



REGIONE CAMPANIA



PROVINCIA DI SALERNO

COMUNE DI SAPRI

LAVORI DI COMPLETAMENTO RIQUALIFICAZIONE TURISTICA DELLE AREE PORTUALI E COLLEGAMENTO DEL PORTO AL CENTRO URBANO.
REALIZZAZIONE DI UN TERMINAL TURISTICO INTERMODALE
IN LOCALITA' BRIZZI.
IV LOTTO FUNZIONALE

PROGETTO ESECUTIVO

Titolo elaborato :

STUDIO METEOMARINO

Scale:

1 9 0 1 0 E R 0 1 2 - 0 S P 1

Committente

COMUNE DI SAPRI
Via Villa Comunale, n. 1
84073 - Sapri (SA)

R.U.P.
Ing. Alberto CIORCIARO

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti

Capogruppo (Mandataria)

MODIMAR S.r.l.
SERVIZI DI INGEGNERIA

Dott. Ing. Paolo CONTINI (Direttore Tecnico) Dott. Ing. Andrea SANZONE



Via Monte Zebio 40 - 00195 ROMA
06.3269461 - www.modimar.it

Mandanti

SPARTA INGEGNERIA S.r.l.
Dott. Ing. Giustiniano CAGGIANO Dott. Arch. Franco MONTESANO

AGOSTO 2019	0				
Data	Rev.	DESCRIZIONE	Redatto:	Verificato:	Approvato:

Dimensioni foglio: A1

La MODIMAR s.r.l. si riserva la proprietà di questo disegno con la proibizione di riprodurlo o trasferirlo a terzi senza autorizzazione scritta.
This document is property of MODIMAR s.r.l. Reproduction and divulgation forbidden without written permission

Visto del Committente:

LAVORI DI COMPLETAMENTO RIQUALIFICAZIONE TURISTICA DELLE AREE
PORTUALI E COLLEGAMENTO DEL PORTO AL CENTRO URBANO. REALIZZAZIONE
DI UN TERMINAL TURISTICO INTERMODALE
IN LOCALITA' BRIZZI.
IV LOTTO FUNZIONALE

PROGETTO ESECUTIVO

STUDI SPECIALISTICI METEOMARINI E DI INGEGNERIA IDRAULICO-MARITTIMA

Si riporta in allegato lo studio specialistico condotto a supporto della presente progettazione ed affidato alla scivente ATI Modimar srl – Sparta Ingegneria srl, dal responsabile del settore Tecnico – Urbanistica con determinazione n. generale 280/n. sett. 63 del 7 maggio 2019.



REGIONE CAMPANIA



PROVINCIA DI SALERNO

COMUNE DI SAPRI

LAVORI DI COMPLETAMENTO E RIQUALIFICAZIONE TURISTICA DELLE
AREE PORTUALI E COLLEGAMENTO DEL PORTO AL CENTRO URBANO.
REALIZZAZIONE DI UN TERMINAL TURISTICO INTERMODALE
IN LOCALITA' BRIZZI
IV LOTTO FUNZIONALE

STUDI SPECIALISTICI METEOMARINI E DI INGEGNERIA IDRAULICO - MARITTIMA

Titolo elaborato : STUDI DI IDRAULICA MARITTIMA (I FASE)
- STUDIO METEOMARINO

Scale:

1 9 0 0 9 D R 0 0 2 - 0 M A R

Committente

COMUNE DI SAPRI
Via Villa Comunale, n. 1
84073 - Sapri (SA)

R.U.P.

Ing. Alberto CIORCIARO

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti

Capogruppo (Mandataria)

MODIMAR S.r.l.
SERVIZI DI INGEGNERIA

Dott. Ing.
Paolo CONTINI
(Direttore Tecnico)

Dott. Ing.
Andrea SANZONE



Via Monte Zebio 40 - 00195 ROMA
06.3269461 - www.modimar.it

Mandanti

SPARTA INGEGNERIA S.r.l.

Dott. Ing.
Giustiniano CAGGIANO

Dott. Arch.
Franco MONTESANO

MODIMAR S.r.l.

Amministratore Unico
Dott. Ing. Marco Tartaglino

24/07/2019	0		SANZONE	CONTINI	TARTAGLINI
Data	Rev.	DESCRIZIONE	Redatto:	Verificato:	Approvato:

Dimensioni foglio: A4

La MODIMAR s.r.l. si riserva la proprietà di questo disegno con la proibizione di riprodurlo o trasferirlo a terzi senza autorizzazione scritta.
This document is property of MODIMAR s.r.l. Reproduction and divulgation forbidden without written permission

Visto del Committente:

INDICE

1	PREMESSE	2
1.1	METODOLOGIA E DATI DI BASE	3
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DEL PARAGGIO	5
2.1	FETCH GEOGRAFICO ED EFFICACE	7
3	REGIME DEI VENTI.....	11
3.1	ANALISI DATI ANEMOMETRICI DELLA STAZIONE ITAV DI PALINURO	11
3.2	ANALISI DATI ANEMOMETRICI RICOSTRUITI AL LARGO DI SAPRI DAL NOAA-CFSR.....	13
4	ANALISI E VALIDAZIONE DEI DATI ONDAMETRICI.....	16
4.1	CARATTERISTICHE DELLE SERIE DI DATI ONDAMETRICI DISPONIBILI	16
4.2	REGISTRAZIONI ONDAMETRICHE DELLA BOA DI PONZA.....	17
4.3	DATI IN RICOSTRUZIONE NOAA-WWIII IN PROSSIMITÀ DI PONZA.....	18
4.4	CALIBRAZIONE DEI DATI DI MOTO ONDOSI DEL NOAA-WWIII	19
4.5	ANALISI E CALIBRAZIONE DEGLI EVENTI ESTREMI RICOSTRUITI DAL NOAA.....	20
5	REGIME DEL MOTO ONDOSI AL LARGO DI SAPRI	24
5.1	CORRELAZIONE TRA L'ALTEZZA ED IL PERIODO D'ONDA.....	28
5.2	CURVA DI DURATA.....	30
6	ANALISI STATISTICHE DEGLI EVENTI ESTREMI.....	31
7	VARIAZIONI DEL LIVELLO MARINO	36
7.1	MAREA ASTRONOMICA	36
7.2	DISLIVELLO BARICO.....	37
7.3	SOVRALZO DOVUTO AL VENTO	37
7.4	VALORI ESTREMI	38
8	CONCLUSIONI	39

1 PREMESSE

Il Comune di Sapri (SA), rappresentato dal Responsabile del Settore tecnico-urbanistica ing. Alberto CIORCIARO, a seguito della Determinazione generale 280/n. sett. 63 del 07/05/2019, in data 05/06/2019 ha affidato l'incarico al Raggruppamento Temporaneo MODIMAR S.R.L. (mandataria) e SPARTA INGEGNERIA SRL (mandante) per l'esecuzione degli "STUDI SPECIALISTICI METEOMARINI E DI INGEGNERIA IDRAULICO-MARITTIMA" propedeutici alla progettazione definitiva ed esecutiva dei "LAVORI DI COMPLETAMENTO RIQUALIFICAZIONE TURISTICA DELLE AREE PORTUALI E COLLEGAMENTO DEL PORTO AL CENTRO URBANO" e "REALIZZAZIONE DI UN TERMINAL TURISTICO INTERMODALE IN LOCALITÀ BRIZZI", identificati nell'intervento ID14_1 di cui all'allegato 3 del DDR n.115 del 18/12/2018.

La presente relazione riportata l'aggiornamento dello studio meteomarino redatto nel 2006 dal suddetto Raggruppamento Temporaneo ed indispensabile per ridefinire le forzanti meteomarine (in termini di vento, moto ondoso e livello del mare) cui fare riferimento per il dimensionamento e le verifiche idraulico-strutturali delle opere a mare, ma anche per gli studi specialistici di agitazione ondosa portuale e di idrodinamica costiera.

Sono stati studiati i seguenti aspetti:

- inquadramento geografico del paraggio e definizione del settore di traversia che lo contraddistingue;
- determinazione dell'area di generazione efficace per il moto ondoso;
- analisi dei venti in termini di direzione e intensità;
- definizione del clima del moto ondoso al largo;
- valutazione, su base statistica, della legge di distribuzione dei valori estremi di moto ondoso al largo in modo da poter definire l'evento di progetto associato ad un determinato tempo di ritorno;
- valutazione delle variazioni del livello marino.

1.1 Metodologia e dati di base

Per la definizione delle condizioni di moto ondoso al largo di Sapri sono state prese in esame le fonti di dati maggiormente attendibili e attualmente disponibili per il sito in esame:

- dati di moto ondoso ricostruiti tra il 1979 ed il 2009 per l'intero bacino del mediterraneo dalla NOAA (Agenzia federale statunitense istituita nel 1970 per la gestione dei satelliti meteorologici dell'USA, svolge un ruolo di spicco a scala mondiale per la previsione ed analisi meteorologiche) con il modello di generazione e propagazione del moto ondoso WaveWatch III (WWIII) con una risoluzione spaziale (lat-lon) pari a 1/6 di grado ed una cadenza temporale trioraria; la serie di dati estratti dal database del NOAA presenta una durata di circa 31 anni e rappresenta quindi un campione statisticamente molto significativo;
- registrazioni ondametriche direzionali (da luglio 1989 a giugno 2005) effettuate dalla boa posta al largo di Ponza con cadenza trioraria appartenente alla Rete Ondametrica Nazionale (gestita dall'ISPRA ex APAT).

Sulla base del confronto dei dati di moto ondoso appartenenti alla serie storica della stazione ondametrica di Ponza, si è proceduto ad un'operazione di calibrazione dei dati in ricostruzione forniti dal NOAA.

Si è quindi proceduto alla valutazione del regime di moto ondoso al largo di Sapri ed alla valutazione della legge di distribuzione dei valori estremi di moto ondoso sulla base dell'analisi statistica delle altezze d'onda al colmo delle mareggiate estratte dalle serie storica NOAA-WWIII, in funzione dei settori di traversia che caratterizzano il paraggio, applicando la metodologia proposta da Goda (1988).

Per la definizione delle caratteristiche dei venti sono stati analizzati i dati triorari di vento in ri-analisi forniti dal NOAA-WWIII nello stesso punto al largo di Sapri e per il periodo che va dal 1979 al 2009.

Le variazioni del livello del mare che contraddistinguono il paraggio sono state determinate facendo riferimento alle misure mareografiche eseguite tra il 2010 ed il 2019 dalla stazione della RMN (Rete Mareografica Nazionale) di Palinuro gestita dall'ISPRA.

In Tabella 1.1 sono elencate le diverse fonti utilizzate per lo svolgimento dello studio, per ognuna delle quali sono riportati il punto di acquisizione della serie di dati ed il periodo temporale di acquisizione.

Tabella 1.1. Fonti utilizzate per lo studio meteomarino

Rif.	Fonte dati	Descrizione	Posizione	Periodo
1	NOAA WWIII 30-Year Wave Hindcast	Dati di vento e di moto ondoso ricostruiti con il modello di generazione e propagazione WWIII in prossimità di Ponza per analisi di calibrazione	40.83° N 13.00° E	1979 2009
2	Rete Ondametrica Nazionale (RON) Boa di Ponza	Dati di moto ondoso misurati dalla boa ondametrica di Ponza (RON 1.0-2.0)	40.86°N 12.85°E	1989 2007
3	NOAA WWIII 30-Year Wave Hindcast	Dati di vento e di moto ondoso ricostruiti con il modello di generazione e propagazione WWIII al largo di Sapri	40.50° N 14.50° E	1979 2009
3	ISPRA Rete Mareografica Nazionale (RMN) Mareografo di Palinuro	Misure di livello effettuate dalla stazione mareografica di Palinuro	40° 01' 47.68" N 15° 16' 31.05" E	2010 2019

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DEL PARAGGIO

Il paraggio costiero del comune di Sapri, ricade all'interno dell'omonima baia che si colloca nella zona più interna del Golfo di Policastro, ampia insenatura che si affaccia sul Mar Tirreno meridionale (Figura 2.1) delimitata a NordEst da Punta Isoletti, propaggine meridionale del Cilento, e a SudEst da Capo Scalea, margine settentrionale della catena costiera dell'appennino calabro (fig. 2.2).

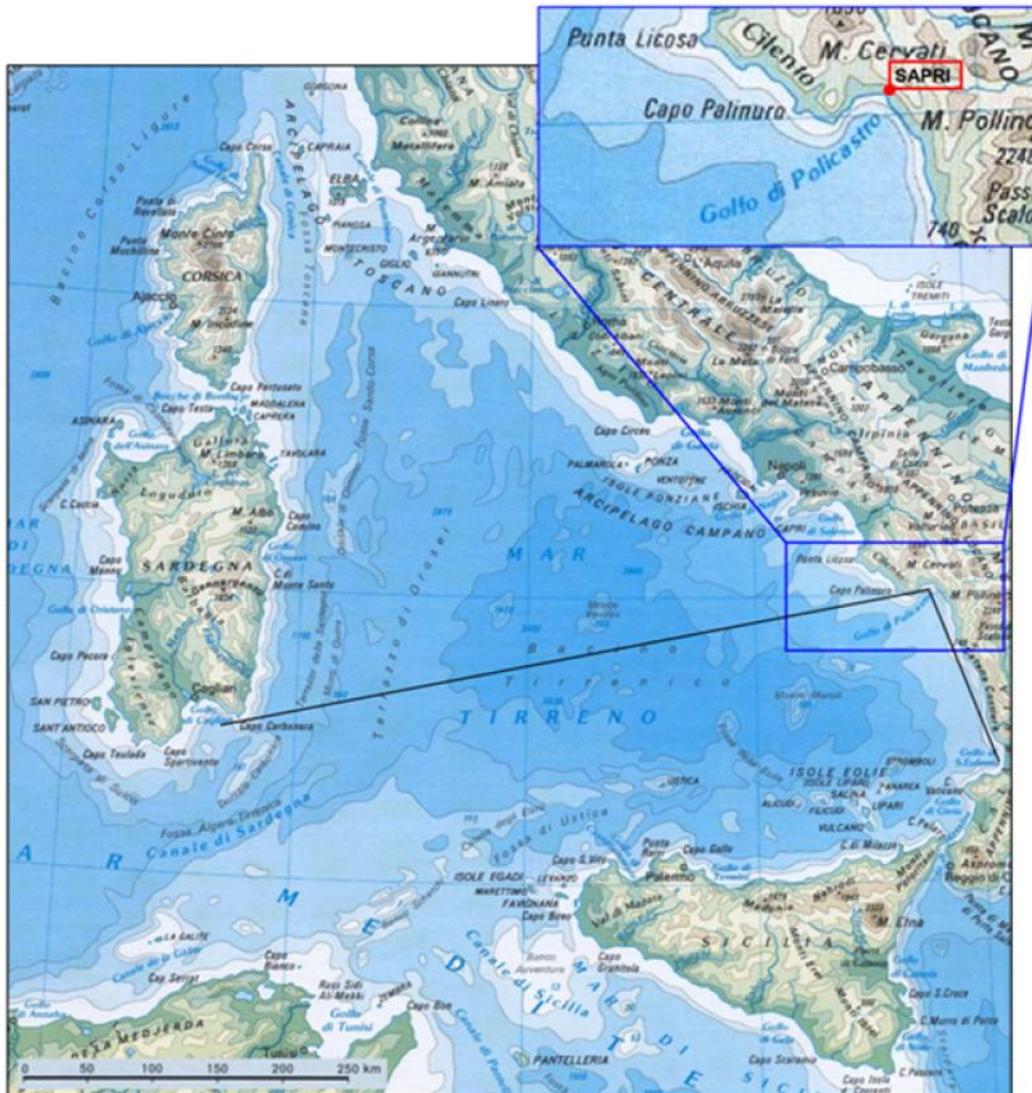


Figura 2.1. Inquadramento geografico del sito di Sapri all'interno del Golfo di Policastro

La baia di Sapri (Figura 2.2) ha una conformazione planimetrica pressoché “squadrata” con ampiezza fronte mare pari a circa 1000 m ed orientamento dell’asse mediano da NordEst (lato terra) a SudOvest (lato mare).

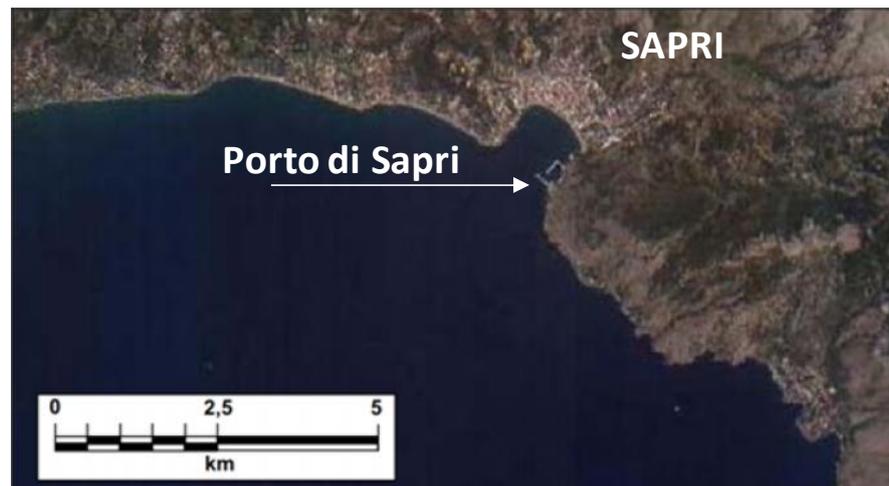


Figura 2.2. Immagine satellitare del tratto di costa con al centro la baia di Sapri

Ponendosi al centro dell'ingresso alla baia (Figura 2.3), su fondali aventi profondità di circa 13÷15 m s.l.m., la traversia geografica è compresa tra la visuale per Punta Iscoletti (circa 245° N) e quella per Capo Scalea (circa 155° N). Si individua anche una traversia secondaria che traguarda a ponente la costa prevalentemente rocciosa del versante orientale del Cilento sino a Scario e successivamente il litorale che dalla piana del Bussento si snoda attraverso l'ampia spiaggia di Marina di Policastro sino al litorale di Vibonati.

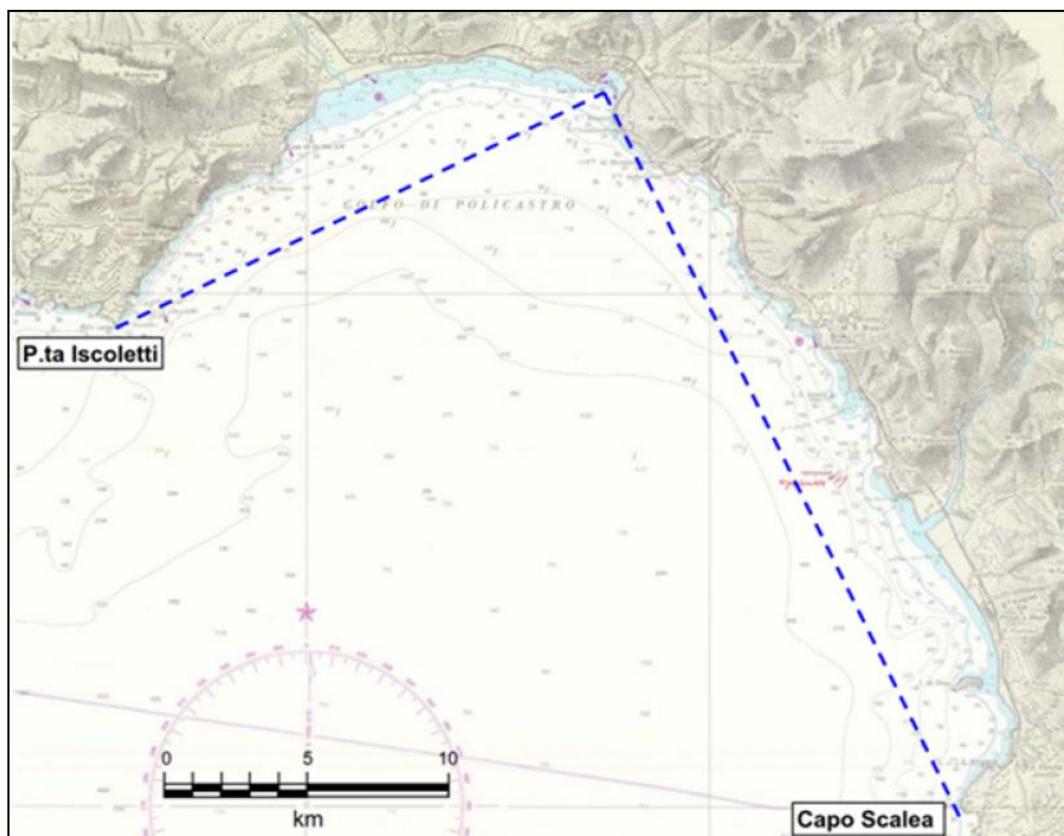


Figura 2.3. Corografia Generale del Golfo di Policastro

2.1 Fetch geografico ed efficace

Una prima valutazione delle condizioni “potenziali” di esposizione al moto ondoso del sito in esame può essere effettuata sulla base dei settori di traversia geografica, rappresentativi dell'estensione della superficie marina che può contribuire alla generazione del moto ondoso (“fetch”).

In Figura 2.4 è mostrato il fetch geografico (tracciato con passo angolare di 1°) al largo di Sapri, in un punto opportunamente scelto all'interno del Golfo di Policastro.

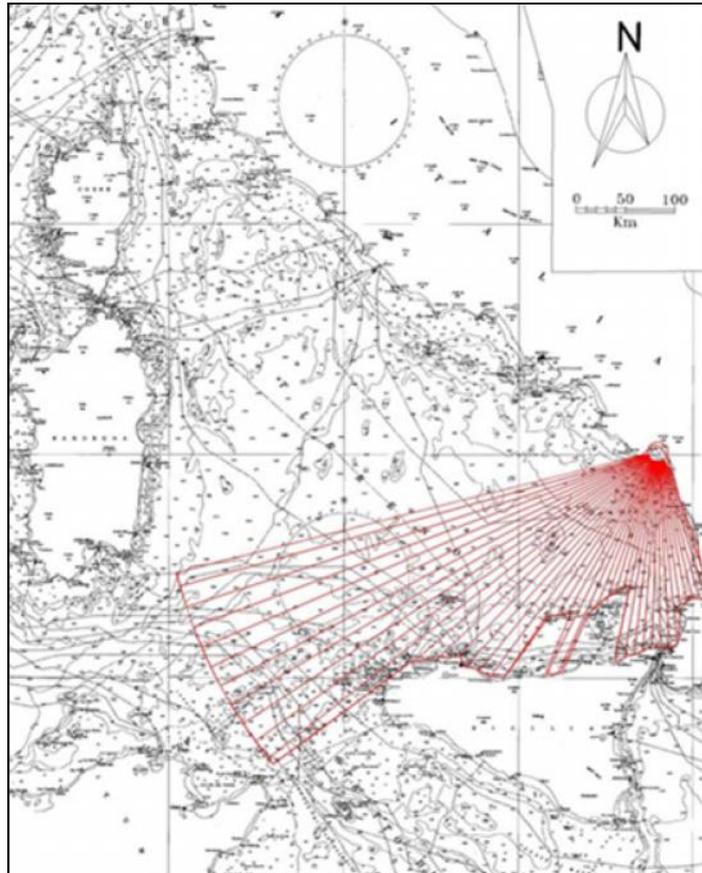


Figura 2.4. Fetch geografici al largo di Sapri nel punto di coordinate 40.5°N - 14.5°E

Il paraggio risulta esposto al mare aperto per il settore di traversia compreso tra le direzioni 160°N e 260°N.

Il fetch geografico a Sud-SudEst, Sud e SudOvest (tra 160° e 230° N) risulta limitato dalla costa della Calabria e della Sicilia settentrionale con estensioni comprese tra 130 e 300 km. Tra SudOvest ed Ovest (tra 230° e 260°N) il fetch riguarda la costa tunisina e algerina pertanto è stato limitato a 500 km, considerando la massima estensione che hanno le perturbazioni cicloniche che usualmente si generano nel bacino del Mar Mediterraneo.

Il *fetch efficace* è la porzione di mare sulla quale si esplica “effettivamente” l’azione del vento responsabile della generazione del moto ondoso. Esso è funzione dei valori dei *fetch* geografici associati alle direzioni contigue a quella considerata; in questo modo i *fetch efficaci* tengono conto del fatto che alla generazione del moto ondoso oltre alla superficie marina individuata nella direzione media w_w lungo la quale spirava il vento contribuiscono anche le porzioni di mare dalle direzioni comprese in un settore di $\pm\theta$ rispetto alla direzione media di azione del vento. Di conseguenza la lunghezza dei *fetch efficaci* risulta essere diversa da quella dei *fetch geografici*.

Il calcolo dei *fetch efficaci* può essere eseguito in base alla seguente relazione:

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

nella quale i simboli che compaiono rappresentano i seguenti parametri:

- $F_{e,w}$: lunghezza del fetch efficace relativa alla direzione w_w ;
- F_i : lunghezza del fetch geografico relativa alla direzione i -esima w_i ;
- w_w : direzione media (riferita al nord geografico) di possibile provenienza del vento responsabile del fenomeno di generazione del moto ondoso lungo la traversia;
- $w_w - \theta \leq w_i \leq w_w + \theta$ direzione i -esima (riferita al nord geografico) relativa ad un settore di 2θ considerato nell’intorno della direzione w_w ;
- θ ampiezza del settore di possibile provenienza del moto ondoso (il metodo di Saville prevede un valore di $\theta = \pm 45^\circ$ mentre quello di Seymour fa riferimento ad un valore di $\theta = \pm 90^\circ$);
- n : termine esponenziale definito in funzione della legge di distribuzione direzionale degli spettri di moto ondoso che caratterizzano il sito in esame (solitamente si assume $n = 4$).

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

Il calcolo del fetch efficace è stato eseguito utilizzando l'applicazione ENIF¹, che risolve la precedente equazione.

I risultati dei calcoli sono riportati nella Figura 2.5 e nella Tabella 2.1 ove sono riportati per discretizzazione della traversia in settori di 10° i valori dei fetch geografici ed efficaci e la correlazione tra la direzione del vento e la direzione del moto ondoso generato. Il fetch efficace massimo che ne deriva è pari a circa 200 km ed è riferibile al settore SudOvest (210°- 230°N libeccio) cui corrispondono le massime estensioni del fetch geografico e nel contempo le minime deviazioni tra le direzioni del vento e del moto ondoso.

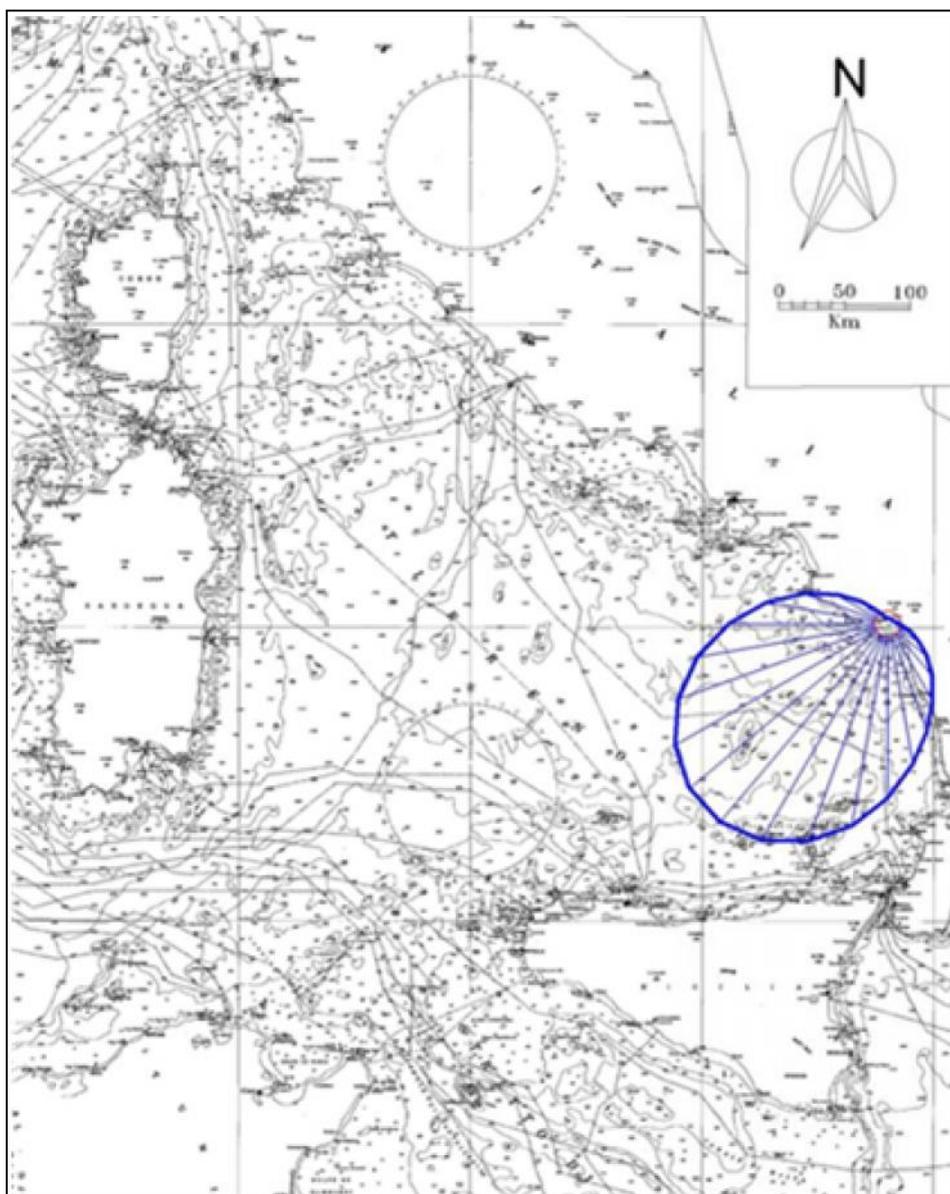


Figura 2.5. Fetch efficaci al largo di Sapri (Golfo di Policastro)

¹ Il software per ambiente windows ENIF per il calcolo automatico dei fetch efficaci è stato sviluppato e commercializzato dalla società MODIMAR S.R.L.

Tabella 2.1. Fetch geografici, efficaci e deviazione direzione vento/mare al largo di Sapri (Golfo di Policastro)

Fetch geografici ed efficaci al largo di Sapri							
Direzione media settore di traversia ("Nord)	Fetch Geografico (km)	Fetch Efficace (km)	Deviazione direzione vento-mare (°)	Direzione media settore di traversia ("Nord)	Fetch Geografico (km)	Fetch Efficace (km)	Deviazione direzione vento-mare (°)
0	5.00	4.31	-60.0	180	196.72	134.50	19.0
10	4.79	4.10	-64.0	190	213.33	158.09	15.0
20	4.64	3.96	-67.0	200	160.66	178.15	10.0
30	4.43	3.89	-1.0	210	189.35	192.28	6.0
40	4.36	3.92	57.0	220	285.44	198.76	1.0
50	4.43	4.06	57.0	230	326.66	196.80	-4.0
60	4.65	4.34	55.0	240	499.54	186.57	-9.0
70	5.04	4.83	53.0	250	499.85	169.22	-13.0
80	5.51	5.84	50.0	260	14.94	146.46	-18.0
90	6.05	7.99	47.0	270	12.51	120.30	-22.0
100	6.93	11.96	44.0	280	10.61	92.95	-27.0
110	8.42	18.31	42.0	290	9.30	66.68	-31.0
120	11.16	27.24	40.0	300	8.47	43.68	-36.0
130	13.92	38.72	38.0	310	7.61	25.69	-40.0
140	19.26	52.59	35.0	320	7.03	13.65	-44.0
150	32.87	68.86	32.0	330	6.35	7.33	-49.0
160	151.77	87.97	28.0	340	5.96	5.09	-53.0
170	156.44	110.20	24.0	350	5.40	4.60	-57.0

3 REGIME DEI VENTI

La conoscenza del "clima anemologico" locale, cioè la distribuzione in frequenza della velocità e direzione del vento, è importante per la corretta progettazione di un porto turistico, con particolare riferimento alle possibili condizioni di esposizione delle aree di manovra ed ormeggio delle imbarcazioni ed in particolare modo l'orientamento e dimensionamento dei pontili di ormeggio. E' noto, infatti, che le imbarcazioni rispondono molto meglio alle azioni di venti longitudinali (paralleli all'asse longitudinale della barca) piuttosto che trasversali, in modo particolare durante le delicate manovre negli spazi ristretti di un bacino portuale ed in fase di stazionamento.

Inoltre, la conoscenza della forza del vento è necessaria per il dimensionamento dei pontili di accosto ed altre strutture emergenti e per il calcolo degli effetti sulle variazioni del livello marino sottocosta.

Pertanto si è condotta una prima ricerca e selezione delle fonti di dati disponibili per la corretta caratterizzazione del regime dei venti che contraddistingue il sito costiero in esame.

I dati disponibili riguardano essenzialmente:

- la stazione dell'Aeronautica Militare (ITAV) di Palinuro (n. 310 posta a quota 185 m s.l.m. - periodo di funzionamento: dal 1951 fino al 1977, in precedenza "stazione semaforica" della Marina Militare dagli anni '30);
- i dati di vento triorari, alla quota di +10 m sul l.m.m., ricostruiti al largo di Sapri dal NOAA-CFSR (Climate Forecast System Reanalysis) nell'ambito del progetto "*WaveWatchIII hindcast and reanalysis archive*", che coprono il periodo storico 1979-2009.

Nell'immediato entroterra della baia di Sapri, nel Comune di Torraca, in corrispondenza dell'area interessata dal progetto di installazione di una centrale "eolelettrica", ad una quota di 67 m s.l.m. è stata individuata anche un'altra stazione anemometrica che, data la limitata estensione del periodo di misure (20 mesi) è stata scartata in quanto non rende attendibile questa stazione per gli obiettivi progettuali inerenti il porto di Sapri.

3.1 Analisi dati anemometrici della stazione ITAV di Palinuro

La distribuzione direzionale delle frequenze percentuali dei dati anemometrici della stazione di Palinuro è sintetizzata nella Figura 3.1 e nella Tabella 3.1.

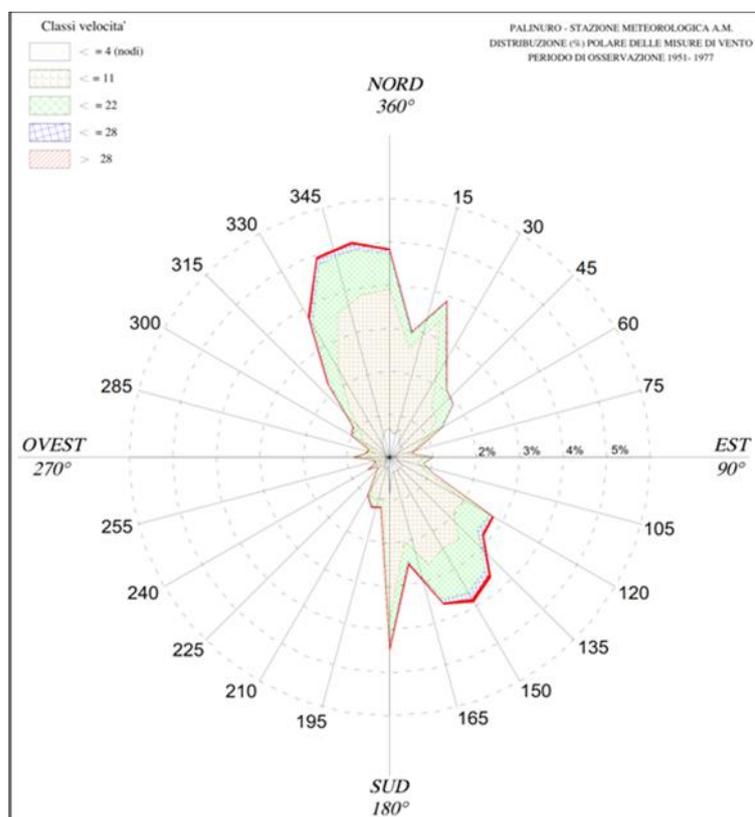


Figura 3.1. Stazione meteorologica di Palinuro. Grafico polare del regime dei venti

Tabella 3.1. Stazione meteorologica di Palinuro. Sintesi del regime dei venti

Direzione e velocità del vento Distribuzione delle frequenze annuali(*) (media sul periodo 1951 ÷ 1977)							
DIR (°N)	Classi di velocità (nodi)						Totali
	0 ÷ 1	2 ÷ 4	5 ÷ 7	8 ÷ 12	13 ÷ 23	24 ÷ 99	
0.0 ÷ 22.5		26.76	29.93	18.16	7.92	1.21	83.98
22.5 ÷ 45.0		15.40	18.18	11.31	8.14	1.33	54.36
45.0 ÷ 67.5		9.40	9.34	7.41	5.85	0.53	32.53
67.5 ÷ 90.0		4.95	4.41	3.90	1.90	0.20	15.36
90.0 ÷ 112.5		7.02	7.04	5.46	2.34	0.22	22.08
112.5 ÷ 135.0		14.31	17.90	16.56	11.49	2.43	62.68
135.0 ÷ 157.5		15.45	24.10	25.20	17.75	3.95	86.44
157.5 ÷ 180.0		18.50	22.73	17.53	8.77	2.16	69.70
180.0 ÷ 202.5		14.29	13.91	7.19	3.81	1.20	40.40
202.5 ÷ 225.0		8.62	5.24	2.78	1.99	0.56	19.19
225.0 ÷ 247.5		3.22	2.14	2.35	1.70	0.33	9.74
247.5 ÷ 270.0		2.43	2.10	2.61	2.41	0.40	9.95
270.0 ÷ 292.5		3.27	3.40	3.37	2.70	0.50	13.25
292.5 ÷ 315.0		6.24	6.60	5.54	3.73	1.06	23.17
315.0 ÷ 337.5		13.62	20.00	20.76	17.06	3.10	74.54
337.5 ÷ 360.0		27.08	35.09	29.70	17.56	2.75	112.17
VARIABILI		0.66	1.02	1.90	3.45	1.32	8.35
0 ÷ .5 m/s	262.08						262.08
Totali	262.08	191.21	223.12	181.74	118.59	23.25	1000.00
Quota strumento (m s.l.m.)		310					
Numero totale eventi:		77208					
(*) Valori per migliaia di unità							

I dati acquisiti da questa stazione indicano una predominanza dei venti da maestrale e scirocco con una direttrice dominante Nord-NordOvest – Sud-SudEst che ben rappresenta il regime dei venti in mare aperto del Tirreno meridionale.

La percentuale di occorrenza dei venti moderati più favorevoli alla navigazione a vela (vento tra 2 e 12 nodi) risulta pari al 60%; le calme (velocità minore di 1 nodo) raggiungono il 26%; la percentuale dei venti forti ($V > 24$ nodi con avviso di burrasca che sconsiglia tanto la pesca che il diporto) risulta inferiore al 2% con le frequenze maggiori dai settori di maestrale (NW) e scirocco (SE).

3.2 Analisi dati anemometrici ricostruiti al largo di Sapri dal NOAA-CFSR

La serie storica dei dati di vento ricostruita al largo di Sapri dal NOAA (nel punto di coordinate Lat: 39.83° - Lon: 15.5°), suddivisa per classi di direzione e velocità del vento, viene riportata nella seguente Tabella 3.2.

Tabella 3.2. Suddivisione dei dati di vento ricostruiti al largo di Sapri dal NOAA (periodo 1979-2009)

Direzione di provenienza ° N	Classi di velocità del vento [m/s]												Tot
	calm	1.00 2.00	2.00 4.00	4.00 6.00	6.00 8.00	8.00 10.00	10.00 12.00	12.00 14.00	14.00 16.00	16.00 18.00	18.00 20.00	>20.00	
0	153	580	1054	464	221	103	45	10	1	1	0	0	2632
15	143	487	983	626	335	116	35	8	3	0	0	0	2736
30	155	480	1003	846	441	180	67	30	10	3	2	1	3218
45	146	417	1089	1134	593	276	97	26	9	1	0	1	3789
60	139	423	1174	1289	806	331	97	15	2	0	0	1	4277
75	158	365	1097	1199	744	266	54	8	1	0	0	0	3892
90	143	423	949	985	481	116	17	0	1	0	0	0	3115
105	131	330	815	727	282	84	8	2	0	1	0	0	2380
120	141	354	801	639	227	57	14	3	0	0	0	0	2236
135	136	405	850	672	245	56	15	7	0	0	0	0	2386
150	157	445	948	678	306	102	14	11	0	0	0	0	2661
165	155	473	983	635	303	78	17	3	0	0	0	0	2647
180	157	497	1112	576	244	56	9	3	2	0	0	0	2656
195	180	545	1325	707	220	69	18	4	3	2	0	0	3073
210	158	624	1434	893	336	99	43	14	5	3	2	0	3611
225	188	598	1769	1255	473	187	102	32	13	5	0	0	4622
240	196	640	2108	1852	663	331	151	50	16	4	1	1	6013
255	179	686	2308	2882	1059	304	159	51	19	7	0	0	7654
270	213	634	2189	3111	1262	271	130	53	13	5	2	1	7884
285	182	672	2104	1907	641	175	66	18	13	3	1	0	5782
300	194	636	1973	1120	233	61	26	11	1	4	0	0	4259
315	195	658	1839	708	125	29	12	5	0	1	1	0	3573
330	192	658	1417	395	89	39	13	7	2	0	0	0	2812
345	173	596	1317	355	128	68	28	6	4	0	0	0	2675
N° di eventi	3964	12626	32641	25655	10457	3454	1237	377	118	40	9	5	90583

In termini di frequenza di accadimento (Tabella 3.3) i venti regnanti (più frequenti) provengono dai settori di grecale (45-75°N) e di ponente (240-285°N) con una frequenza complessiva rispettivamente pari al 13.2% e al 30.2%.

Le calme (stati di vento con velocità inferiore a 2 m/s) di scarso interesse ai fini della generazione del moto ondoso, si verificano con una frequenza pari al 4.4%.

I venti dominanti (più intensi), con velocità del vento superiori a 16 m/s, provengono prevalentemente dal settore di grecale e dal settore di ponente.

Tabella 3.3. Frequenza di accadimento dei venti ricostruiti al largo di Sapri dal NOAA (periodo 1979-2009)

Direzione di provenienza ° N	Classi di velocità del vento [m/s]												Freq. %	2.00
	calm	1.00 2.00	2.00 4.00	4.00 6.00	6.00 8.00	8.00 10.00	10.00 12.00	12.00 14.00	14.00 16.00	16.00 18.00	18.00 20.00	>20.00		
0	0.17	0.64	1.16	0.51	0.24	0.11	0.05	0.01	0.00	0.00			2.9	2.1
15	0.16	0.54	1.09	0.69	0.37	0.13	0.04	0.01	0.00				3.0	2.3
30	0.17	0.53	1.11	0.93	0.49	0.20	0.07	0.03	0.01	0.00	0.002	0.001	3.6	2.9
45	0.16	0.46	1.20	1.25	0.65	0.30	0.11	0.03	0.01	0.00		0.001	4.2	3.6
60	0.15	0.47	1.30	1.42	0.89	0.37	0.11	0.02	0.00			0.001	4.7	4.1
75	0.17	0.40	1.21	1.32	0.82	0.29	0.06	0.01	0.00				4.3	3.7
90	0.16	0.47	1.05	1.09	0.53	0.13	0.02		0.00				3.4	2.8
105	0.14	0.36	0.90	0.80	0.31	0.09	0.01	0.00		0.00			2.6	2.1
120	0.16	0.39	0.88	0.71	0.25	0.06	0.02	0.00					2.5	1.9
135	0.15	0.45	0.94	0.74	0.27	0.06	0.02	0.01					2.6	2.0
150	0.17	0.49	1.05	0.75	0.34	0.11	0.02	0.01					2.9	2.3
165	0.17	0.52	1.09	0.70	0.33	0.09	0.02	0.00					2.9	2.2
180	0.17	0.55	1.23	0.64	0.27	0.06	0.01	0.00	0.00				2.9	2.2
195	0.20	0.60	1.46	0.78	0.24	0.08	0.02	0.00	0.00	0.00			3.4	2.6
210	0.17	0.69	1.58	0.99	0.37	0.11	0.05	0.02	0.01	0.00	0.002		4.0	3.1
225	0.21	0.66	1.95	1.39	0.52	0.21	0.11	0.04	0.01	0.01			5.1	4.2
240	0.22	0.71	2.33	2.04	0.73	0.37	0.17	0.06	0.02	0.00	0.001	0.001	6.6	5.7
255	0.20	0.76	2.55	3.18	1.17	0.34	0.18	0.06	0.02	0.01			8.4	7.5
270	0.24	0.70	2.42	3.43	1.39	0.30	0.14	0.06	0.01	0.01	0.002	0.001	8.7	7.8
285	0.20	0.74	2.32	2.11	0.71	0.19	0.07	0.02	0.01	0.00	0.001		6.4	5.4
300	0.21	0.70	2.18	1.24	0.26	0.07	0.03	0.01	0.00	0.00			4.7	3.8
315	0.22	0.73	2.03	0.78	0.14	0.03	0.01	0.01		0.00	0.001		3.9	3.0
330	0.21	0.73	1.56	0.44	0.10	0.04	0.01	0.01	0.00				3.1	2.2
345	0.19	0.66	1.45	0.39	0.14	0.08	0.03	0.01	0.00				3.0	2.1
Freq. %	4.4	13.94	36.03	28.32	11.54	3.81	1.37	0.42	0.13	0.04	0.010	0.006	100.0	81.7
Freq. Cumulate		18.3	54.3	82.7	94.2	98.0	99.4	99.8	99.9	99.98	99.99	100.00		

Dal punto di vista della distribuzione stagionale dei venti (Figura 3.2) si osserva una marcata differenza tra il regime dei venti estivi, con velocità generalmente inferiori a 10m/s, contraddistinto da una prevalenza di venti da ponente, ed il regime dei venti invernale, con velocità superiori a 10m/s, contraddistinto da una prevalenza di venti dai settori di grecale e libeccio-ponente.

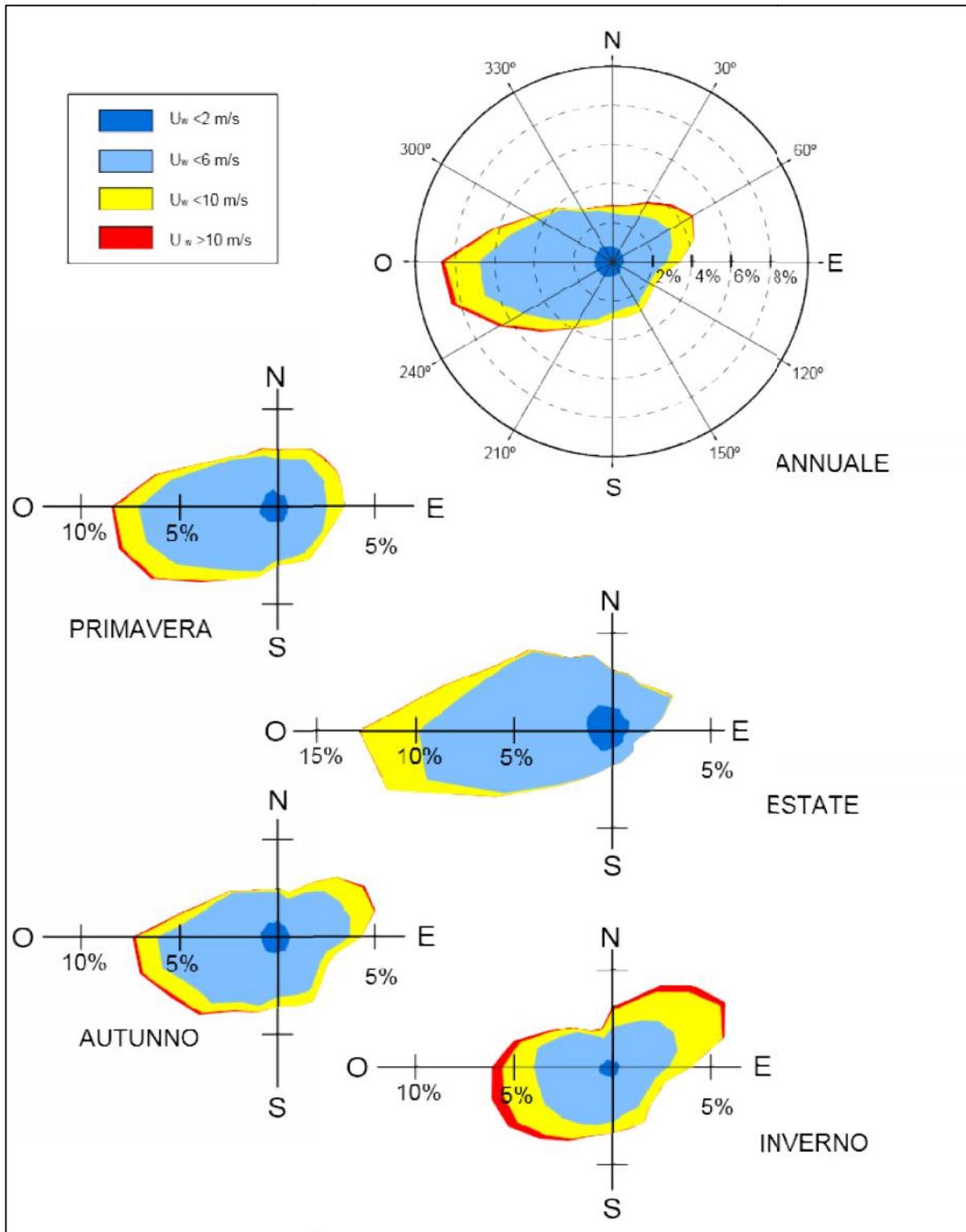


Figura 3.2. Distribuzione direzionale dei venti ricostruiti al largo di Sapri dal NOAA su base annuale e stagionale (periodo 1979 - 2009)

4 ANALISI E VALIDAZIONE DEI DATI ONDAMETRICI

4.1 Caratteristiche delle serie di dati ondometrici disponibili

Per la definizione delle caratteristiche del moto ondoso al largo del paraggio in esame, si è fatto riferimento alle seguenti fonti di dati:

- dati di moto ondoso ricostruiti tra il 1979 ed il 2009 per l'intero bacino del mediterraneo dalla NOAA con il modello di generazione e propagazione del moto ondoso WaveWatch III (WWIII) con una risoluzione spaziale (lat-lon) pari a 1/6 di grado con una cadenza temporale trioraria;
- registrazioni ondometriche direzionali (da luglio 1989 a giugno 2005) effettuate dalla boa posta al largo di Ponza con cadenza trioraria appartenente alla Rete Ondometrica Nazionale (ISPRA ex APAT).

In Figura 4.1 è riportata la localizzazione della stazione ondometrica di Ponza e dei punti di ricostruzione NOAA-WWIII utilizzati per il presente studio.



Figura 4.1. Localizzazione della stazione ondometrica RON di Ponza e dei punti di ricostruzione NOAA WWIII utilizzati nel presente studio.

Per le finalità del presente studio si è ritenuto più rappresentativo il clima di moto ondoso ricostruito al largo del paraggio dalla NOAA nel punto di coordinate 15.50°E - 39.83°N che consente di disporre di una serie di dati di moto ondoso avente 30 anni di durata con un rendimento praticamente costante.

I dati della boa direzionale di Ponza sono stati utilizzati per verificare e validare i dati ricostruiti dalla NOAA con il modello WaveWatch come illustrato al paragrafo 4.4.

4.2 Registrazioni ondametriche della boa di Ponza

La stazione ondametrica di Ponza appartenente alla RON (Rete Ondametrica Nazionale gestita dall'ISPRA ex APAT) ha iniziato ad operare a Luglio 1989.

Tra il 1989 ed il 2002 (RON 1.0) ha operato una boa a disco del tipo WAVEC della società olandese Datawell posizionata in corrispondenza delle coordinate 40.86°N, 12.95°E a Sud dell'Isola di Ponza su fondali di circa 100 m. Dal 2002, a seguito di un importante rinnovamento della rete di misura (RON 2.0), è stata adottata una boa ondametrica del tipo TRIAXYS, prodotta dalla società canadese AXYS, che ha operato fino a luglio del 2007.

Nel periodo indicato il rendimento complessivo dell'ondametro è risultato pari al 82.6%, ma come si evince dal rendimento annuale riportato in Figura 4.2, nel periodo 2005 – 2007 l'ondametro ha avuto diversi periodi di inattività con rendimenti molto bassi.

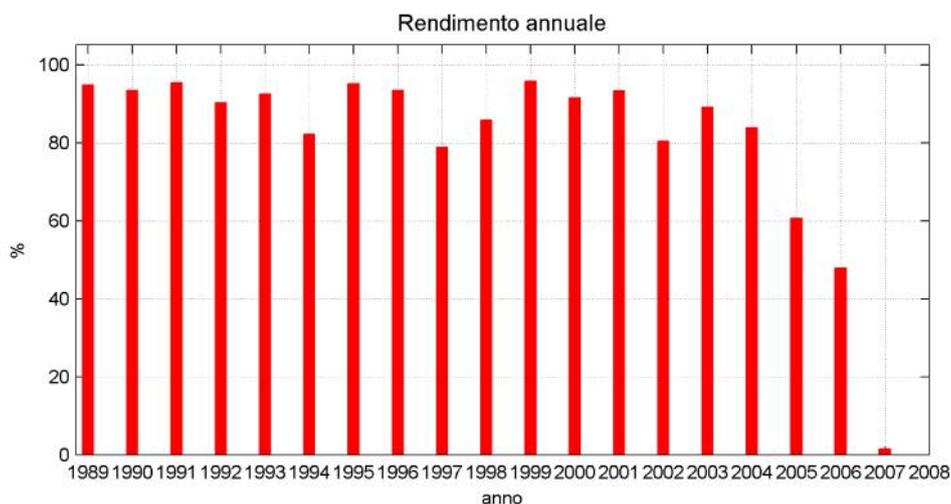


Figura 4.2. Rendimento della boa ondametrica RON di Ponza - luglio 1989 - luglio 2007.

A fine 2009 la rete ondametrica è stata rinnovata (RON 3.0) con l'adozione di boe meteo-ondametriche del tipo WatchKeeper, prodotte dalla società canadese AXYS. La boa di Ponza ha ripreso ad operare da fine dicembre 2009 fino ad agosto 2014 ma con un rendimento scarso e con ripetuti malfunzionamenti. Ai fini del presente studio questi dati risultano poco significativi perchè non sono simultanei con i dati in ricostruzione del NOAA che coprono il trentennio 1979-2009 e pertanto non sono stati utilizzati.

In conclusione per le finalità del presente studio sono state prese in considerazione le misure di moto ondoso (H_s , T_p , T_m , Dir) registrate con cadenza trioraria dalla boa di Ponza tra il luglio 1989 e giugno 2005.

In Figura 4.3 è rappresentata la distribuzione direzionale e la frequenza di accadimento degli stati di mare registrati dall'ondametro con $H_s > 0.5$ m. Gli eventi di moto ondoso prevalenti si provengono da ponente e in misura minore da libeccio e da levante.

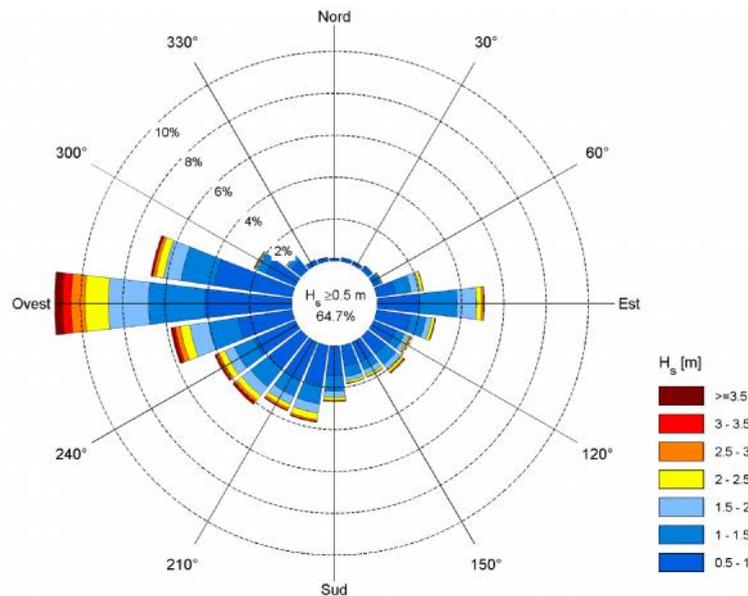


Figura 4.3. Frequenza di accadimento direzionale degli stati di moto ondoso con $H_s > 0.5$ m registrati dalla boa di Ponza.

4.3 Dati in ricostruzione NOAA-WWIII in prossimità di Ponza

Al fine di effettuare la calibrazione dei dati ricostruiti dal NOAA con il modello numerico di generazione e propagazione WWIII sono stati acquisiti i dati di moto ondoso in ricostruzione per il nodo di calcolo più prossimo a Ponza (coordinate 40.83°N - 13.00°E), localizzato Sud Ovest della boa RON a circa 3 miglia nautiche.

In Figura 4.4 è riportata la distribuzione direzionale degli stati di moto ondoso ricostruiti dal NOAA in prossimità di Ponza tra il 1979 e il 2009.

Ponendo a confronto i dati in ricostruzione con i dati misurati dall'ondametro si osserva una buona congruenza per il settore di ponente mentre si nota una maggiore frequenza di accadimento degli stati di mare provenienti da libeccio. I dati in ricostruzione forniscono valori di altezza d'onda che risultano più attenuati rispetto alle misure effettuate dalla boa.

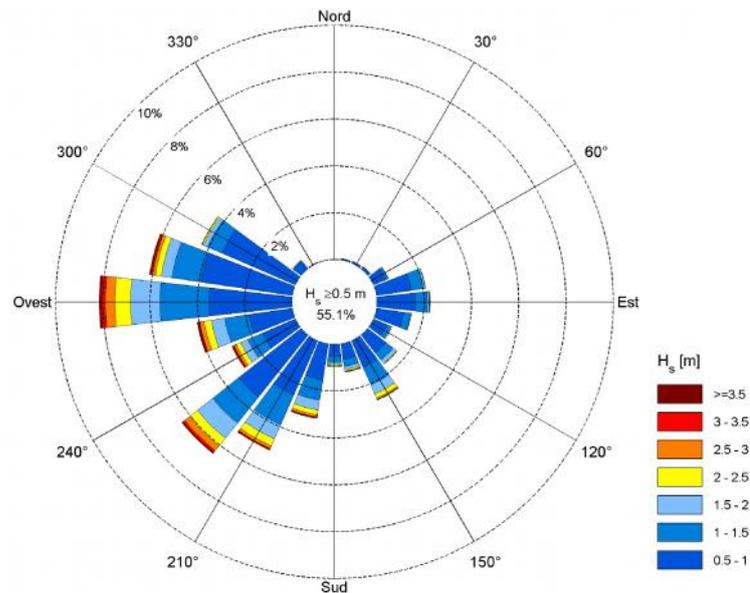


Figura 4.4. Frequenza di accadimento direzionale degli stati di moto ondoso con $H_s > 0.5$ m ricostruiti dal NOAA in prossimità di Ponza nel punto di coordinate 40.83°N - 13.00°E.

4.4 Calibrazione dei dati di moto ondoso del NOAA-WWIII

I dati selezionati dalla serie storica di Ponza (1989-2005) sono stati posti a confronto con i dati sincroni ricostruiti dal NOAA con il modello di WWIII nel punto di coordinate 40.83°N, 13.0°E, posto ad una distanza di solo 3 miglia nautiche dall'ondametro di Ponza.

L'analisi condotta è basata sul calcolo della frequenza relativa dell'errore $\Delta H = HM - HP$, definito come la differenza tra la misura alla boa di Ponza (HM) e il dato in analisi NOAA-WWIII (HP), e della frequenza del rapporto HR tra le misure $HR = HM/HP$.

In Figura 4.5 sono rappresentati i risultati della procedura di calibrazione che ha fornito una frequenza relativa dell'errore ($P[\Delta H > 0]$) pari al 65.0% ed ha permesso di definire un coefficiente di calibrazione statico pari ad 1.11 (corrispondente al quantile $q_{50\%}$ della frequenza relativa cumulata di HR) da applicare a tutte le altezze d'onda della serie NOAA-WWIII.

Con lo stesso approccio metodologico è stato ottenuto un coefficiente di calibrazione pari a 1.19 da applicare al periodo di picco T_p .

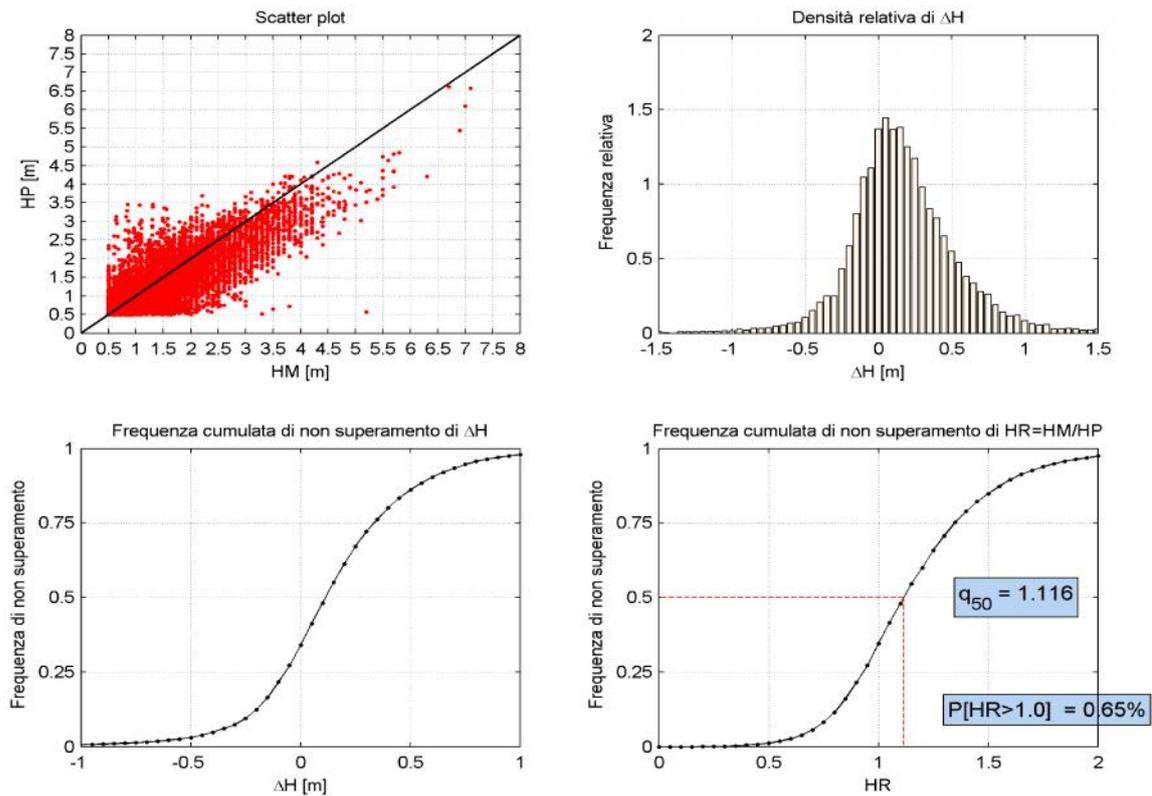


Figura 4.5. Calibrazione dei dati di moto ondoso ricostruiti dal NOAA (HP) utilizzando i dati registrati dalla boa ondometrica RON di Ponza (HM) nel periodo 1989-2005.

4.5 Analisi e calibrazione degli eventi estremi ricostruiti dal NOAA

Nei grafici di Figura 4.6 sono riportati i valori di H_s e direzione di provenienza al colmo delle mareggiate estratte dalla serie registrata dall'ondametro di Ponza e dalla serie ricostruita dal NOAA nel punto di coordinate 13.0°E 40.83°N con il modello WWIII.

I dati fanno riferimento alle stesse mareggiate ma non sono sincroni.

Le mareggiate individuate rispondono ai seguenti requisiti:

- altezza d'onda H_s sopra la soglia di H_s 1.0 m per più di 12 ore;
- altezza d'onda H_s al colmo superiore alla soglia H_s 2.0 m;
- distanza tra due mareggiate pari ad almeno 48 ore.

Complessivamente nel periodo 1989 - 2005 l'ondametro RON-Ponza ha misurato 426 eventi di mareggiata. Di queste solo 43 hanno avuto valori al colmo con H_s 4.0 m. La massima altezza d'onda significativa è stata misurata nel dicembre 1999 in occasione dell'evento noto come "la mareggiata del secolo" dove si è registrato $H_s = 7.11 \text{ m}^2$.

² tale valore è stato estratto dalla serie trioraria registrata dalla boa, l'analisi dei dati semiorari fornisce valori di altezza d'onda significativa superiori

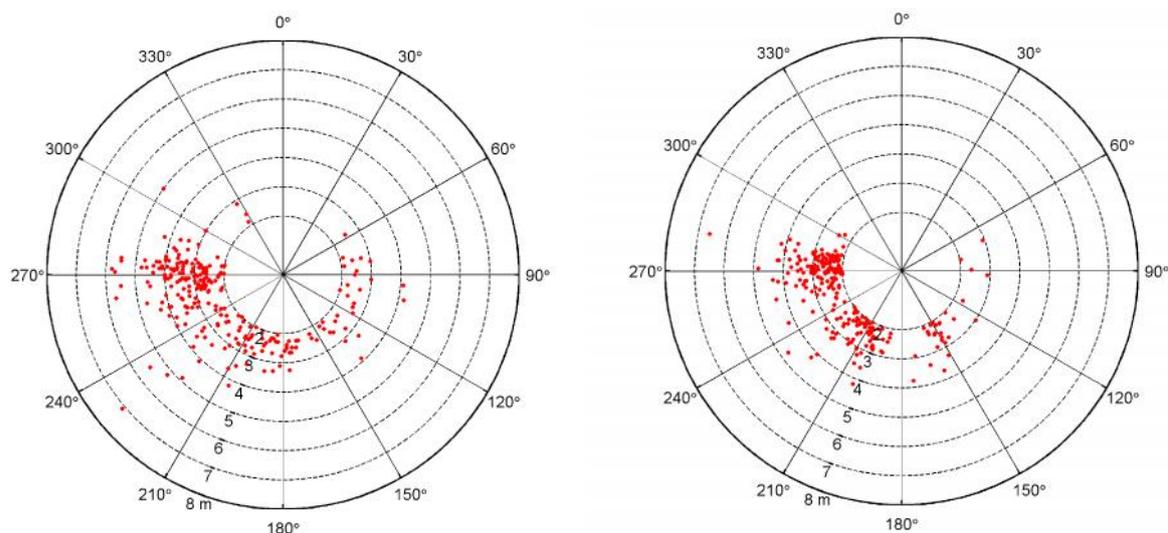


Figura 4.6. Distribuzione dei valori di altezza d'onda H_s al colmo delle mareggiate registrate dalla boa di Ponza (sx) e ricostruite dal NOAA (dx) nel periodo 1989 - 2005.

Complessivamente nel periodo 1989 - 2005 l'ondametro RON-Ponza ha misurato 426 eventi di mareggiata. Di queste solo 43 hanno avuto valori al colmo con H_s 4.0 m. La massima altezza d'onda significativa è stata misurata nel dicembre 1999 in occasione dell'evento noto come "la mareggiata del secolo" dove si è registrato $H_s = 7.11$ m³.

Analizzando la serie degli stati di mare ricostruiti con il modello WWIII (dati NOAA), per lo stesso intervallo di tempo si individuano 313 mareggiate di cui solo 15 con H_s 4.0 m. Sulla base della sequenza dei valori al colmo delle mareggiate estratte dalle due serie è stato possibile verificare che la maggior parte delle mareggiate misurate dalla boa RON di Ponza con H_s 3.0 m sono presenti anche nel database NOAA-WWIII ma generalmente con valori inferiori di H_s al colmo.

Il confronto tra le mareggiate registrate dalla boa RON di Ponza e quelle ricostruite dal NOAA-WWIII ha portato alla selezione di **259 mareggiate registrate e concomitanti con quelle ricostruite**, seppure con valori al colmo diversi, così distinte:

- 41 eventi con H_s 4.0 m (2 eventi sui 43 registrati dalla boa risultano sottostimati dal modello di ricostruzione NOAA-WWIII e non classificabili come mareggiate e scartati);
- 83 eventi con $3.0 < H_s < 4.0$ m (su un totale di 92 eventi registrati dalla boa per il modello NOAA-WWIII, 9 non sono classificabili come mareggiate e sono stati scartati);
- 77 eventi con $2.5 < H_s < 3.0$ m (37 eventi registrati dalla boa per il modello NOAA-WWIII non sono classificabili come mareggiate e sono stati scartati);

³ tale valore è stato estratto dalla serie trioraria registrata dalla boa, l'analisi dei dati semiorari fornisce valori di altezza d'onda significativa superiori

- 58 eventi con $2.0 \text{ Hs} < 2.5 \text{ m}$ (119 eventi registrati dalla boa per il modello NOAA-WWIII non sono classificabili come mareggiate e sono stati scartati).

La serie degli stati di mare ricostruiti con il modello NOAA-WWIII indica che nei periodi di mancato funzionamento della boa ondometrica direzionale posta al largo di Ponza si sono verificate mareggiate, così distinte: 1 evento con $\text{Hs} = 4.0 \text{ m}$; 12 eventi con $3.0 \text{ Hs} < 4.0 \text{ m}$; 15 eventi con $2.5 \text{ Hs} < 3.0 \text{ m}$; 26 eventi con $2.0 \text{ Hs} < 2.5 \text{ m}$.

In qualsiasi caso il numero di dati concomitanti a disposizione evidenzia che il confronto è ben rappresentativo per le mareggiate più intense ($\text{Hs} > 4.0 \text{ m}$), mentre intorno alla soglia inferiore ($\text{Hs} = 2.0 \text{ m}$) aumenta il numero di eventi non presenti nella serie di dati ricostruiti dal modello NOAA che non superano il valore $\text{Hs} > 2.0 \text{ m}$.

Dal punto di vista direzionale è possibile distinguere i seguenti settori di provenienza:

- ponente ($240 - 300^\circ \text{N}$) con 145 mareggiate nel periodo analizzato (1989-2005);
- libeccio-mezzogiorno-scirocco ($240 - 120^\circ \text{N}$) con 105 mareggiate.

Le analisi condotte, rappresentate in forma grafica nella Figura 4.5, indicano una buona correlazione tra le direzioni del moto ondoso (grafico a) mentre per l'altezza significativa Hs al colmo (grafico b) i dati NOAA-WWIII sono inferiori a quelli registrati dalla boa di Ponza (differenza media -0.4 m e deviazione standard 0.55 m).

La retta di interpolazione $\text{HP} = \text{A} + \text{B} \cdot \text{HM}$ (in rosso) è stata determinata con il metodo dei minimi quadrati imponendo il passaggio per l'origine ($\text{A} = 0$) ed ottenendo $\text{B} = 0.8693$.

A seguito di tale analisi è stato quindi individuato **un coefficiente di calibrazione statico pari a 1.15** ($\text{HC} = \text{HP} \cdot \text{B}^{-1}$) da applicare ai valori di altezza d'onda significativa Hs al colmo delle mareggiate estratte dalla serie NOAA in prossimità del sito in esame.

Tabella 4.1. Parametri statistici relativi all'errore tra i valori estremi di H_s registrati dalla boa di Ponza (HM), quelle ricostruiti dal NOAA (HP) e quelli ottenuti con la procedura di calibrazione (HC).

Fonte dato	ID	Numero Mareggiate	Media Hs [m]	dev.std Hs [m]	BIAS [m]	MSE [m]	RMS [m]
RON Ponza	HM	259	3.14	0.85			
NOAA-WWIII Ponza	HP	259	2.73	0.63	0.41	0.47	0.69
NOAA Ponza Calibrata	HC	259	3.14	0.55	0.00	0.31	0.55

Questo incremento dei valori di H_s ricostruiti (Tabella 4.1) presenta BIAS nullo, errore quadratico medio MSE 0.31 m e scarto quadratico medio RMS 0.55 m .

Lo stesso procedimento è stato applicato **per il periodo di picco T_p** . (Figura 4.5 grafico c). La retta di interpolazione $\text{TP} = \text{A} + \text{B} \cdot \text{TM}$ è stata determinata con il metodo dei minimi

quadrati imponendo il passaggio per l'origine ($A=0$) ottenendo $B = 0.844$. Il **coefficiente di calibrazione** risulta essere **1.18** ($TC = TP \cdot B^{-1}$).

In Tabella 4.2 sono riportati i parametri statistici ottenuti.

Tabella 4.2. Parametri statistici relativi all'errore tra i valori T_p registrati dalla boa di Ponza (TM), quelle ricostruiti dal NOAA (TP) e quelli ottenuti con la procedura di calibrazione (TC).

	ID	Numero Mareggiate	Media T_p [s]	dev.std T_p [s]	BIAS [s]	MSE [s]	RMS [s]
RON Ponza	TM	254	8.39	1.11			
NOAA-WWIII Ponza	TP	254	7.08	0.67	1.31	2.51	1.58
NOAA Ponza Calibrata	TC	254	8.39	0.80	0.00	0.82	0.91

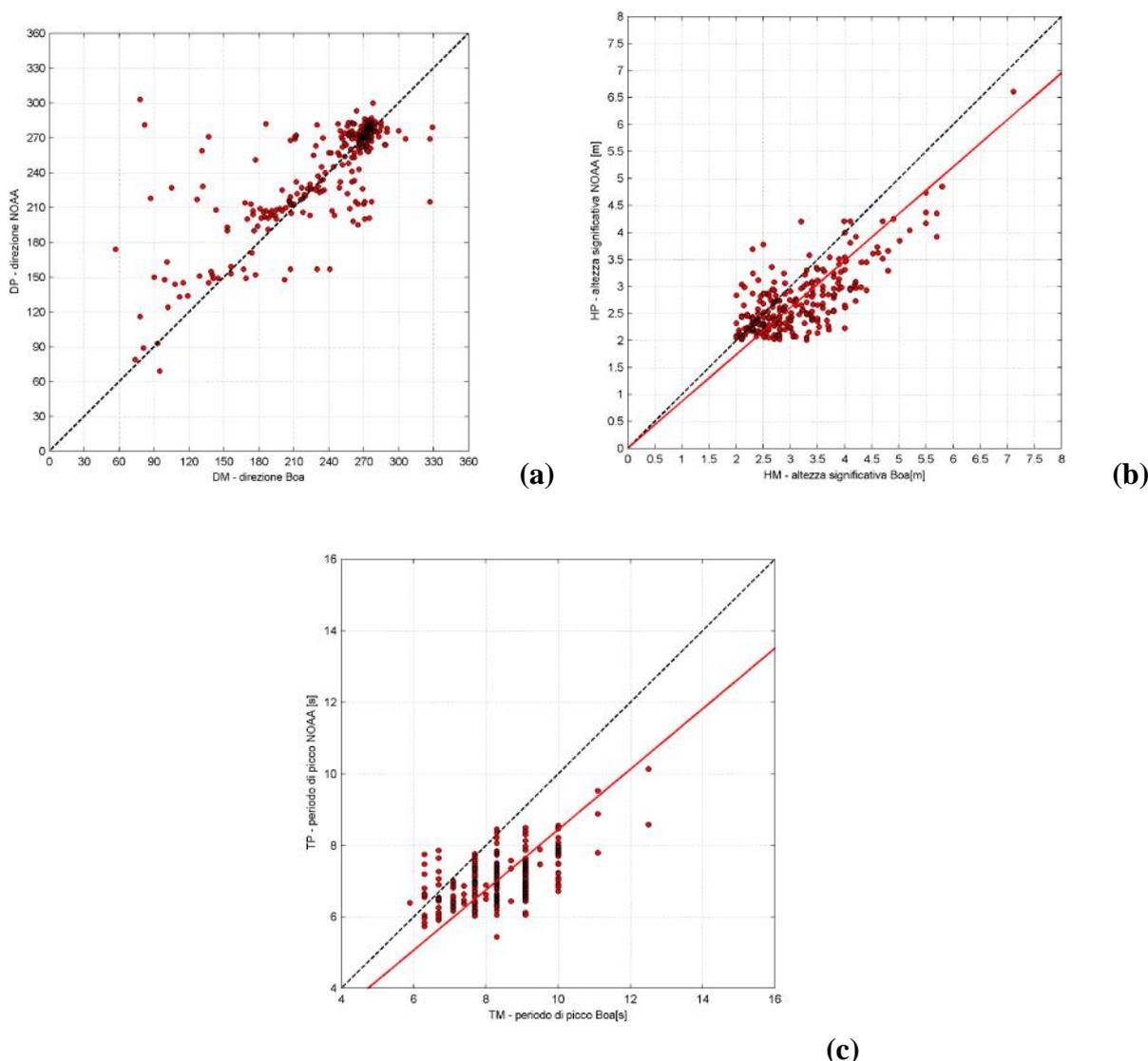


Figura 4.7. Confronto asincrono tra i valori al colmo delle mareggiate (con $H_s > 2.0$ m) registrati dalla boa ondometrica RON di Ponza tra il 1989 ed il 2005 con cadenza trioraria e quelli ricostruiti dal NOAA in prossimità della boa.

- (a) correlazione direzione mareggiata registrata boa/direzione ricostruita dal NOAA
- (b) correlazione altezza d'onda significativa H_s registrata/ricostruita dal NOAA
- (c) correlazione periodo di picco T_p registrato/ricostruito dal NOAA

5 REGIME DEL MOTO ONDOSO AL LARGO DI SAPRI

Nel presente capitolo viene descritto il clima di moto ondoso al largo di Sapri definito sulla base dei dati di moto ondoso **ricostruiti dal NOAA** nel punto scelto di coordinate 39.83°N, 15.5°E per il periodo 1979-2009, opportunamente **calibrati** come illustrato al precedente capitolo 4.

La serie storica contiene 90529 eventi e fornisce, con cadenza trioraria, i parametri spettrali di moto ondoso (H_s , T_p , Dir) e le componenti vettoriali u_w e v_w della velocità del vento alla quota convenzionale di +10 m sul l.m.m.

Il regime dei venti presenta un avvicendamento di eventi provenienti da libeccio-ponente e da grecale. In relazione a tali condizioni di esposizione, il moto ondoso al largo di Sapri si presenta in prevalenza dal settore di traversia principale, che comprende il settore di libeccio-ponente.

Si distinguono due settori secondari: il settore di tramontana-grecale [20-50 °N], poco significativo ai fini del presente studio, ed il settore di mezzogiorno [180-230 °N] da cui si presentano eventi di moto ondoso generati in presenza di venti da scirocco provenienti dalla direzione 120-150°N.

Nella Figura 5.1 e Figura 5.2 vengono riportate le rose annuale e stagionali rappresentative del clima d'onda al largo di Sapri; gli stessi risultati vengono riportati in forma numerica dalla Tabella 5.1 alla Tabella 5.5.

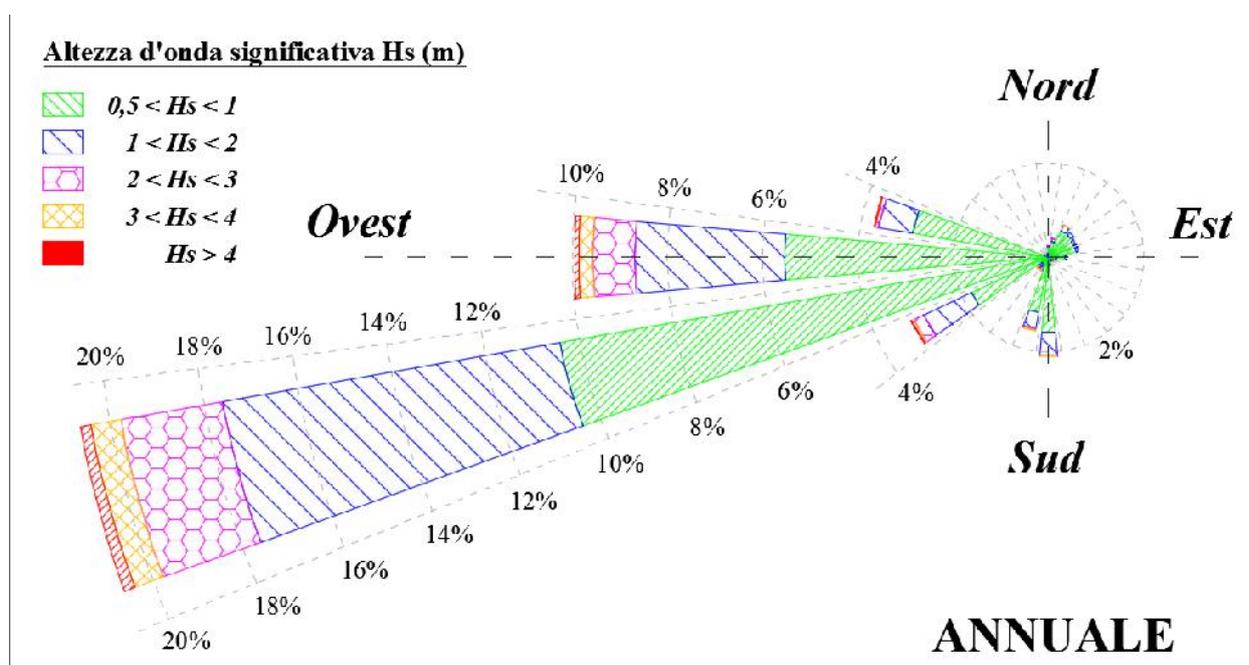


Figura 5.1. Rosa della distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso annuali al largo di Sapri

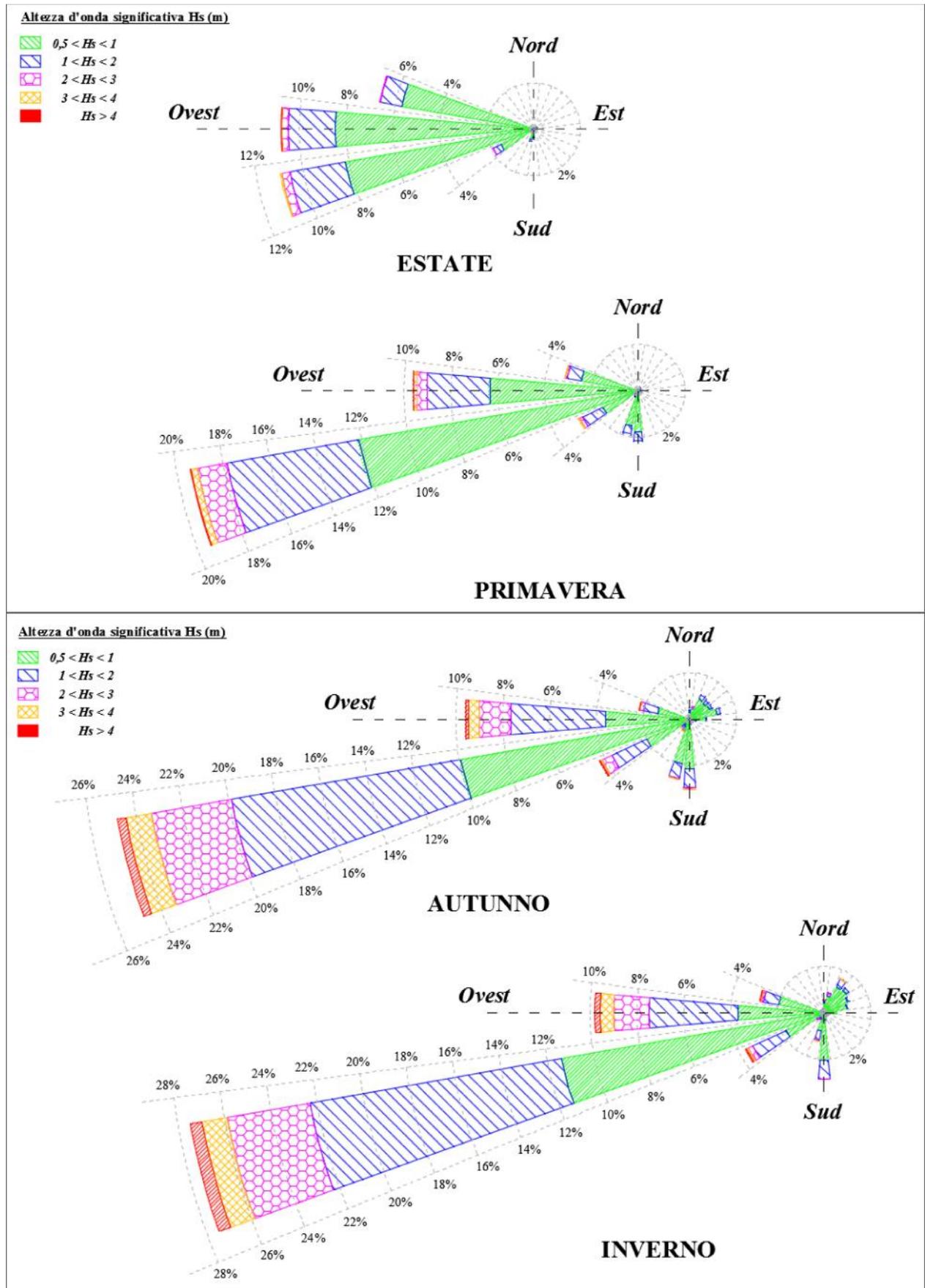


Figura 5.2. Rose della distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso stagionali al largo di Sapri

Tabella 5.1. Clima annuale al largo di Sapri: eventi di moto ondoso classificati per altezza e direzione

SAPRI Serie ondametria al largo (Dati rilevati dal 01/01/1979 al 31/12/2009)
 Distribuzione percentuale degli eventi ondosi per classi di Hs e direzione di provenienza. Regime ANNUALE

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT
	0+0.25	0.25+0.5	0.5+1	1+1.5	1.5+2	2+2.5	2.5+3	3+3.5	3.5+4	4+4.5	4.5+5	5+5.5	5.5+6	6+6.5	>= 6.5	
10	0.088	0.194	0.194	0.027	0.002											0.51
20	0.127	0.327	0.284	0.054	0.013	0.004										0.81
30	0.183	0.550	0.408	0.078	0.008	0.001	0.002									1.23
40	0.240	0.570	0.440	0.052	0.007			0.001								1.31
50	0.239	0.566	0.398	0.030	0.002											1.23
60	0.246	0.501	0.412	0.029												1.19
70	0.218	0.485	0.394	0.036												1.13
80	0.170	0.439	0.390	0.017												1.02
90	0.126	0.387	0.235	0.006												0.75
100	0.097	0.246	0.151	0.001												0.50
110	0.099	0.188	0.099	0.003												0.39
120	0.077	0.131	0.088	0.001												0.30
130	0.103	0.115	0.061			0.001										0.28
140	0.095	0.109	0.046	0.003												0.25
150	0.137	0.119	0.053	0.006	0.001											0.32
160	0.135	0.165	0.065	0.003												0.37
170	0.254	0.279	0.169	0.010	0.002											0.71
180	0.549	0.758	0.911	0.235	0.044	0.009	0.001	0.001								2.51
190	0.621	1.276	1.566	0.411	0.075	0.014	0.006	0.001								3.97
200	0.208	0.339	0.310	0.077	0.028	0.006	0.002	0.002								0.97
210	0.142	0.162	0.142	0.062	0.013	0.001	0.001									0.52
220	0.155	0.159	0.119	0.042	0.018	0.003		0.001								0.50
230	0.199	0.215	0.138	0.080	0.028	0.007	0.003	0.001	0.002							0.67
240	0.777	0.806	0.793	0.366	0.156	0.057	0.035	0.015	0.002	0.004	0.003	0.001				3.02
250	1.522	4.256	5.759	2.565	1.299	0.694	0.403	0.204	0.108	0.062	0.029	0.010		0.001	0.006	16.92
260	3.604	6.576	6.276	2.938	1.636	0.883	0.489	0.284	0.136	0.077	0.036	0.019	0.006	0.003	0.001	22.97
270	1.558	4.008	3.813	1.397	0.709	0.391	0.226	0.128	0.076	0.030	0.018	0.007	0.001	0.002	0.002	12.37
280	2.541	5.311	3.112	0.698	0.285	0.118	0.055	0.030	0.008	0.007	0.003	0.002	0.001			12.17
290	4.211	3.979	0.862	0.108	0.014	0.002										9.18
300	0.826	0.171	0.040	0.011	0.009											1.06
310	0.065	0.044	0.018	0.012												0.14
320	0.041	0.038	0.014	0.004												0.10
330	0.043	0.023	0.012	0.006												0.08
340	0.028	0.025	0.031	0.012												0.10
350	0.039	0.052	0.073	0.020	0.001	0.002										0.19
360	0.035	0.091	0.141	0.018	0.001											0.29
TOT	19.80	33.66	28.02	9.42	4.35	2.19	1.23	0.67	0.33	0.18	0.09	0.04	0.01	0.01	0.01	100.00
Tot. cumul.	53.46	81.48	90.90	95.25	97.44	98.67	99.34	99.67	99.85	99.94	99.98	99.98	99.99	100.00		200.00

Numero di eventi validi: 90529

Tabella 5.2. Clima estivo al largo di Sapri: eventi di moto ondoso classificati per altezza e direzione

SAPRI Serie ondametria al largo (Dati rilevati dal 01/01/1979 al 31/12/2009)
 Distribuzione percentuale degli eventi ondosi per classi di Hs e direzione di provenienza. Regime ESTIVO

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT
	0+0.25	0.25+0.5	0.5+1	1+1.5	1.5+2	2+2.5	2.5+3	3+3.5	3.5+4	4+4.5	4.5+5	5+5.5	5.5+6	6+6.5	>= 6.5	
10	0.048	0.048	0.018													0.11
20	0.057	0.096	0.039													0.19
30	0.101	0.197	0.035													0.33
40	0.180	0.246	0.075													0.50
50	0.228	0.351	0.079													0.66
60	0.193	0.390	0.118	0.022												0.72
70	0.158	0.303	0.061	0.009												0.53
80	0.149	0.259	0.035	0.009												0.45
90	0.118	0.149	0.018													0.28
100	0.048	0.092	0.009													0.15
110	0.079	0.105	0.009													0.19
120	0.053	0.061	0.009													0.12
130	0.096	0.057	0.009													0.16
140	0.092	0.048														0.14
150	0.118	0.066	0.009													0.19
160	0.114	0.088	0.013													0.21
170	0.206	0.140	0.031	0.009												0.39
180	0.294	0.338	0.171	0.004												0.81
190	0.377	0.798	0.570	0.057												1.80
200	0.118	0.162	0.127	0.013	0.004											0.43
210	0.105	0.140	0.057	0.004		0.004										0.31
220	0.171	0.123	0.048	0.004												0.35
230	0.267	0.250	0.079	0.013	0.009	0.004										0.62
240	1.144	1.258	0.640	0.132	0.044	0.013										3.23
250	1.855	4.994	5.226	1.100	0.289	0.105	0.048	0.013								13.63
260	3.762	7.002	4.599	1.070	0.377	0.162	0.114	0.053	0.004							17.14
270	2.398	7.361	5.739	1.070	0.263	0.110	0.061	0.018	0.009	0.004						17.03
280	3.565	9.641	6.129	0.947	0.267	0.048	0.018	0.004								20.62
290	6.901	8.151	1.565	0.136	0.022											16.77
300	1.320	0.180	0.022													1.52
310	0.057	0.022	0.013													0.09
320	0.018	0.013														0.03
330	0.053	0.031	0.004													0.09
340	0.035	0.009	0.013													0.06
350	0.031	0.018	0.009													0.06
360	0.018	0.018	0.022													0.06
TOT	24.53	43.20	25.60	4.60	1.28	0.45	0.24	0.09	0.01	0.00						100.00
Tot. cumul.	67.73	93.33	97.93	99.21	99.65	99.89	99.98	100.00	100.00							

Numero di eventi validi: 22808

Tabella 5.3. Clima primaverile al largo di Sapri: eventi di moto ondoso classificati per altezza e direzione

SAPRI Serie ondametria al largo (Dati rilevati dal 01/01/1979 al 31/12/2009)
Distribuzione percentuale degli eventi ondosi per classi di Hs e direzione di provenienza. Regime PRIMAVERILE

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT
	0+0.25	0.25+0.5	0.5+1	1+1.5	1.5+2	2+2.5	2.5+3	3+3.5	3.5+4	4+4.5	4.5+5	5+5.5	5.5+6	6+6.5	>= 6.5	
10	0.044	0.151	0.044													0.24
20	0.084	0.226	0.080	0.004												0.39
30	0.115	0.266	0.142	0.009												0.53
40	0.124	0.332	0.098													0.55
50	0.173	0.310	0.075	0.004												0.56
60	0.182	0.257	0.062	0.004												0.51
70	0.160	0.248	0.089													0.50
80	0.111	0.239	0.075													0.43
90	0.053	0.239	0.098													0.39
100	0.053	0.142	0.089	0.004												0.29
110	0.102	0.098	0.106													0.31
120	0.080	0.120	0.058													0.26
130	0.071	0.111	0.035													0.22
140	0.040	0.075	0.044													0.16
150	0.133	0.093	0.022	0.004												0.25
160	0.106	0.129	0.035													0.27
170	0.182	0.244	0.106													0.53
180	0.643	1.113	0.909	0.160	0.009											2.83
190	0.709	1.658	2.154	0.434	0.058											5.01
200	0.195	0.457	0.355	0.062	0.018											1.09
210	0.137	0.160	0.133	0.040	0.004											0.47
220	0.137	0.217	0.124	0.022	0.018	0.004										0.52
230	0.182	0.191	0.111	0.044	0.009	0.004	0.009									0.55
240	0.634	0.762	0.705	0.284	0.124	0.040	0.027	0.009	0.009							2.59
250	1.676	5.177	6.791	2.465	0.869	0.461	0.186	0.111	0.093	0.018						17.85
260	4.610	8.972	7.261	2.323	1.051	0.550	0.253	0.106	0.027	0.004						25.16
270	1.751	5.040	4.428	1.379	0.492	0.213	0.084	0.049	0.018	0.004						13.46
280	3.054	6.099	2.957	0.598	0.199	0.084	0.040	0.013								13.05
290	4.965	3.861	0.581	0.102	0.013											9.52
300	0.895	0.115	0.040													1.05
310	0.049	0.044	0.009													0.10
320	0.040	0.040	0.009													0.09
330	0.018	0.004														0.02
340	0.022	0.022	0.004													0.05
350	0.022	0.027	0.009													0.06
360	0.018	0.093	0.040													0.15
TOT	21.57	37.33	27.88	7.94	2.86	1.36	0.60	0.29	0.15	0.03						100.00
Tot. cumul.	58.90	86.78	94.72	97.58	98.94	99.54	99.83	99.97	100.00							

Numero di eventi validi: 22560

Tabella 5.4. Clima autunnale al largo di Sapri: eventi di moto ondoso classificati per altezza e direzione

SAPRI Serie ondametria al largo (Dati rilevati dal 01/01/1979 al 31/12/2009)
Distribuzione percentuale degli eventi ondosi per classi di Hs e direzione di provenienza. Regime AUTUNNALE

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT
	0+0.25	0.25+0.5	0.5+1	1+1.5	1.5+2	2+2.5	2.5+3	3+3.5	3.5+4	4+4.5	4.5+5	5+5.5	5.5+6	6+6.5	>= 6.5	
10	0.070	0.211	0.272	0.039	0.004											0.60
20	0.101	0.351	0.421	0.070	0.018	0.004										0.97
30	0.232	0.750	0.623	0.110	0.004											1.72
40	0.259	0.790	0.684	0.118	0.009											1.86
50	0.281	0.829	0.645	0.061												1.82
60	0.285	0.689	0.640	0.066												1.68
70	0.290	0.711	0.785	0.123												1.91
80	0.250	0.684	0.807	0.057												1.80
90	0.189	0.737	0.456	0.022												1.40
100	0.162	0.487	0.272													0.92
110	0.114	0.360	0.132	0.009												0.61
120	0.101	0.197	0.118	0.004												0.42
130	0.154	0.184	0.114													0.45
140	0.140	0.184	0.088	0.004												0.42
150	0.197	0.180	0.070	0.004												0.45
160	0.180	0.224	0.097	0.009												0.51
170	0.417	0.395	0.232	0.022												1.07
180	0.820	0.833	1.303	0.417	0.061	0.026	0.004	0.004								3.47
190	0.750	1.505	2.255	0.654	0.123	0.039	0.013									5.34
200	0.333	0.434	0.513	0.158	0.057	0.018		0.004								1.52
210	0.171	0.158	0.250	0.118	0.031											0.73
220	0.184	0.206	0.175	0.097	0.026			0.004								0.69
230	0.228	0.276	0.193	0.118	0.048	0.018		0.004	0.004							0.89
240	0.790	0.697	1.005	0.540	0.276	0.132	0.070	0.018		0.009	0.013					3.55
250	1.369	3.273	4.944	3.185	1.777	1.136	0.654	0.417	0.167	0.092	0.057	0.022		0.004		17.10
260	3.531	5.102	6.571	4.216	2.448	1.399	0.750	0.500	0.167	0.132	0.057	0.026	0.013	0.009		24.92
270	1.127	1.676	2.474	1.632	1.079	0.623	0.377	0.250	0.101	0.039	0.018	0.009	0.004	0.004	0.009	9.42
280	1.812	2.259	1.535	0.649	0.329	0.180	0.075	0.035	0.018		0.009					6.90
290	2.698	1.812	0.465	0.083	0.009											5.07
300	0.509	0.132	0.048	0.009	0.013											0.71
310	0.066	0.044	0.018	0.009												0.14
320	0.053	0.044	0.013	0.009												0.12
330	0.044	0.018	0.013	0.013												0.09
340	0.018	0.022	0.057	0.026												0.12
350	0.044	0.075	0.123	0.039												0.28
360	0.039	0.061	0.219	0.031												0.35
TOT	18.01	26.59	28.63	12.72	6.31	3.58	1.94	1.24	0.46	0.27	0.15	0.06	0.02	0.02	0.01	100.00
Tot. cumul.	44.60	73.23	85.95	92.26	95.84	97.78	99.02	99.47	99.75	99.90	99.96	99.97	99.99	100.00		

Numero di eventi validi: 22796

Tabella 5.5 Clima invernale al largo di Sapri: eventi di moto ondoso classificati per altezza e direzione

SAPRI Serie ondometrica al largo (Dati rilevati dal 01/01/1979 al 31/12/2009)
Distribuzione percentuale degli eventi ondosi per classi di H_s e direzione di provenienza. Regime INVERNALE

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA H _s (m)															TOT
	0+0.25	0.25+0.5	0.5+1	1+1.5	1.5+2	2+2.5	2.5+3	3+3.5	3.5+4	4+4.5	4.5+5	5+5.5	5.5+6	6+6.5	≥ 6.5	
10	0.192	0.371	0.447	0.067	0.004											1.08
20	0.268	0.639	0.599	0.143	0.036	0.013										1.70
30	0.286	0.993	0.836	0.197	0.027	0.004	0.009									2.35
40	0.398	0.917	0.908	0.089	0.018			0.004								2.33
50	0.273	0.774	0.796	0.054	0.009											1.90
60	0.326	0.671	0.832	0.022												1.85
70	0.264	0.680	0.644	0.013												1.60
80	0.170	0.572	0.644													1.39
90	0.143	0.420	0.371													0.93
100	0.125	0.264	0.237													0.63
110	0.103	0.188	0.152	0.004												0.45
120	0.076	0.148	0.170													0.39
130	0.089	0.107	0.085			0.004										0.29
140	0.107	0.130	0.054	0.009												0.30
150	0.098	0.139	0.112	0.013	0.004											0.37
160	0.139	0.219	0.116	0.004												0.48
170	0.210	0.340	0.309	0.009	0.009											0.88
180	0.438	0.751	1.270	0.362	0.107	0.009										2.94
190	0.648	1.145	1.288	0.501	0.121	0.018	0.009	0.004								3.73
200	0.183	0.304	0.246	0.076	0.031	0.004	0.009	0.004								0.86
210	0.156	0.192	0.130	0.085	0.018		0.004									0.59
220	0.125	0.089	0.130	0.045	0.027	0.009										0.42
230	0.116	0.143	0.170	0.143	0.045		0.004		0.004							0.63
240	0.532	0.501	0.823	0.510	0.179	0.045	0.045	0.036		0.009		0.004				2.68
250	1.185	3.577	6.094	3.528	2.276	1.078	0.729	0.277	0.174	0.139	0.058	0.018			0.022	19.15
260	2.504	5.227	6.693	4.163	2.683	1.426	0.845	0.478	0.349	0.174	0.089	0.049	0.009	0.004	0.004	24.70
270	0.943	1.923	2.593	1.511	1.006	0.622	0.385	0.197	0.179	0.072	0.054	0.018		0.004		9.51
280	1.721	3.210	1.797	0.595	0.344	0.161	0.089	0.067	0.013	0.027	0.004	0.009	0.004			8.04
290	2.249	2.052	0.832	0.112	0.013	0.009										5.27
300	0.577	0.259	0.049	0.036	0.022											0.94
310	0.089	0.067	0.031	0.040												0.23
320	0.054	0.054	0.036	0.009												0.15
330	0.058	0.040	0.031	0.009												0.14
340	0.036	0.049	0.049	0.022												0.16
350	0.058	0.089	0.152	0.040	0.004	0.009										0.35
360	0.067	0.192	0.286	0.040	0.004											0.59
TOT	15.01	27.44	30.01	12.45	6.99	3.41	2.13	1.07	0.72	0.42	0.21	0.10	0.01	0.01	0.03	100.00
Tot. cumul.		42.45	72.46	84.91	91.90	95.31	97.44	98.51	99.23	99.65	99.85	99.95	99.96	99.97	100.00	

Numero di eventi validi: 22365

Dalle tabella sopra riportate si evidenzia che:

- gli eventi con altezza d'onda significativa superiore ai 0.5 m sono circa il 46.5% (corrispondente ad una durata media annua di circa 5 mesi e mezzo) e provengono per circa il 90% dal settore compreso tra 170° e 300° N;
- per eventi con H_s > 3.5 m gli stati di mare sono concentrati su un settore compreso tra 230° e 280° N con una frequenza pari a circa lo 0.7% (circa 2.5 giorni l'anno);
- gli eventi con H_s > 6.0 m (eventi estremi) provengono tutti dal settore 250°÷280°N (ponente) con una frequenza pari a circa lo 0.015% (corrispondente ad una durata di circa 1.5 ore l'anno);
- le altezze d'onda massime registrate, superiori a 6.5 m, provengono esclusivamente dal suddetto settore 250°÷280°N (ponente).

5.1 Correlazione tra l'altezza ed il periodo d'onda

Gli eventi di moto ondoso sono stati poi suddivisi in base al valore dell'altezza d'onda significativa e del periodo di picco al fine di individuare la frequenza di accadimento di

ogni singola classe di eventi. Nella Tabella 5.6 viene riportata la distribuzione percentuale degli eventi in base al periodo di picco e all'altezza d'onda significativa. Al fine di individuare la legge di dipendenza tra il periodo di picco delle onde T_p e l'altezza d'onda significativa H_s si è fatto riferimento alla seguente relazione (Mathiesen et al., 1994) utilizzata anche nell'Atlante delle Onde Italiane:

$$T_p = a \cdot H_s^b$$

ove i parametri a e b sono stati ricavati dall'analisi di correlazione statistica dei dati registrati dalla boa ondometrica.

Nella Figura 5.3 sono riportati gli eventi della serie storica, diagrammati in funzione del periodo T_p e dell'altezza d'onda H_s , e la legge di dipendenza utilizzata ($a=6.55$; $b=0.35$).

Tabella 5.6.NOAA (15.50°E-39.83°N): ripartizione del numero di stati di mare per classi di H_s e T_p

Hs (m)	CLASSI DI PERIODO DI PICCO T_p (s)							Tot.
	($T_p < 4$)	($4 < T_p < 6$)	($6 < T_p < 8$)	($8 < T_p < 10$)	($10 < T_p < 12$)	($12 < T_p < 14$)	($14 < T_p$)	
<0.25	12.922	4.135	2.111	0.573	0.052	0.002	0.002	19.797
0.25÷0.75	17.758	19.266	10.628	4.117	0.283	0.022	0.010	52.083
0.75÷1.25	0.798	2.893	8.326	2.965	0.419	0.033	0.002	15.435
1.25÷1.75		0.300	2.662	2.754	0.479	0.017	0.001	6.213
1.75÷2.25		0.023	0.571	2.005	0.340	0.034	0.001	2.975
2.25÷2.75			0.096	1.254	0.306	0.015	0.001	1.672
2.75÷3.25			0.008	0.551	0.315	0.014	0.001	0.889
3.25÷3.75				0.168	0.283	0.017		0.467
3.75÷4.25				0.034	0.190	0.011		0.235
4.25÷4.75				0.006	0.103	0.029		0.137
4.75÷5.25					0.038	0.017		0.054
>5.25					0.018	0.022	0.002	0.042
Tot.	31.48	26.62	24.40	14.43	2.82	0.23	0.02	100.00

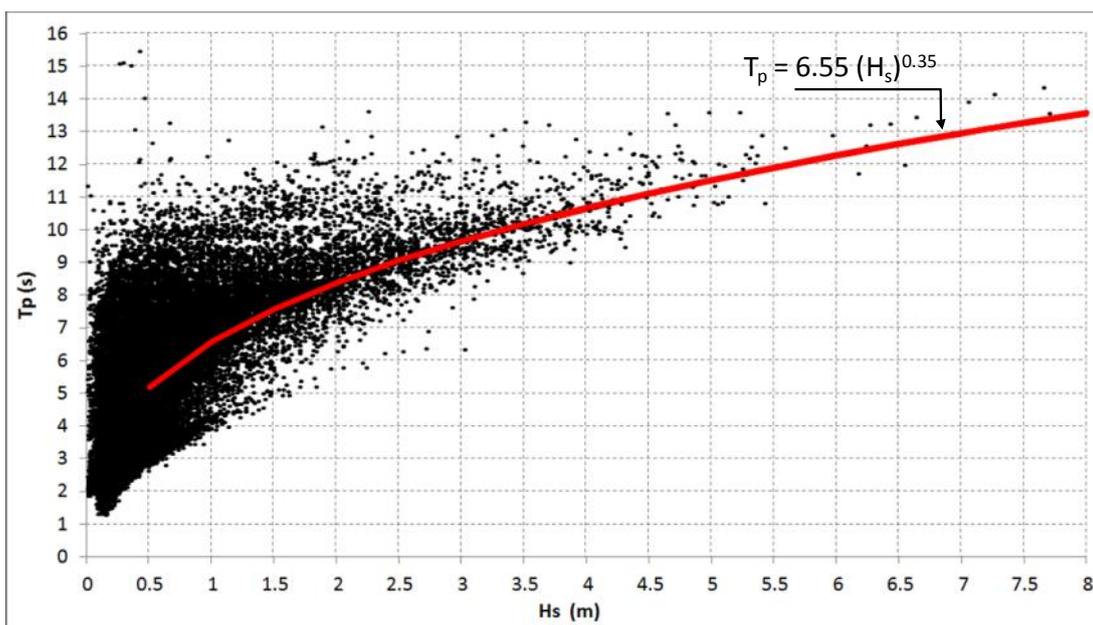


Figura 5.3. Correlazione statistica tra periodo di picco ed altezza d'onda significativa.

5.2 Curva di durata

In merito alla persistenza degli eventi di moto ondoso si può far riferimento alla curva di durata rappresentata in Figura 5.4. Dall'analisi della serie storica è stato possibile determinare la durata media annuale associata a diverse soglie di altezza d'onda significativa. A scopo indicativo vengono riportate di seguito le durate medie di superamento di alcuni valori dell'altezza d'onda significativa.

- durata media degli eventi con $H_s \geq 2.0$ m circa 33 giorni/anno
- durata media degli eventi con $H_s \geq 3.0$ m circa 9 giorni/anno
- durata media degli eventi con $H_s \geq 4.0$ m circa 58 ore/anno
- durata media degli eventi con $H_s \geq 5.0$ m circa 13 ore/anno
- durata media degli eventi con $H_s \geq 6.0$ m circa 2 ore/anno

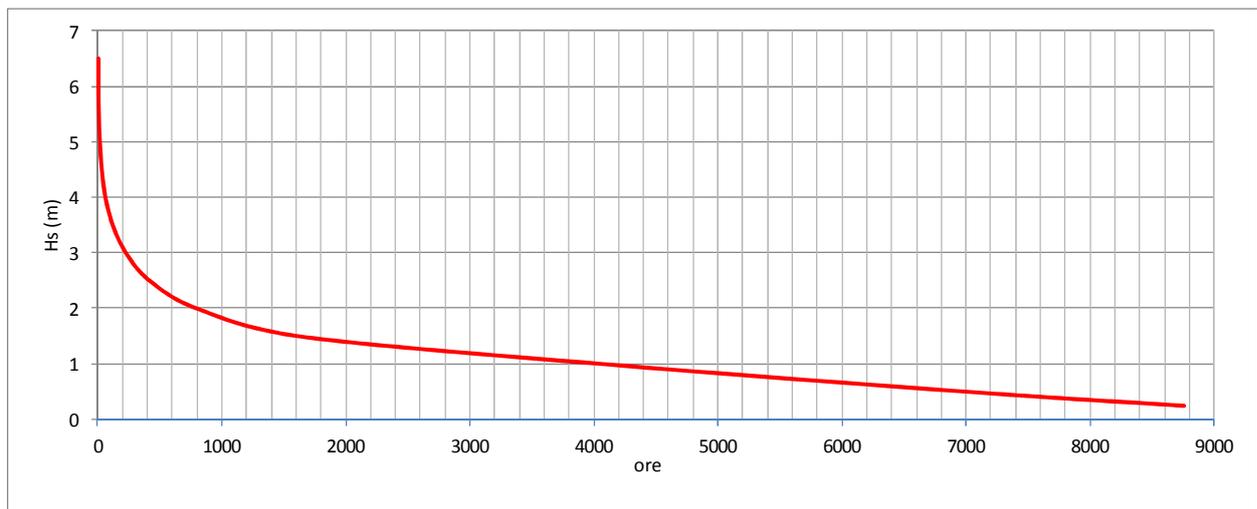


Figura 5.4. Curva di durata degli eventi di moto ondoso al largo.

6 ANALISI STATISTICHE DEGLI EVENTI ESTREMI

Per il corretto dimensionamento strutturale ed idraulico di un'opera marittima è necessario determinare la cosiddetta "onda di progetto" in acqua profonda in base ad un'analisi statistica dei valori delle altezze d'onda rappresentative delle condizioni estreme (valori al colmo) di ogni singola mareggiata.

Per eseguire l'analisi statistica delle altezze d'onda risulta necessario selezionare preliminarmente dei campioni di dati che rispondano al doppio requisito di risultare tra di loro statisticamente indipendenti ed omogenei.

Per quanto riguarda l'indipendenza statistica di solito si utilizza il metodo POT (Peaks Over Treshold detto anche "della serie di durata parziale sopra soglia") che consiste nel prendere in esame il solo valore massimo di altezza d'onda (valore di picco) che si verifica nell'ambito di una singola mareggiata.

L'individuazione di ciascuna mareggiata nell'ambito della serie storica viene effettuata introducendo una soglia di altezza d'onda e considerando che il singolo evento (mareggiata) abbia inizio quando l'altezza d'onda significativa superi per la prima volta il valore della soglia prestabilito.

Conseguentemente si ipotizza che l'evento termini quando l'altezza d'onda significativa assume per la prima volta un valore inferiore a quello di soglia oppure quando si verifica un forte scarto della direzione del moto ondoso.

Selezionati gli "eventi di picco", l'omogeneità dei dati di solito viene assicurata raggruppando gli stessi dati in eventi caratterizzati da una simile genesi meteorologica. Ciò normalmente si traduce nel separare i valori massimi di altezze d'onda registrati in distinti settori di provenienza degli stati di mare.

Gli stati di mare, caratterizzati da una altezza d'onda significativa (H_s) superiore alla soglia individuata, sono quindi oggetto di una elaborazione statistica al fine di ricavare, mediante una regolarizzazione degli eventi estremi secondo note funzioni probabilistiche, le caratteristiche del moto ondoso da associare ad assegnati tempi di ritorno T_R (o probabilità di occorrenza).

Le leggi adottate di distribuzione di probabilità cumulata di non superamento (funzione di ripartizione) sono quella di Weibull (limitata inferiormente):

$$P_{X_{\min}}(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x - V}{\quad}\right)^S\right]$$

e la legge di Gumbel:

$$P_{X_{\max}}(x) = \exp\left[-e^{-\frac{(x-b)}{r}}\right]$$

dove X è la variabile aleatoria, x il valore di non superamento mentre v , s , r e b sono i parametri delle distribuzioni.

Tenendo conto che la probabilità cumulata di non superamento è legata al tempo di ritorno dell'evento dalla relazione:

$$Tr(X \leq x) = \frac{1}{(1 - P(X \leq x))}$$

si possono stimare le altezze d'onda significative relative a diversi tempi di ritorno.

Nel diagramma polare riportato nella Figura 6.1 sono riportati i valori di picco delle mareggiate ricostruite sulla base dei dati di moto ondoso della NOAA al largo di Sapri nell'intero settore di traversia che caratterizza il paraggio in esame. In particolare, per ciascuna mareggiata individuata sono stati riportati i valori di altezza d'onda significativa, superiori ad 1.0 m, registrati al colmo dell'evento.

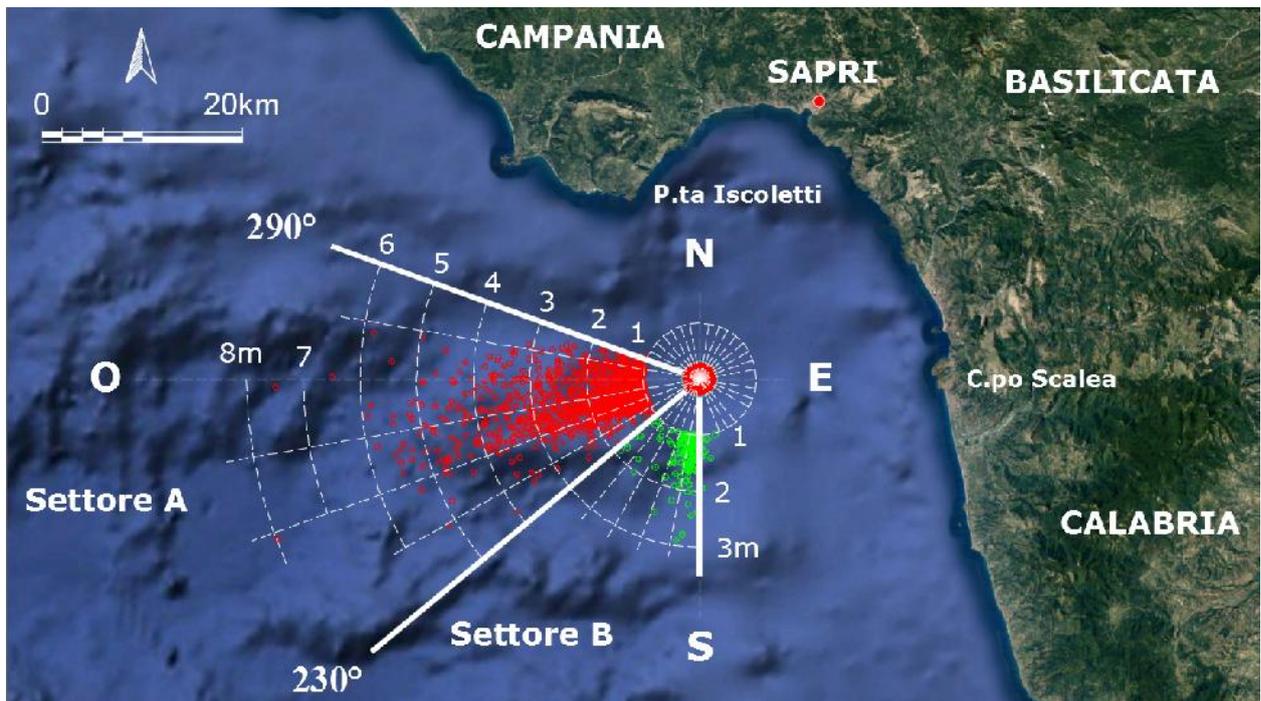


Figura 6.1. Diagramma polare delle mareggiate con altezza d'onda al colmo superiore ad 1.0 m nel punto di trasposizione posto al largo di Sapri

L'analisi del diagramma permette di trarre le seguenti conclusioni:

1. le mareggiate più intense provengono dal settore compreso tra 230° e 290°N (settore A - traversia principale) e sono caratterizzate da altezze d'onda significative che possono talvolta raggiungere valori pari a circa 8 m;

2. le mareggiate provenienti dal settore compreso tra 180° e 230° N (settore B - traversia secondaria) sono caratterizzate da altezze d'onda non superiori a 3.0 m;
3. le mareggiate provenienti dal resto dei settori di traversia non risultano significative per l'elaborazione statistica finalizzata allo studio degli eventi estremi associati a determinati tempi di ritorno.

Nella Tabella 6.1 e nella Figura 6.2 sono riportati i risultati delle analisi statistiche.

Individuati i settori principale e secondario di provenienza del moto ondoso, si è quindi proceduto a determinare per essi i valori di soglia dell'altezza d'onda significativa da utilizzare per "isolare" ciascun evento e quindi i corrispondenti valori di picco. Il valore di soglia è stato individuato seguendo il metodo proposto da Goda (1988).

Si evidenzia che a conclusione di tale procedura si è scelto di effettuare l'analisi statistica degli eventi estremi sul solo settore di traversia principale (compreso tra 230° e 290° N); infatti il numero limitato di eventi ottenuto per il settore di traversia secondario (compreso tra 180° e 230° N) non consente di effettuare un'analisi statistica significativa ai fini della determinazione dei tempi di ritorno da associare a ciascuna mareggiata.

Tabella 6.1- Sapri (Settore 230°-290°Nord): valori dell'altezza d'onda significativa in funzione del tempo di ritorno per diverse leggi di regressione.

Analisi degli eventi estremi al largo di Sapri							
Settore di traversia: 230° - 290° Nord							
Numero anni: 30				Media (m): 5.181			
Numero delle mareggiate: 511				Deviazione Standard (m): 0.672			
Soglia di riferimento (POT) m >4.50				Numero di eventi sopra POT 51			
Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)	Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)	Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)	Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)
7.99	53.70	5.28	1.82	4.82	0.92	4.54	0.62
7.49	19.28	5.21	1.71	4.81	0.90	4.52	0.61
6.50	11.75	5.15	1.62	4.81	0.87	4.52	0.59
5.93	8.45	5.15	1.54	4.80	0.85		
5.83	6.59	5.14	1.46	4.80	0.82		
5.81	5.41	5.13	1.39	4.75	0.80		
5.80	4.58	5.12	1.33	4.74	0.78		
5.54	3.98	5.04	1.28	4.74	0.76		
5.50	3.51	5.03	1.22	4.73	0.74		
5.47	3.15	5.01	1.18	4.70	0.72		
5.47	2.85	4.97	1.13	4.69	0.71		
5.46	2.60	4.93	1.09	4.67	0.69		
5.44	2.39	4.92	1.05	4.67	0.67		
5.42	2.22	4.91	1.02	4.65	0.66		
5.36	2.07	4.88	0.98	4.63	0.65		
5.29	1.93	4.88	0.95	4.60	0.63		

Tr	GUMBEL		WEI(.75)	
Anni	Hs(m)	c.i.(m)	Hs(m)	c.i.(m)
5	6.0	0.5	5.9	0.3
10	6.4	0.7	6.3	0.4
25	7.1	1.0	6.9	0.7
50	7.5	1.2	7.4	1.0
100	8.0	1.4	7.8	1.2
A	0.672		0.319	
B	2.987		3.587	
r	0.975		0.983	

Tr	WEI(1.0)		WEI(1.4)		WEI(2.0)	
anni	Hs(m)	c.i.(m)	Hs(m)	c.i.(m)	Hs(m)	c.i.(m)
5	6.0	0.5	6.1	0.5	6.1	0.4
10	6.4	0.6	6.5	0.6	6.6	0.5
25	7.1	0.9	7.2	0.9	7.2	0.7
50	7.6	1.1	7.6	1.1	7.6	0.9
100	8.0	1.4	8.1	1.3	8.0	1.0
A	0.678		1.397		2.647	
B	2.947		1.934		0.425	
r	0.977		0.968		0.96	

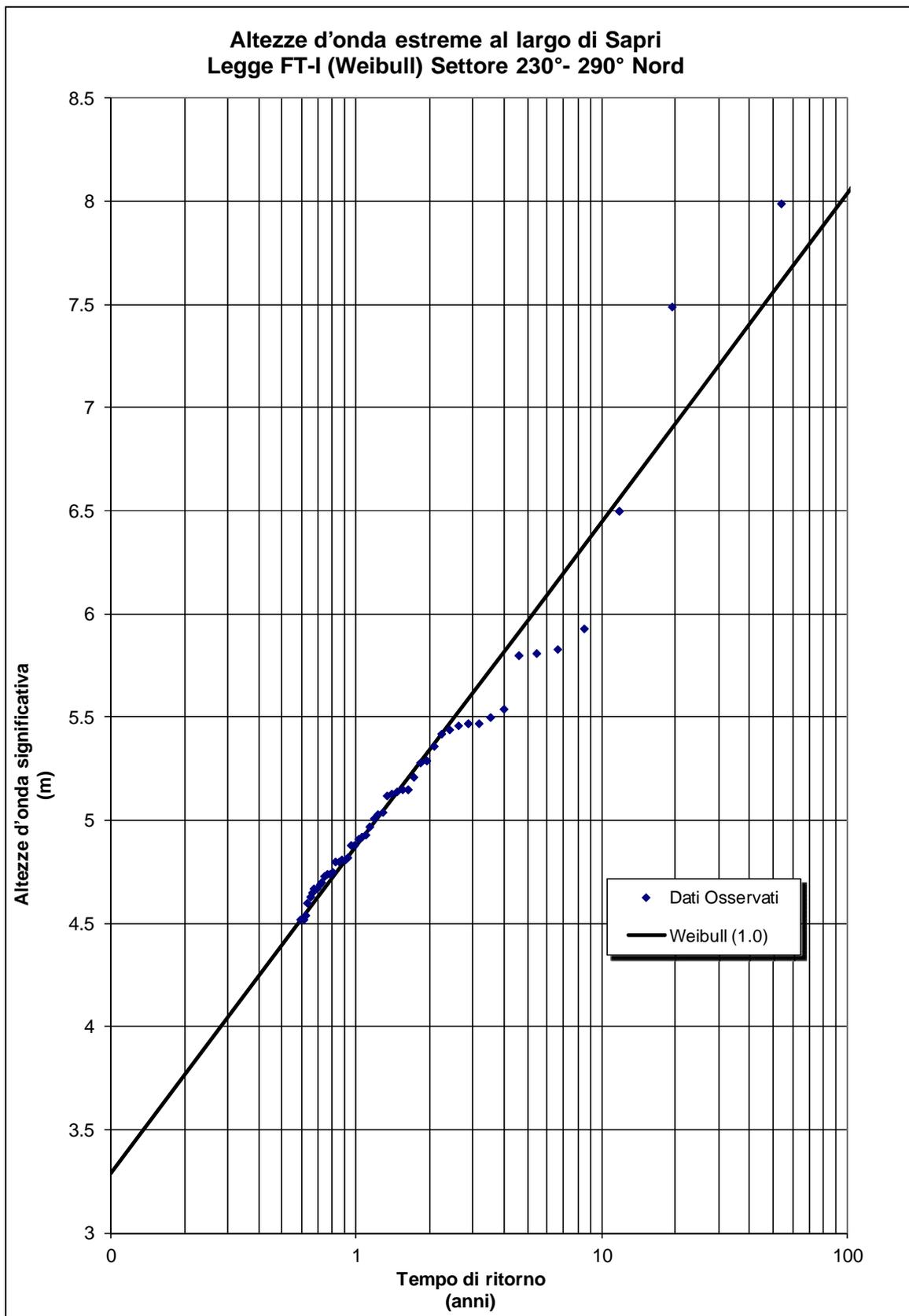


Figura 6.2.Sapri: valori dell'altezza d'onda significativa in funzione del tempo di ritorno secondo la legge di Weibull ($r=1.0$)

7 VARIAZIONI DEL LIVELLO MARINO

La conoscenza delle massime variazioni quasi-statiche del livello marino, dovute a cause diverse (principalmente la marea astronomica e "meteorologica"), è necessaria per molteplici scopi: per una corretta progettazione delle quote da assegnare alle opere a mare, per l'analisi della posizione a breve e lungo termine della linea di costa e per la determinazione della cosiddetta altezza limite di "swash", ossia la quota della spiaggia emersa raggiunta dal mare e quindi il limite delle infrastrutture poste a terra.

Dal punto di vista geologico (lungo termine) la costa in esame si presenta abbastanza stabile; non esistono problemi di eustatismo o subsidenza. Per quanto riguarda le variazioni a breve termine, periodiche e non, occorre distinguere gli effetti della marea astronomica, dall'azione del vento e della pressione atmosferica ("marea meteorologica"), le variazioni stagionali di densità ed anche il sovralzo d'onda presente sulla battigia durante le mareggiate.

Nel Mar Tirreno e, soprattutto, nel paraggio costiero del Golfo di Policastro le escursioni del livello del mare sono di fatto molto modeste, anche se eccezionalmente si possono verificare variazioni significative.

7.1 Marea astronomica

La componente oscillatoria meglio conosciuta è la marea astronomica, generata dall'attrazione gravitazionale della luna (70%) e del sole (30%). Le ampiezze ed i tempi di marea giornalieri sono prevedibili con esattezza per un gran numero di località e sono pubblicati annualmente dall'Ufficio Idrografico della Marina Militare di Genova sulle "Tavole di Marea". Per il caso in esame si possono utilizzare le registrazioni effettuate dal mareografo posto alla radice del molo di sopraflutto del porto di Palinuro (LAT 40° 01' 47.68" - LON 15° 16' 31.05") e gestita dall'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) nell'ambito della rete nazionale mareografica. L'andamento temporale risultante è di tipo semidiurno (periodo 12 ore e 30 minuti) con due alte maree e due basse maree al giorno di ampiezza diversa (marea di tipo sinodico-declinazionale). Le escursioni di marea astronomica sono contraddistinte da una periodicità bimensile distinta nelle fasi di sizigie (luna piena e nuova) e di quadratura. Nei periodi sizigiali si verificano i massimi dislivelli positivi e negativi che raggiungono valori di circa 0,20 m rispetto al livello medio marino (massimo dislivello assoluto pari a circa 0,40 m). Nelle fasi di quadratura l'escursione è comunque di ± 0.15

m s.l.m. Mediamente l'oscillazione di marea da assumere (dislivello tra il minimo ed il massimo livello diurno) è di 0.25 m.

7.2 Dislivello barico

Un abbassamento barico di 1 mb rispetto al valore medio-normale (1013 mb) produce un innalzamento di circa 1 cm del livello marino e viceversa.

Nel Tirreno i valori misurati minimi e massimi della pressione (legati al passaggio dei cicloni ed anticicloni) possono essere assunti pari a 970 mb e 1050 mb rispettivamente. Ne consegue quale effetto "barico" un massimo sovrizzo marino di 0.43 m ed un massimo abbassamento del livello di 0.37 m. In condizioni estreme eccezionali tali valori possono aumentare ancora di qualche centimetro.

7.3 Sovralzo dovuto al vento

Il sovrizzo di vento è dovuto all'accumulo d'acqua sottocosta per azione di venti foranei permanenti. Il calcolo del massimo sovrizzo di vento è stato effettuato mediante una nota formulazione analitica implicita:

$$S = \{K_p L_p U^2 / [g (D - d - S)]\} \ln [D / (d + S)]$$

dove:

- U = velocità del vento persistente (m/s);
- D = profondità limite della piattaforma continentale (200 m);
- L_p = estensione della piattaforma (distanza tra d e D nella direzione del vento) (m);
- d = profondità ove si calcola il sovrizzo (m);
- g = accelerazione di gravità (9,81 m/s²);
- K_p = coefficiente pari a 3 x 10⁻⁶.

Considerando l'azione di un vento costante diretto verso la costa con velocità di 30 m/s ed un'estensione della piattaforma continentale (fondale -200 m) pari a 3 km, si è ricavato un innalzamento massimo del livello del mare in corrispondenza delle opere esterne e della battigia di 0.02 m.

7.4 Valori estremi

In definitiva, considerando tutti i precedenti massimi contributi positivi e negativi, si ottengono i seguenti massimi dislivelli rispetto al medio mare in corrispondenza delle opere e della battigia:

- sovrizzo = $+0,15+0,43+0,02 = +0,60$ m;
- abbassamento = $-0,15-0,37 = -0,52$ m.

Si osserva che i valori così ottenuti sono da ritenere esatti solo nell'ipotesi di perfetta concomitanza tra i singoli fenomeni che contribuiscono alla variazione del l.m.m.

In generale la perfetta concomitanza non si verifica mai, basti pensare al fatto che la componente astronomica della marea può essere ritenuta di natura deterministica mentre non lo è quella meteorologica.

8 CONCLUSIONI

Il presente studio costituisce l'aggiornamento dello studio meteomarinario redatto nel 2006 dallo scrivente RTP necessario per poter ridefinire al meglio le forzanti meteomarine (in termini di vento, moto ondoso e livello del mare) cui fare riferimento per il dimensionamento e le verifiche idraulico-strutturali delle opere a mare, ma anche per gli studi specialistici di agitazione ondosa portuale e di idrodinamica costiera.

A tal riguardo per la definizione del clima di moto ondoso al largo di Sapri si è fatto riferimento ai dati ondametrici ed anemometrici storici ricostruiti dalla NOAA per un periodo di ben 30 anni, dal 1979 al 2009, in un punto opportunamente scelto al largo di Sapri.

In particolare, sulla base dei suddetti dati ricostruiti dalla NOAA con il modello di generazione e propagazione WWIII in un punto al largo di Sapri e di coordinate Lat 40.50° N - Lon 14.50°, dopo un'opportuna calibrazione effettuata a partire dal confronto dei dati ondametrici NOAA con quelli effettivamente registrati da luglio 1989 a giugno 2005 dalla boa posta al largo di Ponza ed appartenente alla Rete Ondametrica Nazionale (gestita dall'ISPRA), è stato dapprima definito il regime del moto ondoso annuale e stagionale e successivamente rideterminata la cosiddetta "onda di progetto" in acqua profonda in base ad un'analisi statistica dei valori delle altezze d'onda rappresentative delle condizioni estreme (valori al colmo) di ogni singola mareggiata.

I risultati ottenuti dal presente studio meteomarinario confermano di fatto l'esposizione ondametrica del paraggio costiero su cui ricade il Comune di Sapri, ovvero che: le mareggiate più intense provengono dal settore di traversia principale compreso tra 230° e 290°N; quelle provenienti dal settore di traversia secondaria, compreso tra 180° e 230° N, sono caratterizzate da altezze d'onda non superiori a 3.0 m; tutte le mareggiate provenienti dal resto dei settori di traversia non risultano significative per l'esposizione del paraggio in esame.

I risultati dell'analisi statistica, effettuata sui nuovi dati ondametrici provenienti esclusivamente dal settore di traversia principale e finalizzata allo studio degli, invece, mostrano eventi estremi associati a determinati tempi di ritorno con valori delle altezze d'onda significativa ben più grandi, pari a circa 1.5 volte, di quelli ottenuti con il precedente studio del 2006.

Tr (anni)	Hs (2006)	Hs (2019)
10	4.2 m	6.4 m
50	5.1 m	7.6 m
100	5.5 m	8 m