



REGIONE CALABRIA

DIPARTIMENTO INFRASTRUTTURE E LAVORI PUBBLICI

LAVORI DI RISTRUTTURAZIONE E COMPLETAMENTO DEL MOLO RICOVERO NATANTI DA DIPORTO DEL COMUNE DI DIAMANTE

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA

secondo le Linee Guida di cui all'art. 48, c. 7, del D.L. 77/2021, convertito nella L. 108/2021



RESPONSABILE UNICO DEL PROGETTO:

Ing. Michele Romano

Timbro e Firma:

RTP PROGETTAZIONE:

Terre Leggere S.r.l. (Capogruppo Mandataria)

Ing. R. Papa

Alphatech associazione tra professionisti (Mandante)

Ing. R. Chieffi

Geol. Federico Tarallo (Mandante)

Ing. Antonio Cibelli (Mandante)

Timbro e Firma:

Data: Ottobre 2024

Titolo:

Elaborato:

STUDIO METEOMARINO
AL LARGO E SOTTO COSTA

R.03

Scala: ---

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO
00	Ottobre 2024	Emissione	A. Cibelli	R. Chieffi	R. Papa

SOMMARIO

PREMESSA	1
1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DEL PARAGGIO.....	2
2. ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI DI MOTO ONDOSI DI LARGO	4
3. ADATTAMENTO DEL MODELLO PROBABILISTICO AI DATI VAGLIATI E CALCOLO DEGLI INTERVALLI DI CONFIDENZA DELLE STIME OTTENUTE.....	7
4. ANALISI DI PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSI DA LARGO A SOTTOCOSTA 11	
5. ALTEZZA D'ONDA DI PROGETTO.....	14
6. AGITAZIONE INTERNA.....	15
7. INTERAZIONE DELLE OPERE DI PROGETTO CON LA DINAMICA COSTIERA DEL PARAGGIO INTERESSATO	17
8. QUALITA' DELLE ACQUE INTERNE.....	18

PREMESSA

Nella presente Relazione vengono riportati i risultati degli studi di carattere idraulico-marittimo eseguiti a supporto della progettazione dell'intervento denominato "Lavori di ristrutturazione e completamento del molo ricovero natanti da diporto del Comune di Diamante" ed in particolare quelli relativi allo Studio meteomarino al largo e sottocosta.

Tale studio è stato finalizzato alla valutazione delle caratteristiche dell'altezza d'onda di progetto determinata con riferimento ad un prefissato periodo di ritorno ($T_r = 100$ anni); prendendo a riferimento tale valore si è proceduto ad effettuare le verifiche di stabilità idraulica della mantellata e di tracimazione della scogliera di protezione del molo di sopraflutto oggetto di intervento (v. elabb. R.04 e R.05).

Le caratteristiche del moto ondoso di largo sono state ricavate prendendo a riferimento i dati ondametrici disponibili della boa RON (Rete ondometrica nazionale) installata al largo della località di Cetraro (CS), ritenuti significativi in quanto registrati in un'area marina geograficamente limitrofa a quella di interesse e caratterizzata dallo stesso settore di traversia.

Prendendo a riferimento i suddetti dati, si è proceduto all'elaborazione statistica dei massimi annuali di altezza d'onda significativa di largo classificati per settori di provenienza, ricavando i valori estremi di H_s per ciascuna direzione di provenienza connessi ad un prefissato periodo di ritorno ($T_r = 100$ anni); successivamente, mediante apposito modello di propagazione, sono stati ricavati i relativi valori di altezza d'onda sottocosta individuando, tra questi, quello corrispondente alla mareggiata di progetto da utilizzare nelle verifiche prima citate.

1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DEL PARAGGIO

Il paraggio oggetto di studio ricade lungo la costa tirrenica settentrionale della Calabria; esso è compreso nella sub-unità fisiografica di sviluppo pari a circa 33 km delimitata, a Nord, dal promontorio di S. Nicola Arcella (CS) ed a Sud dal promontorio di Cittadella del Capo (Comune di Bonifati – CS).

Il settore di traversia del paraggio oggetto di studio, tutto principale, ha un'ampiezza complessiva pari a circa 180°; esso è compreso tra la DD 170° N (tangente al promontorio di Cittadella del Capo) verso Sud e la DD 350° N (tangente al dal promontorio di S. Nicola Arcella) verso Nord.

Le lunghezze dei fetches geografici relativi alle direzioni estreme del settore risultano variabili dai 300 km ai 650 km nel sub-settore maggiormente esposto compreso tra le DD220° e 260°N, mentre risultano più ridotte alle estremità Nord e Sud del settore stesso (circa 100 km in corrispondenza della DD 170°N e circa 40 km in corrispondenza della DD350°N)

In fig. 1 viene rappresentato l'inquadramento geografico del paraggio con l'indicazione del relativo settore di traversia.

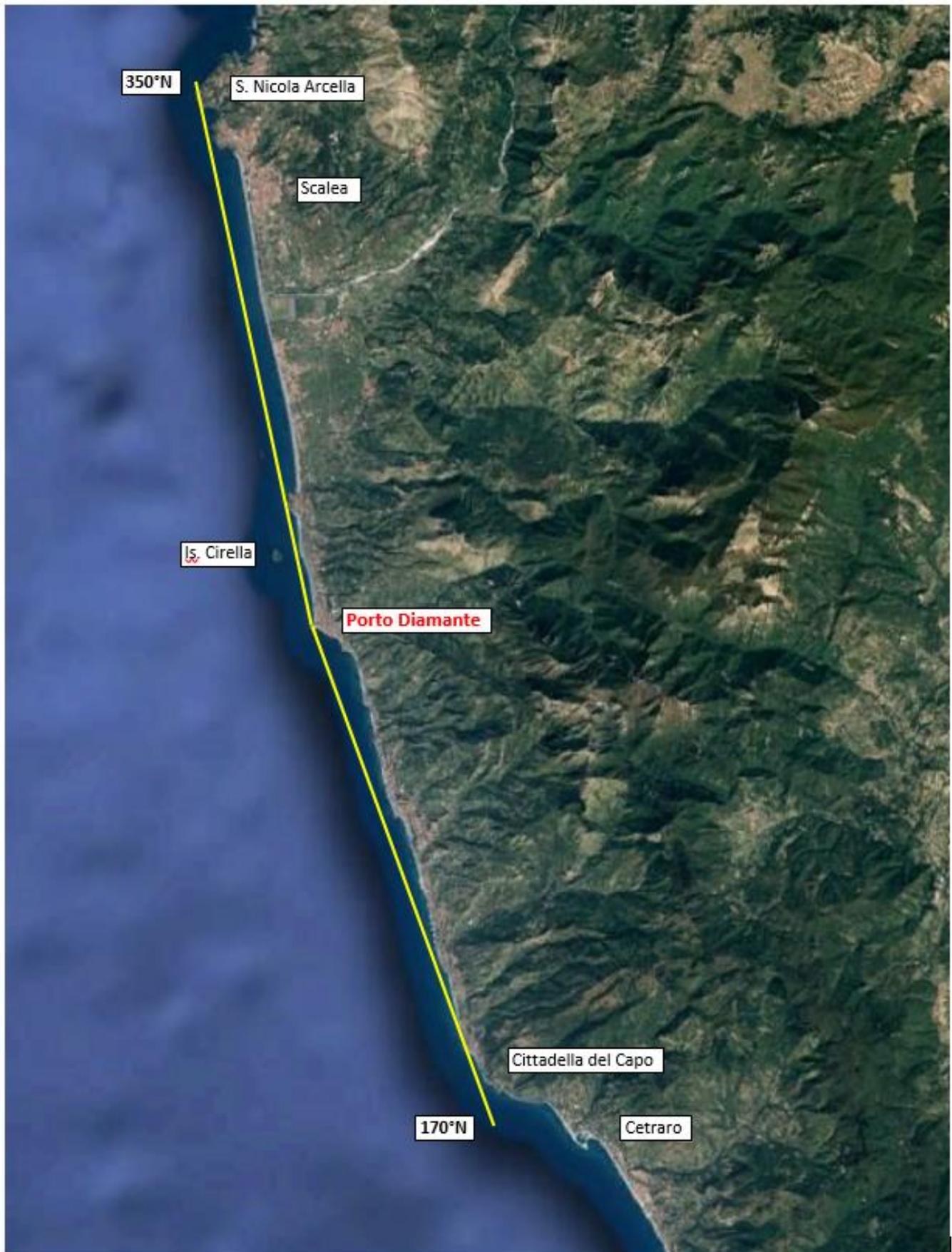


Fig. 1 - Inquadramento geografico del paraggio e Settore di traversia

2. ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI DI MOTO ONDOSI DI LARGO

L'acquisizione dei dati di moto ondoso di largo è stata effettuata al fine di individuare le caratteristiche ondose connesse agli eventi meteomarini estremi.

Per l'acquisizione degli elementi necessari alla valutazione delle caratteristiche ondose di largo, sono stati reperiti, come detto, i dati di natura ondometrica derivanti da misure dirette di moto ondoso e relativi ad altezze significative e periodi d'onda di picco connessi a determinate direzioni di propagazione.

A tal proposito, si è fatto riferimento all'ondometro direzionale R.O.N. (Rete Ondometrica Nazionale – I.S.P.R.A.) ubicato al largo di Cetraro (CS), avente coordinate 39°27'06"N e 15°55'00"E, relativi al periodo feb. 1999- dic. 2014 (oltre tale data la boa RON non ha più funzionato). Di tale arco temporale sono stati analizzati solo gli anni climatici 1999-2000, quelli dal 2002-2003 al 2006-2007 e quelli dal 2009-2010 al 2013-2012 che presentano un ottimo rendimento di tutte le grandezze misurate, mentre risultano esclusi gli altri cui è associato un rendimento molto minore.

I dati ondometrici acquisiti sono stati opportunamente analizzati per ricavare le grandezze caratteristiche del moto ondoso di largo (altezze d'onda significative e periodi di picco) utili allo studio in esame; in particolare, prendendo a riferimento i dati registrati alla boa ondometrica di Cetraro, si è proceduto alla caratterizzazione del clima ondoso al largo del paraggio oggetto di studio, calcolando le proprietà statistiche annuali ed estreme degli stati di mare provenienti dai diversi settori di traversia.

Nell'allegato 1 alla presente Relazione viene riportato il Rapporto elaborato da Waveatlas (Atlante delle onde nei mari italiani) relativo all'”Aggiornamento dell'analisi statistica dei valori estremi per la boa di PONZA – Dataset RON dal 1989 al 2014”. In tale rapporto vengono meglio dettagliate le caratteristiche dei dati registrati, i rendimenti della boa negli anni, etc.; viene ad esempio evidenziato che, per alcuni anni, i rendimenti della boa sono molto bassi o addirittura nulli (anni di mancato funzionamento del dispositivo).

Nei diagrammi a “rosa” di figg. 2 e 3 estratti dal suddetto Rapporto, sono stati rappresentati i regimi direzionali annuali e stagionali dei dati ondometrici registrati alla boa di Cetraro.

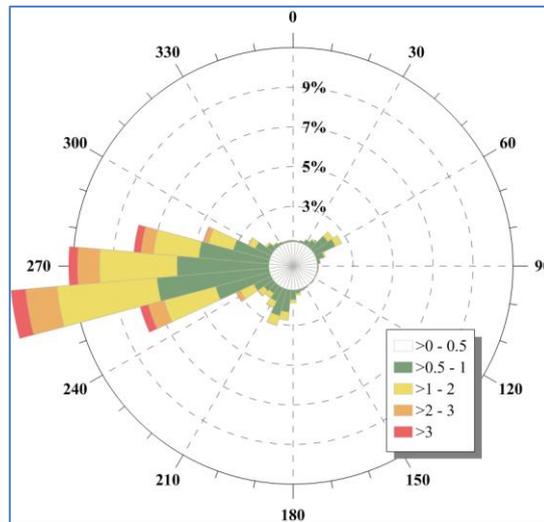


Fig. 2 - Regime direzionale annuale

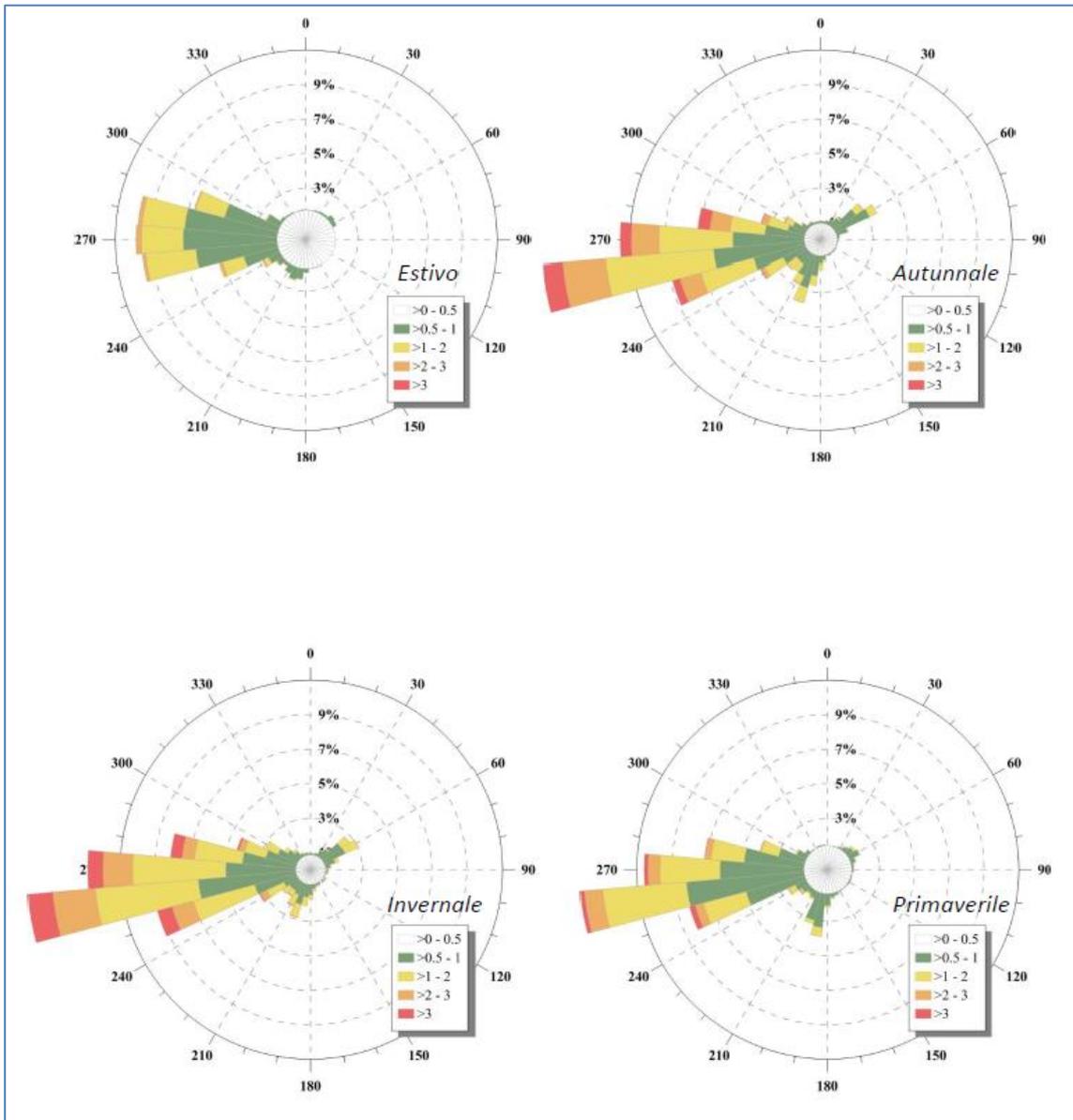


Fig. 3 - Regime direzionale stagionale

Dall'esame dei dati ottenuti si ricava che le mareggiate più frequenti competono al settore di largo compreso tra le DD 240°N e 300°N, mentre le più intense (tipiche del peridio autunnale-invernale) afferiscono al settore DD 250°N – 280°N ed in particolare alla DD 260°N.

3. ADATTAMENTO DEL MODELLO PROBABILISTICO AI DATI VAGLIATI E CALCOLO DEGLI INTERVALLI DI CONFIDENZA DELLE STIME OTTENUTE

La distribuzione di probabilità scelta per descrivere i colmi di mareggiata è quella di Weibull (III tipo limitata inferiormente), la cui espressione è:

$$P(H) = 1 - \exp\left(\frac{H-B}{A}\right)^k$$

in cui $P(H)$ è la probabilità cumulata di non superamento della soglia H , ossia la probabilità che l'argomento H non sia superato da un valore H_c casualmente scelto ($P(H) = P(H_c \leq H)$), mentre A è il fattore di scala, B è il fattore di posizione e k è il fattore di forma della distribuzione.

L'adattamento della distribuzione scelta all'insieme campionario identicamente distribuito è stato svolto con la tecnica dei minimi quadrati.

La scelta tra le famiglie di distribuzioni di differente forma, fissata a priori con $k = (0,75; 1,0; 1,4; 2,0)$, è stata effettuata utilizzando il criterio del minimo rapporto del residuo del coefficiente di correlazione (criterio MIR, Goda e Kobune, 1990).

Infine, la determinazione degli intervalli di confidenza per diversi livelli di significatività è stata effettuata assumendo una distribuzione normale con media nulla e varianza pari a (Goda 1988):

$$\sigma_{H_{m_0}} \left[\frac{1 + c_1(x_T - c_4 + c_5 \ln v)^2 \exp(c_2 N^{-4/3} + c_3 \sqrt{-\ln v})}{N} \right]$$

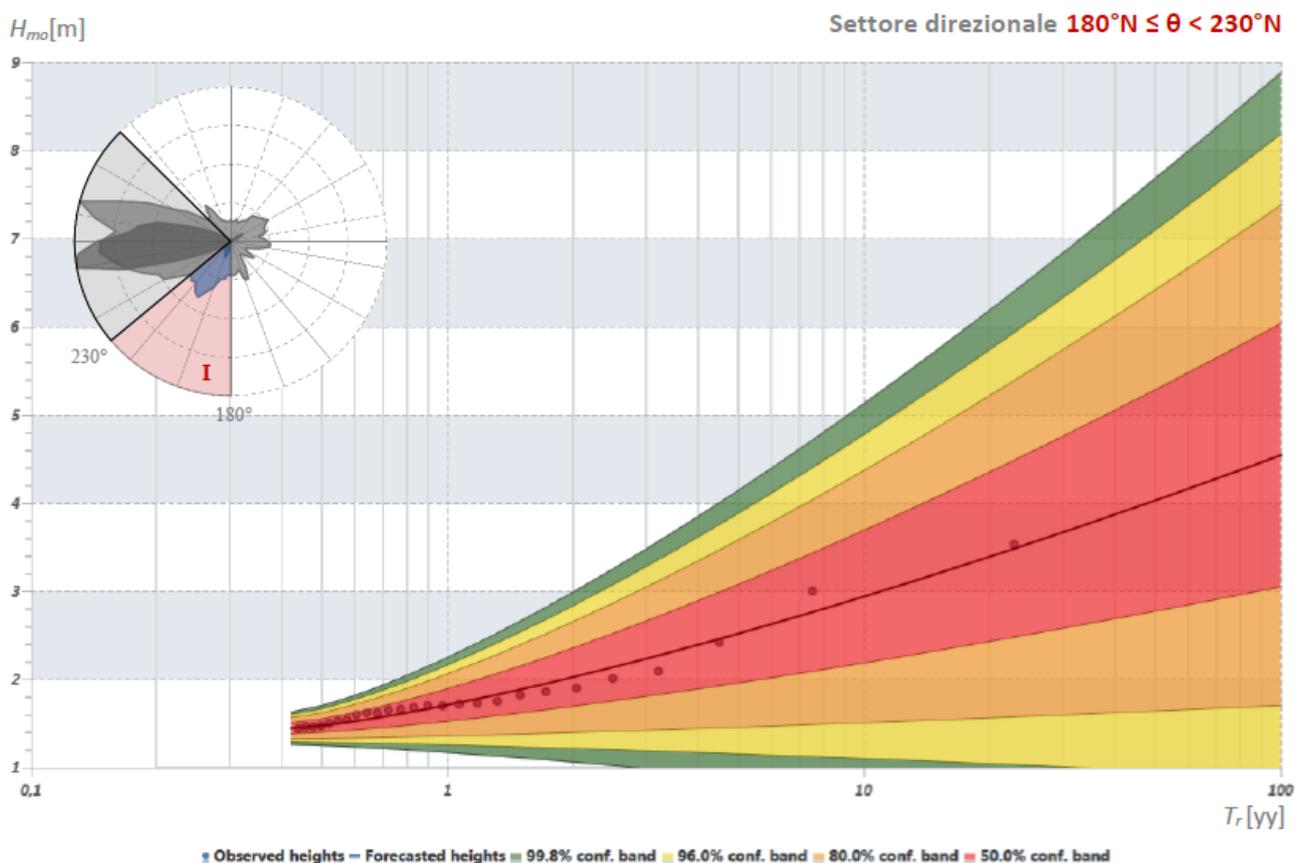
I livelli di significatività assegnati agli intervalli di confidenza calcolati sono stati posti pari a 50%, 80%, 90%, 95%. Tali livelli permettono di calcolare l'altezza d'onda significativa con probabilità di superamento rispettivamente pari a 25%, 10%, 5% e 2,5%.

Una volta effettuato l'adattamento dei dati alla distribuzione di probabilità, questa deve essere estrapolata allo scopo di individuare l'altezza d'onda di progetto corrispondente ad un prefissato periodo di ritorno. Tale valore è definito come l'intervallo di tempo medio tra due eventi ondosi consecutivi caratterizzati da stati di mare con altezze significative che eguagliano o superano l'altezza d'onda corrispondente H_{Tr} ed è correlato alla probabilità cumulata ed a quella di superamento relativa ad H_{Tr} dalla relazione:

$$\frac{T_r}{r} = \frac{1}{1 - P(H_{Tr})} = \frac{1}{Q(H_{Tr})}$$

in cui r è un parametro temporale che rappresenta l'intervallo medio con cui si succedono nel tempo i dati della popolazione statistica.

Nelle figg. 4 e 5 sono riportati i risultati ottenuti dall'analisi statistica in termini grafici e tabellari, relativi ai due sub-settori direzionali $180^\circ\text{N} - 230^\circ\text{N}$ e $230^\circ\text{N} - 315^\circ\text{N}$.

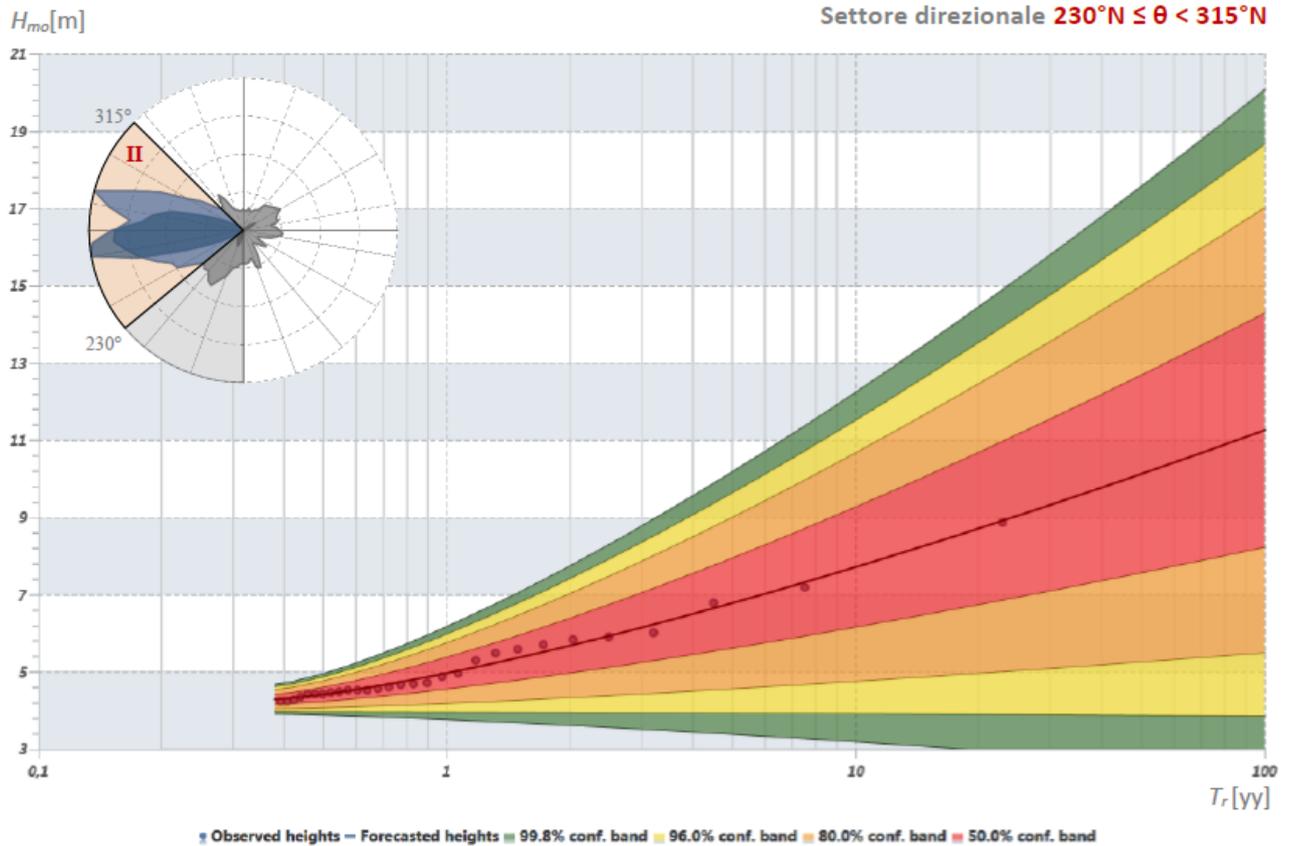


N_{ev}	λ	A	B	k	c_0	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	H_m	H_{mx}	σ_H	γ_{50}	H_1	$H_1^{Q2,5}$	H_{10}	$H_{10}^{Q2,5}$	H_{50}	$H_{50}^{Q2,5}$	H_{50}^{Q10}	H_{50}^{Q5}	$H_{50}^{Q2,5}$
26	2,4	0,32	1,44	0,75	2,32	1,65	11,4	-0,63	0,0	1,15	1,8	3,5	0,5	2,36	1,7	2,3	2,9	5,1	4,0	5,3	6,4	7,1	7,7

Legenda

N_{ev} = Numero di eventi estratti	c_1 = Costante della deviazione σ_z	H_{mx} = Altezza osservata massima	$H_{10}^{Q2,5}$ = Quantile superato al 2,5%
λ = Numero eventi medio annuo	c_2 = Costante della deviazione σ_z	σ_H = Deviazione altezze osservate	H_{50} = Altezza con T_r di 50 anni
A = Fattore di scala	c_3 = Costante della deviazione σ_z	$\gamma_{50} = H_{50}/H_1$	$H_{50}^{Q2,5}$ = Quantile superato al 25%
B = Fattore di posizione	c_4 = Costante della deviazione σ_z	H_1 = Altezza con T_r di 1 anno	H_{50}^{Q10} = Quantile superato al 10%
k = Fattore di forma	c_5 = Costante della deviazione σ_z	$H_1^{Q2,5}$ = Quantile superato al 2,5%	H_{50}^{Q5} = Quantile superato al 5%
c_0 = Costante della deviazione σ_z	H_m = Altezza osservata media	H_{10} = Altezza con T_r di 10 anni	$H_{50}^{Q2,5}$ = Quantile superato al 2,5%

Fig. 4 – Settore $180^\circ\text{N}- 230^\circ\text{N}$ Andamento del modello probabilistico di Weibull adattato all'insieme campionario selezionato per il settore analizzato, corredato delle bande di confidenza al 50% (rosse), 80% (arancioni), 90% (gialle), 95% (verdi). Tabella riassuntiva dei principali parametri necessari alla modellazione probabilistica.



N_{ev}	λ	A	B	k	c_0	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	H_m	H_{mx}	σ_H	γ_{50}	H_1	$H_1^{02,5}$	H_{10}	$H_{10}^{02,5}$	H_{50}	$H_{50}^{02,5}$	H_{50}^{010}	H_{50}^{05}	$H_{50}^{02,5}$
29	2,6	0,70	4,28	0,75	2,22	1,65	11,4	-0,63	0,0	1,15	5,1	8,9	1,0	2,04	5,0	6,2	7,7	12,2	10,1	12,7	15,0	16,4	17,6

Legenda

N_{ev} = Numero di eventi estratti	c_1 = Costante della deviazione σ_z	H_{mx} = Altezza osservata massima	$H_{10}^{02,5}$ = Quantile superato al 2,5%
λ = Numero eventi medio annuo	c_2 = Costante della deviazione σ_z	σ_H = Deviazione altezze osservate	H_{50} = Altezza con T_r di 50 anni
A = Fattore di scala	c_3 = Costante della deviazione σ_z	$\gamma_{50} = H_{50}/H_1$	$H_{50}^{02,5}$ = Quantile superato al 25%
B = Fattore di posizione	c_4 = Costante della deviazione σ_z	H_1 = Altezza con T_r di 1 anno	H_{50}^{010} = Quantile superato al 10%
k = Fattore di forma	c_5 = Costante della deviazione σ_z	$H_1^{02,5}$ = Quantile superato al 2,5%	H_{50}^{05} = Quantile superato al 5%
c_0 = Costante della deviazione σ_z	H_m = Altezza osservata media	H_{10} = Altezza con T_r di 10 anni	$H_{50}^{02,5}$ = Quantile superato al 2,5%

Fig. 5 – Settore 230°N- 315°N Andamento del modello probabilistico di Weibull adattato all'insieme campionario selezionato per il settore analizzato, corredato delle bande di confidenza al 50% (rosse), 80% (arancioni), 90% (gialle), 95% (verdi). Tabella riassuntiva dei principali parametri necessari alla modellazione probabilistica.

Dall'esame dei risultati ottenuti, si evince che le mareggiate di maggiore intensità, caratterizzate dai valori di altezze d'onda significative di largo più elevati provengono dal settore 230°N-315°N (Sud Ovest - Nord Ovest).

In particolare, con riferimento a periodi di ritorno cinquantennale e centennale, i valori di H_s e T_s relativi ai suddetti settori di provenienza al largo di Cetraro risultano pari a:

DD 180° N – 230°N: $H_{s0-50} = 4.00$ m; $H_{s0-100} = 4.50$ m.

DD 230° N – 315°N: $H_{s0-50} = 10.10$ m; $H_{s0-100} = 11.20$ m.

L'analisi di propagazione da largo a sottocosta, descritta nel successivo par. 4, è stata implementata per le mareggiate centennali di largo relative al settore DD 230° N – 315°N ed in particolare a quelle più intense provenienti dalla DD 260° N.

Il periodo d'onda di picco T_p è stato posto pari a quello massimo ricavato dalle registrazioni ondametriche dell'intervallo feb. 1999- dic. 2014; è stato posto:

$$T_p = 12.00 \text{ s}$$

Il periodo d'onda significativo è stato determinato mediante la nota relazione:

$$T_s = T_p / 1.10 = 10.91 \text{ s}$$

4. ANALISI DI PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSO DA LARGO A SOTTOCOSTA

Nell'ambito del presente studio si è provveduto ad eseguire una appropriata analisi della mareggiata di progetto prima individuata (par. 3); tale analisi è stata, finalizzata alla valutazione di dettaglio dei valori di altezza d'onda in funzione della profondità e soprattutto dei carichi ondosi sottocosta agenti sulla scogliera di progetto; tenuto conto che le batimetriche dei fondali antistanti l'area di intervento si possono considerare con buona approssimazione rettilinee e parallele alla linea di costa, tale analisi è stata eseguita applicando le note relazioni analitiche mediante le quali è stato possibile valutare i coefficienti di shoaling e rifrazione (Shore Protection Manual, vol. 1 – 1984).

Si ha:

$$\frac{H}{H_0} = \left(\frac{\cos^2 \alpha_0}{1 - \sin^2 \alpha_0 \cdot \tanh^2 kh} \right)^{1/4} \cdot \left(\frac{2 \cosh^2 kh}{2kh + \sinh(2kh)} \right)^{1/2}$$

in cui:

h = profondità del fondale;

H = altezza d'onda alla profondità h;

H₀ = altezza d'onda di largo;

α₀ = angolo di incidenza del moto ondoso di largo con la normale alla linea di riva (DD 260°N - α₀ = 5°);

k = numero d'onda (= 2π / L);

L = lunghezza d'onda.

Il valore della lunghezza d'onda L, variabile con la profondità, è stato ricavato dalla nota relazione di Airy:

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)$$

essendo:

$$T = T_s = 10.91 \text{ s}$$

Alle profondità minori di quella di frangimento (pari a circa -16.00 m.s.m.), si è assunto che il valore dell'altezza d'onda sia pari a quello frangente in corrispondenza del fondale; quest'ultimo è stato ricavato dalla nota relazione di Kamphuis che pone in relazione l'altezza d'onda al frangimento H_f con la profondità del fondale h_f e la pendenza m:

$$H_f = 0.56 h_f \exp(3.5 m)$$

in cui :

H_f = altezza d'onda frangente;

h_f = valore della profondità al frangimento;

m = pendenza del fondale ($m = 0.044$).

In via cautelativa, il valore dell'altezza d'onda di progetto della scogliera di progetto è stato assunto coincidente con l'altezza d'onda frangente alla profondità di imbasamento della struttura a gettata; a tale altezza d'onda sono infatti connesse le azioni idrodinamiche di maggiore intensità esercitate dal moto ondoso sulla struttura stessa.

Nel caso in esame si ha:

$h_{\max} \cong 5.00$ m

H = 3.27 m

Tale valore di altezza d'onda è stato utilizzato sia nelle verifiche di stabilità idraulica della scogliera di progetto che nelle verifiche alla tracimazione.

Nella seguente tabella e nel relativo grafico, si riportano i valori ottenuti dall'applicazione delle precedenti relazioni.

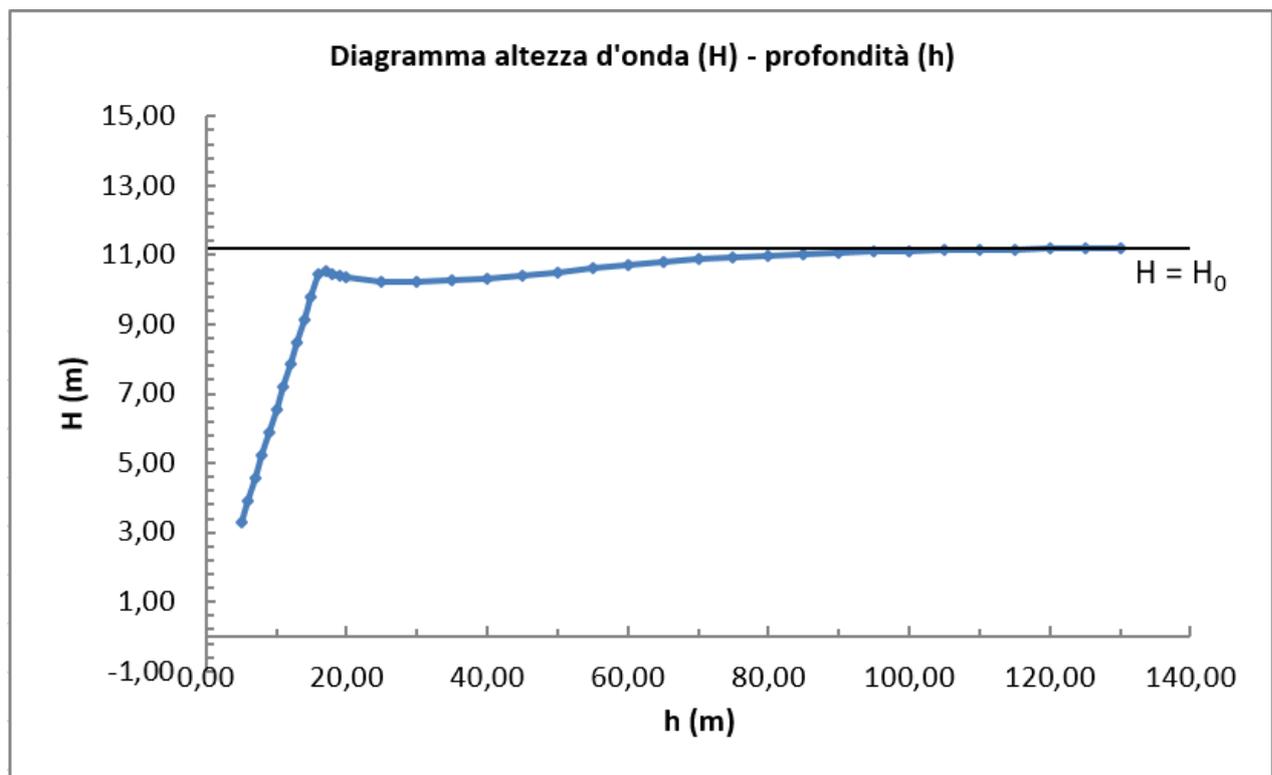


Fig. 6 – Grafico distribuzione dell'altezza d'onda in funzione della profondità

DD ₀ = 260°N - Tr = 100 anni									
DD ₀ (°N)	h (m)	H ₅₀ (m)	T _s (s)	α ₀ (°)	L (m)	K	H (m)	α (°)	DD (°N)
260	130,00	11,20	10,91	5,00	185,8	0,03	11,19	5,00	260,00
260	125,00	11,20	10,91	5,00	185,8	0,03	11,18	5,00	260,00
260	120,00	11,20	10,91	5,00	185,7	0,03	11,18	5,00	260,00
260	115,00	11,20	10,91	5,00	185,7	0,03	11,17	5,00	260,00
260	110,00	11,20	10,91	5,00	185,6	0,03	11,16	4,99	260,01
260	105,00	11,20	10,91	5,00	185,6	0,03	11,14	4,99	260,01
260	100,00	11,20	10,91	5,00	185,5	0,03	11,13	4,99	260,01
260	95,00	11,20	10,91	5,00	185,4	0,03	11,10	4,98	260,02
260	90,00	11,20	10,91	5,00	185,1	0,03	11,08	4,98	260,02
260	85,00	11,20	10,91	5,00	184,8	0,03	11,04	4,97	260,03
260	80,00	11,20	10,91	5,00	184,4	0,03	10,99	4,96	260,04
260	75,00	11,20	10,91	5,00	183,7	0,03	10,94	4,94	260,06
260	70,00	11,20	10,91	5,00	182,9	0,03	10,87	4,92	260,08
260	65,00	11,20	10,91	5,00	181,8	0,03	10,79	4,89	260,11
260	60,00	11,20	10,91	5,00	180,3	0,03	10,71	4,85	260,15
260	55,00	11,20	10,91	5,00	178,4	0,04	10,61	4,80	260,20
260	50,00	11,20	10,91	5,00	175,8	0,04	10,51	4,73	260,27
260	45,00	11,20	10,91	5,00	172,4	0,04	10,41	4,64	260,36
260	40,00	11,20	10,91	5,00	168,1	0,04	10,32	4,52	260,48
260	35,00	11,20	10,91	5,00	162,6	0,04	10,25	4,37	260,63
260	30,00	11,20	10,91	5,00	155,6	0,04	10,22	4,18	260,82
260	25,00	11,20	10,91	5,00	146,8	0,04	10,25	3,94	261,06
260	20,00	11,20	10,91	5,00	135,6	0,05	10,38	3,64	261,36
260	19,00	11,20	10,91	5,00	133,0	0,05	10,42	3,57	261,43
260	18,00	11,20	10,91	5,00	130,2	0,05	10,47	3,50	261,50
260	17,00	11,20	10,91	5,00	127,4	0,05	10,53	3,42	261,58
260	16,00	11,20	10,91	5,00	124,3	0,05	10,45	3,34	261,66
260	15,00	11,20	10,91	5,00	121,1	0,05	9,80	3,26	261,74
260	14,00	11,20	10,91	5,00	117,7	0,05	9,15	3,16	261,84
260	13,00	11,20	10,91	5,00	114,2	0,05	8,49	3,07	261,93
260	12,00	11,20	10,91	5,00	110,4	0,06	7,84	2,96	262,04
260	11,00	11,20	10,91	5,00	106,3	0,06	7,19	2,86	262,14
260	10,00	11,20	10,91	5,00	102,0	0,06	6,53	2,74	262,26
260	9,00	11,20	10,91	5,00	97,3	0,06	5,88	2,61	262,39
260	8,00	11,20	10,91	5,00	92,3	0,07	5,23	2,48	262,52
260	7,00	11,20	10,91	5,00	86,9	0,07	4,57	2,33	262,67
260	6,00	11,20	10,91	5,00	80,9	0,08	3,92	2,17	262,83
260	5,00	11,20	10,91	5,00	74,3	0,08	3,27	1,99	263,01

Fig. 7 – Tabulato distribuzione dell'altezza d'onda in funzione della profondità

5. ALTEZZA D'ONDA DI PROGETTO

Sulla scorta dei risultati ottenuti dall'analisi di propagazione, si ricava che l'altezza d'onda di progetto connessa ad un periodo di ritorno pari a $T_r = 100$ anni risulta proveniente dalla DD260°N; le caratteristiche ondose in corrispondenza del piede della scogliera di progetto relative a tale mareggiata risultano le seguenti:

- **$H_s = 3.27$ m;**
- **$T_p = 12.00$ s;**
- **$T_s = 10.91$ s;**
- **DD $\cong 263^\circ$ N** (incidenza pressochè ortogonale);
- **Condizioni di onda “frangente”.**

Come già detto, tali caratteristiche sono state utilizzate nelle verifiche di stabilità idraulica e di tracimazione della diga foranea del molo sopraflutto interessata dall'intervento di progetto.

6. AGITAZIONE INTERNA

La realizzazione delle nuove opere determina una sensibile riduzione del grado di agitazione nell'ambito dell'area di specchio acqueo a tergo; la valutazione semplificata dell'altezza d'onda residua a tergo è stata effettuata mediante l'utilizzo dei noti abachi di Wiegel che riportano la distribuzione dei coefficienti di diffrazione K_d (pari al rapporto tra l'altezza d'onda residua H_d e l'altezza d'onda incidente H_i) a tergo di un frangiflutti "indefinito" in funzione della direzione di incidenza del moto ondoso e della lunghezza dell'onda incidente (Shore Protection Manual, CERC 1984).

In particolare, in fig. 8, è riportato il caso in esame di incidenza ortogonale.

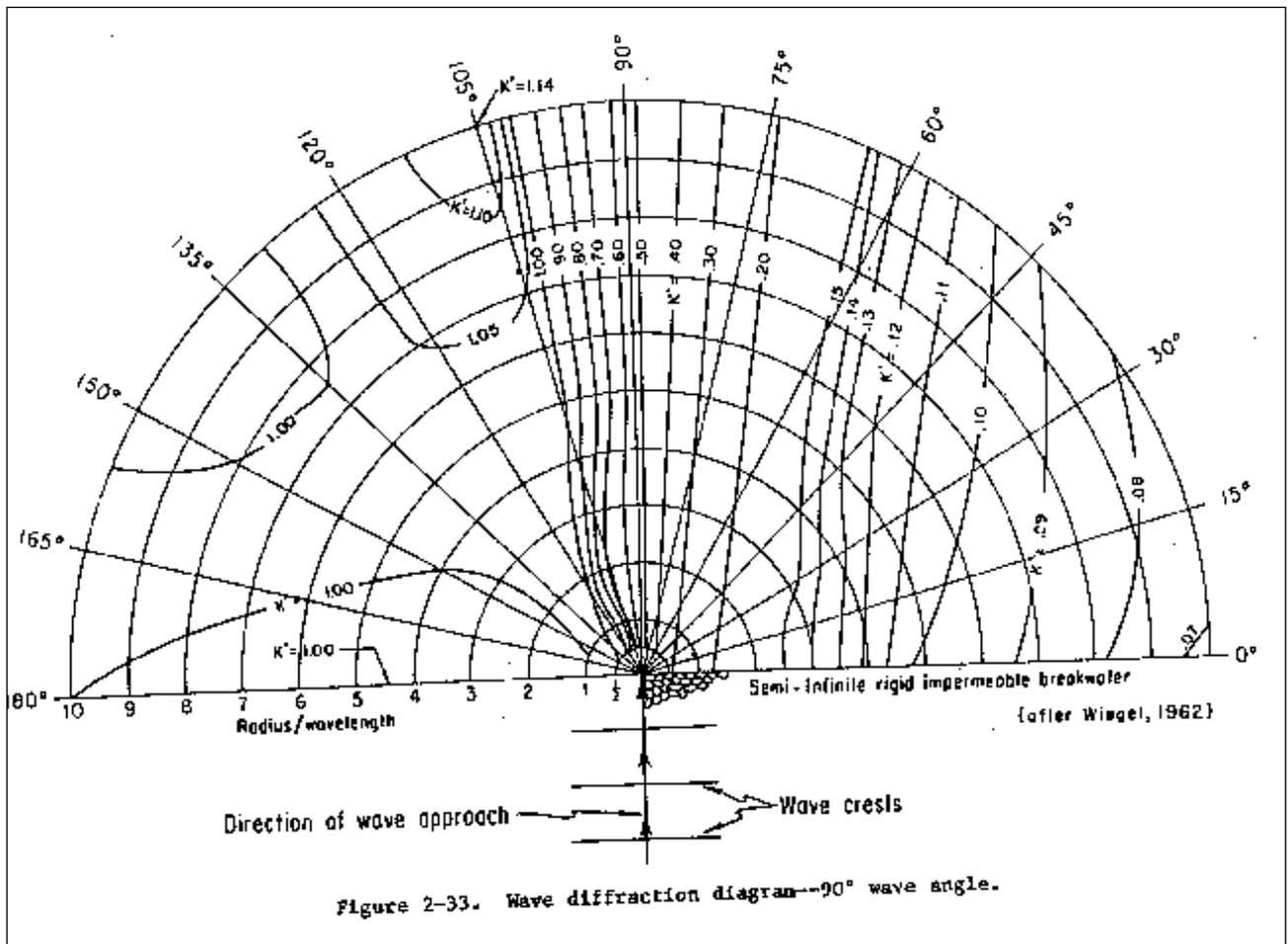


fig. 8 - Abaco di Wiegel: direzione di incidenza ortogonale (260°N)

Considerato che la lunghezza d'onda in prossimità della testata della nuova scogliera ($h = 5.00$ m) risulta pari a circa 75 m, lungo un arco di cerchio di circa $R \cong 150$ m ($R/L \cong 2$) pari alla distanza della suddetta testata dalla banchina di riva, il valore del coefficiente K_d varia da 0.50 (a tergo

della testata) a 0.20 (in corrispondenza dello spigolo della banchina di riva); si ha quindi che assumendo quale valore dell'altezza d'onda incidente sia pari a $H_i = 3.27$ m, l'altezza d'onda residua interna H_d connessa ad un periodo di ritorno centennale varia tra 0.65 m (nella zona di specchio acqueo più interna) e 1.64 m (nella zona più prossima alla testata della nuova scogliera).

7. INTERAZIONE DELLE OPERE DI PROGETTO CON LA DINAMICA COSTIERA DEL PARAGGIO INTERESSATO

Considerata la natura dell'intervento di progetto che consiste nell'innalzamento ed allargamento della scogliera esistente di protezione del molo sopraflutto del porticciolo di Diamante e non determina la realizzazione di nuove opere a mare "aggettanti" rispetto all'attuale configurazione delle opere di protezione esistenti ricadendo nell'ambito del "sedime" delle stesse, non si prevedono effetti di alterazione dell'attuale regime idrodinamico delle correnti costiere e, conseguentemente, del regime del trasporto solido litoraneo, né in fase di cantiere, né in fase di esercizio; tale considerazione riguarda, sia regime della dinamica costiera locale che quello delle aree di litorale limitrofe a quelle di intervento.

8. QUALITA' DELLE ACQUE INTERNE

Considerata la natura dell'intervento di progetto che consiste nell'innalzamento ed allargamento della scogliera esistente di protezione del molo sopraflutto del porticciolo di Diamante e non determina la realizzazione di nuove opere a mare che variano la configurazione delle opere di protezione, non si prevedono modifiche inerenti l'attuale regime di circolazione idrica nell'area di specchio acqueo a tergo della scogliera da realizzare.

Nell'ambito di tale specchio acqueo, il suddetto regime di circolazione idrica è governato dalle oscillazioni di marea giornaliera che determinano flussi di acqua in entrata (fase ascendente dell'onda di marea) ed in uscita (fase discendente dell'onda di marea) durante le 24 h, a seguito dei quali viene garantito il ricambio naturale delle acque dello specchio acqueo in esame; tale oscillazione di marea continuerà a dare i suoi effetti anche a seguito della realizzazione delle nuove opere di protezione che, come detto, non incidono sul regime attuale della circolazione idrica dello specchio protetto e sui relativi effetti in termini di ricambio idrico.

ALLEGATO 1

Report Waveatlas



CETRARO

ANALISI STATISTICA DEI VALORI ESTREMI

DATASET

Serie delle onde
significative registrate tra
il 1998 e il 2014 dalla RON

DA

www.waveatlas.it

Premesse

Il presente documento illustra i risultati delle analisi climatiche caratterizzanti i regimi e gli estremi ondosi del paraggio considerato, per il periodo riportato in epigrafe.

Le tecniche di analisi impiegate nel raggiungere i risultati qui riportati sono quelle già utilizzate per conseguire le informazioni pubblicate nell'Atlante delle onde nei mari Italiani (Piscopia et Al., 2004, ed. APAT – Università Roma Tre, Roma), testo a cui si rimanda per la dettagliata descrizione delle tecniche adottate. La pubblicazione originale è raggiungibile dal portale www.waveatlas.it.

In quanto segue si riportano:

- a. Le indicazioni sulle principali scelte che hanno caratterizzato le analisi svolte;
- b. I principali risultati climatici ottenuti;
- c. Le raccomandazioni e gli avvertimenti utili nell'interpretazione e nell'utilizzo dei risultati presentati.

I dati esaminati e la qualità dell'insieme campionario formato

La prima fase propedeutica dell'analisi delle serie temporali riguarda la valutazione della qualità complessiva dei dati registrati che formeranno l'insieme campionario da esaminare (dataset). In particolare, è necessario individuare l'eventuale presenza di dati anomali e l'incidenza di quelli mancanti. A tale scopo, le serie temporali ottenute interrogando il dataset RON sul portale [Linked ISPRA](#) sono state dapprima aggregate su scala trioraria, preservando le informazioni riguardanti la massima altezza d'onda registrata nel periodo inferiore alla scala di aggregazione. Successivamente, si sono identificati gli intervalli di assenza dati e si sono recuperati quelli di breve durata (uguale o inferiore a sei ore) mediante l'interpolazione lineare dei dati adiacenti.

A partire dalle serie così ottenute, per valutarne l'affidabilità generale, si sono esaminati gli andamenti dell'altezza significativa, della direzione media di provenienza, e dei periodi spettrali medio e di picco nel corso del generico anno climatico (dal 1 luglio al 30 giugno).

In quanto segue si riportano i grafici ottenuti e si sintetizzano le scelte effettuate nella formazione del dataset da utilizzare per l'analisi degli eventi estremi.

In questo caso, l'anno climatico 1999-2000, quelli dal 2002-2003 al 2006-2007 e quelli dal 2009-2010 al 2013-2012 presentano un ottimo rendimento di tutte le grandezze misurate, sia in termini d'insieme, sia nei periodi in cui l'altezza d'onda significativa assume valori sopra la soglia d'identificazione delle mareggiate (qui fissata pari a 1 m). Contemporaneamente, gli andamenti delle grandezze misurate mostrano elevata congruenza tra i valori delle altezze e dei periodi nonché una coerente dispersione direzionale intorno alle direzioni centrali dei paraggi identificabili (cfr. Figura 2, da Figura 5 a Figura 9 e da Figura 12 a Figura 16). Quindi, tutti gli anni climatici sopra indicati sono stati inclusi nel dataset analizzato.

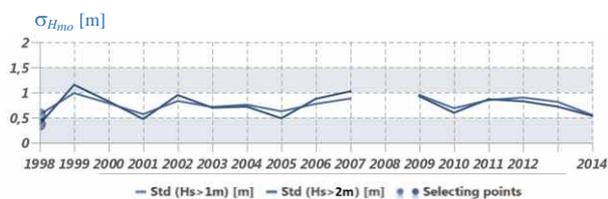
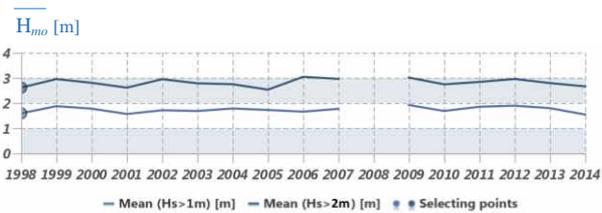
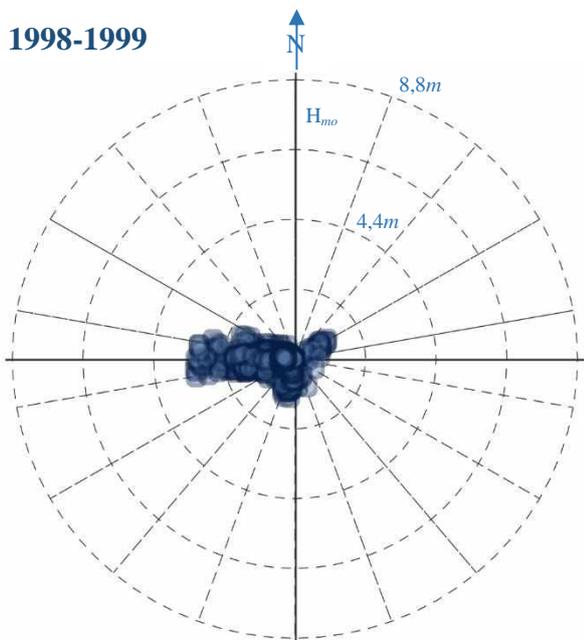
Invece, l'anno climatico 2008-2009 è stato escluso dal dataset per mancanza di dati registrati (cfr. Figura 11). Anche gli anni climatici 1998-1999, 2000-2001, 2001-2002, 2007-2008 e 2014-2015 sono stati esclusi dal dataset per rendimenti di registrazione bassi, pari o inferiori al 50% (cfr. Figura 1, Figura 3, Figura 4, Figura 10 e Figura 17), e con la maggior parte delle misure registrate concentrate nei periodi di minor intensità delle mareggiate.

I rendimenti di misura nei 11 anni climatici selezionati sono sintetizzati nella sottostante tabella.

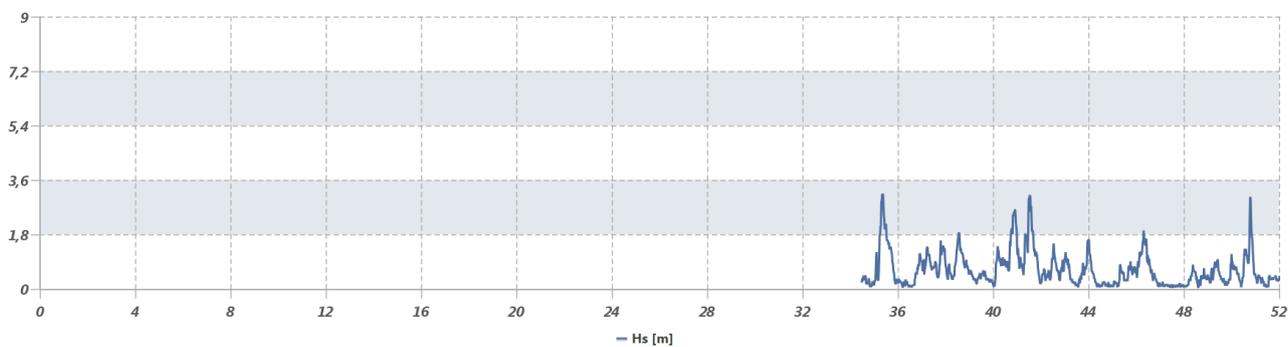
Anno	Rendimento annuale complessivo				Rendimento annuale sopra soglia				Incluso
	η_{Hmo}	η_{θ}	η_{Tp}	η_{Tm}	η_{Hmo}	η_{θ}	η_{Tp}	η_{Tm}	
1998	33.6	33.6	33.6	33.6	100.0	100.0	100.0	100.0	NO
1999	94.2	94.2	94.2	94.2	100.0	100.0	100.0	100.0	SI
2000	45.6	45.6	45.6	45.6	15.0	15.0	15.0	15.0	NO
2001	38.4	38.4	38.4	38.4	100.0	100.0	100.0	100.0	NO
2002	94.0	94.0	94.0	94.0	86.0	86.0	86.0	86.0	SI
2003	90.0	90.0	90.0	90.0	88.7	88.7	88.7	88.7	SI
2004	85.0	85.0	85.0	85.0	98.9	98.9	98.9	98.9	SI
2005	85.9	85.9	85.9	85.9	89.1	89.1	89.1	89.1	SI
2006	87.7	87.7	87.7	87.7	92.7	92.7	92.7	92.7	SI
2007	22.4	22.4	22.4	22.4	100.0	100.0	100.0	100.0	NO
2008	-	-	-	-	-	-	-	-	NO
2009	74.8	74.8	66.4	74.8	98.2	98.2	98.2	98.2	SI
2010	96.4	96.4	77.1	96.4	100.0	100.0	100.0	100.0	SI
2011	90.7	90.7	90.7	90.7	86.6	86.6	86.6	86.6	SI
2012	68.1	68.1	68.1	68.1	38.0	38.0	38.0	38.0	SI
2013	95.4	95.4	95.4	95.4	81.8	81.8	81.8	81.8	SI
2014	50.2	50.2	50.2	50.2	16.1	16.1	16.1	16.1	NO

Anno	Rendimento annuale complessivo				Rendimento annuale sopra soglia				Incluso
	$\eta_{H_{mo}}$	η_{θ}	η_{T_p}	η_{T_m}	$\eta_{H_{mo}}$	η_{θ}	η_{T_p}	η_{T_m}	
98-99	33.6	33.6	33.6	33.6	100.0	100.0	100.0	100.0	NO

1998-1999



H_{mo} [m]



T_p T_m [s]

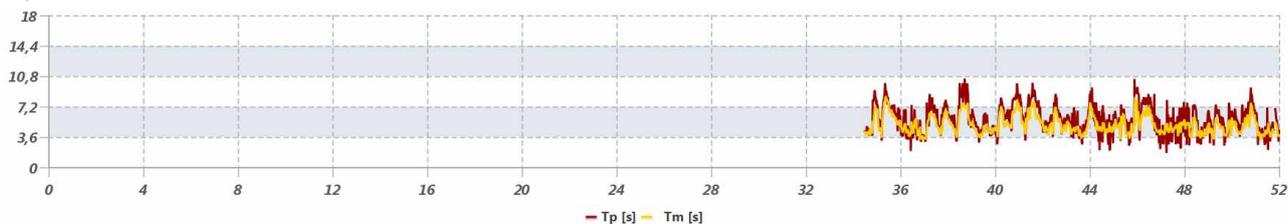
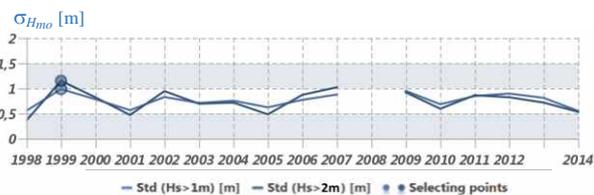
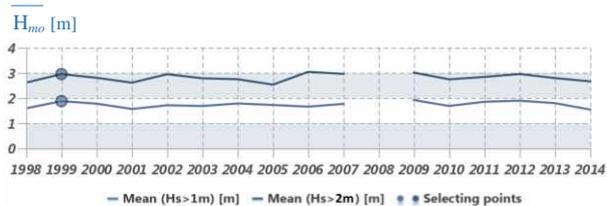
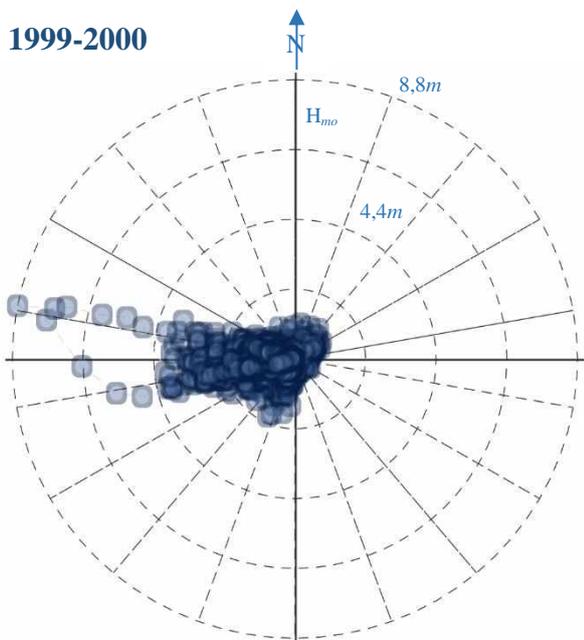


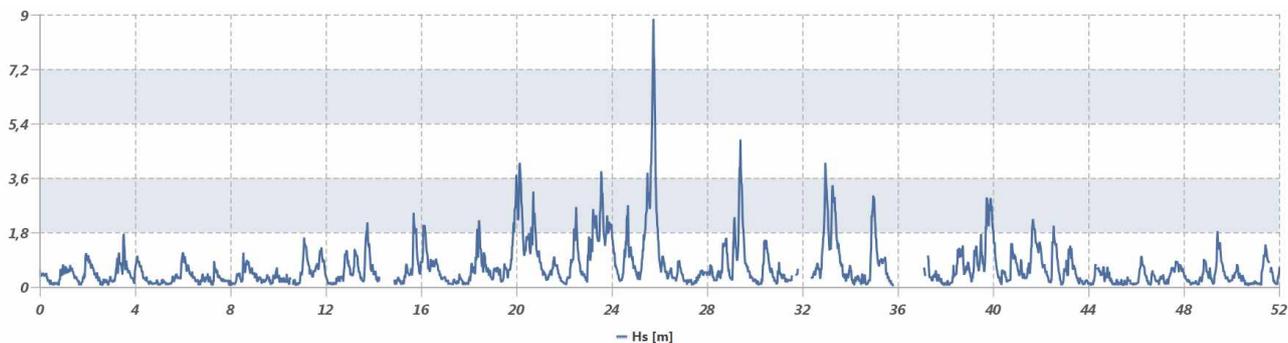
Figura 1 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 1998 e il giugno del 1999. L'anno climatico è stato **ESCLUSO**

Anno	Rendimento annuale complessivo				Rendimento annuale sopra soglia				Incluso
	$\eta_{H_{mo}}$	η_{θ}	η_{T_p}	η_{T_m}	$\eta_{H_{mo}}$	η_{θ}	η_{T_p}	η_{T_m}	
99-00	94.2	94.2	94.2	94.2	100.0	100.0	100.0	100.0	SI

1999-2000



H_{mo} [m]



T_p T_m [s]

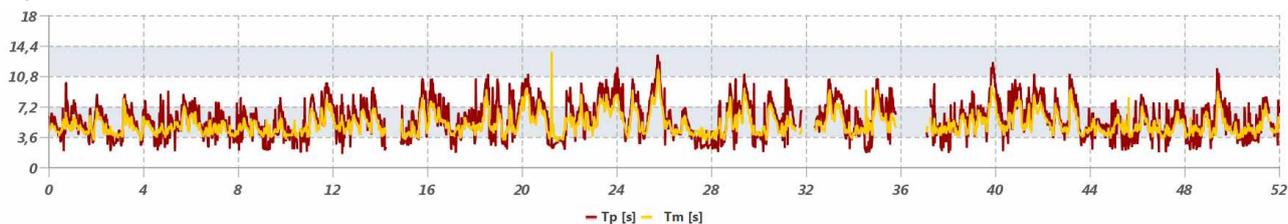
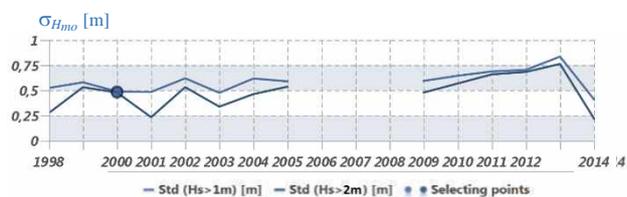
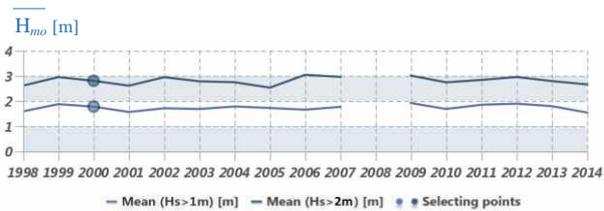
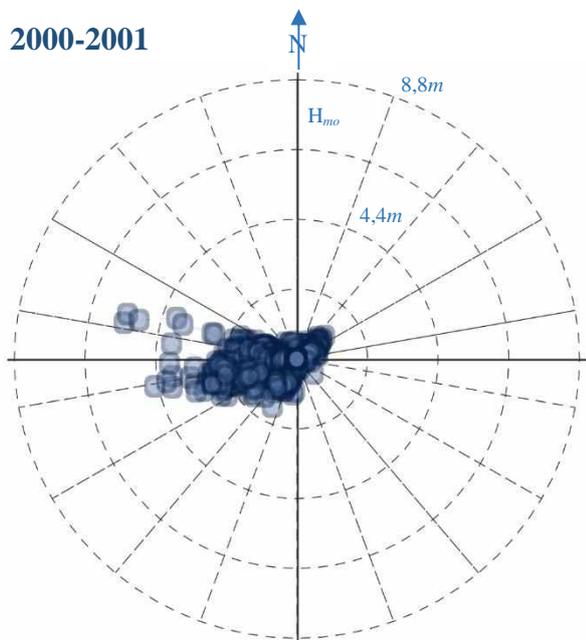


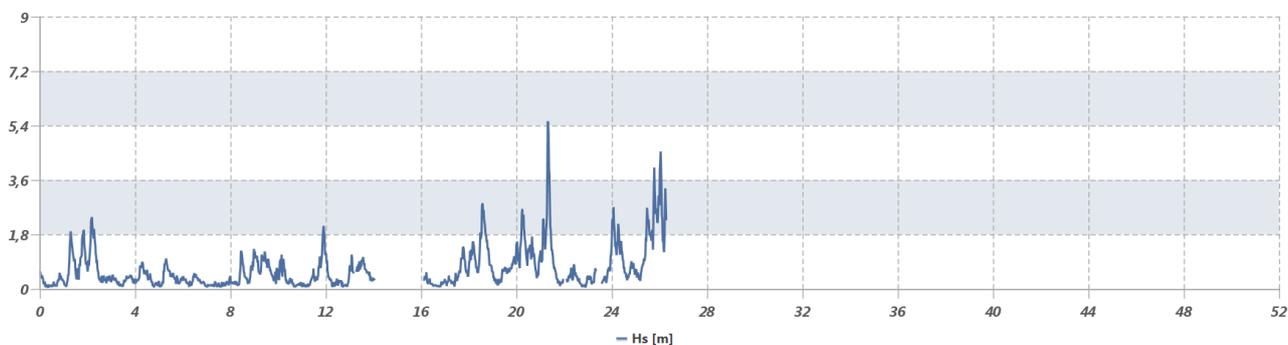
Figura 2 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 1999 e il giugno del 2000. L'anno climatico è stato **INCLUSO**

Anno	Rendimento annuale complessivo				Rendimento annuale sopra soglia				Incluso
	$\eta_{H_{mo}}$	η_{θ}	η_{T_p}	η_{T_m}	$\eta_{H_{mo}}$	η_{θ}	η_{T_p}	η_{T_m}	
00-01	45.6	45.6	45.6	45.6	15.0	15.0	15.0	15.0	NO

2000-2001



H_{mo} [m]



T_p T_m [s]

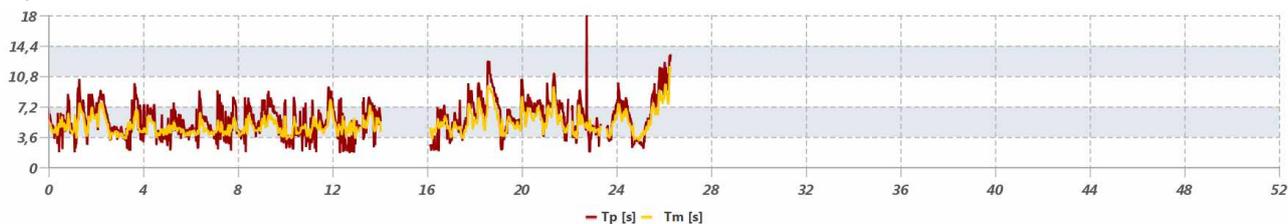
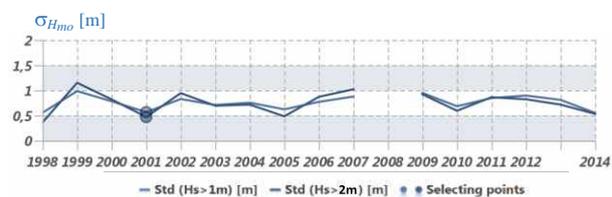
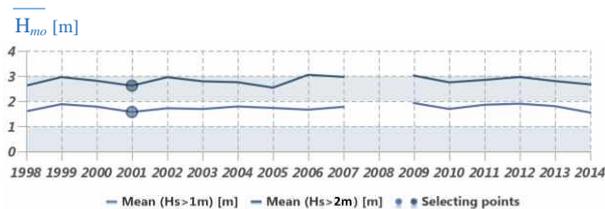
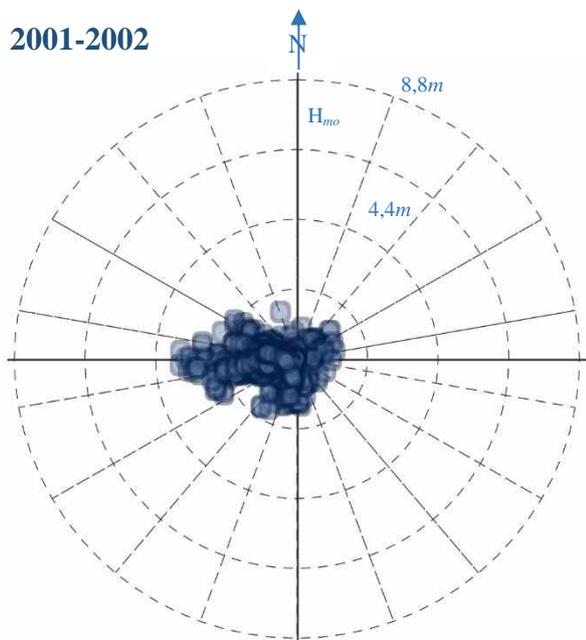


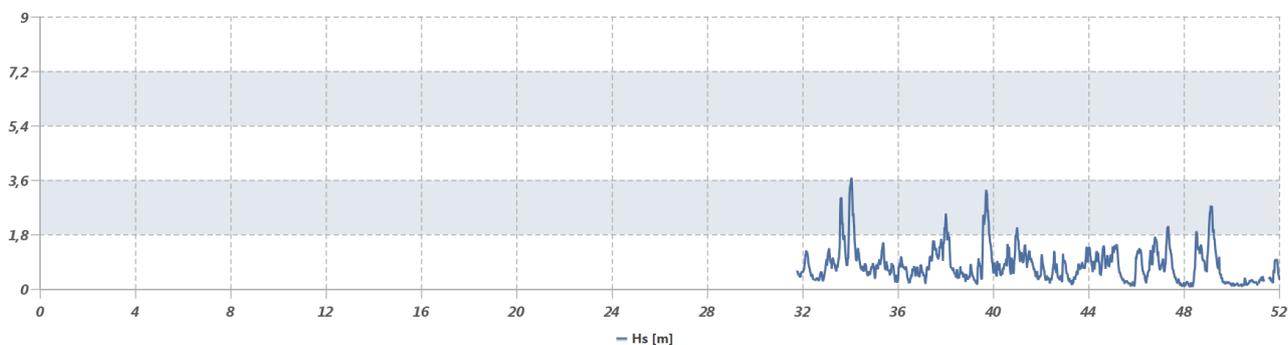
Figura 3 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 2000 e il giugno del 2001. L'anno climatico è stato **ESCLUSO**

Anno	Rendimento annuale complessivo				Rendimento annuale sopra soglia				Incluso
	$\eta_{H_{mo}}$	η_{θ}	η_{T_p}	η_{T_m}	$\eta_{H_{mo}}$	η_{θ}	η_{T_p}	η_{T_m}	
01-02	38.4	38.4	38.4	38.4	100.0	100.0	100.0	100.0	NO

2001-2002



H_{mo} [m]



T_p T_m [s]

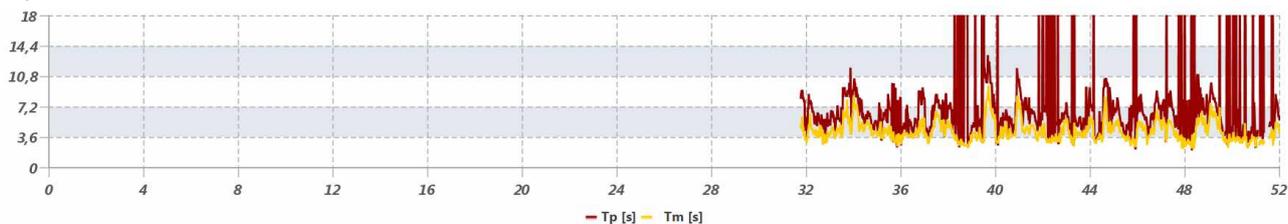
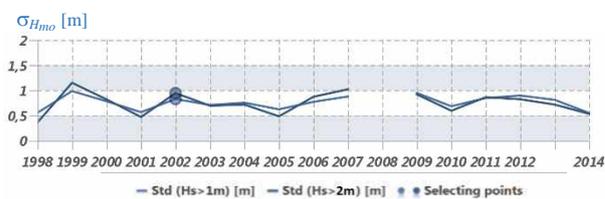
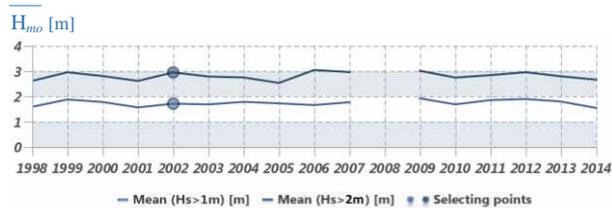
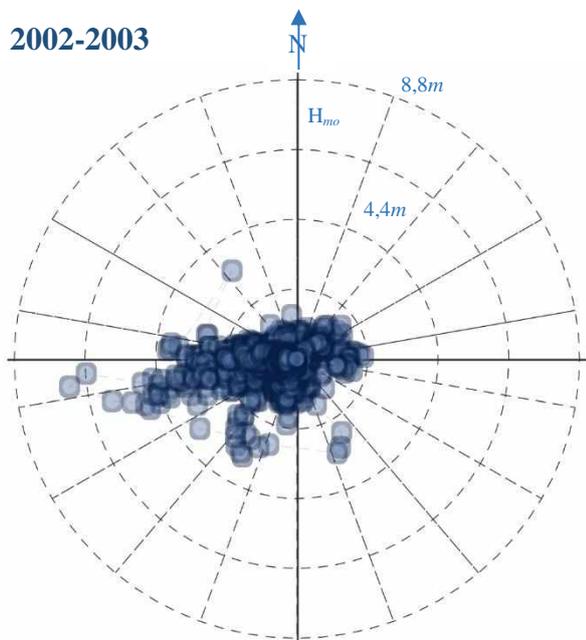


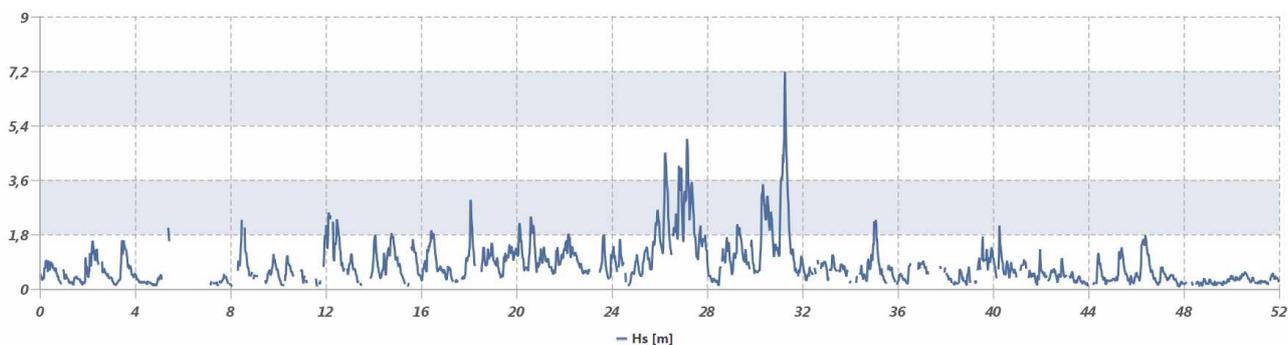
Figura 4 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 2001 e il giugno del 2002. L'anno climatico è stato **ESCLUSO**

Anno	Rendimento annuale complessivo				Rendimento annuale sopra soglia				Incluso
	$\eta_{H_{mo}}$	η_{θ}	η_{T_p}	η_{T_m}	$\eta_{H_{mo}}$	η_{θ}	η_{T_p}	η_{T_m}	
02-03	94.0	94.0	94.0	94.0	86.0	86.0	86.0	86.0	SI

2002-2003



H_{mo} [m]



T_p T_m [s]

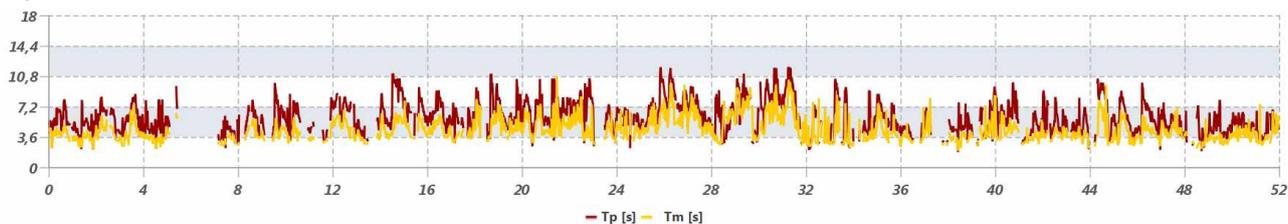
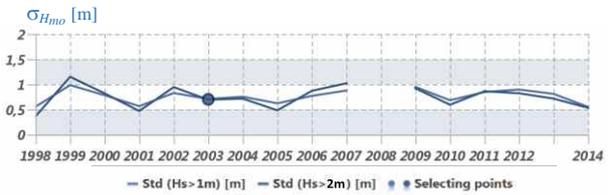
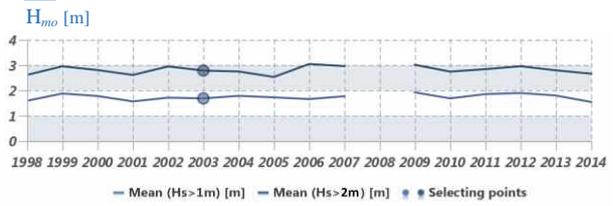
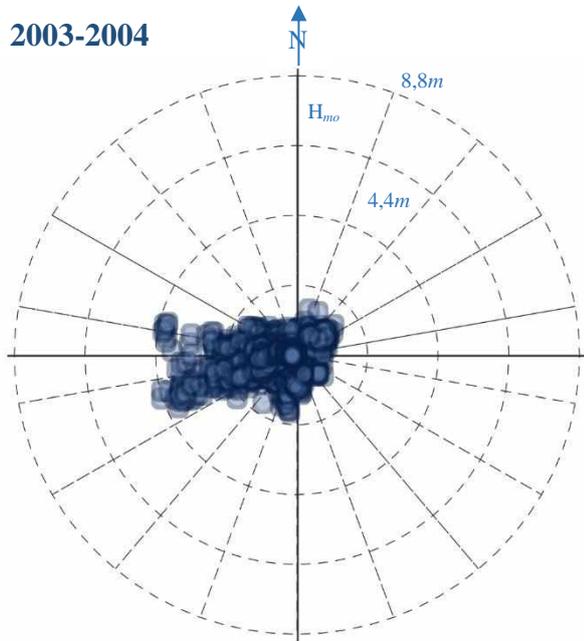


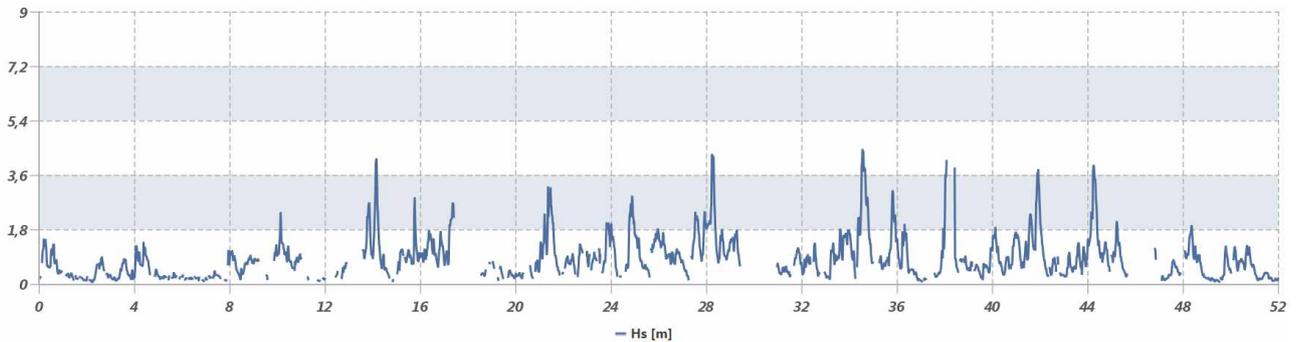
Figura 5 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 2002 e il giugno del 2003. L'anno climatico è stato **INCLUSO**

Anno	Rendimento annuale complessivo				Rendimento annuale sopra soglia				Incluso
	$\eta_{H_{mo}}$	η_{θ}	η_{T_p}	η_{T_m}	$\eta_{H_{mo}}$	η_{θ}	η_{T_p}	η_{T_m}	
03-04	90.0	90.0	90.0	90.0	88.7	88.7	88.7	88.7	SI

2003-2004



H_{mo} [m]



T_p T_m [s]

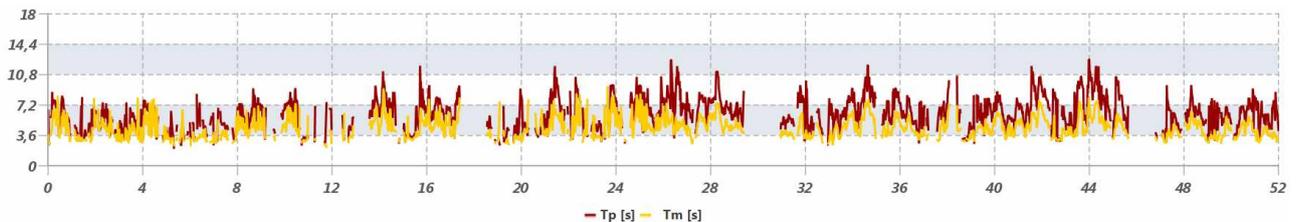
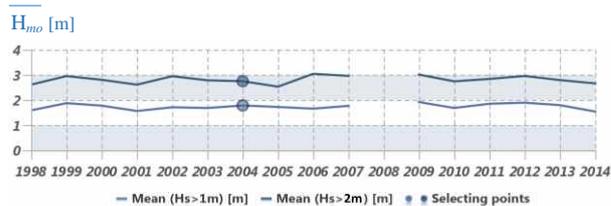
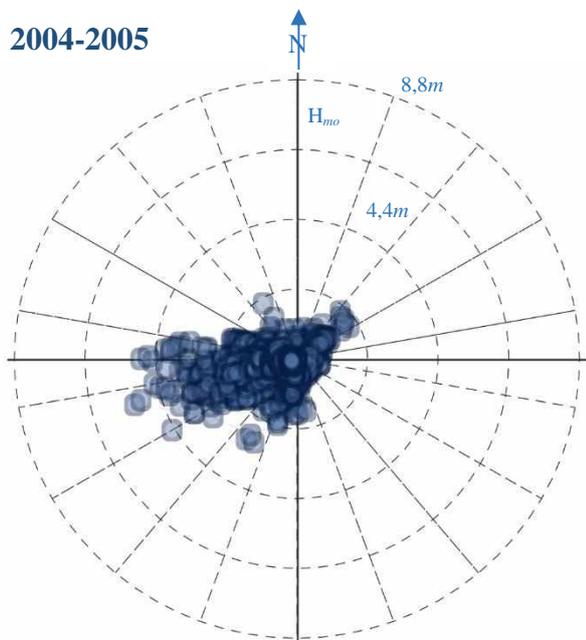


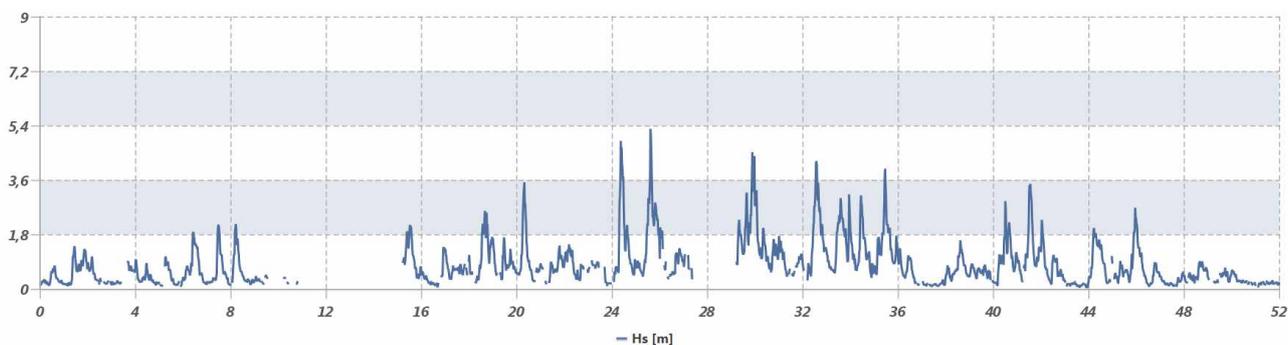
Figura 6 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 2003 e il giugno del 2004. L'anno climatico è stato **INCLUSO**

Anno	Rendimento annuale complessivo				Rendimento annuale sopra soglia				Incluso
	$\eta_{H_{mo}}$	η_{θ}	η_{T_p}	η_{T_m}	$\eta_{H_{mo}}$	η_{θ}	η_{T_p}	η_{T_m}	
04-05	85.0	85.0	85.0	85.0	98.9	98.9	98.9	98.9	SI

2004-2005



H_{mo} [m]



T_p T_m [s]

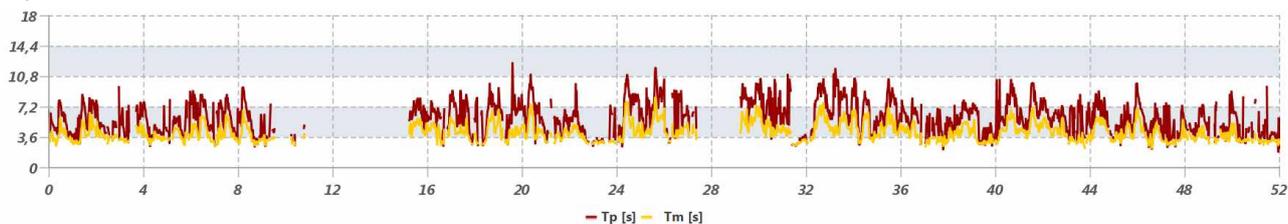
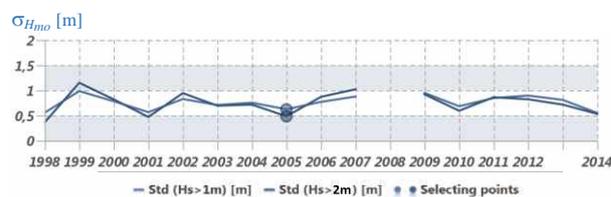
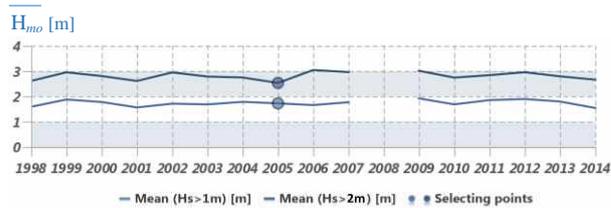
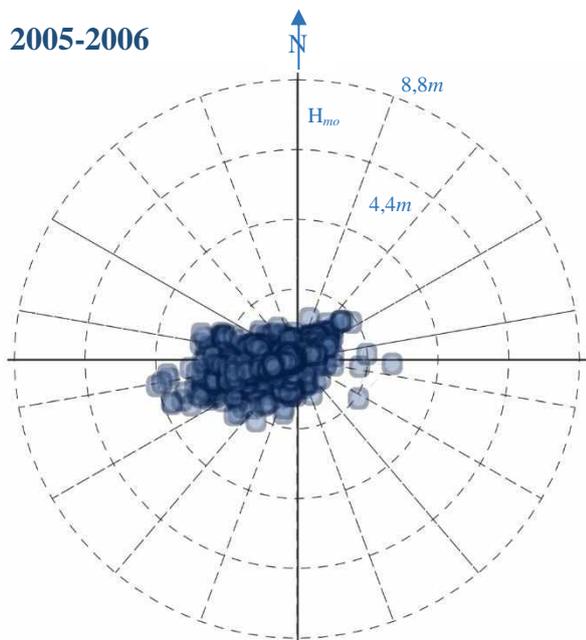


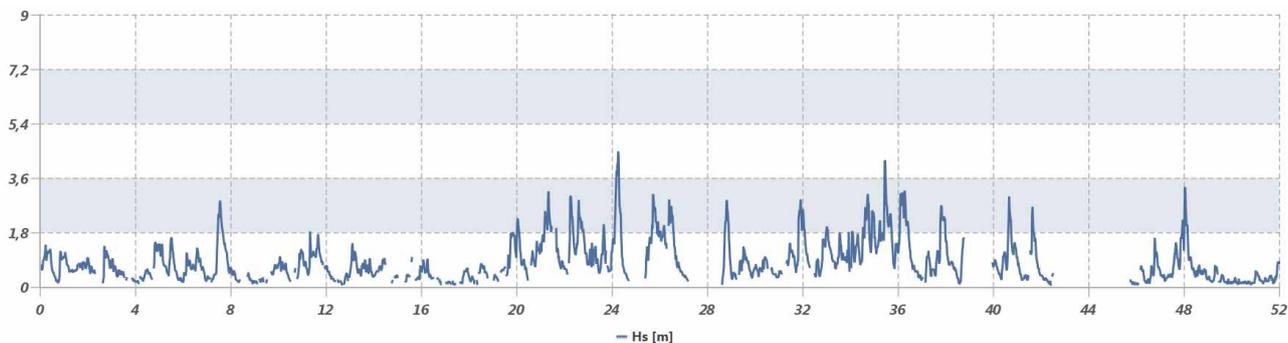
Figura 7 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 2004 e il giugno del 2005. L'anno climatico è stato **INCLUSO**

Anno	Rendimento annuale complessivo				Rendimento annuale sopra soglia				Incluso
	$\eta_{H_{mo}}$	η_{θ}	η_{T_p}	η_{T_m}	$\eta_{H_{mo}}$	η_{θ}	η_{T_p}	η_{T_m}	
05-06	85.9	85.9	85.9	85.9	89.1	89.1	89.1	89.1	SI

2005-2006



H_{mo} [m]



T_p T_m [s]

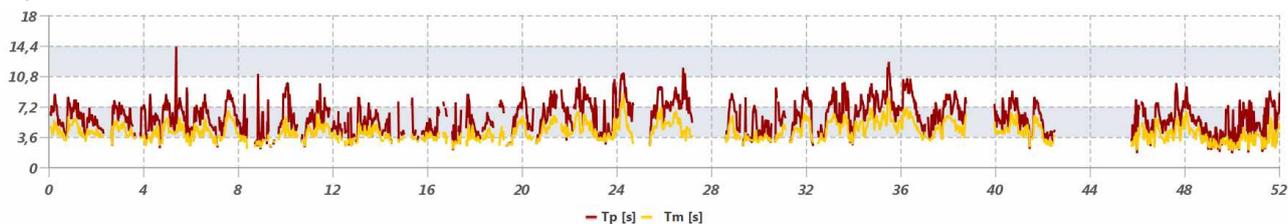
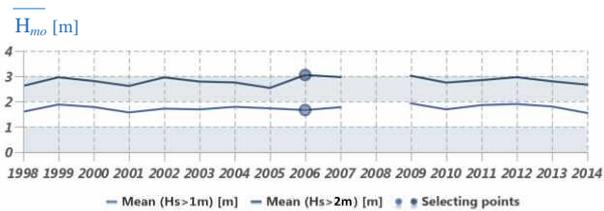
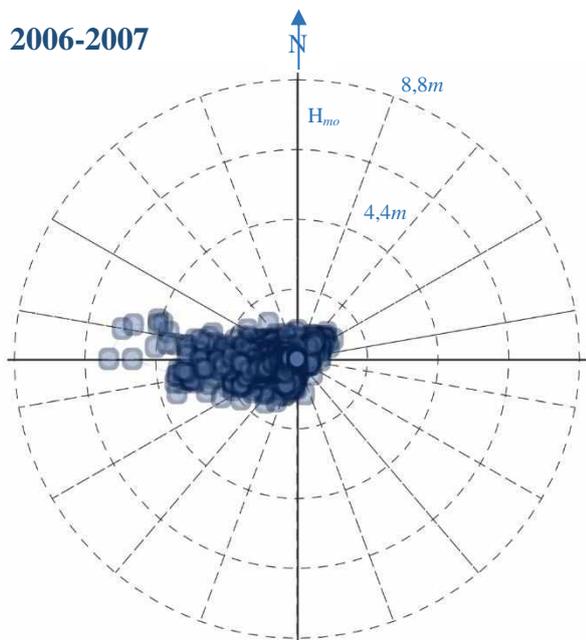


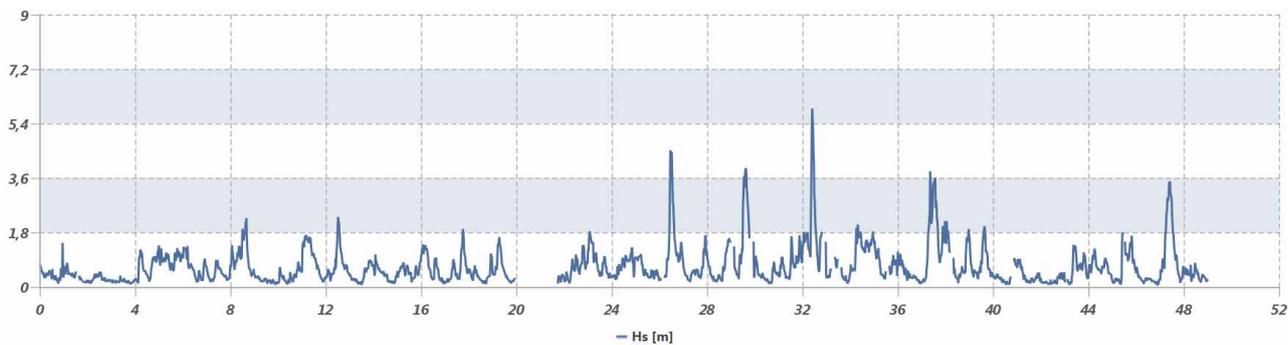
Figura 8 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 2005 e il giugno del 2006. L'anno climatico è stato **INCLUSO**

Anno	Rendimento annuale complessivo				Rendimento annuale sopra soglia				Incluso
	$\eta_{H_{mo}}$	η_{θ}	η_{T_p}	η_{T_m}	$\eta_{H_{mo}}$	η_{θ}	η_{T_p}	η_{T_m}	
06-07	87.7	87.7	87.7	87.7	92.7	92.7	92.7	92.7	SI

2006-2007



H_{mo} [m]



T_p T_m [s]

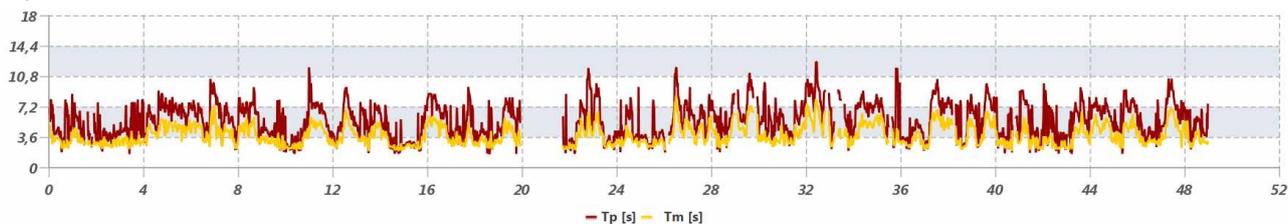
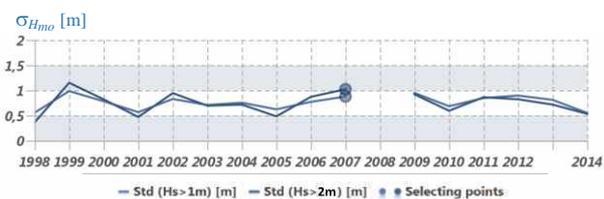
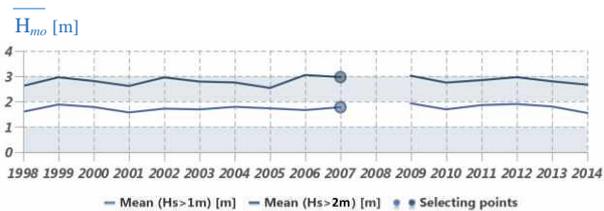
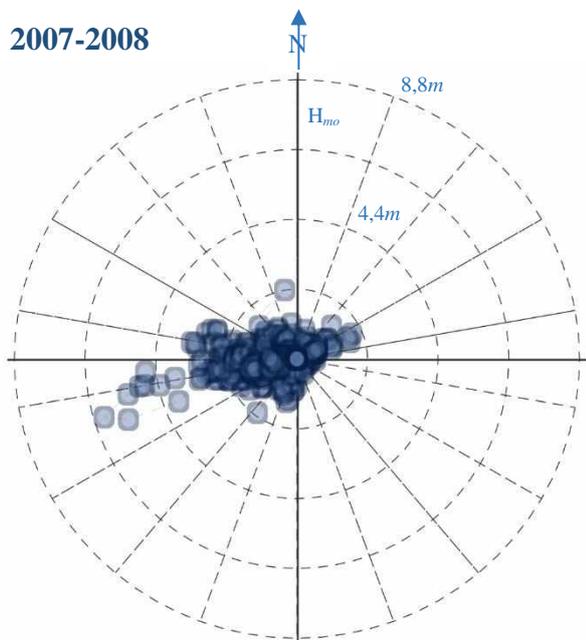


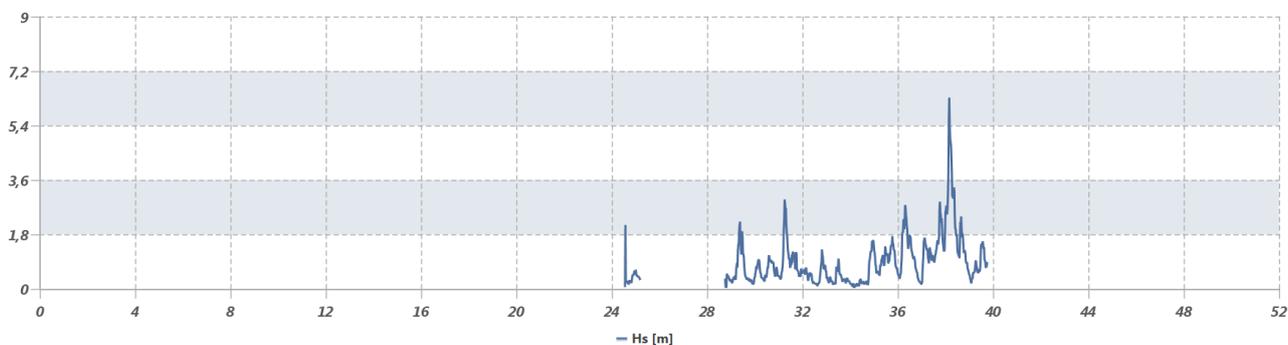
Figura 9 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 2006 e il giugno del 2007. L'anno climatico è stato **INCLUSO**

Anno	Rendimento annuale complessivo				Rendimento annuale sopra soglia				Incluso
	$\eta_{H_{mo}}$	η_{θ}	η_{T_p}	η_{T_m}	$\eta_{H_{mo}}$	η_{θ}	η_{T_p}	η_{T_m}	
07-08	22.4	22.4	22.4	22.4	100.0	100.0	100.0	100.0	NO

2007-2008



H_{mo} [m]



T_p T_m [s]

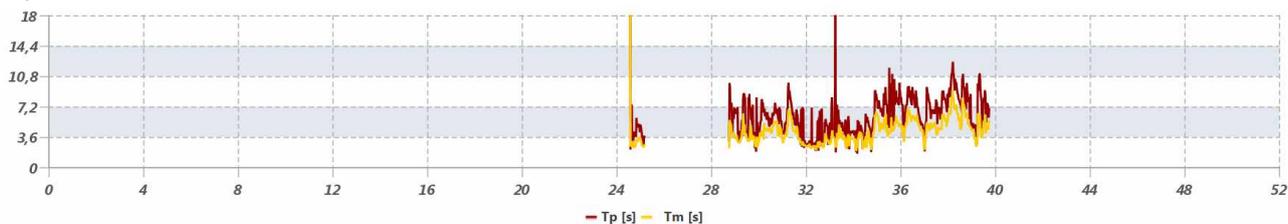
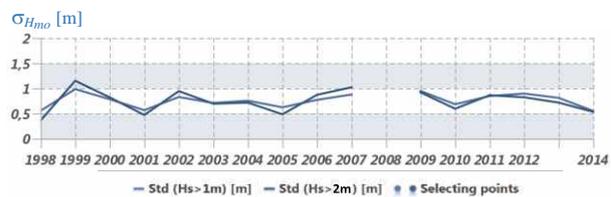
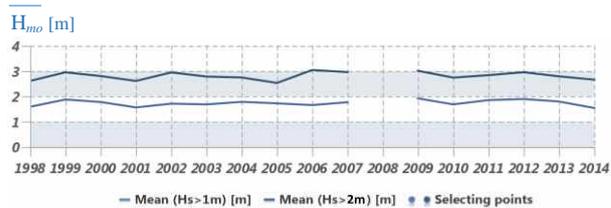
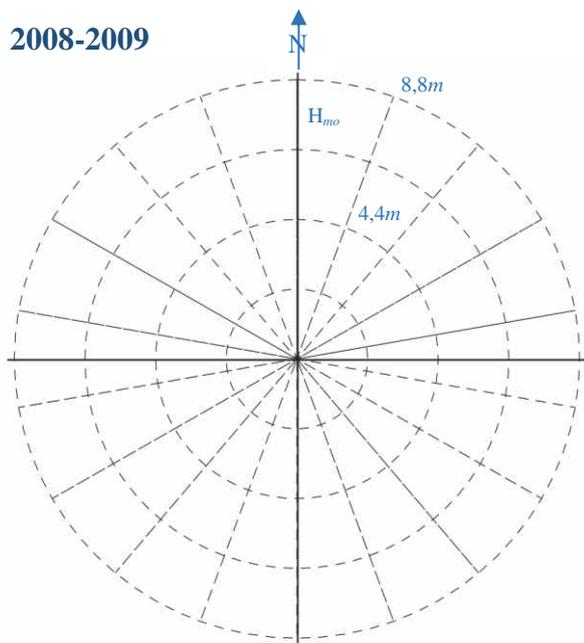


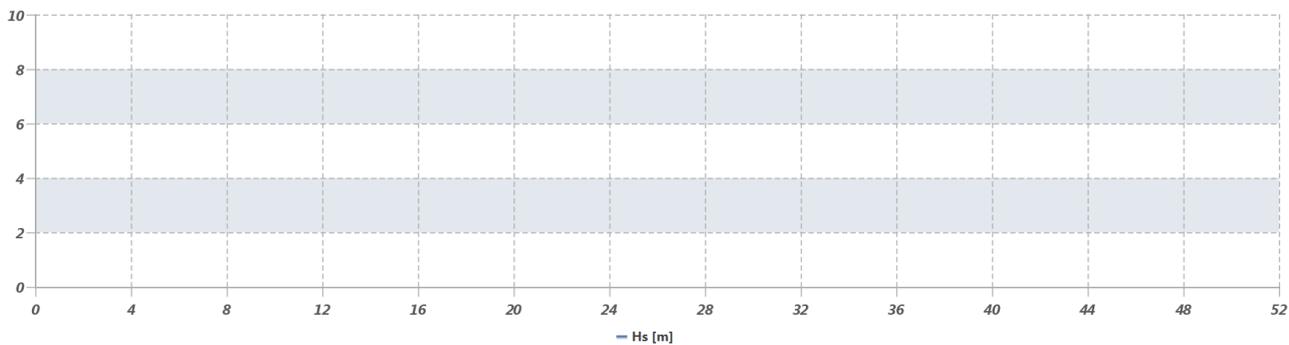
Figura 10 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 2007 e il giugno del 2008. L'anno climatico è stato **ESCLUSO**

Anno	Rendimento annuale complessivo				Rendimento annuale sopra soglia				Incluso
	$\eta_{H_{mo}}$	η_{θ}	η_{T_p}	η_{T_m}	$\eta_{H_{mo}}$	η_{θ}	η_{T_p}	η_{T_m}	
08-09	-	-	-	-	-	-	-	-	NO

2008-2009



H_{mo} [m]



T_p T_m [s]

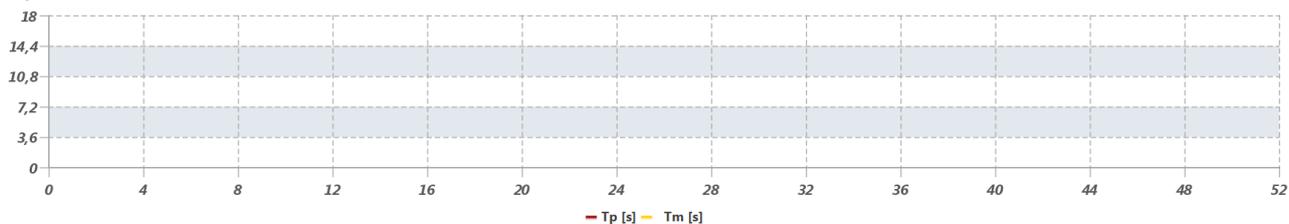
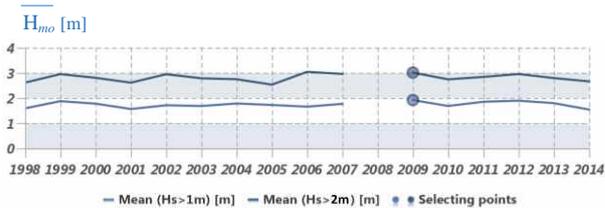
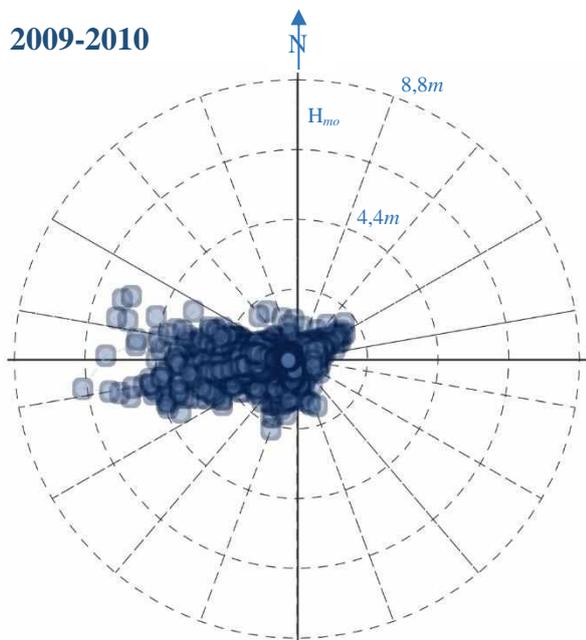


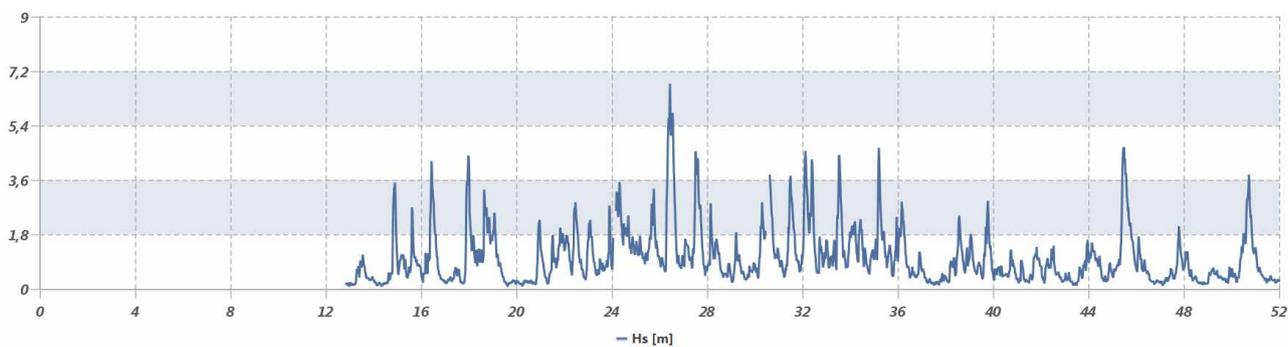
Figura 11 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 2008 e il giugno del 2009. L'anno climatico è stato **ESCLUSO**

Anno	Rendimento annuale complessivo				Rendimento annuale sopra soglia				Incluso
	$\eta_{H_{mo}}$	η_{θ}	η_{T_p}	η_{T_m}	$\eta_{H_{mo}}$	η_{θ}	η_{T_p}	η_{T_m}	
09-10	74.8	74.8	66.4	74.8	98.2	98.2	98.2	98.2	SI

2009-2010



H_{mo} [m]



T_p T_m [s]

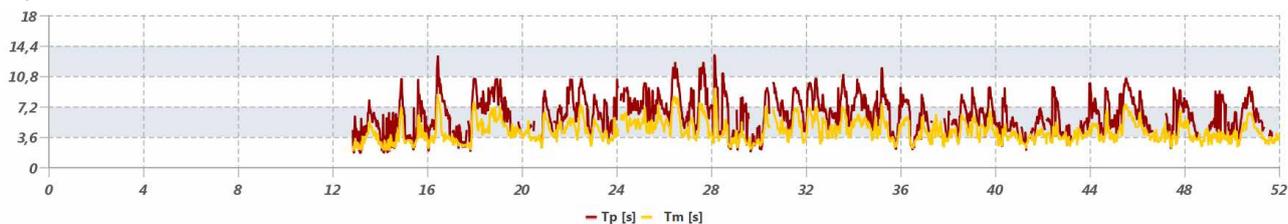
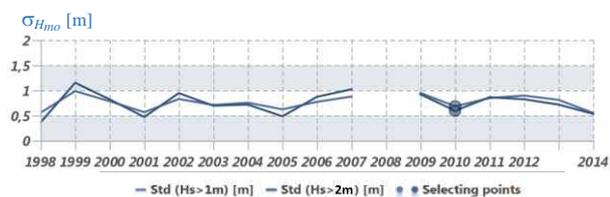
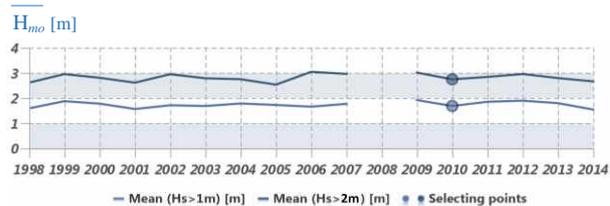
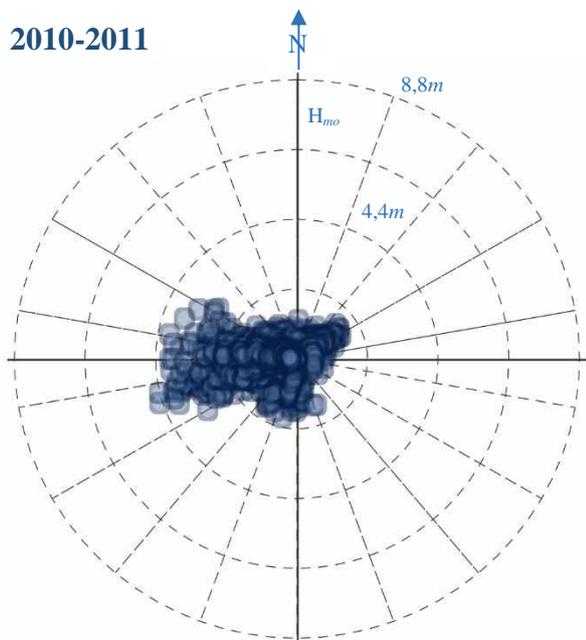


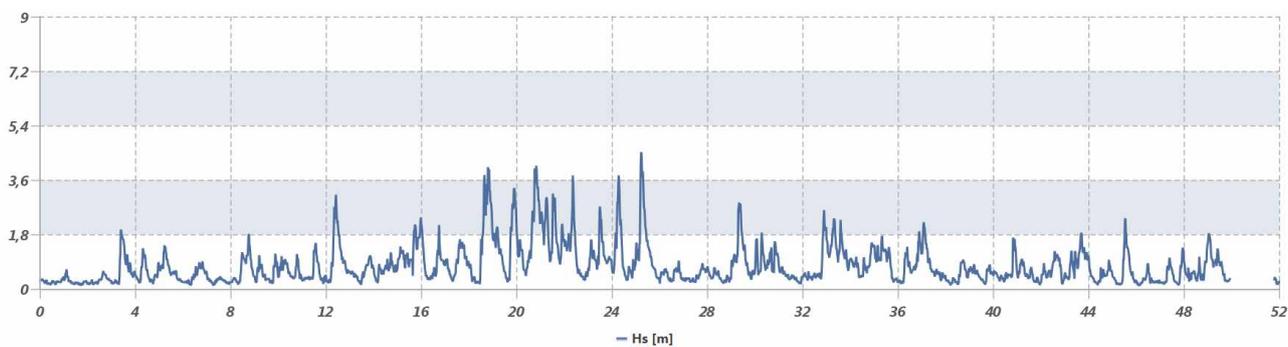
Figura 12 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 2009 e il giugno del 2010. L'anno climatico è stato **INCLUSO**

Anno	Rendimento annuale complessivo				Rendimento annuale sopra soglia				Incluso
	$\eta_{H_{mo}}$	η_{θ}	η_{T_p}	η_{T_m}	$\eta_{H_{mo}}$	η_{θ}	η_{T_p}	η_{T_m}	
10-11	96.4	96.4	77.1	96.4	100.0	100.0	100.0	100.0	SI

2010-2011



H_{mo} [m]



T_p T_m [s]

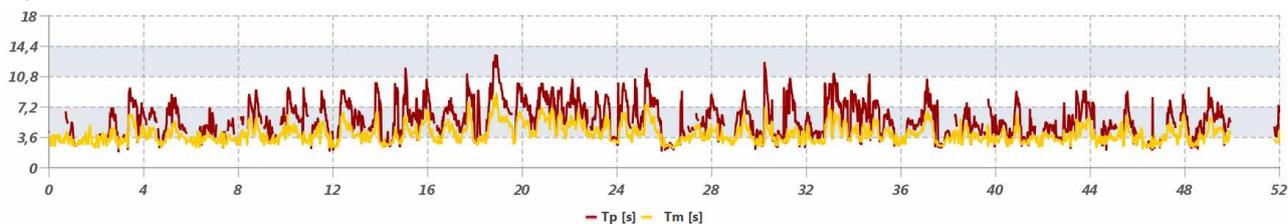
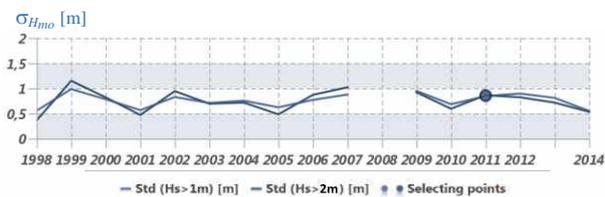
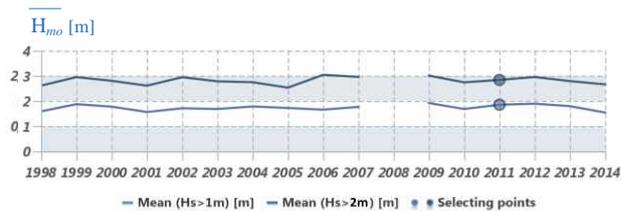
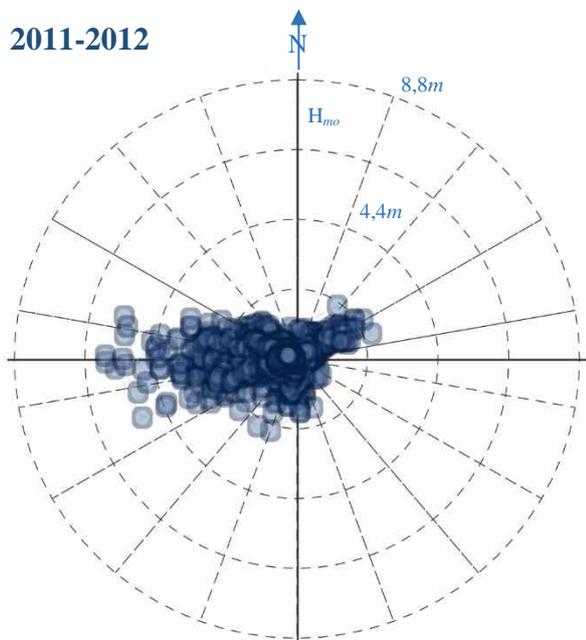


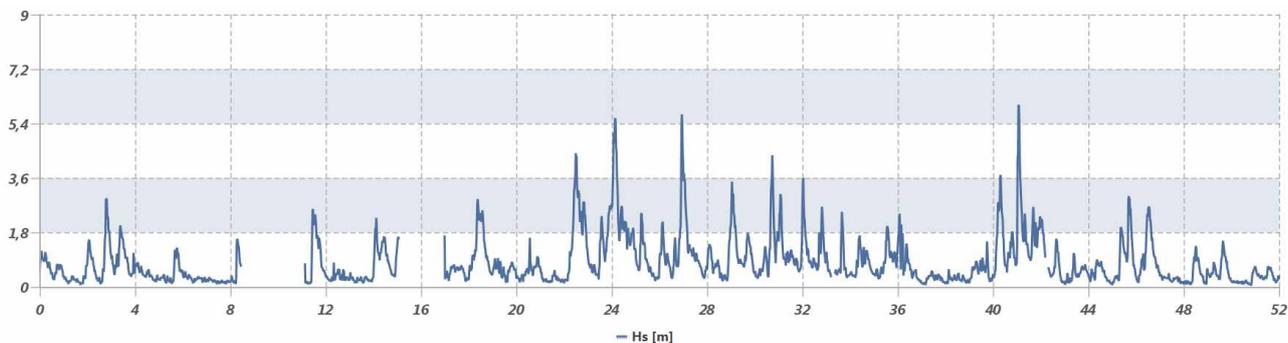
Figura 13 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 2010 e il giugno del 2011. L'anno climatico è stato **INCLUSO**

Anno	Rendimento annuale complessivo				Rendimento annuale sopra soglia				Incluso
	$\eta_{H_{mo}}$	η_{θ}	η_{T_p}	η_{T_m}	$\eta_{H_{mo}}$	η_{θ}	η_{T_p}	η_{T_m}	
11-12	90.7	90.7	90.7	90.7	86.6	86.6	86.6	86.6	SI

2011-2012



H_{mo} [m]



T_p T_m [s]

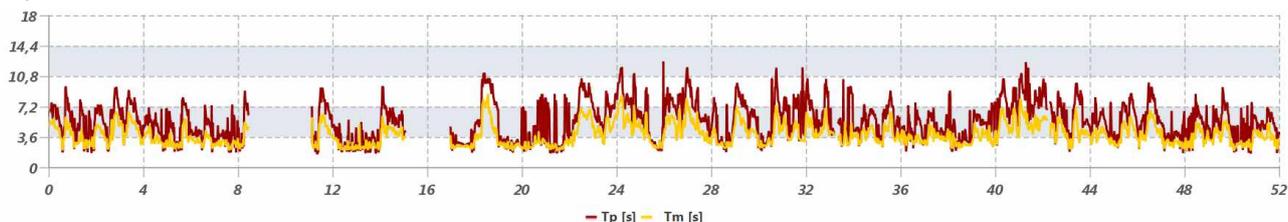
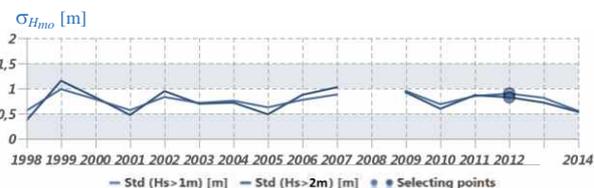
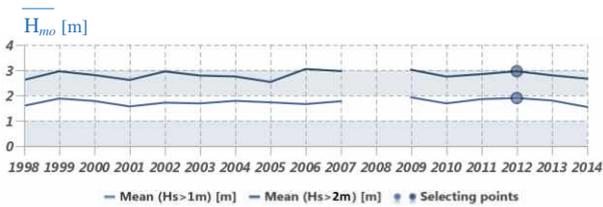
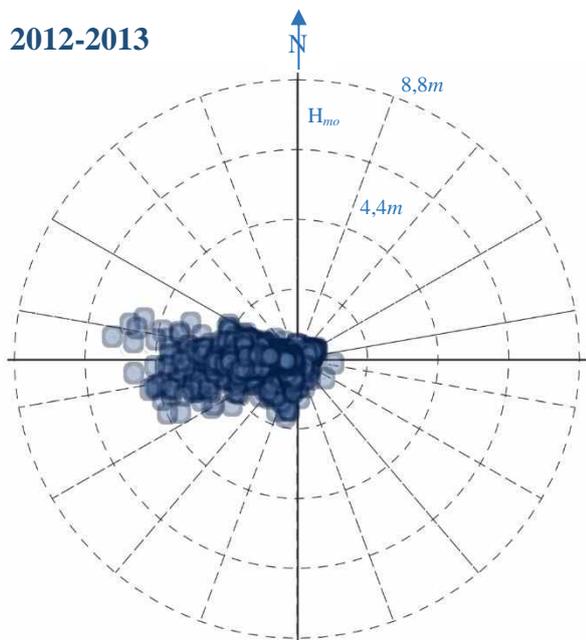


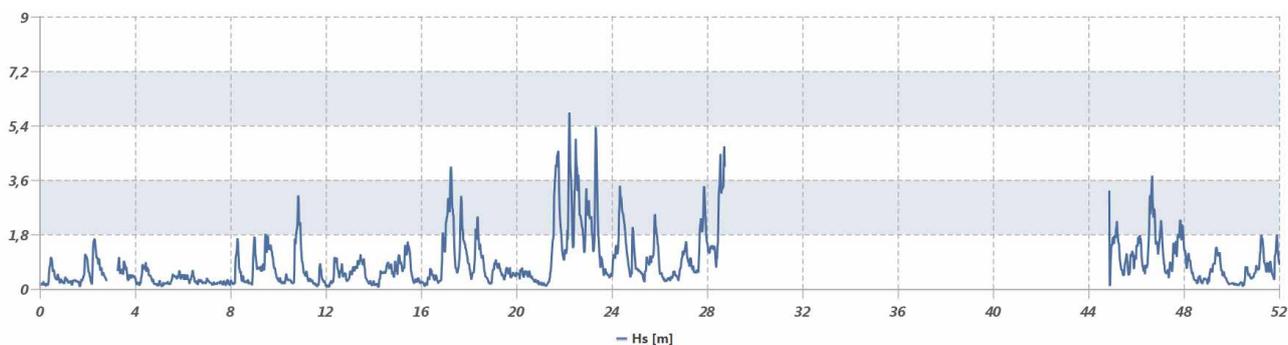
Figura 14 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 2011 e il giugno del 2012. L'anno climatico è stato **INCLUSO**

Anno	Rendimento annuale complessivo				Rendimento annuale sopra soglia				Incluso
	$\eta_{H_{mo}}$	η_{θ}	η_{T_p}	η_{T_m}	$\eta_{H_{mo}}$	η_{θ}	η_{T_p}	η_{T_m}	
12-13	68.1	68.1	68.1	68.1	38.0	38.0	38.0	38.0	SI

2012-2013



H_{mo} [m]



T_p T_m [s]

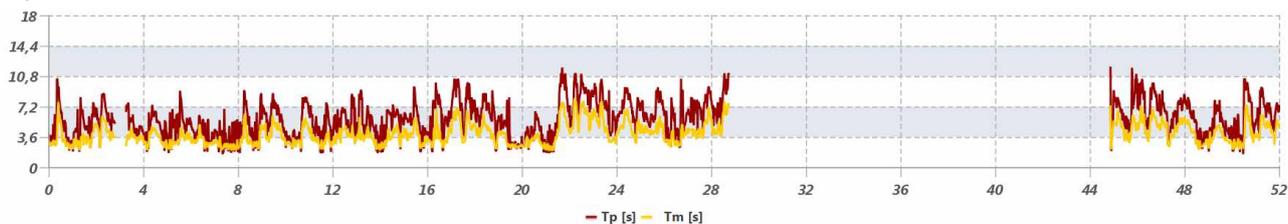
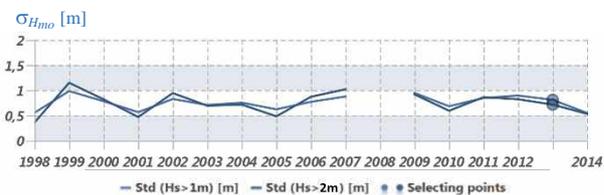
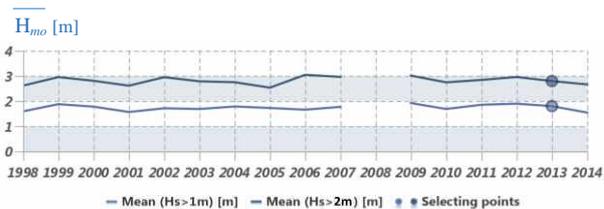
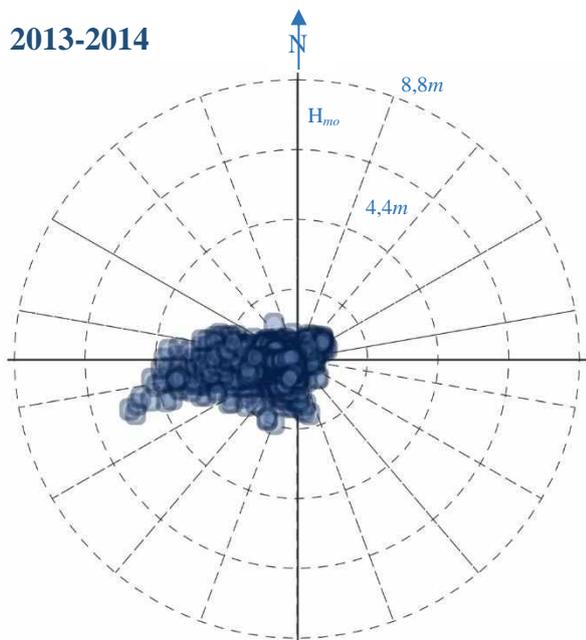


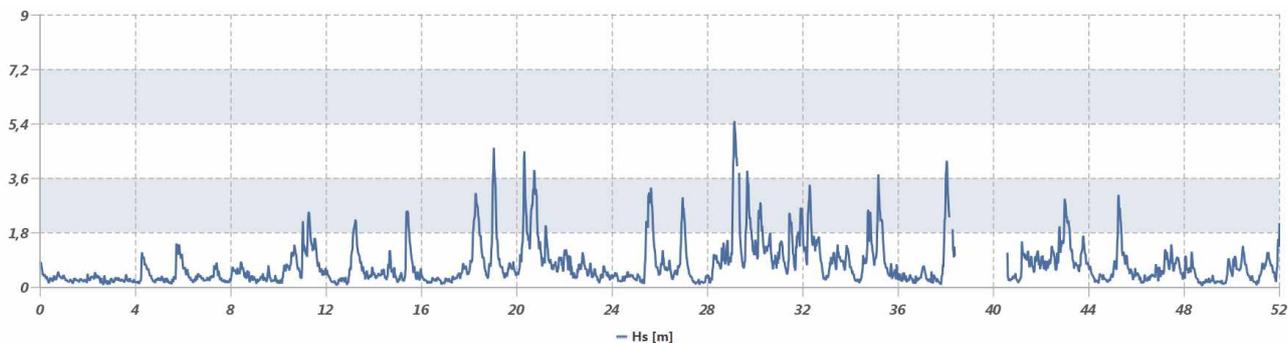
Figura 15 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 2012 e il giugno del 2013. L'anno climatico è stato **INCLUSO**

Anno	Rendimento annuale complessivo				Rendimento annuale sopra soglia				Incluso
	$\eta_{H_{mo}}$	η_{θ}	η_{T_p}	η_{T_m}	$\eta_{H_{mo}}$	η_{θ}	η_{T_p}	η_{T_m}	
13-14	95.4	95.4	95.4	95.4	81.8	81.8	81.8	81.8	SI

2013-2014



H_{mo} [m]



T_p T_m [s]

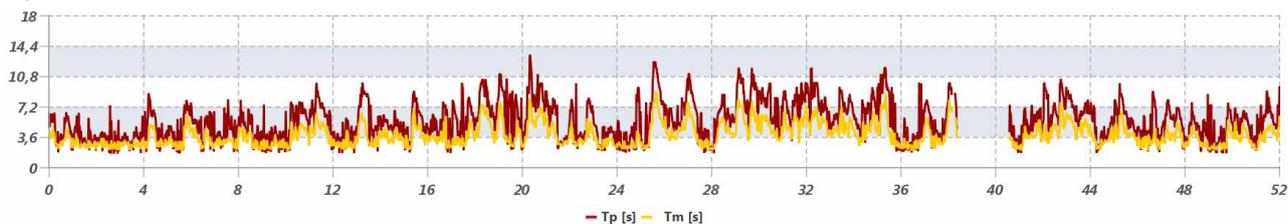
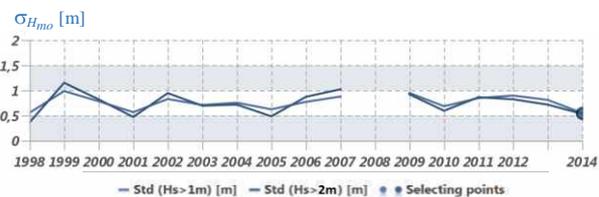
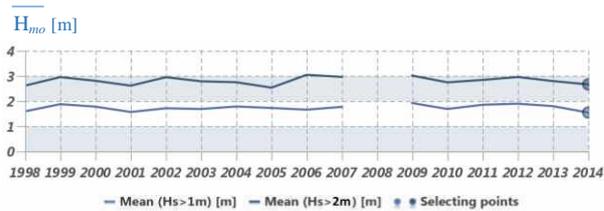
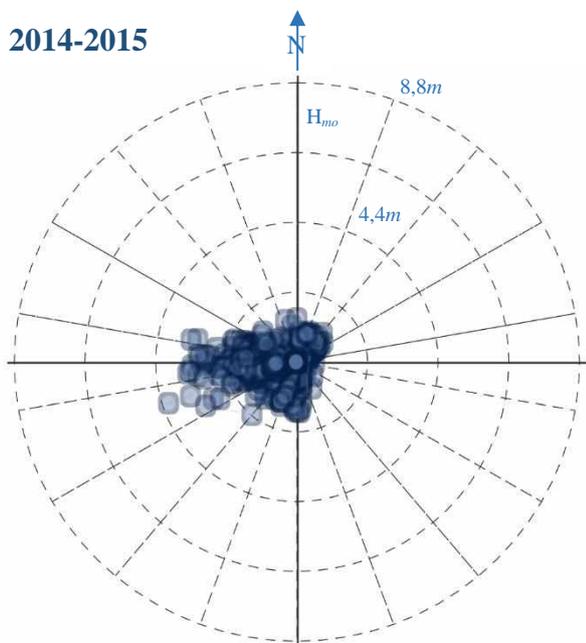


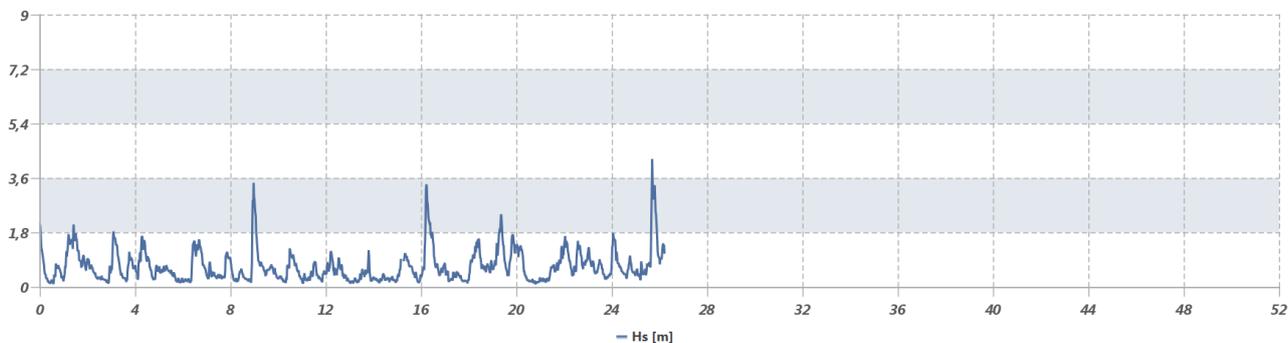
Figura 16 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 2013 e il giugno del 2014. L'anno climatico è stato **INCLUSO**

Anno	Rendimento annuale complessivo				Rendimento annuale sopra soglia				Incluso
	$\eta_{H_{mo}}$	η_{θ}	η_{T_p}	η_{T_m}	$\eta_{H_{mo}}$	η_{θ}	η_{T_p}	η_{T_m}	
14-15	50.2	50.2	50.2	50.2	16.1	16.1	16.1	16.1	NO

2014-2015



H_{mo} [m]



T_p T_m [s]

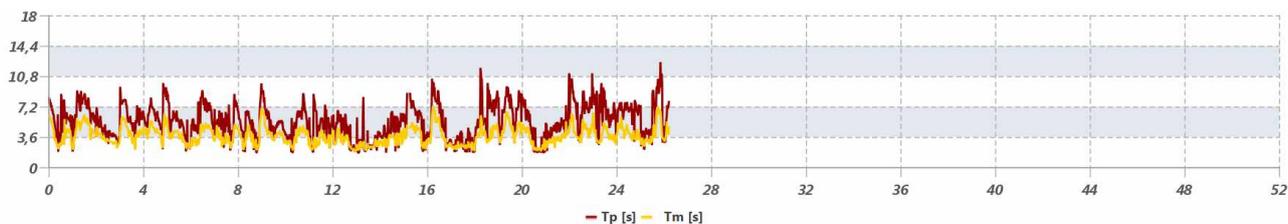


Figura 17 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 2014 e il giugno del 2015. L'anno climatico è stato **ESCLUSO**

Selezione dei settori direzionali di provenienza delle mareggiate

Dopo aver formato il dataset, da esso si devono estrarre gli eventi estremi da analizzare. L'operazione di estrazione degli estremi campionari deve garantire che i valori selezionati siano descrittivi del fenomeno fisico studiato, omogenei e indipendenti. In questo modo si può confidare che i dati estratti siano identicamente distribuiti.

In bacini irregolari e semi chiusi è più ragionevole ritenere la direzione degli eventi estremi una variabile deterministica. Infatti, la dissimmetrica distribuzione delle aree di generazione del moto ondoso produce sistematicamente una differente risposta del bacino a differenti direzioni di provenienza del vento. Pertanto, l'omogeneità direzionale dell'insieme campionario selezionato può essere garantita imponendo che la direzione media di provenienza dello stato di mare appartenga a fissati settori direzionali. Per individuare i limiti di tali settori, si sono analizzate le seguenti informazioni:

1. La conformazione delle aree di generazione del moto ondoso sottese da ciascuna boa (distribuzione dei fetch geografici);
2. La distribuzione direzionale della frequenza di accadimento delle osservazioni;
3. La distribuzione direzionale dei massimi valori dei colmi di mareggiata.

Si vuole evidenziare che l'esame delle sole curve di frequenza d'accadimento direzionale può portare a sottovalutare alcune preziose informazioni, legate a eventi intensi ma rari, non rappresentate dalle curve di frequenza. Per tale ragione è stata analizzata anche la distribuzione direzionale dei massimi valori dei colmi di mareggiata.

Nella Figura 18 sono riportate le distribuzioni direzionali della frequenza di accadimento e dei valori massimi delle altezze significative (rispettivamente in azzurro e bleu) e del flusso di energia (rispettivamente in arancione e rosso), normalizzate rispetto al massimo valore presentato. Su tali basi si sono potuti identificare i seguenti settori direzionali:

1. $180^{\circ}\text{N} \leq \theta < 230^{\circ}\text{N}$
2. $230^{\circ}\text{N} \leq \theta < 310^{\circ}\text{N}$

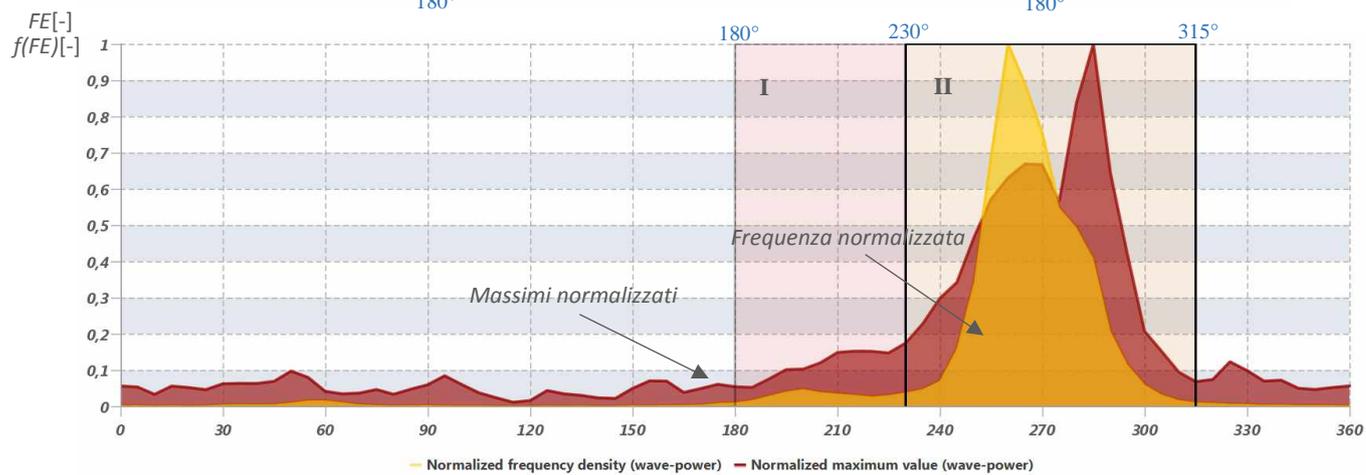
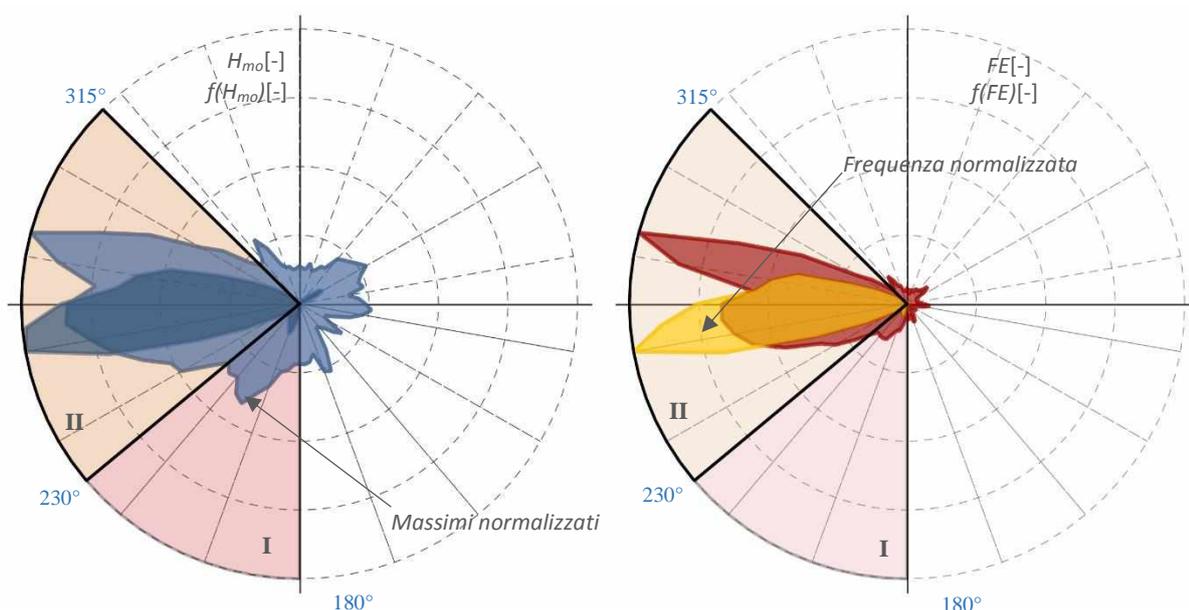
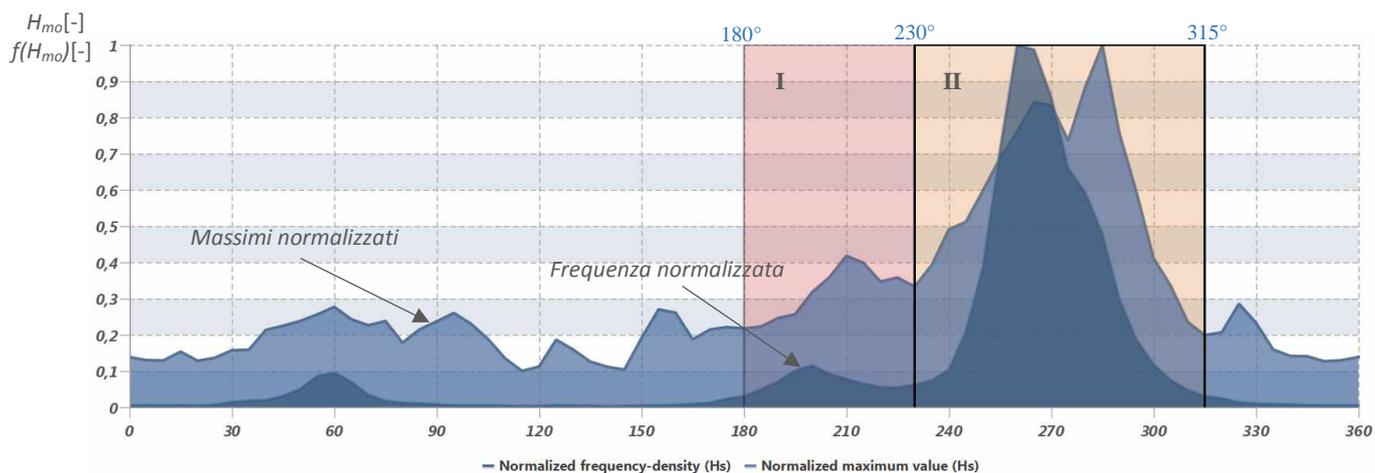


Figura 18 – Distribuzioni direzionali della frequenza di accadimento e dei massimi delle altezze significative (in alto rispettivamente in azzurro e bleu) e del flusso di energia (in basso rispettivamente in arancione e rosso), normalizzate rispetto al valore massimo. Indicazione dei settori direzionali identificati.

I risultati qui riportati si adattano perfettamente anche ai regimi direzionali annuali e stagionali (cfr. figure dalla Figura 19 alla Figura 25 in cui sono ripostati i regimi direzionali annuali, estivi, autunnali, invernali e primaverili come rose dei venti e come tavole di occorrenza numerale e percentuale).

Si annota che i dati utilizzati per il calcolo dei regimi si riferiscono alla serie completa, cioè sono stati utilizzati anche quei dati registrati in anni in cui il rendimento medio annuale di misurazione non era soddisfacente ai fini dell'analisi degli estremi, ovvero allorquando le serie annuali presentavano andamenti eccessivamente frammentati. Nella tabella sottostante si riportano il numero totale dei dati analizzati, quello dei dati nulli e quello dei valori di calma (con altezza significativa inferiore o uguale a 0,5 m).

Numerosità				
49672				
Dati nulli	In inverno	In primavera	In estate	In autunno
19297	4929	4714	5271	4383
Stati di calma	In inverno	In primavera	In estate	In autunno
13265	2255	3839	4426	2745

Tabella dei rendimenti stagionali e dell'occorrenza degli stati di calma, per cui $H_{m0} \leq 0,5 m$.

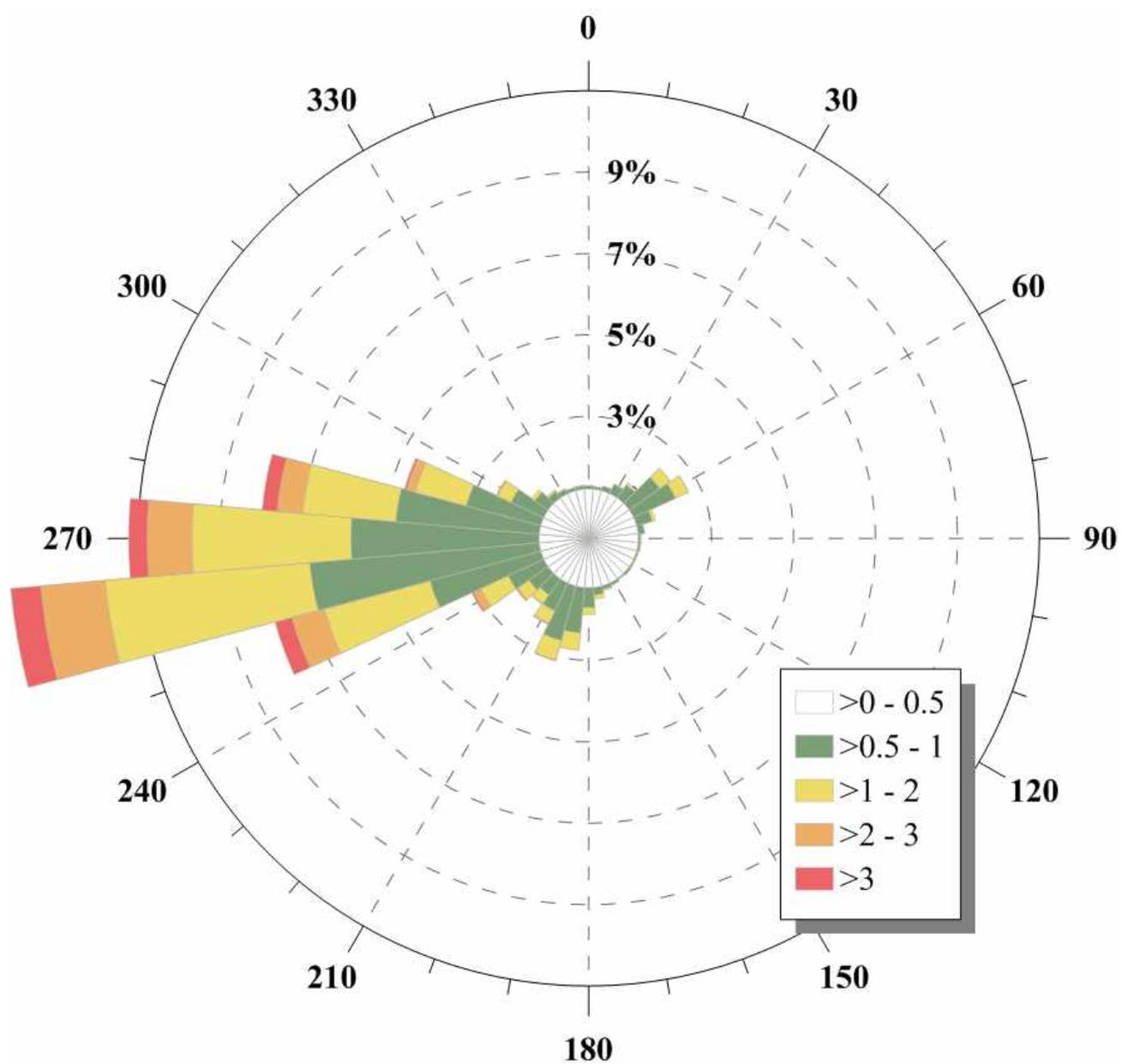


Figura 19 – Regime direzionale annuale.

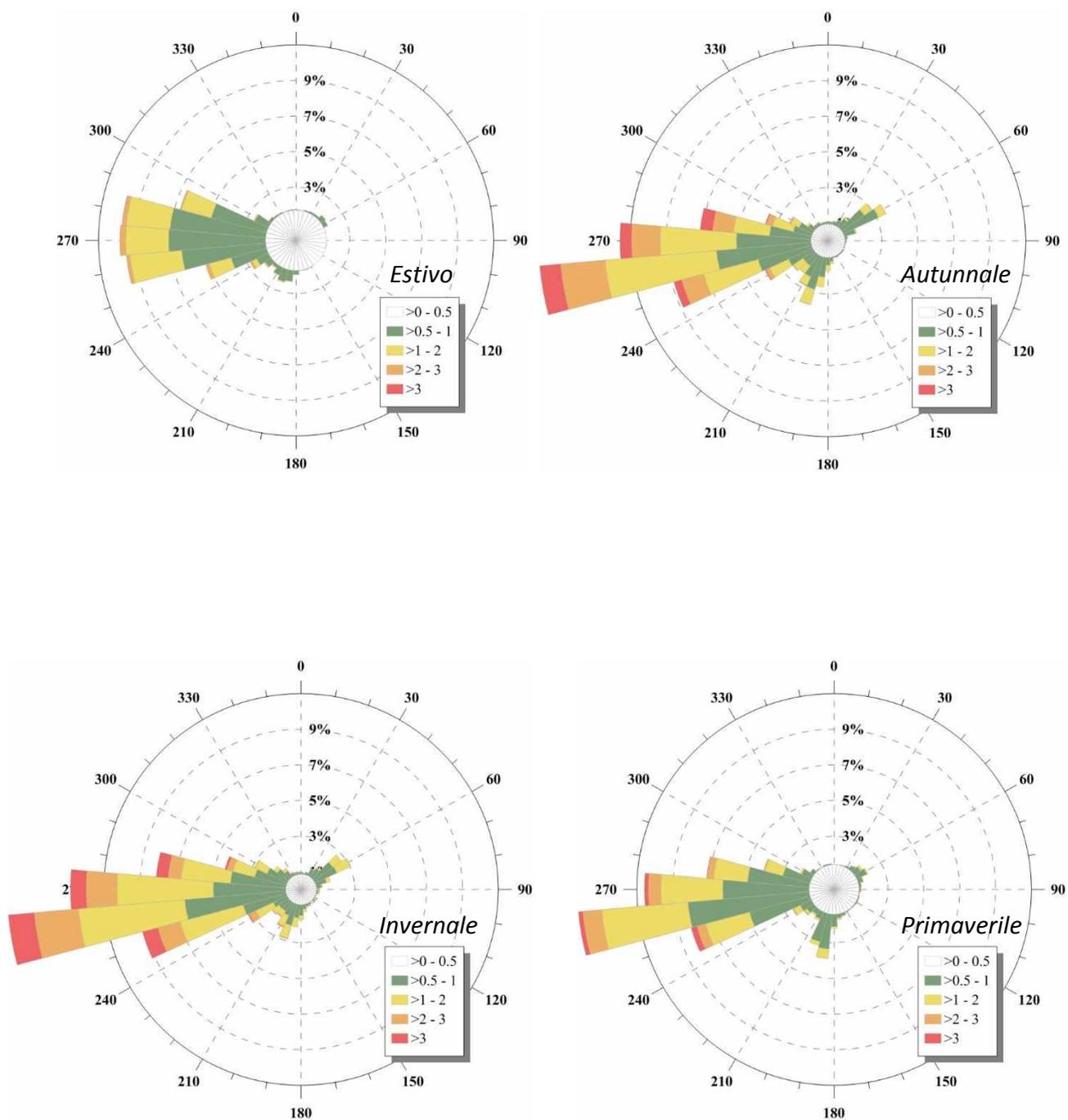


Figura 20 – Regimi direzionali stagionali.

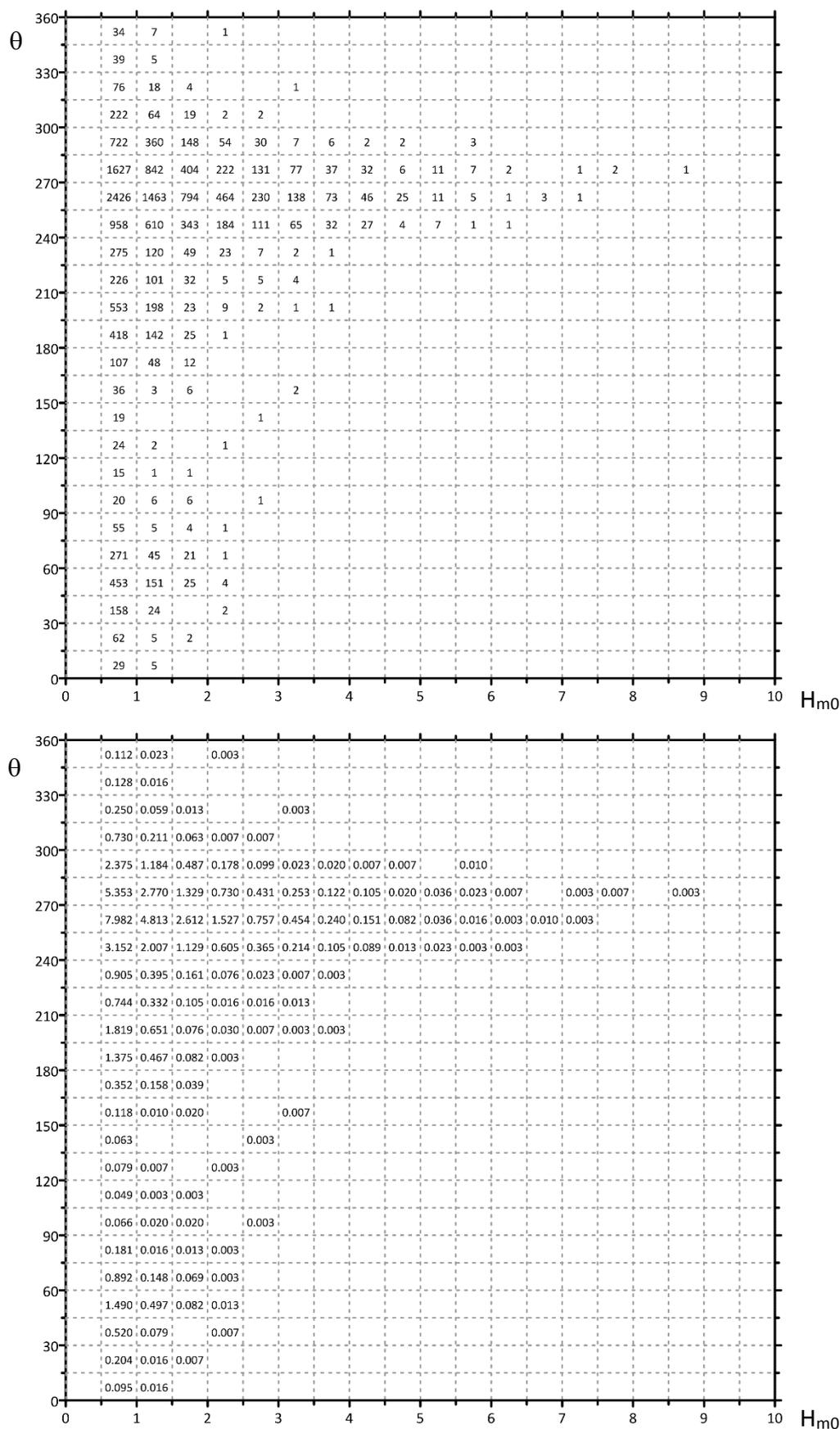


Figura 21 – Tavole di occorrenza numeraria e percentuale - regimi annuali.

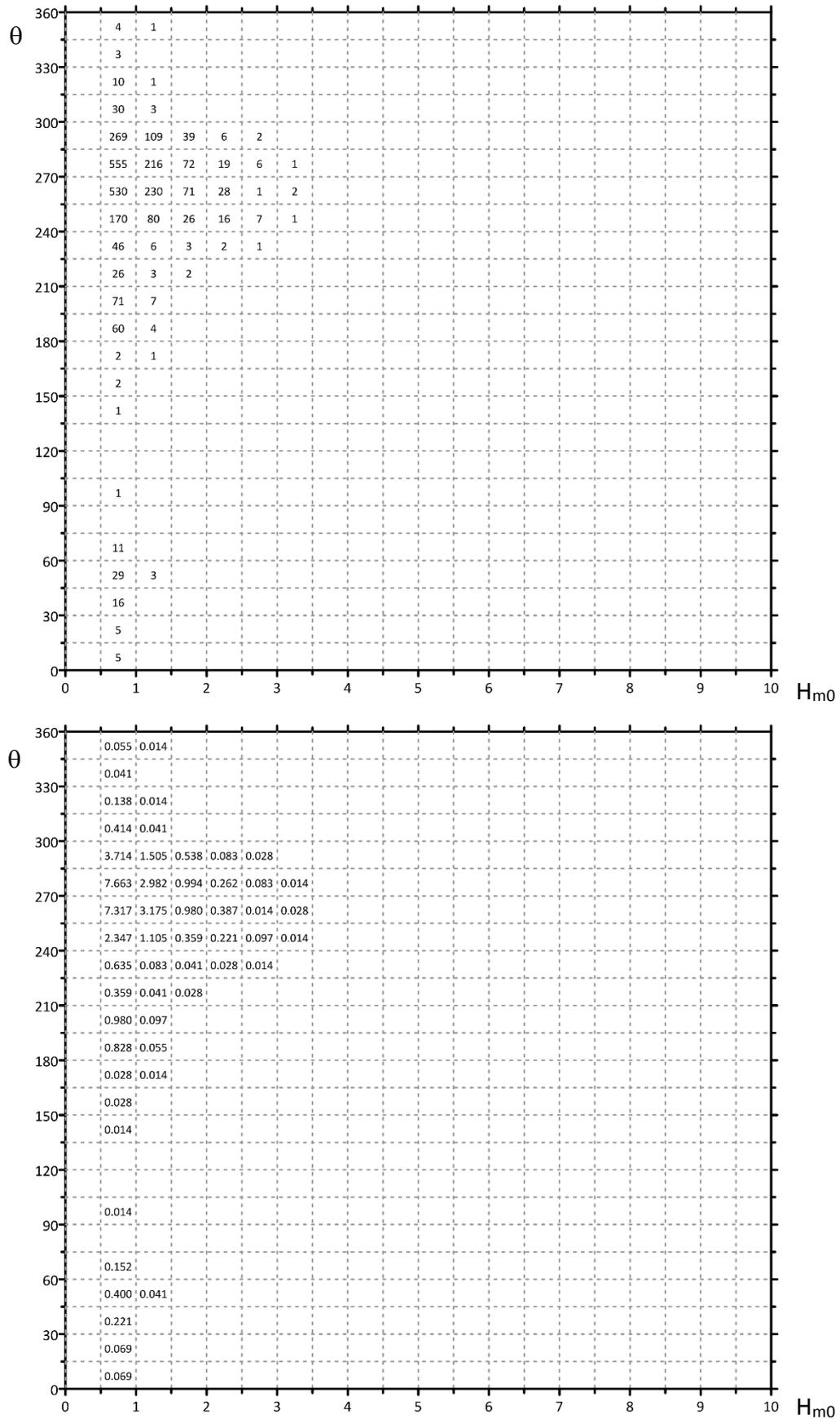


Figura 22 – Tavole di occorrenza numeraria e percentuale - regimi estivi.

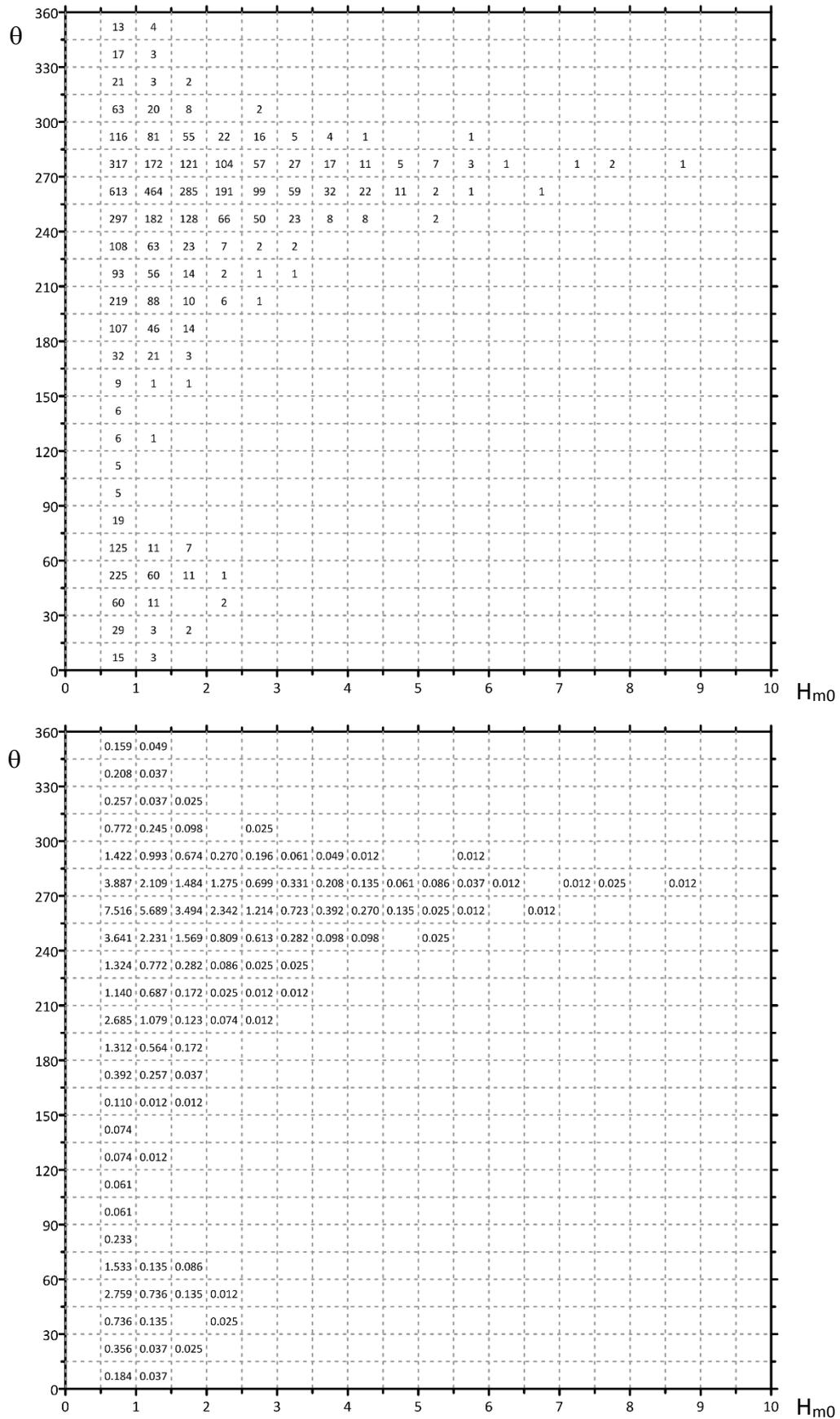


Figura 23 – Tavole di occorrenza numeraria e percentuale - regimi autunnali.

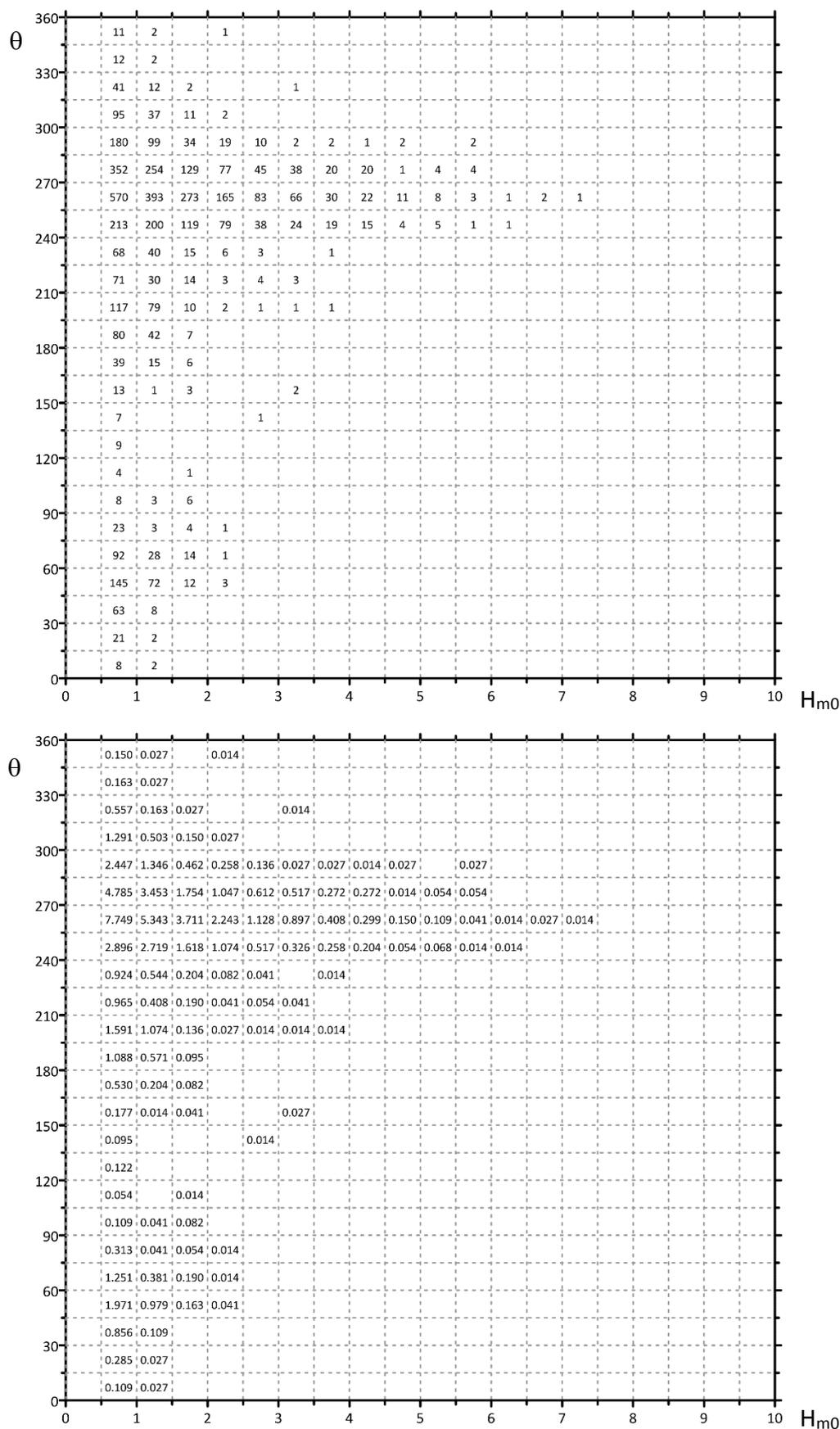


Figura 24 – Tavole di occorrenza numeraria e percentuale - regimi invernali.

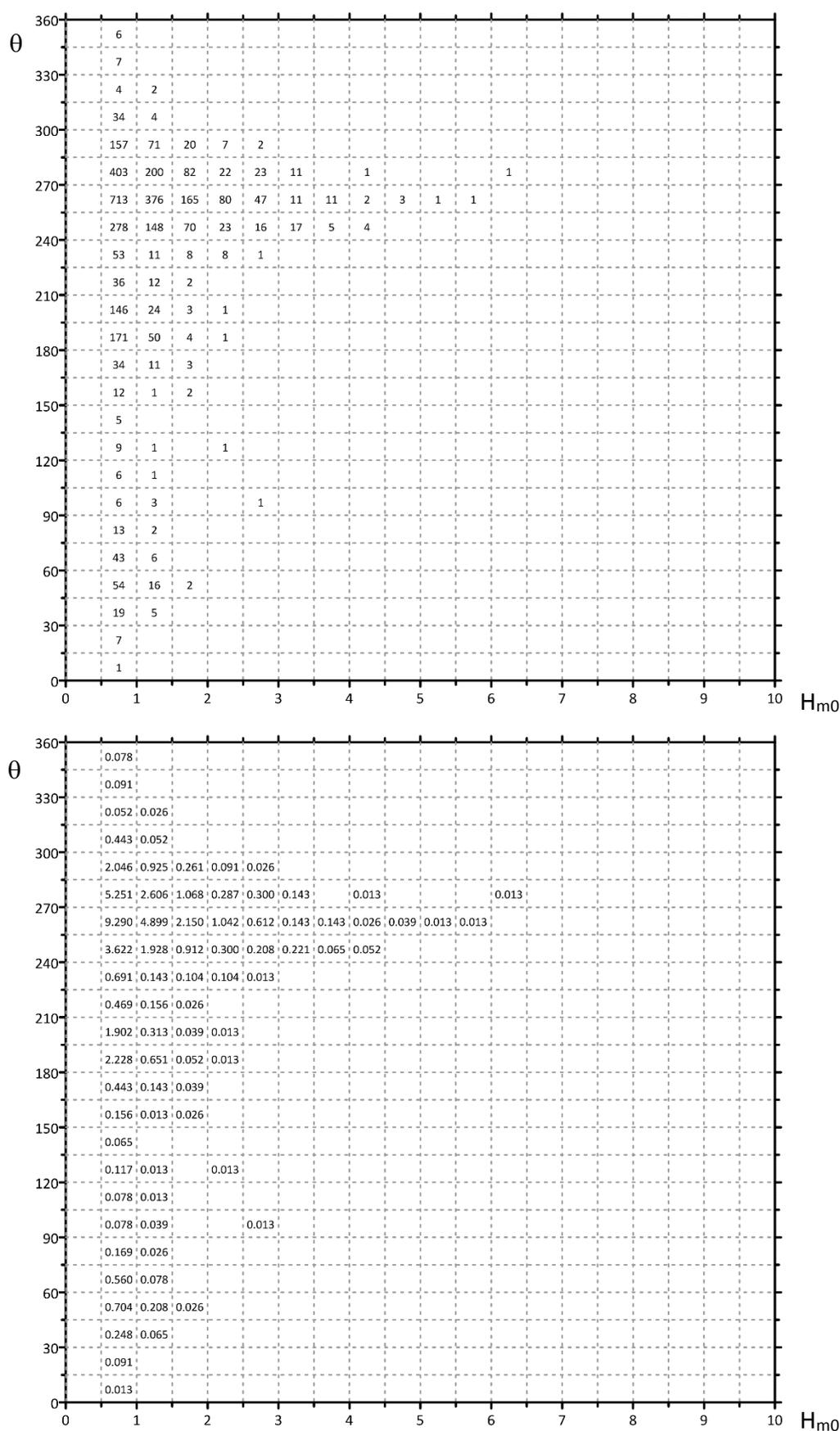


Figura 25 – Tavole di occorrenza numeraria e percentuale - regimi primaverili.

Selezione dei dati omogenei e indipendenti

Selezionati gli stati di mare in base alla loro direzione di provenienza, si devono identificare dei criteri per l'identificazione dell'insieme campionario **omogeneo** ed **indipendente**. La definizione dell'evento "mareggiata" permette di semplificare tale identificazione.

La mareggiata è qui definita come la successione cronologica degli stati di mare caratterizzati da una persistenza dell'altezza significativa sopra la soglia di 1.0 m maggiore di 12 ore consecutive e una persistenza sotto tale soglia non superiore a 6 ore consecutive. Nel caso di serie con misure mancanti, tale persistenza sotto soglia è assunta pari al doppio, ovvero la mareggiata termina se l'assenza di misure dura più di 12 ore, a prescindere dall'ultimo valore dell'altezza d'onda registrata.

Individuata la generica mareggiata, l'evento estremo associato è definito come il colmo d'intensità della successione degli stati di mare, ovvero l'estremo è associato al massimo valore d'altezza d'onda registrato ed ai simultanei valori di periodi e direzione.

L'indipendenza campionaria della serie dei colmi di mareggiata appartenenti ad un determinato settore è assicurata imponendo un intervallo di tempo minimo tra due successivi colmi. L'ampiezza di tale intervallo può essere calcolata in base alla funzione d'autocorrelazione della serie temporale osservata. Imponendo un'indipendenza debole tra gli elementi campionari, si può assumere che il ritardo tra due successivi colmi di mareggiata mutuamente indipendenti sia pari all'intervallo temporale che renda il valore della funzione di autocorrelazione sufficientemente piccolo (in letteratura si raccomanda un valore pari o inferiore a 0.4).

L'omogeneità dell'insieme analizzato può essere conseguita vagliando il campione indipendente per un determinato settore direzionale. In particolare, nel **metodo delle serie di durata parziale sopra soglia**, sono considerate omogenee le mareggiate (indipendenti) con valori d'altezza d'onda al colmo superiori ad una seconda soglia di troncamento.

La funzione di autocorrelazione dell'altezza significativa misurate e la variazione del numero di mareggiate selezionabili variando le soglie precedentemente indicate (minimo intervallo di successione, e soglia di troncamento) sono riportate nelle figure da Figura 26 a Figura 29 per tutti i settori direzionali individuati. Nelle stesse figure è riportata la distribuzione ordinata in funzione del tempo di ritorno del campione selezionato imponendo il minimo intervallo di successione dei colmi pari a nove giorni e i valori delle seconde soglie di troncamento pari a:

1. Primo settore ($180^{\circ}\text{N} \leq \theta < 230^{\circ}\text{N}$) – $H_{m_0} > 1,4$ m
2. Secondo settore ($230^{\circ}\text{N} \leq \theta < 315^{\circ}\text{N}$) – $H_{m_0} > 4,2$ m

Criteri di selezione dell'insieme omogeneo ed indipendente

Settore direzionale $180^\circ \leq \theta < 230^\circ$

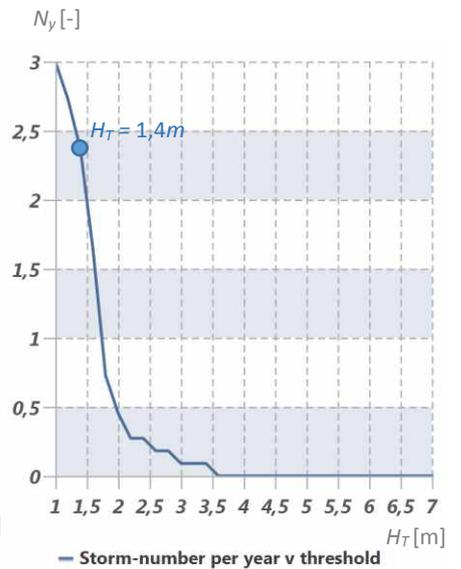
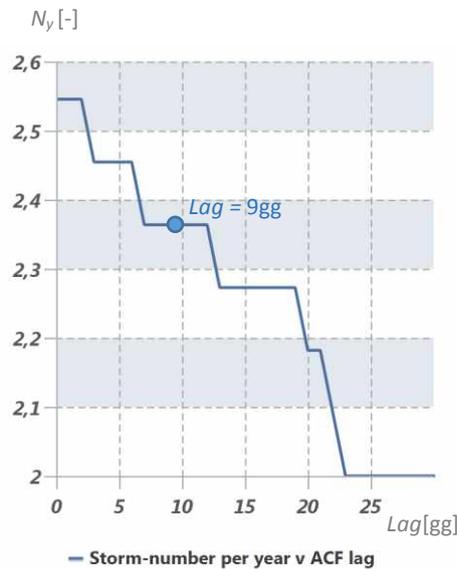
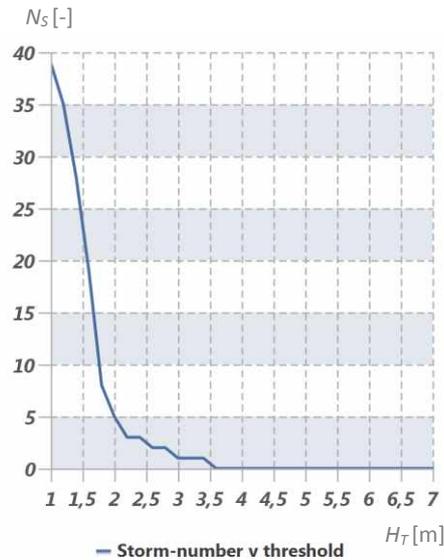
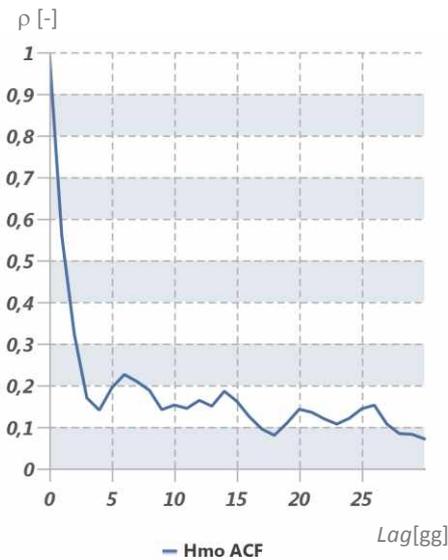
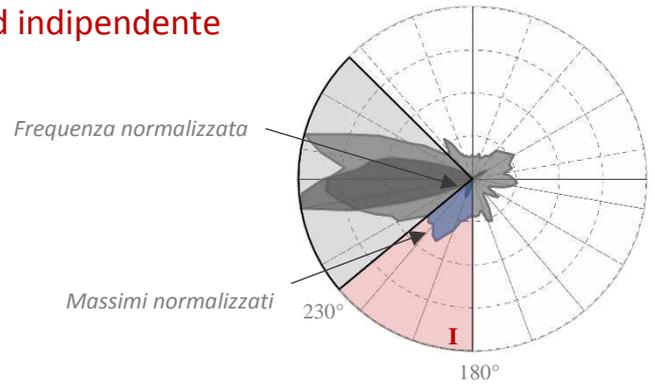


Figura 26 – Funzione di autocorrelazione dell'altezza significativa (in alto a sinistra). Variazione del numero di mareggiate selezionabili in funzione della soglia di troncamento a prescindere dall'intervallo di inter-arrivo (in alto al centro). Variazione del numero medio annuale di mareggiate selezionabili in funzione dell'intervallo temporale di inter-arrivo e della soglia di troncamento (in basso rispettivamente al centro a destra). Nei grafici in basso sono indicati i valori delle soglie imposti per il settore direzionale indicato.

Insieme omogeneo ed indipendente selezionato

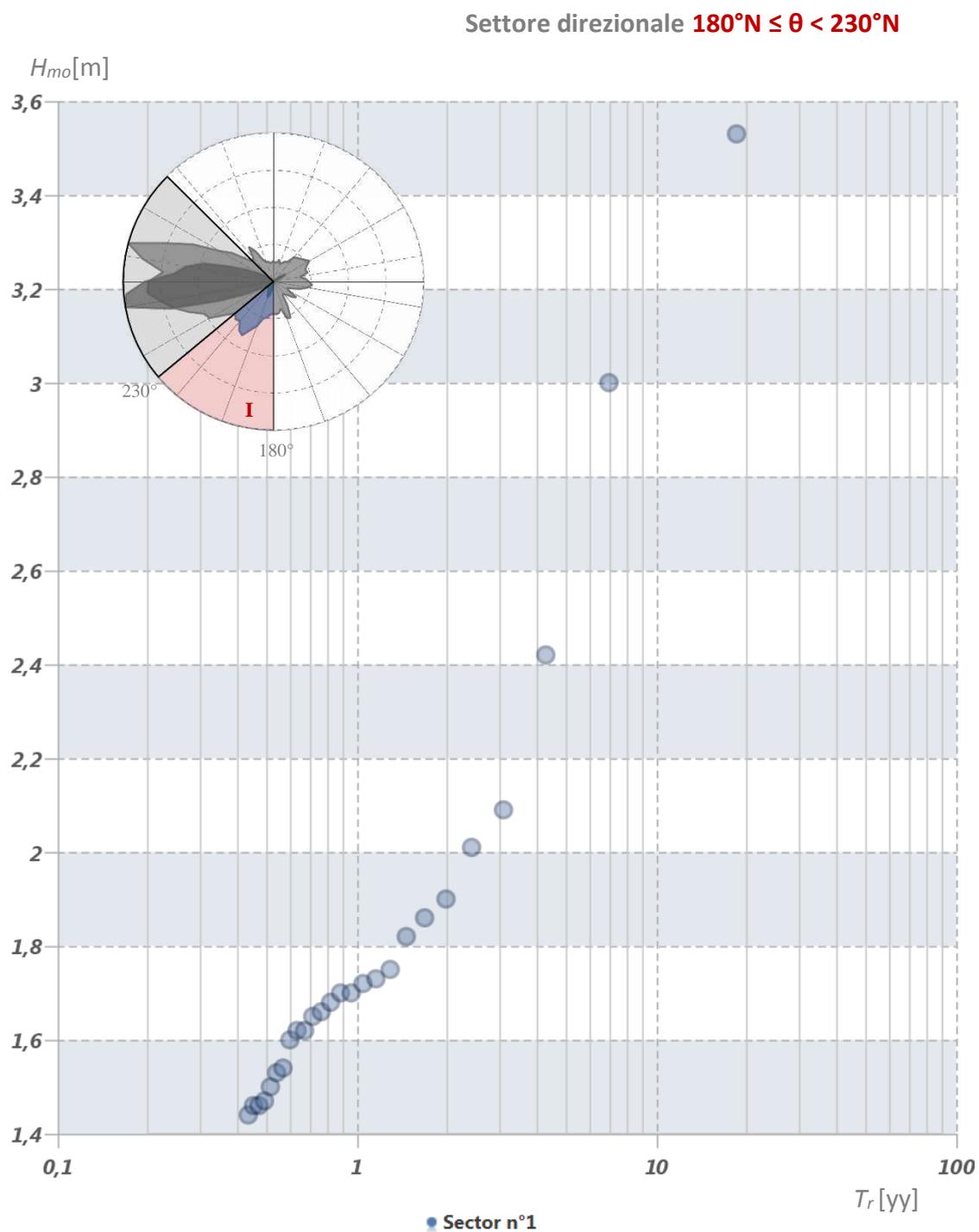


Figura 27 – Distribuzione ordinata del campione estremale estratto in funzione del tempo di ritorno.

Criteri di selezione dell'insieme omogeneo ed indipendente

Settore direzionale $230^{\circ}N \leq \theta < 315^{\circ}N$

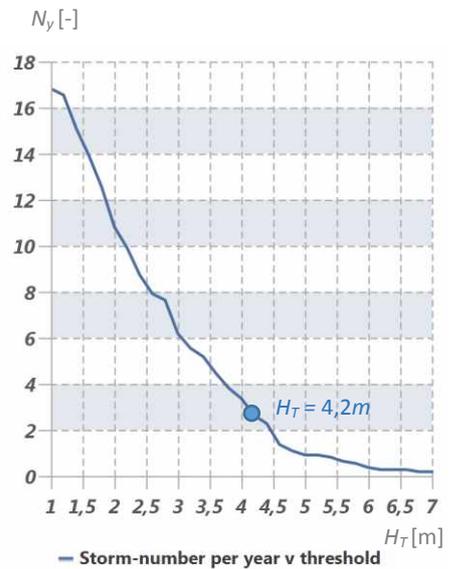
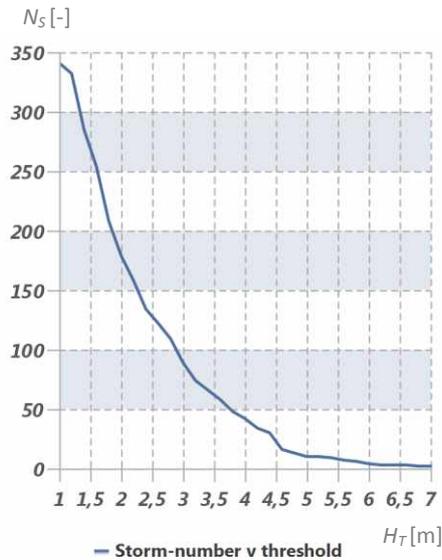
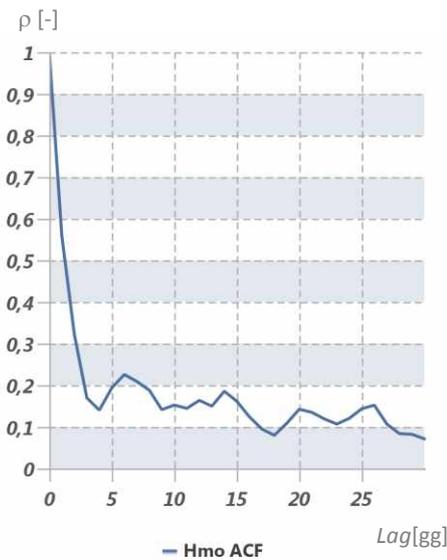
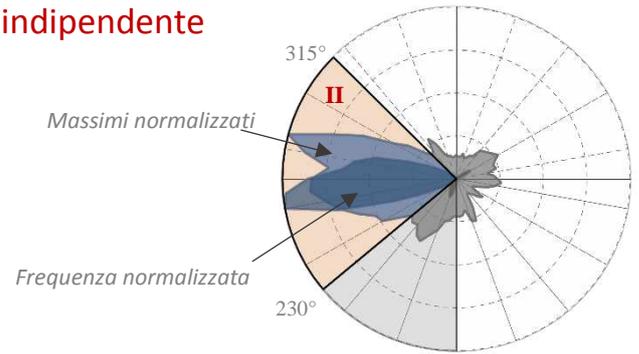


Figura 28 – Funzione di autocorrelazione dell'altezza significativa (in alto a sinistra). Variazione del numero di mareggiate selezionabili in funzione della soglia di troncamento a prescindere dall'intervallo di inter-arrivo (in alto al centro). Variazione del numero medio annuale di mareggiate selezionabili in funzione dell'intervallo temporale di inter-arrivo e della soglia di troncamento (in basso rispettivamente al centro a destra). Nei grafici in basso sono indicati i valori delle soglie imposti per il settore direzionale indicato.

Insieme omogeneo ed indipendente selezionato

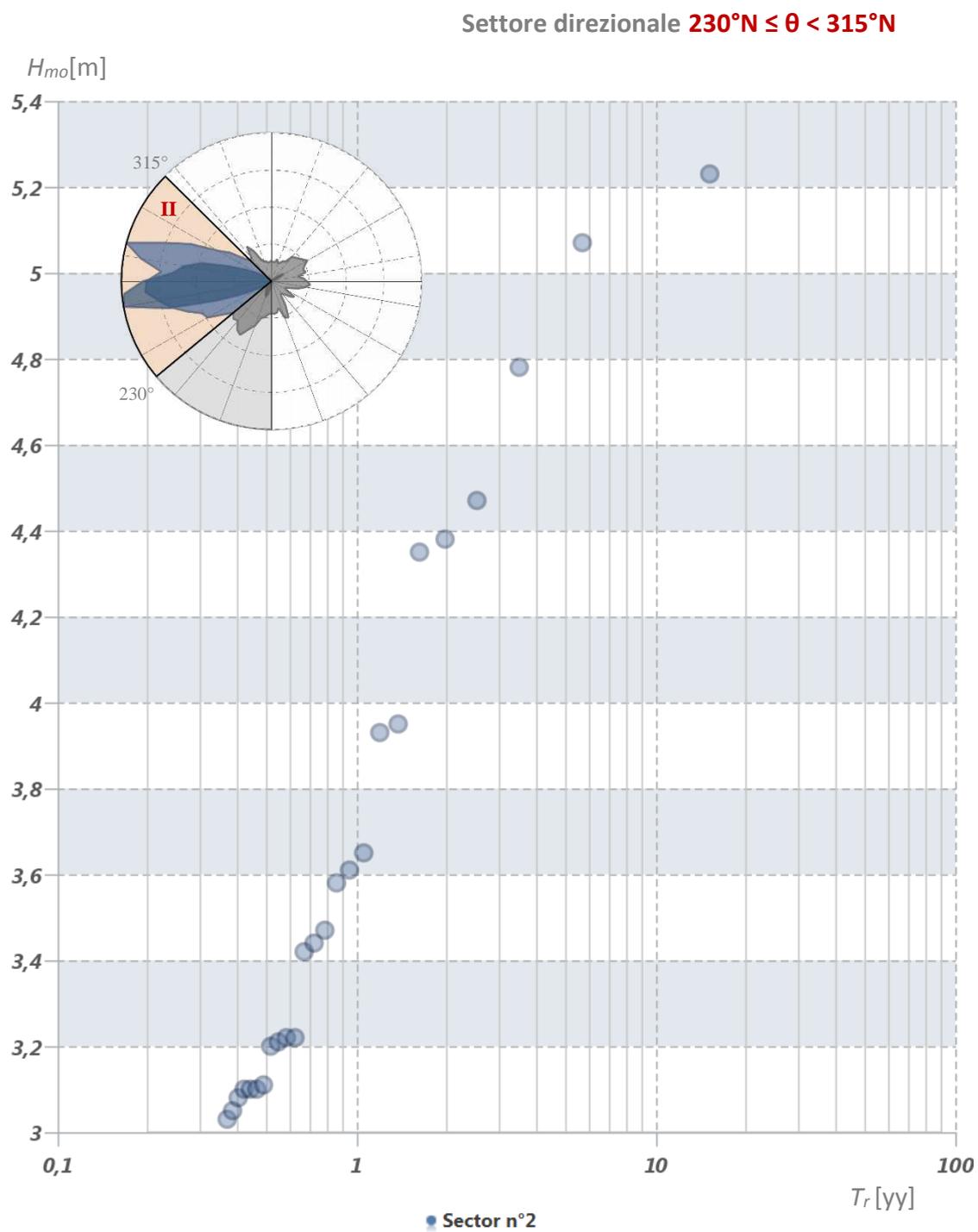


Figura 29 – Distribuzione ordinata del campione estremale estratto in funzione del tempo di ritorno.

Adattamento del modello probabilistico ai dati vagliati e calcolo degli intervalli di confidenza delle stime ottenute

La distribuzione di probabilità scelta per descrivere i colmi di mareggiata è quella di Weibull (III tipo limitata inferiormente), la cui espressione è:

$$P(H) = 1 - \exp\left(\frac{H-B}{A}\right)^k$$

in cui $P(H)$ è la probabilità cumulata di non superamento della soglia H , ossia la probabilità che l'argomento H non sia superato da un valore H_c casualmente scelto ($P(H) = P(H_c \leq H)$), mentre A è il fattore di scala, B è il fattore di posizione e k è il fattore di forma della distribuzione.

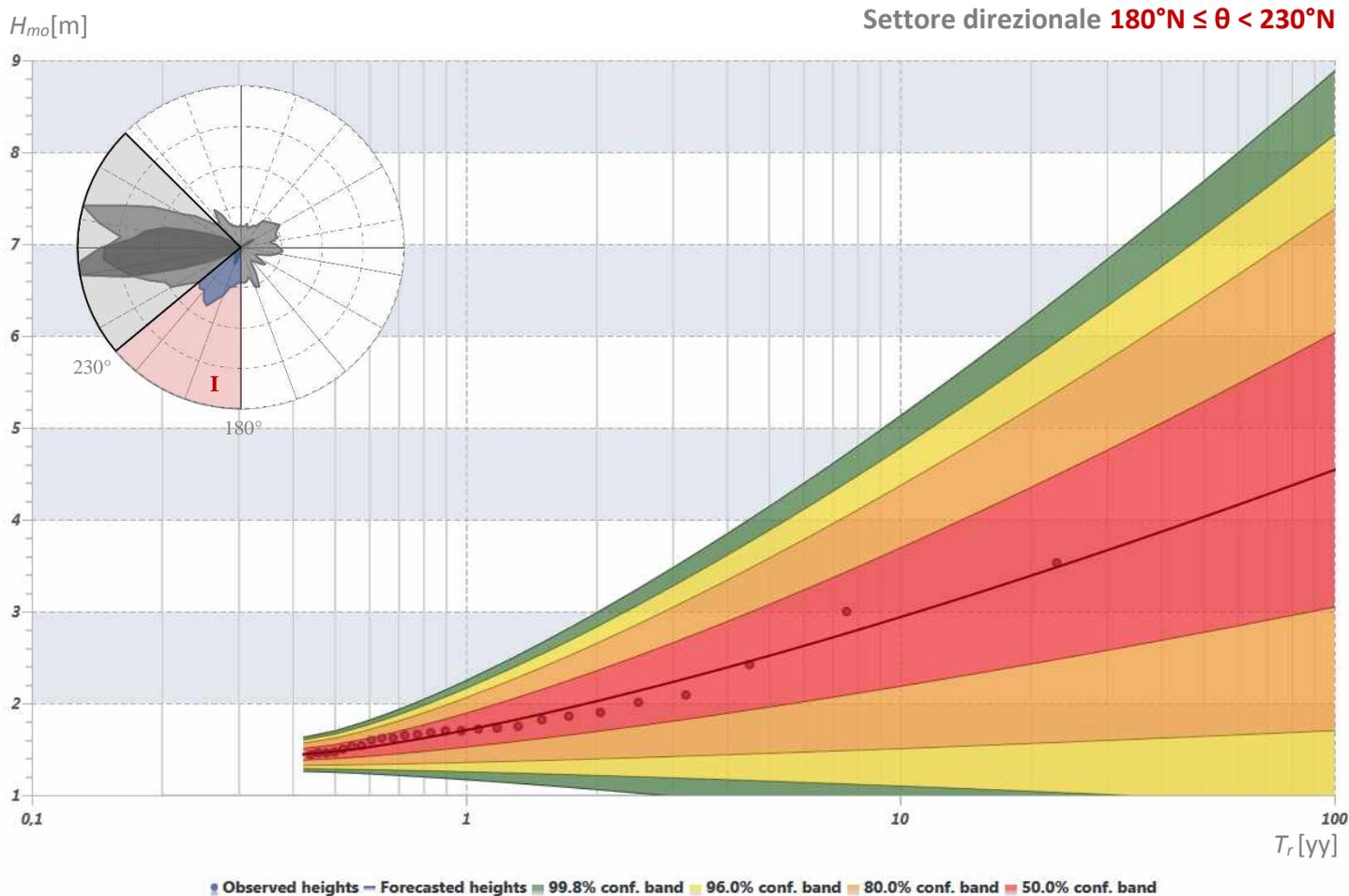
L'adattamento della distribuzione scelta all'insieme campionario identicamente distribuito è stato svolto con la tecnica dei minimi quadrati. La scelta tra le famiglie di distribuzioni di differente forma, fissata a priori con $k = (0,75; 1,0; 1,4; 2,0)$, è stata effettuata utilizzando il criterio del *minimo rapporto del residuo del coefficiente di correlazione* (criterio MIR, Goda e Kobune, 1990).

Infine, la determinazione degli intervalli di confidenza per diversi livelli di significatività è stata effettuata assumendo una distribuzione normale con media nulla e varianza pari a (Goda 1988):

$$\sigma_{H_{m_0}} \left[\frac{1 + c_1(x_T - c_4 + c_5 \ln v)^2 \exp(c_2 N^{-4/3} + c_3 \sqrt{-\ln v})}{N} \right]$$

I livelli di significatività assegnati agli intervalli di confidenza calcolati sono stati posti pari a 50%, 80%, 90%, 95%. Tali livelli permettono di calcolare l'altezza d'onda significativa con probabilità di superamento rispettivamente pari a 25%, 10%, 5% e 2,5%.

Nelle figure Figura 30 e Figura 31 sono riportati i risultati ottenuti in termini grafici e tabellari.

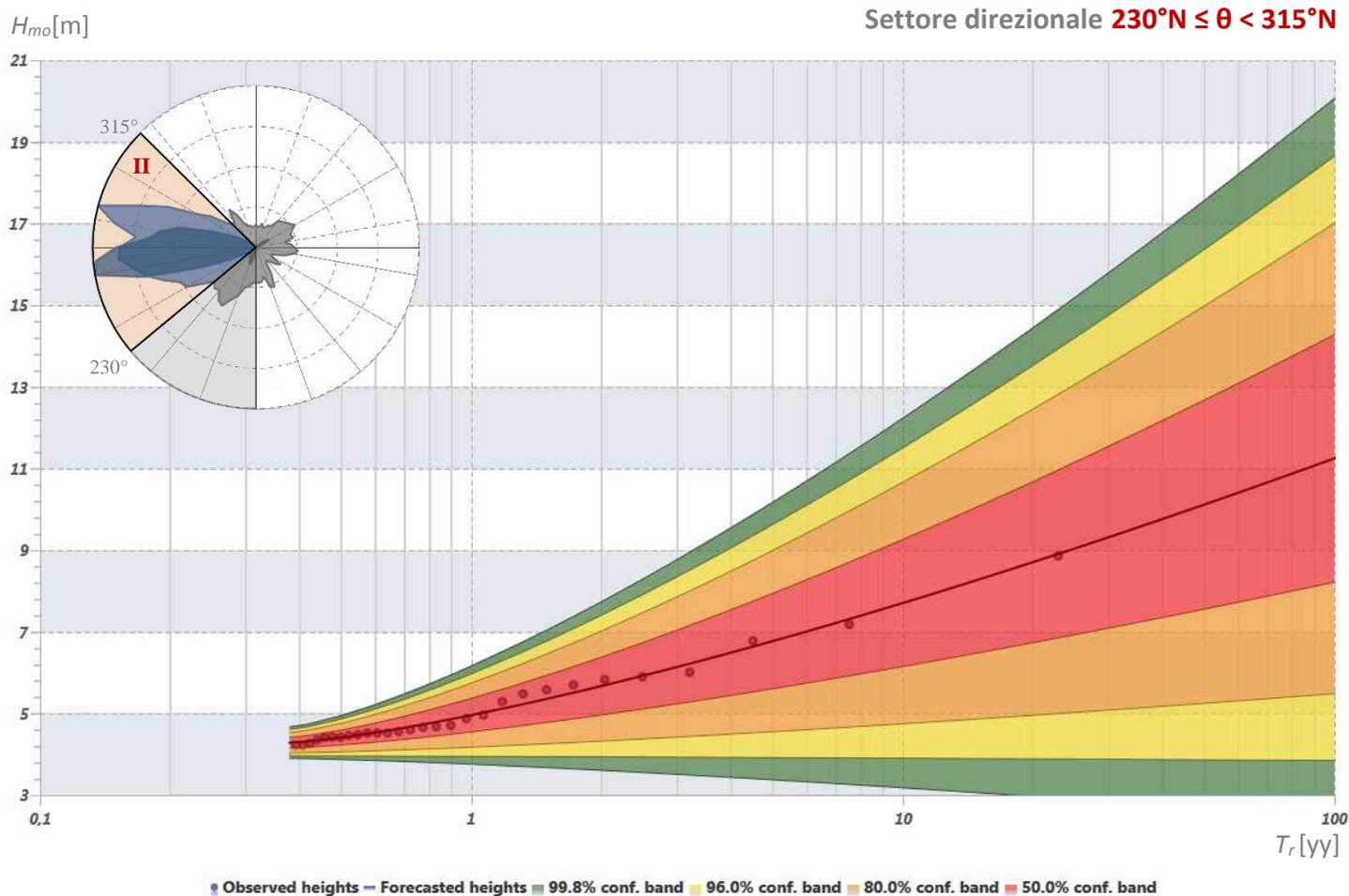


N_{ev}	λ	A	B	k	c_0	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	H_m	H_{mx}	σ_H	γ_{50}	H_1	$H_1^{Q2,5}$	H_{10}	$H_{10}^{Q2,5}$	H_{50}	H_{50}^{Q25}	H_{50}^{Q10}	H_{50}^{Q5}	$H_{50}^{Q2,5}$
26	2,4	0,32	1,44	0,75	2,32	1,65	11,4	-0,63	0,0	1,15	1,8	3,5	0,5	2,36	1,7	2,3	2,9	5,1	4,0	5,3	6,4	7,1	7,7

Legenda

N_{ev} = Numero di eventi estratti	c_1 = Costante della deviazione σ_z	H_{mx} = Altezza osservata massima	$H_{10}^{Q2,5}$ = Quantile superato al 2,5%
λ = Numero eventi medio annuo	c_2 = Costante della deviazione σ_z	σ_H = Deviazione altezze osservate	H_{50} = Altezza con T_r di 50 anni
A = Fattore di scala	c_3 = Costante della deviazione σ_z	$\gamma_{50} = H_{50}/H_1$	H_{50}^{Q25} = Quantile superato al 25%
B = Fattore di posizione	c_4 = Costante della deviazione σ_z	H_1 = Altezza con T_r di 1 anno	H_{50}^{Q10} = Quantile superato al 10%
k = Fattore di forma	c_5 = Costante della deviazione σ_z	$H_1^{Q2,5}$ = Quantile superato al 2,5%	H_{50}^{Q5} = Quantile superato al 5%
c_0 = Costante della deviazione σ_z	H_m = Altezza osservata media	H_{10} = Altezza con T_r di 10 anni	$H_{50}^{Q2,5}$ = Quantile superato al 2,5%

Figura 30 – Andamento del modello probabilistico di Weibull adattato all’insieme campionario selezionato per il settore analizzato, corredato delle bande di confidenza al 50% (rosse), 80% (arancioni), 90% (gialle), 95% (verdi). Tabella riassuntiva dei principali parametri necessari alla modellazione probabilistica.



N_{ev} λ A B k c_0 c_1 c_2 c_3 c_4 c_5 H_m H_{mx} σ_H γ_{50} H_1 $H_1^{Q2,5}$ H_{10} $H_{10}^{Q2,5}$ H_{50} H_{50}^{Q25} H_{50}^{Q10} H_{50}^{Q5} $H_{50}^{Q2,5}$
 29 2,6 0,70 4,28 0,75 2,22 1,65 11,4 -0,63 0,0 1,15 5,1 8,9 1,0 2,04 5,0 6,2 7,7 12,2 **10,1** 12,7 15,0 16,4 17,6

Legenda

N_{ev} = Numero di eventi estratti	c_1 = Costante della deviazione σ_z	H_{mx} = Altezza osservata massima	$H_{10}^{Q2,5}$ = Quantile superato al 2,5%
λ = Numero eventi medio annuo	c_2 = Costante della deviazione σ_z	σ_H = Deviazione altezze osservate	H_{50} = Altezza con T_r di 50 anni
A = Fattore di scala	c_3 = Costante della deviazione σ_z	$\gamma_{50} = H_{50}/H_1$	H_{50}^{Q25} = Quantile superato al 25%
B = Fattore di posizione	c_4 = Costante della deviazione σ_z	H_1 = Altezza con T_r di 1 anno	H_{50}^{Q10} = Quantile superato al 10%
k = Fattore di forma	c_5 = Costante della deviazione σ_z	$H_1^{Q2,5}$ = Quantile superato al 2,5%	H_{50}^{Q5} = Quantile superato al 5%
c_0 = Costante della deviazione σ_z	H_m = Altezza osservata media	H_{10} = Altezza con T_r di 10 anni	$H_{50}^{Q2,5}$ = Quantile superato al 2,5%

Figura 31 – Andamento del modello probabilistico di Weibull adattato all’insieme campionario selezionato per il settore analizzato, corredato delle bande di confidenza al 50% (rosse), 80% (arancioni), 90% (gialle), 95% (verdi). Tabella riassuntiva dei principali parametri necessari alla modellazione probabilistica.

Massima altezza d'onda prevedibile in un assegnato intervallo temporale

Il fine ultimo delle analisi degli eventi estremi è il calcolo dell'altezza d'onda di progetto, informazione basilare per il dimensionamento di qualsiasi opera marittima. Infatti, l'onda di progetto rappresenta le condizioni ambientali da ritenersi pericolose ai fini della stabilità delle strutture. Per stabilire tale valore si devono necessariamente prendere in considerazione due informazioni: la vita utile dell'opera da progettare ed il livello di rischio accettabile.

Il livello di probabilità di non superamento dell'altezza d'onda di progetto dovrebbe quindi scaturire a rigore da un'**analisi costi/benefici** che confronti i maggiori costi di costruzione con i benefici di un minore, ovvero mancante, periodo di inutilizzo delle infrastrutture a seguito di danneggiamenti e, di contro, il beneficio del risparmio sui costi di costruzione con i costi periodici di riparazione dell'opera per tutta la sua vita utile.

Per il calcolo dell'altezza d'onda di progetto, quindi, concorrono sia le peculiari informazioni probabilistiche del campione osservato, sia la durata dell'intervallo su cui si vuole estendere la previsione, sia il livello di probabilità ammissibile che quest'ultima sia disattesa.

Normalmente, per identificare la durata dell'intervallo su cui si vuole estendere la previsione statistica, si ricorre al concetto di *tempo di ritorno* (T_R), definito come l'intervallo temporale di attesa medio che intercorre tra due successivi eventi di uguale intensità pari ad H .

Spesso il tempo di ritorno è interpretato in senso deterministico, come se il valore trovato fosse certo. In realtà, il **periodo di ritorno è definito come valore medio** dei tempi di inter-arrivo degli eventi d'intensità pari ad H ed è dunque soggetto a variabilità statistica. Di fatto, la probabilità che un evento con un dato tempo di ritorno (T_R) si verifichi in un determinato intervallo temporale (τ) di osservazione è fornito dalla *probabilità di incontro* (P_I). Tale probabilità è spesso approssimata con l'espressione

$$P_I(H_{T_R}) = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_R}\right)^\tau$$

mentre la sua espressione esatta (Borgman, 1963) è la seguente:

$$P_I(H_{T_R}) = 1 - \exp\left(-\frac{\tau}{T_R}\right)$$

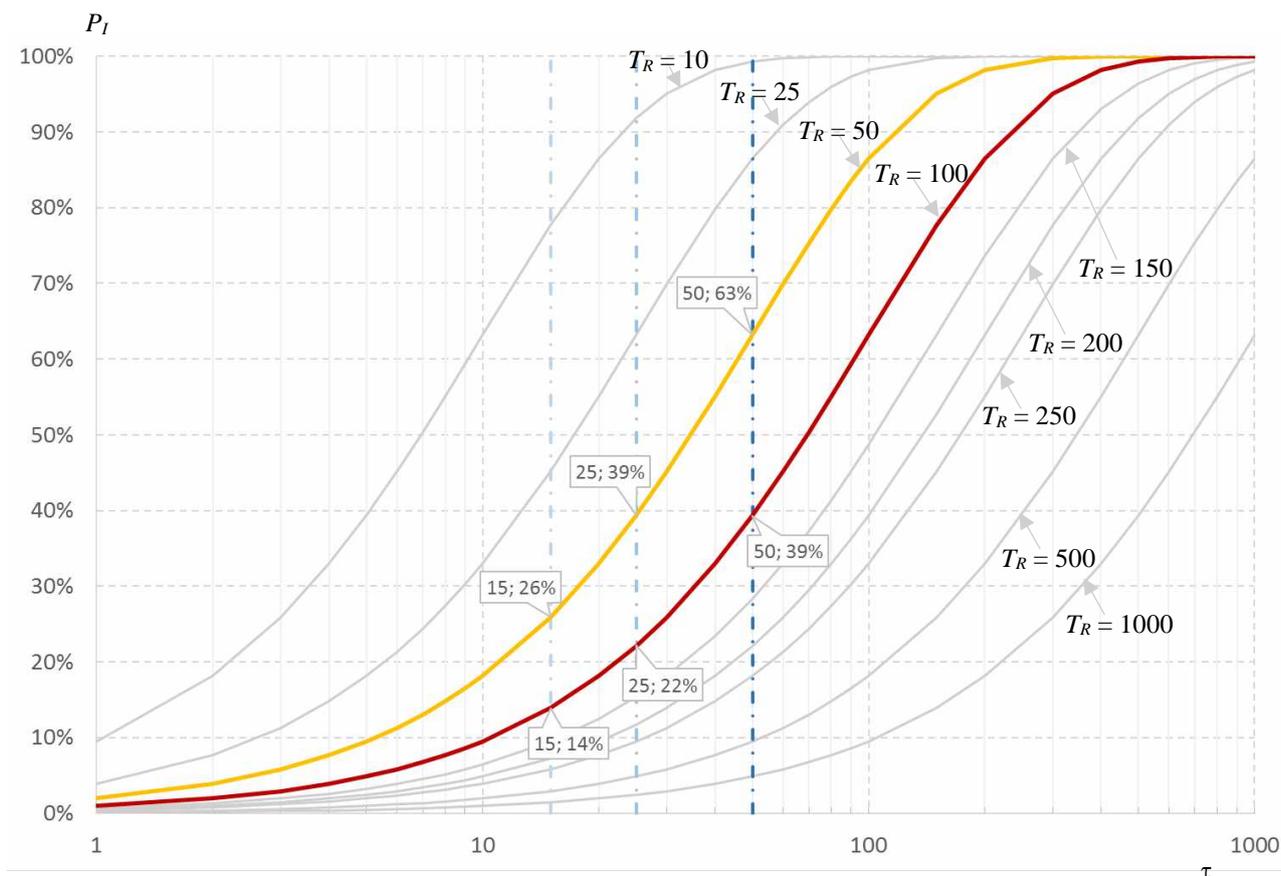


Figura 32 – Andamento della probabilità di incontro (P_I) in funzione del periodo di osservazione (τ) e del tempo di ritorno (T_R) dell'evento atteso.

Calcolando tale probabilità variando il periodo di ritorno ed l'intervallo d'osservazione si ottengono le curve rappresentate in Figura 32. Come si può facilmente constatare, un evento con tempo di ritorno pari a 50 anni ha una probabilità di accadimento in un periodo di 50 anni pari al 63%.

Dunque, la definizione del livello di probabilità (tempo di ritorno) da assegnare all'altezza d'onda di progetto non può prescindere dall'indicazione del livello di rischio accettabile per l'opera in progetto e dalla durata in cui la stessa debba assicurare un adeguato funzionamento (vita utile).

Per stabilire il tempo di vita utile di un'opera marittima e i livelli di rischio accettabili nel corso di tale vita utile, *in via preliminare*, si può ricorrere alle tabelle fornite dal CNR-GNCDI (1996) e riportate nelle "Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime".

Raccomandazioni ed avvertenze

Il metodo qui utilizzato per svolgere l'inferenza statistica degli eventi estremi è basato sugli studi e le indicazioni presentati alla comunità scientifica internazionale dal Prof. Y. Goda in una serie di articoli nel corso degli anni '80 e successivamente adottati dai principali esponenti della comunità scientifica e tecnica marittima.

La metodologia adottata, tuttavia, presenta delle **vulnerabilità**, la prima delle quali è l'uso di coefficienti di forma fissati a priori che limita la "capacità" della legge di probabilità di adattarsi al campione selezionato. Ancora, la metodologia proposta dal Prof. Goda prevede l'impiego del metodo dei minimi quadrati per l'adattamento della legge di distribuzione di probabilità di forma assegnata all'insieme campionario. Tale tecnica presuppone la conoscenza della probabilità di non superamento associata a ciascun evento considerato. Quest'ultima è incognita ed è approssimata con la frequenza di non superamento dell'evento campionario che però coincide con la prima solo al tendere all'infinito della numerosità dell'insieme campionario.

Dunque, per **insiemi con numerosità limitata**, quali quelli qui analizzati, assegnare agli eventi osservati una "posizione" sulla carta di probabilità ed una forma specifica alla legge di probabilità può **alterare significativamente** i risultati dell'inferenza statistica. Per evitare tale rischio si può ricorrere a **distribuzioni di forma arbitraria** e a **metodi di adattamento più sofisticati**, quali la *massima verosimiglianza* ed i *momenti probabilistici lineari*. Per tali disamine si rimanda agli studi presenti alla [sezione perfezionamenti](#) del sito www.waveatlas.it.

Anche la **scelta del modello analitico** rappresentativo della distribuzione di probabilità dei colmi di mareggiata influenza, logicamente, i risultati dell'analisi estrema. Per **identificare la legge di distribuzione che meglio si adatta al particolare campione selezionato** si può ricorrere a diverse prove di adattamento, basate sulla misura della deviazione assoluta o della deviazione media che la legge adottata presenta rispetto all'insieme campionario, oppure sulla verifica delle informazioni intrinseche del campione selezionato, ovvero sul confronto dei fattori di forma propri delle distribuzioni di probabilità teoriche con quelli presentati dall'insieme campionario. Per tali disamine si rimanda agli studi presenti alla [sezione perfezionamenti](#) del sito www.waveatlas.it.

Ancora, le analisi statistiche qui svolte presuppongono che i dati analizzati siano stazionari, ovvero essi non varino nel tempo per fattori diversi dall'intrinseca variabilità insita nel fenomeno analizzato. La **stazionarietà annuale e decadale** degli eventi mareggiata non è qui stata analizzata.

Anche per tali disamine si rimanda agli studi presenti alla [sezione perfezionamenti](#) del sito www.waveatlas.it.

Infine, riguardo la **selezione del campione rappresentativo** di eventi omogenei ed indipendenti, la scelta dell'intervallo di inter-arrivo degli eventi e della soglia di troncamento è un'operazione molto delicata, poiché essa condiziona le stime dell'altezza d'onda con assegnato tempo di ritorno.

Soglie troppo basse, infatti, conducono ad avere molti elementi nel campione, parte dei quali tuttavia potrebbe non essere rappresentativa di condizioni estreme ed indipendenti. Tali insiemi campionari determinano previsioni stabili e con stretti intervalli di confidenza che però tendono generalmente a distorcere le stime dell'altezza d'onda con tempi di ritorno elevati.

Al contrario, soglie troppo alte conducono ad avere pochi elementi campionari, pur se tutti rappresentativi di condizioni estreme ed indipendenti. Tali insiemi campionari determinano previsioni variabili con la numerosità campionaria, con ampi intervalli di confidenza e, inoltre, producono un'eccessiva influenza dei valori osservati sulle stime dell'altezza d'onda con tempi di ritorno elevati.

Anche la presenza di misure mancanti all'interno della mareggiata può alterare l'omogeneità del campione selezionato. Si pensi ad esempio alla circostanza per cui proprio il colmo della mareggiata sia stato perso nella registrazione; tale circostanza è tutt'altro che infrequente poiché sono proprio le condizioni ambientali più avverse quelle che producono minor efficienza di misura.

Per tali disamine si rimanda agli studi presenti nella [sezione perfezionamenti](#) del sito www.waveatlas.it.

Nella medesima sezione sono raggruppati anche gli studi d'inferenza statistica svolti rinunciando all'uso delle serie tronche e ricorrendo alla **tecnica di selezione dei blocchi** (massimi annuali o stagionali).

Prima di stabilire il valore dell'altezza significativa di progetto si raccomanda di analizzare i suddetti studi per valutare attentamente l'influenza della metodologia di analisi sui risultati ottenuti.

Inoltre, generalmente, è necessario associare all'altezza d'onda di progetto anche altre caratteristiche dello stato di mare dimensionante ai fini della stabilità dell'opera, come ad esempio i **periodi spettrali di picco e medio**, la **forma del periodogramma** in frequenza, **l'altezza massima o quella di un ventesimo della singola onda**. Nella [sezione ampliamenti](#) del sito www.waveatlas.it sono riportati anche tali studi, di cui si raccomanda l'analisi.

Sommario

Premesse	1
I dati esaminati e la qualità dell'insieme campionario formato	2
Selezione dei settori direzionali di provenienza delle mareggiate	21
Selezione dei dati omogenei e indipendenti.....	31
Adattamento del modello probabilistico ai dati vagliati e calcolo degli intervalli di confidenza delle stime ottenute .	37
Massima altezza d'onda prevedibile in un assegnato intervallo temporale	40
Raccomandazioni ed avvertenze.....	42