



Assessorato Regionale dell'Agricoltura, dello Sviluppo  
Rurale e della Pesca Mediterranea  
Dipartimento della Pesca Mediterranea - Servizio I -  
Programmazione



REGIONE SICILIA

**Comune di Avola**  
PROVINCIA DI SIRACUSA



**" RIQUALIFICAZIONE DI UN RIPARO PER LA PESCA IN C.DA FALARIDE "**  
Bando PO FEAMP 2014/2020 mis. 1.43- porti, luoghi di sbarco, sale per la vendita all'asta  
e ripari di pesca. Azione a.

VISTI :

PROGETTISTA:

Capogruppo R.T.P.:

**ARTEC**  
**ARTEC** Associati S.r.l

Via Francavilla, 99 - 98039 Taormina (ME)  
Tel.: 0942 620071 / Fax: 0909582054  
E-mail: artec.associati@gmail.com  
PEC: artec@mypec.eu  
P.IVA / Cod. Fiscale 02961180839



Mandante R.T.P.:

-Ing. Francesco Brocato  
-Ing. Antonino Moschella  
-Dott. Rosario Pignatello  
-Dott. Geol. Ranieri Santarosa

COMMITTENTE:

**Comune di Avola**

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO:

**Dott. Bruno VENTURA**

**PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO**

03			TITOLO TAVOLA:  <b>Studio idraulico - marittimo</b>	TAVOLA N°:  <b>C05</b>
02				
01				
NUM.	INTEGRAZIONE	DATA		
DATA:	<b>GEN. 2019</b>	ARCHIVIO FILE: / archivio progetti / Artec / H039_Riparo pescatori Avola		SCALA RAPPRESENTAZIONE:
		ARCHIVIO PROGETTO: Carpetta N° H039 - Avola		Proprietà riservata - L. 633 del 22/04/41



INDICE

1	INTRODUZIONE.....	2
2	ANALISI DEI DATI ONDAMETRICI.....	3
3	TRASPOSIZIONE DEI DATI DI MOTO ONDOSI.....	9
4	CLIMA METEOMARINO MEDIO AL LARGO DEL PARAGGIO DI AVOLA.....	20
5	CORRELAZIONI PERIODO – ALTEZZA D’ONDA.....	24
6	PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSI SOTTOCOSTA.....	29
6.1	Il Modulo STWAVE.....	29
6.2	Le Equazioni del moto.....	30
6.3	Rifrazione e Shoaling.....	32
6.4	Diffrazione.....	32
6.5	Termini di incremento o decremento dell’energia.....	33
6.6	Discretizzazione numerica.....	33
6.7	Dominio spaziale di calcolo.....	33
7	EVENTI ESTREMI DI MOTO ONDOSI AL LARGO E SOTTOCOSTA (ONDE DI PROGETTO).....	36
8	PROFONDITA’ DI CHIUSURA DI SPIAGGIA.....	79
9	ANALISI DEI LIVELLI.....	81
9.1	SOVRALZO DOVUTO ALL’AZIONE DEL VENTO – MAREA METEOROLOGICA.....	82
9.2	EFFETTO BARICO – MAREA METEOROLOGICA.....	82
9.3	MAREA ASTRONOMICA.....	83
9.4	VARIAZIONI A LUNGO TERMINE DEL LIVELLO DEL MARE.....	84
9.5	STIMA DEI VALORI ESTREMI DEI LIVELLO DEL MARE.....	85
9.6	SOVRALZO DOVUTO AL MOTO ONDOSI.....	85
9.7	SOVRALZO COMPLESSIVO IN CORRISPONDENZA DELLA SURF ZONE.....	86



## 1 INTRODUZIONE

Il presente studio riguarda la modellazione del clima meteomarinico al largo e sottocosta del paraggio del comune di Avola, nel territorio provinciale di Siracusa. Il tratto litoraneo in esame è quello antistante l'esistente riparo per la pesca, oggetto di riqualificazione, situato in località Falaride, come meglio riportato nei vari elaborati progettuali di inquadramento con individuazione dell'area di intervento.

La corretta determinazione delle onde che investono un paraggio rappresenta una base fondamentale nella progettazione degli interventi in ambito costiero.

Ai fini della progettazione degli interventi previste presso l'area in esame, risulta essenziale la definizione di un clima meteomarinico medio sotto costa, in prossimità della zona dei frangenti e di un clima meteomarinico estremo, per la caratterizzazione delle onde di progetto ai fini del corretto dimensionamento delle opere. La prima parte dello studio è relativa alla selezione della boa ondometrica, da cui poter effettuare le analisi delle registrazioni delle serie temporali delle grandezze del moto ondoso (altezza, periodo e direzione di provenienza). In particolare, i dati ondometrici vengono opportunamente filtrati da registrazioni errate e classificati per classi di altezza significativa e settori direzionali di provenienza del moto ondoso.

Successivamente, i dati meteomarini della boa ondometrica selezionata (Boa di Catania) sono opportunamente trasferiti al largo del paraggio del Comune di Avola, attraverso il metodo della trasposizione geografica, che consente la determinazione dei valori di altezza e periodo nell'area oggetto di studio, e attraverso un approccio empirico per la determinazione della deviazione angolare che subiscono le onde nel trasferimento da un paraggio ad un altro. Le analisi sono effettuate in base all'esposizione geografica dei paraggi all'azione dei venti foranei attraverso la determinazione dei fetch.

Così come per i dati estrapolati dalle registrazioni degli ondometri, le grandezze meteomarine al largo di Avola sono opportunamente classificate, ai fini della definizione del clima meteomarinico medio. Inoltre, vengono determinate le correlazioni esistenti fra i valori di altezza d'onda significativa, periodo medio e periodo di picco.

Le classi di altezza d'onda associate ai settori direzionali di provenienza delle onde sono propagate da largo a sottocosta, con particolare attenzione alla batimetria -3 m, in modo da quantificare precisamente gli effetti della batimetria sull'evoluzione delle grandezze del moto ondoso. La propagazione delle onde viene effettuata attraverso un modello numerico, basato sull'evoluzione spaziale dello spettro d'energia del moto ondoso, che tiene conto degli effetti dello *shoaling* e della rifrazione.

Sulla base del clima meteomarinico al largo, vengono determinate le mareggiate che hanno investito il paraggio di Avola e viene successivamente effettuata l'analisi degli eventi estremi di moto ondoso per differenti settori direzionali, ai fini della determinazione dell'onda di progetto a prefissato tempo di ritorno.



Per i tempi di ritorno più significativi viene infine effettuata la propagazione delle onde di progetto fino a sotto costa, ai fini del dimensionamento delle opere marittime previste per il progetto in esame.

Ai fini del presente studio vengono calcolate le onde di modellazione sottocosta, la profondità di chiusura di spiaggia, sulla base dall'analisi dei livelli marini mareali meteorologici e astronomici e del run up indotto dal moto ondoso.

## 2 ANALISI DEI DATI ONDAMETRICI

La caratterizzazione del moto ondoso al largo di Avola è stata effettuata a partire dall'analisi delle serie storiche registrate dagli ondometri del mar Mediterraneo della Rete Ondametrica Nazionale (RON) del Sistema Idrografico e Mareografico Nazionale, aventi una sufficiente serie storica di dati ed un'esposizione del paraggio simile a quella di Avola, oggetto del presente studio. In particolare, è stato preso in esame l'ondometro ormeggiato al largo di Catania; tale scelta è stata adottata in quanto mostra un'esposizione in mare aperto simile a quella del litorale in esame e presenta una discreta lunghezza della serie storica di misure ondametriche.

Lo scopo dell'analisi delle serie storiche dell'ondometro selezionato (Catania) è rivolta pertanto ad effettuare una modellazione del clima ondoso con una serie di dati più ampia possibile. La boa di Catania è costituita da una boa ondametrica direzionale posizionata su fondali di circa – 100 m s.l.m. ad una distanza dalla costa di circa 6 km ed avente le seguenti coordinate geografiche:

**Latitudine 37° 26' 24.00" N**

**Longitudine 15° 8' 48.01" E**

La boa di Catania è stata del tipo DATAWELL Directional wavec MKI dal 01.07.1989 al 03.11.1999; successivamente a tale data è stata sostituita con una boa DATAWELL Directional waverider MKII.

Le registrazioni a disposizione della boa di Catania coprono il periodo luglio 1989 – ottobre 2006 che risulta la serie storica attualmente disponibile e, allo stesso tempo, ampiamente sufficiente per la definizione di un clima meteomarinario e per un successivo studio di dinamica costiera di un paraggio. La boa ha un diametro di circa 1.7 m ed un'altezza sulla linea di galleggiamento di 2.8 m. E' equipaggiata con un ondometro direzionale accelerometrico a stato solido, di altissima precisione (*triaxys*), di una stazione meteorologica completa. Un termometro per la temperatura del mare in superficie completa la dotazione *standard*. La boa è dotata di un coner *reflector* che le rende visibile al radar ed equipaggiata con una lampada color ambra visibile sino ad una distanza di 3 mn.

Per questi anni di osservazione sono disponibili infatti n. 89357 (dimensione del campione) eventi ondosi complessivi da considerare per le successive modellazioni meteomarine.



Il campione di altezze significative costituisce così una serie di durata parziale rappresentativa dell'intera popolazione di dati in quel sito.

Per la definizione del clima ondoso al largo di Catania, sono state effettuate le elaborazioni dei dati a partire dalle serie storiche degli ondometri RON che riportano, con cadenza temporale trioraria, altezza d'onda significativa, periodo di picco dello spettro, periodo medio, direzione media di propagazione. I dati meteorologici della boa in esame sono forniti da ISPRA – SERVIZIO MAREOGRAFICO "Rete Ondametrica Nazionale".

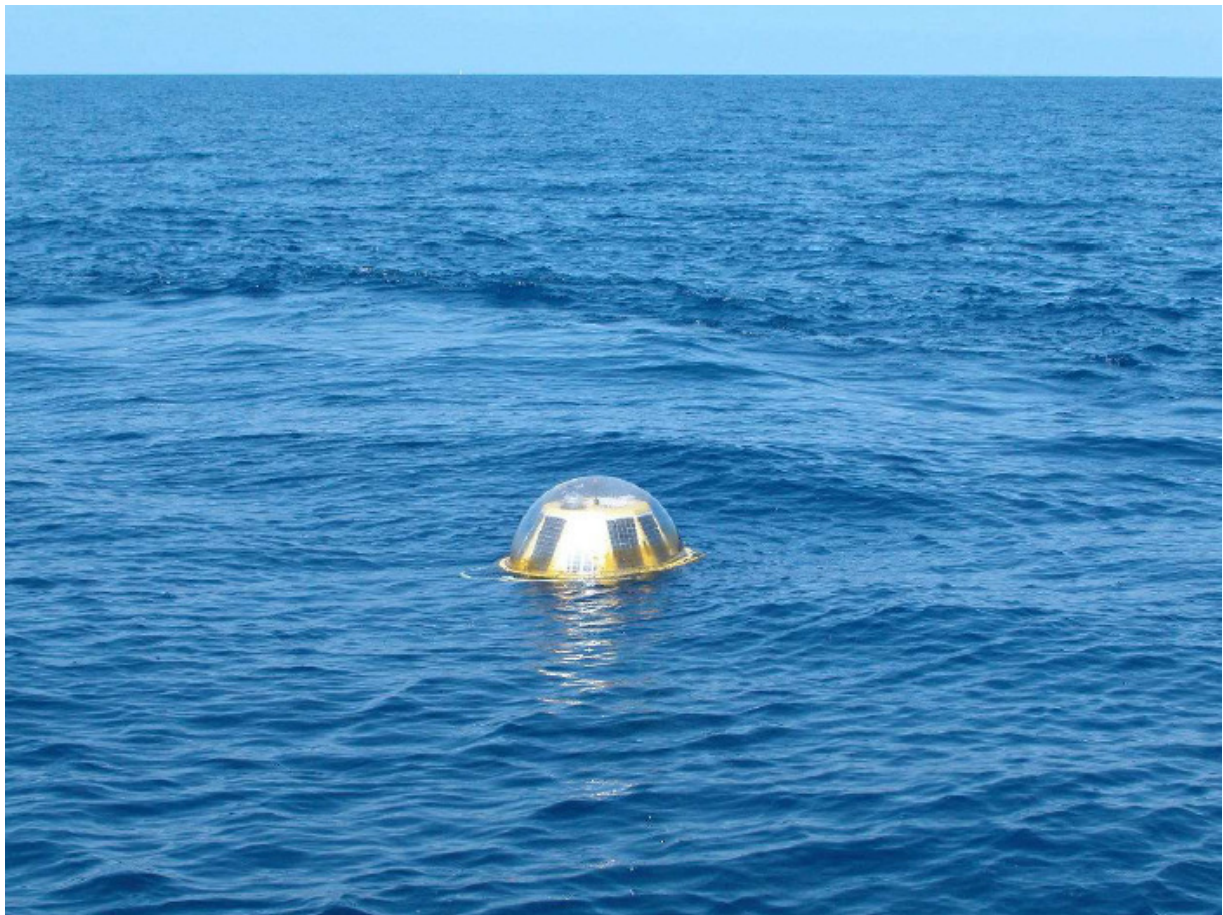


Figura 1: Ondometro di Catania

I dati delle serie storiche vengono acquisiti normalmente per un periodo di 30 minuti ogni tre ore e con intervalli inferiori nel caso di mareggiate particolarmente significative. In alternativa, le serie storiche vengono fornite agli utenti attraverso appositi bollettini ondametrici trimestrali nel seguente formato:

1989-07-01 00:00:00; 0.5; 2.8; 2.8; 337

dove:

- la 1<sup>a</sup> colonna (1989) rappresenta l'anno;



- la 2<sup>a</sup> colonna (07) rappresenta il mese;
- la 3<sup>a</sup> colonna (01) rappresenta il giorno;
- la 4<sup>a</sup> colonna (00:00:00) rappresenta l'ora;
- la 5<sup>a</sup> colonna (0.5) rappresenta l'altezza d'onda significativa (m);
- la 6<sup>a</sup> colonna (2.8) rappresenta il periodo medio in secondi (T<sub>m</sub>);
- la 7<sup>a</sup> colonna (2.8) rappresenta il periodo di picco in secondi (T<sub>p</sub>);
- la 8<sup>a</sup> colonna (337) rappresenta la direzione media di provenienza (° N).

In particolare, i dati totali della serie storica dalla boa posta al largo di Catania, per il periodo di tempo compreso tra il 1 luglio del 1989 e il 5 ottobre del 2006, risultano pari a 101394.

La serie storica dei dati ondametrici registrati dall'ondametro di Catania è stata sottoposta ad opportuna validazione, attraverso l'eliminazione degli eventi non registrati dalla boa e gli eventi considerati anomali. In particolare, sono stati adottati i seguenti criteri di validazione dei dati:

- Eliminazione dei cosiddetti "outliers", rappresentati da stati di mare caratterizzati da valori di H<sub>s</sub>, T<sub>m</sub> e T<sub>p</sub> eccessivamente elevati e non compatibili con l'esposizione in mare aperto della boa in esame;
- Eliminazione dei dati non registrati della boa, presenti nelle serie storiche registrati come dati pari a 0.
- Controllo tra 2 rilevazioni ondametriche successive della variazione del valore di altezza d'onda significativa, che deve essere inferiore a 1,5 m;
- Controllo tra 2 rilevazioni ondametriche successive della variazione del valore del periodo di picco, che deve essere inferiore a 5 s;
- Se vengono riscontrate le 2 succitate condizioni su H<sub>s</sub> e T<sub>p</sub>, ma la direzione di provenienza dell'evento ondososo tra 2 rilevazioni risulta maggiore di 30°, il dato ondametrico può essere considerato valido;
- Controllo per ogni evento registrato della ripidità massima compatibile dell'onda in acque profonde (d/L<sub>p</sub> > 0,5, essendo d la profondità e L<sub>p</sub> la lunghezza di picco dell'onda) con il limite di stabilità geometrico; per ogni registrazione, deve essere verificato che:

$$\frac{H_s \cdot 2 \cdot \pi}{9,81 \cdot T_p^2} < 0,1$$

- Controllo per ogni evento registrato della non eccessiva differenza fra i valori di periodo di picco e di periodo medio; per ogni registrazione, deve essere verificato che:

$$\frac{T_p}{T_m} < 2$$



- Controllo delle eventuali ripetizioni della singola registrazione ondometrica a causa del malfunzionamento momentaneo della boa.

Sulla base di tali preliminari verifiche sui dati ondosi grezzi registrati dalla boa, gli eventi ondosi da considerare per le successive modellazioni meteomarine sono pari a 75812. Pertanto, il rendimento  $\eta$ , espresso in %, della boa RON di Catania nel periodo 1989-2006 risulta pari a:

$$\eta = \frac{n. \text{ dati filtrati}}{n. \text{ dati grezzi}} \cdot 100 = 74,77 \quad \%$$

essendo, di conseguenza, la percentuale di inefficienza della boa in esame pari al 25,23 %. Pertanto, le osservazioni ondometriche filtrate sono state ordinate per classi di altezza d'onda significativa pari a 0,5 m e per settori direzionali di provenienza del moto ondoso pari a 10°.

Gli eventi caratterizzati da  $H_s < 0,25$  m sono stati considerati come calme. Dall'analisi della Tabella 1 si osserva come gli eventi di moto ondoso caratterizzati da elevati valori di altezza d'onda significativa risultano distribuiti in maniera omogenea nei diversi settori direzionali, con valori massimi nei settori direzionali 90°-100°N e 100°-110°N. I dati di moto ondoso al largo di Catania sono stati ulteriormente elaborati per le succitate classi d'altezza significativa e settori direzionali di provenienza del moto ondoso, determinando per ciascuno di essa la frequenza semplice di apparizione delle onde (vedi Tabella 2). Gli stessi risultati ottenuti dai dati di boa di Catania sono riportati attraverso un istogramma in cui le calme ( $H_s < 0,25$  m) sono state separate dagli eventi di moto ondoso ( $H_s > 0,25$  m) (Figura 2).

Si evince che i settori direzionali 40° - 50°N e 70°-80°N rappresentano quelli cui competono il maggior numero di eventi di moto ondoso, seguiti, in ordine decrescente, dai settori angolari 90°-100°N, 100°-110°N, 110°-120°N e 50°-60°N.



CLASSI DI ONDA SIGNIFICATIVA - Hs (m) - (N° di apparizioni del moto ondoso al largo di Catania)															
		calme	0.25-0.75	0.75-1.25	1.25-1.75	1.75-2.25	2.25-2.75	2.75-3.25	3.25-3.75	3.75-4.25	4.25-4.75	4.75-5.25	5.25-5.75	5.75-6.25	TOTALE
Dir (°N)															
0	10	79	478	149	53	19	4	1	1	0	0	0	0	0	784
10	20	61	406	141	53	14	4	1	0	0	0	0	0	0	680
20	30	108	683	227	56	22	8	2	0	0	0	0	0	0	1106
30	40	282	2648	633	149	32	9	1	0	0	0	0	0	0	3754
40	50	562	4606	1171	185	42	4	5	0	0	0	0	0	0	6575
50	60	783	3351	713	168	46	13	2	0	0	0	0	0	0	5076
60	70	793	2781	728	288	103	32	17	18	7	2	0	0	0	4769
70	80	864	3003	1280	479	199	63	39	33	19	18	5	0	0	6002
80	90	869	2832	1102	323	125	44	39	38	17	2	1	2	0	5394
90	100	764	2773	1045	494	237	86	77	85	68	19	3	10	1	5662
100	110	698	2616	993	459	211	140	148	98	83	62	22	3	4	5537
110	120	654	2673	865	395	214	91	105	47	24	7	2	0	0	5077
120	130	552	2741	784	282	79	28	19	23	1	0	0	0	0	4509
130	140	348	2159	544	179	19	9	7	4	2	0	0	0	0	3271
140	150	189	995	247	60	16	8	3	0	0	0	0	0	0	1518
150	160	132	584	139	49	20	5	5	1	0	0	0	0	0	935
160	170	129	476	140	47	21	5	8	2	1	0	0	0	0	829
170	180	119	467	136	62	16	8	1	1	0	0	0	0	0	810
180	190	99	402	145	61	27	5	2	0	0	0	0	0	0	741
190	200	94	475	130	46	22	5	4	0	1	0	0	0	0	777
200	210	108	489	129	44	15	7	1	0	1	0	0	0	0	794
210	220	113	560	113	40	12	5	4	0	0	0	0	0	0	847
220	230	123	542	124	32	8	2	2	0	0	0	0	0	0	833
230	240	142	629	101	35	6	3	1	0	0	0	0	0	0	917
240	250	123	742	99	31	11	4	3	0	0	0	0	0	0	1013
250	260	141	768	110	26	7	2	1	0	0	0	0	0	0	1055
260	270	96	688	99	28	4	2	1	0	0	0	0	0	0	918
270	280	84	568	124	31	11	1	0	0	0	0	0	0	0	819
280	290	68	436	113	25	12	2	1	0	0	0	0	0	0	657
290	300	56	428	122	36	6	2	0	0	0	0	0	0	0	650
300	310	64	368	140	26	8	5	0	0	0	0	0	0	0	611
310	320	76	393	119	28	12	2	2	0	0	0	0	0	0	632
320	330	51	368	101	38	5	1	2	0	0	0	0	0	0	566
330	340	55	344	102	30	15	1	3	0	0	0	0	0	0	550
340	350	44	318	130	40	11	5	2	1	0	0	0	0	0	551
350	360	39	374	124	39	11	4	0	2	0	0	0	0	0	593
<b>TOTALE</b>		<b>9562</b>	<b>45164</b>	<b>13162</b>	<b>4417</b>	<b>1638</b>	<b>619</b>	<b>509</b>	<b>354</b>	<b>224</b>	<b>110</b>	<b>33</b>	<b>15</b>	<b>5</b>	<b>75812</b>

Tabella 1: Numero di apparizioni del moto ondoso al largo di Catania



CLASSI DI ONDA SIGNIFICATIVA - Hs (m) - (% di apparizioni del moto ondoso al largo di Catania)															
		calme	0.25-0.75	0.75-1.25	1.25-1.75	1.75-2.25	2.25-2.75	2.75-3.25	3.25-3.75	3.75-4.25	4.25-4.75	4.75-5.25	5.25-5.75	5.75-6.25	TOTALE
Dir (*N)															
0	10	0,104%	0,631%	0,197%	0,070%	0,025%	0,005%	0,001%	0,001%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	1,034%
10	20	0,080%	0,536%	0,186%	0,070%	0,018%	0,005%	0,001%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,897%
20	30	0,142%	0,901%	0,299%	0,074%	0,029%	0,011%	0,003%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	1,459%
30	40	0,372%	3,493%	0,835%	0,197%	0,042%	0,012%	0,001%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	4,952%
40	50	0,741%	6,076%	1,545%	0,244%	0,055%	0,005%	0,007%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	8,673%
50	60	1,033%	4,420%	0,940%	0,222%	0,061%	0,017%	0,003%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	6,696%
60	70	1,046%	3,668%	0,960%	0,380%	0,136%	0,042%	0,022%	0,024%	0,009%	0,003%	0,000%	0,000%	0,000%	6,291%
70	80	1,140%	3,961%	1,688%	0,632%	0,262%	0,083%	0,051%	0,044%	0,025%	0,024%	0,007%	0,000%	0,000%	7,917%
80	90	1,146%	3,736%	1,454%	0,426%	0,165%	0,058%	0,051%	0,050%	0,022%	0,003%	0,001%	0,003%	0,000%	7,115%
90	100	1,008%	3,658%	1,378%	0,652%	0,313%	0,113%	0,102%	0,112%	0,090%	0,025%	0,004%	0,013%	0,001%	7,468%
100	110	0,921%	3,451%	1,310%	0,605%	0,278%	0,185%	0,195%	0,129%	0,109%	0,082%	0,029%	0,004%	0,005%	7,304%
110	120	0,863%	3,526%	1,141%	0,521%	0,282%	0,120%	0,139%	0,062%	0,032%	0,009%	0,003%	0,000%	0,000%	6,697%
120	130	0,728%	3,616%	1,034%	0,372%	0,104%	0,037%	0,025%	0,030%	0,001%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	5,948%
130	140	0,459%	2,848%	0,718%	0,236%	0,025%	0,012%	0,009%	0,005%	0,003%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	4,315%
140	150	0,249%	1,312%	0,326%	0,079%	0,021%	0,011%	0,004%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	2,002%
150	160	0,174%	0,770%	0,183%	0,065%	0,026%	0,007%	0,007%	0,001%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	1,233%
160	170	0,170%	0,628%	0,185%	0,062%	0,028%	0,007%	0,011%	0,003%	0,001%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	1,093%
170	180	0,157%	0,616%	0,179%	0,082%	0,021%	0,011%	0,001%	0,001%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	1,068%
180	190	0,131%	0,530%	0,191%	0,080%	0,036%	0,007%	0,003%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,977%
190	200	0,124%	0,627%	0,171%	0,061%	0,029%	0,007%	0,005%	0,000%	0,001%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	1,025%
200	210	0,142%	0,645%	0,170%	0,058%	0,020%	0,009%	0,001%	0,000%	0,001%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	1,047%
210	220	0,149%	0,739%	0,149%	0,053%	0,016%	0,007%	0,005%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	1,117%
220	230	0,162%	0,715%	0,164%	0,042%	0,011%	0,003%	0,003%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	1,099%
230	240	0,187%	0,830%	0,133%	0,046%	0,008%	0,004%	0,001%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	1,210%
240	250	0,162%	0,979%	0,131%	0,041%	0,015%	0,005%	0,004%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	1,336%
250	260	0,186%	1,013%	0,145%	0,034%	0,009%	0,003%	0,001%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	1,392%
260	270	0,127%	0,908%	0,131%	0,037%	0,005%	0,003%	0,001%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	1,211%
270	280	0,111%	0,749%	0,164%	0,041%	0,015%	0,001%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	1,080%
280	290	0,090%	0,575%	0,149%	0,033%	0,016%	0,003%	0,001%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,867%
290	300	0,074%	0,565%	0,161%	0,047%	0,008%	0,003%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,857%
300	310	0,084%	0,485%	0,185%	0,034%	0,011%	0,007%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,806%
310	320	0,100%	0,518%	0,157%	0,037%	0,016%	0,003%	0,003%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,834%
320	330	0,067%	0,485%	0,133%	0,050%	0,007%	0,001%	0,003%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,747%
330	340	0,073%	0,454%	0,135%	0,040%	0,020%	0,001%	0,004%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,725%
340	350	0,058%	0,419%	0,171%	0,053%	0,015%	0,007%	0,003%	0,001%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,727%
350	360	0,051%	0,493%	0,164%	0,051%	0,015%	0,005%	0,000%	0,003%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,782%
<b>TOTALE</b>		<b>12,613%</b>	<b>59,574%</b>	<b>17,361%</b>	<b>5,826%</b>	<b>2,161%</b>	<b>0,816%</b>	<b>0,671%</b>	<b>0,467%</b>	<b>0,295%</b>	<b>0,145%</b>	<b>0,044%</b>	<b>0,020%</b>	<b>0,007%</b>	<b>100,000%</b>

Tabella 2: Percentuali di apparizione del moto ondoso al largo di Catania

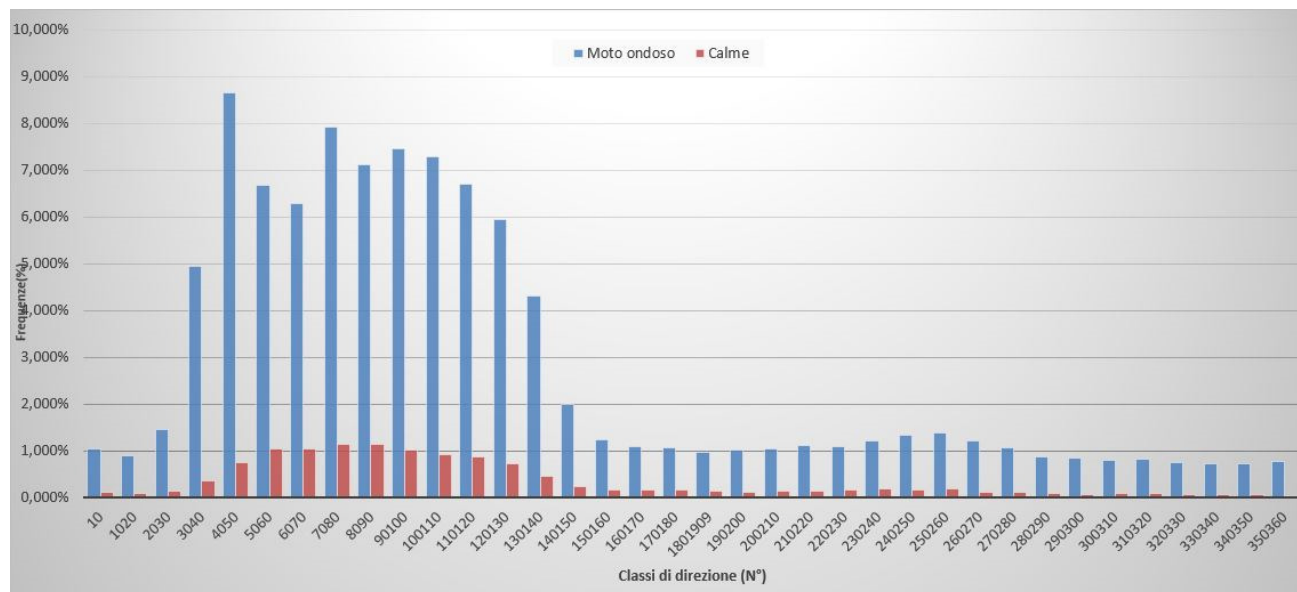


Figura 2: Ondametro di Catania (si specifica che le classi di direzione indicate nell'asse delle ascisse di figura nel formato, a d esempio ,100110 equivalgono all'intervallo direzionale compreso tra 100° N e 110°N (100-110).

### 3 TRASPOSIZIONE DEI DATI DI MOTO ONDOSI

La definizione del clima di moto ondoso al largo di un paraggio risulta fondamentale per impostare gran parte degli studi che vengono eseguiti nel campo dell'ingegneria costiera e, più in generale, delle costruzioni marittime.

In generale, per la definizione del clima di moto ondoso di un paraggio, la fonte di dati più completa ed attendibile è costituita dalle serie storiche di misure registrate dagli ondometri. Tuttavia, in ragione del numero limitato di ondometri presenti al largo delle coste italiane, il più delle volte il sito di interesse, pur ricadendo nella stessa area geografica, è spesso situato in una posizione decentrata rispetto al tratto di mare "sotteso" dall'ondametro. Da qui nasce l'esigenza di ricorrere ad un metodo che consenta di "trasporre" geograficamente le misure ondametriches dal punto di misura a quello di interesse. Nel caso in esame, partendo dalle serie storiche dei dati di moto ondoso registrati dall'ondametro di Catania, occorre determinare quale sia il clima meteomarinico al largo del paraggio di Avola, che non risulta disporre di misure dirette di moto ondoso.

Il cosiddetto metodo della trasposizione geografica delle misure di moto ondoso, proposto da Contini e De Girolamo (1998), viene applicato per consentire il trasferimento dei dati di altezza d'onda significativa, periodo medio e periodo di picco. Un metodo empirico, applicato dai ricercatori del Laboratorio di Ingegneria Costiera del Politecnico di Bari, viene utilizzato per la determinazione della direzione di provenienza del moto ondoso nell'area di interesse, a partire dalla direzione del moto ondoso registrata dall'ondametro.



L'ipotesi di base del metodo della trasposizione geografica consiste nel supporre che le stesse condizioni di vento (velocità e direzione) che hanno determinato le condizioni di moto ondoso registrate dall'ondametro abbiano interessato anche l'area di generazione situata al largo del sito di interesse. Il metodo consiste nel determinare la corrispondenza tra le direzioni, le altezze ed i periodi del moto ondoso relativi al punto di misura (boa ondometrica di Catania) e a quello di interesse (boa virtuale di Avola), che risulta un punto ottimale per la modellazione meteomarina media ed estrema per il tratto litoraneo in esame (Figura 4).

Le leggi che permettono di calcolare l'altezza d'onda significativa  $H_s$  e il periodo medio  $T_m$  in funzione della lunghezza del fetch efficace e della velocità del vento sono le seguenti (*Shore Protection Manual*, 1984):

$$\frac{gH_s}{u_A^2} = 1,6 \cdot 10^{-3} \left( \frac{gF_e}{u_A^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{gT_m}{u_A} = 2,857 \cdot 10^{-1} \left( \frac{gF_e}{u_A^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

dove:

- $u_A$  è il fattore di velocità del vento ("wind stress factor"), dipendente in modo non lineare dalla velocità del vento misurata alla quota +10 m s.l.m.;
- $F_e$  è il fetch efficace relativo ad una prefissata direzione geografica.

Per le analisi meteomarine di un paraggio e la definizione dell'esposizione geografica di una stazione di misura del moto ondoso o di un sito costiero, occorre determinazione i fetch geografici ed efficaci. Per fetch si intende la lunghezza della porzione di mare sulla quale può avvenire la generazione del moto ondoso ad opera dell'azione esercitata dal vento. In bacini come il Mediterraneo, l'individuazione dei fetch può essere eseguita facendo ricorso al concetto di "fetch geografico" che indica la distanza geografica tra il punto di interesse e la terra più vicina in relazione ad una prefissata direzione. Nel Mediterraneo, in particolare, essendo assimilabile ad un bacino chiuso, si considera ai fini applicativi una distanza massima del fetch geografico pari a 500 km (*Noli*, 2004).

Ai fini della determinazione delle grandezze del moto ondoso a partire dai dati di vento e per poter determinare le grandezze del moto ondoso da un paraggio ad un altro, è necessario determinare i valori dei fetch efficaci sulla base dei valori dei fetch geografici individuati. Il fetch efficace viene introdotto per considerare l'effetto della larghezza del fetch e della dispersione direzionale dell'energia dell'onda sullo sviluppo e propagazione dell'onda. Il valore del fetch efficace relativo ad una determinata direzione è funzione dei valori dei fetch geografici associati alle direzioni contigue a quella considerata. In questo modo i fetch efficaci consentono di tener conto del fatto che il moto ondoso viene generato non solo nella direzione lungo la quale spira il vento ma anche in tutte le direzioni comprese in un settore di  $\pm 90^\circ$  rispetto alla direzione media di azione del vento.

Di conseguenza la lunghezza dei fetch efficaci risulta essere diversa da quella dei fetch geografici.



Il calcolo dei fetch efficaci, effettuato ogni 5°, può essere eseguito in base alla seguente relazione:

$$F_{e,w} = \frac{\sum_{\phi_i = \phi_w - \theta}^{\phi_w + \theta} F_i \cos^{n+1}(\phi_i - \phi_w)}{\sum_{\phi_i = \phi_w - \theta}^{\phi_w + \theta} \cos^n(\phi_i - \phi_w)}$$

dove:

- $F_{e,w}$  è la lunghezza del *fetch* efficace relativa alla direzione  $\phi_w$ ;
- $F_i$  è la lunghezza del *fetch* geografico relativa alla direzione i-esima  $\phi_i$ ;
- $\phi_w$  è la direzione media (riferita al Nord geografico) di possibile provenienza del vento;
- $\phi_w - \theta \leq \phi_i \leq \phi_w + \theta$  rappresenta la direzione i-esima (riferita al Nord geografico) relativa a un settore di ampiezza  $2\theta$  considerato nell'intorno della direzione  $\phi_w$  (il metodo di *Saville* prevede un valore di  $\theta = 45^\circ$  mentre quello di *Seymour* fa riferimento ad un valore di  $\theta = 90^\circ$ );
- $\theta$  è l'ampiezza del settore di possibile provenienza del moto ondoso;
- $n$  è il termine esponenziale definito in funzione della legge di distribuzione direzionale degli spettri di moto ondoso che caratterizzano il sito in esame (solitamente, si assume  $n = 2$  per studi meteomarini effettuati nei mari italiani).

L'equazione precedente deriva dalla teoria di ricostruzione indiretta del moto ondoso nota come metodo S. M. B. (*Sverdrup, Munk e Bretschneider, 1947*) e dai suoi successivi aggiornamenti (*Saville, 1954; Seymour, 1977; Smith, 1991*).

La definizione dei *fetch* geografici ed efficaci costituisce uno dei punti fondamentali degli studi meteomarini. Infatti, i valori dei *fetch* possono essere utilizzati nelle seguenti analisi:

- definizione preliminare dei settori di traversia principali e secondari per il sito di interesse;
- determinazione della correlazione tra direzione di provenienza del vento e quella del moto ondoso generato;
- ricostruzione indiretta del moto ondoso sulla base di misure anemometriche;
- trasposizione geografica di misure ondametriche;
- propagazione da largo a riva di stati di mare.

In Figura 5 sono indicati i *fetch* geografici relativi al transetto costiero di Avola. I valori massimi dei *fetch* geografici sono compresi fra i settori 55°-195°N, in cui i *fetch*, potenzialmente più lunghi, sono tagliati a 500 km, sulla base delle esperienze acquisite negli studi meteomarini in Italia (*Noli, 2004*). A parità di velocità del vento spirante sulla superficie marina, da questo settore angolare possono provenire sul tratto costiero d'interesse gli attacchi ondosi più elevati. In Figura 6 sono invece indicati i *fetch* efficaci ottenuti per il paraggio di Avola.

In Figura 7 sono indicati i *fetch* geografici tracciati a partire dal punto in cui posizionata la boa ondometrica di Catania. I valori massimi dei *fetch* geografici sono compresi fra le direzioni 60°-155°N. Rispetto al paraggio di Avola, l'ondametro



di Catania risulta meno esposto agli attacchi ondosi provenienti da Sud. In generale, l'esposizione della boa di Catania ai venti foranei risulta differente da quella di Avola per i fetch provenienti da Sud.

In Figura 8 sono invece indicati i *fetch* efficaci determinati per il paraggio di Catania.



Figura 4: Localizzazione della boa ondometrica reale (Catania) e virtuale (Avola)

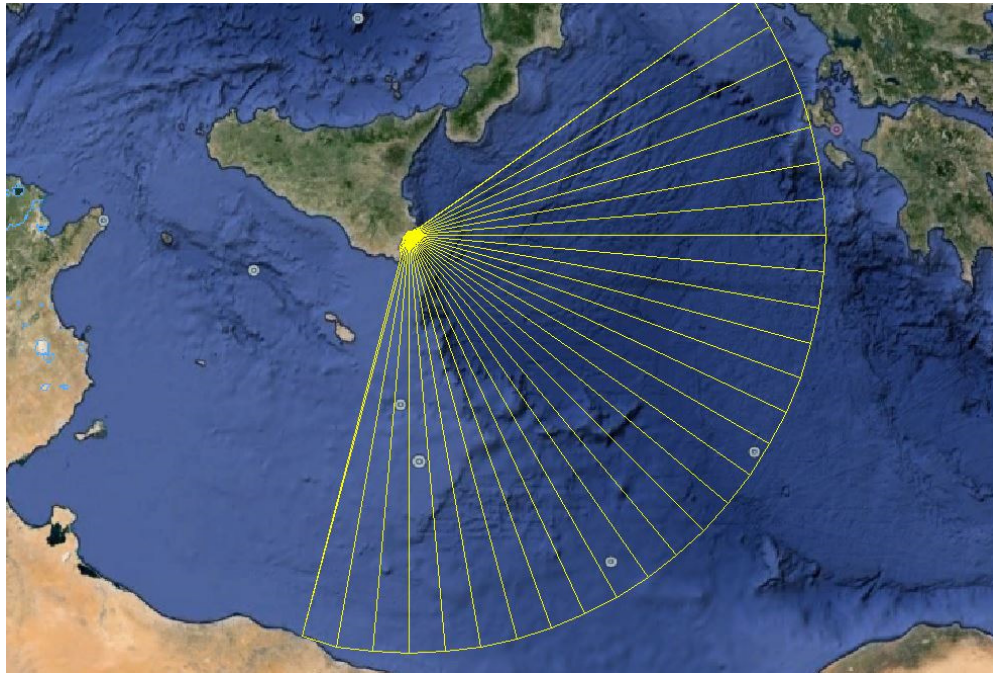


Figura 5: Tracciamento dei fetch geografici per il paraggio di Avola

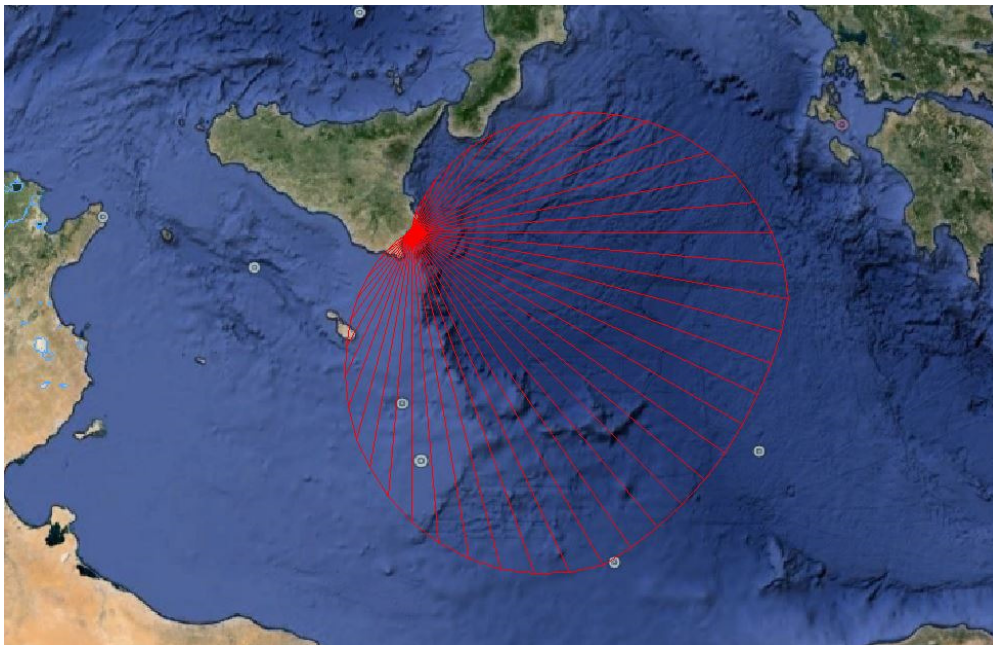


Figura 6: Tracciamento dei fetch efficaci per il paraggio di Avola

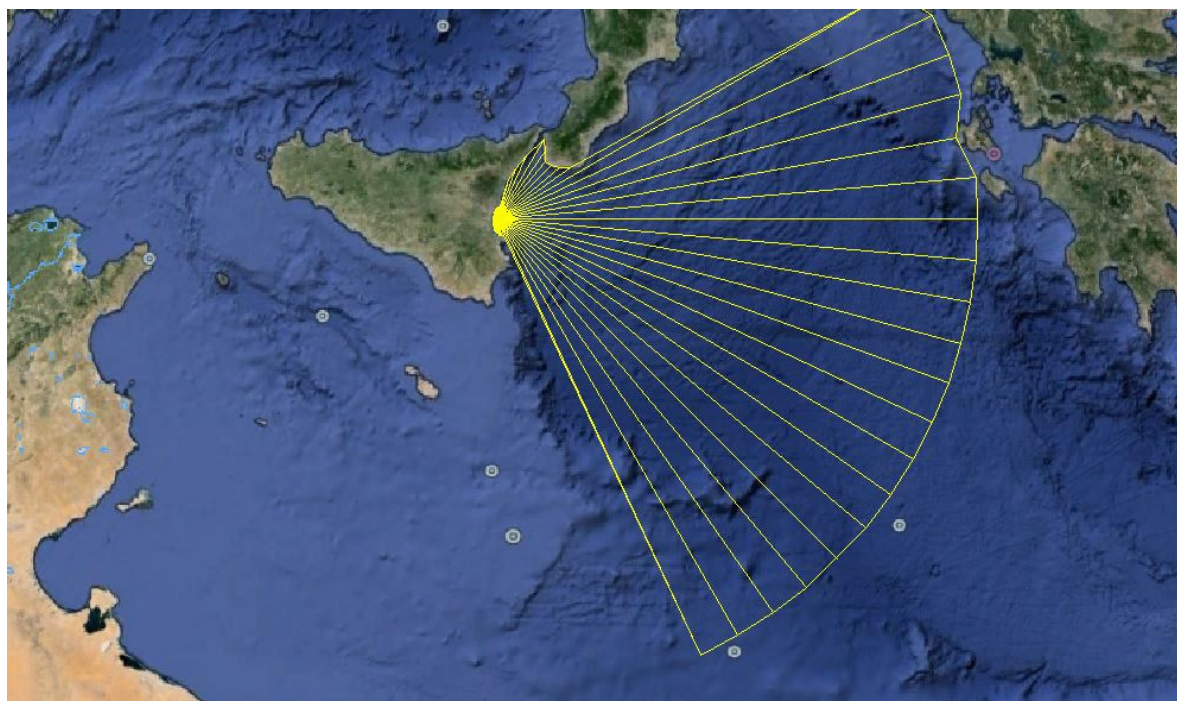


Figura 7: Tracciamento dei fetch geografici per il paraggio di Catania

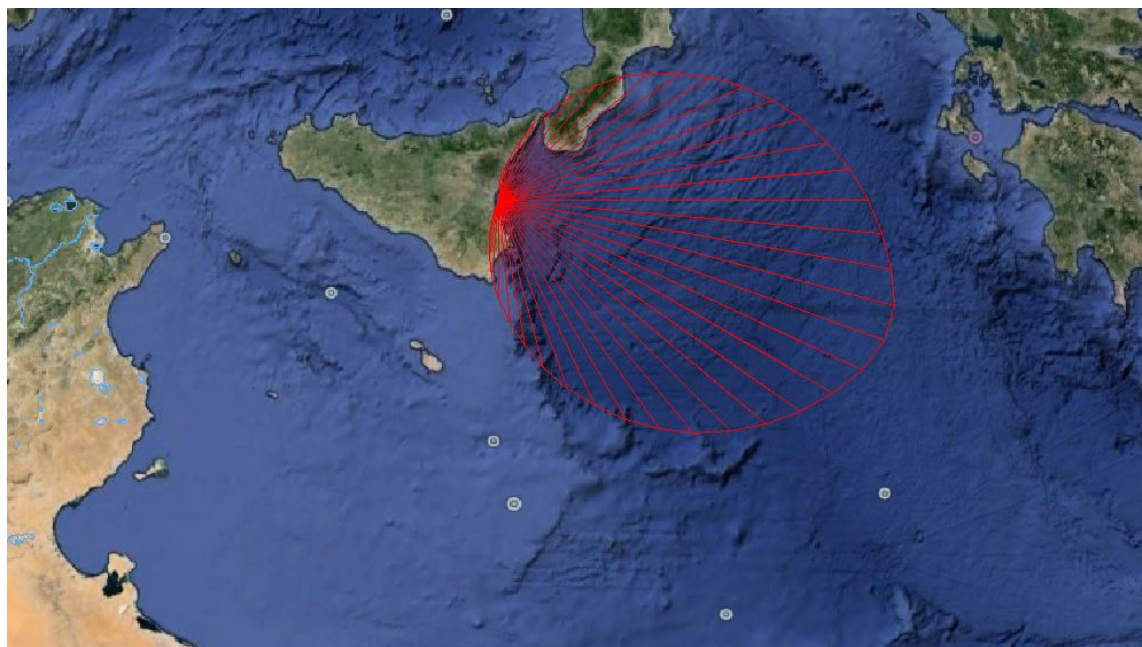


Figura 8: Tracciamento dei fetch efficaci per il paraggio di Catania

In Tabella 3 e in Tabella 4 sono mostrati, rispettivamente, i valori dei fetch geografici,  $F_g$ , ed efficaci,  $F_e$ , espressi in km, per Catania e Avola (SR).



Tabella 3

Tabella 4

**Boa Catania****Boa virtuale Avola**

DIR (N°)	Fg (km)	Fe(km)	DIR (N°)	Fg (km)	Fe(km)
0	11,88	26,41	0	4,37	4,48
5	12,63	30,94	5	4,46	4,84
10	13,97	35,87	10	4,54	16,54
15	42,23	49,91	15	5,06	31,35
20	56,04	66,97	20	5,44	49,41
25	72,18	86,67	25	5,6	70,70
30	96,1	108,89	30	6	95,06
35	86,66	133,08	35	6,4	122,16
40	77,84	159,51	40	6,62	151,56
45	78,62	187,48	45	12,81	182,67
50	83,76	216,48	50	14,14	214,83
55	92,27	245,96	55	500	247,33
60	477,43	275,30	60	500	279,43
65	500	303,44	65	500	310,40
70	500	330,22	70	500	339,60
75	500	355,12	75	500	366,45
80	484,49	377,64	80	500	390,52
85	500	398,09	85	500	411,50
90	500	416,15	90	500	429,23
95	500	431,45	95	500	443,62
100	500	443,92	100	500	454,91
105	500	408,34	105	500	454,91
110	500	454,25	110	500	454,91
115	500	443,15	115	500	454,91
120	500	429,00	120	500	454,91
125	500	411,57	125	500	454,91
130	500	391,44	130	500	454,91
135	500	367,78	135	500	454,91
140	500	341,38	140	500	454,91
145	500	312,68	145	500	454,91
150	500	282,22	150	500	454,83
155	500	250,63	155	500	443,81
160	18,13	218,60	160	500	429,72
165	17,38	186,86	165	500	412,47
170	17,66	156,10	170	500	392,01
175	17,55	126,98	175	500	368,49
180	15,22	100,07	180	500	342,19





185	14,17	75,81	185	500	313,53
190	13,42	54,51	190	500	283,05
195	13,06	36,35	195	496,57	251,41
200	11,01	21,35	200	26,84	219,32
205	9,35	9,39	205	23,21	187,48
210	8,18	8,65	210	21,75	156,62
215	7,32	7,94	215	19,01	127,37
220	6,54	7,26	220	16,38	100,30
225	5,95	6,63	225	13,89	75,85
230	5,5	6,09	230	10,65	54,36
235	5,15	5,62	235	9,1	36,00
240	4,87	5,22	240	7,77	20,80
245	4,65	4,87	245	7,18	8,72
250	4,49	4,61	250	6,72	7,64
255	4,37	4,42	255	6,37	6,73
260	4,27	4,28	260	5,63	5,94
265	4,21	4,19	265	5,06	5,28
270	4,18	4,15	270	3,75	4,75
275	4,18	4,15	275	3,66	4,34
280	4,22	4,18	280	3,27	4,04
285	4,29	4,26	285	3,18	3,82
290	4,39	4,37	290	3,29	3,67
295	4,54	4,53	295	3,32	3,55
300	4,73	4,73	300	3,32	3,47
305	4,9	4,97	305	3,42	3,42
310	5,13	5,27	310	3,55	3,41
315	5,42	5,62	315	3,71	3,43
320	5,79	6,01	320	3,85	3,49
325	6,24	6,47	325	4,01	3,55
330	6,79	7,61	330	4,21	3,63
335	7,51	9,28	335	4,23	3,72
340	8,34	11,61	340	4,23	3,82
345	8,98	14,88	345	4,26	3,93
350	9,81	18,46	350	4,26	4,06
355	10,79	22,26	355	4,35	4,19
360	11,88	26,41	360	4,37	4,48

Indicando con gli apici O e P rispettivamente le grandezze relative al punto di misura ed al punto di trasposizione, e fissata una direzione geografica (direzione media da cui spira il vento) alla quale risultano associati i fetch efficaci  $F_e^P$  e



$F_e^O$ , le precedenti relazioni dello Shore Protection Manual permettono di ricavare la ricercata corrispondenza tra le altezze significative,  $H_s$ , ed i periodi medi,  $T_m$ , delle onde relative al punto O e al punto P (Contini e De Girolamo, 1998):

$$\frac{H_s^P}{H_s^O} = \left( \frac{F_e^P}{F_e^O} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{T_m^P}{T_m^O} = \left( \frac{F_e^P}{F_e^O} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Per ottenere le precedenti relazioni si è supposto che il fattore di velocità del vento,  $u_A$ , sia lo stesso nei due punti al largo messi a confronto (Catania – Avola).

I coefficienti di trasposizione per l'altezza d'onda significativa,  $C_1 = \left( \frac{F_e^P}{F_e^O} \right)^{\frac{1}{2}}$ , per il periodo medio,  $C_2 = \left( \frac{F_e^P}{F_e^O} \right)^{\frac{1}{3}}$  e per il periodo di picco,  $C_3 = C_2 \cdot T_p / T_m$ , sono stati messi a confronto con la direzione di provenienza del moto ondoso nella Figura 9, nel caso di trasferimento geografico dei dati da Catania a Avola. Nel calcolo del coefficiente  $C_3$ , il rapporto  $T_p/T_m$  è stato determinato sulla base delle curve di regressione  $H_s-T_m$  e  $H_s-T_p$  per la boa reale di Catania (vedi capitolo relativo alle correlazioni periodo-altezza d'onda).

Dall'analisi della Figura 9 si evince un aumento dell'altezza d'onda significativa ( $C_1 > 1$ ) e del periodo medio ( $C_2 > 1$ ), nel paraggio di Avola, per le direzioni di provenienza del moto ondoso comprese fra  $130^\circ$  e  $275^\circ$  N e una diminuzione di  $H_s$  e  $T_m$  per le direzioni maggiori di  $275^\circ$  N.

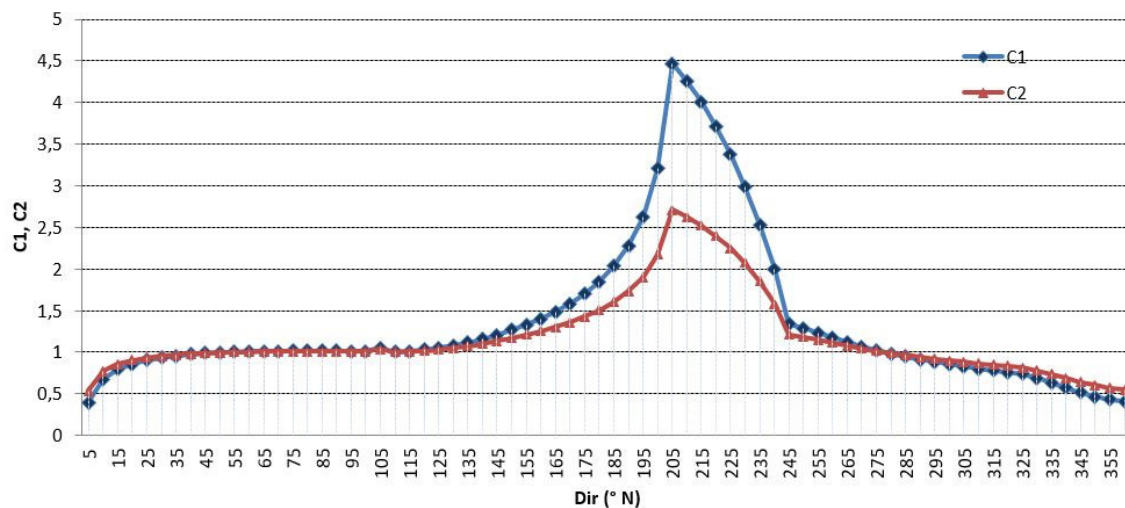




Figura 9: Coefficienti di trasposizione in funzione della direzione di provenienza del moto ondoso (da Catania ad Avola)

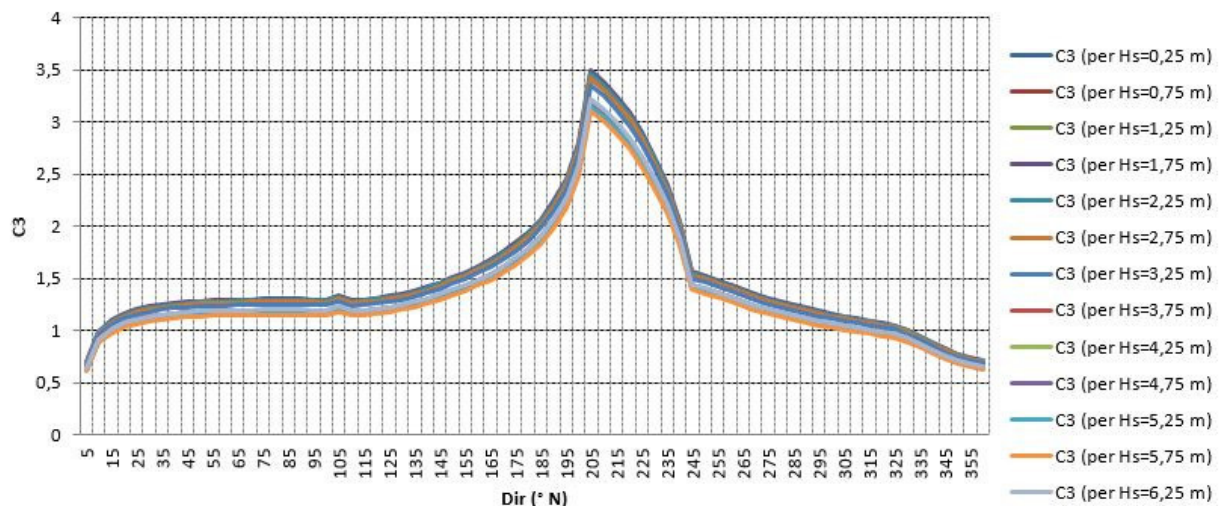


Figura 9bis: Coefficiente di trasposizione  $C_3$  in funzione della direzione di provenienza del moto ondoso (da Catania ad Avola). Nel calcolo del coefficiente  $C_3$ , il rapporto  $T_p/T_m$  è stato determinato sulla base delle curve di regressione  $H_s-T_m$  e  $H_s-T_p$  per la boa reale di Catania (vedi capitolo relativo alle correlazioni periodo-altezza d'onda).

Ai fini della determinazione della direzione del moto ondoso al largo del paraggio di Avola, occorre rilevare che il metodo dello *Shore Protection Manual* (SMB) da cui si determinano indirettamente i dati di moto ondoso dai dati di vento, prevede che la direzione di provenienza delle onde sia coincidente con quella del vento. La direzione dell'onda risulta in questo caso la media delle direzioni di tutte le registrazioni che compongono l'evento, pesata rispetto alle intensità, trascurando quindi gli effetti della geometria dell'area di generazione sulla direzione dell'onda.

Si rende quindi necessario introdurre delle relazioni finalizzate alla correzione della direzione del vento per tenere in considerazione che il trasferimento di energia dal vento al mare dipende anche dalla distribuzione direzionale dei fetch. Si può quindi pensare di assegnare allo stato di mare una direzione calcolata come media pesata delle direzioni rispetto alla lunghezza del fetch geografico.

Si ipotizza che il trasferimento di energia avvenga in un settore di ampiezza variabile tra  $\pm 45^\circ$  intorno la direzione media del vento e che la funzione di trasferimento dell'energia sia rappresentabile da una potenza ennesima del coseno. In particolare, si può osservare che il trasferimento di energia si riduce lungo le direzioni più lontane da quella di provenienza, mentre aumenta lungo le direzioni a cui competono i fetch più estesi. Di conseguenza, le onde generate da venti spiranti da direzioni prossime ai limiti del settore di traversia tendono a propagarsi lungo direzioni più interne.

Lo scarto tra la direzione media del vento e la direzione del moto ondoso che esso genera,  $b$ , viene valutato attraverso una relazione empirica basata sugli studi meteomarini effettuati dai ricercatori del Laboratorio di Ingegneria Costiera del Politecnico di Bari:



$$F_{e,w} = \frac{\sum_{\phi_i = \phi_w - \theta}^{\phi_w + \theta} F_i \sin(\phi_i - \phi_w) \cos^n(\phi_i - \phi_w)}{\sum_{\phi_i = \phi_w - \theta}^{\phi_w + \theta} F_i \cos(\phi_i - \phi_w) \cos^n(\phi_i - \phi_w)}$$

Dove:

- $F_i$  è il *fetch* geografico valutato lungo le direzioni adiacenti alla direzione media del vento comprese in un settore di ampiezza variabile;
- $\phi_w$  è la direzione media (riferita al Nord geografico) di possibile provenienza del vento;
- $\phi_w - \theta \leq \phi_i \leq \phi_w + \theta$  rappresenta la direzione  $i$ -esima (riferita al Nord geografico) relativa a un settore di ampiezza  $2\theta$  considerato nell'intorno della direzione  $\phi_w$ ;
- $\theta$  è l'ampiezza del settore di possibile provenienza del moto ondoso, valutato in questo caso pari a  $45^\circ$ ;
- $n$  è l'esponente del coseno, posto in questo caso pari a 2, come nella formula di Saville per il calcolo dei *fetch* efficaci.

Le grandezze succitate sono mostrate in Figura 10, con riferimento allo schema adottato per le convenzioni degli angoli relativi alle direzioni di provenienza del vento e del moto ondoso rispetto al Nord Cartografico. In particolare,  $\theta_w$  rappresenta la direzione di propagazione del moto ondoso.

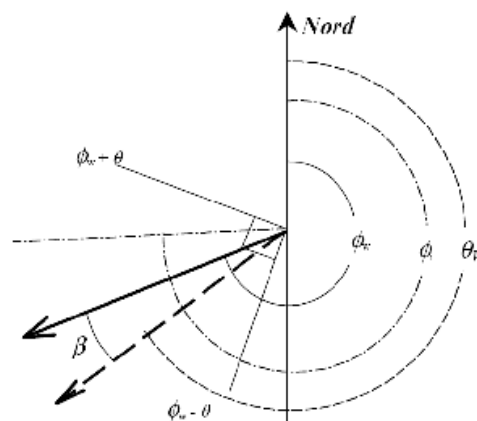


Figura 10: Schema di riferimento, convenzioni e simboli relativi alle direzioni del vento e del moto ondoso

Pertanto, considerando costante la direzione di provenienza del vento nell'area dello Ionio in cui è posta la boa reale di Catania e quella virtuale di Avola, è possibile determinare, attraverso l'applicazione della legge di correlazione tra la direzione dell'onda e quella del vento, le direzioni del moto ondoso del punto di interesse (Avola) rispetto al Nord Cartografico, note le direzioni di provenienza del moto ondoso registrate dagli ondometri reali.

L'entità della variazione che subisce la direzione di provenienza del moto ondoso durante la trasposizione geografica dell'evento ondoso dagli ondometri reali a quello virtuale al largo di Avola è mostrata in Figura 11. Le massime



deviazioni della direzione delle onde che si hanno passando da Catania a Avola risultano basse e comprese circa fra  $+37^\circ$  e  $-35^\circ$ . In particolare, gli stati di mare trasposti relativi al settore  $0^\circ$ - $160^\circ$ N e  $290^\circ$ - $360^\circ$ N hanno subito rotazioni orarie, mentre per gli altri settori si sono avute rotazioni antiorarie. La rotazione subita dalle onde nella trasposizione da Catania a Avola fa sì che esse tendano in generale a disporsi nelle direzioni in cui i *fetch* sono più sviluppati.

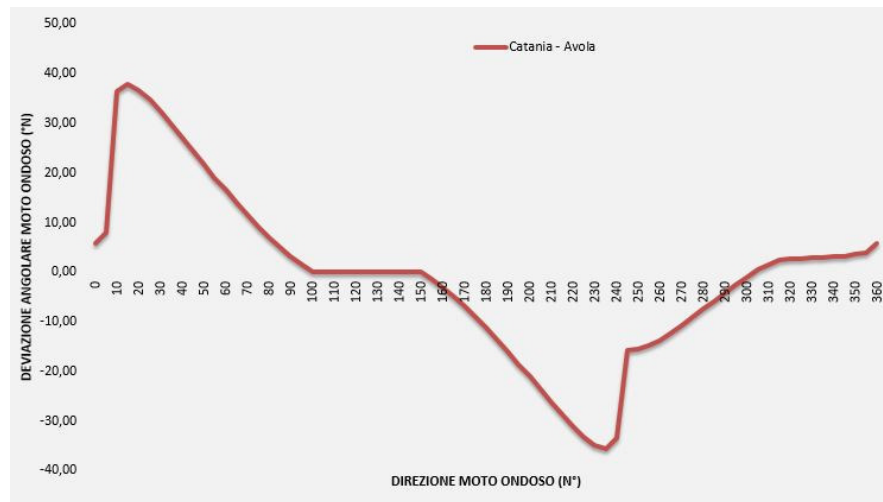


Figura 11: Variazione della deviazione angolare del moto ondoso tra la boa reale e quella virtuale (Catania – Avola)

#### 4 CLIMA METEOMARINO MEDIO AL LARGO DEL PARAGGIO DI AVOLA

L'applicazione del metodo della trasposizione geografica dei dati di moto ondoso (altezza, periodo e direzione) dalla boa ondometrica reale di Catania alla boa virtuale posta al largo del paraggio di Avola e del metodo per il calcolo delle direzioni del moto ondoso consente la determinazione del clima meteomarinico al largo, con riferimento agli eventi ricadenti nel settore di traversia. Esso rappresenta un settore angolare comprendente tutte le direzioni da cui si presumano possano provenire le agitazioni ondose determinate dai venti foranei. L'arco di circonferenza comprendente tutte le direzioni da cui possono provenire i venti foranei nel paraggio in esame è stato ottenuto considerando le possibili direzioni di provenienza delle onde sulla base della particolare esposizione del paraggio (Figura 12). Per il paraggio in esame il settore di traversia, sui cui spirano i venti che possono creare significative agitazioni ondose, è compreso tra  $35^\circ$ N e  $200^\circ$ N, per un'ampiezza angolare pari a  $165^\circ$ .

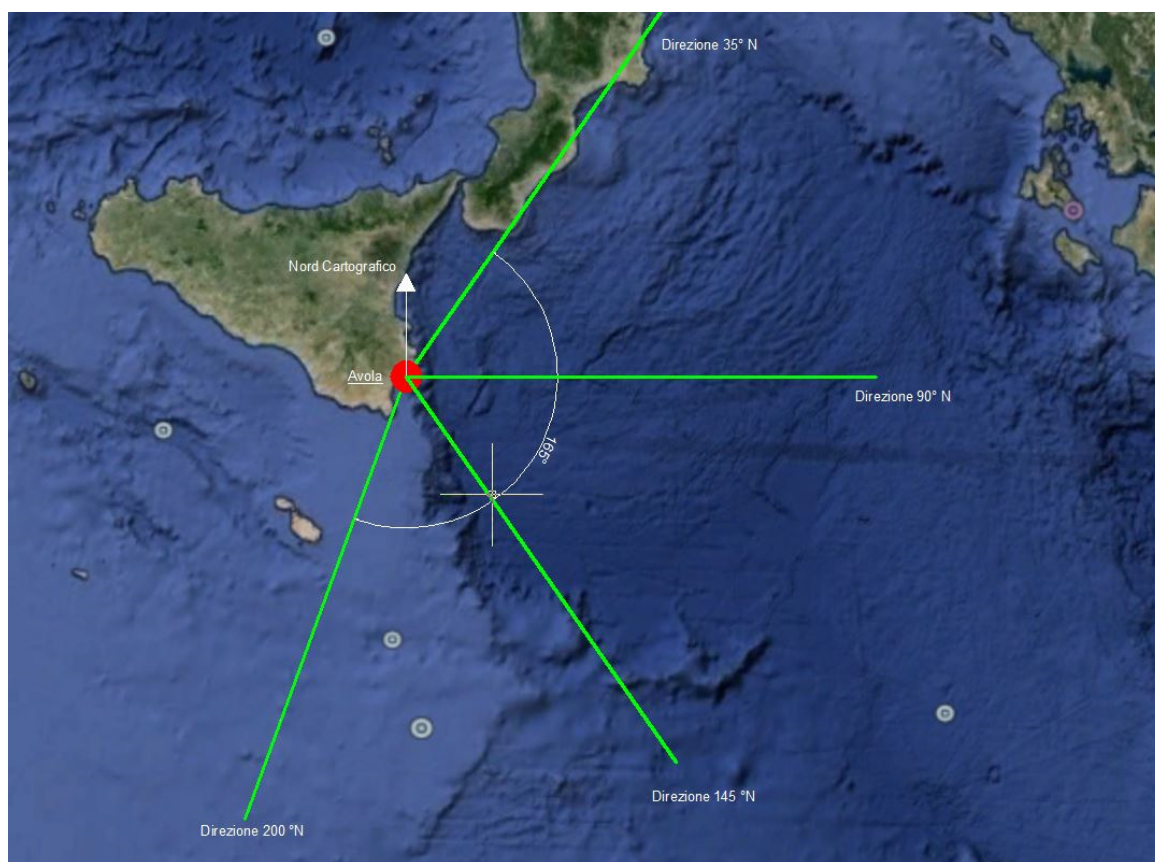


Figura 12: Individuazione del settore di traversia del paraggio di Avola

La totalità degli eventi di moto ondoso nel settore di traversia al largo di Avola risulta il 86,75 % delle registrazioni della boa in mare aperto di Catania, che sono effettuate nell'intero settore angolare 0°-360°N. Gli eventi totali all'interno del settore di traversia, afferenti al periodo 1989-2006, risultano 65764, di cui 7779 eventi di calma, caratterizzati da  $H_s < 0.25$  m, che rappresentano il 11,829 % degli eventi totali.

In Tabella 5 e in Tabella 6 sono mostrati, rispettivamente, i numeri di apparizione e le percentuali di apparizione del moto ondoso al largo di Avola, con riferimento alla trasposizione dei dati ondometrici dalla boa di Catania.

Come si può osservare dall'istogramma mostrato in Figura 13 risulta che con riferimento alla suddivisione dei settori direzionali (10°) effettuati al largo del paraggio di Avola, gli stati di mare più frequenti provengono dal settore di traversia 80°-90°N, e risultano caratterizzati da un evento massimo di altezza d'onda significativa nel range compreso fra 5,25 m e 5,75 m. Valori di  $H_s$  elevati risultano tuttavia afferenti al settore direzionale 180°-190°N, i cui eventi massimi raggiungono un range di altezze significative comprese fra 5,75 m e 6,25 m.



CLASSI DI ONDA SIGNIFICATIVA - Hs (m)															
		calme	0.25-0.75	0.75-1.25	1.25-1.75	1.75-2.25	2.25-2.75	2.75-3.25	3.25-3.75	3.75-4.25	4.25-4.75	4.75-5.25	5.25-5.75	5.75-6.25	TOTALE
Dir (°N)															
30	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	50	86	178	36	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	311
50	60	232	927	230	63	16	4	0	0	0	0	0	0	0	1472
60	70	917	7295	1744	295	60	10	5	0	0	0	0	0	0	10326
70	80	1595	6116	1432	457	152	45	20	18	7	2	0	0	0	9844
80	90	1731	5801	2385	824	330	105	70	71	42	24	8	2	0	11393
90	100	757	2766	1044	498	243	89	79	64	78	30	2	7	5	5662
100	110	689	2596	973	469	228	140	137	117	82	68	26	7	4	5536
110	120	652	2673	865	394	215	93	104	48	24	7	2	0	0	5077
120	130	538	2713	786	303	89	36	18	22	4	0	0	0	0	4509
130	140	321	1968	700	224	35	3	10	7	1	2	0	0	0	3271
140	150	166	1212	396	134	40	18	9	5	1	0	0	0	0	1981
150	160	30	526	175	82	41	20	5	2	4	1	1	1	0	888
160	170	35	747	334	192	89	62	43	15	10	4	5	1	0	1537
170	180	14	343	449	246	158	109	59	43	25	18	9	4	5	1482
180	190	10	74	288	338	179	128	79	37	25	11	12	5	6	1192
190	200	6	221	453	275	132	76	43	37	21	10	4	3	2	1283
<b>TOTALE</b>		<b>7779</b>	<b>36156</b>	<b>12290</b>	<b>4805</b>	<b>2007</b>	<b>938</b>	<b>681</b>	<b>486</b>	<b>324</b>	<b>177</b>	<b>69</b>	<b>30</b>	<b>22</b>	<b>65764</b>

Tabella 5: Numero di apparizioni del moto ondoso al largo di Avola



CLASSI DI ONDA SIGNIFICATIVA - Hs (m)																
Dir (°N)		calme	0.25-0.75	0.75-1.25	1.25-1.75	1.75-2.25	2.25-2.75	2.75-3.25	3.25-3.75	3.75-4.25	4.25-4.75	4.75-5.25	5.25-5.75	5.75-6.25	TOTALE	
30	40	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%	0,000%	<b>0,000%</b>
40	50	0,131%	0,271%	0,055%	0,017%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	<b>0,473%</b>
50	60	0,353%	1,410%	0,350%	0,096%	0,024%	0,006%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	<b>2,238%</b>
60	70	1,394%	11,093%	2,652%	0,449%	0,091%	0,015%	0,008%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	<b>15,702%</b>
70	80	2,425%	9,300%	2,177%	0,695%	0,231%	0,068%	0,030%	0,027%	0,011%	0,003%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	<b>14,969%</b>
80	90	2,632%	8,821%	3,627%	1,253%	0,502%	0,160%	0,106%	0,108%	0,064%	0,036%	0,012%	0,003%	0,000%	0,000%	<b>17,324%</b>
90	100	1,151%	4,206%	1,587%	0,757%	0,370%	0,135%	0,120%	0,097%	0,119%	0,046%	0,003%	0,011%	0,008%	0,000%	<b>8,610%</b>
100	110	1,048%	3,947%	1,480%	0,713%	0,347%	0,213%	0,208%	0,178%	0,125%	0,103%	0,040%	0,011%	0,006%	0,000%	<b>8,418%</b>
110	120	0,991%	4,065%	1,315%	0,599%	0,327%	0,141%	0,158%	0,073%	0,036%	0,011%	0,003%	0,000%	0,000%	0,000%	<b>7,720%</b>
120	130	0,818%	4,125%	1,195%	0,461%	0,135%	0,055%	0,027%	0,033%	0,006%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	<b>6,856%</b>
130	140	0,488%	2,993%	1,064%	0,341%	0,053%	0,005%	0,015%	0,011%	0,002%	0,003%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	<b>4,974%</b>
140	150	0,252%	1,843%	0,602%	0,204%	0,061%	0,027%	0,014%	0,008%	0,002%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	<b>3,012%</b>
150	160	0,046%	0,800%	0,266%	0,125%	0,062%	0,030%	0,008%	0,003%	0,006%	0,002%	0,002%	0,002%	0,000%	0,000%	<b>1,350%</b>
160	170	0,053%	1,136%	0,508%	0,292%	0,135%	0,094%	0,065%	0,023%	0,015%	0,006%	0,008%	0,002%	0,000%	0,000%	<b>2,337%</b>
170	180	0,021%	0,522%	0,683%	0,374%	0,240%	0,166%	0,090%	0,065%	0,038%	0,027%	0,014%	0,006%	0,008%	0,000%	<b>2,254%</b>
180	190	0,015%	0,113%	0,438%	0,514%	0,272%	0,195%	0,120%	0,056%	0,038%	0,017%	0,018%	0,008%	0,009%	0,000%	<b>1,813%</b>
190	200	0,009%	0,336%	0,689%	0,418%	0,201%	0,116%	0,065%	0,056%	0,032%	0,015%	0,006%	0,005%	0,003%	0,000%	<b>1,951%</b>
<b>TOTALE</b>		<b>11,829%</b>	<b>54,978%</b>	<b>18,688%</b>	<b>7,306%</b>	<b>3,052%</b>	<b>1,426%</b>	<b>1,036%</b>	<b>0,739%</b>	<b>0,493%</b>	<b>0,269%</b>	<b>0,105%</b>	<b>0,046%</b>	<b>0,033%</b>	<b>100,000%</b>	

Tabella 6: Percentuali di apparizione del moto ondoso al largo di Avola



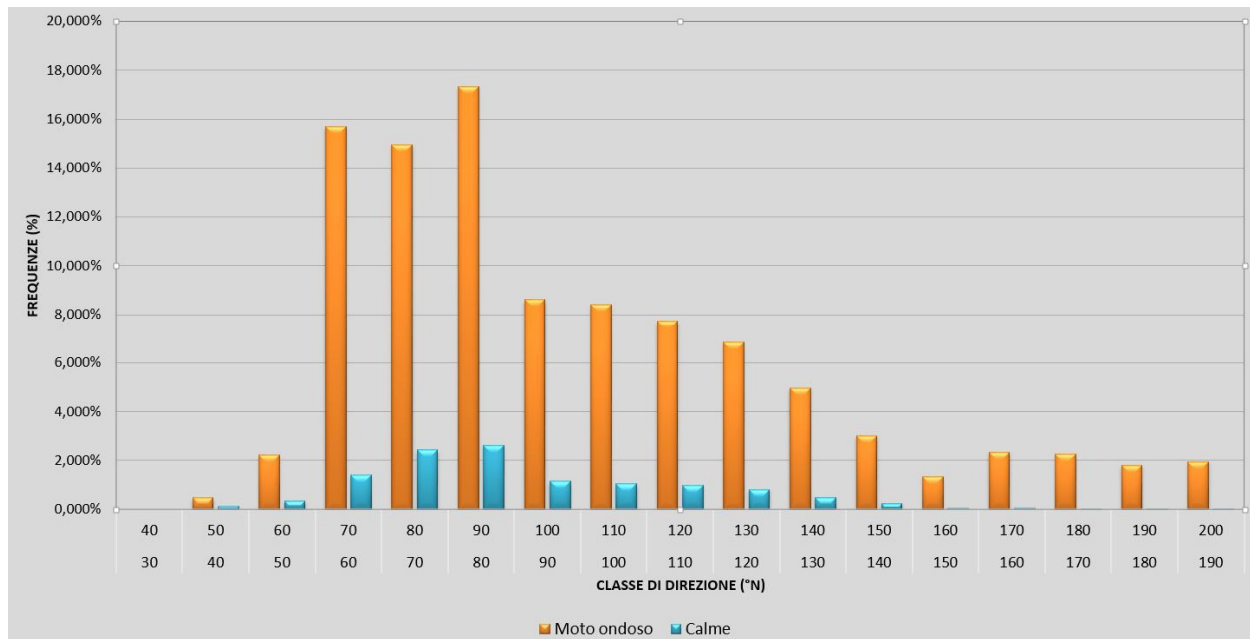


Figura 13: Percentuali di apparizione del moto ondoso al largo di Avola (si specifica che le classi di direzione indicate nell'asse delle ascisse di figura nel formato, ad esempio ,100 110 equivalgono all'intervallo direzionale compreso tra 100° N e 110°N (100-110).

In particolare, dall'analisi del clima meteomarinò al largo del paraggio di Avola derivante dalla trasposizione dei dati di Catania emergono le seguenti caratteristiche:

- la percentuale degli eventi caratterizzata da un'altezza d'onda inferiore a 0,75 m è pari al 54,978 %;
- gli eventi più frequenti provengono, per il 17,324 % del totale dei casi, dal settore di traversia 80°-90°N, per il 15,702 % dei casi dal settore 60°-70°N, e per il 14,969 % dei casi dal settore 70°-80°N
- i moti ondosi più intensi, aventi  $H_s > 2,75$  m, rappresentano il 2,688% degli eventi totali, e provengono prevalentemente dal settore angolare 80°-100°N e 170°-190°N.

## 5 CORRELAZIONI PERIODO – ALTEZZA D'ONDA

Partendo ora dall'analisi dei dati di boa di Catania e per i dati di moto ondoso trasposti al largo del paraggio di Avola, selezionati per la successiva determinazione del clima meteomarinò sottocosta, è stato possibile costruire la



correlazione tra l'altezza d'onda significativa a largo e i corrispondenti valori di periodo medio e di picco. Tali correlazioni risultano utili ai fini dell'individuazione degli eventi ondosi che occorre propagare sottocosta. Essi sono suddivisi per classi di altezza d'onda significativa a cui corrispondono, sulla base di opportune correlazioni, i valori del periodo.

La formulazione matematica scelta risulta del tipo:

$$T = \alpha \cdot H_s^\beta$$

dove:

T è il periodo dell'onda, espresso in s;

H<sub>s</sub> è l'altezza d'onda significativa, espressa in m;

α e β sono i coefficienti di correlazione.

I dati d'onda sono stati suddivisi per altezze congruenti, fissando un fattore di soglia pari a 0,5 m, indipendentemente dalla direzione di provenienza.

Per ogni altezza d'onda H<sub>si</sub> sono state tabulate tutte le n direzioni di provenienza, i corrispondenti n periodi e gli m numeri di apparizione b<sub>s</sub>. Si è ricavato il periodo riferito alla i-esima onda come  $T_i = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{s=1}^m T_{sj} \cdot b_s}{m}$ , espresso in s.

Una volta calcolato il periodo d'onda T<sub>i</sub> per ogni altezza d'onda H<sub>si</sub>, è stata cercata la regressione fra i valori di T<sub>i</sub> e i valori di H<sub>si</sub>. Le elaborazioni effettuate hanno consentito di determinare per i dati di Catania e per quelli relativi a Catania differenti valori dei coefficienti di regressione.

In Figura 14 e 15 in sono riportate, rispettivamente, le regressioni fra l'altezza significativa e il periodo medio, e fra altezza significativa e il periodo di picco per i dati della boa di Catania. Allo stesso modo, in Figura 16 e 17 sono riportate le regressioni H<sub>s</sub>-T<sub>m</sub> e H<sub>s</sub>-T<sub>p</sub> al largo del paraggio di Avola.

Con questi valori è stato ricostruito il clima medio locale per Catania e Avola, considerando le classi di altezza d'onda significativa variabili fra 0,25 m e 6,25 m per Catania ed Avola, separate da intervalli discreti di 0,5 m (vedi Tabella 7 e Tabella 8).

La lunghezza d'onda a largo, L<sub>0</sub>, è stata calcolata con la relazione ricavata dalla teoria di Stokes al 1° ordine in acque profonde, attraverso la relazione: L<sub>0</sub> = 1.56 T<sub>m</sub><sup>2</sup>.

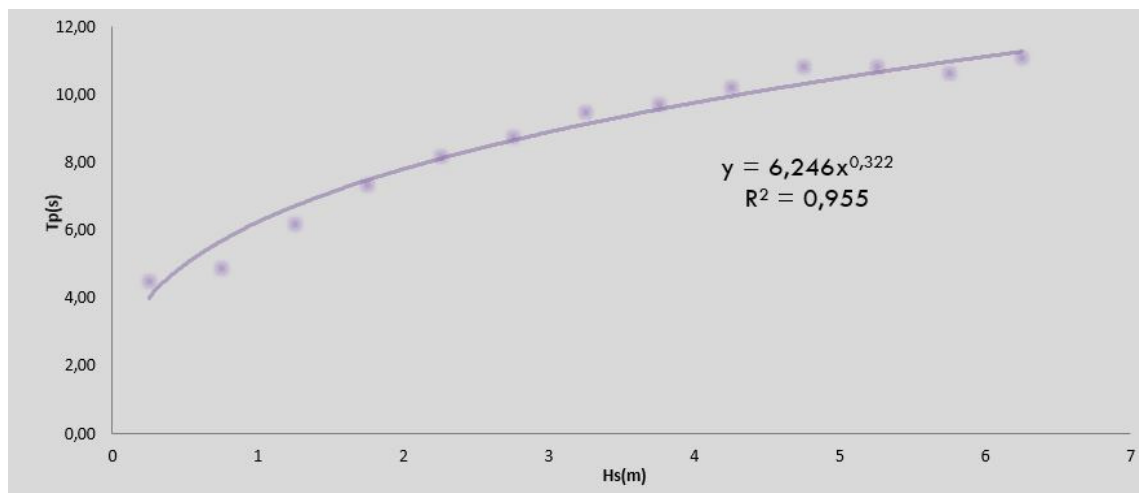


Figura 14: Curva di regressione  $H_s - T_p$  per Catania

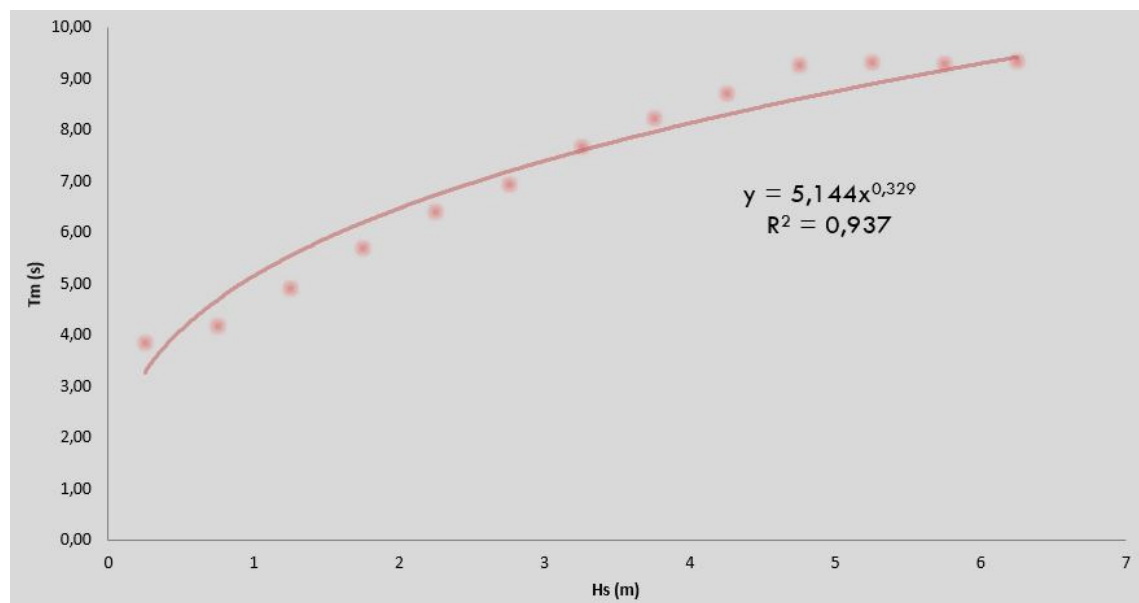


Figura 15: Curva di regressione  $H_s - T_m$  per Catania

Hs	Tp (s)	Tm (s)	Lo (m)
0,25	4,51	3,84	23,0205
0,75	4,90	4,18	27,2667
1,25	6,20	4,93	37,8432
1,75	7,34	5,69	50,5841
2,25	8,21	6,42	64,3453
2,75	8,76	6,94	75,1981



3,25	9,50	7,68	91,9695
3,75	9,74	8,24	105,9873
4,25	10,24	8,71	118,3618
4,75	10,83	9,28	134,2191
5,25	10,84	9,32	135,6182
5,75	10,63	9,30	134,9244
6,25	11,10	9,34	136,0875

Tabella 7: Andamento di altezza, periodo e lunghezza d'onda al largo di Catania

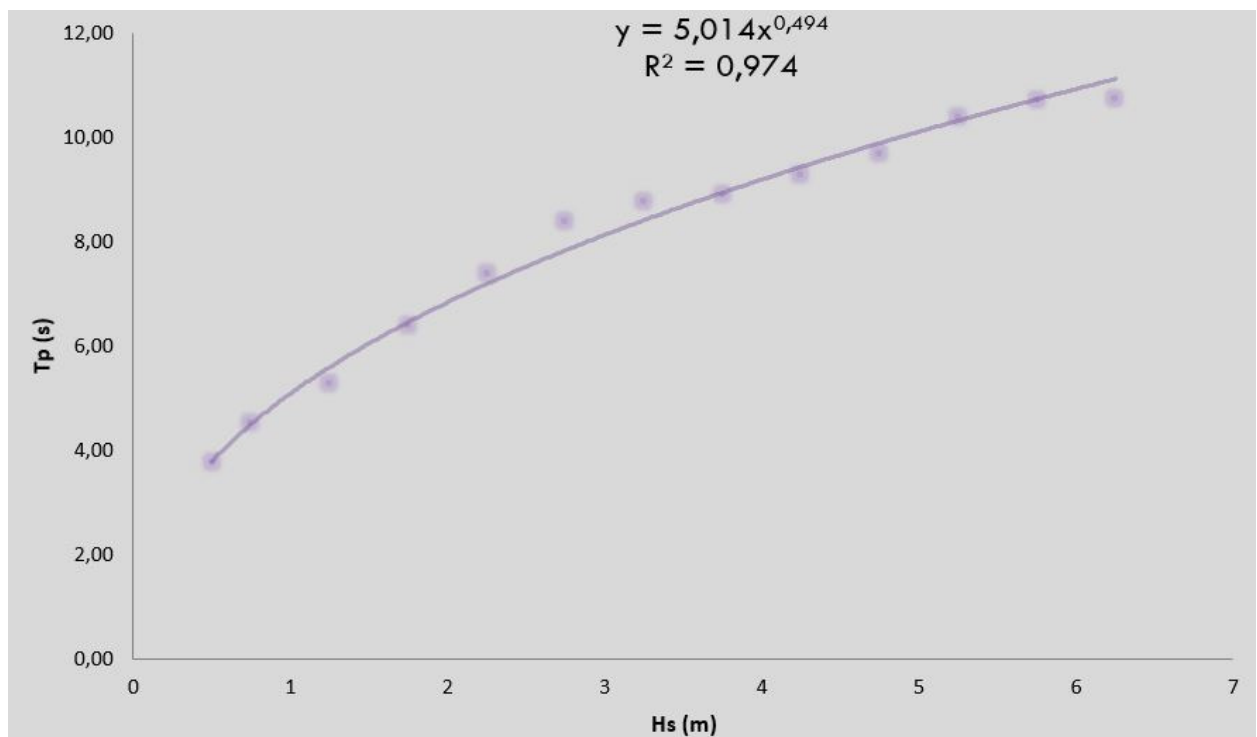


Figura 16: Curva di regressione  $H_s - T_p$  per Avola

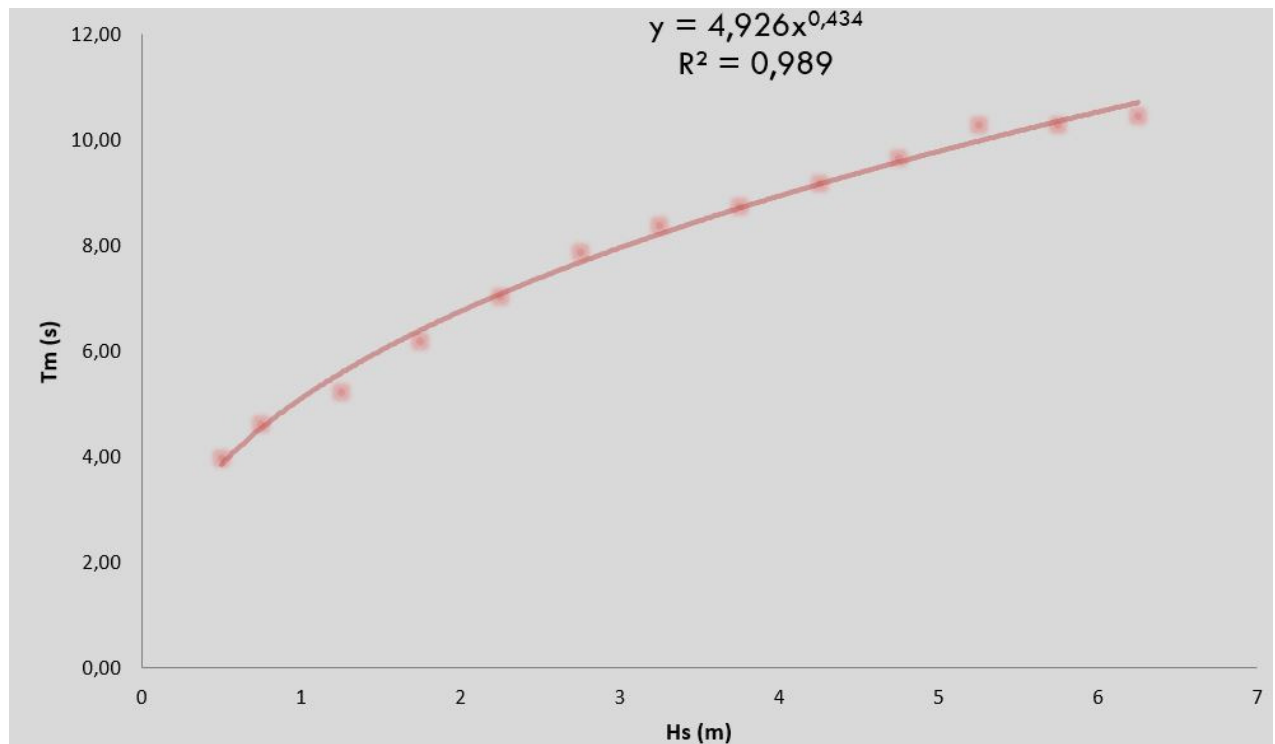


Figura 17: Curva di regressione  $H_s - T_m$  per Avola

Hs (m)	Tm (s)	Tp (s)	Lo (m)
0,5	3,98	3,78	24,69
0,75	4,62	4,53	33,29
1,25	5,23	5,27	42,73
1,75	6,20	6,39	59,89
2,25	7,04	7,38	77,32
2,75	7,87	8,37	96,68
3,25	8,39	8,76	109,68
3,75	8,74	8,90	119,18
4,25	9,19	9,26	131,68
4,75	9,67	9,67	145,87
5,25	10,29	10,39	165,23
5,75	10,28	10,70	165,00
6,25	10,47	10,73	170,90

Tabella 7: Andamento di altezza, periodo e lunghezza d'onda al largo di Avola



## 6 PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSO SOTTOCOSTA

La corretta descrizione delle trasformazioni che le onde subiscono in prossimità della costa risulta essere di estrema importanza per la comprensione dei processi di idrodinamica e morfodinamica costiera e per l'eventuale progettazione o verifica di opere marittime a difesa dei litorali. L'onda, nella sua propagazione da largo verso riva, subisce modifiche di forma, altezza, direzione e celerità.

Le caratteristiche delle onde variano a causa di fenomeni quali lo *shoaling*, la rifrazione, la diffrazione, la riflessione e il frangimento, associati a fenomeni non-lineari dovuti alle interazioni fra le stesse onde e tra le onde e le correnti. Il trasporto di massa liquida legato al frangimento genera inoltre delle correnti che possono avere intensità notevoli e che influiscono in maniera importante sull'evoluzione dei litorali.

La propagazione del clima ondoso da largo verso riva in corrispondenza del paraggio di Avola è stata effettuata con il modello numerico STWAVE.

### 6.1 Il Modulo STWAVE

**STWAVE** (*STeady-state spectra WAVE model*) è un modello alle differenze finite, che esegue le computazioni in condizioni stazionarie. STWAVE (*STeady State spectral WAVE*) è un modulo del software commerciale CEDAS, adottato dalla Coastal & Hydraulics laboratory della U.S. Army Corps of Engineering.

L'utilizzo del modulo permette di caratterizzare i parametri del moto ondoso, definendo la variazione dei parametri dell'onda quali altezza, periodo, direzione e forma dello spettro a seguito della variazione del fondale durante l'avvicinamento alla costa.

Infatti mentre al largo, in presenza di fondali profondi, il moto ondoso appare omogeneo e indisturbato, all'approssimarsi di batimetriche via via meno profonde, l'onda risulta influenzata dai fenomeni di rifrazione, diffrazione e *shoaling*, con conseguente variabilità delle caratteristiche dell'onda.

STWave costituisce quindi uno strumento ideale per definire le grandezze poste alla base del dimensionamento di un'opera.

Uno spettro d'onda rappresenta una trattazione del moto ondoso dal punto di vista statistico. Concettualmente uno spettro è una sovrapposizione lineare di onde monocromatiche. Uno spettro descrive la distribuzione dell'energia dell'onda in funzione della frequenza (spettro monodimensionale) o della frequenza e della direzione (spettro bidimensionale).

STWAVE è basato sull'assunzione che le fasi delle componenti spettrali sono casuali e di conseguenza si avrà una fase media.

Le assunzioni alla base del modello utilizzato sono:



- Le onde al largo sono spazialmente omogenee. Le variazioni dello spettro dell'onda lungo il contorno lato-mare sono raramente conosciute e per un dominio dell'ordine delle decine di chilometri ci si aspetta che siano piccole. Dunque, lo spettro che costituisce l'input per STWAVE è considerato costante lungo il lato più esterno della griglia.
- Onde, correnti e venti in stato stazionario. STWAVE è un modello in stato stazionario e una formulazione di questo tipo consente di ridurre il tempo computazionale ed è adatto per condizioni variabili lentamente nel tempo. Per la generazione delle onde, lo stato stazionario significa che i venti hanno soffiato abbastanza a lungo perché siano raggiunte le condizioni di pieno sviluppo (le onde non sono limitate dalla durata del vento).
- Rifrazione lineare e shoaling. STWAVE considera solo una rifrazione lineare e lo shoaling.
- Corrente di profondità uniforme. Le interazioni tra le correnti e le onde nel modello si basano su una corrente costante lungo la colonna d'acqua. Se si verificano grandi variazioni verticali delle correnti, i loro effetti sulla rifrazione e lo shoaling non sono rappresentati.
- L'attrito sul fondo è trascurato. Spesso è difficile determinare un coefficiente di attrito adeguato e dato che il dominio di calcolo è dell'ordine delle decine di chilometri, l'effetto cumulato della frizione nella dissipazione dell'energia risulta piccolo. Per questo motivo nel modello tale effetto è trascurato.

## 6.2 Le Equazioni del moto

Le interazioni tra le onde e le correnti sono considerate in un sistema di riferimento solidale con le correnti. I parametri dell'onda in questo riferimento sono contraddistinti dal pedice  $r$ , che significa "relativo" alla corrente, e i parametri del sistema di riferimento immobile sono indicati con il pedice  $a$  che significa "assoluto". Le relazioni di dispersione sono date in un sistema di riferimento mobile da (Jonsson et al. , 1990):

$$\omega_r^2 = gk \tanh(kd)$$

dove  $\omega$  = frequenza angolare  
 $g$  = accelerazione di gravità  
 $k$  = numero d'onda  
 $d$  = profondità

Nel sistema di riferimento assoluto l'equazione di dispersione è data da:

$$\omega_a = \omega_r + kU \cos(\delta - \alpha)$$

dove:

$U$  = velocità della corrente  
 $\delta$  = direzione della corrente relativa al sistema di riferimento (asse  $x$ )  
 $\alpha$  = direzione normale alla cresta delle onde



Il numero d'onda è determinato iterativamente sostituendo la prima equazione nella seconda

Per determinare la rifrazione e lo shoaling servono anche la celerità e la celerità di gruppo rispetto al sistema di riferimento della corrente:

$$C_r = \frac{\omega_r}{k}$$

$$C_{gr} = 0.5C_r \left( 1 + \frac{2kd}{\sinh(kd)} \right)$$

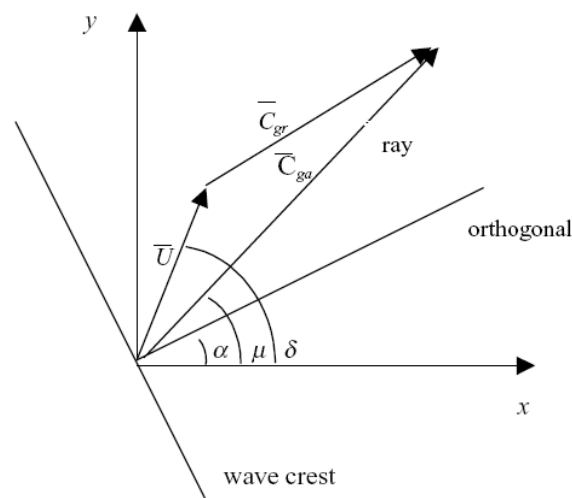


Figura 6.1: Rappresentazione dell'onda e dei vettori della corrente nel sistema di riferimento.

Le celerità nel sistema di riferimento assoluto diventano

$$C_a = C_r + U \cos(\delta - \alpha)$$

$$(C_{ga})_i = (C_{gr})_i + (U)_i$$

dove il pedice i definisce la notazione tensoriale per le componenti x e y. La direzione della celerità assoluta è anche ortogonale alla direzione dell'onda. La celerità di gruppo assoluta definisce la direzione del raggio d'onda:

$$\mu = \tan^{-1} \left( \frac{C_{gr} \sin \alpha + U \sin \delta}{C_{gr} \cos \alpha + U \cos \delta} \right)$$

La distinzione tra la direzione ortogonale all'onda (direzione perpendicolare alla cresta dell'onda) e il raggio d'onda è importante nella descrizione dell'interazione tra l'onda e le correnti. Solo in assenza di correnti le due direzioni coincidono.

La direzione ortogonale per lo stato stazionario è data da (Jonsson, 1990)





$$C_{ga} \frac{D\alpha}{DR} = - \frac{C_r k}{\sinh(2kd)} \frac{Dd}{Dn} - \frac{k_i}{k} \frac{DU_i}{Dn}$$

dove

D rappresenta la derivazione;

R è la coordinata nella direzione del raggio d'onda

n è la coordinata normale all'onda

L'equazione di stato è data da (Jonsson, 1990)

$$\left(G_{ga}\right)_i \frac{\partial}{\partial x_i} \frac{C_a C_{ga} \cos(\mu - \alpha) E(\omega_a, \alpha)}{\omega_r} = \sum \frac{S}{\omega_r}$$

dove

E = densità di energia dell'onda divisa per pw g, dove pw è la densità dell'acqua

S = termini che rappresentano l'aumento e la dissipazione di energia

### 6.3 Rifrazione e Shoaling

La rifrazione e lo shoaling sono implementati da STWAVE con l'applicazione della condizione di conservazione dell'onda. Lo spettro bidimensionale è inserito come input nella prima colonna della griglia (condizione al contorno sul lato mare). Per un punto della seconda colonna, lo spettro è calcolato tracciando un raggio per ogni componente di frequenza e di direzione dello spettro. La direzione  $\mu$  del raggio è definita attraverso la formula enunciata precedentemente.

Le derivate della velocità e le componenti normali della corrente sono stimate e sostituite nell'equazione della celerità di gruppo assoluta. L'energia è calcolata come media ponderata tra due punti della griglia. L'onda che ha subito effetto di shoaling e rifrazione nella seconda colonna è ricavata dall'ultima equazione vista.

Se l'onda incontra forti correnti, può essere bloccata da queste. Questo comporta che l'equazione della dispersione non presenti soluzione. Da un altro punto di vista ciò accade se la celerità di gruppo è troppo piccola rispetto alla grandezza della corrente e l'energia non riesce a propagarsi.

### 6.4 Diffrazione

La diffrazione è considerata in STWAVE in una maniera semplificata come una "smussatura" dell'energia dell'onda. L'equazione che definisce questa operazione è data da :

$$E_j(\omega_a, \alpha) = 0,55E_j(\omega_a, \alpha) + 0,225[E_{j+1}(\omega_a, \alpha) + E_{j-1}(\omega_a, \alpha)]$$

Dove E è la densità di energia per una data frequenza e direzione e j indica la riga della griglia. Questa equazione tiene conto della diminuzione di energia ma non della rotazione dell'onda.



## 6.5 Termini di incremento o decremento dell'energia

Zona di frangimento: viene utilizzata la formulazione di Battjes (1982):

$$H_{m0_{max}} = 0,1L \tanh(kd)$$

L'energia nello spettro è ridotta per ogni banda di frequenza e direzione.

## 6.6 Discretizzazione numerica

STWAVE è un modello numerico alle differenze finite il cui dominio di calcolo è costituito da un sistema cartesiano. Le celle della griglia sono a maglia quadra ( $\Delta x = \Delta y$ ). STWAVE opera in un sistema di coordinate locale, con l'asse x orientato in direzione che interseca la spiaggia con origine in un punto al largo e l'asse y orientato nella direzione della riva, formando un sistema di coordinate destrorso.

Le condizioni al contorno laterali possono essere considerate come "di terra" o "di mare" definendo le proprietà delle celle. Nelle celle al contorno facenti parte del dominio di propagazione dell'onda viene applicato un tipo di condizione al contorno a "gradiente nullo" che consente all'energia, coerentemente con le celle contigue, di propagarsi dentro o fuori dal dominio attraverso i contorni laterali.

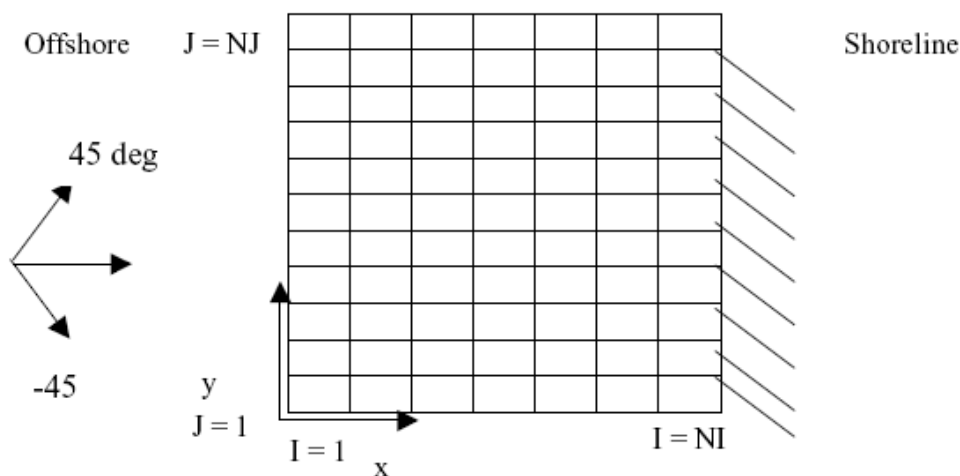


Figura 6.2: Griglia schematica di STWAVE con rappresentazione degli assi.

## 6.7 Dominio spaziale di calcolo

La batimetria dell'area oggetto di studio è stata dedotta dalla carta nautica 21 – da **Capo Passero a Capo Santa Croce** dell'Istituto Idrografico della Marina, che riporta batimetrie che vanno da 100 m al largo, sino a 2 m sotto costa, per un tratto di fondale che si estende per circa 4 km.



Le simulazioni sono state condotte considerando un sovrizzo del livello del mare dovuto all'effetto della marea. Il sovrizzo da associare alle mareggiate estreme è riportato al capitolo 9. Nella modellazione numerica con STWAVE è stato tenuto in conto di tale sovrizzo mediante un approfondimento uniforme della batimetria di calcolo del massimo valore di marea determinato (metereologica + astronomica).

Tale batimetria è stata modellata all'interno del modulo Grid Generator di CEDAS. Si ritiene ingegneristicamente accettabile la definizione della batimetria di calcolo mediante le informazioni estrapolate dalla carta nautica n.21, visto l'ampio range di variazione delle batimetrie dell'area oggetto di studio, nella fascia di fondale che va dal largo a sottocosta.

Per la trasposizione delle onde estreme dal largo a sottocosta sono state usate due griglie, una annidata nell'altra; nello specifico i valori di input (ved. Tabella n.9) sono stati impostati nel modello a grande scala dal quale successivamente sono state quindi estratte le onde trasformate alla isobata -30 m, quest'ultime in seguito utilizzate come parametro di input del modello di dettaglio a scala minore. Di seguito la batimetria determinata per il modello a grande scala che interessa un tratto di costa per uno sviluppo complessivo pari a circa 7 km ed incentrato sull'area di intervento (contrassegnata in rosso), il quale si estende dalla linea di costa sino alla batimetrica -100 m:

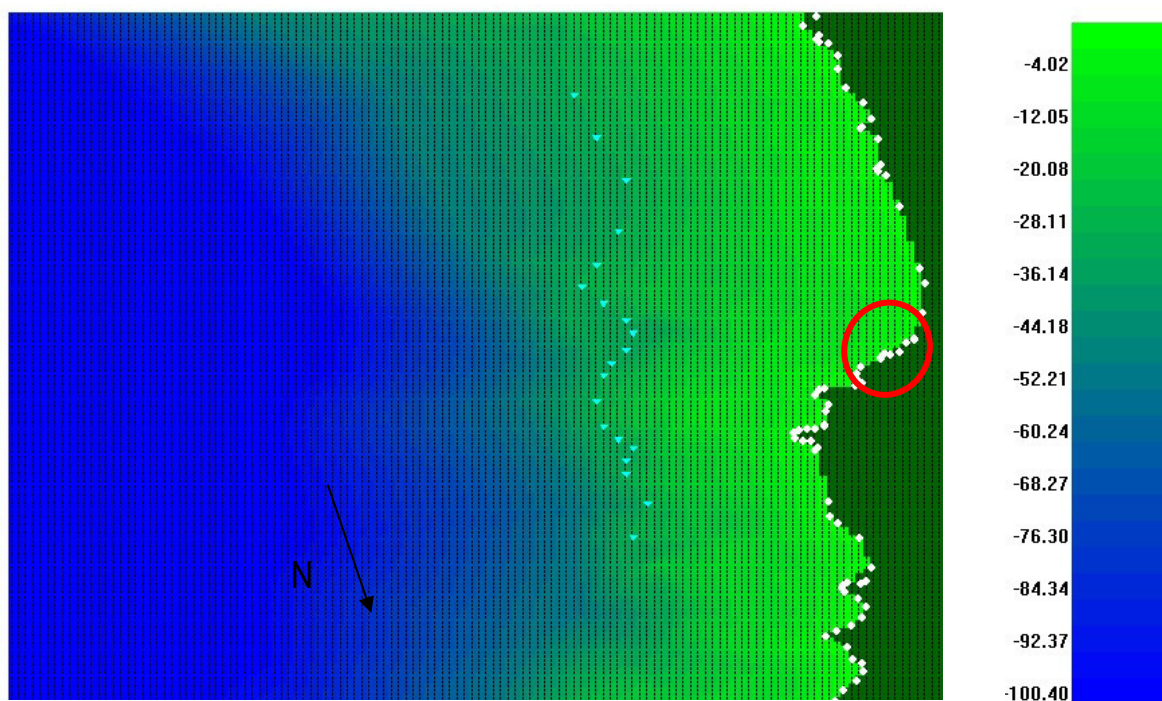


Figura 6.3: *Batimetria dell'area oggetto di intervento – modello a grande scala*



Di seguito la batimetria determinata per il modello di dettaglio che interessa un tratto di costa per uno sviluppo complessivo pari a circa 1,5 km ed incentrato sull'area di intervento (contrassegnata in rosso), il quale si estende dalla linea di costa alla batimetrica - 30 metri:

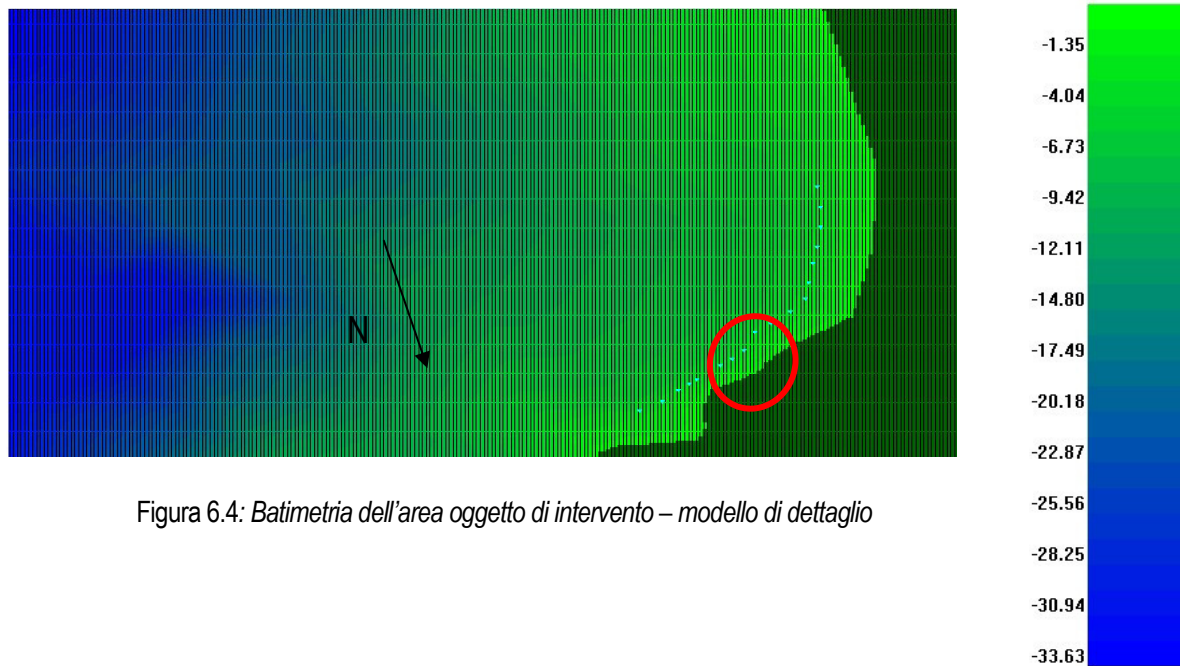


Figura 6.4: Batimetria dell'area oggetto di intervento – modello di dettaglio

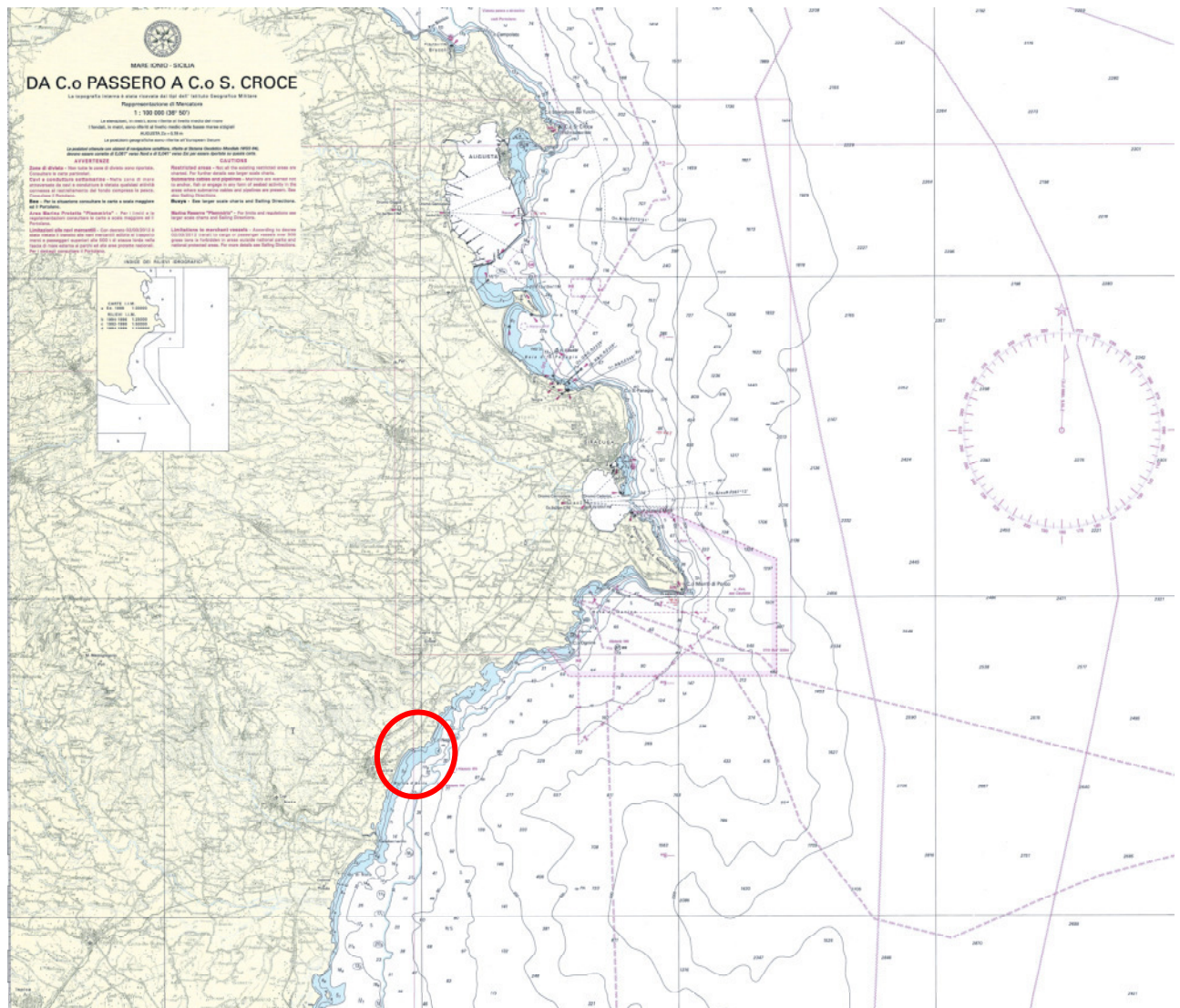


Figura 6.5: Stralcio Carta nautica n.21 con evidenziata l'area oggetto di intervento.

## 7 EVENTI ESTREMI DI MOTO ONDOSO AL LARGO E SOTTOCOSTA (ONDE DI PROGETTO)

Al fine di verificare la stabilità delle opere marittime, è necessario conoscere l'onda di progetto, ossia quel valore dell'altezza d'onda che non sia superato in lunghi periodi di tempo. Ricorrendo a metodi propri dell'analisi probabilistica, la stima dell'altezza d'onda massima probabile è stata condotta secondo il seguente approccio:

- definizione dell'evento (eccedenze o massimi e quindi il livello di soglia o l'intervallo temporale);



- scelta della distribuzione probabilistica rappresentativa degli eventi statistici (campione degli eventi);
- valutazione del numero degli eventi nella vita presunta dell'opera;
- valutazione della distribuzione di probabilità dell'altezza d'onda massima.

L'individuazione dell'onda di progetto necessita la conoscenza delle caratteristiche delle mareggiate che si sono verificate nel paraggio considerato. L'approccio probabilistico porta alla determinazione di un valore di altezza significativa,  $H_s$ , in funzione del periodo di ritorno,  $T$ . Allo stato attuale le registrazioni a disposizione della boa di Catania coprono un periodo di circa 17 anni di dati, che risulta sufficiente per la definizione di un clima meteomarinico del paraggio in esame. Per questi anni di osservazione sono disponibili infatti n. 75812 (dimensione del campione) eventi ondosi complessivi da considerare per le successive modellazioni meteomarine. Partendo dalle serie storiche dei dati di moto ondoso al largo del paraggio di Avola, riguardanti le altezze d'onda significative e la loro direzione di provenienza, coincidenti con i dati registrati dall'ondometro di Catania, è stata effettuata un'operazione di "estrazione" dalla popolazione dei dati, volta alla determinazione di un campione di eventi (altezze massime al culmine della mareggiata) omogenei e statisticamente indipendenti. A tal fine, è stato assunto che l'agitazione della superficie libera possa essere considerata una mareggiata quando l'altezza significativa supera una determinata soglia, sulla base delle analisi delle mareggiate osservate per le boe italiane della RON (Corsini et al., 2002; Cavalieri et al., 2004), per un periodo di tempo significativo, considerato almeno di durata pari a 6 ore, e quando le direzioni di provenienza degli stati di mare rimangano confinati entro un settore angolare di massimo  $30^\circ$  (Corsini et al., 2002). La durata della mareggiata è quindi individuata da due attraversamenti della soglia, mentre la misura della sua intensità è data dalla massima altezza d'onda significativa verificatasi in tale durata. La direzione di provenienza della mareggiata viene posta pari alla direzione media registrata durante l'evento. Sulla base dell'indicazione dell'Atlante delle onde nei mari italiani dell'APAT (Corsini et al., 2002) per la boa RON di Catania, è stata fissata la soglia di altezza d'onda significativa relativa ai settori direzionali di riferimento afferenti al settore di traversia in esame (Avola).

In particolare, dall'analisi della serie dei valori di altezza d'onda significativa  $H_{s_{soglia}} = 2,5$  m, al largo del paraggio di Avola sono state individuati 2209 eventi di mareggiata afferenti al settore di traversia in esame ( $35^\circ - 200^\circ$  N), per come mostrato in Tabella 8, scegliendo 3 settori direzionali principali, sulla base delle soglie di altezza significative stabilite:  $35^\circ - 90^\circ$  N,  $90^\circ - 145^\circ$  N,  $145^\circ - 200^\circ$  N, aventi ampiezza angolare rispettivamente di  $55^\circ$ ,  $55^\circ$ ,  $55^\circ$ .

La scelta dei settori direzionali per gli eventi estremi è stata effettuata in modo tale che essi siano rappresentativi di un numero sufficiente di mareggiate utili per la determinazione degli eventi estremi.

settore $35^\circ - 90^\circ$		settore $90^\circ - 145^\circ$		settore $145^\circ - 200^\circ$	
Dir ( $^\circ$ N)	Hs (m)	Dir ( $^\circ$ N)	Hs (m)	Dir ( $^\circ$ N)	Hs (m)
78,94	2,63	115,00	2,63	191,85	3,04
76,47	2,62	93,12	4,06	181,37	3,13



81,51	2,74	93,12	3,66	168,83	3,33
84,19	2,74	100,00	3,75	149,99	3,17
84,19	3,15	105,00	3,80	160,15	2,97
84,19	3,15	105,00	4,43	149,99	3,17
84,19	3,45	105,00	4,64	188,98	2,60
84,19	3,56	105,00	4,75	174,02	2,73
81,51	3,35	100,00	4,05	174,02	4,97
84,19	3,66	105,00	4,54	188,98	2,60
84,19	3,45	105,00	4,75	163,19	3,58
84,19	3,56	100,00	4,25	168,83	3,96
87,01	3,76	100,00	4,15	145,00	3,12
84,19	3,96	105,00	5,17	171,47	5,33
84,19	3,86	105,00	4,75	166,07	4,14
84,19	4,06	105,00	4,33	160,15	3,08
84,19	3,76	105,00	4,75	160,15	3,03
89,98	4,07	100,00	4,45	174,02	4,63
84,19	4,06	100,00	4,25	183,82	2,55
87,01	3,56	105,00	4,96	166,07	3,94
89,98	3,86	105,00	4,86	153,57	3,75
87,01	3,05	105,00	4,33	183,82	2,55
87,01	3,15	100,00	4,15	183,82	2,55
89,98	3,15	100,00	4,05	163,19	3,19
89,98	3,46	100,00	3,54	149,99	2,75
89,98	3,36	100,00	3,95	188,98	2,75
87,01	3,46	100,00	3,75	183,82	2,98
89,98	3,36	100,00	3,95	178,94	2,92
89,98	2,75	96,46	3,85	188,98	4,16
89,98	2,54	96,46	4,16	191,85	4,40
81,51	2,74	100,00	4,05	176,50	3,79
81,51	2,54	96,46	3,95	199,52	3,14
84,19	3,66	96,46	4,26	186,33	4,13
87,01	4,17	96,46	4,06	186,33	3,16
87,01	2,85	96,46	4,26	199,52	2,83
89,98	3,05	93,12	4,16	191,85	3,92
87,01	3,05	96,46	4,36	191,85	2,88
87,01	3,36	96,46	4,36	178,94	2,63
89,98	3,36	96,46	4,36	186,33	2,76
89,98	3,15	96,46	4,36	181,37	2,73
89,98	3,15	93,12	4,37	186,33	5,21
89,98	3,36	96,46	4,06	178,94	4,13



87,01	3,36	96,46	3,85	178,94	5,45
84,19	3,25	96,46	4,06	171,47	3,60
81,51	3,35	96,46	3,65	199,52	3,79
81,51	3,14	100,00	3,85	199,52	3,97
81,51	3,04	100,00	3,95	168,83	2,85
84,19	3,76	100,00	3,95	178,94	5,22
78,94	2,73	96,46	3,55	191,85	5,48
81,51	2,74	100,00	3,85	199,52	4,05
84,19	2,64	100,00	3,75	168,83	2,61
87,01	2,85	96,46	3,65	171,47	2,81
87,01	2,85	100,00	3,95	191,85	4,70
84,19	4,37	105,00	3,48	176,50	3,08
81,51	5,07	105,00	3,91	176,50	2,58
81,51	4,66	105,00	4,01	178,94	3,04
81,51	5,17	100,00	3,34	188,98	3,23
81,51	4,97	105,00	3,69	188,98	2,56
81,51	4,16	105,00	4,54	195,20	2,93
78,94	4,35	100,00	3,54	191,85	3,45
84,19	3,56	105,00	3,91	171,47	3,58
87,01	2,75	105,00	3,69	199,52	3,54
87,01	2,54	105,00	3,38	171,47	3,42
89,98	2,54	110,00	3,30	174,02	3,28
87,01	2,54	100,00	3,34	191,85	4,77
76,47	2,62	105,00	3,69	188,98	4,50
78,94	2,83	105,00	3,69	195,20	4,00
78,94	2,73	105,00	3,48	183,82	4,34
78,94	3,34	105,00	3,69	166,07	2,90
78,94	3,54	105,00	3,48	174,02	3,35
78,94	3,14	105,00	3,38	174,02	3,05
78,94	3,34	110,00	3,10	168,83	2,79
81,51	3,35	105,00	3,38	171,47	3,99
78,94	3,34	110,00	2,80	166,07	2,76
78,94	2,63	105,00	2,53	171,47	3,01
74,08	2,71	93,12	2,54	199,52	3,82
74,08	2,71	93,12	3,55	199,52	3,11
76,47	2,62	93,12	3,45	181,37	5,54
74,08	2,51	93,12	3,66	186,33	2,52
87,01	3,36	93,12	3,76	195,20	2,75
87,01	3,86	93,12	3,45	191,85	3,11
87,01	4,17	96,46	3,35	195,20	2,63





89,98	4,07	96,46	3,75	183,82	6,09
87,01	4,17	93,12	3,05	171,47	2,50
84,19	3,76	96,46	3,24	188,98	3,35
87,01	3,66	93,12	3,05	188,98	2,90
87,01	3,25	93,12	3,15	191,85	2,64
89,98	3,05	93,12	3,05	181,37	2,55
84,19	2,64	96,46	2,53	183,82	3,11
84,19	2,54	105,00	3,06	174,02	3,08
89,98	2,95	105,00	3,27	199,52	3,57
87,01	2,95	100,00	2,63	188,98	4,68
87,01	2,75	100,00	3,14	181,37	5,23
89,98	2,85	100,00	3,04	195,20	2,75
81,51	2,54	96,46	2,94	191,85	2,50
81,51	2,94	93,12	2,54	178,94	2,98
84,19	2,54	105,00	2,74	195,20	2,81
76,47	2,62	105,00	3,80	188,98	2,79
81,51	3,14	93,12	3,76	195,20	2,81
87,01	3,15	93,12	2,64	181,37	3,84
89,98	3,46	96,46	2,74	178,94	2,69
87,01	3,97	100,00	2,63	191,85	2,50
89,98	3,66	100,00	2,63	181,37	3,57
87,01	3,46	100,00	2,63	199,52	3,11
89,98	3,86	100,00	2,53	195,20	3,64
89,98	3,56	105,00	2,53	188,98	3,35
89,98	3,56	93,12	2,74	191,85	3,38
89,98	3,25	115,00	2,94	188,98	2,60
89,98	3,86	120,00	3,40	181,37	3,66
81,51	2,94	105,00	4,12	195,20	2,72
87,01	3,66	100,00	4,35	188,98	3,72
84,19	3,76	100,00	4,56	199,52	2,53
84,19	4,57	96,46	4,46	178,94	3,14
87,01	4,27	96,46	4,56	181,37	2,68
87,01	5,19	96,46	4,56	195,20	2,90
84,19	5,18	96,46	4,26	183,82	2,94
89,98	5,39	96,46	4,06	186,33	2,84
89,98	5,39	93,12	3,66	181,37	2,50
81,51	2,74	96,46	3,65	181,37	3,13
84,19	3,15	96,46	3,35	181,37	2,68
87,01	3,15	96,46	2,94	176,50	2,81
89,98	3,15	125,00	2,73	181,37	2,59



89,98	2,75	125,00	3,36	183,82	3,36
89,98	3,56	120,00	3,09	191,85	2,57
89,98	3,66	115,00	2,84	195,20	2,54
89,98	3,56	110,00	2,60	178,94	2,56
89,98	3,66	110,00	2,50	183,82	5,07
89,98	3,97	105,00	3,59	183,82	4,09
89,98	3,76	105,00	3,38	186,33	3,20
89,98	3,97	105,00	2,96	188,98	2,75
89,98	4,27	105,00	3,38	186,33	3,20
87,01	3,76	105,00	3,69	199,52	2,56
89,98	3,56	100,00	3,24	186,33	3,77
87,01	3,46	100,00	2,73	183,82	3,06
87,01	3,46	105,00	2,64	181,37	2,95
87,01	3,46	110,00	3,70	195,20	3,58
87,01	3,25	105,00	4,01	183,82	3,83
87,01	3,15	105,00	4,01	188,98	3,05
87,01	3,05	100,00	4,35	191,85	2,91
87,01	3,15	100,00	4,66	186,33	2,84
87,01	3,25	105,00	4,86	191,85	3,38
87,01	3,15	100,00	4,56	181,37	3,98
89,98	3,25	100,00	5,06	181,37	2,68
87,01	2,54	100,00	4,86	183,82	2,98
76,47	2,52	105,00	4,75	181,37	3,53
78,94	2,63	100,00	4,66	181,37	4,51
78,94	2,73	100,00	4,76	183,82	3,83
87,01	2,64	100,00	5,26	195,20	3,88
89,98	2,64	100,00	5,26	181,37	3,17
89,98	2,75	100,00	5,16	181,37	2,77
81,51	2,74	100,00	5,16	178,94	3,20
81,51	2,84	100,00	4,76	188,98	2,68
81,51	3,04	100,00	5,26	176,50	2,68
81,51	3,25	96,46	4,56	181,37	2,50
81,51	3,14	100,00	4,66	186,33	2,64
81,51	3,35	100,00	5,16	191,85	2,50
81,51	3,45	96,46	4,36	188,98	2,83
81,51	3,55	96,46	4,16	188,98	2,86
81,51	3,85	96,46	4,16	188,98	2,75
81,51	3,25	100,00	3,85	186,33	2,80
81,51	3,75	100,00	3,44	174,02	2,64
81,51	3,75	100,00	2,63	174,02	2,73



84,19	3,45	100,00	2,53	188,98	2,64
81,51	3,35	140,00	2,66	183,82	2,55
81,51	3,25	105,00	2,85	181,37	2,68
81,51	3,14	110,00	3,20	178,94	2,85
84,19	3,25	110,00	3,30	191,85	2,94
84,19	2,64	110,00	3,20	183,82	3,23
84,19	2,54	110,00	3,50	191,85	2,57
89,98	4,68	115,00	3,85	199,52	3,29
89,98	4,58	115,00	3,85	181,37	5,81
89,98	3,86	115,00	3,44	183,82	2,55
78,94	2,63	115,00	3,95	199,52	3,54
78,94	2,83	115,00	3,44	188,98	2,97
78,94	3,14	115,00	3,44	186,33	3,20
76,47	3,12	110,00	3,30	178,94	2,88
78,94	3,34	115,00	3,85	191,85	2,77
78,94	3,54	115,00	3,55	191,85	3,48
78,94	3,44	115,00	3,14	178,94	3,04
78,94	3,84	115,00	3,44	188,98	2,60
78,94	3,94	115,00	3,24	186,33	3,61
78,94	3,74	120,00	3,09	191,85	5,07
76,47	3,73	120,00	3,19	145,00	3,26
78,94	3,54	110,00	2,60	178,94	2,98
78,94	3,64	96,46	2,53	186,33	2,72
78,94	3,84	93,12	2,64	181,37	3,40
76,47	3,73	105,00	2,74	181,37	3,13
76,47	3,63	115,00	2,63	183,82	3,15
87,01	2,75	110,00	2,80	178,94	2,56
81,51	2,54	115,00	2,94	178,94	2,82
84,19	2,84	115,00	3,14	191,85	3,52
78,94	2,93	115,00	3,04	199,52	2,78
81,51	3,04	115,00	3,04	191,85	5,14
87,01	3,76	120,00	3,19	176,50	3,47
84,19	3,15	120,00	3,09	174,02	3,19
87,01	3,05	115,00	3,14	171,47	2,54
87,01	3,36	120,00	3,09	186,33	4,81
87,01	3,36	105,00	2,64	195,20	3,46
87,01	3,56	110,00	3,00	199,52	3,29
89,98	3,36	105,00	3,17	174,02	2,76
76,47	2,92	110,00	3,10	199,52	3,31
76,47	3,12	110,00	3,20	178,94	4,20



76,47	3,22	110,00	3,20	195,20	3,46
78,94	3,34	105,00	3,17	199,52	2,50
76,47	3,32	110,00	3,20	176,50	2,55
76,47	3,12	110,00	3,10	166,07	2,84
76,47	2,82	115,00	3,14	191,85	5,34
78,94	2,63	115,00	3,14	171,47	2,93
81,51	2,64	115,00	3,24	166,07	2,62
87,01	2,95	115,00	3,04	183,82	2,85
87,01	2,85	96,46	3,14	176,50	4,94
87,01	3,05	110,00	3,40	199,52	4,71
89,98	3,66	110,00	3,10	156,95	2,83
78,94	2,53	115,00	3,24	171,47	3,78
81,51	2,74	115,00	3,34	160,15	2,70
81,51	3,04	110,00	3,30	176,50	5,26
81,51	3,04	115,00	3,44	160,15	2,63
81,51	3,04	115,00	3,44	168,83	3,03
87,01	2,64	115,00	3,44	166,07	2,78
87,01	2,64	115,00	3,14	163,19	3,03
87,01	3,15	110,00	3,00	168,83	3,49
87,01	3,36	105,00	3,38	153,57	2,53
87,01	3,25	110,00	3,10	166,07	3,51
87,01	3,25	110,00	3,20	166,07	3,80
87,01	3,56	110,00	3,00	153,57	2,87
89,98	3,86	110,00	3,10	153,57	2,79
89,98	3,97	105,00	3,69	153,57	2,65
89,98	3,56	110,00	3,30	174,02	4,28
76,47	3,02	115,00	3,34	156,95	2,71
76,47	3,22	110,00	3,50	171,47	3,60
78,94	3,54	110,00	3,70	174,02	2,51
78,94	3,84	110,00	3,50	181,37	2,81
78,94	4,35	100,00	3,64	181,37	3,93
81,51	4,77	110,00	3,60	178,94	4,61
81,51	4,66	105,00	4,01	183,82	2,89
81,51	4,46	110,00	3,50	199,52	2,96
81,51	4,46	105,00	3,48	178,94	3,20
84,19	4,57	105,00	3,59	176,50	2,60
84,19	4,47	96,46	3,45	171,47	3,40
84,19	4,88	100,00	3,64	163,19	3,17
84,19	4,67	100,00	3,54	156,95	2,55
84,19	4,67	100,00	3,44	153,57	2,57



84,19	4,67	100,00	3,24	156,95	2,58
84,19	4,57	100,00	3,54	166,07	3,10
84,19	4,27	93,12	3,35	149,99	2,59
81,51	4,46	100,00	3,24	171,47	2,79
81,51	4,46	100,00	3,44	168,83	2,92
84,19	4,47	100,00	3,14	171,47	3,23
81,51	4,26	96,46	3,14	163,19	2,66
84,19	4,77	100,00	3,34	199,52	3,85
84,19	4,27	93,12	3,55	171,47	2,54
84,19	4,06	100,00	3,34	191,85	3,15
81,51	3,95	100,00	3,54	176,50	2,63
84,19	4,06	96,46	3,35	188,98	2,60
84,19	3,96	100,00	3,64	178,94	2,56
84,19	3,86	96,46	3,55	195,20	2,69
81,51	4,46	96,46	3,35	178,94	3,20
84,19	3,86	93,12	3,55	191,85	2,91
84,19	3,96	96,46	3,85	178,94	2,56
81,51	3,95	96,46	3,65	166,07	2,71
84,19	4,27	96,46	3,65	163,19	3,03
84,19	4,06	93,12	3,76	171,47	4,07
81,51	3,75	96,46	3,55	153,57	2,57
84,19	3,56	96,46	3,55	171,47	4,35
84,19	3,45	93,12	3,76	160,15	3,12
81,51	3,55	93,12	3,96	171,47	3,56
84,19	3,25	96,46	3,95	166,07	2,73
84,19	3,45	93,12	3,86	176,50	3,76
84,19	3,45	96,46	3,95	176,50	3,94
81,51	3,45	93,12	4,27	168,83	2,70
84,19	3,25	93,12	4,06	183,82	2,89
84,19	3,35	96,46	4,06	186,33	2,60
84,19	2,95	93,12	3,86	188,98	2,60
84,19	2,74	93,12	4,06	181,37	2,86
89,98	2,64	93,12	3,86	195,20	2,96
89,98	2,54	93,12	3,96	181,37	5,14
69,43	2,77	96,46	3,65	191,85	2,91
89,98	3,13	96,46	3,65	178,94	5,77
87,01	2,83	93,12	3,55	174,02	4,53
76,47	2,56	96,46	3,75	160,15	3,79
84,19	2,60	96,46	3,75	153,57	4,26
78,94	2,99	96,46	3,35	145,00	3,74



89,98	2,92	96,46	3,55	160,15	2,99
59,73	2,50	96,46	3,45	174,02	2,83
89,98	2,52	96,46	3,24	195,20	3,08
87,01	2,93	96,46	3,14	168,83	2,53
69,43	2,85	96,46	3,14	168,83	2,88
76,47	3,31	96,46	3,04	176,50	4,13
84,19	2,92	96,46	3,14	174,02	3,30
78,94	2,96	100,00	3,24	199,52	3,49
78,94	2,73	96,46	2,94	181,37	5,81
89,98	2,56	105,00	2,64	188,98	4,46
71,74	2,94	105,00	2,96	176,50	3,21
89,98	3,13	100,00	2,63	188,98	3,87
71,74	2,70	96,46	2,64	186,33	3,37
56,74	2,53	96,46	2,53	181,37	4,96
71,74	2,59	120,00	2,68	178,94	6,22
78,94	3,84	130,00	2,91	174,02	4,28
76,47	3,83	93,12	3,15	195,20	5,35
76,47	3,83	96,46	3,14	195,20	4,60
78,94	3,34	96,46	3,14	188,98	4,46
71,74	2,53	93,12	2,64	199,52	3,14
69,43	2,90	93,12	3,86	171,47	2,56
69,43	2,76	93,12	3,96	176,50	3,42
74,08	2,66	93,12	4,27	191,85	3,38
87,01	2,59	93,12	3,96	178,94	2,85
84,19	2,55	93,12	3,96	183,82	2,60
84,19	2,95	93,12	4,16	188,98	2,83
81,51	2,77	93,12	3,55	191,85	2,64
84,19	2,92	93,12	3,76	186,33	3,49
89,98	3,76	93,12	3,96	186,33	3,20
67,12	2,85	93,12	3,55	178,94	2,56
87,01	3,00	93,12	3,86	188,98	2,64
81,51	2,64	93,12	3,76	156,95	4,21
64,78	2,68	93,12	3,86	160,15	4,75
74,08	3,01	93,12	3,76	160,15	4,61
64,78	2,53	93,12	3,76	160,15	4,07
74,08	2,70	93,12	3,45	168,83	4,84
89,98	2,76	93,12	3,76	153,57	3,61
64,78	2,53	93,12	3,25	153,57	3,33
78,94	2,90	96,46	3,45	166,07	3,83
81,51	3,37	100,00	3,44	163,19	2,95



81,51	3,41	100,00	3,54	163,19	2,85
78,94	3,11	96,46	3,45	171,47	3,25
78,94	2,76	96,46	3,75	168,83	2,79
81,51	3,28	96,46	3,85	174,02	3,19
81,51	3,31	100,00	3,64	191,85	2,54
81,51	3,46	100,00	3,75	188,98	2,53
81,51	3,09	100,00	3,64	191,85	2,84
81,51	2,98	100,00	3,95	181,37	3,26
81,51	2,76	100,00	3,64	188,98	3,31
84,19	2,77	100,00	3,44	186,33	3,73
81,51	2,82	100,00	3,54	186,33	3,24
84,19	2,85	93,12	5,79	183,82	4,13
84,19	3,03	93,12	5,89	186,33	3,24
81,51	2,94	96,46	5,37	181,37	4,02
81,51	2,73	96,46	5,27	199,52	3,29
84,19	2,81	93,12	5,79	186,33	4,77
81,51	2,93	96,46	5,37	191,85	4,40
84,19	2,54	96,46	5,68	156,95	2,55
84,19	2,95	100,00	5,06	178,94	6,09
81,51	2,56	100,00	4,86	163,19	2,84
81,51	2,50	100,00	4,86	191,85	6,09
		100,00	4,86	171,47	3,50
		100,00	4,45	171,47	3,25
		100,00	5,16	174,02	3,69
		100,00	4,76	168,83	2,90
		100,00	4,66	171,47	2,64
		105,00	4,22	199,52	3,04
		100,00	4,66	191,85	3,55
		100,00	4,66	199,52	2,78
		100,00	4,56	183,82	4,72
		100,00	4,45	183,82	4,94
		100,00	4,35	178,94	3,49
		100,00	4,45	188,98	4,09
		100,00	4,56	183,82	3,32
		100,00	4,35	178,94	2,56
		100,00	4,66	186,33	6,01
		100,00	4,25	191,85	5,24
		100,00	4,45	199,52	4,33
		100,00	4,35	186,33	2,76
		100,00	4,56	186,33	4,41



		96,46	4,36	178,94	3,94
		96,46	4,36	160,15	3,27
		96,46	4,26	171,47	4,54
		100,00	4,45	153,57	2,81
		96,46	3,95	160,15	2,99
		100,00	4,05	166,07	3,15
		96,46	4,06	160,15	2,85
		96,46	3,75	176,50	4,87
		96,46	3,75	168,83	3,24
		96,46	3,95	168,83	3,24
		96,46	3,55	174,02	3,62
		96,46	3,65	160,15	2,53
		96,46	3,35	174,02	3,74
		96,46	3,55	176,50	4,44
		96,46	2,74	160,15	2,60
		93,12	2,64	171,47	3,90
		93,12	3,25	166,07	2,67
		93,12	2,84	171,47	3,42
		93,12	3,35	166,07	2,86
		93,12	3,15	163,19	2,54
		93,12	3,15	171,47	3,27
		93,12	3,35	174,02	3,51
		93,12	3,25	166,07	2,54
		93,12	3,66	174,02	2,85
		93,12	3,76	178,94	2,69
		93,12	3,86	183,82	3,92
		93,12	3,25	195,20	2,87
		93,12	3,25	188,98	2,86
		96,46	3,35	181,37	3,04
		96,46	3,04	181,37	5,27
		100,00	3,24	178,94	4,10
		100,00	3,24	163,19	2,63
		100,00	3,14	188,98	5,61
		100,00	3,04	166,07	2,81
		100,00	3,34	168,83	3,14
		100,00	3,04	188,98	6,10
		100,00	2,73	176,50	3,66
		96,46	3,14	171,47	2,60
		96,46	3,04	171,47	2,64
		96,46	3,14	188,98	4,98





		96,46	2,84	178,94	2,79
		100,00	2,73	176,50	3,73
		120,00	3,40	176,50	2,63
		105,00	3,59	153,57	4,79
		105,00	3,59	160,15	4,90
		105,00	4,12	156,95	5,33
		105,00	3,91	160,15	5,20
		100,00	3,85	166,07	4,70
		105,00	4,33	171,47	4,43
		100,00	3,95	174,02	3,46
		100,00	4,05	168,83	2,63
		105,00	4,86	195,20	3,02
		105,00	4,86	191,85	3,38
		105,00	4,64	195,20	3,46
		100,00	4,35	178,94	2,88
		100,00	4,15	166,07	2,73
		100,00	4,15	178,94	4,49
		105,00	4,54	178,94	4,13
		100,00	3,95	191,85	4,53
		100,00	4,56	178,94	4,13
		100,00	3,85	174,02	2,80
		100,00	4,25	199,52	2,78
		100,00	3,85	191,85	3,32
		100,00	4,05	195,20	3,11
		96,46	4,36	186,33	2,92
		100,00	4,35	183,82	3,19
		100,00	4,15	188,98	3,16
		96,46	3,45	181,37	3,44
		96,46	3,65	181,37	3,35
		105,00	3,48	195,20	3,94
		105,00	3,91	171,47	2,77
		105,00	4,12	186,33	5,13
		105,00	3,59	178,94	3,20
		105,00	3,27	186,33	3,16
		105,00	4,01	181,37	3,57
		105,00	3,69	191,85	2,98
		110,00	3,40	191,85	3,11
		105,00	3,27	188,98	5,17
		105,00	3,27	166,07	4,45
		100,00	3,44	163,19	3,90



		100,00	3,24	149,99	2,96
		100,00	3,14	171,47	3,58
		96,46	3,14	188,98	5,58
		96,46	3,75	178,94	4,87
		100,00	2,53	168,83	2,92
		100,00	3,44	166,07	2,91
		100,00	3,14	176,50	3,76
		100,00	3,14	178,94	2,88
		100,00	2,83	160,15	2,53
		96,46	2,53	160,15	2,57
		100,00	2,53	174,02	2,96
		96,46	2,64	181,37	3,98
		100,00	2,94	178,94	2,98
		115,00	2,74	176,50	2,60
		115,00	2,94	186,33	3,53
		125,00	2,52	171,47	2,79
		125,00	3,05	176,50	3,89
		125,00	3,15	176,50	3,52
		125,00	2,94	195,20	3,88
		120,00	2,57	171,47	2,62
		115,00	3,24	168,83	2,77
		110,00	3,10	178,94	4,13
		110,00	3,50	176,50	3,02
		110,00	4,10	199,52	3,85
		110,00	4,30	174,02	4,74
		100,00	4,86	171,47	3,23
		110,00	4,20	168,83	2,55
		100,00	4,05	171,47	2,64
		105,00	3,69	181,37	3,57
		100,00	4,45	183,82	4,17
		100,00	4,25	191,85	3,04
		100,00	3,54	181,37	3,22
		96,46	3,04	195,20	3,52
		100,00	3,14	174,02	3,19
		110,00	3,10	176,50	3,97
		105,00	2,53	176,50	4,23
		96,46	2,84	160,15	2,53
		100,00	3,14	168,83	3,35
		96,46	3,24	166,07	2,90
		100,00	3,34	156,95	2,52



		100,00	3,14	174,02	3,85
		96,46	4,16	156,95	2,68
		100,00	3,34	168,83	3,33
		100,00	3,95	145,00	2,68
		100,00	4,25	171,47	4,27
		105,00	4,01	176,50	6,05
		100,00	4,66	160,15	3,76
		105,00	4,33	166,07	3,92
		100,00	4,05	171,47	6,10
		100,00	3,85	160,15	4,46
		100,00	3,85	149,99	3,80
		105,00	4,12	160,15	4,75
		96,46	4,36	168,83	5,55
		105,00	4,54	156,95	3,93
		110,00	3,90	153,57	3,93
		105,00	3,91	149,99	3,50
		105,00	4,75	149,99	2,50
		96,46	3,85	166,07	3,17
		96,46	3,95	153,57	2,66
		105,00	3,80	166,07	3,29
		100,00	4,45	160,15	2,59
		100,00	3,95	171,47	2,89
		100,00	4,15	176,50	2,68
		96,46	3,85	195,20	2,63
		100,00	3,64	195,20	2,99
		100,00	3,85	195,20	2,96
		100,00	3,54	191,85	3,72
		100,00	4,05	191,85	3,69
		100,00	4,05	174,02	2,60
		105,00	3,48	174,02	2,78
		96,46	3,85	176,50	3,29
		110,00	3,40	183,82	2,64
		110,00	3,70	186,33	2,84
		105,00	3,38	186,33	3,16
		105,00	3,27	178,94	3,17
		105,00	3,27	195,20	2,69
		115,00	3,34	181,37	2,73
		105,00	2,74	181,37	3,13
		96,46	2,53	181,37	3,62
		96,46	2,53	178,94	2,79



		100,00	2,63	174,02	2,64
		96,46	2,53	186,33	4,01
		105,00	3,48	176,50	2,52
		105,00	3,38	195,20	2,93
		100,00	3,24	191,85	2,94
		100,00	3,44	188,98	2,60
		100,00	3,34	186,33	2,80
		105,00	3,80	181,37	3,04
		105,00	4,22	188,98	2,53
		100,00	3,85	181,37	3,75
		100,00	4,15	186,33	2,92
		96,46	4,16	191,85	2,94
		100,00	3,75	191,85	3,32
		96,46	3,85	199,52	2,58
		100,00	3,75	195,20	2,99
		96,46	4,16	191,85	3,38
		96,46	3,85	186,33	3,89
		96,46	3,75	186,33	2,64
		100,00	4,15	183,82	2,64
		100,00	4,15	181,37	3,53
		100,00	4,15	183,82	2,51
		100,00	3,95	186,33	5,33
		100,00	4,25	188,98	4,05
		96,46	3,95	181,37	4,65
		100,00	4,05	171,47	2,64
		100,00	4,66	186,33	3,41
		96,46	4,46	181,37	3,26
		100,00	4,15	178,94	4,20
		100,00	4,35	183,82	4,04
		96,46	4,26	191,85	3,35
		100,00	4,25	191,85	3,15
		100,00	4,66	183,82	3,11
		96,46	4,06	183,82	2,64
		96,46	4,16	186,33	3,20
		100,00	3,54	181,37	3,17
		96,46	4,26	181,37	3,13
		96,46	4,16	181,37	2,99
		100,00	4,05	188,98	2,64
		96,46	4,26	178,94	2,66
		96,46	4,46	181,37	2,68



		96,46	4,16	168,83	3,29
		100,00	4,45	171,47	3,64
		100,00	5,06	171,47	3,95
		100,00	4,76	174,02	3,55
		100,00	4,56	199,52	4,07
		100,00	4,86	183,82	5,87
		96,46	4,66	183,82	2,81
		100,00	4,25	183,82	2,89
		100,00	4,35	181,37	2,81
		100,00	4,56	186,33	2,56
		100,00	4,56	188,98	2,68
		100,00	3,75	181,37	3,40
		100,00	4,05	191,85	2,64
		105,00	3,80	181,37	3,35
		100,00	3,85	160,15	3,64
		105,00	3,48	199,52	5,87
		105,00	3,38	163,19	3,58
		105,00	3,69	145,00	3,23
		100,00	3,34	171,47	4,62
		100,00	3,14	176,50	5,47
		105,00	3,27	171,47	3,29
		105,00	3,27	199,52	2,53
		96,46	2,53	195,20	2,51
		110,00	2,50	188,98	3,20
		110,00	2,50	183,82	3,28
		110,00	3,10	188,98	2,68
		110,00	2,90	178,94	2,60
		110,00	3,30	199,52	2,53
		105,00	3,48	191,85	2,54
		105,00	3,80	186,33	2,56
		110,00	3,50	178,94	2,60
		105,00	3,69	178,94	2,95
		110,00	3,90	181,37	3,93
		110,00	3,80	183,82	2,72
		110,00	3,70	188,98	2,94
		110,00	4,00	183,82	5,24
		105,00	4,12	199,52	3,09
		110,00	3,80	191,85	4,74
		105,00	4,01	178,94	3,85
		105,00	4,22	176,50	3,42



		110,00	3,90	174,02	2,96
		105,00	4,01	176,50	3,26
		110,00	3,80	171,47	2,62
		105,00	3,59	174,02	2,85
		110,00	3,30	176,50	3,05
		110,00	3,60	195,20	3,52
		110,00	3,70	188,98	3,46
		110,00	3,70	188,98	2,83
		105,00	3,69	199,52	2,53
		110,00	3,10	183,82	3,75
		110,00	3,10	188,98	3,01
		110,00	3,40	181,37	2,99
		110,00	3,10	183,82	2,64
		110,00	3,10	181,37	3,53
		110,00	3,30	178,94	2,95
		105,00	3,59	195,20	4,09
		105,00	3,38	176,50	4,97
		110,00	2,90	168,83	3,18
		110,00	2,80	174,02	4,28
		115,00	3,04	171,47	3,36
		115,00	2,84	199,52	3,90
		110,00	2,50	171,47	3,58
		105,00	2,85	199,52	3,79
		105,00	2,85	156,95	2,90
		105,00	3,27	174,02	4,94
		110,00	3,10	160,15	3,36
		110,00	3,10	171,47	4,84
		105,00	3,38	149,99	2,53
		105,00	3,38	160,15	2,79
		105,00	3,48	171,47	3,50
		105,00	3,38	160,15	2,53
		110,00	3,20	171,47	3,68
		105,00	3,17	168,83	3,70
		105,00	2,85	166,07	3,22
		100,00	2,83	174,02	3,10
		96,46	3,04	195,20	4,60
		93,12	2,74	195,20	4,66
		125,00	2,84	178,94	4,36
		125,00	3,47	178,94	3,81
		120,00	3,40	195,20	3,49



		125,00	3,26	191,85	3,42
		120,00	2,68	195,20	3,08
		105,00	2,53	186,33	4,17
		105,00	2,85	191,85	4,06
		120,00	3,40	176,50	3,23
		120,00	3,40	188,98	2,71
		115,00	3,14	176,50	2,55
		110,00	4,10	188,98	3,42
		110,00	4,10	191,85	3,62
		110,00	4,20	178,94	3,46
		110,00	4,40	176,50	2,89
		110,00	4,10	176,50	3,44
		105,00	4,12	178,94	4,33
		110,00	4,00	191,85	3,59
		105,00	4,64	176,50	2,79
		100,00	4,15	191,85	2,74
		100,00	4,35	178,94	2,53
		100,00	5,77	178,94	2,66
		100,00	5,26	178,94	2,53
		100,00	5,37	183,82	3,62
		100,00	5,87	191,85	2,84
		100,00	5,16	183,82	3,32
		96,46	5,37	186,33	2,92
		100,00	6,18	191,85	2,60
		105,00	6,12	181,37	2,90
		100,00	4,96	195,20	3,76
		100,00	5,57	178,94	3,72
		100,00	4,96	188,98	4,05
		96,46	5,48	178,94	3,43
		96,46	5,48	176,50	3,52
		100,00	5,26	199,52	3,34
		96,46	5,78	171,47	2,58
		96,46	5,78	191,85	2,60
		93,12	4,98	186,33	4,29
		93,12	4,27	183,82	3,53
		93,12	4,87	188,98	3,57
		93,12	4,27	195,20	3,38
		93,12	4,37	191,85	3,99
		93,12	4,37	191,85	3,82
		93,12	3,86	186,33	4,49



		93,12	3,66	191,85	3,79
		96,46	3,35	178,94	3,56
		93,12	3,66	199,52	2,73
		96,46	3,85	178,94	2,53
		96,46	3,55	183,82	3,02
		93,12	3,76	176,50	4,65
		93,12	3,96	163,19	2,65
		93,12	4,16	176,50	4,37
		93,12	3,76	168,83	2,83
		93,12	3,86	171,47	3,03
		120,00	3,19	176,50	3,79
		120,00	3,50	160,15	2,66
		120,00	3,09	163,19	2,88
		125,00	3,68	168,83	3,74
		125,00	4,00	163,19	3,34
		125,00	3,47	181,37	2,73
		120,00	3,40	176,50	3,13
		120,00	3,71	188,98	3,12
		120,00	3,40	178,94	3,11
		110,00	3,20	168,83	3,09
		105,00	3,17	145,00	2,59
		100,00	2,53	176,50	5,18
		100,00	2,53	171,47	2,89
		110,00	3,10	195,20	4,09
		110,00	3,10	174,02	3,58
		110,00	3,10	176,50	3,21
		120,00	3,19	176,50	2,71
		115,00	3,14	183,82	2,77
		115,00	3,04	183,82	3,66
		120,00	3,09	178,94	3,08
		115,00	3,24	176,50	2,58
		110,00	2,60	199,52	3,09
		115,00	2,84	181,37	3,22
		110,00	3,00	188,98	2,71
		115,00	2,94	191,85	3,45
		110,00	2,80	191,85	3,38
		115,00	3,44	188,98	3,68
		115,00	2,94	186,33	3,08
		110,00	2,90	186,33	2,92
		110,00	2,80	183,82	3,09





		110,00	2,70	191,85	2,64
		115,00	2,53	191,85	2,54
		110,00	2,50	183,82	2,98
		135,00	3,23	188,98	2,79
		130,00	2,91	188,98	2,56
		130,00	2,91	183,82	2,77
		130,00	3,13	188,98	2,53
		130,00	3,56	188,98	3,79
		130,00	3,34	183,82	2,60
		130,00	3,45		
		130,00	3,45		
		130,00	3,56		
		130,00	3,56		
		125,00	3,68		
		125,00	3,78		
		125,00	3,78		
		125,00	3,57		
		125,00	3,68		
		120,00	3,40		
		120,00	3,60		
		120,00	3,71		
		120,00	3,71		
		120,00	3,19		
		115,00	3,14		
		115,00	3,55		
		110,00	3,00		
		110,00	3,10		
		115,00	3,04		
		110,00	3,10		
		115,00	2,84		
		100,00	2,63		
		115,00	2,63		
		110,00	2,60		
		96,46	2,74		
		100,00	2,53		
		93,12	3,55		
		96,46	3,24		
		100,00	3,14		
		105,00	2,85		
		105,00	2,85		



		100,00	3,04		
		96,46	3,45		
		100,00	3,34		
		100,00	3,14		
		100,00	3,04		
		100,00	3,34		
		100,00	3,24		
		105,00	3,27		
		105,00	3,27		
		100,00	3,14		
		100,00	3,04		
		100,00	3,34		
		100,00	3,24		
		96,46	3,35		
		96,46	3,24		
		96,46	2,94		
		100,00	2,73		
		96,46	3,04		
		96,46	2,74		
		96,46	3,04		
		93,12	3,25		
		96,46	3,55		
		96,46	3,65		
		96,46	3,65		
		93,12	3,35		
		96,46	3,45		
		96,46	3,45		
		93,12	3,15		
		93,12	3,15		
		93,12	3,25		
		93,12	3,15		
		93,12	3,15		
		93,12	3,15		
		93,12	3,15		
		93,12	3,25		
		93,12	3,15		
		93,12	2,95		
		105,00	2,53		
		105,00	2,53		
		110,00	2,50		
		110,00	2,90		



		93,12	2,54		
		96,46	4,16		
		96,46	3,75		
		96,46	3,65		
		96,46	3,45		
		100,00	3,44		
		100,00	3,24		
		100,00	3,34		
		93,12	3,05		
		93,12	3,25		
		93,12	3,05		
		93,12	3,25		
		96,46	3,65		
		93,12	3,15		
		96,46	3,24		
		96,46	3,85		
		96,46	3,55		
		96,46	3,65		
		96,46	3,45		
		96,46	3,14		
		96,46	3,04		
		96,46	3,04		
		96,46	3,04		
		96,46	3,04		
		93,12	2,54		
		93,12	2,64		
		93,12	2,54		
		96,46	2,65		
		105,00	2,53		
		105,00	2,78		
		130,00	2,84		
		110,00	2,63		
		96,46	2,70		
		110,00	2,71		
		120,00	2,92		
		120,00	3,03		
		100,00	2,99		
		96,46	2,72		
		130,00	2,91		
		120,00	2,70		



		93,12	3,18		
		120,00	3,20		
		100,00	2,87		
		96,46	2,63		
		135,00	2,84		
		105,00	2,89		
		110,00	2,58		
		93,12	2,96		
		93,12	2,70		
		105,00	2,53		
		105,00	2,77		
		93,12	2,54		
		93,12	2,72		
		96,46	2,70		
		96,46	2,87		
		96,46	2,88		
		96,46	2,80		
		100,00	2,82		
		100,00	3,04		
		105,00	3,10		
		100,00	2,83		
		105,00	3,06		
		105,00	3,17		
		105,00	3,27		
		105,00	3,27		
		105,00	3,27		
		105,00	3,69		
		105,00	3,59		
		105,00	3,17		
		100,00	3,24		
		100,00	3,04		
		105,00	3,27		
		105,00	3,17		
		100,00	3,03		
		105,00	3,07		
		105,00	3,17		
		100,00	3,24		
		100,00	2,94		
		105,00	3,27		
		105,00	3,17		



		100,00	2,94		
		100,00	3,04		
		100,00	2,95		
		100,00	2,94		
		100,00	3,04		
		100,00	3,02		
		105,00	3,48		
		105,00	3,17		
		105,00	3,05		
		110,00	2,70		
		105,00	3,02		
		105,00	2,98		
		105,00	2,88		
		105,00	3,12		
		110,00	2,95		
		110,00	3,10		
		110,00	2,88		
		110,00	3,00		
		110,00	2,78		
		100,00	2,95		
		93,12	2,66		
		140,00	3,16		
		110,00	2,50		
		140,00	2,53		
		140,00	2,50		
		96,46	2,57		
		110,00	3,40		
		96,46	3,14		
		140,00	3,37		
		140,00	2,66		
		120,00	2,54		
		93,12	2,74		
		135,00	4,00		
		135,00	3,56		
		125,00	3,89		
		93,12	3,66		
		135,00	4,67		
		115,00	3,85		
		135,00	4,56		
		120,00	3,60		



		105,00	3,27		
		115,00	3,04		
		120,00	2,63		
		110,00	2,98		
		110,00	3,10		
		140,00	3,32		
		130,00	3,02		
		140,00	3,05		
		120,00	2,73		
		125,00	2,72		
		140,00	2,85		
		135,00	2,82		
		105,00	2,83		
		100,00	2,92		
		100,00	2,78		
		125,00	2,50		
		96,46	2,51		
		120,00	2,63		
		100,00	2,67		
		100,00	2,75		
		100,00	2,79		
		110,00	2,78		
		110,00	2,94		
		105,00	3,20		
		105,00	3,60		
		110,00	3,11		
		105,00	3,12		
		105,00	3,04		
		100,00	3,38		
		100,00	3,29		
		100,00	3,43		
		105,00	3,42		
		105,00	3,11		
		100,00	3,39		
		100,00	3,14		
		100,00	3,07		
		100,00	3,17		
		100,00	3,08		
		100,00	2,90		
		100,00	3,01		



		105,00	2,98		
		100,00	2,86		
		100,00	2,98		
		100,00	2,94		
		100,00	2,55		
		100,00	2,66		
		100,00	2,76		
		100,00	2,74		
		100,00	2,85		
		96,46	2,71		
		100,00	2,62		
		100,00	2,59		
		105,00	2,63		
		105,00	2,65		
		105,00	2,79		
		115,00	3,13		
		110,00	2,56		
		105,00	2,51		
		110,00	2,50		
		125,00	2,53		
		100,00	2,72		
		100,00	2,52		
		100,00	2,67		
		96,46	2,51		
		100,00	2,66		
		105,00	2,74		
		100,00	2,93		
		100,00	2,75		
		100,00	2,82		
		100,00	2,95		
		100,00	3,05		
		100,00	3,22		
		100,00	2,94		
		93,12	2,72		
		93,12	2,58		
		93,12	2,66		
		93,12	2,56		
		93,12	2,59		
		96,46	2,72		
		96,46	2,82		



		96,46	2,53		
		96,46	2,52		
		96,46	2,56		
		96,46	2,84		
		96,46	2,78		
		93,12	3,00		
		96,46	3,05		
		96,46	2,95		
		100,00	3,08		
		100,00	2,86		
		105,00	2,80		
		100,00	2,71		
		100,00	2,73		
		96,46	2,74		
		100,00	2,70		
		100,00	2,96		
		96,46	2,84		
		96,46	2,67		
		96,46	2,79		
		100,00	2,56		
		96,46	2,63		
		100,00	2,64		
		100,00	2,53		
		96,46	2,59		
		100,00	2,86		
		96,46	2,97		
		96,46	2,89		
		100,00	3,07		
		105,00	3,05		
		100,00	3,28		
		100,00	2,97		
		100,00	3,25		
		100,00	3,27		
		105,00	3,17		
		100,00	2,95		
		105,00	2,85		
		100,00	2,84		
		100,00	2,55		
		105,00	2,85		
		110,00	2,52		





		105,00	2,80		
		110,00	2,69		
		110,00	2,90		
		105,00	2,94		
		100,00	2,67		
		100,00	2,70		
		100,00	2,54		
		100,00	2,74		
		100,00	2,63		
		100,00	2,91		
		96,46	2,78		
		105,00	3,07		
		105,00	3,04		
		110,00	2,52		
		110,00	2,69		
		105,00	2,90		
		105,00	2,72		
		100,00	2,82		
		105,00	2,71		
		105,00	2,93		
		105,00	2,58		
		110,00	2,69		
		105,00	2,59		
		110,00	2,56		
		110,00	2,89		
		110,00	2,89		
		100,00	2,94		
		105,00	3,22		
		110,00	2,57		
		115,00	2,66		
		110,00	2,64		
		105,00	2,77		
		105,00	2,70		
		105,00	2,74		
		115,00	2,52		
		105,00	2,58		
		105,00	2,67		
		110,00	2,83		
		115,00	2,87		
		110,00	2,85		



		110,00	3,20		
		110,00	3,34		
		110,00	3,45		
		115,00	3,27		
		110,00	3,35		
		105,00	3,85		
		105,00	4,15		
		105,00	4,17		
		100,00	4,36		
		105,00	4,67		
		100,00	4,21		
		110,00	4,09		
		110,00	4,50		
		110,00	4,36		
		115,00	5,24		
		110,00	4,43		
		110,00	4,62		
		110,00	4,23		
		110,00	4,40		
		110,00	4,12		
		115,00	5,04		
		105,00	4,35		
		105,00	3,81		
		105,00	3,97		
		110,00	4,00		
		105,00	3,79		
		110,00	3,94		
		110,00	3,44		
		100,00	3,51		
		110,00	3,49		
		110,00	3,30		
		110,00	3,50		
		105,00	3,22		
		110,00	3,12		
		110,00	3,17		
		110,00	3,22		
		110,00	3,02		
		110,00	3,06		
		110,00	3,07		
		110,00	3,21		



		110,00	2,74		
		110,00	2,80		
		110,00	2,89		
		115,00	3,22		
		115,00	2,95		
		110,00	3,07		
		110,00	2,70		
		110,00	2,60		
		110,00	2,77		
		105,00	2,81		
		110,00	3,09		
		110,00	2,52		
		110,00	2,51		

Tabella 8: *Eventi di mareggiate afferenti al settore di traversia (35° - 200°N)*

Il maggior numero di mareggiate con soglia di altezza d'onda maggiore di 2,5 m è risultato provenire dal settore angolare 90° - 145°N, con 1135 eventi.

Per il settore angolare 35° - 90°N sono risultati 343 eventi con soglia maggiore di 2,5 m; mentre per il settore 145° - 200° sono risultati 731 eventi con soglia maggiore di 2,5 m.

Gli eventi estremi di moto ondoso da determinare sono stati scelti afferenti ai 3 settori direzionali prefissati, poiché contengono un sufficiente campione significativo di eventi da cui è possibile determinare onde di progetto a prefissato  $T_r$ .

Al fine di determinare le altezze d'onda significative a prefissato  $T_r$ , si fa riferimento al metodo di Goda (1988), basato sulle seguenti ipotesi:

- tutte le altezze d'onda significative del campione provengono da una singola popolazione statistica di eventi di mareggiate;
- le altezze d'onda di una mareggiata sono ragionevolmente rappresentate dall'altezza significativa;
- le altezze d'onda estreme facenti parte del campione non sono limitate da qualche fattore fisico, come ad esempio la profondità in acque intermedie o basse.

In particolare, Goda considera le seguenti funzioni di distribuzione a lungo termine:

$$F(H_s \leq \hat{H}_s) = e^{-e^{-\left(\frac{\hat{H}_s - B}{A}\right)}} \text{ distribuzione di Fisher -Tippet I (FT - I o Gumbel)}$$

$$F(H_s \leq \hat{H}_s) = 1 - e^{-e^{-\left(\frac{\hat{H}_s - B}{A}\right)^k}} \text{ distribuzione di Weibull}$$



Dove:

$F(H_s \leq \hat{H}_s)$  è la probabilità che  $H_s$  non superi il valore di soglia di altezza significativa,  $\hat{H}_s$  (in questo caso posto uguale a 2,5 m);

B è il parametro del sito;

A è il parametro di scala;

k è il parametro di forma.

Il valore di k viene posto pari a 0,75, 1,00, 1,40 e 2,00. Al variare di tale coefficiente si esaminano quindi 4 differenti distribuzioni a lungo termine di *Weibull*.

Il primo passo relativo all'applicazione della metodologia consiste nel prendere i valori di altezza d'onda significativa di *input* e posizzarli in ordine decrescente. Ad ogni valore di  $H_s$  viene assegnata una probabilità (*plotting position*) secondo le espressioni:

$$F(H_s \leq H_{sm}) = 1 - \frac{m - 0,44}{NT + 0,12} \quad (\text{secondo la Fisher - Tippet I})$$

$$F(H_s \leq H_{sm}) = 1 - \frac{m - 0,20 - \frac{0,27}{\sqrt{k}}}{NT + 0,20 + \frac{0,23}{\sqrt{k}}} \quad (\text{secondo la Weibull})$$

In cui:

$F(H_s \leq H_{sm})$  rappresenta la probabilità che l' $m$  - esima altezza significativa non venga superata;

$H_{sm}$  è l' $m$ -esimo valore del campione delle altezze significative;

$m$  (livello del valore dell'altezza significativa) = 1,2,...,N, in cui N rappresenta il numero totale delle mareggiate;

NT è il numero totale degli eventi durante la lunghezza della serie storica considerata.

I coefficienti ottimali della distribuzione *Fisher-Tippet I* (o di *Gumbel*), i coefficienti della *plotting Position*, sono stati ottenuti da *Grigorten* (1963), mentre quelli relativi alla distribuzione di *Weibull* sono stati ottenuti da *Goda* (1988).

Per tutte e 5 le distribuzioni (*FT-I* e *Weibull* con  $k = 0,75, 1,00, 1,40$  e  $2,00$ ), sono stati considerati gli eventi a partire da un valore di soglia  $\hat{H}_s$ , fissato pari a 2,5 m o 2,0 m, in base ai settori direzionali prescelti.

I parametri A e B vengono determinati verificando l'adattabilità ai dati delle 5 funzioni, attraverso un'analisi di regressione lineare effettuata con il metodo dei minimi quadrati. I calcoli sono basati sull'analisi di regressione lineare della relazione:

$$H_{sm} = \hat{A}y_m + \hat{B}$$

Dove  $y_m$  (variabile ridotta) si calcola trasformando logaritmicamente le espressioni delle probabilità di non superamento,

$F(H_s \leq H_{sm})$ , ottenendo per le due distribuzioni selezionate:



$$y_m = -\ln[-\ln F(H_s \leq H_{sm})] \quad (\text{secondo la Fisher - Tippet I})$$

$$y_m = \{-\ln[1 - F(H_s \leq H_{sm})]\}^{1/k} \quad (\text{secondo la Weibull})$$

I valori di  $\hat{A}$  e  $\hat{B}$  rappresentano, rispettivamente, i parametri di scala e di sito ricavati dall'analisi di regressione lineare. Per la selezione della funzione di distribuzione che meglio si adatta al campione dei dati in esame, con riferimento alle mareggiate afferenti ai diversi settori angolari di provenienza del moto ondoso al largo dei paraggi in esame, si considera quella che fornisce il più alto valore del coefficiente di correlazione,  $R^2$ . In Tabella 9 vengono mostrati, per il paraggio al largo di Avola, i valori dei coefficienti di correlazioni per le distribuzioni di probabilità adottate, evidenziando quelle distribuzioni che forniscono il valore più elevato di  $R^2$ . Tali distribuzioni probabilistiche verranno considerate ai fini della determinazione delle altezze d'onda significative a prefissato tempo di ritorno.

In particolare, per i settori  $35^\circ - 90^\circ N$ ,  $90^\circ - 145^\circ N$  e  $145^\circ - 200^\circ N$  si considera la distribuzione di Weibull con  $k = 2$ .

settore $35^\circ - 90^\circ$		settore $90^\circ - 145^\circ$		settore $145^\circ - 200^\circ$	
Distribuzione	R2	Distribuzione	R2	Distribuzione	R2
Gumbel	0,9461	Gumbel	0,9483	Gumbel	0,9745
Weibull k=0.75	0,9253	Weibull k=0.75	0,9244	Weibull k=0.75	0,957
Weibull k=1.00	0,9451	Weibull k=1.00	0,9474	Weibull k=1.00	0,9738
Weibull k=1.40	0,9591	Weibull k=1.40	0,963	Weibull k=1.40	0,984
Weibull k=2.00	0,9679	Weibull k=2.00	0,9725	Weibull k=2.00	0,9894

Tabella 9: Coefficienti di correlazione per le distribuzioni di probabilità adottate al largo di Avola

Successivamente, i valori dell'altezza d'onda significativa per differenti periodi di ritorno sono calcolati, per le funzioni di probabilità considerate, mediante la seguente espressione:

$$H_{sr} = \hat{A}y_r + \hat{B}$$

dove:

$$y_r = -\ln\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{\lambda T}\right)\right] \quad (\text{secondo la Fisher - Tippet I});$$

$$y_r = [\ln(\lambda T)]^{1/k} \quad (\text{secondo la Weibull});$$

$H_{sr}$  rappresenta l'altezza d'onda significativa, associata ad un periodo di ritorno  $T$ ;

$\lambda$  (numero medio degli eventi per anno) =  $NT/K$ ;

$K$  (lunghezza della registrazione dei dati di moto ondoso).



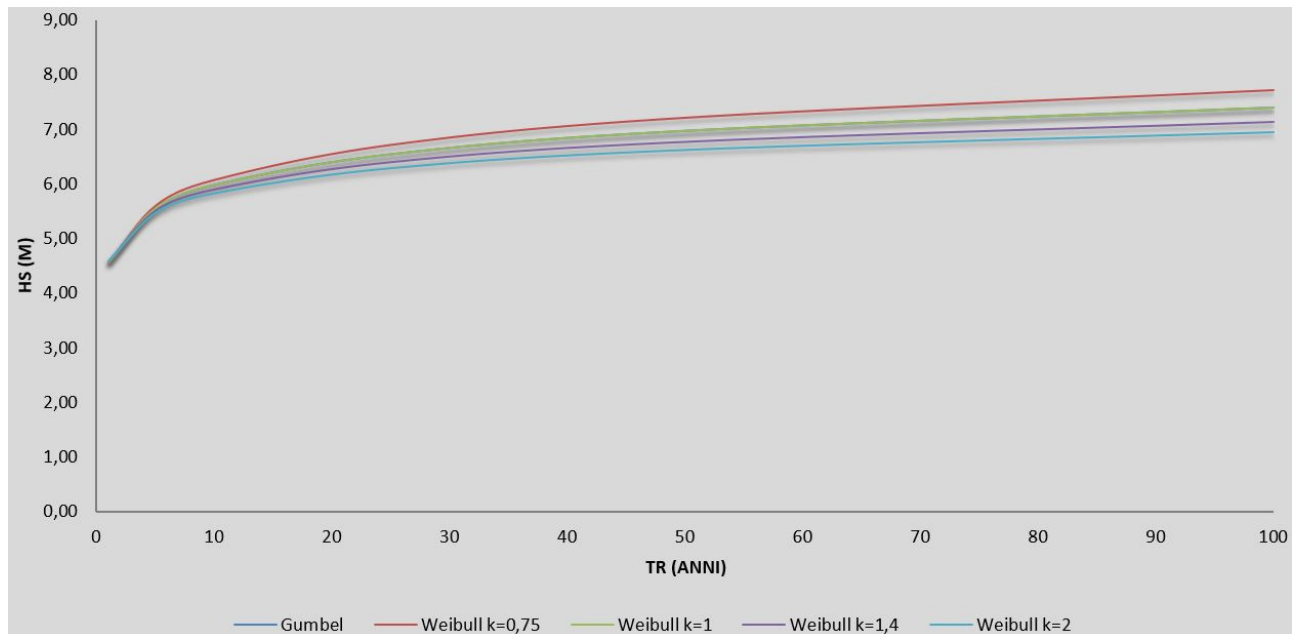
Per i periodi di ritorno più significativi, relativi a  $T = 1, 5, 10, 25, 50$  e  $100$  anni e per i settori direzionali afferenti al settore di traversia di Avola, sono mostrati, rispettivamente, in tabella 9 i valori di  $H_s$  a prefissato tempo di ritorno e i rispettivi valori di periodo medio,  $T_m$ , e di periodo di picco,  $T_p$ , determinati attraverso le relazioni di seguito riportate (Boccotti, 1997):

$$T_m = 6,6\pi \sqrt{\frac{H_s}{4g}}, \quad T_p = \frac{T_m}{0,78}$$

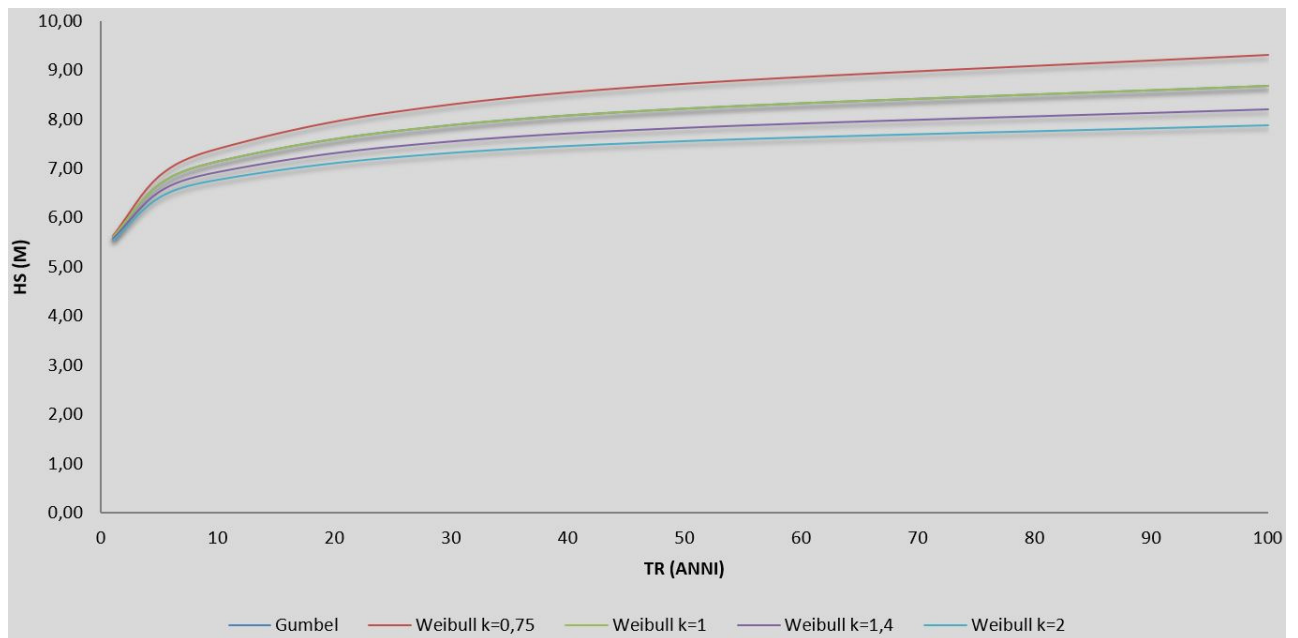
T(anni)	settoress 35°-90°			settoress 90° - 145°			settoress 145° - 200°		
	Hs(m)	Tm(s)	Tp(s)	Hs(m)	Tm(s)	Tp(s)	Hs(m)	Tm(s)	Tp(s)
1	4,59	7,09	9,10	5,54	7,79	9,99	5,52	7,78	9,97
5	5,48	7,75	9,93	6,41	8,38	10,75	6,59	8,50	10,89
10	5,84	8,00	10,25	6,77	8,61	11,04	7,02	8,77	11,25
25	6,29	8,30	10,64	7,22	8,89	11,40	7,57	9,11	11,68
50	6,62	8,52	10,92	7,55	9,09	11,66	7,98	9,35	11,98
100	6,95	8,72	11,18	7,87	9,29	11,90	8,37	9,57	12,27

**Tabella 9:** *Eventi estremi direzionali a prefissato tempo di ritorno al largo del paraggio di Avola*

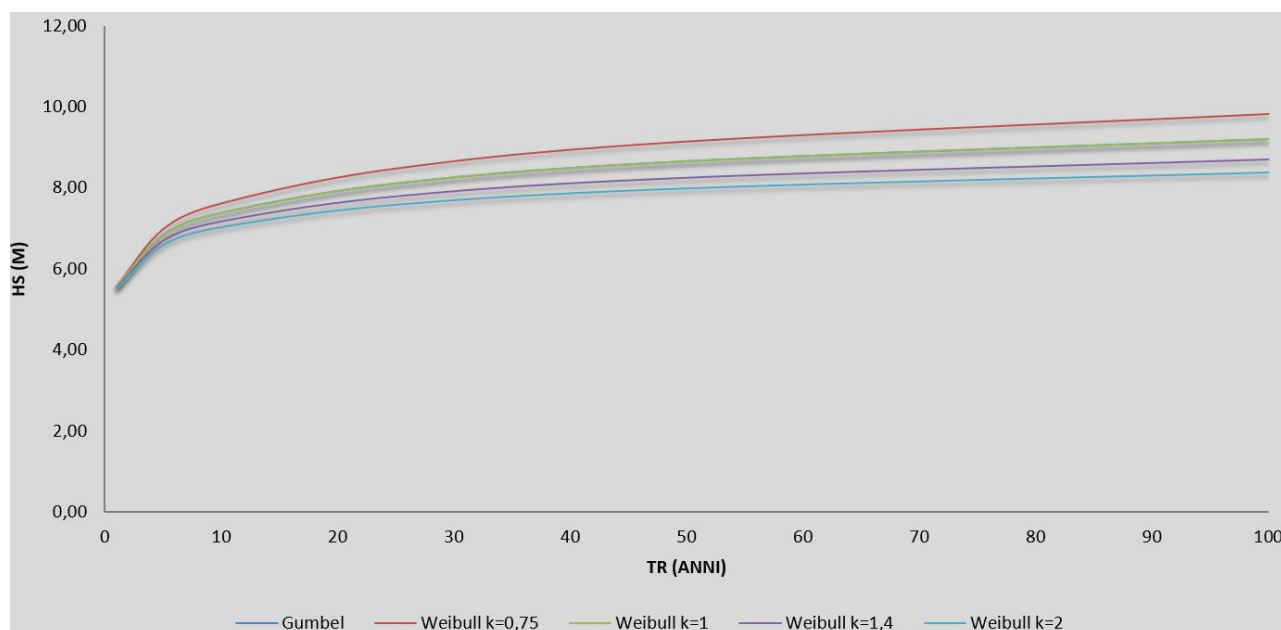
Le Figure 7 mostrano gli andamenti delle altezze d'onda significative in funzione del periodo di ritorno per i 3 diversi settori direzionali considerati al largo di Avola e per le 5 distribuzioni probabilistiche utilizzate. I valori di altezza d'onda significativa presi in considerazione sono, come esposto in precedenza, quelli relativi alla distribuzione probabilistica che offre il maggior valore del grado di correlazione fra la variabile ridotta e l'altezza d'onda significativa al culmine della mareggiata.



**Figura 7.1:** Variazione dell'altezza significativa,  $H_s$  (m), in funzione del periodo di ritorno per il settore direzionale  $35^\circ - 90^\circ$  N al largo del paraggio di Avola



**Figura 7.2:** Variazione dell'altezza significativa,  $H_s$  (m), in funzione del periodo di ritorno per il settore direzionale  $90^\circ - 145^\circ$  N al largo del paraggio di Avola



**Figura 7.3:** Variazione dell'altezza significativa,  $H_s$  (m), in funzione del periodo di ritorno per il settore direzionale  $145^\circ - 200^\circ N$  al largo del paraggio di Avola

Per la definizione del valore di tempo di ritorno pari a 50 anni si è considerato il valore evidenziato nella tabella seguente tratta dalle "Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe frangiflutti", 1994:

Tabella - Vita utile per opere o strutture di carattere definitivo Tv			
Tipo dell'opera	Livello di sicurezza richiesto		
	1	2	3
	Vita in anni		
Infrastrutture di uso generale	25	50	100
Infrastrutture di uso specifico	15	25	50

Per infrastrutture di uso generale si intendono opere di difesa di complessi civili e/o industriali che non siano destinati ad uno specifico scopo e per i quali non è chiaramente identificabile il termine della vita utile o funzionale. Per infrastrutture ad uso specifico si intendono le opere di difesa di singole installazioni industriali, di depositi o piattaforme di carico e scarico, di piattaforme petrolifere, ecc.

Il livello di sicurezza 1 si riferisce ad opere o installazioni di interesse locale ed ausiliario, comportanti un piccolo rischio di perdita di vite umane o di danni ambientali in caso di danneggiamento. Il livello di sicurezza 2 si riferisce ad opere e installazioni di interesse generale, comportanti un moderato rischio di perdita di vite umane o di danni ambientali in caso di danneggiamento. Il livello di sicurezza 3 si riferisce ad opere o installazioni comportanti un elevato rischio di perdita di vite umane o di danno ambientale in caso di danneggiamento.





E' stata effettuata attraverso il modello STWAVE lo studio della propagazione dell'onda da largo a sottocosta secondo le seguenti modalità:

- attraverso il modello a grande scala (definito al paragrafo 6.7) è stata analizzata la trasposizione dal largo sino alla batimetrica -30 m, per gli eventi estremi aventi direzione 62,5°N, 117,5°N e 172,50°N associati al periodo di ritorno T=50 anni (vedi considerazioni relative alle figure da 7.4 a 7.6);
- attraverso il modello di maggiore dettaglio (definito al paragrafo 6.7) è stata analizzata la trasposizione dalla batimetrica -30 m fino al punto sottocosta rappresentativo delle condizioni di frangimento, posto circa alla batimetrica -3 m, per gli eventi estremi aventi direzione 62,5°N, 117,5°N e 172,50°N associati al periodo di ritorno T=50 anni (vedi considerazioni relative alle figure da 7.7 a 7.9).

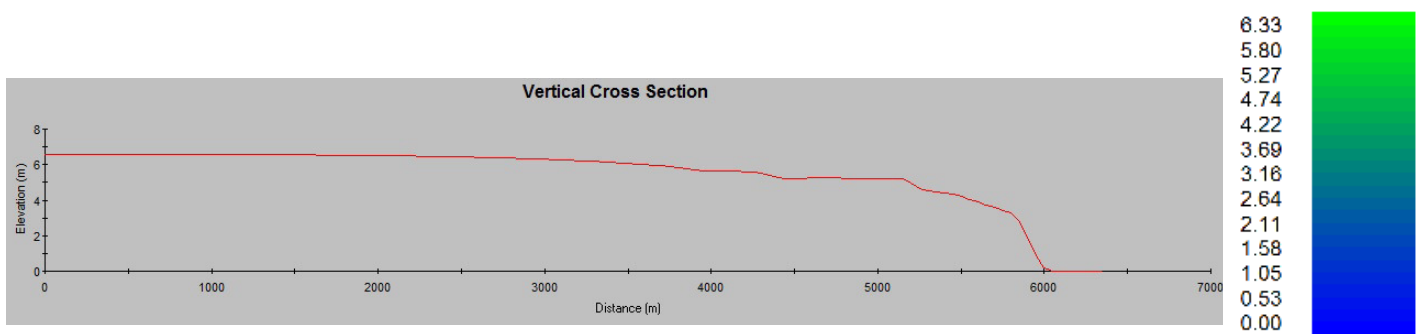
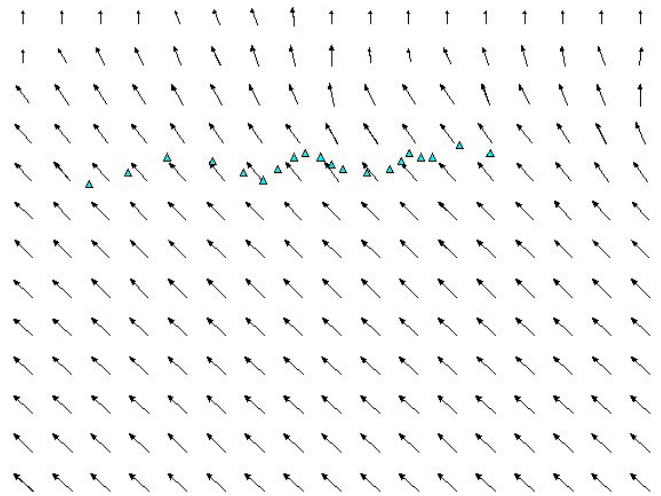
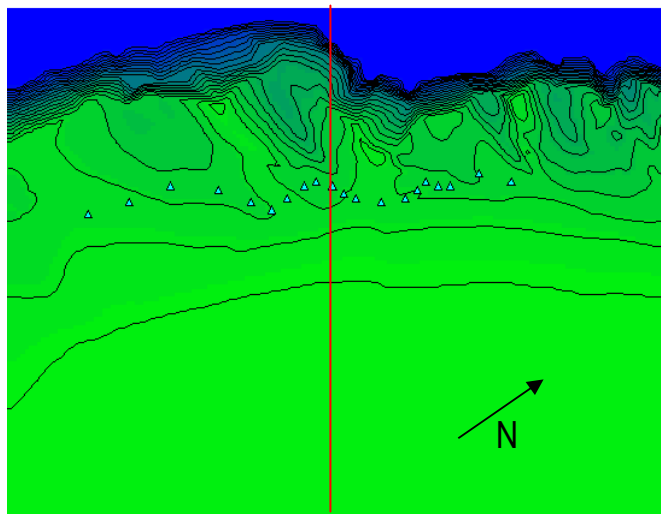
Le tabelle 10 e 11 illustrano i risultati della propagazione effettuata con il modello numerico STWAVE per gli eventi estremi direzionali di moto ondoso associati al periodo di ritorno più significativo per il litorale in esame.

CLIMA ONDOSI MEDIO AL LARGO					CLIMA ONDOSI MEDIO SOTTOCOSTA (- 30 m)				
T(anni)	DIR° (N)	Hs (m)	Tp (s)	Tp	$\Delta\alpha(^{\circ})$	DIR(°N)	Hs (m)	Tp (s)	$\Delta Hs$ (%)
50	62,5	6,62	8,36	10,72	0	62,5	5,5	9,95	16,92
50	117,5	7,55	7,93	10,17	0	117,5	6,8	11,06	9,93
50	172,5	7,98	8,81	11,29	0	172,5	5,1	9,58	36,09

**Tabella 10:** Eventi estremi direzionali di moto ondoso sottocosta con T = 50 anni (- 30 m) (Avola, punto di coordinate nel dominio di calcolo: x = 4200 m, y = 4200 m)

CLIMA ONDOSI MEDIO SOTTOCOSTA (- 30 m)				CLIMA ONDOSI MEDIO SOTTOCOSTA al piede dell'opera (- 2,06 m)			
T(anni)	DIR° (N)	Hs	Tp	$\Delta\alpha(^{\circ})$	Hs(m)	Tp(s)	$\Delta Hs$ (%)
50	62,5	5,5	9,95	-62,5	1,45	9,95	78,09
50	117,5	6,8	11,06	-117,5	1,46	11,06	80,66
50	172,5	5,1	9,58	-172,5	1,62	9,58	79,69

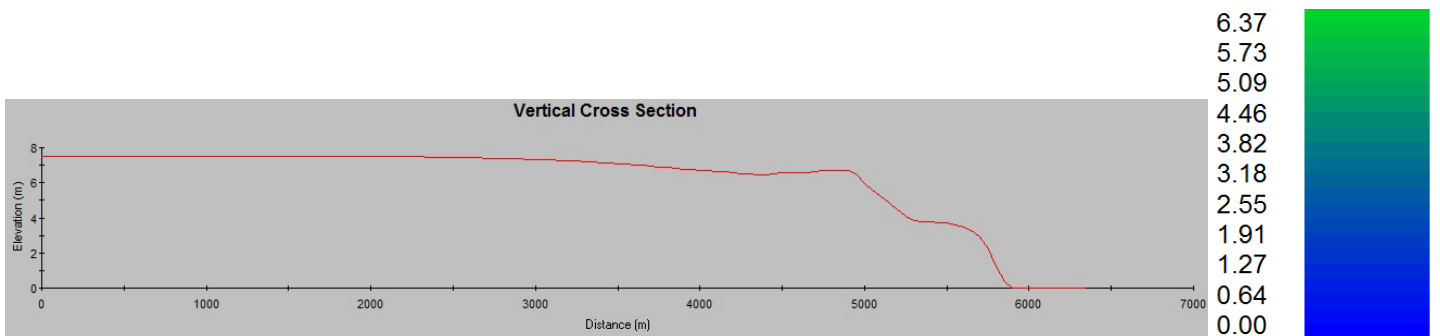
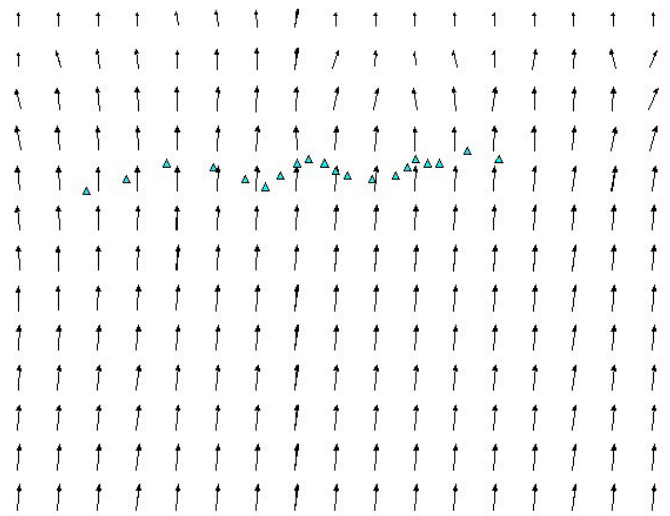
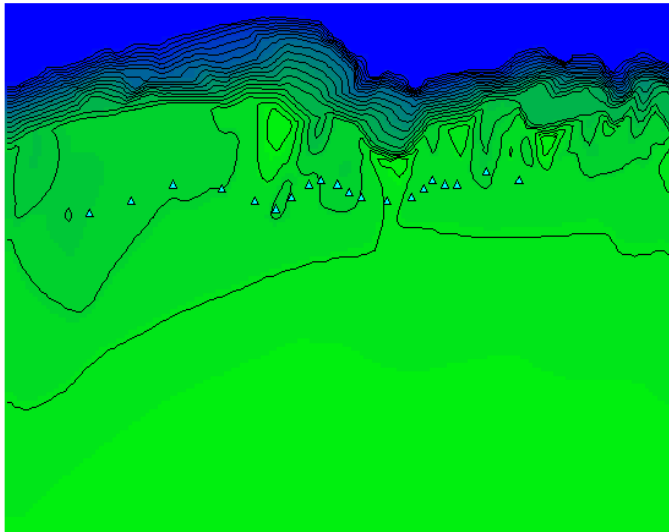
**Tabella 11:** Eventi estremi direzionali di moto ondoso sottocosta con T = 50 anni (Avola, punto di rilevamento ubicato al piede dell'opera, alla batimetrica di - 2,06 m)



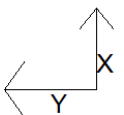
**Figura 7.4:** Andamento dell'altezza d'onda e della direzione d'onda per l'onda al largo avente le seguenti caratteristiche: Dir: 62,5° N, Hs = 6,62 m; Tp = 10,92 s;

La propagazione di tale evento dal largo sino alla batimetrica di -30 m non è interessato, come si evince dall'andamento delle direzioni d'onda sopra riportato, da fenomeni di rifrazione dei fronti d'onda che si verificano a partire da profondità inferiori e tendono a ruotare per disporsi ortogonalmente alle batimetriche; pertanto per il caso in esame si è ritenuto di mantenere inalterata la direzione originaria dell'onda pari a 62,5°N.

In merito alla valutazione dell'altezza d'onda, dalla sezione tracciata in rosso presso l'area di intervento, si evince che in corrispondenza della batimetrica -30 m si ha una piccola riduzione dell'altezza d'onda, quest'ultima pari a 5,50 m, rispetto al valore originario ricavato al largo (6,62 m).

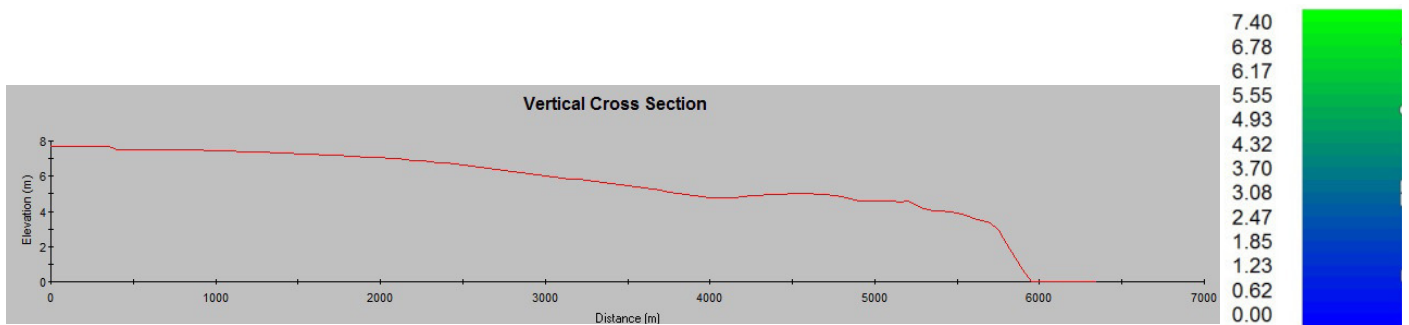
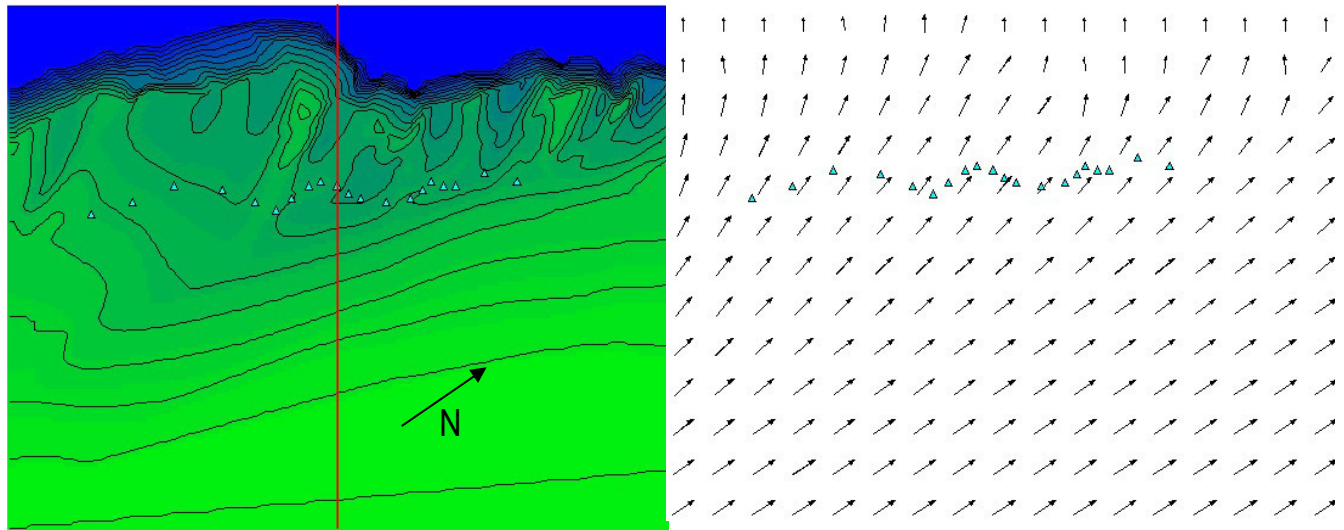


**Figura 7.5:** Andamento dell'altezza d'onda e della direzione d'onda per l'onda al largo avente le seguenti caratteristiche: Dir: 117,5° N, Hs = 7,55 m; Tp = 11,66 s;



La propagazione di tale evento dal largo sino alla batimetria di -30 m non è interessato, come si evince dall'andamento delle direzioni d'onda sopra riportato, da fenomeni di rifrazione dei fronti d'onda che si verificano a partire da profondità inferiori e tendono a ruotare per disporsi ortogonalmente alle batimetrie; pertanto per il caso in esame si è ritenuto di mantenere inalterata la direzione originaria dell'onda pari a 117,5°N.

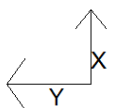
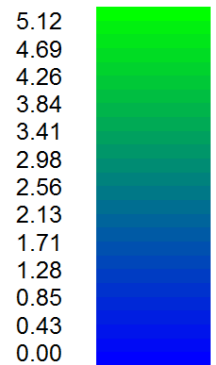
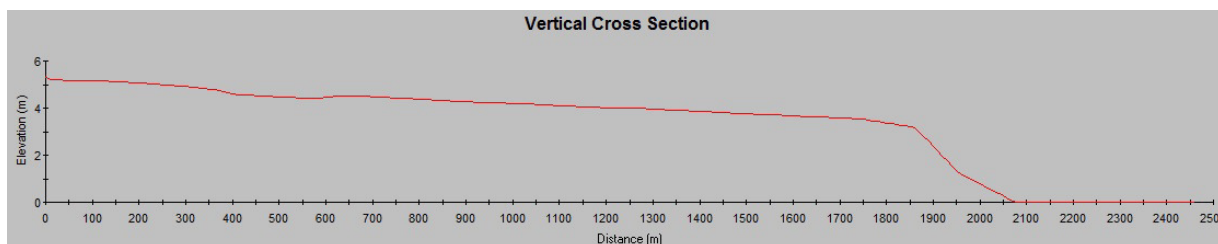
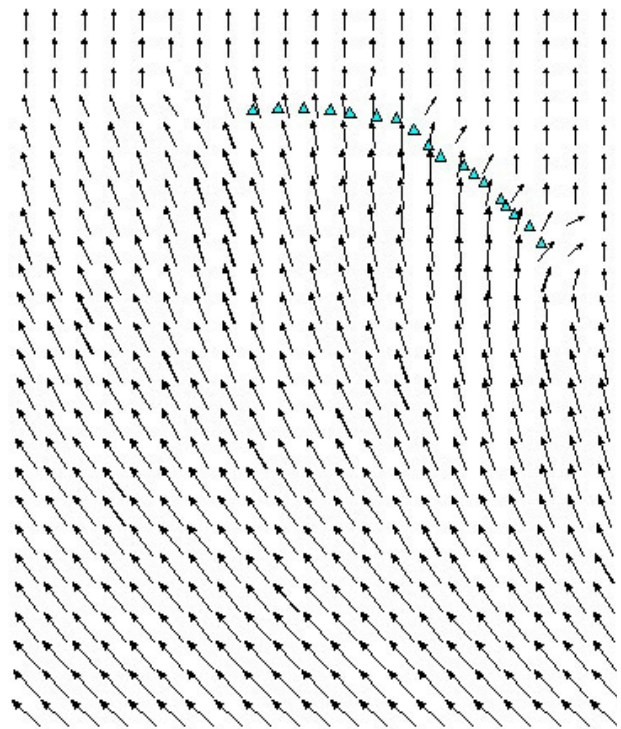
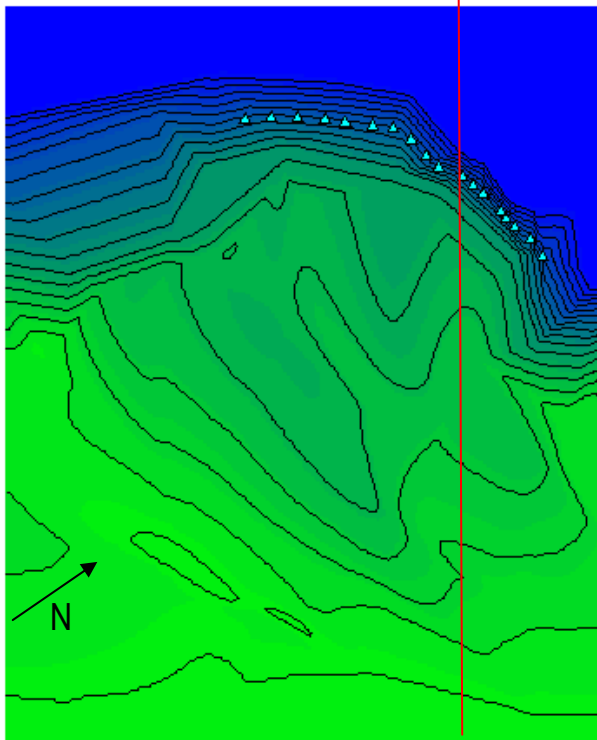
In merito alla valutazione dell'altezza d'onda, dalla sezione tracciata in rosso presso l'area di intervento, si evince che in corrispondenza della batimetria -30 m si ha una piccola riduzione dell'altezza d'onda, quest'ultima pari a 6,80 m, rispetto al valore originario ricavato al largo (7,55 m).



**Figura 7.6:** Andamento dell'altezza d'onda e della direzione d'onda per l'onda al largo avente le seguenti caratteristiche: Dir: 172,5° N, Hs = 7,98 m; Tp = 11,98 s;

La propagazione di tale evento dal largo sino alla batimetria di -30 m non è interessato, come si evince dall'andamento delle direzioni d'onda sopra riportato, da fenomeni di rifrazione dei fronti d'onda che si verificano a partire da profondità inferiori e tendono a ruotare per disporsi ortogonalmente alle batimetrie; pertanto per il caso in esame si è ritenuto di mantenere inalterata la direzione originaria dell'onda pari a 172,5°N.

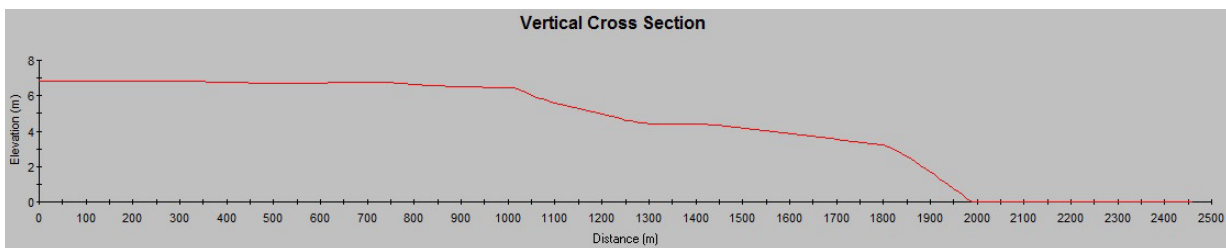
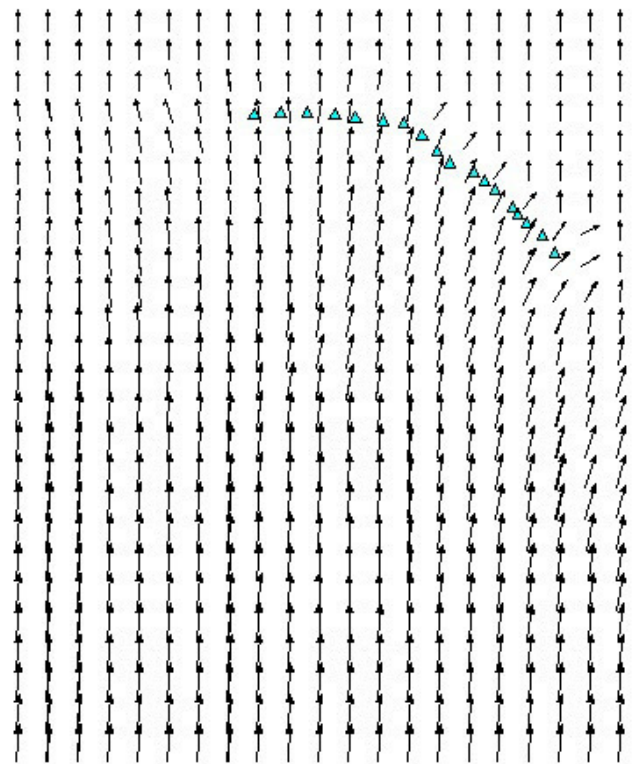
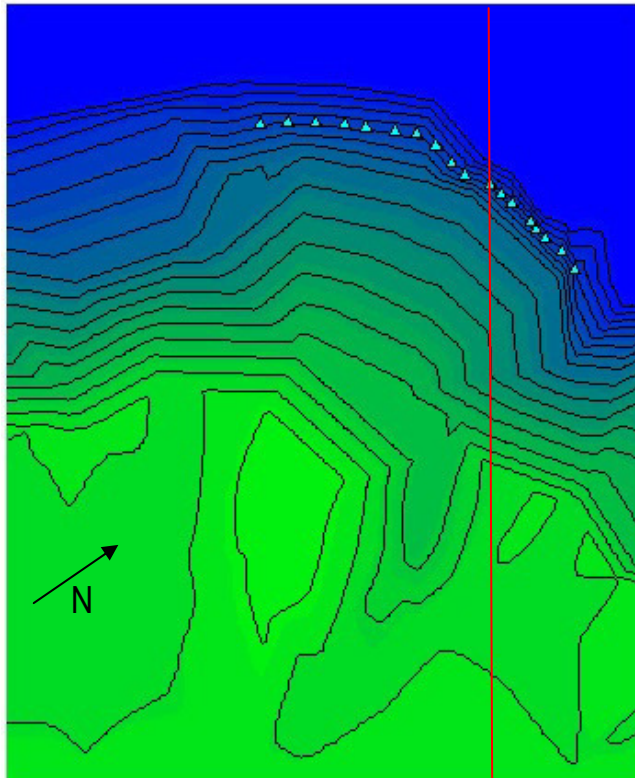
In merito alla valutazione dell'altezza d'onda, dalla sezione tracciata in rosso presso l'area di intervento, si evince che in corrispondenza della batimetria -30 m si ha una riduzione dell'altezza d'onda, quest'ultima pari a 5,10 m, rispetto al valore originario ricavato al largo (7,98 m).



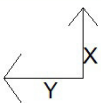
**Figura 7.7:** Andamento dell'altezza d'onda e della direzione d'onda sottocosta nella batimetria di calcolo, considerando una forzante pari all'onda sottocosta avente le seguenti caratteristiche: Dir: 62,5° N, Hs = 5,50 m; Tp = 9,95 s;

La propagazione di tale evento è caratterizzata da un'evidente rifrazione dei fronti d'onda che a partire dalle profondità inferiori a -30 m tendono a ruotare per disporsi ortogonalmente alle batimetriche.

L'onda a tergo dell'opera, a profondità di 2,06 m s.l.m.m., risulta già in condizioni di frangimento, con un'altezza , ricavata dal modello numerico, pari a 1,45 m s.l.m.m.



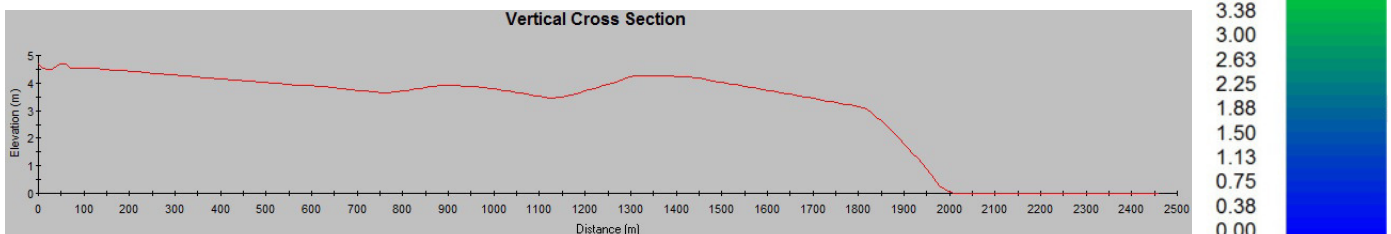
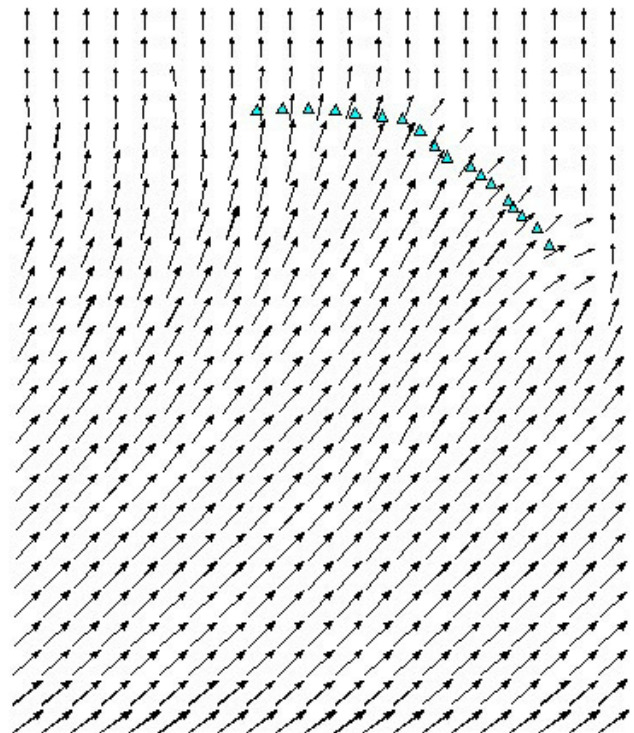
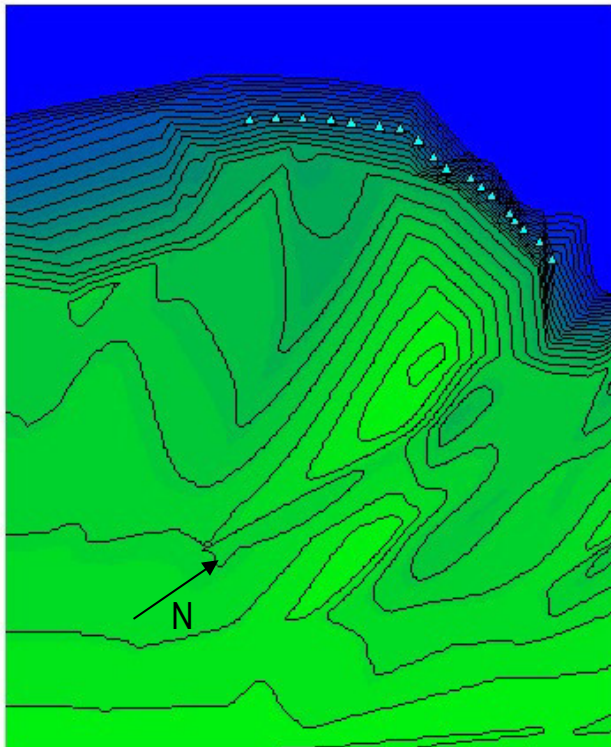
7.26  
6.65  
6.05  
5.44  
4.84  
4.23  
3.63  
3.02  
2.42  
1.81  
1.21  
0.60  
0.00



**Figura 7.8:** Andamento dell'altezza d'onda e della direzione d'onda sottocosta nella batimetria di calcolo, considerando una forzante pari all'onda sottocosta avente le seguenti caratteristiche: Dir: 117,5° N, Hs = 6,80 m; Tp = 11,06 s;

La propagazione di tale evento è caratterizzata da un'evidente rifrazione dei fronti d'onda che a partire dalle profondità inferiori a -30 m tendono a ruotare per disporsi ortogonalmente alle batimetriche.

L'onda a tergo dell'opera, a profondità di 2,06 m s.l.m.m., risulta già in condizioni di frangimento, con un'altezza , ricavata dal modello numerico, pari a 1,46 m s.l.m.m.



**Figura 7.9:** Andamento dell'altezza d'onda e della direzione d'onda sottocosta nella batimetria di calcolo, considerando una forzante pari all'onda sottocosta avente le seguenti caratteristiche: Dir: 172,5° N, Hs = 5,10 m; Tp = 9,58 s;

La propagazione di tale evento è caratterizzata da un'evidente rifrazione dei fronti d'onda che a partire dalle profondità inferiori a -30 m tendono a ruotare per disporsi ortogonalmente alle batimetrie.

L'onda a tergo dell'opera, a profondità di 2,06 m s.l.m.m., risulta già in condizioni di frangimento, con un'altezza , ricavata dal modello numerico, pari a 1,62 m s.l.m.



## 8 PROFONDITA' DI CHIUSURA DI SPIAGGIA

La profondità di chiusura di una spiaggia risulta la massima profondità del fondale in cui un'onda fa sentire i suoi effetti ai fini del trasporto solido litoraneo.

Il calcolo del suo valore può avvenire tramite la comparazione dei rilievi batimetrici delle medesime sezioni effettuate in anni diversi. In mancanza di queste informazioni, come nel caso dei paraggi in esame, si può usare una delle relazioni semi empiriche riconosciute in letteratura.

In particolare per il paraggio di Avola si è fatto riferimento alla relazione di *Hellermeier*, secondo cui:

$$h_c = 1,6H_{0,12}$$

dove:

$h_c$  è la profondità di chiusura;

$H_{0,12}$  è l'altezza d'onda a largo che compare per 12 ore l'anno, nel settore di traversia considerato per il paraggio oggetto di studio.

Il valore di  $H_{0,12}$  si ricava dall'analisi statistica effettuata sui dati d'onda disponibili, calcolando preliminarmente la percentuale di apparizione delle onde relative a tutti gli eventi registrati,  $n$ , pari a:

$$n = \frac{NT}{n_{H\alpha}} = 0,846$$

dove NT (numero totale di stati di mare individuati al largo del paraggio di Avola, esclusi gli eventi di calma) = 21829, ed  $n_{H\alpha}$  rappresenta il numero di apparizioni che compete all'onda di altezza  $H_s$  e direzione  $\alpha$  nei 17 anni di osservazione derivanti dalle registrazioni della boa di Catania, pari a 75812.

Nota il valore di  $n$ , si ricava il tempo  $t_{H\alpha}$ :

$$t_{H\alpha} = n_{oreanno} \cdot n = 7410,44 \text{ ore}$$

essendo  $n_{oreanno}$  (numero di ore in un anno) = 8760 ore.

Quindi si contano tutte le classi d'altezza d'onda significativa determinate al largo di Avola, prescindendo dalla direzione e si sommano per tutte le direzioni considerate, determinando il tempo di apparizione totale della singola onda per tutto il settore di traversia,  $t_H$ :

$$t_H = \sum_{\alpha=\alpha_1}^{\alpha_2} t_{H\alpha}$$

Dove  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  sono le direzioni estreme del settore di traversia.





Noto il valore di  $t_H$  è possibile ricavare una relazione tra  $H$  e  $t_H$  costruendo una curva che restituisce i tempi di apparizione di ogni singola onda.

Il valore  $H_{0,12}$  è immediatamente determinato intersecando la curva di apparizione con la retta parallela all'asse delle ordinate e passante per il punto di ascissa  $t=12h$ . In Figura 12.1 è mostrata la curva di apparizione delle onde per il paraggio di Avola. Dall'intersezione tra la curva di apparizione e la retta, si ricava  $H_{0,12} = 4,80$  m (vedi figura 12.2) e si determina, attraverso la succitata relazione di *Hallermeier*, il corrispondente valore della profondità di chiusura,  $h_c = 7,68$  m.

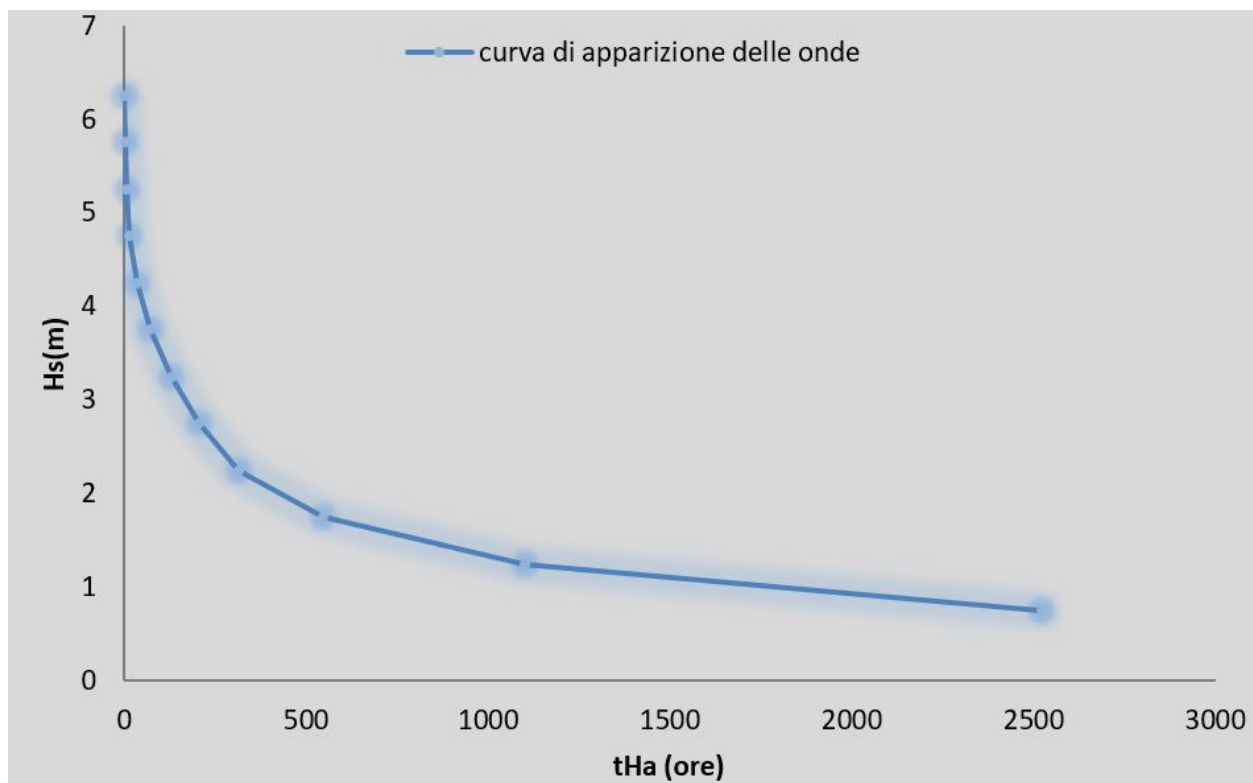


Figura 12.1: Curva di apparizione delle onde (paraggio di Avola)

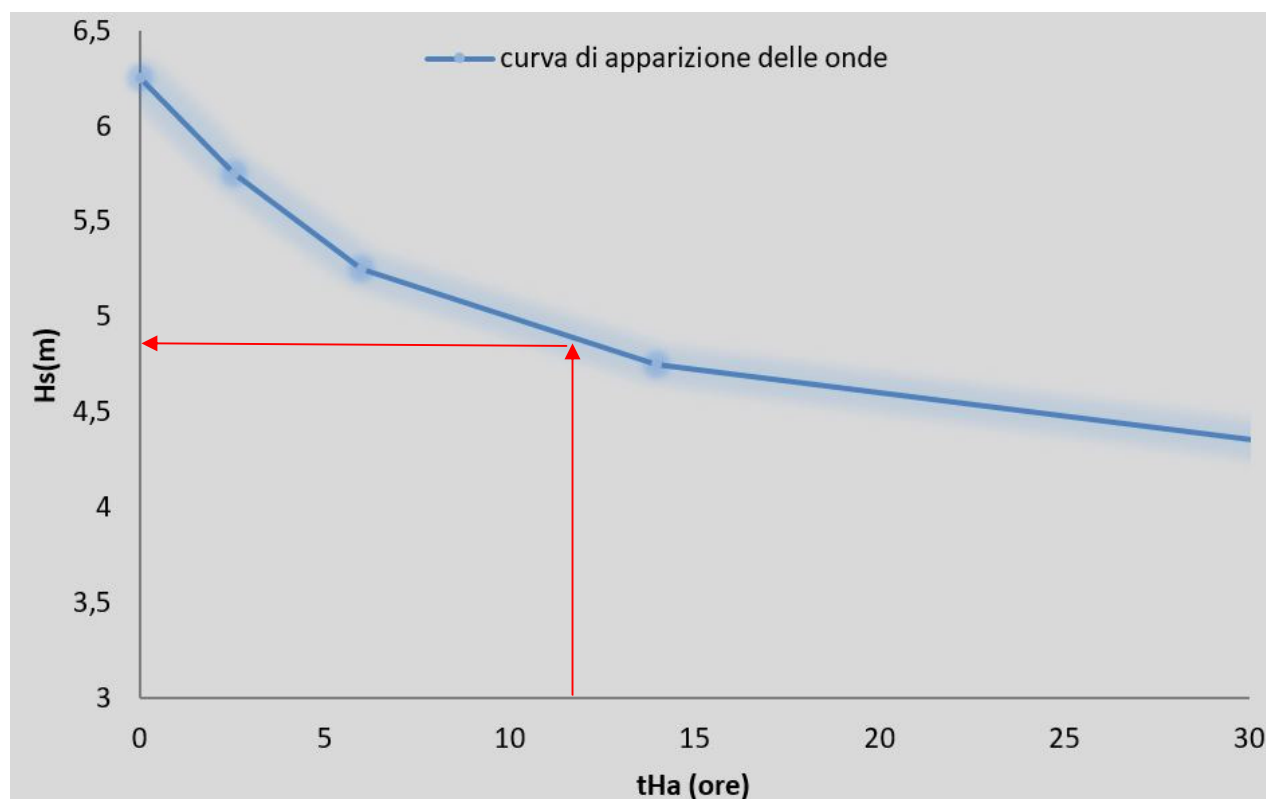


Figura 12.2: Particolare della curva di apparizione delle onde (paraggio di Avola)

## 9 ANALISI DEI LIVELLI

La conoscenza delle massime variazioni quasi statiche del livello marino, dovute a cause diverse (principalmente **marea astronomica** e **meteorologica**), è necessaria per molteplici scopi, quali la corretta progettazione delle quote da assegnare ad eventuali opere di difesa e la determinazione dell'altezza limite di swash (quota della spiaggia emersa raggiunta dal mare). In generale per quanto riguarda le variazioni a breve termine, periodiche e non, occorre distinguere gli effetti della **marea astronomica** da quelli della **marea "meteorologica"** (indotta essenzialmente dall'azione del vento e dalle variazioni di pressione atmosferica). Nella zona del Mar Mediterraneo, ove ricade il paraggio costiero in esame, le escursioni del livello del mare sono abbastanza modeste. Per la stima della componente oscillatoria della marea astronomica è possibile ricorrere all'analisi dei livelli basata sulla serie mareografiche.



## 9.1 SOVRALZO DOVUTO ALL'AZIONE DEL VENTO – MAREA METEOROLOGICA

Per quanto attiene alla variazione del livello del mare per effetto dell'azione del vento, questa è calcolabile prendendo in considerazione il **sovralzo dovuto all'azione del vento (storm surge o wind setup)**,  $S_v$ , calcolabile attraverso la seguente relazione implicita, risolta per successive iterazioni:

$$S_v = \left[ \frac{kU^2 x_p}{g(D_p - d - S_v)} \right] \ln \left( \frac{D_p}{d + S_v} \right) = 0,09m$$

essendo:

U (massima velocità del vento persistente)  $\approx 20$  m/s

$D_p$  è la profondità della piattaforma continentale, pari a - 600 m;

$x_p$  è l'estensione della piattaforma continentale, che risulta pari alla distanza nella direzione del vento tra la profondità  $D_p$  e la profondità  $d$ , dove si calcola il sovrizzo (in questo caso, si pone  $d=0$  sulla linea di riva, ove viene calcolato il sovrizzo di vento); per la conformazione batimetrica al largo di Avola, il valore di  $x_p = 1000$  m;  $k$  (coefficiente empirico) =  $3 \cdot 10^{-6}$ .

## 9.2 EFFETTO BARICO – MAREA METEOROLOGICA

Per quanto attiene le variazioni di pressione atmosferica, 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 meteorologica della Rete Mareografica Nazionale sita presso il porto di Catania, di cui in Figura 9.2 se ne riporta la registrazione nel periodo gennaio 2010 - settembre 2018.

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.

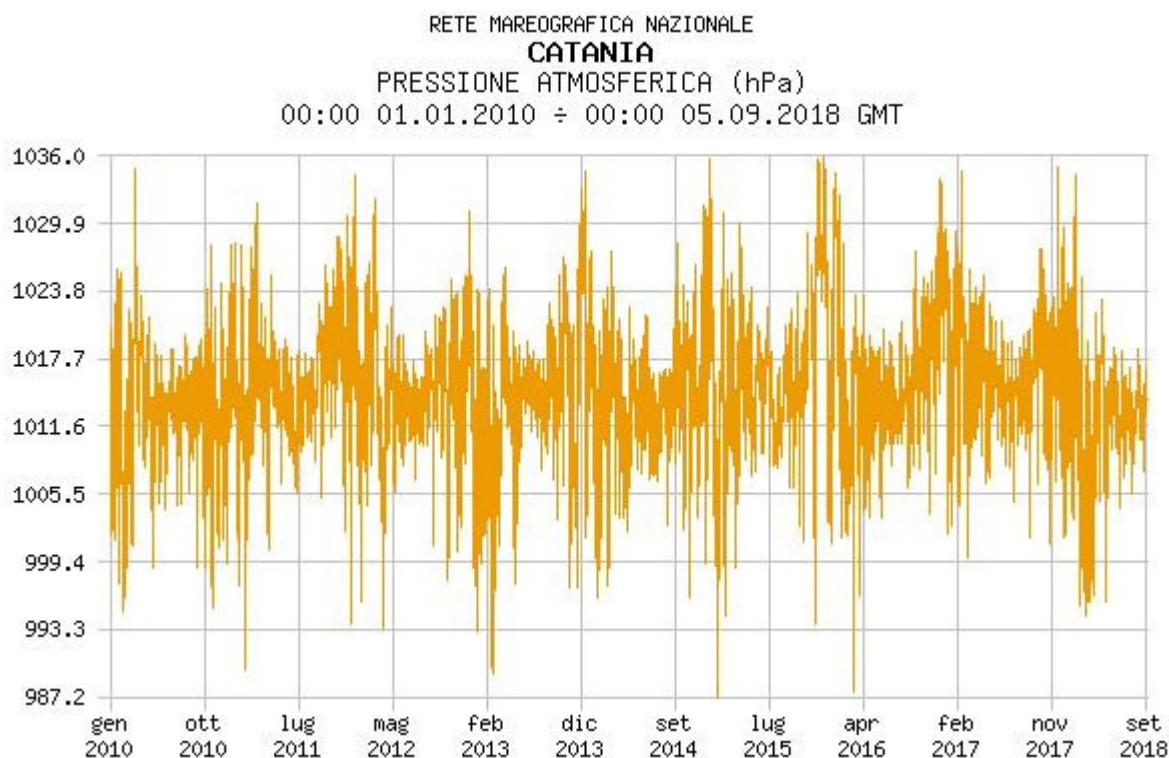


Figura 9.1: Pressione atmosferica registrata dalla stazione meteorologica della Rete Mareografica Italiana dell'ISPRA sita nel porto di Catania nel periodo gennaio 2010 – settembre 2018.

### 9.3 MAREA ASTRONOMICA

La marea astronomica, dovuta principalmente all'azione esercitata dal campo gravitazionale del sole e della luna sulle masse oceaniche, ha nello Ionio 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 della marea astronomica è stato condotto nella fattispecie sulla base dei dati forniti dalla stazione mareografica della Rete Mareografica Nazionale dell'Agenzia per l'Ambiente e il Territorio di Catania. In particolare, nella figura 9.2 è riportato l'andamento della marea come registrato dalla stazione mareografica sita nel porto di Catania. Bisogna comunque sottolineare che l'andamento riportato rappresenta la risultante della marea astronomica e della marea meteorologica.

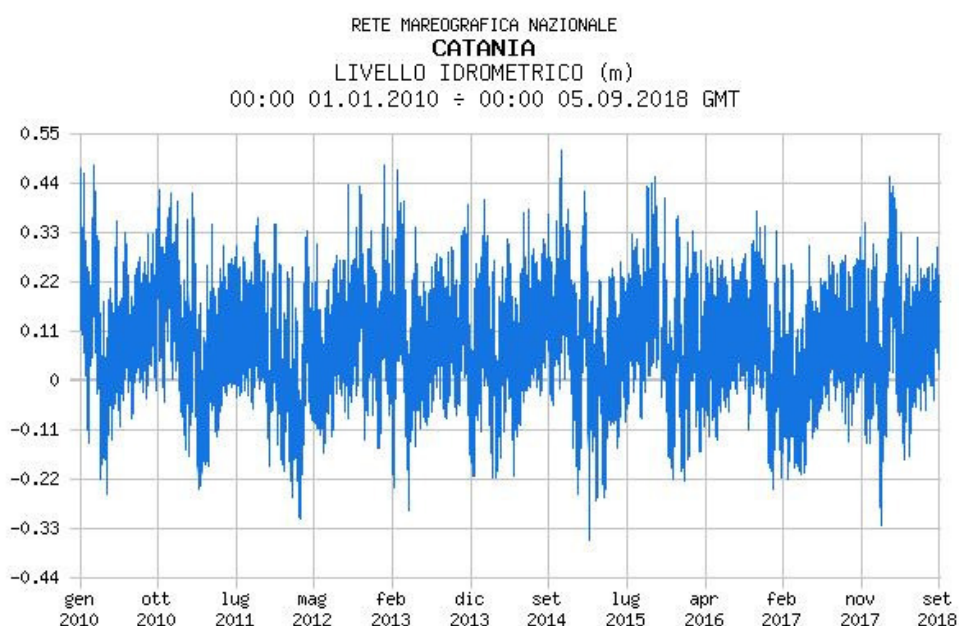
L'analisi in frequenza condotta sulle registrazioni del citato mareografo ha mostrato come le componenti della marea di ampiezza significativa sono quelle riportate nella Tabella seguente.



Nome	Periodo [ore min]	Ampiezza [cm]	Fase [°]
M2	12 25'	6.78	29.89
S2	12 00'	3.51	35.03
K1	23 56'	1.72	29.59
O1	25 49'	1.12	25.00
N2	12 39'	1.10	35.69
K2	11 58'	0.98	23.55
P1	24 03'	0.84	2.76

Tabella 11: *Principali componenti armoniche della marea ricavate dall'analisi in frequenza di dati registrati dal mareografo della Rete Mareografica Nazionale sito nel Porto di Catania*

L'andamento nel tempo 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.



**Figura 9.2:** *Livello della marea registrata dalla stazione mareografica della Rete Mareografica Italiana dell'ISPRA sita nel porto di Catania nel periodo gennaio 2010 – settembre 2018.*

#### 9.4 VARIAZIONI A LUNGO TERMINE DEL LIVELLO DEL MARE

Le attuali proiezioni prevedono un progressivo innalzamento del livello marino dovuto all'incremento della temperatura terrestre (effetto serra) stimabile in circa 30 cm nei prossimi 50 anni. Valutazioni meno pessimistiche considerano possibili incrementi di



livello di poco superiori a quelli registrati nell'ultimo millennio (dell'ordine di 10 cm al secolo). Si assume nel calcolo un incremento del livello del mare di 10 cm per effetto delle variazioni a lungo termine.

## 9.5 STIMA DEI VALORI ESTREMI DEI LIVELLO DEL MARE

Il massimo livello che può raggiungere il mare in situazioni estreme, deriva dalla massima escursione positiva del livello del mare che si può avere per effetto della marea astronomica e della marea meteorologica (la quale è dovuta a varie cause, quali i venti di mare, il soprizzo barico, causato da condizioni di bassa pressione atmosferica), e di variazioni a lungo termine del livello del mare.

Il soprizzo complessivo del livello marino si ottiene quindi come somma dei singoli contributi dovuti alle cause suddette. In effetti è però estremamente poco probabile che possano verificarsi contemporaneamente i massimi contributi dovuti alle varie cause, per cui si può apportare una riduzione dell'ordine di almeno il 40 % al valore massimo determinato in questo modo (vedi par. 6.7, Idraulica Marittima, Valerio Milano, Maggioli Editori), giustificata anche dal fatto che per l'Adriatico vi è sostanzialmente indipendenza tra marea astronomica e disturbi meteorologici (vedi cap. 9, Manuale di ingegneria portuale e costiera, Ugo Tomasicchio).

In definitiva è possibile calcolare il massimo sovrizzo lungo riva sommando tutti i diversi contributi di oscillazione del livello marino ma, considerando che in generale non si verifica la piena concomitanza per i sovrizzi di carattere meteorologico ed astronomico, si può cautelativamente assumere una riduzione del 40 % per il dislivello massimo generato contemporaneamente dal sovrizzo meteorologico ed astronomico.

È quindi possibile assumere un innalzamento massimo del livello marino pari a:

$$\text{sovrizzo}_{(\text{meteo} + \text{astro})} = 0,10m + (0,09m + 0,44m + 0,26m) \times 0,60 \approx 0,574 m,$$

Il valore di sovrizzo massimo così determinato risulta di fondamentale importanza per stabilire l'altezza d'onda di progetto che corrisponde a quella che frange in corrispondenza della scogliera.

Per quanto riguarda i massimi abbassamenti risulta invece:

$$\text{abbassamento}_{(\text{meteo} + \text{astro})} = +(-0,33m - 0,22m) \times 0,60 \approx 0,55 m$$

## 9.6 SOVRALZO DOVUTO AL MOTO ONDOSO

Nella zona più prossima alla riva si verifica un'ulteriore variazione del livello marino associata alla propagazione e frangimento dell'onda. Lungo la fascia litoranea confinata tra la linea dei frangenti e la linea di riva, indicata dalla letteratura specializzata come surf-zone, si registra un abbassamento del livello marino (wave set-down) nella zona di frangimento delle onde ed un successivo innalzamento verso riva (wave setup)

Per quanto riguarda l'azione del moto ondoso è possibile calcolare il sovrizzo (wave setup),  $Sw$ , ad esso dovuto, ricorrendo alla seguente formulazione:



$$S_w = 0.15d_b - \frac{0.536\sqrt{H_b^3}}{T\sqrt{g}} = 0.15 \times 2,06 - \frac{0.536\sqrt{1,62^3}}{8,69\sqrt{9,81}} = 0,26$$

dove:

$d_b$  e  $H_b$  rappresentano il valore della profondità e di altezza d'onda in condizioni di frangimento, pari, rispettivamente, a 4,00 m e 3,20 m (essendo  $H_b = 1,62$  m l'altezza d'onda al frangimento dell'evento estremo direzionale più elevato riferito a  $T = 50$  anni e  $d_b = 2,06$  m la profondità in condizioni di frangimento).

$T$  (periodo medio dell'onda) =  $0,78 * T_p = 0,78 \times 11,15 = 8.69s$  (Boccotti, 1997);

$g$  (accelerazione di gravità) =  $9,81$  m/s<sup>2</sup>.

### 9.7 SOVRALZO COMPLESSIVO IN CORRISPONDENZA DELLA SURF ZONE

Il sovralzo complessivo in corrispondenza della surf zone sarà pari alla somma del sovralzo massimo di carattere meteorologico ed astronomico e del sovralzo dovuto al moto ondoso:

$$sovralzo_{\max} = sovralzo_{(meteo + astro)} + S_w = 0,574m + 0,26m = 0,834m$$