

**COMUNE DI
UGENTO**

**REALIZZAZIONE DI OPERE O AZIONI DI MITIGAZIONE
DEI FENOMENI EROSIVI CHE INTERESSANO
IL LITORALE UGENTINO**

STUDIO DI FATTIBILITA'

CLIMA METEOMARINO AL LARGO

ELAB. 1

Il Committente
Comune di Ugento

Il Consulente
prof. ing. G. Roberto Tomasicchio

Bari, marzo 2016

CLIMA METEOMARINO AL LARGO

INDICE

1. PREMESSA	
2. FONTE DEI DATI	3
2.1. Zona di studio	6
2.2. Moto ondoso generato in mare aperto: dati Boa Crotone	8
2.3. Dati Hindcast (modello WAM)	12
3. REGIME MEDIO ALLA BOA DI CROTONE	13
3.1. Distribuzione settoriale del moto ondoso	13
3.2. Regime medio omnidirezionale	27
3.3. Regime medio direzionale	31
3.4. Periodo del moto ondoso	37
4. REGIME MEDIO DATI HINDCAST (MODELLO WAM)	42
4.1. Distribuzione settoriale del moto ondoso	42
4.2. Regime medio omnidirezionale	49
4.3. Regime medio direzionale	51
4.4. Periodo del moto ondoso	56
5. ANALISI DEGLI EVENTI DI MOTO ONDOSI ESTREMI	52
6. ALTEZZA D'ONDA DI PROGETTO	56

1. PREMESSA

Il tratto di costa sabbiosa compreso tra Torre San Giovanni e Torre Mozza nel Comune di Ugento, di altissimo valore ambientale, assolve attualmente ad un eccezionale ruolo economico, risultando una delle principali, la massima senza dubbio, attrattiva per le attività turistiche, legata alla balneazione, che hanno di recente dato impulso a tutta la penisola salentina e all'area di Ugento in particolare.

Alla salvaguardia di questo così prezioso patrimonio tutti gli operatori turistici e gli Amministratori Pubblici ancor più guardano con l'attenzione del caso. Infatti, i tratti di costa sabbiosa, lungo tutto il perimetro della penisola salentina, rappresentano solo fatti episodici e limitati rispetto a quelli rocciosi di non minore bellezza, ma meno appetibili per la balneazione. Non fa eccezione a questa regola il lungo tratto di litorale (circa 6 km) tra Torre San Giovanni e Torre Mozza limitato a nord e a sud da tratti eminentemente rocciosi. Questo tratto di spiaggia, così delimitato, può pertanto considerarsi dal punto di vista sedimentologico e morfodinamico una unità fisiografica o, per dirla con un termine tecnico di moda una pocket beach o spiaggia a tasca. Come tale, sarà più avanti considerata nella analisi e nei calcoli di progetto.

Questa spiaggia è da tempo in erosione. Il fatto è comprensibile quando si pensi che gli apporti naturali di sabbia al mare si sono pressoché annullati in questi ultimi decenni per le opere di bonifica del territorio. La spiaggia, nel suo continuo processo naturale di difesa dall'azione erosiva del mare, non può pertanto rimpiazzare adeguatamente con nuove schiere le perdite già subite. Ciò era già da anni evidente ai tecnici, tant'è vero che vari sono stati gli interventi artificialmente operati in questi ultimi decenni, dagli operatori turistici direttamente o dal Genio Civile OO.MM. del Ministero dei Lavori Pubblici o, ultimo in ordine di tempo, dalla Regione Puglia nel 2003, per migliorare le condizioni della spiaggia e bloccare l'arretramento della battigia.

La legge regionale 23 giugno 2006, n. 17 Disciplina della tutela e dell'uso della costa ha come oggetto la disciplina dell'esercizio delle funzioni amministrative connesse alla gestione del demanio marittimo.

L'azione regionale in materia di demanio marittimo, come specifica l'articolo 1, si conforma ai seguenti principi:

- a) salvaguardia, tutela e uso eco-sostenibile dell'ambiente;
- b) pianificazione dell'area costiera;
- c) accessibilità ai beni del demanio marittimo e al mare territoriale per la loro libera fruizione;
- d) semplificazione dell'azione amministrativa;
- e) trasparenza delle procedure e partecipazione alla definizione degli indirizzi;
- f) integrazione tra i diversi livelli della Pubblica amministrazione, attraverso forme di cooperazione e di concertazione;
- g) decentramento amministrativo dei compiti e delle funzioni connesse;
- h) sviluppo armonico ed eco-compatibile del turismo balneare.

L'esercizio delle funzioni connesse alla gestione del demanio marittimo si articola su due livelli di pianificazione:

- a livello regionale con il Piano Regionale delle Coste (PRC) che disciplina “le attività e gli interventi sul demanio marittimo e sulle zone del mare territoriale, per garantirne la valorizzazione e la conservazione dell'integrità fisica e patrimoniale”;
- a livello comunale con il Piano Comunale delle Coste (PCC) che deve conformarsi ai principi e alle norme del PRC.

Il PRC - adottato nel luglio 2009 - è stato approvato dalla Giunta nell'ottobre 2011. Nel 2012 la Regione Puglia ha emanato le Istruzioni Tecniche per la redazione del piano comunale delle coste, ai sensi della DGR n. 2273 del 13 ottobre 2011. Esse forniscono gli indirizzi e i criteri con i quali devono essere redatti i Piani Comunali delle Coste (PCC) al fine di raggiungere gli obiettivi del PRC, e di far sì che le funzioni degli enti locali (in particolare il rilascio di concessioni demaniali marittime), siano svolte in modo efficace ed efficiente, nonché coordinate e coerenti con il PRC stesso.

Le Istruzioni Tecniche forniscono anche i formati standard con i quali devono essere realizzati gli elaborati del PCC, in modo da poter gestire in maniera più efficace le fasi di controllo dei piani comunali attraverso il SIT Puglia. Vengono pertanto forniti l'elenco e le indicazioni specifiche dei singoli strati informativi individuati, per i quali vengono definite e indicate, attraverso il modello logico e il modello fisico, le regole per la redazione degli elaborati e l'insieme degli attributi che devono accompagnare ogni elemento.

A questi indirizzi, che esprimono un preciso modello logico di conoscenza e di decisione delle scelte, ci si deve attenere.

Tuttavia, nell'affrontare un piano per la costa non si può non tener conto del Piano Paesaggistico Territoriale Regionale (PPTR), adottato Con delibera n. 1435 del 2 agosto 2013, che ritiene che la costa debba contribuire a favorire lo sviluppo di un turismo sostenibile e consapevole “attento ai patrimoni ambientali, paesaggistici e culturali locali, ad una fruizione più articolata della profondità dei territori dell'entroterra nelle loro valenze paesaggistiche, escursionistiche, culturali, urbane, etc”.

A sottolineare l'importanza della costa per il territorio e il paesaggio pugliese, il PPTR indica un obiettivo specifico dello scenario strategico - Valorizzare, riqualificare e ricostruire i paesaggi costieri della Puglia (obiettivo 9) - e predispone un progetto territoriale di paesaggio: La valorizzazione e la riqualificazione integrata dei paesaggi costieri.

Il PPTR ritiene che la tutela della costa e del paesaggio, il recupero del patrimonio esistente siano gli elementi su cui sviluppare interventi integrati di gestione dei litorali e un'economia turistica sostenibile e consapevole. Pertanto, è necessario che i progetti per la costa vadano oltre la linea demaniale e abbiano un approccio integrato e strategico alla pianificazione e gestione delle zone costiere, allineandosi a quanto si va facendo sui litorali degli altri paesi europei.

Il Progetto Territoriale per la Valorizzazione e la Riqualificazione Integrata dei Paesaggi Costieri di Puglia intende come “zona costiera” tutta la fascia di transizione tra mare-costa-entroterra, ossia l’ambito relazionale che comprenda territori di larghezza e profondità variabili in funzione dei caratteri geomorfologici e ambientali, delle diverse storie dei territori costieri”.

“La scelta di riconoscere una profondità territoriale ai paesaggi costieri muove non solo da considerazioni di tutela, ma anche da valutazioni economiche: la volontà da più parti espressa di ampliare e destagionalizzare l’attuale offerta turistica regionale attraverso l’integrazione del predominante turismo balneare con gli altri segmenti turistici regionali implica infatti la costruzione di strategie virtuose tra costa ed entroterra, che mobilitino risorse ben più ampie di quelle situate a ridosso del litorale” (PPTR, Progetti territoriali. La valorizzazione e riqualificazione integrata dei paesaggi costieri).

Il Comune di Ugento, ai sensi della L.R. n. 17 del 10 aprile 2015 “Disciplina della tutela e dell’uso della costa”, si sta dotando del Piano Comunale delle Coste (PCC). Il PCC è lo strumento di assetto, gestione, controllo e monitoraggio del territorio costiero comunale in termini di tutela del paesaggio, di salvaguardia dell’ambiente, di garanzia del diritto dei cittadini all’accesso e alla libera fruizione del patrimonio naturale pubblico, nonché di disciplina per il suo utilizzo eco - compatibile. Esso contempera gli interessi pubblici connessi:

- allo sviluppo del settore turistico, per le relative implicazioni di carattere socio – economico;
- al godimento del bene da parte della collettività;
- alla protezione dell’ambiente naturale e al recupero dei tratti di costa che versano in stato di degrado, ovvero di instabilità morfologica.

Il PCC persegue, pertanto, l’obiettivo dello sviluppo economico-sociale delle aree costiere attraverso l’affermazione della qualità e della sostenibilità dello stesso, prospettando strategie di difesa e di governo, nella constatazione che:

1. lo stato attuale della costa risente in generale di una disordinata evoluzione, effetto più di una sommatoria di interventi senza alcuna reciproca connessione che del prodotto di una logica di sistema basata su un corretto rapporto tra ambiente costruito e ambiente naturale;
2. il livello di degrado è tale, per intensità e ampiezza, che il problema non è più quello di cercare usi ottimali delle aree ancora libere, ma piuttosto quello di innescare un processo di recupero e risanamento complessivo.

Al fine di fornire un supporto decisionale di natura scientifica utile alla redazione del PCC, il Responsabile del Settore 4° - Urbanistica, Assetto del Territorio e Ambiente del Comune di Ugento, con propria determinazione n. 1973 Registro Generale del 31.12.2014 (contratto in data 10.02.2015), ha affidato allo scrivente l’incarico di consulenza per la individuazione di opere o azioni di mitigazione dei fenomeni erosivi che interessano il litorale ugentino. Con nota prot. 5464 del 29.01.2015, il Magnifico Rettore dell’Università del Salento, prof. Vincenzo Zara, ha autorizzato lo scrivente a espletare la attività di consulenza.

Lo studio di consulenza condotto:

- Individua il clima ondoso al largo del litorale;
- Determina il trasporto litoraneo netto potenziale;
- Calcola il trasporto litoraneo netto effettivo sulla base della cartografia disponibile;
- Stima i volumi di sabbia erosi e depositati;
- Configura un piano di intervento di durata quinquennale per la mitigazione dei fenomeni erosivi lungo il litorale tra Torre San Giovanni e Torre Mozza.

La presente relazione riassume i risultati dello studio del clima ondoso al largo del litorale di Ugento.

2. FONTE DEI DATI

2.1. Zona di studio

Prima di potere condurre gli studi di agitazione interna e lo studio del ricambio della massa idrica nel nuovo bacino portuale in progetto, è necessario determinare il clima ondoso medio al largo della costa di Gallipoli, nella provincia di Lecce (Figura 1).

Inizialmente sono state analizzate due distinte fonti di dati di clima meteomarinico al fine di definire quella che permetta una miglior descrizione del clima meteomarinico nella zona di studio al largo di Gallipoli.

Si sono assunte le seguenti due fonti di dati di clima ondoso:

- ❑ dati rilevati dalla boa direzionale R.O.N. di Crotone
- ❑ dati *hindcast* in un nodo al largo di Gallipoli (modello WAM)

Per ciascuna delle due fonti sono stati analizzati i seguenti aspetti del clima di moto ondoso in acque profonde:

- ❑ definizione della distribuzione settoriale del moto ondoso;
- ❑ definizione dei regimi medi direzionali del moto ondoso;
- ❑ definizione dei parametri caratteristici del moto ondoso (periodo, etc.).



Figura 1. Ubicazione dell'area di studio

2.2. Moto ondoso generato in mare aperto: dati boa Crotone

La boa direzionale di Crotone, appartenente alla Rete Ondametrica Nazionale (RON), è posizionata nel punto di coordinate $40^{\circ} 58' 05''$ N di latitudine e $17^{\circ} 22' 06''$ E di longitudine (Figura 2 e Figura 3). Il periodo di registrazione preso in considerazione si estende dal 1° Luglio 1989 al 12 Dicembre 2001, per un periodo complessivo di 12.5 anni.



Figura 2. Rete Ondametrica Nazionale (RON). Ubicazione della boa di Crotone



Figura 3. Boa di Crotone

Prima di procedere all'analisi statistica dei dati per la determinazione del regime medio, sono stati analizzati i periodi di tempo in cui sono presenti dei vuoti di registrazione nel campione dei dati (vuoti). La distribuzione dei vuoti (definiti come periodi di tempo privi di rilevamenti con durata superiore a 3 ore), classificati per mese e per anno e misurati in ore, è riassunta nella Tabella 1. In particolare il numero di vuoti superiori a 4 ore e a 24 ore è pari a 667 e 48, rispettivamente.

ANNO	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
1989	0	0	0	0	0	0	75	0	12	3	0	6
1990	9	9	59	77	225	27	0	0	75	48	57	9
1991	3	0	5	56	18	3	69	24	87	108	6	54
1992	0	0	102	12	0	6	6	57	12	6	216	60
1993	69	27	77	30	26	18	24	17	38	45	39	38
1994	44	87	27	30	126	21	35	50	30	227	720	230
1995	21	12	54	9	30	33	59	90	53	95	23	84
1996	150	17	300	30	41	24	24	21	27	107	26	12
1997	0	0	3	3	6	3	0	0	3	26	518	3
1998	0	0	24	3	0	3	0	0	12	3	6	3
1999	3	384	3	0	9	3	0	138	138	0	6	18
2000	9	12	3	0	9	9	30	9	27	24	6	0
2001	3	75	231	3	45	419	395	545	212	6	33	6
TOTALE	311	623	887	252	534	569	716	950	725	696	1655	522

Tabella 1. Numero di ore di vuoti di durata superiore a 3 ore. Boa di Crotone

Un aspetto importante da analizzare è la distribuzione dei vuoti nell'arco di un anno, per verificare se si distribuiscono uniformemente. Infatti, solo in tal caso i dati potrebbero essere considerati rappresentativi per la caratterizzazione di un anno medio.

La detta distribuzione di vuoti è presentata in Tabella 2 e, graficamente, in Figura 4. I risultati ottenuti a seguito di un'analisi mensile della distribuzione dei vuoti permette di affermare che il campione di dati può essere assunto per caratterizzare il regime medio del moto ondoso.

MESE	N° VUOTI	N° ORE	% VUOTI
GEN	311	8928	3.48
FEB	623	8136	7.65
MAR	887	8928	9.93
APR	252	8640	2.92
MAG	534	8928	5.98
GIU	569	8640	6.58
LUG	716	9672	7.40
AGO	950	9672	9.82
SET	725	9360	7.74
OTT	696	9672	7.20
NOV	1655	9360	17.68
DIC	522	9666	5.40
TOTALE	8440	109602	7.65

Tabella 2. Distribuzione di vuoti. Boa di Crotone

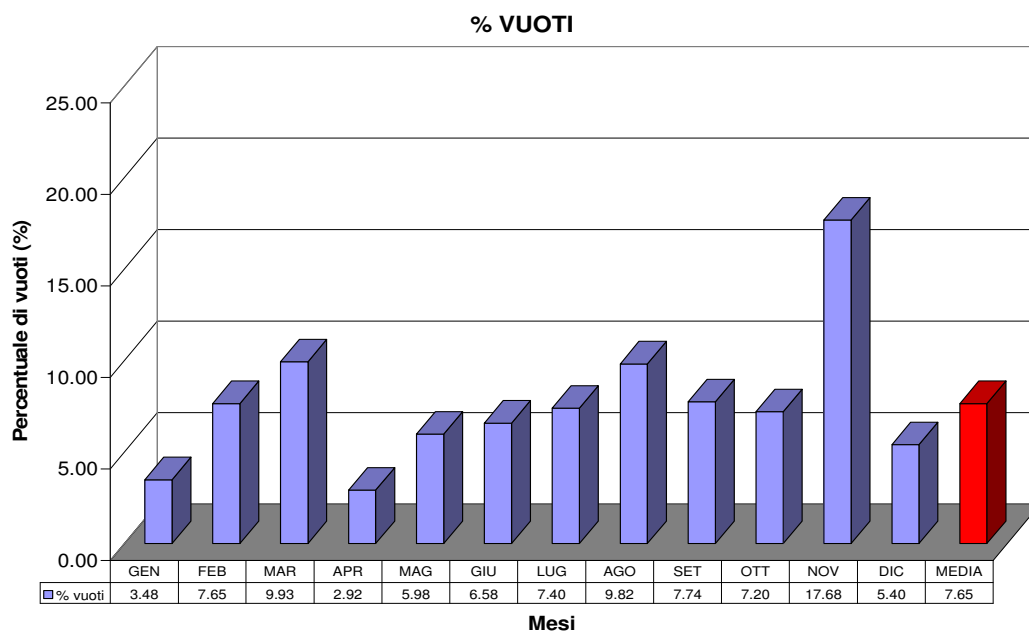


Figura 4. Distribuzione dei vuoti (in percentuale) per mese. Boa di Crotone

È stata anche accertata la possibilità dell'esistenza di una relazione tra il manifestarsi di una avaria nella boa (e, conseguentemente, la presenza di vuoti nel rilevamento) e la presenza di mareggiate. Infatti, tale condizione determinerebbe lo spostamento dei dati del campione verso una rappresentazione non in sicurezza.

A tale scopo sono stati mediati i valori di altezza d'onda significativa H_s prima di ciascun vuoto, ottenendo 0.94 m, ed è stato confrontato tale valore con la media dell'intera registrazione (0.73 m). Malgrado la media prima dei vuoti sia lievemente superiore a quella dell'insieme dei dati, un'altezza significativa d'onda pari a 0.94 m non giustifica l'eventuale malf funzionamento o rottura della boa e, quindi, questo risultato permette di desumere che non esiste una relazione diretta tra l'esistenza di un vuoto nella osservazione e le condizioni climatiche di una mareggiata, ma che i vuoti possono essere dovuti ad una non corretta manutenzione della boa o ad atti vandalici in mare.

Ai fini del calcolo, la durata reale della rilevamento si determina considerando che ciascuna misura è rappresentativa di un periodo uguale al valor medio degli intervalli di tempo tra registrazioni adiacenti (anteriore e posteriore), così come illustrato in Figura 5. Il tempo equivalente di rilevamento così considerato è risultato pari a 11.5 anni, che corrisponde al 92% del totale del periodo registrato dalla boa direzionale di Crotone.

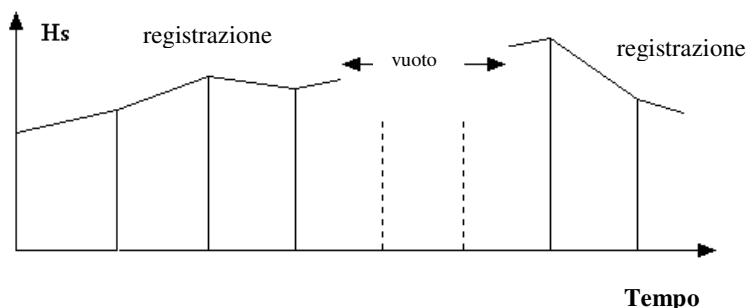


Figura 5. Definizione di vuoto nella registrazione di moto ondoso

2.3 Dati hindcast (modello WAM)

Il secondo gruppo di dati considerato per la caratterizzazione del clima meteomarinico in prossimità di Gallipoli è stato ottenuto mediante il modello WAM che si basa su un metodo di previsione a posteriori di tipo *hindcast* condotto sulla scorta dei dati di vento forniti dal Centro Meteorologico Europeo (CEM). Il nodo utilizzato è situato nel punto di coordinate $39^{\circ} 45' 00''$ N di latitudine e $18^{\circ} 15' 00''$ E di longitudine (Figura 6). Il periodo di registrazione si estende dal 1° Gennaio 2007 al 11 Settembre 2007, per un periodo complessivo di 9 mesi e 11 giorni che, con un passo temporale di rilevamento pari a 6 ore, equivale a 1027 dati.

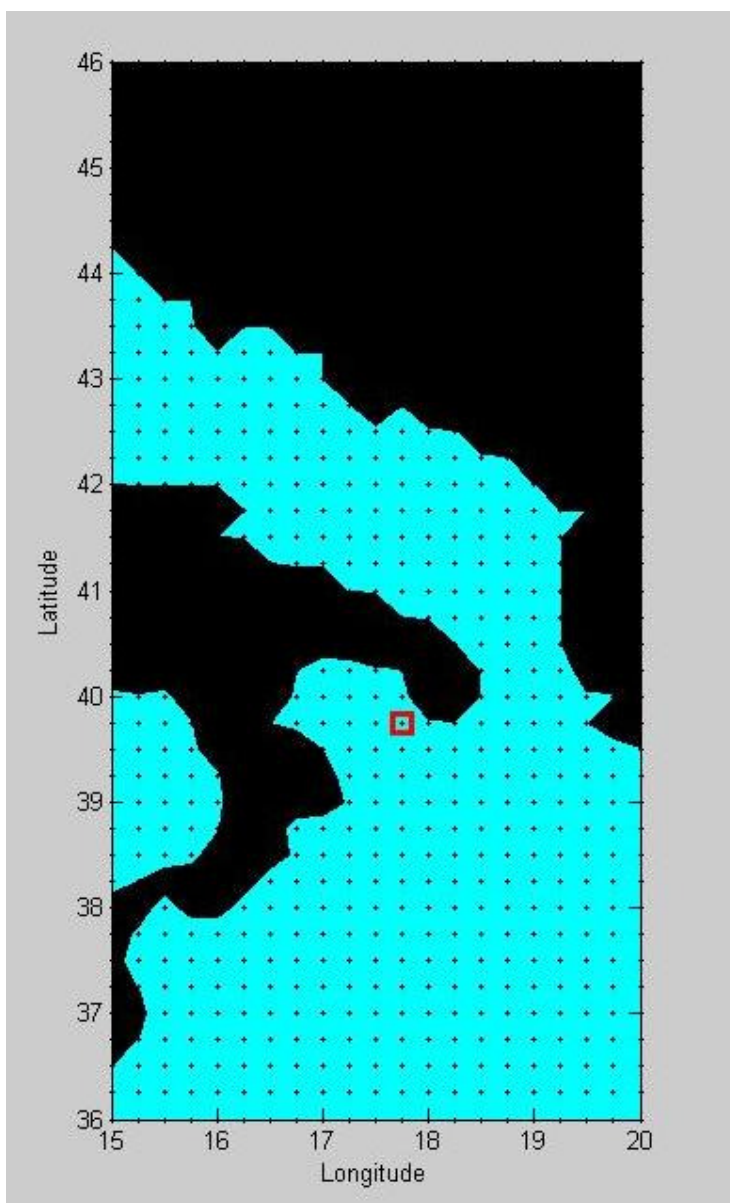


Figura 6. Ubicazione del nodo WAM nei pressi di Gallipoli

3. REGIME MEDIO ALLA BOA DI CROTONE

3.1. *Distribuzione settoriale del moto ondoso*

La distribuzione settoriale del moto ondoso, in settori angolari di 22.5° , è rappresentata graficamente nella relativa rosa del moto ondoso (Figura 7) costruita a partire dall'insieme dei dati. La Tabella 3 riporta il numero di osservazioni classificate per settori di provenienza del moto ondoso e per valori di altezza d'onda significativa H_s .

La frequenza di apparizione settoriale del moto ondoso, definita come percentuale di apparizione di un valore di una classe di altezza d'onda significativa per ciascuno dei settori, sono riportate nella stessa tabella. Il valore della probabilità così definita non è trascurabile nella interpretazione dei regimi medi direzionali, definiti più avanti, dal momento che si tratta di probabilità associate alla provenienza del moto ondoso da un determinato settore.

Si è quindi determinata la distribuzione settoriale per ciascuna delle 4 stagioni dell'anno (Tabella 4, Tabella 5, Tabella 6 e Tabella 7), distribuzione che può essere apprezzata chiaramente nelle corrispondenti rose del moto ondoso (Figura 8, Figura 9, Figura 10 e Figura 11).

Da questa analisi si osserva che i settori S, SSE e NNE sono regnanti e che il settore SE è dominante. I fronti d'onda provenienti dal settore NNE e SE non sono presi in considerazione nel presente studio, in quanto non incidono sulla costa di Gallipoli. Stagionalmente si osserva che la rosa del moto ondoso rispecchia un comportamento simile a quello osservato per la rosa annuale, tanto in frequenza che dal punto di vista energetico, mostrando valori di altezza d'onda più bassi in estate e più elevati in inverno.

Ugento - Interventi di mitigazione dell'erosione costiera

Hs (m)	0.0-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-3.5	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	>5.5	%	TOTALE
Settore														
N	573	941	895	560	238	74	27	11	1	0	0	0	9.85	3320
NNE	1829	1911	700	270	113	35	15	3	1	1	0	0	14.47	4878
NE	2014	626	148	71	30	11	3	4	0	2	0	0	8.63	2909
ENE	1516	260	108	49	35	9	6	1	1	1	0	0	5.89	1986
E	1219	269	122	70	29	12	7	6	2	1	0	0	5.15	1737
ESE	1267	328	180	97	57	40	16	9	4	6	4	0	5.95	2008
SE	1737	711	373	231	167	99	58	36	24	14	4	1	10.25	3455
SSE	2588	1313	593	257	103	53	23	4	2	0	0	0	14.64	4936
S	3656	2173	667	155	24	14	2	0	0	2	0	0	19.85	6693
SSW	861	550	91	12	14	2	0	0	0	0	0	0	4.54	1530
SW	44	24	3	0	4	1	1	0	0	0	0	0	0.23	77
WSW	15	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0.06	20
W	8	8	1	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0.07	23
WNW	4	2	0	1	8	0	1	0	0	0	0	0	0.05	16
NW	23	3	0	0	12	3	0	0	0	0	0	0	0.12	41
NNW	44	10	2	1	21	13	1	0	0	0	0	0	0.27	92
%	51.59	27.08	11.52	5.26	2.55	1.09	0.47	0.22	0.10	0.08	0.02	0.00	100.00	
TOTALE	17398	9132	3883	1774	861	368	160	74	35	27	8	1		33721

Tabella 3. Tabella di frequenza di apparizione per settore di provenienza del moto ondoso (annuale). Boa di Crotone

ROSA DEL MOTO ONDOSO ANNUALE

Dati boa di Crotone: 36442 Dati Direzionali

Altezza d'onda Hs in m

▮ Frequenza 1%

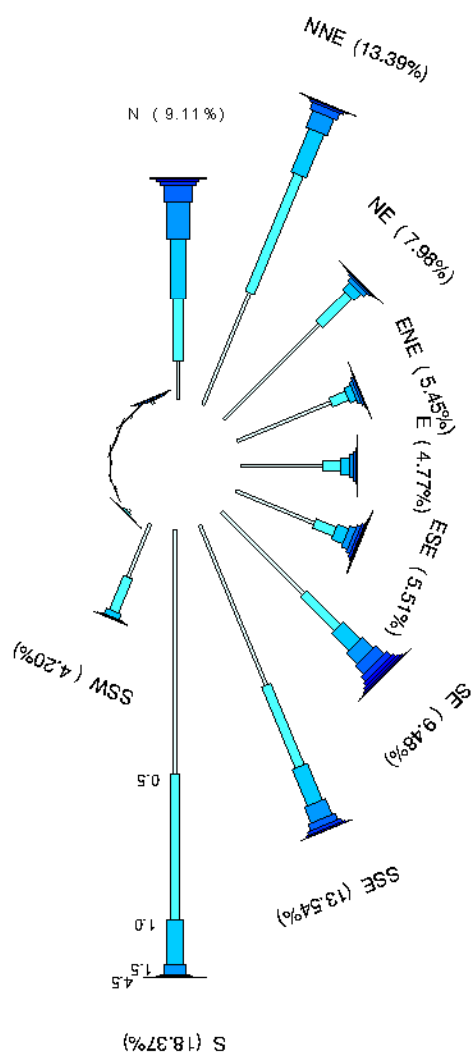


Figura 7. Rosa del moto ondoso annuale. Boa di Crotone.

ROSA DEL MOTO ONDOSO ESTATE

Dati boa di Crotone: 9461 Dati Direzionali

Altezza d'onda H_s in m

▮ Frequenza 1%

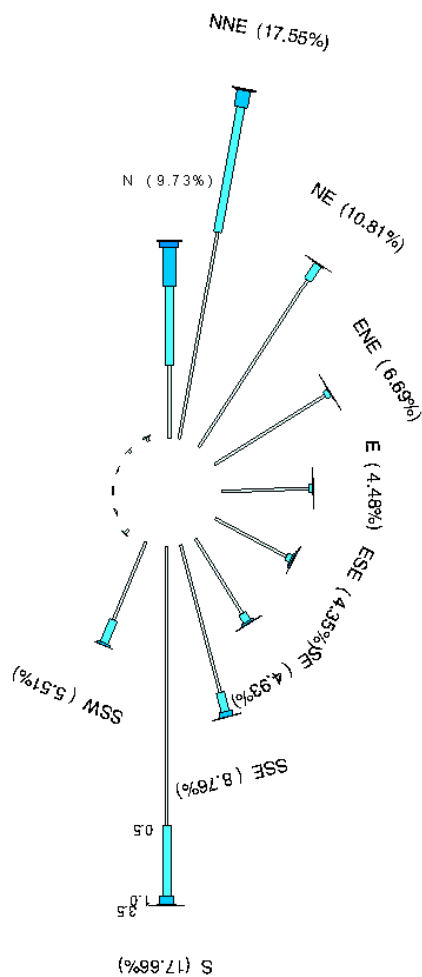


Figura 8. Rosa del moto ondoso (estate). Boa di Crotone

Hs (m) Settore	0.0-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-3.5	> 3.5	%	TOTALE
N	339	372	179	28	3	0	0	0	10.65	921
NNE	981	592	78	5	4	0	0	0	19.20	1660
NE	931	86	4	1	0	1	0	0	11.83	1023
ENE	604	24	3	1	0	0	0	1	7.32	633
E	402	16	4	0	0	0	1	1	4.90	424
ESE	375	23	6	6	1	1	0	0	4.77	412
SE	410	43	9	2	0	2	0	0	5.39	466
SSE	710	92	25	0	0	2	0	0	9.59	829
S	1296	328	41	2	0	3	1	0	19.33	1671
SSW	394	115	11	1	0	0	0	0	6.03	521
SW	25	5	0	0	0	0	0	0	0.35	30
WSW	8	1	0	0	0	0	0	0	0.10	9
W	3	2	0	0	0	0	0	0	0.06	5
WNW	2	1	0	0	0	0	0	0	0.03	3
NW	14	1	0	0	0	0	0	0	0.17	15
NNW	18	6	0	0	0	0	0	0	0.28	24
%	75.32	19.74	4.16	0.53	0.09	0.10	0.02	0.02	100.00	
TOTALE	6512	1707	360	46	8	9	2	2		8646

Tabella 4. Tabella di frequenza di apparizione per settore di provenienza del moto ondoso (estate). Boa di Crotone

ROSA DEL MOTO ONDOSO AUTUNNO

Dati boa di Crotone: 9449 Dati Direzionali

Altezza d'onda Hs in m

|| Frequenza 1%

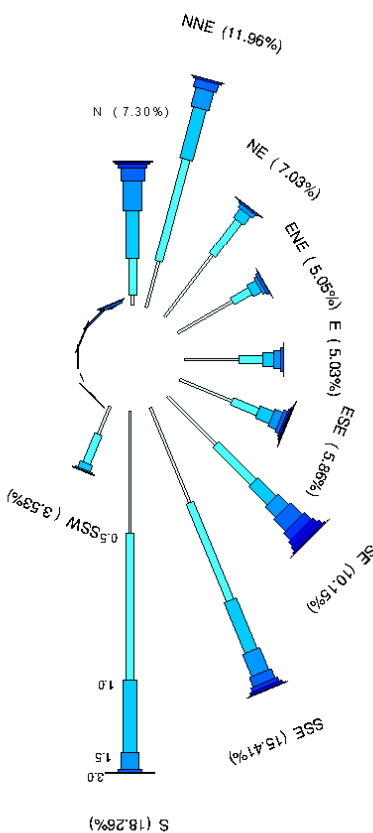


Figura 9. Rosa del moto ondoso (autunno). Boa di Crotone

Hs (m) Settore	0.0-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-3.5	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	> 5.0	%	TOTALE
N	49	174	232	140	61	20	9	5	0	0	0	8.11	690
NNE	228	507	251	93	40	10	1	0	0	0	0	13.28	1130
NE	373	206	53	21	8	1	2	0	0	0	0	7.80	664
ENE	300	98	46	16	14	2	1	0	0	0	0	5.60	477
E	261	115	49	35	12	2	1	0	0	0	0	5.58	475
ESE	269	134	71	41	19	8	6	4	1	1	0	6.51	554
SE	322	254	125	71	78	48	28	21	10	1	1	11.27	959
SSE	491	503	261	114	49	20	14	3	1	0	0	17.11	1456
S	583	700	345	80	12	3	0	0	0	2	0	20.27	1725
SSW	143	149	32	6	4	0	0	0	0	0	0	3.92	334
SW	3	2	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0.08	7
WSW	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	2
W	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0.04	3
WNW	0	0	0	0	4	0	1	0	0	0	0	0.06	5
NW	0	0	0	0	5	2	0	0	0	0	0	0.08	7
NNW	4	3	0	1	12	4	0	0	0	0	0	0.28	24
%	35.57	33.44	17.21	7.26	3.77	1.41	0.75	0.39	0.14	0.05	0.01	100.00	
TOTALE	3028	2846	1465	618	321	120	64	33	12	4	1		8512

Tabella 5. Tabella di frequenza di apparizione per settore di provenienza del moto ondoso (autunno). Boa di Crotone

ROSA DEL MOTO ONDOSI INVERNO

Dati boa di Crotone: 8727 Dati Direzionali

Altezza d'onda Hs in m

▮ Frequenza 1%

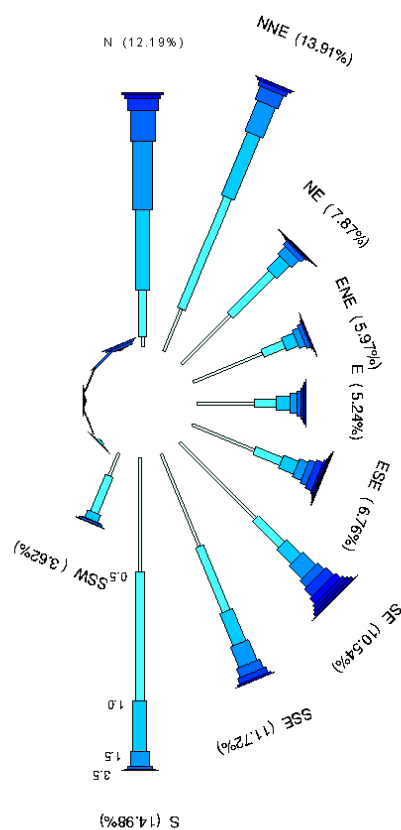


Figura 10. Rosa del moto ondoso (inverno). Boa di Crotone

Ugento - Interventi di mitigazione dell'erosione costiera

Hs (m) Settore	0.0-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-3.5	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	>5.5	%	TOTALE
N	41	195	340	284	129	51	18	6	0	0	0	0	13.03	1064
NNE	191	508	285	138	59	20	11	2	0	0	0	0	14.86	1214
NE	287	247	76	43	19	8	1	4	0	2	0	0	8.41	687
ENE	314	97	54	28	18	6	3	0	1	0	0	0	6.38	521
E	242	92	55	31	16	9	5	5	2	0	0	0	5.60	457
ESE	282	121	68	39	28	29	9	5	3	4	2	0	7.22	590
SE	449	155	84	76	40	43	28	15	14	12	3	1	11.26	920
SSE	417	293	145	94	40	25	8	1	0	0	0	0	12.53	1023
S	477	538	213	62	10	6	1	0	0	0	0	0	16.00	1307
SSW	103	166	33	3	9	2	0	0	0	0	0	0	3.87	316
SW	3	6	2	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0.17	14
WSW	1	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0.05	4
W	1	6	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0.13	11
WNW	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0.05	4
NW	1	1	0	0	7	1	0	0	0	0	0	0	0.12	10
NNW	3	1	2	0	9	9	1	0	0	0	0	0	0.31	25
%	34.43	29.72	16.62	9.77	4.82	2.60	1.04	0.47	0.24	0.22	0.06	0.01	100.00	
TOTALE	2812	2427	1357	798	394	212	85	38	20	18	5	1		8167

Tabella 6. Tabella di frequenza di apparizione per settore di provenienza del moto ondoso (inverno). Boa di Crotone

ROSA DEL MOTO ONDOSI PRIMAVERA

Dati boa di Crotone: 8805 Dati Direzionali

Altezza d'onda Hs in m

▮ Frequenza 1%

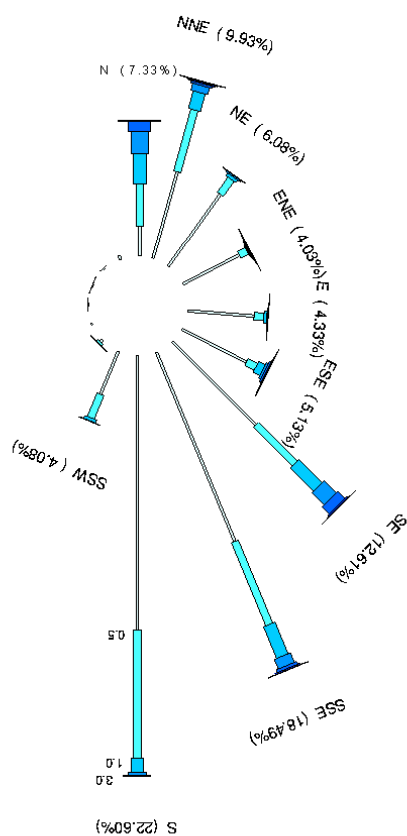


Figura 11. Rosa del moto ondoso (primavera). Boa di Crotone

Ugento - Interventi di mitigazione dell'erosione costiera

Hs (m) Settore	0.0-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-3.5	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	> 5.0	%	TOTALE
N	144	200	144	108	45	3	0	0	1	0	0	7.68	645
NNE	429	304	86	34	10	5	3	1	1	1	0	10.41	874
NE	423	87	15	6	3	1	0	0	0	0	0	6.37	535
ENE	298	41	5	4	3	1	2	0	0	1	0	4.23	355
E	314	46	14	4	1	1	0	0	0	1	0	4.54	381
ESE	341	50	35	11	9	2	1	0	0	1	2	5.38	452
SE	556	259	155	82	49	6	2	0	0	1	0	13.22	1110
SSE	970	425	162	49	14	6	1	0	1	0	0	19.39	1628
S	1300	607	68	11	2	2	0	0	0	0	0	23.70	1990
SSW	221	120	15	2	1	0	0	0	0	0	0	4.28	359
SW	13	11	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0.31	26
WSW	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.06	5
W	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.05	4
WNW	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0.05	4
NW	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.11	9
NNW	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.23	19
%	60.10	25.63	8.35	3.72	1.64	0.32	0.11	0.01	0.04	0.06	0.02	100.00	
TOTALE	5046	2152	701	312	138	27	9	1	3	5	2		8396

Tabella 7. Tabella di frequenza di apparizione per settore di provenienza del moto ondoso (primavera). Boa di Crotone

3.2. Regime medio omnidirezionale annuale

Il regime medio di una qualunque variabile mette in relazione distinti livelli della variabile stessa con la probabilità che tali livelli non siano superati in un intervallo di tempo pari ad un anno medio.

In termini di altezza d'onda, si chiama regime medio annuale la funzione di distribuzione statistica che definisce la percentuale di tempo in cui, in un anno medio, l'altezza d'onda non supera un determinato valore.

Il procedimento per il calcolo del regime medio di altezza d'onda (in questo caso l'altezza d'onda significativa) prevede di partire dall'istogramma cumulato del tempo di superamento di ciascun livello di altezza d'onda. E' quindi necessario elaborare a priori le curve di stato del mare che sono costruite per interpolazione lineare a partire da dati registrati in determinati intervalli di tempo.

Un altro procedimento, più comune per la sua semplicità, è quello di determinare la probabilità di non superamento di una determinata altezza d'onda a partire da un campione di dati adottando una determinata formulazione (*plotting position*).

In linea di principio, nel caso di un campione continuo e con una grande densità di dati, i due procedimenti devono portare allo stesso risultato nella determinazione della probabilità di non superamento dei differenti livelli di altezza d'onda.

Data la maggiore onerosità data dal metodo che prevede di ricostruire la curva di stato del mare al fine di determinare la percentuale di tempo in cui determinati valori di altezza d'onda non sono superati, si è preferito seguire il secondo procedimento (lavorando con l'insieme dei dati del campione senza ricostruire la curva di stato del mare).

Non è possibile derivare teoricamente la distribuzione statistica per la variabile altezza d'onda per un anno climatico medio, e quindi è necessario provare distinti modelli di distribuzione per l'insieme dei dati misurati. Le funzioni di distribuzione comunemente utilizzate sono le seguenti:

- Log-normale (con i parametri A di posizione e B di scala)

$$P(Hs < x) = \frac{1}{B\sqrt{2\pi}} \int_0^x \frac{1}{x} \cdot \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\log x - A}{B} \right)^2 \right] dx \quad (1)$$

- Esponenziale (con i parametri A di posizione e B di scala)

$$P(Hs < x) = 1 - \exp \left[-\frac{x - A}{B} \right] \quad (2)$$

- Weibull (con i parametri A di posizione, B di scala e C di forma)

$$P(H_s < x) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{x - A}{B} \right)^C \right] \quad (3)$$

Si osservi come la funzione di distribuzione esponenziale sia un caso particolare della funzione di distribuzione di Weibull con il parametro C = 1.

I parametri delle distribuzioni possono essere stimati tramite qualunque dei seguenti metodi statistici:

- ⇒ *Metodo dei momenti (MM)*: i parametri sono stimati a partire dai momenti del campione di dati (media, varianza e coefficiente di asimmetria)
- ⇒ *Metodo dei minimi quadrati (MQ)*: i parametri sono determinati mediante un'interpolazione lineare ai minimi quadrati di una retta ad una nube di punti rappresentata nel relativo foglio statistico.
- ⇒ *Metodo della massima verosimiglianza (MV)*: i parametri sono determinati in modo tale che sia resa massima la probabilità di ottenere il risultato campione osservato mediante la massimizzazione delle corrispondenti funzioni di verosimiglianza.

Tipicamente, per la determinazione del regime medio non sono impiegati il metodo dei momenti o quello della massima verosimiglianza a causa del fatto che attribuiscono poco peso (importanza) ai valori massimi rispetto all'insieme dei dati (generalmente in numero elevato), per cui l'interpolazione lineare della funzione di distribuzione nella zona alta (con valori bassi della probabilità di superamento), che è quella di maggior interesse, risulta essere poco efficace.

In Figura 12 è rappresentata l'interpolazione lineare ai minimi quadrati della funzione di distribuzione di Weibull della variabile altezza d'onda significativa H_s dell'insieme dei dati della boa di Monopoli. Il valore degli stimatori centrali dei parametri, così come il relativo coefficiente di correlazione ottenuto, sono riportati in Tabella 8.

La Tabella 8bis indica il valore di H_s relativo ad un assegnato livello di probabilità di superamento per la boa di Crotone.

Weibull (MQ)	Boa di Crotone
A	-0.019
B	0.637
C	1.00
r	0.999698

Tabella 8. Parametri della funzione di distribuzione di Weibull e coefficiente di correlazione.
Boa di Crotone

Probabilità di superamento (%)	Hs (m)
5	1.89
10	1.45
20	1.01
30	0.75
40	0.56
50	0.42
60	0.31
70	0.21
80	0.12
90	0.05

Regime medio omnidirezionale

Tabella 9bis. Distribuzione di Weibull, probabilità di superamento di Hs.
Boa di Crotone

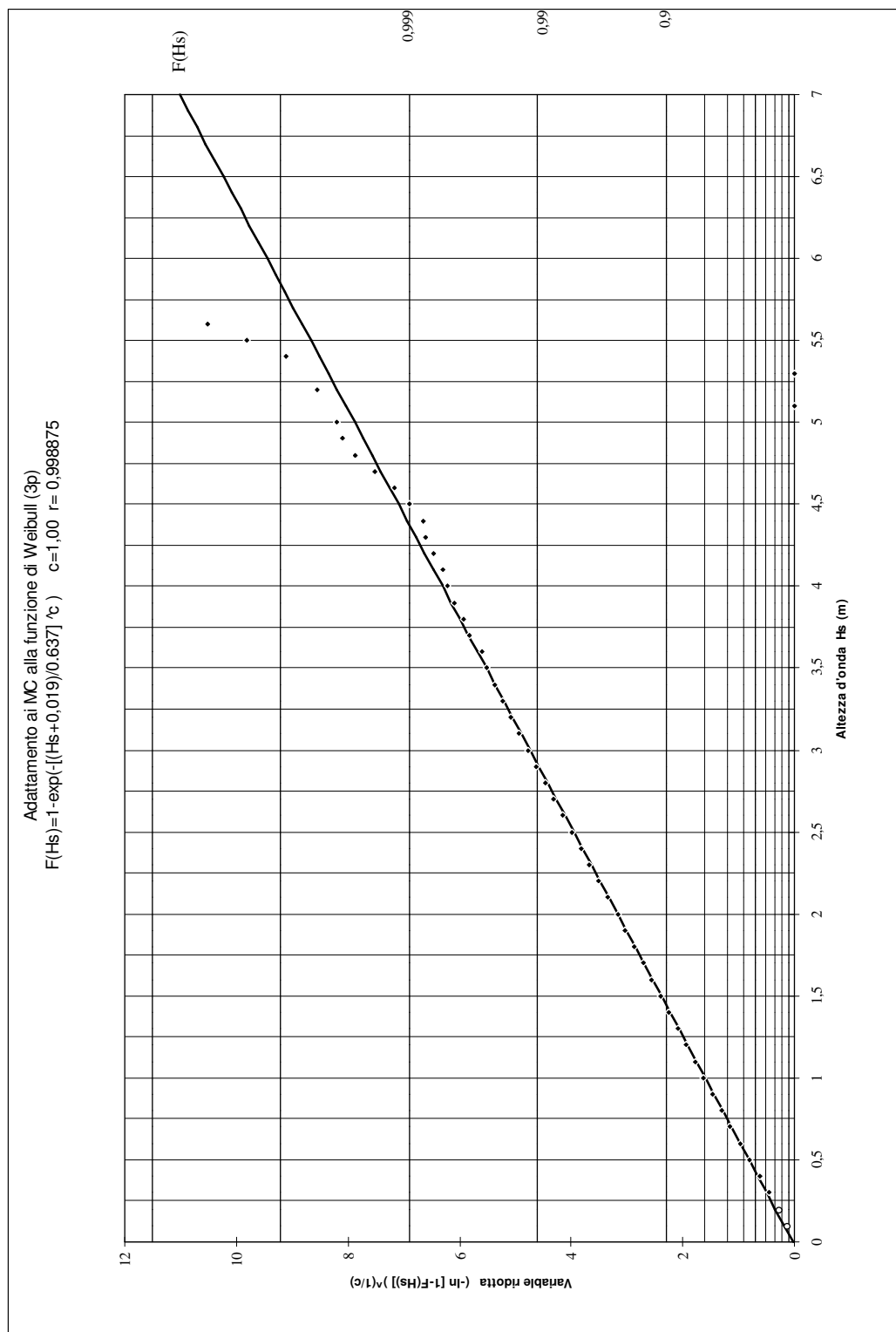


Figura 12. Regime medio annuale omnidirezionale. Boa di Crotone

3.3. *Regime medio direzionale*

Il regime medio direzionale (per un determinato settore di incidenza del moto ondoso) è equivalente al regime medio annuale, però considerando i dati di fronti d'onda provenienti unicamente dal settore in questione.

Le probabilità di superamento definite per le funzioni di distribuzione ottenute devono essere interpretate come probabilità condizionate e, quindi, devono essere associate alla corrispondente frequenza settoriale del moto ondoso a partire dal Teorema della Probabilità Totale.

Il metodo usato per la determinazione delle funzioni di distribuzione che caratterizzano i regimi medi direzionali dei possibili settori di incidenza del moto ondoso è lo stesso descritto nel precedente paragrafo.

Come si può osservare nella rosa del moto ondoso annuale (Figura 7), i settori che incidono nella zona di studio sono: SSW, S e SSE

Le interpolazioni ottenute per questi settori, utilizzando la distribuzione di Weibull con il metodo ai minimi quadrati sono riportati dalla Figura 13 alla Figura 15. I valori dei parametri della distribuzione e del coefficiente di correlazione ottenuti sono riportati in Tabella 10.

Weibull (MQ)	A	B	C	r
SSW	0,033	0,368	0,94	0,988100
S	0,176	0,395	1,03	0,997009
SSE	0,050	0,604	1,01	0,999862

Tabella 10. Parametri della funzione di distribuzione di Weibull e coefficiente di correlazione.
Boa di Crotone

Le Tabelle 9bis-quater indicano il valore di H_s relativo ad un assegnato livello di probabilità di superamento per la boa di Crotone.

Probabilità di superamento (%)	Hs (m)
5	1.22
10	0.93
20	0.64
30	0.48
40	0.37
50	0.28
60	0.21
70	0.16
80	0.11
90	0.07

Tabella 9bis. Distribuzione di Weibull, probabilità di superamento di Hs.
Boa di Crotone. SSW

Probabilità di superamento (%)	Hs (m)
5	1.32
10	1.06
20	0.80
30	0.65
40	0.54
50	0.45
60	0.38
70	0.32
80	0.27
90	0.22

Tabella 9ter. Distribuzione di Weibull, probabilità di superamento di Hs.
Boa di Crotone. S

Probabilità di superamento (%)	Hs (m)
5	1.84
10	1.43
20	1.02
30	0.78
40	0.60
50	0.47
60	0.36
70	0.27
80	0.19
90	0.12

Tabella 9quater. Distribuzione di Weibull, probabilità di superamento di Hs.
Boa di Crotone. SSE

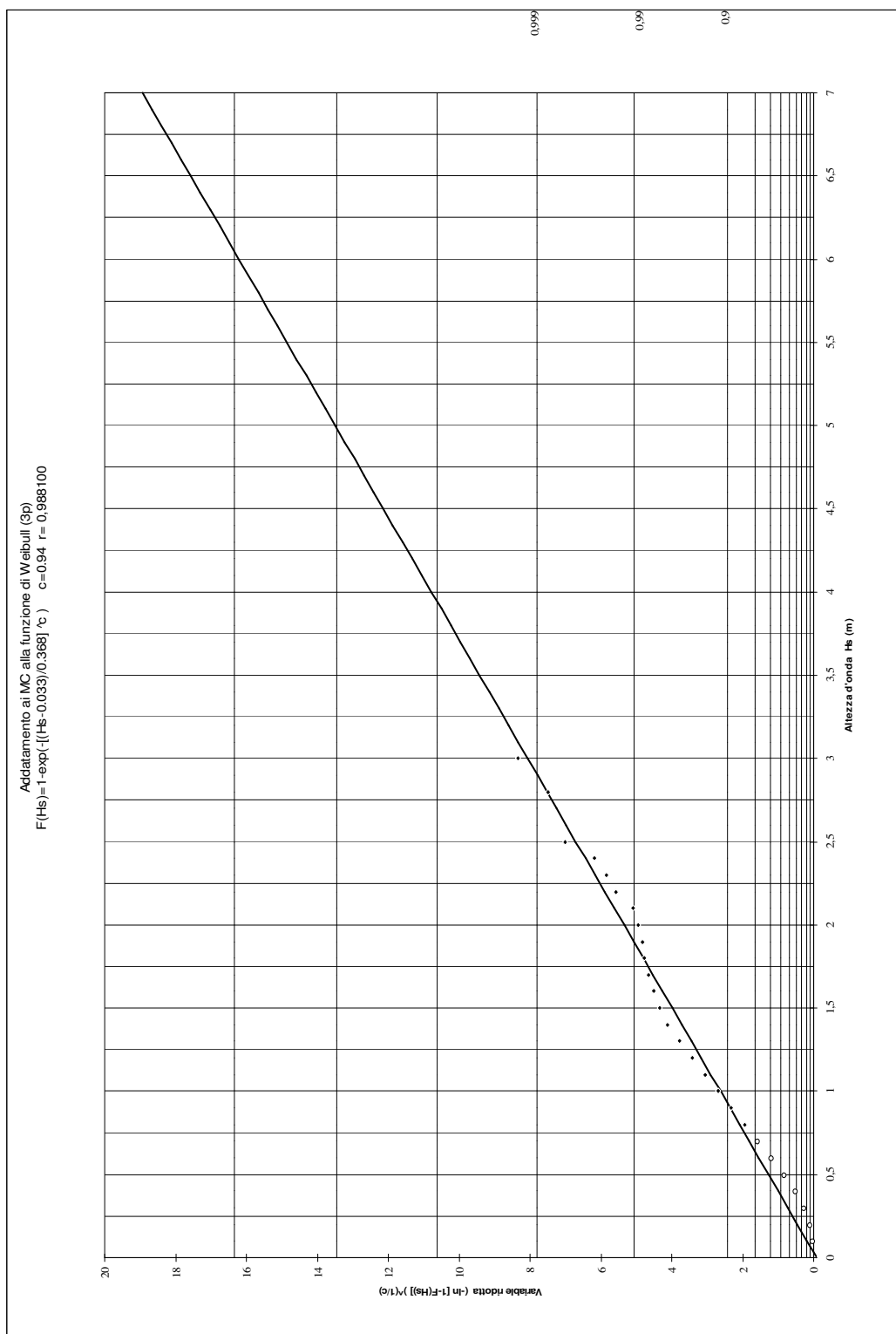


Figura 13. Regime medio direzionale. Settore SSW. Boa di Crotone

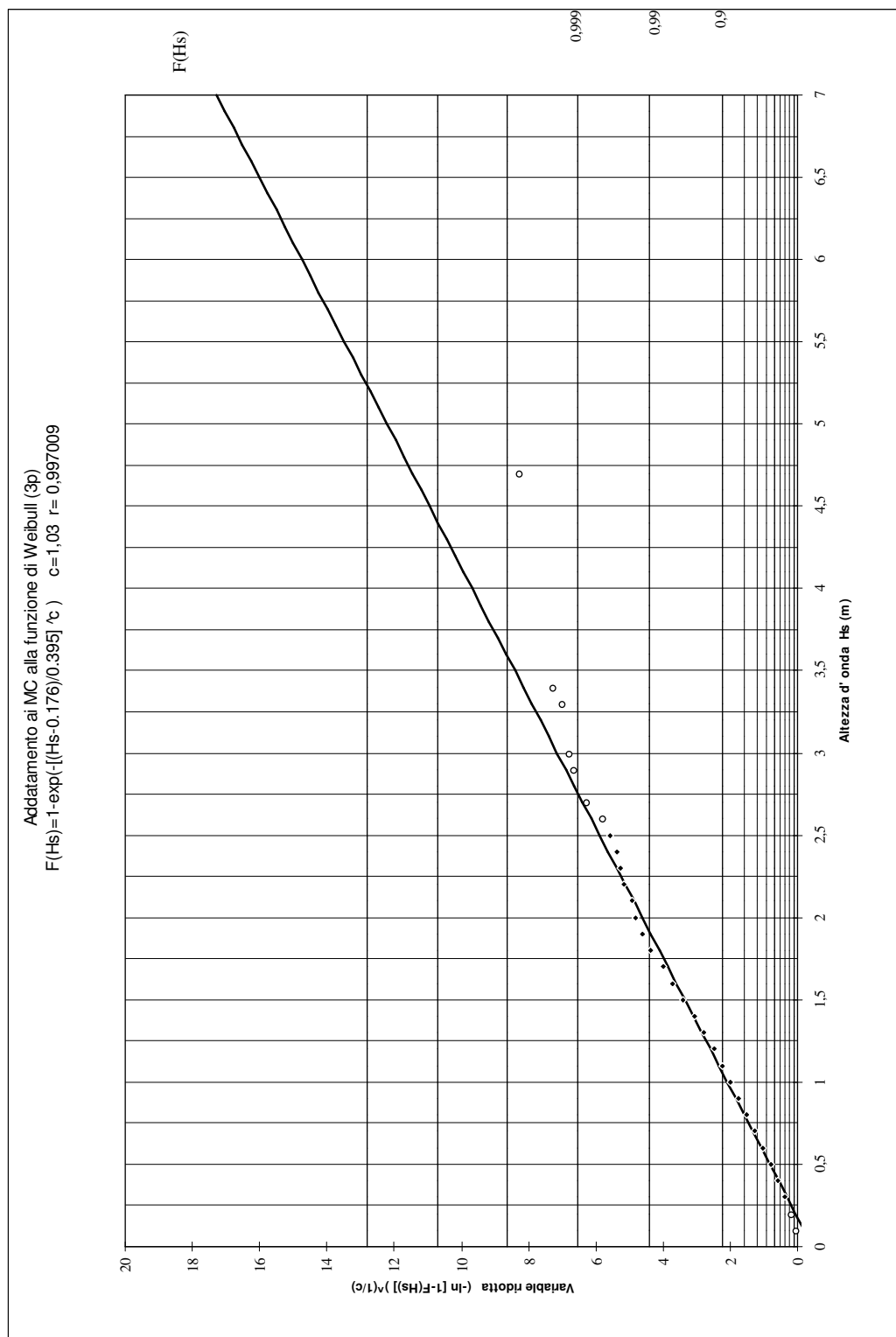


Figura 14. Regime medio direzionale. Settore S Boa di Crotone

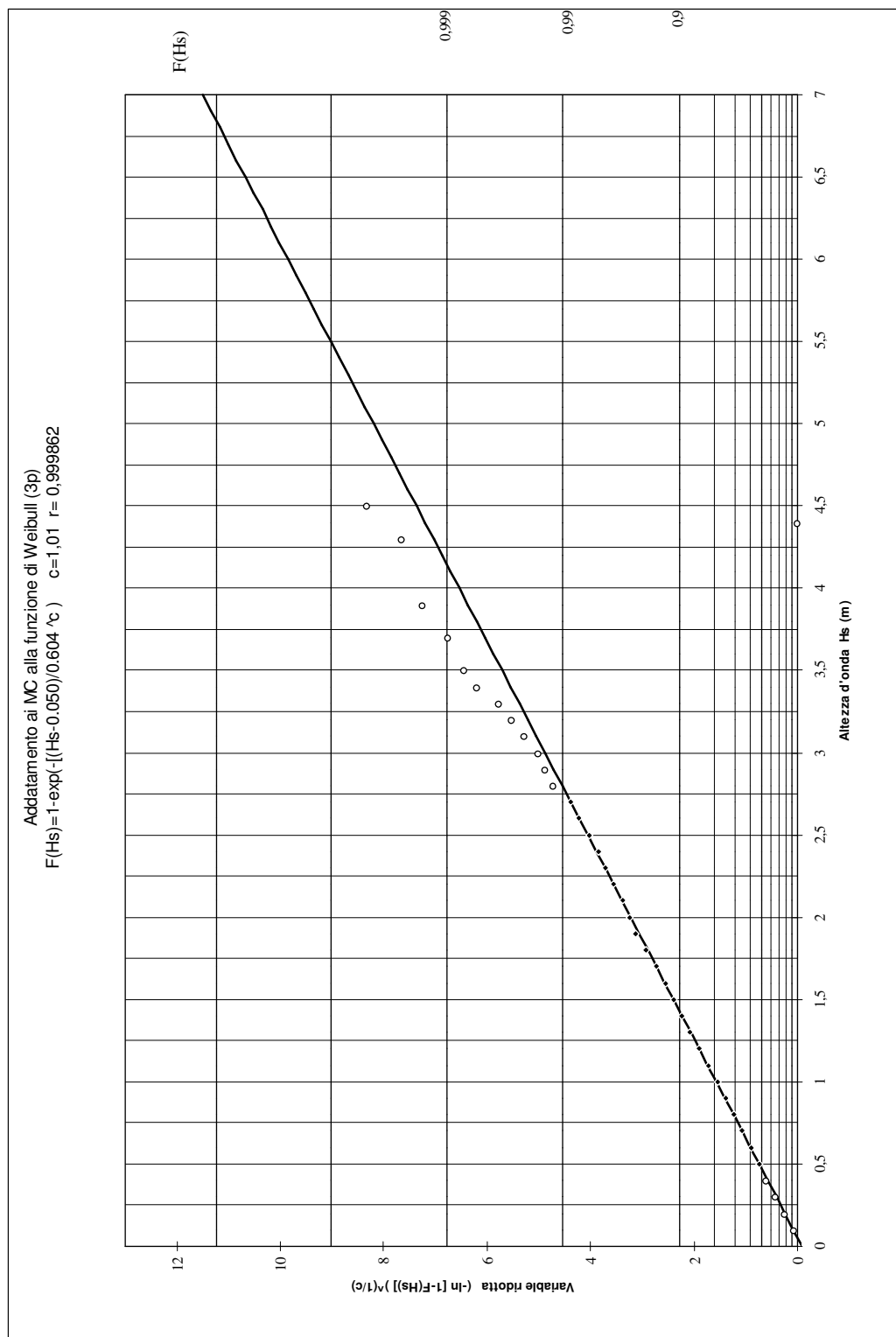


Figura 15. Regime medio direzionale. Settore SSE. Boa di Crotone

3.4. Periodo del moto ondoso

Un'analisi completa del clima meteomarinico deve comprendere anche la caratterizzazione di altri parametri del moto ondoso, come il periodo d'onda, soprattutto in un caso come questo in cui è necessario valutare una correlazione tra i valori dell'altezza d'onda e dei periodi di picco del clima meteomarinico, al fine di determinare i periodi che devono essere utilizzati nella propagazione del moto ondoso da largo sino alla zona di interesse.

Mediante tale analisi sono stati ottenuti risultati grafici che rappresentano la dispersione delle variabili altezza d'onda significativa (H_s) e periodo di picco (T_p) del moto ondoso. In questo modo, a partire dai dati della boa di Monopoli è stato ottenuto un diagramma corrispondente alla totalità dei dati considerati ed ai settori considerati.

Nella Tabella 11 sono riportati i valori dell'altezza d'onda H_s , in intervalli di 0.5m, e del periodo di picco T_p , in intervalli di 2 s, relativi all'insieme di dati considerato; in Figura 16 è rappresentato il grafico di dispersione totale corrispondente.

T_p [s] \ H_s [m]	< 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	>12	TOTALE
< 0,5	78	6086	6469	1415	222	25	1	14296
0,5 - 1,0	0	2028	6361	2390	253	25	0	11057
1,0 - 1,5	0	23	2338	1777	365	9	0	4512
1,5 - 2,0	0	1	633	1040	398	32	0	2104
2,0 - 2,5	0	0	71	575	274	63	0	983
2,5 - 3,0	0	0	1	187	187	49	0	424
3,0 - 3,5	0	0	0	53	73	50	0	176
3,5 - 4,0	0	0	0	8	31	46	0	85
4,0 - 4,5	0	0	0	1	7	28	0	36
4,5 - 5,0	0	0	0	3	6	25	2	36
5,0 - 5,5	0	0	0	0	1	6	0	7
>5,5	0	0	0	0	0	3	0	3
TOTALE	78	8138	15873	7449	1817	361	3	33719

Tabella 11. Tabella di corrispondenza H_s - T_p . Boa di Crotone

È stata stabilita, inoltre, la relazione delle variabili H_s e T_p per l'insieme dei fronti d'onda provenienti dai settori di incidenza considerati, cioè quelli appartenenti ai settori SSW, S e SSE.

Di seguito, dalla Figura 17 alla Figura 15, sono rappresentati i grafici di dispersione delle variabili altezza d'onda significativa H_s e periodo di picco T_p per ciascuno dei suddetti settori. Naturalmente, questo tipo di correlazione presenta una notevole dispersione all'interno dell'insieme dei dati rappresentati.

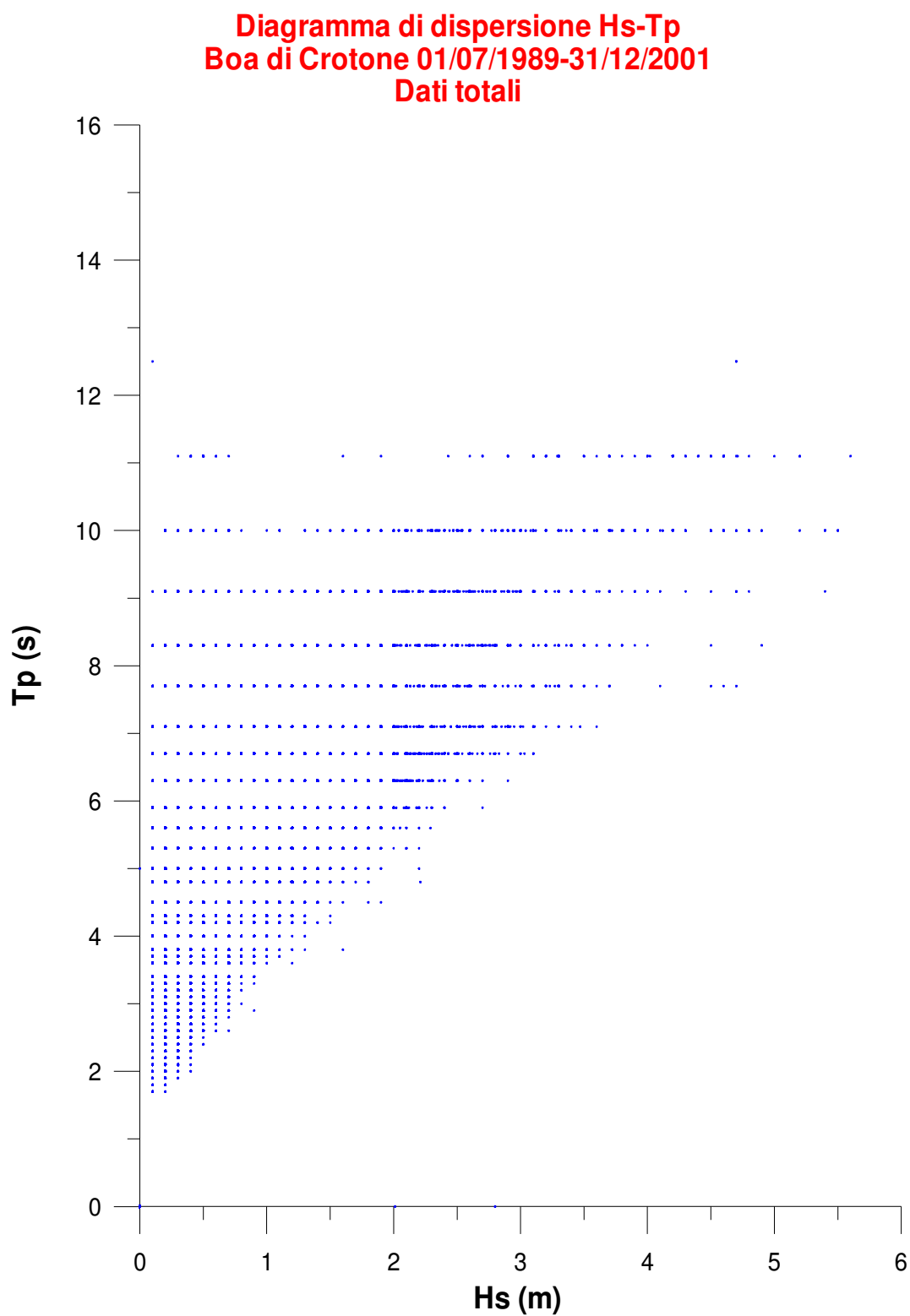


Figura 16. Grafico di dispersione totale delle variabili altezza significativa d'onda H_s e periodo di picco T_p . Boa di Crotona

**Diagramma di dispersione Hs-Tp
Boa di Crotone 01/07/1989-31/12/2001
Settore SSW**

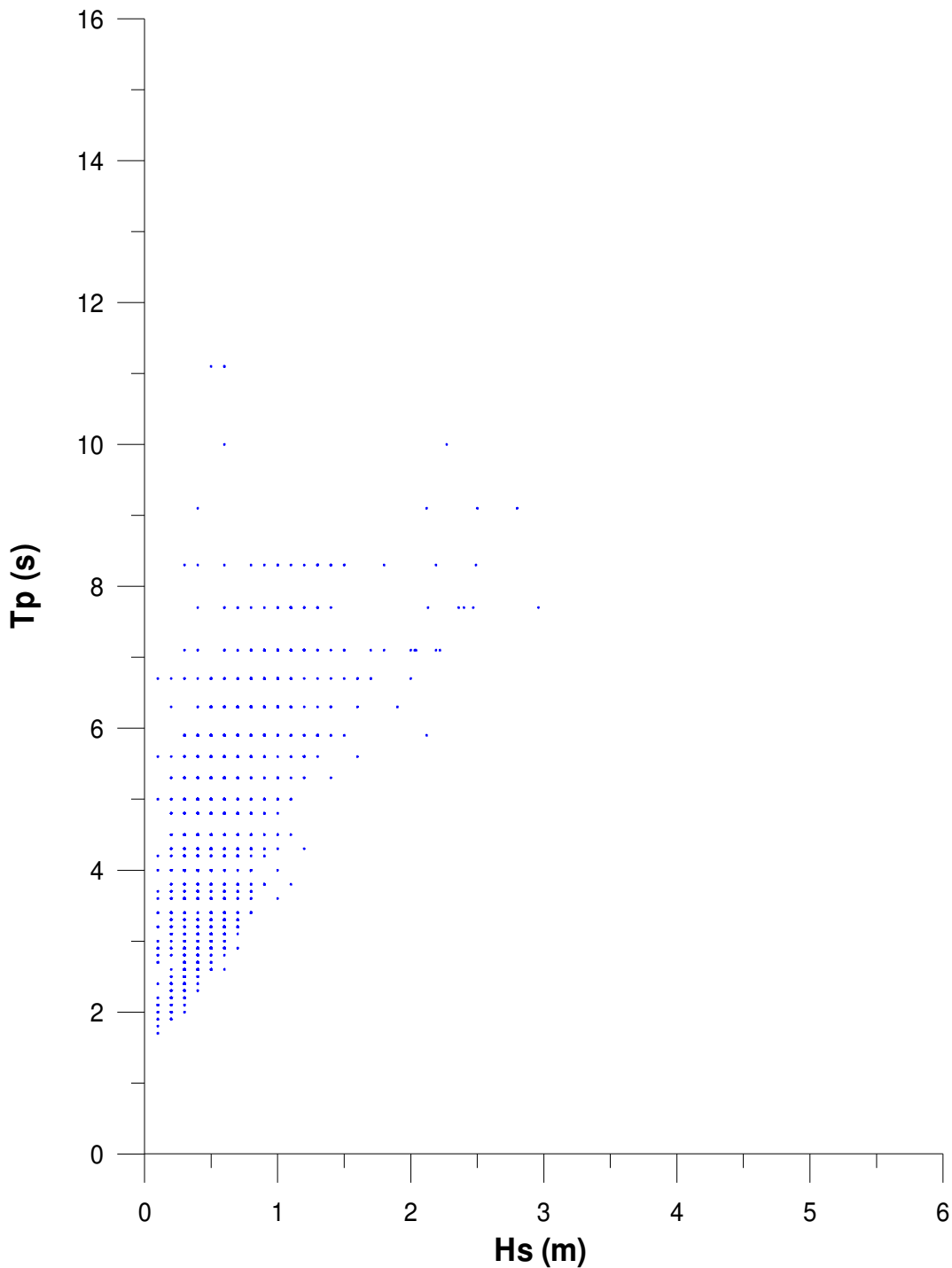


Figura 17. Grafico di dispersione delle variabili altezza significativa d'onda H_s e periodo di picco T_p per il settore SSW. Boa di Crotone

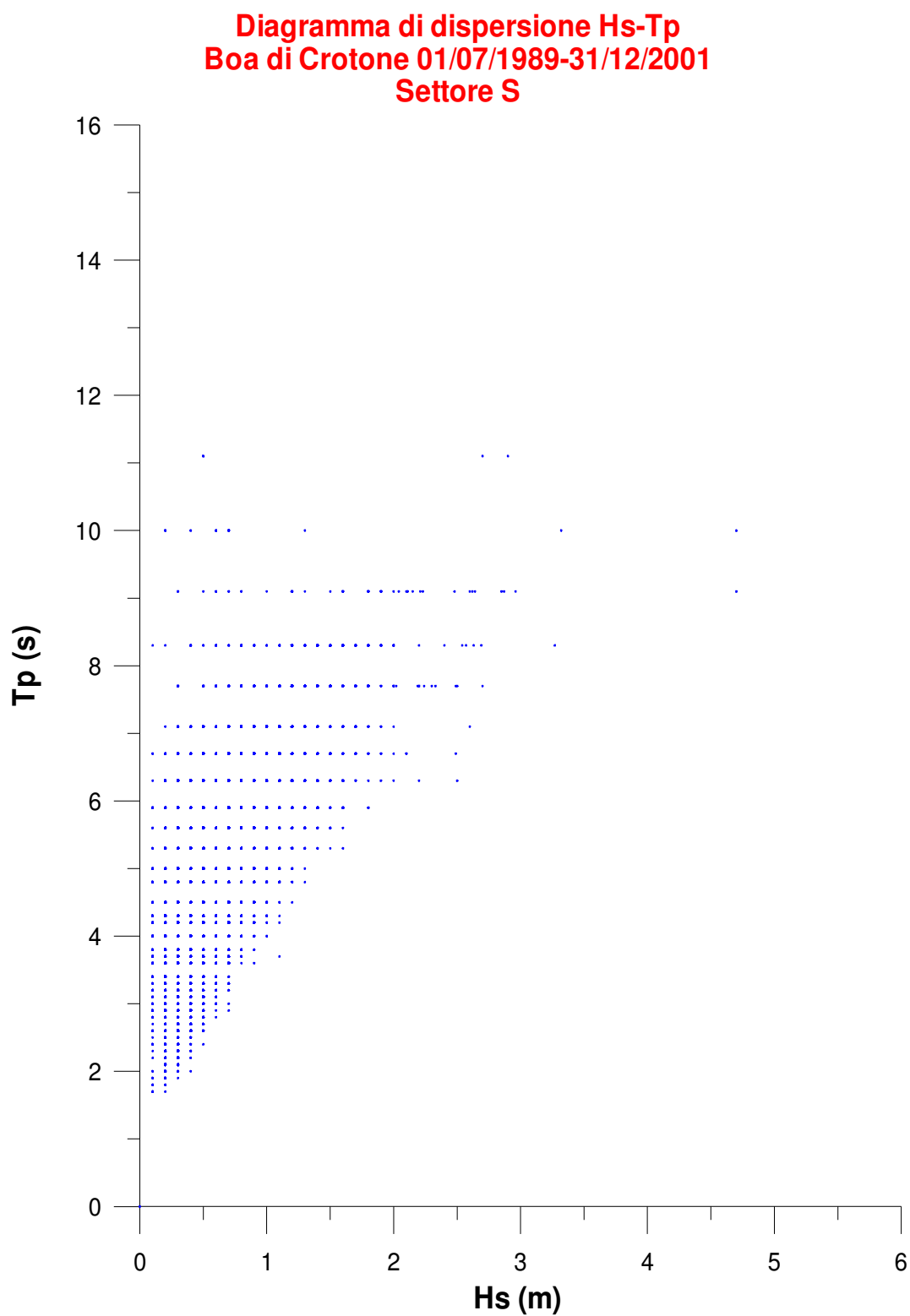


Figura 18. Grafico di dispersione delle variabili altezza significativa d'onda H_s e periodo di picco T_p per il settore S. Boa di Crotona

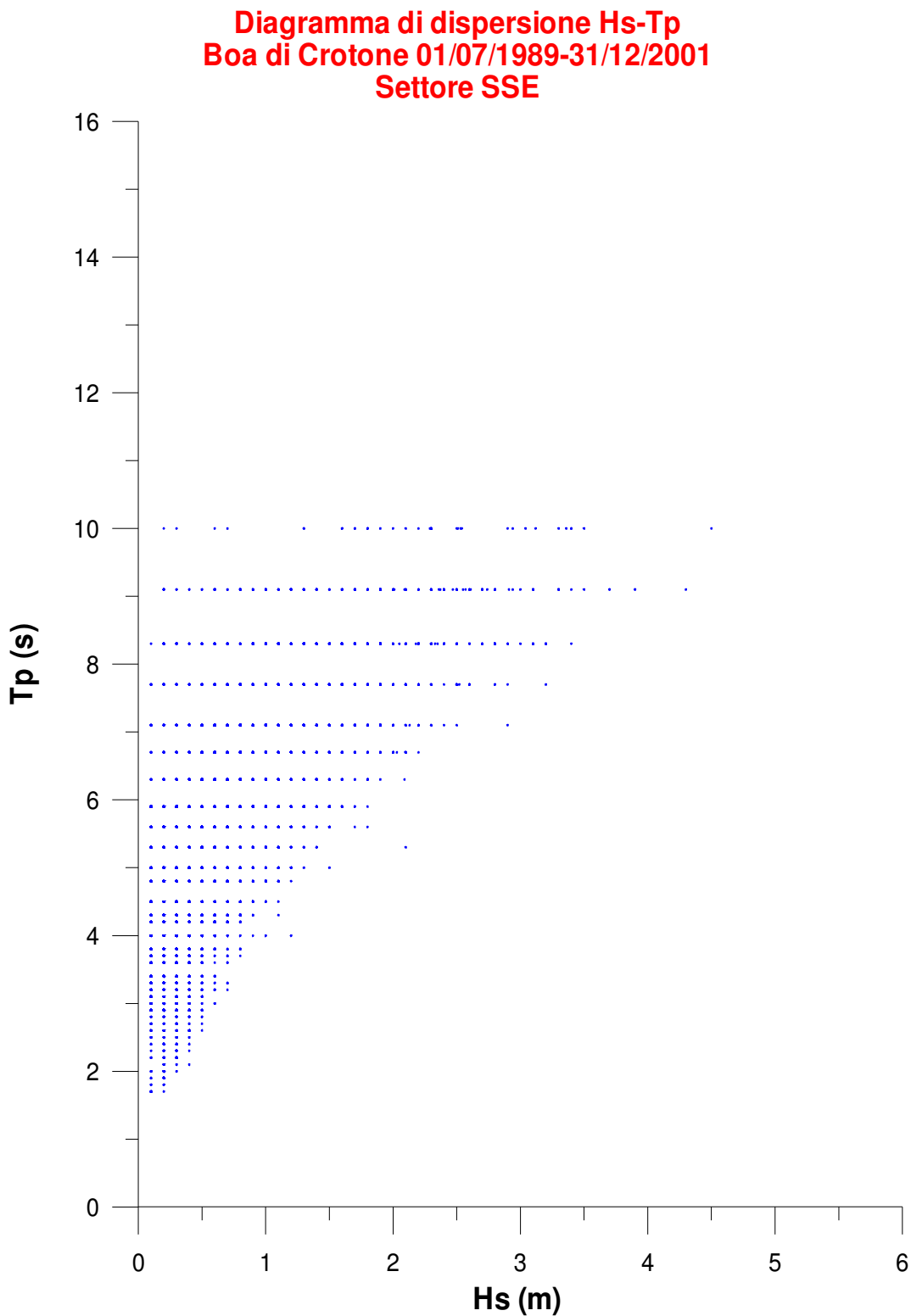


Figura 19. Grafico di dispersione delle variabili altezza significativa d'onda H_s e periodo di picco T_p per il settore SSE. Boa di Crotona

4. REGIME MEDIO ANNUALE DATI HINDCAST (MODELLO WAM)

4.1. Distribuzione settoriale del moto ondoso

La distribuzione settoriale del moto ondoso, in settori di 22.5°, è rappresentata graficamente nella relativa rosa di moto ondoso (Figura 20) ottenuta sulla base dell'intera serie di dati. In Tabella 12 si riporta il numero di osservazioni classificate per settori di incidenza del moto ondoso e per valori di altezza d'onda significativa Hs.

Hs (m)	0.0-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	>2.5	%	TOTALE
Settore								
N	10	9	4	0	0	0	2.24	23
NNE	3	0	0	0	0	0	0.29	3
NE	0	1	0	0	0	0	0.10	1
ENE	1	0	0	0	0	0	0.10	1
E	2	0	0	0	0	0	0.19	2
ESE	9	0	0	0	0	0	0.88	9
SE	44	19	8	2	0	0	7.11	73
SSE	37	32	17	10	1	0	9.44	97
S	42	41	19	2	3	1	10.52	108
SSW	107	35	9	7	2	0	15.58	160
SW	53	29	2	4	3	0	8.86	91
WSW	130	46	12	2	1	0	18.60	191
W	33	30	11	0	1	0	7.30	75
WNW	20	9	0	0	2	1	3.12	32
NW	24	28	10	0	1	0	6.13	63
NNW	33	48	15	2	0	0	9.54	98
%	53.36	31.84	10.42	2.82	1.36	0.19	100.00	
TOTALE	548	327	107	29	14	2		1027

Tabella 12. Frequenza di apparizione settoriale del moto ondoso (annuale).
Dati Hindcast (Modello WAM)

È stata inoltre ottenuta una distribuzione settoriale per ciascuna delle 4 stagioni dell'anno (Tabella 13, Tabella 14, Tabella 15 e Tabella 16), distribuzione che può essere apprezzata chiaramente nelle corrispondenti rose del moto ondoso (

Figura 21, Figura 22 e Figura 23).

Rispetto a quanto osservato discutendo i dati della boa di Crotone, per quanto riguarda i 3 settori considerati per il presente studio, si osserva che il settore SSW risulta essere più frequente (settore di traversia regante - 15,58%) del S (10,52%) e del SSE (9,44%).

Dal punto di vista energetico i tre settori sono confrontabili, presentando valori massimi per

l'altezza significativa d'onda compresi tra 2 m e 3 m. Tali valori sono comunque inferiori a quelli registrati dalla boa di Crotone, dove il S presenta un massimo compreso tra 4,5 m e 5,0 m, il SSE tra 4,0 m e 4,5 m. Il settore SSW presenta condizioni comparabili con i valori ottenuti dal nodo WAM con un massimo compreso tra 2,5 m e 3,0 m.

Le burrasche di mare si registrano soprattutto nel settore compreso tra SSE (Scirocco Mezzogiorno) e WSW (Libeccio)

ROSA DEL MOTO ONDOSO ANNUALE

Dati Hindcast (WAM) Gallipoli: 1027 Dati Direzionali

Altezza d'onda H_s in m

|| Frequenza 1%

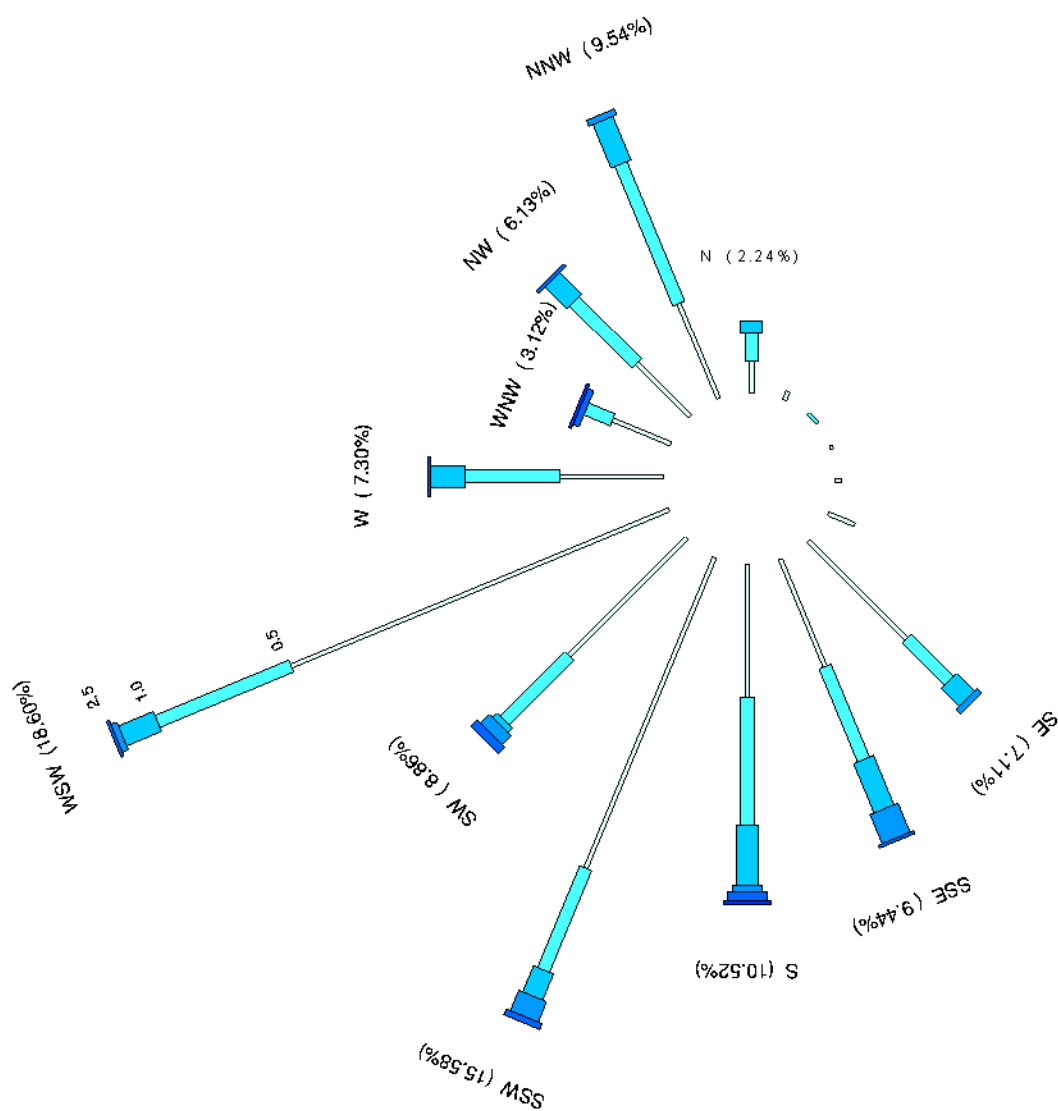


Figura 20. Rosa del moto ondoso annuale. Dati hindcast (Modello WAM)

ROSA DEL MOTO ONDOSO ESTATE

Dati Hindcast (WAM) Gallipoli: 344 Dati Direzionali

Altezza d'onda Hs in m

▮ Frequenza 1%

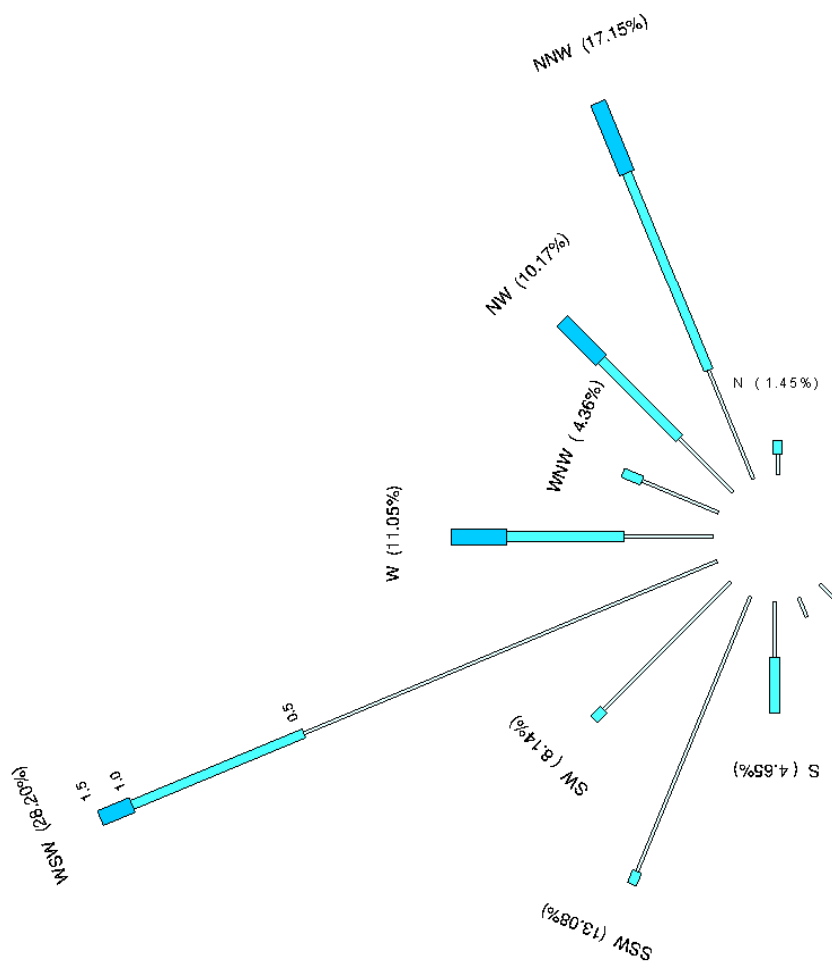


Figura 21. Rosa del moto ondoso (estate). Dati hindcast (Modello WAM)

Hs (m) Settore	0.0-0.5	0.5-1.0	> 1.0	%	TOTALE
N	3	2	0	1.45	5
NNE	0	0	0	0.00	0
NE	0	0	0	0.00	0
ENE	0	0	0	0.00	0
E	0	0	0	0.00	0
ESE	0	0	0	0.00	0
SE	3	0	0	0.87	3
SSE	3	0	0	0.87	3
S	8	8	0	4.65	16
SSW	43	2	0	13.08	45
SW	26	2	0	8.14	28
WSW	65	27	5	28.20	97
W	13	17	8	11.05	38
WNW	12	3	0	4.36	15
NW	11	16	8	10.17	35
NNW	17	31	11	17.15	59
%	59.30	31.40	9.30	100.00	
TOTALE	204	108	32		344

Tabella 13. Tabella di presentazione settoriale del moto ondoso (estate).
Dati hindcast (Modello WAM)

ROSA DEL MOTO ONDOSO INVERNO

Dati Hindcast (WAM) Gallipoli: 315 Dati Direzionali

Altezza d'onda Hs in m

|| Frequenza 1%

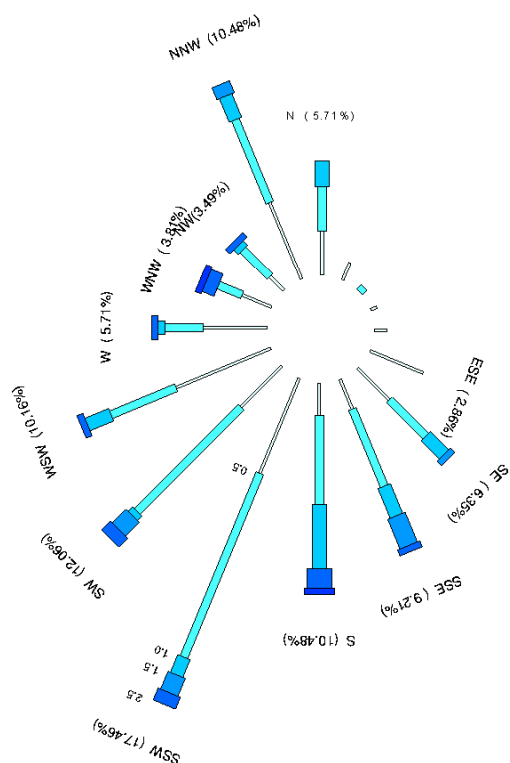


Figura 22. Rosa del moto ondoso (inverno). Dati hindcast (Modello WAM)

Hs (m)	0.0-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	>2.5	%	TOTALE
Settore								
N	7	7	4	0	0	0	5.71	18
NNE	3	0	0	0	0	0	0.95	3
NE	0	1	0	0	0	0	0.32	1
ENE	1	0	0	0	0	0	0.32	1
E	2	0	0	0	0	0	0.63	2
ESE	9	0	0	0	0	0	2.86	9
SE	7	8	4	1	0	0	6.35	20
SSE	5	13	5	5	1	0	9.21	29
S	5	14	10	0	3	1	10.48	33
SSW	16	31	3	3	2	0	17.46	55
SW	9	23	1	3	2	0	12.06	38
WSW	16	11	4	0	1	0	10.16	32
W	10	6	1	0	1	0	5.71	18
WNW	5	4	0	0	2	1	3.81	12
NW	3	6	1	0	1	0	3.49	11
NNW	13	14	4	2	0	0	10.48	33
%	35.24	43.81	11.75	4.44	4.13	0.63	100.00	
TOTALE	111	138	37	14	13	2		315

Tabella 14. Tabella di presentazione settoriale del moto ondoso (inverno).
Dati Hindcast (Modello WAM)

ROSA DEL MOTO ONDOSO PRIMAVERA

Dati Hindcast (WAM) Gallipoli: 368 Dati Direzionali

Altezza d'onda Hs in m

▮ Frequenza 1%

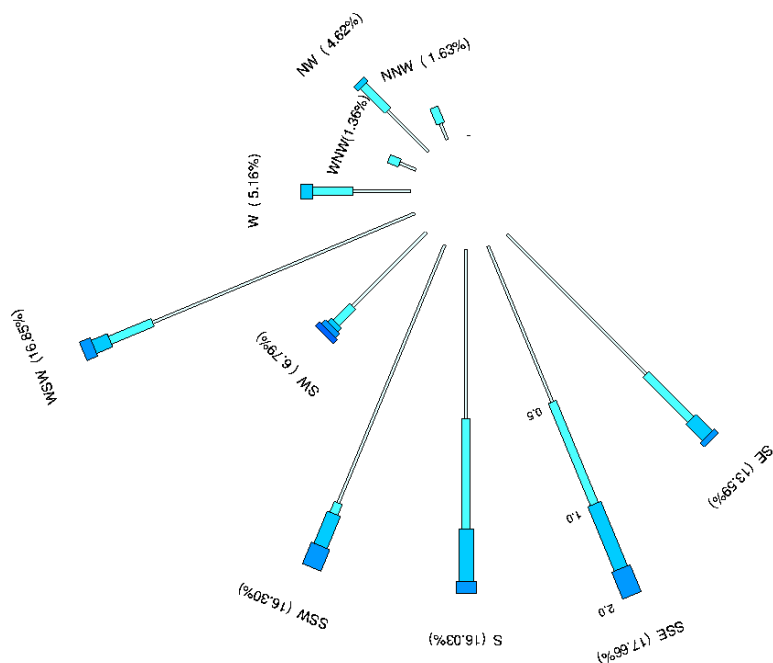


Figura 23. Rosa del moto ondoso (primavera). Dati Hindcast (Modello WAM)

Hs (m)	0.0-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	>2.0	%	TOTALE
Settore						
N	0	0	0	0	0.00	0
NNE	0	0	0	0	0.00	0
NE	0	0	0	0	0.00	0
ENE	0	0	0	0	0.00	0
E	0	0	0	0	0.00	0
ESE	0	0	0	0	0.00	0
SE	34	11	4	1	13.59	50
SSE	29	19	12	5	17.66	65
S	29	19	9	2	16.03	59
SSW	48	2	6	4	16.30	60
SW	18	4	1	1	6.79	25
WSW	49	8	3	2	16.85	62
W	10	7	2	0	5.16	19
WNW	3	2	0	0	1.36	5
NW	10	6	1	0	4.62	17
NNW	3	3	0	0	1.63	6
%	63.32	22.01	10.33	4.08	100.00	
TOTALE	233	81	38	15		368

Tabella 15. Tabella di presentazione settoriale del moto ondoso (primavera).
Dati Hindcast (Modello WAM)

4.2. *Regime medio omnidirezionale*

In Figura 12 è rappresentata l'interpolazione lineare ai minimi quadrati della funzione di distribuzione di Weibull della variabile altezza d'onda significativa H_s dell'insieme dei dati della boa di Monopoli. Il valore degli stimatori centrali dei parametri, così come il relativo coefficiente di correlazione ottenuto, sono riportati in Tabella 8.

Weibull (MQ)	WAM
A	0.175
B	0.420
C	0.97
r	0.998737

Tabella 16. Parametri della funzione di distribuzione di Weibull e coefficiente di correlazione.
Dati Hindcast (Modello WAM)

La Tabella 15bis indica il valore di H_s relativo ad un assegnato livello di probabilità di superamento per la

Probabilità di superamento (%)	H_s (m)
5	1.48
10	1.17
20	0.86
30	0.68
40	0.56
50	0.46
60	0.39
70	0.32
80	0.26
90	0.22

Regime medio omnidirezionale

Tabella 15bis. Distribuzione di Weibull, probabilità di superamento di H_s .
Dati Hindcast (modello WAM)

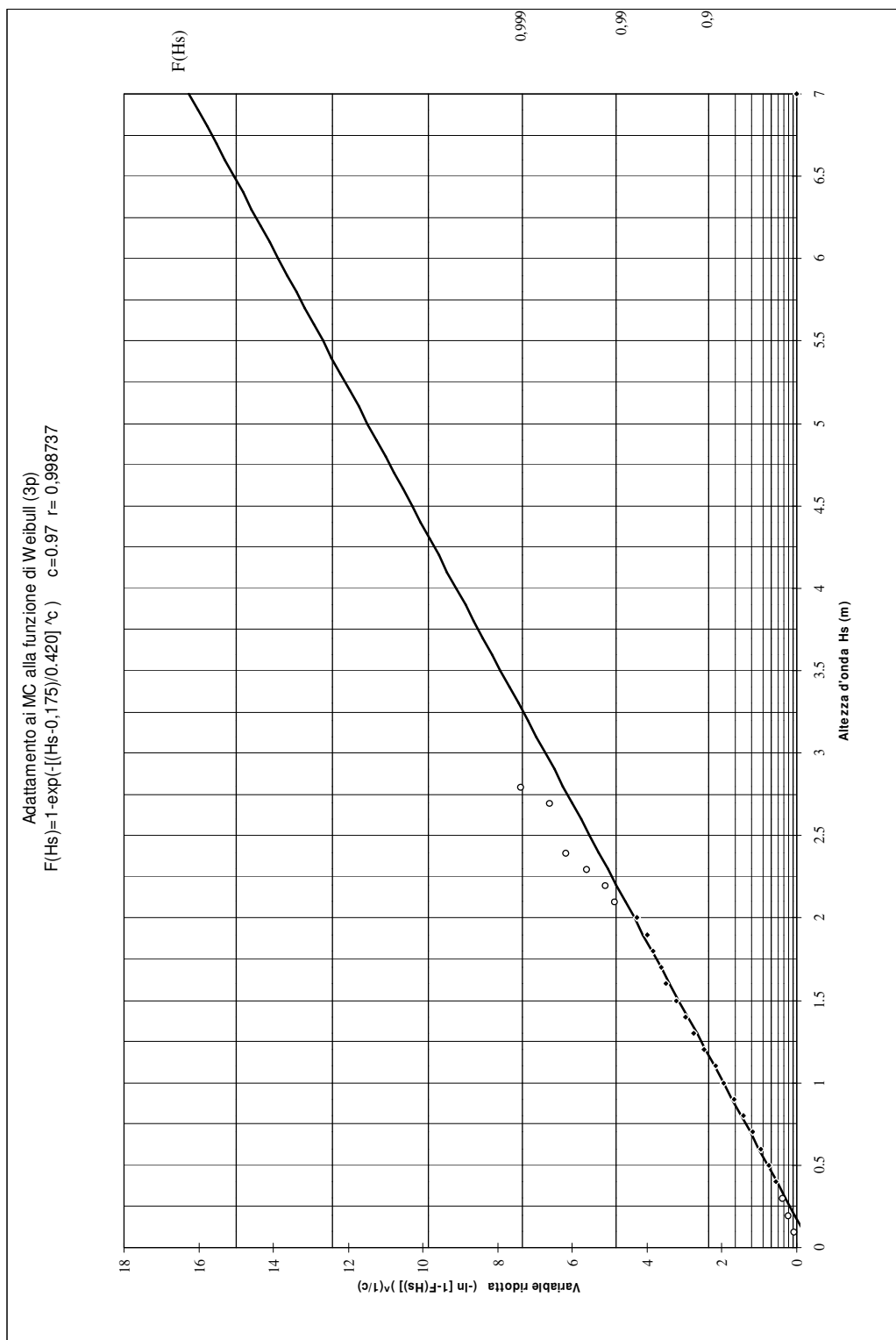


Figura 24. Regime medio scalare. Dati Hindcast (Modello WAM)

4.3. Regimi medi direzionali

Le interpolazioni ottenute per gli settori SSW, S e SSE utilizzando la distribuzione di Weibull con il metodo ai minimi quadrati sono riportati dalla Figura 25 alla Figura 27. I parametri della distribuzione ed il coefficiente di correlazione ottenuti sono riportati in Tabella 10.

Weibull (MQ)	A	B	C	r
SSW	-0,016	0,495	0,99	0,991003
S	0,221	0,525	1,01	0,994063
SSE	-0,192	1,079	1,78	0,997069

Tabella 17. Parametri della funzione di distribuzione di Weibull e coefficiente di correlazione ottenuti. Dati Hindcast (Modello WAM)

Le Tabelle 16bis-quater indicano il valore di Hs relativo ad un assegnato livello di probabilità di superamento per la boa di Crotone.

Probabilità di superamento (%)	Hs (m)
5	1.48
10	1.13
20	0.78
30	0.58
40	0.44
50	0.33
60	0.24
70	0.16
80	0.09
90	0.03

Tabella 16bis. Distribuzione di Weibull, probabilità di superamento di Hs. Dati hindcast (modello WAM). SSW

Probabilità di superamento (%)	Hs (m)
5	1.78
10	1.42
20	1.06
30	0.85
40	0.70
50	0.59
60	0.49
70	0.41
80	0.34
90	0.28

Tabella 16ter. Distribuzione di Weibull, probabilità di superamento di Hs.
Dati hindcast (modello WAM). S

Probabilità di superamento (%)	Hs (m)
5	1.81
10	1.53
20	1.22
30	1.01
40	0.84
50	0.69
60	0.55
70	0.41
80	0.27
90	0.11

Tabella 16quater. Distribuzione di Weibull, probabilità di superamento di Hs.
Dati hindcast (modello WAM). SSE

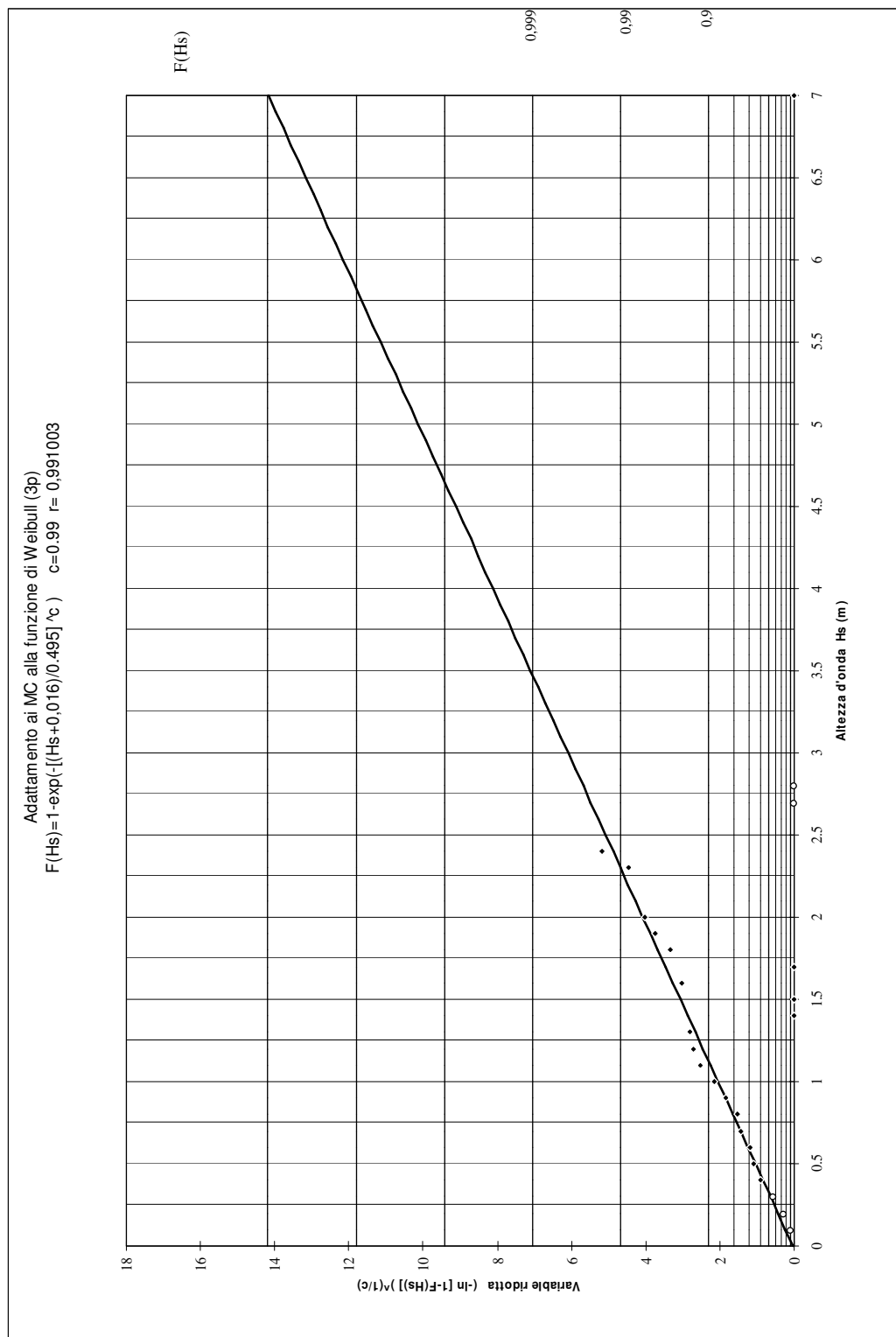


Figura 25. Regime medio direzionale. Settore SSW. Dati Hindcast (Modello WAM)

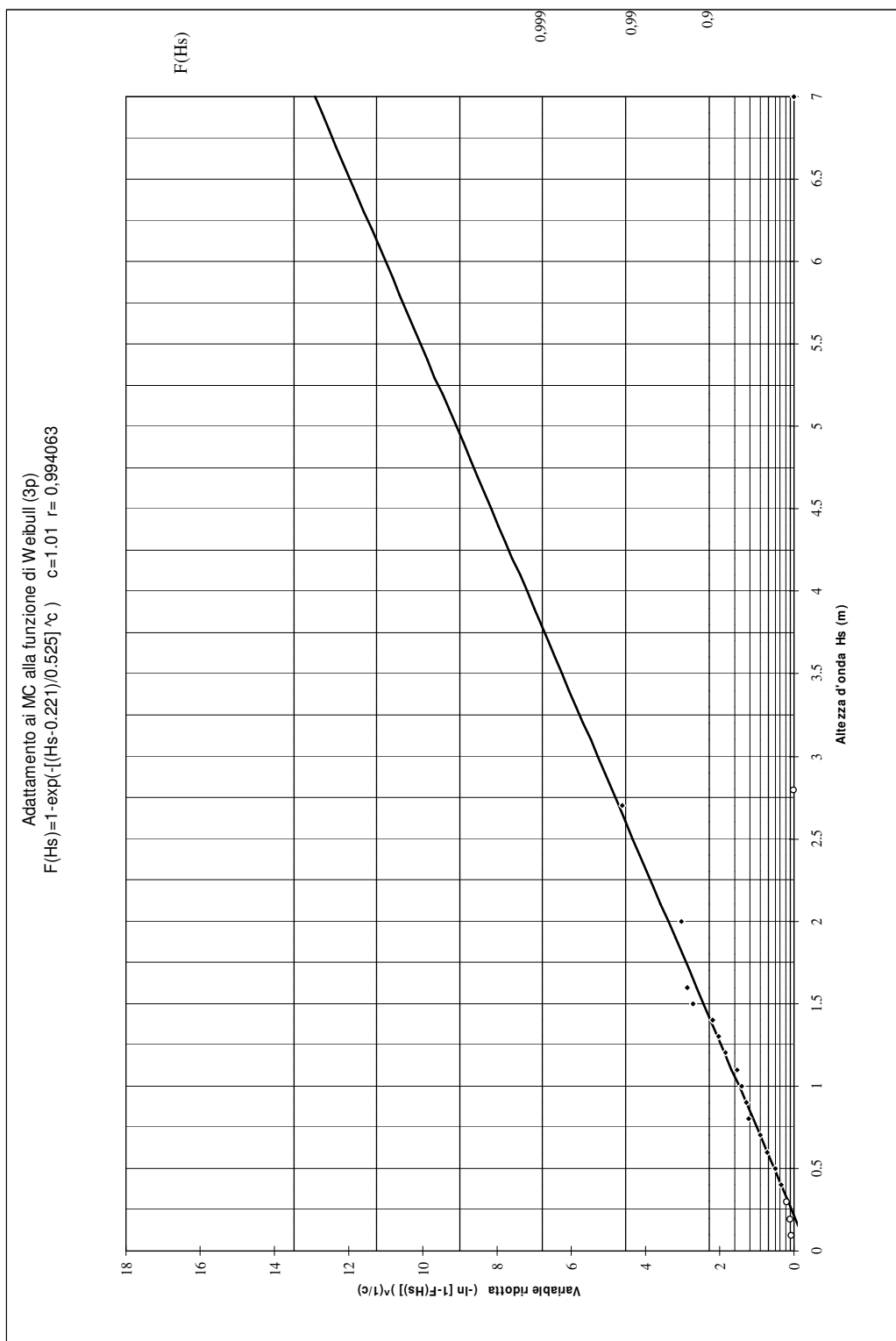


Figura 26. Regime medio direzionale. Settore S Dati Hindcast (Modello WAM)

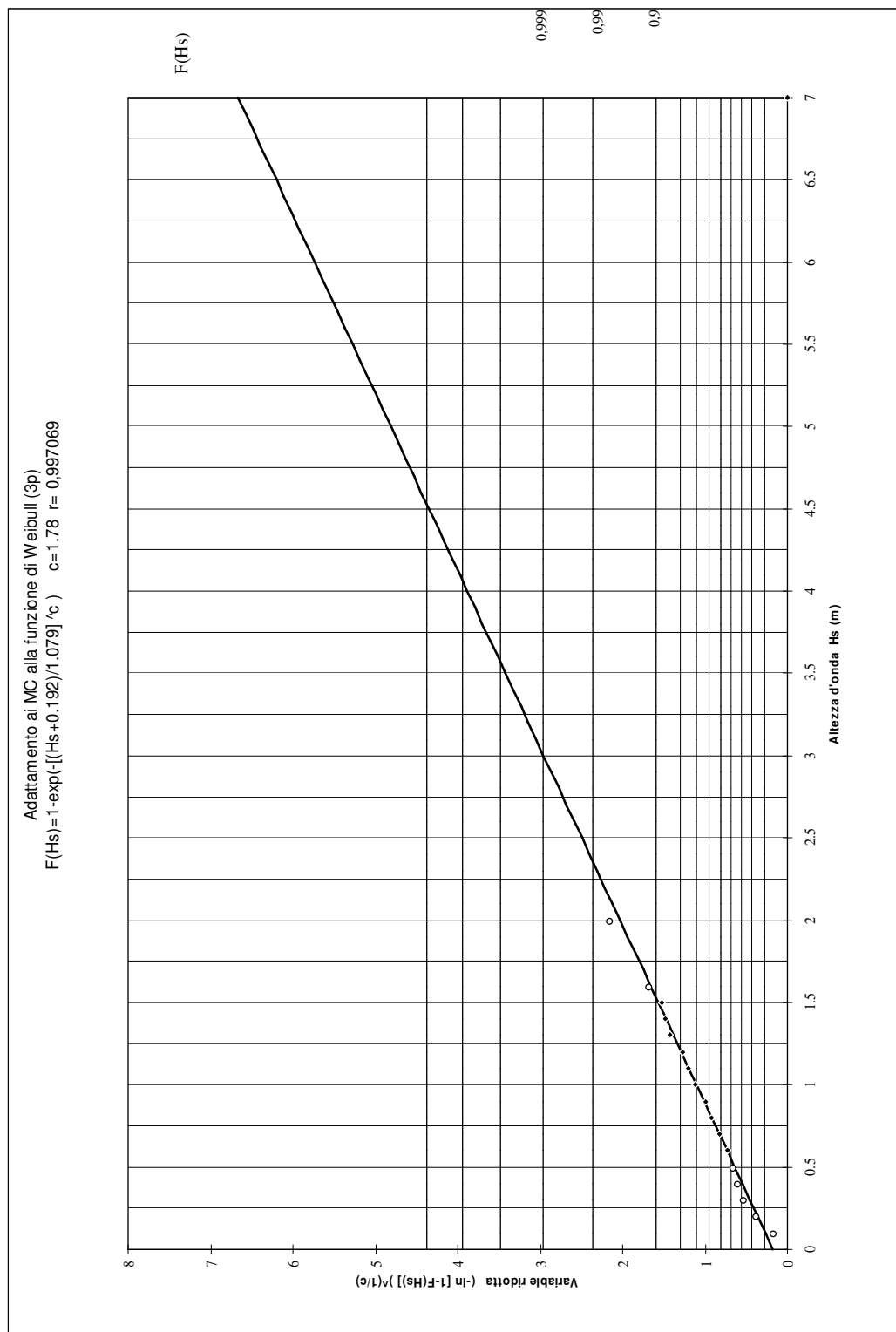


Figura 27. Regime medio direzionale. Settore SSE. B Dati Hindcast (Modello WAM)

4.4. Periodi d'onda

Nella Tabella 117 sono riportati i valori dell'altezza d'onda H_s , in intervalli di 0.5m, e del periodo di picco T_p , in intervalli di 2s, relativi all'insieme di dati considerato ed in Figura 28 è rappresentato il grafico di dispersione totale corrispondente.

T_p [s]	< 2	2-4	4-6	6-8	> 8	TOTALE
H_s [m]						
< 0,5	0	303	175	63	4	545
0,5 - 1,0	0	67	213	32	13	325
1,0 - 1,5	2	0	85	17	6	110
1,5 - 2,0	0	0	11	14	5	30
2,0 - 2,5	0	0	0	15	0	15
> 2,5	0	0	0	2	0	2
TOTALE	2	370	484	143	28	1027

Tabella 187. Tabella di corrispondenza H_s - T_p . Dati Hindcast (Modello WAM)

È stata stabilita, inoltre, la relazione delle variabili H_s e T_p per l'insieme dei fronti d'onda provenienti dai settori di incidenza considerati, cioè quelli appartenenti ai settori SSW, S e SSE.

Di seguito, dalla Figura 29 alla Figura 31, sono rappresentati i grafici di dispersione delle variabili altezza d'onda significativa H_s e periodo di picco T_p per ciascuno dei suddetti settori. Naturalmente, questo tipo di correlazione presenta una notevole dispersione all'interno dell'insieme dei dati rappresentati, per cui non è possibile determinare una relazione analitica rappresentativa affidabile.

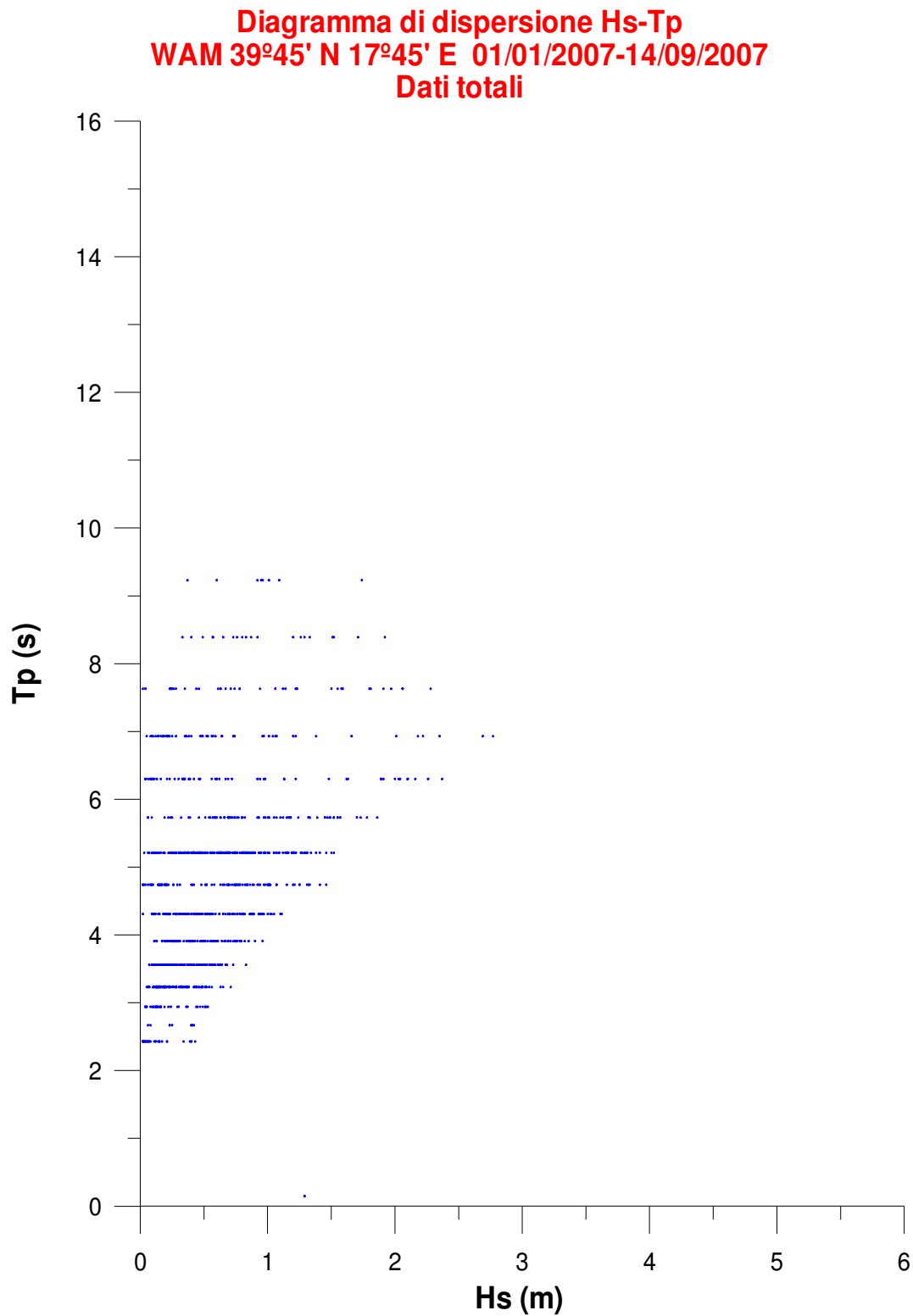


Figura 28. Grafico di dispersione totale delle variabili altezza significativa d'onda H_s e periodo di picco T_p . Dati Hindcast (Modello WAM)

Diagramma di dispersione Hs-Tp
WAM 39°45' N 17°45' E 01/01/2007-11/09/2007
Settore SSW

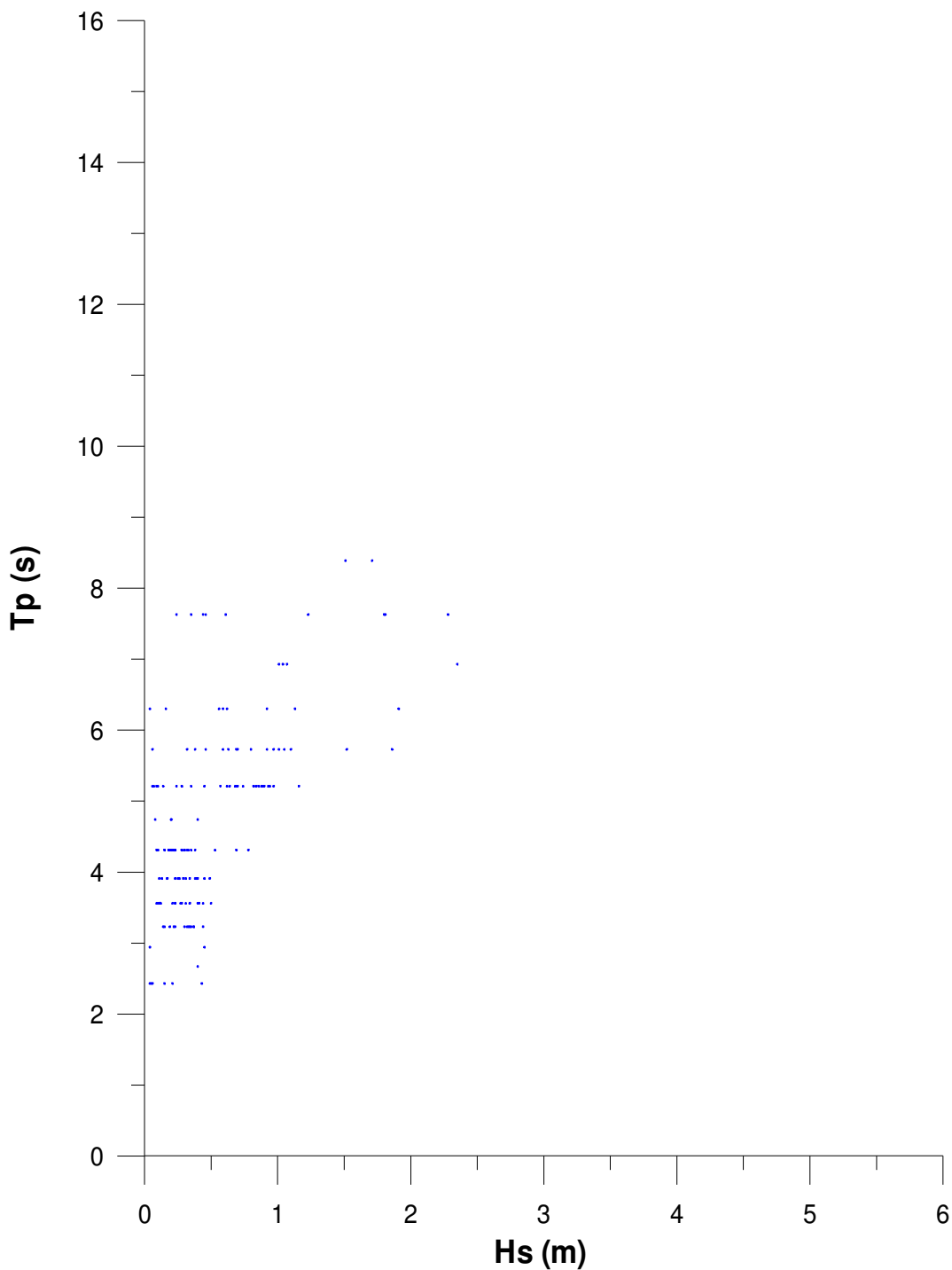


Figura 29. Grafico di dispersione delle variabili altezza significativa d'onda H_s e periodo di picco T_p per il settore SSW. Dati Hindcast (Modello WAM)

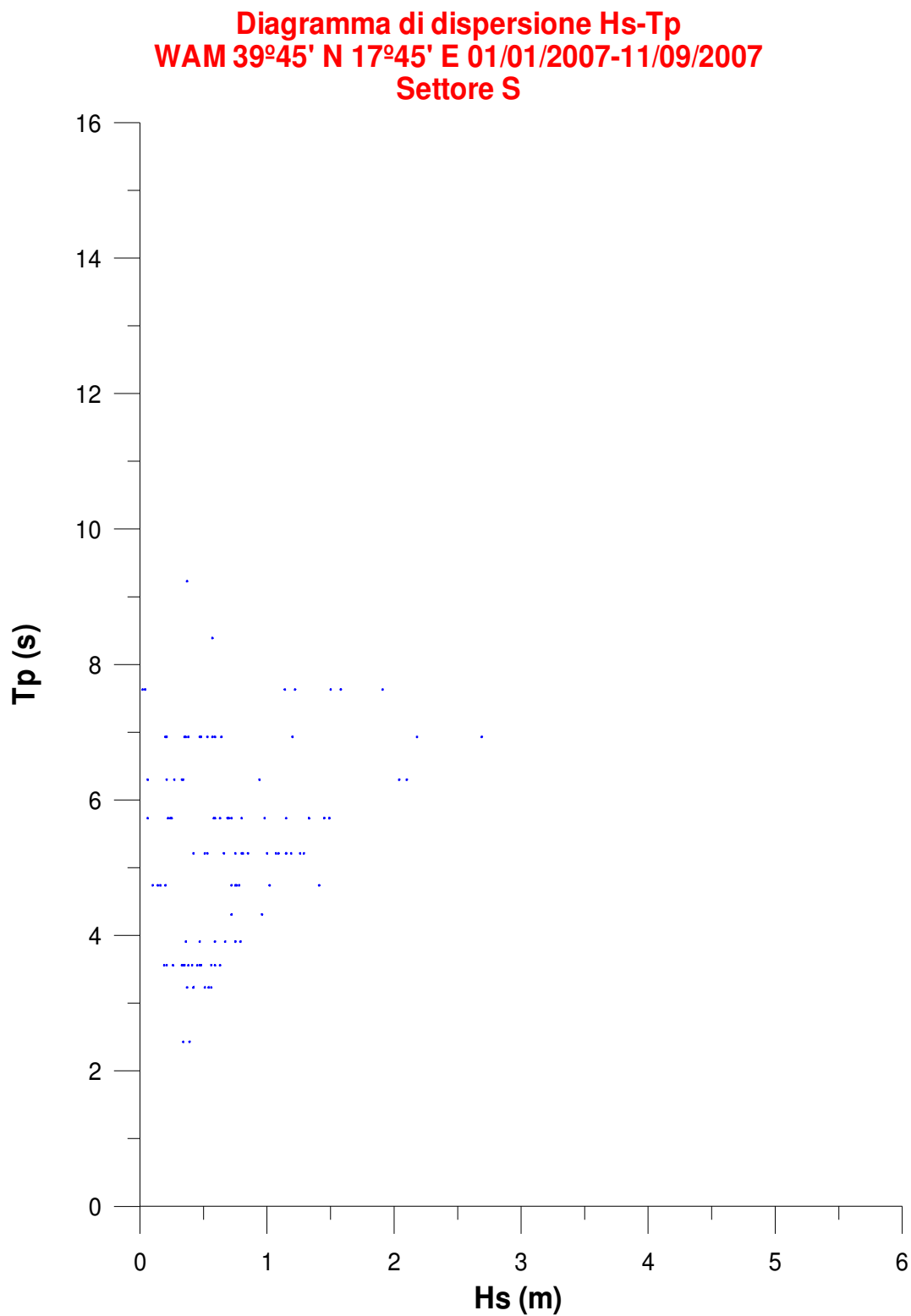


Figura 30. Grafico di dispersione delle variabili altezza significativa d'onda H_s e periodo di picco T_p per il settore S. Dati Hindcast (Modello WAM)

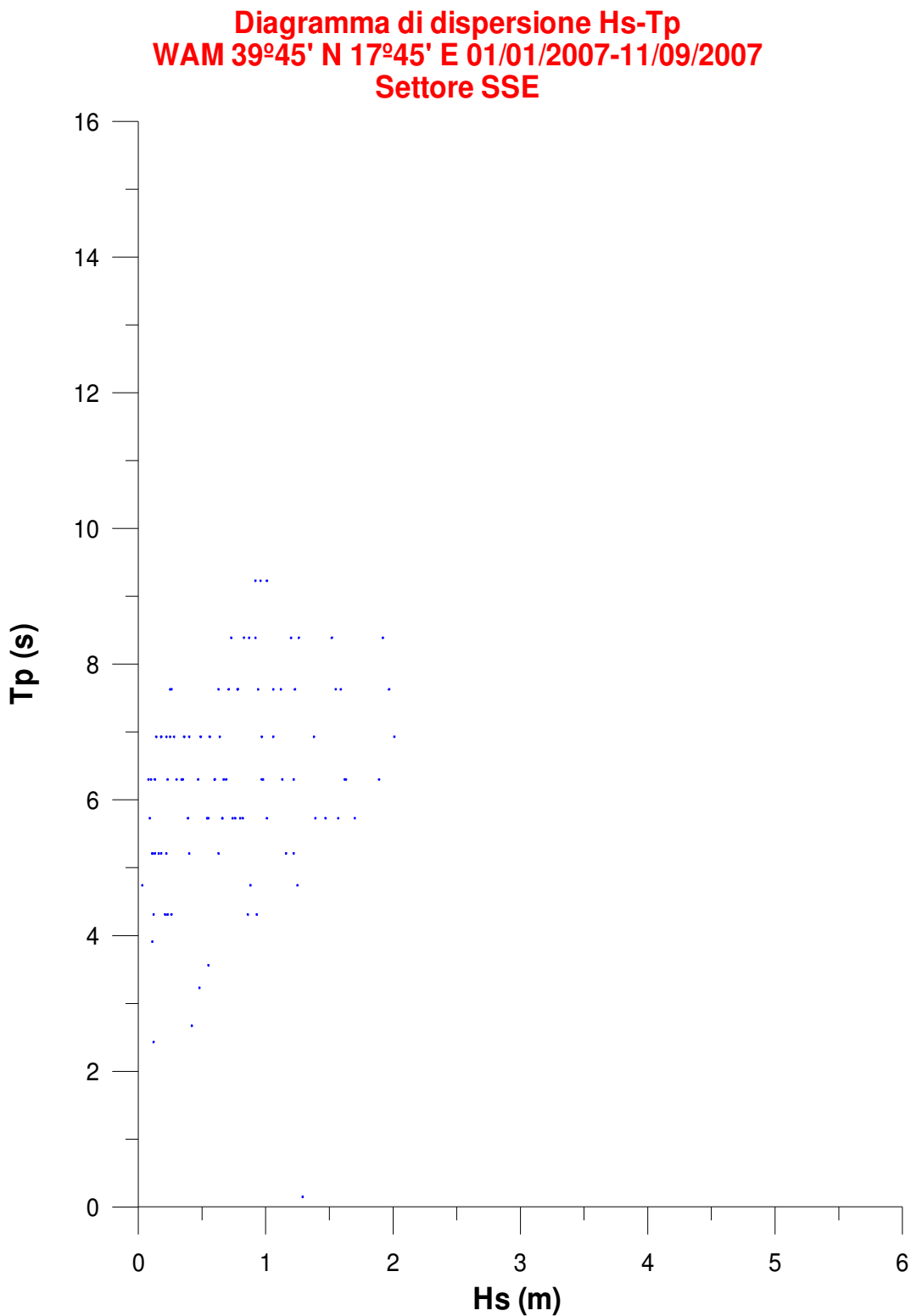


Figura 31. Grafico di dispersione delle variabili altezza significativa d'onda H_s e periodo di picco T_p per il settore SSE. Dati Hindcast (Modello WAM)

5. ANALISI DEGLI EVENTI DI MOTO ONDOSO ESTREMI

Si definisce regime estremo la funzione di distribuzione dei valori estremi di una determinata variabile. Tale funzione esprime la probabilità che un dato valore non sia superato in un periodo di tempo predeterminato.

La statistica classica, che tratta le proprietà dei dati dispersi attorno alla media del campione, risulta di poca utilità quando ciò che si intende determinare è il comportamento dei valori sufficientemente lontani dalla media stessa. Lo studio di un fenomeno nelle sue condizioni estreme richiede l'uso di metodi statistici specifici per tale scopo, come lo è, in questo caso, l'analisi degli estremi.

I metodi attualmente più utilizzati nell'analisi degli estremi del moto ondoso si possono classificare in due gruppi generali, in base all'informazione che utilizzano:

- Metodo della distribuzione iniziale (o campione totale), basato sull'analisi della coda superiore del regime medio, definito a sua volta con l'insieme totale dei dati del campione. Questo metodo è raccomandato quando la durata della registrazione disponibile è breve, supponendo che venga utilizzata tutta l'informazione registrata ad intervalli regolari durante un dato periodo di tempo.
- *Metodo dei valori estremi (o campione selettivo)*, basato sull'analisi dei valori estremi della registrazione, e.g. mareggiate. La selezione del campione può essere fatta con ciascuno dei seguenti metodi.
 - a) Metodo dei massimi annuali: il campione consta dei valori massimi della variabile di studio in determinati periodi, generalmente anni o inverni marittimi. Questo metodo è raccomandato quando: (i) la durata della registrazione è breve, a causa di un campione ridotto; (ii) esistono importanti vuoti nella registrazione continua della variabile di studio, dato che non si può garantire che si sia registrato l'evento massimo annuale.
 - b) Metodo dei valori di picco o della soglia (*Peak Over Threshold -POT-*): il campione si determina a partire dai valori estremi (indipendenti tra sé) che superano una determinata soglia. Il valore adottato per definire tale soglia permette di controllare le dimensioni del campione con cui si porterà a termine l'analisi degli estremi.

Il metodo utilizzato nel presente studio è quello della soglia o POT, definito precedentemente, applicato ai settori o agli intervalli di direzione con maggior valore energetico e che presentano una maggior incidenza sull'opera. Anzitutto, per la presente analisi degli estremi è stato considerato unicamente l'insieme dei dati registrato dalla boa di Crotone, in quanto per tale analisi statistica è preferibile avere a disposizione il numero maggiore possibile di anni di osservazione. Dato, quindi, l'insieme dei valori massimi di mareggiata riportati in Figura 32, e considerando che gli unici settori che incidono sulla zona di studio sono il SSE, il S ed il SSW,

per l'analisi dei valori estremi del clima marittimo, si sono considerate le sole mareggiate provenienti da SSE e S.

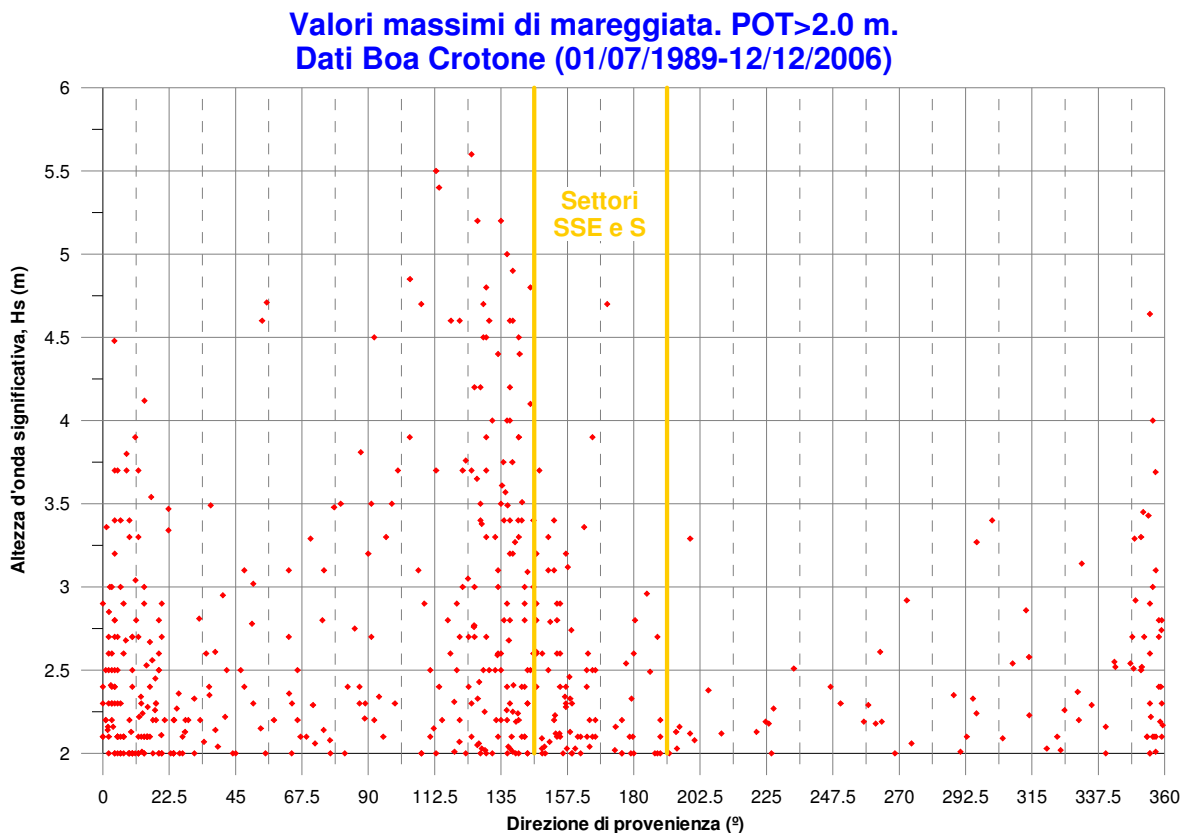


Figura 32. Valori massimi di mareggiata. Soglia: 2,00 m. Dati boa di Crotone

I parametri assunti per determinare il campione di dati utilizzato sono indicati in Tabella .

Parametri	Regime direzionale Settori SSE e S
Hs, soglia	2.25 m
N° osservazioni	72
Tempo effettivo di misura	12.5 anni
N° tempeste/anno (λ)	5.76

Tabella 18. Parametri che definiscono il campione di dati utilizzato per caratterizzare il regime estremo direzionale per i settori da SSE a S. Dati Boa di Crotone

Se si indica con $F(H_s)$ la probabilità che il valore della variabile altezza d'onda significativa H_s non sia superato nel periodo di tempo $1/\lambda$, il periodo medio di ritorno T associato al valore H_s si determina a partire dalla seguente relazione:

$$T = \frac{1}{\lambda [1 - F(H_s)]}$$

le funzioni di distribuzione comunemente utilizzate per caratterizzare il regime estremo della variabile H_s sono le seguenti:

- Gumbel o Asintota-I o FT-I (con i parametri A di posizione e B di scala)

$$F(H_s) = \exp \left[- \exp \left(- \frac{H_s - A}{B} \right) \right]$$

- Weibull (con i parametri A di posizione, B di scala e C di forma)

$$P(H_s < x) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{x - A}{B} \right)^C \right]$$

I metodi utilizzati normalmente per stimare il valore dei parametri della funzione di distribuzione sono il metodo dei momenti (MM), quello della massima verosimiglianza (MV) e quello dei minimi quadrati (MQ). In accordo con il teorema di Rao, il metodo della Massima Verosimiglianza (MV) è quello che presenta la minore varianza (o dispersione) dei campioni rispetto alla stima centrale data per la funzione di distribuzione adattata, per cui si considera il miglior metodo di adattamento dal punto di vista statistico.

Ciononostante, quando il campione analizzato non si adatta bene alla funzione di distribuzione considerata, o di fronte alla presenza di *outliers* è preferibile considerare il metodo dei Minimi Quadrati (MQ) a causa dell'instabilità del metodo MV, che si riflette nell'esistenza di una banda di confidenza di maggior ampiezza. Prima dell'adattamento dei dati del campione alle funzioni di distribuzione date, si procede a realizzare il contrasto o test di Kolmogorov-Smirnov (K-S) con un livello di significatività del 10% per provare se la funzione di distribuzione empirica, definita dal campione, si adatta alla funzione di distribuzione teorica.

L'adattamento della variabile altezza significativa d'onda alla funzione di distribuzione di Weibull (metodo dei Minimi Quadrati) con la corrispondente banda di confidenza del 90%, determinata dalla simulazione statistica (metodo di Montecarlo) viene illustrato in Figura 32, ottenendo i parametri riportati in Tabella 19.

<i>Parametri Weibull (MQ)</i> <i>POT > 2.25 m</i>		
A	B	C
2.215	0.690	1.185

Tabella 19. Parametri della funzione di distribuzione di Weibull.
Dati Boa di Crotone

Regime estremo direzionale. Settori SSE e S.
Selezione metodo POT $H_s > 2,25$ m. Interpolazione lineare ai MQ della funzione di Weibull.

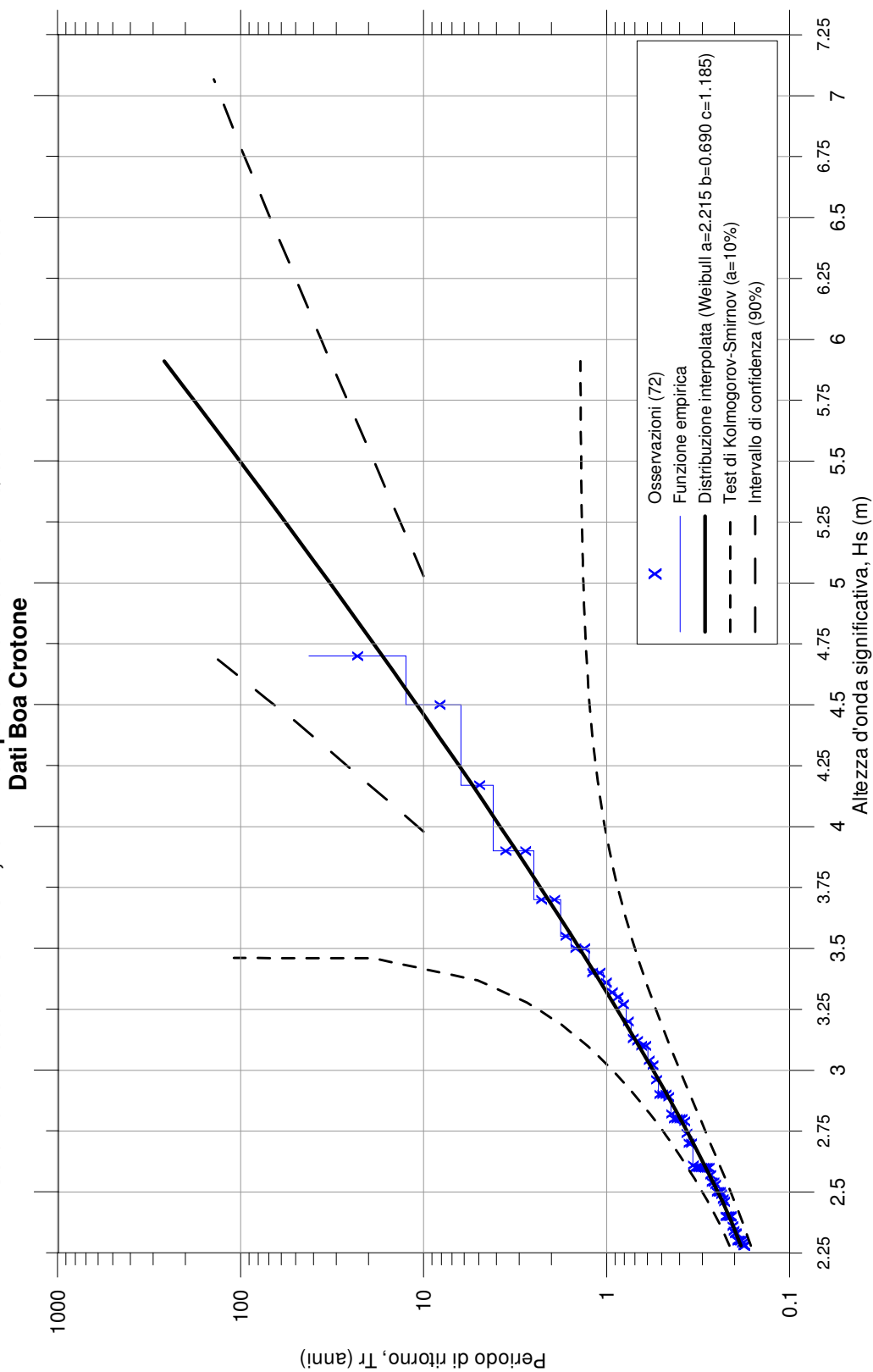


Figura 32. Regime estremo direzionale. Settori SSE e S. POT 2.25 m. Dati Boa di Crotone

6. LIMITI DELLA ZONA DEL TRASPORTO LITORANEO

Si definisce “profondità di chiusura” la profondità a partire dalla quale il sedimento al fondo non è soggetto a movimento sotto l'azione del clima ondoso stagionale. Il valore della profondità di chiusura viene determinato utilizzando la formula di Hallermeier (1978)

$$D_C = 2.28 * H_{12h} - 68.5 * \left(\frac{H_{12h}^2}{g T_{12h}^2} \right)$$

ove,

D_C profondità di chiusura

H_{12h} altezza d'onda significativa morfodinamica

T_{12h} periodo di picco corrispondente all' altezza d'onda morfodinamica

La altezza d'onda significativa associata all'onda morfodinamica è definita come la altezza d'onda significativa al largo che viene superata 12 ore all'anno. Mediante la analisi statistica dei dati di moto ondoso al largo si è ottenuto $H_{12h} = 3.4$ m.

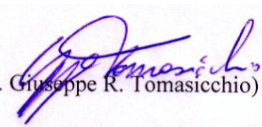
Il periodo di picco T_p relativo a H_{12h} viene valutato utilizzando la che indica la corrispondenza T_p - H_s . Da essa si trae che il valore del periodo T_{12h} varia tra 7 s e 10 s.

Si assume $T_{12h} = 11$ s in quanto il moto ondoso con periodo maggiore determina una maggiore azione al fondo.

In sintesi, assumendo $H_{12h} = 3.4$ m e $T_{12h} = 10$ s, si ottiene il valore della profondità di chiusura:

$$D_C = 6.95 \text{ m}$$

Il consulente


(prof. ing. Giuseppe R. Tomasicchio)