

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 7200189500	<b>UNITÀ</b> 001
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 1 di 51	<b>Rev.</b> 00

Rif.Saipem: 001-T-D-0002

# TERMINALE DI PORTO TORRES

## CARATTERIZZAZIONE METEOMERINA AREA DI PROGETTO


00	Emissione Finale/per Enti	M. Cardellini	C. Pizzigalli	A. Consonni	31/10/2022
<b>Rev.</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Elaborato</b>	<b>Verificato</b>	<b>Approvato</b>	<b>Data</b>

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 2 di 51	<b>Rev.</b> 00

## INDICE

<b>1</b>	<b>GENERALITÀ</b>	<b>4</b>
1.1	Inquadramento generale	4
1.2	Scopo e contenuti del documento	5
1.3	Acronimi e Abbreviazioni	5
1.4	Riferimenti	6
1.5	Normative	6
1.6	Altri riferimenti	6
<b>2</b>	<b>DEFINIZIONE</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>UNITA' DI MISURA</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>OBIETTIVI E METODOLOGIA</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>DATI DI BASE</b>	<b>12</b>
5.1	Caratterizzazione Meteorologica	12
5.2	Vento, Onde e Correnti	12
5.3	Livelli di Marea	12
<b>6</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE METEOROLOGICA</b>	<b>13</b>
6.1	Clima Generale	13
6.2	Precipitazioni	13
6.3	Temperatura dell'aria e umidità relativa	14
6.4	Pressione Atmosferica	15
6.1	Radiazione Solare	16
6.1	Temperatura del mare	16
6.2	Densità dell'acqua	17
6.3	Livello di salinità del mare	17
6.4	Livello idrometrico	19
6.5	Marine Growth	19
6.6	Circolazione Generale dei venti	20
6.7	Circolazione Generale delle correnti	22

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 3 di 51	<b>Rev.</b> 00

<b>7</b>	<b>PROFILO BATIMETRICO</b>	<b>23</b>
<b>8</b>	<b>VENTO</b>	<b>25</b>
8.1	Regime dei Venti	25
8.2	Stima dei valori estremi	26
<b>9</b>	<b>MOTO ONDOSO</b>	<b>29</b>
9.1	Dati d'onda	29
9.2	Regime del moto ondoso	30
9.3	Regime del moto ondoso al largo	30
9.4	Regime del moto ondoso all'imboccatura del porto (punto P1)	31
9.5	Relazione tra altezza d'onda (Hs) e periodo di picco spettrale (Tp)	32
9.6	Relazione Hs-Tp al largo	34
9.7	Relazione Hs-Tp all'imboccatura del porto – punto P1	34
9.8	Estremi d'onda	34
9.9	Estremi d'onda al largo	35
9.10	Estremi d'onda all'imboccatura del porto – punto P1	35
9.11	Caratteristiche del moto ondoso interne al porto – Posizione 2A	36
<b>10</b>	<b>REGIME DELLE CORRENTI</b>	<b>38</b>
<b>11</b>	<b>APPENDICE 1: MODELLO DI PROPAGAZIONE ONDOSA MIKE21-SPECTRAL WAVE</b>	<b>39</b>
<b>12</b>	<b>APPENDICE 2: MODELLO MIKE21-BOUSSINESQ WAVE MODULE</b>	<b>42</b>
<b>13</b>	<b>APPENDICE 3: RISULTATI INDAGINI TOPO-BATIMETRICHE AD ELEVATO DETTAGLIO</b>	<b>51</b>

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> <b>Porto Torres (SS)</b>	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base</b>	<b>Fg. 4 di 51</b>	<b>Rev.</b> <b>00</b>

## 1 GENERALITÀ

### 1.1 Inquadramento generale

Snam Rete Gas sta sviluppando un progetto per l’approvvigionamento di gas naturale nel Nord della Regione Sardegna che prevede l’ormeggio a lungo termine (25 anni) di una unità di stoccaggio e rigassificazione (FSRU) di Gas Naturale Liquefatto (GNL) all’interno del porto industriale di Porto Torres nonché i lavori impiantistici, civili e marittimi di adeguamento della relativa banchina di ormeggio fino al limite di batteria con la condotta di distribuzione di gas naturale che porterà il gas alle utenze industriali e civili del nord Sardegna.

Con riferimento alla Figura 1.1 e alla Figura 1.2, Porto Torres è localizzato sulla costa Nordoccidentale della Sardegna e si affaccia sul Golfo dell’Asinara. Il porto industriale di Porto Torres è situato a circa 20 km da Sassari, 30 km da Alghero e 3 km dal Comune di Porto Torres e rientra nell’Autorità di sistema portuale del mare di Sardegna.

La posizione selezionata per l’ormeggio della FSRU è indicativamente rappresentata Figura 1.2 e corrisponde all’attuale molo carbonifero (Banchina E-ON) a cui attraccano le navi che approvvigionano la vicina centrale elettrica di Fiume Santo di proprietà di EPH.

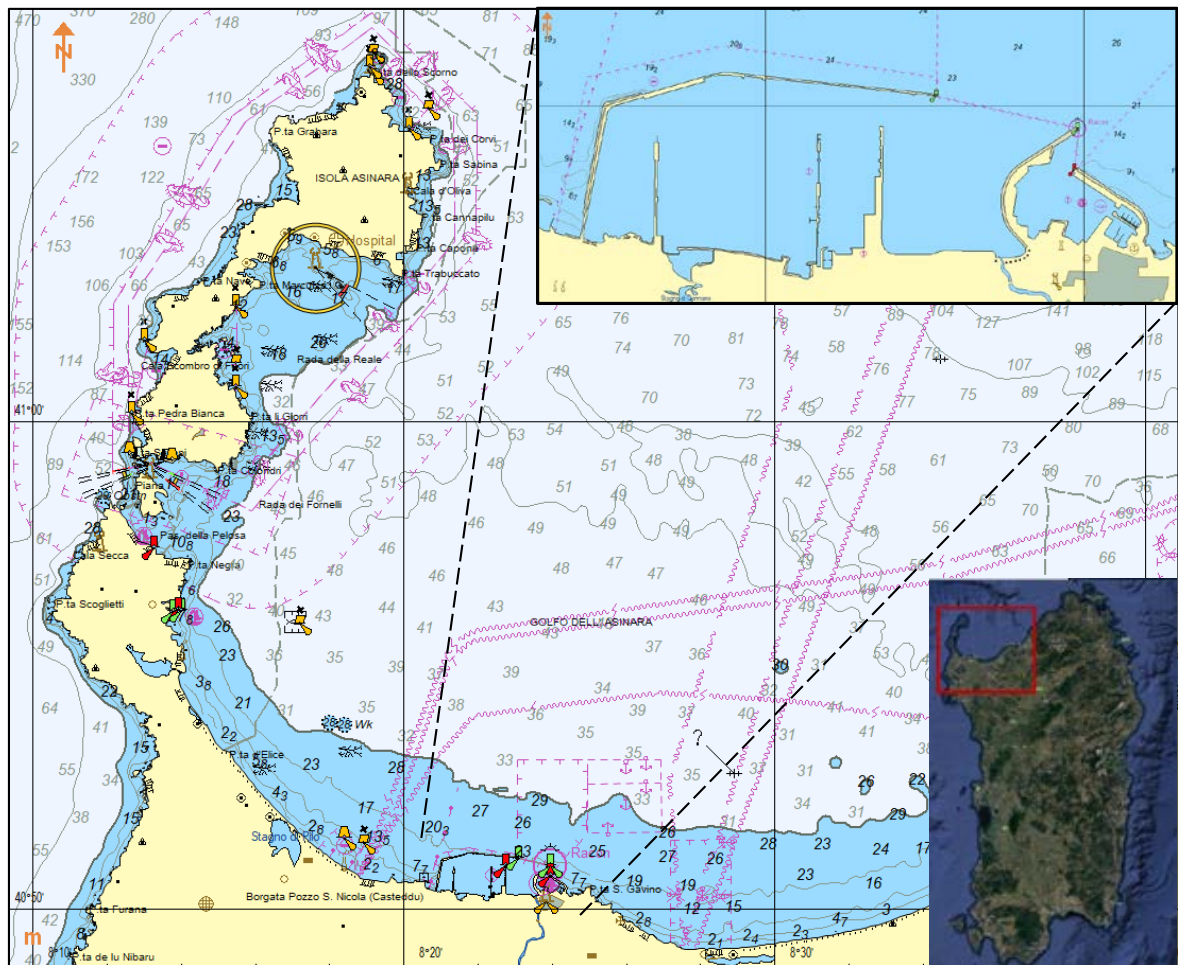


Figura 1.1 – Localizzazione geografica di Porto Torres

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 5 di 51	<b>Rev.</b> 00



Figura 1.2 – Localizzazione geografica banchina E-ON dove si prevede di ormeggiare la FSRU (sagoma in rosso).

## 1.2 Scopo e contenuti del documento

Il presente documento fornisce la caratterizzazione meteomarina dell'area di progetto e descrive lo studio della propagazione del moto ondoso dal largo fino all'interno del bacino portuale di Porto Torres (SS).

## 1.3 Acronimi e Abbreviazioni

Acronimo	Descrizione
FSRU	Floating Storage and Regasification Units
GNL	Gas Naturale Liquido
HAT	Highest Astronomical Tide (la più alta marea astronomica)
Hs o Hm0	Altezza d'onda significativa
LAT	Lowest Astronomical Tide (la più bassa marea astronomica)
MHWN	Mean High Water Neaps (media alte maree di quadratura)
MHWS	Mean High Water Springs (media alte maree sizigiali)
MLWS	Mean Low Water Springs (media basse maree sizigiali)

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 6 di 51	<b>Rev.</b> 00

MSL	Mean Sea Level (livello medio marino)
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
Tp	Periodo di picco spettrale
UTM	Universal Transverse Mercator
WGS	World Geodetic System
Ws	Velocità del vento

#### 1.4 Riferimenti

Per i documenti di Progetto si fa riferimento alla lista Documenti N. 001-ZX-E-09800:

1. 001-ZX-E-09300 Elenco Norme Applicabili
2. 001-ZA-E-08000 Basi di Progetto
3. 001-ZX-E-09301 Relazione Tecnica Generale
4. 001-GB-B-61000 Planimetria Generale dell'Impianto

#### 1.5 Normative

5. ISO 80000 Grandezze ed unità di misura
6. OCIMF MEG 4 Mooring Equipment Guidelines (4<sup>a</sup> Edizione).
7. DNVGL – RP C205 Environmental conditions and environmental loads
8. ISO19901-1 Parte 1: Metocean Design and Operating Conditions

#### 1.6 Altri riferimenti

9. Legge n.84 del 28 Gennaio 1994
10. Regolamento di Sicurezza del Porto e della Rada di Porto Torres Allegato all'Ordinanza n°82/2016
11. Copernicus Climate Change Service – ECMWF – 1991-2021 ([it.climate-data.org](https://it.climate-data.org))
12. Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Rozum, I., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Dee, D., Thépaut, J-N. (2018): ERA5 hourly data on single levels from 1959 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS).
13. Rete Mareografica Nazionale – Stazione di misura di Porto Torres (dati 2010-2022).
14. Ente Parco Nazionale dell'Asinara (<https://www.parcoasinara.org>)
15. 30 Year Wave Hindcast using WAVEWATCH III with CFSR winds NOAA – Technical note – November 2013. NOAA

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 7 di 51	<b>Rev.</b> 00

16. Regione Autonoma Della Sardegna ARPAS Dipartimento Meteo climatico Servizio Meteorologico, Agrometeorologico ed Ecosistemi - Riepilogo mensile meteorologico e agrometeorologico
17. Naval research laboratory NRL  
[https://www7320.nrlssc.navy.mil/global\\_ncom/glb8\\_3b/html/Links/sss\\_list\\_med.html](https://www7320.nrlssc.navy.mil/global_ncom/glb8_3b/html/Links/sss_list_med.html)
18. Istituto Idrografico della Marina – Portolano P3: Sardegna e Bocche di Bonifacio (2013)
19. Admiralty Sailing Directions – MEDITERRANEAN PILOT VOLUME 2 – 14<sup>th</sup> Edition 2013.
20. Database CM-93/3, DHI, “MIKE C-MAP, Extraction of World Wide Bathymetry Data and Tidal Information, Scietific Documentation,” MIKE by DHI, Hørsholm, 2021
21. <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-21/waves/spectral-waves>
22. <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-21/waves/boussinesq-waves>
23. Gian Mario Beltrami; LIAM-DISAT, Università degli studi di L’Aquila - MAREA ASTRONOMICA E METEOROLOGICA IN ITALIA: Analisi propedeutiche ad applicazioni di ingegneria marittima e costiera e allo sfruttamento delle sue potenzialità energetiche.
24. TAV.1 - 022932-1-MB-08-PL-J-A0: INDAGINI TOPO-BATIMETRICHE AD ELEVATO DETTAGLIO DEI FONDALI PORTO INDUSTRIALE DIGA DI SOPRAFLUTTO/PONTILE PRODOTTI SECCHI/PONTILE S.I.R./DIGA DI SOTTOFLUTTO

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 8 di 51	<b>Rev.</b> 00

## 2 DEFINIZIONE

COMMITTENTE	Snam Rete Gas SpA
PROGETTO	Esecuzione delle attività di ingegneria relative alla progettazione del FSRU (Floating Storage and Regasification Unit) di Porto Torres ed opere connesse
SITO	Porto Torres
IMPIANTO DI RICEZIONE	Impianto in Banchina
TERMINALE	La FSRU e l'impianto di ricezione
NAVE SPOLA	Nave metaniera "shuttle carrier" necessaria a garantire la fornitura di gas naturale alla FSRU
BUNKERING VESSEL	Nave metaniera necessaria per la distribuzione del GNL stoccato nei serbatoi della FSRU
FSRU	Floating Storage Regasification Units



<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 9 di 51	<b>Rev.</b> 00

### 3 UNITA' DI MISURA

Le unità e simboli utilizzati per il progetto saranno conformi alle unità del Sistema Internazionale (unità SI).

Tutte le coordinate UTM saranno espresse in metri con due (2) decimali.

Le unità di misura presenti nella seguente tabella saranno utilizzate:

Entità	Unità di misura
Altezza delle precipitazioni	mm
Altezza d'onda	m
Densità	kg/m <sup>3</sup>
Massa	kg
Periodo d'onda	s
Pressione Atmosferica	hPa
Profondità del mare	m
Radiazione Solare	MJ/m <sup>2</sup>
Temperatura	°C
Velocità del vento	m/s

*Tabella 3-1 – Unità di Misura*

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 10 di 51	<b>Rev.</b> 00

#### 4 OBIETTIVI E METODOLOGIA

Il presente documento fornisce la caratterizzazione meteomarina dell'area di progetto e descrive lo studio della propagazione del moto ondoso dal largo fino all'interno del bacino portuale di Porto Torres (SS).

La caratterizzazione meteomarina è stata effettuata utilizzando come dato di base la serie temporale NOAA-CFSR (modello regionale Mediterraneo, Rif. NCEP - Climate Forecast System Reanalysis (CFSR), for 1979 to 2009 <https://data.nodc.noaa.gov/>) nel punto di coordinate Longitudine = 8.50E – Latitudine = 41.00N. Lo scopo di questa caratterizzazione è quello di fornire il regime e i valori estremi dei venti e delle onde per l'area di progetto.

L'obiettivo dello studio di agitazione interna portuale è quello di definire, in senso probabilistico, le onde estreme generate dal vento che possono agire sullo scafo della FSRU durante il periodo di tempo, pari a 25 anni, in cui la nave sarà ormeggiata alla banchina E-ON di Porto Torres.

Tali onde, insieme al vento che agisce sull'opera morta dello scafo, determinano:

- le forze che la nave esercita sui dispositivi di accosto (parabordi) e di ormeggio (bitte) tramite le linee di ormeggio;
- i movimenti della nave ormeggiata e in particolar modo i suoi spostamenti verticali.

Per quanto riguarda i periodi delle onde generate dal vento, si possono distinguere:

- le onde corte, o di breve periodo;
- le onde lunghe generate dall'interazione non lineare tra le componenti spettrali.

I processi non lineari che si esplicano tra le componenti spettrali delle onde di vento, tendono ad aumentare al diminuire della profondità dei fondali e diventano rilevanti quando le onde corte sono soggette a fenomeni di frangimento indotti dal fondale. In queste condizioni le onde lunghe vengono forzate dai gruppi costituiti dalle onde corte di diversa frequenza, a causa dei gradienti tra i così detti "radiation stresses" che si verificano in corrispondenza delle onde più alte, poste al centro dei gruppi, e di quelli che si verificano in corrispondenza delle onde più basse, poste all'estremità dei gruppi. I "radiation stresses" sono definiti come i valori medi del flusso di quantità di moto indotto dal moto oscillatorio delle onde.

Le onde lunghe che si generano in acqua bassa, denominate "bound long waves" (onde lunghe legate), sono costituite da oscillazioni del livello marino, le quali si propagano con la celerità dei gruppi - costituiti dalle onde corte - e non con la celerità che gli competerebbe in base alla relazione di dispersione a ragione del loro periodo. Per questa ragione queste oscillazioni, propagandosi insieme ai gruppi, sono definite "onde lunghe legate" o "bound long waves". Le onde lunghe, oltre a propagarsi insieme ai gruppi, si presentano in opposizione di fase rispetto ad essi, poiché al centro del gruppo – dove le onde corte presentano una maggiore altezza - si verifica il cavo dell'onda lunga, mentre agli estremi dei gruppi – dove le onde corte presentano una minore altezza - si verifica la cresta. Per quanto riguarda la penetrazione del moto ondoso all'interno di un porto, in generale si può affermare che mentre le onde corte vengono attenuate in termini di energia dalle opere foranee del porto, la stessa cosa può non accadere per le onde lunghe, poiché queste ultime, essendo caratterizzate da periodi maggiori rispetto a quelli

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 11 di 51	<b>Rev.</b> 00

delle onde corte, possono presentare periodi simili rispetto a quelli propri principali di oscillazione del bacino portuale.

Ciò può dar luogo ad una amplificazione delle onde lunghe nel bacino portuale, ovvero ad un fenomeno di risonanza delle onde lunghe.

Nel caso di Porto Torres, la profondità dei fondali fino in prossimità dell'imboccatura del porto è tale da non indurre il frangimento delle onde estreme da vento provenienti dal largo eliminando di fatto la necessità di seguire l'evoluzione delle onde lunghe.

In particolare, lo studio dell'evoluzione delle onde corte è stata eseguita in due fasi.

Nella prima fase si è studiata la propagazione dal largo a riva delle onde mediante il codice spettrale MIKE 21 Spectral Wave. Il modello simula la crescita, il decadimento e la trasformazione delle onde generate dal vento e delle onde da "swell" nelle aree costiere e offshore includendo i seguenti fenomeni fisici:

- Crescita delle onde per azione del vento;
- Interazione non lineare onda-onda;
- Dissipazione dovuta al white-capping;
- Dissipazione dovuta all'attrito con il fondale;
- Dissipazione dovuta al frangimento dell'onda indotta dalla profondità;
- Rifrazione e shoaling per variazioni di profondità;
- Interazione onda-corrente;
- Effetto delle variazioni di marea.

I risultati del codice MIKE 21 Spectral Wave sono stati utilizzati nella seconda fase, come condizioni al contorno per il modello MIKE 21 Boussinesq Wave Module. Il modello, che permette tra le altre cose di riprodurre l'agitazione ondosa all'interno di un bacino portuale, è basato sulla soluzione numerica, nel dominio del tempo, delle equazioni di Boussinesq (originariamente ricavata da Madsen et al, 1991, e Madsen e Sørensen, 1992) che includono sia fenomeni non lineari che di dispersione in frequenza. In questo modo il modello è in grado di riprodurre l'effetto combinato di tutti i fenomeni ondosi d'interesse per l'ingegneria portuale e costiera:

- Shoaling;
- Rifrazione;
- Diffrazione;
- Frangimento dell'onda;
- Attrito con il fondale;
- Movimento della linea di costa;
- Riflessione e trasmissione parziale;
- Interazione non lineare onda-onda;
- Spreading in frequenza;
- Spreading direzionale.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 12 di 51	<b>Rev.</b> 00

## 5 DATI DI BASE

### 5.1 Caratterizzazione Meteorologica

La caratterizzazione generale del clima per l'area di progetto è stata basata sia su fonti letterarie (Rif 18 e Rif.19) che sulla valutazione ed analisi di dati estratti dai più attendibili database internazionali (Rif.11, Rif.12, Rif.13, Rif.15).

### 5.2 Vento, Onde e Correnti

Le condizioni di vento al largo, utilizzate come forzante dei modelli d'onda, sono state estratte dal database NOAA-CFSR (Rif.15). I dati, forniti ad intervalli temporali di 3 ore, coprono un periodo di tempo di 31 anni dal 01/01/1979 al 31/12/2009. Il punto dati NOAA considerato rappresentativo per le condizioni di vento nel Golfo dell'Asinara, ha coordinate Latitudine = 41.00° N e Longitudine = 8.50° E.

Le condizioni d'onda al largo sono state ottenute dall'analisi della serie temporale NOAA-CFSR relativa al punto dati considerato rappresentativo per le condizioni d'onda nel Golfo dell'Asinara di coordinate Latitudine = 41.00° N e Longitudine = 8.50° E.

Le condizioni d'onda all'imboccatura del porto di Porto Torres sono state valutate attraverso un modello di propagazione ondosa nel punto P1 di coordinate Latitudine = 40.853917° N e Longitudine = 8.392956° E, posto a profondità di circa 22.0m. (vedi Sezione 11)

Le condizioni d'onda all'interno del porto di Porto Torres, nell'area in cui verrà posizionato l'FSRU, sono state valutate mediante un ulteriore modello numerico dedicato all'agitazione portuale (vedi Sezione 12).

Le convenzioni adottate per le direzioni associate a vento, onde e correnti sono le seguenti:

- Vento – Convenzione Meteorologica: la direzione indica la direzione di provenienza del vento; è espressa in gradi rispetto al nord geografico con senso di rotazione orario.
- Onda – Convenzione Meteorologica: la direzione indica la direzione di provenienza delle onde; è espressa in gradi rispetto al nord geografico con senso di rotazione orario.
- Correnti – Convenzione Nautica: la direzione indica la direzione di propagazione delle correnti; è espressa in gradi rispetto al nord geografico con senso di rotazione orario.

### 5.3 Livelli di Marea

I livelli di marea di progetto sono estrapolati dai dati Marea Astronomica e Meteorologica in Italia (Rif.23).

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 13 di 51	<b>Rev.</b> 00

## 6 CARATTERIZZAZIONE METEOROLOGICA

### 6.1 Clima Generale

Dal punto di vista climatico, l'area di Porto Torres si colloca in una zona condizionata da un clima relativamente mite in cui prevalgono condizioni di generale stabilità atmosferica. Il clima può essere definito temperato-caldo e tipicamente bi-stagionale, con un periodo caldo arido (generalmente compreso tra giugno e settembre) e un periodo freddo umido (generalmente compreso tra dicembre e febbraio) che si alternano nel corso dell'anno, intervallati da due stagioni a carattere intermedio. Ciò è dovuto agli spostamenti stagionali delle masse d'aria tropicali provenienti dall'Africa cui si aggiungono limitate incursioni di aria fredda artica, e alla posizione delle aree cicloniche del Mediterraneo.

Secondo la classificazione dei climi di Köppen e Geiger, il clima di Porto Torres può essere inquadrato nella categoria "Csa" ovvero:

- C = clima temperato-caldo con temperatura media del mese più freddo tra 18 °C e -3 °C. Senza copertura regolare nevosa;
- s = clima che presenta la stagione secca nel trimestre caldo (estate);
- a = clima che presenta la temperatura media del mese più caldo superiore a 22 °C.

### 6.2 Precipitazioni

Le precipitazioni a carattere piovoso sono solitamente limitate, con una maggiore concentrazione nella stagione invernale e autunnale e qualche improvviso acquazzone in primavera. Le manifestazioni piovose si presentano sotto forma di rovesci violenti con totali annui caratterizzati da accentuata instabilità. Le precipitazioni più rilevanti si hanno generalmente alla fine dell'autunno mentre il mese con meno precipitazioni è solitamente luglio. Il regime pluviometrico può cioè definirsi di transizione tra il regime sublitoraneo e quello mediterraneo.

Porto Torres mediamente è caratterizzato da 68 giorni piovosi all'anno (giorni in cui vi è una precipitazione superiore o uguale ad 1mm) con una precipitazione media annua di 637mm. Il dettaglio dei valori medi mensili è riportato in Tabella 6-1 e Figura 6.1 (Rif.11).

Mese	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre	Tot. annuo
Precipitazioni medie mensili (mm)	62	60	57	66	48	23	7	11	41	77	106	79	637
Giorni piovosi medi mensili (giorni)	8	7	6	7	5	3	1	2	4	7	9	9	68

Tabella 6-1- Regime pluviometrico Porto Torres (Rif. 11)

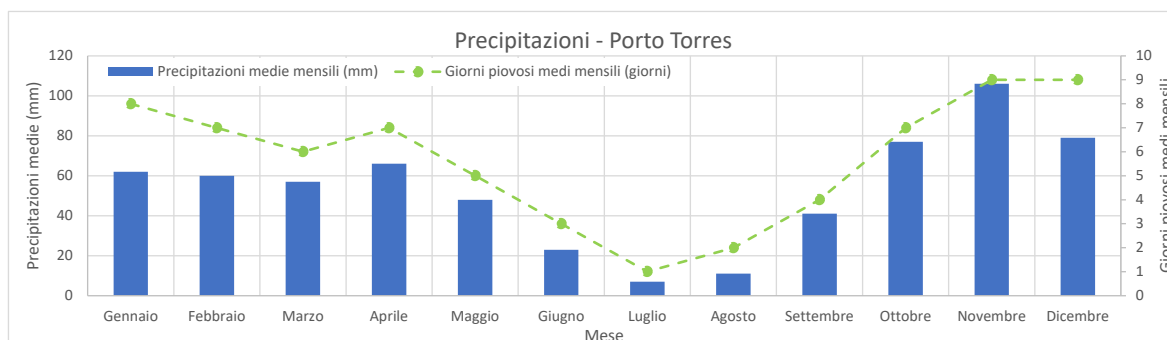


Figura 6.1 – Regime pluviometrico Porto Torres (Rif. 11)

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 7200189500	<b>UNITÀ</b> 001
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)		<b>001-ZB-B-15002</b>
	<b>PROGETTO:</b> Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base		Fg. 14 di 51

### 6.3 Temperatura dell'aria e umidità relativa

Come mostrato in Tabella 6-2 e Figura 6.2, l'andamento delle temperature medie mensili e massime/minime assolute, rispecchia la mitezza del clima sopra descritto.

In particolare, i mesi con le temperature medie maggiori sono luglio e agosto durante i quali si può assistere anche a picchi di 34°C. Il mese con la temperatura media più bassa è gennaio durante il quale è possibile raggiungere minimi poco al di sopra dello zero.

Porto Torres	Temperatura dell'aria (°C) 2m sopra il livello medio del mare		
	Media	Massima Assoluta	Minima Assoluta
Gennaio	10	18	1
Febbraio	11	20	1
Marzo	12	22	3
Aprile	14	25	7
Maggio	17	27	10
Giugno	21	30	13
Luglio	24	34	17
Agosto	24	33	17
Settembre	22	32	14
Ottobre	19	27	10
Novembre	15	23	6
Dicembre	12	20	3
Annuale	17	34	1

Tabella 6-2- Temperatura dell'aria 2 m sopra il livello medio del mare (Rif. 12).

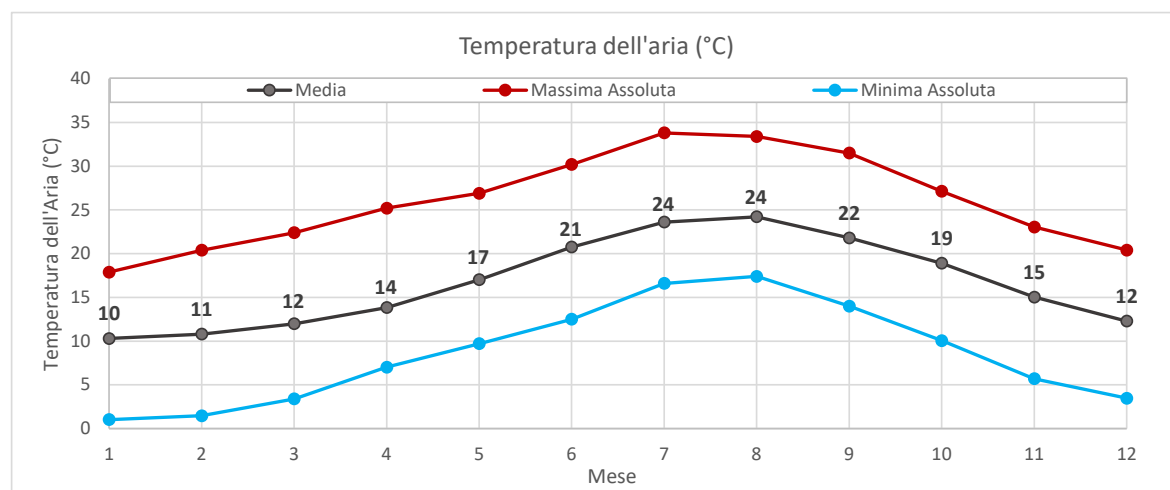


Figura 6.2 – Temperatura dell'aria 2 m sopra il livello medio del mare (Rif. 12)

Come mostrato in Tabella 6-3 e Figura 6.3, l'umidità relativa media mensile oscilla tra il valore minimo del 70% nel mese di luglio e il valore massimo del 76% nei mesi di aprile e maggio (Rif.11).

Mese	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Umidità Relativa (%)	75	73	75	76	76	73	70	71	70	74	74	74

Tabella 6-3- Umidità Relativa (Rif. 11)

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Terminale di Porto Torres</b> <b>Ingegneria di Base</b>	Fg. 15 di 51	<b>Rev.</b> <b>00</b>

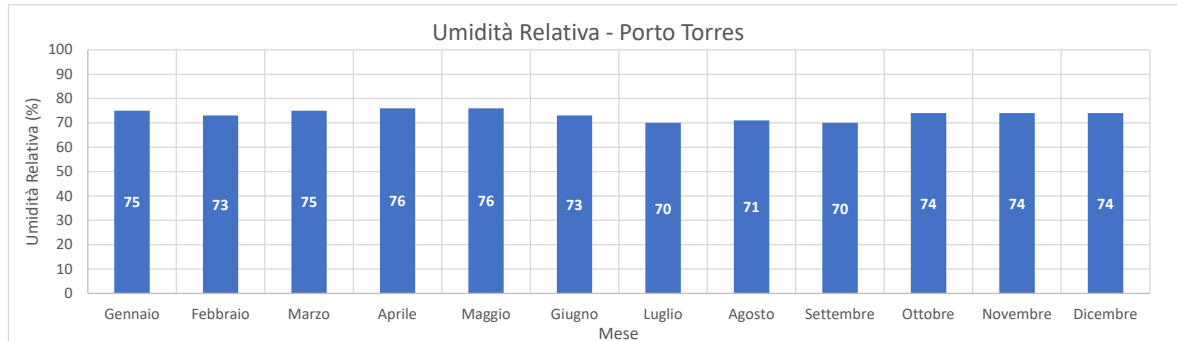


Figura 6.3 – Umidità Relativa (Rif. 11)

## 6.4 Pressione Atmosferica

Al livello del mare la pressione atmosferica è attesa mediamente tra 1014 e 1017 hPa.

In Figura 6.4 (Rif.13), si possono apprezzare le oscillazioni della pressione atmosferica registrate tra il 2010 e il 2021 dalla stazione di misura della Rete Mareografica Nazionale sita a Porto Torres.

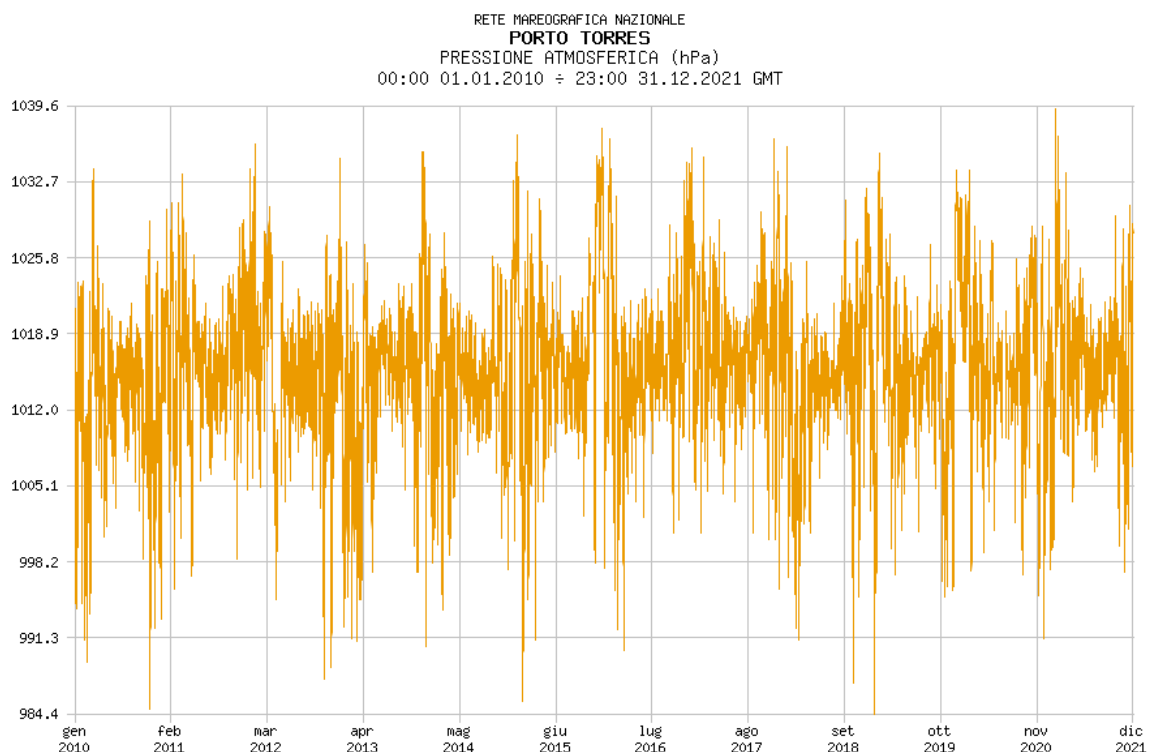


Figura 6.4 – Pressione Atmosferica a Porto Torres tra il 01/01/2010 e il 31/12/2021 (Rif. 13).

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 16 di 51	<b>Rev.</b> 00

## 6.1 Radiazione Solare

La radiazione solare è definita sulla base dei massimi valori raggiunti nei mesi più caldi dell'anno (giugno, luglio e agosto), in accordo ai dati disponibili dal Rif.16. Dalla Figura 6.5 si nota che per la zona di interesse i valori di radiazione solare, espressi in MJ/m<sup>2</sup>, variano tra un minimo di 22.6 (mese di agosto) e un massimo di 27.5 (mese di giugno).

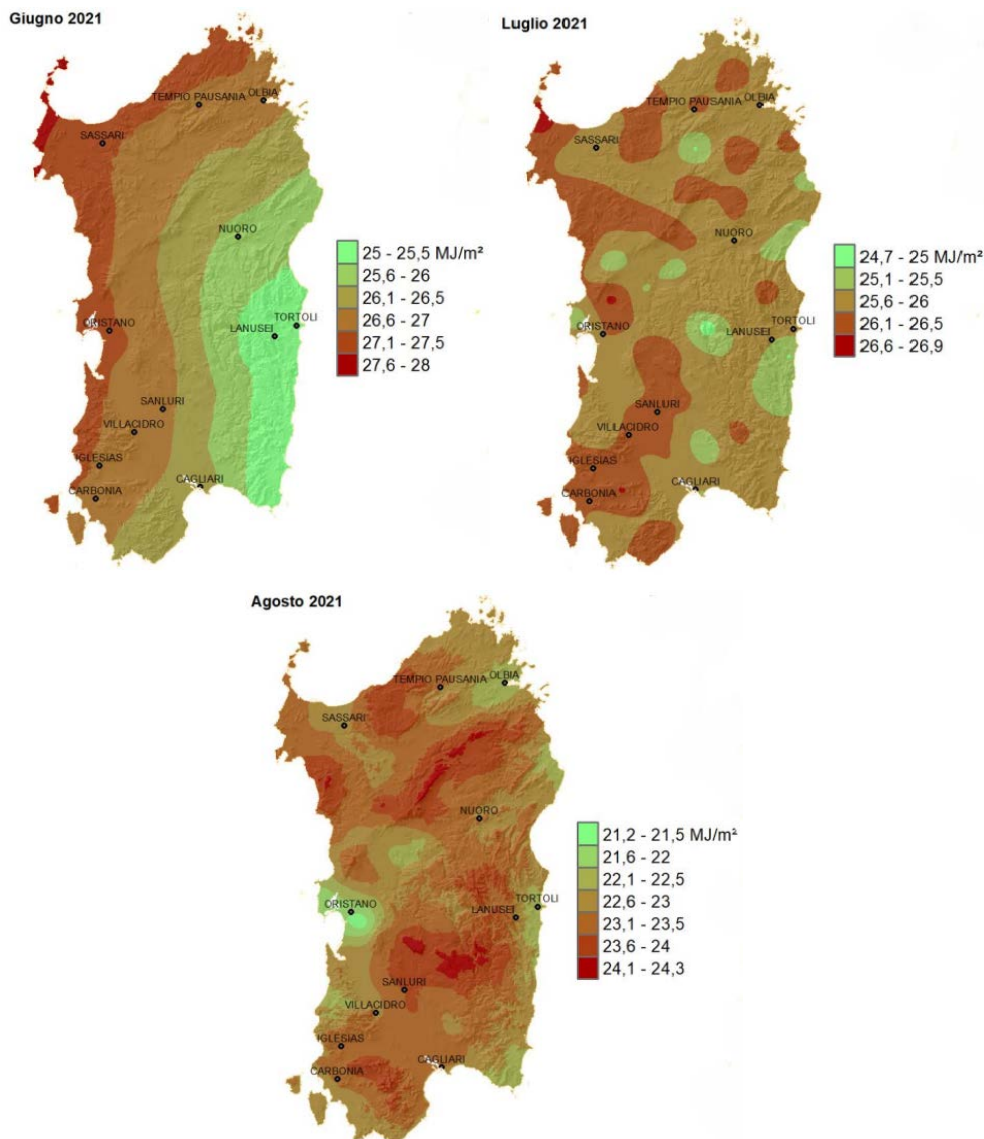


Figura 6.5 – Mappa della radiazione solare mesi di giugno, luglio e agosto 2021 (Rif. 16)

## 6.1 Temperatura del mare

Come mostrato in Tabella 6-4 e in Figura 6.6, il mese caratterizzato dalla più alta temperatura media mensile è agosto, durante il quale si può assistere anche a picchi di 29°C. Il mese con la temperatura media più bassa è febbraio durante il quale è possibile raggiungere minimi di circa 12°C.



<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 17 di 51	<b>Rev.</b> 00

Porto Torres	Temperatura superficiale del mare (°C)		
	Media	Massima Assoluta	Minima Assoluta
Gennaio	14	16	12
Febbraio	13	16	12
Marzo	14	16	12
Aprile	15	18	13
Maggio	17	22	14
Giugno	21	26	16
Luglio	24	29	20
Agosto	25	29	21
Settembre	23	27	20
Ottobre	21	24	18
Novembre	18	22	15
Dicembre	16	19	13
Annuale	18	29	12

Tabella 6-4- Temperatura superficiale del mare (Rif. 12)

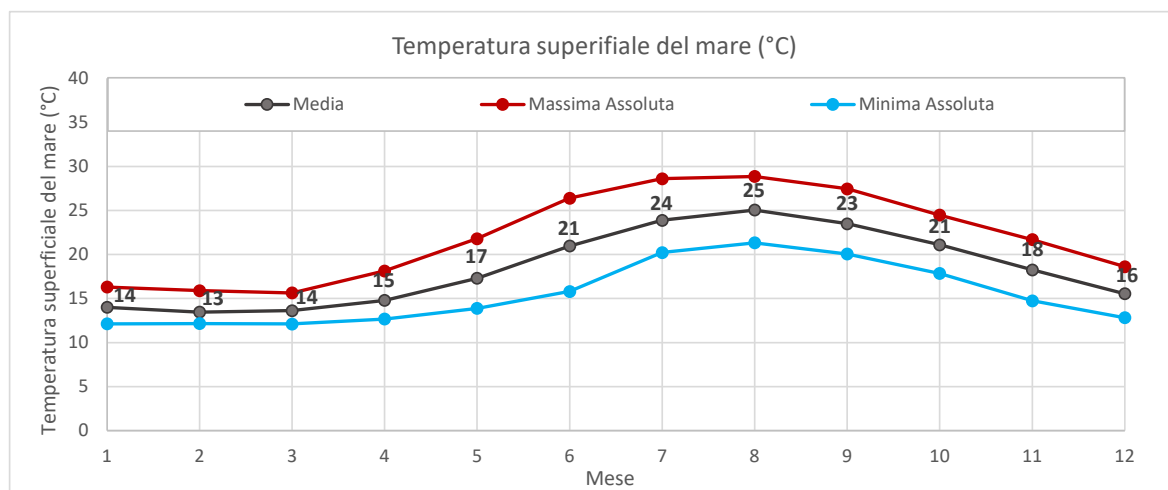


Figura 6.6 – Temperatura superficiale del mare (Rif. 12)

## 6.2 Densità dell'acqua

La densità dell'acqua marina può assumersi al valor medio 1026 kg/m<sup>3</sup>.

## 6.3 Livello di salinità del mare

A causa dell'esigua comunicazione idrica tra il Mar Mediterraneo e gli oceani Atlantico e Indiano, oltreché per la forte evaporazione, le acque del bacino mediterraneo sono generalmente molto salate; la salinità media si aggira infatti attorno al 38,5‰ con un livello locale variabile tra il 36‰ e 39‰ muovendosi dalle regioni dello Stretto di Gibilterra verso il Mar di Levante.

L'analisi delle mappe di salinità del Naval Research Laboratory (Figura 6.7) ottenute a partire dal modello globale Navy Coastal Ocean Model (NCOM) (NRL, 2015) (Rif.17), evidenzia, per la località di interesse, una generale costanza del livello di salinità su base annuale; le mappe, relative al primo giorno del mese per l'anno 2012, mostrano un livello di salinità superficiale variabile con buona approssimazione nell'intervallo 37 - 38‰.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> <b>Porto Torres (SS)</b>	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base</b>	<b>Fg. 18 di 51</b>	<b>Rev.</b> <b>00</b>

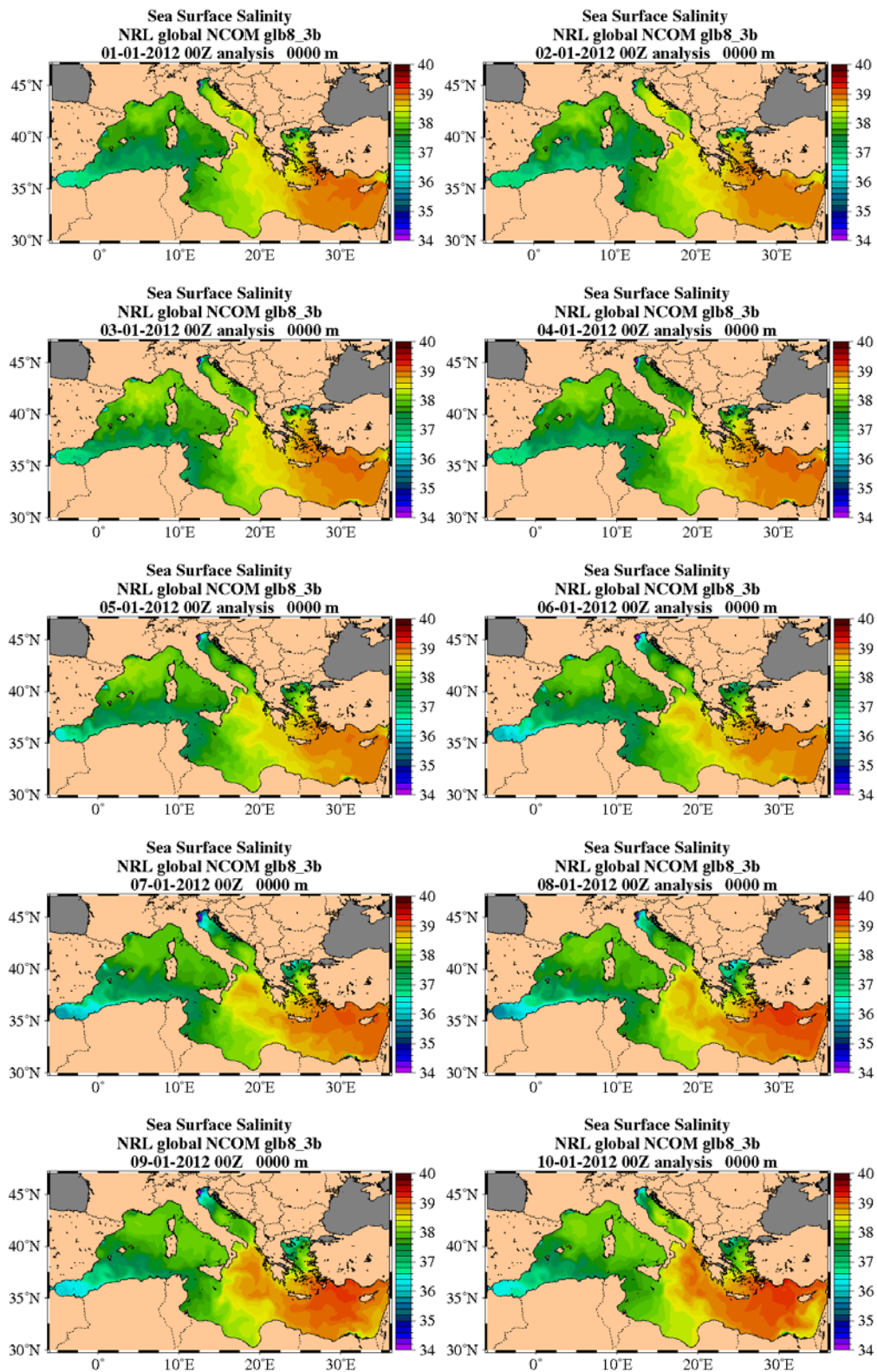


Figura 6.7 – Temperatura superficiale del mare (Rif. 12)

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 19 di 51	<b>Rev.</b> 00

#### 6.4 Livello idrometrico

Nella Tabella 6-5 sono riportati i livelli di marea registrati nella località di Porto Torres, estrapolati dai dati Marea Astronomica e Meteorologica in Italia (Rif.23).

Livelli di Marea di Progetto	m sull'IGM	m sul l.m.m.	m I.G.M.		m L.M.M.	
<b>HAT</b>	<b>+0.39</b>	<b>+0.25</b>	+0.39 m I.G.M.		+0.25 m L.M.M.	
MHWS	+0.27	+0.13	+0.27 m I.G.M.		+0.13 m L.M.M.	
MHWN	+0.24	+0.10	+0.24 m I.G.M.		-0.10 m L.M.M.	
<b>MSL</b>	<b>+0.14</b>	<b>±0.00</b>	+0.14 m I.G.M.		+0.00 m L.M.M.	
MLWN	+0.06	-0.08	+0.06 m I.G.M.		-0.08 m L.M.M.	
MLWS	+0.02	-0.12	+0.02 m I.G.M.		-0.12 m L.M.M.	
<b>IGM</b>	<b>±0.00</b>	<b>-0.14</b>	+0.00 m I.G.M.		-0.14 m L.M.M.	
<b>LAT</b>	<b>-0.20</b>	<b>-0.34</b>	-0.20 m I.G.M.		-0.34 m L.M.M.	

Tabella 6-5 – Livello Idrometrico

#### 6.5 Marine Growth

La crescita marina su una qualsiasi struttura sommersa o in un'imbarcazione può avere conseguenze per l'integrità strutturale o l'efficienza idrodinamica e va dunque tenuta in debito conto durante la progettazione. L'entità dell'accrescimento marino può essere stabilita riferendosi alle linee guida dettate dalla DNVGL-RP C205 (Rif.7). Tali linee guida definiscono che l'accrescimento marino è variabile con la profondità secondo il diagramma di Figura 6.8.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 7200189500	<b>UNITÀ</b> 001
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 20 di 51	<b>Rev.</b> 00

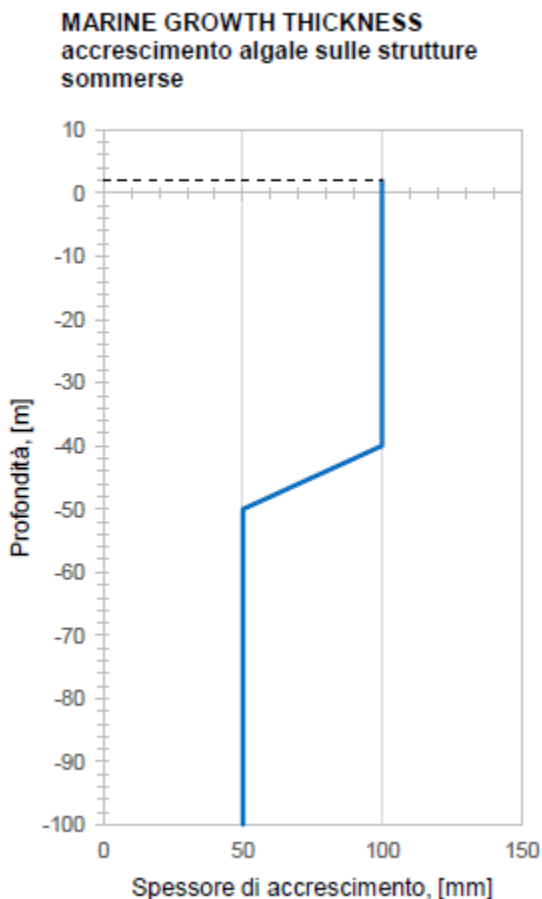


Figura 6.8 – Temperatura superficiale del mare (Rif.7)

## 6.6 Circolazione Generale dei venti

I venti prevalenti sono provenienti dal IV quadrante con una specificità data dal Maestrale, di notevole intensità, proveniente da nord ovest, che spesso soffia per diversi giorni (Rif.18).

A titolo di esempio, nella Figura 6.9 e nella Figura 6.10 (Rif.19) viene riportata la tipica distribuzione dei venti per il Mediterraneo centrale ed occidentale durante l'inverno (Figura 6.9) e durante l'estate (Figura 6.10).

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> <b>Porto Torres (SS)</b>	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base</b>	<b>Fg. 21 di 51</b>	<b>Rev.</b> <b>00</b>

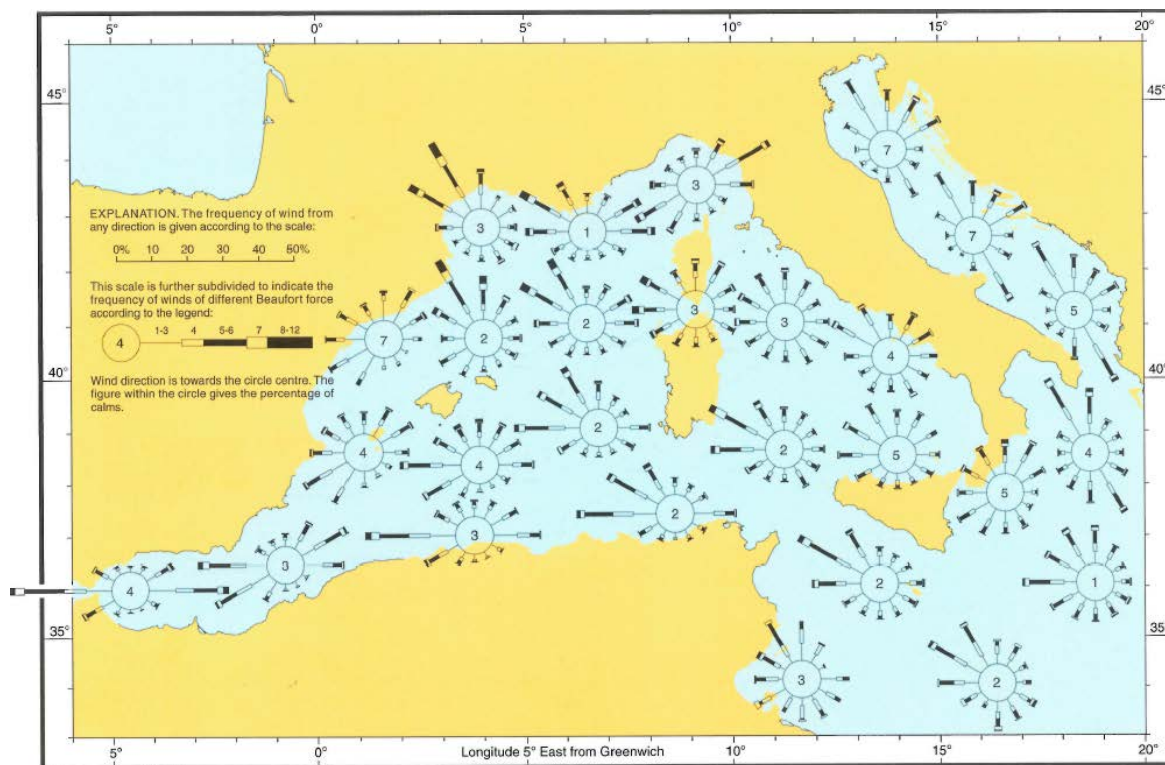


Figura 6.9 – Distribuzione dei venti nel Mediterraneo centrale ed occidentale - febbraio (Rif. 19)

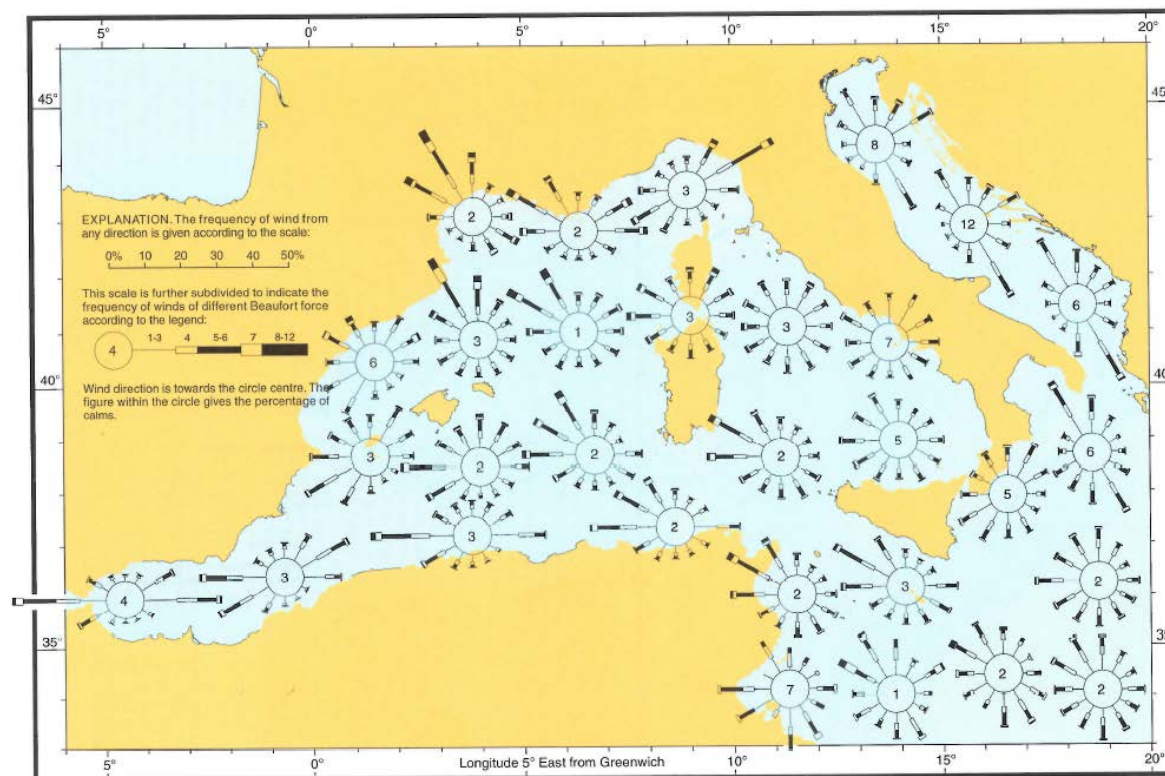


Figura 6.10 – Distribuzione dei venti nel Mediterraneo centrale ed occidentale - agosto (Rif. 19)

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Terminale di Porto Torres</b> <b>Ingegneria di Base</b>	Fg. <a href="#">22</a> di <a href="#">51</a>	<b>Rev.</b> <b>00</b>

## 6.7 Circolazione Generale delle correnti

Lungo il versante occidentale dell'isola la circolazione superficiale presenta una marcata stagionalità: durante l'inverno le correnti hanno direzione da nord-est verso sud-ovest e trasportano masse d'acqua provenienti dalla costa occidentale della Corsica, mentre in estate il loro moto risulta attenuato (Figura 6.11). All'interno del Golfo dell'Asinara le correnti tendono a muoversi secondo una circolazione oraria che appare maggiormente accentuata in presenza di venti da ovest, e a disporsi parallelamente alla linea di costa, in particolare nella fascia marina prossima alla riva. In presenza di venti di libeccio, le correnti in prossimità della costa presentano una componente significativa in direzione perpendicolare ad essa verso il largo, che comporta un movimento verticale delle acque più profonde del golfo.

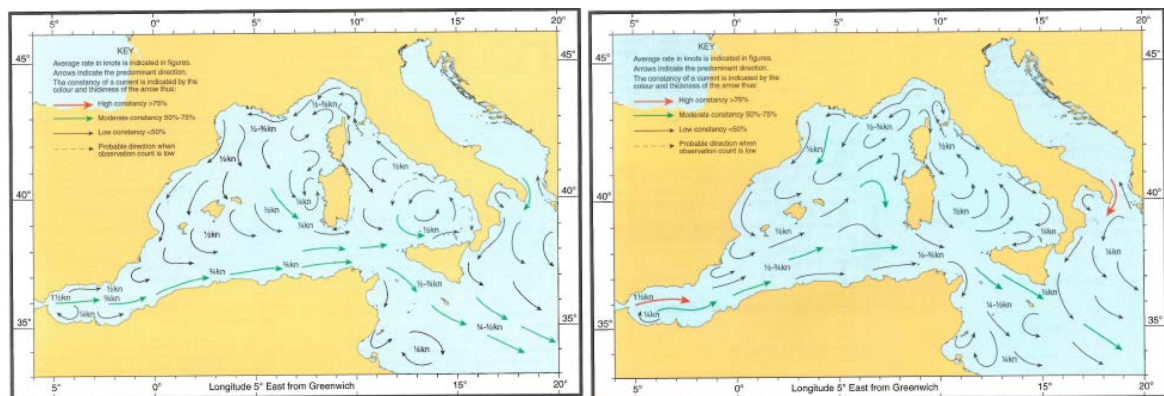


Figura 6.11 – Correnti superficiali predominanti tipiche di gennaio ( riquadro di sinistra) e di luglio ( riquadro di destra). (Rif. 19)

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Terminale di Porto Torres</b> <b>Ingegneria di Base</b>	Fg. <b>23</b> di <b>51</b>	<b>Rev.</b> <b>00</b>

## 7 PROFILO BATIMETRICO

Il porto industriale di Porto Torres presenta una profondità massima di circa 21.5m all'imboccatura mentre l'accosto identificato per l'ormeggio della FSRU (Molo Carbonile - Posizione 2A) ha una profondità disponibile di circa 15.5m come riportato in Figura 7.1 (Rif.20).

I risultati dell'indagine batimetrica effettuata nel settembre 2022, di cui si riporta un estratto in Figura 7.3 (Rif.24), assolvendo allo scopo di individuare modifiche locali del fondale principalmente dovute ad operazioni di dragaggio successive alla realizzazione della Carte Nautiche (Rif.20), evidenziano un sostanziale accordo tra la batimetria estratta dal Rif.20 e quella rilevata (Rif.24, si veda l'APPENDICE 3 alla Sezione 13 per maggiore dettaglio) ad eccezione di alcune aree aventi profondità maggiore di quanto riportato dalle Carte Nautiche (Rif.20) (aree cerchiato in blu in Figura 7.3).

Tali aree, di moderata estensione, si posizionano in zone distanti dall'area di propagazione delle onde in ingresso al porto che, dall'imboccatura, giungono all'area di progetto lungo la direttrice est-ovest.

Per questi motivi, si può asserire che le differenze riscontrate tra la batimetria estratta dal Rif.20 e quella fornita del Rif.24 non incidono sui risultati delle analisi ottenute utilizzando la batimetria estratta dal Rif.20.

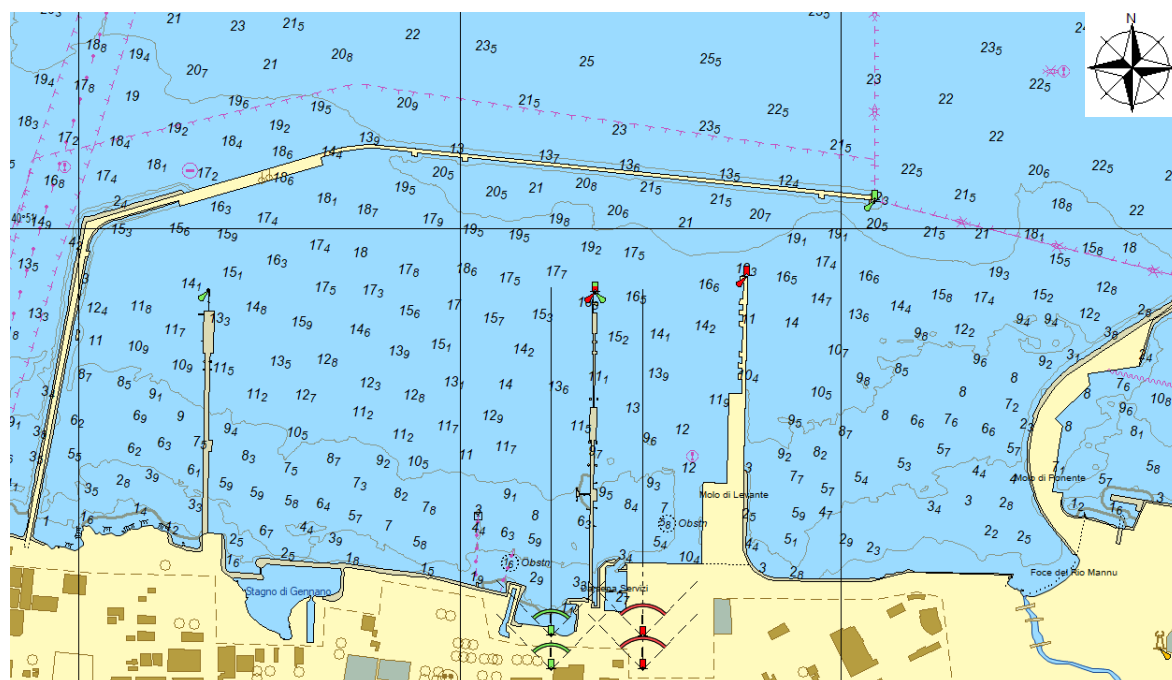


Figura 7.1 – Dettaglio della batimetria (Rif.20)

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 24 di 51	<b>Rev.</b> 00

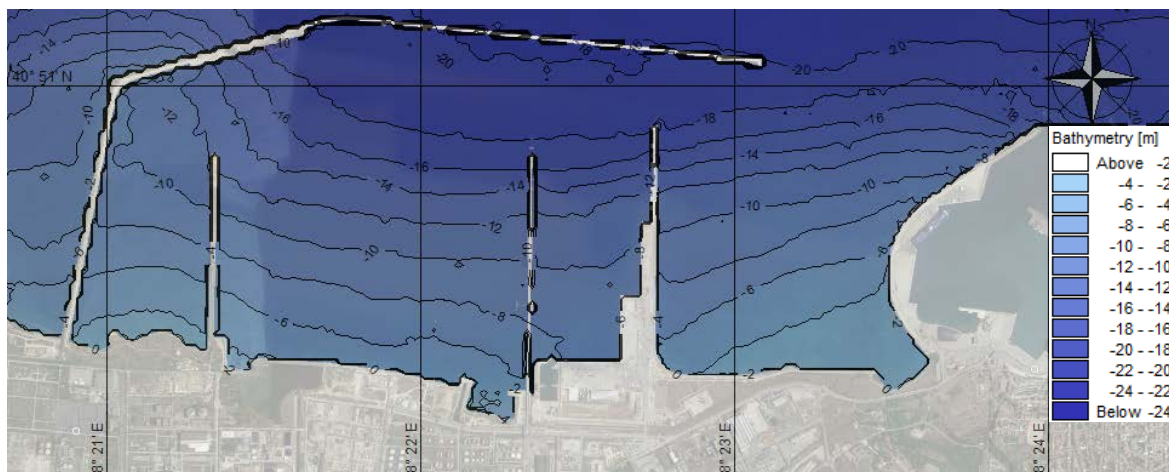


Figura 7.2 – Dettaglio della batimetria. Mappa ottenuta dall'interpolazione dei dati batimetrici puntuali riportati in Figura 7.1

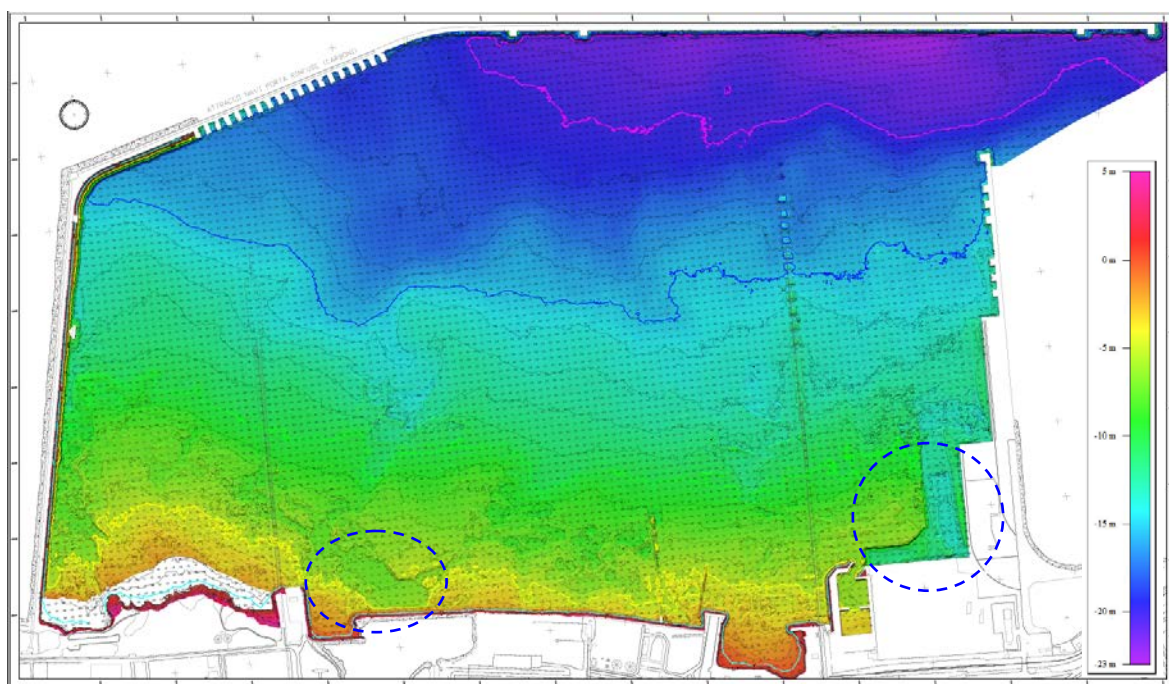


Figura 7.3 – Dettaglio della batimetria rilevata (Rif.24). Cerchiate in blu le principali discrepanze con la batimetria fornita dal Rif.20.



<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 25 di 51	<b>Rev.</b> 00

## 8 VENTO

La velocità del vento e la direzione associata (direzione di provenienza) relativi al punto dati del modello NOAA (Latitudine = 41.00° N e Longitudine = 8.50° E - Figura 8.1) sono state considerate rappresentative delle condizioni del vento sia al largo che nell'area di Porto Torres.

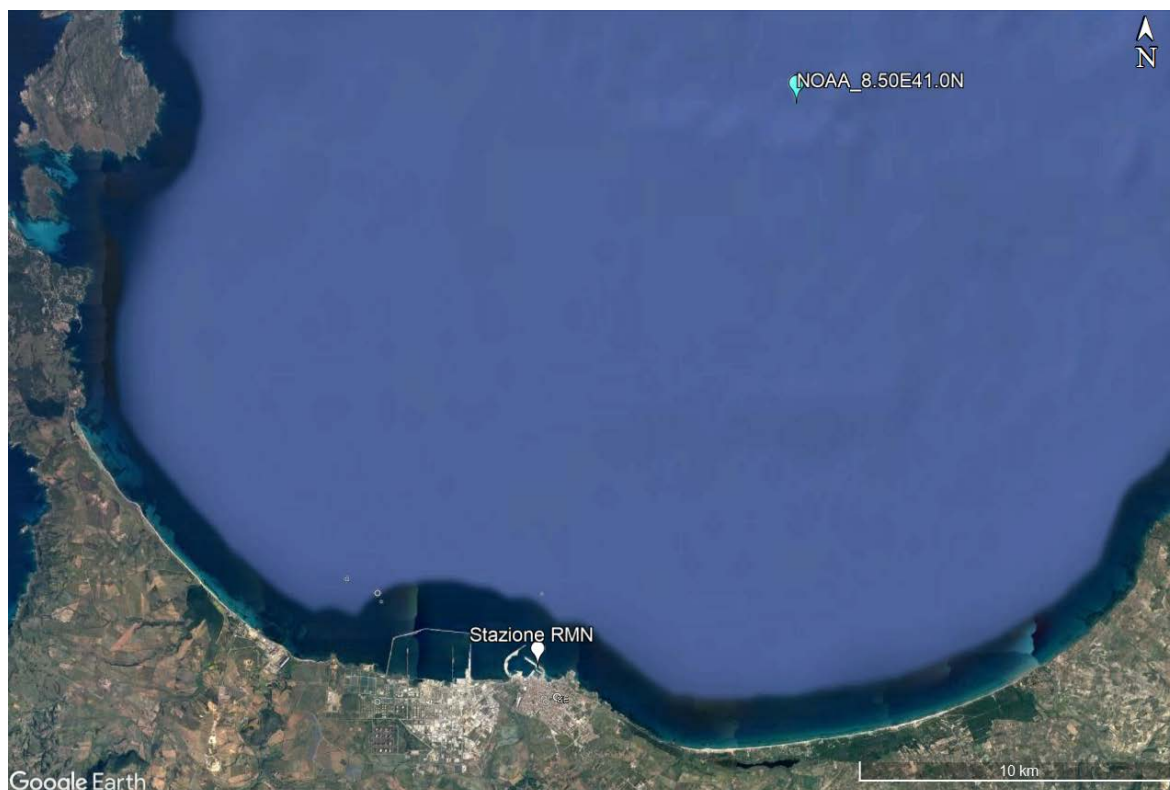


Figura 8.1 – Ubicazione del punto dati NOAA e della Stazione Mareografica di Porto Torres

Il punto selezionato si colloca relativamente distante dalla banchina interessata dal progetto, ma può essere considerato rappresentativo dell'area di interesse. Un confronto è stato fatto con i dati della rete nazionale RMN (Ispra) misurati nel porto relativi al periodo 01/01/2012-03/06/2021 e l'accordo risulta essere buono. Nel dettaglio, per quanto riguarda le intensità, i dati NOAA sono leggermente conservativi rispetto ai dati RMN (Ispra), mentre per le direzioni, il dato NOAA sembra essere più affidabile in quanto il sito in cui è installata la stazione di misura Ispra sembra essere schermata dalle strutture portuali dai venti prevalenti nell'area provenienti da O-ONO.

Per ottenere la descrizione delle tipiche condizioni climatiche ed estreme del vento, è stata considerata la serie temporale tri oraria della durata complessiva di 31 anni (1979-2009) della velocità media oraria del vento 10 m sopra il livello medio del mare (Rif. 15).

### 8.1 Regime dei Venti

Come mostrato in Tabella 8-1 e Figura 8.2, i venti prevalenti provengono dai settori di Ovest e Ovest-Nord Ovest. Le intensità sono generalmente moderate con il 92% di probabilità di occorrenza di venti con velocità non superiore a 10m/s.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 26 di 51	<b>Rev.</b> 00

Ws(m/s)/Dir(°N) - NOAA point (08.50E 041.00N) - Frequenza di Occorrenza (%)													
Direzione di provenienza (°N)	Ws(m/s)												
	0 - 2	2 - 4	4 - 6	6 - 8	8 - 10	10 - 12	12 - 14	14 - 16	16 - 18	18 - 20	20 - 22	22 - 24	Total
0 (345-15)	1.115	2.077	1.411	0.427	0.134	0.056	0.019	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	5.243
30 (15-45)	1.079	1.979	1.491	0.541	0.216	0.082	0.023	0.009	0.001	0.000	0.000	0.000	5.421
60 (45-75)	0.980	2.190	1.863	1.087	0.437	0.174	0.045	0.014	0.003	0.000	0.000	0.000	6.796
90 (75-105)	1.097	2.666	2.553	2.029	1.094	0.404	0.125	0.039	0.011	0.000	0.000	0.000	10.018
120 (105-135)	1.008	2.133	1.478	0.545	0.157	0.036	0.003	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	5.363
150 (135-165)	0.954	1.475	0.736	0.193	0.056	0.022	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.439
180 (165-195)	0.986	1.527	0.917	0.510	0.202	0.050	0.018	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	4.213
210 (195-225)	1.094	2.200	1.873	1.294	0.874	0.372	0.138	0.049	0.015	0.008	0.000	0.000	7.918
240 (225-255)	1.271	3.212	3.154	2.008	0.981	0.539	0.235	0.086	0.029	0.008	0.002	0.000	11.525
270 (255-285)	1.445	3.962	4.457	3.338	1.973	1.094	0.495	0.210	0.075	0.010	0.002	0.000	17.060
300 (285-315)	1.325	3.736	3.633	2.294	1.756	1.348	0.900	0.555	0.277	0.073	0.009	0.000	15.906
330 (315-345)	1.238	2.624	1.919	0.673	0.314	0.184	0.079	0.046	0.014	0.006	0.001	0.000	7.098
Omnidirezionale	13.591	29.781	25.487	14.941	8.195	4.362	2.082	1.017	0.427	0.104	0.014	0.000	100.000

Tabella 8-1 Distribuzione direzionale della frequenza di occorrenza del vento medio orario relativo a 10m sopra il livello medio del mare relativo al punto dati NOAA (Latitudine = 41.00° N e Longitudine = 8.50° E).

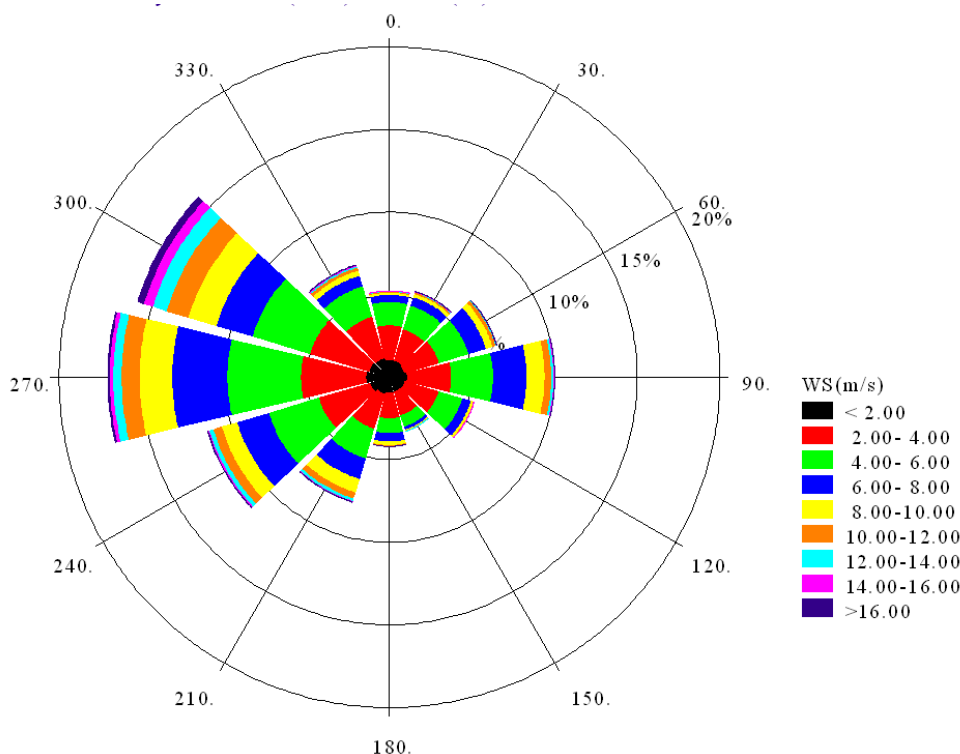


Figura 8.2 – Diagramma polare del vento medio orario relativo a 10m sopra il livello medio del mare relativo al punto dati NOAA (Latitudine = 41.00° N e Longitudine = 8.50° E).

## 8.2 Stima dei valori estremi

I valori estremi di velocità del vento per periodi di ritorno di 1 anno, 2 anni, 5anni, 10 anni, 25 anni, 50 anni, 100 anni e 500 anni sono stati estrapolati dall'elaborazione della serie temporale fornita dal punto dati NOAA selezionato. L'estrapolazione dei valori estremi è stata ricavata utilizzando la distribuzione di Weibull di seguito riportata.

$$F(x) = 1 - \exp\left(-\frac{x - \gamma}{\alpha}\right)^\beta$$

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 27 di 51	<b>Rev.</b> 00

In cui:

- $x$  è la velocità del vento (m/s).
- $F(x)$  è la distribuzione di probabilità cumulata della velocità del vento
- $\alpha$  è il parametro di scala (m/s).
- $\beta$  è il parametro di forma (-).
- $\gamma$  è il parametro "location" (m/s).

Per ricavare i valori estremi a diverse altezze e durate (raffiche) è possibile applicare il modello di Froya (Ref.7) e ricavare la velocità del vento alla quota  $z$  e mediata nel tempo  $T$ .

$$U(T, z) = U_0 \cdot \left[ 1 + C \cdot \ln\left(\frac{z}{H}\right) \right] \cdot \left[ 1 - 0.41 \cdot I_u(z) \cdot \ln\frac{T}{T_0} \right]$$

Dove  $H$  è l'altezza rispetto il livello del mare al quale  $U_0$  si riferisce,  $T$  e  $T_0$  sono rispettivamente i tempi medi di  $U$  e  $U_0$  con  $T < T_0$ . I coefficienti  $C$  and  $I_u(z)$  sono dati da:

$$C = 5.73 \cdot 10^{-2} \cdot [1 + 0.15 \cdot U_0]^{1/2}$$

$$I_u(z) = 0.06 \cdot (1 + 0.043U_0) \cdot \left(\frac{z}{H}\right)^{-0.22}$$

Direzione di provenienza (°N)	Estremi di velocità del vento (1 ora - 10m) - (m/s)							
	1 anno	2 anni	5 anni	10 anni	25 anni	50 anni	100 anni	500 anni
0	11.1	12.1	13.4	14.3	15.5	16.3	17.2	19.1
30	12.0	13.1	14.4	15.4	16.7	17.6	18.5	20.5
60	13.0	14.0	15.2	16.1	17.2	18.0	18.8	20.5
90	14.3	15.2	16.2	17.0	18.0	18.7	19.3	20.8
120	10.6	11.5	12.6	13.4	14.4	15.1	15.8	17.4
150	9.2	10.1	11.3	12.1	13.2	14.0	14.8	16.6
180	11.5	12.6	13.9	14.9	16.2	17.1	18.0	20.0
210	15.3	16.4	17.8	18.8	20.0	20.9	21.8	23.8
240	16.2	17.3	18.8	19.8	21.1	22.1	23.1	25.2
270	17.1	18.1	19.4	20.3	21.4	22.2	23.0	24.8
300	22.3	23.9	26.0	27.5	29.5	30.9	32.3	35.5
330	14.8	16.2	18.1	19.5	21.3	22.7	24.0	27.0
Omnidirezionale	21.1	22.3	23.9	25.0	26.5	27.6	28.7	31.1

Tabella 8-2 Estremi orari direzionali della velocità del vento 10m sopra il livello medio del mare. Periodo di ritorno 1, 2, 5, 10, 25, 50, 100 e 500 anni – Punto NOAA (Latitudine = 41.00° N e Longitudine = 8.50° E)

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 28 di 51	<b>Rev.</b> <b>00</b>

Direzione di provenienza (°N)	Estremi di velocità del vento (10 min - 10m) - (m/s)							
	1 anno	2 anni	5 anni	10 anni	25 anni	50 anni	100 anni	500 anni
0	11.8	12.9	14.3	15.3	16.6	17.6	18.5	20.7
30	12.8	14.0	15.4	16.5	17.9	18.9	19.9	22.2
60	13.9	15.0	16.3	17.3	18.5	19.4	20.2	22.2
90	15.3	16.3	17.4	18.3	19.4	20.1	20.9	22.6
120	11.3	12.2	13.4	14.3	15.4	16.2	17.0	18.8
150	9.8	10.7	12.0	12.9	14.1	15.0	15.9	17.8
180	12.3	13.5	14.9	16.0	17.4	18.4	19.4	21.6
210	16.4	17.6	19.1	20.2	21.6	22.7	23.7	25.9
240	17.4	18.7	20.3	21.4	22.9	24.0	25.1	27.5
270	18.4	19.5	20.9	21.9	23.2	24.1	25.0	27.1
300	24.2	26.1	28.4	30.2	32.4	34.1	35.7	39.4
330	15.9	17.5	19.5	21.1	23.1	24.6	26.1	29.6
Omnidirezionale	22.9	24.2	26.0	27.3	29.0	30.3	31.5	34.3

Tabella 8-3 Estremi direzionali delle raffiche di vento di 10 minuti 10m sopra il livello medio del mare. Periodo di ritorno 1, 2, 5, 10, 25, 50, 100 e 500 anni – Punto NOAA (Latitudine = 41.00° N e Longitudine = 8.50° E)

Direzione di provenienza (°N)	Estremi di velocità del vento (1 min - 10m) - (m/s)							
	1 anno	2 anni	5 anni	10 anni	25 anni	50 anni	100 anni	500 anni
0	12.7	13.9	15.5	16.6	18.1	19.2	20.2	22.6
30	13.8	15.1	16.8	18.0	19.5	20.7	21.8	24.4
60	15.1	16.3	17.7	18.8	20.2	21.2	22.2	24.4
90	16.6	17.7	19.0	20.0	21.2	22.0	22.9	24.8
120	12.2	13.2	14.5	15.5	16.7	17.6	18.5	20.5
150	10.5	11.6	13.0	14.0	15.3	16.3	17.2	19.4
180	13.3	14.6	16.2	17.4	18.9	20.1	21.2	23.7
210	17.8	19.2	20.9	22.2	23.8	24.9	26.1	28.6
240	19.0	20.4	22.2	23.5	25.2	26.5	27.7	30.5
270	20.1	21.3	22.9	24.1	25.5	26.6	27.6	30.0
300	26.7	28.8	31.5	33.6	36.2	38.1	40.1	44.5
330	17.2	19.0	21.4	23.1	25.4	27.2	28.9	32.9
Omnidirezionale	25.1	26.7	28.7	30.2	32.2	33.7	35.1	38.4

Tabella 8-4 Estremi direzionali delle raffiche di vento di 1 minuto 10m sopra il livello medio del mare. Periodo di ritorno 1, 2, 5, 10, 25, 50, 100 e 500 anni – Punto NOAA (Latitudine = 41.00° N e Longitudine = 8.50° E)

Direzione di provenienza (°N)	Estremi di velocità del vento (3 sec - 10m) - (m/s)							
	1 anno	2 anni	5 anni	10 anni	25 anni	50 anni	100 anni	500 anni
0	14.0	15.3	17.0	18.3	20.0	21.2	22.4	25.2
30	15.2	16.6	18.5	19.9	21.6	23.0	24.3	27.2
60	16.6	17.9	19.6	20.8	22.4	23.5	24.7	27.2
90	18.3	19.5	21.0	22.1	23.5	24.5	25.5	27.7
120	13.3	14.5	16.0	17.0	18.4	19.5	20.5	22.8
150	11.4	12.6	14.2	15.3	16.8	17.9	19.0	21.5
180	14.5	16.0	17.8	19.2	21.0	22.3	23.6	26.5
210	19.7	21.3	23.2	24.7	26.5	27.9	29.2	32.1
240	21.0	22.6	24.7	26.2	28.2	29.6	31.1	34.3
270	22.3	23.7	25.5	26.9	28.6	29.8	31.0	33.7
300	29.9	32.4	35.6	38.0	41.1	43.5	45.8	51.1
330	19.0	21.1	23.7	25.8	28.4	30.5	32.5	37.2
Omnidirezionale	28.1	29.9	32.3	34.1	36.4	38.1	39.9	43.8

Tabella 8-5 Estremi direzionali delle raffiche di vento di 3 secondi 10m sopra il livello medio del mare. Periodo di ritorno 1, 2, 5, 10, 25, 50, 100 e 500 anni – Punto NOAA (Latitudine = 41.00° N e Longitudine = 8.50° E)

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. <a href="#">29</a> di <a href="#">51</a>	<b>Rev.</b> <b>00</b>

## 9 MOTO ONDOSO

### 9.1 Dati d'onda

Il clima ondoso e le condizioni d'onda estreme al largo sono stati ricavati dall'elaborazione della serie temporale tri oraria di durata complessiva di 31 anni (1979-2009) relativa al punto dati del modello NOAA (Latitudine = 41.00° N e Longitudine = 8.50° E - Figura 9.1).

Il clima ondoso e le condizioni d'onda estreme all'imboccatura del porto industriale di Porto Torres sono stati ottenuti grazie alla propagazione verso riva mediante modello numerico spettrale (MIKE 21 Spectral Wave) delle condizioni ondose al largo. I dati sono stati estratti in corrispondenza del punto P1 posto ad una profondità di 22.0m (Figura 9.1)

Le caratteristiche del moto ondoso interne al porto industriale di Porto Torres in corrispondenza della zona identificata per l'accosto e per l'ormeggio della FSRU (punto 2A - Figura 9.1) sono state ottenute grazie all'utilizzo del modello numerico MIKE 21 Boussinesq Wave Module in grado di valutare l'agitazione portuale note le condizioni ondose all'imboccatura del porto, la batimetria, la geometria e la conformazione delle strutture che delimitano il porto stesso.



Figura 9.1 – Localizzazione del punto dati NOAA (in ciano), del punto P1 e del punto 2° (in bianco).

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 30 di 51	<b>Rev.</b> 00

## 9.2 Regime del moto ondoso

## 9.3 Regime del moto ondoso al largo

Come mostrato in Tabella 9-1 e Figura 9.2, le onde prevalenti provengono dai settori di Ovest-Nord Ovest e Nord-Nord Ovest. Non si riscontrano altezze d'onda significativa molto elevate poiché si osserva una probabilità di occorrenza dell'86% per onde con  $H_s \leq 1.0m$  e del 97.5% per onde con  $H_s \leq 2.0m$ .

Direzione di provenienza (°N)	Hs(m)/Dir(°N) - NOAA point (08.50E 041.00N) - Frequenza di Occorrenza (%)																Total
	Hs(m)																
	0.00 - 0.25	0.25 - 0.50	0.50 - 0.75	0.75 - 1.00	1.00 - 1.25	1.25 - 1.50	1.50 - 1.75	1.75 - 2.00	2.00 - 2.25	2.25 - 2.50	2.50 - 2.75	2.75 - 3.00	3.00 - 4.00	4.00 - 5.00	5.00 - 6.00	6.00 - 7.00	
0 (345-15)	3.54	3.46	1.02	0.46	0.17	0.08	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.80
30 (15-45)	1.18	0.87	0.15	0.12	0.08	0.05	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.51
60 (45-75)	1.88	2.93	1.54	0.86	0.37	0.14	0.05	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.80
90 (75-105)	1.43	1.67	0.49	0.18	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.85
120 (105-135)	0.92	0.48	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.46
150 (135-165)	0.75	0.37	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.17
180 (165-195)	1.01	0.77	0.21	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.07
210 (195-225)	1.27	1.84	1.36	0.63	0.22	0.07	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.42
240 (225-255)	1.03	1.31	0.69	0.45	0.19	0.07	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.78
270 (255-285)	1.08	0.81	0.35	0.24	0.12	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.66
300 (285-315)	7.65	13.40	8.33	5.54	3.35	2.10	1.36	0.74	0.42	0.22	0.11	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	43.28
330 (315-345)	6.35	4.91	1.42	0.91	0.67	0.49	0.47	0.41	0.38	0.33	0.29	0.22	0.34	0.02	0.00	0.00	17.21
Omnidirezionale	28.08	32.83	15.63	9.47	5.23	3.06	2.01	1.24	0.83	0.57	0.41	0.27	0.37	0.02	0.00	0.00	100.00

Tabella 9-1 Distribuzione direzionale annuale della frequenza di occorrenza dell'altezza d'onda significativa relativo al punto dati NOAA - Latitudine = 41.00° N e Longitudine = 8.50° E.

Tp (sec)	Hs(m)/Tp(sec) - NOAA point (08.50E 041.00N) - Frequenza di Occorrenza (%)																Total
	Hs(m)																
	0.00 - 0.25	0.25 - 0.50	0.50 - 0.75	0.75 - 1.00	1.00 - 1.25	1.25 - 1.50	1.50 - 1.75	1.75 - 2.00	2.00 - 2.25	2.25 - 2.50	2.50 - 2.75	2.75 - 3.00	3.00 - 4.00	4.00 - 5.00	5.00 - 6.00	6.00 - 7.00	
0 - 1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1 - 2	2.33	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.34
2 - 3	14.87	12.36	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27.47
3 - 4	4.08	3.82	5.05	1.79	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.80
4 - 5	4.93	3.52	0.30	1.01	1.11	0.41	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.34
5 - 6	1.58	7.96	1.58	0.24	0.11	0.08	0.13	0.09	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.79
6 - 7	0.20	4.45	4.85	1.71	0.39	0.15	0.06	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.84
7 - 8	0.05	0.65	3.01	2.91	1.67	0.62	0.25	0.09	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.33
8 - 9	0.02	0.06	0.59	1.61	1.41	1.13	0.80	0.44	0.21	0.10	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	6.45
9 - 10	0.00	0.01	0.02	0.20	0.47	0.62	0.62	0.47	0.41	0.29	0.18	0.12	0.09	0.00	0.00	0.00	3.50
10 - 11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.06	0.09	0.12	0.14	0.15	0.16	0.11	0.23	0.01	0.00	0.00	1.09
11 - 12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.07
Total	28.08	32.83	15.63	9.47	5.23	3.06	2.01	1.24	0.83	0.57	0.41	0.27	0.37	0.02	0.00	0.00	100.00

Tabella 9-2 Distribuzione annuale Hs-Tp relativo al punto dati NOAA - Latitudine = 41.00° N e Longitudine = 8.50° E.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> <b>Porto Torres (SS)</b>	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base</b>	<b>Fg. 31 di 51</b>	<b>Rev.</b> <b>00</b>

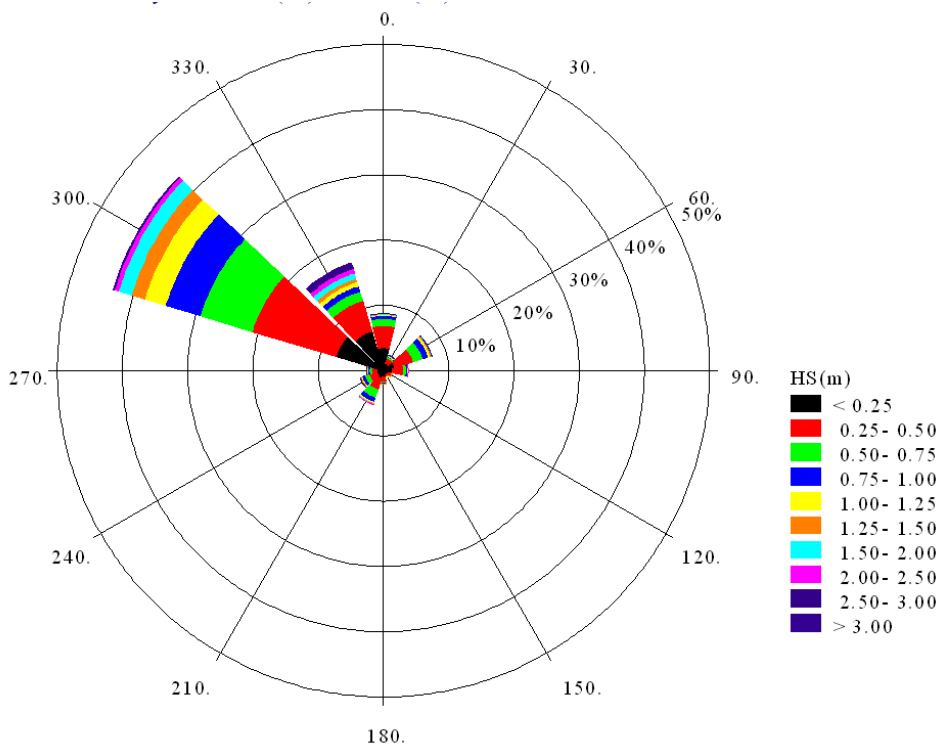


Figura 9.2 – Diagramma polare dell'altezza d'onda significativa (Hs) relativo al punto dati NOAA - Latitudine = 41.00° N e Longitudine = 8.50° E.

#### 9.4 Regime del moto ondoso all'imboccatura del porto (punto P1)

Come mostrato in Tabella 9-3 e Figura 9.3, le onde prevalenti provengono da Nord. Non si riscontrano altezze d'onda significativa molto elevate poiché si osserva una probabilità di occorrenza dell'93% per onde con  $H_s \leq 0.5m$  e del 95% per onde con  $H_s \leq 1.0m$ .

Direzione di provenienza (°N)	Hs(m)															Total	
	0.00 - 0.25	0.25 - 0.50	0.50 - 0.75	0.75 - 1.00	1.00 - 1.25	1.25 - 1.50	1.50 - 1.75	1.75 - 2.00	2.00 - 2.25	2.25 - 2.50	2.50 - 2.75	2.75 - 3.00	3.00 - 4.00	4.00 - 5.00	5.00 - 6.00		6.00 - 7.00
0 (345-15)	46.57	8.11	1.63	0.80	0.52	0.31	0.13	0.07	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	58.22
30 (15-45)	12.16	3.74	1.25	0.62	0.31	0.15	0.08	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.35
60 (45-75)	3.13	4.25	1.98	0.93	0.41	0.17	0.08	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.02
90 (75-105)	0.09	0.06	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19
120 (105-135)	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
150 (135-165)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
180 (165-195)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
210 (195-225)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
240 (225-255)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
270 (255-285)	0.16	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17
300 (285-315)	0.79	1.01	0.34	0.19	0.10	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.51
330 (315-345)	1.19	2.07	2.27	1.64	0.97	0.55	0.40	0.23	0.12	0.07	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.53
Omnidirezionale	64.10	19.26	7.50	4.20	2.31	1.22	0.71	0.37	0.18	0.09	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	100.00

Tabella 9-3 Distribuzione direzionale annuale della frequenza di occorrenza dell'altezza d'onda significativa relativo al punto P1 - Latitudine = 40.853917° N e Longitudine = 8.392956° E

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> <b>Porto Torres (SS)</b>	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base</b>	<b>Fg. 32 di 51</b>	<b>Rev.</b> <b>00</b>

Tp (sec)	Hs(m)/Tp(sec) - Punto P1 (8.392956°E 40.853917°N) - Frequenza di Occorrenza (%)															Total	
	0.00 - 0.25	0.25 - 0.50	0.50 - 0.75	0.75 - 1.00	1.00 - 1.25	1.25 - 1.50	1.50 - 1.75	1.75 - 2.00	2.00 - 2.25	2.25 - 2.50	2.50 - 2.75	2.75 - 3.00	3.00 - 3.25	3.25 - 3.50	3.50 - 3.75		3.75 - 4.00
0 - 1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1 - 2	3.18	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2 - 3	21.17	6.16	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3 - 4	7.54	4.55	3.08	1.32	0.71	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4 - 5	8.01	0.80	0.54	0.83	0.52	0.47	0.35	0.18	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5 - 6	9.62	1.74	0.37	0.20	0.15	0.16	0.11	0.04	0.04	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6 - 7	8.24	2.08	0.76	0.25	0.08	0.06	0.03	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7 - 8	4.26	2.00	0.95	0.40	0.17	0.05	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8 - 9	1.65	1.14	0.81	0.49	0.18	0.07	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9 - 10	0.41	0.61	0.54	0.52	0.32	0.13	0.08	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10 - 11	0.02	0.07	0.11	0.18	0.18	0.15	0.08	0.05	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11 - 12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	64.10	19.26	7.50	4.20	2.31	1.22	0.71	0.37	0.18	0.09	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabella 9-4 Distribuzione annuale Hs-Tp relativo al punto P1 - Latitudine = 40.853917° N e Longitudine = 8.392956° E

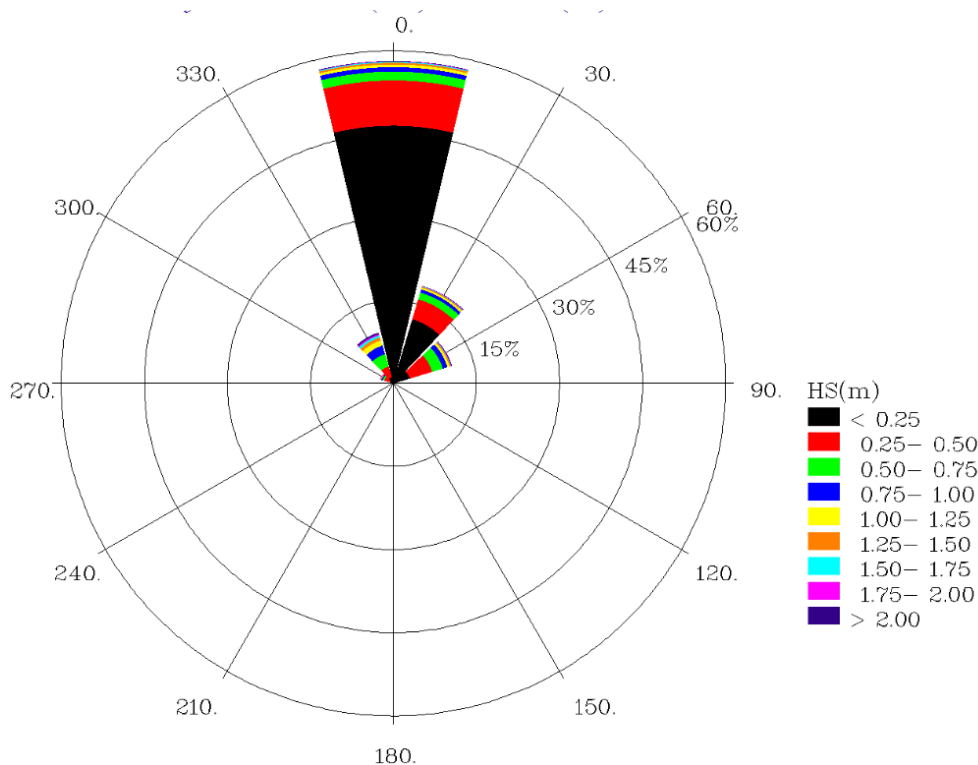


Figura 9.3 – Diagramma polare dell'altezza d'onda significativa (Hs) relativo al punto P1 - Latitudine = 40.853917° N e Longitudine = 8.392956° E

### 9.5 Relazione tra altezza d'onda (Hs) e periodo di picco spettrale (Tp)

Un generico stato di mare (nel caso in esame la durata dello stato di mare è 3 ore) è definito dall'altezza d'onda significativa (Hs) e dall'associato periodo di picco spettrale (Tp). Per definire la relazione tra e Tp, cioè identificare il periodo più probabile associato ad un valore di Hs selezionato, occorre definire la funzione di densità di probabilità congiunta  $F_{Hs, Tp}(Hs, Tp)$  dell'altezza d'onda significativa (Hs) e del periodo di picco spettrale (Tp). Questa, in forma generale assume la seguente forma:

$$F_{Hs, Tp}(Hs, Tp) = F_{Hs}(Hs) \cdot F_{Tp/Hs}(Tp, Hs)$$

In cui:

- $F_{Hs}(Hs)$  è la distribuzione di probabilità marginale dell'altezza d'onda significativa;



<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 33 di 51	<b>Rev.</b> 00

- $F_{T_p/H_s}(T_p, H_s)$  è la condizione di periodo di picco spettrale ( $T_p$ ) sulla distribuzione di probabilità dell'altezza d'onda significativa ( $H_s$ ).

Per descrivere il clima degli stati di mare, è possibile adottare diverse distribuzioni di probabilità  $F_{H_s}(H_s)$ ; per il caso in esame, è stata selezionata la distribuzione di Weibull seguente:

$$F(x) = 1 - \exp\left(-\frac{x - \gamma}{\alpha}\right)^\beta$$

In cui:

- $x$  è l'altezza d'onda significativa
- $F(x)$  è la distribuzione di probabilità cumulata dell'altezza d'onda significativa
- $\alpha$  è il parametro di scala.
- $\beta$  è il parametro di forma
- $\gamma$  è il parametro "location"

Per descrivere la distribuzione condizionata del periodo di picco spettrale ( $T_p$ ), è stata utilizzata la distribuzione Log-Normale di seguito riportata:

$$F_{T_p/H_s}(T_p, H_s) = \frac{1}{T_p \sqrt{2\pi\sigma^2}} \cdot \exp\left[-\frac{(\ln(T_p) - \theta)^2}{2\sigma^2}\right]$$

I valori dei parametri  $\theta$  e  $\sigma$  sono definibili come funzione dell'altezza d'onda significativa ( $H_s$ ) ovvero, per ciascuna classe di  $H_s$ , è stata ricercata l'opportuna funzione di interpolazione. Per il set di dati considerato, le funzioni più appropriate sono le seguenti:

$$\sigma = c_1 \cdot H_s^{c_2}$$

$$\theta = c_3 \cdot \arctan(c_4 \cdot (H_s + c_5)) + c_6$$

In cui:

- $c_1, \dots, c_6$  sono costanti empiriche ricavate del processo di "best fit".

Una volta noti i parametri  $\theta$  e  $\sigma$ , è possibile definire il periodo di picco spettrale ( $T_p$ ) ed il relativo intervallo di confidenza con le seguenti espressioni.

$$T_p = \exp\left(\theta + \frac{\sigma^2}{2}\right)$$

$$\{T_{p_{inf}} | T_{p_{sup}}\} = \exp(\theta \pm \beta \sqrt{2}\sigma)$$

In cui  $\beta$  assume valori differenti in base all'intervallo di confidenza selezionato come riportato in Tabella 9-5.

Intervallo di confidenza	60%	70%	80%	85%	90%	95%
$\beta$	0.595	0.733	0.906	1.018	1.165	1.39

Tabella 9-5 Valori del coefficiente  $\beta$  per differenti intervalli di confidenza.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 34 di 51	<b>Rev.</b> 00

## 9.6 Relazione Hs-Tp al largo

Considerata la limitata distribuzione direzionale che caratterizza gli stati di mare dell'area in esame, la relazione Hs-Tp è stata determinata solo per il caso omnidirezionale. I parametri  $\theta$  e  $\sigma$  ottenuti sono riportati in Tabella 9-6.

Parametri della distribuzione Log-Normale - Punto dati NOAA: Lat = 41.00° N Long = 8.50° E						
Direzione di provenienza (°N)	$\sigma = c_1 \cdot Hs^{c_2}$		$\vartheta = c_3 \cdot \arctan [c_4 \cdot (Hs + c_5)] + c_6$			
	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$	$c_6$
<b>Omnidirezionale</b>	0.145	-0.565	9.733	11.281	0.347	-12.762

Tabella 9-6 Parametri della distribuzione Log-Normale per il punto NOAA - Latitudine = 41.00° N e Longitudine = 8.50° E.

## 9.7 Relazione Hs-Tp all'imboccatura del porto – punto P1

Considerata la limitata distribuzione direzionale che caratterizza gli stati di mare dell'area in esame, la relazione Hs-Tp è stata determinata solo per il caso omnidirezionale. I parametri  $\theta$  e  $\sigma$  ottenuti sono riportati in Tabella 9-7.

Parametri della distribuzione Log-Normale - Punto dati NOAA: Lat = 41.00° N Long = 8.50° E						
Direzione di provenienza (°N)	$\sigma = c_1 \cdot Hs^{c_2}$		$\vartheta = c_3 \cdot \arctan [c_4 \cdot (Hs + c_5)] + c_6$			
	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$	$c_6$
<b>Omnidirezionale</b>	0.186	-0.333	14.277	34.982	0.122	-20.134

Tabella 9-7 Parametri della distribuzione Log-Normale per il punto P1 - Latitudine = 40.853917° N e Longitudine = 8.392956° E

## 9.8 Estremi d'onda

Gli estremi annuali degli stati di mare (della durata di 3 ore) sono stati valutati sia su base direzionale che omnidirezionale. I valori estremi dell'altezza d'onda significativa (Hs) sono stati valutati fittando la funzione di distribuzione di Weibull seguente sui dati base.

$$F(x) = 1 - \exp\left(-\frac{x - \gamma}{\alpha}\right)^\beta$$

In cui:

- $x$  è l'altezza d'onda significativa
- $F(x)$  è la distribuzione di probabilità cumulata dell'altezza d'onda significativa
- $\alpha$  è il parametro di scala.
- $\beta$  è il parametro di forma
- $\gamma$  è il parametro "location"

Il periodo di picco spettrale (Tp) associato agli estremi di altezza d'onda significativa (Hs) sono stati determinati in accordo alla metodologia descritta alla Sezione 9.5.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> <b>Porto Torres (SS)</b>	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base</b>	<b>Fg. 35 di 51</b>	<b>Rev.</b> <b>00</b>

## 9.9 Estremi d'onda al largo

La Tabella 9-8 e la Tabella 9-9 riportano gli estremi d'onda annuali direzionali e omnidirezionali relativamente al punto dati NOAA (Latitudine = 41.00° N e Longitudine = 8.50° E) rappresentativo delle condizioni al largo. In esse è riportato anche il periodo di picco spettrale medio associato ( $T_{p,medio}$ ) ed i valori relativi all'intervallo di confidenza del 90% ( $T_{p,5\%} - T_{p,95\%}$ ).

Direzione di provenienza (°N)	Estremi di altezza d'onda significativa (Hs) - Periodo di Picco associato medio (Tp) e relativo intervallo di confidenza del 90% (Tp,5% - Tp,95%)															
	1 anno				2 anni				5 anni				10 anni			
	Hs (m)	Tp,5% (s)	Tp,medio (s)	Tp,95% (s)	Hs (m)	Tp,5% (s)	Tp,medio (s)	Tp,95% (s)	Hs (m)	Tp,5% (s)	Tp,medio (s)	Tp,95% (s)	Hs (m)	Tp,5% (s)	Tp,medio (s)	Tp,95% (s)
0	1.8	7.0	8.4	9.9	2.0	7.4	8.7	10.2	2.4	7.9	9.2	10.6	2.6	8.2	9.4	10.8
30	1.5	6.5	7.9	9.5	1.8	7.0	8.4	9.9	2.1	7.5	8.9	10.3	2.4	7.9	9.2	10.6
60	1.8	7.1	8.5	10.0	2.0	7.4	8.7	10.2	2.3	7.7	9.0	10.5	2.4	7.9	9.2	10.6
90	1.2	5.8	7.3	8.9	1.4	6.2	7.7	9.3	1.6	6.7	8.1	9.7	1.8	7.0	8.4	9.9
120	0.6	3.5	5.0	6.8	0.7	4.1	5.6	7.4	0.9	4.8	6.3	8.0	1.0	5.3	6.8	8.5
150	0.6	3.5	5.0	6.8	0.7	4.0	5.5	7.3	0.8	4.7	6.1	7.9	1.0	5.1	6.6	8.3
180	0.9	4.9	6.3	8.1	1.0	5.2	6.7	8.4	1.2	5.7	7.1	8.8	1.3	6.0	7.4	9.1
210	1.5	6.4	7.8	9.4	1.6	6.6	8.0	9.6	1.7	6.9	8.3	9.8	1.8	7.1	8.5	10.0
240	1.6	6.6	8.0	9.6	1.7	7.0	8.3	9.9	2.0	7.3	8.7	10.1	2.1	7.6	8.9	10.3
270	1.4	6.4	7.8	9.4	1.6	6.7	8.1	9.7	1.9	7.2	8.5	10.0	2.0	7.4	8.8	10.2
300	3.0	8.5	9.7	11.0	3.3	8.7	9.9	11.1	3.6	8.9	10.1	11.3	3.8	9.1	10.2	11.4
330	3.8	9.1	10.2	11.4	4.1	9.2	10.3	11.5	4.4	9.4	10.4	11.6	4.6	9.5	10.5	11.6
Omnidirezionale	3.8	9.1	10.2	11.4	4.1	9.2	10.3	11.5	4.4	9.4	10.4	11.6	4.6	9.5	10.5	11.6

Tabella 9-8 Estremi d'onda direzionali e omnidirezionali per il punto NOAA - Latitudine = 41.00° N e Longitudine = 8.50° E. Periodi di ritorno 1, 2, 5 e 10 anni.

Direzione di provenienza (°N)	Estremi di altezza d'onda significativa (Hs) - Periodo di Picco associato medio (Tp) e relativo intervallo di confidenza del 90% (Tp,5% - Tp,95%)															
	25 anni				50 anni				100 anni				500 anni			
	Hs (m)	Tp,5% (s)	Tp,medio (s)	Tp,95% (s)	Hs (m)	Tp,5% (s)	Tp,medio (s)	Tp,95% (s)	Hs (m)	Tp,5% (s)	Tp,medio (s)	Tp,95% (s)	Hs (m)	Tp,5% (s)	Tp,medio (s)	Tp,95% (s)
0	3.0	8.5	9.7	11.0	3.3	8.7	9.9	11.2	3.6	8.9	10.1	11.3	4.3	9.4	10.4	11.5
30	2.8	8.3	9.5	10.9	3.1	8.6	9.7	11.0	3.3	8.8	9.9	11.2	4.0	9.2	10.3	11.5
60	2.7	8.2	9.4	10.8	2.8	8.4	9.6	10.9	3.0	8.5	9.7	11.0	3.4	8.8	10.0	11.2
90	2.0	7.3	8.7	10.2	2.1	7.6	8.9	10.3	2.3	7.8	9.1	10.5	2.7	8.2	9.5	10.8
120	1.3	6.0	7.4	9.1	1.5	6.4	7.8	9.4	1.7	6.8	8.2	9.8	2.2	7.6	8.9	10.4
150	1.2	5.6	7.1	8.8	1.3	6.0	7.5	9.1	1.4	6.4	7.8	9.4	1.8	7.1	8.4	10.0
180	1.4	6.3	7.7	9.3	1.5	6.5	8.0	9.5	1.6	6.8	8.1	9.7	1.9	7.2	8.5	10.0
210	2.0	7.3	8.7	10.2	2.1	7.5	8.8	10.3	2.2	7.6	8.9	10.4	2.4	7.9	9.2	10.6
240	2.3	7.8	9.1	10.5	2.5	8.0	9.3	10.7	2.6	8.2	9.4	10.8	3.0	8.5	9.7	11.0
270	2.3	7.7	9.0	10.5	2.4	7.9	9.2	10.6	2.6	8.1	9.4	10.7	3.0	8.5	9.7	11.0
300	4.1	9.2	10.3	11.5	4.3	9.4	10.4	11.5	4.5	9.5	10.5	11.6	5.0	9.7	10.7	11.7
330	4.9	9.6	10.6	11.7	5.1	9.7	10.7	11.7	5.3	9.8	10.8	11.8	5.7	9.9	10.9	11.9
Omnidirezionale	4.9	9.6	10.6	11.7	5.1	9.7	10.7	11.7	5.3	9.8	10.8	11.8	5.7	9.9	10.9	11.9

Tabella 9-9 Estremi d'onda direzionali e omnidirezionali per il punto NOAA - Latitudine = 41.00° N e Longitudine = 8.50° E. Periodi di ritorno 25, 50, 100 e 500 anni.

## 9.10 Estremi d'onda all'imboccatura del porto – punto P1

La Tabella 9-10 e la Tabella 9-11 riportano gli estremi d'onda annuali direzionali e omnidirezionali relativamente al punto P1 (Latitudine = 40.853917° N e Longitudine = 8.392956° E) rappresentativo delle condizioni all'imboccatura del porto di Porto Torres. In esse è riportato anche il periodo di picco spettrale medio associato ( $T_{p,medio}$ ) ed i valori relativi all'intervallo di confidenza del 90% ( $T_{p,5\%} - T_{p,95\%}$ ).

Da notare che per le direzioni di provenienza 120°N, 150°N, 180°N, 210°N e 240°N, il numero di eventi/dati ottenuti non è di entità sufficiente ed eseguire una robusta estrapolazione statistica dei valori estremi; pertanto, per tali direzioni, i valori estremi non sono forniti.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 36 di 51	<b>Rev.</b> 00

Direzione di provenienza (°N)	Estremi di altezza d'onda significativa (Hs) - Periodo di Picco associato medio (Tp) e relativo intervallo di confidenza del 90% (Tp,5% - Tp,95%)															
	1 anno				2 anni				5 anni				10 anni			
	Hs (m)	Tp,5% (s)	Tp,medio (s)	Tp,95% (s)	Hs (m)	Tp,5% (s)	Tp,medio (s)	Tp,95% (s)	Hs (m)	Tp,5% (s)	Tp,medio (s)	Tp,95% (s)	Hs (m)	Tp,5% (s)	Tp,medio (s)	Tp,95% (s)
0	2.6	6.8	8.6	10.7	2.9	7.0	8.7	10.7	3.2	7.1	8.8	10.8	3.5	7.2	8.9	10.8
30	2.2	6.5	8.4	10.5	2.4	6.7	8.5	10.6	2.6	6.8	8.6	10.7	2.8	6.9	8.7	10.7
60	2.3	6.6	8.4	10.5	2.4	6.7	8.5	10.6	2.7	6.8	8.6	10.7	2.8	6.9	8.7	10.7
90	0.8	4.6	6.6	8.9	0.9	4.9	6.8	9.2	1.1	5.2	7.1	9.5	1.2	5.4	7.3	9.6
120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
180	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
210	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
240	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
270	0.3	2.1	3.5	5.4	0.3	2.5	4.1	6.1	0.4	3.0	4.7	6.9	0.5	3.3	5.1	7.4
300	1.6	6.0	7.9	10.1	1.7	6.1	8.0	10.2	1.9	6.3	8.2	10.3	2.0	6.4	8.2	10.4
330	2.6	6.8	8.6	10.7	2.8	6.9	8.7	10.7	3.0	7.0	8.7	10.7	3.1	7.1	8.8	10.8
Omnidirezionale	2.8	6.9	8.7	10.7	3.0	7.0	8.8	10.7	3.2	7.1	8.8	10.8	3.5	7.2	8.9	10.8

Tabella 9-10 Estremi d'onda direzionali e omnidirezionali per il punto P1 - Latitudine = 40.853917° N e Longitudine = 8.392956° E. Periodi di ritorno 1, 2, 5 e 10 anni.

Direzione di provenienza (°N)	Estremi di altezza d'onda significativa (Hs) - Periodo di Picco associato medio (Tp) e relativo intervallo di confidenza del 90% (Tp,5% - Tp,95%)															
	25 anni				50 anni				100 anni				500 anni			
	Hs (m)	Tp,5% (s)	Tp,medio (s)	Tp,95% (s)	Hs (m)	Tp,5% (s)	Tp,medio (s)	Tp,95% (s)	Hs (m)	Tp,5% (s)	Tp,medio (s)	Tp,95% (s)	Hs (m)	Tp,5% (s)	Tp,medio (s)	Tp,95% (s)
0	3.8	7.3	9.0	10.9	4.1	7.4	9.0	10.9	4.3	7.5	9.1	10.9	4.9	7.6	9.2	10.9
30	3.1	7.0	8.8	10.8	3.3	7.1	8.8	10.8	3.5	7.2	8.9	10.8	3.9	7.4	9.0	10.9
60	3.0	7.0	8.8	10.7	3.2	7.1	8.8	10.8	3.4	7.2	8.9	10.8	3.7	7.3	9.0	10.8
90	1.3	5.6	7.5	9.8	1.3	5.7	7.6	9.9	1.4	5.8	7.7	10.0	1.6	6.0	7.9	10.1
120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
180	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
210	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
240	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
270	0.6	3.7	5.5	7.9	0.6	4.0	5.8	8.2	0.7	4.2	6.1	8.4	0.8	4.7	6.6	8.9
300	2.2	6.5	8.4	10.5	2.3	6.6	8.4	10.5	2.4	6.7	8.5	10.6	2.7	6.8	8.6	10.7
330	3.3	7.1	8.8	10.8	3.4	7.2	8.9	10.8	3.5	7.2	8.9	10.8	3.8	7.3	9.0	10.9
Omnidirezionale	3.8	7.3	9.0	10.9	4.1	7.4	9.0	10.9	4.3	7.5	9.1	10.9	4.9	7.6	9.2	10.9

Tabella 9-11 Estremi d'onda direzionali e omnidirezionali per il punto P1 - Latitudine = 40.853917° N e Longitudine = 8.392956° E. Periodi di ritorno 25, 50, 100 e 500 anni.

### 9.11 Caratteristiche del moto ondoso interne al porto – Posizione 2A

Complessivamente i risultati ottenuti mostrano che vi è una rilevante attenuazione del moto ondoso nel bacino portuale.

La caratterizzazione del moto ondoso in corrispondenza dell'area identificata per l'ormeggio della FSRU è stata effettuata considerando la reale posizione della FSRU in accordo alla planimetria generale d'impianto (Rif.4).

In particolare, il moto ondoso in termini di altezza d'onda significativa (Hs), è stato monitorato in corrispondenza di 5 punti (A, B, C, D, E) posti lungo lo scafo della FSRU (Figura 9.4).

Come si evince confrontando le serie temporali di Hs nei punti A, B, C, D ed E (Figura 12.9, Figura 12.10, Figura 12.11, Figura 12.12, Figura 12.13, Figura 12.14 e Figura 12.15) i valori più rilevanti di Hs si hanno in corrispondenza del punto E che risulta essere più esposto al moto ondoso che si propaga all'interno del bacino portuale con direzione prevalente di provenienza da Est.

Si è optato pertanto di fornire come dato di progetto il valore massimo di Hs rilevato durante l'intera simulazione nel punto E, conservativamente selezionato come rappresentativo dell'intera area di ormeggio della FSRU.



<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. <a href="#">38</a> di <a href="#">51</a>	<b>Rev.</b> 00

## 10 REGIME DELLE CORRENTI

Il regime delle correnti all'interno del porto può considerarsi di esigua entità, pertanto, ai fini del presente studio, se ne omette l'analisi.

Si suggeriscono i valori conservativi estraibili dal Rif.6.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 39 di 51	<b>Rev.</b> 00

## 11 APPENDICE 1: MODELLO DI PROPAGAZIONE ONDOSA MIKE21-SPECTRAL WAVE

Le condizioni di moto ondoso in prossimità dell'imboccatura del porto industriale di Porto Torres sono state ottenute mediante la costruzione di un modello sito-specifico di propagazione degli stati di mare del largo verso costa.

Tale modello è stato costruito basandosi sulla piattaforma di modelli MIKE sviluppati da DHI. Questa piattaforma include un'ampia gamma di modelli numerici che trattano di equazioni delle onde, flusso e trasporto per la modellazione idrodinamica delle aree di mare aperto, aree costiere, corpi idrici chiusi e acque sotterranee.

Per la propagazione del moto ondoso dal largo verso costa, è stato utilizzato il modello MIKE21 Spectral Waves (Rif.21).

Il dominio di calcolo è stato discretizzato con una griglia flessibile a maglia triangolare avente risoluzione spaziale crescente dal largo (maglie di lato circa 1000m) fino all'imboccatura del porto industriale di Porto Torres (maglie di lato circa 100m) (si vedano Figura 11.1 e Figura 11.2).

La batimetria del modello è stata ricavata mediante interpolazione delle carte nautiche dell'area (Rif.20).

Il modello considera come forzanti le serie temporali di durata 31 anni di vento e onda relativi al punto dati NOAA di Latitudine = 41.00° N e Longitudine = 8.50° E dove la profondità del mare è circa 61.0m (Rif.15). Si fa notare che nel modello si è optato conservativamente di applicare in modo costante a tutto il dominio le condizioni di vento al largo relative al punto dati NOAA mentre la serie temporale di onda è stata applicata uniformemente come condizione al contorno al bordo aperto posto all'estremità nord del dominio.

I risultati del modello sono forniti in corrispondenza del punto P1 (Latitudine = 40.853917° N; Longitudine = 8.392956° E) posto a profondità di 22.0m.

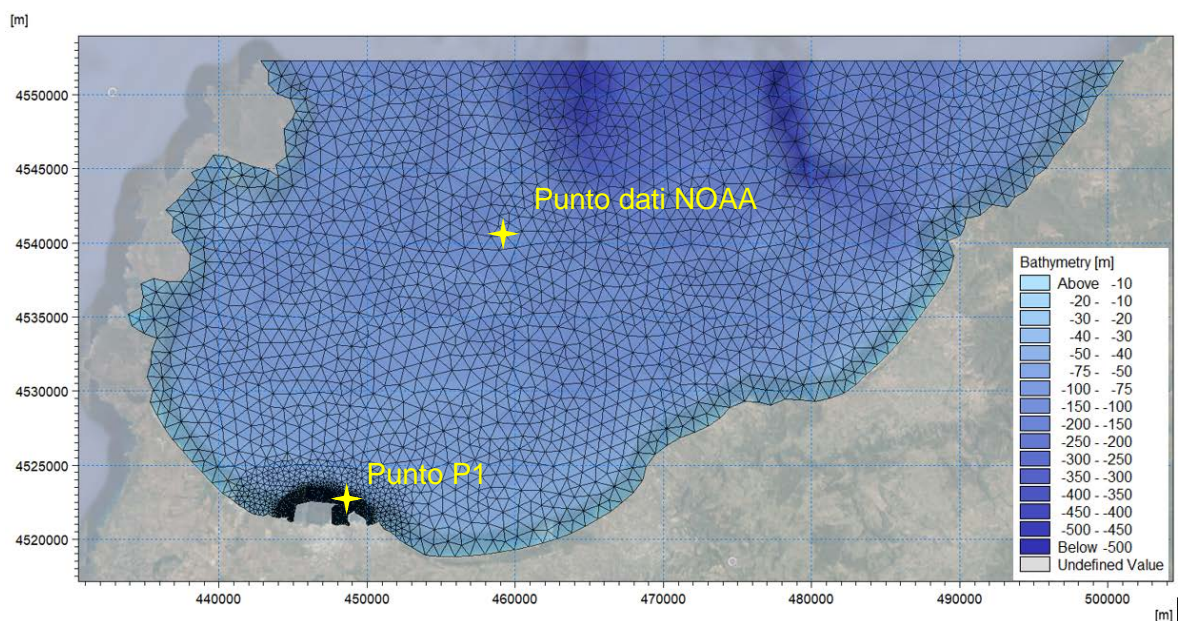


Figura 11.1 – Dominio di calcolo e batimetria del modello di propagazione ondosa MIKE21 Spectral Wave

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Terminale di Porto Torres</b> <b>Ingegneria di Base</b>	Fg. 40 di 51	<b>Rev.</b> <b>00</b>

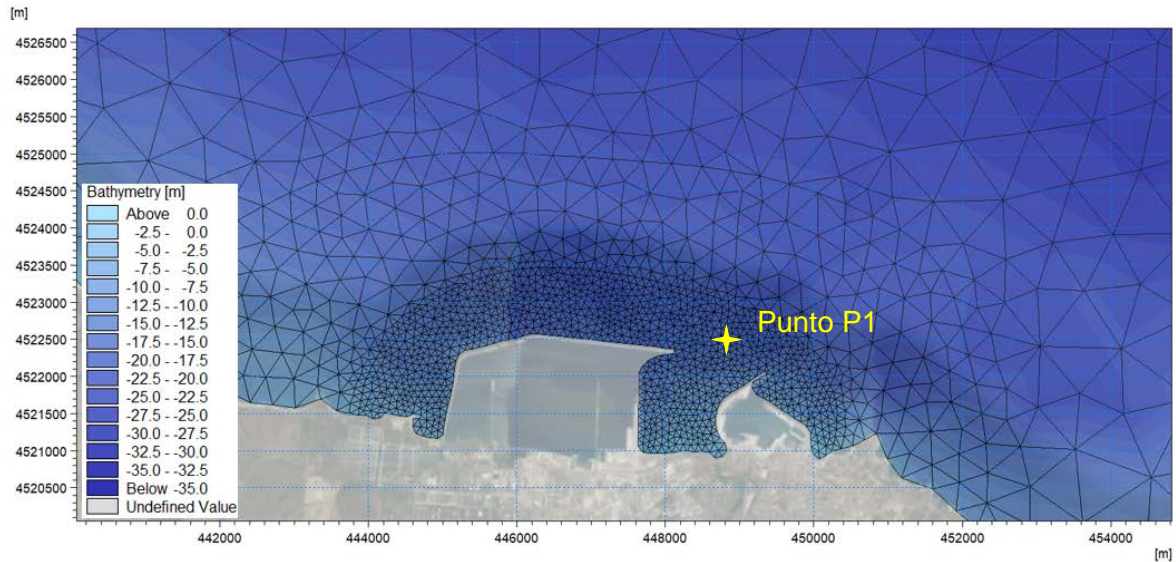


Figura 11.2 – Dettaglio del dominio di calcolo e della batimetria in prossimità di Porto Torres.

I risultati consistono in una serie temporale di durata 31 anni dei parametri sintetici d'onda registrati dal modello stesso in corrispondenza del punto P1 (Figura 11.3) e in delle mappe che raffigurano l'evoluzione temporale, sull'intero dominio di calcolo, dei parametri richiesti in output come ad esempio l'altezza d'onda significativa (Figura 11.4, Figura 11.5)

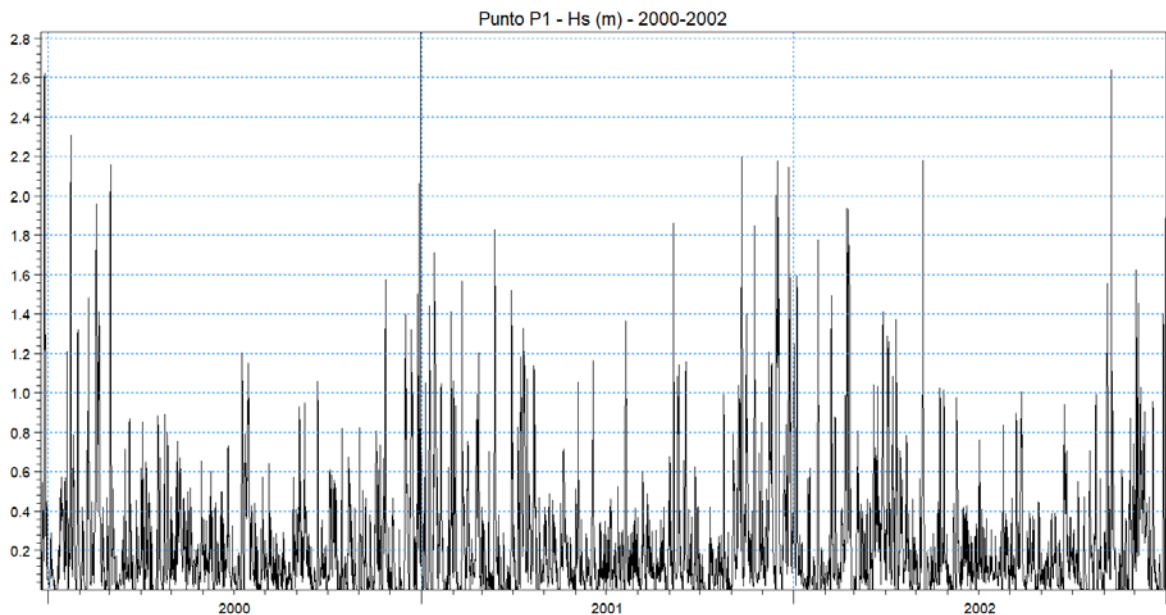


Figura 11.3 – Esempio di risultato: serie temporale dell'altezza d'onda significativa (Hs) nel periodo compreso tra il 2000 e il 2002.



<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 41 di 51	<b>Rev.</b> 00

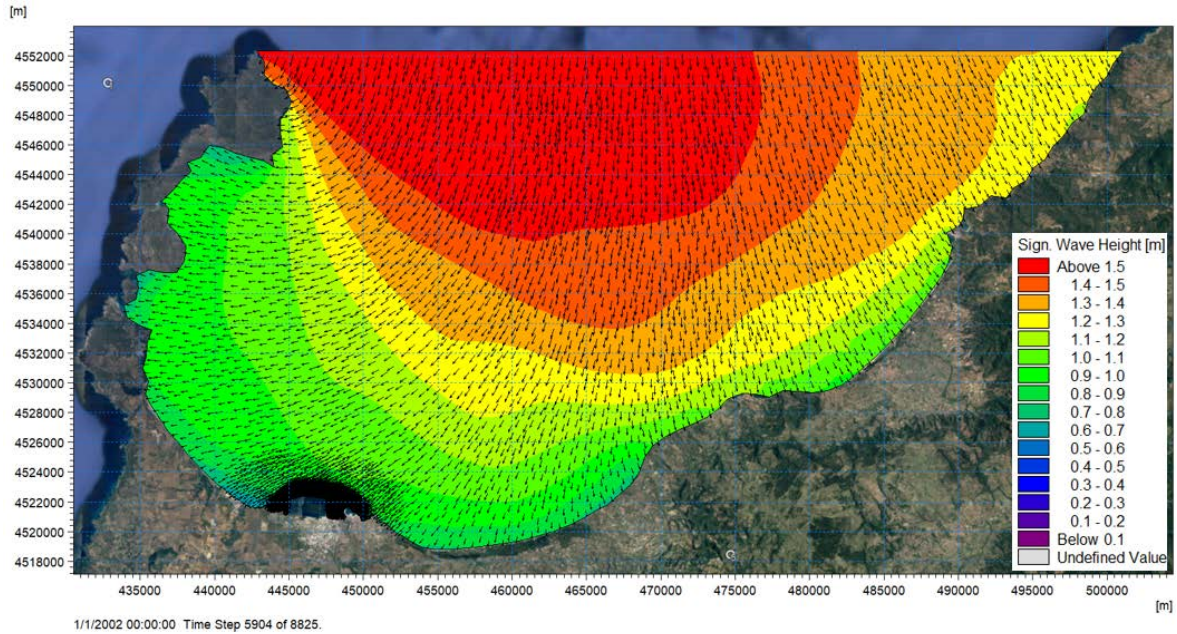


Figura 11.4 – Esempio di risultato: Mappa della distribuzione spaziale dell'altezza d'onda significativa ( $H_s$ ) relativa al 01/01/2002 alle ore 00:00:00.

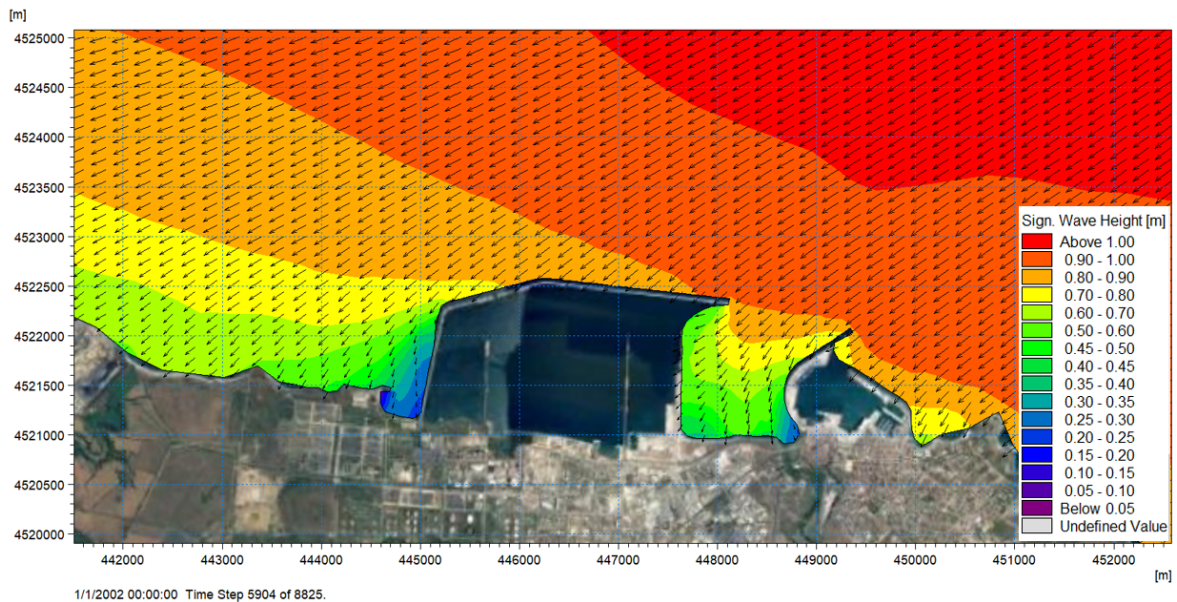


Figura 11.5 – Esempio di risultato: dettaglio in prossimità di Porto Torres della Mappa della distribuzione spaziale dell'altezza d'onda significativa ( $H_s$ ) relativa al 01/01/2002 alle ore 00:00:00.

Da notare che il modello numerico dovrebbe essere calibrato e validato rispetto alle misurazioni in situ per garantire una descrizione accurata dei fenomeni reali simulati. Tuttavia, per il presente studio non erano disponibili misurazioni adeguate al momento delle simulazioni e quindi il modello non è stato calibrato/validato.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 42 di 51	<b>Rev.</b> 00

## 12 APPENDICE 2: MODELLO MIKE21-BOUSSINESQ WAVE MODULE

Le condizioni di moto ondoso in prossimità dell'accosto identificato per l'ormeggio della FSRU (Molo Carbonile - Posizione 2A) sono state ottenute mediante la costruzione di un modello sito-specifico per la simulazione dell'agitazione interna al bacino portuale di Porto Torres.

Tale modello è stato costruito basandosi sulla piattaforma di modelli MIKE sviluppati da DHI. Questa piattaforma include un'ampia gamma di modelli numerici che trattano di equazioni delle onde, flusso e trasporto per la modellazione idrodinamica delle aree di mare aperto, aree costiere, corpi idrici chiusi e acque sotterranee.

Per lo studio dell'agitazione ondosa all'interno del bacino portuale di Porto Torres, è stato utilizzato il modello MIKE21 Boussinesq Wave Module (Rif.22).

Il dominio di calcolo di dimensioni 5256m x 3396m è stato discretizzato con una griglia a maglia quadrata avente risoluzione spaziale costante pari a 4.0m

La batimetria del modello è stata ricavata mediante interpolazione delle carte nautiche dell'area (Rif.20). (Figura 12.1).

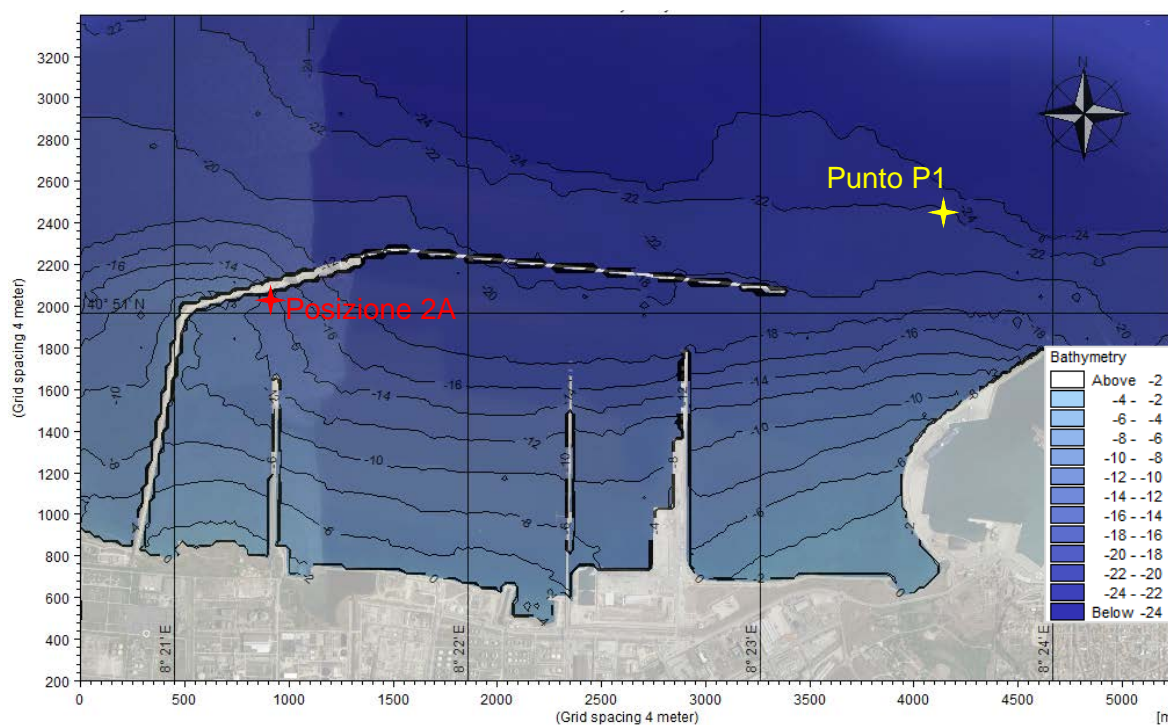


Figura 12.1 – Dettaglio del dominio di calcolo e della batimetria considerati nel modello MIKE 21 Boussinesq Wave Module.

Il modello considera come forzanti, gli estremi d'onda estrapolati per Punto P1 (Tabella 9-10 e Tabella 9-11). In particolare, poiché la direzione prevalente di provenienza del moto ondoso è da nord (Figura 9.3) e che, per tale direzione si assistono ai massimi valori estremi (Tabella 9-10 e Tabella 9-11), come forzanti del modello sono stati considerati i valori estremi relativi alla direzione di provenienza 0°N.

Ciascuno dei valori estremi relativi alla direzione di provenienza 0°N della Tabella 9-10 e della Tabella 9-11 con un prefissato periodo di ritorno, è stato utilizzato per generare uno

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 43 di 51	<b>Rev.</b> 00

stato di mare direzionale spettrale (avente direzione prevalente 0°N e considerando una dispersione direzionale di  $\pm 15^\circ$ ) che viene propagato verso costa dalla linea di generazione del moto ondoso interna al dominio e parallela al bordo nord dello stesso, (linea gialla tratteggiata in Figura 12.2) per una durata complessiva di 1 ora.

Per simulare i contorni aperti del dominio di calcolo si è imposta la condizione di totale assorbimento delle onde che fuoriescono dal dominio ("sponge layer" Figura 12.2). Tale condizione è stata utilizzata anche lungo la parte esterna della diga foranea (porzione non oggetto d'interesse del presente studio) e lungo i tratti di costa in cui si prevede il possibile frangimento del moto ondoso (fenomeno escluso dalla simulazione). Considerata la batimetria mostrata in Figura 12.1, tale condizione non influenza in alcun modo le condizioni d'onda simulate all'interno del bacino portuale, soprattutto in prossimità dell'accosto identificato per l'ormeggio della FSRU (Molo Carbonile - Posizione 2A) avente profondità di circa 15.5m.

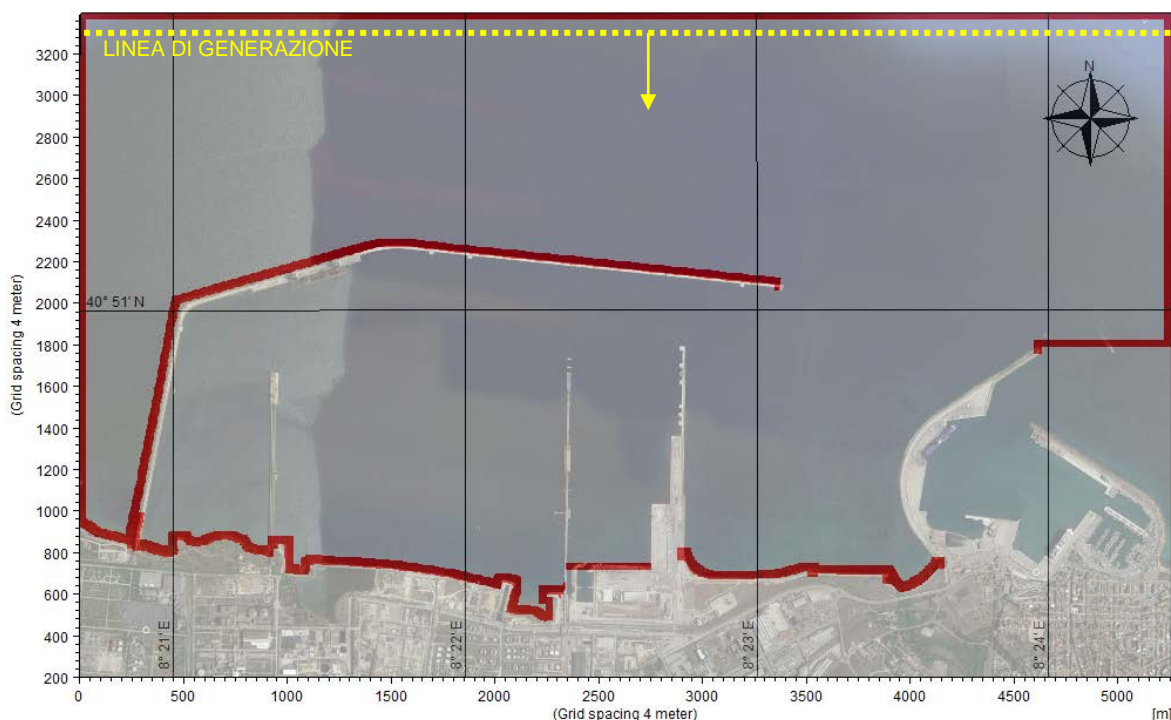


Figura 12.2 – Dominio del modello MIKE 21 Boussinesq Wave Module con evidenziati gli strati assorbenti (linee in rosso) e la linea di generazione (linea tratteggiata in giallo).

Per quanto riguarda i valori di porosità e relativi coefficienti di riflessione degli elementi del dominio di calcolo costituiti dalla costa e dalle strutture marittime che delimitano l'area portuale si sono utilizzati i valori indicati nella Tabella 12-1 estrapolati dagli abachi riportati in Figura 12.3 e Figura 12.4.

Da notare che i pontili su pali e su cassoni sono stati modellati come opere continue simulando la trasparenza delle stesse (ovvero la capacità del moto ondoso di attraversare l'opera nelle aree non occupate dai pali/cassoni al di sotto del pontile) con l'opportuna porosità e relativo coefficiente di riflessione.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 7200189500	<b>UNITÀ</b> 001
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 44 di 51	<b>Rev.</b> 00

Descrizione	Porosità	Coeff. di Riflessione
Opere a gettata di massi	0.76	0.49
Pontili su pali/cassoni	0.95	0.25
Banchine a parete verticale	0.99	0.80

Tabella 12-1 Porosità e relativo Coefficiente di riflessione

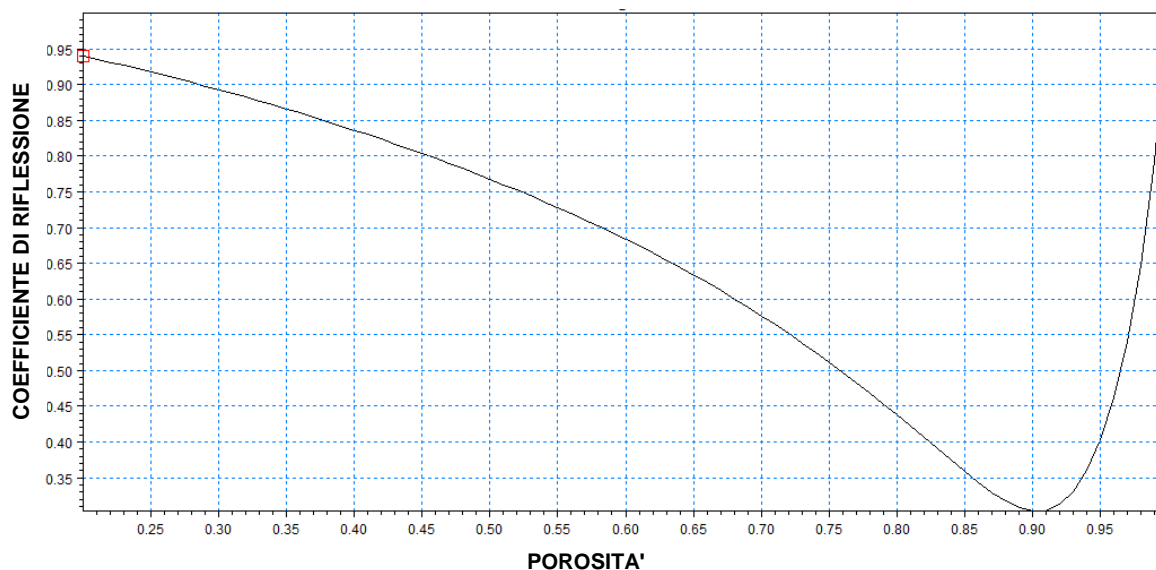


Figura 12.3 – Abaco Porosità vs Coefficiente di Riflessione per opere a gettata di massi/tetrapodi

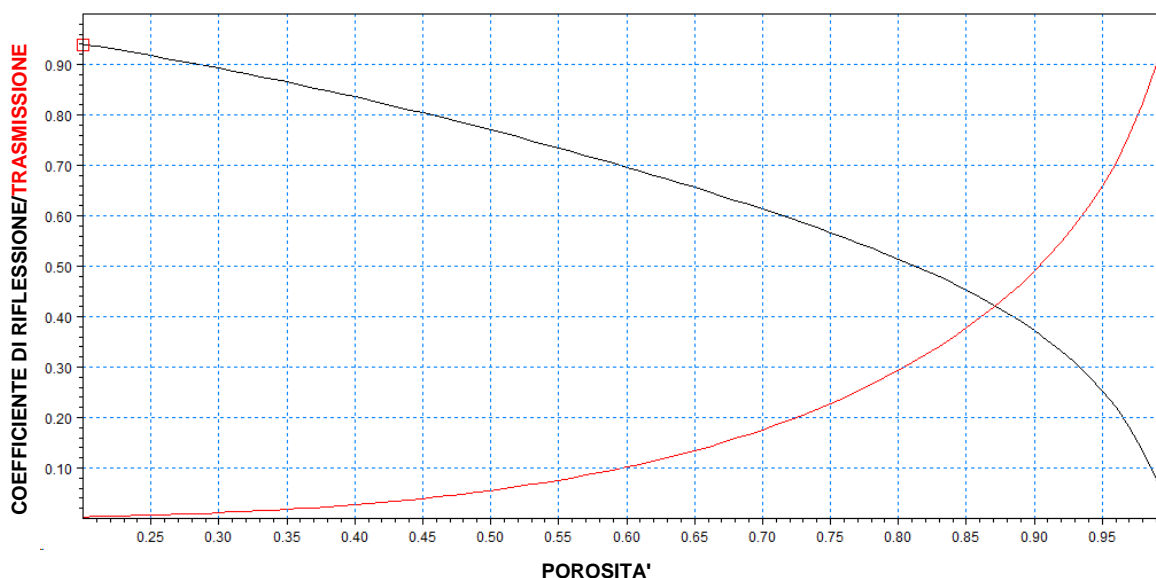


Figura 12.4 – Abaco Porosità vs Coefficiente di Riflessione/Trasmissione per opere permeabili (pontili su pali/cassoni).

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 45 di 51	<b>Rev.</b> 00

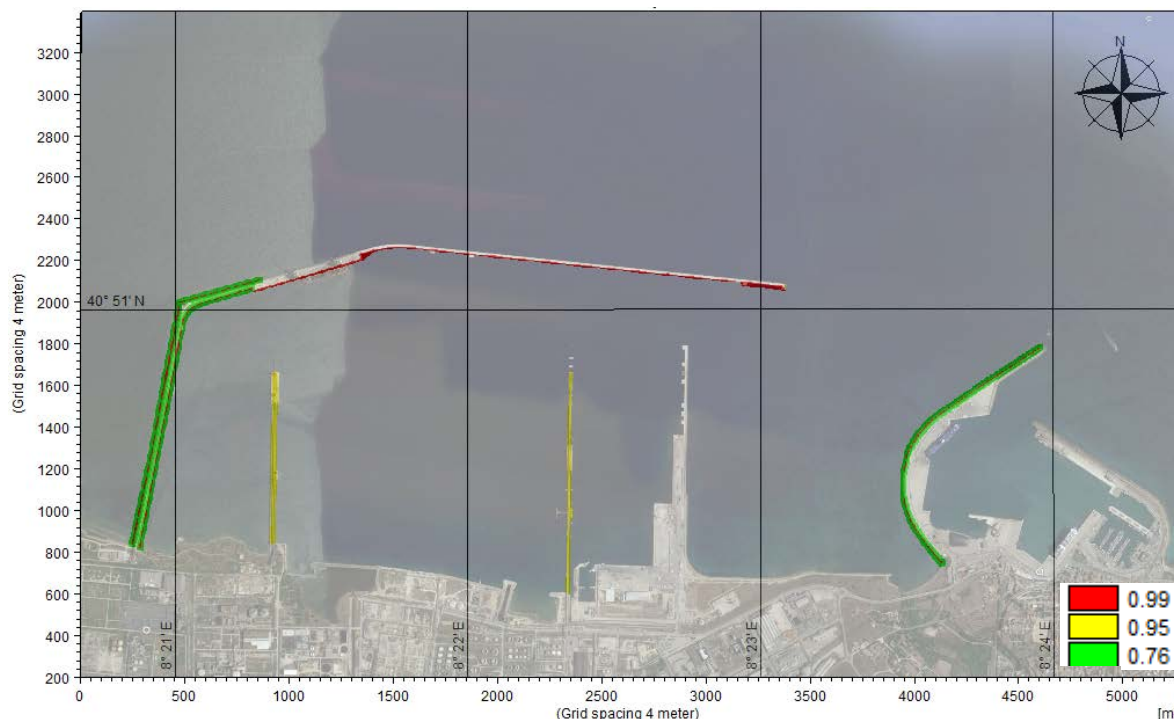


Figura 12.5 – Dominio del modello MIKE 21 Boussinesq Wave Module - Mappa di Porosità.

Il modello, a partire dall'evoluzione temporale dall'elevazione della superficie liquida all'interno del dominio di calcolo (Figura 12.6), fornisce come risultato l'evoluzione temporale della distribuzione dell'altezza d'onda significativa ( $H_s$  o  $H_{m0}$ ) e del coefficiente di disturbo (ovvero il rapporto tra l'altezza d'onda significativa in un determinato punto del dominio e l'altezza d'onda significativa caratteristica dello stato di mare propagato, cioè  $H_{m0}/H_{m0, \text{propagata}}$ ) all'interno del dominio di calcolo. I risultati possono essere visualizzati sia come mappe di  $H_{m0}$  o  $H_{m0}/H_{m0, \text{propagata}}$  relative ad un determinato "time step" (si vedano rispettivamente la Figura 12.7 e la Figura 12.8) che come serie temporali di  $H_s$  per un determinato punto del dominio (si vedano Figura 12.9, Figura 12.10, Figura 12.11, Figura 12.12, Figura 12.13, Figura 12.14 e Figura 12.15).

Si fa notare come le serie temporali relative ai punti A, B, C, D, E (Figura 9.4) mostrate in Figura 12.9, Figura 12.10, Figura 12.11, Figura 12.12, Figura 12.13, Figura 12.14 e Figura 12.15 (per chiarezza grafica rappresentate limitatamente solo fino ai primi 30 minuti di simulazione) siano caratterizzate tutte da una fase iniziale in cui si hanno valori di  $H_s$  piuttosto variabili fino al raggiungimento di una configurazione stabile di propagazione delle forzanti del modello. Successivamente a questa prima fase, i valori di  $H_s$  tendono notevolmente a stabilizzarsi divenendo all'incirca costanti nel tempo fino alla fine della simulazione.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> 7200189500	<b>UNITÀ</b> 001
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 46 di 51	<b>Rev.</b> 00

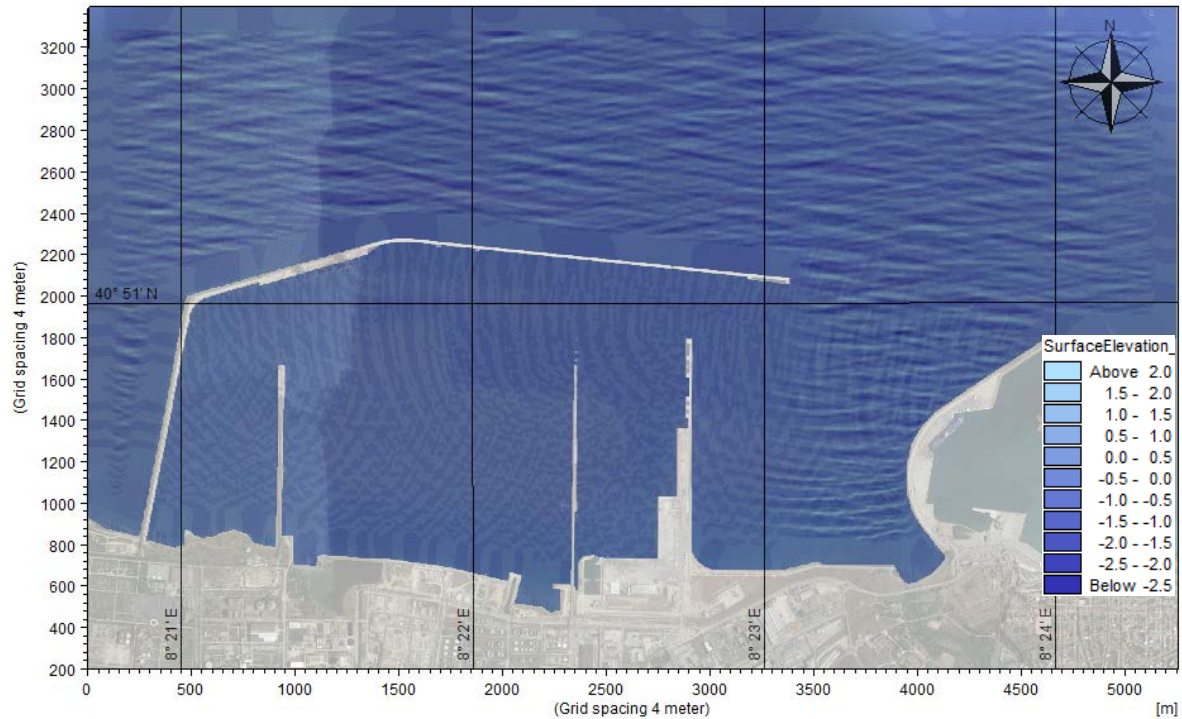


Figura 12.6 – Esempio di Output: Elevazione superficiale relativa al minuto 46 della simulazione oraria avente come forzante lo stato di mare con periodo di ritorno 1 anno.

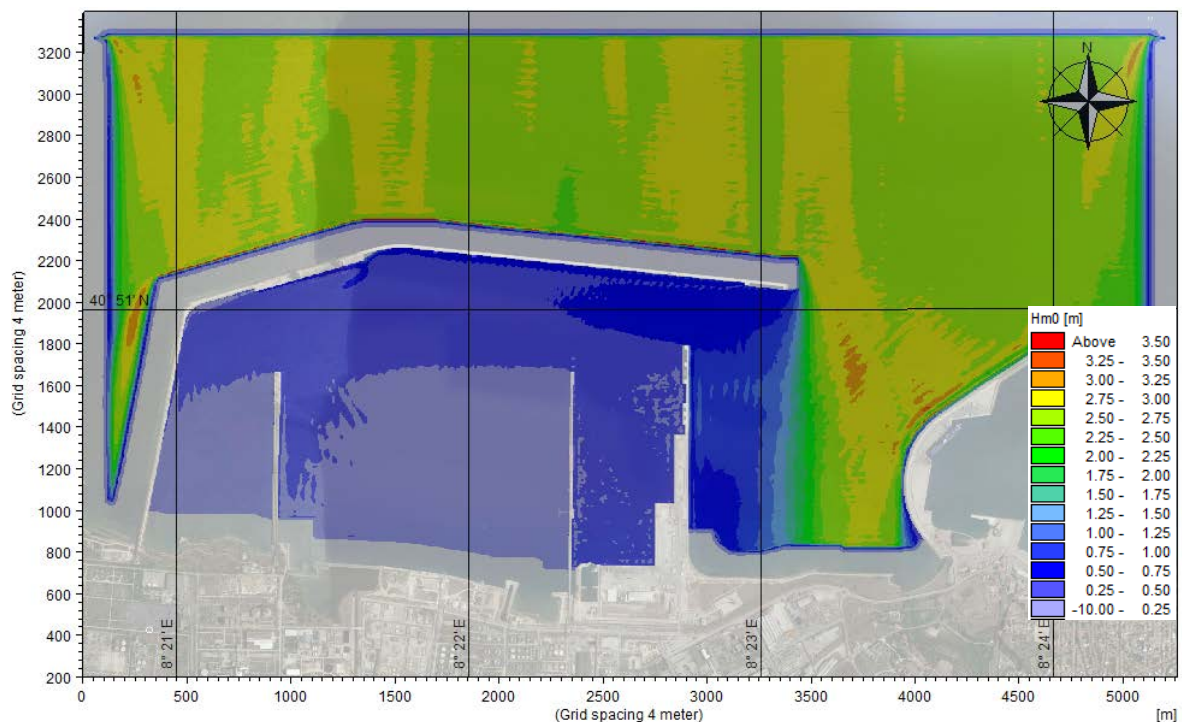


Figura 12.7 – Esempio di Output: Mappa di Hs relativa all'istante 46:00min della simulazione oraria relativa al periodo di ritorno 1 anno.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> <b>Porto Torres (SS)</b>	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base</b>	<b>Fg. 47 di 51</b>	<b>Rev.</b> <b>00</b>

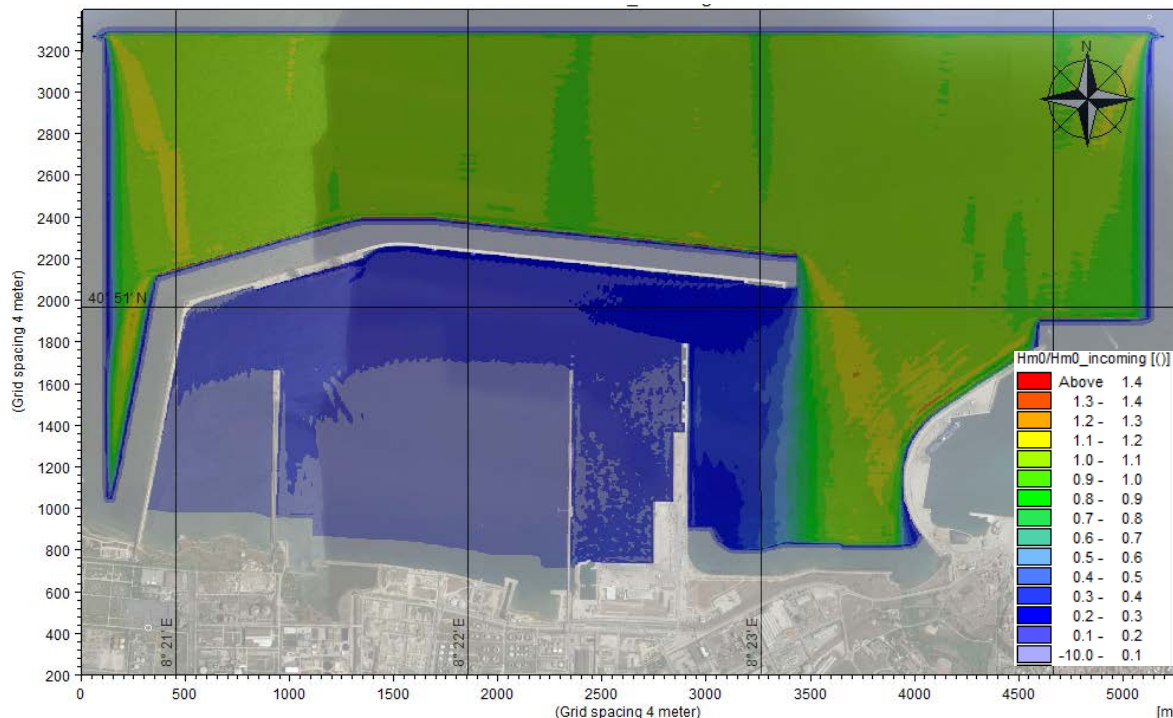


Figura 12.8 – Esempio di Output: Mappa del coefficiente di disturbo  $H_{m0}/H_{m0,propagata}$  relativa al minuto 46 della simulazione oraria relativa al periodo di ritorno 1 anno.

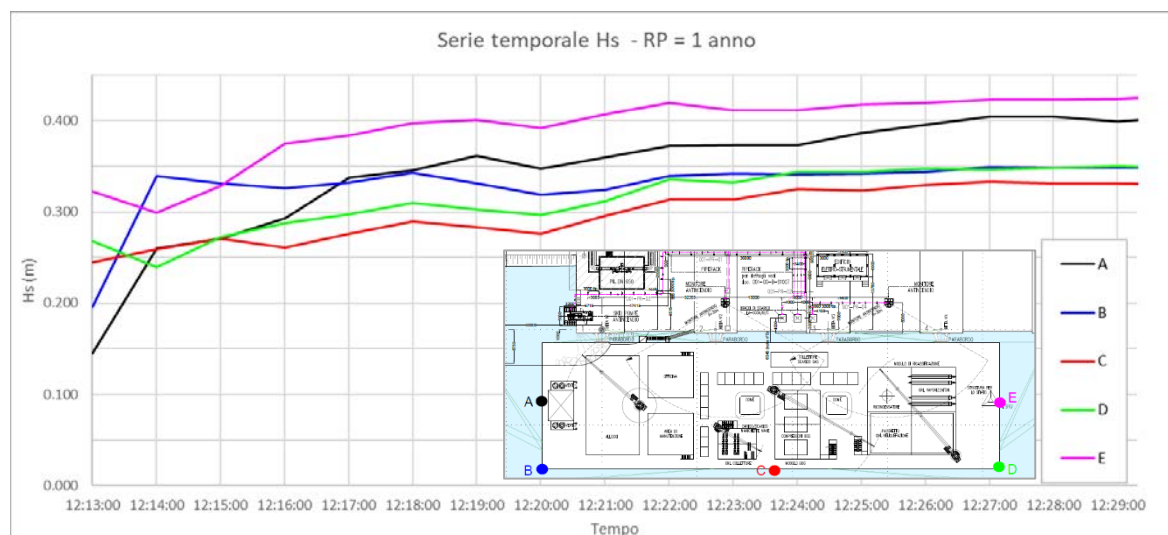


Figura 12.9 – Esempio di Output: Rappresentazione delle serie temporali dell'altezza d'onda significativa ( $H_s$ ) relative ai punti A, B, C, D ed E – Periodo di ritorno 1 anno.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 48 di 51	<b>Rev.</b> 00

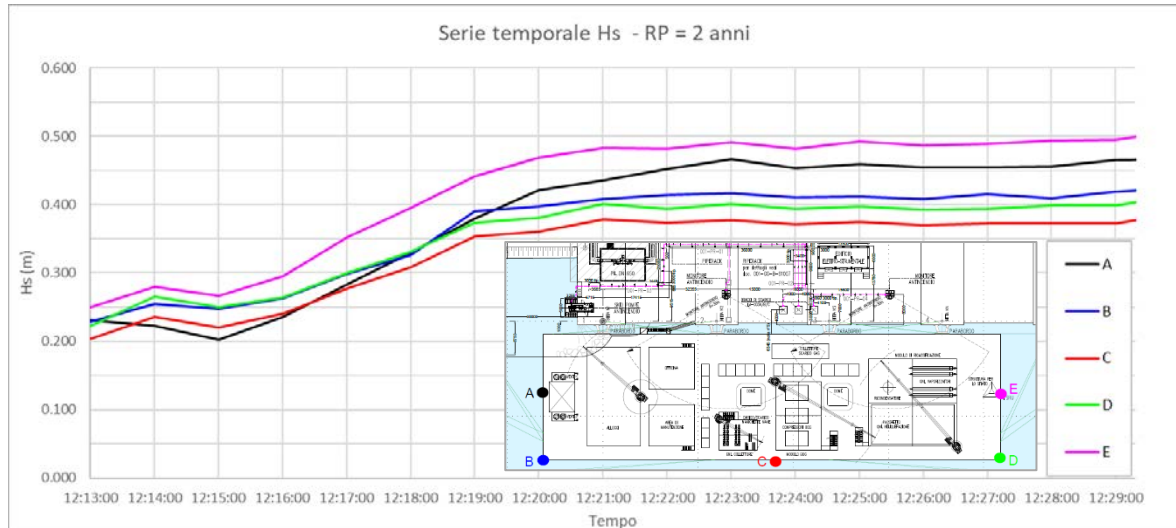


Figura 12.10 – Esempio di Output: Rappresentazione delle serie temporali dell'altezza d'onda significativa (Hs) relative ai punti A, B, C, D ed E – Periodo di ritorno 2 anni.

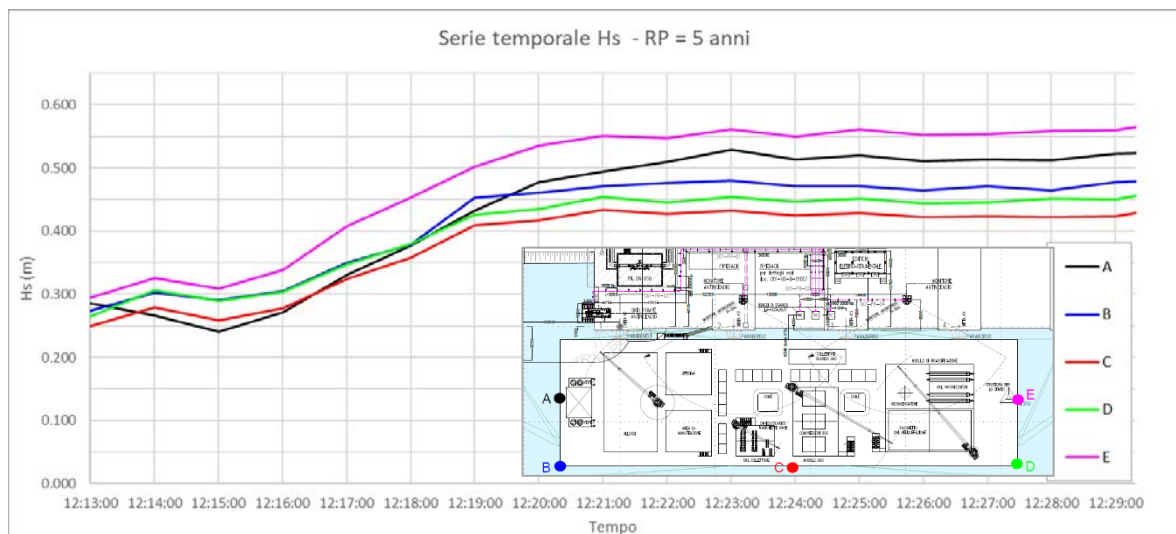


Figura 12.11 – Esempio di Output: Rappresentazione delle serie temporali dell'altezza d'onda significativa (Hs) relative ai punti A, B, C, D ed E – Periodo di ritorno 5 anni.



<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. 49 di 51	<b>Rev.</b> 00

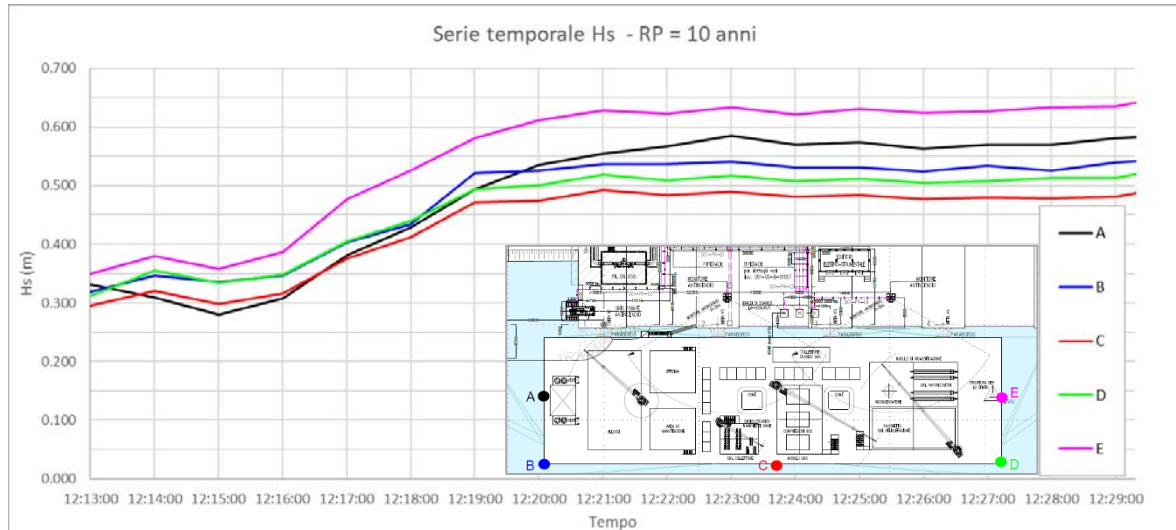


Figura 12.12 – Esempio di Output: Rappresentazione delle serie temporali dell'altezza d'onda significativa (Hs) relative ai punti A, B, C, D ed E – Periodo di ritorno 10 anni.

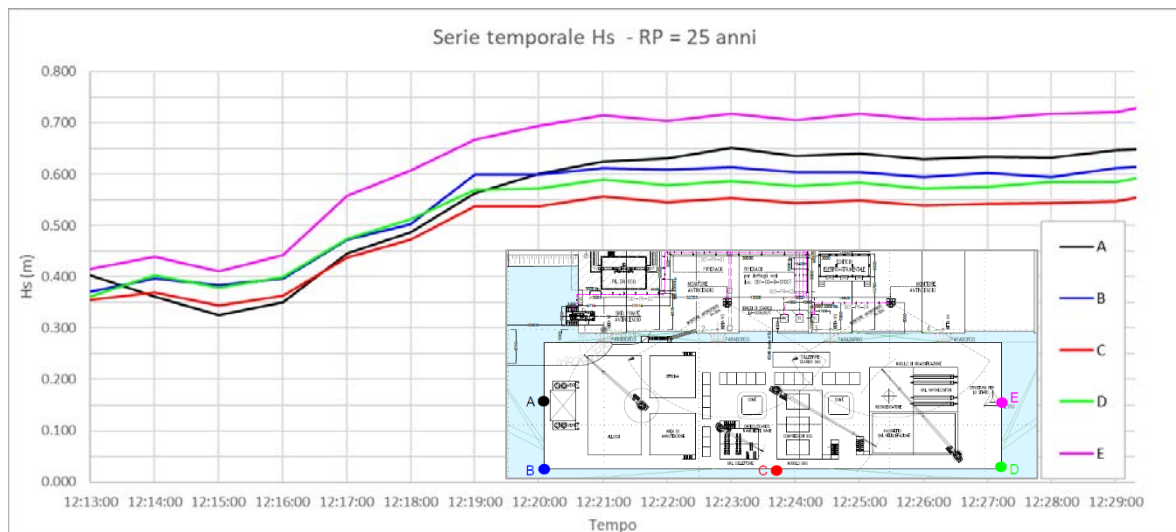


Figura 12.13 – Esempio di Output: Rappresentazione delle serie temporali dell'altezza d'onda significativa (Hs) relative ai punti A, B, C, D ed E – Periodo di ritorno 25 anni.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Terminale di Porto Torres</b> <b>Ingegneria di Base</b>	Fg. <b>50</b> di <b>51</b>	<b>Rev.</b> <b>00</b>

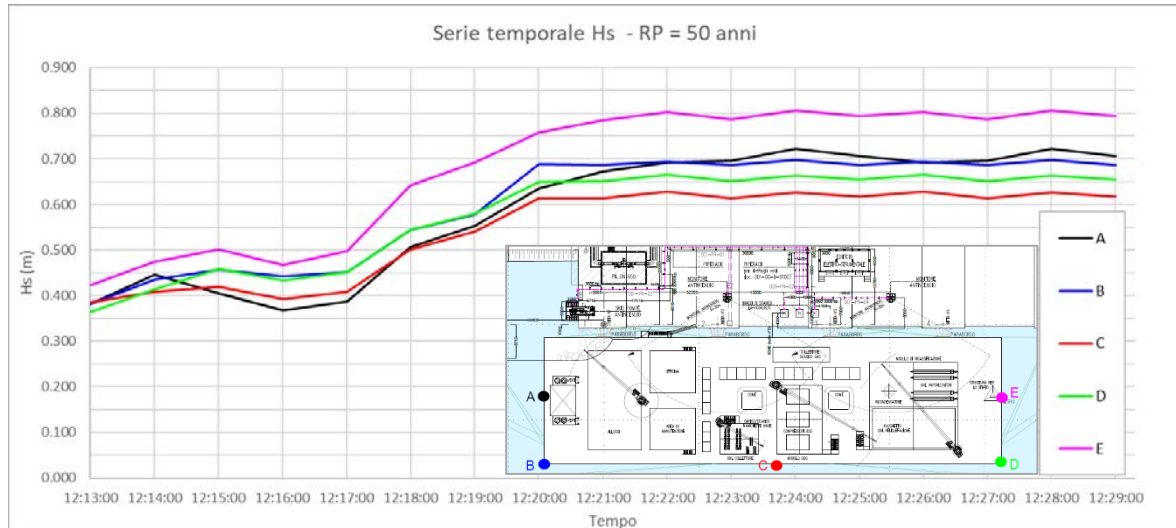


Figura 12.14 – Esempio di Output: Rappresentazione delle serie temporali dell’altezza d’onda significativa (Hs) relative ai punti A, B, C, D ed E – Periodo di ritorno 50 anni.

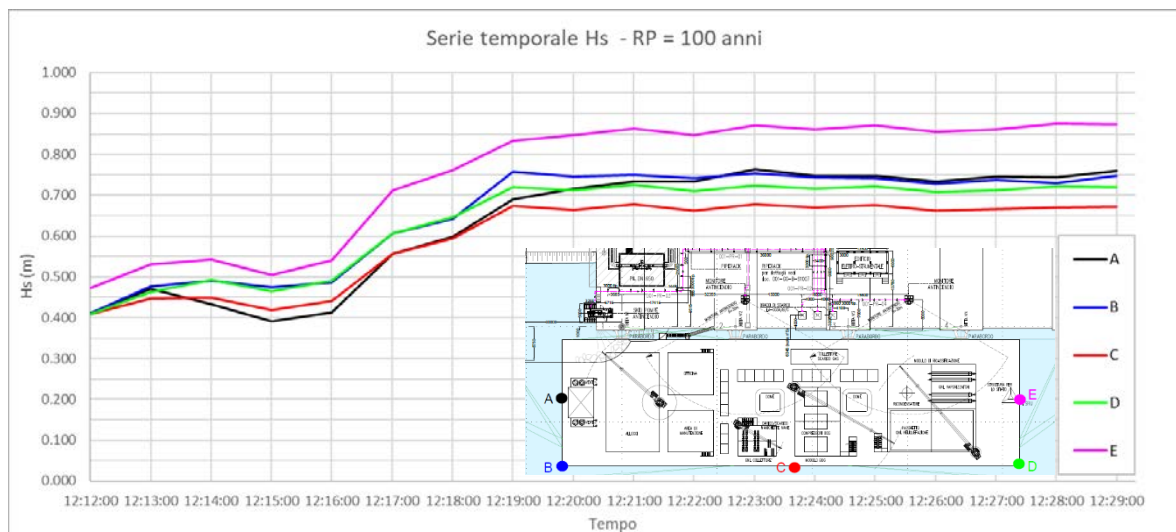


Figura 12.15 – Esempio di Output: Rappresentazione delle serie temporali dell’altezza d’onda significativa (Hs) relative ai punti A, B, C, D ed E – Periodo di ritorno 100 anni.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA:</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>7200189500</b>	<b>UNITÀ</b> <b>001</b>
	<b>LOCALITÀ:</b> Porto Torres (SS)	<b>001-ZB-B-15002</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Terminale di Porto Torres Ingegneria di Base	Fg. <a href="#">51</a> di <a href="#">51</a>	<b>Rev.</b> <b>00</b>

### 13 APPENDICE 3: RISULTATI INDAGINI TOPO-BATIMETRICHE AD ELEVATO DETTAGLIO

Si riporta di seguito il documento numero 022932-1-MB-08-PL-J-A0 – Tavola n°1: INDAGINI TOPO-BATIMETRICHE AD ELEVATO DETTAGLIO DEI FONDALI PORTO INDUSTRIALE DIGA DI SOPRAFLUTTO/PONTILE PRODOTTI SECCHI/PONTILE S.I.R./DIGA DI SOTTOFLUTTO.



TAV.1-022932-1-MB  
-08-PL-J-A0.pdf