anas
GRUPPO FS ITALIANE

Struttura Territoriale Liguria

SS1– "Aurelia"

Lavori di costruzione di scogliere a protezione della sede stradale dal km 578+400 al km 644+000

AREA "A1" - LOCALITA' VARIGOTTI-FINALE LIGURE

Cod. SILWEB: NOMSGE00497

PROGETTO ESECUTIVO

IL PROGETTISTA
ITALIANA PROGETTI – I.PRO srl – ING. Antonio De Maria
Iscritto all'Ordine degli Ingegneri di Benevento n.394

GRUPPO DI LAVORO I.PRO srl
Arch. Grazia Maria De Maria
Ing. Angelo Viscusi
Arch. Valentino Ferraro
Geom. Luigi Maio

Dott. Ing. DE MARIA ANTONIO – ALBO INGEGNERI Provincia di BENEVENTO n. 394 – VITULANO (BN)

I.PRO S.r.l.
Piazza San Bernardo 101 00187 ROMA
Web: www.iprosrl.it - Mail: info@iprosrl.it - pec: iprosrl@pec.it

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO
Ing. Salvatore Frasca

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE
ITALIANA PROGETTI – I.PRO srl – ING. Antonio De Maria
Iscritto all'Ordine degli Ingegneri di Benevento n.394

PROTOCOLLO

DATA OTTOBRE 2024

RELAZIONI SPECIALISTICHE:

Relazione idraulico marittima

CODICE PROGETTO			NOME FILE	REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.			
	E		CODICE ELAB. T00CI00IDRRE01	0	

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

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 3

2.2 FETCHES GEOGRAFICI ED EFFICACI 5

3 CLIMA DEL MOTO ONDOSO AL LARGO 8

3.1 DATI METEOMARINI A DISPOSIZIONE 8

3.2 TRASPOSIZIONE GEOGRAFICA AL LARGO DEL PARAGGIO 10

4 STATISTICA DEGLI EVENTI ESTREMI DI LARGO 16

4.1 VALUTAZIONE DEI MASSIMI VALORI D'ALTEZZE D'ONDA PER DETERMINATI PERIODI DI RITORNO 16

1 PREMESSA

Il presente studio meteo marino è finalizzato alla caratterizzazione preliminare del clima ondoso a cui è soggetto il tratto di costa in esame.

Gli obbiettivi generali dello studio sono quelli di definire dal punto di vista statistico (valori medi ed estremi) i principali parametri meteomarini che condizionano la progettazione portuale, in particolare lo studio è così articolato:

- Definizione del settore di traversia di largo;
- Reperimento ed analisi statistica-probabilistica di serie storiche ondametriche;
- Studio della propagazione del moto ondoso da largo;
- Definizione dei valori del moto ondoso da utilizzare nei calcoli di progetto.

2 IL PARAGGIO OGGETTO DI STUDIO

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

Le opere in progetto saranno realizzate nel territorio del Comune di Finale Ligure (SV), in una fascia costiera delimitata a ovest dal promontorio di Capo Mele e ad est dalla località di Varigotti. In particolare lo studio ha riguardato 2 aree distinte di detto tratto di litorale; una prima area “A1” delimitata a nord-est del porto turistico di Finale Ligure e adiacente la spiaggia di Varigotti, per un estensione di circa 1000 m (oggetto della presente progettazione), ed una seconda area “A2” per una lunghezza complessiva di circa 1200 m, antistante Capo Caprazoppa, una seconda. Si veda **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**.



Figura 1- Inquadramento geografico aree oggetto di intervento

Il paraggio in esame è collocato sulla costa di Finale Ligure in provincia di Savona, ed è parte del tratto della costa del Ponente Ligure che da Capo mele a Voltri si mantiene mediamente frontale alla direzione di provenienza del mare di Scirocco, ma con variazioni locali continue, determinate dai Capi, delle Punte e degli Estuari dei corsi d'acqua maggiori, che incidono notevolmente sull'influenza costiera del mare

dominante di Libeccio,m determinando cosi il senso dominante del trasporto di sedimenti verso Levante.

La definizione del settore di traversia geografico caratterizza in via preliminare l'esposizione "potenziale" al moto ondoso. A tale scopo, individuata una posizione al largo del paraggio in acque profonde (-50 m s.l.m.m.), 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.

Il settore di traversia del paraggio esaminato risulta molto ampio, in quanto è esteso da 60°N (Punta di Portofino) fino a (Capo Mele) con direzione di (220°N).

Tale settore, raffigurato in Figura 2, è composto da un settore principale (Settore Occidentale), da cui provengono le mareggiate di maggiore frequenza ed intensità, che è delimitato a Nord dalla direzione 180°N (Capo dell'Argentiera) ed ad ovest (Capo Mele), dalla direzione 220°N e da un settore secondario (Settore Orientale) individuato dalle direzioni 180°N (Capo dell'Argentiera) e 60°N (Punta di Portofino).

I fetches geografici interni al settore di traversia (60°N-220°N) sono limitati a Nord-Est da Genova, ad Ovest dalle coste dell'Africa e infine a sud, dalle isole Corsica e Sardegna.

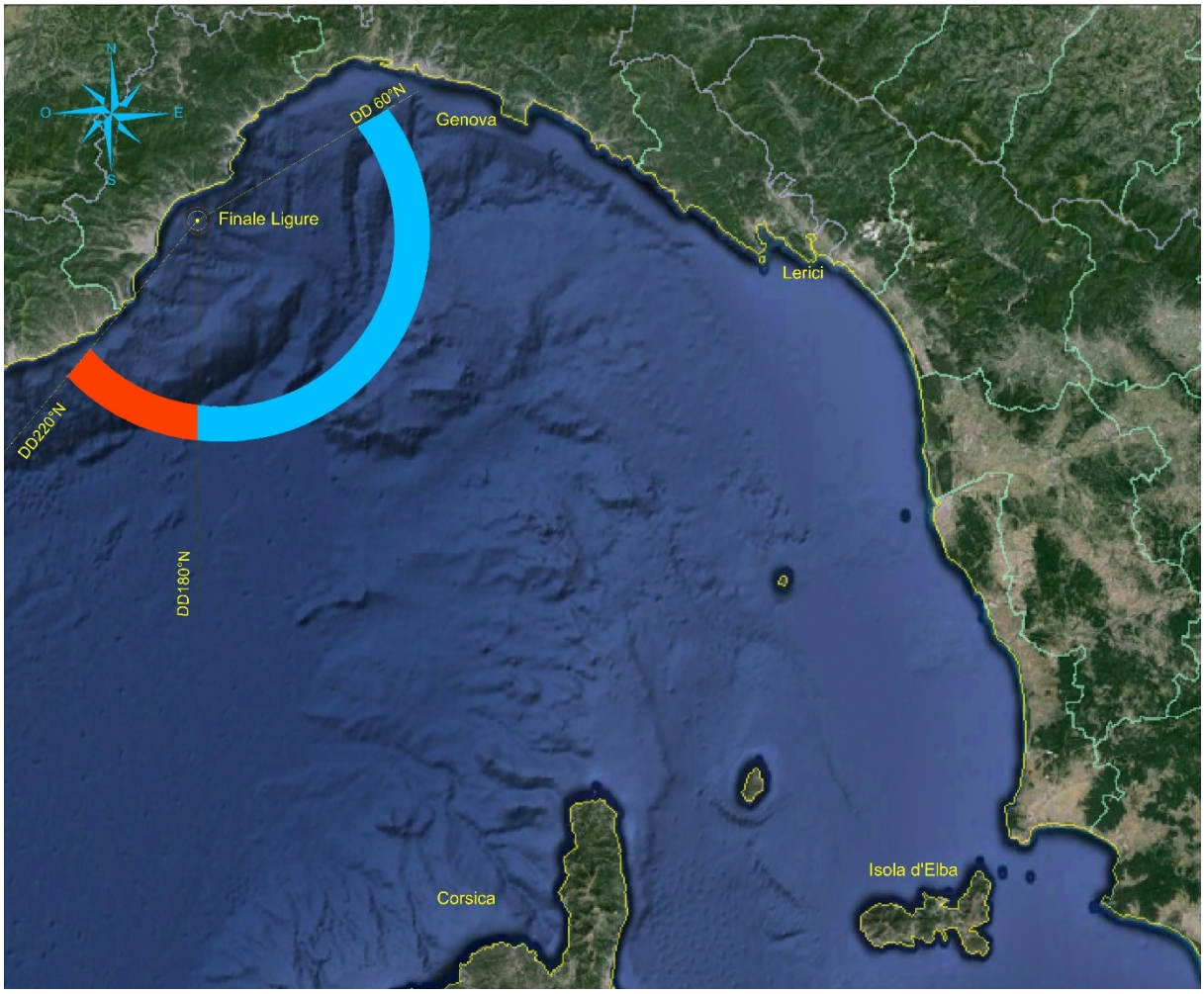


Figura 2 - Settore di traversia del paraggio di Finale Ligure (SV)

2.2 Fetches geografici ed efficaci

L'estensione della superficie del mare sulla quale si esplica "effettivamente" l'azione di trasferimento energetico dal vento al mare , che genera il moto ondoso è definita come *fetch efficace* o effettivo.

Il valore del *fetch* efficace relativo ad una determinata direzione è funzione dell'estensione dei *fetch* geografico che si misura lungo la direzione considerata , nonché risulta funzione dei fetches geografici associati alle direzioni contigue a quella considerata. 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 *fetch efficaci* può essere eseguito in base alla seguente relazione:

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

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;
$\phi_w - \theta \le \phi_i \le \phi_w + \theta$	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 θ = ± 45° mentre quello di Seymour fa riferimento ad un valore di θ = ± 90°);
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 (1) deriva dalla teoria di ricostruzione indiretta del moto ondoso nota come metodo S.M.B. (Sverdrup, Munk e Bretsheneider, 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° 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 spira il vento.

I valori dei fetches geografici ed efficaci ottenuti per il paraggio in esame sono riportati nella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**. Nel grafico seguente (Figura 3) i suddetti fetches sono rappresentati sotto forma di diagramma polare.

DD (°N)	Fetch geografici (Km)	Fetch efficaci (Km)
0	3.7	5.9
10	4.0	8.8
20	4.9	13.2
30	5.6	19.6
40	7.9	28.1
50	47.9	38.9
60	56.5	52.2
70	67.6	68.5
80	84.4	87.6
90	106.7	108.8
100	152.8	130.5
110	165.8	151.5
120	204.2	171.2
130	217.8	190.3
140	500.0	209.2
150	158.0	227.7
160	170.5	244.0
170	177.7	255.3
180	365.0	258.7
190	500.0	251.8
200	500.0	233.6
210	500.0	205.1
220	24.4	168.8
230	13.7	128.7
240	12.0	89.6
250	9.8	56.2
260	7.9	31.4
270	7.0	16.0
280	6.0	8.2
290	5.1	5.2
300	4.3	4.3
310	3.7	3.8
320	3.3	3.5
330	3.1	3.3
340	3.3	3.5
350	3.4	4.2

Tab. 1- Paraggio di Finale Ligure (SV): Valori numerici in Km dei fetches geografici ed efficaci

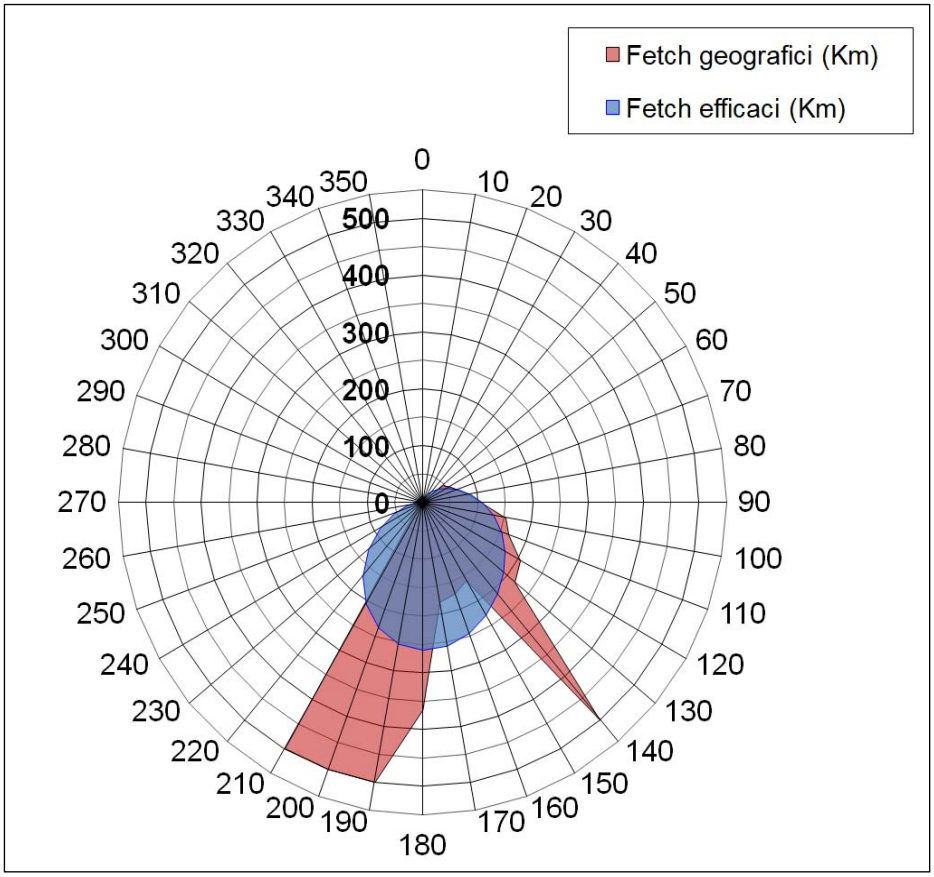


Figura 3 - Paraggio di Finale Ligure (SV): Diagramma polare dei fetches

3 CLIMA DEL MOTO ONDOSO AL LARGO

3.1 Dati meteomarini a disposizione

In questo paragrafo si è proceduto al reperimento ed all'analisi dei dati di moto ondoso disponibili nella zona d'interesse.

Per i dati ondametrici si è fatto riferimento alle registrazioni effettuate dalla boa ondametrica della RON ubicate al largo di la Spezia, si veda (Figura 6), che oltre ad essere molto vicina al sito in esame è anche caratterizzata da una popolazione di dati ondametrici opportunamente lunga (è in funzione dal 1998) e presenta la stessa esposizione.

La stazione ondametrica di La spezia fa parte della Rete Ondametrica Nazionale gestita dall'APAT.

I dati ondametrici rilevati alla Stazione ondametrica ai quali si è fatto riferimento sono quelli compresi tra il 01/01/1998 ed il 30/12/2014.

DD (°N)	Fetch geografici (Km)	Fetch efficaci (Km)
0	13.6	20.0
10	18.6	17.5
20	17.9	16.5
30	17.2	16.6
40	17.1	17.3
50	21.1	18.6
60	22.8	20.2
70	24.7	22.3
80	26.9	25.0
90	30.5	28.8
100	33.6	35.5
110	37.6	47.0
120	41.8	64.6
130	48.7	87.9
140	62.4	115.9
150	114.7	147.5
160	130.7	181.0
170	500.0	215.1
180	500.0	248.3
190	149.1	278.6
200	142.3	303.6
210	500.0	320.5
220	500.0	327.2
230	500.0	322.6
240	500.0	306.5
250	500.0	279.9
260	220.4	245.1
270	137.4	205.2
280	127.8	164.3
290	117.2	126.9
300	105.0	95.7
310	64.7	71.4
320	44.8	53.5
330	27.2	40.5
340	20.0	31.2
350	16.2	24.5

Figura 4- Ondametro di La Spezia: Fetches geografici ed efficaci

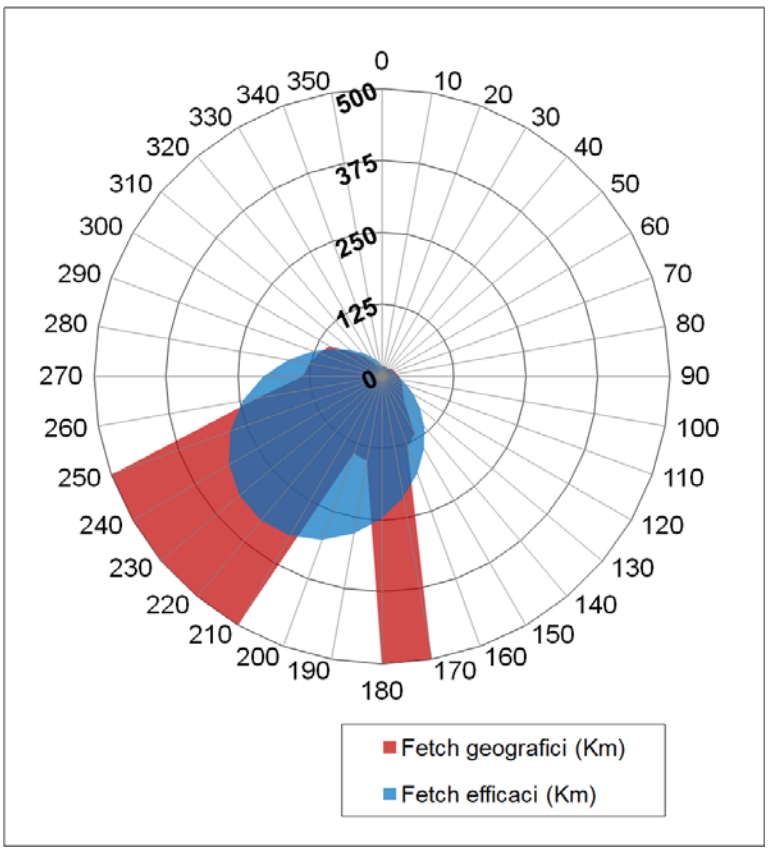


Figura 5 - Ondametro di La Spezia: Diagramma polare dei fetches

3.2 Trasposizione geografica al largo del paraggio

Il paraggio in esame è ubicato ad una distanza di circa 85 Km dalla stazione ondametrica di La Spezia; le registrazioni ondametriche della stazione di riferimento, pur essendo rappresentative dell'esposizione climatica del Mar Ligure, non tiene conto della distinta posizione geografica dei sito di interesse. Pertanto, è necessario applicare la metodologia di «trasposizione geografica», per il calcolo della relazione esistente tra la direzione del vento e quella del moto ondoso generato, con 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 :

$$f(\phi_w) = F_{e,\phi_w}^{0.28} \cdot (\cos\phi_w)^{0.44} \qquad (4)$$

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.

Nello specifico è stata eseguita la trasposizione geografica partendo dalle registrazioni ondametriche della boa ondametrica reale di La Spezia e determinando, per l'ondametro virtuale a largo di Finale Ligure (Figura 6), i corrispondenti valori di altezza d'onda, periodo e direzione di propagazione del moto ondoso.



Figura 6 - Ubicazione dell' area di studio e individuazione dati ondametrici

In Figura 7 si riporta la legge di deviazione tra la direzione media del vento e quella del moto ondoso.

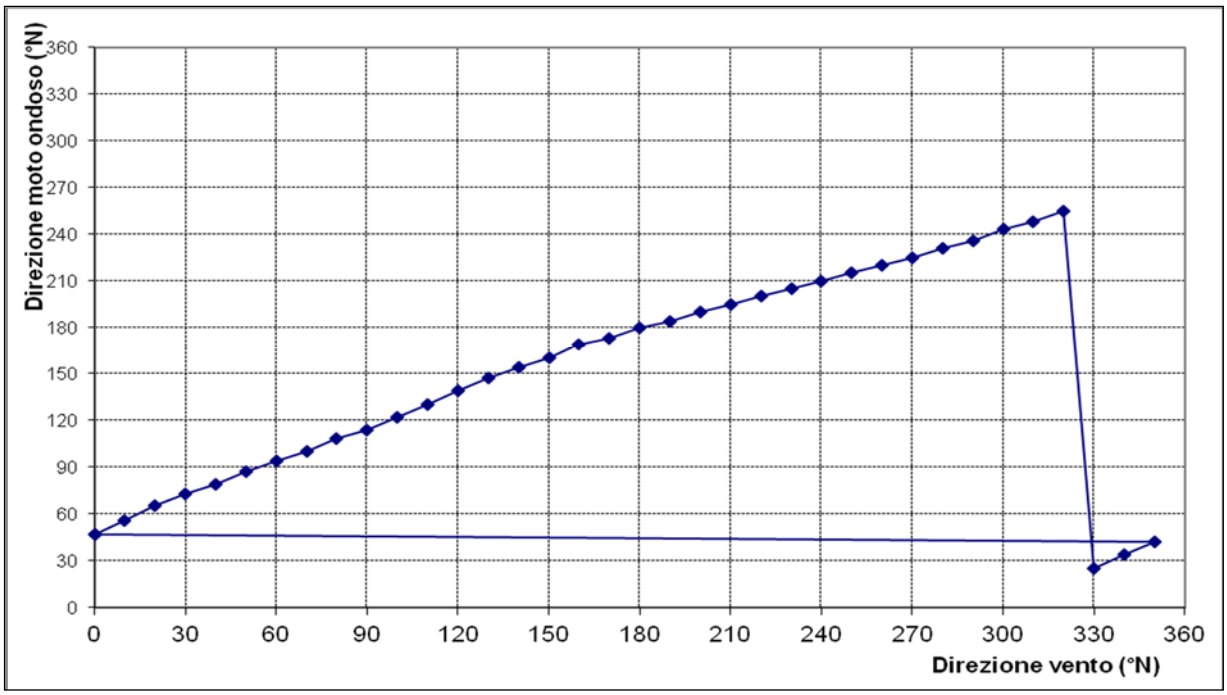


Figura 7- Legge di deviazione tra la direzione media del vento e la direzione media del moto ondoso.

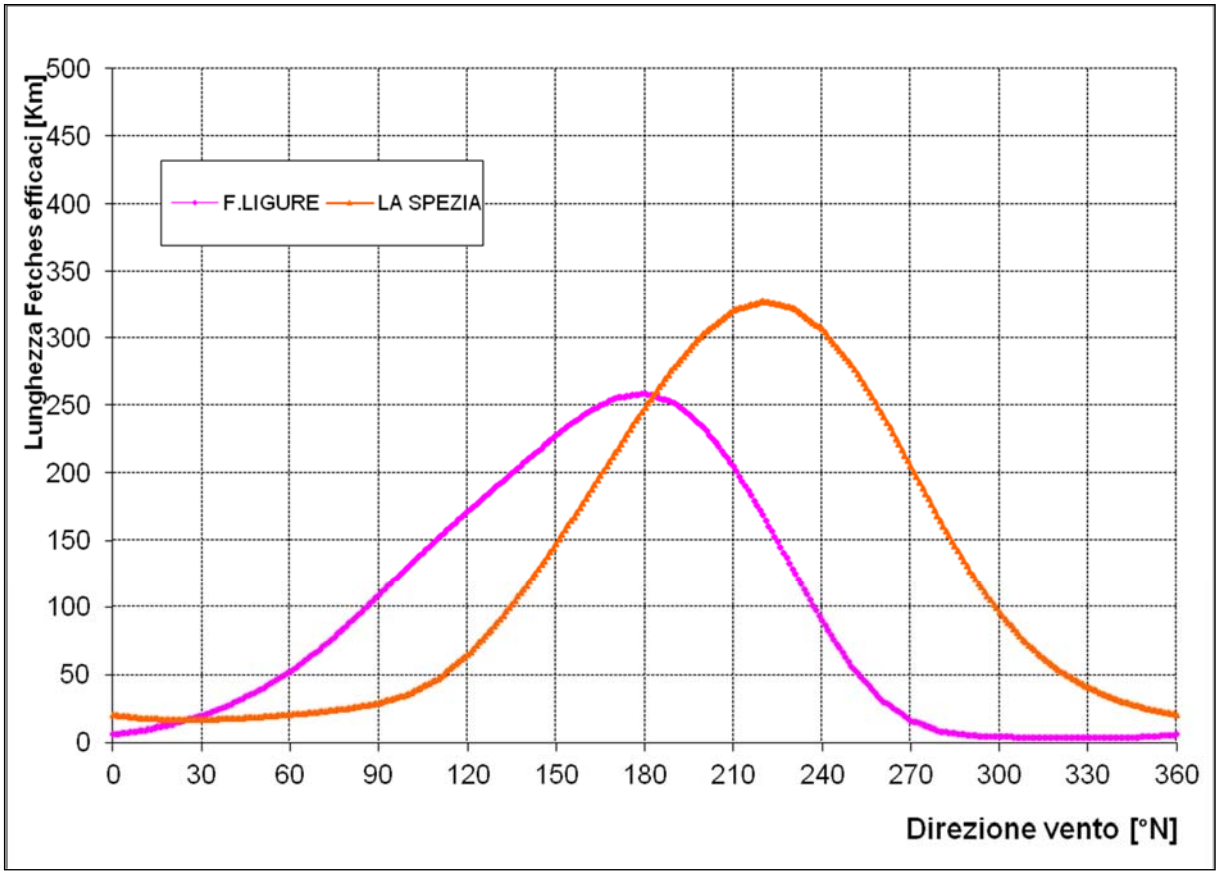


Figura 8-

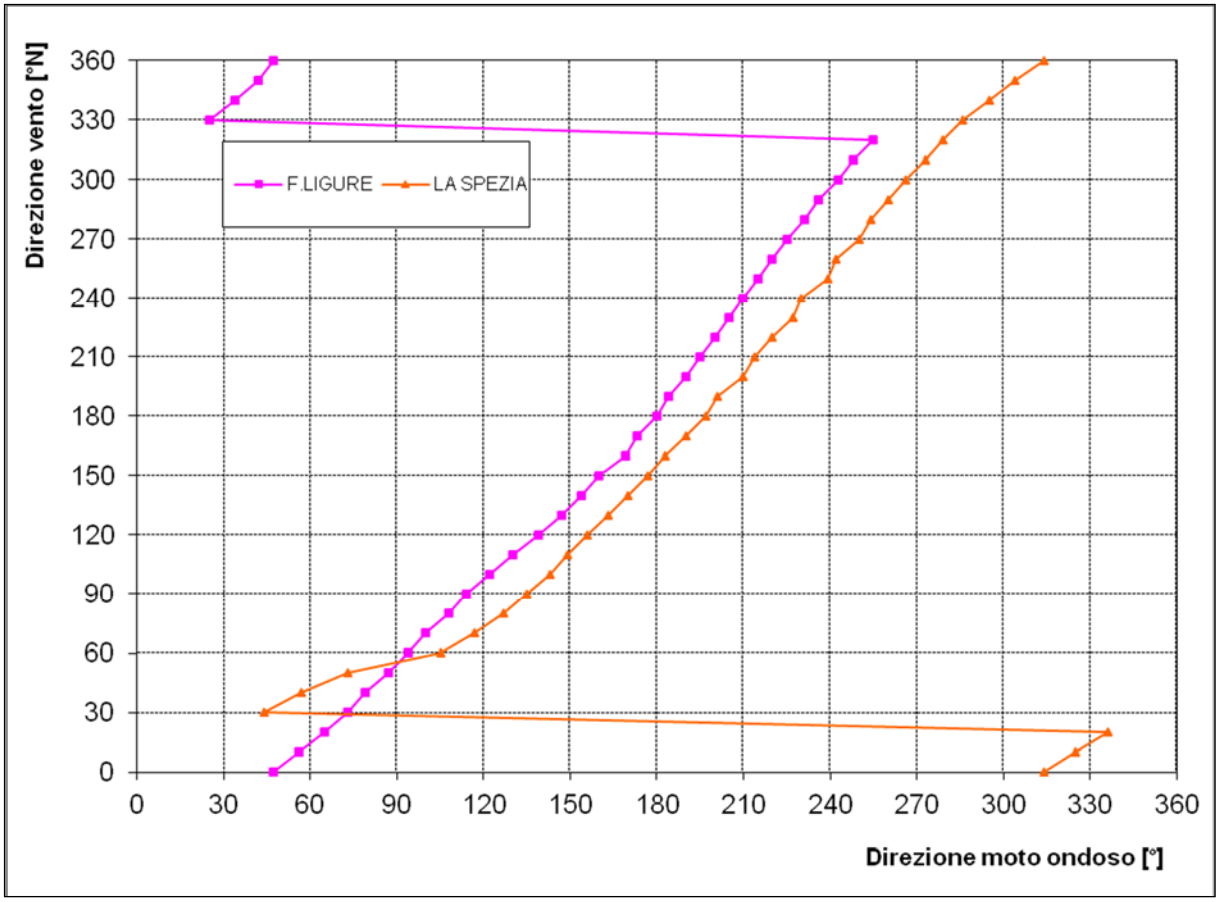


Figura 9 - Deviazione vento-mare da boa di La spezia alla boa virtuale di F. Ligure

La taratura dei valori di altezza d'onda e periodo tra i due ondametri viene eseguita sulla base di algoritmi basati sui fetches efficaci .

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:

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

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

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 La Spezia) ed al punto di trasposizione (ondametro virtuale al

largo del litorale di Finale Ligure), le relazioni (2a) e (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 (2a) e dalla (2b) da si ottengono le seguenti espressioni:

$$\frac{H^{P}{}_{m0}}{H^{O}{}_{m0}} = \left(\frac{F^{P}}{F^{O}}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad (3a)$$

$$\frac{T^{P}{}_{m0}}{T^{O}{}_{m0}} = \left(\frac{F^{P}}{F^{O}}\right)^{\frac{1}{3}} \qquad (3b)$$

I risultati delle suddette elaborazioni sono riportati nella seguente **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**.

Dir [N°]	fetches efficaci [Km]		Coeff. di taratura		Dir [N°]	fetches efficaci [Km]		Coeff. di taratura	
	LA SPEZIA	F.LIGURE	x H	x T		LA SPEZIA	F.LIGURE	x H	x T
360	20	6	0.542	0.665	180	248	259	1.021	1.014
10	17	9	0.707	0.794	190	279	252	0.951	0.967
20	16	13	0.895	0.929	200	304	234	0.877	0.916
30	17	20	1.087	1.057	210	320	205	0.800	0.862
40	17	28	1.273	1.174	220	327	169	0.718	0.802
50	19	39	1.447	1.279	230	323	129	0.632	0.736
60	20	52	1.606	1.372	240	306	90	0.541	0.664
70	22	68	1.753	1.454	250	280	56	0.448	0.585
80	25	88	1.874	1.520	260	245	31	0.358	0.504
90	29	109	1.942	1.557	270	205	16	0.279	0.427
100	36	130	1.917	1.543	280	164	8	0.224	0.369
110	47	151	1.794	1.477	290	127	5	0.203	0.345
120	65	171	1.628	1.384	300	96	4	0.211	0.354
130	88	190	1.472	1.294	310	71	4	0.230	0.376
140	116	209	1.344	1.218	320	53	3	0.255	0.402
150	147	228	1.243	1.156	330	41	3	0.287	0.435
160	181	244	1.161	1.105	340	31	4	0.335	0.483
170	215	255	1.089	1.059	350	24	4	0.416	0.558

Tab. 2- Coefficienti di taratura

Per quanto concerne le direzioni di propagazione del moto ondoso, per un determinato paraggio, 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:

$$f(\phi_w) = F_{e,\phi_w}^{0.28} \cdot (\cos\phi_w)^{0.44} \qquad (4)$$

Pertanto, 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.

Quindi, dal punto di vista operativo, si determinano per entrambi i siti “O” e “P” (di misura e trasposizione) le deviazioni tra le direzioni del vento ed il mare. Successivamente, tenuto conto che i due paraggi sono soggetti contemporaneamente alla stessa mareggiata, generata dalle stesse condizioni di vento, si deduce che, nota la direzione del moto ondoso registrata all’ondametro di misura “O” (nel caso in esame La Spezia), si calcola la direzione del vento che lo ha generato e che è comune a quella del sito di trasposizione “P” (nel caso in esame Finale Ligure), determinando in tal modo la corrispondente direzione del moto ondoso . I risultati delle elaborazioni sono sintetizzati nelle seguenti Figura 10 e Figura 11.

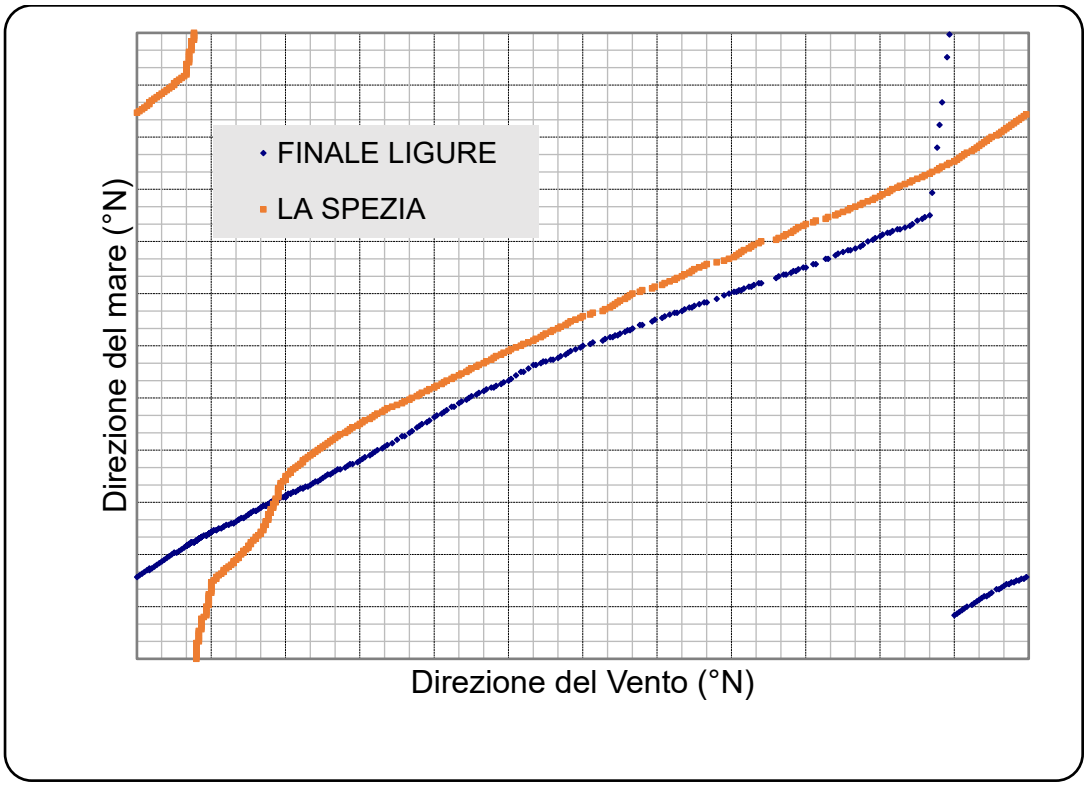


Figura 10 - Deviazione tra direzione del vento e direzione del mare per i due paraggi

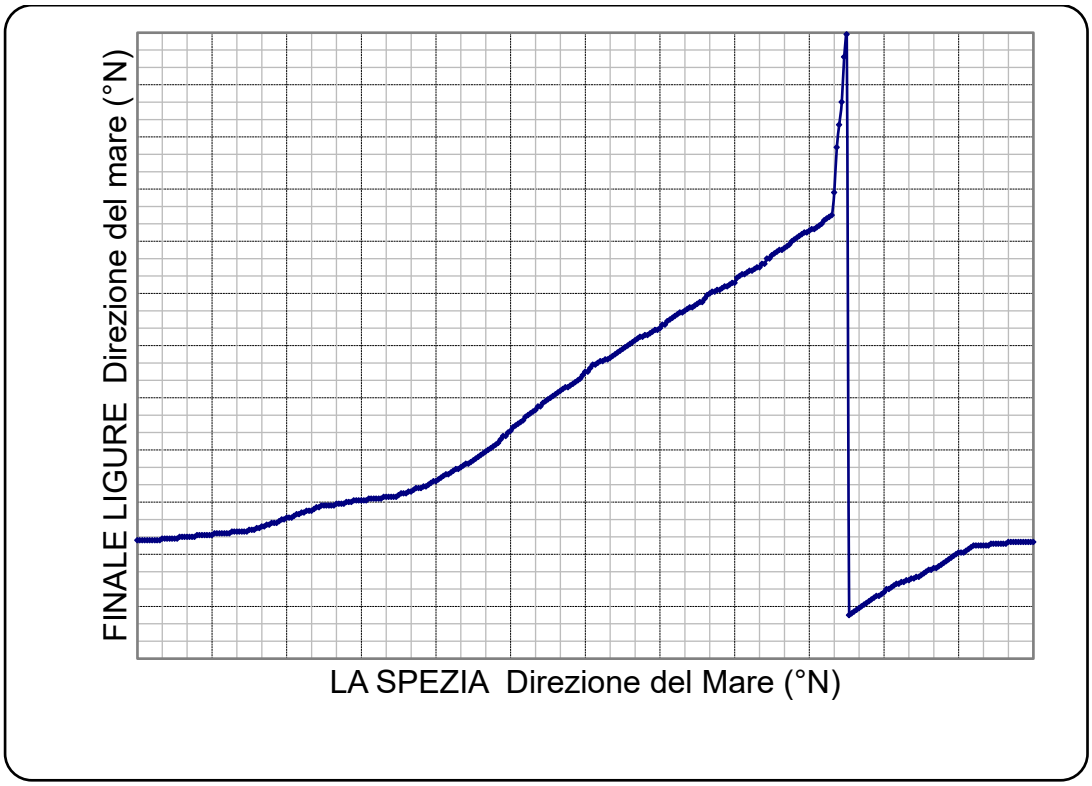


Figura 11- Direzione del mare per i due paraggi

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 a cui è esposto un paraggio marino, 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 state considerate i massimi delle mareggiate con valori di altezze d'onda superiori alla soglia di 2.0m (vedi Fig. 4.1).

Nel presente studio si sono applicate le distribuzioni di Fisher-Tippet I (5) e di Weibull (6), per le quali la probabilità di non superamento associata ad ogni valore di altezza significativa è rispettivamente pari a :

$$F\left(H_s \le H_{sm}\right) = 1 - \frac{m - 0.44}{N_T + 0.12} \tag{5}$$

$$F\left(H_s \le H_{sm}\right) = 1 - \frac{m - 0.20 - 0.27/\sqrt{k}}{N_T + 0.20 + 0.23/\sqrt{k}} \tag{6}$$

dove:

- $F\left(H_s \le H_{sm}\right)$ = 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 (7) e la (8) a seconda se si utilizza F.T.-1 o Weibull.

I calcoli sono basati sulle seguenti relazioni:

FT- 1 $$y_m = -\ln\left[-\ln F\left(H_s \le H_{sm}\right)\right] \tag{7}$$

Weibull $$y_m = \left\{-\ln\left[1 - F\left(H_s \le H_{sm}\right)\right]\right\}^{1/k} \tag{8}$$

$$H_{sm} = A y_m + B \tag{9}$$

L’equazione (9) 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:

$$H_{Tr} = Ay_r + B \tag{10}$$

FT- 1

$$y_r = -\ln\left[-\ln\left(1-\frac{1}{\lambda T_r}\right)\right] \tag{11}$$

Weibull

$$y_r = \left[\ln(\lambda T_r)\right]^{1/k} \tag{12}$$

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.

E’ stata eseguita un’analisi omni-direzionale relativa alle direzioni del settore principale e secondario già individuati e rappresentanti in Figura 2 di pag **Errore. Il segnalibro non è definito.**, rispettivamente delimitati tra le direzioni 60°N – 180°N (sub settore orientale), 220°N – 180°N (sub settore occidentale).

Nell’analisi si è considerato, nella caratterizzazione del parametro di censura, il valore corrispondente alla soglia Hs=1.0 m (Figura 12).

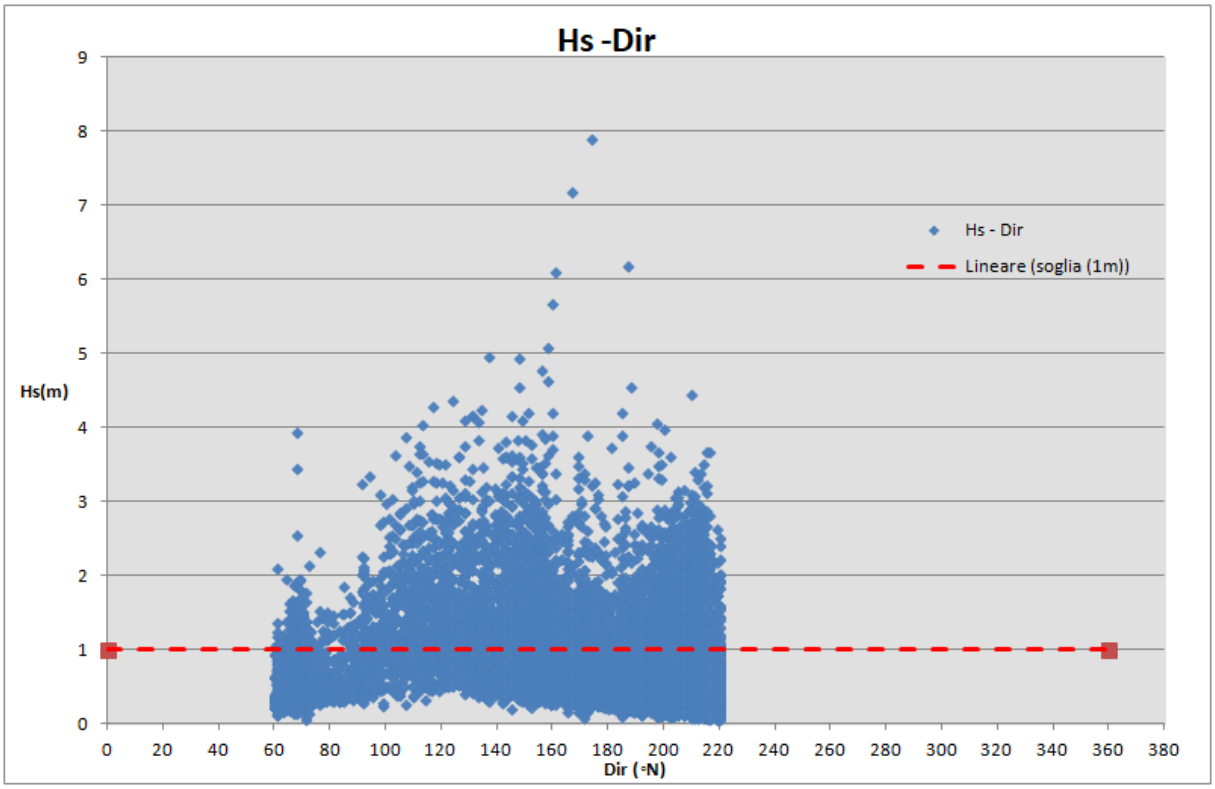
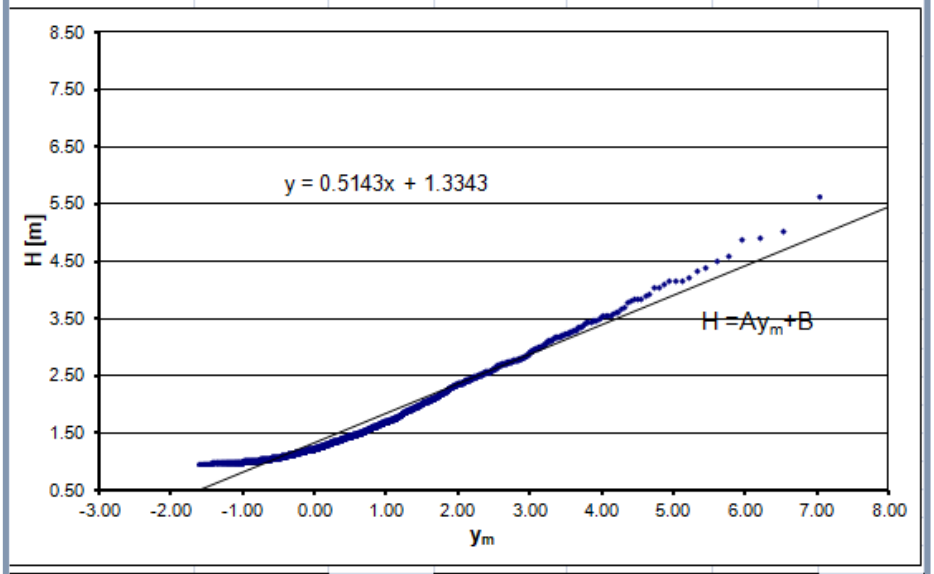


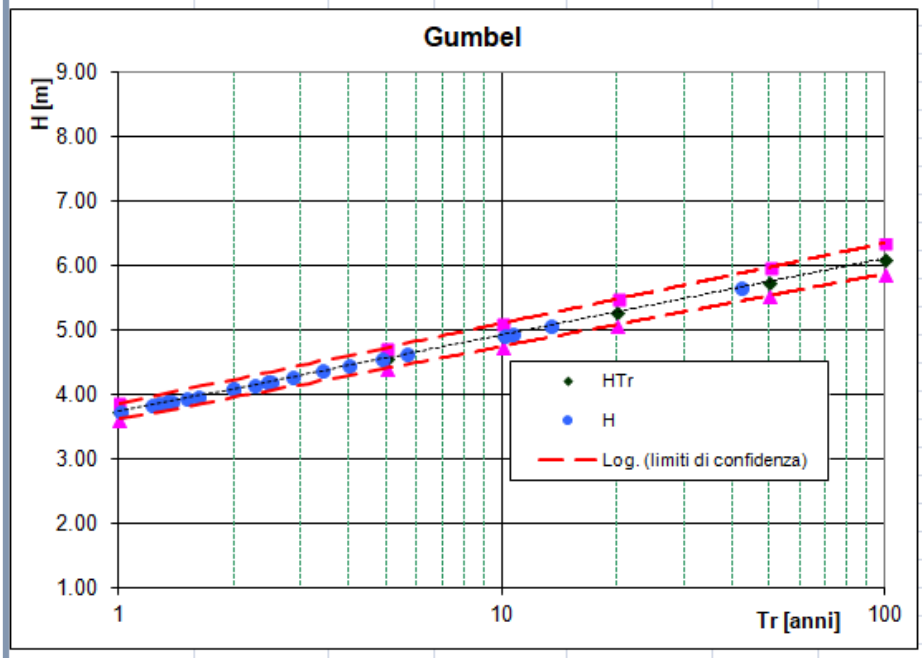
Figura 12- Serie campionaria relativa alle altezze significative di largo per il settore che va da 60°-220°N

Nelle figure da Figura 13 a Figura 17, si illustrano i risultati delle applicazioni relative alla procedura di Gumbel e Weibull, al variare del coefficiente k; in particolare si sono assunti i seguenti valori di tale coefficiente: 0,4; 1,0; 1,4; 2,0. Le analisi sono state condotte tramite studio omnidirezionale e in particolare per il settore 60°- 220°N.



A	0.5143
B	1.3343
K=n anni	16.5
N=n dati usati	1739
λ	105.39
censura	1.0000
N_T=n dati Totali	1739

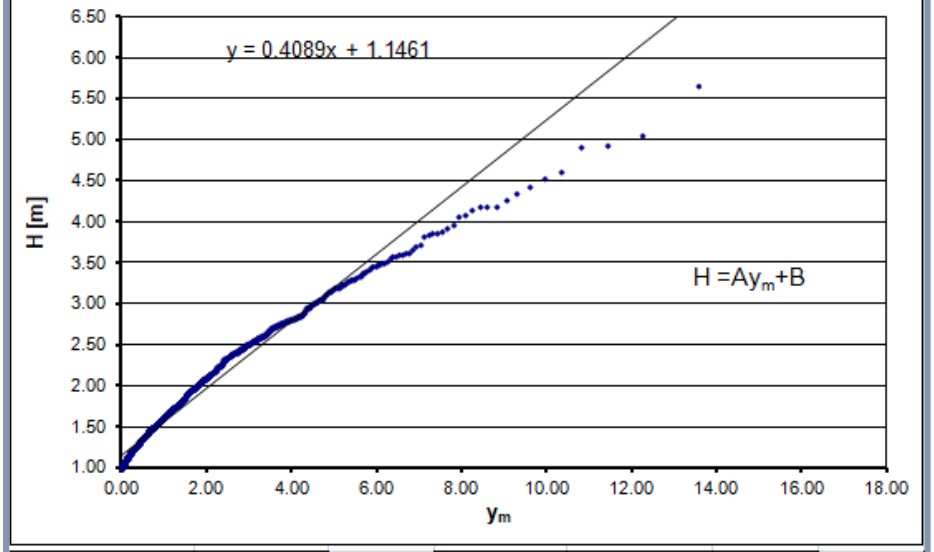
Tr [anni]	y_r	H_{Tr} [m]
1	4.65294	3.73
5	6.26619	4.56
10	6.95982	4.91
20	7.65320	5.27
50	8.56963	5.74
100	9.26283	6.10



	Intervallo di confidenza					
Tr [anni]	σ_x	c_0	σ_z	s=1.96 σ_z σ_x	H+s	H-s
1	0.67	0.64035	0.09245	0.12	3.8	3.61
5	0.67	0.64035	0.12261	0.16	4.7	4.40
10	0.67	0.64035	0.13569	0.18	5.1	4.73
20	0.67	0.64035	0.14880	0.20	5.5	5.07
50	0.67	0.64035	0.16618	0.22	6.0	5.52
100	0.67	0.64035	0.17936	0.24	6.3	5.86

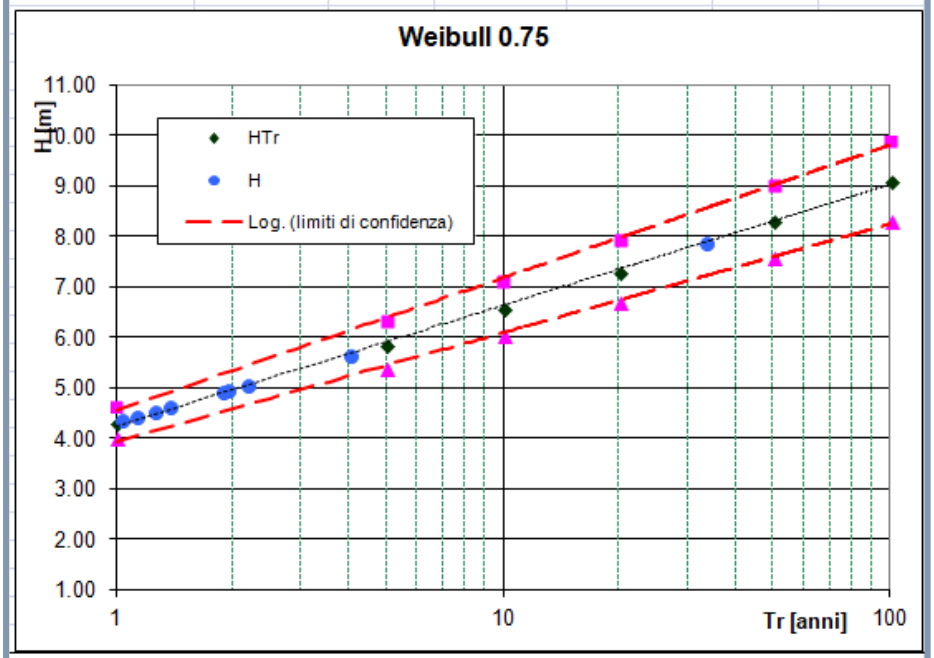
settori 60°N - 220°N

Figura 13



A	0.4089
B	1.1461
K=n anni	16.5
N=n dati usati	1739
λ	105.39
censura	1.0000
N_T=n dati Totali	1739

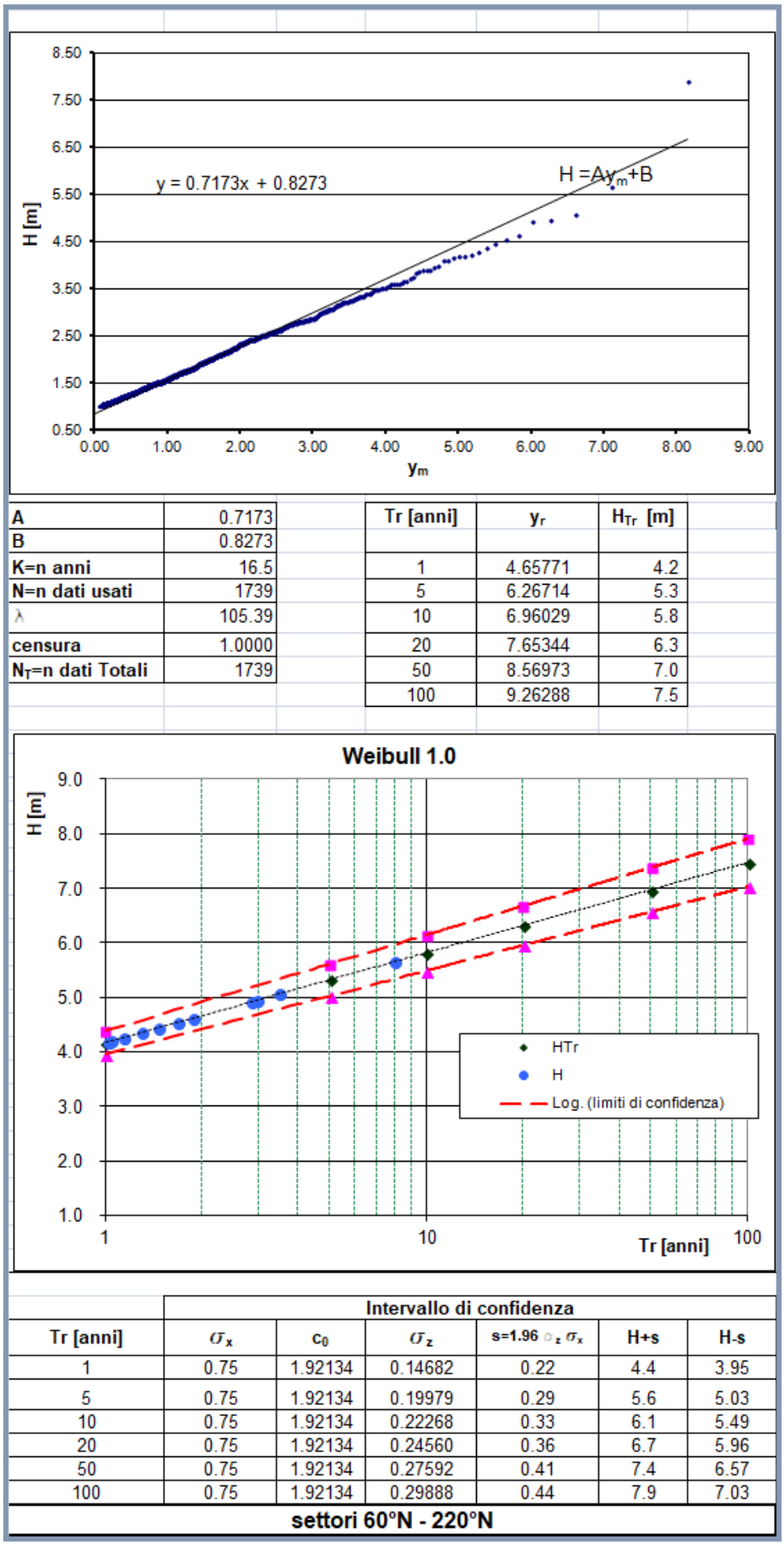
Tr [anni]	y_r	H_{Tr} [m]
1	7.77850	4.33
5	11.55472	5.87
10	13.28933	6.58
20	15.08257	7.31
50	17.53703	8.32
100	19.45335	9.10



	Intervallo di confidenza					
Tr [anni]	σ_x	c_0	σ_z	s=1.96 σ_z σ_x	H+s	H-s
1	0.67	1.65115	0.24088	0.32	4.6	4.01
5	0.67	1.65115	0.35685	0.47	6.3	5.40
10	0.67	1.65115	0.41020	0.54	7.1	6.04
20	0.67	1.65115	0.46537	0.61	7.9	6.70
50	0.67	1.65115	0.54091	0.71	9.0	7.61
100	0.67	1.65115	0.59991	0.79	9.9	8.31

settori 60°N - 220°N

Figura 14



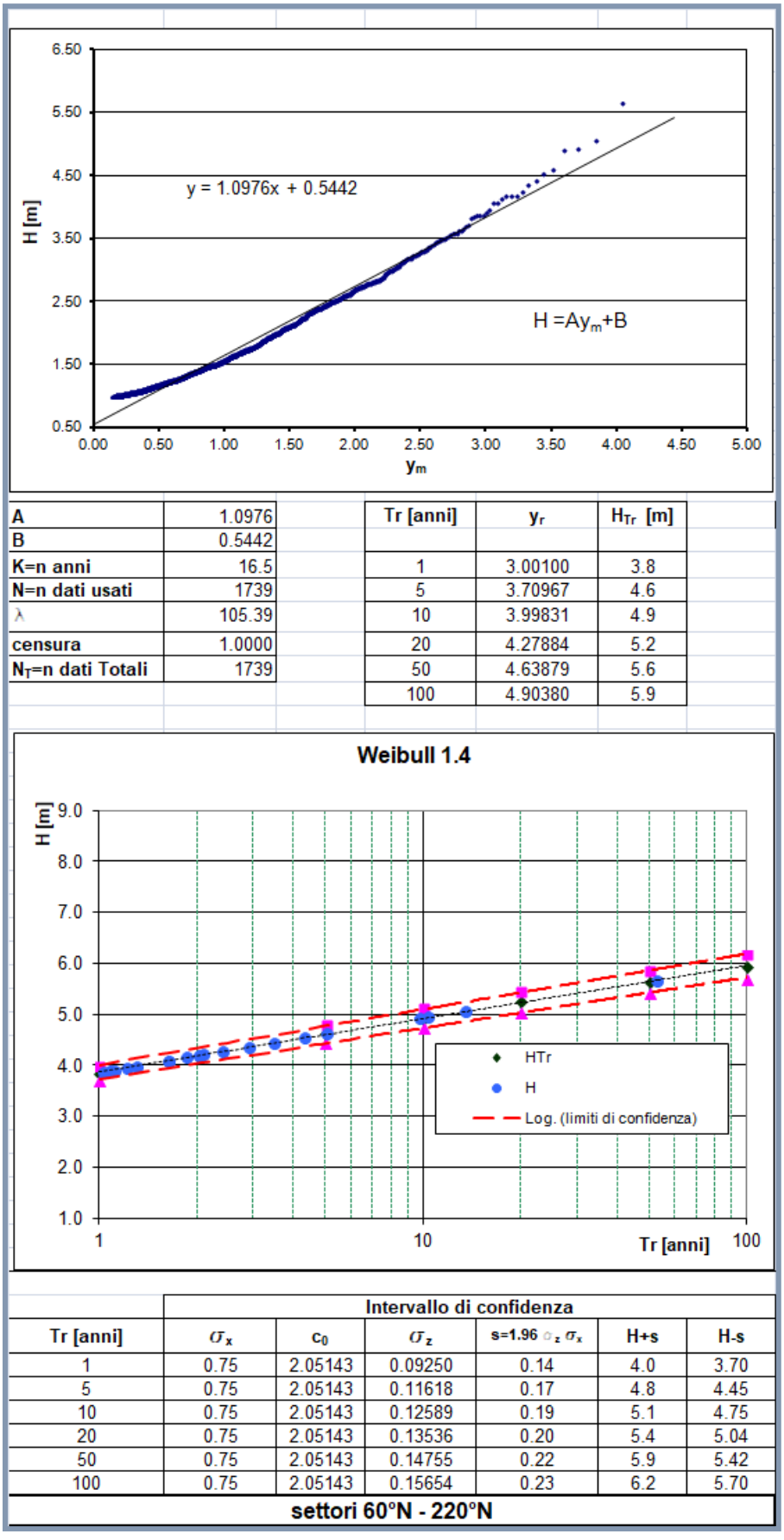
A	0.7173
B	0.8273
K=n anni	16.5
N=n dati usati	1739
λ	105.39
censura	1.0000
N_T=n dati Totali	1739

Tr [anni]	y_r	H_{Tr} [m]
1	4.65771	4.2
5	6.26714	5.3
10	6.96029	5.8
20	7.65344	6.3
50	8.56973	7.0
100	9.26288	7.5

	Intervallo di confidenza					
Tr [anni]	σ_x	c_0	σ_z	s=1.96 σ_z σ_x	H+s	H-s
1	0.75	1.92134	0.14682	0.22	4.4	3.95
5	0.75	1.92134	0.19979	0.29	5.6	5.03
10	0.75	1.92134	0.22268	0.33	6.1	5.49
20	0.75	1.92134	0.24560	0.36	6.7	5.96
50	0.75	1.92134	0.27592	0.41	7.4	6.57
100	0.75	1.92134	0.29888	0.44	7.9	7.03

settori 60°N - 220°N

Figura 15



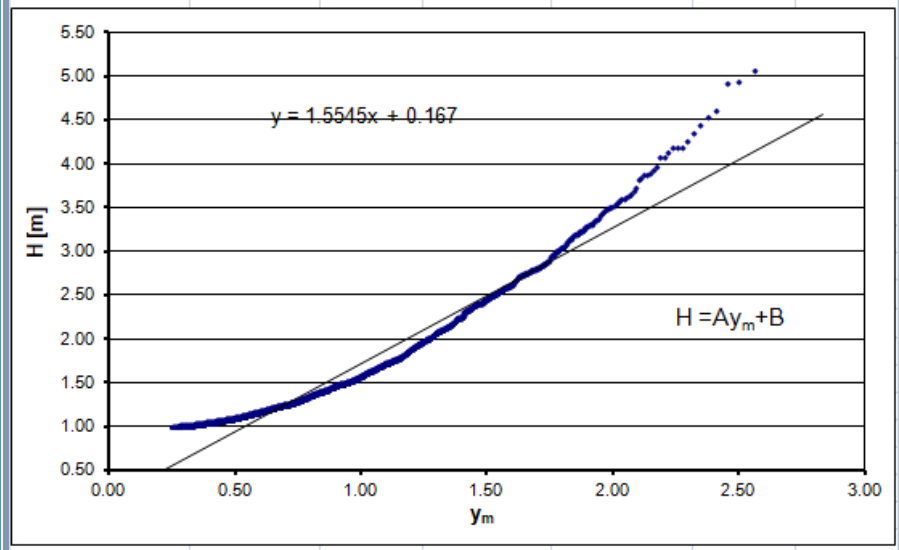
A	1.0976
B	0.5442
K=n anni	16.5
N=n dati usati	1739
λ	105.39
censura	1.0000
N_T=n dati Totali	1739

Tr [anni]	y_r	H_{Tr} [m]
1	3.00100	3.8
5	3.70967	4.6
10	3.99831	4.9
20	4.27884	5.2
50	4.63879	5.6
100	4.90380	5.9

	Intervallo di confidenza					
Tr [anni]	σ_x	c_0	σ_z	s=1.96 σ_z σ_x	H+s	H-s
1	0.75	2.05143	0.09250	0.14	4.0	3.70
5	0.75	2.05143	0.11618	0.17	4.8	4.45
10	0.75	2.05143	0.12589	0.19	5.1	4.75
20	0.75	2.05143	0.13536	0.20	5.4	5.04
50	0.75	2.05143	0.14755	0.22	5.9	5.42
100	0.75	2.05143	0.15654	0.23	6.2	5.70

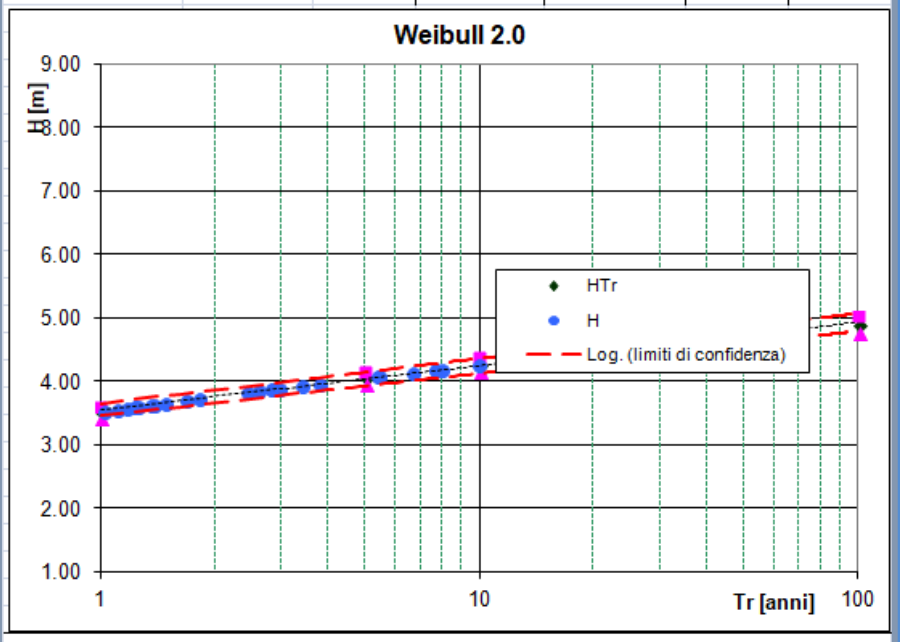
settori 60°N - 220°N

Figura 16



A	1.5545
B	0.1670
K=n anni	16.5
N=n dati usati	1739
λ	105.39
censura	1.0000
N_T=n dati Totali	1739

Tr [anni]	y_r	H_{Tr} [m]
1	2.15817	3.52
5	2.50343	4.06
10	2.63824	4.27
20	2.76648	4.47
50	2.92741	4.72
100	3.04350	4.90



	Intervallo di confidenza					
Tr [anni]	σ_x	c_0	σ_z	s=1.96 σ_z σ_x	H+s	H-s
1	0.75	2.24157	0.06418	0.09	3.6	3.43
5	0.75	2.24157	0.07582	0.11	4.2	3.95
10	0.75	2.24157	0.08043	0.12	4.4	4.15
20	0.75	2.24157	0.08483	0.12	4.6	4.34
50	0.75	2.24157	0.09039	0.13	4.9	4.58
100	0.75	2.24157	0.09441	0.14	5.0	4.76

settore 60°N - 220°N

Figura 17

Si riportano di seguito, nelle tabelle Tab. 3, Tab. 4 e Tab. 5 i risultati delle analisi probabilistiche condotte con le procedure di Gumbel e di Weibull relativamente ai tre settori presi in considerazione. Nelle suddette tabelle, le colonne evidenziate con campitura verde , indicano la legge di distribuzione "vera", individuata con la procedura nel seguito esposta.

FINALE LIGURE 60°N -220°N					
Tr [anni]	GUMBEL	WEIBULL			
		0.75	1	1.4	2
	H_{Tr} [m]				
1	3.7	4.33	4.2	3.8	3.5
5	4.6	5.87	5.3	4.6	4.1
10	4.9	6.58	5.8	4.9	4.3
20	5.3	7.31	6.3	5.2	4.5
50	5.7	8.32	7.0	5.6	4.7
100	6.1	9.10	7.5	5.9	4.9

Tab. 3- Confronto risultati

FINALE LIGURE 60°N -220°N					
Tr [anni]	GUMBEL	WEIBULL			
		0.75	1	1.4	2
	T_p [s]				
1	8.2	8.87	8.7	8.4	8.0
5	9.1	10.33	9.8	9.2	8.6
10	9.4	10.94	10.3	9.5	8.8
20	9.8	11.53	10.7	9.8	9.0
50	10.2	12.29	11.3	10.1	9.3
100	10.5	12.86	11.7	10.4	9.4

Tab. 4- Confronto risultati

FINALE LIGURE 60°N -220°N		
Tr [anni]	WEIBULL 1,4	
	H_{Tr} [m]	T_p [s]
1	3.8	8.4
5	4.6	9.2
10	4.9	9.5
20	5.2	9.8
50	5.6	10.1
100	5.9	10.4

Tab. 5- Confronto risultati

Infatti, dopo avere stimato le proiezioni per le varie distribuzioni di probabilità considerate , è infine necessario stabilire quale legge di distribuzione è quella "*vera*" o "*verosimile*".

A tale scopo si applicano due criteri, entrambi indicati nel "*Atlante delle Onde dei Mari Italiani*" (APAT 2005). Il primo criterio si basa nella selezione della legge che meglio si adatta alle osservazioni, ed a tale scopo si applica la legge dei minimi quadrati, valutando quale fornisce il minimo scarto tra i valori osservati (Hi) e quelli statisticamente attesi (H'i), secondo la formula

$$\Sigma\,(Hi - H'i)^2 \qquad (10)$$

L'altro criterio stima che la distribuzione probabilistica che meglio di adatta alla serie campionaria è quella che minimizza il rapporto $\Delta r/\Delta r_m$.

Dove $\Delta r=1-r$ è il complemento a 1 del coefficiente di correlazione *r* dato da

$$r = \sum [(y_i-y_m) -(x_i-x_m)] / \sqrt{[\sum (y_i-y_m)^2- (x_i-x_m)^2]} \qquad (11a)$$

$$\Delta r_m=\exp [\varepsilon+\delta \ln N +\chi (\ln N)^{\tau}] \qquad (11b)$$

In cui ε, δ ed χ sono parametri specifici della legge probabilistica. I suddetti parametri sono indicati nel richiamato atlante delle onde, in funzione della legge e del rapporto N/Nt, indicato come parametro di censura, essendo N la numerosità della serie campionaria utilizzata ed Nt il totale di osservazioni.

FINALE LIGURE 60°N -220°N					
	GUMBEL	WEIBULL			
		0.75	1.00	1.40	2.00
DR/DRm	14	8.57	38.10	31.58	30.91
MIN QUADR	33.35	33.92	92.00	72.71	82.50

Tab. 6 – Individuazione modello probabilistico

Entrambi i criteri esposti mostrano che la legge probabilistica che si adatta meglio alla serie campionaria è Weibull 0.75 (Tab. 6 – Individuazione modello probabilistico), per la prima serie campionaria esaminata, Weibull 2,00, per la seconda serie campionaria (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**), ed infine Weibull 0,75, per la terza serie campionaria (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

Le tabelle seguenti riassumono, per la distribuzione "vera" relativa settorE analizzato, le altezze d'onda significativa correlate a vari periodi di ritorno ed i connessi valori dei periodi propagazione (valori di picco Tp), calcolati tramite la relazione:

$$T = 8.5\pi\sqrt{\frac{H}{4g}} \qquad (12)$$

FINALE LIGURE 60°N -220°N					
Tr [anni]	GUMBEL	WEIBULL			
		0.75	1	1.4	2
	H_{Tr} [m]				
1	3.7	4.33	4.2	3.8	3.5
5	4.6	5.87	5.3	4.6	4.1
10	4.9	6.58	5.8	4.9	4.3
20	5.3	7.31	6.3	5.2	4.5
50	5.7	8.32	7.0	5.6	4.7
100	6.1	9.10	7.5	5.9	4.9

Tab. 7 – Altezza d'onda significativa e periodo di ritorno

FINALE LIGURE 60°N -220°N					
Tr [anni]	GUMBEL	WEIBULL			
		0.75	1	1.4	2
	T_p [s]				
1	8.2	8.87	8.7	8.4	8.0
5	9.1	10.33	9.8	9.2	8.6
10	9.4	10.94	10.3	9.5	8.8
20	9.8	11.53	10.7	9.8	9.0
50	10.2	12.29	11.3	10.1	9.3
100	10.5	12.86	11.7	10.4	9.4

Tab. 8– Altezza d'onda significativa e periodo di ritorno

FINALE LIGURE 60°N -220°N		
Tr [anni]	WEIBULL 1,4	
	H_{Tr} [m]	T_p [s]
1	4.3	8.9
5	5.9	10.3
10	6.6	10.9
20	7.3	11.5
50	8.32	12.29
100	9.1	12.9

Tab. 4.9– Altezza d'onda significativa e periodo di ritorno