



# ID BOA

AGGIORNAMENTO DELL'ANALISI STATISTICA DEI VALORI ESTREMI

## DATASET

Serie delle onde  
significative registrate tra  
il 1989 e il 2014 dalla RON

## DA

[www.waveatlas.it](http://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 (Piscopio 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](http://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, gli anni dal luglio 1989 al giugno del 2000 presentano un eccellente 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. figure da Figura 1 a Figura 11). Quindi tutti gli 11 anni climatici fino al giugno del 2000 sono stati inclusi nel dataset analizzato. Anche gli anni climatici 2002-2003, 2006-2007 e 2010-2011 sono stati inclusi nel dataset per l'alta efficienza del monitoraggio e per la buona congruenza presentata dai dati registrati (cfr. Figura 14, Figura 18, Figura 22).

Diversamente, gli anni climatici 2007-2008, 2011-2012 e 2013-2014 presentano rendimenti di registrazione medio bassi, compresi tra il 55% e il 70% (cfr. Figura 19, Figura 23, Figura 25). Pur considerando insoddisfacenti i rendimenti ottenuti, questi anni sono stati inclusi dal dataset analizzato poiché la maggior parte delle misure mancanti si presenta in lunghi periodi che interessano principalmente i mesi estivi e tardo-primaverili, fornendo quindi informazioni utili sul valore dell'altezza al colmo delle mareggiate più intense verificatesi nei mesi invernali.

Gli anni climatici 2001-2002, 2008-2009 e 2012-2013 sono stati esclusi per mancanza di dati registrati (cfr. Figura 13, Figura 20, Figura 24), mentre il 2000-2001, 2005-2006, 2009-2010 e 2014-2015 sono stati esclusi per rendimenti di registrazione inferiori al 50%, con misure raccolte soprattutto nei mesi estivi e primo-autunnali (cfr. Figura 12, Figura 17, Figura 21, Figura 26).

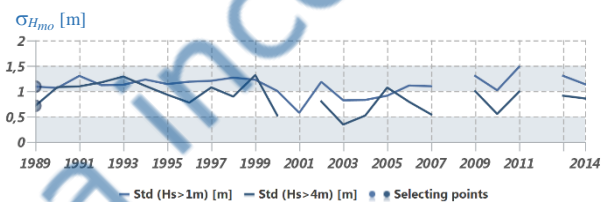
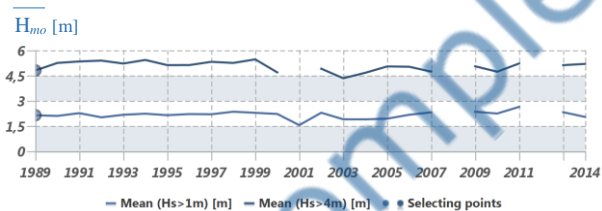
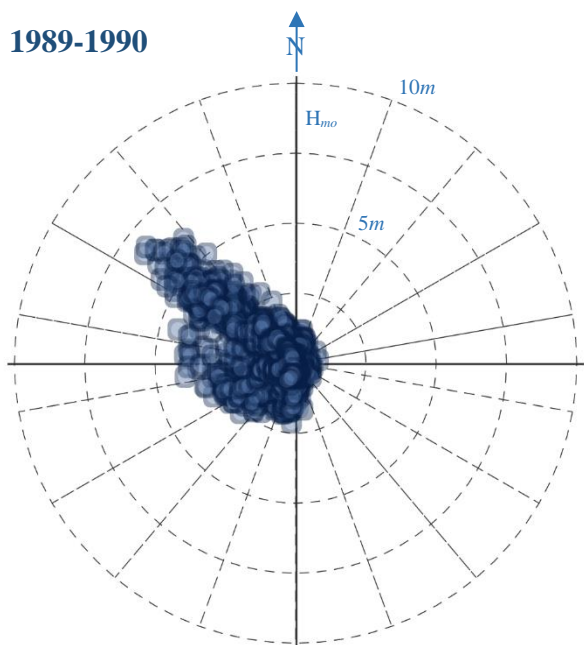
Invece, gli anni climatici 2003-2004 e 2004-2005 sono stati esclusi dal dataset pur presentando rendimenti di registrazione medio alti, circa pari al 70-80% (cfr. Figura 15, Figura 16), poiché la maggior parte delle misure mancanti si presenta al colmo delle mareggiate osservate, fornendo quindi informazioni potenzialmente falsate sul valore dell'altezza significativa di picco.

I rendimenti di misura nei 17 anni climatici selezionati sono sintetizzati nella sottostante tabella.

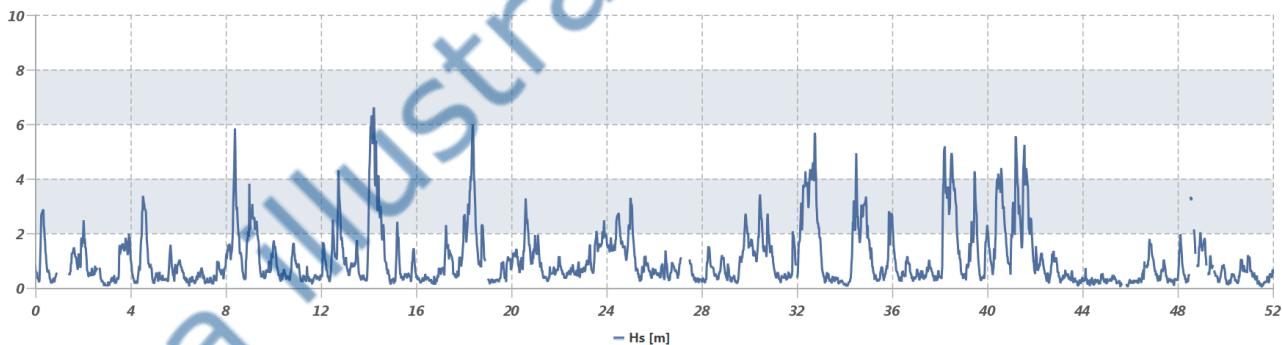
| Anno        | Rendimento annuale complessivo |                 |             |             | Rendimento annuale sopra soglia |                 |              |              | Incluso   |
|-------------|--------------------------------|-----------------|-------------|-------------|---------------------------------|-----------------|--------------|--------------|-----------|
|             | $\eta_{Hmo}$                   | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{Tp}$ | $\eta_{Tm}$ | $\eta_{Hmo}$                    | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{Tp}$  | $\eta_{Tm}$  |           |
| 1989        | 96.6                           | 96.4            | 96.6        | 96.6        | 96.4                            | 96.1            | 96.4         | 96.4         | SI        |
| 1990        | 97.6                           | 97.5            | 97.6        | 97.6        | 97.3                            | 97.3            | 97.3         | 97.3         | SI        |
| 1991        | 92.4                           | 92.4            | 92.4        | 92.4        | 94.3                            | 94.1            | 94.3         | 94.3         | SI        |
| 1992        | 96.3                           | 96.1            | 96.3        | 96.3        | 93.8                            | 93.6            | 93.8         | 93.8         | SI        |
| 1993        | 92.6                           | 92.5            | 92.6        | 92.6        | 90.9                            | 90.9            | 90.9         | 90.9         | SI        |
| 1994        | 96.1                           | 96.1            | 96.1        | 96.1        | 94.9                            | 94.8            | 94.9         | 94.9         | SI        |
| 1995        | 99.1                           | 99.0            | 99.1        | 99.1        | 99.8                            | 99.7            | 99.8         | 99.8         | SI        |
| 1996        | 97.0                           | 96.9            | 97.0        | 97.0        | 96.2                            | 96.2            | 96.2         | 96.2         | SI        |
| 1997        | 98.8                           | 98.8            | 98.8        | 98.8        | 97.8                            | 97.8            | 97.8         | 97.8         | SI        |
| 1998        | 96.2                           | 96.2            | 96.2        | 96.2        | 93.0                            | 93.0            | 93.0         | 93.0         | SI        |
| 1999        | 99.6                           | 99.5            | 99.6        | 99.6        | 100.0                           | 100.0           | 100.0        | 100.0        | SI        |
| <b>2000</b> | <b>47.6</b>                    | <b>47.5</b>     | <b>47.6</b> | <b>47.6</b> | <b>30.6</b>                     | <b>30.6</b>     | <b>30.6</b>  | <b>30.6</b>  | <b>NO</b> |
| <b>2001</b> | <b>4.3</b>                     | <b>4.3</b>      | <b>4.3</b>  | <b>4.3</b>  | <b>100.0</b>                    | <b>100.0</b>    | <b>100.0</b> | <b>100.0</b> | <b>NO</b> |
| 2002        | 9.                             |                 |             |             |                                 |                 | 3.6          |              | SI        |
| <b>2003</b> | <b>8.</b>                      |                 |             |             |                                 |                 | <b>8.9</b>   |              | <b>NO</b> |
| <b>2004</b> | <b>6.</b>                      |                 |             |             |                                 |                 | <b>0.1</b>   |              | <b>NO</b> |
| <b>2005</b> | <b>4.</b>                      |                 |             |             |                                 |                 | <b>9.7</b>   |              | <b>NO</b> |
| 2006        | 9                              |                 |             |             |                                 |                 | 2.7          |              | SI        |
| 2007        | 7                              |                 |             |             |                                 |                 | 5.1          |              | SI        |
| <b>2008</b> |                                |                 |             |             |                                 |                 | -            |              | <b>NO</b> |
| <b>2009</b> | <b>4.</b>                      |                 |             |             |                                 |                 | <b>9.6</b>   |              | <b>NO</b> |
| 2010        | 9                              |                 |             |             |                                 |                 | 3.7          |              | SI        |
| 2011        | 5                              |                 |             |             |                                 |                 | 4.0          |              | SI        |
| <b>2012</b> |                                |                 |             |             |                                 |                 | -            |              | <b>NO</b> |
| 2013        | 6                              |                 |             |             |                                 |                 | 4.0          |              | SI        |
| <b>2014</b> | <b>31.8</b>                    | <b>31.8</b>     | <b>31.7</b> | <b>31.8</b> | <b>96.3</b>                     | <b>96.3</b>     | <b>95.4</b>  | <b>96.3</b>  | <b>NO</b> |

| Anno  | Rendimento annuale complessivo |                 |              |              | Rendimento annuale sopra soglia |                 |              |              | Incluso |
|-------|--------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------|
|       | $\eta_{H_{mo}}$                | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ | $\eta_{H_{mo}}$                 | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ |         |
| 89-90 | 96.6                           | 96.4            | 96.6         | 96.6         | 96.4                            | 96.1            | 96.4         | 96.4         | SI      |

1989-1990



$H_{mo}$  [m]



$T_p$ ,  $T_m$  [s]

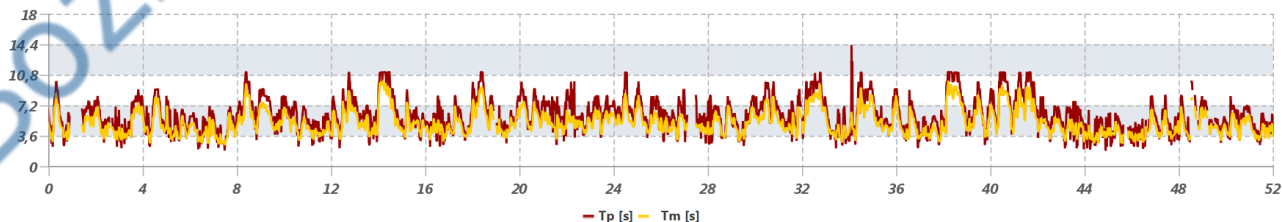
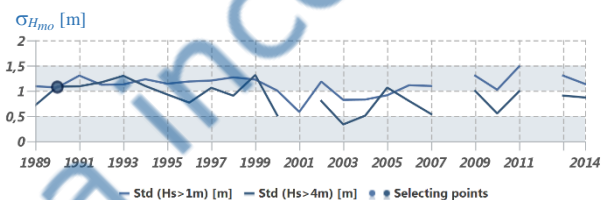
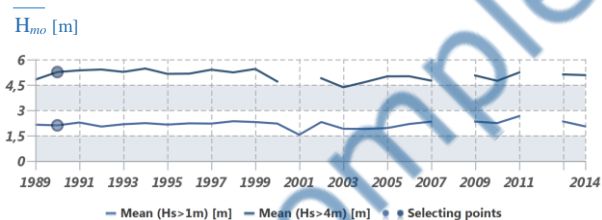
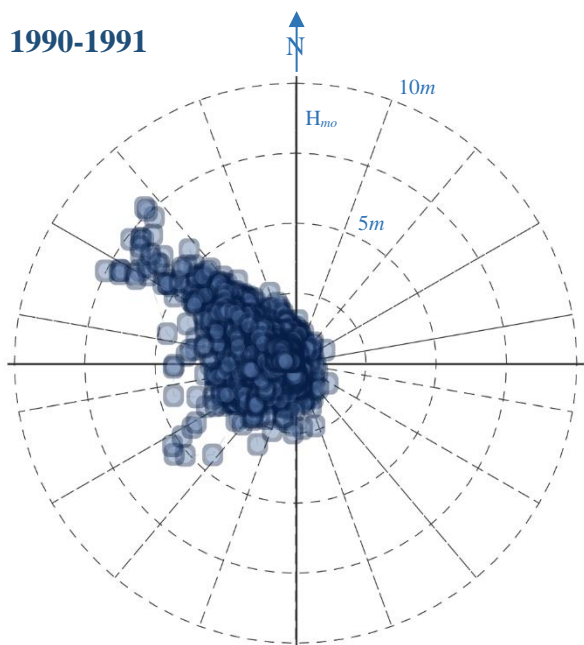


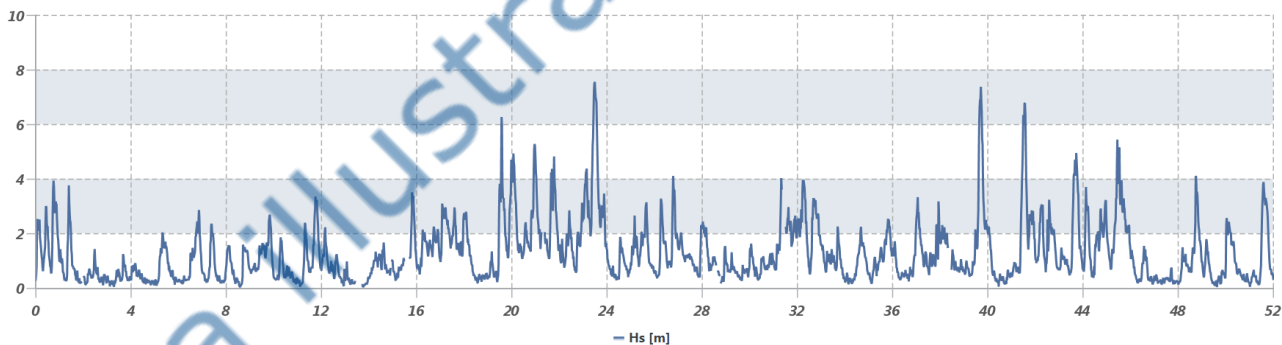
Figura 1 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 1989 e il giugno del 1990. L'anno climatico è stato **INCLUSO**

| Anno  | Rendimento annuale complessivo |                 |              |              | Rendimento annuale sopra soglia |                 |              |              | Incluso |
|-------|--------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------|
|       | $\eta_{H_{mo}}$                | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ | $\eta_{H_{mo}}$                 | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ |         |
| 90-91 | 97.6                           | 97.5            | 97.6         | 97.6         | 97.3                            | 97.3            | 97.3         | 97.3         | SI      |

1990-1991



$H_{mo}$  [m]



$T_p$ ,  $T_m$  [s]

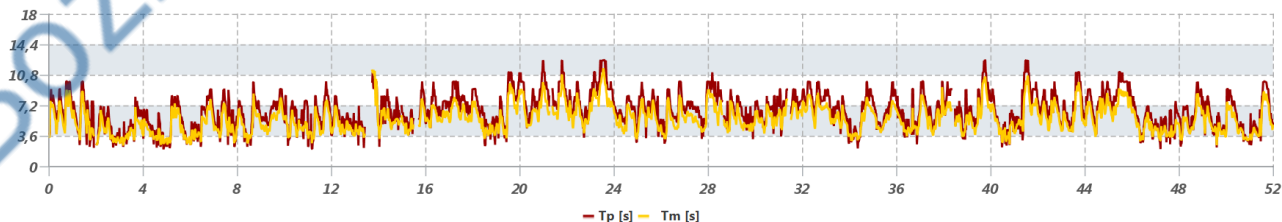
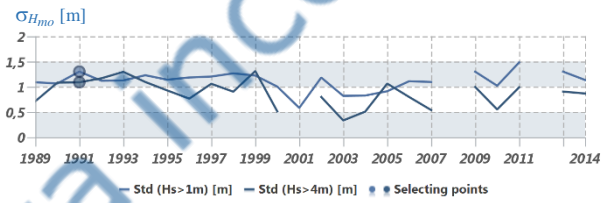
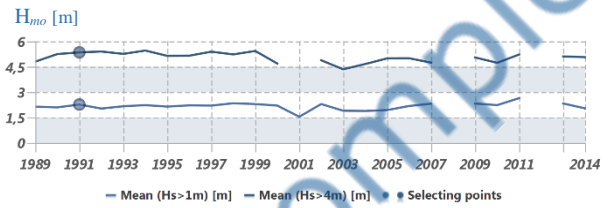
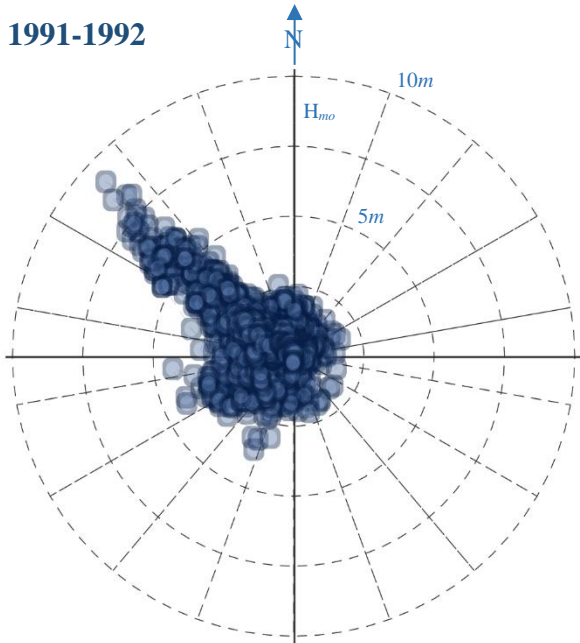


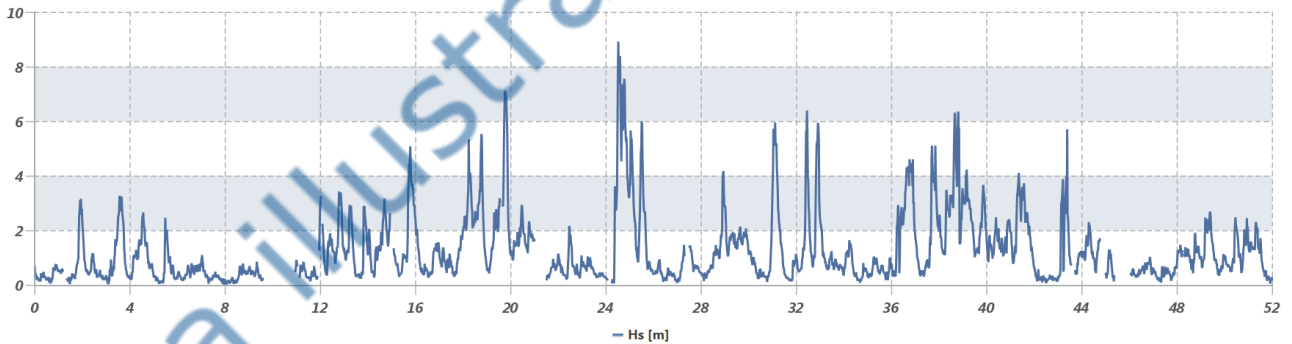
Figura 2 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 1990 e il giugno del 1991. L'anno climatico è stato **INCLUSO**

| Anno  | Rendimento annuale complessivo |                 |              |              | Rendimento annuale sopra soglia |                 |              |              | Incluso |
|-------|--------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------|
|       | $\eta_{H_{mo}}$                | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ | $\eta_{H_{mo}}$                 | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ |         |
| 91-92 | 92.4                           | 92.4            | 92.4         | 92.4         | 94.3                            | 94.1            | 94.3         | 94.3         | SI      |

1991-1992



$H_{mo}$  [m]



$T_p$ ,  $T_m$  [s]

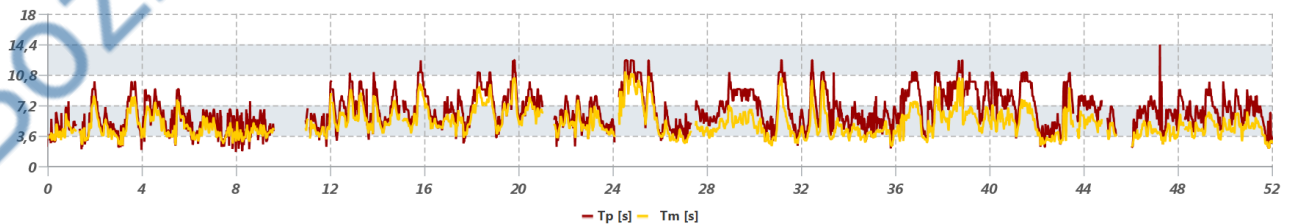
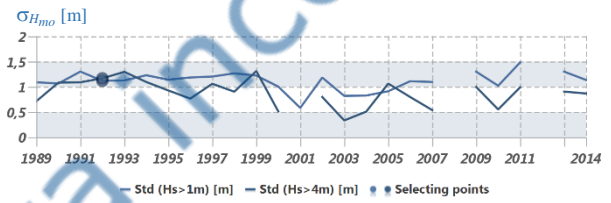
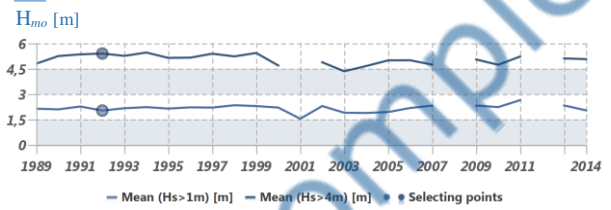
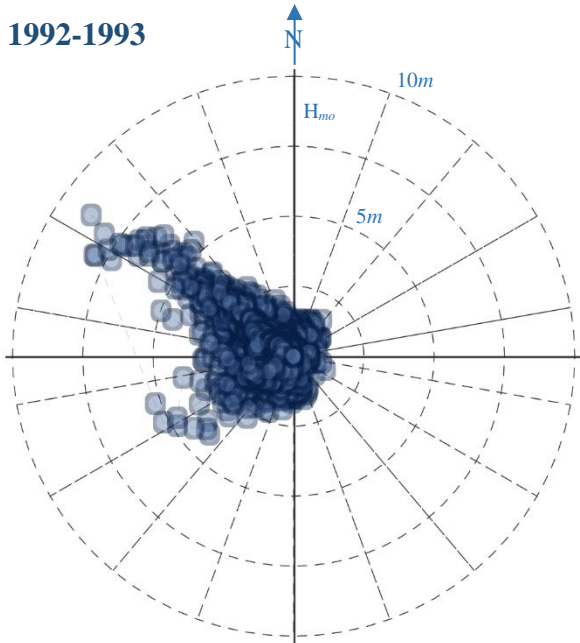


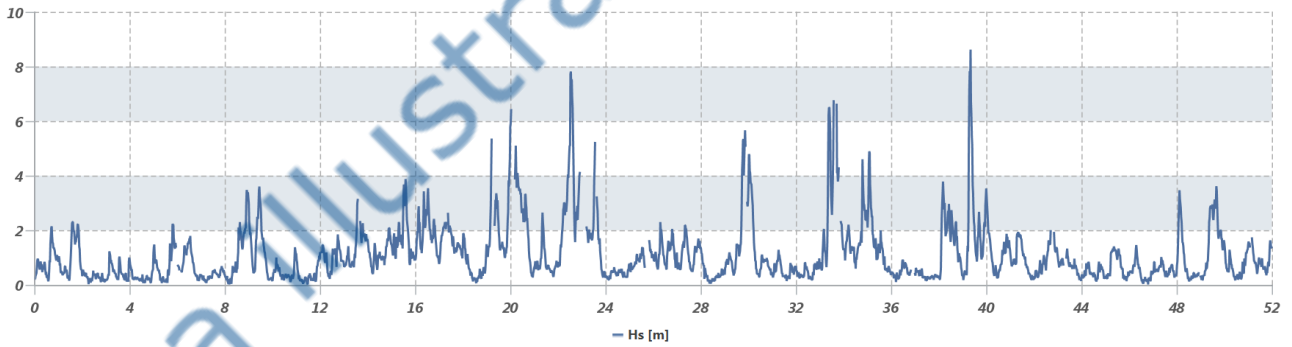
Figura 3 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 1991 e il giugno del 1992. L'anno climatico è stato **INCLUSO**

| Anno  | Rendimento annuale complessivo |                 |              |              | Rendimento annuale sopra soglia |                 |              |              | Incluso |
|-------|--------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------|
|       | $\eta_{H_{mo}}$                | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ | $\eta_{H_{mo}}$                 | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ |         |
| 92-93 | 96.3                           | 96.1            | 96.3         | 96.3         | 93.8                            | 93.6            | 93.8         | 93.8         | SI      |

1992-1993



$H_{mo}$  [m]



$T_p$ ,  $T_m$  [s]

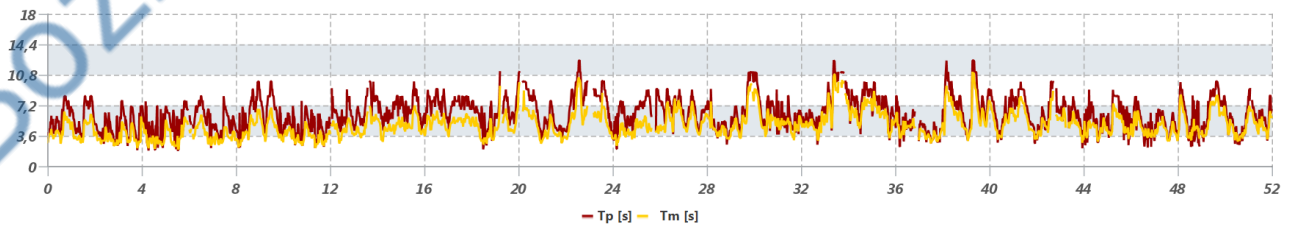
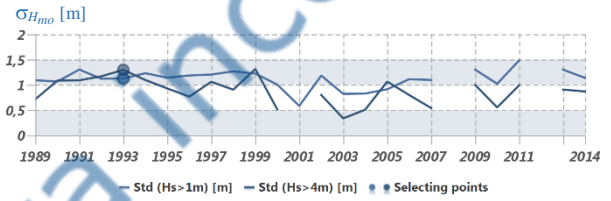
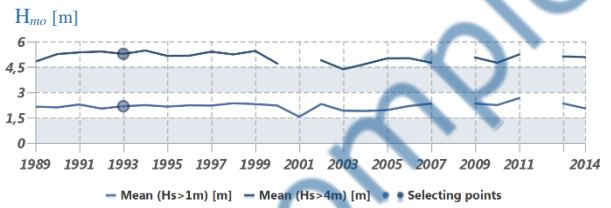
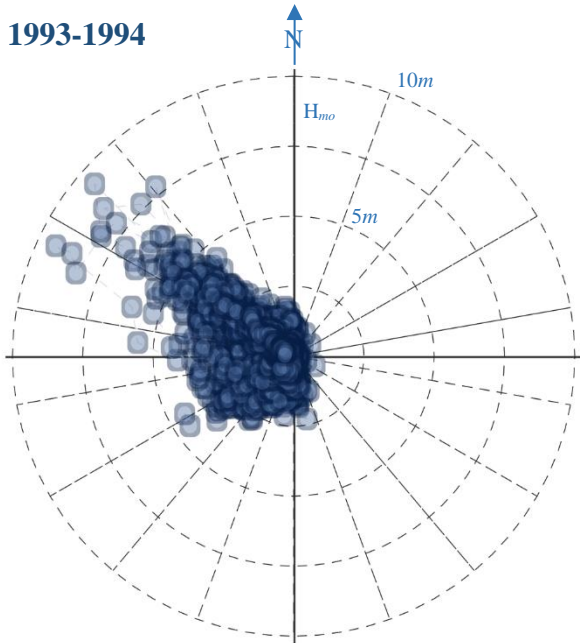


Figura 4 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 1992 e il giugno del 1993. L'anno climatico è stato **INCLUSO**

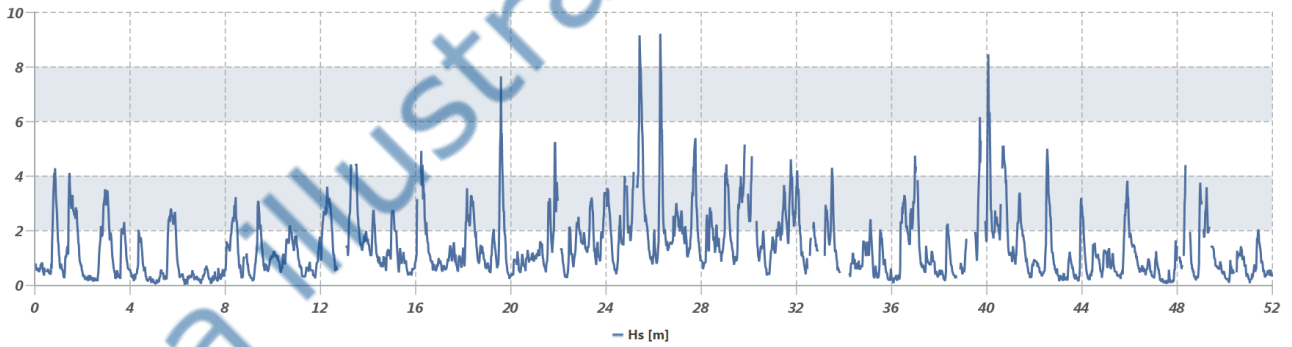


| Anno  | Rendimento annuale complessivo |                 |              |              | Rendimento annuale sopra soglia |                 |              |              | Incluso |
|-------|--------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------|
|       | $\eta_{H_{mo}}$                | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ | $\eta_{H_{mo}}$                 | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ |         |
| 93-94 | 92.6                           | 92.5            | 92.6         | 92.6         | 90.9                            | 90.9            | 90.9         | 90.9         | SI      |

1993-1994



$H_{mo}$  [m]



$T_p$ ,  $T_m$  [s]

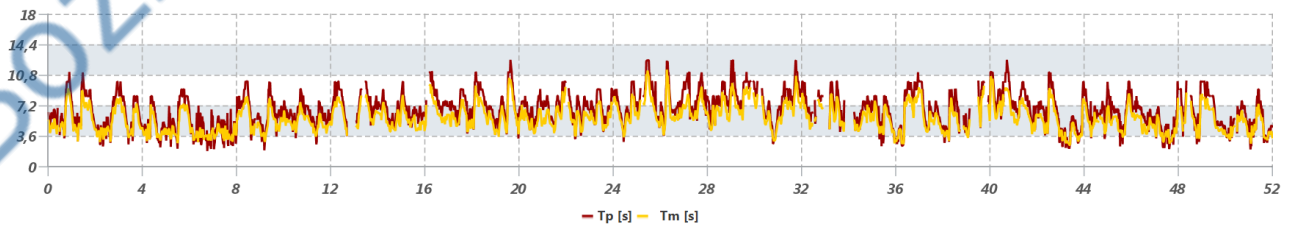
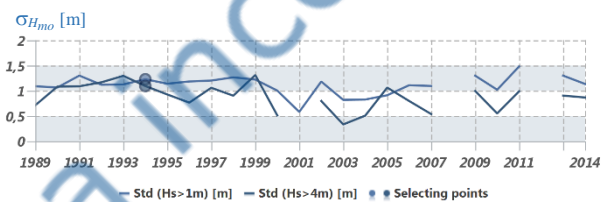
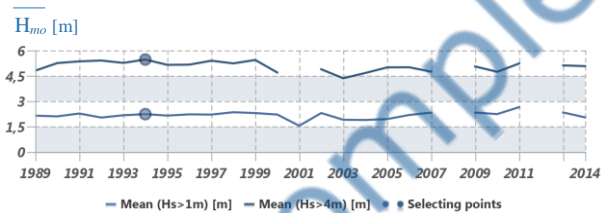
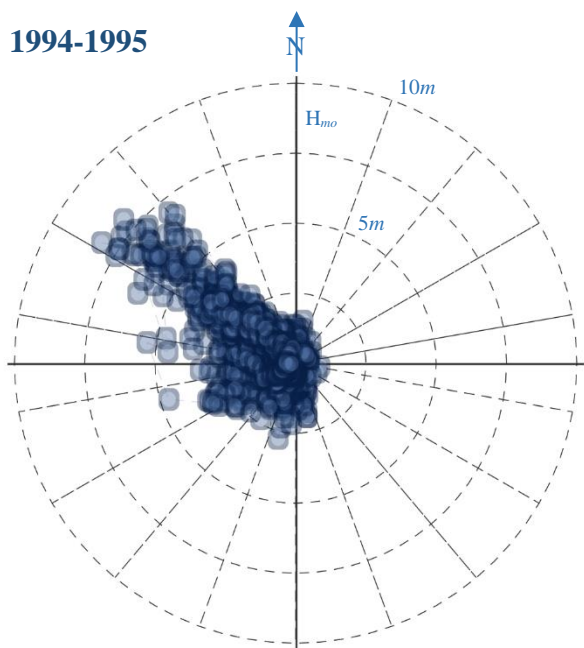


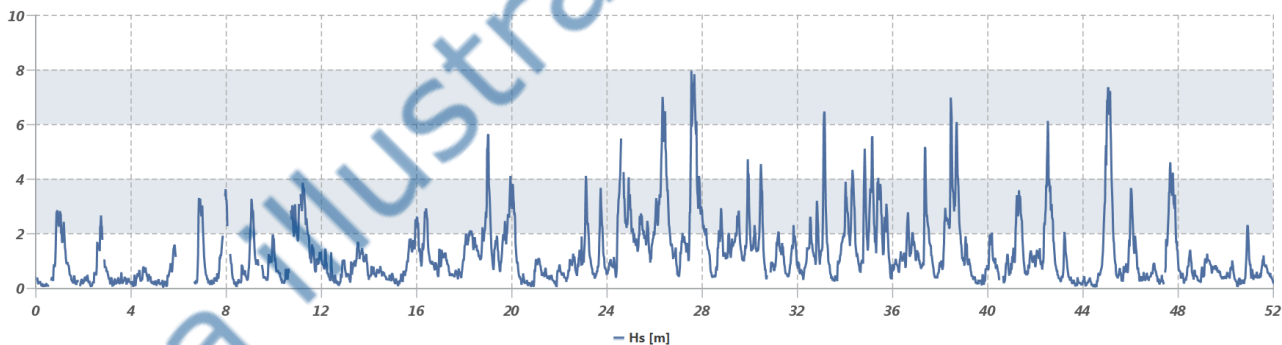
Figura 5 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 1993 e il giugno del 1994. L'anno climatico è stato **INCLUSO**

| Anno  | Rendimento annuale complessivo |                 |              |              | Rendimento annuale sopra soglia |                 |              |              | Incluso |
|-------|--------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------|
|       | $\eta_{H_{mo}}$                | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ | $\eta_{H_{mo}}$                 | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ |         |
| 94-95 | 96.1                           | 96.1            | 96.1         | 96.1         | 94.9                            | 94.8            | 94.9         | 94.9         | SI      |

1994-1995



$H_{mo}$  [m]



$T_p$ ,  $T_m$  [s]

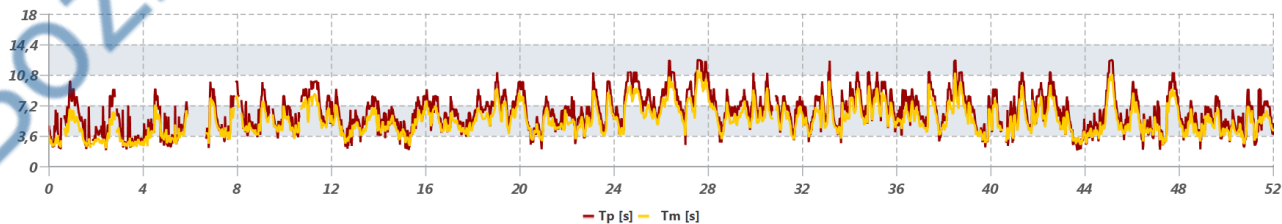
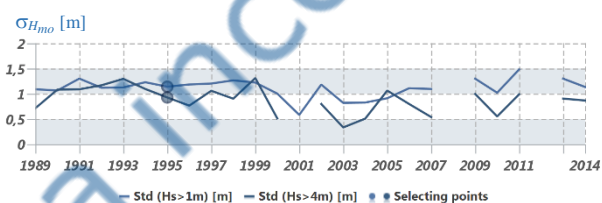
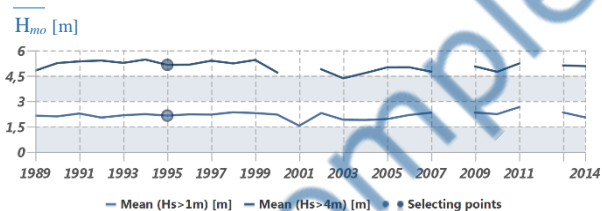
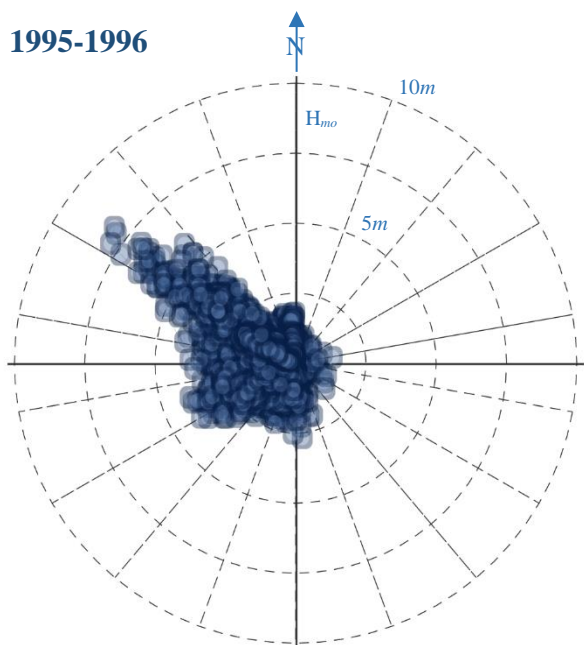


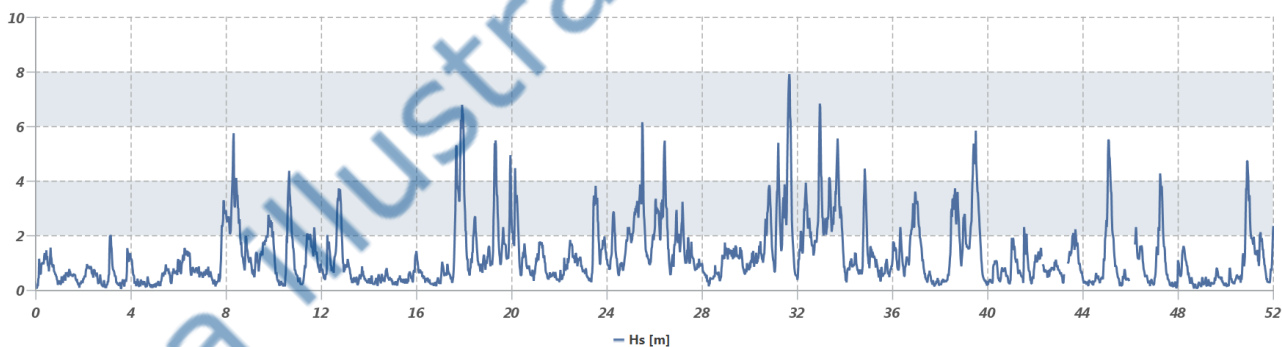
Figura 6 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 1994 e il giugno del 1995. L'anno climatico è stato **INCLUSO**

| Anno  | Rendimento annuale complessivo |                 |              |              | Rendimento annuale sopra soglia |                 |              |              | Incluso |
|-------|--------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------|
|       | $\eta_{H_{mo}}$                | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ | $\eta_{H_{mo}}$                 | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ |         |
| 95-96 | 99.1                           | 99.0            | 99.1         | 99.1         | 99.8                            | 99.7            | 99.8         | 99.8         | SI      |

1995-1996



$H_{mo}$  [m]



$T_p$ ,  $T_m$  [s]

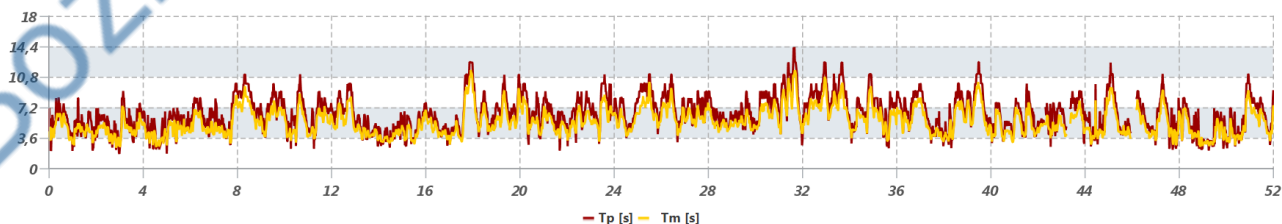
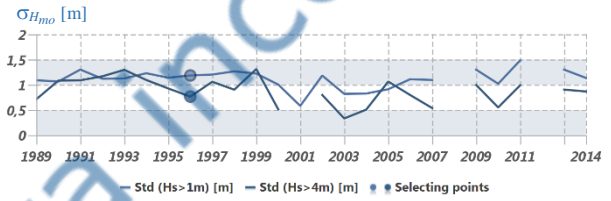
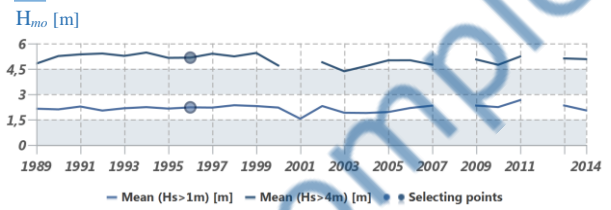
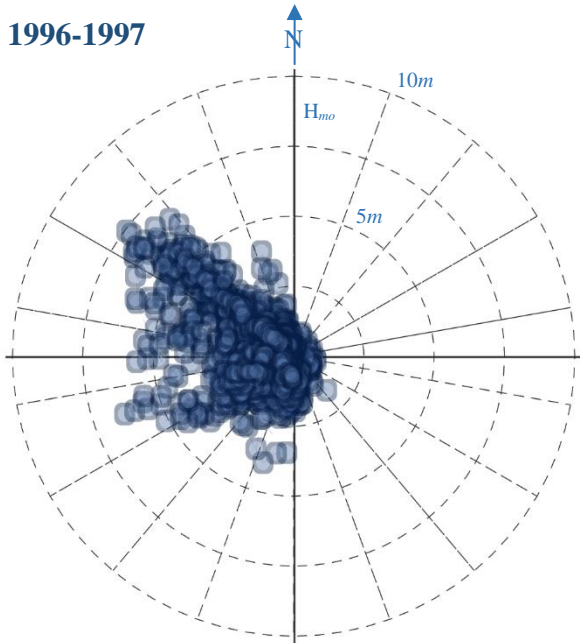


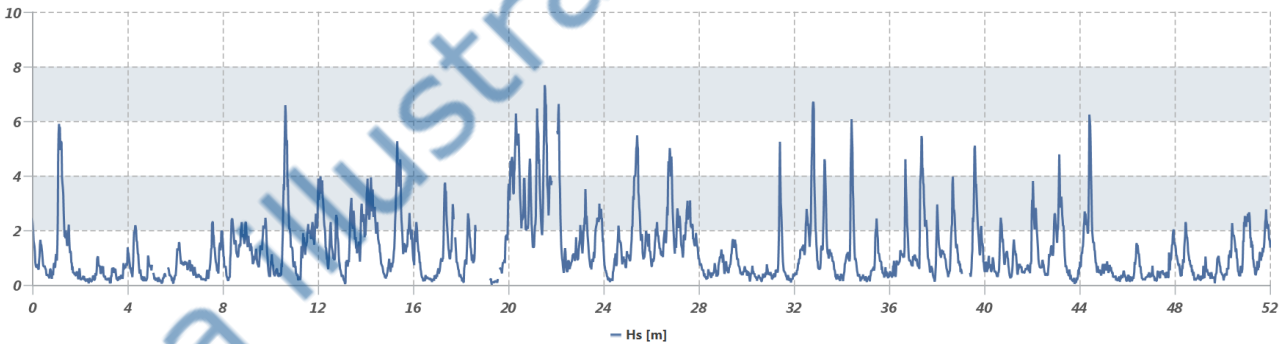
Figura 7 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 1995 e il giugno del 1996. L'anno climatico è stato **INCLUSO**

| Anno  | Rendimento annuale complessivo |                 |              |              | Rendimento annuale sopra soglia |                 |              |              | Incluso |
|-------|--------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------|
|       | $\eta_{H_{mo}}$                | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ | $\eta_{H_{mo}}$                 | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ |         |
| 96-97 | 97.0                           | 96.9            | 97.0         | 97.0         | 96.2                            | 96.2            | 96.2         | 96.2         | SI      |

1996-1997



$H_{mo}$  [m]



$T_p$ ,  $T_m$  [s]

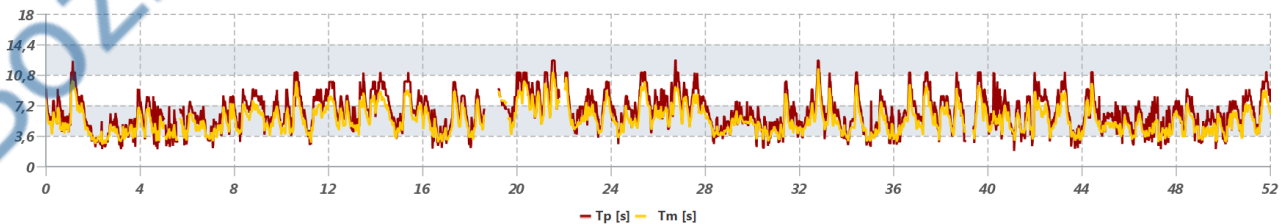
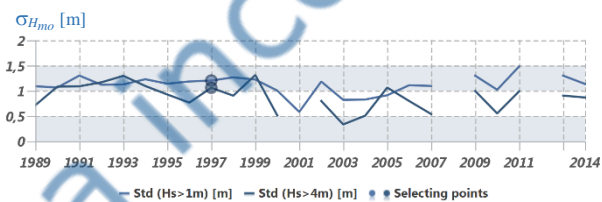
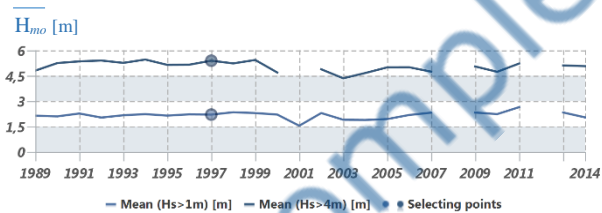
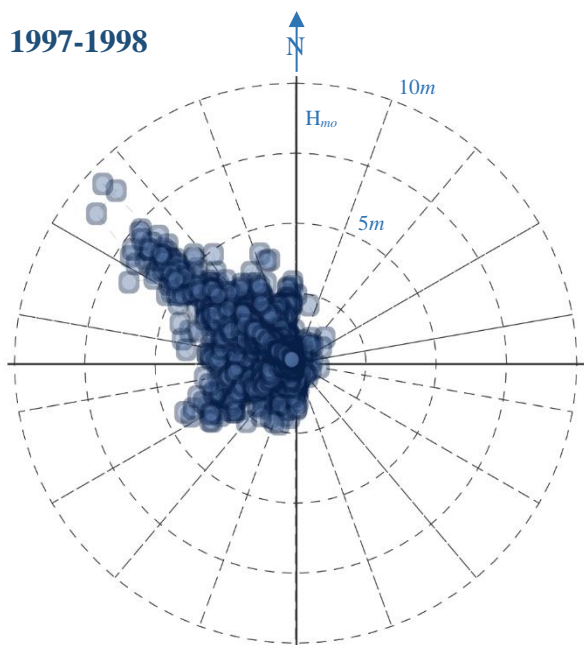


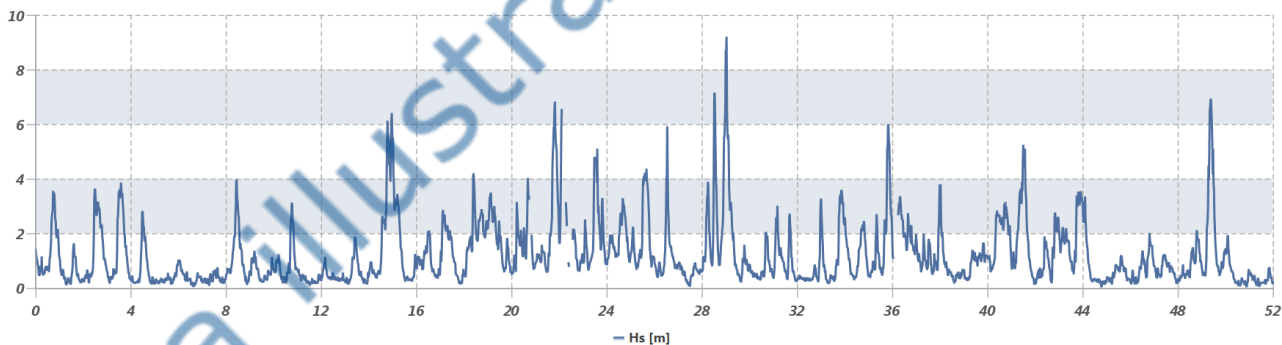
Figura 8 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 1996 e il giugno del 1997. L'anno climatico è stato **INCLUSO**

| Anno  | Rendimento annuale complessivo |                 |              |              | Rendimento annuale sopra soglia |                 |              |              | Incluso |
|-------|--------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------|
|       | $\eta_{H_{mo}}$                | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ | $\eta_{H_{mo}}$                 | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ |         |
| 97-98 | 98.8                           | 98.8            | 98.8         | 98.8         | 97.8                            | 97.8            | 97.8         | 97.8         | SI      |

1997-1998



$H_{mo}$  [m]



$T_p$ ,  $T_m$  [s]

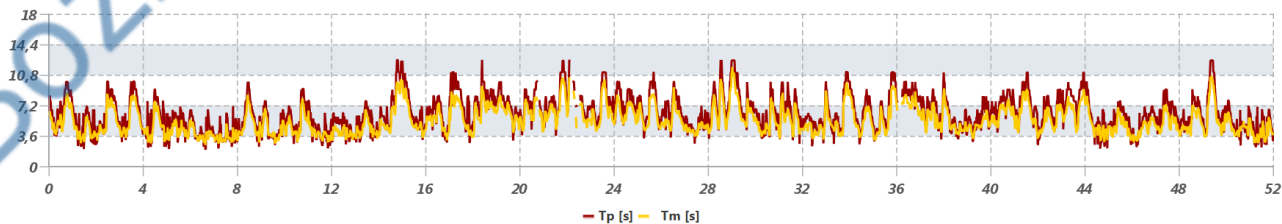
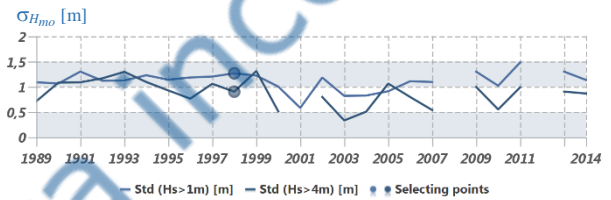
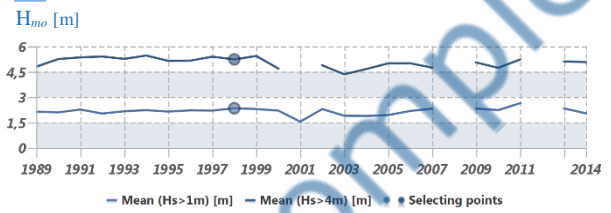
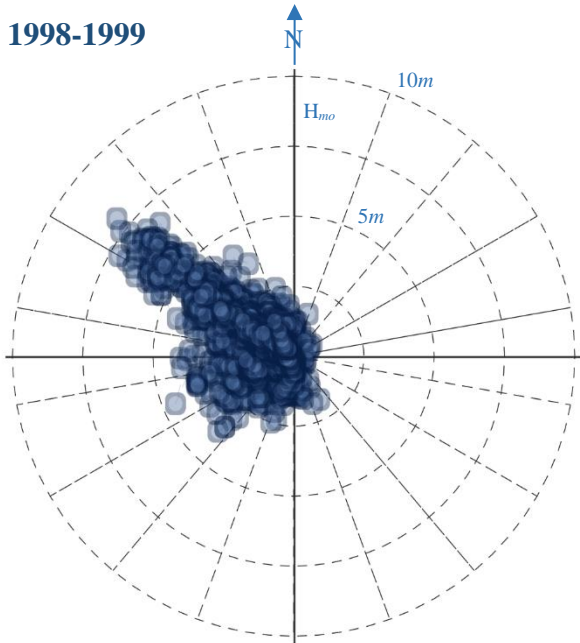


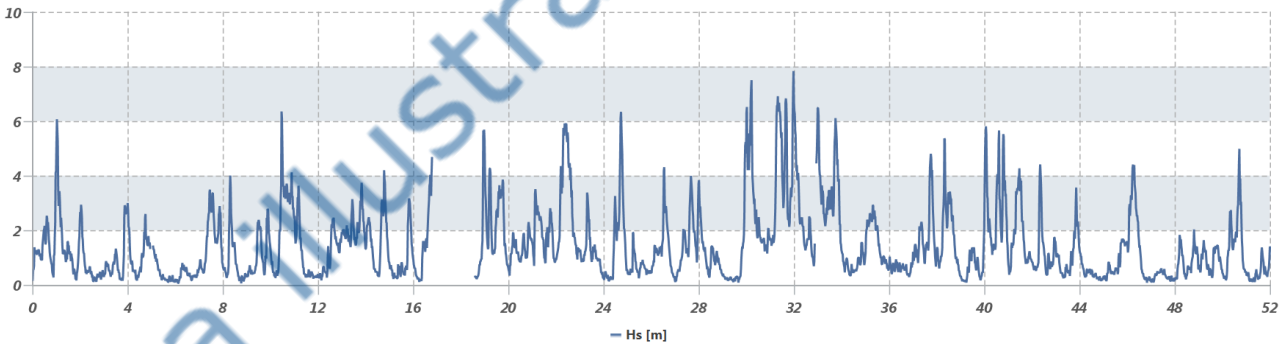
Figura 9 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 1997 e il giugno del 1998. L'anno climatico è stato **INCLUSO**

| Anno  | Rendimento annuale complessivo |                 |              |              | Rendimento annuale sopra soglia |                 |              |              | Incluso |
|-------|--------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------|
|       | $\eta_{H_{mo}}$                | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ | $\eta_{H_{mo}}$                 | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ |         |
| 98-99 | 96.2                           | 96.2            | 96.2         | 96.2         | 93.0                            | 93.0            | 93.0         | 93.0         | SI      |

1998-1999



$H_{mo}$  [m]



$T_p$ ,  $T_m$  [s]

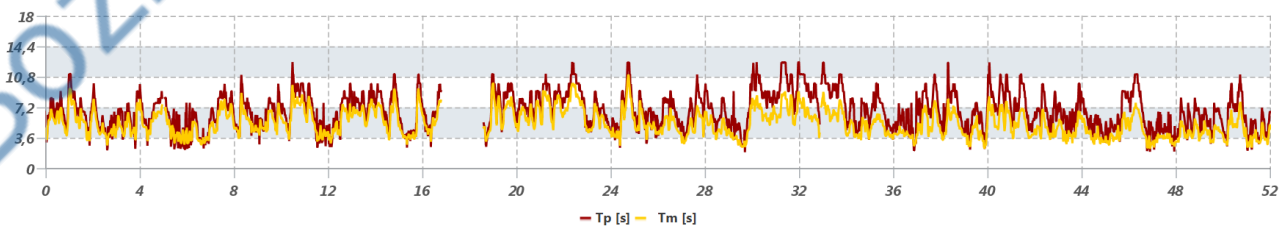
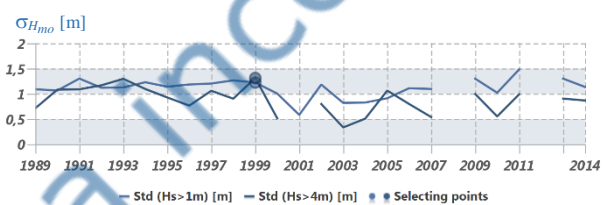
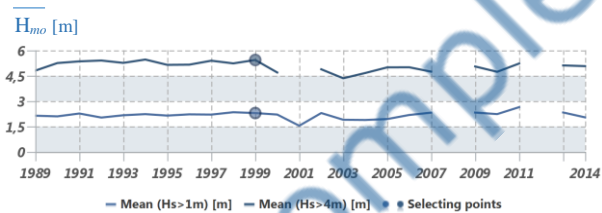
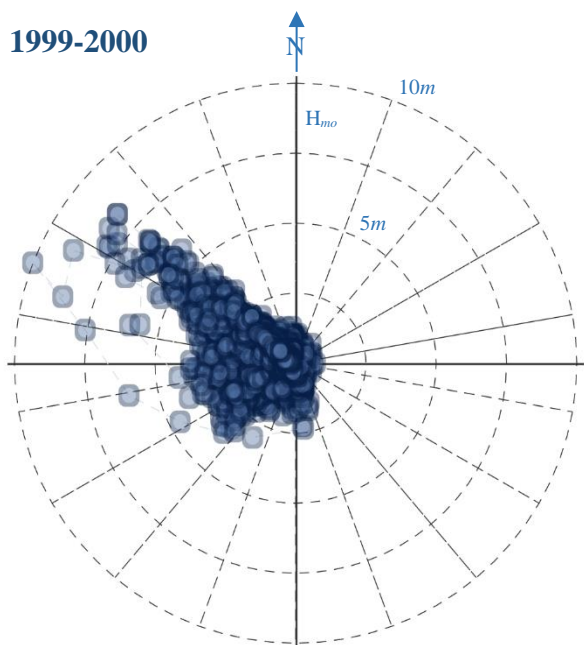


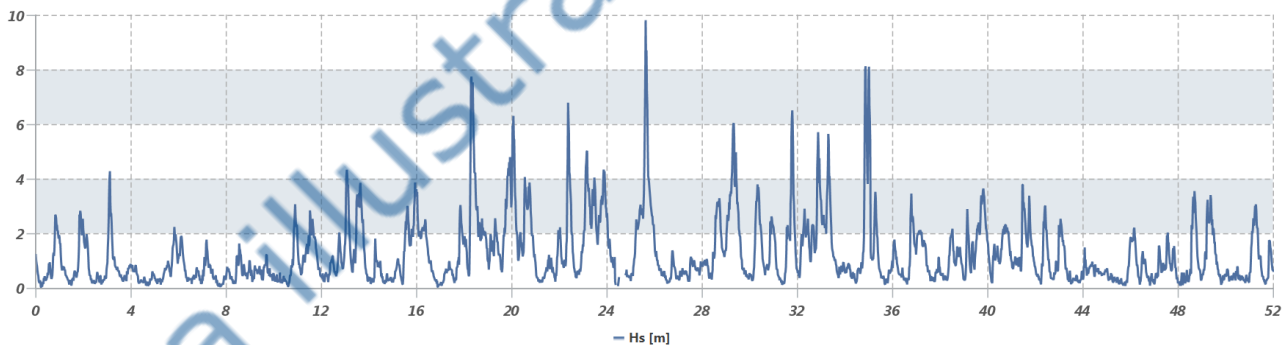
Figura 10 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 1998 e il giugno del 1999. L'anno climatico è stato **INCLUSO**

| Anno  | Rendimento annuale complessivo |                 |              |              | Rendimento annuale sopra soglia |                 |              |              | Incluso |
|-------|--------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------|
|       | $\eta_{H_{mo}}$                | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ | $\eta_{H_{mo}}$                 | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ |         |
| 99-00 | 99.6                           | 99.5            | 99.6         | 99.6         | 100.0                           | 100.0           | 100.0        | 100.0        | SI      |

1999-2000



$H_{mo}$  [m]



$T_p$ ,  $T_m$  [s]

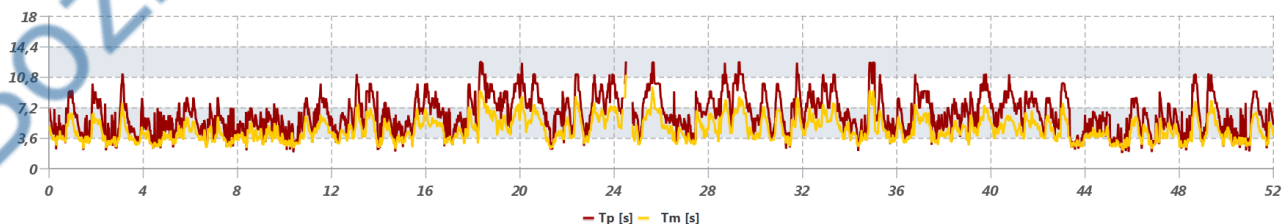
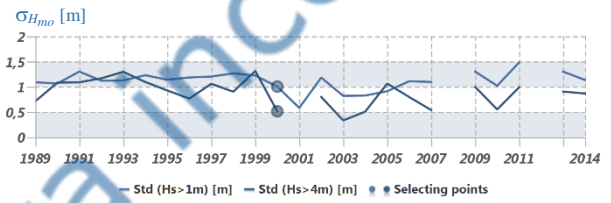
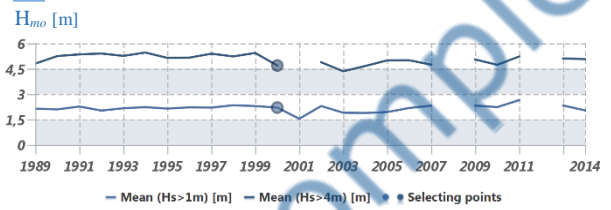
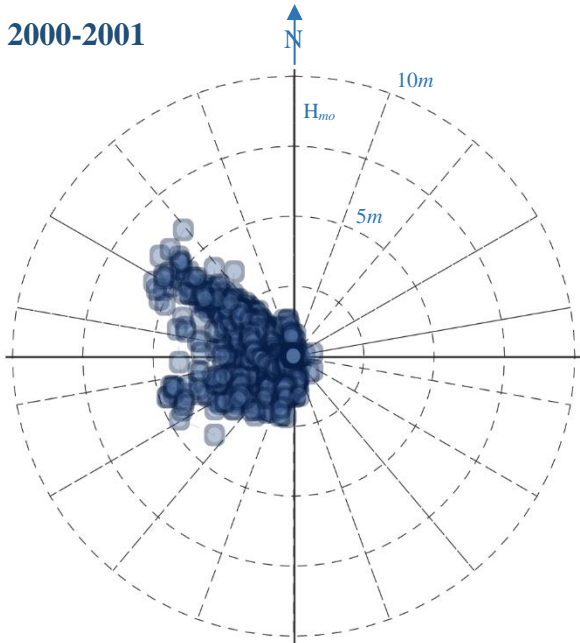


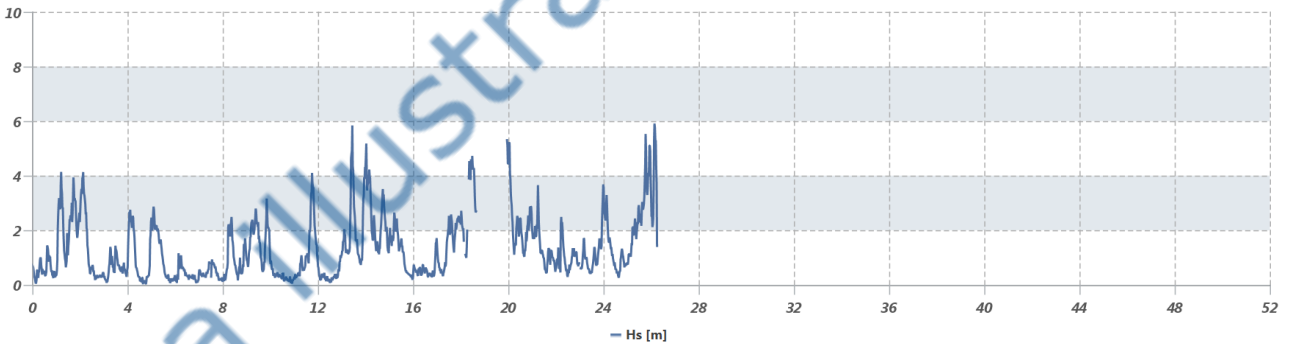
Figura 11 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 1999 e il giugno del 2000. L'anno climatico è stato **INCLUSO**

| Anno  | Rendimento annuale complessivo |                 |              |              | Rendimento annuale sopra soglia |                 |              |              | Incluso   |
|-------|--------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------------------------------|-----------------|--------------|--------------|-----------|
|       | $\eta_{H_{mo}}$                | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ | $\eta_{H_{mo}}$                 | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ |           |
| 00-01 | 47.6                           | 47.5            | 47.6         | 47.6         | 30.6                            | 30.6            | 30.6         | 30.6         | <b>NO</b> |

2000-2001



$H_{mo}$  [m]



$T_p$   $T_m$  [s]

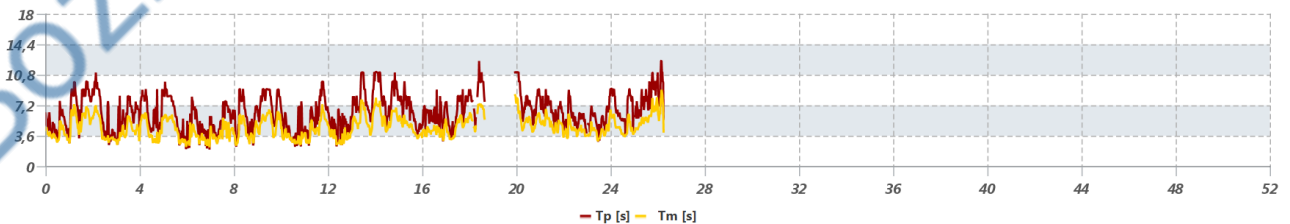
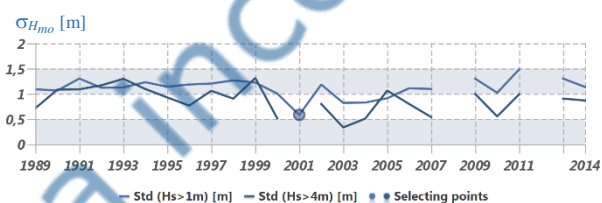
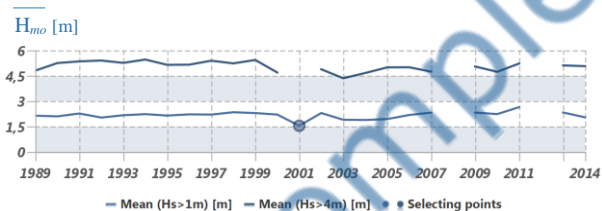
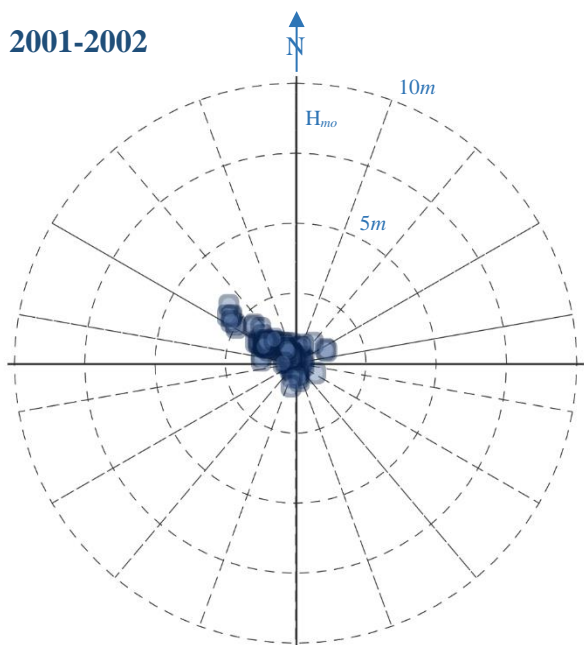


Figura 12 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 2000 e il giugno del 2001. L'anno climatico è stato **ESCLUSO**

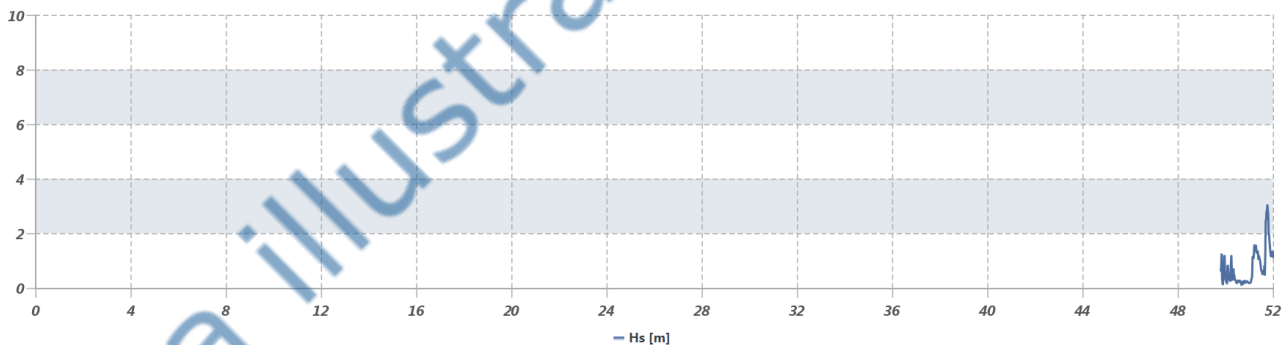


| Anno  | Rendimento annuale complessivo |                 |              |              | Rendimento annuale sopra soglia |                 |              |              | Incluso   |
|-------|--------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------------------------------|-----------------|--------------|--------------|-----------|
|       | $\eta_{H_{mo}}$                | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ | $\eta_{H_{mo}}$                 | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ |           |
| 01-02 | 4.3                            | 4.3             | 4.3          | 4.3          | 100.0                           | 100.0           | 100.0        | 100.0        | <b>NO</b> |

2001-2002



$H_{mo}$  [m]



$T_p, T_m$  [s]

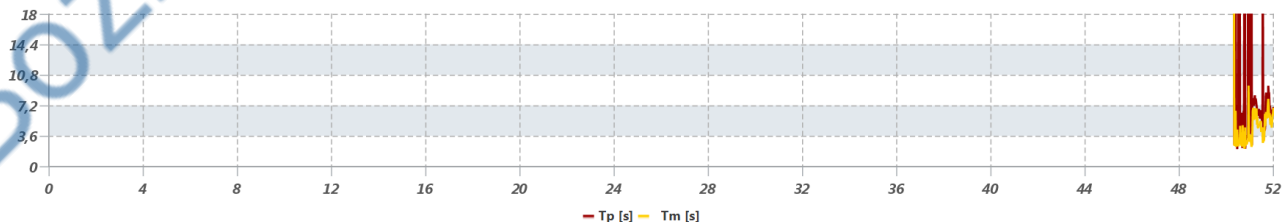
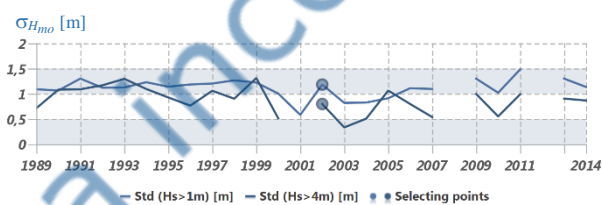
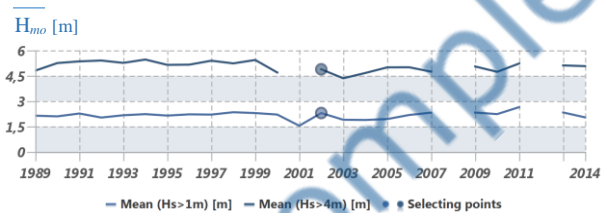
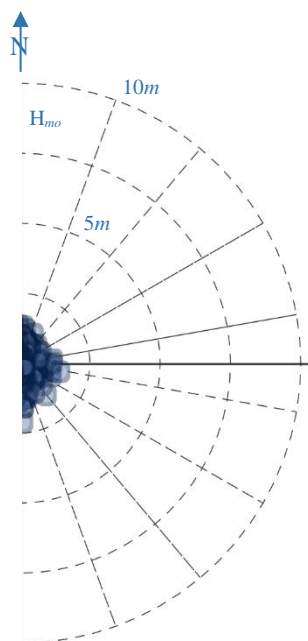


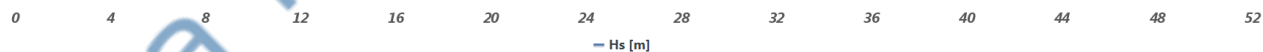
Figura 13 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 2001 e il giugno del 2002. L'anno climatico è stato **ESCLUSO**

| Anno  | Rendimento annuale complessivo |                 |              |              | Rendimento annuale sopra soglia |                 |              |              | Incluso |
|-------|--------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------|
|       | $\eta_{H_{mo}}$                | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ | $\eta_{H_{mo}}$                 | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ |         |
| 02-03 | 95.3                           | 95.3            | 95.3         | 95.3         | 93.6                            | 93.6            | 93.6         | 93.6         | SI      |

2002-2003



$H_{mo}$  [m]



$T_p$ ,  $T_m$  [s]

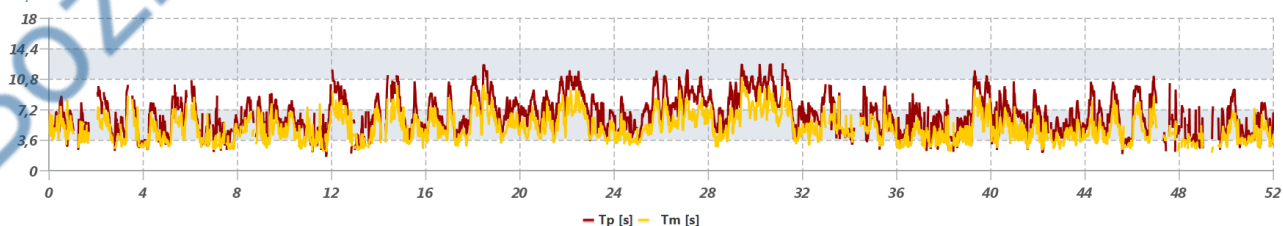
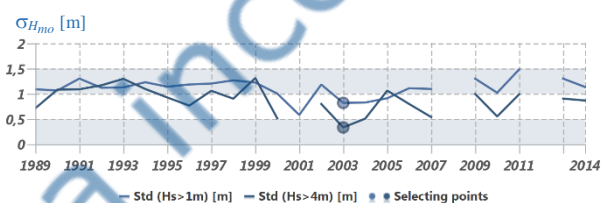
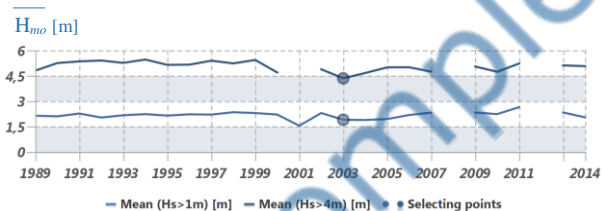
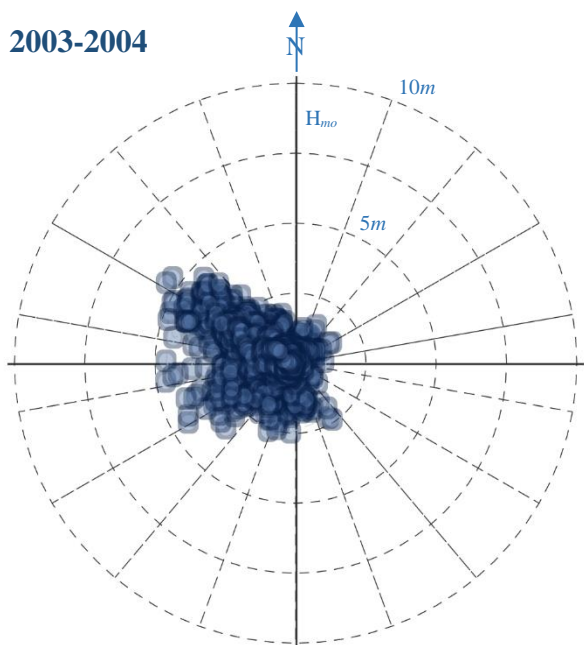


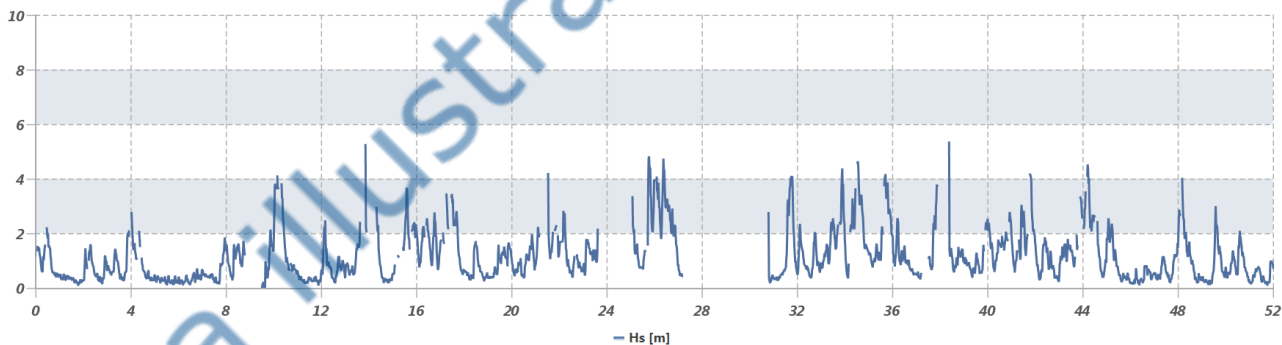
Figura 14 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 2002 e il giugno del 2003. L'anno climatico è stato **INCLUSO**

| Anno  | Rendimento annuale complessivo |                 |              |              | Rendimento annuale sopra soglia |                 |              |              | Incluso   |
|-------|--------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------------------------------|-----------------|--------------|--------------|-----------|
|       | $\eta_{H_{mo}}$                | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ | $\eta_{H_{mo}}$                 | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ |           |
| 03-04 | 80.0                           | 79.9            | 80.0         | 80.0         | 68.9                            | 68.9            | 68.9         | 68.9         | <b>NO</b> |

2003-2004



$H_{mo}$  [m]



$T_p$ ,  $T_m$  [s]

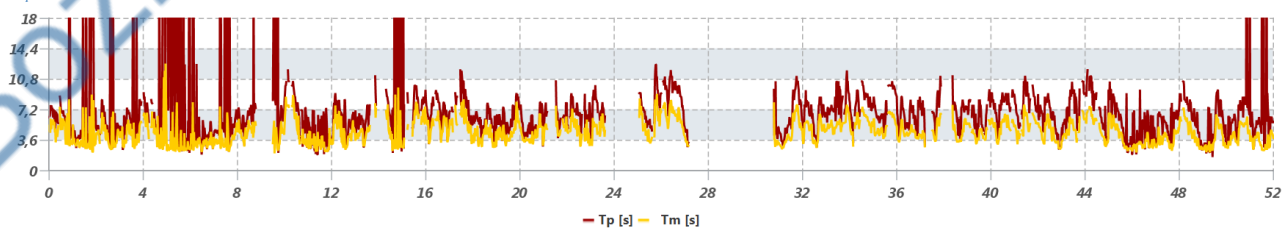
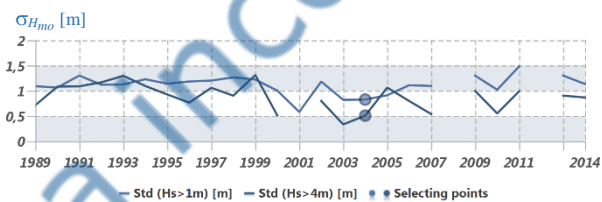
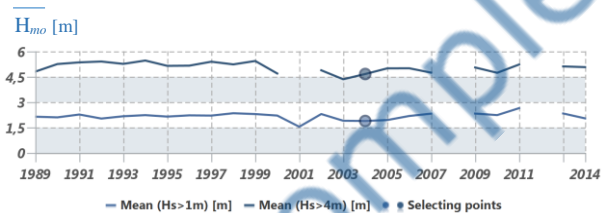
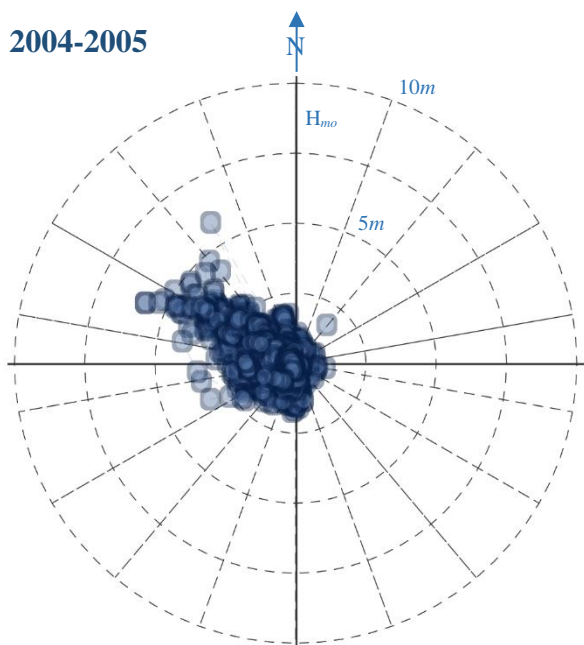


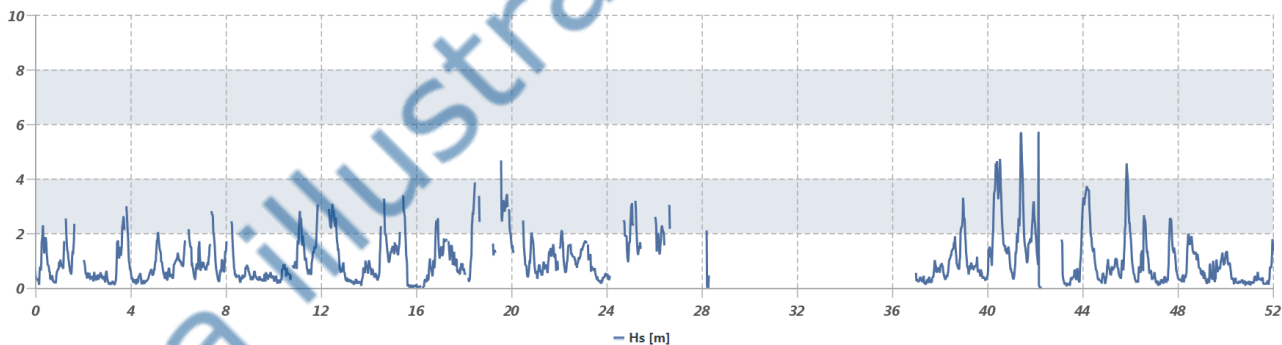
Figura 15 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 2003 e il giugno del 2004. L'anno climatico è stato **ESCLUSO**

| Anno  | Rendimento annuale complessivo |                 |              |              | Rendimento annuale sopra soglia |                 |              |              | Incluso   |
|-------|--------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------------------------------|-----------------|--------------|--------------|-----------|
|       | $\eta_{H_{mo}}$                | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ | $\eta_{H_{mo}}$                 | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ |           |
| 04-05 | 68.9                           | 68.9            | 68.9         | 68.9         | 70.1                            | 70.1            | 70.1         | 70.1         | <b>NO</b> |

2004-2005



$H_{mo}$  [m]



$T_p$   $T_m$  [s]

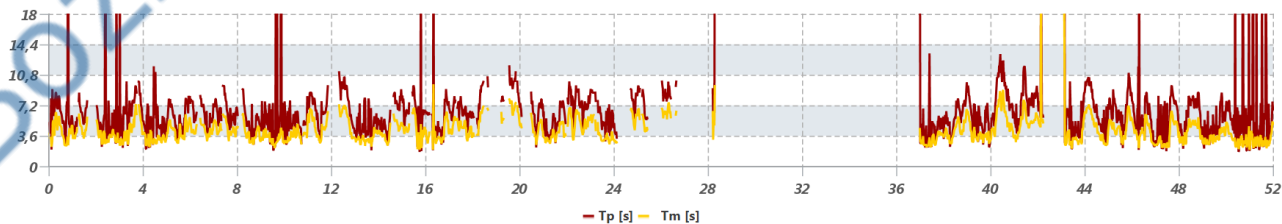
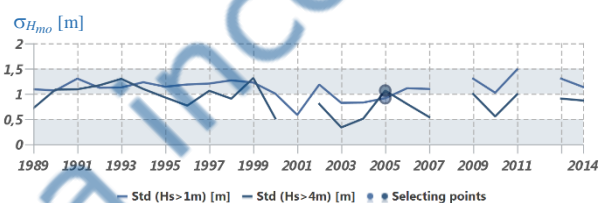
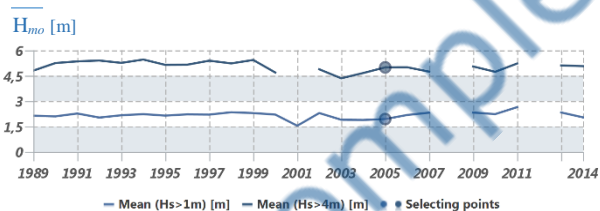
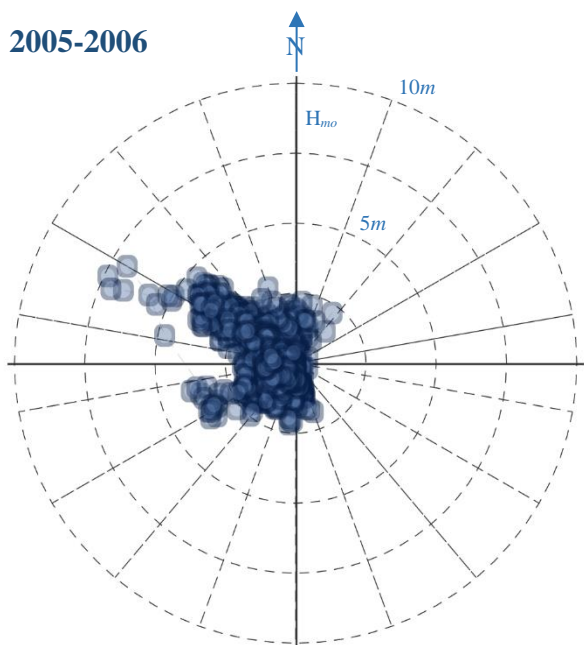


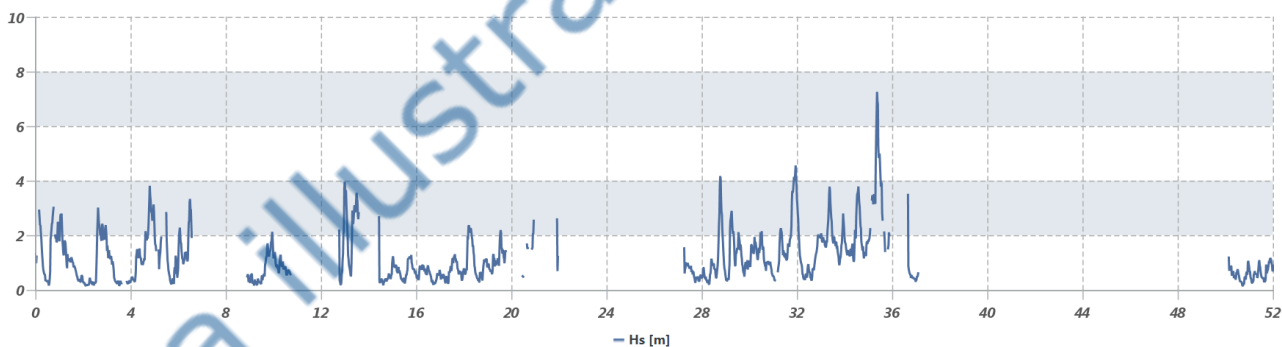
Figura 16 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 2004 e il giugno del 2005. L'anno climatico è stato **ESCLUSO**

| Anno  | Rendimento annuale complessivo |                 |              |              | Rendimento annuale sopra soglia |                 |              |              | Incluso   |
|-------|--------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------------------------------|-----------------|--------------|--------------|-----------|
|       | $\eta_{H_{mo}}$                | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ | $\eta_{H_{mo}}$                 | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ |           |
| 05-06 | 47.9                           | 47.9            | 47.9         | 47.9         | 49.7                            | 49.7            | 49.7         | 49.7         | <b>NO</b> |

2005-2006



$H_{mo}$  [m]



$T_p$ ,  $T_m$  [s]

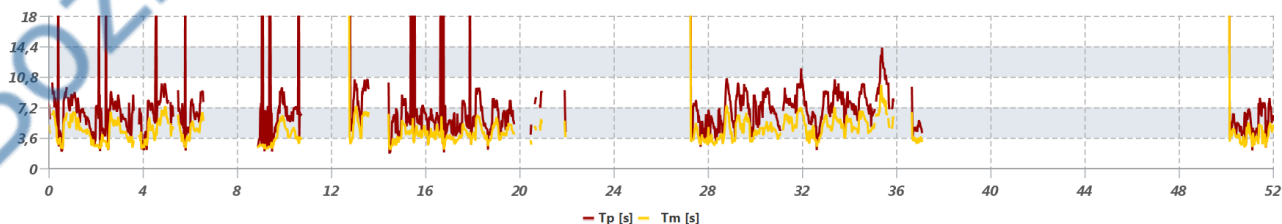
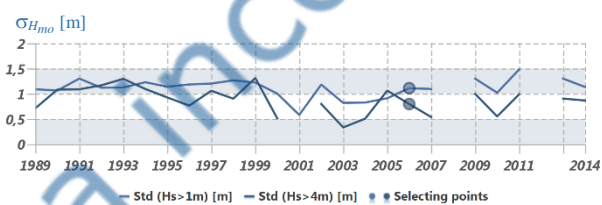
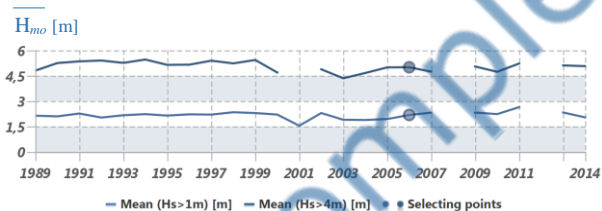
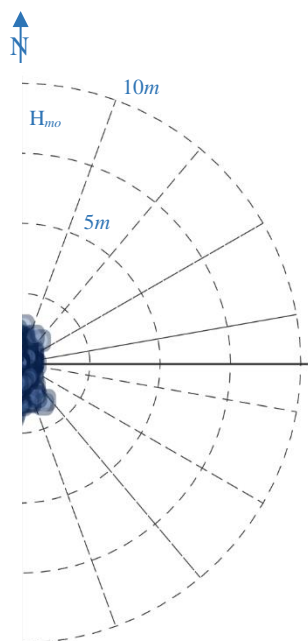


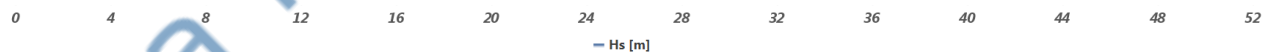
Figura 17 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 2005 e il giugno del 2006. L'anno climatico è stato **ESCLUSO**

| Anno  | Rendimento annuale complessivo |                 |              |              | Rendimento annuale sopra soglia |                 |              |              | Incluso |
|-------|--------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------|
|       | $\eta_{H_{mo}}$                | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ | $\eta_{H_{mo}}$                 | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ |         |
| 06-07 | 91.0                           | 91.0            | 91.0         | 91.0         | 82.7                            | 82.7            | 82.7         | 82.7         | SI      |

2006-2007



$H_{mo}$  [m]



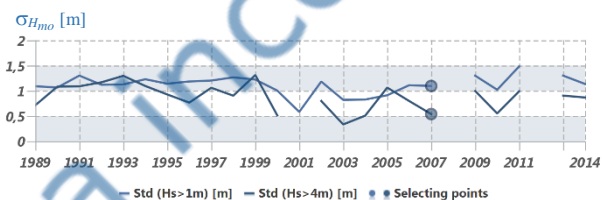
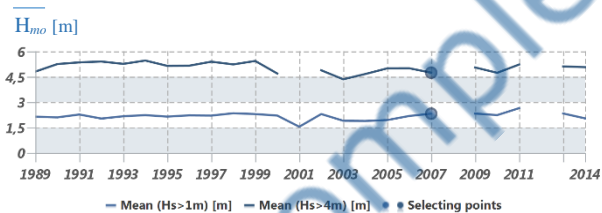
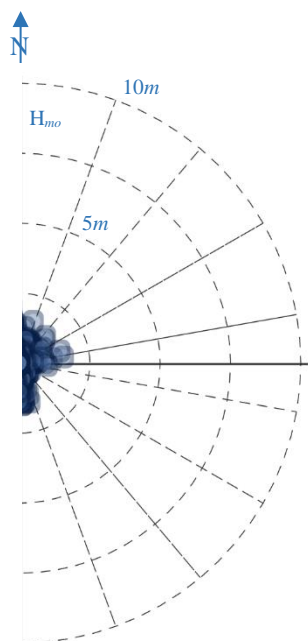
$T_p$   $T_m$  [s]



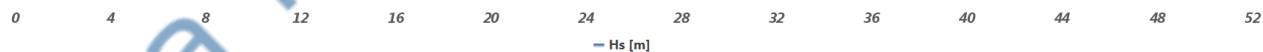
Figura 18 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 2006 e il giugno del 2007. L'anno climatico è stato **INCLUSO**

| Anno  | Rendimento annuale complessivo |                 |              |              | Rendimento annuale sopra soglia |                 |              |              | Incluso |
|-------|--------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------|
|       | $\eta_{H_{mo}}$                | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ | $\eta_{H_{mo}}$                 | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ |         |
| 07-08 | 70.4                           | 70.4            | 70.4         | 70.4         | 55.1                            | 55.1            | 55.1         | 55.1         | SI      |

2007-2008



$H_{mo}$  [m]



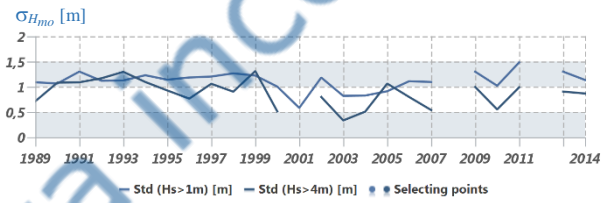
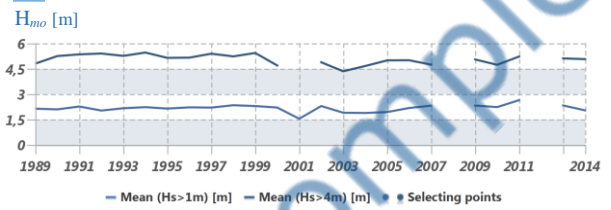
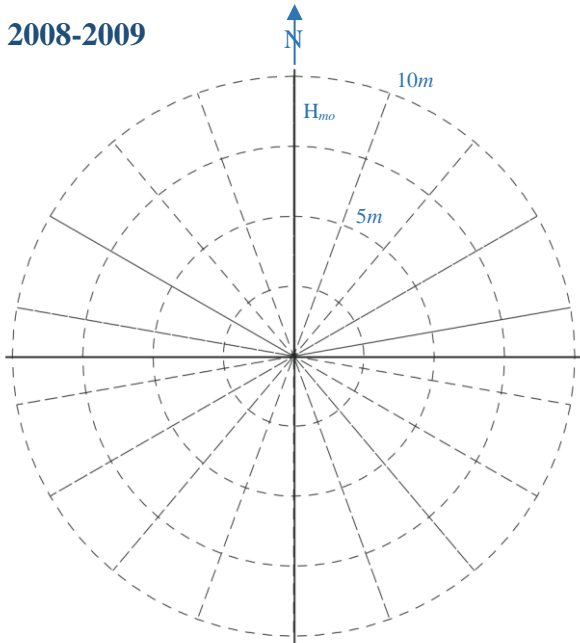
$T_p$ ,  $T_m$  [s]



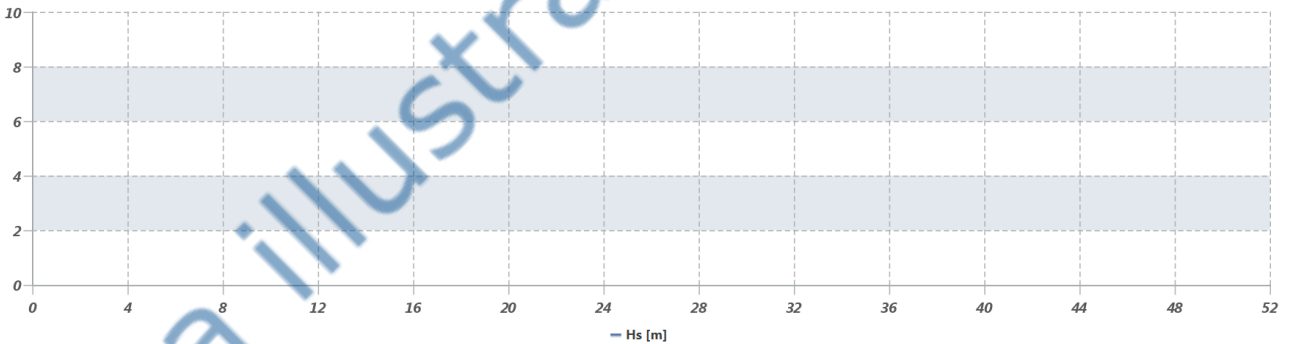
Figura 19 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 2007 e il giugno del 2008. L'anno climatico è stato **INCLUSO**

| Anno  | Rendimento annuale complessivo |                 |              |              | Rendimento annuale sopra soglia |                 |              |              | Incluso   |
|-------|--------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------------------------------|-----------------|--------------|--------------|-----------|
|       | $\eta_{H_{mo}}$                | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ | $\eta_{H_{mo}}$                 | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ |           |
| 08-09 | -                              | -               | -            | -            | -                               | -               | -            | -            | <b>NO</b> |

2008-2009



$H_{mo}$  [m]



$T_p, T_m$  [s]

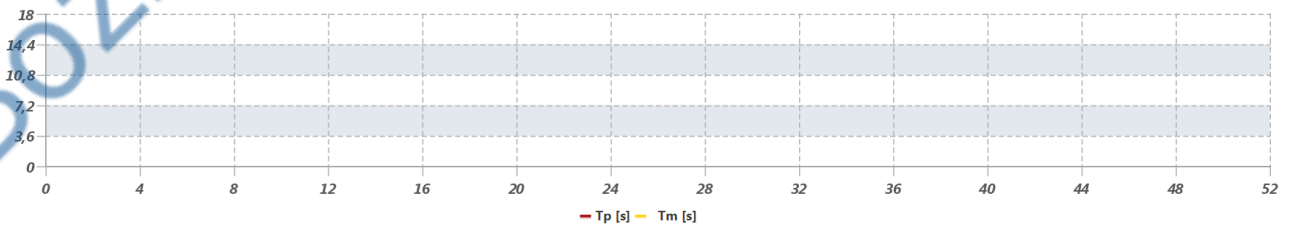
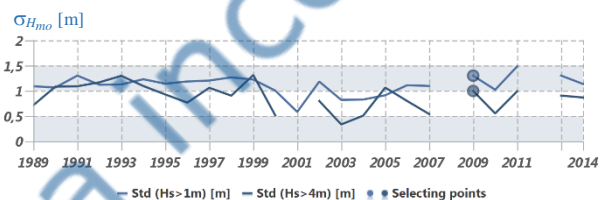
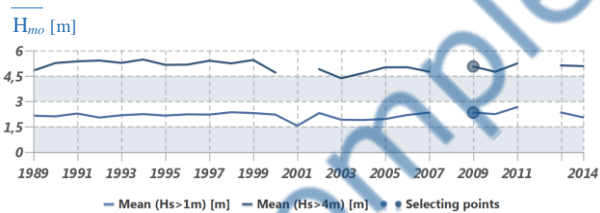
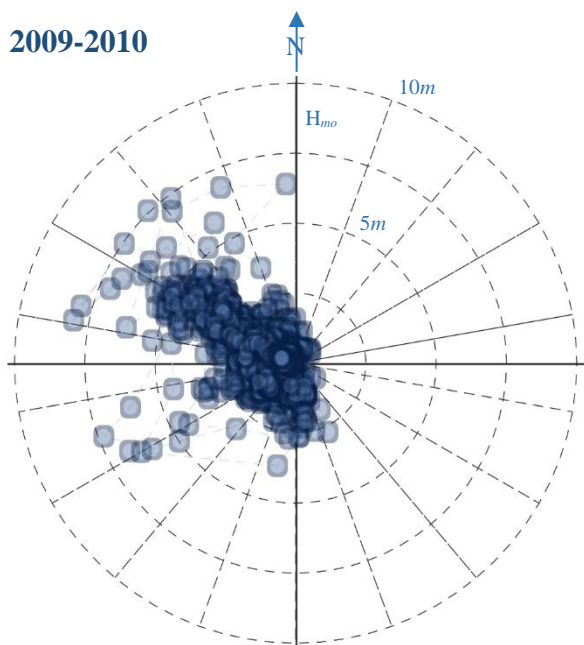


Figura 20 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 2008 e il giugno del 2009. L'anno climatico è stato **ESCLUSO**

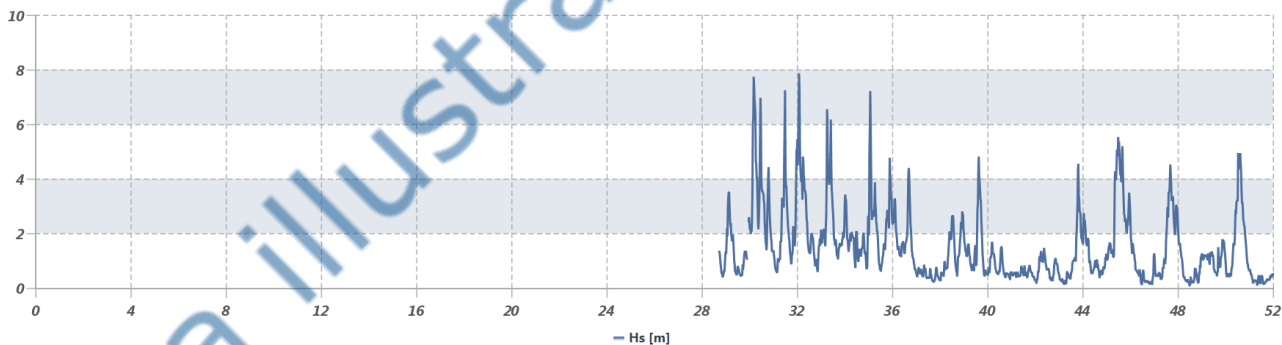


| Anno  | Rendimento annuale complessivo |                 |              |              | Rendimento annuale sopra soglia |                 |              |              | Incluso   |
|-------|--------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------------------------------|-----------------|--------------|--------------|-----------|
|       | $\eta_{H_{mo}}$                | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ | $\eta_{H_{mo}}$                 | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ |           |
| 09-10 | 44.7                           | 44.7            | 44.4         | 44.7         | 99.6                            | 99.6            | 98.5         | 99.6         | <b>NO</b> |

2009-2010



$H_{mo}$  [m]



$T_p$ ,  $T_m$  [s]

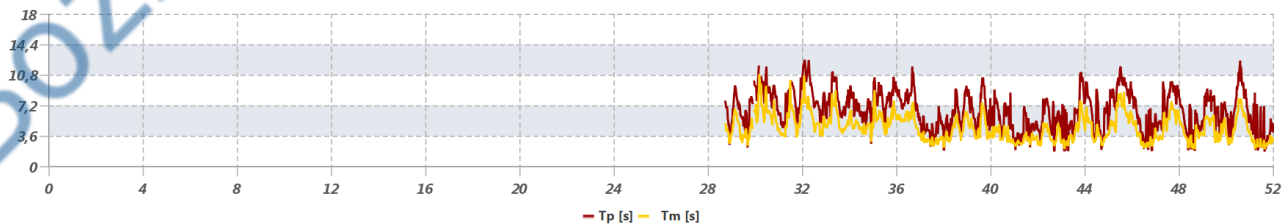
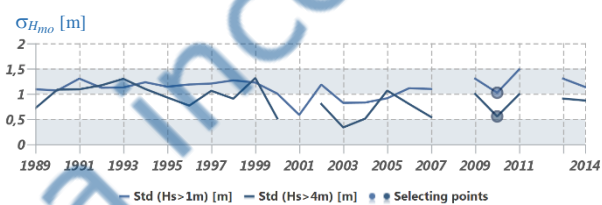
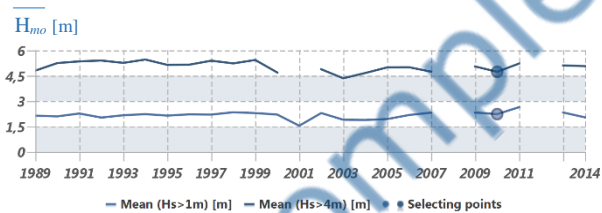
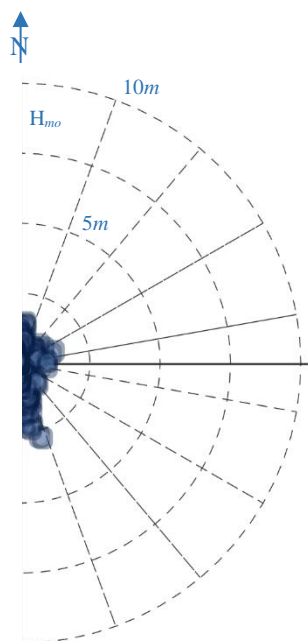


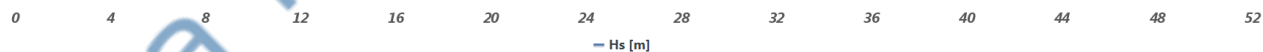
Figura 21 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 2009 e il giugno del 2010. L'anno climatico è stato **ESCLUSO**

| Anno  | Rendimento annuale complessivo |                 |              |              | Rendimento annuale sopra soglia |                 |              |              | Incluso |
|-------|--------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------|
|       | $\eta_{H_{mo}}$                | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ | $\eta_{H_{mo}}$                 | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ |         |
| 10-11 | 91.9                           | 91.9            | 91.9         | 91.9         | 93.7                            | 93.7            | 93.7         | 93.7         | SI      |

2010-2011



$H_{mo}$  [m]



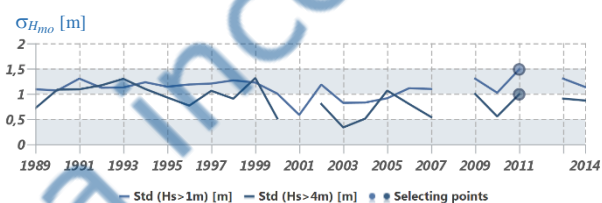
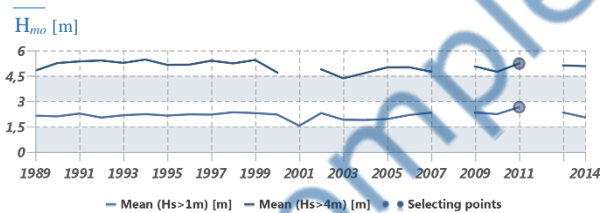
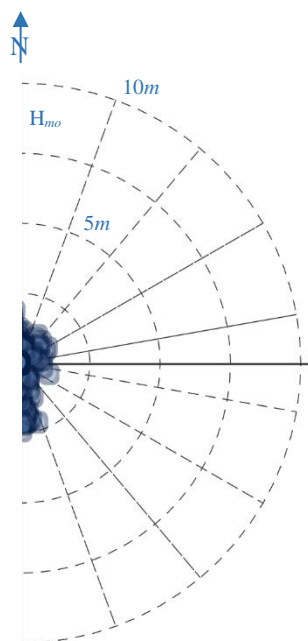
$T_p$ ,  $T_m$  [s]



Figura 22 – 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 |
|-------|--------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------|
|       | $\eta_{H_{mo}}$                | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ | $\eta_{H_{mo}}$                 | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ |         |
| 11-12 | 54.1                           | 54.1            | 54.1         | 54.1         | 33.7                            | 33.7            | 33.7         | 33.7         | SI      |

2011-2012



$H_{mo}$  [m]

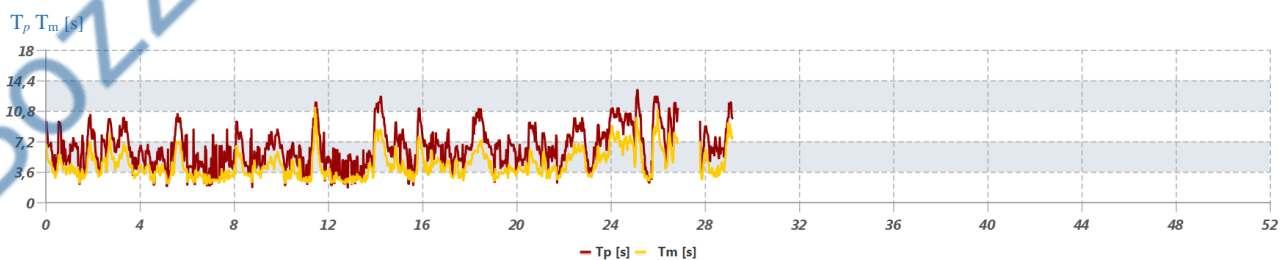
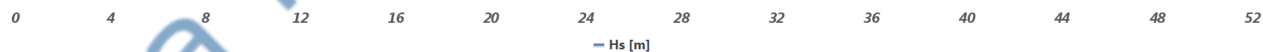
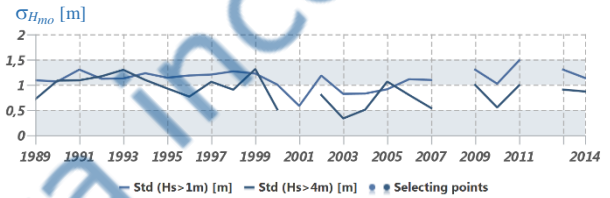
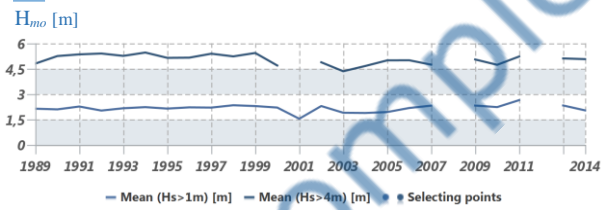
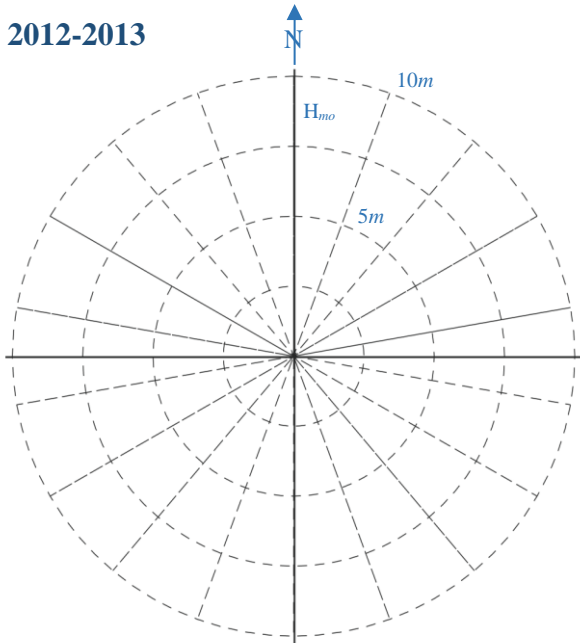


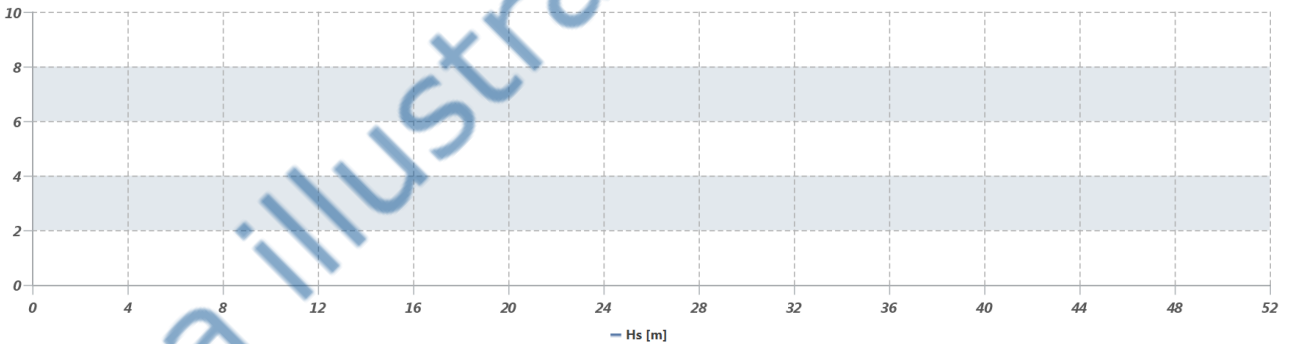
Figura 23 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 2011 e il giugno del 2012. L'anno climatico è stato **INCLUSO**

| Anno  | Rendimento annuale complessivo |                 |              |              | Rendimento annuale sopra soglia |                 |              |              | Incluso   |
|-------|--------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------------------------------|-----------------|--------------|--------------|-----------|
|       | $\eta_{H_{mo}}$                | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ | $\eta_{H_{mo}}$                 | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ |           |
| 12-13 | -                              | -               | -            | -            | -                               | -               | -            | -            | <b>NO</b> |

2012-2013



$H_{mo}$  [m]



$T_p$ ,  $T_m$  [s]

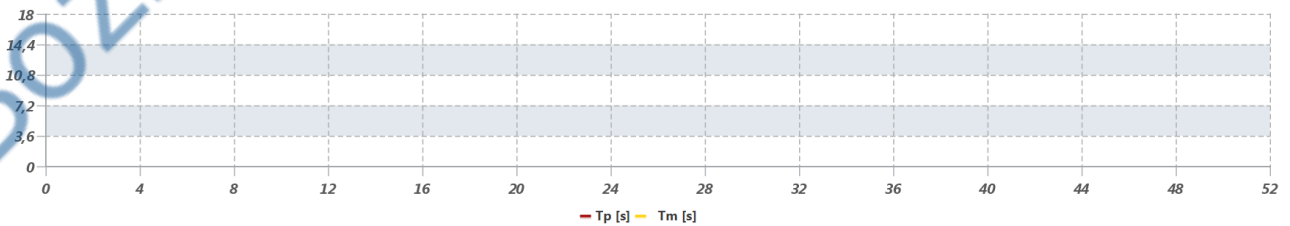
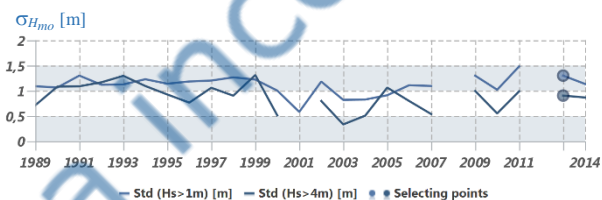
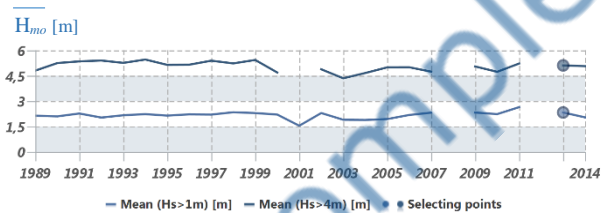
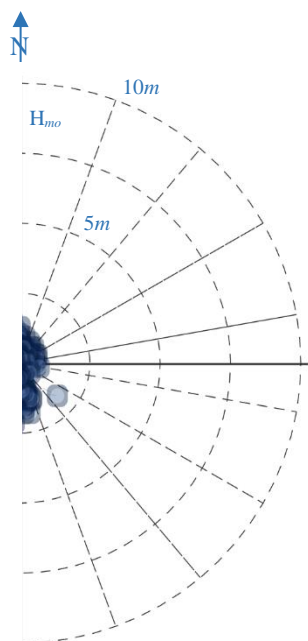


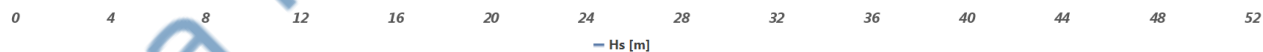
Figura 24 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 2012 e il giugno del 2013. L'anno climatico è stato **ESCLUSO**

| Anno  | Rendimento annuale complessivo |                 |              |              | Rendimento annuale sopra soglia |                 |              |              | Incluso |
|-------|--------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------|
|       | $\eta_{H_{mo}}$                | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ | $\eta_{H_{mo}}$                 | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ |         |
| 13-14 | 65.4                           | 65.4            | 64.7         | 65.4         | 84.0                            | 84.0            | 84.0         | 84.0         | SI      |

2013-2014



$H_{mo}$  [m]



$T_p, T_m$  [s]

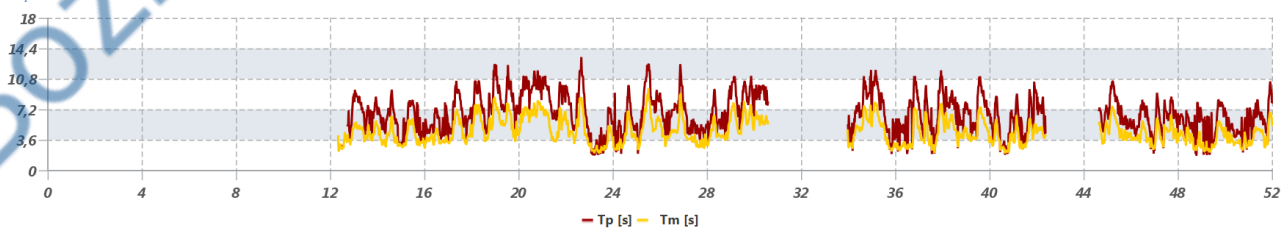
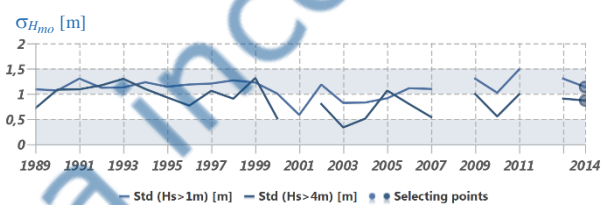
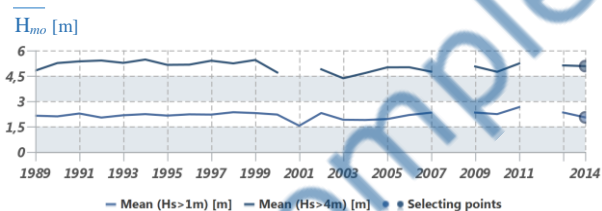
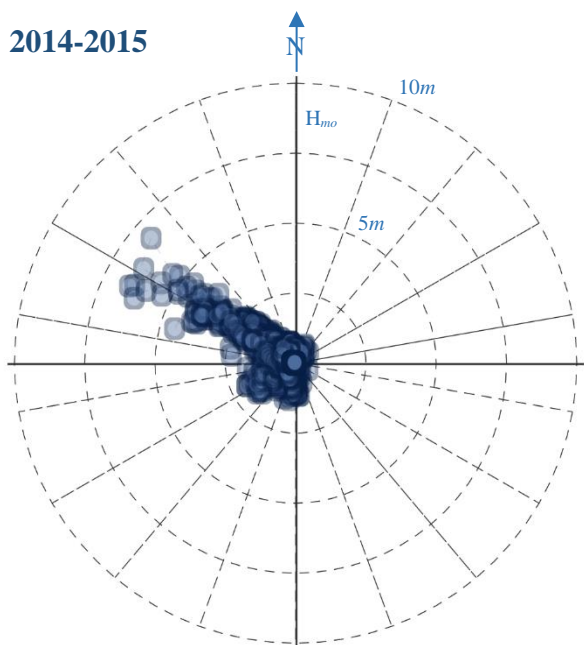


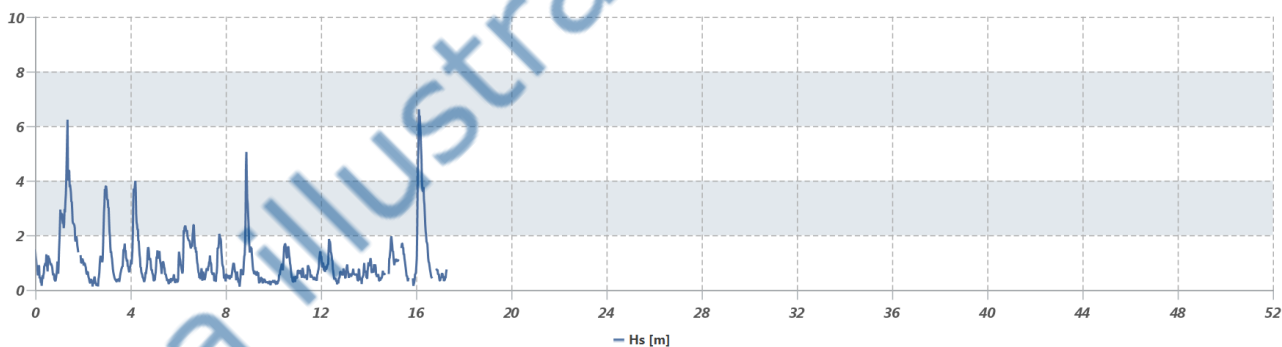
Figura 25 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 2013 e il giugno del 2014. L'anno climatico è stato **INCLUSO**

| Anno  | Rendimento annuale complessivo |                 |              |              | Rendimento annuale sopra soglia |                 |              |              | Incluso   |
|-------|--------------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------------------------------|-----------------|--------------|--------------|-----------|
|       | $\eta_{H_{mo}}$                | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ | $\eta_{H_{mo}}$                 | $\eta_{\theta}$ | $\eta_{T_p}$ | $\eta_{T_m}$ |           |
| 14-15 | 31.8                           | 31.8            | 31.7         | 31.8         | 96.3                            | 96.3            | 95.4         | 96.3         | <b>NO</b> |

2014-2015



$H_{mo}$  [m]



$T_p$ ,  $T_m$  [s]

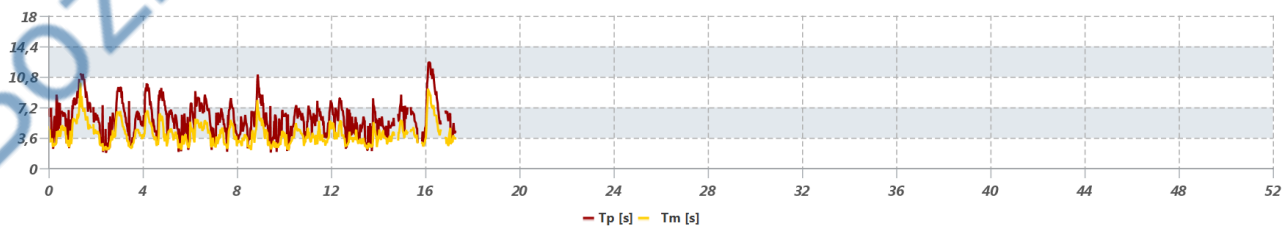


Figura 26 – Andamenti delle misure registrate tra il luglio del 2014 e il giugno del 2015. L'anno climatico è stato **ESCLUSO**

## **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 27 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.  $170^{\circ}\text{N} \leq \theta < 210^{\circ}\text{N}$
2.  $210^{\circ}\text{N} \leq \theta < 265^{\circ}\text{N}$
3.  $265^{\circ}\text{N} \leq \theta < 340^{\circ}\text{N}$
4.  $340^{\circ}\text{N} \leq \theta < 10^{\circ}\text{N}$

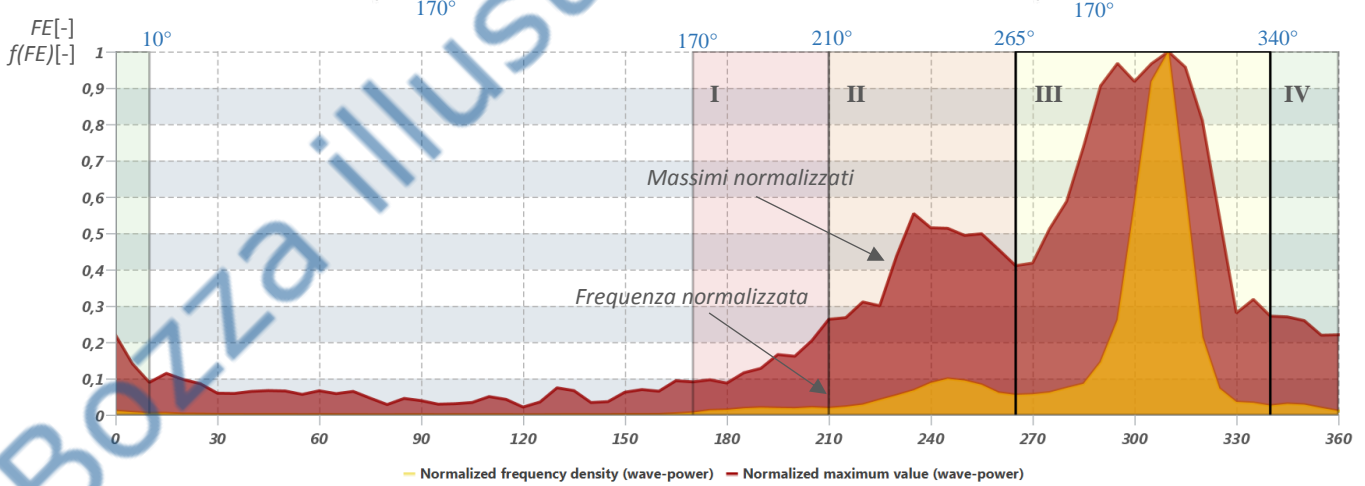
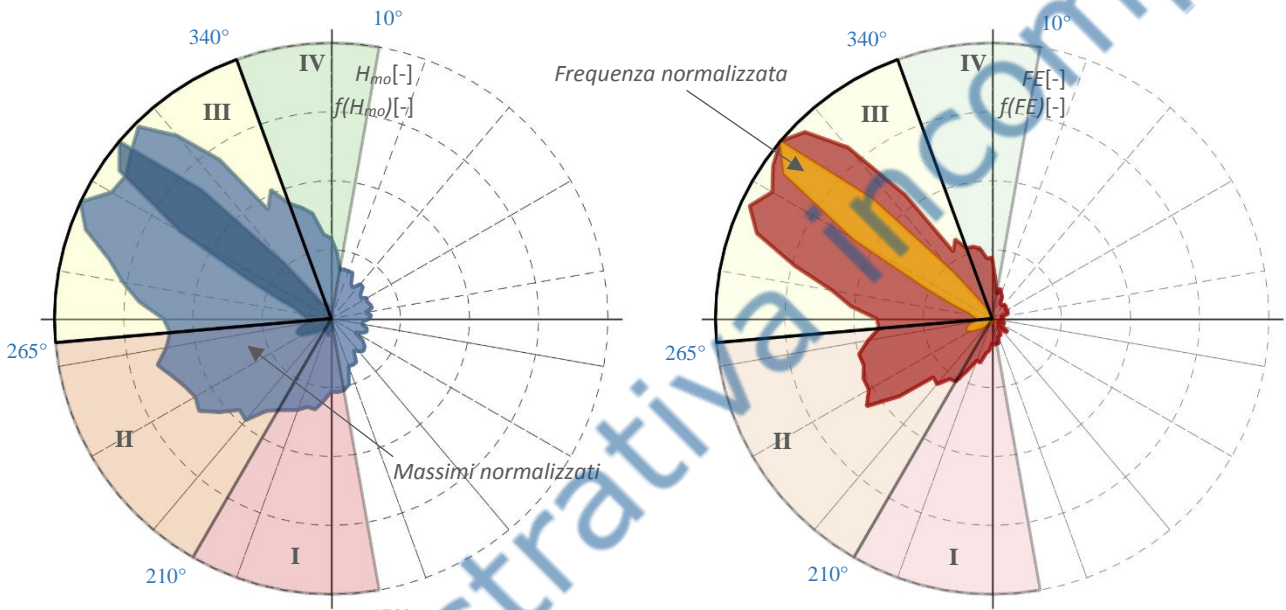
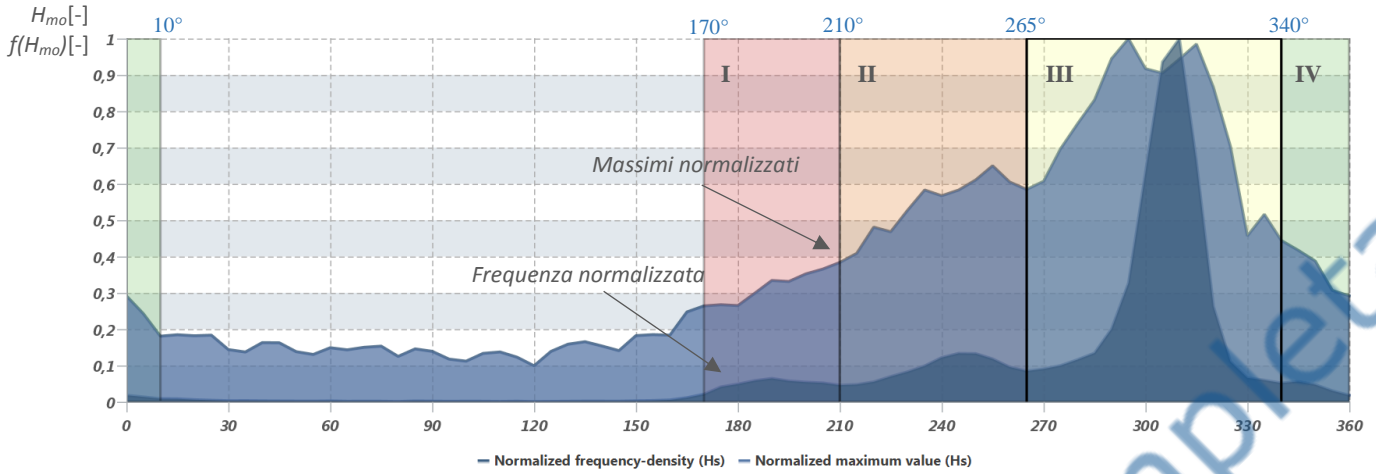


Figura 27 – Distribuzioni direzionali della frequenza di accadimento e dei massimi delle altezze significative (in alto rispettivamente in azzurro e bleu) e del flusso di energia (in basso rispettivamente in arancione e rosso), normalizzate rispetto al valore massimo. Indicazione dei settori direzionali identificati.



I risultati qui riportati si adattano perfettamente anche ai regimi direzionali annuali e stagionali (cfr. figure dalla Figura 28 alla Figura 34 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     |            |              |           |            |
| 75968          |            |              |           |            |
| Dati nulli     | In inverno | In primavera | In estate | In autunno |
| 22897          | 6150       | 6614         | 4914      | 5219       |
| Stati di calma | In inverno | In primavera | In estate | In autunno |
| 16562          | 2737       | 4679         | 6414      | 2732       |

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

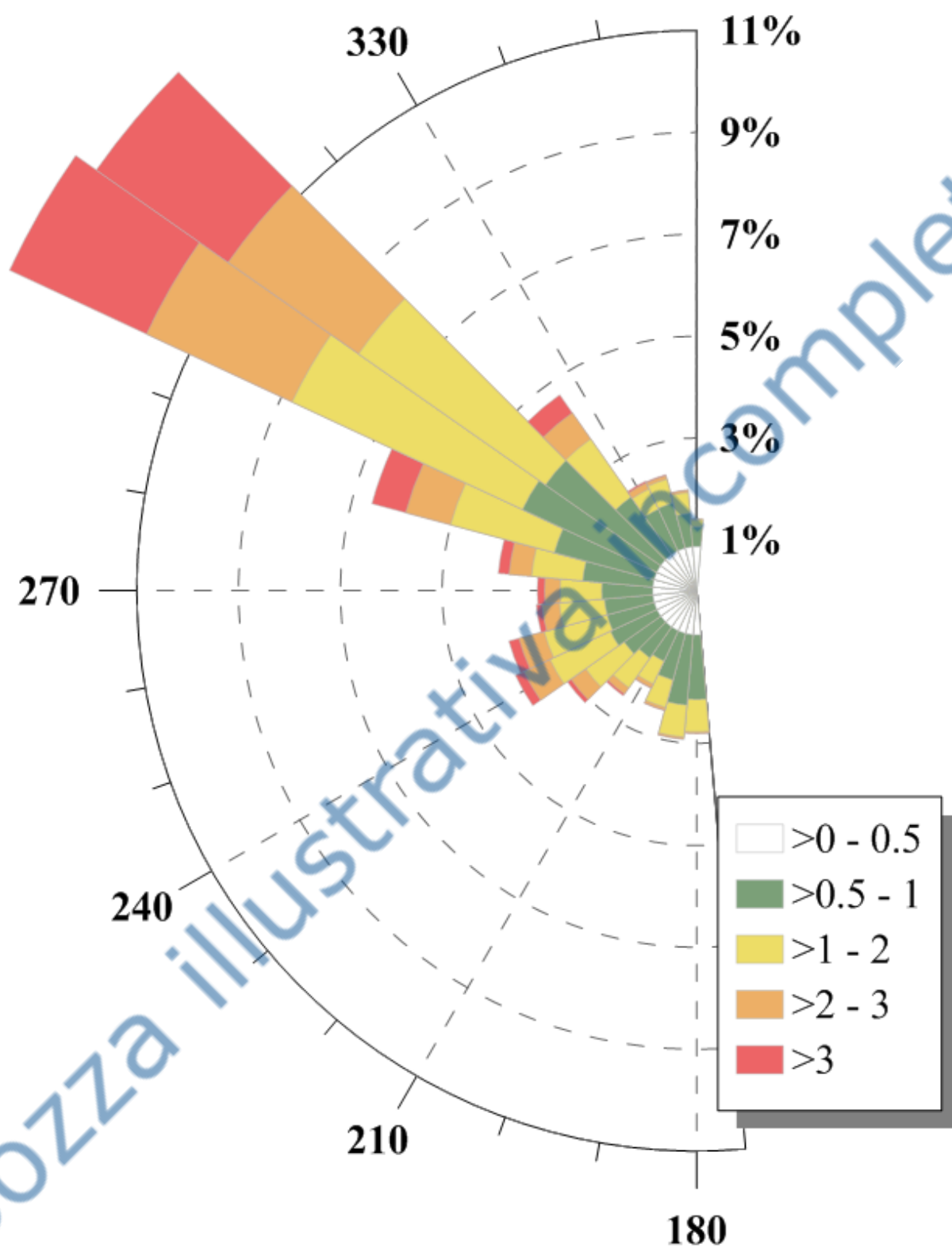


Figura 28 – Regime direzionale annuale.

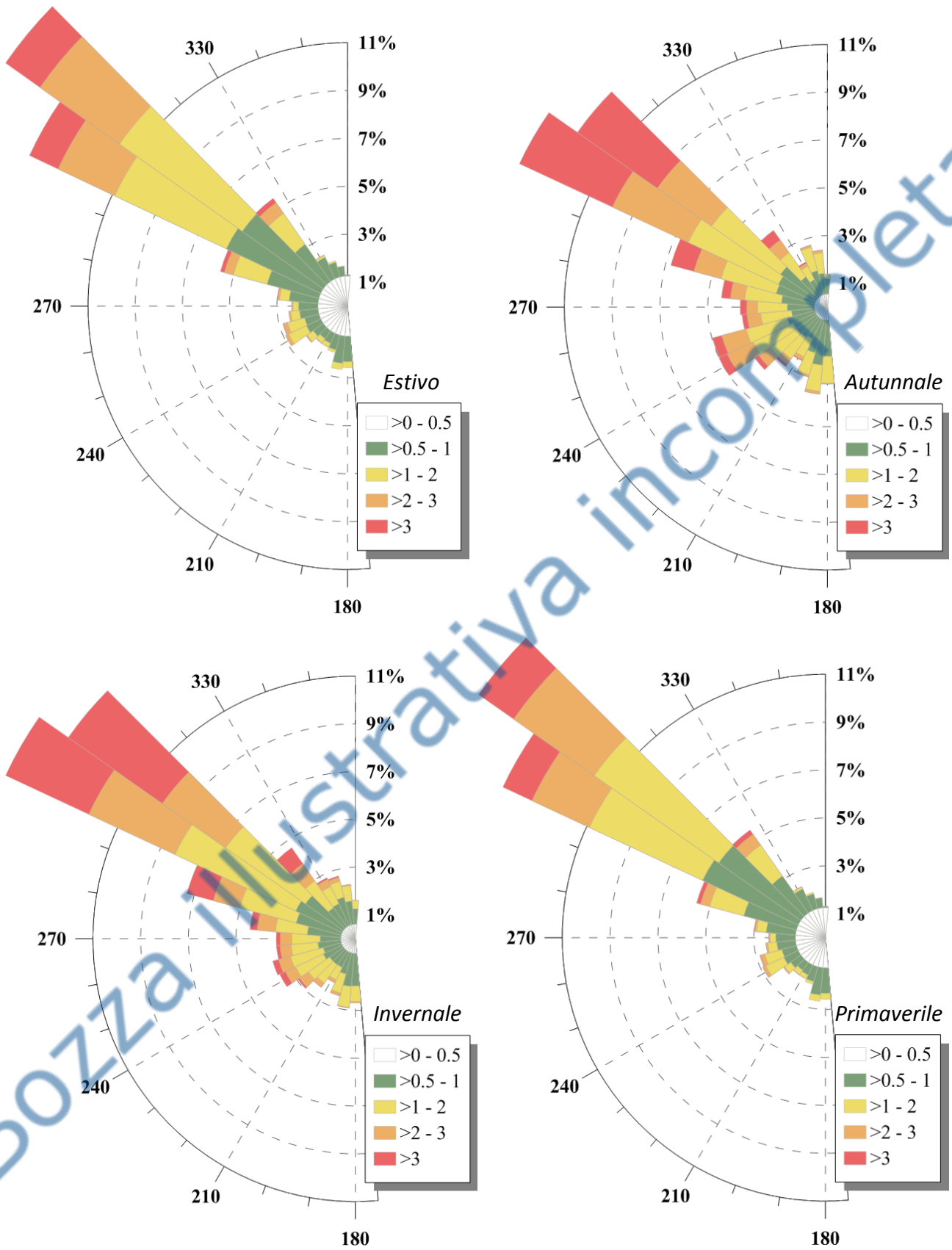


Figura 29 – Regimi direzionali stagionali.

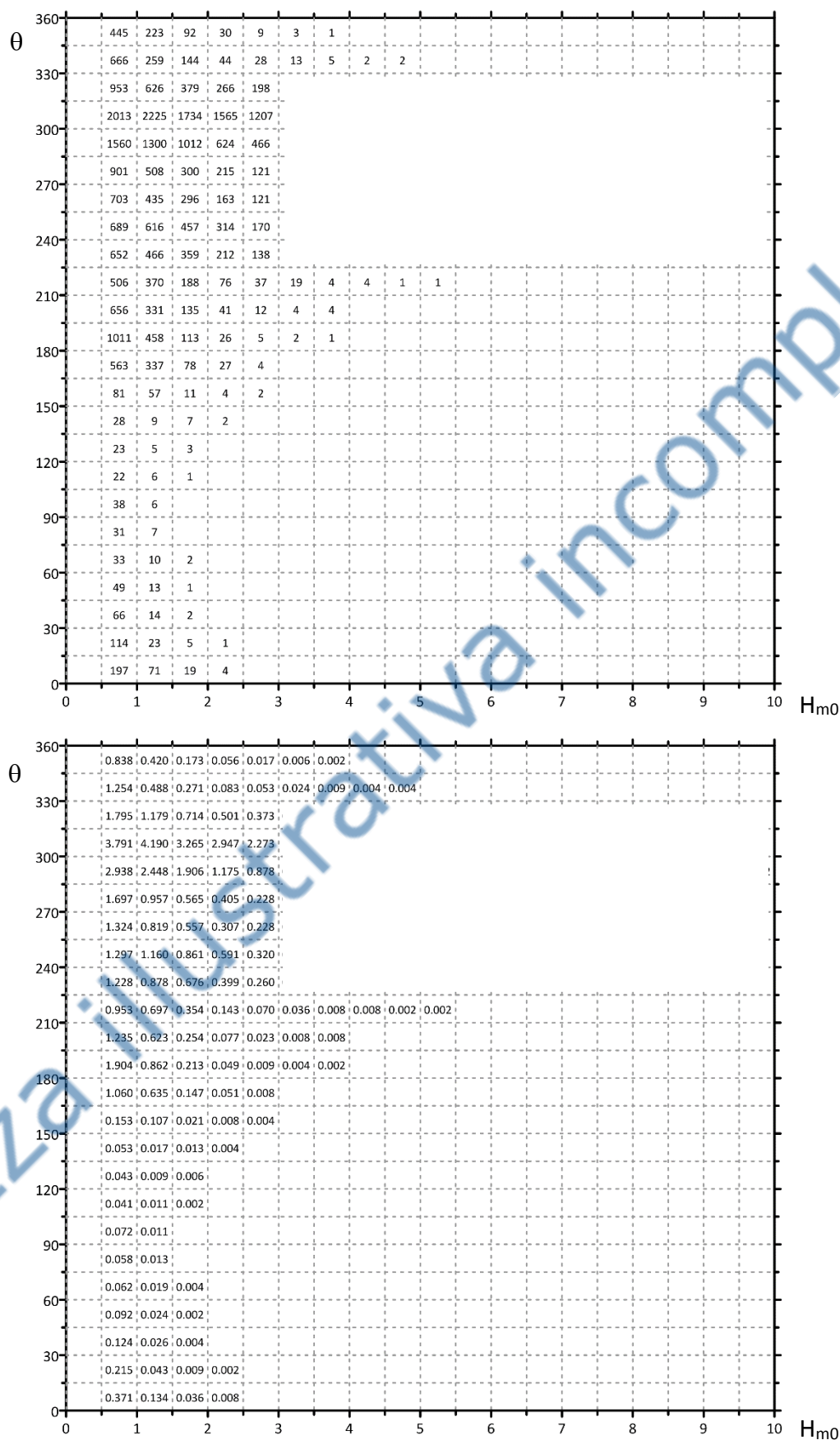


Figura 30 – Tavole di occorrenza numeraria e percentuale - regimi annuali.

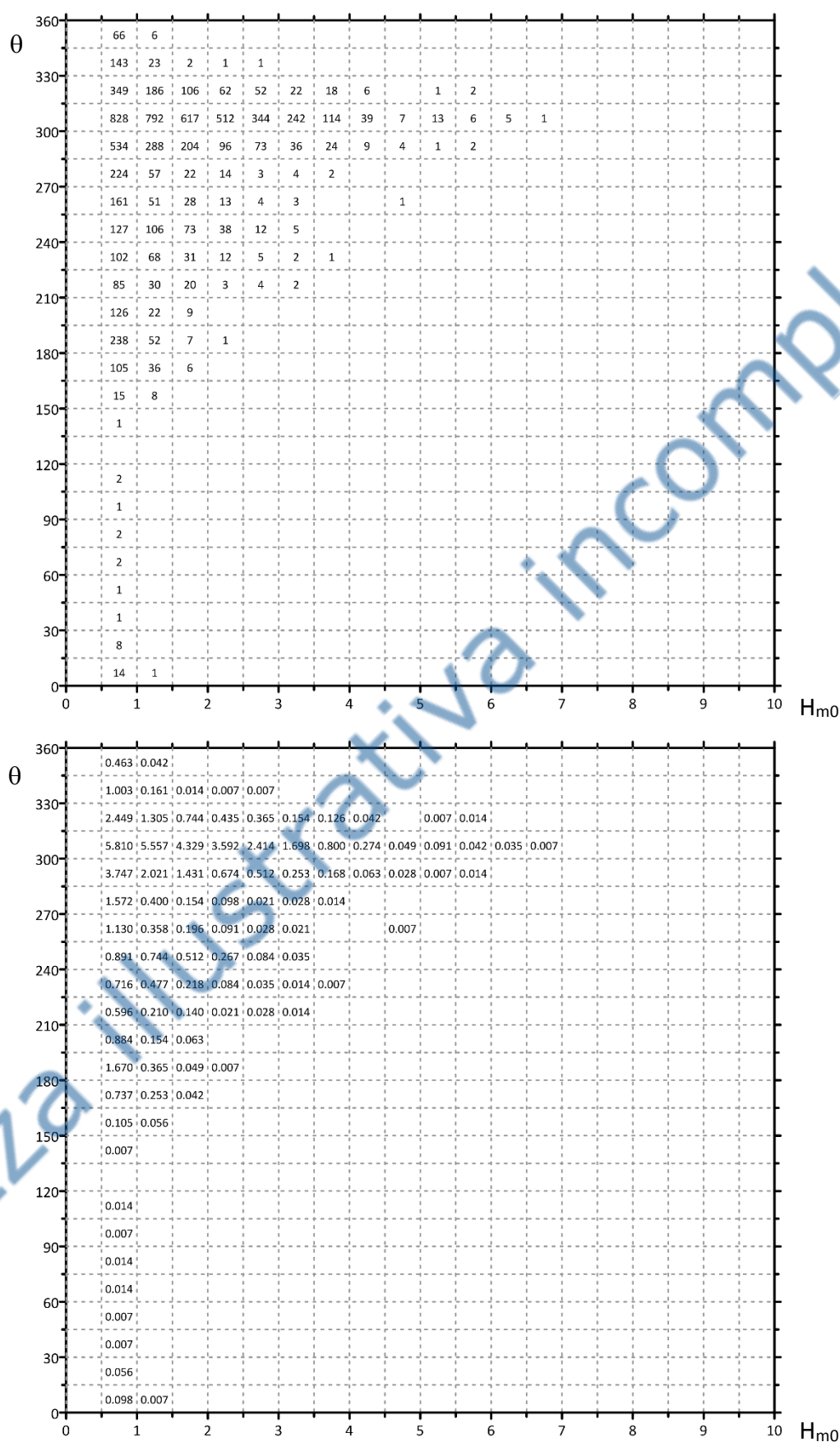


Figura 31 – Tavole di occorrenza numeraria e percentuale - regimi estivi.



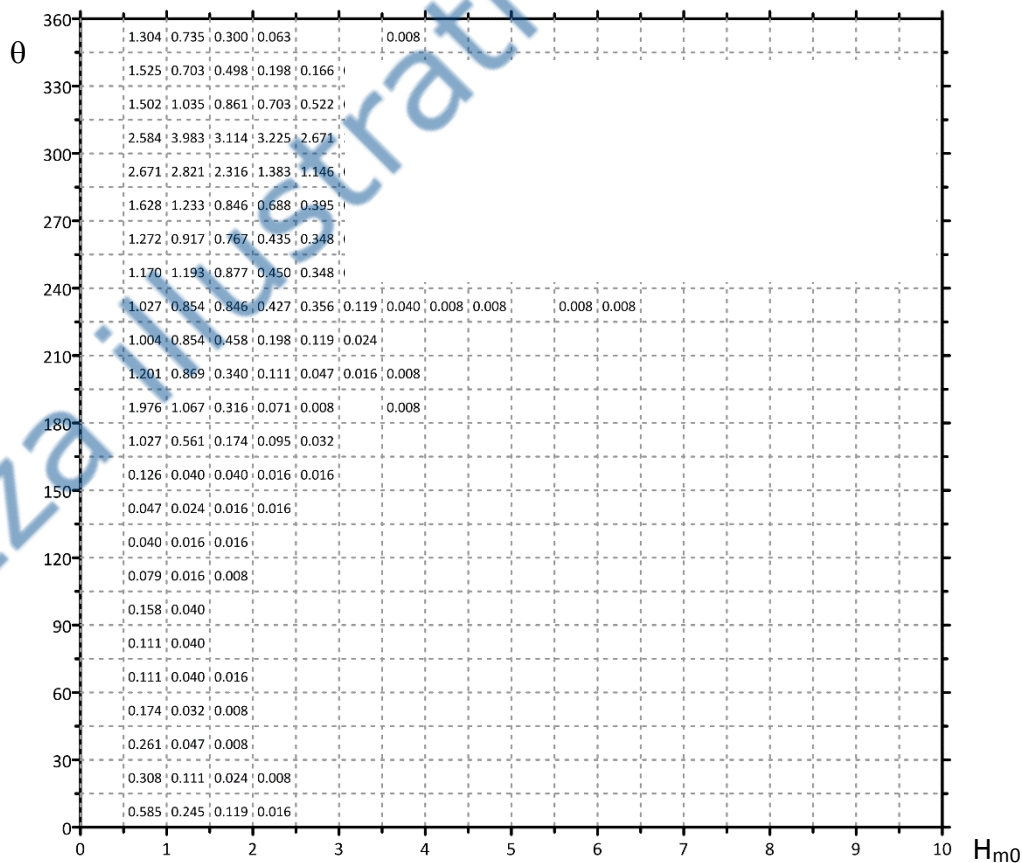
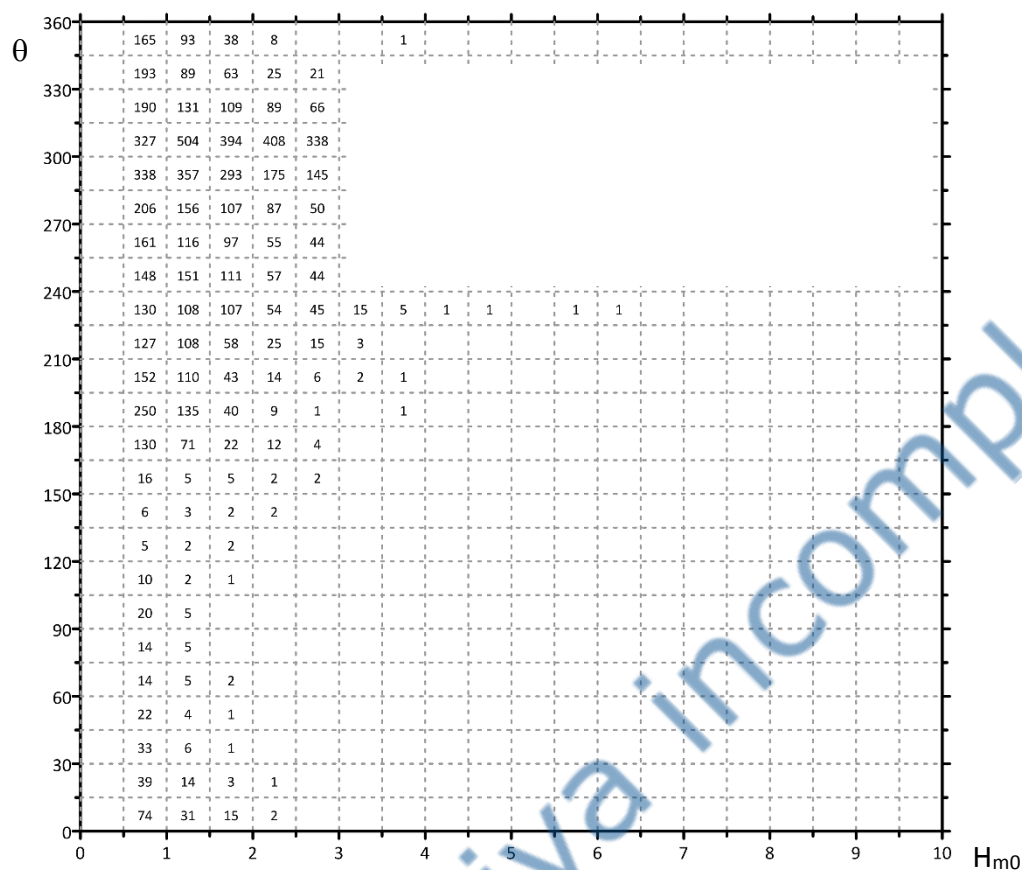


Figura 33 – Tavole di occorrenza numeraria e percentuale - regimi invernali.

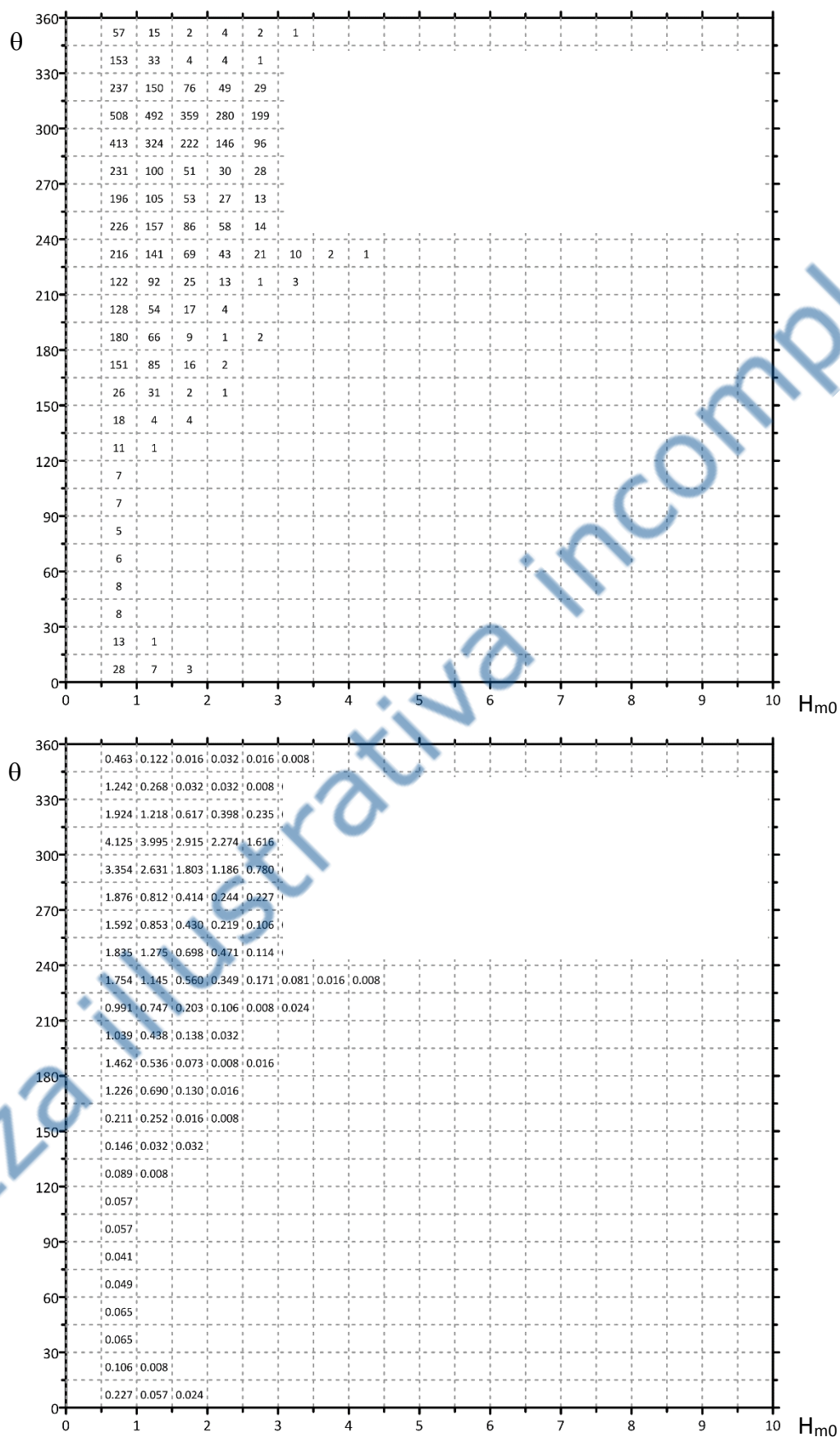


Figura 34 – Tavole di occorrenza numeraria e percentuale - regimi primaverili.



## 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 35 a Figura 42 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 otto giorni e i valori delle seconde soglie di troncamento pari a:

1. Primo settore ( $170^{\circ}\text{N} \leq \theta < 210^{\circ}\text{N}$ ) –  $H_{m_0} > 1,8$  m
2. Secondo settore ( $210^{\circ}\text{N} \leq \theta < 265^{\circ}\text{N}$ ) –  $H_{m_0} > 3,0$  m
3. Terzo settore ( $265^{\circ}\text{N} \leq \theta < 340^{\circ}\text{N}$ ) –  $H_{m_0} > 6,0$  m
4. Quarto settore ( $340^{\circ}\text{N} \leq \theta < 10^{\circ}\text{N}$ ) –  $H_{m_0} > 1,4$  m

Bozza illustrativa incompleta

## Criteri di selezione dell'insieme omogeneo ed indipendente

Settore direzionale  $170^{\circ}\text{N} \leq \theta < 210^{\circ}\text{N}$

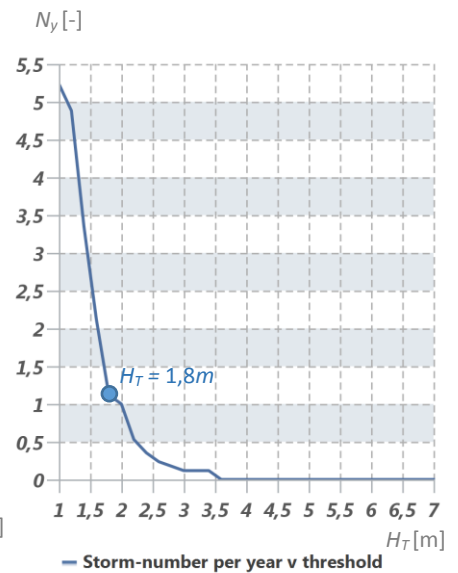
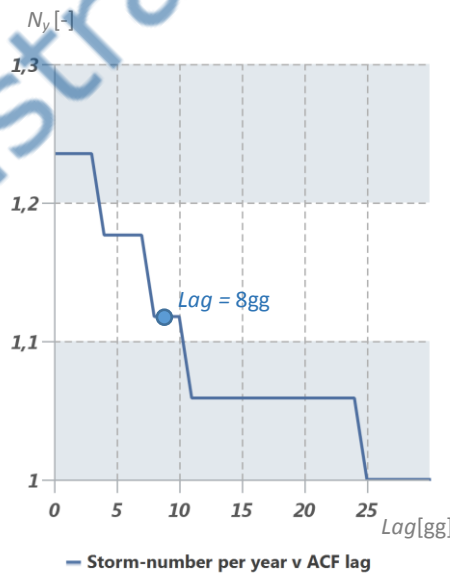
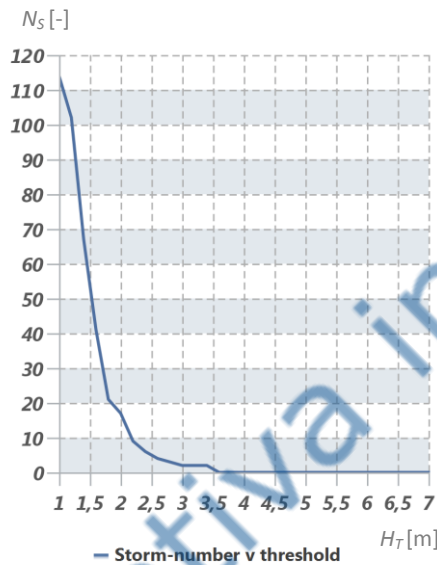
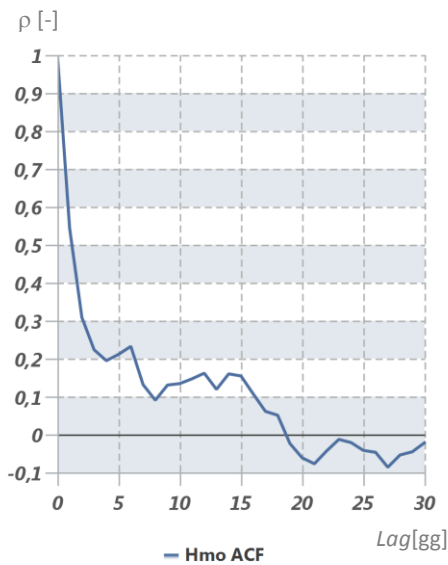
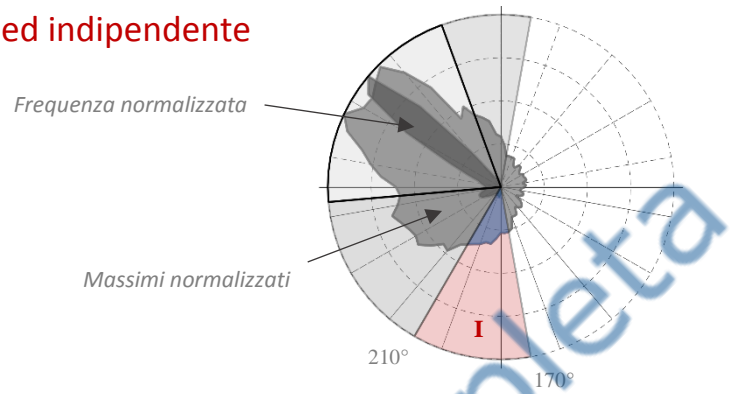


Figura 35 – Funzione di autocorrelazione dell'altezza significativa (in alto a sinistra). Variazione del numero di mareggiate selezionabili in funzione della soglia di troncamento a prescindere dall'intervallo di inter-arrivo (in alto al centro). Variazione del numero medio annuale di mareggiate selezionabili 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

Settore direzionale  $170^{\circ}\text{N} \leq \theta < 210^{\circ}\text{N}$

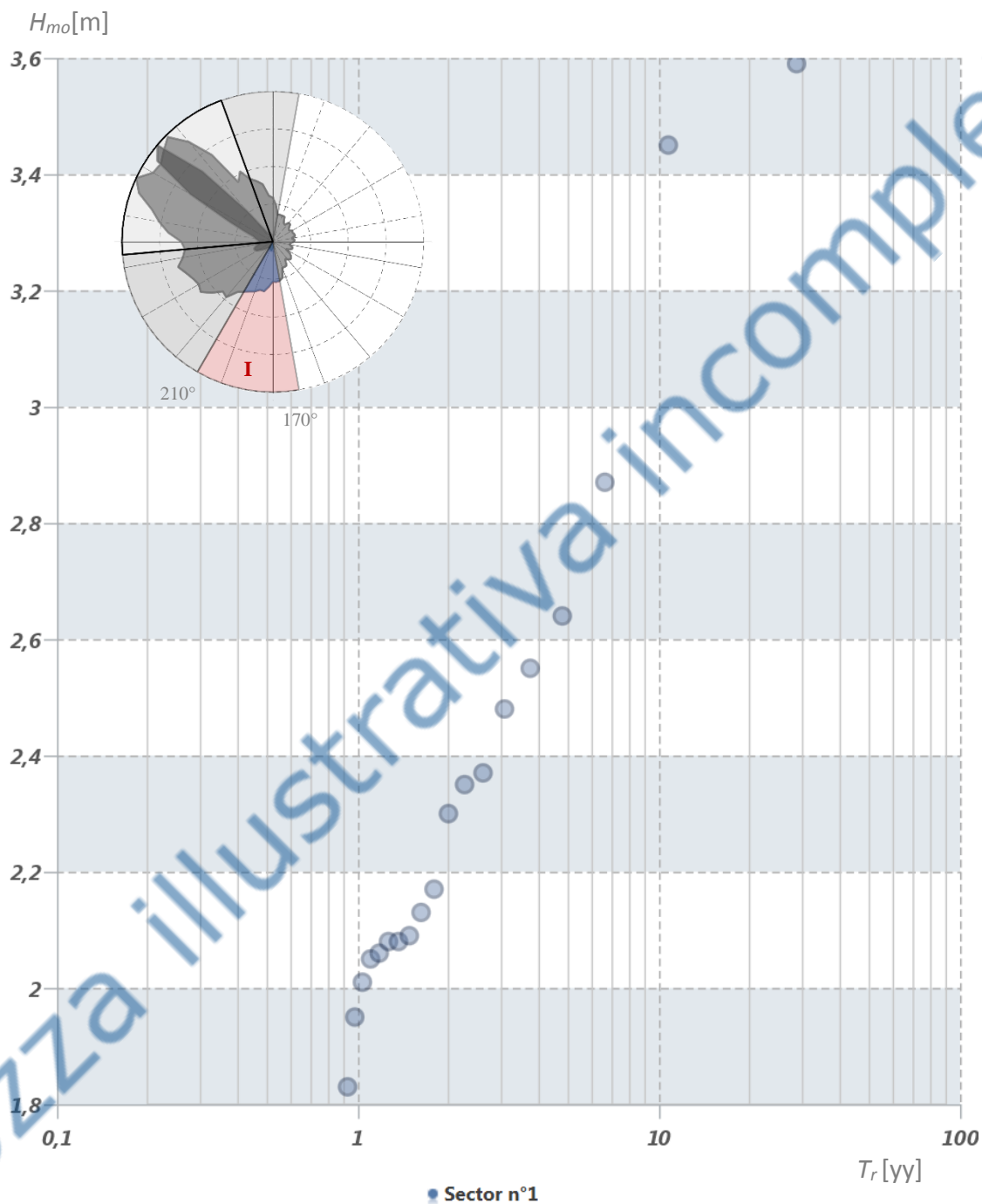


Figura 36 – Distribuzione ordinata del campione estremale estratto in funzione del tempo di ritorno.

Criteri di selezione dell'insieme omogeneo ed indipendente

Settore direzionale  $210^{\circ}N \leq \theta < 265^{\circ}N$

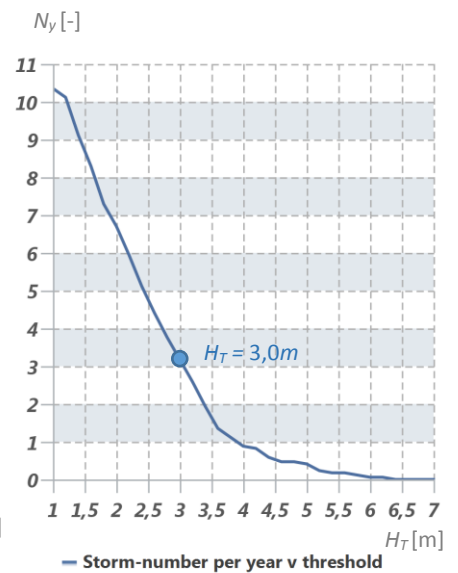
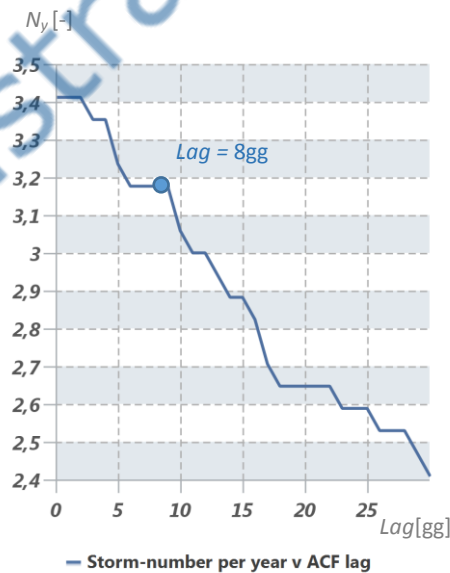
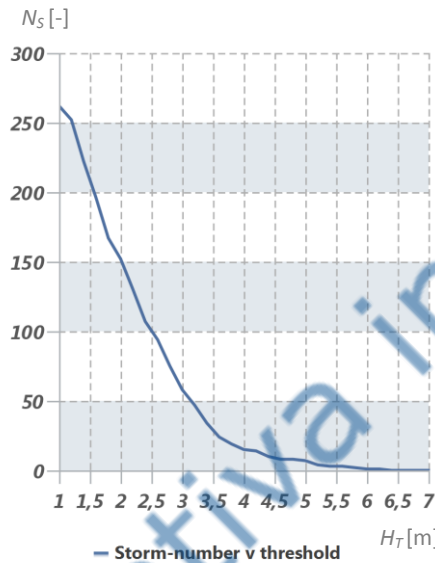
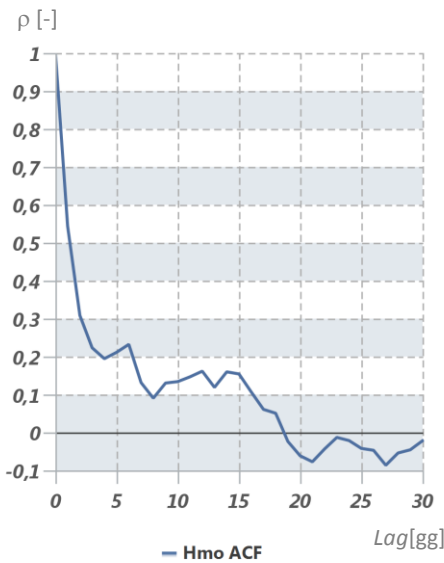
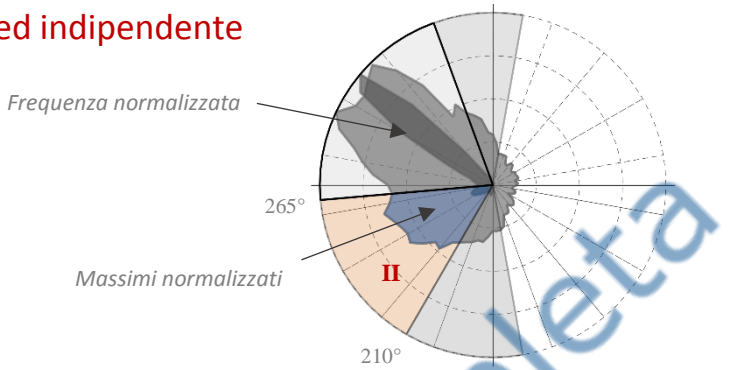


Figura 37 – Funzione di autocorrelazione dell'altezza significativa (in alto a sinistra). Variazione del numero di mareggiate selezionabili in funzione della soglia di troncamento a prescindere dall'intervallo di inter-arrivo (in alto al centro). Variazione del numero medio annuale di mareggiate selezionabili 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

Settore direzionale  $210^{\circ}\text{N} \leq \theta < 265^{\circ}\text{N}$

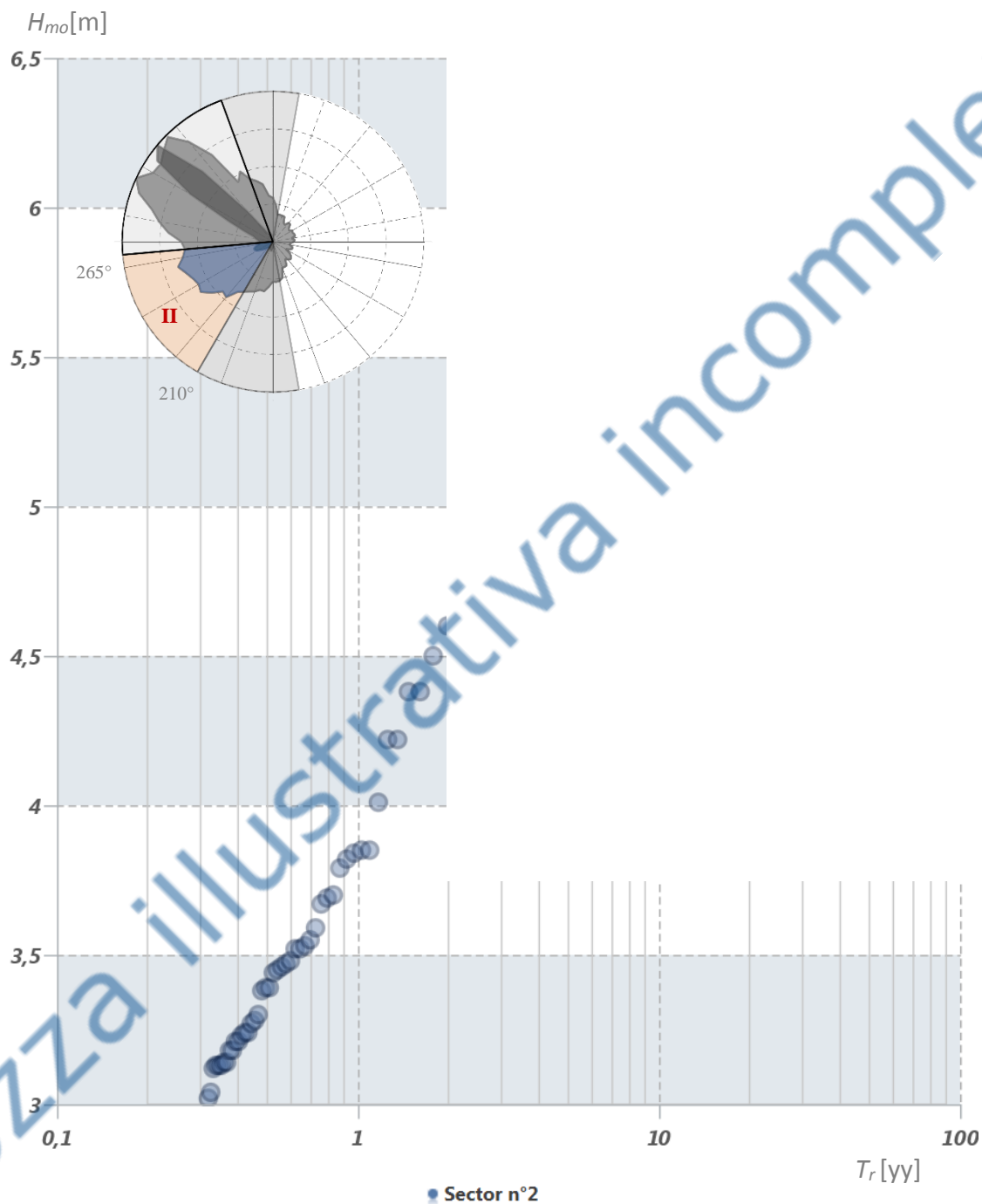


Figura 38 – Distribuzione ordinata del campione estremale estratto in funzione del tempo di ritorno.

Criteri di selezione dell'insieme omogeneo ed indipendente

Settore direzionale  $265^{\circ}N \leq \theta < 340^{\circ}N$

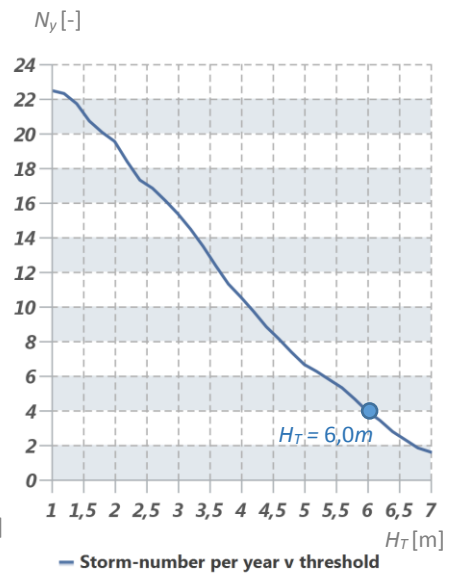
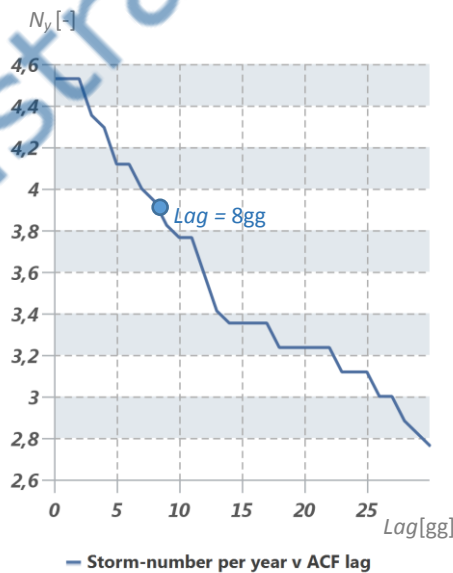
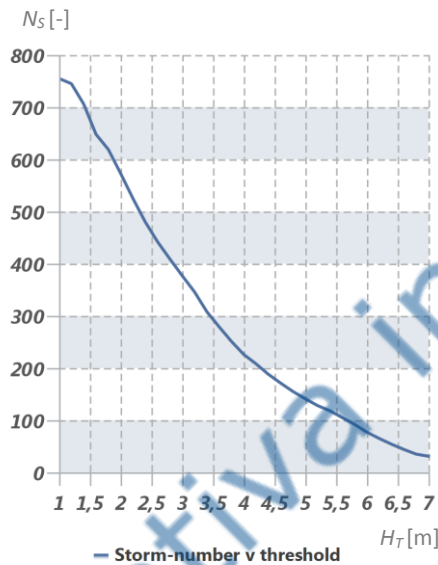
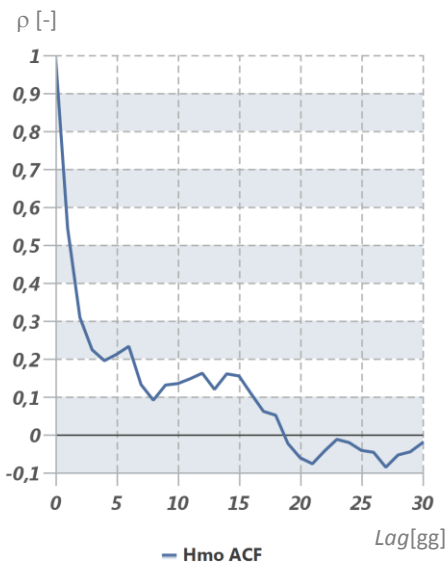
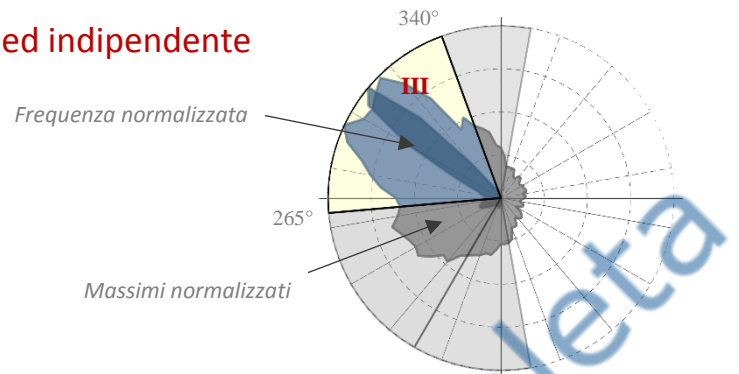


Figura 39 – Funzione di autocorrelazione dell'altezza significativa (in alto a sinistra). Variazione del numero di mareggiate selezionabili in funzione della soglia di troncamento a prescindere dall'intervallo di inter-arrivo (in alto al centro). Variazione del numero medio annuale di mareggiate selezionabili 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

Settore direzionale  $265^{\circ}N \leq \theta < 340^{\circ}N$

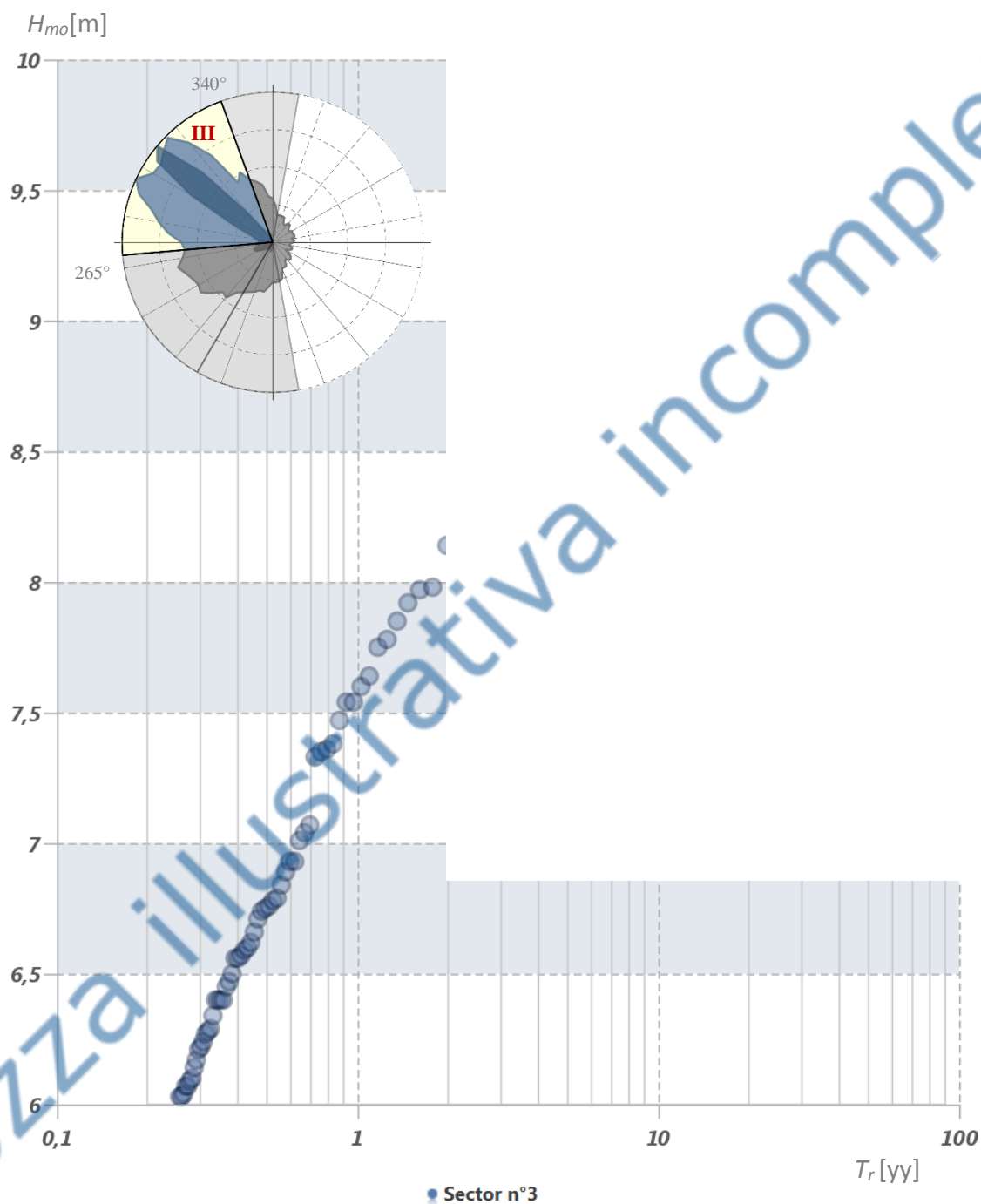


Figura 40 – Distribuzione ordinata del campione estremale estratto in funzione del tempo di ritorno.



Criteri di selezione dell'insieme omogeneo ed indipendente

Settore direzionale  $340^{\circ}N \leq \theta < 10^{\circ}N$

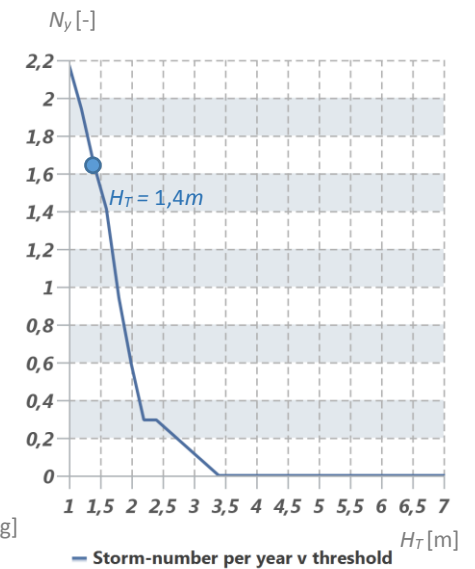
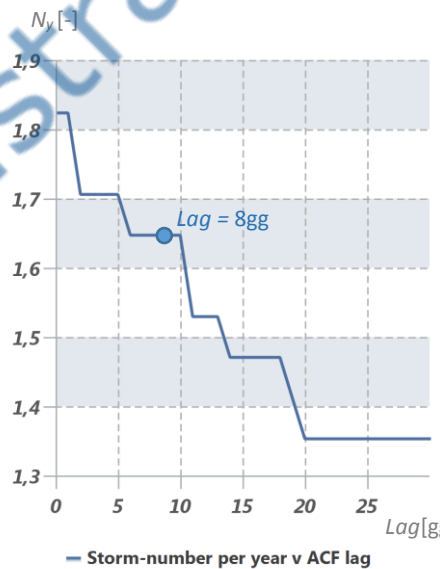
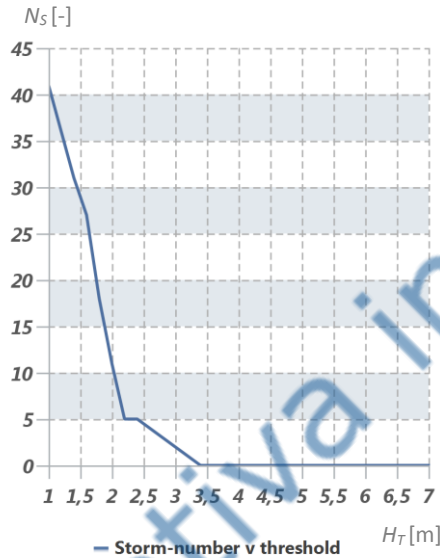
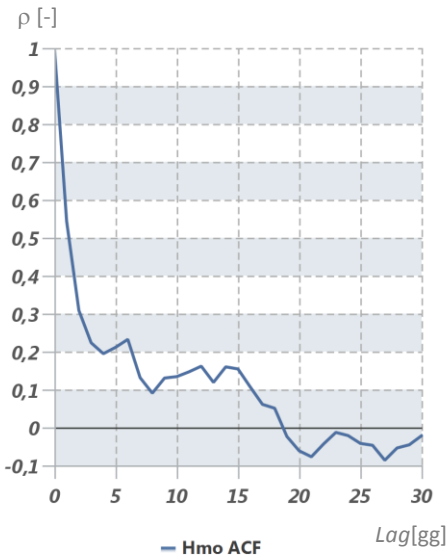
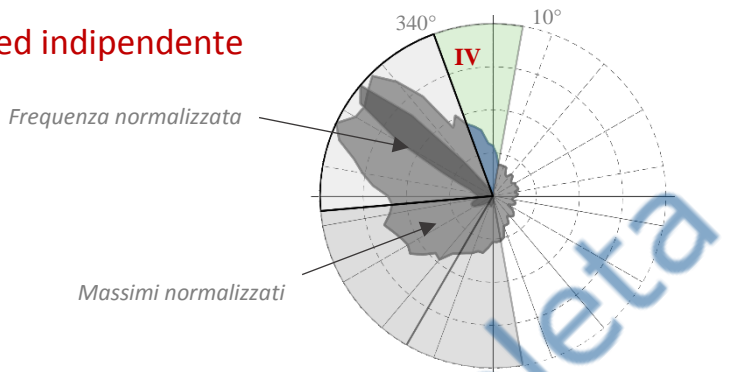


Figura 41 – Funzione di autocorrelazione dell'altezza significativa (in alto a sinistra). Variazione del numero di mareggiate selezionabili in funzione della soglia di troncamento a prescindere dall'intervallo di inter-arrivo (in alto al centro). Variazione del numero medio annuale di mareggiate selezionabili 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

Settore direzionale  $340^{\circ}\text{N} \leq \theta < 10^{\circ}\text{N}$

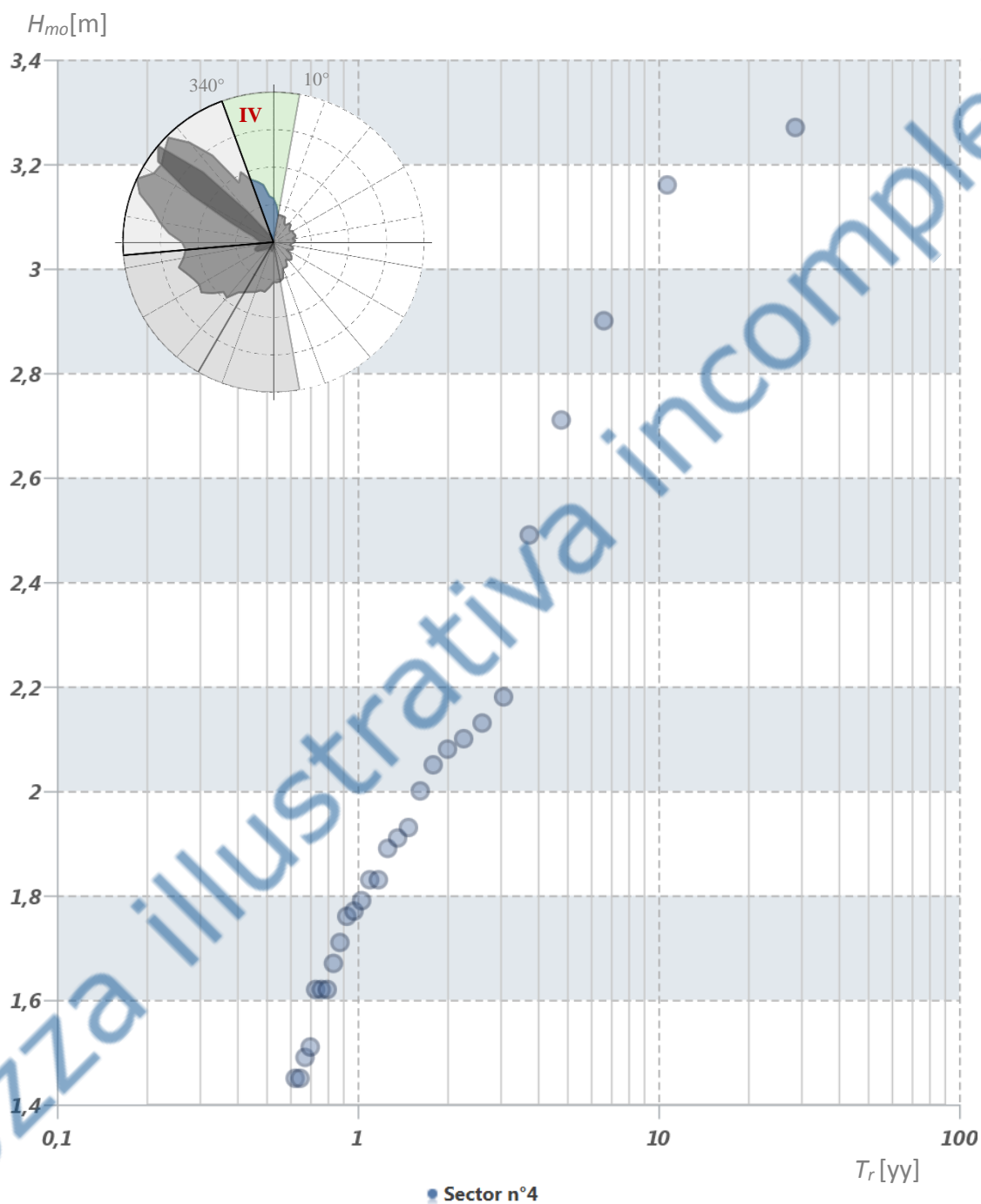


Figura 42 – Distribuzione ordinata del campione estremo estratto in funzione del tempo di ritorno.

## 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).

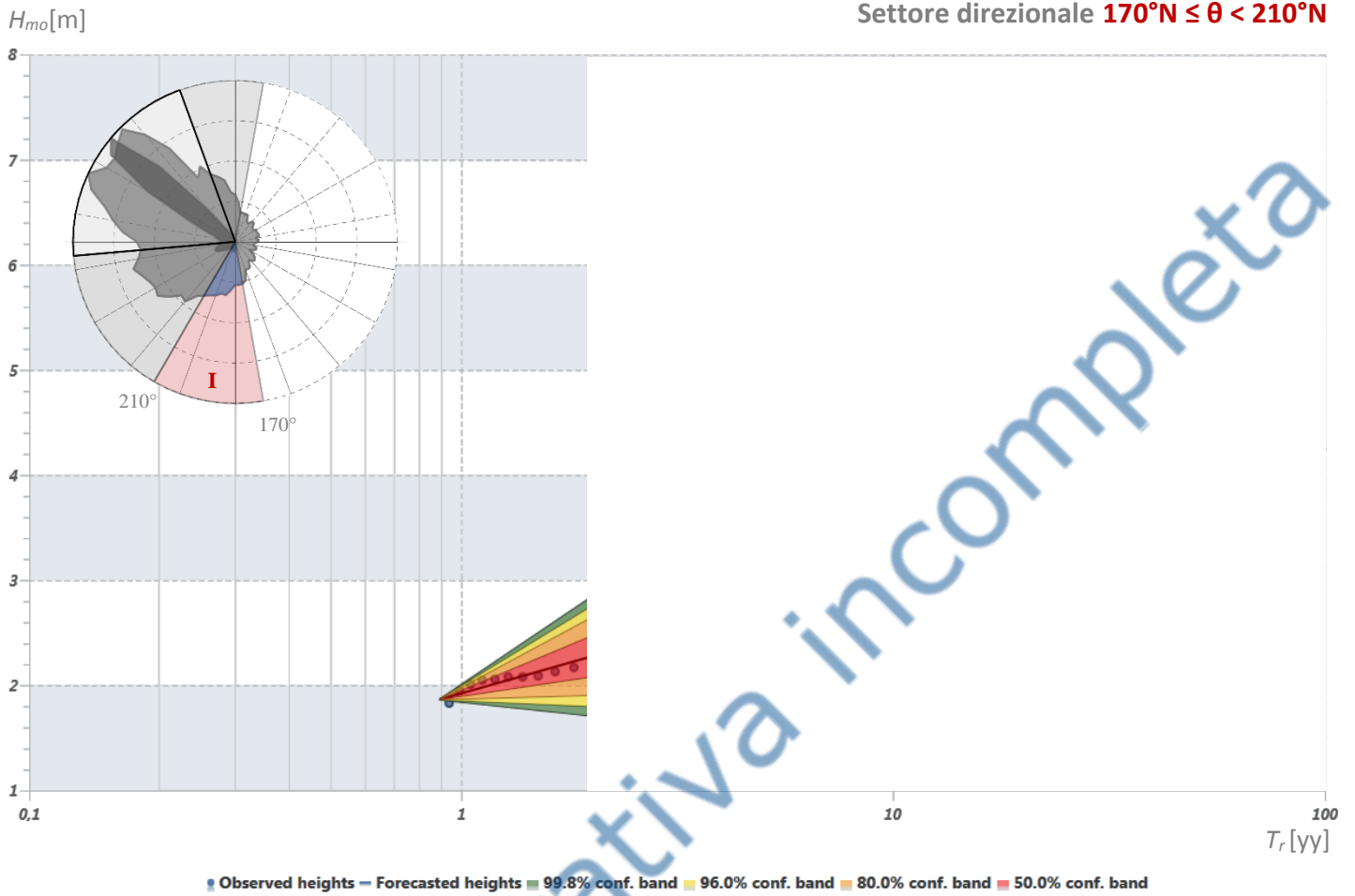
Infine, la determinazione degli intervalli di confidenza per diversi livelli di significatività è stata effettuata assumendo una distribuzione normale con media nulla e varianza pari a (Goda 1988):

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

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 da Figura 43 a Figura 46 sono riportati i risultati ottenuti in termini grafici e tabellari.

Settore direzionale  $170^{\circ}N \leq \theta < 210^{\circ}N$



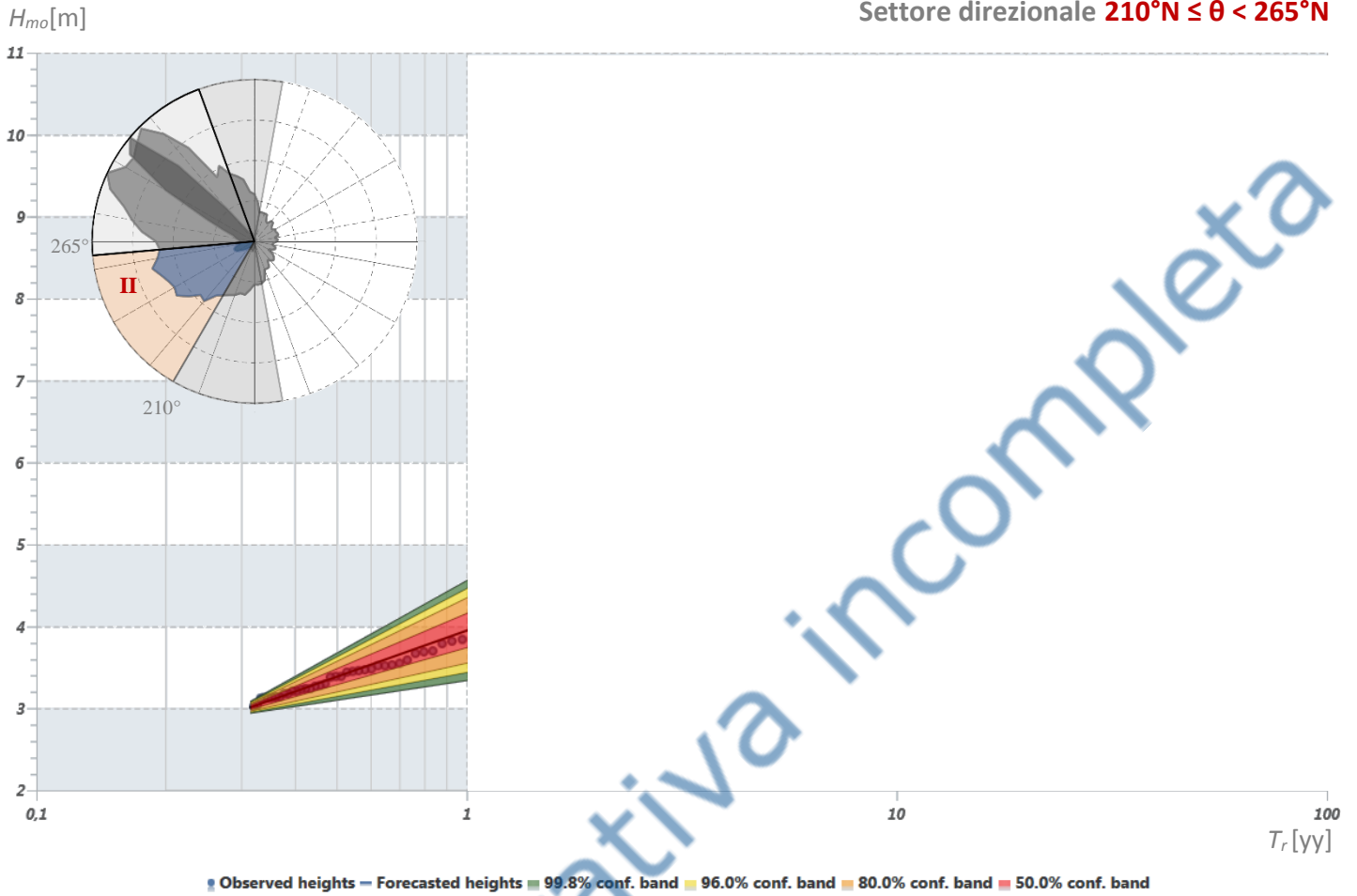
$N_{ev}$   $\lambda$   $A$   $B$   $k$   $c_0$   $c_1$   $c_2$   $c_3$   $c_4$   $c_5$   $H_m$   $H_{mx}$   $\sigma_H$   $\gamma_{50}$   $H_1$   $H_1^{Q2,5}$   $H_{10}$   $H_{10}^{Q2,5}$   $H_{50}$   $H_{50}^{Q25}$   $H_{50}^{Q10}$   $H_{50}^{Q5}$   $H_{50}^{Q2,5}$

**Legenda**

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

Figura 43 – 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.

Settore direzionale  $210^{\circ}\text{N} \leq \theta < 265^{\circ}\text{N}$



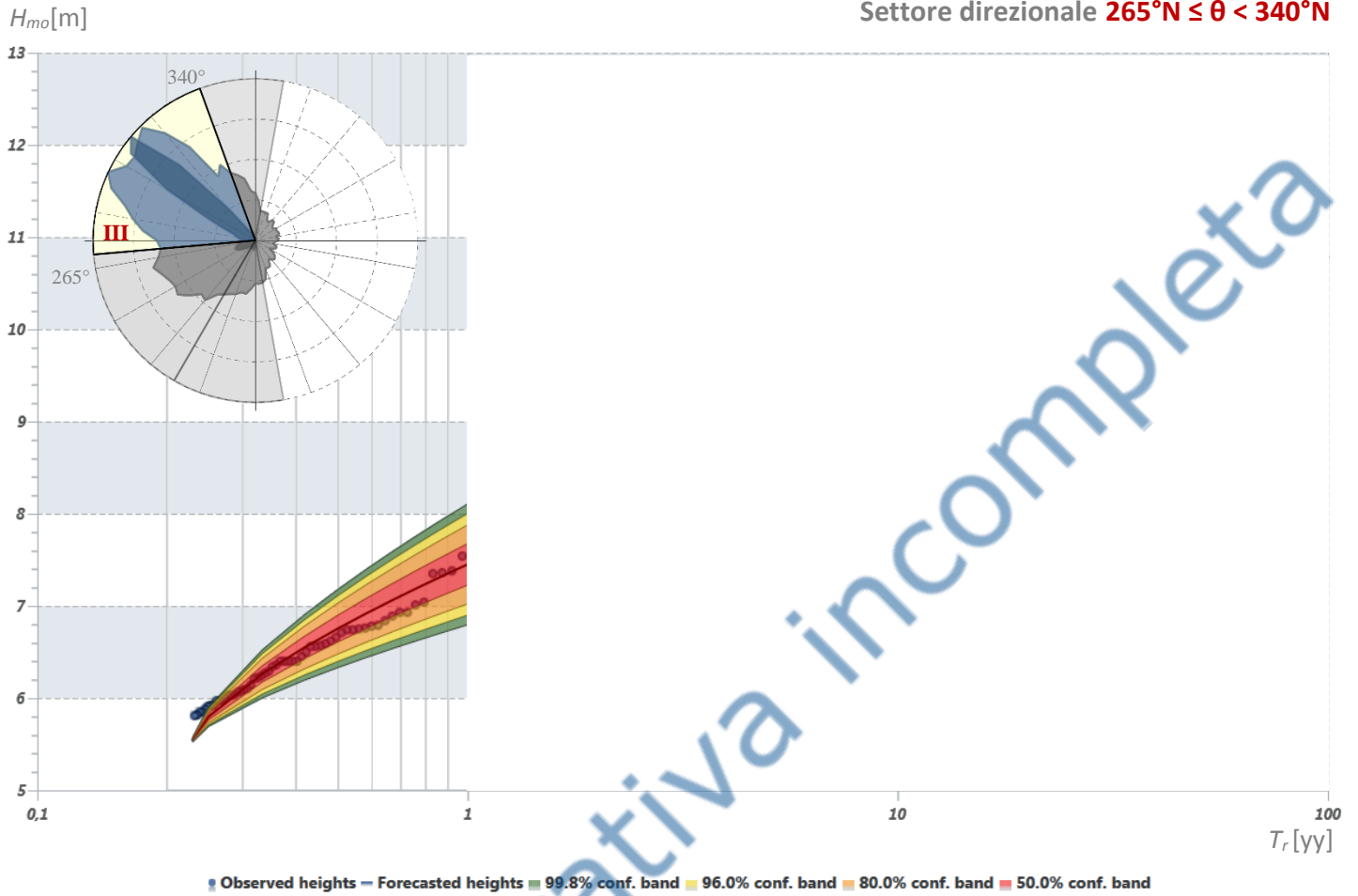
$N_{ev}$   $\lambda$   $A$   $B$   $k$   $c_0$   $c_1$   $c_2$   $c_3$   $c_4$   $c_5$   $H_m$   $H_{mx}$   $\sigma_H$   $\gamma_{50}$   $H_1$   $H_1^{Q2,5}$   $H_{10}$   $H_{10}^{Q2,5}$   $H_{50}$   $H_{50}^{Q25}$   $H_{50}^{Q10}$   $H_{50}^{Q5}$   $H_{50}^{Q2,5}$

**Legenda**

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

Figura 44 – 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.

Settore direzionale  $265^\circ\text{N} \leq \theta < 340^\circ\text{N}$



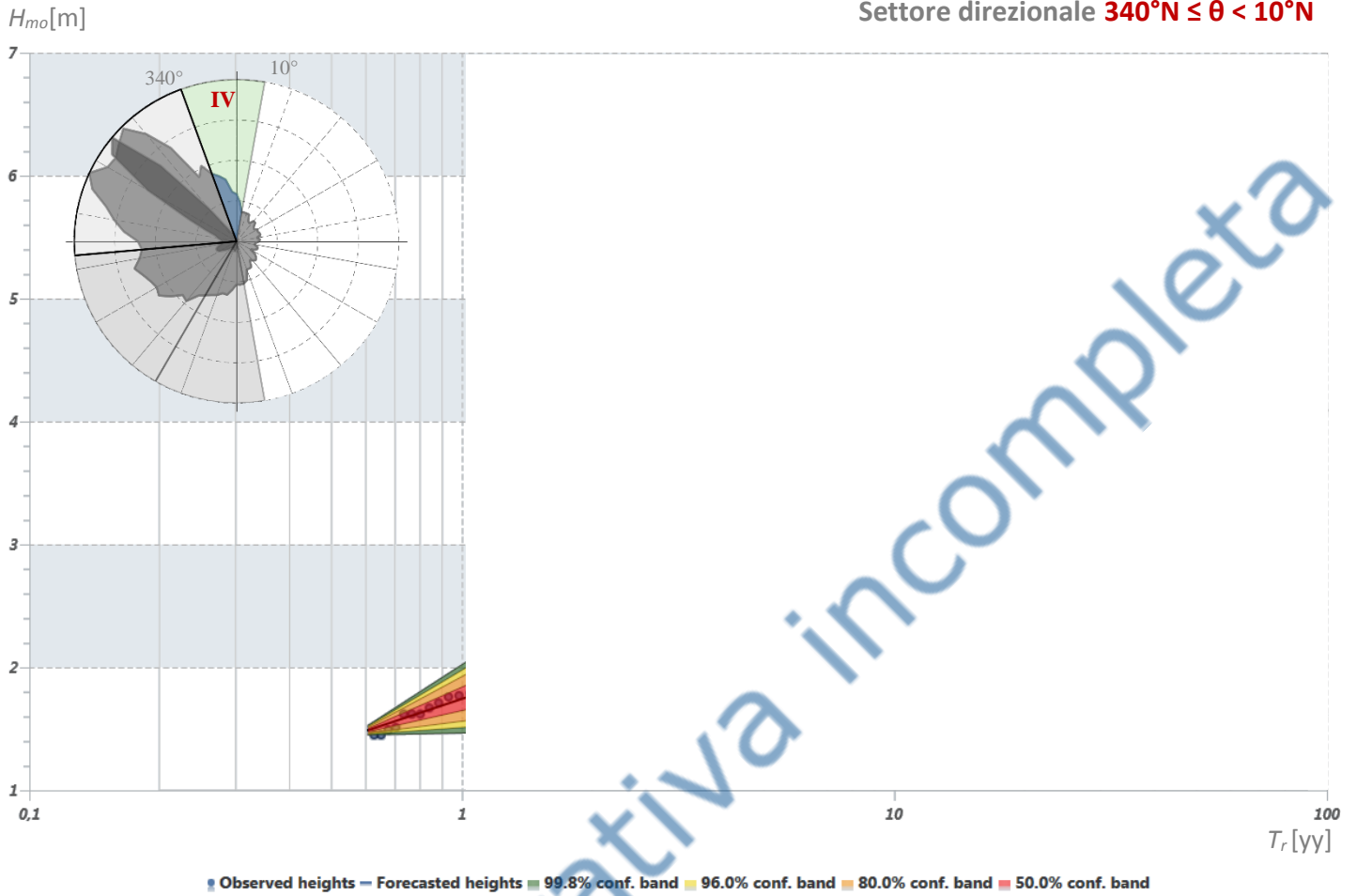
$N_{ev}$   $\lambda$   $A$   $B$   $k$   $c_0$   $c_1$   $c_2$   $c_3$   $c_4$   $c_5$   $H_m$   $H_{mx}$   $\sigma_H$   $\gamma_{50}$   $H_1$   $H_1^{Q2,5}$   $H_{10}$   $H_{10}^{Q2,5}$   $H_{50}$   $H_{50}^{Q25}$   $H_{50}^{Q10}$   $H_{50}^{Q5}$   $H_{50}^{Q2,5}$

**Legenda**

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

Figura 45 – 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.

Settore direzionale  $340^\circ N \leq \theta < 10^\circ N$



$N_{ev}$   $\lambda$   $A$   $B$   $k$   $c_0$   $c_1$   $c_2$   $c_3$   $c_4$   $c_5$   $H_m$   $H_{mx}$   $\sigma_H$   $\gamma_{50}$   $H_1$   $H_1^{Q2,5}$   $H_{10}$   $H_{10}^{Q2,5}$   $H_{50}$   $H_{50}^{Q25}$   $H_{50}^{Q10}$   $H_{50}^{Q5}$   $H_{50}^{Q2,5}$

**Legenda**

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

Figura 46 – 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 ( $\tau$ ) 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:

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



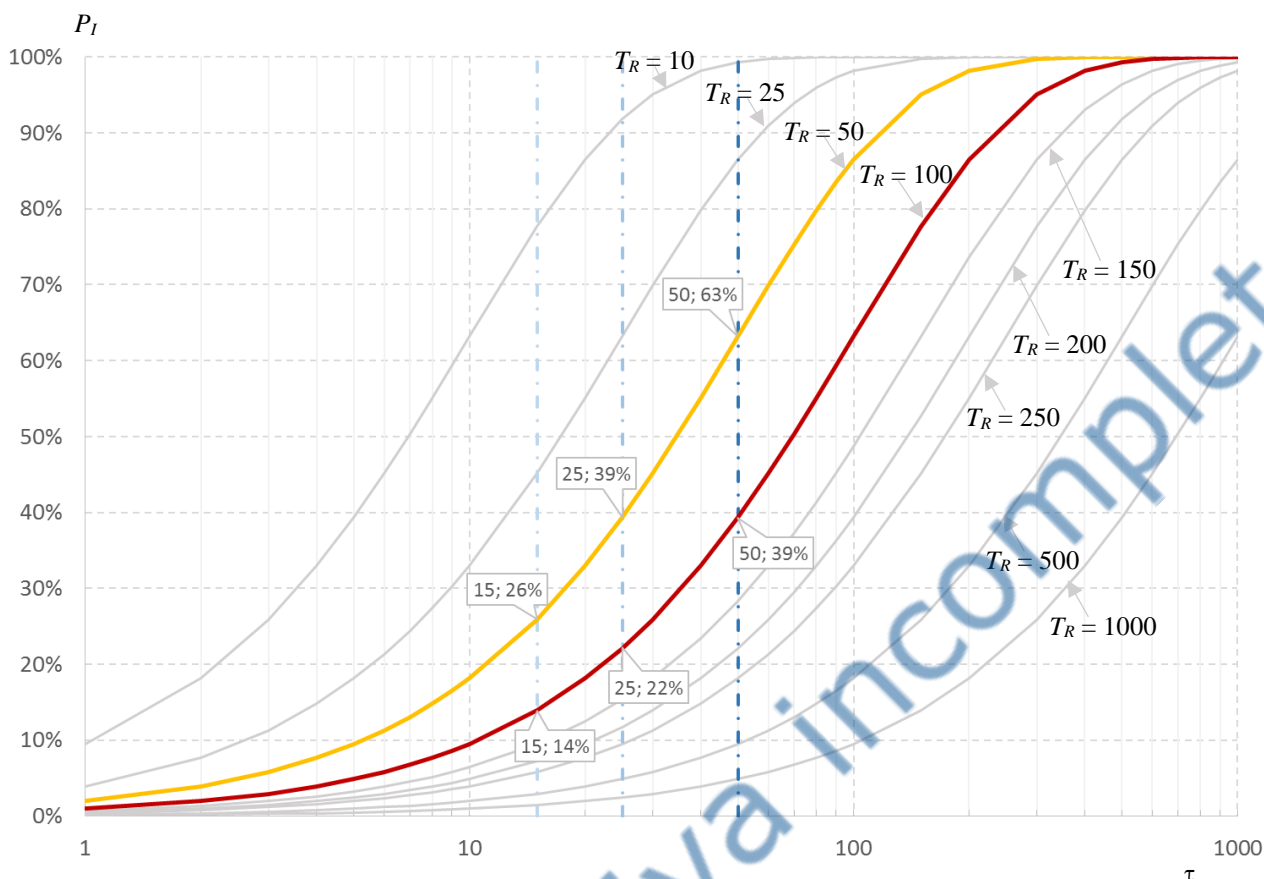


Figura 47 – Andamento della probabilità di incontro ( $P_I$ ) in funzione del periodo di osservazione ( $\tau$ ) e del tempo di ritorno ( $T_R$ ) dell'evento atteso.

Calcolando tale probabilità variando il periodo di ritorno ed l'intervallo d'osservazione si ottengono le curve rappresentate in Figura 47. 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](http://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](http://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](http://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](http://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](http://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 .....   | 30 |
| Selezione dei dati omogenei e indipendenti.....   | 40 |
| Adattamento del modello probabilistico ai dati vagliati e calcolo degli intervalli di confidenza delle stime ottenute . | 50 |
| Massima altezza d'onda prevedibile in un assegnato intervallo temporale .....   | 55 |
| Raccomandazioni ed avvertenze.....  | 57 |

Bozza illustrativa incompleta