

|      |         |                              |           |             |            |
|------|---------|------------------------------|-----------|-------------|------------|
|      |         |                              |           |             |            |
|      |         |                              |           |             |            |
|      |         |                              |           |             |            |
|      |         |                              |           |             |            |
| 01   | 10-2012 | PROGETTO DEFINITIVO - S.I.A. | OIENI     |             | CAMPANELLA |
| 00   | 02-2009 | PROGETTO DEFINITIVO - S.I.A. |           |             | CAMPANELLA |
| REV. | DATA    | DESCRIZIONE                  | PREPARATO | CONTROLLATO | APPROVATO  |



## C&C Consulting Engineering S.R.L.

Via Nunzio Morello n. 40 - 90144 PALERMO  
 Tel/Fax +39 091 7829785 - +39 091 7829080  
<http://www.cecconsulting.net>  
 info@cecconsulting.net - PEC: cecconsulting@legalmail.it  
 P.I. / C.F. 01942920818

Project Manager:  
**Ing. Vito Aurelio Campanella**



ELABORATO N°  
 PDP/R/1/SM/001

FORMATO ELABORATO: A4

|      |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|------|----|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| REV. | 00 | 01 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|------|----|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

**PARCO EOLICO - STRETTO DI SICILIA  
 AVVENTURA**

**PROGETTO DEFINITIVO**

SOSTITUISCE IL PDP/R/0/SM/001

**Studio meteomarinò**

SOSTITUITO DAL

|  |   |
|--|---|
| Committente<br><br>C & C Consulting Engineering S.r.l. | Referente del committente<br><br>Ing. Vito Aurelio Campanella |
|--|---|

|  |  |
|--|--|
| Titolo progetto<br><br>Studio meteomarinario nel Canale di Sicilia | Codice progetto - elaborato<br><br>D394-01-00100 |
|--|--|

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| Autori<br><br>Andrea Pedroncini | Data<br>28 Gennaio 2009                                      |
|                                 | Approvato da<br><br>Ing. Michele Buffo,<br>Direttore Tecnico |

|  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

|   |                 |     |     |    |          |
|---|-----------------|-----|-----|----|----------|
| 0 | Rapporto finale | ANP | ACR | BU | 28.01.09 |
|---|-----------------|-----|-----|----|----------|

|          |             |           |            |           |      |
|----------|-------------|-----------|------------|-----------|------|
| Revision | Descrizione | Elaborato | Verificato | Approvato | Data |
|----------|-------------|-----------|------------|-----------|------|

|  |  |
|--|--|
| Parole chiave<br><br>Stretto di Sicilia<br>Condizioni meteo-marine<br>Propagazione del moto ondoso | Classificazione<br><br><input type="checkbox"/> Open<br><input type="checkbox"/> Interna<br><input checked="" type="checkbox"/> Proprietaria |
|--|--|

|   |             |
|---|-------------|
| Consegnato:   | N. di copie |
| C & C Consulting Engineering S.r.l.:<br>DHI Italia: | 1<br>1      |
| Ing. Vito Aurelio Campanella<br>Luisa Di Chele      |             |



## **INDICE**

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | PREMESSA .....  | 1  |
| 2     | CARATTERIZZAZIONE DELLA BATIMETRIA DELL'AREA.....           | 2  |
| 3     | CARATTERIZZAZIONE DEL CLIMA ONDOSI DI RIFERIMENTO .....     | 4  |
| 3.1   | I dati del modello globale Met-Office .....                 | 4  |
| 3.2   | Caratterizzazione del clima ondoso ordinario .....          | 5  |
| 3.3   | Caratterizzazione degli eventi estremi.....                 | 23 |
| 3.3.1 | Il modello di propagazione del moto ondoso .....            | 30 |
| 3.3.2 | I fetch geografici ed i fetch efficaci .....                | 33 |
| 3.3.3 | Il contributo del vento .....                               | 35 |
| 3.3.4 | Risultati del modello di propagazione del moto ondoso ..... | 35 |
| 3.3.5 | Analisi statistica dei risultati.....                       | 41 |
| 4     | STUDIO DI BASE DEL REGIME CORRENTOMETRICO .....             | 48 |
| 4.1   | La circolazione superficiale .....                          | 48 |
| 4.2   | La circolazione intermedia.....                             | 50 |
| 4.3   | Il modello del Canale di Sicilia.....                       | 50 |
| 5     | CONCLUSIONI .....   | 52 |
| 6     | RIFERIMENTI .....   | 53 |

## **ALLEGATI<sup>1</sup>**

|   |  |
|---|--|
| A | Descrizione del modello Met-Office   |
| B | Descrizione del modulo MIKE 21 SW  |
| C | Descrizione del modulo EVA   |
| D | Campi di corrente estratti dal Modello del Canale di Sicilia (mese di Dicembre 2008) |

---

<sup>1</sup> gli allegati sono disponibili solo su supporto informatico



## **1      PREMESSA**

*Il presente elaborato illustra la caratterizzazione del clima ondoso "ordinario" ed "estremo" per l'area del Canale di Sicilia individuata dal cosiddetto "banco Avventura".*

*In adeguamento alle osservazioni previste nel parere della Commissione tecnica di Valutazione di Impatto ambientale del Ministero dell'Ambiente (nota prot. DVA-2011-0006881 del 23/03/2011) la scrivente società ha proposto una revisione progettuale che riguarda l'area interessata dall'installazione degli aerogeneratori, prevista in un altro settore della piattaforma continentale, in modo da evitare ogni possibile interazione con le aree dei banchi in precedenza individuate e mitigare gli impatti comunque incidenti, pur mantenendo inalterata la struttura originaria dal punto di vista elettrico, ivi compreso il tracciato del cavidotto offshore e onshore di connessione alla RTN.*

*Il sito di intervento, dell'attuale proposta progettuale, dista dalla precedente ubicazione tra i 6 e i 17 km circa in direzione nord est, e le batimetrie interessate sono comprese tra -70 e -76 m.*

*Lo studio, a partire dal moto ondoso al largo, ha permesso di valutare le trasformazioni che l'onda subisce in relazione alla batimetria attuale, tenendo conto dei fenomeni di rifrazione, shoaling, attrito con il fondo e frangimento dell'onda stessa.*

*Lo studio ha inoltre previsto una caratterizzazione di massima della correntometria nel Canale di Sicilia sulla base di dati di letteratura e di modelli esistenti.*

*Si consideri che lo studio fa riferimento ad una zona del banco Avventura con batimetriche leggermente inferiori rispetto all'area di progetto in modo da avere come risposta attesa un'altezza d'onda con caratteristiche conservative rispetto a quanto prevedibile nell'area di progetto.*

*Ciò in ragione del fatto che l'altezza d'onda sull'alto strutturale, per gli eventi estremi, è certamente superiore rispetto a valori calcolati su batimetrie più profonde.*

*Quindi l'effetto del Banco risulta tanto più significativo sull'altezza dell'onda, in relazione all'evento estremo, quanto più basso è il fondale.*

*Il presente studio farà quindi riferimento, per le altezze d'onda relative agli eventi estremi, all'area denominata Banco Avventura ovest, distante 6 km in direzione nord-ovest dalla nuova area di progetto, con batimetrie variabili tra 17 e 50 metri.*

*La nuova area di impianto si presenta, infatti, con una batimetria tra 70 e 76 m (pressocchè pianeggiante in relazione alle distanze considerate dal progetto) e con valori di altezza d'onda inferiori, per gli eventi estremi, a quelli rinvenuti dal presente studio e quindi in via conservativa utilizzabili preliminarmente per il dimensionamento delle piattaforme rispetto al livello medio mare.*



## 2 CARATTERIZZAZIONE DELLA BATIMETRIA DELL'AREA

*Come riportato nello Studio preliminare ambientale, l'ambito territoriale su cui insiste il progetto del Parco Eolico, inteso come area vasta di interazione con lo stesso, è il Canale di Sicilia, un mare poco profondo, caratterizzato da un andamento batimetrico irregolare. La profondità più diffusa in quest'area è quella compresa tra 0 e 200m. La zona centrale più profonda comunica con i mari adiacenti attraverso due soglie profonde rispettivamente 410-500m verso il Tirreno e 510-600m verso lo Ionio. La profondità di 1000m è superata solo nella zona centrale ove sono presenti alcune depressioni chiuse, profonde al massimo 1317m (Bacino di Pantelleria), 1721m (Bacino di Malta) e 1519m (Bacino di Linosa).*

*Le fasi di studio mediante modello numerico sono sempre precedute da un'attività di raccolta e processamento di tutti i dati disponibili in termini di batimetrie dei fondali; i dati batimetrici di dettaglio non sono spesso disponibili e, comunque, generalmente limitati all'area in cui ricade la struttura o l'intervento, generalmente ridotta rispetto al dominio complessivo interessato dallo studio.*

*A tal fine è risultato molto utile fare riferimento al database CM-93 di C-MAP. CM-93 è un database globale di cartografia nautica digitale realizzato e costantemente aggiornato dalla società norvegese C-MAP. CM-93 è quindi un vero e proprio archivio digitale in grado di fornire dati batimetrici a diversa scala e dettaglio utilizzabili per studi ed applicazioni di diverso genere.*

*L'utilizzo dei dati C-MAP risulta particolarmente utile ogniqualvolta, come nel caso in esame, sia necessario costruire un modello numerico su di un'area estesa disponendo di dati batimetrici limitati all'area di intervento; il ricorso a tali dati consente infatti di estendere l'area di analisi in base alle esigenze modellistiche pur offrendo informazioni a minore risoluzione, ma garantendo la possibilità di utilizzare i dati di maggior dettaglio nella zona di reale interesse dello studio.*

*DHI Italia ha acquisito il set di dati di interesse e lo ha reso disponibile per lo studio utilizzando lo specifico modulo **MIKE C-MAP** del DHI<sub>Water•Environment•Health</sub>.*

*I dati forniti da questo database possono essere direttamente importati nell'ambiente di lavoro dei codici di calcolo del DHI, consentendo quindi di generare una dettagliata batimetria dell'area, come sarà illustrato nel capitolo successivo del presente elaborato.*

*Le seguenti Fig. 2.1 e Fig. 2.2 illustrano, a differente livello di dettaglio, i dati relativi alla batimetria del fondale nell'area del Canale di Sicilia interessata dal progetto.*



### 3 CARATTERIZZAZIONE DEL CLIMA ONDOSO DI RIFERIMENTO

#### 3.1 I dati del modello globale Met-Office

I dati caratteristici del clima ondoso offshore (in termini di altezza d'onda significativa, direzione, periodo) sono stati acquisiti dal modello d'onda globale Met-Office (UKMO), relativamente alla cella del modello più prossima all'area del progetto.

Il modello d'onda globale Met-Office è caratterizzato da una risoluzione spaziale di circa 35x35 km e fornisce oggi serie temporali di circa 20 anni di dati trionari di altezza d'onda, direzione e periodo. Sono stati resi disponibili dati relativi al moto ondoso per il periodo compreso tra il 01/07/1988 ed il 25/11/2008.

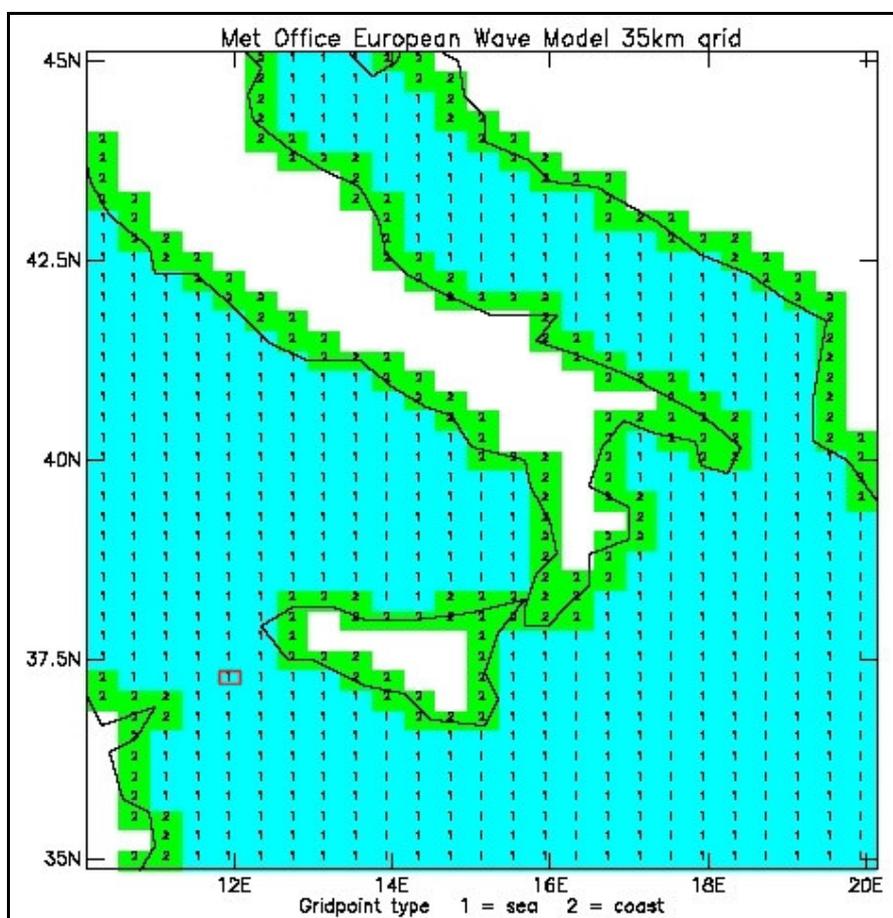


Fig. 3.1 Dettaglio della griglia utilizzata dal modello d'onda globale Met-Office con evidenziata la cella più prossima ai Banchi Avventura ed al Banco di Pantelleria.

I dati forniti dal modello globale Met-Office rappresentano oggi per il Mar Mediterraneo lo stato dell'arte in termini di dati storici forniti da un modello globale, unica vera alternativa accurata all'utilizzo dei dati delle boe ondometriche, laddove la distanza del sito di interesse da queste ultime o la sua esposizione al moto ondoso non consenta un utilizzo diretto degli stessi dati di boa.



*Il vantaggio offerto dal modello Met-Office è principalmente costituito dal fatto di fornire serie continue di dati storici a passo triorario, che consentono di condurre accurate analisi statistiche degli eventi estremi a differenza, ad esempio dei dati di KNMI che, essendo basati solo sulle osservazioni delle navi in transito, non possono garantire la necessaria copertura di tutti gli eventi estremi verificatisi nel tempo.*

*Per il sito in esame, l'utilizzo dei dati di osservazione alla boa di Mazara del Vallo non risulta particolarmente adeguato data la localizzazione della boa; sebbene questa possa infatti risultare adeguata per le onde provenienti dal secondo e terzo quadrante, la boa risulta totalmente coperta rispetto alle onde del primo quadrante (Nord-Est) rispetto alle quali risultano invece esposti i Banchi oggetto di analisi, ed in parte coperta rispetto al quarto quadrante (Nord-Ovest).*

*In aggiunta ai valori triorari di altezza d'onda significativa, direzione di provenienza e periodo d'onda (medio e di picco), il database Met-Office ha fornito preziose informazioni relative alla intensità e direzione del vento, sempre con cadenza trioraria. Tali valori, come verrà illustrato nel seguito, sono stati utilizzati per incrementare l'accuratezza nella caratterizzazione degli eventi ondosi estremi in corrispondenza di ogni Banco preso in esame.*

*Una accurata descrizione del modello d'onda globale Met-Office è allegata al presente elaborato.*

*Gli oltre 20 anni di serie triorarie di altezza d'onda, direzione e periodo del modello Met-Office sono stati processati secondo due differenti metodologie, finalizzate da un lato alla rappresentazione del clima ondoso ordinario relativo ai Banchi di interesse e dall'altro alla stima degli eventi ondosi estremi per assegnato tempo di ritorno che possono essere attesi verificarsi in corrispondenza dei Banchi in esame.*

## **3.2 Caratterizzazione del clima ondoso ordinario**

*Con il termine "Clima ondoso ordinario" viene indicata la distribuzione media annua dell'altezza d'onda significativa in un determinato tratto di mare in relazione alla direzione di provenienza dell'onda ed alla sua frequenza di accadimento. La caratterizzazione del clima ondoso ordinario al quale è soggetto l'area del Canale di Sicilia interessata dalla presenza del banco Avventura, è stata effettuata prendendo direttamente a riferimento i dati contenuti nel database Met-Office in termini di altezza d'onda significativa e direzione di provenienza. La Fig. 3.2 illustra la posizione del punto di estrazione dei dati del modello Met-Office, rispetto alla posizione del Banco Pantelleria nella precedente ipotesi di progetto, in relazione alla nuova area di progetto.*

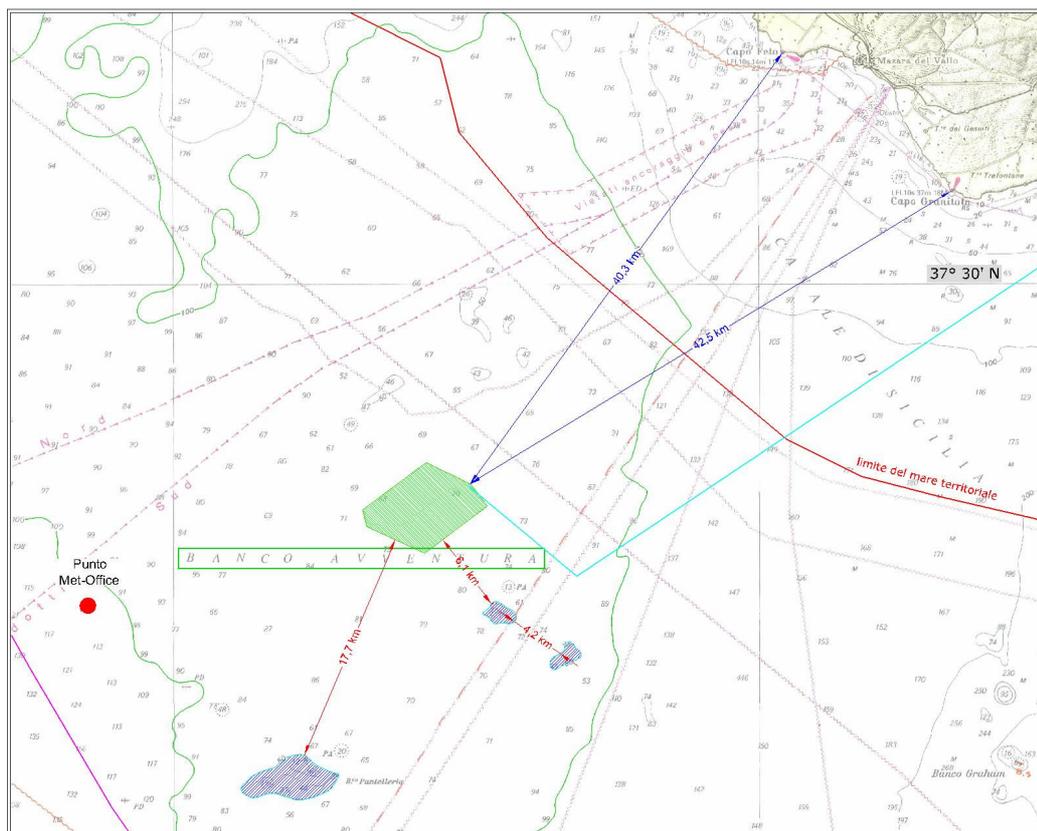


Fig. 3.2 Localizzazione del punto di estrazione dei dati del modello Met-Office.

La caratterizzazione del clima ondoso ordinario a cui è soggetto il tratto di mare in esame è stata effettuata direttamente sui dati provenienti dal database Met-Office, ritenendo non significativo, ai fini della caratterizzazione del clima ondoso medio, l'effetto che i Banchi esercitano sulla propagazione del moto ondoso.

L'effetto della presenza dei Banchi, infatti, risulta tanto più significativo quanto più elevata è l'altezza d'onda e, pertanto, tale effetto è stato tenuto in considerazione soltanto per la caratterizzazione degli eventi estremi, illustrata nel Capitolo 3.3. come già detto in premessa.

Inoltre, l'eventuale correzione dei valori di altezza d'onda di riferimento in funzione della distanza che intercorre tra l'area di progetto ed il punto di estrazione Met-Office (mediante il cosiddetto metodo dei fetch efficaci, illustrato nel Capitolo 3.3.2) non risulta attuabile per le onde basse, dal momento che viene a mancare l'ipotesi di base su cui si fonda il metodo stesso, ovvero l'ipotesi che il vento che ha generato l'onda rilevata in corrispondenza del punto di estrazione Met-Office sia lo stesso che ha generato l'onda rilevata in corrispondenza del singolo Banco.

I dati triorari sono stati raggruppati in classi di altezza d'onda e direzione media di provenienza, in modo da poter illustrare il clima ondoso di largo secondo la classica rappresentazione a rosa, in questo caso costruita per settori di 15° di ampiezza (Fig. 3.3). Le medesime informazioni sono illustrate anche in forma tabellare (Tabella 3.1).



Tabella 3.1 *Clima ondoso al punto di estrazione dei dati del modello Met-Office. I dati sono stati suddivisi in classi di altezza d'onda significativa e di direzione di provenienza.*

| Hs [m]<br>Dir [°N] | <0.5  | 0.5<br>1.0 | 1.0<br>1.5 | 1.5<br>2.0 | 2.0<br>2.5 | 2.5<br>3.0 | 3.0<br>3.5 | 3.5<br>4.0 | 4.0<br>4.5 | 4.5<br>5.0 | 5.0<br>5.5 | 5.5<br>6.0 | 6.0<br>6.5 | >6.5 | Tot   |
|--------------------|-------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------|-------|
| 0 - 15             | 709   | 857        | 272        | 101        | 75         | 41         | 23         | 27         | 1          | 5          | 0          | 1          | 0          | 0    | 2112  |
| 15 - 30            | 553   | 535        | 200        | 58         | 34         | 20         | 3          | 2          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0    | 1405  |
| 30 - 45            | 316   | 236        | 89         | 22         | 10         | 7          | 1          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0    | 681   |
| 45 - 60            | 212   | 146        | 52         | 28         | 10         | 4          | 2          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0    | 454   |
| 60 - 75            | 218   | 111        | 50         | 15         | 5          | 3          | 3          | 0          | 0          | 1          | 0          | 0          | 0          | 0    | 406   |
| 75 - 90            | 162   | 122        | 55         | 23         | 7          | 5          | 1          | 1          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0    | 376   |
| 90 - 105           | 176   | 171        | 78         | 51         | 18         | 9          | 1          | 5          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0    | 509   |
| 105 - 120          | 683   | 1071       | 434        | 210        | 84         | 45         | 36         | 9          | 2          | 2          | 0          | 0          | 0          | 0    | 2576  |
| 120 - 135          | 541   | 1148       | 823        | 514        | 318        | 182        | 78         | 46         | 14         | 6          | 0          | 0          | 0          | 0    | 3670  |
| 135 - 150          | 686   | 1512       | 957        | 586        | 324        | 183        | 89         | 32         | 16         | 8          | 0          | 0          | 0          | 0    | 4393  |
| 150 - 165          | 700   | 1610       | 989        | 454        | 162        | 82         | 27         | 7          | 7          | 4          | 0          | 0          | 0          | 0    | 4042  |
| 165 - 180          | 645   | 1327       | 824        | 344        | 121        | 31         | 8          | 6          | 8          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0    | 3314  |
| 180 - 195          | 425   | 784        | 456        | 217        | 83         | 19         | 4          | 3          | 2          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0    | 1993  |
| 195 - 210          | 199   | 375        | 224        | 99         | 45         | 17         | 3          | 5          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0    | 967   |
| 210 - 225          | 164   | 213        | 116        | 41         | 9          | 1          | 3          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0    | 547   |
| 225 - 240          | 136   | 193        | 98         | 37         | 15         | 7          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0    | 486   |
| 240 - 255          | 111   | 186        | 122        | 46         | 30         | 8          | 3          | 1          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0    | 507   |
| 255 - 270          | 150   | 269        | 174        | 88         | 37         | 24         | 6          | 3          | 2          | 1          | 0          | 0          | 0          | 0    | 754   |
| 270 - 285          | 301   | 735        | 466        | 312        | 172        | 124        | 30         | 31         | 11         | 4          | 2          | 1          | 0          | 0    | 2189  |
| 285 - 300          | 895   | 2500       | 2104       | 1584       | 1078       | 666        | 435        | 231        | 93         | 51         | 39         | 11         | 2          | 1    | 9690  |
| 300 - 315          | 640   | 1719       | 1815       | 1352       | 849        | 527        | 331        | 185        | 107        | 62         | 31         | 11         | 4          | 0    | 7633  |
| 315 - 330          | 726   | 1314       | 888        | 458        | 222        | 152        | 89         | 49         | 31         | 32         | 11         | 7          | 5          | 5    | 3989  |
| 330 - 345          | 711   | 1115       | 508        | 269        | 155        | 111        | 42         | 33         | 20         | 18         | 4          | 0          | 0          | 0    | 2986  |
| 345 - 360          | 816   | 952        | 336        | 189        | 112        | 90         | 48         | 44         | 10         | 4          | 0          | 0          | 0          | 0    | 2601  |
| <b>TOT</b>         | 10875 | 19201      | 12130      | 7098       | 3975       | 2358       | 1266       | 720        | 324        | 198        | 87         | 31         | 11         | 6    | 58280 |

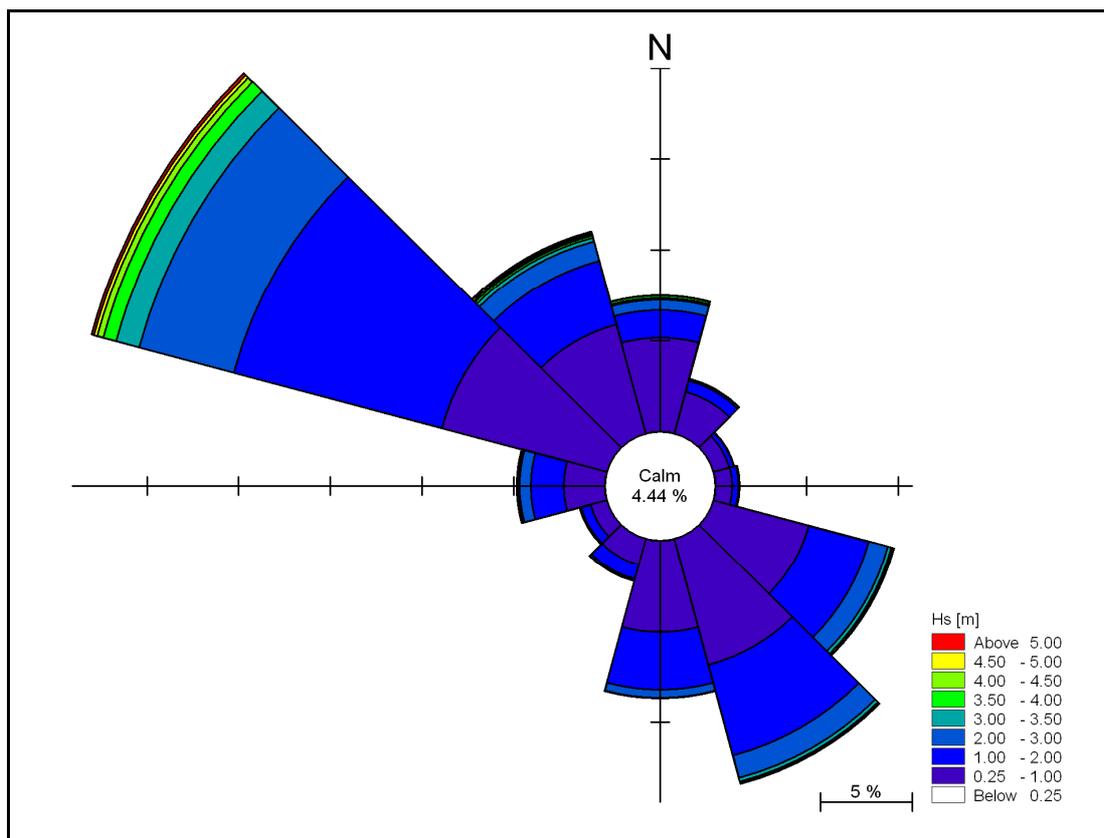


Fig. 3.3 Rosa del clima ondoso di riferimento relativo alla cella del modello Met-Office più prossima a ad Avventura lato Pantelleria. Per una più immediata comprensione dell'immagine, è stata impostata una soglia minima di altezza d'onda rappresentata pari a 0.25m (calm conditions).

Osservando il contenuto della Tabella 3.1 e la corrispondente rappresentazione del clima ondoso sotto forma di rosa (Fig. 3.3), appare evidente che gli eventi più frequenti ed anche quelli caratterizzati da altezza d'onda significativa più elevata sono quelli provenienti dal quarto quadrante (settore che comprende le direzioni tra l'Ovest ed il Nord, procedendo in senso orario). I valori di altezza d'onda, in questo settore, risultano infatti superiori ai 3.0m con una frequenza rilevante, nell'ordine del 10% della frequenza totale associata al settore.

La presenza di eventi più intensi dal quarto quadrante è da ricercarsi non nella lunghezza libera sulla quale può soffiare il vento che genera le onde (il cosiddetto fetch risulta infatti ben più significativo per venti che provengono dal secondo quadrante, ovvero dal settore che comprende le direzioni tra l'Est ed il Sud, procedendo in senso orario), ma nell'intensità del vento stesso: i venti più intensi per il Canale di Sicilia, infatti, provengono dal quarto quadrante (Maestrale), come illustrato in Fig. 3.4, che riporta il clima anemometrico di riferimento relativo alla cella del modello Met-Office per i quali sono stati acquisiti i dati. Un'ulteriore conferma ci viene fornita dall'analisi della Fig. 3.5, che riporta una rappresentazione della distribuzione della velocità del vento media annua nel Mar Mediterraneo: il settore di mare a Nord Ovest del Canale di Sicilia presenta valori medi significativamente più elevati di quelli che si riscontrano nel settore di mare a Sud Est del Canale stesso. In realtà, la mappa fornisce indicazioni sulle intensità medie, ma, come si è visto, tali considerazioni risultano in questo caso valide anche per gli eventi più intensi.



La presenza della Sicilia a Nord Est e della Tunisia a Sud Ovest dell'area di mare interessata dalla presenza dei Banchi, fa sì che gli eventi ondosi provenienti dal primo e dal terzo quadrante (rispettivamente direzioni tra il Nord e l'Est e direzioni tra il Sud e l'Ovest procedendo sempre in senso orario), risultino mediamente meno significativi, sia da un punto di vista della frequenza degli eventi, sia in termini di altezza d'onda.

Considerando globalmente l'intero clima ondoso, le onde inferiori ai 2m di altezza rappresentano ben l'85% circa del totale.

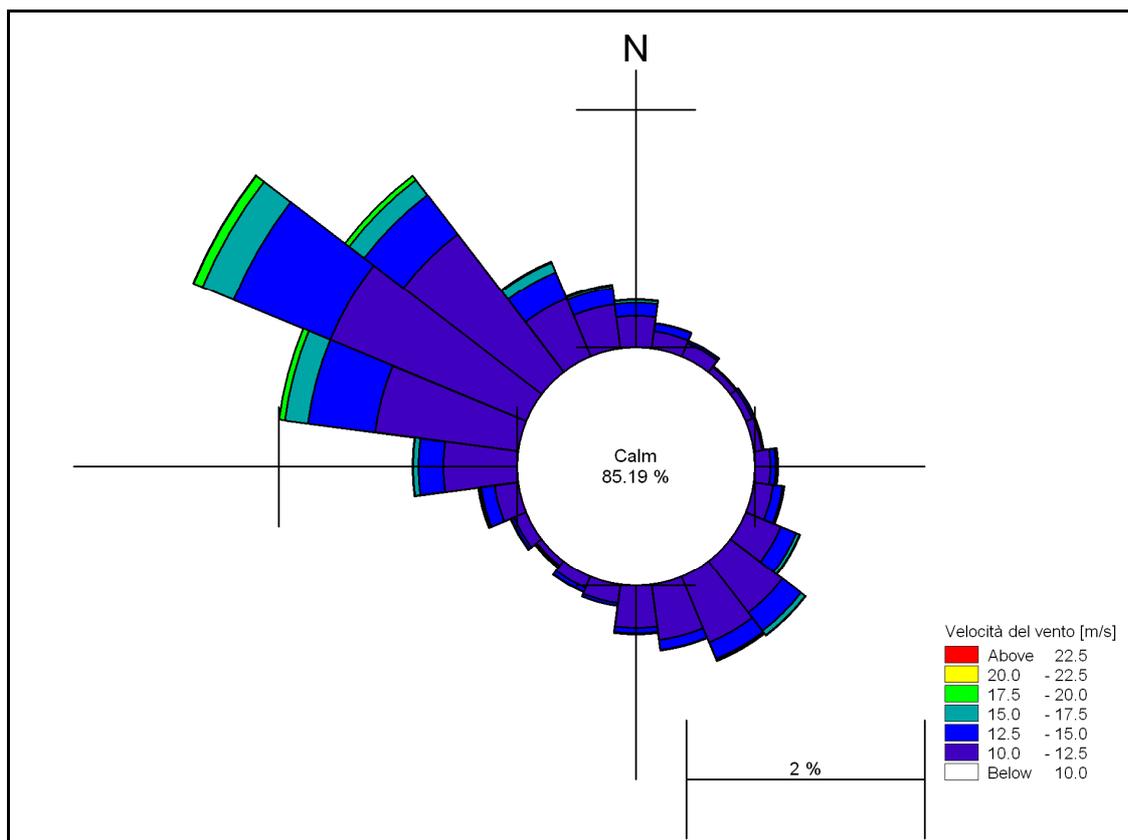


Fig. 3.4 Rosa del clima anemometrico di riferimento relativo alla cella del modello Met-Office. Per una più immediata comprensione dell'immagine, è stata impostata una soglia minima di velocità del vento rappresentata pari a 10 m/s (calm conditions).

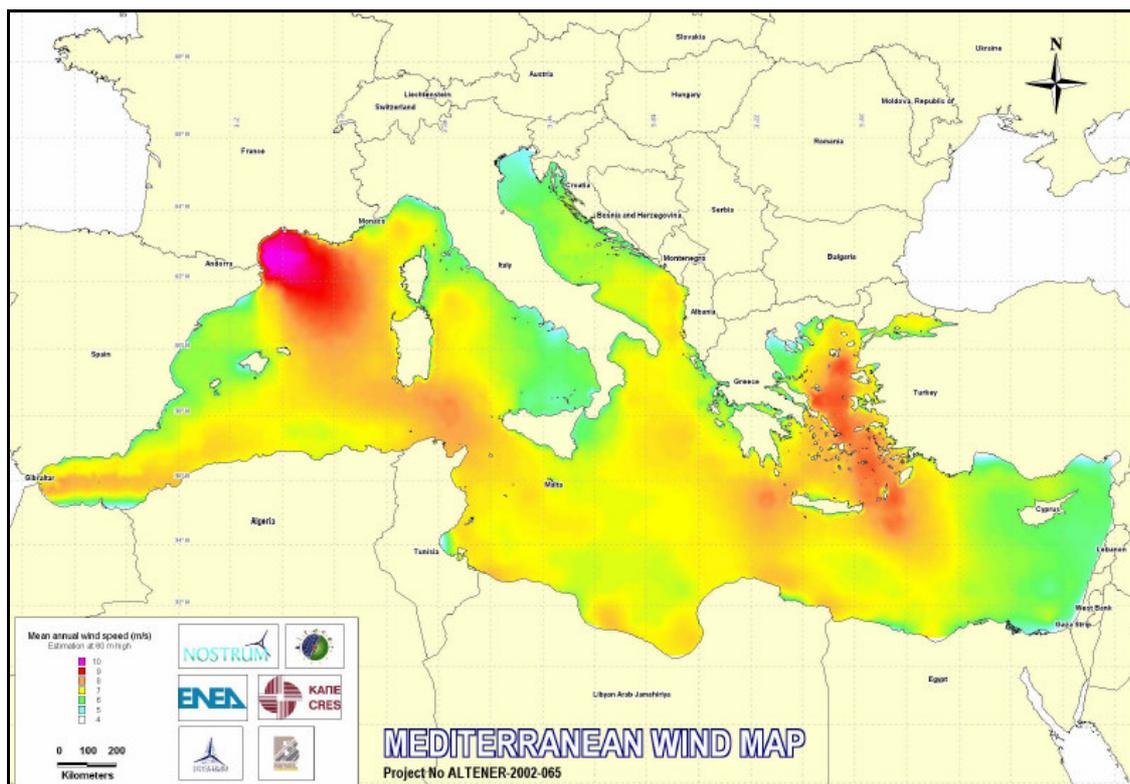


Fig. 3.5 Rappresentazione della distribuzione della velocità del vento media annua nel Mar Mediterraneo.

La caratterizzazione del clima ondoso mensile è riportata nelle pagine successive sia in formato grafico, secondo la classica rappresentazione a rosa, da Fig. 3.6 a Fig. 3.17, sia in formato tabellare, da Tabella 3.2 a Tabella 3.13.

Tabella 3.2 *Clima ondoso relativo ai mesi di gennaio.*

| Hs [m]     | <0.5       | 0.5         | 1.0         | 1.5        | 2.0        | 2.5        | 3.0        | 3.5        | 4.0       | 4.5       | 5.0       | 5.5       | 6.0      | >6.5     | Tot         |
|------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|-------------|
| Dir [°N]   | 1.0        | 1.5         | 2.0         | 2.5        | 3.0        | 3.5        | 4.0        | 4.5        | 5.0       | 5.5       | 6.0       | 6.5       |          |          |             |
| 0 - 15     | 36         | 38          | 34          | 12         | 19         | 10         | 6          | 11         | 0         | 1         | 0         | 0         | 0        | 0        | 167         |
| 15 - 30    | 14         | 39          | 20          | 11         | 9          | 6          | 0          | 1          | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 100         |
| 30 - 45    | 13         | 26          | 14          | 3          | 0          | 2          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 58          |
| 45 - 60    | 14         | 22          | 10          | 2          | 0          | 1          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 49          |
| 60 - 75    | 13         | 23          | 11          | 3          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0         | 1         | 0         | 0         | 0        | 0        | 51          |
| 75 - 90    | 21         | 27          | 10          | 3          | 3          | 2          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 66          |
| 90 - 105   | 17         | 26          | 17          | 9          | 5          | 2          | 0          | 1          | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 77          |
| 105 - 120  | 90         | 188         | 124         | 44         | 21         | 12         | 20         | 3          | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 502         |
| 120 - 135  | 38         | 94          | 78          | 67         | 25         | 21         | 10         | 6          | 1         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 340         |
| 135 - 150  | 14         | 44          | 33          | 25         | 19         | 14         | 2          | 3          | 3         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 157         |
| 150 - 165  | 22         | 29          | 49          | 13         | 8          | 1          | 1          | 2          | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 125         |
| 165 - 180  | 19         | 55          | 60          | 44         | 12         | 4          | 1          | 1          | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 196         |
| 180 - 195  | 15         | 38          | 51          | 42         | 11         | 2          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 159         |
| 195 - 210  | 9          | 16          | 20          | 22         | 6          | 1          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 74          |
| 210 - 225  | 9          | 15          | 17          | 3          | 3          | 0          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 47          |
| 225 - 240  | 6          | 17          | 16          | 9          | 1          | 2          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 51          |
| 240 - 255  | 12         | 27          | 21          | 7          | 3          | 1          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 71          |
| 255 - 270  | 14         | 22          | 19          | 7          | 4          | 4          | 1          | 2          | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 73          |
| 270 - 285  | 9          | 50          | 47          | 47         | 21         | 16         | 5          | 3          | 3         | 2         | 0         | 0         | 0        | 0        | 203         |
| 285 - 300  | 78         | 237         | 204         | 161        | 122        | 54         | 55         | 31         | 14        | 14        | 7         | 6         | 1        | 1        | 985         |
| 300 - 315  | 44         | 140         | 106         | 89         | 80         | 57         | 52         | 21         | 24        | 19        | 4         | 2         | 2        | 0        | 640         |
| 315 - 330  | 33         | 68          | 55          | 47         | 25         | 25         | 10         | 4          | 11        | 10        | 3         | 2         | 2        | 0        | 295         |
| 330 - 345  | 32         | 31          | 26          | 42         | 25         | 24         | 9          | 8          | 6         | 1         | 0         | 0         | 0        | 0        | 204         |
| 345 - 360  | 39         | 47          | 41          | 26         | 20         | 20         | 12         | 15         | 2         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 222         |
| <b>TOT</b> | <b>611</b> | <b>1319</b> | <b>1083</b> | <b>738</b> | <b>442</b> | <b>281</b> | <b>184</b> | <b>112</b> | <b>64</b> | <b>48</b> | <b>14</b> | <b>10</b> | <b>5</b> | <b>1</b> | <b>4912</b> |

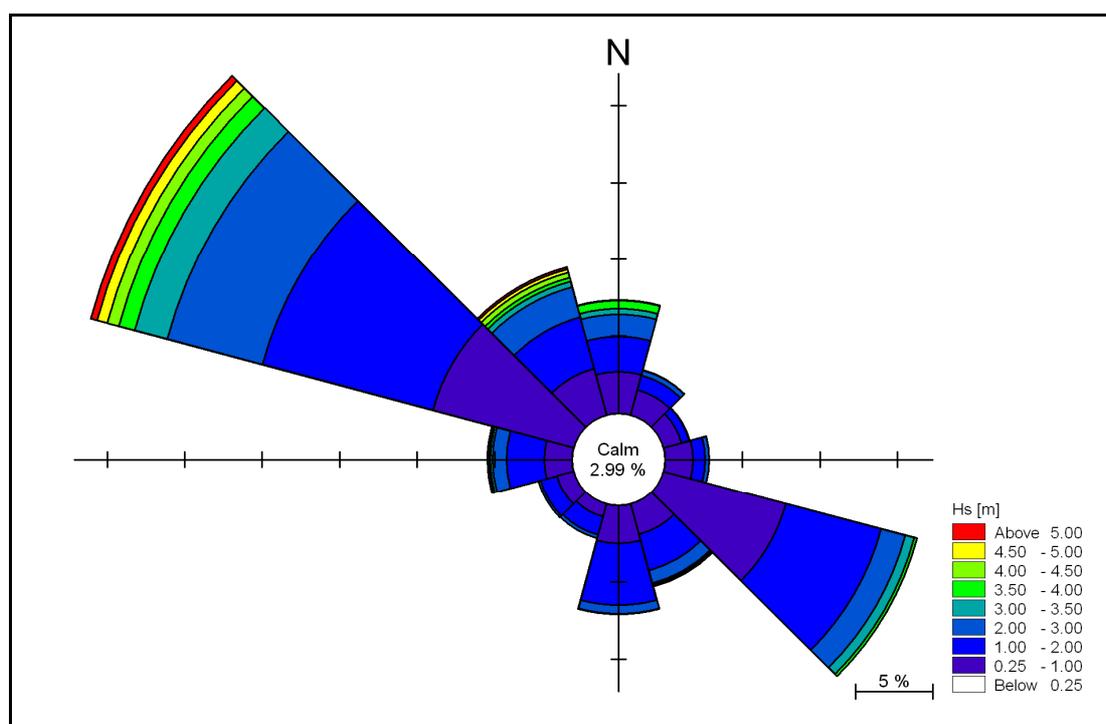


Fig. 3.6 *Rosa del clima ondoso relativa ai mesi di gennaio.*



Tabella 3.3 *Clima ondoso relativo ai mesi di febbraio.*

| Hs [m]     | <0.5       | 0.5         | 1.0        | 1.5        | 2.0        | 2.5        | 3.0        | 3.5        | 4.0       | 4.5       | 5.0       | 5.5      | 6.0      | >6.5     | Tot         |
|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|-------------|
| Dir [°N]   | 1.0        | 1.5         | 2.0        | 2.5        | 3.0        | 3.5        | 4.0        | 4.5        | 5.0       | 5.5       | 6.0       | 6.5      |          |          |             |
| 0 - 15     | 21         | 72          | 41         | 17         | 12         | 2          | 3          | 4          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 172         |
| 15 - 30    | 23         | 43          | 46         | 11         | 11         | 1          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 135         |
| 30 - 45    | 13         | 22          | 9          | 6          | 6          | 0          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 56          |
| 45 - 60    | 5          | 8           | 6          | 1          | 3          | 0          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 23          |
| 60 - 75    | 14         | 6           | 6          | 1          | 2          | 2          | 1          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 32          |
| 75 - 90    | 8          | 15          | 10         | 3          | 0          | 0          | 1          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 37          |
| 90 - 105   | 9          | 26          | 5          | 5          | 0          | 1          | 1          | 1          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 48          |
| 105 - 120  | 96         | 124         | 53         | 33         | 18         | 6          | 8          | 1          | 1         | 1         | 0         | 0        | 0        | 0        | 341         |
| 120 - 135  | 40         | 78          | 44         | 27         | 26         | 22         | 14         | 3          | 4         | 2         | 0         | 0        | 0        | 0        | 260         |
| 135 - 150  | 35         | 84          | 41         | 32         | 22         | 9          | 5          | 1          | 3         | 1         | 0         | 0        | 0        | 0        | 233         |
| 150 - 165  | 20         | 36          | 39         | 24         | 4          | 2          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 125         |
| 165 - 180  | 31         | 44          | 48         | 16         | 6          | 1          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 146         |
| 180 - 195  | 16         | 50          | 36         | 16         | 17         | 1          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 136         |
| 195 - 210  | 9          | 29          | 28         | 19         | 3          | 2          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 90          |
| 210 - 225  | 12         | 20          | 15         | 4          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 51          |
| 225 - 240  | 5          | 13          | 8          | 7          | 1          | 0          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 34          |
| 240 - 255  | 6          | 6           | 11         | 9          | 5          | 1          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 38          |
| 255 - 270  | 9          | 22          | 16         | 12         | 3          | 5          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 67          |
| 270 - 285  | 8          | 50          | 42         | 34         | 28         | 12         | 5          | 2          | 2         | 1         | 1         | 0        | 0        | 0        | 185         |
| 285 - 300  | 35         | 194         | 201        | 156        | 131        | 91         | 83         | 43         | 17        | 12        | 8         | 1        | 0        | 0        | 972         |
| 300 - 315  | 28         | 60          | 96         | 97         | 77         | 59         | 62         | 51         | 25        | 6         | 8         | 0        | 0        | 0        | 569         |
| 315 - 330  | 20         | 77          | 71         | 39         | 23         | 19         | 19         | 14         | 5         | 5         | 3         | 0        | 0        | 0        | 295         |
| 330 - 345  | 16         | 76          | 64         | 26         | 21         | 12         | 6          | 7          | 2         | 5         | 1         | 0        | 0        | 0        | 236         |
| 345 - 360  | 11         | 67          | 42         | 16         | 14         | 13         | 6          | 9          | 2         | 2         | 0         | 0        | 0        | 0        | 182         |
| <b>TOT</b> | <b>490</b> | <b>1222</b> | <b>978</b> | <b>611</b> | <b>433</b> | <b>261</b> | <b>214</b> | <b>136</b> | <b>61</b> | <b>35</b> | <b>21</b> | <b>1</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>4463</b> |

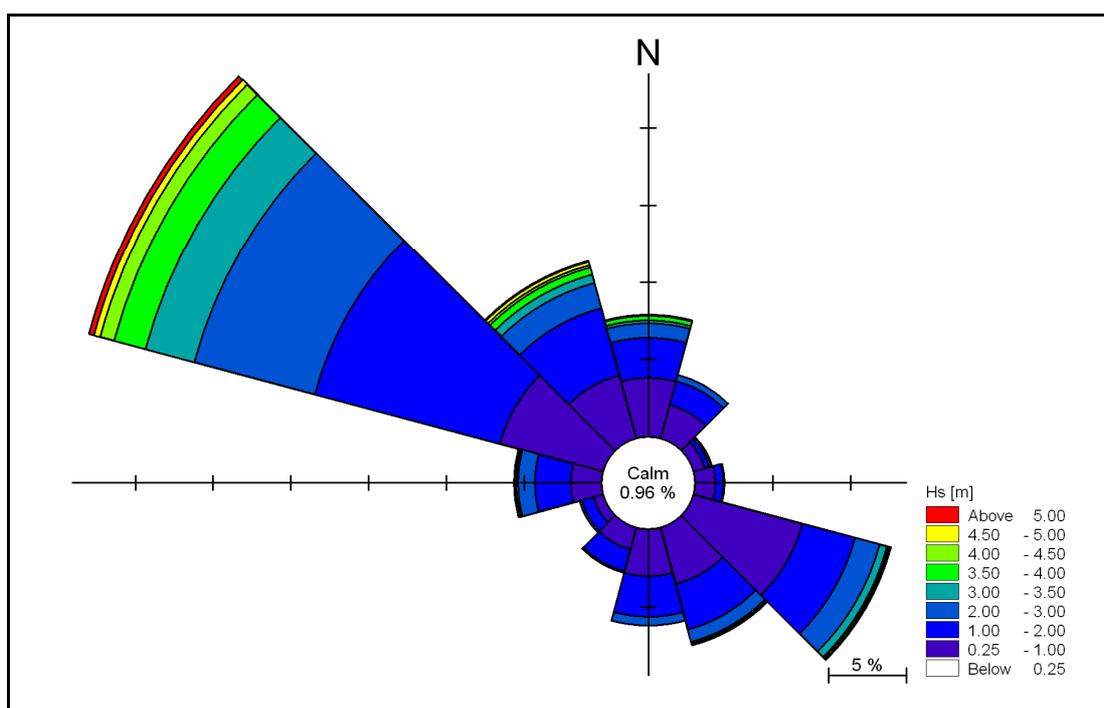


Fig. 3.7 *Rosa del clima ondoso relativa ai mesi di febbraio.*



Tabella 3.4 *Clima ondoso relativo ai mesi di marzo.*

| Hs [m]     | <0.5       | 0.5         | 1.0         | 1.5        | 2.0        | 2.5        | 3.0        | 3.5       | 4.0       | 4.5       | 5.0       | 5.5      | 6.0      | >6.5     | Tot         |
|------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|-------------|
| Dir [°N]   |            | 1.0         | 1.5         | 2.0        | 2.5        | 3.0        | 3.5        | 4.0       | 4.5       | 5.0       | 5.5       | 6.0      | 6.5      |          |             |
| 0 - 15     | 30         | 41          | 20          | 28         | 14         | 7          | 2          | 1         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 143         |
| 15 - 30    | 17         | 27          | 26          | 13         | 5          | 5          | 2          | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 95          |
| 30 - 45    | 6          | 4           | 8           | 1          | 0          | 1          | 1          | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 21          |
| 45 - 60    | 8          | 12          | 9           | 4          | 1          | 2          | 1          | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 37          |
| 60 - 75    | 6          | 4           | 4           | 2          | 0          | 0          | 1          | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 17          |
| 75 - 90    | 3          | 7           | 4           | 2          | 0          | 2          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 18          |
| 90 - 105   | 6          | 9           | 7           | 3          | 2          | 1          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 28          |
| 105 - 120  | 22         | 56          | 34          | 19         | 13         | 3          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 147         |
| 120 - 135  | 33         | 123         | 128         | 81         | 47         | 17         | 5          | 4         | 3         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 441         |
| 135 - 150  | 43         | 170         | 131         | 68         | 25         | 5          | 8          | 1         | 1         | 1         | 0         | 0        | 0        | 0        | 453         |
| 150 - 165  | 21         | 116         | 102         | 41         | 17         | 2          | 0          | 1         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 300         |
| 165 - 180  | 22         | 56          | 69          | 14         | 16         | 2          | 1          | 1         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 181         |
| 180 - 195  | 15         | 48          | 41          | 23         | 12         | 0          | 1          | 1         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 141         |
| 195 - 210  | 9          | 28          | 17          | 9          | 6          | 3          | 1          | 2         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 75          |
| 210 - 225  | 5          | 14          | 19          | 3          | 1          | 0          | 2          | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 44          |
| 225 - 240  | 9          | 16          | 15          | 2          | 3          | 1          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 46          |
| 240 - 255  | 3          | 13          | 13          | 5          | 3          | 0          | 1          | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 38          |
| 255 - 270  | 9          | 26          | 16          | 10         | 3          | 4          | 1          | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 69          |
| 270 - 285  | 13         | 44          | 56          | 32         | 18         | 20         | 5          | 12        | 0         | 0         | 1         | 0        | 0        | 0        | 201         |
| 285 - 300  | 40         | 185         | 231         | 194        | 146        | 83         | 38         | 20        | 7         | 4         | 7         | 0        | 0        | 0        | 955         |
| 300 - 315  | 42         | 100         | 162         | 117        | 64         | 56         | 24         | 9         | 9         | 7         | 6         | 0        | 2        | 0        | 598         |
| 315 - 330  | 44         | 68          | 70          | 42         | 28         | 11         | 16         | 11        | 5         | 3         | 0         | 1        | 0        | 0        | 299         |
| 330 - 345  | 18         | 67          | 43          | 23         | 35         | 18         | 10         | 4         | 3         | 3         | 1         | 0        | 0        | 0        | 225         |
| 345 - 360  | 31         | 62          | 36          | 23         | 29         | 16         | 10         | 9         | 4         | 1         | 0         | 0        | 0        | 0        | 221         |
| <b>TOT</b> | <b>455</b> | <b>1296</b> | <b>1261</b> | <b>759</b> | <b>488</b> | <b>259</b> | <b>130</b> | <b>76</b> | <b>32</b> | <b>19</b> | <b>15</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>0</b> | <b>4793</b> |

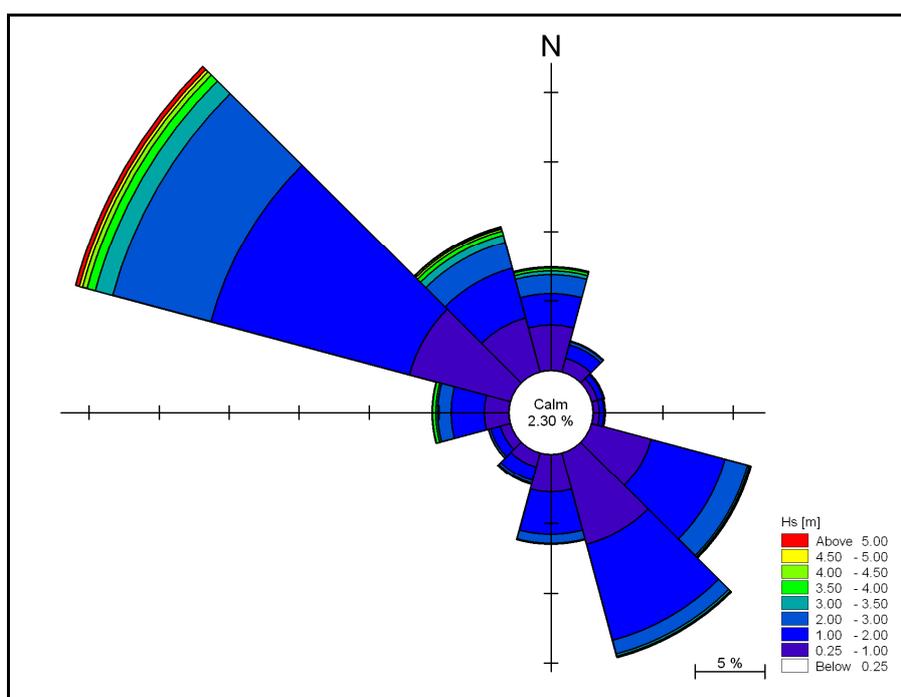


Fig. 3.8 *Rosa del clima ondoso relativa ai mesi di marzo.*



Tabella 3.5 *Clima ondoso relativo ai mesi di aprile.*

| Hs [m]     | <0.5       | 0.5         | 1.0        | 1.5        | 2.0        | 2.5        | 3.0        | 3.5       | 4.0       | 4.5       | 5.0      | 5.5      | 6.0      | >6.5     | Tot         |
|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|-------------|
| Dir [°N]   | 1.0        | 1.5         | 2.0        | 2.5        | 3.0        | 3.5        | 4.0        | 4.5       | 5.0       | 5.5       | 6.0      | 6.5      |          |          |             |
| 0 - 15     | 20         | 42          | 9          | 3          | 6          | 2          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 82          |
| 15 - 30    | 9          | 17          | 8          | 1          | 1          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 36          |
| 30 - 45    | 6          | 11          | 5          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 22          |
| 45 - 60    | 8          | 1           | 2          | 0          | 1          | 1          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 13          |
| 60 - 75    | 3          | 6           | 4          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 13          |
| 75 - 90    | 5          | 5           | 1          | 0          | 1          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 12          |
| 90 - 105   | 5          | 13          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 1         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 19          |
| 105 - 120  | 10         | 103         | 33         | 11         | 0          | 3          | 2          | 2         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 164         |
| 120 - 135  | 23         | 101         | 75         | 94         | 67         | 40         | 21         | 11        | 4         | 3         | 0        | 0        | 0        | 0        | 439         |
| 135 - 150  | 39         | 142         | 91         | 81         | 86         | 44         | 31         | 14        | 6         | 1         | 0        | 0        | 0        | 0        | 535         |
| 150 - 165  | 27         | 116         | 97         | 55         | 30         | 18         | 4          | 2         | 4         | 4         | 0        | 0        | 0        | 0        | 357         |
| 165 - 180  | 11         | 99          | 57         | 34         | 11         | 7          | 1          | 1         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 221         |
| 180 - 195  | 18         | 53          | 22         | 11         | 3          | 0          | 1          | 1         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 109         |
| 195 - 210  | 8          | 27          | 19         | 1          | 0          | 1          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 56          |
| 210 - 225  | 10         | 13          | 6          | 2          | 1          | 1          | 1          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 34          |
| 225 - 240  | 7          | 19          | 10         | 4          | 0          | 1          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 41          |
| 240 - 255  | 2          | 15          | 12         | 2          | 1          | 3          | 0          | 1         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 36          |
| 255 - 270  | 9          | 27          | 17         | 4          | 1          | 1          | 3          | 1         | 1         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 64          |
| 270 - 285  | 11         | 65          | 45         | 36         | 14         | 24         | 2          | 0         | 2         | 1         | 0        | 0        | 0        | 0        | 200         |
| 285 - 300  | 49         | 209         | 210        | 161        | 115        | 86         | 66         | 25        | 5         | 5         | 1        | 0        | 0        | 0        | 932         |
| 300 - 315  | 24         | 137         | 155        | 144        | 82         | 50         | 21         | 13        | 8         | 4         | 1        | 0        | 0        | 0        | 639         |
| 315 - 330  | 30         | 88          | 52         | 35         | 19         | 14         | 4          | 2         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 244         |
| 330 - 345  | 13         | 77          | 33         | 14         | 10         | 10         | 1          | 1         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 159         |
| 345 - 360  | 5          | 52          | 22         | 21         | 4          | 7          | 2          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 113         |
| <b>TOT</b> | <b>352</b> | <b>1438</b> | <b>985</b> | <b>714</b> | <b>453</b> | <b>313</b> | <b>160</b> | <b>75</b> | <b>30</b> | <b>18</b> | <b>2</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>4540</b> |

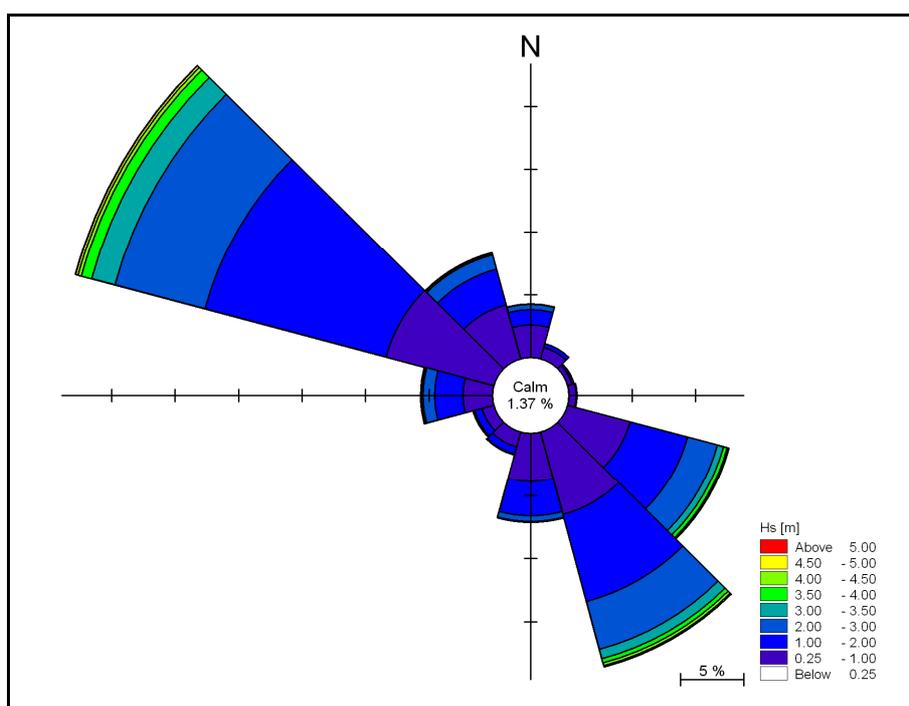


Fig. 3.9 *Rosa del clima ondoso relativa ai mesi di aprile.*



Tabella 3.6 *Clima ondoso relativo ai mesi di maggio.*

| Hs [m]     | <0.5        | 0.5         | 1.0        | 1.5        | 2.0        | 2.5        | 3.0       | 3.5       | 4.0      | 4.5      | 5.0      | 5.5      | 6.0      | >6.5     | Tot         |
|------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------|
| Dir [°N]   |             | 1.0         | 1.5        | 2.0        | 2.5        | 3.0        | 3.5       | 4.0       | 4.5      | 5.0      | 5.5      | 6.0      | 6.5      |          |             |
| 0 - 15     | 66          | 75          | 14         | 1          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 156         |
| 15 - 30    | 60          | 52          | 8          | 0          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 120         |
| 30 - 45    | 36          | 18          | 2          | 0          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 56          |
| 45 - 60    | 28          | 15          | 2          | 0          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 45          |
| 60 - 75    | 33          | 7           | 0          | 0          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 40          |
| 75 - 90    | 16          | 6           | 4          | 0          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 26          |
| 90 - 105   | 23          | 11          | 0          | 2          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 36          |
| 105 - 120  | 92          | 116         | 36         | 22         | 4          | 2          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 272         |
| 120 - 135  | 102         | 143         | 123        | 76         | 37         | 34         | 10        | 6         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 531         |
| 135 - 150  | 103         | 221         | 130        | 57         | 37         | 26         | 19        | 8         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 601         |
| 150 - 165  | 66          | 196         | 119        | 43         | 4          | 3          | 1         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 432         |
| 165 - 180  | 40          | 125         | 47         | 11         | 0          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 223         |
| 180 - 195  | 25          | 73          | 11         | 1          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 110         |
| 195 - 210  | 11          | 16          | 7          | 2          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 36          |
| 210 - 225  | 12          | 17          | 1          | 1          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 31          |
| 225 - 240  | 18          | 10          | 3          | 2          | 1          | 1          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 35          |
| 240 - 255  | 13          | 10          | 6          | 0          | 1          | 0          | 1         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 31          |
| 255 - 270  | 13          | 18          | 7          | 4          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 42          |
| 270 - 285  | 30          | 75          | 24         | 18         | 6          | 4          | 3         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 160         |
| 285 - 300  | 70          | 169         | 157        | 90         | 71         | 63         | 16        | 17        | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 654         |
| 300 - 315  | 35          | 118         | 163        | 83         | 45         | 26         | 8         | 7         | 2        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 487         |
| 315 - 330  | 63          | 68          | 56         | 19         | 1          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 207         |
| 330 - 345  | 41          | 95          | 32         | 10         | 0          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 178         |
| 345 - 360  | 90          | 71          | 15         | 12         | 0          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 188         |
| <b>TOT</b> | <b>1086</b> | <b>1725</b> | <b>967</b> | <b>454</b> | <b>207</b> | <b>159</b> | <b>58</b> | <b>38</b> | <b>3</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>4697</b> |

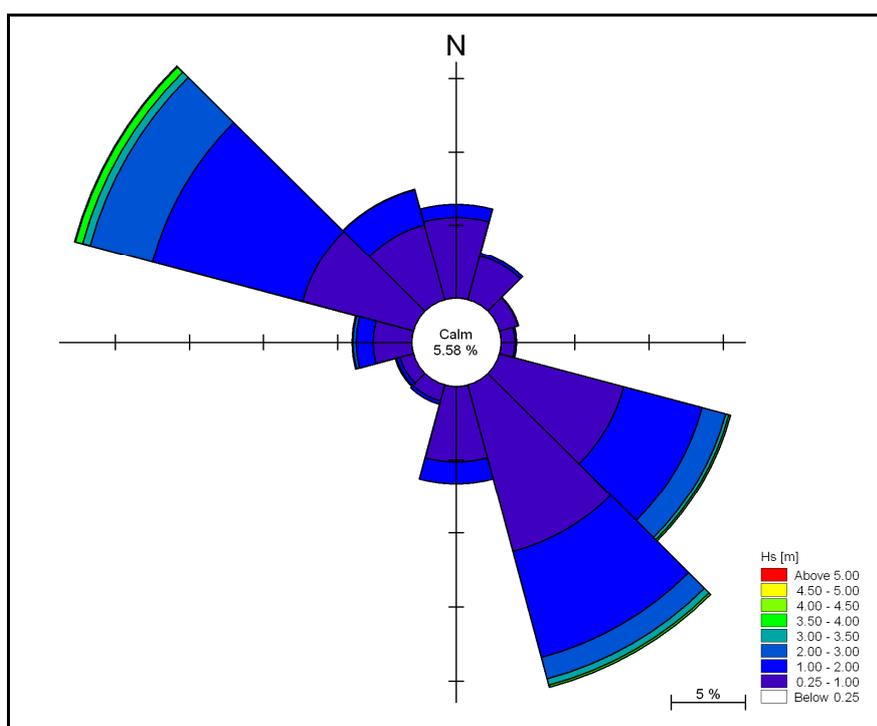


Fig. 3.10 *Rosa del clima ondoso relativa ai mesi di maggio.*



Tabella 3.7 *Clima ondoso relativo ai mesi di giugno.*

| Hs [m]    | <0.5 | 0.5  | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5.0 | 5.5 | 6.0 | >6.5 | Tot  |
|-----------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| Dir [°N]  | 1.0  | 1.5  | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5.0 | 5.5 | 6.0 | 6.5 |     |      |      |
| 0 - 15    | 110  | 61   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 172  |
| 15 - 30   | 83   | 63   | 3   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 149  |
| 30 - 45   | 40   | 22   | 7   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 70   |
| 45 - 60   | 24   | 14   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 39   |
| 60 - 75   | 19   | 8    | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 29   |
| 75 - 90   | 15   | 3    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 18   |
| 90 - 105  | 21   | 6    | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 28   |
| 105 - 120 | 64   | 38   | 2   | 3   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 108  |
| 120 - 135 | 74   | 100  | 47  | 10  | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 233  |
| 135 - 150 | 99   | 142  | 78  | 52  | 16  | 4   | 5   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 396  |
| 150 - 165 | 128  | 202  | 74  | 28  | 7   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 440  |
| 165 - 180 | 118  | 137  | 37  | 9   | 5   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 306  |
| 180 - 195 | 61   | 46   | 8   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 117  |
| 195 - 210 | 40   | 40   | 10  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 90   |
| 210 - 225 | 17   | 18   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 36   |
| 225 - 240 | 21   | 8    | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 31   |
| 240 - 255 | 18   | 17   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 37   |
| 255 - 270 | 18   | 17   | 5   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 41   |
| 270 - 285 | 41   | 84   | 20  | 7   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 152  |
| 285 - 300 | 107  | 186  | 133 | 87  | 31  | 11  | 5   | 2   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 563  |
| 300 - 315 | 66   | 242  | 188 | 81  | 45  | 24  | 9   | 4   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 661  |
| 315 - 330 | 91   | 159  | 85  | 29  | 1   | 6   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 371  |
| 330 - 345 | 103  | 115  | 41  | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 261  |
| 345 - 360 | 113  | 63   | 18  | 3   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 197  |
| TOT       | 1491 | 1791 | 764 | 317 | 107 | 47  | 19  | 6   | 3   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 4545 |

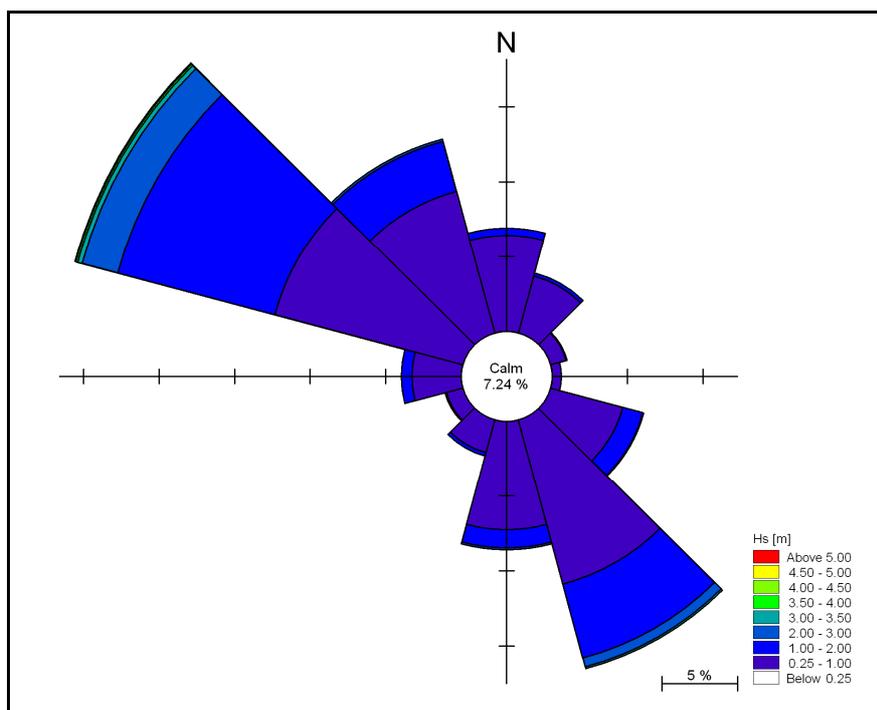


Fig. 3.11 *Rosa del clima ondoso relativa ai mesi di giugno.*



Tabella 3.8 Clima ondoso relativo ai mesi di luglio.

| Hs [m]    | <0.5 | 0.5  | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5.0 | 5.5 | 6.0 | >6.5 | Tot  |
|-----------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| Dir [°N]  | 1.0  | 1.5  | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5.0 | 5.5 | 6.0 | 6.5 |     |      |      |
| 0 - 15    | 146  | 147  | 11  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 304  |
| 15 - 30   | 98   | 50   | 5   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 153  |
| 30 - 45   | 42   | 14   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 56   |
| 45 - 60   | 25   | 4    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 29   |
| 60 - 75   | 40   | 2    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 42   |
| 75 - 90   | 17   | 2    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 19   |
| 90 - 105  | 13   | 3    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 16   |
| 105 - 120 | 31   | 6    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 37   |
| 120 - 135 | 42   | 33   | 9   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 84   |
| 135 - 150 | 86   | 95   | 34  | 13  | 4   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 232  |
| 150 - 165 | 91   | 158  | 52  | 19  | 4   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 324  |
| 165 - 180 | 106  | 132  | 60  | 11  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 310  |
| 180 - 195 | 70   | 75   | 31  | 5   | 4   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 185  |
| 195 - 210 | 27   | 43   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 72   |
| 210 - 225 | 24   | 19   | 2   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 46   |
| 225 - 240 | 17   | 11   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 28   |
| 240 - 255 | 6    | 12   | 3   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 21   |
| 255 - 270 | 23   | 19   | 4   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 47   |
| 270 - 285 | 43   | 52   | 20  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 116  |
| 285 - 300 | 181  | 288  | 114 | 96  | 52  | 16  | 16  | 3   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 766  |
| 300 - 315 | 146  | 246  | 214 | 133 | 69  | 33  | 13  | 4   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 858  |
| 315 - 330 | 174  | 215  | 115 | 32  | 15  | 4   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 556  |
| 330 - 345 | 187  | 189  | 40  | 8   | 3   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 427  |
| 345 - 360 | 168  | 163  | 16  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 348  |
| TOT       | 1803 | 1978 | 732 | 321 | 152 | 53  | 30  | 7   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 5076 |

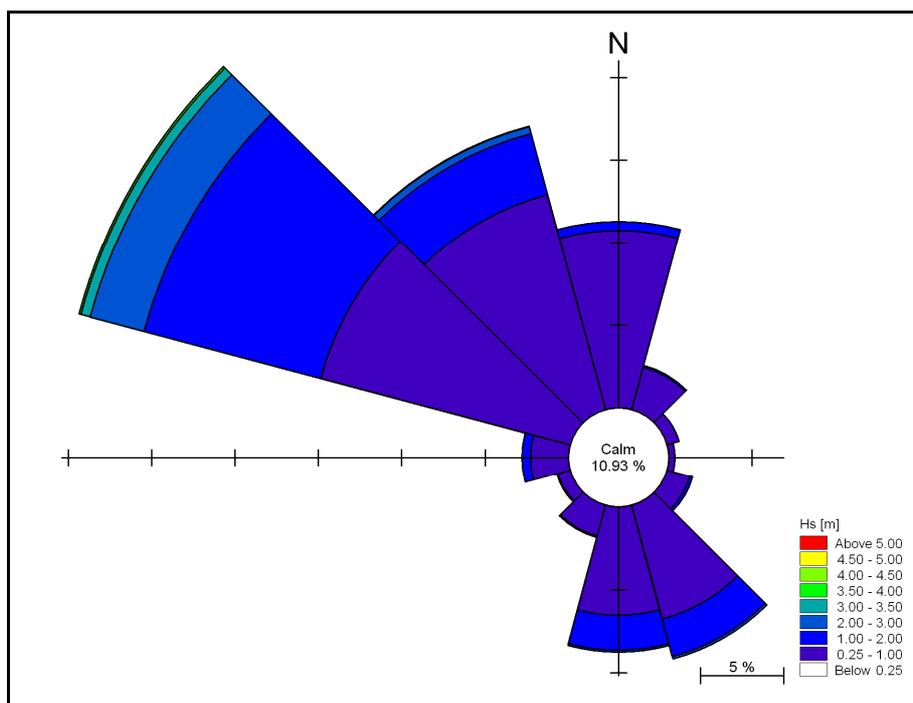


Fig. 3.12 Rosa del clima ondoso relativa ai mesi di luglio.



Tabella 3.9 Clima ondoso relativo ai mesi di agosto.

| Hs [m]    | <0.5 | 0.5  | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5.0 | 5.5 | 6.0 | >6.5 | Tot  |
|-----------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| Dir [°N]  | 1.0  | 1.5  | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5.0 | 5.5 | 6.0 | 6.5 |     |      |      |
| 0 - 15    | 169  | 116  | 16  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 301  |
| 15 - 30   | 129  | 64   | 11  | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 206  |
| 30 - 45   | 74   | 27   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 101  |
| 45 - 60   | 48   | 5    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 53   |
| 60 - 75   | 38   | 9    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 47   |
| 75 - 90   | 34   | 9    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 43   |
| 90 - 105  | 35   | 8    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 43   |
| 105 - 120 | 53   | 17   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 71   |
| 120 - 135 | 48   | 31   | 11  | 5   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 96   |
| 135 - 150 | 89   | 88   | 42  | 3   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 222  |
| 150 - 165 | 126  | 130  | 51  | 6   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 313  |
| 165 - 180 | 122  | 170  | 68  | 24  | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 386  |
| 180 - 195 | 121  | 112  | 33  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 267  |
| 195 - 210 | 40   | 36   | 5   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 81   |
| 210 - 225 | 33   | 22   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 55   |
| 225 - 240 | 24   | 12   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 38   |
| 240 - 255 | 23   | 6    | 7   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 36   |
| 255 - 270 | 31   | 9    | 7   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 47   |
| 270 - 285 | 83   | 37   | 10  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 130  |
| 285 - 300 | 126  | 173  | 113 | 89  | 55  | 16  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 573  |
| 300 - 315 | 134  | 220  | 167 | 136 | 97  | 26  | 6   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 786  |
| 315 - 330 | 175  | 178  | 81  | 40  | 13  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 487  |
| 330 - 345 | 193  | 157  | 37  | 18  | 4   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 409  |
| 345 - 360 | 209  | 161  | 13  | 6   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 389  |
| TOT       | 2157 | 1797 | 675 | 330 | 172 | 42  | 7   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 5180 |

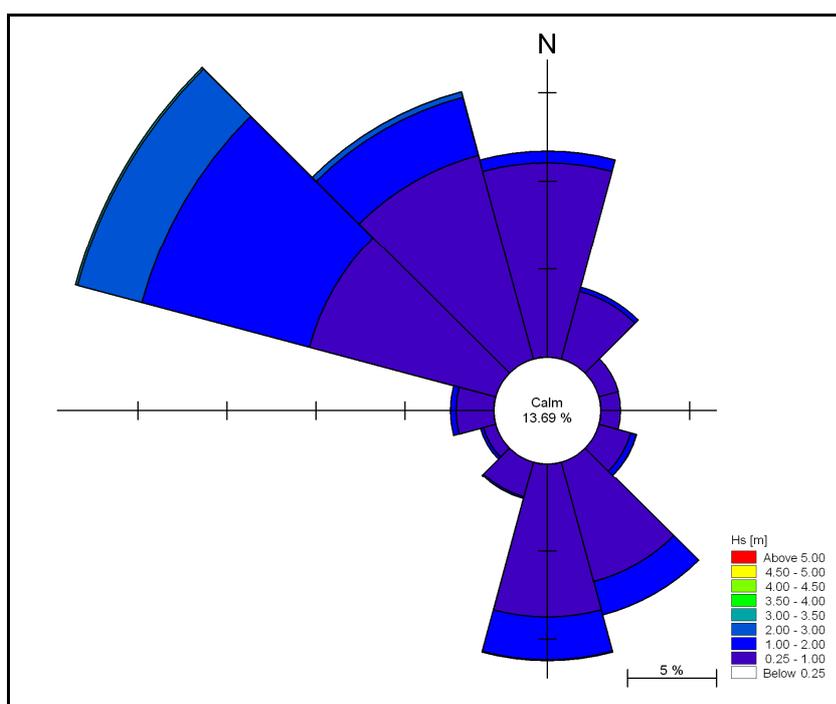


Fig. 3.13 Rosa del clima ondoso relativa ai mesi di agosto.



Tabella 3.10 Clima ondoso relativo ai mesi di settembre.

| Hs [m]     | <0.5        | 0.5         | 1.0         | 1.5        | 2.0        | 2.5        | 3.0       | 3.5       | 4.0      | 4.5      | 5.0      | 5.5      | 6.0      | >6.5     | Tot         |
|------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------|
| Dir [°N]   | 1.0         | 1.5         | 2.0         | 2.5        | 3.0        | 3.5        | 4.0       | 4.5       | 5.0      | 5.5      | 6.0      | 6.5      |          |          |             |
| 0 - 15     | 65          | 93          | 21          | 1          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 180         |
| 15 - 30    | 74          | 66          | 7           | 0          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 147         |
| 30 - 45    | 43          | 30          | 3           | 0          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 76          |
| 45 - 60    | 26          | 18          | 9           | 3          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 56          |
| 60 - 75    | 20          | 12          | 7           | 2          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 41          |
| 75 - 90    | 15          | 11          | 2           | 1          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 29          |
| 90 - 105   | 11          | 5           | 5           | 1          | 1          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 23          |
| 105 - 120  | 73          | 95          | 17          | 0          | 1          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 186         |
| 120 - 135  | 39          | 91          | 49          | 6          | 19         | 4          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 208         |
| 135 - 150  | 67          | 152         | 92          | 37         | 31         | 14         | 3         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 396         |
| 150 - 165  | 104         | 260         | 101         | 35         | 23         | 10         | 4         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 537         |
| 165 - 180  | 86          | 226         | 112         | 37         | 7          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 468         |
| 180 - 195  | 33          | 102         | 44          | 6          | 1          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 186         |
| 195 - 210  | 20          | 30          | 15          | 1          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 66          |
| 210 - 225  | 11          | 22          | 4           | 0          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 37          |
| 225 - 240  | 14          | 21          | 5           | 0          | 0          | 1          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 41          |
| 240 - 255  | 14          | 14          | 4           | 2          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 34          |
| 255 - 270  | 12          | 18          | 12          | 1          | 1          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 44          |
| 270 - 285  | 16          | 56          | 32          | 14         | 3          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 121         |
| 285 - 300  | 74          | 190         | 136         | 92         | 54         | 24         | 4         | 6         | 4        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 584         |
| 300 - 315  | 47          | 182         | 186         | 159        | 75         | 33         | 11        | 6         | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 700         |
| 315 - 330  | 49          | 141         | 86          | 48         | 30         | 14         | 6         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 374         |
| 330 - 345  | 52          | 113         | 37          | 22         | 10         | 3          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 237         |
| 345 - 360  | 86          | 111         | 35          | 11         | 7          | 2          | 2         | 1         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 255         |
| <b>TOT</b> | <b>1051</b> | <b>2059</b> | <b>1021</b> | <b>479</b> | <b>263</b> | <b>105</b> | <b>30</b> | <b>13</b> | <b>5</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>5026</b> |

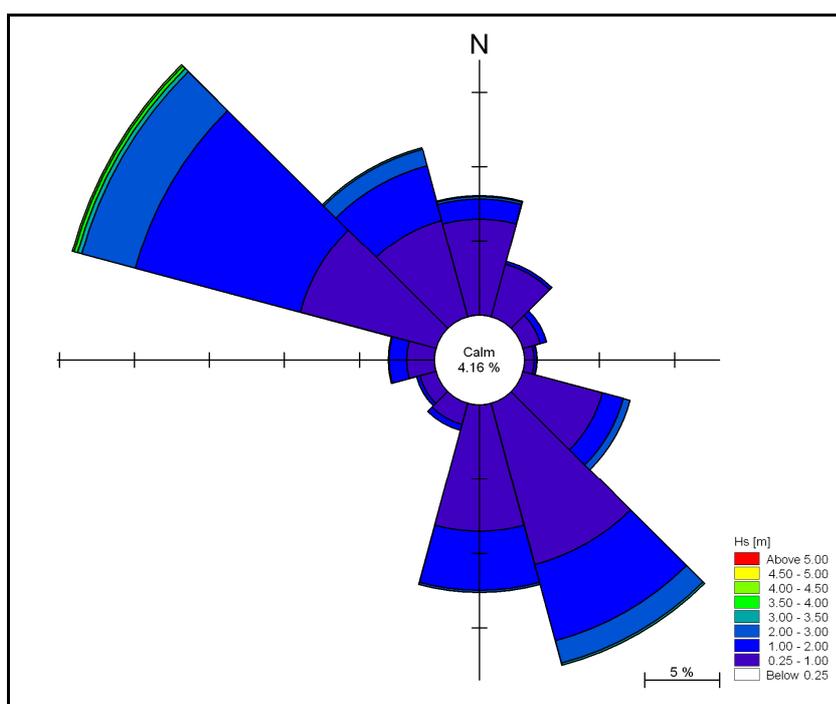


Fig. 3.14 Rosa del clima ondoso relativa ai mesi di settembre.



Tabella 3.11 *Clima ondoso relativo ai mesi di ottobre.*

| Hs [m]     | <0.5       | 0.5         | 1.0         | 1.5        | 2.0        | 2.5        | 3.0       | 3.5       | 4.0      | 4.5      | 5.0      | 5.5      | 6.0      | >6.5     | Tot         |
|------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------|
| Dir [°N]   | 1.0        | 1.5         | 2.0         | 2.5        | 3.0        | 3.5        | 4.0       | 4.5       | 5.0      | 5.5      | 6.0      | 6.5      |          |          |             |
| 0 - 15     | 30         | 56          | 21          | 5          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 112         |
| 15 - 30    | 30         | 61          | 13          | 3          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 107         |
| 30 - 45    | 29         | 23          | 7           | 0          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 59          |
| 45 - 60    | 14         | 16          | 1           | 2          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 33          |
| 60 - 75    | 12         | 11          | 2           | 0          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 25          |
| 75 - 90    | 13         | 17          | 5           | 1          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 36          |
| 90 - 105   | 12         | 30          | 10          | 5          | 1          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 58          |
| 105 - 120  | 95         | 108         | 33          | 26         | 2          | 1          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 265         |
| 120 - 135  | 73         | 191         | 102         | 59         | 13         | 3          | 6         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 447         |
| 135 - 150  | 75         | 209         | 129         | 92         | 27         | 22         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 554         |
| 150 - 165  | 75         | 231         | 174         | 105        | 18         | 17         | 4         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 624         |
| 165 - 180  | 55         | 162         | 125         | 38         | 5          | 3          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 388         |
| 180 - 195  | 31         | 87          | 54          | 17         | 6          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 195         |
| 195 - 210  | 16         | 45          | 17          | 5          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 83          |
| 210 - 225  | 18         | 16          | 6           | 5          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 45          |
| 225 - 240  | 6          | 22          | 6           | 1          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 35          |
| 240 - 255  | 2          | 28          | 6           | 4          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 40          |
| 255 - 270  | 5          | 21          | 13          | 10         | 0          | 2          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 51          |
| 270 - 285  | 25         | 97          | 39          | 29         | 9          | 3          | 3         | 7         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 212         |
| 285 - 300  | 48         | 278         | 182         | 95         | 56         | 32         | 30        | 9         | 5        | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 736         |
| 300 - 315  | 36         | 112         | 120         | 76         | 46         | 37         | 22        | 9         | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 459         |
| 315 - 330  | 31         | 92          | 85          | 34         | 9          | 4          | 6         | 4         | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 266         |
| 330 - 345  | 22         | 71          | 42          | 32         | 4          | 4          | 1         | 0         | 2        | 4        | 0        | 0        | 0        | 0        | 182         |
| 345 - 360  | 37         | 54          | 31          | 5          | 1          | 2          | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 130         |
| <b>TOT</b> | <b>790</b> | <b>2038</b> | <b>1223</b> | <b>649</b> | <b>197</b> | <b>130</b> | <b>72</b> | <b>29</b> | <b>9</b> | <b>5</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>5142</b> |

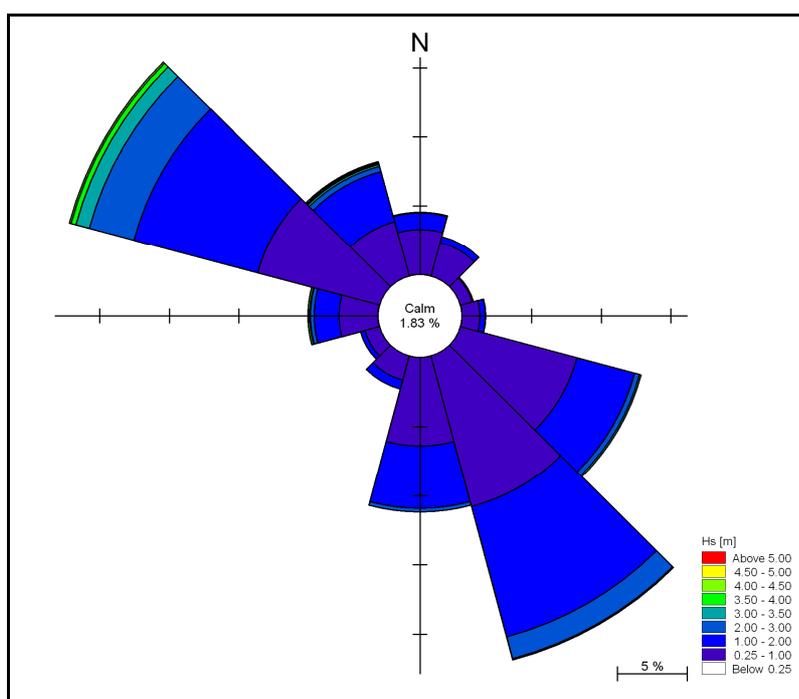


Fig. 3.15 *Rosa del clima ondoso relativa ai mesi di ottobre.*



Tabella 3.12 *Clima ondoso relativo ai mesi di novembre.*

| Hs [m]     | <0.5       | 0.5         | 1.0         | 1.5        | 2.0        | 2.5        | 3.0        | 3.5       | 4.0       | 4.5       | 5.0      | 5.5      | 6.0      | >6.5     | Tot         |
|------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|-------------|
| Dir [°N]   | 1.0        | 1.5         | 2.0         | 2.5        | 3.0        | 3.5        | 4.0        | 4.5       | 5.0       | 5.5       | 6.0      | 6.5      |          |          |             |
| 0 - 15     | 8          | 49          | 33          | 11         | 4          | 1          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 106         |
| 15 - 30    | 7          | 26          | 19          | 8          | 2          | 1          | 1          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 64          |
| 30 - 45    | 12         | 8           | 12          | 2          | 1          | 3          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 38          |
| 45 - 60    | 10         | 11          | 7           | 13         | 3          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 44          |
| 60 - 75    | 13         | 14          | 5           | 2          | 3          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 37          |
| 75 - 90    | 8          | 8           | 10          | 4          | 1          | 1          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 32          |
| 90 - 105   | 11         | 19          | 18          | 14         | 4          | 2          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 68          |
| 105 - 120  | 32         | 114         | 50          | 28         | 14         | 7          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 245         |
| 120 - 135  | 20         | 106         | 88          | 43         | 36         | 15         | 2          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 310         |
| 135 - 150  | 22         | 110         | 102         | 64         | 37         | 22         | 10         | 1         | 0         | 3         | 0        | 0        | 0        | 0        | 371         |
| 150 - 165  | 14         | 88          | 75          | 49         | 37         | 20         | 12         | 1         | 1         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 297         |
| 165 - 180  | 20         | 63          | 78          | 60         | 35         | 13         | 4          | 3         | 2         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 278         |
| 180 - 195  | 12         | 59          | 73          | 51         | 17         | 7          | 1          | 1         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 221         |
| 195 - 210  | 8          | 28          | 37          | 16         | 18         | 6          | 1          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 114         |
| 210 - 225  | 7          | 12          | 16          | 10         | 2          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 47          |
| 225 - 240  | 7          | 14          | 16          | 5          | 2          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 44          |
| 240 - 255  | 4          | 18          | 16          | 10         | 8          | 0          | 1          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 57          |
| 255 - 270  | 2          | 41          | 33          | 17         | 4          | 2          | 1          | 0         | 1         | 1         | 0        | 0        | 0        | 0        | 102         |
| 270 - 285  | 13         | 65          | 62          | 44         | 34         | 10         | 2          | 5         | 4         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 239         |
| 285 - 300  | 57         | 227         | 224         | 174        | 128        | 101        | 58         | 25        | 14        | 6         | 3        | 2        | 0        | 0        | 1019        |
| 300 - 315  | 14         | 77          | 116         | 106        | 94         | 71         | 53         | 29        | 16        | 9         | 3        | 2        | 0        | 0        | 590         |
| 315 - 330  | 4          | 76          | 59          | 37         | 24         | 26         | 10         | 7         | 5         | 3         | 0        | 0        | 0        | 0        | 251         |
| 330 - 345  | 21         | 66          | 63          | 39         | 14         | 13         | 4          | 5         | 2         | 2         | 0        | 0        | 0        | 0        | 229         |
| 345 - 360  | 12         | 38          | 35          | 27         | 16         | 11         | 4          | 1         | 2         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 146         |
| <b>TOT</b> | <b>338</b> | <b>1337</b> | <b>1247</b> | <b>834</b> | <b>538</b> | <b>332</b> | <b>164</b> | <b>78</b> | <b>47</b> | <b>24</b> | <b>6</b> | <b>4</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>4949</b> |

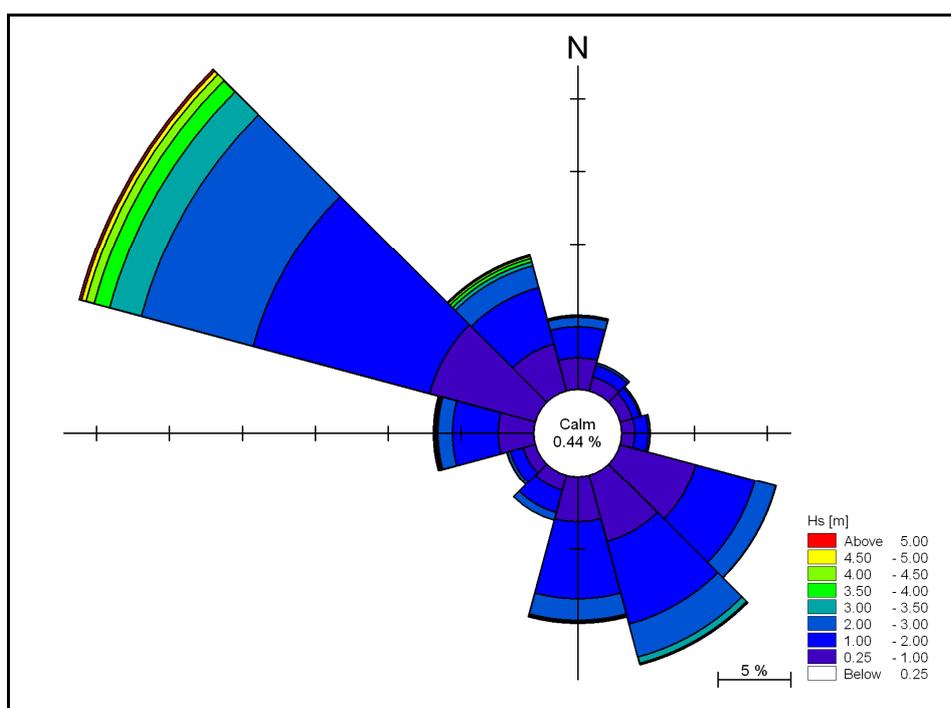


Fig. 3.16 *Rosa del clima ondoso relativa ai mesi di novembre.*



Tabella 3.13 Clima ondoso relativo ai mesi di dicembre.

| Hs [m]     | <0.5       | 0.5         | 1.0         | 1.5        | 2.0        | 2.5        | 3.0        | 3.5        | 4.0       | 4.5       | 5.0       | 5.5       | 6.0      | >6.5     | Tot         |
|------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|-------------|
| Dir [°N]   | 1.0        | 1.5         | 2.0         | 2.5        | 3.0        | 3.5        | 4.0        | 4.5        | 5.0       | 5.5       | 6.0       | 6.5       |          |          |             |
| 0 - 15     | 8          | 67          | 51          | 23         | 20         | 19         | 12         | 11         | 1         | 4         | 0         | 1         | 0        | 0        | 217         |
| 15 - 30    | 9          | 27          | 34          | 9          | 6          | 7          | 0          | 1          | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 93          |
| 30 - 45    | 2          | 31          | 22          | 9          | 3          | 1          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 68          |
| 45 - 60    | 2          | 20          | 5           | 3          | 2          | 0          | 1          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 33          |
| 60 - 75    | 7          | 9           | 10          | 4          | 0          | 1          | 1          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 32          |
| 75 - 90    | 7          | 12          | 9           | 9          | 2          | 0          | 0          | 1          | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 40          |
| 90 - 105   | 13         | 15          | 15          | 12         | 5          | 3          | 0          | 2          | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 65          |
| 105 - 120  | 25         | 106         | 51          | 24         | 10         | 11         | 6          | 3          | 1         | 1         | 0         | 0         | 0        | 0        | 238         |
| 120 - 135  | 9          | 57          | 69          | 46         | 46         | 25         | 10         | 16         | 2         | 1         | 0         | 0         | 0        | 0        | 281         |
| 135 - 150  | 14         | 55          | 54          | 62         | 20         | 23         | 6          | 4          | 3         | 2         | 0         | 0         | 0        | 0        | 243         |
| 150 - 165  | 6          | 48          | 56          | 36         | 10         | 8          | 1          | 1          | 2         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 168         |
| 165 - 180  | 15         | 58          | 63          | 46         | 21         | 1          | 1          | 0          | 6         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 211         |
| 180 - 195  | 8          | 41          | 52          | 42         | 12         | 9          | 1          | 0          | 2         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 167         |
| 195 - 210  | 2          | 37          | 47          | 24         | 12         | 4          | 1          | 3          | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 130         |
| 210 - 225  | 6          | 25          | 29          | 12         | 2          | 0          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 74          |
| 225 - 240  | 2          | 30          | 16          | 6          | 7          | 1          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 62          |
| 240 - 255  | 8          | 20          | 21          | 7          | 9          | 3          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 68          |
| 255 - 270  | 5          | 29          | 25          | 21         | 21         | 6          | 0          | 0          | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 107         |
| 270 - 285  | 9          | 60          | 69          | 50         | 39         | 35         | 5          | 2          | 0         | 0         | 0         | 1         | 0        | 0        | 270         |
| 285 - 300  | 30         | 164         | 199         | 189        | 117        | 89         | 63         | 50         | 25        | 9         | 13        | 2         | 1        | 0        | 951         |
| 300 - 315  | 24         | 85          | 142         | 131        | 75         | 55         | 50         | 32         | 19        | 17        | 9         | 7         | 0        | 0        | 646         |
| 315 - 330  | 12         | 84          | 73          | 56         | 34         | 29         | 17         | 7          | 4         | 11        | 5         | 4         | 3        | 5        | 344         |
| 330 - 345  | 13         | 58          | 50          | 33         | 29         | 27         | 11         | 8          | 5         | 3         | 2         | 0         | 0        | 0        | 239         |
| 345 - 360  | 15         | 63          | 32          | 38         | 21         | 19         | 12         | 9          | 0         | 1         | 0         | 0         | 0        | 0        | 210         |
| <b>TOT</b> | <b>251</b> | <b>1201</b> | <b>1194</b> | <b>892</b> | <b>523</b> | <b>376</b> | <b>198</b> | <b>150</b> | <b>70</b> | <b>49</b> | <b>29</b> | <b>15</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>4957</b> |

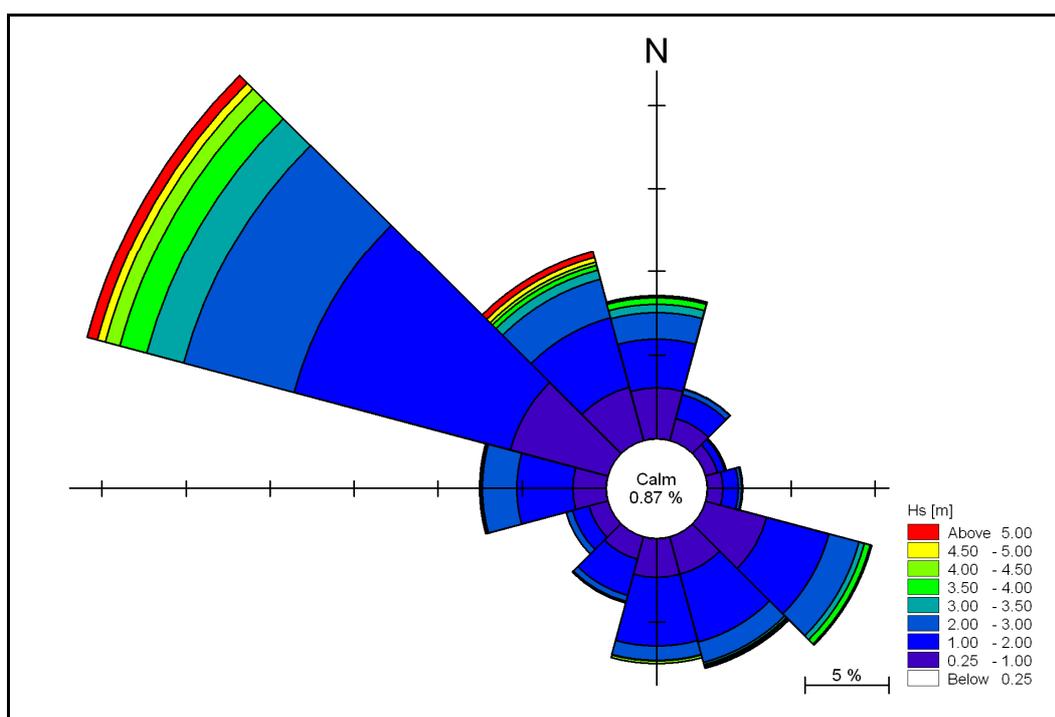


Fig. 3.17 Rosa del clima ondoso relativa ai mesi di dicembre.



### 3.3 Caratterizzazione degli eventi estremi

Come già illustrato nel capitolo precedente, se per la caratterizzazione del clima ondoso ordinario si è fatto direttamente riferimento ai dati contenuti nel database Met-Office, per la caratterizzazione degli eventi estremi si è ritenuto opportuno da un lato tenere in considerazione l'effetto che la presenza dei Banchi esercita sulla propagazione del moto ondoso e, dall'altro, correggere i valori di altezza d'onda significativa e periodo in funzione della distanza che intercorre tra il Banco in esame ed il punto di estrazione Met-Office, mediante il cosiddetto metodo della similitudine dei fetch efficaci (capitolo 3.3.2).

Al fine di eseguire correttamente l'analisi statistica, è stato preventivamente necessario processare i dati trionari del database Met-Office in modo da raggrupparli secondo "eventi di mareggiata" che possano essere considerati statisticamente indipendenti.

A partire dai dati trionari Met-Office, è stata innanzitutto scelta una soglia minima in termini di altezza d'onda significativa, che ha permesso di lavorare su un database ridotto e più adeguato alla caratterizzazione degli eventi estremi. La soglia, posta ad un valore di altezza d'onda significativa pari a 2.0m, ha permesso di ridurre il numero delle onde da 58280 a 8914. Le onde sopra soglia sono state poi raggruppate al fine di ottenere gli eventi indipendenti. Il criterio selezionato per garantire l'indipendenza statistica delle mareggiate è basato principalmente sul verificarsi delle due seguenti condizioni:

Una serie di onde può essere considerata come un "singolo evento di mareggiata" se la differenza tra la direzione media di propagazione dell' "evento di mareggiata", confrontata con la direzione media di propagazione di ogni onda, risulta inferiore a 45 gradi;

Due "eventi di mareggiata" consecutivi (la cui distanza temporale non supera le 48 ore) possono essere considerati realmente indipendenti se e solo se la differenza tra le loro direzioni medie di provenienza risulta superiore a 60 gradi.

Per ciascun evento di mareggiata, si è assunto come valore rappresentativo dell'altezza d'onda significativa il valore più alto tra tutti quelli che compongono l'evento stesso; il periodo di picco dell'evento di mareggiata è stato assunto pari al periodo corrispondente a quello dell'altezza d'onda massima; la direzione media di propagazione dell'evento di mareggiata è stata assunta pari a quella corrispondente all'onda massima.

Al termine della procedura, gli eventi di mareggiata considerati statisticamente indipendenti sono risultati pari a 930. La Fig. 3.18 e la Tabella 3.14 illustrano la distribuzione degli eventi di mareggiata considerati statisticamente indipendenti, rispettivamente nella classica rappresentazione a rosa ed in forma tabellare. Come previsto, le mareggiate più intense (altezze d'onda significativa superiori ai 5 metri) sono quelle provenienti dal quarto quadrante. La Tabella 3.15 illustra invece la distribuzione dei periodi di picco in funzione della direzione di provenienza dei 930 eventi di mareggiata considerati.

La caratterizzazione delle mareggiate suddivisa in funzione delle stagioni è riportata nelle pagine successive sia in formato grafico, secondo la classica rappresentazione a rosa, da Fig. 3.19 a Fig. 3.22, sia in formato tabellare, da Tabella 3.16 a Tabella 3.19. Secondo la convenzione meteorologica, la stagione invernale fa riferimento ai mesi di dicembre, gennaio e febbraio, la stagione primaverile ai mesi di marzo, aprile e maggio, la stagione estiva ai mesi di giugno, luglio ed agosto ed infine la stagione autunnale si riferisce ai mesi di settembre, ottobre e novembre.

Dall'analisi dei dati risulta evidente una notevole concentrazione delle mareggiate nel trimestre invernale.

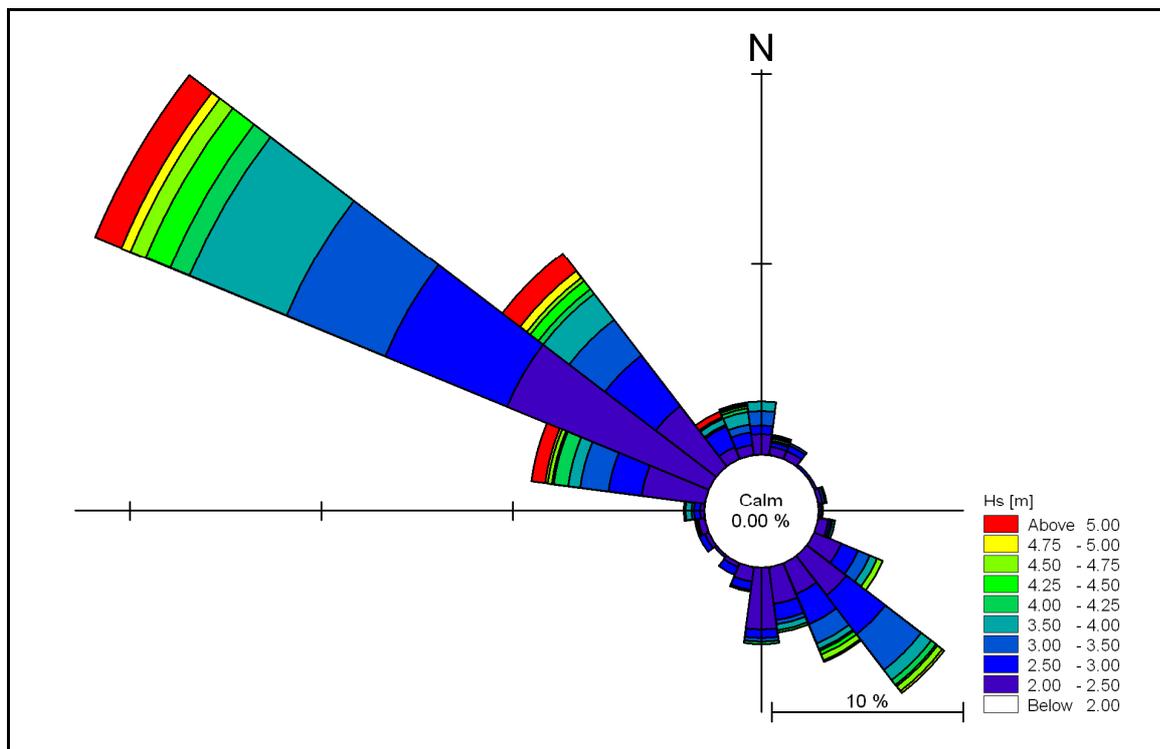


Fig. 3.18 Rappresentazione, in forma di classica rosa del clima ondoso, degli eventi di mareggiata indipendenti ottenuti dal processamento dei dati Met-Office.

Tabella 3.14 Rappresentazione della frequenza degli eventi di mareggiata indipendenti in funzione della direzione di provenienza e dell'altezza d'onda massima (soglia  $H_s=2.0m$ ).

| Hs [m]    | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5.0 | 5.5 | 6.0 | 6.5 | Tot |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Dir [°N]  | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5.0 | 5.5 | 6.0 | 6.5 | 7.0 |     |
| 0 - 15    | 8   | 2   | 3   | 3   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 18  |
| 15 - 30   | 3   | 3   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 8   |
| 30 - 45   | 3   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 5   |
| 45 - 60   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   |
| 60 - 75   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 3   |
| 75 - 90   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2   |
| 90 - 105  | 2   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 3   |
| 105 - 120 | 10  | 4   | 3   | 2   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 20  |
| 120 - 135 | 20  | 16  | 14  | 5   | 1   | 4   | 0   | 0   | 0   | 0   | 60  |
| 135 - 150 | 22  | 20  | 19  | 5   | 5   | 4   | 0   | 0   | 0   | 0   | 75  |
| 150 - 165 | 18  | 14  | 5   | 4   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 44  |
| 165 - 180 | 19  | 7   | 1   | 0   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 29  |
| 180 - 195 | 20  | 3   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 24  |
| 195 - 210 | 5   | 6   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 12  |
| 210 - 225 | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   |
| 225 - 240 | 2   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 4   |
| 240 - 255 | 3   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 5   |
| 255 - 270 | 1   | 2   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 6   |



|                  |     |     |     |     |    |    |    |    |   |   |     |
|------------------|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|---|---|-----|
| <b>270 - 285</b> | 10  | 6   | 3   | 3   | 0  | 1  | 2  | 1  | 0 | 0 | 26  |
| <b>285 - 300</b> | 81  | 41  | 40  | 33  | 18 | 8  | 5  | 4  | 1 | 1 | 232 |
| <b>300 - 315</b> | 69  | 53  | 42  | 36  | 19 | 12 | 9  | 2  | 2 | 0 | 244 |
| <b>315 - 330</b> | 18  | 17  | 4   | 4   | 2  | 1  | 1  | 2  | 2 | 1 | 52  |
| <b>330 - 345</b> | 7   | 10  | 2   | 4   | 2  | 2  | 3  | 0  | 0 | 0 | 30  |
| <b>345 - 360</b> | 6   | 5   | 7   | 7   | 1  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 | 26  |
| <b>TOT</b>       | 331 | 216 | 147 | 109 | 52 | 38 | 20 | 10 | 5 | 2 | 930 |

Tabella 3.15 Rappresentazione della frequenza degli eventi di mareggiata indipendenti in funzione della direzione di provenienza e del periodo di picco (soglia  $H_s=2.0m$ ).

| <b>Tp [s]</b>    | <b>6.0</b> | <b>8.0</b>  | <b>10.0</b> | <b>12.0</b> | <b>14.0</b> | <b>Tot</b> |
|------------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| <b>Dir [°N]</b>  | <b>8.0</b> | <b>10.0</b> | <b>12.0</b> | <b>14.0</b> | <b>16.0</b> |            |
| <b>0 - 15</b>    | 7          | 8           | 3           | 0           | 0           | 18         |
| <b>15 - 30</b>   | 4          | 4           | 0           | 0           | 0           | 8          |
| <b>30 - 45</b>   | 5          | 0           | 0           | 0           | 0           | 5          |
| <b>45 - 60</b>   | 1          | 0           | 0           | 0           | 0           | 1          |
| <b>60 - 75</b>   | 1          | 1           | 1           | 0           | 0           | 3          |
| <b>75 - 90</b>   | 2          | 0           | 0           | 0           | 0           | 2          |
| <b>90 - 105</b>  | 1          | 0           | 1           | 1           | 0           | 3          |
| <b>105 - 120</b> | 7          | 7           | 2           | 4           | 0           | 20         |
| <b>120 - 135</b> | 22         | 22          | 15          | 1           | 0           | 60         |
| <b>135 - 150</b> | 23         | 35          | 15          | 2           | 0           | 75         |
| <b>150 - 165</b> | 24         | 17          | 3           | 0           | 0           | 44         |
| <b>165 - 180</b> | 22         | 5           | 2           | 0           | 0           | 29         |
| <b>180 - 195</b> | 22         | 2           | 0           | 0           | 0           | 24         |
| <b>195 - 210</b> | 9          | 2           | 1           | 0           | 0           | 12         |
| <b>210 - 225</b> | 1          | 0           | 0           | 0           | 0           | 1          |
| <b>225 - 240</b> | 4          | 0           | 0           | 0           | 0           | 4          |
| <b>240 - 255</b> | 2          | 2           | 1           | 0           | 0           | 5          |
| <b>255 - 270</b> | 1          | 1           | 2           | 2           | 0           | 6          |
| <b>270 - 285</b> | 7          | 10          | 4           | 5           | 0           | 26         |
| <b>285 - 300</b> | 84         | 75          | 54          | 18          | 1           | 232        |
| <b>300 - 315</b> | 79         | 109         | 48          | 8           | 0           | 244        |
| <b>315 - 330</b> | 26         | 13          | 7           | 6           | 0           | 52         |
| <b>330 - 345</b> | 10         | 14          | 6           | 0           | 0           | 30         |
| <b>345 - 360</b> | 6          | 14          | 6           | 0           | 0           | 26         |
| <b>TOT</b>       | 370        | 341         | 171         | 47          | 1           | 930        |

Tabella 3.16 Frequenza della mareggiate invernali in relazione ad altezza e direzione d'onda.

| Hs [m]    | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5.0 | 5.5 | 6.0 | 6.5 | Tot |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Dir [°N]  | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5.0 | 5.5 | 6.0 | 6.5 | 7.0 |     |
| 0 - 15    | 5   | 1   | 3   | 3   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 14  |
| 15 - 30   | 3   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 5   |
| 30 - 45   | 3   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 4   |
| 45 - 60   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 60 - 75   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   |
| 75 - 90   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 90 - 105  | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2   |
| 105 - 120 | 5   | 2   | 3   | 2   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 13  |
| 120 - 135 | 8   | 3   | 4   | 3   | 0   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 20  |
| 135 - 150 | 0   | 5   | 4   | 0   | 3   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 13  |
| 150 - 165 | 4   | 1   | 0   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 7   |
| 165 - 180 | 5   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 7   |
| 180 - 195 | 10  | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 12  |
| 195 - 210 | 1   | 4   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 5   |
| 210 - 225 | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   |
| 225 - 240 | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2   |
| 240 - 255 | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 3   |
| 255 - 270 | 0   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2   |
| 270 - 285 | 3   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 8   |
| 285 - 300 | 26  | 10  | 12  | 14  | 10  | 4   | 3   | 3   | 1   | 1   | 84  |
| 300 - 315 | 16  | 9   | 12  | 15  | 11  | 5   | 7   | 2   | 1   | 0   | 78  |
| 315 - 330 | 8   | 9   | 2   | 2   | 1   | 1   | 1   | 1   | 2   | 1   | 28  |
| 330 - 345 | 3   | 5   | 1   | 4   | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 17  |
| 345 - 360 | 3   | 3   | 5   | 4   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 15  |
| TOT       | 107 | 63  | 48  | 51  | 27  | 17  | 14  | 8   | 4   | 2   | 341 |

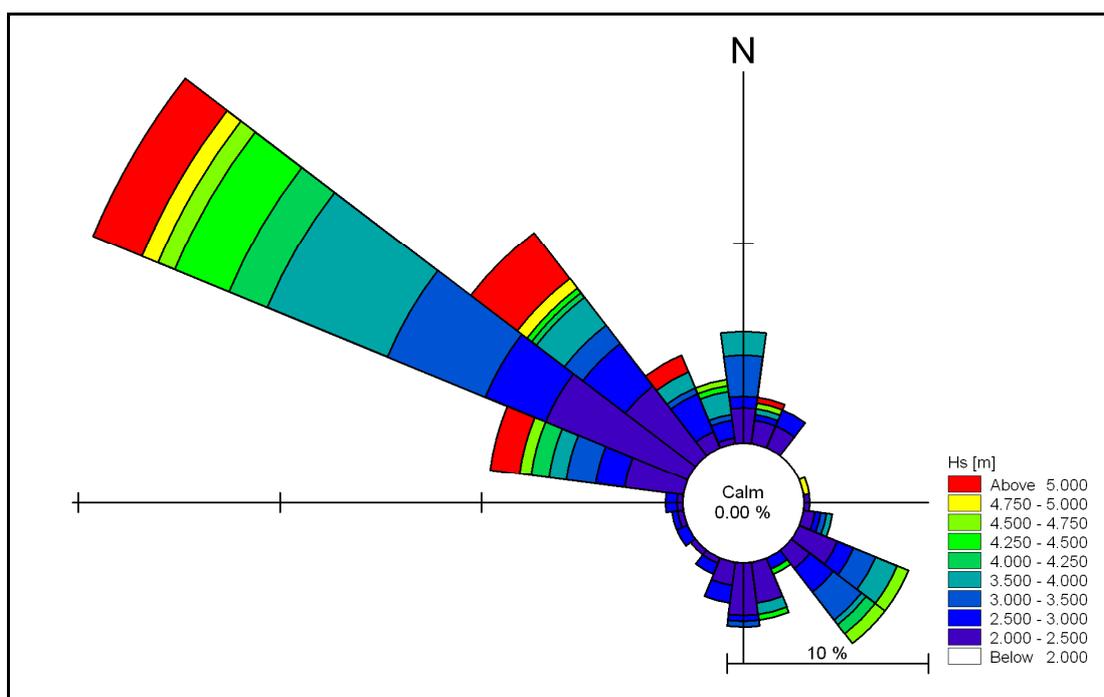


Fig. 3.19 Rosa del clima ondoso riferita alle mareggiate invernali.

Tabella 3.17 Frequenza della mareggiate primaverili in relazione ad altezza e direzione d'onda.

| Hs [m]    | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5.0 | 5.5 | 6.0 | 6.5 | Tot |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Dir [°N]  | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5.0 | 5.5 | 6.0 | 6.5 | 7.0 |     |
| 0 - 15    | 2   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 3   |
| 15 - 30   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2   |
| 30 - 45   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   |
| 45 - 60   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 60 - 75   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   |
| 75 - 90   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2   |
| 90 - 105  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 105 - 120 | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2   |
| 120 - 135 | 7   | 9   | 8   | 2   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 29  |
| 135 - 150 | 12  | 8   | 11  | 5   | 2   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 40  |
| 150 - 165 | 3   | 5   | 0   | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 12  |
| 165 - 180 | 4   | 4   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 8   |
| 180 - 195 | 4   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 4   |
| 195 - 210 | 2   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 4   |
| 210 - 225 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 225 - 240 | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   |
| 240 - 255 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 255 - 270 | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 3   |
| 270 - 285 | 4   | 4   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 12  |
| 285 - 300 | 24  | 13  | 19  | 13  | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 73  |
| 300 - 315 | 17  | 18  | 8   | 8   | 3   | 4   | 1   | 0   | 1   | 0   | 60  |
| 315 - 330 | 2   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 6   |
| 330 - 345 | 2   | 4   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 8   |
| 345 - 360 | 2   | 1   | 2   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 7   |
| TOT       | 89  | 73  | 53  | 34  | 10  | 12  | 5   | 1   | 1   | 0   | 278 |

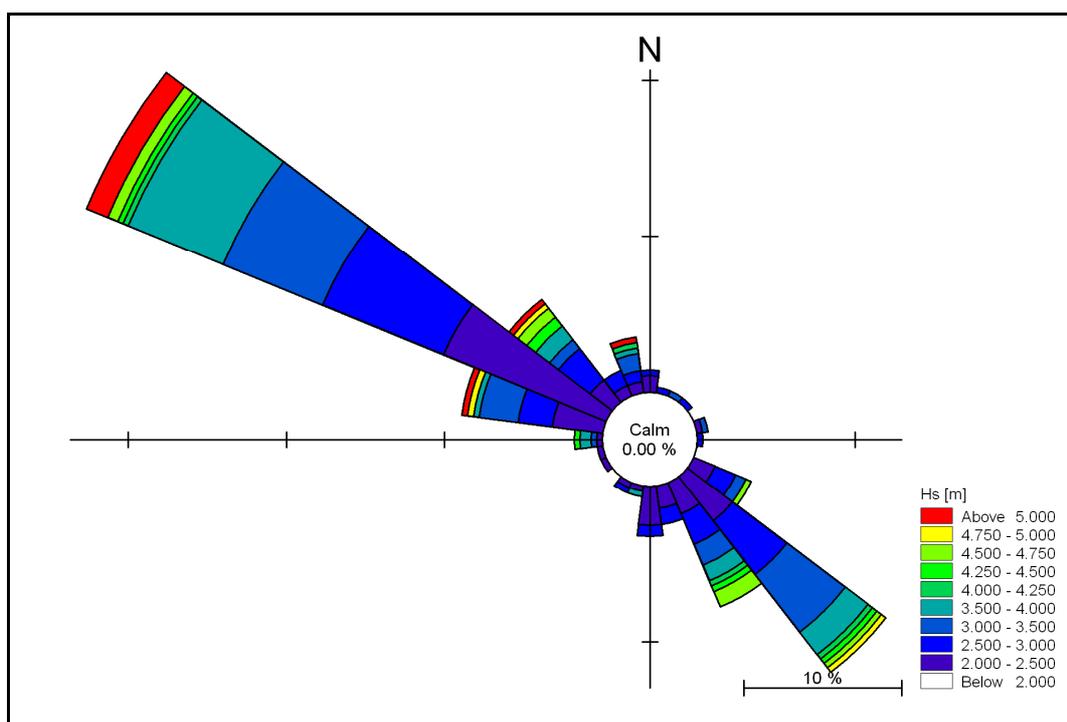


Fig. 3.20 Rosa del clima ondoso riferita alle mareggiate primaverili.

Tabella 3.18 Frequenza della mareggiate estive in relazione ad altezza e direzione d'onda.

| Hs [m]     | 2.0       | 2.5       | 3.0       | 3.5      | 4.0      | 4.5      | 5.0      | 5.5      | 6.0      | 6.5      | Tot       |
|------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| Dir [°N]   | 2.5       | 3.0       | 3.5       | 4.0      | 4.5      | 5.0      | 5.5      | 6.0      | 6.5      | 7.0      |           |
| 0 - 15     | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0         |
| 15 - 30    | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0         |
| 30 - 45    | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0         |
| 45 - 60    | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0         |
| 60 - 75    | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0         |
| 75 - 90    | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0         |
| 90 - 105   | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0         |
| 105 - 120  | 1         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1         |
| 120 - 135  | 1         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1         |
| 135 - 150  | 3         | 0         | 2         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 5         |
| 150 - 165  | 4         | 1         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 5         |
| 165 - 180  | 3         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 3         |
| 180 - 195  | 2         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2         |
| 195 - 210  | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0         |
| 210 - 225  | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0         |
| 225 - 240  | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0         |
| 240 - 255  | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0         |
| 255 - 270  | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0         |
| 270 - 285  | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0         |
| 285 - 300  | 15        | 3         | 5         | 1        | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 25        |
| 300 - 315  | 21        | 14        | 7         | 3        | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 46        |
| 315 - 330  | 4         | 2         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 6         |
| 330 - 345  | 1         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1         |
| 345 - 360  | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0         |
| <b>TOT</b> | <b>55</b> | <b>20</b> | <b>14</b> | <b>4</b> | <b>2</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>95</b> |

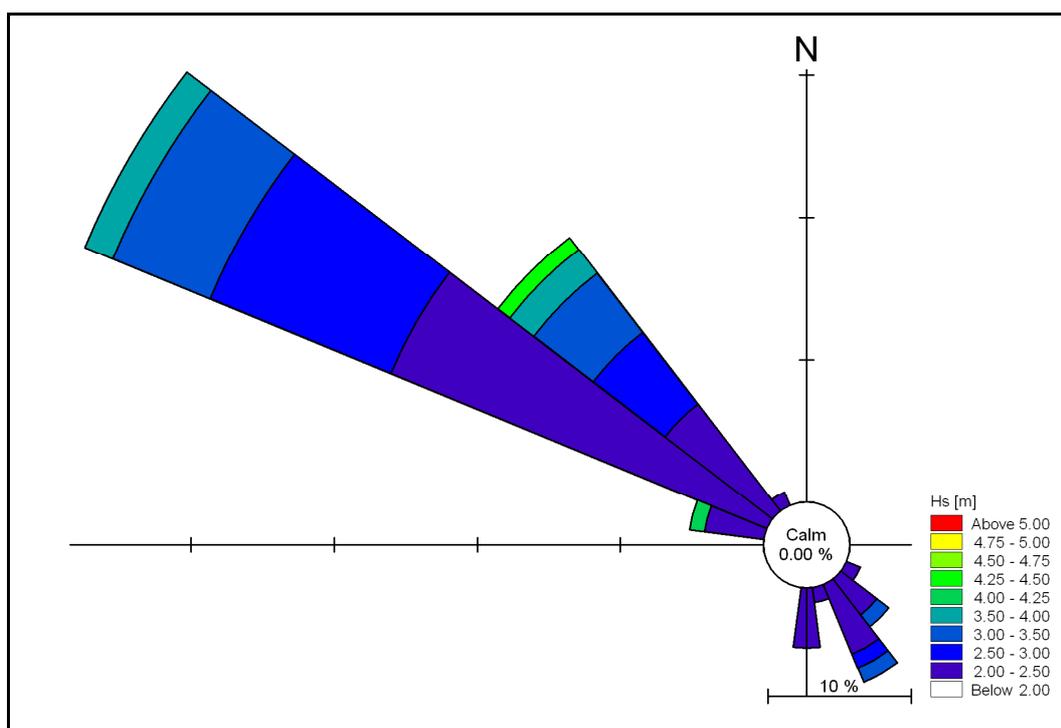


Fig. 3.21 Rosa del clima ondoso riferita alle mareggiate estive.

Tabella 3.19 Frequenza della mareggiate autunnali in relazione ad altezza e direzione d'onda.

| Hs [m]     | 2.0       | 2.5       | 3.0       | 3.5       | 4.0       | 4.5      | 5.0      | 5.5      | 6.0      | 6.5      | Tot        |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|
| Dir [°N]   | 2.5       | 3.0       | 3.5       | 4.0       | 4.5       | 5.0      | 5.5      | 6.0      | 6.5      | 7.0      |            |
| 0 - 15     | 1         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1          |
| 15 - 30    | 0         | 0         | 1         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1          |
| 30 - 45    | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0          |
| 45 - 60    | 1         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1          |
| 60 - 75    | 1         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1          |
| 75 - 90    | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0          |
| 90 - 105   | 1         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1          |
| 105 - 120  | 3         | 1         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4          |
| 120 - 135  | 4         | 4         | 2         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 10         |
| 135 - 150  | 7         | 7         | 2         | 0         | 0         | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 17         |
| 150 - 165  | 7         | 7         | 5         | 1         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 20         |
| 165 - 180  | 7         | 3         | 0         | 0         | 1         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 11         |
| 180 - 195  | 4         | 1         | 1         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 6          |
| 195 - 210  | 2         | 1         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 3          |
| 210 - 225  | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0          |
| 225 - 240  | 0         | 1         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1          |
| 240 - 255  | 2         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2          |
| 255 - 270  | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1          |
| 270 - 285  | 3         | 1         | 1         | 1         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 6          |
| 285 - 300  | 16        | 15        | 4         | 5         | 6         | 3        | 0        | 1        | 0        | 0        | 50         |
| 300 - 315  | 15        | 12        | 15        | 10        | 4         | 3        | 1        | 0        | 0        | 0        | 60         |
| 315 - 330  | 4         | 5         | 1         | 1         | 1         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 12         |
| 330 - 345  | 1         | 1         | 0         | 0         | 1         | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4          |
| 345 - 360  | 1         | 1         | 0         | 2         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4          |
| <b>TOT</b> | <b>80</b> | <b>60</b> | <b>32</b> | <b>20</b> | <b>13</b> | <b>9</b> | <b>1</b> | <b>1</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>216</b> |

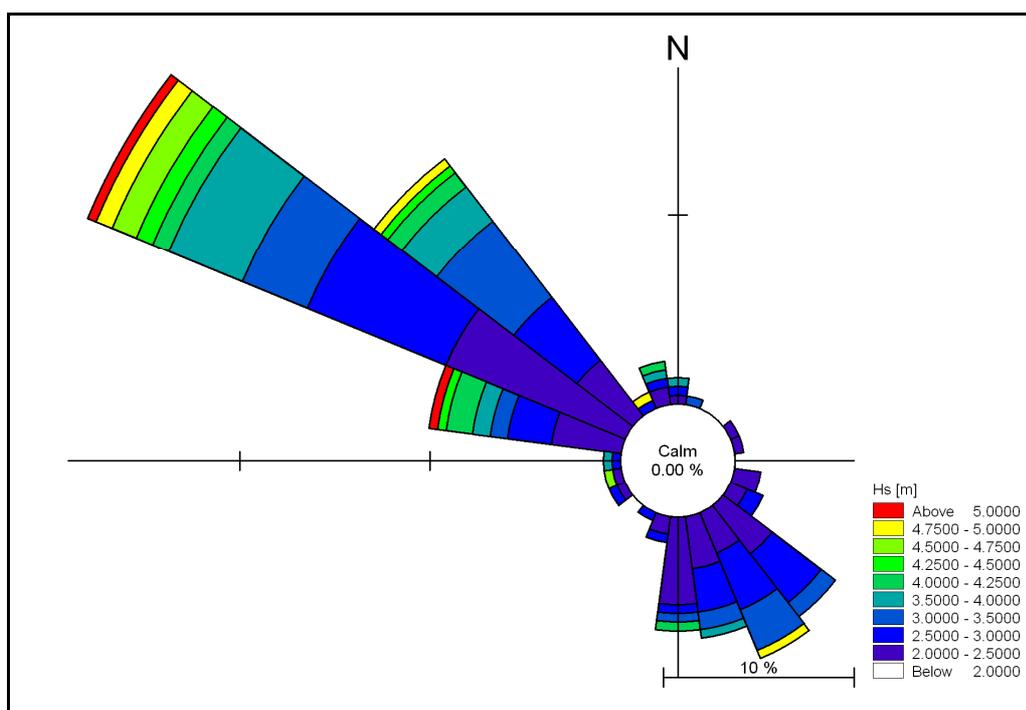


Fig. 3.22 Rosa del clima ondoso riferita alle mareggiate autunnali.

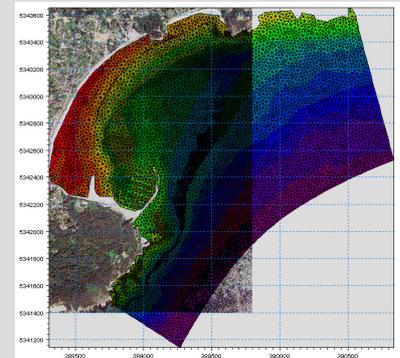
### 3.3.1 Il modello di propagazione del moto ondoso

Per studiare in dettaglio la trasformazione che l'onda subisce nella sua propagazione verso ed in corrispondenza dei Banchi, tutti i 930 eventi di mareggiata considerati statisticamente indipendenti sono stati propagati utilizzando un modello numerico bidimensionale, il modulo SW (Spectral Waves) del codice di calcolo MIKE 21 del DHI<sub>Water•Environment•Health</sub>.

**MIKE 21 SW** è un modello spettrale per vento ed onde di nuova generazione, basato su una griglia non strutturata. Il modello simula la trasformazione di onde generate dal vento ed onde di swell sia offshore, sia in aree costiere.

MIKE 21 SW include due differenti formulazioni: "Directional decoupled parametric" e "Fully spectral". La prima delle due formulazioni è basata su una parametrizzazione dell'equazione di conservazione dell'energia del moto ondoso. La parametrizzazione è effettuata nel dominio della frequenza mediante l'introduzione come variabili dipendenti del momento di ordine zero e del momento di primo ordine dello spettro (Holthuijsen, 1989). La seconda formulazione è basata sulla conservazione dell'energia del moto ondoso come descritta da Komen (1994) e Young (1999). I fenomeni fisici che sono modellati con MIKE 21 SW sono i seguenti:

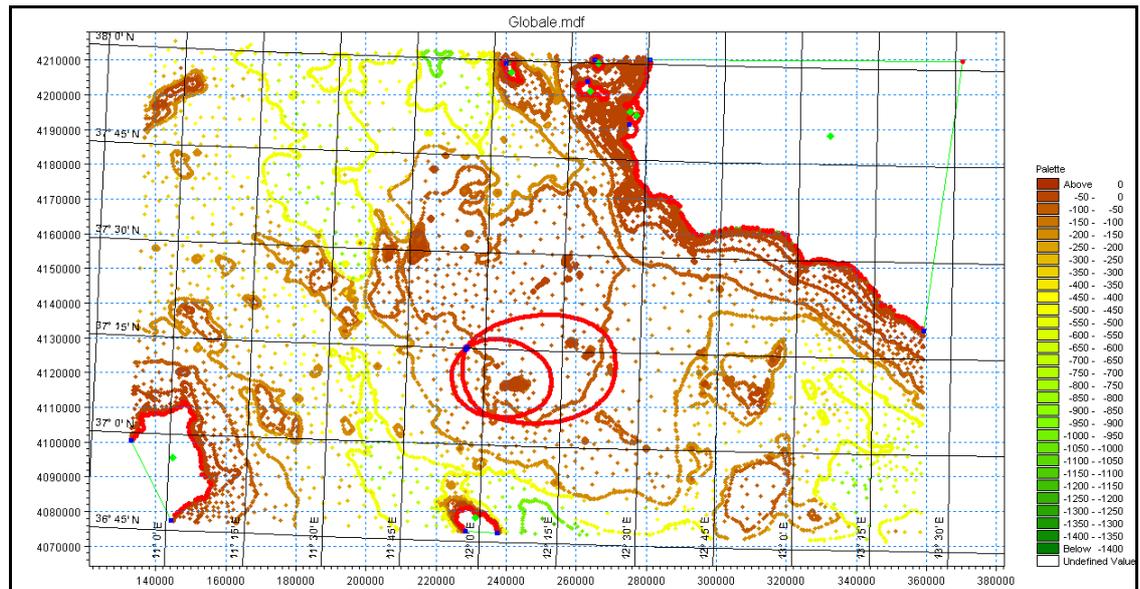
- Generazione dell'onda ad opera del vento;
- Interazione non lineare onda-onda;
- Dissipazione dovuta al cosiddetto "white capping"
- Dissipazione dovuta all'attrito con il fondo;
- Dissipazione dovuta al frangimento;
- Rifrazione e shoaling dovuti alle variazioni del fondale;
- Interazione onde-correnti.
- Diffrazione
- Riflessione



Tale modello, a maglia triangolare "flessibile" permette di utilizzare una risoluzione spaziale variabile, consentendo di impiegare una risoluzione elevata nelle aree per le quali si richiede un maggior dettaglio (i Banchi), laddove rifrazione, shoaling, attrito con il fondo ed eventualmente frangimento determinano una forte trasformazione delle caratteristiche dell'onda incidente su distanze relativamente limitate.

Una accurata descrizione del modello è riportata nell'allegato B al presente elaborato.

il modello è stato implementato su un dominio di calcolo molto esteso, in modo da comprendere, oltre all'area interessata dalla presenza dei Banchi ed alla nuova area di progetto, anche il tratto di mare che divide il Banco con il punto di estrazione Met-Office. La Fig. 3.23 illustra l'estensione del dominio di calcolo utilizzato per il Banco Pantelleria e quello utilizzato per i Banchi Avventura.



**Fig. 3.23** *Rappresentazione dei punti quotati provenienti dalle carte nautiche digitalizzate e dei punti provenienti dal rilievo di dettaglio in corrispondenza dei Banchi. I due ovali rossi rappresentano il dominio di calcolo del modello MIKE 21 SW per il Banco Pantelleria e per i Banchi Avventura. Il cerchio blu individua il punto di estrazione Met-Office.*

*La scelta della risoluzione della mesh di calcolo ha potuto usufruire del grande vantaggio tipico dei modelli a maglia flessibile, ovvero quello di poter variare significativamente le dimensioni degli elementi di calcolo (triangoli) in funzione della zona di interesse e dei fenomeni che si intendono modellare. Si è pertanto potuto limitare il numero degli elementi riducendo la risoluzione dei triangoli laddove la profondità dell'acqua e la distanza dal Banco in esame garantiva l'assenza di significativi processi di trasformazione dell'onda, mentre la risoluzione degli elementi è stata notevolmente aumentata in prossimità del Banco, la corretta modellazione del quale determina l'accuratezza nella definizione delle onde estreme attese in corrispondenza dello stesso.*

*Le Fig. 3.24, Fig. 3.25, illustrano, a differente livello di dettaglio, le due batimetrie (mesh) di calcolo utilizzate per il modello di trasformazione del moto ondoso dei Banchi Avventura. Come si può notare, la risoluzione spaziale adottata si infittisce notevolmente approssimandosi al Banco in esame. In particolare, la risoluzione adottata in corrispondenza dei banchi prevede una lunghezza media dei lati dei triangoli che compongono la mesh pari a circa 50m.*

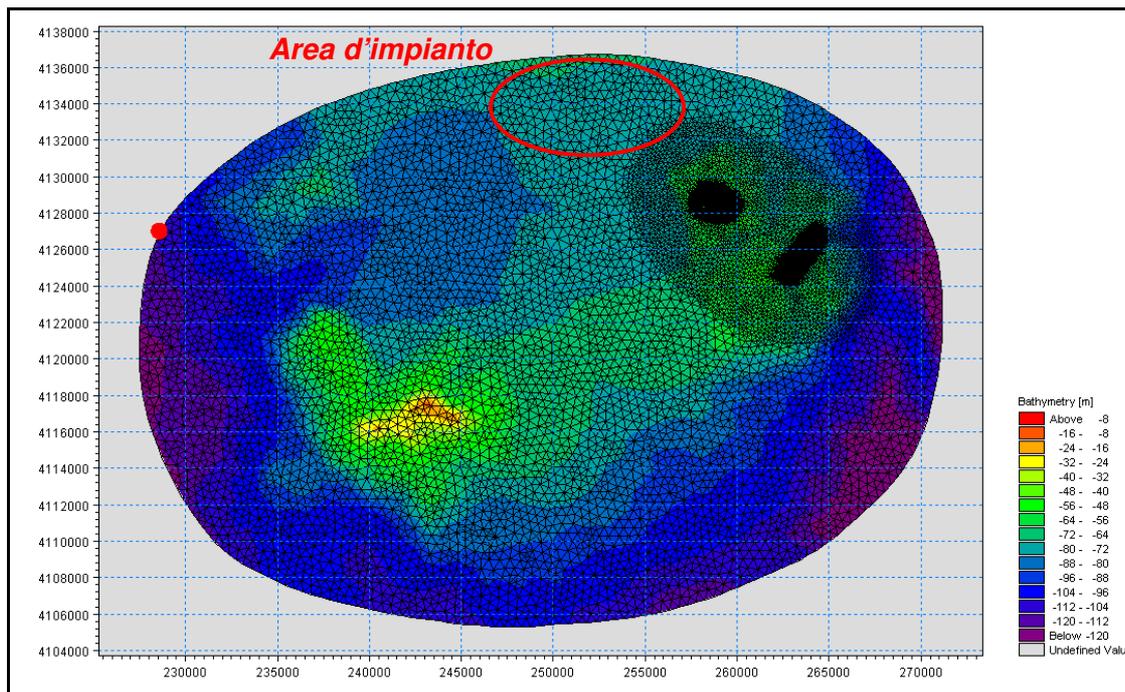


Fig. 3.24 *Batimetria di calcolo del modello di trasformazione d'onda MIKE 21 SW per i Banchi Avventura. Il cerchio rosso indica il punto di estrazione dei dati dal modello Met-Office.*

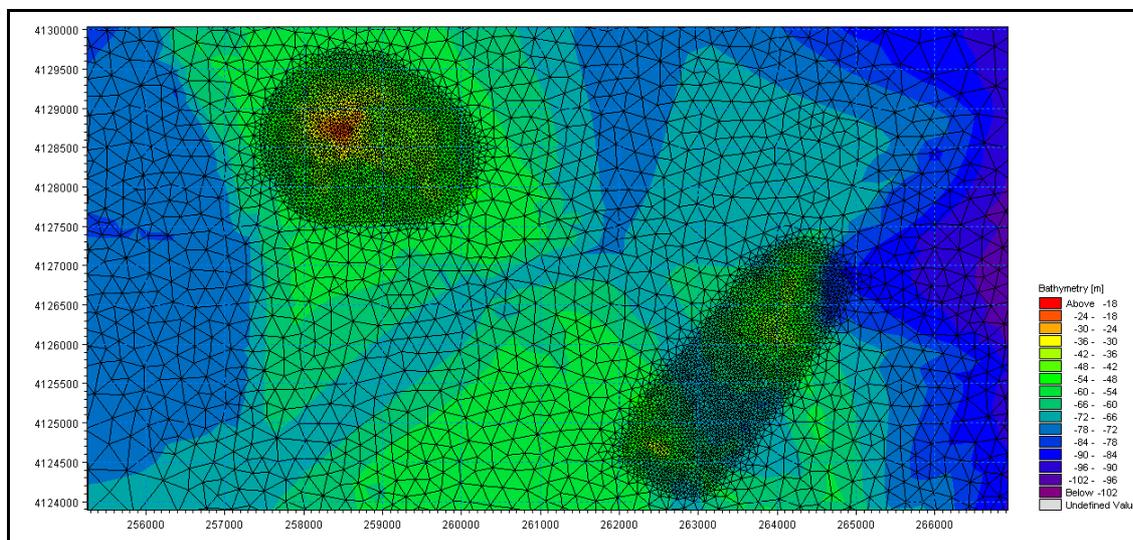


Fig. 3.25 *Batimetria di calcolo del modello di trasformazione d'onda MIKE 21 SW per i Banchi Avventura. Dettaglio dell'area dei Banchi.*

Come anticipato nell'introduzione al capitolo 3.3 sulla caratterizzazione degli eventi estremi, nell'assegnare le condizioni al contorno del modello in termini di altezza d'onda significativa e periodo per i 930 eventi di mareggiata simulati, si è assunto che sia l'altezza d'onda significativa, sia il periodo non possano essere ritenuti costanti lungo il contorno del modello ma debbano essere corretti in funzione della distanza relativa tra il tratto di contorno considerato ed il punto Met-Office: una differente lunghezza libera su cui può soffiare il vento (fetch) può infatti influenzare



la generazione dell'onda sia in termini di altezza, sia di periodo. Il metodo adottato per effettuare queste necessarie correzioni prende il nome di metodo della similitudine dei fetch efficaci.

### 3.3.2 I fetch geografici ed i fetch efficaci

Il valore del fetch efficace (Seymour, 1977) relativo ad una determinata direzione è funzione dei valori dei fetch geografici associati alle direzioni contigue a quella considerata; in questo modo i fetch efficaci consentono di tener conto del fatto che il moto ondoso viene generato non solo nella direzione lungo la quale spira il vento ma anche in tutte le direzioni comprese in un settore di  $\pm 30^\circ$  rispetto alla direzione media di azione del vento. Di conseguenza la lunghezza dei fetch efficaci risulta essere diversa da quella dei fetch geografici. Il calcolo dei fetch efficaci può essere eseguito in base alla seguente relazione:

$$F_{eff} = \frac{\sum x_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} [1]$$

dove con  $x_i$  si intende la  $i$ -esima distanza del punto per il quale si sta eseguendo il calcolo e la costa e con  $\alpha$  l'angolo di incidenza dell'onda rispetto alla direzione media rappresentativa del settore.

Operativamente, il contorno del dominio di calcolo relativo a ciascuno dei due modelli è stato suddiviso in un certo numero di tratti (nell'esempio di Fig. 3.26, il contorno è stato suddiviso in 16 tratti) e per ciascuno di essi è stato calcolato il valore del fetch efficace secondo le otto direzioni illustrate nella Tabella 3.20

Tabella 3.20 Settori di riferimento per il calcolo dei fetch efficaci.

| Settore di riferimento | Direzione media [°N] | Direzioni di riferimento [°N] |
|------------------------|----------------------|-------------------------------|
| Nord                   | 0                    | 337.5 - 22.5                  |
| Nord Est               | 45                   | 22.5 - 67.5                   |
| Est                    | 90                   | 67.5 - 112.5                  |
| Sud Est                | 135                  | 112.5 - 157.5                 |
| Sud                    | 180                  | 157.5 - 202.5                 |
| Sud Ovest              | 225                  | 202.5 - 247.5                 |
| Ovest                  | 270                  | 247.5 - 292.5                 |
| Nord Ovest             | 315                  | 292.5 - 337.5                 |

Nel Mediterraneo, tipicamente, i venti legati ai vortici di bassa pressione non insistono per più di 500km lungo la medesima direttrice, pertanto nell'analisi sotto riportata si è considerato un valore massimo per il fetch geografico pari a 500km.

Il calcolo del fetch efficace è stato effettuato sia per il punto Met-Office, sia per tutti i punti che identificano i tratti secondo i quali è stato suddiviso il contorno del modello (un esempio della suddivisione è riportato in Fig. 3.26). In funzione del rapporto tra il fetch efficace calcolato per il punto Met-Office ed il fetch efficace calcolato per i punti del contorno, l'applicazione del metodo permette di ottenere valori corretti di altezza d'onda significativa (e di periodo associato alla stessa) per i singoli punti del contorno. I diversi valori di altezza e periodo associati ai singoli punti del contorno sono stati successivamente interpolati in modo da fornire al modello una condizione al contorno distribuita linearmente.

La Fig. 3.27 illustra un esempio di calcolo del fetch efficace per uno dei punti del contorno del dominio di calcolo per il modello dei Banchi Avventura. L'esempio si riferisce al calcolo del fetch efficace per la direzione Sud Ovest.

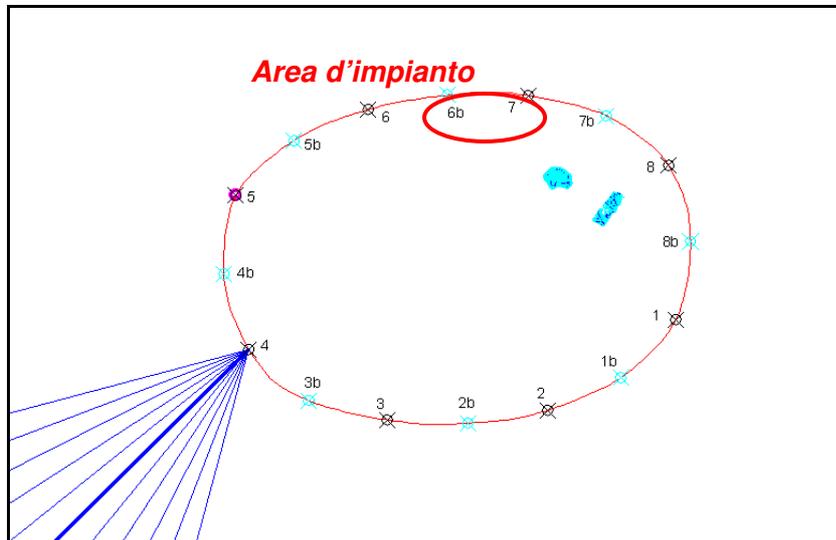


Fig. 3.26 Esempio di suddivisione del contorno del dominio di calcolo relativo alla modellazione dei Banchi Avventura

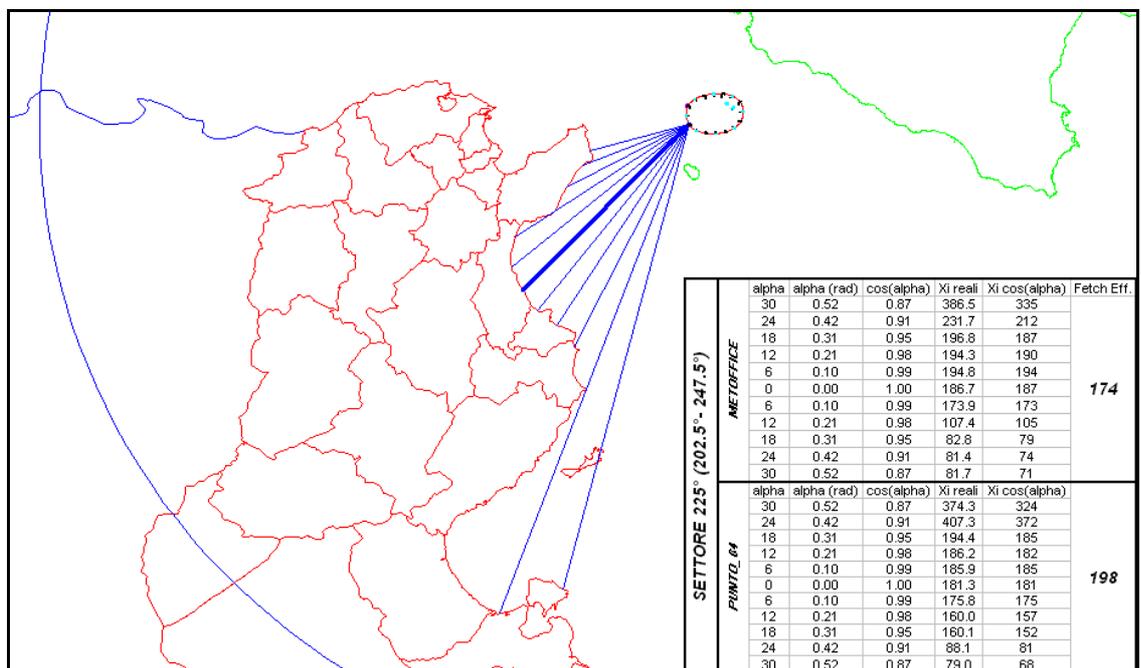


Fig. 3.27 Esempio di calcolo del fetch efficace per uno dei tratti in cui è stato suddiviso il contorno del dominio di calcolo del modello MIKE 21 SW. L'esempio si riferisce al calcolo del fetch efficace per la direzione Sud Ovest.



### 3.3.3 Il contributo del vento

Nel capitolo precedente è stata illustrata la metodologia attraverso la quale è stato possibile differenziare, per ciascun evento di mareggiata simulato, i valori di altezza d'onda e periodo lungo il contorno del dominio di calcolo del modello d'onda, con la finalità di tenere conto della differente esposizione e del differente fetch associato ai vari tratti del contorno stesso. Un ulteriore contributo all'ottenimento di una stima quanto più possibile accurata dei valori di altezza d'onda estrema attesi in corrispondenza dei Banchi, è rappresentato dalla introduzione, come forzante aggiuntiva del modello di propagazione del moto ondoso, del contributo del vento che, soffiando nel tratto di mare compreso tra il contorno del modello ed il Banco stesso, modifica l'altezza ed il periodo dell'onda in funzione della sua direzione ed intensità.

Ad ogni evento di mareggiata simulato, è stato associato un vento caratterizzato da una intensità pari alla intensità media calcolata su tutti i records che formano l'evento di mareggiata ed una direzione cautelativamente pari a quella dell'evento di mareggiata. Il contributo del vento alla propagazione del moto ondoso è calcolato direttamente dal modello MIKE 21 SW, che implementa la classica formulazione dello Shore Protection Manual, 1984:

$$\frac{g \cdot H_{m0}}{U_A^2} = 1.6 \cdot 10^{-3} \cdot \left( \frac{g \cdot F}{U_A^2} \right)^{1/2} \quad [2]$$

$$\frac{g \cdot T_p}{U_A^2} = 2.857 \cdot 10^{-1} \cdot \left( \frac{g \cdot F}{U_A^2} \right)^{1/3} \quad [3]$$

dove  $U_A$  è il fattore di velocità del vento, dipendente in modo non lineare dalla velocità del vento riportata alla quota +10 m s.l.m. ed  $F$  è il Fetch efficace relativo ad una prefissata direzione geografica.

### 3.3.4 Risultati del modello di propagazione del moto ondoso

Le simulazioni effettuate con il modello di propagazione del moto ondoso MIKE 21 SW hanno permesso di ottenere, per ciascuno dei 930 eventi di mareggiata presi in considerazione, una dettagliata rappresentazione della distribuzione dell'altezza d'onda significativa in tutto il dominio di calcolo, con particolare attenzione ai tratti di mare interessati dalla presenza dei Banchi, laddove la risoluzione spaziale della mesh di calcolo è pari a circa 50m (lunghezza media dei lati dei triangoli che compongono la mesh).

L'osservazione dei risultati del modello risulta di notevole interesse nella valutazione dell'effetto esercitato dalla presenza dei Banchi stessi sulla propagazione del moto ondoso. Le immagini in Fig. 3.28 ed in Fig. 3.29 illustrano, a titolo di esempio, la distribuzione dell'altezza d'onda significativa in tutto il dominio di calcolo relativamente al modello dei Banchi Avventura per un'onda proveniente rispettivamente dal primo e dal quarto quadrante,

L'effetto della configurazione geometrica del fondale induce (Fig. 3.32) una leggera deviazione della direzione dell'onda tale da determinare zone di divergenza (in blu) e zone di convergenza (in rosso) dell'energia associata all'onda stessa. Tale fenomeno si traduce in una esaltazione dell'altezza d'onda nelle zone di convergenza ed in una diminuzione della stessa nelle zone di divergenza. L'aumento percentuale dell'altezza d'onda significativa rispetto al valore di altezza che l'onda presenta immediatamente prima di approcciare la zona del Banco può

risultare anche superiore al 15%. E' il caso, ad esempio, della propagazione di un'onda di altezza elevata proveniente dal quarto quadrante, la cui distribuzione è riportata in Fig. 3.36. E' interessante notare inoltre come al variare della direzione di provenienza dell'onda, le zone di divergenza e di convergenza dell'energia risultino assai diverse, secondo un pattern quasi opposto.

L'analisi mostra, inoltre, come l'effetto del Banco risulti tanto più significativo quanto più superficiale è il fondale del Banco stesso: nel caso dei Banchi Avventura Est, infatti, caratterizzati da profondità nell'ordine dei 40-50m, l'onda subisce modifiche in termini di altezza e/o di direzione significativamente inferiori rispetto a quelle che si riscontrano nel caso del Banco Avventura Ovest, caratterizzato da profondità variabili tra i 17 ed i 50m (ad es fig 3.32 e fig.3.33).

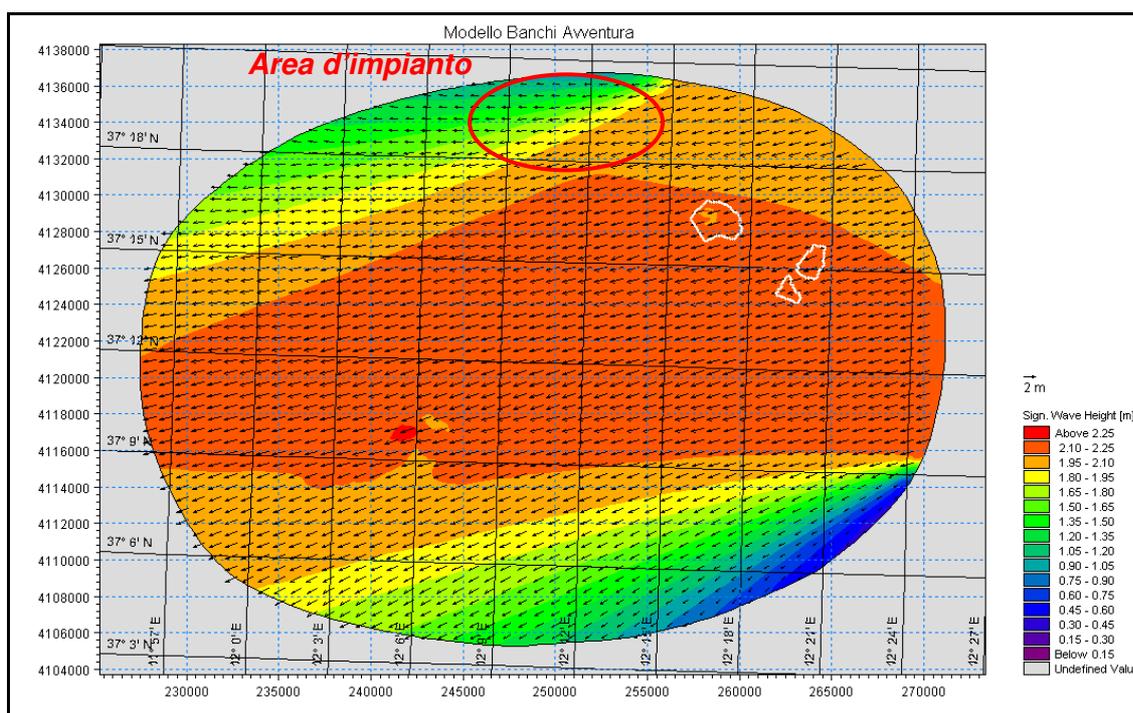


Fig. 3.28 Esempio di rappresentazione della distribuzione dell'altezza d'onda e della direzione per il modello dei Banchi Avventura – onda proveniente dal primo quadrante.

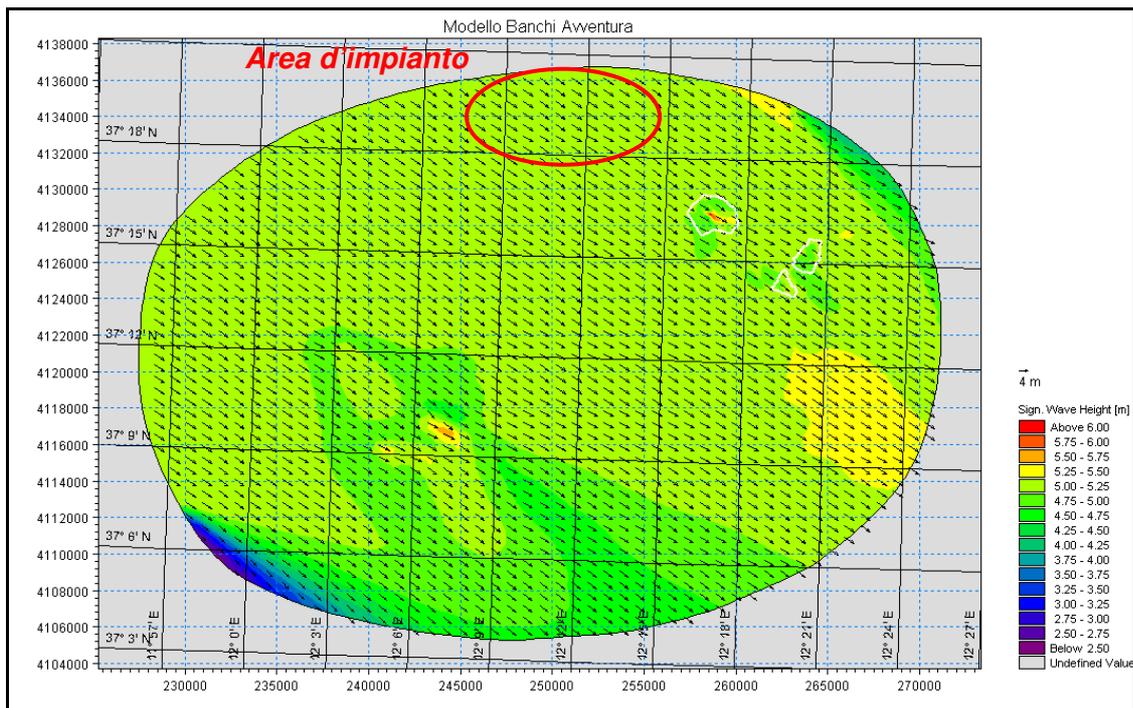


Fig. 3.29 Esempio di rappresentazione della distribuzione dell'altezza d'onda e della direzione per il modello dei Banci Avventura – onda proveniente dal quarto quadrante.

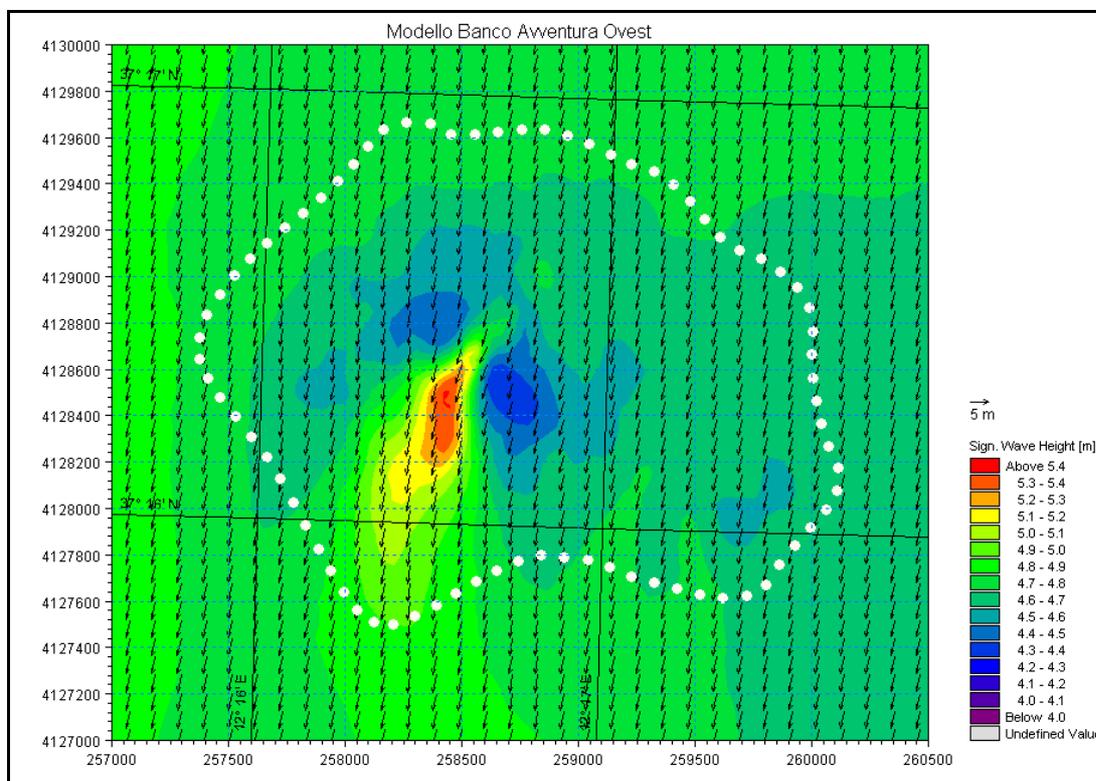


Fig. 3.30 Distribuzione dell'altezza d'onda per il Banco Avventura Ovest – onda proveniente dal I quadrante (valori di  $H_s$  al largo compresi tra 4.6 e 5.6m).

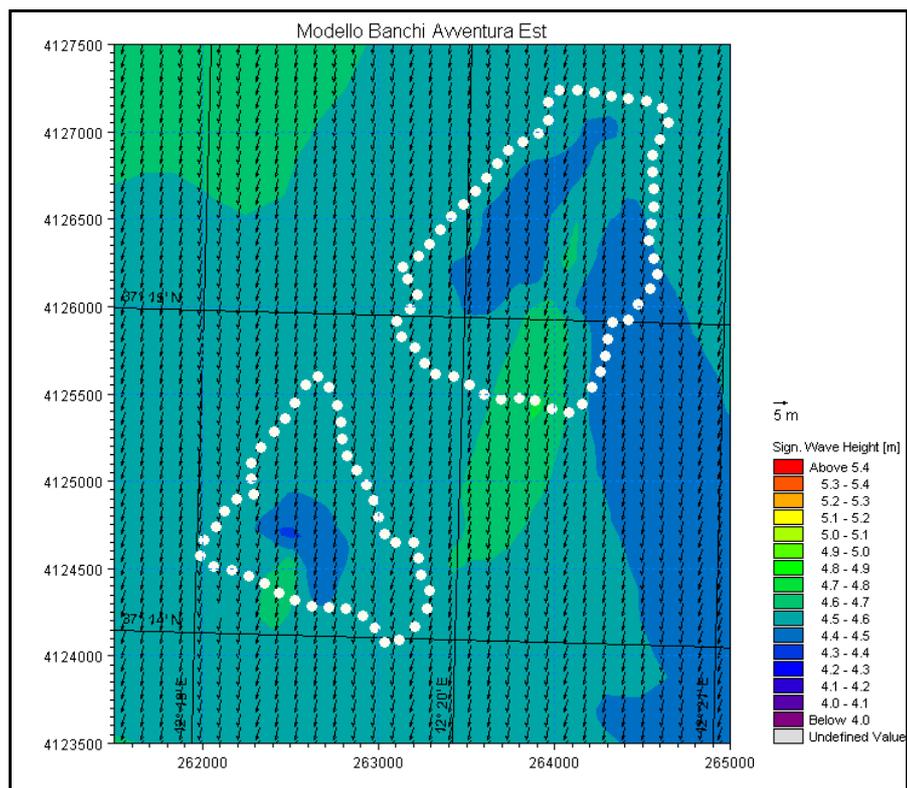


Fig. 3.31 Distribuzione dell'altezza d'onda per i Banchi Avventura Est – onda proveniente dal I quadrante (valori di  $H_s$  al largo compresi tra 4.6 e 5.6m).

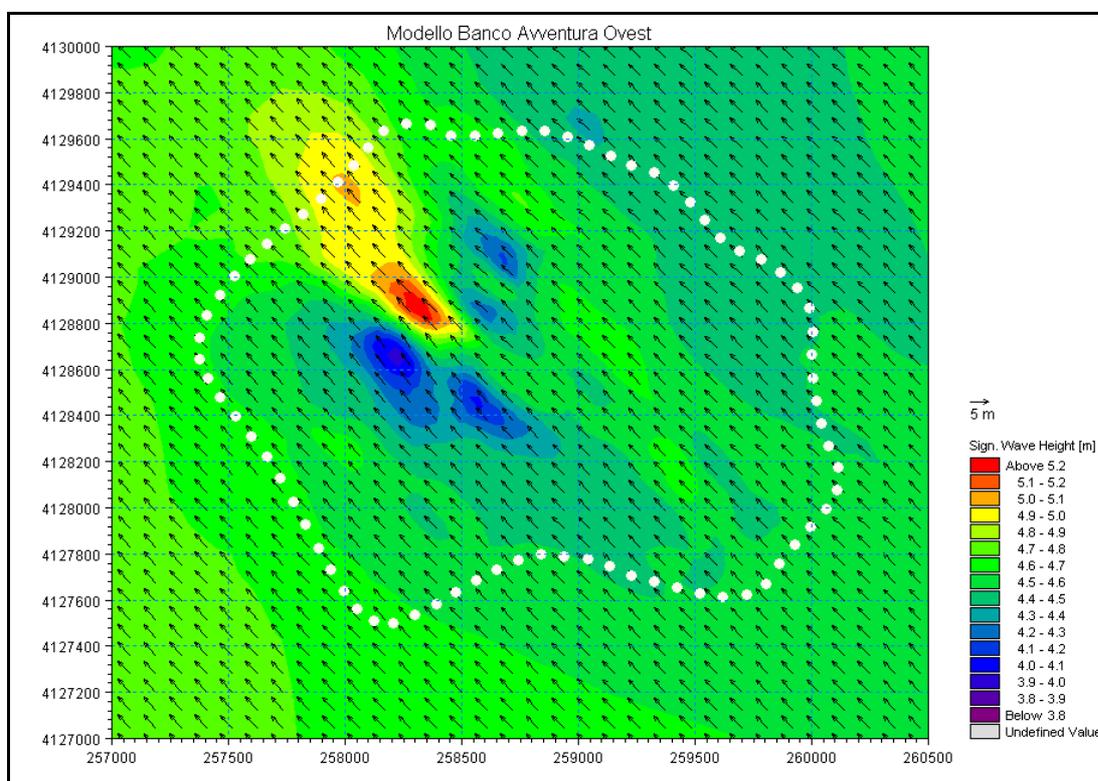


Fig. 3.32 Distribuzione dell'altezza d'onda per il Banco Avventura Ovest – onda proveniente dal II quadrante (valori di  $H_s$  al largo compresi tra 4.7 e 4.8m).

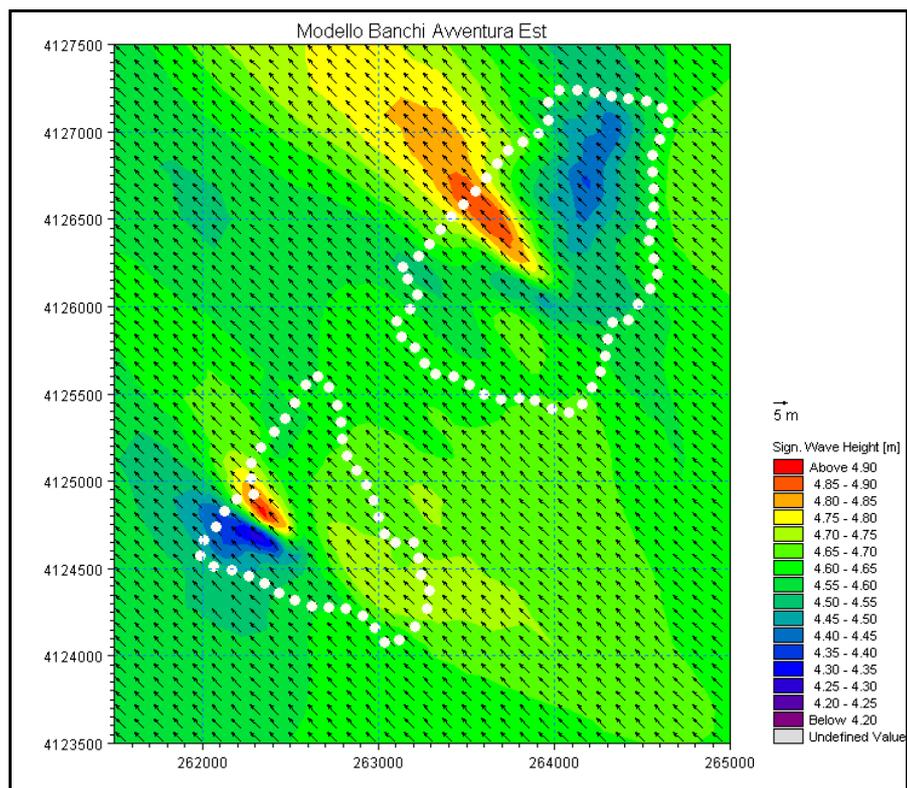


Fig. 3.33 Distribuzione dell'altezza d'onda per i Banchi Avventura Est – onda proveniente dal II quadrante (valori di  $H_s$  al largo compresi tra 4.7 e 4.8m).

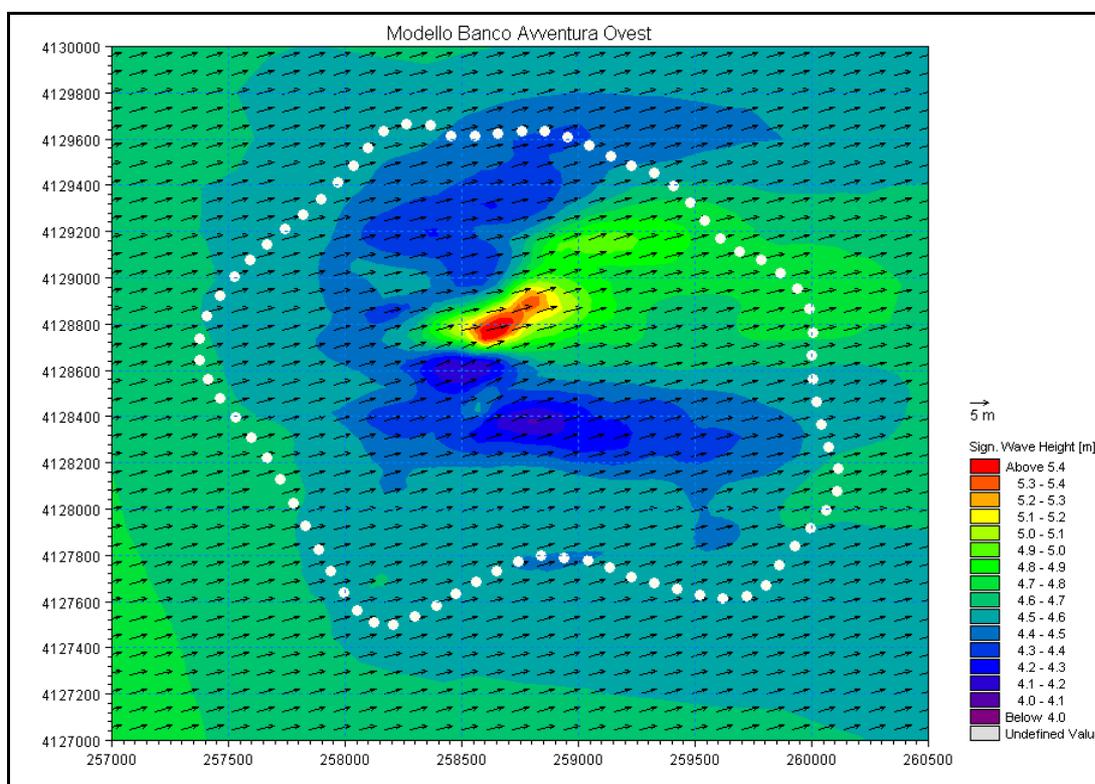


Fig. 3.34 Distribuzione dell'altezza d'onda per il Banco Avventura Ovest – onda proveniente dal III quadrante (valori di  $H_s$  al largo compresi tra 4.3 e 4.7m).

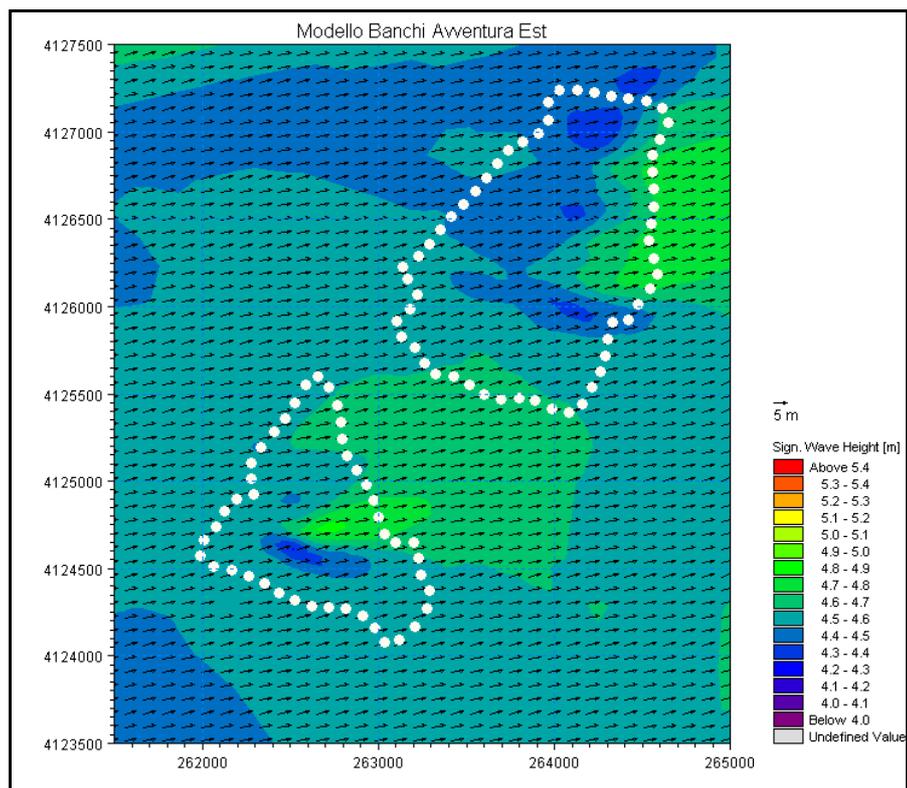


Fig. 3.35 Distribuzione dell'altezza d'onda per i Banchi Avventura Est – onda proveniente dal III quadrante (valori di  $H_s$  al largo compresi tra 4.3 e 4.7m).

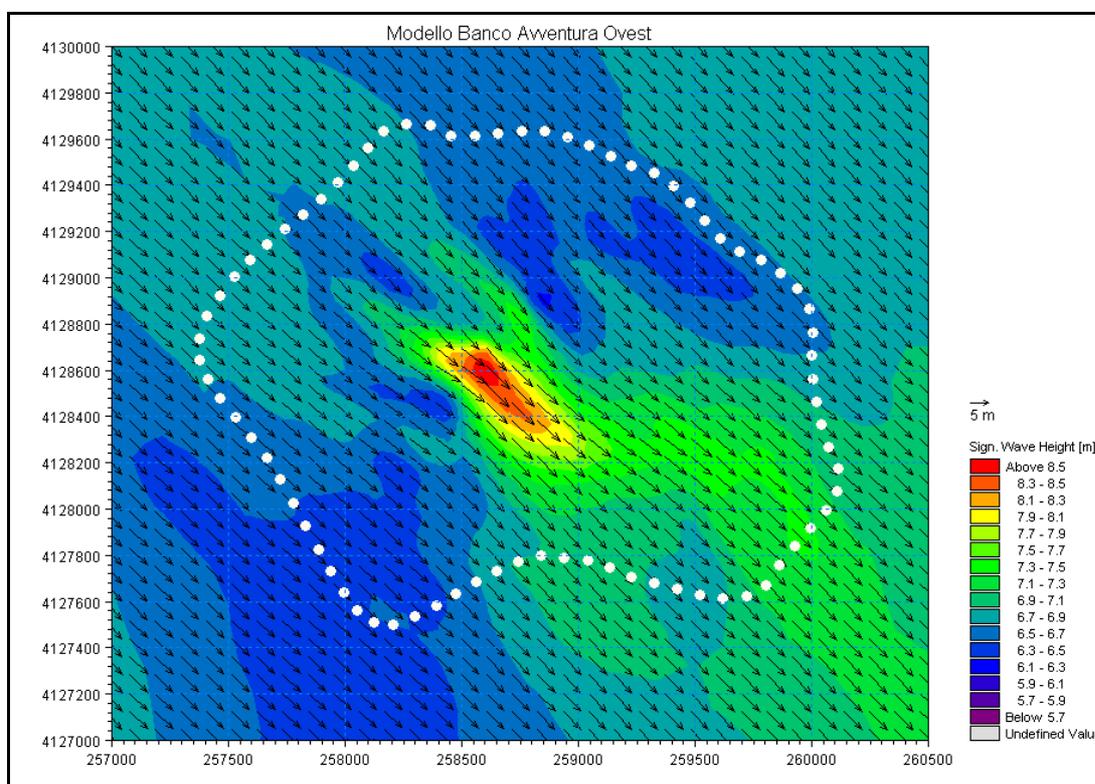


Fig. 3.36 Distribuzione dell'altezza d'onda per il Banco Avventura Ovest – onda proveniente dal IV quadrante (valori di  $H_s$  al largo compresi tra 6.8 e 6.9m).

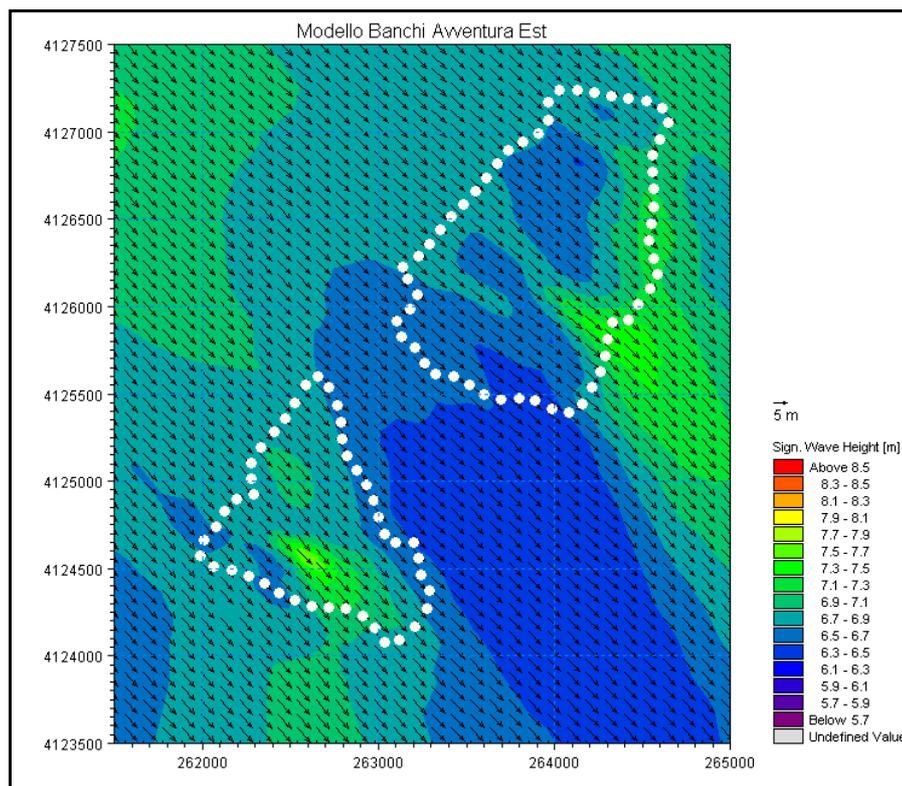


Fig. 3.37 Distribuzione dell'altezza d'onda per il Banchi Avventura Est – onda proveniente dal IV quadrante (valori di  $H_s$  al largo compresi tra 6.8 e 6.9m).

Dall'analisi della rappresentazione di dettaglio risultano ben evidenti le zone di convergenza e di divergenza dell'energia associata al moto ondoso, che si traduce in una esaltazione dell'altezza d'onda nelle zone di convergenza ed in una diminuzione della stessa nelle zone di divergenza. Come nel caso precedente, al variare della direzione di provenienza dell'onda le zone di divergenza e di convergenza dell'energia non risultano affatto sovrapponibili, evidenziando anzi un pattern quasi opposto.

### 3.3.5 Analisi statistica dei risultati

I risultati del modello di propagazione del moto ondoso, in termini di altezza d'onda significativa, direzione di provenienza e periodo, sono stati in seguito processati al fine di permettere una caratterizzazione statistica degli eventi estremi attesi in corrispondenza dei Banchi oggetto di studio.

L'individuazione del punto o dei punti, per i quali effettuare l'analisi statistica che servirà da supporto alla progettazione del Parco Eolico per l'intero Banco, risulta una scelta non facile: come illustrato nel capitolo precedente, infatti, in corrispondenza di uno stesso Banco l'onda presenta una distribuzione dell'altezza significativa assai variabile, in funzione sia della direzione e altezza di provenienza al largo, sia di come queste caratteristiche si rapportino alla batimetria locale: si è pertanto selezionato un criterio che risulti sufficientemente cautelativo e che possa rappresentare un valido supporto alla progettazione del Parco Eolico. I valori di riferimento in corrispondenza di un Banco sono pertanto rappresentati dall'altezza d'onda massima individuata in tutta l'area del Banco e dal valore medio del periodo d'onda  $T_p$  individuato in tutta l'area del Banco. La direzione è stata considerata inalterata rispetto a quella di largo.



I 930 eventi di mareggiata simulati sono stati quindi processati statisticamente mediante l'applicazione del cosiddetto metodo POT (Peak Over Threshold). Tale metodo, contrariamente al metodo del valore massimo annuale, permette, una volta individuata una soglia minima di altezza d'onda, di considerare nell'analisi gli eventi di mareggiata a prescindere dal fatto che essi si siano o meno verificati nello stesso anno o in anni diversi.

I valori di soglia di altezza d'onda adottati nell'analisi sono stati individuati in modo da ottenere un numero di eventi identico per effettuare sia l'analisi statistica "omnidirezionale", sia quella relativa ai quattro quadranti di provenienza del moto ondoso: l'analisi degli eventi estremi "omnidirezionale", infatti, è stata estesa in modo da riuscire a differenziare la distribuzione di probabilità associata agli eventi estremi per i settori di provenienza più significativi. Tale analisi direzionale può risultare utile, ad esempio, a supporto della progettazione di strutture per le quali risulti importante non soltanto l'individuazione dell'altezza d'onda di progetto ma anche della direzione dell'onda secondo cui dimensionare il manufatto.

La regolarizzazione statistica è stata effettuata utilizzando il modulo EVA - Extreme Values Analysis del DHI<sub>Water+Environment+Health</sub>

I risultati dell'analisi omnidirezionale e direzionale per ciascun sito sono riportati in forma grafica e tabellare nelle successive immagini.

I settori di provenienza delle onde sono stati suddivisi secondo i criteri illustrati nella seguente Tabella 3.21

Tabella 3.21 Settori di provenienza considerati per l'analisi statistica.

| Settore di provenienza | Identificativo | Direzioni considerate [°N] |
|------------------------|----------------|----------------------------|
| Omnidirezionale        | Tutti          | 0 - 360                    |
| 1° quadrante           | I              | 0 - 90                     |
| 2° quadrante           | II             | 90 - 180                   |
| 3° quadrante           | III            | 180 - 270                  |
| 4° quadrante           | IV             | 270 - 360                  |

La distribuzione di probabilità che ha approssimato meglio i dati è la distribuzione "Truncated Gumbel". Una dettagliata descrizione della distribuzione di probabilità adottata e del modulo EVA è stata inserita nell'allegato C al presente elaborato.

Per ciascun Banco e per ciascuna direzione considerata nell'analisi, sono stati esplicitamente riportate le stime di altezza d'onda in funzione di tempi di ritorno differenti, compresi tra 1 e 200 anni. L'indicazione della deviazione standard associata a ciascuna stima fornisce una preziosa informazione sul grado di attendibilità da associare a ciascuna stima effettuata.

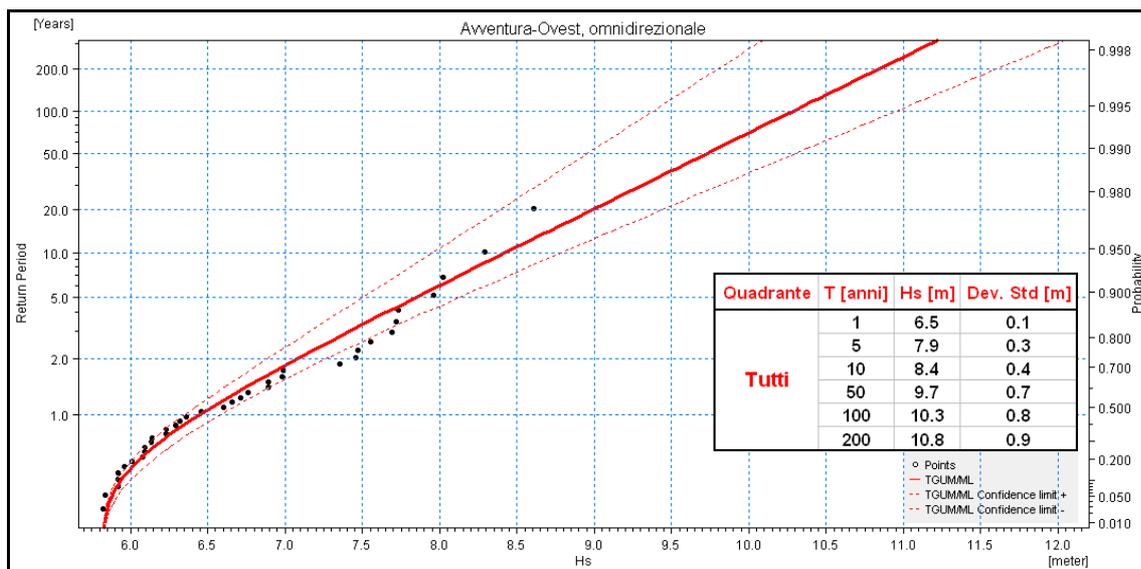


Fig. 3.38 Analisi degli eventi estremi per il Banco Avventura Ovest – omnidirezionale.

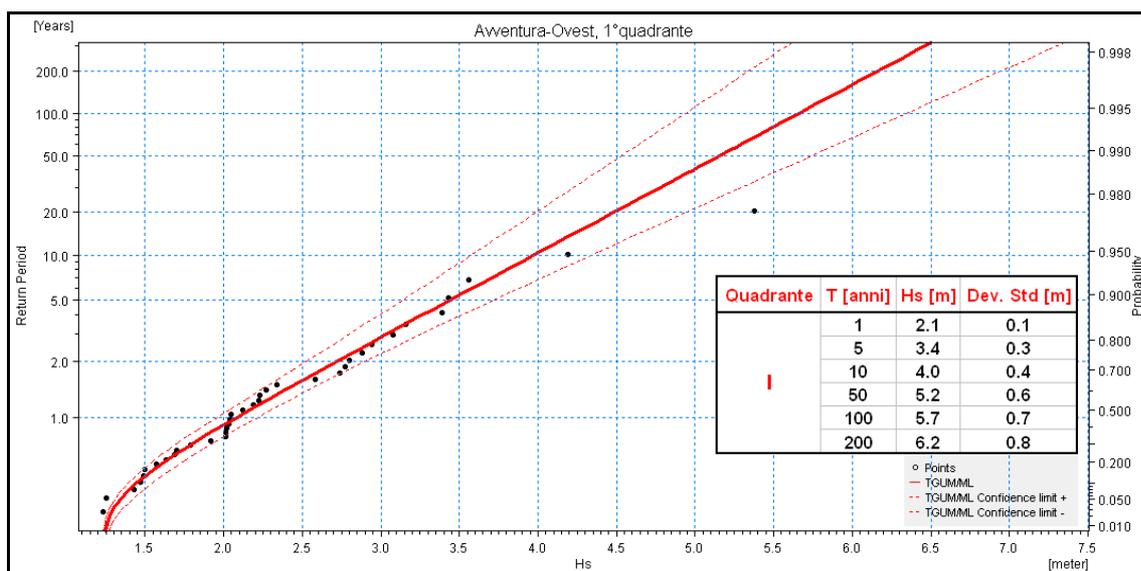


Fig. 3.39 Analisi degli eventi estremi per il Banco Avventura Ovest – 1°quadrante.

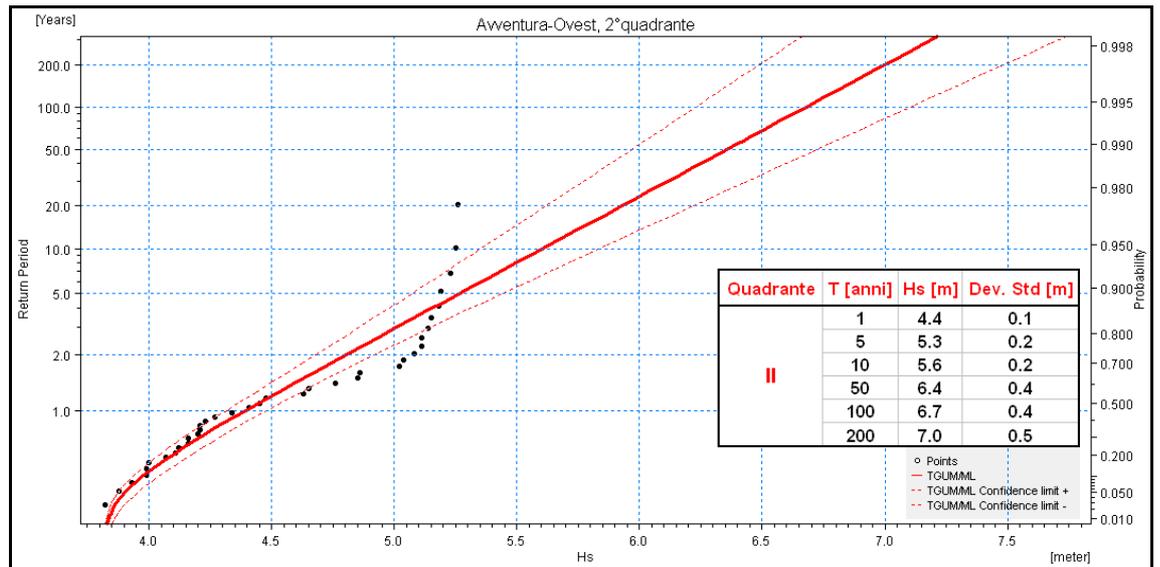


Fig. 3.40 Analisi degli eventi estremi per il Banco Avventura Ovest – 2°quadrante.

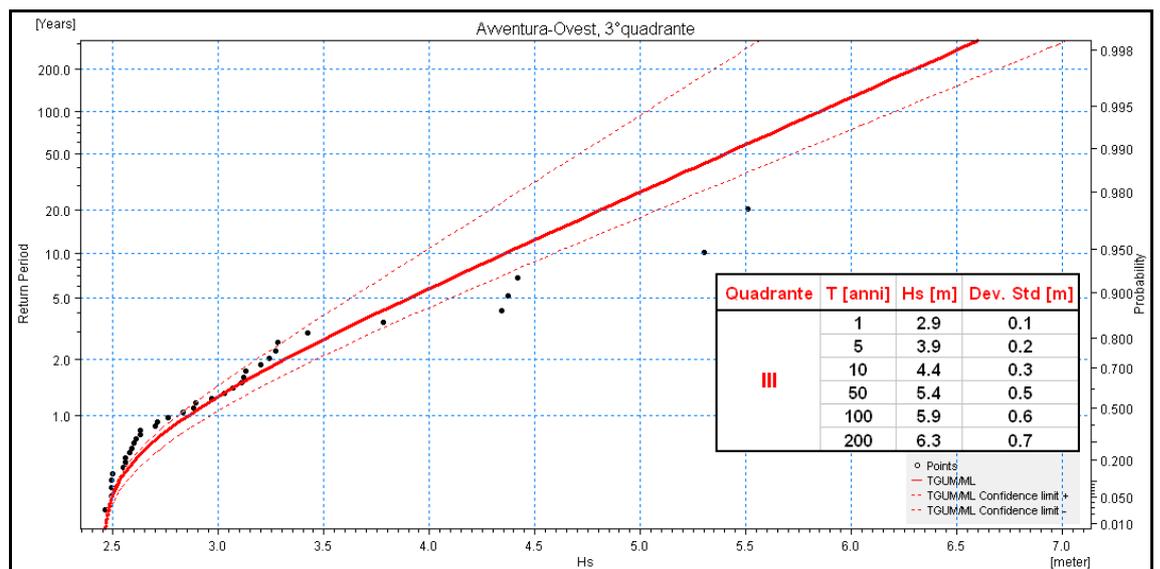


Fig. 3.41 Analisi degli eventi estremi per il Banco Avventura Ovest – 3°quadrante.

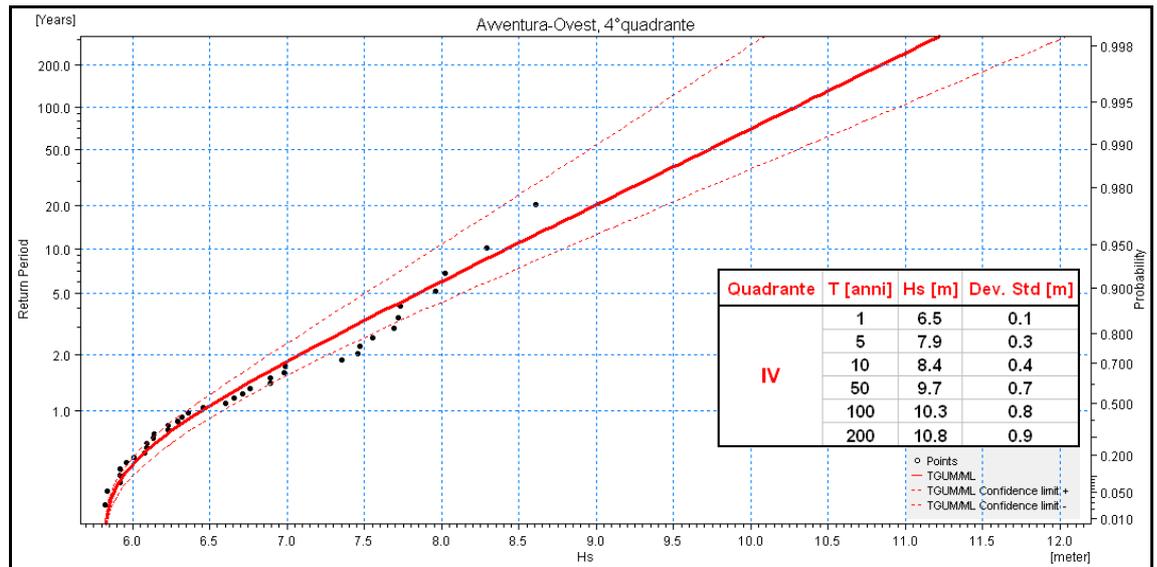


Fig. 3.42 Analisi degli eventi estremi per il Banco Avventura Ovest – 4°quadrante.

Se prendiamo a riferimento l'altezza onda omnidirezionale caratterizzata da un tempo di ritorno  $T$  pari a 50 anni, Per il Banco Avventura Ovest, l'analisi dell'altezza d'onda cinquantennale fornisce una stima pari a 9.7m, frutto non tanto del maggiore fetch disponibile per i venti più intensi, provenienti dal quarto quadrante, quanto piuttosto di una configurazione del fondale che esalta maggiormente la concentrazione di energia in alcune parti del Banco.

La deviazione standard, per onde caratterizzate da tempi di ritorno superiori ai 50 anni, presenta valori elevati (fino a 0.9m). Tale variabilità nella stima dell'altezza d'onda ad elevato tempo di ritorno induce una necessaria cautela nel trattare tali stime, soprattutto in considerazione del fatto che il database di origine a nostra disposizione (Met-Office) fornisce una serie temporale di dati relativa a 20 anni e che l'estrapolazione della tendenza di una serie è un procedimento sempre delicato.

Come ampiamente atteso, le onde più elevate si trovano sempre nel quarto quadrante, tanto che l'analisi statistica riferita a tale settore coincide sempre con l'analisi statistica omnidirezionale.

Per quanto concerne la caratterizzazione dei risultati in termini di periodo di picco  $T_p$ , dal momento che ad un valore di altezza d'onda significativa non può essere univocamente associato un periodo (la relazione dipende tra l'altro dal tipo di evento, se di mare vivo, sea, o di mare lungo, swell, nonché dal fetch associato all'evento stesso), si è ritenuto opportuno riportare i risultati nella forma di tabella di frequenza: nelle successive tabelle, viene infatti riportata la caratterizzazione statistica dei periodi di picco  $T_p$  in funzione dell'altezza d'onda significativa  $H_s$ , sulla base del criterio già illustrato all'inizio del presente capitolo.

Dall'analisi delle tabelle sotto riportate, si osserva che per i Banchi Avventura, per le direzioni associate a fetch di lunghezza limitata (primo e terzo quadrante), risultano maggiormente frequenti periodi di picco inferiori ai 10s. In particolare, per il primo quadrante si osserva una maggiore frequenza di periodi compresi tra i 6s e gli 8s, per altezze d'onda significativa in genere inferiore ai 3m; per il terzo quadrante si osserva invece una maggiore frequenza di periodi compresi tra 8s e 10s, per altezze d'onda significativa in genere inferiore ai 4m.



Per gli eventi provenienti dal secondo quadrante, caratterizzati da un fetch assai esteso, si può osservare che ai valori più elevati di altezza d'onda (fino a 6m per i Banchi Avventura, sono generalmente associati periodi di picco compresi tra i 10s ed i 12s..

Gli eventi provenienti dal quarto quadrante, caratterizzati da altezze d'onda più elevata, fino a 9m nel caso del Banco Avventura Ovest e del Banco Pantelleria, sono invece generalmente associati a periodi di picco compresi tra i 12s ed i 14s.

Tabella 3.22 Caratterizzazione statistica dei periodi di picco  $T_p$  attesi sul Banco Avventura Ovest in funzione dell'altezza d'onda significativa  $H_s$  – Analisi omnidirezionale.

| Omnidir.      | Hs [m]<br>Tp [s] | <2  | 2 - 3 | 3 - 4 | 4 - 5 | 5 - 6 | 6 - 7 | 7 - 8 | 8 - 9 | Totale     |
|---------------|------------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
|               | 4 - 6            | 7   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0          |
| 6 - 8         | 10               | 191 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 201        |
| 8 - 10        | 1                | 229 | 240   | 43    | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 514        |
| 10 - 12       | 0                | 15  | 17    | 53    | 61    | 13    | 0     | 0     | 0     | 159        |
| 12 - 14       | 0                | 4   | 14    | 8     | 4     | 7     | 8     | 3     | 0     | 48         |
| 14 - 16       | 0                | 0   | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1          |
| <b>Totale</b> |                  | 18  | 439   | 271   | 104   | 67    | 20    | 8     | 3     | <b>930</b> |

Tabella 3.23 Caratterizzazione statistica dei periodi di picco  $T_p$  attesi sul Banco Avventura Ovest in funzione dell'altezza d'onda significativa  $H_s$  – Analisi degli eventi dal I quadrante.

| I quadrante   | Hs [m]<br>Tp [s] | <2 | 2 - 3 | 3 - 4 | 4 - 5 | 5 - 6 | 6 - 7 | 7 - 8 | 8 - 9 | Totale    |
|---------------|------------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
|               | 4 - 6            | 7  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0         |
| 6 - 8         | 5                | 11 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 16        |
| 8 - 10        | 0                | 7  | 5     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 14        |
| 10 - 12       | 0                | 0  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0         |
| 12 - 14       | 0                | 0  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0         |
| 14 - 16       | 0                | 0  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0         |
| <b>Totale</b> |                  | 12 | 18    | 5     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | <b>37</b> |

Tabella 3.24 Caratterizzazione statistica dei periodi di picco  $T_p$  attesi sul Banco Avventura Ovest in funzione dell'altezza d'onda significativa  $H_s$  – Analisi degli eventi dal II quadrante.

| II quadrante  | Hs [m]<br>Tp [s] | <2 | 2 - 3 | 3 - 4 | 4 - 5 | 5 - 6 | 6 - 7 | 7 - 8 | 8 - 9 | Totale     |
|---------------|------------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
|               | 4 - 6            | 0  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0          |
| 6 - 8         | 0                | 54 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 54         |
| 8 - 10        | 0                | 69 | 57    | 5     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 131        |
| 10 - 12       | 0                | 5  | 8     | 13    | 12    | 0     | 0     | 0     | 0     | 38         |
| 12 - 14       | 0                | 4  | 2     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 8          |
| 14 - 16       | 0                | 0  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0          |
| <b>Totale</b> |                  | 0  | 132   | 67    | 20    | 12    | 0     | 0     | 0     | <b>231</b> |

Tabella 3.25 Caratterizzazione statistica dei periodi di picco  $T_p$  attesi sul Banco Avventura Ovest in funzione dell'altezza d'onda significativa  $H_s$  – Analisi degli eventi dal III quadrante.



| III<br>quadrante | Hs [m]<br>Tp [s] | <2 | 2 - 3 | 3 - 4 | 4 - 5 | 5 - 6 | 6 - 7 | 7 - 8 | 8 - 9 | Totale    |
|------------------|------------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
|                  | 4 - 6            | 0  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0         |
| 6 - 8            | 0                | 8  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 8         |
| 8 - 10           | 0                | 29 | 8     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 38        |
| 10 - 12          | 0                | 0  | 2     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 4         |
| 12 - 14          | 0                | 0  | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2         |
| 14 - 16          | 0                | 0  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0         |
| <b>Totale</b>    |                  | 0  | 37    | 11    | 2     | 2     | 0     | 0     | 0     | <b>52</b> |

Tabella 3.26 Caratterizzazione statistica dei periodi di picco  $T_p$  attesi sul Banco Avventura Ovest in funzione dell'altezza d'onda significativa  $H_s$  – Analisi degli eventi dal IV quadrante.

| IV<br>quadrante | Hs [m]<br>Tp [s] | <2  | 2 - 3 | 3 - 4 | 4 - 5 | 5 - 6 | 6 - 7 | 7 - 8 | 8 - 9 | Totale     |
|-----------------|------------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
|                 | 4 - 6            | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0          |
| 6 - 8           | 5                | 118 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 123        |
| 8 - 10          | 1                | 124 | 170   | 36    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 331        |
| 10 - 12         | 0                | 10  | 7     | 39    | 48    | 13    | 0     | 0     | 0     | 117        |
| 12 - 14         | 0                | 0   | 11    | 6     | 3     | 7     | 8     | 3     | 0     | 38         |
| 14 - 16         | 0                | 0   | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1          |
| <b>Totale</b>   |                  | 6   | 252   | 188   | 81    | 52    | 20    | 8     | 3     | <b>610</b> |

**L'altezza della struttura galleggiante a 12 m dal livello medio mare, assicura che, nelle condizioni estreme valutate dal presente studio, permane un franco di almeno 2 m rispetto al piano di calpestio della struttura.**



## 4 STUDIO DI BASE DEL REGIME CORRENTOMETRICO

*Le informazioni di base relative al regime correntometrico del Canale di Sicilia sono state estratte da pubblicazioni reperibili in letteratura. In particolare, l'analisi del pattern di circolazione, riportata in questo capitolo, fa riferimento alla pubblicazione "Seasonal variability in the Central Mediterranean Sea circulation", ad opera di R.Sorgente, A.F. Drago e A. Ribotti sugli Annales Geophysicae (2003)21: 299-322 @ European Geosciences union 2003.*

### 4.1 La circolazione superficiale

*La massa d'acqua proveniente dall'Atlantico penetra nel Mar Mediterraneo attraverso lo Stretto di Gibilterra, quindi si riscalda e diventa più salata in prossimità della costa africana, dando così origine alla cosiddetta MAW (Modified Atlantic Water) in direzione est (Warn-Varnas et al., 1999). Nel Canale di Sardegna, la MAW viene parzialmente deviata verso nord dalla presenza del Banco Skerki (Manzella, 1990), un'area a bassa profondità al largo della costa tunisina, per poi dividersi in tre rami principali per effetto della batimetria del fondale (Fig. 4.1). Un ramo penetra nel Mar Tirreno e segue la costa settentrionale della Sicilia; gli altri due rami della MAW proseguono invece verso il Mediterraneo Orientale attraversando il Canale di Sicilia (Astraldi et al., 1999). Il ramo principale corre lungo la costa della Tunisia, mentre il ramo secondario, scorrendo al di sopra della piattaforma sicula determina la nascita della corrente meandriforme denominata AIS-Atlantic Ionian Stream (Robinson et al., 1999) (Fig. 4.2).*

*La variabilità stagionale dei due rami della MAW che attraversano il Canale di Sicilia è significativamente differente. Il ramo meridionale, che scorre lungo la costa africana, raggiunge il massimo dell'intensità nel tardo autunno (Astraldi et al., 1996). Il ramo della MAW che scorre in prossimità della costa meridionale della Sicilia appare invece caratterizzato da velocità maggiori in estate ed autunno, per proseguire poi verso Est secondo la meandriforme AIS, le cui evoluzioni sono controllate prevalentemente dalla batimetria del fondale. Durante l'inverno, la MAW copre all'incirca tutta la larghezza del Canale di Sicilia, fino al bordo meridionale della piattaforma siciliana. A partire dalla primavera, la MAW inizia poi progressivamente a scendere più in profondità, fino a raggiungere i circa 60m in autunno.*

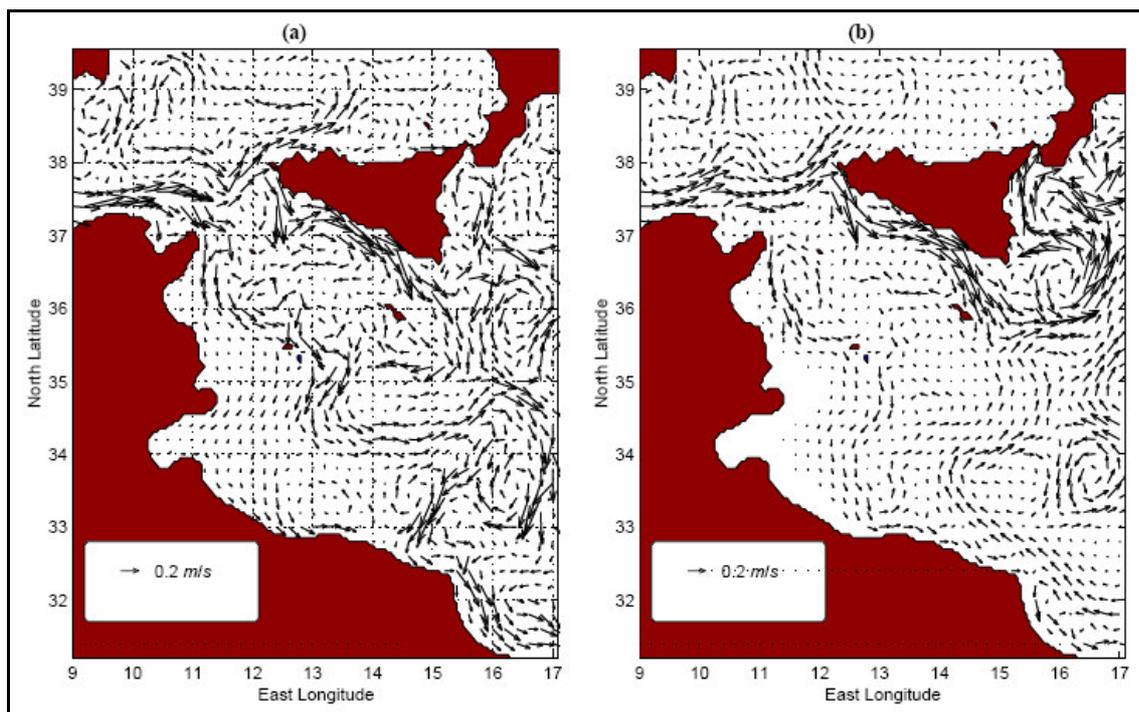


Fig. 4.1 Rappresentazione della distribuzione di velocità a 5m di profondità (media su 10 giorni) nel mese di Febbraio (a) e Agosto (b).

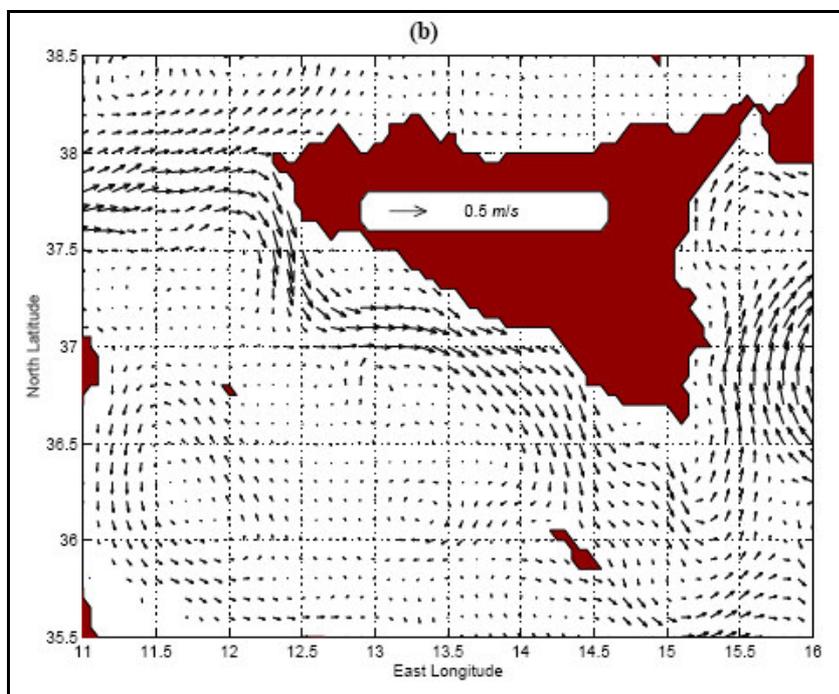


Fig. 4.2 Rappresentazione della distribuzione di velocità a 30m di profondità (media su 10 giorni) nel mese di Settembre.



## 4.2 La circolazione intermedia

La circolazione intermedia denominata LIV (Levantine Intermediate Water) si genera principalmente nel Mar di Levante nord orientale durante i mesi invernali come risultato di processi di raffreddamento e di evaporazione (Nittis e Lascaratos, 1998). Dopo la sua generazione, la LIW si muove in direzione occidentale ad una profondità intermedia, attraversando il Canale di Sicilia. La LIW penetra nel Canale di Sicilia attraverso la Soglia di Medina con una salinità di circa 38.74-38.75 psu ed una temperatura di circa 14.0-14.1°C in autunno-inverno (Warn-Varnas et al., 1999). Attraversa il Canale di Sicilia con il picco di velocità posto tra i 250 ed i 270m. Procedendo ancora verso ovest, la LIW penetra nel Mar Tirreno, vincolata dalla geometria del fondale e dagli effetti della forza di Coriolis, si mescola parzialmente con le acque superficiali e profonde divenendo più salata (Sparnocchia et al., 1999). Il flusso della LIW non è costante ma è soggetto a variabilità stagionale ed è stimato essere 2-3 volte più intenso nei mesi invernali rispetto ai mesi estivi (Manzella et al., 1988; Astraldi et al., 1996). La profondità alla quale va ricercato il picco di velocità varia stagionalmente: in inverno la circolazione risulta più profonda, al di sotto dei 200m, mentre risulta più prossima alla superficie nei mesi estivi ed autunnali (Astraldi et al., 1999; Sparnocchia et al., 1999). Una volta raggiunto il Mar Tirreno, la LIW scorre lungo la costa italiana, seguendo in parte la via del Canale di Corsica, specialmente durante l'inverno, ed in parte la via sud-occidentale lungo la costa orientale della Sardegna, ad una profondità compresa tra i 700 ed i 1000m, confluendo nella WMDW- Western Mediterranean Deep Water nel Canale di Sardegna.

## 4.3 Il modello del Canale di Sicilia

Presso lo IAMC-CNR di Oristano è stato sviluppato un Modello Regionale del Canale di Sicilia, basato su un modello di circolazione tridimensionale denominato POM (Princeton Ocean Model) sviluppato da Blumberg e Marmor (1987) numericamente accoppiato ai contorni laterali con il modello di circolazione di tutto il Mediterraneo (MFSTEP-OGCM), sviluppato presso l'Unità di Dinamica e Climatologia dell'INGV di Bologna (Pinardi et al., 2003). Tale modello è caratterizzato da una risoluzione spaziale pari a 3km e non è pertanto in grado di fornire una distribuzione accurata dei campi di velocità in corrispondenza dei Banchi oggetto di studio, la cui geometria presenta variazioni significative su scale comparabili o inferiori a quella della risoluzione del modello: una necessaria e più approfondita valutazione del regime correntometrico in corrispondenza dei Banchi potrà essere sviluppata in una fase successiva del progetto, mediante la predisposizione di un modello tridimensionale di dettaglio che potrà utilizzare come condizioni al contorno le serie temporali di corrente, salinità e temperatura alle diverse profondità provenienti dal modello MFSTEP o direttamente dal modello del Canale di Sicilia, innestato in MFSTEP.

Il setup e la calibrazione del modello tridimensionale di dettaglio potranno avvalersi dei dati esistenti o future provenienti da misure dirette effettuate dai profilatori di corrente in corrispondenza dei Banchi.

I risultati del modello del Canale di Sicilia sono pubblicati settimanalmente al seguente indirizzo:

[http://www.imc-it.org/progetti/mfstep/hindcast\\_ecmwf/bulletin.htm?link=F](http://www.imc-it.org/progetti/mfstep/hindcast_ecmwf/bulletin.htm?link=F)

Nell'Allegato D al presente elaborato, sono riportate le immagini dei risultati del modello di circolazione per il mese di Dicembre 2008 relativamente a Wind Stress,

corrente a 5m di profondità, corrente a 30m di profondità e corrente a 120m di profondità.

L'immagine in Fig. 4.3, relativa al giorno 11 Dicembre 2008, riportata a titolo di esempio, mostra un pattern di corrente del tutto conforme a quanto descritto in precedenza. Generalmente, nel tratto di Canale di Sicilia interessato dai Banchi, le velocità di corrente si mantengono inferiori agli 0.5 m/s, sia alla profondità di 5m, sia alla profondità di 30m. Laddove la corrente presenta un carattere meandri forme, con tendenza alla formazione di vortici e con valori di velocità più bassi, l'osservazione della sequenza dei campi di corrente del mese di Dicembre 2008 evidenzia la significativa influenza esercitata dalle forzanti atmosferiche, in particolare dal vento, riportato anch'esso in allegato sotto forma di Wind stress ( $N/m^2$ ).

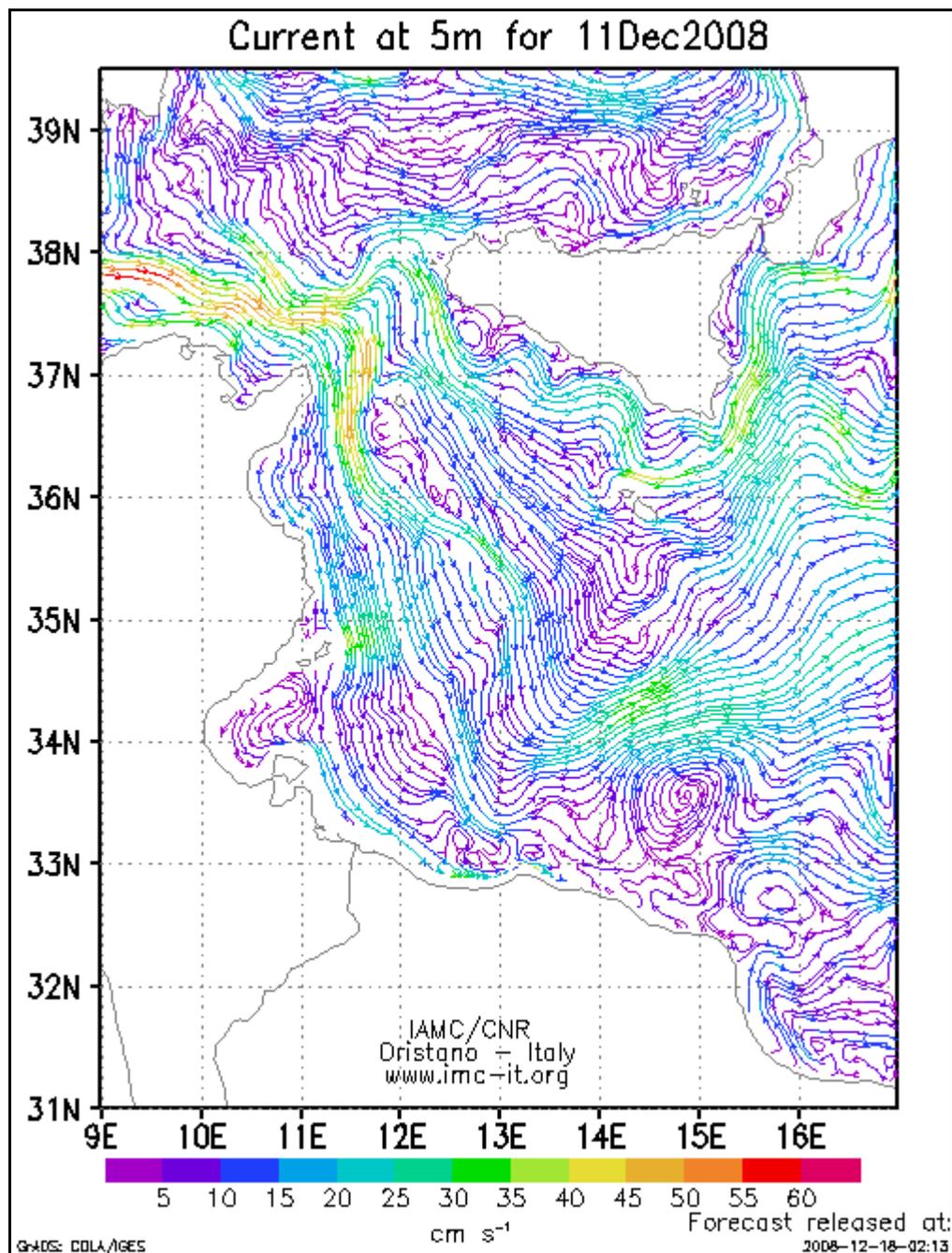


Fig. 4.3 Campi di corrente a 5m provenienti dal modello del Canale di Sicilia IAMC/CNR.



## 5 CONCLUSIONI

*Lo studio ha permesso la caratterizzazione del clima ondoso "ordinario" ed "estremo" per l'area del Canale di Sicilia interessata dalla presenza degli alti strutturali denominati "Banco di Pantelleria" e "Banchi Avventura – lato Pantelleria: Banco Ovest e Banco Est", esso ha consentito anche la caratterizzazione della nuova area di progetto in quanto prossima al banco Avventura lato ovest.*

*In particolare, per la caratterizzazione degli eventi di moto ondoso estremi attesi in corrispondenza dei Banchi, a partire dai dati al largo acquisiti dal modello d'onda globale Met-Office, sono state simulate, mediante il modello numerico bidimensionale MIKE 21 SW del DHI<sub>Water+Environment+Health</sub>, le trasformazioni che l'onda subisce in funzione della batimetria dei Banchi, tenendo conto dei fenomeni di rifrazione, shoaling, attrito con il fondo e frangimento dell'onda stessa.*

*I risultati del modello hanno mostrato una significativa influenza esercitata dalla geometria dei Banchi sulla propagazione dell'onda: in funzione della direzione di provenienza dell'onda e della geometria del Banco, si determinano infatti aree di convergenza ed aree di divergenza dell'energia associata al moto ondoso, che comportano localmente valori di altezza d'onda significativamente più alti o più bassi rispetto all'altezza che caratterizza l'onda prima di approciare il Banco.*

*I risultati del modello numerico sono quindi stati processati statisticamente, in modo da ricavare, per ciascun Banco, le stime del valore di altezza d'onda attesa per vari tempi di ritorno. L'analisi ha mostrato una certa omogeneità dei risultati per i vari Banchi, con valori attesi di altezza d'onda cinquantennale generalmente compresi tra gli 8 e 9 metri. Banchi più superficiali hanno evidenziato valori più elevati di altezza d'onda associati ad eventi estremi.*

*Per il Banco Avventura Ovest, individuato come punto più vicino alla nuova area di progetto, l'analisi dell'altezza d'onda cinquantennale fornisce una stima pari a 9.7m, inferiore all'altezza della piattaforma dell'aerogeneratore di progetto che è pari a 12 metri sul livello medio mare.*

*Lo studio ha inoltre previsto una caratterizzazione di massima del regime correntometrico nel Canale di Sicilia sulla base di dati di letteratura e di modelli esistenti.*



## 6 RIFERIMENTI

- /1/ Astraldi, M., Gasparini, G. P., Sparnocchia, S., Moretti, M., and Sansone, E.: *The characteristics of the water masses and the water transport in the Sicily Strait at long time scale the eastern and western Mediterranean through the Strait of Sicily*, *Bulletin de l'Institut Oceanographique, Monaco, CIESM Science Series n 2*, 95–115, 1996.
- /2/ Astraldi, M., Balopoulos, S., Candela, J., Font, J., Gacic, M., Gasparini, G. P., Manca, B., and Theocharis, A.: *The role of straits and channels in understanding the characteristics of Mediterranean circulation*, *Progress in Oceanography*, 44, 65–108, 1999.
- /3/ Manzella, G. M. R., Gasparini, G. P., and Astraldi, M.: *Water exchange between the eastern and western Mediterranean through the Strait of Sicily*, *Deep-Sea Res. I*, 35, 1021–1035, 1988.
- /4/ Manzella, G. M. R., Hopkins, T. S., Minnett, P. J., and Nacini, E.: *Atlantic Water in the Strait of Sicily*, *J. Geophys. Res.*, 95, 569–1575, 1990.
- /5/ Nittis, K. and Lascaratos, A.: *Diagnostic and prognostic numerical studies of LIW formation*, *J. Marine. Sys.*, 18, 179–195, 1998.
- /6/ Robinson, A. R., Sellschopp, J., Warn-Varnas, A., Anderson, L. A., and Lermusiaux, P. F. J.: *The Atlantic Ionian Stream*, *J. Marine Systems*, 20, 129–156, 1999.
- /7/ Sorgente R., Drago A.F., Ribotti A.: *Seasonal variability in the Central Mediterranean Sea circulation*, *Annales Geophysicae (2003) 21:299-322 @ European Geosciences union 2003*.
- /8/ Sparnocchia, S., Gasparini, G. P., Astraldi, A., Borghini, M., and Pistek, P.: *Dynamics and mixing of the Eastern Mediterranean outflow in the Tyrrhenian Sea*, *J. Marine Systems*, 20, 301–317, 1999.
- /9/ Warn-Varnas, A., Sellschops, J., Haley, Jr., P. J., Leslie, W. G., and Lozano, C. J.: *Strait of Sicily water masses*, *Dyn. Atmosph. Oceans*, 29h, 437–469, 1999.