

REGIONE CAMPANIA

PROVINCIA DI SALERNO



COMUNE DI CETARA

**ADEGUAMENTO E AMPLIAMENTO DEL MOLO DI SOTTOFLUTTO FUNZIONALE ALLE
ATTIVITA' MERCATALI DELLA PESCA ED AL TRASPORTO PUBBLICO MARITTIMO**

PROGETTO ESECUTIVO



Codice elaborato:

R.3

Titolo elaborato:

Relazione specialistica:
idraulico-marittima

Scala:

Data:

GIUGNO 2021

R. T. P.:

S.A.I.L. - Studio Associato d'Ingegneria Linguiti

Dott. ing. Fabio Linguiti
Dott. ing. Antonio Fabozzi

Capogruppo/Mandatario

Dott. ing. Francesco Sarnicola

Mandante

Dott. ing. Antonio Giuseppe Volpe

Mandante

Dott. geol. Federico Tarallo

Mandante

Rif.	Data	DESCRIZIONE	



COMUNE DI CETARA

ADEGUAMENTO INFRASTRUTTURALE E REALIZZAZIONE DI LOCALI PER ATTIVITA' DI ESPOSIZIONE E VENDITA DEL PESCATO NEL MOLO DI SOTTOFLUTTO *Progetto Esecutivo: R.3 - Relazione specialistica Idraulico Marittima*

INDICE

1	PREMESSA	2
2	IL PARAGGIO OGGETTO DI STUDIO	3
	2.1 Inquadramento geografico del paraggio, settore di traversia di esposizione al clima ondoso e settore di traversia sotto costa	3
3	CLIMA DEL MOTO ONDOSI AL LARGO	5
	3.1 Dati meteomarini a disposizione	5
	3.2 Trasposizione geografica al largo del paraggio.....	5
	3.3 Fetches geografici ed efficaci	6
4	STATISTICA DEGLI EVENTI ESTREMI DI LARGO	12
	4.1 Valutazione dei massimi valori d'altezze d'onda per determinati periodi di ritorno	12
5	PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSI A RIVA	32
	5.1 Modello matematico utilizzato.....	32
	5.2 Risultati della propagazione del moto ondoso dal largo verso costa	33
6	CALCOLO SOPRALZO MEDIO MARE	38
7	VERIFICA DELLE CONDIZIONI DI AGITAZIONE ALL'INTERNO DEL BACINO PORTUALE ALLO STATO ATTUALE E NELLA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.

1 PREMESSA

Il presente studio è finalizzato alla caratterizzazione del clima ondoso a cui è soggetto il paraggio di Cetara, nel Golfo di Salerno.

Scopo delle elaborazioni è la caratterizzazione del clima ondoso di largo ed in acque basse al fine di definire i valori di altezza d'onda e periodo da utilizzare per il dimensionamento degli interventi sulle opere di difesa esterne esistenti.

Lo studio è articolato secondo i seguenti steps:

- inquadramento geografico del paraggio e definizione del settore di traversia;
- individuazione dei fetches geografici ed efficaci;
- reperimento ed analisi statistica-probabilistica di serie storiche ondometriche;
- studio della propagazione del moto ondoso da largo;
- definizione dei valori del moto ondoso da utilizzare nei calcoli di progetto;
- verifica delle condizioni di agitazione all'interno del bacino portuale allo stato attuale e nella configurazione di progetto

2 IL PARAGGIO OGGETTO DI STUDIO

2.1 Inquadramento geografico del paraggio, settore di traversia di esposizione al clima ondoso e settore di traversia sotto costa

Il paraggio in esame è situato nel Mar Tirreno, nella parte Nord Occidentale del Golfo di Salerno (Fig.2.1).



Fig. 2.1 – Inquadramento geografico

L'esposizione potenziale al clima ondoso può definirsi in via preliminare tramite la individuazione del settore di traversia. La fig.2.2. illustra il settore di traversia sottocosta ed a largo, riferito rispettivamente ad un punto in corrispondenza della testata del Porto di Cetara, l'altra più a largo in corrispondenza della batimetrica -50m s.l.m.m.

Il settore di largo è delimitato tra le direzioni 255°N (P.ta Tragara – Capri - Na) e 55°N (Salerno Porto), all'interno del quale si distingue una traversia principale, da cui provengono le mareggiate di maggiore frequenza ed intensità, che è compresa tra le direzioni $255^\circ\text{N} - 160^\circ\text{N}$ (P.ta Licosa - SA), ed una traversia secondaria, meno esposta rispetto alla principale e

delimitata dal settore compreso tra 160°N - 55°N , che si sviluppa per intero all'interno del Golfo di Salerno.

In prossimità della costa il settore si restringe, infatti, in corrispondenza della testata del molo sopraflutto del Porto di Cetara, il settore viene delimitato tra le direzioni 216°N (T.re d'Erchie -SA) - 55°N , all'interno del quale la traversia principale è compresa tra le direzioni 216°N - 160°N e la traversia secondaria è delimitata dal settore compreso tra 160°N - 55°N .

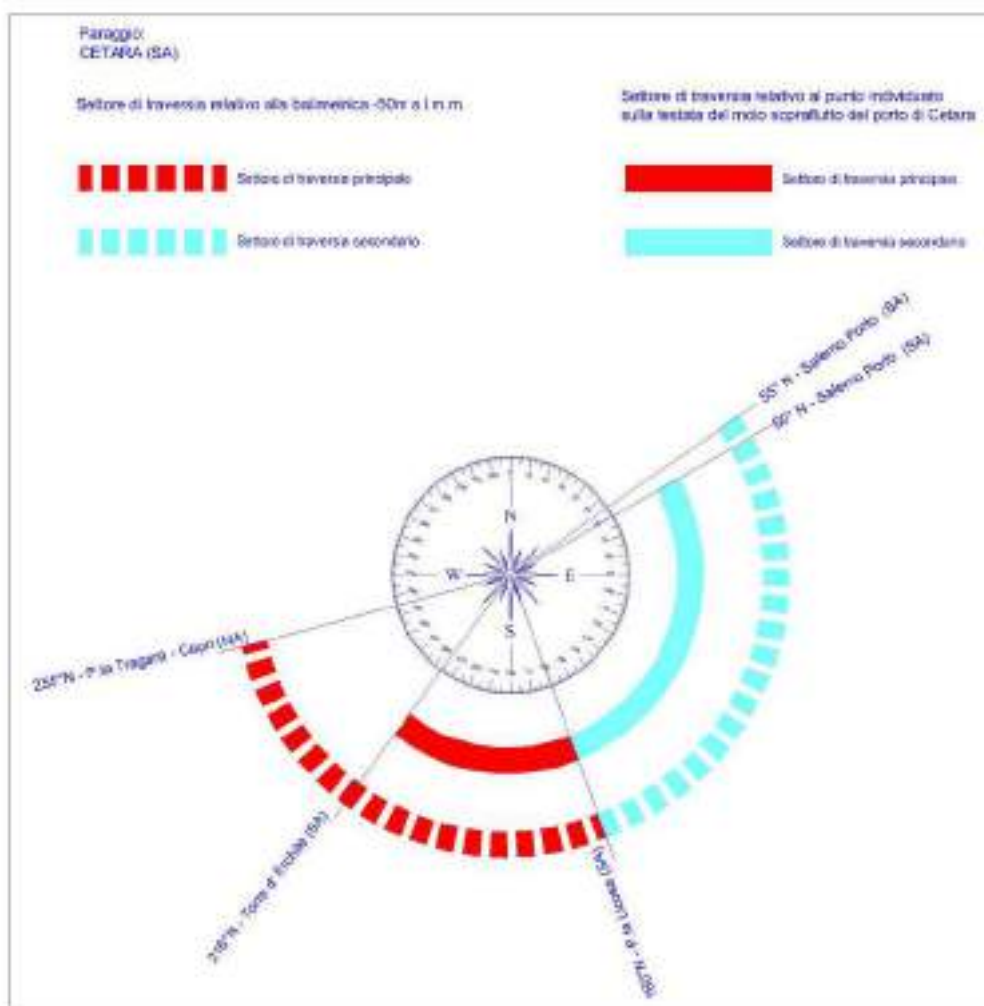


Fig. 2.2 – Settore di traversia

3 CLIMA DEL MOTO ONDO SO AL LARGO

3.1 Dati meteomarini a disposizione

Nel presente paragrafo si espone in merito al reperimento ed all'analisi dei dati di moto ondoso disponibili nella zona d'interesse.

Per i dati ondametrici si sono utilizzate le registrazioni effettuate dalla boa ondametrica della RON ubicata al largo di Ponza, in quanto detto ondometro è caratterizzato da una popolazione di dati ondametrici opportunamente lunga e continua (è in funzione dal 1989 mentre quello di Cetraro è in funzione solo dal 1999 con lunghi periodi di inattività) ed inoltre è ben rappresentativo del clima ondoso del tirreno centro meridionale.

La stazione ondametrica di Ponza fa parte della Rete Ondametrica Nazionale gestita dall'APAT ed è costituita da boe ondametriche direzionali (dapprima del tipo Datawell Wavec MKI e poi del tipo TRIAXYS).

I dati ondametrici rilevati alla Stazione ondametrica ai quali si è fatto riferimento sono quelli compresi tra il 01/07/1989 ed il 09/07/2005.

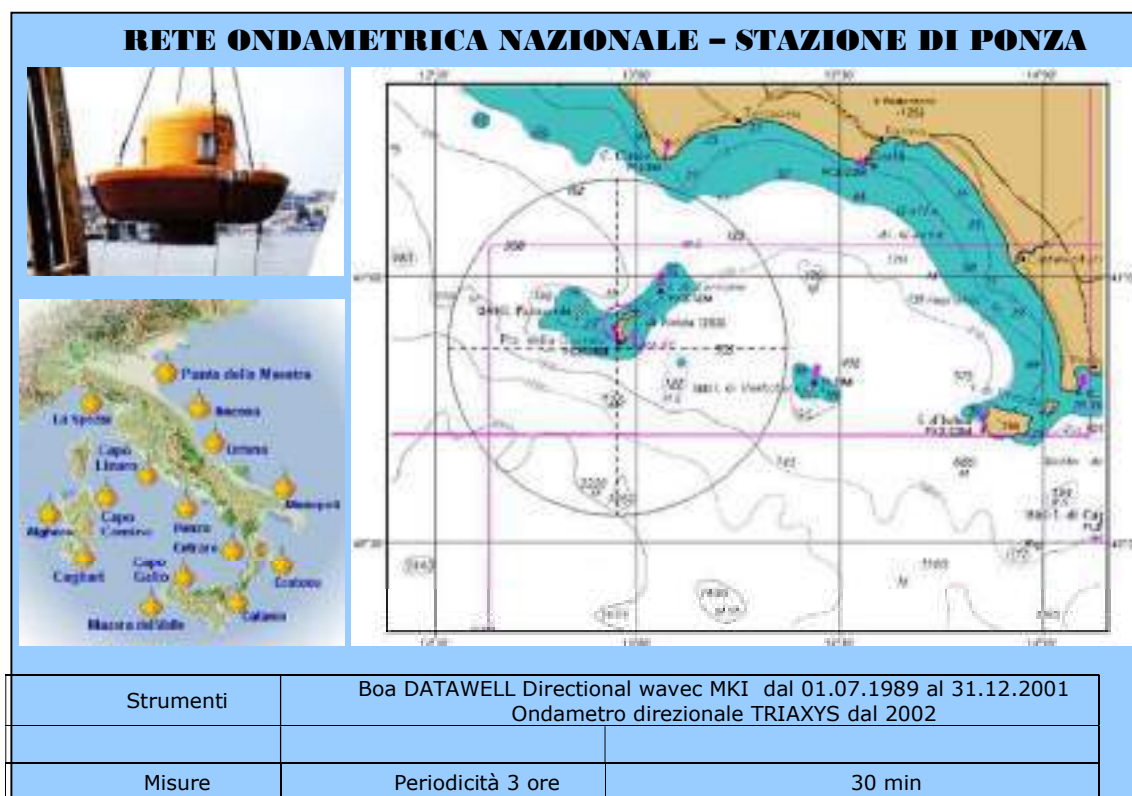


Fig. 3.1 – Stazione ondametrica di Ponza

3.2 Trasposizione geografica al largo del paraggio

Il paraggio in esame è ubicato ad una distanza di circa 150 km dalla stazione ondametrica di Ponza; le registrazioni ondametriche della stazione di riferimento, pur essendo

rappresentative dell'esposizione climatica del Tirreno centro-meridionale, non tengono conto della distinta posizione geografica dei sito di interesse. Pertanto, è necessario applicare la metodologia di «trasposizione geografica» per il trasferimento della serie di dati ondametrici misurati al largo di una stazione ondametrica in un punto al largo del litorale in esame.

Il metodo di trasposizione geografica si basa sull'ipotesi che la differenza tra i climi ondosi di due località è essenzialmente dovuta ai diversi fetches delle stesse.

Nel caso di fetches limitati, le relazioni che permettono di calcolare l'altezza d'onda significativa H_{m0} ed il periodo di picco T_m in funzione della lunghezza del fetch e della velocità del vento sono le seguenti:

$$\frac{gH_m}{U^2} = 1.6 * 10^{-3} \left(\frac{gF}{U} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.2a)$$

$$\frac{gT_m}{U^2} = 2.857 * 10^{-1} \left(\frac{gF}{U} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3.2b)$$

dove:

- g = accelerazione di gravità (9.81m/s^2)
- U = velocità del vento [ft]
- F = fetch efficace [Km]
- H = altezza dell'onda [m]
- T = periodo di picco [s]

Indicando con gli apici O e P rispettivamente le grandezze relative al punto di misura (Ondametro di Ponza) ed al punto di trasposizione (ondametro virtuale al largo del Golfo di Salerno), le relazioni (3.2a) e (3.2b) permettono di stabilire, rispettivamente, la ricercata corrispondenza tra le altezze d'onda ed i periodi di picco relativi al punto di misura O ed al punto di trasposizione P; per cui dalla (3.2a) e dalla (3.2b) da si ottengono le seguenti espressioni:

$$\frac{H^P_{m0}}{H^O_{m0}} = \left(\frac{F^P}{F^O} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.3a)$$

$$\frac{T^P_{m0}}{T^O_{m0}} = \left(\frac{F^P}{F^O} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3.3b)$$

3.3 Fetches geografici ed efficaci

Come posizione dell'ondametro virtuale è stata individuata una posizione al largo del paraggio in acque profonde [Coordinate 33T 460159m E – 4471148m N], che presenta all'incirca la stessa distanza dalla costa della boa ondometrica di Ponza.

L'estensione effettiva della porzione di mare sulla quale si esplica "effettivamente" l'azione di trasferimento energetico dal vento al moto ondoso è detta *fetch efficace* o *effettivo*.

Il valore del *fetch* efficace relativo ad una determinata direzione è funzione anche dell'estensione dei *fetches* geografici associati alle direzioni contigue; in questo modo i *fetch efficaci* tengono conto del fatto che alla generazione del moto ondoso contribuiscono, oltre alla superficie marina individuata nella direzione media ϕ_w lungo la quale spira il vento, anche le porzioni di mare calcolate dalle direzioni comprese in un settore di $\pm\theta$ rispetto alla direzione media di azione del vento.

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

$$F_{e,w} = \frac{\sum_{\phi_i=\phi_w-\theta}^{\phi_w+\theta} F_i \cos^{n+1}(\phi_i - \phi_w)}{\sum_{\phi_i=\phi_w-\theta}^{\phi_w+\theta} \cos^n(\phi_i - \phi_w)} \quad (3.4)$$

nella quale i simboli che compaiono rappresentano i seguenti parametri:

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

L'equazione (3.4) deriva dalla teoria di ricostruzione indiretta del moto ondoso nota come metodo S.M.B. (Sverdrup, Munk e Bretshneider, 1947) e dai suoi successivi aggiornamenti (Saville 1954, Seymour 1977, Smith 1991). Detto procedimento di fatto impone che la distribuzione dello spettro di energia del moto ondoso abbracci un settore di $\pm 90^\circ$ rispetto a

ciascuna direzione di vento considerata e che ogni direzione, compresa in tale settore, fornisca un contributo energetico proporzionale al quadrato del coseno dell'angolo che essa forma con la direzione in cui spirava il vento.

Per la posizione dell'ondametro virtuale vengono delimitati con un sistema di coordinate polari le distese di mare libero per distinti settori, limitando l'estensione delle stesse a non più di 500 km (Fetches geografici).

I valori dei fetches geografici ed efficaci ottenuti per il paraggio in esame sono riportati nella tabella Tab. 3.1.

Nel grafico seguente Fig.3.1 i suddetti fetches sono rappresentati sotto forma di diagramma polare.

DD (°N)	Fetch geografici (Km)	Fetch efficaci (Km)	DD (°N)	Fetch geografici (Km)	Fetch efficaci (Km)
0	24.18	26.8	180	259.00	234.5
10	27.08	25.7	190	265.30	258.4
20	29.53	26.5	200	267.70	283.3
30	36.65	27.6	210	298.40	308.1
40	36.98	28.7	220	484.40	331.2
50	36.36	29.7	230	500.00	349.3
60	36.19	31.2	240	500.00	358.6
70	35.77	33.8	250	500.00	356.0
80	37.39	38.9	260	427.00	339.8
90	39.56	47.4	270	419.20	310.6
100	36.02	60.1	280	418.90	270.7
110	37.05	77.1	290	456.70	224.5
120	47.55	97.6	300	32.98	176.7
130	158.20	120.3	310	30.07	132.0
140	225.40	143.8	320	26.23	93.7
150	223.90	166.8	330	26.64	64.1
160	248.00	189.3	340	26.73	43.8
170	256.20	211.6	350	27.39	32.0

Tab. 3.1 - Valori numerici in Km dei fetches geografici ed effettivi

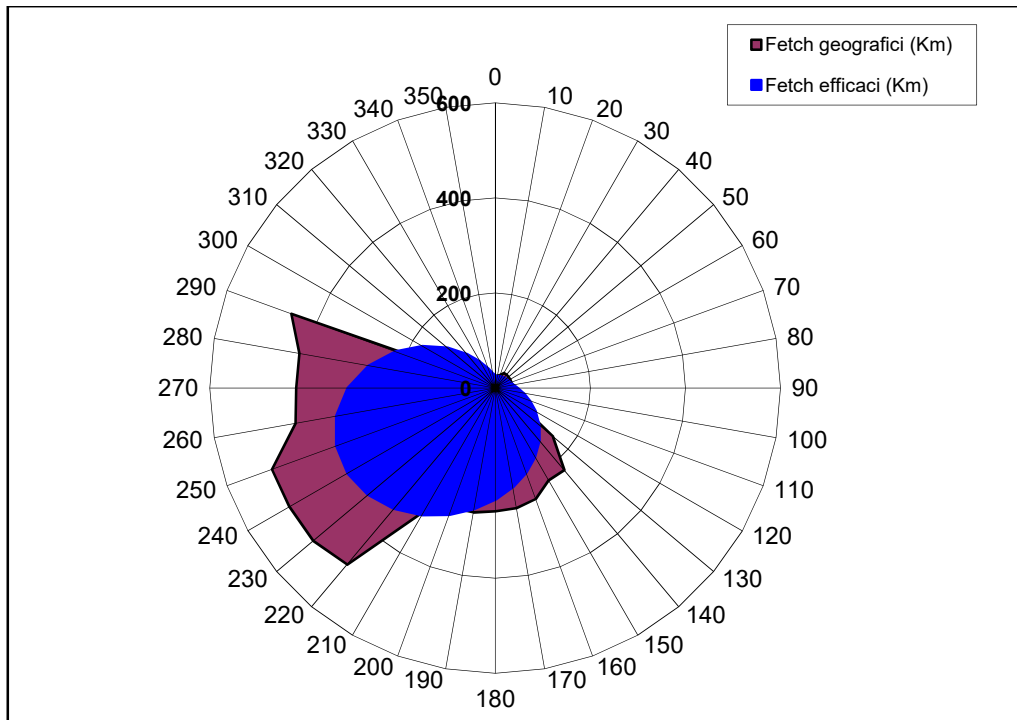


Fig. 3.1 – Diagramma polare dei fetches

Per il calcolo della relazione esistente tra la direzione del vento e quella del moto ondoso generato, si fa riferimento al criterio introdotto da Donelan.

Nell'ipotesi che:

- la direzione media del moto ondoso corrisponde alla direzione della componente spettrale associata al periodo di picco;
- il moto ondoso generato dal vento è ben definito e rappresentabile tramite le relazioni introdotte dalla campagna oceanografica JONSWAP (JOint North Sea WAve Project, Hasselmann 1976);

si può affermare che la direzione media β del moto ondoso relativa alla direzione media di provenienza del vento ϕ_w è individuata come il valore che rende massima la funzione:

$$f(\phi_w) = F_{e, \phi_w}^{0.28} \cdot (\cos \phi_w)^{0.44} \quad (3.5)$$

quindi imponendo le condizioni $f'(\beta) = 0$ e $f''(\beta) < 0$ è possibile individuare per ogni fetch efficace associato ad una determinata direzione di provenienza del vento la relativa direzione del moto ondoso generato.

In Fig. 3.2 si riporta la legge di deviazione tra la direzione media del vento e quella del moto ondoso.

I risultati delle suddette elaborazioni sono riportati nella tabella Tab. 3.2.

La taratura si completa valutando, per l'ondametro di Ponza e quello virtuale le deviazioni tra le direzioni dei venti e degli stati del mare generati dagli stessi. A tale scopo si utilizza la legge di Leenknecht et al., 1992 che stabilisce il legame tra la direzione media del vento α_w e la

direzione media del moto ondoso Θ da esso generato. La direzione del moto ondoso nel punto di trasposizione Θ_P viene calcolata in funzione della suddetta legge di corrispondenza con la direzione media del vento (esplicitata rispetto ad α_W per il punto di misura e rispetto a Θ_P per il punto di trasposizione).

Nella figura che segue (Fig.3.3) si riporta in forma grafica la trasposizione geografica da Ponza a Cetara e la posizione dell'ondametro virtuale a largo del golfo di Salerno.

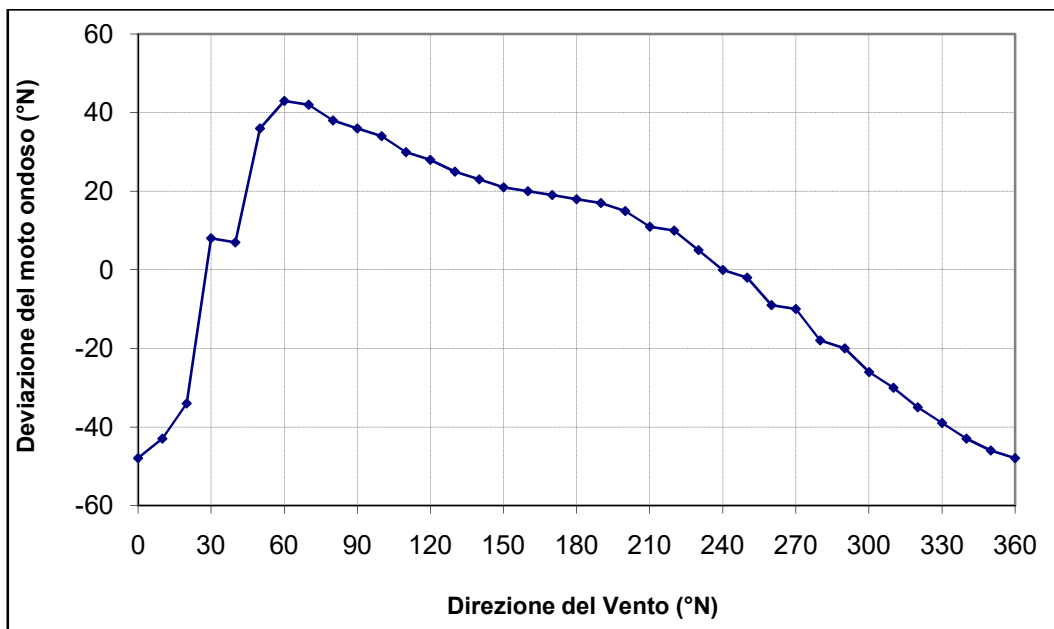


Fig. 3.2 – Legge di deviazione tra la direzione media del vento e la direzione media del moto ondoso.

vento dir [°]	fetches efficaci [Km]		Coeff. di taratura	vento dir [°]	fetches efficaci [Km]		Coeff. di taratura
	Ponza	Cetara			Ponza	Cetara	
0	52	27	0.719	180	398	234	0.768
10	34	26	0.869	190	415	258	0.789
20	28	27	0.975	200	423	283	0.819
30	31	28	0.949	210	423	308	0.853
40	37	29	0.887	220	417	331	0.891
50	48	30	0.784	230	405	349	0.929
60	59	31	0.727	240	381	359	0.970
70	77	34	0.664	250	361	356	0.994
80	103	39	0.613	260	343	340	0.996
90	138	47	0.586	270	339	311	0.957
100	174	60	0.588	280	323	271	0.916
110	209	77	0.607	290	311	224	0.850
120	244	98	0.632	300	291	177	0.779
130	276	120	0.661	310	266	132	0.705
140	302	144	0.690	320	230	94	0.639
150	339	167	0.702	330	186	64	0.587
160	364	189	0.722	340	142	44	0.555
170	381	212	0.745	350	99	32	0.568

Tab. 3.2 - Coefficienti di taratura

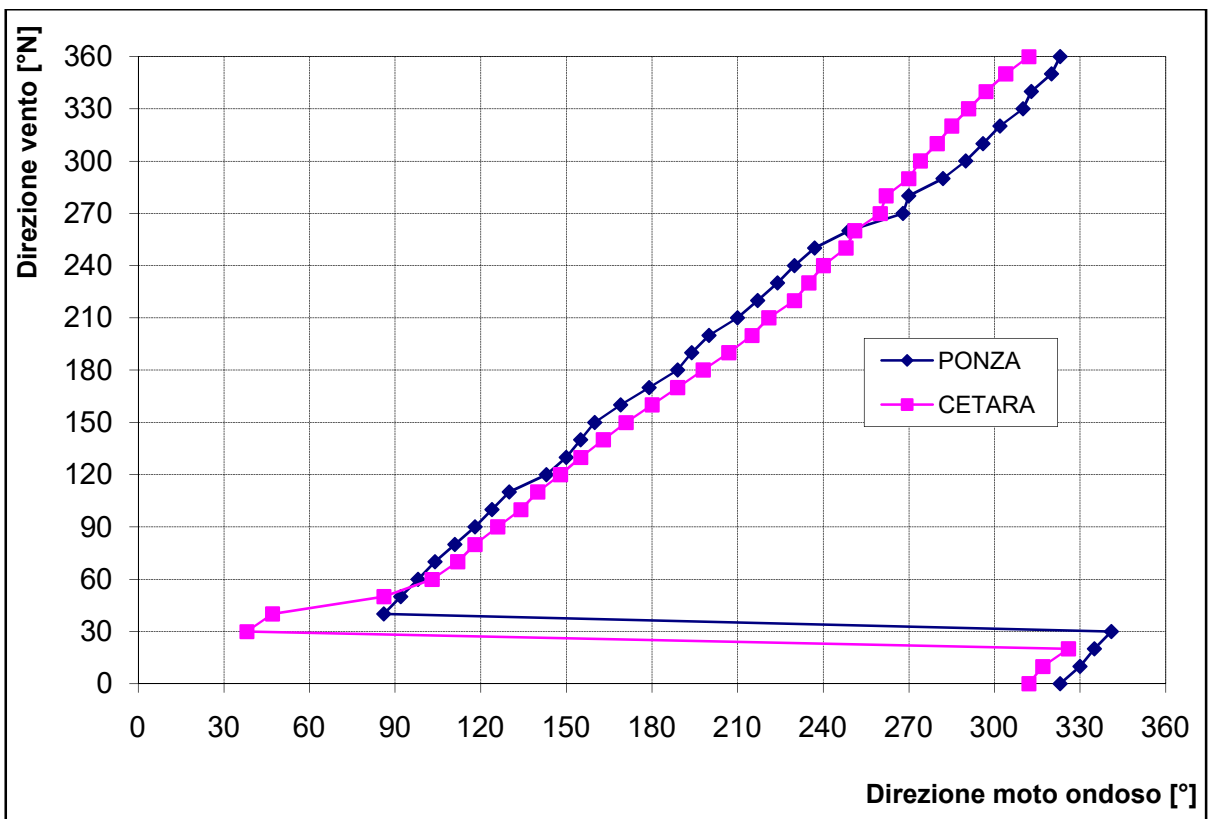
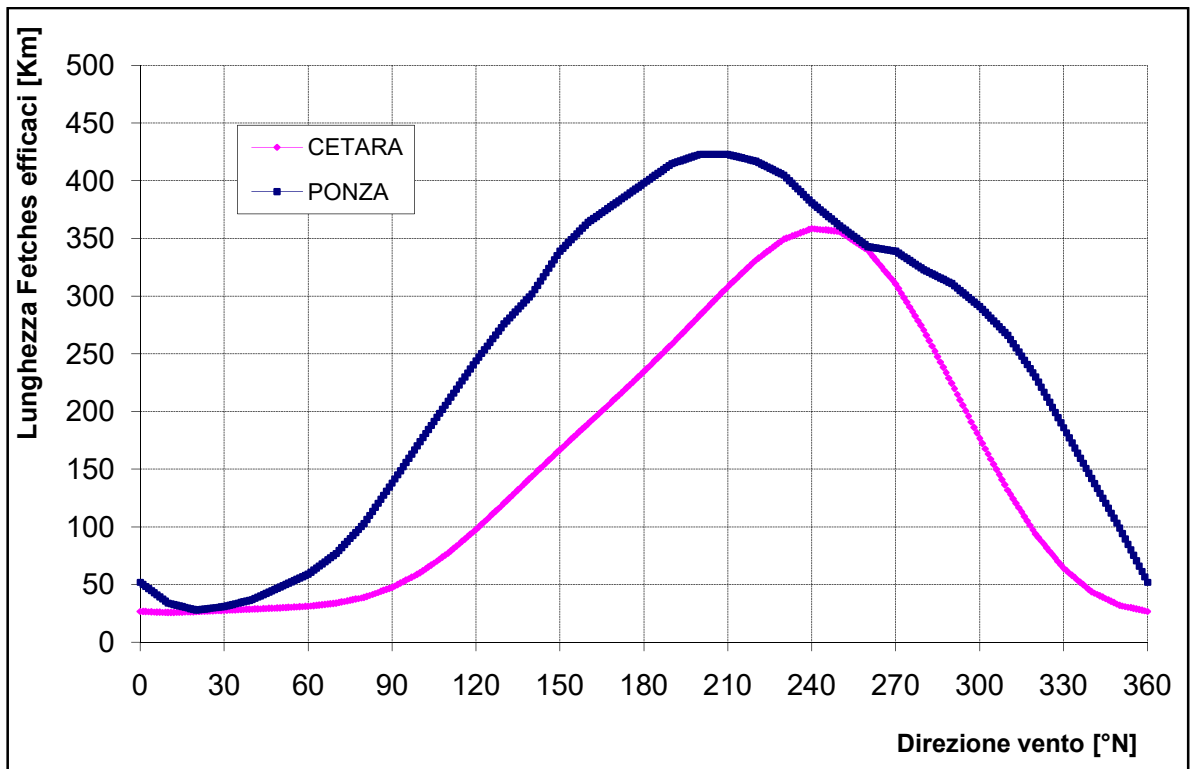


Fig. 3.3 – Trasposizione geografica da Ponza a Cetara.

4 STATISTICA DEGLI EVENTI ESTREMI DI LARGO

4.1 Valutazione dei massimi valori d'altezze d'onda per determinati periodi di ritorno

La caratterizzazione del clima ondoso di largo, nonché la previsione degli eventi estremi correlati a prefissati periodi di ritorno, viene eseguita tramite l'elaborazione statistica delle altezze d'onda, registrate al culmine delle mareggiate indipendenti, nella serie storica di riferimento desunta dai dati ondametrici. Mediante regolarizzazione della serie di eventi estremi, secondo note funzioni probabilistiche, è possibile ricavare le caratteristiche estreme del moto ondoso (definite in termini di altezza significativa e periodo) in funzione del periodo di ritorno.

Nel caso di serie di dati relativi a misure di altezze d'onda, l'analisi statistica viene eseguita determinando le altezze significative registrate al picco di mareggiate indipendenti superiori ad una soglia prefissata. Detta impostazione è da preferire al metodo dei massimi annuali. Dal punto di vista statistico, il metodo consiste nello schematizzare il fenomeno ondoso attraverso il processo estratto dai massimi locali delle mareggiate eccedenti un'altezza di soglia H_0 , opportunamente prestabilita, e nel valutare le caratteristiche temporali con cui le mareggiate si manifestano. Nell'applicazione in oggetto sono stati considerati i massimi delle mareggiate con valori di altezze d'onda superiori alla soglia di 1.0m.

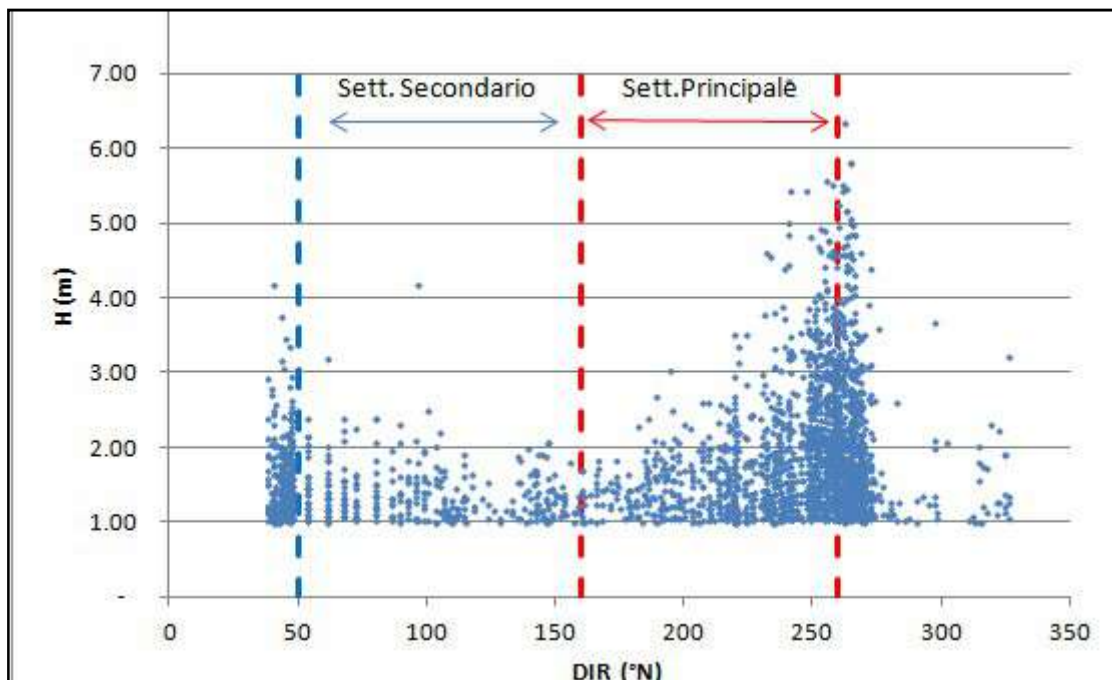


Fig. 4-1- Valori massimi delle altezze d'onda di largo relativi alle mareggiate del periodo di osservazione a largo di Cetara

Nel presente studio si sono applicate le distribuzioni di Fisher-Tippet I (4.1) e di Weibull (4.2), per le quali la probabilità di non superamento associata ad ogni valore di altezza significativa è rispettivamente pari a :

$$F(H_s \leq H_{sm}) = 1 - \frac{m - 0.44}{N_T + 0.12} \quad (4.1)$$

$$F(H_s \leq H_{sm}) = 1 - \frac{m - 0.20 - 0.27 / \sqrt{k}}{N_T + 0.20 + 0.23 / \sqrt{k}} \quad (4.2)$$

dove:

- $F(H_s \leq H_{sm})$ = probabilità che la m-esima altezza d'onda significativa non sia superata;
- H_{sm} = m-esimo valore nel campione delle altezze significative;
- m = livello del valore dell'altezza significativa = 1,2,...,N;
- N_T = numero totale degli eventi durante la lunghezza della registrazione.

Operativamente i dati di input vanno ordinati dal valore più grande a quello più piccolo, e quindi per ogni dato progressivo si calcola la y_m con la (4.3) e la (4.4) a seconda se si utilizza F.T.-1 o Weibull.

I calcoli sono basati sulle seguenti relazioni:

$$\text{FT- 1} \quad y_m = -\ln[-\ln F(H_s \leq H_{sm})] \quad (4.3)$$

$$\text{Weibull} \quad y_m = \{-\ln[1 - F(H_s \leq H_{sm})]\}^{1/k} \quad (4.4)$$

$$H_{sm} = Ay_m + B \quad (4.5)$$

L'equazione (4.5) costituisce la regressione lineare dei dati disponibili, dalla quale si ricavano i due parametri A e B; le altezze d'onda per i vari periodi di ritorno possono essere determinate mediante le seguenti espressioni:

$$H_{Tr} = Ay_r + B \quad (4.6)$$

$$\text{FT- 1} \quad y_r = -\ln\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{\lambda T_r}\right)\right] \quad (4.7)$$

$$\text{Weibull} \quad y_r = [\ln(\lambda T_r)]^{1/k} \quad (4.8)$$

dove:

- H_{Tr} = altezza d'onda significativa con periodo di ritorno T_r ;
- λ = numero medio degli eventi per anno = N_T/K ;
- T_r = periodo di ritorno [anni];
- K = lunghezza della registrazione [anni];

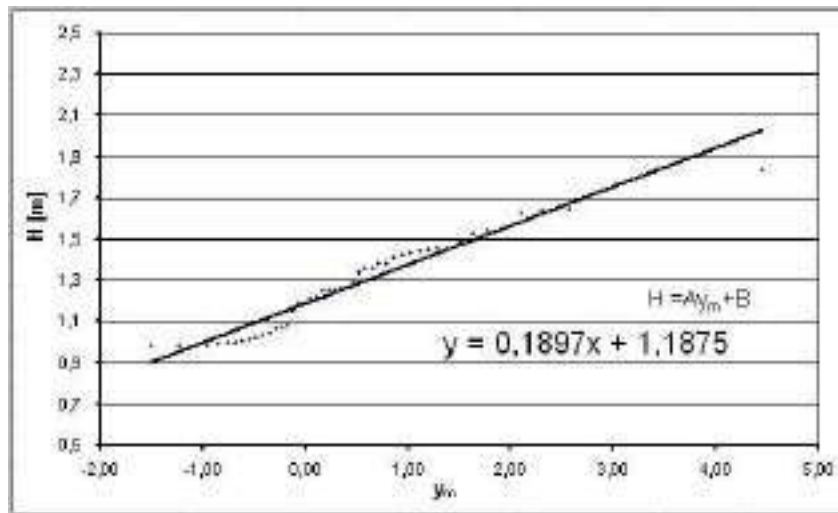
La procedura viene completata validando i dati esaminati tramite la definizione degli intervalli di confidenza.

L'analisi probabilistica è stata eseguita relativamente ai massimi del settore di traversia principale 250°N – 160°N, suddiviso in in tre subsettori (160°N – 180°N; 180°N – 230°N; 230°N – 250°N). Nell'elaborazioni si è adottato un parametro di censura corrispondente alla soglia $H_s=1.0\text{m}$. I risultati delle singole applicazioni relative ai modelli di Gumbel e di Weibull, (quest'ultimo al variare dei coefficienti), sono esposti in forma tabellare e grafica (Subsettore 160°N-180°N da Fig.4.1 a Fig.4.5; Subsettore 180°N-230°N da Fig.4.6 a Fig.4.10; Subsettore 230°N-250°N da Fig.4.11 a Fig.4.15).

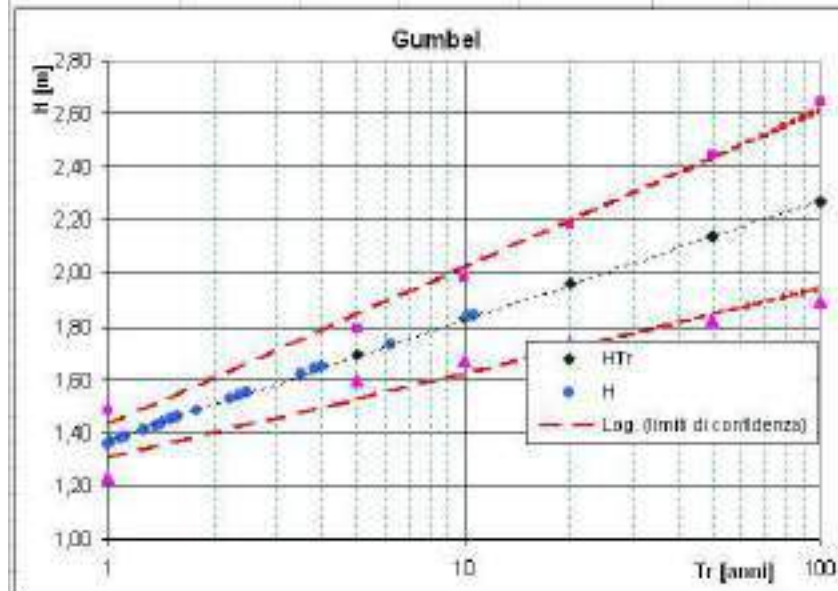
Infine le Tab.4.1, 4.2 e 4.3 riassumono i risultati delle analisi eseguite rispettivamente per i subsettori 160°N-180°N, 180°N-230°N e 230°N-250°N.

Il periodo d'onda è stato determinato attraverso la seguente relazione:

$$T = 8.5\pi \sqrt{\frac{H}{4g}} \quad (4.9)$$



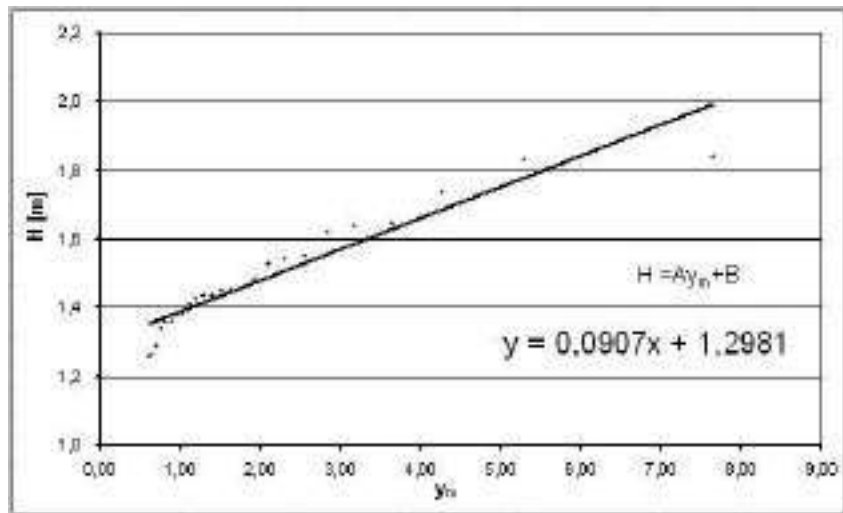
A	0,1897	Tr [anni]	y	H _{Tr} [m]
B	1,1875			
K=n anni	16	1	0,90272	1,36
N _y =n dati usati	49	5	2,67375	1,69
λ	3,00	10	3,36429	1,83
censura	0,2364	20	4,06606	1,96
N dati	212	60	5,00728	2,14
		100	5,70211	2,27



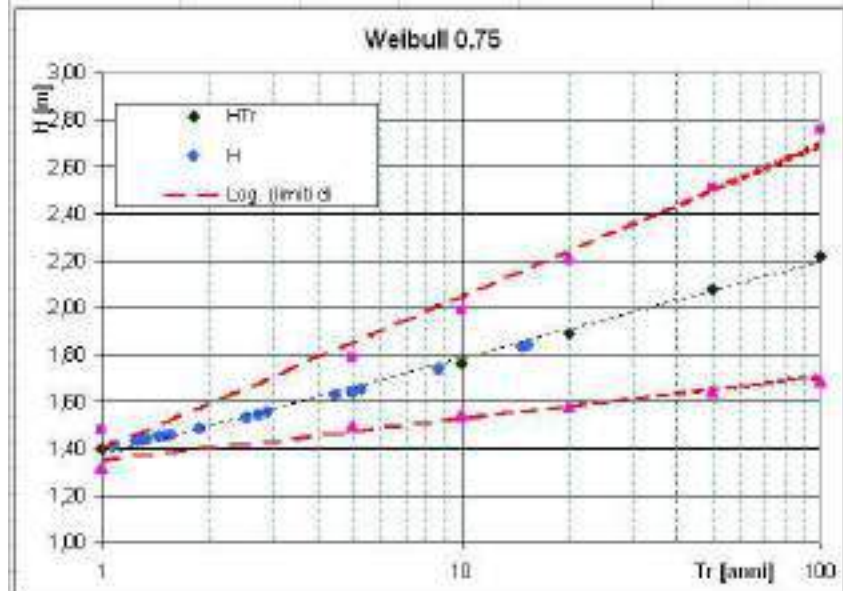
Tr [anni]	Intervallo di confidenza					
	σ_y	ω	σ_z	$\alpha=1.96 \sigma_y \sigma_z$	H+ α	H- α
1	0,24	2,10826	0,26716	0,13	1,5	1,25
5	0,24	2,10826	0,20553	0,10	1,8	1,60
10	0,24	2,10826	0,32963	0,16	2,0	1,67
20	0,24	2,10826	0,46524	0,22	2,2	1,74
60	0,24	2,10826	0,65157	0,31	2,4	1,89
100	0,24	2,10826	0,79422	0,38	2,6	1,89

settore 160°N - 180°N

Fig. 4.1 - Gumbel



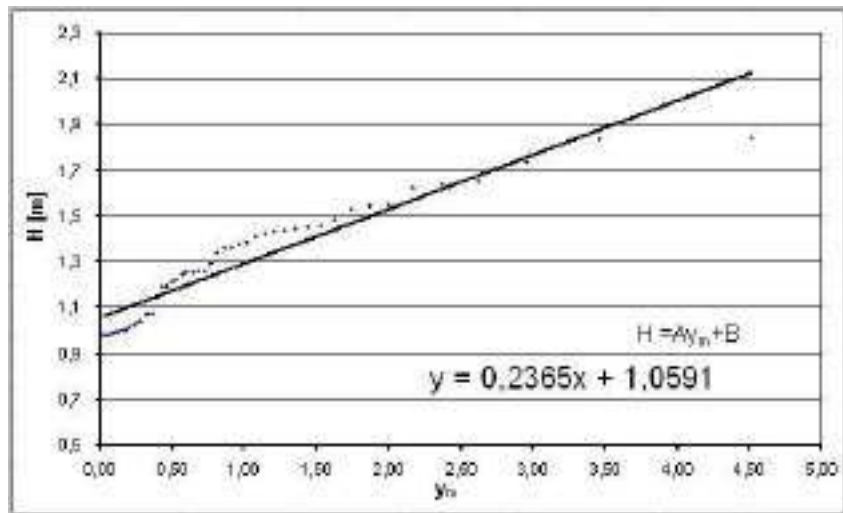
A	0,0907	Tr [anni]	y _n	H _{Tr} [m]
B	1,2981			
K=n anni	16	1	1,13360	1,40
N _y =n dati/anni	49	5	3,77464	1,64
λ	3,00	10	5,11496	1,76
censura	0,2364	20	6,55007	1,89
N dati	212	60	8,57414	2,09
		100	10,19101	2,22



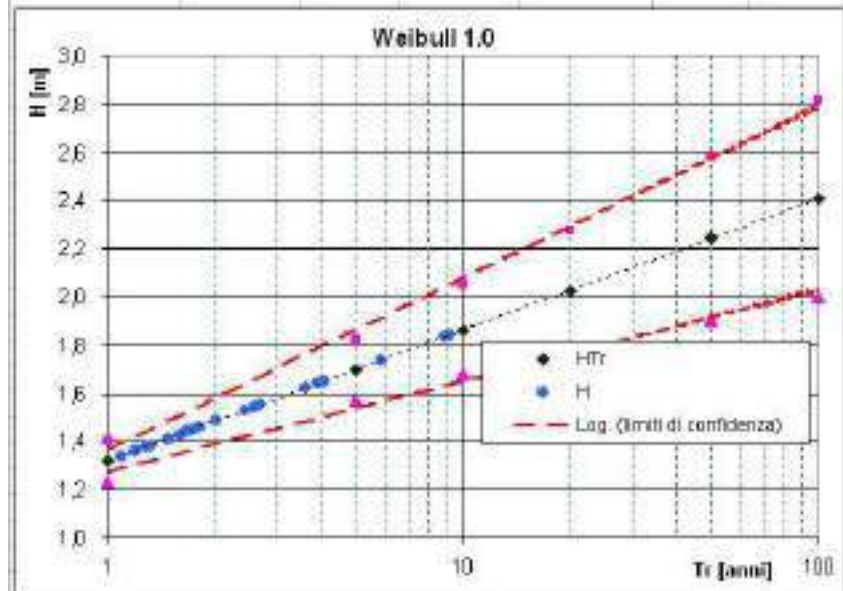
Tr [anni]	Intervallo di confidenza					
	σ_y	ω_1	σ_2	$\alpha=1.96 \sigma_y \sigma_2$	H+ α	H- α
1	0,24	0,82473	0,16261	0,08	1,5	1,32
5	0,24	0,82473	0,30693	0,15	1,8	1,49
10	0,24	0,82473	0,46931	0,22	2,0	1,54
20	0,24	0,82473	0,66068	0,31	2,2	1,66
50	0,24	0,82473	0,91149	0,43	2,5	1,64
100	0,24	0,82473	1,12126	0,53	2,8	1,69

settore 160°N - 180°N

Fig. 4.2 – Weibull 0.75



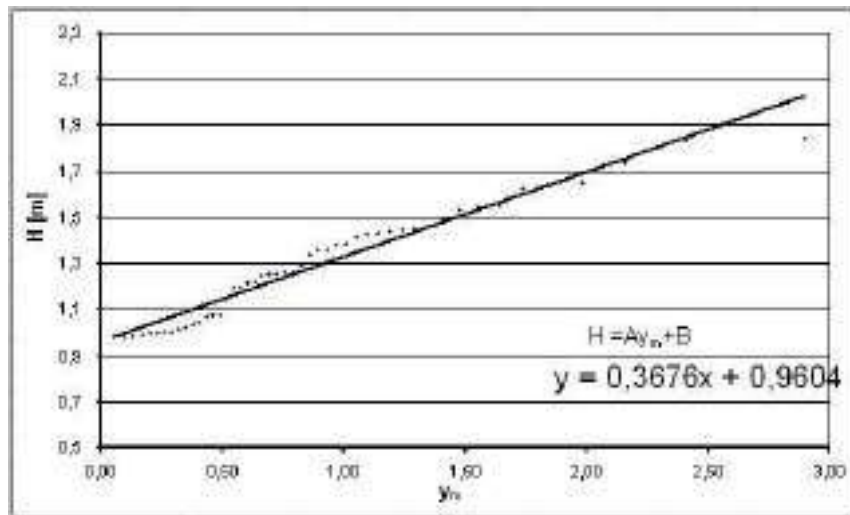
A	0,2365	Tr [anni]	y_n	H_T [m]
B	1,0591			
K=m anni	16	1	1,09661	1,3
$N_T=n$ dati	49	5	2,70606	1,7
λ	3,00	10	3,40120	1,9
censura	0,2364	20	4,09434	2,0
N dati	212	60	5,01064	2,2
		100	5,70378	2,4



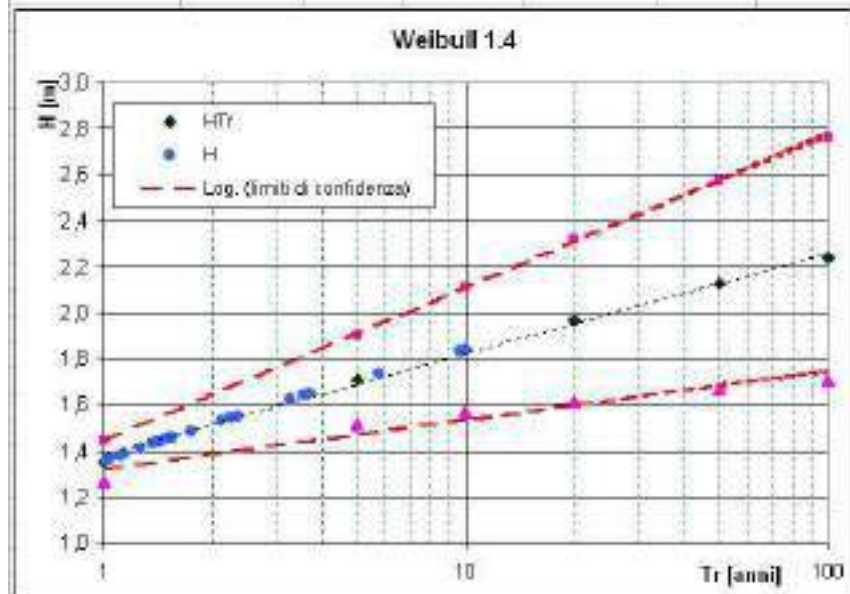
Tr [anni]	Intervallo di confidenza					H_{+s}	H_{-s}
	σ_y	ω	σ_z	$\alpha=1.96 \sigma_z \sigma_y$			
1	0,24	2,06820	0,18253	0,09	1,4	1,25	
5	0,24	2,06820	0,26909	0,13	1,8	1,57	
10	0,24	2,06820	0,39366	0,19	2,1	1,66	
20	0,24	2,06820	0,53014	0,25	2,3	1,76	
60	0,24	2,06820	0,71503	0,34	2,6	1,90	
100	0,24	2,06820	0,85644	0,41	2,8	2,00	

settore 160°N - 180°N

Fig. 4.3 – Weibull 1.00



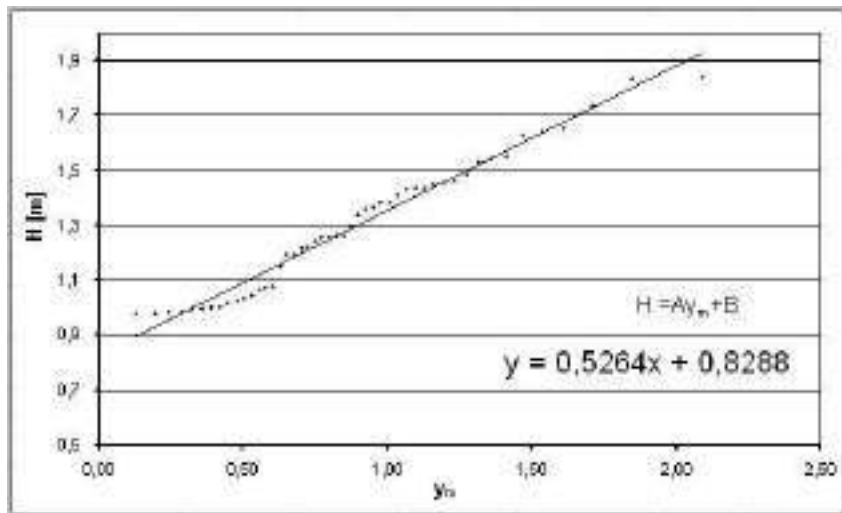
A	0,3676	Tr [anni]	yr	H _T [m]
B	0,9604			
N=n anni	16	1	1,06948	1,4
N _T =n dati usati	48	5	2,03723	1,7
A	3,00	10	2,39738	1,8
censura	0,2264	20	2,73700	2,0
N dati	212	50	3,16172	2,1
		100	3,46830	2,2



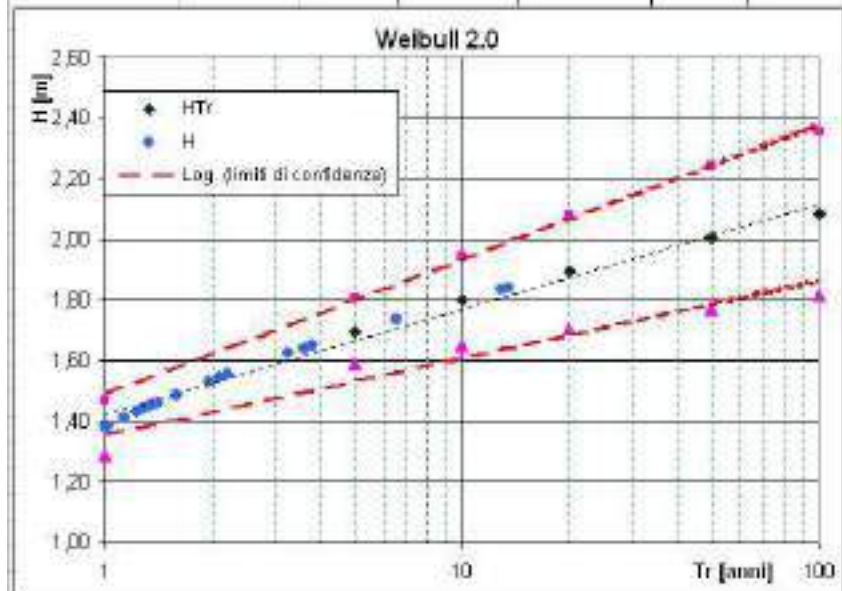
Tr [anni]	Intervallo di confidenza					H+s	H-s
	σ_1	q_0	σ_2	$n=5,96 w_2 \sigma_1$			
1	0,24	12,36369	0,18644	0,09		1,4	1,26
5	0,24	12,36369	0,39990	0,19		1,9	1,62
10	0,24	12,36369	0,57409	0,27		2,1	1,67
20	0,24	12,36369	0,74212	0,36		2,3	1,61
50	0,24	12,36369	0,95439	0,45		2,6	1,67
100	0,24	12,36369	1,10839	0,53		2,8	1,71

settore 160°N - 180°N

Fig. 4.4 – Weibull 1.40



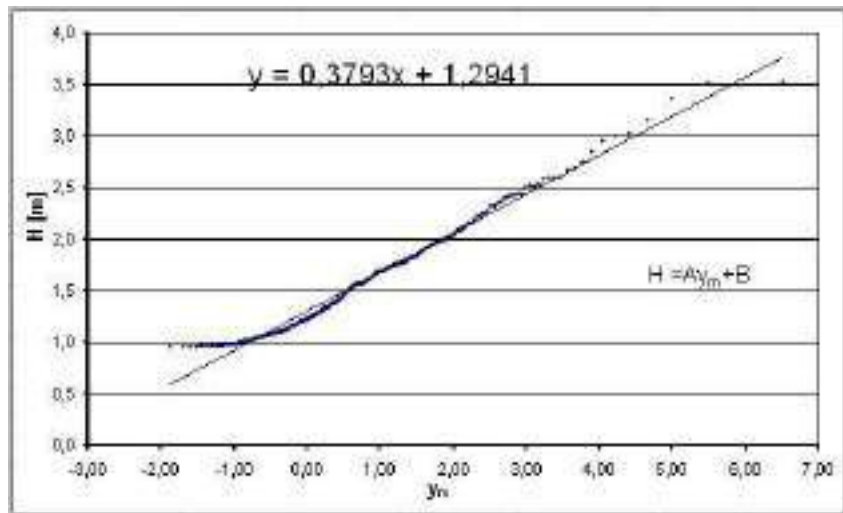
A	0,5264	Tr [anni]	y _n	H _n [m]
B	0,8288			
K=m anni	16	1	1,04915	1,39
N ₁ =n dati esati	49	5	1,64562	1,70
λ	3,00	10	1,84423	1,80
censura	0,2364	20	2,02345	1,89
N dati	212	60	2,23844	2,01
		100	2,38626	2,09



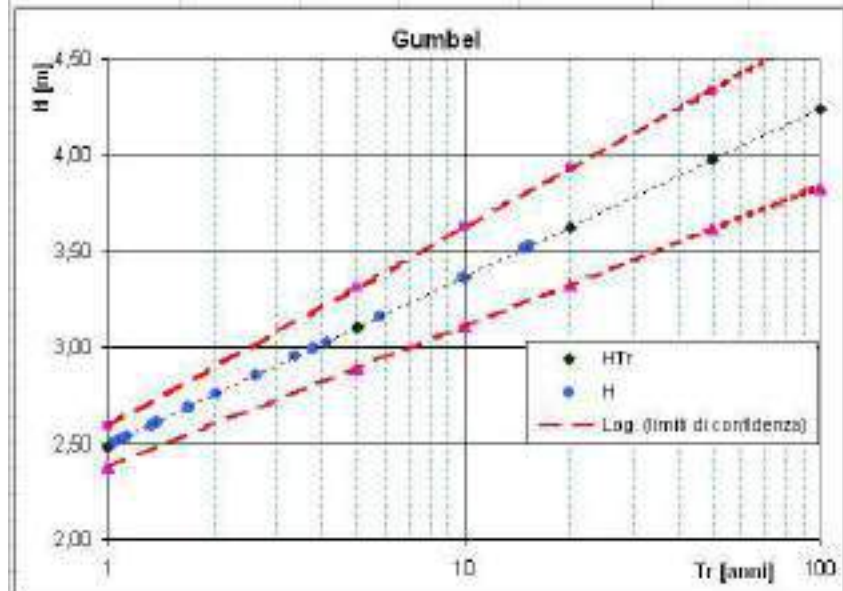
Tr [anni]	Intervallo di confidenza					
	σ_y	ω_y	σ_z	$\alpha=1.96 \sigma_y \sigma_z$	H+ α	H- α
1	0,24	12,96369	0,19346	0,09	1,5	1,29
5	0,24	12,96369	0,20628	0,11	1,8	1,59
10	0,24	12,96369	0,31060	0,15	1,9	1,65
20	0,24	12,96369	0,39339	0,19	2,1	1,71
50	0,24	12,96369	0,49647	0,24	2,2	1,77
100	0,24	12,96369	0,56962	0,27	2,4	1,82

settore 160°N - 180°N

Fig. 4.5 – Weibull 2.00



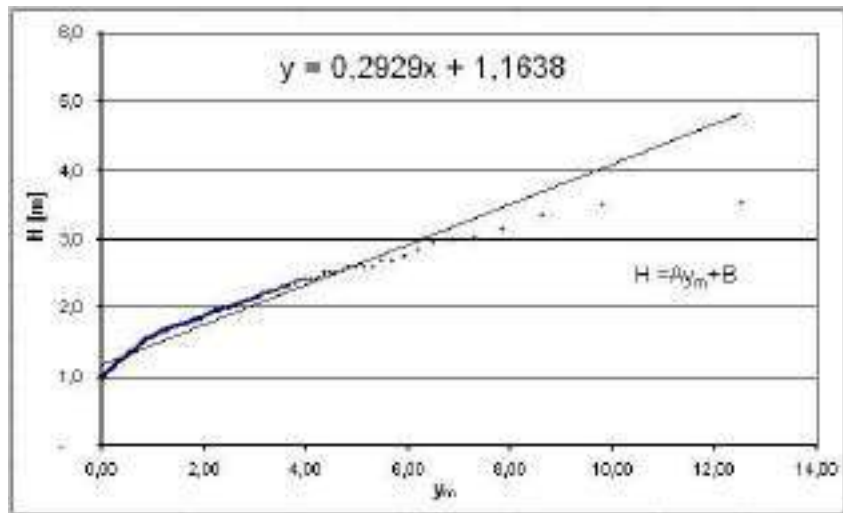
A	0,3793	Tr [anni]	y _n	H _{Tr} [m]
B	1,2941			
K=n anni	16	1	3,13006	2,49
N _y =n dati usati	377	5	4,76484	3,10
λ	23,66	10	5,46012	3,37
censura	0,2774	20	6,15433	3,63
N dati	1359	60	7,07125	3,99
		100	7,76461	4,24



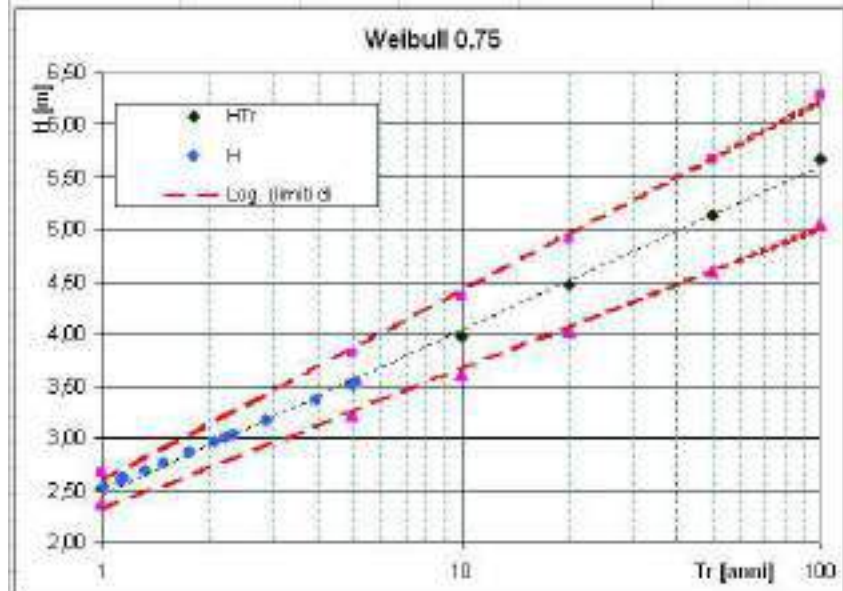
Tr [anni]	Intervallo di confidenza					
	σ_y	ω	σ_z	$\alpha=1.96 \sigma_y \sigma_z$	H+ α	H- α
1	0,49	1,84198	0,11261	0,11	2,6	2,36
5	0,49	1,84198	0,21967	0,21	3,3	2,89
10	0,49	1,84198	0,26746	0,26	3,6	3,11
20	0,49	1,84198	0,31521	0,30	3,9	3,33
50	0,49	1,84198	0,37959	0,36	4,3	3,61
100	0,49	1,84198	0,42665	0,41	4,6	3,83

settore 180°N - 230°N

Fig. 4.6 – Gumbel



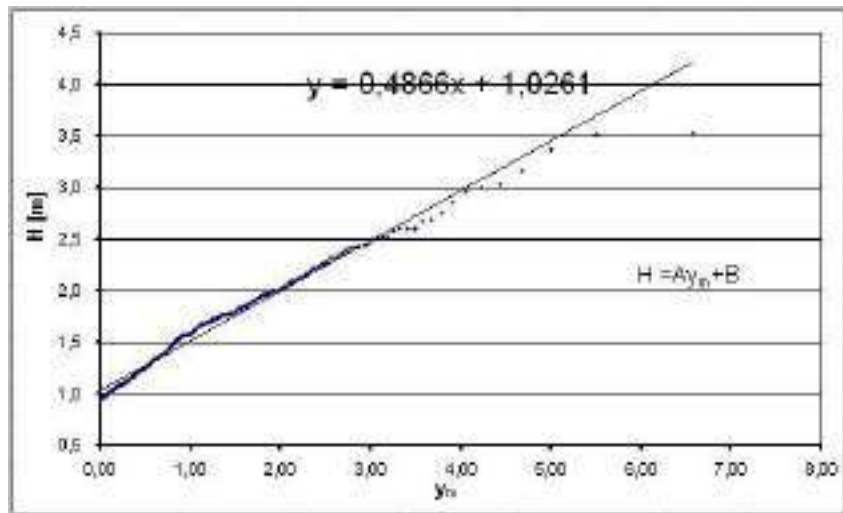
A	0,2929	Tr [anni]	y _n	H _{Tr} [m]
B	1,1638			
K=n anni	16	1	4,63646	2,52
Ny=n dati/sati	377	5	8,02752	3,52
λ	23,96	10	9,61968	3,98
censura	0,2774	20	11,29082	4,47
N dati	1359	60	13,57365	5,14
		100	15,37536	5,67



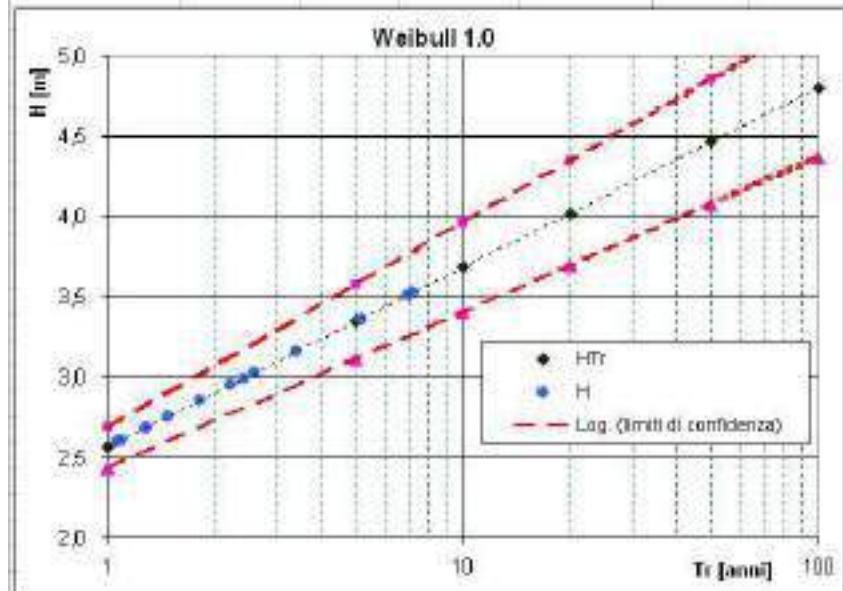
Tr [anni]	Intervallo di confidenza					
	σ_y	ω	σ_z	$\alpha=1.96 \sigma_z \sigma_y$	H+ α	H- α
1	0,49	0,81260	0,15557	0,15	2,7	2,37
5	0,49	0,81260	0,30856	0,30	3,8	3,22
10	0,49	0,81260	0,38164	0,38	4,3	3,62
20	0,49	0,81260	0,45817	0,44	4,8	4,03
50	0,49	0,81260	0,56408	0,54	5,7	4,60
100	0,49	0,81260	0,64745	0,62	6,3	5,05

settore 180°N - 230°N

Fig. 4.7 – Weibull 0.75



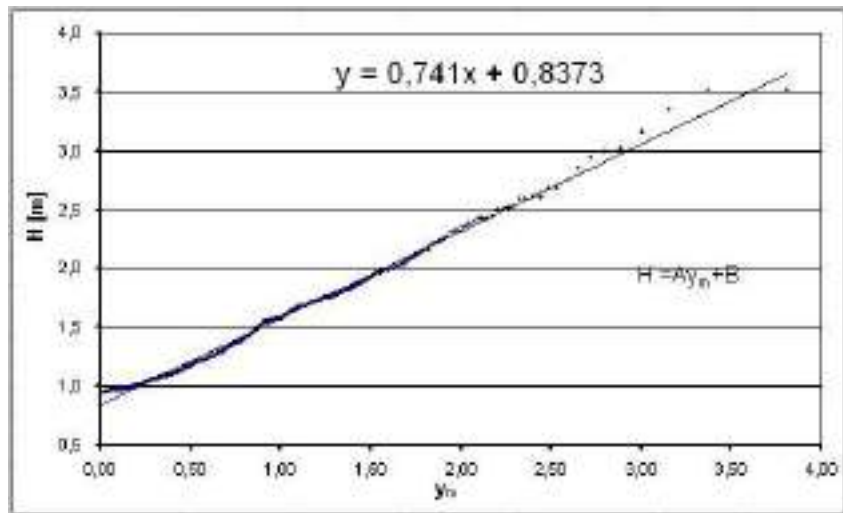
A	0,4866	Tr [anni]	y _n	H _{Tr} [m]
B	1,0261			
K=m anni	16	1	3,15566	2,6
N _y =n datesati	377	5	4,76508	3,3
λ	23,66	10	5,46224	3,7
censura	0,2774	20	6,15538	4,0
N dati	1359	60	7,07168	4,5
		100	7,76463	4,8



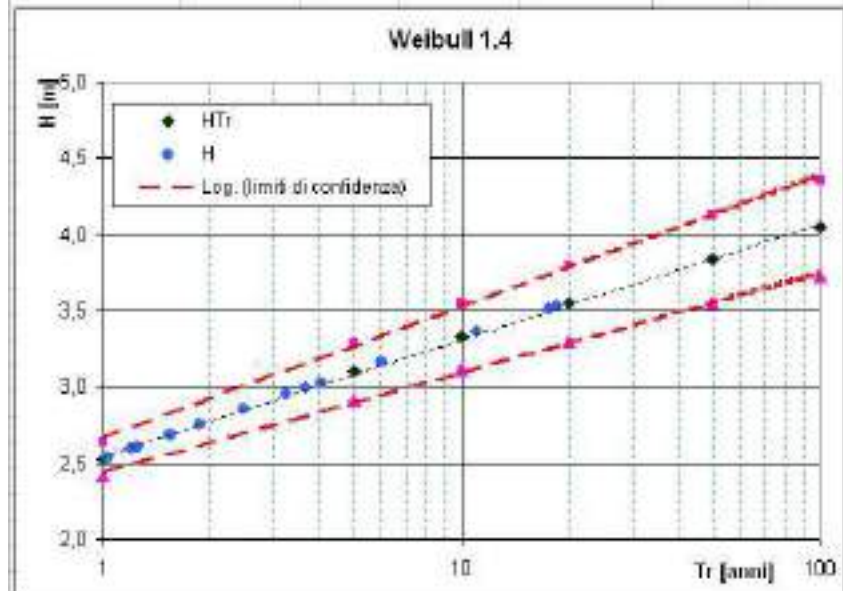
Tr [anni]	Intervallo di confidenza					
	σ_y	ω_1	σ_2	$\alpha=1.96 \sigma_y \sigma_2$	H _{+s}	H _{-s}
1	0,49	1,92982	0,13245	0,13	2,7	2,44
5	0,49	1,92982	0,24271	0,23	3,6	3,11
10	0,49	1,92982	0,29136	0,28	4,0	3,41
20	0,49	1,92982	0,34029	0,33	4,3	3,70
60	0,49	1,92982	0,40521	0,39	4,9	4,06
100	0,49	1,92982	0,45444	0,43	5,2	4,37

settore 180°N - 230°N

Fig. 4.8 – Weibull 1.00



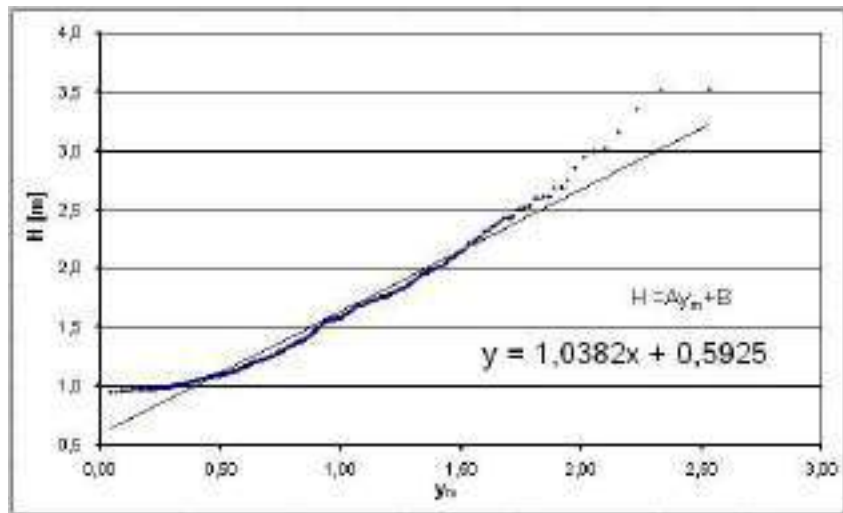
A	0,7410	Tr [anni]	y_n	H_{Tr} [m]
B	0,8373			
K=m anni	16	1	2,27450	2,5
$N_T=n$ dati esati	377	5	3,05208	3,1
λ	23,66	10	3,36274	3,3
censura	0,2774	20	3,66230	3,6
N dati	1359	60	4,04381	3,8
		100	4,32323	4,0



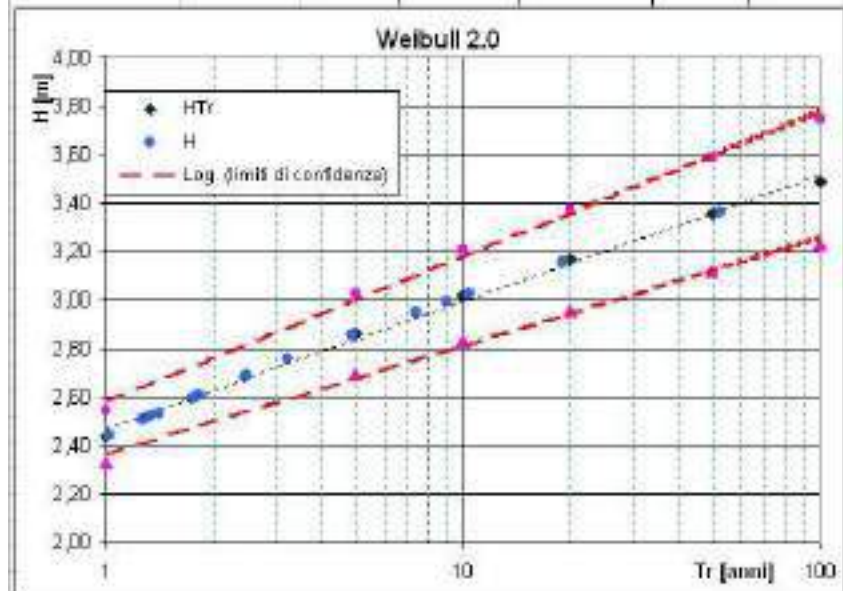
Tr [anni]	Intervallo di confidenza					
	σ_y	ω_1	σ_2	$\alpha=1.96 \sigma_y \sigma_2$	H+ α	H- α
1	0,49	4,50089	0,11600	0,11	2,6	2,41
5	0,49	4,50089	0,19580	0,19	3,3	2,91
10	0,49	4,50089	0,22872	0,22	3,5	3,11
20	0,49	4,50089	0,26072	0,25	3,8	3,30
50	0,49	4,50089	0,30170	0,29	4,1	3,55
100	0,49	4,50089	0,33181	0,32	4,4	3,72

settore 180°N - 230°N

Fig. 4.9 – Weibull 1.40



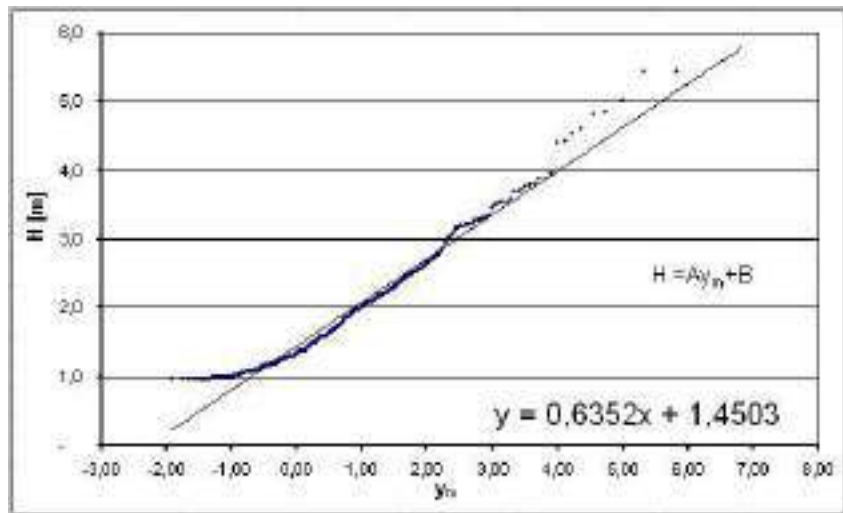
A	1,0382	Tr [anni]	y _n	H _{T_r} [m]
B	0,5925			
K=m anni	16	1	1,77754	2,44
N _T =n dati/mesi	377	5	2,16363	2,86
λ	23,66	10	2,33714	3,02
censura	0,2774	20	2,48101	3,17
N dati	1359	60	2,65926	3,35
		100	2,78654	3,49



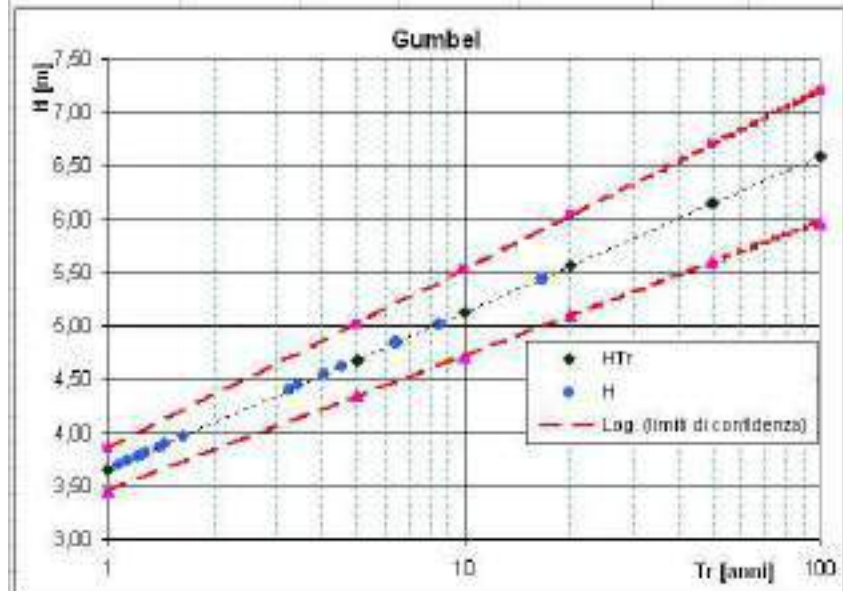
Tr [anni]	Intervallo di confidenza					
	σ_y	ω	σ_z	$\alpha=1.96 \sigma_y \sigma_z$	H+ α	H- α
1	0,49	10,26717	0,10944	0,10	2,5	2,33
5	0,49	10,26717	0,17152	0,16	3,0	2,70
10	0,49	10,26717	0,19530	0,19	3,2	2,83
20	0,49	10,26717	0,21880	0,21	3,4	2,96
50	0,49	10,26717	0,24749	0,24	3,6	3,12
100	0,49	10,26717	0,26907	0,26	3,7	3,23

settore 180°N - 230°N

Fig. 4.10 – Weibull 2.00



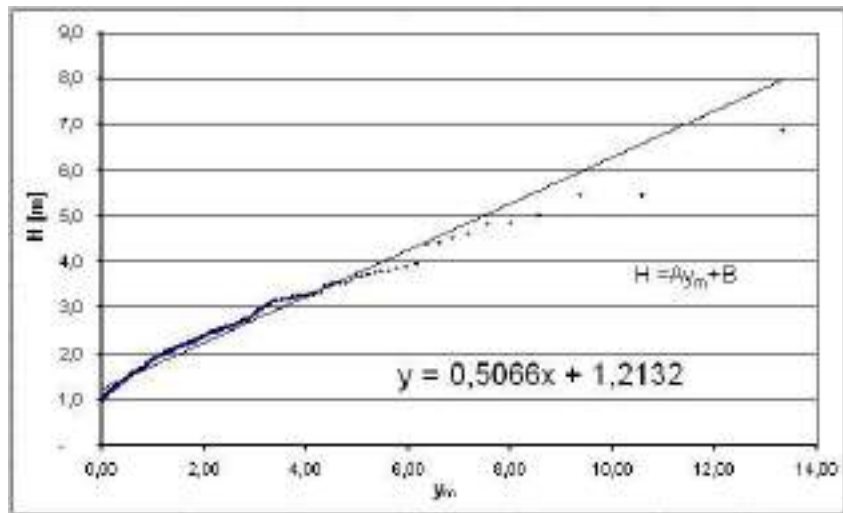
A	0,6352	Tr [anni]	y _n	H _{Tr} [m]
B	1,4503			
K=n anni	16	1	3,46566	3,65
N _y =n dati usati	520	5	5,08758	4,68
λ	32,50	10	5,78228	5,12
censura	0,3157	20	6,47620	5,95
N dati	1647	50	7,38236	6,15
		100	8,08626	6,59



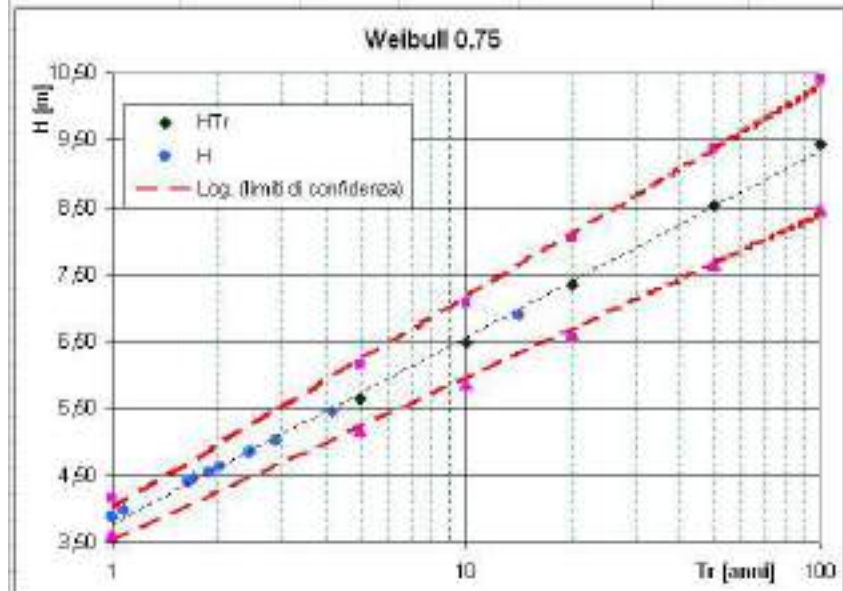
Tr [anni]	Intervallo di confidenza					
	σ_y	ω_y	σ_z	$\alpha=1.96 \sigma_z \sigma_y$	H _{+s}	H _{-s}
1	0,82	1,74181	0,12013	0,19	3,8	3,46
5	0,82	1,74181	0,21033	0,34	5,0	4,34
10	0,82	1,74181	0,24979	0,40	5,5	4,72
20	0,82	1,74181	0,28942	0,47	6,0	5,10
50	0,82	1,74181	0,34196	0,55	6,7	5,59
100	0,82	1,74181	0,38178	0,62	7,2	5,97

settore 230°N - 250°N

Fig. 4.11 - Gumbel



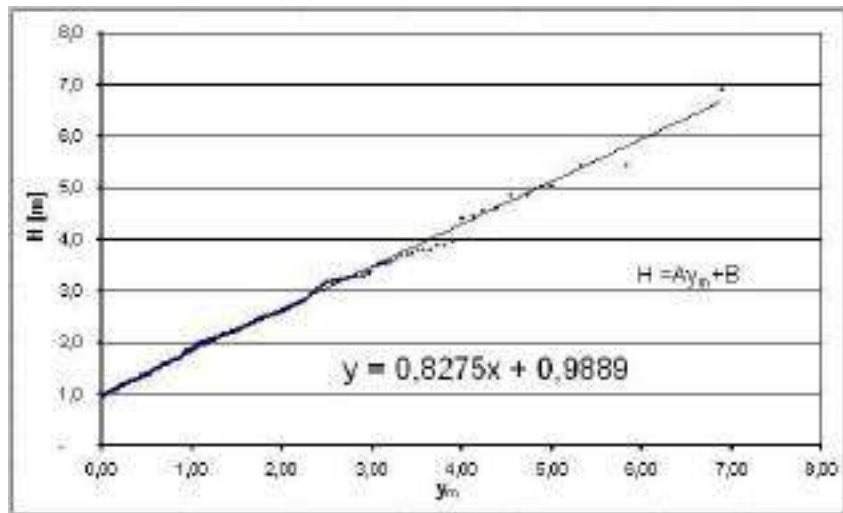
A	0,5066	Tr [anni]	y _n	H _n [m]
B	1,2132			
K=n anni	16	1	5,27609	3,89
N _y =n dati	520	5	8,75725	5,65
λ	32,50	10	10,39214	6,47
censura	0,3157	20	12,07339	7,33
N dati	1647	50	14,40294	8,51
		100	16,23084	9,44



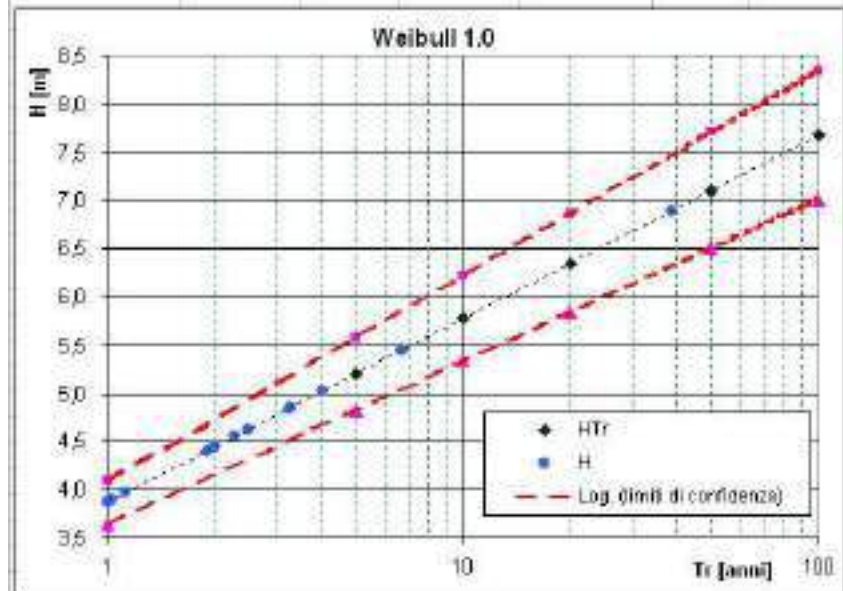
Tr [anni]	Intervallo di confidenza					H+σ	H-σ
	σ _y	q ₁	σ _z	α=1.96 σ _y σ _z			
1	0,82	0,84172	0,16487	0,27	4,2	3,62	
5	0,82	0,84172	0,30219	0,48	6,1	5,16	
10	0,82	0,84172	0,36699	0,59	7,1	5,88	
20	0,82	0,84172	0,43462	0,70	8,0	6,63	
50	0,82	0,84172	0,52795	0,85	9,4	7,66	
100	0,82	0,84172	0,60127	0,97	10,4	8,46	

settore 230°N - 250°N

Fig. 4.12 – Weibull 0.75



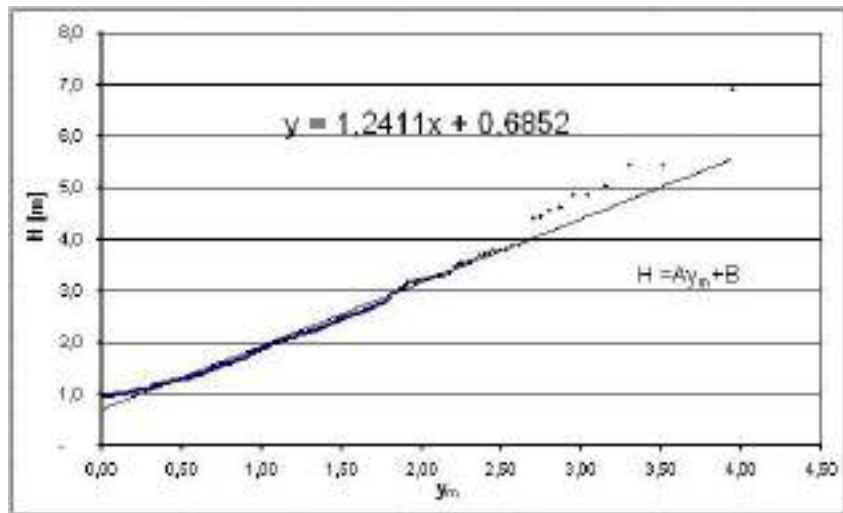
A	0,8275	Tr [anni]	y _r	H _r [m]
B	0,9889			
K=m anni	16	1	3,48124	3,9
N _r =n dati esati	520	5	5,09068	5,2
λ	32,50	10	5,78383	5,8
censura	0,3157	20	6,47697	6,3
N dati	1647	60	7,38326	7,1
		100	8,08641	7,7



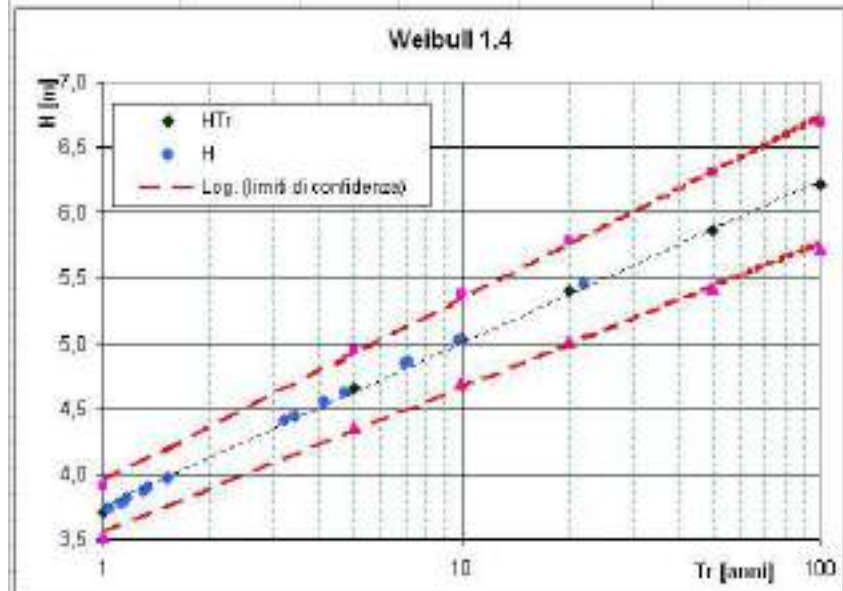
Tr [anni]	Intervallo di confidenza					
	σ_y	ω	σ_z	$\alpha=1.96 \sigma_y \sigma_z$	H+ α	H- α
1	0,82	1,92646	0,13765	0,22	4,1	3,65
5	0,82	1,92646	0,23261	0,38	5,6	4,83
10	0,82	1,92646	0,27416	0,44	6,2	5,33
20	0,82	1,92646	0,31587	0,51	6,8	5,84
60	0,82	1,92646	0,37119	0,60	7,7	6,51
100	0,82	1,92646	0,41311	0,67	8,3	7,01

settore 230°N - 250°N

Fig. 4.13 – Weibull 1.00



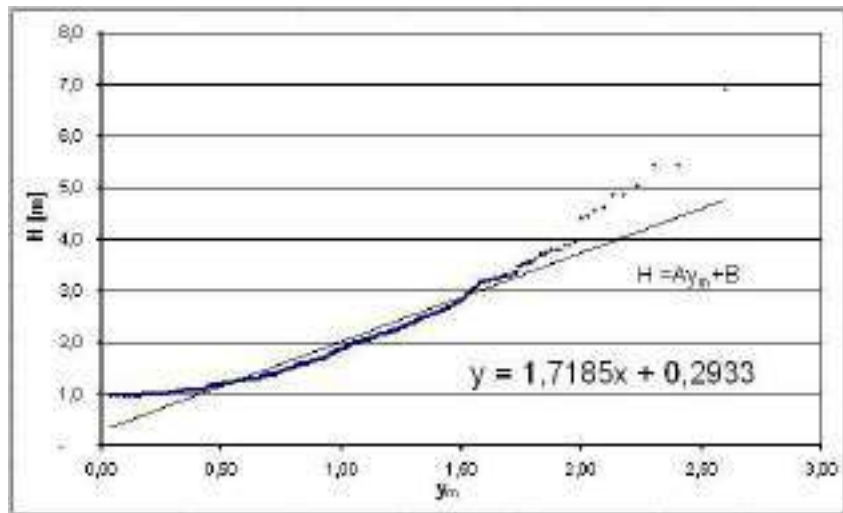
A	1,2411	Tr [anni]	y _r	H _r [m]
B	0,6852			
K=m anni	16	1	2,43755	3,7
N _r =n datesati	520	5	3,15971	4,7
λ	32,50	10	3,50298	5,0
censura	0,3157	20	3,75997	5,4
N dati	1647	50	4,17443	5,9
		100	4,45038	6,2



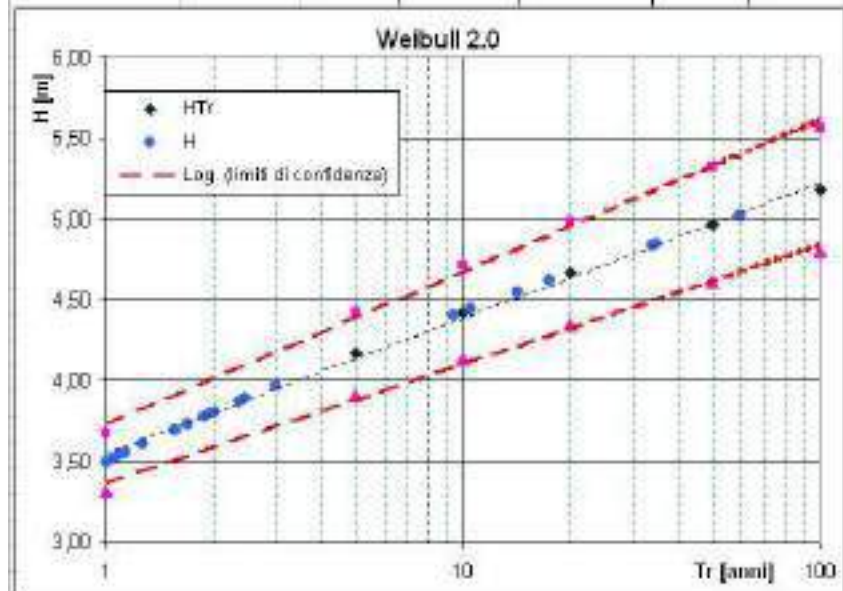
Tr [anni]	Intervallo di confidenza					
	σ_y	σ_1	σ_2	$\alpha=1.96 \sigma_y \sigma_1$	H+ α	H- α
1	0,82	4,31487	0,11841	0,19	3,9	3,52
5	0,82	4,31487	0,18452	0,30	5,0	4,36
10	0,82	4,31487	0,21164	0,34	5,4	4,68
20	0,82	4,31487	0,23799	0,38	5,8	5,01
50	0,82	4,31487	0,27177	0,44	6,3	5,43
100	0,82	4,31487	0,29660	0,48	6,7	5,73

settore 230°N - 250°N

Fig. 4.14 – Weibull 1.40



A	1,7185	Tr [anni]	y _m	H _{Tr} [m]
B	0,2933			
K=m anni	16	1	1,86591	3,90
N _T =n dati/mesi	520	5	2,25625	4,17
λ	32,50	10	2,40496	4,43
censura	0,3157	20	2,54498	4,67
N dati	1647	60	2,71906	4,97
		100	2,84366	5,16



Tr [anni]	Intervallo di confidenza					H+s	H-s
	σ_y	ω	σ_z	$\alpha=1.96 \sigma_y \sigma_z$			
1	0,82	9,47468	0,10949	0,18		3,7	3,32
5	0,82	9,47468	0,15919	0,26		4,4	3,91
10	0,82	9,47468	0,17857	0,29		4,7	4,14
20	0,82	9,47468	0,19696	0,32		5,0	4,36
60	0,82	9,47468	0,21992	0,36		5,3	4,61
100	0,82	9,47468	0,23642	0,38		5,6	4,80

settore 230°N - 250°N

Fig. 4.15 – Weibull 2.00

CETARA 160 - °180 N					
Tr [anni]	GUMBEL	WEIBULL			
		0,75	1	1,4	2
H _{Tr} [m]					
1	1,4	1,4	1,3	1,4	1,4
5	1,7	1,6	1,7	1,7	1,7
10	1,8	1,8	1,9	1,8	1,8
20	2,0	1,9	2,0	2,0	1,9
50	2,1	2,1	2,2	2,1	2,0
100	2,3	2,2	2,4	2,2	2,1

CETARA 160 - °180 N				
GUMBEL	WEIBULL			
	0,75	1	1,4	2
T _p [s]				
5,0	5,0	4,9	5,0	5,0
5,5	5,5	5,6	5,6	5,6
5,8	5,7	5,8	5,8	5,7
6,0	5,9	6,1	6,0	5,9
6,2	6,1	6,4	6,2	6,0
6,4	6,4	6,6	6,4	6,2

Tab. 4.1 – Risultati delle analisi probabilistiche relative al sub-settore 160°N-180°N

CETARA - 180-230°N					
Tr [anni]	GUMBEL	WEIBULL			
		0,75	1	1,4	2
H _{Tr} [m]					
1	2,5	2,5	2,6	2,5	2,4
5	3,1	3,5	3,3	3,1	2,9
10	3,4	4,0	3,7	3,3	3,0
20	3,6	4,5	4,0	3,6	3,2
50	4,0	5,1	4,5	3,8	3,4
100	4,2	5,7	4,8	4,0	3,5

CETARA - 180-230°N				
GUMBEL	WEIBULL			
	0,75	1	1,4	2
T _p [s]				
6,7	6,8	6,8	6,8	6,7
7,5	8,0	7,8	7,5	7,2
7,8	8,5	8,2	7,8	7,4
8,1	9,0	8,5	8,0	7,6
8,5	9,7	9,0	8,3	7,8
8,8	10,1	9,3	8,6	8,0

Tab. 4.2 – Risultati delle analisi probabilistiche relative al sub-settore 180°N-230°N

CETARA 230-250°N					
Tr [anni]	GUMBEL	WEIBULL			
		0,75	1	1,4	2
H _{Tr} [m]					
1	3,7	3,9	3,9	3,7	3,5
5	4,7	5,6	5,2	4,7	4,2
10	5,1	6,5	5,8	5,0	4,4
20	5,6	7,3	6,3	5,4	4,7
50	6,1	8,5	7,1	5,9	5,0
100	6,6	9,4	7,7	6,2	5,2

CETARA 230-250°N				
GUMBEL	WEIBULL			
	0,75	1	1,4	2
T _p [s]				
8,1	8,4	8,4	8,2	8,0
9,2	10,1	9,7	9,2	8,7
9,6	10,8	10,2	9,6	9,0
10,1	11,5	10,7	9,9	9,2
10,6	12,4	11,4	10,3	9,5
10,9	13,1	11,8	10,6	9,7

Tab. 4.3 – Risultati delle analisi probabilistiche relative al sub-settore 230°N-250°N

5 PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSO A RIVA

Noto il clima ondoso al largo del paraggio, per completare lo studio meteomarinario si valutano i fenomeni evolutivi connessi alla propagazione verso costa.

Nella propagazione verso la costa, le caratteristiche peculiari del moto ondoso proveniente da largo (condizione definita da valori di profondità h e periodo T tale che risulta $h/T > 0.5$) mutano per effetto della rifrazione e dello shoaling. L'unico parametro che si conserva inalterato (in ipotesi monocromatica) é il periodo T , mentre diminuisce sia il valore della lunghezza d'onda L sia della celerità C .

I valori della lunghezza d'onda L , secondo la teoria lineare di Airy, sono dati dalla relazione implicita:

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \operatorname{tgh}\left(\frac{2\pi h}{L}\right) \quad (5.1)$$

dove $g=9.81 \text{ m/s}^2$ accelerazione di gravità, $\pi=3.14$ e h =profondità.

La diminuzione della lunghezza d'onda, e quindi della celerità ($C=L/T$), comporta la rotazione dei fronti d'onda che tendono a disporsi parallelamente alla linea di riva.

Nel presente studio, per la propagazione, si è utilizzato il programma di calcolo Refdif V2.5, basato su un modello euleriano che determina l'altezza e la direzione di propagazione in corrispondenza dei nodi di un reticolo di calcolo e che valuta i processi di shoaling, rifrazione e diffrazione.

Il reticolo di calcolo, che schematizza il campo di propagazione, è stato impostato a largo poco oltre la batimetrica -100 , e copre un'area di circa 60 chilometri. Il reticolo è suddiviso secondo una griglia regolare principale di 60×100 nodi con passo costante pari a 100 m (Griglia A), ed un'altra di dettaglio ubicata in corrispondenza del porto di Cetara a partire dalla batimetrica -40 circa, composta da 190×160 nodi e lato 10 m (Griglia B). La batimetria è stata desunta carta nautica dell'I.I.M.M "da Ischia a P.ta Licosa" scala 1:100.000, integrata localmente con i dati del rilievo batimetrico.

5.1 Modello matematico utilizzato

Il campo di moto ondoso che si instaura al largo di Cetara è stato simulato a mezzo di un modello matematico che si basa sul principio di conservazione dell'azione d'onda $A(x,y,t)$ e sul principio di irrotazionalità del numero d'onda \vec{K} . La propagazione del moto ondoso, che sotto costa è caratterizzata dai fenomeni di rifrazione e shoaling, termina con il frangimento dell'onda, che avviene quando quest'ultima raggiunge la ripidità limite per il fondale considerato.

I dati di input del modello (altezza d'onda di largo e periodo) sono stati ricavati dal confronto tra i risultati delle varie distribuzioni delle Tabelle 4.1, 4.2 e 4.3. A vantaggio di sicurezza, si adottano i valori connessi alle distribuzioni di Weibull 0.75, che calcola i valori più cautelativi.

Le simulazioni, eseguite attraverso il modello matematico sopra descritto, sono state condotte per le condizioni estreme di altezze e periodi d'onda associati al periodo di ritorno di progetto ($T_r=50$ anni), relative alle direzioni $190^\circ N$ e $230^\circ N$.

Nella seguente Tab.5.1 si riportano i valori di altezza e periodo d'onda cinquantennali per direzioni di provenienza utilizzate nelle applicazioni del modello di propagazione.

WEIBULL 0.75 - $T_r = 50$ANNI		
DIR. [$^\circ N$]	H_{T_r50} [m]	T_s [s]
190	5.1	9.7
230	8.5	12.4

Tab.5.1

5.2 Risultati della propagazione del moto ondoso dal largo verso costa

Allo scopo di garantire una lettura più chiara dei risultati del modello, si è proceduto ad una elaborazione grafica dei dati di output tracciando in ciascun punto della griglia di calcolo un vettore la cui intensità è proporzionale all'altezza d'onda e la cui inclinazione coincide con quella dell'ortogonale al fronte d'onda. Il dominio di propagazione è stato caratterizzato cromaticamente in funzione dell'altezza d'onda.

Dalle simulazioni di propagazione del moto ondoso di largo verso costa si evince che poichè la direzione $230^\circ N$ di largo, scelta per la simulazione ed appartenente alla traversia principale, è orientata con una cospicua inclinazione rispetto alla costa in esame, i fronti d'onda, nel propagarsi, per effetto dei fenomeni rifrattivi tendono a disporsi parallelamente alle isobate, ciò comporta una riduzione per shoaling delle altezze d'onda, che in corrispondenza delle opere in progetto attingono valori dell'ordine di 3-4 m.

La mareggiata di provenienza $190^\circ N$, seppure caratterizzata da valori estremi di largo inferiori rispetto a quelli assunti per la simulazione relativa alla mareggiata di provenienza $230^\circ N$, si propaga in corrispondenza delle opere di difesa del Porto di Cetara con valori di altezza d'onda dell'ordine dei 5 m, in quanto presenta un'inclinazione di largo meno inclinata, rispetto alla costa.

Per il dimensionamento delle opere portuali si assume, a vantaggio di sicurezza, un'altezza d'onda di progetto pari a $H_s = 5,5m$.

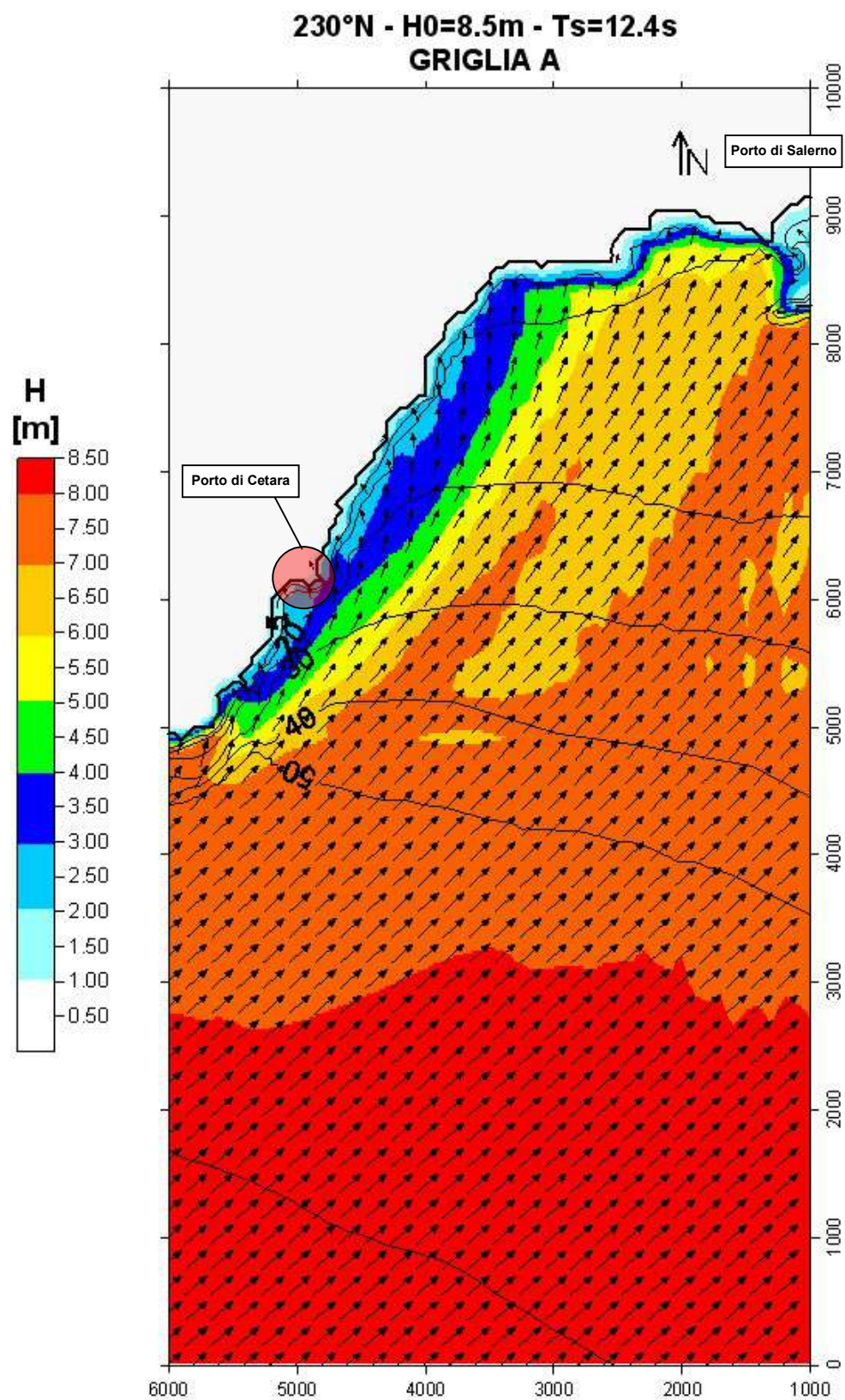


Fig. 5.1 - Simulazione tramite modello matematico della propagazione di una mareggiata proveniente da 230°N (GRIGLIA A)

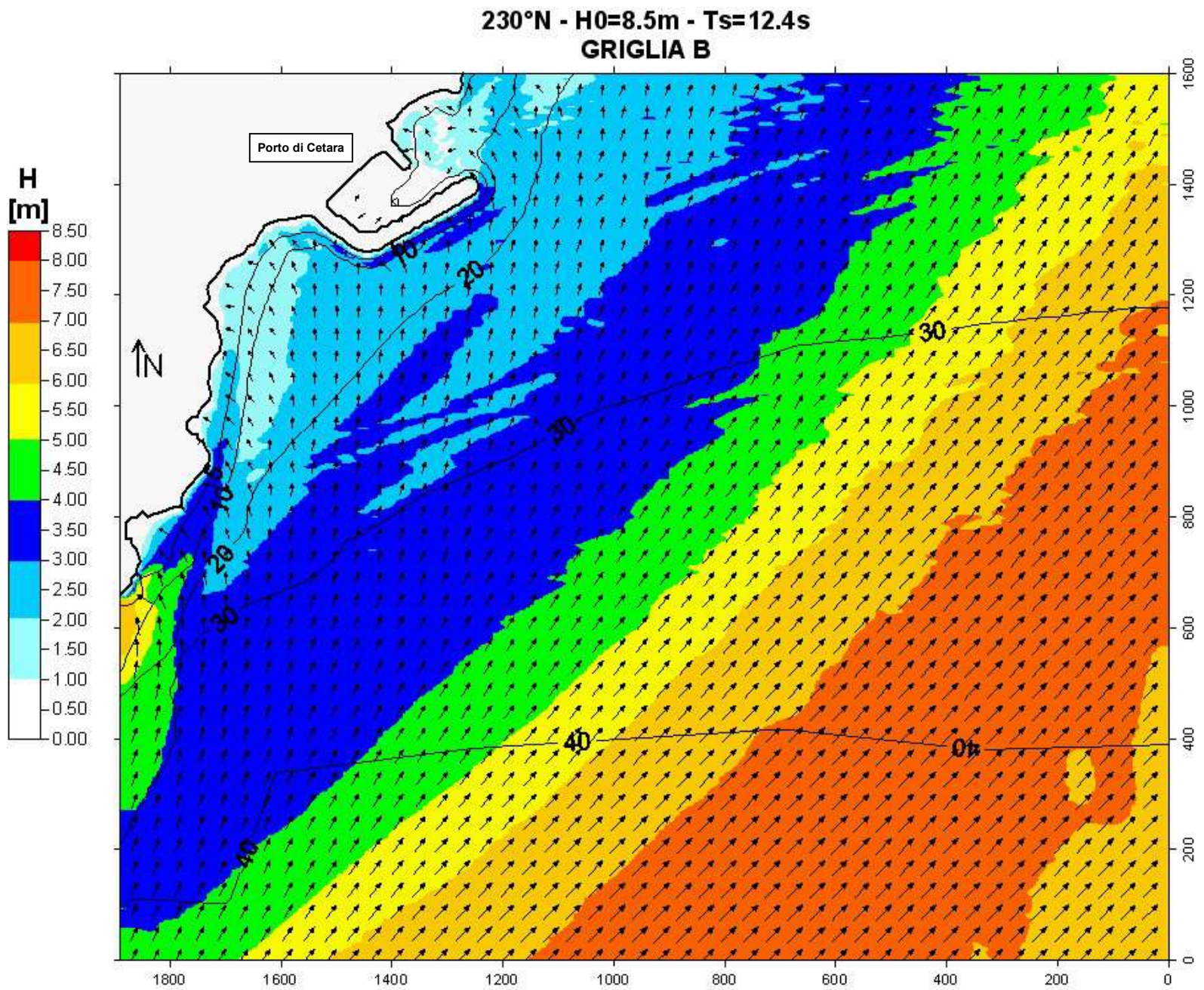


Fig. 5.2 - Simulazione tramite modello matematico della propagazione di una mareggiata proveniente da 230°N (GRIGLIA B)

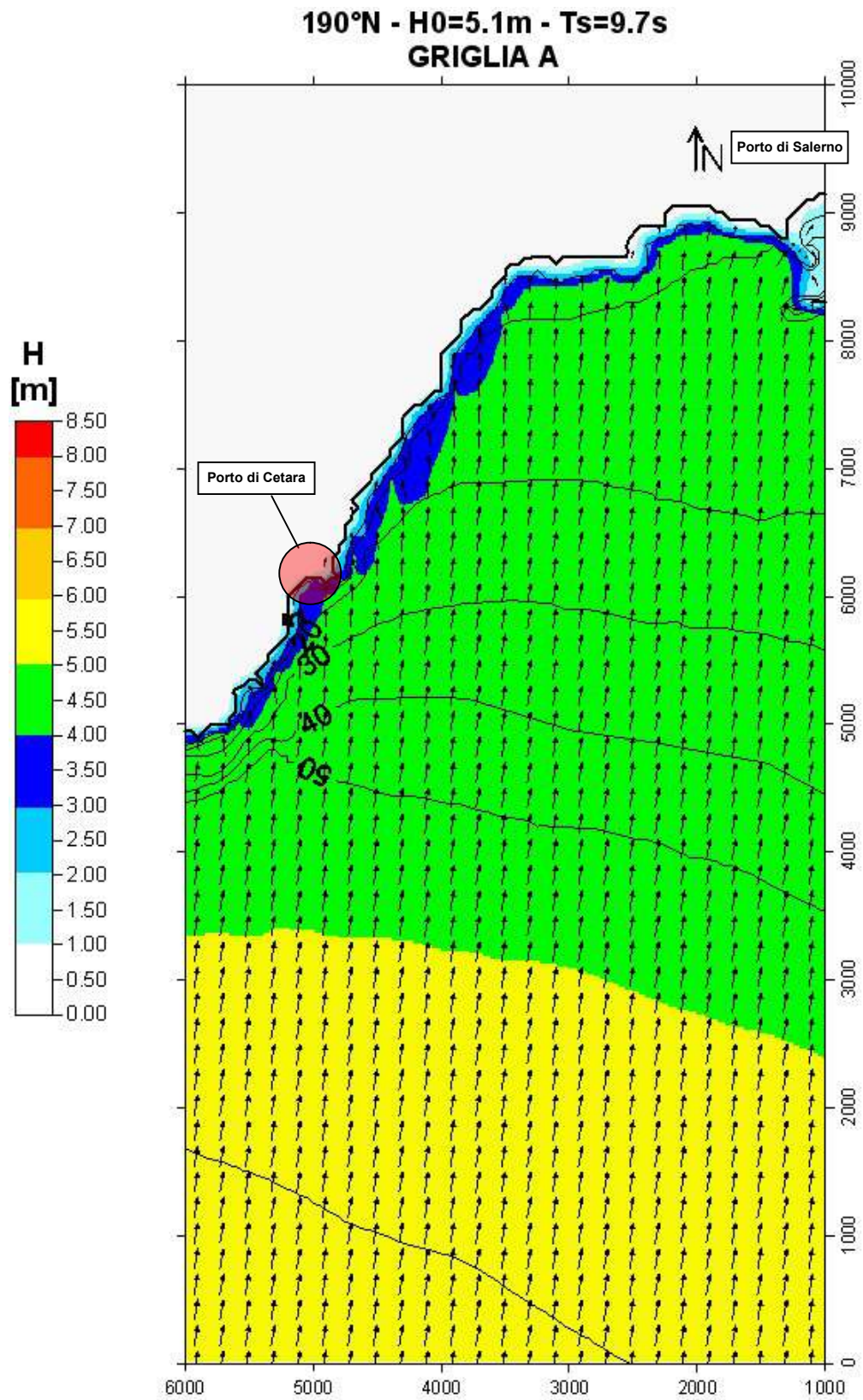


Fig. 5.3 - Simulazione tramite modello matematico della propagazione di una mareggiata proveniente da 190°N (GRIGLIA A)

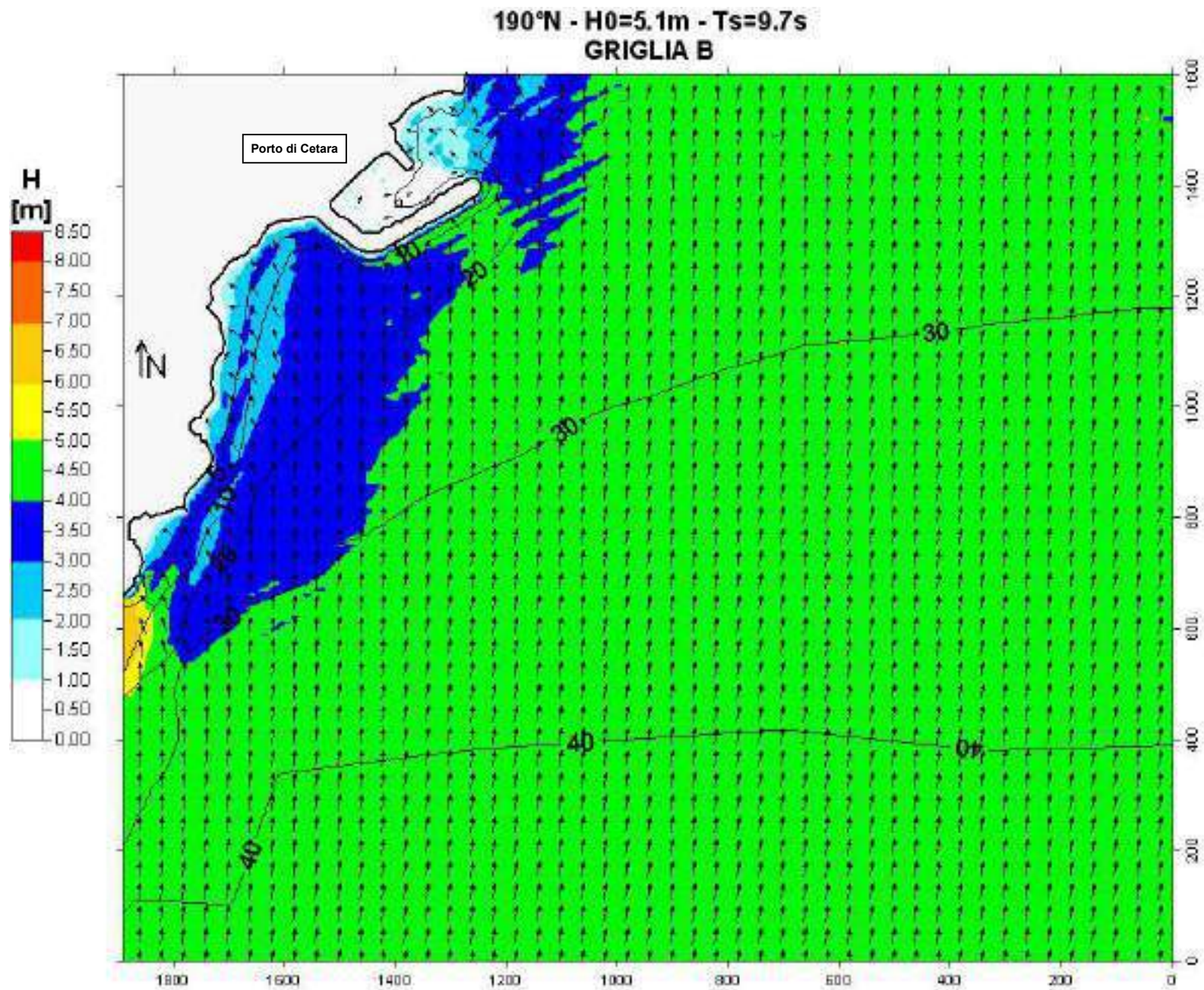


Fig. 5.4 - Simulazione tramite modello matematico della propagazione di una mareggiata proveniente da 190°N (GRIGLIA B)

6 CALCOLO SOPRALZO MEDIO MARE

In questo paragrafo viene calcolata l'entità del sopralzo rispetto al medio mare dovuto al contributo della marea, al sopralzo di tempesta ed al sopralzo barico. Si trascurano i contributi dovuti al vento ed alle differenze di densità in quanto forniscono valori esigui rispetto agli altri (qualche centimetro) ed anche perché si è già assunta una condizione cautelativa considerando contemporaneamente il sopralzo barico e di marea, fenomeni che hanno una bassa probabilità di contemporaneo accadimento.

Il sopralzo dovuto a marea astronomica nel Tirreno è contenuto in un'escursione positiva massima di 0.20 m.

Il sopralzo di tempesta a largo viene determinato tramite la seguente relazione:

$$S_{\text{largo}} = \pi H_0^2 / 4L_0 \quad (7.1)$$

Per quanto esposto i contributi massimi dei singoli fenomeni al sopralzo del medio sono i seguenti:

- Sopralzo barico $S_b=0.20$ m
- Sopralzo di marea $S_m=0.20$ m
- Sopralzo di tempesta

DIR. [°N]	H_{Tr50} [m]	T_s [s]	Sopralzo
190	5.1	9.7	0.14
230	8.5	12.4	0.23

Tab.7.1