

00	07-2009	PROGETTO DEFINITIVO - S.I.A.	PEDRONCINI (DHI Italia)	CAMPANELLA
REV.	DATA	DESCRIZIONE	PREPARATO	APPROVATO



## FOUR WIND S.R.L.

Via Nunzio Morello n. 40 - 90144 PALERMO  
 Tel/Fax +39 091 7829785 - +39 091 7829080  
 e-mail: [info@4wind.it](mailto:info@4wind.it) - <http://www.4wind.it>  
 P.I. / C.F. 05593830820

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



**C. & C. Consulting  
 engineering S.r.l.**

Collaboratori:  
 Ing. Calogero Cutaia  
 Dott. Dario Modica



**Q.I.S. S.r.l.**

Collaboratori:  
 Geom. Calogero Barletta  
 Ing. Salvatore Cocciola  
 Dott.ssa Bernadette Labruzzo  
 Ing. Paolo G. Oieni  
 Ing. Daniele Ventura

ELABORATO N°  
 PDT/R/0/SM/001



Studio metomarinario

FORMATO ELABORATO: A4

REV.	00																		
------	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

**PARCO EOLICO - STRETTO DI SICILIA  
 BANCO DI TALBOT**

**PROGETTO DEFINITIVO**

SOSTITUISCE IL

**Studio meteomarinario**

SOSTITUITO DAL

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

Titolo progetto  Studio meteomarinario nel Canale di Sicilia	Codice progetto - elaborato  D394-01-00200
--	--

Autori  Andrea Pedroncini	Data 18 Febbraio 2009
	Approvato da  Ing. Michele Buffo, Direttore Tecnico

--	--	--	--	--	--

--	--	--	--	--	--

0	Rapporto finale	ANP	ACR	BU	18.02.09
---	-----------------	-----	-----	----	----------

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

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

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



## **INDICE**

1	PREMESSA .....	1
2	CARATTERIZZAZIONE DELLA BATIMETRIA DELL'AREA.....	1
3	CARATTERIZZAZIONE DEL CLIMA ONDOSI DI RIFERIMENTO .....	3
3.1	I dati del modello globale Met-Office .....	3
3.2	Caratterizzazione del clima ondoso ordinario .....	5
3.3	Caratterizzazione degli eventi estremi.....	22
3.3.1	Il modello di propagazione del moto ondoso .....	30
3.3.2	I fetch geografici ed i fetch efficaci .....	34
3.3.3	Il contributo del vento .....	36
3.3.4	Risultati del modello di propagazione del moto ondoso .....	36
3.3.5	Analisi statistica dei risultati.....	43
4	STUDIO DI BASE DEL REGIME CORRENTOMETRICO .....	52
4.1	La circolazione superficiale .....	52
4.2	La circolazione intermedia.....	54
4.3	Il modello del Canale di Sicilia.....	54
5	CONCLUSIONI .....	56
6	RIFERIMENTI .....	56

## **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 interessata dalla presenza degli Alti strutturali denominati "Banco di Talbot". Lo studio, a partire dal moto ondoso al largo, ha permesso di valutare le trasformazioni che l'onda subisce in relazione alla batimetria del Banco, 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. Una necessaria e più approfondita valutazione del regime correntometrico in corrispondenza del Banco, che tenga conto della presenza del Banco stesso, potrà essere sviluppata in una fase successiva del progetto.

## **2      **CARATTERIZZAZIONE DELLA BATIMETRIA DELL'AREA****

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).

Il Parco Eolico offshore al quale fa riferimento il presente progetto si colloca in corrispondenza dell'area denominata "Banco di Talbot", composta in realtà da due Alti strutturali distinti, distanziati tra loro di circa 6 km ("Banco Talbot Est" e "Banco Talbot Ovest").

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.

Accurati rilievi del fondale che caratterizza i due alti strutturali denominati "Banco Talbot Est" e "Banco Talbot Ovest" sono stati effettuati rispettivamente nel mese di Giugno 2007 e nel mese di Aprile 2008 mediante sistema Multi-Beam e messi a disposizione per l'esecuzione dello studio in oggetto. Al fine di caratterizzare opportunamente l'intera area modellata, che risulta assai più ampia di quella rilevata con sistema Multi-Beam, si è resa necessaria una integrazione dei dati rilevati relativi al fondale dei Banchi con i dati derivanti dalla Cartografia Nautica.

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.

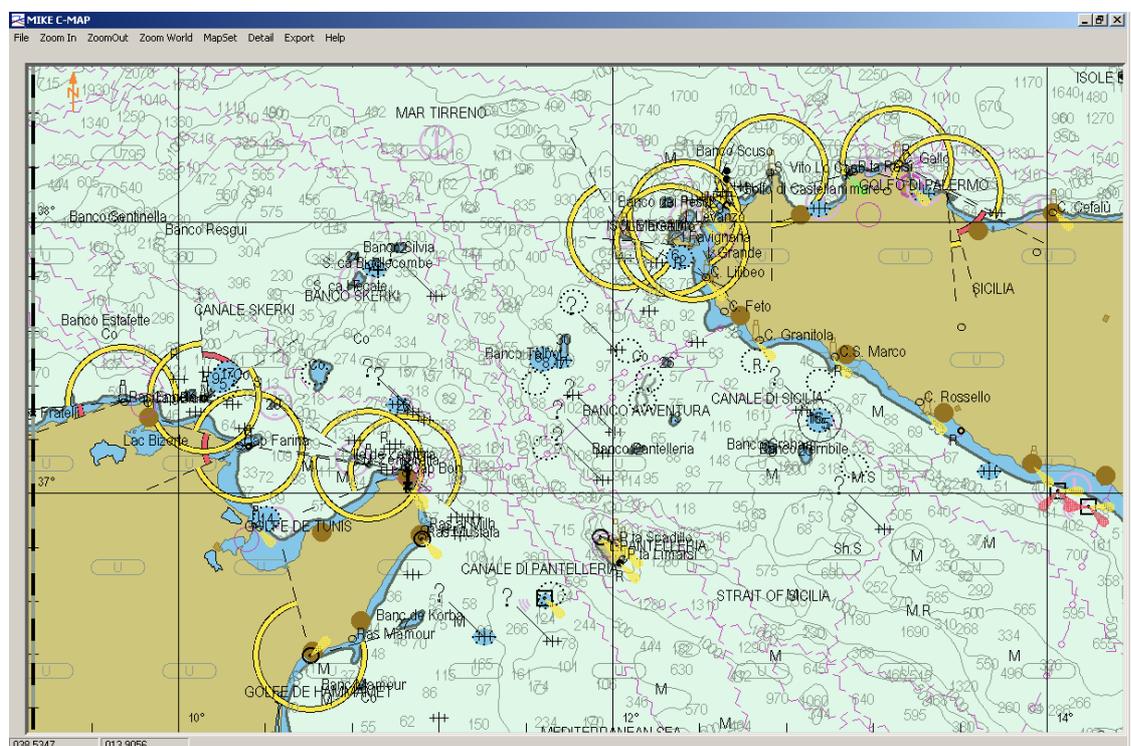


Fig. 2.1 Esempio di visualizzazione dei dati batimetrici del Canale di Sicilia attraverso il tool MIKE C-MAP.

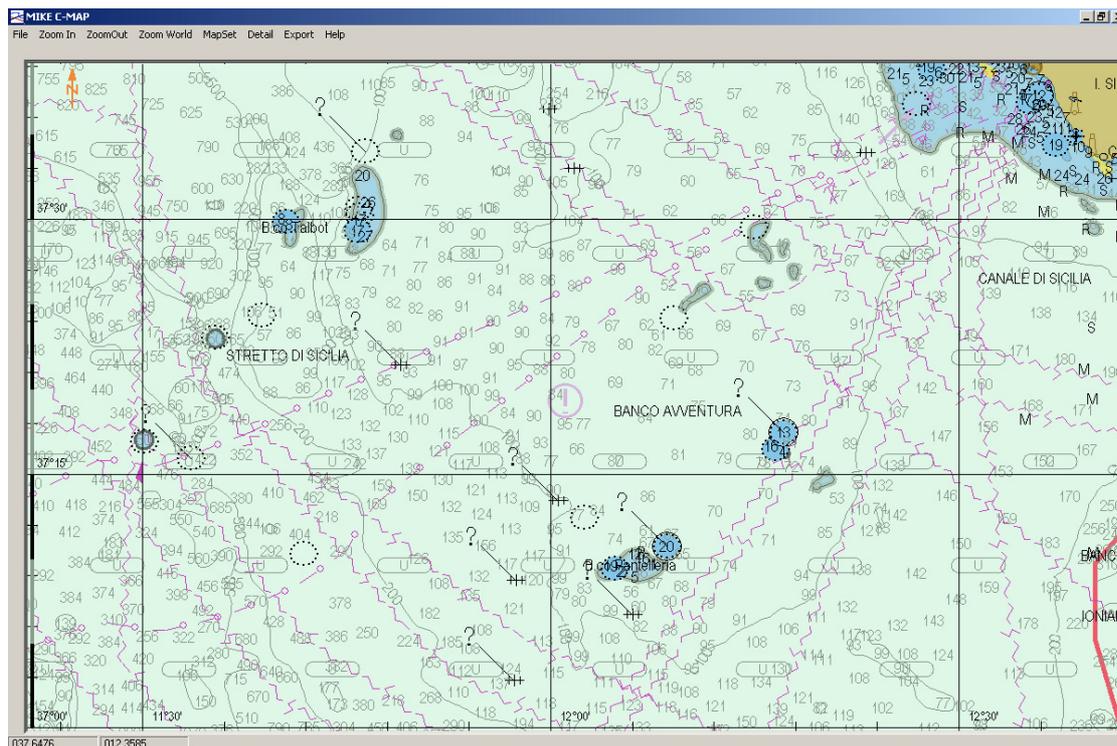


Fig. 2.2 Esempio di visualizzazione dei dati batimetrici del Canale di Sicilia attraverso il tool MIKE C-MAP. Dettaglio del tratto di mare interessato dalla presenza del Banco Talbot.

### 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 al Banco oggetto di studio.

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. Per la cella del modello più prossima al Banco Talbot (Latitudine 37.25°N, Longitudine 11.94°E, Fig. 3.1) sono stati resi disponibili dati relativi al moto ondoso per il periodo compreso tra il 01/07/1988 ed il 25/11/2008.

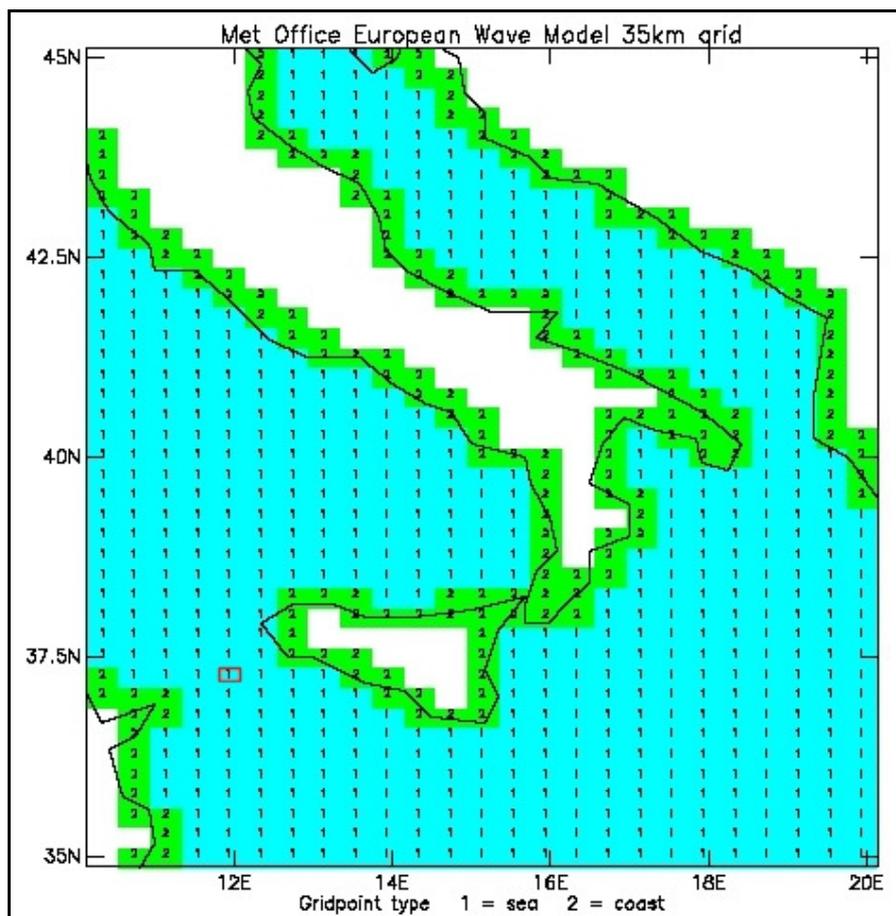


Fig. 3.1 Dettaglio della griglia utilizzata dal modello d'onda globale Met-Office con evidenziata la cella più prossima al Banco Talbot.

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 risulta invece esposto il Banco 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 del 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 al Banco Talbot e dall'altro alla stima degli eventi ondosi estremi per assegnato tempo di ritorno che possono essere attesi verificarsi in corrispondenza del Banco stesso.

### 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 Talbot, 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 Talbot: il punto di estrazione prescelto è il più prossimo al Banco oggetto di studio.

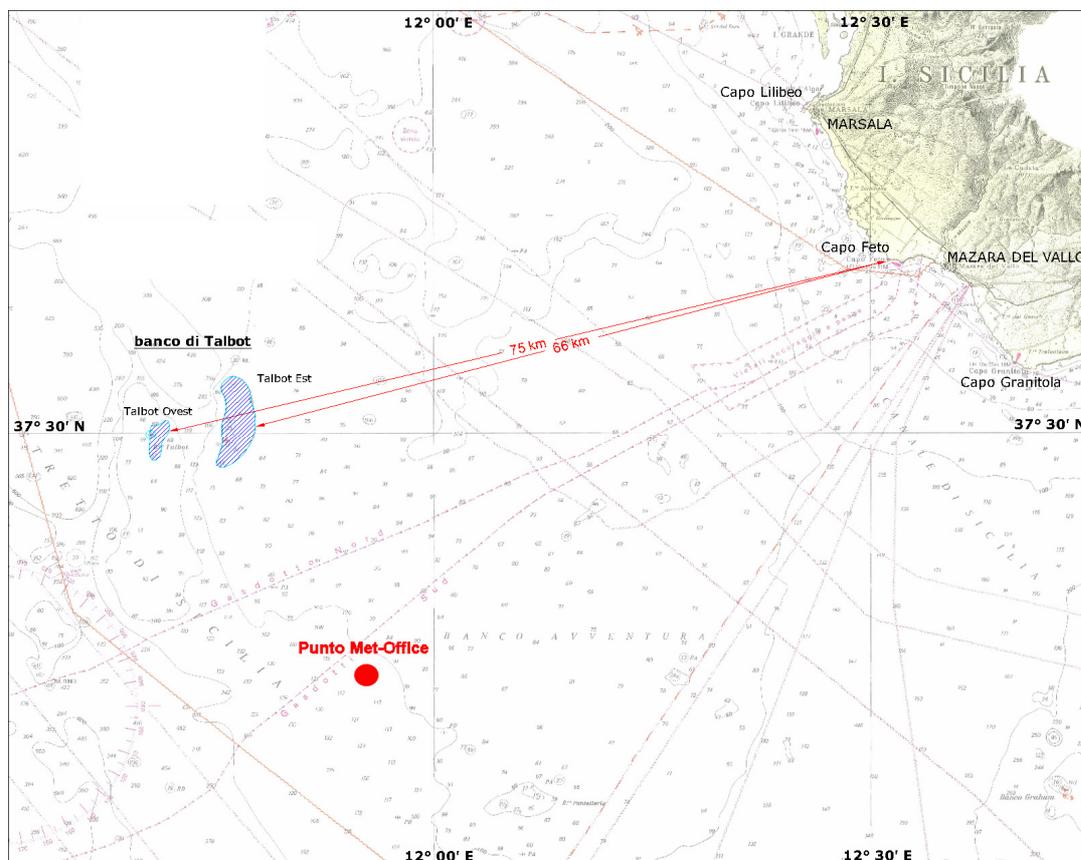


Fig. 3.2 Localizzazione del punto di estrazione dei dati del modello Met-Office.



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 il Banco esercita sulla propagazione del moto ondoso.

L'effetto della presenza del Banco, 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. Inoltre, l'eventuale correzione dei valori di altezza d'onda di riferimento in funzione della distanza che intercorre tra il Banco in esame 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 trionari 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] Dir [°N]	<0.5	0.5 1.0	1.0 1.5	1.5 2.0	2.0 2.5	2.5 3.0	3.0 3.5	3.5 4.0	4.0 4.5	4.5 5.0	5.0 5.5	5.5 6.0	6.0 6.5	>6.5	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

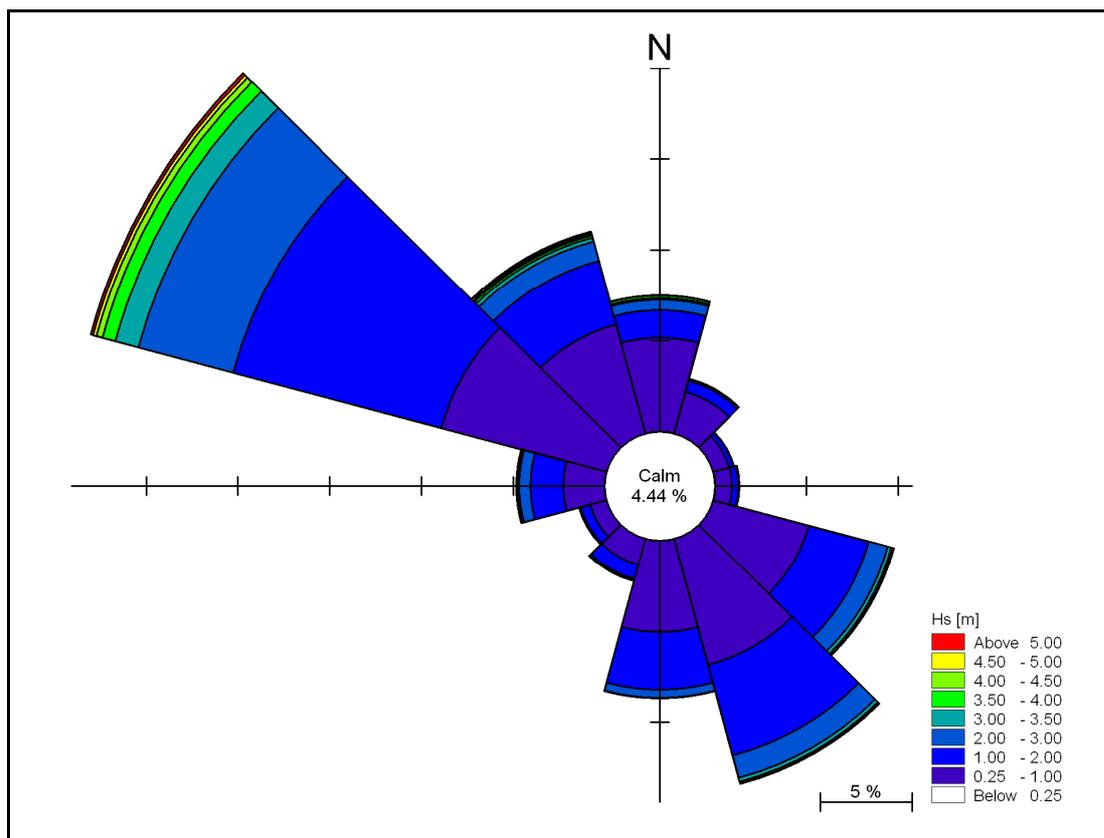


Fig. 3.3 Rosa del clima ondoso di riferimento relativo alla cella del modello Met-Office più prossima al Banco Talbot. Per una più immediata comprensione dell'immagine, è stata impostata una soglia minima di altezza d'onda rappresentata pari a 0.25m (calm conditions).

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 del Banco, 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.

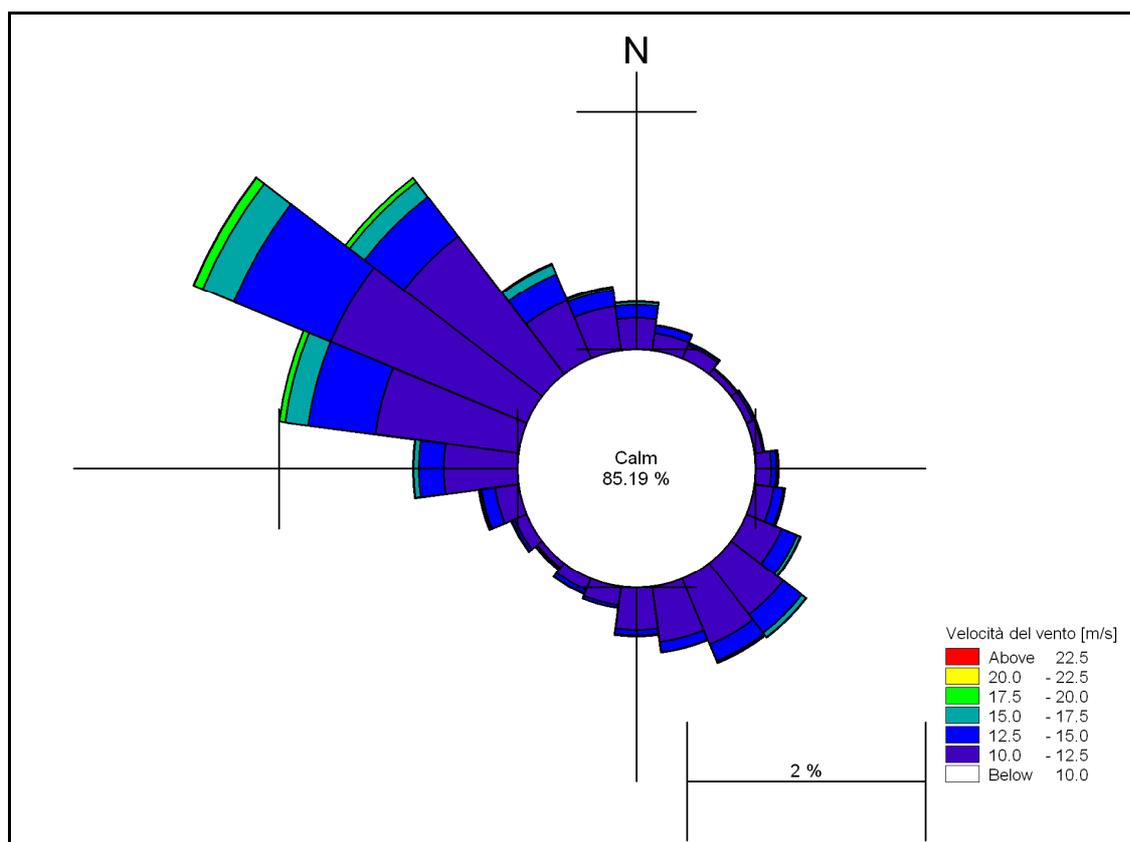


Fig. 3.4 Rosa del clima anemometrico di riferimento relativo alla cella del modello Met-Office più prossima al Banco Talbot. Per una più immediata comprensione dell'immagine, è stata impostata una soglia minima di velocità del vento rappresentata pari a 10 m/s (calm conditions).

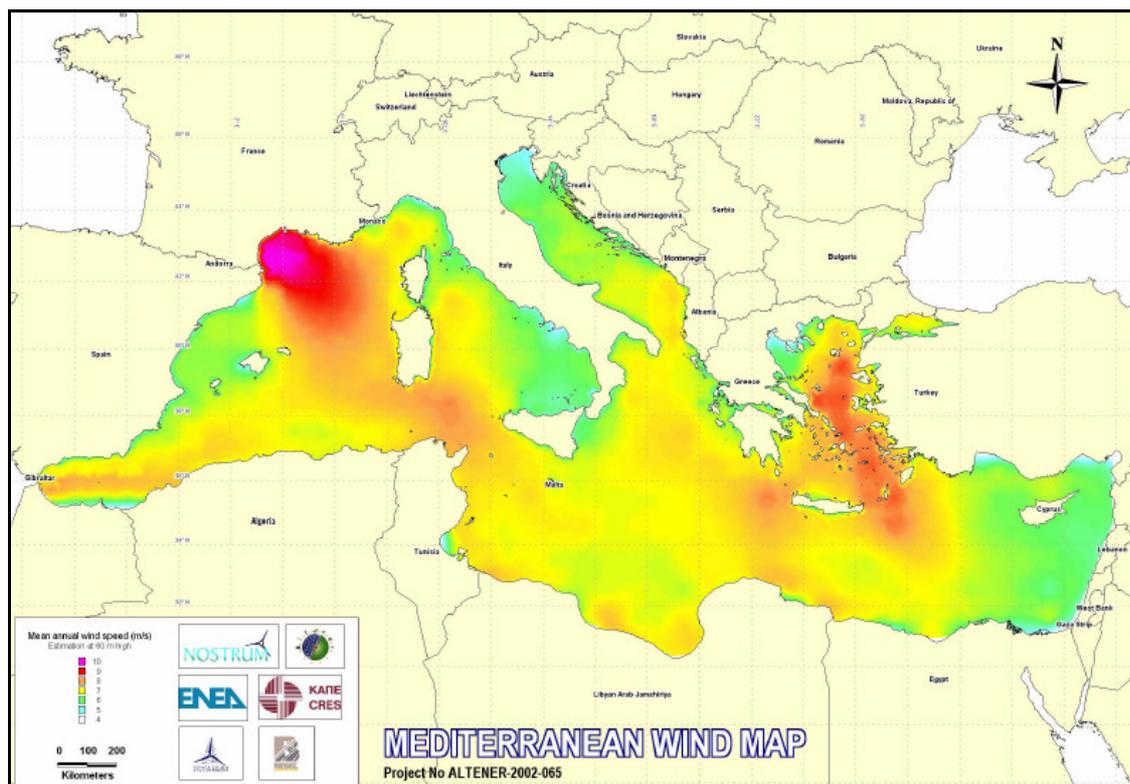


Fig. 3.5 *Rappresentazione della distribuzione della velocità del vento media annua nel Mar Mediterraneo.*

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>

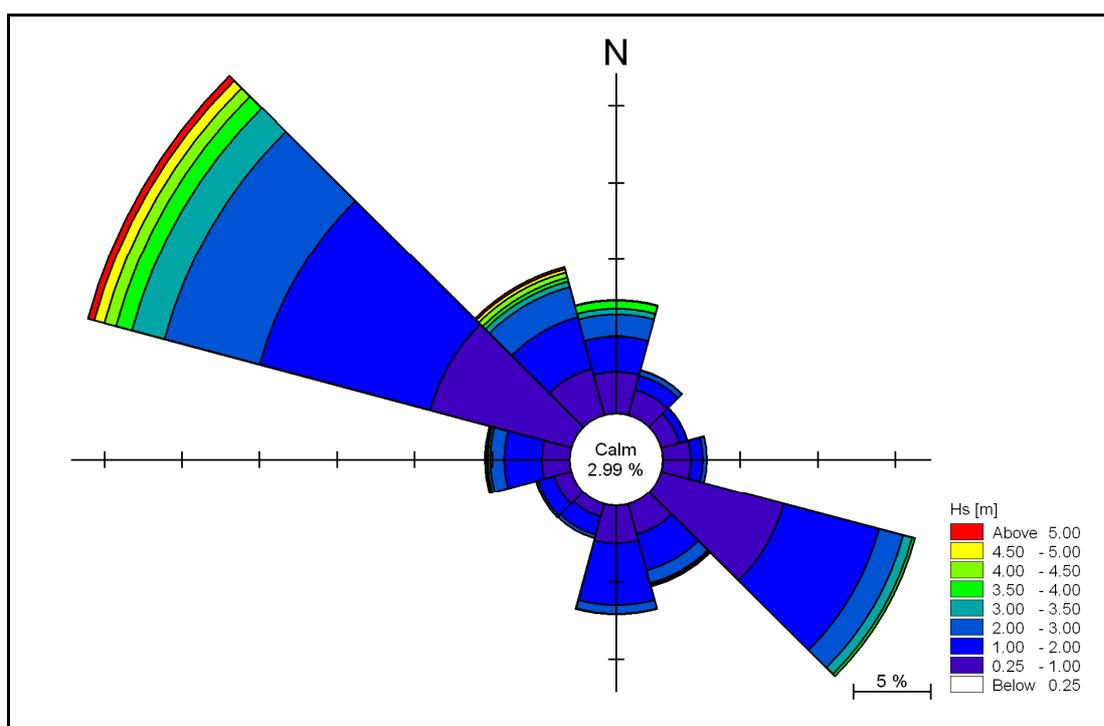


Fig. 3.6 Rosa del clima ondoso relativa ai mesi di gennaio.

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>	490	1222	978	611	433	261	214	136	61	35	21	1	0	0	4463

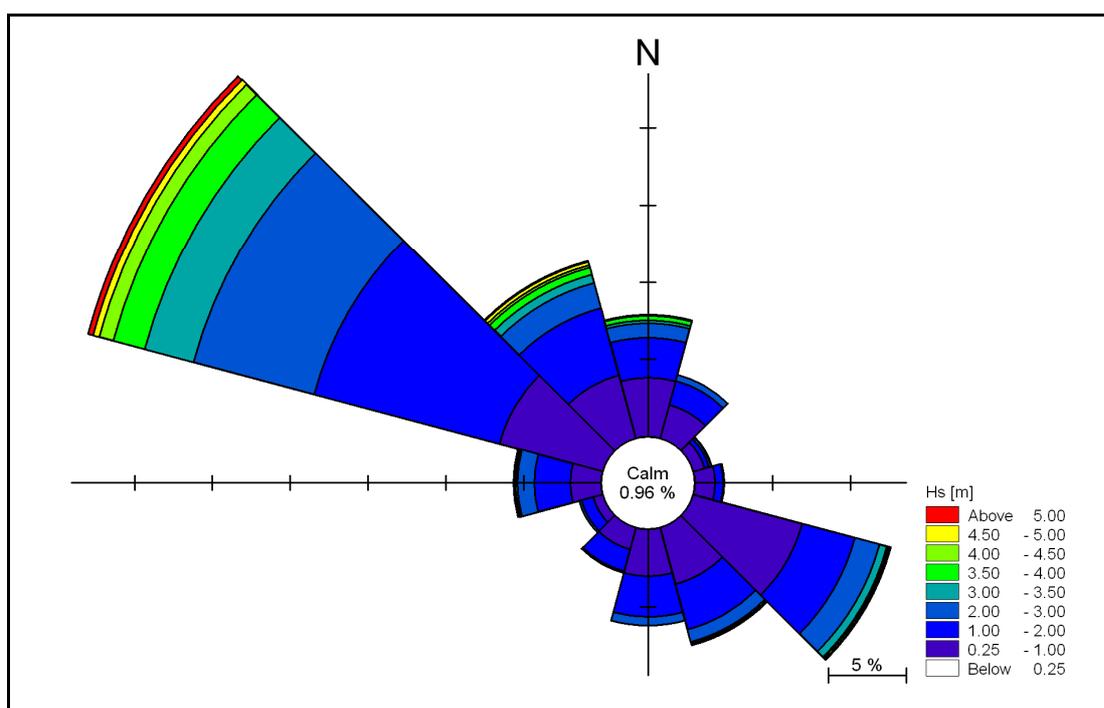


Fig. 3.7 *Rosa del clima ondoso relativa ai mesi di febbraio.*



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>

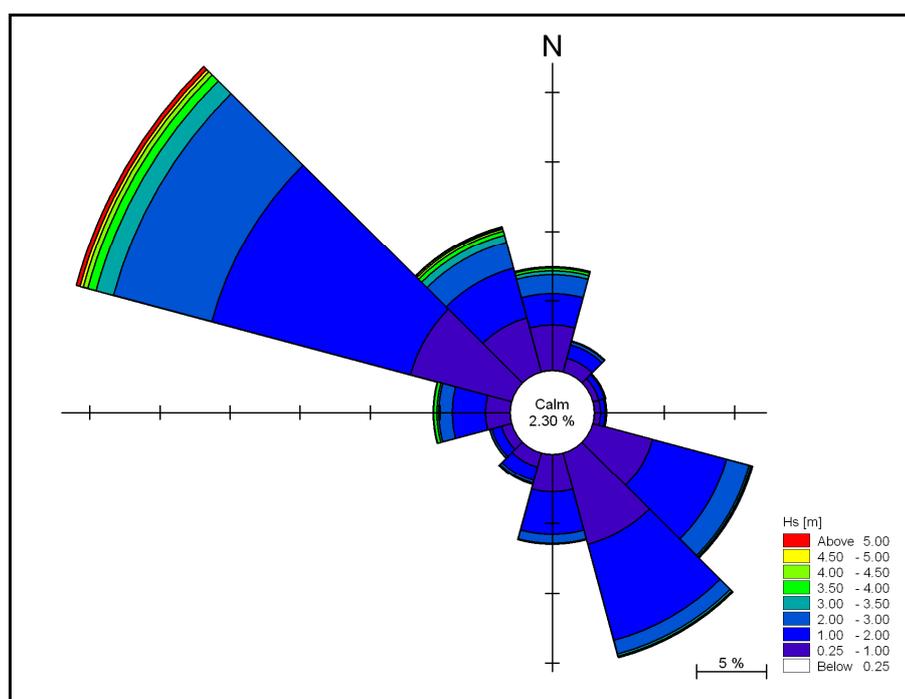


Fig. 3.8 *Rosa del clima ondoso relativa ai mesi di marzo.*

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>

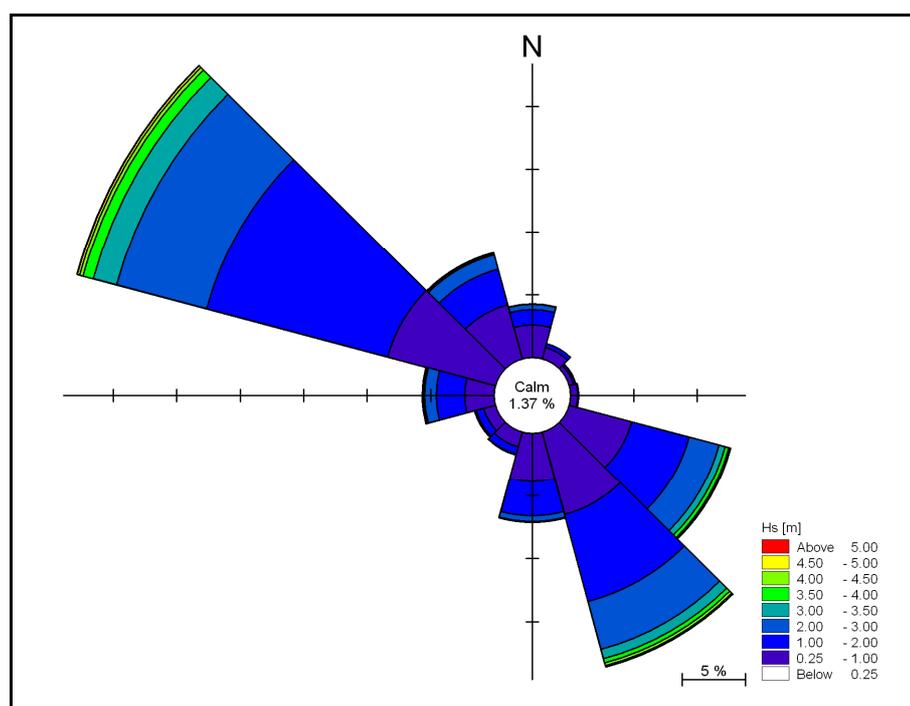


Fig. 3.9 *Rosa del clima ondoso relativa ai mesi di aprile.*

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>

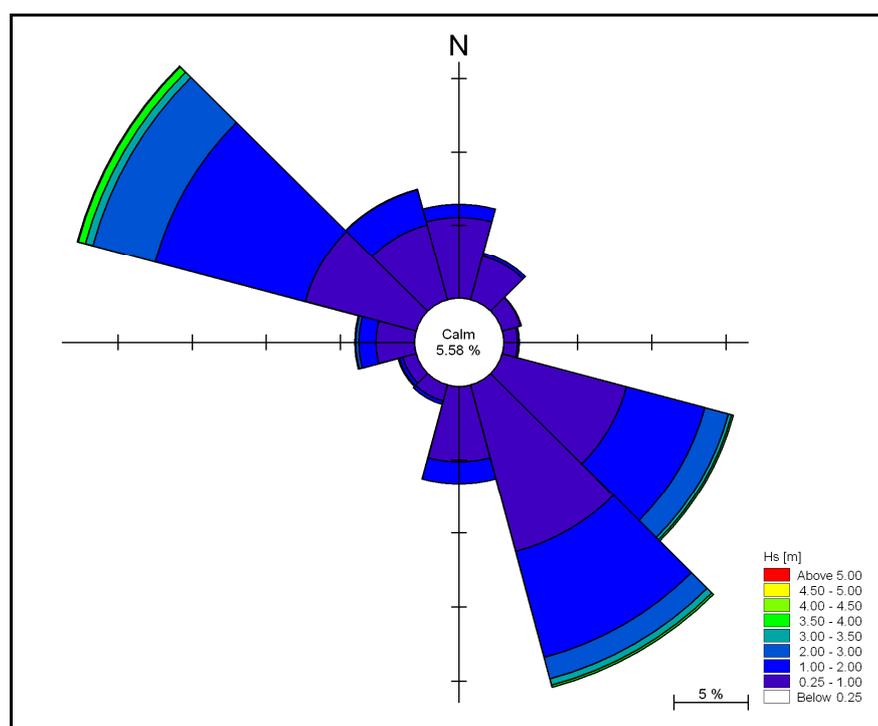


Fig. 3.10 *Rosa del clima ondoso relativa ai mesi di maggio.*



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
<b>TOT</b>	<b>1491</b>	<b>1791</b>	<b>764</b>	<b>317</b>	<b>107</b>	<b>47</b>	<b>19</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4545</b>

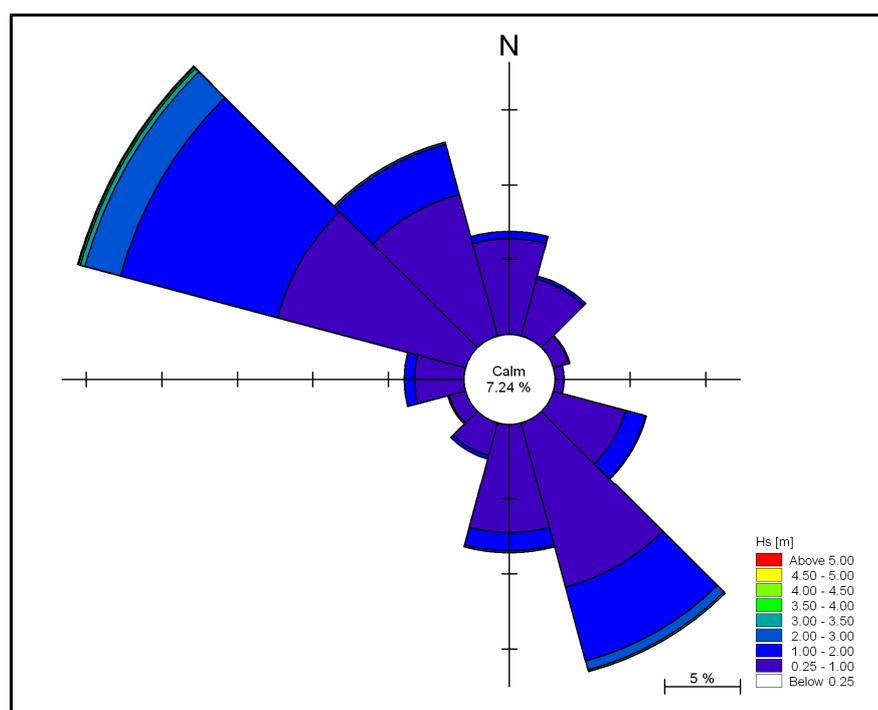


Fig. 3.11 *Rosa del clima ondoso relativa ai mesi di giugno.*



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	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
<b>TOT</b>	<b>1803</b>	<b>1978</b>	<b>732</b>	<b>321</b>	<b>152</b>	<b>53</b>	<b>30</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5076</b>

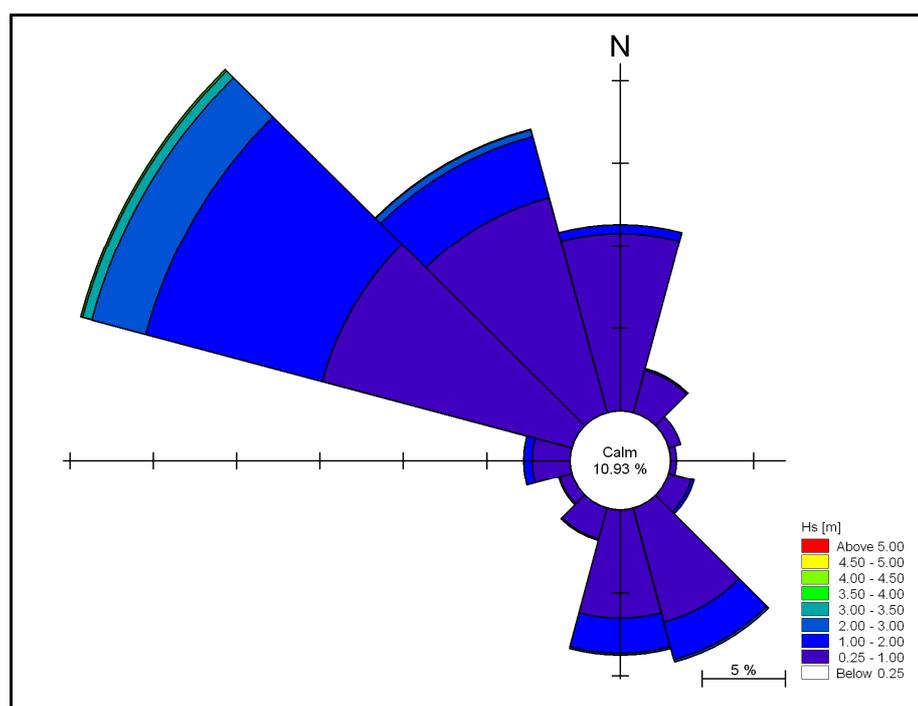


Fig. 3.12 *Rosa del clima ondoso relativa ai mesi di luglio.*

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

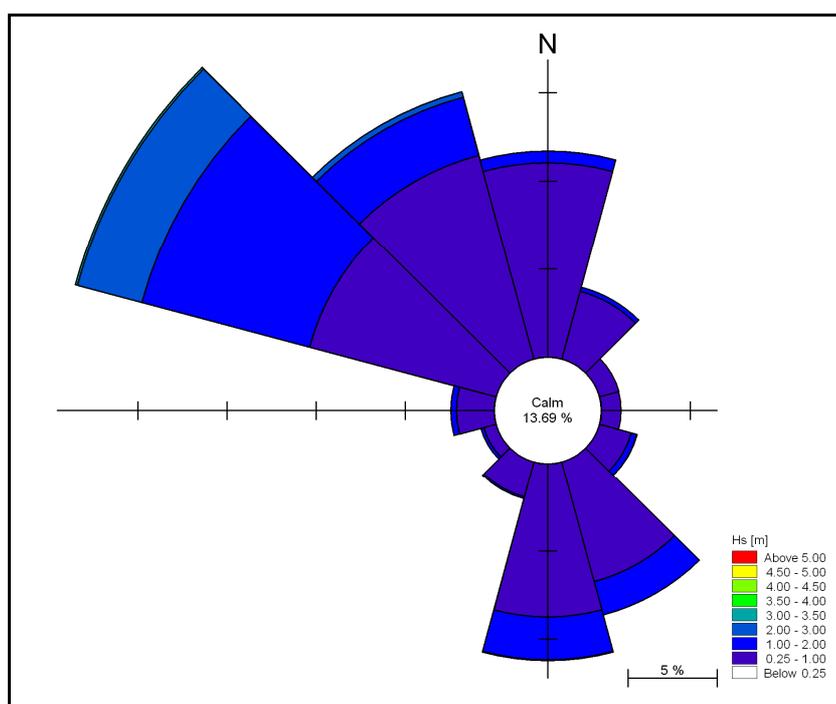


Fig. 3.13 *Rosa del clima ondoso relativa ai mesi di agosto.*



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
TOT	1051	2059	1021	479	263	105	30	13	5	0	0	0	0	0	5026

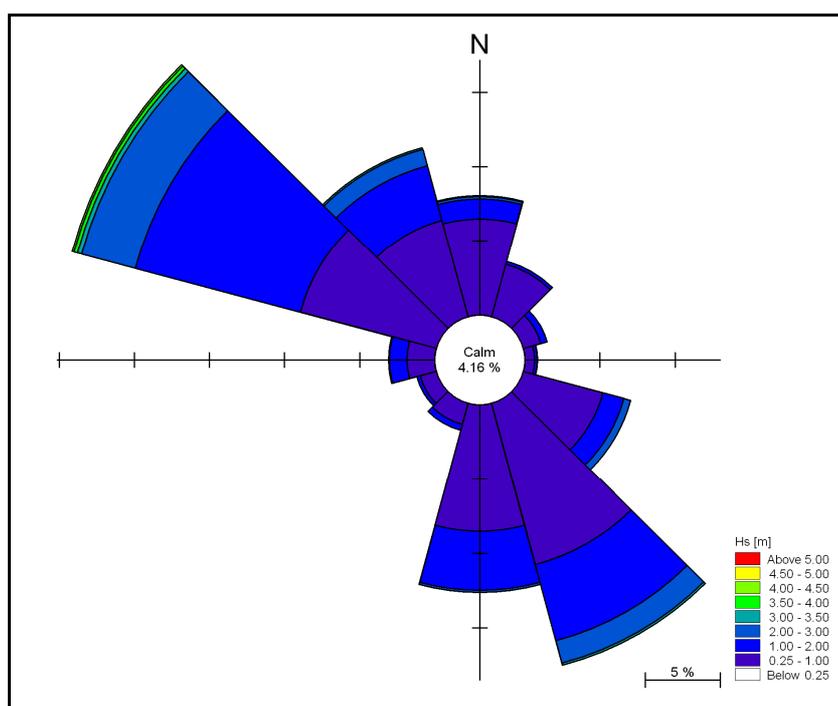


Fig. 3.14 Rosa del clima ondoso relativa ai mesi di settembre.



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>

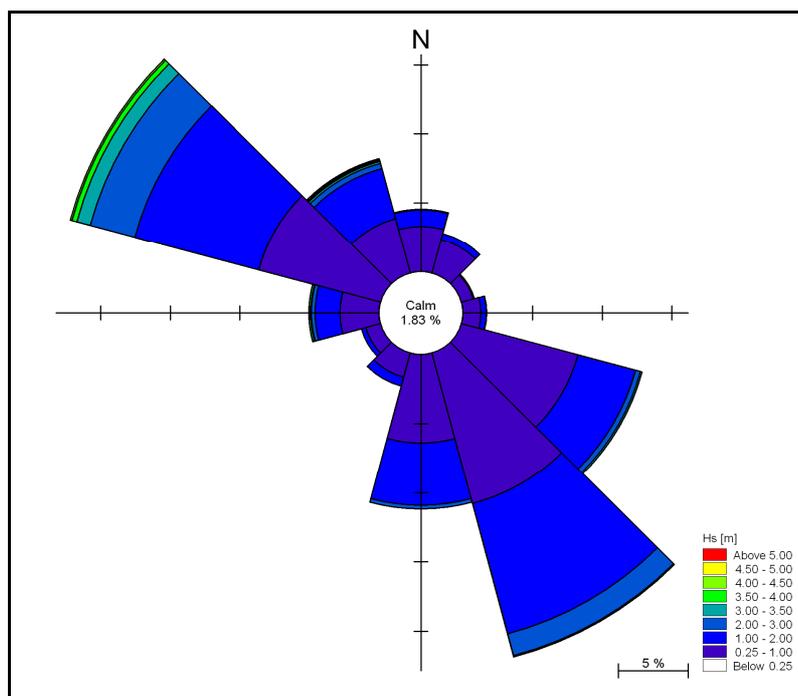


Fig. 3.15 Rosa del clima ondoso relativa ai mesi di ottobre.

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>

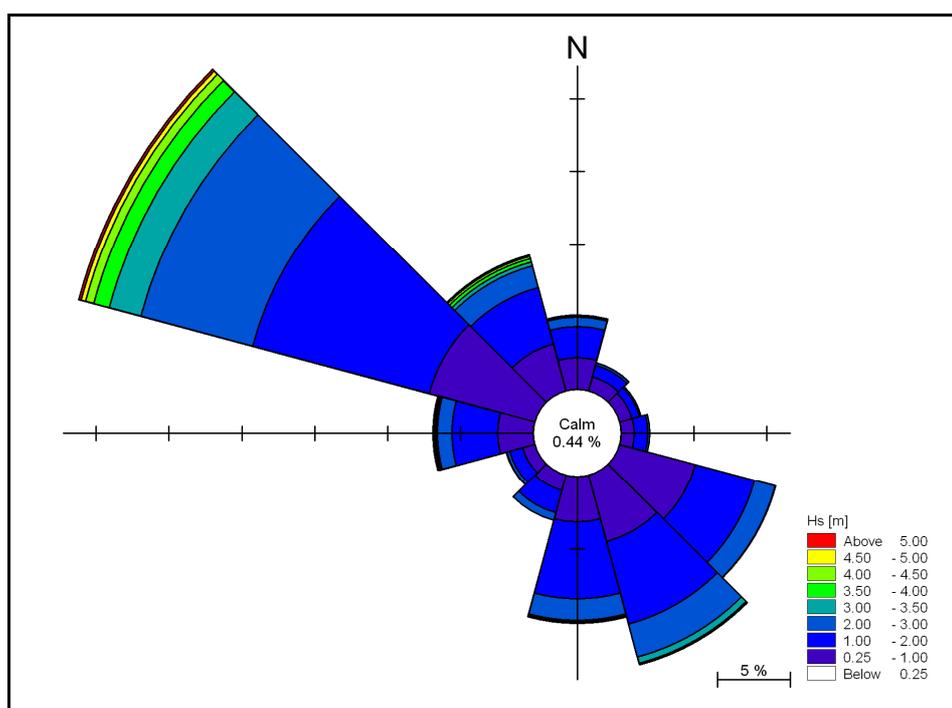


Fig. 3.16 *Rosa del clima ondoso relativa ai mesi di novembre.*

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>

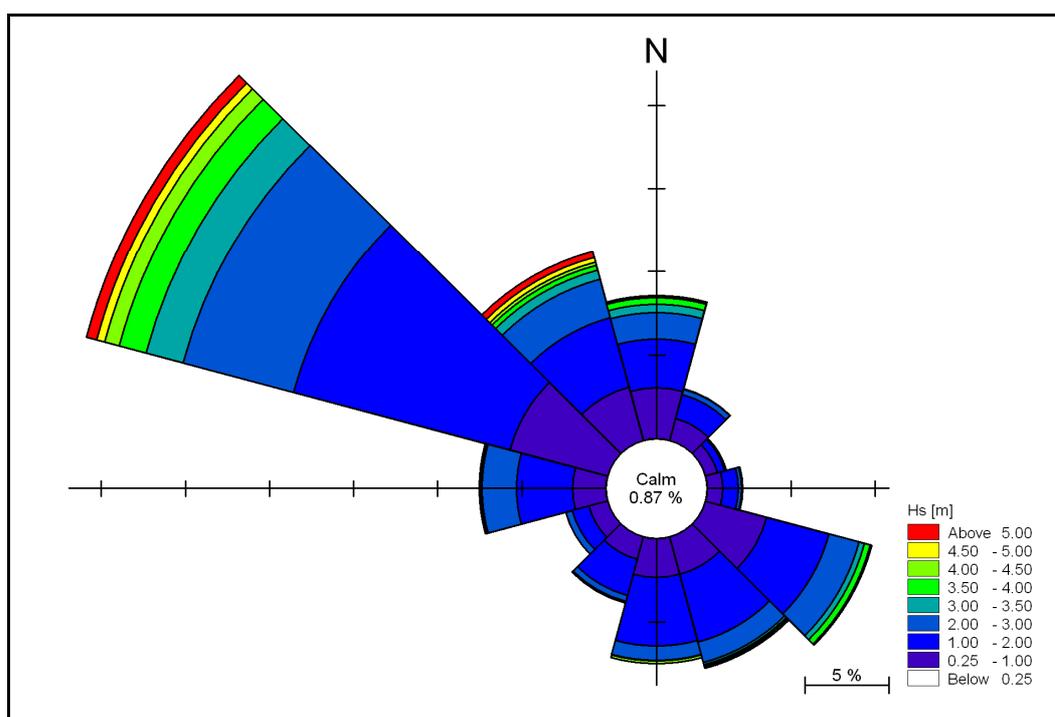


Fig. 3.17 Rosa del clima ondoso relativa ai mesi di dicembre.



### 3.3 **Caratterizzazione degli eventi estremi**

L'analisi degli eventi estremi è finalizzata alla stima dell'altezza d'onda significativa per diversi settori di provenienza, caratterizzata da tempi di ritorno indicativamente uguali o superiori ad un anno, in corrispondenza del Banco Talbot.

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 del Banco 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 triorari del database Met-Office in modo da raggrupparli secondo "eventi di mareggiata" che possano essere considerati statisticamente indipendenti.

A partire dai dati triorari 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.

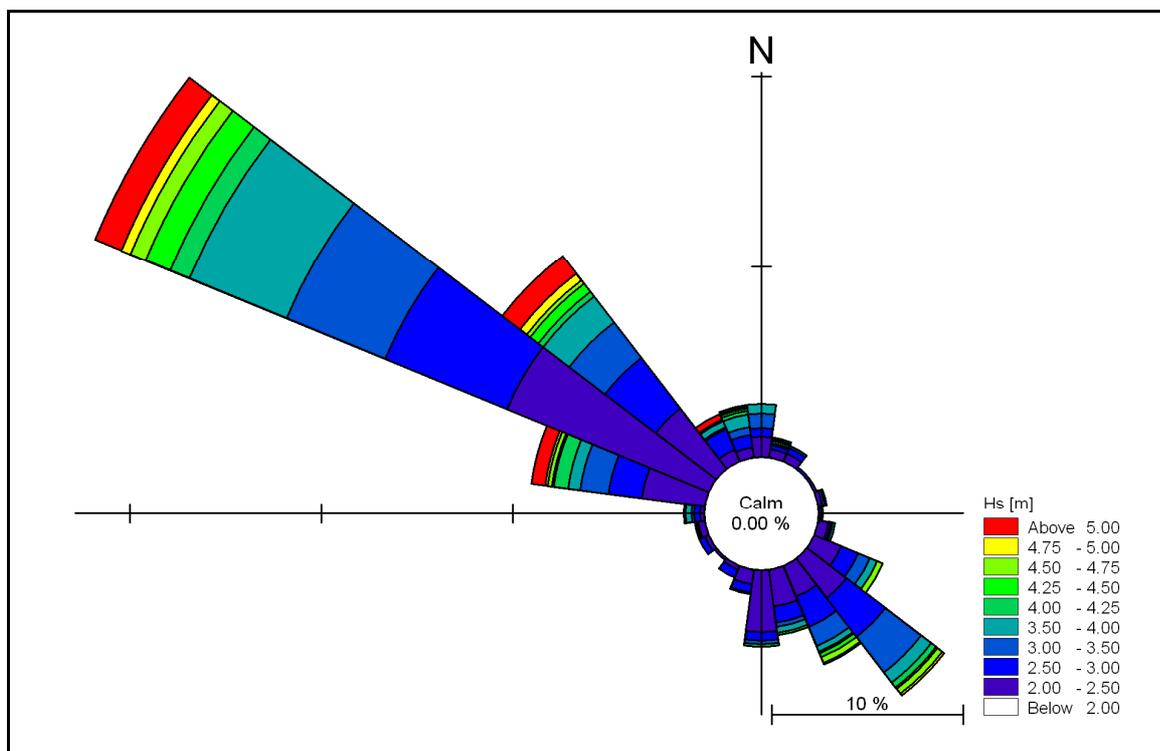


Fig. 3.18 Rappresentazione, in forma di classica rosa del clima ondoso, degli eventi di mareggiata indipendenti ottenuti dal processamento dei dati Met-Office.



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



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

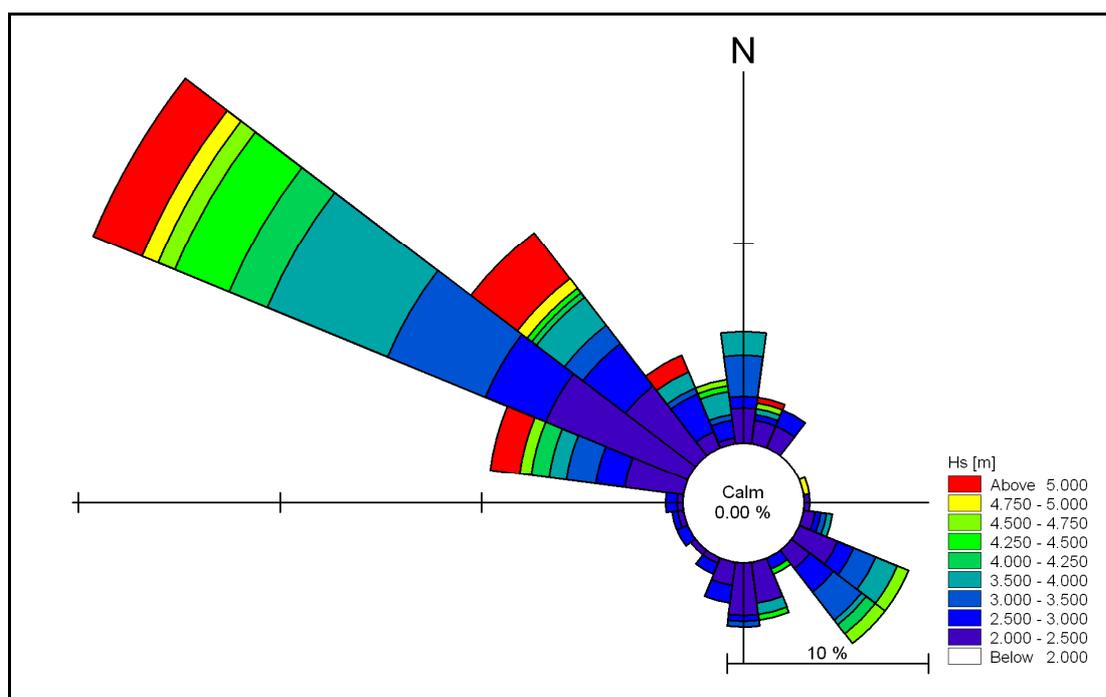


Fig. 3.19 Rosa del clima ondoso riferita alle mareggiate invernali.

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

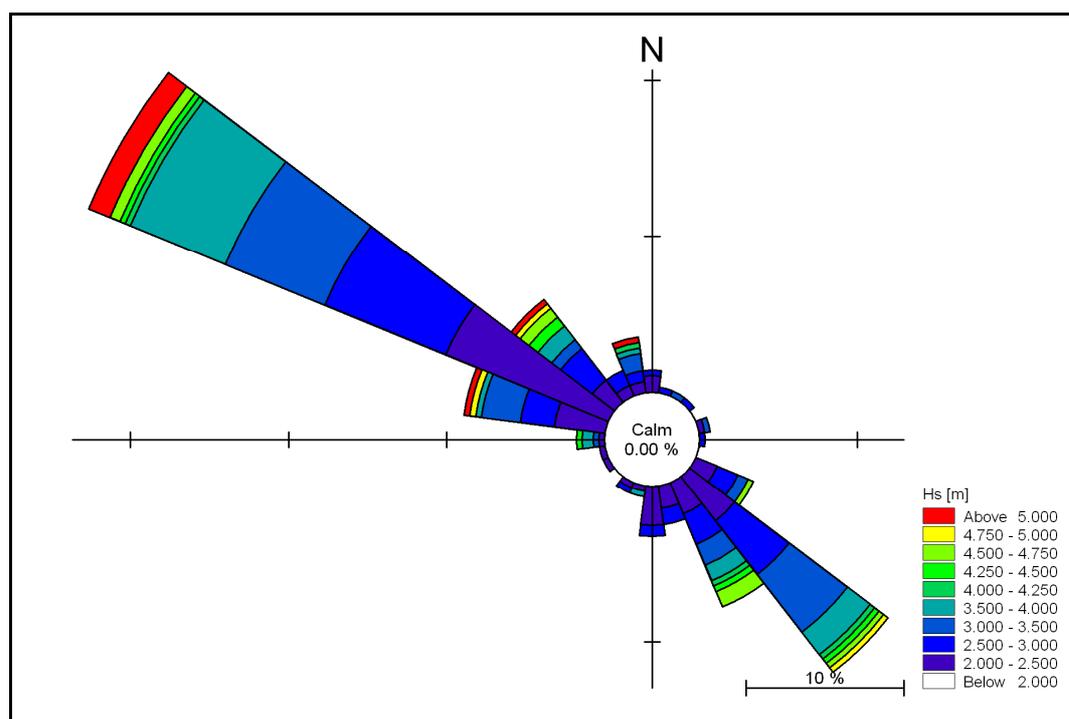


Fig. 3.20 Rosa del clima ondoso riferita alle mareggiate primaverili.

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>

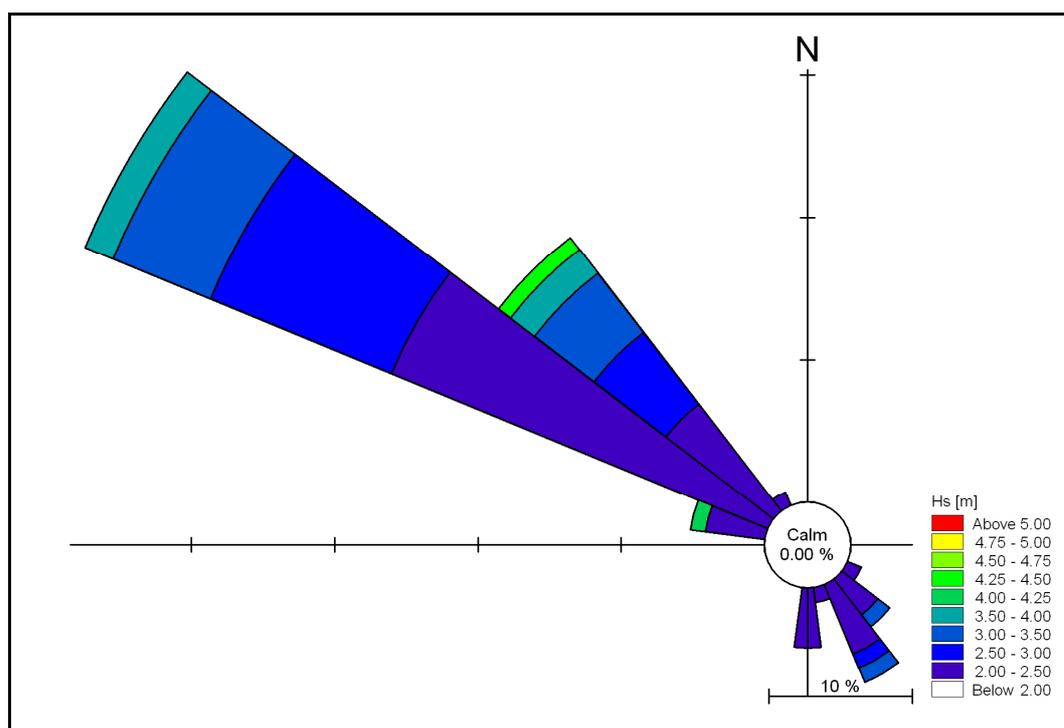


Fig. 3.21 Rosa del clima ondoso riferita alle mareggiate estive.

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>

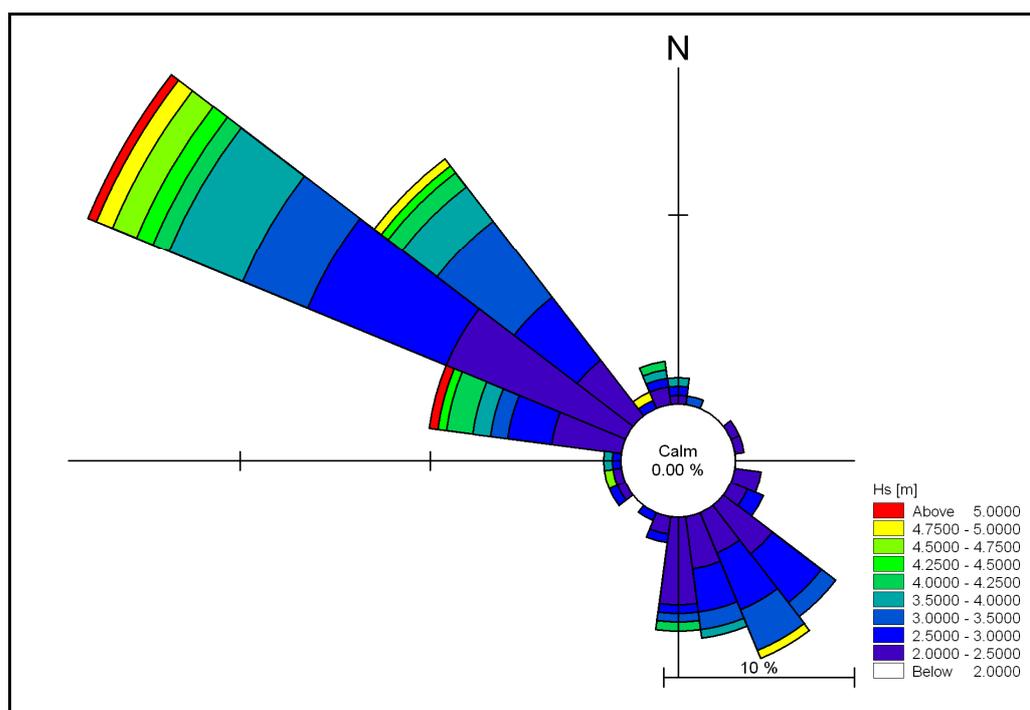


Fig. 3.22 Rosa del clima ondoso riferita alle mareggiate autunnali.

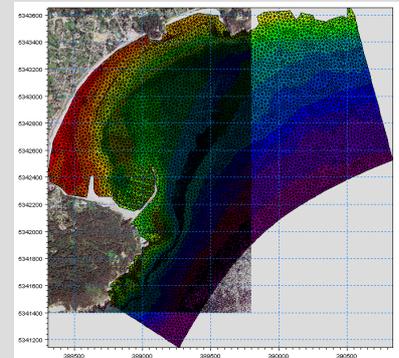
### 3.3.1 Il modello di propagazione del moto ondoso

Per studiare in dettaglio la trasformazione che l'onda subisce nella sua propagazione verso ed in corrispondenza del Banco Talbot, 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 (il Banco), 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 del Banco, anche il tratto di mare che divide il Banco stesso con il punto di estrazione Met-Office. La Fig. 3.23 illustra l'estensione del dominio di calcolo utilizzato.

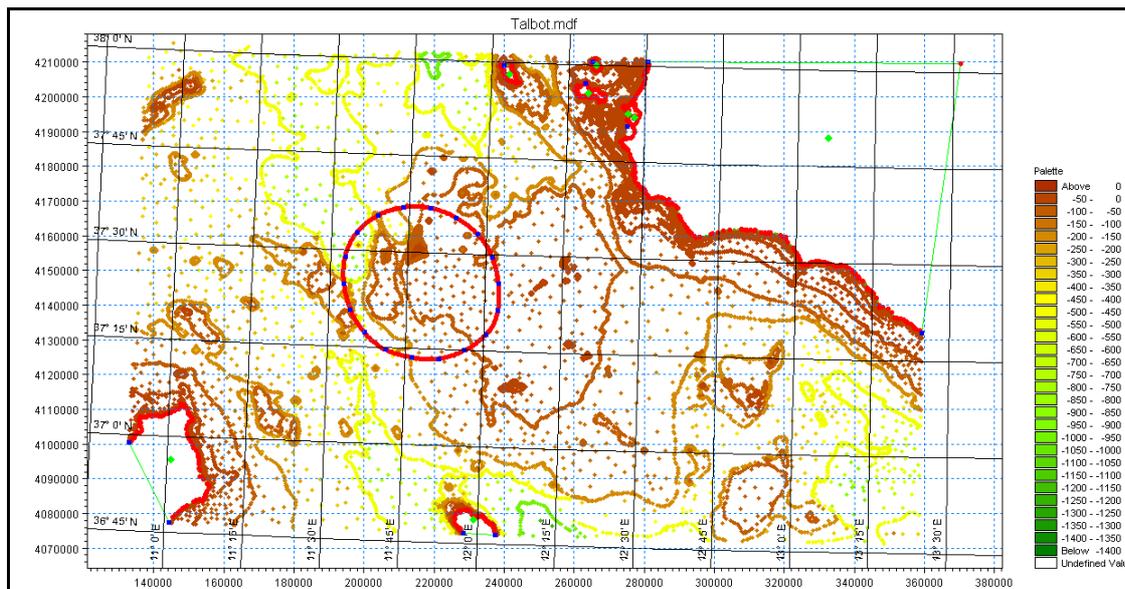


Fig. 3.23 Rappresentazione dei punti quotati provenienti dalle carte nautiche digitalizzate e dei punti provenienti dal rilievo di dettaglio in corrispondenza del Banco. L'ovale rosso rappresenta il dominio di calcolo del modello MIKE 21 SW per il Banco Talbot.

La scelta della risoluzione della *mesh* di calcolo ha potuto beneficiare 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 immagini da Fig. 3.24 a Fig. 3.27 illustrano, a differente livello di dettaglio, la batimetria (*mesh*) di calcolo utilizzata per il modello di trasformazione del moto ondoso per il Banco di Talbot, Alto Est ed Alto Ovest. Come si può notare, in entrambi i casi 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.

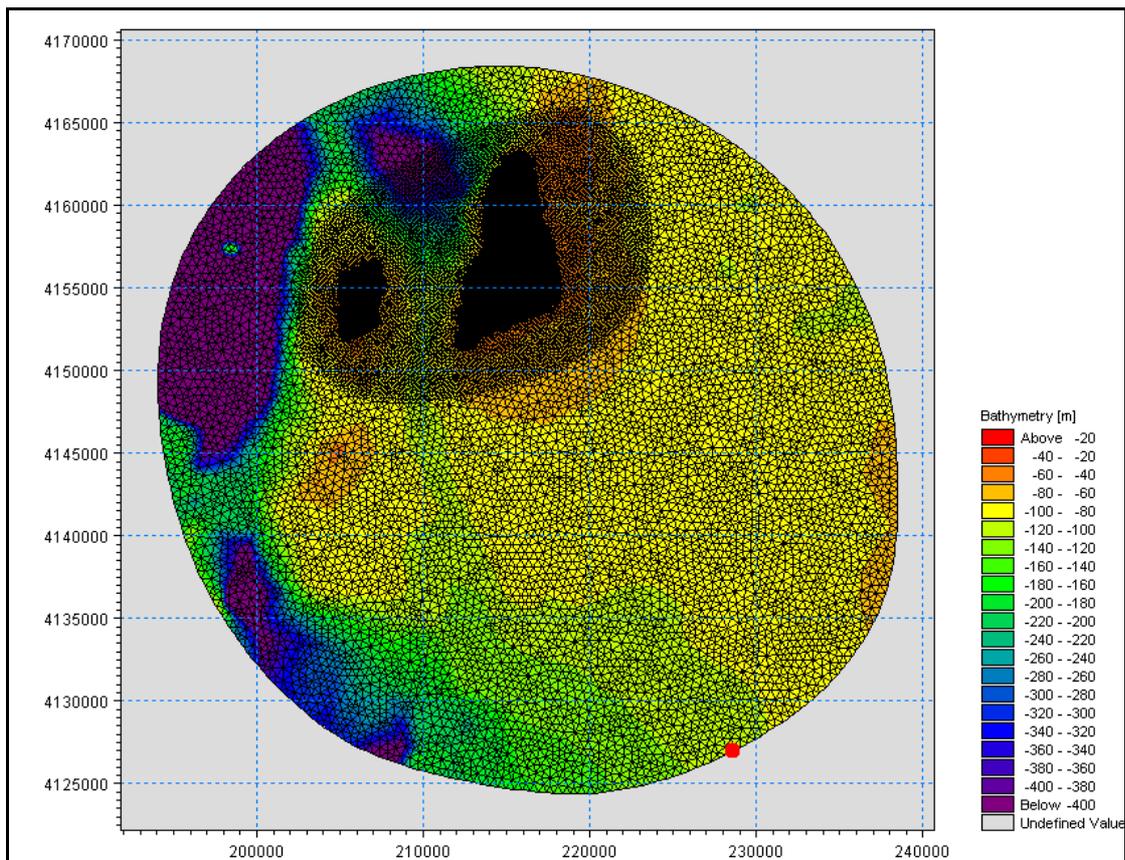


Fig. 3.24 *Batimetria di calcolo del modello di trasformazione d'onda MIKE 21 SW per il Banco Talbot. Il cerchio rosso indica il punto di estrazione dei dati dal modello Met-Office.*

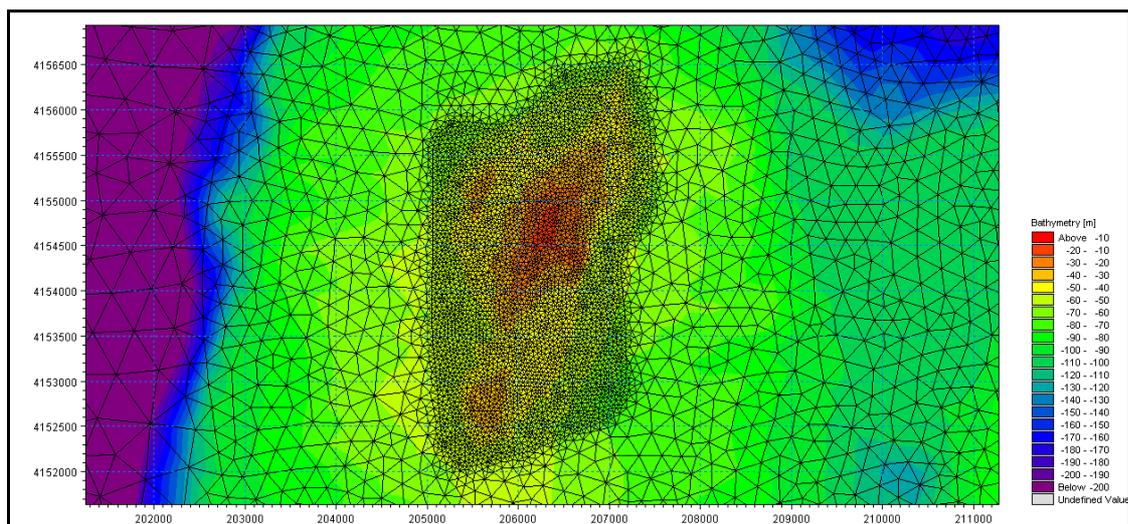


Fig. 3.25 *Batimetria di calcolo del modello di trasformazione d'onda MIKE 21 SW per il Banco Talbot. Dettaglio dell'area dell'alto strutturale denominato "Banco Talbot Ovest".*

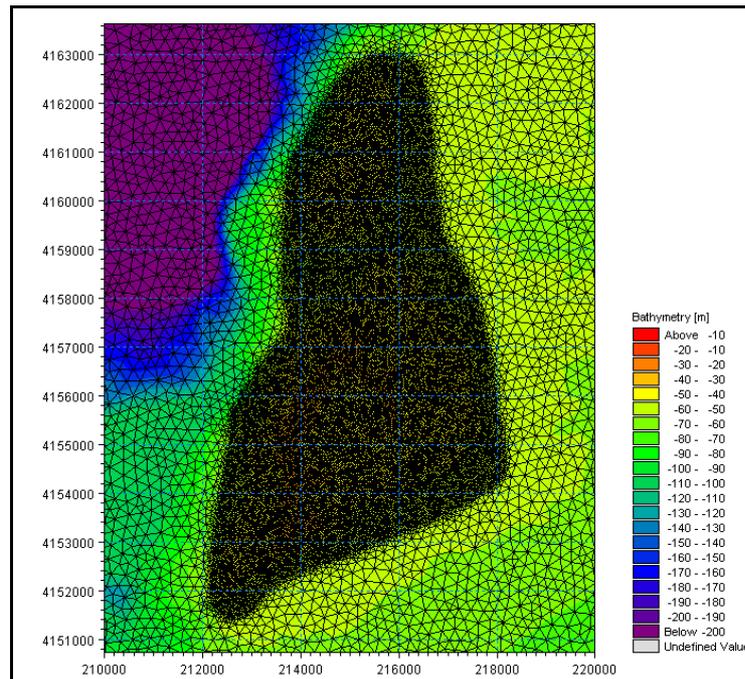


Fig. 3.26 *Batimetria di calcolo del modello di trasformazione d'onda MIKE 21 SW per il Banco Talbot. Dettaglio dell'area dell'alto strutturale denominato "Banco Talbot Est".*

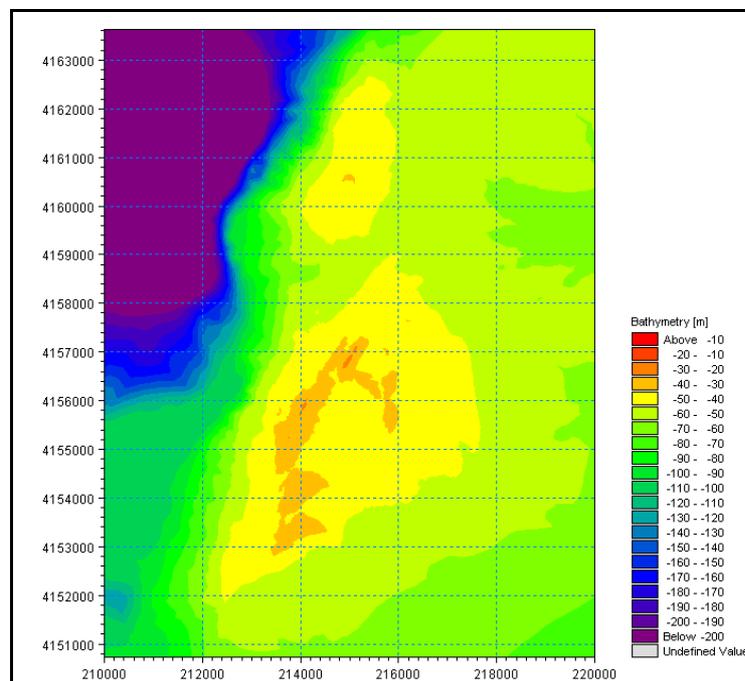


Fig. 3.27 *Batimetria di calcolo del modello di trasformazione d'onda MIKE 21 SW per il Banco Talbot. Dettaglio dell'area dell'alto strutturale denominato "Banco Talbot Est" senza la sovrapposizione della mesh di calcolo.*



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 è stato suddiviso in un certo numero di tratti (nell'esempio di

Fig. 3.28, 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. 3.28). 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. 3.29 illustra un esempio di calcolo del *fetch* efficace per uno dei punti del contorno del dominio di calcolo per il modello del Banco Talbot. L'esempio si riferisce al calcolo del *fetch* efficace per la direzione Sud Ovest.

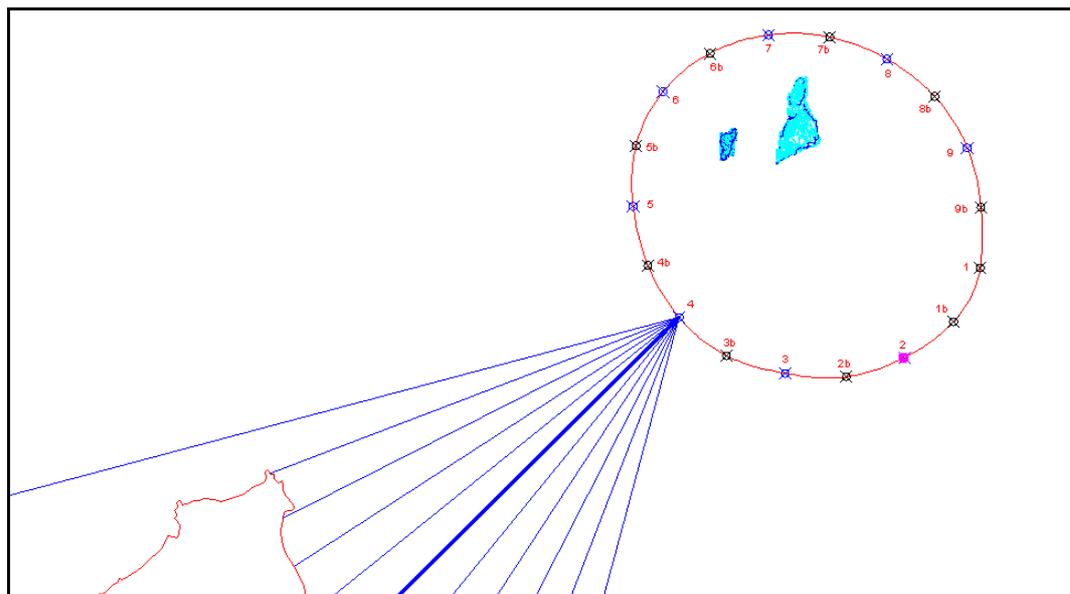


Fig. 3.28 Esempio di suddivisione del contorno del dominio di calcolo relativo alla modellazione del Banco Talbot.

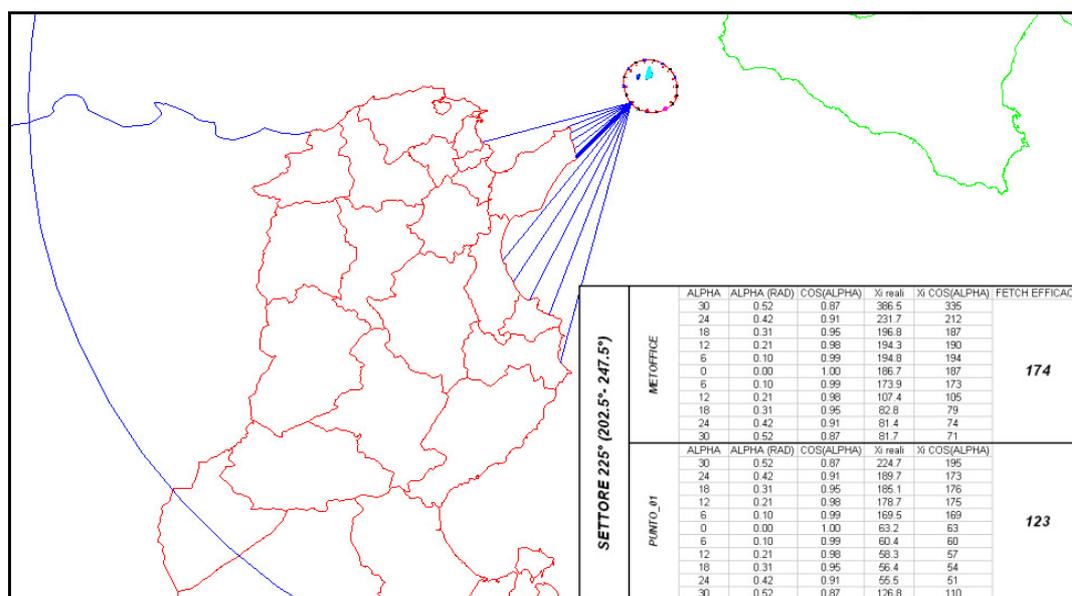


Fig. 3.29 Esempio di calcolo del *fetch* efficace per uno dei tratti in cui è stato suddiviso il contorno del dominio di calcolo del modello MIKE 21 SW. L'esempio si riferisce al calcolo del *fetch* efficace per la direzione Sud Ovest.

### 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 del Banco, 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 del Banco, 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 del Banco stesso (dei due Alti strutturali che lo compongono), sulla propagazione del moto ondoso. Le immagini in Fig. 3.30 ed in Fig. 3.31 illustrano, a titolo di esempio, la distribuzione dell'altezza d'onda significativa in tutto il dominio di calcolo relativamente al modello del Banco Talbot per un'onda proveniente rispettivamente dal primo e dal quarto quadrante, mentre le immagini tra Fig. 3.32 e Fig. 3.39 illustrano la distribuzione dell'altezza d'onda significativa per il Banco Talbot – Alto Est ed Alto Ovest, negli scenari che danno luogo ai massimi valori di altezza d'onda in funzione delle diverse direzioni di provenienza dell'evento.

L'effetto della configurazione geometrica del fondale induce (es. 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 25% in corrispondenza dell'Alto Ovest. E' il caso, ad esempio, della propagazione di un'onda di altezza elevata proveniente dal quarto quadrante, la cui distribuzione è riportata in Fig. 3.39. 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.

L'analisi mostra, inoltre, come l'effetto del Banco risulti tanto più significativo quanto più superficiale è il fondale: nel caso dell'Alto Est, infatti, caratterizzato da profondità comprese tra i 26 ed i 50m, l'onda subisce modifiche in termini di altezza e/o di direzione significativamente inferiori rispetto a quelle che si riscontrano nel caso dell'Alto Ovest, caratterizzato da profondità variabili tra i 12 ed i 50m (ad es. Fig. 3.32 e Fig. 3.33).

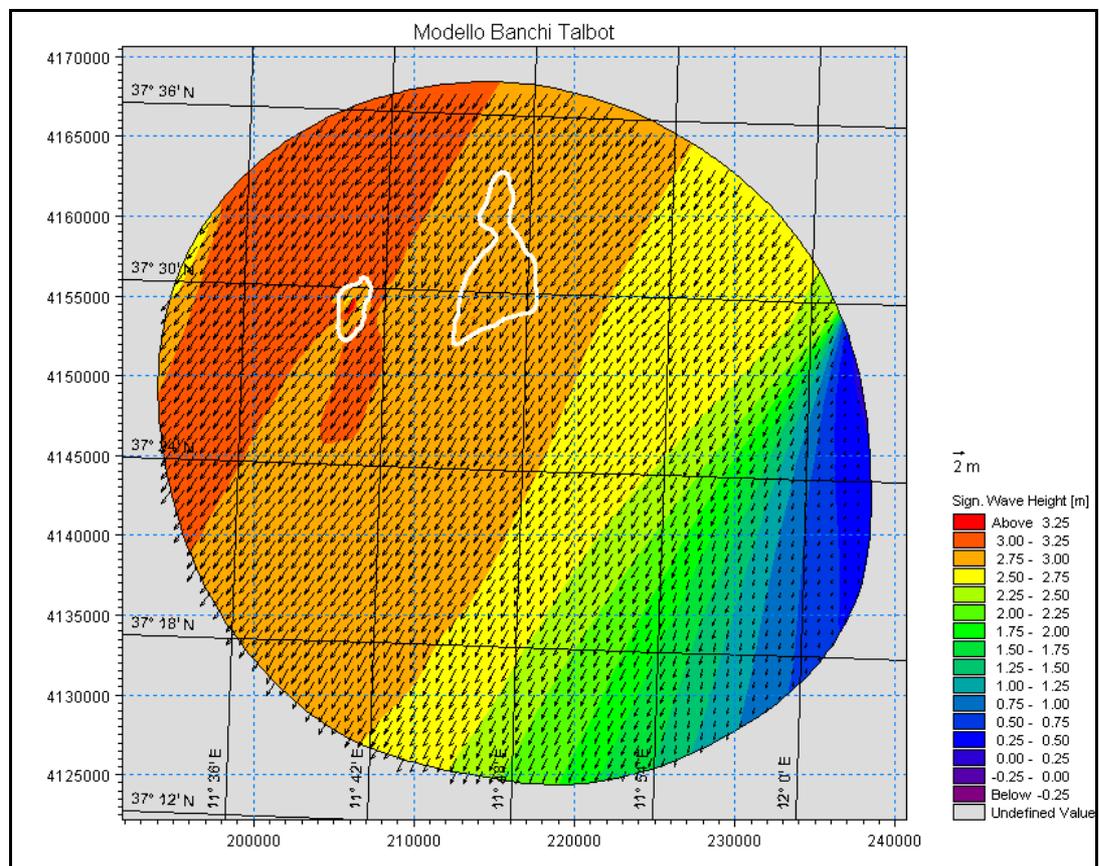


Fig. 3.30 Esempio di rappresentazione della distribuzione dell'altezza d'onda e della direzione per il modello del Banco Talbot - onda proveniente dal primo quadrante.

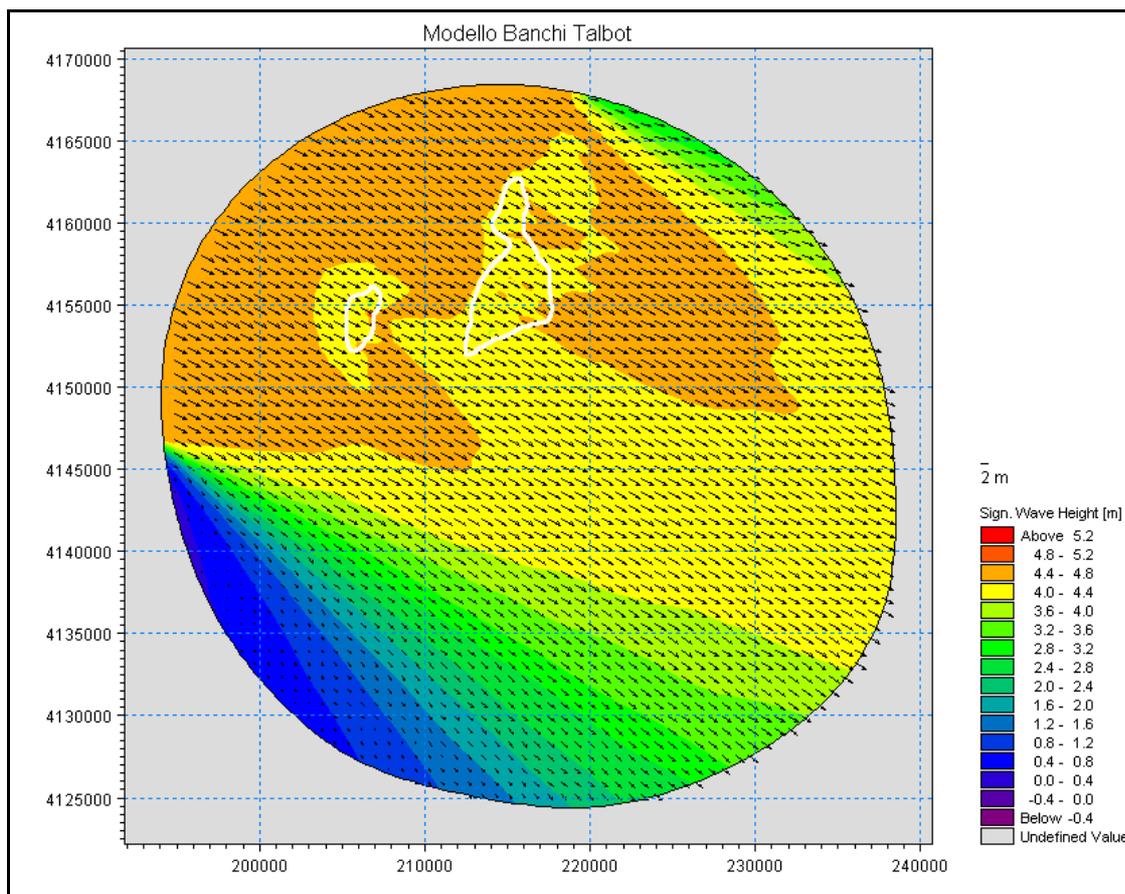


Fig. 3.31 Esempio di rappresentazione della distribuzione dell'altezza d'onda e della direzione per il modello dei Banco Talbot - onda proveniente dal quarto quadrante.

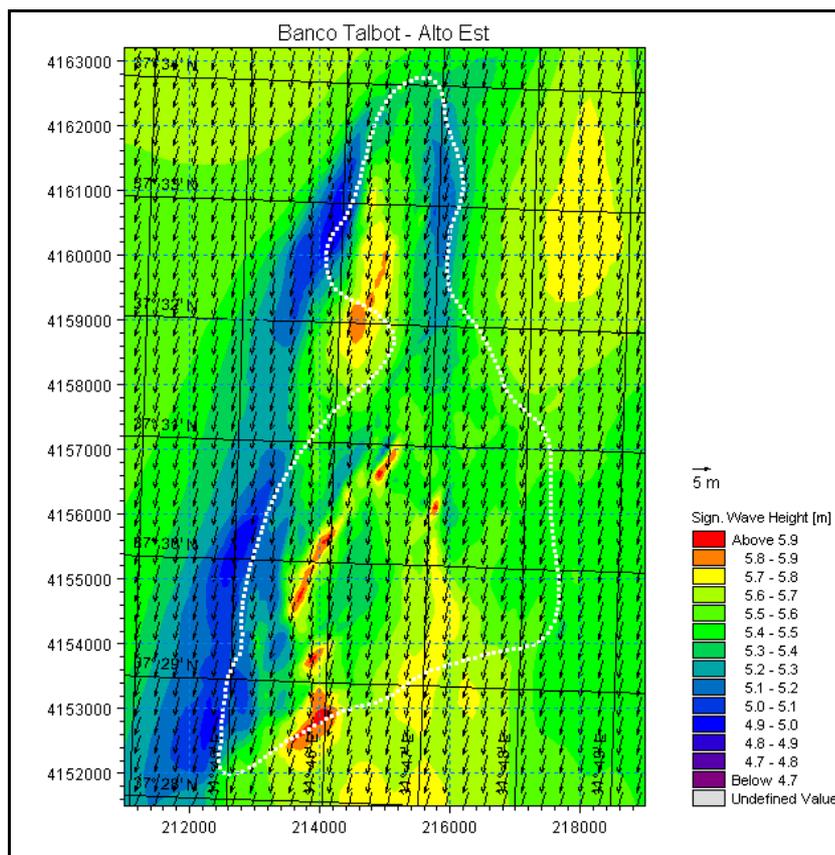


Fig. 3.32 Distribuzione dell'altezza d'onda per il Banco Talbot - Alto Est - onda proveniente dal I quadrante (valori di  $H_s$  al largo compresi tra 5.7 e 5.8m).

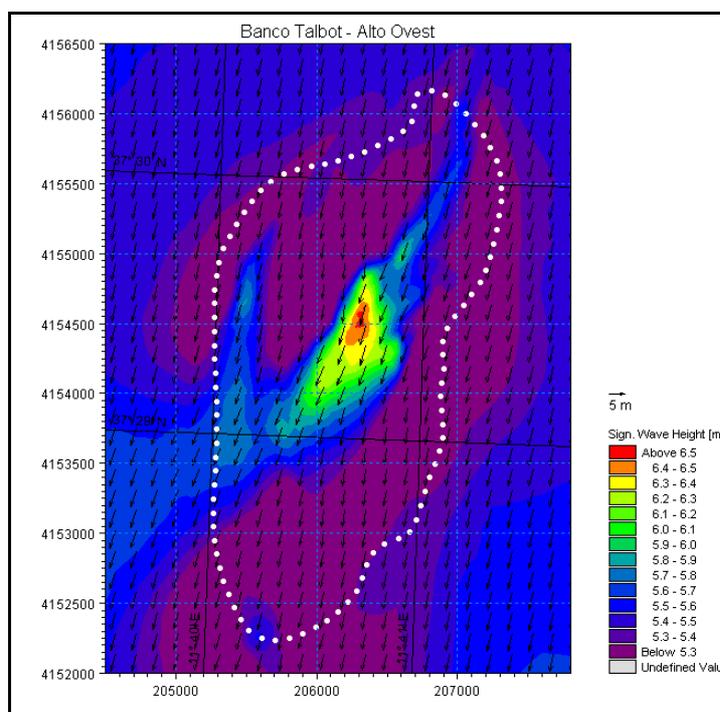


Fig. 3.33 Distribuzione dell'altezza d'onda per il Banco Talbot - Alto Ovest - onda proveniente dal I quadrante (valori di  $H_s$  al largo compresi tra 5.7 e 5.8m).

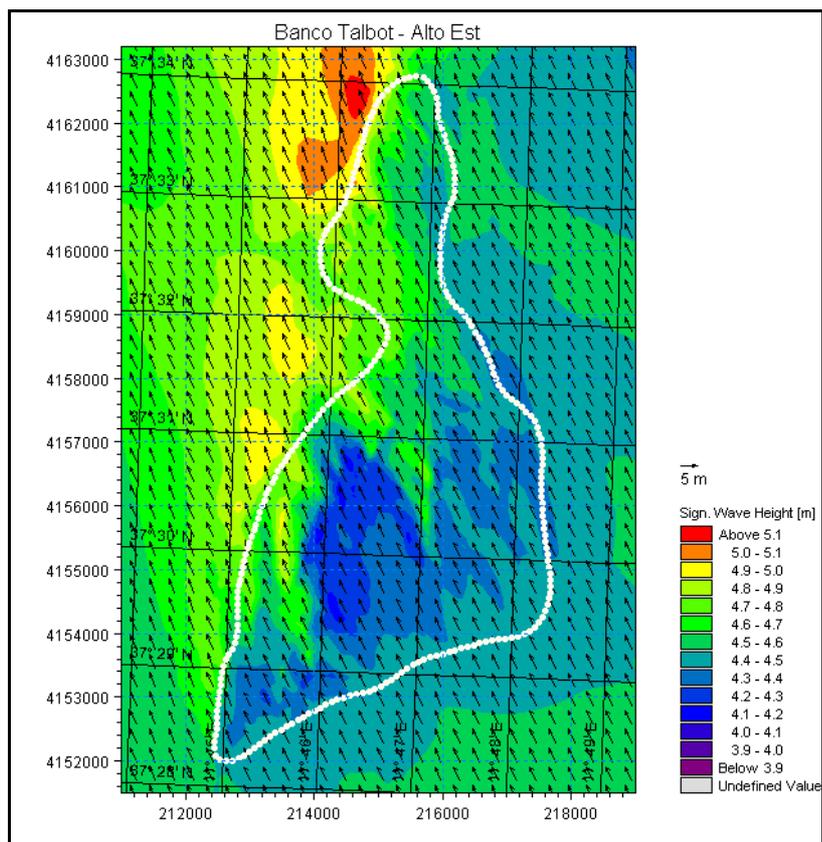


Fig. 3.34 Distribuzione dell'altezza d'onda per il Banco Talbot – Alto Est – onda proveniente dal II quadrante (valori di  $H_s$  al largo compresi tra 4.6 e 4.7m).

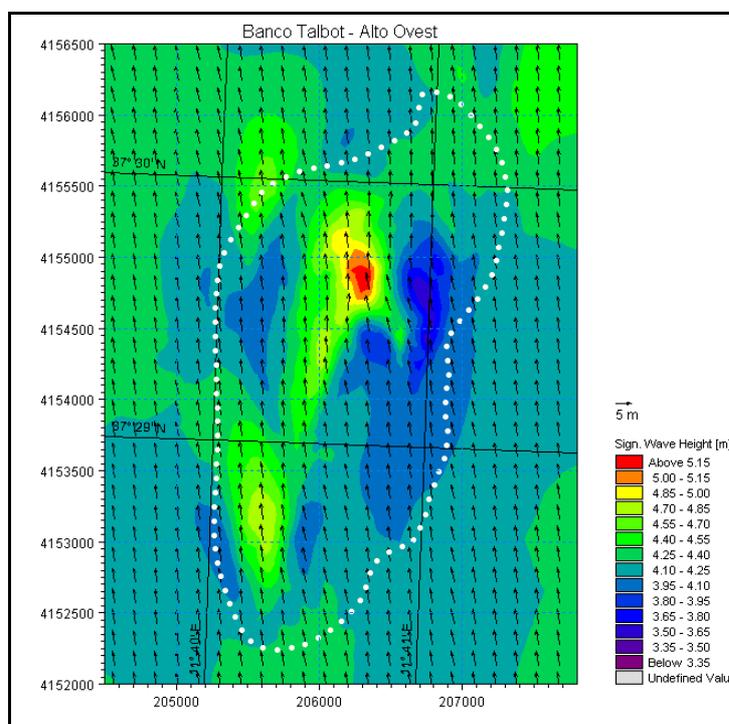


Fig. 3.35 Distribuzione dell'altezza d'onda per il Banco Talbot – Alto Ovest – onda proveniente dal II quadrante (valori di  $H_s$  al largo compresi tra 4.2 e 4.5m).

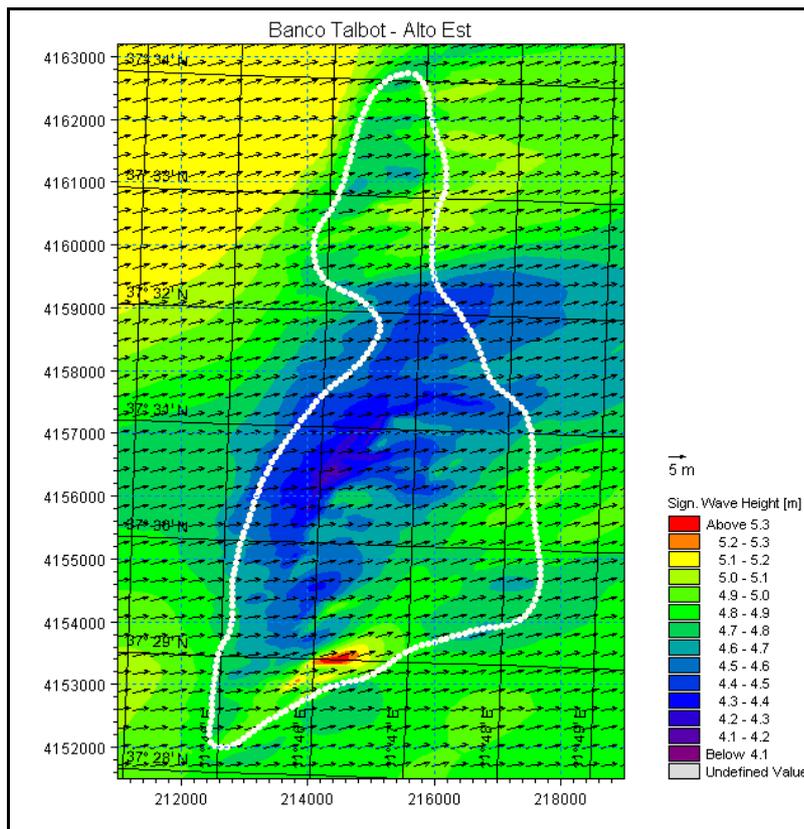


Fig. 3.36 Distribuzione dell'altezza d'onda per il Banco Talbot - Alto Est - onda proveniente dal III quadrante (valori di  $H_s$  al largo compresi tra 4.6 e 5.1m).

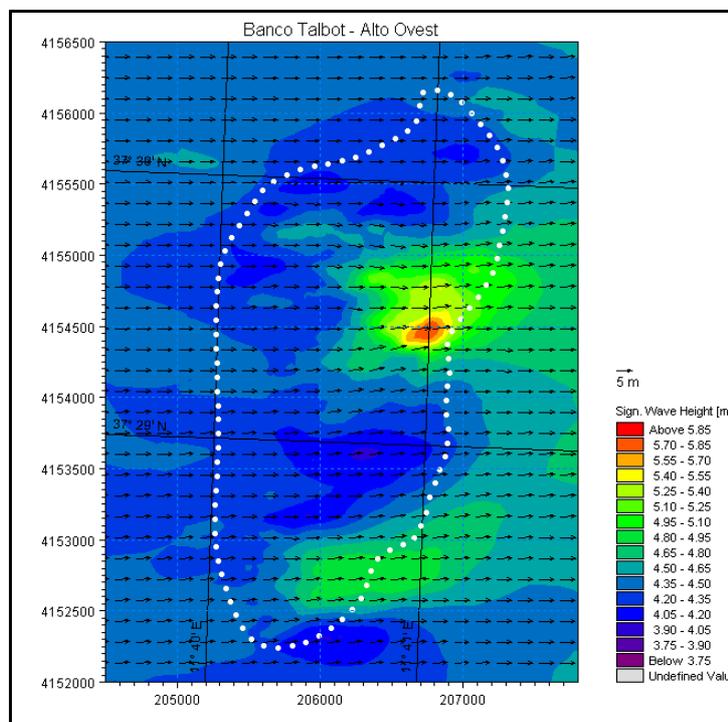


Fig. 3.37 Distribuzione dell'altezza d'onda per il Banco Talbot - Alto Ovest - onda proveniente dal III quadrante (valori di  $H_s$  al largo compresi tra 4.3 e 4.8m).

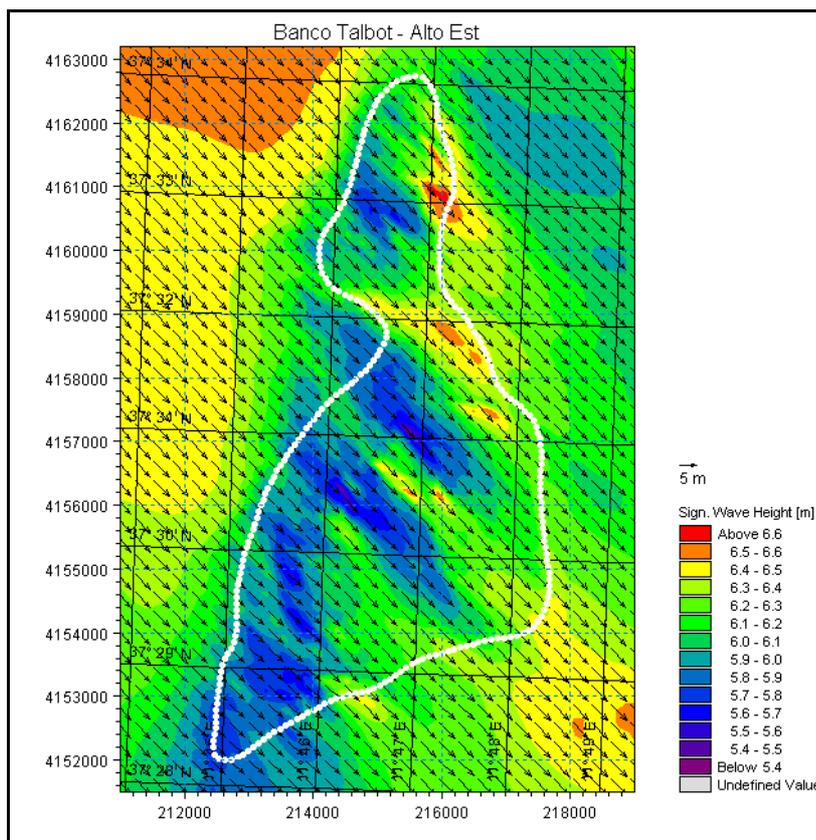


Fig. 3.38 Distribuzione dell'altezza d'onda per il Banco Talbot - Alto Est - onda proveniente dal IV quadrante (valori di  $H_s$  al largo compresi tra 6.5 e 6.6m).

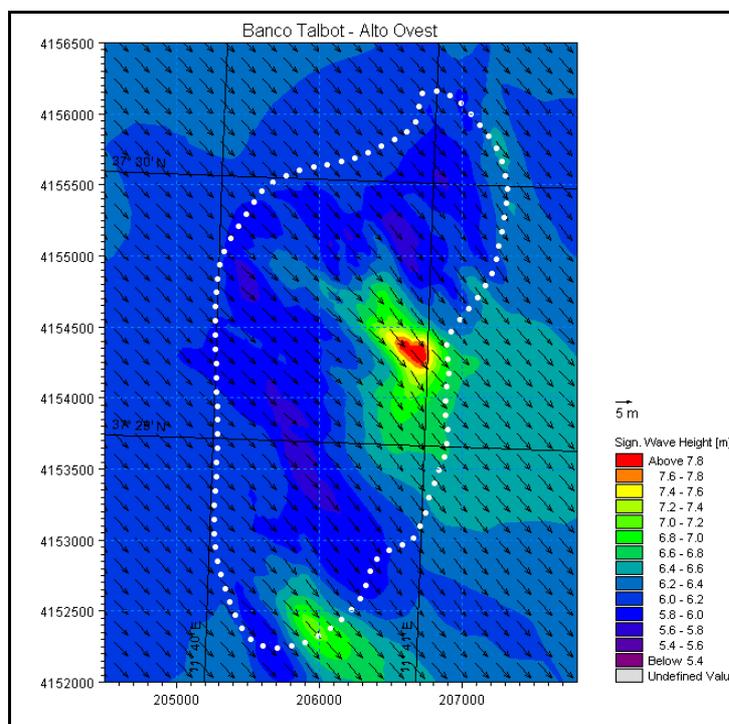


Fig. 3.39 Distribuzione dell'altezza d'onda per il Banco Talbot - Alto Ovest - onda proveniente dal IV quadrante (valori di  $H_s$  al largo compresi tra 6.5 e 6.6m).

### 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 del Banco oggetto di studio.

L'individuazione del punto o dei punti, in corrispondenza di ciascun Alto strutturale, per i quali effettuare l'analisi statistica che servirà da supporto alla progettazione del Parco Eolico per l'intero Alto, risulta una scelta non facile: come illustrato nel capitolo precedente, infatti, in corrispondenza di uno stesso Alto 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 Alto strutturale sono pertanto rappresentati dall'altezza d'onda massima individuata in tutta l'area dell'Alto e dal valore medio del periodo d'onda  $T_p$  individuato in tutta l'area dell'Alto. 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 da Fig. 3.40 a Fig. 3.49.

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 Alto del Banco Talbot e per ciascuna direzione considerata nell'analisi, sono state 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.

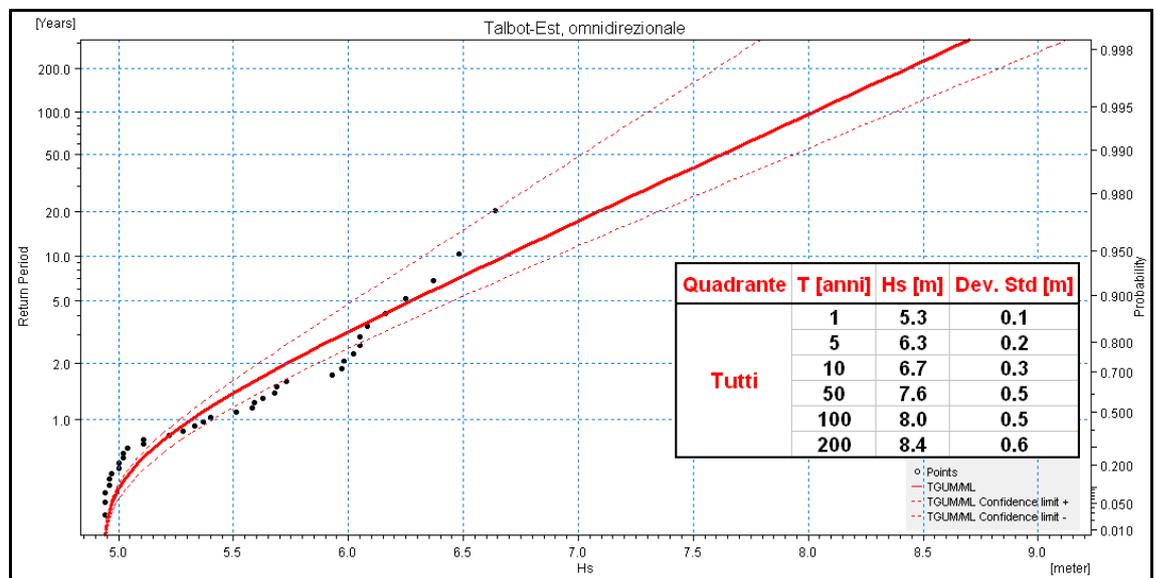


Fig. 3.40 Analisi degli eventi estremi per il Banco Talbot – Alto Est – omnidirezionale.

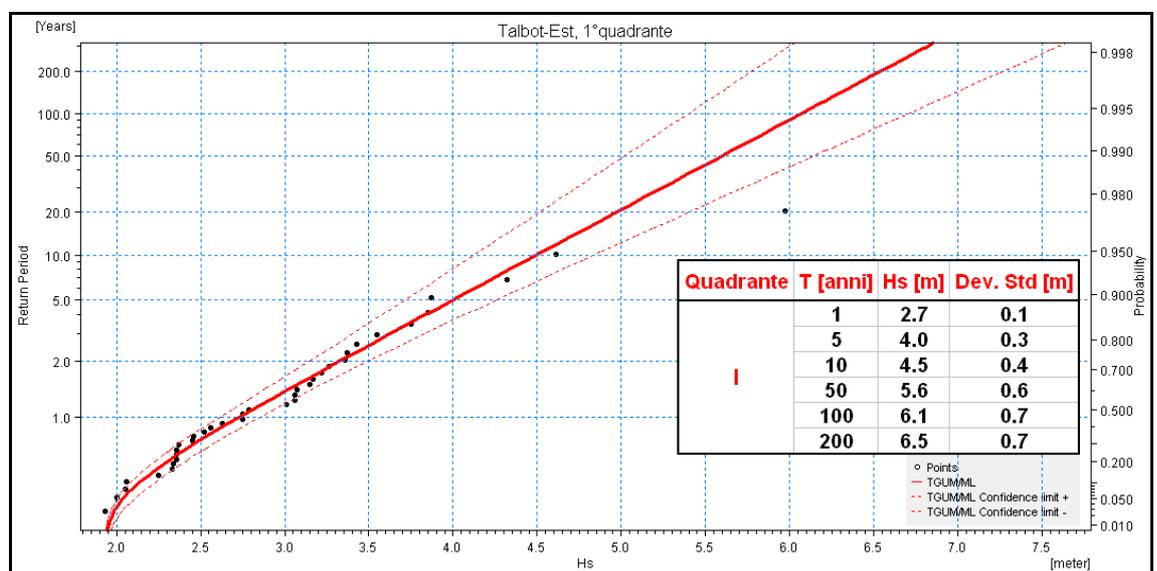


Fig. 3.41 Analisi degli eventi estremi per il Banco Talbot – Alto Est – 1°quadrante.

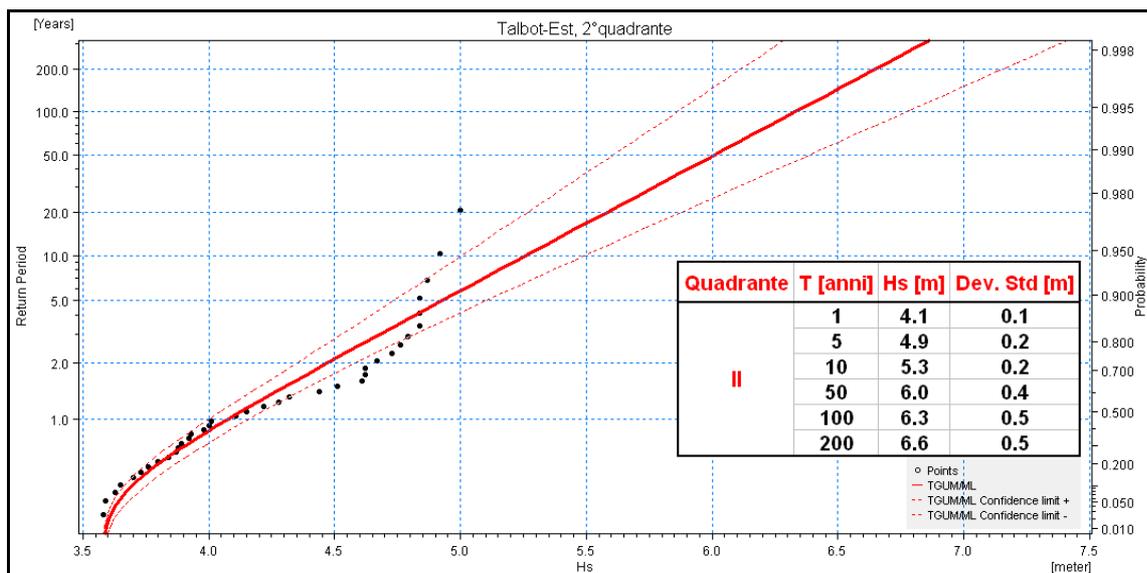


Fig. 3.42 Analisi degli eventi estremi per il Banco Talbot – Alto Est – 2°quadrante.

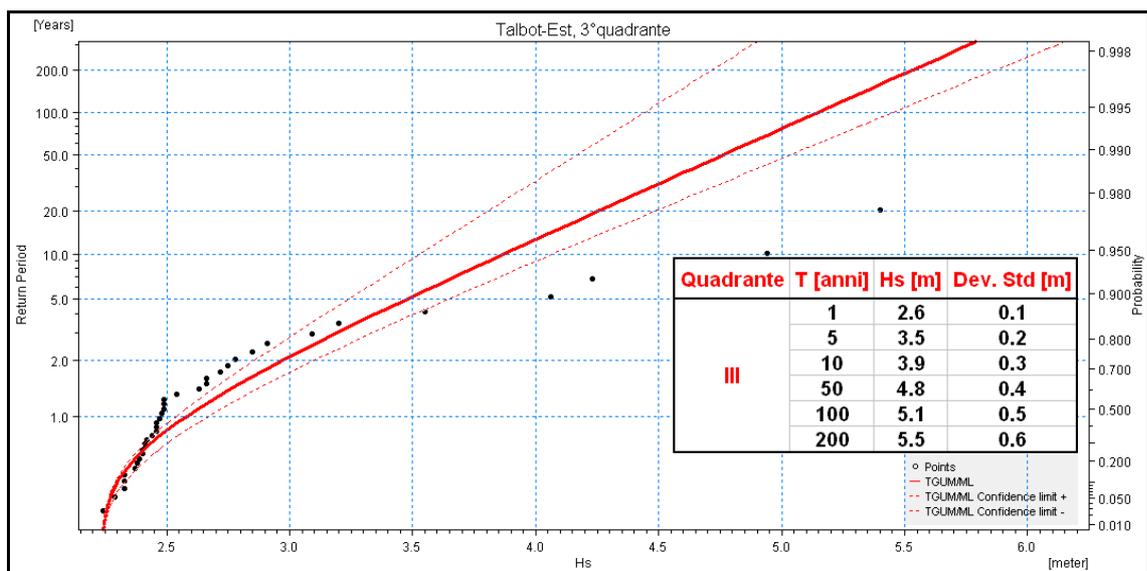


Fig. 3.43 Analisi degli eventi estremi per il Banco Talbot – Alto Est – 3°quadrante.

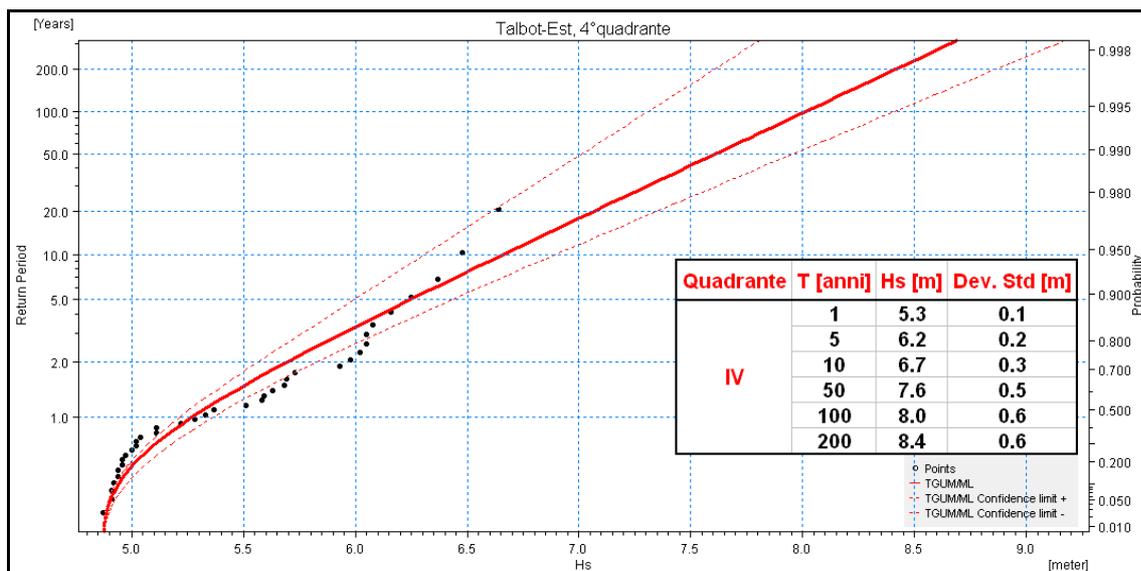


Fig. 3.44 Analisi degli eventi estremi per il Banco Talbot - Alto Est - 4°quadrante.

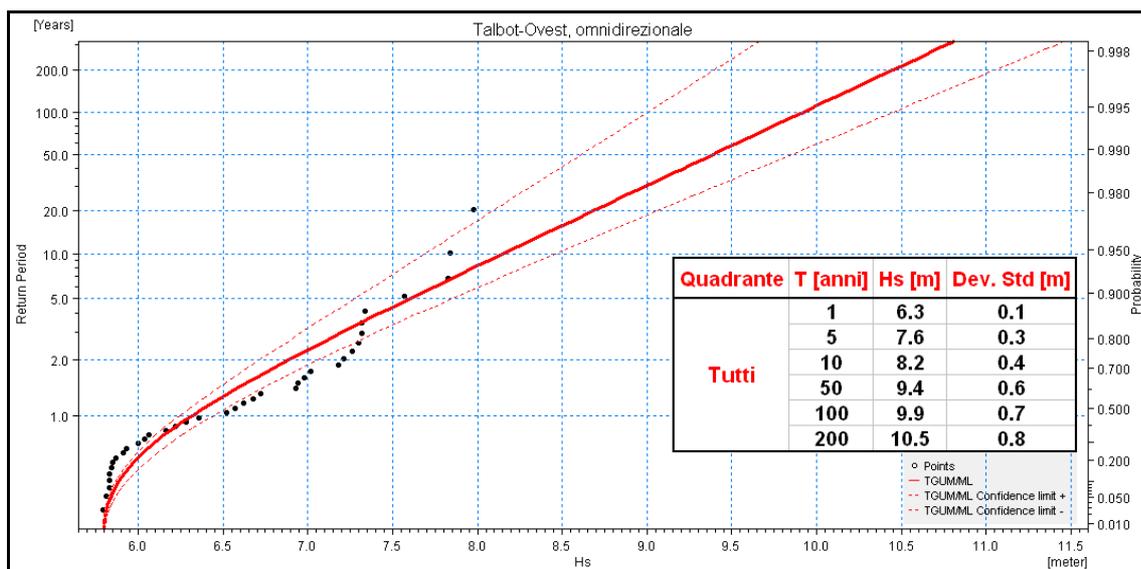


Fig. 3.45 Analisi degli eventi estremi per il Banco Talbot - Alto Ovest - omnidirezionale.

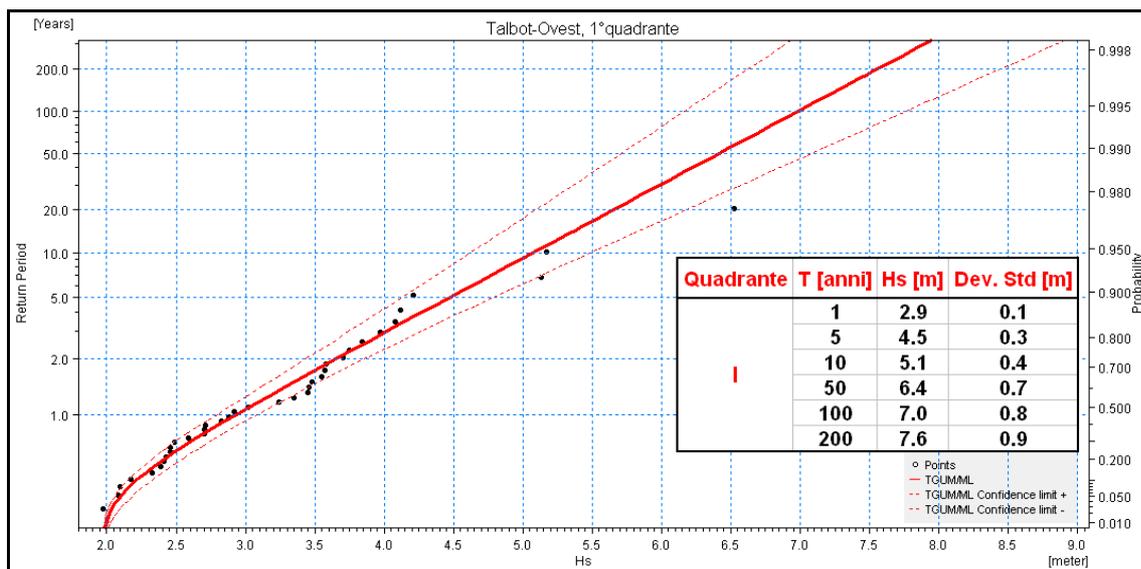


Fig. 3.46 Analisi degli eventi estremi per il Banco Talbot - Alto Ovest - 1° quadrante.

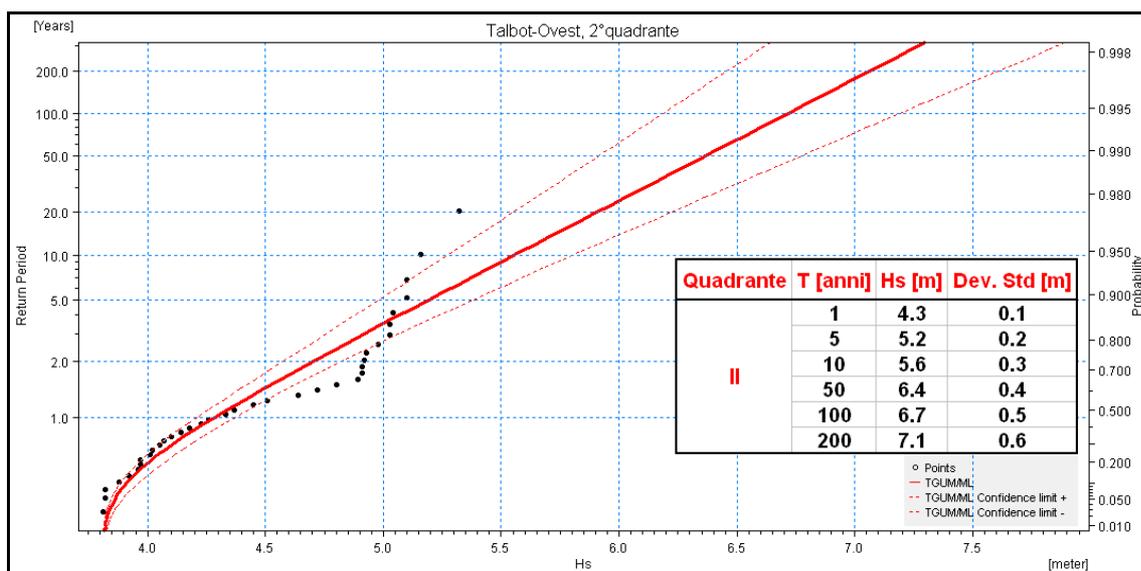


Fig. 3.47 Analisi degli eventi estremi per il Banco Talbot - Alto Ovest - 2° quadrante.

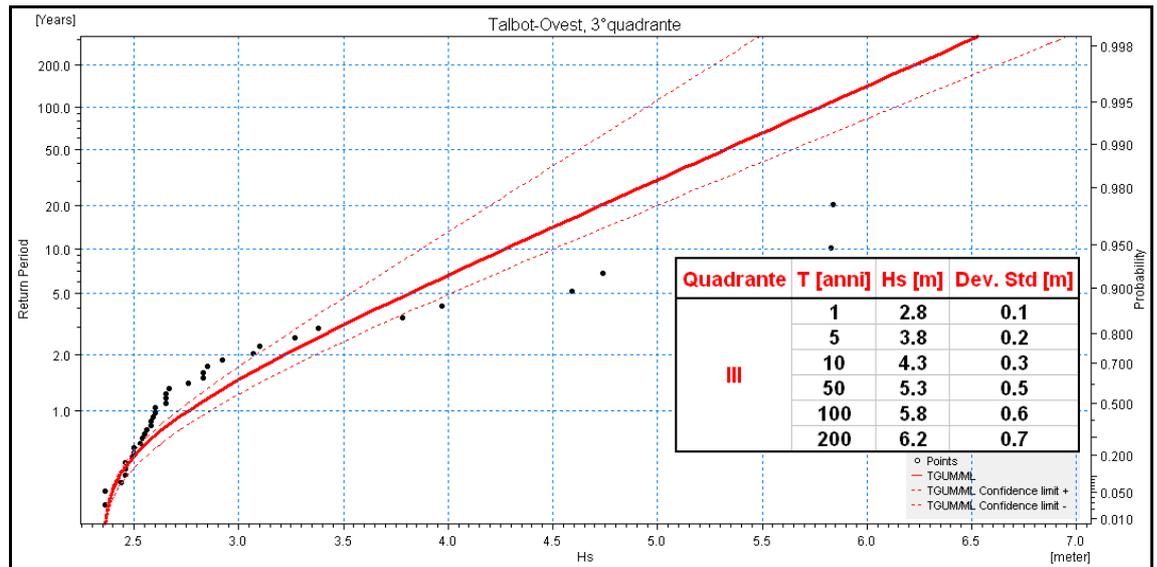


Fig. 3.48 Analisi degli eventi estremi per il Banco Talbot - Alto Ovest - 3° quadrante.

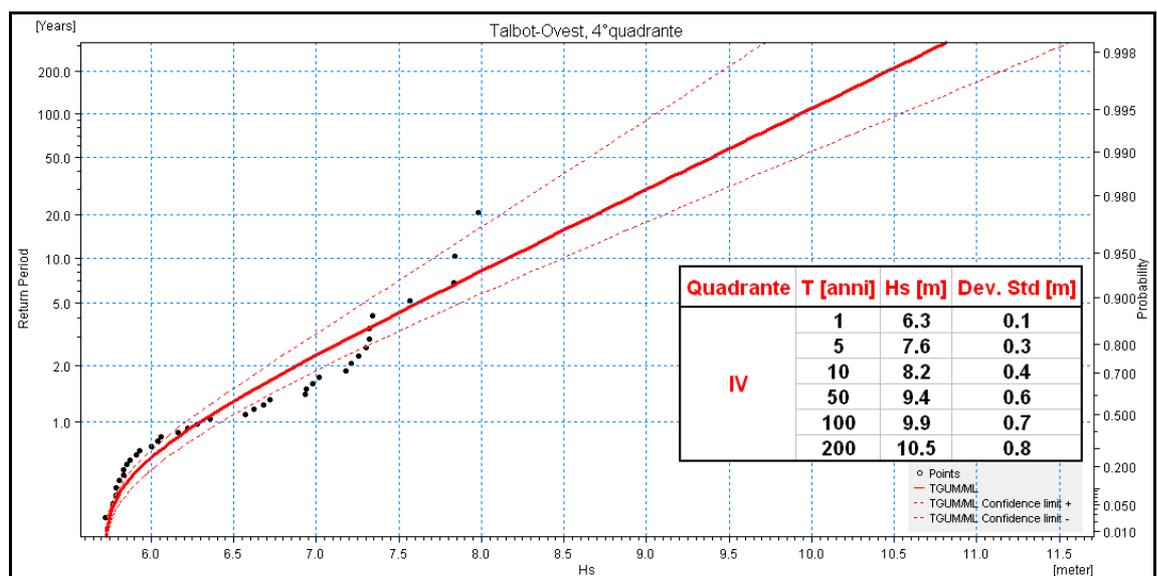


Fig. 3.49 Analisi degli eventi estremi per il Banco Talbot - Alto Ovest - 4° quadrante.

L'analisi statistica effettuata per il Banco Talbot, evidenzia valori di altezza d'onda estremi previsti per i due Alti strutturali piuttosto differenti. La minore profondità che caratterizza alcune aree dell'Alto Ovest, unita alla diversa morfologia, è in grado determinare una maggiore incidenza dell'Alto Ovest sulla propagazione dell'onda, che subisce incrementi anche superiori al 25% rispetto all'onda indisturbata appena fuori dal Banco.

In particolare, se prendiamo a riferimento l'altezza onda omnidirezionale caratterizzata da un tempo di ritorno T pari a 50 anni, per l'Alto Est si riscontra un valore di 7.6m, contro i 9.4m ricavati per l'Alto Ovest. 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'extrapolazione 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 generalmente 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 da Tabella 3.22 a Tabella 3.31, viene infatti riportata la caratterizzazione statistica dei periodi di picco  $T_p$  in funzione dell'altezza d'onda significativa  $H_s$ , calcolati, per ciascun Alto strutturale oggetto di studio, sulla base del criterio già illustrato all'inizio del presente capitolo.

Dall'analisi delle tabelle sotto riportate, si osserva che per l'intero Banco Talbot, i periodi di picco più frequenti sono generalmente compresi tra gli 8s ed i 10s. Per le direzioni associate a *fetch* di lunghezza limitata (primo e terzo quadrante), si riscontra una significativa frequenza di accadimento anche periodi di picco inferiori, nel range compreso tra i 6s e gli 8s. Complessivamente, a periodi di picco compresi tra i 6s ed i 10s, si associano onde inferiori ai 3m per eventi provenienti dal terzo quadrante ed inferiori ai 4m per eventi provenienti dal primo quadrante.

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), 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 8m nel caso dell'Alto Ovest, sono invece associati a periodi di picco più elevati, fino a 14s.

Tabella 3.22 Caratterizzazione statistica dei periodi di picco  $T_p$  attesi sul Banco Talbot - Alto Est in funzione dell'altezza d'onda significativa  $H_s$  - Analisi omnidirezionale.

	Hs [m]	<2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	Totale
	$T_p$ [s]									
Omnidir.	4 - 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6 - 8	39	200	0	0	0	0	0	0	239
	8 - 10	3	278	185	1	0	0	0	0	467
	10 - 12	0	19	52	90	12	3	0	0	176
	12 - 14	0	13	10	8	10	6	0	0	47
	14 - 16	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Totale		42	510	247	100	22	9	0	0	930



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

	Hs [m]	<2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	Totale
	$T_p$ [s]									
<b>I quadrante</b>	4 - 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6 - 8	1	11	0	0	0	0	0	0	12
	8 - 10	0	6	13	0	0	0	0	0	19
	10 - 12	0	1	2	2	1	0	0	0	6
	12 - 14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	14 - 16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Totale</b>		1	18	15	2	1	0	0	0	<b>37</b>

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

	Hs [m]	<2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	Totale
	$T_p$ [s]									
<b>II quadrante</b>	4 - 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6 - 8	1	24	0	0	0	0	0	0	25
	8 - 10	2	110	48	1	0	0	0	0	161
	10 - 12	0	4	13	20	1	0	0	0	38
	12 - 14	0	4	3	0	0	0	0	0	7
	14 - 16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Totale</b>		3	142	64	21	1	0	0	0	<b>231</b>

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

	Hs [m]	<2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	Totale
	$T_p$ [s]									
<b>III quadrante</b>	4 - 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6 - 8	2	17	0	0	0	0	0	0	19
	8 - 10	1	24	2	0	0	0	0	0	27
	10 - 12	0	1	0	2	1	0	0	0	4
	12 - 14	0	0	1	1	0	0	0	0	2
	14 - 16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Totale</b>		3	42	3	3	1	0	0	0	<b>52</b>

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

	Hs [m]	<2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	Totale
	$T_p$ [s]									
<b>IV quadrante</b>	4 - 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6 - 8	35	148	0	0	0	0	0	0	183
	8 - 10	0	138	122	0	0	0	0	0	260
	10 - 12	0	13	37	66	9	3	0	0	128
	12 - 14	0	9	6	7	10	6	0	0	38
	14 - 16	0	0	0	1	0	0	0	0	1
<b>Totale</b>		35	308	165	74	19	9	0	0	<b>610</b>



Tabella 3.27 Caratterizzazione statistica dei periodi di picco  $T_p$  attesi sul Banco Talbot - Alto Ovest in funzione dell'altezza d'onda significativa  $H_s$  - Analisi omnidirezionale.

	Hs [m]	<2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	Totale
	Tp [s]									
<b>Omnidir.</b>	4 - 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6 - 8	5	252	0	0	0	0	0	0	257
	8 - 10	0	167	245	40	0	0	0	0	452
	10 - 12	0	13	20	76	54	7	3	0	173
	12 - 14	0	4	14	6	6	8	9	0	47
	14 - 16	0	0	0	0	1	0	0	0	1
<b>Totale</b>		5	436	279	122	61	15	12	0	<b>930</b>

Tabella 3.28 Caratterizzazione statistica dei periodi di picco  $T_p$  attesi sul Banco Talbot - Alto Ovest in funzione dell'altezza d'onda significativa  $H_s$  - Analisi degli eventi dal I quadrante.

	Hs [m]	<2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	Totale
	Tp [s]									
<b>I quadrante</b>	4 - 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6 - 8	1	11	0	0	0	0	0	0	12
	8 - 10	0	6	11	2	0	0	0	0	19
	10 - 12	0	0	2	1	2	1	0	0	6
	12 - 14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	14 - 16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Totale</b>		1	17	13	3	2	1	0	0	<b>37</b>

Tabella 3.29 Caratterizzazione statistica dei periodi di picco  $T_p$  attesi sul Banco Talbot - Alto Ovest in funzione dell'altezza d'onda significativa  $H_s$  - Analisi degli eventi dal II quadrante.

	Hs [m]	<2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	Totale
	Tp [s]									
<b>II quadrante</b>	4 - 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6 - 8	0	30	0	0	0	0	0	0	30
	8 - 10	0	94	59	2	0	0	0	0	155
	10 - 12	0	4	9	19	7	0	0	0	39
	12 - 14	0	4	2	1	0	0	0	0	7
	14 - 16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Totale</b>		0	132	70	22	7	0	0	0	<b>231</b>

Tabella 3.30 Caratterizzazione statistica dei periodi di picco  $T_p$  attesi sul Banco Talbot - Alto Ovest in funzione dell'altezza d'onda significativa  $H_s$  - Analisi degli eventi dal III quadrante.

	Hs [m]	<2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	Totale
	Tp [s]									
<b>III quadrante</b>	4 - 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6 - 8	2	26	0	0	0	0	0	0	28
	8 - 10	0	14	4	1	0	0	0	0	19
	10 - 12	0	0	1	1	1	0	0	0	3
	12 - 14	0	0	1	0	1	0	0	0	2
	14 - 16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Totale</b>		2	40	6	2	2	0	0	0	<b>52</b>

Tabella 3.31 Caratterizzazione statistica dei periodi di picco  $T_p$  attesi sul Banco Talbot - Alto Ovest in funzione dell'altezza d'onda significativa  $H_s$  - Analisi degli eventi dal IV quadrante.

IV quadrante	Hs [m]	<2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	Totale
	$T_p$ [s]									
	4 - 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6 - 8	2	185	0	0	0	0	0	0	187
	8 - 10	0	53	171	35	0	0	0	0	259
	10 - 12	0	9	8	55	44	6	3	0	125
	12 - 14	0	0	11	5	5	8	9	0	38
	14 - 16	0	0	0	0	1	0	0	0	1
<b>Totale</b>		2	247	190	95	50	14	12	0	<b>610</b>

## 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.

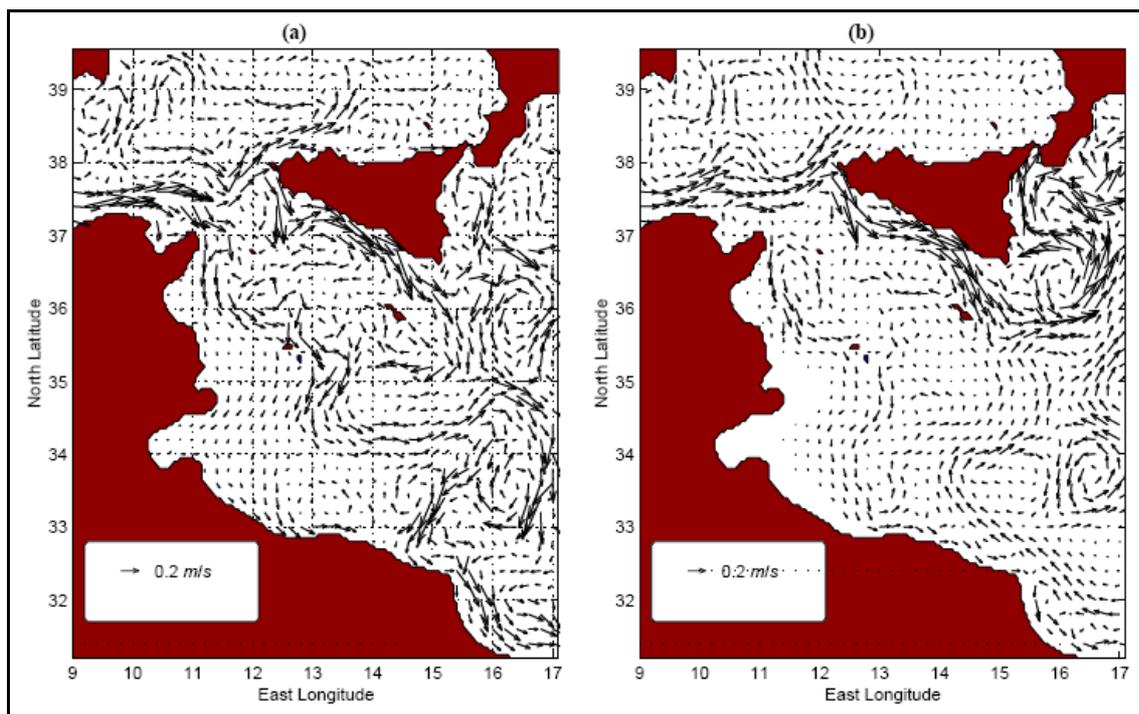


Fig. 4.1 Rappresentazione della distribuzione di velocità a 5m di profondità (media su 10 giorni) nel mese di Febbraio (a) e Agosto (b).

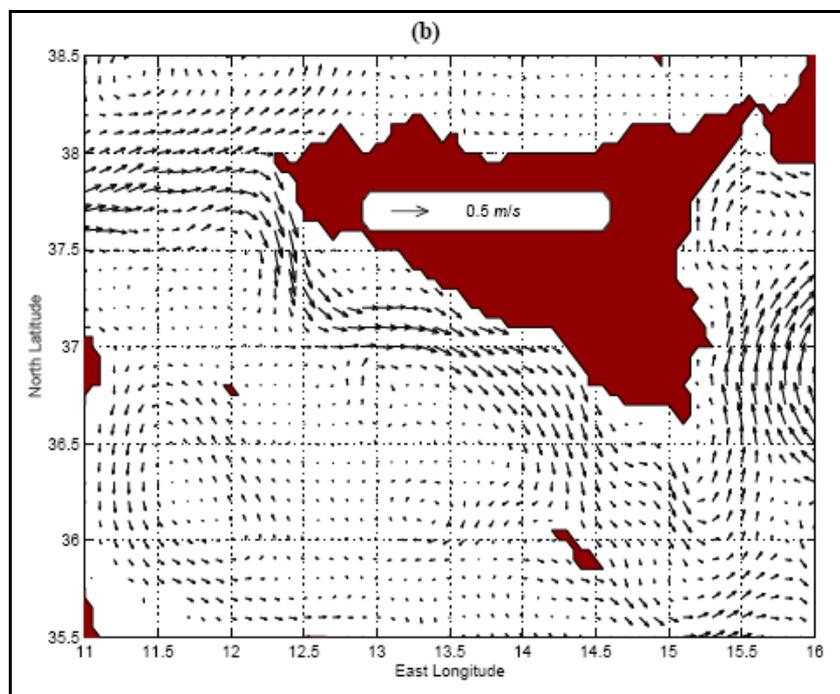


Fig. 4.2 Rappresentazione della distribuzione di velocità a 30m di profondità (media su 10 giorni) nel mese di Settembre.



## 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 Mailor (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 del Banco 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 del Banco 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 dalla presenza del Banco Talbot, 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 ( $N/m^2$ ).

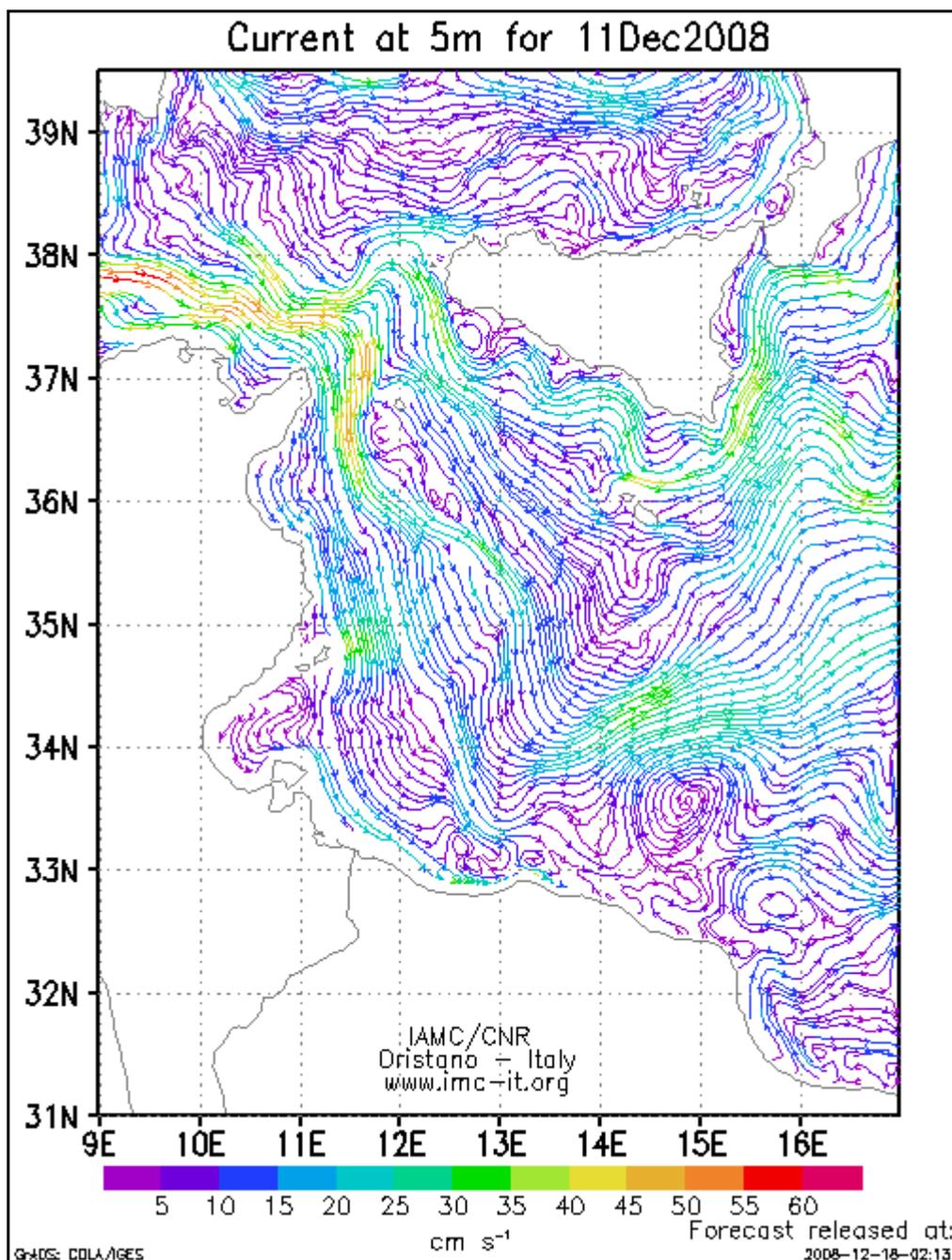


Fig. 4.3 Campi di corrente a 5m provenienti dal modello del Canale di Sicilia IAMC/CNR.



## 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 Talbot". In particolare, per la caratterizzazione degli eventi di moto ondoso estremi attesi in corrispondenza del Banco, 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 del Banco sulla propagazione dell'onda: in funzione della direzione di provenienza dell'onda e della geometria del singolo Alto strutturale, 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 approcciare il Banco.

I risultati del modello numerico sono quindi stati processati statisticamente, in modo da ricavare, per ciascun Alto strutturale, le stime del valore di altezza d'onda attesa per vari tempi di ritorno. L'analisi ha mostrato valori di altezza d'onda estremi previsti per i due Alti strutturali piuttosto differenti: la minore profondità che caratterizza alcune aree dell'Alto Ovest, unita alla diversa morfologia, è in grado determinare una maggiore incidenza dell'Alto Ovest stesso sulla propagazione dell'onda, che subisce incrementi anche superiori al 25% rispetto all'onda indisturbata appena fuori dal Banco.

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.