

Data: 19/07/07

Versione: 00

Modifiche: Versione Originale

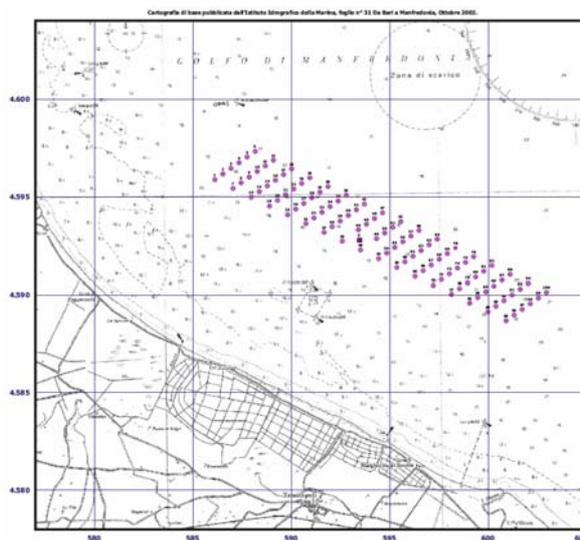
File: PR001-07 - PARCO EOLICO GOLFO DI MANFREDONIA _AllegatoD .doc

Redatto da:	Verificato da:	Approvato da:
Girolamo Mauro Gentile	Pallotti Fabio	Davide Trevisani

Committente: TREVI Energy S.p.A
Via Larga, 201 – 47023 CESENA (FC)

Opera: “CENTRALE EOLICA OFF-SHORE GOLFO DI MANFREDONIA”.
Capitaneria di Porto di Manfredonia (FG)

Oggetto: Individuazione caratteristiche moto ondoso al largo di Manfredonia - Caratteristiche onda di progetto.



Progettista: Ing. Girolamo Mauro Gentile
Sezione A Ordine degli Ingegneri
Provincia di Andria-Barletta-Trani n°110

Revisioni

Versione	Data	Totale Pagine	Modifiche
00	19/07/2007	18	Versione Originale

Indice della Relazione.

1 Generalità	pag.	3
1.1 Dati considerati.....	pag.	3
2 Individuazione caratteristiche moto ondoso verificatosi nel 1951-2000	pag.	4
2.1 Individuazione tempeste di vento che hanno generato mareggiate in grado di raggiungere la zona al largo di Manfredonia.....	pag.	4
2.2 Calcolo delle caratteristiche del moto ondoso di tutte le mareggiate verificatesi.....	pag.	4
2.3 Diagrammi e tabelle riassuntive dello studio effettuato.....	pag.	7
3 Analisi statistica di lungo periodo delle onde estreme	pag.	14
Appendice 1	pag.	17

1 Generalità.

Le note che seguono riportano i risultati dello studio compiuto ai fini della determinazione delle caratteristiche del moto ondoso nella zona individuata dalla Trevi S.p.A. al largo di Manfredonia.

Nel seguito delle note sono riportate le massime caratteristiche del moto ondoso "storicamente" calcolate (massimi valori dell'altezza d'onda e relativo periodo), analiticamente dettagliate per direzione di provenienza del vento suscitatore, nonché le risultanze dell'analisi di tipo statistico che fornisce il valore dell'altezza d'onda di largo con uno stabilito tempo di ritorno.

Considerazioni ulteriori dettagliano, in analogia alla normativa relativa alla progettazione di moli, dighe ed opere a mare in genere, la relazione di rischio in modo da consentire l'adozione di un onda di progetto consona all'impianto che si vuol realizzare.

I dati contenuti in queste note hanno la definizione relativa alla stesura di un progetto di massima ed abbisognano di ulteriori elaborazioni, definizioni, integrazioni, rilievi e confronti per essere posti alla base di un progetto definitivo e/o esecutivo.

1.1 Dati considerati.

Per la determinazione delle massime caratteristiche del moto ondoso al largo di Manfredonia o, come si suol dire, la determinazione del "clima ondoso", sono stati presi in considerazione i dati anemologici triorari misurati e registrati presso la stazione di Bari dall'A.M.I. fra il 1951 ed il 2000 mentre, la misura dei tratti di mare (fetch) sui quali il vento trasferisce energia al mare suscitando il moto ondoso che raggiunge la zona in studio, è stata effettuata sulla carta nautica dell'I.I. della Marina in scala 1:1.000.000.

Ulteriori analisi e considerazioni derivano da conoscenze pregresse sulle mareggiate verificatesi negli ultimi decenni e da considerazioni sugli effetti delle stesse sui litorali prospicienti la zona, in altre parole dalle "ore di mare" dell'autore delle note.

2 Individuazione caratteristiche moto ondoso verificatosi nel 1951-2000.

Lo studio per l'individuazione delle caratteristiche del moto ondoso verificatosi nell'intervallo di tempo per il quale erano disponibili i dati meteorologici si è articolato nelle seguenti fasi:

- Individuazione delle tempeste di vento che hanno generato mareggiate in grado di raggiungere la zona al largo di Manfredonia
- Calcolo delle caratteristiche del moto ondoso di ciascuna delle mareggiate individuate al punto precedente .
- Redazione di quadri e diagrammi sinottici.

2.1 Individuazione tempeste di vento che hanno generato mareggiate in grado di raggiungere la zona al largo di Manfredonia.

Questa prima fase dello studio, esaminati i dati anemologici su base annua, triennale e dell'intero periodo, verificate le direzioni di provenienza del vento suscitatore di ciascuna mareggiata, ha individuato nell'intero arco di tempo considerato, ben 5015 mareggiate che hanno interessato con il loro moto ondoso la zona oggetto dello studio. Si riporta di seguito, nella tabella e grafico n.1, il dettaglio del numero di mareggiate verificatosi nell'intero periodo per ogni direzione di provenienza e per ciascuna classe di altezza d'onda considerata. (Le direzioni di provenienza prese in considerazione partono dalla direzione nord e si susseguono ad intervalli di 10°).

2.2 Calcolo delle caratteristiche del moto ondoso di tutte le mareggiate verificatesi.

Il calcolo delle caratteristiche del moto ondoso associato a tutte le 5015 mareggiate verificatesi nell'intervallo di tempo per il quale erano disponibili dati anemologici è stato eseguito con il metodo SMB (Sverdrup-Munk- Bretschneider) risolvendo, con un codice di calcolo, le equazioni di seguito riportate:

$$\frac{gH}{U^2} = 0.283 \tanh \left[0.0125 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{0.42} \right],$$

$$\frac{gT}{2\pi U} = 1.20 \tanh \left[0.077 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{0.25} \right],$$

$$\frac{gt}{U} = K \exp \left\{ \left[A \left(\ln \left(\frac{gF}{U^2} \right) \right)^2 - B \ln \left(\frac{gF}{U^2} \right) + C \right]^{\frac{1}{2}} + D \ln \left(\frac{gF}{U^2} \right) \right\},$$

Ove: $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ (accelerazione di gravità)

U = velocità del vento [nodi]

H = altezza d'onda [m]

T = periodo [sec]

t = durata dell'evento [ore]

F = fetches length [nautical miles]

A, B, C, D = costanti

exp = esponenziale

tanh = tangente iperbolica

Occorre precisare che nelle relazioni precedentemente riportate si conoscono, per ogni tempesta i parametri U, t, A, B, C, D, F (Fetch); un codice di calcolo, ideato e di proprietà dell'autore delle note, ha fornito per ognuna delle 5015 mareggiate l'altezza d'onda significativa ($H_{1/3}$) ed il suo periodo (T).

La già citata tabella n. 1 riporta, per ogni direzione di provenienza del vento suscitatore delle mareggiate, i valori delle altezze d'onda verificatesi raggruppati per campi significativi. Dalla tabella n. 1 si evince che:

- 4108 mareggiate hanno presentato altezze d'onda inferiori ad 1 metro.
- 881 mareggiate hanno presentato altezze d'onda comprese fra 1 metro e 2 metri.
- 21 mareggiate hanno raggiunto altezze d'onda comprese fra 2 metri e 3 metri.
- 2 mareggiate hanno presentato altezze d'onda comprese fra 3 metri e 4 metri.
- 3 mareggiate hanno raggiunto altezze d'onda superiori a 4 metri.

	$H \leq 1$	$1 < H \leq 2$	$2 < H \leq 3$	$3 < H \leq 4$	$H > 4$	Tot
10	27	120	0	0	0	147
20	18	52	2	1	1	74
30	14	30	2	0	2	48
40	14	13	1	0	0	28
50	18	12	2	0	0	32
60	22	14	4	0	0	40
70	49	42	0	0	0	91
80	99	47	2	0	0	148
90	121	47	0	1	0	169
100	61	41	3	0	0	105
110	32	30	2	0	0	64
120	13	35	1	0	0	49
130	24	32	0	0	0	56
140	30	24	1	0	0	55
150	52	33	0	0	0	85
160	118	12	0	0	0	130
170	150	8	0	0	0	158
180	299	4	0	0	0	303
190	273	1	0	0	0	274
200	190	0	0	0	0	190
210	121	0	0	0	0	121
220	78	0	0	0	0	78
230	88	1	0	0	0	89
240	82	0	0	0	0	82
250	79	0	0	0	0	79
260	115	1	0	0	0	116
270	144	2	0	0	0	146
280	199	2	0	0	0	201
290	220	4	0	0	0	224
300	239	3	0	0	0	242
310	246	4	0	0	0	250
320	273	5	0	0	0	278
330	255	36	0	0	0	291
340	210	62	1	0	0	273
350	106	122	0	0	0	228
360	29	42	0	0	0	71
Tot	4108	881	21	2	3	5015

Tabella n. 1 Distribuzione delle mareggiate per classi di altezza d'onda significativa $H_{(1/3)}$ e direzione di provenienza

Periodo di riferimento: 1951 - 2000

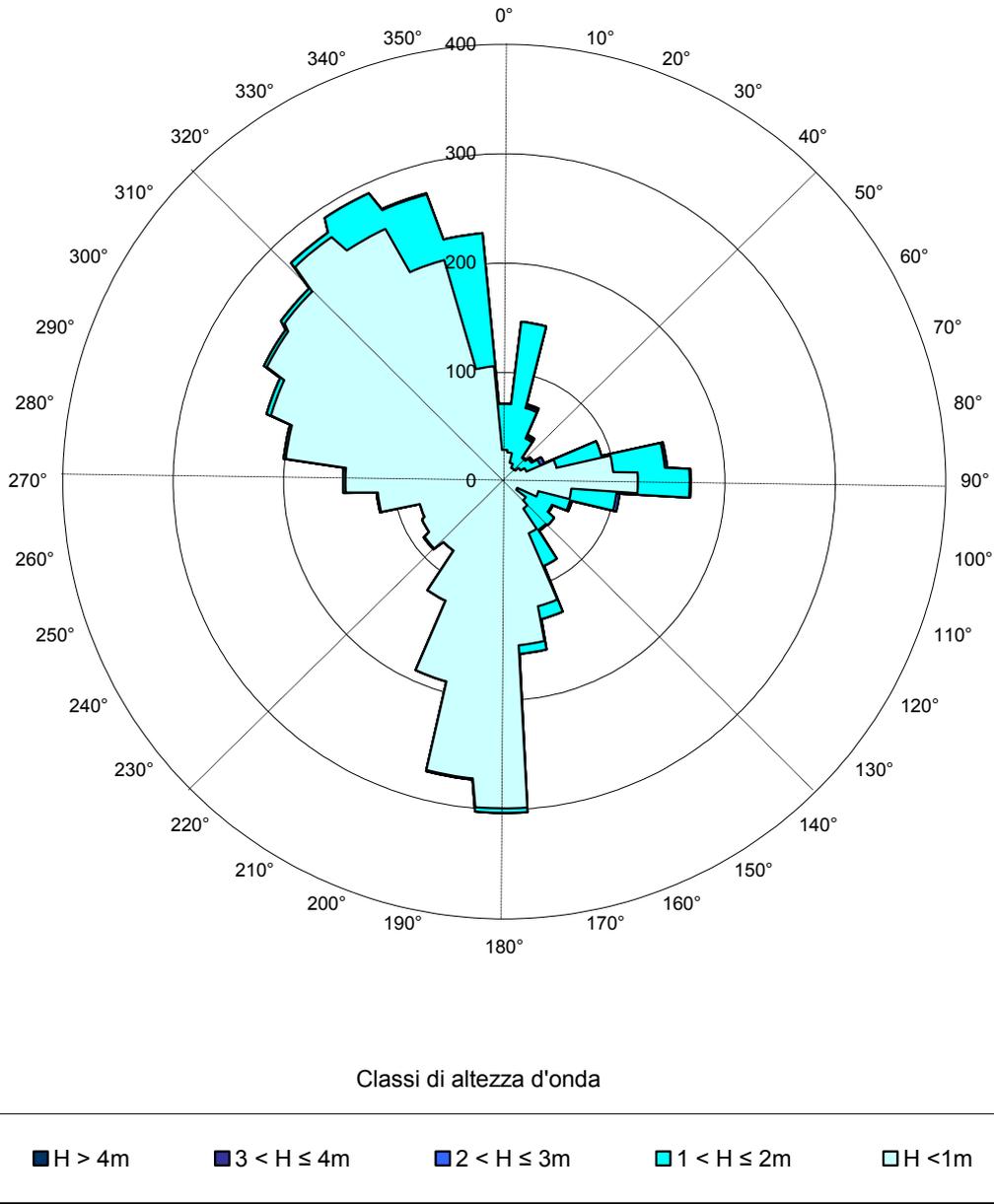


Grafico n. 1 Distribuzione delle mareggiate per classi di altezza d'onda e direzione di provenienza

2.3 Diagrammi e tabelle riassuntive dello studio effettuato.

In questo paragrafo vengono presentate alcune delle tabelle e diagrammi realizzati durante le varie fasi dello studio ritenute particolarmente interessanti al fine della presentazione del "clima ondoso" del paraggio.

Analiticamente la tabella n. 2 presenta per ogni singola direzione del vento suscitatore delle mareggiate la lunghezza del Fetch geografico e la lunghezza del Fetch efficace presi in

considerazione per il calcolo del moto ondoso di ognuna delle 5015 mareggiate. In modo ancor più immediato l'appendice n.1 mostra l'entità dei fetch geografici ed il grafico n. 2 presenta la comparazione tra fetch geografici ed efficaci.

Direzione [°N]	Fetch geografico [Km]	Fetch efficace [Km]
10	190	105,61
20	170	128,24
30	192	151,76
40	181	174,97
50	210	197,23
60	222	208,72
70	250	221,88
80	268	219,27
90	288	208,78
100	288	189,57
110	291	164,60
120	97	134,94
130	45	103,62
140	25	72,55
150	18	45,16
160	15	22,40
170	14	15,16
180	10	12,23
190	11	10,97
200	10	10,34
210	11	10,08
220	11	10,13
230	11	10,59
240	11	11,47
250	12	12,35
260	14	13,36
270	15	14,48
280	21	15,60
290	18	16,66
300	20	17,63
310	21	18,39
320	21	19,21
330	21	32,80
340	22	49,07
350	22	69,85
360	26	83,75

Tabella n. 2 Fetch geografici ed efficaci per il paraggio oggetto di studio

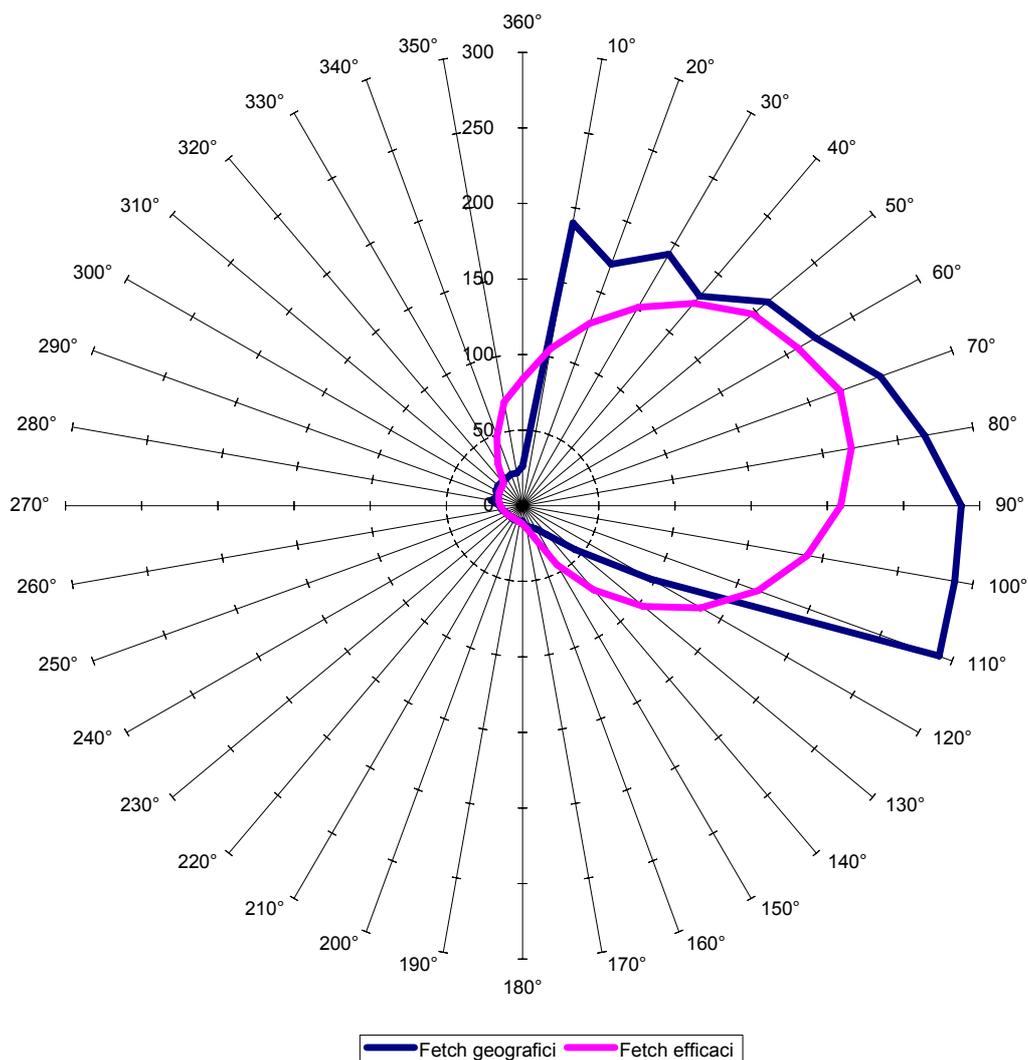


Grafico n. 2 Fetch geografici ed efficaci per il paraggio oggetto di studio

Si è giudicato particolarmente interessante presentare nella tabella n. 3 la distribuzione dei valori massimi dell'altezza d'onda significativa $H_{(1/3)}$ calcolata per i diversi anni e per le diverse direzioni di provenienza del vento suscitatore. Per una migliore sintesi e comprensione degli eventi meteomarinari calcolati per l'intervallo temporale in esame, le tabelle n. 4 e 5 mostrano rispettivamente i valori di $H_{(1/3)}$ max nei diversi anni e per le diverse direzioni di provenienza

Anno	H max [m]	Anno	H max [m]
1951	1,81	1976	1,62
1952	1,46	1977	1,98
1953	2,03	1978	2,23
1954	1,96	1979	1,96
1955	1,98	1980	6,60
1956	2,19	1981	1,92
1957	0,00	1982	1,74
1958	0,00	1983	2,89
1959	0,00	1984	2,16
1960	2,32	1985	1,49
1961	2,08	1986	1,56
1962	2,52	1987	3,68
1963	1,97	1988	1,65
1964	2,12	1989	4,39
1965	2,49	1990	1,59
1966	1,69	1991	1,79
1967	1,90	1992	1,98
1968	1,69	1993	1,52
1969	1,28	1994	1,57
1970	1,41	1995	1,69
1971	1,48	1996	1,48
1972	2,11	1997	1,56
1973	1,90	1998	1,62
1974	3,63	1999	1,20
1975	5,80	2000	1,60
H max osservata: 6,60			

Tabella n. 4 Serie storica dei valori $H_{(1/3)}$ max nel periodo 1951-2000

Direzione [°N]	H max [m]
10	1,88
20	5,80
30	6,60
40	2,02
50	2,32
60	2,19
70	1,91
80	2,03
90	3,68
100	2,49
110	2,34
120	2,23
130	1,77
140	2,10
150	1,63
160	1,28
170	1,19
180	1,06
190	1,06
200	0,97
210	0,92
220	0,89
230	1,13
240	0,78
250	0,84
260	1,22
270	1,00
280	1,24
290	1,06
300	1,17
310	1,23
320	1,11
330	1,46
340	2,13
350	1,83
360	1,96
MAX	6,60

Tabella n. 5 Distribuzione, per direzione di provenienza, dei valori di $H_{(1/3)}$ max calcolati nel periodo 1951-2000

I successivi grafici n. 3 e 4 mostrano in maniera esplicita quanto riportato nelle tabelle n. 4 e 5.

Individuazione caratteristiche moto ondoso al largo di Manfredonia - Caratteristiche onda di progetto

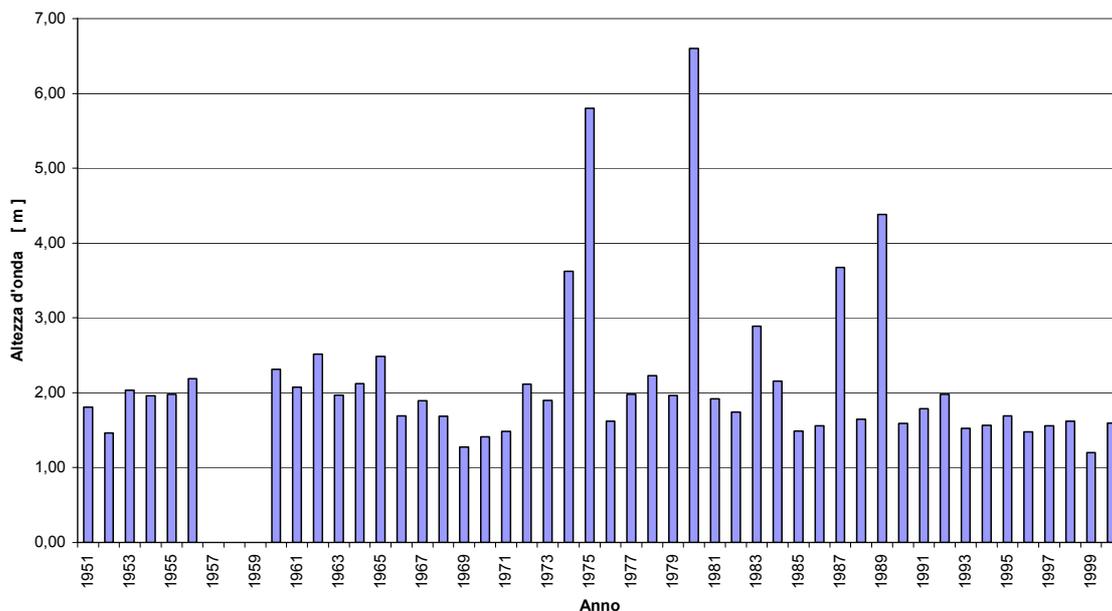


Grafico n. 3 Distribuzione, su base annuale, dei valori massimi dell'altezza d'onda $H_{(1/3)}$

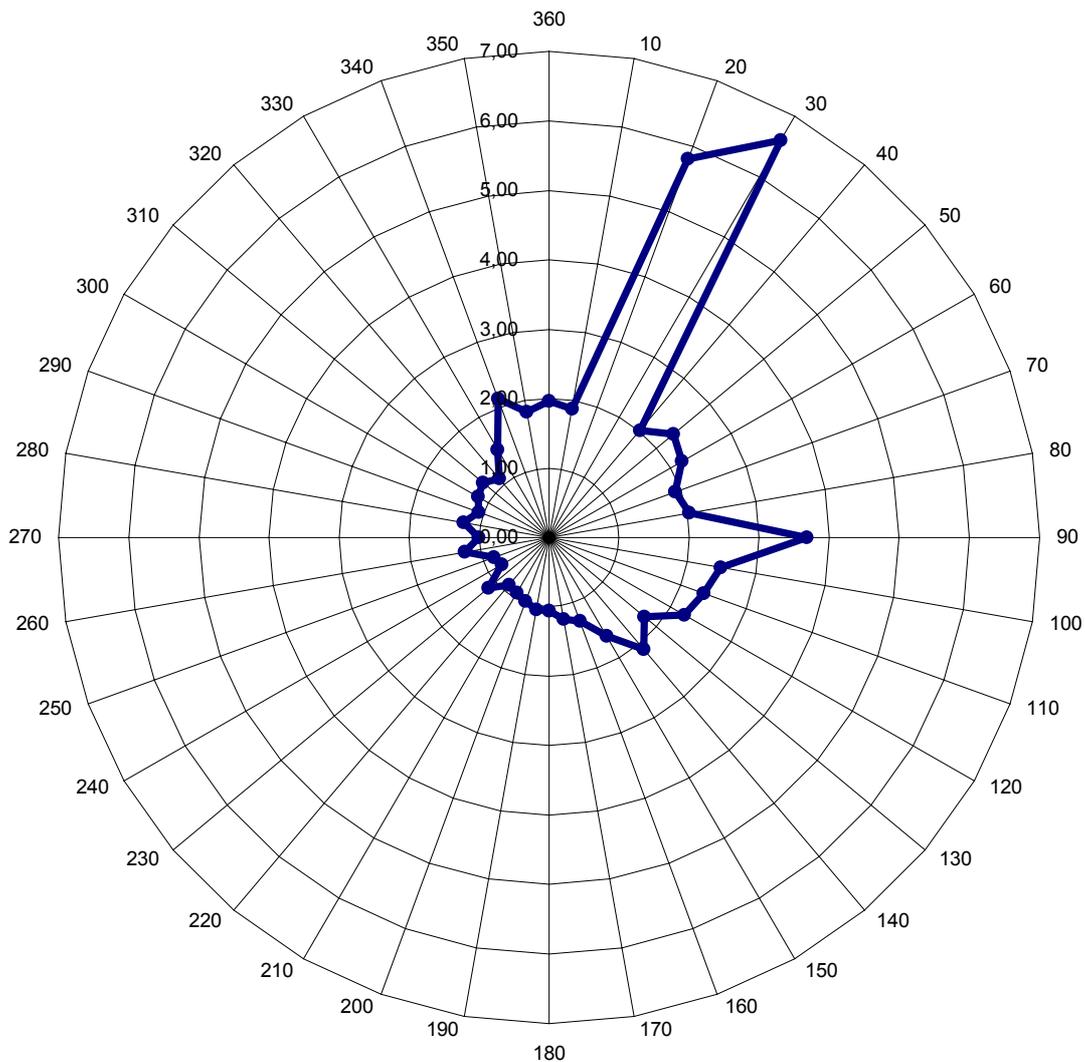


Grafico n. 4 Distribuzione, per direzione di provenienza, dei valori massimi dell'altezza d'onda $H_{(1/3)}$

A conclusione di questo paragrafo si è ritenuto indispensabile presentare nel grafico n. 5 la relazione intercorrente tra periodo ed altezza d'onda.

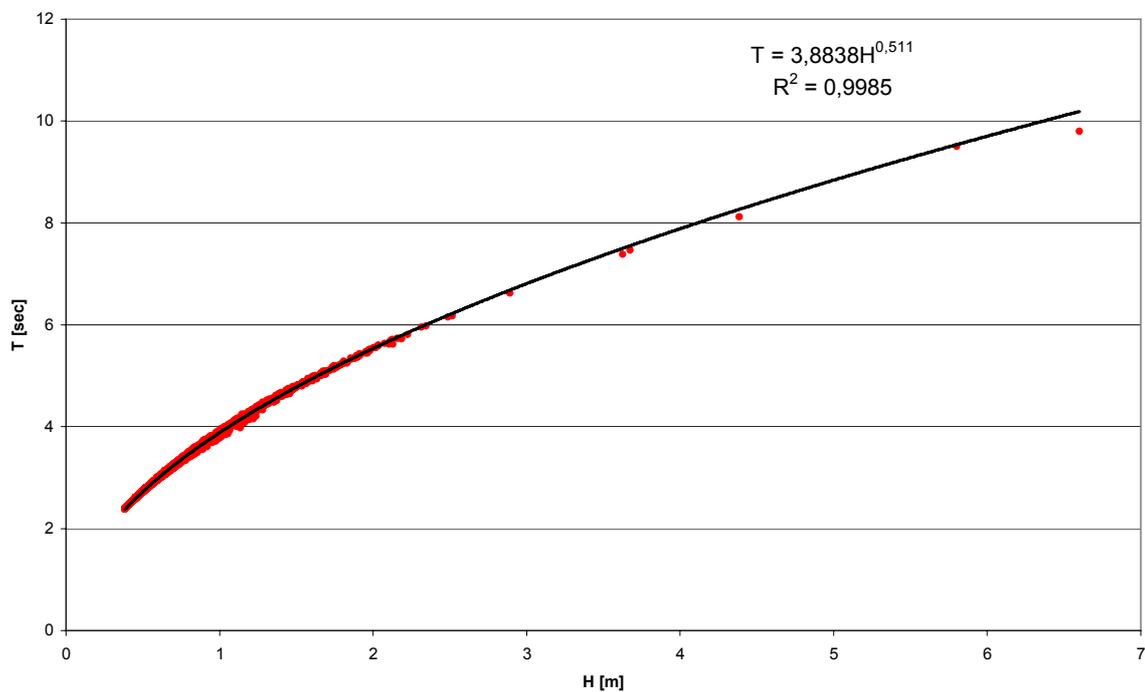


Grafico n. 5 Legge di correlazione tra periodo ed altezza d'onda.

3 Analisi statistica di lungo periodo delle onde estreme.

Attuali considerazioni sulla vita di un opera marittima, sul costo della stessa e sul rischio insito nell'intero intervento, hanno suscitato approcci statistici alla soluzione della "vexata quaestio" dell'individuazione dell'onda di progetto. In effetti reca gran conforto alla progettazione un'analisi tendente a stabilire le caratteristiche di un'onda che, pur storicamente mai presentatasi nel paraggio (dai dati a disposizione), può presentarsi ed essere superata almeno una volta in un periodo di tempo stabilito (Tempo di ritorno).

Essendo, considerazioni di tale tipo, ormai stabilmente introdotte sia nella pratica progettuale che nelle norme per la realizzazione di opere marittime è sembrato opportuno, anche alla conclusione di queste note, calcolare e riportare le massime altezze d'onda, per direzione di provenienza del vento suscitatore, con tempi di ritorno pari a 50, 100, 200, 500 anni.

L'approccio seguito in questo studio per la determinazione del binomio altezza d'onda – tempo di ritorno [$H(Tr)$] ha ipotizzato –come da prassi consolidata- e successivamente verificato, che la distribuzione del valore delle altezze d'onda storicamente calcolate possa essere convenientemente rappresentata dalla distribuzione di Gumbel.

La tabella ed il grafico n. 6 riportano, per ciascuna direzione di provenienza del vento suscitatore e per i predetti valori del tempo di ritorno, le varie $H(Tr)$ calcolate.

Individuazione caratteristiche moto ondoso al largo di Manfredonia - Caratteristiche onda di progetto

	Tempo di ritorno			
	50	100	200	500
360	1,97	2,14	2,31	2,54
10	2,05	2,17	2,29	2,45
20	3,97	4,47	4,96	5,61
30	4,89	5,57	6,24	7,14
40	2,33	2,55	2,78	3,07
50	2,43	2,69	2,95	3,29
60	2,26	2,51	2,75	3,07
70	2,14	2,33	2,53	2,79
80	2,19	2,39	2,60	2,87
90	2,45	2,81	3,08	3,45
100	2,30	2,53	2,75	3,05
110	2,20	2,41	2,62	2,90
120	2,25	2,45	2,65	2,95
130	1,81	1,95	2,09	2,28
140	1,92	2,09	2,26	2,49
150	1,70	1,83	1,97	2,15
160	1,29	1,40	1,50	1,63
170	1,20	1,29	1,38	1,50
180	1,12	1,20	1,28	1,39
190	0,93	1,00	1,06	1,14
200	0,94	1,01	1,08	1,03
210	0,84	0,90	0,96	1,02
220	0,83	0,89	0,95	1,18
230	0,94	1,01	1,08	1,01
240	0,84	0,89	0,94	1,10
250	0,90	0,96	1,02	1,24
260	1,00	1,08	1,15	1,20
270	0,99	1,06	1,12	1,35
280	1,11	1,18	1,25	1,38
290	1,13	1,21	1,28	1,36
300	1,11	1,19	1,26	1,36
310	1,16	1,23	1,31	1,41
320	1,12	1,19	1,25	1,34
330	1,48	1,58	1,67	1,80
340	1,77	1,90	2,04	2,21
350	1,90	2,03	2,17	2,34
MAX	4,89	5,57	6,24	7,14

Tabella n. 6 Valore delle altezze d'onda, con assegnati tempi di ritorno, secondo la legge di distribuzione di Gumbel

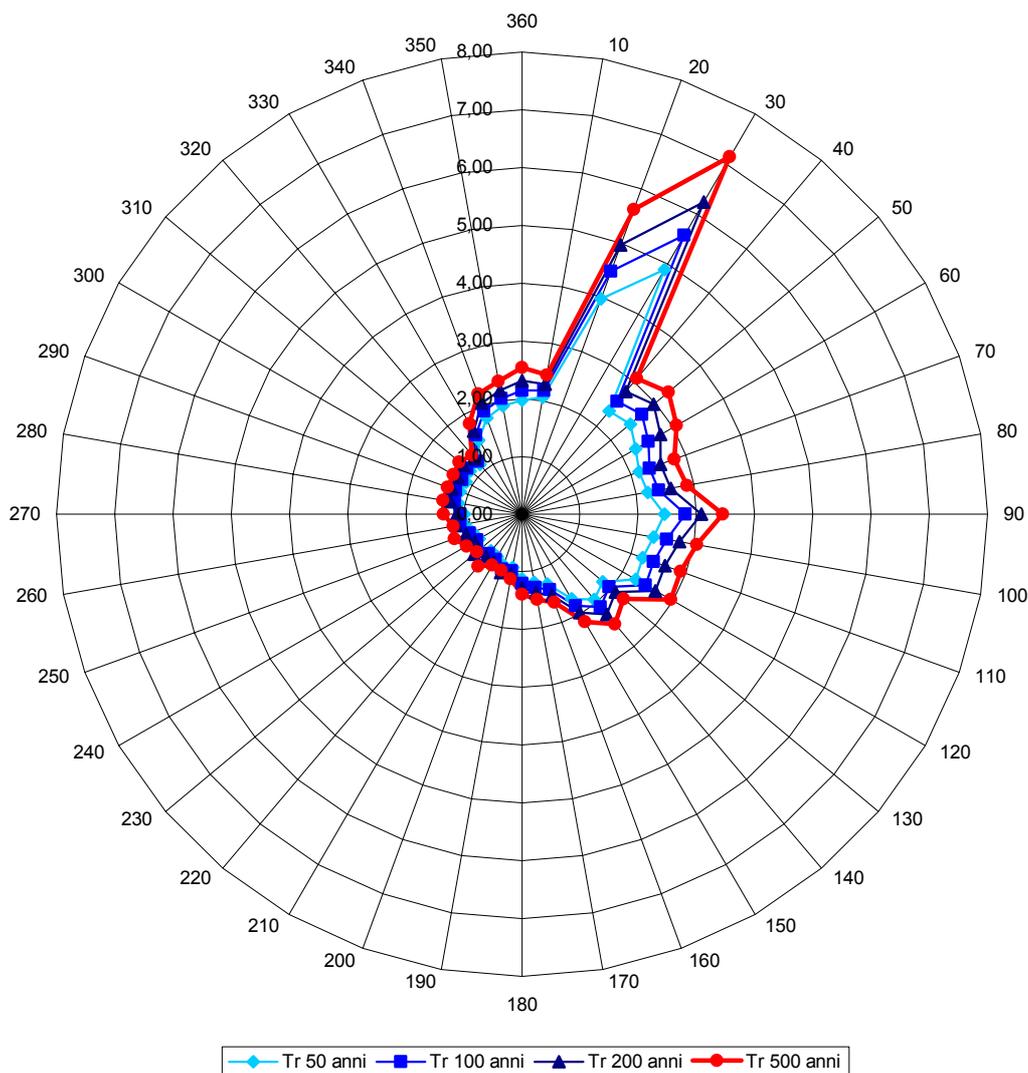


Grafico n. 6 Valore delle altezze d'onda, con assegnati tempi di ritorno, secondo la legge di distribuzione di Gumbel

Per la valutazione del tempo di ritorno da adottare, può essere conveniente far riferimento alla classica relazione $Tr = \frac{T_v}{-\ln(1-E)}$ che fornisce il tempo di ritorno Tr dell'evento di progetto in funzione della vita utile di quanto previsto in progetto T_v e della massima probabilità di danneggiamento ammissibile E nel periodo di vita utile dell'opera.

Si riportano di seguito i valori del tempo di ritorno Tr da adottare in funzione dei prima definiti parametri T_v ed E .

T_v	E	Tr
25 anni	0.10	237 anni
25 anni	0.20	112 anni
50 anni	0.10	475 anni
50 anni	0.20	224 anni

Appendice 1

