



**Isole Egadi**  
**Comune di Favignana**  
**Provincia Regionale di Trapani**

**LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI FAVIGNANA**



**PROGETTO ESECUTIVO - 1° STRALCIO FUNZIONALE**

**Ufficio di progettazione:**  
Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili  
Provveditorato Interregionale Opere Pubbliche  
Sicilia - Calabria  
Ufficio 3 Tecnico e Opere Marittime per la Sicilia

**Responsabile Unico del Procedimento:**

Ing. Salvatore Caruso

**I PROGETTISTI:**

Dott. Ing. Leonardo Tallo

Dott. Ing. Gianluca Marvuglia

Dott. Ing. Giuseppe Scorsone

Ing. Giuseppe Scorsone

**Collaboratori:**

Geom. Francesco Daicone

Geom. Mario Lanzo

**IL DIRIGENTE:**

Dott. Ing. Giovanni Coppola

**Il Progettista delle strutture:**

**DUOMI S.r.l.**

Ing. Guglielmo Migliorino

Rev.	Data	Descrizione	Eseguito	Controllato	Approvato
1	11 DICEMBRE 2019	EMISSIONE REVISIONE 1			
0	21 MAGGIO 2019	EMISSIONE			

Titolo elaborato :

**STUDI METEO MARINI**

DATA

DESCRIZIONE

N°/SIGLA

REV

SCALA

11/12/2019

EMISSIONE REVISIONE 1

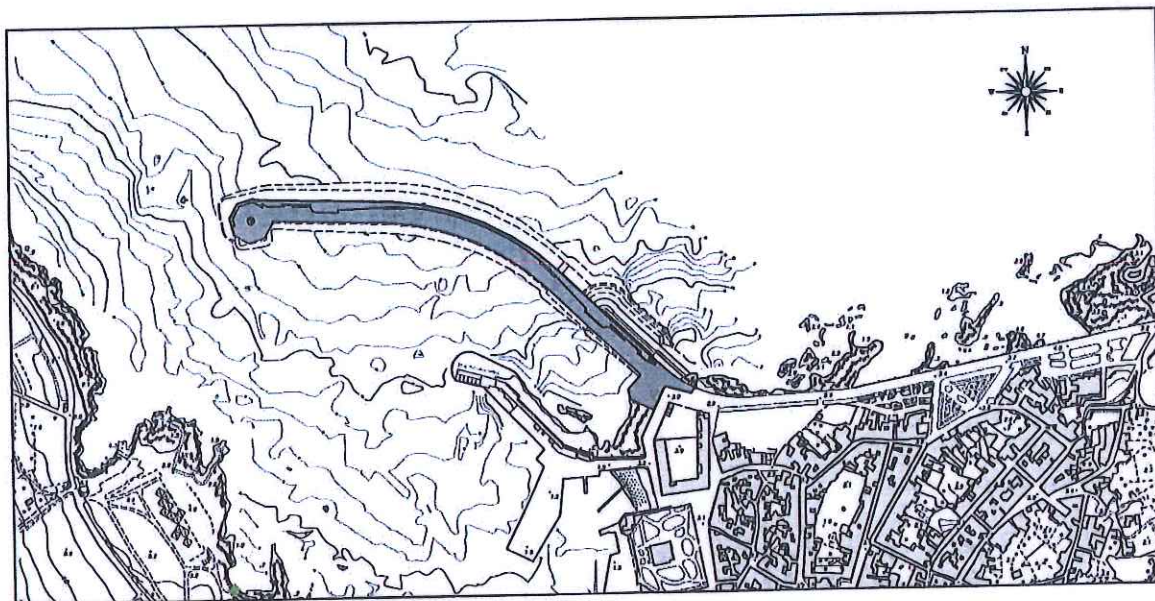
P E - R 0 1 4

1



# COMUNE DI FAVIGNANA

## PROVINCIA DI TRAPANI



### LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI FAVIGNANA

## PROGETTO DEFINITIVO

Titolo elaborato :

STUDIO METEO-MARINO

Progettisti:

Ing. Pietro Vella

RUP

Geom. Vincenzo Biardello

N° elaborato:

B1

Consulente:

Prof. Ing. Alberto Noli

Ing. Rocco Ricevuto

20 LUG 2017

Scala:

Giugno 2016	1	REVISIONE
Giugno 2012	0	EMISSIONE
Data	Rev.	DESCRIZIONE

## LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI FAVIGNANA

### PROGETTO DEFINITIVO

## B1 - STUDIO METEOMARINO

### INDICE

<b>1</b>	<b>Premesse .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Analisi delle caratteristiche meteomarine sulla base di studi e dati esistenti .....</b>	<b>3</b>
2.1	<i>Ubicazione geografica e traversie principali .....</i>	<i>3</i>
2.2	<i>Variazioni del livello marino (maree, sovralti) .....</i>	<i>6</i>
2.3	<i>Correnti .....</i>	<i>8</i>
<b>3</b>	<b>Regime dei venti .....</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Regime del moto ondoso .....</b>	<b>12</b>
4.1	<i>Raccolta ed analisi preliminare dei dati disponibili, .....</i>	<i>12</i>
4.2	<i>Ricostruzione indiretta del regime del moto ondoso al largo .....</i>	<i>16</i>
4.3	<i>Regime del moto ondoso sottocosta .....</i>	<i>21</i>
4.4	<i>Analisi degli eventi estremi .....</i>	<i>32</i>
<b>5</b>	<b>Appendice .....</b>	<b>36</b>
5.1	<i>Descrizione del modello di ricostruzione di moto ondoso (hindcasting) ALTAIR .....</i>	<i>36</i>
5.2	<i>Descrizione del modello di rifrazione ondosa inversa-spettrale MEROPE .....</i>	<i>40</i>

## **1    PREMESSE**

Per una corretta progettazione degli interventi da eseguire nel porto di Favignana state sviluppate alcune indagini specifiche, volte a definire il quadro conoscitivo delle caratteristiche meteomarine che contraddistinguono il paraggio in esame. In particolare, i risultati del presente studio meteomarino sono propedeutici alle attività di progettazione delle opere di difesa; costituiscono inoltre un supporto per le applicazioni dei modelli matematici usati per i successivi studi (agitazione interna portuale, navigabilità, ecc.). I temi d'indagine principali sono stati così articolati:

- caratteristiche geo-orografiche del paraggio (traversia del sito costiero);
- esposizione ai venti;
- esposizione al moto ondoso;
- variazioni dei livelli marini.

La caratterizzazione geografica del sito costiero in esame consente una prima valutazione delle condizioni di esposizione del sito in esame agli eventi meteomarini (essenzialmente vento e moto ondoso). L'analisi delle caratteristiche del moto ondoso consente di definire i principali parametri ondosi necessari per il dimensionamento delle opere di difesa e per la valutazione dell'agitazione associata agli eventi di moto ondoso, all'interno del porto.

Nelle fasi preliminari è stata effettuata una ricerca delle fonti di dati disponibili al fine di definire i regimi del vento e del moto ondoso relativi alla zona di indagine. Si è in primo luogo accertato che nel sito in esame non sono state installate stazioni di misura né del campo di vento né del moto ondoso. Pertanto, per quanto concerne il primo aspetto, si è fatto riferimento alle stazioni anemometriche localizzate nei paraggi dell'area di studio e successivamente si è proceduto ad una selezione adottando, quale criterio di filtro, quello di utilizzare stazioni aventi esposizione ai venti dominanti il più possibile simile a quella dell'area di indagine.

Per gli studi del moto ondoso si è fatto riferimento ad un ampio "ventaglio" di fonti di informazioni che comprende osservazioni visuali, misure anemometriche e simulazioni con modello di ricostruzione indiretta della serie storica di eventi ondosi. In una prima fase si è proceduto raccogliendo i dati storici disponibili e, a seguito di successive analisi ed elaborazioni numeriche, sono state derivate le condizioni al contorno di base per i successivi studi di dettaglio necessari per l'analisi delle condizioni idrodinamiche che contraddistinguono il tratto di costa in esame.



## 2 ANALISI DELLE CARATTERISTICHE METEOMARINE SULLA BASE DI STUDI E DATI ESISTENTI

Per un primo inquadramento dell'esposizione dell'area di interesse al moto ondoso si è fatto riferimento a dati ed alle indicazioni derivate da studi precedenti nonché da atlanti tematici (Marina Militare, Aeronautica Militare e TCI/CNR). Per la caratterizzazione di alcuni parametri sono state utilizzate formulazioni e metodologie riportate dalla letteratura specializzata (Shore Protection Manual). Nei paragrafi successivi vengono illustrati i risultati conseguiti.

### 2.1 Ubicazione geografica e traversie principali

Il porto di Favignana è ubicato nella parte settentrionale della omonima isola e precisamente nell'insenatura delimitata da Punta Faraglione ad Ovest e Punta San Nicola ad Est (Fig. 2.1).

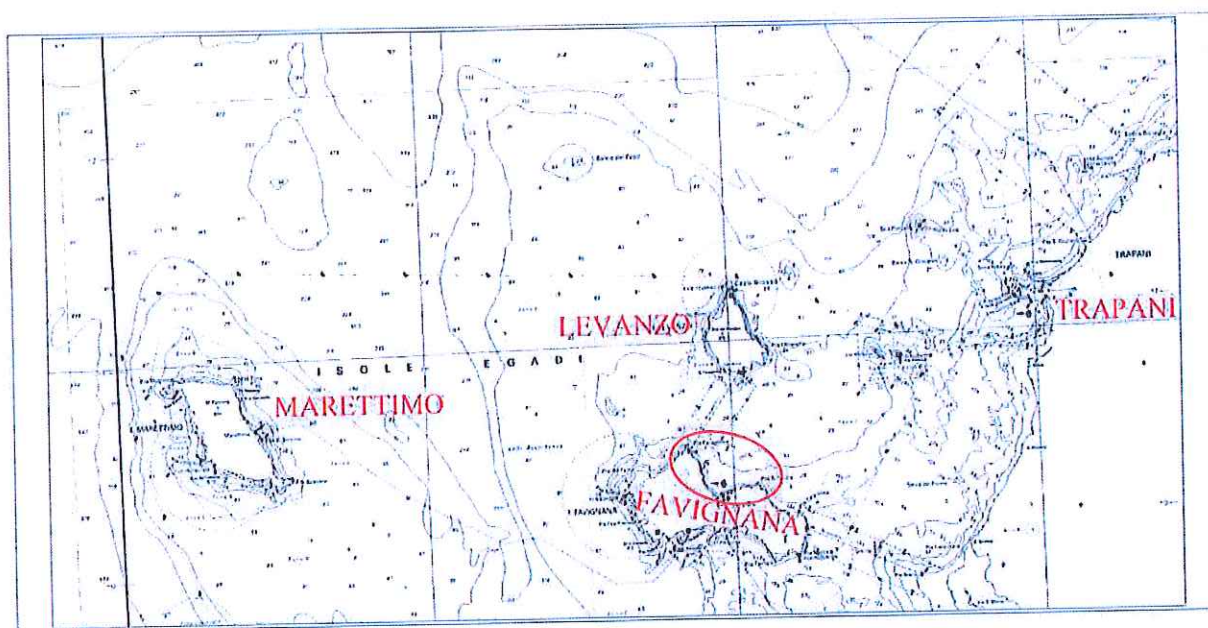


Fig. 2.1 - Ubicazione del sito costiero di interesse

Il sito in esame ricade quindi all'estremità occidentale della Sicilia e traguarda verso nordovest la costa tirrenica della Sardegna, Corsica e del centro Italia ed a sud-est la costa siciliana.

Ponendosi al largo del porto di Favignana su fondali di circa 100 m, il paraggio è geograficamente esposto al mare aperto per un ampio settore di traversia, delimitato a ovest dal promontorio di Punta Mignone (254° N) dell'Isola di Marettimo e a nord-est dal promontorio di Capo San Vito (48°N). Il sito in esame, fatta eccezione per un settore limitato che traguarda la costa Spagnola, si affaccia quindi prevalentemente sul mar Tirreno centro-meridionale dove è limitato a nord-ovest

dalla costa orientale della Sardegna (tra i 290 e 420 km) e della Corsica (oltre i 450 km), mentre a nord e nord-est dalla costa centro-meridionale del versante tirrenico della penisola italiana (oltre i 310 km).

Per un'analisi del settore di traversia, più propriamente mirata alla valutazione delle condizioni di possibile esposizione agli stati di mare, è ormai prassi consolidata fare riferimento, in luogo dei settori di traversia geografica, al cosiddetto fetch efficace (porzione di mare che costituisce, sotto l'azione diretta dei venti, l'area di generazione delle onde e che quindi partecipa "efficacemente" alla formazione dell'evento di moto ondoso). Nei calcoli condotti <sup>(1)</sup> si è comunque considerata una lunghezza massima dei fetch geografici di 500 Km, proporzionale alla massima estensione delle perturbazioni cicloniche che possono interessare il bacino del Mediterraneo.

I risultati delle elaborazioni (Fig. 2.2 e Fig. 2.3) condotte mostrano che l'area di generazione del moto ondoso che può interessare il sito in esame ha un andamento abbastanza regolare e presenta un'estensione massima di circa 360 km secondo la direzione di 350 °N (prossimo a tramontata).

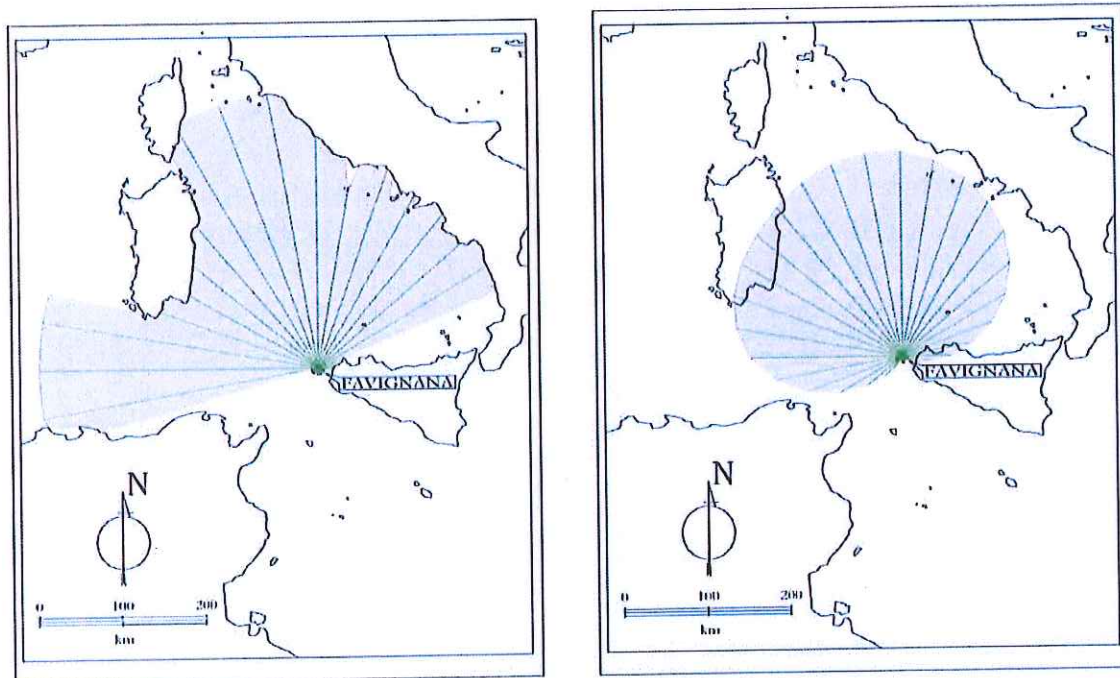


Fig. 2.2 - Fetch geografici ed efficaci al largo del sito in esame

<sup>1</sup> Per il calcolo dei fetch efficaci è stato utilizzato il programma ENIF, sviluppato dalla MODIMAR S.r.l



**COMUNE DI FAVIGNANA**  
**Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana**  
**B1 – Studio meteomarinario**

Direzione media settore di traversia (*Nord)	Fetch Geografico (km)	Fetch Efficace (km)	Deviazione direzione vento-mare (*)	Direzione media settore di traversia (*Nord)	Fetch Geografico (km)	Fetch Efficace (km)	Deviazione direzione vento-mare (*)
0	412.62	360.99	-3.0	180	8.80	10.22	57.0
10	378.94	350.69	-6.0	190	13.34	11.28	53.0
20	378.53	334.54	-8.0	200	13.34	15.39	48.0
30	347.20	313.11	-11.0	210	13.34	26.25	44.0
40	359.39	286.15	-14.0	220	10.84	47.80	38.0
50	340.06	253.14	-17.0	230	9.98	82.15	33.0
60	356.78	214.32	-21.0	240	9.25	127.89	28.0
70	350.99	171.58	-24.0	250	10.58	179.80	23.0
80	40.72	128.49	-29.0	260	493.87	230.42	18.0
90	29.20	89.31	-33.0	270	500.00	272.80	13.0
100	26.07	57.58	-37.0	280	500.00	303.05	9.0
110	9.69	35.01	-42.0	290	303.36	321.51	6.0
120	6.49	21.18	-46.0	300	262.17	331.90	4.0
130	6.64	14.07	-50.0	310	282.91	339.09	4.0
140	13.34	11.11	-54.0	320	333.23	346.55	5.0
150	13.34	10.14	-57.0	330	471.58	354.90	4.0
160	10.20	9.93	-60.0	340	500.00	362.00	2.0
170	9.16	9.99	61.0	350	478.82	364.70	0.0

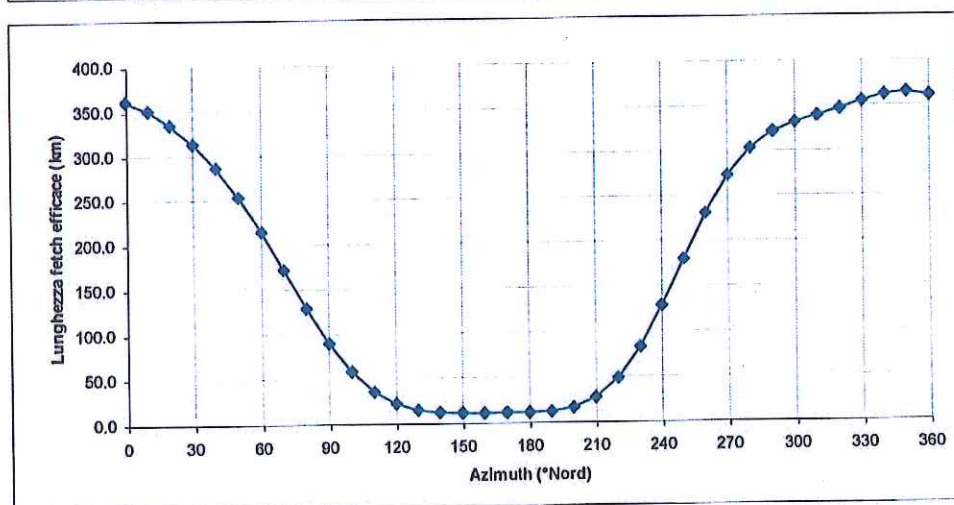
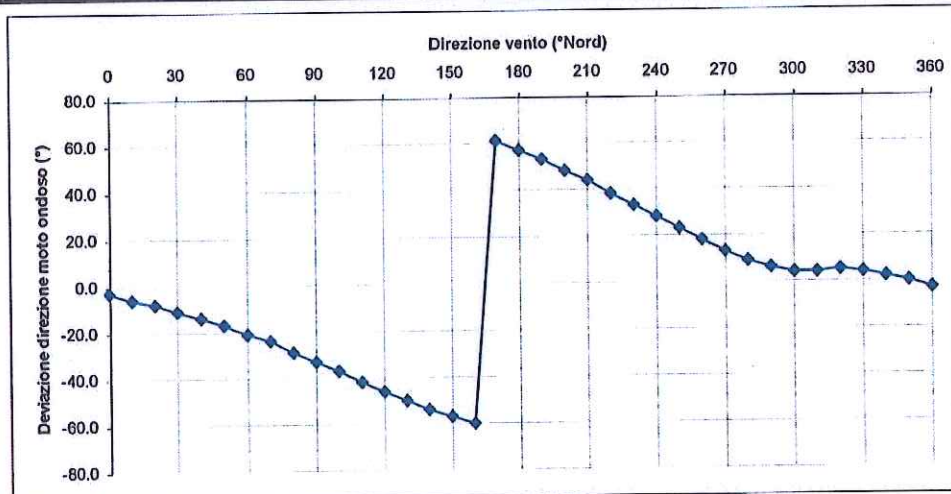


Fig. 2.3 - Fetch geografici ed efficaci al largo del sito in esame e corrispondenza tra la direzione del vento e la direzione del moto ondoso generato



## 2.2 Variazioni del livello marino (maree, sovralti)

La conoscenza delle massime variazioni quasi-statiche del livello marino, dovute a cause diverse (principalmente marea astronomica e "meteorologica"), è necessaria per molteplici scopi quali: la corretta progettazione delle quote da assegnare alle opere di difesa. In generale per quanto riguarda le variazioni a breve termine, periodiche e non, occorre distinguere gli effetti della marea astronomica da quelli della marea "meteorologica" (indotta essenzialmente dall'azione del vento e dalle variazioni di pressione atmosferica). Nella zona del Mar Tirreno e del Mar Mediterraneo centrale ove ricade il paraggio costiero in esame le escursioni del livello del mare sono di fatto modeste.

Per la stima della componente oscillatoria della marea astronomica le ampiezze ed i tempi di marea sono prevedibili per alcuni porti principali italiani in funzione delle "Tavole di Marea" pubblicate annualmente dall'Ufficio Idrografico della Marina Militare. Per il litorale trapanese, considerato che i porti principali cui fanno riferimento le tavole di mare più prossimi al sito in esame sono Cagliari, Palermo e Porto Empedocle si è preferito fare riferimento ai dati forniti per il porto di Marsala dal database gestito dal programma WXTIDE32 in uso per la navigazione. L'analisi del database relativo al porto di Marsale mostra che l'andamento temporale risultante è di tipo semidiurno (periodo 12 ore e 30 minuti) con due alte maree e due basse maree al giorno di ampiezza diversa (marea di tipo sinodico-declinazionale). Le escursioni di marea astronomica sono contraddistinte da una periodicità bimensile distinta nelle fasi di sizigie (luna piena e nuova) e di quadratura. Nei periodi sizigiali si verificano i massimi dislivelli positivi e negativi che raggiungono valori di circa 0.23 m rispetto al livello medio marino (massimo dislivello assoluto pari a circa 0,55 m). Nelle fasi di quadratura l'escursione è al massimo limitata a  $\pm 0.15$  m s.l.m.. Mediamente l'oscillazione di marea da assumere (dislivello tra il minimo ed il massimo livello diurno) è di 0.30 m.

Per la definizione della marea meteorologica si distinguono:

- sovralti barico: considerata una condizione di minimo barico (legata al passaggio dei centri di bassa pressione caratterizzanti i cicloni) pari a 975 mb rispetto ad una condizione media di 1013 mb ne consegue (da un punto di vista prettamente statico) un effetto di sovralti marino massimo pari a 0.38 m;
- sovralti di vento: l'effetto di innalzamento dei livelli sottocosta indotto dall'azione di venti foranei spiranti verso la costa è definito in funzione dell'estensione della piattaforma continentale (il cui limite è individuato per la penisola italiana dall'isobata – 100 m); nel caso in

esame si può considerare che l'isobata -100 m s.l.m. è posta a circa 15000 m dal porto di Favignana. Il calcolo del sovrizzo di vento può essere effettuato con la nota relazione implicita:

$$S = \frac{K_p \cdot L_p \cdot U^2}{g(D - d - S)} \ln\left(\frac{D}{d + S}\right) \quad (1)$$

Ponendo:

$D=100$  m - la profondità limite assunta per la piattaforma continentale;

$L_p=15000$  m - l'estensione della piattaforma continentale;

$d = 12.0$  m - la profondità ove si calcola il sovrizzo (posta in corrispondenza dell'imboccatura portuale);

$g = 9.81$  m/s<sup>2</sup>;

$k_p = 3 \times 10^{-6}$ ;

$U=40$  m/s la velocità del vento in condizioni estreme

La relazione implicita fornisce un valore di 0.17m sotto costa (alla profondità di 12 m).

Eseguendo il calcolo anche per profondità inferiori si osserva che il sovrizzo segue una legge esponenziale con un massimo lungo la linea di riva ( $d=0.50$ ) pari a  $s = 0.35$  m.

Infine si devono considerare le variazioni a lungo termine dovute a fenomeni di eustatismo: le attuali proiezioni prevedono un progressivo innalzamento del livello marino dovuto all'incremento della temperatura terrestre (effetto serra) stimabile in circa 30 cm nei prossimi 50 anni. Valutazioni meno pessimistiche considerano possibili incrementi di livello di poco superiori a quelli registrati nell'ultimo millennio (dell'ordine di 10 cm al secolo).

In definitiva è possibile calcolare il massimo sovrizzo lungo riva sommando tutti i diversi contributi di oscillazione del livello marino ma considerando che in generale non si verifica la piena concomitanza per i sovrizzi di carattere meteorologico ed astronomico. Si può cautelativamente assumere una riduzione del 75% per il sovrizzo massimo contemporaneamente meteorologico ed astronomico ottenendo quindi un sovrizzo cumulato massimo pari a circa 0.75 m.

### 2.3 Correnti

L'analisi d'insieme (riferita alla rappresentazione grafica estratta da "Atlante Tematico d'Italia" TCI, CNR) mostra che, al largo dell'estremità occidentale della costa siciliana, i flussi delle correnti di gradiente (o di densità) propri della circolazione d'insieme del Mediterraneo sono condizionati dai fenomeni di emersione ed inabissamento di acque profonde che interessano rispettivamente il Canale di Sicilia e la zona intermedia tra la Sardegna e la Sicilia (fossa di Ustica); dette correnti intermedie interessano l'arcipelago delle Isole Egadi mentre in prossimità della costa trapanese non si rilevano correnti significative.

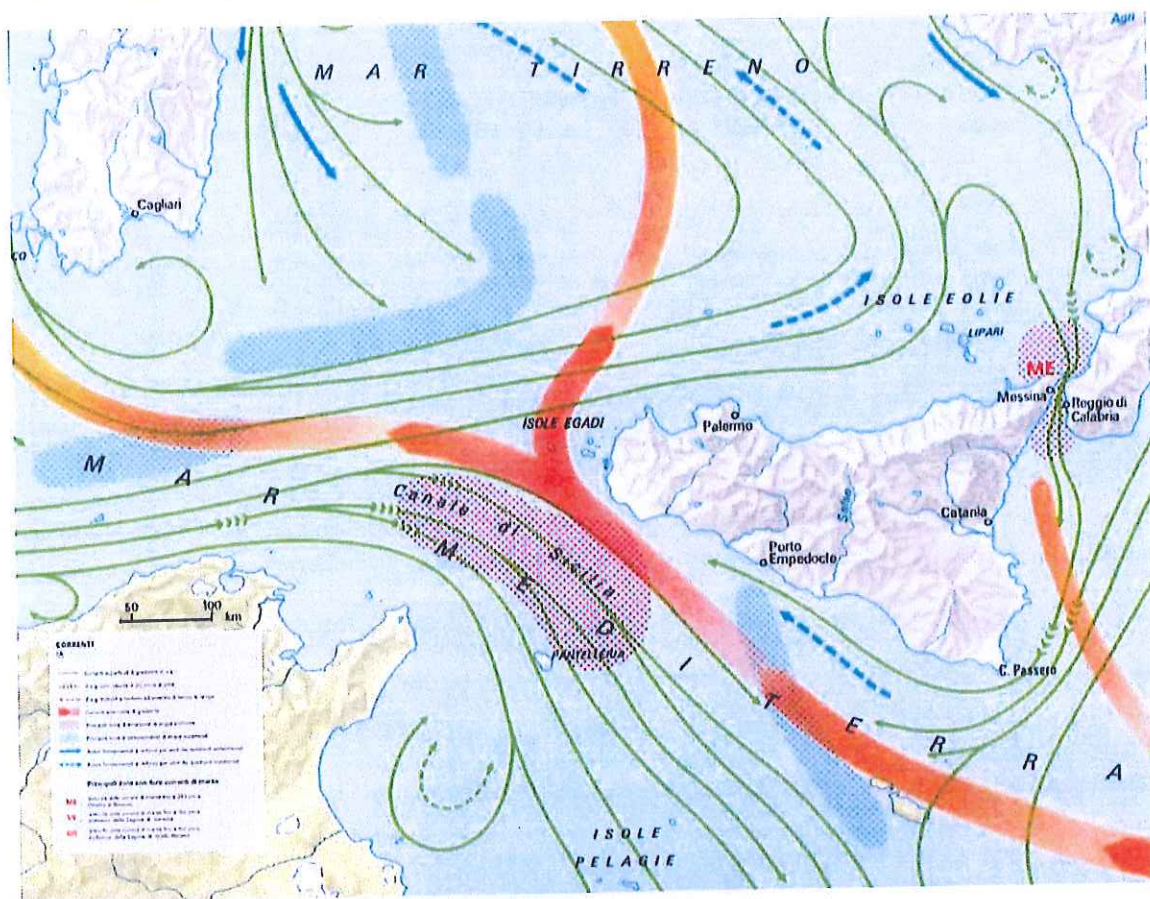


fig. 2.4 - Distribuzione delle correnti d'insieme

La conformazione batigrafica del sito in esame, associata alla limitata escursione dei livelli di marea astronomica, lascia prevedere valori trascurabili delle possibili correnti di marea. In definitiva il regime delle correnti marine nel paraggio costiero in esame ha effetti irrilevanti sulla dinamica dei sedimenti costieri, dominata invece dalle correnti litoranee, comprese tra la linea dei frangenti e la riva, indotte dall'azione del moto ondosso frangente.



### 3 REGIME DEI VENTI

Per un'analisi esaustiva del regime dei venti si è fatto riferimento alla tavola tematica pubblicata dal TCI-CNR ove sono riportate le "rose dei venti" delle stazioni gestite dal Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare (CNMCA).

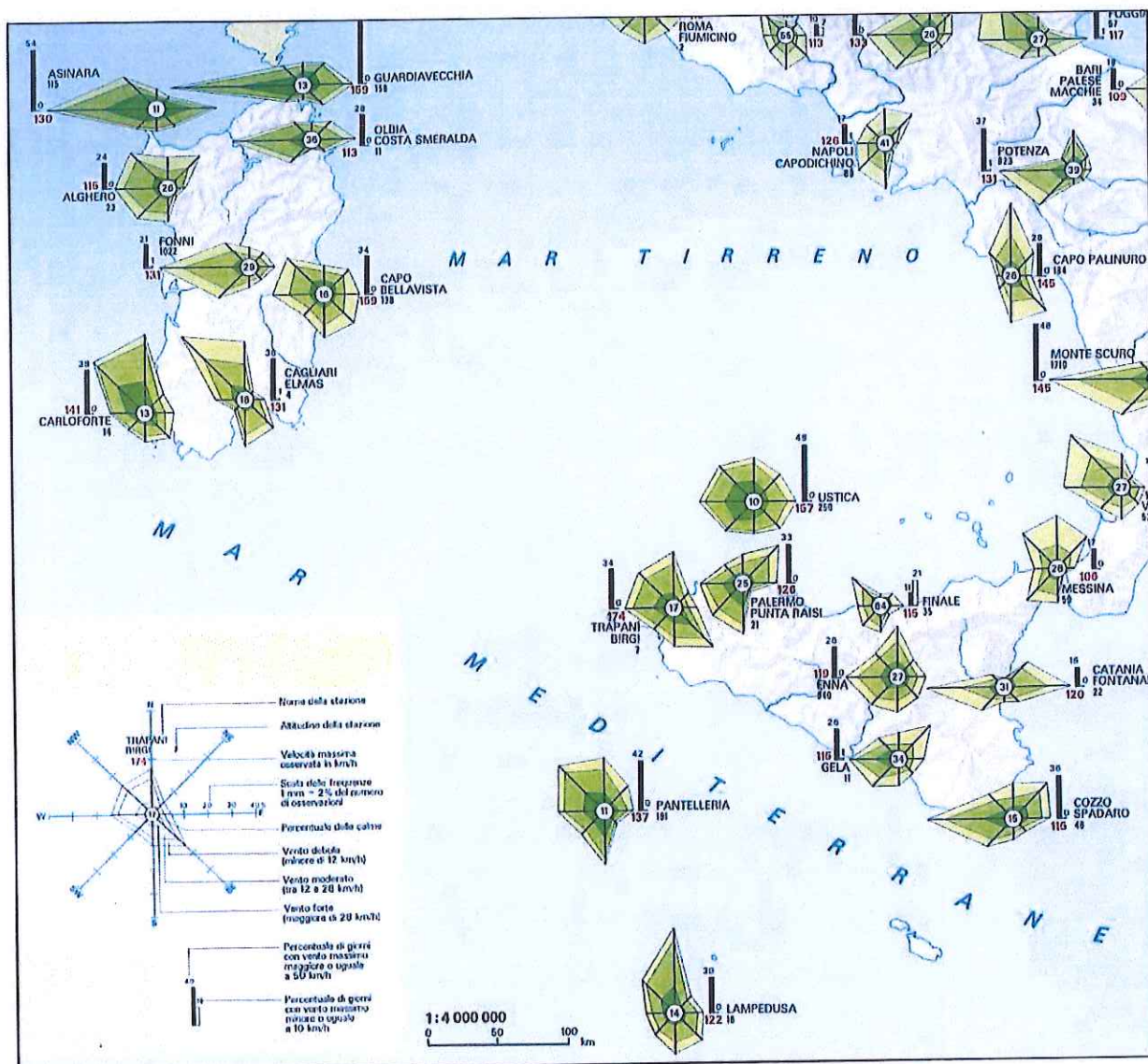


fig. 3.1 - Regime di esposizione ai venti per il mar tirreno centro-meridionale

Dalla fig. 3.1 si evince che il settore di traversia ove si esplicano i fenomeni di generazione delle mareggiate che possono interessare il litorale in esame è dominato dai venti di ponente, maestrale e tramontana. In particolare si è fatto riferimento ai dati delle Stazioni Meteo di Trapani Birgi e Trapani Chinisia gestite dall'Aeronautica Militare (I.T.A.V.-C.N.M.C.A Ispettorato Trasmissioni e Assistenza al Volo – Centro Nazionale di Meteorologia e Climatologia Aeronautica).

**COMUNE DI FAVIGNANA**  
Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B1 – Studio meteo-marino**

I valori delle frequenze di accadimento annuali ripartite per classi di velocità e direzione sono stati riassunti nelle tabelle seguenti.

**STAZIONE A.M. 429 DI TRAPANI BIRGI**  
Direzione e velocità del vento  
Distribuzione delle frequenze annuali(\*) (media sul periodo 1961 ÷ 77)

DIR (°N)	Classi di velocità (NODI)						Totali
	0 ÷ 1	2 ÷ 4	5 ÷ 7	8 ÷ 12	13 ÷ 23	24 ÷ 99	
0.0 ÷ 22.5		6.38	10.20	16.49	13.08	1.69	47.83
22.5 ÷ 45.0		5.57	9.59	10.83	6.57	0.81	33.36
45.0 ÷ 67.5		4.56	6.74	4.72	1.93	0.17	18.12
67.5 ÷ 90.0		4.77	5.59	3.53	0.73	0.05	14.68
90.0 ÷ 112.5		7.02	10.59	7.33	2.43	0.82	28.19
112.5 ÷ 135.0		8.12	17.27	17.00	14.51	14.63	71.54
135.0 ÷ 157.5		9.46	19.87	26.51	30.55	14.14	100.53
157.5 ÷ 180.0		7.29	13.37	16.71	15.97	3.96	57.30
180.0 ÷ 202.5		3.33	5.94	8.04	8.40	1.26	26.96
202.5 ÷ 225.0		3.25	8.39	12.81	9.19	1.43	35.08
225.0 ÷ 247.5		2.85	8.88	13.54	11.31	1.96	38.55
247.5 ÷ 270.0		3.23	8.84	14.75	16.13	5.16	48.11
270.0 ÷ 292.5		4.83	11.59	18.79	24.38	9.33	68.92
292.5 ÷ 315.0		4.87	13.73	24.55	25.14	6.37	74.66
315.0 ÷ 337.5		7.68	15.87	29.76	25.04	5.26	83.61
337.5 ÷ 360.0		11.40	19.87	35.11	28.76	4.10	99.24
VARIABILI		0.35	0.56	0.71	0.78	0.17	2.57
0 ÷ .5 m/s	150.75						150.75
Totali	150.75	94.97	186.89	261.18	234.89	71.31	1000.00

Quota strumento (m s.l.m.)

7

Rendimento strumento (%):

93.36

Numero totale eventi:

46374

Numero potenziale eventi:

49674

(\*) Valori per migliaia di unità

**Stazione di Trapani - Chinisia (A.M.)**

Periodo di osservazione 1/1951- 11/1961

Settori		Classi di velocità (nodi)					
N.	Gradi	0-1	2-4	5-7	8-12	13-23	24-99
1	0.0 - 22.5		0.89	2.04	18.38	20.15	1.24
2	22.5 - 45.0		4.44	3.28	20.15	15.71	1.24
3	45.0 - 67.5		1.95	4.62	15.89	6.21	0.36
4	67.5 - 90.0		1.78	2.13	9.14	4.79	0.18
5	90.0 - 112.5		3.82	3.73	11.90	5.68	0.44
6	112.5 - 135.0		8.43	5.86	18.82	12.43	8.61
7	135.0 - 157.5		8.35	10.48	46.25	69.96	50.60
8	157.5 - 180.0		4.79	6.75	43.06	54.87	31.07
9	180.0 - 202.5		1.33	1.24	15.18	15.54	4.79
10	202.5 - 225.0		2.57	0.36	9.14	7.01	1.60
11	225.0 - 247.5		1.60	1.33	7.81	11.10	4.17
12	247.5 - 270.0		1.42	2.22	11.01	17.84	10.21
13	270.0 - 292.5		1.51	2.66	15.54	36.40	22.82
14	292.5 - 315.0		0.80	1.95	19.62	33.03	10.39
15	315.0 - 337.5		1.95	1.69	37.82	39.51	6.13
16	337.5 - 360.0		1.24	1.51	34.09	33.29	0.98
	Variabili		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0 - 1 Nodo	29.12					
	TOTALE	29.12	46.87	51.85	333.80	383.52	154.83
							1000.00



**COMUNE DI FAVIGNANA**  
Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B1 – Studio meteo-marino**

---

Sono stati esaminati anche i dati relativi alle osservazioni sugli stati di vento effettuate dalla stazione semaforica della Marina Militare posta sull'Isola di Favignana (dati archiviati dall'Istituto Idrografico della Marina Militare e pubblicati in "Il vento e lo stato del Mare", 1978).

Stazione semaforica di Isola Favignana (Marina Militare)  
Periodo di osservazione 1930-42 1947-60  
Distribuzione delle frequenze annuali(\*)

Forza vento (Beaufort)	Direzioni di provenienza degli stati di vento osservati (°Nord)								Totale
	337.5 22.5	22.5 67.5	67.5 112.5	112.5 157.5	157.5 202.5	202.5 247.5	247.5 292.5	292.5 337.5	
1 ÷ 2	1.75	2.25	1.00	1.05	2.20	1.65	1.80	2.85	14.55
3 ÷ 4	4.50	5.60	1.35	3.35	6.70	4.30	4.95	10.35	41.10
5 ÷ 6	3.05	3.65	0.70	3.20	5.25	2.40	3.40	7.05	28.70
7 ÷ 12	0.80	1.10	0.20	1.85	2.85	0.70	0.90	2.25	10.65
	10.10	12.60	3.25	9.45	17.00	9.05	11.05	22.50	95.00

Coordinate geografiche della stazione: 37° 56' Lat.N ; 12° 19' Long E

Stazione posta ad un'altezza di 328 m sul livello del mare

(\*) Valori percentuali

I dati così raccolti mostrano che:

- i venti regnanti (associati a maggiori frequenze di accadimento) provengono da scirocco e mezzogiorno (per la stazione di Trapani Birgi si ha oltre il 20% dal settore 112.5÷202.5 °N) e dal settore compreso tra ponente e tramontana (sempre per la stazione di Trapani Birgi si ha oltre il 40% dal settore 247.5÷22.5 °N);
- i venti dominanti (più intensi con classi di velocità superiori a 24 nodi o forza vento in scala Beaufort superiore a 6) sono quelli provenienti da scirocco (circa il 2% dal settore 112.5÷157.5 °N) anche se il settore tra ponente e tramontana, corrispondente all'area di generazione delle mareggiate che possono interessare il litorale in esame, fornisce nell'insieme un contributo cumulato di stati di vento estremi pari al 3%.
- la stazione semaforica di Favignana fornisce indicazioni analoghe a quelle delle stazioni meteo di Trapani anche se riferite a tre osservazioni giornaliere a vista.



## 4 REGIME DEL MOTO ONDOSÒ

L'analisi delle caratteristiche degli stati di mare che contraddistinguono il sito in esame è un elemento indispensabile non solo per una corretta valutazione dell'onda di progetto, cui fare riferimento per il dimensionamento delle opere di difesa contemplate nel presente progetto ma anche per l'analisi della compatibilità delle nuove opere di difesa nei confronti dell'agitazione interna portuale.

Per le finalità dell'ingegneria marittima la definizione del regime del moto ondoso consiste nella conoscenza, in termini di frequenze e distribuzioni annuali, delle seguenti grandezze caratteristiche: l'altezza d'onda significativa  $H_s$ , i periodi d'onda  $T$  (di picco o medio), la direzione di provenienza  $\theta$ .

A tal scopo è necessario effettuare una prima serie di indagini e studi finalizzati alla conoscenza del regime del moto ondoso al "largo" del sito in esame, ovvero su fondali che riflettono condizioni di "acqua profonda" per la quasi totalità delle onde e pertanto non introducono fenomeni di marcata alterazione e condizionamento (ad es. per rifrazione, shoaling e/o attrito sul fondo) nei confronti degli stati di mare generati.

Sulla base del quadro conoscitivo esistente, in mancanza di misure dirette del moto ondoso al largo, è necessario ricorrere all'uso di collaudati modelli numerici per la ricostruzione indiretta (hindcasting) del moto ondoso sulla base di misure di vento o del campo di distribuzione barica riferite all'area di generazione del moto ondoso al largo del sito in esame.

### 4.1 Raccolta ed analisi preliminare dei dati disponibili.

Le prime indicazioni di carattere generale sono state ricavate dalle osservazioni visuali effettuate presso la stazione "semaforica" della Marina Militare posta all'estremità nord-occidentale dell'isola di Favignana in grado di osservare il moto ondoso proveniente da un ampio settore di traversia ( $150^\circ\text{N} - 45^\circ\text{N}$ ).

Dall'analisi dei quadri riassuntivi riportati nelle figure e tabelle seguenti deriva come indicazione di massima che gli eventi annualmente più frequenti ( $55 \div 63\%$ ) sono quelli con mare forza 2-3 ( $H_s=1 \div 1.25$  m). Gli eventi estremi classificati come mare forza 6-8 (cioè  $H_s > 4.0$  m) sono pari al 2,5% degli stati di mare osservati, comunque distribuiti nel corso dell'anno medio climatico

**COMUNE DI FAVIGNANA**  
 Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B1 – Studio meteomarinario**

con una maggiore frequenza nei periodi di alternanza stagionale (autunno e primavera provenienti rispettivamente dai settori di ponente-maestrale e scirocco-mezzogiorno)

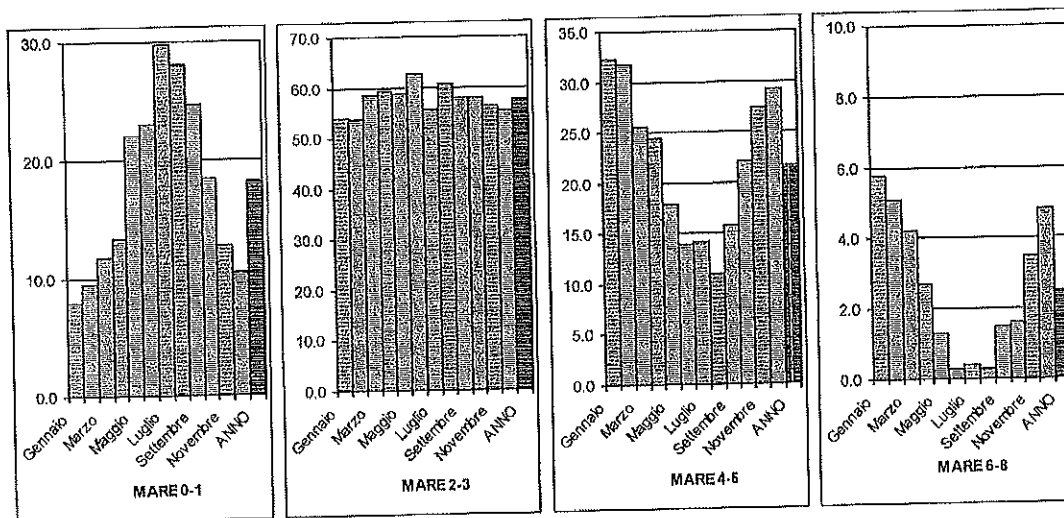
Stazione semaforica di Isola Favignana (Marina Militare)

Frequenze medie percentuali dedotte da tre osservazioni giornaliere

Periodo di osservazione pari a 33 anni

Mese	Stato del mare			
	0-1 (H<0,1 m)	2-3 (0,1<H<1,25 m)	4-5 (1,25<H<4,0 m)	6-8 (H>4,0 m)
Gennaio	8.0	53.9	32.3	5.8
Febbraio	9.5	53.6	31.8	5.1
Marzo	11.8	58.4	25.6	4.2
Aprile	13.4	59.4	24.5	2.7
Maggio	22.0	58.8	17.9	1.3
Giugno	23.0	62.8	13.9	0.3
Luglio	29.7	55.7	14.2	0.4
Agosto	28.1	60.6	11.0	0.3
Settembre	24.7	58.0	15.8	1.5
Ottobre	18.4	57.9	22.1	1.6
Novembre	12.8	56.3	27.4	3.5
Dicembre	10.5	55.4	29.3	4.8
ANNO	18.2	57.7	21.6	2.5

Osservazioni degli stati di mare al largo



**COMUNE DI FAVIGNANA**  
**Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana**  
**B1 – Studio meteomarinario**

Stazione semaforica di Isola Favignana (Marina Militare)  
 Periodo di osservazione pari a 33 anni

Massimo mare verificatosi nei singoli mesi e relative frequenze																
Mese	Forza del mare	Frequenza in giorni	Direzione di provenienza (° Nord)													
			0	22.5	45	67.5	90	112.5	135	157.5	180	202.5	225	247.5	270	292.5
Gennaio	8	2	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
Febbraio	8	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1
Marzo	8	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aprile	7	9	-	-	-	-	-	-	3	3	1	-	-	1	-	-
Maggio	8	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
Giugno	7	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Luglio	6	4	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	2
Agosto	6	2	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
Settembre	8	2	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-
Ottobre	8	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
Novembre	8	6	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	4
Dicembre	8	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Totale			2	-	-	-	-	-	6	4	7	-	-	1	2	3

Stati estremi di moto ondoso osservati al largo

Stazione semaforica di Isola Favignana (Marina Militare)  
 Periodo di osservazione pari a 33 anni

Durata massima delle mareggiate con altezza media delle onde superiore a 4 m (forza del mare 6-8)

Mese	Forza del mare	Durata (ore)	Direzione di provenienza (° Nord)
Febbraio	6-7	80	315° (NW)
Marzo	6-7	80	157.5° (SSE)
Febbraio	6-7	72	315° (NW)
Gennaio	6-7	64	337.5° (NNW)
Gennaio	6-7	60	157.5° (SSE)
Febbraio	6-7	60	315° (NW)
Aprile	6	60	180° (S)
Novembre	6-8	60	180° (S)
Aprile	6-7	56	157.5° (SSE)
Febbraio	6-7	55	135° (SE)
Gennaio	6-7	54	180° (S)
Gennaio	6	54	157.5° (SSE)
Febbraio	6-8	50	270° (W)
Dicembre	6-7	50	315° (NW)
Gennaio	6	48	180° (S)
Gennaio	6	48	270° (W)
Febbraio	6-7	48	315° (NW)
Marzo	6-7	48	315° (NW)
Aprile	6-7	48	157.5° (SSE)
Ottobre	6	48	180° (S)
Dicembre	6-8	48	337.5° (NNW)
Dicembre	6-7	48	315° (NW)
Dicembre	6	48	292.5° (WNNW)

Durata massima delle mareggiate osservate al largo

Infine nella tabella e figura seguenti è riportata la direzione e la frequenza delle mareggiate al largo (osservate dall'isola di Favignana) caratterizzate da uno stato del mare superiore o uguale a 6 ( $H_s > 4.0$  m).

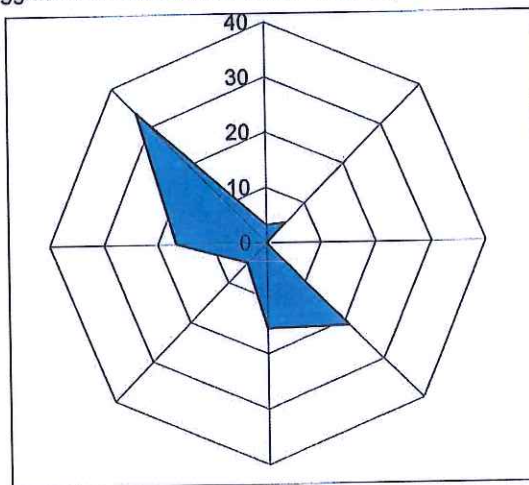


**COMUNE DI FAVIGNANA**  
**Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana**  
**B1 – Studio meteomarinario**

Stazione semaforica di Isola Favignana (Marina Militare)  
Periodo di osservazione pari a 33 anni

Direzione di provenienza delle mareggiate con altezza media delle onde superiore a 4 m

Direzione di provenienza	Frequenza percentuale
Nord	3.2
Nord - Est	5
Est	0
Sud - Est	21.2
Sud	15.4
Sud - Ovest	5
Ovest	16.6
Nord - Ovest	33.4



Nell'insieme si evidenzia una prevalenza degli stati di mare da maestrale e scirocco; rispetto a questi ultimi però è evidente che il porto di Favignana è completamente schermato.

Si osserva che la tipologia dei dati (osservazioni a vista del moto ondoso con cadenza di tre al giorno) offre comunque un quadro di tipo qualitativo del regime di moto ondoso al largo del sito in esame, mentre per le finalità progettuali è necessario procedere ad una quantificazione dettagliata dell'esposizione al moto ondoso in termini di altezza, periodo e direzione.

#### **4.2    Ricostruzione indiretta del regime del moto ondoso al largo**

Verificata l'indisponibilità di misure dirette del moto ondoso per il sito in esame per poter definire in dettaglio il regime del moto ondoso al largo e sottocosta al sito in esame si è fatto riferimento alla seguente metodologia di studio che si avvale di moderni modelli di calcolo:

- 1) acquisizione delle misure anemometriche della stazione meteorologica di Trapani Birgi;
- 2) ricostruzione del moto ondoso al largo con il modello numerico di ricostruzione indiretta tipo S.M.B. denominato ALTAIR e sviluppato dalla MODIMAR s.r.l.;
- 3) analisi dei dati di moto ondoso con il modello numerico PEGASO (sviluppato dalla MODIMAR s.r.l.);
- 4) trasferimento sotto costa (-10 m s.l.m.) con il modello numerico di rifrazione inversa spettrale MEROPE (sviluppato dalla MODIMAR s.r.l.) della serie ondometrica ricostruita al largo.

Il modello matematico di ricostruzione del moto ondoso ALTAIR è basato sulle note relazioni semiempiriche del metodo S.M.B., che forniscono l'altezza ed il periodo dell'onda significativa generata da un vento avente velocità e direzione costanti, per un prefissato intervallo di tempo, lungo una porzione della superficie marina (fetch) ove si esplicano i processi di trasferimento di energia dal vento alle onde. Questa schematizzazione del fenomeno di generazione del moto ondoso rende sufficienti, per la ricostruzione delle mareggiate, la conoscenza dei dati anemometrici registrati da un'opportuna stazione meteorologica e la corretta definizione dell'area di generazione (fetch efficace).

Il modello di ricostruzione del moto ondoso utilizzato è stato concepito per elaborare i dati anemometrici registrati presso le Stazioni del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare (CNMCA-ITAV); i dati utilizzati sono riferiti ai valori medi delle misure di velocità e direzione del vento effettuate in continuo nei 15' antecedenti le ore sinottiche fissate secondo gli standard internazionali. L'applicazione del procedimento di hindcasting richiede quindi la preliminare selezione della stazione anemometrica rappresentativa delle condizioni di generazione del moto ondoso al largo del sito in esame. Per continuità, rappresentatività ed affidabilità della serie di dati registrati si è ritenuta qualitativamente più valida per lo studio in esame la stazione meteo di Trapani Birgi (n. 429). Il periodo di osservazione a disposizione (dal 1962 al 2000) è



sufficientemente elevato con un numero totale di eventi rilevati pari a 113295 con un rendimento del 99.4% circa (riferito a  $38 \cdot 365.25 \cdot 8 = 113958$  dati virtualmente possibili). L'analisi delle registrazioni anemometriche evidenzia la presenza di calme (intensità del vento inferiore ad 1 nodo) per circa il 22%.

Per la corretta applicazione del modello di ricostruzione degli eventi di moto ondoso, si deve fare riferimento alla porzione di mare che contribuisce realmente alla generazione degli stati di moto ondoso (fetch efficace). Questa è definita riferendosi all'estensione geografica del bacino (fetch geografico) che viene corretta considerando le caratteristiche di dispersione direzionale dell'energia associata al vento ed al moto ondoso ed eventualmente limitata considerando la massima estensione delle perturbazioni atmosferiche che si manifestano nel Mediterraneo (raramente superiore ai 500 km).

Nel caso in esame (vd. par. 2.1) i fetch efficaci sono stati ricostruiti ponendosi al largo del Porto di Favignana.

Una volta noti l'estensione dei fetch efficaci per le distinte direzioni di provenienza del vento e le correlazioni vento-onda, sulla base della serie storica delle registrazioni anemometriche della stazione di Trapani Birgi è stata ricostruita l'equivalente serie storica del moto ondoso al largo del sito in esame.

Considerata la mancanza di registrazioni ondometriche di riferimento non si è potuta impostare una procedura di taratura numerica del modello di ricostruzione del moto ondoso. Una verifica di tipo qualitativo dei risultati ottenuti, è costituita dal confronto tra i risultati ottenuti ed i dati rilevati dalla stazione semaforica dell'isola di Favignana.

La Tabella 4.2-1 e la fig. 4.1 sono rappresentative della distribuzione su base annuale degli eventi di moto ondoso; inoltre, nella Tabella 4.2-2 per completare il quadro dei risultati ottenuti sono state rappresentate le distribuzioni, per classi di altezza d'onda, dei periodi di picco.

Da tali tabelle e figure si evidenzia che:

- i maggiori contributi si hanno dal settore da Nord-Ovest (maestrale) a Nord (tramontana) con una frequenza di accadimento pari al 55% degli eventi; ulteriori contributi provengono da Est Sud - Est con una frequenza del 18%.
- circa il 62% degli eventi (237 gg/anno) ha un'altezza d'onda significativa inferiore a 0.5 m.
- gli eventi di maggiore intensità con  $H_s > 2.0$  (eventi estremi) provengono principalmente dal IV quadrante (4.15 % anno – circa 15 giorni/anno).

- il massimo periodo di picco ricostruito è pari a circa 12 s.

Dal confronto tra i risultati ottenuti con il modello SMB e le osservazioni della stazione semaforica della Marina Militare dell'isola di Favignana, risulta una distribuzione direzionale degli eventi estremi ( $H_s > 2.0$  m) molto simile, se si considera che le differenze relative agli eventi provenienti da Sud sono dovute ad una differente esposizione delle due località al mare aperto che, per il sito in esame è limitata al I e IV quadrante.

**COMUNE DI FAVIGNANA**  
Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B1 – Studio meteo-marino**

**Tabella 4.2-1**

Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza. ANNUALE

Ricostruzione dei dati di moto ondoso al largo di Favignana (SMB)

Periodo di riferimento 1 gennaio 1962 - 31 dicembre 2000

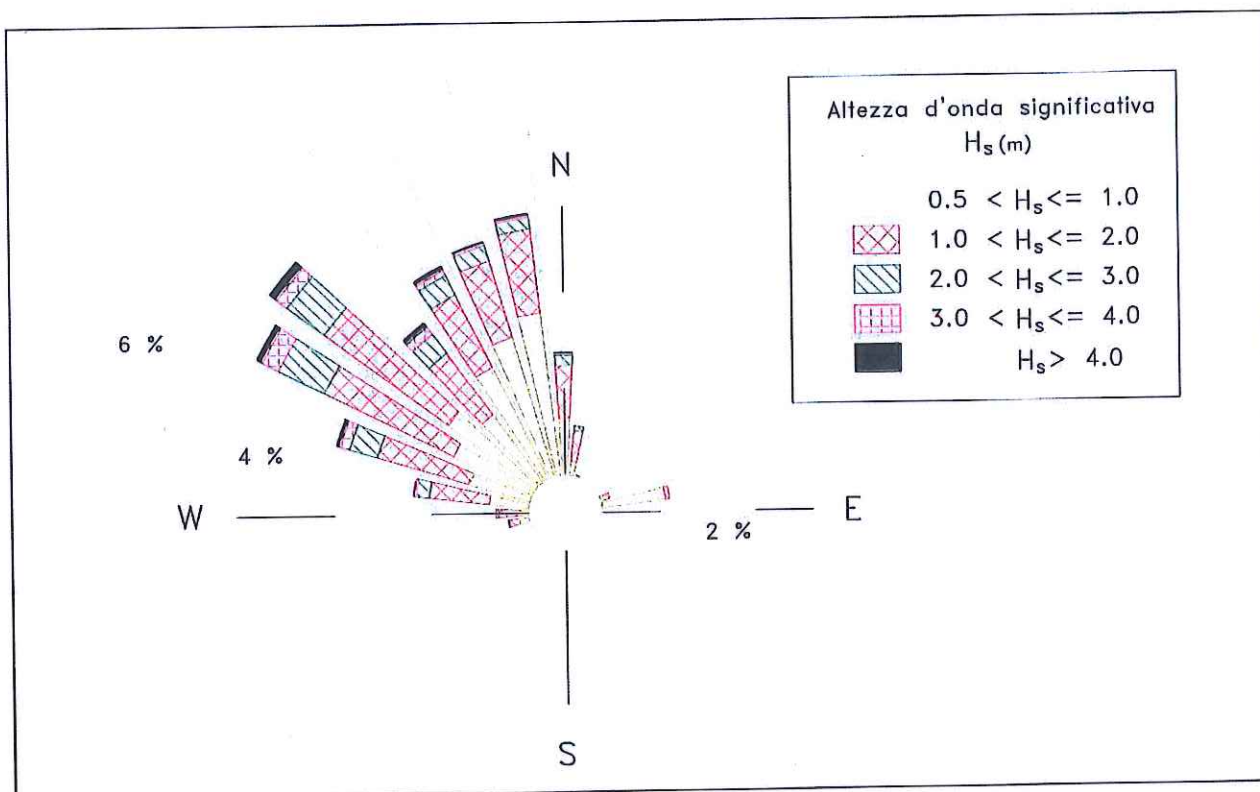
DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<2.5	2.5+3.0	3.0+3.5	3.5+4.0	4.0+4.5	4.5+5.0	5.0+5.5	5.5+6.0	6.0+6.5	>=6.5						
10	0.51	0.55	0.67	0.30	0.11	0.04	0.01	0.01	0.00							2.20
20	0.64	0.40	0.37	0.08	0.04	0.00	0.01	0.00								1.55
30	0.41	0.26	0.14	0.03	0.01	0.00	0.00									0.87
40	0.61	0.19	0.11	0.02	0.01											0.93
50	0.80	0.23	0.07	0.01	0.00	0.00										1.11
60	1.40	0.35	0.15	0.03	0.00	0.00										1.92
70	1.65	0.64	0.54	0.09	0.00											2.91
80	3.96	2.35	1.35	0.06	0.00											7.72
90	3.34	1.81	0.47	0.00												5.61
100	0.31	0.23	0.04													0.58
110	0.24	0.14	0.03													0.41
120	0.16	0.12	0.01													0.30
130	0.16	0.09	0.02													0.27
140	0.16	0.08	0.01													0.25
150	0.08	0.09	0.02													0.18
160	0.13	0.06	0.01													0.21
170	0.12	0.06	0.01													0.19
180	0.13	0.09	0.01													0.23
190	0.15	0.08	0.01													0.25
200	0.19	0.11	0.02													0.32
210	0.24	0.14	0.02													0.40
220	1.97	0.54	0.10	0.00												2.60
230	2.39	0.71	0.11													3.21
240	1.75	0.50	0.09	0.01												2.35
250	1.05	0.64	0.20	0.02	0.00		0.00									1.91
260	1.41	1.52	0.63	0.12	0.02	0.01										3.71
270	0.72	0.98	0.59	0.24	0.07	0.03	0.01	0.00								2.64
280	1.13	1.05	1.03	0.53	0.28	0.13	0.04	0.03	0.01	0.00						4.22
290	1.28	1.11	1.33	0.78	0.50	0.27	0.11	0.09	0.03	0.03	0.01	0.00				5.54
300	0.79	0.96	1.66	1.19	0.71	0.42	0.24	0.15	0.09	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	6.29
310	1.50	1.46	1.94	1.37	0.65	0.39	0.20	0.10	0.07	0.05	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	7.80
320	0.75	1.24	1.61	0.68	0.34	0.18	0.13	0.07	0.04	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	5.09
330	1.78	2.18	2.14	0.78	0.29	0.16	0.12	0.04	0.03	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	7.57
340	1.23	2.07	2.40	0.75	0.29	0.16	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00				7.01
350	1.67	1.98	2.63	0.82	0.28	0.11	0.04	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00			7.58
360	0.95	1.01	1.23	0.49	0.20	0.10	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00				4.05
TOT.	35.79	25.98	21.78	8.39	3.81	2.01	1.02	0.55	0.30	0.18	0.11	0.04	0.03	0.02	0.02	100.00
Tot. cumul.	61.76	83.55	91.93	95.74	97.75	98.77	99.32	99.61	99.79	99.90	99.94	99.97	99.98	100.00		

Numero di eventi validi :

87028



**COMUNE DI FAVIGNANA**  
Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B1 – Studio meteomarinario**



**fig. 4.1**  
Clima annuale. Distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso  
Ricostruzione del moto ondoso al largo del porto di Favignana (SMB)  
(periodo di riferimento: 1 gennaio 1962 - 31 dicembre 2000)

**Tabella 4.2-2**

Ripartizione percentuale per classi di altezze d'onda significative e periodo di picco  
Ricostruzione dei dati di moto ondoso al largo di Favignana (SMB)  
Periodo di riferimento 1 gennaio 1962 - 31 dicembre 2000

Hs (m)	CLASSI DI PERIODO DI PICCO Tp (s)							Tot	Tot. cumul.
	Tp < 4	4 ≤ Tp < 6	6 ≤ Tp < 8	8 ≤ Tp < 10	10 ≤ Tp < 12	12 ≤ Tp < 14	Tp > 14		
0.25 <	35.78	0.01						35.79	35.79
0.25 ÷ 0.75	38.08	1.50	0.01					39.58	75.37
0.75 ÷ 1.25	6.00	7.09	0.25	0.00				13.34	88.71
1.25 ÷ 1.75	0.00	4.85	0.63	0.04				5.52	94.23
1.75 ÷ 2.25		2.16	0.47	0.05				2.68	96.91
2.25 ÷ 2.75		0.07	1.31	0.06	0.00			1.44	98.35
2.75 ÷ 3.25			0.72	0.03	0.00			0.75	99.10
3.25 ÷ 3.75			0.34	0.04				0.38	99.48
3.75 ÷ 4.25			0.11	0.12				0.23	99.71
4.25 ÷ 4.75				0.15	0.00			0.16	99.86
4.75 ÷ 5.25				0.06				0.06	99.92
>5.25				0.05	0.03			0.08	100.00
Tot.	79.85	15.67	3.84	0.59	0.04			100	
Tot. cumul.	79.85	95.53	99.37	99.96	100.00	100.00	100.00		

#### 4.3 Regime del moto ondoso sottocosta

Per definire le condizioni di moto ondoso in prossimità delle opere marittime in progetto e per la definizione dell'onda di modellazione è stato eseguito uno studio di propagazione del moto ondoso da largo a riva.

A tal fine è stato necessario in primo luogo scegliere il modello numerico più appropriato per lo studio in questione. La scelta del modello numerico viene normalmente effettuata a valle di una analisi dei principali fenomeni fisici che condizionano l'evoluzione delle onde durante la propagazione. Tale analisi si basa fondamentalmente su una attenta lettura della conformazione batimetrica dei fondali e delle relative condizioni al contorno che per Trapani risultano funzione anche delle direzioni di provenienza del moto ondoso al largo.

In particolare, per quanto riguarda gli stati di mare generati in mare aperto è possibile definire opportune condizioni al contorno (contorno di largo) espresse in termini di altezza, direzione e periodo caratteristici del moto ondoso incidente. Peraltro per tali settori si può ragionevolmente ritenere che l'influenza in termini percentuali dei meccanismi generativi del moto ondoso ad opera del vento che intervengono nella propagazione largo-riva, possano essere, nel caso in esame, trascurati, poiché la zona di evoluzione del moto ondoso su bassi fondali risulta di estensione notevolmente inferiore rispetto a quella, posta in mare aperto, dove le onde vengono generate. Per quanto riguarda i meccanismi che possono alterare la propagazione delle onde sui fondali via via decrescenti che "collegano" il mare aperto alla zona di intervento, la regolarità dell'andamento delle linee batimetriche che caratterizzano il litorale in esame (assenza di secche foranee) permette di ritenere che essi siano costituiti in modo dominante dalla rifrazione e dallo shoaling e che possano essere ritenuti trascurabili sia i processi diffrattivi (diffrazione esterna ed interna) che dissipativi (attrito sul fondo e frangimento).

Pertanto il regime ondoso al largo di Favignana è stato riportato sotto costa utilizzando il modello numerico lineare inverso-spettrale MEROPE descritto in appendice.

La prima fase dello studio della rifrazione richiede la digitalizzazione dei valori di profondità ricavati da carte nautiche con la costruzione di un adeguato reticolo batimetrico che tenga conto della topografia sottomarina sui "bassi" fondali (profondità inferiori alla semi-lunghezza d'onda, cioè dell'ordine dei 100m). Nel presente caso i valori di profondità sono stati ricavati dalla carta nautica n°17 "Da Capo Rama a Marsala e Isole Egadi" in scala 1: 100.000, redatta dall'Istituto Idrografico della Marina (Fig. 4.2).

**COMUNE DI FAVIGNANA**  
Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B1 – Studio meteomarinario**

---

Al fine di ottenere un quadro completo del regime di moto ondoso sottocosta è stata condotta l'applicazione del modello per un punto di rifrazione posto immediatamente al largo dell'imboccatura portuale (punto P – profondità: -10.0 m s.l.m.).

Per tale punto sono stati calcolati 20 piani d'onda d'inversa per altrettanti periodi compresi tra 2 e 22 secondi, tracciando una serie di raggi (ortogonali ai fronti d'onda), spaziatosi di  $0.5^\circ$ , sino a coprire l'intero settore di traversia.

I risultati principali del modello di rifrazione inversa-spettrale per il punto P sono sintetizzati in forma tabellare e grafica (



Tabella 4.3-1 e Fig. 4.3 - Fig. 4.4) per i 9 spettri ondosi simulati (tipo JONSWAP) rappresentativi del clima d'onda del paraggio, con periodi di picco variabili tra i 4 e i 12 s con un passo di discretizzazione di 10° per la direzione media.

Nella

Tabella 4.3-1 sono utilizzati i seguenti simboli:

- Azm<sub>o</sub> direzione media di provenienza al largo;
- H<sub>so</sub> altezza d'onda significativa al largo;
- T<sub>p</sub> periodo di picco d'onda al largo;
- k prodotto tra i coefficienti di “shoaling” e di rifrazione;
- Azm direzione di provenienza a riva;
- H<sub>s</sub> altezza d'onda significativa a riva;
- T/T<sub>o</sub> rapporto tra il periodo di picco al largo ed il periodo medio a riva.

Dall'analisi delle Fig. 4.3 e Fig. 4.4 si evidenzia una minore attenuazione degli eventi di moto ondoso provenienti dalla direzione “centrale” di 340°- 350°N cui corrisponde un valore del coefficiente k pari a circa 0,65 per gli eventi ondosi estremi ed una riduzione più consistente con k pari a 0.55 e 0.60 rispettivamente per le onde oblique di maestrale (315°N) e di grecale (45 °N).

Analogamente si modificano le direzioni di incidenza per la rotazione più marcata dei fronti d'onda più obliqui ed il settore di traversia si stringe a 330-80°N (Fig. 4.4).

COMUNE DI FAVIGNANA  
Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
B1 – Studio meteomarinario

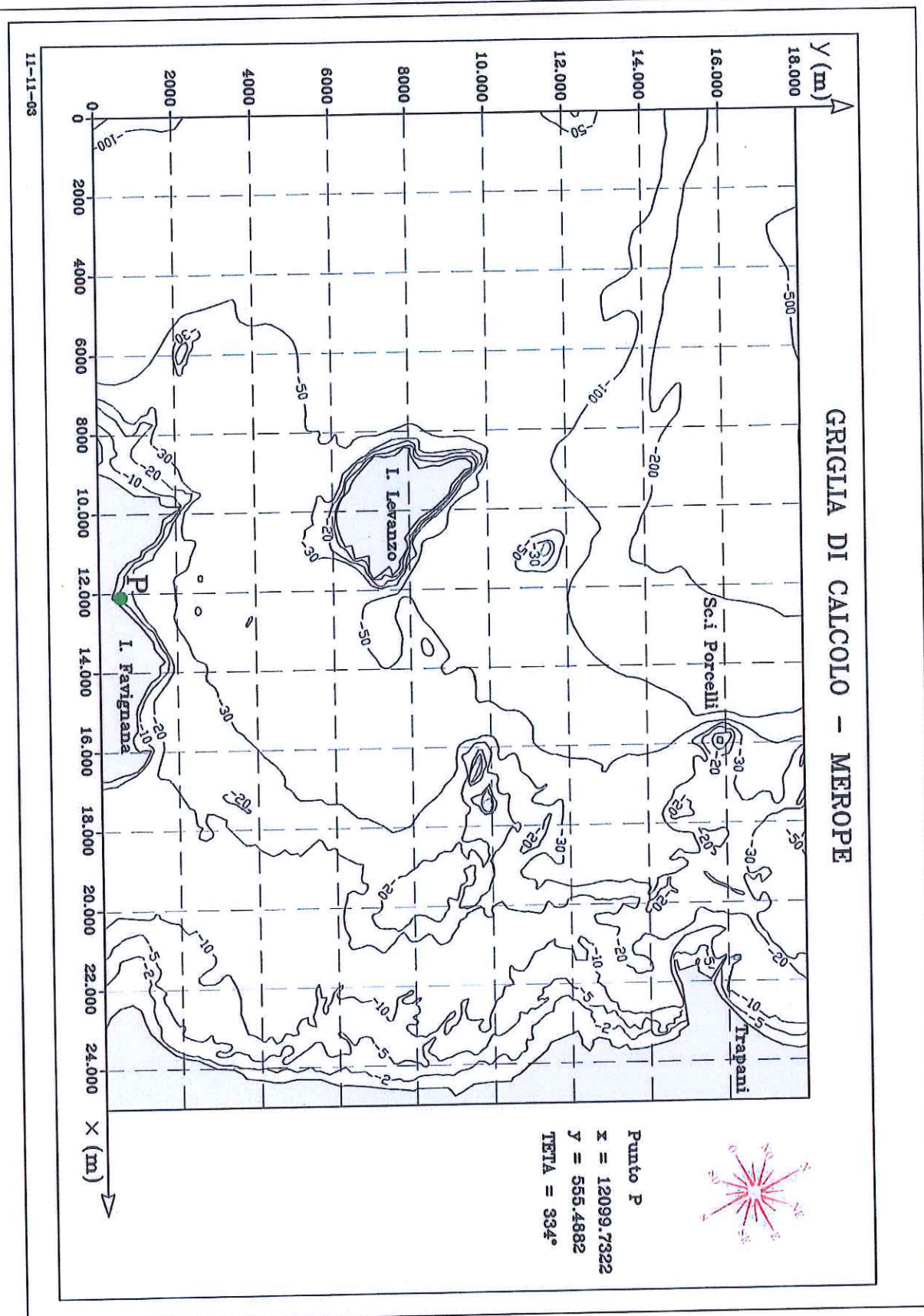


Fig. 4.2 – Griglia merope – Porto di Favignana



COMUNE DI FAVIGNANA  
Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
B1 - Studio meteomarinò

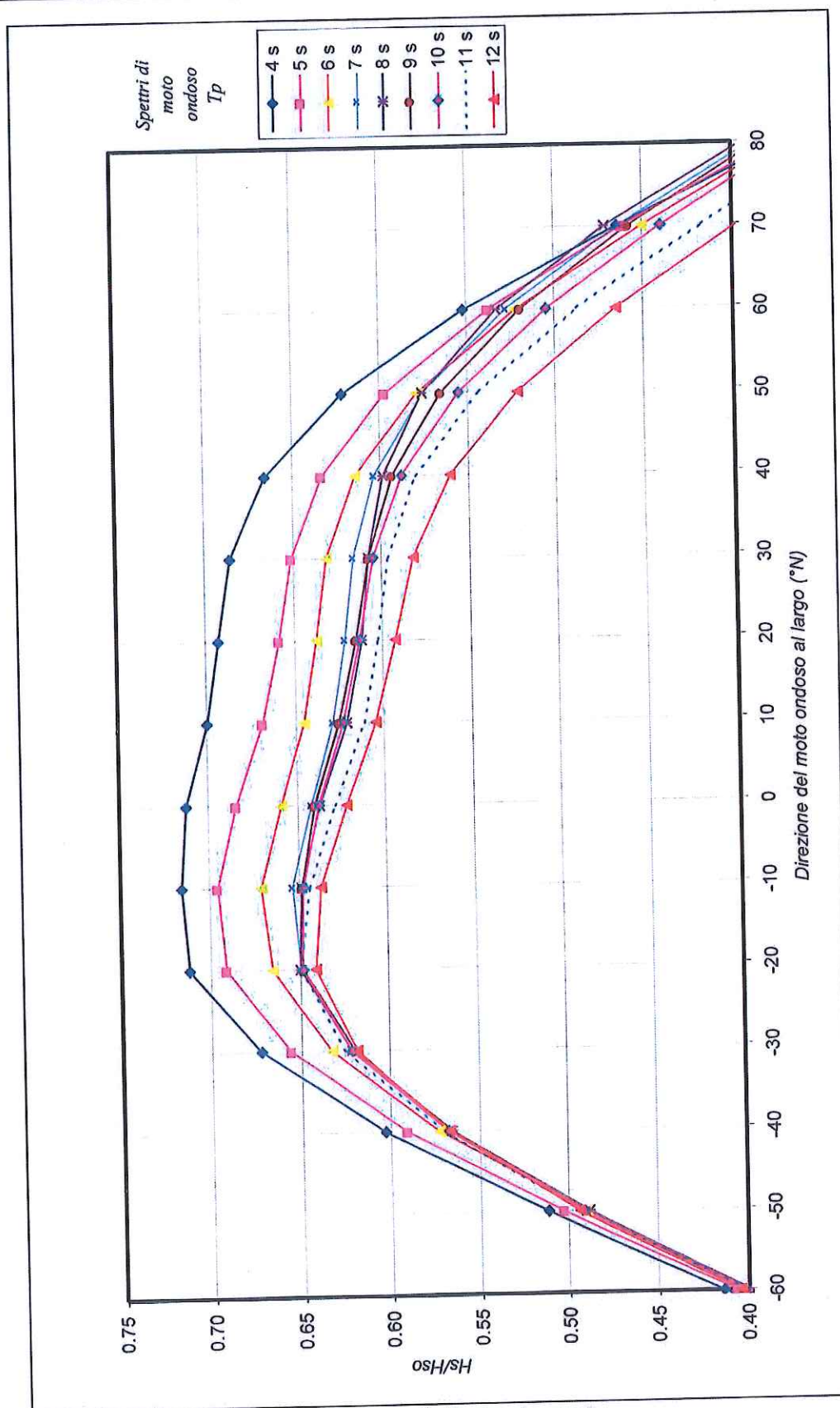


Fig. 4.3 - Punto di rifrazione inversa P :

Rapporto tra l'altezza d'onda al largo  $H_{so}$  e sotto costa  
in funzione della direzione del moto ondoso al largo

**COMUNE DI FAVIGNANA**  
 Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
 B1 – Studio meteomarinò

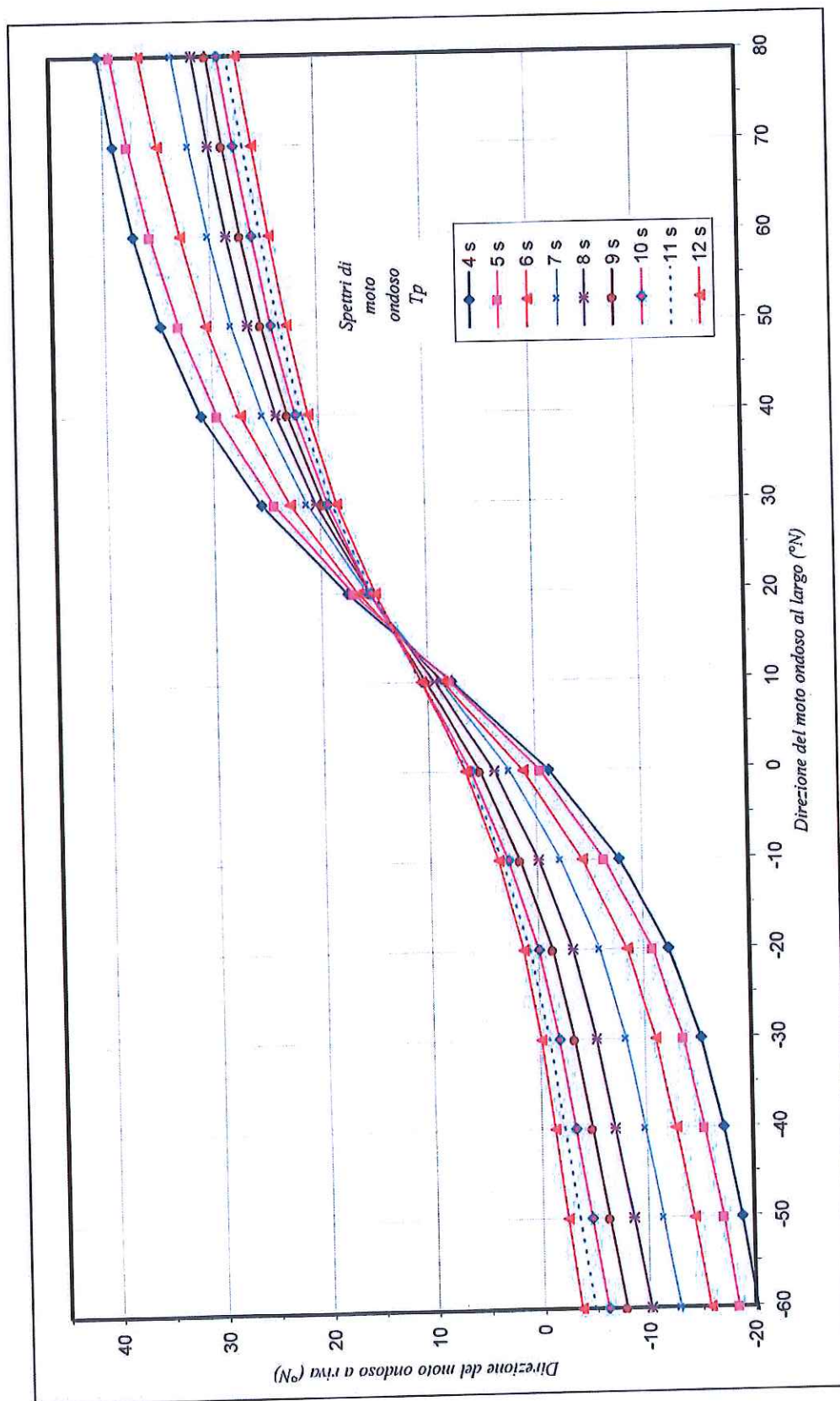


Fig. 4.4 - Punto di rifrazione inversa P :  
 Corrispondenza direzioni di moto ondoso largo – riva

**COMUNE DI FAVIGNANA**  
Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B1 – Studio meteomarinario**

**Tabella 4.3-1**

	Hso m	Tso s	Azmo °N	Hsr m	Tsr s	Azmr °N	K	T/To
Spettro 1	1.00	4.00	-70	0.32	4.68	-21	0.324	1.17
	1.00	4.00	-60	0.41	4.68	-20	0.414	1.17
	1.00	4.00	-50	0.51	4.68	-19	0.511	1.17
	1.00	4.00	-40	0.60	4.03	-17	0.603	1.01
	1.00	4.00	-30	0.67	4.03	-15	0.672	1.01
	1.00	4.00	-20	0.71	4.03	-12	0.712	1.01
	1.00	4.00	-10	0.72	4.03	-8	0.715	1.01
	1.00	4.00	0	0.71	4.03	-1	0.712	1.01
	1.00	4.00	10	0.70	4.03	8	0.700	1.01
	1.00	4.00	20	0.69	4.03	17	0.693	1.01
	1.00	4.00	30	0.69	4.03	26	0.686	1.01
	1.00	4.00	40	0.67	4.03	31	0.666	1.01
	1.00	4.00	50	0.62	4.03	35	0.622	1.01
	1.00	4.00	60	0.55	4.03	37	0.552	1.01
	1.00	4.00	70	0.46	4.68	39	0.464	1.17
	1.00	4.00	80	0.37	4.68	40	0.370	1.17
	1.00	4.00	90	0.28	4.68	41	0.283	1.17
	1.00	4.00	100	0.21	4.68	41	0.213	1.17
	1.00	4.00	110	0.16	4.68	41	0.158	1.17
	1.00	4.00	120	0.11	5.43	43	0.110	1.36
Spettro 2	1.00	5.00	-70	0.32	4.68	-20	0.315	0.94
	1.00	5.00	-60	0.41	4.68	-18	0.406	0.94
	1.00	5.00	-50	0.50	4.68	-17	0.502	0.94
	1.00	5.00	-40	0.59	4.68	-15	0.590	0.94
	1.00	5.00	-30	0.66	4.68	-14	0.655	0.94
	1.00	5.00	-20	0.69	4.68	-11	0.691	0.94
	1.00	5.00	-10	0.70	4.68	-6	0.695	0.94
	1.00	5.00	0	0.68	4.68	0	0.684	0.94
	1.00	5.00	10	0.67	4.68	8	0.669	0.94
	1.00	5.00	20	0.66	4.68	17	0.659	0.94
	1.00	5.00	30	0.65	4.68	24	0.651	0.94
	1.00	5.00	40	0.63	4.68	30	0.634	0.94
	1.00	5.00	50	0.60	4.68	33	0.597	0.94
	1.00	5.00	60	0.54	4.68	36	0.538	0.94
	1.00	5.00	70	0.46	4.68	38	0.461	0.94
	1.00	5.00	80	0.38	4.68	39	0.376	0.94
	1.00	5.00	90	0.29	4.68	40	0.292	0.94
	1.00	5.00	100	0.22	4.68	41	0.221	0.94
	1.00	5.00	110	0.16	6.29	40	0.163	1.26
	1.00	5.00	120	0.11	7.30	42	0.113	1.46
Spettro 3	1.00	6.00	-70	0.31	7.30	-17	0.313	1.22
	1.00	6.00	-60	0.40	7.30	-16	0.398	1.22
	1.00	6.00	-50	0.49	6.29	-14	0.489	1.05
	1.00	6.00	-40	0.57	6.29	-13	0.572	1.05
	1.00	6.00	-30	0.63	6.29	-11	0.633	1.05
	1.00	6.00	-20	0.67	6.29	-8	0.665	1.05
	1.00	6.00	-10	0.67	6.29	-4	0.671	1.05
	1.00	6.00	0	0.66	6.29	1	0.659	1.05
	1.00	6.00	10	0.65	6.29	9	0.646	1.05
	1.00	6.00	20	0.64	6.29	16	0.638	1.05
	1.00	6.00	30	0.63	6.29	23	0.632	1.05
	1.00	6.00	40	0.61	6.29	27	0.615	1.05
	1.00	6.00	50	0.58	6.29	30	0.578	1.05
	1.00	6.00	60	0.52	6.29	33	0.522	1.05
	1.00	6.00	70	0.45	7.30	35	0.450	1.22
	1.00	6.00	80	0.37	7.30	37	0.372	1.22
	1.00	6.00	90	0.30	7.30	38	0.297	1.22
	1.00	6.00	100	0.23	7.30	38	0.232	1.22
	1.00	6.00	110	0.18	7.30	38	0.178	1.22
	1.00	6.00	120	0.13	8.47	40	0.127	1.41



**COMUNE DI FAVIGNANA**  
 Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B1 - Studio meteomarinario**

	Hso m	Tso s	Azmo °N	Hsr m	Tsr s	Azmr °N	K	T/To
Spettro 4	1.00	7.00	-70	0.31	8.47	-14	0.314	1.21
	1.00	7.00	-60	0.40	8.47	-13	0.401	1.21
	1.00	7.00	-50	0.49	7.30	-11	0.490	1.04
	1.00	7.00	-40	0.57	7.30	-10	0.567	1.04
	1.00	7.00	-30	0.62	7.30	-8	0.622	1.04
	1.00	7.00	-20	0.65	7.30	-6	0.650	1.04
	1.00	7.00	-10	0.65	7.30	-2	0.654	1.04
	1.00	7.00	0	0.64	7.30	3	0.643	1.04
	1.00	7.00	10	0.63	7.30	9	0.630	1.04
	1.00	7.00	20	0.62	7.30	16	0.622	1.04
	1.00	7.00	30	0.62	7.30	21	0.617	1.04
	1.00	7.00	40	0.60	7.30	25	0.604	1.04
	1.00	7.00	50	0.58	7.30	28	0.575	1.04
	1.00	7.00	60	0.53	7.30	30	0.528	1.04
	1.00	7.00	70	0.46	8.47	32	0.463	1.21
	1.00	7.00	80	0.39	8.47	33	0.387	1.21
	1.00	7.00	90	0.31	8.47	35	0.309	1.21
	1.00	7.00	100	0.24	8.47	36	0.240	1.21
	1.00	7.00	110	0.18	8.47	37	0.181	1.21
	1.00	7.00	120	0.13	8.47	39	0.128	1.21
Spettro 5	1.00	8.00	-70	0.31	9.83	-12	0.313	1.23
	1.00	8.00	-60	0.40	8.47	-10	0.399	1.06
	1.00	8.00	-50	0.49	8.47	-9	0.488	1.06
	1.00	8.00	-40	0.57	8.47	-7	0.566	1.06
	1.00	8.00	-30	0.62	8.47	-5	0.622	1.06
	1.00	8.00	-20	0.65	8.47	-3	0.650	1.06
	1.00	8.00	-10	0.65	8.47	0	0.649	1.06
	1.00	8.00	0	0.64	8.47	4	0.638	1.06
	1.00	8.00	10	0.62	8.47	9	0.621	1.06
	1.00	8.00	20	0.61	8.47	15	0.612	1.06
	1.00	8.00	30	0.61	8.47	20	0.608	1.06
	1.00	8.00	40	0.60	8.47	24	0.599	1.06
	1.00	8.00	50	0.58	8.47	27	0.576	1.06
	1.00	8.00	60	0.53	8.47	28	0.533	1.06
	1.00	8.00	70	0.47	8.47	30	0.471	1.06
	1.00	8.00	80	0.39	8.47	31	0.394	1.06
	1.00	8.00	90	0.31	8.47	33	0.310	1.06
	1.00	8.00	100	0.24	8.47	34	0.236	1.06
	1.00	8.00	110	0.17	8.47	36	0.174	1.06
	1.00	8.00	120	0.12	11.40	38	0.122	1.42
Spettro 6	1.00	9.00	-70	0.32	11.40	-9	0.317	1.27
	1.00	9.00	-60	0.40	8.47	-8	0.402	0.94
	1.00	9.00	-50	0.49	8.47	-6	0.489	0.94
	1.00	9.00	-40	0.56	8.47	-5	0.565	0.94
	1.00	9.00	-30	0.62	9.83	-3	0.620	1.09
	1.00	9.00	-20	0.65	9.83	-1	0.648	1.09
	1.00	9.00	-10	0.65	9.83	2	0.648	1.09
	1.00	9.00	0	0.64	9.83	5	0.641	1.09
	1.00	9.00	10	0.63	9.83	10	0.626	1.09
	1.00	9.00	20	0.62	9.83	15	0.615	1.09
	1.00	9.00	30	0.61	9.83	20	0.608	1.09
	1.00	9.00	40	0.59	8.47	23	0.593	0.94
	1.00	9.00	50	0.57	8.47	25	0.565	0.94
	1.00	9.00	60	0.52	8.47	27	0.520	0.94
	1.00	9.00	70	0.46	8.47	29	0.458	0.94
	1.00	9.00	80	0.38	8.47	30	0.385	0.94
	1.00	9.00	90	0.31	8.47	32	0.308	0.94
	1.00	9.00	100	0.24	8.47	33	0.237	0.94
	1.00	9.00	110	0.18	8.47	34	0.177	0.94
	1.00	9.00	120	0.12	11.40	37	0.124	1.27

**COMUNE DI FAVIGNANA**  
 Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B1 – Studio meteomarinario**

	Hso	Tso	Azmo	Hsr	Tsr	Azmr	K	T/To
	m	s	°N	m	s	°N		
Spettro 7	1.00	10.00	-70	0.32	11.40	-8	0.317	1.14
	1.00	10.00	-60	0.40	11.40	-6	0.404	1.14
	1.00	10.00	-50	0.49	11.40	-5	0.492	1.14
	1.00	10.00	-40	0.57	11.40	-3	0.567	1.14
	1.00	10.00	-30	0.62	11.40	-2	0.622	1.14
	1.00	10.00	-20	0.65	11.40	0	0.649	1.14
	1.00	10.00	-10	0.65	11.40	3	0.647	1.14
	1.00	10.00	0	0.64	9.83	6	0.638	0.98
	1.00	10.00	10	0.62	11.40	11	0.623	1.14
	1.00	10.00	20	0.61	11.40	15	0.613	1.14
	1.00	10.00	30	0.60	11.40	19	0.605	1.14
	1.00	10.00	40	0.59	11.40	22	0.588	1.14
	1.00	10.00	50	0.56	11.40	24	0.555	1.14
	1.00	10.00	60	0.50	11.40	26	0.505	1.14
	1.00	10.00	70	0.44	8.47	28	0.440	0.85
	1.00	10.00	80	0.37	8.47	29	0.367	0.85
	1.00	10.00	90	0.29	8.47	31	0.294	0.85
	1.00	10.00	100	0.23	8.47	32	0.229	0.85
	1.00	10.00	110	0.17	8.47	33	0.173	0.85
	1.00	10.00	120	0.12	8.47	35	0.123	0.85
Spettro 8	1.00	11.00	-70	0.31	13.22	-6	0.313	1.20
	1.00	11.00	-60	0.40	11.40	-5	0.401	1.04
	1.00	11.00	-50	0.49	11.40	-4	0.493	1.04
	1.00	11.00	-40	0.57	11.40	-2	0.570	1.04
	1.00	11.00	-30	0.63	11.40	-1	0.625	1.04
	1.00	11.00	-20	0.65	11.40	1	0.650	1.04
	1.00	11.00	-10	0.64	11.40	3	0.644	1.04
	1.00	11.00	0	0.63	11.40	6	0.629	1.04
	1.00	11.00	10	0.61	11.40	11	0.612	1.04
	1.00	11.00	20	0.60	11.40	15	0.603	1.04
	1.00	11.00	30	0.60	11.40	19	0.597	1.04
	1.00	11.00	40	0.58	11.40	22	0.580	1.04
	1.00	11.00	50	0.54	11.40	24	0.544	1.04
	1.00	11.00	60	0.49	11.40	25	0.487	1.04
	1.00	11.00	70	0.42	11.40	27	0.417	1.04
	1.00	11.00	80	0.34	8.47	28	0.343	0.77
	1.00	11.00	90	0.27	8.47	30	0.273	0.77
	1.00	11.00	100	0.21	8.47	31	0.214	0.77
	1.00	11.00	110	0.17	8.47	32	0.165	0.77
	1.00	11.00	120	0.12	8.47	34	0.121	0.77
Spettro 9	1.00	12.00	-70	0.32	11.40	-5	0.315	0.95
	1.00	12.00	-60	0.40	11.40	-4	0.404	0.95
	1.00	12.00	-50	0.49	11.40	-2	0.494	0.95
	1.00	12.00	-40	0.57	11.40	-1	0.567	0.95
	1.00	12.00	-30	0.62	11.40	0	0.618	0.95
	1.00	12.00	-20	0.64	11.40	1	0.641	0.95
	1.00	12.00	-10	0.64	11.40	4	0.638	0.95
	1.00	12.00	0	0.62	11.40	7	0.622	0.95
	1.00	12.00	10	0.60	11.40	11	0.605	0.95
	1.00	12.00	20	0.59	11.40	15	0.593	0.95
	1.00	12.00	30	0.58	11.40	18	0.582	0.95
	1.00	12.00	40	0.56	11.40	21	0.560	0.95
	1.00	12.00	50	0.52	11.40	23	0.521	0.95
	1.00	12.00	60	0.47	11.40	24	0.465	0.95
	1.00	12.00	70	0.40	11.40	26	0.398	0.95
	1.00	12.00	80	0.33	11.40	27	0.328	0.95
	1.00	12.00	90	0.26	8.47	29	0.264	0.71
	1.00	12.00	100	0.21	8.47	30	0.209	0.71
	1.00	12.00	110	0.16	8.47	31	0.164	0.71
	1.00	12.00	120	0.12	8.47	33	0.123	0.71

Tutta la serie ondametricala, ricostruita al largo del porto di Favignana, è stata propagata sino al punto considerato per meglio caratterizzare l'esposizione al moto ondoso del sito in esame.

I risultati sono sintetizzati per classi di altezza e direzione (Tabella 4.3-2 e fig. 4.5) al fine di fornire un'utile visione d'insieme del clima d'onda sotto costa:

Per il punto P emerge che :

- il settore di traversia si stringe all'angolo 330 - 50°N;
- il 18% degli eventi (corrispondente ad una durata di 2.2 mesi) ha una altezza significativa superiore ai 0.5 m
- il settore di Nord (350 – 20°N) ha la maggiore frequenza di eventi di moto ondoso superiore ai 0.5 m di altezza significativa 13 % (1.6 mesi / anno) e da esso provengono anche gli eventi di maggiore intensità;
- gli eventi con  $H_s > 2.0$  (eventi estremi) provengono essenzialmente dal settore suddetto (0.6 %, pari a 2 giorni l'anno).

**COMUNE DI FAVIGNANA**  
Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B1 – Studio meteomarinario**

**Tabella 4.3-2**

Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza. ANNUALE

Punto P di rifrazione inversa spettrale (-10 m)

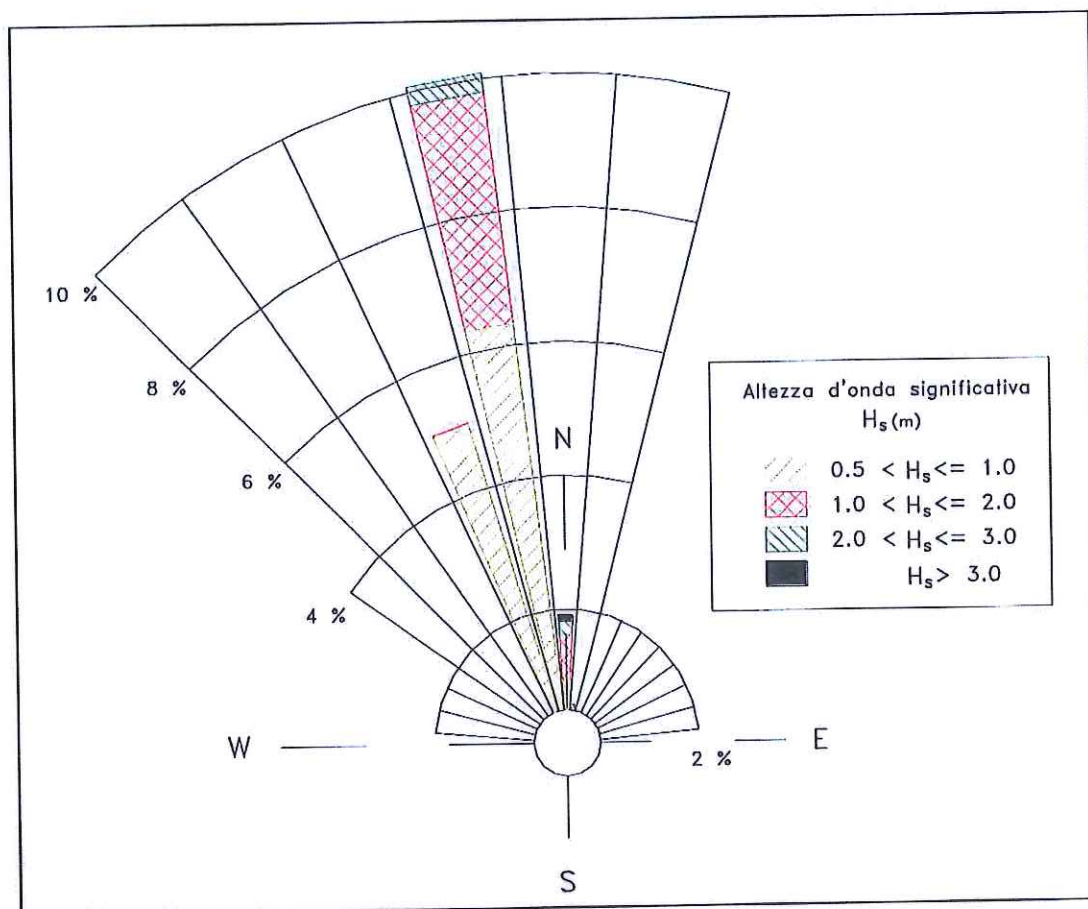
Periodo di riferimento 14 luglio 1989 - 14 luglio 2002

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<2.5	2.5+0.5	0.5+1.0	1.0+1.5	1.5+2.0	2.0+2.5	2.5+3.0	3.0+3.5	3.5+4.0	4.0+4.5	4.5+5.0	5.0+5.5	5.5+6.0	6.0+6.5	>=6.5	
10	0.46	0.38	0.35	0.16	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00							1.42
20	0.86	0.47	0.29	0.08	0.01	0.00	0.00									1.72
30	1.36	0.44	0.22	0.02	0.00											2.05
40	24.07	1.06	0.17	0.00												25.30
50	0.82															0.82
60																
70																
80																
90																
100																
110																
120																
130																
140																
150																
160																
170																
180																
190																
200																
210																
220																
230																
240																
250																
260																
270																
280																
290																
300																
310																
320																
330	15.98															15.98
340	15.35	8.80	4.99	0.02												29.16
350	3.53	6.06	6.32	2.66	0.82	0.25	0.04									19.67
360	1.26	0.71	0.94	0.46	0.22	0.09	0.11	0.05	0.02	0.02	0.00	0.00				3.88
TOT.	63.69	17.92	13.28	3.40	1.12	0.35	0.15	0.05	0.02	0.02	0.00	0.00				100.00
Tot. cumul.		81.62	94.89	98.29	99.41	99.76	99.91	99.96	99.98	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Numero di eventi validi :

81714





**fig. 4.5**

Clima annuale. Distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso  
Propagazione sottocosta del moto ondoso - MEROPE  
(periodo di riferimento: 1 gennaio 1962 - 31 dicembre 2000)

**Tabella 4.3-3**

Ripartizione percentuale per classi di altezze d'onda significative e periodo di picco  
Punto P di rifrazione inversa spettrale (-10 m)  
Periodo di riferimento 14 luglio 1989 - 14 luglio 2002

Hs (m)	CLASSI DI PERIODO DI PICCO Tp (s)							Tot.	Tot. cumul.
	Tp < 4	4 ≤ Tp < 6	6 ≤ Tp < 8	8 ≤ Tp < 10	10 ≤ Tp < 12	12 ≤ Tp < 14	Tp > 14		
0.25 <	60.36	3.05	0.23	0.04	0.01			63.69	63.69
0.25 + 0.75	8.70	16.77	1.39	0.14	0.00			27.00	90.69
0.75 + 1.25		3.17	2.69	0.48	0.01			6.35	97.03
1.25 + 1.75		0.04	1.44	0.47	0.01			1.96	99.00
1.75 + 2.25			0.21	0.39	0.02			0.63	99.62
2.25 + 2.75			0.00	0.20	0.02			0.23	99.85
2.75 + 3.25				0.06	0.02			0.08	99.94
3.25 + 3.75				0.02	0.01			0.04	99.97
3.75 + 4.25				0.00	0.02			0.02	99.99
4.25 + 4.75					0.01			0.01	100.00
4.75 + 5.25					0.00			0.00	100.00
>5.25					0.00			0.00	100.00
<b>Tot.</b>	<b>69.06</b>	<b>23.04</b>	<b>5.96</b>	<b>1.80</b>	<b>0.15</b>			<b>100</b>	
<b>Tot. cumul.</b>	<b>69.06</b>	<b>92.09</b>	<b>98.06</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>		

#### 4.4 Analisi degli eventi estremi.

Per la determinazione della cosiddetta "onda di progetto" in acqua profonda è necessario eseguire un'elaborazione statistica delle altezze d'onda maggiori relative alla serie storica di riferimento desunta dai dati ondametrici ricostruiti. Mediante regolarizzazione della serie di eventi estremi, secondo note funzioni probabilistiche, è possibile ricavare le caratteristiche del moto ondoso (definite in termini di altezza significativa e periodo) da associare ad assegnati tempi di ritorno (o probabilità di occorrenza).

Nel caso di serie di dati relativi a misure di altezza d'onda è più affidabile l'analisi statistica di serie tronche, ottenute selezionando per i diversi settori direzionali di caratteristiche omogenee tutte le altezze d'onda significative, registrate al picco di mareggiate indipendenti superiori ad una soglia prefissata. Infatti, il metodo delle serie tronche è da preferire sia al metodo dei massimi annuali (in numero limitato e per alcune "annate" ben poco estremi) sia a quello dell'analisi di tutta la serie di eventi di moto ondoso (sicuramente non indipendenti e poco omogenei). La scelta della soglia di troncamento deve essere effettuata al fine di garantire comunque una selezione di un numero di eventi estremi comparabile con il numero di anni di osservazione.

**Si sono ricavati (Tabella 4.4-1 e**

Fig. 4.6) 55 eventi (superiori a 4.5 m – metodo POT) per il settore 290°÷360° Nord.

Le serie tronche sono state elaborate effettuando dapprima una regolarizzazione di tipo statistico delle serie di valori riferita al periodo di misure (29 anni effettivi).

Successivamente la serie "tronca" di dati è stata riferita alle usuali leggi di distribuzione probabilistica al fine di determinare il valore con prefissati tempi di ritorno.

Le leggi adottate di distribuzione di probabilità cumulata di non superamento (funzione di ripartizione) sono quella di Weibull:

$$P(X \leq x) = 1 - e^{-\left[\frac{(x-B)}{A}\right]^\alpha}$$

e la legge di Gumbel (1988):

$$P(X \leq x) = \exp[-\exp[-(x-b)/a]]$$

dove  $X$  è la variabile aleatoria,  $x$  il valore di non superamento e  $\alpha$ ,  $A$ ,  $B$ ,  $a$ ,  $b$  sono i parametri delle distribuzioni. La stima dei parametri delle distribuzioni è stata eseguita sui valori dell'altezza d'onda significativa riportati nella Tabella 4.4-1.

Tenendo conto che la probabilità cumulata di non superamento è legata al tempo di ritorno dell'evento dalla relazione:

$$Tr(X \leq x) = \frac{I}{(1 - P(X \leq x))}$$

Per il settore di traversia geografica del litorale in esame compreso tra  $270^\circ \div 70^\circ$  N, le altezze d'onda significative, associate al tempo di ritorno ( $Tr$ ) di 10, 50 e 100 anni, assumendo i valori più alti ottenuti con le diverse distribuzioni, sono rispettivamente di 7.1 m, 8.5 m e 9.2 m.

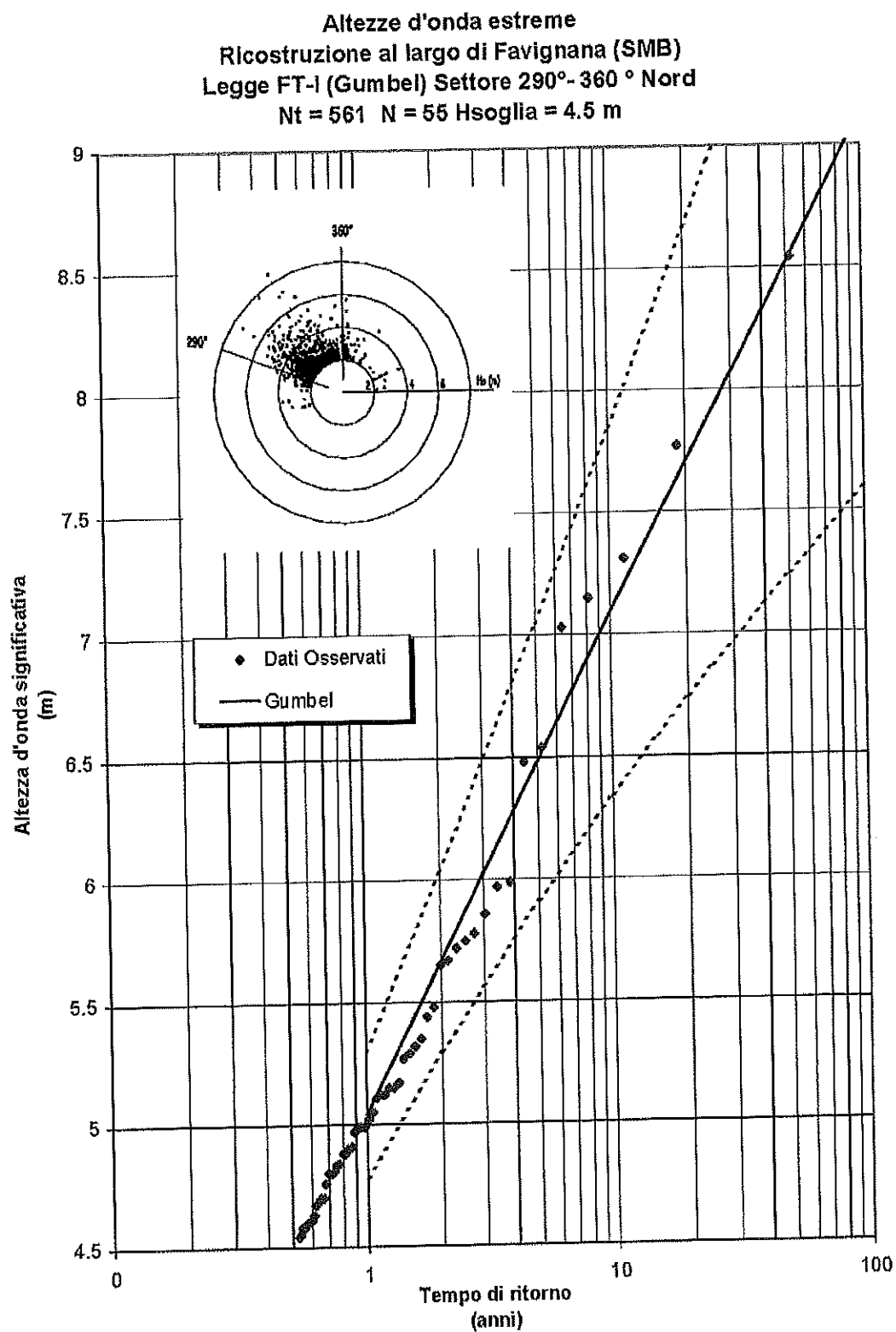
Per la definizione del periodo associato all'altezza d'onda di progetto è uso corrente determinarlo per mezzo di formule del tipo  $T = c H^{1/m}$  (vedi le espressioni Bretschneider, Grancini ed altri); nel nostro caso si è utilizzato  $T_m = 4.15 \sqrt{H_s}$ .

Assumendo la persistenza trioraria dello stato di mare estremo si può valutare un numero di onde  $N = 3 \times 3600 / T_m = 1100 \div 1500$  e quindi una probabile  $H_{max} = H_s \cdot \sqrt{\frac{\ln N}{2}} \approx 1.9 \times H_s$ , da cui si ha che per un tempo di ritorno di 10, 50 e 100 anni il valore dell' $H_{max}$  in acqua profonda potrà raggiungere valori pari a 13.5 m, 16.15 m e 17.3 m.

Detti valori sono riferiti al largo del porto di Favignana; in prossimità del litorale su fondali progressivamente decrescenti il moto ondoso che si propaga verso riva si “modifica” e pertanto le altezze d'onda significativa in prossimità del porto si possono ottenere moltiplicando detti valori per il corrispondente coefficiente  $k$  (coefficiente di rifrazione  $\times$  coefficiente di shoaling) ricavando:

Tempo di ritorno (anni)	$H_s$ al largo (m)	$H_s$ a riva (m)
10	7.1	4.6
50	8.5	5.5
100	9.2	6.0

Fig. 4.6





**COMUNE DI FAVIGNANA**  
Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B1 – Studio meteomarinò**

**Tabella 4.4-1**

**Analisi degli eventi estremi Ricostruiti al largo del porto di Favignana**  
Settore di traversia: 290° - 360 ° Nord

Numero anni: 29.02  
Numero delle mareggiate: 561  
Soglia di riferimento (POT) m >4.50

Media (m): 5.346  
Deviazione Standard (m): 0.865  
Numero di eventi sopra POT 55

Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)	Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)	Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)	Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)
8.54	51.93	5.48	1.87	4.99	0.95	4.69	0.64
7.77	18.64	5.44	1.76	4.99	0.92	4.67	0.62
7.31	11.36	5.35	1.66	4.97	0.89	4.63	0.61
7.15	8.17	5.32	1.57	4.91	0.87	4.61	0.60
7.03	6.38	5.29	1.49	4.90	0.84	4.60	0.59
6.54	5.23	5.27	1.41	4.88	0.82	4.60	0.58
6.48	4.43	5.17	1.35	4.88	0.80	4.58	0.56
5.99	3.85	5.15	1.29	4.84	0.77	4.58	0.55
5.97	3.40	5.15	1.23	4.83	0.75	4.55	0.54
5.86	3.04	5.12	1.18	4.81	0.74	4.54	0.53
5.78	2.75	5.12	1.14	4.80	0.72		
5.75	2.52	5.11	1.10	4.80	0.70		
5.72	2.32	5.05	1.06	4.76	0.68		
5.67	2.14	5.02	1.02	4.70	0.67		
5.65	2.00	4.99	0.98	4.70	0.65		

Tr	GUMBEL		WEI(.75)	
Anni	Hs(m)	c.i.(m)	Hs(m)	c.i.(m)
5	6.5	0.3	6.4	0.2
10	7.1	0.5	7.0	0.3
25	7.9	0.6	7.7	0.5
50	8.5	0.8	8.3	0.6
100	9.1	0.9	8.9	0.8
A	0.88		0.414	
B	2.457		3.263	
r	0.993		0.994	

Tr	WEI(1.0)		WEI(1.4)		WEI(2.0)	
anni	Hs(m)	c.i.(m)	Hs(m)	c.i.(m)	Hs(m)	c.i.(m)
5	6.5	0.3	6.6	0.3	6.7	0.3
10	7.1	0.4	7.2	0.4	7.3	0.4
25	7.9	0.6	8.0	0.6	8.0	0.5
50	8.5	0.8	8.6	0.7	8.6	0.6
100	9.2	0.9	9.2	0.9	9.1	0.7
A	0.887		1.839		3.5	
B	2.408		1.056		-0.96	
r	0.993		0.99		0.985	

## 5 APPENDICE

### 5.1 Descrizione del modello di ricostruzione di moto ondoso (hindcasting) ALTAIR

Il modello Altair ricostruisce gli stati di moto ondoso conseguenti all'azione diretta del vento sulla superficie marina.

Per il calcolo degli stati di mare generati dall'azione diretta del vento sulla superficie marina si fa riferimento alle relazioni, derivate dalla teoria di ricostruzione indiretta del moto ondoso nota come metodo S.M.B. (Sverdrup, Munk e Bretshneider, 1947) e successivi aggiornamenti (Saville 1954, Seymour 1977, S.P.M. 1984, Smith 1991). E' necessario definire preliminarmente l'estensione e la conformazione dell'area di generazione nonché la profondità dei fondali di detta porzione di mare. Per quanto riguarda l'estensione e la conformazione si deve fare riferimento alla seguente classificazione:

- Restricted Fetches per traversie geografiche delimitate dalla presenza della costa o comunque contraddistinte da distanze inferiori a quelle proprie dell'estensione delle perturbazioni atmosferiche (2) responsabili del processo di generazione del moto ondoso;
- Open-Water Fetches per traversie geografiche non limitate da emergenze orografiche e comunque con estensioni superiori a quelle delle perturbazioni atmosferiche.

Per quanto riguarda la profondità dei fondali si deve fare la seguente distinzione:

- Shallow-Water per generazione del moto ondoso in acque basse ove cioè i fenomeni dissipativi per attrito e/o percolazione sul fondale non sono trascurabili (Bretchneider e Reid, 1954);
- Deep-Water per generazione del moto ondoso in aree contraddistinte da profondità superiori a 90 m (300 ft, SPM 1984).

Le equazioni impiegate, nella forma più generale, sono le seguenti:

---

<sup>2</sup> Per il Mediterraneo si è soliti considerare comunque un limite superiore dell'estensione delle perturbazioni atmosferiche pari a 500 km

$$t_{fetch,min} = D \cdot \frac{F^{1-C}}{g^C \cdot U_a^{(1-2C)}} \quad (1)$$

$$H_{m0} = \frac{U_a^2}{g} \cdot 0.283 \cdot \tanh \left[ 0.530 \left( \frac{gd}{U_a^2} \right)^{0.75} \right] \cdot \tanh \left\{ \frac{\frac{A}{0.283} \left( \frac{gF}{U_a^2} \right)^{1/2}}{\tanh \left[ 0.530 \left( \frac{gd}{U_a^2} \right)^{0.75} \right]} \right\} \quad (2)$$

$$T_p = \frac{U_a}{g} \cdot 7.540 \cdot \tanh \left[ 0.833 \left( \frac{gd}{U_a^2} \right)^{0.375} \right] \cdot \tanh \left\{ \frac{\frac{B}{7.54} \left( \frac{gF}{U_a^2} \right)^C}{\tanh \left[ 0.833 \left( \frac{gd}{U_a^2} \right)^{0.375} \right]} \right\} \quad (3)$$

ove:

- $d$  profondità (m) del fondale (assunto costante) relativo all'area di generazione;
- $U_a$  velocità (m/s) del vento "regolarizzata" (adjusted) in funzione delle caratteristiche della stazione di registrazione (quota e posizione geografica) e di 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 marina lungo la quale si esplica l'azione del vento (fetch);
- $g$  accelerazione di gravità pari a  $9.81 \text{ m/s}^2$ ;
- $A$  costante pari a 0.0016 in condizioni di Open-Water e 0.0015 per Restricted Fetch
- $B$  costante pari a 0.2857 in condizioni di Open-Water e 0.3704 per Restricted Fetch
- $C$  costante pari a 0.3333 in condizioni di Open-Water e 0.28 per Restricted Fetch
- $D$  costante pari a 68.80 in condizioni di Open-Water e 51.09 per Restricted Fetch

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

$$U_a = 0.71 \cdot U_{10}^{1.23} \quad (4)$$

ove  $U_{10}$  esprime la velocità del vento relativa alla quota standard di misura pari a 10 m s.l.m.m.

Il valore della velocità del vento misurato dallo strumento posto alla generica quota  $z$   $U_z$  deve essere quindi preliminarmente riferito alla quota standard di riferimento pari a 10 m s.l.m.m.; a tal riguardo si definisce un coefficiente correttivo tramite la relazione:

$$\frac{U_{10}}{U_z} = \frac{1}{\left[ 1 + 0.1 \ln \left( \frac{z}{10} \right) \right]} \quad (5)$$

Il termine  $F$  rappresenta il fetch efficace che viene calcolato preliminarmente, in funzione della conformazione geografica dell'area di generazione, tramite relazioni come quelle classiche di Saville o Seymour.

Nota una sequenza temporale di stati di vento, il programma è in grado di calcolare gli stati di mare generati operando una prima selezione, nella sequenza di registrazioni anemometriche, in gruppi di misure appartenenti allo stesso evento. Questa selezione viene effettuata considerando la direzione di provenienza del vento e controllando quando questa si discosta dalla direzione media relativa al periodo temporale per uno scarto superiore a  $\pm 45^\circ$  in esame. Nell'ambito di ciascun gruppo di sequenze reali di stati di vento, il programma calcola i valori di altezza significativa ( $H_m$ ) periodo di picco ( $T_p$ ) e direzione media di provenienza ( $\theta_m$ ) del moto ondoso, tenendo conto dell'energia comunque trasferita dagli stati di vento precedenti. Nell'ambito della selezione dei "gruppi di stati di vento" il programma fa riferimento ai seguenti criteri per considerare chiuso un "gruppo":

- a) due valori consecutivi di direzione del vento sono contraddistinti da estensione nulla del fetch efficace (vento proveniente da un'area esterna a quella di generazione, ad es. vento da terra);
- b) due valori consecutivi di velocità del vento sono inferiori alla soglia delle calme (1 nodo);
- c) si verificano in successione una condizione tipo a) ed una tipo b) o viceversa;



- d) si presentano due valori consecutivi di vento interno alla traversia efficace ma tra loro sfasate di oltre 45° rispetto al valore medio ponderale di tutte le direzioni registrate in precedenza ed appartenenti allo stesso “gruppo”.

Per simulare l'effetto di smorzamento del moto ondoso al fine di tenere conto dell'effettiva dissipazione energetica in atto nelle fasi calanti delle velocità del vento si è fatto riferimento all'espressione proposta da Lacombe (1965) calcolando l'altezza d'onda  $H_{sm}$  “di smorzamento”, esplicitata in funzione dell'altezza  $H_i$  e del periodo  $T_i$  relativi al precedente intervallo di calcolo, e nell'ipotesi che nell'intervallo di tempo  $i+1$  la velocità del vento sia nulla:

$$H_{sm} = \sqrt{H_i^2 - \frac{H_i^4}{T_i^4} - 122.866} \quad (7)$$

In definitiva quando, per l'intervallo di tempo  $(i+1)$ -esimo, lo stato di vento è tale da non determinare un incremento dell'agitazione ondosa (perché il vento ha una velocità inferiore a quella relativa al precedente intervallo di calcolo), viene automaticamente calcolata anche l'altezza smorzata in funzione del moto ondoso noto per l'intervallo  $i$ -esimo; nella fase successiva del calcolo, se l'altezza d'onda  $H_{i+1}$  ricavata con la relazione (2) è inferiore a quella di smorzamento  $H_{sm}$  definita dalla (7), si assume questo valore come rappresentativo dell'intervallo  $(i+1)$ -esimo (infatti è improbabile che una riduzione di velocità del vento faccia calare l'altezza d'onda in misura superiore a quella che si registrerebbe nell'ipotesi di totale assenza di vento). Nel caso in cui l'altezza  $H_{i+1}$  risulti maggiore di  $H_{sm}$  si assume come valore dell'altezza d'onda la media aritmetica tra  $H_{i+1}$  e  $H_i$  (si tiene così conto del “ritardato” adeguamento del mare alle nuove ridotte condizioni di vento).

## 5.2 Descrizione del modello di rifrazione ondosa inversa-spettrale MEROPE

Propagandosi verso "riva" su fondali via via decrescenti, le onde subiscono una serie di trasformazioni geometriche e perdite di energia che alla fine conducono al loro frangimento (ciò avviene quando l'onda, deformata, diviene molto alta rispetto alla sua lunghezza e perciò "instabile" o comunque intercetta fondali bassi «incompatibili» con la sua altezza).

Prescindendo, perchè comunque trascurabili, dalle perdite di energia che (fuori dalla zona dei frangenti) sono dovute all'attrito del fondo e, per fondi permeabili, alla percolazione; nonché dagli effetti indotti dalle correnti, dal vento e dalle riflessioni del fondo, le modifiche delle caratteristiche ondose durante la propagazione verso riva sono indotte essenzialmente dai fenomeni di rifrazione e di shoaling.

Il primo fenomeno (rifrazione) consiste in una trasformazione tridimensionale dovuta a variazioni di fondale lungo i fronti d'onda che comportano variazioni planimetriche di questi e, conseguentemente, a variazioni delle altezze d'onda per effetto della conservazione del flusso di energia fra "ortogonali" vicine.

Il secondo fenomeno (shoaling) è una trasformazione bidimensionale delle onde dovuta al solo effetto del fondale nella direzione di propagazione. L'effetto "fondale" modifica la celerità di gruppo e di conseguenza provoca dapprima una riduzione e poi un sostanziale aumento di altezza delle onde allorché queste avanzano su profondità di fondali decrescenti.

La simulazione di detti fenomeni può essere eseguita in modo efficace con il metodo della "rifrazione inversa spettrale". Tale metodo fornisce risultati quantitativi esattamente nel punto di interesse, al contrario del metodo classico della rifrazione diretta. Il relativo modello matematico è stato sviluppato seguendo le indicazioni di Abernety e Gilbert (1978).

La differenza più appariscente rispetto al metodo tradizionale dei piani d'onda (rifrazione diretta) è rappresentata dalla costruzione dei raggi con un verso contrario a quello della propagazione delle onde. Tale impostazione fu introdotta da Dorrestein nel 1960: si costruisce un ventaglio di raggi relativi ad un dato periodo d'onda, che hanno tutti origine nel luogo della costa (o in prossimità) dove si desidera conoscere i risultati, partendo ognuno con una diversa direzione  $\phi$ . Si ricava quindi la direzione  $\Theta$  che i raggi possiedono quando raggiungono la regione di acque

profonde. Riportate in diagramma le molteplici coppie di valori  $\Theta-\phi$  trovate, si ricava per ogni  $\Theta$  il

gradiente  $\frac{\delta\phi}{\delta\Theta}$  da introdurre nella formula che conduce poi alle altezze sotto costa:

$$K_r = \sqrt{\frac{C_0}{C} \cdot \frac{\delta\phi}{\delta\Theta}}$$

Rispetto al metodo convenzionale, si ha il vantaggio che i risultati sono ottenuti direttamente per il luogo che interessa, sulla costa, senza il problema di dover interpolare tra raggi calcolati da una parte o dall'altra del punto. Inoltre, un unico diagramma di rifrazione (per ciascun periodo) rappresenta i raggi relativi a tutte le direzioni di provenienza del moto ondoso al largo.

Dal punto di vista pratico, la costruzione inversa dei raggi non presenta problemi e si applica la stessa equazione della traiettoria del raggio del metodo convenzionale, con lievi modifiche di segni. Con la tecnica della proiezione inversa, non sarebbe necessario neppure conoscere il percorso dei singoli raggi poiché basta avere il diagramma di rifrazione  $\phi-\Theta$  definito con incrementi di frequenza e  $\Theta$  sufficientemente piccoli per riassumere tutti gli effetti della topografia sull'altezza e direzione delle onde nella loro propagazione verso un punto della costa. Si nota in genere che le curve  $\phi-\Theta$ , dolci per valori alti delle frequenze, presentano discontinuità notevoli per le frequenze minori con conseguenti singolarità nel valore di  $K_r$ .

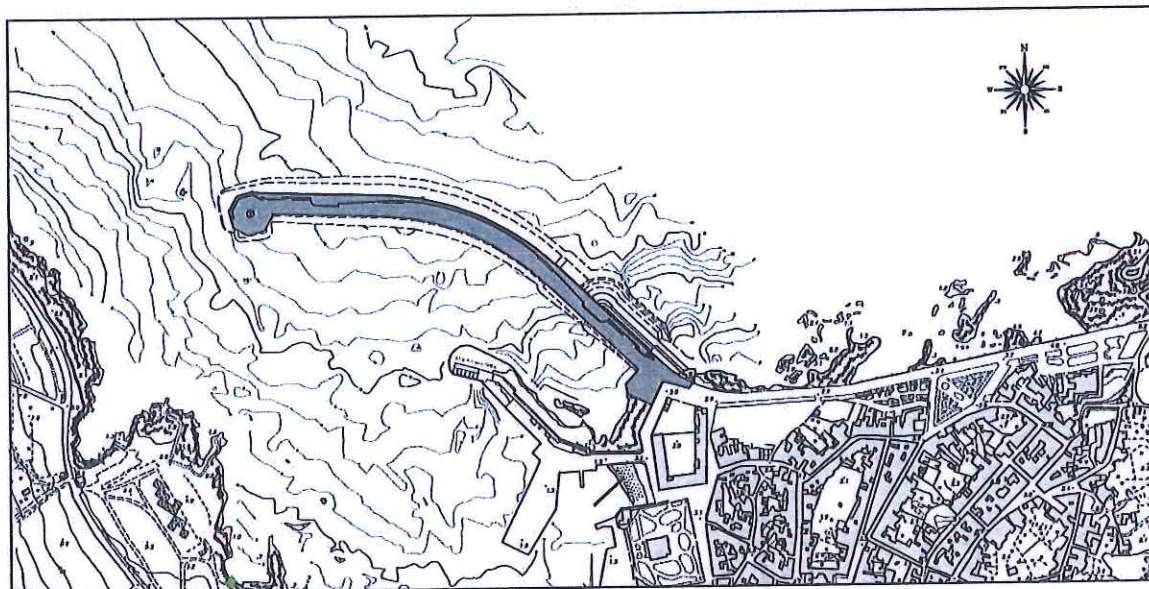
Ciò significa che questa tecnica (così come quella convenzionale) ha il difetto che la funzione altezza d'onda diventa indeterminata proprio in un campo di frequenze e direzioni di interesse non trascurabile. In pratica questo comporta che nel percorso dei raggi compaiono singolarità (caustiche) non giustificabili fisicamente, come per i piani d'onda tradizionali. Il fatto che usando spaziature sufficientemente grandi dei raggi questi difetti non siano evidenziati, non esclude l'insufficienza del metodo.

E' stato mostrato che a queste difficoltà si può ovviare abbandonando l'ipotesi che al largo il fronte d'onda si presenti con direzione d'onda e frequenza ben precise ed uniformi (onde monocromatiche), e considerando funzioni spettrali sia per la direzione che per la frequenza. Va mantenuta invece l'ipotesi di uniformità di fase.

L'importanza fondamentale dell'introduzione dello spettro d'energia bidimensionale associata a quello di proiezione inversa dei raggi, è che, a differenza del metodo tradizionale e di quello di Dorrestein, dà luogo a risultati univoci ed ovunque finiti, eliminando le singolarità già evidenziate.

# COMUNE DI FAVIGNANA

## PROVINCIA DI TRAPANI



### LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI FAVIGNANA

## PROGETTO DEFINITIVO

Titolo elaborato : STUDIO DELL'AGITAZIONE INTERNA PORTUALE

Progettisti:

Ing. Pietro Vella

RUP

Geom. Vincenzo Bilardello

N° elaborato:

# B2

Consulente:

Prof. Ing. Alberto Noli

Ing. Rocco Ricevuto

Scala:

0 LUG 2017

Giugno 2016	1	REVISIONE
Giugno 2012	0	EMISSIONE
Data	Rev.	DESCRIZIONE



## **COMUNE DI FAVIGNANA**

Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana

### **B2 - Studio dell'agitazione interna portuale**

#### **INDICE**

<b>1</b>	<b>PREMESSE, METODOLOGIA E RISULTATI .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>PENETRAZIONE DEL MOTO ONDOSO .....</b>	<b>3</b>
2.1	<i>Applicazione del sistema di modellazione SMS .....</i>	<i>3</i>
2.2	<i>Discretizzazione dello specchio liquido .....</i>	<i>4</i>
2.3	<i>Definizione delle condizioni al contorno .....</i>	<i>6</i>
2.4	<i>Risultati delle simulazioni .....</i>	<i>7</i>
<b>3</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>23</b>
<b>4</b>	<b>APPENDICE: DESCRIZIONE DEL MODELLO MATEMATICO CGWAVE ...</b>	<b>25</b>
4.1	<i>Introduzione .....</i>	<i>25</i>
4.2	<i>Equazioni di base .....</i>	<i>25</i>
4.3	<i>Condizioni al contorno .....</i>	<i>26</i>

## **1    PREMESSE, METODOLOGIA E RISULTATI**

Il presente rapporto riguarda lo studio della penetrazione del moto ondoso all'interno del porto di Favignana secondo le configurazioni planimetriche attuale e di progetto delle nuove opere per la messa in sicurezza.

Lo studio è stato condotto (ai sensi del D.M. 14/4/1998) applicando il modello matematico agli elementi finiti denominato SMS (Surfacewater Modeling System), che risolve le equazioni non lineari per le acque basse (non linear shallow water equations).

Tale modello consente di simulare la propagazione del moto ondoso all'interno di un bacino portuale tenendo conto dei fenomeni combinati di diffrazione, rifrazione e riflessione, nonché degli effetti dissipativi dovuti al frangimento ed all'attrito sul fondo.

Le simulazioni sono state condotte utilizzando come forzanti le condizioni di moto ondoso più gravose ai fini dell'agitazione ondosa residua, compatibilmente con le condizioni meteomarine raggiungibili nel paraggio in esame.

Tale studio è stato condotto con l'obiettivo di fornire indicazioni oggettive sulla scelta ed ottimizzazione di alcune varianti proposte per l'attuale schema portuale in grado di garantire alle imbarcazioni che frequenteranno il porto adeguate condizioni di sicurezza durante lo stazionamento all'interno delle aree di ormeggio nonché durante le manovre d'ingresso e d'uscita dal porto.

I risultati delle diverse simulazioni effettuate mostrano come le nuove opere proposte per la messa in sicurezza dell'attuale bacino portuale siano in grado di attenuare in maniera soddisfacente il moto ondoso generato dagli stati di mare provenienti dall'intero settore di traversia, cui il porto in esame risulta esposto, anche con eventi estremi associati a tempi di ritorno decennali e cinquantennali.

## 2 PENETRAZIONE DEL MOTO ONDOSI

Per la determinazione dei livelli di agitazione ondosa residua che si verificano all'interno del porto di Favignana, nelle configurazioni attuale e in progetto per la messa in sicurezza del porto stesso, sono stati esaminati gli scenari che prevedono come forzanti di moto ondoso gli eventi rappresentativi sia delle condizioni di operatività ordinaria, raggiungibili qualche volta nel corso dell'anno ( $T = 6.0$  s), sia delle condizioni più rare e gravose associate a tempeste con tempo di ritorno decennale e cinquantennale ( $T = 8.0 + 10 + 12$  s).

A tal scopo sono state effettuate diverse simulazioni attraverso l'applicazione del codice di calcolo numerico SMS che hanno permesso di verificare la penetrazione del moto ondoso all'interno dei bacini portuali presi in esame.

Nei paragrafi successivi vengono ampiamente descritte le simulazioni condotte ponendo particolare attenzione alle ipotesi di base nonché alle condizioni al contorno cui si è fatto riferimento.

### 2.1 *Applicazione del sistema di modellazione SMS*

Il codice di calcolo impiegato nel presente studio appartiene al sistema di modellazione SMS e consente di simulare i fenomeni combinati di diffrazione, riflessione e rifrazione, tenendo conto degli effetti dissipativi dovuti al frangimento ed all'attrito sul fondo. Particolarmente i primi tre fenomeni sono di fondamentale importanza durante la propagazione del moto ondoso all'interno di un bacino portuale, mentre gli altri due assumono importanza in casi particolari, fra i quali ricade quello in esame a causa della variabilità dei fondali in alcune zone portuali.

Nella fase preliminare dello studio (procedura di pre-processor), è stato utilizzato il codice GFGEN per la costruzione del reticolo geometrico, agli elementi finiti, con cui sono stati discretizzati gli specchi liquidi da simulare. Successivamente, all'interno del modello di calcolo sono state definite le condizioni al contorno sia in termini di forzanti di moto ondoso (altezza, periodo e direzione dell'altezza d'onda incidente) sia come valori del coefficiente di riflessione da associare ai diversi contorni che caratterizzano i due schemi portuali presi in esame per il porto di Favignana.

## 2.2 Discretizzazione dello specchio liquido

Per la corretta applicazione della routine di calcolo CGWAVE agli elementi finiti, appartenente al modello SMS, è stato necessario effettuare un'attenta e dettagliata discretizzazione del sistema liquido per le due configurazioni portuali da simulare.

A tal proposito (Figura 2.1 e Figura 2.2), si è fatto riferimento allo stato attuale ed alla planimetria di progetto con le opere per la messa in sicurezza del porto.

Nel dettaglio, il campo fluido è stato suddiviso nel modo seguente:

1. configurazione attuale: griglia di calcolo costituita da 101761 elementi, 52281 nodi di calcolo, profondità minima e massima pari rispettivamente a 1 m e 30 m (Figura 2.3);
2. configurazione di progetto: griglia di calcolo costituita da 101005 elementi, 51892 nodi di calcolo, profondità minima e massima pari rispettivamente a 1 m e 30 m (Figura 2.4);

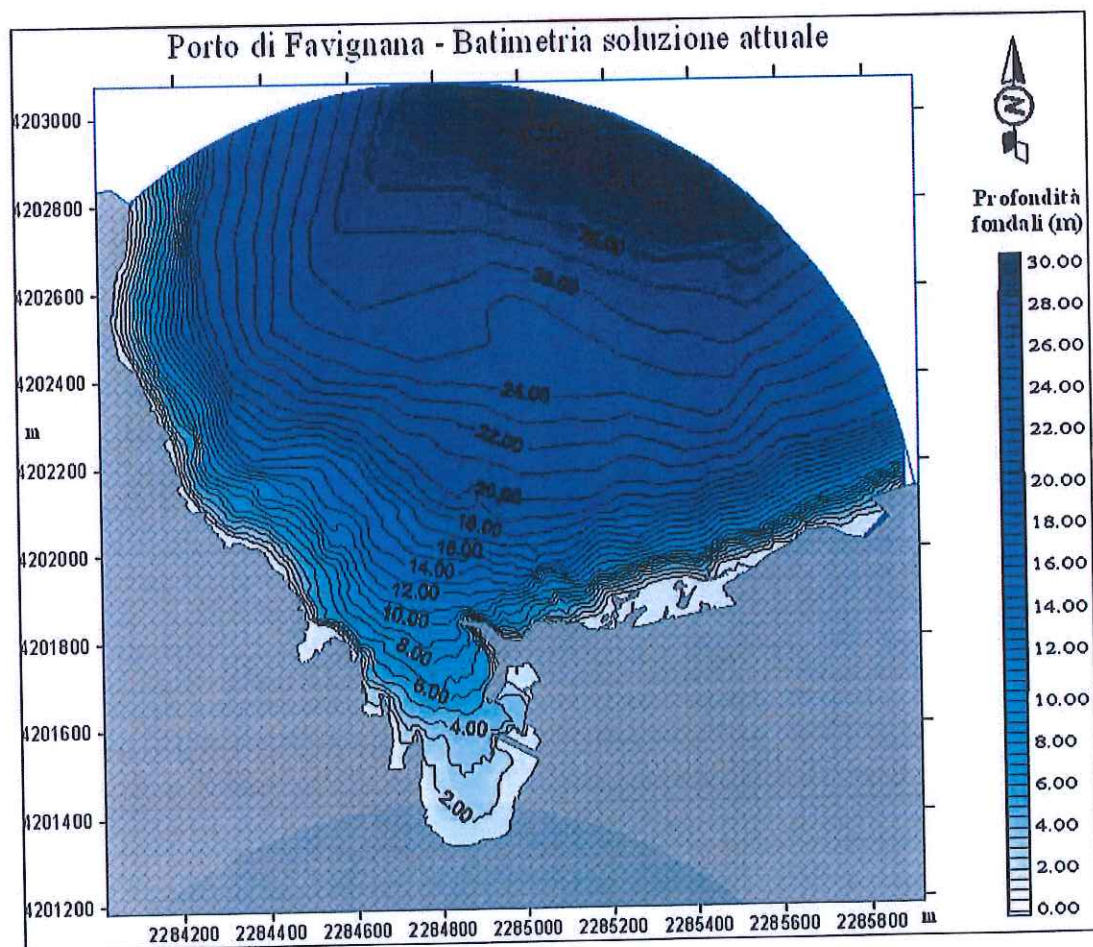
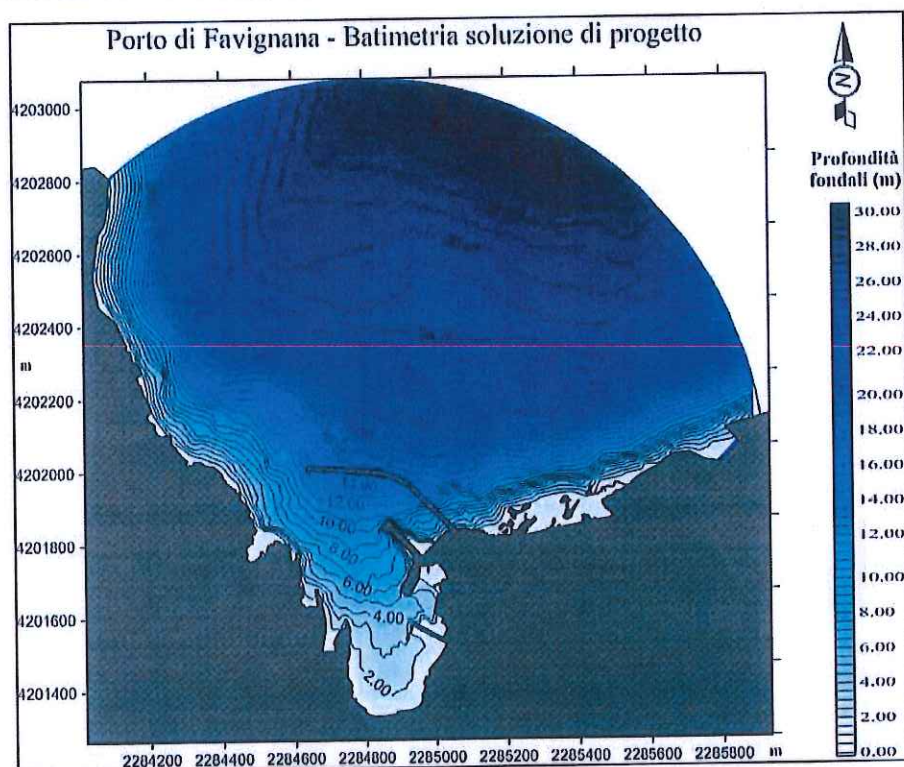


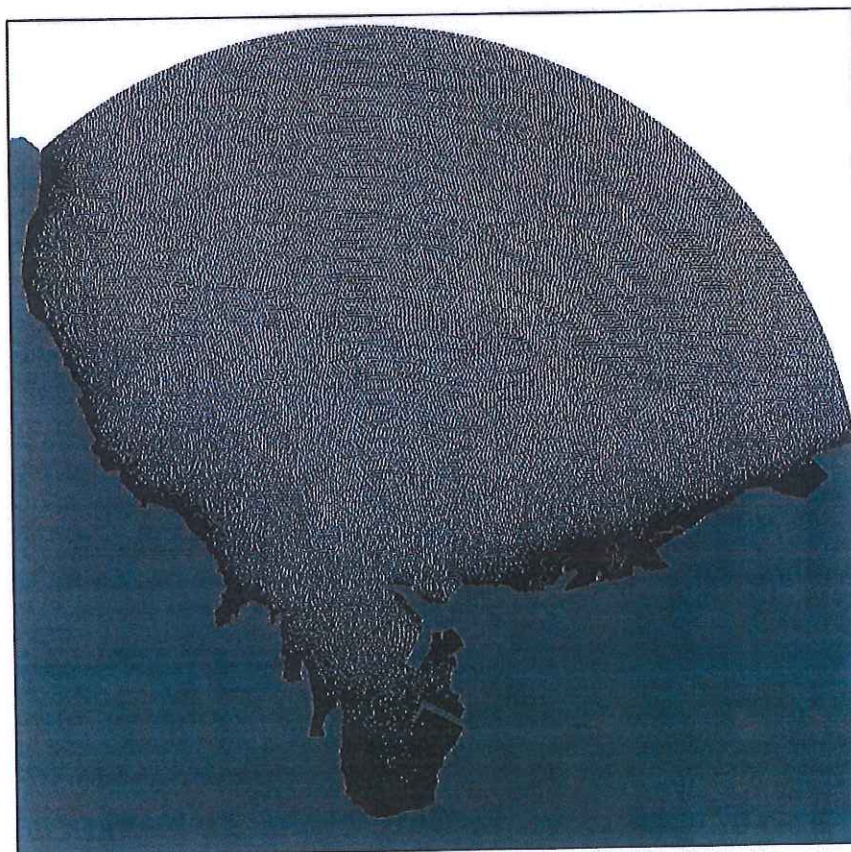
Figura 2.1 – Stato attuale: batimetria di riferimento.



**COMUNE DI FAVIGNANA**  
Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B2 - Studio dell'agitazione interna portuale**

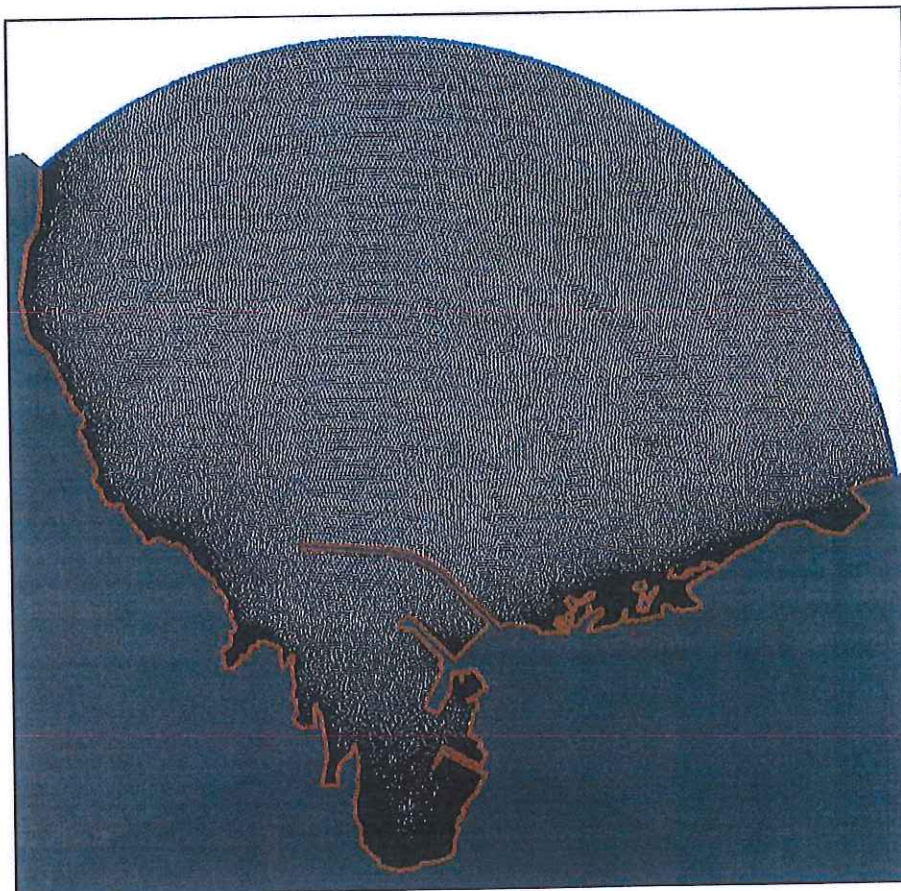


*Figura 2.2 – Configurazione di progetto: batimetria di riferimento*



*Figura 2.3 – Configurazione attuale: discretizzazione dello specchio liquido*





*Figura 2.4 – Configurazione di Progetto: discretizzazione dello specchio liquido.*

### **2.3 Definizione delle condizioni al contorno**

Per le due configurazioni prese in esame nel presente studio, al fine di poter determinare i livelli di agitazione ondosa residua all'interno dei bacini portuali che caratterizzano il porto di Favignana in seguito all'azione del moto ondoso incidente, è stato necessario definire ed impostare all'interno del modello matematico SMS le opportune condizioni al contorno. Nel dettaglio, così come riportato nella Figura 2.5, lungo i contorni che rappresentano la linea di costa, per i due diversi schemi portuali presi in esame sono stati imposti opportuni coefficienti di riflessione.

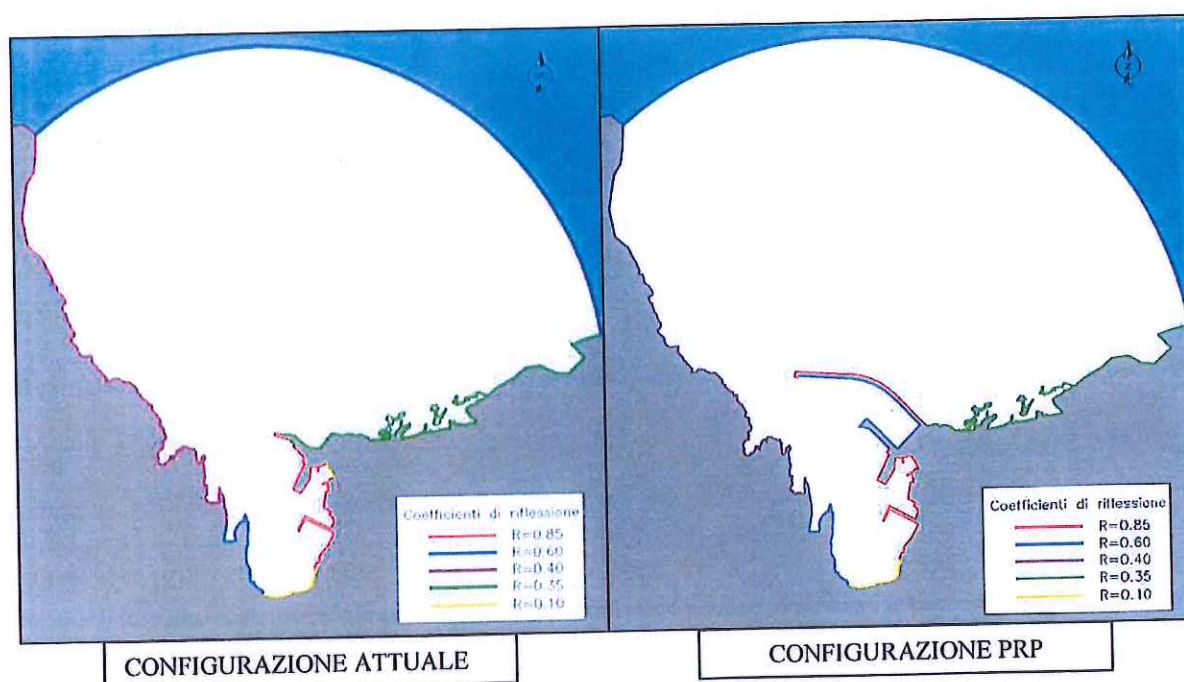
Inoltre, per entrambe le configurazioni, il dominio di calcolo è stato limitato da una linea semicircolare, sufficientemente distante dall'imboccatura portuale e che rappresenta le condizioni in mare aperto, lungo la quale sono state imposte le seguenti forzanti di moto ondoso.



**COMUNE DI FAVIGNANA**  
 Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
 B2 - Studio dell'agitazione interna portuale

Altezza d'onda	Periodo	Direzione
$H_i=1\text{m}$	$T=6\text{s}, 8\text{s}, 10\text{s}, 12\text{s}$	$350^\circ\text{N} - 360^\circ\text{N}$
$H_i=1\text{m}$	$T=6\text{s}, 8\text{s}$	$340^\circ\text{N} - 10^\circ\text{N} - 20^\circ\text{N}$

Inoltre, per tenere conto degli effetti dissipativi dovuti al frangimento del moto ondoso ed all'attrito sul fondo, all'interno del modello SMS si è assunto un valore del coefficiente di frangimento pari a 0.08 ed un coefficiente di attrito sul fondo pari a 0.12.



*Figura 2.5 – Indicazione dei coefficienti di riflessioni adottati per le simulazioni effettuate con il modello CGWAVE*

## 2.4 Risultati delle simulazioni

Completata la fase di discretizzazione del sistema liquido da simulare e di definizione delle condizioni al contorno è stato applicato il programma GFGEN per la predisposizione dei file di input (in codice binario) utilizzati successivamente dal codice di calcolo agli elementi finiti CGWAVE.

Con quest'ultimo programma infatti sono state condotte diverse simulazioni con lo scopo di determinare l'agitazione ondosa all'interno dei bacini protetti del porto di Favignana nelle due configurazioni in esame e successivamente di verificare per le stesse le

condizioni di sicurezza necessarie alle imbarcazioni in fase di stazionamento e durante le manovre in fase di ingresso ed uscita dal porto.

Dall'analisi delle figure (dalla Figura 2.6 alla Figura 2.33), è possibile verificare, per gli schemi portuali presi in esame, il campo d'onda all'interno del porto di Favignana conseguente a diversi stati di mare rappresentativi sia delle condizioni ordinarie che estreme. La scala di rappresentazione dei valori dell'altezza d'onda (m) mostra come le nuove opere in progetto per la messa in sicurezza del porto assicurano all'interno degli specchi acquei protetti condizioni pienamente accettabili per lo stazionamento in sicurezza delle imbarcazioni all'interno di tutte le zone di ormeggiare. Peraltro, il nuovo molo di sopraflutto garantisce su un'ampia zona avamportuale livelli di agitazione ondosa tali da consentire più agevoli e sicure manovre di ingresso e di uscita dal porto.



## CONFIGURAZIONE ATTUALE

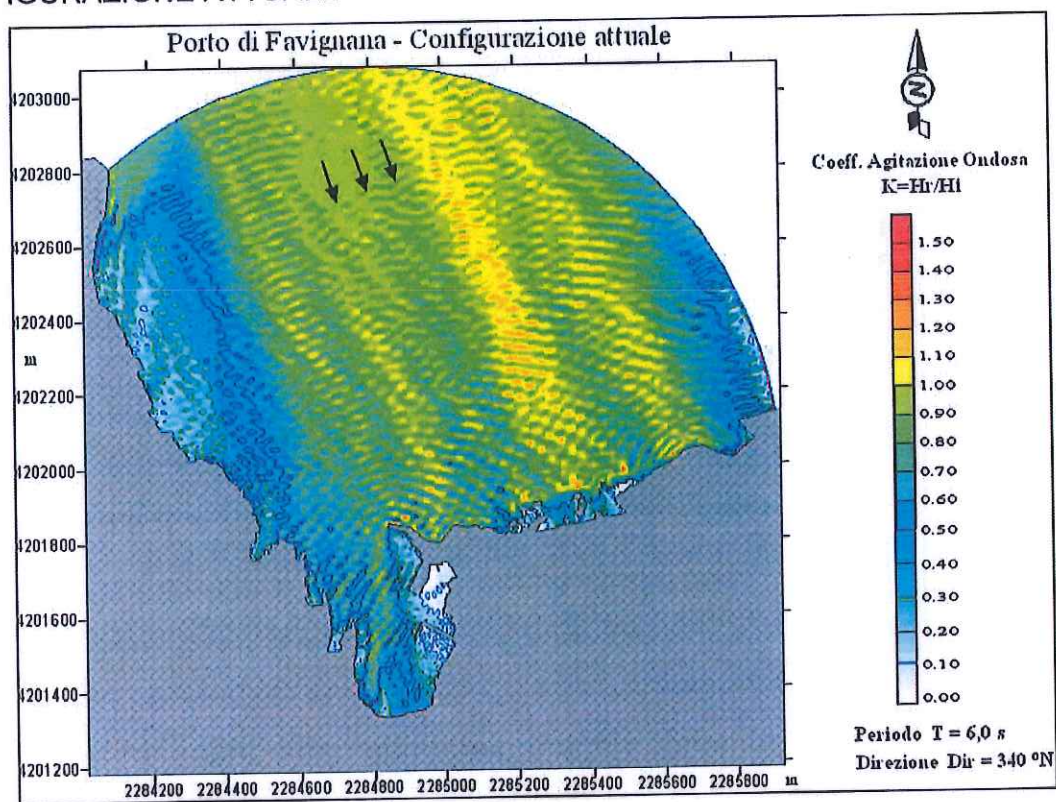


Figura 2.6 – Agitazione ondosa interna simulata con il modello CGWAVE ( $Dir=340^\circ \text{ N}; T=6\text{s}$ )

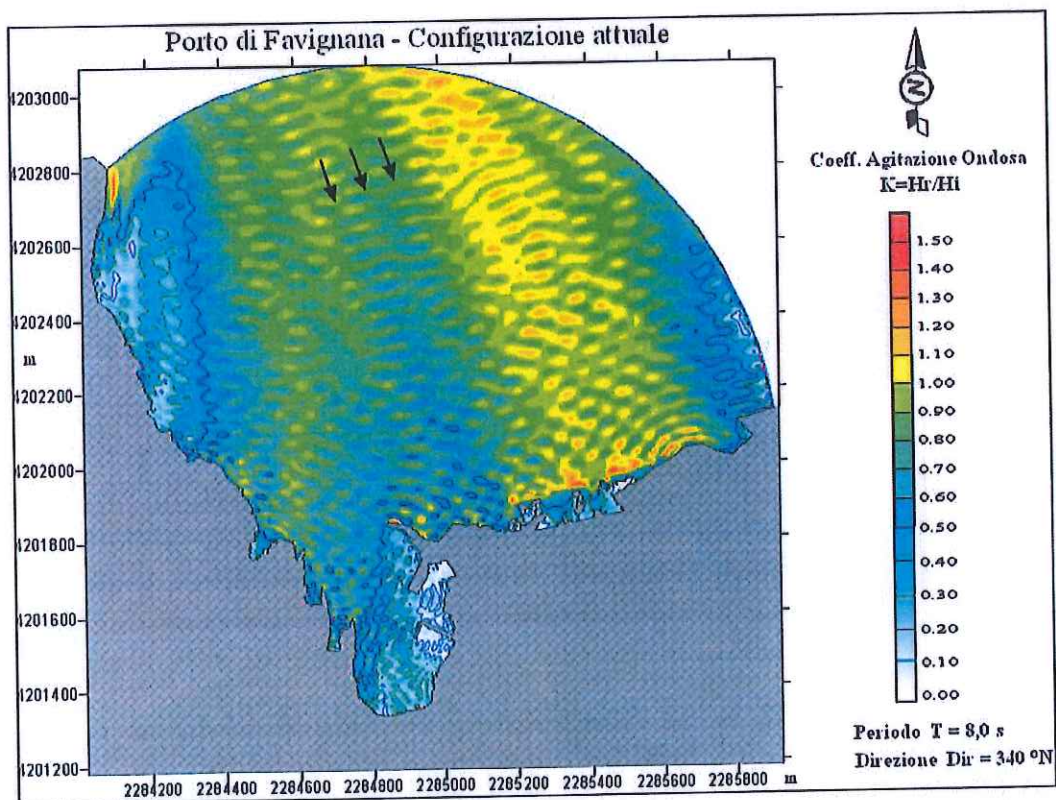
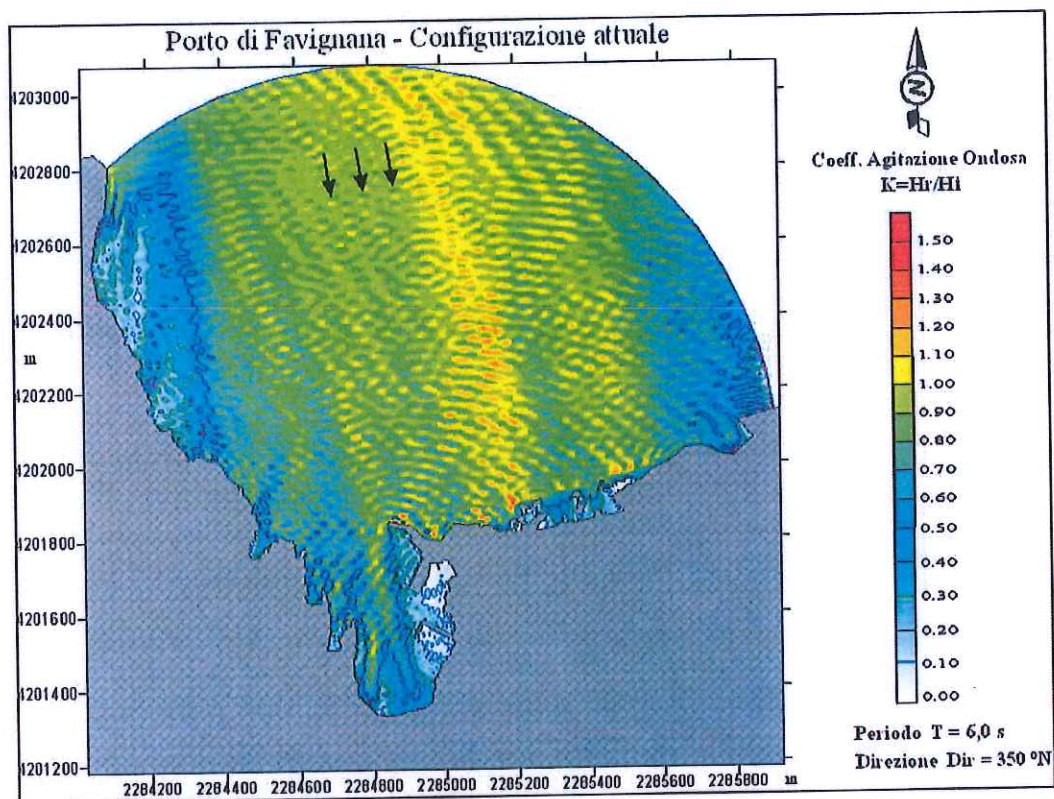


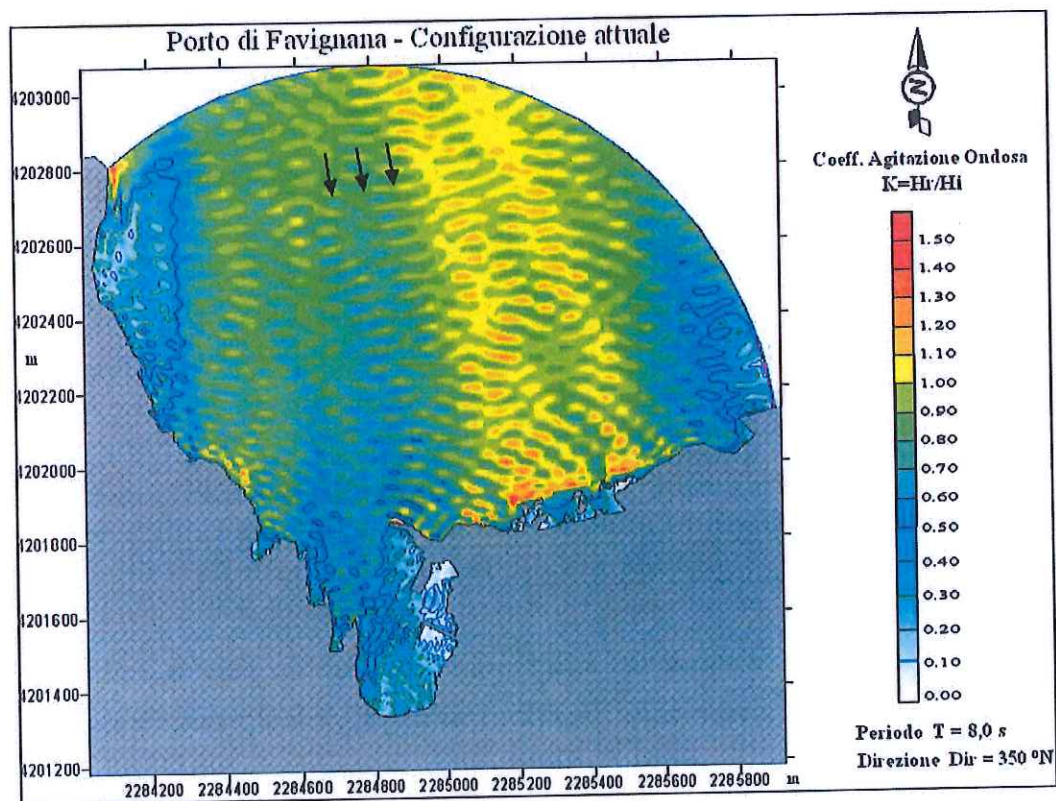
Figura 2.7 – Agitazione ondosa interna simulata con il modello CGWAVE ( $Dir=340^\circ \text{ N}; T=8\text{s}$ )



**COMUNE DI FAVIGNANA**  
 Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B2 - Studio dell'agitazione interna portuale**



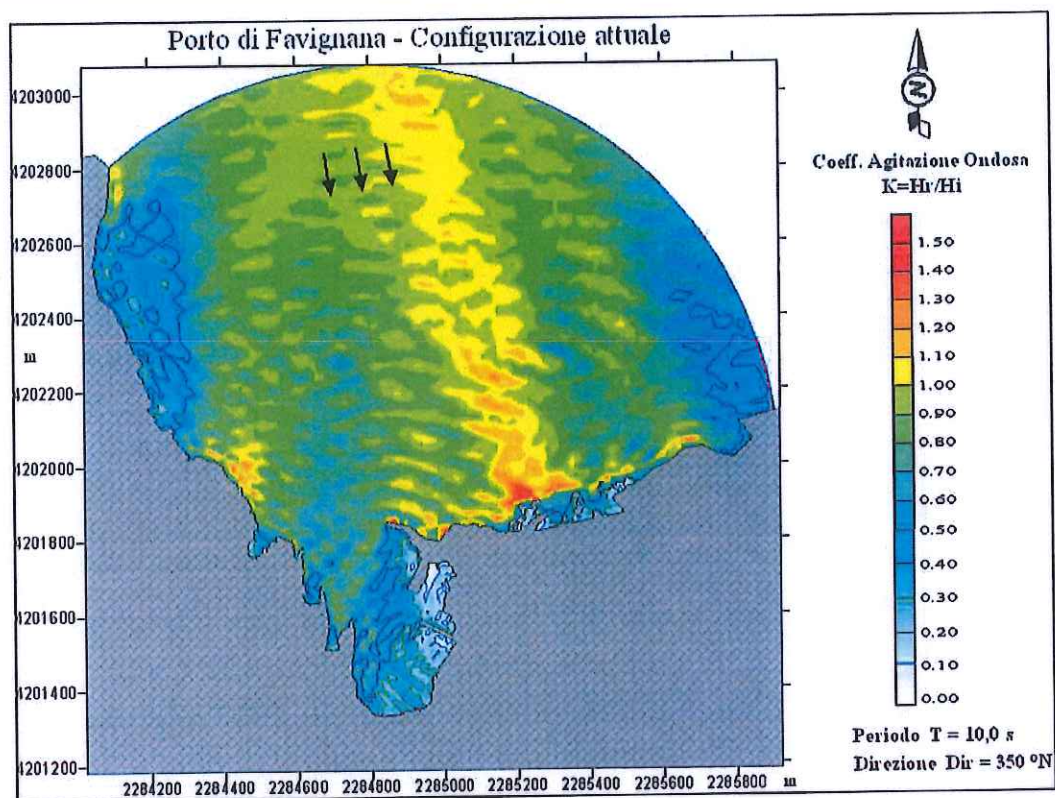
*Figura 2.8 – Agitazione ondosa interna simulata con il modello CGWAVE (Dir=350°N; T=6s)*



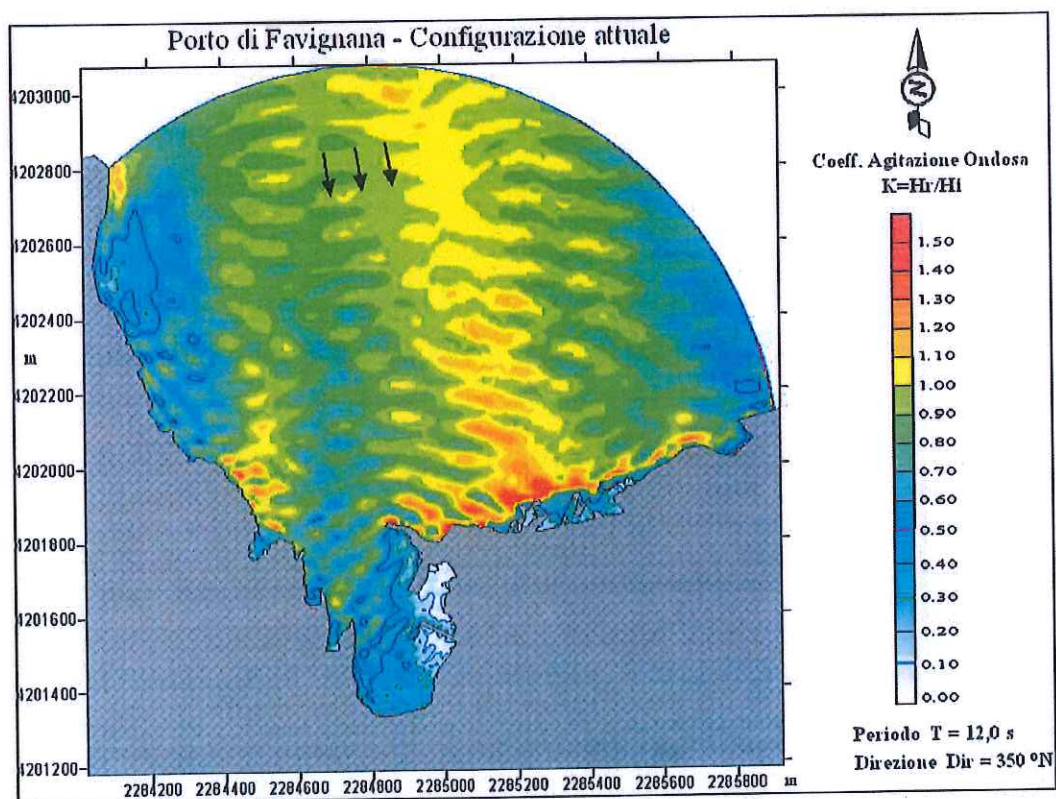
*Figura 2.9 – Agitazione ondosa interna simulata con il modello CGWAVE (Dir=350°N; T=8s)*



**COMUNE DI FAVIGNANA**  
**Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana**  
**B2 - Studio dell'agitazione interna portuale**



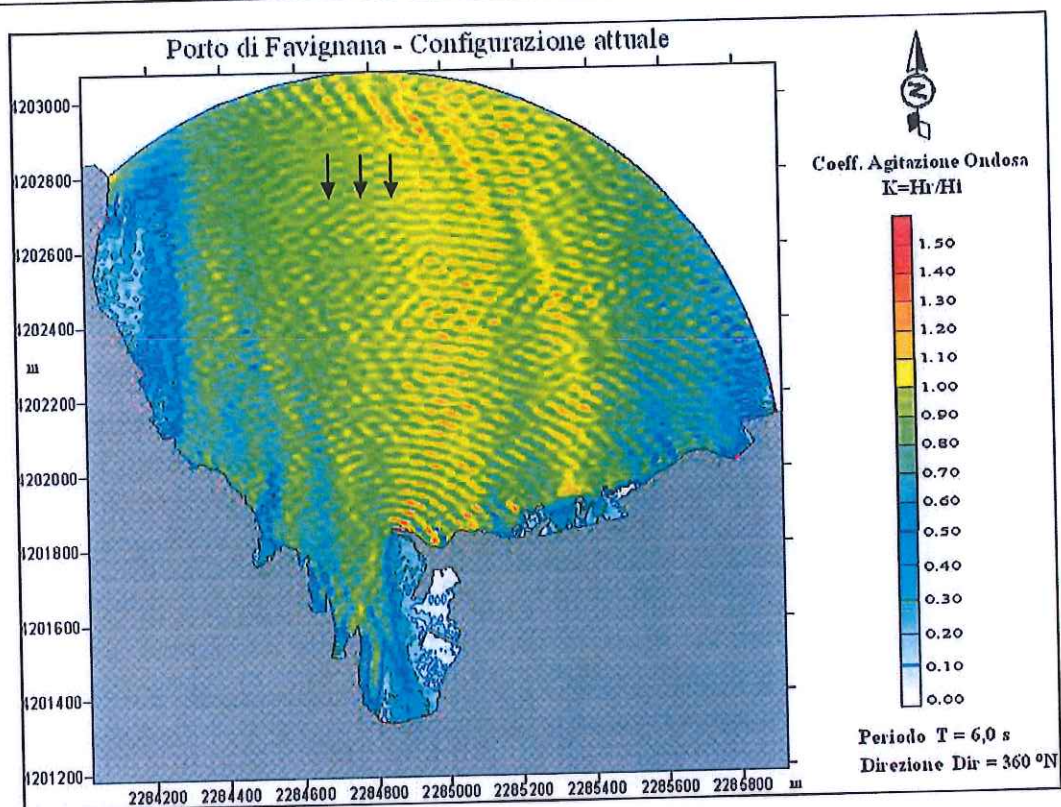
*Figura 2.10 – Agitazione ondosa interna simulata con il modello CGWAVE (Dir=350°N; T=10s)*



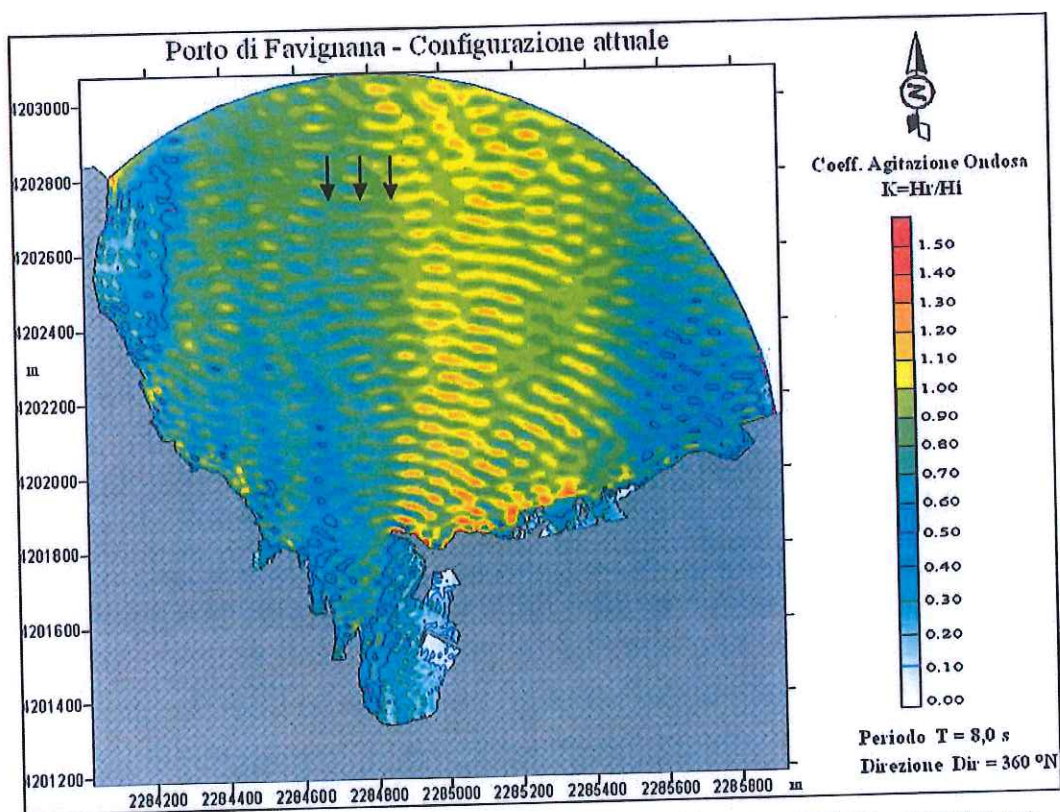
*Figura 2.11 – Agitazione ondosa interna simulata con il modello CGWAVE (Dir=350°N; T=12s)*



**COMUNE DI FAVIGNANA**  
 Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B2 - Studio dell'agitazione interna portuale**



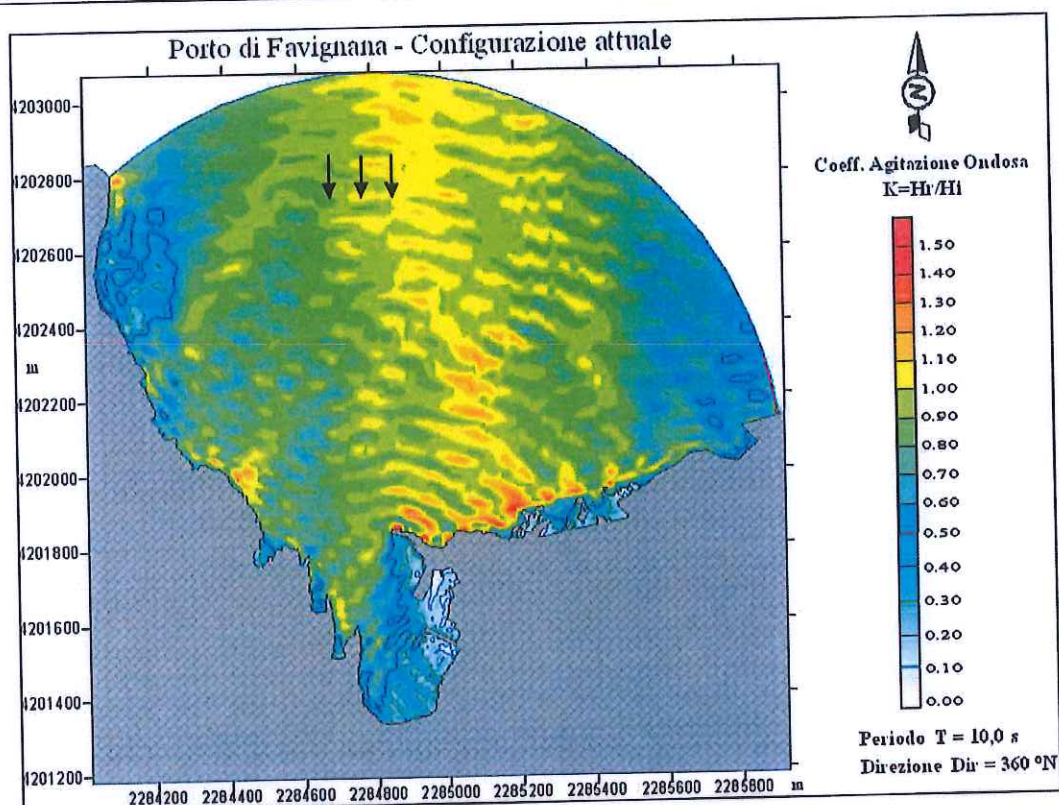
*Figura 2.12 – Agitazione ondosa interna simulata con il modello CGWAVE ( $\text{Dir}=360^\circ\text{N}; T=6\text{s}$ )*



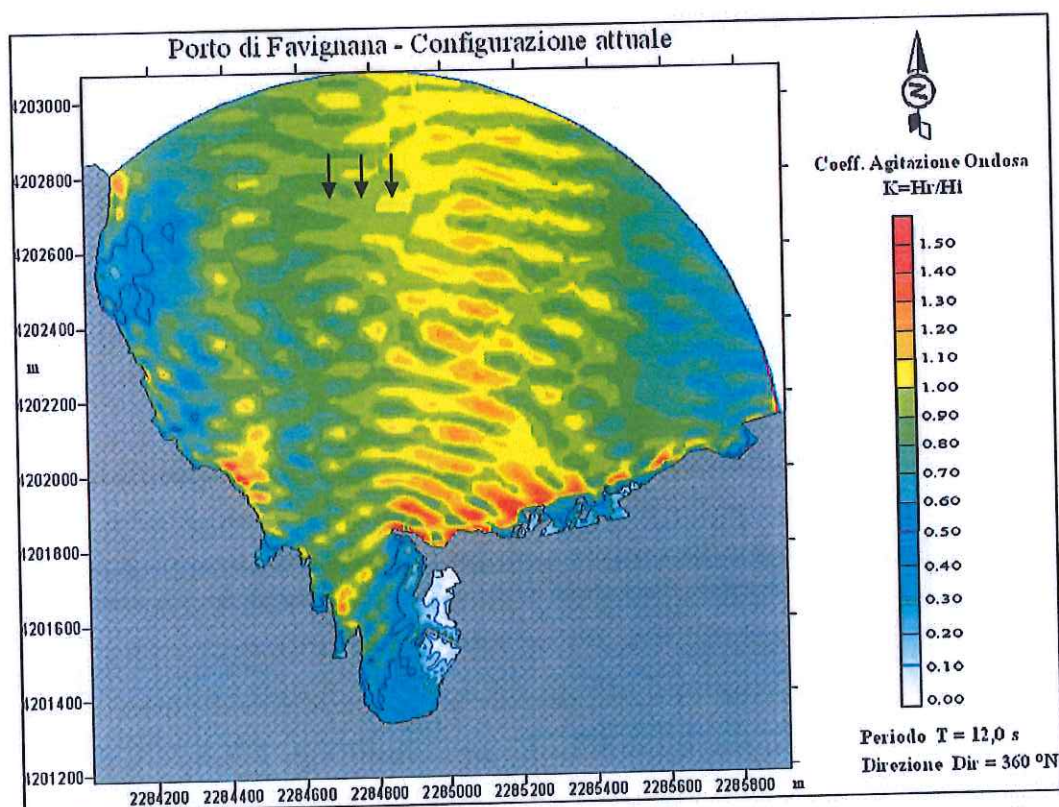
*Figura 2.13 – Agitazione ondosa interna simulata con il modello CGWAVE ( $\text{Dir}=360^\circ\text{N}; T=8\text{s}$ )*



**COMUNE DI FAVIGNANA**  
 Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B2 - Studio dell'agitazione interna portuale**



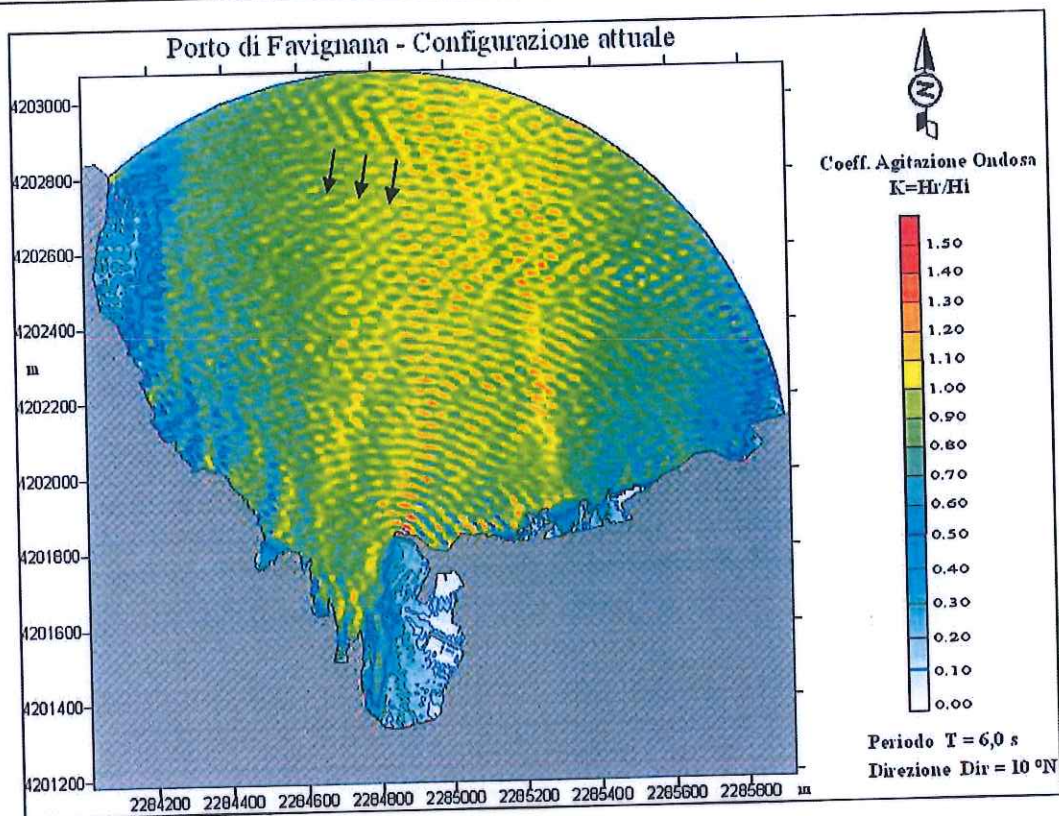
*Figura 2.14 – Agitazione ondosa interna simulata con il modello CGWAVE ( $Dir=360^\circ \text{ N}; T=10 \text{ s}$ )*



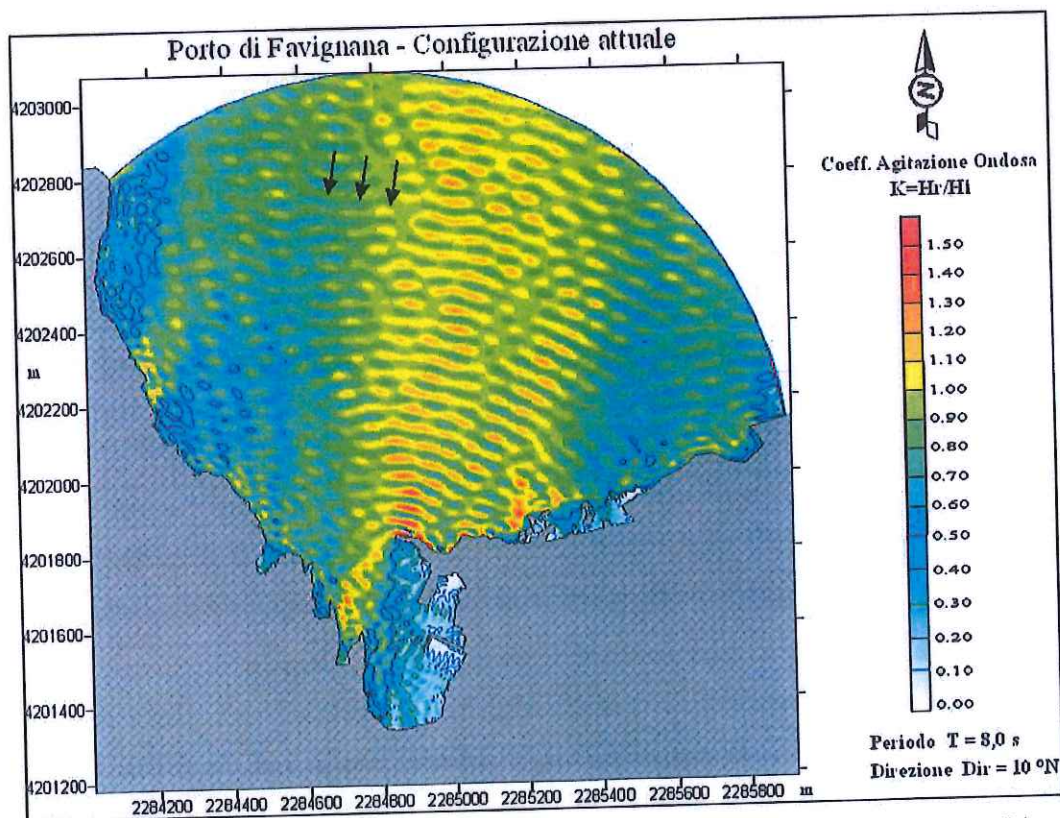
*Figura 2.15 – Agitazione ondosa interna simulata con il modello CGWAVE ( $Dir=360^\circ \text{ N}; T=12 \text{ s}$ )*



**COMUNE DI FAVIGNANA**  
 Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B2 - Studio dell'agitazione interna portuale**



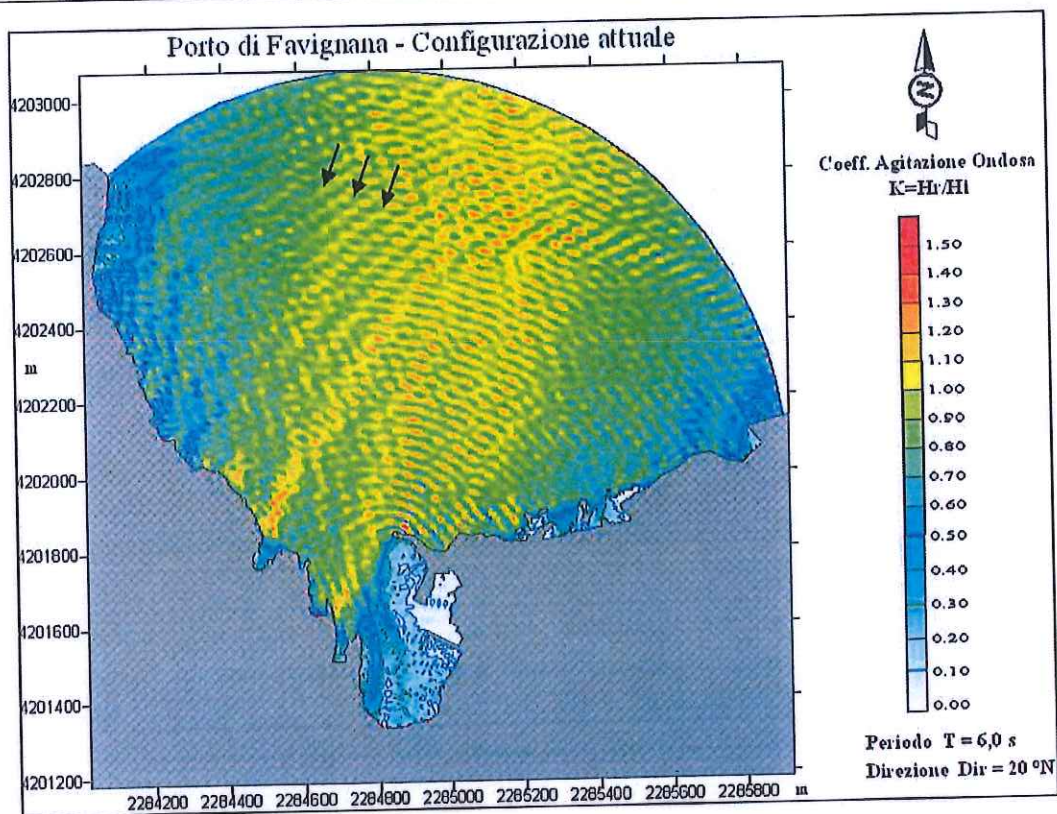
*Figura 2.16 – Agitazione ondosa interna simulata con il modello CGWAVE ( $Dir=10^\circ \text{ N}; T=6\text{s}$ )*



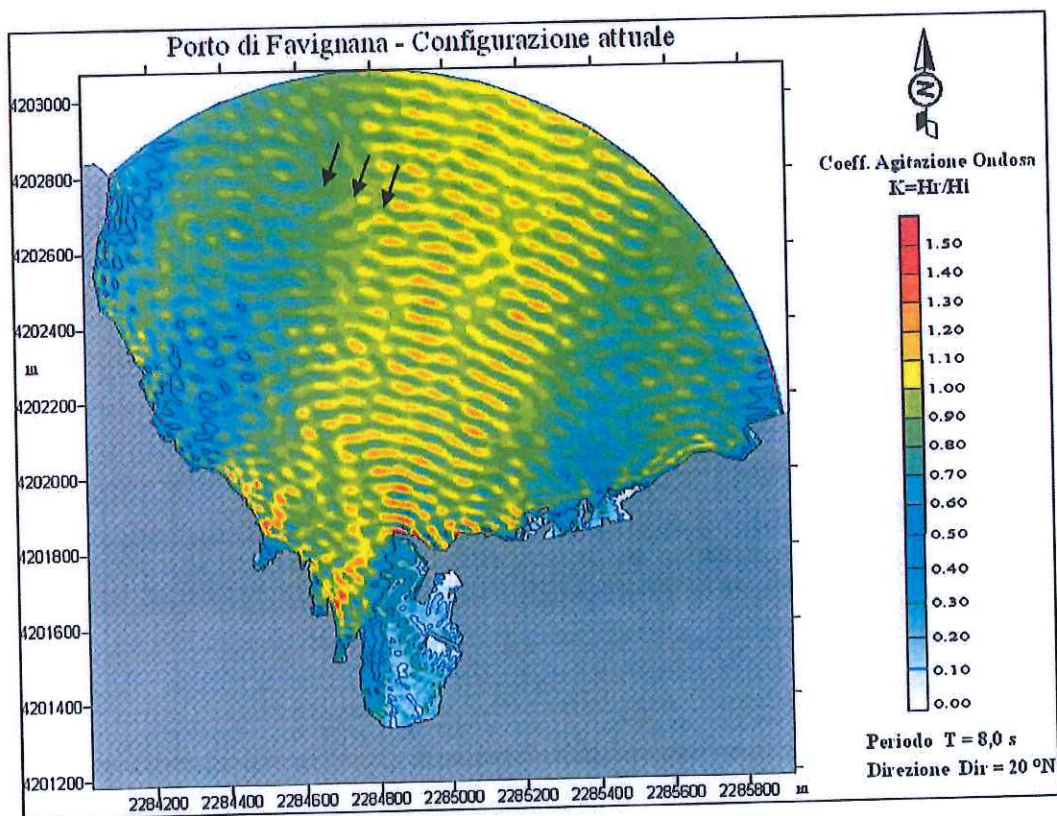
*Figura 2.17 – Agitazione ondosa interna simulata con il modello CGWAVE ( $Dir=10^\circ \text{ N}; T=8\text{s}$ )*



**COMUNE DI FAVIGNANA**  
 Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B2 - Studio dell'agitazione interna portuale**



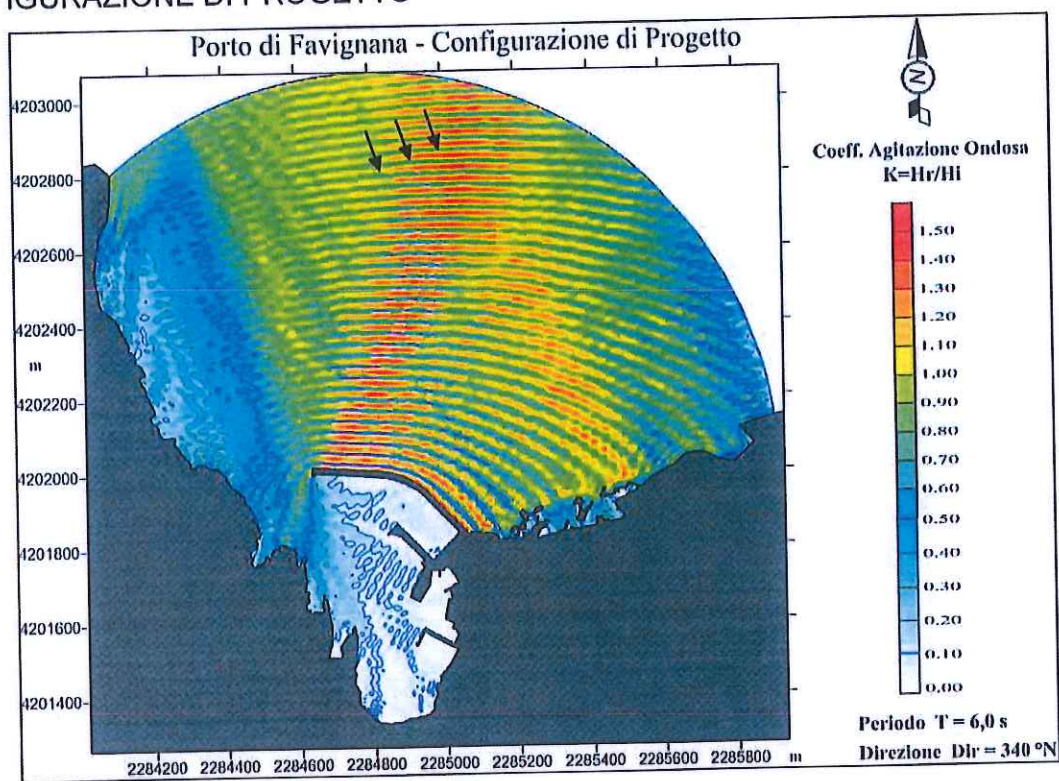
*Figura 2.18 – Agitazione ondosa interna simulata con il modello CGWAVE (Dir=20°N;T=6s)*



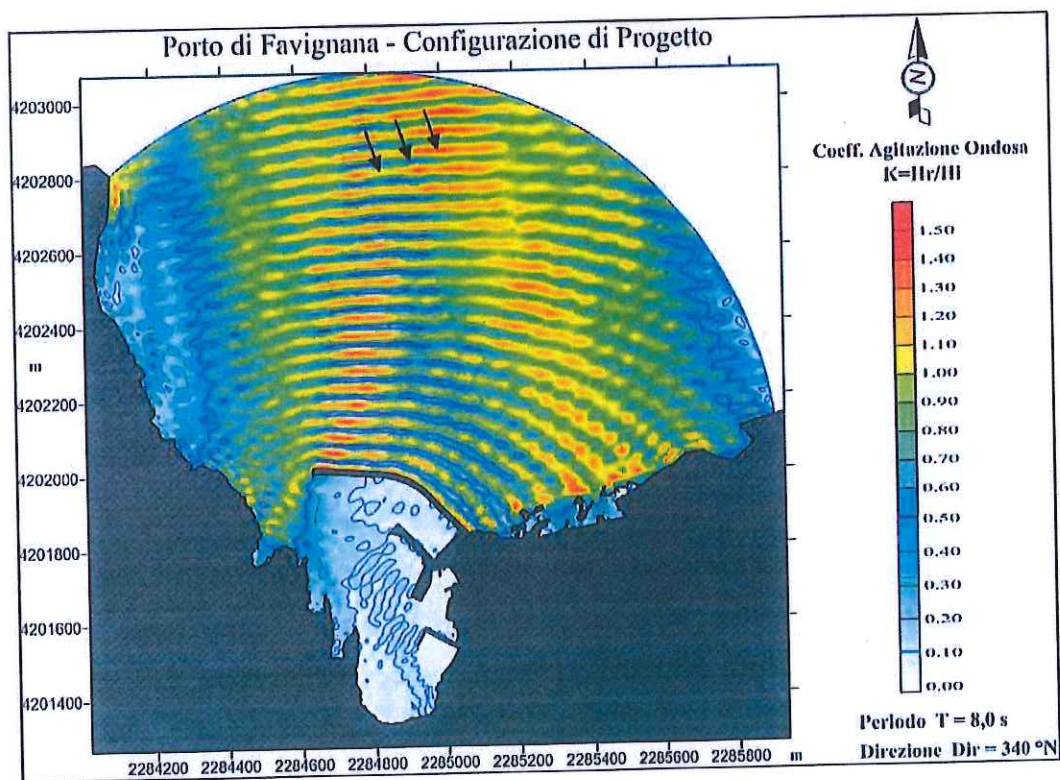
*Figura 2.19 – Agitazione ondosa interna simulata con il modello CGWAVE (Dir=20°N;T=8s)*



**CONFIGURAZIONE DI PROGETTO**



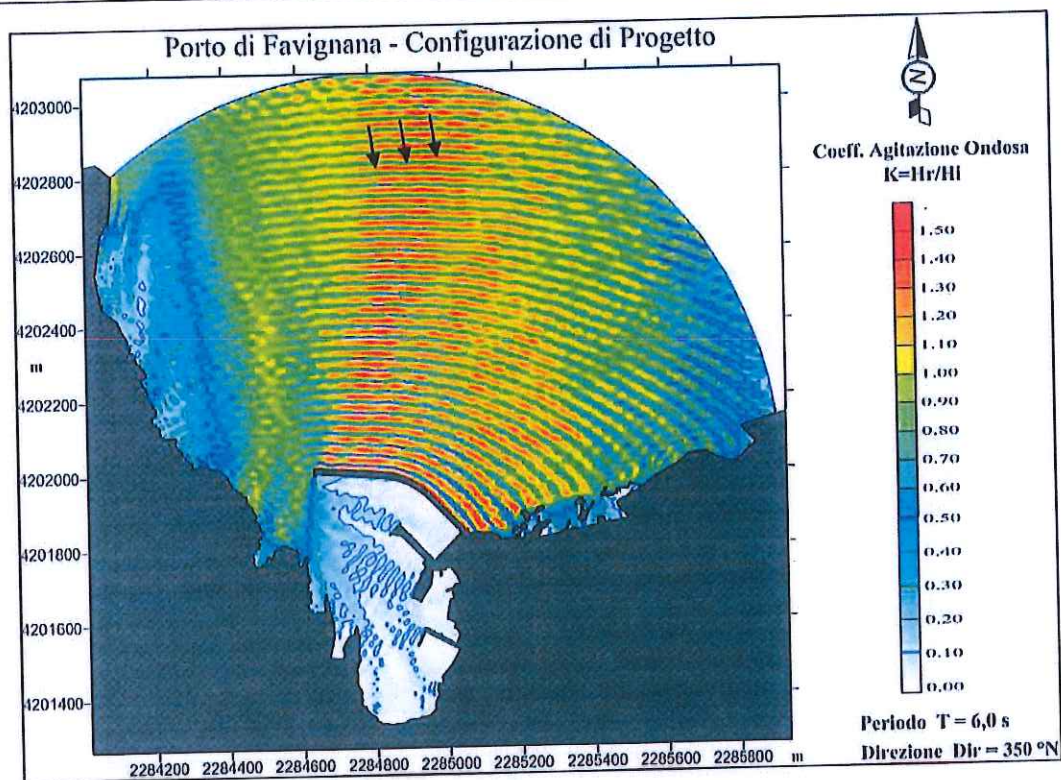
*Figura 2.20 – Agitazione ondosa interna simulata con il modello CGWAVE ( $Dir=340^\circ N$ ;  $T=6s$ )*



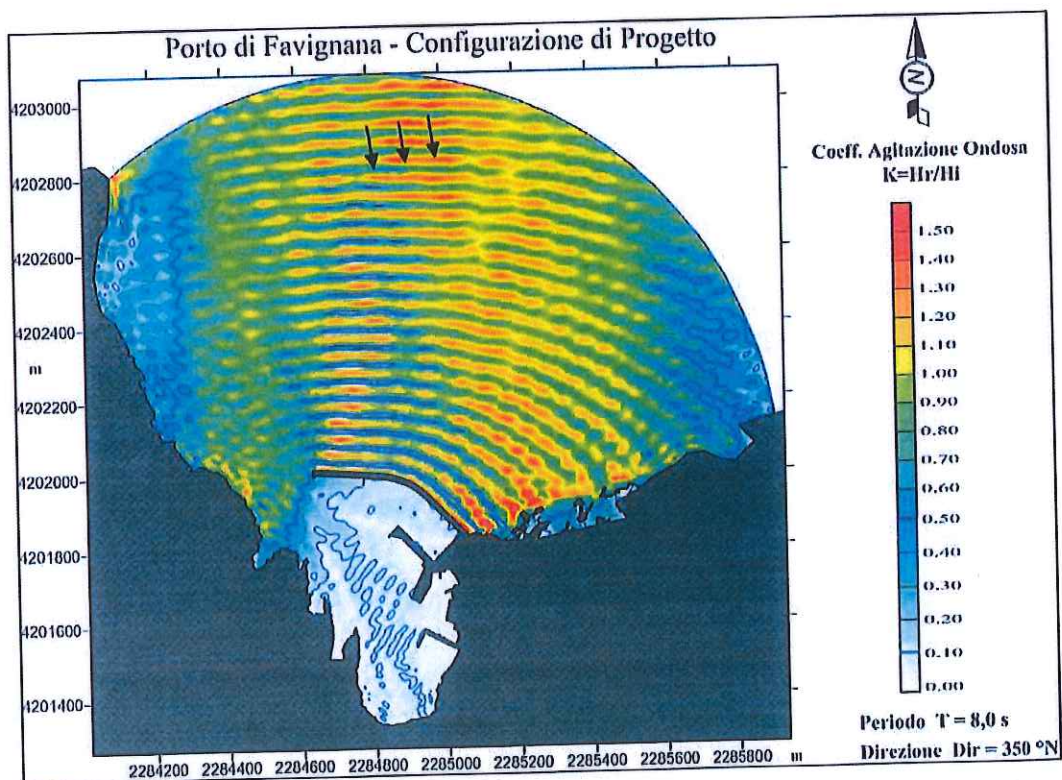
*Figura 2.21 – Agitazione ondosa interna simulata con il modello CGWAVE ( $Dir=340^\circ N$ ;  $T=8s$ )*



**COMUNE DI FAVIGNANA**  
 Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
 B2 - Studio dell'agitazione interna portuale



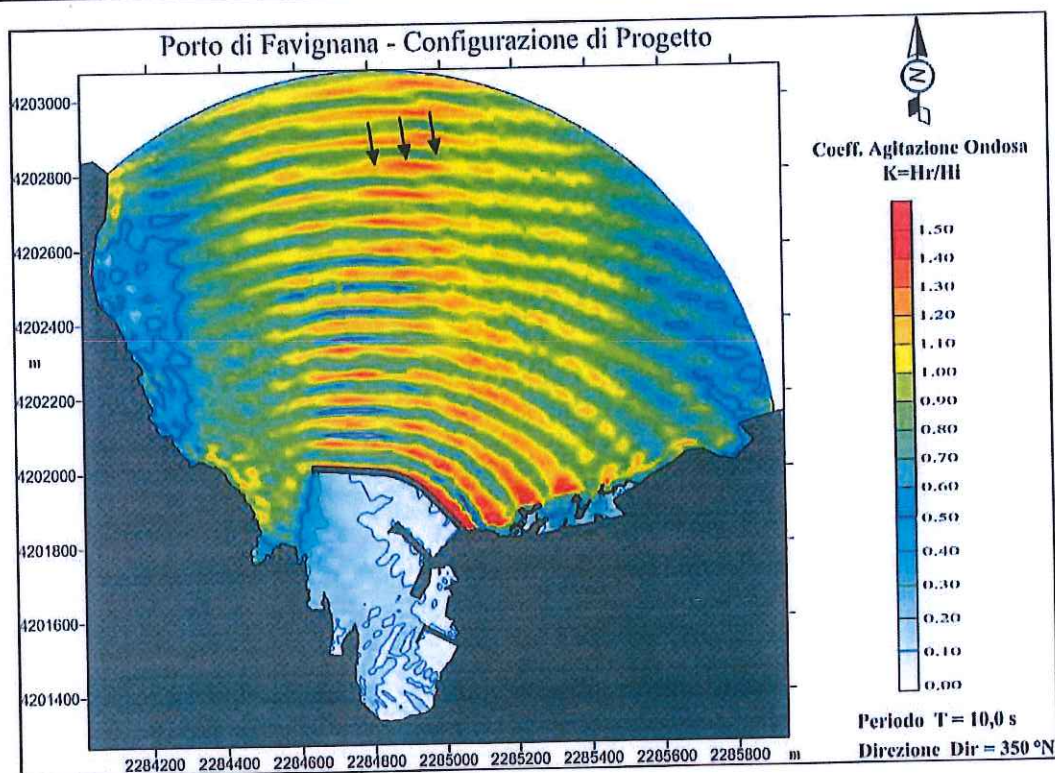
*Figura 2.22 – Agitazione ondosa interna simulata con il modello CGWAVE ( $Dir=350^\circ \text{ N}$ ;  $T=6\text{s}$ )*



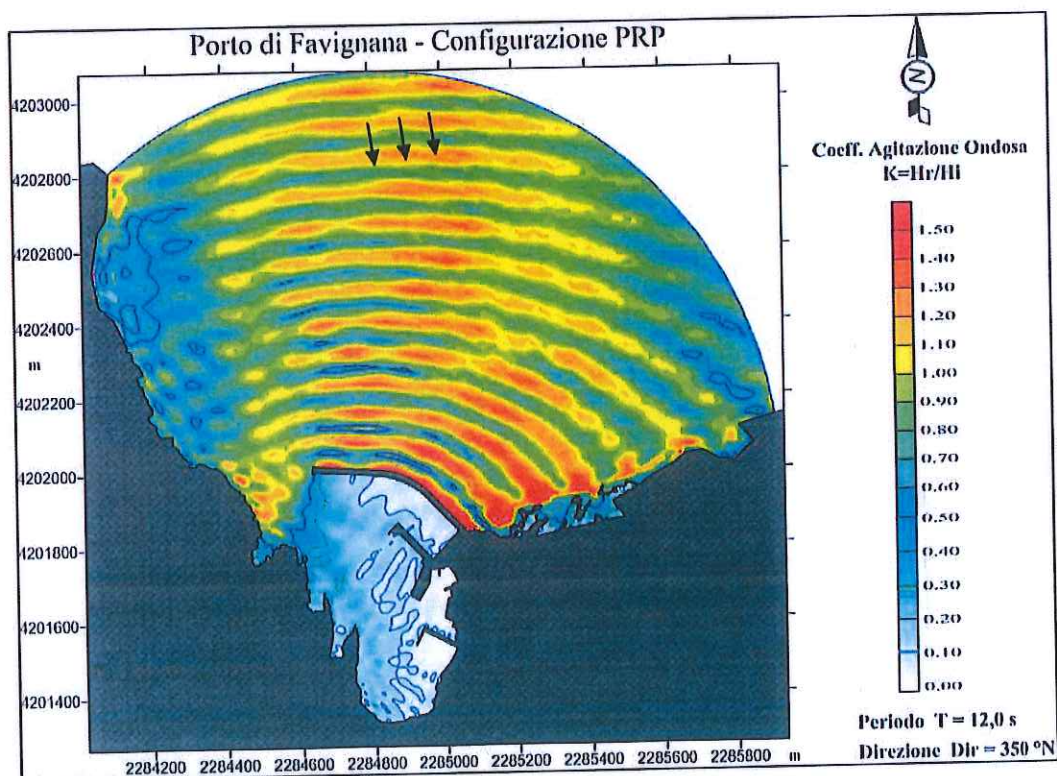
*Figura 2.23 – Agitazione ondosa interna simulata con il modello CGWAVE ( $Dir=350^\circ \text{ N}$ ;  $T=8\text{s}$ )*



**COMUNE DI FAVIGNANA**  
 Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B2 - Studio dell'agitazione interna portuale**



*Figura 2.24 – Agitazione ondosa interna simulata con il modello CGWAVE ( $Dir=350^\circ N$ ;  $T=10s$ )*



*Figura 2.25 – Agitazione ondosa interna simulata con il modello CGWAVE ( $Dir=350^\circ N$ ;  $T=12s$ )*



**COMUNE DI FAVIGNANA**  
 Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B2 - Studio dell'agitazione interna portuale**

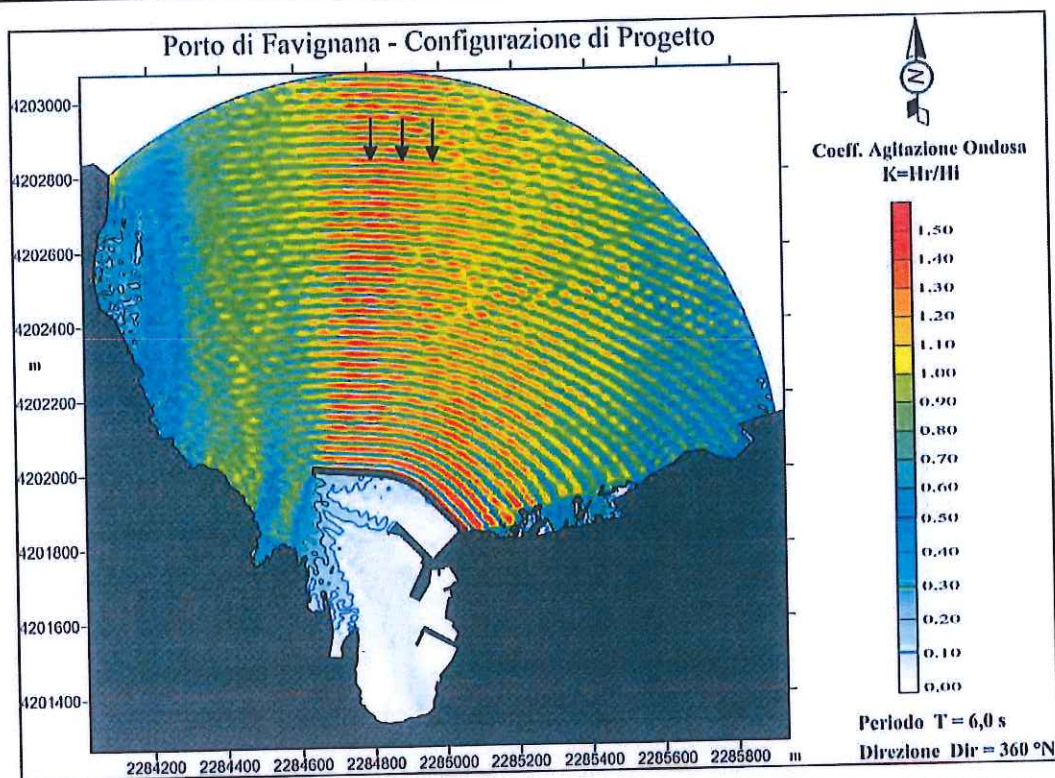


Figura 2.26 – Agitazione ondosa interna simulata con il modello CGWAVE ( $Dir=360^\circ N$ ;  $T=6s$ )

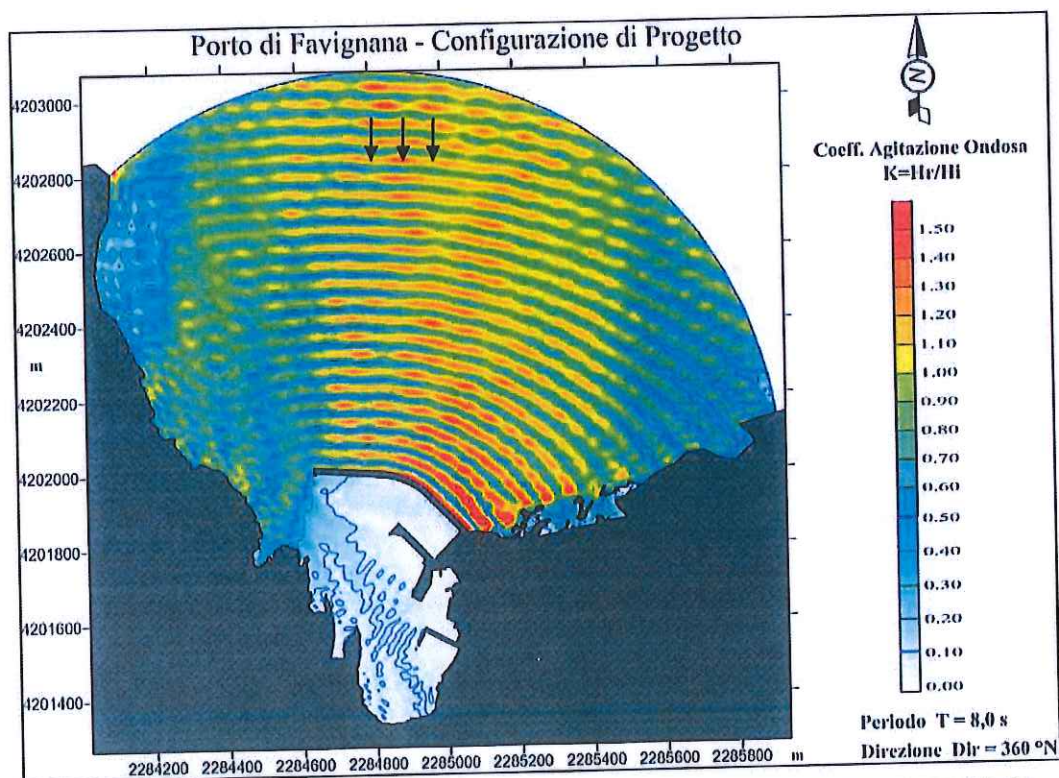
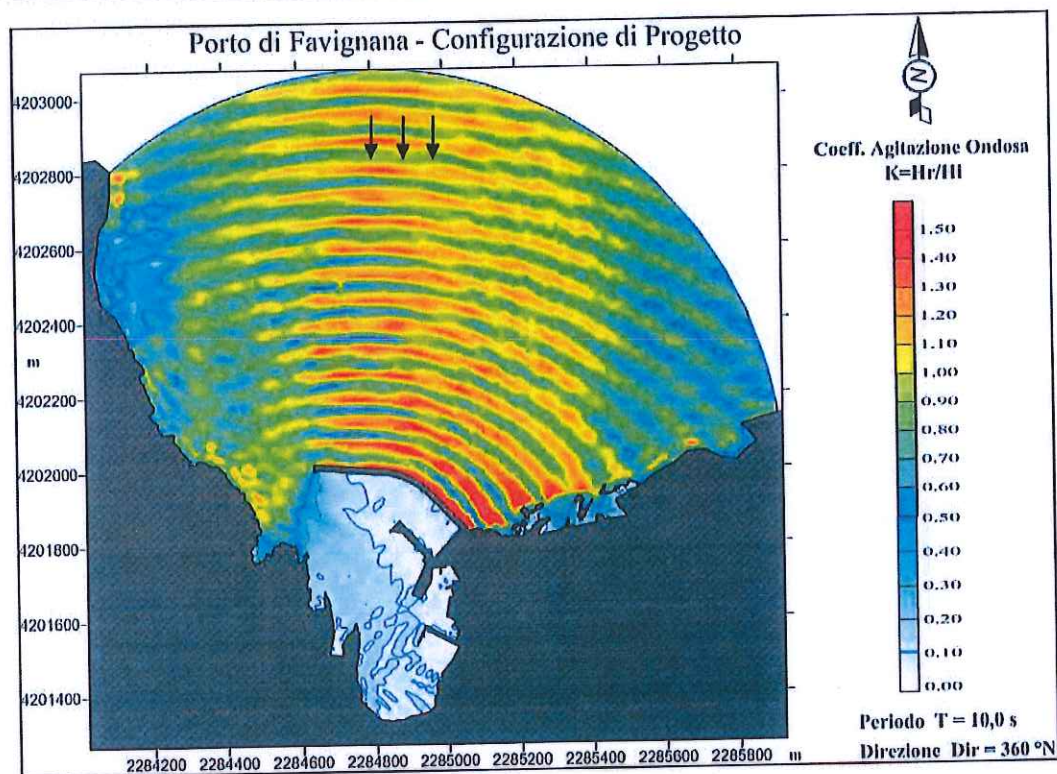


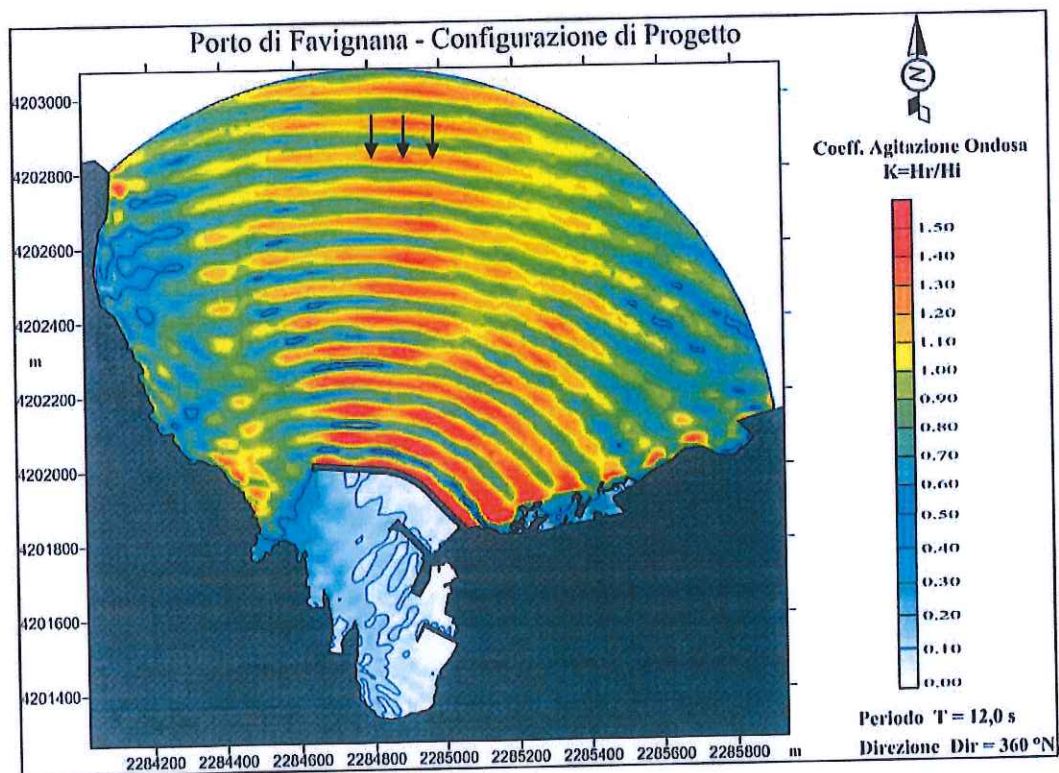
Figura 2.27 – Agitazione ondosa interna simulata con il modello CGWAVE ( $Dir=360^\circ N$ ;  $T=8s$ )



**COMUNE DI FAVIGNANA**  
 Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B2 - Studio dell'agitazione interna portuale**



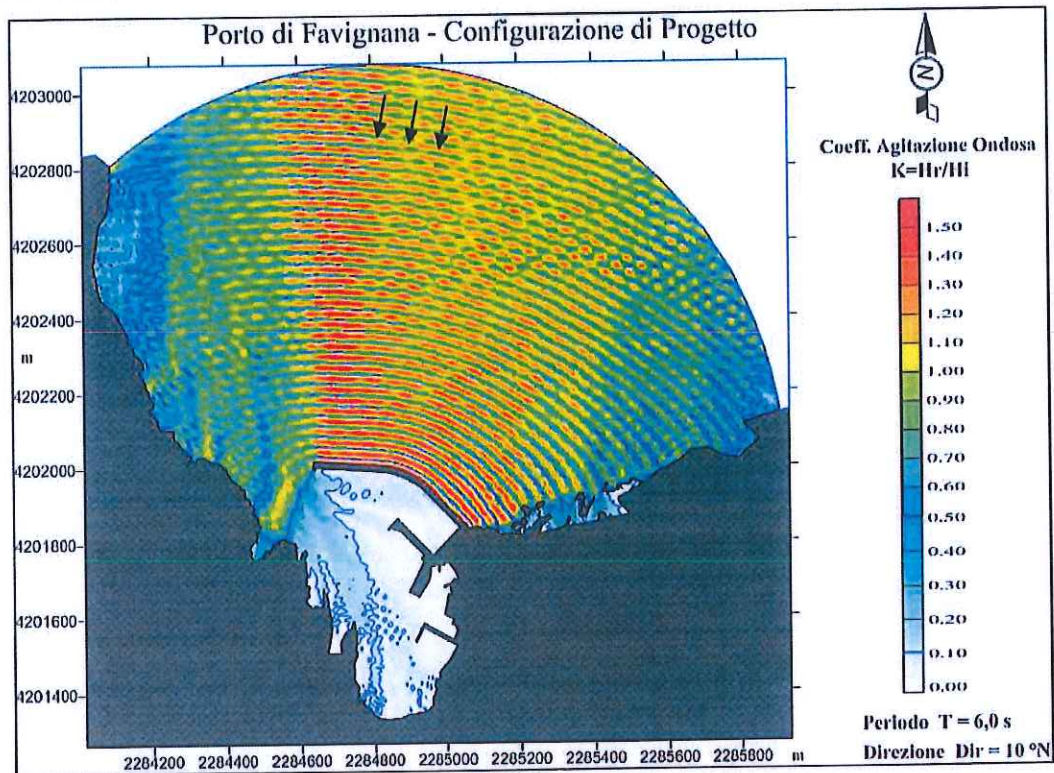
*Figura 2.28 – Agitazione ondosa interna simulata con il modello CGWAVE ( $Dir=360^\circ \text{ N}; T=10\text{s}$ )*



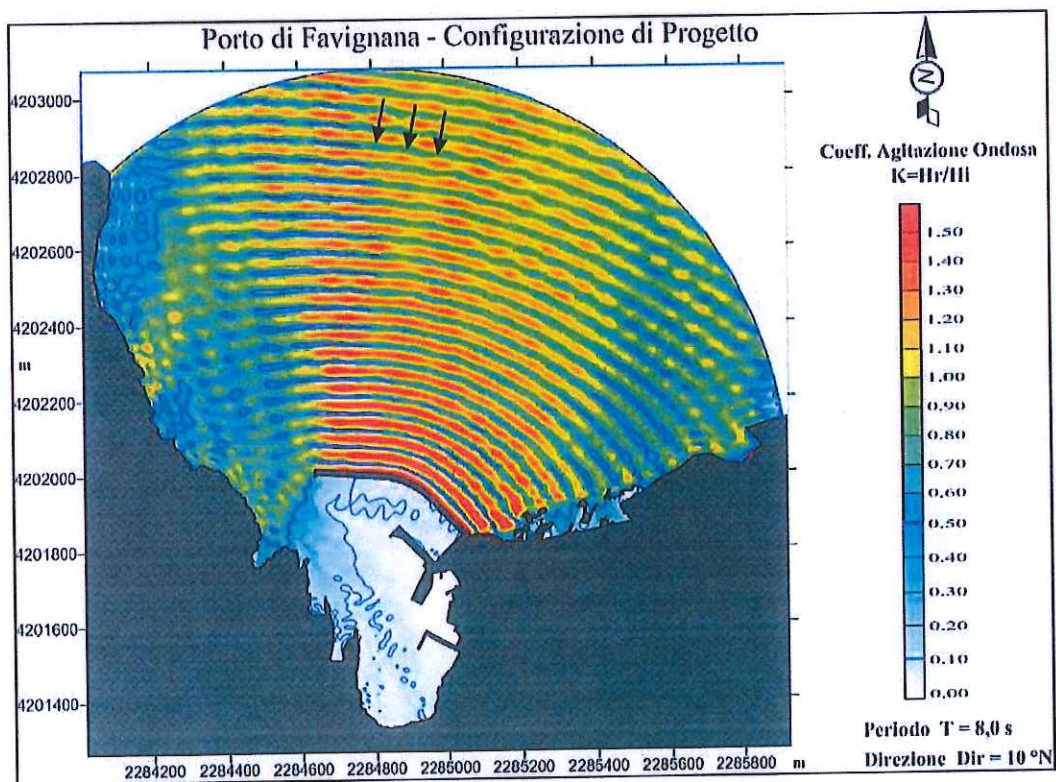
*Figura 2.29 – Agitazione ondosa interna simulata con il modello CGWAVE ( $Dir=360^\circ \text{ N}; T=12\text{s}$ )*



**COMUNE DI FAVIGNANA**  
 Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B2 - Studio dell'agitazione interna portuale**



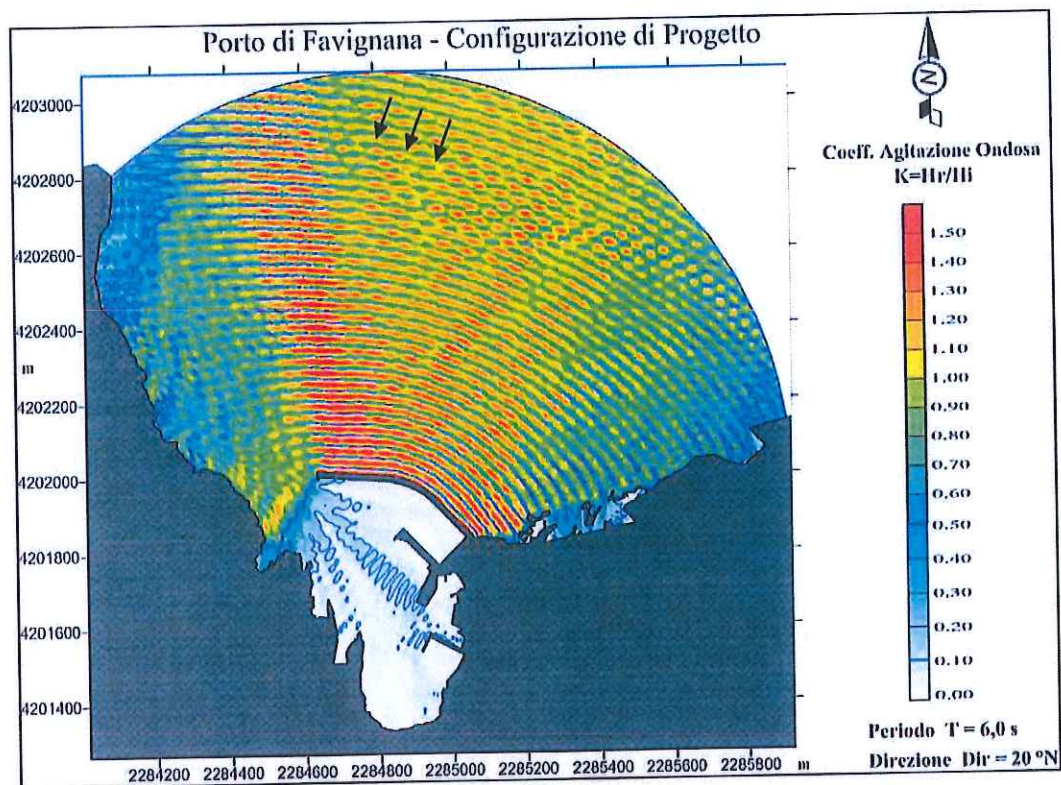
*Figura 2.30 – Agitazione ondosa interna simulata con il modello CGWAVE ( $Dir=10^\circ \text{ N}$ ;  $T=6\text{s}$ )*



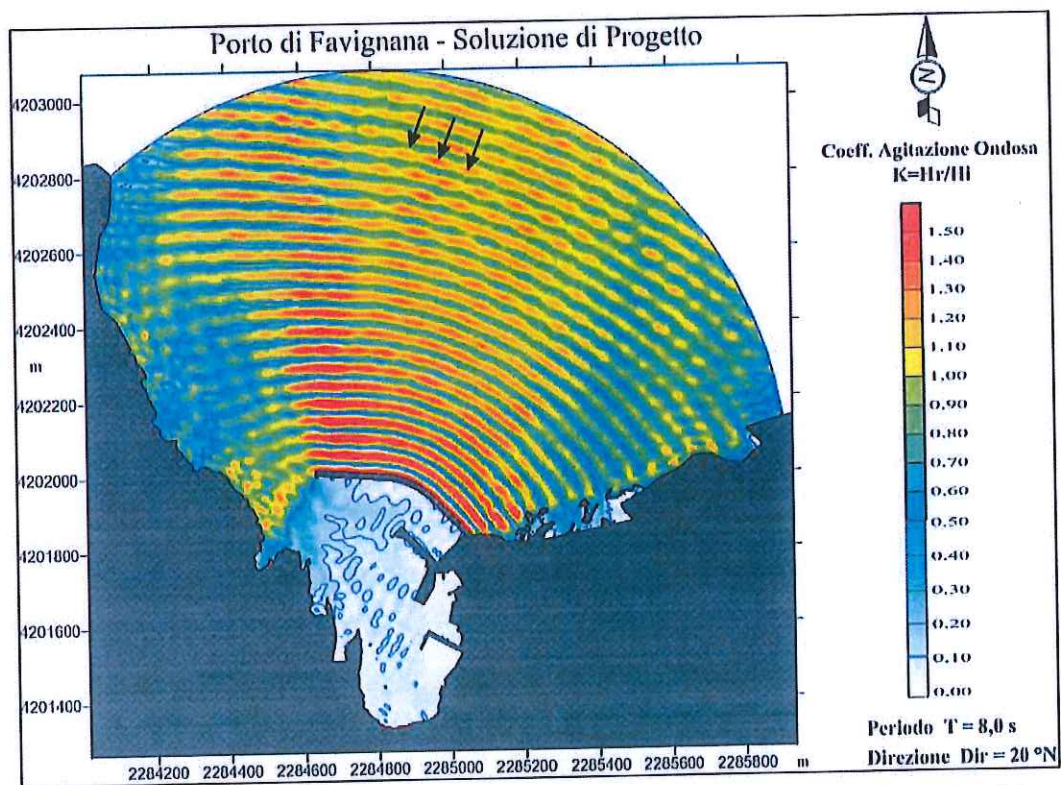
*Figura 2.31 – Agitazione ondosa interna simulata con il modello CGWAVE ( $Dir=10^\circ \text{ N}$ ;  $T=8\text{s}$ )*



**COMUNE DI FAVIGNANA**  
 Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B2 - Studio dell'agitazione interna portuale**



*Figura 2.32 – Agitazione ondosa interna simulata con il modello CGWAVE ( $Dir=20^\circ N$ ;  $T=6s$ )*



*Figura 2.33 – Agitazione ondosa interna simulata con il modello CGWAVE ( $Dir=20^\circ N$ ;  $T=8s$ )*

### 3 CONCLUSIONI

Al fine di verificare l'effettiva efficacia delle nuove opere previste per la messa in sicurezza del porto di Favignana, in relazione all'ingressione del moto ondoso all'interno dei bacini portuali e dei conseguenti livelli di agitazione lungo le banchine che li costituiscono, è stato applicato un opportuno modello matematico agli elementi finiti.

Tale modello, denominato CGWAVE ed appartenente agli applicativi del sistema di modellazione SMS (Surface-water Modeling System), ha consentito di determinare, per diversi eventi di moto ondoso opportunamente scelti e rappresentativi sia delle condizioni ordinarie che estreme, il campo d'onda all'interno dei bacini portuali oggetto di studio tenendo conto dei fenomeni combinati di diffrazione, rifrazione e riflessione, nonché degli effetti dissipativi dovuti al frangimento ed all'attrito sul fondo.

Nel modello numerico tutte le opere, che costituiscono il contorno bagnato delle due configurazioni portuali simulate, sono state riprodotte utilizzando opportuni coefficienti di riflessione.

Le forzanti di moto ondoso scelte per le simulazioni sono state imposte nel modello numerico lungo un contorno semicircolare (battitore) che delimita lato mare lo specchio liquido discretizzato.

L'analisi dei risultati ottenuti dalle simulazioni effettuate ha consentito di verificare ed accertare in maniera oggettiva i benefici derivanti dall'attenuazione del moto ondoso incidente all'interno dei bacini portuali che costituiscono il porto di Favignana in seguito alla realizzazione delle nuove opere per la messa in sicurezza dello stesso.

Nel dettaglio, le simulazioni mostrano in maniera evidente come l'attuale opera a gettata del molo di sopraflutto non sia in grado di fornire un sufficiente ridosso agli stadi di mare più gravosi provenienti dalle direzioni 350° e 360° Nord.

Attualmente, infatti, gli specchi acquei che costituiscono il porto di Favignana risultano essere interessati da fenomeni di ingressione del moto ondoso tali da causare livelli di agitazione ondosa inaccettabili per lo stazionamento e le manovre delle imbarcazioni nelle dovute condizioni di sicurezza (Figura 2.6 + Figura 2.19).

Contrariamente, nella nuova configurazione portuale proposta dal presente progetto (Figura 2.20 + Figura 2.33), sia in condizioni climatiche ordinarie che estreme, si ottengono, quasi ovunque, valori del coefficiente d'agitazione ondosa inferiori a circa il 20% del valore dell'altezza d'onda incidente ovvero un' area avamportuale che assicura

un ampio spazio per le evoluzioni delle imbarcazioni che si apprestano ad entrare ed uscire dal bacino portuale protetto.

Inoltre, in tutte le zone destinate all'ormeggio delle imbarcazioni, tale valore del coefficiente di riflessione risulta essere ancora più basso e più precisamente mediamente inferiori al 10% del valore dell'altezza d'onda incidente.

Ne consegue quindi che per un'altezza d'onda incidente pari a 5 m si ottengono valori dell'altezza d'onda residua non superiori a circa 0.5 m, pienamente accettabile per le condizioni di sicurezza dei natanti all'ormeggio.

A tal proposito nella Tabella 1 vengono riportati i valori assoluti di altezza d'onda residua ritenuti accettabili all'interno dei bacini turistici secondo la letteratura corrente.

*Tabella 1: Altezza d'onda (in m) accettabile all'interno di una marina per periodo d'onda  $T > 2$  s*

<i>Direzione di incidenza dell'onda sul natante</i>	<b>Tempo di ritorno</b>		
	50 anni	1 anno	1 settimana
<i>longitudinale (frontale)</i>	0,61	0,30	0,26
<i>trasversale (laterale)</i>	0,23	0,15	0,12

Se all'interno del porto si accettano condizioni "moderate" di ondosità, allora tutti i valori in tabella possono essere aumentati del 25%, mentre il criterio di "eccellenza" del clima d'onda è soddisfatto riducendo gli stessi valori del 25%.

In conclusione, sulla base delle simulazioni effettuate si può affermare che le nuove opere proposte per la messa in sicurezza del porto di Favignana garantiscono, oltre ad un sostanziale incremento dello specchio acqueo portuale protetto, un adeguato livello di sicurezza alle imbarcazioni che dovranno stazionarvi, sia in condizioni meteomarine ordinarie che estreme.



## 4 APPENDICE: DESCRIZIONE DEL MODELLO MATEMATICO CGWAVE

### 4.1 Introduzione

Il sistema CGWAVE è stato sviluppato dalla University of Maine per conto della United States Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station per stimare il campo d'onda all'interno dei porti, in prossimità della costa, nelle insenature costiere ed in prossimità delle strutture fisse e mobili.

Infatti tale modello è in grado di simulare la propagazione del moto ondoso tenendo conto degli effetti combinati della rifrazione, diffrazione e riflessione, e dei fenomeni dissipativi dovuti al frangimento del moto ondoso ed all'attrito sul fondo, di fondamentale importanza per la determinazione dell'agitazione ondosa residua all'interno dei bacini portuali.

Il modello SMS è provvisto di pre-post processore grafico per programmi che richiedono griglie 2D agli elementi finiti sviluppato dall'Engineering Computer Graphics Laboratory a Brigham.

### 4.2 Equazioni di base

La soluzione della forma ellittica bidimensionale dell'equazione delle onde che si propagano su fondali lentamente variabili (mild-slope wave equation) è un criterio generalmente adottato per lo studio delle onde di gravità nelle aree costiere.

Questa equazione, che simula la diffrazione, la rifrazione e la riflessione delle onde in una regione costiera caratterizzata da fondali aventi pendenza variabile, può essere scritta nel modo seguente:

$$\nabla(CC_r \nabla \hat{\eta}) + \frac{C_g}{C} \sigma^2 \hat{\eta} = 0 \quad (1)$$

dove:

- $\hat{\eta}(x, y)$ : funzione complessa dell'elevazione della superficie libera dalla quale può essere stimato il valore dell'altezza d'onda;
- $\sigma$  = frequenza angolare;
- $C(x, y)$ : celerità di fase ( $\sigma/k$ );
- $C_g(x, y)$ : celerità di gruppo ( $\partial\sigma/\partial k = nC$ ) con  $n = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right)$ ;

- $k(x, y)$ : numero d'onda ( $= 2\pi/L$ ) correlato alla profondità locale  $d(x, y)$  attraverso la relazione di dispersione lineare  $\sigma^2 = gk \tanh(kd)$ .

Per tenere conto degli effetti dissipativi dovuti all'attrito sul fondo ad al frangimento del moto ondoso l'equazione 1 può essere modificata nel modo seguente:

$$\nabla(CC_g \nabla \hat{\eta}) + \left( \frac{C_g}{C} \sigma^2 + i\sigma w + iC_g \sigma \gamma \right) \hat{\eta} = 0 \quad (2)$$

dove  $w$  è un fattore d'attrito e  $\gamma$  il parametro di frangimento dell'onda.

Seguendo la formulazione di Dalrymple et al. (1984), CGWAVE utilizza la seguente espressione per il fattore di dissipazione  $w$ :

$$w = \left( \frac{2n\sigma}{k} \right) \left[ \frac{2f_r}{3\pi} \frac{ak^2}{(2kd + \sinh 2kd) \sinh kd} \right]$$

dove  $a = H/2$ , ampiezza d'onda, e  $f_r$ , coefficiente d'attrito, sono parametri scelti come condizioni di input per il modello e definiti dall'utente.

Per il parametro che tiene conto del frangimento viene utilizzata la seguente espressione:

$$\gamma = \frac{\chi}{d} \left( 1 - \frac{\Gamma^2 d^2}{4a^2} \right)$$

Dove  $\chi$  è una costante assunta nel modello pari a 0.15 e  $\Gamma$  è una costante empirica assunta nel modello pari a 0.4.

### 4.3 Condizioni al contorno

L'equazione 2 utilizzata dal modello CGWAVE per la stima del campo d'onda richiede l'imposizione di opportune condizioni al contorno da introdurre lungo tutto il perimetro del dominio di calcolo. In generale lungo il contorno che rappresenta la costa o le strutture viene applicata la seguente condizione di riflessione:

$$\frac{\partial \hat{\eta}}{\partial n} = \alpha \hat{\eta} \quad (3)$$

dove  $\alpha = \alpha_1 + i\alpha_2$  è un coefficiente di riflessione complesso e vale  $\alpha = 0$  per strutture completamente riflettenti.

Per semplicità  $\alpha$  è generalmente rappresentato come:

$$\alpha = ik \frac{1 - K_r}{1 + K_r}$$

dove  $K_r$  è il coefficiente di riflessione.

Lungo il contorno che rappresenta le condizioni di mare aperto, dove le onde direzionate verso il largo devono propagarsi verso l'infinito viene applicata la condizioni di radiazione Sommerfeld:

$$\lim_{kr \rightarrow \infty} \sqrt{kr} \left( \frac{\partial}{\partial r} - ik \right) \hat{\eta}_s \rightarrow 0 \quad (4)$$

dove  $\hat{\eta}_s$  è il potenziale dell'onda dispersa, la quale è una soluzione dell'equazione 1 (mild-slope equativo) e soddisfa la condizione di radiazione appena sopra riportata (equazione 4), che può essere scritto come:

$$\hat{\eta}_s = \sum_{n=0}^{\infty} H_n(kr) (\alpha_n \cos n\vartheta + \beta_n \sin n\vartheta) \quad (5)$$

dove  $H_n(kr)$  sono le funzioni di Hankel del primo genere.

Il potenziale  $\hat{\eta}_s$  dato nella (4) richiede una profondità costante all'esterno del dominio di calcolo. Inoltre nei problemi portuali lo stesso potenziale richiede nella regione esterna al porto stesso una linea di costa rettilinea, allineata e completamente riflettente. Per superare questo problema all'interno del modello, lungo il contorno che rappresenta le condizioni di mare aperto, viene utilizzata la seguente approssimazione parabolica (Xu, Panchang e Demirbilek, 1996):

$$\frac{\partial \hat{\eta}_s}{\partial r} + p \hat{\eta}_s + q \frac{\partial \hat{\eta}_s^2}{\partial \vartheta^2} = 0 \quad (6)$$

dove

$$p = \frac{k^2 r^2 + k_0^2 r^2 + ik_0 r + \frac{1}{4}}{2ik_0 r^2} \text{ e } q = \frac{1}{2ik_0 r^2}.$$

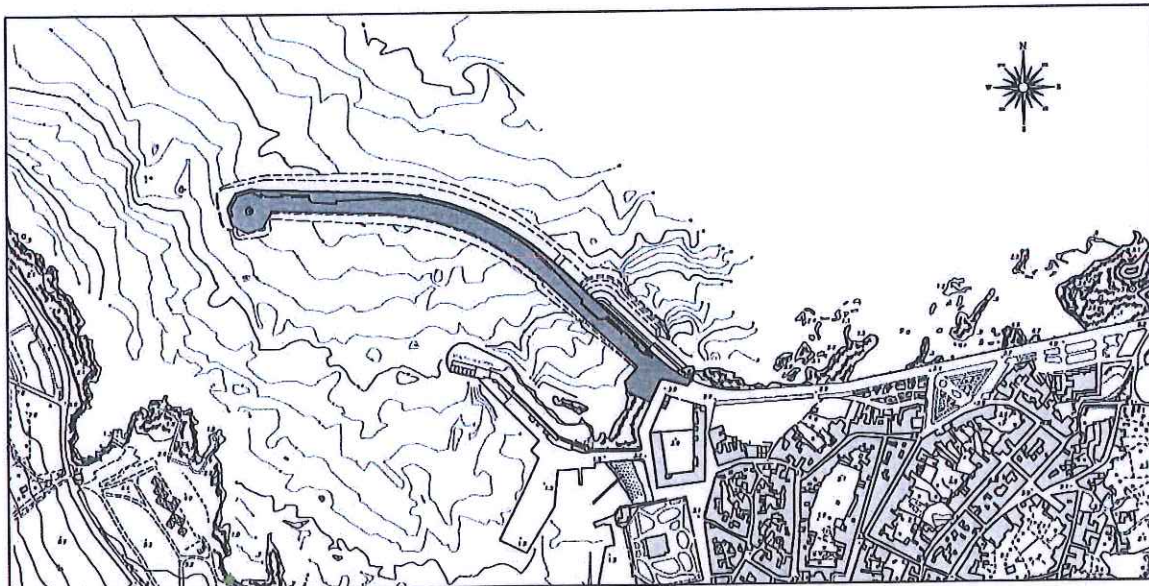
Nell'equazione sopra riportata  $k_0$  può essere assunto pari al numero d'onda corrispondente alla profondità media che si ha lungo il contorno aperto del dominio di calcolo schematizzato.

L'equazione 6 viene utilizzata dal modello CGWAVE solo lungo la linea di contorno semi-circolare che delimita, lato mare, il dominio di calcolo; all'interno del dominio stesso viene applicata l'equazione di "mild-slope".



# COMUNE DI FAVIGNANA

## PROVINCIA DI TRAPANI



### LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI FAVIGNANA

## PROGETTO DEFINITIVO

Titolo elaborato :

STUDIO DI NAVIGABILITA'

Progettisti:

Ing. Pietro Vella

RUP

Geom. Vincenzo Billardello

N° elaborato:

**B3**

Consulente:

Prof. Ing. Alberto Noli

Ing. Rocco Ricevuto

Scala:

Giugno 2016	1	REVISIONE
Giugno 2012	0	EMISSIONE
Data	Rev.	DESCRIZIONE

## **PROGETTO DEFINITIVO**

### **B3 – Studio di navigabilità**

#### **1. PREMESSE**

Le simulazioni di manovra condotte presso il centro CETENA di Genova, sono state effettuate tenendo conto di condizioni di vento e di moto ondoso considerate come un limite superiore oltre il quale non è conveniente tentare né l'ingresso né l'uscita dal porto. Le caratteristiche del vento e delle onde sono state concordate con il pilota incaricato delle manovre, prendendo atto dei dati statistici relativi ai suddetti parametri (v. fig. 1), dell'esperienza del pilota stesso e delle indicazioni dei pratici locali. In particolare la direzione scelta per la provenienza del moto ondoso (0°N) coincide con quella decisamente più gravosa per il paraggio, come evidenziato nello studio meteomarino. Le onde provenienti da tutte le altre direzioni, in particolare da quelle trasversali rispetto alla rotta di accesso, sono infatti di altezza trascurabile.

E' opportuno fare rilevare che le rotte delle navi risentono del moto ondoso quasi esclusivamente a causa dei movimenti di alambardata, cioè della rotazione nel piano orizzontale che influenza periodicamente la direzione di avanzamento dando luogo ad una variazione che è bene evidente in alcuni dei grafici che illustrano i risultati delle prove (v. ad esempio la fig. 5 dell'allegato "Simulazioni di manovra per il porto di Favignana"). Ovviamente il moto ondoso influenza anche gli altri movimenti (soprattutto rollio e beccheggio) ma questi hanno importanza soprattutto ai fini delle possibilità di urto con il fondale e del "confort" dei passeggeri e dell'equipaggio, non della rotta della nave. Poiché l'alambardata è massima per le onde più alte, è stata correttamente prescelta la direzione 0°N, corrispondente alle massime altezze d'onda.

Per quanto riguarda la scelta delle direzioni di provenienza del vento, si è tenuto conto che la rotta di accesso al porto è attualmente secondo la direzione 325°N÷145°N, all'incirca parallela all'andamento medio della linea di costa ad Ovest del porto (v. fig. 2).



**COMUNE DI FAVIGNANA**  
 Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B3 – Studio di navigabilità**

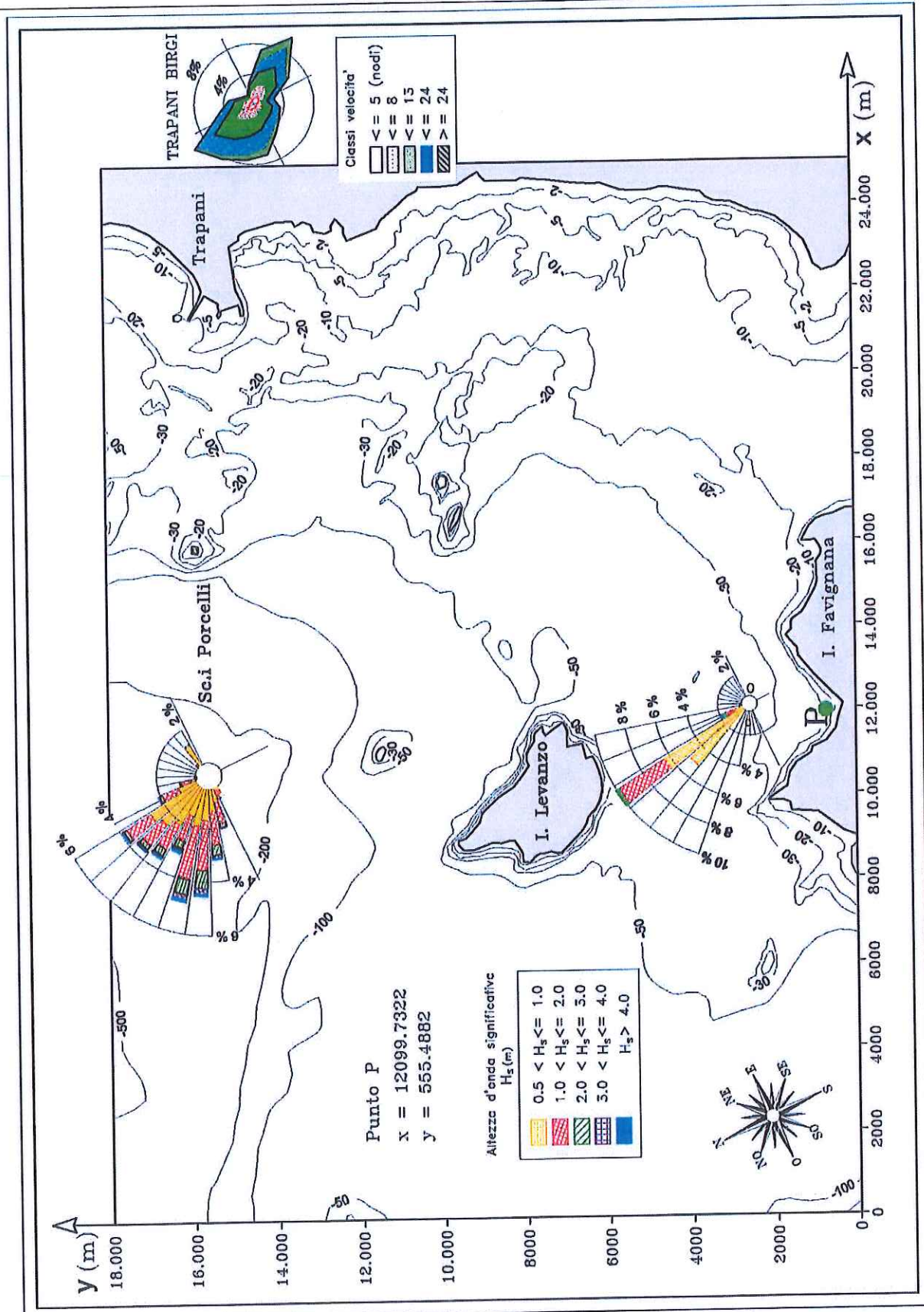


Fig. 1 – Inquadramento del regime del moto ondoso al largo ed in prossimità del porto  
 Rosa dei venti, riferita all'aeroporto di Trapani-Birgi



**COMUNE DI FAVIGNANA**  
 Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B3 – Studio di navigabilità**

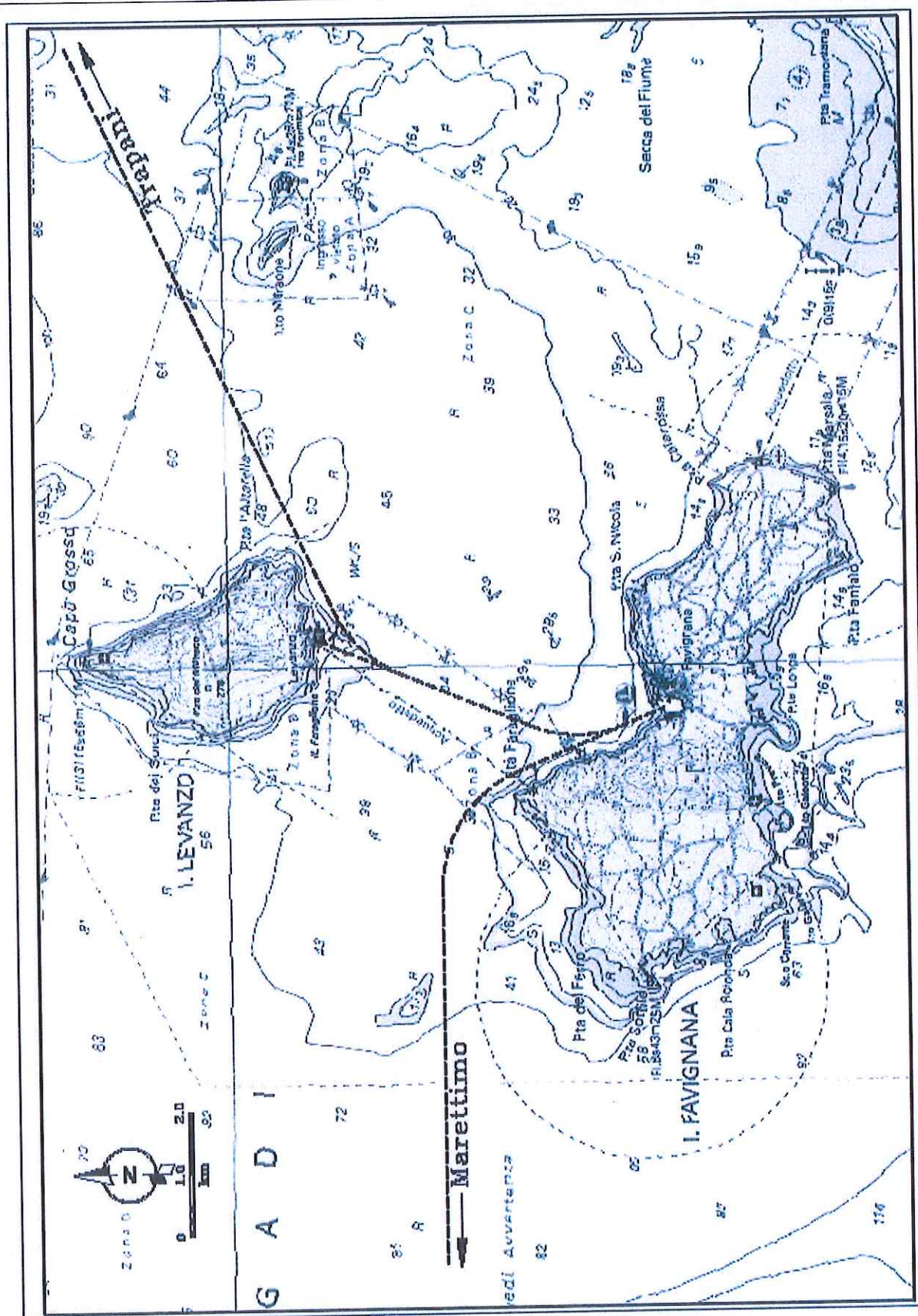


Fig. 2 – Rotta di accesso degli aliscafi e dei traghetti

Tutta la costa si presenta alta e scoscesa, con quota massima che perviene a 314 m s.m.m. (M. S.Caterina), con una seconda vetta a quota 252 m s.m. ed una lunga dorsale con quote sempre abbastanza elevate fino all'estrema punta Nord dell'isola. La pendenza media dei versanti è dell'ordine del 30%÷40%, quindi piuttosto cospicua (v. fig. 3).

La conformazione orografica predetta fa sì che i venti, di qualunque provenienza essi siano, tendano a disporsi parallelamente alla costa. In particolare i venti trasversali, che potrebbero spingere le navi verso i bassi fondali, provenienti da direzioni intorno a 55°N (all'incirca grecale), subiscono un fenomeno di deviazione verso l'alto (effetto "schermo") che si fa sentire già a distanza dalla costa. Per tale motivo, unitamente al fatto che si tratta di venti rari e deboli anche a distanza dall'isola, essi non sono stati presi in considerazione nelle prove di navigabilità.

In conclusione è apparso prudentiale considerare, unitamente al moto ondoso proveniente da Nord, il vento proveniente dalle due direzioni prevalenti nell'area interessata dalle manovre, cioè la 325°N (all'incirca maestrale) e la 150°N (all'incirca scirocco).




Fig. 3 – Pendici rocciose prospicienti la rotta di accesso al porto




**2. ALLEGATO : « Simulazioni di manovra per il porto di  
Favignana » - CETENA**

**COMUNE DI FAVIGNANA**  
Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B3 – Studio di navigabilità**

 <p><b>CETENA</b> S.p.A. <small>centro per gli studi di tecnica portuale illegale ship-movement control</small></p>	<b>RAPPORTO TECNICO</b>  <b>TECHNICAL REPORT</b>				
<p><i>Titolo/Title</i></p> <p style="text-align: center; font-weight: bold;">Simulazioni di manovra per il Porto di Favignana</p>					
<p><i>Autori/Authors</i>    G. Cazzani, R. Depascale, G. Gigliotti</p>					
<p><i>Sommario</i></p> <p>Questo rapporto contiene i risultati dello studio di navigabilità, eseguito con il simulatore di manovra SIMON II del Cetena, per il nuovo Piano Regolatore del Porto di Favignana. Sono state simulate manovre di ingresso e uscita per tre tipologie di navi: navi traghetto di lunghezza 70m, traghetti veloci di lunghezza 100m, navi da crociera di lunghezza 150m.</p>					
<p><i>Abstract</i></p>					
<i>Autori</i>	<i>Capo Servizio</i>	<i>Capo Settore</i>	<i>Resp. Sicurezza</i>		
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 40%; vertical-align: top;"> <b>CIRCOLAZIONE</b>   Interna    <input type="checkbox"/>  Libera      <input type="checkbox"/>  Confidenziale    <input checked="" type="checkbox"/>  Riservata        <input type="checkbox"/> </td> <td style="width: 60%; vertical-align: top; border-left: 1px solid black; padding-left: 10px;"> Internal Only  Free  Commercial in confidence  Classified </td> </tr> </table>				<b>CIRCOLAZIONE</b>  Interna <input type="checkbox"/> Libera <input type="checkbox"/> Confidenziale <input checked="" type="checkbox"/> Riservata <input type="checkbox"/>	Internal Only Free Commercial in confidence Classified
<b>CIRCOLAZIONE</b>  Interna <input type="checkbox"/> Libera <input type="checkbox"/> Confidenziale <input checked="" type="checkbox"/> Riservata <input type="checkbox"/>	Internal Only Free Commercial in confidence Classified				
<i>Pagine / Sheets</i>  29	<i>Note / Notes</i> Software: SIMON II IDN 01				
<i>Commessa / Job</i>  514110000013	<i>Codici distribuzione / Distribution codes</i>  Comune di Favignana				

**COMUNE DI FAVIGNANA**  
 Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B3 – Studio di navigabilità**

 consorzio per gli studi di navigabilità navigation research centre	Compilatore GCZ, RDP, GGI	Commessa 51-4110000013	N° pagina 2 di 29
--	------------------------------	---------------------------	----------------------

# INDICE

1. INTRODUZIONE .....

2. DESCRIZIONE DEL SIMULATORE DI MANOVRA .....

3. LE SIMULAZIONI .....

3.1 Generalità .....

3.2 Planimetria portuale e condizioni meteomarine .....

3.3 Presentazione dei risultati .....

4. CONCLUSIONI .....

ELENCO TABELLE .....

ELENCO FIGURE .....

BIBLIOGRAFIA .....

TABELLA 1 .....

TABELLA 2 .....

TABELLA 3 .....

TABELLA 4 .....

FIGURA 1 .....

FIGURA 2 .....

FIGURA 3 .....

FIGURA 4 .....

FIGURA 5 .....

FIGURA 6 .....

FIGURA 7 .....

FIGURA 8 .....

FIGURA 9 .....

FIGURA 10 .....

FIGURA 11 .....

FIGURA 12 .....

FIGURA 13 .....

FIGURA 14 .....

FIGURA 15 .....

FIGURA 16 .....

FIGURA 17 .....

FIGURA 18 .....

3

4

5

5

5

6

7

8

8

9

10

10

11

11

12

13

13

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26


27

28

29



**COMUNE DI FAVIGNANA**  
Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B3 – Studio di navigabilità**

 <b>CETENA</b> S.p.A. <small>centro per gli studi di sicurezza navale dall'analisi al progetto</small>	Compilatore GCZ, RDP, GGH	Commissa 514110000013	N° pagina 3 di 29
---	------------------------------	--------------------------	----------------------

## 1. INTRODUZIONE

Il presente rapporto illustra i risultati delle simulazioni di manovra condotte dal CETENA S.p.A. mediante il proprio simulatore di manovra SIMON II al fine di valutare attraverso prove di navigabilità la validità del nuovo Piano Regolatore del Porto di Favignana per conto del Comune di Favignana.

Lo studio riguarda la simulazione di manovre di arrivo e partenza in condizioni meteomarine avverse (vento e mare), per gli attracchi previsti dal nuovo progetto [1], secondo quanto indicato dallo studio tecnico MODIMAR s.r.l. incaricato per la redazione del nuovo Piano Regolatore del Porto di Favignana (Figura 1).

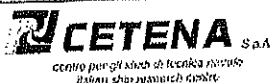
Le simulazioni sono state condotte dal Comandante Lanzola, ex Capo Pilota presso il Porto di Genova.

Le manovre sono state simulate utilizzando i modelli matematici di simulazione relativi a due navi traghetto, una di lunghezza di 70 m e una di lunghezza di 100 m e una nave da crociera di lunghezza di 150 m. Le navi sono state schematizzate nella condizione di carico corrispondente, rispettivamente, alle immersioni di 3.69 m, 2.65 m e 4.0 m. Le caratteristiche principali delle navi sono riportate nelle Tabelle 1 – 3.

L'elenco delle manovre simulate e delle condizioni meteomarine considerate in ogni manovra per ciascuna nave è riportato nella Tabella 4.

Nelle Figure 3-18 sono riportati, per ogni prova simulata, i grafici illustranti la traiettoria della nave e il layout portuale.

**COMUNE DI FAVIGNANA**  
Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B3 – Studio di navigabilità**



Compilatore

GCZ, RDP, GGI

Commessa

514110000013

N° pagina

4 di 29

## 2. DESCRIZIONE DEL SIMULATORE DI MANOVRA

Lo strumento utilizzato per lo studio è il simulatore di manovra SIMON II, progettato e sviluppato dal CETENA, ed utilizzato correntemente dal CETENA per studi di navigabilità di configurazioni portuali.

Il simulatore di manovra consiste dei seguenti elementi:

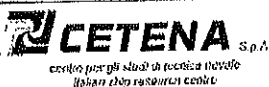
- simulacro di plancia che alloggia i controlli per il governo e la propulsione della nave oltre agli indicatori di bordo necessari per la navigazione.
- PC work-station su cui è installato il modello matematico di simulazione per navi di superficie (SIMSUP)
- monitor per la visualizzazione 2D dei risultati

Il modello matematico della nave è connesso tramite il PC sia alla plancia di comando sia al display. L'affidabilità del modello matematico SIMSUP utilizzato dal SIMON II nel riprodurre il comportamento manovriero per le diverse tipologie di nave e configurazioni degli organi propulsivi e di governo è assicurata da una sistematica opera di validazione rispetto ai risultati delle prove in mare di manovrabilità che fanno parte della Banca Dati al Vero continuamente aggiornata dal CETENA. Tale opera di validazione è testimoniata da diverse relazioni cui si rimanda in Bibliografia [2], [3]

Per maggiori dettagli sul simulatore di manovra SIMON II si fa riferimento a [4].

Prima di condurre le simulazioni per la nave in oggetto, il Comandante Lanzola ha avuto modo di verificare tramite una serie di manovre preliminari che il comportamento delle navi configurate fosse conforme a quello delle navi reali.

**COMUNE DI FAVIGNANA**  
Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B3 – Studio di navigabilità**



Compilatore

CCZ, RDP, GGI

Commessa

514110000013

N° pagina

5 di 29

### 3. LE SIMULAZIONI

#### 3.1 Generalità

Le caratteristiche principali delle tre navi considerate nel presente studio sono riportate nelle Tabelle 1-3.

Per ciascuna di esse sono state simulate 4 manovre di ingresso e una di uscita nelle condizioni indicate nella Tabella 4.

#### 3.2 Planimetria portuale e condizioni meteomarine

La planimetria portuale in esame è quella illustrata schematicamente in Figura 1.

Le condizioni meteomarine considerate nello studio sono state fornite dallo studio tecnico MODIMAR s.r.l. incaricato per la redazione del nuovo Piano Regolatore del Porto di Favignana.

In particolare sono stati considerati:

- Venti provenienti da 150° e 325° e di intensità di 25 nodi.
- Moti ondosi con direzioni di provenienza da N (0°), aventi periodo (T) 8.0 secondi ed altezza significativa ( $H_s$ ) 3.5 metri e periodo (T) 10 secondi ed altezza significativa ( $H_s$ ) 4.5 metri.

Il vento è stato considerato di intensità e direzione costante nel tempo su tutta l'area di mare esaminata; nessuna attenuazione è stata considerata per la presenza di opere portuali (moli frangiflutti, banchine, ecc...) e per la conformazione della costa.

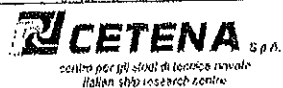
Il moto ondoso è stato considerato costante in direzione, mentre per l'altezza dell'onda è stata considerata l'attenuazione in accordo con quanto fornito da MODIMAR (figure 2 e 3).

Le condizioni meteomarine considerate nello studio possono essere riassunte in:

Condizione 1		
Vento	$V_v = 25$ nodi	150° N
Moto ondoso	$H_s = 3.5$ m, $T = 8.0$ s	0° N



**COMUNE DI FAVIGNANA**  
 Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B3 – Studio di navigabilità**



Compilatore

GCZ, RDP, GGI

Commessa

514110000013

N° pagina

6 di 29

<b>Condizione 2</b>		
Vento	Vv = 25 nodi	150° N
Moto ondoso	Hs = 4.5 m, T = 10.0 s	0° N
<b>Condizione 3</b>		
Vento	Vv = 25 nodi	325° N
Moto ondoso	Hs = 3.5 m, T = 8.0 s	0° N
<b>Condizione 4</b>		
Vento	Vv = 25 nodi	325° N
Moto ondoso	Hs = 4.5 m, T = 10.0 s	0° N

### 3.3 Presentazione dei risultati

Nelle Figure 3-18 sono riportati i grafici relativi alle manovre eseguite e rappresentanti la traiettoria seguita dal baricentro della nave durante la simulazione; sulla traiettoria viene inoltre riportata, ad intervalli di tempo pari ad un minuto, la silhouette della nave che consente di ricavare immediate informazioni circa la rotta seguita dalla stessa.

**COMUNE DI FAVIGNANA**  
**Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana**  
**B3 – Studio di navigabilità**



Compilatore

GCZ, RDP, GOI

Commessa

514110000013

N° pagina

7 di 29

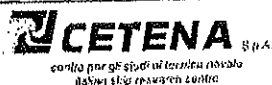
## 4. CONCLUSIONI

Le manovre simulate durante il presente studio sono state tutte condotte con esito positivo.

I risultati delle simulazione di manovre di arrivo e partenza in condizioni meteomarine avverse (vento e mare), per gli attracchi previsti dal nuovo progetto confermano pertanto la validità del nuovo Piano Regolatore del Porto di Favignana.

Si può così confermare la possibilità di ospitare i traghetti già in servizio nell'attuale porto (traghetti di lunghezza di circa 70m), ma anche traghetti di dimensioni superiori (lunghezza di circa 100m) e piccole navi da crociera (lunghezza di circa 150m) in accordo con quanto previsto dal nuovo progetto.

**COMUNE DI FAVIGNANA**  
Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B3 – Studio di navigabilità**



Compilatore

GCZ, RDI, GGI

Commessa

514110000013

N° pagina

8 di 29

## ELENCO TABELLE

- Tab. 1: Caratteristiche principali Traghetto di lunghezza 70m  
Tab. 2: Caratteristiche principali Traghetto di lunghezza 100m  
Tab. 3: Caratteristiche principali Nave da Crociera di lunghezza 150m  
Tab. 4: Elenco manovre simulate e condizioni meteomarine per ciascuna nave.

## ELENCO FIGURE

- Fig. 1: Layout della configurazione portuale in progetto  
Fig. 2: Attenuazione ondosa all'interno del bacino portuale per mare con  $H_s = 3.5m$   
Fig. 3: Attenuazione ondosa all'interno del bacino portuale per mare con  $H_s = 4.5m$   
Fig. 4: Nave 1 - Simulazione numero 1  
Fig. 5: Nave 1 - Simulazione numero 2  
Fig. 6: Nave 1 - Simulazione numero 3  
Fig. 7: Nave 1 - Simulazione numero 4  
Fig. 8: Nave 1 - Simulazione numero 5  
Fig. 9: Nave 2 - Simulazione numero 1  
Fig. 10: Nave 2 - Simulazione numero 2  
Fig. 11: Nave 2 - Simulazione numero 3  
Fig. 12: Nave 2 - Simulazione numero 4  
Fig. 13: Nave 2 - Simulazione numero 5  
Fig. 14: Nave 3 - Simulazione numero 1  
Fig. 15: Nave 3 - Simulazione numero 2  
Fig. 16: Nave 3 - Simulazione numero 3  
Fig. 17: Nave 3 - Simulazione numero 4  
Fig. 18: Nave 3 - Simulazione numero 5



**COMUNE DI FAVIGNANA**  
Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B3 – Studio di navigabilità**



Compilatore

GCZ, RDP, GGI

Commessa

51411000013

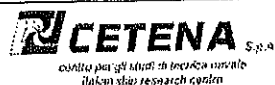
N° pagina

9 di 29

## BIBLIOGRAFIA

- [1] 'Piano Regolatore del Porto di Favignana – Relazione Tecnica'
  
- [2] G.Capurro, P.Puccio  
'Primi risultati del programma SIMSUP per navi monoelica. Confronto teorico-sperimentale'  
Rapporto tecnico CETENA n. 3832, Dicembre 1989
  
- [3] G.Capurro, P.Puccio  
'Primi risultati del programma SIMSUP per navi bielica. Confronto teorico-sperimentale'  
Rapporto tecnico CETENA n. 4037, Agosto 1990
  
- [4] G.Capurro  
'Description of CETENA manoeuvring simulator SIMON II'  
Rapporto tecnico CETENA n. 7459, Gennaio 2001

**COMUNE DI FAVIGNANA**  
 Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B3 – Studio di navigabilità**



Compilatore  
GCZ, RDP, GGI

Commessa  
514110000013

N° pagina  
10 di 29

## TABELLA 1

**NAVE 1 – Caratteristiche principali nave traghetto di lunghezza 70m**

Caratteristiche della carena		
Lunghezza tra le perpendicolari	64.30	m
Lunghezza fuori tutto	71.15	m
Larghezza B	14.00	m
Immersione media Tm	3.69	m
Dislocamento	2691	t
Area frontale opera morta	217	m <sup>2</sup>
Area longitudinale opera morta	580	m <sup>2</sup>
Caratteristiche del timone		
Numero di Timoni	1	
Area del timone	3.75	m <sup>2</sup>
Caratteristiche dell'elica		
Numero eliche / Tipo	2 / pale orientabili	
Numero delle pale	4	
Diametro	2.4	m

## TABELLA 2

**NAVE 2 – Caratteristiche principali nave traghetto di lunghezza 100m**

Caratteristiche della carena		
Lunghezza tra le perpendicolari	88.00	m
Lunghezza fuori tutto	101.75	m
Larghezza B	14.50	m
Immersione prodiera Tm	2.65	m
Dislocamento	1250	t
Area frontale opera morta	213	m <sup>2</sup>
Area longitudinale opera morta	1073	m <sup>2</sup>
Organi di propulsione e governo		
Numero di Idrogetti	3	

**COMUNE DI FAVIGNANA**  
 Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B3 – Studio di navigabilità**



Compilatore  
GCZ, RDP, GGI

Commessa  
514110000013

N° pagina  
11 di 29

### TABELLA 3

**NAVE 3 – Caratteristiche principali nave da crociera di lunghezza 150m**

Caratteristiche della carena		
Lunghezza tra le perpendicolari	137.30	m
Lunghezza fuori tutto	150.00	m
Larghezza B	23.40	m
Immersione media Tm	4.00	m
Dislocamento	8000	t
Area frontale opera morta	322	m <sup>2</sup>
Area longitudinale opera morta	1645	m <sup>2</sup>
Caratteristiche del timone		
Numero di Timoni	2	
Area del timone	7.54	m <sup>2</sup>
Caratteristiche dell'elica		
Numero eliche / Tipo	2 / pale orientabili	
Numero delle pale	4	
Diametro	3.5	m

### TABELLA 4

**Elenco manovre simulate e condizioni meteomarine per ciascuna nave**

Test	Manovra	VENTO		MARE		
		velocità	direzione	altezza	periodo	direzione
1	ARRIVO	25 nodi	150° N	3.5 m	8.0 s	0° N
2	ARRIVO	25 nodi	150° N	4.5 m	10.0 s	0° N
3	ARRIVO	25 nodi	325° N	3.5 m	8.0 s	0° N
4	ARRIVO	25 nodi	325° N	4.5 m	10.0 s	0° N
5	PARTENZA	25 nodi	150° N	4.5 m	10.0 s	0° N

**COMUNE DI FAVIGNANA**  
 Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
 B3 – Studio di navigabilità

**CETENA** S.p.A.  
 centro per gli studi di sicurezza navale  
 Nautical ship research centre

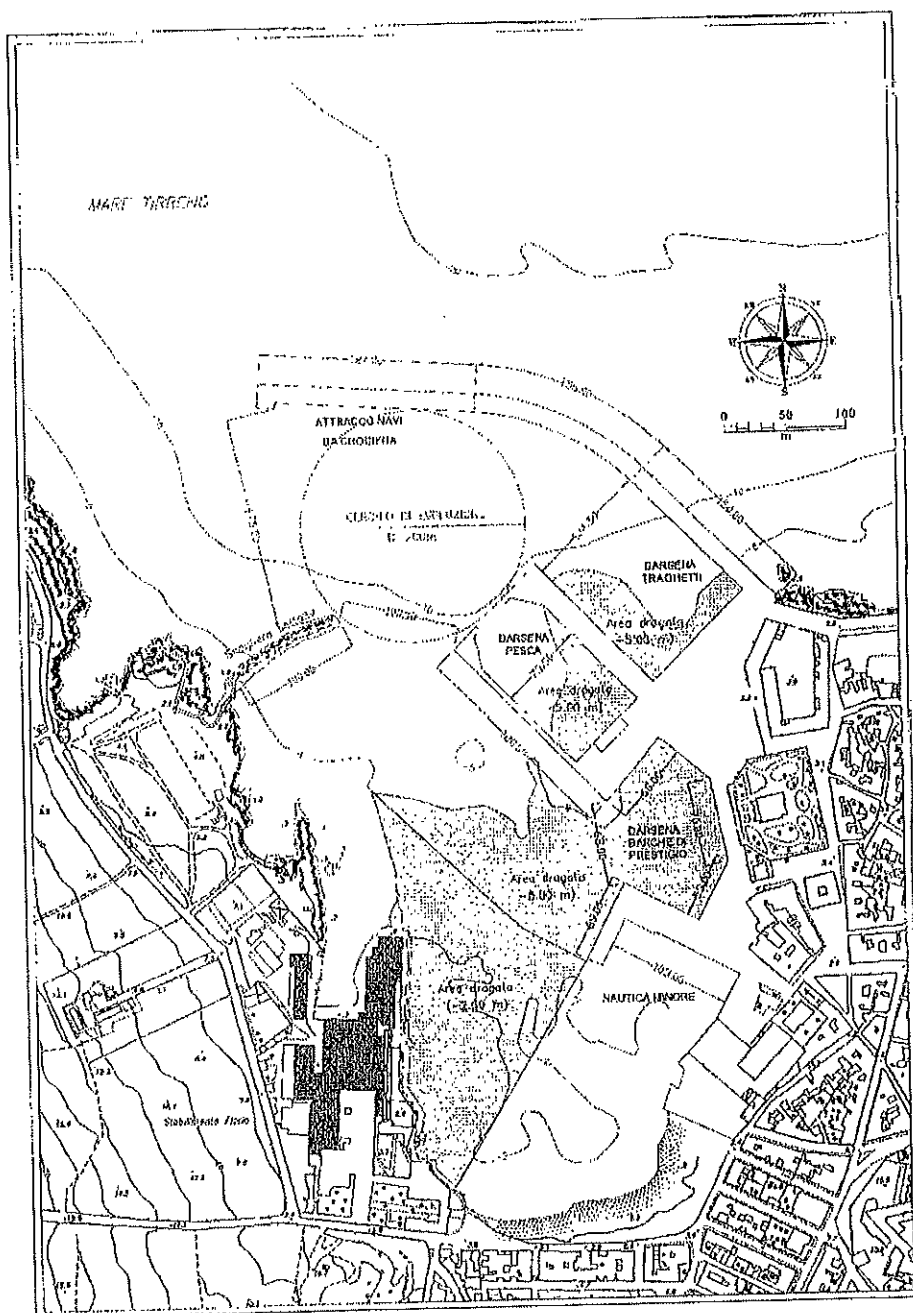
Compilatore  
 GCZ, RDP, GGI

Commessa  
 S1411000013

N° pagina  
 12 di 29

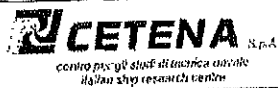
## FIGURA 1

Layout della configurazione portuale in progetto





**COMUNE DI FAVIGNANA**  
 Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B3 – Studio di navigabilità**



Compilatore

GCZ, RDP, GCH

Commessa

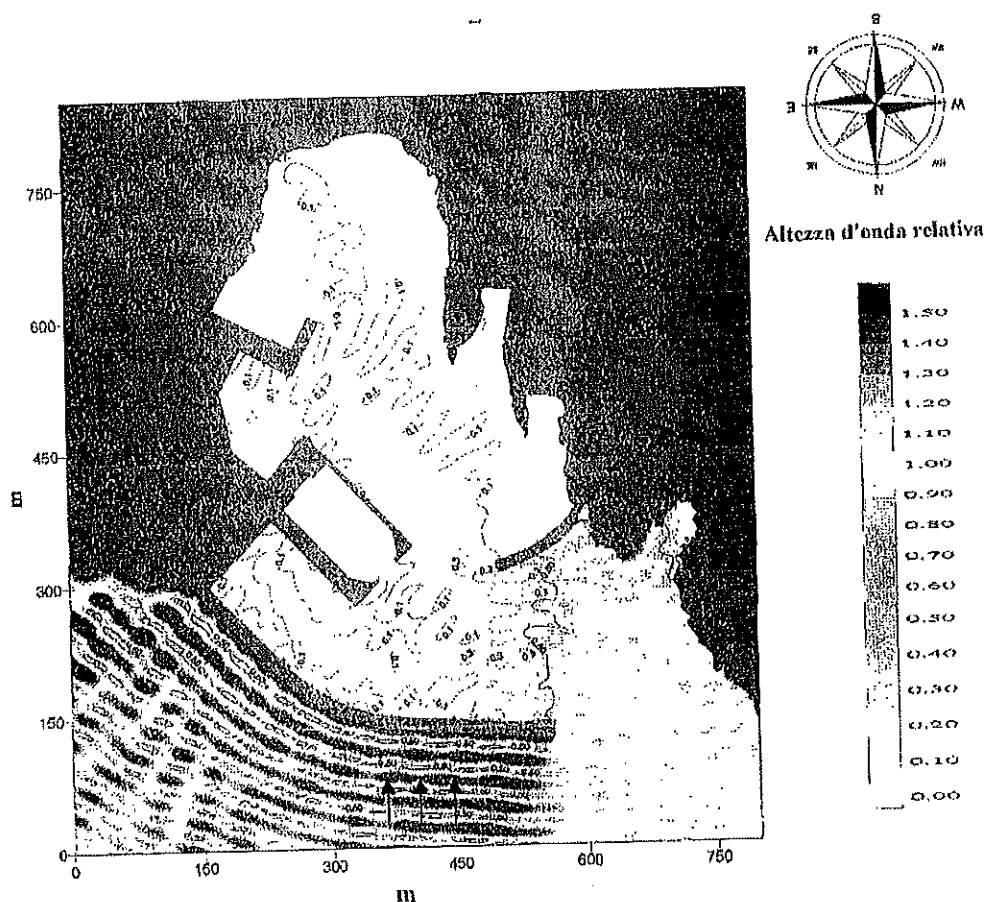
514110009013

N° pagina

13 di 29

**FIGURA 2**

*Attenuazione ondosa all'interno del bacino portuale per mare con  $H_s = 3.5m$*



**COMUNE DI FAVIGNANA**  
 Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B3 – Studio di navigabilità**



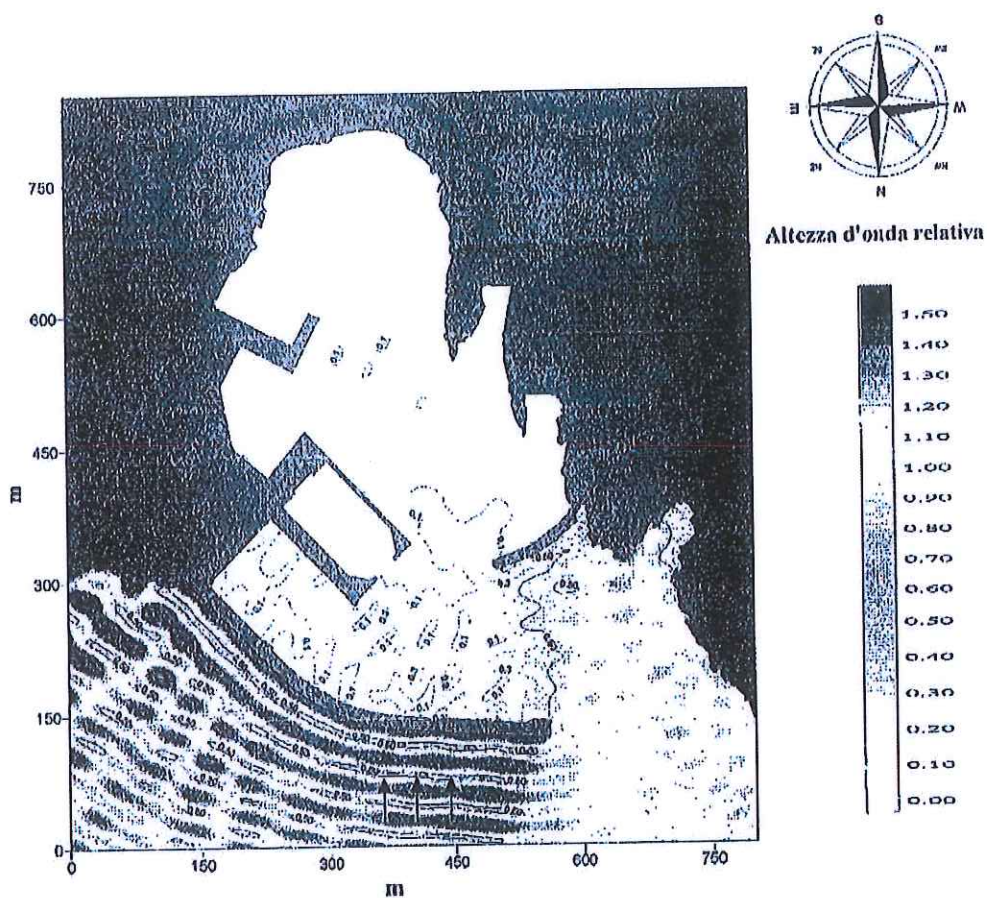
Compilatore  
GCZ, RDP, GGI

Commessa  
514110000013

N° pagina  
14 di 29

**FIGURA 3**

*Attenuazione ondosa all'interno del bacino portuale per mare con  $H_s = 4.5m$*



**COMUNE DI FAVIGNANA**  
Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B3 – Studio di navigabilità**



Compilatore  
GCZ, RDP, GCH

Commissa  
514110000013

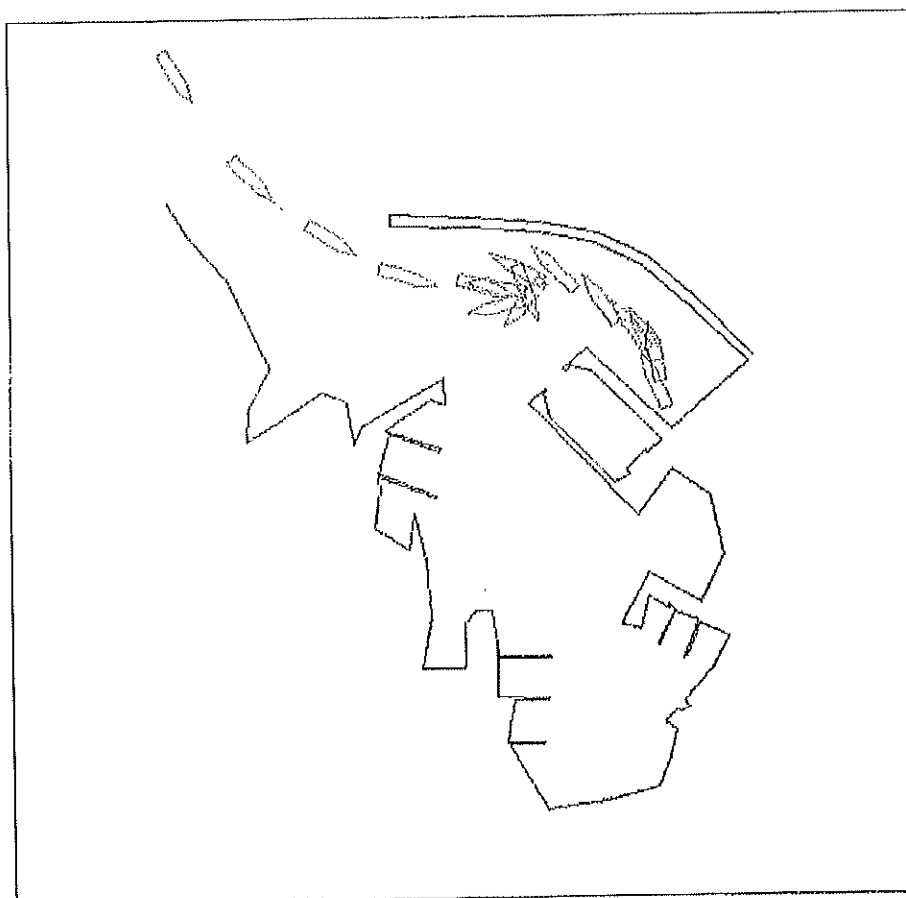
N° pagina  
15 di 29

**FIGURA 4**

Nave 1 - Simulazione numero 1

Manovra di Arrivo

Vento: 25 nodi, 150° N – Mare: Hs=3.5m, T=8.0s, 0° N



**COMUNE DI FAVIGNANA**  
**Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana**  
**B3 – Studio di navigabilità**



Compilatore

GCZ, RDP, GGI

Commissio

514110000013

N° pagina

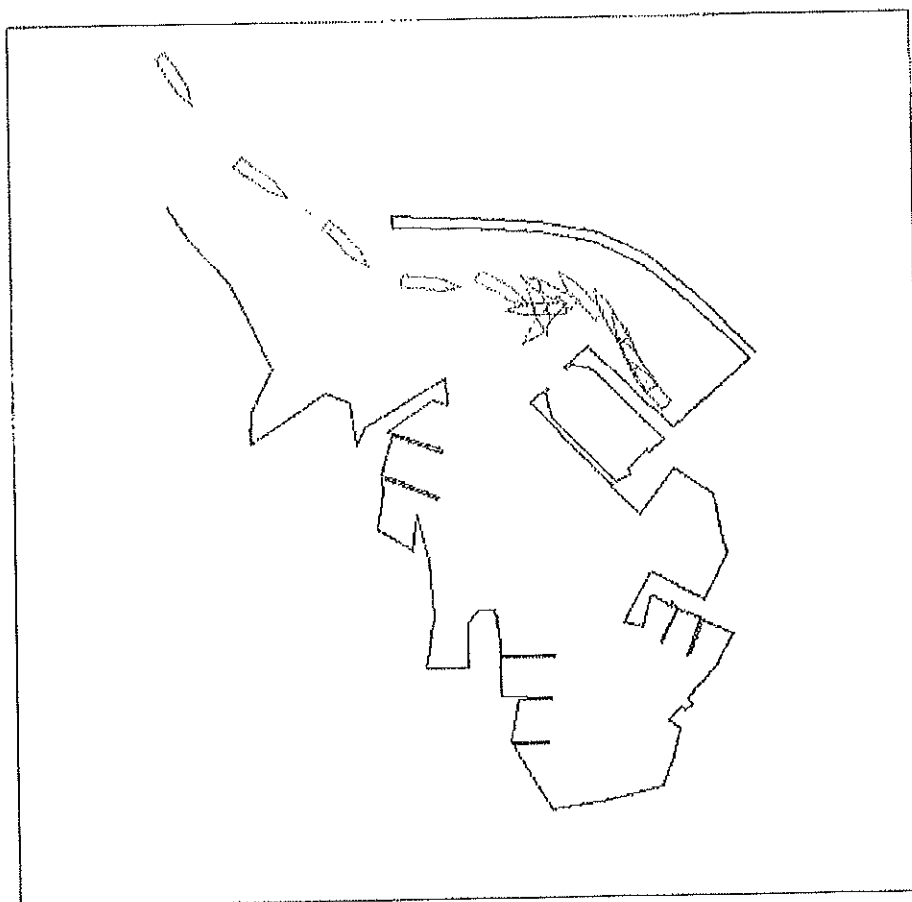
16 di 29

**FIGURA 5**

Nave 1 - Simulazione numero 2

Manovra di Arrivo

Vento: 25 nodi, 150° N – Mare: Hs=4,5m, T=10.0s, 0° N





COMUNE DI FAVIGNANA  
Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
B3 – Studio di navigabilità



Compilatore  
GCZ, RDP, GGI

Commissario  
514110000013

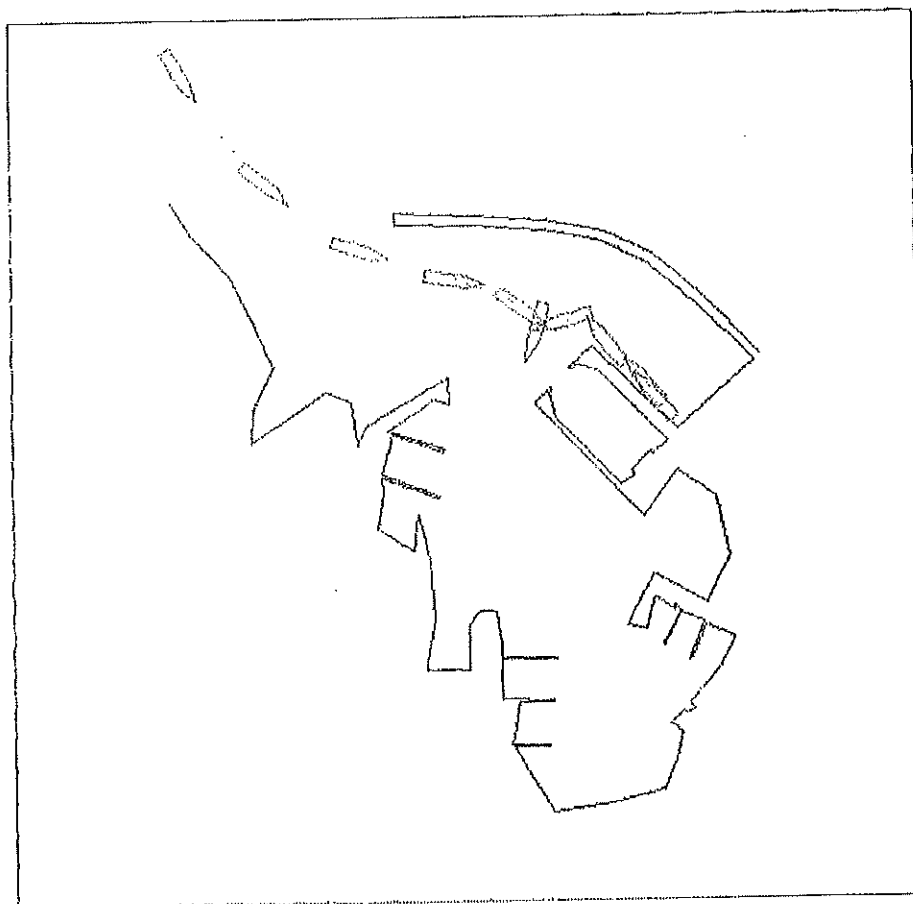
N° pagina  
17 di 29

**FIGURA 6**

Nave 1 - Simulazione numero 3

Manovra di Arrivo

Vento: 25 nodi, 325° N – Mare: Hs=3.5m, T=8.0s, 0° N



**COMUNE DI FAVIGNANA**  
Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B3 – Studio di navigabilità**



Compilatore

GCZ, RDP, GGI

Compressa

514110000913

N° pagina

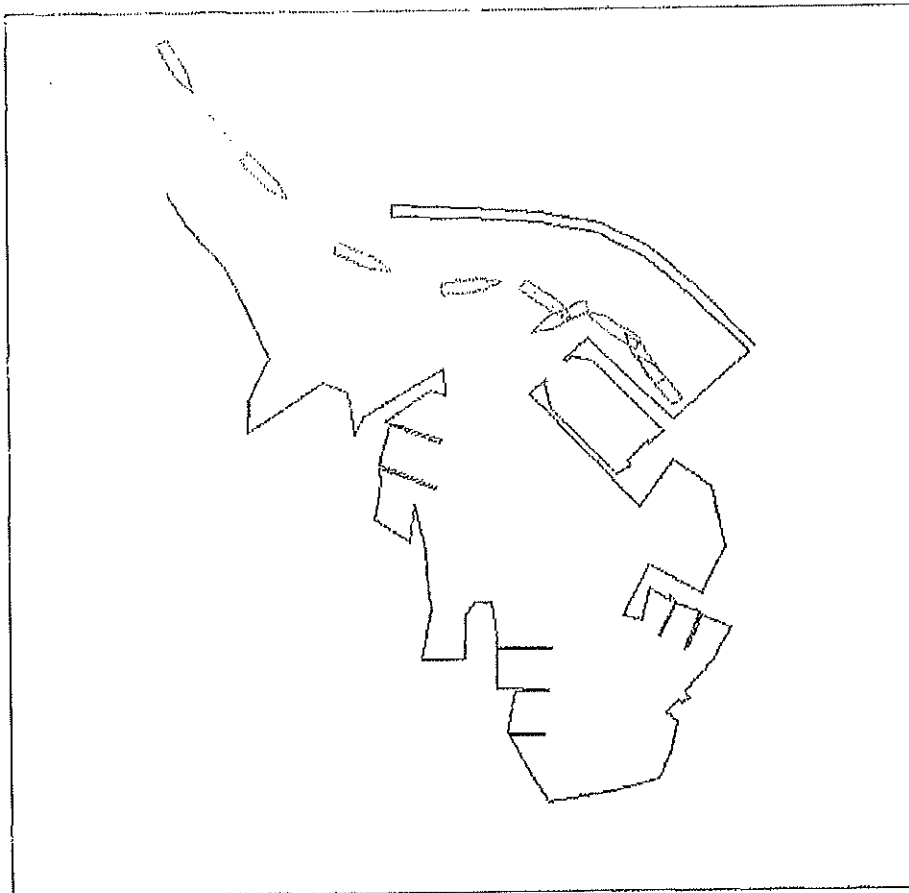
18 di 29

**FIGURA 7**

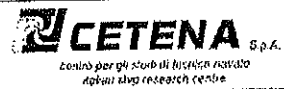
Nave 1 - Simulazione numero 4

Manovra di Arrivo

Vento: 25 nodi, 325° N – Mare: Hs=4.5m, T=10.0s, 0° N



**COMUNE DI FAVIGNANA**  
Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B3 – Studio di navigabilità**



Compilatore  
GCZ, RDP, GGI

Commessa  
514110000013

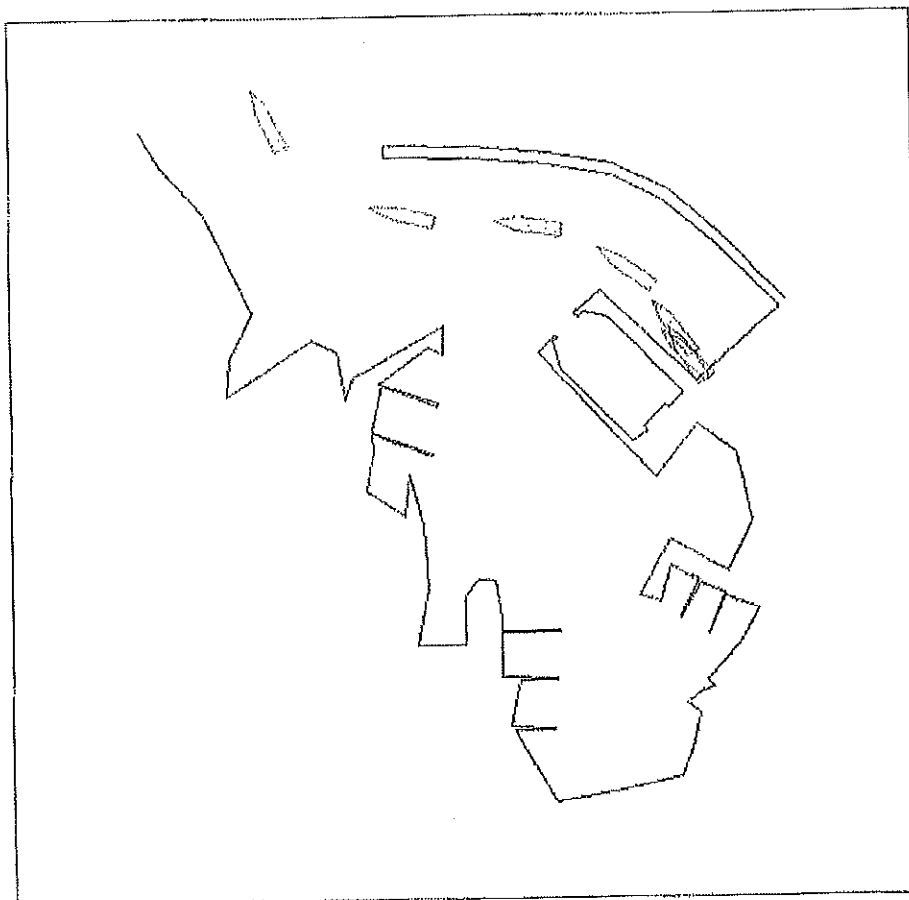
N° pagina  
19 di 29

**FIGURA 8**

**Nave 1 - Simulazione numero 5**

**Manovra di Partenza**

**Vento: 25 nodi, 150° N – Mare: Hs=4.5m, T=10.0s, 0° N**



COMUNE DI FAVIGNANA  
Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
B3 – Studio di navigabilità

**CETENA** S.p.A.  
centro per gli studi di ingegneria navale  
Italian ship research centre

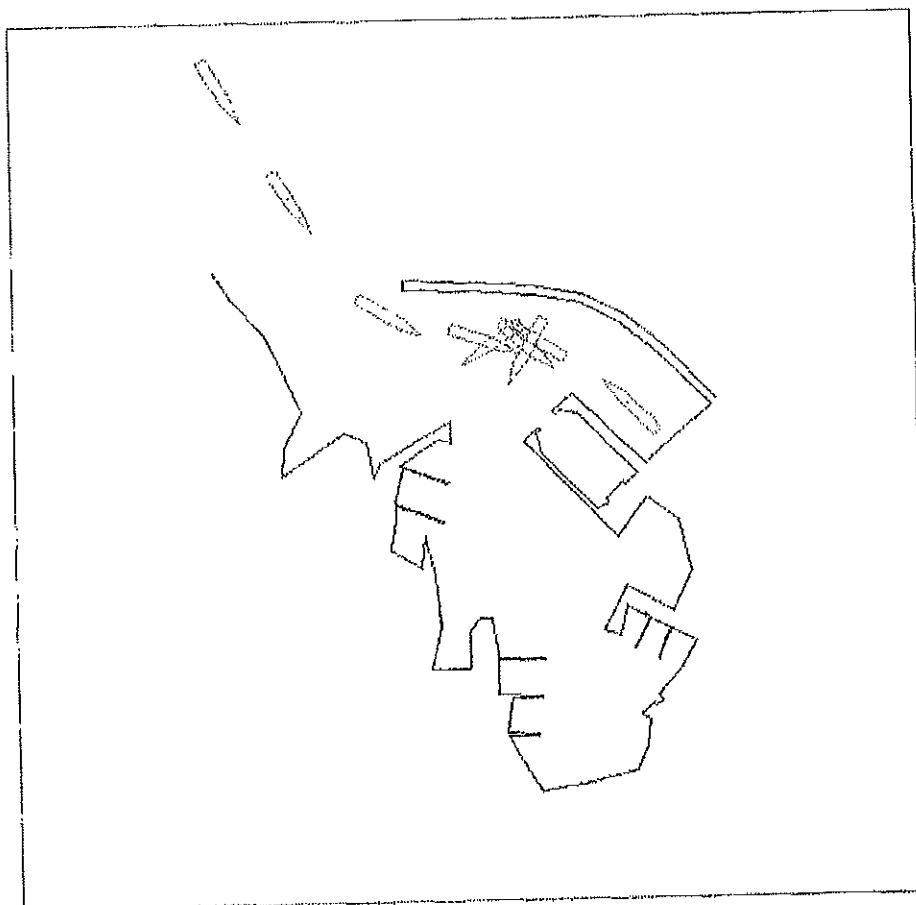
Compilatore  
GCZ, RDP, GGI

Commessa  
514110000013

N° pagina  
20 di 29

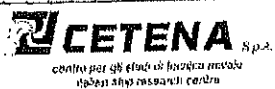
**FIGURA 9**

Nave 2 - Simulazione numero 1  
Manovra di Arrivo  
Vento: 25 nodi, 150° N – Mare: Hs=3.5m, T=8.0s, 0° N





COMUNE DI FAVIGNANA  
Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
B3 – Studio di navigabilità



Compilatore  
GCZ, RDP, GGI

Commessa  
S14110000013

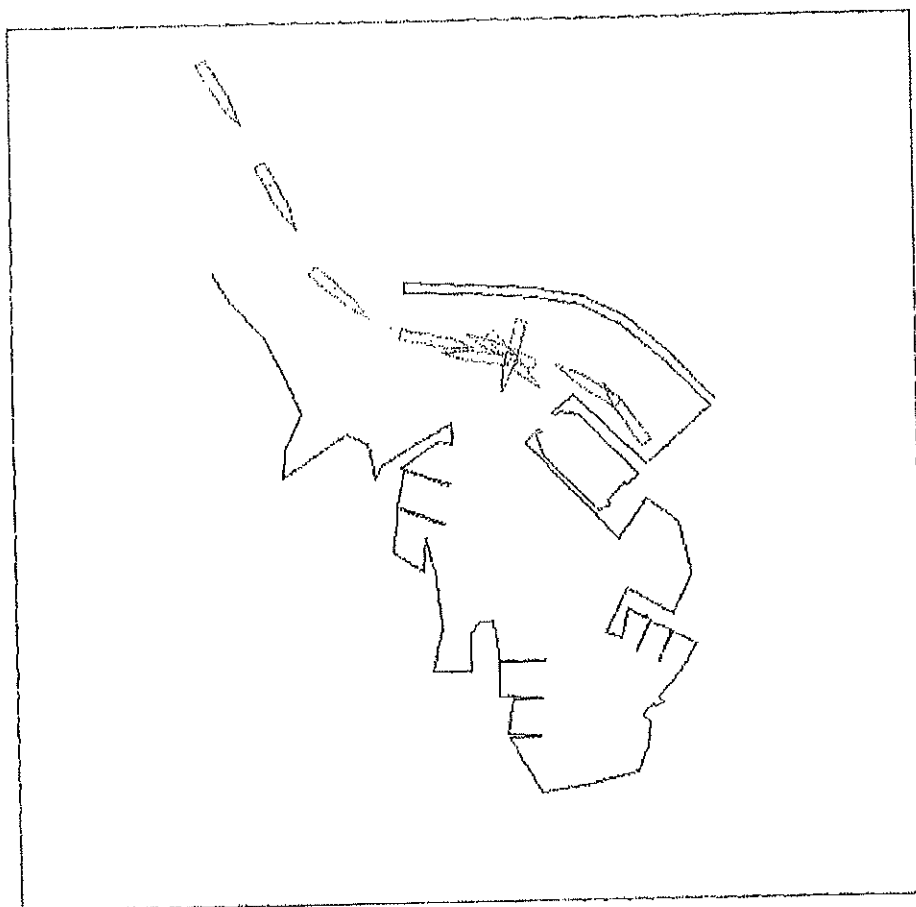
N° pagina  
21 di 29

**FIGURA 10**

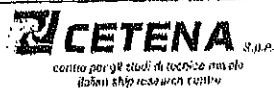
Nave 2 - Simulazione numero 2

Manovra di Arrivo

Vento: 25 nodi, 150° N – Mare: Hs=4.5m, T=10.0s, 0° N



**COMUNE DI FAVIGNANA**  
Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B3 – Studio di navigabilità**



Compilatore

GC2, RDP, GGI

Commessa

514110000013

N° pagina

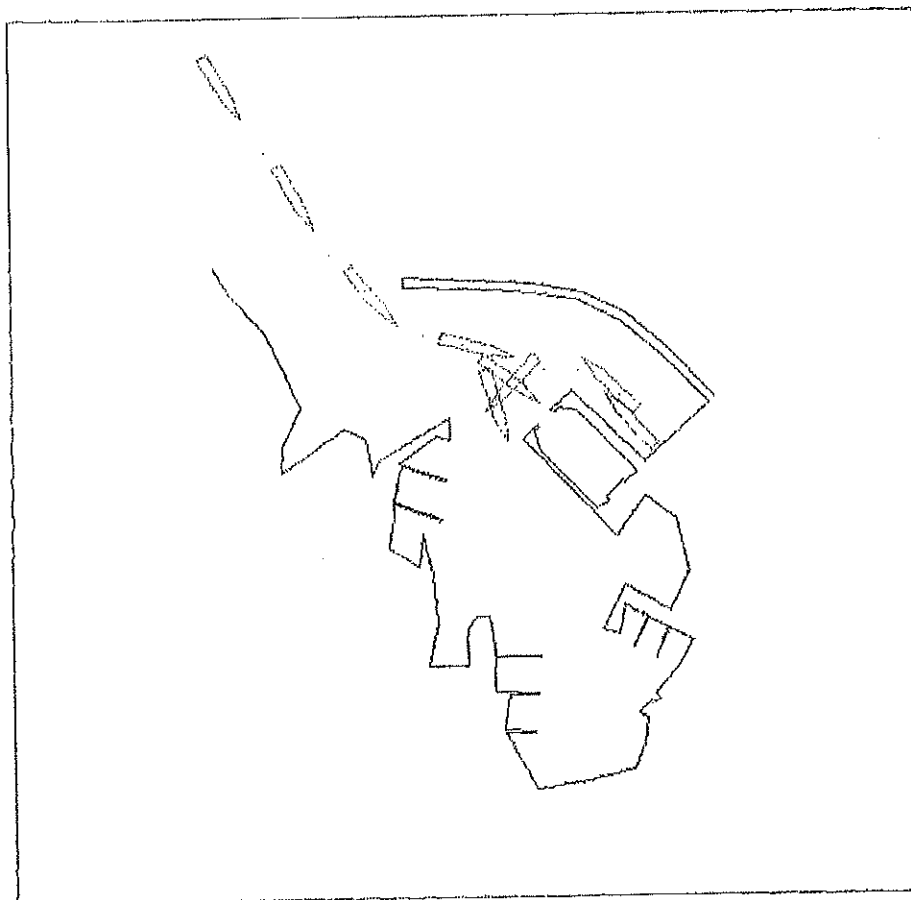
22 di 29

**FIGURA 11**

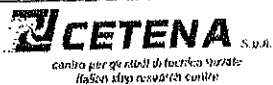
Nave 2 - Simulazione numero 3

Manovra di Arrivo

Vento: 25 nodi, 325° N – Mare: Hs=3.5m, T=8.0s, 0° N



**COMUNE DI FAVIGNANA**  
Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B3 – Studio di navigabilità**



Compilatore  
GCZ, RDP, GGI

Commessa  
514110000013

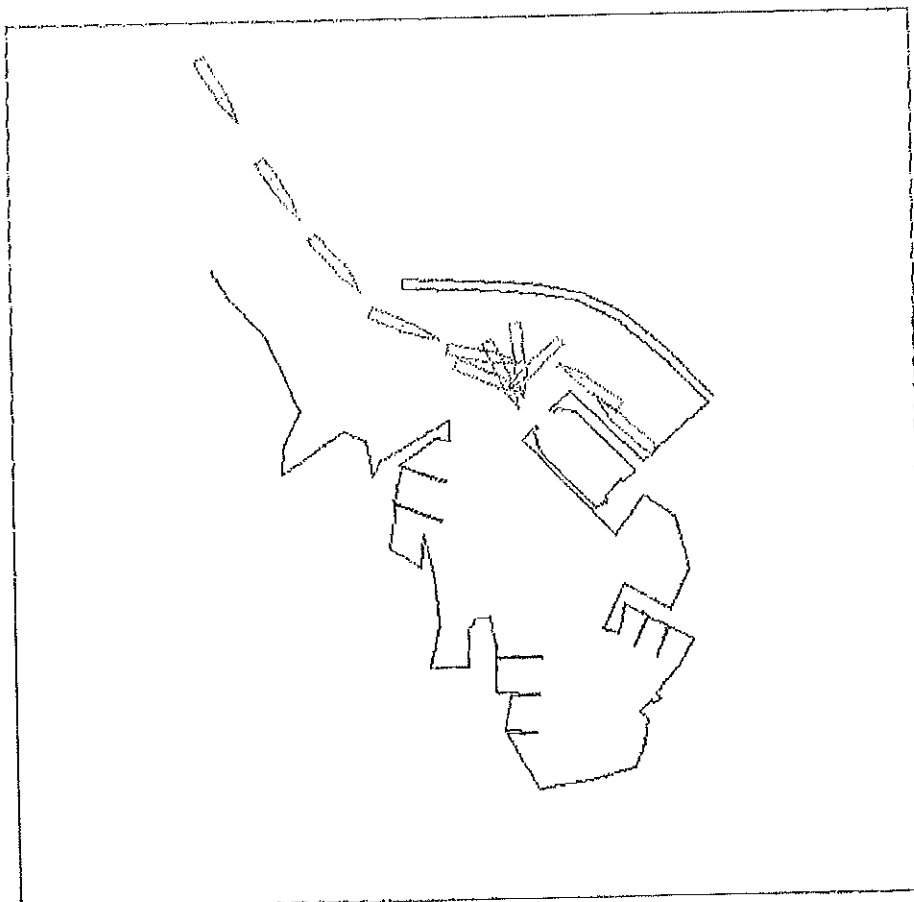
N° pagina  
23 di 29

**FIGURA 12**

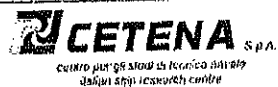
Nave 2 - Simulazione numero 4

Manovra di Arrivo

Vento: 25 nodi, 325° N – Mare: Hs=4.5m, T=10.0s, 0° N



**COMUNE DI FAVIGNANA**  
Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B3 – Studio di navigabilità**



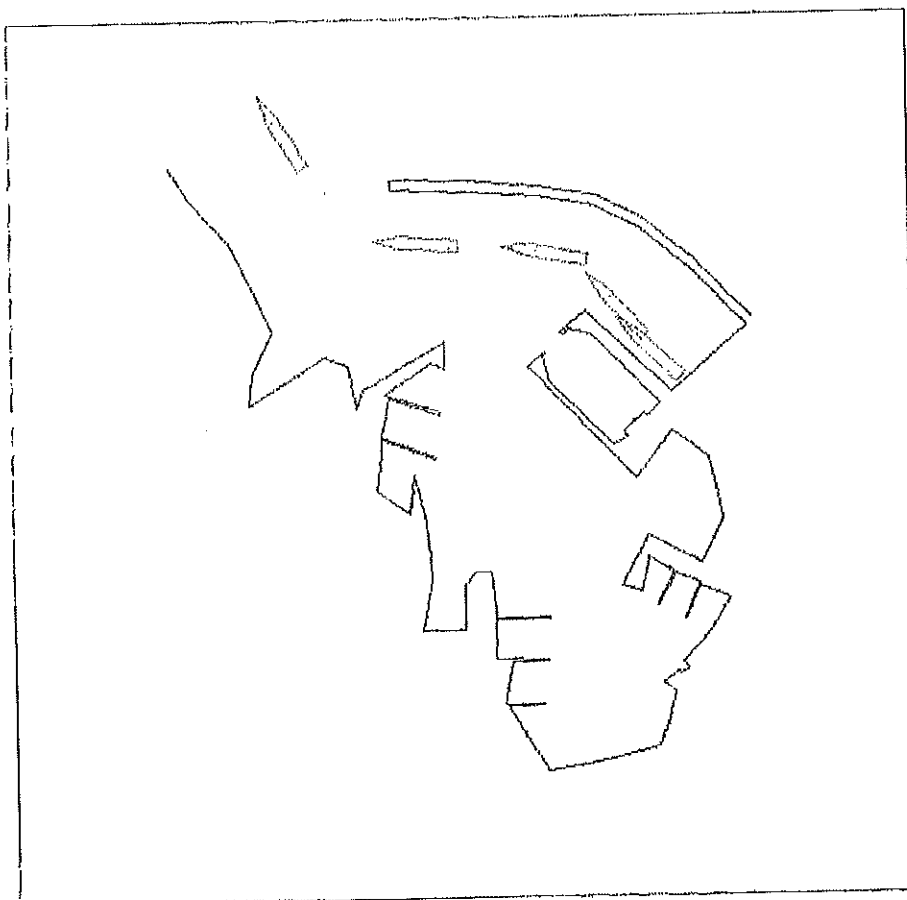
Compilatore  
G.C.Z., R.O.P., G.G.I.

Commessa  
514110000013

N° pagina  
24 di 29

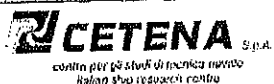
**FIGURA 13**

Nave 2 - Simulazione numero 5  
Manovra di Partenza  
Vento: 25 nodi, 150° N – Mare: Hs=4.5m, T=10.0s, 0° N





**COMUNE DI FAVIGNANA**  
Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B3 – Studio di navigabilità**



Compilatore  
GCZ, RDP, GGI

Commessa  
514110000013

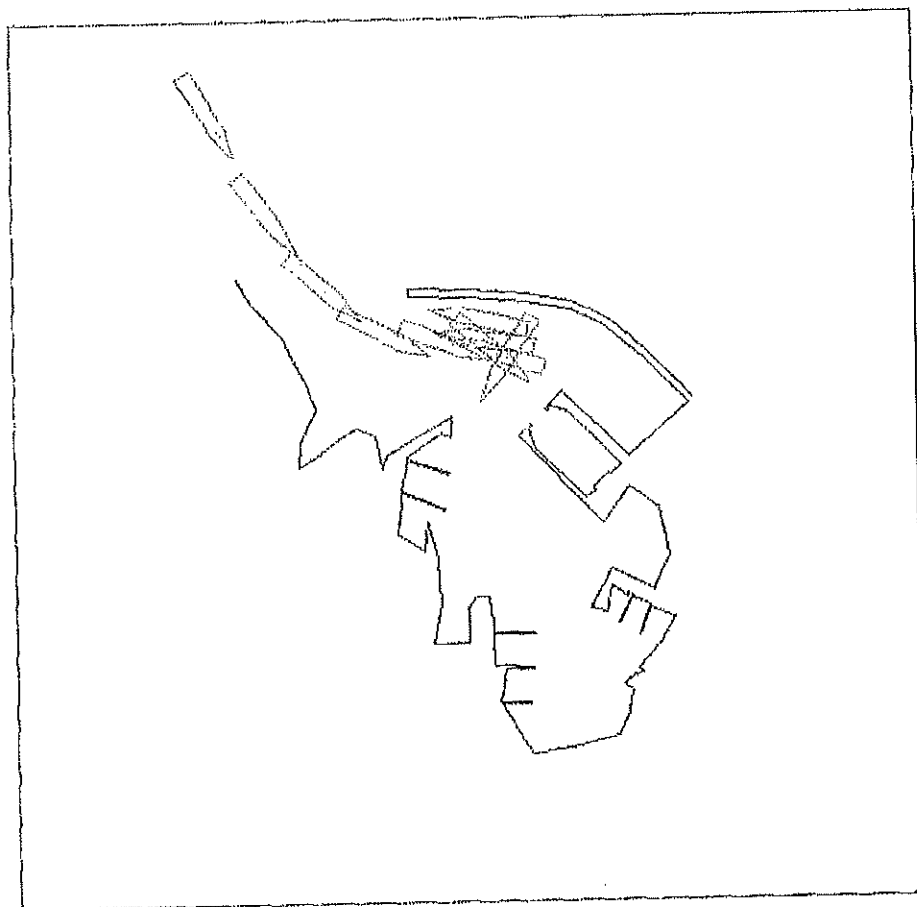
N° pagina  
26 di 29

**FIGURA 15**


Nave 3 - Simulazione numero 2

Manovra di Arrivo

Vento: 25 nodi, 150° N – Mare: Hs=4.5m, T=10.0s, 0° N



**COMUNE DI FAVIGNANA**  
Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B3 – Studio di navigabilità**

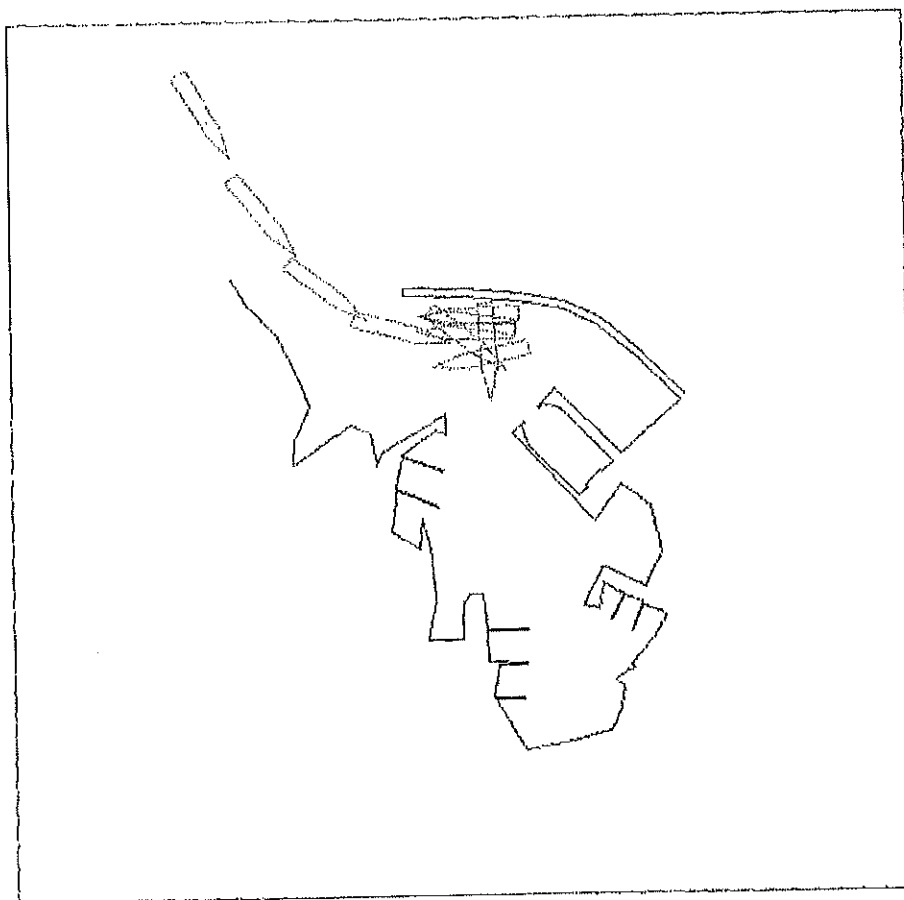
 <b>CETENA</b> S.p.A. <small>consiglio per gli studi di fattibilità navale dall'idea alla realizzazione completa</small>	Compilatore GCZ, RDP, GGI	Commessa 514110000013	N° pagina 25 di 29
--	------------------------------	--------------------------	-----------------------

**FIGURA 14**

Nave 3 - Simulazione numero 1

Manovra di Arrivo

Vento: 25 nodi, 150° N – Mare: Hs=3.5m, T=8.0s, 0° N



COMUNE DI FAVIGNANA  
Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
B3 – Studio di navigabilità



Compilatore  
GCZ, RDP, GGI

Commessa  
514110000013

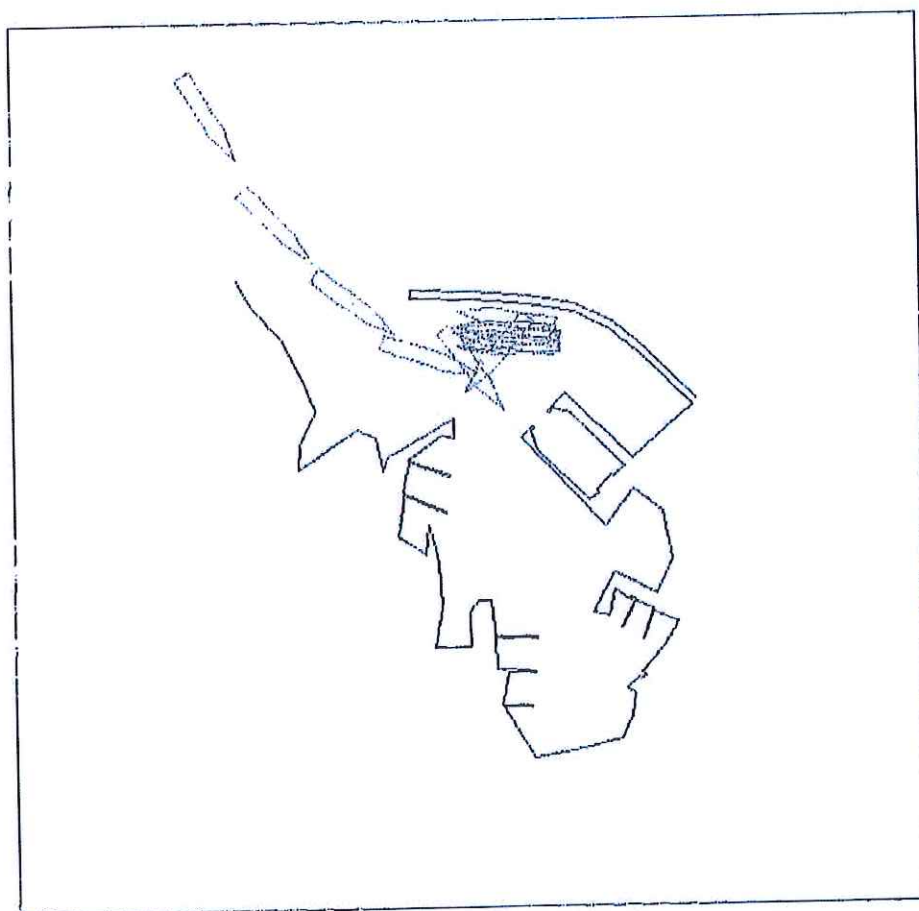
N° pagina  
27 di 29

## FIGURA 16

Nave 3 - Simulazione numero 3

Manovra di Arrivo

Vento: 25 nodi, 325° N – Mare: Hs=3.5m, T=8.0s, 0° N



**COMUNE DI FAVIGNANA**  
Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B3 – Studio di navigabilità**



Compilatore  
GCZ, RDP, OGI

Commessa  
514119660013

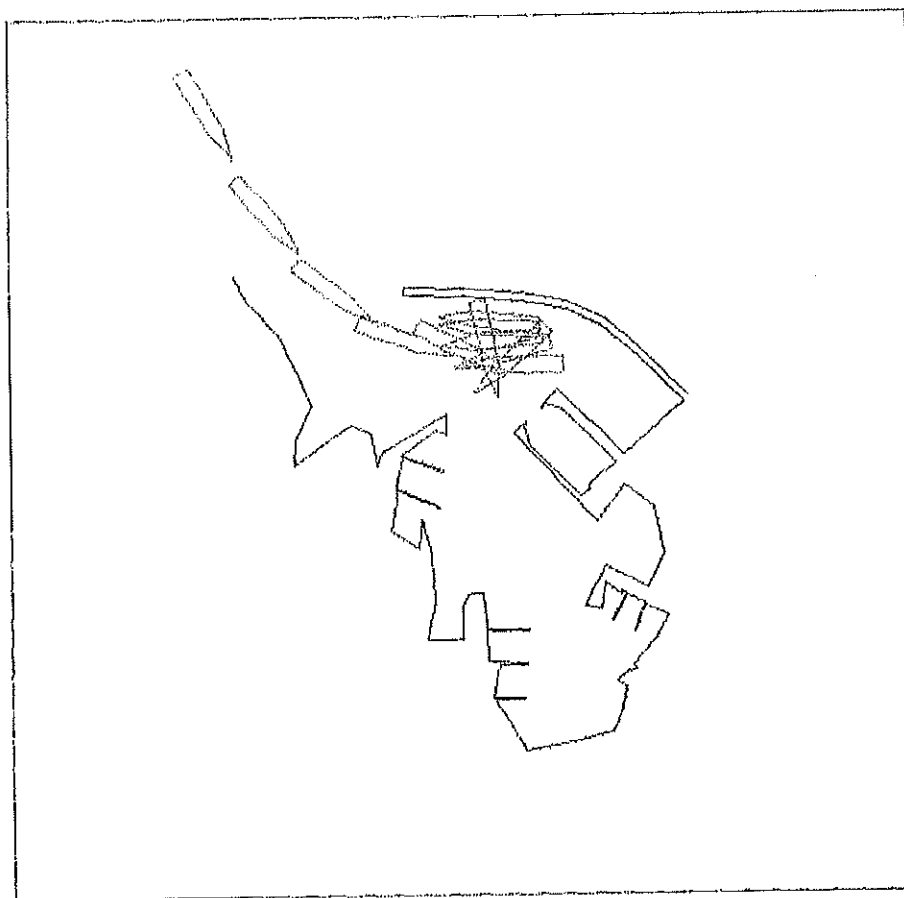
N° pagina  
28 di 29

**FIGURA 17**

**Nave 3 - Simulazione numero 4**

**Manovra di Arrivo**

**Vento: 25 nodi, 325° N – Mare: Hs=4.5m, T=10.0s, 0° N**





**COMUNE DI FAVIGNANA**  
Lavori di messa in sicurezza del Porto di Favignana  
**B3 – Studio di navigabilità**



Compilatore  
GCZ, RDP, GGH

Commessa  
514110000013

N° pagina  
29 di 29

**FIGURA 18**

Nave 3 - Simulazione numero 5

Manovra di Partenza

Vento; 25 nodi, 150° N – Mare: Hs=4.5m, T=10.0s, 0° N

