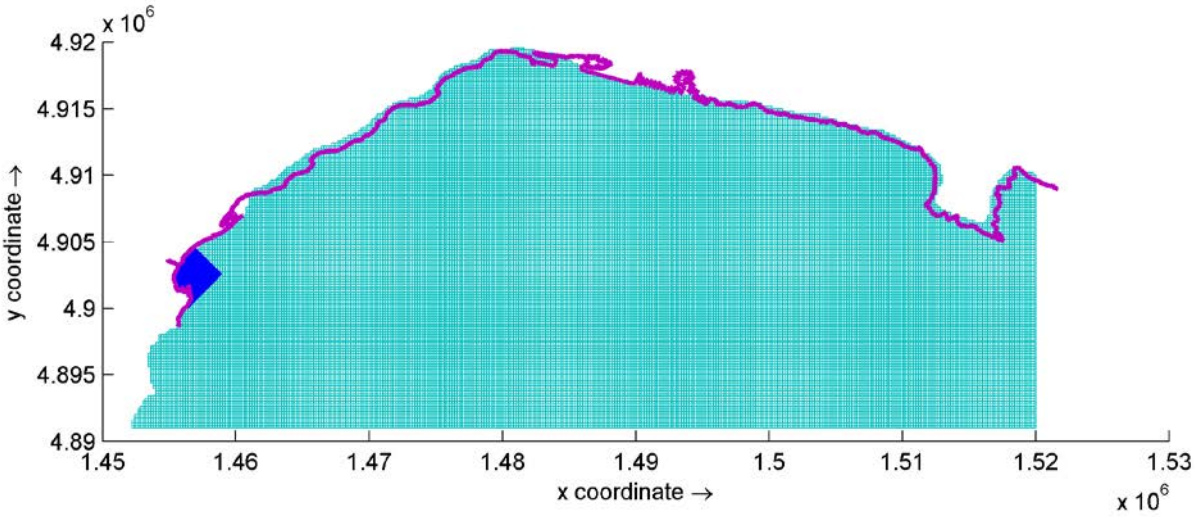


FIG. 7.1 - GRIGLIA REGIONALE E GRIGLIA DI DETTAGLIO USATE NEL MODELLO DI PROPAGAZIONE DELLE ONDE

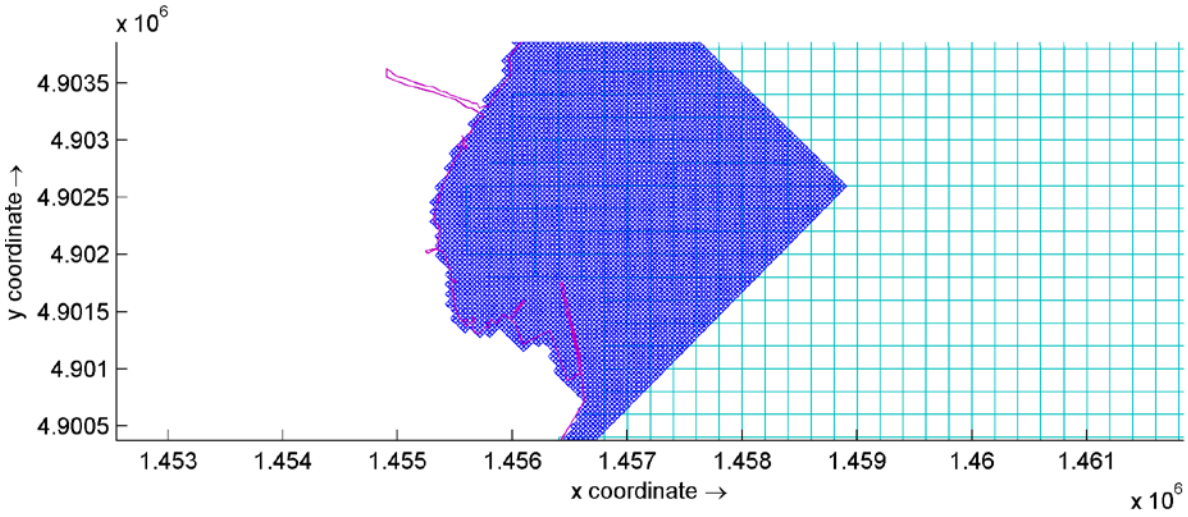


FIG. 7.2 - GRIGLIA REGIONALE E GRIGLIA DI DETTAGLIO USATE NEL MODELLO DI PROPAGAZIONE DELLE ONDE

La batimetria del modello è stata definita con riferimento alle stesse griglie utilizzate per la definizione di dominio fisico. I dati batimetrici, interpolati sulle due griglie di calcolo, sono stati desunti da carte nautiche a diverso dettaglio, integrate, nella zona del porto, dai rilievi batimetrici più recenti fatti condurre dall'Autorità Portuale di Savona nel Febbraio 2006, nell' Agosto 2008 e nell'Aprile 2010.

Le batimetrie utilizzate per il modello regionale e per il modello di dettaglio sono presentate rispettivamente in Fig. 8.9 e Fig. 8.10. Si fa notare come nel modello SWAN le celle sommerse presentano valori di quota del fondale positivo mentre le celle emerse presentano quote negative.
Per distinguere la parte sommersa dalla parte emersa del dominio è stato introdotto un "landboundary" (linea viola in Fig. 8.9 e Fig. 8.10) che rappresenta il limite della terra ferma come indicato nelle carte nautiche e, localmente, estratto dal recente sondaggio del 2010. Come livello per la definizione delle terre emerse si è scelto di prendere il l.m.m..

Come si osserva dalle Fig. 7.3e Fig. 7.4 i fondali sul boundary sud del modello hanno profondità estremamente elevate (fino a -1000 m s.l.m.m.) che vanno riducendosi da sud verso nord fino a raggiungere valori attorno ai -30 - -40 m.s.l.m.m in prossimità della diga foranea esistente.

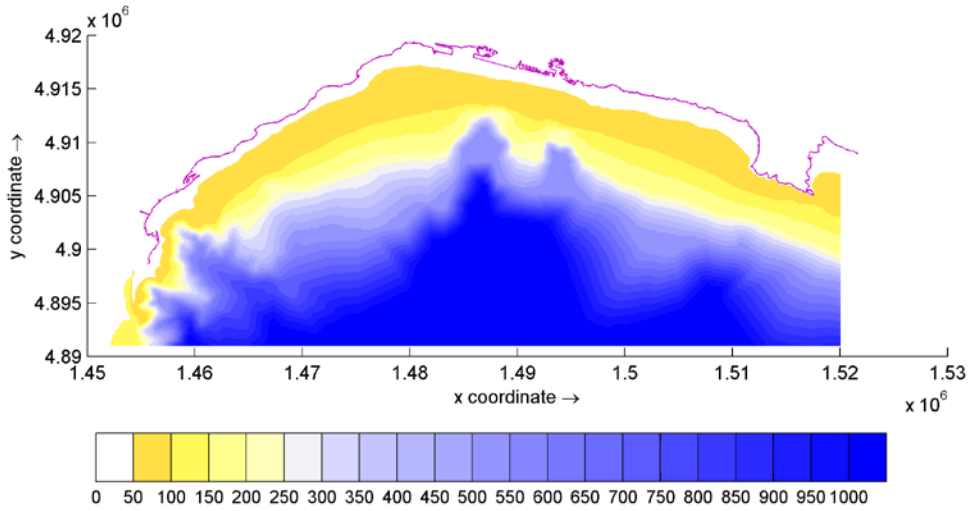


FIG. 7.3 - BATIMETRIA RICOSTRUITA SULLA GRIGLIA DI CALCOLO REGIONALE

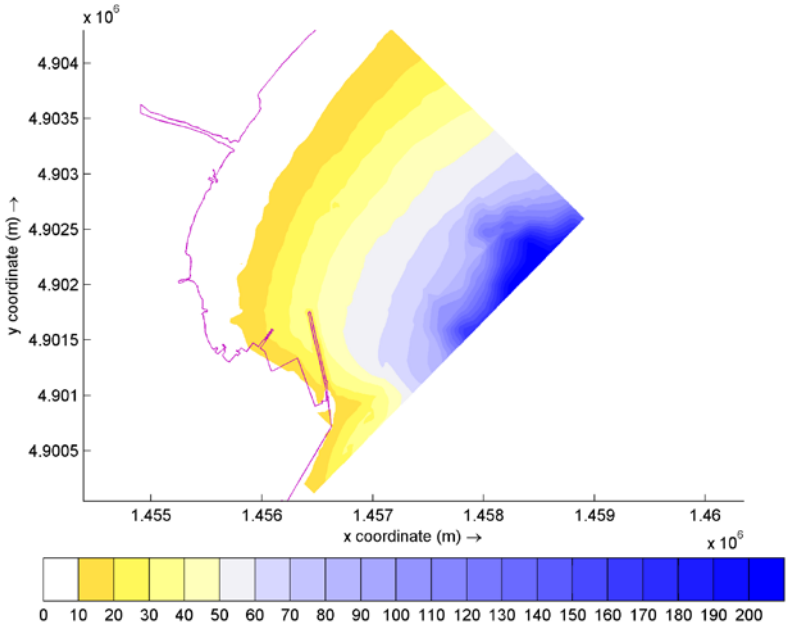


FIG. 7.4 - BATIMETRIA RICOSTRUITA SULLA GRIGLIA DI CALCOLO DI DETTAGLIO

7.4. Simulazioni e risultati ottenuti con il modello matematico SWAN

Le simulazioni effettuate con il modello matematico SWAN hanno riguardato sia eventi estremi di moto ondoso (d'interesse per il dimensionamento) caratterizzati da altezze d'onda significative relative al tempo di ritorno di 50 anni, 100 anni e 250 anni e da eventi più frequenti (d'interesse per la stima della tracimazione limite in condizione di operatività) caratterizzati da altezze d'onda significative aventi tempo di ritorno di 1 anno.

Gli eventi di riferimento provengono dal 1°, 2° e 3° quadrante e in particolare nelle simulazioni si è fatto riferimento alle direzioni d'onda di 70°, 100° e 130°N, 160°N, 190°N, scelte come rappresentative. Le caratteristiche delle condizioni ondose utilizzate come input nel modello sono riassunte nella seguente tabella.

TAB. 7.1 - CARATTERISTICHE DEL MOTO ONDOSO ESTREMO AL LARGO CONSIDERATE PER LE SIMULAZIONI – TR=50, 100 E 250 ANNI.

TR=50 anni			**TR=100 anni**			**TR=250 anni**		
Dir (°N)	*Hs (m)*	*Tp (s)*	*Dir (°N)*	*Hs (m)*	*Tp (s)*	*Dir (°N)*	*Hs (m)*	*Tp (s)*
70	3,3	8,8	70	3,6	9,2	70	4,1	9,8
100	4,6	10,4	100	5,0	10,9	100	5,7	11,6
130	4,6	10,4	130	5,0	10,9	130	5,7	11,6
160	4,7	10,6	160	5,2	11,1	160	5,9	11,8
190	6,0	11,9	190	6,5	12,4	190	7,1	13

TAB. 7.2 - CARATTERISTICHE DEL MOTO ONDOSO ESTREMO AL LARGO CONSIDERATE PER LE SIMULAZIONI – TR=1 ANNO

TR=1 anno		
Dir (°N)	*Hs (m)*	*Tp (s)*
70	1,6	6,2
100	2,1	7,0
130	2,1	7,0
160	2,2	7,2
190	3,2	8,7

I tempi di ritorno e le associate caratteristiche degli eventi di moto ondoso da simulare sono stati definiti a seconda dello scopo progettuale e dell'opera da dimensionare. Infatti al fine del dimensionamento strutturale delle opere a parete verticale della piattaforma si sono considerati eventi con tempo di ritorno 250 anni (con diga foranea da P.R.P.) o 50 anni (con diga foranea di 1° fase), per le strutture della diga foranea eventi con tempo di ritorno 250 anni se riferiti al tratto come da PRP (vita utile 50 anni) e con tempo di ritorno 50 anni se riferiti a tratti provvisori (vita utile 10 anni), mentre per il dimensio-

namento della scogliera alla radice della piattaforma eventi con tempo di ritorno 100 anni.

A titolo rappresentativo sono riportati di seguito nelle figure da Fig. 7.10 a Fig. 7.19 le distribuzioni dell'altezza d'onda con tempo di ritorno 250 anni e con tempo di 50 anni per le direzioni di provenienza 70°, 100° e 130°N, 160°N, 190°N.

Le simulazioni hanno mostrato che i valori dei altezza d'onda al largo non variano significativamente nella zona antistante la diga foranea esistente, se non per le direzioni 160 e 190°N, per le quali si osserva una notevole diminuzione dell'altezza d'onda rispetto al largo.

Nel successivo capitolo viene presentato lo studio della propagazione del moto ondoso in corrispondenza della nuova diga foranea (sia in configurazione estesa come previsto da P.R.P. che in configurazione di 1°fase) e in corrispondenza della piattaforma.

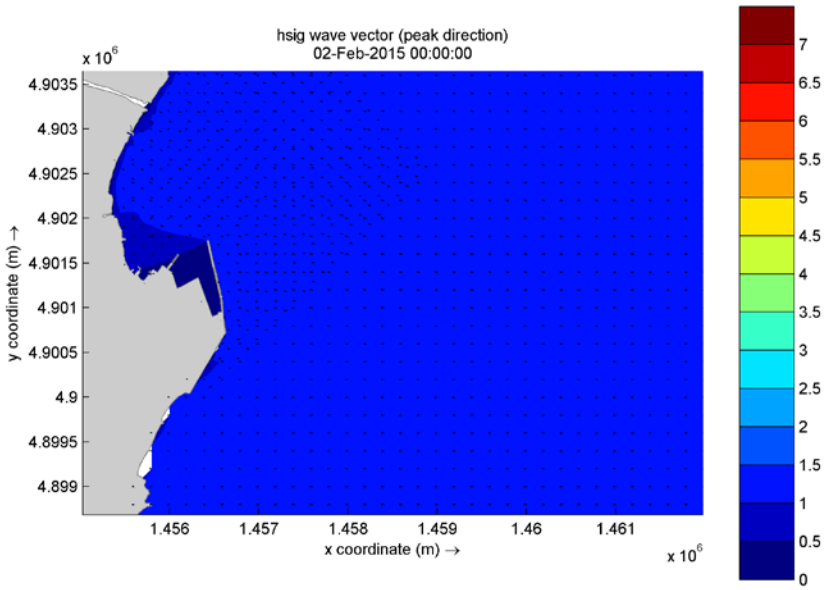


FIG. 7.5 - PROPAGAZIONE DELL'ONDA IN CORRISPONDENZA DELLA DIGA FORANEA ESISTENTE - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL LARGO CON PROVENIENZA 70°N E TR=1ANNO: HS=1,6 M , TP=6,2 S.

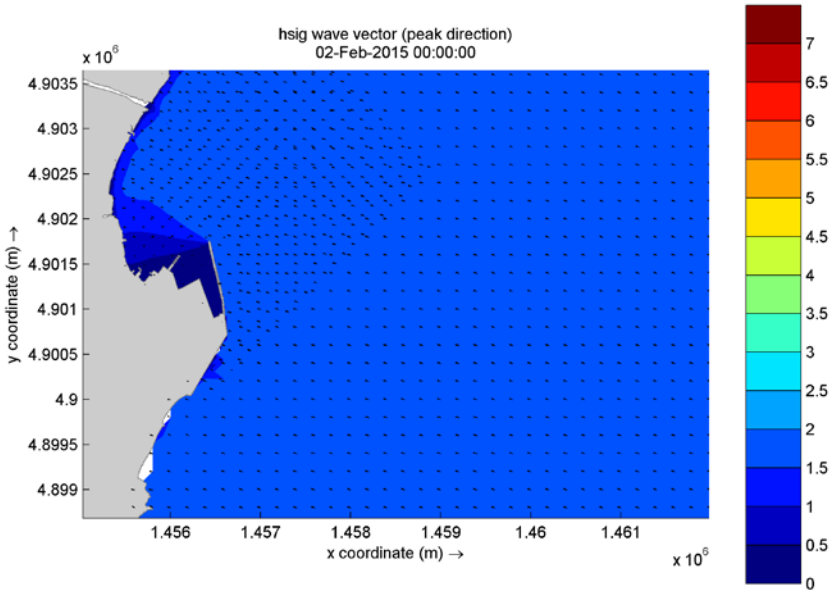


FIG. 7.6 - PROPAGAZIONE DELL'ONDA IN CORRISPONDENZA DELLA DIGA FORANEA ESISTENTE - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL LARGO CON PROVENIENZA 100°N E TR=1ANNO: HS=2,1 M , TP=7,0 S.

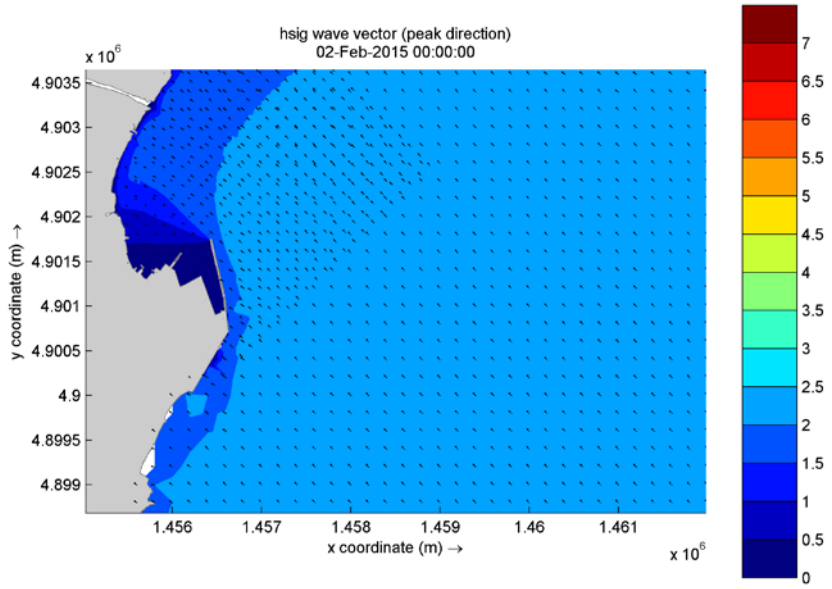


FIG. 7.7 - PROPAGAZIONE DELL'ONDA IN CORRISPONDENZA DELLA DIGA FORANEA ESISTENTE - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL LARGO CON PROVENIENZA 130°N E TR=1ANNO: HS=2,1 M , TP=7,0 S.

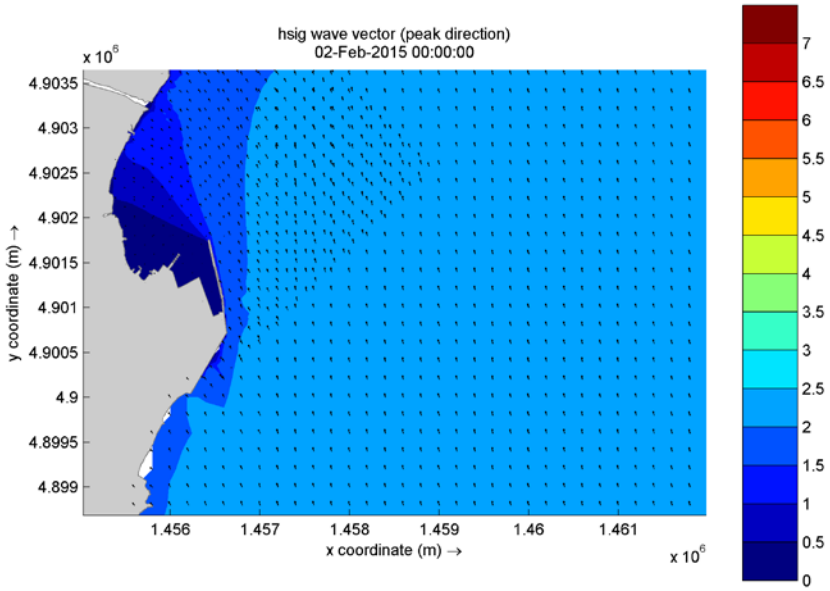


FIG. 7.8 - PROPAGAZIONE DELL'ONDA IN CORRISPONDENZA DELLA DIGA FORANEA ESISTENTE - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL LARGO CON PROVENIENZA 160°N E TR= 1ANNO: HS=2,2 M , TP=7,2 S.

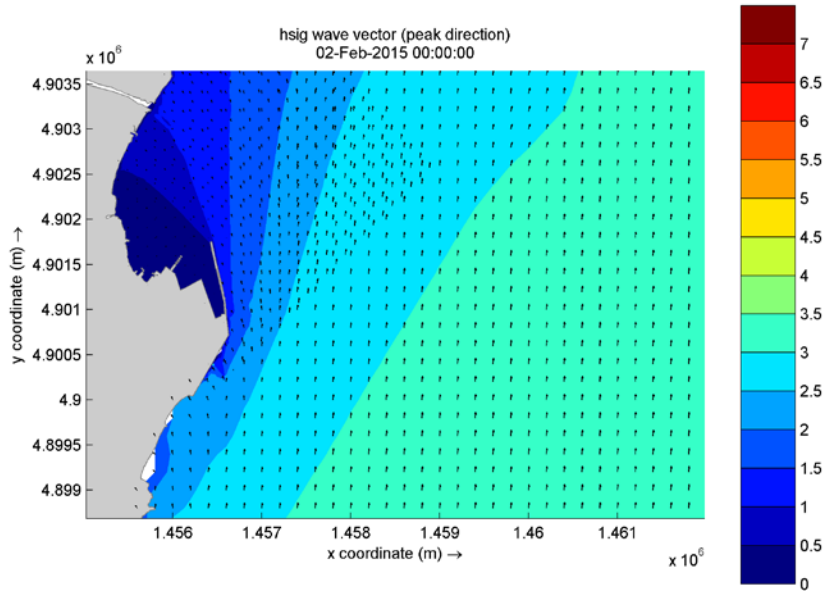


FIG. 7.9 - PROPAGAZIONE DELL'ONDA IN CORRISPONDENZA DELLA DIGA FORANEA ESISTENTE - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL LARGO CON PROVENIENZA 190°N E TR= 1ANNO: HS=3,2 M , TP=8,7 S.

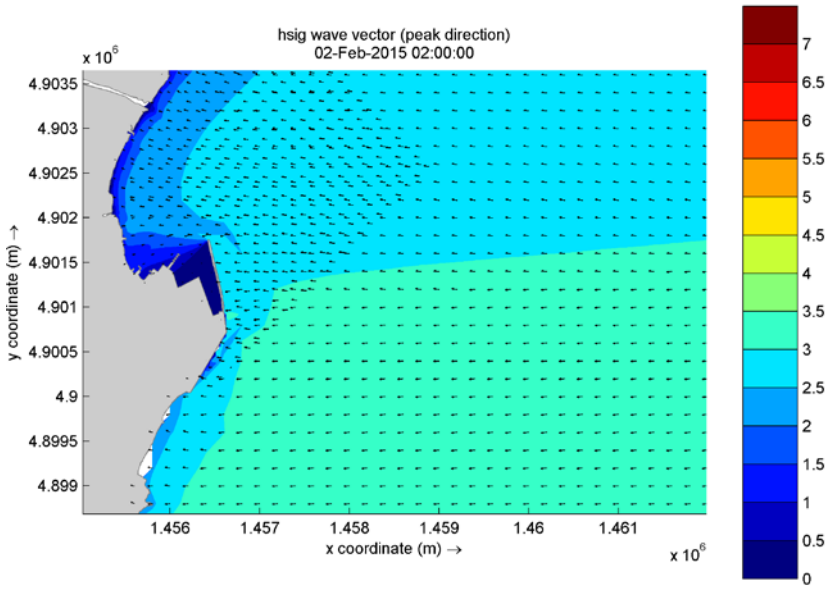


FIG. 7.10 - PROPAGAZIONE DELL'ONDA IN CORRISPONDENZA DELLA DIGA FORANEA ESISTENTE - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL LARGO CON PROVENIENZA 70°N E TR=50 ANNI: HS=3,3 M , TP=8,8 S.

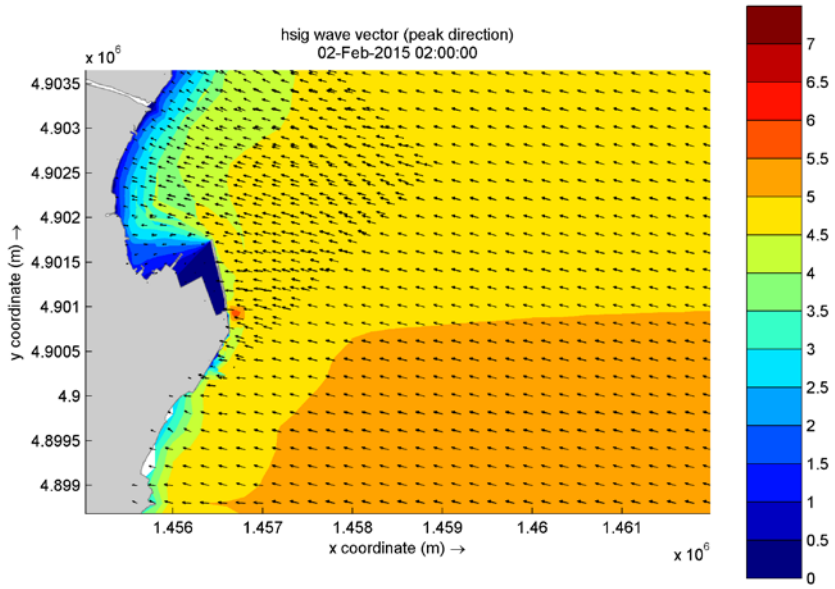


FIG. 7.11 - PROPAGAZIONE DELL'ONDA IN CORRISPONDENZA DELLA DIGA FORANEA ESISTENTE - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL LARGO CON PROVENIENZA 100°N E TR=50 ANNI: HS=4,6 M , TP=10,4 S.

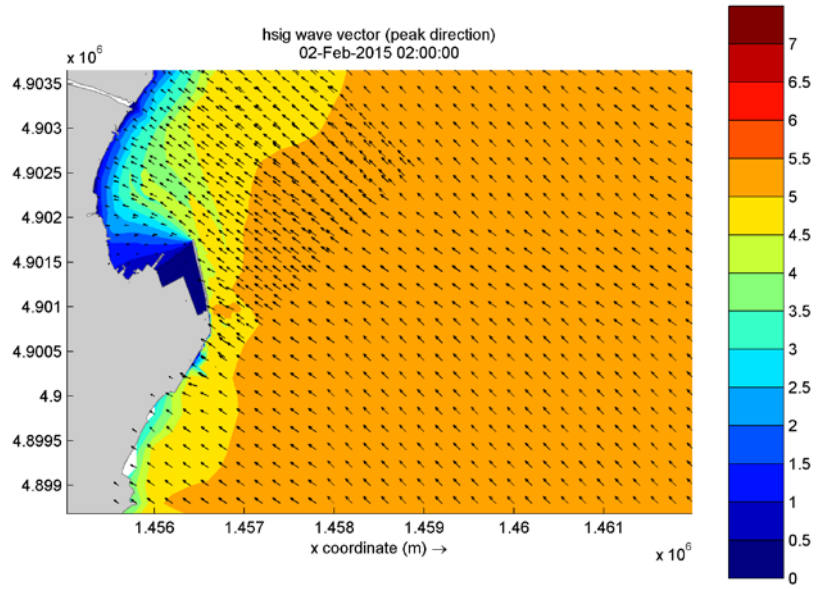


FIG. 7.12 - PROPAGAZIONE DELL'ONDA IN CORRISPONDENZA DELLA DIGA FORANEA ESISTENTE - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL LARGO CON PROVENIENZA 130°N E TR=50 ANNI: HS=4,5 M , TP=10,4 S.

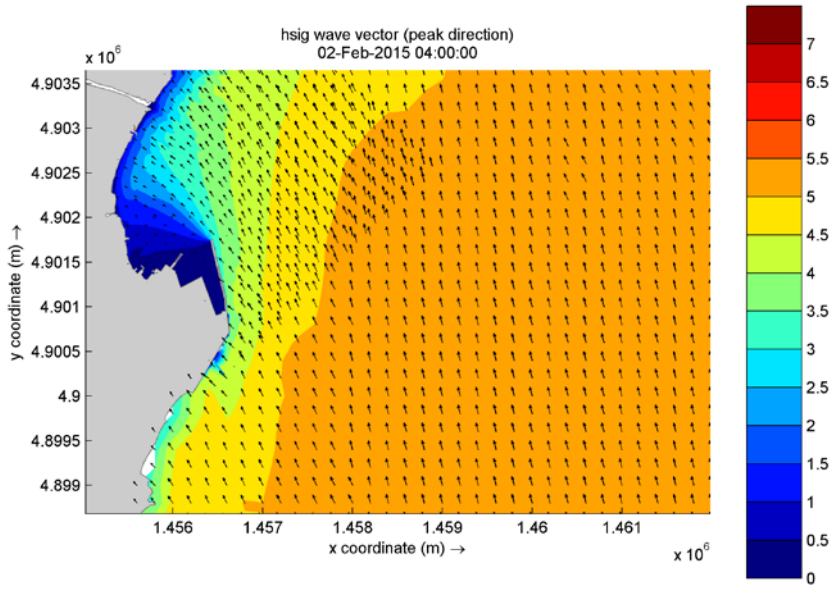


FIG. 7.13 - PROPAGAZIONE DELL'ONDA IN CORRISPONDENZA DELLA DIGA FORANEA ESISTENTE - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL LARGO CON PROVENIENZA 160°N E TR=50 ANNI: HS=4,7 M , TP=10,6 S.

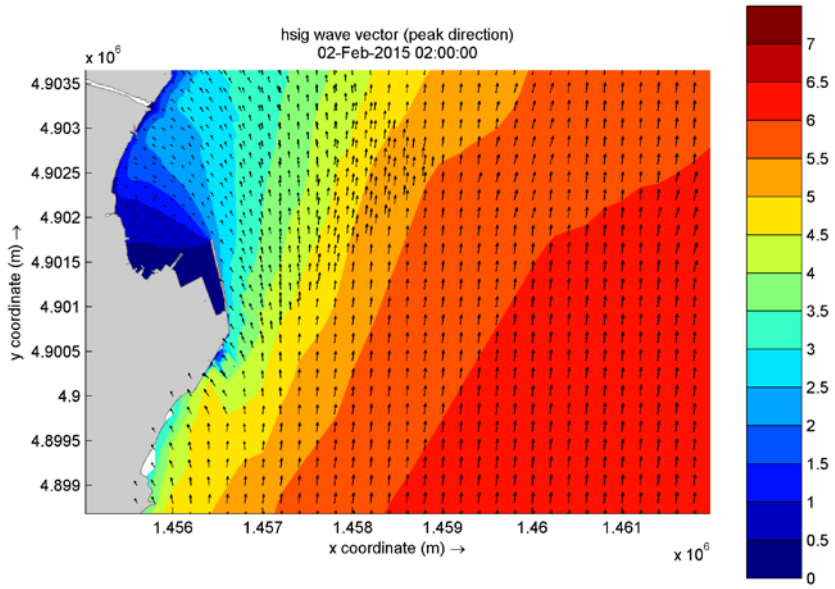


FIG. 7.14 - PROPAGAZIONE DELL'ONDA IN CORRISPONDENZA DELLA DIGA FORANEA ESISTENTE - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL LARGO CON PROVENIENZA 190°N E TR=50 ANNI: HS=6,0 M , TP=11,9 S.

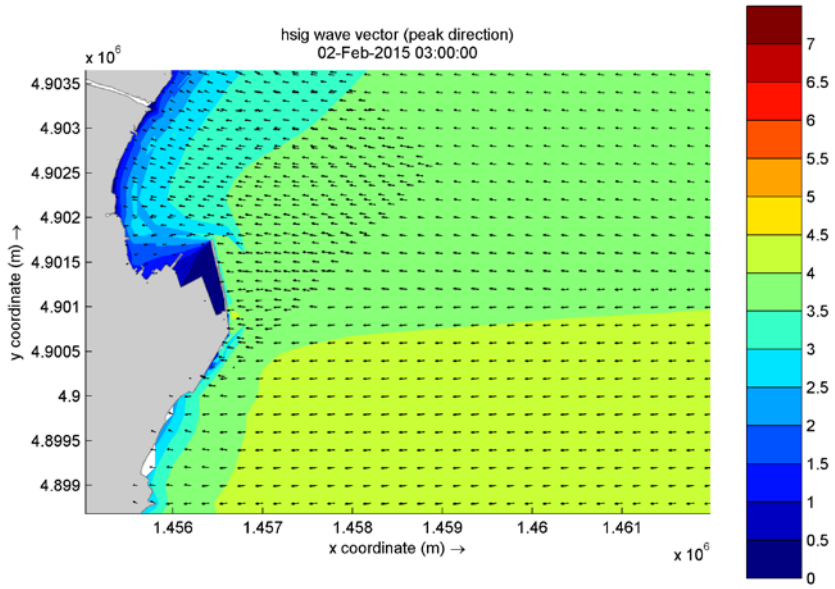


FIG. 7.15 - PROPAGAZIONE DELL'ONDA IN CORRISPONDENZA DELLA DIGA FORANEA ESISTENTE - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL LARGO CON PROVENIENZA 70°N E TR=250 ANNI: HS=4,1 M , TP=9,8 S.

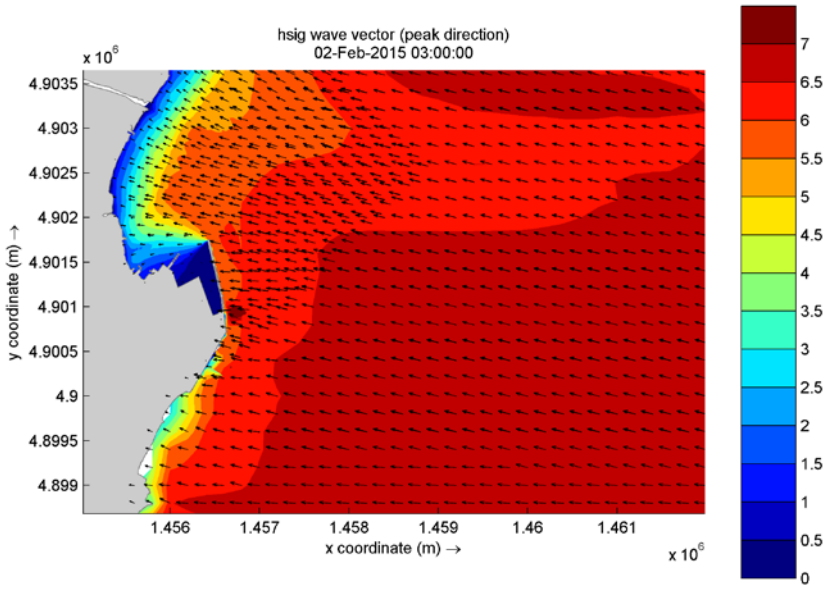


FIG. 7.16 - PROPAGAZIONE DELL'ONDA IN CORRISPONDENZA DELLA DIGA FORANEA ESISTENTE - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL LARGO CON PROVENIENZA 100°N E TR=250 ANNI: HS=5,7 M , TP=11,6 S.

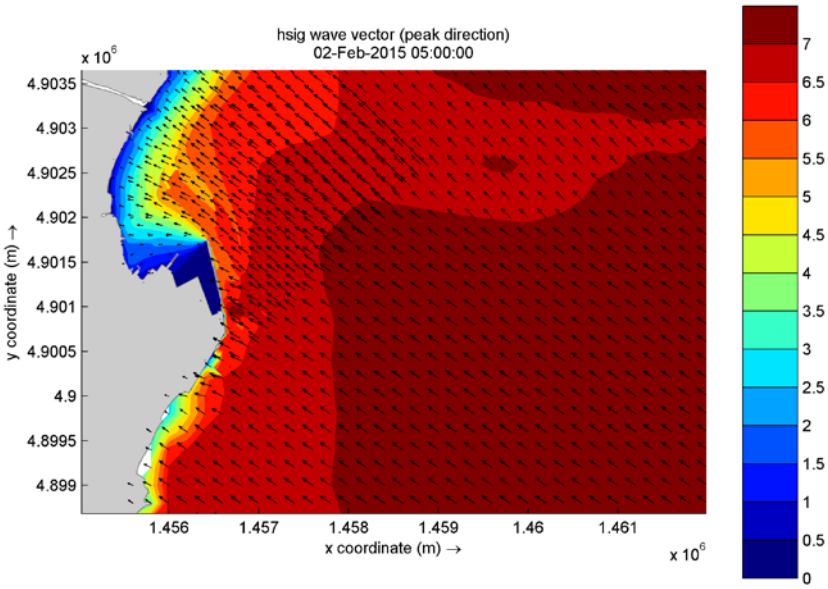


FIG. 7.17 - PROPAGAZIONE DELL'ONDA IN CORRISPONDENZA DELLA DIGA FORANEA ESISTENTE - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL LARGO CON PROVENIENZA 130°N E TR=250 ANNI: HS=5,7 M , TP=11,6 S.

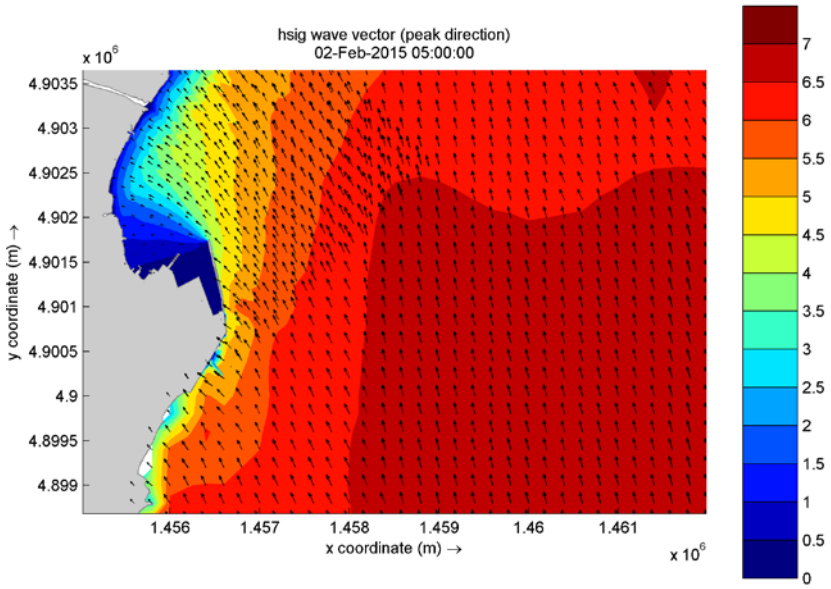


FIG. 7.18 - PROPAGAZIONE DELL'ONDA IN CORRISPONDENZA DELLA DIGA FORANEA ESISTENTE - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL LARGO CON PROVENIENZA 160°N E TR=250 ANNI: HS=5,9 M , TP=11,8 S.

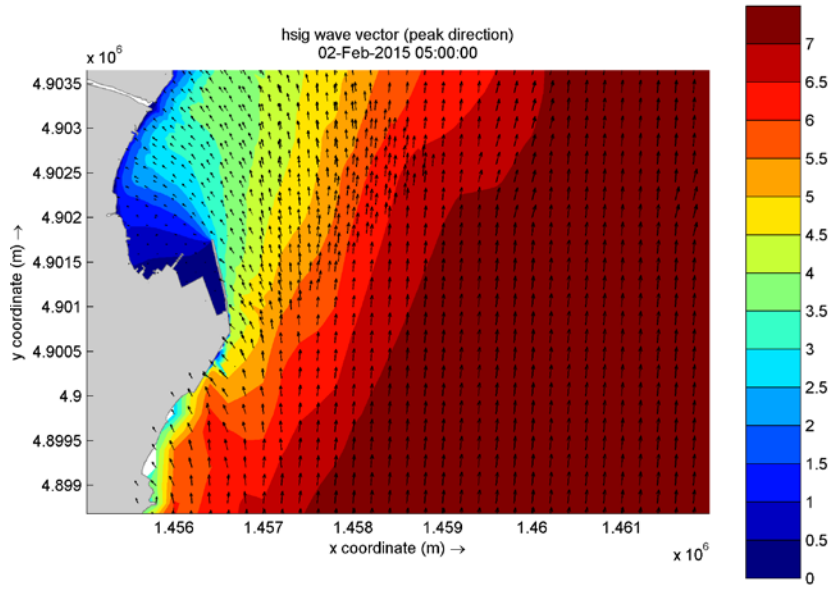


FIG. 7.19 - PROPAGAZIONE DELL'ONDA IN CORRISPONDENZA DELLA DIGA FORANEA ESISTENTE - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL LARGO CON PROVENIENZA 190°N E TR=250 ANNI: HS=7,1 M , TP=13,0 S.

8. PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSO IN CORRISPONDENZA DELLE OPERE

8.1. Metodologia utilizzata

Nel capitolo precedente sono state definite le altezze d'onda nella zona antistante la diga foranea in termini di valori estremi da utilizzare ai fini della progettazione delle opere.

Nel presente capitolo vengono presentate le condizioni ondose in corrispondenza delle opere in base alle quali poi calcolare i carichi di progetto per il dimensionamento, per quanto riguarda la piattaforma, di:

– scogliera alla radice della piattaforma,
– cassoni reggispinta di conterminazione
– protezione del fondale

e per quanto riguarda la diga foranea di progetto, di:

– scanno d'imbasamento,
– cassoni emersi
– scogliera di protezione dei cassoni nel tratto di raccordo alla diga esistente.

Per la definizione dei carichi alle opere che costituiscono la piattaforma si sono considerate due configurazioni di diga foranea di progetto:

- Diga foranea estesa come da P.R.P, alla quale viene associata una vita utile di 50 anni e i rispettivi tempi di ritorno per le diverse opere già presentati nel capitolo 6;
- Diga foranea di 1° fase, alla quale viene associata una vita utile di 10 anni e i rispettivi tempi di ritorno per le diverse opere già presentati nel capitolo 6.

Nel presente capitolo si è quindi andato ad investigare per ogni opera di progetto quale configurazione della diga (a cui come si è detto è associato l'evento meteomarino di progetto caratterizzato da un dato tempo di ritorno) massimizza l'onda di progetto all'opera stessa.

Dal momento che sia la diga foranea di progetto che le opere della piattaforma si sviluppano su fondali piuttosto elevati (da -35 a -50 m la diga e da -10 m a -25 m la piatta-

forma), l'effetto dell'incremento del livello del mare ad opera della marea (comunque limitato a poche decine di cm) sulla propagazione delle onde alle opere è stato ritenuto trascurabile. Conseguentemente è stato assunto come livello di riferimento il l.m.m..

Analogamente, anche per le correnti si è ritenuto di non introdurle nello studio della propagazione delle onde verso le nuove opere, data la loro modesta entità.

Per lo studio delle distribuzioni dell'altezza d'onda in corrispondenza della nuova diga foranea (sia estesa come da P.R.P. che di 1° fase) e per la propagazione delle onde dalla diga foranea fino alla piattaforma e si è utilizzato il modello matematico PHAROS, messo a punto dal laboratorio idraulico di Delft, in grado di simulare principalmente il fenomeno di diffrazione intorno alla testata della diga, i fenomeni di rifrazione e shoaling per effetto dei fondali che variano rapidamente in prossimità dell'opera.

Il modello tiene conto anche del frangimento, attraverso la formulazione teorica di Battjes and Jansen (1978) verificata poi da Battjes and Steve (1985), cui si rimanda per ulteriori approfondimenti.

Sono state prese in considerazione le condizioni ondose relative ai 4 settori più gravosi individuati nel capitolo precedente per l'analisi delle condizioni estreme:

- 50-100°N
- 100-150°N
- 150-190°N
- 190-220°N.

Le simulazioni con il modello SWAN presentate nel capitolo precedente hanno mostrato che i valori dei altezza d'onda al largo, ovvero in corrispondenza del punto UKMO, non variano significativamente durante la propagazione fino alla zona antistante la diga foranea esistente, se non per le direzioni di propagazione comprese tra 160 e 190°N, per le quali si osserva una significativa diminuzione dell'altezza d'onda.

Le condizioni ondose di progetto, come detto nel capitolo precedente (Tab. 6.3), sono per la piattaforma:

- quelle con periodo di ritorno di 100 anni (condizioni da utilizzare per le verifiche in fase di esercizio della scogliera alla radice della piattaforma),
- di 250 anni (condizioni da utilizzare per le verifiche in fase di esercizio per l'opera a parete verticale e per la protezione dei fondali con configurazione di diga estesa)
- e di 50 anni (condizioni da utilizzare per le verifiche in fase di esercizio per l'opera a parete verticale e per la protezione dei fondali con configurazione di diga di prima fase),

mentre per la diga foranea:

- quelle con periodo di ritorno 250 anni (condizioni da utilizzare per le verifiche dei cassoni a parete verticale e per la verifica dello scanno di imbasamento con configurazione di diga estesa)
- e di 50 anni (condizioni da utilizzare per le verifica dei cassoni a parete verticale, dell'opera composita cassoni a parete verticale-scogliera di protezione e dello scanno di imbasamento con configurazione di diga di prima fase).

Infine per la valutazione della tracimazione limite delle opere in condizioni operative si è considerata l'onda con tempo di ritorno un anno.

Le attività svolte pertanto per valutare le condizioni ondose alle opere sono le seguenti:

- messa a punto della schematizzazione dello stato di fatto, delle nuove opere (piattaforma portuale e diga foranea) e riproduzione dei fondali per un'area sufficientemente ampia ad inglobare queste opere evitando gli effetti di bordo;
- inserimento delle condizioni di input al modello relative alle caratteristiche delle onde in corrispondenza della diga foranea;
- estrazione delle distribuzioni di moto ondoso nell'area investigata;
- definizione delle condizioni ondose in corrispondenza delle nuove strutture portuali.

Di seguito vengono illustrate in dettaglio le attività svolte con il modello matematico PHAROS ed i risultati ottenuti, di riferimento per la valutazione dei carichi sulle strutture.

8.2. Descrizione del modello matematico PHAROS

Il modello matematico PHAROS consente di valutare la trasformazione dell'onda in bacini chiusi portuali riproducendo i seguenti fenomeni fisici:

- diffrazione;
- rifrazione e shoaling per effetto di correnti e variazione dei fondali;
- riflessione parziale e trasmissione dell'onda;
- effetti dissipativi per effetto del frangimento e dell'attrito sul fondo;
- spreading direzionale.

Il codice di calcolo è stato messo a punto dal laboratorio idraulico di Delft ed è stato utilizzato con successo in numerosi casi dalla Technital. In appendice 2 è riportata una descrizione di dettaglio del modello PHAROS.

I limiti del modello sul numero di nodi hanno richiesto l'utilizzo di due domini di calcolo distinti per la definizione dei carichi alla diga foranea, estesa o di 1° fase, e alle opere della piattaforma. Di seguito sono presentati separatamente i due domini, le condizioni al contorno e i risultati delle simulazione di propagazione delle onde di progetto in corrispondenza delle opere.

8.3. Diga foranea

8.3.1. Schematizzazione e batimetrie del modello matematico PHAROS

Per procedere ad un'analisi modellistica del moto ondoso è stata individuato il cosiddetto "Dominio di Calcolo", cioè l'area in cui si intende studiare la propagazione del moto ondoso, e definita la schematizzazione delle opere.

Per il presente studio sono state considerate due diverse schematizzazioni del dominio di calcolo in funzione della fase di costruzione della diga foranea, come viene più ampiamente presentato nei successivi paragrafi. Una prima schematizzazione riproduce la configurazione che avrà la diga foranea come prevista da P.R.P. (Fig. 8.1), una seconda schematizzazione riproduce invece una configurazione di esercizio temporanea per la

quale la diga foranea, qui denominata di 1° fase, avrà un'estensione di 360 m anziché 600 m, oltre che una diversa configurazione in radice (Fig. 8.2).

In entrambe le schematizzazioni il dominio di calcolo del modello ha compreso un'area antistante la diga foranea di progetto sufficientemente ampia da evitare possibili effetti di bordo nelle simulazioni.

Il contorno del dominio di calcolo è stato definito attraverso una successione di elementi rettilinei adiacenti. Alcuni di questi elementi, quelli rappresentanti i contorni delle opere, vengono caratterizzati in fase di input del modello da un proprio coefficiente di riflessione e da un angolo di attacco stimato (entrambi vengono poi aggiustati dal modello in fase di simulazione, qualora l'angolo di attacco imposto come input dovesse differire da quello effettivo calcolato dal modello), altri elementi sono invece definiti come "entrance" e su questi vengono imposte le condizioni al contorno, ovvero le caratteristiche dell'onda da propagare.

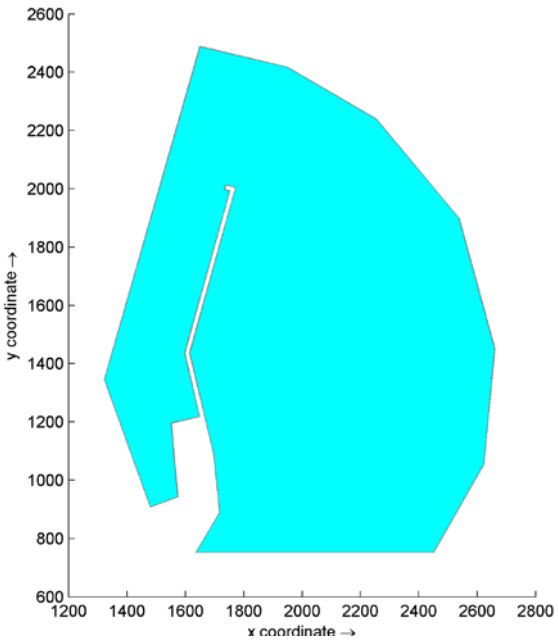


FIG. 8.1 - SCHEMATIZZAZIONE DELLA DIGA FORANEA DA P.R.P.

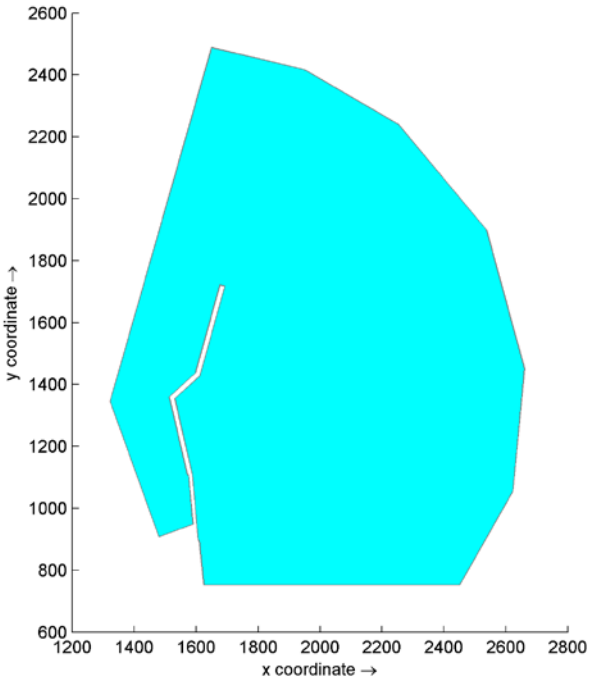


FIG. 8.2 - SCHEMATIZZAZIONE DELLA DIGA FORANEA DI 1°FASE.

Come si nota per lo studio delle due configurazioni della diga foranea si è scelto di delimitare il dominio nel lato verso mare con un contorno semicircolare composto da una successione di elementi rettilinei adiacenti. Questa configurazione permette di considerare questo boundary semicircolare come “entrance” indipendentemente dall’inclinazione per l’onda di input.

Le diverse configurazioni del boundary del modello, con l’indicazione dei coefficienti di riflessione adottati, sono mostrate nelle Fig. 8.3e Fig. 8.4.

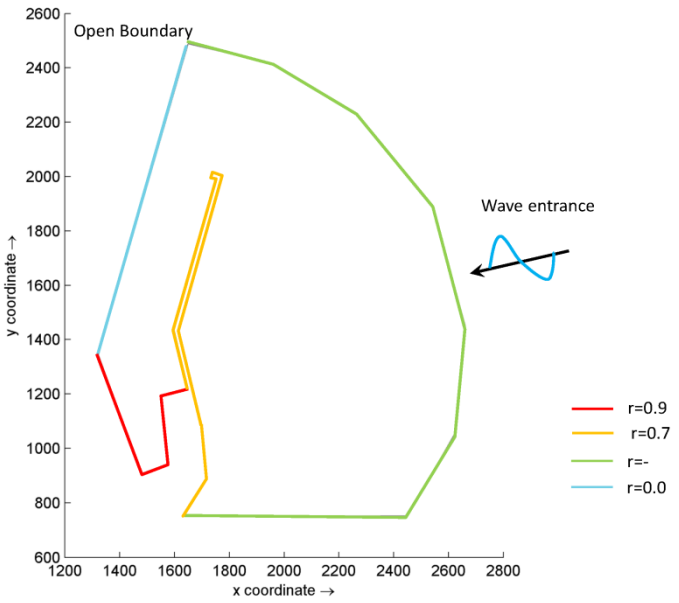


FIG. 8.3- COEFFICIENTI DI RIFLESSIONE CONSIDERATI NEL MODELLO MATEMATICO DI PROPAGAZIONE DELLE ONDE PHAROS PER LA CONFIGURAZIONE DI DIGA FORANEA DA P.R.P.

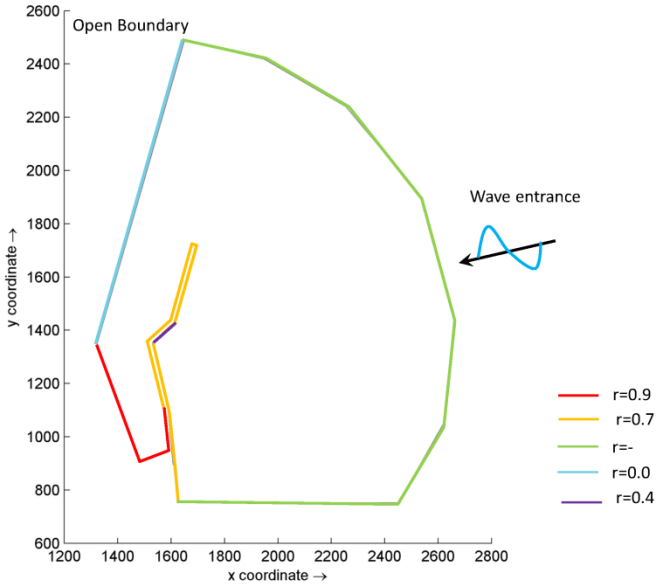


FIG. 8.4 - COEFFICIENTI DI RIFLESSIONE CONSIDERATI NEL MODELLO MATEMATICO DI PROPAGAZIONE DELLE ONDE PHAROS PER LA CONFIGURAZIONE DI DIGA FORANEA DI 1° FASE

L'applicazione del modello PHAROS ha comportato la creazione di una serie di griglie di calcolo a maglie triangolari non uniformi le cui dimensioni sono funzione del periodo di riferimento dell'onda incidente oggetto di analisi e della profondità. In questo modello, infatti, le dimensioni delle celle di calcolo sono state definite in modo tale da avere una risoluzione spaziale in tutta l'area del modello idonea a rappresentare il campo di moto ondoso e quindi in grado di garantire almeno 8 punti di controllo per lunghezza d'onda. Poiché la lunghezza di un'onda varia sia in funzione del periodo dell'onda incidente che della batimetria locale dei fondali, le due griglie sono state generate considerando il minore tra i periodi d'onda da propagare, in modo tale da garantire gli 8 punti di controllo per tutte le lunghezze d'onda previste dallo studio.

Per la definizione delle batimetrie è stato fatto riferimento a:

- i rilievi batimetrici fatti condurre dall'Autorità Portuale di Savona delle aree della piattaforma, delle aree prospicienti la diga foranea e del litorale (rilievi batimetrici del Febbraio 2006, Agosto 2008, Aprile 2010).
- le batimetrie d'insieme desunte dalla carta Nautica 1:30.000 del Litorale di Savona.

Le batimetrie riprodotte per entrambe le configurazioni della diga foranea e un dettaglio della griglia di calcolo in corrispondenza della diga di 1° fase sono presentati nelle Fig. 8.5, Fig. 8.6 e Fig. 8.7.

I fondali considerati fanno riferimento al l.m.m.. considerato che l'entità dell'escursione del livello del mare e delle correnti indotte sono modesti si è ritenuto per la propagazione delle onde verso le nuove opere (ai fini del loro dimensionamento) di considerare come livello di riferimento il l.m.m. e di non considerare l'interazione onde-correnti.

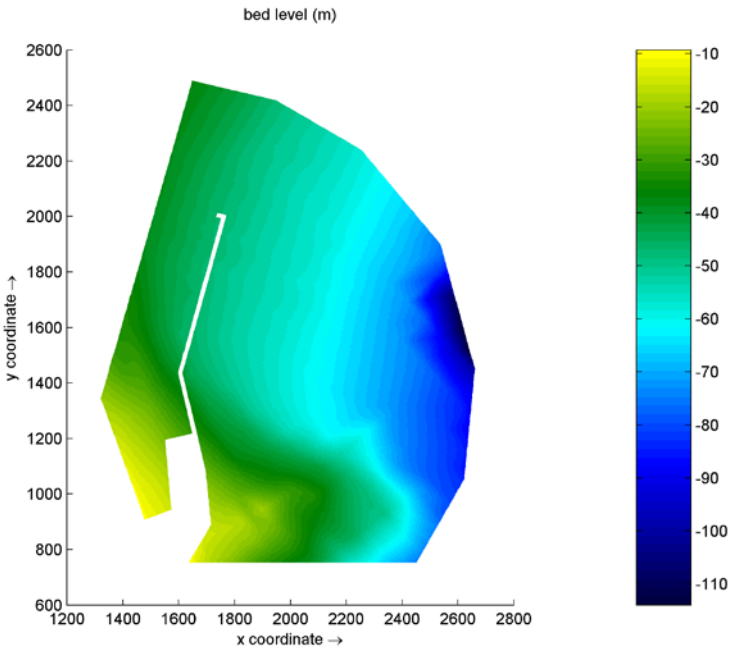


FIG. 8.5 - BATIMETRIE RIPRODOTTE SUL MODELLO – DIGA DA P.R.P.

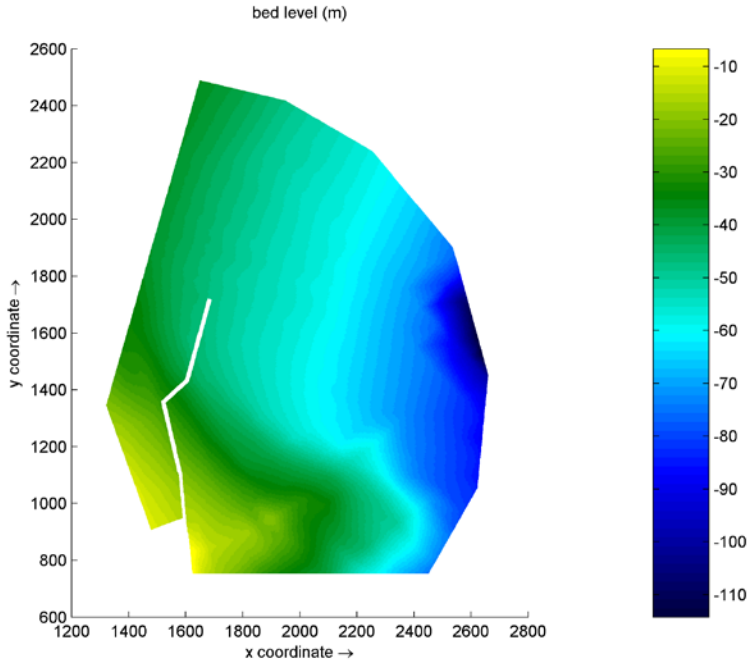


FIG. 8.6 - BATIMETRIE RIPRODOTTE SUL MODELLO – DIGA DI 1° FASE

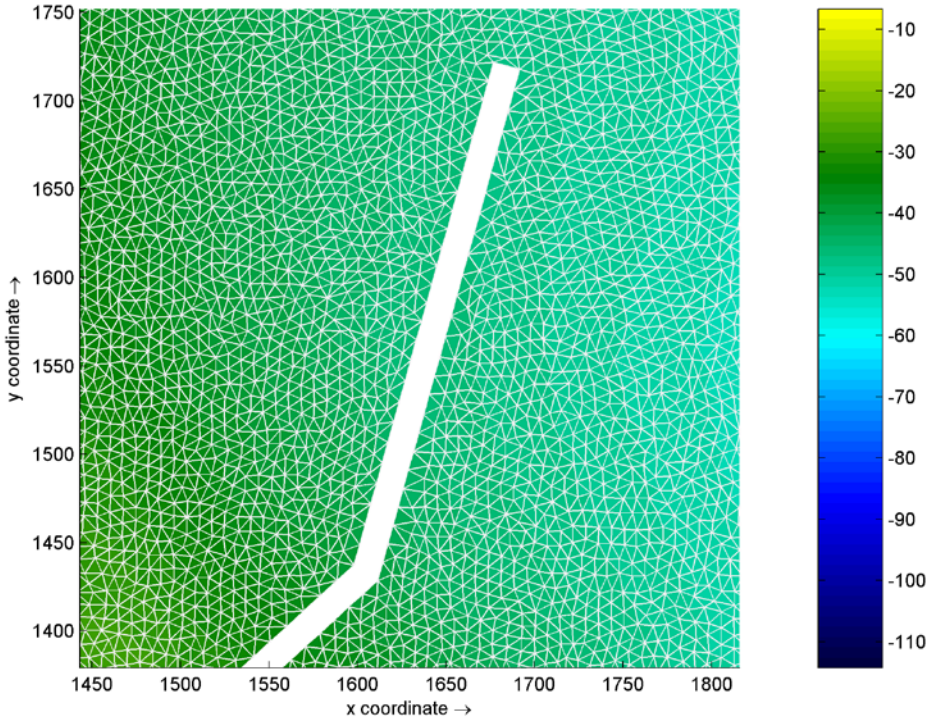


FIG. 8.7 - DETTAGLIO DELLA GRIGLIA DI CALCOLO USATA DAL MODELLO PHAROS

La Tab. 8.1 riassume le diverse configurazioni studiate e le condizioni di moto ondoso associate ad ogni serie di simulazioni. Nel seguente paragrafo vengono presentate le caratteristiche del moto ondoso associate agli eventi estremi e i risultati delle simulazioni in termini di distribuzione del moto ondoso in corrispondenza delle opere.

Infine per quanto riguardano i valori dei parametri caratteristici delle onde di progetto per il dimensionamento di ogni opera si rimanda al capitolo successivo (cap 0).

TAB. 8.1 - CONFIGURAZIONI DI DIGA SIMULATE CON IL MODELLO PHAROS

Config.	Scopo progettuale	Opera	Schematizzazione	T_R	Note
P.R.P	**Dimensionamento strutturale** - definizione dei carichi sulle opere - definizione della tracimazione limite in condizioni estreme	- Cassoni tipo B, C e D/E - Scanno d'imbasamento	Diga da P.R.P.	250 anni	Coef rifless. a = 70% su tutta la diga
P.R.P	**Dimensionamento idraulico** Definizione della tracimazione limite in condizioni operative	- Cassoni tipo B, C e D/E	Diga da P.R.P.	1 Anno	Coef rifless. a = 70% su tutta la diga
1° Fase	**Dimensionamento strutturale** - definizione dei carichi sulle opere - definizione della tracimazione limite in condizioni estreme	- Struttura composita cassoni tipo A – scogliera - Struttura composita serraglia - scogliera	Diga di 1° fase	50 anni	Coef rifless. a = 40% tratto struttura composita a = 70% tratto cassoni verticali
1° Fase	**Dimensionamento idraulico** Definizione della tracimazione limite in condizioni operative **Dimensionamento strutturale** definizione dei carichi sullo scanno di imbasamento previa posa cassoni	- Struttura composita cassoni tipo A – scogliera - Struttura composita serraglia – scogliera - Cassoni tipo B, C e D/E - Scanno d'imbasamento	Diga di 1° fase	1 anno	Coef rifless. a = 40% tratto struttura composita a = 70% tratto cassoni verticali

8.3.2. Simulazioni e risultati ottenuti: onde estreme per il dimensionamento idraulico e strutturale

Le simulazioni effettuate con il modello matematico hanno riguardato eventi di moto ondoso provenienti dal 1° e 2° quadrante ed in particolare si è fatto riferimento alle direzioni d'onda di 90°, 105°, 125°, 150°, 165 e/o 170°N individuate come significative dall'analisi di propagazione dal largo alla diga effettuata con il modello matematico SWAN e presentata nel precedente capitolo.

Da Tab. 8.3 a Tab. 8.4 si riportano le caratteristiche del moto ondoso imposte al contorno del dominio PHAROS estrapolate dai risultati del modello SWAN per i tempi di ritorno di interesse per la progettazione delle opere della diga foranea, sia in configurazione da P.R.P (Tr=250 anni e Tr=1 anno) che in configurazione di 1° fase (Tr=50 anni e Tr=1 anno).

TAB. 8.2 - CARATTERISTICHE DEL MOTO ONDOSO ESTREMO CONSIDERATE PER LE SIMULAZIONI CON IL MODELLO PHAROS– TR=250 ANNI

TR=250 anni					
Al largo (Punto UKMO)			Al contorno del dominio PHAROS (risultanti dal modello SWAN)		
Dir (°N)	*Hs (m)*	*Tp (s)*	*Dir (°N)*	*Hs (m)*	*Tp (s)*
70	4,1	9,8	90	3,75	9,8
100	5,7	11,6	105	6,45	11,6
130	5,7	11,6	125	6,75	11,6
160	5,9	11,8	150	5,85	11,8
190	7,1	13,0	165	4,75	13,0

TAB. 8.3 - CARATTERISTICHE DEL MOTO ONDOSO ESTREMO CONSIDERATE PER LE SIMULAZIONI CON IL MODELLO PHAROS – TR=50 ANNI

TR=50 anni					
Al largo (Punto UKMO)			Al contorno del dominio PHAROS (risultanti dal modello SWAN)		
Dir (°N)	*Hs (m)*	*Tp (s)*	*Dir (°N)*	*Hs (m)*	*Tp (s)*
70	3,3	8,8	90	2,90	8,8
100	4,6	10,4	105	4,90	10,4
130	4,6	10,4	125	5,30	10,4
160	4,7	10,6	150	4,85	10,6
190	6,0	11,9	165	4,00	11,9

TAB. 8.4 - CARATTERISTICHE DEL MOTO ONDOSO FREQUENTI CONSIDERATE PER LE SIMULAZIONI CON IL MODELLO PHAROS– TR=1 ANNO

TR=1 anno					
Al largo (Punto UKMO)			Al contorno del dominio PHAROS (risultanti dal modello SWAN)		
Dir (°N)	*Hs (m)*	*Tp (s)*	*Dir (°N)*	*Hs (m)*	*Tp (s)*
70	1,6	6,2	90	1,25	6,2
100	2,1	7,0	105	1,75	7,0
130	2,1	7,0	125	2,10	7,0
160	2,2	7,2	150	2,15	7,2
190	3,2	8,7	170	2,00	8,7

A titolo rappresentativo al fine di non appesantire la presente relazione sono riportati di seguito nelle figure da Fig. 8.8 a Fig. 8.16 le distribuzioni dell'altezza d'onda con tempo di ritorno 250 anni per la configurazione di diga da PRP e con tempo di 50 anni per la configurazione di diga di 1° fase.

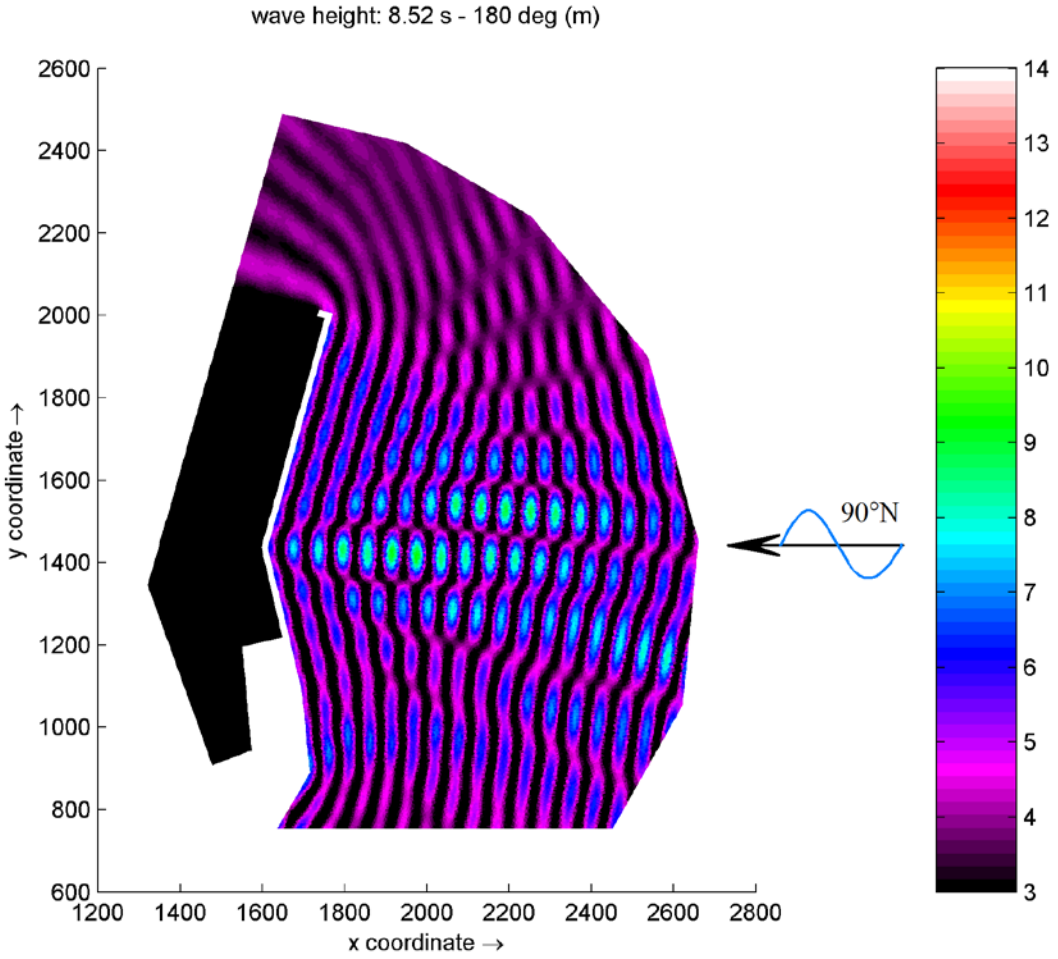


FIG. 8.8 - PROPAGAZIONE DELL'ONDA IN CORRISPONDENZA DELLA NUOVA DIGA FORANEA - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL CONTORNO DEL DOMINIO CON PROVENIENZA 90°N E TR=250 ANNI: HS=3,75 M , TP=9,8 S. CONFIG. DIGA DA P.R.P.

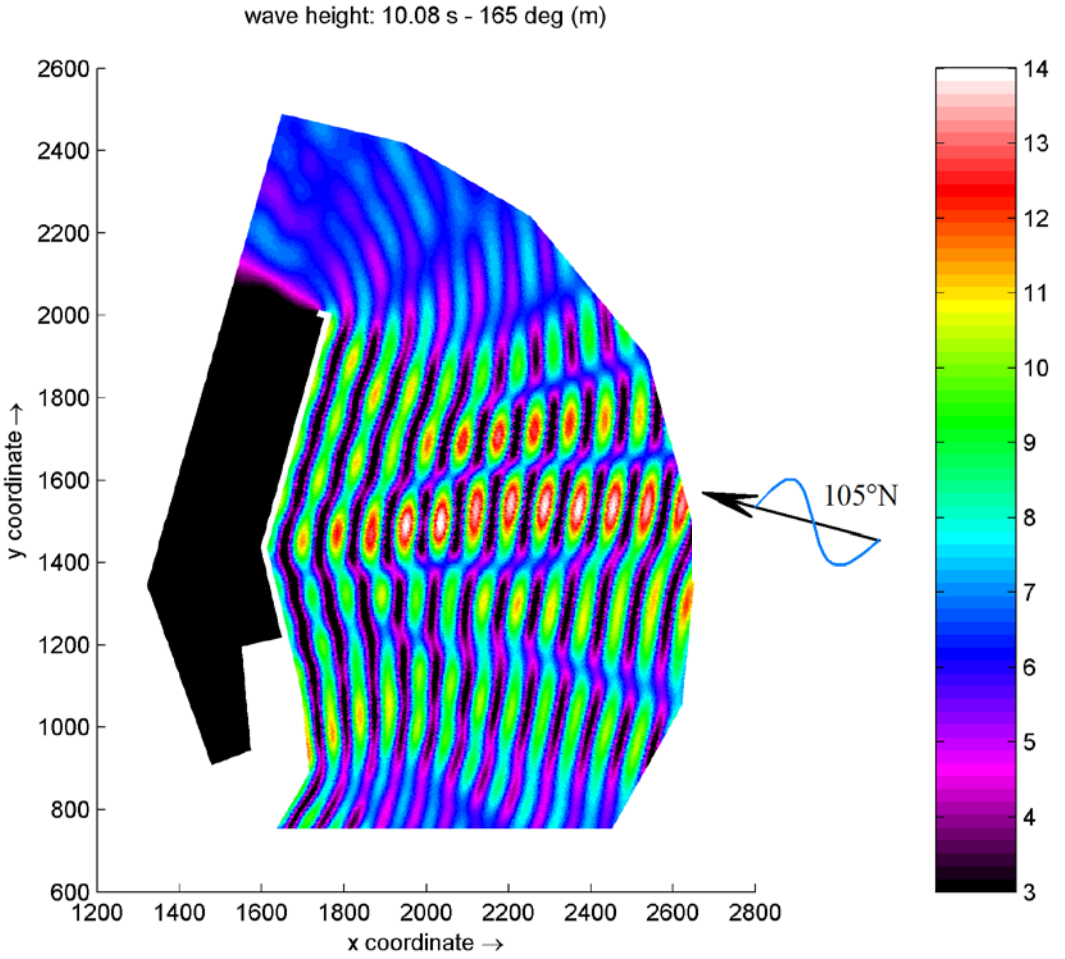


FIG. 8.9 - PROPAGAZIONE DELL'ONDA IN CORRISPONDENZA DELLA NUOVA DIGA FORANEA - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL CONTORNO DEL DOMINIO CON PROVENIENZA 105°N E TR=250 ANNI: HS=6,45 M , TP=11,6 S. CONFIG. DIGA DA P.R.P.

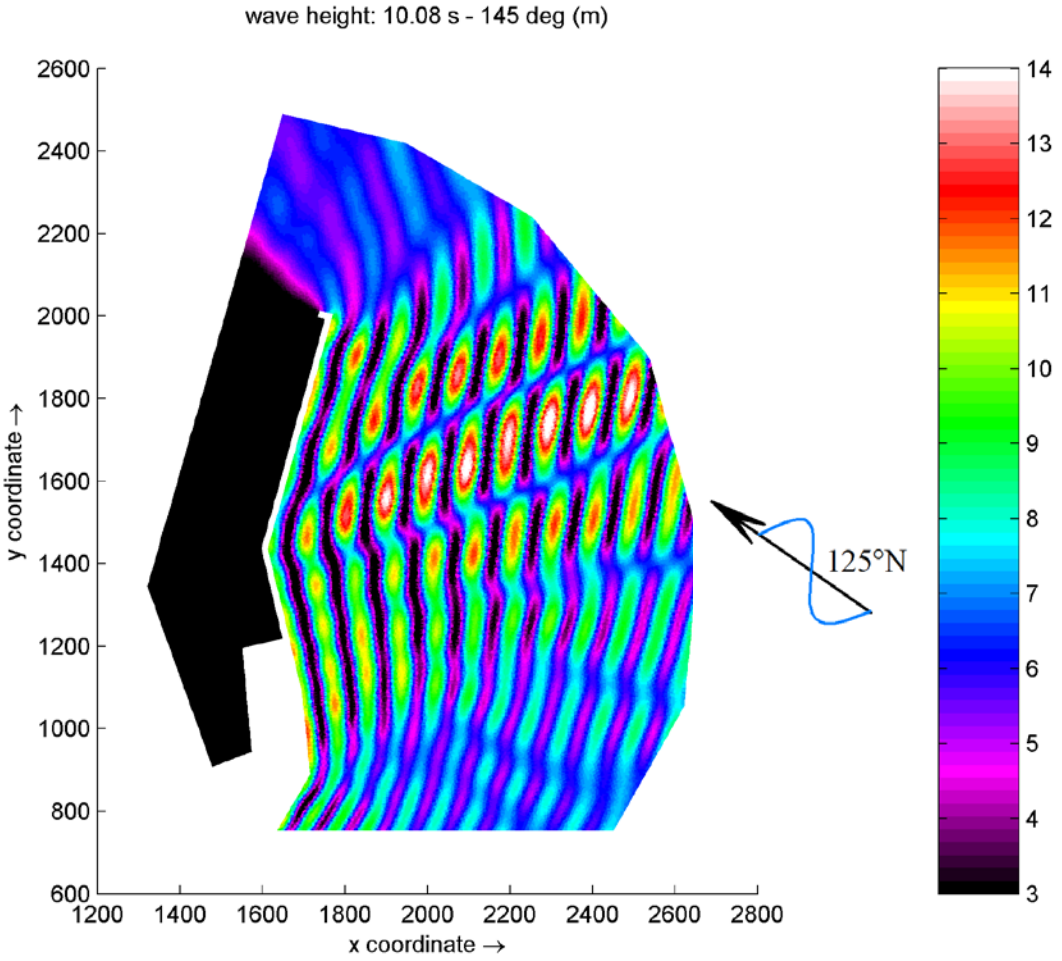


FIG. 8.10 - PROPAGAZIONE DELL'ONDA IN CORRISPONDENZA DELLA NUOVA DIGA FORANEA - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL CONTORNO DEL DOMINIO CON PROVENIENZA 125°N E TR=250 ANNI: HS=6,75 M , TP=11,6 S. CONFIG. DIGA DA P.R.P.

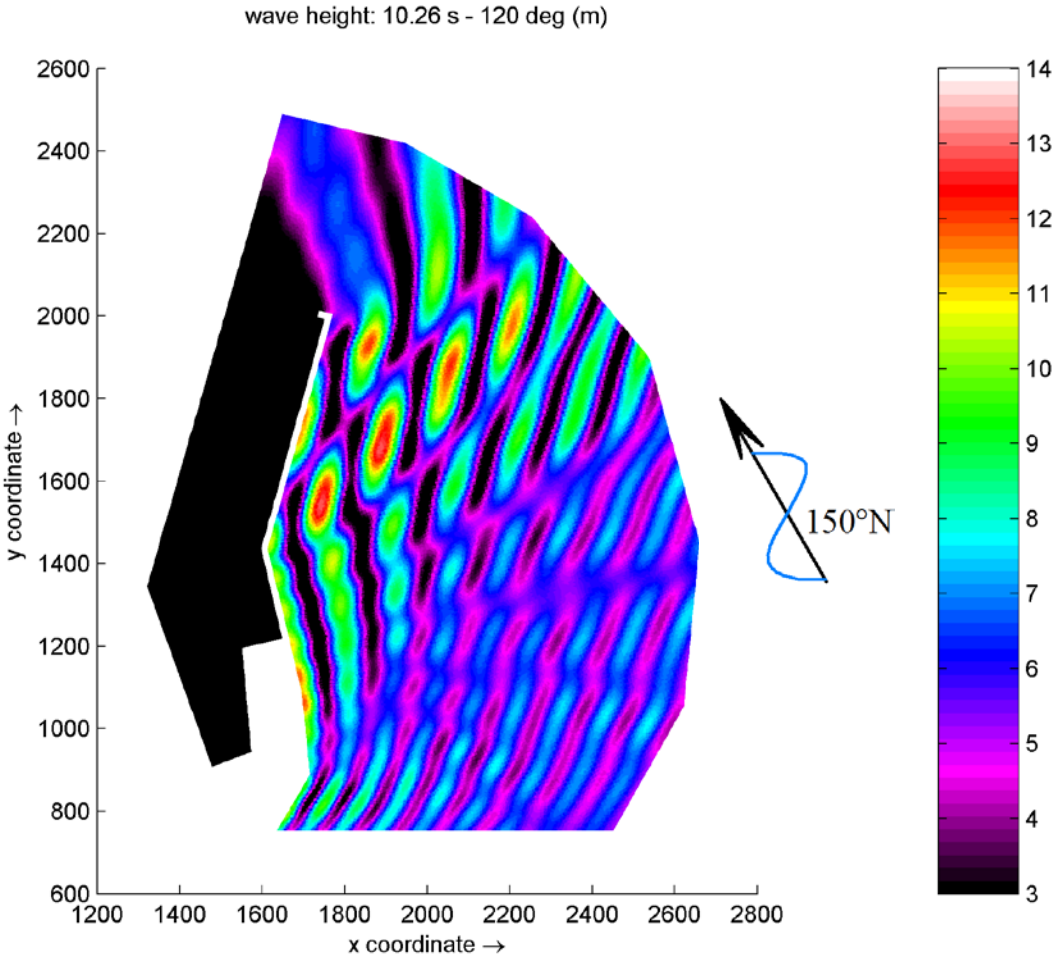


FIG. 8.11 - PROPAGAZIONE DELL'ONDA IN CORRISPONDENZA DELLA NUOVA DIGA FORANEA - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL CONTORNO DEL DOMINIO CON PROVENIENZA 150°N E TR=250 ANNI: HS=5,85 M , TP=11,8 S. CONFIG. DIGA DA P.R.P.

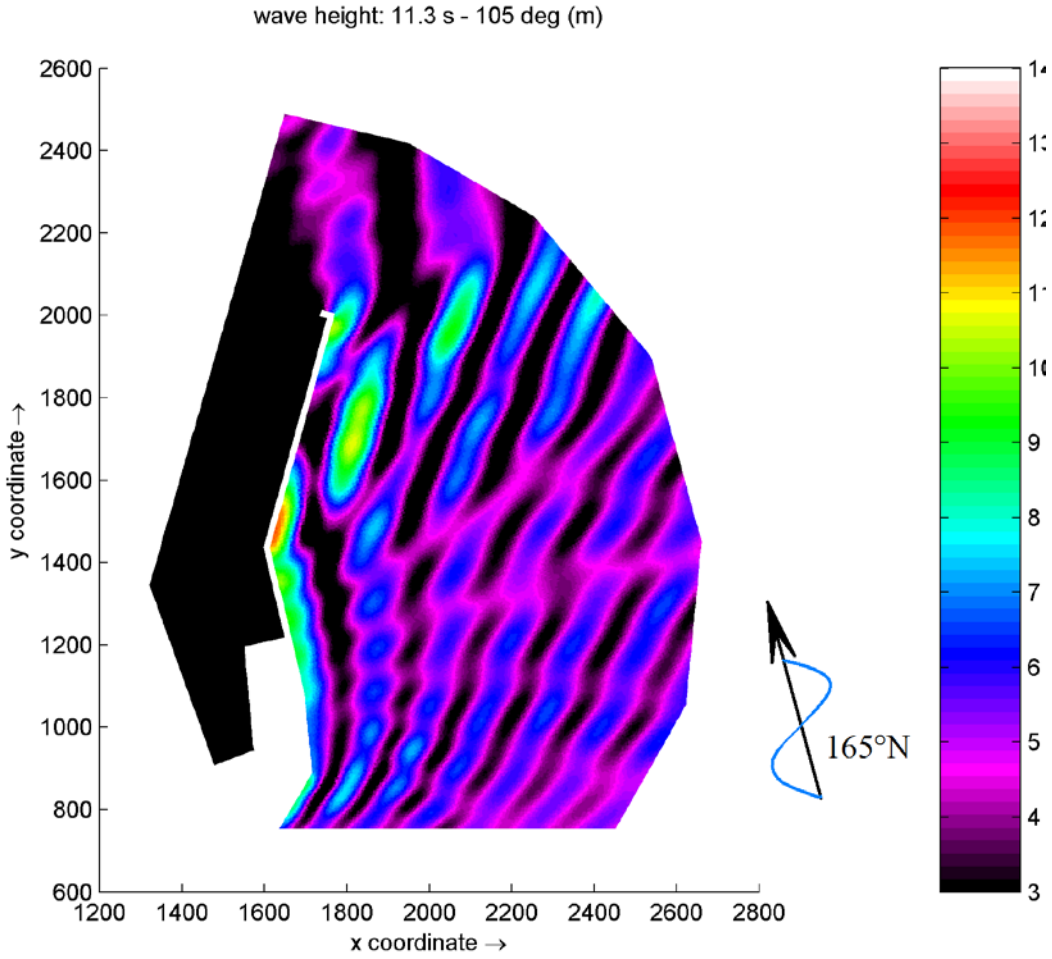


FIG. 8.12 - PROPAGAZIONE DELL'ONDA IN CORRISPONDENZA DELLA NUOVA DIGA FORANEA - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL CONTORNO DEL DOMINIO CON PROVENIENZA 165°N E TR=250 ANNI: HS=4,75 M , TP=13,0 S. CONFIG. DIGA DA P.R.P.

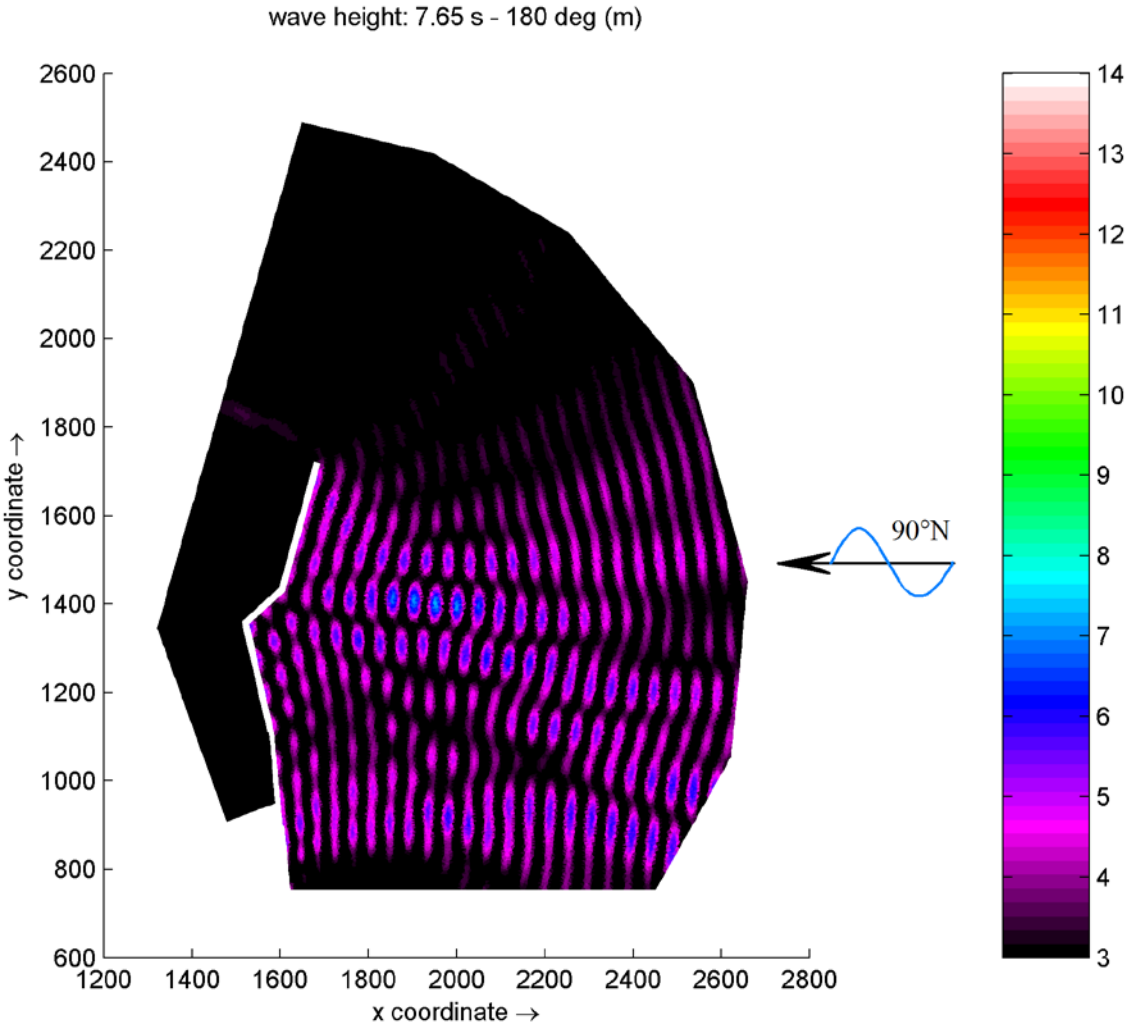


FIG. 8.13 - PROPAGAZIONE DELL'ONDA IN CORRISPONDENZA DELLA NUOVA DIGA FORANEA - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL CONTORNO DEL DOMINIO CON PROVENIENZA 90°N E TR=50 ANNI: HS=2,9 M , TP=8,8 S. CONFIG. DIGA DI 1° FASE

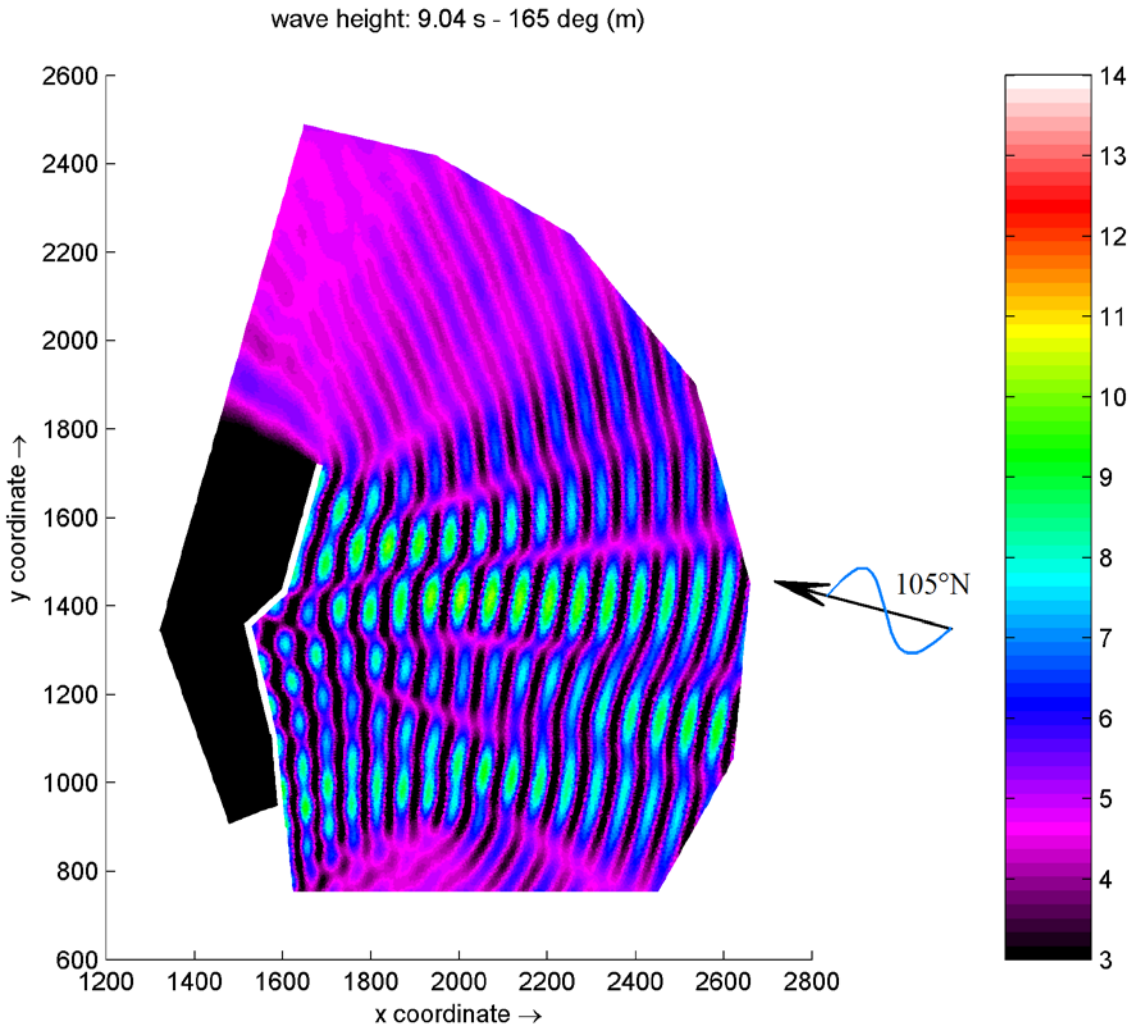


FIG. 8.14 - PROPAGAZIONE DELL'ONDA IN CORRISPONDENZA DELLA NUOVA DIGA FORANEA - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL CONTORNO DEL DOMINIO CON PROVENIENZA 105°N E TR=50 ANNI: HS=4,9 M , TP=10,4 S. CONFIG. DIGA DI 1° FASE.

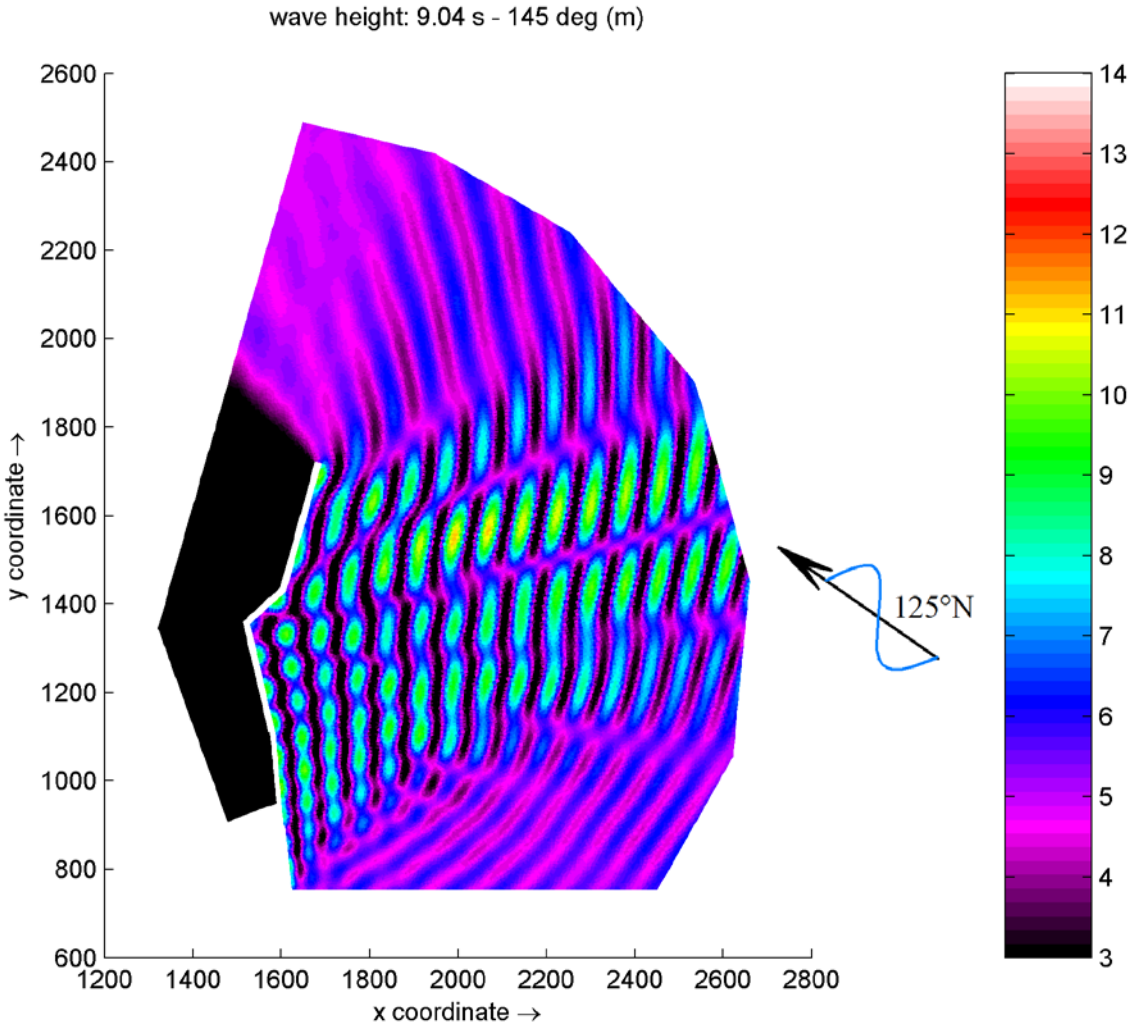


FIG. 8.15 - PROPAGAZIONE DELL'ONDA IN CORRISPONDENZA DELLA NUOVA DIGA FORANEA - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL CONTORNO DEL DOMINIO CON PROVENIENZA 125°N E TR=50 ANNI: HS=5,3 M , TP=10,4 S. CONFIG. DIGA DI 1° FASE.

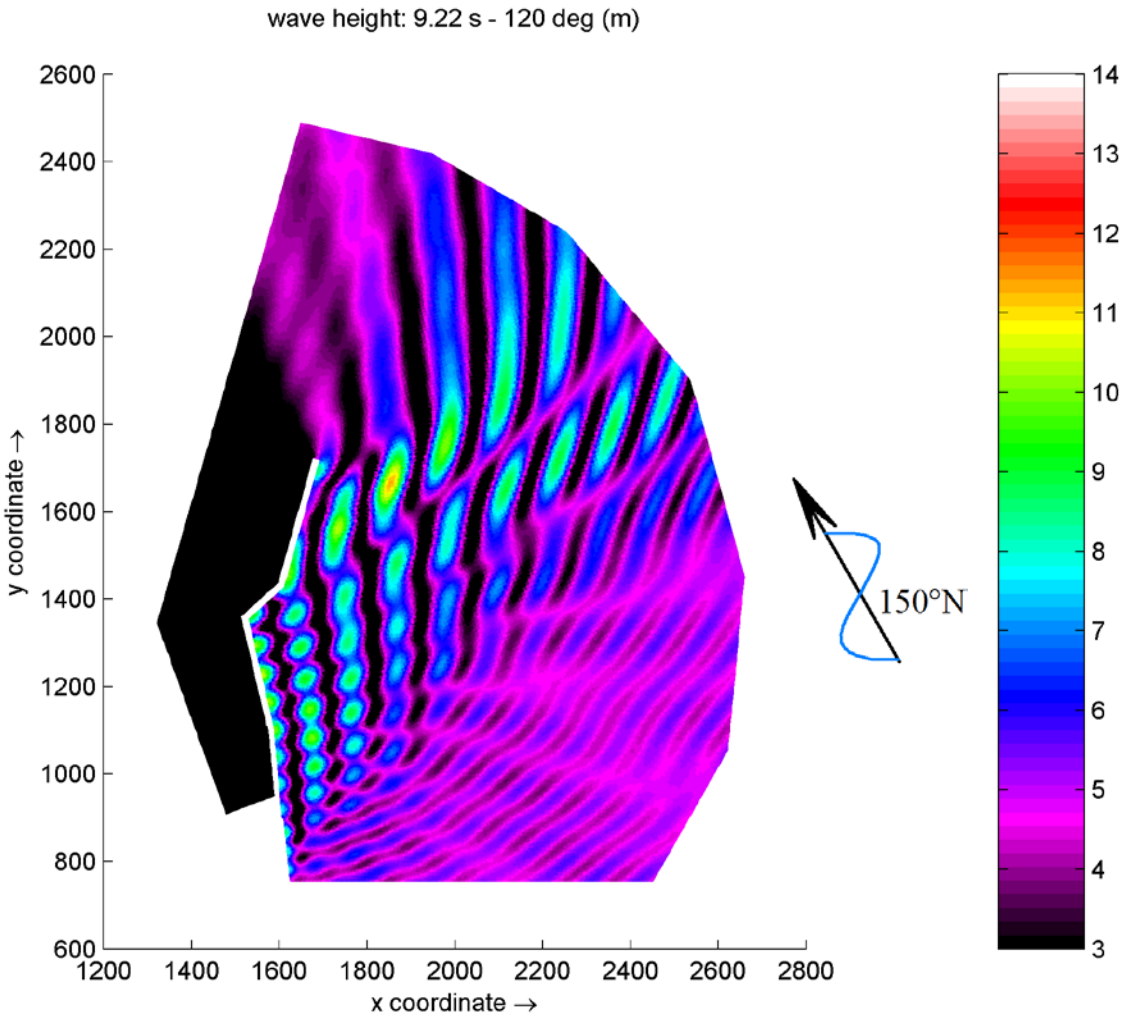


FIG. 8.16 - PROPAGAZIONE DELL'ONDA IN CORRISPONDENZA DELLA NUOVA DIGA FORANEA - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL CONTORNO DEL DOMINIO CON PROVENIENZA 150°N E TR=50 ANNI: HS=4,85 M , TP=10,6 S. CONFIG. DIGA DI 1° FASE.

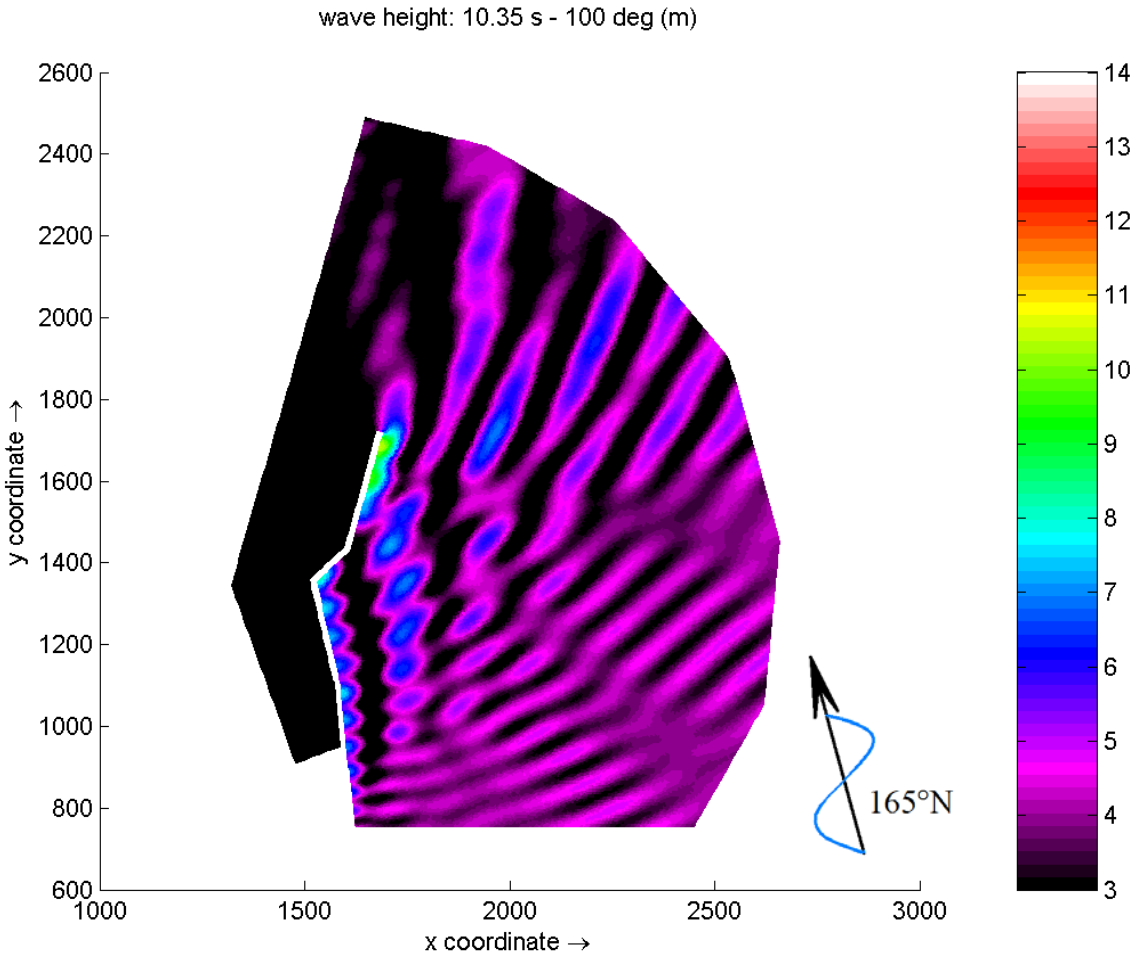


FIG. 8.17 - PROPAGAZIONE DELL'ONDA IN CORRISPONDENZA DELLA NUOVA DIGA FORANEA - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL CONTORNO DEL DOMINIO CON PROVENIENZA 165°N E TR=50 ANNI: HS=4,00 M , TP=11,9 S. CONFIG. DIGA DI 1° FASE

8.4. Piattaforma

8.4.1. Schematizzazione e batimetrie del modello matematico PHAROS

Per il presente studio sono state considerate due diverse schematizzazioni del dominio di calcolo in funzione dello scopo progettuale, come viene più ampiamente presentato nei successivi sottocapitoli.

Una prima schematizzazione (denominata 1) riproduce la configurazione che avranno la piattaforma e la diga foranea una volta in esercizio (Fig. 8.18) e che prevede:

- diga foranea estesa come da P.R.P.
- piattaforma interamente completata

La seconda schematizzazione (denominata 2) riproduce una configurazione di esercizio temporanea per la quale si avranno in opera (Fig. 8.19):

- diga foranea di prima fase, avente un'estensione di 360 m anziché 600 m
- piattaforma interamente completata.

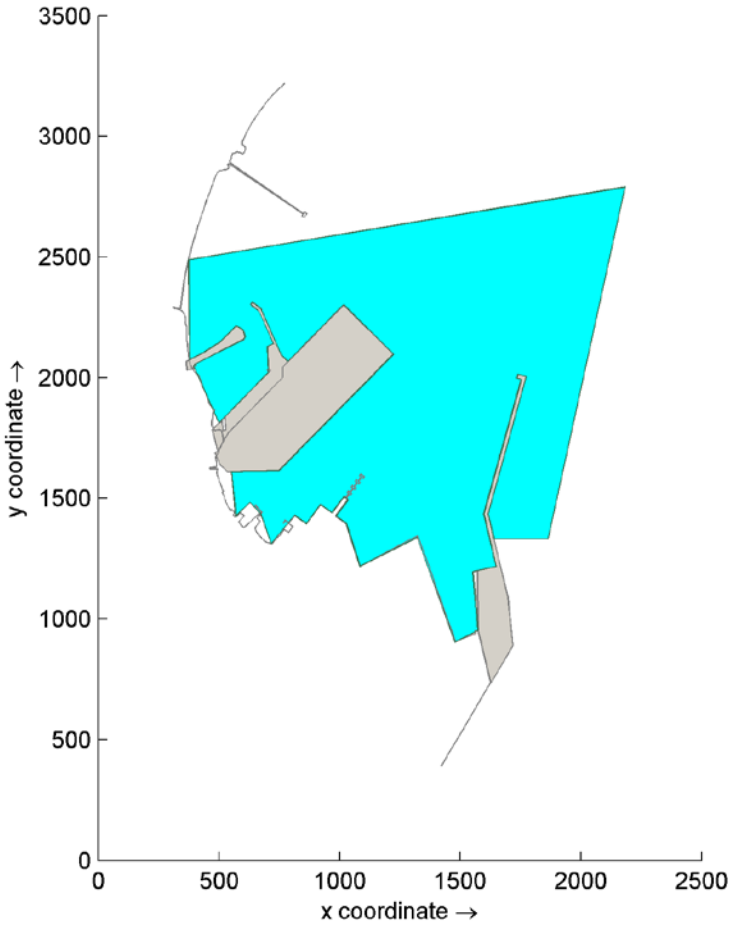


FIG. 8.18 - SCHEMATIZZAZIONE DELLA PIATTAFORMA IN ESERCIZIO CON DIGA DA P.R.P (CONFIGURAZIONE 1)

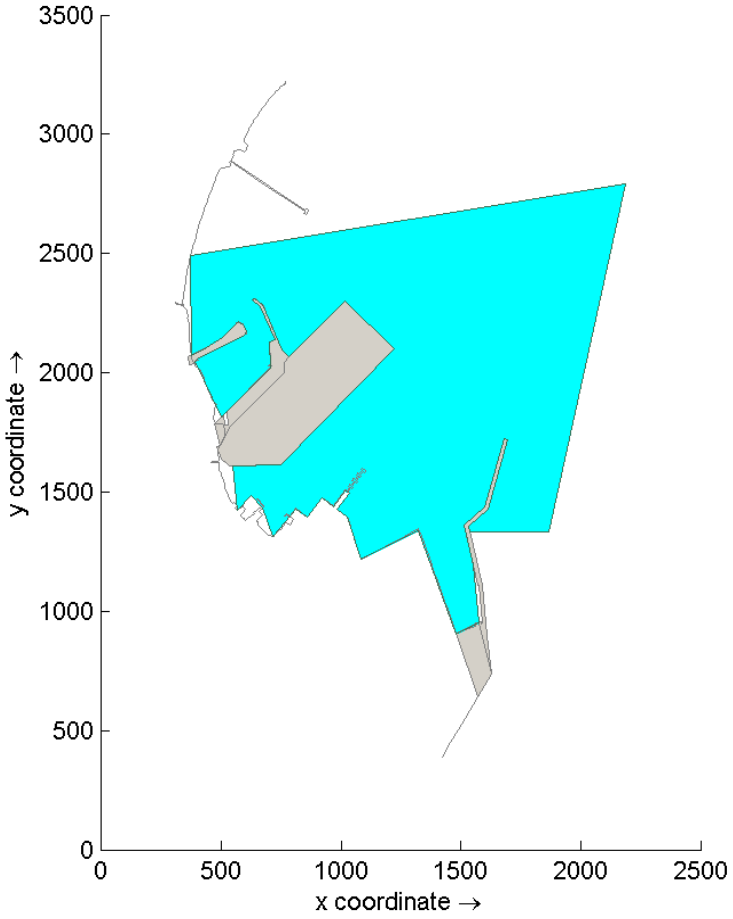


FIG. 8.19 - SCHEMATIZZAZIONE DELLA PIATTAFORMA IN ESERCIZIO CON DIGA DI 1°FASE (CONFIGURAZIONE 2)

In entrambe le schematizzazioni, il dominio di calcolo del modello ha compreso tutta l'area del bacino portuale di Vado Ligure ed ha incluso una fascia costiera sufficientemente ampia rispetto alle nuove opere al fine di evitare possibili effetti di bordo nelle simulazioni.

Il contorno del dominio di calcolo è stato definito attraverso una successione di elementi rettilinei adiacenti, che vengono caratterizzati ciascuno in fase di input del modello da un proprio coefficiente di riflessione e da un angolo di attacco stimato (entrambi vengono poi aggiustati dal modello in fase di simulazione, qualora l'angolo di attacco imposto come input dovesse differire da quello effettivo calcolato dal modello).

A seconda del fine progettuale si sono assegnati due di versi valori del coefficiente di riflessione in corrispondenza della piattaforma. Per il dimensionamento delle strutture si è associato alle banchine della piattaforma un coefficiente di riflessione nullo in modo da ottenere, in corrispondenza delle stesse, il valore dell'onda incidente (configurazioni 1A e 2A), mentre per lo studio dell'agitazione ondosa all'interno del bacino si è associato al contorno della piattaforma l'effettivo coefficiente di riflessione (configurazioni 1B e 2B).

Le diverse configurazioni del boundary del modello, con l'indicazione dei coefficienti di riflessione adottati, sono mostrate nelle Fig. 8.20, Fig. 8.21, Fig. 8.22 e Fig. 8.23.

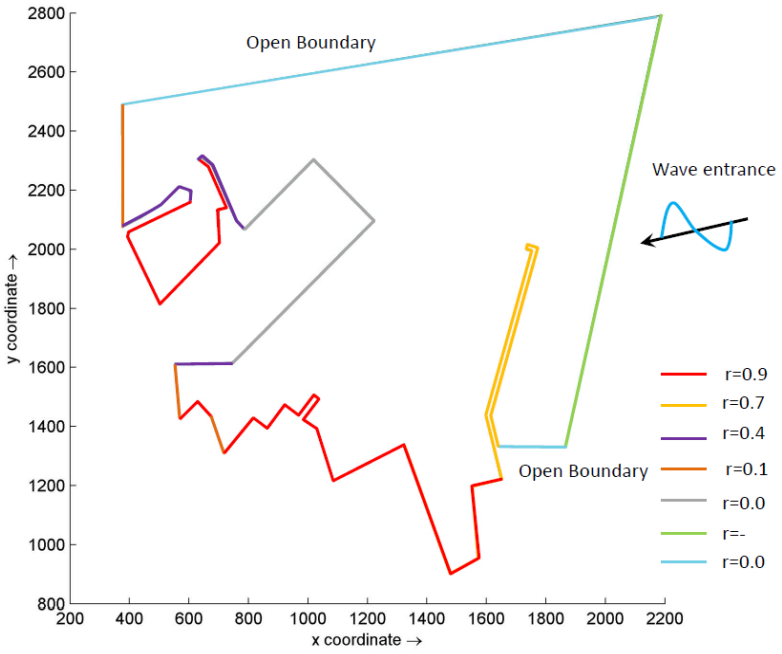


FIG. 8.20 - COEFFICIENTI DI RIFLESSIONE CONSIDERATI NEL MODELLO MATEMATICO DI PROPAGAZIONE DELLE ONDE PHAROS PER LA CONFIGURAZIONE 1A

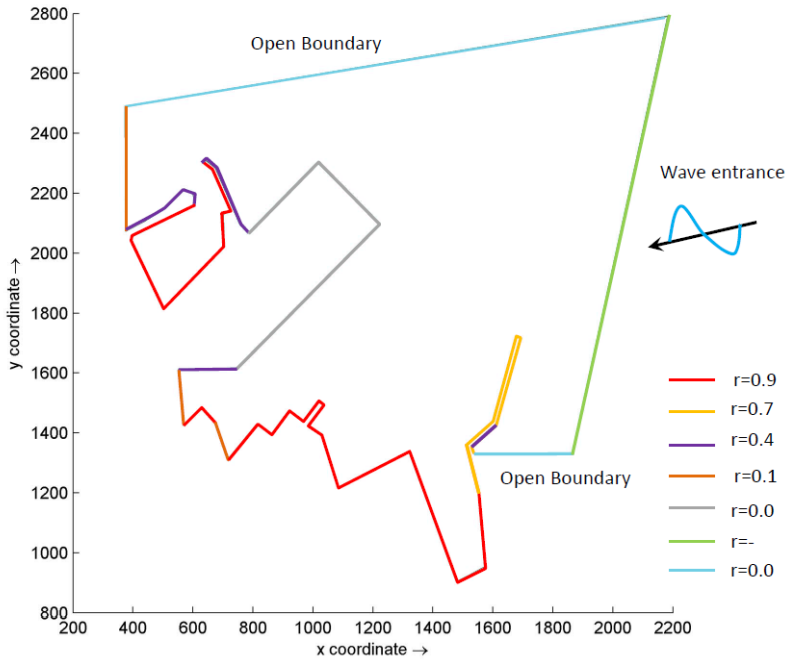


FIG. 8.21 - COEFFICIENTI DI RIFLESSIONE CONSIDERATI NEL MODELLO MATEMATICO DI PROPAGAZIONE DELLE ONDE PHAROS PER LA CONFIGURAZIONE 2A

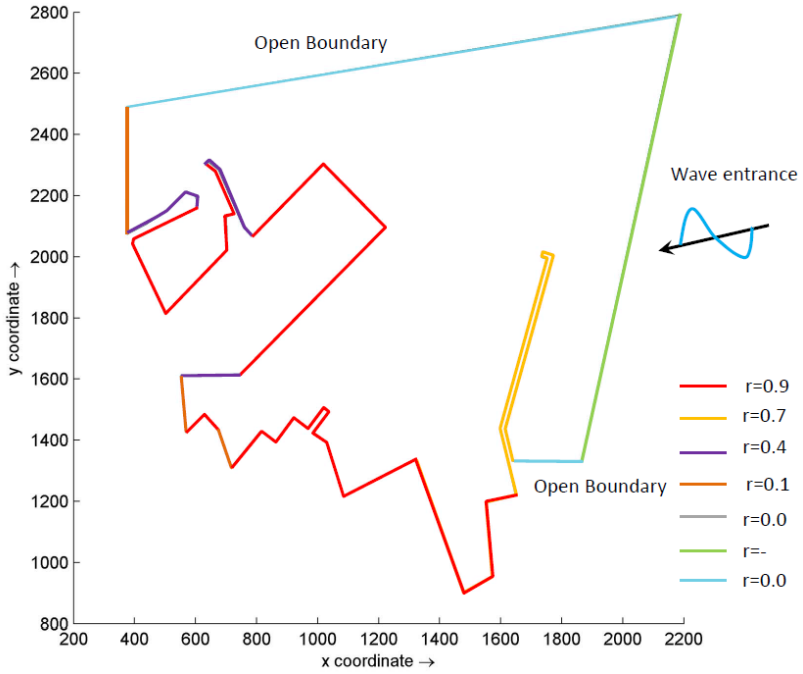


FIG. 8.22 - COEFFICIENTI DI RIFLESSIONE CONSIDERATI NEL MODELLO MATEMATICO DI PROPAGAZIONE DELLE ONDE PHAROS PER LA CONFIGURAZIONE 1B

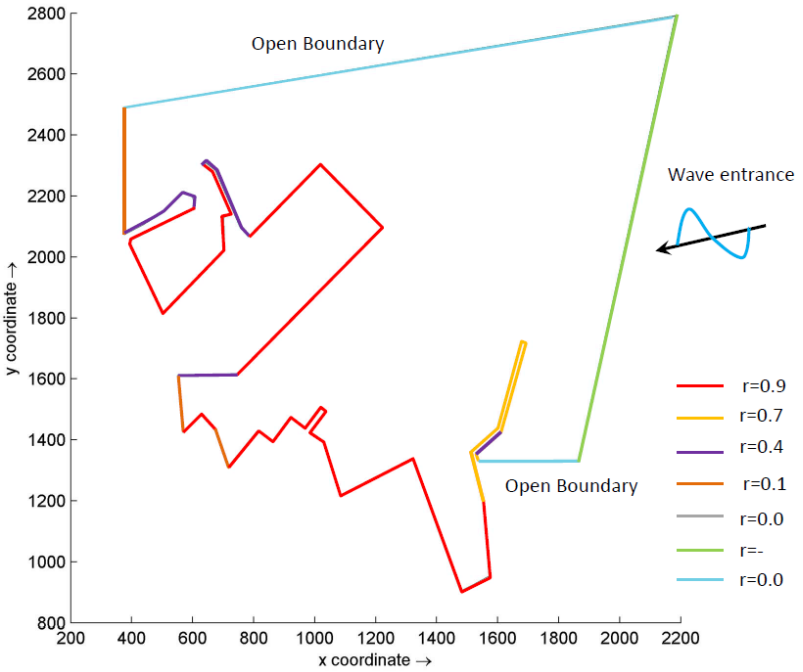


FIG. 8.23 - COEFFICIENTI DI RIFLESSIONE CONSIDERATI NEL MODELLO MATEMATICO DI PROPAGAZIONE DELLE ONDE PHAROS PER LA CONFIGURAZIONE 2B

L'applicazione del modello PHAROS ha comportato la creazione di una serie di griglie di calcolo a maglie triangolari non uniformi le cui dimensioni sono funzione del periodo di riferimento dell'onda incidente oggetto di analisi e della profondità. In questo modello, infatti, le dimensioni delle celle di calcolo sono state definite in modo tale da avere una risoluzione spaziale in tutta l'area del modello idonea a rappresentare il campo di moto ondoso e quindi in grado di garantire almeno 8 punti di controllo per lunghezza d'onda. Poiché la lunghezza di un'onda varia sia in funzione del periodo dell'onda incidente che della batimetria locale dei fondali, sono state generate diverse griglie di calcolo in funzione del caso considerato.

Per la definizione delle batimetrie nelle aree non interessate dalla piattaforma è stato fatto riferimento a:

- i rilievi batimetrici fatti condurre dall'Autorità Portuale di Savona delle aree della piattaforma, delle aree prospicienti la diga foranea e del litorale (rilievi batimetrici del Febbraio 2006, Agosto 2008, Aprile 2010).
- le batimetrie d'insieme desunte dalla carta Nautica 1:30.000 del Litorale di Savona.

Le batimetrie riprodotte per entrambe le configurazioni della diga foranea e un dettaglio della griglia di calcolo in corrispondenza della piattaforma sono presentati nelleFig. 8.24, Fig. 8.25, Fig. 8.26.

I fondali considerati fanno riferimento al l.m.m.. Considerato che l'entità dell'escursione del livello del mare e delle correnti indotte sono modesti si è ritenuto per la propagazione delle onde verso le nuove opere (ai fini del loro dimensionamento) di considerare come livello di riferimento il l.m.m. e di non considerare l'interazione onde-correnti.

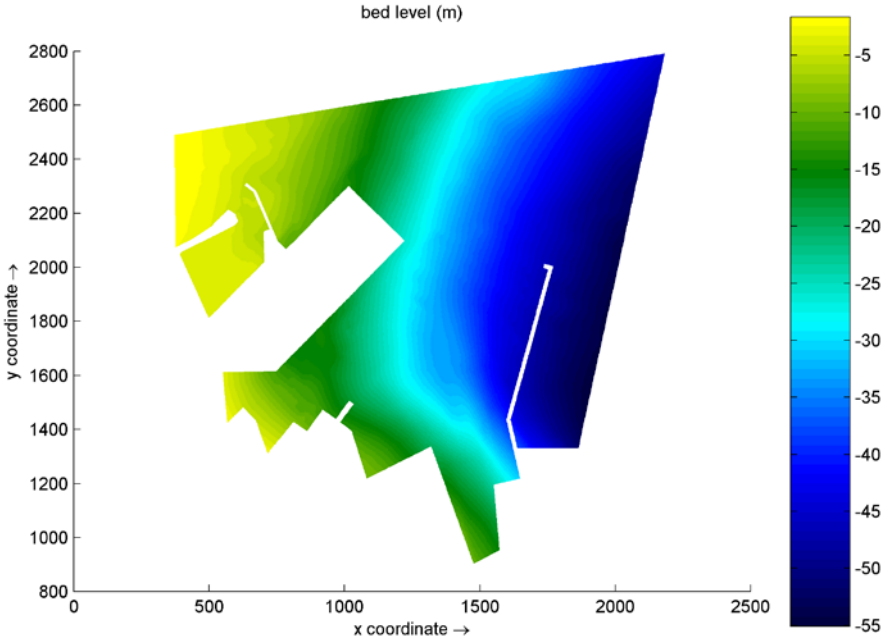


FIG. 8.24 - BATIMETRIE RIPRODOTTE SUL MODELLO - PIATTAFORMA CON DIGA DA P.R.P.

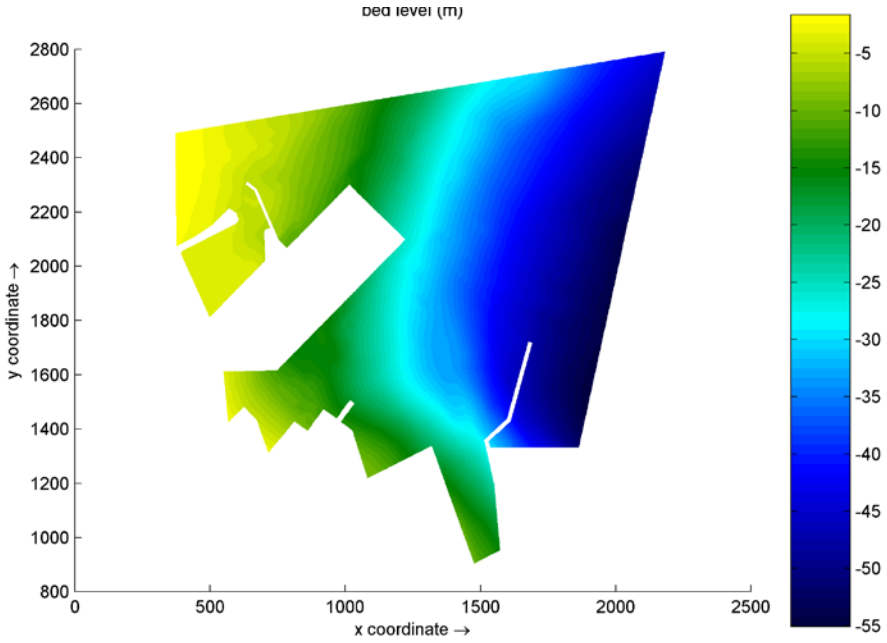


FIG. 8.25 - BATIMETRIE RIPRODOTTE SUL MODELLO - PIATTAFORMA CON DIGA DI 1° FASE

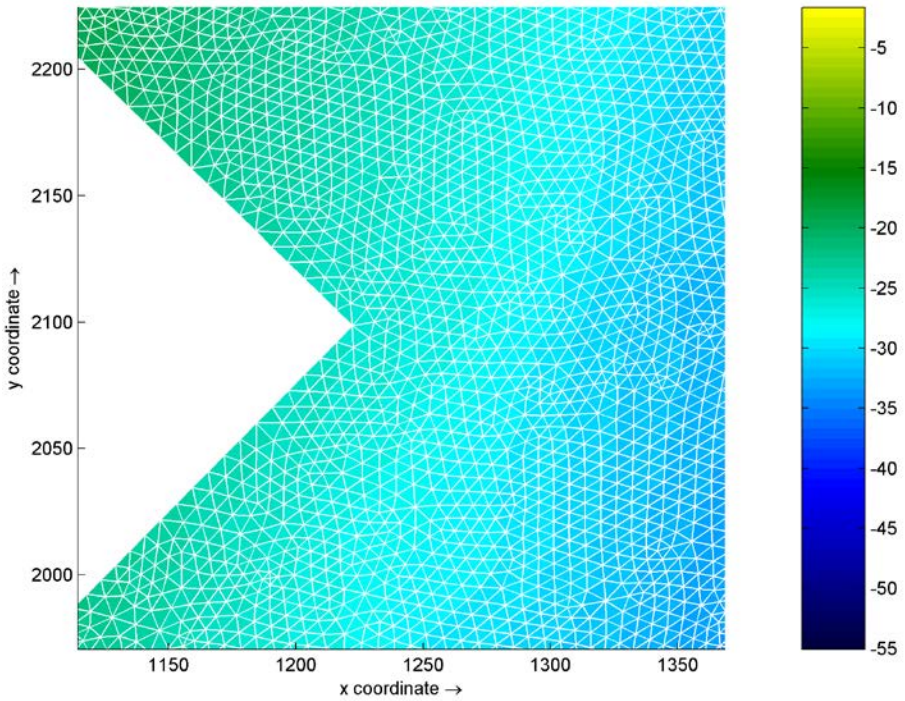


FIG. 8.26 - DETTAGLIO DELLA GRIGLIA DI CALCOLO USATA DAL MODELLO PHAROS

La

Tab. 8.5 riassume le diverse configurazioni e i tempi di ritorno delle condizioni di moto ondoso associate ad ogni serie di simulazioni. Nei seguenti paragrafi vengono presentate le caratteristiche del moto ondoso associate agli eventi estremi e a quelli frequenti e i risultati delle simulazioni in termini di distribuzione del moto ondoso in corrispondenza delle opere.

Infine per quanto riguardano i valori caratteristici delle onde di progetto associati ad ogni opera si rimanda al capitolo successivo.

TAB. 8.5 - CONFIGURAZIONI SIMULATE CON IL MODELLO PHAROS – PIATTAFORMA

Config.	Scopo progettuale	Opera	Schematizzazione	T_R	Coeff. Riflessione opere piattaforma
1A	**Dimensionamento strutturale** definizione dei carichi sulle opere in scogliera	- Scogliera alla radice della piattaforma	- diga foranea estesa come da P.R.P - piattaforma ultimata	100 anni	a = 0%
1A	**Dimensionamento strutturale** - definizione dei carichi sulle opere - definizione della tracimazione limite sui cassoni di banchina in condizioni estreme	- Cassoni - Protezione dei fondali lungo tutto il perimetro della piattaforma	- diga foranea estesa come da P.R.P - piattaforma ultimata	250 anni	a = 0%
1A	**Dimensionamento idraulico** Definizione della tracimazione limite in condizioni operative	- Cassoni	- diga foranea estesa come da P.R.P - piattaforma ultimata	1 anno	*a=0%*
1B	**Valutazione dell'agitazione ondosa interna al bacino**	-	- diga foranea estesa come da P.R.P - piattaforma ultimata	1 anno	*a=90%*
2A	**Dimensionamento strutturale** - definizione dei carichi sulle opere - definizione della tracimazione limite sui cassoni di banchina in condizioni estreme	- Cassoni - Protezione dei fondali lungo tutto il perimetro della piattaforma	- diga foranea di 1° fase - piattaforma ultimata	50 anni	a = 0%
2A	**Dimensionamento idraulico** Definizione della tracimazione limite sui cassoni di banchina in condizioni operative	- Cassoni	- diga foranea di 1° fase - piattaforma ultimata	1 anno	*a=0%*
2B	**Valutazione dell'agitazione ondosa interna al bacino**	-	- diga foranea di 1° fase - piattaforma ultimata	1 anno	*a=90%*

8.4.2. Simulazioni e risultati ottenuti – onde estreme per il dimensionamento idraulico e strutturale

Le simulazioni effettuate con il modello matematico hanno riguardato eventi estremi di moto ondoso (d'interesse per il dimensionamento) caratterizzati da altezze d'onda significative relative ai tempi di ritorno di 50 anni, 100 anni e 250 anni, ed eventi di moto ondoso con tempo di ritorno 1 anno (di interesse per le valutazioni di tracimazione dell'opera) provenienti dal 1° e 2° quadrante. Si è fatto riferimento in particolare alle direzioni d'onda di 90°, 105°, 125°, 150° e 165 o 170°N, estratte dai risultati delle propagazioni dal largo alla diga effettuate con il modello SWAN (cap.7). Le caratteristiche delle condizioni ondose utilizzate come input nel modello PHAROS sono riassunte nella seguente tabella.

TAB. 8.6 - CARATTERISTICHE DEL MOTO ONDOSO ESTREMO CONSIDERATE COME INPUT PER LE SIMULAZIONI CON IL MODELLO PHAROS – TR=1 ANNO

TR=1 anno					
Al largo (Punto UKMO)			Al contorno del dominio PHAROS (risultanti dal modello SWAN)		
Dir (°N)	*Hs (m)*	*Tp (s)*	*Dir (°N)*	*Hs (m)*	*Tp (s)*
70	1,6	6,2	90	1,20	6,2
100	2,1	7,0	105	1,75	7,0
130	2,1	7,0	125	2,10	7,0
160	2,2	7,2	150	2,10	7,2
190	3,2	8,7	170	2,00	8,7

TAB. 8.7 - CARATTERISTICHE DEL MOTO ONDOSO ESTREMO CONSIDERATE COME INPUT PER LE SIMULAZIONI CON IL MODELLO PHAROS – TR=50 ANNI

TR=50 anni					
Al largo (Punto UKMO)			Al contorno del dominio PHAROS (risultanti dal modello SWAN)		
Dir (°N)	*Hs (m)*	*Tp (s)*	*Dir (°N)*	*Hs (m)*	*Tp (s)*
70	3,3	8,8	90	2,8	8,8
100	4,6	10,4	105	4,7	10,4
130	4,6	10,4	125	5,1	10,4
160	4,7	10,6	150	4,3	10,6
190	6,0	11,9	165	3,7	11,9

TAB. 8.8 - CARATTERISTICHE DEL MOTO ONDOSO ESTREMO CONSIDERATE COME INPUT PER LE SIMULAZIONI CON IL MODELLO PHAROS – TR=100 ANNI

TR=100 anni					
Al largo (Punto UKMO)			Al contorno del dominio PHAROS (risultanti dal modello SWAN)		
Dir (°N)	*Hs (m)*	*Tp (s)*	*Dir (°N)*	*Hs (m)*	*Tp (s)*
70	3,6	9,2	90	3,10	9,2
100	5,0	10,9	105	5,25	10,9
130	5,0	10,9	125	5,55	10,9
160	5,2	11,1	150	4,70	11,1
190	6,5	12,4	165	4,00	12,4

TAB. 8.9 - CARATTERISTICHE DEL MOTO ONDOSO ESTREMO CONSIDERATE PER LE SIMULAZIONI CON IL MODELLO PHAROS– TR=250 ANNI

TR=250 anni					
Al largo (Punto UKMO)			Al contorno del dominio PHAROS (risultanti dal modello SWAN)		
Dir (°N)	*Hs (m)*	*Tp (s)*	*Dir (°N)*	*Hs (m)*	*Tp (s)*
70	4,1	9,8	90	3,65	9,8
100	5,7	11,6	105	6,00	11,6
130	5,7	11,6	125	6,45	11,6
160	5,9	11,8	150	5,25	11,8
190	7,1	13,0	165	4,30	13,0

A titolo rappresentativo al fine di non appesantire la presente relazione sono riportati di seguito nelle figure da Fig. 8.27 a Fig. 8.36 le distribuzioni dell'altezza d'onda con tempo di ritorno 250 anni per la configurazione di diga da PRP e con tempo di 50 anni per la configurazione di diga di 1° fase.

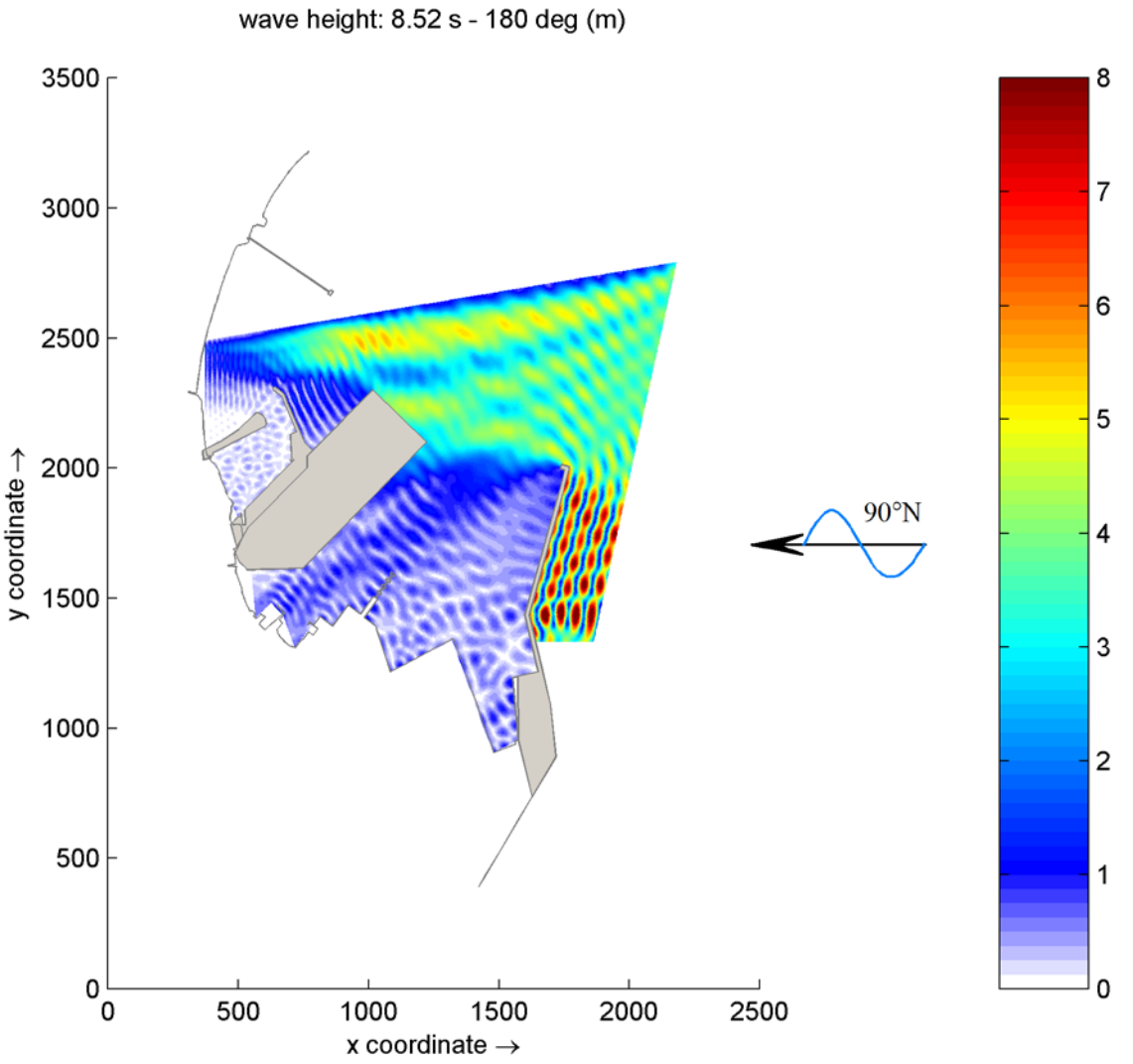


FIG. 8.27 - PROPAGAZIONE DELL'ONDA IN CORRISPONDENZA DELLA NUOVA PIATTAFORMA CON LA DIGA FORANEA DA P.R.P - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL CONTORNO DEL DOMINIO CON PROVENIENZA 90°N E TR=250 ANNI: HS=3,65 M , TP=9,8 S. CONFIGURAZIONE 1A

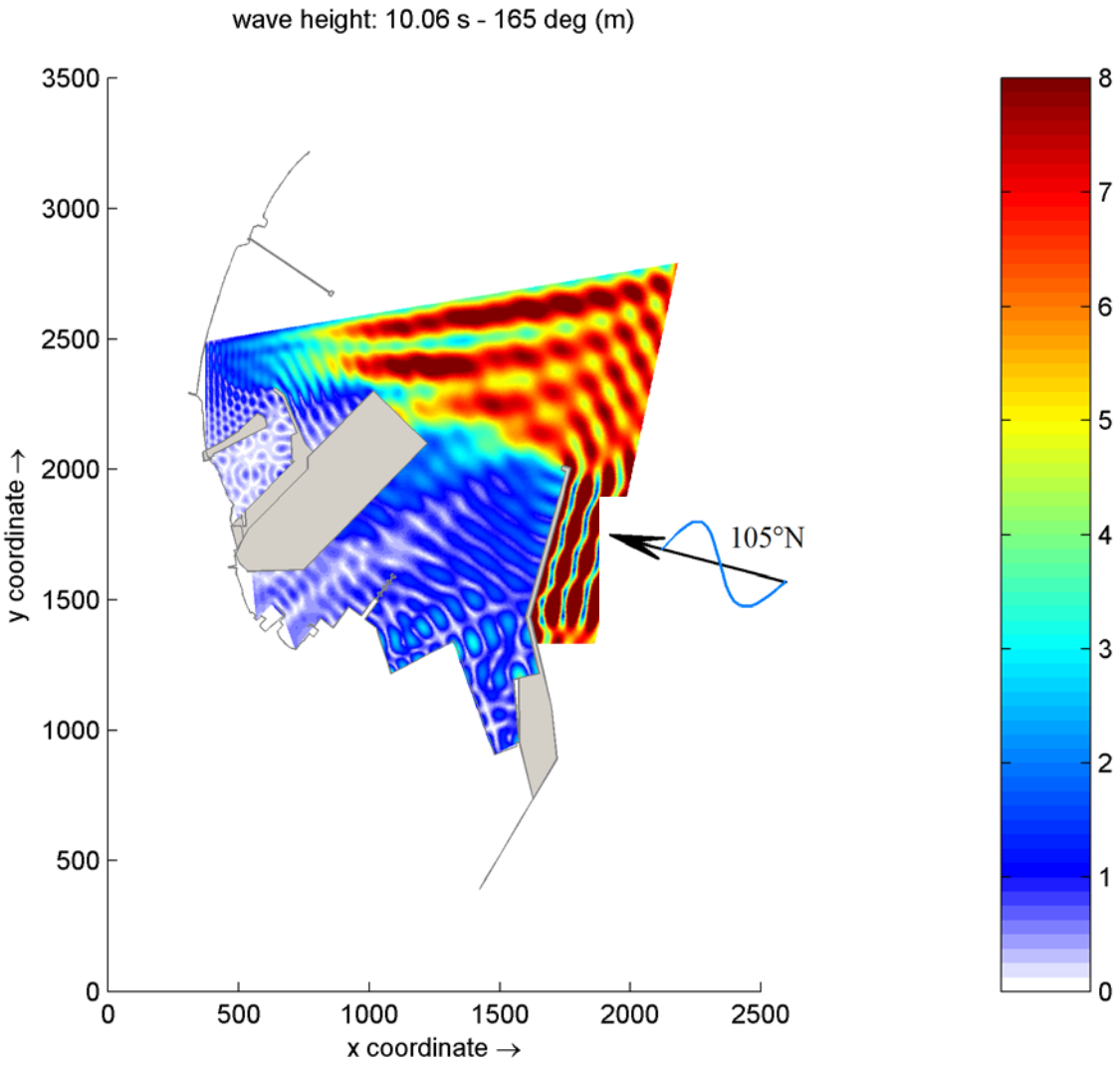


FIG. 8.28 - PROPAGAZIONE DELL'ONDA IN CORRISPONDENZA DELLA NUOVA PIATTAFORMA CON LA DIGA FORANEA DA P.R.P - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL CONTORNO DEL DOMINIO CON PROVENIENZA 105°N E TR=250 ANNI: HS=6,0 M , TP=11,6 S. CONFIGURAZIONE 1A

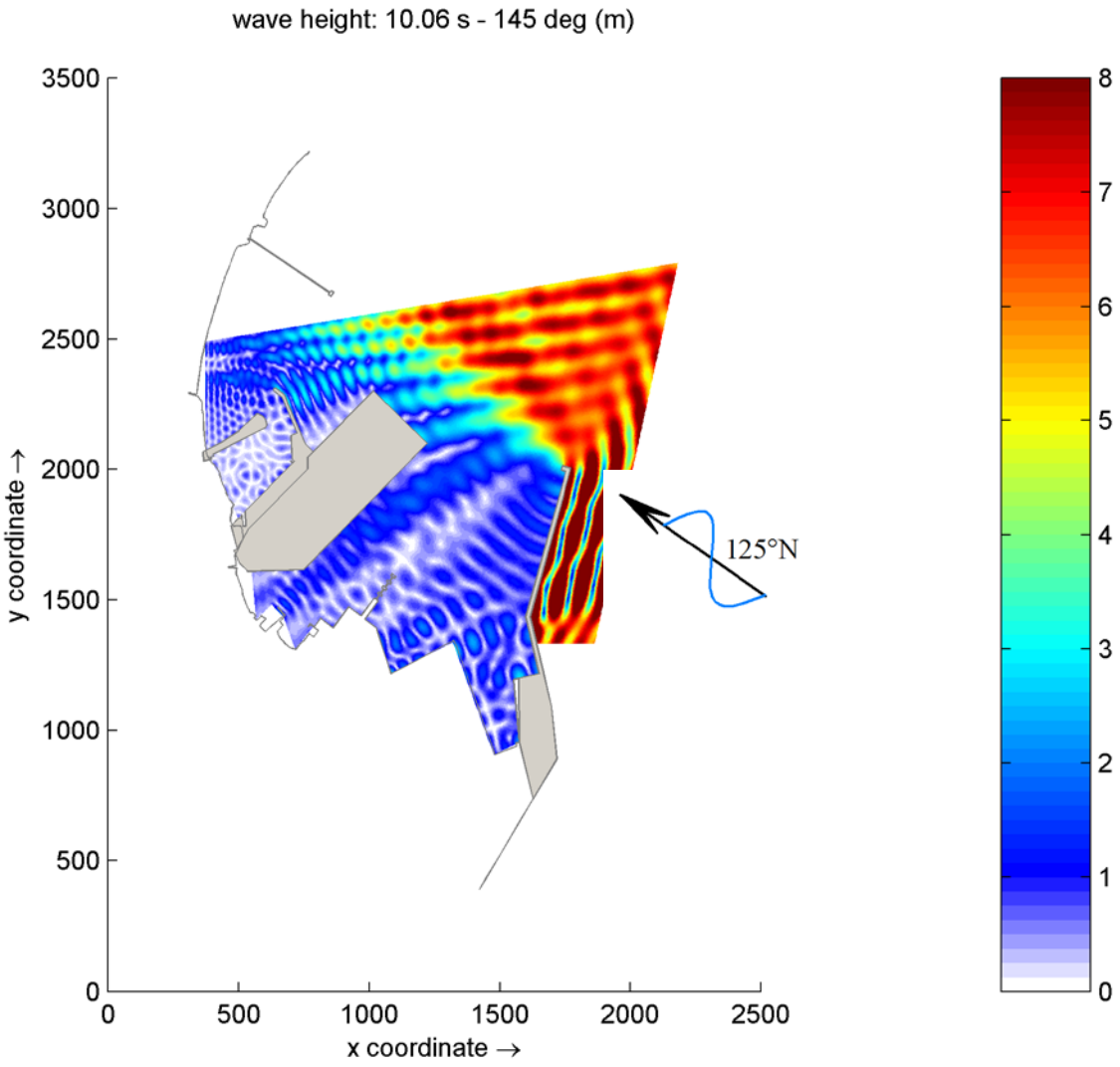


FIG. 8.29 - PROPAGAZIONE DELL'ONDA IN CORRISPONDENZA DELLA NUOVA PIATTAFORMA CON LA DIGA FORANEA DA P.R.P - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL CONTORNO DEL DOMINIO CON PROVENIENZA 125°N E TR=250 ANNI: HS=6,45 M , TP=11,6 S. CONFIGURAZIONE 1A

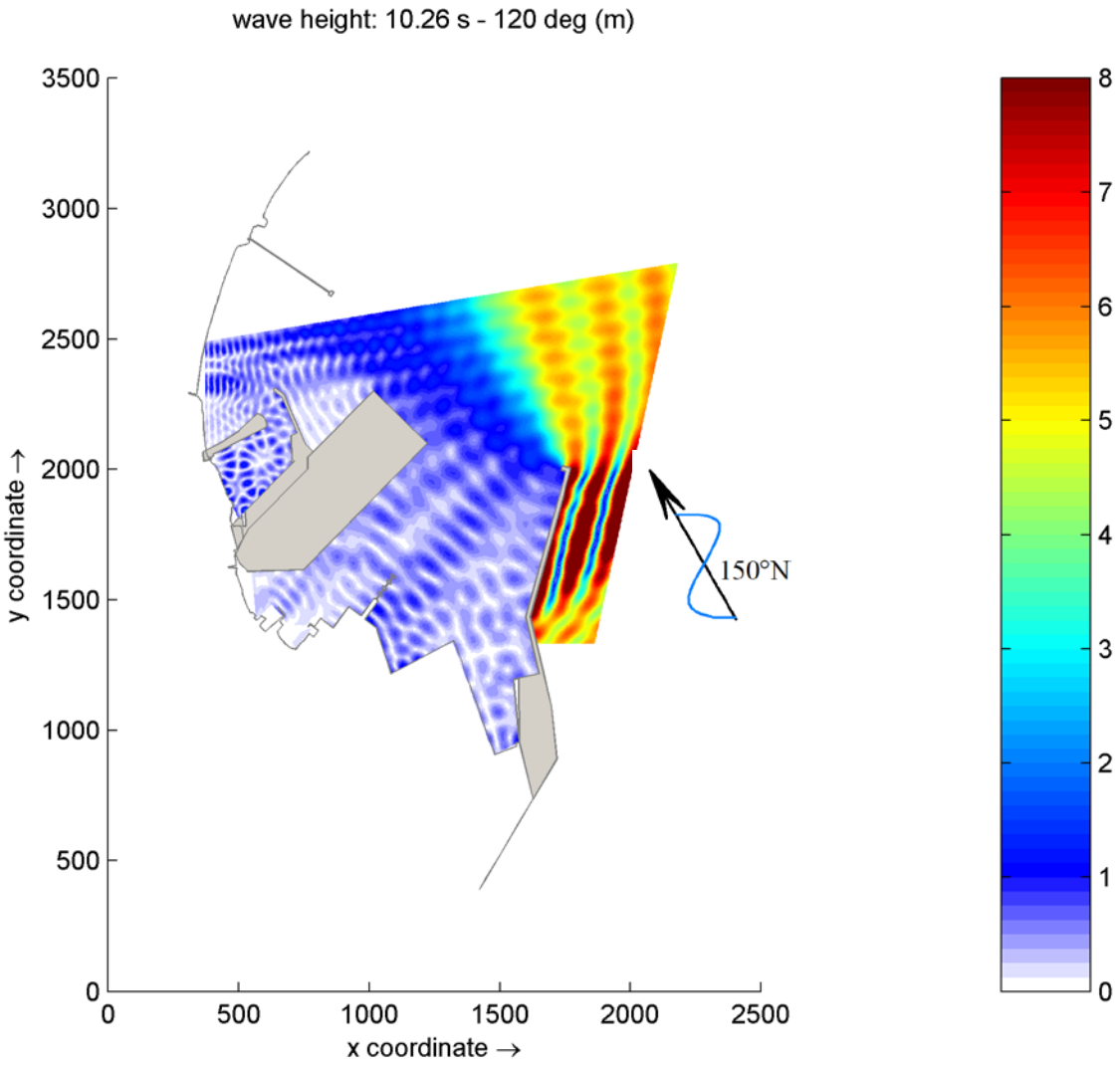


FIG. 8.30 - PROPAGAZIONE DELL'ONDA IN CORRISPONDENZA DELLA NUOVA PIATTAFORMA CON LA DIGA FORANEA DA P.R.P - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL CONTORNO DEL DOMINIO CON PROVENIENZA 150°N E TR=250 ANNI: HS=5,25 M , TP=11,8 S. CONFIGURAZIONE 1A

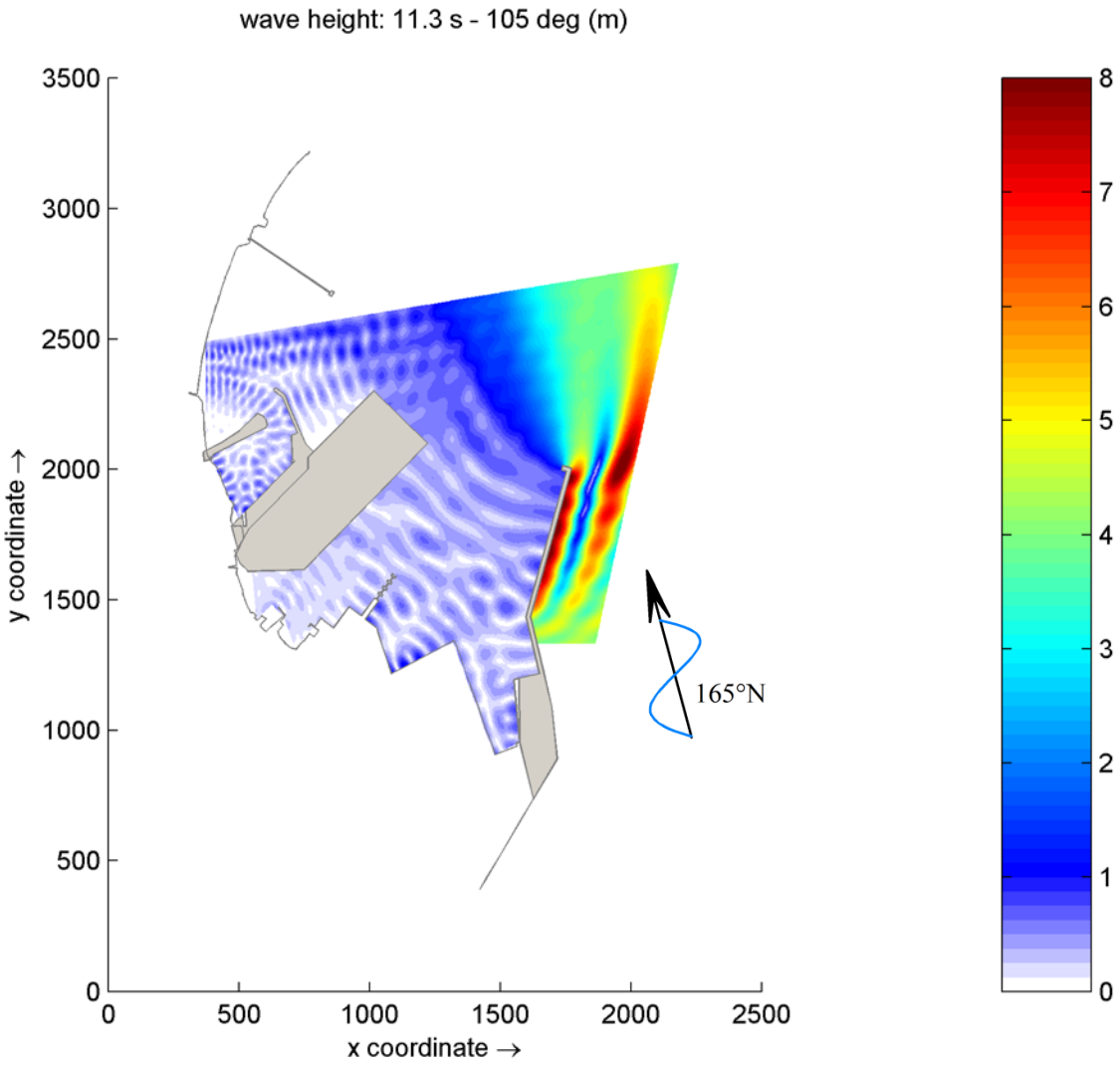


FIG. 8.31 - PROPAGAZIONE DELL'ONDA IN CORRISPONDENZA DELLA NUOVA PIATTAFORMA CON LA DIGA FORANEA DA P.R.P - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL CONTORNO DEL DOMINIO CON PROVENIENZA 165°N E TR=250 ANNI: HS=4,3 M , TP=13,0 S. CONFIGURAZIONE 1A

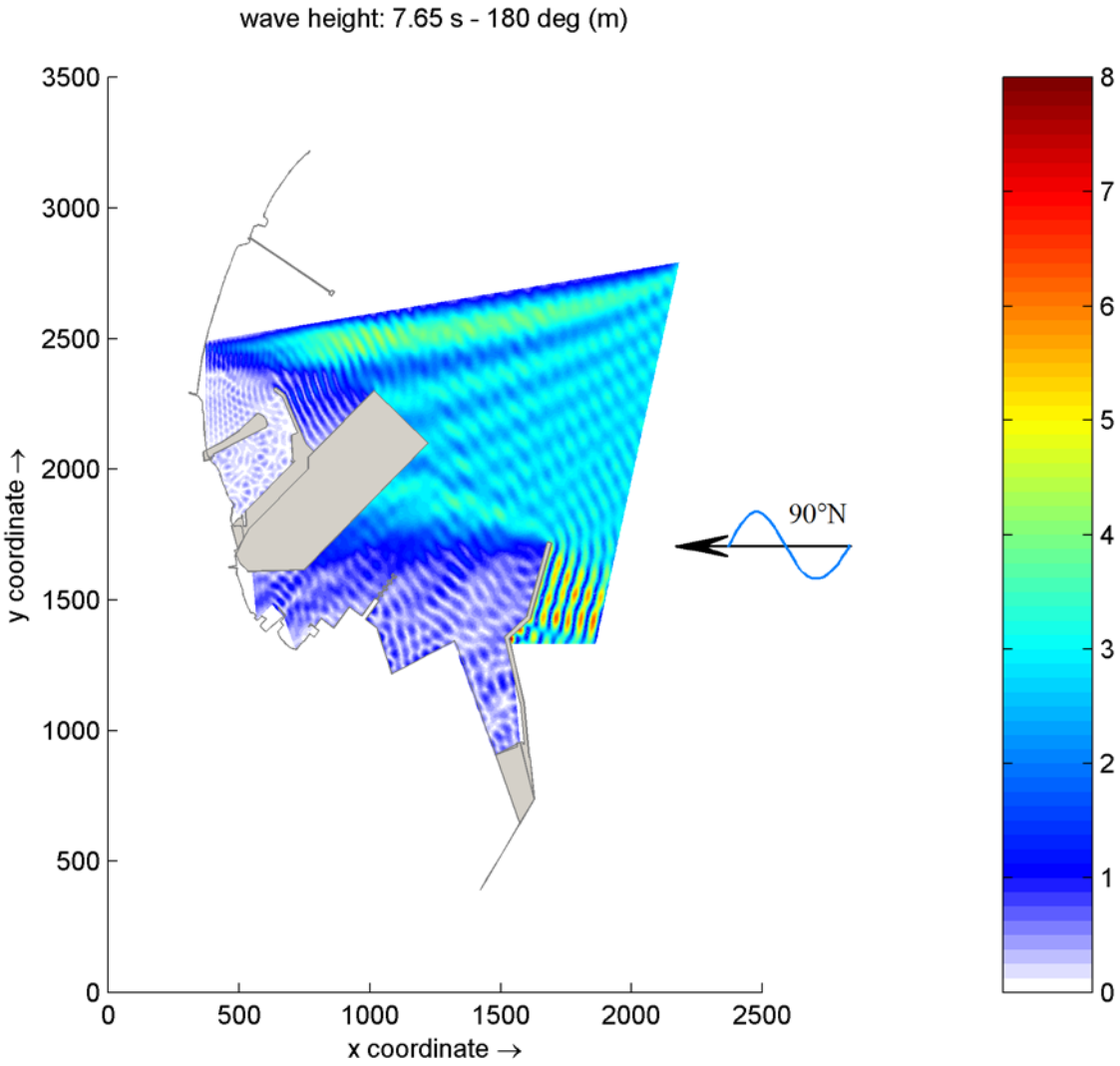


FIG. 8.32 - PROPAGAZIONE DELL'ONDA IN CORRISPONDENZA DELLA NUOVA PIATTAFORMA CON LA DIGA FORANEA DI 1° FASE - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL CONTORNO DEL DOMINIO CON PROVENIENZA 90°N E TR=50 ANNI: HS=2,8 M , TP=8,8 S. CONFIGURAZIONE 2A

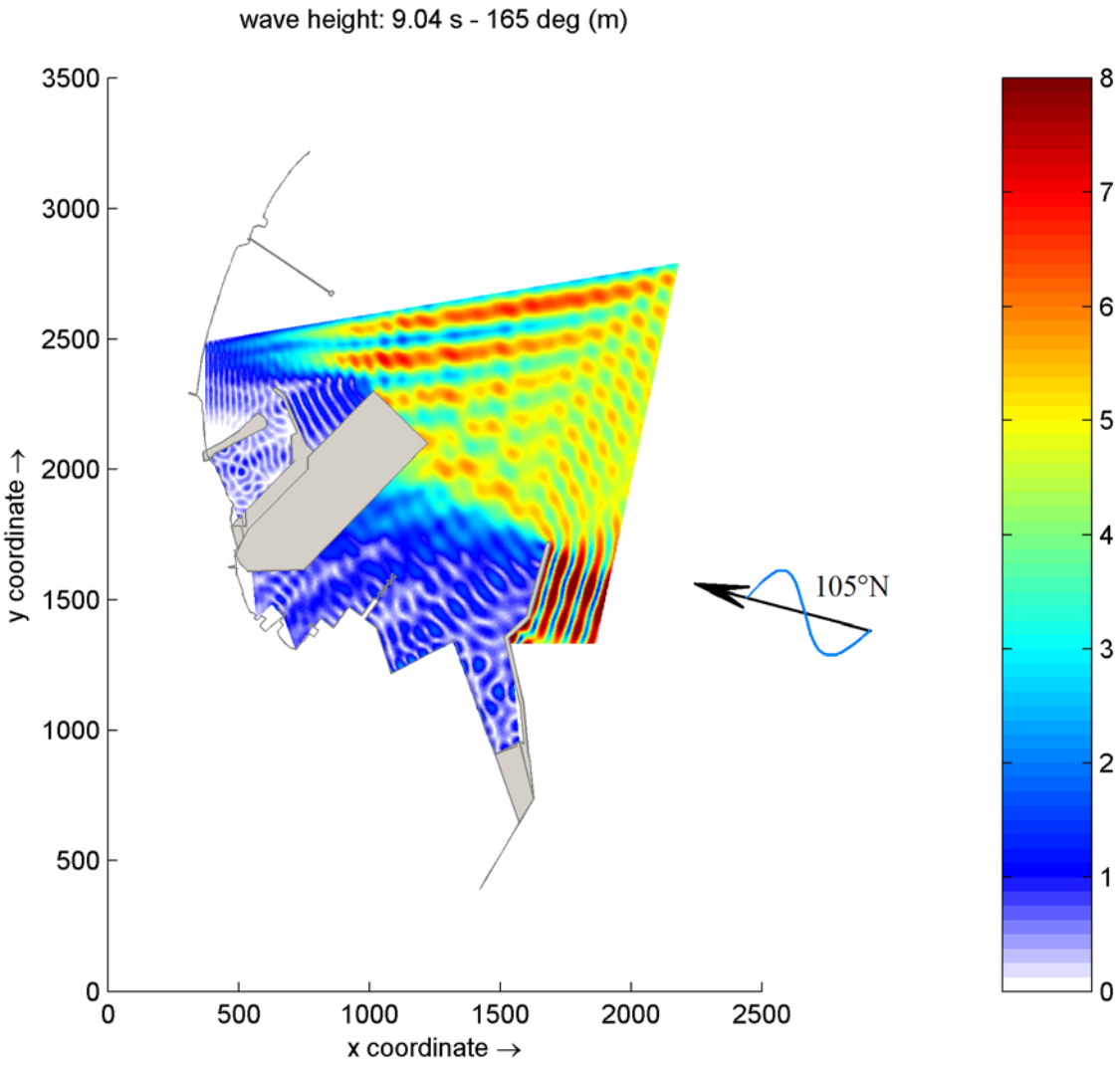


FIG. 8.33 - PROPAGAZIONE DELL'ONDA IN CORRISPONDENZA DELLA NUOVA PIATTAFORMA CON LA DIGA FORANEA DI 1° FASE - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL CONTORNO DEL DOMINIO CON PROVENIENZA 105°N E TR=50 ANNI: HS=4,7 M , TP=10,4 S. CONFIGURAZIONE 2A

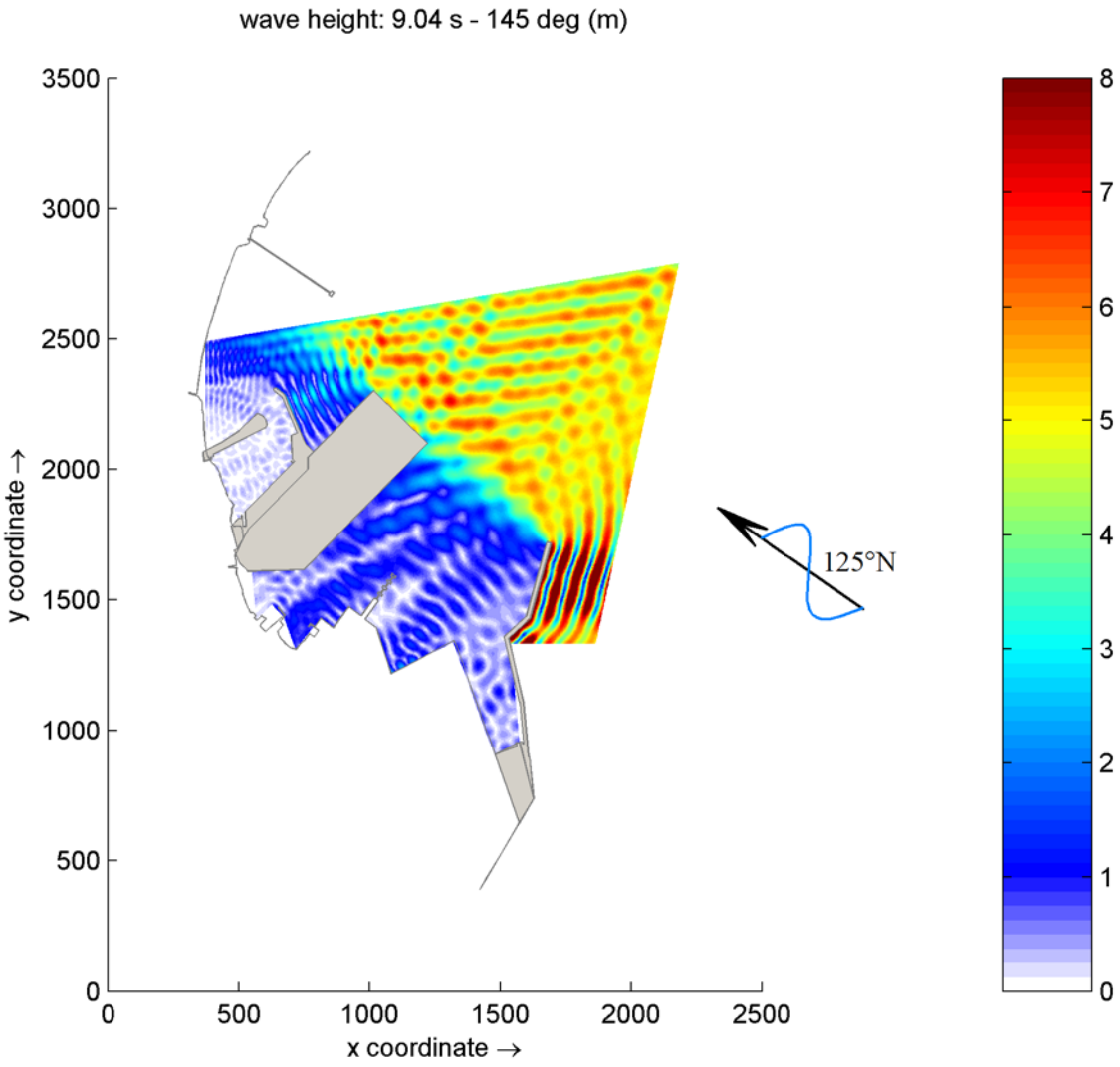


FIG. 8.34 - PROPAGAZIONE DELL'ONDA IN CORRISPONDENZA DELLA NUOVA PIATTAFORMA CON LA DIGA FORANEA DI 1° FASE - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL CONTORNO DEL DOMINIO CON PROVENIENZA 125°N E TR=50 ANNI: HS=5,1 M , TP=10,4S. CONFIGURAZIONE 2A

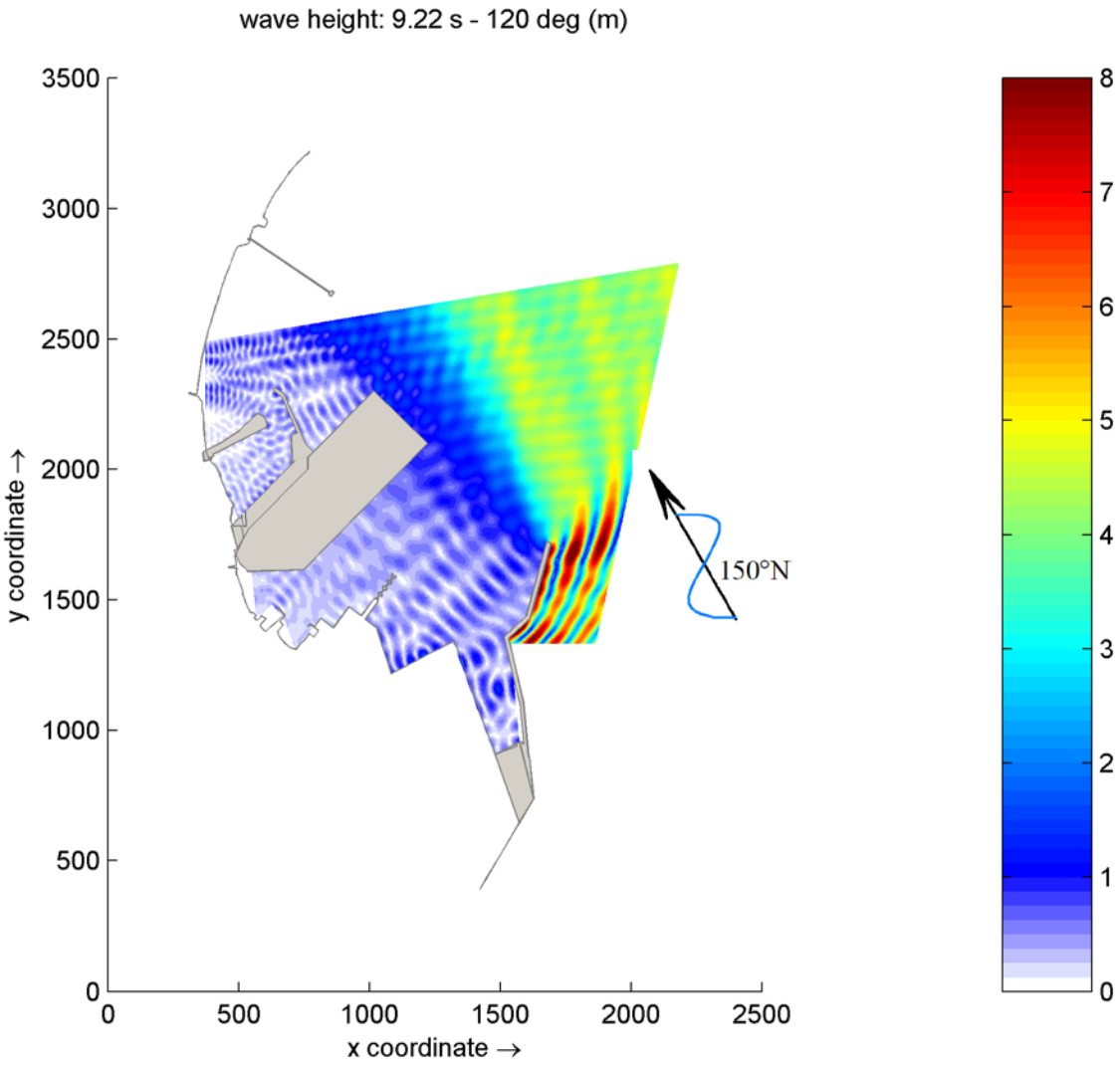


FIG. 8.35 - PROPAGAZIONE DELL'ONDA IN CORRISPONDENZA DELLA NUOVA PIATTAFORMA CON LA DIGA FORANEA DI 1° FASE - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL CONTORNO DEL DOMINIO CON PROVENIENZA 150°N E TR=50 ANNI: HS=4,3 M , TP=10,6 S. CONFIGURAZIONE 2A

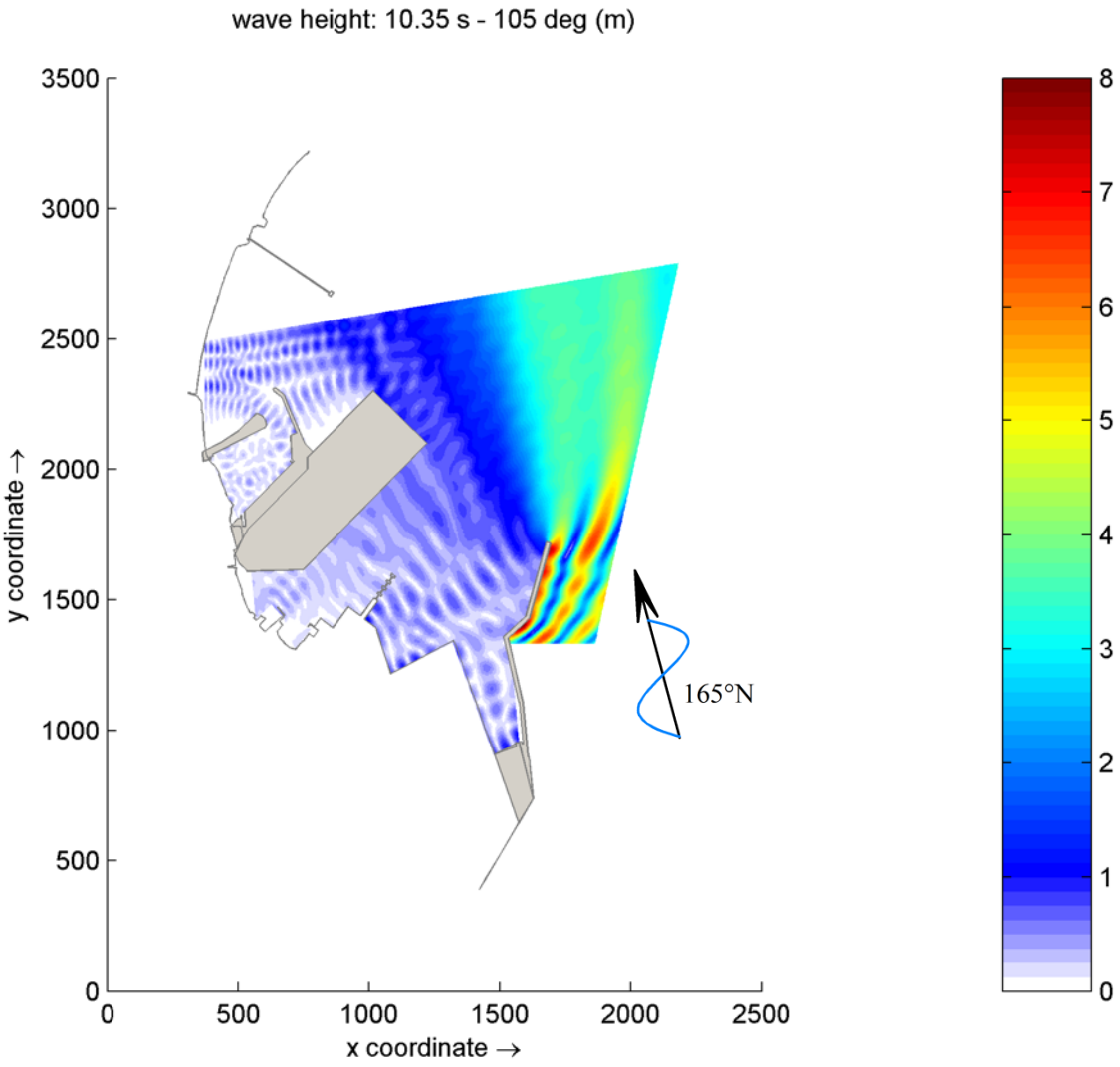


FIG. 8.36 - PROPAGAZIONE DELL'ONDA IN CORRISPONDENZA DELLA NUOVA PIATTAFORMA CON LA DIGA FORANEA DI 1° FASE - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL CONTORNO DEL DOMINIO CON PROVENIENZA 165°N E TR=50 ANNI: HS=3,7 M , TP=11,9 S. CONFIGURAZIONE 2A

8.4.3. Simulazioni e risultati ottenuti – Agitazione ondosa interna al bacino

Le simulazioni effettuate con il modello matematico per l'analisi dell'agitazione ondosa all'interno del bacino riguardato eventi di moto ondoso caratterizzati da altezze d'onda significative relative al tempo di ritorno di 1 anno, provenienti dal 1° e 2° quadrante. Si è fatto riferimento in particolare alle direzioni d'onda di 90°, 105°, 125°, 150 e 170°N. Le caratteristiche delle condizioni ondose utilizzate come input nel modello sono riassunte nella seguente tabella.

TAB. 8.10 - CARATTERISTICHE DEL MOTO ONDOSO ESTREMO CONSIDERATE COME INPUT PER LE SIMULAZIONI CON IL MODELLO PHAROS – TR=1 ANNO

TR=1 anno					
Al largo (Punto UKMO)			Al contorno del dominio PHAROS (risultanti dal modello SWAN)		
Dir (°N)	*Hs (m)*	*Tp (s)*	*Dir (°N)*	*Hs (m)*	*Tp (s)*
70	1,6	6,2	90	1,20	6,2
100	2,1	7,0	105	1,75	7,0
130	2,1	7,0	125	2,10	7,0
160	2,2	7,2	150	2,10	7,2
190	3,2	8,7	170	2,00	8,7

Si presentano i risultati delle simulazioni condotte per un'altezza d'onda significativa avente tempo di ritorno 1 anno sia per la configurazione con diga foranea da P.R.P. (configurazione C2 da Tab. 8.5) che per la configurazione con diga foranea di 1° fase (configurazione D2 da Tab. 8.5).

Il risultato di ciascuna simulazione è riportato nelle Fig. 8.37 a Fig. 8.46 che illustrano la distribuzione delle onde nella zona racchiusa tra la diga foranea e la nuova piattaforma.

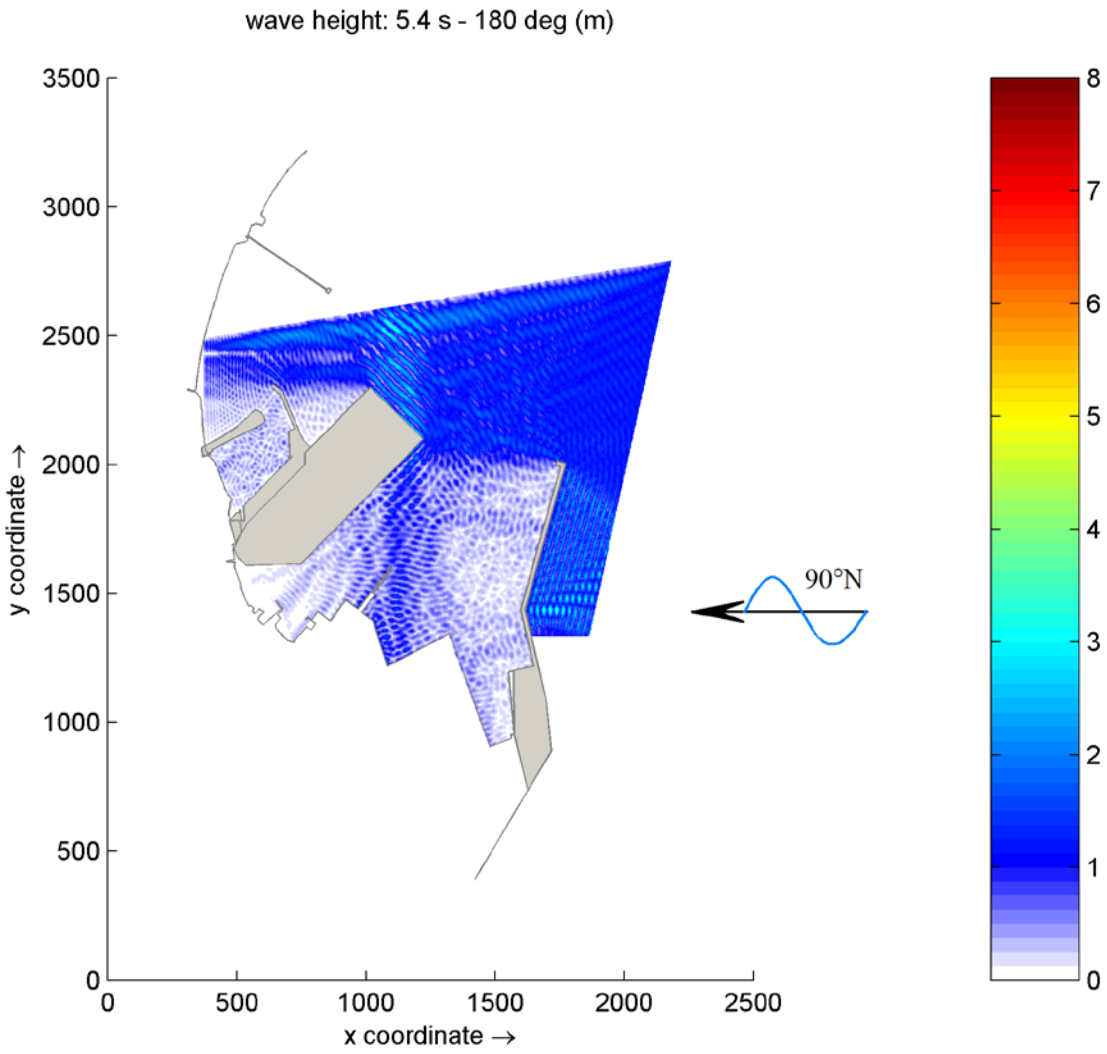


FIG. 8.37 - AGITAZIONE ONDOSA NEL BACINO PORTUALE - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL CONTORNO DEL DOMINIO CON PROVENIENZA 90°N E TR=1 ANNO: HS=1,2 M , TP=6,2 S. CONFIGURAZIONE 1B, DIGA FORANEA DA P.R.P.

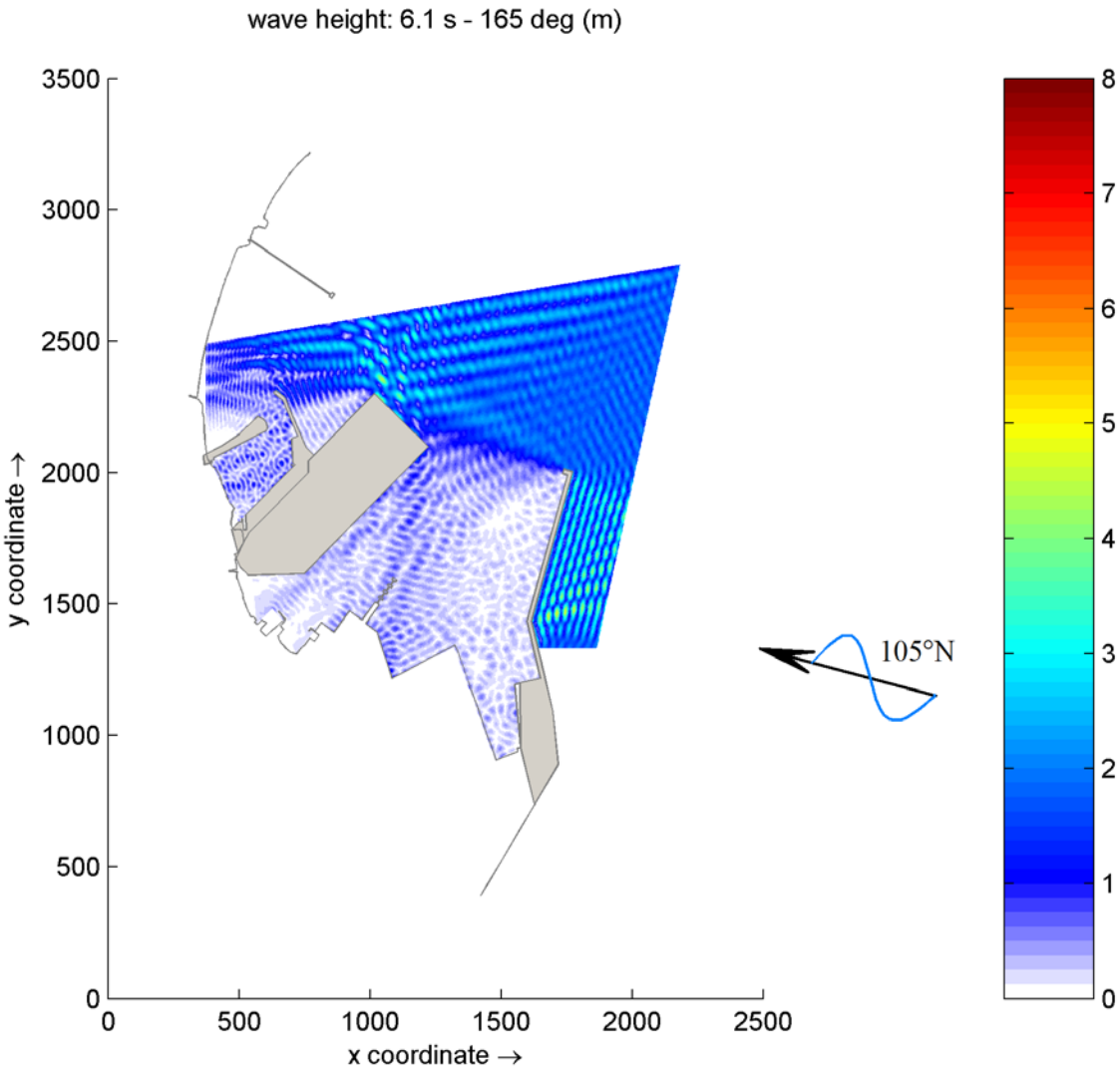


FIG. 8.38 - AGITAZIONE ONDOSA NEL BACINO PORTUALE - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL CONTORNO DEL DOMINIO CON PROVENIENZA 105°N E TR=1 ANNO: HS=1,75 M , TP=7,0 S. CONFIGURAZIONE 1B, DIGA FORANEA DA P.R.P.

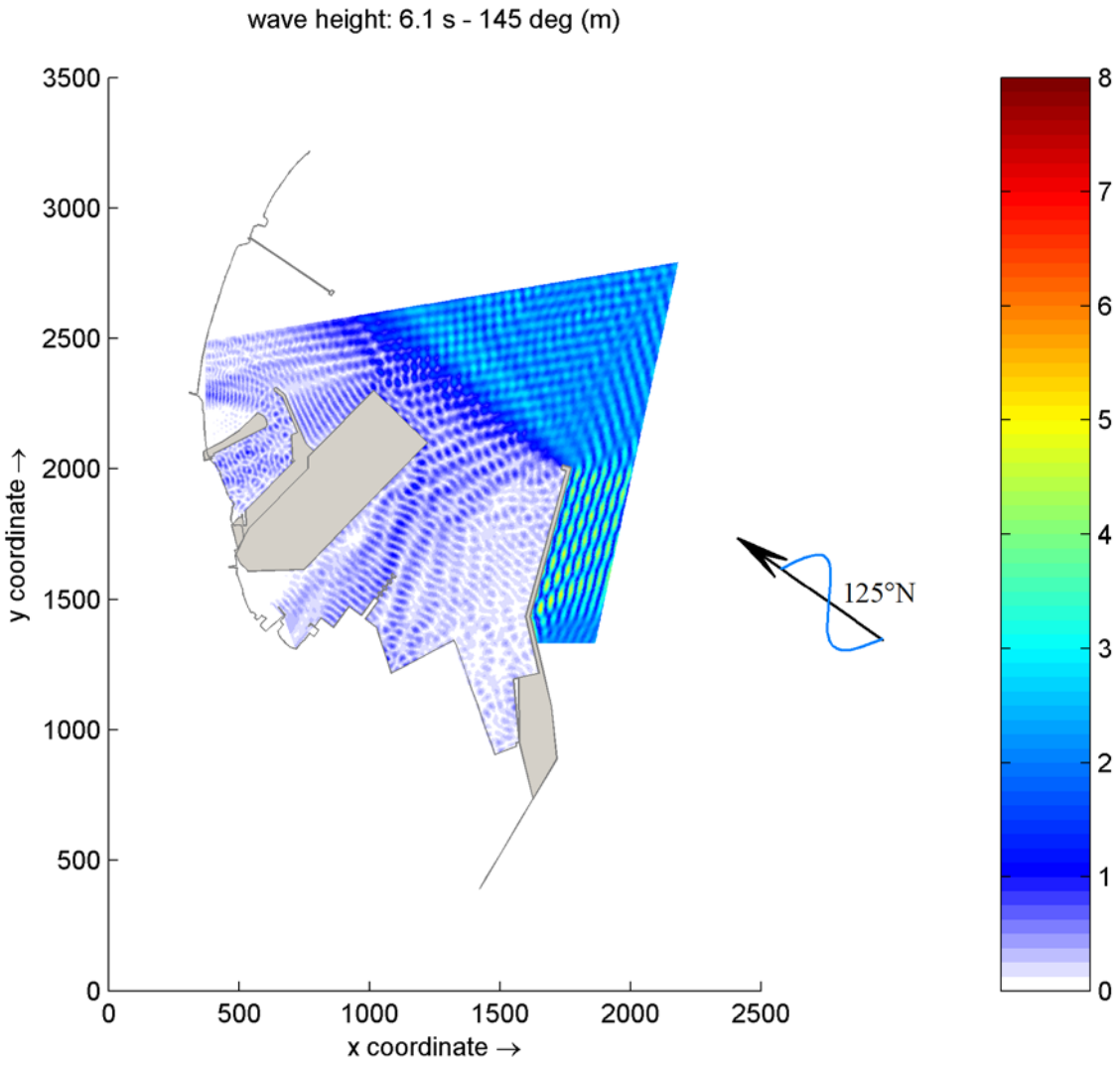


FIG. 8.39 - AGITAZIONE ONDOSA NEL BACINO PORTUALE - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL CONTORNO DEL DOMINIO CON PROVENIENZA 125°N E TR=1 ANNO: HS=2,1 M , TP=7,0 S. CONFIGURAZIONE 1B, DIGA FORANEA DA P.R.P.

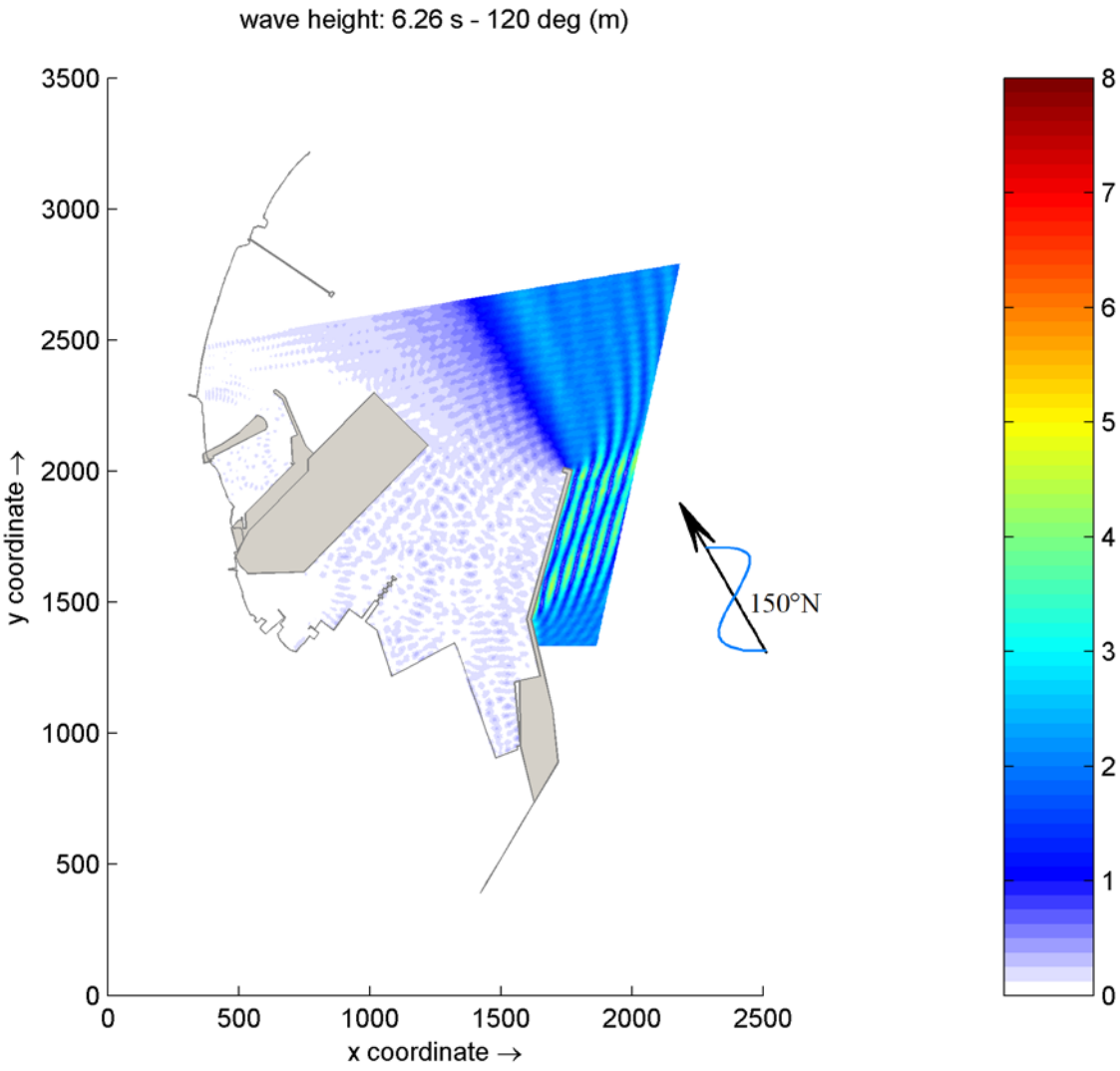


FIG. 8.40 - AGITAZIONE ONDOSA NEL BACINO PORTUALE - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL CONTORNO DEL DOMINIO CON PROVENIENZA 150°N E TR=1 ANNO: HS=2,1 M , TP=7,2 S. CONFIGURAZIONE 1B, DIGA FORANEA DA P.R.P.

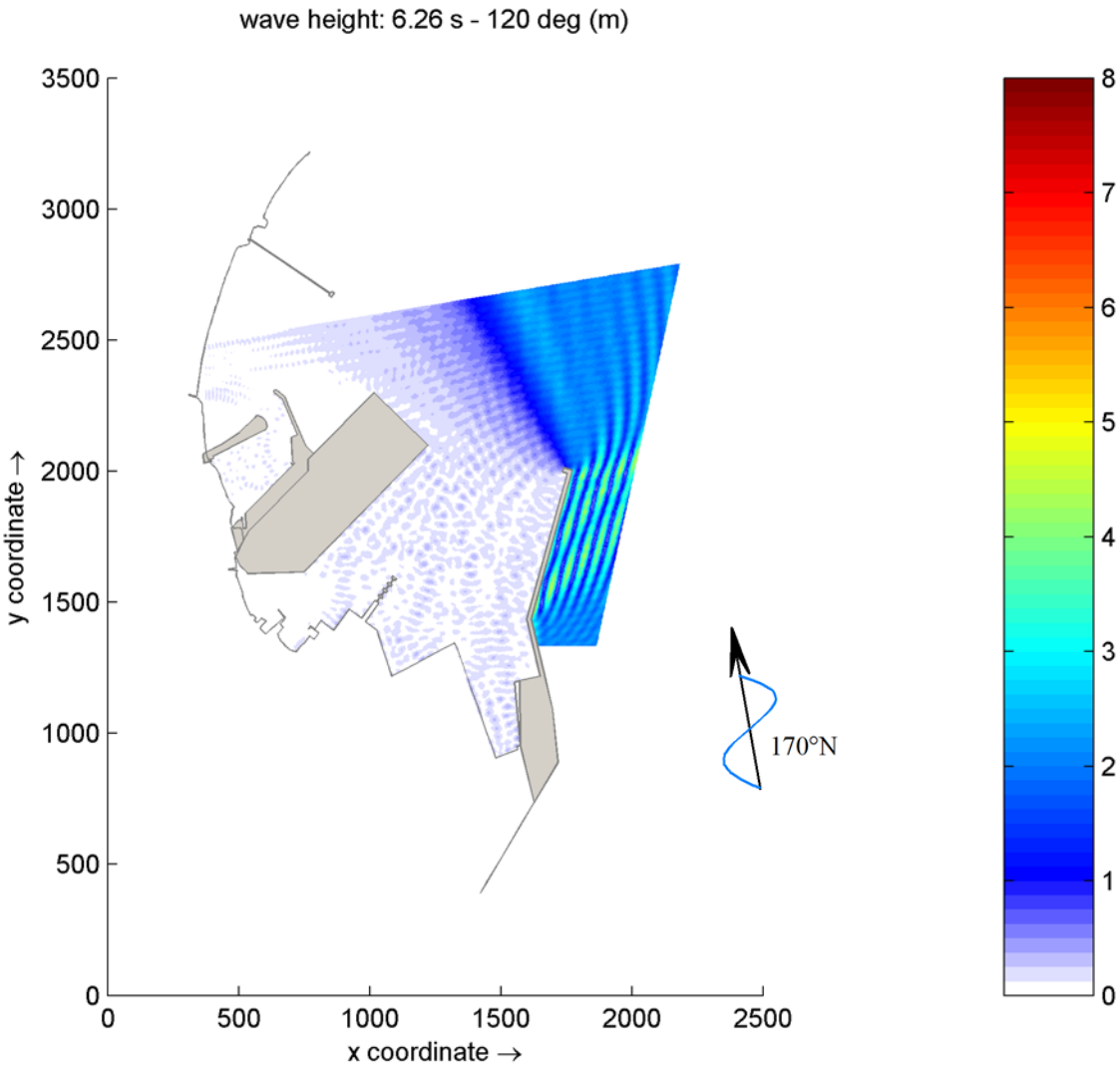


FIG. 8.41 - AGITAZIONE ONDOSA NEL BACINO PORTUALE - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL CONTORNO DEL DOMINIO CON PROVENIENZA 170°N E TR=1 ANNO: HS=2,0 M , TP=8,7 S. CONFIGURAZIONE 1B, DIGA FORANEA DA P.R.P.

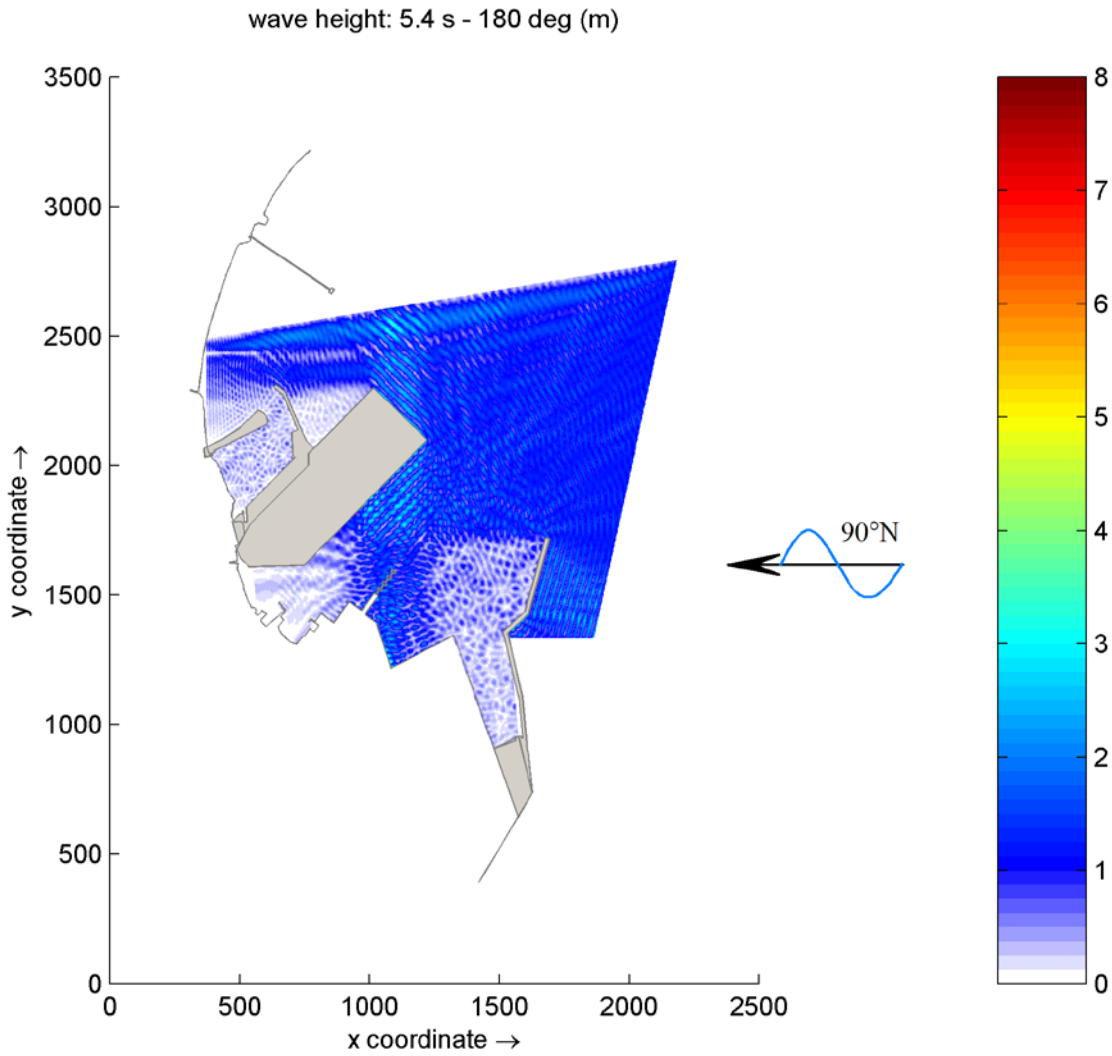


FIG. 8.42 - AGITAZIONE ONDOSA NEL BACINO PORTUALE - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL CONTORNO DEL DOMINIO CON PROVENIENZA 90°N E TR=1 ANNO: HS=1,2 M , TP=6,2 S. CONFIGURAZIONE 2B, DIGA FORANEA DI 1° FASE

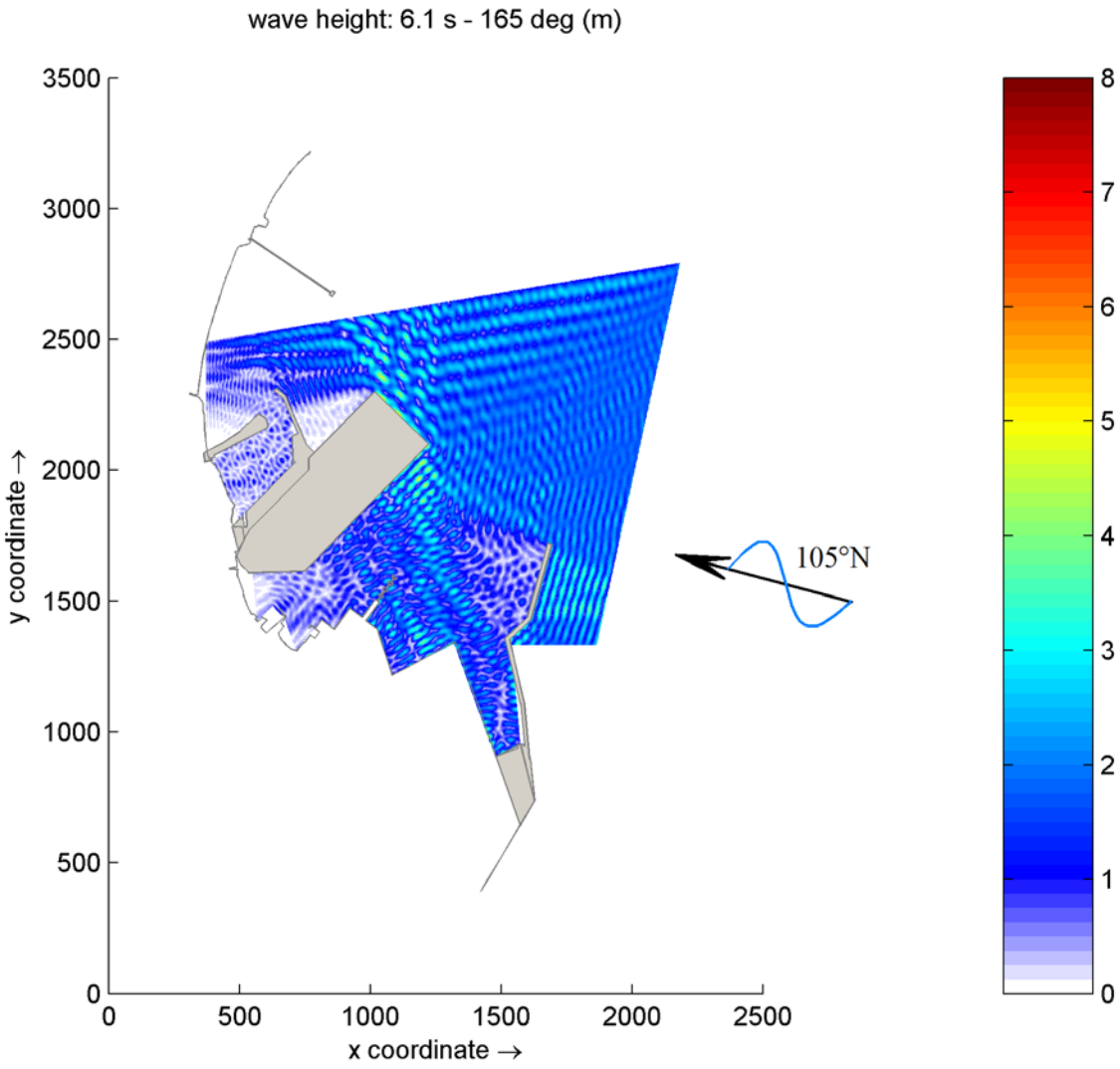


FIG. 8.43 - AGITAZIONE ONDOSA NEL BACINO PORTUALE - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL CONTORNO DEL DOMINIO CON PROVENIENZA 105°N E TR=1 ANNO: HS=1,75 M , TP=7,0 S. CONFIGURAZIONE 2B, DIGA FORANEA DI 1° FASE

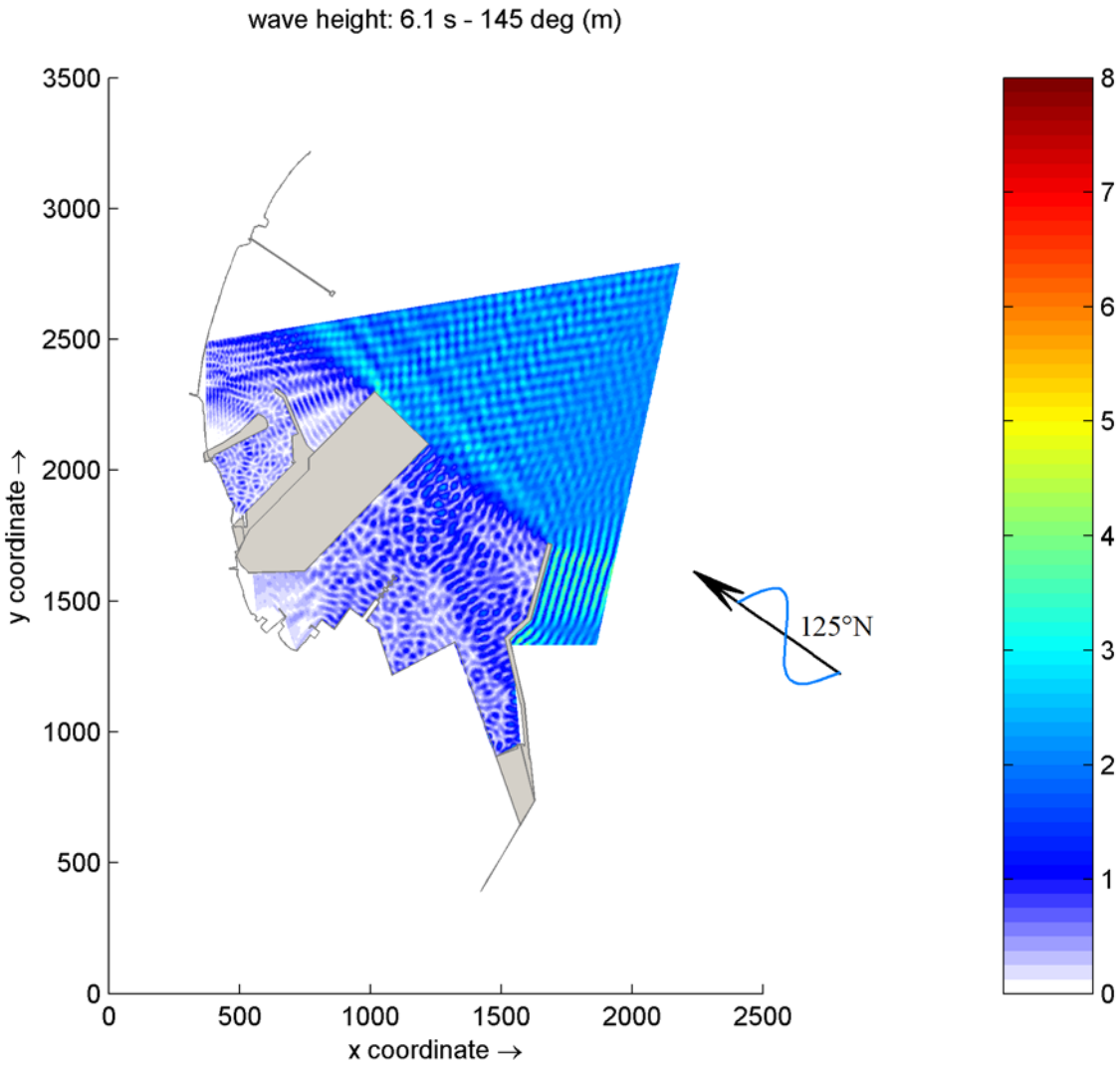


FIG. 8.44 - AGITAZIONE ONDOSA NEL BACINO PORTUALE - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL CONTORNO DEL DOMINIO CON PROVENIENZA 125°N E TR=1 ANNO: HS=2,1 M , TP=7,0 S. CONFIGURAZIONE 2B, DIGA FORANEA DI 1° FASE

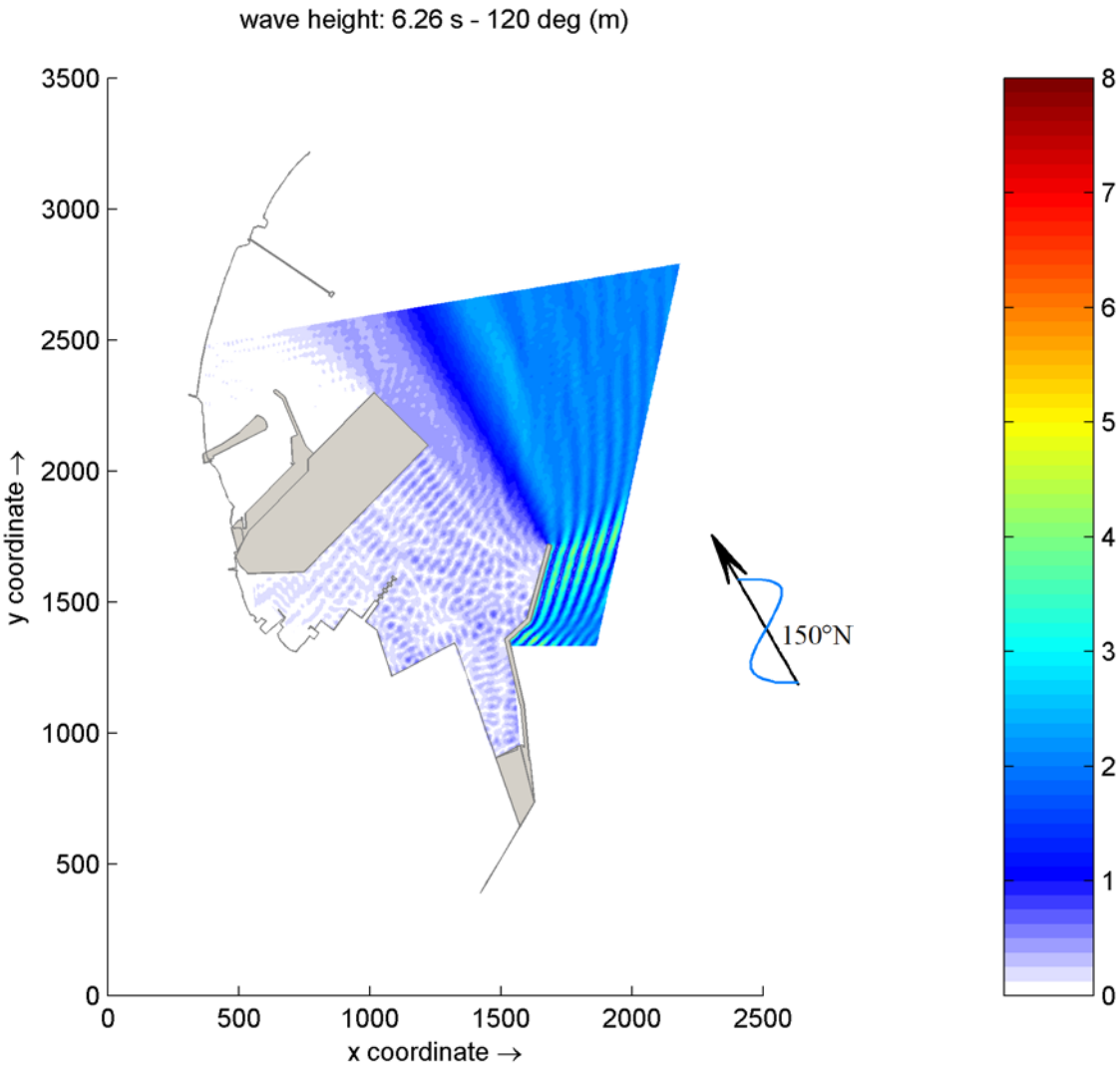


FIG. 8.45 - AGITAZIONE ONDOSA NEL BACINO PORTUALE - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL CONTORNO DEL DOMINIO CON PROVENIENZA 150°N E TR=1 ANNO: HS=2,1 M , TP=7,2 S. CONFIGURAZIONE 2B, DIGA FORANEA DI 1° FASE

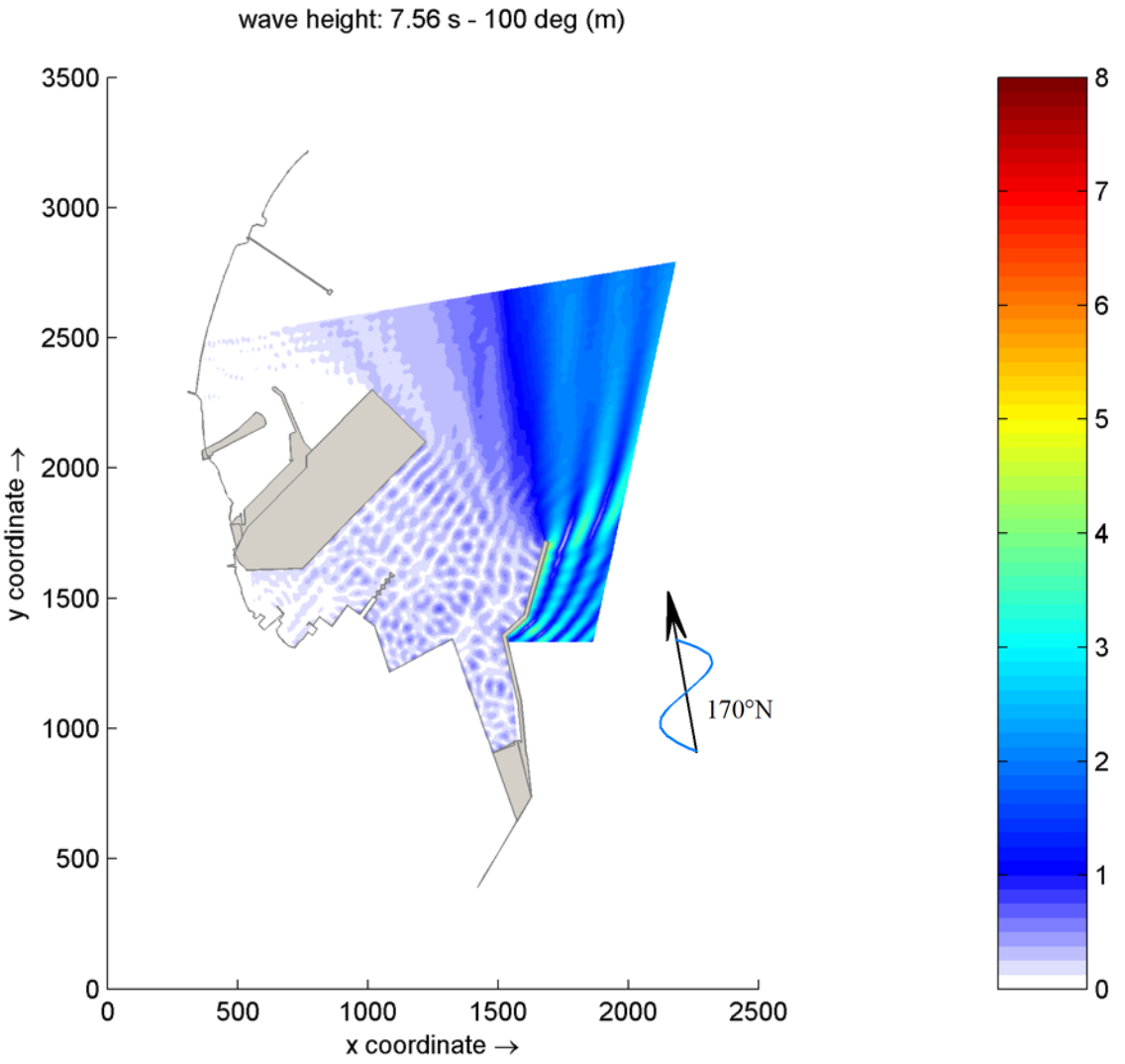


FIG. 8.46 - AGITAZIONE ONDOSA NEL BACINO PORTUALE - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL CONTORNO DEL DOMINIO CON PROVENIENZA 170°N E TR=1 ANNO: HS=2,0 M , TP=8,7 S. CONFIGURAZIONE 2B, DIGA FORANEA DI 1° FASE

9. ONDE DI PROGETTO PER IL DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE

Nel presente capitolo si presentano le caratteristiche delle onde alle strutture di progetto risultanti dagli studi di propagazione delle onde presentati nei precedenti capitoli.

Come già definito nei paragrafi precedenti, per il dimensionamento strutturale delle suddette opere si è fatto riferimento a eventi di moto ondoso con tempo di ritorno di 50 anni, 100 anni e 250 anni, le cui caratteristiche al largo vengono riportate per praticità nella seguente tabella:

TAB. 9.1 - CARATTERISTICHE DEL MOTO ONDOSO ESTREMO AL LARGO CONSIDERATE PER IL DIMENSIONAMENTO – TR= 50-100-250 ANNI

TR=50 anni			**TR=100 anni**			**TR=250 anni**		
Dir (°N)	*Hs (m)*	*Tp (s)*	*Dir (°N)*	*Hs (m)*	*Tp (s)*	*Dir (°N)*	*Hs (m)*	*Tp (s)*
70	3,3	8,8	70	3,6	9,2	70	4,1	9,8
100	4,6	10,4	100	5,0	10,9	100	5,7	11,6
130	4,6	10,4	130	5,0	10,9	130	5,7	11,6
160	4,7	10,6	160	5,2	11,1	160	5,9	11,8
190	6,0	11,9	190	6,5	12,4	190	7,1	13

Per quanto riguarda invece le verifiche a tracimazione delle opere in condizioni operative si è fatto riferimento a eventi di moto ondoso con tempo di ritorno di 1 anno, le cui caratteristiche al largo vengono riportate per praticità nella seguente tabella:

TAB. 9.2 - CARATTERISTICHE DEL MOTO ONDOSO ESTREMO AL LARGO CONSIDERATE PER IL DIMENSIONAMENTO – TR=1 ANNO

TR=1 anno		
Dir (°N)	*Hs (m)*	*Tp (s)*
70	1,6	6,2
100	1,7	7,0
130	2,1	7,0
160	2,2	7,2
190	3,2	8,7

I valori delle altezze d'onda significative riportati nei seguenti sotto capitoli rappresentano, per ogni direzione di propagazione e per ogni configurazione analizzata, i valori più alti calcolati in corrispondenza di ogni tipologia d'opera.

9.1. Diga foranea

Come descritto in dettaglio nel capitolo 6.2 alle diverse sezioni tipo della diga foranea sono associati tempi di ritorno di progetto diversi in quanto caratterizzate da vite tecniche diverse. Di seguito si riportano in tabella le onde di progetto per ogni sezione per tempi di ritorno di interesse.

Si è assunto per il dimensionamento dei cassoni un angolo di incidenza β dell'onda rispetto alla normale all'opera di 0°, in quanto il modello simula già la riduzione dell'onda dovuta all'angolo di attacco.

TAB. 9.3 - ONDA DI PROGETTO IN CORRISPONDENZA DELLE SEZIONI TIPO A E DELLE SERRAGLIE DELLA DIGA FORANEA – TR=50 ANNI

	Config. Diga	**Onda al largo**		**Onda all'opera**		
		Tr (anni)	*Dir (°N)*	*Tp (s)*	*β (°)*	*Hs (m)*
Cassoni, scanno e massi guardiani Sezione tipo A e serraglie	**1° Fase**	**50**	**190**	**11,9**	**0**	**4,5**

TAB. 9.4 - ONDA DI PROGETTO IN CORRISPONDENZA DELLE SEZIONI TIPO B, C, D ED E DELLA DIGA FORANEA – TR= 50 E 250 ANNI

	Config. Diga	**Onda al largo**		**Onda all'opera**		
		Tr (anni)	*Dir (°N)*	*Tp (s)*	*β (°)*	*Hs (m)*
Cassoni, scanno e massi guardiani Sezione tipo B, C, D e E	1° Fase	50	190	11,9	0	4,5
	PRP	**250**	**190**	**13,00**	**0**	**5,90**

Per il calcolo della tracimazione in condizioni operative oltre che per valutazioni relative alla stabilità di parti dell'opera in fase costruttiva si è fatto riferimento all'onda avente tempo di ritorno un anno e riportata nella tabella di seguito:

TAB. 9.5 - ONDA DI PROGETTO IN CORRISPONDENZA DELLE SEZIONI TIPO A, B, C, D ED E PER TR=1 ANNO

	Config. Diga	**Onda al largo**		**Onda all'opera**		
		Tr (anni)	*Dir (°N)*	*Tp (s)*	*β (°)*	*Hs (m)*
Stabilità piano sommitale ante posa cassoni **Verifica di tracimazione in condizioni operative**	**1° Fase**	**1**	**125**	**7,0**	**0**	**2,06**

9.2. Piattaforma

Le caratteristiche delle onde di progetto in corrispondenza delle nuove opere sono state raggruppate per tipologia di struttura (vedi Fig. 9.1):

- Scogliera alla radice della piattaforma
- Cassoni emersi – banchina petroli
- Cassoni emersi – banchina rinfuse
- Cassoni emersi – banchina container
- Protezione dei fondali antistanti le banchine

Le verifiche per il dimensionamento di ogni opera sono state effettuate con riferimento alle condizioni più gravose per ognuna delle tipologie strutturali, in funzione dell'altezza significativa e del periodo dell'onda incidente oltre che dell'angolo di attacco della stessa.

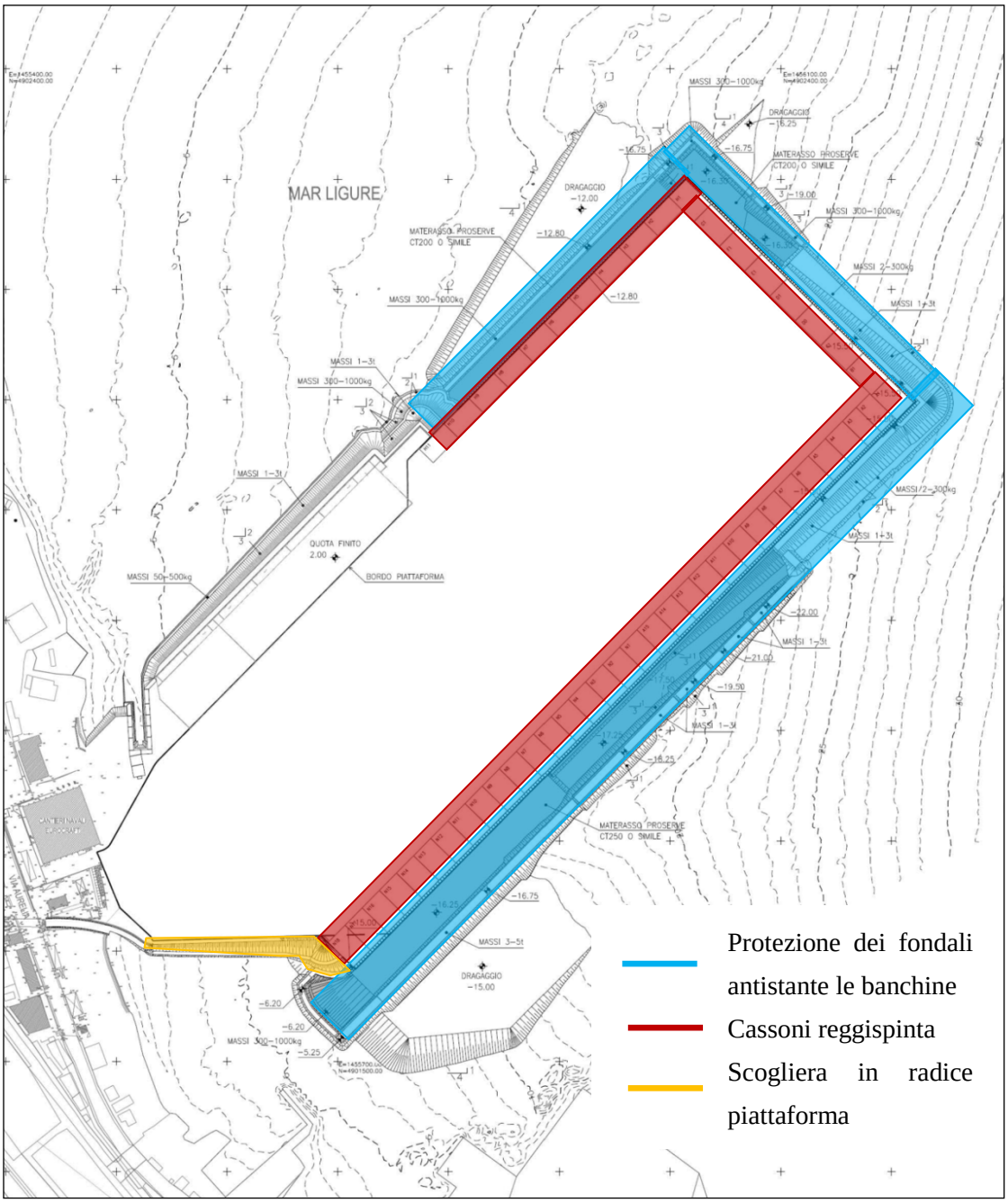


FIG. 9.1 - SCHEMA DELLE STRUTTURE DELLA PIATTAFORMA

9.2.1. Scogliera alla radice della piattaforma

La scogliera alla radice della piattaforma, che protegge il terrapieno di raccordo tra la piattaforma e la terraferma, è stata dimensionata con riferimento ad un evento meteomarino caratterizzato da un tempo di ritorno di 100 anni.

I valori delle altezze d'onda significative riportati nelle tabella seguente rappresentano i valori più alti calcolati lungo lo sviluppo longitudinale dell'opera. Con riferimento a questi valori di moto ondoso sono state effettuate le verifiche per il dimensionamento della scogliera.

TAB. 9.6 - ONDE IN CORRISPONDENZA DELLA SCOGLIERA ALLA RADICE DELLA PIATTAFORMA

	Config. Diga	**Onda al largo**		**Onda all'opera**		
		Tr *(anni)*	*Dir* *(°N)*	*Tp* *(s)*	*β* *(°)*	*Hs* *(m)*
Scogliera	P.R.P.	100	**90**	**9,2**	**0**	**0,8**
			105	10,9	0	0,5

9.2.2. Cassoni reggispinta di conterminazione

La piattaforma è conterminata da cassoni reggispinta cellulari in c.a., dimensionati con riferimento all'onda più gravosa incidente lo stesso. Al fine di definire tale onda di progetto sono state investigate, per le due configurazioni di riferimento (diga da P.R.P. con tempo di ritorno dell'evento meteomarino 250 anni e diga di 1° fase con tempo di ritorno dell'evento meteomarino 50 anni) diverse direzioni di provenienza dell'onda.
I valori delle altezze d'onda significative riportati nelle tabella seguente rappresentano i valori più alti calcolati lungo lo sviluppo longitudinale di ogni tratto in cui la conterminazione è stata suddivisa, per ognuna delle due configurazioni considerate. Con riferimento a questi valori di moto ondoso sono state effettuate le verifiche per il dimensionamento delle opere.

TAB. 9.7 - ONDE IN CORRISPONDENZA DEI CASSONI EMERSI REGGISPINTA – BANCHINA CONTAINER

	Config. Diga	Onda al largo		Onda all'opera		
		Tr (anni)	*Dir* (°N)	*Tp* (s)	*β* (°)	*Hs* (m)
Cassoni reggispinta Banchina container Cassoni da N18 ad A7	**1° Fase**	**50**	**105**	**10,4**	**40**	**4,00**
	1° Fase	**1**	**105**	**7,0**	**36**	**2,12**
	PRP	250	105	11,6	45	1,90
	PRP	1	90	6,20	45	1,10
Cassoni reggispinta Banchina container Cassoni da A6 ad A1	**1° Fase**	**50**	**105**	**10,4**	**30**	**5,4**
	1° Fase	**1**	**105**	**7,0**	**30**	**1,60**
	PRP	250	90	9,8	45	2,9
	PRP	1	90	6,20	67	0,60

TAB. 9.8 - ONDE IN CORRISPONDENZA DEI CASSONI EMERSI REGGISPINTA – BANCHINA RINFUSE

	Config. Diga	Onda al largo		Onda all'opera		
		Tr (anni)	*Dir* (°N)	*Tp* (s)	*β* (°)	*Hs* (m)
Cassoni reggispinta Banchina rinfuse Cassone angolo banchina container - rinfuse	**1° Fase**	**50**	**105**	**10,4**	**60**	**5,4**
	1° Fase	**1**	**105**	**7,0**	**60**	**1,5**
	PRP	250	90	9,8	45	3,5
	PRP	1	90	6,20	45	1,50
Cassoni reggispinta Banchina rinfuse da 30 a 90 m dallo spigolo con banchina container	**1° Fase**	**50**	**105**	**10,4**	**60**	**5,9**
	1° Fase	**1**	**105**	**7,0**	**60**	**2,50**
	PRP	250	90	9,8	45	4,2
	PRP	1	90	6,20	45	1,50
Cassoni reggispinta Banchina rinfuse da 90 a 290 m dallo spigolo con banchina container	**1° Fase**	**50**	**105**	**10,4**	**60**	**5,6**
	1° Fase	**1**	**105**	**7,0**	**60**	**2,50**
	PRP	250	105	11,6	45	4,9
	PRP	1	105	7,0	60	2,40

TAB. 9.9 - ONDE IN CORRISPONDENZA DEI CASSONI EMERSI REGGISPINTA – BANCHINA PETROLI

	Config. Diga	**Onda al largo**		**Onda all'opera**		
		Tr *(anni)*	*Dir* *(°N)*	*Tp* *(s)*	*β* *(°)*	*Hs* *(m)*
Cassoni reggispinta Banchina petroli	-	**250**	**30**	**5,0**	**65**	**1,65**

Come periodo per le onde di progetto incidenti le banchine si assumono gli stessi periodi dell'onda al largo.

La condizione d'onda con tempo di ritorno un anno in corrispondenza di questa banchina non risulta significativa per nessuna verifica, e per questo non viene qui riportata.

9.2.3. Protezione dei fondali - Fondali antistanti le banchine

I valori delle onde relative ad un tempo di ritorno di 250 anni, con configurazione di diga da PRP e ad un tempo di ritorno 50 anni con diga di prima fase, incidenti sulle varie banchine lungo le quali è prevista la protezione del fondale sono riportate in Tab. 9.10.

TAB. 9.10 - ONDE IN CORRISPONDENZA DELLE VARIE BANCHINE DELLA PIATTAFORMA – PROTEZIONE DEI FONDALI

	Config. Diga	**Onda al largo**		**Onda all'opera**		
		Tr *(anni)*	*Dir* *(°N)*	*Tp* *(s)*	*β* *(°)*	*Hs* *(m)*
Protezione fondali Banchina container Cassoni da N18 ad A7	**1° Fase**	**50**	**105**	**10,4**	**40**	**4,00**
	PRP	250	105	11,6	46	1,90
Protezione fondali Banchina container Cassoni da A6 ad A1	**1° Fase**	**50**	**105**	**10,4**	**30**	**5,4**
	PRP	250	90	9,8	45	2,9
Protezione fondali Banchina rinfuse	**1° Fase**	**50**	**105**	**10,4**	**60**	**5,9**
	PRP	250	105	11,6	53	4,9
Protezione fondali Banchina Petroli	**-**	**250**	**30**	**5,0**	**65**	**1,65**

Come periodo per le onde di progetto incidenti le banchine si assumono gli stessi periodi dell'onda al largo.

10. VERIFICHE IDRAULICHE DI TRACIMAZIONE

Nel presente capitolo vengono presentate le verifiche di tracimazione dei cassoni di conterminazione della piattaforma di Vado Ligure e dei cassoni della Nuova diga foranea di 1° fase.

In particolare per le verifiche relative alla diga foranea si riporteranno i calcoli per la configurazione di esercizio temporaneo senza muro paraonde, avente quota di sommità +2,5 m e per la configurazione con muro paraonde, avente quota di sommità +7,0 m.

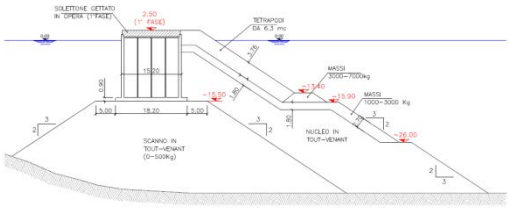
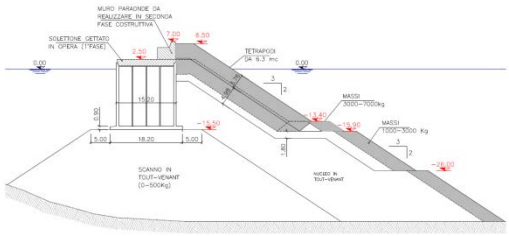
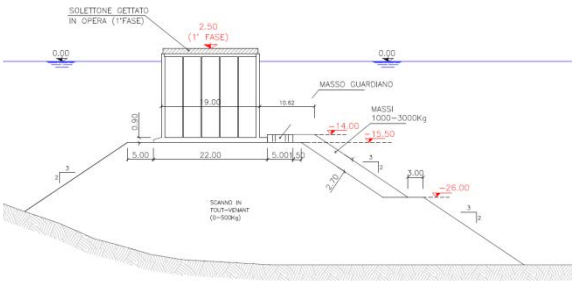
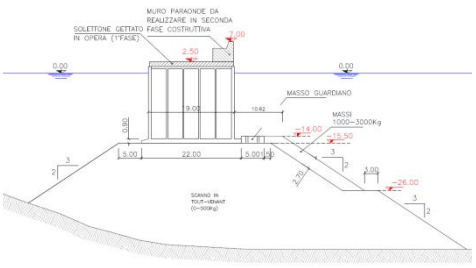
Nel seguente paragrafo vengono definiti i limiti di tracimazione adottati per le verifiche mentre nei successivi si presentano i riferimenti teorici per il calcolo e i risultati delle verifiche.

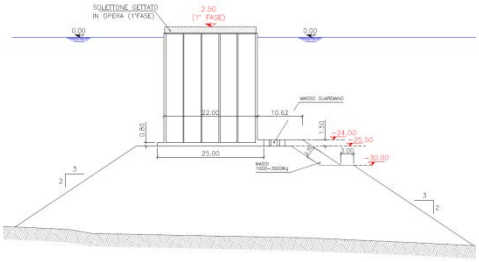
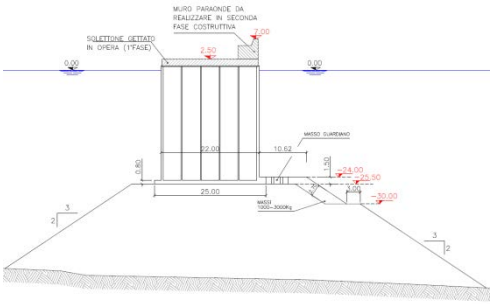
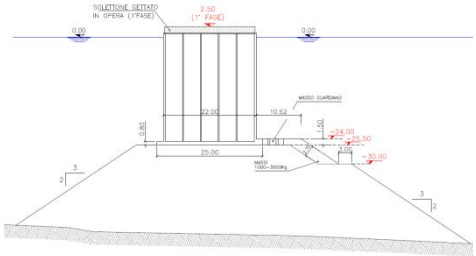
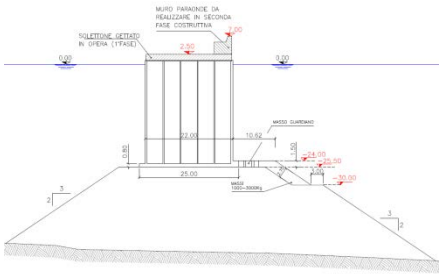
10.1. Criteri di progetto

I limiti di tracimazione sono stati definiti nel presente progetto in accorgo con quanto riportato nel EurOtop Manual (2007). Si sono individuati i seguenti valori critici della portata di tracimazione, q (l/s per m):

- ***qlim = 1-10 l/s*** al m per garantire l'operatività e la sicurezza di pedoni (personale qualificato e consapevole della possibilità di essere bagnato, basso rischio di cadere dal camminamento,…) nel piazzale retrostante la struttura di coronamento;
- q_{lim} **= 50 l/s** al m in condizioni meteomarine estreme per evitare il danneggiamento di navi a tergo dell'opera;
- q_{lim} **= 200 l/s** al m in condizioni meteomarine estreme per garantire la stabilità e sicurezza delle strutture lato porto e il non danneggiamento della pavimentazione.

In termini di tempo di ritorno e delle onde a cui fare riferimento nelle verifiche e relative configurazioni delle opere, questi criteri si traducono in quanto riportato nelle tabelle seguenti.

Diga foranea		
	Condizioni operative	**Condizioni estreme**
Sezione tipo A (1° fase) 	Tr=1 anno	Tr=50 anni
Sezione tipo A (APS) 	Tr=1 anno	Tr=50 anni
Sezione tipo B (1° fase) 	Tr=1 anno	Tr=50 anni
Sezione tipo B (PRP) 	Tr=1 anno	Tr=250 anni

Diga foranea		
	Condizioni operative	**Condizioni estreme**
Sezione tipo C (1° fase) 	Tr=1 anno	Tr=50 anni
Sezione tipo C (PRP) 	Tr=1 anno	Tr=250 anni
Sezione tipo D (1° fase) 	Tr=1 anno	Tr=50 anni
Sezione tipo D (PRP) 	Tr=1 anno	Tr=250 anni

Per quanto riguarda la piattaforma, la configurazione delle sezioni da verificare sono univoche, quello che varia è la configurazione della diga e quindi l'onda critica incidente ogni sezione. In base alle onde di progetto presentate nel precedente capitolo, le verifiche per le sezioni delle banchine della piattaforma verranno eseguite con riferimento alle onde più critiche incidenti la piattaforma che si verificano per la combinazione di tempo di ritorno e configurazione della diga riportate in tabella.

Piattaforma		
	Condizioni operative	**Condizioni estreme**
Configurazione diga foranea di 1° fase	Tr=1 anno	Tr=50 anni

10.2. Riferimenti teorici per la definizione della portata di tracimazione

La portata di tracimazione media è stata calcolata utilizzando il metodo delle reti neurali (Neural Network model) applicabile sia a strutture in scogliera che a strutture composite come ad esempio opere a pareti verticali posate su scanni d'imbasamento di altezza rilevante o opere a parete verticale protette da scogliera emersa. Tale metodo è implementato nel software di calcolo BREAKWAT 3.3.
In funzione di 15 parametri la formula fornisce la portata di tracimazione media dell'opera (q, [l/s/m]). I parametri di input sono:

$H_{m0,piede}$	Altezza d'onda significativa spettrale al piede dell'opera ottenuta dall'analisi spettrale $H_{m0,toe}=4m_0^{0.5}$	[m]
$T_{m-1,toe}$	Periodo medio al piede della struttura ottenuto dall'analisi spettrale $T_{m-1,toe}=m_{-1}/m_0$	[s]
β	Direzione dell'onda rispetto alla normale all'opera	[°]
h	Fondale davanti all'opera	[m]
h_t	Tirante d'acqua sopra il piede dell'opera	[m]
B_t	Larghezza del piede dell'opera	[m]
γ_f	Scabrezza/porosità dell'opera	[-]
$\cot\alpha_d$	Pendenza della struttura sotto alla berma	[-]

$\cot\alpha_u$	Pendenza della struttura sopra alla berma	[-]
B	Larghezza della berma	[m]
h_b	Tirante d'acqua sopra la berma	[m]
$\tan_{\alpha b}$	Pendenza della berma	[-]
R_c	Elevazione della sommità della struttura	[m]
A_c	Elevazione della sommità della scogliera	[m]
G_c	Larghezza in sommità della scogliera	[m]

Il parametro di scabrezza/porosità, γ_f, da un'indicazione della scabrezza e della permeabilità della struttura: più la struttura è scabra minore è la tracimazione dal momento che maggiore è la quantità di energia che viene dissipata da una struttura scabra e permeabile. Nella Tab. 10.1 sono riportati i valori generalmente adottati per i tipi più comuni di scogliera.

TAB. 10.1 - COEFFICIENTE DI SCABREZZA/PERMEABILITÀ

Tipo di	γ_f
Superficie impermeabile liscia	1
Roccia (singolo strato)	0,7
Roccia (doppio strato)	0,55
Cubi (doppio strato, random)	0,4
Tetrapodi (doppio strato)	0,4

Nel presente progetto in corrispondenza delle **opere a parete verticale** si è adottato γ_f**=1**, mentre i corrispondenza dei **cassoni protetti da scogliera in tetrapodi**, si è scelto di adottare γ_f**=0,4.**

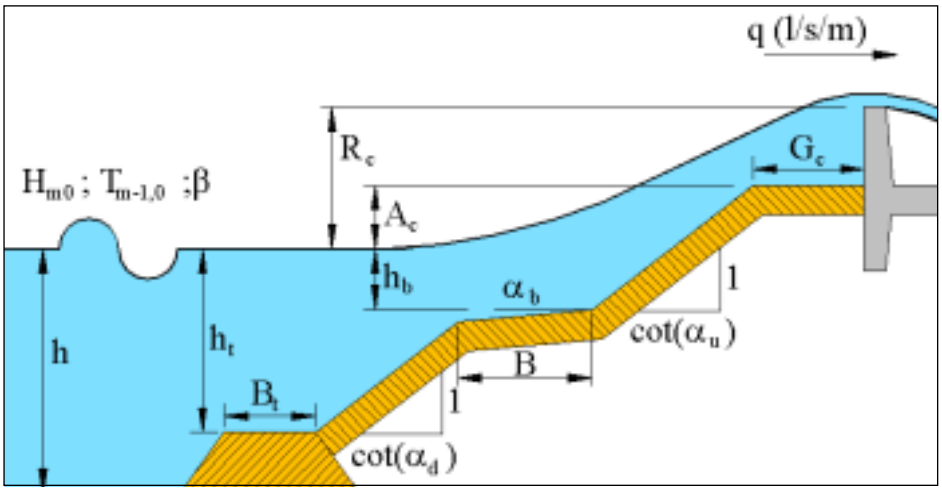


FIG. 10.1 - PARAMETRI GEOMETRICI PER IL CALCOLO DELLA TRACIMAZIONE

10.3. Diga foranea

Come descritto nei paragrafi precedenti per il calcolo della tracimazione in corrispondenza dei cassoni della diga foranea si è fatto riferimento al metodo delle reti neurali, che permette di descrivere geometricamente e idraulicamente la struttura in oggetto attraverso 15 parametri.

L'opera che si intende verificare consiste in un cassoni posati su uno scanno di imbasamento in materiale granulare e fondato su alti fondali. I parametri geometrici, esplicitati nelle verifiche presentate nei seguenti sotto paragrafi, sono definiti sulla base delle sezioni di progetto dell'opera, considerando la sezione più critica al fine della verifica.
La geometria delle sezioni della struttura in relazione alle altezze d'onda di progetto, sia per onde con tempo di ritorno 1 anno (condizione operativa) che per onde con tempo di ritorno 50 o 250 anni (condizione estrema), porta ad assume come valore di $\cot\alpha_d$ e di $\cot\alpha_u$ zero per le sezioni tipo B, C, D ed E e 3/2 per la sezione tipo A, in base a quanto descritto nel paragrafo 10.2.

Si presentano le verifiche di tracimazione per l'operatività del piazzale e per le condizioni meteomarine estreme per le sezioni tipo della nuova diga foranea di 1° fase. Si evidenzia che la quota di sommità delle opere della nuova diga prevista nel presente

progetto, è pari a +2,5 m l.m.m. ma che nel breve periodo l'Autorità Portuale provvederà alla realizzazione di un muro paraonde con quota di sommità a +7 m l.m.m.

Nel calcolo sono stati considerati i seguenti livelli associati alle onde:

TAB. 10.2 - LIVELLI DI CALCOLO ASSOCIATI ALLE ONDE DI PROGETTO

Tr onda di progetto	Livello di calcolo
1 anno	0,00
50 anni	0,40
250 anni	0,75

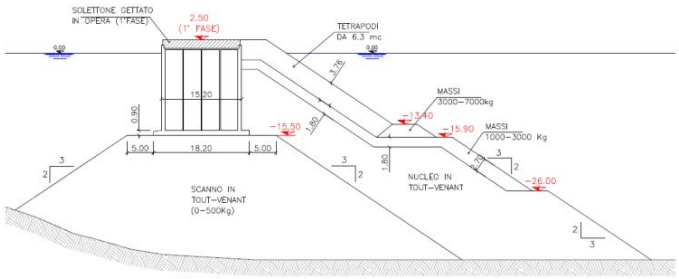
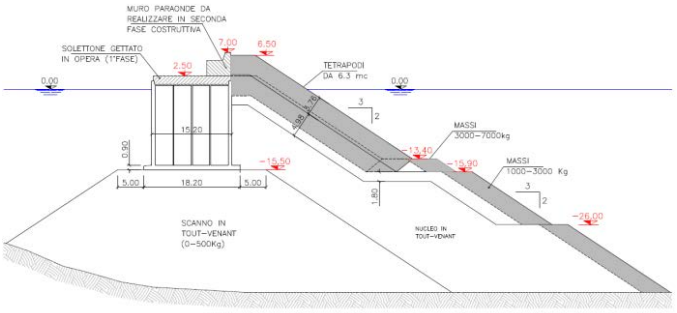
10.3.1. Condizioni di esercizio

Come presentato nel paragrafo dei criteri di progetto 10.1, le verifiche in condizioni di esercizio dovranno soddisfare il limite di:

- ***qlim = 1-10 l/s*** al m per garantire l'operatività e la sicurezza di pedoni (personale qualificato e consapevole della possibilità di essere bagnato, basso rischio di cadere dal camminamento,…) nel piazzale retrostante la struttura di coronamento.

Nel caso di diga foranea con quota di sommità di +2.5 m si assume come criterio di progetto la condizione meno restrittiva indicata dalle linee guida, 10 l/s/m, dal momento che si tratta di una configurazione di esercizio destinata a durare per un breve periodo di tempo. Nel caso invece di sovrastruttura con quota di sommità di +7,0 m, il criterio di progetto viene assunto essere quello più restrittivo, ovvero 1 l/s/m.

Sezione tipo A

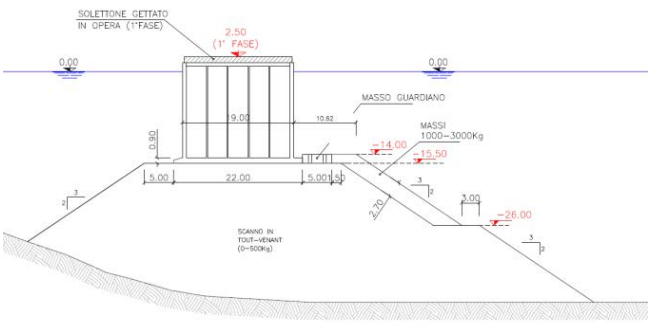
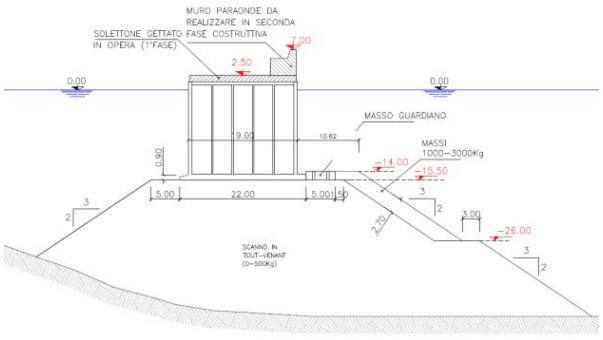
1° fase Quota di sommità della sovrastruttura +2,5m **Tr=1 anno**	***APS*** Quota di sommità della sovrastruttura +7,0 m **Tr=1 anno**
	
SezA_Tracimazione_Tr=1anni_Rc=2.5m	SezA_Tracimazione_Tr=1anni_Rc=7.0m

Structure type	1. Rubble mound structure, 1.1 Conventional breakwater
Response factor	1. Hydraulic response, 1.3 Overtopping
Formula	Neural network
Output parameter	(q) Mean overtopping rate
	INPUT
(Hm0) Spectral significant wave height	2.060 (m)
(Tm-1;0) Spectral wave period	6.360 (s)
(h) Water depth	41.0 (m)
(Rc) Crest freeboard	2.50 (m)
(Ac) Armour crest freeboard of the structure	2.50 (m)
(Gc) Crest width of the structure	4.69 (m)
(N) Number of incident waves	(-)
(β) Wave angle	0 (deg)
(cot(αs1)) Cotangent of lower structure slope angle	(-)
(cot(αs2)) Cotangent of upper structure slope angle	(-)
(cot(αd)) Slope of the structure downward of the berm	1.50 (-)
(cot(αu)) Slope of the structure upward of the berm	1.50 (-)
(B) Berm width	0 (m)
(dh) Distance from SWL to berm	(m)
(hb) Water depth on the berm	0 (m)
(tan(αB)) Slope of the berm	0 (-)
(Bt) Width of the toe of the structure	11.4 (m)
(ht) depth of toe below swl	13.4 (m)
(γf) Roughness reduction factor (seaward)	0.400 (-)
(γvw) Crown wall reduction factor	(-)
(P) Exceedance probability	(%)
(Conf) Confidence bands	(-)
	OUTPUT (-)
(q) Mean overtopping rate	0.2281 (l/s/m)
Quantiles for mean overtopping rates	TABLE ...
(Vmax) Max. overtopping volume per wave, per m	(m3/m)
(Pov) Percentage overtopping waves	(%)
(Vol) Overtopping volume per wave, per m	(m3/m)
(γb) Berm reduction factor	(-)
(γb*ξs;-1) Breaker parameter	(-)
(γβ) Oblique reduction	(-)
REMARK > For prototype, rough-sloping structures, a correction factor (for scale/model/wind effects) is applied: q = .5646 l/s/m)	

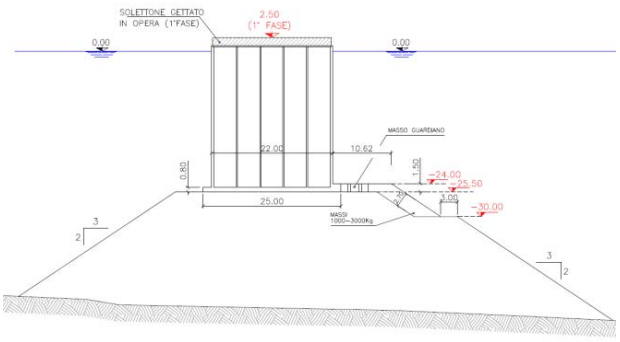
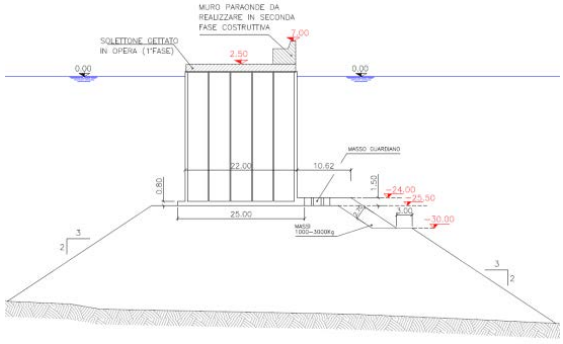
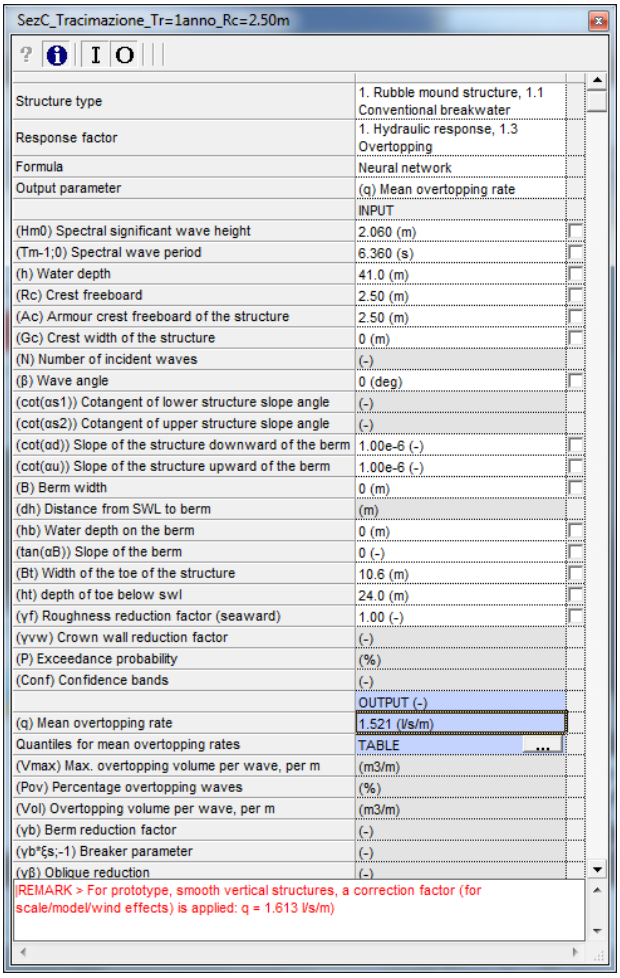
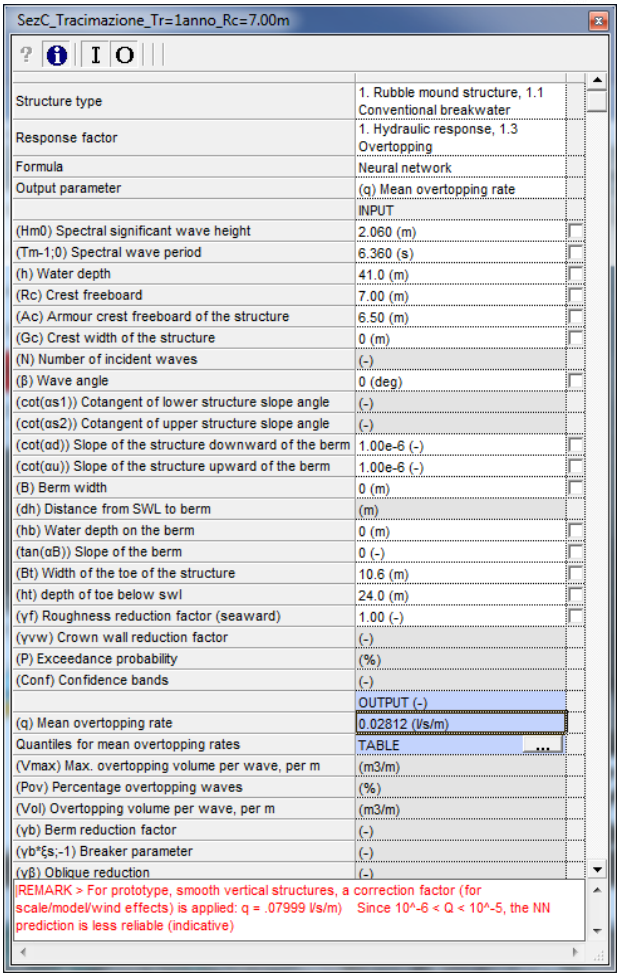
Structure type	1. Rubble mound structure, 1.1 Conventional breakwater
Response factor	1. Hydraulic response, 1.3 Overtopping
Formula	Neural network
Output parameter	(q) Mean overtopping rate
	INPUT
(Hm0) Spectral significant wave height	2.060 (m)
(Tm-1;0) Spectral wave period	6.360 (s)
(h) Water depth	41.0 (m)
(Rc) Crest freeboard	7.00 (m)
(Ac) Armour crest freeboard of the structure	6.50 (m)
(Gc) Crest width of the structure	4.69 (m)
(N) Number of incident waves	(-)
(β) Wave angle	0 (deg)
(cot(αs1)) Cotangent of lower structure slope angle	(-)
(cot(αs2)) Cotangent of upper structure slope angle	(-)
(cot(αd)) Slope of the structure downward of the berm	1.50 (-)
(cot(αu)) Slope of the structure upward of the berm	1.50 (-)
(B) Berm width	0 (m)
(dh) Distance from SWL to berm	(m)
(hb) Water depth on the berm	0 (m)
(tan(αB)) Slope of the berm	0 (-)
(Bt) Width of the toe of the structure	11.4 (m)
(ht) depth of toe below swl	13.4 (m)
(γf) Roughness reduction factor (seaward)	0.400 (-)
(γvw) Crown wall reduction factor	(-)
(P) Exceedance probability	(%)
(Conf) Confidence bands	(-)
	OUTPUT (-)
(q) Mean overtopping rate	-1000 (l/s/m)
Quantiles for mean overtopping rates	TABLE ...
(Vmax) Max. overtopping volume per wave, per m	(m3/m)
(Pov) Percentage overtopping waves	(%)
(Vol) Overtopping volume per wave, per m	(m3/m)
(γb) Berm reduction factor	(-)
(γb*ξs;-1) Breaker parameter	(-)
(γβ) Oblique reduction	(-)
WARNING> For Q < 10^-6, no prediction is given	

0,56 <10 l/s per m	10^{-6}<1 l/s per m

Sezione tipo B

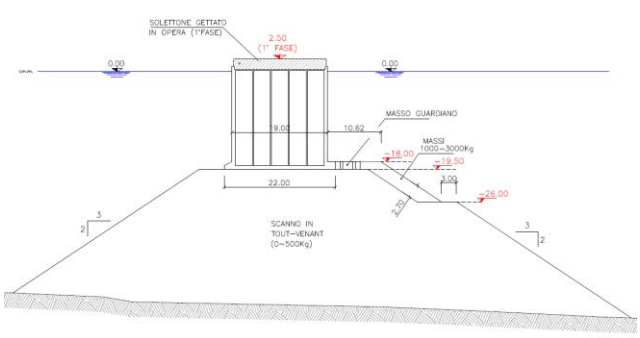
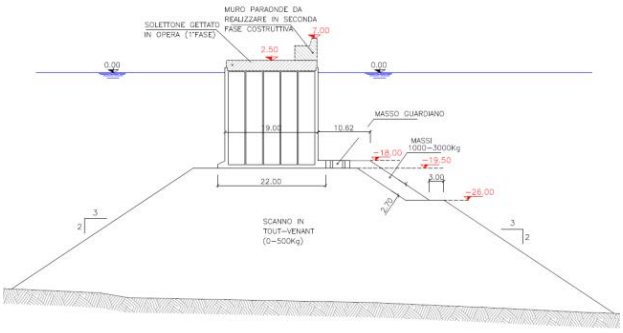
1° fase Quota di sommità della sovrastruttura +2,5m **Tr=1 anno**	***PRP*** Quota di sommità della sovrastruttura +7,0 m **Tr=1 anno**
	
SezB_Tracimazione_Tr=1anni_Rc=2.50m	SezB_Tracimazione_Tr=1anni_Rc=7.0m
Structure type: 1. Rubble mound structure, 1.1 Conventional breakwater Response factor: 1. Hydraulic response, 1.3 Overtopping Formula: Neural network Output parameter: (q) Mean overtopping rate INPUT (Hm0) Spectral significant wave height: 2.060 (m) (Tm-1;0) Spectral wave period: 6.360 (s) (h) Water depth: 41.0 (m) (Rc) Crest freeboard: 2.50 (m) (Ac) Armour crest freeboard of the structure: 2.50 (m) (Gc) Crest width of the structure: 0 (m) (N) Number of incident waves: (-) (β) Wave angle: 0 (deg) (cot(αs1)) Cotangent of lower structure slope angle: (-) (cot(αs2)) Cotangent of upper structure slope angle: (-) (cot(αd)) Slope of the structure downward of the berm: 1.00e-6 (-) (cot(αu)) Slope of the structure upward of the berm: 1.00e-6 (-) (B) Berm width: 0 (m) (dh) Distance from SWL to berm: (m) (hb) Water depth on the berm: 0 (m) (tan(αB)) Slope of the berm: 0 (-) (Bt) Width of the toe of the structure: 10.6 (m) (ht) depth of toe below swl: 14.0 (m) (γf) Roughness reduction factor (seaward): 1.00 (-) (γvw) Crown wall reduction factor: (-) (P) Exceedance probability: (%) (Conf) Confidence bands: (-) OUTPUT (-) (q) Mean overtopping rate: 1.956 (l/s/m) Quantiles for mean overtopping rates: TABLE (Vmax) Max. overtopping volume per wave, per m: (m3/m) (Pov) Percentage overtopping waves: (%) (Vol) Overtopping volume per wave, per m: (m3/m) (γb) Berm reduction factor: (-) (γb*ξs;-1) Breaker parameter: (-) (γβ) Oblique reduction: (-) REMARK > For prototype, smooth vertical structures, a correction factor (for scale/model/wind effects) is applied: q = 2.033 l/s/m)	Structure type: 1. Rubble mound structure, 1.1 Conventional breakwater Response factor: 1. Hydraulic response, 1.3 Overtopping Formula: Neural network Output parameter: (q) Mean overtopping rate INPUT (Hm0) Spectral significant wave height: 2.060 (m) (Tm-1;0) Spectral wave period: 6.360 (s) (h) Water depth: 41.0 (m) (Rc) Crest freeboard: 7.00 (m) (Ac) Armour crest freeboard of the structure: 6.50 (m) (Gc) Crest width of the structure: 0 (m) (N) Number of incident waves: (-) (β) Wave angle: 0 (deg) (cot(αs1)) Cotangent of lower structure slope angle: (-) (cot(αs2)) Cotangent of upper structure slope angle: (-) (cot(αd)) Slope of the structure downward of the berm: 1.00e-6 (-) (cot(αu)) Slope of the structure upward of the berm: 1.00e-6 (-) (B) Berm width: 0 (m) (dh) Distance from SWL to berm: (m) (hb) Water depth on the berm: 0 (m) (tan(αB)) Slope of the berm: 0 (-) (Bt) Width of the toe of the structure: 10.6 (m) (ht) depth of toe below swl: 14.0 (m) (γf) Roughness reduction factor (seaward): 1.00 (-) (γvw) Crown wall reduction factor: (-) (P) Exceedance probability: (%) (Conf) Confidence bands: (-) OUTPUT (-) (q) Mean overtopping rate: 0.03233 (l/s/m) Quantiles for mean overtopping rates: TABLE (Vmax) Max. overtopping volume per wave, per m: (m3/m) (Pov) Percentage overtopping waves: (%) (Vol) Overtopping volume per wave, per m: (m3/m) (γb) Berm reduction factor: (-) (γb*ξs;-1) Breaker parameter: (-) (γβ) Oblique reduction: (-) REMARK > For prototype, smooth vertical structures, a correction factor (for scale/model/wind effects) is applied: q = .08781 l/s/m) Since 10^-6 < Q < 10^-5, the NN prediction is less reliable (indicative)
2.03<10 l/s per m	0,09<1 l/s per m

Sezione tipo C

1° fase Quota di sommità della sovrastruttura +2,5m **Tr=1 anno**	***PRP*** Quota di sommità della sovrastruttura +7,0 m **Tr=1 anno**
	
 SezC_Tracimazione_Tr=1anno_Rc=2.50m	 SezC_Tracimazione_Tr=1anno_Rc=7.00m
1,6<10 l/s per m	10^{-6}<1 l/s per m

	SezC_Tracimazione_Tr=1anno_Rc=2.50m	SezC_Tracimazione_Tr=1anno_Rc=7.00m
Structure type	1. Rubble mound structure, 1.1 Conventional breakwater	1. Rubble mound structure, 1.1 Conventional breakwater
Response factor	1. Hydraulic response, 1.3 Overtopping	1. Hydraulic response, 1.3 Overtopping
Formula	Neural network	Neural network
Output parameter	(q) Mean overtopping rate	(q) Mean overtopping rate
	INPUT	INPUT
(Hm0) Spectral significant wave height	2.060 (m)	2.060 (m)
(Tm-1;0) Spectral wave period	6.360 (s)	6.360 (s)
(h) Water depth	41.0 (m)	41.0 (m)
(Rc) Crest freeboard	2.50 (m)	7.00 (m)
(Ac) Armour crest freeboard of the structure	2.50 (m)	6.50 (m)
(Gc) Crest width of the structure	0 (m)	0 (m)
(N) Number of incident waves	(-)	(-)
(β) Wave angle	0 (deg)	0 (deg)
(cot(αs1)) Cotangent of lower structure slope angle	(-)	(-)
(cot(αs2)) Cotangent of upper structure slope angle	(-)	(-)
(cot(αd)) Slope of the structure downward of the berm	1.00e-6 (-)	1.00e-6 (-)
(cot(αu)) Slope of the structure upward of the berm	1.00e-6 (-)	1.00e-6 (-)
(B) Berm width	0 (m)	0 (m)
(dh) Distance from SWL to berm	(m)	(m)
(hb) Water depth on the berm	0 (m)	0 (m)
(tan(αB)) Slope of the berm	0 (-)	0 (-)
(Bt) Width of the toe of the structure	10.6 (m)	10.6 (m)
(ht) depth of toe below swl	24.0 (m)	24.0 (m)
(γf) Roughness reduction factor (seaward)	1.00 (-)	1.00 (-)
(γvw) Crown wall reduction factor	(-)	(-)
(P) Exceedance probability	(%)	(%)
(Conf) Confidence bands	(-)	(-)
	OUTPUT (-)	OUTPUT (-)
(q) Mean overtopping rate	1.521 (l/s/m)	0.02812 (l/s/m)
Quantiles for mean overtopping rates	TABLE ...	TABLE ...
(Vmax) Max. overtopping volume per wave, per m	(m3/m)	(m3/m)
(Pov) Percentage overtopping waves	(%)	(%)
(Vol) Overtopping volume per wave, per m	(m3/m)	(m3/m)
(γb) Berm reduction factor	(-)	(-)
(γb*ξs;-1) Breaker parameter	(-)	(-)
(γβ) Oblique reduction	(-)	(-)
REMARK >	For prototype, smooth vertical structures, a correction factor (for scale/model/wind effects) is applied: q = 1.613 l/s/m)	For prototype, smooth vertical structures, a correction factor (for scale/model/wind effects) is applied: q = .07999 l/s/m) Since 10^-6 < Q < 10^-5, the NN prediction is less reliable (indicative)

Sezione tipo D

1° fase Quota di sommità della sovrastruttura +2,5m **Tr=1 anno**	***PRP*** Quota di sommità della sovrastruttura +7,0 m **Tr=1 anno**
	
SezD_Tracimazione_Tr=1anno_Rc=2.50m	SezD_Tracimazione_Tr=1anno_Rc=7.00m
Structure type: 1. Rubble mound structure, 1.	Structure type: 1. Rubble mound structure, 1.
Response factor: 1. Hydraulic response, 1.3 Overtopping	Response factor: 1. Hydraulic response, 1.3 Overtopping
Formula: Neural network	Formula: Neural network
Output parameter: (q) Mean overtopping rate	Output parameter: (q) Mean overtopping rate
INPUT	INPUT
(Hm0) Spectral significant wave height: 2.060 (m)	(Hm0) Spectral significant wave height: 2.060 (m)
(Tm-1;0) Spectral wave period: 6.360 (s)	(Tm-1;0) Spectral wave period: 6.360 (s)
(h) Water depth: 41.0 (m)	(h) Water depth: 41.0 (m)
(Rc) Crest freeboard: 2.50 (m)	(Rc) Crest freeboard: 7.00 (m)
(Ac) Armour crest freeboard of the structure: 2.50 (m)	(Ac) Armour crest freeboard of the structure: 7.00 (m)
(Gc) Crest width of the structure: 0 (m)	(Gc) Crest width of the structure: 0 (m)
(N) Number of incident waves: (-)	(N) Number of incident waves: (-)
(β) Wave angle: 0 (deg)	(β) Wave angle: 0 (deg)
(cot(αs1)) Cotangent of lower structure slope angle: (-)	(cot(αs1)) Cotangent of lower structure slope angle: (-)
(cot(αs2)) Cotangent of upper structure slope angle: (-)	(cot(αs2)) Cotangent of upper structure slope angle: (-)
(cot(αd)) Slope of the structure downward of the berm: 1.00e-6 (-)	(cot(αd)) Slope of the structure downward of the berm: 1.00e-6 (-)
(cot(αu)) Slope of the structure upward of the berm: 1.00e-6 (-)	(cot(αu)) Slope of the structure upward of the berm: 1.00e-6 (-)
(B) Berm width: 0 (m)	(B) Berm width: 0 (m)
(dh) Distance from SWL to berm: (m)	(dh) Distance from SWL to berm: (m)
(hb) Water depth on the berm: 0 (m)	(hb) Water depth on the berm: 0 (m)
(tan(αB)) Slope of the berm: 0 (-)	(tan(αB)) Slope of the berm: 0 (-)
(Bt) Width of the toe of the structure: 10.6 (m)	(Bt) Width of the toe of the structure: 10.6 (m)
(ht) depth of toe below swl: 18.0 (m)	(ht) depth of toe below swl: 18.0 (m)
(γf) Roughness reduction factor (seaward): 1.00 (-)	(γf) Roughness reduction factor (seaward): 1.00 (-)
(γvw) Crown wall reduction factor: (-)	(γvw) Crown wall reduction factor: (-)
(P) Exceedance probability: (%)	(P) Exceedance probability: (%)
(Conf) Confidence bands: (-)	(Conf) Confidence bands: (-)
OUTPUT (-)	OUTPUT (-)
(q) Mean overtopping rate: 1.864 (l/s/m)	(q) Mean overtopping rate: 0.02865 (l/s/m)
Quantiles for mean overtopping rates: TABLE	Quantiles for mean overtopping rates: TABLE
(Vmax) Max. overtopping volume per wave, per m: (m3/m)	(Vmax) Max. overtopping volume per wave, per m: (m3/m)
(Pov) Percentage overtopping waves: (%)	(Pov) Percentage overtopping waves: (%)
(Vol) Overtopping volume per wave, per m: (m3/m)	(Vol) Overtopping volume per wave, per m: (m3/m)
(γb) Berm reduction factor: (-)	(γb) Berm reduction factor: (-)
(γb*ξs;-1) Breaker parameter: (-)	(γb*ξs;-1) Breaker parameter: (-)
(γβ) Oblique reduction: (-)	(γβ) Oblique reduction: (-)
REMARK > For prototype, smooth vertical structures, a correction factor (for scale/model/wind effects) is applied: q = 1.944 l/s/m)	REMARK > For prototype, smooth vertical structures, a correction factor (for scale/model/wind effects) is applied: q = .08099 l/s/m) Since 10^-6 < Q < 10^-5, the NN prediction is less reliable (indicative)
1.94<10 l/s per m	0.08<1 l/s per m

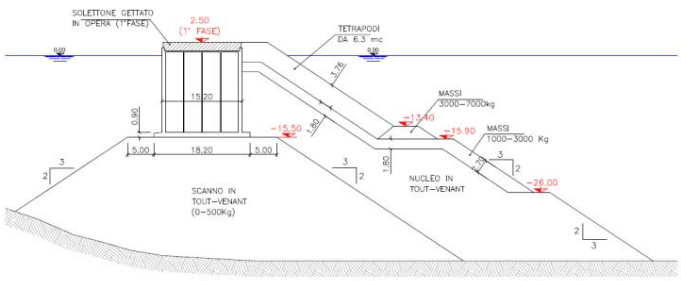
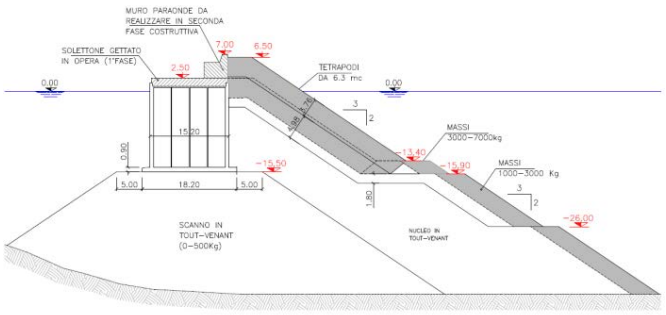
10.3.2. Condizioni estreme

Come presentato nel paragrafo dei criteri di progetto 10.1, le verifiche in condizioni estreme dovranno soddisfare i limiti :

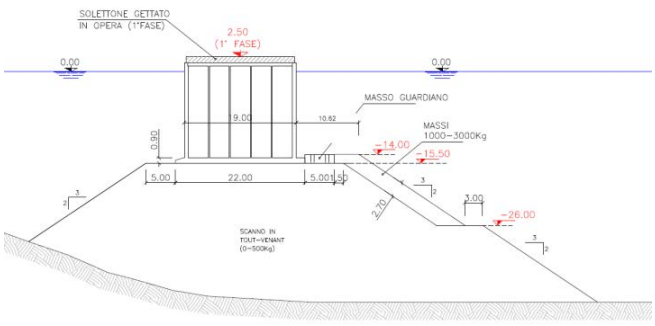
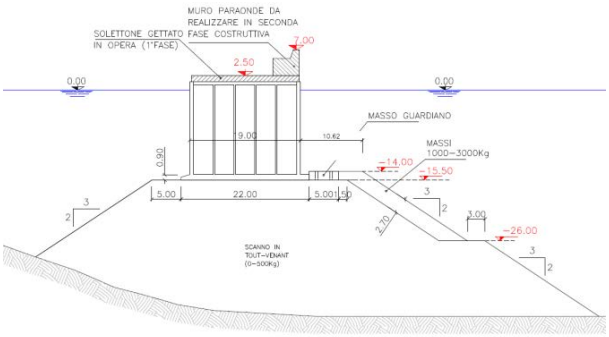
– q_{lim} **= 200 l/s** al m in condizioni meteomarine estreme (Tr=50 anni e 250 anni), per garantire la stabilità e sicurezza delle strutture lato porto e della pavimentazione.

Si evidenzia che nel caso si preveda, , l'accosto di navi a tergo della diga, al momento non contemplato, si dovrà tenere conto di un criterio più restrittivo, q_{lim} **= 50 l/s**.

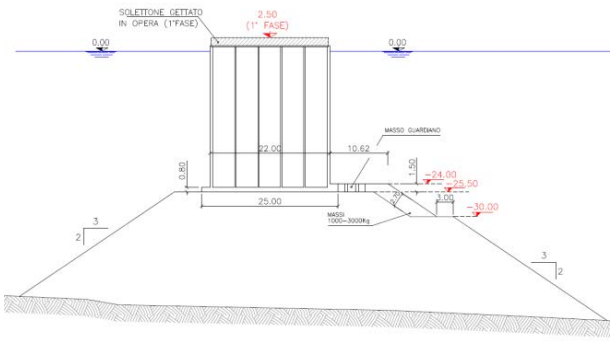
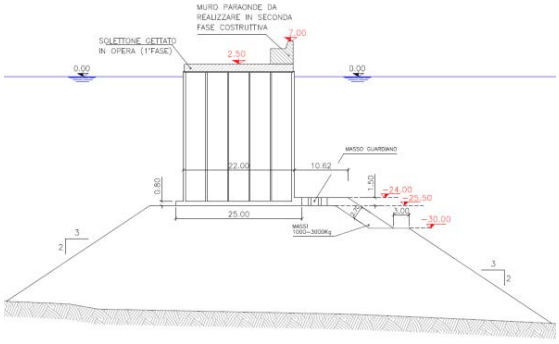
Sezione tipo A

1° fase Quota di sommità della sovrastruttura +2,5m **Tr=50 anni**	***APS*** Quota di sommità della sovrastruttura +7,0 m **Tr=50 anni**
	
SezA_Tracimazione_Tr=50anni_Rc=2.5m	SezA_Tracimazione_Tr=50anni_Rc=7.0m
Structure type: 1. Rubble mound structure, 1.	Structure type: 1. Rubble mound structure, 1.1 Conventional breakwater
Response factor: 1. Hydraulic response, 1.3 Overtopping	Response factor: 1. Hydraulic response, 1.3 Overtopping
Formula: Neural network	Formula: Neural network
Output parameter: (q) Mean overtopping rate	Output parameter: (q) Mean overtopping rate
INPUT	INPUT
(Hm0) Spectral significant wave height: 4.500 (m)	(Hm0) Spectral significant wave height: 4.500 (m)
(Tm-1;0) Spectral wave period: 10.80 (s)	(Tm-1;0) Spectral wave period: 10.80 (s)
(h) Water depth: 41.4 (m)	(h) Water depth: 41.4 (m)
(Rc) Crest freeboard: 2.10 (m)	(Rc) Crest freeboard: 6.60 (m)
(Ac) Armour crest freeboard of the structure: 2.10 (m)	(Ac) Armour crest freeboard of the structure: 6.10 (m)
(Gc) Crest width of the structure: 4.69 (m)	(Gc) Crest width of the structure: 4.69 (m)
(N) Number of incident waves: (-)	(N) Number of incident waves: (-)
(β) Wave angle: 0 (deg)	(β) Wave angle: 0 (deg)
(cot(αs1)) Cotangent of lower structure slope angle: (-)	(cot(αs1)) Cotangent of lower structure slope angle: (-)
(cot(αs2)) Cotangent of upper structure slope angle: (-)	(cot(αs2)) Cotangent of upper structure slope angle: (-)
(cot(αd)) Slope of the structure downward of the berm: 1.50 (-)	(cot(αd)) Slope of the structure downward of the berm: 1.50 (-)
(cot(αu)) Slope of the structure upward of the berm: 1.50 (-)	(cot(αu)) Slope of the structure upward of the berm: 1.50 (-)
(B) Berm width: 0 (m)	(B) Berm width: 0 (m)
(dh) Distance from SWL to berm: (m)	(dh) Distance from SWL to berm: (m)
(hb) Water depth on the berm: 0 (m)	(hb) Water depth on the berm: 0 (m)
(tan(αB)) Slope of the berm: 0 (-)	(tan(αB)) Slope of the berm: 0 (-)
(Bt) Width of the toe of the structure: 11.4 (m)	(Bt) Width of the toe of the structure: 11.4 (m)
(ht) depth of toe below swl: 13.8 (m)	(ht) depth of toe below swl: 13.8 (m)
(γf) Roughness reduction factor (seaward): 0.400 (-)	(γf) Roughness reduction factor (seaward): 0.400 (-)
(γvw) Crown wall reduction factor: (-)	(γvw) Crown wall reduction factor: (-)
(P) Exceedance probability: (%)	(P) Exceedance probability: (%)
(Conf) Confidence bands: (-)	(Conf) Confidence bands: (-)
OUTPUT (-)	OUTPUT (-)
(q) Mean overtopping rate: 15.74 (l/s/m)	(q) Mean overtopping rate: 0.5956 (l/s/m)
Quantiles for mean overtopping rates: TABLE	Quantiles for mean overtopping rates: TABLE
(Vmax) Max. overtopping volume per wave, per m: (m3/m)	(Vmax) Max. overtopping volume per wave, per m: (m3/m)
(Pov) Percentage overtopping waves: (%)	(Pov) Percentage overtopping waves: (%)
(Vol) Overtopping volume per wave, per m: (m3/m)	(Vol) Overtopping volume per wave, per m: (m3/m)
(γb) Berm reduction factor: (-)	(γb) Berm reduction factor: (-)
(γb*ξs;-1) Breaker parameter: (-)	(γb*ξs;-1) Breaker parameter: (-)
(γβ) Oblique reduction: (-)	(γβ) Oblique reduction: (-)
REMARK > For prototype, rough-sloping structures, a correction factor (for scale/model/wind effects) is applied: q = 15.74 l/s/m)	REMARK > For prototype, rough-sloping structures, a correction factor (for scale/model/wind effects) is applied: q = .9606 l/s/m)
15,74< 200 l/s per m	0,96< 200 l/s per m

Sezione tipo B

1° fase	***PRP***
Quota di sommità della sovrastruttura +2,5m **Tr=50 anni**	Quota di sommità della sovrastruttura +7,0 m **Tr=250 anni**
	
SezB_Tracimazione_Tr=50anni_Rc=2.50m_Tp=11.9s	SezB_Tracimazione_Tr=250anni_Rc=7.00m
Structure type: 1. Rubble mound structure, 1.1 Conventional breakwater Response factor: 1. Hydraulic response, 1.3 Overtopping Formula: Neural network Output parameter: (q) Mean overtopping rate INPUT (Hm0) Spectral significant wave height: 4.500 (m) (Tm-1;0) Spectral wave period: 10.80 (s) (h) Water depth: 41.4 (m) (Rc) Crest freeboard: 2.10 (m) (Ac) Armour crest freeboard of the structure: 2.10 (m) (Gc) Crest width of the structure: 0 (m) (N) Number of incident waves: (-) (β) Wave angle: 0 (deg) (cot(αs1)) Cotangent of lower structure slope angle: (-) (cot(αs2)) Cotangent of upper structure slope angle: (-) (cot(αd)) Slope of the structure downward of the berm: 1.00e-6 (-) (cot(αu)) Slope of the structure upward of the berm: 1.00e-6 (-) (B) Berm width: 0 (m) (dh) Distance from SWL to berm: (m) (hb) Water depth on the berm: 0 (m) (tan(αB)) Slope of the berm: 0 (-) (Bt) Width of the toe of the structure: 10.6 (m) (ht) depth of toe below swl: 14.4 (m) (γf) Roughness reduction factor (seaward): 1.00 (-) (γvw) Crown wall reduction factor: (-) (P) Exceedance probability: (%) (Conf) Confidence bands: (-) OUTPUT (-) (q) Mean overtopping rate: 109.6 (l/s/m) Quantiles for mean overtopping rates: TABLE (Vmax) Max. overtopping volume per wave, per m: (m3/m) (Pov) Percentage overtopping waves: (%) (Vol) Overtopping volume per wave, per m: (m3/m) (γb) Berm reduction factor: (-) (γb*ξs;-1) Breaker parameter: (-) (γβ) Oblique reduction: (-) [REMARK > For prototype, smooth vertical structures, a correction factor (for scale/model/wind effects) is applied: q = 109.6 (l/s/m)	Structure type: 1. Rubble mound structure, 1.1 Conventional breakwater Response factor: 1. Hydraulic response, 1.3 Overtopping Formula: Neural network Output parameter: (q) Mean overtopping rate INPUT (Hm0) Spectral significant wave height: 5.900 (m) (Tm-1;0) Spectral wave period: 11.80 (s) (h) Water depth: 41.8 (m) (Rc) Crest freeboard: 6.25 (m) (Ac) Armour crest freeboard of the structure: 5.75 (m) (Gc) Crest width of the structure: 0 (m) (N) Number of incident waves: (-) (β) Wave angle: 0 (deg) (cot(αs1)) Cotangent of lower structure slope angle: (-) (cot(αs2)) Cotangent of upper structure slope angle: (-) (cot(αd)) Slope of the structure downward of the berm: 1.00e-6 (-) (cot(αu)) Slope of the structure upward of the berm: 1.00e-6 (-) (B) Berm width: 0 (m) (dh) Distance from SWL to berm: (m) (hb) Water depth on the berm: 0 (m) (tan(αB)) Slope of the berm: 0 (-) (Bt) Width of the toe of the structure: 10.6 (m) (ht) depth of toe below swl: 14.8 (m) (γf) Roughness reduction factor (seaward): 1.00 (-) (γvw) Crown wall reduction factor: (-) (P) Exceedance probability: (%) (Conf) Confidence bands: (-) OUTPUT (-) (q) Mean overtopping rate: 25.02 (l/s/m) Quantiles for mean overtopping rates: TABLE (Vmax) Max. overtopping volume per wave, per m: (m3/m) (Pov) Percentage overtopping waves: (%) (Vol) Overtopping volume per wave, per m: (m3/m) (γb) Berm reduction factor: (-) (γb*ξs;-1) Breaker parameter: (-) (γβ) Oblique reduction: (-) [REMARK > For prototype, smooth vertical structures, a correction factor (for scale/model/wind effects) is applied: q = 25.02 l/s/m)
109,6< 200 l/s per m	25,02< 200 l/s per m

Sezione tipo C

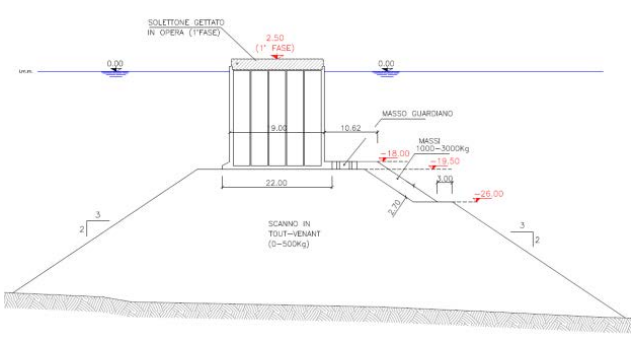
1° fase Quota di sommità della sovrastruttura +2,5m **Tr=50 anni**	***PRP*** Quota di sommità della sovrastruttura +7,0 m **Tr=250 anni**
	
SezC_Tracimazione_Tr=50anno_Rc=2.50m	SezC_Tracimazione_Tr=250anno_Rc=7.00m

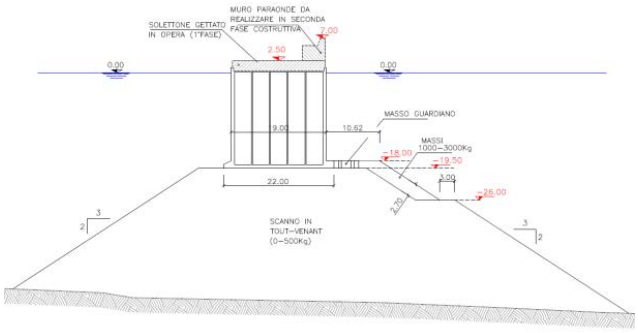
Structure type	1. Rubble mound structure, 1.1 Conventional breakwater	Structure type	1. Rubble mound structure, 1.1 Conventional breakwater
Response factor	1. Hydraulic response, 1.3 Overtopping	Response factor	1. Hydraulic response, 1.3 Overtopping
Formula	Neural network	Formula	Neural network
Output parameter	(q) Mean overtopping rate	Output parameter	(q) Mean overtopping rate
	INPUT		INPUT
(Hm0) Spectral significant wave height	4.500 (m)	(Hm0) Spectral significant wave height	5.900 (m)
(Tm-1;0) Spectral wave period	10.80 (s)	(Tm-1;0) Spectral wave period	11.80 (s)
(h) Water depth	49.4 (m)	(h) Water depth	49.8 (m)
(Rc) Crest freeboard	2.10 (m)	(Rc) Crest freeboard	6.25 (m)
(Ac) Armour crest freeboard of the structure	2.10 (m)	(Ac) Armour crest freeboard of the structure	5.75 (m)
(Gc) Crest width of the structure	0 (m)	(Gc) Crest width of the structure	0 (m)
(N) Number of incident waves	(-)	(N) Number of incident waves	(-)
(β) Wave angle	0 (deg)	(β) Wave angle	0 (deg)
(cot(αs1)) Cotangent of lower structure slope angle	(-)	(cot(αs1)) Cotangent of lower structure slope angle	(-)
(cot(αs2)) Cotangent of upper structure slope angle	(-)	(cot(αs2)) Cotangent of upper structure slope angle	(-)
(cot(αd)) Slope of the structure downward of the berm	1.00e-6 (-)	(cot(αd)) Slope of the structure downward of the berm	1.00e-6 (-)
(cot(αu)) Slope of the structure upward of the berm	1.00e-6 (-)	(cot(αu)) Slope of the structure upward of the berm	1.00e-6 (-)
(B) Berm width	0 (m)	(B) Berm width	0 (m)
(dh) Distance from SWL to berm	(m)	(dh) Distance from SWL to berm	(m)
(hb) Water depth on the berm	0 (m)	(hb) Water depth on the berm	0 (m)
(tan(αB)) Slope of the berm	0 (-)	(tan(αB)) Slope of the berm	0 (-)
(Bt) Width of the toe of the structure	10.6 (m)	(Bt) Width of the toe of the structure	10.6 (m)
(ht) depth of toe below swl	24.4 (m)	(ht) depth of toe below swl	24.8 (m)
(γf) Roughness reduction factor (seaward)	1.00 (-)	(γf) Roughness reduction factor (seaward)	1.00 (-)
(γvw) Crown wall reduction factor	(-)	(γvw) Crown wall reduction factor	(-)
(P) Exceedance probability	(%)	(P) Exceedance probability	(%)
(Conf) Confidence bands	(-)	(Conf) Confidence bands	(-)
	OUTPUT (-)		OUTPUT (-)
(q) Mean overtopping rate	103.6 (l/s/m)	(q) Mean overtopping rate	26.76 (l/s/m)
Quantiles for mean overtopping rates	TABLE ...	Quantiles for mean overtopping rates	TABLE ...
(Vmax) Max. overtopping volume per wave, per m	(m3/m)	(Vmax) Max. overtopping volume per wave, per m	(m3/m)
(Pov) Percentage overtopping waves	(%)	(Pov) Percentage overtopping waves	(%)
(Vol) Overtopping volume per wave, per m	(m3/m)	(Vol) Overtopping volume per wave, per m	(m3/m)
(γb) Berm reduction factor	(-)	(γb) Berm reduction factor	(-)
(γb*ξs;-1) Breaker parameter	(-)	(γb*ξs;-1) Breaker parameter	(-)
(γβ) Oblique reduction	(-)	(γβ) Oblique reduction	(-)
!REMARK > For prototype, smooth vertical structures, a correction factor (for scale/model/wind effects) is applied: q = 103.6 (l/s/m)		!REMARK > For prototype, smooth vertical structures, a correction factor (for scale/model/wind effects) is applied: q = 26.76 l/s/m)	

103,6< 200 l/s per m	26,76< 200 l/s per m

Sezione tipo D

1° fase Quota di sommità della sovrastruttura +2,5m **Tr=50 anni**	***PRP*** Quota di sommità della sovrastruttura +7,0 m **Tr=250 anni**





SezD_Tracimazione_Tr=50anni_Rc=2.50m_Tp=11.9s

Structure type	1. Rubble mound structure, 1.1 Conventional breakwater
Response factor	1. Hydraulic response, 1.3 Overtopping
Formula	Neural network
Output parameter	(q) Mean overtopping rate
	INPUT
(Hm0) Spectral significant wave height	4.500 (m)
(Tm-1;0) Spectral wave period	10.80 (s)
(h) Water depth	49.4 (m)
(Rc) Crest freeboard	2.10 (m)
(Ac) Armour crest freeboard of the structure	2.10 (m)
(Gc) Crest width of the structure	0 (m)
(N) Number of incident waves	(-)
(β) Wave angle	0 (deg)
(cot(αs1)) Cotangent of lower structure slope angle	(-)
(cot(αs2)) Cotangent of upper structure slope angle	(-)
(cot(αd)) Slope of the structure downward of the berm	1.00e-6 (-)
(cot(αu)) Slope of the structure upward of the berm	1.00e-6 (-)
(B) Berm width	0 (m)
(dh) Distance from SWL to berm	(m)
(hb) Water depth on the berm	0 (m)
(tan(αB)) Slope of the berm	0 (-)
(Bt) Width of the toe of the structure	10.6 (m)
(ht) depth of toe below swl	18.4 (m)
(γf) Roughness reduction factor (seaward)	1.00 (-)
(γvw) Crown wall reduction factor	(-)
(P) Exceedance probability	(%)
(Conf) Confidence bands	(-)
	OUTPUT (-)
(q) Mean overtopping rate	90.54 (l/s/m)
Quantiles for mean overtopping rates	TABLE ...
(Vmax) Max. overtopping volume per wave, per m	(m3/m)
(Pov) Percentage overtopping waves	(%)
(Vol) Overtopping volume per wave, per m	(m3/m)
(γb) Berm reduction factor	(-)
(γb*ξs;-1) Breaker parameter	(-)
(γβ) Oblique reduction	(-)

REMARK > For prototype, smooth vertical structures, a correction factor (for scale/model/wind effects) is applied: q = 90.54 l/s/m)

SezD_Tracimazione_Tr=250anni_Rc=7.00m

Structure type	1. Rubble mound structure, 1.1 Conventional breakwater
Response factor	1. Hydraulic response, 1.3 Overtopping
Formula	Neural network
Output parameter	(q) Mean overtopping rate
	INPUT
(Hm0) Spectral significant wave height	5.900 (m)
(Tm-1;0) Spectral wave period	11.80 (s)
(h) Water depth	49.8 (m)
(Rc) Crest freeboard	6.25 (m)
(Ac) Armour crest freeboard of the structure	5.75 (m)
(Gc) Crest width of the structure	0 (m)
(N) Number of incident waves	(-)
(β) Wave angle	0 (deg)
(cot(αs1)) Cotangent of lower structure slope angle	(-)
(cot(αs2)) Cotangent of upper structure slope angle	(-)
(cot(αd)) Slope of the structure downward of the berm	1.00e-6 (-)
(cot(αu)) Slope of the structure upward of the berm	1.00e-6 (-)
(B) Berm width	0 (m)
(dh) Distance from SWL to berm	(m)
(hb) Water depth on the berm	0 (m)
(tan(αB)) Slope of the berm	0 (-)
(Bt) Width of the toe of the structure	10.6 (m)
(ht) depth of toe below swl	18.8 (m)
(γf) Roughness reduction factor (seaward)	1.00 (-)
(γvw) Crown wall reduction factor	(-)
(P) Exceedance probability	(%)
(Conf) Confidence bands	(-)
	OUTPUT (-)
(q) Mean overtopping rate	24.43 (l/s/m)
Quantiles for mean overtopping rates	TABLE ...
(Vmax) Max. overtopping volume per wave, per m	(m3/m)
(Pov) Percentage overtopping waves	(%)
(Vol) Overtopping volume per wave, per m	(m3/m)
(γb) Berm reduction factor	(-)
(γb*ξs;-1) Breaker parameter	(-)
(γβ) Oblique reduction	(-)

REMARK > For prototype, smooth vertical structures, a correction factor (for scale/model/wind effects) is applied: q = 24.43 l/s/m)

90,54< 200 l/s per m	24,43< 200 l/s per m

10.4. Piattaforma

Come descritto nei paragrafi precedenti per il calcolo della tracimazione in corrispondenza dei cassoni di conterminazione della piattaforma si è fatto riferimento al metodo delle reti neurali, che permette di descrivere geometricamente e idraulicamente la struttura in oggetto attraverso 15 parametri.

L'opera che si intende verificare consiste in cassoni posati su uno scanno di imbasamento in materiale granulare e fondato su alti fondali. I parametri geometrici, esplicitati nelle verifiche presentate nei seguenti sotto paragrafi, sono definiti sulla base delle sezioni di progetto dell'opera, considerando la sezione più critica al fine della verifica.
La geometria delle sezioni della struttura in relazione alle altezze d'onda di progetto, sia per onde con tempo di ritorno 1 anno (condizione operativa) che per onde con tempo di ritorno 50 anni (condizione estrema), porta ad assume come valore di $\cot\alpha_d$ e di $\cot\alpha_u$ zero, in base a quanto descritto nel paragrafo 10.2.

Tutte le sezioni di conterminazione della piattaforma presentano quota di sommità pari a +4.5 m e quota di imbasamento dei cassoni pari a -16.5 m. Dato il metodo di calcolo adottato la sezione più critica, a parità di onda, sarà quella in corrispondenza di fondali più bassi. Si presentano quindi di seguito le verifiche per condizioni operative e per le condizioni estreme per le sezione di conterminazione più critica di ogni banchina, riportate per chiarezza di seguito

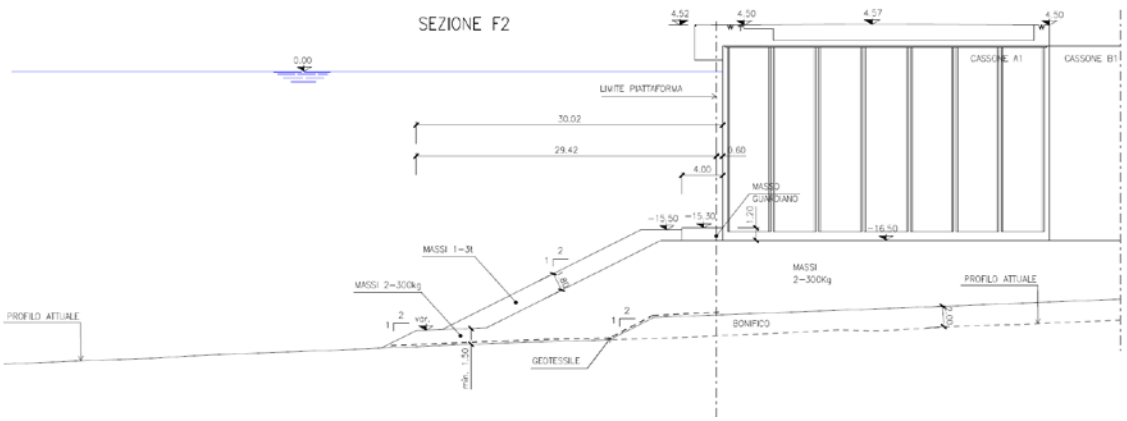


FIG. 10.2 - GEOMETRIA SEZIONE CRITICA PER LA TRACIMAZIONE – BANCHINA CONTAINER

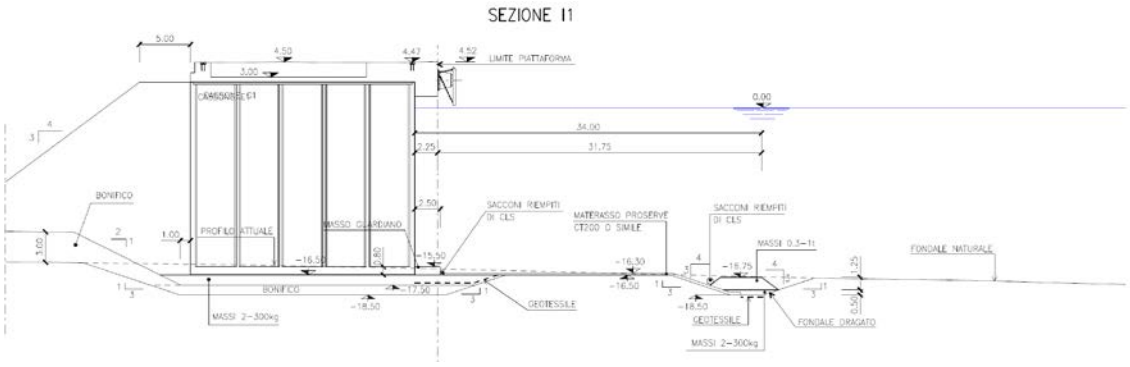


FIG. 10.3 - GEOMETRIA SEZIONE CRITICA PER LA TRACIMAZIONE – BANCHINA RINFUSE

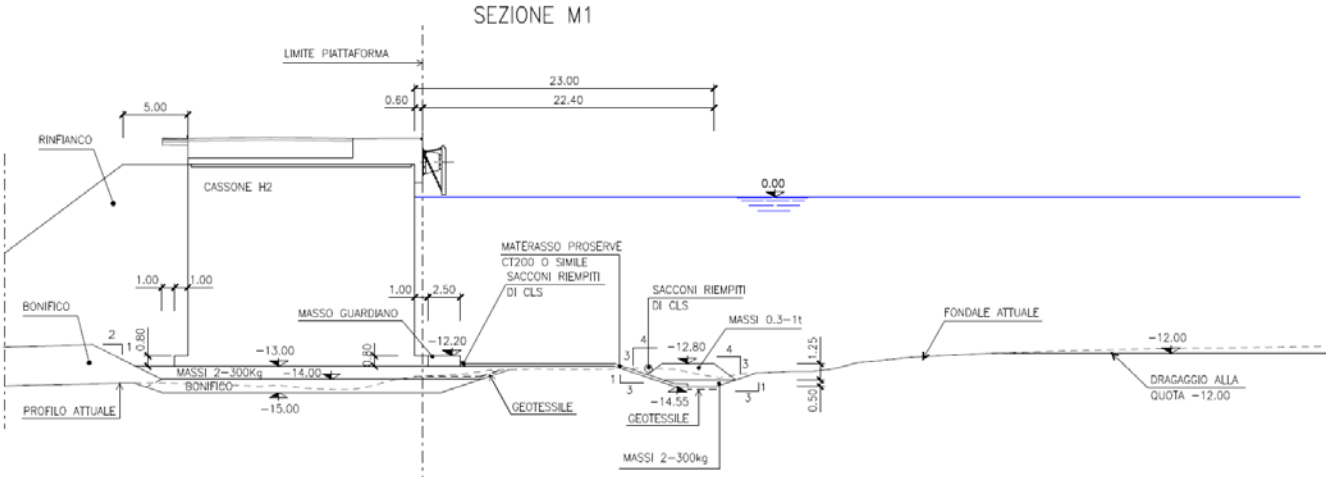


FIG. 10.4 - GEOMETRIA SEZIONE CRITICA PER LA TRACIMAZIONE – BANCHINA PETROLI

Nel calcolo sono stati considerati i seguenti livelli associati alle onde:

TAB. 10.3 - LIVELLI DI CALCOLO ASSOCIATI ALLE ONDE DI PROGETTO

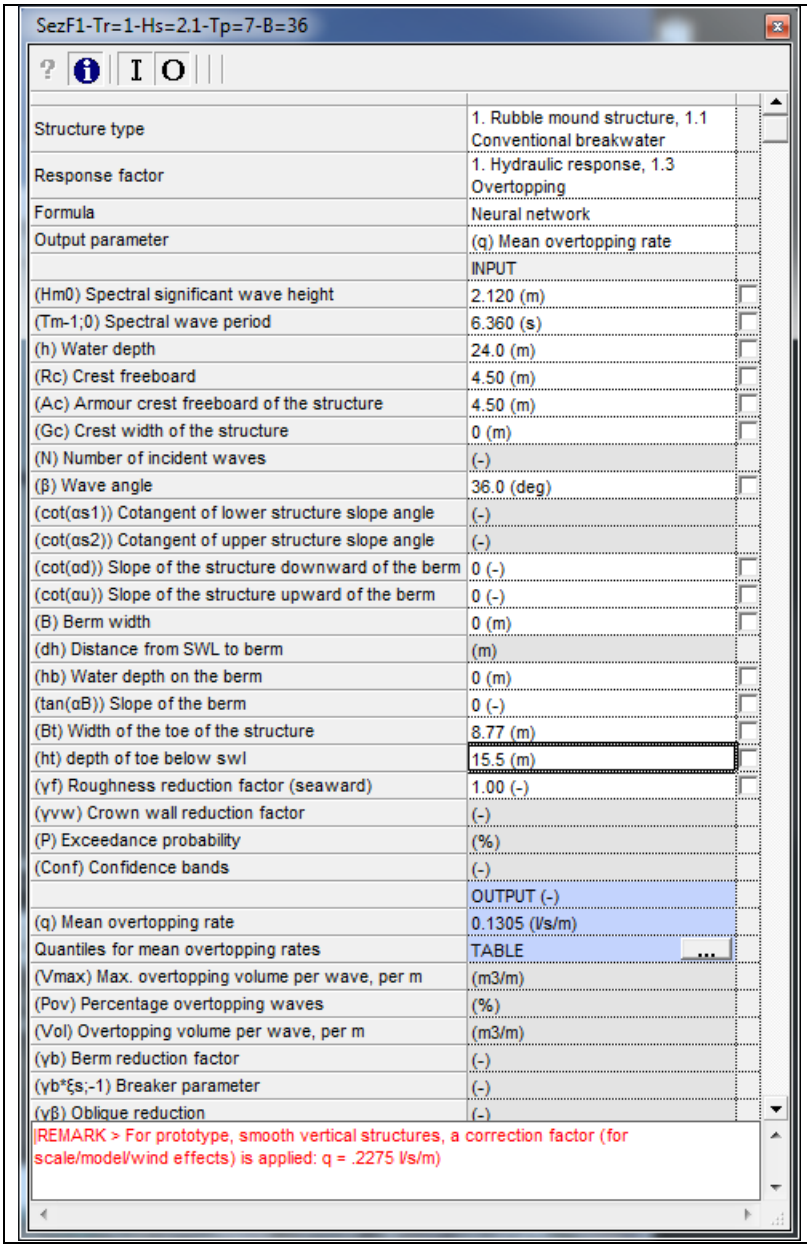
Tr onda di progetto	Livello di calcolo
1 anno	0,00
50 anni	0,40
250 anni	0,75

10.4.1. Condizioni operative

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche a tracimazione per ognuna delle banchine con riferimento alle onde di progetto presentate nel par.9.2.2. e alle sezioni riportate sopra.

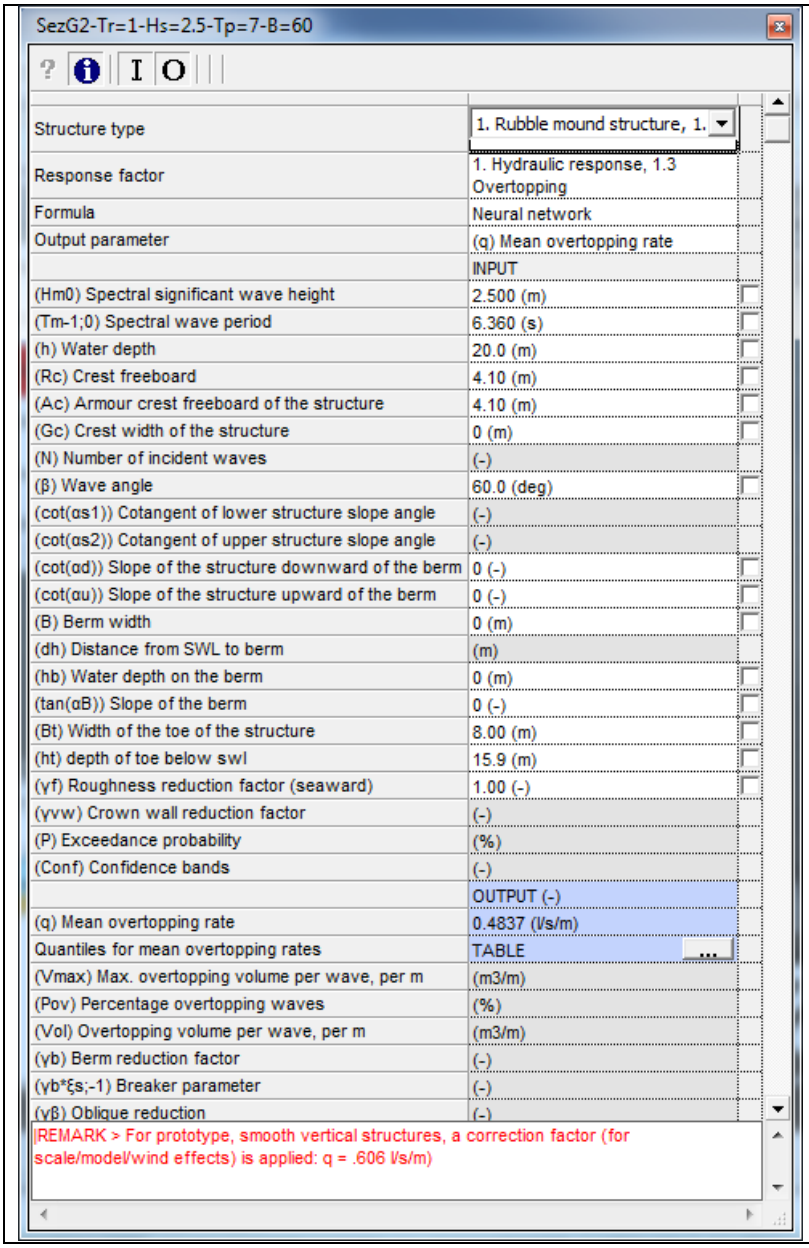
Come presentato nel paragrafo dei criteri di progetto 10.1, le verifiche in condizioni di esercizio dovranno soddisfare il limite di ***qlim = 1-10 l/s*** al m per garantire l'operatività di pedoni (personale qualificato e consapevole della possibilità di essere bagnato, basso rischio di cadere dal camminamento,…) nel piazzale. Nello specifico si è scelto di adottare come criterio di progetto la condizione più restrittiva, 1 l/s/m, essendo le banchine interessate da una continua presenza di operatori.

Banchina container



Q=0,22 l/s/m < 1 l/s/m

Banchina rinfuse



Q=0,6 l/s/m < 1 l/s/m

Banchina Petroli

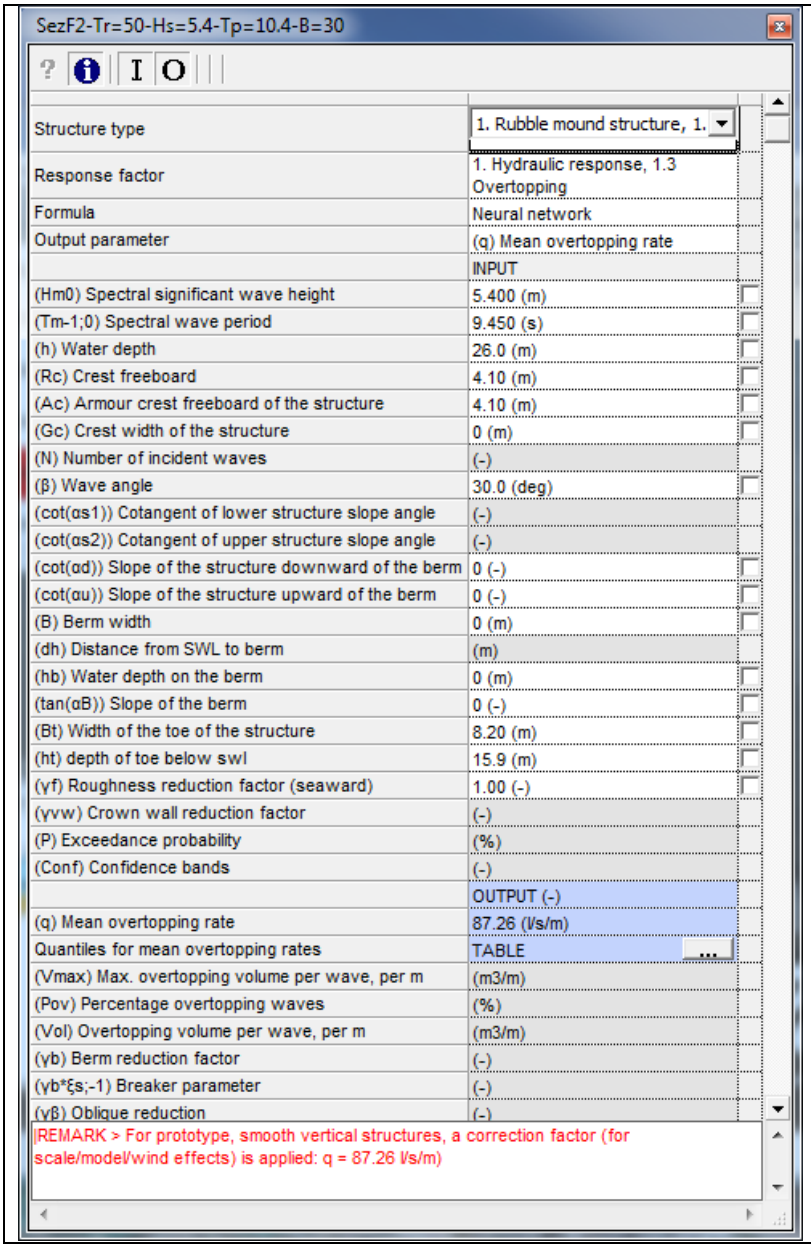
Per la banchina petroli non viene presentata la verifica a tracimazione per la condizione d'onda avente tempo di ritorno 1 anno in quanto, come presentato nel paragrafo successivo, già la verifica per un tempo di ritorno di 250 anni, soddisfa le condizioni di operatività della banchina.

10.4.2. Condizioni estreme

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche a tracimazione per ognuna delle banchine con riferimento alle onde di progetto più gravose presentate nel par.9.2.2. e alle sezioni riportate nel par.10.4. Come già evidenziato, l'onda di progetto per la banchina container e rinfuse risulta avere un tempo di ritorno di 50 anni, associato ad una configurazione di diga di prima fase, mentre per la banchina petroli si considera un onda avente tempo di ritorno 250 anni.

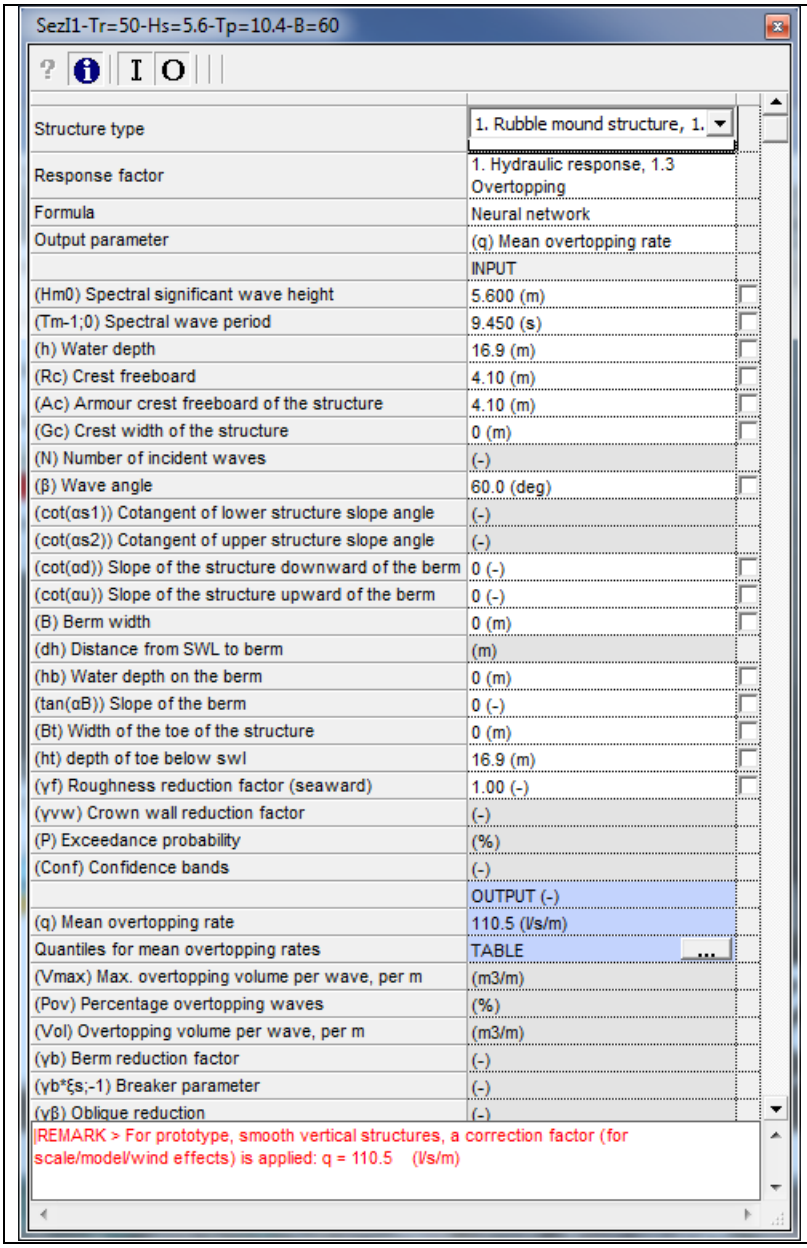
Come presentato nel paragrafo dei criteri di progetto 10.1, le verifiche in condizioni estreme dovranno soddisfare il limite di q_{lim} **= 200 l/s** al m per garantire il non danneggiamento della pavimentazione del piazzale.

Banchina container



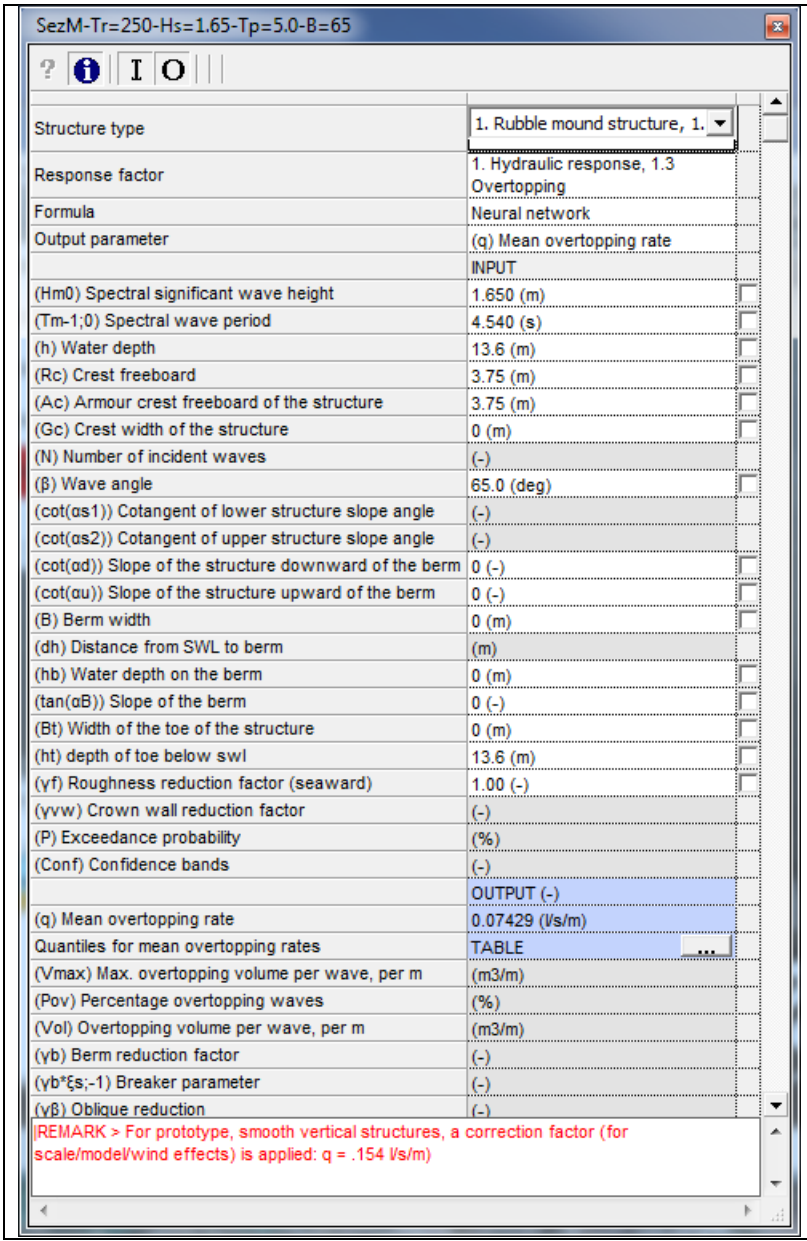
Q=87,3 l/s/m < 200 l/s/m

Banchina rinfuse



Q=110,5 l/s/m < 200 l/s/m

Banchina petroli



Q=0,15 l/s/m < 200 l/s/m

11. APPENDICE 1: QUALITY STATEMENT: UK MET OFFICE WAVE MODEL ARCHIVE

The Met Office Wave Model Archive consists of the hindcast fields of winds and waves produced during the operation of the atmospheric and wave model forecast suite. To produce the best possible analysis of surface wind, all available reports of surface pressure, wind speed and direction (from ships, buoys, platforms and land stations) are subjected to a range of consistency checks before being assimilated into the model's analysis. The resulting wind field is then used to modify the wave field derived from earlier timesteps. For each of the 16 directional and 13 frequency bands, the changes in wave energy are computed at each gridpoint, using the local wind as energy input, and allowing for propagation, dissipation and transfer between spectral bands. The model is a so-called 'Second Generation' model, where the spectral shape is empirically defined and then allowed to evolve over time. For further details see Golding (1983) and Francis (1985). There are two versions of the wave model, both in operation since 1986 - one covers the Global oceans and the other European waters.

The **Global Wave Model** initially operated with an assumed fixed depth (200m) on a lat/long grid. The analysed fields of wind and 1-dimensional spectra (ie energy within each spectral band, plus a mean direction for that band) have been archived, initially at 12-hour intervals and subsequently (since June 1988) at 6-hour intervals. The spatial resolution was initially approx 150km (13.8k gridpoints). This was improved in June 1991, to approx 90km (37.3k gridpoints), and yet again in May 1999 to a resolution of around 55km, with depth-dependency. The enhanced resolution now allows sheltered seas (eg Persian Gulf, Caspian Sea) to be covered by the model and narrow waterways (eg Straits of Taiwan) are now handled more realistically.

Nested within the Global Wave Model, and taking boundary conditions from it, is a **European Waters Wave Model**. This is a depth-dependent second-generation model operating on a lat/long grid with spacing approx 25km (8.5k gridpoints). The model covers West European waters to 14degW between 30.5N and 66.7N and also covers the Mediterranean and Baltic Seas; the Black Sea was added in 1993. Wind and wave

hindcast values were archived initially at 6-hour intervals and since June 1988 at 3-hour intervals.

Output at each timestep consists of wind speed and direction, plus **either**:
1-dimensional spectrum (energy and mean direction in each of the 13 spectral bands) **or** the conventional integrated variables derived from the spectrum (ie significant wave height, period and direction for both windsea and swell, together with resultant height and period).

The archived timeseries can be supplied at specified gridpoints. A range of analysis software has been developed to meet the needs of users who require data to be summarised in a convenient manner.

Since the winds are taken from the lowest level of the Atmospheric Model, they represent conditions approx 20m above mean sea level.

As with any operational model, there have been many small-scale improvements incorporated over the years. Most of these are introduced for computational reasons, to improve the efficiency of the calculations, but some are more fundamental, particularly the incorporation of wave height data from the ERS-1 satellite into the Global Wave model analysis with effect from June 1993 (see Foreman et al, 1994). Further detail (and dates) of the more significant changes to the model's operation are available on request. Over the years there have been occasional interruptions to the operational routine due to mainframe malfunction. Consequently, there are some periods of missing data in the archive, most of them of 12 hours duration or less.

12. APPENDICE 2: MODELLO MATEMATICO PHAROS

computer program

PHAROS

wave agitation and harbour resonance

introduction

One of the most important aspects of harbour design is the extent to which both long and short waves penetrate to the berthing facilities. Moored ships may respond to these waves leading to downtime in the loading/unloading operations or even to damage of mooring lines or fenders. Resonant harbour response to long waves can be particularly onerous, since moored large ships may have a corresponding resonant response. PHAROS accurately predicts the short wave penetration around coastal structures (e.g. breakwaters) and the resonant behaviour of enclosed areas to incident long waves.

applications

The PHAROS package is a powerful program for the analysis of wave penetration and long-wave harbour resonance (seiching). Its application can be very useful to predict the expected wave conditions at the berths in a new harbour. It can also be used to analyse the source for wave or seiching problems in existing harbours and evaluate possible remedies. PHAROS models the following physical effects:

- diffraction
- refraction and shoaling due to water depth variation and over ambient currents
- partial reflection and transmission
- dissipation by wave breaking and bottom friction
- directional spreading

PHAROS has been successfully verified using the results of both experimental model tests and analytical solutions.

example



WL | delft hydraulics

computer program

theoretical background

PHAROS is based on the complete time-harmonic mild slope equation, which describes combined refraction / diffraction over an uneven bathymetry (Berkhoff, 1972). Optionally this can be extended with terms for current refraction and dissipation induced by wave breaking and bottom friction, which leads to the following basic ation:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}\left[cc_g\frac{\partial\phi}{\partial x_j}\right]+2i\omega U_j\frac{\partial\phi}{\partial x_j}+$$
$$\left(k^2cc_g+\omega^2-\omega_r^2+i\omega\nabla\bullet\vec{U}\right)\phi=-i\omega_r W\phi$$

in which W is the source term for dissipation due to friction or breaking. Dissipation by wave breaking is calculated using the formulation of Battjes and Jansen (1978). Dissipation by bottom shear stress is modelled based on the formulation by Putnam and Johnson (1949).

Several types of boundary conditions have been implemented, such as partial reflection and combined reflection and transmission. Furthermore, the effects of directional spreading (short-crested waves) can optionally be accounted for. Special procedures are available to carry out computations for a large number of long wave periods to study long-wave resonance and seiching of harbours.

The basic equation is solved using a finite element method on a finite element grid consisting of triangles that covers the entire model area. This results in a system of equations relating the potential in each grid point to that at each of its neighbours. Two methods are available to solve the resulting matrix equation: direct Gauss elimination and an iterative procedure using Conjugent Gradients. The latter is more efficient for large problems.

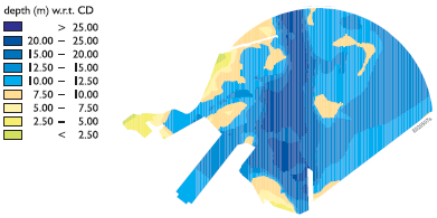
short waves

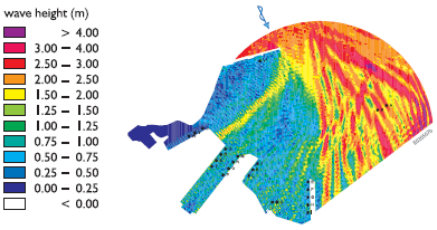
PHAROS is mostly used to assess wave agitation in harbours. Once the basic grid has been prepared, changes in the geometry (e.g extension of the breakwater), bathymetry or reflection properties are easily implemented. By repeating simulations for the modified layout, the effects of these changes on the wave heights in the harbour can be rapidly evaluated. In this way the design of the harbour can be optimised, e.g. by estimating the consequences for the downtime at the berths.

Many ports have been - and still are - designed using programs modelling only diffraction. Often this is an appropriate approach, but if the variations in the depth within the port, especially near the harbour entrance (dredged channel) are large refraction can be an essential factor. The example on this page shows waves coming from northwest (340°N) curving southwest towards the harbour basin due to refraction on the shoal near the head of the breakwater.

harbour resonance

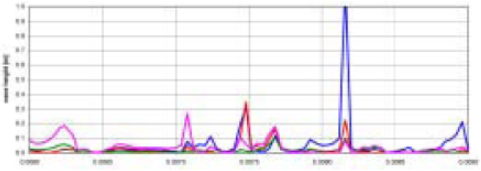
Another important application of PHAROS is harbour resonance (seiching) studies. In several harbours around the world long waves are known to be a cause for problems either in the form of excessive motions of moored ships in apparently calm wave conditions, occasionally leading to breaking of mooring lines, or strong oscillating flows in the harbour entrance. Long wave energy outside the harbour e.g. due to wave grouping, can be amplified for certain frequencies by the geometry of the harbour basin.





Example where refraction on the shoal near the harbour entrance showed to be crucial for wave agitation in the SW-basin (incident wave coming from 340°N)

WL | Delft Hydraulics





Example of harbour resonance simulation:amplification at selected points as a function of the frequency (top) and wave height pattern for the highest peak (0.00816 Hz, T=122.5s)

The seiching module of PHAROS allows to determine possible resonance of long waves in the harbour for a range of frequencies. Physical processes that have a damping effect such as bottom friction and contraction losses (e.g. at the harbour entrance) can be included. By evaluating the amplification of the wave height or the water velocity at critical positions in the port, possible risks for moored ships can be determined and possible mitigating measures evaluated.

model organisation

The PHAROS program consists of a number of different modules:

- a user interface for input preparation and general control,
- a graphical grid editor to prepare the finite element grid,
- computational modules for long-crested, short-crested (directional spreading) and seiching computations, and
- WL | Delft Hydraulics' visualisation package GPP for presentation of results.

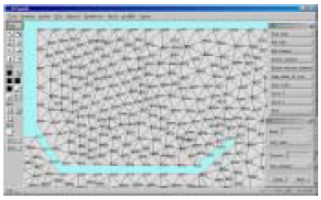
The user-interface integrates all the required functions to prepare, execute and analyse a simulation. It opens windows to prepare input, start the other modules as appropriate and provides support for case management.

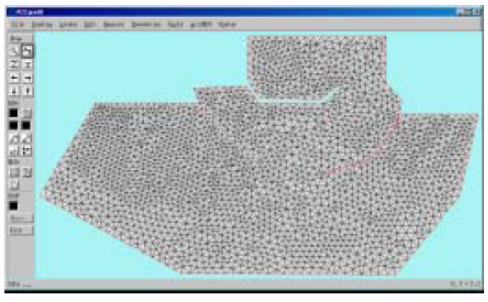
Starting from the contour of the area to be modelled and a file containing depth values in that area, the graphical grid generator can automatically generate the finite element grid. The dimensions of the cells will vary in size according to the local depth to obtain an optimal resolution of the grid. All sorts of options are available to check the quality and consistency of the grid and to modify the grid manually.

PHAROS has three modules to carry out the actual computations: one for a single run, one for simulations including directional spreading and one for harbour resonance computations. The three computational modules can be started directly from the user-interface, but they can also be run using script files (batch processing). This allows preparation of the required input for a number of simulations and execute the runs when convenient (e.g. overnight or in the weekend when the computer is not used for other purposes).

Delft-GPP is linked to the user interface for presentation of output results. With this tool, various type of plots can be made to analyse the simulations and present the results.

Overall view (bottom) and detail (top) of a grid in the graphical grid editor





WL | Delft Hydraulics