



# Il Sindaco del Comune di Messina

Commissario Delegato ex O.P.C.M. n. 3721 del 19 Dicembre 2008

## ENTE APPALTANTE

Commissario Delegato per l'Emergenza Traffico a Messina ex OPCM 3633/07 e successive, con sede presso il Comune di Messina, Piazza Unione Europea, 98100 Messina

## A.T.I. IMPRESE



Nuova CO.ED.MAR Srl  
Via Banchina F - Val da Rio  
30015 Chioggia (VE)



CONSORZIO COOPERATIVE COSTRUZIONI

Consorzio Cooperative Costruzioni  
CCC Società Cooperativa  
Via Marco Emilio Lepido, 182/2  
40132 Bologna

## PROGETTAZIONE



favero&milan ingegneria

30035 Mirano (VE) Tel. +39 041 5785 711  
Viale Belvedere 8/10 Fax +39 041 4355 933  
www.favero-milan.com fm@favero-milan.com



20143 Milano Tel. +39 02 8942 2685  
Viale Cassala, 11 Fax +39 02 8942 5133  
mail@idrotec-ingegneria.it

Ing. Vincenzo Iacopino

Viale Regina Elena, 125 - Messina

Studio Tecnico Falzea

Via 1° Settembre, 37 - Messina

Arch. Claudio Lucchesi

Via Roma, 117 - Pace del Mela (ME)

Ing. Manlio Marino

Via Placida, 6 - Messina

Dott. Geol. Sergio Dolfin

Via Marina, 4 - Torre Faro (ME)

## PROGETTO

**COMUNE DI MESSINA  
LAVORI DI COSTRUZIONE DELLA PIATTAFORMA  
LOGISTICA INTERMODALE TREMESTIERI CON ANNESSO  
SCALO PORTUALE - PRIMO STRALCIO FUNZIONALE**

## EMISSIONE

# PROGETTO DEFINITIVO

## TITOLO

**PARTE GENERALE  
RELAZIONE IDRAULICO-MARITTIMA**

REV.	DATA	FILE	OGGETTO	DIS.	APPR.
a	-	-	-	-	-
b					
c					
d					
e					

ELABORATO N.

# G797FMAR009

DATA: 20/05/2010	SCALA: -	FILE: G797FMAR009.doc
J.N. G797/10	DISEGNATO F.F.	APPROVATO T.T.

## Indice Generale

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE E CONTENUTI DELLA RELAZIONE .....</b>	<b>3</b>
1.1	IMPOSTAZIONE DELLE RELAZIONI RELATIVE AGLI ASPETTI IDRAULICO MARITTIMI .....	3
1.2	CONTENUTI DEL PRESENTE ELABORATO .....	3
<b>2</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI VENTI.....</b>	<b>6</b>
2.1	GENERALITÀ .....	6
2.2	REGIME ANEMOMETRICO ANNUALE.....	6
2.3	ECCEDENZE DELLA VELOCITÀ DEL VENTO E VENTI ESTREMI.....	6
2.4	ANDAMENTO MENSILE .....	7
<b>3</b>	<b>LIVELLI DEL MARE .....</b>	<b>12</b>
3.1	GENERALITÀ .....	12
3.2	LIVELLO DI RIFERIMENTO PER IL PROGETTO – MAREA ASTRONOMICA .....	12
3.3	ESCURSIONI MASSIME.....	12
<b>4</b>	<b>CARATTERISTICHE DELLE CORRENTI .....</b>	<b>13</b>
4.1	GENERALITÀ .....	13
4.2	CARATTERISTICHE LOCALI DELLE CORRENTI .....	13
<b>5</b>	<b>CARATTERISTICHE DEL MOTO ONDOSO AL LARGO .....</b>	<b>15</b>
5.1	GENERALITÀ .....	15
5.2	CLIMA RAPPRESENTATIVO AL LARGO.....	15
<b>6</b>	<b>CARATTERISTICHE DEL MOTO ONDOSO IN PROSSIMITÀ DELLA COSTA – EVENTI ESTREMI.....</b>	<b>17</b>
6.1	GENERALITÀ .....	17
6.2	CLIMI COSTIERI .....	17
6.3	ONDE ESTREME IN PROSSIMITÀ DELLA COSTA.....	17
<b>7</b>	<b>ONDE DI PROGETTO PER LE OPERE.....</b>	<b>22</b>
7.1	GENERALITÀ .....	22
7.2	PUNTI SIGNIFICATIVI PER LA DETERMINAZIONE DELLE ONDE DI PROGETTO .....	22
7.3	PUNTO A .....	23
7.3.1	Aspetti da esaminare e periodi di ritorno di riferimento .....	23
7.3.2	Onde di progetto .....	23
7.4	PUNTO B .....	24
7.4.1	Aspetti da esaminare e periodi di ritorno di riferimento .....	24
7.4.2	Onde di progetto .....	25
7.5	PUNTI C E D.....	25
7.5.1	Aspetti da esaminare e periodi di ritorno di riferimento .....	25
7.5.2	Onde di progetto .....	25
7.6	PUNTO E.....	26
7.6.1	Aspetti da esaminare e periodi di ritorno di riferimento .....	26
7.6.2	Onde di progetto .....	26

## Indice delle Figure

Figura 1.1 – Schema dell’articolazione delle relazioni relative agli aspetti idraulico-marittimi del presente Progetto Definitivo .....	5
Figura 2.1 – Elaborazione dei dati anemometrici alla Stazione di Messina – 1978-1997) dallo Studio Idraulico Marittimo del Progetto Preliminare).....	8
Figura 2.2 – Eccedenze della velocità del vento – Dati omnidirezionali.....	9
Figura 2.3 – Estrapolazione ai valori estremi della velocità del vento. Adattamento con distribuzione tipo Weibull a 3 parametri .....	10
Figura 2.4 – Andamenti mensili dei dati anemometrici.....	11
Figura 3.1 – Livello di riferimento del Progetto ed escursioni del livello del mare .....	12
Figura 4.1 – Rilievo correntometrici locali.....	14
Figura 5.1 – Clima rappresentativo del moto ondoso al largo .....	16
Figura 6.1 – Punti in cui sono stati ottenuti i sottoclimi ondosi in prossimità della costa (dallo Studio Idraulico Marittimo del Progetto Preliminare).....	18
Figura 6.2 – Sottoclima costiero nel Punto 2.....	19
Figura 6.3 – Valori estremi di altezza d’onda (risposta al Quesito 10) .....	20
Figura 6.4 – Analisi delle onde dal 1° quadrante (dalla Relazione Idraulico Marittima del Progetto Preliminare).....	21
Figura 7.1 – Ubicazione dei punti significativi per la scelta delle quote di progetto.....	27
Figura 7.2 – Risultati del modello ENDEC – Propagazione dell’onda $H_s = 4.58$ $T_P = 9.8s$ . .....	28
Figura 7.3 – Risultati del modello ENDEC – Propagazione dell’onda $H_s = 4.58$ $T_P = 9.8s$ . Andamento di $H_s$ , $H_{100}$ e percentuale di onde frangenti.....	29
Figura 7.4 – Propagazione dell’onda $T_R = 100$ anni $H_s=4.80$ $T_P= 9.80$ s.....	30

## Allegati

Allegato 1	Capitoli 4,5,6,7,8,9 dello Studio Idraulico Marittimo del Progetto Preliminare controfirmati per accettazione
------------	---

## **1 INTRODUZIONE E CONTENUTI DELLA RELAZIONE**

### **1.1 IMPOSTAZIONE DELLE RELAZIONI RELATIVE AGLI ASPETTI IDRAULICO MARITTIMI**

Il Progetto Definitivo delle opere marittime ha richiesto analisi in molteplici settori di studio ed indagine. Alcuni aspetti sono già stati oggetto di analisi approfondite in sede del progetto preliminare a base di gara, analisi che si considerano esaustive ed i cui risultati vengono quindi conformati ed assunti a base della progettazione definitiva.

Per altri aspetti progettuali, che si ritengono particolarmente qualificanti per il progetto definitivo proposto, si sono invece effettuate attività integrative od originali.

Per maggiore chiarezza e facilità di consultazione degli elaborati di progetto si ritiene opportuno premettere uno schema che individua:

- le relazioni attinenti gli aspetti idraulico-marittimi che compongono il Progetto Definitivo
- i contenuti delle singole relazioni
- le parti delle relazioni del Progetto Preliminare che vengono confermate ed allegate in copia controfirmate
- le attività integrative ed originali sviluppate.

Lo schema è presentato nella Fig. 1.1.

### **1.2 CONTENUTI DEL PRESENTE ELABORATO**

Per quanto riguarda la presente Relazione Idraulico Marittima si confermano le analisi contenute nell'analogo documento del Progetto Preliminare relativamente a:

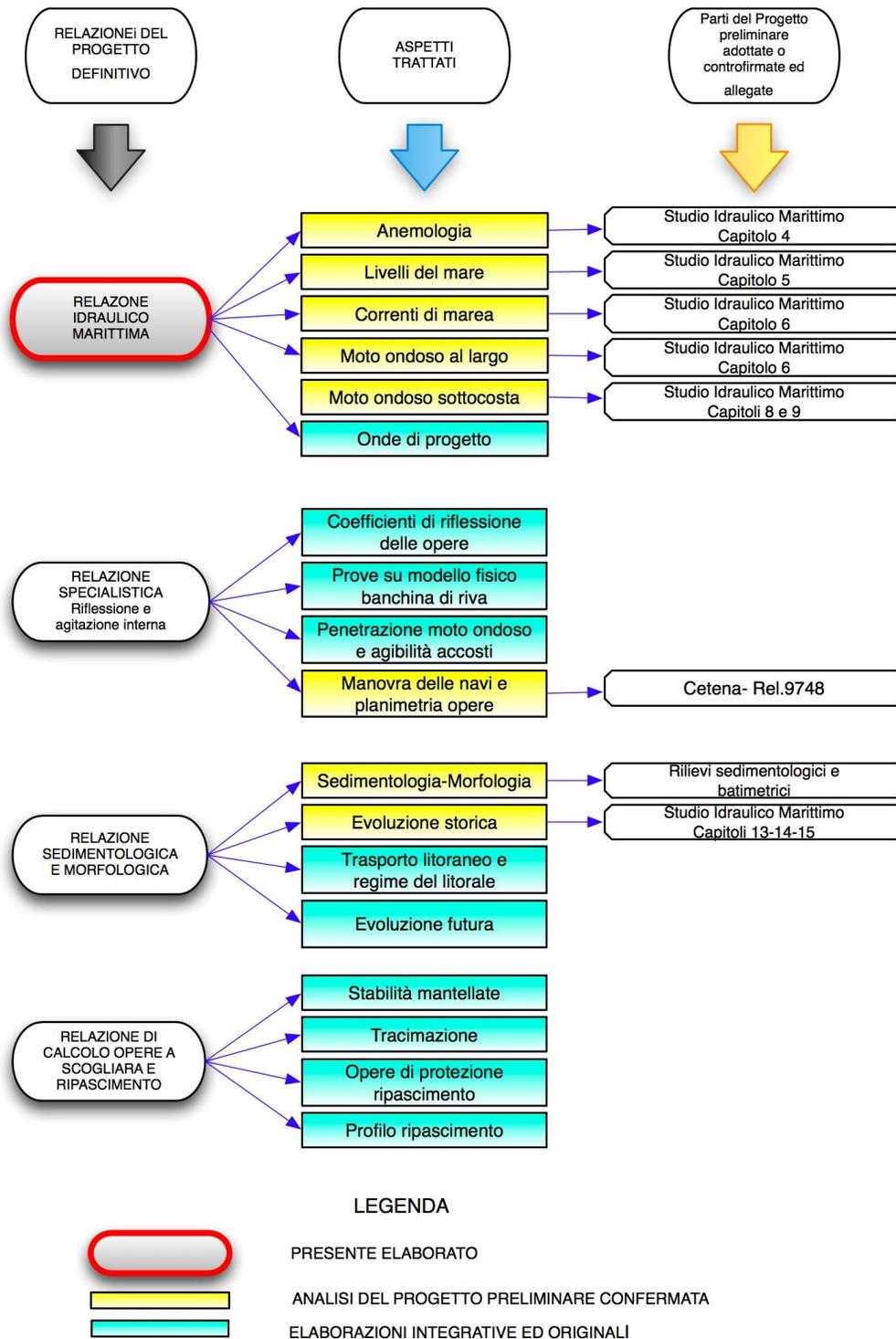
- Anemologia
- Livelli del mare
- Correnti di marea
- Moto ondoso al largo
- Moto ondoso sottocosta

Vengono quindi acclusi in All. 1 controfirmati i seguenti Capitoli dello Studio Idraulico Marittimo del Progetto Preliminare:

- Cap. 4
- Cap. 5
- Cap. 6
- Cap. 7
- Cap. 8 e 9

I risultati principali delle analisi di cui sopra vengono riassunti nei capitoli pertinenti della presente relazione, tenendo anche conto di contenuti delle risposte ai quesiti posti in sede di gara.

Vengono invece svolte elaborazioni integrative per valutare le onde di progetto delle opere marittime del presente progetto definitivo.



**Figura 1.1 – Schema dell’articolazione delle relazioni relative agli aspetti idraulico-marittimi del presente Progetto Definitivo**

## **2 CARATTERISTICHE DEI VENTI**

### **2.1 GENERALITÀ**

Si condividono dati base, analisi e risultati del Capitolo 4 – Studio Anemologico della Relazione dello Studio Idraulico Marittimo, redatto dall'Università degli studi di Messina nell'ambito degli Studi Specialistici del Progetto Preliminare.

Tale capitolo è allegato in copia, firmato per conferma.

Nel seguito vengono riassunti i risultati più significativi ai fini del Progetto Definitivo, con alcune elaborazioni integrative.

### **2.2 REGIME ANEMOMETRICO ANNUALE**

Le percentuali di occorrenza annuali per intervalli di velocità e direzione del vento sono riportate nella Fig. 2.1 in forma di tabella e rosa. I dati sono quelli osservati nella stazione di Messina nel periodo 1978-1997 con cadenza trioraria.

La stazione, gestita dal Servizio Meteorologico dell'Aeronautica è ubicata nel punto di coordinate 38°12'N – 15°33'E a quota 51 m.

Il settore SSW (centrato su 210°N) è quello caratterizzato dalla maggiore frequenza di eventi annuale e dalla maggiore incidenza di eventi con  $V > 20$  nodi.

Con frequenze complessive paragonabili si presentano anche eventi dei settori 330°N e 30°N.

### **2.3 ECCEDENZE DELLA VELOCITÀ DEL VENTO E VENTI ESTREMI**

La Fig. 2.2 presenta un'elaborazione dei dati sopra citati per ricavare le ore ed i giorni di eccedenza medi annui dei diversi livelli di velocità del vento.

Considerando tutte le direzioni di provenienza si hanno nelle località venti con  $V > 21$  nodi per 33 ore/anno circa, corrispondenti a 1,36 giorni/anno.

È stato effettuato un adattamento delle percentuali di non eccedenza con una distribuzione del tipo a Weibull a 3 parametri.

I risultati sono riportati in Fig. 2.3. La funzione adattata porta a stimare i seguenti valori estremi:

- Eccedenza 1ora/anno             $V = 39,4$  nodi = 20,27 m/s
- Eccedenza 1ora/10 anni         $V = 54,6$  nodi = 28 m/s
- Eccedenza 1ora/50 anni         $V = 67$  nodi = 35 m/s

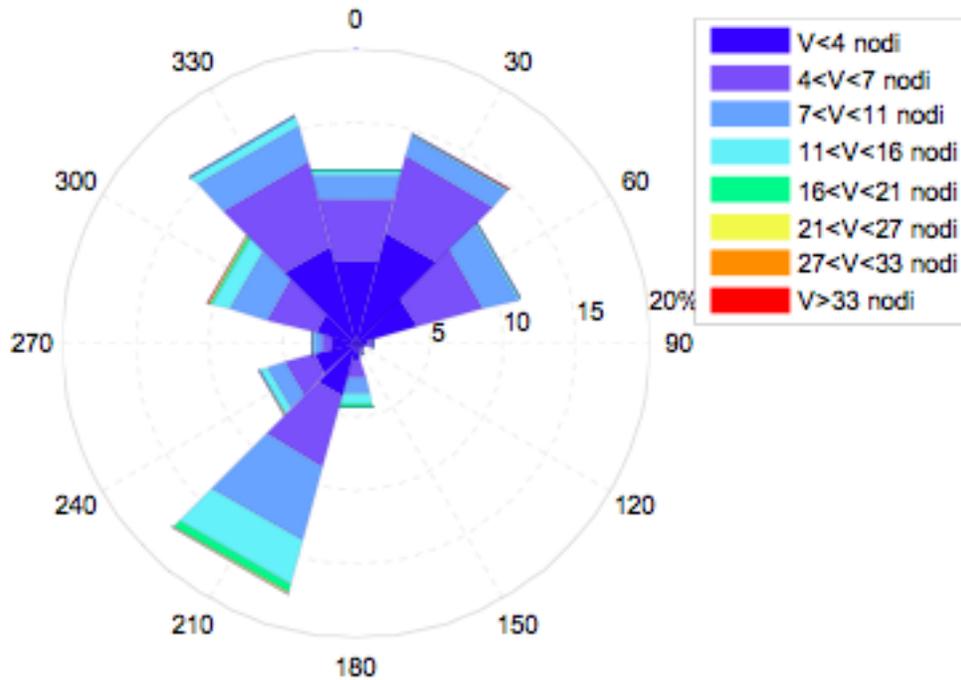
## **2.4 ANDAMENTO MENSILE**

La Fig. 2.4 mostra le eccedenze della velocità  $V = 21$  nodi nei diversi mesi, nonché i settori di direzione caratterizzati dalla maggiore frequenza di occorrenza.

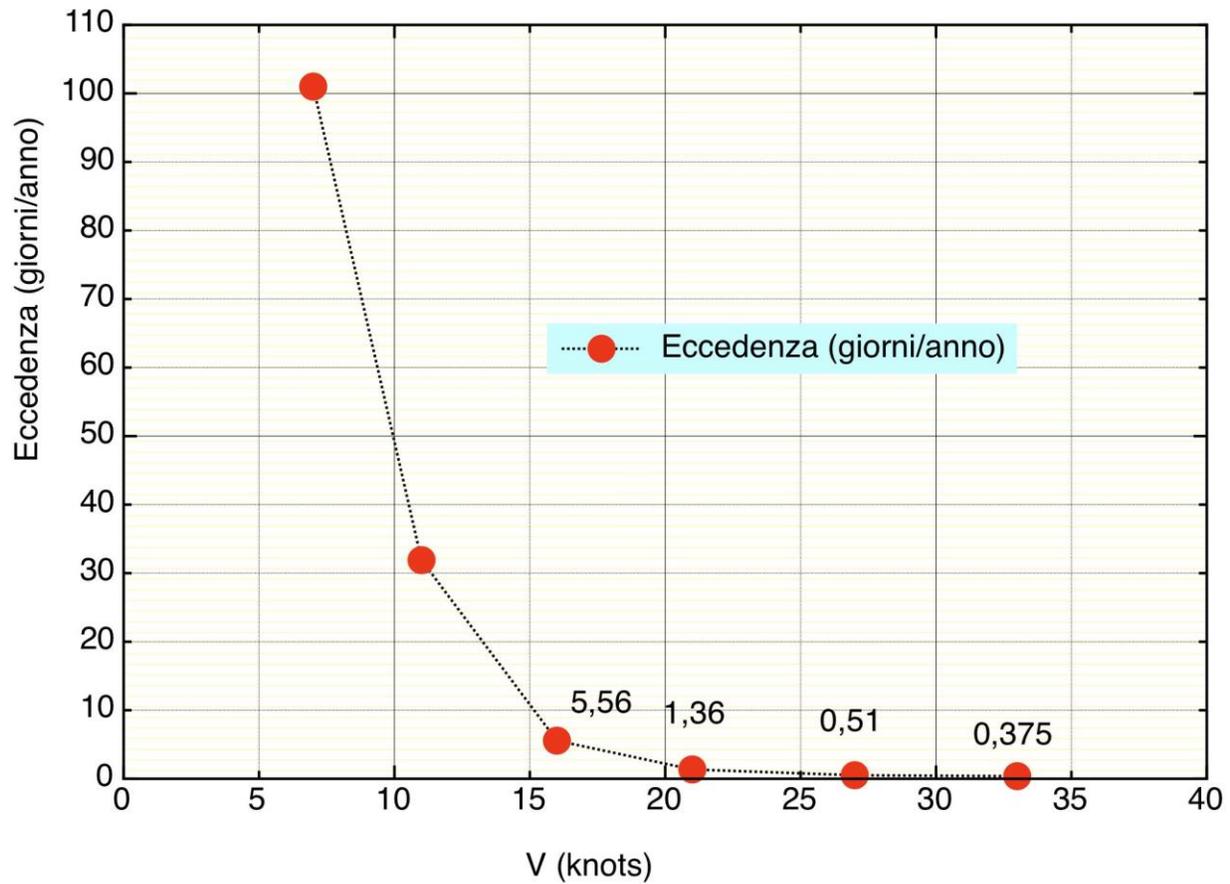
I periodi con venti più intensi sono Marzo-Aprile e Dicembre-Gennaio.

Le direzioni dominanti in questi mesi sono  $210^\circ$  e  $330^\circ$ N. Nel periodo estivo sono frequenti i venti dai settori  $30-60^\circ$ N ma le eccedenze della velocità  $V = 21$  nodi sono inferiori da 1 ora/mese.

V [nod]	P(y>vinf)	Direzione di Provenienza [°N]											
		-15 15	15 45	45 75	75 105	105 135	135 165	165 195	195 225	225 255	255 285	285 315	315 345
0-4	100.000%	5.743%	7.740%	4.291%	0.791%	0.451%	0.612%	1.182%	3.650%	2.984%	1.622%	2.819%	6.784%
4-7	61.330%	4.405%	5.422%	4.696%	0.344%	0.067%	0.163%	1.213%	5.022%	2.037%	0.800%	3.424%	5.973%
7-11	27.744%	1.675%	1.403%	2.428%	0.096%	0.016%	0.036%	1.117%	5.287%	1.260%	0.447%	2.696%	2.549%
11-16	8.734%	0.324%	0.185%	0.203%	0.011%	0.004%	0.013%	0.806%	3.048%	0.516%	0.208%	1.226%	0.634%
16-21	1.553%	0.031%	0.013%	0.004%	0.000%	0.000%	0.002%	0.158%	0.581%	0.063%	0.051%	0.197%	0.080%
21-27	0.373%	0.011%	0.009%	0.000%	0.000%	0.000%	0.002%	0.049%	0.087%	0.016%	0.004%	0.047%	0.007%
27-33	0.141%	0.009%	0.004%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.013%	0.009%	0.000%	0.000%	0.000%	0.002%
>33	0.103%	0.051%	0.025%	0.002%	0.004%	0.000%	0.002%	0.000%	0.004%	0.004%	0.000%	0.009%	0.000%
Calme	22.8%												

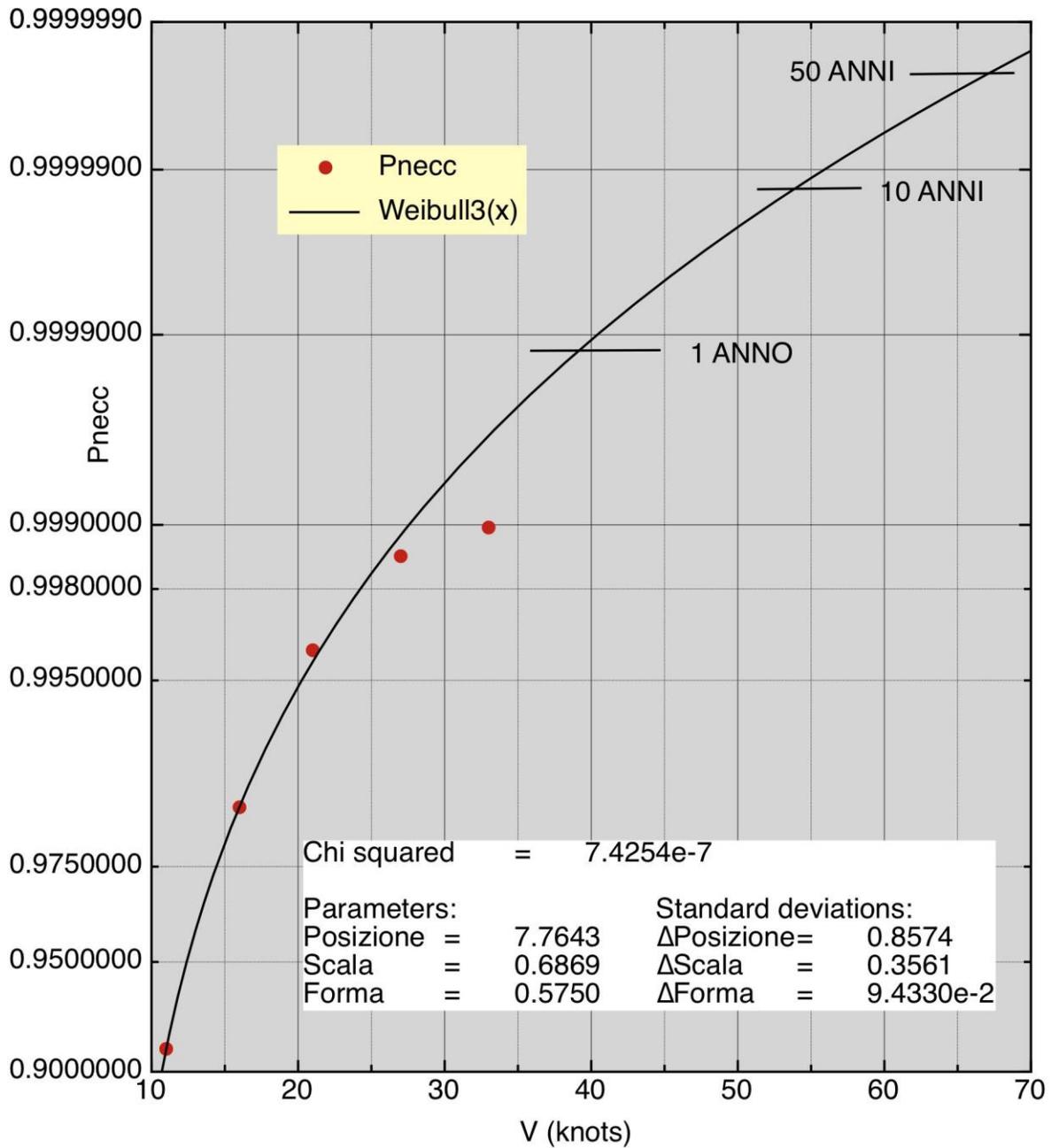


**Figura 2.1 – Elaborazione dei dati anemometrici alla Stazione di Messina – 1978-1997) dallo Studio Idraulico Marittimo del Progetto Preliminare)**

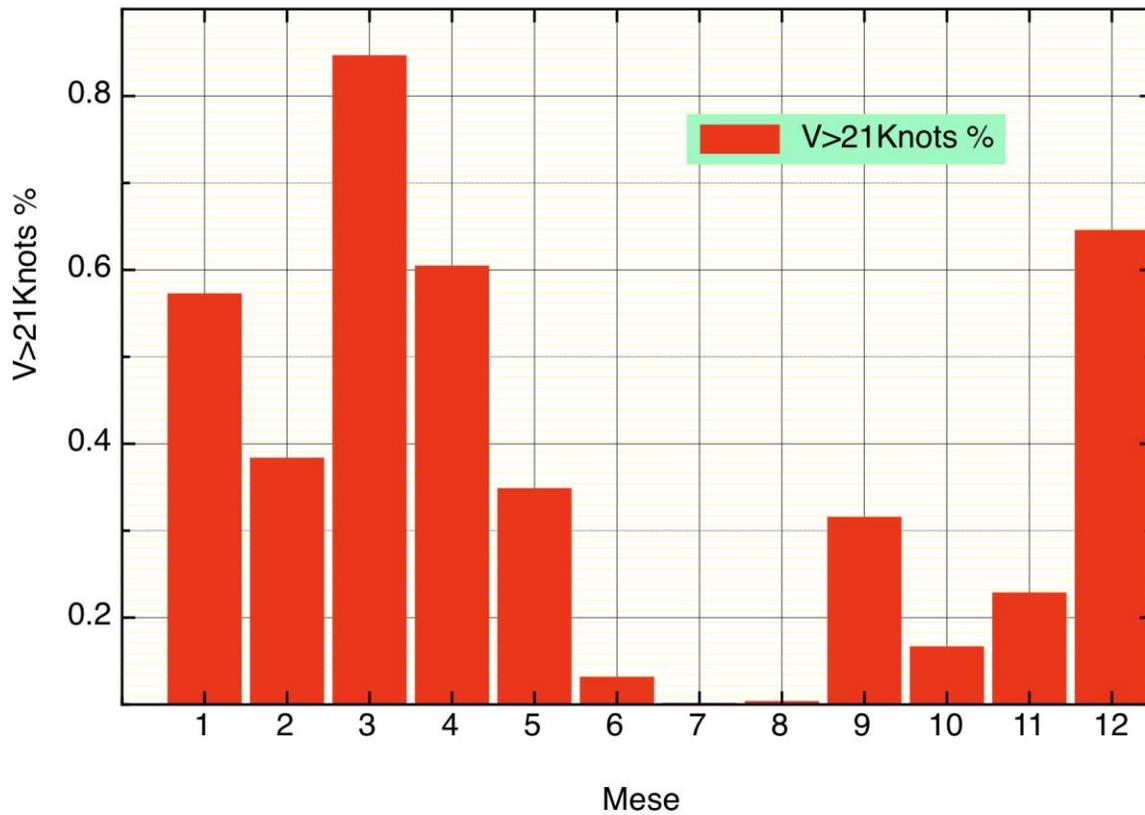


V (knots)	Eccedenza (ore/anno)	Eccedenza (giorni/anno)	Pnec
33.00000	9.00000	0.37500	0.99897
27.00000	12.35000	0.51400	0.99859
21.00000	32.70000	1.36000	0.99627
16.00000	136.00000	5.56000	0.98447
11.00000	765.00000	31.90000	0.91266
7.00000	2430.0000	101.0000	0.72256

**Figura 2.2 – Eccedenze della velocità del vento – Dati omnidirezionali**



**Figura 2.3 – Estrapolazione ai valori estremi della velocità del vento. Adattamento con distribuzione tipo Weibull a 3 parametri**



	Mese	V>21 Knots %	Direzione massima frequenza °N
1	1	0.57300	330 (210)
2	2	0.38400	210 (330)
3	3	0.84700	210 (330)
4	4	0.60500	210 (330)
5	5	0.34900	30 (210)
6	6	0.13200	60
7	7	0.10200	30-60
8	8	0.10400	30-60
9	9	0.31600	210
10	10	0.16700	210
11	11	0.22900	210
12	12	0.64600	210 (330)

**Figura 2.4 – Andamenti mensili dei dati anemometrici**

### 3 LIVELLI DEL MARE

#### 3.1 GENERALITÀ

Per il presente progetto si considerano dati, elaborazioni e risultati del Cap. 5 della Relazione Idraulico Marittima del Progetto Preliminare, che viene allegata in copia controfirmato per accettazione.

Vengono nel seguito riassunti i risultati più significativi ai fini progettuali.

#### 3.2 LIVELLO DI RIFERIMENTO PER IL PROGETTO – MAREA ASTRONOMICA

Lo 0.0 livello medio mare rappresenta il livello di riferimento adottato nei rilievi topografici e batimetrici degli studi specialistici eseguiti nell'ambito del Progetto Preliminare.

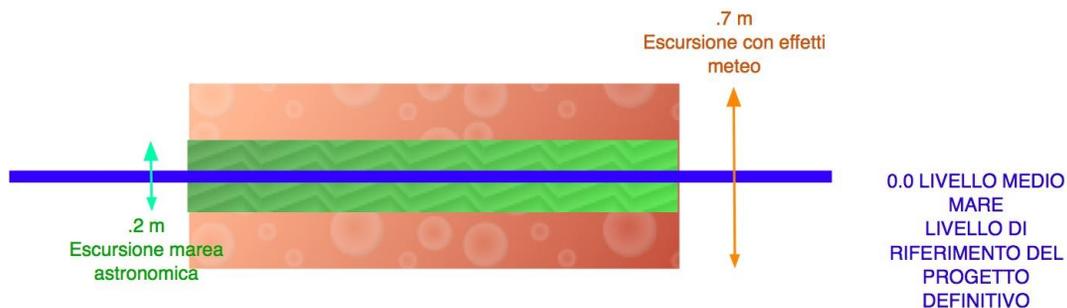
Tale livello costituisce quindi il riferimento del presente Progetto Definitivo.

La marea astronomica localmente è di tipo semidiurno, con due alte maree e due basse maree al giorno. L'ampiezza dell'escursione di marea astronomica è limitata a circa 20 cm (Fig. 3.1).

#### 3.3 ESCURSIONI MASSIME

Tenendo conto degli effetti meteo si hanno i seguenti valori massimi di variazione del livello rispetto al medio mare (Fig. 3.1):

- Massimo innalzamento +0.34 m l.m.m.
- Massimo abbassamento -0.35 m l.m.m.



**Figura 3.1 – Livello di riferimento del Progetto ed escursioni del livello del mare**

## **4 CARATTERISTICHE DELLE CORRENTI**

### **4.1 GENERALITÀ**

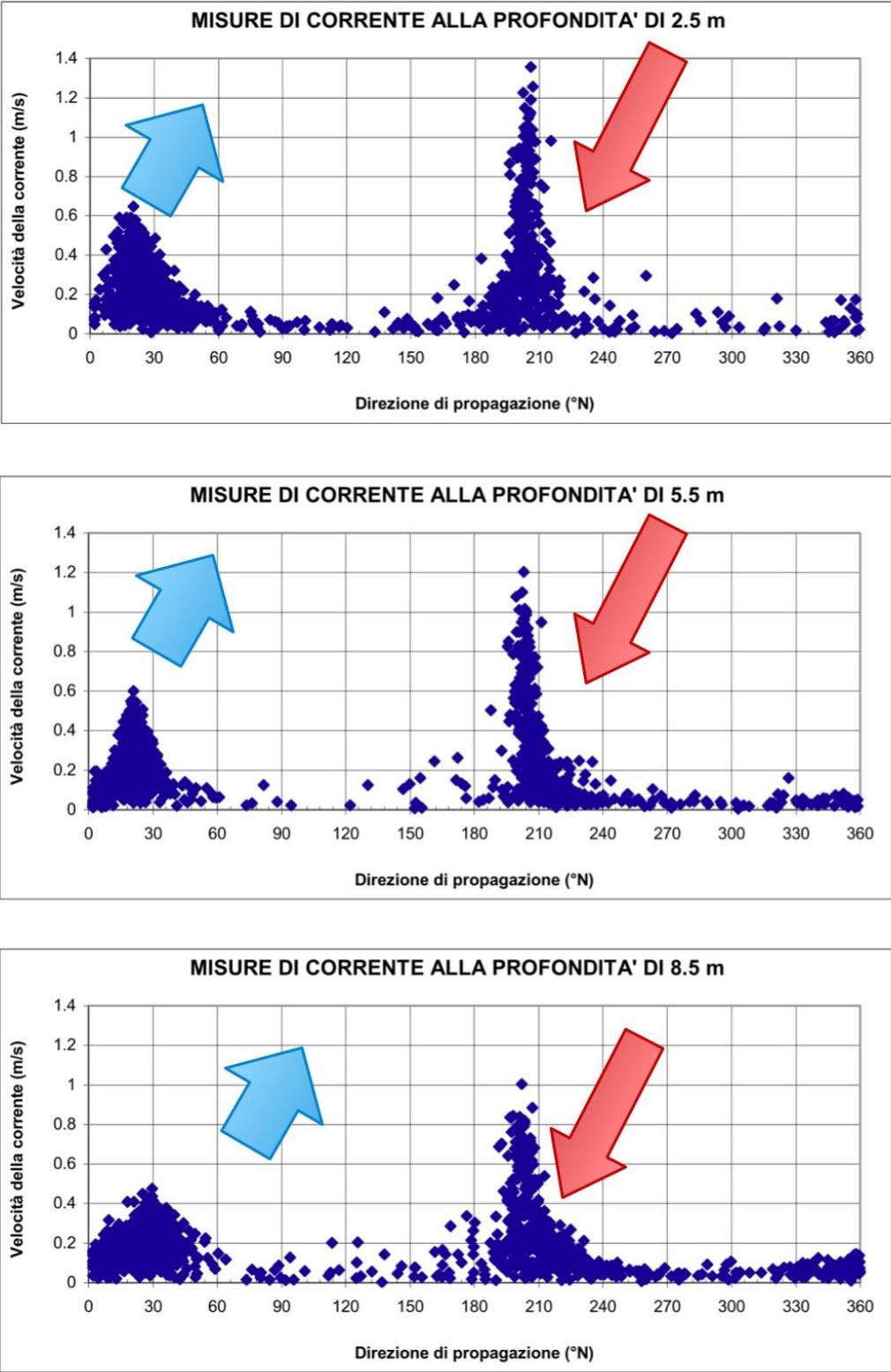
Si condividono i dati e le analisi contenute nel Capitolo 6 della Relazione dello Studio Idraulico Marittimo del Progetto Preliminare, capitolo che si allega in copia controfirmata.

Nel seguito si riportano in sintesi le caratteristiche principali delle correnti locali.

### **4.2 CARATTERISTICHE LOCALI DELLE CORRENTI**

L'analisi è basata su dati di letteratura e su rilievi locali eseguiti nell'ambito di altri progetti. Questi ultimi individuano le seguenti caratteristiche principali delle correnti (Fig. 4.1):

- il fattore predominante è la marea (responsabile per circa il 70%);
- le correnti locali sono dirette prevalentemente lungo l'asse 210°N-30°N. La direzione si inverte con la marea;
- le correnti dirette verso sud hanno velocità massima superiori a 1 m/s e durata 2-4 ore;
- le correnti dirette verso nord hanno durata superiore (5-8 ore) con velocità mediamente inferiori, pari a 0.3-0.4 m/s.



**Figura 4.1 – Rilievo correntometrici locali**

## **5 CARATTERISTICHE DEL MOTO ONDOSI AL LARGO**

### **5.1 GENERALITÀ**

Le caratteristiche del moto ondoso nel sito del progetto sono state oggetto di approfondite analisi, eseguite sia nell'ambito degli studi condotti per la redazione del Piano Regolatore del Porto di Messina sia in sede di Progetto Preliminare.

Per il presente progetto si condividono i dati, le elaborazioni ed i risultati contenuti nel Capitolo 7 della Relazione dello Studio Idraulico Marittimo del Progetto Preliminare, capitolo che viene controfirmato ed accluso in copia.

Nei paragrafi seguenti vengono riassunti i risultati più significativi ai fini del presente Progetto Definitivo.

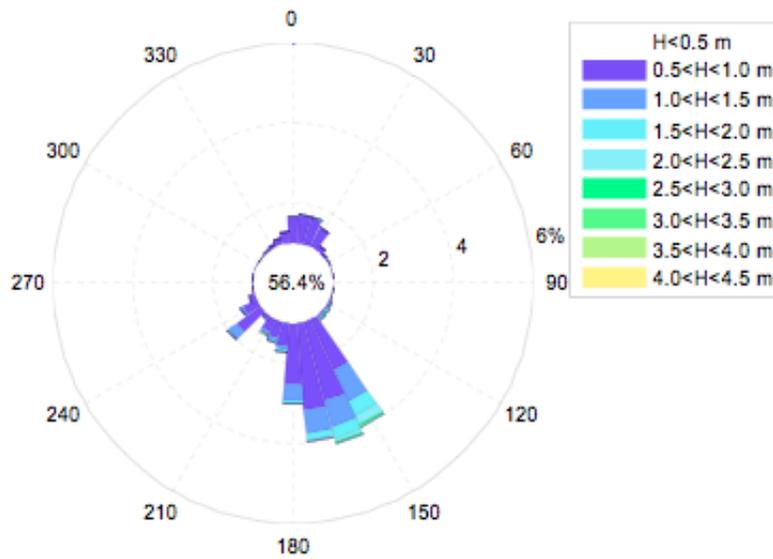
### **5.2 CLIMA RAPPRESENTATIVO AL LARGO**

La Fig. 5.1 riporta le percentuali di occorrenza del moto ondoso al largo per intervalli di altezza d'onda significativa e direzione di provenienza.

Il settore di traversia principale è quello compreso tra 150° e 180°N.

Il settore secondario 0°N-30°N è caratterizzato da moti ondosi sensibilmente inferiori sia come frequenza che come altezze significative.

Dir[°N]	Hs[m]								
	0-0.5	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
0	5.230	0.678	0.002	-	-	-	-	-	-
10	5.091	0.703	0.023	-	-	-	-	-	-
20	7.407	0.698	0.016	0.016	-	-	-	-	-
30	6.517	0.539	0.002	-	-	-	-	-	-
40	4.425	0.139	-	-	-	-	-	-	-
50	3.908	0.061	-	-	-	-	-	-	-
60	2.657	0.023	-	0.002	-	-	-	-	-
70	1.973	0.002	0.002	-	-	-	-	-	-
80	1.404	0.005	-	-	-	-	-	-	-
90	1.243	-	-	-	-	-	-	-	-
100	0.945	0.009	0.007	-	-	-	-	-	-
110	0.688	0.007	0.011	-	-	0.002	-	-	-
120	0.726	0.032	0.032	0.009	0.007	0.005	-	-	-
130	0.681	0.039	0.023	0.025	0.027	0.009	0.002	-	-
140	0.679	0.055	0.032	0.018	0.020	0.020	0.007	-	-
150	2.183	1.418	0.849	0.398	0.239	0.057	0.011	0.011	0.004
160	3.469	2.051	0.667	0.315	0.091	0.027	0.011	-	0.004
170	3.431	2.180	0.595	0.171	0.027	0.004	0.004	-	-
180	3.912	1.528	0.398	0.080	0.015	0.004	-	0.004	0.004
190	2.331	0.588	0.102	0.053	0.004	0.008	-	0.004	-
200	1.581	0.428	0.091	0.027	0.004	0.004	-	-	-
210	1.365	0.334	0.102	0.015	0.004	-	0.004	0.004	-
220	0.414	0.081	0.033	0.005	0.001	-	0.001	-	-
230	1.850	0.748	0.246	0.025	0.002	-	0.002	-	-



**Figura 5.1 – Clima rappresentativo del moto ondoso al largo**

## **6 CARATTERISTICHE DEL MOTO ONDOSO IN PROSSIMITÀ DELLA COSTA – EVENTI ESTREMI**

### **6.1 GENERALITÀ**

Nella Relazione dello Studio Idraulico Marittimo del Progetto Preliminare è stata eseguita una modellazione con il codice di calcolo MIKE 21 SW (DHI) della propagazione del moto ondosso dal largo fino a punti significativi posti lungo costa.

I punti in cui si sono ottenuti i sottoclimi costieri sono individuati nella Fig. 6.1.

Le profondità in corrispondenza di questi punti sono superiori a 10 m, per cui non sono ancora sensibili gli effetti di frangimento.

I risultati delle analisi sono riportati nei Capitoli 8 e 9 della Relazione, che sono allegati alla presente controfirmati per accettazione.

Nel seguito si riassumono gli elementi essenziali ai fini progettuali.

### **6.2 CLIMI COSTIERI**

Nella Fig. 6.2 si riporta il sottoclima costiero ricavato nel punto 2, ubicato nell'area antistante l'entrata del nuovo porto.

Come si può notare si mantiene il ruolo dominante del settore 150°N-180°N presente nel clima al largo. Le onde di maggiore altezza hanno direzione di provenienza compresa nel settore 140°N-160°N, con altezze significative massime nel campo 3,5-4,0 m.

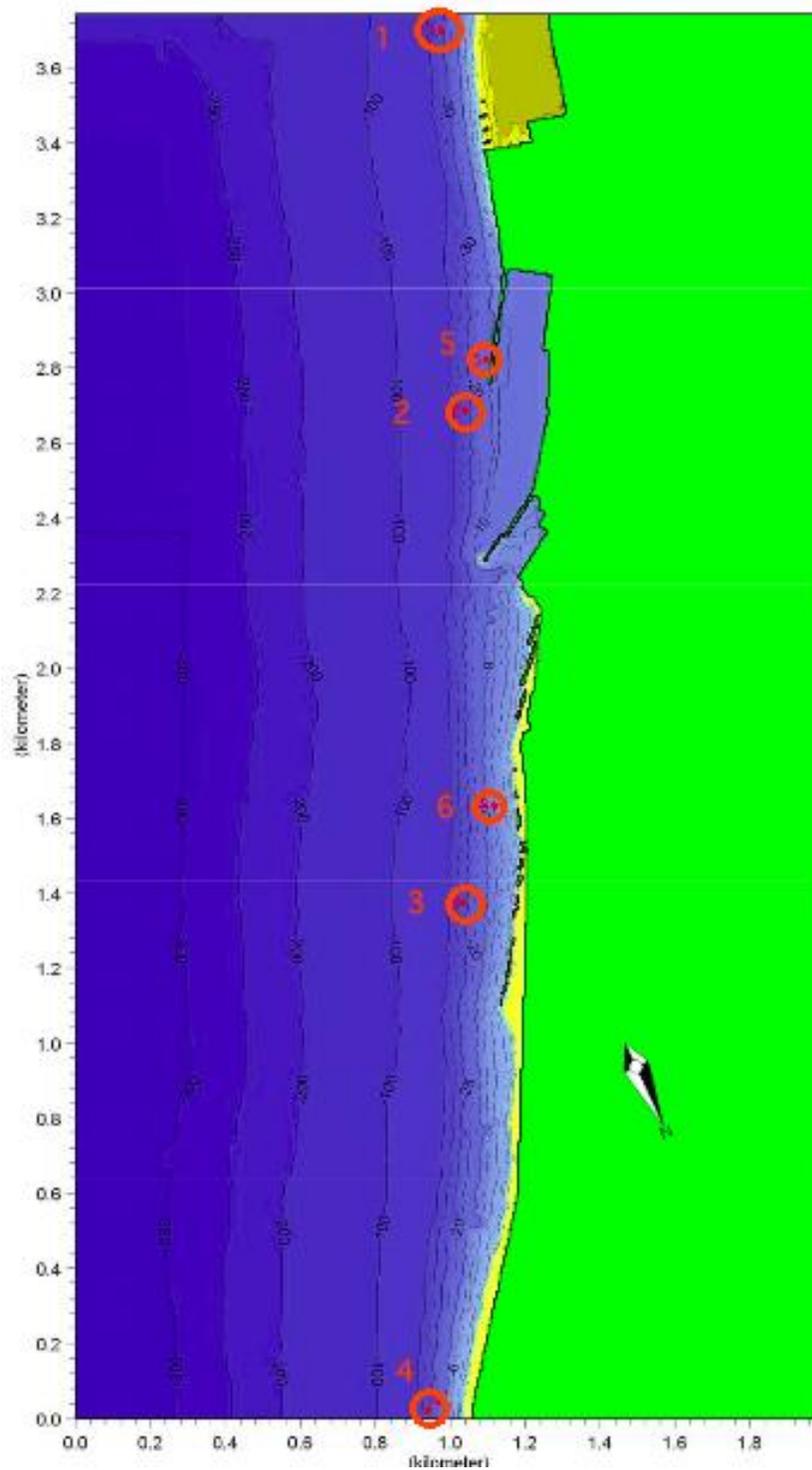
Per le onde del primo quadrante è significativa la sola direzione 50°N con onde significative massime di 1 m.

### **6.3 ONDE ESTREME IN PROSSIMITÀ DELLA COSTA**

I risultati presentati nella Relazione Idraulico Marittima del Progetto Preliminare sono stati integrati con risposte al quesito n. 10. Nelle risposte sono state fornite le tabelle riportate nella Fig. 6.3, relative al settore di traversia principale.

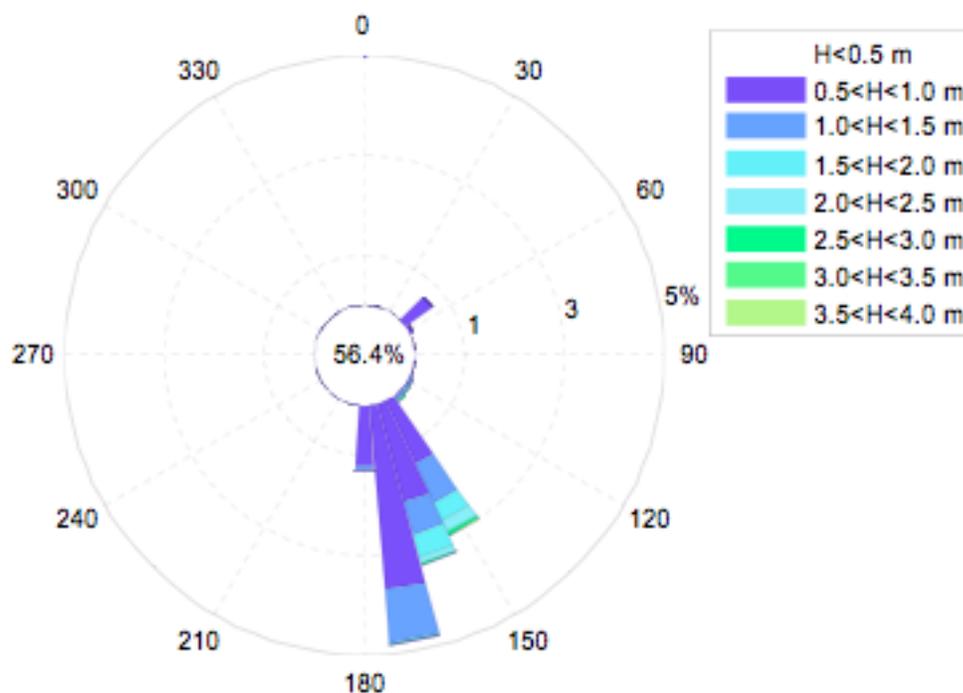
Per quanto riguarda le onde provenienti dal primo quadrante è stata condotta nell'ambito del Progetto Preliminare un'analisi apposita, con l'impiego del modello SWAN (Cap. 11).

I risultati, pure condivisi, di questa analisi sono riportati nella Fig. 6.4



**Figura 6.1 – Punti in cui sono stati ottenuti i sottoclimi ondosi in prossimità della costa (dallo Studio Idraulico Marittimo del Progetto Preliminare)**

Dir[°N]	Hs[m]							
	0-0.5	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
50	10.950	0.676	-	-	-	-	-	-
60	3.912	0.083	-	-	-	-	-	-
70	4.633	-	-	-	-	-	-	-
80	2.648	0.003	-	-	-	-	-	-
90	0.944	-	-	-	-	-	-	-
100	-	0.008	0.005	-	-	-	-	-
110	0.688	0.005	0.010	-	-	-	-	-
120	0.726	0.030	0.030	0.008	0.005	0.003	-	-
130	0.681	0.038	0.023	0.025	0.025	0.008	-	-
140	0.678	0.053	0.030	0.018	0.020	0.020	0.005	-
150	5.657	1.419	0.848	0.398	0.238	0.065	0.020	0.005
160	3.434	2.052	0.666	0.483	0.118	0.028	0.003	-
170	6.247	3.709	0.994	0.103	0.003	0.005	-	-
180	1.582	1.206	0.080	0.003	-	-	-	-



**Figura 6.2 – Sottoclima costiero nel Punto 2**

Tabella 9.VIa Valutazione dell'altezza d'onda per fissati tempi di ritorno:

Punto 2 - Direzione di provenienza 145-215°N.

Tr	P	Hs	Dir	T <sub>m</sub>	T <sub>p</sub>
[anni]		[m]	[°N]	[s]	[s]
1	0.714	3.24	146.29	6.18	7.92
2	0.857	3.53	145.92	6.46	8.28
5	0.943	3.86	145.33	6.78	8.70
10	0.971	4.10	144.89	7.00	8.98
50	0.994	4.59	143.96	7.46	9.57
100	0.997	4.80	143.58	7.64	9.80
120	0.998	4.84	143.46	7.69	9.85
150	0.998	4.91	143.34	7.74	9.92
200	0.999	4.99	143.20	7.81	10.01
250	0.999	5.05	143.08	7.86	10.08

Tabella 9.VIb Valutazione dell'altezza d'onda per fissati tempi di ritorno:

Punto 5 - Direzione di provenienza 145-215°N.

Tr	P	Hs	Dir	T <sub>m</sub>	T <sub>p</sub>
[anni]		[m]	[°N]	[s]	[s]
1	0.714	3.06	140.86	6.18	7.92
2	0.857	3.34	140.15	6.46	8.28
5	0.943	3.66	139.27	6.78	8.70
10	0.971	3.89	138.69	7.00	8.98
50	0.994	4.38	137.53	7.46	9.57
100	0.997	4.58	137.10	7.64	9.8.0
120	0.998	4.63	136.99	7.69	9.85
150	0.998	4.70	136.86	7.74	9.92
200	0.999	4.78	136.70	7.81	10.01
250	0.999	4.83	136.58	7.86	10.08

Tabella 9.VIc Valutazione dell'altezza d'onda per fissati tempi di ritorno:

Punto 6 - Direzione di provenienza 145-215°N.

Tr	P	Hs	Dir	T <sub>m</sub>	T <sub>p</sub>
[anni]		[m]	[°N]	[s]	[s]
1	0.714	2.97	135.08	6.18	7.92
2	0.857	3.23	134.33	6.46	8.28
5	0.943	3.53	133.46	6.78	8.70
10	0.971	3.73	132.92	7.00	8.98
50	0.994	4.16	131.89	7.46	9.57
100	0.997	4.34	131.52	7.64	9.80
120	0.998	4.38	131.43	7.69	9.85
150	0.998	4.43	131.33	7.74	9.92
200	0.999	4.50	131.19	7.81	10.01
250	0.999	4.54	131.09	7.86	10.08

**Figura 6.3 – Valori estremi di altezza d'onda (risposta al Quesito 10)**

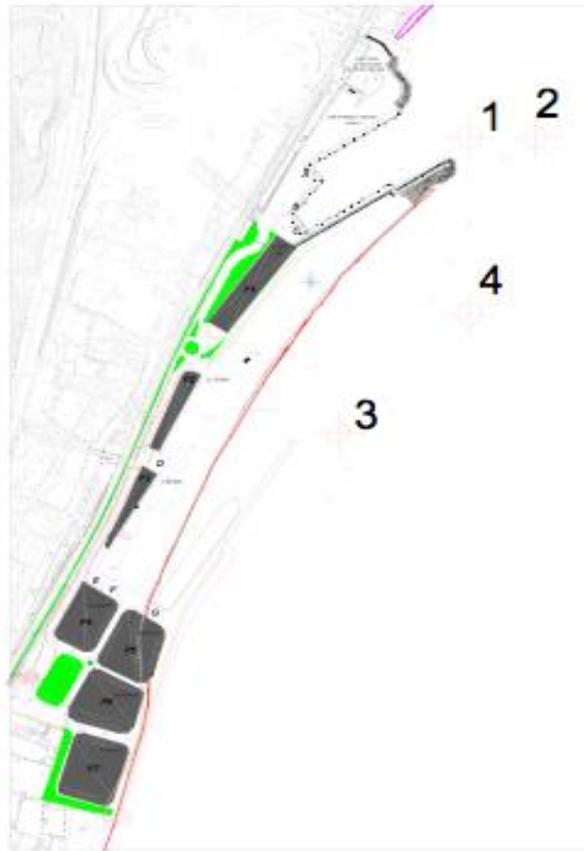


Tabella 11.I Caratteristiche del moto ondoso in prossimità del porto di Tremestieri valutate con il modello SWAN per eventi eolici provenienti dal settore 0-45°N.

N	X <sub>p</sub> [m]	Y <sub>p</sub> [m]	T. [anni]	V [m/s]	Dir Vento [°N]	H <sub>s</sub> [m]	T <sub>m</sub> [sec]	Dir [°N]
1	2566090	4220640	1	15	10	0.70	2.7	68
2	2566180	4220640	1	15	10	0.91	2.9	53
3	2565910	4220190	1	15	10	0.88	2.8	56
4	2566090	4220370	1	15	10	0.98	2.9	50
1	2566090	4220640	1	15	20	0.76	2.7	70
2	2566180	4220640	1	15	20	0.98	2.9	55
3	2565910	4220190	1	15	20	0.95	2.9	58
4	2566090	4220370	1	15	20	1.06	3.0	51
1	2566090	4220640	2	17	10	0.81	2.9	70
2	2566180	4220640	2	17	10	1.06	3.0	53
3	2565910	4220190	2	17	10	1.02	3.0	57
4	2566090	4220370	2	17	10	1.16	3.1	50

Figura 6.4 – Analisi delle onde dal 1° quadrante (dalla Relazione Idraulico Marittima del Progetto Preliminare)

## **7 ONDE DI PROGETTO PER LE OPERE**

### **7.1 GENERALITÀ**

Nel presente capitolo vengono definite le caratteristiche del moto ondoso assunte per il dimensionamento delle diverse parti delle opere a mare del presente Progetto Definitivo.

I dati iniziali sono rappresentati nelle caratteristiche delle onde associate a diversi periodi di ritorno così come definite nel Capitolo precedente.

Il procedimento seguito consiste nei seguenti passi:

- a) individuazione dei punti che per tipologia ed esposizione delle opere risultano significativi per l'individuazione delle onde di progetto;
- b) individuazione nel singolo tratto degli aspetti progettuali da esaminare (stabilità al moto ondoso, dimensionamento strutturale, tracimazione, etc.)
- c) scelta del periodo di ritorno degli eventi da considerare per i diversi aspetti;
- d) valutazione delle caratteristiche dei moti ondosi corrispondenti ai periodi di ritorno prescelti;

Per quanto riguarda il punto d) sono stati eseguiti calcoli di propagazione del moto ondoso tra i punti di valutazione dei sottoclimi costieri e la posizione dell'opera in esame.

È stato utilizzato il modello matematico ENDEC, sviluppato da Delft Hydraulics, in quanto questo modello permette di ottenere una riproduzione dettagliata ed affidabile degli effetti di dissipazione di energia nella zona di frangimento.

### **7.2 PUNTI SIGNIFICATIVI PER LA DETERMINAZIONE DELLE ONDE DI PROGETTO**

Con riferimento allo schema grafico di Fig. 7.1 sono stati individuati i seguenti punti significativi.

Punto A – Significativo ai fini delle verifiche di stabilità idraulica e tracimazione delle scogliere di protezione Sona Sud e delle opere di protezione dello sfocio del Farota-Canneto.

Punto B – Posto in prossimità del tratto più profondo della diga foranea. Significativo per le onde da utilizzare per il calcolo delle spinte sulla parete verticale e per la tracimazione del molo.

Punto C – Punto significativo per la stabilità idraulica e la tracimazione dell'opera di riva, per cui si è adottata tipologia a scogliera assorbente.

Punto D – Punto significativo per stabilità e tracimazione dell'opera adiacente al molo del porto esistente, per cui si è prescelta la tipologia a scogliera assorbente.

Punto E – Punto significativo per il dimensionamento delle opere di contenimento del ripascimento.

### 7.3 PUNTO A

#### 7.3.1 Aspetti da esaminare e periodi di ritorno di riferimento

Gli aspetti principali da considerare riguardano:

- dimensionamento degli elementi della mantellata principale;
- tracimazione del moto ondoso.

Per definire il periodo di ritorno degli eventi da considerare per il primo aspetto si sono seguite le "Istruzioni Tecniche per la progettazione delle dighe marittime" del Consiglio Superiore LL.PP., con il seguente sviluppo.

Parametro	Valore prescelto	Rif. Istruz. Tecniche
Tipo dell'opera	Infrastrutture per uso specifico	
Livello di sicurezza richiesto	2	
Durata minima di vita	$T_R = 25$ anni	Tab. 1
Condizione di danneggiamento	Incipiente	
Rischio per la vita umana	Limitato	
Ripercussione economica	Media	
Max probabilità di danno ammissibile	$P_f = 0,30$	Tab. 2

Il periodo di ritorno da considerare risulta quindi:

$$T_{rp} = T_v / [-\ln(1-P_f)]$$

$$T_{rp} = 25 / [-\ln(0,70)] = 70 \text{ anni}$$

Si considera a favore di sicurezza  $T_{rp} = 100$  anni.

Per la verifica dei livelli di tracimazione si è considerato il seguente campo di periodi di ritorno:

$$T_R = 1 \text{ anno}$$

$$T_R = 10 \text{ anni}$$

$$T_R = 50 \text{ anni}$$

#### 7.3.2 Onde di progetto

Si prendono come riferimento le onde estreme valutate nel Punto 5 (Cap. 6 – Fig. 6.3) aventi le seguenti caratteristiche.

$T_R = 1$ anno	$H_S = 3.06$ m	$T_P = 7.92$ s	Direzione = $140.86^\circ N$
$T_R = 10$ anni	$H_S = 3.89$ m	$T_P = 8.98$ s	Direzione = $138.69^\circ N$
$T_R = 50$ anni	$H_S = 4.38$ m	$T_P = 9.57$ s	Direzione = $137.53^\circ N$
$T_R = 100$ anni	$H_S = 4.58$ m	$T_P = 9.80$ s	Direzione = $137.10^\circ N$

Per verificare le trasformazioni che il moto ondoso irregolare subisce nella propagazione su bassi fondali è stato utilizzato il modello ENDEC.

Il modello, assegnato il profilo del fondale e le condizioni di moto ondoso al confine, permette di calcolare la trasformazione del moto ondoso irregolare per effetto di rifrazione, shoaling e dissipazione di energia in seguito all'attrito sul fondo ed al frangimento.

Nelle Fig. 7.2 e 7.3 sono presentati a titolo esemplificativo i risultati ottenuti per l'onda con  $T_R = 100$  anni.

Come si può notare, in relazione alla forte ripidità del profilo, le onde cominciano a frangere in corrispondenza della batimetria -10 circa ma non si riducono in altezza se non alla batimetria -5 circa, dove la percentuale di onde frangenti supera il 50%.

Basandosi sui risultati ottenuti si valutano le seguenti onde di progetto per le opere a scogliera:

Stabilità	$T_R = 100$ anni	$H_S = 4.70$ m	$T_P = 9.80$ s
Tracimazione	$T_R = 1$ anno	$H_S = 3.10$ m	$T_P = 7.92$ s
	$T_R = 10$ anni	$H_S = 4.0$ m	$T_P = 9.00$ s
	$T_R = 50$ anni	$H_S = 4.5$ m	$T_P = 9.57$ s

## 7.4 PUNTO B

### 7.4.1 Aspetti da esaminare e periodi di ritorno di riferimento

Gli aspetti principali per cui questo punto risulta significativo sono:

- azioni delle onde sulla parete verticale del tratto terminale del molo foraneo che, essendo imbasato su fondali più profondi, è soggetto ai maggiori carichi
- tracimazione del muro paraonde.

Per definire il periodo di ritorno degli eventi da considerare per il primo aspetto si è seguito lo stesso procedimento descritto nel Paragrafo 7.3.1. Si è tuttavia considerata, come indicato nelle "Istruzioni Tecniche", la condizione di distruzione totale.

Si ha quindi:

$$T_v = 25 \text{ anni}$$

$$P_f = 0,15$$

$T_{RP} = 150$  anni

Per quanto riguarda le verifiche di tracimazione si sono considerati i periodi di ritorno  $T_R = 1$  anno,  $T_R = 10$  anni e  $T_R = 50$  anni.

#### 7.4.2 Onde di progetto

Facendo riferimento ai valori estremi del punto 5 (Fig. 6.3) e con considerazioni analoghe a quelle svolte per il Punto A, si sono ottenute le seguenti onde di progetto per il molo foraneo:

Stabilità	$T_R = 150$ anni	$H_S = 4.70$ m	$T_P = 9.92$ s
	Altezza d'onda in fase di cresta $H_{1/20} = 6.58$		
	Altezza d'onda in fase di cavo $H_{1/100} = 7.8$ m		
Tracimazione	$T_R = 1$ anno	$H_S = 3.0$ m	$T_P = 7.92$ s
	$T_R = 10$ anni	$H_S = 3.90$ m	$T_P = 9.00$ s
	$T_R = 50$ anni	$H_S = 4.40$ m	$T_P = 9.57$ s

### 7.5 PUNTI C E D

#### 7.5.1 Aspetti da esaminare e periodi di ritorno di riferimento

I punti B e C sono significativi per definire le onde di progetto dei tratti più esposti delle opere interne del bacino.

Per queste opere, al fine di garantire il massimo contenimento della riflessione e della tracimazione, si è prevista la tipologia a scogliera assorbente.

I periodi di ritorno di riferimento, per le considerazioni già esposte nel Paragrafo 7.3 sono:

- Stabilità  $T_R = 100$  anni
- Tracimazione  $T_R = 1$  anno, 10 anni, 50 anni.

#### 7.5.2 Onde di progetto

Per valutare le onde di progetto in quest'area si è fatto riferimento alla statistica degli estremi del punto 2 (Fig. 6.3).

Gli effetti sulla propagazione del moto ondoso sul profilo dragato a quota -9.0 l.m.m. sono stati analizzati mediante calcoli con il modello ENDEC.

Come si può notare dal grafico di  $H_S$  lungo il profilo (Fig. 7.4) l'onda con  $H_S = 4.80$  m e  $T_P = 9.80$  s non subisce variazioni sensibili.

Le onde di progetto sono quindi:

- |                              |                  |                |                |
|------------------------------|------------------|----------------|----------------|
| - Stabilità delle mantellate | $T_R = 100$ anni | $H_S = 4.80$ m | $T_P = 9.80$ s |
| - Tracimazione               | $T_R = 1$ anno   | $H_S = 3.24$ m | $T_P = 7.92$ s |
|                              | $T_R = 10$ anni  | $H_S = 4.10$ m | $T_P = 8.98$ s |
|                              | $T_R = 50$ anni  | $H_S = 4.59$ m | $T_P = 9.57$ s |

## 7.6 PUNTO E

### 7.6.1 Aspetti da esaminare e periodi di ritorno di riferimento

Il punto E è significativo per determinare le onde di progetto delle scogliere di contenimento dell'intervento di ripascimento.

Il periodo di ritorno dell'evento da considerare viene definito con le procedure indicate nelle "Istruzioni Tecniche per la progettazione delle dighe marittime" del Ministero LL.PP., con il seguente sviluppo.

Parametro	Valore prescelto	Rif. Istruz. Tecniche
Tipo dell'opera	Infrastrutture per uso generale	
Livello di sicurezza richiesto	1	
Durata minima di vita	$T_R = 25$ anni	Tab. 1
Condizione di danneggiamento	Incipiente	
Rischio per la vita umana	Limitato	
Ripercussione economica	Bassa	
Max probabilità di danno ammissibile	$P_f = 0,50$	Tab. 2

Il periodo di ritorno da considerare risulta quindi:

$$T_{rp} = T_v / [-\ln(1-P_f)]$$

$$T_{rp} = 25 / [-\ln(0,50)] = 36 \text{ anni}$$

Si considera a favore di sicurezza  $T_{rp} = 50$  anni.

### 7.6.2 Onde di progetto

Le opere a scogliera emergenti e sommerse che contengono il ripascimento sono imbasate in corrispondenza della batimetria del profilo esistente -5.0 m l.m.m.

Mediante calcoli con il programma ENDEC si sono valutate le seguenti caratteristiche delle onde di progetto:

$$T_R = 50 \text{ anni } H_S = 3.50 \text{ m e } T_P = 9.57 \text{ frangenti}$$



**Figura 7.1 – Ubicazione dei punti significativi per la scelta delle quote di progetto.**

Il Sindaco del Comune di Messina - Commissario Delegato ex O.P.C.M. n. 3721 del 19 Dicembre 2008  
**LAVORI DI COSTRUZIONE DELLA PIATTAFORMA LOGISTICA INTERMODALE TREMESTIERI**  
**CON ANNESSO SCALO PORTUALE - PRIMO STRALCIO FUNZIONALE**  
**PROGETTO DEFINITIVO**

x (m)	Profondità (m)	Sovralzo (m)	Hs (m)	H100 (m)	H1000 (m)	Teta (°)	Frangenti %	Lunghezza (m)
0	-20.00	0.30	4.58	6.48	7.65	30.00	0.00	118.70
1	-19.40	0.30	4.58	6.46	7.63	30.00	0.00	117.60
2	-18.90	0.30	4.58	6.44	7.60	29.00	0.00	116.40
3	-18.30	0.30	4.57	6.43	7.58	29.00	0.00	115.10
4	-17.70	0.30	4.57	6.41	7.56	29.00	0.00	113.90
5	-17.10	0.29	4.58	6.40	7.53	28.00	0.00	112.50
6	-16.50	0.29	4.58	6.39	7.51	28.00	0.00	111.20
7	-16.00	0.29	4.58	6.37	7.48	28.00	0.00	109.70
8	-15.40	0.29	4.58	6.36	7.45	27.00	0.00	108.30
9	-14.80	0.29	4.59	6.35	7.43	27.00	0.00	106.70
10	-14.30	0.29	4.60	6.35	7.40	26.00	0.00	105.20
11	-13.70	0.28	4.61	6.34	7.38	26.00	0.10	103.50
12	-13.10	0.28	4.62	6.32	7.36	25.00	0.10	101.80
13	-12.50	0.28	4.63	6.31	7.33	25.00	0.20	100.00
14	-11.90	0.28	4.65	6.30	7.30	24.00	0.30	98.20
15	-11.40	0.27	4.66	6.29	7.27	24.00	0.50	96.20
16	-10.80	0.27	4.68	6.28	7.24	23.00	0.90	94.20
17	-10.20	0.27	4.69	6.27	7.20	23.00	1.40	92.20
18	-9.60	0.26	4.72	6.26	7.17	22.00	2.30	90.00
19	-9.10	0.26	4.74	6.25	7.13	22.00	3.60	87.70
20	-8.50	0.25	4.77	6.23	7.07	21.00	5.70	85.30
21	-8.10	0.25	4.79	6.21	7.03	21.00	7.60	83.60
22	-7.70	0.25	4.80	6.18	6.98	20.00	10.20	81.80
23	-7.30	0.24	4.81	6.16	6.93	20.00	13.70	80.00
24	-6.90	0.24	4.82	6.13	6.87	19.00	18.20	78.20
25	-6.60	0.24	4.83	6.09	6.79	19.00	24.20	76.20
26	-6.20	0.23	4.84	6.04	6.72	18.00	32.20	74.20
27	-5.80	0.23	4.84	5.99	6.62	18.00	42.80	72.10
28	-5.40	0.22	4.84	5.93	6.52	17.00	57.00	69.90
29	-5.00	0.22	4.84	5.85	6.40	17.00	75.70	67.60
30	-4.70	0.22	4.82	5.76	6.28	16.00	96.40	65.50
31	-4.30	0.25	4.57	5.47	5.94	16.00	100.00	63.60
32	-4.00	0.28	4.29	5.12	5.57	15.00	99.90	61.70
33	-3.70	0.32	4.01	4.78	5.20	15.00	99.90	59.60
34	-3.30	0.36	3.72	4.45	4.83	14.00	99.90	57.50
35	-3.00	0.40	3.44	4.10	4.46	13.00	99.90	55.30
36	-2.80	0.42	3.26	3.89	4.23	13.00	100.00	53.90
37	-2.60	0.45	3.09	3.69	4.01	13.00	100.00	52.50
38	-2.40	0.47	2.92	3.48	3.78	12.00	100.00	51.00
39	-2.20	0.50	2.75	3.27	3.55	12.00	100.00	49.50
40	-2.00	0.52	2.58	3.06	3.33	12.00	100.00	47.90
41	-1.90	0.53	2.49	2.96	3.22	11.00	100.00	47.10
42	-1.80	0.55	2.40	2.86	3.10	11.00	100.00	46.30
43	-1.70	0.56	2.32	2.76	2.99	11.00	100.00	45.40
44	-1.60	0.57	2.22	2.65	2.87	11.00	100.00	44.60
45	-1.50	0.58	2.14	2.55	2.76	11.00	100.00	43.70
46	-1.40	0.60	2.02	2.40	2.60	10.00	100.00	42.50
47	-1.20	0.62	1.90	2.26	2.45	10.00	100.00	41.20
48	-1.10	0.64	1.78	2.12	2.30	10.00	100.00	39.90
49	-1.00	0.66	1.66	1.98	2.14	9.00	100.00	38.50
50	-0.80	0.67	1.55	1.83	1.98	9.00	100.00	37.10
51	-0.70	0.69	1.42	1.69	1.83	9.00	100.00	35.70
52	-0.50	0.71	1.31	1.55	1.68	8.00	100.00	34.10
53	-0.40	0.73	1.18	1.40	1.52	8.00	100.00	32.50
54	-0.30	0.75	1.06	1.26	1.36	7.00	100.00	30.80
55	-0.10	0.77	0.93	1.10	1.19	7.00	100.00	29.10
56	-0.05	0.80	0.64	1.55	1.83	5.00	100.00	100.00

**Figura 7.2 – Risultati del modello ENDEC – Propagazione dell'onda  $H_s = 4.58$   $T_p = 9.8s$ .**

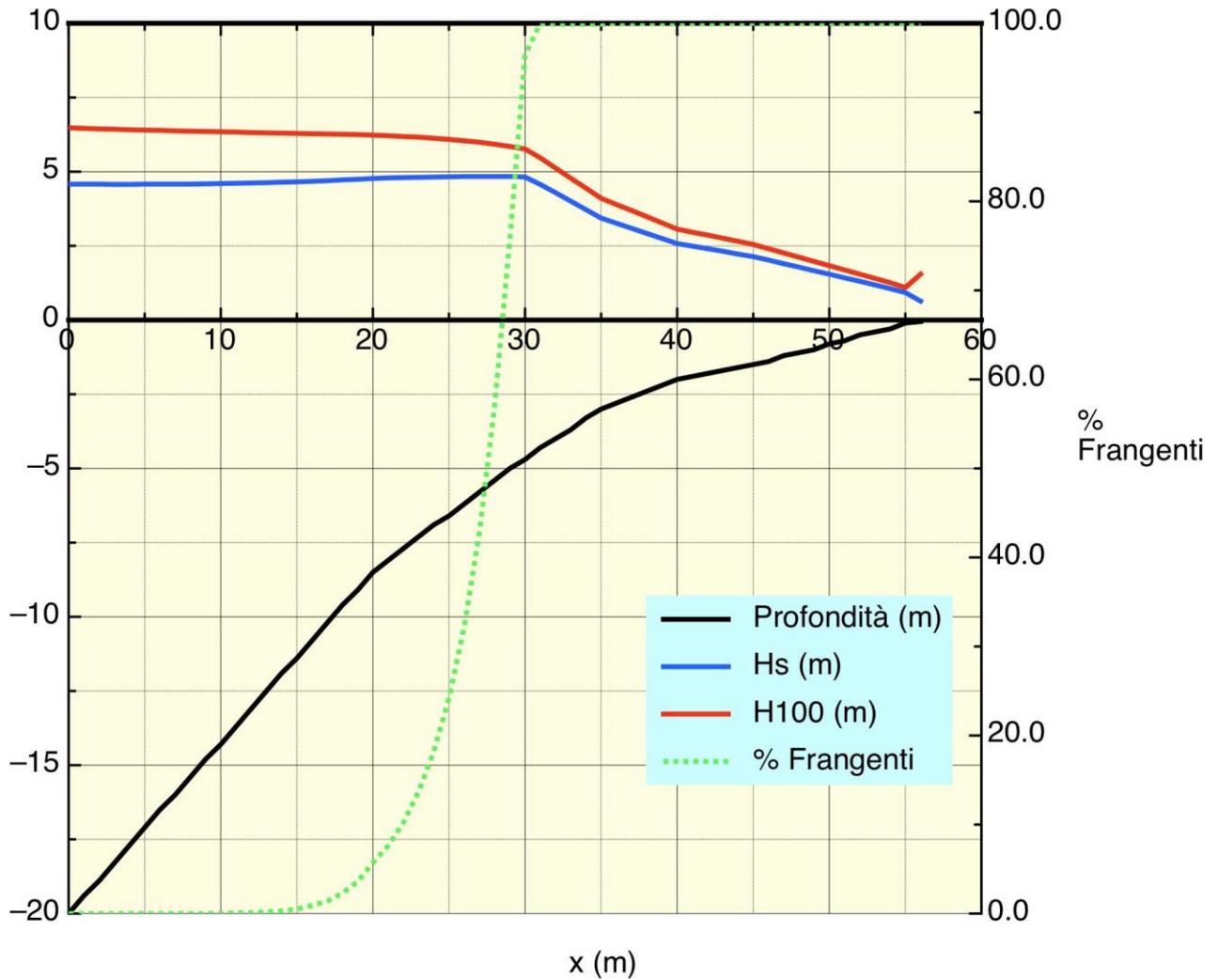
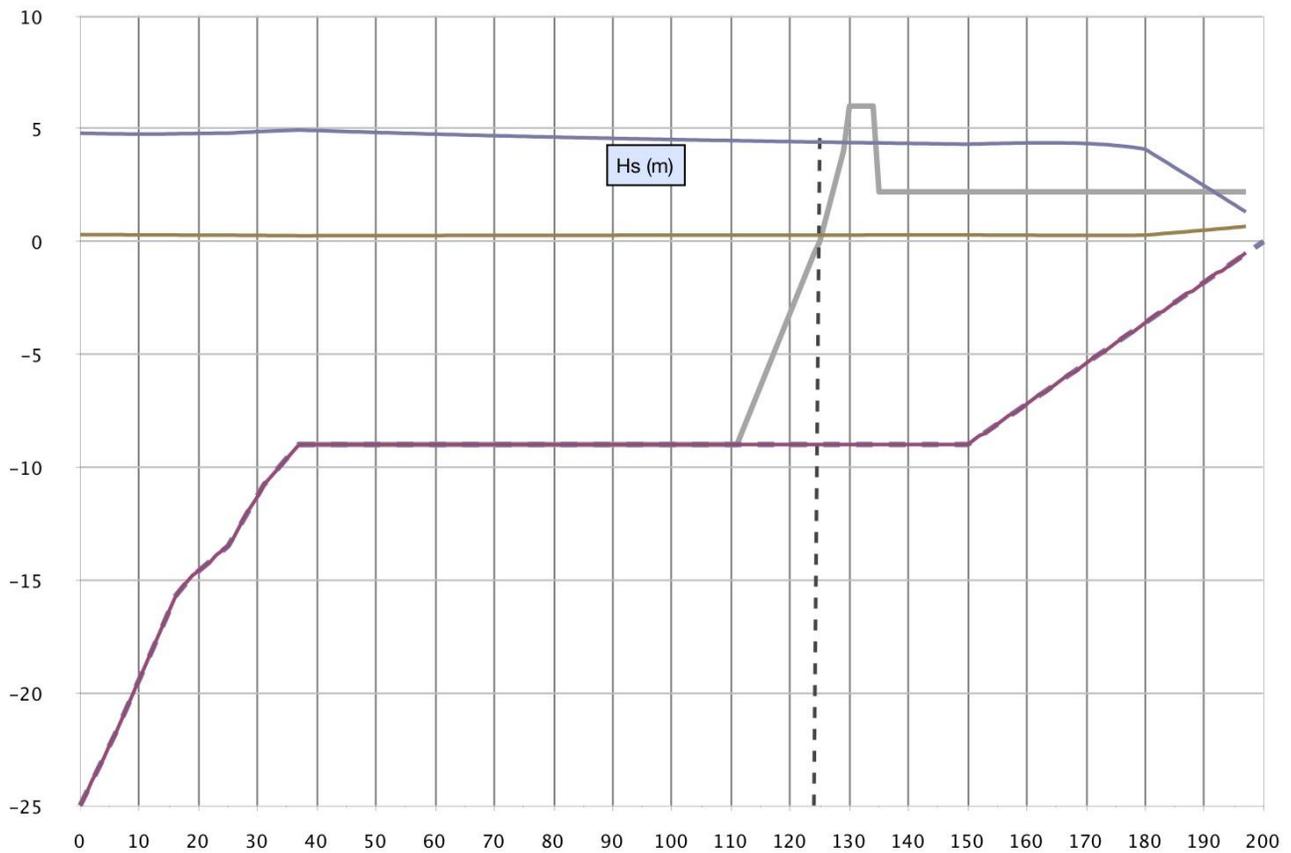


Figura 7.3 – Risultati del modello ENDEC – Propagazione dell’onda  $H_s = 4.58$   $T_P = 9.8s$ . Andamento di  $H_s$ ,  $H_{100}$  e percentuale di onde frangenti



**Figura 7.4 – Propagazione dell'onda  $T_R = 100$  anni  $H_S=4.80$   $T_P=9.80$  s**

Chioggia, lì 18 giugno 2010

**FIRME**

Il Concorrente (costituenda A.T.I.)

**NUOVA CO.ED.MAR. S.r.l.**

(Boscolo Contadin Dante – Amministratore Unico)

**CCC - Società Cooperativa**

(Bedetti Giorgio – Procuratore)

I progettisti indicati (costituenda A.T.I.)

**Favero e Milan Ingegneria Spa**

(Tassi Tommaso - Consigliere Delegato  
Responsabile dell'integrazione prestazioni specialistiche)

**IDROTEC S.r.l**

(Ing. Franco Grimaldi – Presidente)

**Ing. Vincenzo Iacopino**

**Studio Tecnico Falzea**

(Arch. Giuseppe Falzea – Legale Rappresentante  
Associato)

**Arch. Claudio Lucchesi**

**Ing. Manlio Marino**

**Dott. Geol. Sergio Dolfin**

## **4 Studio Anemologico**

### **4.1 Generalità**

Com'è noto, ai fini della progettazione di un'opera costiera, la conoscenza del regime dei venti è di primaria importanza per la caratterizzazione del clima marino in una data area.

Per venti si intendono le correnti orizzontali, o quasi, determinate dagli spostamenti delle masse d'aria generati in conseguenza delle differenze di pressione esistenti tra zone contigue.

Per lo studio del regime dei venti nell'area in esame sono disponibili le misure rilevate nel periodo 1978–1997 presso l'Osservatorio di Messina gestito dal Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare, posto a 51 m s.l.m.m., latitudine 38° 12'N e longitudine (Monte Mario) 15° 33'E e presso l'Osservatorio di Reggio Calabria gestito dal Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare, posto a 21 m s.l.m.m., latitudine 38° 04'N e longitudine (Monte Mario) 15° 39'E

I dati originari riportano la velocità in nodi (1 nodo = 1852 m/h) e la direzione di provenienza del vento con cadenza trioraria.

### **4.2 Regime dei venti – Stazione anemometrica di Messina**

Al fine di caratterizzare il clima medio del regime del vento presso la stazione anemometrica di Messina, la distribuzione dei valori annui della velocità del vento sono raccolti e rappresentati nella Tabella 4.I in cui, per ogni classe di velocità e per ogni classe di direzione del vento, sono riportate le frequenze di apparizione.

Detti dati sono anche stati rappresentati in Figura 4.1, in cui, per ogni direzione, sono riportate le frequenze percentuali di apparizione per tutto il periodo in studio (1978–1997). Da tale Figura si evince come i fenomeni ventosi a maggiore frequenza di apparizione siano

quelli interni ai settori di provenienza da SSW e NNW, mentre le velocità più elevate si riscontrano nel settore SSW.

Tabella 4.I Frequenza annuale delle osservazioni della velocità del vento per classi di velocità e di direzione di provenienza osservati dalla stazione anemometrica di Messina per il periodo 1978–1997.

V [nodi]	P(v>vinf)	Direzione di Provenienza [°N]											
		-15 15	15 45	45 75	75 105	105 135	135 165	165 195	195 225	225 255	255 285	285 315	315 345
0-4	100.000%	5.743%	7.740%	4.291%	0.791%	0.451%	0.612%	1.182%	3.650%	2.984%	1.622%	2.819%	6.784%
4-7	61.330%	4.405%	5.422%	4.696%	0.344%	0.067%	0.183%	1.213%	5.022%	2.037%	0.800%	3.424%	5.973%
7-11	27.744%	1.675%	1.403%	2.428%	0.096%	0.016%	0.036%	1.117%	5.287%	1.260%	0.447%	2.696%	2.549%
11-16	8.734%	0.324%	0.185%	0.203%	0.011%	0.004%	0.013%	0.806%	3.049%	0.516%	0.208%	1.226%	0.634%
16-21	1.553%	0.031%	0.013%	0.004%	0.000%	0.000%	0.002%	0.156%	0.581%	0.063%	0.051%	0.197%	0.080%
21-27	0.373%	0.011%	0.009%	0.000%	0.000%	0.000%	0.002%	0.049%	0.087%	0.016%	0.004%	0.047%	0.007%
27-33	0.141%	0.009%	0.004%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.013%	0.009%	0.000%	0.000%	0.000%	0.002%
>33	0.103%	0.051%	0.025%	0.002%	0.004%	0.000%	0.002%	0.000%	0.004%	0.004%	0.000%	0.009%	0.000%
Calme	22.8%												

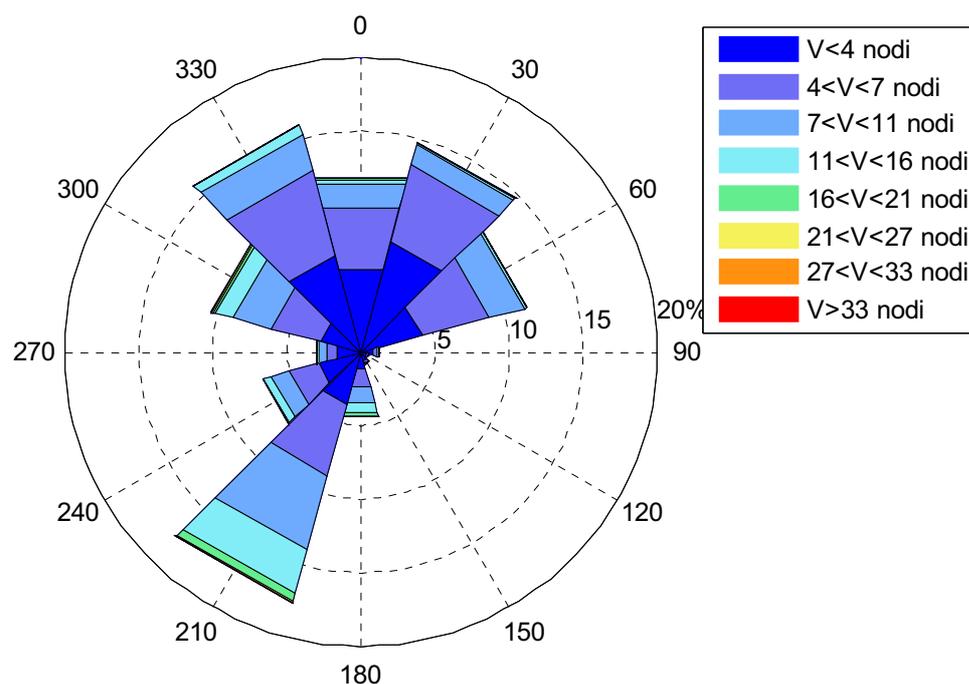


Figura 4.1 Frequenza di apparizione annuale dei venti per il paraggio in esame nel periodo 1978–1997 (stazione di Messina).

Al fine di caratterizzare il regime anemologico al variare delle stagioni, dalla Tabella 4.II alla Tabella 4.XIII è riportata la distribuzione dei valori della velocità del vento per i dodici mesi. Nelle citate tabelle, per ogni classe di velocità e per ogni classe di direzione del vento, sono riportate le frequenze di apparizione. Detti dati sono anche stati rappresentati dalla Figura 4.2 alla Figura 4.13, in cui, per ogni direzione, sono riportate le frequenze percentuali di apparizione per tutto il periodo in studio (1978–1997). Da tale analisi si conferma che i fenomeni ventosi a maggiore frequenza di apparizione sono quelli interni ai settori di provenienza da SSW e NNW ad eccezione dei mesi estivi in cui si osserva una maggiore frequenza dei venti provenienti da NNE.

Tabella 4.II Frequenza delle osservazioni della velocità del vento per classi di velocità e di direzione di provenienza osservati dalla stazione anemometrica di Messina per il periodo 1978–1997: Gennaio.

V [nodi]	P(v>vinf)	Direzione di Provenienza [°N]											
		-15 15	15 45	45 75	75 105	105 135	135 165	165 195	195 225	225 255	255 285	285 315	315 345
0-4	100.000%	5.784%	5.003%	1.355%	0.443%	0.391%	0.495%	1.016%	3.726%	3.491%	2.632%	4.898%	8.494%
4-7	62.272%	3.856%	3.648%	1.146%	0.078%	0.078%	0.052%	0.860%	4.820%	2.579%	1.485%	5.211%	7.113%
7-11	31.344%	2.553%	1.199%	0.469%	0.052%	0.000%	0.000%	1.146%	5.550%	1.172%	0.834%	3.570%	2.814%
11-16	11.985%	0.730%	0.703%	0.130%	0.026%	0.000%	0.000%	1.589%	3.022%	0.469%	0.417%	1.615%	1.042%
16-21	2.241%	0.130%	0.052%	0.026%	0.000%	0.000%	0.000%	0.208%	0.703%	0.000%	0.052%	0.391%	0.104%
21-27	0.573%	0.052%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.208%	0.156%	0.000%	0.026%	0.078%	0.000%
27-33	0.052%	0.026%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
>33	0.026%	0.026%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
Calme	22.465%												

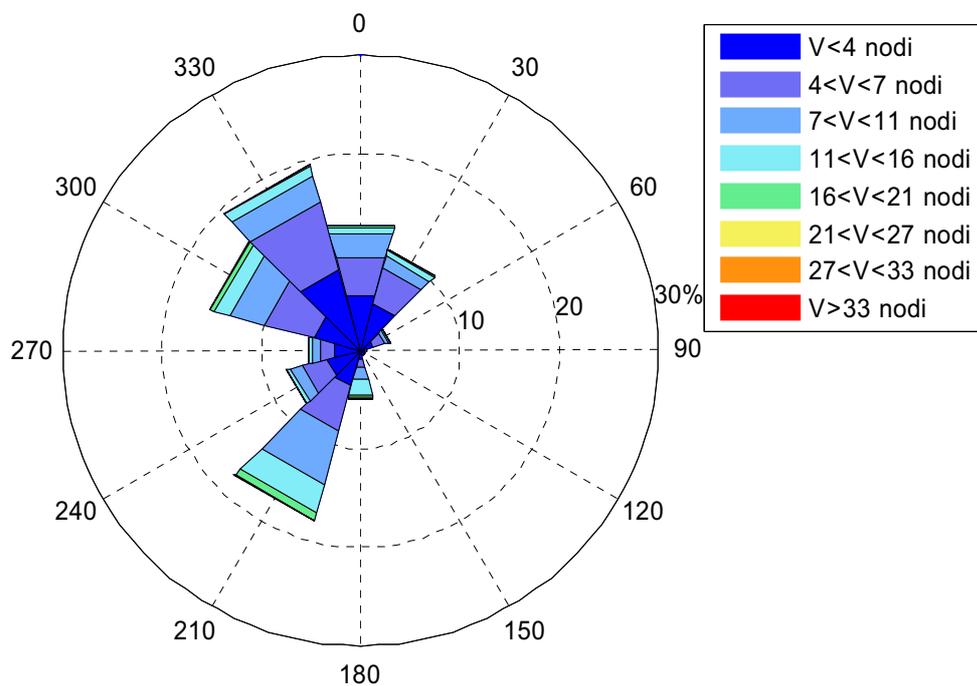


Figura 4.2 Frequenza di apparizione dei venti per il paraggio in esame nel periodo 1978–1997 (stazione di Messina): Gennaio.

Tabella 4.III Frequenza delle osservazioni della velocità del vento per classi di velocità e di direzione di provenienza osservati dalla stazione anemometrica di Messina per il periodo 1978–1997: Febbraio.

V [nodi]	P(v>vinf)	Direzione di Provenienza [°N]											
		-15 15	15 45	45 75	75 105	105 135	135 165	165 195	195 225	225 255	255 285	285 315	315 345
0-4	100.000%	4.431%	6.027%	2.304%	0.768%	0.384%	0.709%	0.620%	3.663%	3.279%	1.773%	3.397%	7.681%
4-7	64.963%	4.284%	4.077%	1.891%	0.148%	0.059%	0.030%	1.329%	6.617%	3.013%	1.004%	4.520%	5.731%
7-11	32.260%	2.157%	1.595%	0.768%	0.089%	0.030%	0.030%	1.182%	5.908%	1.211%	0.650%	3.072%	2.777%
11-16	12.792%	0.768%	0.177%	0.177%	0.030%	0.030%	0.030%	1.034%	3.752%	0.325%	0.502%	2.541%	1.004%
16-21	2.422%	0.089%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.236%	0.798%	0.059%	0.266%	0.384%	0.207%
21-27	0.384%	0.030%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.059%	0.000%	0.000%	0.030%	0.000%
27-33	0.266%	0.059%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.030%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
>33	0.177%	0.089%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.030%	0.000%	0.000%	0.030%	0.000%	0.030%	0.000%
Calme	24.994%												

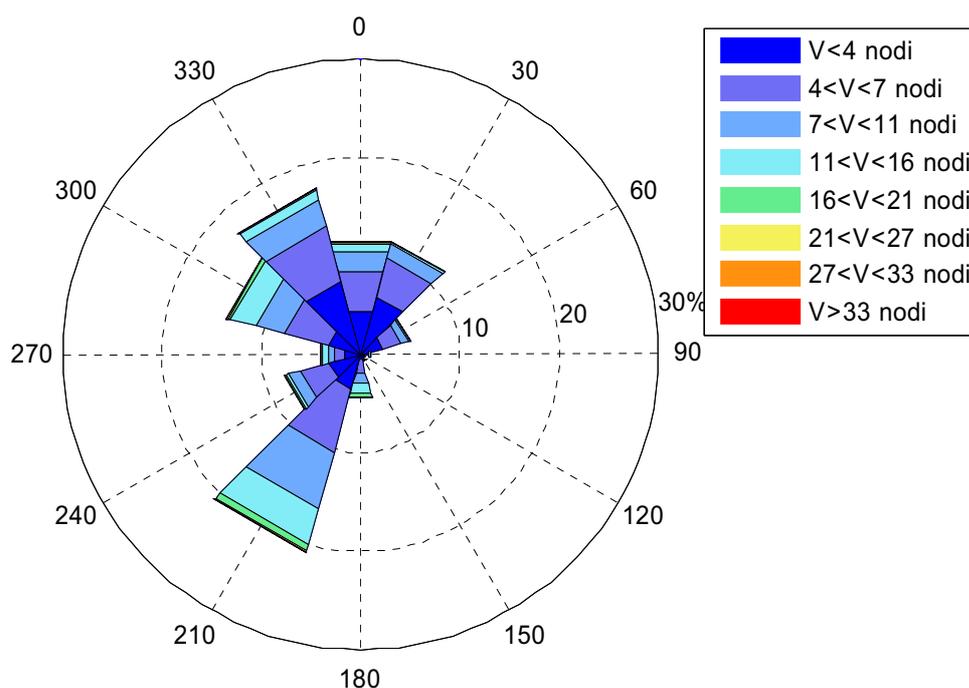


Figura 4.3 Frequenza di apparizione dei venti per il paraggio in esame nel periodo 1978–1997 (stazione di Messina): Febbraio.

Tabella 4.IV Frequenza delle osservazioni della velocità del vento per classi di velocità e di direzione di provenienza osservati dalla stazione anemometrica di Messina per il periodo 1978–1997: Marzo.

V [nodi]	P(v>vinf)	Direzione di Provenienza [°N]											
		-15 15	15 45	45 75	75 105	105 135	135 165	165 195	195 225	225 255	255 285	285 315	315 345
0-4	100.000%	5.030%	6.287%	2.540%	0.565%	0.231%	0.334%	1.026%	3.464%	2.515%	1.334%	2.771%	6.184%
4-7	67.719%	4.978%	5.825%	2.669%	0.231%	0.026%	0.154%	1.078%	4.850%	1.591%	0.975%	3.541%	6.467%
7-11	35.335%	2.335%	1.745%	1.386%	0.000%	0.000%	0.000%	1.694%	5.594%	1.257%	0.667%	3.926%	3.926%
11-16	12.805%	0.642%	0.385%	0.128%	0.000%	0.000%	0.026%	0.975%	3.593%	0.770%	0.462%	1.642%	1.488%
16-21	2.694%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.026%	0.282%	0.744%	0.205%	0.103%	0.334%	0.154%
21-27	0.847%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.128%	0.128%	0.077%	0.026%	0.180%	0.051%
27-33	0.257%	0.026%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.103%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
>33	0.128%	0.103%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.026%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
Calme	21.289%												

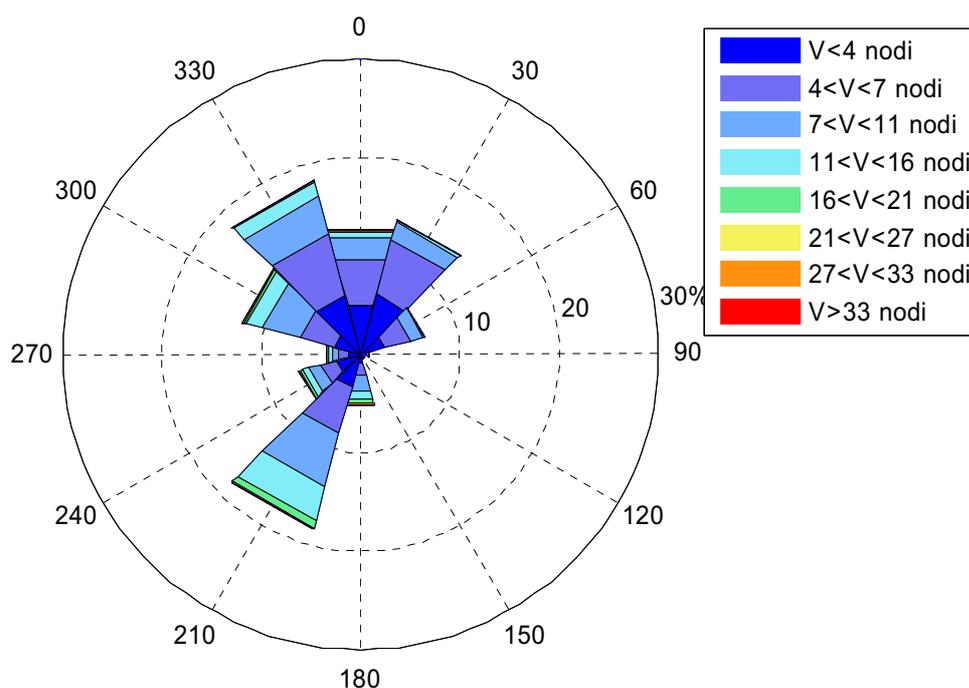


Figura 4.4 Frequenza di apparizione dei venti per il paraggio in esame nel periodo 1978–1997 (stazione di Messina): Marzo.

Tabella 4.V Frequenza delle osservazioni della velocità del vento per classi di velocità e di direzione di provenienza osservati dalla stazione anemometrica di Messina per il periodo 1978–1997: Aprile.

V [nodi]	P(v>vinf)	Direzione di Provenienza [°N]											
		-15 15	15 45	45 75	75 105	105 135	135 165	165 195	195 225	225 255	255 285	285 315	315 345
0-4	100.000%	5.474%	6.526%	4.132%	0.579%	0.263%	0.316%	0.974%	2.816%	2.105%	1.368%	2.316%	6.053%
4-7	67.079%	3.553%	4.263%	3.711%	0.158%	0.079%	0.237%	1.263%	4.974%	1.395%	0.684%	3.711%	6.632%
7-11	36.421%	1.316%	0.974%	1.658%	0.053%	0.026%	0.105%	1.079%	6.579%	1.263%	0.658%	4.289%	2.842%
11-16	15.579%	0.237%	0.053%	0.184%	0.000%	0.000%	0.000%	0.895%	6.500%	0.947%	0.395%	2.447%	0.684%
16-21	3.237%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.289%	1.763%	0.079%	0.105%	0.289%	0.105%
21-27	0.605%	0.026%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.105%	0.263%	0.053%	0.000%	0.026%	0.026%
27-33	0.105%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
>33	0.105%	0.026%	0.026%	0.026%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.026%	0.000%
Calme	20.685%												

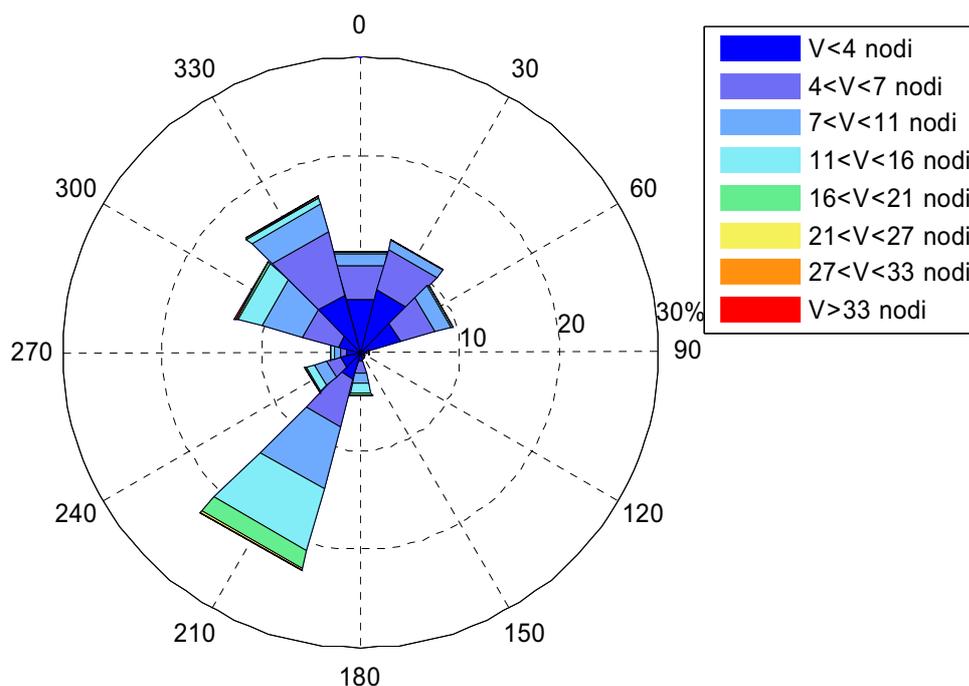


Figura 4.5 Frequenza di apparizione dei venti per il paraggio in esame nel periodo 1978–1997 (stazione di Messina): Aprile.

Tabella 4.VI Frequenza delle osservazioni della velocità del vento per classi di velocità e di direzione di provenienza osservati dalla stazione anemometrica di Messina per il periodo 1978–1997: Maggio.

V [nodi]	P(v>vinf)	Direzione di Provenienza [°N]											
		-15 15	15 45	45 75	75 105	105 135	135 165	165 195	195 225	225 255	255 285	285 315	315 345
0-4	100.000%	5.010%	9.521%	5.633%	0.748%	0.324%	0.947%	1.346%	3.664%	1.844%	0.723%	1.421%	4.935%
4-7	63.883%	4.187%	6.181%	6.730%	0.523%	0.100%	0.125%	1.471%	3.789%	0.823%	0.399%	3.265%	5.808%
7-11	30.484%	1.371%	1.894%	3.739%	0.174%	0.050%	0.050%	1.022%	4.736%	1.396%	0.299%	2.866%	2.517%
11-16	10.369%	0.075%	0.100%	0.474%	0.000%	0.000%	0.000%	0.623%	3.863%	0.947%	0.050%	1.446%	0.723%
16-21	2.069%	0.025%	0.050%	0.025%	0.000%	0.000%	0.000%	0.075%	0.947%	0.224%	0.000%	0.299%	0.075%
21-27	0.349%	0.000%	0.025%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.025%	0.125%	0.025%	0.000%	0.025%	0.000%
27-33	0.125%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.025%
>33	0.100%	0.075%	0.000%	0.000%	0.025%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
Calme	19.031%												

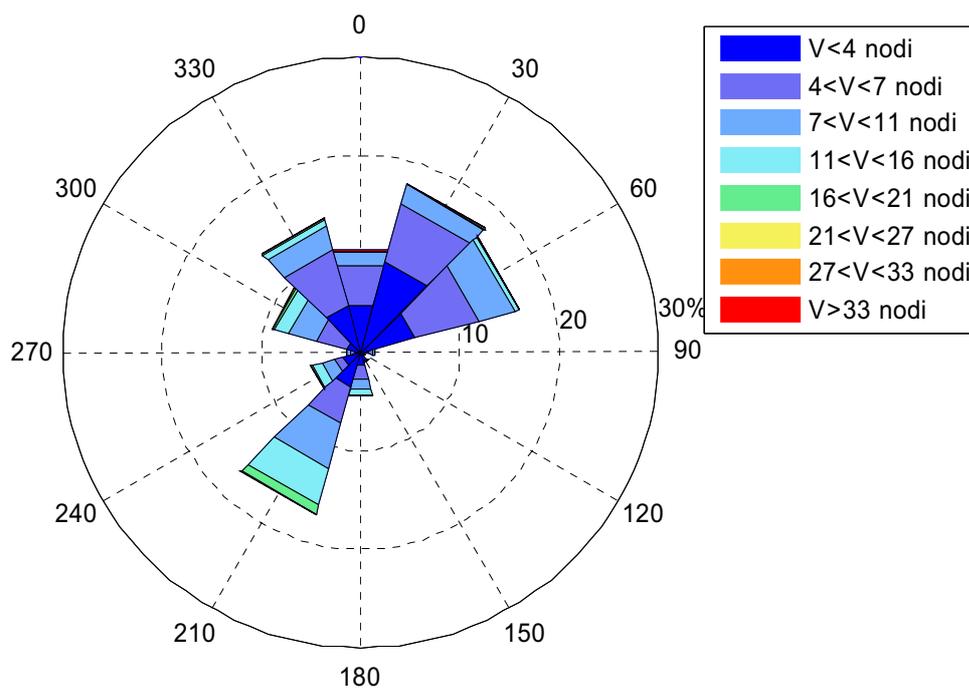


Figura 4.6 Frequenza di apparizione dei venti per il paraggio in esame nel periodo 1978–1997 (stazione di Messina): Maggio.

Tabella 4.VII Frequenza delle osservazioni della velocità del vento per classi di velocità e di direzione di provenienza osservati dalla stazione anemometrica di Messina per il periodo 1978–1997: Giugno.

V [nodi]	P(v>vinf)	Direzione di Provenienza [°N]											
		-15 15	15 45	45 75	75 105	105 135	135 165	165 195	195 225	225 255	255 285	285 315	315 345
0-4	100.000%	5.263%	10.024%	8.093%	1.058%	0.635%	0.635%	1.137%	2.724%	1.455%	0.529%	1.005%	4.417%
4-7	63.026%	6.533%	8.093%	9.363%	0.582%	0.132%	0.264%	1.137%	3.359%	0.793%	0.212%	2.275%	5.395%
7-11	24.888%	1.322%	1.825%	6.189%	0.106%	0.000%	0.000%	1.031%	3.729%	0.476%	0.159%	2.195%	2.698%
11-16	5.157%	0.132%	0.079%	0.476%	0.000%	0.000%	0.000%	0.132%	1.851%	0.503%	0.079%	0.846%	0.291%
16-21	0.767%	0.000%	0.026%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.079%	0.423%	0.053%	0.000%	0.026%	0.026%
21-27	0.132%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
27-33	0.132%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
>33	0.132%	0.000%	0.132%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
Calme	19.656%												

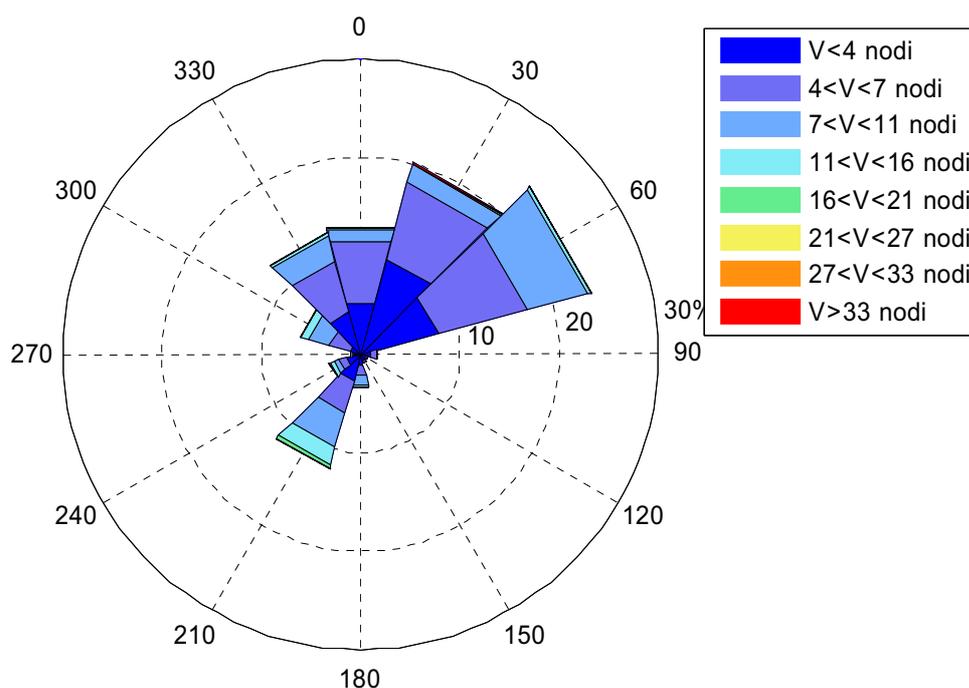


Figura 4.7 Frequenza di apparizione dei venti per il paraggio in esame nel periodo 1978–1997 (stazione di Messina): Giugno.

Tabella 4.VIII Frequenza delle osservazioni della velocità del vento per classi di velocità e di direzione di provenienza osservati dalla stazione anemometrica di Messina per il periodo 1978–1997: Luglio.

V [nodi]	P(v>vinf)	Direzione di Provenienza [°N]											
		-15 15	15 45	45 75	75 105	105 135	135 165	165 195	195 225	225 255	255 285	285 315	315 345
0-4	100.000%	6.582%	11.385%	7.243%	0.762%	0.559%	0.534%	1.017%	2.668%	0.813%	0.432%	1.372%	4.956%
4-7	61.677%	5.616%	11.004%	9.454%	0.635%	0.152%	0.254%	1.169%	2.745%	0.280%	0.280%	2.567%	6.607%
7-11	20.915%	2.211%	2.058%	5.997%	0.127%	0.025%	0.025%	0.584%	2.033%	0.280%	0.051%	1.677%	2.973%
11-16	2.872%	0.102%	0.102%	0.432%	0.000%	0.000%	0.000%	0.254%	0.686%	0.051%	0.000%	0.559%	0.254%
16-21	0.432%	0.025%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.025%	0.178%	0.000%	0.025%	0.076%	0.000%
21-27	0.102%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.025%	0.000%
27-33	0.076%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
>33	0.076%	0.025%	0.025%	0.000%	0.025%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
Calme	19.033%												

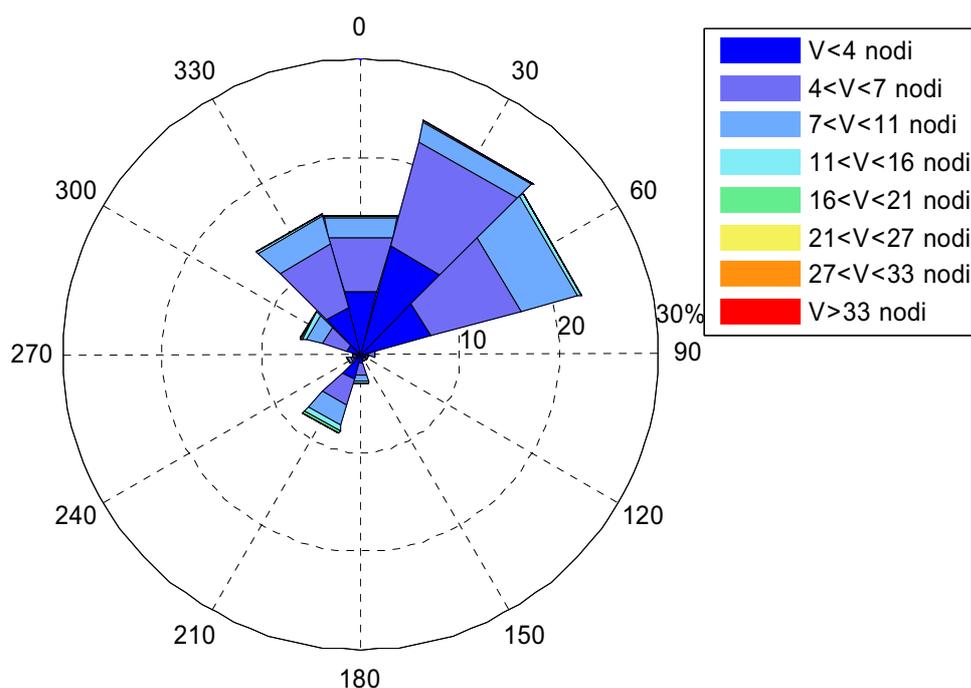


Figura 4.8 Frequenza di apparizione dei venti per il paraggio in esame nel periodo 1978–1997 (stazione di Messina): Luglio.

Tabella 4.IX Frequenza delle osservazioni della velocità del vento per classi di velocità e di direzione di provenienza osservati dalla stazione anemometrica di Messina per il periodo 1978–1997: Agosto.

V [nodi]	P(v>vinf)	Direzione di Provenienza [°N]											
		-15 15	15 45	45 75	75 105	105 135	135 165	165 195	195 225	225 255	255 285	285 315	315 345
0-4	100.000%	8.459%	11.469%	7.213%	1.323%	0.571%	0.882%	1.349%	2.439%	1.816%	0.597%	1.427%	7.421%
4-7	55.034%	4.956%	7.525%	9.315%	0.675%	0.104%	0.415%	0.986%	3.140%	0.727%	0.467%	2.076%	6.798%
7-11	17.852%	1.142%	1.583%	4.982%	0.182%	0.000%	0.026%	0.649%	2.880%	0.493%	0.104%	1.609%	1.790%
11-16	2.413%	0.104%	0.078%	0.259%	0.000%	0.000%	0.000%	0.052%	0.830%	0.104%	0.052%	0.545%	0.234%
16-21	0.156%	0.000%	0.026%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.026%	0.000%	0.000%	0.000%
21-27	0.104%	0.000%	0.026%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
27-33	0.078%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
>33	0.078%	0.000%	0.052%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.026%	0.000%	0.000%	0.000%
Calme	20.618%												

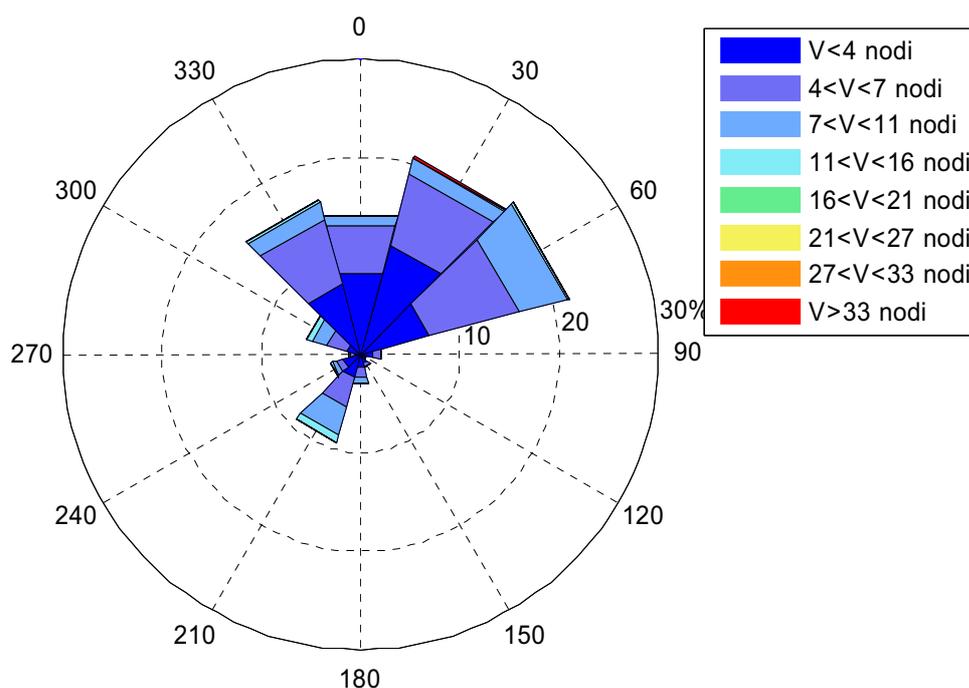


Figura 4.9 Frequenza di apparizione dei venti per il paraggio in esame nel periodo 1978–1997 (stazione di Messina): Agosto.

Tabella 4.X Frequenza delle osservazioni della velocità del vento per classi di velocità e di direzione di provenienza osservati dalla stazione anemometrica di Messina per il periodo 1978–1997: Settembre.

V [nodi]	P(v>vinf)	Direzione di Provenienza [°N]											
		-15 15	15 45	45 75	75 105	105 135	135 165	165 195	195 225	225 255	255 285	285 315	315 345
0-4	100.000%	6.381%	9.112%	5.231%	1.408%	0.747%	0.862%	1.725%	3.593%	3.507%	1.121%	3.047%	7.818%
4-7	55.447%	3.564%	4.714%	6.209%	0.632%	0.000%	0.144%	1.955%	5.433%	1.552%	0.575%	3.076%	5.461%
7-11	22.133%	1.293%	1.035%	1.868%	0.201%	0.029%	0.086%	1.207%	5.864%	1.207%	0.287%	1.811%	1.437%
11-16	5.806%	0.259%	0.029%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.891%	2.788%	0.431%	0.057%	0.402%	0.144%
16-21	0.805%	0.029%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.029%	0.287%	0.029%	0.000%	0.115%	0.000%
21-27	0.316%	0.000%	0.057%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
27-33	0.259%	0.000%	0.057%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
>33	0.201%	0.115%	0.057%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.029%	0.000%
Calme	26.042%												

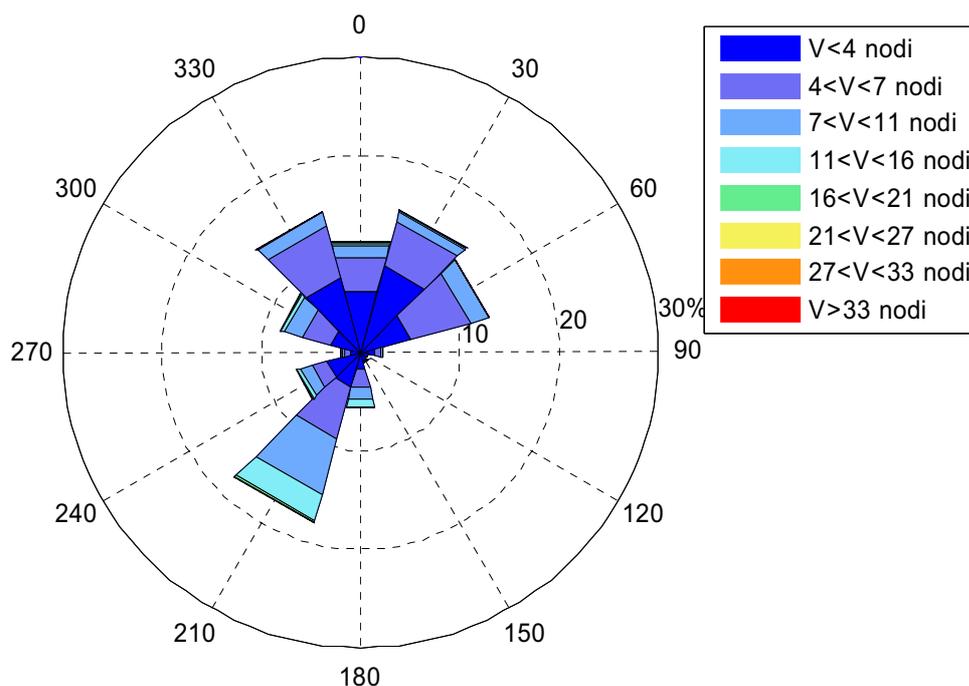


Figura 4.10 Frequenza di apparizione dei venti per il paraggio in esame nel periodo 1978–1997 (stazione di Messina): Settembre.

Tabella 4.XI Frequenza delle osservazioni della velocità del vento per classi di velocità e di direzione di provenienza osservati dalla stazione anemometrica di Messina per il periodo 1978–1997: Ottobre.

V [nodi]	P(v>vinf)	Direzione di Provenienza [°N]											
		-15 15	15 45	45 75	75 105	105 135	135 165	165 195	195 225	225 255	255 285	285 315	315 345
0-4	100.000%	5.498%	6.084%	2.875%	0.837%	0.586%	0.949%	1.563%	5.554%	5.247%	2.316%	3.852%	7.898%
4-7	56.740%	3.489%	2.931%	2.679%	0.279%	0.028%	0.251%	1.368%	8.373%	3.265%	0.949%	2.903%	4.633%
7-11	25.593%	0.502%	0.586%	0.670%	0.112%	0.028%	0.028%	1.786%	8.178%	1.982%	0.391%	1.926%	1.619%
11-16	7.787%	0.195%	0.084%	0.056%	0.000%	0.028%	0.028%	0.921%	4.103%	0.754%	0.112%	0.530%	0.223%
16-21	0.754%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.167%	0.335%	0.028%	0.028%	0.028%	0.000%
21-27	0.167%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.056%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
27-33	0.112%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
>33	0.112%	0.112%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
Calme	27.733%												

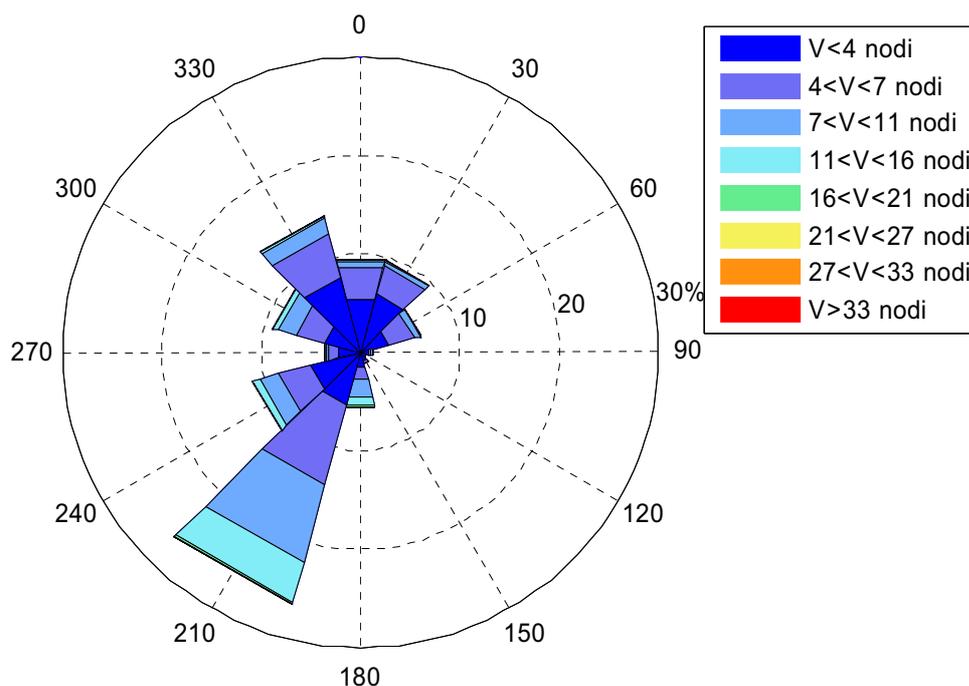


Figura 4.11 Frequenza di apparizione dei venti per il paraggio in esame nel periodo 1978–1997 (stazione di Messina): Ottobre.

Tabella 4.XII Frequenza delle osservazioni della velocità del vento per classi di velocità e di direzione di provenienza osservati dalla stazione anemometrica di Messina per il periodo 1978–1997: Novembre.

V [nodi]	P(v>v <sub>inf</sub> )	Direzione di Provenienza [°N]											
		-15 15	15 45	45 75	75 105	105 135	135 165	165 195	195 225	225 255	255 285	285 315	315 345
0-4	100.000%	5.275%	5.447%	2.122%	0.631%	0.487%	0.344%	1.376%	5.132%	5.046%	3.612%	3.928%	7.425%
4-7	59.174%	3.412%	2.408%	1.261%	0.057%	0.000%	0.115%	0.975%	6.709%	5.046%	1.405%	4.071%	4.845%
7-11	28.870%	1.462%	0.889%	0.516%	0.000%	0.000%	0.000%	1.548%	7.970%	2.265%	0.659%	2.093%	2.179%
11-16	9.289%	0.315%	0.172%	0.000%	0.057%	0.000%	0.029%	1.606%	3.440%	0.631%	0.115%	1.089%	0.573%
16-21	1.261%	0.057%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.287%	0.315%	0.029%	0.029%	0.229%	0.086%
21-27	0.229%	0.029%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.029%	0.057%	0.057%	0.000%	0.000%	0.029%	0.000%
27-33	0.029%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.029%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
>33	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
Calme	27.273%												

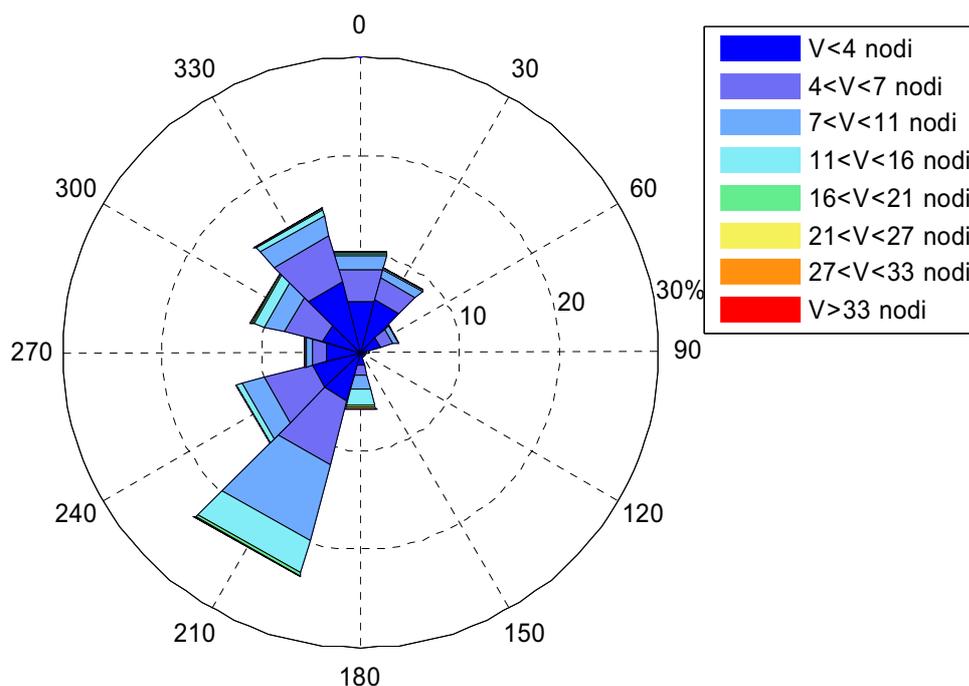


Figura 4.12 Frequenza di apparizione dei venti per il paraggio in esame nel periodo 1978–1997 (stazione di Messina): Novembre.

Tabella 4.XIII Frequenza delle osservazioni della velocità del vento per classi di velocità e di direzione di provenienza osservati dalla stazione anemometrica di Messina per il periodo 1978–1997: Dicembre.

V [nodi]	P(v>vinf)	Direzione di Provenienza [°N]											
		-15 15	15 45	45 75	75 105	105 135	135 165	165 195	195 225	225 255	255 285	285 315	315 345
0-4	100.000%	5.574%	5.385%	2.181%	0.404%	0.269%	0.350%	1.050%	4.658%	5.277%	3.339%	4.793%	8.616%
4-7	58.104%	4.173%	3.500%	1.023%	0.081%	0.027%	0.135%	1.023%	6.193%	3.958%	1.265%	4.039%	5.897%
7-11	26.791%	2.369%	1.292%	0.188%	0.054%	0.000%	0.081%	0.565%	5.089%	2.289%	0.646%	3.204%	2.827%
11-16	8.185%	0.377%	0.242%	0.054%	0.027%	0.000%	0.054%	0.835%	2.342%	0.242%	0.269%	1.077%	0.915%
16-21	1.750%	0.027%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.215%	0.431%	0.000%	0.027%	0.188%	0.215%
21-27	0.646%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.054%	0.188%	0.027%	0.000%	0.162%	0.000%
27-33	0.215%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.108%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
>33	0.108%	0.054%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.027%	0.000%	0.000%	0.027%	0.000%
Calme	24.726%												

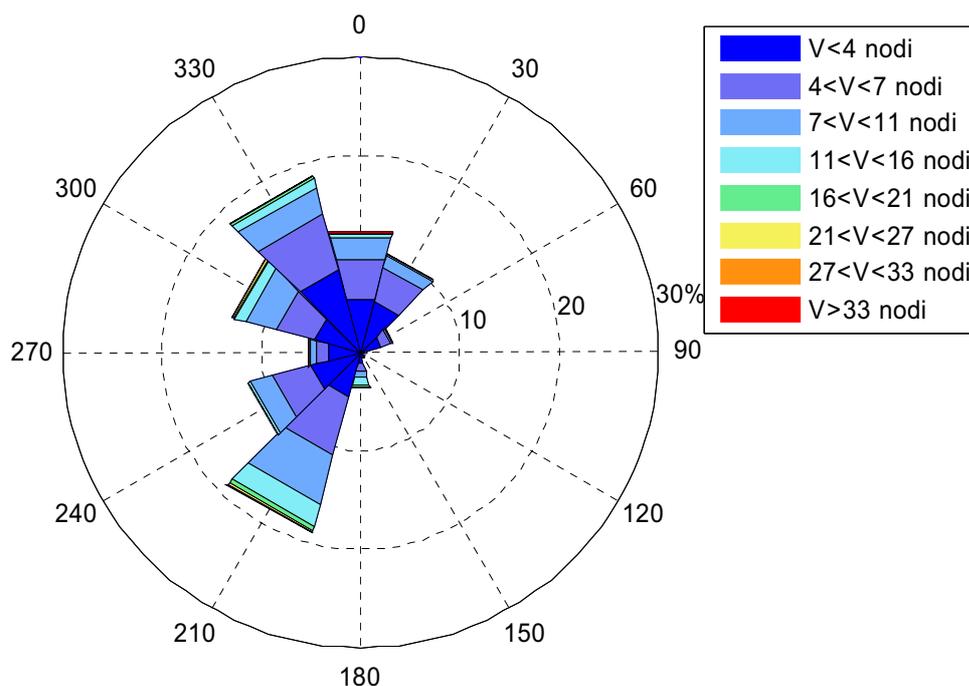


Figura 4.13 Frequenza di apparizione dei venti per il paraggio in esame nel periodo 1978–1997 (stazione di Messina): Dicembre.

### 4.3 Regime dei venti – Stazione anemometrica di Reggio Calabria

Al fine di caratterizzare il clima medio del regime del vento presso la stazione anemometrica di Reggio Calabria, la distribuzione dei valori annui della velocità del vento sono raccolti e rappresentati nella Tabella 4.XIV in cui, per ogni classe di velocità e per ogni classe di direzione del vento, sono riportate le frequenze di apparizione.

Detti dati sono anche stati rappresentati in Figura 4.14, in cui, per ogni direzione, sono riportate le frequenze percentuali di apparizione per tutto il periodo in studio (1978–1997). Da tale Figura si evince come i fenomeni ventosi a maggiore frequenza di apparizione siano quelli interni ai settori di provenienza da N e NNE, mentre le velocità più elevate si riscontrano nei settori N e NNW.

Tabella 4.XIV Frequenza annuale delle osservazioni della velocità del vento per classi di velocità e di direzione di provenienza osservati dalla stazione anemometrica di Reggio Calabria per il periodo 1978–1997.

V [nodi]	P(v>v <sub>inf</sub> )	Direzione di Provenienza [°N]											
		-15 15	15 45	45 75	75 105	105 135	135 165	165 195	195 225	225 255	255 285	285 315	315 345
0-4	100.000%	0.894%	2.221%	3.009%	2.042%	0.927%	0.804%	0.741%	1.225%	1.930%	1.436%	0.576%	0.635%
4-7	83.561%	1.605%	6.001%	4.435%	1.072%	0.348%	0.715%	1.046%	2.052%	2.227%	0.933%	0.457%	0.827%
7-11	61.842%	4.733%	9.155%	2.519%	0.377%	0.149%	0.579%	1.241%	2.267%	2.082%	0.361%	0.162%	0.986%
11-16	37.231%	9.188%	7.639%	0.791%	0.070%	0.076%	0.520%	1.178%	2.085%	1.364%	0.169%	0.126%	1.466%
16-21	12.560%	3.816%	1.784%	0.122%	0.013%	0.076%	0.235%	0.417%	0.874%	0.774%	0.053%	0.083%	1.082%
21-27	3.230%	0.655%	0.209%	0.003%	0.007%	0.096%	0.169%	0.152%	0.348%	0.288%	0.020%	0.063%	0.470%
27-33	0.751%	0.086%	0.020%	0.003%	0.003%	0.026%	0.056%	0.033%	0.036%	0.053%	0.003%	0.033%	0.070%
>33	0.328%	0.116%	0.079%	0.003%	0.010%	0.017%	0.020%	0.007%	0.007%	0.023%	0.000%	0.017%	0.030%
calme	16.7%												

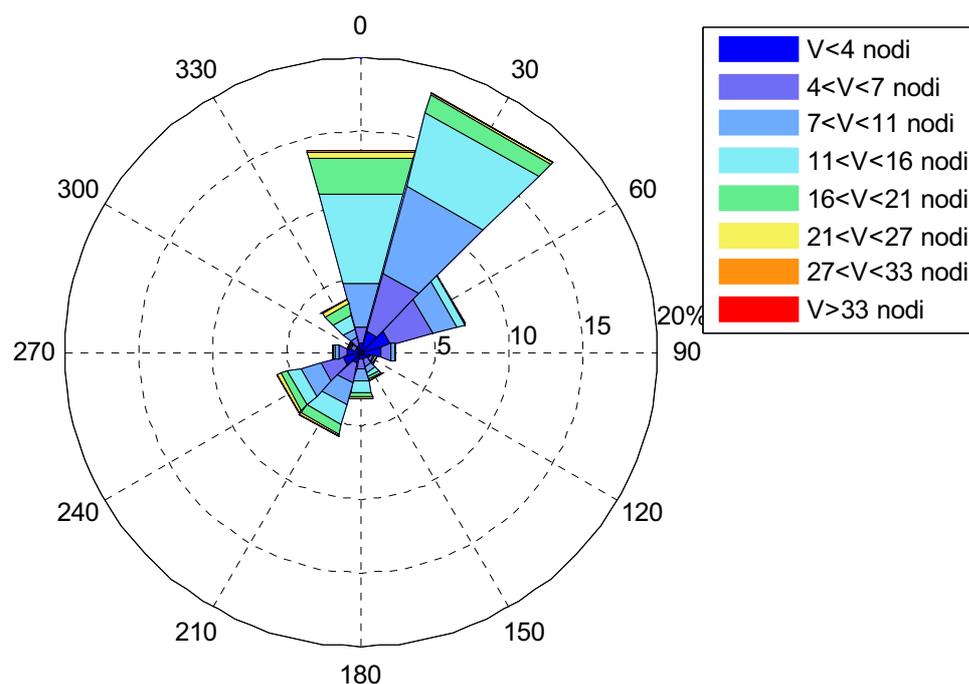


Figura 4.14 Frequenza di apparizione annuale dei venti per il paraggio in esame nel periodo 1978–1997 (stazione di Reggio Calabria).

Al fine di caratterizzare il regime anemologico al variare delle stagioni, dalla Tabella 4.XV alla Tabella 4.XXVI è riportata la distribuzione dei valori della velocità del vento per i dodici mesi. Nelle citate tabelle, per ogni classe di velocità e per ogni classe di direzione del vento, sono riportate le frequenze di apparizione. Detti dati sono anche stati rappresentati dalla Figura 4.15 alla Figura 4.26, in cui, per ogni direzione, sono riportate le frequenze percentuali di apparizione per tutto il periodo in studio (1978–1997). Da tale analisi si conferma che i fenomeni ventosi a maggiore frequenza di apparizione siano quelli interni ai settori di provenienza da N e NNE ad eccezione dei mesi estivi in cui si osserva una maggiore frequenza dei venti provenienti da N e NNW.

Tabella 4.XV Frequenza delle osservazioni della velocità del vento per classi di velocità e di direzione di provenienza osservati dalla stazione anemometrica di Reggio Calabria per il periodo 1978–1997: Gennaio.

V [nodi]	P(v>vinf)	Direzione di Provenienza [°N]											
		-15 15	15 45	45 75	75 105	105 135	135 165	165 195	195 225	225 255	255 285	285 315	315 345
0-4	100.000%	0.948%	3.200%	4.978%	3.714%	1.501%	0.948%	0.869%	0.790%	1.422%	0.790%	0.395%	0.869%
4-7	79.573%	1.659%	7.467%	6.559%	1.896%	0.553%	1.620%	1.541%	1.462%	1.264%	0.237%	0.356%	1.067%
7-11	53.892%	3.319%	8.929%	3.358%	0.356%	0.316%	1.225%	1.976%	1.580%	0.474%	0.040%	0.277%	1.225%
11-16	30.818%	5.373%	6.282%	0.909%	0.079%	0.237%	1.383%	1.699%	1.106%	0.119%	0.237%	0.395%	1.501%
16-21	11.497%	1.857%	1.422%	0.158%	0.040%	0.079%	0.672%	0.751%	0.316%	0.158%	0.079%	0.435%	0.869%
21-27	4.662%	0.830%	0.435%	0.000%	0.000%	0.040%	0.593%	0.277%	0.158%	0.040%	0.000%	0.237%	0.553%
27-33	1.501%	0.198%	0.000%	0.040%	0.000%	0.000%	0.158%	0.000%	0.040%	0.000%	0.000%	0.198%	0.158%
>33	0.711%	0.079%	0.000%	0.040%	0.000%	0.000%	0.198%	0.040%	0.040%	0.079%	0.000%	0.079%	0.158%
Calme	19.702%												

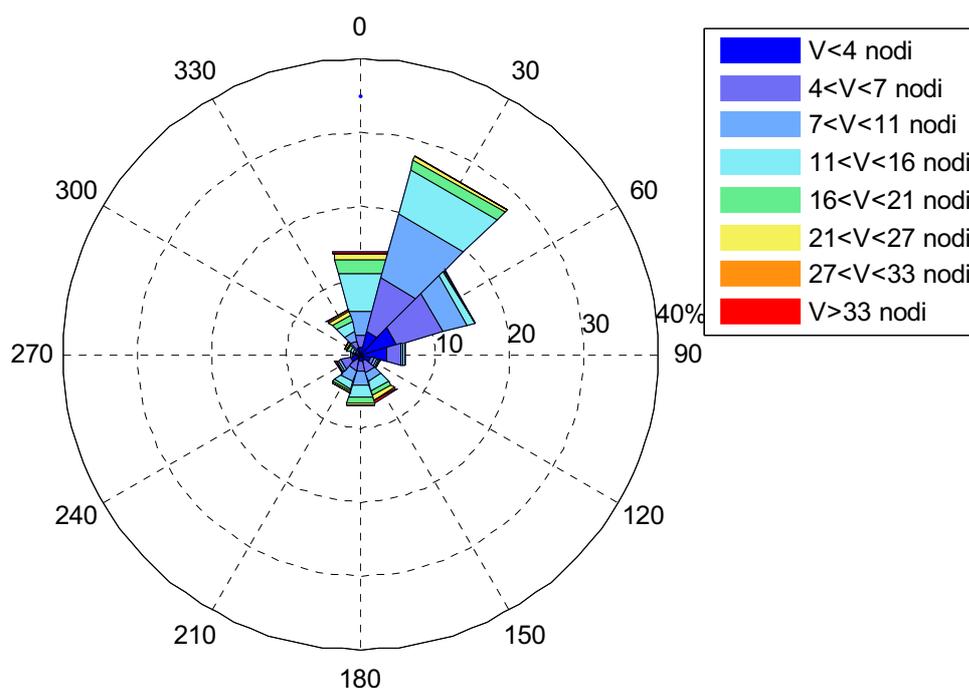


Figura 4.15 Frequenza di apparizione dei venti per il paraggio in esame nel periodo 1978–1997 (stazione di Reggio Calabria): Gennaio.

Tabella 4.XVI Frequenza delle osservazioni della velocità del vento per classi di velocità e di direzione di provenienza osservati dalla stazione anemometrica di Reggio Calabria per il periodo 1978–1997: Febbraio.

V [nodi]	P(v>vinf)	Direzione di Provenienza [°N]											
		-15 15	15 45	45 75	75 105	105 135	135 165	165 195	195 225	225 255	255 285	285 315	315 345
0-4	100.000%	1.136%	2.753%	4.283%	2.797%	1.005%	1.311%	1.224%	1.617%	1.136%	1.267%	0.524%	0.612%
4-7	80.332%	1.311%	6.949%	5.682%	1.486%	0.568%	0.787%	1.836%	2.010%	1.792%	0.393%	0.437%	1.093%
7-11	55.988%	3.977%	8.173%	3.278%	0.306%	0.219%	0.830%	1.879%	2.316%	1.530%	0.219%	0.262%	1.224%
11-16	31.774%	5.682%	5.026%	0.918%	0.175%	0.087%	1.049%	1.923%	1.923%	0.306%	0.000%	0.350%	1.967%
16-21	12.369%	2.753%	1.136%	0.262%	0.000%	0.437%	0.350%	0.787%	0.568%	0.175%	0.000%	0.262%	1.355%
21-27	4.283%	1.180%	0.175%	0.000%	0.044%	0.306%	0.350%	0.219%	0.350%	0.044%	0.000%	0.087%	0.656%
27-33	0.874%	0.393%	0.044%	0.000%	0.000%	0.044%	0.087%	0.131%	0.044%	0.000%	0.000%	0.044%	0.044%
>33	0.044%	0.044%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
Calme	19.550%												

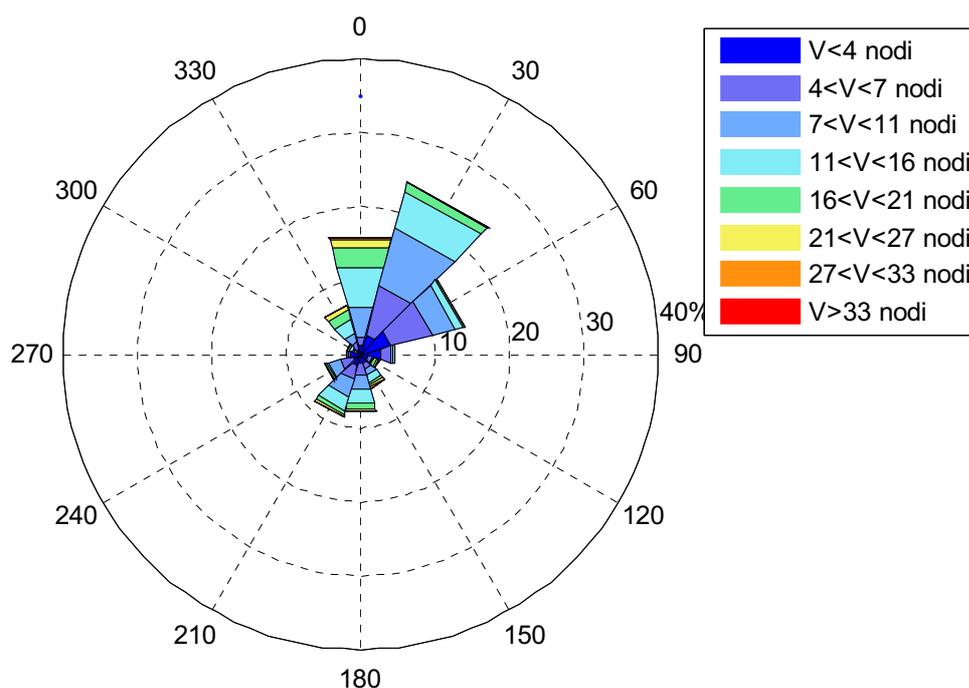


Figura 4.16 Frequenza di apparizione dei venti per il paraggio in esame nel periodo 1978–1997 (stazione di Reggio Calabria): Febbraio.

Tabella 4.XVII Frequenza delle osservazioni della velocità del vento per classi di velocità e di direzione di provenienza osservati dalla stazione anemometrica di Reggio Calabria per il periodo 1978–1997: Marzo.

V [nodi]	P(v>vinf)	Direzione di Provenienza [°N]											
		-15 15	15 45	45 75	75 105	105 135	135 165	165 195	195 225	225 255	255 285	285 315	315 345
0-4	100.000%	0.941%	2.108%	3.050%	1.807%	0.791%	0.791%	0.678%	1.017%	1.506%	1.355%	0.565%	0.828%
4-7	84.563%	1.393%	5.535%	4.970%	0.866%	0.414%	0.678%	1.017%	1.995%	1.807%	0.602%	0.377%	0.866%
7-11	64.044%	3.991%	8.923%	2.560%	0.489%	0.188%	0.640%	1.393%	2.560%	1.995%	0.414%	0.151%	1.130%
11-16	39.608%	8.133%	7.003%	0.828%	0.000%	0.075%	0.339%	1.393%	2.146%	0.979%	0.038%	0.113%	2.259%
16-21	16.303%	4.480%	2.108%	0.075%	0.000%	0.075%	0.377%	0.339%	1.280%	0.753%	0.075%	0.151%	1.619%
21-27	4.970%	0.640%	0.264%	0.000%	0.000%	0.377%	0.301%	0.301%	0.339%	0.339%	0.038%	0.226%	1.242%
27-33	0.904%	0.038%	0.038%	0.000%	0.000%	0.038%	0.151%	0.000%	0.151%	0.038%	0.038%	0.038%	0.264%
>33	0.113%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.038%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.075%
Calme	13.738%												

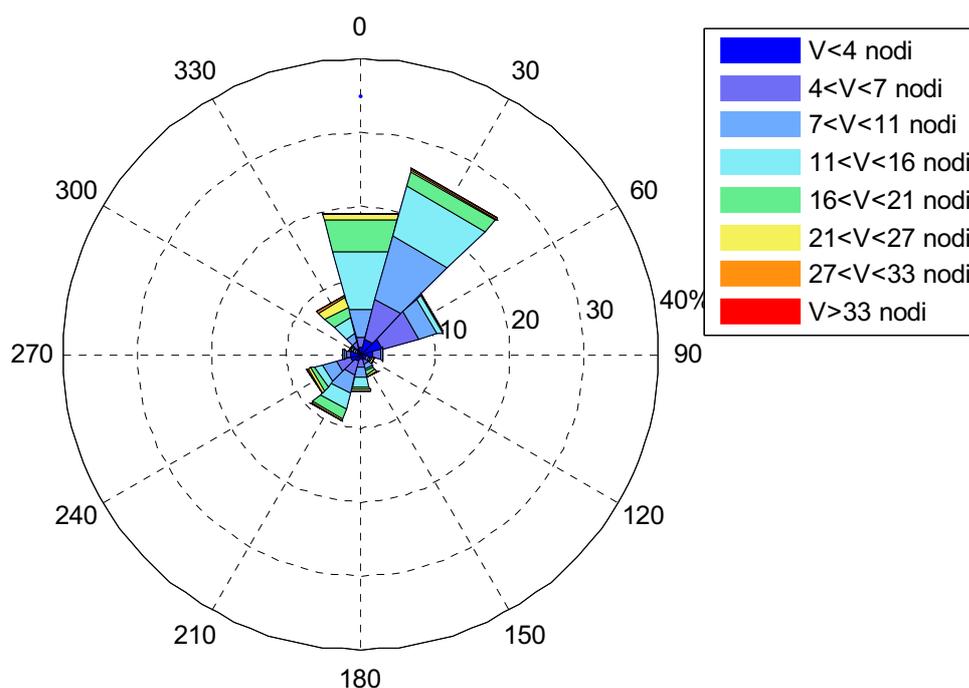


Figura 4.17 Frequenza di apparizione dei venti per il paraggio in esame nel periodo 1978–1997 (stazione di Reggio Calabria): Marzo.

Tabella 4.XVIII Frequenza delle osservazioni della velocità del vento per classi di velocità e di direzione di provenienza osservati dalla stazione anemometrica di Reggio Calabria per il periodo 1978–1997: Aprile.

V [nodi]	P(v>vinf)	Direzione di Provenienza [°N]											
		-15 15	15 45	45 75	75 105	105 135	135 165	165 195	195 225	225 255	255 285	285 315	315 345
0-4	100.000%	0.475%	2.020%	2.535%	1.149%	0.752%	0.475%	0.515%	0.832%	1.822%	1.465%	0.396%	0.713%
4-7	86.851%	2.099%	5.584%	3.168%	0.554%	0.317%	0.356%	1.188%	1.505%	1.703%	0.950%	0.475%	0.673%
7-11	68.277%	5.069%	8.871%	2.099%	0.238%	0.040%	0.198%	1.505%	2.455%	2.376%	0.317%	0.158%	1.109%
11-16	43.842%	9.782%	6.614%	0.832%	0.000%	0.000%	0.634%	1.980%	3.208%	2.257%	0.079%	0.198%	1.980%
16-21	16.277%	3.723%	1.663%	0.119%	0.000%	0.079%	0.238%	0.673%	1.861%	1.624%	0.079%	0.000%	1.228%
21-27	4.990%	0.673%	0.238%	0.040%	0.000%	0.277%	0.119%	0.277%	0.990%	1.069%	0.079%	0.040%	0.356%
27-33	0.832%	0.040%	0.000%	0.000%	0.000%	0.079%	0.000%	0.040%	0.079%	0.356%	0.000%	0.000%	0.040%
>33	0.198%	0.040%	0.000%	0.000%	0.000%	0.079%	0.040%	0.000%	0.000%	0.040%	0.000%	0.000%	0.000%
Calme	15.155%												

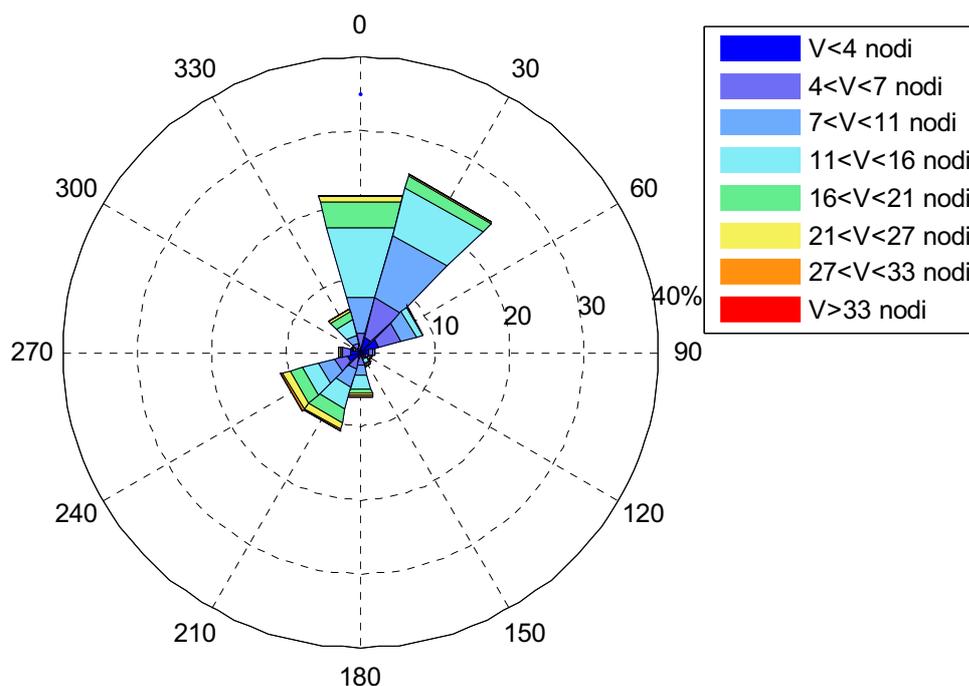


Figura 4.18 Frequenza di apparizione dei venti per il paraggio in esame nel periodo 1978–1997 (stazione di Reggio Calabria): Aprile.

Tabella 4.XIX Frequenza delle osservazioni della velocità del vento per classi di velocità e di direzione di provenienza osservati dalla stazione anemometrica di Reggio Calabria per il periodo 1978–1997: Maggio.

V [nodi]	P(v>vinf)	Direzione di Provenienza [°N]											
		-15 15	15 45	45 75	75 105	105 135	135 165	165 195	195 225	225 255	255 285	285 315	315 345
0-4	100.000%	0.475%	2.020%	2.535%	1.149%	0.752%	0.475%	0.515%	0.832%	1.822%	1.465%	0.396%	0.713%
4-7	86.851%	2.099%	5.584%	3.168%	0.554%	0.317%	0.356%	1.188%	1.505%	1.703%	0.950%	0.475%	0.673%
7-11	68.277%	5.069%	8.871%	2.099%	0.238%	0.040%	0.198%	1.505%	2.455%	2.376%	0.317%	0.158%	1.109%
11-16	43.842%	9.782%	6.614%	0.832%	0.000%	0.000%	0.634%	1.980%	3.208%	2.257%	0.079%	0.198%	1.980%
16-21	16.277%	3.723%	1.663%	0.119%	0.000%	0.079%	0.238%	0.673%	1.861%	1.624%	0.079%	0.000%	1.228%
21-27	4.990%	0.673%	0.238%	0.040%	0.000%	0.277%	0.119%	0.277%	0.990%	1.069%	0.079%	0.040%	0.356%
27-33	0.832%	0.040%	0.000%	0.000%	0.000%	0.079%	0.000%	0.040%	0.079%	0.356%	0.000%	0.000%	0.040%
>33	0.198%	0.040%	0.000%	0.000%	0.000%	0.079%	0.040%	0.000%	0.000%	0.040%	0.000%	0.000%	0.000%
Calme	15.155%												

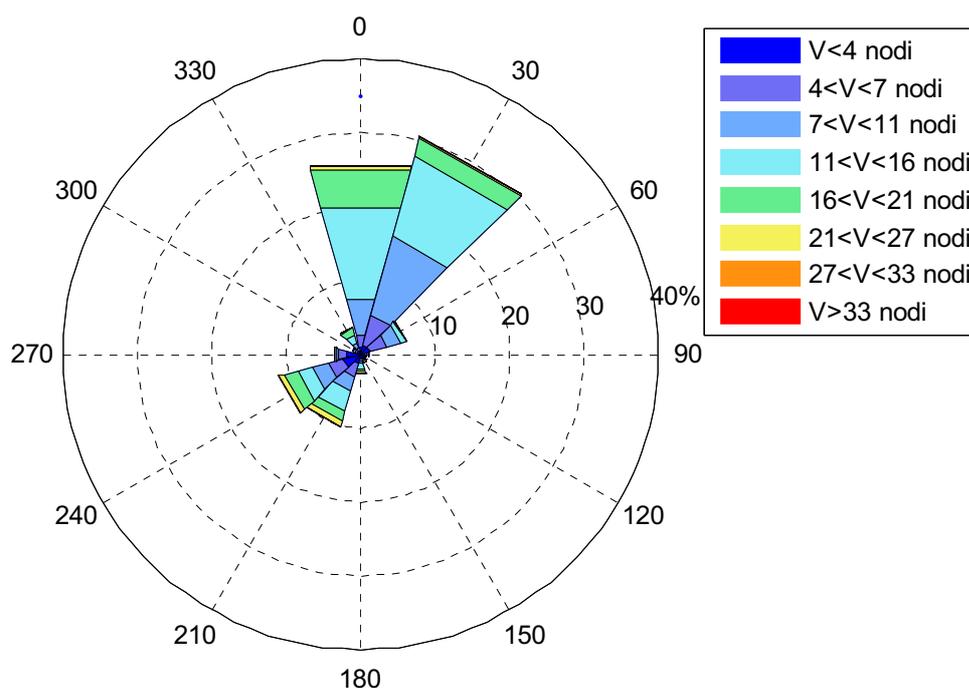


Figura 4.19 Frequenza di apparizione dei venti per il paraggio in esame nel periodo 1978–1997 (stazione di Reggio Calabria): Maggio.

Tabella 4.XX Frequenza delle osservazioni della velocità del vento per classi di velocità e di direzione di provenienza osservati dalla stazione anemometrica di Reggio Calabria per il periodo 1978–1997: Giugno.

V [nodi]	P(v>vinf)	Direzione di Provenienza [°N]											
		-15 15	15 45	45 75	75 105	105 135	135 165	165 195	195 225	225 255	255 285	285 315	315 345
0-4	100.000%	0.590%	1.573%	0.472%	0.315%	0.197%	0.275%	0.197%	1.180%	2.556%	1.809%	0.904%	0.393%
4-7	89.540%	1.219%	5.348%	1.612%	0.157%	0.079%	0.118%	0.275%	1.848%	2.477%	0.983%	0.511%	0.904%
7-11	74.007%	6.017%	10.775%	1.966%	0.118%	0.079%	0.039%	0.157%	1.927%	2.359%	0.197%	0.079%	1.062%
11-16	49.233%	15.572%	11.443%	0.786%	0.000%	0.039%	0.000%	0.079%	1.337%	1.848%	0.275%	0.000%	1.888%
16-21	15.965%	5.781%	2.989%	0.079%	0.000%	0.000%	0.000%	0.118%	1.022%	1.298%	0.079%	0.000%	1.573%
21-27	3.028%	1.062%	0.197%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.039%	0.472%	0.393%	0.039%	0.000%	0.393%
27-33	0.433%	0.039%	0.079%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.039%	0.079%	0.000%	0.000%	0.000%
>33	0.197%	0.039%	0.157%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
Calme	13.767%												

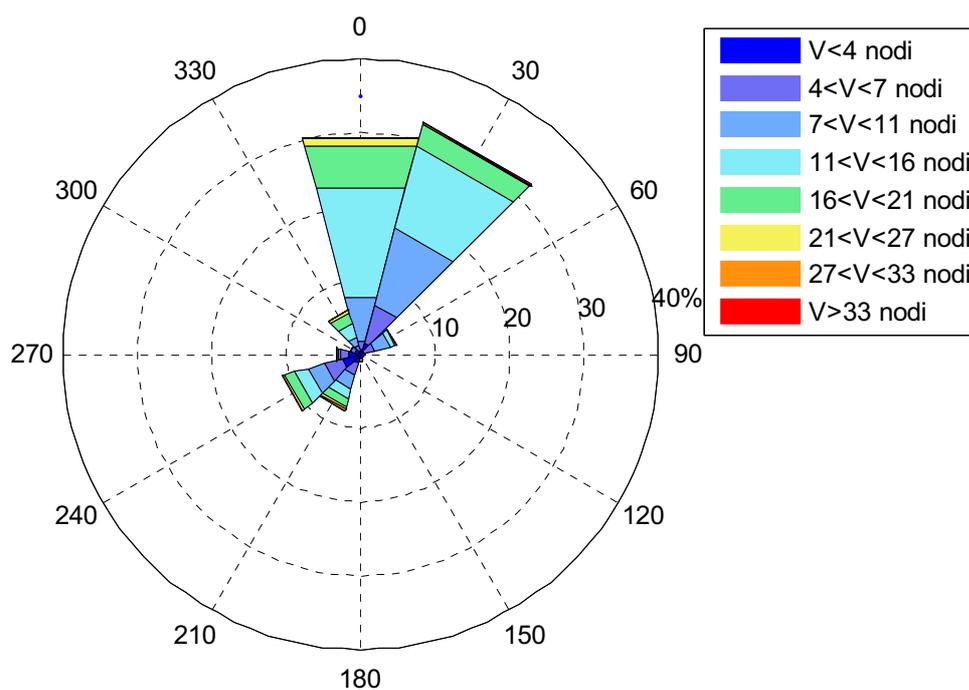


Figura 4.20 Frequenza di apparizione dei venti per il paraggio in esame nel periodo 1978–1997 (stazione di Reggio Calabria): Giugno.

Tabella 4.XXIFrequenza delle osservazioni della velocità del vento per classi di velocità e di direzione di provenienza osservati dalla stazione anemometrica di Reggio Calabria per il periodo 1978–1997: Luglio.

V [nodi]	P(v>vinf)	Direzione di Provenienza [°N]											
		-15 15	15 45	45 75	75 105	105 135	135 165	165 195	195 225	225 255	255 285	285 315	315 345
0-4	100.000%	0.372%	1.153%	1.116%	0.223%	0.260%	0.186%	0.037%	1.116%	2.269%	1.562%	0.446%	0.409%
4-7	90.852%	1.041%	4.425%	3.087%	0.223%	0.000%	0.000%	0.000%	2.008%	2.826%	1.339%	0.595%	0.669%
7-11	74.637%	5.206%	11.119%	2.269%	0.074%	0.037%	0.000%	0.149%	1.488%	2.343%	0.446%	0.149%	0.818%
11-16	50.539%	15.656%	12.235%	0.558%	0.037%	0.000%	0.000%	0.037%	1.004%	1.822%	0.149%	0.000%	1.190%
16-21	17.851%	9.297%	2.938%	0.074%	0.037%	0.000%	0.000%	0.000%	0.669%	0.632%	0.000%	0.000%	1.785%
21-27	2.417%	1.078%	0.186%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.112%	0.260%	0.000%	0.000%	0.669%
27-33	0.112%	0.037%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.037%
>33	0.037%	0.000%	0.037%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
Calme	12.353%												

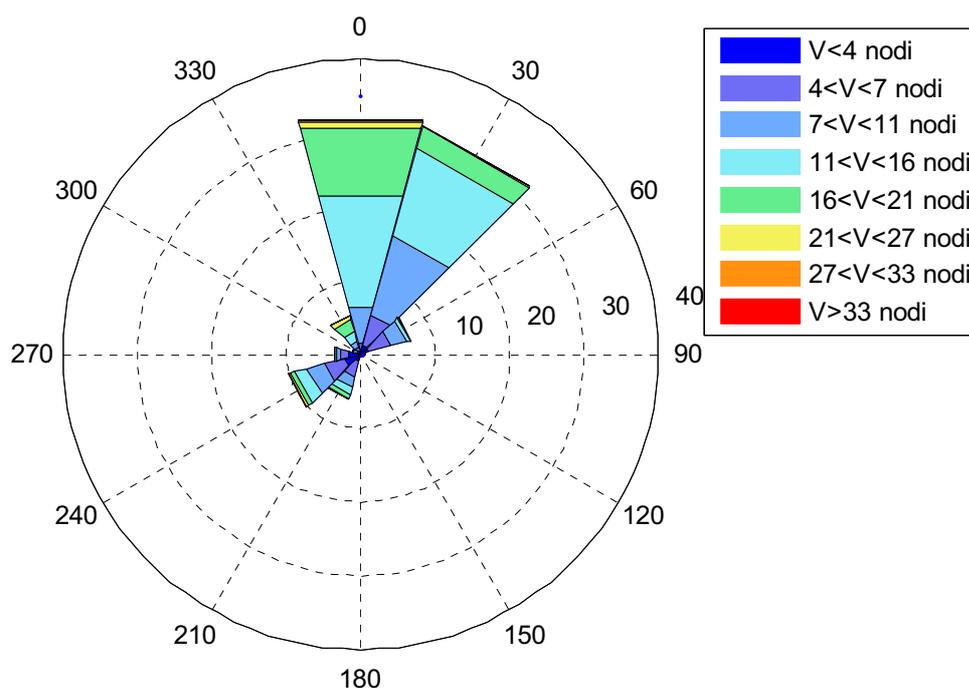


Figura 4.21 Frequenza di apparizione dei venti per il paraggio in esame nel periodo 1978–1997 (stazione di Reggio Calabria): Luglio.

Tabella 4.XXII Frequenza delle osservazioni della velocità del vento per classi di velocità e di direzione di provenienza osservati dalla stazione anemometrica di Reggio Calabria per il periodo 1978–1997: Agosto.

V [nodi]	P(v>vinf)	Direzione di Provenienza [°N]											
		-15 15	15 45	45 75	75 105	105 135	135 165	165 195	195 225	225 255	255 285	285 315	315 345
0-4	100.000%	0.768%	2.075%	1.882%	0.845%	0.307%	0.115%	0.307%	0.999%	1.998%	1.460%	0.576%	0.307%
4-7	88.360%	1.652%	6.147%	3.035%	0.576%	0.077%	0.154%	0.192%	2.612%	3.496%	1.460%	0.653%	0.730%
7-11	67.576%	6.493%	10.603%	1.575%	0.269%	0.000%	0.077%	0.423%	2.151%	2.689%	0.499%	0.077%	0.807%
11-16	41.913%	14.214%	10.181%	0.884%	0.000%	0.000%	0.038%	0.192%	2.228%	1.383%	0.231%	0.077%	1.076%
16-21	11.410%	4.879%	2.651%	0.154%	0.000%	0.000%	0.000%	0.077%	0.653%	0.653%	0.000%	0.000%	0.999%
21-27	1.345%	0.461%	0.384%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.077%	0.077%	0.000%	0.000%	0.154%
27-33	0.192%	0.000%	0.038%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.038%	0.000%	0.000%	0.038%
>33	0.077%	0.000%	0.077%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
Calme	14.262%												

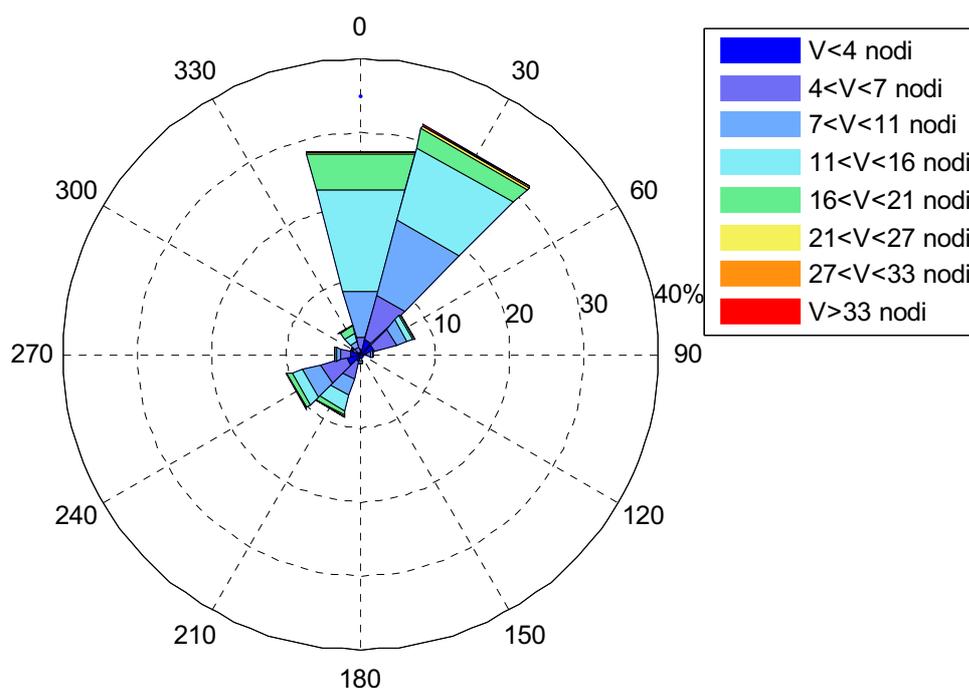


Figura 4.22 Frequenza di apparizione dei venti per il paraggio in esame nel periodo 1978–1997 (stazione di Reggio Calabria): Agosto.

Tabella 4.XXIII Frequenza delle osservazioni della velocità del vento per classi di velocità e di direzione di provenienza osservati dalla stazione anemometrica di Reggio Calabria per il periodo 1978–1997: Settembre.

V [nodi]	P(v>vinf)	Direzione di Provenienza [°N]											
		-15 15	15 45	45 75	75 105	105 135	135 165	165 195	195 225	225 255	255 285	285 315	315 345
0-4	100.000%	0.774%	2.013%	2.439%	1.936%	1.200%	0.697%	0.503%	1.123%	2.323%	2.323%	0.968%	0.736%
4-7	82.966%	1.820%	7.278%	4.607%	0.852%	0.232%	0.387%	0.852%	1.897%	3.020%	1.432%	0.774%	1.278%
7-11	58.537%	5.497%	9.292%	2.129%	0.232%	0.000%	0.465%	0.852%	3.175%	3.678%	0.890%	0.116%	1.394%
11-16	30.817%	8.440%	6.194%	0.387%	0.116%	0.039%	0.232%	0.542%	2.826%	2.129%	0.232%	0.077%	1.394%
16-21	8.208%	2.245%	1.123%	0.077%	0.000%	0.000%	0.077%	0.348%	0.813%	1.123%	0.077%	0.000%	1.084%
21-27	1.239%	0.194%	0.116%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.039%	0.232%	0.232%	0.039%	0.039%	0.232%
27-33	0.116%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.039%	0.000%	0.000%	0.000%
>33	0.077%	0.039%	0.039%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
Calme	16.299%												

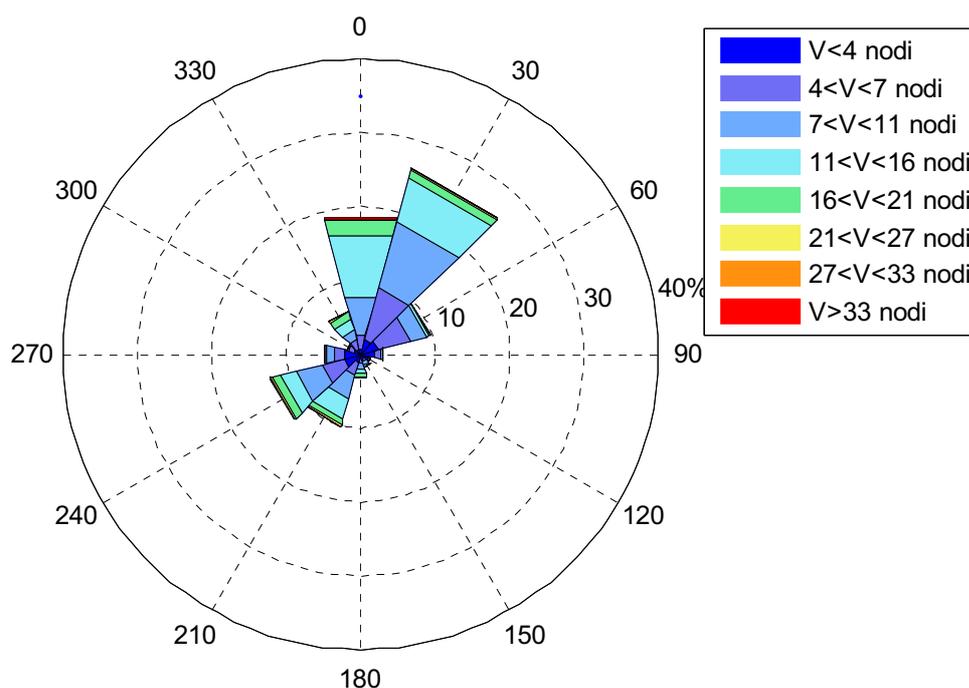


Figura 4.23 Frequenza di apparizione dei venti per il paraggio in esame nel periodo 1978–1997 (stazione di Reggio Calabria): Settembre.

Tabella 4.XXIV Frequenza delle osservazioni della velocità del vento per classi di velocità e di direzione di provenienza osservati dalla stazione anemometrica di Reggio Calabria per il periodo 1978–1997: Ottobre.

V [nodi]	P(v>vinf)	Direzione di Provenienza [°N]											
		-15 15	15 45	45 75	75 105	105 135	135 165	165 195	195 225	225 255	255 285	285 315	315 345
0-4	100.000%	1.502%	2.961%	4.110%	3.358%	1.768%	1.547%	1.326%	1.989%	2.872%	1.856%	0.442%	0.972%
4-7	75.298%	1.900%	5.479%	4.993%	1.237%	0.309%	1.105%	1.547%	2.254%	2.342%	1.016%	0.398%	0.530%
7-11	52.187%	4.551%	7.689%	2.607%	0.972%	0.177%	0.884%	1.723%	3.137%	2.784%	0.398%	0.088%	0.795%
11-16	26.381%	4.507%	5.435%	0.928%	0.221%	0.177%	0.530%	1.768%	3.358%	2.209%	0.177%	0.133%	0.795%
16-21	6.142%	1.193%	0.928%	0.221%	0.000%	0.133%	0.177%	0.663%	0.972%	0.530%	0.044%	0.000%	0.088%
21-27	1.193%	0.133%	0.088%	0.000%	0.000%	0.044%	0.088%	0.177%	0.177%	0.088%	0.000%	0.000%	0.044%
27-33	0.354%	0.000%	0.044%	0.000%	0.000%	0.088%	0.044%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
>33	0.177%	0.000%	0.133%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.044%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
Calme	20.457%												

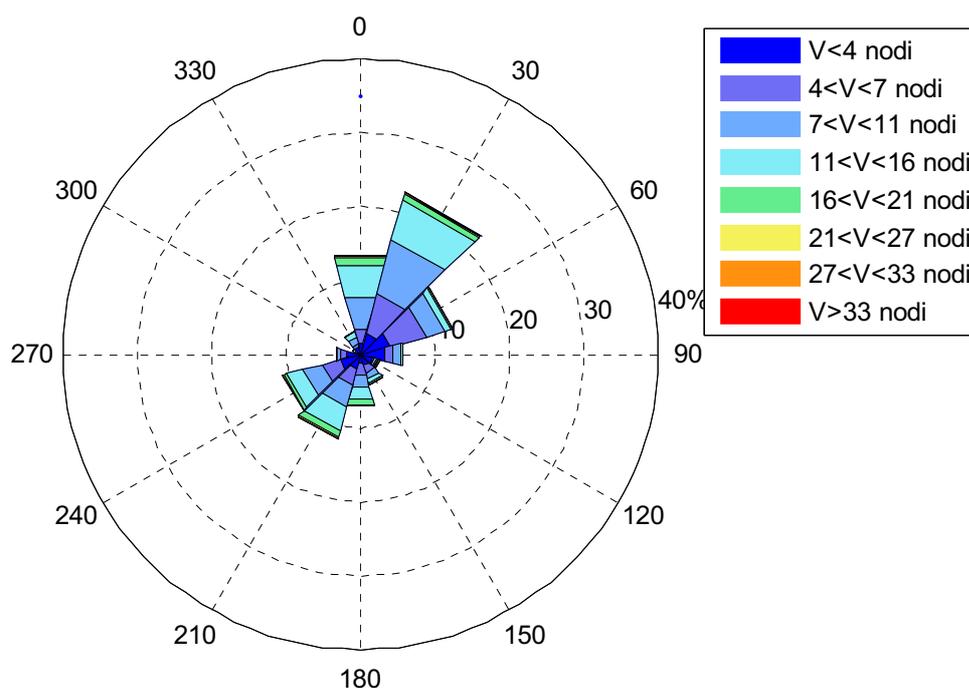


Figura 4.24 Frequenza di apparizione dei venti per il paraggio in esame nel periodo 1978–1997 (stazione di Reggio Calabria): Ottobre.

Tabella 4.XXV Frequenza delle osservazioni della velocità del vento per classi di velocità e di direzione di provenienza osservati dalla stazione anemometrica di Reggio Calabria per il periodo 1978–1997: Novembre.

V [nodi]	P(v>vinf)	Direzione di Provenienza [°N]											
		-15 15	15 45	45 75	75 105	105 135	135 165	165 195	195 225	225 255	255 285	285 315	315 345
0-4	100.000%	0.999%	3.040%	4.820%	3.343%	1.433%	1.563%	1.693%	1.476%	1.650%	0.564%	0.825%	0.651%
4-7	77.942%	2.215%	6.991%	6.557%	2.171%	0.868%	1.737%	2.345%	3.387%	2.822%	1.129%	0.130%	0.738%
7-11	46.852%	4.038%	6.947%	3.083%	0.478%	0.434%	1.389%	2.605%	2.866%	1.607%	0.391%	0.217%	0.912%
11-16	21.884%	3.343%	3.995%	0.434%	0.087%	0.130%	0.738%	2.258%	2.258%	0.738%	0.130%	0.130%	0.868%
16-21	6.774%	1.693%	0.304%	0.043%	0.000%	0.087%	0.478%	0.521%	0.608%	0.261%	0.000%	0.043%	0.608%
21-27	2.128%	0.174%	0.000%	0.000%	0.000%	0.087%	0.174%	0.130%	0.347%	0.043%	0.043%	0.000%	0.478%
27-33	0.651%	0.087%	0.000%	0.000%	0.000%	0.043%	0.130%	0.130%	0.000%	0.000%	0.000%	0.087%	0.043%
>33	0.130%	0.043%	0.000%	0.000%	0.000%	0.043%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.043%
Calme	22.353%												

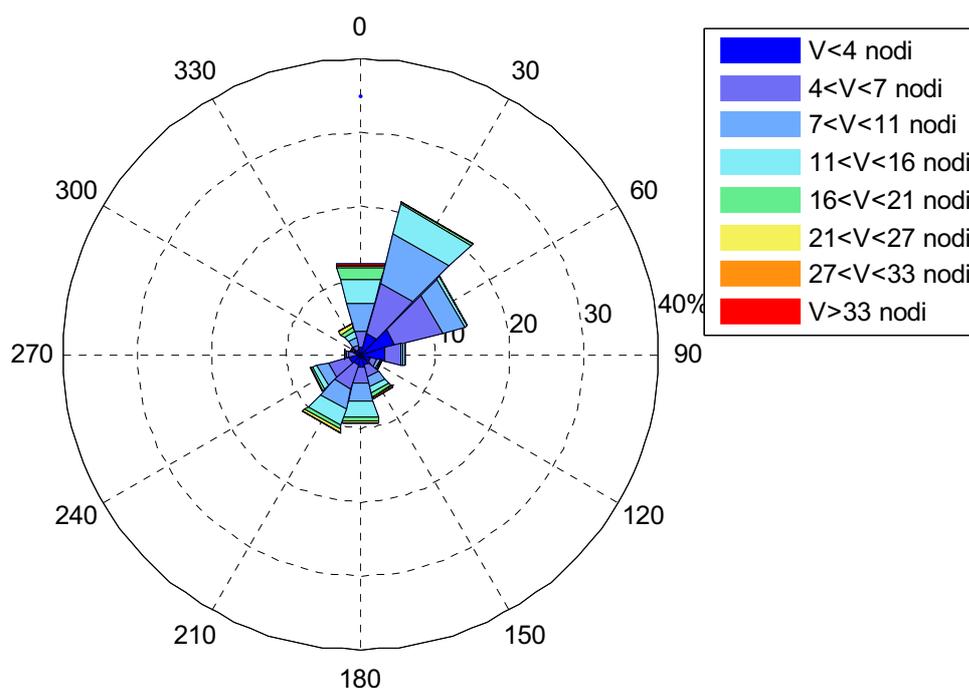


Figura 4.25 Frequenza di apparizione dei venti per il paraggio in esame nel periodo 1978–1997 (stazione di Reggio Calabria): Novembre.

Tabella 4.XXVI Frequenza delle osservazioni della velocità del vento per classi di velocità e di direzione di provenienza osservati dalla stazione anemometrica di Reggio Calabria per il periodo 1978–1997: Dicembre.

V [nodi]	P(v>vinf)	Direzione di Provenienza [°N]											
		-15 15	15 45	45 75	75 105	105 135	135 165	165 195	195 225	225 255	255 285	285 315	315 345
0-4	100.000%	1.265%	2.926%	5.813%	5.101%	1.621%	1.542%	1.226%	1.344%	1.186%	0.672%	0.356%	0.751%
4-7	76.196%	1.661%	6.841%	7.157%	2.966%	0.712%	1.819%	1.779%	2.096%	1.147%	0.554%	0.316%	0.949%
7-11	48.201%	3.282%	6.999%	3.756%	0.830%	0.316%	1.344%	2.214%	1.740%	0.751%	0.237%	0.198%	0.712%
11-16	25.820%	5.022%	5.022%	1.344%	0.158%	0.119%	1.265%	1.898%	0.949%	0.474%	0.198%	0.040%	1.423%
16-21	7.908%	1.503%	1.028%	0.119%	0.079%	0.040%	0.316%	0.514%	0.277%	0.119%	0.079%	0.119%	0.712%
21-27	3.005%	0.751%	0.198%	0.000%	0.000%	0.000%	0.158%	0.158%	0.119%	0.040%	0.000%	0.119%	0.633%
27-33	0.830%	0.237%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.079%	0.040%	0.000%	0.000%	0.000%	0.040%	0.198%
>33	0.237%	0.237%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
Calme	19.484%												

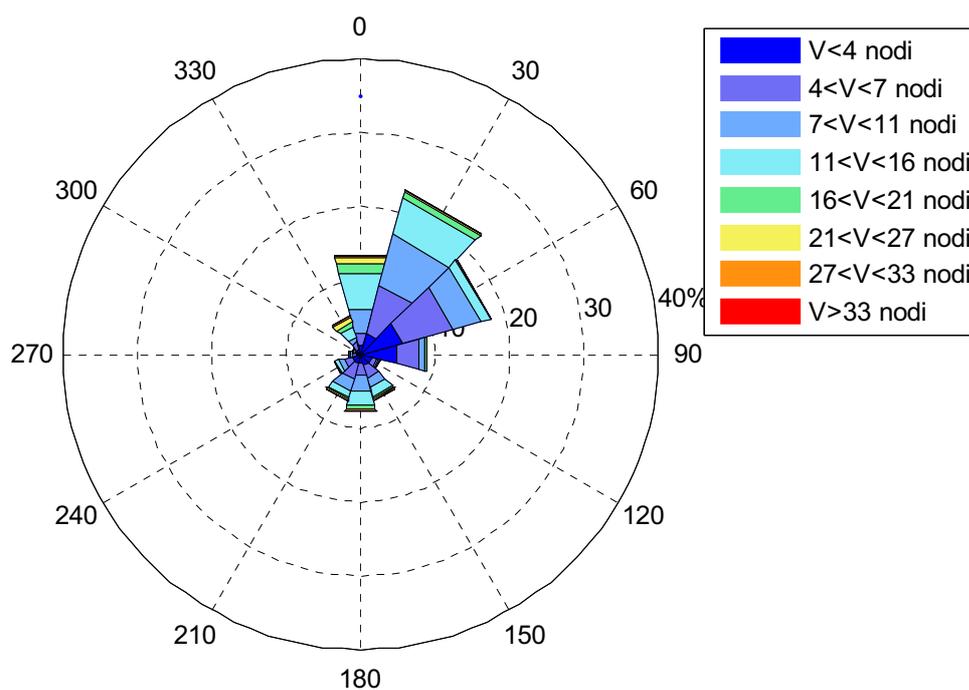


Figura 4.26 Frequenza di apparizione dei venti per il paraggio in esame nel periodo 1978–1997 (stazione di Reggio Calabria): Dicembre.

## **5 Analisi delle variazioni del livello del mare**

L'analisi delle variazioni del livello medio del mare è di fondamentale importanza ai fini della realizzazione di un'opera di difesa portuale. Dette variazioni, infatti, possono influenzare la scelta delle diverse tipologie di intervento da realizzare. Ad esempio, l'onda di progetto per il dimensionamento della diga foranea dipenderà anche dai possibili sopralzi del livello del mare rispetto al valore medio. Infatti, la variazione della profondità locale influenza in modo significativo la meccanica del moto ondoso, causando condizioni più o meno gravose rispetto a quelle riferite al livello medio del mare.

Prescindendo dai modesti dislivelli imputabili a variazioni stagionali della densità del mare e a fenomeni di eustatismo, sicuramente trascurabili per il paragone in esame, le escursioni di livello della superficie marina possono essere principalmente imputate alla marea, sia astronomica che meteorologica, e al sopralzo indotto dall'azione del moto ondoso. Di seguito si riportano le stime di dette variazioni del livello medio marino per il caso in specie.

### **5.1 Effetto della marea astronomica**

La marea astronomica, dovuta principalmente all'azione esercitata dal campo gravitazionale del sole e della luna sulle masse oceaniche, ha nell'area in esame un andamento con due massimi e due minimi durante la giornata, di cui un massimo ed un minimo in genere più accentuati rispetto all'altro.

L'esame delle componenti armoniche della marea astronomica è stato condotto sulla base dei dati registrati dalla stazione mareografica della Rete Mareografica Nazionale dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale di Messina (Latitudine  $38^{\circ}11'21''$  - Longitudine  $15^{\circ}33'54''$ ). In particolare, in Figura 5.1 è riportato l'andamento della marea così come registrato dalla stazione mareografica sita nel porto di Messina.

Bisogna sottolineare che l'andamento riportato rappresenta la risultante della marea astronomica e della marea meteorologica.

L'analisi in frequenza condotta sulle registrazioni del mareografo ha mostrato come le componenti principali della marea sono quelle riportate nella Tabella 5.I.

Tabella 5.I Principali componenti armoniche della marea ricavate dall'analisi in frequenza dei dati registrati dal mareografo della Rete Mareografica Nazionale dell'ISPRA sito nel porto di Messina.

Nome	Periodo [ore min]	Ampiezza [cm]	Fase [°]
M2	12 25'	5.04	322.56
S2	12 00'	2.60	345.01
M4	6 37'	1.53	171.62
MS4	6 12'	1.17	194.38
O1	25 49'	0.85	39.69
K2	11 58'	0.81	325.91
K1	23 56'	0.73	255.27
N2	12 39'	0.76	299.92

Come accennato, l'andamento risultante è di tipo semidiurno con due alte maree e due basse maree al giorno di ampiezza diversa (maree di tipo sinodico-declinazionale). Le escursioni di marea astronomica sono caratterizzate da una periodicità bimensile distinta nelle fasi sizigie (luna piena e nuova) e di quadratura.

Dai risultati dell'analisi emergono dunque i seguenti dislivelli massimi rispetto al livello medio del mare:

massimo innalzamento: 0.12 m

massimo abbassamento 0.09 m.

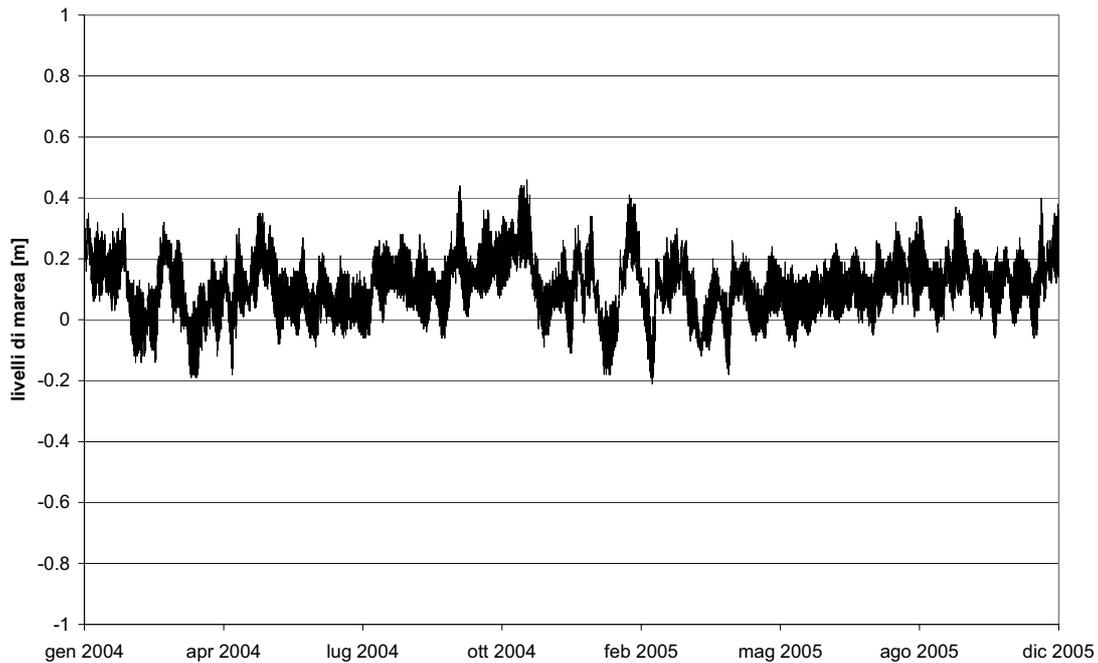


Figura 5.1 Livello della marea registrata dalla stazione mareografica della Rete Mareografica Italiana dell'ISPRA sita nel porto di Messina nel periodo gennaio 2004 - dicembre 2005.

## 5.2 Effetto della marea meteorologica

Le variazioni del livello medio del mare indotte da cause meteorologiche vengono indicate con il termine di marea meteorologica. Le due cause principali che possono dar luogo alle accennate variazioni di livello sono costituite dalle variazioni di pressione atmosferica rispetto alla pressione normale al suolo e dall'azione dei venti persistenti sulla superficie del mare al di sopra della piattaforma continentale.

Per quanto attiene alla prima causa, è noto che alla variazione di 1mb della pressione atmosferica al suolo (il cui valore medio è 1013 mb) corrisponde una variazione di segno opposto di circa 1 cm del livello marino.

Per valutare i valori massimi di variazione del livello medio marino si sono, dunque, ricercati i minimi e i massimi valori barometrici registrati nella zona. In particolare si sono utilizzati i valori forniti

dalla stazione metereologica della Rete Mareografica Nazionale dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale sita presso il porto di Messina, di cui in Figura 5.2 si riporta la registrazione nel periodo marzo 2000 -dicembre 2005.

Il massimo valore rilevato è risultato di 1035 mb, cui corrisponde un abbassamento locale del livello marino pari a 22 cm; mentre il livello barometrico minimo registrato è di 987 mb, cui corrisponde un innalzamento del livello medio marino di 26 cm.

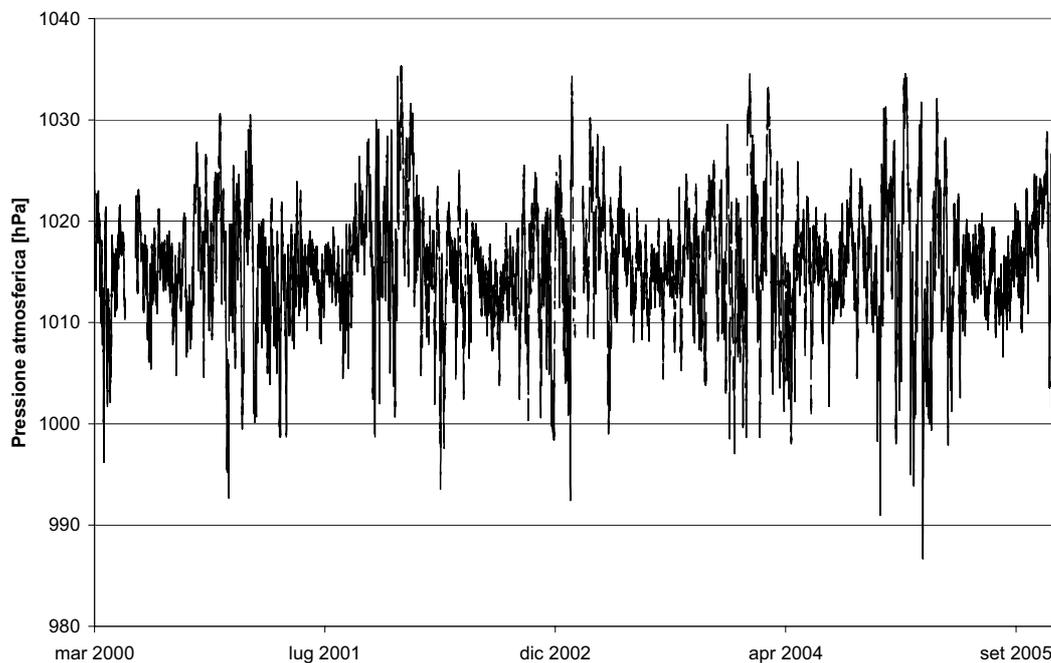


Figura 5.2 Pressione atmosferica registrata dalla stazione metereologica della Rete Mareografica Italiana dell'ISPRA sita nel porto di Messina nel periodo marzo 2000 -dicembre 2005.

Per quanto attiene alla variazione di livello del mare per effetto dell'azione del vento, l'azione dei venti persistenti sulla superficie del mare al di sopra della piattaforma continentale può dar luogo a fenomeni di sovrizzo lungo le coste poste sottovento alla direzione di azione del vento e a corrispondenti abbassamenti lungo quelle sopravento. Questi ultimi sono in genere modesti e trascurabili rispetto alle altre grandezze prese in considerazione.

### **5.3 Dislivelli complessivi**

In definitiva sommando i vari contributi positivi e negativi si ricavano i seguenti dislivelli massimi rispetto al livello medio del mare:

massimo innalzamento: 0.34 m

massimo abbassamento 0.35 m.

Tali valori, seppur modesti, devono essere presi in considerazione per il corretto dimensionamento delle opere costiere in progetto in quanto possono influenzare la stima dell'onda di progetto e, soprattutto, la scelta del tipo di banchinamento del porto, soprattutto se si dovessero scegliere banchine del tipo antiriflettente

Tali valori sono stati confrontati con le registrazioni della marea registrata dalla stazione mareografica della rete RMN dell'ISPRA sito nel porto di Messina, mostrata in Figura 5.1 per il periodo gennaio 2004 – dicembre 2005. In particolare si rileva un livello massimo di 0.45 m e un livello minimo pari a 0.20 m rispetto allo zero idrografico.

## 6 Stima delle correnti

Lo Stretto di Messina può assimilarsi ad un canale, delimitato ad Est dalla costa calabrese e ad Ovest da quella siciliana, con asse longitudinale disposto secondo la direttrice N-S nella parte più meridionale e piegato in direzione SO-NE nella parte più settentrionale. La sua situazione topo-batimetrica è piuttosto irregolare. È caratterizzato, infatti, sul limite ionico da profondità massime superiori ai 1000 m e scarpate ripide, mentre procedendo verso Nord il fondale si solleva rapidamente, determinando una sella nella sezione compresa tra Punta Pezzo e Ganzirri, laddove si raggiungono le profondità minime (~70 m) e il canale piega in direzione SO-NE. Procedendo verso il Tirreno aumentano nuovamente le profondità, sebbene in modo più graduale che nell'area a Sud, fino a raggiungere i 300 m circa lungo il limite Nord (Figura 6.1).

Nonostante abbia piccole dimensioni, essendo caratterizzato da larghezza pari a circa 3 km e lunghezza pari a circa 20 km, lo Stretto di Messina riveste una particolare importanza in termini di circolazione idrodinamica, essendo sede di correnti marine notevolmente articolate ed intense (Mosetti, 1988; Tomasin e Tomasino, 1983).

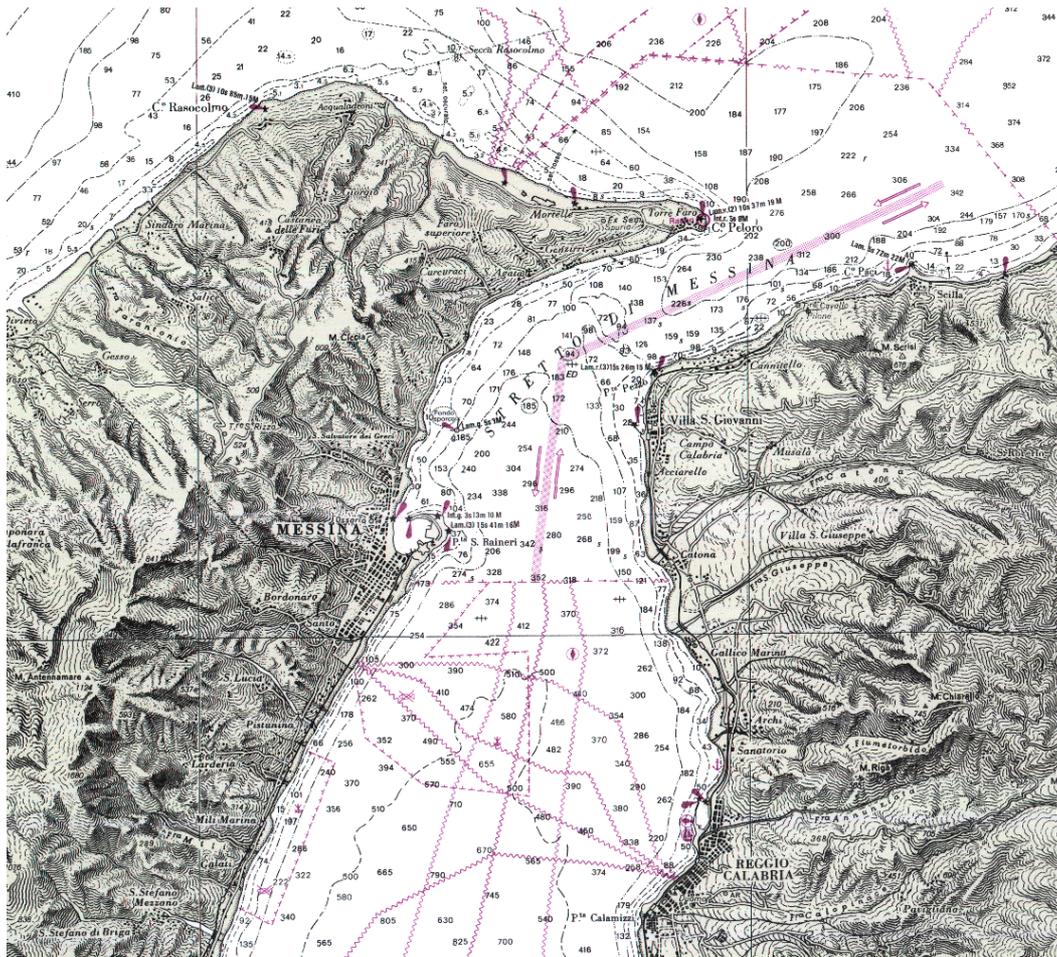


Figura 6.1 Stretto di Messina - Carta nautica dell'I.I.M.

Gli studi di Mosetti (1988) suggeriscono di schematizzare la circolazione nello Stretto come la risultante dei seguenti contributi:

- correnti di marea;
- correnti di drift ed ingorghi;
- correnti di gradiente;
- turbolenza.

La circolazione nello Stretto di Messina è governata essenzialmente dalla forzante marea, che da luogo al 70% circa della dinamica totale. In particolare, la sola componente semidiurna M2 origina correnti di intensità dell'ordine dei 200 cm/s. Sommandosi a questa altri effetti di natura meteo-climatica ed oceanografica, la corrente totale può raggiungere anche i 500 cm/s (Mosetti, 1988).

Un primo ulteriore contributo alla circolazione è costituito dalle correnti di drift, ovvero correnti di deriva indotte dal vento, la cui

intensità si può stimare pari al 2-3% della velocità del vento che spira sul mare. Dall'analisi del regime dei venti, si deduce che tali correnti possono avere intensità al più pari a 40 cm/s, ovvero dimezzata rispetto a quella prevista da Mosetti (1988), e sono dirette prevalentemente a Sud. Le correnti di deriva sono verosimilmente controbilanciate dalle cosiddette correnti di ingorgo, le quali investono quasi uniformemente tutto il canale, sovvertendo ogni altro movimento. Tali correnti sono caratterizzate tuttavia da rapido svolgimento temporale e sono occasionali (frequenza di accadimento pari a circa due volte al mese), sebbene abbiano intensità elevate, pari a circa 100 cm/s.

Significativa nello Stretto è anche la corrente di gradiente, generata dalla differenza di densità che caratterizza i mari Tirreno e Ionio. Si verifica infatti in prossimità del fondo un flusso permanente di acque ioniche, più dense, verso il Tirreno. In superficie tale flusso resta confinato lungo la costa siciliana, mentre una corrente densa di compensazione fluisce verso Sud lungo la costa calabra.

Com'è noto, alla stessa quota, la densità dipende da salinità e temperatura. Con riferimento alla temperatura, i valori medi del Tirreno sono leggermente superiori a quelli dello Ionio e tale differenza è limitata agli strati più superficiali. Valori costanti possono osservarsi al di sotto del termoclino, posto a circa 50 m dalla superficie. Invece, la salinità è maggiore nello Ionio piuttosto che nel Tirreno (circa 38.5-38.8‰ contro 38.0‰), in particolare entro i primi 150 m di profondità. Di conseguenza i livelli dello Ionio e del Tirreno risultano differenti, originando un gradiente di pressione che innesca la cosiddetta corrente di gradiente. Dai dati provenienti dalle Tavole di Marea dell'Istituto Idrografico della Marina, si evince che tale escursione di livello è pari ad 8 cm circa, in accordo con quanto rilevato da Mosetti (1988). La corrente di gradiente ha intensità mediamente pari a 30 cm/s (Mosetti, 1988), comunque rilevante se confrontata con i valori di altre correnti di gradiente misurate in mare

aperto. In questo caso, invece, il suo effetto risulta completamente mascherato dalla corrente di marea.

Un fenomeno che origina forti correnti nello Stretto è quello della turbolenza, che si traduce in rapidissime variazioni di velocità in modulo e direzione, provocate da svariate cause quali, ad esempio, le onde interne o la morfologia dello Stretto. In particolare, nella zona tra la sella e lo sbocco nel Tirreno si osservano variazioni di velocità di  $\pm 50$  cm/s. Nella turbolenza può ritenersi incluso anche l'effetto del moto ondoso. Le correnti litoranee create dal moto ondoso sono principalmente dirette verso Nord. Infatti, come si illustrerà nel seguito, la distribuzione energetica del moto presenta una direzione predominante di provenienza nel settore compreso tra  $180^\circ\text{N}$  e  $205^\circ\text{N}$ .

Le prime osservazioni di campo sullo Stretto di Messina furono condotte negli anni '30 da Vercelli (Mosetti, 1988) per un periodo piuttosto lungo e su un numero considerevole di stazioni, sia fisse sia in movimento.

Si deve poi giungere alla fine degli anni '70 per disporre di recenti misure di velocità ed elevazione nello Stretto, rilevate nell'ambito di alcune ricerche condotte, rispettivamente, dall'Osservatorio Geofisico Sperimentale di Trieste e dall'ENEL.

Le campagne dell'OGS, condotte da dicembre 1979 a Luglio 1980, hanno monitorato a differenti profondità le correnti su nove stazioni, disposte lungo tre transetti, localizzate nell'area della sella. Tali dati di velocità sono stati esaminati dettagliatamente da Mosetti (1988) che ha ricavato, in particolare, le costanti armoniche delle componenti di marea. Le campagne condotte dall'ENEL nel periodo luglio 1978 - ottobre 1980 hanno consentito di ottenere le costituenti armoniche, invece, con riferimento all'elevazione.

Dalle misure effettuate nelle campagne suddette, emerge chiaramente che le correnti di marea sono responsabili del 70% della dinamica totale nello Stretto. In particolare, le maree ioniche e quelle

tirreniche sono caratterizzate da ampiezze confrontabili, mentre le rispettive fasi risultano più o meno in opposizione. Questo avviene per ciascuna costituente mareale, ma si verifica in modo più significativo per le componenti semidiurne.

La principale componente di marea semidiurna M2, infatti, presenta una differenza di fase tra i due limiti (Nord e Sud) dello Stretto pari a circa 180°. Questa opposizione di fase origina un'intensificazione degli effetti, dal momento che ad una condizione di massimo livello nel Tirreno corrisponde quella di minimo livello nello Ionio, e viceversa. Infatti, la corrente di marea M2 contribuisce per l'80% all'intero moto mareale.

Altro contributo non trascurabile al moto mareale è rappresentato dalla componente diurna K1, che presenta una differenza di fase tra i due limiti dello Stretto di 50°-60°, ed è caratterizzata da ampiezza comunque inferiore a quella della M2. Come indicato da Mosetti (1988), la corrente diurna è pari a circa 1/4 di quella semidiurna.

Si deve, infine, osservare che la corrente di marea è ben incanalata nello Stretto, con componente trasversale alquanto ridotta. Le ellissi che mostrano il moto dell'acqua nel tempo sono, infatti, molto schiacciate nel senso dell'asse longitudinale. Solo le brevi oscillazioni sono più sviluppate nella direzione trasversale del canale.

Recentemente nell'ambito dello studio di impatto ambientale del porto turistico di Marina Guardia redatto dal CONISMA è stata effettuata una simulazione idrodinamica delle correnti nello stretto.

Detto studio ha considerato le principali componenti della marea semidiurna M2 e diurna K1 quali forzanti del modello numerico, ricostruendo le serie storiche delle elevazioni, a partire dai valori di ampiezza, periodo e fase registrati durante le osservazioni a mare (Mosetti, 1988). Inoltre lo studio ha tenuto in considerazione il dislivello esistente tra il Tirreno e lo Ionio, responsabile di una corrente stazionaria. Sono invece state trascurate le correnti di drift e di gradiente, dato il contributo esiguo alla circolazione.

La citata simulazione ha mostrato variabilità delle correnti nello stretto e soprattutto la forte dipendenza dall'andamento topografico. In particolare si sono osservati diversi punti di ristagno e la presenza di vortice che indirizzano la corrente in modo non simmetrico lungo lo stretto. Tuttavia lo studio mostra come sulla costa siciliana la velocità della corrente sia piuttosto bassa.

Inoltre nell'ambito degli "Studi tecnici finalizzati alla valutazione di fattibilità del completamento del porto Ro-Ro in località Tremestieri (ME)" vengono citati dati relativi alla corrente nello Stretto provenienti da tre fonti diverse. In particolare viene citato il Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Sicilia in cui viene evidenziato come la corrente proveniente da sud sia più intensa, con velocità di 1.5-2.1 m/s, rispetto a quella proveniente da Nord, con velocità di 1.0-1.5 m/s. Lo studio inoltre cita due rilievi correntometrici effettuati nell'ambito dei progetti per il primo approdo di Tremestieri, uno condotto dalla Cooperativa Nautilus unitamente alla società HR Wallingford Ltd per conto della società Technital S.p.A. e l'altro condotto per conto dello studio Rodriquez. Entrambi gli studi, la cui estensione temporale di osservazione è limitata, evidenziano una predominanza delle correnti parallele alla costa con intensità maggiori in direzione 210°N. Di particolare interesse sono i risultati riportati dallo studio condotto per conto della società Technital S.p.A. in cui si riscontrano su una profondità pari a 10 m valori massimi della velocità della corrente pari a circa 1.35 m/s a 2.5 m di profondità, 1.2 m/s a 5.5 m di profondità e 1 m/s a 8.5 m di profondità.

## **7 Caratterizzazione del clima ondoso al largo del paraggio**

### **7.1 Generalità**

Com'è noto, le forzanti meteomarine che rivestono maggiore interesse ai fini dello studio dell'evoluzione dei litorali sono i venti, le correnti, le onde e le escursioni di marea. Tuttavia nel caso in esame per la definizione dello stato del mare, si può senz'altro affermare che bisogna anzitutto analizzare le forzanti più significative dal punto di vista energetico. E precisamente: individuare la direzione prevalente del flusso energetico e il clima ondoso che si riscontra al largo del paraggio.

La boa ondometrica in dotazione all'ISPRA più prossima all'area in esame è quella di Catania. Tuttavia, dall'analisi di dettaglio dell'esposizione del paraggio in cui è collocata, si è ritenuto che la stessa, anche a seguito di processi di trasposizione dei dati, non fosse adeguatamente significativa del clima ondoso del paraggio in esame.

Pertanto, data la particolare collocazione entro lo Stretto di Messina del paraggio in esame, si è deciso di determinare il clima ondoso medio in parte utilizzando i dati del moto ondoso determinati con il Modello Ondametrico Europeo dell'UKMO in un punto immediatamente a Sud dello Stretto di Messina ( $37.8^{\circ}$  N -  $15.5^{\circ}$  E) per gli eventi provenienti nel settore compreso tra  $150^{\circ}$ N e  $220^{\circ}$ N e mediante il metodo SMB per le restanti direzioni.

Nei paragrafi successivi vengono prima individuati i fetch geografici ed efficaci sia del punto UKMO utilizzato che del paraggio in esame; vengono quindi sinteticamente descritti il Modello Ondametrico Europeo dell'UKMO e il modello SMB, infine vengono illustrate le frequenze di osservazione del moto ondoso determinate per il punto UKMO e per il paraggio in esame.

## 7.2 Fetch geografici ed efficaci

Lo studio del clima ondoso prende le mosse dalla valutazione del settore di traversia del paraggio in esame, che rappresenta il settore angolare di centro il paraggio che comprende tutte le direzioni da cui possono provenire le agitazioni ondose determinate dai venti foranei. Per tale studio è quindi necessario determinare le aree di generazione del moto ondoso. Tali aree sono usualmente individuate in funzione del fetch geografico, ossia delle distanze di mare libero per ogni direzione.

Dalla Figura 7.1 alla Figura 7.4 sono rappresentati i fetch geografici ed i relativi diagrammi polari rappresentativi del paraggio del punto UKMO e del tratto di costa preso in considerazione, desunti dalla "Carta della serie internazionale – Mar Mediterraneo – Bacino Orientale" in scala 1:2.250.000 pubblicata dall'Istituto Idrografico della Marina (Genova, 1982).

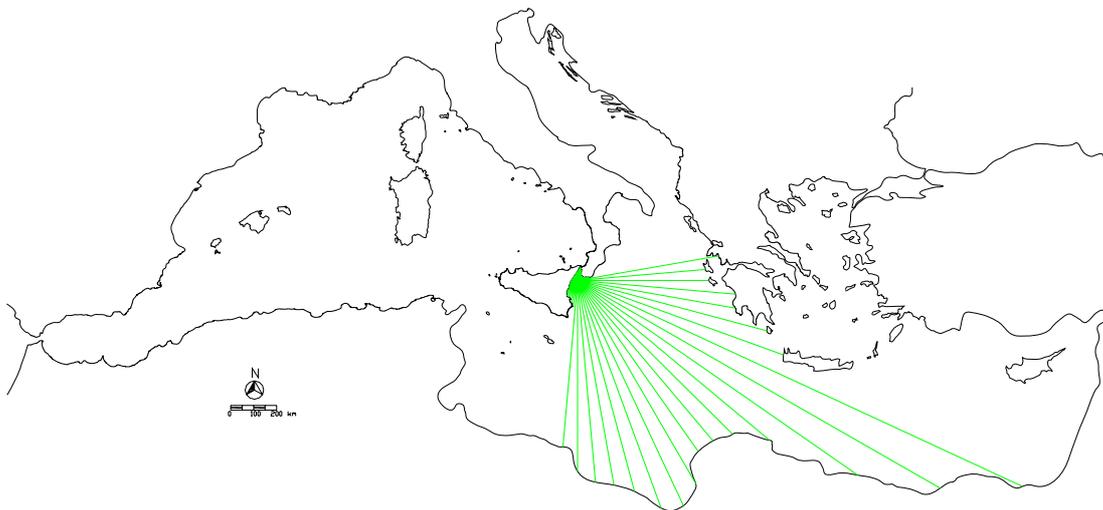


Figura 7.1 Fetch Geografico valutato in corrispondenza del punto UKMO posto a  $37.8^{\circ}$  N -  $15.5^{\circ}$  E.

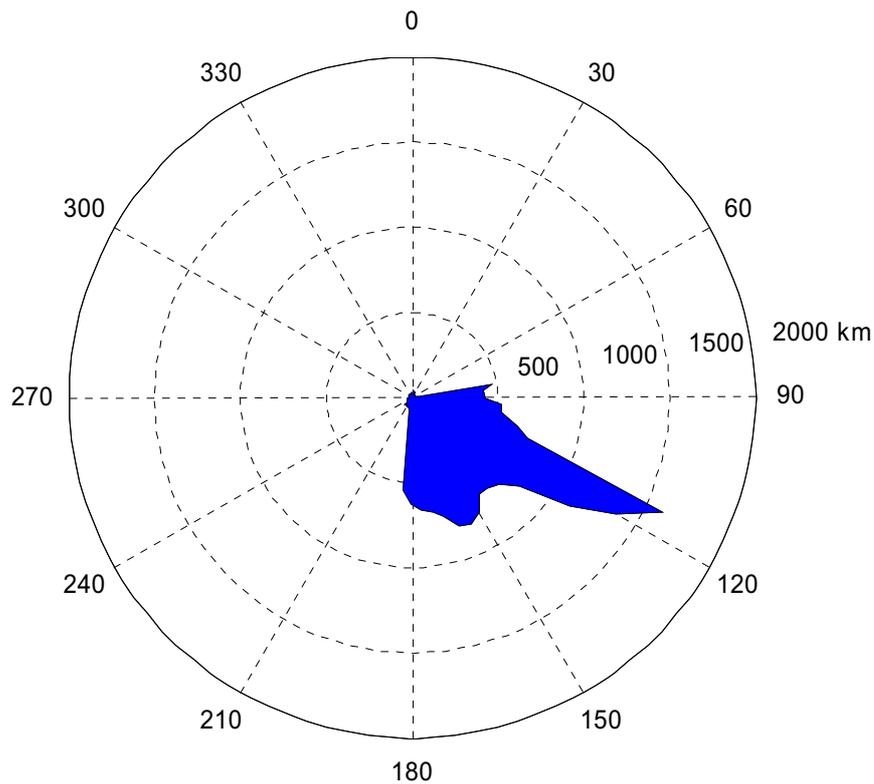


Figura 7.2 Rappresentazione polare del fetch Geografico del punto UKMO posto a  $37.8^{\circ}$  N -  $15.5^{\circ}$  E.

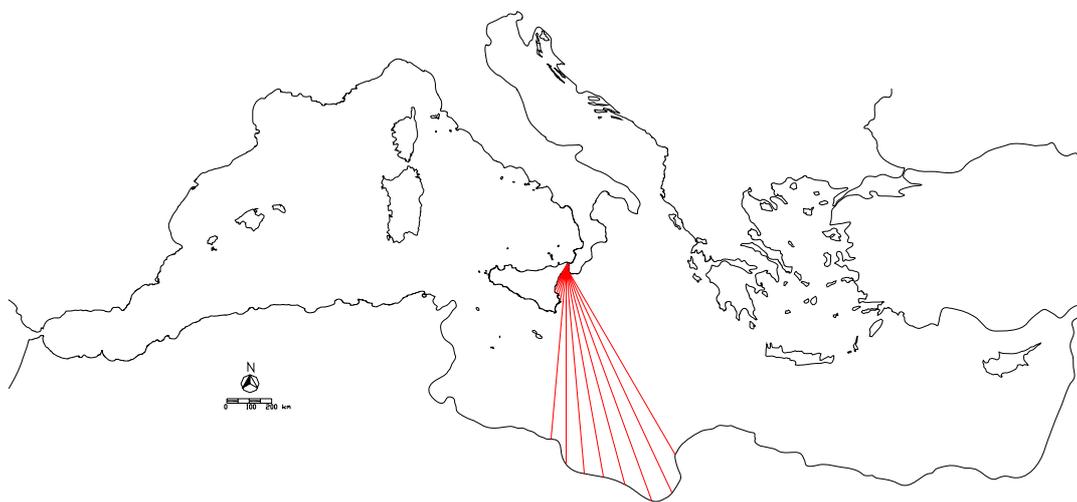


Figura 7.3 Fetch Geografico al largo del paraggio in esame.

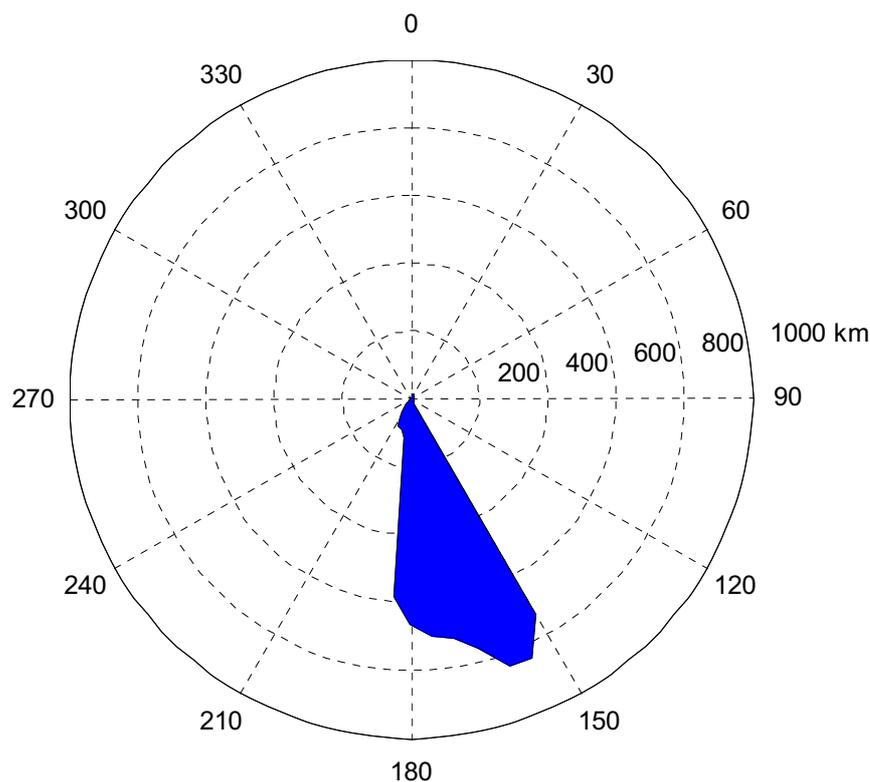


Figura 7.4 Rappresentazione polare del Fetch Geografico al largo del paraggio in esame.

In particolare, come illustrato nella Figura 7.2, si rileva che il settore di traversia principale del punto UKMO risulta ampio all'incirca  $105^\circ$ , risultando compreso tra le direzioni  $80^\circ\text{N}$  e  $185^\circ\text{N}$ . All'interno di detto settore, i valori maggiori di fetch geografico sono rilevabili nell'intervallo di direzione compreso tra  $110^\circ$  e  $120^\circ\text{N}$ , in cui si rilevano valori prossimi a 1600 km.

Per quanto attiene al paraggio in esame, come illustrato nella Figura 7.4, si rileva che il settore di traversia risulta ampio all'incirca  $50^\circ$ , risultando compreso tra le direzioni  $150^\circ\text{N}$  e  $185^\circ\text{N}$ . All'interno di detto settore, i valori maggiori di fetch geografico sono rilevabili nell'intervallo di direzione compreso tra  $150^\circ$  e  $160^\circ\text{N}$ , in cui si rilevano valori superiori a 800 km.

In effetti, la determinazione dell'area di generazione tramite i fetch geografici sopra descritti risulta deficitaria, in quanto non tiene in debito conto il fatto che il vento non trasmette energia alla superficie

del mare solo lungo la sua direzione di provenienza, ma anche secondo direzioni ad essa limitrofe. Pertanto è stato introdotto il concetto di fetch efficace, di seguito calcolato secondo la procedura di Seymour (S.P.M., 1984). Detto autore, infatti, per tenere conto dei fenomeni che avvengono all'interno del settore di traversia di un certo paraggio, fa riferimento al fetch efficace definito dalla relazione:

$$F_{eff\varphi} = \frac{\sum_{\varphi_i=\varphi-90^{\circ}}^{\varphi+90^{\circ}} x_i \cos^3(\varphi_i - \varphi)}{\sum_{\varphi_i=\varphi-90^{\circ}}^{\varphi+90^{\circ}} \cos^2(\varphi_i - \varphi)} \quad (7.1)$$

dove  $F_{eff\varphi}$  è il fetch efficace nella direzione  $\varphi$ ;  $x_i$  è il fetch geografico nella  $i$ -esima direzione,  $\varphi_i$  è l'angolo della  $i$ -esima direzione.

Inoltre, nel Mar Mediterraneo le aree battute dal vento non hanno dimensioni molto ampie. In particolare i fronti di vento presentano un'ampiezza massima di 400 km e una dimensione su cui spira il vento pari a circa 500 km, per cui i valori dei fetch geografici  $x_i$  da inserire nel calcolo del fetch efficace risultano limitati dall'estensione massima delle aree battute dal vento.

Applicando tale definizione ai casi in esame, come illustrato nella Figura 7.5 e nella Figura 7.6, si rileva che per il punto UKMO posto a  $37.8^{\circ}$  N -  $15.5^{\circ}$  E i valori maggiori di fetch efficace si rilevano in corrispondenza delle direzioni  $55^{\circ}$ - $155^{\circ}$  N con fetch pari a circa 350 km, mentre per il tratto di litorale al largo del paraggio in esame i valori maggiori di fetch efficace si rilevano in corrispondenza delle direzioni  $160^{\circ}$ - $180^{\circ}$  N con fetch maggiori prossimi a 230 km.

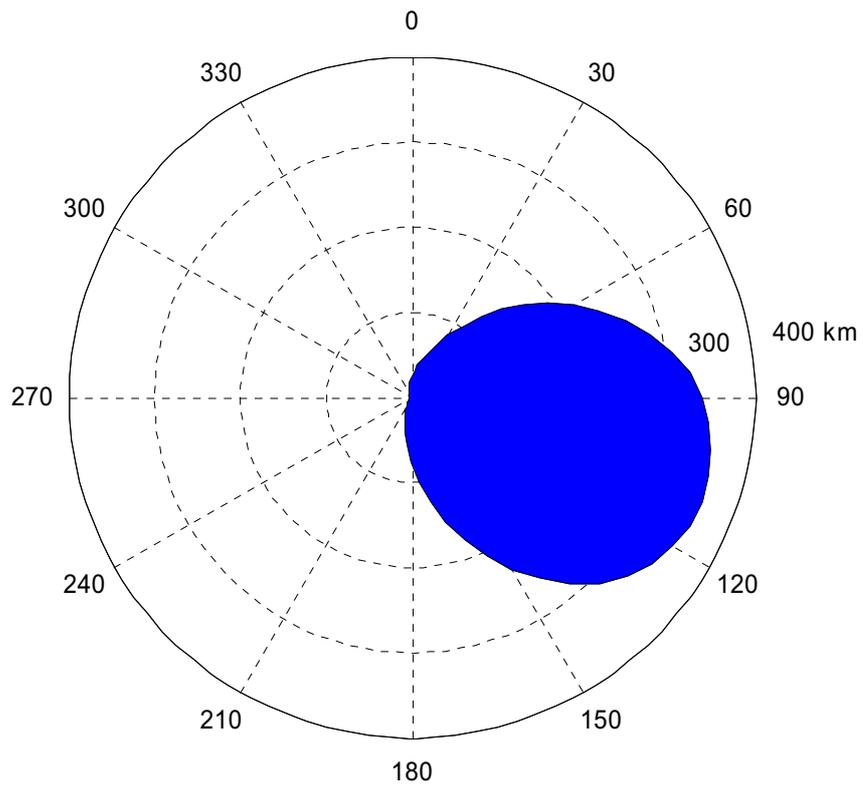


Figura 7.5 Rappresentazione polare del fetch efficace del punto UKMO posto a  $37.8^{\circ}$  N -  $15.5^{\circ}$  E.

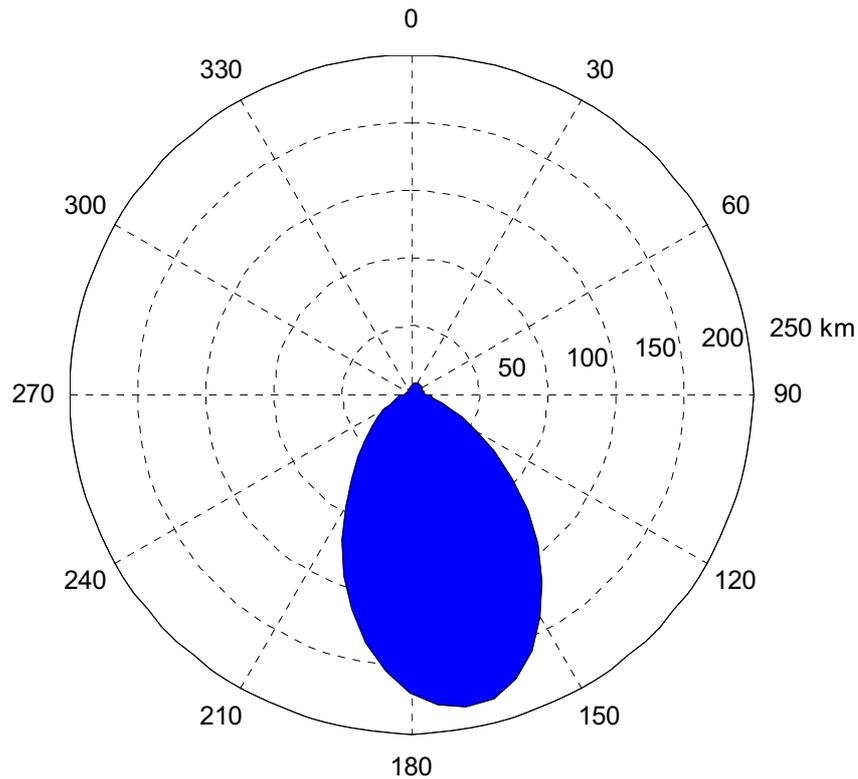


Figura 7.6 Rappresentazione polare del fetch efficace in corrispondenza del paraggio in esame.

### **7.3 Modello Ondametrico Europeo del UKMO**

I dati ondametrici disponibili presso l'ufficio meteorologico del Regno Unito (UKMO) sono il risultato di generazioni sintetiche di dati ottenute tramite l'applicazione successiva di due modelli caratterizzati da scale spaziali notevolmente differenti, e per questo definiti Modello Globale e Modello Europeo. Detti modelli sono basati sull'elaborazione di campi di vento e forniscono l'elevazione della superficie libera dei mari dovuta all'azione tangenziale del vento, schematizzata in termini di spettro di energia.

I due modelli sono il risultato di una serie di evoluzioni di un unico modello in uso dal 1976. Più precisamente, il Modello Globale è caratterizzato da una spaziatura di griglia pari a circa 150 km e fornisce le condizioni al contorno per il Modello Europeo, che presenta invece una spaziatura di griglia pari a circa 25-30 km. I modelli sono continuamente calibrati in tempo reale attraverso i dati provenienti da

boe fisse, da piattaforme petrolifere, da navi in transito e da misurazioni via satellite. I modelli forniscono dati due volte al giorno riferite alle precedenti dodici ore (utilizzate come archivio) e alle successive 36 (distribuite per le previsioni metereologiche e ondometriche).

Il Modello Europeo di previsione delle onde fornisce dati nella sua configurazione attuale dal 1986. In particolare l'archivio contiene le previsioni delle condizioni del mare (venti, onde di vento e onde di mare morto) con intervallo di 6 ore da Ottobre 1986 a Giugno 1988, e con intervallo triorario dal Giugno 1988 in poi.

Il modello fornisce oltre all'altezza significativa  $H_s$ , al periodo d'onda medio  $T_m$  e alla direzione  $\theta_m$ , lo spettro direzionale con 16 componenti direzionali e 13 componenti in frequenza.

È opportuno precisare che il set di dati meteomarini utilizzati nel presente studio, relativi al punto di coordinate geografiche 37.8°N 15.5°E, coprono il periodo 1990-2001 e sono stati desunti dallo studio idraulico marittimo allegato agli "Studi tecnici finalizzati alla valutazione di fattibilità del completamento del porto Ro-Ro in località Tremestieri" redatto dall'Ufficio del piano dell'Autorità Portuale di Messina.

#### **7.4 Metodo SMB**

Il metodo di previsione indiretta, noto in letteratura come SMB, fornisce l'altezza ed il periodo dell'onda significativa a partire da relazioni empiriche espresse in termini della velocità del vento  $U$  rilevata a 10 m s.l.m.m., dell'estensione del *fetch*  $F$  (ovvero della distesa di mare libero su cui il vento spira con intensità e direzione costanti), e della durata  $t$  dell'evento eolico. Questo metodo costituisce l'approccio per l'analisi di previsione del moto ondoso più largamente utilizzato nella pratica ingegneristica, anche a causa della sua semplicità ed efficacia. Una sua corretta interpretazione e

applicazione passa attraverso un'analisi del bilancio energetico nell'area di generazione del moto ondoso ad opera del vento.

Per gli eventi ondosi si distinguono tre particolari condizioni:

- evento limitato dal fetch
- evento limitato dalla durata
- evento completamente sviluppato

Un evento risulta limitato dal fetch se il vento soffia costante per un tempo abbastanza lungo da far raggiungere l'equilibrio al moto ondoso.

I parametri richiesti per l'applicazione del metodo SMB sono il fetch  $F$  e lo sforzo tangenziale  $U_A$  (velocità del vento corretta), che rappresenta un valore medio relativamente costante lungo il fetch.

E' opportuno sottolineare come la velocità del vento fornita dalle serie storiche debba essere corretta in modo da tener in conto il fatto che il dato di velocità del vento è fornito a terra, mentre esso va traslato a mare, e che, a causa della differenza di temperatura terrena, si deve effettuare una correzione di stabilità, ed inoltre bisogna considerare la relazione non lineare tra velocità del vento e sforzi tangenziali sulla superficie del mare, al fine di ottenere la velocità di attrito. Infine i dati anemometrici devono essere corretti in modo da tenere conto del fatto che mentre i dati ITAV sono misurati in un intervallo di poche decine di minuti, la velocità del vento che deve essere fornita al modello è quella media su tutto l'intervallo triorario.

L'altezza dello spettro dell'onda  $H_{m0}$ , il periodo medio  $T_m$  e la durata  $t$  che l'evento ventoso deve avere affinché si verificino dette condizioni si ottengono dalle formule adimensionali:

$$\frac{gH_s}{U_A^2} = 1.6 \times 10^3 \left( \frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/2} \quad (7.2)$$

$$\frac{gT_m}{U_A} = 2.857 \times 10^{-1} \left( \frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/3} \quad (7.3)$$

$$\frac{gt}{U} = 6.88 \times 10 \left( \frac{gF}{U_A^2} \right)^{2/3} \quad (7.4)$$

esplicitando  $H_s$ ,  $T_m$ ,  $t$  si ottiene:

$$H_s = 5.112 \times 10^{-4} U_A F^{1/2} \quad (7.5)$$

$$T_m = 6.238 \times 10^{-2} (U_A F)^{1/3} \quad (7.6)$$

$$t = 3.215 \times 10 \left( \frac{F^2}{U_A} \right)^{1/3} \quad (7.7)$$

essendo  $g$  l'accelerazione di gravità.

L'evento risulta limitato dalla durata se l'altezza delle onde risulta limitata dalla durata del tempo per cui il vento ha spirato.

In questo caso la modellazione matematica del fenomeno viene effettuata calcolando a partire dalla (5.6) un fetch ridotto  $F_r$ :

$$F_r = \sqrt{\frac{t^3 U_A}{(3.215 * 10)^3}} \quad (7.8)$$

ed applicando le (7.5), (7.6) con al posto di  $F$  il fetch ridotto  $F_r$  dato dalla (7.8).

Qualora l'evento ondoso non risulti limitato né dal fetch né dalla durata esso si dice *completamente sviluppato* ed è analiticamente descritto dai rapporti adimensionali:

$$\frac{gH_{m0}}{U_A^2} = 2.433 \times 10^{-1} \quad (7.9)$$

$$\frac{gT_m}{U_A} = 8.134 \quad (7.10)$$

$$\frac{gt}{U_A} = 7.15 \times 10^4 \quad (7.11)$$

esplicitando  $H_{m0}$ ,  $T_m$  e  $t$ , inteso come la durata minima per cui il vento deve soffiare affinché l'evento ondoso si sviluppi completamente, si ottiene:

$$H_{m0} = 2.482 \times 10^{-2} U_A^2 \quad (7.12)$$

$$T_m = 8.30 \times 10^{-1} U_A \quad (7.13)$$

$$t = 7.296 \times 10^3 U_A \quad (7.14)$$

Si osservi che le formule sopra riportate valgono esclusivamente nel Sistema di misura Internazionale.

Inoltre, si noti che per quanto riguarda i fetch, nei calcoli sono stati utilizzati i fetch efficaci del sito in esame.

### **7.5 Analisi del clima ondoso determinato dal Modello Ondametrico Europeo**

La serie storica delle caratteristiche del moto ondoso in corrispondenza del punto UKMO posto a 37.8°N-15.5°E, riferita al periodo 1990 - 2001 e desunti dallo studio idraulico marittimo allegato agli "Studi tecnici finalizzati alla valutazione di fattibilità del completamento del porto Ro-Ro in località Tremestieri" redatto dall'Ufficio del piano dell'Autorità Portuale di Messina, è stata sintetizzata riportando il numero di eventi per classi di altezza d'onda per ogni direzione di provenienza (Tabella 7.I). Nella citata tabella nella prima colonna viene riportato il valore medio della direzione di provenienza del moto ondoso della classe considerata, nelle

successive colonne per ognuna delle classi di altezza d'onda considerata viene riportata la frequenza di osservazione in percentuale rispetto al totale delle osservazioni.

Come illustrato in Figura 7.7, il regime medio annuo del moto ondoso è caratterizzato da una predominanza di eventi provenienti dal settore 90-180°N sia in termini di frequenza che in termini di massima altezza d'onda.

Tabella 7.I Percentuale eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza determinate in corrispondenza del punto UKMO posto a 37.8°N-15.5°E.

Dir[°N]	Hs[m]										
	0-0.5	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
0	1.678	0.279	0.063	0.036	0.024	-	-	-	-	-	-
10	1.273	0.213	0.072	0.042	-	-	-	-	-	-	-
20	0.948	0.207	0.075	0.018	0.006	-	-	-	-	-	-
30	0.714	0.174	0.078	0.015	0.006	-	-	-	-	-	-
40	0.720	0.132	0.048	0.009	-	0.003	-	-	-	-	-
50	0.558	0.108	0.081	0.015	-	0.003	-	-	-	-	-
60	0.573	0.078	0.054	0.021	-	-	-	-	-	-	-
70	1.627	0.162	0.051	0.045	0.006	0.003	-	-	-	-	-
80	2.695	0.753	0.216	0.060	0.024	0.009	-	0.006	-	-	-
90	1.915	1.210	0.597	0.258	0.087	0.057	0.030	0.003	0.006	-	-
100	1.090	0.918	0.558	0.243	0.129	0.081	0.066	0.027	0.015	0.015	-
110	3.191	1.396	0.417	0.207	0.123	0.063	0.090	0.060	0.033	0.009	0.003
120	1.546	0.762	0.261	0.192	0.093	0.096	0.051	0.009	0.015	0.003	-
130	1.387	0.735	0.324	0.204	0.129	0.078	0.054	0.015	0.009	0.006	-
140	1.462	0.973	0.516	0.258	0.123	0.084	0.045	0.018	-	-	-
150	1.729	1.123	0.672	0.315	0.189	0.045	0.009	0.009	0.003	-	-
160	2.746	1.624	0.528	0.249	0.072	0.021	0.009	-	0.003	-	-
170	2.716	1.726	0.471	0.135	0.021	0.003	0.003	-	-	-	-
180	3.098	1.210	0.315	0.063	0.012	0.003	-	0.003	0.003	-	-
190	1.846	0.465	0.081	0.042	0.003	0.006	-	0.003	-	-	-
200	1.252	0.339	0.072	0.021	0.003	0.003	-	-	-	-	-
210	1.081	0.264	0.081	0.012	0.003	-	0.003	0.003	-	-	-
220	0.985	0.192	0.078	0.012	0.003	-	0.003	-	-	-	-
230	1.015	0.177	0.048	-	0.003	-	-	-	-	-	-
240	1.138	0.228	0.099	0.012	0.012	0.003	-	-	-	-	-
250	1.273	0.309	0.084	0.042	0.021	0.003	-	-	-	-	-
260	1.177	0.429	0.129	0.027	0.009	-	-	-	-	-	-
270	1.585	0.690	0.276	0.075	0.033	-	-	-	-	-	-
280	1.825	0.600	0.162	0.093	0.033	0.003	-	-	-	-	-
290	2.092	0.708	0.192	0.075	0.024	0.003	-	-	-	-	-
300	2.623	0.699	0.177	0.069	0.012	-	-	-	-	-	-
310	3.167	0.735	0.156	0.021	0.009	0.003	-	-	-	-	-
320	3.803	0.726	0.120	0.024	0.009	0.003	-	-	-	-	-
330	3.752	0.642	0.108	0.033	-	-	-	-	-	-	-
340	3.140	0.426	0.054	0.012	0.009	-	-	-	-	-	-
350	2.059	0.309	0.054	0.015	0.006	-	-	-	-	-	-

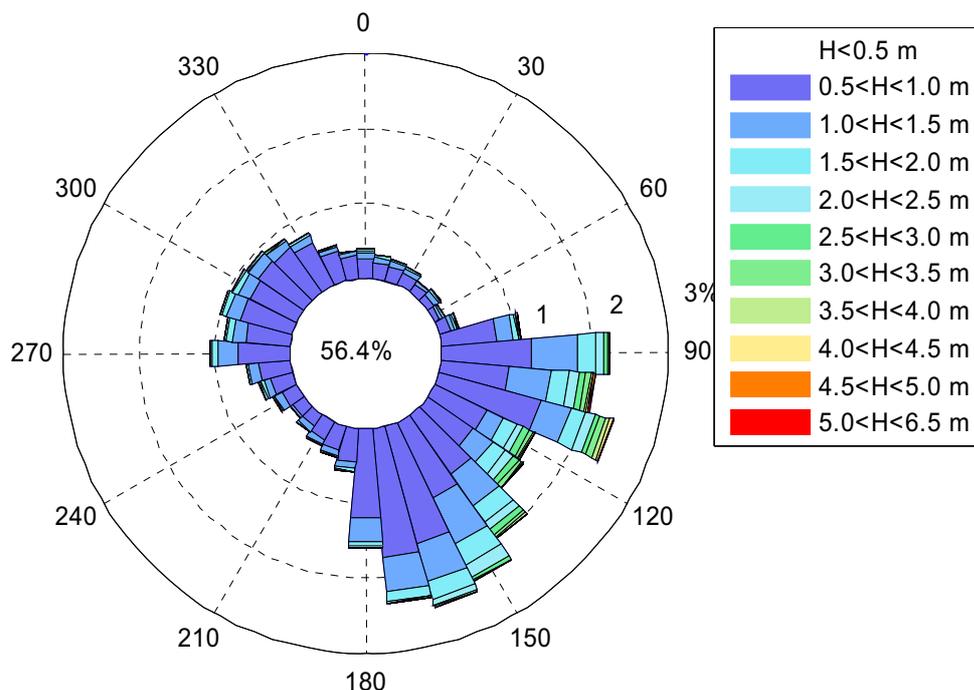


Figura 7.7 Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza determinate in del punto UKMO posto a 37.8°N-15.5°E.

### 7.6 *Analisi del clima ondoso al largo del paraggio in esame*

Il paraggio in esame risulta caratterizzato da condizioni orografiche al contorno pressoché uniche, che non consentono di utilizzare le classiche metodologie per la ricostruzione del moto ondoso. In particolare, il paraggio è localizzato all'interno dello Stretto di Messina con fetch molto estesi tra 150°N e 210°N e fetch geografici assolutamente limitati nelle altre direzioni. Ulteriore particolarità è la presenza nello stretto di venti di notevole intensità come precedentemente riportato.

Da quanto sopra riportato appare evidente come il clima medio del moto ondoso non possa essere descritto dalla boa onda metrica in dotazione all'ISPRA di Catania (37°26'24.0"N-15°08'48.01"E) ne può essere esclusivamente descritto dai dati UKMO riferiti al punto

localizzato a 37.8°N-15.5°E, soprattutto per quanto attiene al moto ondoso proveniente da Nord-NordEst.

Per le motivazioni sopra accennate, si è deciso di determinare il moto ondoso attraverso l'applicazione di diversi metodi. Più precisamente, esso è stato determinato tramite il metodo SMB tra 210°N e 150°N, mentre si sono utilizzati i dati forniti dal modello ondometrico europeo dell'UKMO per il settore 150°N-210°N.

Il clima ondoso così ottenuto è stato sinteticamente rappresentato riportando il numero di eventi per classi di altezza d'onda e per direzione di provenienza (Tabella 7.II). Nella citata tabella nella prima colonna viene riportato il valore medio della direzione di provenienza del moto ondoso della classe considerata, nelle successive colonne, per ognuna delle classi di altezza d'onda considerata, viene riportata la frequenza di osservazione in percentuale rispetto al totale delle osservazioni, escluse le calme.

Come illustrato in Figura 7.8, il regime medio annuo del moto ondoso è caratterizzato da una predominanza del moto ondoso proveniente da Sud sia in termini di frequenza che in termini di massima altezza d'onda.

Tabella 7.II Percentuale eventi degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza ricostruiti al largo del paraggio in esame.

Dir[°N]	Hs[m]								
	0-0.5	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
0	5.230	0.678	0.002	-	-	-	-	-	-
10	5.091	0.703	0.023	-	-	-	-	-	-
20	7.407	0.698	0.016	0.016	-	-	-	-	-
30	6.517	0.539	0.002	-	-	-	-	-	-
40	4.425	0.139	-	-	-	-	-	-	-
50	3.908	0.061	-	-	-	-	-	-	-
60	2.657	0.023	-	0.002	-	-	-	-	-
70	1.973	0.002	0.002	-	-	-	-	-	-
80	1.404	0.005	-	-	-	-	-	-	-
90	1.243	-	-	-	-	-	-	-	-
100	0.945	0.009	0.007	-	-	-	-	-	-
110	0.688	0.007	0.011	-	-	0.002	-	-	-
120	0.726	0.032	0.032	0.009	0.007	0.005	-	-	-
130	0.681	0.039	0.023	0.025	0.027	0.009	0.002	-	-
140	0.679	0.055	0.032	0.018	0.020	0.020	0.007	-	-
150	2.183	1.418	0.849	0.398	0.239	0.057	0.011	0.011	0.004
160	3.469	2.051	0.667	0.315	0.091	0.027	0.011	-	0.004
170	3.431	2.180	0.595	0.171	0.027	0.004	0.004	-	-
180	3.912	1.528	0.398	0.080	0.015	0.004	-	0.004	0.004
190	2.331	0.588	0.102	0.053	0.004	0.008	-	0.004	-
200	1.581	0.428	0.091	0.027	0.004	0.004	-	-	-
210	1.365	0.334	0.102	0.015	0.004	-	0.004	0.004	-
220	0.414	0.081	0.033	0.005	0.001	-	0.001	-	-
230	1.850	0.748	0.246	0.025	0.002	-	0.002	-	-
240	2.002	0.368	0.084	0.002	0.002	-	-	-	-
250	1.668	0.139	0.009	-	-	-	-	-	-
260	1.306	0.023	-	-	-	-	-	-	-
270	1.102	0.007	-	-	-	-	-	-	-
280	0.752	0.005	-	-	-	-	-	-	-
290	0.722	0.011	-	-	-	-	-	-	-
300	0.717	0.005	-	-	-	-	-	-	-
310	0.715	0.014	-	-	-	-	-	-	-
320	0.904	0.034	-	-	-	-	-	-	-
330	1.263	0.086	-	-	-	-	-	-	-
340	2.496	0.184	0.002	-	-	-	-	-	-
350	3.556	0.316	0.002	-	-	-	-	-	-

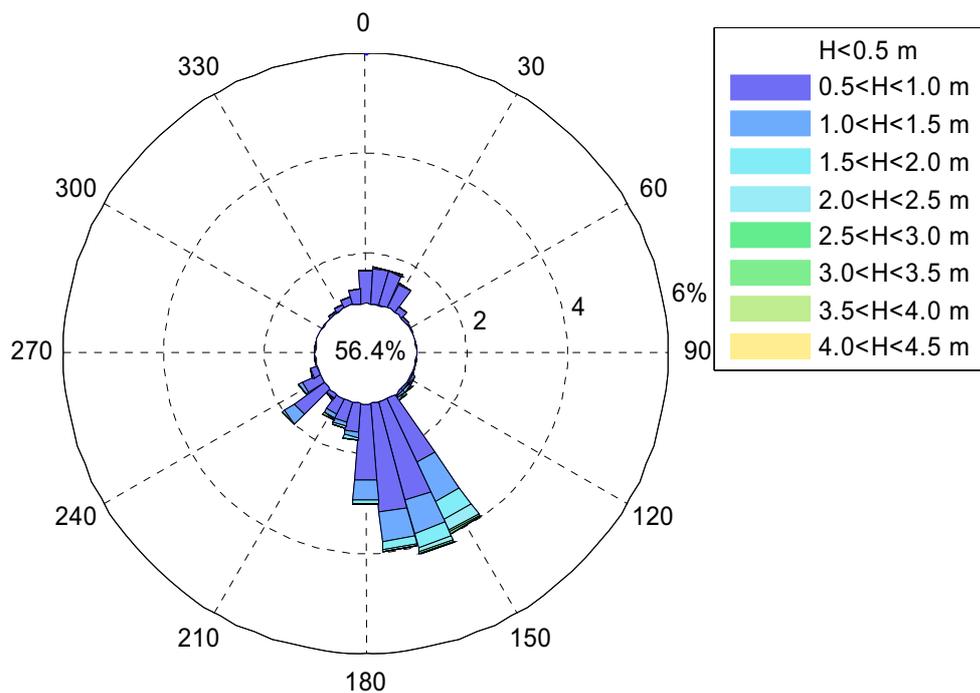


Figura 7.8 Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza ricostruiti al largo del paraggio in esame.

### 7.7 Analisi sul contenuto energetico del moto ondoso al largo

Al fine di completare la caratterizzazione del clima ondoso al largo e di individuare la direzione di provenienza del maggior contenuto energetico associato al moto ondoso si è effettuata un'analisi sul contenuto energetico direzionale del moto ondoso al largo.

Dai dati sopra brevemente richiamati, si è ricavata la distribuzione direzionale dell'energia. Più precisamente, l'energia media del moto ondoso associata a un dato ondometrico triorario è stata calcolata mediante la relazione:

$$E = \frac{1}{8} \cdot \rho \cdot g \cdot H_s^2 \cdot L \cdot \frac{10800}{T} \quad (7.15)$$

in cui:  $\rho = 1030 \text{ kg/m}^3$  è la densità dell'acqua;  
 $g = 9.806 \text{ m/s}^2$  è l'accelerazione di gravità;

$H_s$  è l'altezza d'onda significativa (definita come la media della frazione (1/3) più alta);

$L$  è la lunghezza d'onda su profondità infinita;

$T$  è il periodo medio.

Nella Figura 7.9 viene rappresentata la distribuzione dell'energia ondosa annuale media rilevata al largo del paraggio in esame, desunta sulla base del clima ondoso descritto al paragrafo precedente.

L'analisi della distribuzione dell'energia mostra come la provenienza dell'energia risulti concentrata nel settore compreso tra  $150^\circ N$  e  $180^\circ N$ , con piccole componenti di energia provenienti anche dal settore compreso tra  $0^\circ N$  e  $30^\circ N$ .

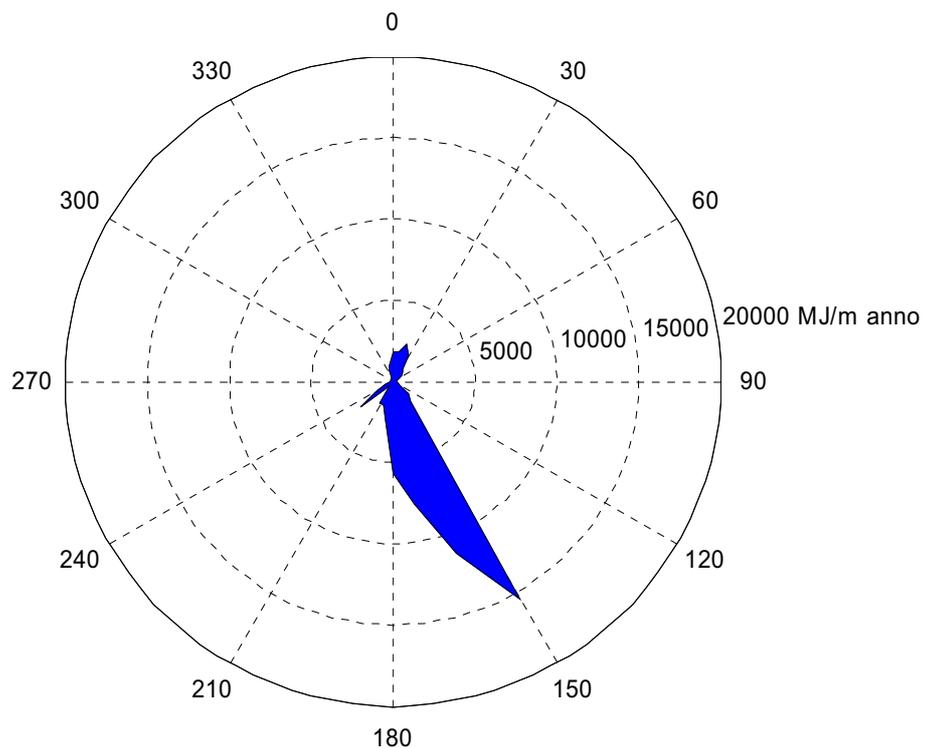


Figura 7.9 Distribuzione direzionale dell'energia media annuale del moto ondoso al largo del paraggio in esame.

Al fine di evidenziare le componenti direzionali dell'energia del moto ondoso che possono influenzare il trasporto solido costiero, la Figura 7.10 mostra la distribuzione direzionale dell'energia del moto ondoso al largo dovuta a onde con altezza almeno pari a 1 m.

L'analisi della distribuzione dell'energia mostra come in tale caso la provenienza dell'energia risulti concentrata quasi esclusivamente nel settore compreso tra 150° e 180°N.

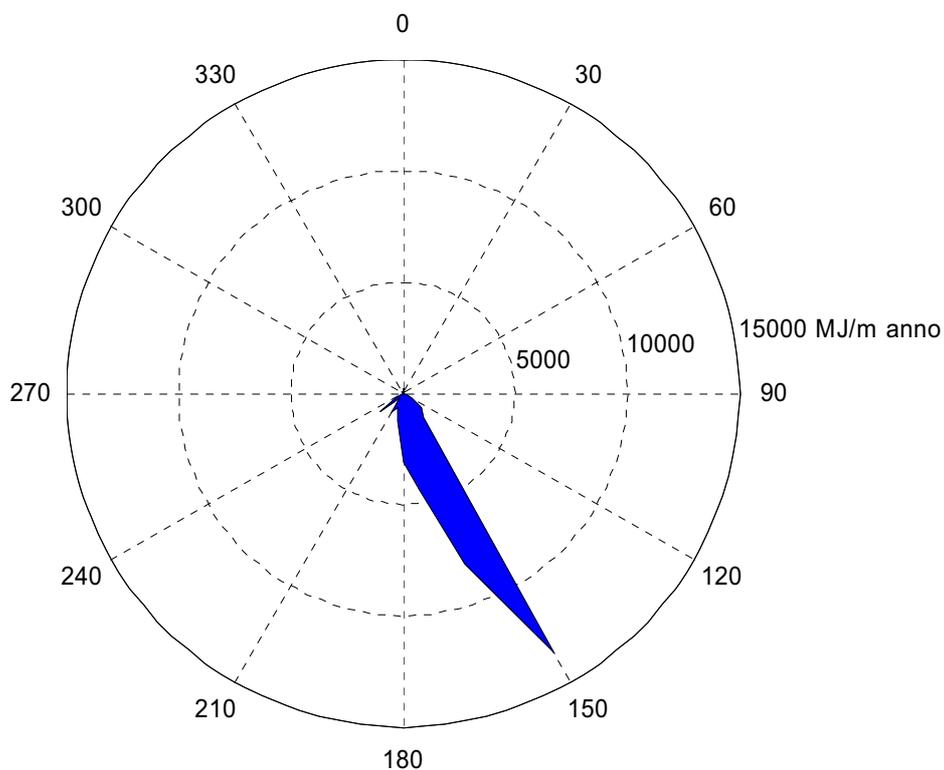


Figura 7.10 Distribuzione direzionale dell'energia media annuale del moto ondoso, di altezza almeno pari a 1m, al largo del paraggio in esame.

## **8 Caratterizzazione del clima ondoso sottocosta**

### **8.1 Generalità**

La caratterizzazione del clima onda metrico riportato al capitolo precedente è riferita alle caratteristiche al largo del paraggio in esame. Al fine di condurre gli studi oggetto del presente lavoro è necessario determinare le caratteristiche del moto ondoso sotto costa a profondità in cui l'interazione tra il moto ondoso e il fondale determina il cambiamento delle caratteristiche del moto ondoso per effetto dello shoaling e della rifrazione.

Tale caratterizzazione è stata condotta mediante l'utilizzo del codice di calcolo MIKE 21 SW prodotto dal DHI Water and Environmental, in grado di tenere conto dei principali fenomeni che intervengono nella trasformazione dell'onda quali la rifrazione, lo shoaling, l'attrito col fondo ed il frangimento.

### **8.2 Descrizione del modello SW**

Il codice consente di simulare il moto ondoso in zone costiere tenendo conto dei fenomeni di shoaling e di rifrazione, dell'attrito di fondo, del frangimento, dell'interazione tra moto ondoso e correnti, della generazione locale di onde dovuta al vento e della dispersione direzionale dello spettro energetico che caratterizza il moto ondoso.

Le equazioni che stanno alla base del MIKE 21 SW sono derivate dall'equazione di conservazione dello spettro di energia del moto ondoso.

Una parametrizzazione di tale equazione nel dominio della frequenza è stata eseguita introducendo i momenti di ordine zero e di ordine uno dello spettro energetico (variabile dipendente del problema). Questo porta alle seguenti equazioni accoppiate alla derivate parziali:

$$\frac{\partial(c_{gx}m_0)}{\partial x} + \frac{\partial(c_{gy}m_0)}{\partial y} + \frac{\partial(c_qm_0)}{\partial q} = T_0$$

$$\frac{\partial(c_{gx}m_1)}{\partial x} + \frac{\partial(c_{gy}m_1)}{\partial y} + \frac{\partial(c_qm_1)}{\partial q} = T_1$$

nelle quali:

- $m_0(x, y, \theta)$  momento di ordine zero dello spettro di energia;
- $m_1(x, y, \theta)$  momento di ordine uno dello spettro di energia;
- $c_{gx}$  e  $c_{gy}$  componenti nella direzione  $x$  e  $y$  della velocità di gruppo  $c_g$ ;
- $c_\theta$  velocità di propagazione rappresentante la variazione di energia nella direzione  $\theta$ ;
- $x$  e  $y$  coordinate cartesiane;
- $\theta$  direzione di propagazione dell'onda;
- $T_0$  e  $T_1$  termini sorgenti.

Il momento  $m_n(\theta)$  è definito come:

$$m_n(\theta) = \int_0^\infty \omega^n A(\omega, \theta) d\omega$$

dove  $\omega$  è la frequenza assoluta e  $A$  è lo spettro energetico.

Le velocità di propagazione  $c_{gx}$ ,  $c_{gy}$  e  $c_\theta$  sono ottenute utilizzando la teoria lineare del moto ondoso.

I due momenti  $m_0$  e  $m_1$  sono calcolati dalle condizioni al contorno  $H_s$  e  $T_m$  come:

$$m_0 = \frac{H_s^2}{16} ,$$

$$m_1 = \frac{m_0}{T_m} .$$

Le equazioni prendono in considerazione gli effetti della rifrazione e dello shoaling, i termini sorgenti, gli effetti locali dovuti al vento ed alla dissipazione di energia per attrito sul fondo e per frangimento. Sono inoltre inclusi gli effetti generati dalle correnti.

La discretizzazione spaziale delle equazioni alle derivate parziali è eseguita utilizzando il metodo delle differenze finite. La griglia con cui viene discretizzato il campo di integrazione è costante sia nelle direzioni  $x$  e  $y$  che nella direzione di propagazione  $\theta$ . La griglia deve essere scelta in modo tale da garantire un'adeguata risoluzione nella rappresentazione della batimetria, del campo di venti e di correnti nel piano  $x, y$  e del campo d'onda nello spazio  $x, y, \theta$ .

Le caratteristiche della griglia devono inoltre essere selezionate in modo tale da garantire la stabilità dello schema numerico applicato in MIKE 21 NWS. Utilizzando uno schema alle differenze centrali nella direzione  $y$  ed uno schema alle differenze in avanti nella direzione  $\theta$ , il criterio di stabilità è dato da:

$$\left| \frac{c_{gy} \Delta x}{c_{gx} \Delta y} \right| + \left| \frac{c_{\theta} \Delta x}{c_{gx} \Delta \theta} \right| \leq 1$$

dove  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  e  $\Delta \theta$  rappresentano le dimensioni (costanti) della griglia lungo le tre direzioni  $x, y, \theta$ . In pratica tale criterio è però di difficile applicazione in quanto non sono note a priori le componenti della velocità di propagazione. Nel caso in cui non sono previste correnti, possono essere utilizzate le seguenti due approssimazioni (Holthuijsen et al., 1989):

$$\frac{\Delta x}{\Delta \theta} \leq \frac{1}{2} \frac{d}{|\nabla d|}$$

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} \geq 2 \tan(\theta)$$

dove  $d$  è la profondità e  $|\nabla d|$  la pendenza del fondo.

Tali condizioni di stabilità indicano che una griglia spaziale a maglia piccola ed un grande settore di direzioni di provenienza del moto ondoso (un grande numero di direzioni discrete) richiedono una buona discretizzazione spaziale nella direzione  $x$ . Per garantire un settore di provenienza di circa  $120^\circ$  (condizione accettabile nella maggioranza delle applicazioni) il rapporto  $\Delta y/\Delta x$  deve essere maggiore di 4.

La perdita di energia per attrito sul fondo viene regolata con il parametro di scabrezza di Nikuradse  $K_N$ . Per quanto concerne la perdita di energia dovuta al frangimento il MIKE 21 SW utilizza la formulazione di Battjes e Janssen da cui risulta:

$$\frac{dE}{dt} = \frac{-\alpha}{8\pi} \cdot Q_b \omega H_m^2$$

dove:

- E: energia totale del moto ondoso;
- $\omega$ : frequenza;
- $H_{rms}$ : altezza quadratica media che caratterizza il moto ondoso;
- $H_m$ : altezza massima possibile del moto ondoso;
- $Q_b$ : percentuale delle onde che frangono;
- $\alpha$ : costante.

$Q_b$  è definito da:

$$\frac{1-Q_b}{\ln(Q_b)} = -\left(\frac{H_{rms}}{H_m}\right)^2 ,$$

$H_m$  massima altezza d'onda che si può verificare è definita da:

$$H_m = \frac{\gamma_1}{k} \cdot \tanh\left(\frac{\gamma_2 \cdot k \cdot d}{\gamma_1}\right) ,$$

in cui:

- $k$  è il numero d'onda;
- $d$  è la profondità;
- $\gamma_1$  è un parametro che regola il frangimento dovuto alla ripidità dell'onda;
- $\gamma_2$  è un parametro che regola il frangimento dovuto all'interazione con il fondo.

In pratica, considerando un treno d'onde caratterizzato da una certa altezza d'onda significativa  $H_s$ , ipotizzando valida la distribuzione di Rayleigh si ha:

$$H_{rms} = \frac{H_s}{\sqrt{2}} .$$

$Q_b$  è la percentuale di onde che, sempre secondo la distribuzione di Rayleigh, ha un'altezza superiore ad  $H_m$  e per le quali viene imposta

un'altezza pari ad  $H_m$  avendo così una perdita di energia indicata dalla equazione precedente.

### **8.3 Definizione dei domini di calcolo**

Ai fini dell'applicazione del modello di trasformazione del moto ondoso dal largo alla riva è stato necessario ricostruire la batimetria dell'area di studio. In particolare essa è stata determinata dalla Carta Nautica "138 – Stretto di Messina" in scala 1:30.000 edita dall'Istituto Idrografico della Marina per quanto attiene alle batimetriche superiori a 50 m e dai rilievi appositamente condotti tra la batimetrica 50 m e la linea di riva.

La griglia di calcolo utilizzata dal modello SW (Spectral Wave Model) a maglia flessibile, per la stima del comportamento sottocosta delle onde al largo, è costituita da 1758 nodi di calcolo, uniti tramite segmenti in modo da formare 3143 triangoli aventi dimensioni e forma variabili. In particolare l'angolo minimo interno ai triangoli è pari a  $30^\circ$ , le dimensioni dei lati dei triangoli raggiungono al massimo i 600m lungo il contorno al largo del dominio di calcolo e di diminuiscono verso costa passando a 60m ad una profondità del fondale pari a 100m rispetto al livello di quiete, infine in prossimità della linea di costa i lati dei triangoli si riducono ulteriormente, fino ad arrivare a 30m. In particolare la Figura 8.1 mostra l'intera mesh di calcolo utilizzata per la trasformazione del moto ondoso sottocosta, mentre la Figura 8.2 raffigura una porzione della griglia di calcolo nei pressi del porto di Tremestieri.

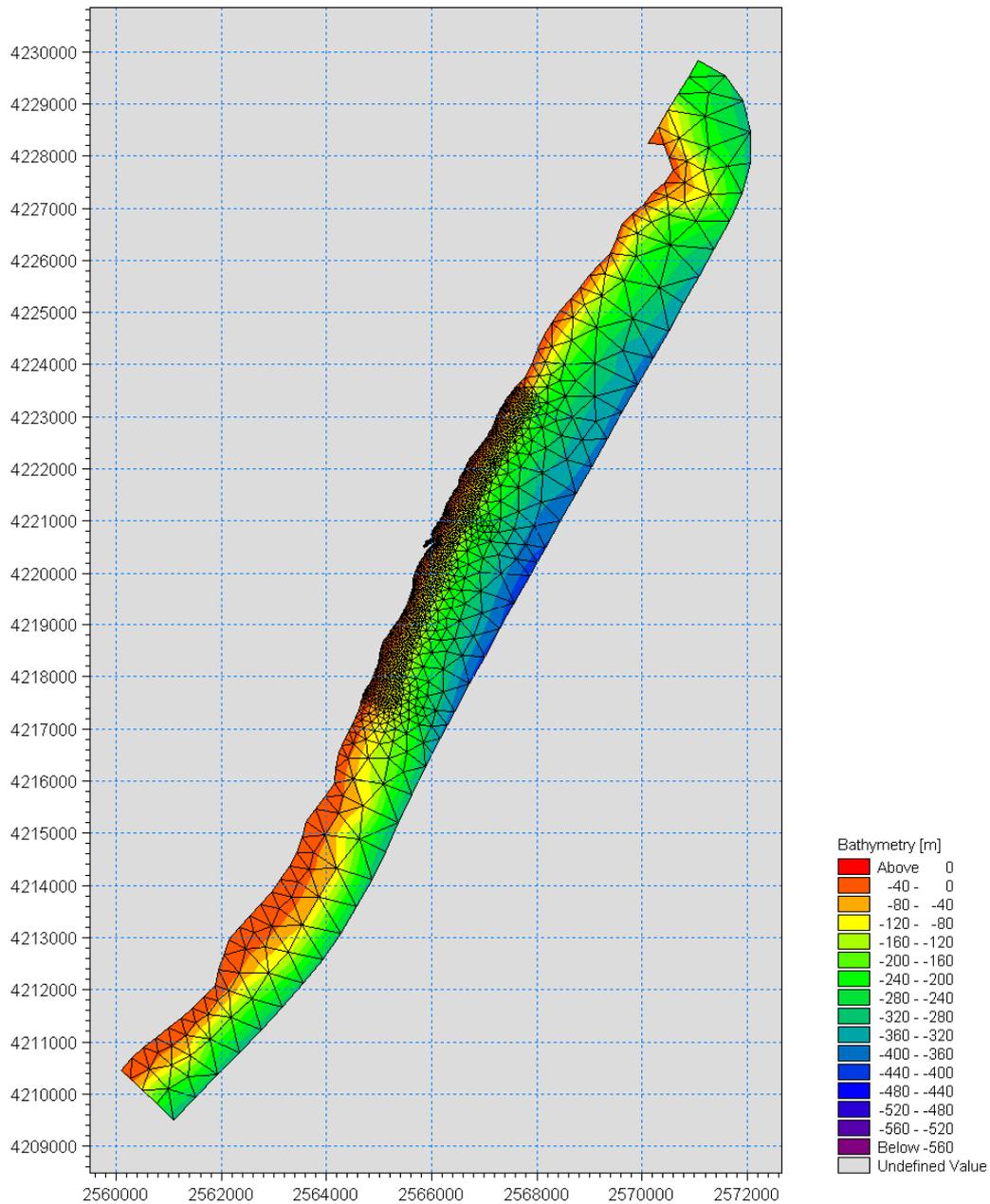


Figura 8.1 Rappresentazione della mesh utilizzata per il modello di trasformazione dell'onda sotto costa (coordinate nel sistema Gauss-Boaga).

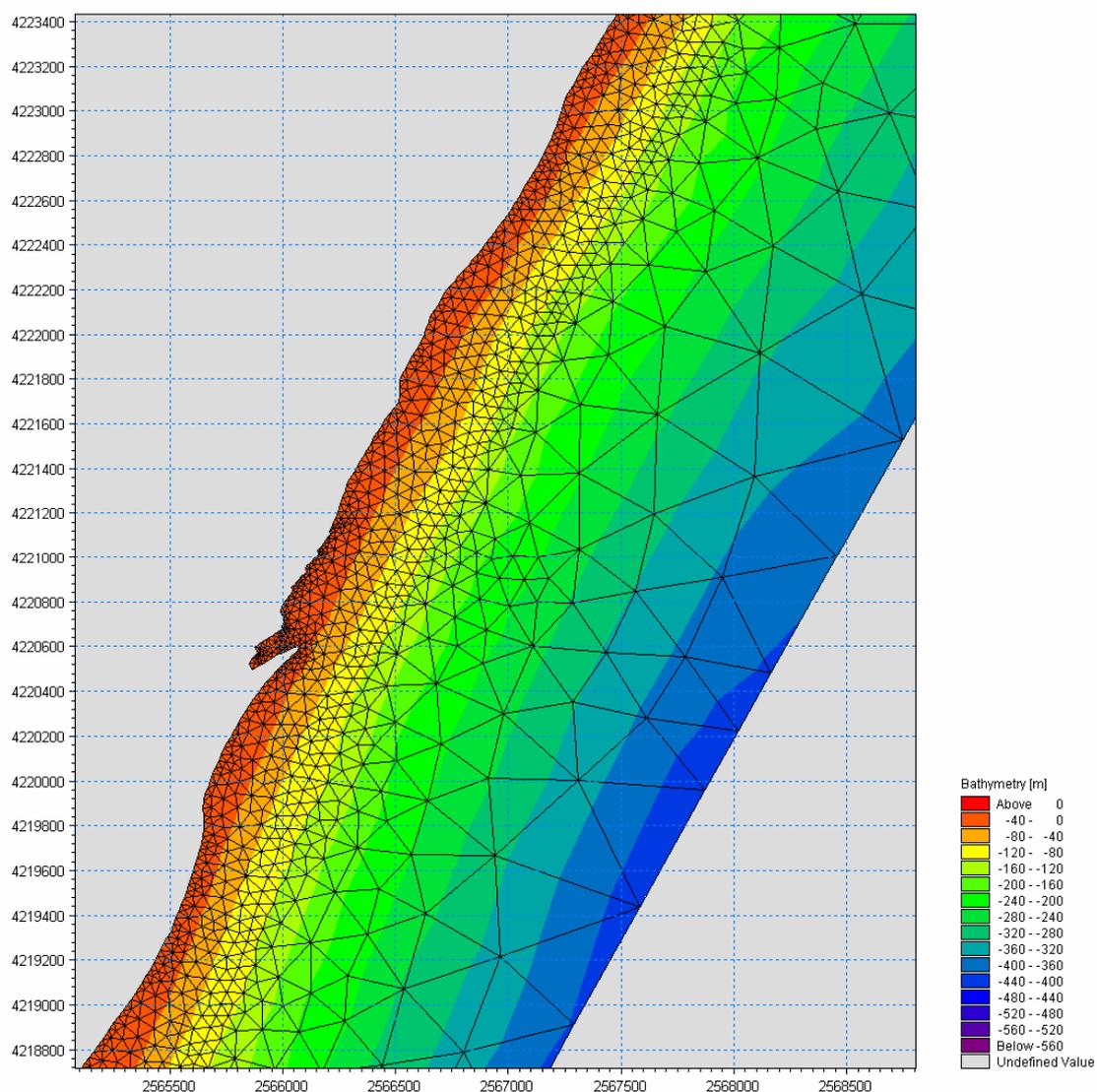


Figura 8.2 Rappresentazione di una porzione della mesh utilizzata per il modello di trasformazione dell'onda sotto costa in prossimità del porto di Tremestieri (coordinate nel sistema Gauss-Boaga).

#### 8.4 Elaborazioni condotte

Utilizzando il modello sopra descritto si è determinato il clima ondoso nei punti 1, 2, 3 e 4 indicati nella Figura 8.3. In particolare dalla Tabella 8.I alla Tabella 8.IV sono riportate le frequenze di apparizione delle onde nei citati punti sintetizzati graficamente dalla Figura 8.4 alla Figura 8.7.

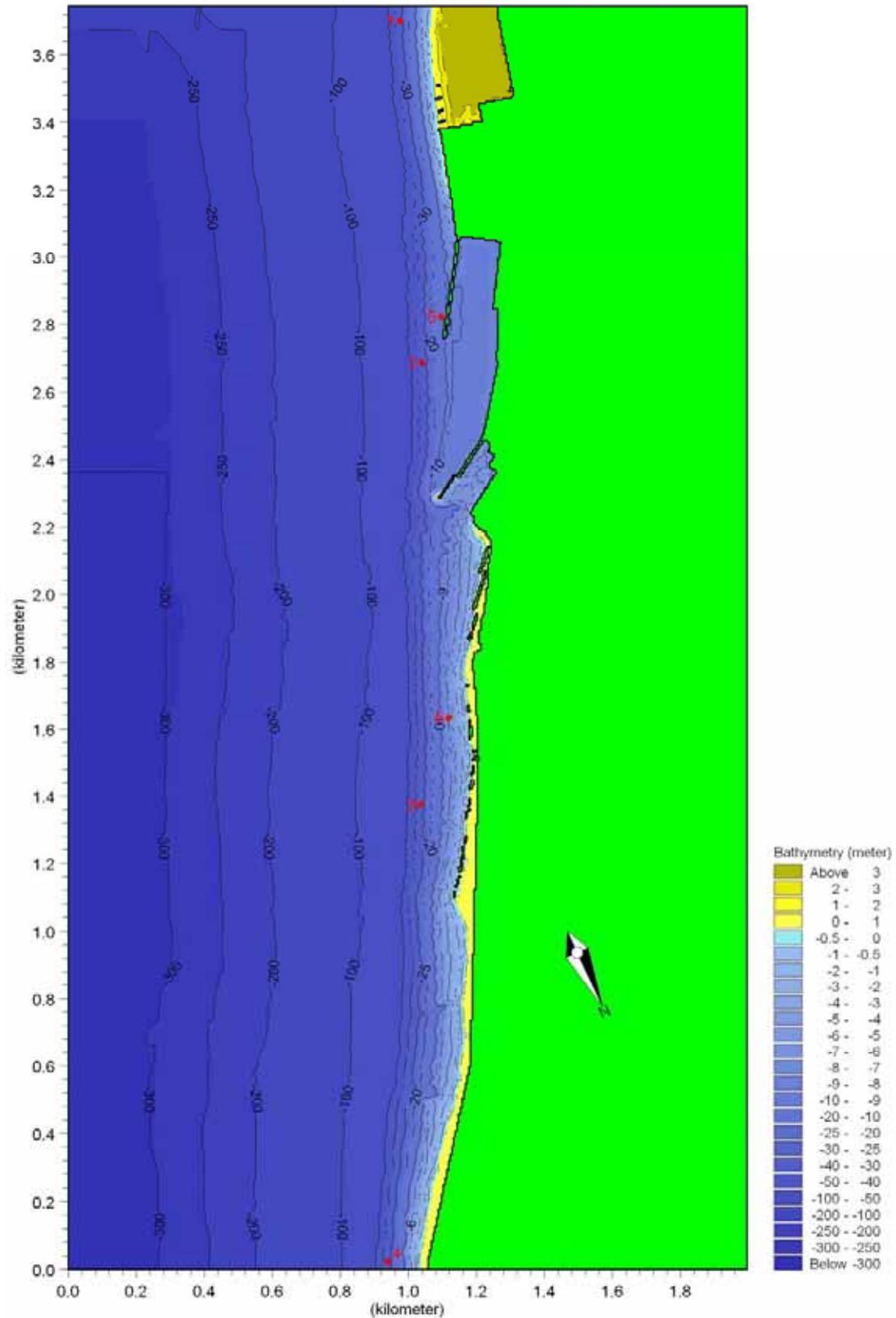


Figura 8.3 Individuazione dei punti in cui si è determinato il clima ondoso sottocosta

Tabella 8.I Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza ricostruiti nel punto 1.

Dir[°N]	Hs[m]							
	0-0.5	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
50	10.950	0.676	-	-	-	-	-	-
60	3.912	0.083	-	-	-	-	-	-
70	4.633	-	-	-	-	-	-	-
80	2.648	0.003	-	-	-	-	-	-
90	0.944	-	-	-	-	-	-	-
100	-	0.008	0.005	-	-	-	-	-
110	0.688	0.005	0.010	-	-	-	-	-
120	0.726	0.030	0.030	0.008	0.005	0.003	-	-
130	0.681	0.038	0.023	0.025	0.025	0.008	-	-
140	0.678	0.053	0.030	0.018	0.020	0.020	0.005	-
150	5.657	1.419	0.848	0.398	0.238	0.065	0.020	0.005
160	3.434	2.052	0.666	0.483	0.118	0.028	0.003	-
170	6.247	3.709	0.994	0.103	0.003	0.005	-	-
180	1.582	1.206	0.080	0.003	-	-	-	-

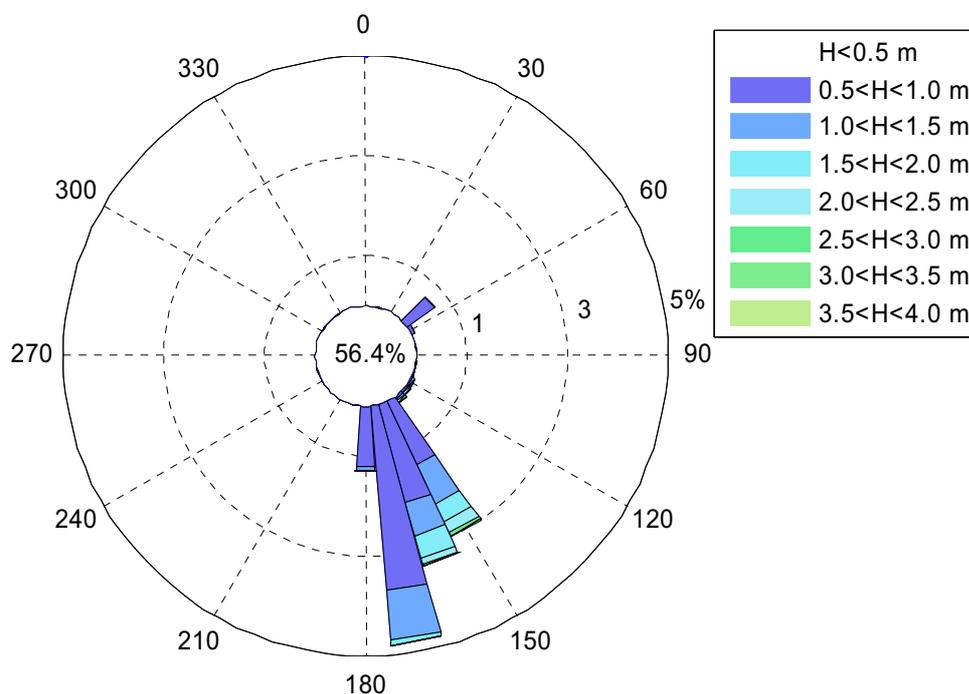


Figura 8.4 Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza ricostruiti nel punto 1.

Tabella 8.II Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza ricostruiti nel punto 2.

Dir[°N]	Hs[m]							
	0-0.5	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
50	10.950	0.676	-	-	-	-	-	-
60	3.912	0.083	-	-	-	-	-	-
70	4.633	-	-	-	-	-	-	-
80	2.648	0.003	-	-	-	-	-	-
90	0.944	-	-	-	-	-	-	-
100	-	0.008	0.005	-	-	-	-	-
110	0.688	0.005	0.010	-	-	-	-	-
120	0.726	0.030	0.030	0.008	0.005	0.003	-	-
130	0.681	0.038	0.023	0.025	0.025	0.008	-	-
140	0.678	0.053	0.030	0.018	0.020	0.020	0.005	-
150	5.657	1.419	0.848	0.398	0.238	0.065	0.020	0.005
160	3.434	2.052	0.666	0.483	0.118	0.028	0.003	-
170	6.247	3.709	0.994	0.103	0.003	0.005	-	-
180	1.582	1.206	0.080	0.003	-	-	-	-

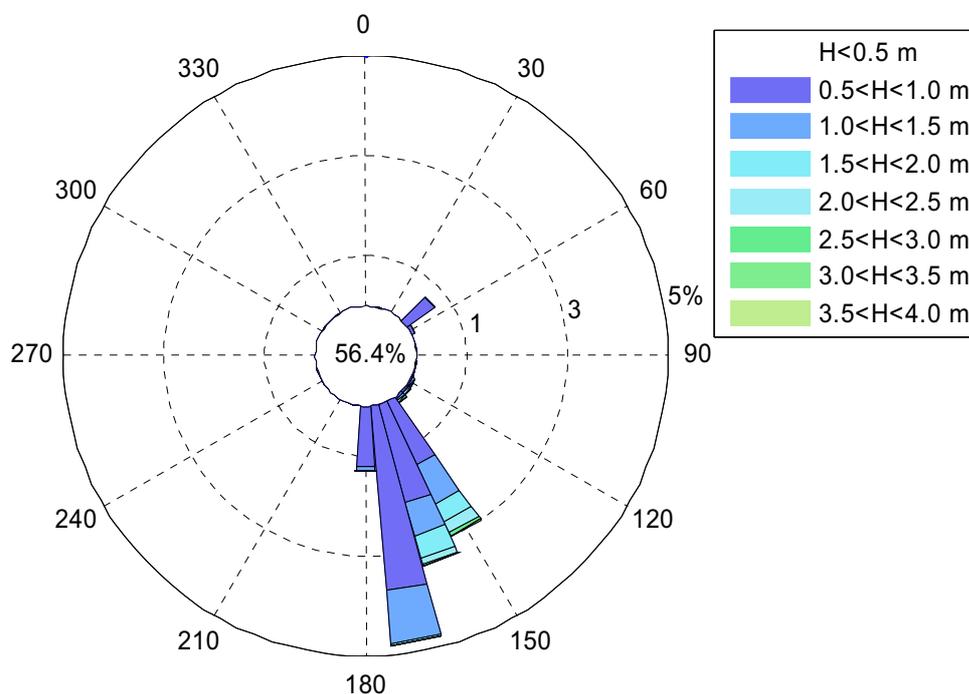


Figura 8.5 Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza ricostruiti nel punto 2.

Tabella 8.III Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza ricostruiti nel punto 3.

Dir[°N]	Hs[m]							
	0-0.5	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
50	11.488	0.138	-	-	-	-	-	-
60	3.912	0.083	-	-	-	-	-	-
70	2.658	-	-	-	-	-	-	-
80	3.379	0.003	-	-	-	-	-	-
90	2.188	-	-	-	-	-	-	-
100	-	0.008	0.005	-	-	-	-	-
110	0.688	0.005	0.010	-	-	-	-	-
120	0.726	0.030	0.030	0.008	0.005	0.003	-	-
130	0.681	0.038	0.023	0.025	0.025	0.008	-	-
140	0.678	0.053	0.030	0.018	0.020	0.020	0.005	-
150	5.657	1.419	0.848	0.398	0.238	0.055	0.010	0.015
160	3.434	2.052	0.666	0.483	0.118	0.038	-	-
170	6.247	3.709	0.994	0.093	0.010	0.003	0.005	-
180	1.582	1.106	0.180	0.005	-	-	-	-

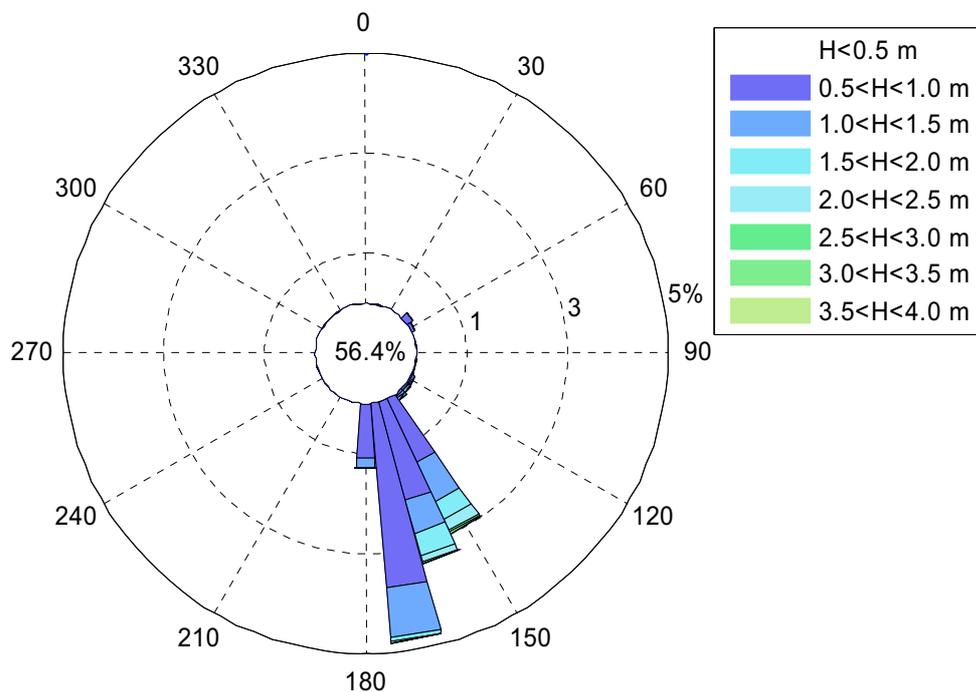


Figura 8.6 Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza ricostruiti nel punto 3.

Tabella 8.IV Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza ricostruiti nel punto 4.

Dir[°N]	Hs[m]							
	0-0.5	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
50	11.488	0.138	-	-	-	-	-	-
60	3.912	0.083	-	-	-	-	-	-
70	4.633	-	-	-	-	-	-	-
80	1.404	0.003	-	-	-	-	-	-
90	2.188	-	-	-	-	-	-	-
100	-	0.008	0.005	-	-	-	-	-
110	0.688	0.005	0.010	-	-	-	-	-
120	0.726	0.030	0.030	0.008	0.005	0.003	-	-
130	0.681	0.038	0.023	0.025	0.025	0.008	-	-
140	0.678	0.053	0.030	0.018	0.020	0.020	0.005	-
150	5.657	1.419	0.848	0.398	0.238	0.055	0.010	0.015
160	3.434	2.052	0.666	0.313	0.118	0.028	0.010	-
170	6.247	3.709	0.994	0.263	0.003	0.003	0.005	-
180	1.582	1.106	0.178	0.008	0.008	-	-	-

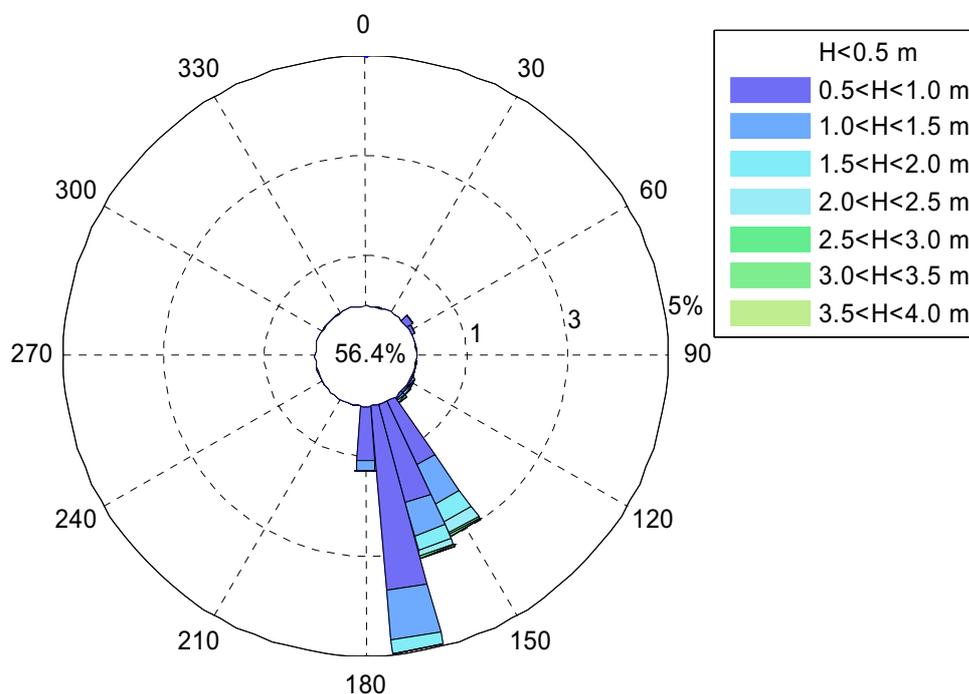


Figura 8.7 Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza ricostruiti nel punto 4.

## **8.5 Valutazione della profondità di chiusura**

Al fine di effettuare un corretto dimensionamento delle opere di protezione costiera è necessario valutare la profondità di chiusura, cioè quella profondità oltre la quale le condizioni del moto ondoso non producono sensibili effetti sulla morfodinamica dei litorali.

La profondità di chiusura può essere stimata utilizzando la relazione proposta da Birkemeier (1985):

$$h_c = 1.57 H_{s,12} \quad (8.1)$$

in cui  $H_{s,12}$  è l'altezza significativa che mediamente è uguagliata o superata solo 12 ore in un anno.

Utilizzando la suddetta relazione nonché la distribuzione dei dati ondametrici riportata al paragrafo 7.6 è possibile stimare un valore di  $H_{s,12}$  pari a circa 2.75 m e quindi una profondità di chiusura pari a circa 4.3 m.

Tenendo conto del risultato ottenuto e delle elevate pendenze della spiaggia sommersa, se ne deduce che la fascia costiera soggetta ad elevato dinamismo è molto ristretta e più precisamente dell'ordine di qualche decina di metri.

## 9 Previsione del moto ondoso per eventi estremi

### 9.1 Generalità

A causa della peculiarità geografica dello Stretto, anche per l'analisi degli eventi ondosi estremi, dalla quale si desume la cosiddetta onda di progetto caratterizzata da un predeterminato tempo di ritorno, si è deciso di utilizzare non già i dati della boa ondametrica di Catania in dotazione all'ISPRA quanto piuttosto i dati UKMO e i dati ottenuti dall'applicazione del modello SMB.

### 9.2 Serie dei valori estremi di altezze d'onda

Volendo determinare l'onda di progetto, ossia quell'onda rispetto alla quale dimensionare le opere foranee, bisogna effettuare un'analisi cosiddetta a lungo termine degli eventi estremi. Nella fattispecie, la serie dei dati ondometrici ricavati nel capitolo precedente è stata utilizzata per caratterizzare gli eventi estremi prevedibili al largo della costa di Tremestieri.

Più in dettaglio è stata condotta un'analisi direzionale secondo le classi di provenienza 25-85°N, 85-145°N e 145-215°N.

Per ognuna delle classi in esame si sono determinati i parametri della distribuzione di Weibull a tre parametri.

Nella distribuzione dei valori estremi di Weibull la distribuzione del massimo valore  $P_N(x)$  è data dalla relazione:

$$P(x>X) = e^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k} \quad (9.1)$$

La determinazione dei parametri della distribuzione di Weibull è stata condotta utilizzando il metodo dei momenti.

L'analisi è stata condotta anche utilizzando diverse soglie di altezza per la determinazione dei parametri, considerando i valori riportati nella tabella Tabella 9.I.

Tabella 9.I Valori di soglia di altezza d'onda utilizzati per lo studio degli eventi estremi.

Direzione	Altezza d'onda di soglia
[°N]	[m]
25-85	0.7
85-145	2.0
145-215	2.5

### **9.3 Individuazione dei parametri delle distribuzioni di probabilità**

La Tabella 9.II riportata i valori ottenuti per i parametri della di Weibull (a tre parametri). Si ricorda che detti parametri si riferiscono, per ogni settore di provenienza individuato, alla serie dei valori estremi delle altezze d'onda significative.

Tabella 9.II Parametri delle distribuzioni di eventi estremi per la serie delle altezze d'onda significative e per le classi di direzione considerate.

Parametri	Classe direzione		
	25-85°N	85-145°N	145-215°N
A	0.103	0.739	0.657
B	0.673	1.779	2.701
k	0.743	1.853	1.276

### **9.4 Valutazione dell'altezza d'onda per fissati tempi di ritorno al largo**

Per quanto attiene alla determinazione dell'altezza d'onda  $H_s$  cui compete il prefissato tempo di ritorno  $Tr$ , (definito come l'intervallo di tempo espresso in anni, in cui mediamente quella particolare altezza d'onda viene uguagliata o superata una sola volta) essa si può ricavare una volta che sia definita l'intensità di campionamento  $\lambda = (\text{numero di dati estremi}) / (\text{numero di anni di osservazione})$  e sia stata calcolata la frequenza associata al periodo di ritorno prefissato come:  $F = 1 - 1/(\lambda Tr)$ .

Inoltre, è necessario associare a ogni altezza d'onda così ricavata un periodo medio e un periodo di picco. In particolare è possibile esprimere il periodo medio e il periodo di picco in funzione dell'altezza d'onda mediante le relazioni di seguito riportate (Boccotti,1997):

$$T_m = 6.6\pi \sqrt{\frac{H_s}{4g}} \quad (9.2)$$

$$T_p = \frac{T_m}{0.78} \quad (9.3)$$

Dalla Tabella 9.III alla Tabella 9.V sono riportate le altezze d'onda significative e i corrispondenti periodi valutati per diversi tempi di ritorno per ognuna delle serie considerate.

Tabella 9.III Valutazione dell'altezza d'onda per fissati tempi di ritorno: Direzione di provenienza 25-85°N.

Tr [anni]	P	Hs [m]	T <sub>m</sub> [s]	T <sub>p</sub> [s]
1	0.802	0.72	2.81	3.60
2	0.901	0.80	2.96	3.80
5	0.960	0.94	3.21	4.12
10	0.980	1.06	3.41	4.37
50	0.996	1.40	3.92	5.02
100	0.998	1.56	4.14	5.30
120	0.998	1.61	4.20	5.39
150	0.999	1.67	4.28	5.49
200	0.999	1.74	4.37	5.60
250	0.999	1.80	4.44	5.69

Tabella 9.IV Valutazione dell'altezza d'onda per fissati tempi di ritorno: Direzione di provenienza 85-145°N.

Tr [anni]	P	Hs [m]	T <sub>m</sub> [s]	T <sub>p</sub> [s]
1	0.545	2.43	5.16	6.62
2	0.773	2.69	5.43	6.96
5	0.909	2.96	5.70	7.30
10	0.955	3.14	5.87	7.52
50	0.991	3.48	6.18	7.92
100	0.995	3.61	6.29	8.06
120	0.996	3.65	6.33	8.11
150	0.997	3.69	6.36	8.15
200	0.998	3.74	6.40	8.21
250	0.998	3.78	6.44	8.25

Tabella 9.V Valutazione dell'altezza d'onda per fissati tempi di ritorno: Direzione di provenienza 145-215°N.

Tr [anni]	P	Hs [m]	T <sub>m</sub> [s]	T <sub>p</sub> [s]
1	0.714	3.48	6.18	7.92
2	0.857	3.81	6.46	8.28
5	0.943	4.20	6.78	8.70
10	0.971	4.48	7.00	8.98
50	0.994	5.08	7.46	9.57
100	0.997	5.33	7.64	9.80
120	0.998	5.39	7.69	9.85
150	0.998	5.47	7.74	9.92
200	0.999	5.57	7.81	10.01
250	0.999	5.64	7.86	10.08

### **9.5 Valutazione dell'altezza d'onda sotto costa per fissati tempi di ritorno**

Utilizzando il modello di calcolo descritto nel capitolo 8 (MIKE 21 SW) si sono determinate le caratteristiche del moto ondoso in corrispondenza dei punti 2, 5 e 6 indicati nella Figura 9.1.

Più in dettaglio dalla **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** alla Tabella 9.VI sono riportate le altezze d'onda significative

e i corrispondenti periodi valutati per diversi tempi di ritorno per la classe 145-215°N per ognuno dei punti di interesse. Si sono omesse le altre classi di direzione in quanto i valori di altezza d'onda non appaiono significativi ai fini dell'analisi degli eventi estremi per il paraglio in esame rispetto a quelli relativi alla direzione 145-215°N.

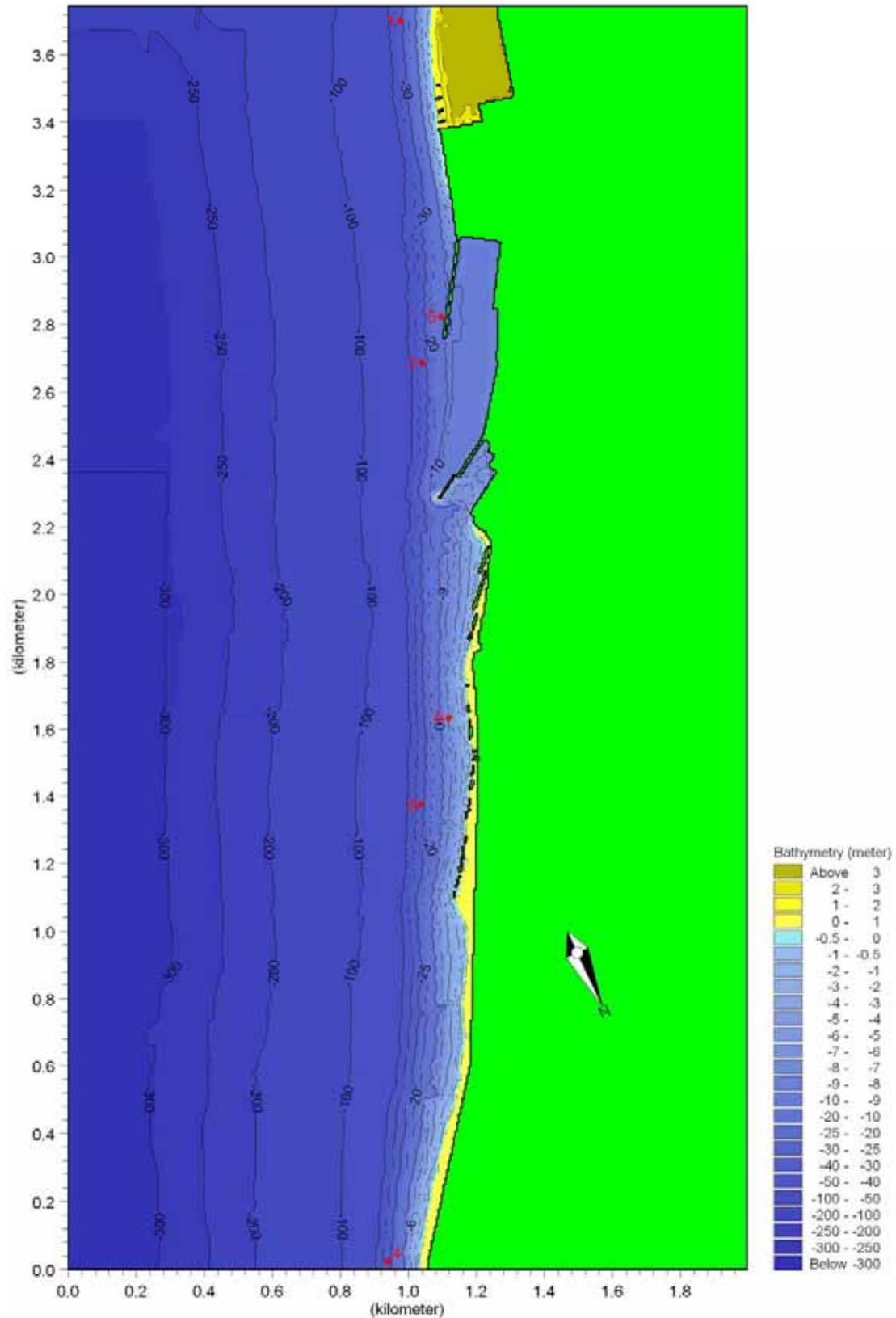


Figura 9.1 Individuazione dei punti in prossimità della costa in cui si sono determinate le altezze d'onda associate ai diversi tempi di ritorno

Tabella 9.VI Valutazione dell'altezza d'onda per fissati tempi di ritorno: Punto 6 - Direzione di provenienza.

Tr	P	Hs	Dir	Tm	Tp
[anni]		[m]	[°N]	[s]	[s]
1	0.714	2.97	135.08	6.18	7.92
2	0.857	3.23	134.33	6.46	8.28
5	0.943	3.53	133.46	6.78	8.70
10	0.971	3.73	132.92	7.00	8.98
50	0.994	4.16	131.89	7.46	9.57
100	0.997	4.34	131.52	7.64	9.80
120	0.998	4.38	131.43	7.69	9.85
150	0.998	4.43	131.33	7.74	9.92
200	0.999	4.50	131.19	7.81	10.01
250	0.999	4.54	131.09	7.86	10.08

### **9.6 Determinazione della profondità di frangimento**

Al fine di effettuare una corretta scelta della tipologia di opere di difesa e della loro profondità di imbasamento risulta necessario determinare se in corrispondenza delle strutture in progetto si presentino onde frangenti o meno.

Esistono sostanziali differenze riguardo al frangimento tra i casi di onde regolari e onde irregolari.

In particolare, nel caso di onde irregolari, è possibile assumere un rapporto tra altezza d'onda significativa e profondità al frangimento pari a 0.6 (U.S. Army Corps of Engineers, 2002). Utilizzando tale criterio è possibile determinare le profondità di frangimento e le relative altezze d'onda utilizzando le formule di shoaling e rifrazione. In particolare, nella Tabella 9.VII sono riportate, relativamente alla classe di direzione di provenienza compresa tra 145 e 215°N, per i diversi tempi di ritorno, le profondità al frangimento e le rispettive altezze d'onda.

Tabella 9.VII Valutazione della profondità al frangimento e dell'altezza d'onda al frangimento delle onde provenienti dal settore 145-215°N per diversi tempi di ritorno.

Tr [anni]	$h_b$ [m]	$H_b$ [m]
1	5.36	3.21
2	5.85	3.51
5	6.44	3.86
10	6.85	4.11
50	7.74	4.64
100	8.11	4.87
120	8.20	4.92
150	8.31	4.98
200	8.46	5.08
250	8.57	5.14

In particolare è possibile rilevare che il frangimento avviene a profondità inferiori rispetto alla profondità di imbasamento delle opere di protezione del nuovo bacino portuale anche per tempi di ritorno fino a 250 anni, mentre per quanto attiene alle opere di protezione del litorale previste a Nord del porto il frangimento avviene a profondità inferiori a quelle di imbasamento delle strutture fino a tempi di ritorno pari a circa 50 anni.