

# REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

## COMUNE DI OLBIA

### PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UNA DARSENA PESCHERECCI A SERVIZIO DELL'IMPIANTO DI STOCCAGGIO E TRASFORMAZIONE DEL PESCATO

ELABORATO:

# C

## STUDIO METEOMARINO

RIF. ELABORATO:

|           | DATA | OGGETTO    |
|-----------|------|------------|
| REVISIONI | 00   | 08-09-2017 |
|           | 01   |            |
|           | 02   |            |
|           | 03   |            |

RED.: AF VER.: AF APPR.: AR

ESECUZIONE PROGETTO:



Viale Trieste, 65/I - 09123 Cagliari - Italy  
Tel. +39 070 6848202 - Fax +39 070 6404743  
www.martech.it e-mail: info@martech.it



TEAM PROGETTO:

Ing. Andrea Ritossa



Dott. Ing. ANDREA RITOSSA

COMMITTENTE:

**SPANO GROUP S.r.l.**  
PRODOTTITICI  
**SPANO GROUP S.r.l.**  
snc  
OLBIA 07026 (OT) Italy  
Tel. 0789-556020 - Fax 0789-594410  
P.Iva 07878980901

Il presente progetto, o parte di esso, non può essere riprodotto in alcuna forma, in alcun modo e per nessuno scopo, senza autorizzazione.  
Ogni infrazione sarà perseguita a termini di legge.

## Indice

|  |          |
|--|----------|
| <b>1. STUDIO METEO MARINO.....</b>   | <b>2</b> |
| 1.1 INTRODUZIONE .....   | 2        |
| 1.2 CARATTERIZZAZIONE DEL SITO .....   | 3        |
| 1.3 REGIME DEL VENTO E DATI ANEMOMETRICI.....  | 4        |
| 1.4 CLIMA ONDOSO A LARGO.....  | 6        |
| 1.4.1 <i>Clima ondoso registrato dalla stazione semaforica di guardiavecchia e capo figari</i> ..... | 6        |
| 1.4.2 <i>Studio meteo marino marina di olbiamare – prof. Atzeni</i> .....                            | 7        |
| 1.5 VARIAZIONI DEL LIVELLO MARINO .....  | 3        |
| <b>2. STUDIO IDRODINAMICO DI TRASFORMAZIONE DELL'ONDA.....</b>                                       | <b>5</b> |
| 1.6 INTRODUZIONE .....   | 5        |
| 1.7 STUDIO DELL'AREA D'INTERVENTO.....   | 6        |
| 1.7.1 <i>Batimetria</i> .....  | 7        |
| 1.7.2 <i>Maree</i> .....   | 7        |
| 1.7.3 <i>Vento</i> .....   | 7        |
| 1.7.4 <i>Onde</i> .....  | 8        |
| 1.8 IL MODELLO NUMERICO .....  | 9        |
| 1.8.1 <i>Modello per la trasformazione delle onde (Wave Model SWAN)</i> .....                        | 9        |
| 1.9 DETERMINAZIONE DEL CLIMA ONDOSO.....   | 10       |
| 1.9.1 <i>Impostazioni</i> .....  | 10       |
| 1.10 CONCLUSIONI.....  | 12       |

# **1. STUDIO METEO MARINO**

## **1.1 INTRODUZIONE**

La presente relazione espone i risultati dello studio meteo-marino effettuato per la determinazione del clima ondoso all'interno del Porto di Olbia, in particolare nel paraggio retrostante l'isola Gabbia.

Tale studio s'inquadra nell'ambito del progetto per i lavori di realizzazione di una darsena nell'insenatura ad ovest dell'isola Gabbia.

Scopo principale del presente studio, è la determinazione del clima ondoso che si viene a creare nello specchio acqueo di interesse. Il clima ondoso verrà caratterizzato dalla specifica dei valori di altezza d'onda significativa ( $H_s$ ), del periodo di picco d'onda ( $T_p$ ) e della direzione media di provenienza della stessa (MWD).

L'esame della conformazione del Golfo e, più in dettaglio, dello specchio acqueo in esame, mette in evidenza le ottime caratteristiche di riparo del sito da eventi provenienti sia da mare aperto che generatesi all'interno del Golfo.

La ristretta apertura della rada, la presenza di estese secche e la presenza di isolotti che contribuiscono ad un ulteriore abbattimento del moto ondoso proveniente da largo, tendono a far escludere la presenza di eventi estremi superiori rispetto a quelli generatesi all'interno della rada stessa.

Nel presente studio, tuttavia, si è proceduto all'esame di più situazioni critiche, tra le quali anche quelli provenienti da largo e propagatisi all'interno della rada fino a giungere al succitato sito.

Gli studi di generazione e trasformazione all'interno della rada sono stati compiuti attraverso l'utilizzo di modelli numerici idraulici che tengono in conto gli effetti rifrattivo, dissipativo, rigenerativo del vento, diffrattivo e d'interazione tra onde.

I dati dell'onda proveniente da largo è stata tratta dallo studio meteo-marino del prof. A. Atzeni nell'ambito del progetto dell'approdo turistico "MARINA DI OLBIAMARE" in località Sa Marinedda. Si è fatto riferimento allo stesso per comparare i risultati ottenuti dall'applicazione dei modelli nei paraggi in comune tra i due studi.

## 1.2 CARATTERIZZAZIONE DEL SITO

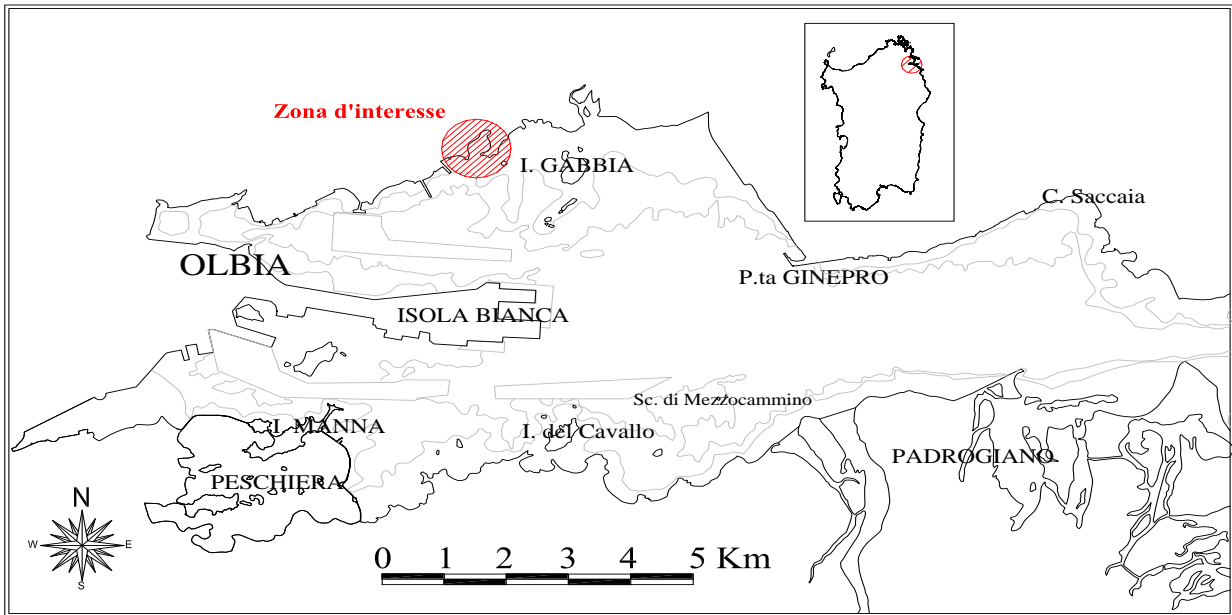


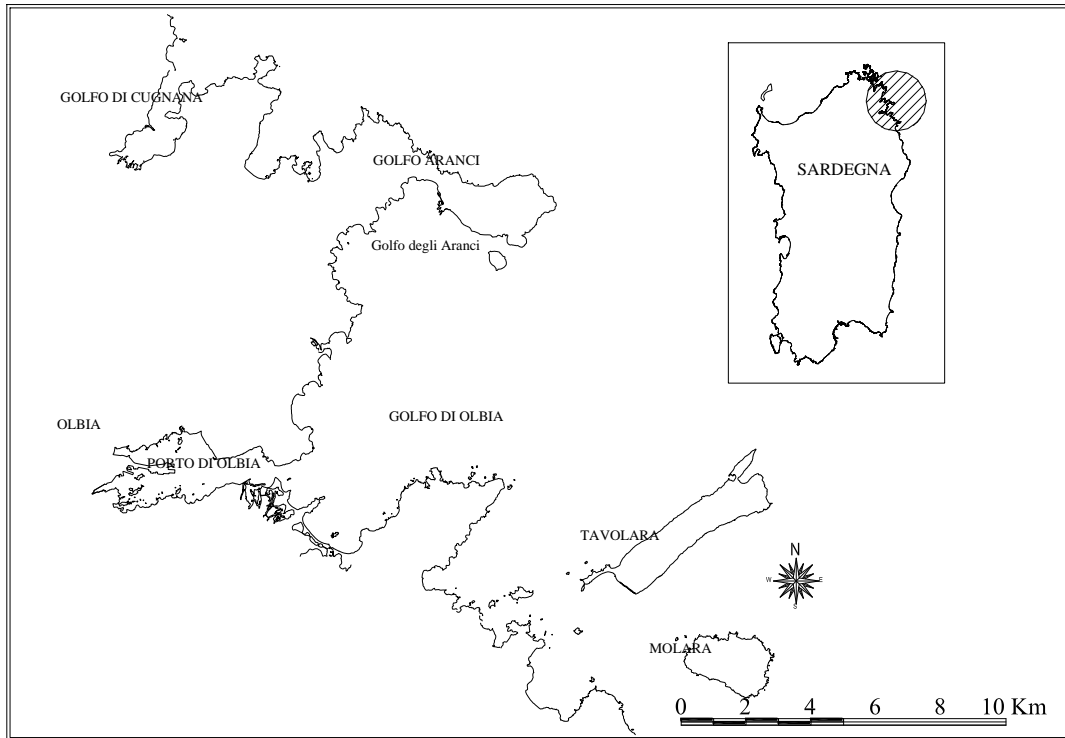
Figura 1: Inquadramento sito d'interesse

Il porto di Olbia (vedi Figura 1), situato nella costa nord orientale della Sardegna, offre importanti caratteristiche di riparo dagli eventi di mare provenienti da largo (vedi Figura 2). Esso, infatti grazie alla conformazione della rada, alla ridotta imboccatura che questa offre al mare aperto, alla morfologia del Golfo di Olbia, risulta essere protetto da tutti gli eventi del secondo, terzo e quarto quadrante. Gli eventi del primo quadrante, giungono all'imbocco della rada solo dopo aver subito forti fenomeni di trasformazione ed attenuazione che ne limitano di molto l'altezza.

Una volta all'interno della rada, gli eventi generati e trasportati da largo, devono subire ulteriori fenomeni di trasformazione, dissipazione, ed ulteriori attenuazioni dovute alla presenza di piccole isole (I. Cavallo, I. Manna) e di bassi fondali e secche (Sc. Di Mezzocammino, Secche di Borraccia).

È da notare che gli eventi di mare, oltre a subire fenomeni di attenuazione e deviazione che ne limitano fortemente l'altezza, subiscono un ricarico energetico da parte di eventi anemologici intensi che contribuiscono ad un mantenimento d'energia delle onde.

I venti prevalenti sono quelli di W-NW ed E-NE che sono, per il sito in esame, venti di "terra". I venti provenienti dal settore meridionale, ovvero quelli che presentano i fetch geografici più estesi per il sito in esame, presentano intensità mai elevatissime eccezion fatta per lo scirocco che, in alcuni casi, raggiunge i 17 m/s (vedi diagramma vento di Vena Fiorita).



**Figura 2: Golfo di Olbia**

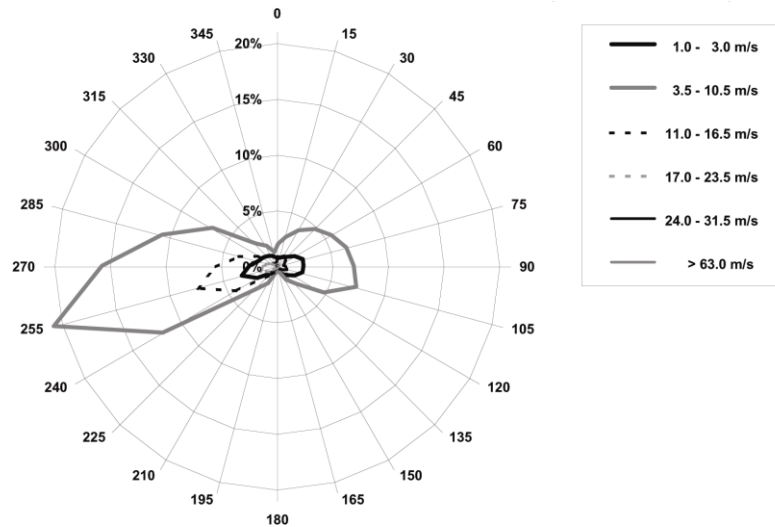
### ***1.3 REGIME DEL VENTO E DATI ANEMOMETRICI***

La conoscenza del clima anemologico del sito in esame, riveste un ruolo fondamentale per la giusta determinazione del clima ondoso in assenza di dati d'onda direttamente rilevati. Il presente caso rende ancora più importante la raccolta dei dati, poiché, a causa della conformazione della rada, come detto nel paragrafo precedente, c'è da attendersi valori d'onda generati da fetch interni superiori a quelle provenienti da largo. Nel presente studio si è fatto riferimento a due fonti di dati anemometrici: Stazione di Guardia Vecchia A.M (La Maddalena) e la stazione i Olbia Venafiorita. Si sono utilizzati i dati della stazione di La Maddalena, non tanto per caratterizzare il clima anemometrico, già intelligibile dai rilevamenti della stazione di Olbia Venafiorita, quanto per trovare conforto nelle intensità di vento massime possibili; in conseguenza di un maggior periodo di rilievi della stazione di Guardiavecchia.

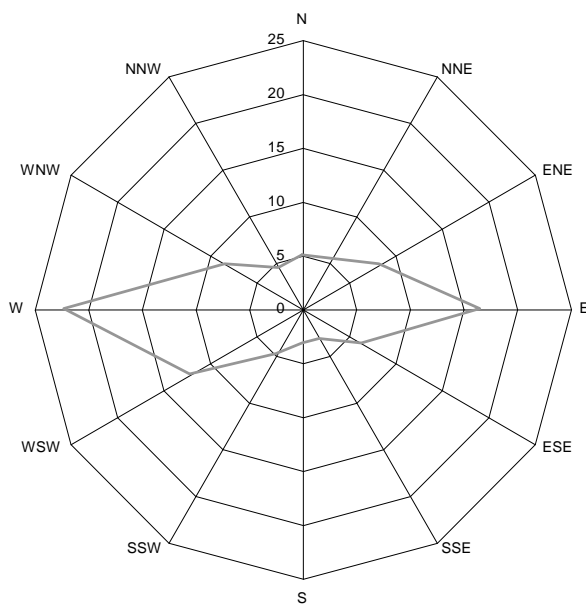
La stazione anemometrica di Guardiavecchia A.M., fornisce dati rilevati a cadenza triorarie, così come la stazione di Olbia Venafiorita (non più in esercizio)

Analizzando i grafici in seguito e le tabelle riportate, risulta evidente la maggiore frequenza dei venti provenienti da Ovest, con una frequenza rilevante di quelli da est .

I venti di settentrione si presentano con percentuali inferiori, ma anch'esse significative. La rosa di La Maddalena mette in evidenza una maggior frequenza di venti di scirocco e libeccio.



**Figura 3:** in alto: rosa dei venti di La Maddalena (fonte: Università di Cagliari).



**Figura 3:** rosa dei venti della stazione di Olbia (fonte European Wind Atlas, 1989); anni di rilevamento: 1959-1968. scala vento m/s

Ragionando in termini di eventi intensi (velocità del vento superiore a forza 6 scala Beaufort), si nota che ancora i venti di ponente e levante si presentano con le maggiori frequenze. Il quadro che scaturisce da quest'analisi, mostra un movimento di masse d'aria che si sviluppa secondo la direttrice est-ovest, con una componente importante in direzione tramontana-grecale.

Questo è dovuto principalmente alla presenza del massiccio sardo-corso che incanala all'interno delle bocche di Bonifacio, le grandi masse d'aria provenienti dal Golfo del Leone, che notoriamente, caratterizzano il clima ventoso della intera Regione.

Scendendo più in dettaglio dal punto di vista quantitativo, si può affermare che la maggior parte degli eventi estremi registrati, ricade nella fascia compresa tra i 33 ed i 40 nodi di vento. (2.92 %) con percentuali di un ordine di grandezza inferiori (0.22%) per eventi di maggiore intensità.

Occorre porre l'accento sul fatto che le misure anemometriche sono fortemente influenzate dall'orografia che circonda il luogo in cui le misure sono state prese.

## ***1.4 CLIMA ONDOSO A LARGO***

In assenza di dati rilevati da ondometri per il paraggio in questione, si è provveduto al reperimento dei dati osservati disponibile per il settore di interesse, in particolare

- dati forniti dall'U.K.M.O. (United Kingdom Meteorological Office-Bracknell), relativi al settore 40.5-41.5°N; 9.5-10.5°E (periodo di osservazione: 2/1949-10/1989)
- dati osservati della stazione M.M di Guardiavecchia;
- dati osservati dalla stazione M.M. di Capo Figari;
- Reperimento studi meteo-marini in zone prossime al paraggio in esame.

I dati UKMO, sono dati osservati da navi in transito nella zona indicata e riportati su annali dall'ufficio britannico. I dati di Guardia vecchia sono riferiti ad un periodo di 32 anni (periodi di osservazione 1930-34; 1936-57; 1959-63), osservati ad intervalli trigiorneri, così come i dati rilevati da Capo Figari (i quali ricoprono in gran parte gli stessi periodi).

Si deve sottolineare che, essendo dati osservati e non rilevati strumentalmente.

Tali osservazioni danno luogo a serie statistiche non omogenee e possono fornire dati affetti da mancanze significative: i traffici marittimi (per quanto riguarda i dati UKMO), infatti, si concentrano più in alcune stagioni piuttosto che in altre ed inoltre, le navi preferiscono trovare riparo nei giorni di forte burrasca<sup>1</sup>, e le osservazioni visive, possono essere poco precise in fase di analisi statistica.

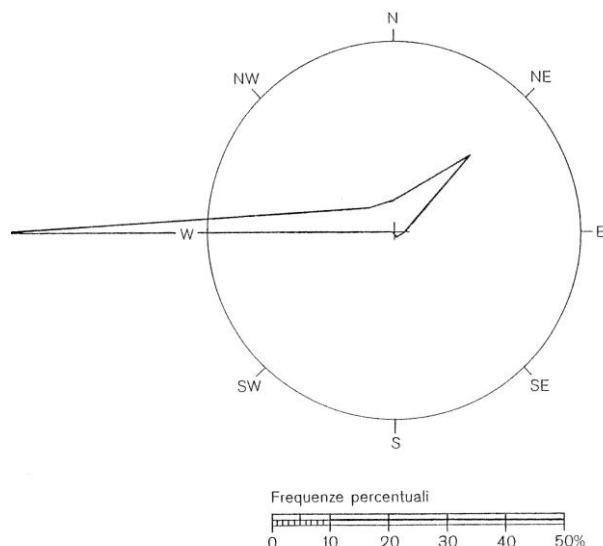
Nel corso degli anni sono stati compiuti diversi studi meteo marini quali parte integrante di progetti riguardanti opere da realizzarsi nella costa nord orientale, in particolare sono stati esaminati gli studi effettuati nell'ambito del progetto per la realizzazione del porto di "Marina di OLBIAMARE" effettuato dal prof Andrea Atzeni

### ***1.4.1 CLIMA ONDOSO REGISTRATO DALLA STAZIONE SEMAFORICA DI GUARDIAVECCHIA E CAPO FIGARI***

Il clima ondosso registrato a La Maddalena e Capo Figari risente e si riferisce ad un'area di generazione e propagazione che solo limitatamente è riferibile al paraggio di nostro interesse. Unicamente il moto ondosso proveniente dal settore settentrionale da circa 24° a 90°N, è in qualche modo, significativo. È da intendersi, che la particolare conformazione dell'insenatura pone lo specchio acqueo di interesse al riparo dagli eventi di ponente e da quelli di levante. Gli eventi di grecale sono ampiamente attenuati e ridotti dall'effetto scudo delle isole e dai promontori che limitano il Golfo.

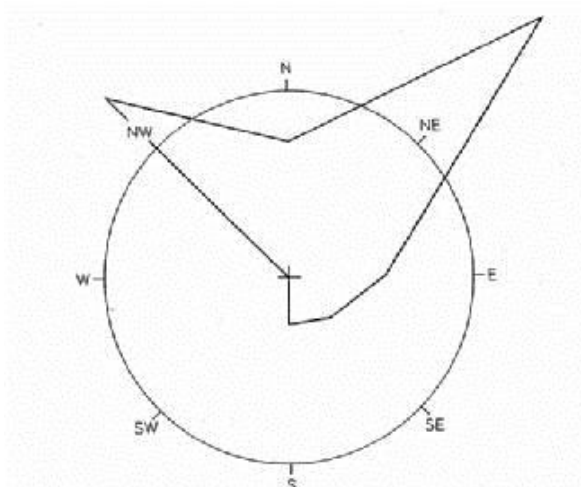
---

<sup>1</sup>Tomasicchio, Manuale di ingegneria portuale e costiera (vedi bibliografia e riferimenti)



**Figura 4: Direzione di provenienza delle mareggiate (mare 6-8)**

Il grafico in Figura 4 mostra un clima ondoso, per quanto riguarda gli eventi estremi (onde superiore a 4 m), fortemente caratterizzato dalla presenza di mareggiate di ponente e grecale con una presenza importante (circa il 5%) di quelle provenienti da tramontana: si ripresenta, come era lecito attendersi, la distribuzione già presente negli eventi anemometrici rilevati.



**Figura 5: Direzione di provenienza delle mareggiate a Capo Figari (mare 6-8, scala Douglas)**

#### **1.4.2 STUDIO METEO MARINO MARINA DI OLBIAMARE – PROF. ATZENI**

Per la ricostruzione del clima ondoso nel paraggio esterno si è fatto uso della serie storica disponibile relativa a 31 anni di osservazioni anemometriche della stazione A.M. di La Maddalena (1951-1981). Si è fatto riferimento a tale intervallo di osservazioni in quanto già ampiamente utilizzato in un notevole numero di studi effettuati nella zona in questione<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> In particolare, si veda lo Studio Meteomarinario effettuato dal Prof.Ing. A. Atzeni nell'ambito del progetto per la costruzione dell'approdo turistico di Olbiamare (rada interna del Golfo di Olbia).



| anno | Classi di altezza [m] |       |       |      |     |      |      |      |      |      |      | TOT   | %    |
|------|-----------------------|-------|-------|------|-----|------|------|------|------|------|------|-------|------|
|      | 0÷1                   | 1÷2   | 2÷3   | 3÷4  | 4÷5 | 5÷6  | 6÷7  | 0÷8  | 0÷9  | 0÷10 | 0÷11 |       |      |
| 1951 | 156                   | 173   | 61    | 20   | 5   | 9    | 7    | 5    | 1    | 2    | 2    | 441   | 2,28 |
| 1952 | 250                   | 69    | 87    | 10   | 6   | 7    | 0    | 0    | 2    | 2    | 1    | 434   | 2,25 |
| 1953 | 354                   | 108   | 26    | 24   | 14  | 4    | 0    | 3    | 0    | 0    | 1    | 534   | 2,77 |
| 1954 | 333                   | 69    | 45    | 13   | 21  | 2    | 2    | 1    | 1    | 2    | 0    | 489   | 2,53 |
| 1955 | 313                   | 103   | 129   | 57   | 8   | 2    | 4    | 0    | 2    | 1    | 1    | 620   | 3,21 |
| 1956 | 368                   | 171   | 72    | 6    | 3   | 4    | 1    | 1    | 3    | 2    | 0    | 631   | 2,24 |
| 1957 | 211                   | 88    | 50    | 25   | 38  | 11   | 4    | 1    | 3    | 2    | 0    | 433   | 3,27 |
| 1958 | 239                   | 145   | 172   | 21   | 14  | 6    | 0    | 6    | 3    | 3    | 4    | 613   | 3,17 |
| 1959 | 238                   | 193   | 132   | 64   | 23  | 12   | 3    | 1    | 1    | 0    | 2    | 669   | 3,46 |
| 1960 | 257                   | 226   | 76    | 43   | 9   | 6    | 4    | 5    | 0    | 2    | 1    | 629   | 3,26 |
| 1961 | 332                   | 79    | 62    | 14   | 2   | 1    | 1    | 0    | 0    | 1    | 1    | 493   | 2,55 |
| 1962 | 383                   | 265   | 89    | 88   | 17  | 5    | 6    | 3    | 2    | 0    | 1    | 859   | 4,45 |
| 1963 | 202                   | 113   | 107   | 77   | 104 | 17   | 4    | 3    | 4    | 0    | 1    | 632   | 3,27 |
| 1964 | 224                   | 252   | 129   | 81   | 44  | 21   | 6    | 4    | 6    | 4    | 4    | 775   | 4,01 |
| 1965 | 212                   | 120   | 67    | 73   | 39  | 14   | 9    | 16   | 5    | 3    | 0    | 558   | 2,89 |
| 1966 | 204                   | 91    | 92    | 69   | 6   | 6    | 5    | 1    | 0    | 2    | 2    | 478   | 2,48 |
| 1967 | 311                   | 137   | 158   | 102  | 44  | 10   | 6    | 3    | 4    | 1    | 3    | 779   | 4,03 |
| 1968 | 268                   | 166   | 131   | 59   | 14  | 6    | 1    | 5    | 1    | 1    | 0    | 652   | 3,38 |
| 1969 | 316                   | 187   | 93    | 74   | 34  | 13   | 6    | 3    | 2    | 3    | 2    | 733   | 3,80 |
| 1970 | 181                   | 173   | 168   | 23   | 14  | 5    | 5    | 2    | 3    | 3    | 2    | 579   | 3,00 |
| 1971 | 316                   | 349   | 167   | 40   | 8   | 4    | 10   | 8    | 1    | 1    | 0    | 904   | 4,68 |
| 1972 | 446                   | 146   | 101   | 19   | 7   | 4    | 2    | 0    | 2    | 0    | 2    | 729   | 3,78 |
| 1973 | 340                   | 192   | 190   | 39   | 6   | 4    | 6    | 3    | 3    | 1    | 2    | 786   | 4,07 |
| 1974 | 228                   | 134   | 65    | 69   | 13  | 7    | 2    | 1    | 3    | 2    | 2    | 526   | 2,72 |
| 1975 | 364                   | 170   | 130   | 24   | 11  | 7    | 5    | 3    | 0    | 1    | 1    | 716   | 3,71 |
| 1976 | 316                   | 219   | 153   | 42   | 15  | 10   | 5    | 5    | 3    | 5    | 1    | 774   | 4,01 |
| 1977 | 281                   | 123   | 74    | 30   | 10  | 5    | 9    | 9    | 1    | 3    | 2    | 547   | 2,83 |
| 1978 | 161                   | 110   | 122   | 34   | 5   | 6    | 7    | 6    | 2    | 5    | 1    | 459   | 2,38 |
| 1979 | 217                   | 162   | 27    | 10   | 10  | 6    | 5    | 6    | 2    | 1    | 1    | 447   | 2,32 |
| 1980 | 268                   | 194   | 72    | 24   | 27  | 6    | 2    | 5    | 2    | 5    | 1    | 606   | 3,14 |
| 1981 | 384                   | 174   | 127   | 44   | 28  | 5    | 5    | 4    | 3    | 4    | 2    | 783   | 4,06 |
| TOT  | 8673                  | 4901  | 3174  | 1318 | 599 | 228  | 132  | 113  | 65   | 62   | 43   | 19308 |      |
| %    | 44,91                 | 25,38 | 16,44 | 6,83 | 3,1 | 1,19 | 0,68 | 0,59 | 0,34 | 0,32 | 0,22 |       | 100  |

Tabella 1.1: dati ricostruiti attraverso modello SPM84 del paraggio esterno

Il campione di dati, composto da 19038 osservazioni triorarie, è da considerarsi rappresentativo del regime ondoso al largo del settore di traversia che investe il paraggio. Per la ricostruzione si è fatto uso, come già accennato, ad un modello matematico basato sulle formule<sup>3</sup> del SPM84, relative alle acque profonde.

Dai risultati riportati nella Tabella 1.1, si nota che circa il 45% degli eventi, è inferiore al metro d'altezza e che la massima onda ottenuta è inferiore agli 11m. Le onde appartenenti alle tempeste eccezionali (quelle superiori ai 4m), costituiscono poco più del 6% del campione ricostruito. La direzione media di "attacco d'onda" è stata individuata in 45°N, come del resto confermano i dati osservati dalla stazione M.M. di Capo Figari (vedi allegato 5 ). I dati di Capo Figari<sup>4</sup>, occorre ricordarlo, riguardano 26 anni di osservazioni dirette del moto ondoso, effettuate nel periodo tra il 1930 ed il 1957. L'elaborazione statistica effettuata dallo stesso Atzeni, porta alla determinazione dell'evento massimo verificabile al largo, in media ogni cento anni, ovvero 8.4 m, proveniente da grecale. Lo studio riporta anche il valore dell'onda trasportata fino all'imboccatura della rada. Essa, dai calcoli effettuati tramite apposito modello numerico è risultata pari a 1.4 m

Nello stesso studio, vengono anche riportati i valori ottenuti per eventi generatesi all'interno del Golfo di Olbia in seguito a tempeste di vento. Essi hanno prodotto valori d'onda massimi di ~ 0.8 m nelle immediate vicinanze dell'isola del Cavallo. Tali valori sono stati confermati anche dalle simulazioni numeriche effettuate nel presente studio (vedi capitolo successivo).

---

<sup>3</sup> cfr allegato 3

<sup>4</sup> *Tavole di marea e delle correnti di marea, Istituto Idrografico della Marina, Genova, 2001.*

| United Kingdom Meteorological Office (UKMO)-Bracknell<br>Distribuzione direzionale del moto ondoso<br>Osservazioni al largo-Dati relativi al Settore: 40,5-41,5°N; 9,5-10,5 °E (periodo 2/1949-10/1989)<br>Eventi indeterminati: 149 |   |       |       |        |         |         |         |         |         |         |         |         |        |
|--|---|-------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| H <sub>s</sub> (m)   | Direzione di provenienza raggruppati in settori di 30° [°N] |       |       |        |         |         |         |         |         |         |         |         |        |
|  | 346-15  | 16-45 | 46-75 | 76-105 | 106-135 | 136-165 | 166-195 | 196-225 | 226-255 | 256-285 | 286-315 | 316-345 | Totale |
| 0,0-0,5  | 93  | 80    | 73    | 113    | 126     | 171     | 127     | 125     | 168     | 210     | 204     | 142     | 1632   |
| 0,5-1,0  | 76  | 64    | 42    | 51     | 61      | 115     | 53      | 36      | 69      | 216     | 180     | 78      | 1041   |
| 1,0-1,5  | 59  | 55    | 28    | 19     | 36      | 87      | 50      | 28      | 69      | 150     | 143     | 56      | 780    |
| 1,5-2,0  | 27  | 29    | 8     | 17     | 9       | 24      | 22      | 12      | 24      | 88      | 80      | 31      | 371    |
| 2,0-2,5  | 20  | 21    | 18    | 15     | 12      | 20      | 16      | 7       | 21      | 48      | 73      | 20      | 291    |
| 3,0-4,0  | 8   | 8     | 3     | 5      | 4       | 10      | 5       | 0       | 7       | 28      | 28      | 12      | 118    |
| 4,0-5,0  | 13  | 6     | 2     | 2      | 5       | 10      | 4       | 5       | 4       | 20      | 19      | 8       | 98     |
| 5,0-6,0  | 5   | 1     | 1     | 1      | 2       |         | 2       | 2       | 3       | 6       | 5       |         | 28     |
| 6,0-7,0  |   | 1     |       | 1      |         |         |         | 0       |         | 2       | 2       |         | 6      |
| 7,0-8,0  |   | 0     |       |        |         |         |         | 1       |         | 0       | 1       |         | 2      |
| 8,0-9,0  |   | 1     |       |        |         |         |         |         |         | 1       | 1       |         | 3      |
| 9,0-10,0   |   |       |       |        |         |         |         |         |         | 1       |         |         | 1      |
| >10,0  |   |       |       |        |         |         |         |         |         |         |         |         |        |
| Totale   | 301   | 266   | 175   | 224    | 255     | 437     | 279     | 216     | 365     | 770     | 736     | 347     | 4371   |

**Tabella2: Distribuzione direzionale del moto ondoso**

## 1.5 VARIAZIONI DEL LIVELLO MARINO

Il massimo sovrizzo, così come il minimo livello riscontrabile, deriva dalla concomitanza di più fenomeni che possono avere sia carattere periodico che carattere occasionale.

I fenomeni di carattere periodico sono la marea astronomica, le variazioni stagionali di densità dell'acqua e la pressione atmosferica; i fenomeni di carattere occasionale sono quelli legati a tempeste e variazioni locali della pressione atmosferica.

Per la determinazione della componente mareale nel paraggio della darsena, si è fatto uso delle "tavole di Marea" edite dall'Istituto Idrografico della Marina Militare facendo riferimento al Porto di La Maddalena: i valori ottenuti per tale località, data la vicinanza col paraggio in esame, considerando le lunghezze d'onda delle onde di marea sono applicabili anche al paraggio in esame. Il porto di La Maddalena è classificato come "porto secondario": è passibile, in base alle procedure proposte dalle Tavole di Marea, determinare le altezze d'Alta Marea e Bassa Marea a partire dalle caratteristiche calcolate per uno dei cosiddetti "Porti Principali". Il porto campione utilizzato è stato quello di Gibilterra. Il porto di La Maddalena presenta un livello medio pari a  $Z_o = 0.18 m$ .

La massima escursione di marea, calcolata col metodo del rapporto è di A.M. =  $+0.28 m$ ; B.M. =  $+0.02 m$ . L'escursione massimo di marea astronomica è dunque di  $\sim 26 cm$ .

Il calcolo del sovrizzo di tempesta (in letteratura indicato con storm surge), è stato compiuto facendo riferimento ad una formula implicita<sup>5</sup> che tiene conto dei fenomeni che concorrono alla formazione di tale sovrizzo, ossia la velocità del vento ( $U_{10}$ ) e l'estensione della piattaforma continentale (convenzionalmente si fa coincidere tale limite con la batimetrica a  $-200m$ ).

Tale calcolo ha fornito il valore di  $\sim 15 cm$ . Un valore più rilevante può essere fornito dai gradienti barici verificabili. Da dati riferiti ad alcune violente burrasche verificatesi al largo della costa riportati dalle carte bariche si sono desunti i valori di minimo barico di  $975 mb$  ed un massimo di  $1045 mb$ . Poiché come noto il valore normale di pressione atmosferica è di  $1013 mb$ , si deduce che i massimi livelli di sovrizzo dovuti a gradienti barici si attesta intorno ai  $40 cm$  ed una massima depressione di circa  $30 cm$ <sup>6</sup>.

Per tenere in conto delle variazioni attribuibili a variazioni stagionali di densità dell'acqua e della distribuzione locale della pressione atmosferica si sono assunti i valori medi mensili di escursione di livello medio marino in tabella 10<sup>7</sup>. Essi sono stati adottati a causa della assenza di osservazioni mareografiche riferite al paraggio interno.

---

<sup>5</sup> formula del Manuale dell'Ingegnere Civile Nuovo Colombo 83° ed. vol. II sez. H.

<sup>6</sup> il gradiente barico unitario, come riportato in tutti i manuali, comporta una differenza di livello di  $\sim 1 cm$ .

<sup>7</sup> Tali valori sono stati assunti in base ad osservazioni compiute nell'ambito dello studio Modimar per Edilnord

| Intervallo di tempo d'attribuzione | Variazioni del livello medio marino [cm] |
|------------------------------------|--|
| Gennaio-Febbraio                   | -1                                       |
| Marzo-Maggio                       | -3                                       |
| Giugno-Settembre                   | -1                                       |
| Ottobre-Novembre                   | +5                                       |

**Tabella 3. Valori di variazione attribuiti per il paraggio interno al Golfo**

Le variazioni del livello medio marino nel lungo periodo possono essere dovute a due fenomeni principali: eustatismo e subsidenza. Questi due fenomeni sono indipendenti dalle dinamiche marine: l'eustatismo, ossia il progressivo aumento del livello del mare, è dovuto a varie concause, non ultima lo scioglimento dei ghiacciai; la subsidenza, ossia l'innalzamento o l'abbassamento delle terre emerse è attribuibile a processi geologici ancora in atto.

La fenomenologia della subsidenza è del tutto trascurabile per quanto concerne la nostra isola, diverso discorso, ovviamente, riguarda l'eustatismo. Esso è riferibile a tutto il globo acqueo ed è calcolabile esclusivamente in base a tendenze registrate fino ad oggi. L'innalzamento procede da alcuni decenni al ritmo di  $\sim 1.6 \text{ mm}$  annui, si deduce quindi un valore d'innalzamento per i prossimi 50 anni (vita utile calcolata per il futuro porto turistico), di  $\sim 8 \text{ cm}$ .

Sommando tutti i contributi dovuti ai sovralti si ottiene un sollevamento complessivo di  $\sim 95 \text{ cm}$  che tuttavia difficilmente si verificherà a causa della improbabile concomitanza di tutti questi eventi. Si è proceduto ad una decurtazione di tale valore al 60% della base iniziale ottenendo come risultato finale **55 cm**. Ripetendo il ragionamento per la massima depressione del livello medio marino di è ottenuto un risultato di **28 cm** al netto della decurtazione.

## ***2. STUDIO IDRODINAMICO DI TRASFORMAZIONE DELL'ONDA***

### ***1.6 INTRODUZIONE***

Questo capitolo riassume ed espone i risultati ottenuti nello studio di modellizzazione numerica effettuato al fine di rappresentare la trasformazione del moto ondoso all'interno della insenatura naturale costituita dal Porto di Olbia. Tale studio è stato condotto utilizzando il modello numerico SWAN sviluppato dalla TU (Technical University) di Delft in collaborazione col laboratorio di ricerca olandese WL | Delft Hydraulics. Esso è certamente considerato uno dei modelli di simulazione costiera più completi e collaudati al mondo. Lo studio si sviluppa attraverso la determinazione del campo d'onda nello specchio acqueo prospiciente il possibile sito di costruzione della darsena.

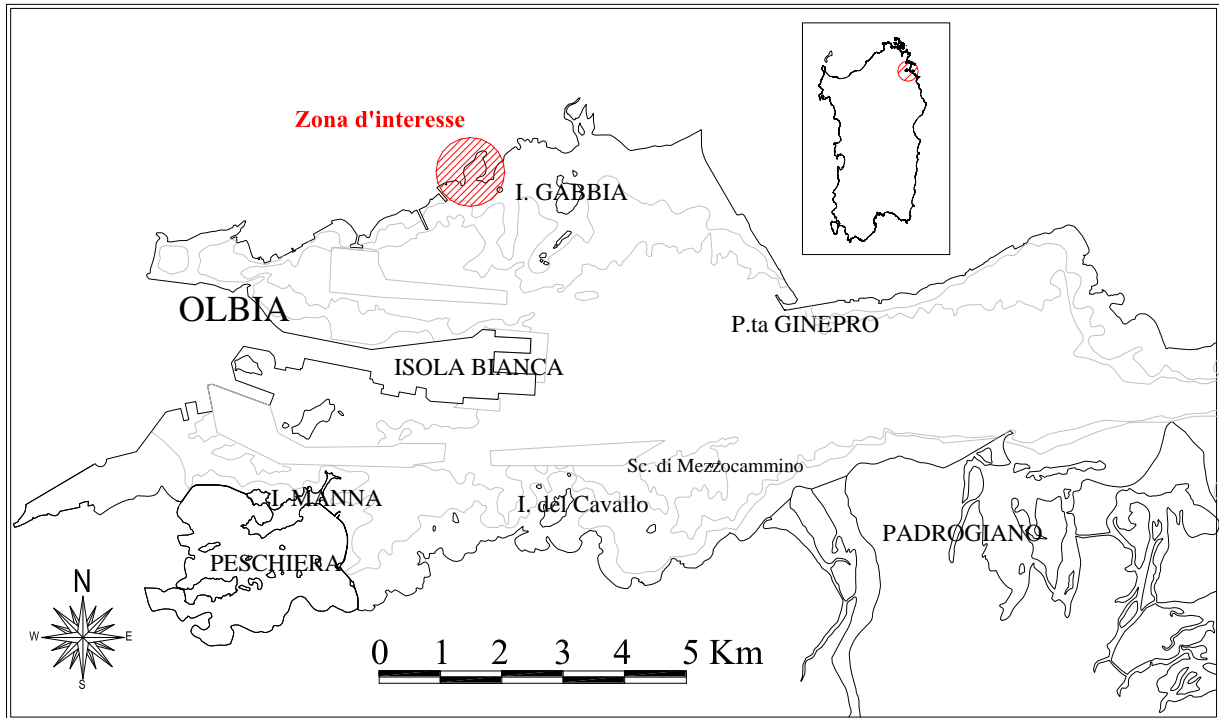
La relazione riporta i parametri principali utilizzati per l'impostazione ed il settaggio del modello nonché i risultati ottenuti dalle simulazioni compiute partendo da differenti condizioni iniziali, ovvero prendendo in considerazione varie situazioni che si possono venire a creare nella zona d'interesse.

Tale capitolo è stato per maggior chiarezza espositiva suddiviso in 4 paragrafi:

1. Introduzione;
2. Studio dell'area d'intervento e fonti dei dati;
3. Il modello matematico;
4. Simulazioni delle trasformazioni d'onda (determinazione dei parametri d'onda in seguito ai fenomeni di rifrazione e di shoaling).

## 1.7 STUDIO DELL'AREA D'INTERVENTO

L'area di studio (come già premesso e descritto nella relazione dello studio meteo-marino), è l'insenatura naturale del Golfo di Olbia nella Costa di nord della Sardegna. La Figura 6 mostra la configurazione dell'insenatura.



**Figura 6: ubicazione dell'area di studio**

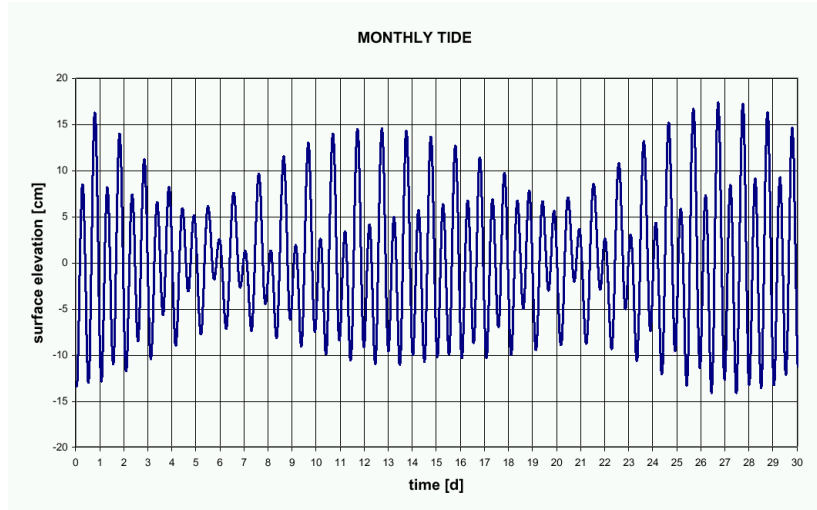
L'area totale di studio modellizzata dal modello ricopre una superficie di circa  $6 \text{ Km}^2$  e la profondità varia da un massimo di circa 11 m, fino ad un minimo di  $0.1\div 0.2 \text{ m}$  nell'immediata vicinanza della peschiera, salvo le secche presenti e modellizzate.

### 1.7.1 BATIMETRIA

La batimetria dell'area di studio è stata ottenuta sulla base della carta nautica dell'Istituto Idrografico della Marina n. 318.

### 1.7.2 MAREE

La variazione dei livelli d'acqua in seguito al fenomeno di marea<sup>8</sup>, è compresa tra i 10 ed i 30 cm.



**Figura 7: livelli di marea ottenuti da analisi armonica con metodo di Lord Kelvin**

La Figura 7 mostra le variazioni di livelli d'acqua ottenuti da stime di marea ricavati dall'Istituto Idrografico della Marina. Le condizioni imposte ai limiti del dominio, per la determinazione delle correnti che si vengono a creare nel fiordo, sono state introdotte grazie all'ausilio di particolari coefficienti, anche essi desunti dalle suddette tavole.

### 1.7.3 VENTO

Le caratteristiche del vento utilizzate nello studio di modellizzazione si rifanno allo studio effettuato nella parte di relazione relativo allo studio meteo-marino La Tabella 4 mostra le statistiche di vento dell'area di studio<sup>9</sup>. I dati di vento immessi nel modello matematico di generazione d'onda all'interno sono quelli anticipati nei precedenti capitoli e di cui si dà una sintetica visione nella tabella che segue:

<sup>8</sup> Si fa riferimento allo studio di marea effettuato e riportato nella relazione relativa allo studio meteo-marino.

<sup>9</sup> ibidem



| <i>Simulazione</i> | <i>Direzione di provenienza [°N]</i> | <i>Intensità [m/s]</i> |
|--------------------|--------------------------------------|------------------------|
| 001                | 90                                   | 17                     |
| 002                | 90                                   | 15                     |
| 003                | 90                                   | 12                     |
| 004                | 90                                   | 17                     |
| 005                | 90                                   | 15                     |
| 006                | 90                                   | 12                     |
| 007                | 120                                  | 17                     |
| 008                | 120                                  | 15                     |
| 009                | 120                                  | 12                     |
| <b>010</b>         | 225                                  | 12                     |

**Tabella 4: dati di vento immessi nel modello nelle varie simulazioni**

Essi trovano giustificazione dall'osservazione delle serie storiche dei venti registrati ad Olbia Venafiorita. Come si può notare, nella simulazione 000, si è fatto uso di una intensità di vento superiore a quella mai registrata (Figura ) sia ad Olbia che a La Maddalena per venti di Levante; tuttavia, essendo tale simulazione, rappresentativa dell'evento centennale, a favore di sicurezza, si è considerata una intensità di vento superiore del 15 % la più alta registrata per quel settore.

La stessa procedura è stata applicata per i settori a fetch ridotto, ovvero le simulazioni comprese tra la 007 e la 010, dove sono stati utilizzati venti intensi ben superiori alle intensità registrate per i settori considerati.

#### **1.7.4 ONDE**

Le caratteristiche di moto ondoso proveniente dal largo considerato, scaturiscono dallo studio meteo-marino effettuato dal prof. Atzeni. In particolare si è fatto utilizzo del valore d'onda centennale, rifratto e trasformato fino all'imboccatura della rada (vedi Tabella 5).

| Simulazione | $H_s$ [m] | $T_p$ [s] | Dir [°N] |
|-------------|-----------|-----------|----------|
| 001-002-003 | 1.4       | 12.55     | 90       |

**Tabella 5: parametri di moto ondoso assunti nel modello**

## ***1.8 IL MODELLO NUMERICO***

Le simulazioni sono state eseguite con il Model SWAN sviluppato alla Technical University di Delft (Olanda). Il metodo di lavoro, ha previsto l'utilizzazione del modello SWAN in una griglia ampia fino all'ingresso dell'insenatura. Una volta noti i valori in ingresso del fiordo, si è provveduto a "trasportarli", fino alla zona d'interesse, grazie all'utilizzo della griglia innestata all'interno della più ampia. Successivamente a questo si è riapplicato il modello SWAN all'interno del Golfo, per la determinazione dell'onda nello specchio all'interno generato dal vento. Di seguito si dà breve descrizione delle caratteristiche dei modelli utilizzati: essa può risultare utile anche per una più cosciente interpretazione dei risultati ottenuti e le operazioni compiute in questa fase.

### ***1.8.1 MODELLO PER LA TRASFORMAZIONE DELLE ONDE (WAVE MODEL SWAN)***

SWAN Model<sup>10</sup>. Il modello è stato sviluppato dalla Technical University di Delft. Sono state eseguite, fino ad oggi, molte simulazioni con questo modello con ottimi risultati. SWAN è un modello di trasformazione del moto ondoso che computa le onde irregolari, "short-crested" generate dal vento nelle zone costiere e nelle acque interne.

I fattori fisici di cui si tiene conto nei calcoli includono la propagazione delle onde nel tempo e nello spazio, shoaling, rifrazione, generazione delle onde da parte del vento, effetti di resistenza del fondo, frangimento dell'onda ed interazione onda-onda.

---

<sup>10</sup> si fa riferimento per gli approfondimenti a RIS, R.C., N. BOOIJ AND L.H. HOLTHUIJSEN, 1999. A third generation wave model for coastal regions, Part II, Verification. Journal of Geophysical Research, Vol. 104, No. C4, pp. 7667-7682.

## 1.9 DETERMINAZIONE DEL CLIMA ONDOSO

### 1.9.1 IMPOSTAZIONI

Per l'applicazione del modello di trasformazione d'onda è stata utilizzata una griglia (vedi Figura 8), che comprende uno specchio acqueo di circa 6 Km<sup>2</sup>, giacché lo studio in questa fase riguarda la simulazione della trasformazione del moto ondoso da largo verso la zona interessata.

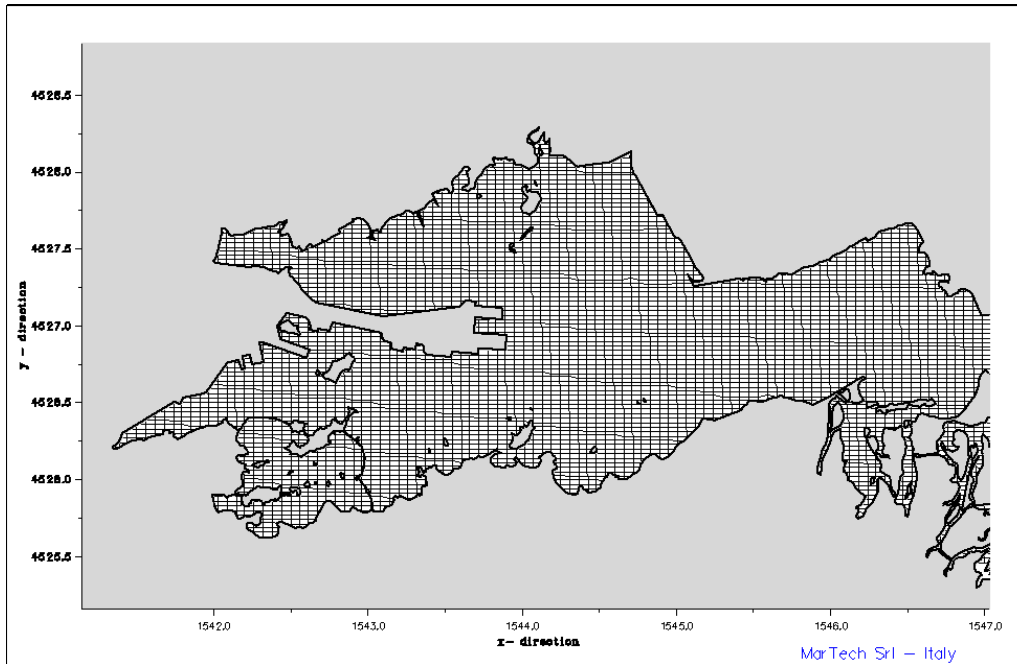


Figura 8: griglia utilizzata per le simulazioni all'interno del Porto di Olbia

#### 1.9.1.1 PARAMETRI FISICI E NUMERICI IN INGRESSO DEL MODELLO SWAN

La Tabella 6 riassume i parametri fisici e numerici scelti ed assegnati in input al modello SWAN.

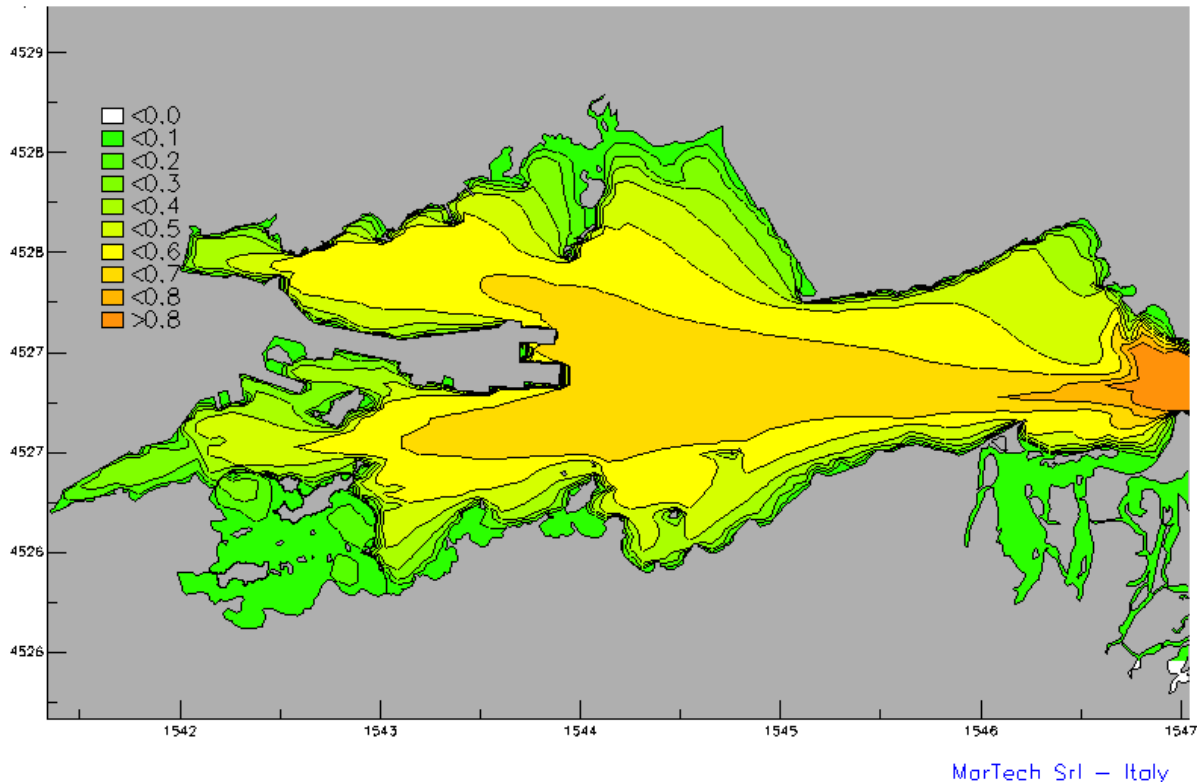
| <b>Parametri</b>                     | <b>Valori</b>   |
|--------------------------------------|---|
| <i>Generation of formulations</i>    | <i>Third generation</i>   |
| <i>Bottom friction</i>               | <i>Jonswap formulation, coefficient 0.067</i>                         |
| <i>Depth-induced breaking</i>        | <i>B&amp;J model, <math>\alpha=1</math>, <math>\gamma=0.73</math></i> |
| <i>Non-linear triad interactions</i> | <i>LTA, <math>\alpha=0.1</math>, <math>\beta=2.2</math></i>           |
| <i>Wind growth</i>                   | <i>Activated</i>  |
| <i>White-capping</i>                 | <i>Activated</i>  |
| <i>Quadruplets</i>                   | <i>Activated</i>  |
| <i>Refraction</i>                    | <i>Activated</i>  |
| <i>Diffraction</i>                   | <i>Activated</i>  |
| <i>Frequency shift</i>               | <i>Activated</i>  |
| <i>Directional resolution</i>        | <i>30°</i>  |
| <i>Frequency resolution</i>          | <i>0.1s<sup>-1</sup></i>  |

Tabella 6: parametri considerati nelle simulazioni col modello SWAN

### 1.9.1.2 SIMULAZIONI E RISULTATI MODELLO SWAN

Le simulazioni effettuate hanno ricoperto gli eventi più significativi a cui può essere sottoposto il paraggio in esame, sia per traversia che per intensità.

Il numero totale delle simulazioni effettuate ammonta a 11, 4 per i fetch ridotti (modellizzati dalla griglia più piccola) e 7 per la modellazione del clima ondoso proveniente da largo o comunque generantesi nel primo quadrante.

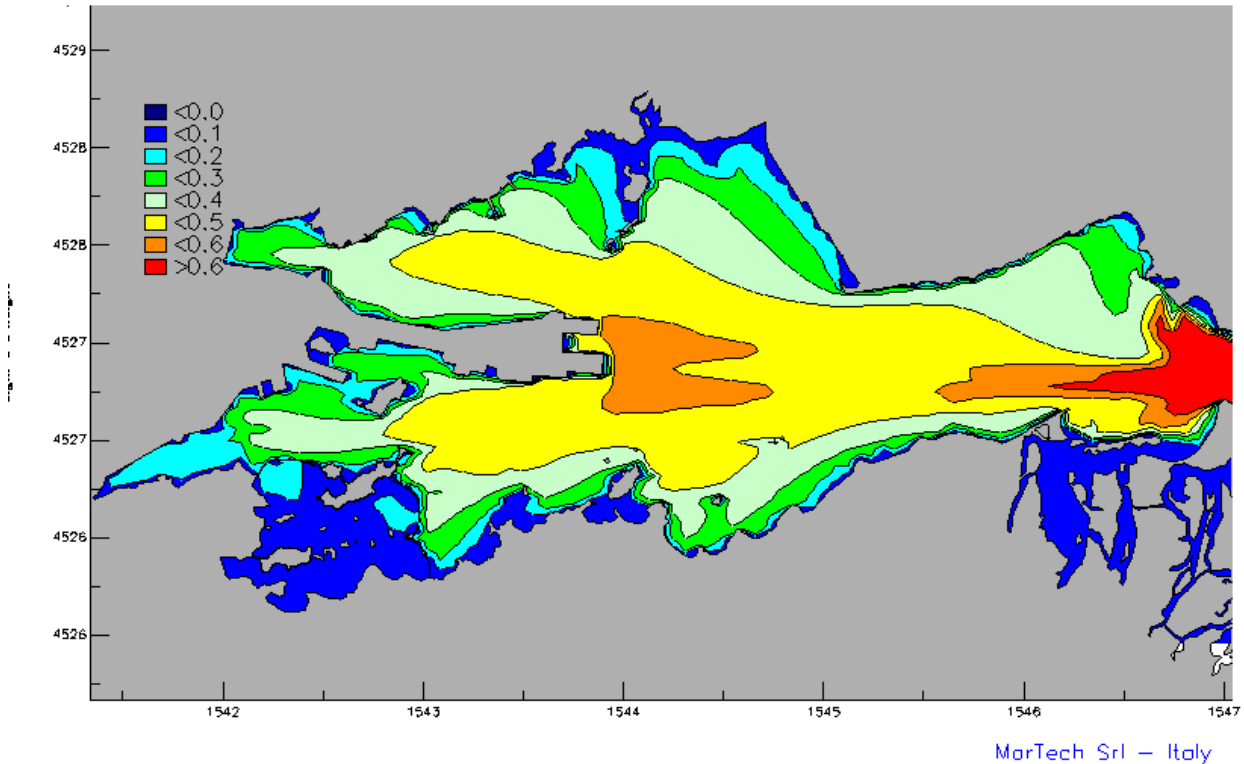


**Figura 9: restituzione simulazione di trasformazione di moto ondoso Run 001**

**Caratteristiche onda al largo:  $H_s=8.4$  m;  $T_p=12.55$  s; dir:  $45^\circ$ N- Vento: 20 m/s; dir:  $90^\circ$ N**

I risultati ottenuti hanno confermato le ottime caratteristiche di difesa del Porto nei confronti degli eventi estremi provenienti da largo: anche con condizioni di mare e di vento eccezionali non si registrano nella zona più esposta della darsena (vedi Figura 9: restituzione simulazione di trasformazione di moto ondoso Run 001), altezze d'onda significativa superiori ai  $H_s=0.3$  m.

È importante notare che tali valori si raggiungono in presenza contemporanea di fenomeni anemologici di alta intensità ( $T_r=100$  anni). Infatti, la simulazioni effettuate tenendo in considerazione la stessa altezza d'onda in ingresso alla rada (1.4 m) ed un'intensità di vento leggermente inferiore, il clima ondoso in corrispondenza dei pontili è, come logico, meno intenso.



**Figura 10: restituzione simulazione di trasformazione di moto ondoso Run 003**  
Caratteristiche onda al largo:  $H_s=8.4$  m;  $T_p= 12.55$  s; dir:  $45^\circ N$ - Vento: 12 m/s; dir:  $90^\circ N$

La Figura 10 mostra chiaramente, come, anche in condizioni eccezionali di onda e con vento teso provenienti da levante, il clima ondoso è sotto i 40 cm di altezza.

## ***1.10 CONCLUSIONI***

Le simulazioni effettuate, hanno confermato le ottime caratteristiche di riparo del Porto di Olbia, ed in particolare dello specchio acqueo oggetto dello studio.

Il paraggio in considerazione risulta totalmente protetto dagli eventi provenienti dal primo e quarto quadrante. La particolare conformazione del Porto di Olbia, le secche e le isole, fanno sì che gli eventi, anche eccezionali, provenienti da largo, e comunque dal settore di levante, giungano molto attenuati.

Il limitato fetch (~ 600 m effettivi), pone al riparo il paraggio anche dagli eventi provenienti da Scirocco, Ostro e Libeccio; questi ultimi, peraltro, spirano con intensità mai elevatissime.

Le altezze d'onda ottenute dalle varie simulazioni, sono, nelle condizioni più critiche, di poco superiore ai 50 cm. In presenza di eventi centenari provenienti da largo, ovvero onde di oltre 8 m che in ingresso in rada diventano 1.4 m, le altezze d'onda ottenute sono inferiori ai 60 cm.

Si può concludere, quindi, che il paraggio è caratterizzato da un clima ondoso che garantisce, anche in condizioni meteo-marine avverse, condizioni di sicurezza.

## **Bibliografia**

- [1] *Shore Protection Manual*, ed. 1977/1984, U.S. Army Coastal Engineering Research Center, Kingman Building, Fort Belvoir, Virginia, U.S.A.
- [2] *Manuale di Ingegneria Portuale e Costiera*, Ugo Tomasicchio, Editoriale Bios, Cosenza.
- [3] *Manuale dell'Ingegnere Civile "Nuovo Colombo"*, 83° edizione, ed. Hoepli, 1997.
- [4] *Pressione Atmosferica e Vento al suolo* di A.Serra, Atlante della Sardegna
- [5] *Il Vento e lo stato del mare*, vol. II, Istituto Idrografico della Marina, Genova, 1980.
- [6] *Tavole di marea e delle correnti di marea*, Istituto Idrografico della Marina, Genova, 2001.
- [7] *Studio Meteomarino nell'ambito del progetto di costruzione del porto di Cannigione.*
- [8] *Studio Meteomarino effettuato dal Prof.Ing. A. Atzeni nell'ambito del progetto per la costruzione dell'approdo turistico di Olbiamare (rada interna del Golfo di Olbia).*
- [9] *Appunti di Costruzioni Marittime*, Prof. Ing. A. Atzeni, 2001.
- [8] *Studio Meteomarino effettuato da MarTech nell'ambito del progetto per la costruzione del nuovo approdo turistico di Golfo Aranci.*
- [9] *Studio Meteomarino effettuato da MarTech nell'ambito del progetto di manutenzione straordinaria dei pontili in località Punta Asfodeli (SS).*