REGIONE SICILIA

Provincia di Trapani

Comune di Marsala

PROGETTO DEFINITIVO MARINA DI MARSALA
FUTURO PIANO REGOLATORE PORTUALE

Tav.	Stato Progetto	Rev.	Data	Scala
AP R.02	DEFINITIVO		Apr. 2014	

Descrizione

Studio idraulico marittimo

Committente

M.Y.R. Marsala Yachting Resort S.r.l.

Via Favara 452/c bis- T. +39 0923 722319

Marsala Yachting Resort

Capo Progetto e Marina Designer

Ing. Massimo Ombra

Ordine degli Ing. della Provincia di Trapani n°1046

Timbro e Firma

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Trapani — Ing. Massimo OMBRA — Marsala — n. 1046 — Sez. A

Progettisti

Coordinamento gruppo di progettazione:	Ing. Francesco Di Noto
Progettazione Architettonica:	Arch. Stefania Bacci
Progettazione Architettonica:	Itineralab Srl - Architetti Nuzzo
Ingegneria marittima / civile e studi ambientali:	Ing. Antonio D'Arrigo

Collaborazioni

Opere marittime:	Ing. Agostino La Rosa
Analisi strutturali e geotecniche:	Ing. Nicola Rustica
Impianti idrici:	Ing. Giovanni Berbiglia
Impianti elettrici e di illuminazione:	Ing. Pietro Inferrera / Ing. Massimo Brancatelli
Aspetti ambientali:	Ing. Domenico Mangano
Studi geologici e geotecnici:	Dott. Piero Merk Ricordi

QUESTO DOCUMENTO PUÒ ESSERE UTILIZZATO ESCLUSIVAMENTE PER LE FINALITÀ PREVISTE DAL CONTRATTO IN BASE AL QUALE LO STESSO È STATO FORNITO; LA RIPRODUZIONE, LA CESSIONE E COMUNQUE OGNI UTILIZZO PER FINALITÀ DIVERSE SONO VIETATE IN ASSENZA DI PREVENTIVA AUTORIZZAZIONE DA PARTE DEL RESPONSABILE DEL DOCUMENTO. IL CONTENUTO DEL DOCUMENTO È PROTETTO DALLE NORME SUL DIRITTO D'AUTORE E LA PROPRIETÀ INTELLETTUALE

REGIONE SICILIANA

COMUNE DI MARSALA

Provincia di Trapani

*****

PROGETTO DEFINITIVO MARINA DI MARSALA

FUTURO PIANO REGOLATORE PORTUALE

*****

Committente: M.Y.R. Marsala Yachting Resort S.r.l

*****

STUDIO IDRAULICO MARITTIMO

*****

INDICE

1. GENERALITÀ 1

1.1. PREMESSA 1

2. STUDIO IDRAULICO MARITTIMO 2

2.1. PREMESSA 2
2.2. IL CLIMA ONDOSO 3
2.3. ESPOSIZIONE DEL PARAGGIO - CALCOLO DEI FETCHES 4
2.4. DATI DI VENTO E DI ONDA DISPONIBILI 4
2.4.1. MEDATLAS (38°N-12°E) - dati di vento annuali 7
2.4.2. MEDATLAS (38°N-12°E) - dati di mare annuali 9
2.4.3. APAT – Boa RON di Mazara del Vallo - Dati di mare annuali 11
2.4.4. APAT – BOA RMN DI PORTO EMPEDOCLE 13
2.5. CORRENTI MARINE 14
2.5.1. LE CORRENTI DI GRADIENTE 14
2.5.2. LE CORRENTI DI DERIVA 15
2.5.3. LA DIREZIONE DELLA CORRENTE 15
2.5.4. CIRCOLAZIONE GENERALE – LE CORRENTI NEL MAR MEDITERRANEO 16
2.6. DETERMINAZIONE DELL'ONDA DI PROGETTO 22
2.7. VARIAZIONE DEL LIVELLO MARINO (MAREE, SOVRALZI) 24
2.7.1. PREMESSA 24
2.7.2. SOVRALZO DI MEREA (SM) 24
2.7.3. SOVRALZO E ABBASSAMENTO BARICO (SB) 25
2.7.4. SOVRALZO DOVUTO AI VENTI DI MARE (SV) 25
2.7.5. SOVRALZO DOVUTO AL MOTO ONDOSO (Sw) 26
2.7.6. SOVRALZO GLOBALE PER CAMBIAMENTI CLIMATICI (Scc) 27
2.7.7. CALCOLO DELLO STORM SURGE (SS) 28
2.8. VARIAZIONE DELLA VELOCITA' DEL VENTO CON LA QUOTA 29
2.9. ELABORAZIONE STATISTICA DEI DATI DI VENTO 29
2.10. PREVISIONE DEL MOTO ONDOSO AL LARGO 39
2.11. CARATTERISTICHE DELL'ONDA SIGNIFICATIVA AL LARGO 41
2.12. CLIMA DEL MOTO ONDOSO 44
2.12.1. TRASPOSIZIONE DEI DATI DELLE BOE ONDAMETRICHE – DATI MEDATLAS – DATI APAT 64
2.13. DISTRIBUZIONE BETA-RAYLEIGH 72
2.13.1. Settore 11 – Tr = 5, 10, 50, 100, 120 anni 74
2.13.2. Settore 12 – Tr = 5, 10, 50, 100, 120 anni 75
2.13.3. Settore 13 – Tr = 5, 10, 50, 100, 120 anni 77
2.13.4. Settore 14 – Tr = 5, 10, 50, 100, 120 anni 79
2.13.5. Settore 15 – Tr = 5, 10, 50, 100, 120 anni 80
2.13.6. Settore 16 – Tr = 5, 10, 50, 100, 120 anni 82
2.13.7. Settore 17 – Tr = 5, 10, 50, 100, 120 anni 84
2.13.8. Settore 18 – Tr = 5, 10, 50, 100, 120 anni 85
2.13.9. Settore 19 – Tr = 5, 10, 50, 100, 120 anni 87
2.13.10. Settore 20 – Tr = 5, 10, 50, 100, 120 anni 89
2.13.11. Settore 21 – Tr = 5, 10, 50, 100, 120 anni 90
2.13.12. Settore 22 – Tr = 5, 10, 50, 100, 120 anni 92
2.13.13. Settore 23 – Tr = 5, 10, 50, 100, 120 anni 94
2.14. IL METEOTSUNAMI – "MARROBBIO" 95
2.14.1. PREMESSA 95
2.14.2. ANALISI DELLE CONDIZIONI DI GENERAZIONE DEL FENOMENO 96
2.14.3. CONCLUSIONI SUL FENOMENO DEL "MARROBBIO" 101
2.15. CARATTERISTICHE DEL MOTO ONDOSO SOTTO COSTA 102
2.16. MODELLI NUMERICI UTILIZZATI PER LO STUDIO DEL MOTO ONDOSO SOTTO COSTA 103

3. STUDIO CON MODELLI NUMERICI 105

3.1. PREMESSA 105
3.2. STUDIO DEL MOTO ONDOSO SOTTO COSTA 106
3.2.1. MODELLO SW 109

4. CONCLUSIONI 139

1. GENERALITÀ

1.1. PREMESSA

La presente relazione si riferisce allo Studio Idraulico Marittimo nell'ambito del ***"Progetto Definitivo Marina di Marsala futuro Piano Regolatore Portuale".***

In particolare nella relazione seguente vengono trattati i seguenti temi:

- *regime dei venti* - per la determinazione del regime dei venti sono stati presi a riferimento dati forniti dalle stazioni anemometriche presenti nella zona in esame o in zone limitrofe;
- *regime del moto ondoso* - la conoscenza del clima ondoso sia a largo che sottocosta costituisce la base per la verifica sia delle eventuali opere di difesa costiera previste che per la determinazione del trasporto solido costiero e l'analisi evolutiva della linea di costa. La determinazione del moto ondoso è eseguita mediante modelli che permettono la determinazione del moto ondoso partendo da dati di vento o da dati di onda rilevati da boe ondametriche se presenti e se i dati relativi sono significativi rispetto al paraggio preso in esame. Conosciuto il moto ondoso al largo, quello sottocosta è determinato utilizzando modelli matematici che sono in grado di tenere conto dei fenomeni di shoaling e rifrazione applicando tali modelli alla batimetria rilevata dai rilievi eseguiti per la fascia costiera e dalle cartografie disponibili per le zone più a largo. Il clima ondoso in questa relazione è definito in funzione di tempi di ritorno adeguati alle opere previste.

2. STUDIO IDRAULICO MARITTIMO

2.1. PREMESSA

Il presente studio idraulico marittimo è stato redatto per determinare il regime del moto ondoso per le varie direzioni di provenienza in funzione dell'esposizione del paraggio in cui deve essere realizzato l'intervento.

Per le analisi svolte di seguito sono stati utilizzati i dati di vento e di onda rilevati dal WIND AND WAVE ATLAS OF THE MEDITERRANEAN SEA, nonché quelli di onda rilevati dall'*ATLANTE DELLE COSTE "Il moto ondoso a largo delle coste italiane"* a cura dell'APAT Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici – Dipartimento Tutela delle Acque Interne e Marine – Servizio di Difesa delle Coste.

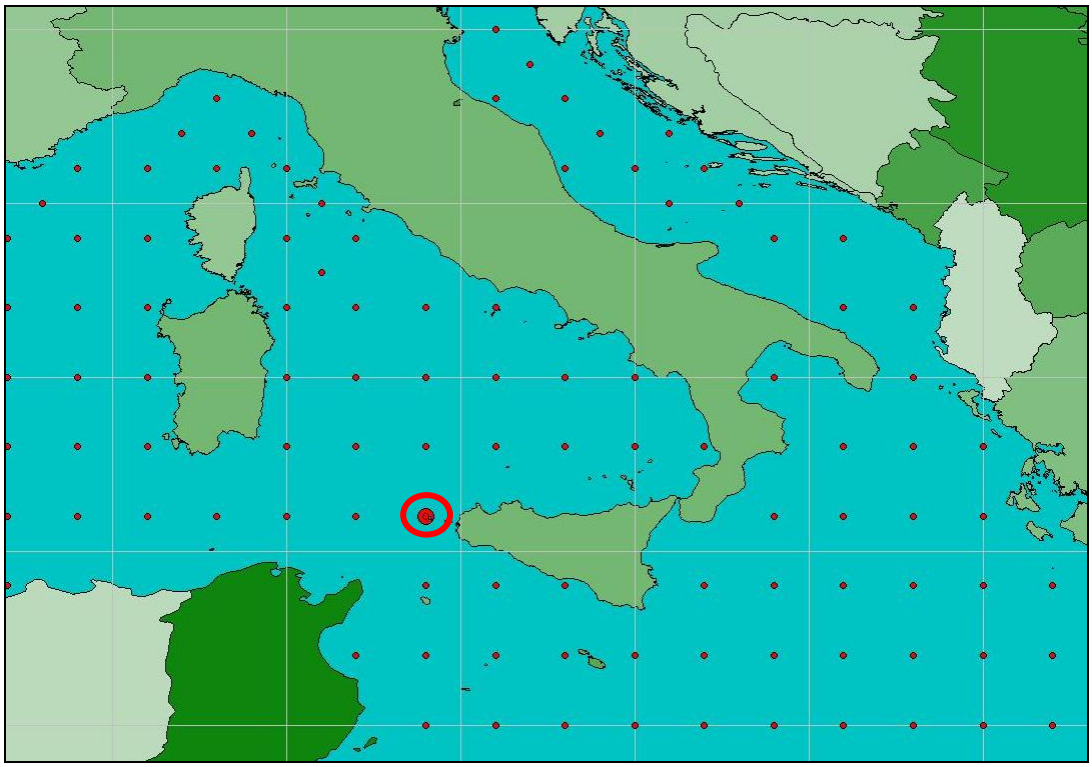


Figura 1 – Localizzazione del punto di rilevamento MedAtlas – (38°N – 12°E).

Da questi dati si sono desunti quelli relativi agli estremi massimi di moto ondoso a largo in funzione di stabiliti tempi di ritorno.

I valori massimi dei dati di vento per i vari settori di provenienza sono stati regolarizzati con il metodi di Gumbel e di Weibull ottenendo la velocità massima del vento in funzione del tempo di ritorno e si è fatto quindi un confronto tra i risultati ottenuti con le due distribuzioni.

Determinati i fetches geografici per le varie direzioni di provenienza del vento con il metodo SMB si sono determinate le altezze d'onda al largo in funzione dei tempi di ritorno. I dati ottenuti con il metodo SMB sono stati confrontati con i dati di onde rilevati dai citati Atlante dei venti e delle onde del Mar Mediterraneo ed Atlante delle Coste APAT.

Per i calcoli di verifica si sono assunti tre tempi di ritorno pari a 5, 10, 50, 100, 120 anni.

Lo studio idraulico marittimo è completato con la determinazione del moto ondoso sotto costa.

Figura 2 – Localizzazione Boa RON di Mazara del Vallo, punto MEDATLAS, boa RMN Porto Empedocle e Marsala porto.

2.2. IL CLIMA ONDOSO

Per definire il clima ondoso nelle condizioni estreme e per la valutazione dei fenomeni di trasporto solido litoraneo occorre in primo luogo verificare quali sono tutte le fonti di dati reperibili per la zona in esame.

Sono dunque stati presi in considerazione innanzitutto i dati di vento e di onda riportati nel *Wind and Wave Atlas of the Mediterranean Sea* – Aprile 2004 per ogni zona del Mediterraneo. I dati di interesse si riferiscono al punto di rilevamento individuato da 38° di latitudine Nord e 12° di longitudine Est (Figura 1).

Sono inoltre stati presi in considerazione i dati di onda provenienti dalla stazione RON di Mazara del Vallo, individuata dalle coordinate 37°31'05"N e 12°32'00"E (dati ISPRA), situata anch'essa in un'area piuttosto prossima a quella oggetto dell'intervento, come si desume dalla Figura 2, e quindi idonea a descriverne con buona accuratezza la previsione di moto ondoso.

Per maggiore accuratezza delle elaborazioni è stato preso in considerazione il mareografo di Porto Empedocle utile per lo studio del livello medio mare, dell'andamento della pressione atmosferica. Il mareografo è individuato dalle coordinate geografiche 37°17'11.20"N e 13°31'37.30"E ed è situato all'interno del porto dell'omonima cittadina.

2.3. ESPOSIZIONE DEL PARAGGIO - CALCOLO DEI FETCHES

Il tratto di costa oggetto di codesto studio si trova nel territorio di Marsala lungo la fascia litoranea, individuabile approssimativamente nei dintorni delle coordinate lat. 37°47'0.00" N – lon. 12°26'0.00" E.

In primo luogo si è individuato il paraggio interessato dal tratto di costa in esame e si è verificato che tale paraggio si estende da 160° N a 340° N. lo stesso è limitato a Nord dall'estrema punta occidentale dell'isola denominato Capo Lilibeo, e a Sud-Sud-Est da Torre Scibiliana nel comune di Petrosino.

L'ampiezza complessiva del paraggio è pari a 180°. Nella Figura 3 sono riportati i fetches geografici relativi alla corografia del paraggio, determinati ad intervalli di 5° rispetto al Nord ed espressi numericamente in km.

Il fetch geografico relativo al paraggio in esame fa capire la notevole esposizione del sito oggetto di studio, proprio per la sua particolare orografia. Infatti la posizione prossima a Capo Lilibeo, estrema punta occidentale della Sicilia, fa si che il sito abbia un esposizione che va da Genova fino alla cittadina di Al-Khums in Libia, anticamente Leptis Magna, passando per la costa del Sole e Gibilterra.

2.4. DATI DI VENTO E DI ONDA DISPONIBILI

Come già detto in premessa, lo studio per la determinazione del moto ondoso è stato eseguito per tre diverse vie.

In primo luogo si sono studiati i venti che soffiano all'interno della zona di generazione del moto ondoso. A questo scopo si sono utilizzati i dati riportati nel *Wind and Wave Atlas of the Mediterranean Sea* – Aprile 2004. I dati di vento relativi ad un periodo di

riferimento annualesono riportati nella Tabella riportata al paragrafo 2.4.1.

In particolare, si farà nel seguito riferimento ai dati MedAtlas corrispondenti alla stazione identificata dalle coordinate 38°N, 12°E.

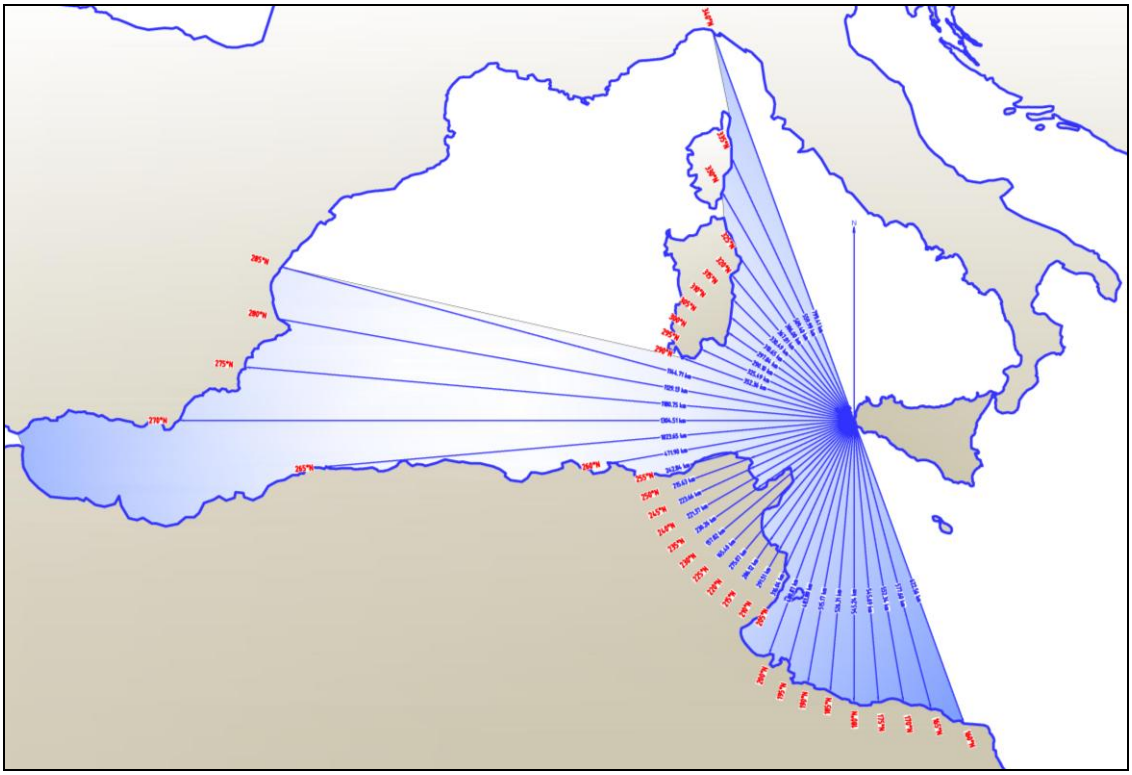


Figura 3 – Fetches geografici relativi al paraggio di Marsala

Si sono estrapolati i dati dalla stazione di misura MEDATLAS per le successive analisi. Tali valori sono riportati nella Tabella 2.4.1.

Le osservazioni sono espresse in m/s per ventiquattro direzioni di 15° a partire dal Nord geografico. Si sono ottenute per le direzioni fondamentali, le frequenze annuali per le classi di velocità 1, 2, 3,…19, 20 espresse in m/sec. Sono dunque riportati successivamente i grafici relativi alle classi di velocità suddette per le varie direzioni. Ricordando che i "*venti regnanti*" sono quelli che presentano un'alta frequenza di apparizione (almeno il 50%), che i "*venti dominanti*" sono quelli caratterizzati da alte velocità (almeno 20 m/s) e che i "venti prevalenti" sono quelli che presentano contemporaneamente le due caratteristiche di alta frequenza e velocità, dall'analisi dei dati della Tabella 2.4.1 si evince che:

- INTERO ANNO: i venti dominanti provengono con maggiore frequenza da Ponente e da Libeccio e con minore frequenza da Nord e Ostro. I venti con alta frequenza, ma non classificabili regnanti, risultano provenire da tutto il paraggio interessato con picchi in corrispondenza di Ponente e Mezzogiorno Libeccio.

La seconda via adottata per il calcolo del moto ondoso al largo relativo al paraggio in esame fa riferimento ai dati di moto ondoso desunti dallo stesso atlante MedAtlas; per i dati di onda si è fatto riferimento diretto a quelli relativi alle coordinate (38°N, 12°E), in quanto più prossima al paraggio in esame. I dati ed i grafici relativi sono riportati nella Tabella contenuta nel paragrafo 2.4.2.

Si rileva che il moto ondoso con maggiore frequenza ma con una bassa altezza d'onda proviene da Ponente e da Scirocco. Le onde di altezza Hs superiore a 3 m provengono da NN-O, S e SS-E. Il moto ondoso elaborato dai dati di onda Medatlas è in perfetto accordo con i dati di vento riportati nella Tabella 2.4.1

Nel paragrafo 2.4.3 si riportano le tabelle relative ai valori degli eventi di moto ondoso rilevati dall'APAT (Boa RON Mazara del Vallo LAT. 37°31'05"N LON. 12°32'E). Anche qui, in accordo con le elaborazioni descritte sopra, la direzione di provenienza del moto ondoso di maggiore frequenza e bassa intensità risulta da Ponente e da Libeccio mentre il moto ondoso di maggiore intensità superiore a 3 m di altezza d'onda proviene da Maestrale-Ponente e da Libeccio-Mezzogiorno.

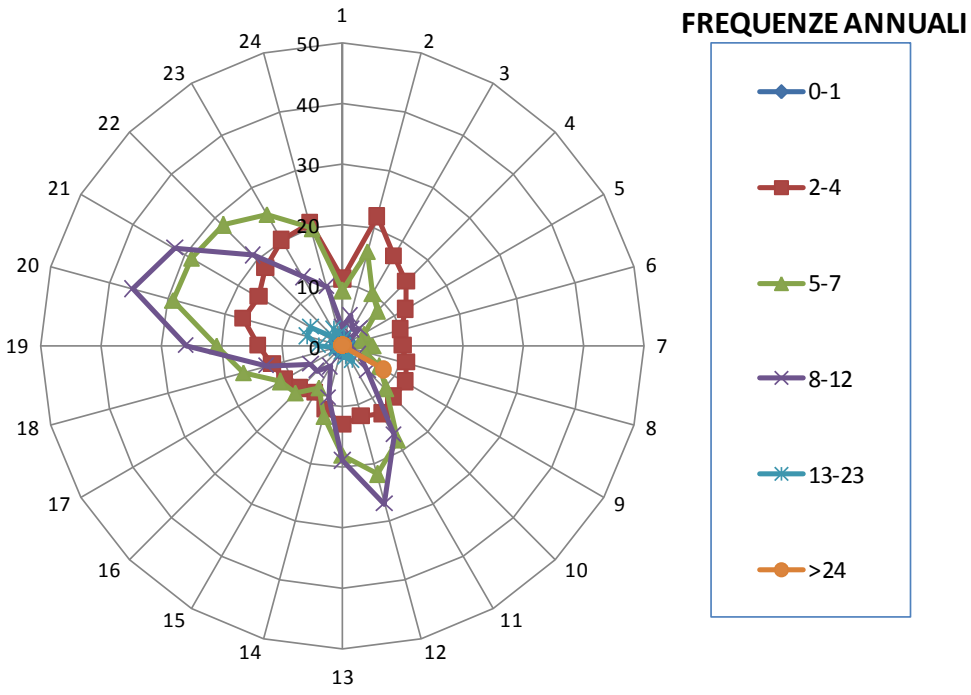
Infine nel paragrafo 2.4.4. si riporta una breve descrizione del mareografo di Porto Empedocle e i dati necessari per l'analisi dei livelli idrici.

2.4.1. MEDATLAS (38°N-12°E) - DATI DI VENTO ANNUALI

ELABORAZIONE DATI METEREOLOGICI
Bivariate frequency table of uw and th_wind (38N, 12E)

DIREZIONE ED ALTEZZA D'ONDA
Total number of observations: 14608
Distribuzione delle frequenze annuali

			CLASSI DI VELOCITA' (m/sec)						
SET	da	a	0-1	2-4	5-7	8-12	13-23	>24	TOTALE
1	0°	15°	1	11	9	3	0	0	24
2	15°	30°	1	22	16	5	1	0	45
3	30°	45°	1	17	10	3	0	0	31
4	45°	60°	1	15	8	4	0	0	28
5	60°	75°	1	12	4	1	0	0	18
6	75°	90°	1	10	3	0	0	0	14
7	90°	105°	1	10	5	0	0	0	16
8	105°	120°	1	11	4	0	0	0	16
9	120°	135°	1	12	7	3	0	8	31
10	135°	150°	1	12	10	6	1	0	30
11	150°	165°	1	13	18	17	3	0	52
12	165°	180°	1	12	22	27	2	0	64
13	180°	195°	1	13	18	19	1	0	52
14	195°	210°	1	11	12	9	0	0	33
15	210°	225°	1	9	8	4	0	0	22
16	225°	240°	1	10	11	6	0	0	28
17	240°	255°	1	11	12	6	1	0	31
18	255°	270°	1	12	17	13	1	0	44
19	270°	285°	1	14	21	26	4	0	66
20	285°	300°	1	17	29	36	6	0	89
21	300°	315°	1	16	29	32	6	0	84
22	315°	330°	1	18	28	21	2	0	70
23	330°	345°	1	20	25	13	3	0	62
24	345°	360°	1	21	20	10	2	0	54
TOTALE			24	329	346	264	33	8	1004

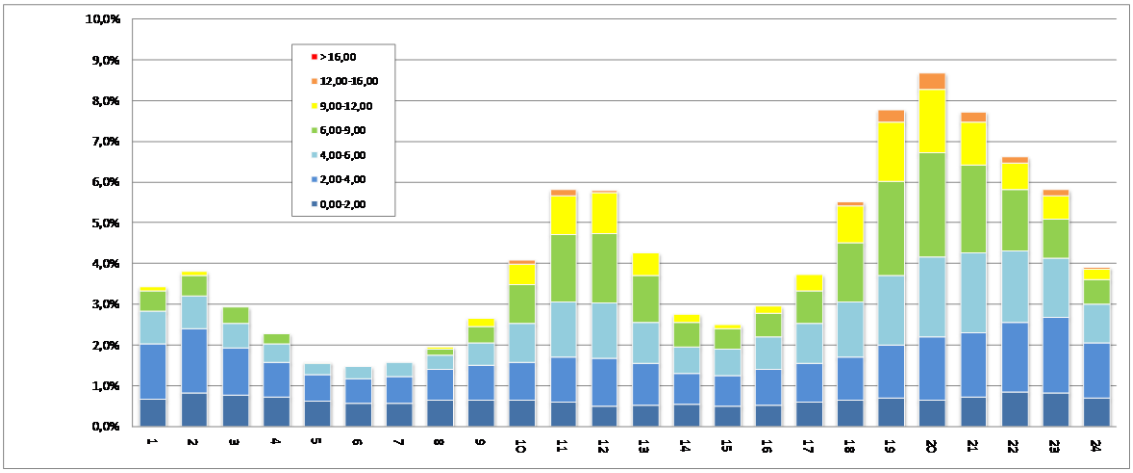


NUMERO DI APPARIZIONI DATI DI VENTO

DIREZIONE	7,5°	22,5°	37,5°	52,5°	67,5°	82,5°	97,5°	112,5°	127,5°	142,5°	157,5°	172,5°	187,5°	202,5°	217,5°	232,5°	247,5°	262,5°	277,5°	292,5°	307,5°	322,5°	337,5°	352,5°	
SETTORE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	TOTALE
V = 20 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V = 18 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V = 16 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	15	7	0	0	0	30
V = 14 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	22	7	0	0	0	0	0	15	36	44	30	22	22	7	220
V = 12 m/s	8	7	0	0	0	0	0	0	8	29	59	66	37	7	0	8	29	59	88	95	66	44	37	14	661
V = 10 m/s	8	7	0	0	0	0	0	8	22	44	81	81	44	22	15	15	29	74	125	132	88	51	44	22	912
V = 9 m/s	15	15	15	7	0	0	0	0	8	37	73	74	44	22	22	29	36	66	103	110	81	44	29	22	852
V = 8 m/s	22	22	22	14	0	0	0	8	22	44	73	81	51	22	22	29	36	74	110	117	110	81	44	22	1026
V = 7 m/s	36	37	22	15	7	0	0	15	29	58	96	95	74	44	29	29	44	73	125	146	125	95	66	44	1304
V = 6 m/s	44	44	29	22	15	22	22	22	36	66	103	102	74	44	44	59	73	103	132	147	139	118	95	59	1614
V = 5 m/s	73	74	59	44	22	22	29	29	44	73	96	95	74	51	52	59	73	96	117	140	147	139	118	81	1807
V = 4 m/s	95	110	74	51	37	29	36	52	59	66	88	95	74	51	52	66	73	73	95	124	125	139	154	103	1921
V = 3 m/s	102	118	95	74	59	59	59	59	66	73	73	80	74	59	59	59	66	80	96	103	103	110	117	95	1938
V = 2 m/s	66	81	73	66	51	44	44	52	59	59	51	44	44	44	44	44	44	52	59	59	73	81	80	66	1380
V = 1 m/s	35	43	43	43	43	43	43	43	37	36	37	29	36	37	29	36	44	44	44	37	36	44	44	37	943
TOTALE	504	558	432	336	234	219	233	288	390	600	852	849	626	403	368	433	547	809	1138	1269	1130	968	850	572	14608

PERCENTUALI DI APPARIZIONE DATI DI VENTO

DIREZIONE	7,5°	22,5°	37,5°	52,5°	67,5°	82,5°	97,5°	112,5°	127,5°	142,5°	157,5°	172,5°	187,5°	202,5°	217,5°	232,5°	247,5°	262,5°	277,5°	292,5°	307,5°	322,5°	337,5°	352,5°	
SETTORE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	TOTALE
V = 20 m/s	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,0%
V = 18 m/s	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,0%
V = 16 m/s	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,05%	0,10%	0,05%	0,00%	0,00%	0,00%	0,2%
V = 14 m/s	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,10%	0,15%	0,05%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,10%	0,25%	0,30%	0,21%	0,15%	0,15%	0,05%	1,5%
V = 12 m/s	0,05%	0,05%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,05%	0,20%	0,40%	0,45%	0,25%	0,05%	0,00%	0,00%	0,05%	0,20%	0,40%	0,60%	0,65%	0,45%	0,30%	0,25%	0,10%	4,5%
V = 10 m/s	0,05%	0,05%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,05%	0,15%	0,30%	0,55%	0,55%	0,30%	0,15%	0,10%	0,10%	0,20%	0,51%	0,86%	0,90%	0,60%	0,35%	0,30%	0,15%	6,2%
V = 9 m/s	0,10%	0,10%	0,10%	0,05%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,05%	0,25%	0,50%	0,51%	0,30%	0,15%	0,15%	0,20%	0,25%	0,45%	0,71%	0,75%	0,55%	0,30%	0,20%	0,15%	5,8%
V = 8 m/s	0,15%	0,15%	0,15%	0,10%	0,00%	0,00%	0,00%	0,05%	0,15%	0,30%	0,50%	0,55%	0,35%	0,15%	0,15%	0,20%	0,25%	0,51%	0,75%	0,80%	0,75%	0,55%	0,30%	0,15%	7,0%
V = 7 m/s	0,25%	0,25%	0,15%	0,10%	0,05%	0,00%	0,00%	0,10%	0,20%	0,40%	0,66%	0,65%	0,51%	0,30%	0,20%	0,20%	0,30%	0,50%	0,86%	1,00%	0,86%	0,65%	0,45%	0,30%	8,9%
V = 6 m/s	0,30%	0,30%	0,20%	0,15%	0,10%	0,15%	0,15%	0,15%	0,25%	0,45%	0,71%	0,70%	0,51%	0,30%	0,30%	0,40%	0,50%	0,71%	0,90%	1,01%	0,95%	0,81%	0,65%	0,40%	11,0%
V = 5 m/s	0,50%	0,51%	0,40%	0,30%	0,15%	0,15%	0,20%	0,20%	0,30%	0,50%	0,66%	0,65%	0,51%	0,35%	0,36%	0,40%	0,50%	0,66%	0,80%	0,96%	1,01%	0,95%	0,81%	0,55%	12,4%
V = 4 m/s	0,65%	0,75%	0,51%	0,35%	0,25%	0,20%	0,25%	0,36%	0,40%	0,45%	0,60%	0,65%	0,51%	0,35%	0,36%	0,45%	0,50%	0,50%	0,65%	0,85%	0,86%	0,95%	1,05%	0,71%	13,2%
V = 3 m/s	0,70%	0,81%	0,65%	0,51%	0,40%	0,40%	0,40%	0,40%	0,45%	0,50%	0,50%	0,55%	0,51%	0,40%	0,40%	0,40%	0,45%	0,55%	0,66%	0,71%	0,71%	0,75%	0,80%	0,65%	13,3%
V = 2 m/s	0,45%	0,55%	0,50%	0,45%	0,35%	0,30%	0,30%	0,36%	0,40%	0,40%	0,35%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	0,36%	0,40%	0,40%	0,50%	0,55%	0,55%	0,45%	9,4%
V = 1 m/s	0,24%	0,29%	0,29%	0,29%	0,29%	0,29%	0,29%	0,29%	0,25%	0,25%	0,25%	0,20%	0,25%	0,25%	0,20%	0,25%	0,30%	0,30%	0,30%	0,25%	0,25%	0,30%	0,30%	0,25%	6,5%
TOTALE	3,5%	3,8%	3,0%	2,3%	1,6%	1,5%	1,6%	2,0%	2,7%	4,1%	5,8%	5,8%	4,3%	2,8%	2,5%	3,0%	3,7%	5,5%	7,8%	8,7%	7,7%	6,6%	5,8%	3,9%	100,0%

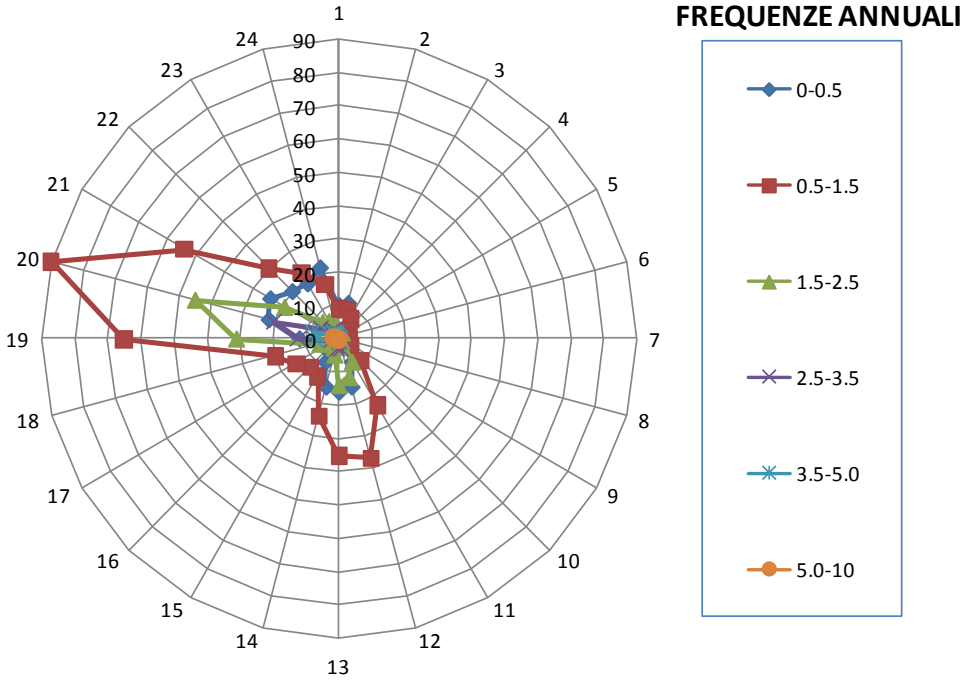


2.4.2. MEDATLAS (38°N-12°E) - DATI DI MARE ANNUALI

ELABORAZIONE DATI METEREOLOGICI
Bivariate frequency table of hs and th_wave (38N, 12E)

DIREZIONE ED ALTEZZA D'ONDA
Total number of observations: 14608
Distribuzione delle frequenze annuali

			CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA (ml)						
SET	da	a	0-0.5	0.5-1.5	1.5-2.5	2.5-3.5	3.5-5.0	5.0-10	TOTALE
1	0°	15°	10	9	1	1	0	0	21
2	15°	30°	11	9	2	0	0	0	22
3	30°	45°	3	7	2	0	0	0	12
4	45°	60°	3	4	0	0	0	0	7
5	60°	75°	1	2	0	0	0	0	3
6	75°	90°	1	2	0	0	0	0	3
7	90°	105°	2	3	0	0	0	0	5
8	105°	120°	1	3	0	0	0	0	4
9	120°	135°	3	4	0	0	0	0	7
10	135°	150°	4	9	1	0	0	0	14
11	150°	165°	8	23	8	1	0	0	40
12	165°	180°	15	37	12	3	0	0	67
13	180°	195°	16	35	14	3	0	0	68
14	195°	210°	15	24	5	0	0	0	44
15	210°	225°	8	13	3	0	0	0	24
16	225°	240°	5	12	2	0	0	0	19
17	240°	255°	5	15	3	0	0	0	23
18	255°	270°	6	20	6	2	0	0	34
19	270°	285°	12	65	31	12	7	1	128
20	285°	300°	22	90	45	20	8	2	187
21	300°	315°	24	54	19	6	3	1	107
22	315°	330°	20	30	7	3	2	0	62
23	330°	345°	19	23	6	3	2	0	53
24	345°	360°	22	17	4	2	1	0	46
TOTALE			236	510	171	56	23	4	1000

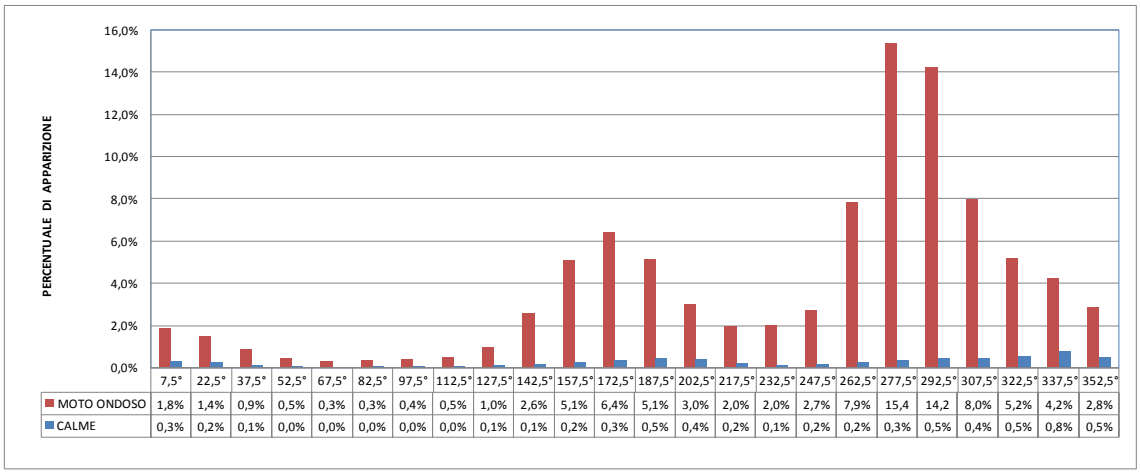


NUMERO DI APPARIZIONI DEL MOTO ONDOSO

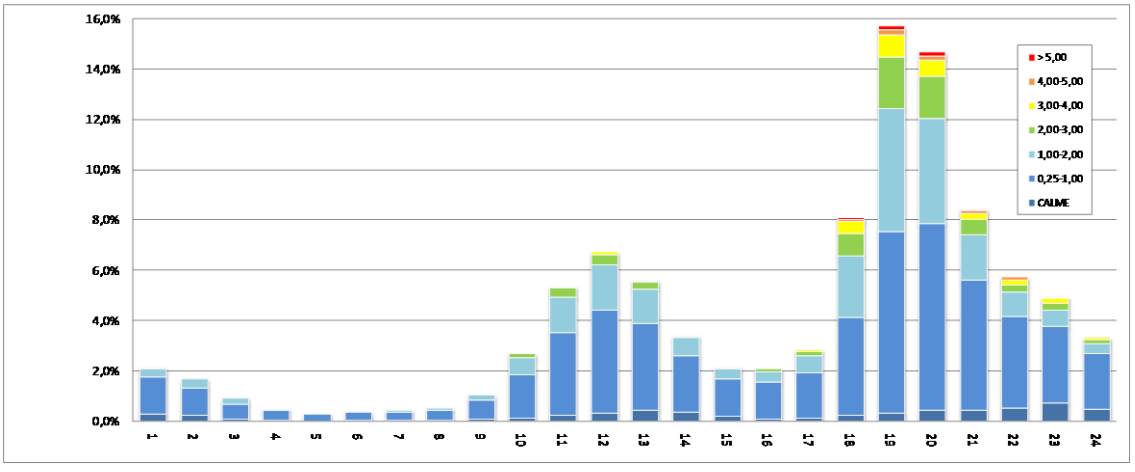
DIREZIONE	7,5°	22,5°	37,5°	52,5°	67,5°	82,5°	97,5°	112,5°	127,5°	142,5°	157,5°	172,5°	187,5°	202,5°	217,5°	232,5°	247,5°	262,5°	277,5°	292,5°	307,5°	322,5°	337,5°	352,5°	
SETTORE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	TOTALE
H = 9,0 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H = 8,5 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H = 8,0 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H = 7,5 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H = 7,0 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H = 6,5 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	7	0	0	0	0	15
H = 6,0 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H = 5,5 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	15	15	7	0	0	0	45
H = 5,0 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	15	7	0	0	0	0	30
H = 4,5 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	15	15	15	15	7	0	75
H = 4,0 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	51	37	15	15	15	7	162
H = 3,5 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	15	7	0	0	0	8	44	80	59	22	15	15	7	280
H = 3,0 m	7	0	0	0	0	0	0	0	0	8	15	15	7	0	0	0	8	51	117	95	30	15	15	15	398
H = 2,5 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	36	44	30	7	8	15	15	80	183	153	59	29	22	7	703
H = 2,0 m	15	15	7	0	0	0	0	0	8	36	73	95	66	29	22	15	29	132	277	234	94	51	37	22	1257
H = 1,5 m	29	36	30	7	0	0	8	15	22	65	132	168	138	73	37	43	73	227	438	372	168	88	58	37	2264
H = 1,0 m	66	58	37	22	15	22	22	22	43	110	212	263	219	138	95	95	124	307	562	525	307	197	153	94	3708
H = 0,5 m	153	102	51	37	29	29	29	36	66	139	271	336	284	190	124	124	138	263	490	562	453	336	292	227	4761
CALME	42	36	14	6	-1	7	6	7	14	21	35	51	66	58	30	15	22	36	51	66	65	80	110	73	910
TOTALE	312	247	139	72	43	58	65	80	153	394	782	987	817	495	316	307	417	1186	2302	2147	1235	841	724	489	14608

PERCENTUALI DI APPARIZIONE DEL MOTO ONDOSO

DIREZIONE	7,5°	22,5°	37,5°	52,5°	67,5°	82,5°	97,5°	112,5°	127,5°	142,5°	157,5°	172,5°	187,5°	202,5°	217,5°	232,5°	247,5°	262,5°	277,5°	292,5°	307,5°	322,5°	337,5°	352,5°	
SETTORE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	TOTALE
H = 9,0 m	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
H = 8,5 m	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
H = 8,0 m	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
H = 7,5 m	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
H = 7,0 m	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
H = 6,5 m	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%
H = 6,0 m	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
H = 5,5 m	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%
H = 5,0 m	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%
H = 4,5 m	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,5%
H = 4,0 m	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,1%
H = 3,5 m	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,9%
H = 3,0 m	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	2,7%
H = 2,5 m	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	4,8%
H = 2,0 m	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	8,6%
H = 1,5 m	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	15,5%
H = 1,0 m	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	25,4%
H = 0,5 m	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	32,6%
CALME	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	6,2%
TOTALE	2,1%	1,7%	1,0%	0,5%	0,3%	0,4%	0,4%	0,5%	1,0%	2,7%	5,4%	6,8%	5,6%	3,4%	2,2%	2,1%	2,9%	8,1%	15,8%	14,7%	8,5%	5,8%	5,0%	3,3%	100,0%



	7,5°	22,5°	37,5°	52,5°	67,5°	82,5°	97,5°	112,5°	127,5°	142,5°	157,5°	172,5°	187,5°	202,5°	217,5°	232,5°	247,5°	262,5°	277,5°	292,5°	307,5°	322,5°	337,5°	352,5°
MOTO ONDOSO	1,8%	1,4%	0,9%	0,5%	0,3%	0,3%	0,4%	0,5%	1,0%	2,6%	5,1%	6,4%	5,1%	3,0%	2,0%	2,0%	2,7%	7,9%	15,4	14,2	8,0%	5,2%	4,2%	2,8%
CALME	0,3%	0,2%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,2%	0,3%	0,5%	0,4%	0,2%	0,1%	0,2%	0,2%	0,3%	0,5%	0,4%	0,5%	0,8%	0,5%

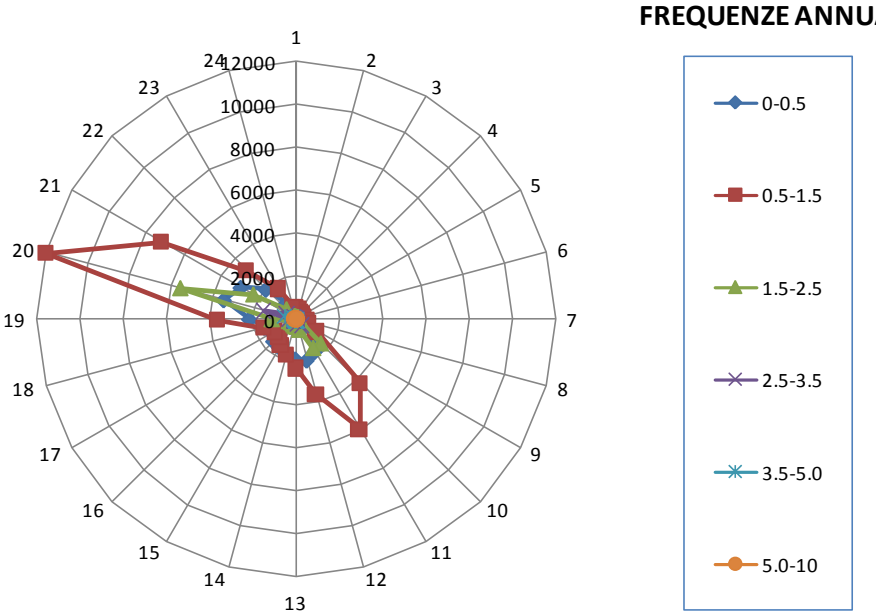


2.4.3. APAT – BOA RON DI MAZARA DEL VALLO - DATI DI MARE ANNUALI

ELABORAZIONE DATI METEREOLOGICI
Tabella dei rilevamenti dal 01/07/1989 al 04/04/2008 per la boa di Mazara del vallo.

DIREZIONE ED ALTEZZA D'ONDA
N.ro Osservazioni 106233 calme 8531
Distribuzione delle frequenze annuali

			CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA (ml)						
SET	da	a	0-0.5	0.5-1.5	1.5-2.5	2.5-3.5	3.5-5.0	5.0-10	TOTALE
1	0°	15°	267	590	115	44	12	1	1029
2	15°	30°	273	482	109	34	3	1	902
3	30°	45°	260	407	116	26	3	1	813
4	45°	60°	217	397	131	28	9	0	782
5	60°	75°	242	377	92	29	7	0	747
6	75°	90°	270	380	100	19	2	0	771
7	90°	105°	310	486	127	34	1	0	958
8	105°	120°	431	590	171	29	7	0	1228
9	120°	135°	596	1081	255	47	8	0	1987
10	135°	150°	1227	4187	1581	403	71	13	7482
11	150°	165°	1757	5860	1540	240	28	1	9426
12	165°	180°	1984	3582	507	47	22	1	6143
13	180°	195°	1872	2246	353	50	21	2	4544
14	195°	210°	1590	1693	319	63	20	3	3688
15	210°	225°	1511	1377	278	88	11	2	3267
16	225°	240°	1458	1096	241	90	11	2	2898
17	240°	255°	1263	1110	276	67	49	4	2769
18	255°	270°	1497	1505	350	87	23	2	3464
19	270°	285°	2150	3595	1140	300	89	4	7278
20	285°	300°	3455	11937	5533	1524	555	85	23089
21	300°	315°	2940	7197	2291	483	140	16	13067
22	315°	330°	1953	3232	649	108	35	0	5977
23	330°	345°	866	1650	183	48	10	1	2758
24	345°	360°	348	625	143	43	5	2	1166
TOTALE			28737	55682	16600	3931	1142	141	106233

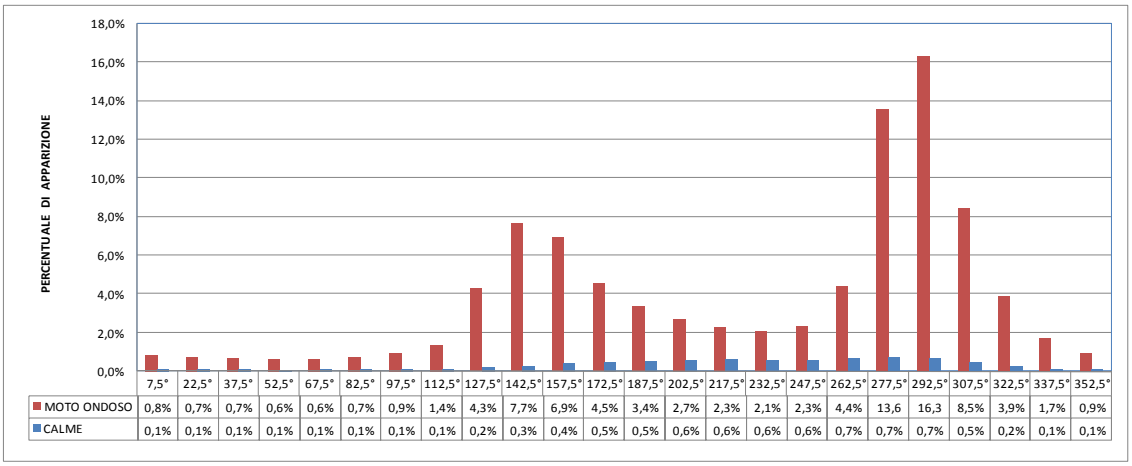


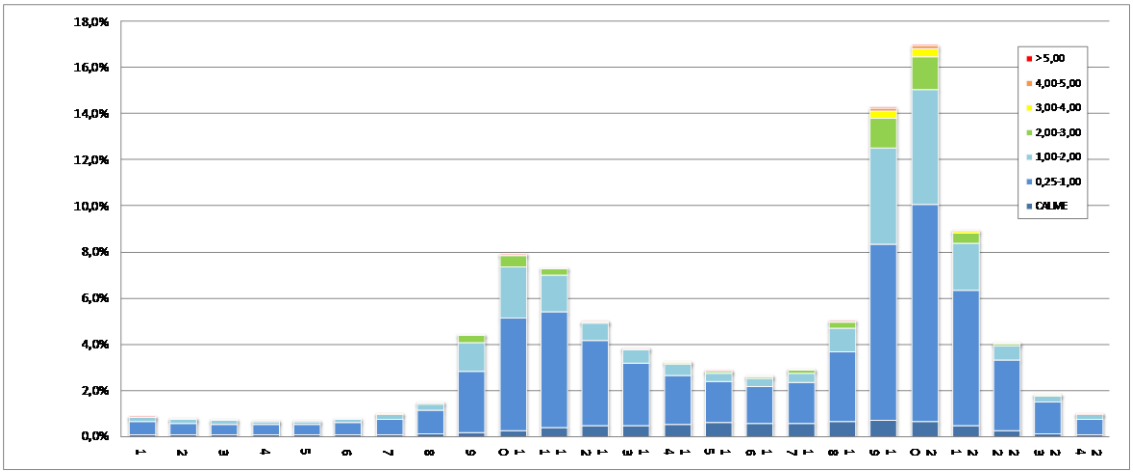
NUMERO DI APPARIZIONI DEL MOTO ONDOSO

DIREZIONE	7,5°	22,5°	37,5°	52,5°	67,5°	82,5°	97,5°	112,5°	127,5°	142,5°	157,5°	172,5°	187,5°	202,5°	217,5°	232,5°	247,5°	262,5°	277,5°	292,5°	307,5°	322,5°	337,5°	352,5°	
SETTORE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	TOTALE
H = 9,0 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H = 8,5 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H = 8,0 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H = 7,5 m	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
H = 7,0 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2
H = 6,5 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	4
H = 6,0 m	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	7	7	1	0	0	1	21
H = 5,5 m	0	1	0	0	0	0	0	0	4	3	0	0	1	1	1	1	2	1	21	23	4	1	1	0	65
H = 5,0 m	1	0	1	0	0	0	0	0	7	8	1	1	2	4	3	4	5	8	50	55	14	4	1	2	171
H = 4,5 m	2	1	1	1	1	0	1	1	9	10	5	7	5	4	4	9	8	14	74	79	22	6	2	1	267
H = 4,0 m	3	2	2	4	3	1	2	4	16	20	11	10	9	5	3	12	15	22	126	137	32	7	3	4	453
H = 3,5 m	7	5	7	7	4	5	6	7	48	68	30	12	15	19	20	22	23	47	242	267	74	17	9	9	970
H = 3,0 m	20	15	13	14	12	13	16	19	113	160	72	25	28	38	45	39	38	96	456	502	147	39	23	22	1965
H = 2,5 m	34	29	32	30	23	27	34	48	210	331	186	63	56	60	67	68	78	185	874	983	325	98	47	43	3931
H = 2,0 m	56	56	62	56	48	57	75	107	459	780	512	214	168	149	130	129	157	372	1669	1956	735	208	82	64	8301
H = 1,5 m	124	113	108	106	102	122	160	206	864	1595	1189	557	409	348	279	244	294	697	2776	3348	1438	457	185	134	15855
H = 1,0 m	268	222	200	193	189	217	269	417	1317	2511	2361	1457	984	768	618	552	654	1275	3883	4783	2607	1221	569	304	27839
H = 0,5 m	354	315	281	271	293	321	412	658	1491	2668	2985	2473	1896	1495	1256	1118	1216	1925	4225	5215	3603	2046	916	424	37857
CALME	95	99	89	82	85	102	118	138	198	299	432	523	542	585	657	635	628	727	779	720	520	263	125	90	8531
TOTALE	965	858	796	764	760	865	1093	1605	4737	8454	7785	5344	4116	3476	3083	2833	3118	5369	15185	18077	9522	4367	1963	1098	106233

PERCENTUALI DI APPARIZIONE DEL MOTO ONDOSO

DIREZIONE	7,5°	22,5°	37,5°	52,5°	67,5°	82,5°	97,5°	112,5°	127,5°	142,5°	157,5°	172,5°	187,5°	202,5°	217,5°	232,5°	247,5°	262,5°	277,5°	292,5°	307,5°	322,5°	337,5°	352,5°	
SETTORE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	TOTALE
H = 9,0 m	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,0%
H = 8,5 m	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,0%
H = 8,0 m	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,0%
H = 7,5 m	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,0%
H = 7,0 m	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,0%
H = 6,5 m	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,0%
H = 6,0 m	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,0%
H = 5,5 m	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,1%
H = 5,0 m	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,05%	0,05%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,2%
H = 4,5 m	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,01%	0,01%	0,07%	0,07%	0,02%	0,01%	0,00%	0,00%	0,3%
H = 4,0 m	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	0,02%	0,01%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	0,01%	0,01%	0,02%	0,12%	0,13%	0,03%	0,01%	0,00%	0,00%	0,4%
H = 3,5 m	0,01%	0,00%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	0,01%	0,01%	0,05%	0,06%	0,03%	0,01%	0,01%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,04%	0,23%	0,25%	0,07%	0,02%	0,01%	0,01%	0,9%
H = 3,0 m	0,02%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,02%	0,02%	0,11%	0,15%	0,07%	0,02%	0,03%	0,04%	0,04%	0,04%	0,04%	0,09%	0,43%	0,47%	0,14%	0,04%	0,02%	0,02%	1,8%
H = 2,5 m	0,03%	0,03%	0,03%	0,03%	0,02%	0,03%	0,03%	0,05%	0,20%	0,31%	0,18%	0,06%	0,05%	0,06%	0,06%	0,06%	0,07%	0,17%	0,82%	0,93%	0,31%	0,09%	0,04%	0,04%	3,7%
H = 2,0 m	0,05%	0,05%	0,06%	0,05%	0,05%	0,05%	0,07%	0,10%	0,43%	0,73%	0,48%	0,20%	0,16%	0,14%	0,12%	0,12%	0,15%	0,35%	1,57%	1,84%	0,69%	0,20%	0,08%	0,06%	7,8%
H = 1,5 m	0,12%	0,11%	0,10%	0,10%	0,10%	0,11%	0,15%	0,19%	0,81%	1,50%	1,12%	0,52%	0,39%	0,33%	0,26%	0,23%	0,28%	0,66%	2,61%	3,15%	1,35%	0,43%	0,17%	0,13%	14,9%
H = 1,0 m	0,25%	0,21%	0,19%	0,18%	0,18%	0,20%	0,25%	0,39%	1,24%	2,36%	2,22%	1,37%	0,93%	0,72%	0,58%	0,52%	0,62%	1,20%	3,66%	4,50%	2,45%	1,15%	0,54%	0,29%	26,2%
H = 0,5 m	0,33%	0,30%	0,26%	0,26%	0,28%	0,30%	0,39%	0,62%	1,40%	2,51%	2,81%	2,33%	1,78%	1,41%	1,18%	1,05%	1,14%	1,81%	3,98%	4,91%	3,39%	1,93%	0,86%	0,40%	35,6%
CALME	0,09%	0,09%	0,08%	0,08%	0,08%	0,10%	0,11%	0,13%	0,19%	0,28%	0,41%	0,49%	0,51%	0,55%	0,62%	0,60%	0,59%	0,68%	0,73%	0,68%	0,49%	0,25%	0,12%	0,08%	8,0%
TOTALE	0,9%	0,8%	0,7%	0,7%	0,7%	0,8%	1,0%	1,5%	4,5%	8,0%	7,3%	5,0%	3,9%	3,3%	2,9%	2,7%	2,9%	5,1%	14,3%	17,0%	9,0%	4,1%	1,8%	1,0%	100,0%





2.4.4. APAT – BOA RMN DI PORTO EMPEDOCLE

La Rete Mareografica Nazionale (RMN) è composta di 26 nuove stazioni di misura uniformemente distribuite sul territorio nazionale ed ubicate prevalentemente all'interno delle strutture portuali.

Questa rete sostituisce integralmente il sistema di rilevazione mareografico preesistente. Nel 1986 sono stati installati dei mareografi elettronici a galleggiante con registrazione locale in memoria EPROM.

Le nuove stazioni che compongono la RMN sono composte da due strumenti di misura della marea: uno (principale) ad ultrasuoni, ed uno (secondario) a galleggiante e registrazione cartacea per la verifica puntuale delle misure, l'analisi di eventi o fenomeni particolari ed il recupero dei dati nei casi di mancato funzionamento dello strumento principale.

I mareografi sono riferiti ad un caposaldo quotato con livellazione di alta precisione, opportunamente verificato, sulla base del più vicino caposaldo IGM. Le stazioni sono dotate anche di un sensore anemometrico (velocità e direzione del vento a 10 metri dal suolo), di un sensore barometrico, di un sensore di temperatura dell'aria e di un sensore di temperatura dell'acqua.

Tutte le stazioni sono dotate di un sistema locale di gestione e memorizzazione dei dati e di un apparato di trasmissione in tempo reale alla sede centrale dell'APAT a Roma.

Mareografo di Porto Empedocle

La stazione è situata al Porto Vecchio, presso il Molo Vecchio.Il palo meteorologico è situato nel porto, presso il molo di levante (Lat 37° 17' 05.00" Long 13° 31' 41.74").

La stazione mareografica è dotata di caposaldi altimetrici. Ogni caposaldo è riferito al livello medio del mare misurato a Genova dall'antico mareografo Thompson.

I caposaldi sono contrassegni metallici che determinano la quota altimetrica mediante livellazione di alta precisione condotta a partire dalle linee principali stabilite dall'IGM.

Dalla data del 07/07/10 il valore che compare con la denominazione "livello idrometrico" viene misurato con un nuovo sensore radar denominato SIAP+MICROS TLR con precisione millimetrica. ISPRA garantisce l'uniformità della misura con la serie di dati precedenti a tale data prodotti con il sensore SIAP+MICROS ID0710 basato su un trasduttore ad ultrasuoni avendone verificato il preciso allineamento.

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa fornita dall'ISPRA che riporta le principali caratteristiche del mareografo di Porto Empedocle.

ISPRA

Rete idrografica e mareografica nazionale LIVELLAZIONE DI ALTA PRECISIONE	Rilievi anno 2009 - 2010	Stazione mareografica di Porto Empedocle

ORIGINE IGM
Csv: **103D3/1**
Punto GPS: **271702**

Annotazioni: la misura del csv mareografico ha richiesto l'uso della stadietta invar da 60 cm con staffeta di sospensione (vedi foto laterale

CSO MAREOGRAFICO
Coordinate piane UTM – WGS84 N: **4127582.871**
E : **369408.985**
Quota s.l.m.: **m. 1.7134** quota italgeo 90: **1.702**
Bullone in acciaio inox murato sulla banchina a sinistra del portoncino di accesso alla cabina mareografica

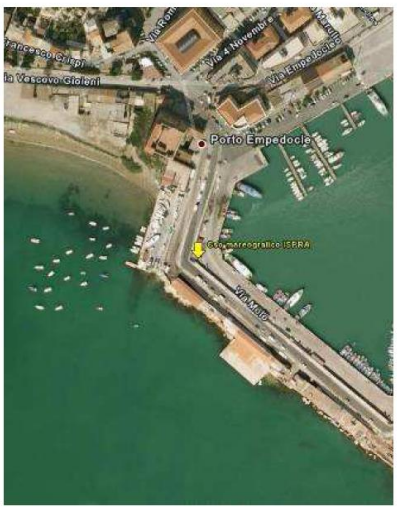
CSV MAREOGRAFICO

Quota s.l.m.: **m. 3.8627**
Piastra mensolata murata sulla parete a sinistra della porta di accesso alla cabina mareografica

STAFFA MAREOGRAFICA
Quota s.l.m. 1998: **m. 0.9063**
Quota s.l.m. 2009: **m. 0.9133**
Linguetta trapezioidale aggettante nel pozzo di calma murata di fronte al portoncino di accesso della cabina mareografica

CAPOSALDO BULLONE DI CALATA ISPRA

Quota s.l.m.: **m. 2.5413**
Bullone in acciaio inox murato sul muraglione di sopraflutto di fronte alla cabina mareografica, allineato sotto il csv IGM



2.5. CORRENTI MARINE

Con il termine correnti marine ci si riferisce al movimento di massa d'acqua non collegato alla marea o al moto ondoso. Le correnti esistono lungo tutta la massa d'acqua e talvolta solo in determinati strati senza causare effetti visibili in superficie. Esse si verificano prevalentemente in acque profonde ed in mari aperti. Inoltre, mentre le correnti di marea hanno un ciclo temporale ben definito, le correnti marine sono permanenti (o stazionarie) oppure stagionali (o semipermanenti). Esistono diversi tipi di correnti marine e possono essere classificate:

- in base alle cause che le creano (correnti di gradiente e correnti di deriva);
- secondo la temperatura dell'acqua che si sposta confrontata con la temperatura dell'acqua che la circonda (correnti calde o fredde);
- in base alla profondità in cui si verificano:

- superficiali se interessano lo strato d'acqua dalla superficie ai 200 m;
- interne se interessano lo strato d'acqua al di sotto dei 200 metri;
- di fondo se interessano lo strato d'acqua vicino al fondale marino.

Il moto orizzontale delle correnti superficiali è causato dall'azione combinata di correnti di gradiente e correnti di deriva.

2.5.1. LE CORRENTI DI GRADIENTE

Sono dovute alla differenza di pressione su luoghi diversi della superficie del mare ed alla differenza di densità delle masse d'acqua adiacenti.

Queste correnti si generano quando la superficie dell'acqua assume una certa inclinazione, fatto che accade per l'azione del vento, o per la presenza di masse d'acqua contigue di diversa temperatura e/o salinità. Le correnti di gradiente, dovute a diversa pressione atmosferica ed all'ammassamento dell'acqua dovuto al vento, tendendo a ristabilire l'orizzontalità della superficie marina, sono d'intensità modesta e pressoché irrilevanti ai fini della navigazione in mare aperto.

La situazione cambia in prossimità della costa. Se il vento che spira verso la costa è d'intensità adeguata, si possono ammassare lungo costa notevoli masse d'acqua che, non potendo rifluire verso il largo a causa del vento contrario, danno luogo a forti correnti che scorrono parallelamente alla costa.

Le correnti di gradiente, dovute a differenza di densità, si presentano soprattutto negli strati interni della massa d'acqua.

2.5.2. LE CORRENTI DI DERIVA

Queste correnti sono dovute all'azione di trascinamento creato dall'attrito esistente tra la massa d'aria in movimento (vento) e la massa d'acqua superficiale del mare.

Il vento tende a trascinare lo strato superficiale delle acque marine nella sua stessa direzione, il movimento di deriva si trasmette agli strati inferiori con intensità decrescente e direzione man mano variabile; il movimento inizia con ritardo rispetto al momento d'inizio dell'azione del vento e solo gradualmente raggiunge la velocità di regime.

Venti leggeri possono generare deboli correnti di deriva in circa sei ore, sono necessarie ben 48 ore di vento forte perché la relativa corrente di deriva raggiunga la velocità di regime.

L'intensità della corrente di deriva a regime è circa 1,5% della velocità del vento che l'ha generata, velocità che dipende anche da altri fattori, ed in particolare dall'ampiezza dello specchio d'acqua libero da ostacoli, denominato fetch, esistente nella direzione di provenienza del vento. Fetch limitati non consentono alla corrente di raggiungere velocità della percentuale sopra indicata, anche se il vento spira dalla stessa direzione per periodi di tempo superiori alle 48 ore.

2.5.3. LA DIREZIONE DELLA CORRENTE

Le forze che mettono in movimento sia le correnti di gradiente sia quelle di deriva, tendono a muovere la massa d'acqua in una ben determinata direzione.

Nel caso delle correnti di gradiente: dal luogo di livello maggiore verso quello a livello minore; nel caso di correnti di deriva: nello stesso senso di propagazione del vento.
La direzione di propagazione è, però, sensibilmente diversa da quella descritta sopra.
In particolare:

- le correnti che si propagano nell'emisfero Nord subiscono una deviazione verso la destra rispetto alla direzione di propagazione;
- quelle che si propagano nell'emisfero Sud subiscono una deviazione verso sinistra.

Queste deviazioni sono causate dalla rotazione terrestre che genera una particolarissima forza, detta forza di Coriolis, la quale agisce su tutte le masse in movimento sul pianeta ed il cui effetto è più sentito quanto più è grande la massa in movimento.
Oltre alla forza di Coriolis, sulla direzione e sull'intensità delle correnti marine, influiscono anche altri fattori:

- natura e vicinanza della costa,
- presenza di golfi o stretti,
- maggiore o minore profondità delle acque.

2.5.4. CIRCOLAZIONE GENERALE – LE CORRENTI NEL MAR MEDITERRANEO

Le correnti marine così strettamente legate ai fattori meteorologici, sono oggetto di continui studi dai quali è stato possibile ricavare dei "modelli di circolazione", ossia situazioni standard che si verificano in concomitanza con determinate situazioni meteorologiche stagionali. Esistono innumerevoli modelli di circolazione che si applicano ai diversi bacini, da quelli oceanici che hanno validità temporale di mesi a quelli di piccoli golfi di particolare interesse e validi solo per particolari situazioni di vento o insolazione.
Le correnti del Mediterraneo, solitamente, sono deboli e con direzione variabile.
La circolazione superficiale è fortemente influenzata da venti che al largo possono generare correnti superficiali d'intensità fino ai due nodi.
Il mar Mediterraneo è un bacino quasi completamente chiuso: lo scambio d'acqua marina avviene solo attraverso lo stretto di Gibilterra, mentre l'afflusso d'acqua dolce è legato alle precipitazioni e al deflusso dei fiumi. Il rapporto tra evaporazione e precipitazione è un parametro fondamentale per l'equilibrio del bacino e, per alcuni valori di questo parametro, la circolazione Mediterranea potrebbe drasticamente collassare ad una fase stagnante senza più scambio con l'oceano Atlantico.
Detto questo, va precisato che il bacino del mare Mediterraneo è caratterizzato da una complessa circolazione marina nonostante la quasi completa chiusura.

Figura 3.1 – Circolazione delle masse d'acqua nel mediterraneo

La circolazione delle masse fluide nel Mediterraneo è piuttosto singolare e dimostra che le acque di questo mare, benché chiuso, sono in continuo movimento e ricambio. Il motivo principale è che l'assolato Mediterraneo è sostanzialmente un mare in evaporazione: evapora più acqua di quella che riceve dai fiumi locali e dalle piogge.

Man mano che l'acqua evapora, nel mare rimane un'eccedenza di sale. Questo sale si aggiunge al peso d'ogni metro cubo d'acqua marina che vi rimane. Le acque, divenute più dense, quindi più pesanti, scendono ad occupare le zone più profonde del Mediterraneo.

A causa dell'abbondante evaporazione delle acque non compensata a sufficienza dalle piogge e dagli apporti fluviali, vi è un deficit idrico in tutta l'area mediterranea dove l'evaporazione, dunque, è maggiore dell'acqua che vi s'immette. Per questo il Mediterraneo nella zona più interna - il bacino orientale più soleggiato - diventa più salato, perciò più denso. Questa maggiore densità crea una pressione sui fondali e produce sul fondo marino una corrente che attraversa l'intero bacino e oltrepassa lo Stretto di Gibilterra. Il compito di compensare il deficit idrico è perciò dell'Atlantico che, a sua volta, attraverso Gibilterra immette continuamente acqua.

Qui, in superficie, l'acqua atlantica relativamente più fresca scorre in superficie verso il Mare Mediterraneo per sostituire sia l'acqua evaporata che quella più profonda e più salata che scorre in profondità verso l'Atlantico. In realtà, in corrispondenza dello stretto, l'acqua superficiale non sempre è entrante nel Mediterraneo; ciò perché la corrente di marea, che in quell'area ha valori sensibili, si sovrappone alla corrente entrante nel Mediterraneo.

La corrente entrante nel Mediterraneo si spinge verso est formando un "ramo" principale ed altri secondari. Il ramo principale, sotto l'effetto della forza di Coriolis, dirige verso destra e si addossa alla costa africana perdendo via via intensità fino ad estinguersi. L'intensità della corrente si mantiene fra 0,8 ed 1 nodo lungo le coste dell'Algeria, quindi diminuisce procedendo verso oriente. Nello Stretto di Sicilia, l'intensità varia da 0,4 ad 1 nodo.

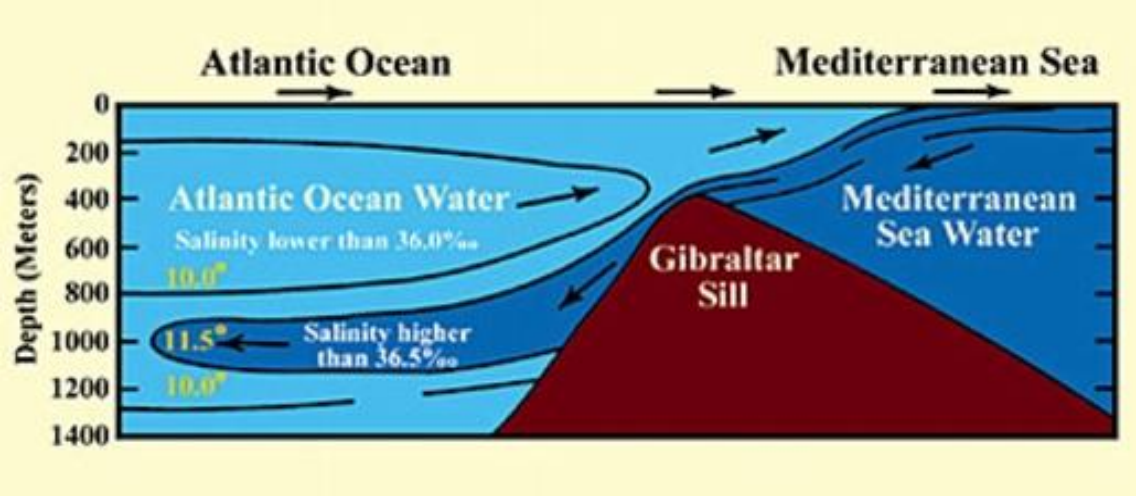


Figura 3.2 – Disegno che illustra lo scorrimento superficiale delle acque atlantiche in entrata nel Mediterraneo. Contemporaneamente, le acque più dense del Mediterraneo scorrono in profondità verso l'Atlantico

Numerose e particolari situazioni, diverse fra loro, coinvolgono gli altri rami e si sovrappongono all'andamento generale. Ogni situazione andrebbe esaminata a sé considerando le variabili della zona specifica in cui si manifesta.

Ad esempio nel Golfo del Leone, quando le masse d'acqua più dense si formano e sprofondano, privano la superficie di grandi volumi d'acqua; di conseguenza le acque superficiali adiacenti a quelle sprofondate devono spostarsi per sostituire quelle più dense di recente formazione che sprofondano. Inoltre, queste scendono fino al loro livello di densità e, dopo averlo raggiunto, si espandono spostando in tal modo altra acqua. Questo spostamento causa un altro movimento. La circolazione del mare, di conseguenza, si adegua a queste condizioni in costante cambiamento e indotte dalle stagioni.

Figura 3.3 – Cartina delle correnti mediterranee nel mese di Giugno

Figura 3.4 – Cartina delle correnti mediterranee nel mese di Luglio

Figura 3.5 – Cartina delle correnti mediterranee nel mese di Agosto

Figura 3.6 – Cartina delle correnti mediterranee nel mese di Settembre

L'analisi d'insieme (riferita alla rappresentazione grafica estratta da "Atlante Tematico d'Italia" TCI, CNR – figura 3.7) mostra che, nel bacino del Mar Tirreno, i flussi delle correnti di gradiente superficiali (o di densità) sono contraddistinti da una circolazione d'insieme antioraria e pertanto lungo la penisola italiana sono diretti da Sud verso Nord. La corrente di gradiente nella zona interessata dal presente studio (Porto Marsala) lambisce le coste con correnti intermedie e di superficie, inoltre nella zona al largo del porto si osservano fenomeni di risalita di acque profonde.

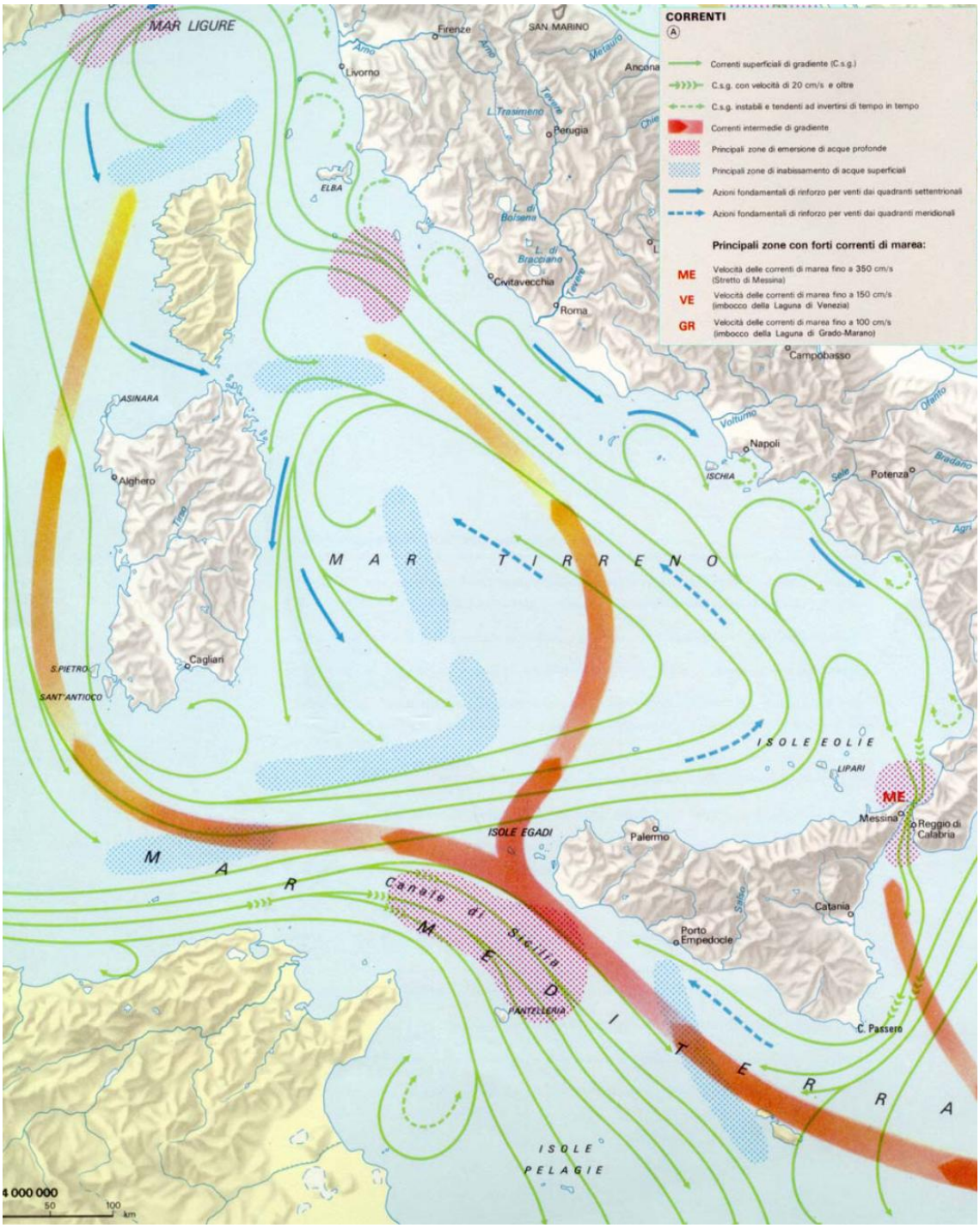


Figura 3.7 – Analisi di dettaglio delle correnti nel mare Mediterraneo.

2.6. DETERMINAZIONE DELL'ONDA DI PROGETTO

Per la progettazione dell'opera occorre determinare la durata della vita presunta in relazione al progetto e alle sue caratteristiche funzionali.

Si deve valutare quindi il livello di rischio o probabilità di superamento dell'onda di progetto, tenuto conto dei danni che tali onde possono arrecare all'opera e alla possibilità di ripristinare la normale funzionalità con operazioni di manutenzione.

La determinazione dell'onda di progetto è eseguita in funzione di un fissato tempo di ritorno T_{rp} determinato in accordo con quanto riportato nelle ***Istruzioni Tecniche per la progettazione delle dighe marittime*** redatte dal ***Ministero dei Lavori Pubblici***.

Tipo dell'opera	Livello di sicurezza richiesto		
	1	2	3
	Vita di progetto (anni)		
Infrastrutture di uso generale	25	50	100
Infrastrutture ad uso specifico	15	25	50

Tabella 1 – Durata minima di vita per opere o strutture di carattere definitivo (Tv)

Per infrastrutture di uso generale si intendono opere di difesa di complessi civili, commerciali o industriali, che non siano destinati ad un specifico scopo e per i quali non è chiaramente identificabile il termine della vita funzionale dell'opera. Per infrastrutture ad uso specifico si intendono le opere di difesa di singole installazioni industriali, di porti industriali, di depositi o piattaforme di carico e scarico, di piattaforme petrolifere, ecc.

Il livello di sicurezza 1 si riferisce ad opere o installazioni di interesse locale ed ausiliaro, comportanti un rischio minimo di perdita di vite umane o di danni ambientali in caso di collasso della stessa (difese costiere, opere in porti minori o marina, scarichi a mare, strade litoranee, ecc…).

Il livello di sicurezza 2 si riferisce ad opere ed installazioni di interesse generale, comportanti un moderato rischio di perdite di vite umane o di danni ambientali in caso di collasso dell'opera (opere di grandi porti, scarichi a mare di grandi città ecc...).

Il livello di sicurezza 3 si riferisce ad opere o installazioni per la protezione dall'inondazione, opere di interesse sopranazionale, comportanti un alto rischio di perdita di vite umane o di danno ambientale in caso di collasso della stessa (difese di centri urbani o industriali ecc…).

Nel caso in esame l'infrastruttura può essere classificata come ***Infrastruttura di uso generale*** ed essendo l'opera in progetto un "marina" che comporta un rischio minimo di perdita di vite umane in un'opera di interesse locale si assume il ***livello di sicurezza 1***.

La durata minima di vita per opere o strutture a carattere definitivo è pari a T_v = 25 anni.

Si assumeranno le probabilità corrispondenti al danneggiamento incipiente o alla distruzione totale in relazione alle deformazioni-modificazioni subite dall'opera in caso di danneggiamento ed alla difficoltà di riparare il danno subito.

Per strutture rigide (dighe a parete verticale), per le quali è estremamente difficile riparare il danno, si assume la probabilità di distruzione totale. Per le strutture flessibili o comunque per opere riparabili si assume la probabilità corrispondente al danneggiamento incipiente.

Danneggiamento incipiente

	Rischio per la vita umana	
Ripercussione economica	Limitato	Elevato
Bassa	0.50	0.30
Media	0.30	0.20
Alta	0.25	0.15

Distruzione totale

	Rischio per la vita umana	
Ripercussione economica	Limitato	Elevato
Bassa	0.20	0.15
Media	0.15	0.10
Alta	0.10	0.05

Tabella 2 – Massima probabilità di danneggiamento ammissibile nel periodo di vita operativo dell'opera (Pf)

Fissato un ***rischio di perdita di vita umana*** limitato e una ***ripercussione economica*** bassa in quanto si stima che il rapporto tra i costi diretti del danneggiamento sommati a quelli indiretti dovuti alla perdita di funzionalità delle opere protette ed il costo totale per la realizzazione dell'opera è minore di 20 essendo nel caso in esame estremamente elevato il costo dell'opera. Con tali valori si fissa $P_f = 0.20$. La combinazione del tempo di vita dell'opera T_v e della probabilità di danneggiamento P_f determina il tempo di ritorno dell'evento di progetto T_{rp} dato da

$$T_{rp} = \frac{T_v}{\left[-\ln(1-P_f)\right]}$$

per cui si ottiene $\mathbf{T_{rp}}$ **= 112 anni**. I calcoli relativi alle opere foranee saranno quindi eseguiti con valori ottenuti per un $\mathbf{T_{rp}}$ **= 120 anni**, in accordo con il paragrafo 12.1 dello Studio Idraulico Marittimo del Progetto Preliminare I02 [1].

Per le scogliere che sono opere flessibili e comunque riparabili si assume la probabilità di danneggiamento incipiente inteso come livello di danneggiamento predefinito in relazione al tipo di struttura al di sopra del quale il danno è apprezzabile e risulta necessario intervenire con lavori di manutenzione. In questo caso per rischio di vita umana limitata e per ripercussione economica bassa si ha un valore $P_f = 0.50$ per cui si ottiene $T_{rp} = 36$ anni per cui si assume **un** $\mathbf{T_{rp}}$ **= 50 anni**. I tempi di ritorno scelti sono ampiamente cautelativi rispetto alle opere oggetto di studio.

2.7. VARIAZIONE DEL LIVELLO MARINO (MAREE, SOVRALZI)

2.7.1. PREMESSA

Prima di effettuare la propagazione delle onde dal largo verso la costa risulta necessario valutare il sovralzo del livello idrico, in quanto questo comporta una diversa propagazione dell'onda stessa. Tali livelli infatti influenzano la propagazione delle onde e possono risultare in alcuni casi molto più gravosi rispetto alle onde riferite al l.m.m..

I livelli idrici sono in genere condizionati:

- dalla marea astronomica,
- dallo *storm surge*, che consiste nella combinazione di diversi effetti climatici connessi alla generazione di onde estreme, tra cui il sovralzo barico, il sovralzo dovuto al vento, e al moto ondoso.

Nei paragrafi successivi si analizzeranno nel dettaglio tutti i fenomeni che compongono il sovralzo.

2.7.2. SOVRALZO DI MEREA (SM)

La conoscenza delle massime variazioni quasi-statiche del livello marino, dovute a cause diverse (principalmente marea astronomica e "meteorologica"), è necessaria per molteplici scopi quali: la corretta progettazione delle quote da assegnare alle opere di progetto. In generale per quanto riguarda le variazioni a breve termine, periodiche e non, occorre distinguere gli effetti della marea astronomica da quelli della marea "meteorologica" (indotta essenzialmente dall'azione del vento e dalle variazioni di pressione atmosferica). La marea astronomica trattata in questo paragrafo, nella zona

ove ricade il paraggio costiero del porto di Marsala, registra escursioni del livello del mare importanti; per la stima della componente oscillatoria della marea astronomica le ampiezze ed i tempi di marea sono prevedibili per alcuni porti principali italiani in funzione delle "Tavole di Marea" pubblicate annualmente dall'Ufficio Idrografico della Marina Militare; per il caso in esame si possono utilizzare i dati forniti nelle previsioni di alte e basse maree edite dall'ISPRA. L'andamento temporale risultante è di tipo semidiurno (periodo 12 ore) con due alte maree e due basse maree al giorno di ampiezza diversa. Le escursioni di marea astronomica sono contraddistinte da una periodicità bisettimanale distinta nelle fasi di sizigie (luna piena e nuova) e di quadratura. Nei periodi sizigiali si verificano i massimi dislivelli positivi e negativi che raggiungono valori di circa **+0.18 m e -0.12 m** rispetto al livello medio marino. Si assume come sovralzo di marea Sm = 0.18 m

2.7.3. SOVRALZO E ABBASSAMENTO BARICO (SB)

Tale fenomeno è legato al passaggio dei cicloni e degli anticicloni, e in genere, ad ogni mbar di depressione o sovrappressione rispetto al valore di riferimento (pressione atmosferica) di 760 mmHg (~1013 mb) corrisponde un innalzamento o abbassamento di circa 1 cm.

Analizzando i dati di pressione e di l.m.m. riportati dall'ISPRA per il mareografo di Porto Empedocle, si evince che il valore minimo di pressione registrato risulta di 990 mbar; a questo ne consegue un sovralzo, relativo a una differenza di pressione di 23 mbar, di circa +23 cm. La pressione massima registrata risulta di 1040 mbar, a cui corrisponde un abbassamento barico, relativo a una differenza di pressione di 27 mbar, di circa -27 cm. **Si assume come sovralzo barico Sb = 0.23 m.** Il livello medio del mare riportato nelle tabelle presenti negli archivi ISPRA porta ad un innalzamento e un abbassamento del l.m.m. di ±0.40 m. Tale valore però è la somma della marea astronomica e della componente barica e quindi in perfetto accordo con i calcoli effettuati nel paragrafo 2.7.2. e 2.7.3.

2.7.4. SOVRALZO DOVUTO AI VENTI DI MARE (SV)

Tale valore può essere calcolato mediante la relazione implicita, riportata sotto, che lega il sopralzo S(m) alla velocità del vento U(m/s), all'accelerazione di gravità g(m/s^2), alla profondità d(m) del fondale marino, all'estensione della piattaforma continentale

Lp(m) e alla profondità D(m) della piattaforma stessa. La costante Kp assume il valore di 3 10^{-6}.

$$S = \frac{K_p \cdot L_p \cdot U^2}{g(D - d - S)} \ln\left(\frac{D}{d + S}\right)$$

La profondità D=150 m che individua la piattaforma continentale si trova a circa 17000 m di distanza dal porto di Marsala. Il valore di profondità d da inserire nella formula è a vantaggio di sicurezza 0,00 m sul l.m.m. Le velocità del vento sono prese dalle elaborazioni dei dati di vento del punto Medatlas per il settore 15 posto a 217.5° e cioè perpendicolare al tratto terminale del molo Colombo. Immettendo i dati sopra esposti in funzione del tempo di ritorno si calcola il sovralzo dovuto ai venti di mare esposti nella tabella 3.

Tr (anni)	Sv (m)
5	0,047
10	0,059
50	0,096
100	0,115
120	0,120

Tabella 3 – Aliquota di storm surge relativa al vento di mare (Sv).

2.7.5. SOVRALZO DOVUTO AL MOTO ONDOSO (Sw)

Il sovralzo del livello medio del mare, dovuto solo all'effetto del moto ondoso, che si verifica nella zona di mare compresa tra la linea dei frangenti e la linea di riva, prende il nome di *wawe set up*. Tale sovralzo è dovuto alla trasformazione dell'energia cinetica del moto ondoso in energia potenziale, necessaria per alimentare le correnti di ritorno delle masse d'acqua verso il largo.

Osservazioni sperimentali, in natura e in laboratorio, hanno mostrato che si verifica un abbassamento del livello medio marino (*set down*) in prossimità della linea dei frangenti, il cui valore, ricavato con la teoria dell'onda solitaria, è dato da:

$$Sw = -\frac{0.536 \cdot Hb^{3/2}}{\sqrt{g}\, T}$$

Dove Hb è l'altezza dell'onda al frangimento, g l'accelerazione di gravità e T il periodo.

L'innalzamento tra la zona dei frangenti e la linea di riva risulta invece $\Delta s=0.15d_b$, quindi l'intero sovralzo tra la fascia dei frangenti e la linea di riva risulta:

$$Sw = 0.15d_b - \frac{0.536 \cdot Hb^{3/2}}{\sqrt{g}\,T}$$

Tale valore viene calcolato direttamente dal software MIKE 21 all'interno del modulo idrodinamico. Per cui questo valore non viene inserito nel calcolo dello storm surge.

2.7.6. SOVRALZO GLOBALE PER CAMBIAMENTI CLIMATICI (SCC)

Le attuali proiezioni prevedono un progressivo innalzamento del livello marino dovuto all'incremento di temperatura terrestre, stimabile in 30 cm nei prossimi 50 anni. Alcuni studi più conservativi stimano l'incremento in 10 cm nei prossimi 100 anni, mentre secondo una ricerca condotta dall'Istituto Spagnolo di Oceanografia il livello del Mar Mediterraneo sarebbe addirittura raddoppiato negli ultimi dieci anni, subendo una "brusca accelerazione". Lo studio raccoglie per la prima volta dati oceanografici e atmosferici dal 1948 al 2008 e applica un sistema di osservazione pioniere in Europa, in grado di analizzare le oscillazioni periodiche del livello del mare. Nel corso del XX secolo il livello del mare è cresciuto di 20 cm: dal 1943 il ritmo di innalzamento è stato di 1/1,25 mm all'anno ma nell'ultimo decennio è raddoppiato, attestandosi sui 3mm all'anno. Tale stima comporta un innalzamento di 30 cm nei prossimi 100 anni.

Analizzando i dati riportati da diversi studi non è possibile effettuare una stima ben precisa dell'innalzamento in funzione del numero degli anni, di conseguenza in questo studio si considererà la media tra gli innalzamenti sopra riportati e cioè di 3.3 mm/anno. Tale considerazione comporta i seguenti innalzamenti in funzione del tempo come esposto nella tabella 4:

t	Scc (m)
0	0,000
20	0,066
40	0,132
60	0,198
80	0,264
100	0,330
120	0,396

Tabella 4 – Aliquota di innalzamento relativa al cambiamento climatico Scc.

2.7.7. CALCOLO DELLO STORM SURGE (SS)

Calcolati gli innalzamenti per ogni singolo fenomeno astronomico e climatico, è possibile calcolare il massimo sovralzo lungo riva sommando tutti i diversi contributi di oscillazione del livello marino. In questo studio data l'importanza dell'opera si considera che possa avvenire la contemporaneità dei singoli eventi. Per tale motivo il sovralzo totale (*storm surge*) si ottiene dalla somma dei diversi contributi climatici come riportato nella tabella 5.

In particolare nella tabella, lo storm surge (SS) è dato dalla somma delle componenti climatiche pressione (Sb) e vento (Sv), mentre il sovralzo totale, Stot è dato dalla somma dello storm surge con la componente di marea (Sm) e la componente relativa ai cambiamenti climatici (Scc). In particolare nelle tabelle 5°-b-c, si riporta l'aliquota del sovralzo in funzione del tempo di ritorno Tr e in funzione del tempo t in cui si vuole effettuare la verifica in quanto tale tempo influenza il sovralzo per cambiamenti climatici.

Calcolo Sovralzo - cambiamenti climatici a t=0 anni						
Tr (anni)	Sb (m)	Sv (m)	SS (m)	Sm (m)	Scc (m)	Stot
5	0,23	0,047	0,28	0,18	0,00	0,46
10	0,23	0,059	0,29	0,18	0,00	0,47
50	0,23	0,096	0,33	0,18	0,00	0,51
100	0,23	0,115	0,35	0,18	0,00	0,53
120	0,23	0,120	0,35	0,18	0,00	0,53

Tabella 5a – Aliquote componenti il sovralzo totale – t=0 anni

Calcolo Sovralzo - cambiamenti climatici a t=60 anni						
Tr (anni)	Sb (m)	Sv (m)	SS (m)	Sm (m)	Scc (m)	Stot
5	0,23	0,047	0,28	0,18	0,198	0,66
10	0,23	0,059	0,29	0,18	0,198	0,67
50	0,23	0,096	0,33	0,18	0,198	0,70
100	0,23	0,115	0,35	0,18	0,198	0,72
120	0,23	0,120	0,35	0,18	0,198	0,73

Tabella 6b – Aliquote componenti il sovralzo totale –t=60 anni

Calcolo Sovralzo - cambiamenti climatici a t=120 anni						
Tr (anni)	Sb (m)	Sv (m)	SS (m)	Sm (m)	Scc (m)	Stot
5	0,23	0,047	0,28	0,18	0,396	0,85
10	0,23	0,059	0,29	0,18	0,396	0,87
50	0,23	0,096	0,33	0,18	0,396	0,90
100	0,23	0,115	0,35	0,18	0,396	0,92
120	0,23	0,120	0,35	0,18	0,396	0,93

Tabella 7c – Aliquote componenti il sovralzo totale t=120 anni

2.8. VARIAZIONE DELLA VELOCITA' DEL VENTO CON LA QUOTA

L'equazione che rappresenta l'andamento del vento con la quota comunemente adottata è di tipo logaritmico. La presenza stessa delle onde esercita una notevole influenza nella distribuzione della velocità, almeno nello strato più basso, particolarmente quando l'altezza d'onda significativa raggiunge o supera i 5 m. Da ciò consegue, ove si voglia tenere conto della riduzione della velocità del vento con la quota, che è opportuno considerare come valore della velocità del vento corrispondente alla superficie del mare, quella corrispondente ai 10 m di quota.

I dati relativi alla velocità del vento sono riportati a quota +10 m s.l.m.m. Nel caso in cui i valori sono riferiti ad una stazione posta ad una certa quota y s.l.m.m. occorre adottare per riportare la velocità del vento a + 10 m le seguenti espressioni indicate da Franco, Pagani, Togna (1982):

U(y)=U(10)+U(10)^(5/4)*0.056*Ln(y/10) per U<27.04 nodi

U(y)=U(10)*(1+0.1275*Ln(y/10) per U>27.04 nodi

dove y è la quota di rilevamento del vento, U(y) e U(10) le velocità del vento rispettivamente alla quota y ed a 10 m sul l.m.m. espresse in nodi.

2.9. ELABORAZIONE STATISTICA DEI DATI DI VENTO

L'indagine sin qui eseguita, pur evidenziando le caratteristiche del vento nella zona in esame, nulla dice sulla distribuzione degli eventi ed in particolare sui tempi di ritorno con cui tenderebbero a manifestarsi. Il vento, come tutti gli eventi meteorologici determinati da una grande serie di dati, può considerarsi un fenomeno stocastico; gli eventi si ipotizzano indipendenti e quindi elaborabili con il metodo delle probabilità.

Si tratta quindi di ricavare le equazioni di probabilità la cui distribuzione statistica risulti da un numero sufficiente di osservazioni e che consente, almeno teoricamente, estrapolazioni aldilà del limite stesso delle osservazioni.

In altri termini la distribuzione degli eventi storici deve essere ampliata statisticamente al fine di ottenere un numero di eventi sufficientemente grande da potere ritenere la frequenza di un certo evento come un valore approssimato della sua probabilità.

I metodi applicati sono quelli della regressione statistica di Gumbel e della regressione statistica di Weibull.

Il sito, come sarà meglio specificato di seguito ha un settore geografico di traversia che risulta compreso tra 160° N e 340° N per cui i settori che devono essere esaminati sono quelli che vanno dal settore 11 al settore 23. Di seguito si riportano, per tali settori, il numero e le percentuali di apparizione dei dati di sintesi di vento ordinati per opportuni intervalli di velocità, espressa in m/sec (**Tabella 8**).

NUMERO DI APPARIZIONI DATI DI VENTO PER IL PARAGGIO IN ESAME														
DIREZIONE	**157,5°**	**172,5°**	**187,5°**	**202,5°**	**217,5°**	**232,5°**	**247,5°**	**262,5°**	**277,5°**	**292,5°**	**307,5°**	**322,5°**	**337,5°**	
SETTORE	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**TOTALE**
V = 20 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
V = 18 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
V = 16 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0	8	15	7	0	0	**30**
V = 14 m/s	22	7	0	0	0	0	0	15	36	44	30	22	22	**198**
V = 12 m/s	59	66	37	7	0	8	29	59	88	95	66	44	37	**595**
V = 10 m/s	81	81	44	22	15	15	29	74	125	132	88	51	44	**801**
V = 9 m/s	73	74	44	22	22	29	36	66	103	110	81	44	29	**733**
V = 8 m/s	73	81	51	22	22	29	36	74	110	117	110	81	44	**850**
V = 7 m/s	96	95	74	44	29	29	44	73	125	146	125	95	66	**1041**
V = 6 m/s	103	102	74	44	44	59	73	103	132	147	139	118	95	**1233**
V = 5 m/s	96	95	74	51	52	59	73	96	117	140	147	139	118	**1257**
V = 4 m/s	88	95	74	51	52	66	73	73	95	124	125	139	154	**1209**
V = 3 m/s	73	80	74	59	59	59	66	80	96	103	103	110	117	**1079**
V = 2 m/s	51	44	44	44	44	44	44	52	59	59	73	81	80	**719**
V = 1 m/s	37	29	36	37	29	36	44	44	44	37	36	44	44	**497**
TOTALE	**852**	**849**	**626**	**403**	**368**	**433**	**547**	**809**	**1138**	**1269**	**1130**	**968**	**850**	**10242**
PERCENTUALI DI APPARIZIONE DATI DI VENTO PER IL PARAGGIO IN ESAME - 70,1% DEL TOTALE														
DIREZIONE	**157,5°**	**172,5°**	**187,5°**	**202,5°**	**217,5°**	**232,5°**	**247,5°**	**262,5°**	**277,5°**	**292,5°**	**307,5°**	**322,5°**	**337,5°**	
SETTORE	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**TOTALE**
V = 20 m/s	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	**0,0%**
V = 18 m/s	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	**0,0%**
V = 16 m/s	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,08%	0,15%	0,07%	0,00%	0,00%	**0,3%**
V = 14 m/s	0,21%	0,07%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,15%	0,35%	0,43%	0,29%	0,21%	0,21%	**1,9%**
V = 12 m/s	0,58%	0,64%	0,36%	0,07%	0,00%	0,08%	0,28%	0,58%	0,86%	0,93%	0,64%	0,43%	0,36%	**5,8%**
V = 10 m/s	0,79%	0,79%	0,43%	0,21%	0,15%	0,15%	0,28%	0,72%	1,22%	1,29%	0,86%	0,50%	0,43%	**7,8%**
V = 9 m/s	0,71%	0,72%	0,43%	0,21%	0,21%	0,28%	0,35%	0,64%	1,01%	1,07%	0,79%	0,43%	0,28%	**7,2%**
V = 8 m/s	0,71%	0,79%	0,50%	0,21%	0,21%	0,28%	0,35%	0,72%	1,07%	1,14%	1,07%	0,79%	0,43%	**8,3%**
V = 7 m/s	0,94%	0,93%	0,72%	0,43%	0,28%	0,28%	0,43%	0,71%	1,22%	1,43%	1,22%	0,93%	0,64%	**10,2%**
V = 6 m/s	1,01%	1,00%	0,72%	0,43%	0,43%	0,58%	0,71%	1,01%	1,29%	1,44%	1,36%	1,15%	0,93%	**12,0%**
V = 5 m/s	0,94%	0,93%	0,72%	0,50%	0,51%	0,58%	0,71%	0,94%	1,14%	1,37%	1,44%	1,36%	1,15%	**12,3%**
V = 4 m/s	0,86%	0,93%	0,72%	0,50%	0,51%	0,64%	0,71%	0,71%	0,93%	1,21%	1,22%	1,36%	1,50%	**11,8%**
V = 3 m/s	0,71%	0,78%	0,72%	0,58%	0,58%	0,58%	0,64%	0,78%	0,94%	1,01%	1,01%	1,07%	1,14%	**10,5%**
V = 2 m/s	0,50%	0,43%	0,43%	0,43%	0,43%	0,43%	0,43%	0,51%	0,58%	0,58%	0,71%	0,79%	0,78%	**7,0%**
V = 1 m/s	0,36%	0,28%	0,35%	0,36%	0,28%	0,35%	0,43%	0,43%	0,43%	0,36%	0,35%	0,43%	0,43%	**4,9%**
TOTALE	**8,3%**	**8,3%**	**6,1%**	**3,9%**	**3,6%**	**4,2%**	**5,3%**	**7,9%**	**11,1%**	**12,4%**	**11,0%**	**9,5%**	**8,3%**	**100,0%**

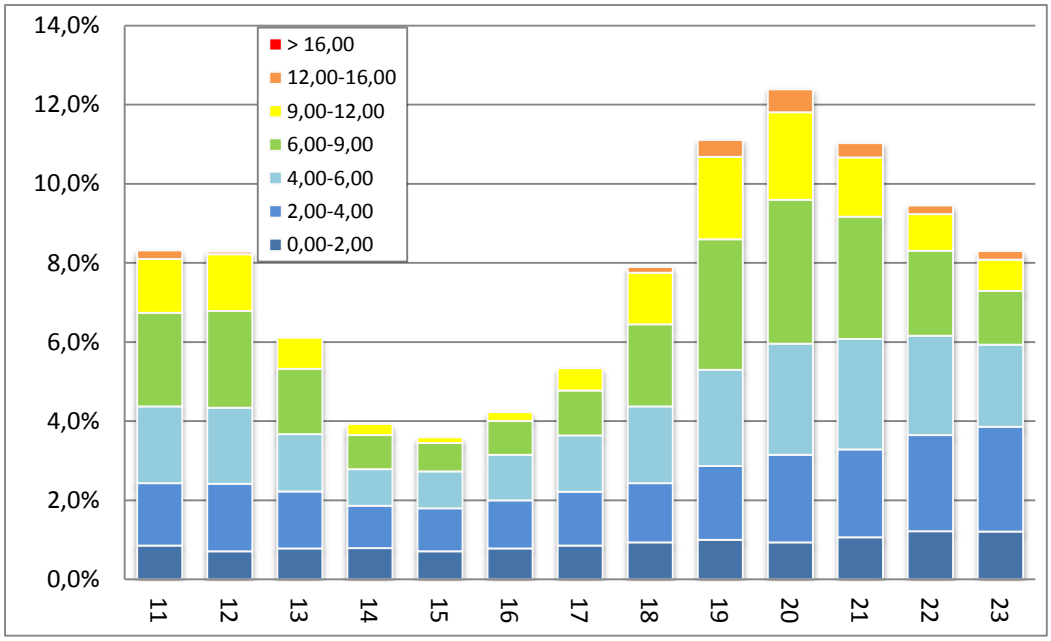


Tabella 8 – Apparizioni dei dati di vento (m/sec) per il punto MedAtlas adottato (38N,12E)

Conoscendo i dati relativi alle distribuzioni delle frequenza annuali per i vari settori, si ricavano il numero degli eventi per i vari intervalli di velocità del vento e quindi la funzione distribuzione cumulata di x, P(x).

Se x è la variabile stocastica da associare ai valori massimi di vento, è possibile dimostrare con la teoria di Gumbel che la funzione di distribuzione cumulata di x è esprimibile con:

$$P(x) = e^{-e^{-((x-b)/a)}} \qquad (2.1)$$

dove a e b sono dei parametri. Introducendo la variabile ridotta y, tale che sia:

$$x = a*y+b \qquad (2.2)$$

la (2.1) si può esplicitare in funzione di y:

$$y = - \ln(-\ln(P(x))) \qquad (2.3)$$

Il problema dell'adattamento della legge di Gumbel ai dati osservati consiste nel trovare i parametri a e b tali che la retta definita dall'equazione (2.2) interpoli al meglio le coppie di punti che hanno per ordinate le y soluzioni dell'equazione:

$$P(x) = e\text{^-}e\text{^-}y \qquad (2.4)$$

Determinata la funzione di distribuzione cumulata P(x) dei massimi annuali di altezza significativa d'onda, è possibile estrapolare i valori corrispondenti a tempi di ritorno Tr superiori a quelli della serie storica disponibile utilizzando la relazione:

$$P(x) = 1\text{-}1/(\lambda Tr) \qquad (2.5)$$

in cui $\lambda = N_T/K$ essendo N_T il numero degli eventi e K la lunghezza della registrazione in anni.

Facendo riferimento alla distribuzione di Weibull l'espressione (2.1) diventa:

$$P(x) = 1\text{-}e\text{^-}((x\text{-}b)/a)^k) \qquad (2.6)$$

in cui k è il parametro di forma che può assumere i valori di 0.75, 1.00, 1.40, 2.00. Il valore di k viene scelto in modo da massimizzare il valore dell'altezza dell'onda o della velocità del vento.

La variabile ridotta è data da

$$y = [-\ln(1\text{-}P(x))]^{(1/k)} \qquad (2.7)$$

Determinati i valori a e b fissato un determinato valore di k in funzione di Tr si determina P(x) e quindi y e dalla 2.2 il valore della variabile stocastica che nel caso in esame rappresenta la velocità del vento. In primo luogo vengono eseguite le analisi statistiche dei dati della velocità del vento per i settori in esame per cui di seguito si riportano i grafici della distribuzione di Gumbel e di Weibull per i settori che vanno da 11 a 23. I grafici sono riportati nelle Figura 4a-o. I dati si riferiscono all'intero anno e sono stati desunti dalla tabella contenuta nel par. 2.4.1.

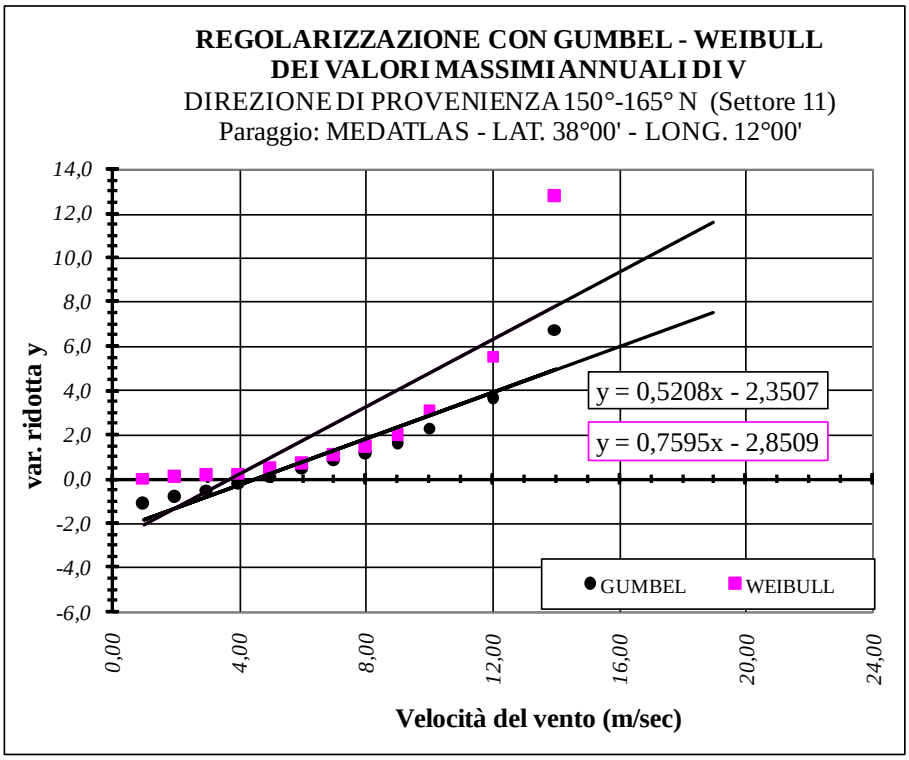


Figura 4a – Distribuzione di Gumbel – Weibull – Settore 11

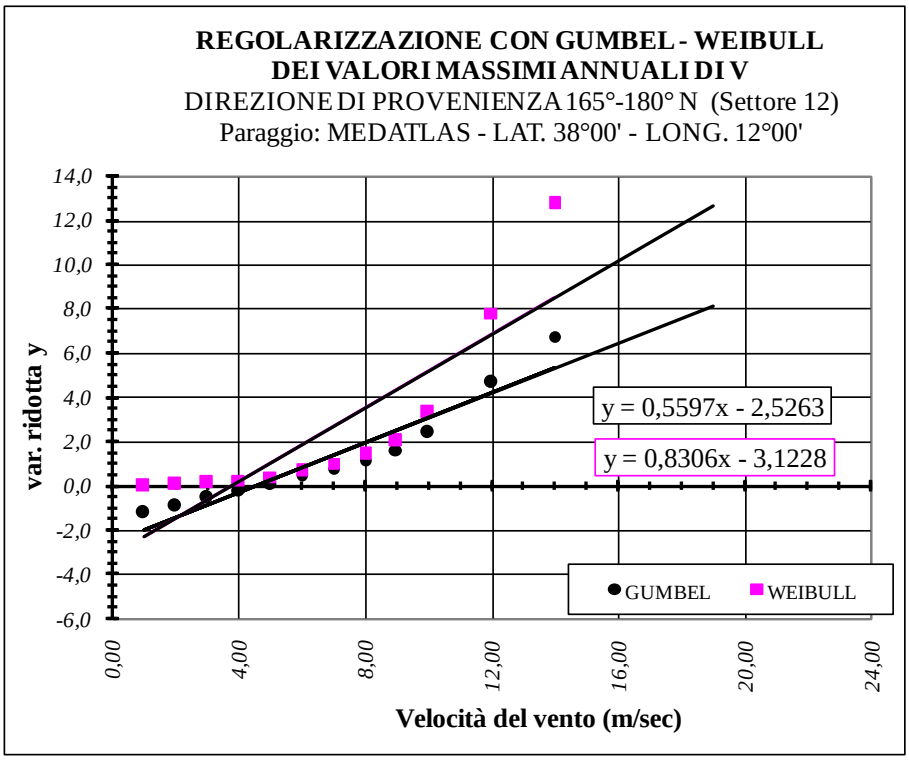


Figura 4b– Distribuzione di Gumbel – Weibull settore 12

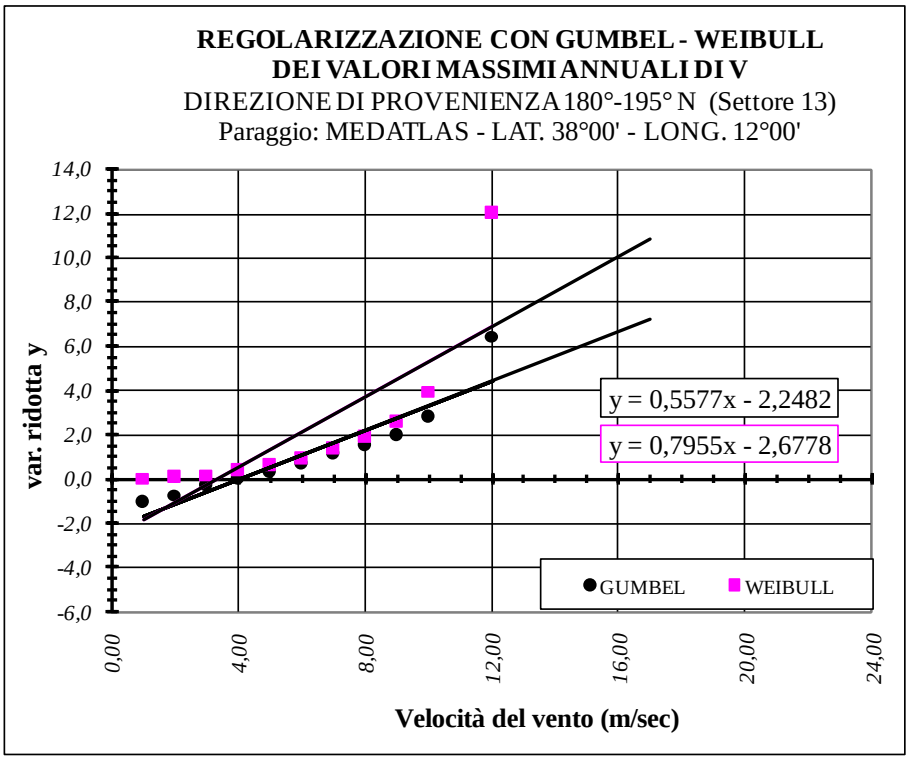


Figura 4c– Distribuzione di Gumbel – Weibull settore 13

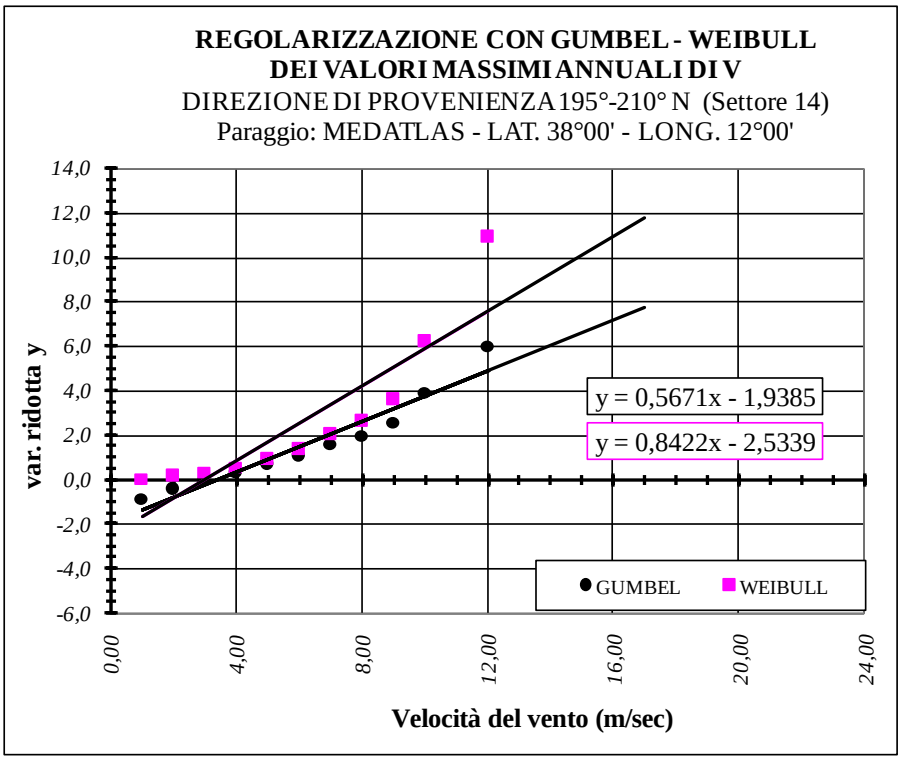


Figura 4d– Distribuzione di Gumbel – Weibull settore 14

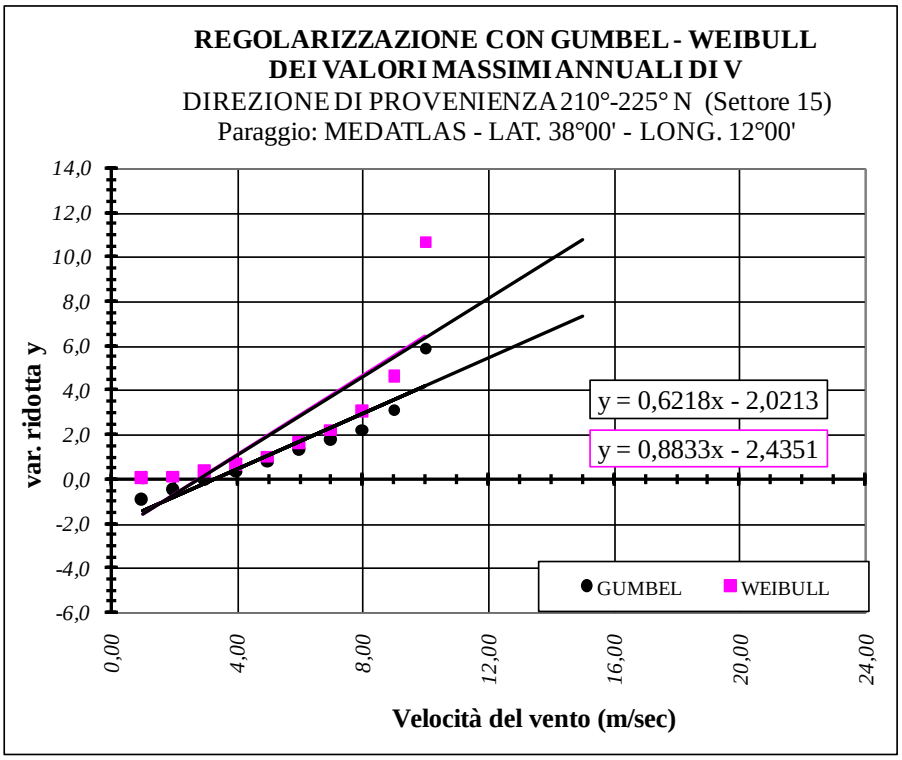


Figura 4e– Distribuzione di Gumbel – Weibull settore 15

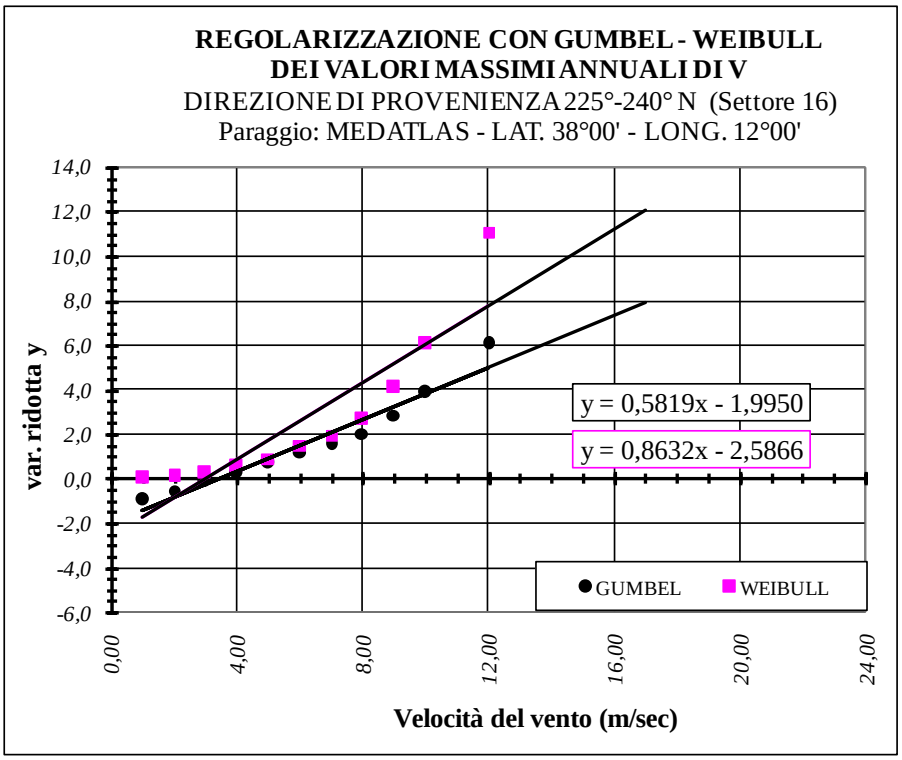


Figura 4f– Distribuzione di Gumbel – Weibull settore 16

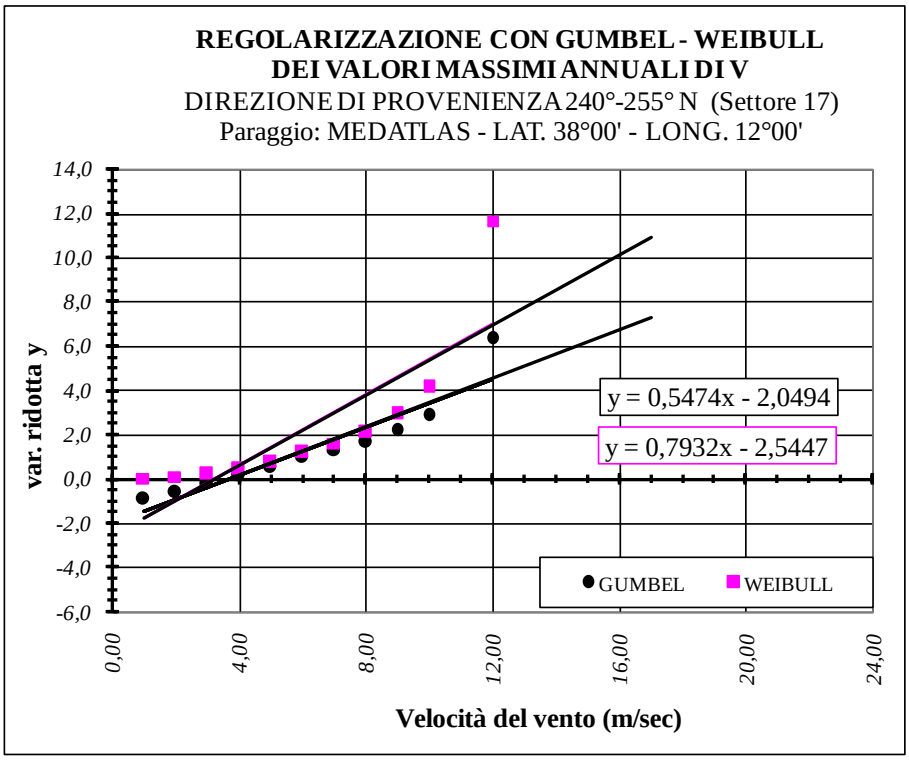


Figura 4g– Distribuzione di Gumbel – Weibull settore 17

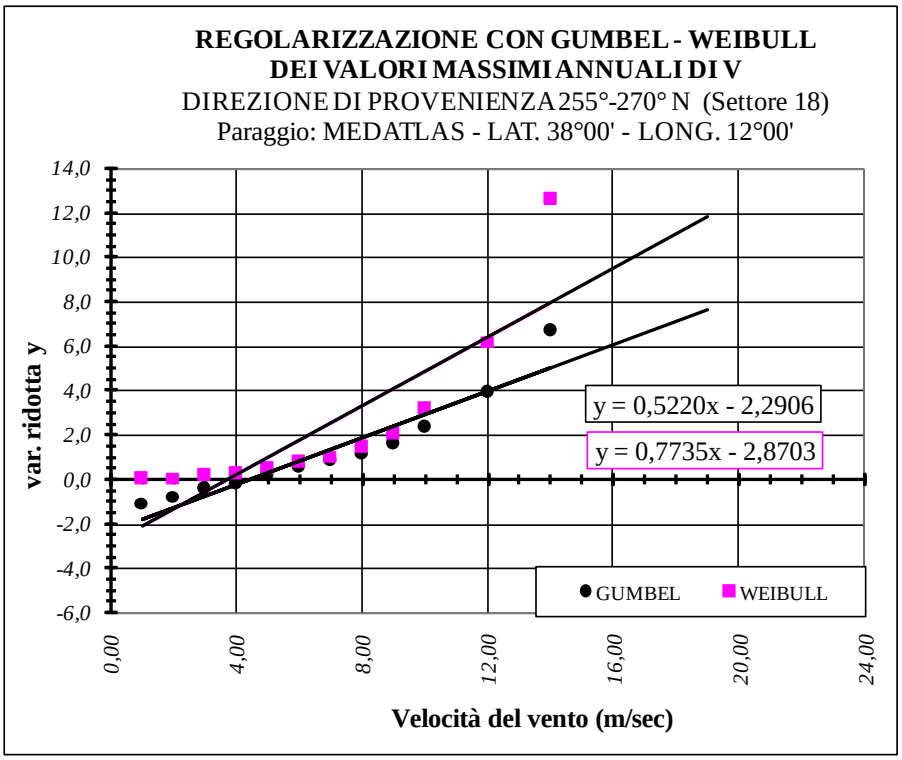


Figura 4h– Distribuzione di Gumbel – Weibull settore 18

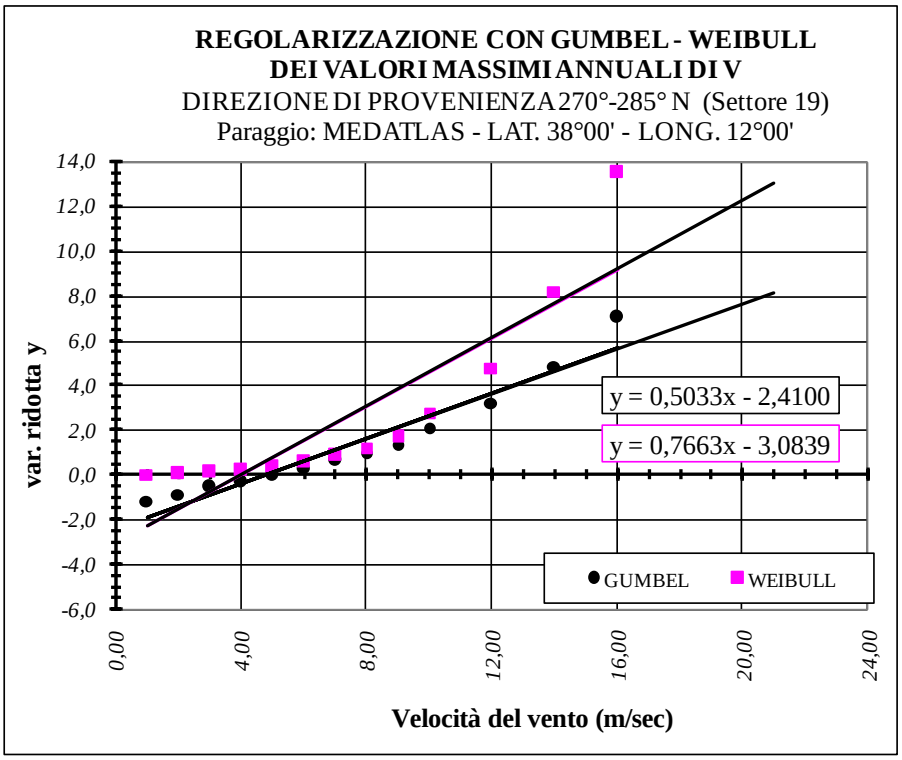


Figura 4i– Distribuzione di Gumbel – Weibull settore 19

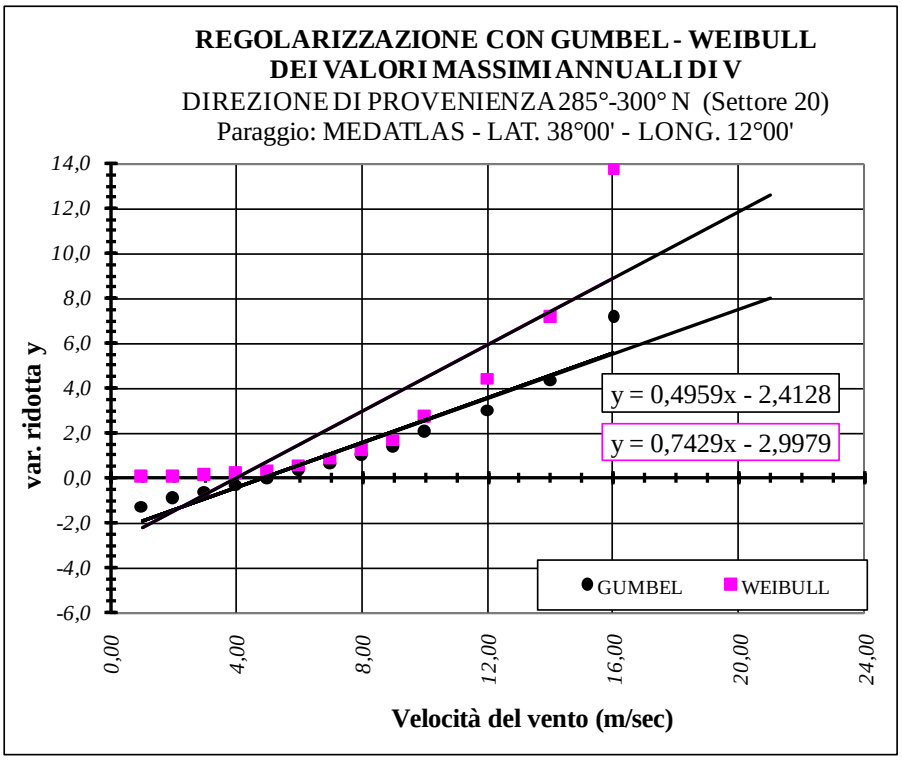


Figura 4l– Distribuzione di Gumbel – Weibull settore 20

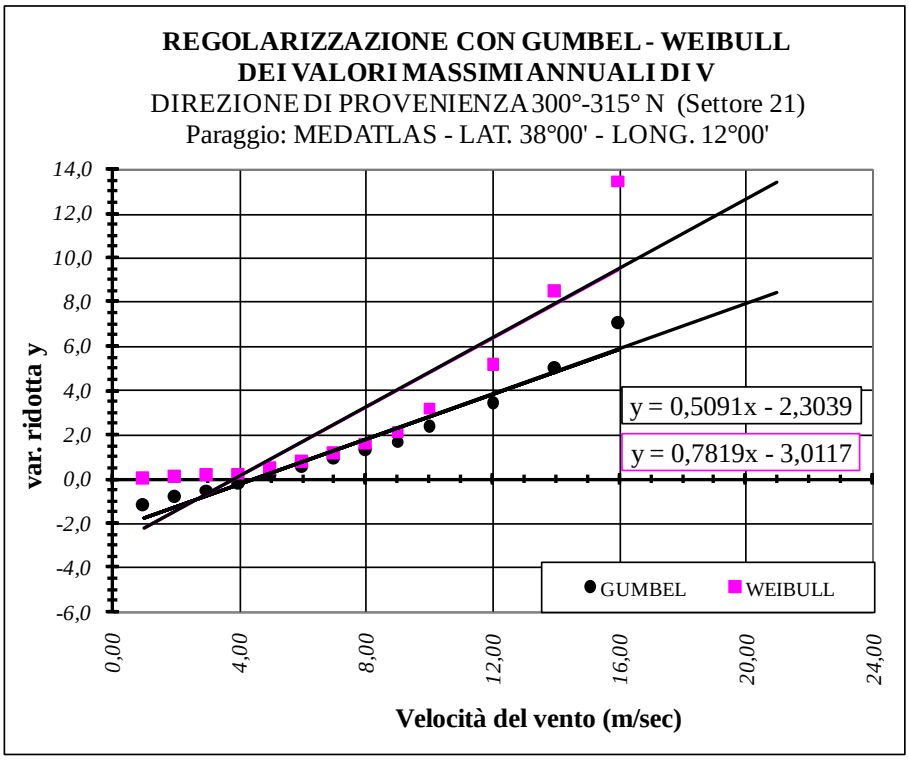


Figura 4m– Distribuzione di Gumbel – Weibull settore 21

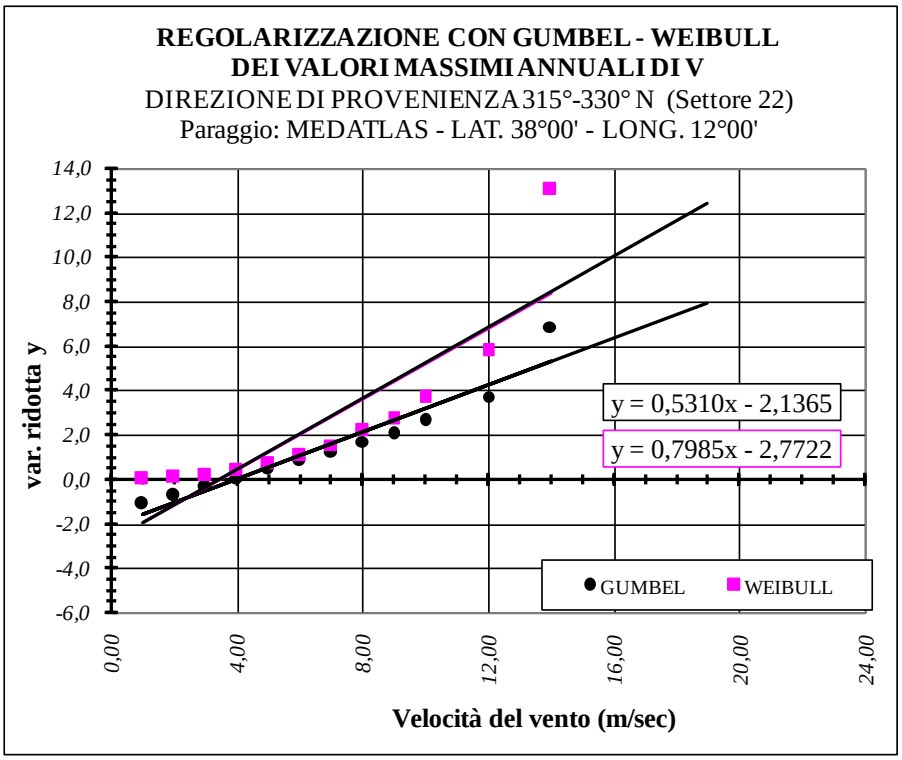


Figura 4n– Distribuzione di Gumbel – Weibull settore 22

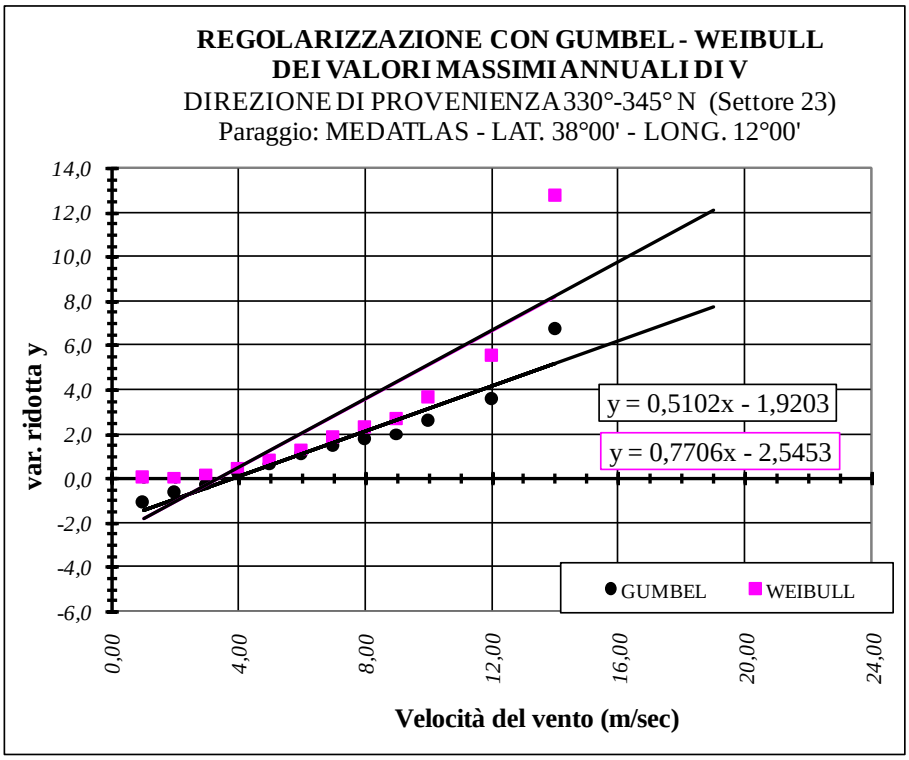


Figura 4o– Distribuzione di Gumbel – Weibull settore 23

2.10. PREVISIONE DEL MOTO ONDOSO AL LARGO

L'individuazione del settore geografico di traversia che sottende il paraggio in esame è stato eseguito sulle carte dell'Istituto Idrografico della Marina ed esso risulta compreso nelle direzioni 160° N e 340° N. Si sono ricavate quindi le distanze di mare libero per le varie direzioni suddividendo il settore geografico di traversia in angoli di 5°.

Le onde che si muovono nell'area di generazione possono propagarsi secondo direzioni diverse da quelle cui spira il vento; tale circostanza è dovuta alla capacità del vento di trasmettere la propria energia non solo secondo la direzione del treno d'onde generato, ma anche secondo direzioni prossime a questa.

E' stato dimostrato, sulla scorta di studi sia teorici che sperimentali, che tale trasferimento di energia avviene secondo tutte le direzioni che, con quella del vento stessa formano un angolo $\alpha <= 45°$. Il moto ondoso di un determinato paraggio può dunque essere generato anche da venti esterni al settore di traversia fino ad una direzione di 45° rispetto ad uno degli estremi del settore stesso.

Per la previsione del moto ondoso è necessario quindi conoscere, oltre la frequenza del fetch secondo la direzione del vento anche quella secondo le direzioni vicine; è necessario cioè determinare il fetch effettivo, intendendo con questo quella lunghezza che tiene conto di tali apporti laterali di energia.

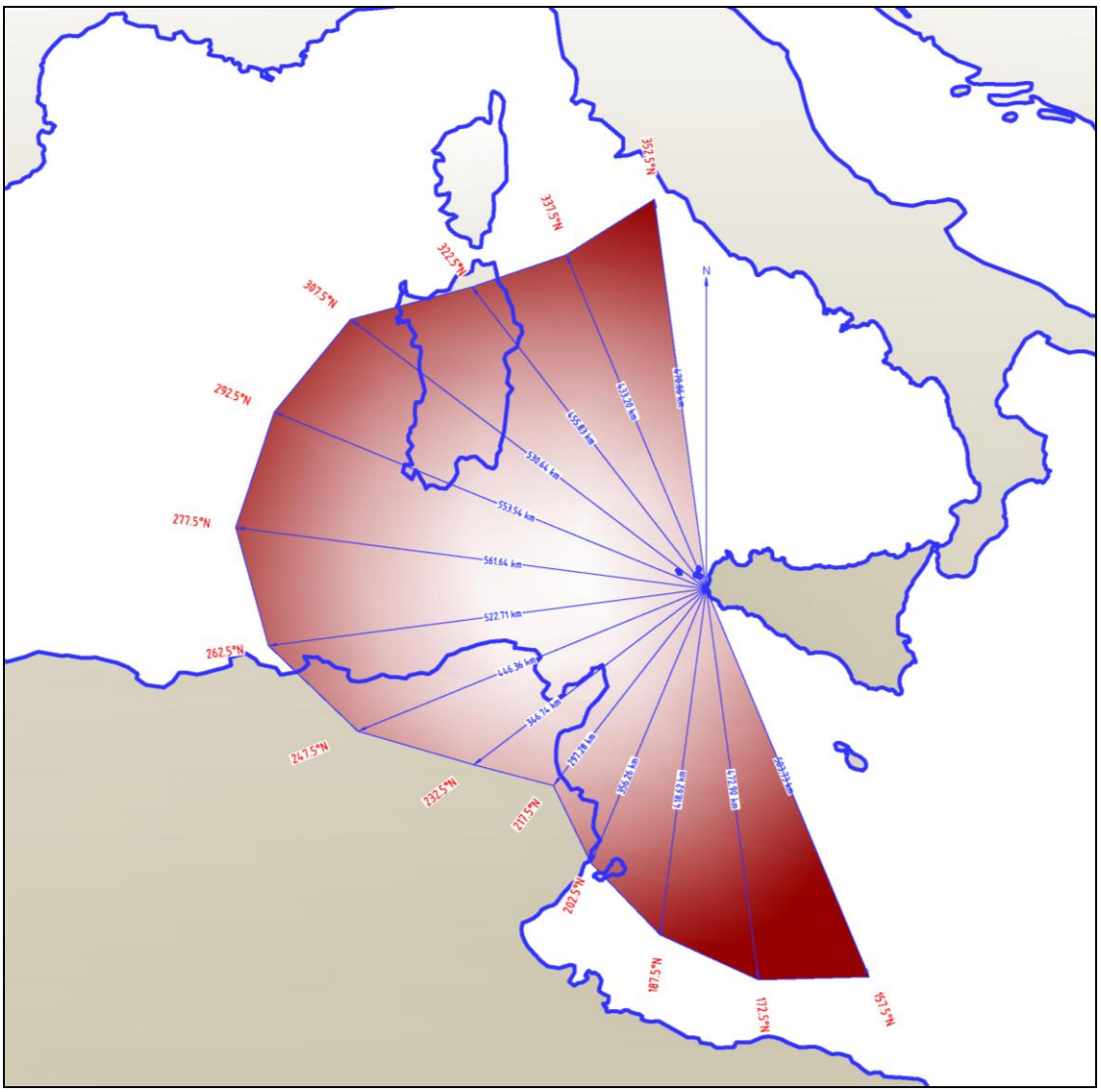


Figura 5 - Fetches efficaci relativi al paraggio

Si è suddiviso pertanto il settore di apertura pari a $2\alpha = 90°$, simmetrico rispetto alla direzione del vento, in parti di eguale ampiezza $\delta\alpha$, arbitraria ma compresa tra 5° e 10°.

Per la determinazione dei "*fetches efficaci*" si fa riferimento alla relazione:

$$F_{eff}(\beta_m) = \Sigma[F_g(\beta_i)*\cos^3(\beta_i-\beta_m)]/\Sigma \cos^2(\beta_i-\beta_m) \qquad (2.8)$$

con le sommatorie estese da β_m-45° a β_m+45° e con

- β_m = direzione principale considerata rispetto al Nord
- β_i = generica direzione principale corrente rispetto al Nord
- F_g = fetch geografico

Nella Figura 3 sono rappresentati i fetches geografici del paraggio. Applicando l'equazione (2.8) si determinano i fetches efficaci, riportati per le varie direzioni nella Figura 5. Si nota come la determinazione dei fetches effettivi diminuisca il valore del

fetch geografico per le direzioni in cui questo risulta grande e aumenti quello nelle direzioni in cui risulti piccolo realizzando una uniformazione delle lunghezze.

I valori dei fetches geografici e dei fetches efficaci ottenuti sono sintetizzati nella Tabella 9:

Settore	Gradi	F.Geo. (km)	F. Eff (km)
11	157,50°	622,56	503,73
12	172,50°	552,34	472,90
13	187,50°	526,31	418,62
14	202,50	480,87	356,26
15	217,50°	286,12	297,28
16	232,50°	157,82	346,74
17	247,50°	223,66	446,36
18	262,50	471,90	522,71
19	277,50	1180,75	561,64
20	292,50°	352,36	553,54
21	307,50°	297,84	530,64
22	322,50°	367,81	455,83
23	337,50°	559,99	433,20

Tabella 9 – Fetches geografici e fetches efficaci – località Marsala

2.11. CARATTERISTICHE DELL'ONDA SIGNIFICATIVA AL LARGO

Per la previsione del moto ondoso al largo si è utilizzato il metodo di Sverdrup-Munch e Bretshineider (SMB) con il quale è stato possibile ricavare l'altezza Hs e il periodo di picco Tp per ogni valore del fetch F, della velocità del vento V, della durata t in funzione del tempo di ritorno Tr.

Si sono considerate i settori compresi tra l'11 e il 23 e per ognuno di essi si sono considerate le velocità del vento in funzione ai tempi di ritorno Tr = 5, 10, 50, 100, 120 anni. Le previsioni pervengono alla valutazione dell'altezza d'onda significativa $H_{1/3}$ cioè al valore medio dell'altezza raggiunte dal terzo delle onde più alte che compongono il treno d'onda e al periodo di picco che è quello corrispondente alla frequenza dominante, frequenza in corrispondenza della quale si ha il picco massimo dello spettro. Il periodo significativo è il valore medio dei periodi di quelle onde significative.

Si osserva che le massime condizioni di sviluppo delle caratteristiche del moto ondoso

non si presentano necessariamente in corrispondenza delle massime velocità del vento. Al crescere della velocità del vento diminuisce infatti la sua durata ed é il più condizionante dei due parametri a limitare lo sviluppo del fenomeno.

Nella tabella seguente sono riportati, per i vari settori e per i tempi di ritorno esaminati, i valori di Hs, altezza d'onda significativa a largo, il valore di Tp periodo di picco dell'onda e si può determinare il valore della lunghezza d'onda L_0. I dati assunti sono i massimi presi tra la distribuzione dei massimi di Gumbel e di Weibull. Per il valore di Ts, valore significativo del periodo, si può adottare una formula analoga a quella proposta da Bretschneider adattata alle condizioni del moto ondoso nel Mediterraneo in base a misure sperimentali data da

$$Ts = 4.06*Hs^{0.513} \qquad (2.9)$$

Per la lunghezza d'onda è stata adottata la seguente relazione

$$L_0 = g*T^2/(2*\pi) \qquad (2.10)$$

Sett.	Fattori distrib.	DISTRIBUZIONE DEI MASSIMI				
		Tr = 5	Tr = 10	Tr = 50	Tr = 100	Tr = 120
tutti	**P(x)**	0,9960	0,9980	0,9996	0,9998	0,9998
11	**V (m/s)**	18,28	20,54	26,08	28,59	29,25
	Hs (ml)	**3,40**	**3,78**	**4,80**	**5,35**	**5,57**
	Tp (m/s)	7,30	7,57	8,26	8,63	8,79
12	**V (m/s)**	17,04	19,10	24,17	26,46	27,07
	Hs (ml)	**3,44**	**4,02**	**4,91**	**5,36**	**5,58**
	Tp (m/s)	7,46	7,96	8,51	8,77	8,94
13	**V (m/s)**	16,30	18,42	23,64	26,00	26,63
	Hs (ml)	**3,52**	**4,08**	**4,92**	**5,60**	**5,59**
	Tp (m/s)	7,62	8,09	8,56	9,03	8,98
14	**V (m/s)**	14,00	15,95	20,78	22,97	23,55
	Hs (ml)	**2,58**	**2,82**	**3,64**	**3,96**	**4,07**
	Tp (m/s)	6,59	6,74	7,39	7,59	7,68
15	**V (m/s)**	13,00	14,85	19,43	21,51	22,07
	Hs (ml)	**2,52**	**2,87**	**3,70**	**4,10**	**4,29**
	Tp (m/s)	6,61	6,92	7,56	7,86	8,03
16	**V (m/s)**	13,91	15,83	20,55	22,69	23,27
	Hs (ml)	**2,43**	**2,84**	**3,68**	**4,07**	**4,19**
	Tp (m/s)	6,38	6,78	7,45	7,74	7,82
17	**V (m/s)**	15,78	17,89	23,09	25,44	26,07
	Hs (ml)	**3,37**	**4,02**	**5,16**	**5,76**	**5,86**
	Tp (m/s)	7,49	8,07	8,83	9,23	9,27
18	**V (m/s)**	17,81	20,03	25,45	27,91	28,56
	Hs (ml)	**5,94**	**6,64**	**8,46**	**9,28**	**9,51**
	Tp (m/s)	10,12	10,53	11,50	11,90	12,01
19	**V (m/s)**	19,35	21,62	27,18	29,69	30,36
	Hs (ml)	**6,89**	**7,74**	**9,80**	**10,54**	**10,80**
	Tp (m/s)	10,83	11,32	12,35	12,64	12,79
20	**V (m/s)**	20,21	22,56	28,33	30,92	31,62
	Hs (ml)	**7,06**	**7,92**	**9,93**	**10,69**	**11,02**
	Tp (m/s)	10,88	11,36	12,34	12,63	12,80
21	**V (m/s)**	18,85	21,08	26,53	28,98	29,64
	Hs (ml)	**6,20**	**6,98**	**8,90**	**9,68**	**9,99**
	Tp (m/s)	10,25	10,71	11,74	12,10	12,26
22	**V (m/s)**	17,68	19,84	25,14	27,54	28,18
	Hs (ml)	**5,62**	**6,49**	**8,34**	**9,22**	**9,52**
	Tp (m/s)	9,82	10,41	11,44	11,62	12,06
23	**V (m/s)**	17,61	19,84	25,30	27,77	28,43
	Hs (ml)	**5,37**	**6,14**	**7,92**	**8,89**	**9,19**
	Tp (m/s)	9,57	10,08	11,09	11,62	11,79

Tabella 10 - Caratteristiche dell'onda significativa al largo Metodo SMB – Dati di vento MedAtlas

2.12. CLIMA DEL MOTO ONDOSO

Per ottenere i valori di altezza d'onda in funzione dei tempi di ritorno, si è fatto riferimento ai dati riportati nel *Wind and Wave Atlas of the Mediterranean Sea* – Aprile 2004 in cui sono riportati per ogni zona del Mar Mediterraneo i valori del vento e delle onde rilevate. I dati di interesse si riferiscono alla zona individuata da 38° di latitudine Nord. e 12° di longitudine Est.

Nella Tabella 11 si riportano, per i settori di interesse, il numero e le percentuali di apparizione del moto ondoso relativo alle rilevazioni MedAtlas, ordinati per opportuni intervalli di altezza d'onda, espressa in metri.

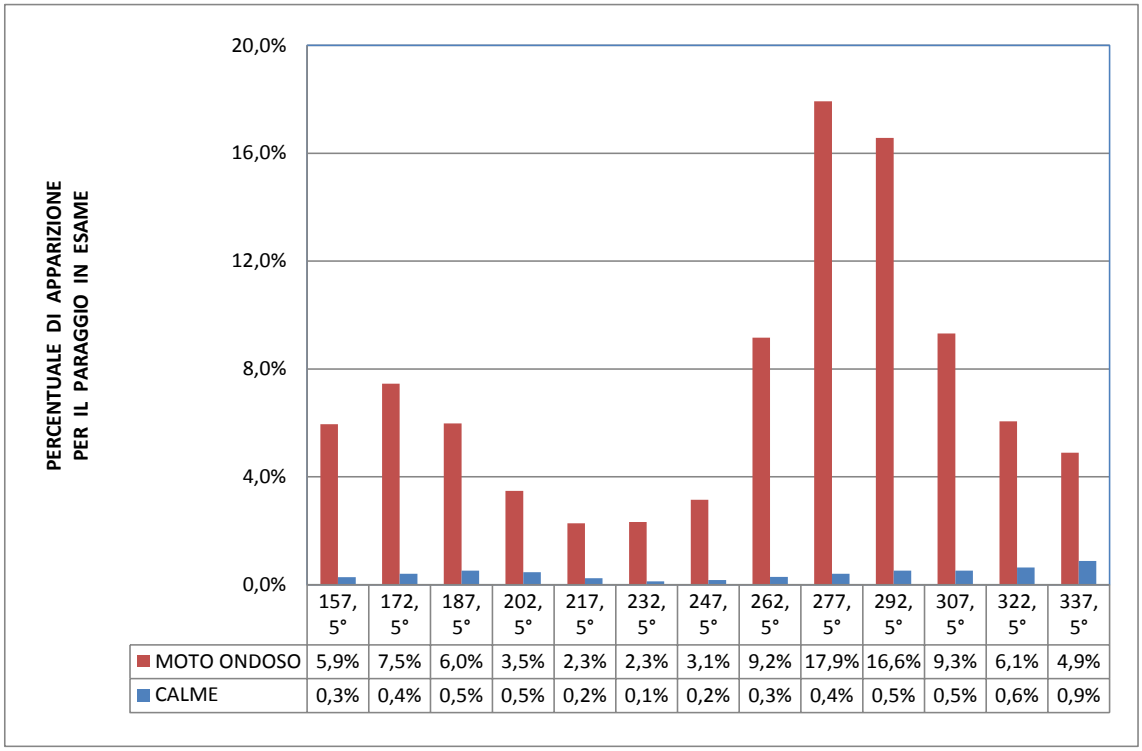
A seguire si riportano, inoltre, i diagrammi con le curve di tendenza per le distribuzioni di Gumbel e Weibull per i settori 11, 12, …….23, 24, relativamente alle altezze d'onda (Figura 6a-o).

NUMERO DI APPARIZIONI DEL MOTO ONDOSO PER IL PARAGGIO IN ESAME

DIREZIONE	157,5°	172,5°	187,5°	202,5°	217,5°	232,5°	247,5°	262,5°	277,5°	292,5°	307,5°	322,5°	337,5°	
SETTORE	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	TOTALE
H = 9,0 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H = 8,5 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H = 8,0 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H = 7,5 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H = 7,0 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H = 6,5 m	0	0	0	0	0	0	0	0	8	7	0	0	0	15
H = 6,0 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H = 5,5 m	0	0	0	0	0	0	0	8	15	15	7	0	0	45
H = 5,0 m	0	0	0	0	0	0	0	8	15	7	0	0	0	30
H = 4,5 m	0	0	0	0	0	0	0	8	15	15	15	15	7	75
H = 4,0 m	0	0	0	0	0	0	0	22	51	37	15	15	15	155
H = 3,5 m	8	15	7	0	0	0	8	44	80	59	22	15	15	273
H = 3,0 m	15	15	7	0	0	0	8	51	117	95	30	15	15	368
H = 2,5 m	36	44	30	7	8	15	15	80	183	153	59	29	22	681
H = 2,0 m	73	95	66	29	22	15	29	132	277	234	94	51	37	1154
H = 1,5 m	132	168	138	73	37	43	73	227	438	372	168	88	58	2015
H = 1,0 m	212	263	219	138	95	95	124	307	562	525	307	197	153	3197
H = 0,5 m	271	336	284	190	124	124	138	263	490	562	453	336	292	3863
CALME	35	51	66	58	30	15	22	36	51	66	65	80	110	685
TOTALE	782	987	817	495	316	307	417	1186	2302	2147	1235	841	724	12556

PERCENTUALI DI APPARIZIONE DEL MOTO ONDOSO PER IL PARAGGIO IN ESAME - 86% DEL TOTALE

DIREZIONE	157,5°	172,5°	187,5°	202,5°	217,5°	232,5°	247,5°	262,5°	277,5°	292,5°	307,5°	322,5°	337,5°	
SETTORE	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	TOTALE
H = 9,0 m	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,0%
H = 8,5 m	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,0%
H = 8,0 m	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,0%
H = 7,5 m	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,0%
H = 7,0 m	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,0%
H = 6,5 m	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,06%	0,06%	0,00%	0,00%	0,00%	0,1%
H = 6,0 m	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,0%
H = 5,5 m	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,06%	0,12%	0,12%	0,06%	0,00%	0,00%	0,4%
H = 5,0 m	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,06%	0,12%	0,06%	0,00%	0,00%	0,00%	0,2%
H = 4,5 m	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,06%	0,12%	0,12%	0,12%	0,12%	0,06%	0,6%
H = 4,0 m	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,18%	0,41%	0,29%	0,12%	0,12%	0,12%	1,2%
H = 3,5 m	0,06%	0,12%	0,06%	0,00%	0,00%	0,00%	0,06%	0,35%	0,64%	0,47%	0,18%	0,12%	0,12%	2,2%
H = 3,0 m	0,12%	0,12%	0,06%	0,00%	0,00%	0,00%	0,06%	0,41%	0,93%	0,76%	0,24%	0,12%	0,12%	2,9%
H = 2,5 m	0,29%	0,35%	0,24%	0,06%	0,06%	0,12%	0,12%	0,64%	1,46%	1,22%	0,47%	0,23%	0,18%	5,4%
H = 2,0 m	0,58%	0,76%	0,53%	0,23%	0,18%	0,12%	0,23%	1,05%	2,21%	1,86%	0,75%	0,41%	0,29%	9,2%
H = 1,5 m	1,05%	1,34%	1,10%	0,58%	0,29%	0,34%	0,58%	1,81%	3,49%	2,96%	1,34%	0,70%	0,46%	16,0%
H = 1,0 m	1,69%	2,09%	1,74%	1,10%	0,76%	0,76%	0,99%	2,45%	4,48%	4,18%	2,45%	1,57%	1,22%	25,5%
H = 0,5 m	2,16%	2,68%	2,26%	1,51%	0,99%	0,99%	1,10%	2,09%	3,90%	4,48%	3,61%	2,68%	2,33%	30,8%
CALME	0,28%	0,41%	0,53%	0,46%	0,24%	0,12%	0,18%	0,29%	0,41%	0,53%	0,52%	0,64%	0,88%	5,5%
TOTALE	6,2%	7,9%	6,5%	3,9%	2,5%	2,4%	3,3%	9,4%	18,3%	17,1%	9,8%	6,7%	5,8%	100,0%



	157,5°	172,5°	187,5°	202,5°	217,5°	232,5°	247,5°	262,5°	277,5°	292,5°	307,5°	322,5°	337,5°
MOTO ONDOSO	5,9%	7,5%	6,0%	3,5%	2,3%	2,3%	3,1%	9,2%	17,9%	16,6%	9,3%	6,1%	4,9%
CALME	0,3%	0,4%	0,5%	0,5%	0,2%	0,1%	0,2%	0,3%	0,4%	0,5%	0,5%	0,6%	0,9%

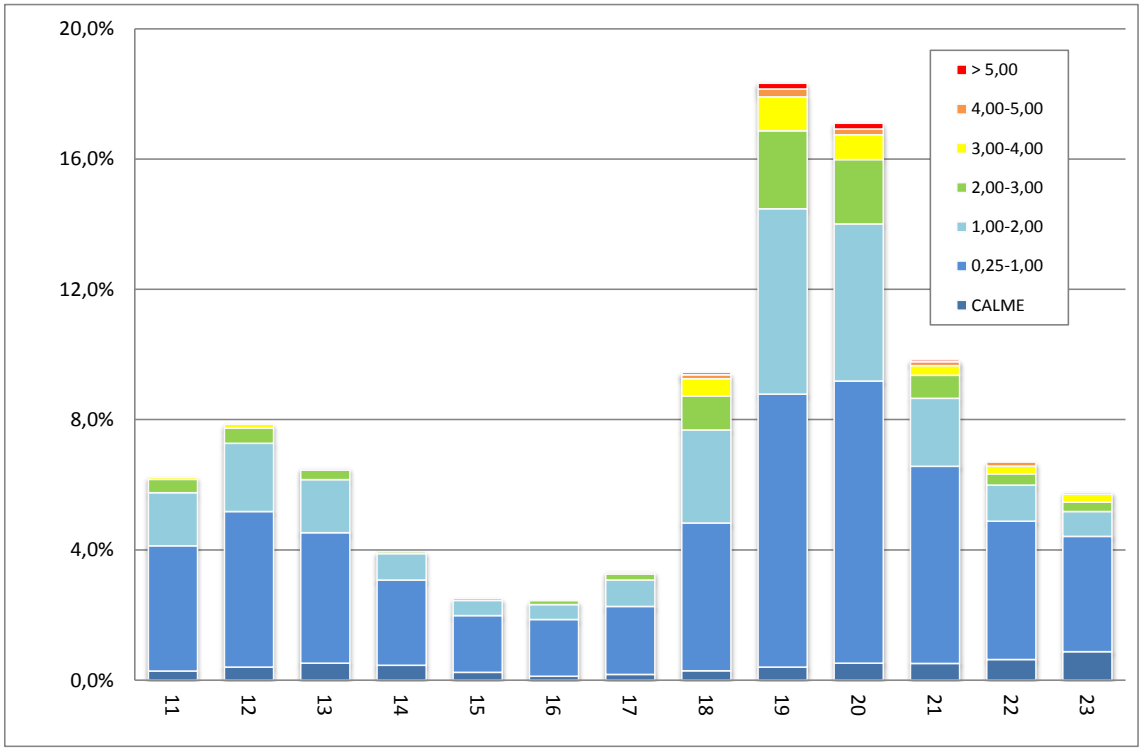


Tabella 11 – Apparizioni del moto ondoso (metri) per i punti MedAtlas adottati (38N,12E)

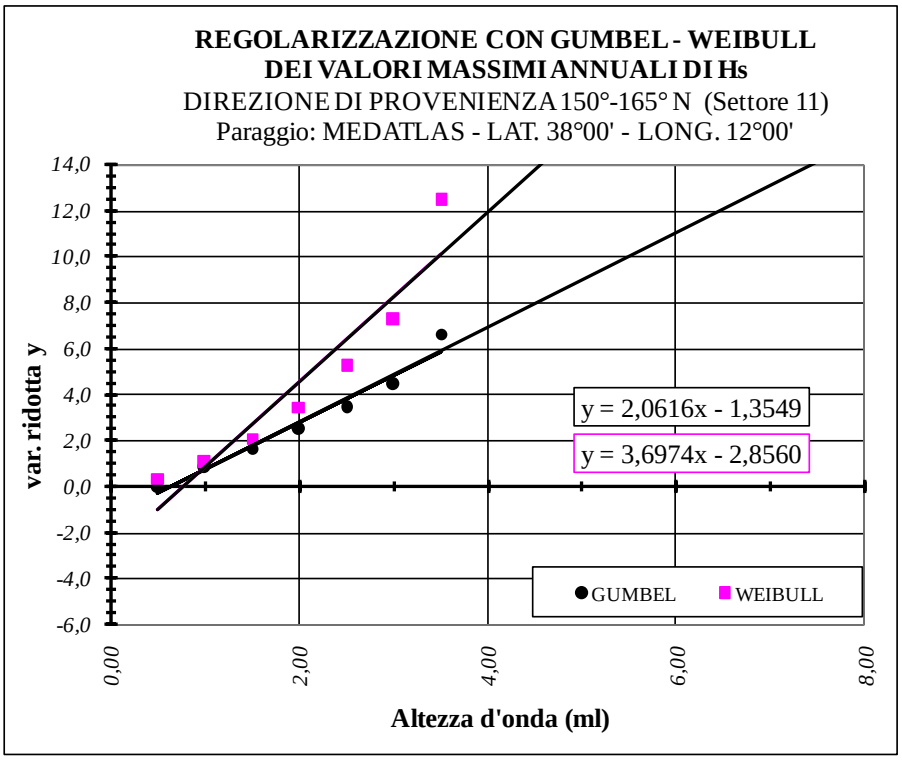


Figura 6a – Distribuzione di Gumbel – Weibull – Settore 11

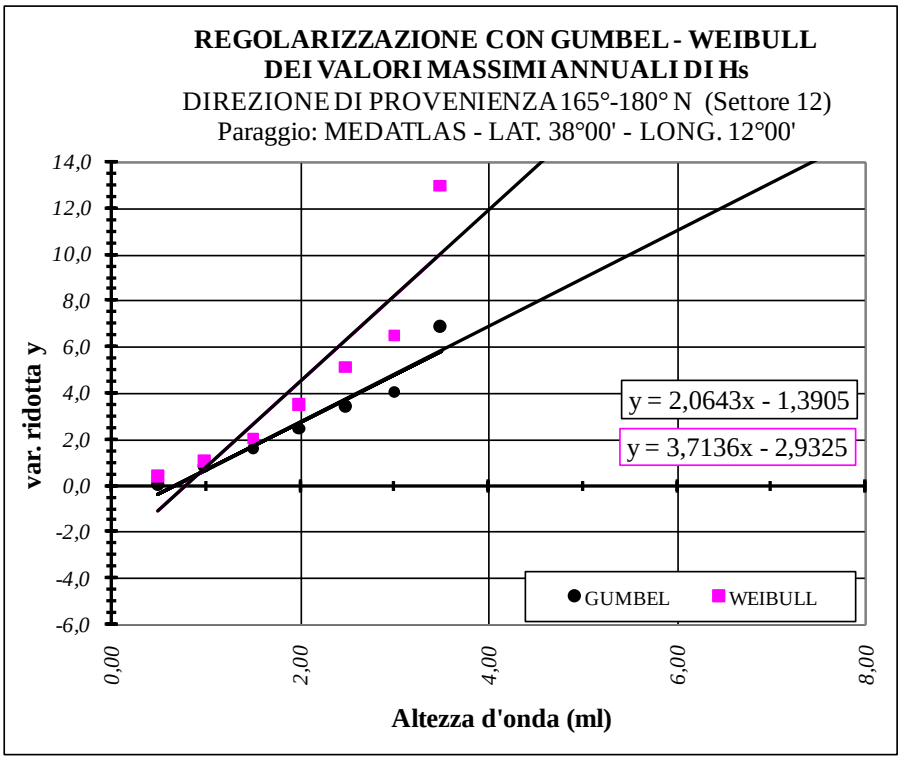


Figura 6b - Distribuzione di Gumbel – Weibull – Settore 12

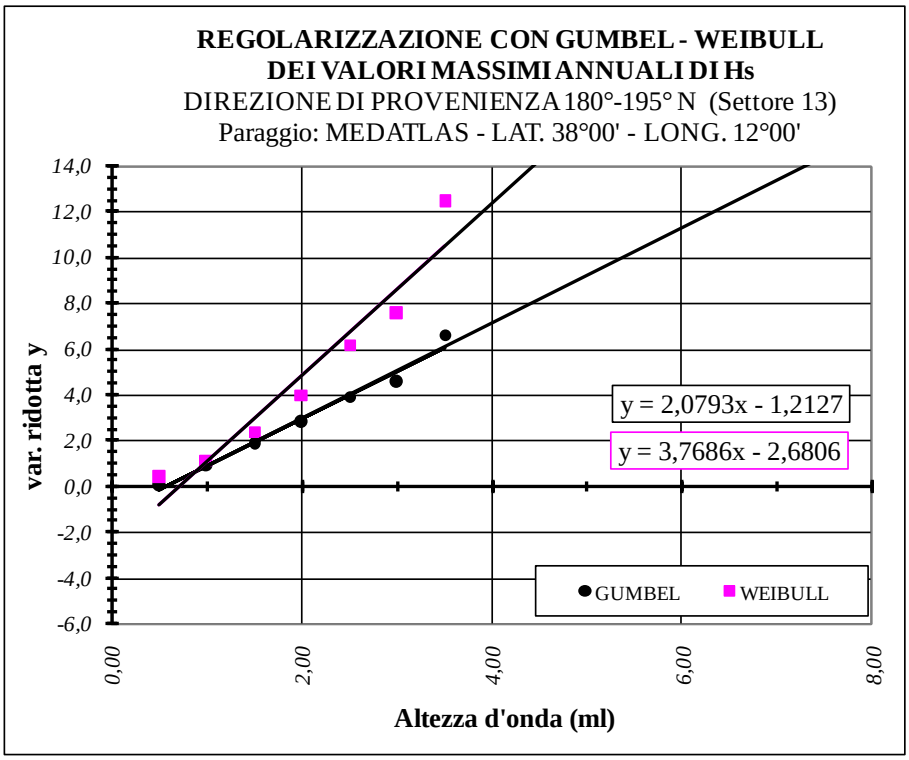


Figura 6c - Distribuzione di Gumbel – Weibull – Settore 13

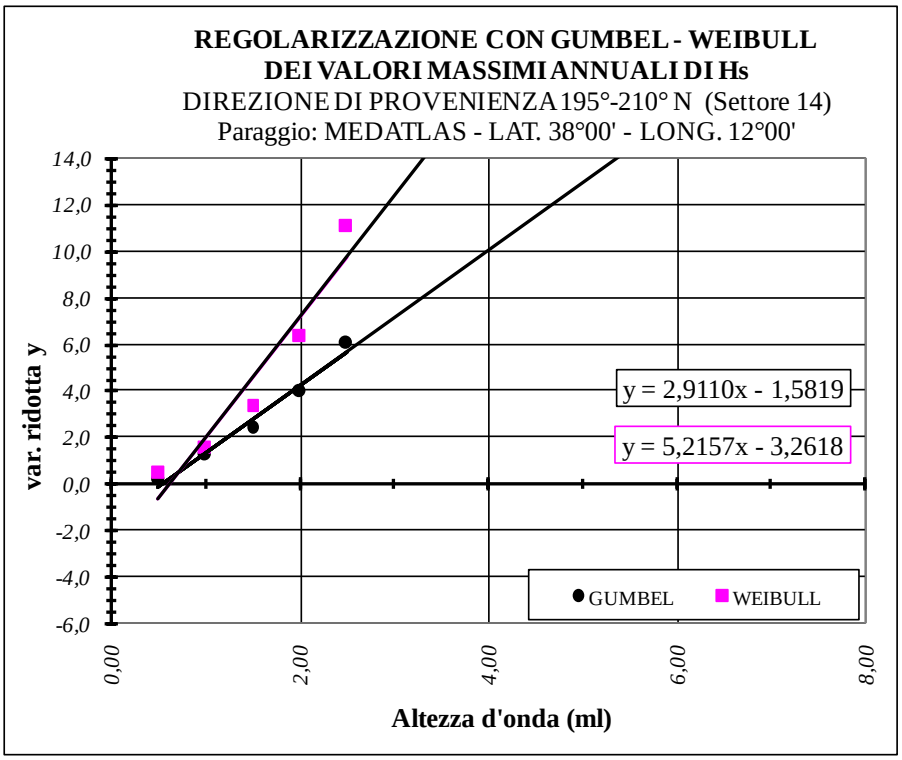


Figura 6d - Distribuzione di Gumbel – Weibull – Settore 14

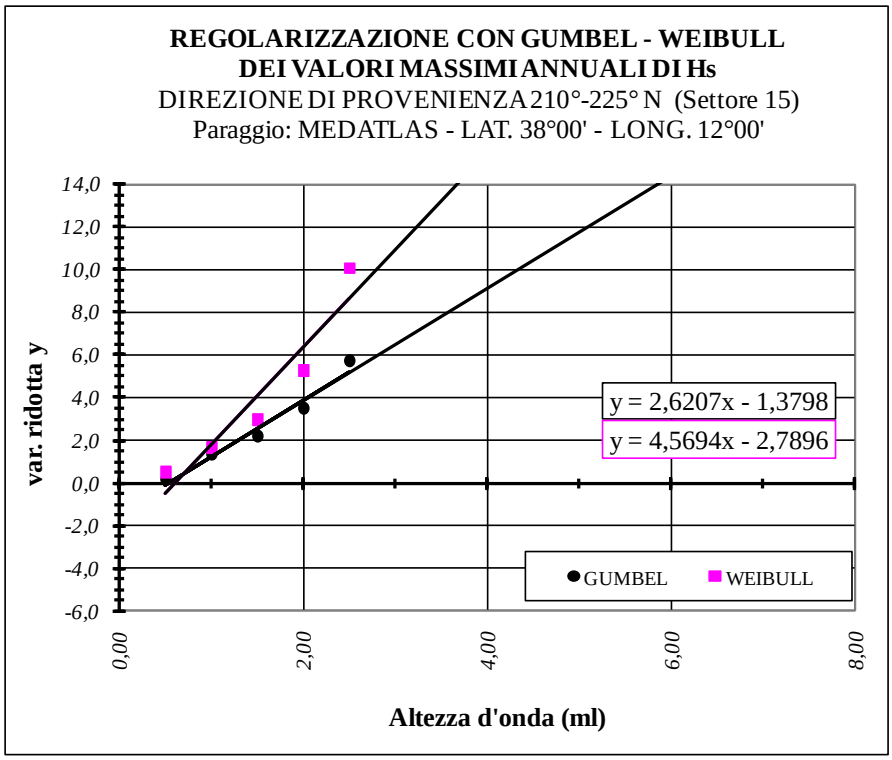


Figura 6e - Distribuzione di Gumbel – Weibull – Settore 15

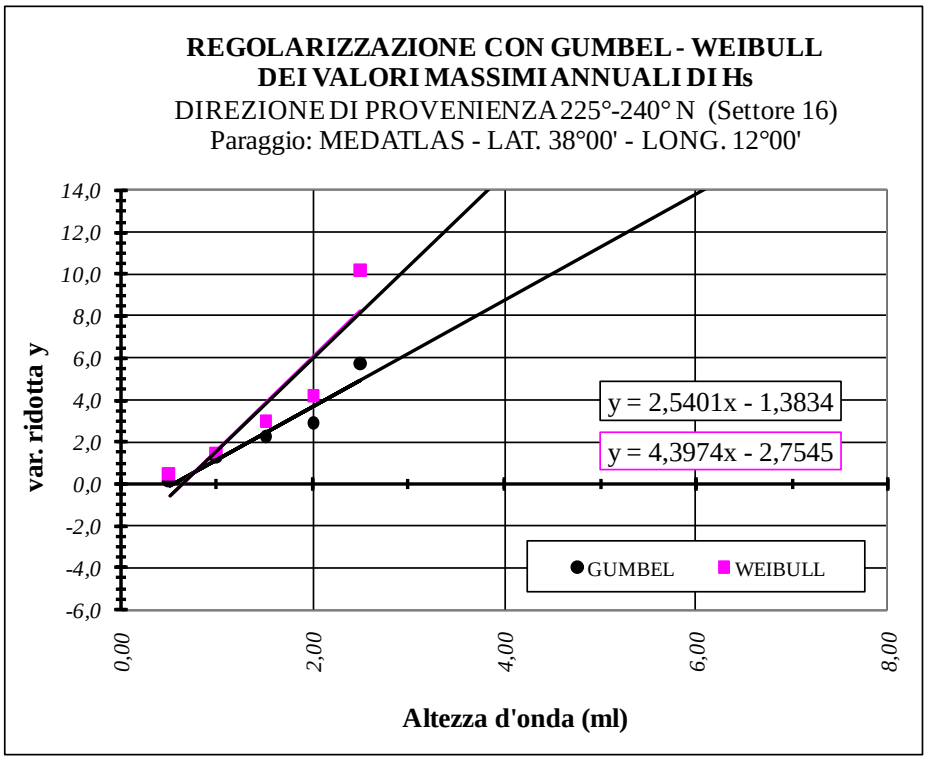


Figura 6f - Distribuzione di Gumbel – Weibull – Settore 16

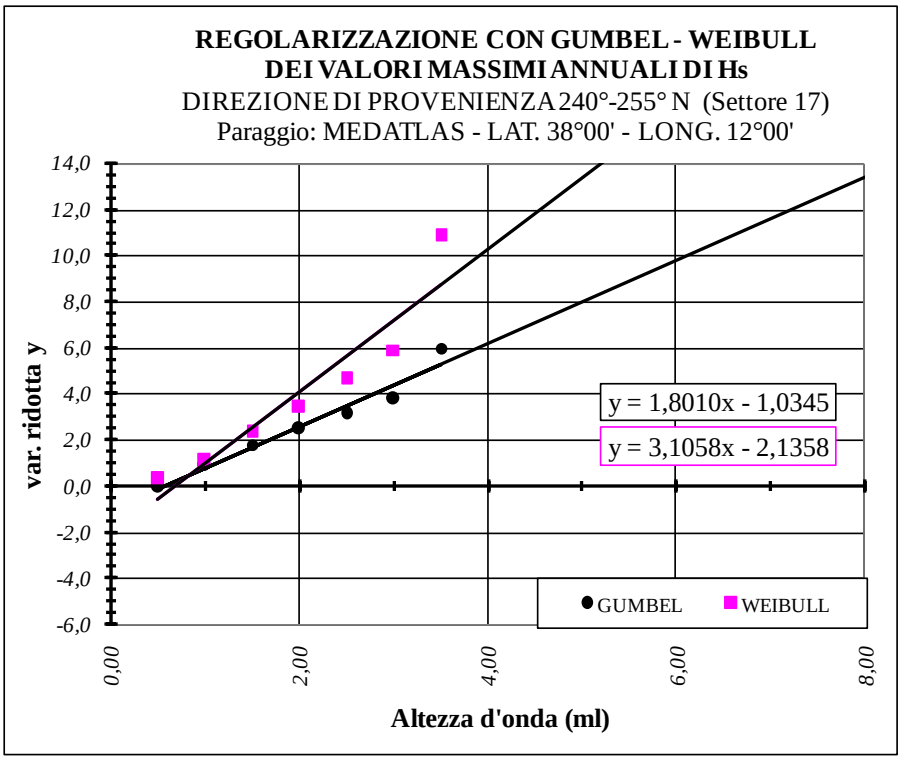


Figura 6g - Distribuzione di Gumbel – Weibull – Settore 17

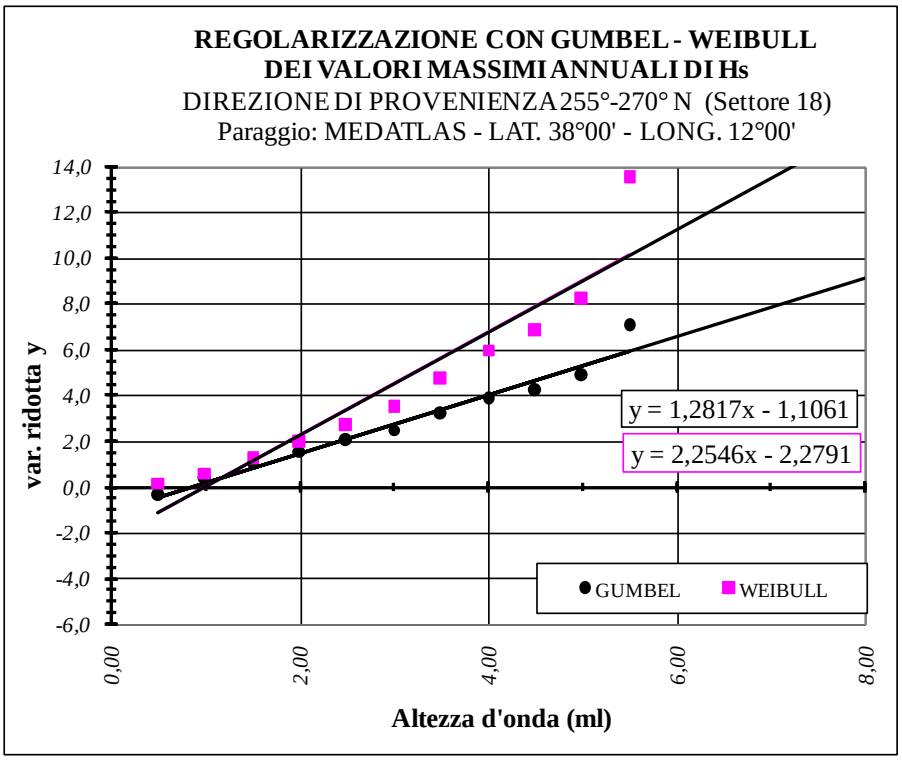


Figura 6h - Distribuzione di Gumbel – Weibull – Settore 18

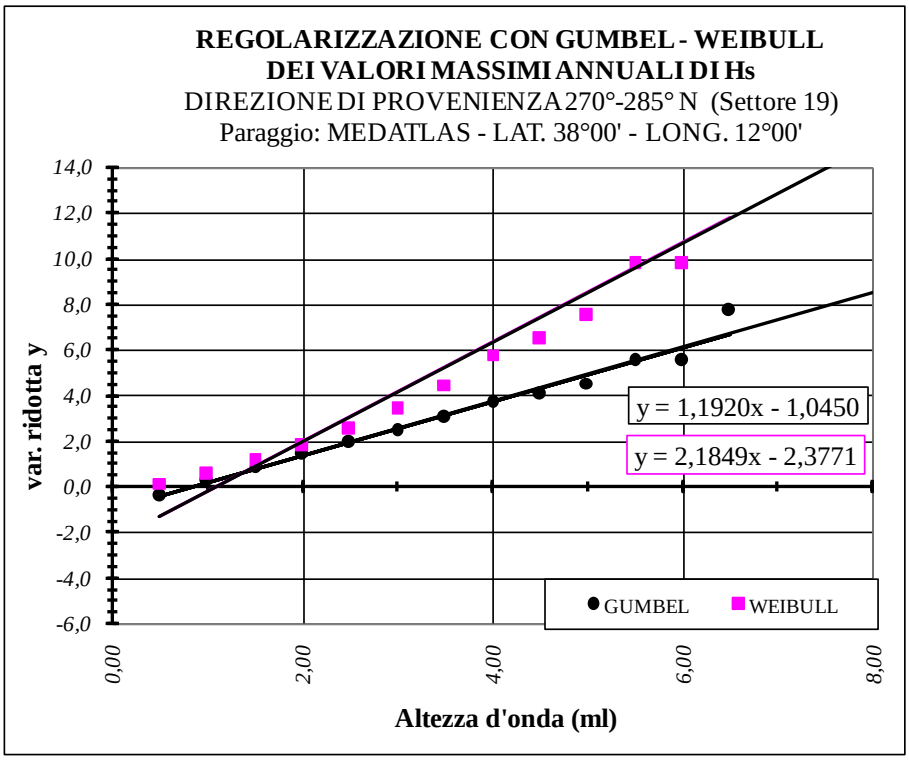


Figura 6i - Distribuzione di Gumbel – Weibull – Settore 19

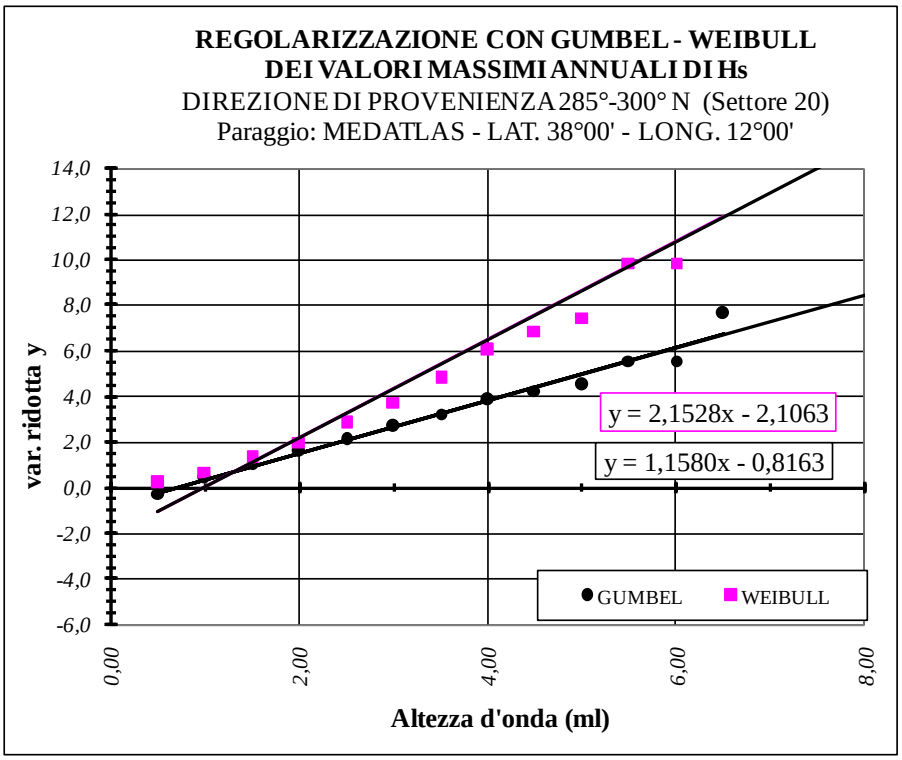


Figura 6l - Distribuzione di Gumbel – Weibull – Settore 20

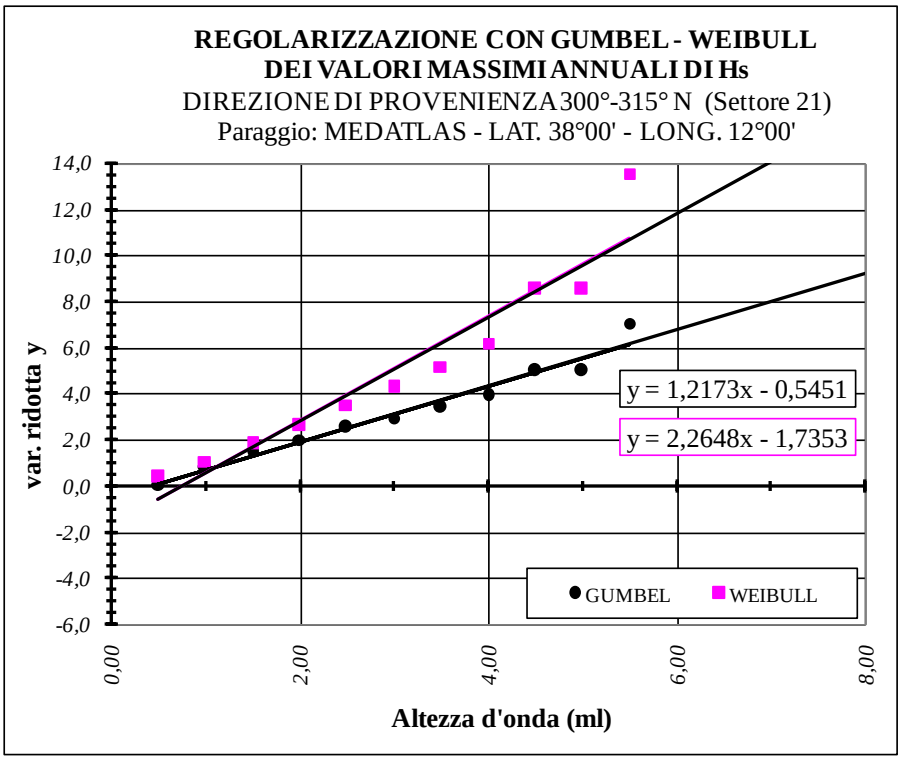


Figura 6m - Distribuzione di Gumbel – Weibull – Settore 21

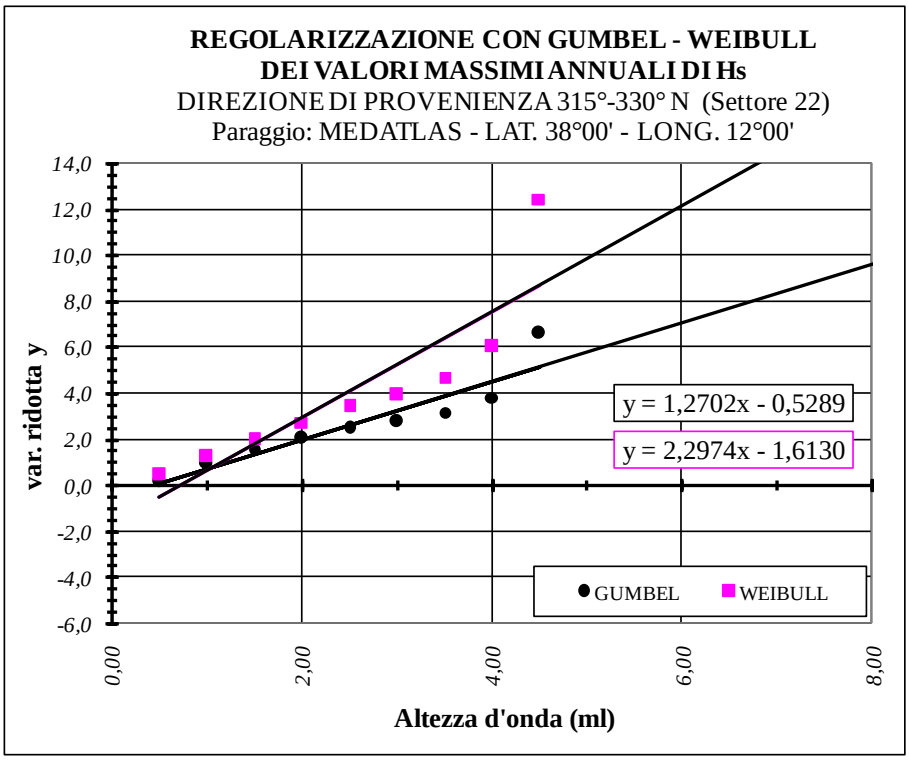


Figura 6n - Distribuzione di Gumbel – Weibull – Settore 22

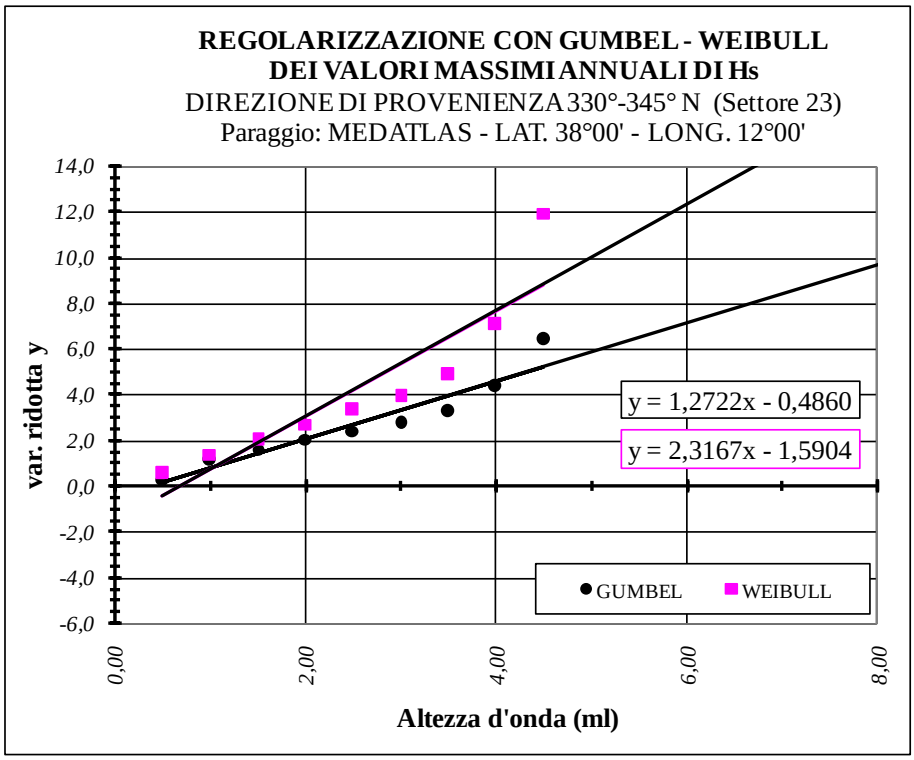


Figura 6o - Distribuzione di Gumbel – Weibull – Settore 23

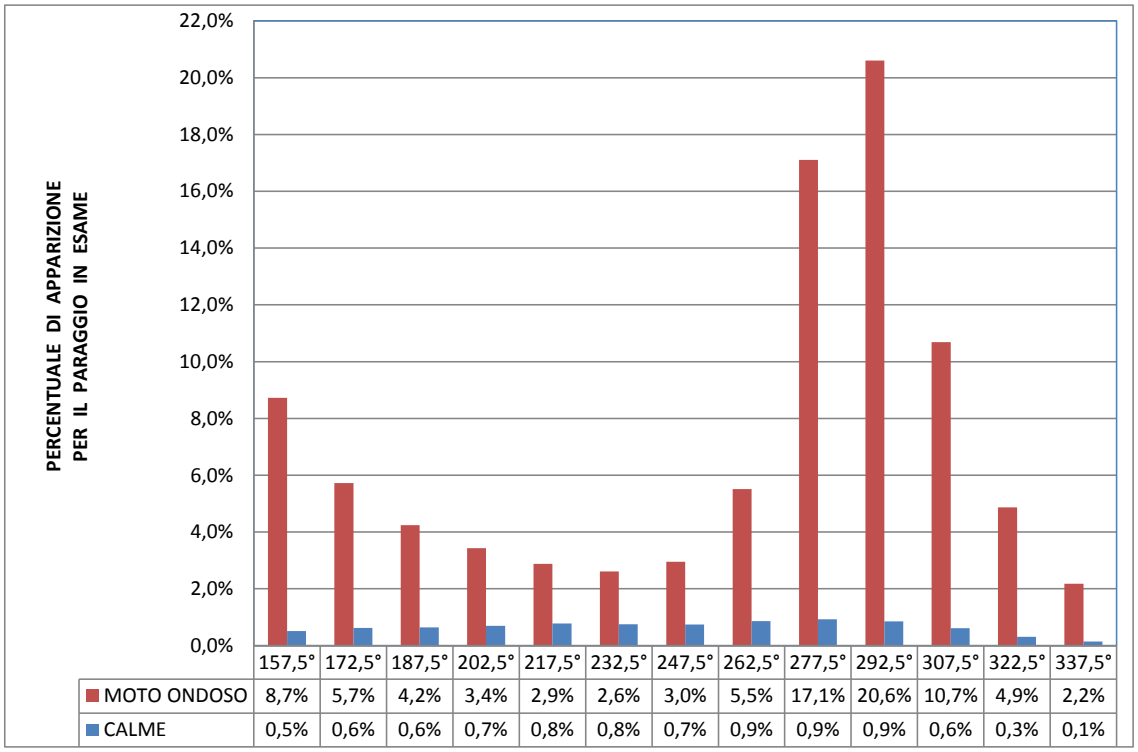
Nella Tabella 12 sono riportati i valori delle altezze d'onda Hs in funzione dei tempi di ritorno ottenuti dalla distribuzione di Gumbel e dalla distribuzione di Weibull. Per il periodo si è utilizzata l'espressione [2.9].

DETERMINAZIONE DEL REGIME ONDOSO AL LARGO - LAT. 38°00'00" LON. 12°00'00" (PUNTO MEDATLAS)											
Sett.	**Fattori distrib.**	**DISTRIBUZIONE DI GUMBEL**					**DISTRIBUZIONE DI WEIBULL**				
		Tr = 5	**Tr = 10**	**Tr = 50**	**Tr = 100**	**Tr = 120**	**Tr = 5**	**Tr = 10**	**Tr = 50**	**Tr = 100**	**Tr = 120**
tutti	**P(x)**	0,9926	0,9963	0,9993	0,9996	0,9997	0,9926	0,9963	0,9993	0,9996	0,9997
11	**Hs (ml)**	**3,53**	**3,87**	**4,65**	**4,98**	**5,07**	**3,67**	**4,13**	**5,26**	**5,77**	**5,91**
	Ts (sec)	7,75	8,12	8,93	9,25	9,34	7,91	8,41	9,52	9,98	10,10
12	**Hs (ml)**	**3,65**	**3,99**	**4,77**	**5,10**	**5,19**	**3,82**	**4,29**	**5,43**	**5,94**	**6,08**
	Ts (sec)	7,89	8,25	9,05	9,37	9,45	8,08	8,57	9,67	10,13	10,25
13	**Hs (ml)**	**3,43**	**3,77**	**4,54**	**4,87**	**4,96**	**3,56**	**4,01**	**5,12**	**5,62**	**5,76**
	Ts (sec)	7,64	8,02	8,82	9,15	9,23	7,79	8,28	9,38	9,85	9,97
14	**Hs (ml)**	**2,39**	**2,63**	**3,18**	**3,42**	**3,49**	**2,44**	**2,75**	**3,54**	**3,89**	**3,99**
	Ts (sec)	6,35	6,67	7,36	7,63	7,70	6,41	6,83	7,76	8,15	8,25
15	**Hs (ml)**	**2,42**	**2,68**	**3,30**	**3,56**	**3,63**	**2,46**	**2,82**	**3,69**	**4,09**	**4,19**
	Ts (sec)	6,39	6,74	7,49	7,79	7,87	6,45	6,91	7,93	8,36	8,47
16	**Hs (ml)**	**2,51**	**2,78**	**3,41**	**3,69**	**3,76**	**2,56**	**2,93**	**3,84**	**4,25**	**4,36**
	Ts (sec)	6,50	6,86	7,62	7,93	8,01	6,58	7,05	8,09	8,53	8,64
17	**Hs (ml)**	**3,51**	**3,89**	**4,79**	**5,17**	**5,27**	**3,65**	**4,18**	**5,49**	**6,08**	**6,24**
	Ts (sec)	7,73	8,15	9,07	9,43	9,53	7,89	8,46	9,72	10,25	10,39
18	**Hs (ml)**	**5,82**	**6,36**	**7,62**	**8,16**	**8,30**	**6,23**	**7,00**	**8,89**	**9,75**	**9,98**
	Ts (sec)	10,02	10,49	11,51	11,92	12,02	10,38	11,02	12,46	13,06	13,21
19	**Hs (ml)**	**6,77**	**7,35**	**8,70**	**9,28**	**9,44**	**7,25**	**8,07**	**10,08**	**10,98**	**11,22**
	Ts (sec)	10,83	11,30	12,32	12,73	12,84	11,21	11,85	13,28	13,88	14,03
20	**Hs (ml)**	**6,70**	**7,30**	**8,69**	**9,29**	**9,45**	**7,14**	**7,97**	**10,00**	**10,91**	**11,15**
	Ts (m/s)	10,78	11,26	12,31	12,74	12,85	11,13	11,77	13,23	13,83	13,99
21	**Hs (ml)**	**5,68**	**6,25**	**7,57**	**8,14**	**8,29**	**5,98**	**6,75**	**8,64**	**9,48**	**9,71**
	Ts (m/s)	9,90	10,40	11,47	11,91	12,02	10,16	10,81	12,27	12,87	13,03
22	**Hs (ml)**	**5,09**	**5,64**	**6,91**	**7,45**	**7,60**	**5,39**	**6,13**	**7,95**	**8,78**	**9,00**
	Ts (m/s)	9,36	9,86	10,94	11,38	11,49	9,63	10,29	11,76	12,37	12,53
23	**Hs (ml)**	**4,88**	**5,43**	**6,69**	**7,24**	**7,38**	**5,11**	**5,84**	**7,63**	**8,44**	**8,65**
	Ts (m/s)	9,16	9,67	10,77	11,21	11,32	9,37	10,04	11,51	12,12	12,28

Tabella 12 - Valori di Hs, Ts in funzione di Tr per i vari settori – Dati di mare MedAtlas

Il clima del moto ondoso ottenuto dai metodi prima descritti è ancora confrontato con i dati ricavati dallo studio condotto utilizzando i valori di intensità e direzione dei moti ondosi nella zona del paraggio in oggetto e raccolti dall'APAT (par. 2.4.3). I dati disponibili si riferiscono ad un arco temporale molto esteso pari a circa 19 anni (01/07/1989-04/04/2008). La boa ondametrica di tipo DATA WELL DIRECTIONAL WAWEC MKI si trova ad una latitudine di 37°31'05" N e una longitudine di 12°32' E.
Di seguito si riportano, per i settori di interesse, il numero e le percentuali di apparizione del moto ondoso relativo alle rilevazioni APAT, ordinati per opportuni intervalli di altezza d'onda, espressa in metri (Tabella 13a), inoltre viene riportata la foto della boa RON di Mazara del Vallo con il rispettivo grafico a spicchi fornito dall'APAT in accordo con le elaborazioni eseguite (Tabella 13b).

NUMERO DI APPARIZIONI DEL MOTO ONDOSO PER IL PARAGGIO IN ESAME														
DIREZIONE	**157,5°**	**172,5°**	**187,5°**	**202,5°**	**217,5°**	**232,5°**	**247,5°**	**262,5°**	**277,5°**	**292,5°**	**307,5°**	**322,5°**	**337,5°**	
SETTORE	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**TOTALE**
H = 9,0 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
H = 8,5 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
H = 8,0 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
H = 7,5 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
H = 7,0 m	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	**2**
H = 6,5 m	0	1	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	**4**
H = 6,0 m	1	1	1	0	0	0	0	0	7	7	1	0	0	**18**
H = 5,5 m	0	0	1	1	1	1	2	1	21	23	4	1	1	**57**
H = 5,0 m	1	1	2	4	3	4	5	8	50	55	14	4	1	**152**
H = 4,5 m	5	7	5	4	4	9	8	14	74	79	22	6	2	**239**
H = 4,0 m	11	10	9	5	3	12	15	22	126	137	32	7	3	**392**
H = 3,5 m	30	12	15	19	20	22	23	47	242	267	74	17	9	**797**
H = 3,0 m	72	25	28	38	45	39	38	96	456	502	147	39	23	**1548**
H = 2,5 m	186	63	56	60	67	68	78	185	874	983	325	98	47	**3090**
H = 2,0 m	512	214	168	149	130	129	157	372	1669	1956	735	208	82	**6481**
H = 1,5 m	1189	557	409	348	279	244	294	697	2776	3348	1438	457	185	**12221**
H = 1,0 m	2361	1457	984	768	618	552	654	1275	3883	4783	2607	1221	569	**21732**
H = 0,5 m	2985	2473	1896	1495	1256	1118	1216	1925	4225	5215	3603	2046	916	**30369**
CALME	432	523	542	585	657	635	628	727	779	720	520	263	125	**7136**
TOTALE	**7785**	**5344**	**4116**	**3476**	**3083**	**2833**	**3118**	**5369**	**15185**	**18077**	**9522**	**4367**	**1963**	**84238**
PERCENTUALI DI APPARIZIONE DEL MOTO ONDOSO PER IL PARAGGIO IN ESAME - 79,3% DEL TOTALE														
DIREZIONE	**157,5°**	**172,5°**	**187,5°**	**202,5°**	**217,5°**	**232,5°**	**247,5°**	**262,5°**	**277,5°**	**292,5°**	**307,5°**	**322,5°**	**337,5°**	
SETTORE	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**TOTALE**
H = 9,0 m	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	**0,0%**
H = 8,5 m	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	**0,0%**
H = 8,0 m	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	**0,0%**
H = 7,5 m	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	**0,0%**
H = 7,0 m	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	**0,0%**
H = 6,5 m	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	**0,0%**
H = 6,0 m	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	**0,0%**
H = 5,5 m	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	0,03%	0,00%	0,00%	0,00%	**0,1%**
H = 5,0 m	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,01%	0,06%	0,07%	0,02%	0,00%	0,00%	**0,2%**
H = 4,5 m	0,01%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	0,01%	0,01%	0,02%	0,09%	0,09%	0,03%	0,01%	0,00%	**0,3%**
H = 4,0 m	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,00%	0,01%	0,02%	0,03%	0,15%	0,16%	0,04%	0,01%	0,00%	**0,5%**
H = 3,5 m	0,04%	0,01%	0,02%	0,02%	0,02%	0,03%	0,03%	0,06%	0,29%	0,32%	0,09%	0,02%	0,01%	**0,9%**
H = 3,0 m	0,09%	0,03%	0,03%	0,05%	0,05%	0,05%	0,05%	0,11%	0,54%	0,60%	0,17%	0,05%	0,03%	**1,8%**
H = 2,5 m	0,22%	0,07%	0,07%	0,07%	0,08%	0,08%	0,09%	0,22%	1,04%	1,17%	0,39%	0,12%	0,06%	**3,7%**
H = 2,0 m	0,61%	0,25%	0,20%	0,18%	0,15%	0,15%	0,19%	0,44%	1,98%	2,32%	0,87%	0,25%	0,10%	**7,7%**
H = 1,5 m	1,41%	0,66%	0,49%	0,41%	0,33%	0,29%	0,35%	0,83%	3,30%	3,97%	1,71%	0,54%	0,22%	**14,5%**
H = 1,0 m	2,80%	1,73%	1,17%	0,91%	0,73%	0,66%	0,78%	1,51%	4,61%	5,68%	3,09%	1,45%	0,68%	**25,8%**
H = 0,5 m	3,54%	2,94%	2,25%	1,77%	1,49%	1,33%	1,44%	2,29%	5,02%	6,19%	4,28%	2,43%	1,09%	**36,1%**
CALME	0,51%	0,62%	0,64%	0,69%	0,78%	0,75%	0,75%	0,86%	0,92%	0,85%	0,62%	0,31%	0,15%	**8,5%**
TOTALE	**9,2%**	**6,3%**	**4,9%**	**4,1%**	**3,7%**	**3,4%**	**3,7%**	**6,4%**	**18,0%**	**21,5%**	**11,3%**	**5,2%**	**2,3%**	**100,0%**



	157,5°	172,5°	187,5°	202,5°	217,5°	232,5°	247,5°	262,5°	277,5°	292,5°	307,5°	322,5°	337,5°
MOTO ONDOSO	8,7%	5,7%	4,2%	3,4%	2,9%	2,6%	3,0%	5,5%	17,1%	20,6%	10,7%	4,9%	2,2%
CALME	0,5%	0,6%	0,6%	0,7%	0,8%	0,8%	0,7%	0,9%	0,9%	0,9%	0,6%	0,3%	0,1%

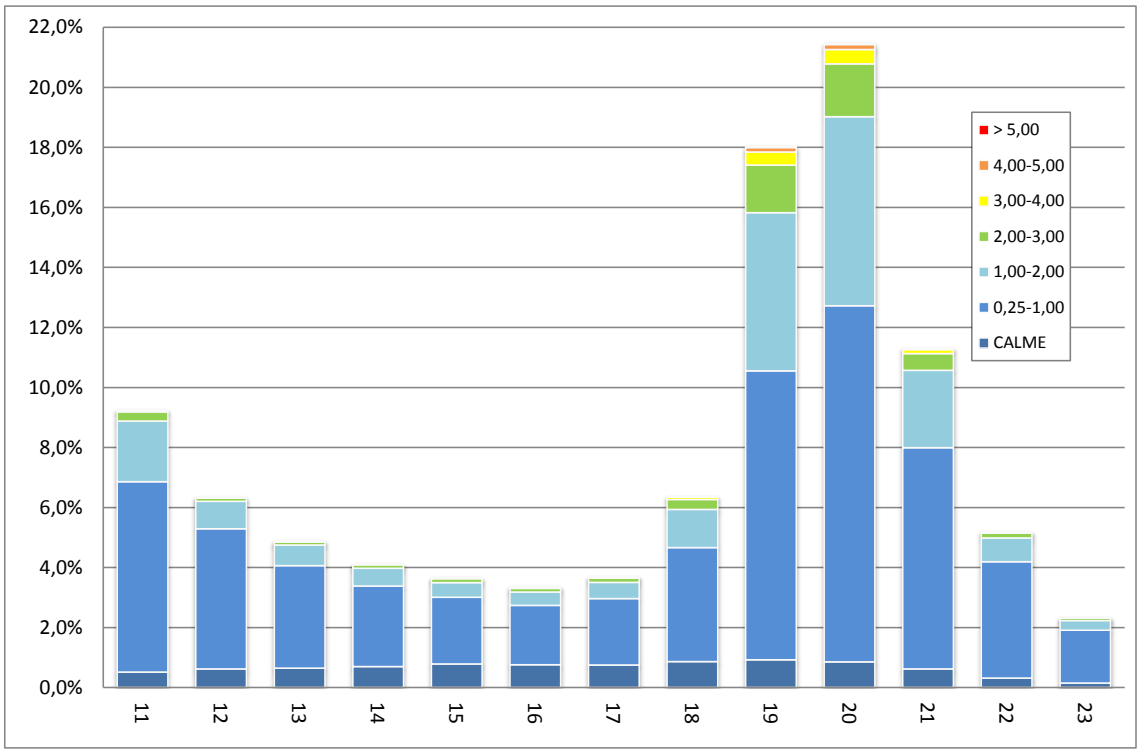


Tabella 13a – Apparizioni del moto ondoso (metri) per la boa APAT adottata (Mazara)

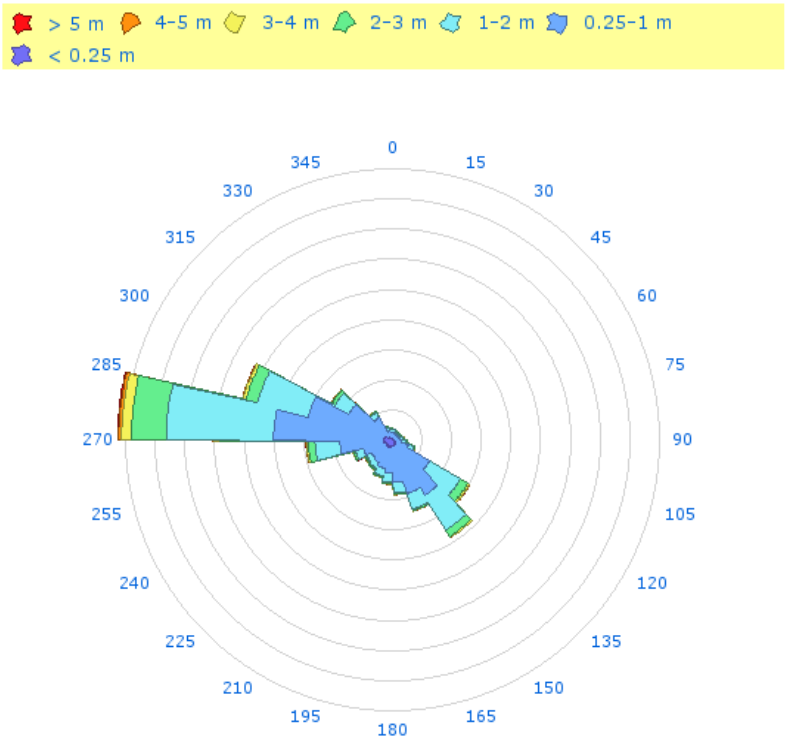


Tabella 14 b – Foto della Boa di Mazara e rispettivo grafico a spicchi Hs – Dir.

A seguire si riportano, inoltre, i diagrammi con le curve di tendenza per le distribuzioni di Gumbel – Weibull dei valori del moto ondoso per i vari settori di provenienza (Figura

7a-o), determinati con i metodi descritti nel paragrafo 2.9 per l'elaborazione dei dati statistici.

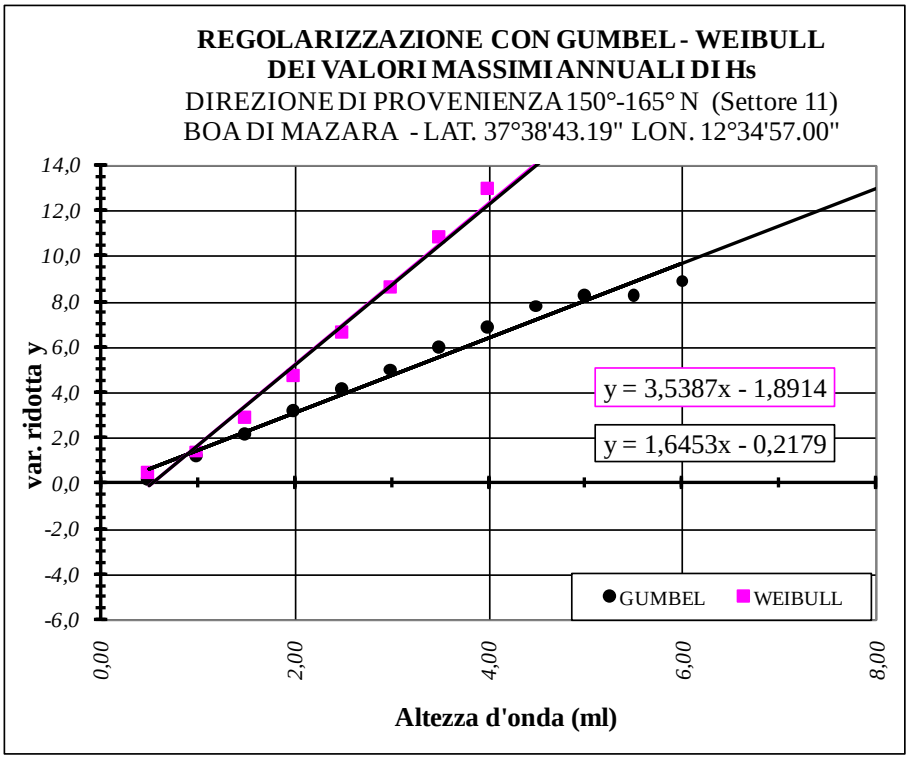


Figura 7a – Distribuzione di Gumbel - Weibull (Dati APAT) – Settore 11

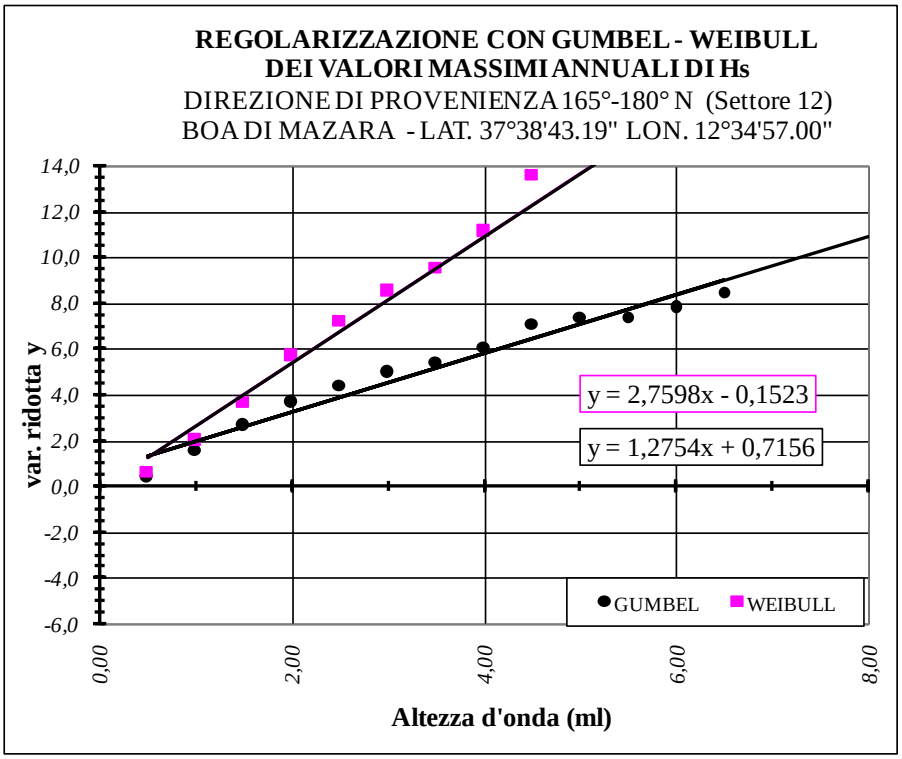


Figura 7b - Distribuzione di Gumbel – Weibull (Dati APAT) – Settore 12

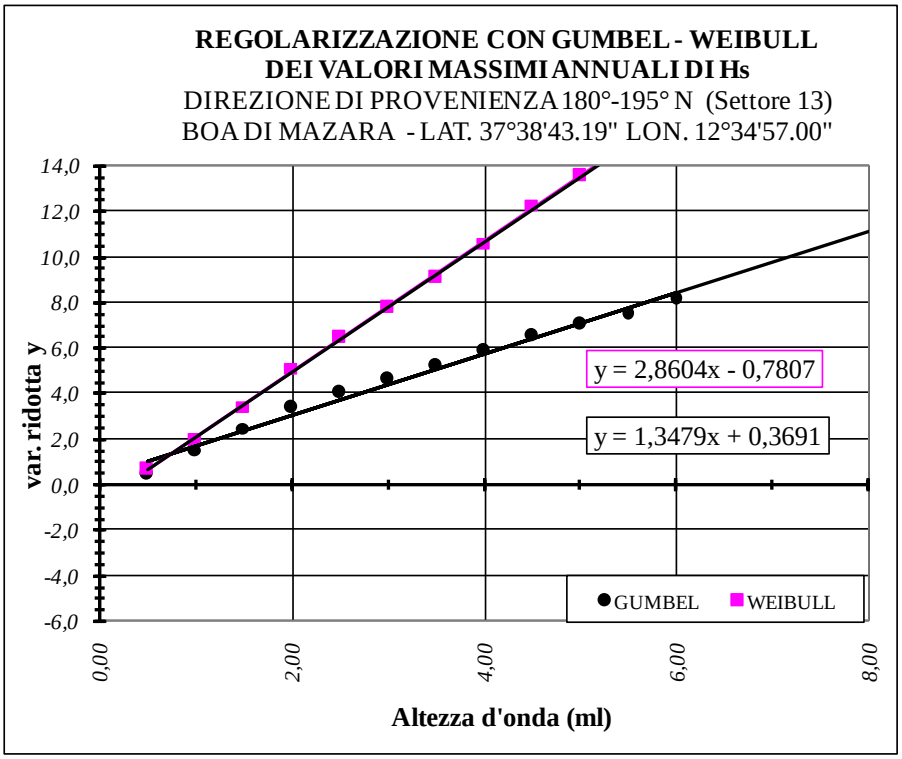


Figura 7c - Distribuzione di Gumbel – Weibull (Dati APAT) – Settore 13

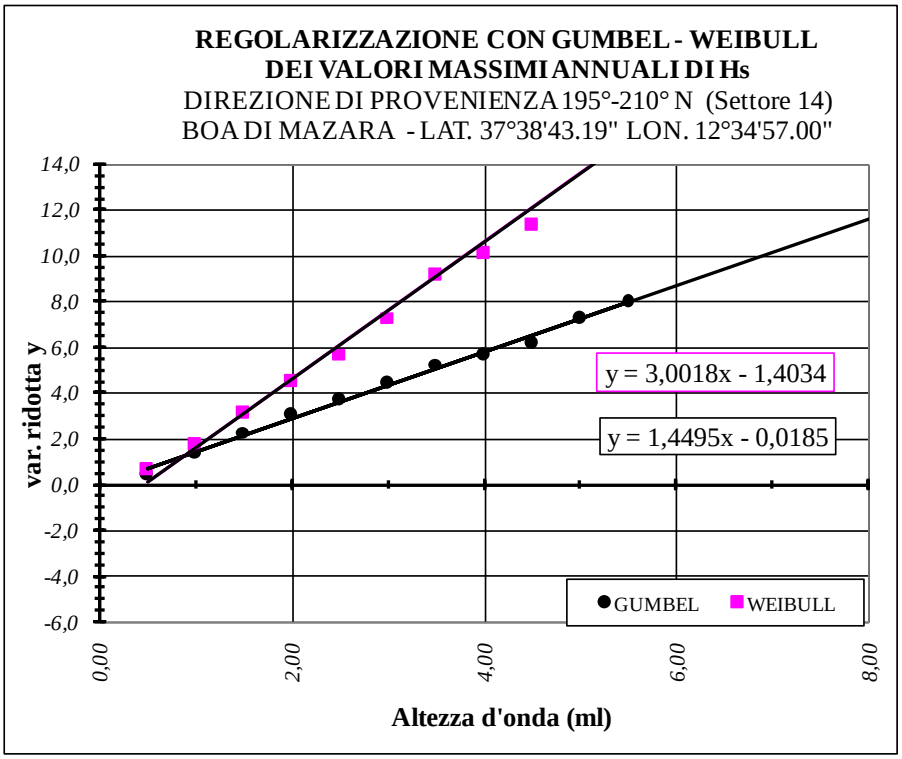


Figura 7d - Distribuzione di Gumbel – Weibull (Dati APAT) – Settore 14

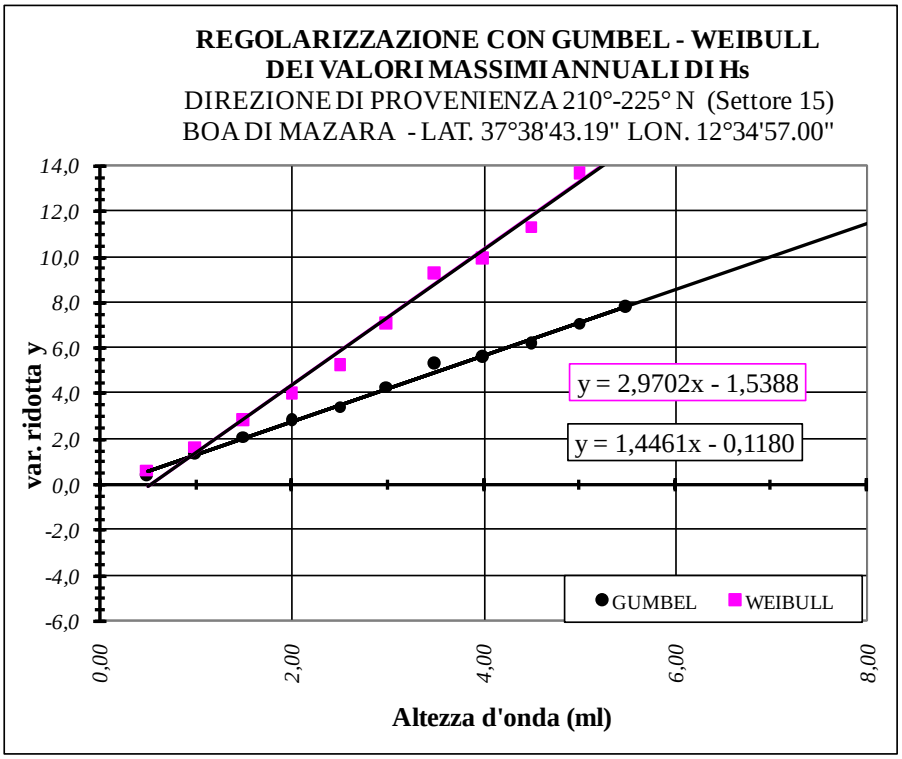


Figura 7e - Distribuzione di Gumbel – Weibull (Dati APAT) – Settore 15

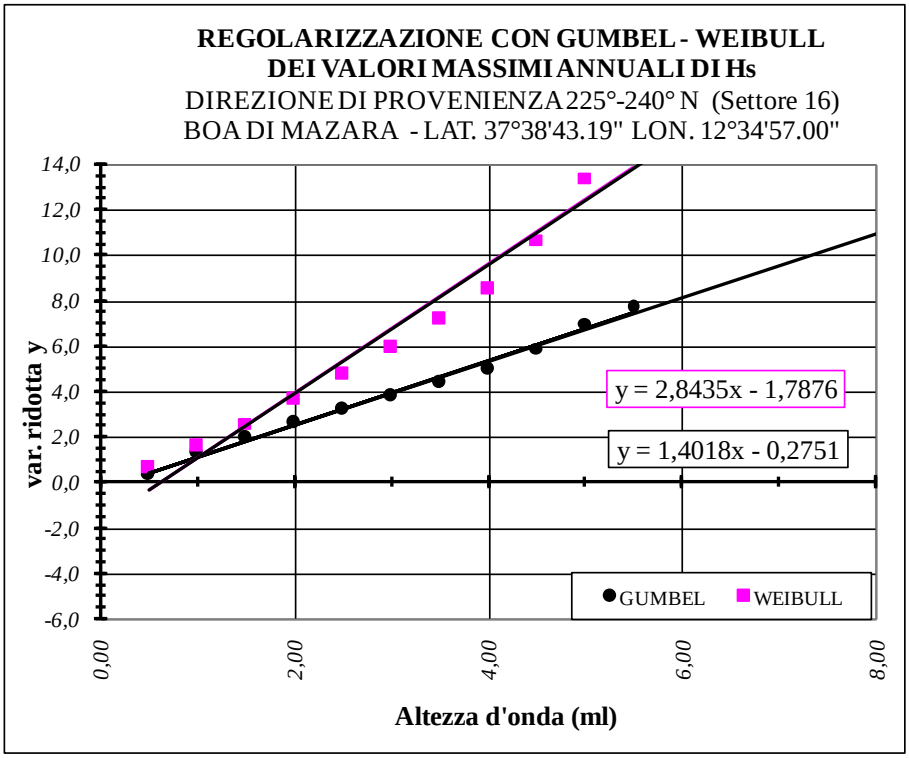


Figura 7f - Distribuzione di Gumbel -Weibull (Dati APAT) – Settore 16

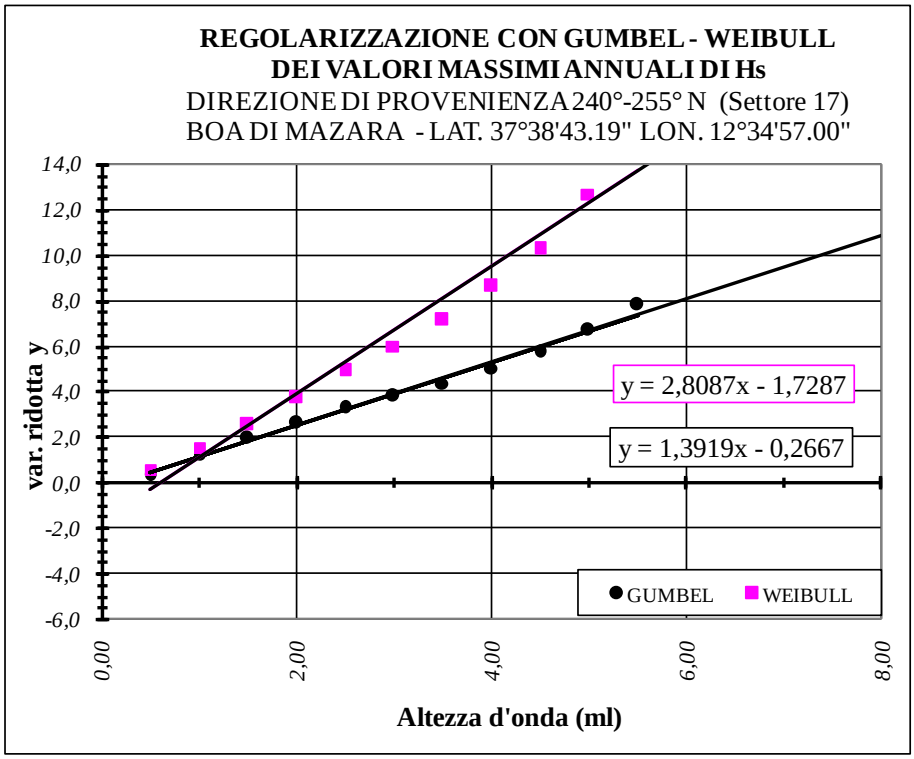


Figura 7g - Distribuzione di Gumbel – Weibull (Dati APAT) – Settore 17

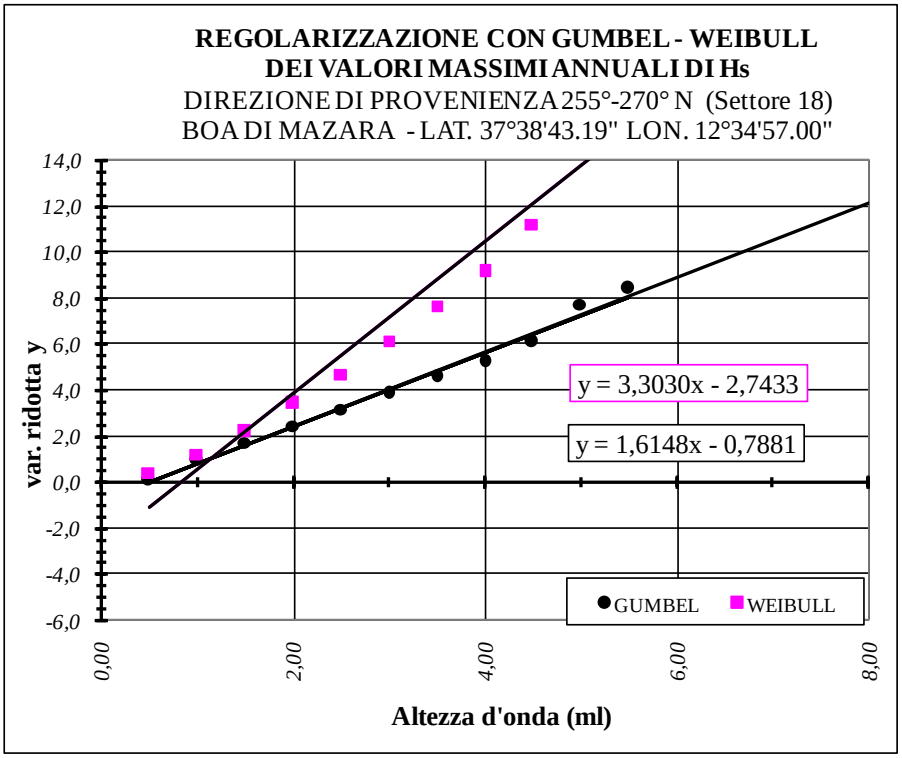


Figura 7h - Distribuzione di Gumbel – Weibull (Dati APAT) – Settore 18

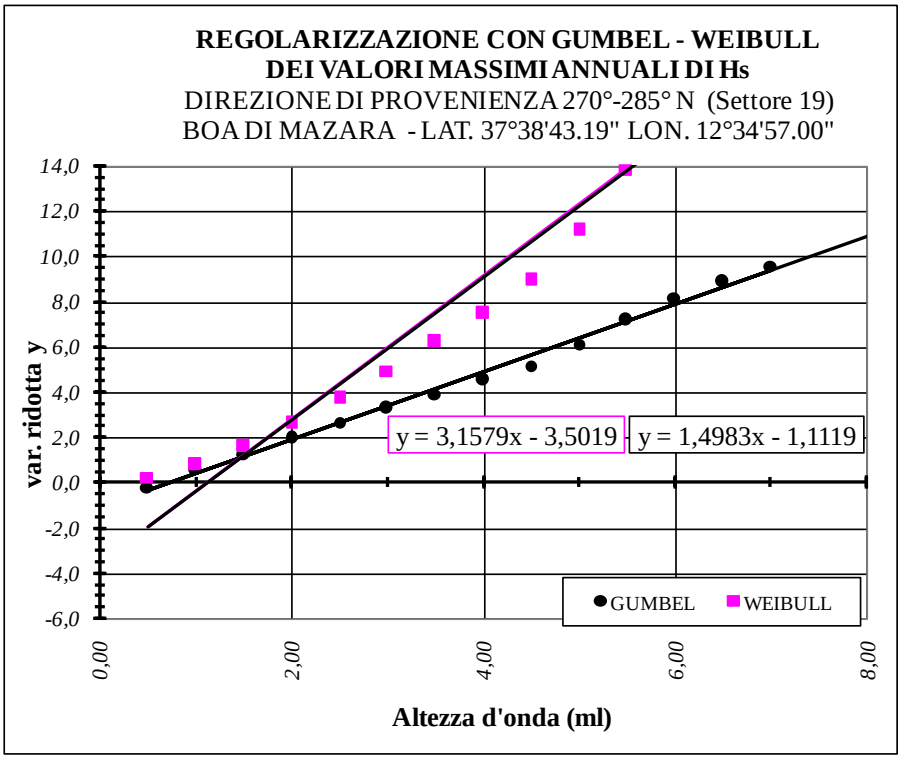


Figura 7i - Distribuzione di Gumbel – Weibull (Dati APAT) – Settore 19

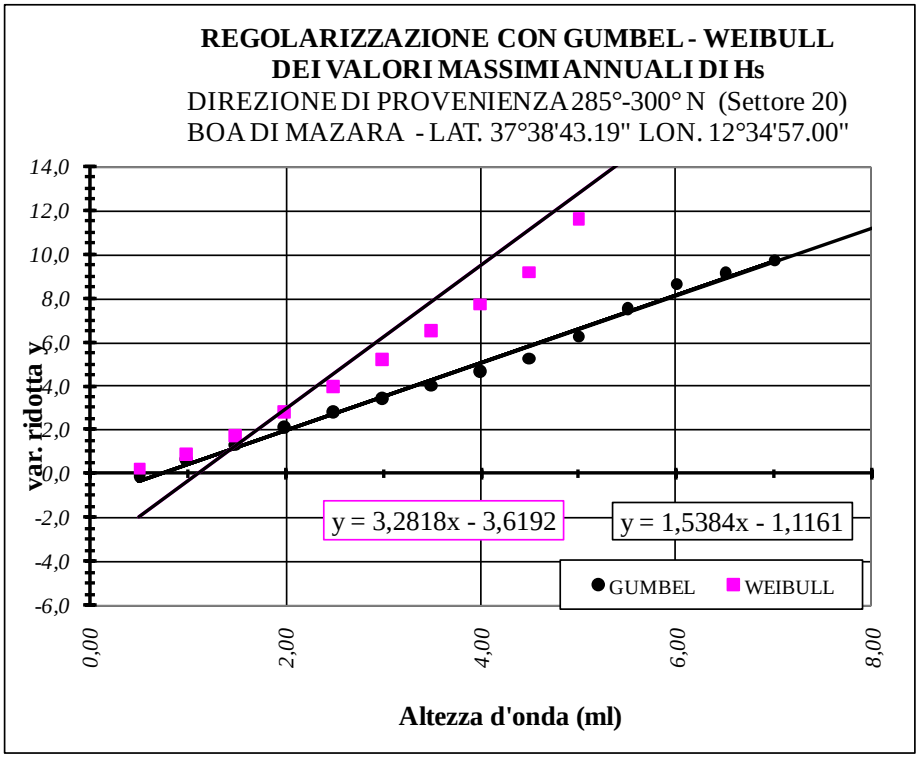


Figura 7l - Distribuzione di Gumbel – Weibull (Dati APAT) – Settore 20

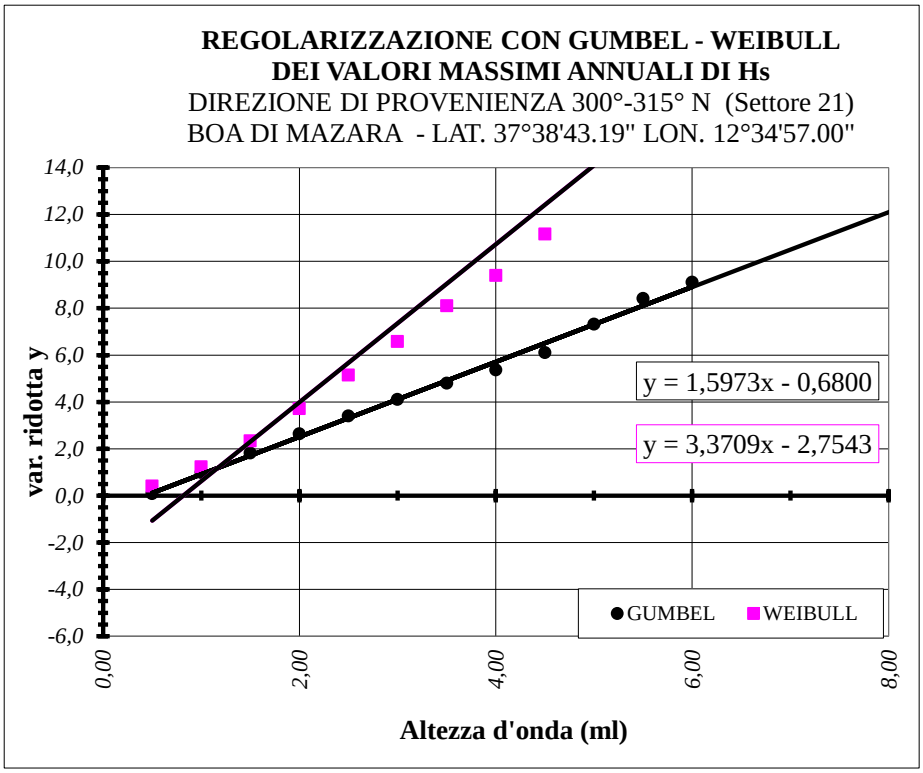


Figura 7m - Distribuzione di Gumbel – Weibull (Dati APAT) – Settore 21

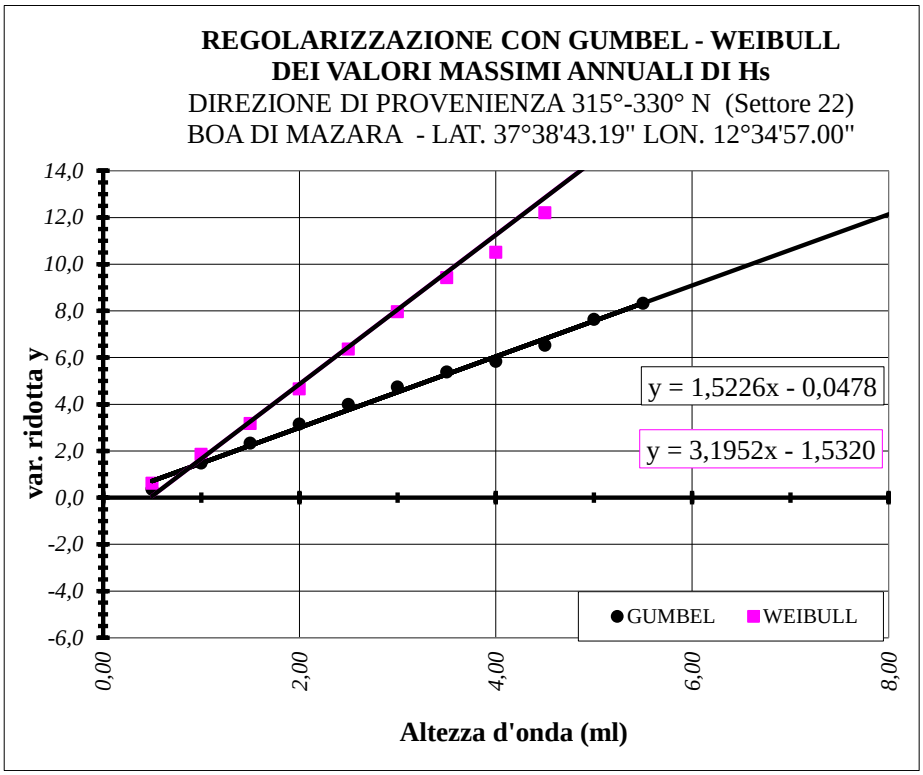


Figura 7n - Distribuzione di Gumbel – Weibull (Dati APAT) – Settore 22

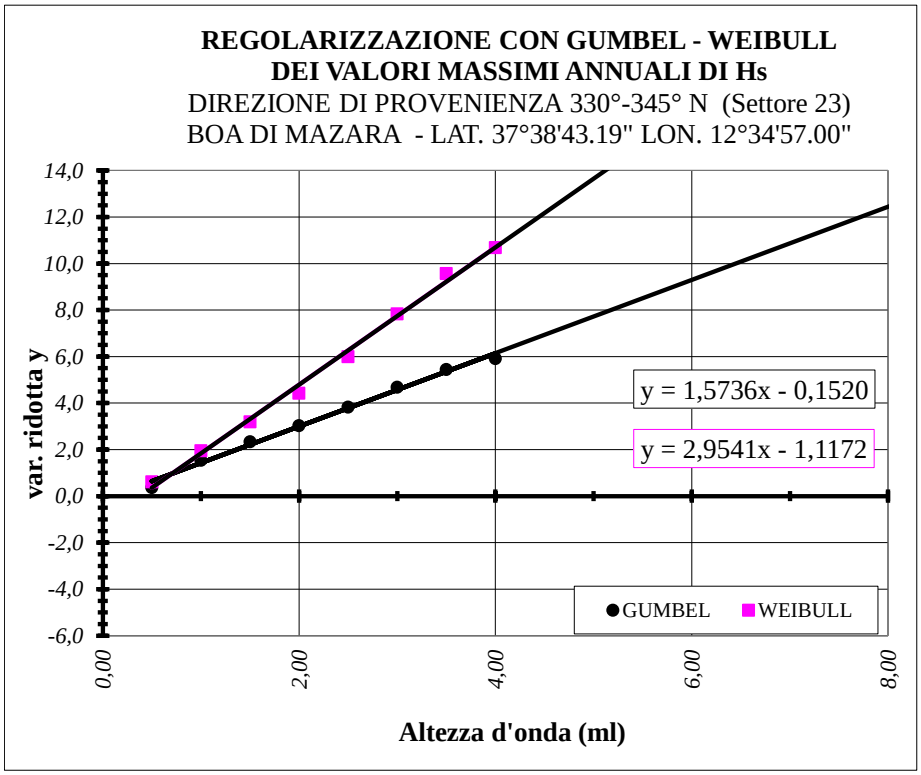


Figura 7o - Distribuzione di Gumbel – Weibull (Dati APAT) – Settore 23

Nella Tabella 15 sono riportati i valori di Hs per i vari settori ottenuti dai dati di onda APAT per i vari tempi di ritorno con la distribuzione di Gumbel e di Weibull.

DETERMINAZIONE DEL REGIME ONDOSO AL LARGO - LAT. 37°31'05,00" LON. 12°32'00,00" (BOA DI MAZARA)											
Sett.	Fattori distrib.	DISTRIBUZIONE DI GUMBEL					DISTRIBUZIONE DI WEIBULL				
		Tr = 5	Tr = 10	Tr = 50	Tr = 100	Tr = 120	Tr = 5	Tr = 10	Tr = 50	Tr = 100	Tr = 120
tutti	P(x)	0,9961	0,9980	0,9996	0,9998	0,9998	0,9961	0,9980	0,9996	0,9998	0,9998
11	Hs (ml)	**4,80**	**5,22**	**6,20**	**6,62**	**6,73**	**4,82**	**5,34**	**6,61**	**7,18**	**7,33**
	Ts (m/s)	9,08	9,48	10,35	10,71	10,80	9,09	9,59	10,70	11,16	11,28
12	Hs (ml)	**5,13**	**5,67**	**6,93**	**7,48**	**7,62**	**5,15**	**5,80**	**7,41**	**8,13**	**8,32**
	Ts (m/s)	9,39	9,89	10,96	11,40	11,51	9,41	10,01	11,34	11,89	12,04
13	Hs (ml)	**4,89**	**5,40**	**6,60**	**7,11**	**7,25**	**4,92**	**5,54**	**7,07**	**7,76**	**7,94**
	Ts (m/s)	9,16	9,65	10,69	11,11	11,21	9,19	9,77	11,07	11,61	11,75
14	Hs (ml)	**4,67**	**5,14**	**6,25**	**6,73**	**6,86**	**4,71**	**5,31**	**6,75**	**7,40**	**7,57**
	Ts (m/s)	8,95	9,41	10,40	10,80	10,90	8,99	9,56	10,81	11,33	11,47
15	Hs (ml)	**4,62**	**5,10**	**6,22**	**6,70**	**6,82**	**4,66**	**5,25**	**6,70**	**7,35**	**7,53**
	Ts (m/s)	8,91	9,37	10,37	10,77	10,87	8,94	9,51	10,77	11,30	11,44
16	Hs (ml)	**4,81**	**5,31**	**6,46**	**6,95**	**7,08**	**4,87**	**5,49**	**6,99**	**7,67**	**7,85**
	Ts (m/s)	9,09	9,56	10,57	10,98	11,08	9,15	9,72	11,01	11,55	11,69
17	Hs (ml)	**4,93**	**5,43**	**6,59**	**7,08**	**7,21**	**5,02**	**5,65**	**7,18**	**7,87**	**8,06**
	Ts (m/s)	9,20	9,67	10,68	11,08	11,19	9,29	9,87	11,16	11,70	11,84
18	Hs (ml)	**4,96**	**5,39**	**6,38**	**6,81**	**6,93**	**5,05**	**5,60**	**6,94**	**7,54**	**7,70**
	Ts (m/s)	9,23	9,63	10,51	10,87	10,96	9,32	9,83	10,97	11,45	11,57
19	Hs (ml)	**6,32**	**6,78**	**7,85**	**8,32**	**8,44**	**6,47**	**7,08**	**8,53**	**9,18**	**9,36**
	Ts (m/s)	10,45	10,84	11,69	12,03	12,12	10,58	11,08	12,19	12,66	12,79
20	Hs (ml)	**6,28**	**6,73**	**7,77**	**8,22**	**8,34**	**6,42**	**7,00**	**8,41**	**9,04**	**9,21**
	Ts (m/s)	10,42	10,79	11,62	11,97	12,05	10,54	11,02	12,11	12,56	12,68
21	Hs (ml)	**5,36**	**5,79**	**6,80**	**7,24**	**7,35**	**5,47**	**6,02**	**7,37**	**7,97**	**8,13**
	Ts (m/s)	9,61	10,00	10,86	11,21	11,30	9,71	10,20	11,31	11,77	11,89
22	Hs (ml)	**4,69**	**5,15**	**6,20**	**6,66**	**6,78**	**4,75**	**5,31**	**6,69**	**7,30**	**7,47**
	Ts (m/s)	8,97	9,41	10,36	10,74	10,84	9,03	9,56	10,76	11,26	11,39
23	Hs (ml)	**4,39**	**4,89**	**6,05**	**6,55**	**6,68**	**4,40**	**5,01**	**6,50**	**7,17**	**7,35**
	Ts (m/s)	8,68	9,17	10,22	10,65	10,76	8,68	9,28	10,61	11,16	11,30

Tabella 15 – Valori di Hs e Ts ottenuti da dati APAT

2.12.1. TRASPOSIZIONE DEI DATI DELLE BOE ONDAMETRICHE – DATI MEDATLAS – DATI APAT

In generale, per la definizione del clima di moto ondoso di un paraggio, la fonte di dati più completa è costituita dalla serie storica di misure registrate dagli ondametri. Tuttavia in ragione del numero limitato di ondametri presenti al largo delle coste italiane, il più delle volte il sito di interesse, pur ricadendo nella stessa area geografica, è spesso decentrato rispetto al tratto di mare "sotteso" dall'ondametro. Da qui nasce l'esigenza di ricorrere ad un metodo che consenta di "trasporre" geograficamente le misure ondametriche dal punto di misura a quello di interesse.

Nel caso particolare, le onde calcolate in seguito alle registrazioni ondametriche al largo della zona di interesse e in particolare nei punti di rilevamento *MEDATLAS* (38°N, 12°E), i cui risultati sono riportate nella Tabella 12 (par. 2.12), si devono trasporre nel punto in cui si vogliono determinare le altezze d'onda di progetto, di coordinate (37°47'0,00" N, 12°26'0,00" E). Analogo trattamento va eseguito in riferimento alle onde calcolate mediante i dati APAT della boa di Mazara, posta nel

punto di coordinate 37°31’05” N, 12°32’ e i cui risultati sono riportati nella Tabella 15 del par. 2.12.

Nella Figura 8 sono riportati i punti di rilevazione MedAtlas ed Apat adottati, nonché il paraggio indagato.

Figura 8 - Posizionamento dei punti di rilevamento ondametrico (MEDATLAS – APAT) e del paraggio indagato.

Il metodo della trasposizione geografica delle misure di moto ondoso, proposto da Contini e De Girolamo (1988), viene applicato per consentire il trasferimento dei dati di altezza d’onda significativa, periodo medio e periodo di picco. Un metodo empirico, applicato dai ricercatori del Laboratorio di Ingegneria Costiera del Politecnico di Bari, viene utilizzato per la determinazione della direzione di provenienza del moto ondoso nell’area di interesse, a partire dalla direzione del moto ondoso registrata dall’ondametro.

L’ipotesi di base del metodo della trasposizione geografica consiste nel supporre che le stesse condizioni di vento (velocità e direzione) che hanno determinato le condizioni di moto ondoso registrate dall’ondametro abbiano interessato anche l’area di generazione situata al largo del sito di interesse. Il metodo consiste nel determinare la corrispondenza tra le direzioni, le altezze ed i periodi del moto ondoso relativi ai punti di misura *(MEDATLAS)* e a quello di interesse *(località Marsala)*

Indicando con gli apici “O” e “P” rispettivamente le grandezze relative al punto di misura ed al punto di trasposizione, e fissata una direzione geografica (direzione media da cui spira il vento) alla quale risultano associati i fetchs efficaci F_e^p F_e^o , le relazioni

che consentono di ricavare l'altezza dell'onda significativa in funzione dei fetch e del periodo medio sono:

$$\frac{H_S{}^P}{H_S{}^O} = \left(\frac{F_e{}^P}{F_e{}^O} \right)^{1/2}$$

$$\frac{T_m{}^P}{T_m{}^O} = \left(\frac{F_e{}^P}{F_e{}^O} \right)^{1/3}$$

dove:

$\left(\frac{F_e{}^P}{F_e{}^O} \right)^{1/2}$ =C_1, viene definito coefficiente di trasposizione per l'onda significativa;

$\left(\frac{F_e{}^P}{F_e{}^O} \right)^{1/3}$ =C_2, viene definito coefficiente di trasposizione per il periodo medio;

Per ottenere le relazioni scritte sopra, si è supposto che il fattore di velocità del vento, u_A nelle relazioni del metodo SMB precedentemente descritto, sia lo stesso nei punti messi a confronto (punto di rilevazione e paraggio in studio).

Per il calcolo dei coefficienti di trasposizione risulta necessario calcolare i fetch geografici e di conseguenza i fetch efficaci dei punti in cui vengono rilevati i dati.

Anche qui il calcolo delle distanze di mare libero è stato effettuato con ampiezze di 5°, mentre per il calcolo dei fetch efficaci il paraggio è stato suddiviso in 24 settori in modo tale da avere una perfetta corrispondenza con i fetch calcolati in precedenza per il per il paraggio della località geografica indagata.

Di seguito (Figura 9 a,b) vengono riportati i fetches geografici dei punti di rilevamento *MEDATLAS* (38°N, 12°E) ed *APAT boa di Mazara del Vallo* (37°31'05" N, 12°32' E), nonché (Figura 10 a,b) i fetches efficaci relativi agli stessi punti.

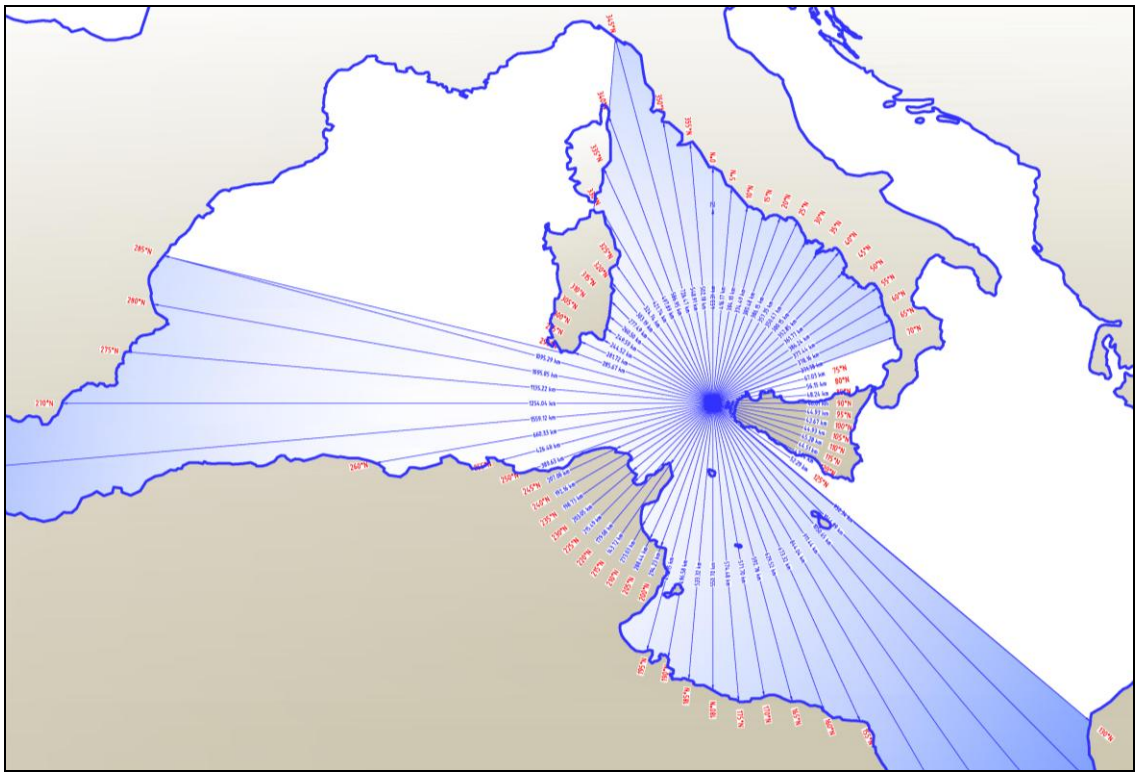


Figura 9a – Fetch geografico del punto di rilevamento MEDATLAS 38°N, 12°E.

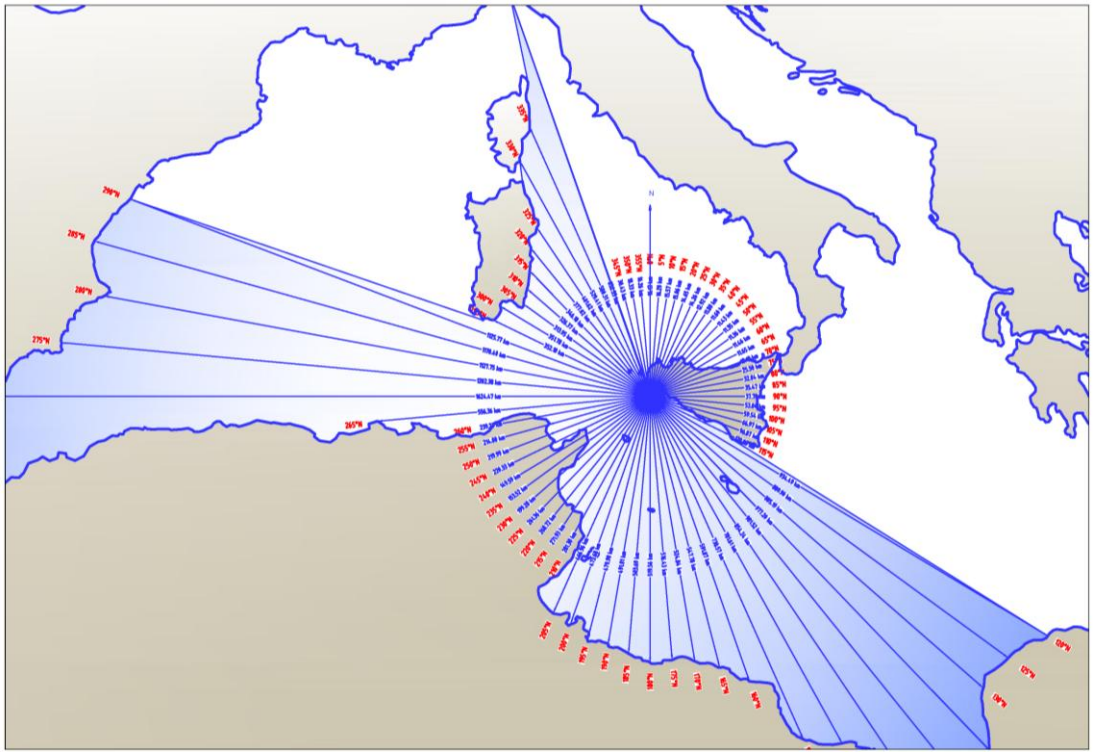


Figura 9b – Fetch geografico del punto di rilevamento APAT boa di Mazara del Vallo

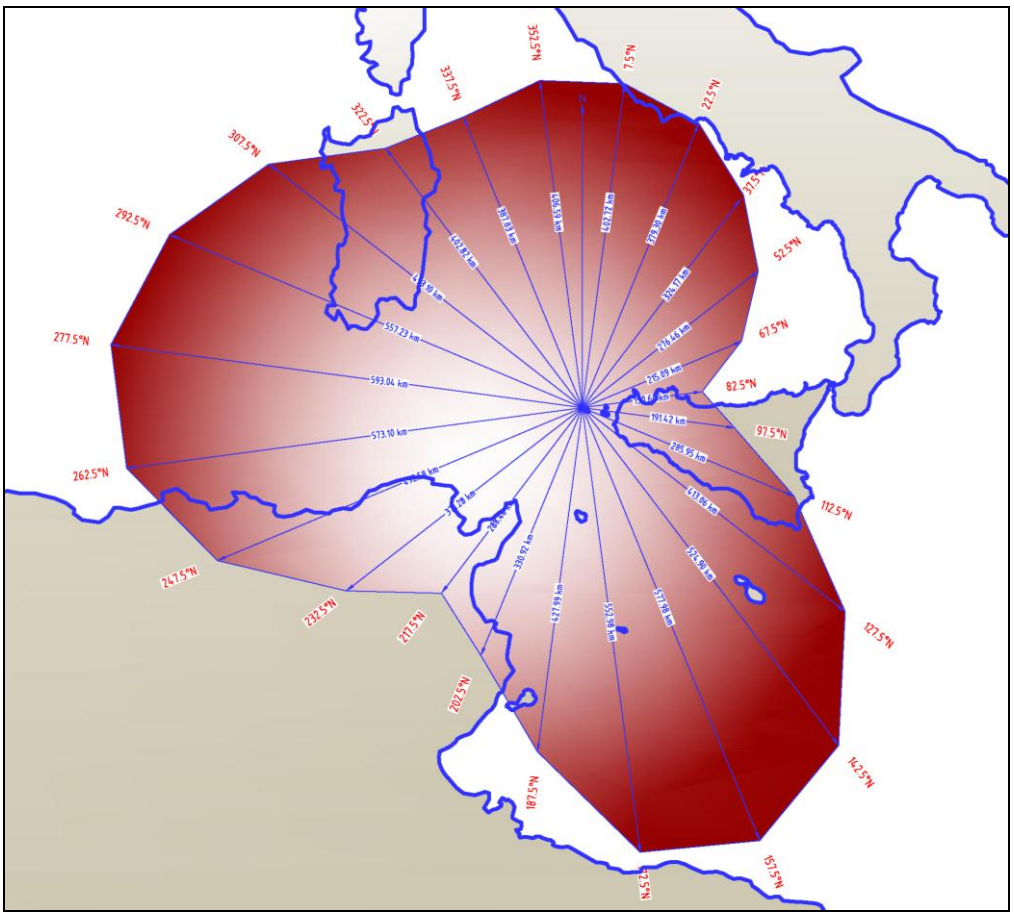


Figura 10a – Fetch efficace del punto di rilevamento MEDATLAS 38°N, 12° E

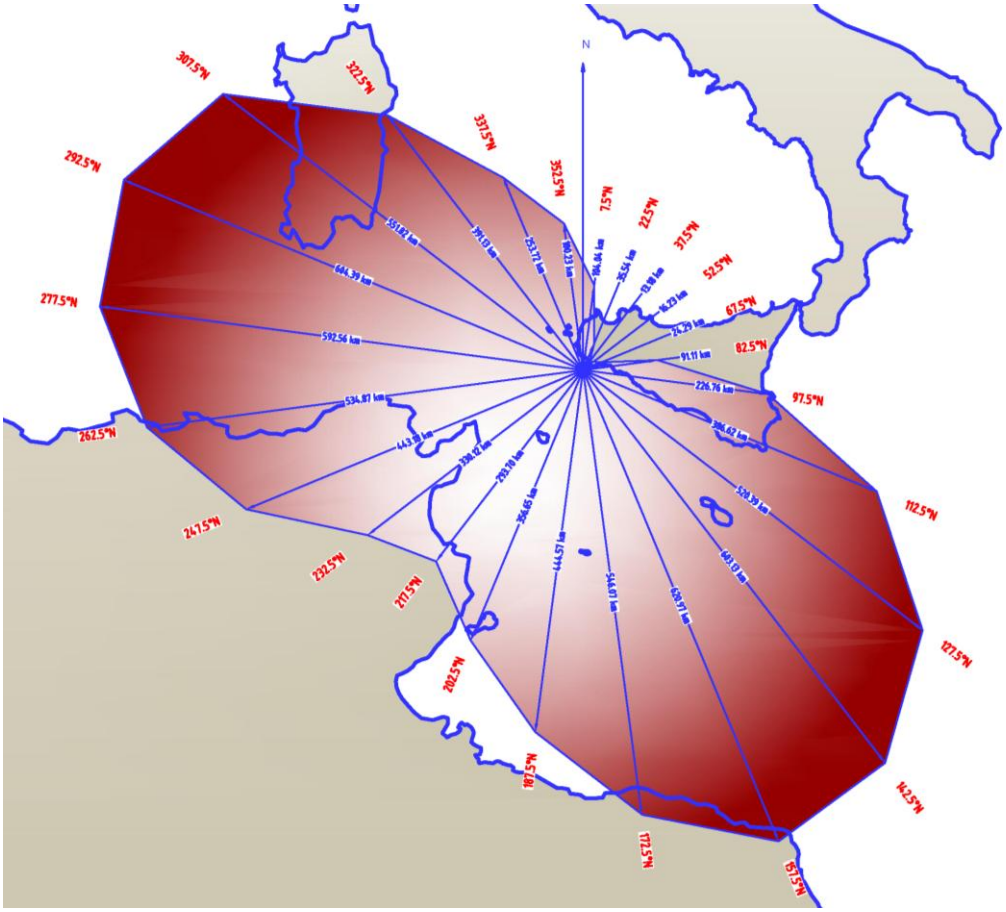


Figura 10b – Fetch efficace del punto di rilevamento APAT boa di Mazara del Vallo

Ottenuti i valori dei fetches efficaci per il punto in cui sono stati rilevati i dati è possibile effettuare la trasposizione geografica. Per completezza di informazioni si riporta nelle Tabella 16a-b il confronto tra i fetches efficaci della località indagata e dei punti di rilevamento adottati, nonché i valori dei coefficienti C_1 e C_2 prima descritti.

SETTORE	FETCH EFFICACI PARAGGIO km	FETCH EFFICACI MEDATLAS km	COEF. DI TRASPOSIZIONE DELL'ONDA	COEFF. DI TRASPOSIZIONE DEL PERIODO
11	503,73	577,98	0,9336	0,9552
12	472,90	552,99	0,9248	0,9492
13	418,62	427,99	0,9890	0,9926
14	356,26	330,93	1,0376	1,0249
15	297,28	288,40	1,0153	1,0102
16	346,74	371,28	0,9664	0,9775
17	446,36	492,58	0,9519	0,9677
18	522,71	573,10	0,9550	0,9698
19	561,64	593,04	0,9732	0,9820
20	553,54	557,23	0,9967	0,9978
21	530,64	493,09	1,0374	1,0248
22	455,83	402,82	1,0638	1,0421
23	433,20	387,84	1,0569	1,0376

SETTORE	FETCH EFFICACI PARAGGIO km	FETCH EFFICACI APAT km	COEF. DI TRASPOSIZIONE DELL'ONDA	COEFF. DI TRASPOSIZIONE DEL PERIODO
11	503,73	620,97	0,9007	0,9326
12	472,90	546,07	0,9306	0,9532
13	418,62	444,57	0,9704	0,9802
14	356,26	356,65	0,9994	0,9996
15	297,28	293,70	1,0061	1,0040
16	346,74	330,12	1,0249	1,0165
17	446,36	443,18	1,0036	1,0024
18	522,71	534,87	0,9886	0,9924
19	561,64	592,56	0,9736	0,9823
20	553,54	604,39	0,9570	0,9711
21	530,64	551,82	0,9806	0,9870
22	455,83	391,13	1,0795	1,0523
23	433,20	253,72	1,3067	1,1952

Tabella 16 – Fetches efficaci per la località indagata e per i punti di rilevamento ondametrico adottati - coefficienti di trasposizione dell'onda e del periodo boa Medatlas – boa Apat

Tali coefficienti vengono utilizzati, come descritto precedentemente, per il calcolo dell'altezza dell'onda e del relativo periodo nella località indagata. Di seguito (Tabella 17a-b) si riportano i valori delle onde ottenute in precedenza rispettivamente dai dati MEDATLAS ed APAT, su cui è stata eseguita la opportuna "trasposizione" geografica.
È importante notare come i coefficienti di trasposizione dell'onda e del periodo, sia per Medatlas che per Apat, sono prossimi all'unità, il che comporta una forte compatibilità tra le stazione di misura scelte e il sito oggetto di studio. L'unico dato che supera di molto l'unità è il coefficiente del settore 23 per elaborazioni Apat che ha valore di 1.3.
Come onde di progetto, per quello detto sopra, si prendono i valori massimi tra le diverse elaborazioni per ogni settore e per ogni tempo di ritorno. Le onde di progetto sono riportate nell'ultimo riquadro della Tabella 18.

REGIME ONDOSO TRASPOSTO ALLA LAT. 37°47'0.00"N, LONG. 12°26'0.00"E (PARAGGIO MARSALA)											
Sett.	Fattori distrib.	DISTRIBUZIONE DI GUMBEL					DISTRIBUZIONE DI WEIBULL				
		Tr = 5	Tr = 10	Tr = 50	Tr = 100	Tr = 120	Tr = 5	Tr = 10	Tr = 50	Tr = 100	Tr = 120
	P(x)	0,9926	0,9963	0,9993	0,9996	0,9997	0,9926	0,9963	0,9993	0,9996	0,9997
11	Hs (ml)	**3,30**	**3,61**	**4,34**	**4,65**	**4,73**	**3,43**	**3,86**	**4,91**	**5,39**	**5,52**
	Ts (sec)	7,41	7,76	8,53	8,84	8,92	7,56	8,03	9,09	9,53	9,65
12	Hs (ml)	**3,38**	**3,69**	**4,41**	**4,72**	**4,80**	**3,54**	**3,96**	**5,02**	**5,49**	**5,62**
	Ts (sec)	7,49	7,84	8,59	8,89	8,97	7,67	8,13	9,18	9,61	9,72
13	Hs (ml)	**3,40**	**3,73**	**4,49**	**4,82**	**4,91**	**3,52**	**3,97**	**5,06**	**5,56**	**5,69**
	Ts (sec)	7,59	7,96	8,76	9,08	9,17	7,73	8,22	9,32	9,77	9,89
14	Hs (ml)	**2,48**	**2,73**	**3,30**	**3,55**	**3,62**	**2,53**	**2,86**	**3,67**	**4,04**	**4,13**
	Ts (sec)	6,51	6,84	7,54	7,82	7,90	6,57	7,00	7,95	8,35	8,46
15	Hs (ml)	**2,46**	**2,73**	**3,35**	**3,62**	**3,69**	**2,50**	**2,86**	**3,75**	**4,15**	**4,26**
	Ts (sec)	6,45	6,81	7,57	7,87	7,95	6,51	6,98	8,01	8,45	8,56
16	Hs (ml)	**2,42**	**2,69**	**3,30**	**3,56**	**3,63**	**2,48**	**2,83**	**3,71**	**4,11**	**4,22**
	Ts (sec)	6,36	6,70	7,45	7,75	7,83	6,43	6,89	7,91	8,34	8,45
17	Hs (ml)	**3,34**	**3,71**	**4,56**	**4,92**	**5,02**	**3,48**	**3,98**	**5,23**	**5,79**	**5,94**
	Ts (sec)	7,48	7,89	8,77	9,13	9,22	7,64	8,18	9,41	9,92	10,05
18	Hs (ml)	**5,56**	**6,08**	**7,27**	**7,79**	**7,93**	**5,95**	**6,69**	**8,49**	**9,31**	**9,53**
	Ts (sec)	9,72	10,17	11,16	11,56	11,66	10,06	10,69	12,08	12,66	12,81
19	Hs (ml)	**6,59**	**7,16**	**8,47**	**9,04**	**9,18**	**7,05**	**7,85**	**9,81**	**10,68**	**10,92**
	Ts (sec)	10,64	11,10	12,10	12,51	12,61	11,01	11,64	13,04	13,63	13,78
20	Hs (ml)	**6,68**	**7,28**	**8,66**	**9,26**	**9,42**	**7,11**	**7,94**	**9,96**	**10,87**	**11,12**
	Ts (sec)	10,75	11,23	12,28	12,71	12,82	11,10	11,75	13,20	13,80	13,96
21	Hs (ml)	**5,89**	**6,48**	**7,86**	**8,45**	**8,60**	**6,21**	**7,00**	**8,96**	**9,84**	**10,07**
	Ts (sec)	10,14	10,65	11,75	12,20	12,31	10,42	11,08	12,57	13,19	13,35
22	Hs (ml)	**5,42**	**6,00**	**7,35**	**7,93**	**8,08**	**5,73**	**6,52**	**8,46**	**9,33**	**9,57**
	Ts (m/s)	9,75	10,28	11,40	11,86	11,97	10,04	10,72	12,26	12,89	13,06
23	Hs (ml)	**5,16**	**5,74**	**7,07**	**7,65**	**7,80**	**5,40**	**6,17**	**8,06**	**8,92**	**9,15**
	Ts (m/s)	9,50	10,03	11,17	11,63	11,75	9,73	10,41	11,94	12,58	12,74

Tabella 17a – Valori dell'altezza d'onda e relativo periodo in località Sciacca dati di mare MEDATLAS

REGIME ONDOSO TRASPOSTO ALLA LAT. 37°47'0,00"N, LONG. 12°26'0,00"E (PARAG0GIO MARSALA)											
Sett.	Fattori distrib.	DISTRIBUZIONE DI GUMBEL					DISTRIBUZIONE DI WEIBULL				
		Tr = 5	Tr = 10	Tr = 50	Tr = 100	Tr = 120	Tr = 5	Tr = 10	Tr = 50	Tr = 100	Tr = 120
	P(x)	0,9961	0,9980	0,9996	0,9998	0,9998	0,9961	0,9980	0,9996	0,9998	0,9998
11	Hs (ml)	**4,32**	**4,70**	**5,58**	**5,96**	**6,06**	**4,34**	**4,81**	**5,95**	**6,46**	**6,60**
	Ts (sec)	8,47	8,84	9,65	9,99	10,07	8,48	8,94	9,98	10,41	10,52
12	Hs (ml)	**4,77**	**5,28**	**6,45**	**6,96**	**7,09**	**4,79**	**5,40**	**6,89**	**7,56**	**7,74**
	Ts (sec)	8,95	9,43	10,45	10,86	10,97	8,97	9,54	10,81	11,34	11,47
13	Hs (ml)	**4,74**	**5,24**	**6,40**	**6,90**	**7,03**	**4,77**	**5,38**	**6,86**	**7,53**	**7,71**
	Ts (sec)	8,98	9,45	10,47	10,89	10,99	9,01	9,58	10,85	11,38	11,52
14	Hs (ml)	**4,66**	**5,14**	**6,25**	**6,73**	**6,86**	**4,71**	**5,30**	**6,74**	**7,39**	**7,57**
	Ts (sec)	8,94	9,40	10,40	10,80	10,90	8,99	9,55	10,81	11,33	11,47
15	Hs (ml)	**4,65**	**5,13**	**6,25**	**6,74**	**6,86**	**4,69**	**5,29**	**6,74**	**7,40**	**7,57**
	Ts (sec)	8,94	9,41	10,41	10,81	10,92	8,98	9,55	10,82	11,35	11,48
16	Hs (ml)	**4,93**	**5,44**	**6,62**	**7,12**	**7,26**	**4,99**	**5,62**	**7,17**	**7,86**	**8,05**
	Ts (sec)	9,24	9,72	10,74	11,16	11,26	9,30	9,88	11,19	11,74	11,88
17	Hs (ml)	**4,95**	**5,45**	**6,61**	**7,11**	**7,24**	**5,04**	**5,67**	**7,21**	**7,90**	**8,08**
	Ts (sec)	9,23	9,69	10,70	11,11	11,22	9,31	9,89	11,19	11,73	11,87
18	Hs (ml)	**4,90**	**5,33**	**6,31**	**6,74**	**6,85**	**5,00**	**5,54**	**6,86**	**7,45**	**7,61**
	Ts (sec)	9,16	9,56	10,43	10,78	10,87	9,25	9,75	10,89	11,36	11,48
19	Hs (ml)	**6,15**	**6,60**	**7,65**	**8,10**	**8,21**	**6,30**	**6,89**	**8,31**	**8,94**	**9,11**
	Ts (sec)	10,27	10,65	11,48	11,82	11,91	10,40	10,88	11,98	12,44	12,56
20	Hs (ml)	**6,01**	**6,44**	**7,44**	**7,87**	**7,98**	**6,14**	**6,70**	**8,05**	**8,65**	**8,82**
	Ts (sec)	10,12	10,48	11,29	11,62	11,71	10,23	10,70	11,76	12,20	12,32
21	Hs (ml)	**5,26**	**5,68**	**6,67**	**7,10**	**7,21**	**5,36**	**5,91**	**7,22**	**7,81**	**7,97**
	Ts (sec)	9,48	9,87	10,71	11,06	11,15	9,58	10,07	11,16	11,62	11,74
22	Hs (ml)	**5,06**	**5,56**	**6,70**	**7,19**	**7,32**	**5,12**	**5,73**	**7,22**	**7,89**	**8,06**
	Ts (m/s)	9,44	9,90	10,90	11,30	11,40	9,50	10,06	11,32	11,85	11,99
23	Hs (ml)	**5,74**	**6,39**	**7,91**	**8,56**	**8,73**	**5,75**	**6,55**	**8,49**	**9,37**	**9,61**
	Ts (m/s)	10,37	10,96	12,22	12,73	12,86	10,38	11,09	12,68	13,33	13,50

Tabella 17b – Valori dell'altezza d'onda e relativo periodo in località Sciacca – dati di mare APAT, boa di Mazara del Vallo

RIEPILOGO ELABORAZIONI SUI DATI DI VENTO E DI MARE																					
Sett.	Fattori distrib.	SMB - DATI MEDATLAS					DATI DI ONDA MEDATLAS					DATI DI ONDA APAT					ONDE DI PROGETTO				
		Tr = 5	Tr = 10	Tr = 50	Tr = 100	Tr = 120	Tr = 5	Tr = 10	Tr = 50	Tr = 100	Tr = 120	Tr = 5	Tr = 10	Tr = 50	Tr = 100	Tr = 120	Tr = 5	Tr = 10	Tr = 50	Tr = 100	Tr = 120
11	Hs (ml)	**3,40**	**3,78**	**4,80**	**5,35**	**5,57**	**3,43**	**3,86**	**4,91**	**5,39**	**5,52**	**4,34**	**4,81**	**5,95**	**6,46**	**6,60**	**4,34**	**4,81**	**5,95**	**6,46**	**6,60**
	T (s)	6,64	6,88	7,51	7,85	7,99	7,56	8,03	9,09	9,53	9,65	8,48	8,94	9,98	10,41	10,52	8,48	8,94	9,98	10,41	10,52
12	Hs (ml)	**3,44**	**4,02**	**4,91**	**5,36**	**5,58**	**3,54**	**3,96**	**5,02**	**5,49**	**5,62**	**4,79**	**5,40**	**6,89**	**7,56**	**7,74**	**4,79**	**5,40**	**6,89**	**7,56**	**7,74**
	T (s)	6,78	7,24	7,74	7,97	8,13	7,67	8,13	9,18	9,61	9,72	8,97	9,54	10,81	11,34	11,47	8,97	9,54	10,81	11,34	11,47
13	Hs (ml)	**3,52**	**4,08**	**4,92**	**5,60**	**5,59**	**3,52**	**3,97**	**5,06**	**5,56**	**5,69**	**4,77**	**5,38**	**6,86**	**7,53**	**7,71**	**4,77**	**5,38**	**6,86**	**7,53**	**7,71**
	T (s)	6,93	7,35	7,78	8,21	8,16	7,73	8,22	9,32	9,77	9,89	9,01	9,58	10,85	11,38	11,52	9,01	9,58	10,85	11,38	11,52
14	Hs (ml)	**2,58**	**2,82**	**3,64**	**3,96**	**4,07**	**2,53**	**2,86**	**3,67**	**4,04**	**4,13**	**4,71**	**5,30**	**6,74**	**7,39**	**7,57**	**4,71**	**5,30**	**6,74**	**7,39**	**7,57**
	T (s)	5,99	6,13	6,72	6,90	6,98	6,57	7,00	7,95	8,35	8,46	8,99	9,55	10,81	11,33	11,47	8,99	9,55	10,81	11,33	11,47
15	Hs (ml)	**2,52**	**2,87**	**3,70**	**4,10**	**4,29**	**2,50**	**2,86**	**3,75**	**4,15**	**4,26**	**4,69**	**5,29**	**6,74**	**7,40**	**7,57**	**4,69**	**5,29**	**6,74**	**7,40**	**7,57**
	T (s)	6,01	6,29	6,87	7,15	7,30	6,51	6,98	8,01	8,45	8,56	8,98	9,55	10,82	11,35	11,48	8,98	9,55	10,82	11,35	11,48
16	Hs (ml)	**2,43**	**2,84**	**3,68**	**4,07**	**4,19**	**2,48**	**2,83**	**3,71**	**4,11**	**4,22**	**4,99**	**5,62**	**7,17**	**7,86**	**8,05**	**4,99**	**5,62**	**7,17**	**7,86**	**8,05**
	T (s)	5,80	6,16	6,77	7,04	7,11	6,43	6,89	7,91	8,34	8,45	9,30	9,88	11,19	11,74	11,88	9,30	9,88	11,19	11,74	11,88
17	Hs (ml)	**3,37**	**4,02**	**5,16**	**5,76**	**5,86**	**3,48**	**3,98**	**5,23**	**5,79**	**5,94**	**5,04**	**5,67**	**7,21**	**7,90**	**8,08**	**5,04**	**5,67**	**7,21**	**7,90**	**8,08**
	T (s)	6,81	7,34	8,03	8,39	8,43	7,64	8,18	9,41	9,92	10,05	9,31	9,89	11,19	11,73	11,87	9,31	9,89	11,19	11,73	11,87
18	Hs (ml)	**5,94**	**6,64**	**8,46**	**9,28**	**9,51**	**5,95**	**6,69**	**8,49**	**9,31**	**9,53**	**5,00**	**5,54**	**6,86**	**7,45**	**7,61**	**5,95**	**6,69**	**8,49**	**9,31**	**9,53**
	T (s)	9,20	9,57	10,45	10,82	10,92	10,06	10,69	12,08	12,66	12,81	9,25	9,75	10,89	11,36	11,48	10,06	10,69	12,08	12,66	12,81
19	Hs (ml)	**6,89**	**7,74**	**9,80**	**10,54**	**10,80**	**7,05**	**7,85**	**9,81**	**10,68**	**10,92**	**6,30**	**6,89**	**8,31**	**8,94**	**9,11**	**7,05**	**7,85**	**9,81**	**10,68**	**10,92**
	T (s)	9,85	10,29	11,23	11,49	11,63	11,01	11,64	13,04	13,63	13,78	10,40	10,88	11,98	12,44	12,56	11,01	11,64	13,04	13,63	13,78
20	Hs (ml)	**7,06**	**7,92**	**9,93**	**10,69**	**11,02**	**7,11**	**7,94**	**9,96**	**10,87**	**11,12**	**6,14**	**6,70**	**8,05**	**8,65**	**8,82**	**7,11**	**7,94**	**9,96**	**10,87**	**11,12**
	T (s)	9,89	10,33	11,22	11,48	11,64	11,10	11,75	13,20	13,80	13,96	10,23	10,70	11,76	12,20	12,32	11,10	11,75	13,20	13,80	13,96
21	Hs (ml)	**6,20**	**6,98**	**8,90**	**9,68**	**9,99**	**6,21**	**7,00**	**8,96**	**9,84**	**10,07**	**5,36**	**5,91**	**7,22**	**7,81**	**7,97**	**6,21**	**7,00**	**8,96**	**9,84**	**10,07**
	T (s)	9,32	9,74	10,67	11,00	11,15	10,42	11,08	12,57	13,19	13,35	9,58	10,07	11,16	11,62	11,74	10,42	11,08	12,57	13,19	13,35
22	Hs (ml)	**5,62**	**6,49**	**8,34**	**9,22**	**9,52**	**5,73**	**6,52**	**8,46**	**9,33**	**9,57**	**5,12**	**5,73**	**7,22**	**7,89**	**8,06**	**5,73**	**6,52**	**8,46**	**9,33**	**9,57**
	T (s)	8,93	9,46	10,40	10,56	10,96	10,04	10,72	12,26	12,89	13,06	9,50	10,06	11,32	11,85	11,99	10,04	10,72	12,26	12,89	13,06
23	Hs (ml)	**5,37**	**6,14**	**7,92**	**8,89**	**9,19**	**5,40**	**6,17**	**8,06**	**8,92**	**9,15**	**5,75**	**6,55**	**8,49**	**9,37**	**9,61**	**5,75**	**6,55**	**8,49**	**9,37**	**9,61**
	T (s)	8,70	9,16	10,08	10,56	10,72	9,73	10,41	11,94	12,58	12,74	10,38	11,09	12,68	13,33	13,50	10,38	11,09	12,68	13,33	13,50

Tabella 18 – Confronto dei valori di Hs e Ts e onde di progetto

2.13. DISTRIBUZIONE BETA-RAYLEIGH

Alcuni ricercatori hanno evidenziato che vi è una buona corrispondenza tra le distribuzioni statistiche delle altezze d'onda misurate e la distribuzione di Rayleigh. Pertanto è necessario, al fine di conoscere le distribuzioni statistiche delle onde calcolate e utilizzate come dati di input per i vari settori, determinare le distribuzioni di Rayleigh in modo da estrarre da esse alcune altezze d'onda che possono essere significative per le analisi che saranno condotte nel seguito. Il parametro H_{rms} è dato dalla relazione

$$H_{rms} = [\Sigma(H_i^2)/n)]^{(1/2)}$$

essendo n il numero delle misurazioni H_i tra i livelli massimi e minimi.
Questo parametro che definisce l'altezza quadratica media è correlata alla varianza degli spostamenti verticali a_1. La varianza per un gruppo di onde è data da

$$\sigma^2 = 1/(2\pi)*\Sigma(a_1^2)$$

ed è legata all'altezza quadratica media con la relazione

$$H_{rms} = (8*\sigma^2)\text{^}(1/2)$$

La probabilità Q(H) che si verifichi un evento con altezza maggiore di un valore prefissato H è data dalla relazione

$$Q(H) = \exp[-(H/H_{rms})^2]$$

che, posta sotto forma logaritmica, è rappresentata da una retta. La relazione precedente dà luogo alla probabilità di non superamento P(H) e alla densità di probabilità p(H) che sono espresse dalle seguenti relazioni

$$P(H) = 1-\exp[-(H/H_{rms})^2]$$
$$p(H) = 2*H/Hrms^2*\exp[-(H/H_{rms})^2]$$

Adottando quindi tale distribuzione è possibile individuare le altezze caratteristiche:
onda media, onda regolare con altezza media di tutte le onde presenti nella perturbazione ondosa considerata:

$$H_{1/1} = H_m = 0.886*H_{rms}$$

onda significativa, onda regolare con altezza pari all'altezza media del terzo delle onde più alte presenti nella perturbazione ondosa considerata:

$$H_{1/3} = 1.414*H_{rms}$$

onda 1/10, onda regolare con altezza pari all'altezza media del decimo delle onde più alte presenti nella perturbazione ondosa considerata:

$$H_{1/10} = 1.80*H_{rms}$$

onda 1/100, onda regolare con altezza pari all'altezza media del centesimo delle onde più alte presenti nella perturbazione ondosa considerata:

$$H_{1/100} = 2.36*H_{rms}$$

Il valore massimo dell'altezza dell'onda che potrebbe verificarsi in una data perturbazione ondosa per un numero di registrazioni maggiore di 10.000 è data da:

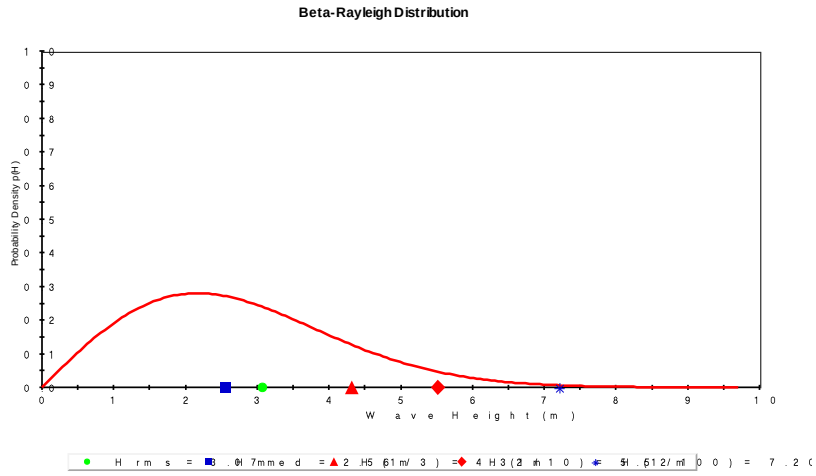
$$H_{max} = 2.22\ H_{1/3}$$

Si può quindi definire l'energia per unità di area orizzontale (densità media) con la relazione:

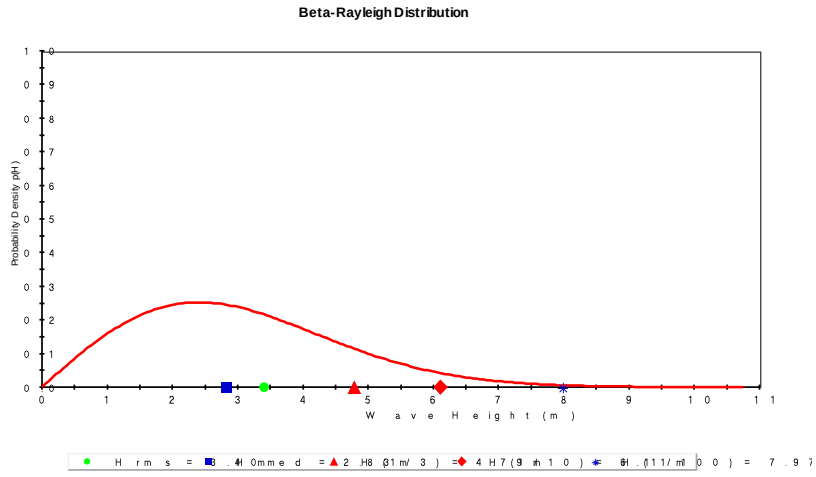
$$E = \mu*g*\Sigma(H_i)^2/(8*N) = \mu*g*Hrms^2/8$$

Nei grafici contenuti nei par da 2.10.1 a 2.10.10 sono riportati per ogni settore e per ogni tempo di ritorno considerati le distribuzioni di Rayleigh.

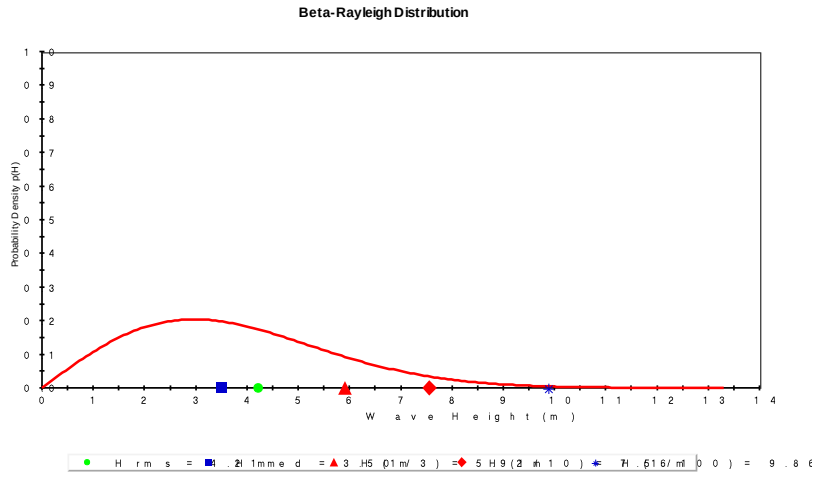
2.13.1. SETTORE 11 – TR = 5, 10, 50, 100, 120 ANNI



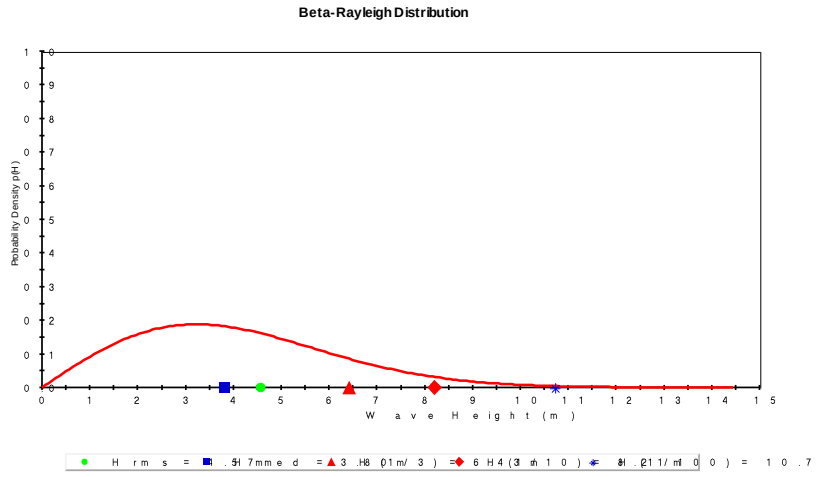
Input Conditions Hmo = 4.34m Tp = 9.33s h = 20.00m



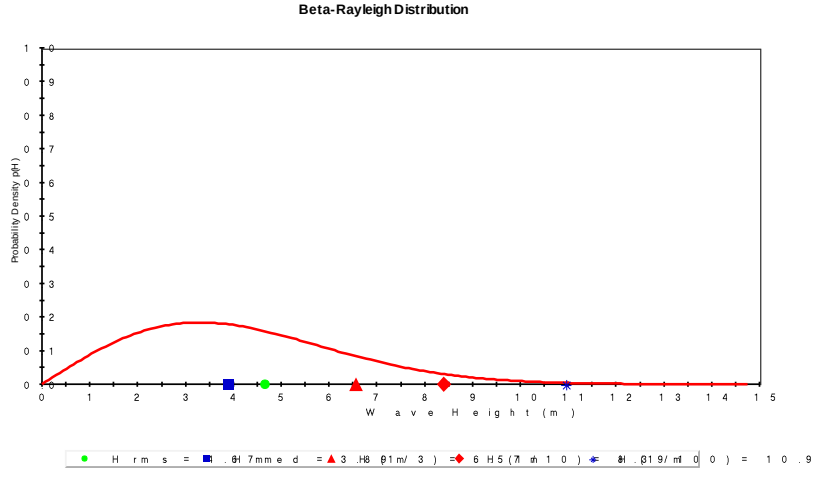
Input Conditions Hmo = 4.81m Tp = 9.84s h = 20.00m



Input Conditions Hmo = 5.95m Tp = 10.97s h = 20.00m

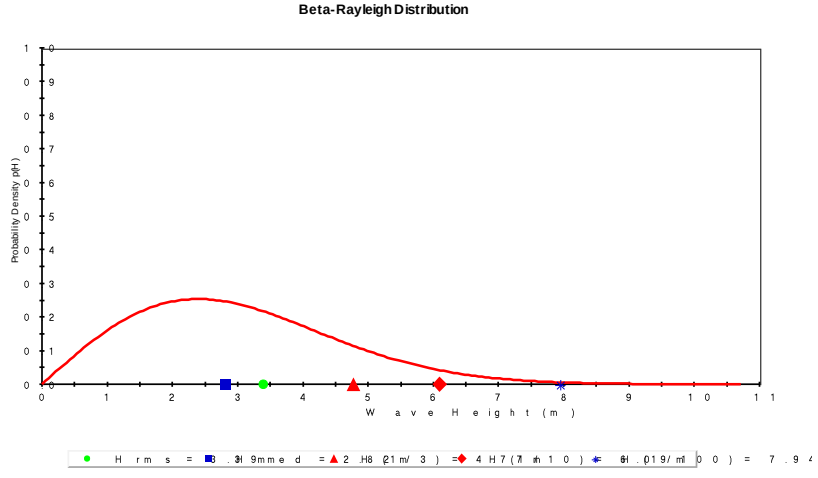


Input Conditions Hmo = 6.46m Tp = 11.45s h = 20.00m



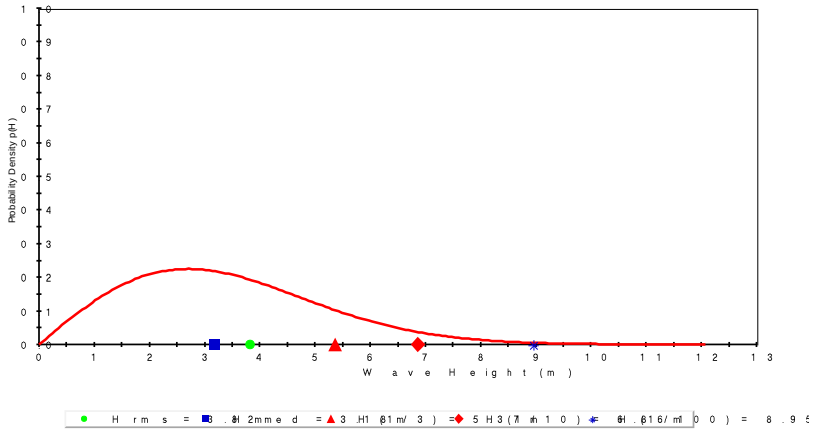
Input Conditions Hmo = 6.60m Tp = 11.57s h = 20.00m

2.13.2. SETTORE 12 – TR = 5, 10, 50, 100, 120 ANNI



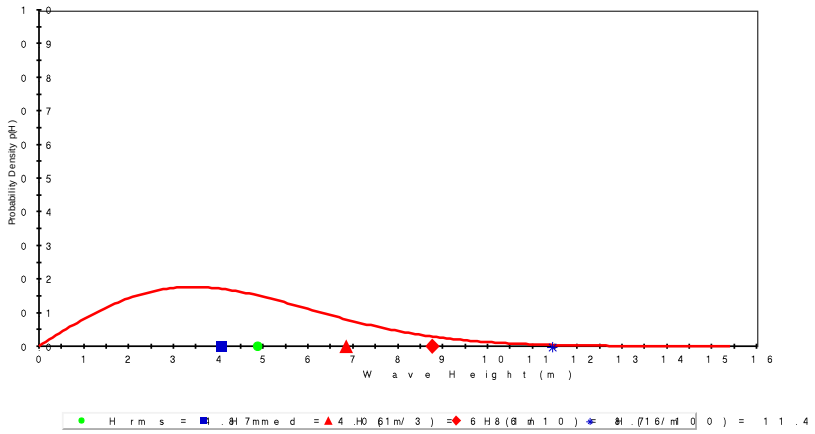
Input Conditions Hmo = 4.79m Tp = 9.86s h = 20.00m

Beta-Rayleigh Distribution



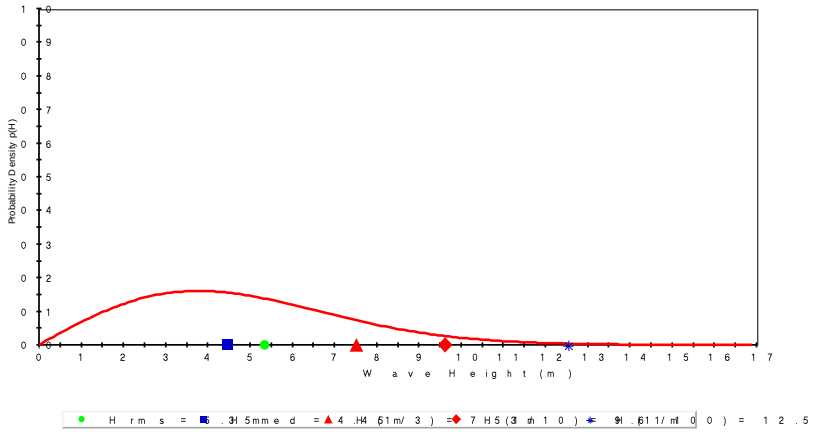
Input Conditions Hmo = 5.40m Tp = 10.49s h = 20.00m

Beta-Rayleigh Distribution

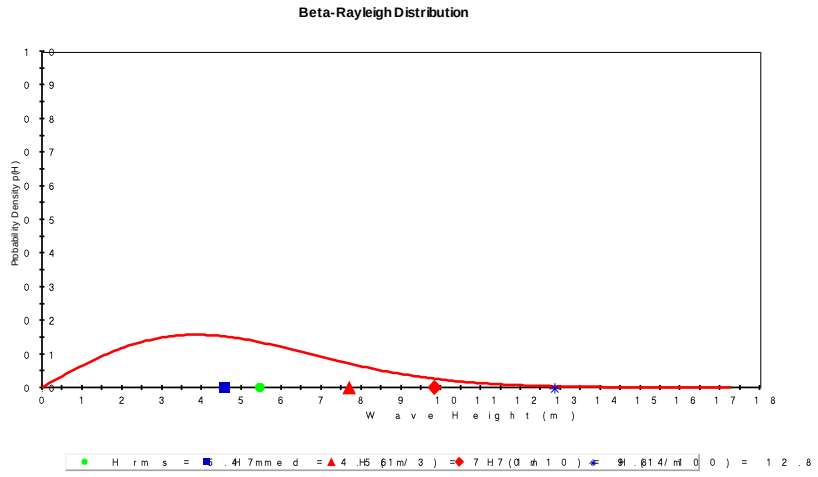


Input Conditions Hmo = 6.89m Tp = 11.89s h = 20.00m

Beta-Rayleigh Distribution

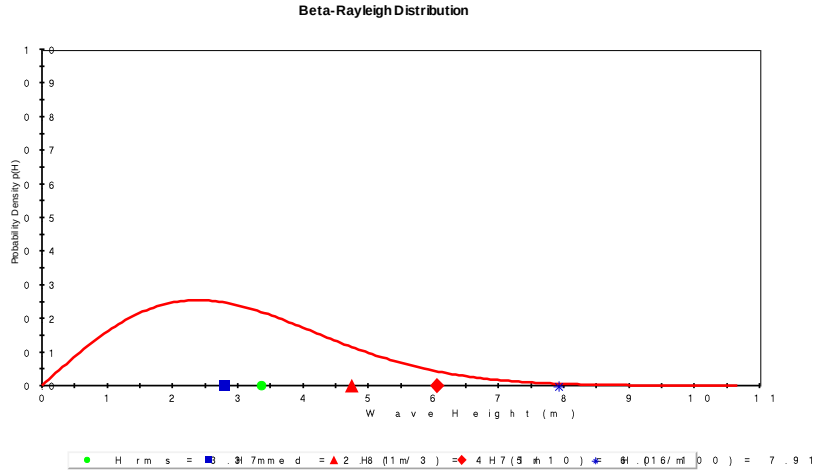


Input Conditions Hmo = 7.56m Tp = 12.47s h = 20.00m

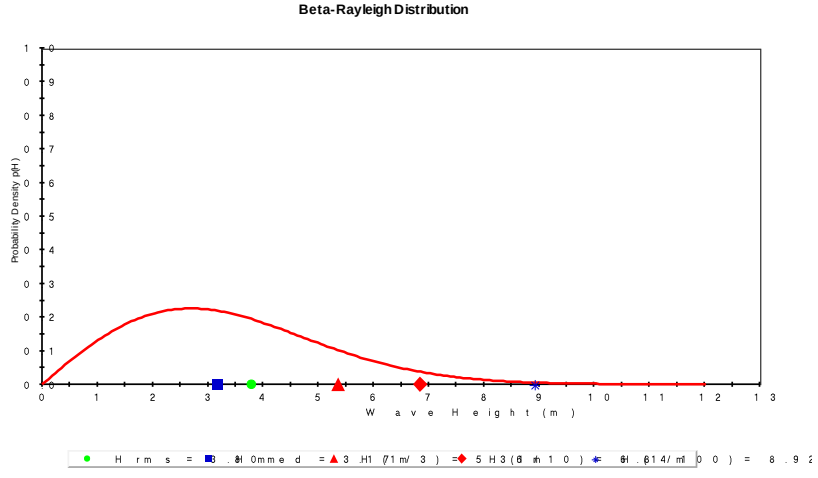


Input Conditions Hmo = 7.74m Tp = 12.62s h = 20.00m

2.13.3. SETTORE 13 – TR = 5, 10, 50, 100, 120 ANNI

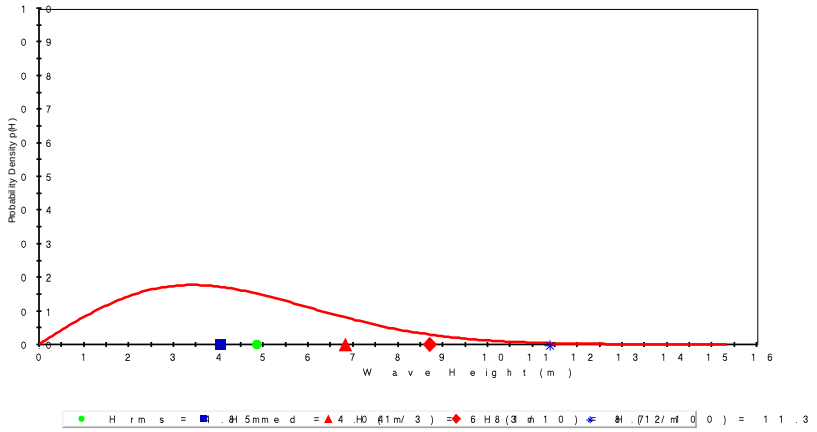


Input Conditions Hmo = 4.77m Tp = 9.91s h = 20.00m



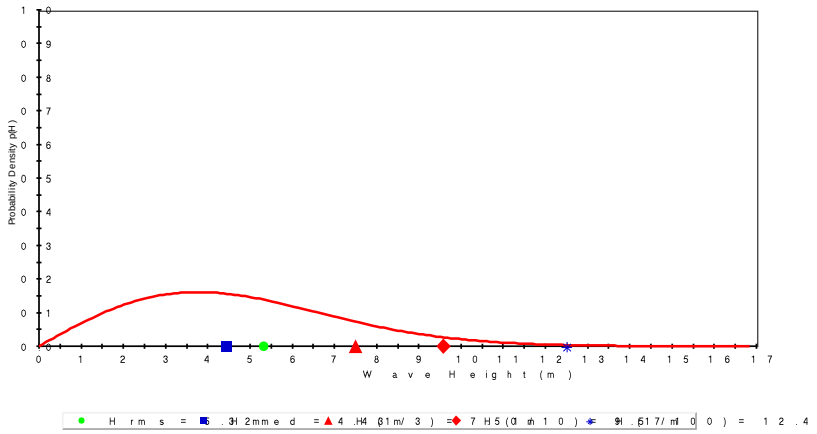
Input Conditions Hmo = 5.38m Tp = 10.54s h = 20.00m

Beta-Rayleigh Distribution



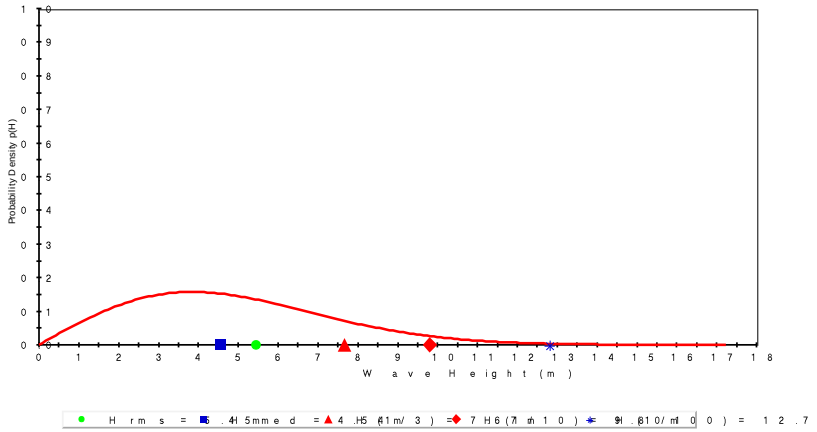
Input Conditions Hmo = 6.86m Tp = 11.94s h = 20.00m

Beta-Rayleigh Distribution



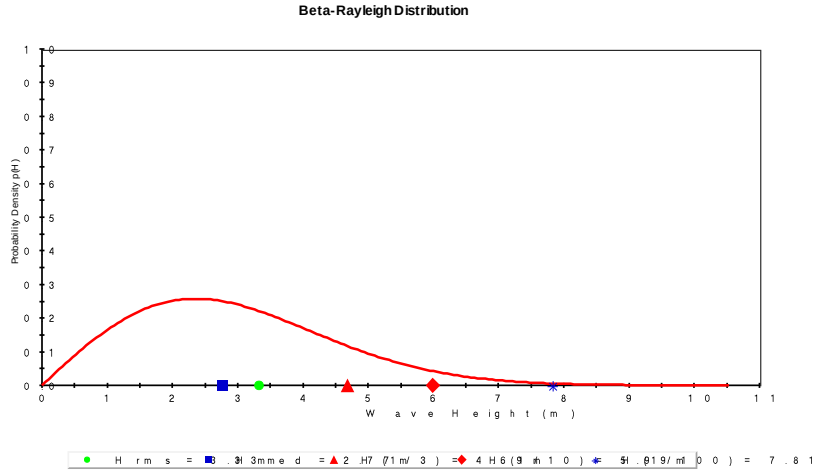
Input Conditions Hmo = 7.53m Tp = 12.52s h = 20.00m

Beta-Rayleigh Distribution

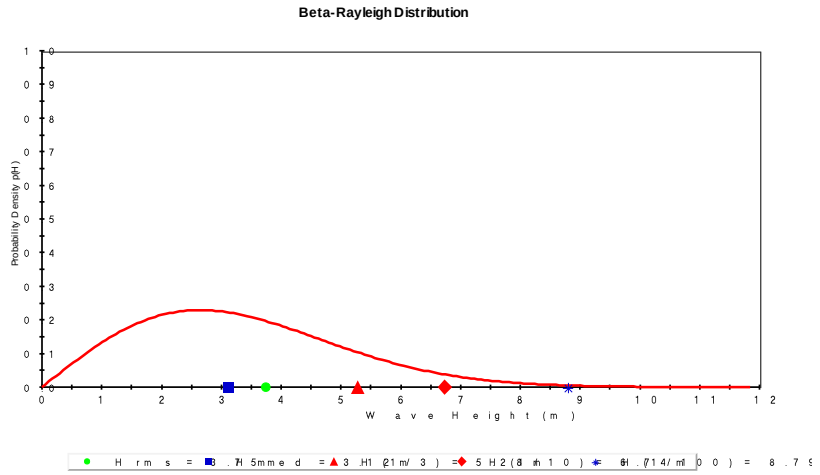


Input Conditions Hmo = 7.71m Tp = 12.67s h = 20.00m

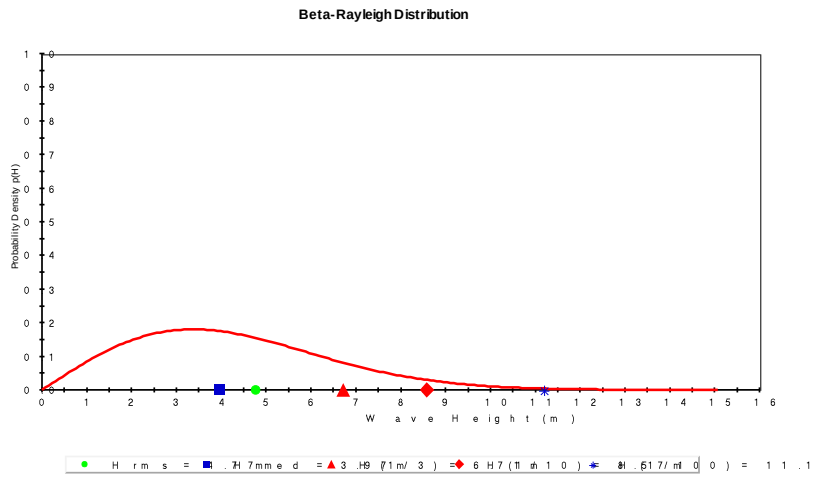
2.13.4. SETTORE 14 – TR = 5, 10, 50, 100, 120 ANNI



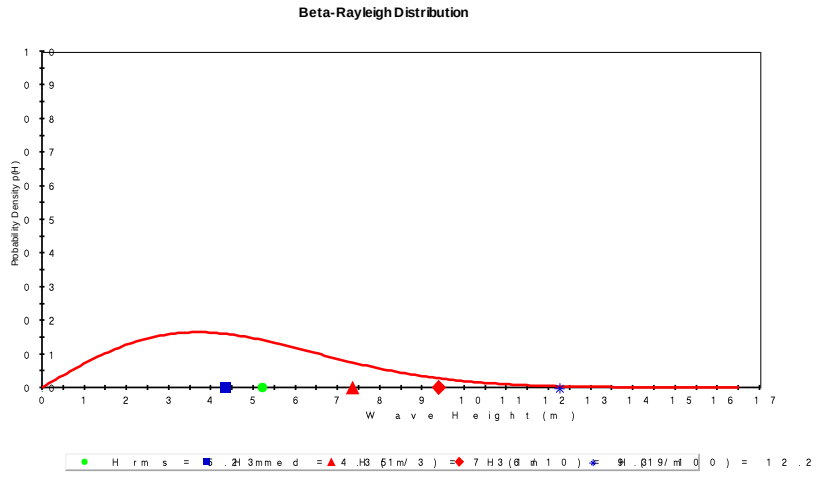
Input Conditions Hmo = 4.71m Tp = 9.89s h = 20.00m



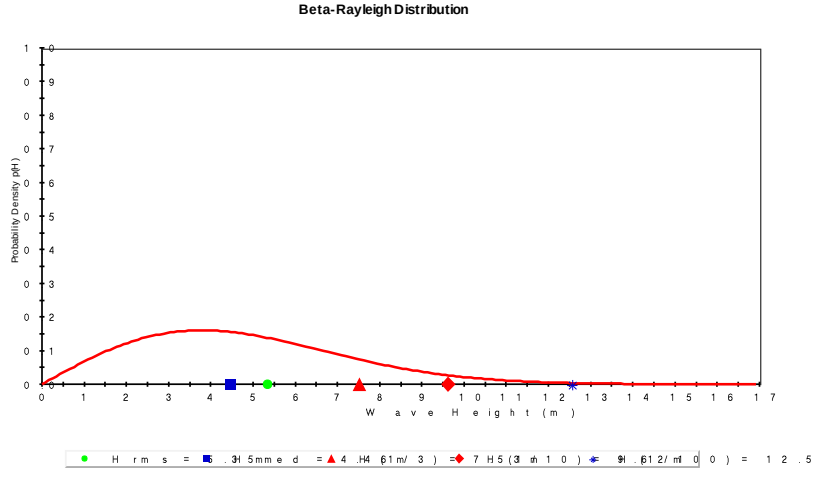
Input Conditions Hmo = 5.30m Tp = 10.51s h = 20.00m



Input Conditions Hmo = 6.74m Tp = 11.89s h = 20.00m

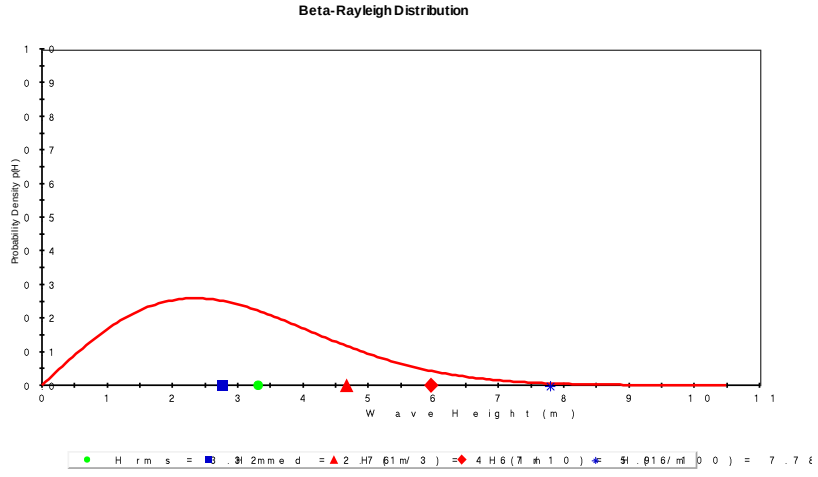


Input Conditions Hmo = 7.39m Tp = 12.46s h = 20.00m



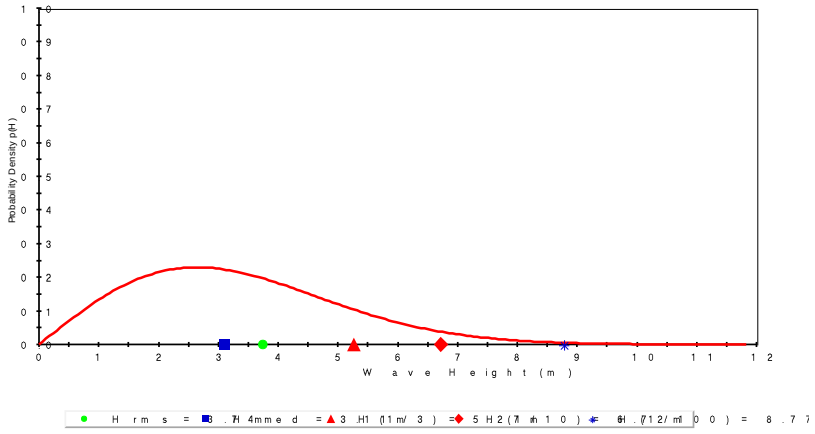
Input Conditions Hmo = 7.57m Tp = 12.61s h = 20.00m

2.13.5. SETTORE 15 – TR = 5, 10, 50, 100, 120 ANNI



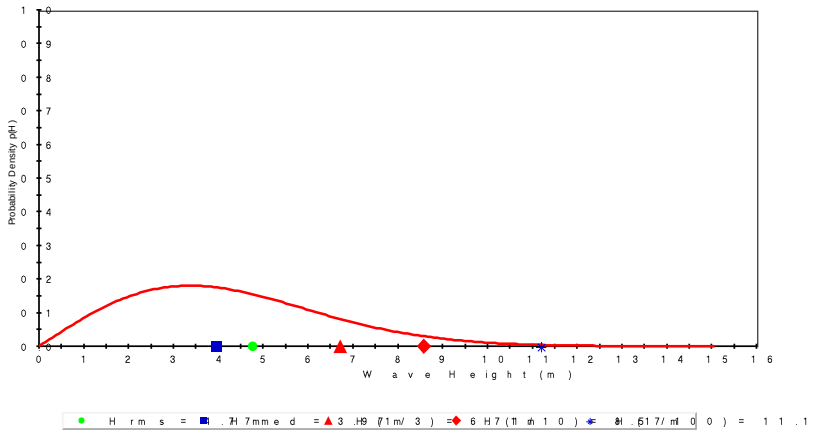
Input Conditions Hmo = 4.69m Tp = 9.88s h = 20.00m

Beta-Rayleigh Distribution



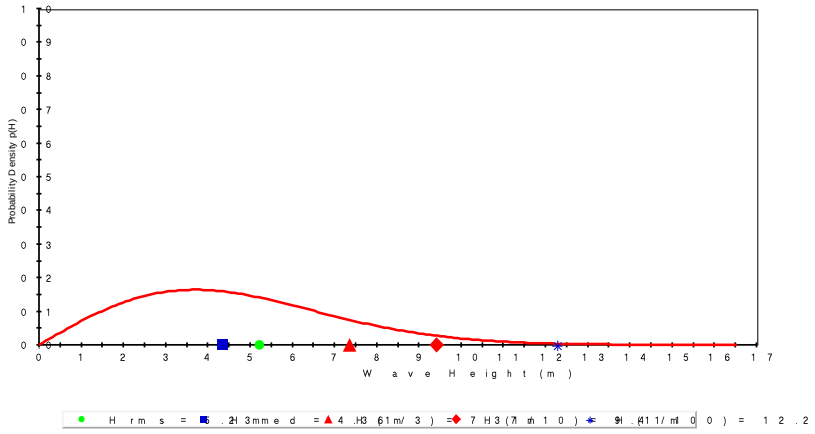
Input Conditions Hmo = 5.29m Tp = 10.50s h = 20.00m

Beta-Rayleigh Distribution

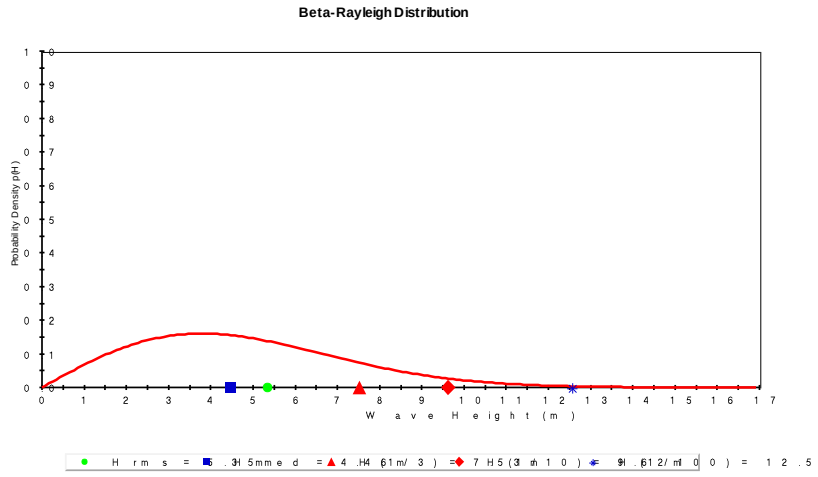


Input Conditions Hmo = 6.74m Tp = 11.90s h = 20.00m

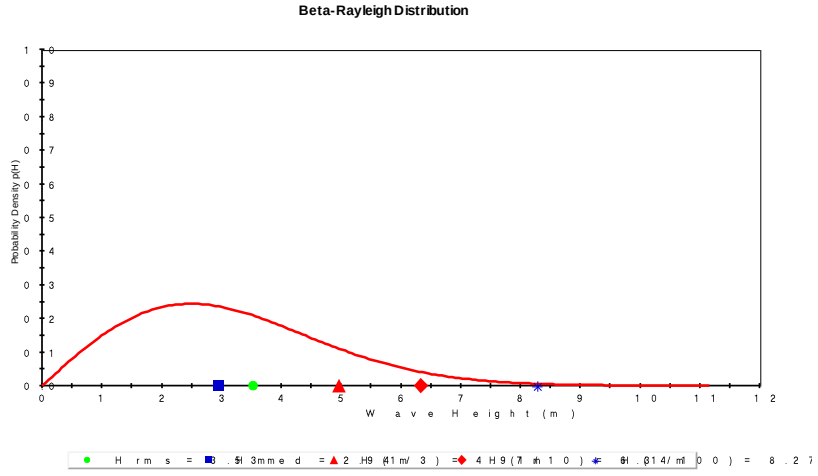
Beta-Rayleigh Distribution

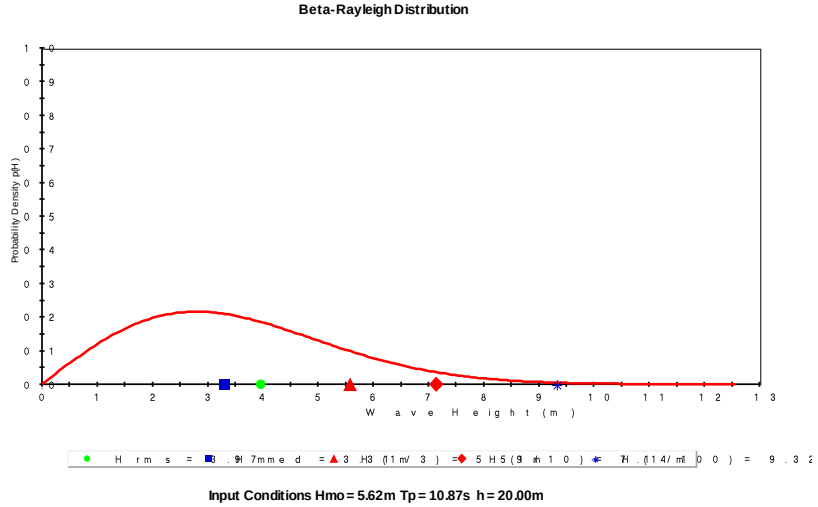


Input Conditions Hmo = 7.40m Tp = 12.48s h = 20.00m

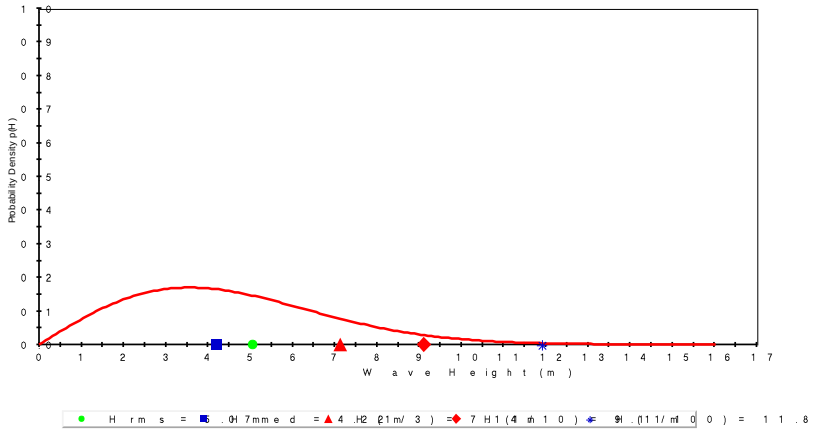


2.13.6. SETTORE 16 – TR = 5, 10, 50, 100, 120 ANNI



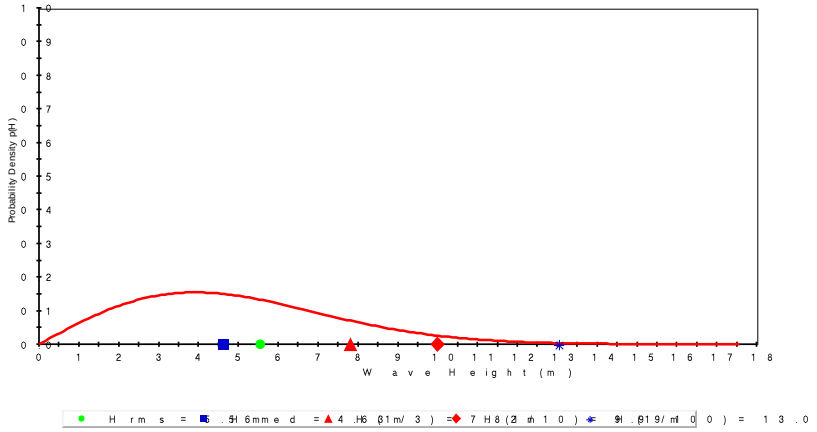


Beta-Rayleigh Distribution



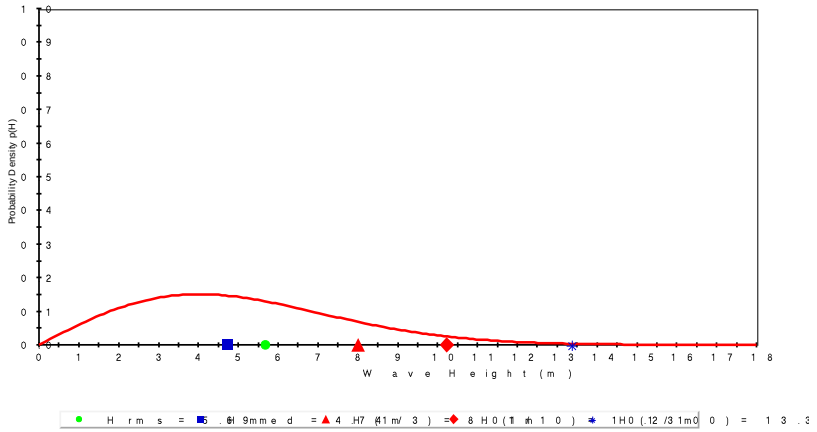
Input Conditions Hmo = 7.17m Tp = 12.31s h = 20.00m

Beta-Rayleigh Distribution



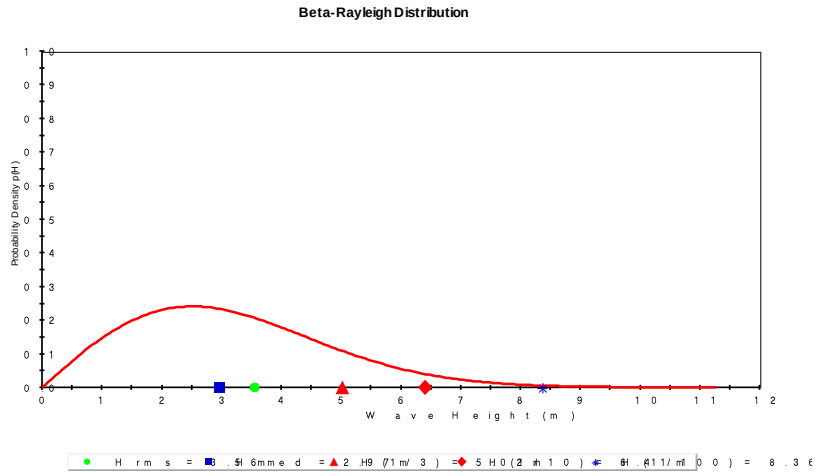
Input Conditions Hmo = 7.86m Tp = 12.91s h = 20.00m

Beta-Rayleigh Distribution

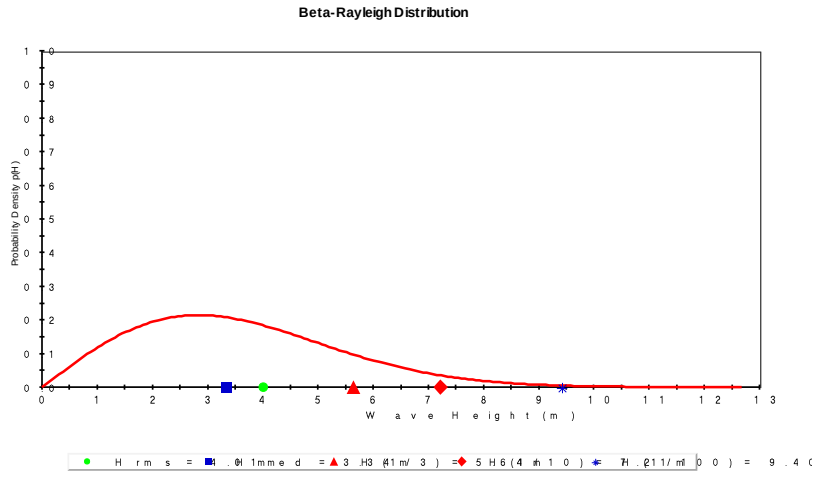


Input Conditions Hmo = 8.05m Tp = 13.07s h = 20.00m

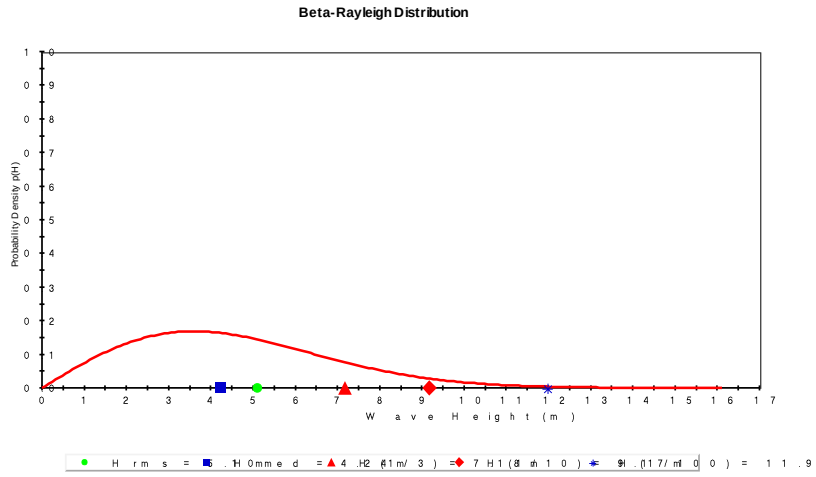
2.13.7. SETTORE 17 – TR = 5, 10, 50, 100, 120 ANNI



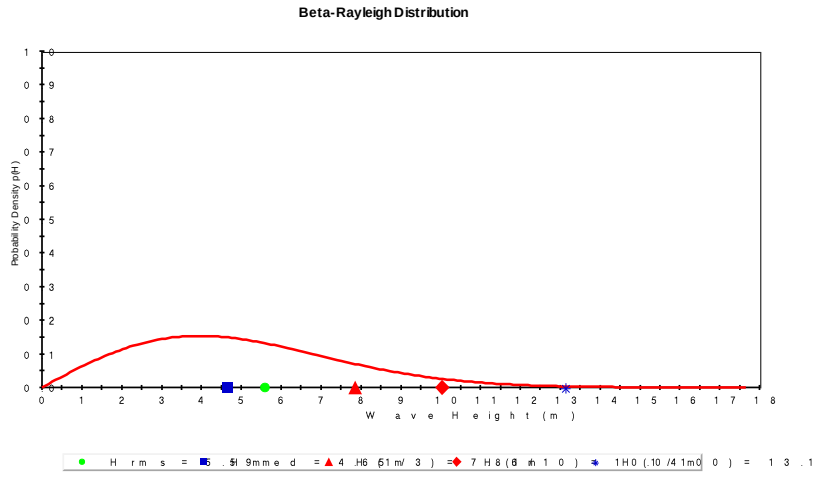
Input Conditions Hmo = 5.04m Tp = 10.24s h = 20.00m



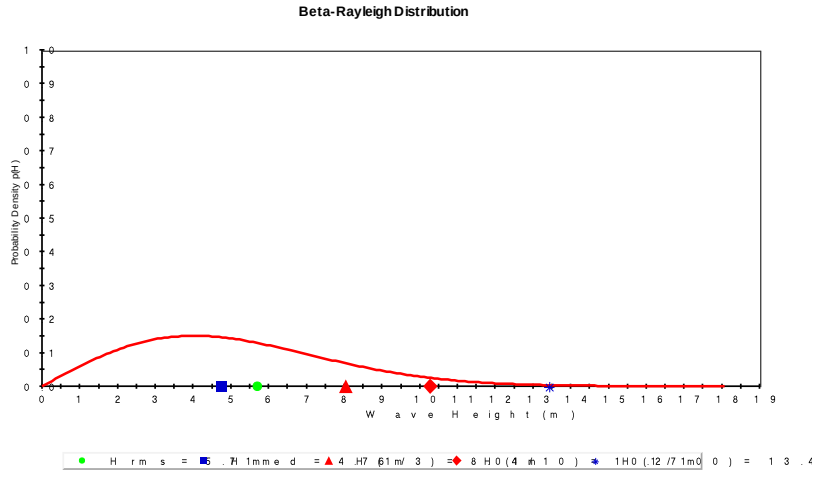
Input Conditions Hmo = 5.67m Tp = 10.88s h = 20.00m



Input Conditions Hmo = 7.21m Tp = 12.31s h = 20.00m

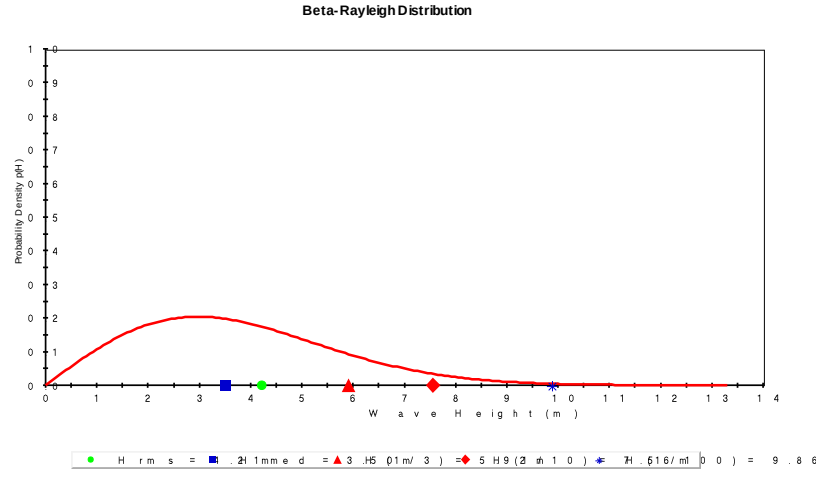


Input Conditions Hmo = 7.90m Tp = 12.90s h = 20.00m



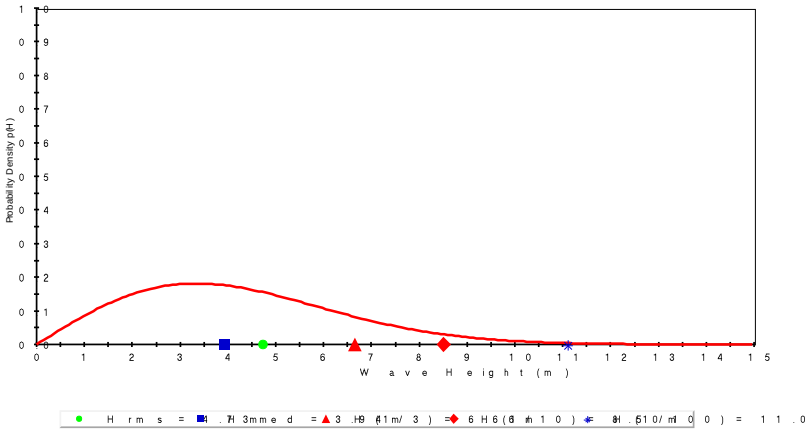
Input Conditions Hmo = 8.08m Tp = 13.06s h = 20.00m

2.13.8. SETTORE 18 – TR = 5, 10, 50, 100, 120 ANNI



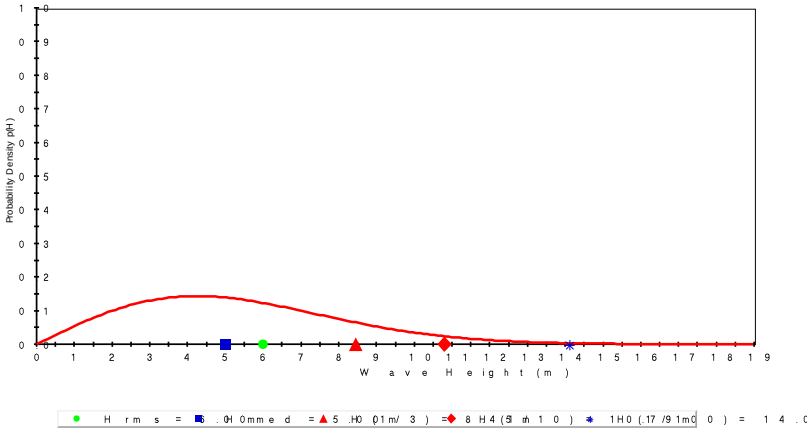
Input Conditions Hmo = 5.95m Tp = 11.07s h = 20.00m

Beta-Rayleigh Distribution



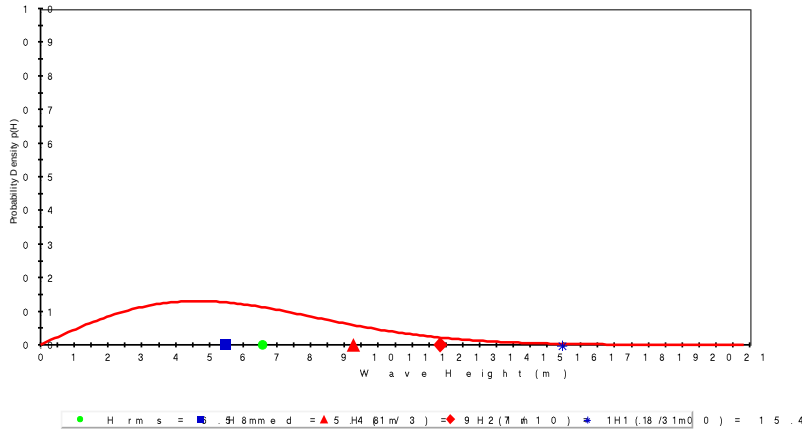
Input Conditions Hmo = 6.69m Tp = 11.76s h = 20.00m

Beta-Rayleigh Distribution

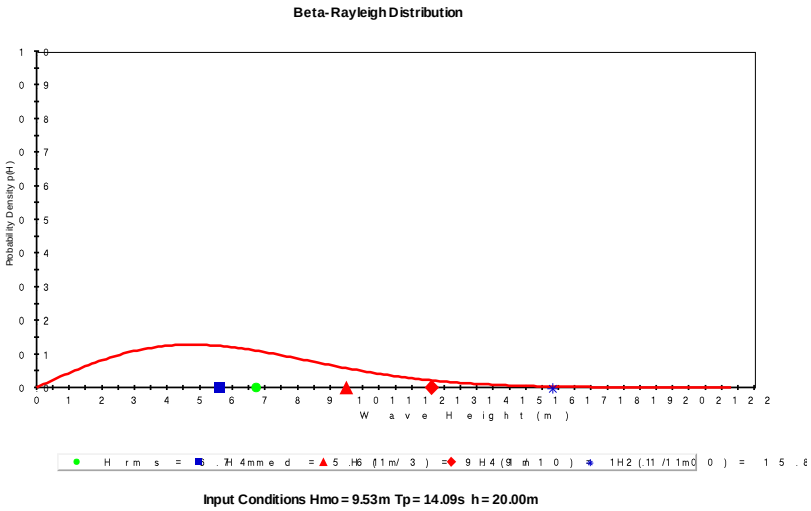


Input Conditions Hmo = 8.49m Tp = 13.29s h = 20.00m

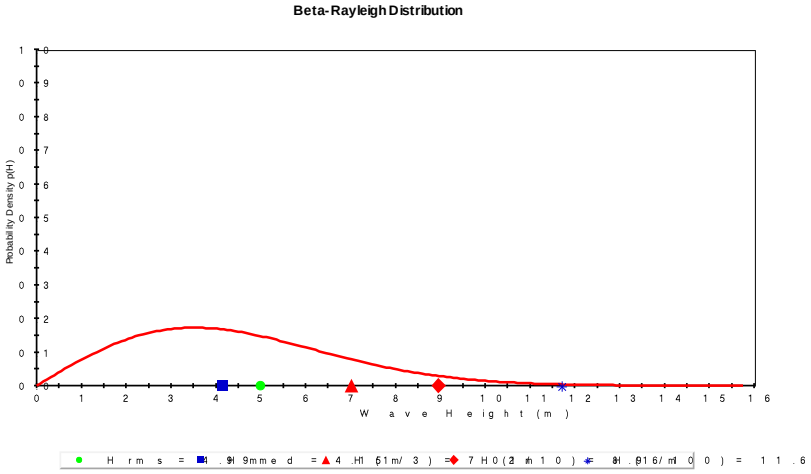
Beta-Rayleigh Distribution

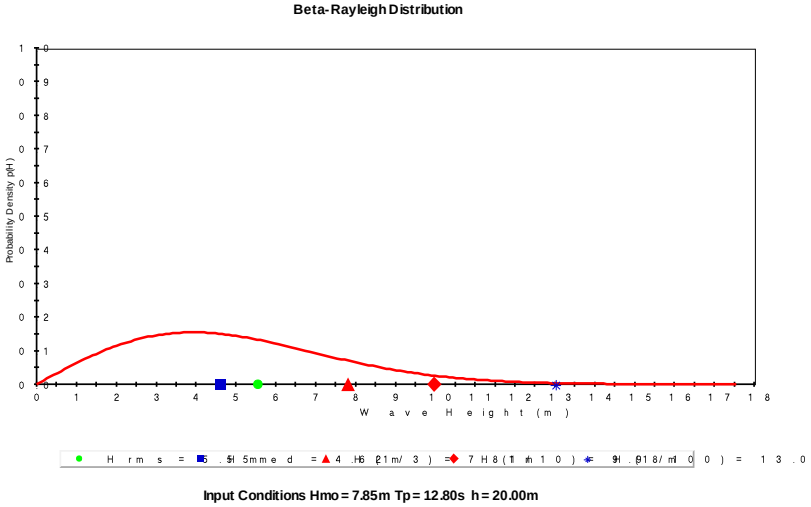


Input Conditions Hmo = 9.31m Tp = 13.93s h = 20.00m

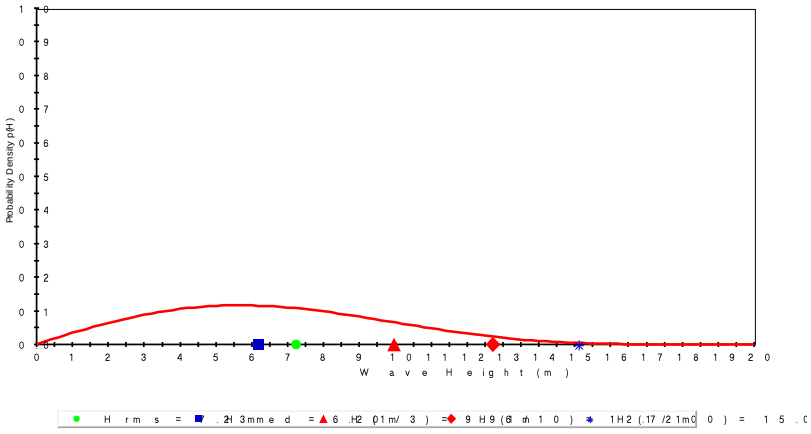


2.13.9. SETTORE 19 – TR = 5, 10, 50, 100, 120 ANNI



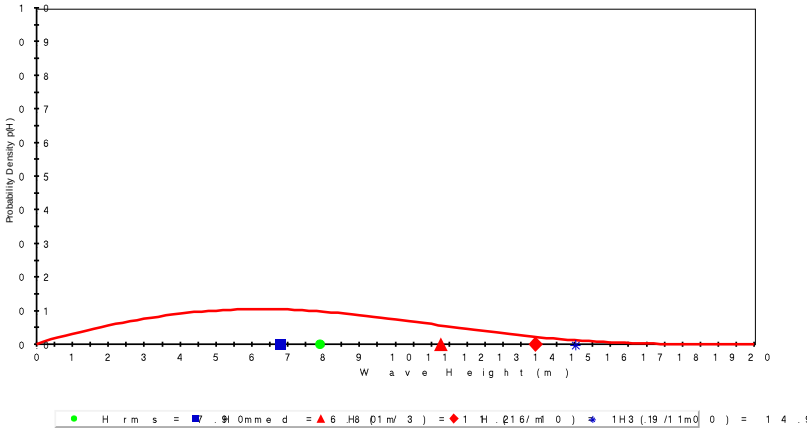


Beta-Rayleigh Distribution



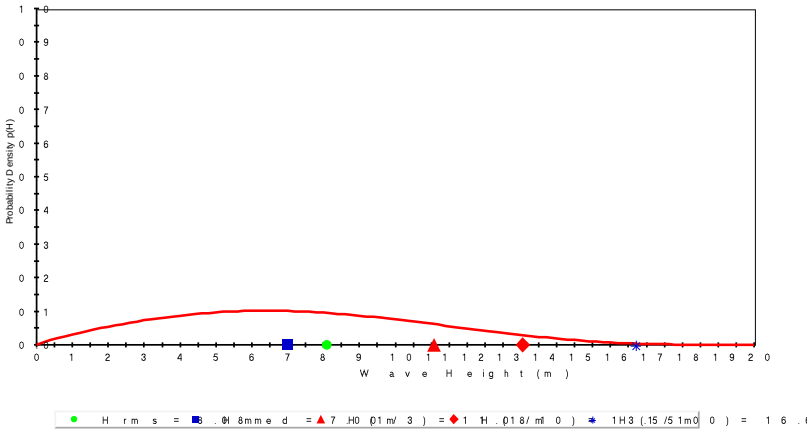
Input Conditions Hmo = 9.81m Tp = 14.35s h = 20.00m

Beta-Rayleigh Distribution



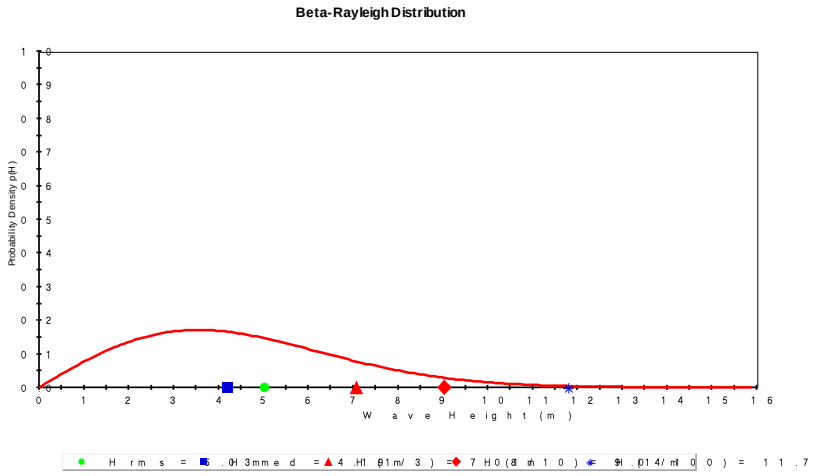
Input Conditions Hmo = 10.68m Tp = 14.99s h = 20.00m

Beta-Rayleigh Distribution

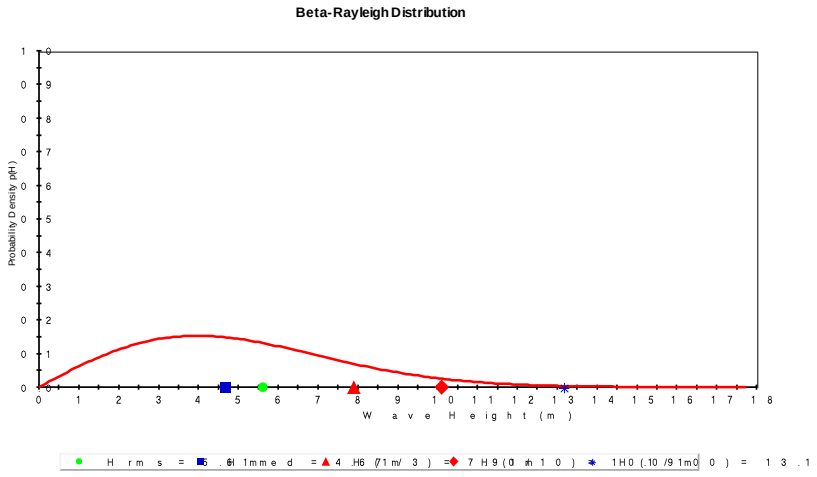


Input Conditions Hmo = 10.92m Tp = 15.16s h = 20.00m

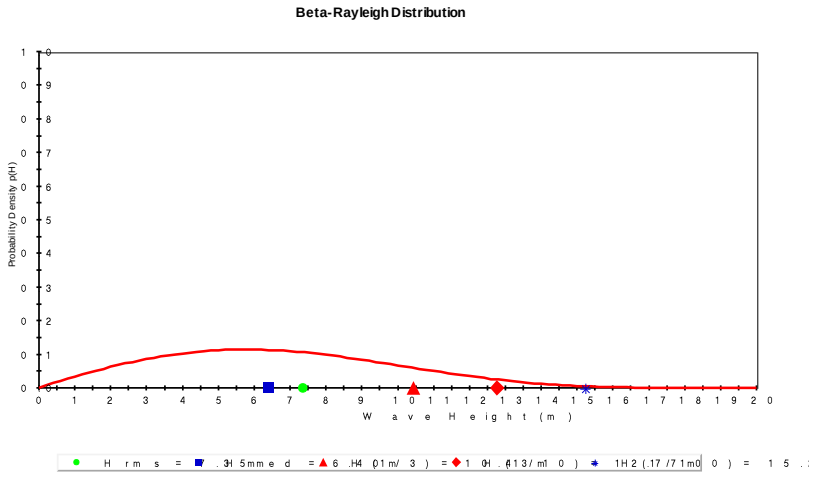
2.13.10. SETTORE 20 – TR = 5, 10, 50, 100, 120 ANNI



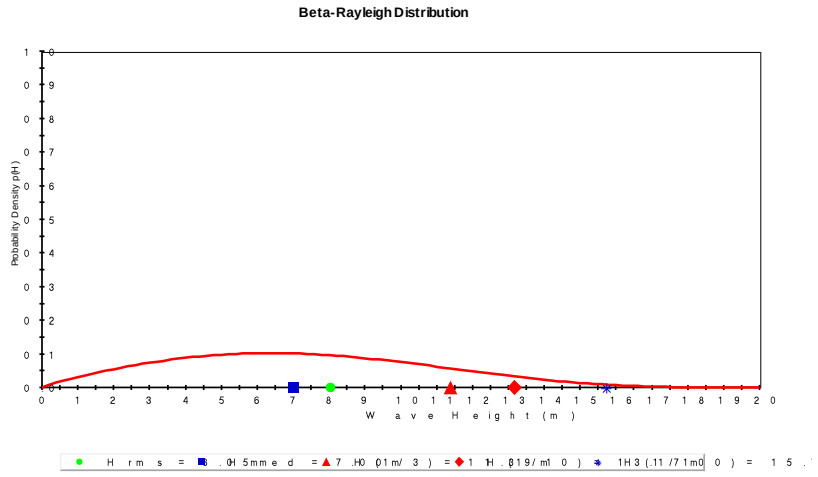
Input Conditions Hmo = 7.11m Tp = 12.21s h = 20.00m



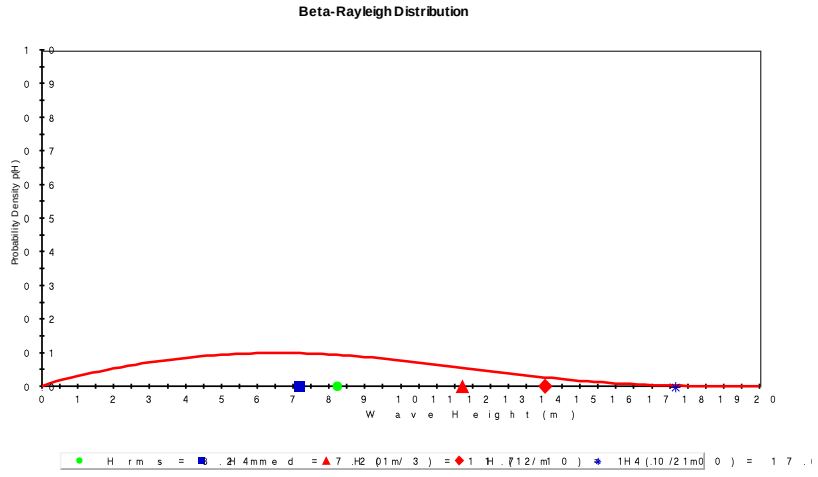
Input Conditions Hmo = 7.94m Tp = 12.92s h = 20.00m



Input Conditions Hmo = 9.96m Tp = 14.52s h = 20.00m

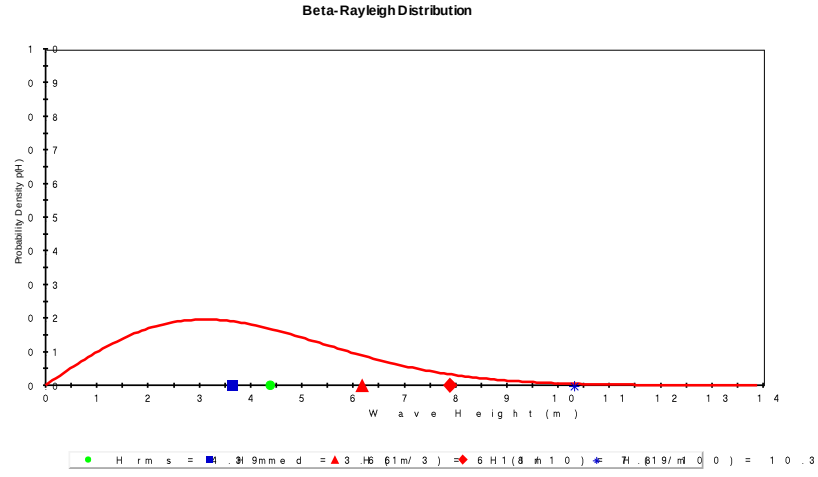


Input Conditions Hmo = 10.87m Tp = 15.18s h = 20.00m



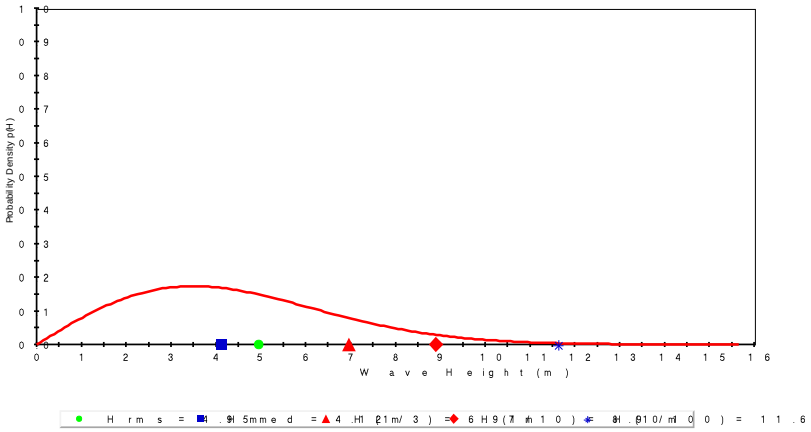
Input Conditions Hmo = 11.12m Tp = 15.36s h = 20.00m

2.13.11. SETTORE 21 – TR = 5, 10, 50, 100, 120 ANNI



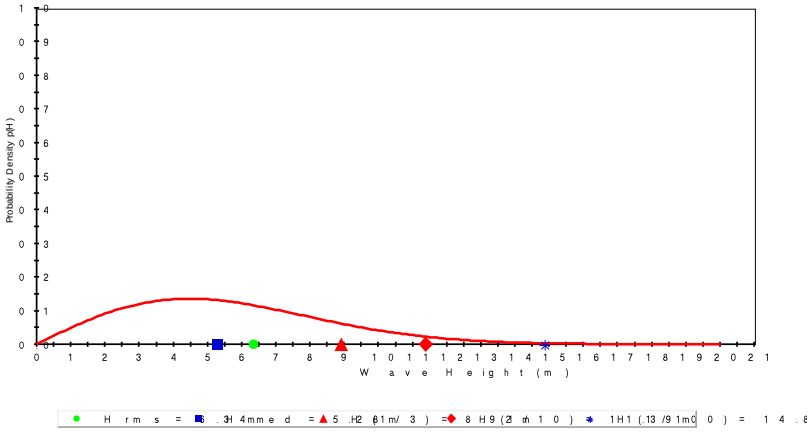
Input Conditions Hmo = 6.21m Tp = 11.46s h = 20.00m

Beta-Rayleigh Distribution



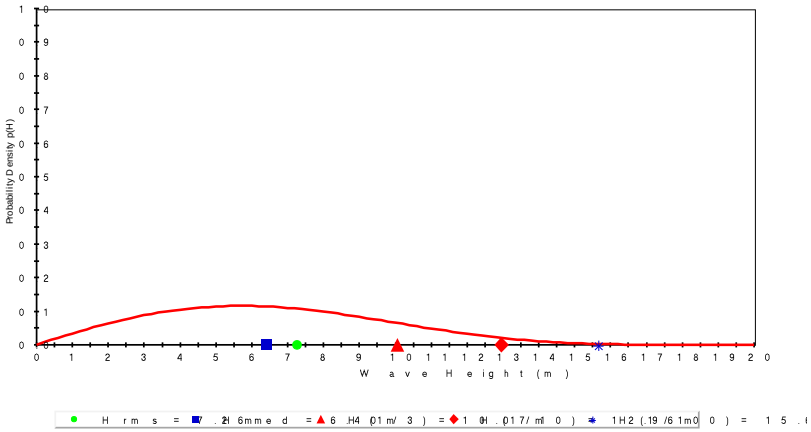
Input Conditions Hmo = 7.00m Tp = 12.19s h = 20.00m

Beta-Rayleigh Distribution

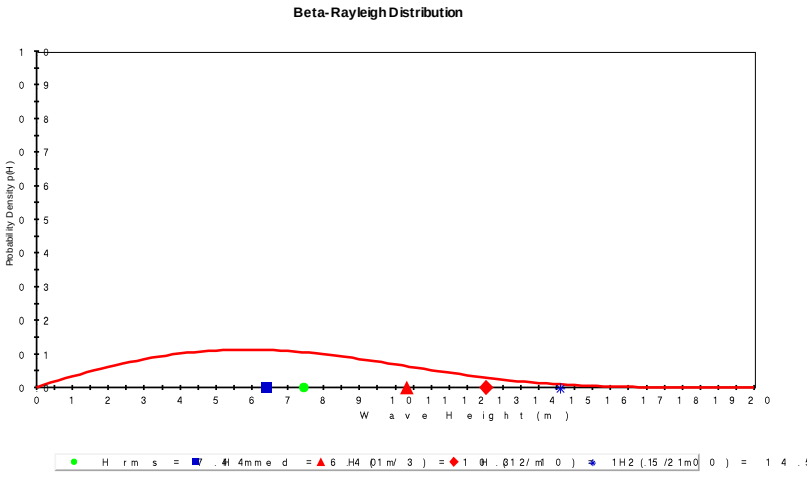


Input Conditions Hmo = 8.96m Tp = 13.83s h = 20.00m

Beta-Rayleigh Distribution

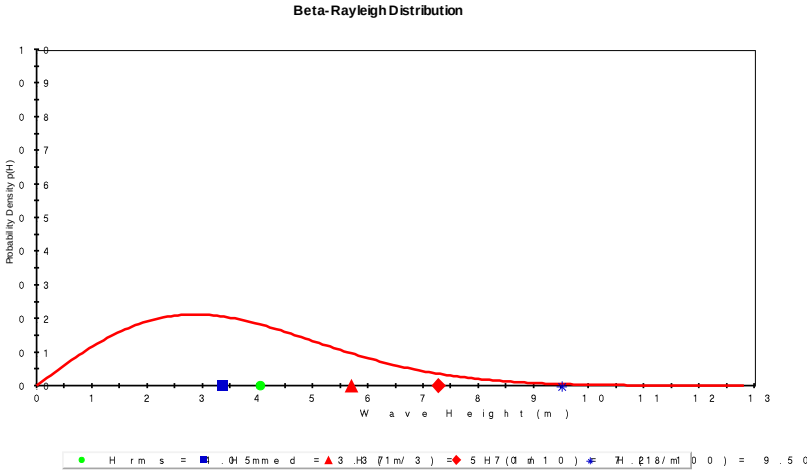


Input Conditions Hmo = 9.84m Tp = 14.51s h = 20.00m

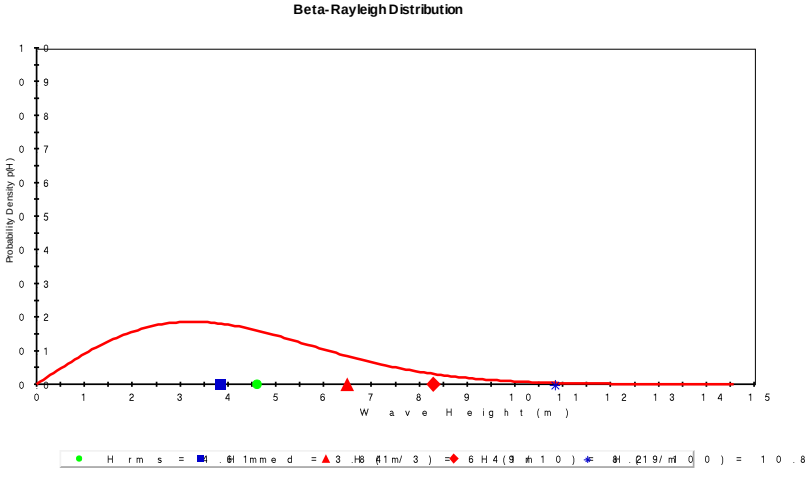


Input Conditions Hmo = 10.07m Tp = 14.69s h = 20.00m

2.13.12. SETTORE 22 – TR = 5, 10, 50, 100, 120 ANNI

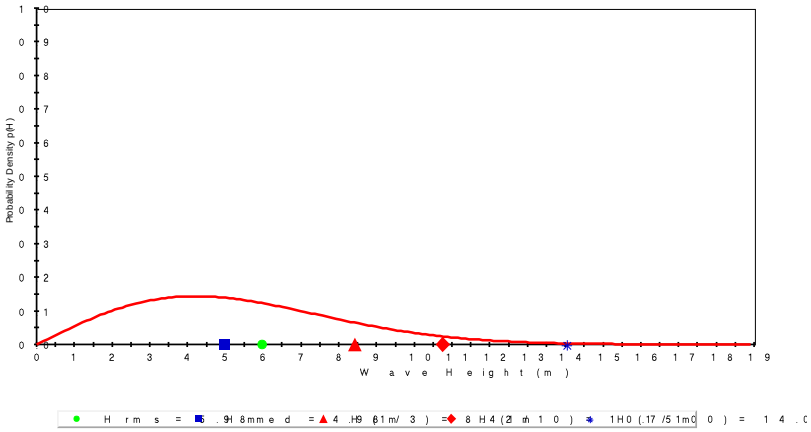


Input Conditions Hmo = 5.73m Tp = 11.04s h = 20.00m



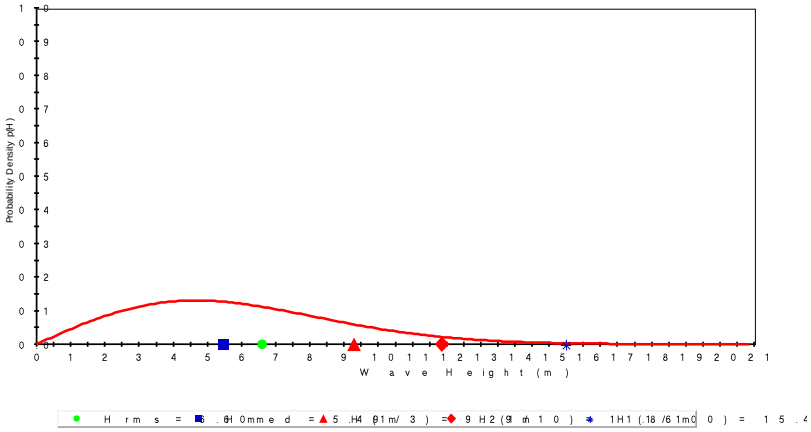
Input Conditions Hmo = 6.52m Tp = 11.80s h = 20.00m

Beta-Rayleigh Distribution



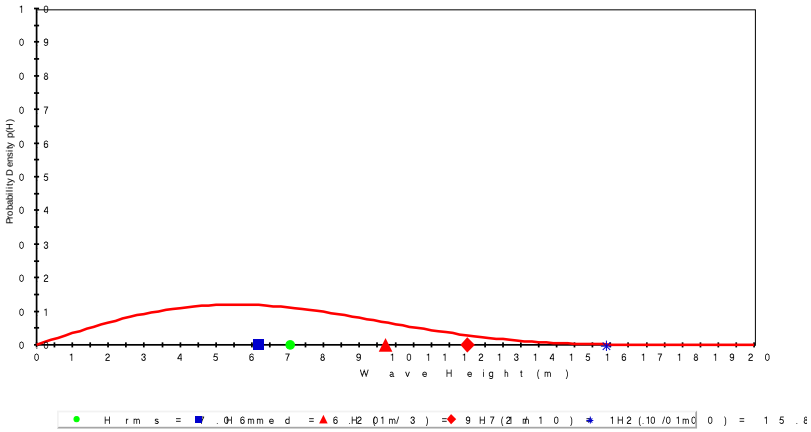
Input Conditions Hmo = 8.46m Tp = 13.48s h = 20.00m

Beta-Rayleigh Distribution



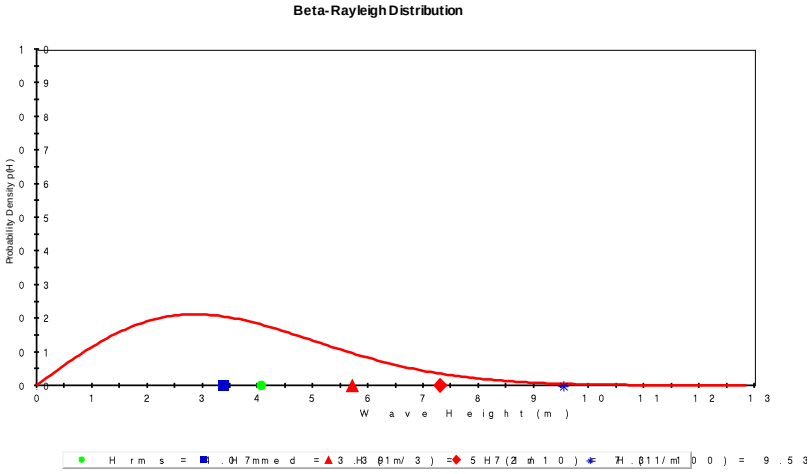
Input Conditions Hmo = 9.33m Tp = 14.18s h = 20.00m

Beta-Rayleigh Distribution

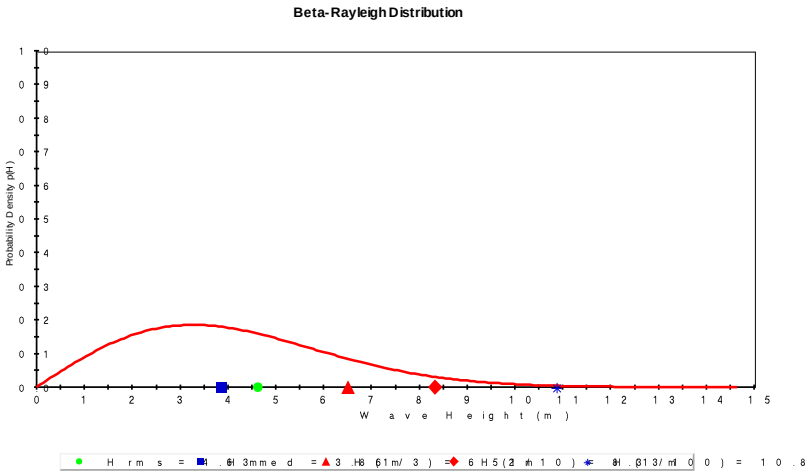


Input Conditions Hmo = 9.57m Tp = 14.36s h = 20.00m

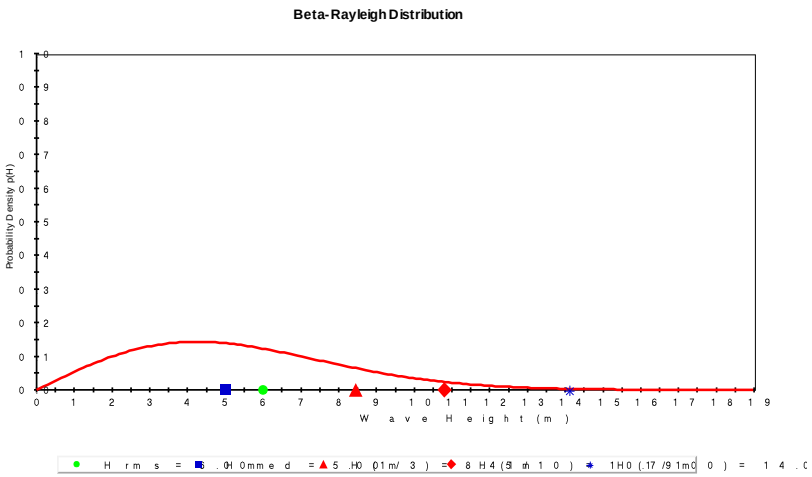
2.13.13. SETTORE 23 – TR = 5, 10, 50, 100, 120 ANNI



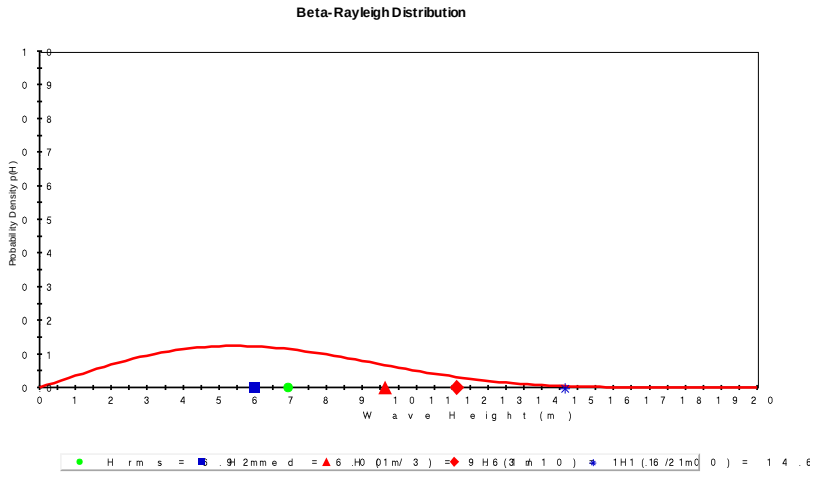
Input Conditions Hmo = 5.75m Tp = 11.42s h = 20.00m



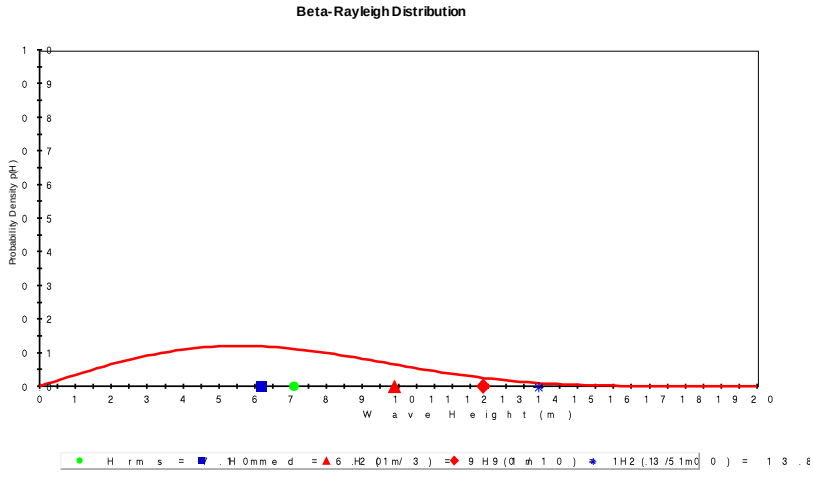
Input Conditions Hmo = 6.55m Tp = 12.20s h = 20.00m



Input Conditions Hmo = 8.49m Tp = 13.95s h = 20.00m



Input Conditions Hmo = 9.37m Tp = 14.67s h = 20.00m



Input Conditions Hmo = 9.61m Tp = 14.86s h = 20.00m

2.14. IL METEOTSUNAMI – "MARROBBIO"

2.14.1. PREMESSA

In diversi porti della costa meridionale Siciliana ed in alcune aree della costa Tunisina si manifestano talvolta delle repentine fluttuazioni del livello del mare. Si tratta di oscillazioni che possono presentare escursioni di circa 1 m e che, a causa delle caratteristiche del porto e della piattaforma continentale, possono essere amplificate raggiungendo escursioni di circa 2 m. nella costa meridionale della Sicilia e nelle isole minori come Lampedusa il fenomeno è noto come "Marrobbio".

Il principale effetto associato al Marrobbio nei porti della costa Sud dell'isola è rappresentato da rapide oscillazioni del livello del mare che, in base all'intensità della forzante che lo ha generato, possono raggiungere più di 1.5 m di escursione; oscillazione notevole se confrontata con la locale marea, che ha un'escursione media di circa 30 cm. Fenomeni simili, aventi origine meteorologica, sono stati registrati in diverse aree di mare e hanno specifici nomi locali: "Rissaga" nelle isole Baleari, "Milghuba" in Malta, "Abiki" nella baia di Nagasaki e "Seebär"

nel mar Baltico. Inoltre, fluttuazioni repentine del livello del mare sono state documentate anche nel Mar Giallo, nel Mare Adriatico, nel Mar Egeo, lungo la costa Atlantica nord-occidentale, lungo le coste dell'Argentina e in quelle della Nuova Zelanda. I fenomeni registrati in tutte queste aree mostrano delle similarità con il ben più disastroso fenomeno "Tsunami", per cui nella letteratura scientifica le oscillazioni repentine indotte da opportune perturbazioni in atmosfera sono denominate "Meteotsunami". Ma mentre lo "Tsunami" è generato da fenomeni sismici, i "Meteotsunami" sono generati da variazioni repentine delle condizioni atmosferiche (passaggio di fronti di pressione, instabilità dinamica, influenza dell'orografia, tempeste, trombe d'aria, ecc.). Affinché si possano generare "Meteotsunami" in prossimità delle coste occorre che si verifichino una serie di condizioni:

- un porto con ben definite caratteristiche di risonanza;
- sollecitazioni atmosferiche "robuste" e rapide;
- direzione di propagazione della sollecitazione nella stessa direzione principale del porto;
- caratteristiche simili della sollecitazione atmosferica e delle onde (Risonanza Esterna – Influenza della batimetria);
- similarità tra la frequenza della sollecitazione atmosferica e la frequenza fondamentale di risonanza del porto (Risonanza Interna).

2.14.2. ANALISI DELLE CONDIZIONI DI GENERAZIONE DEL FENOMENO

Il fenomeno del "marrobbio" è stato oggetto di studio da parte di numerosi centri di ricerca nazionali (CNR) e internazionali. In particolare gli eventi accaduti in passato sono stati studiati e analizzati da ricercatori del CNR e sono oggetto di una pubblicazione a riguardo " The Mad Sea Phenomenon in the Strait of Sicily" [2]. In questo paragrafo si analizzeranno le dinamiche legate alla generazione del fenomeno nel canale di Sicilia.

Dal punto di vista geografico il Canale di Sicilia divide la parte occidentale del Mediterraneo da quella orientale ed ha una profondità media di circa 140 m con picchi di 400 m. Un'altra importante caratteristica del Canale è la presenza di un grande vulcano sottomarino, chiamato EMPEDOCLE, che fa ridurre la profondità nella zona antistante la punta occidentale della Sicilia a circa 100 m. Tale vulcano di notevole estensione fa si che l'80% del Canale, in prossimità dell'asse Mazara del Vallo – Cape Bon, non supera i 200 m di profondità. In Figura 11 si riporta una mappa del

Mediterraneo con indicati i punti in cui sono installati i sensori di pressione e il banco generato dal vulcano Empedocle.

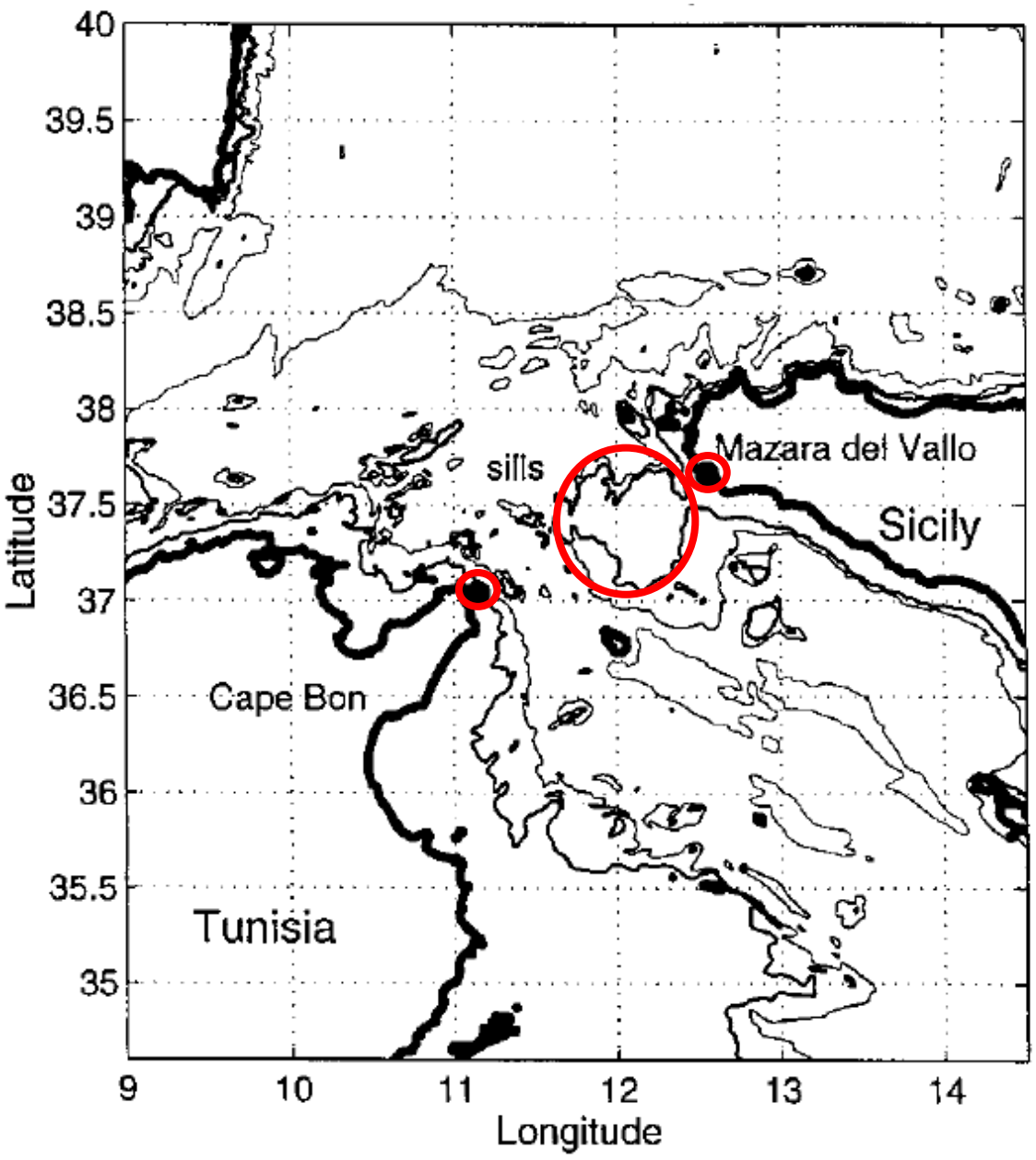


Figura 11 – Mappa del mare Mediterraneo in prossimità del Canale di Sicilia, con indicazione dei punti di rilevamento di Mazara del Vallo e di Cape Bon e delle batimetriche principali che individuano il vulcano Empedocle.

I sensori di pressione sono stati collocati ad una profondità di 7 m vicino al porto di Mazara del Vallo e di 6 m in prossimità di Cape Bon (Ras el Tib) Tunisia. I sensori, nel primo periodo di misurazione che va da Aprile 1994 al Maggio dello stesso anno, hanno rilevato la firma inequivocabile del "marrobbio". Infatti nella Figura 12 sono riportate le misurazioni di pressione espresse in millibar dei sensori posizionati a Mazara e Cape Bon e in Figura 13 lo zoom relativo ai giorni in cui l'evento è accaduto.

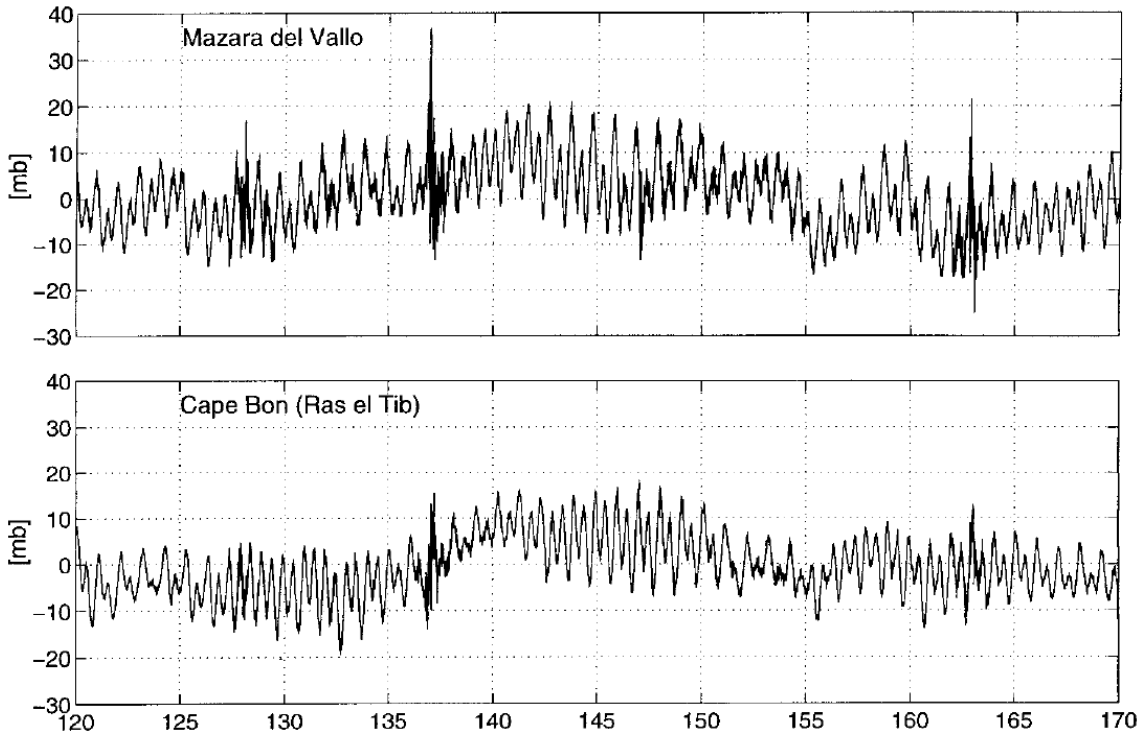


Figura 12 – Misurazioni di pressioni dei sensori nel periodo Aprile Maggio Giugno 1994

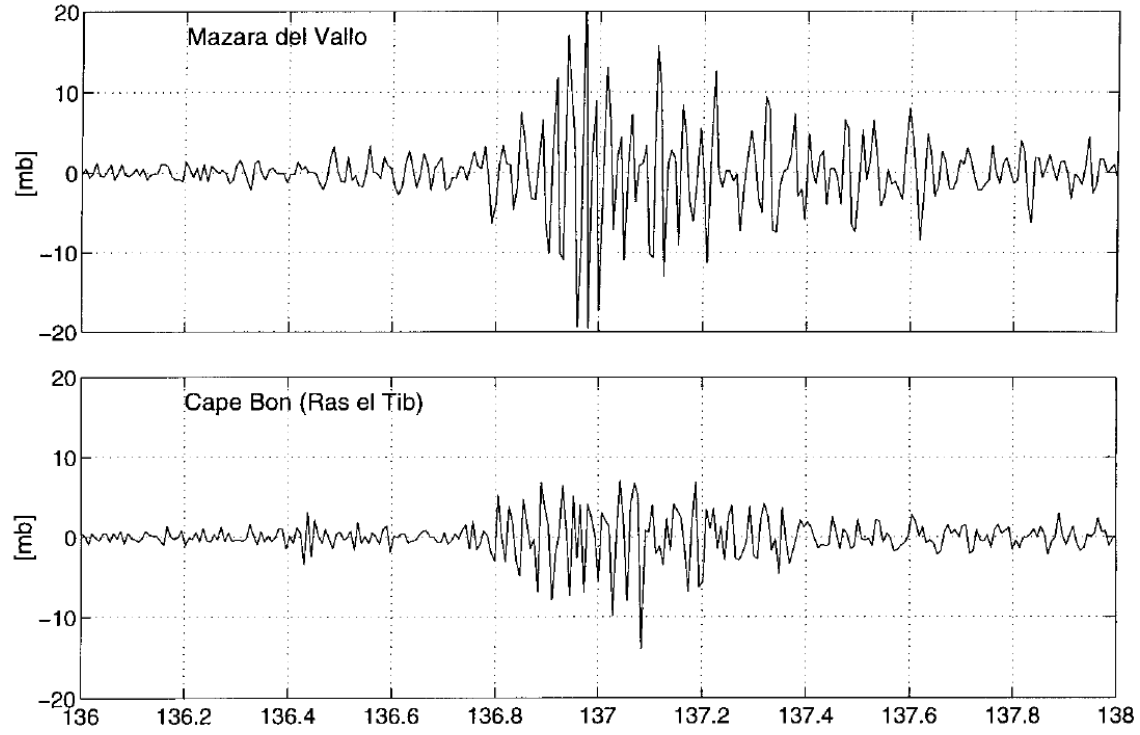


Figura 13 – zoom delle misurazioni riportate nella figura sopra nei giorni di manifestazione dell'evento.

Analizzando i grafici sopra riportati si evince la presenza di una oscillazione di marea intorno ai 10 mbar per entrambi i siti posti sotto osservazione e di un picco di pressione che si verifica contemporaneamente in entrambi i luoghi con periodo minore di 1 ora. Dallo zoom sopra riportato si vede come l'evento cominci intorno al giorno 136.8 in

entrambi i luoghi indagati posti a circa 140 km di distanza, il che dimostra l'alta frequenza di propagazione.

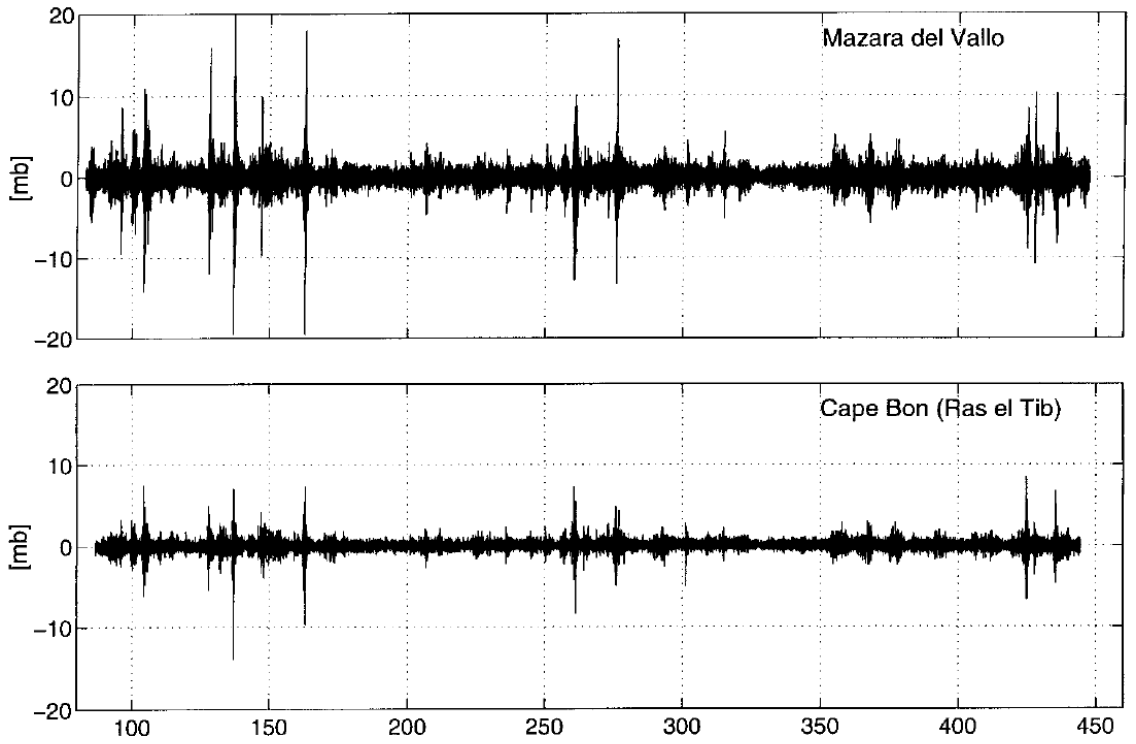


Figura 14 – pressione misurata dai sensori in un anno (Marzo 1994-Aprile 1995).

Nella Figura 14 si riportano i rilevamenti dei sensori nell'arco di un anno. Si evidenzia che i salti barici registrati sono sempre simultanei nei due punti di rilevamento anche se di diversa intensità e tali incrementi di pressioni si manifestano in seguito al passaggio di abbassamenti di pressione atmosferica nel Canale di Sicilia e sull'isola.

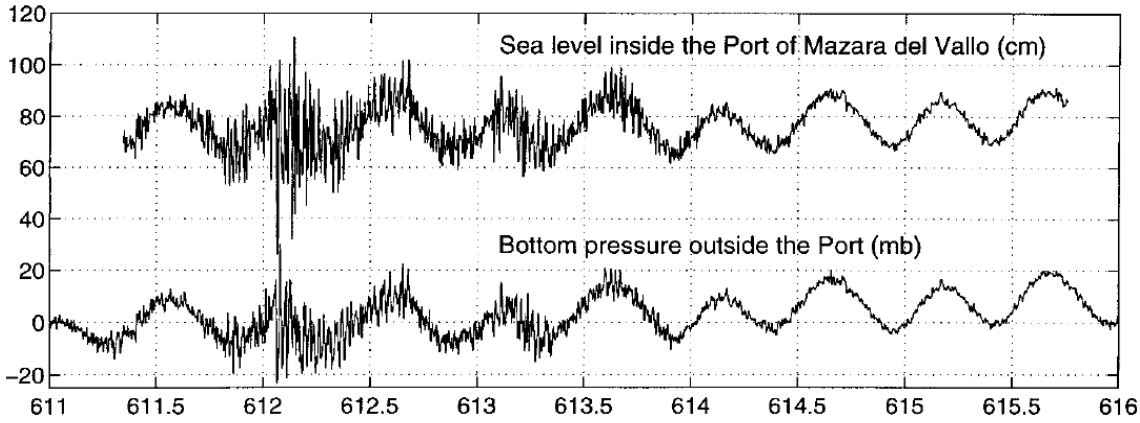


Figura 15 – Livello del mare all'interno del porto di Mazara e pressione misurata all'esterno del porto dal sensore

Nella Figura 15 viene riportato un grafico da cui si evince la simultaneità dell'abbassamento di pressione e dell'incremento di livello idrico all'interno del porto di Mazara, il primo dato misurato dal rilevatore di pressione e il secondo dal mareografo presente all'interno del porto. In particolare si evidenzia un minimo di circa

45 cm e un massimo dopo poche ore di circa 40 cm per un escursione totale di circa 85 cm nell'evento riportato verificatosi il 10 Ottobre 1995.

Nelle Figura 16 e Figura 17 si riporta la forzante simulata nella modellazione matematica del fenomeno e il relativo gradiente di pressione che tale forzante instaura nel Canale di Sicilia. Si può notare che dopo circa 6/7 ore di simulazione si viene a creare, per le particolari condizioni di forzante, un gradiente di pressione di 4 mbar sviluppato in 20 km con una velocità di fase di 10m/s che investe la regione con un angolo di 225°N (S-O). Tale orientamento, praticamente parallelo alla congiungente i punti di rilevamento, si è rivelato essere il responsabile del fenomeno. La direzione di propagazione del potenziale "marrobbio" nel porto di Marsala si trova lungo la congiungente la testa dell'attuale diga di ponente e la testa dell'attuale diga di levante.

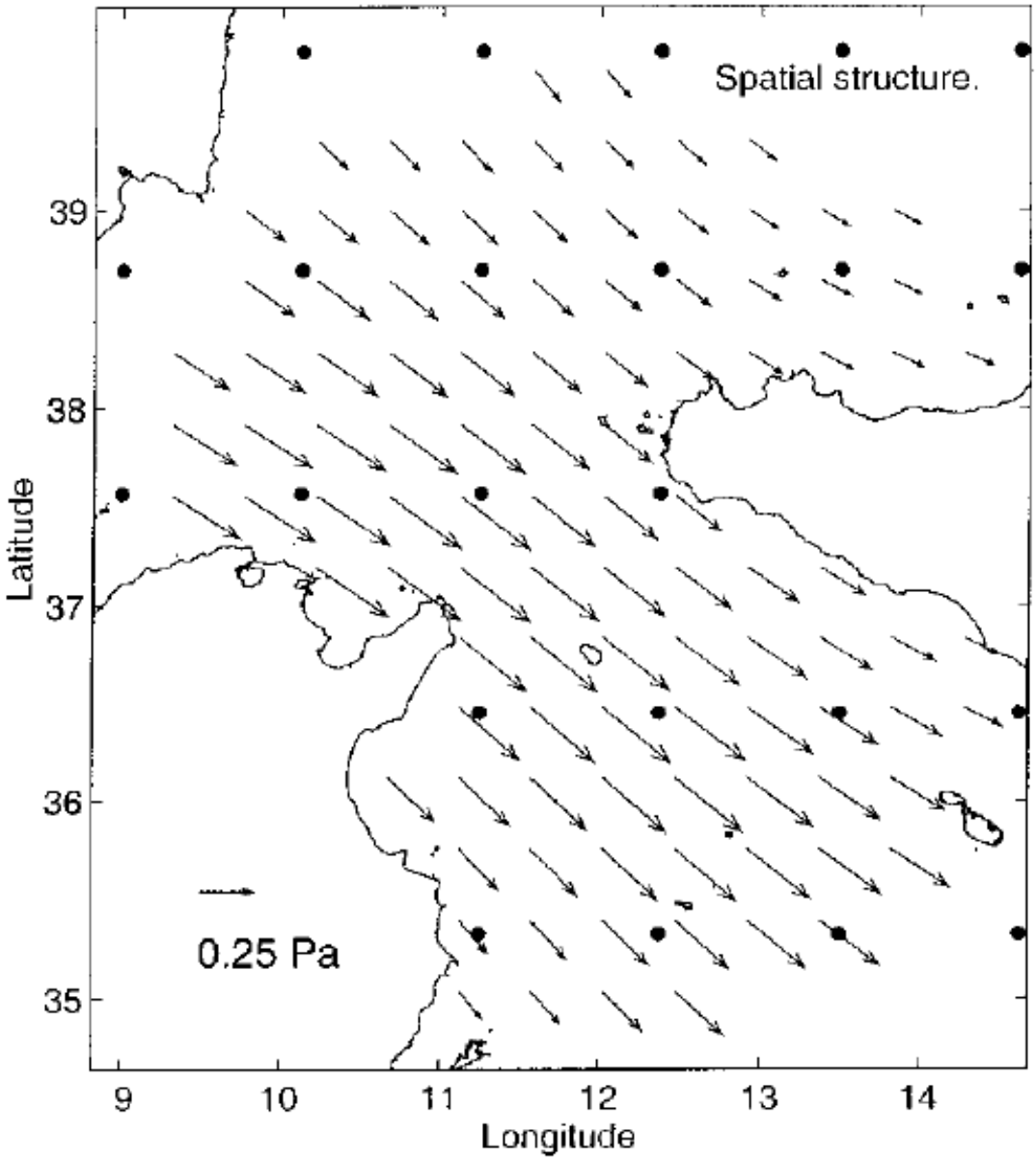


Figura 16 – Forzante eolica simulata nella modellazione – esperimento numerico.

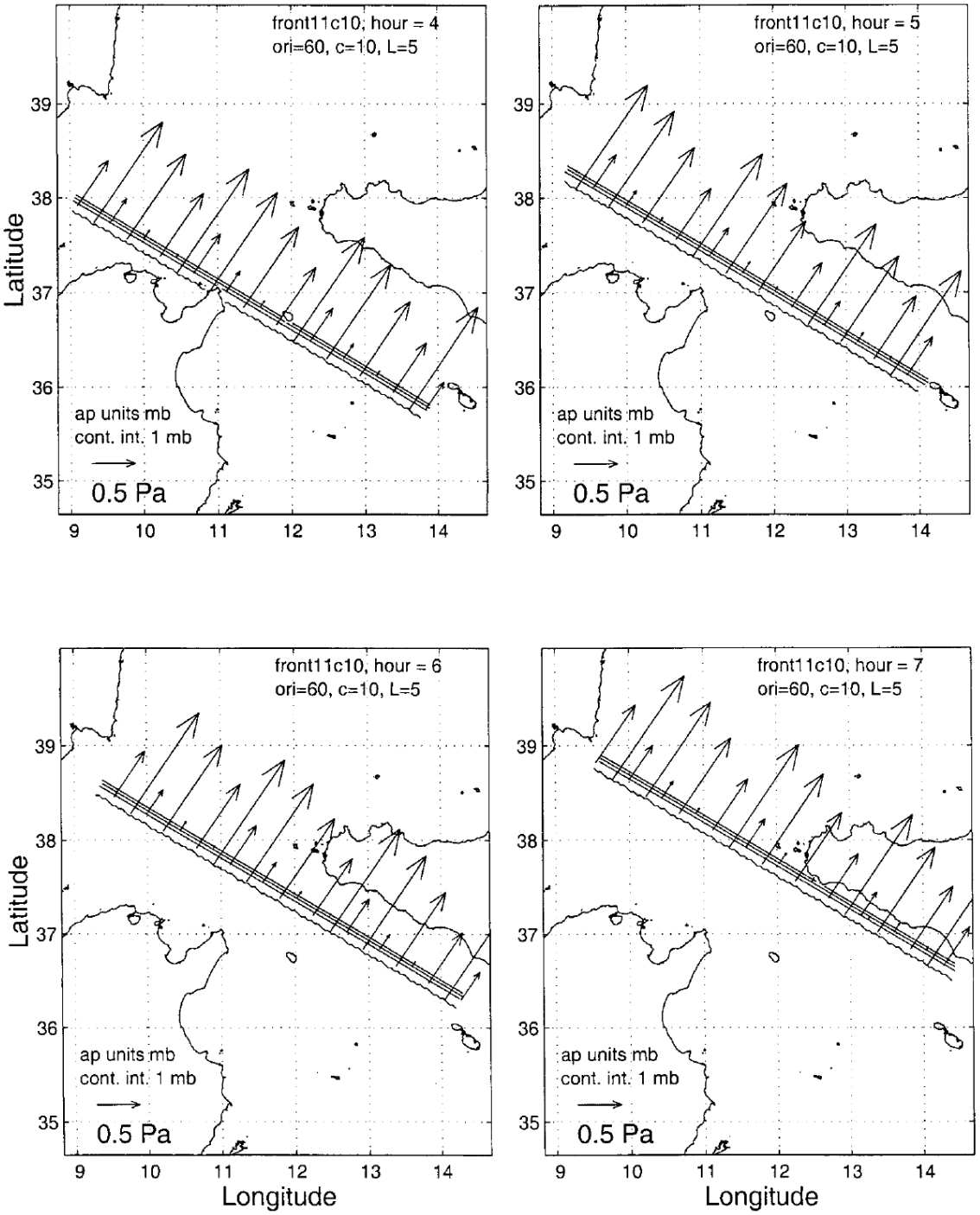


Figura 17 – Gradienti di pressione presenti sullo Canale di Sicilia in seguito alla forzante eolica simulata – esperimento numerico

2.14.3. CONCLUSIONI SUL FENOMENO DEL "MARROBBIO"

Il fenomeno descritto sopra, comporta dal punto di vista della progettazione delle opere alcune precauzioni. Innanzi tutto è un fenomeno che va trattato a se senza comporlo con altri fenomeni metereologici, e comporta un abbassamento e un repentino innalzamento

del livello del mare con escursioni comprese tra 0.80 m e 2.00 m. Gli accorgimenti necessari devono essere mirati a evitare o limitare il fenomeno della risonanza all'interno del porto e ad aumentare il bando degli ormeggi in modo tale da consentire alle imbarcazioni e ai pontili galleggianti l'escursione che si manifesta in seguito all'evento.

2.15. CARATTERISTICHE DEL MOTO ONDOSO SOTTO COSTA

E' noto che le onde formate in acque profonde, intendendo con questo termine quelle in cui il rapporto tra altezza del pelo libero in condizioni di riposo e la lunghezza d'onda $h/L > 0.5$, modificano le loro caratteristiche quando si raggiungono bassi fondali.
In particolare si determinano due fenomeni che sono:

- lo shoaling che consiste nella trasformazione bidimensionale delle onde che provoca il loro accorciamento e rallentamento e un sostanziale aumento di altezza d'onda allorché esse avanzano su fondali decrescenti;
- la rifrazione che è una trasformazione tridimensionale dovuta alle variazioni di fondali lungo i fronti d'onda che conducono a variazioni planimetriche dei fronti d'onda stessi e conseguentemente a variazioni di altezza lungo di essi.

A profondità illimitate l'onda si propaga con una celerità costante

$$Co = g*T/(2*\pi) \quad (2.11)$$

Quando l'onda raggiunge fondali inferiori a Lo/2 la celerità decresce con i fondali.
La relazione che fornisce il legame funzionale tra la celerità di propagazione ed il tirante idrico è data dall'espressione:

$$C = g*T/(2*\pi) * \tanh (2*\pi*h/L) \quad (2.12)$$

dalla quale si ottiene

$$C/Co = \tanh (k*h) = L/Lo \quad (2.13)$$

in cui si è posto

$$k = 2*\pi/L \text{ numero d'onda.}$$

Un'onda, che procede obliqua rispetto allo sviluppo della batimetria del fondale, avrà in fronte che si propagherà in parte nella zona con profondità illimitata e parte nella zona

di transizione.
La differenza di celerità a cui viaggiano i diversi punti del fronte d'onda causerà la deformazione di questo ultimo e la conseguente rotazione delle linee ad esso ortogonali. L'espressione che esprime la rotazione è data da

$$H = Ho*(bo/b)^{1/2}*(Cgo/Cg)^{1/2} \quad (2.14)$$

in cui bo è la larghezza del tubo di flusso a largo misurato lungo il fronte d'onda, b la larghezza del tubo di flusso alla generica profondità, Cgo la celerità di gruppo a largo, Cg la celerità di gruppo alla generica profondità.
In definitiva si può porre

$$H = Ho*ks*kd \quad (2.15)$$

in cui Ho è l'altezza dell'onda a largo, ks il coefficiente di shoaling e kd il coefficiente di rifrazione.
Lo studio del moto ondoso sotto costa in questa fase di progettazione sarà eseguito con l'uso di modelli matematici che sono in grado di riprodurre i fenomeni di shoaling e di rifrazione, di tenere conto di eventuali opere.

2.16. MODELLI NUMERICI UTILIZZATI PER LO STUDIO DEL MOTO ONDOSO SOTTO COSTA

Per le analisi che seguono si è utilizzato il codice di calcolo MIKE 21, che è un programma modulare contenente diversi codici per la simulazione di corpi idrici per i quali sia possibile adottare l'approssimazione idrodinamica bidimensionale, piana, per fluidi verticalmente omogenei. Il numero "21" che contraddistingue il codice, indica la bidimensionalità nel piano ("2") e la monodimensionalità lungo la verticale ("1").
Il sistema modellistico è stato sviluppato per applicazioni complesse in aree costiere, mare aperto e in corrispondenza di estuari. Tuttavia, essendo un codice di calcolo per la simulazione delle correnti a pelo libero, può essere anche applicato per la simulazione di fenomeni correlati all'idraulica in fiumi, laghi o invasi.
Il MIKE 21 opera in modo diverso in base alla schematizzazione geometrica adottata che può essere una ***SINGLE GRID*** (Griglia singola) in cui le equazioni di continuità e del moto sono risolte con una tecnica implicita alle differenza finite su una griglia rettangolare, uniforme in tutto il dominio di calcolo, ***MULTIPLE GRID*** (Griglia

multipla) in cui il sistema utilizza lo stesso approccio della griglia singola, con la possibilità di innestare nel dominio griglie a risoluzione crescente nelle aree ove sia richiesto un maggiore dettaglio e ***FLEXIBLE MESH*** (Griglia flessibile), in cui lo schema utilizza un metodo ai volumi finiti per la discretizzazione delle equazioni di flusso e trasporto con valori centrati sul singolo elemento. Il dominio di calcolo è discretizzato nelle dimensioni orizzontali attraverso una maglia non strutturata. La griglia non strutturata garantisce il massimo della flessibilità nella rappresentazione di geometrie complesse, in particolare per domini di calcolo estesi in cui sia necessario adottare una risoluzione spaziale variabile. Inoltre nel modello la discretizzazione geometrica può essere ***CURVILINEAR*** (Griglia curvilinea) griglia adottata da MIKE 21C, codice di calcolo studiato appositamente per applicazioni di morfologia fluviale.

L'utilizzazione in campo marittimo costiero, dove risulta più efficace l' utilizzo della versione FM, consente di studiare in modo integrato il moto ondoso (moduli SW, PMS, NSW, BW, EMS), le correnti e le variazioni di livello superficiale (HD), il trasporto solido e la morfologia di sedimenti non coesivi e coesivi (ST, MT), la dispersione di soluti (AD/TR).

3. STUDIO CON MODELLI NUMERICI

3.1. PREMESSA

Per definire il moto ondoso in condizioni estreme nell'area interessata dall'intervento si utilizzano i modelli matematici descritti in precedenza. I valori in input da assegnare al modello sono, oltre la batimetria della zona di propagazione del moto ondoso, le caratteristiche dell'onda al contorno dell'area in esame, il campo di vento nella zona in esame e il campo di corrente. Nella Figura 18 si riporta la carta nautica della zona.

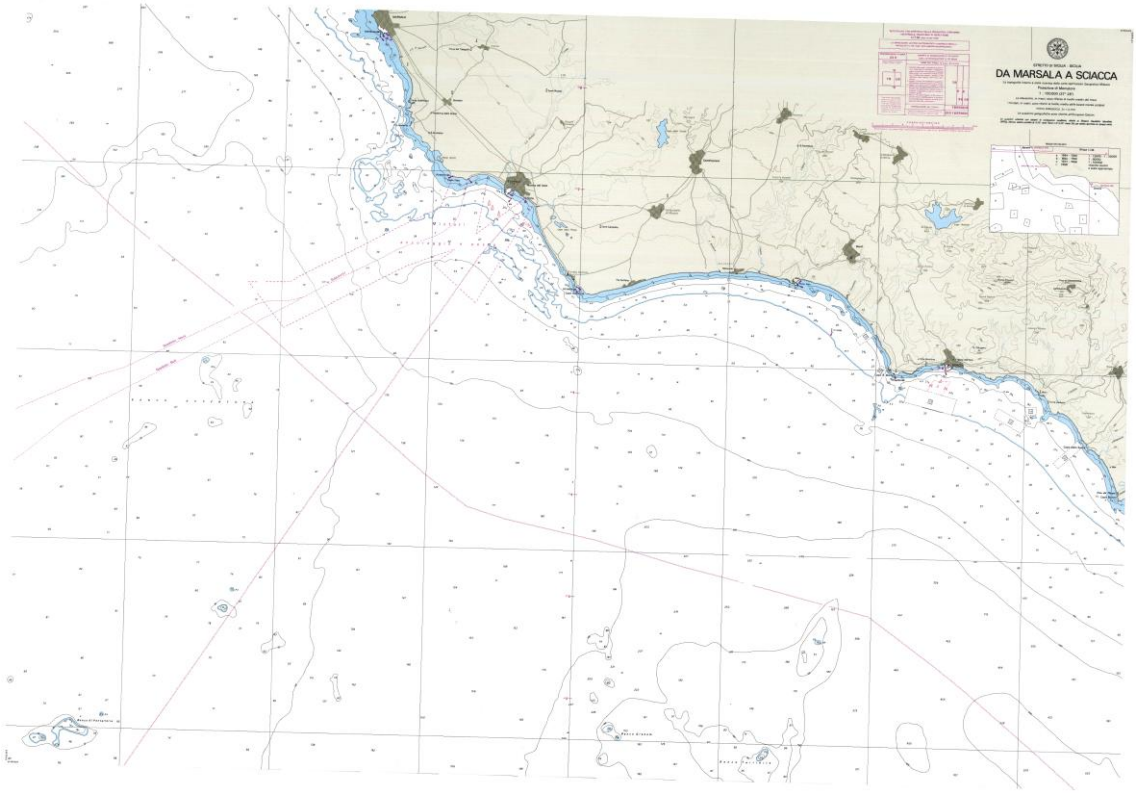


Figura 18 – Carta nautica da Marsala a Sciacca

Per definire il moto ondoso in prossimità delle opere occorre predisporre i seguenti dati:
- ***dati relativi alla batimetria del sito;*** si riferiscono sia ai rilievi di dettaglio del fondo marino sottocosta fino all'isobata -10.00, sia a profondità maggiori, di minor dettaglio ottenibili da carte nautiche.
- ***dati relativi al moto ondoso;*** si riferiscono al clima ondoso al largo nel sito in esame e sono stati ottenuti dai dati di mare APAT e MEDATLAS nonché dai dati di vento MEDATLAS come meglio specificato nel paragrafo precedente.

Per definire le caratteristiche del moto ondoso sotto costa partendo dal clima ondoso al largo si fa riferimento al modello SW che permette la trasposizione del clima ondoso

comprendendo le trasformazioni dell'onda per *shoaling*, rifrazione, attrito sul fondo ed eventualmente vento locale.

Le analisi bidimensionali del moto ondoso sottocosta vengono effettuate tramite un modello SW di maggiore dettaglio per tenere in conto anche i fenomeni di diffrazione dell'onda tipici della presenza di strutture costiere quali pennelli trasversali, scogliere longitudinali sommerse o soffolte e moli.

3.2. STUDIO DEL MOTO ONDOSO SOTTO COSTA

Come detto il codice utilizzato è il MIKE 21, prodotto da Danish Hydraulic Institute, un programma modulare contenente diversi codici per la simulazione di corpi idrici per i quali è possibile adottare l'approssimazione idrodinamica bidimensionale, piana, per fluidi verticalmente omogenei. Il numero "21" che contraddistingue il codice, indica la bidimensionalità nel piano ("2") e la monodimensionalità lungo la verticale ("1").

Il sistema modellistico è stato sviluppato per applicazioni complesse in aree costiere, mare aperto e in corrispondenza di estuari. Tuttavia, essendo un codice di calcolo per la simulazione delle correnti a pelo libero, può essere anche applicato per la simulazione di fenomeni correlati all'idraulica in fiumi, laghi o invasi. Ai fini dell'applicazione dei modelli è stata costruita una batimetria che per la parte più vicina alla linea di costa è una batimetria di dettaglio ricavata da un rilievo, mentre per la parte più a largo è stata ricavata dalle carte nautiche della zona.

Il dominio di calcolo è definito attraverso il MIKE Zero Mesh Generator che carica le informazioni riguardanti i punti della batimetria nelle tre coordinate cartesiane-

E' quindi necessario impostare una griglia che includa l'area che deve essere modellata, definire i contorni del dominio di calcolo e definire un codice per il riconoscimento delle condizioni a contorno. Nelle figure seguenti sono rappresentate le mesh di calcolo e le batimetrie utilizzate in input per i modelli bidimensionali.

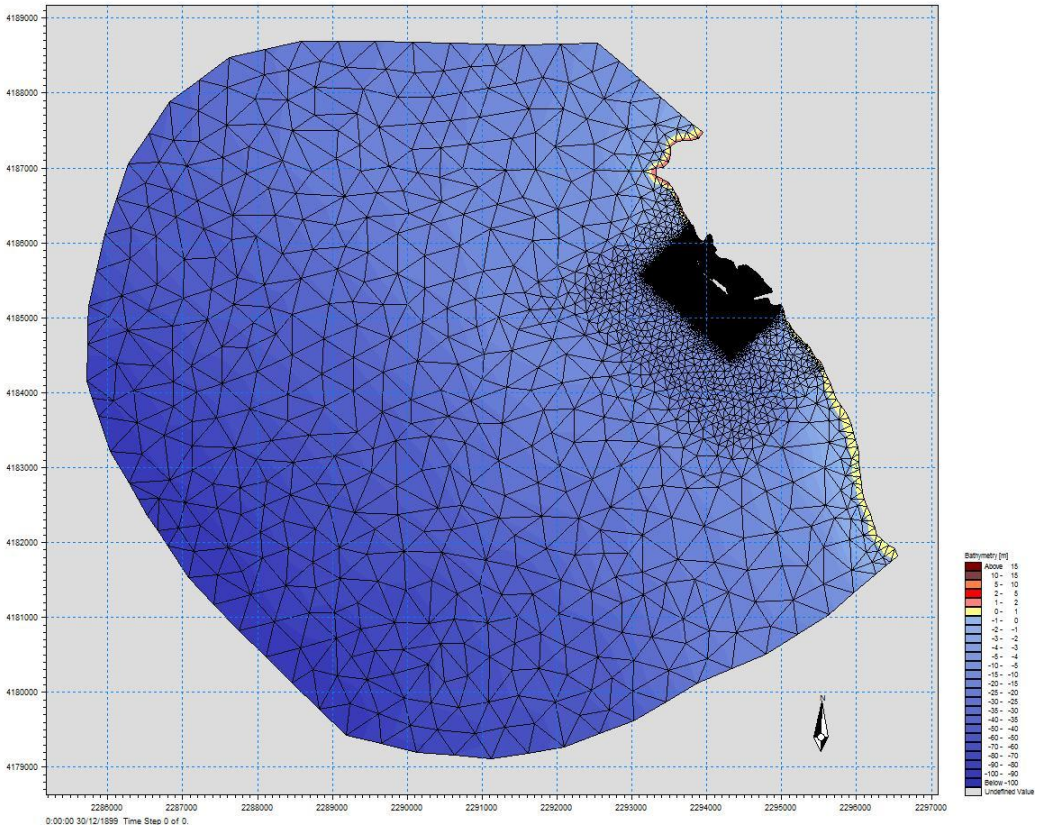


Figura 19 a– Mesh modello di largo

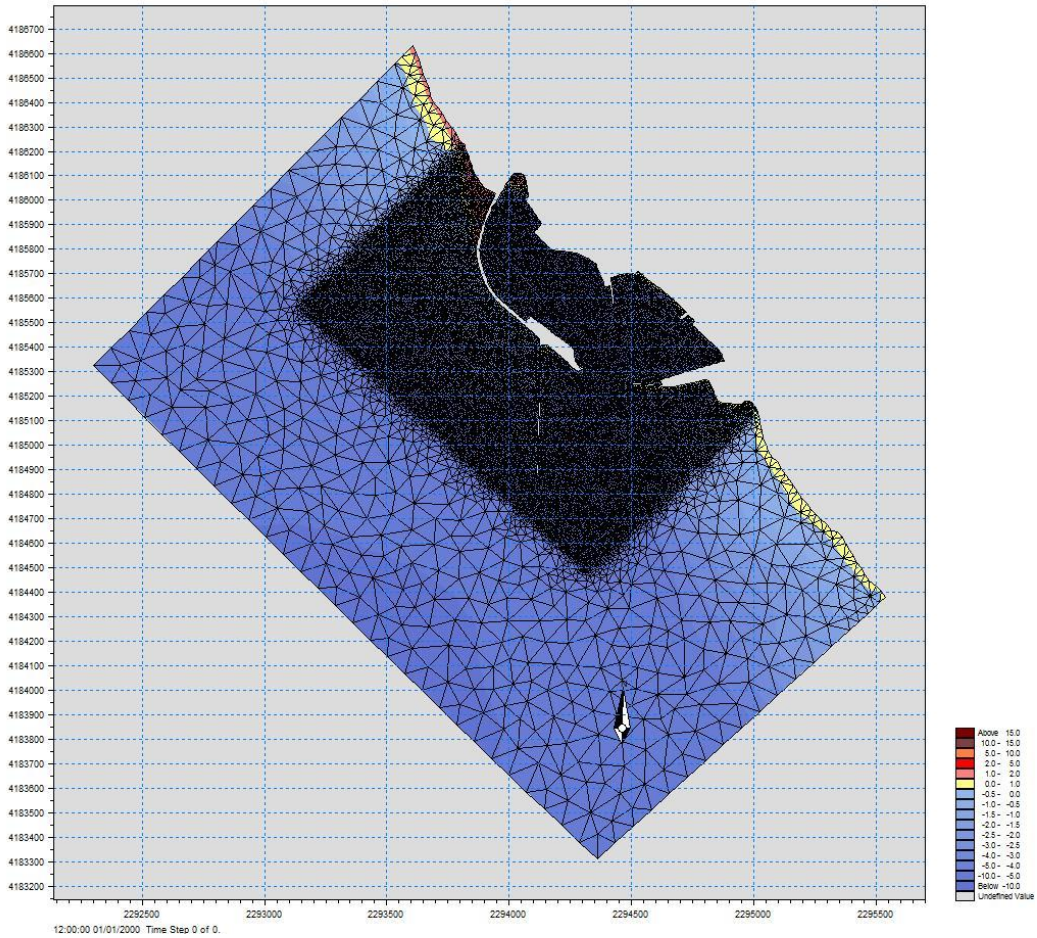


Figura 19 b – Mesh modello di dettaglio

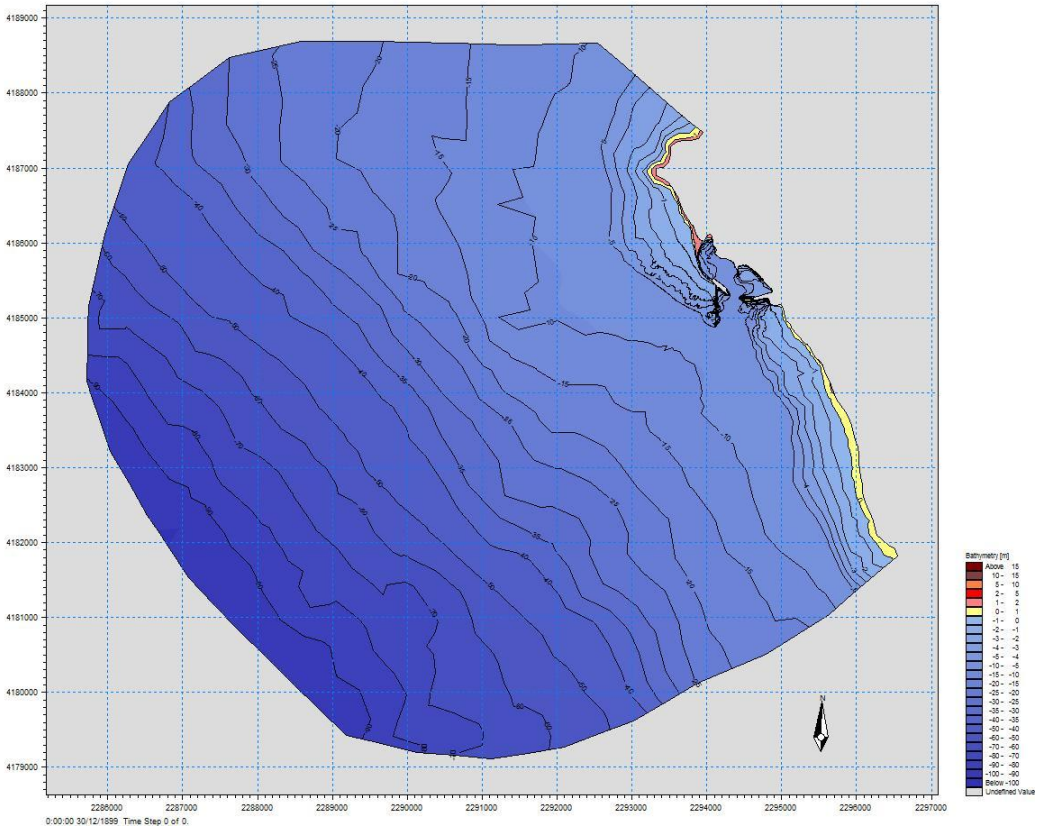


Figura 19 c – Batimetria modello di largo

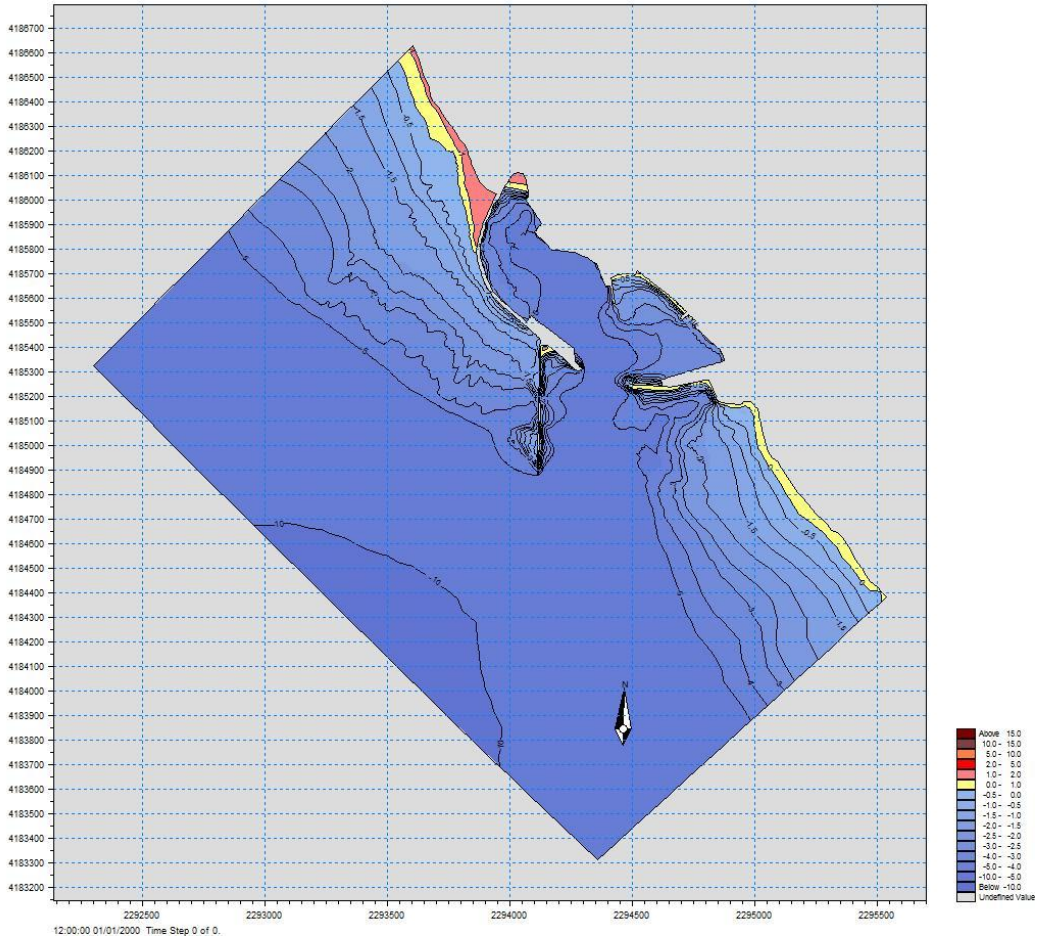


Figura 19 d – Batimetria modello di dettaglio

3.2.1. MODELLO SW

Per simulare il clima ondoso a largo e sotto costa si è utilizzato il modulo d'onda MIKE 21 SW che rappresenta lo stato dell'arte tra i modelli numerici spettrali di nuova generazione per vento ed onde sviluppato da DHI.

Il codice di calcolo simula la crescita, la trasformazione e la dissipazione di onde corte e onde lunghe in aree costiere. In particolare il MIKE 21 SW comprende due differenti formulazioni:

- *fully spectral formulation*
- *directional decoupled parametric formulation*

La prima formulazione è basata sulla "*wave action conservation equation*" sviluppata da Komen et al. (1994) e Young (1999). La seconda, è basata su una parametrizzazione della "*wave action conservation equation*" introdotta nel dominio delle frequenze.

Le equazioni di base sono formulate sia nelle coordinate cartesiane, per domini di calcolo a scala limitata, sia nelle coordinate polari per applicazioni a larga scala.

La discretizzazione spaziale delle equazioni di base è effettuata utilizzando l'approccio ai volumi finiti, attraverso l'utilizzo di una *mesh* di calcolo non strutturata.

Il modello, nella formulazione "*fully spectral*", include i fenomeni fisici di seguito elencati:

- crescita dell'onda per effetto del vento;
- interazione non lineare tra onde;
- dissipazione dovuta al *white capping*;
- dissipazione dovuta all'attrito col fondo;
- frangimento dell'onda su profondità limitate;
- rifrazione e *shoaling* dovuti alle variazioni batimetriche;
- effetto delle variazioni del fondale;
- diffrazione;
- riflessione semplice;

Il MIKE 21 SW è utilizzato per la valutazione del clima ondoso off-shore ed in aree costiere, per scopi previsionali e analisi storiche. Una tipica applicazione di SW è il supporto alla progettazione di un opera costiera o portuale, partendo dalla disponibilità di dati meteo marini off-shore (boe ondametriche o modelli a larga scala) individuando il clima ondoso ordinario sotto costa o le condizioni estreme di progetto.

Il MIKE 21 SW è inoltre utilizzato, sempre a supporto della progettazione di un opera costiera, come strumento di base del calcolo sia delle correnti sia del trasporto solido litoraneo indotti dall'azione del moto ondoso.

I campi di corrente e di trasporto sono infatti determinati, a partire dai campi di *radiation stresses* forniti in output da MIKE 21 SW, mediante l'utilizzo di altri moduli aggiuntivi del pacchetto MIKE21.

Dallo studio condotto in precedenza si rileva che le onde che influenzano il sito in esame sono quelle provenienti dai settori dal 11 al 23, di seguito si riportano in dettaglio le elaborazioni per i suddetti settori, per tempi di ritorno di 50 e 120 anni, sia per il modello di largo che di dettaglio.

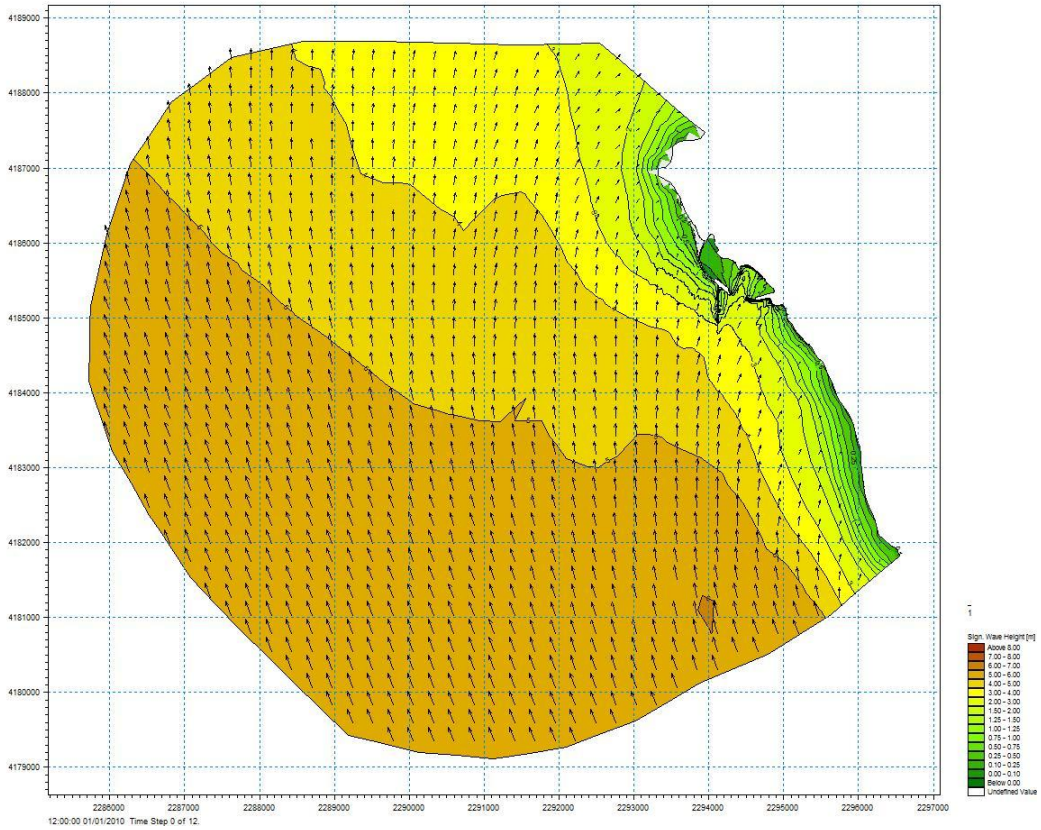


Figura 20 a - Andamento dell'onda dal settore 11 – modello SW - Tr = 50 anni – Stato di fatto – Modello di largo

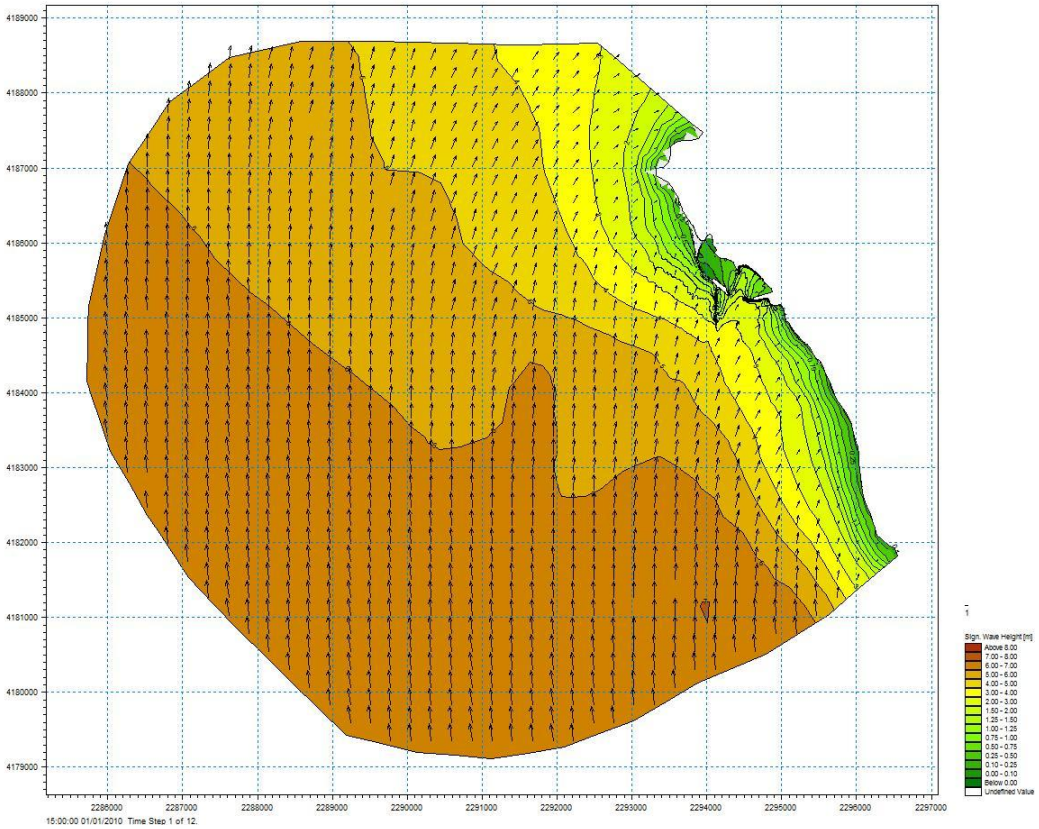


Figura 20b - Andamento dell'onda dal settore 12 – modello SW - Tr = 50 anni – Stato di fatto – Modello di largo

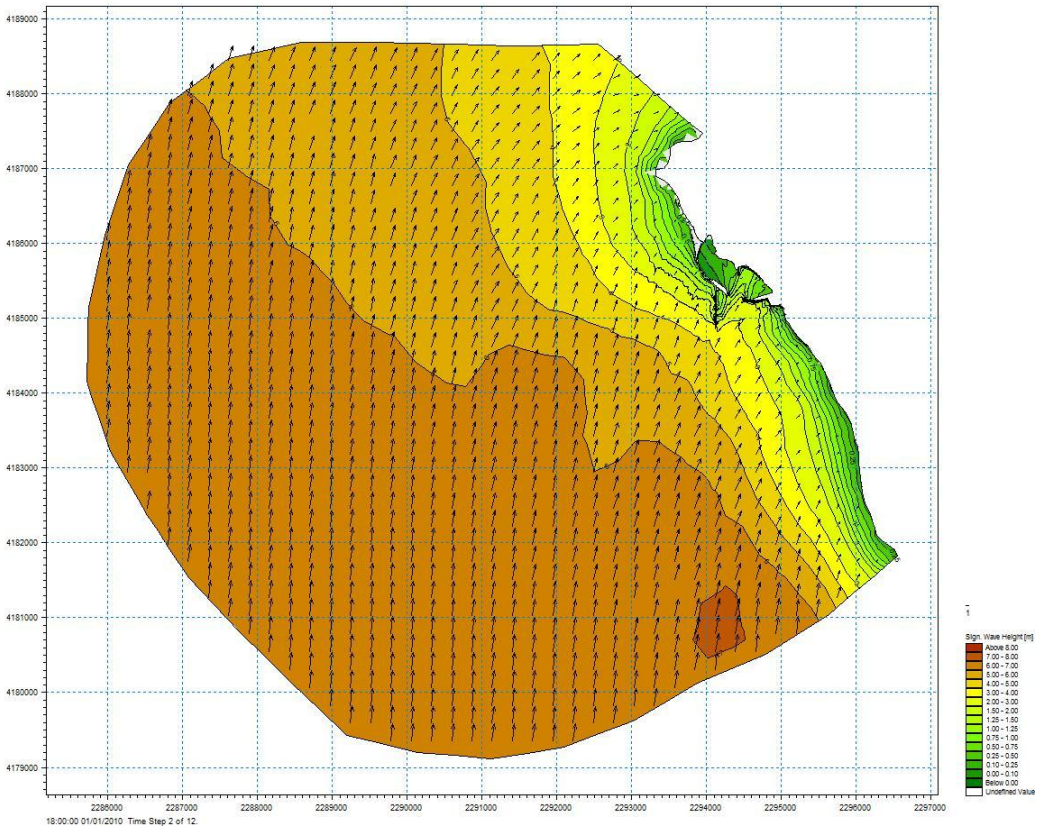


Figura 20c - Andamento dell'onda dal settore 13 – modello SW - Tr = 50 anni – Stato di fatto – Modello di largo

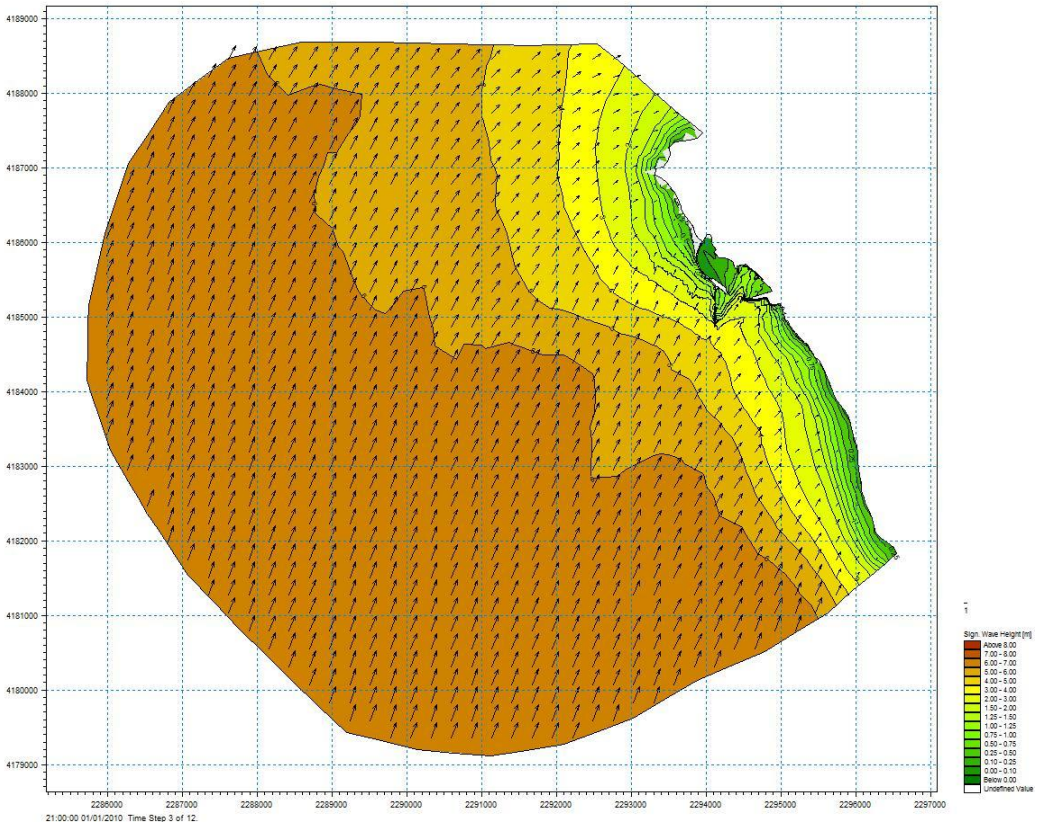


Figura 20d - Andamento dell'onda dal settore 14 – modello SW - Tr = 50 anni – Stato di fatto – Modello di largo

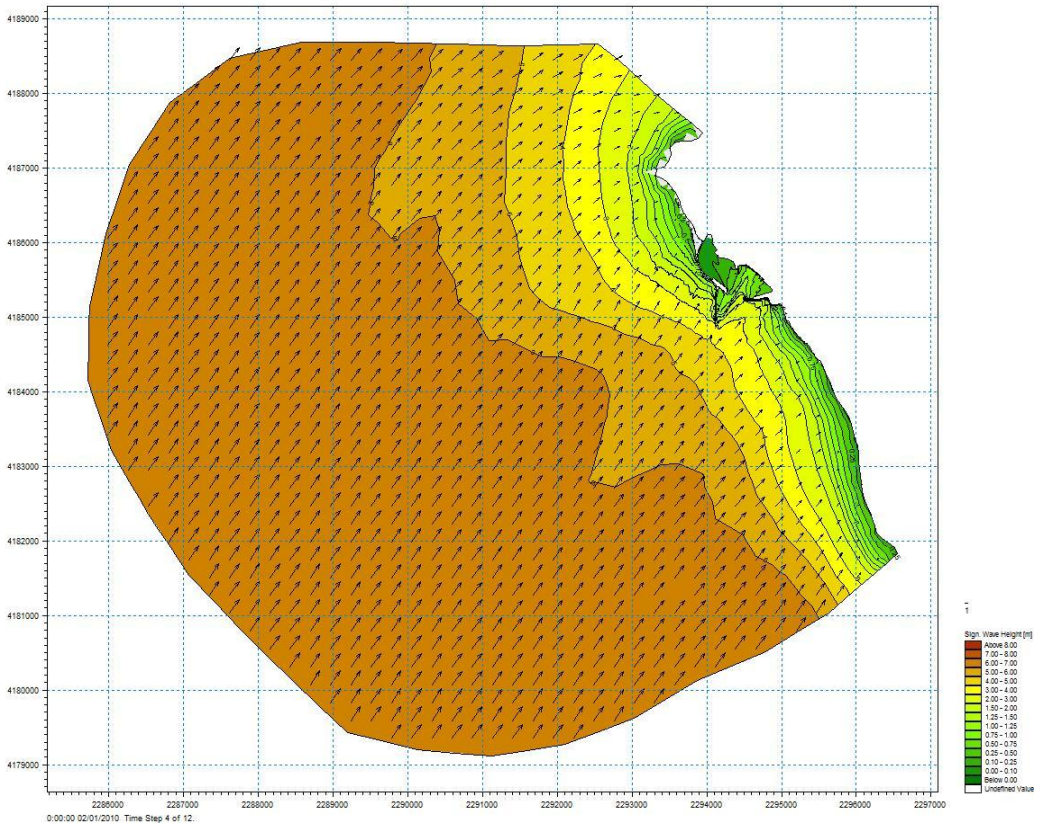


Figura 20e - Andamento dell'onda dal settore 15 – modello SW - Tr = 50 anni – Stato di fatto – Modello di largo

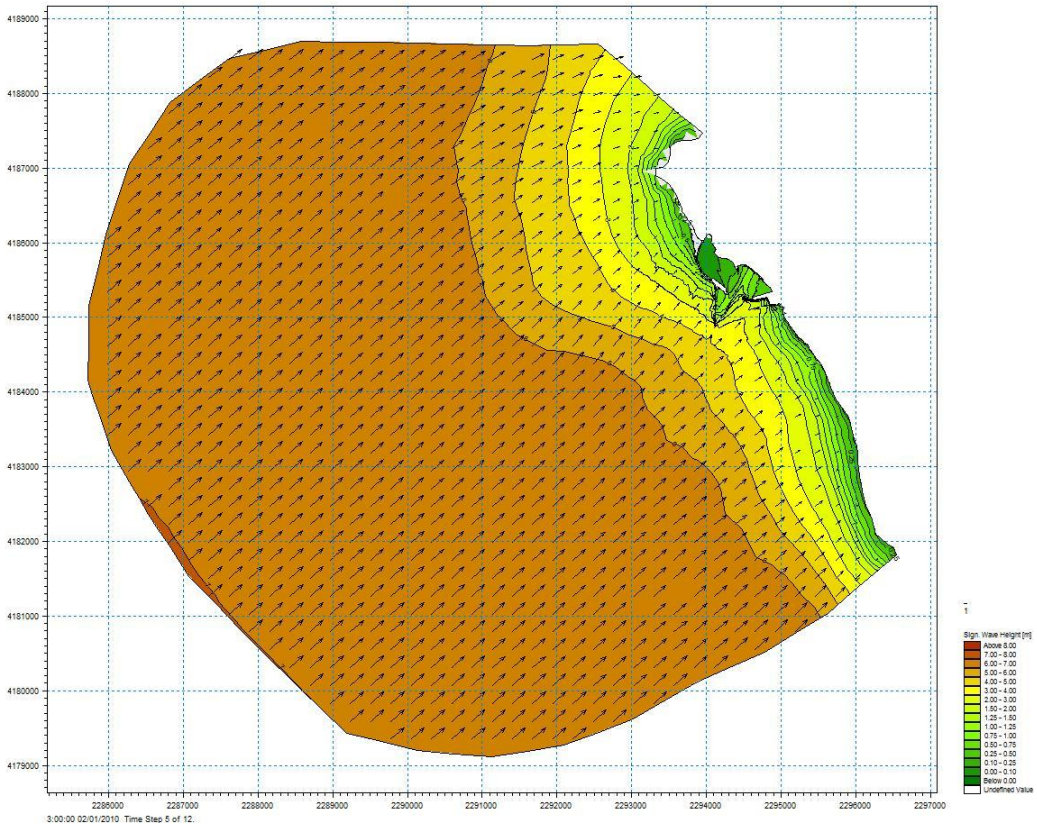


Figura 20f - Andamento dell'onda dal settore 16 – modello SW - Tr = 50 anni – Stato di fatto – Modello di largo

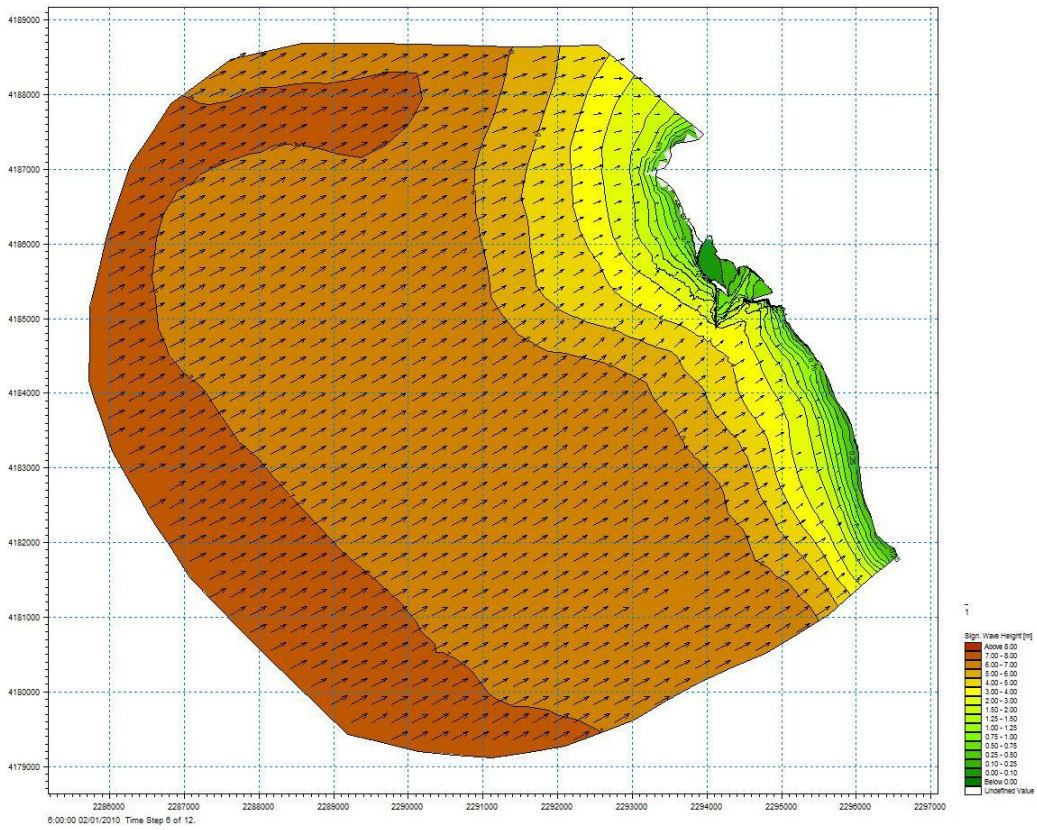


Figura 20g - Andamento dell'onda dal settore 17 – modello SW - Tr = 50 anni – Stato di fatto – Modello di largo

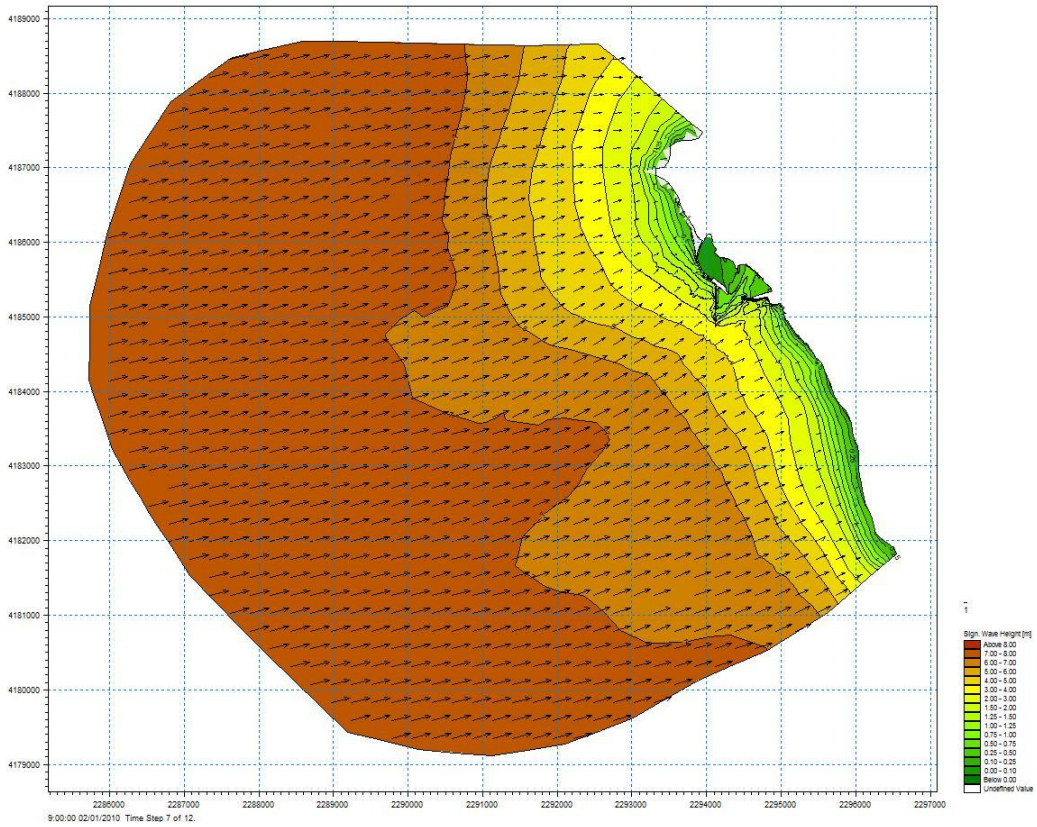


Figura 20h - Andamento dell'onda dal settore 18 – modello SW - Tr = 50 anni – Stato di fatto – Modello di largo

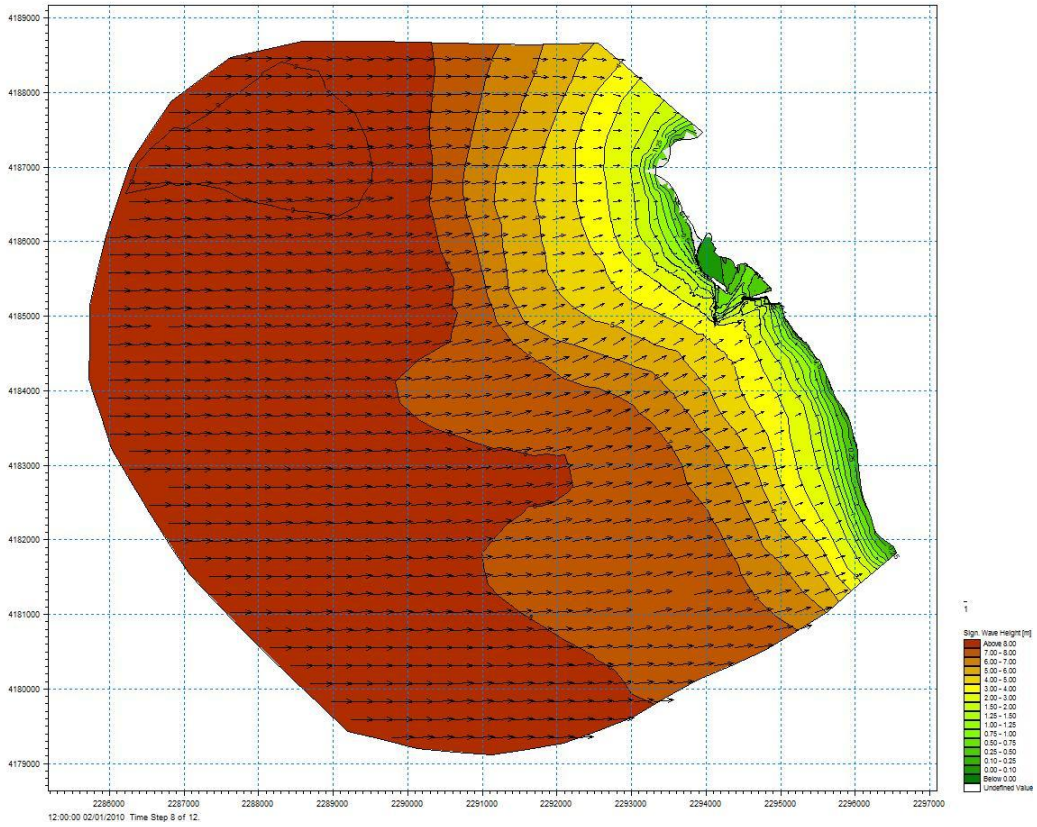


Figura 20i - Andamento dell'onda dal settore 19 – modello SW - Tr = 50 anni – Stato di fatto – Modello di largo

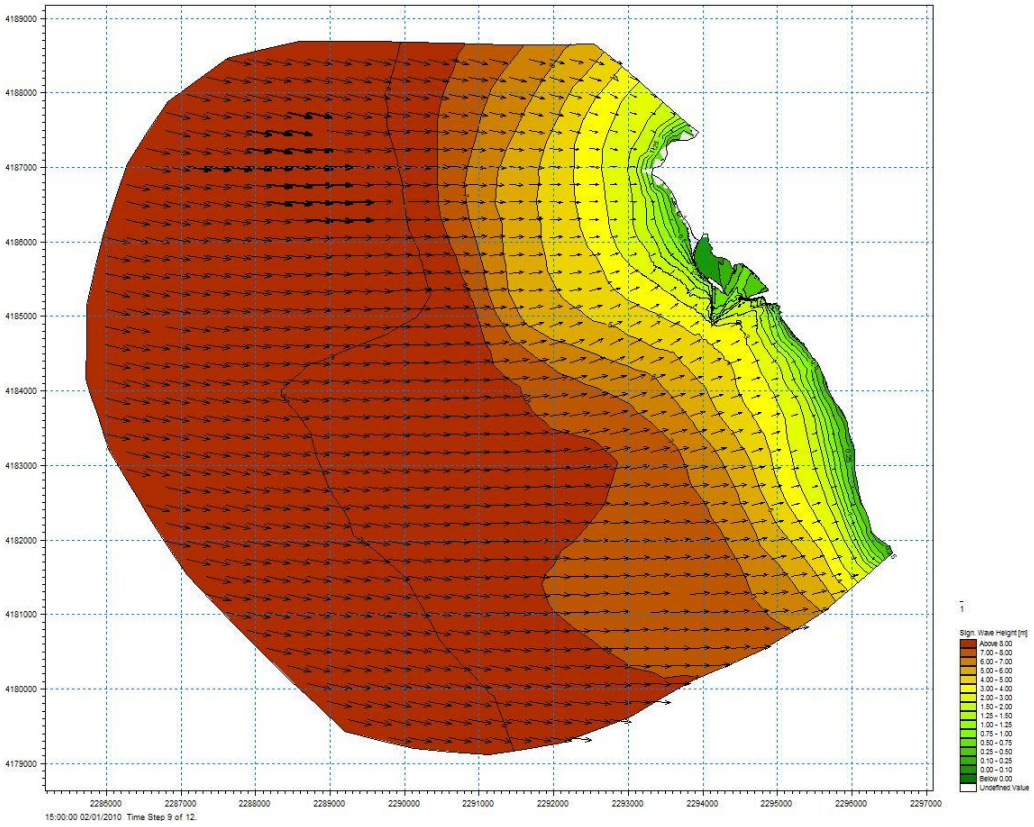


Figura 20l - Andamento dell'onda dal settore 20 – modello SW - Tr = 50 anni – Stato di fatto – Modello di largo

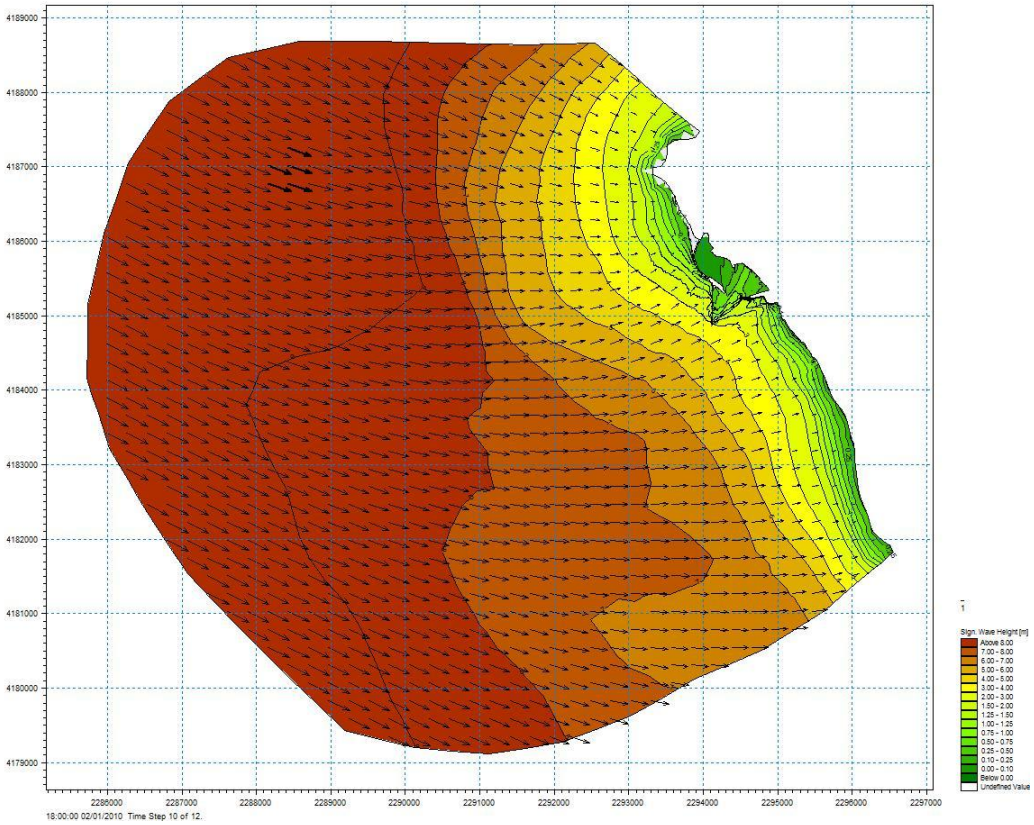


Figura 20m - Andamento dell'onda dal settore 21 – modello SW - Tr = 50 anni – Stato di fatto – Modello di largo

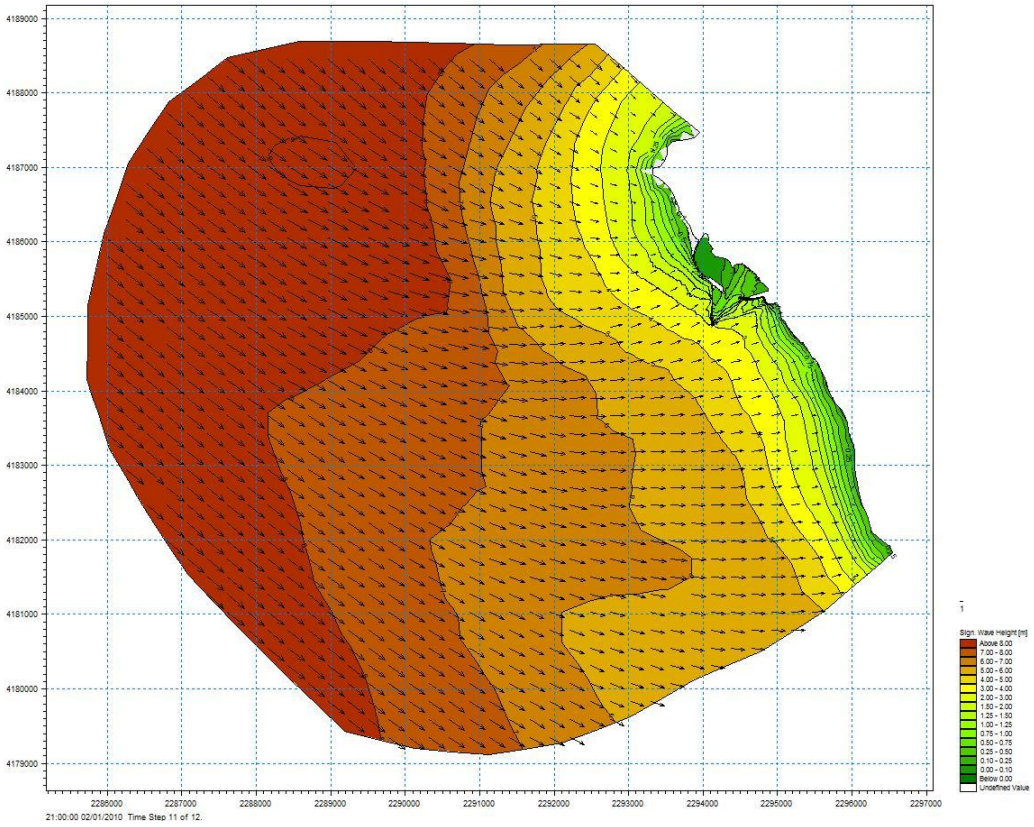


Figura 20 n - Andamento dell'onda dal settore 22 – modello SW - Tr = 50 anni – Stato di fatto – Modello di largo

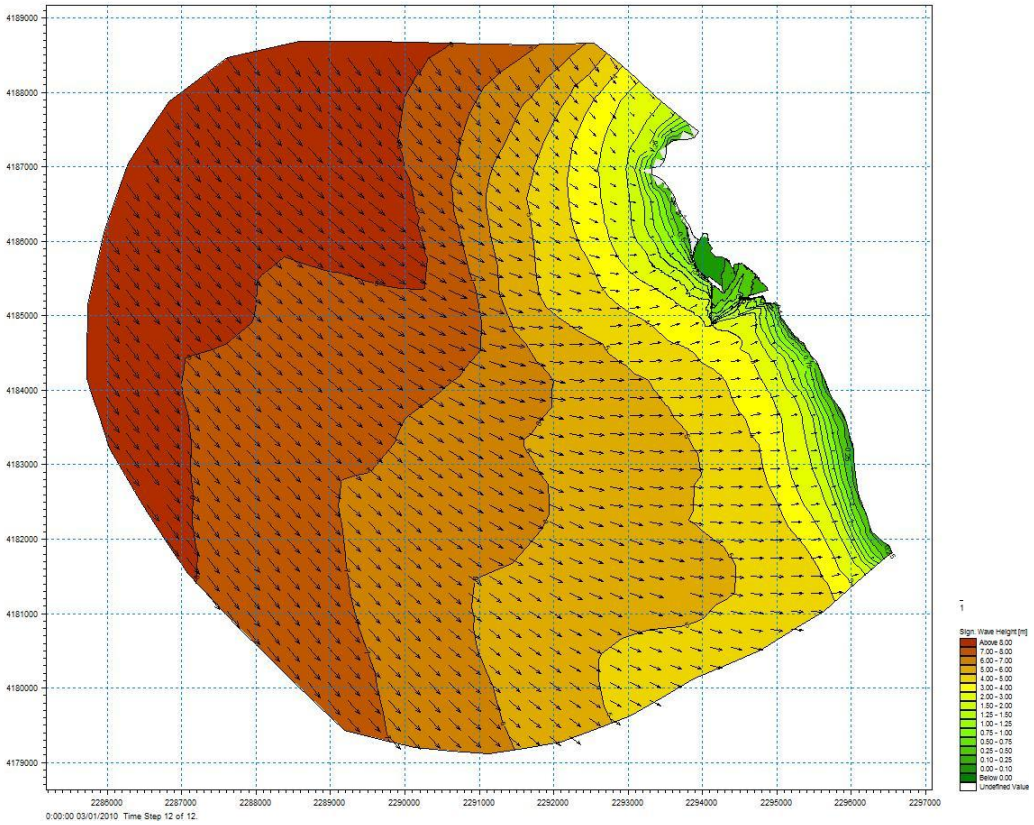


Figura 20o - Andamento dell'onda dal settore 23 – modello SW - Tr = 50 anni – Stato di fatto – Modello di largo

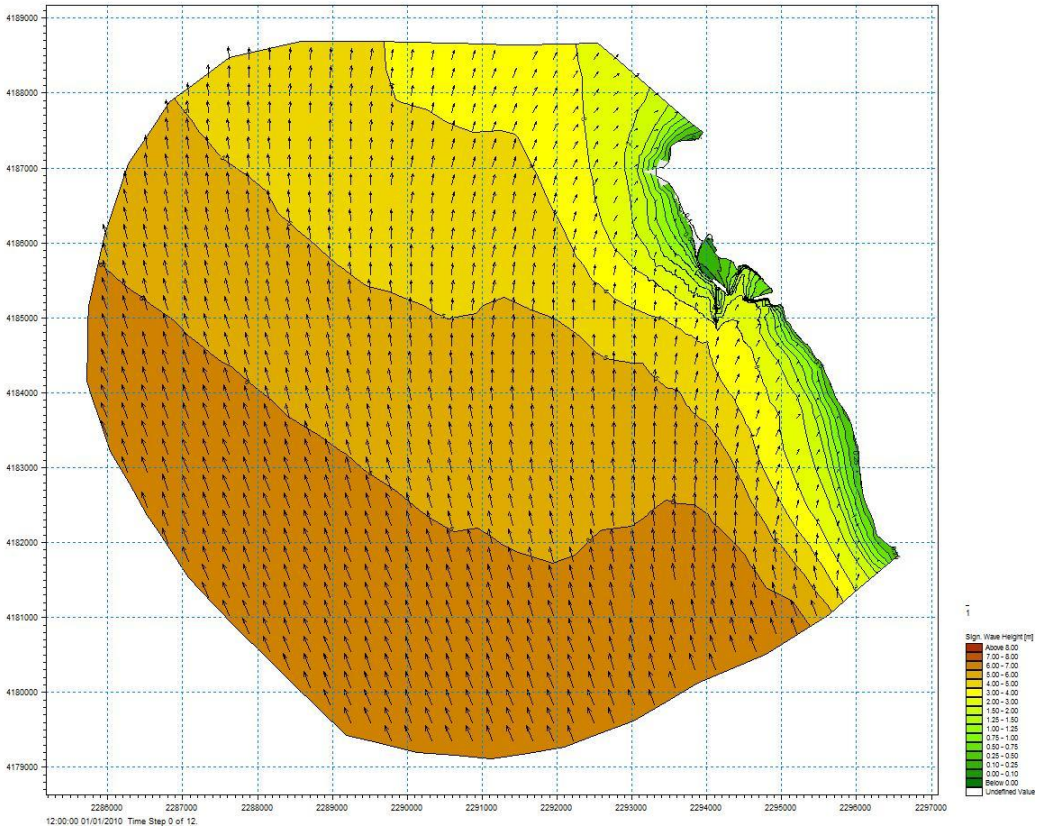


Figura 21 a – Andamento dell'onda dal settore 11 – modello SW - Tr = 120 anni – Stato di fatto – Modello di largo

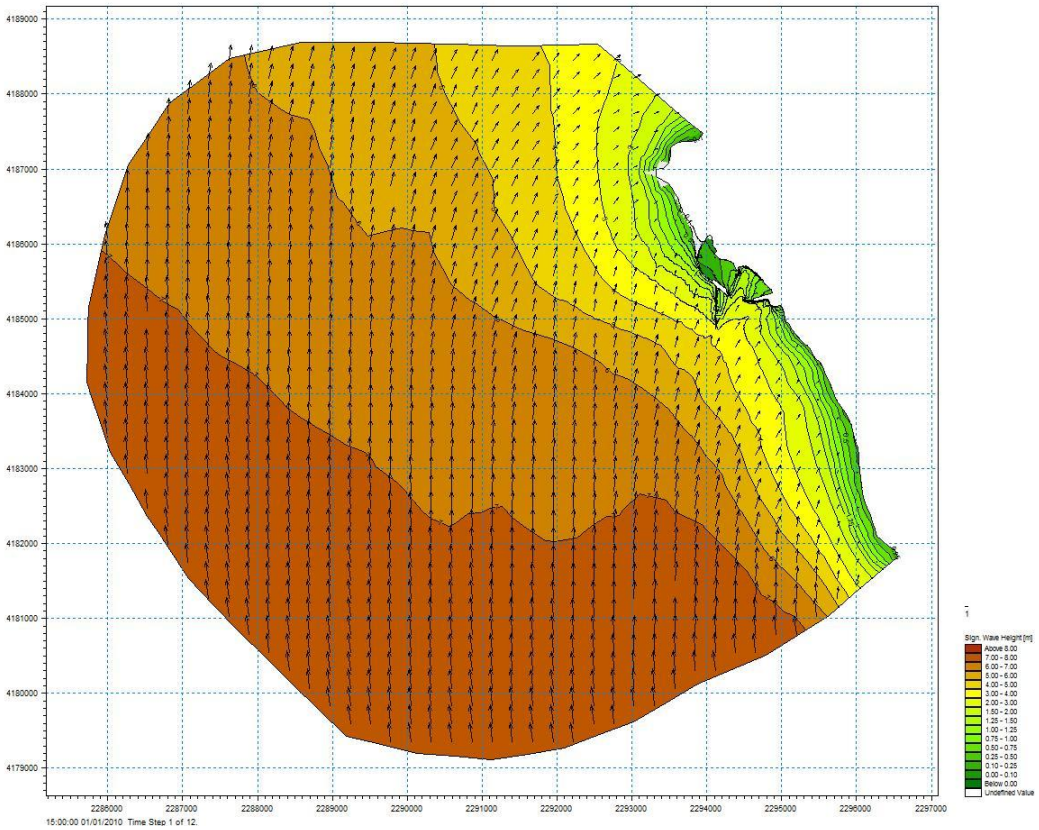


Figura 21 b – Andamento dell'onda dal settore 12 – modello SW - Tr = 120 anni – Stato di fatto – Modello di largo

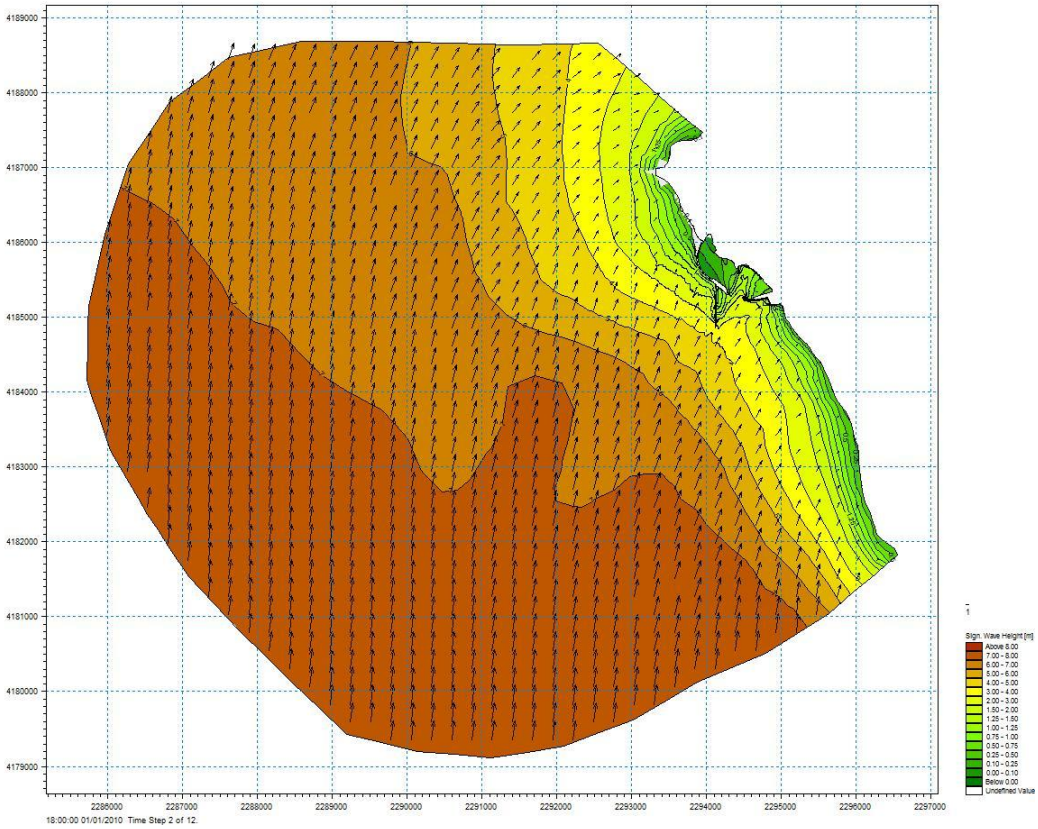


Figura 21 c – Andamento dell'onda dal settore 13 – modello SW - Tr = 120 anni – Stato di fatto – Modello di largo

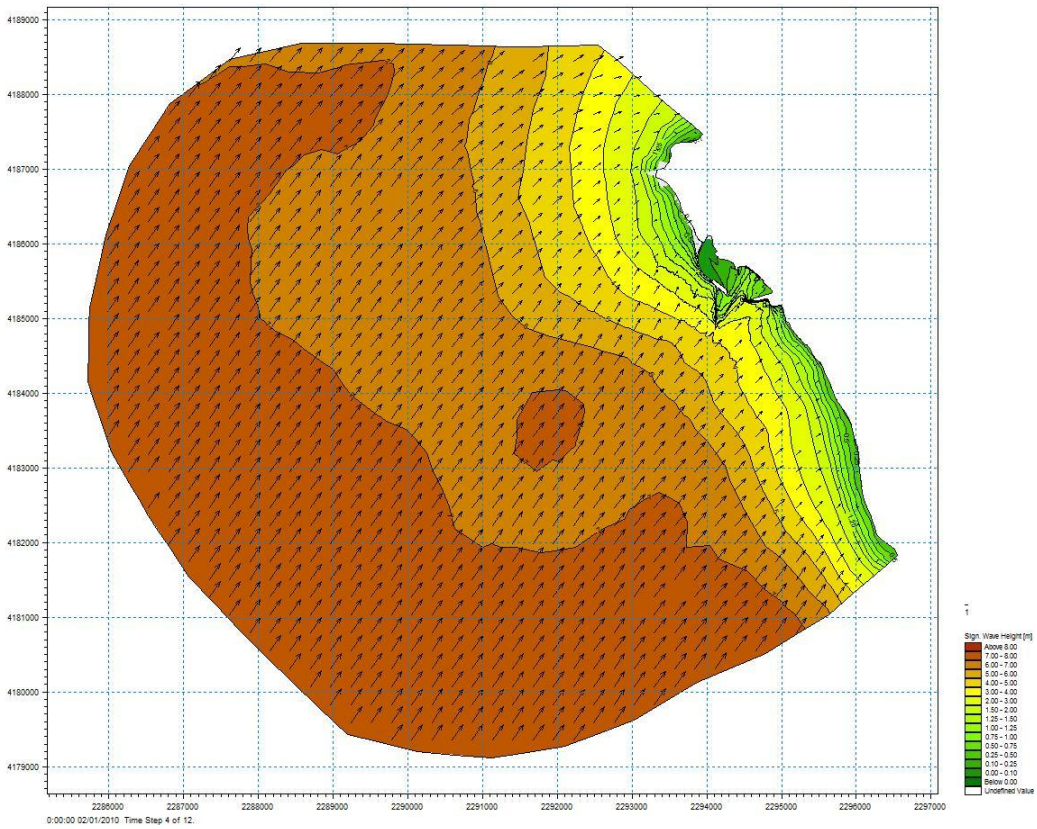


Figura 21 d – Andamento dell'onda dal settore 14 – modello SW - Tr = 120 anni – Stato di fatto – Modello di largo

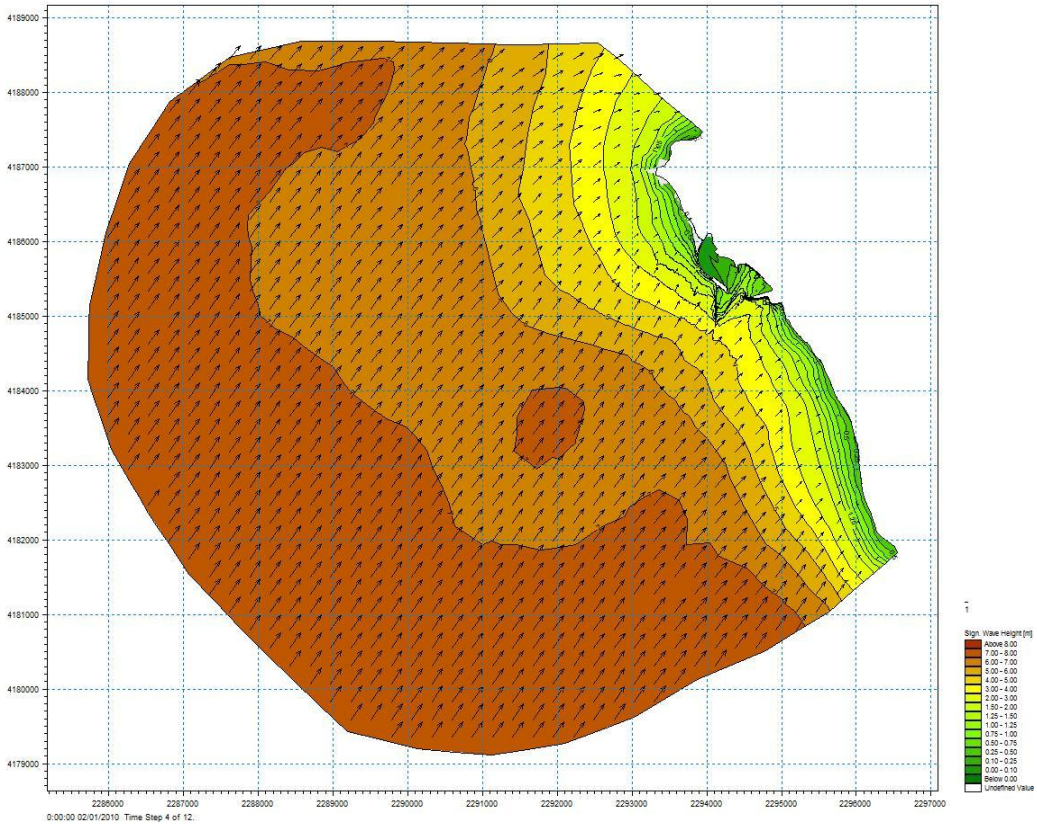


Figura 21 e – Andamento dell'onda dal settore 15 – modello SW - Tr = 120 anni – Stato di fatto – Modello di largo

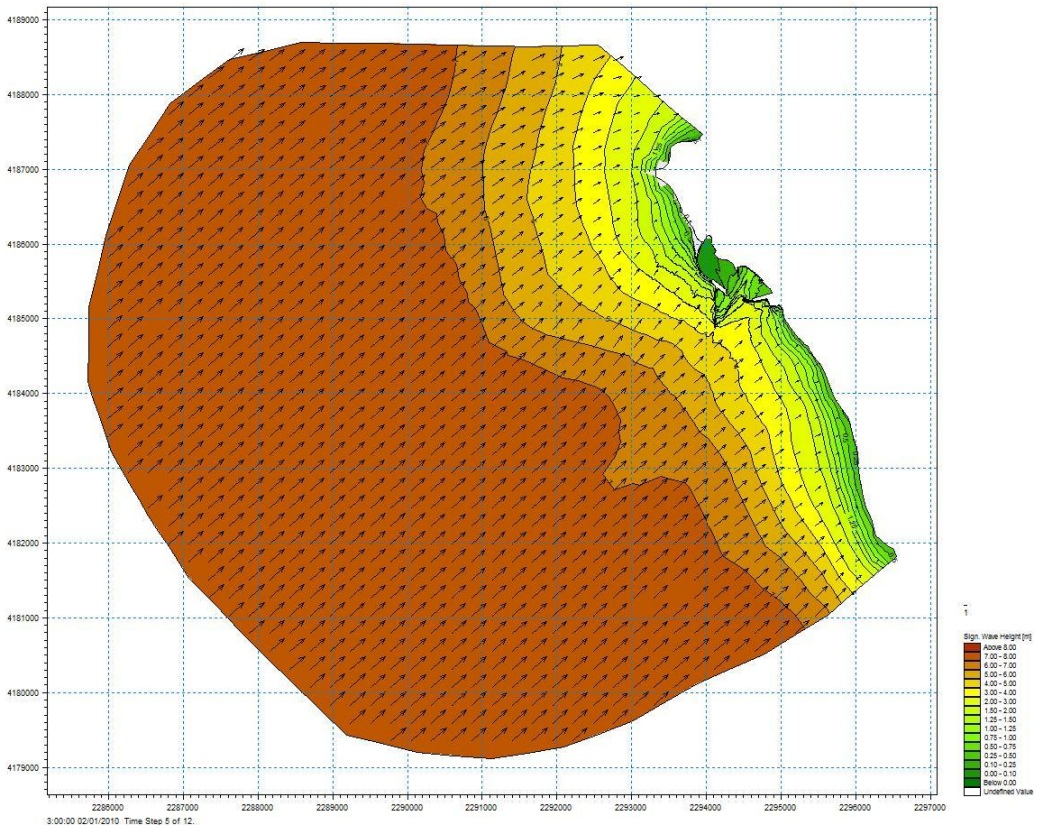


Figura 21 f – Andamento dell'onda dal settore 16 – modello SW - Tr = 120 anni – Stato di fatto – Modello di largo

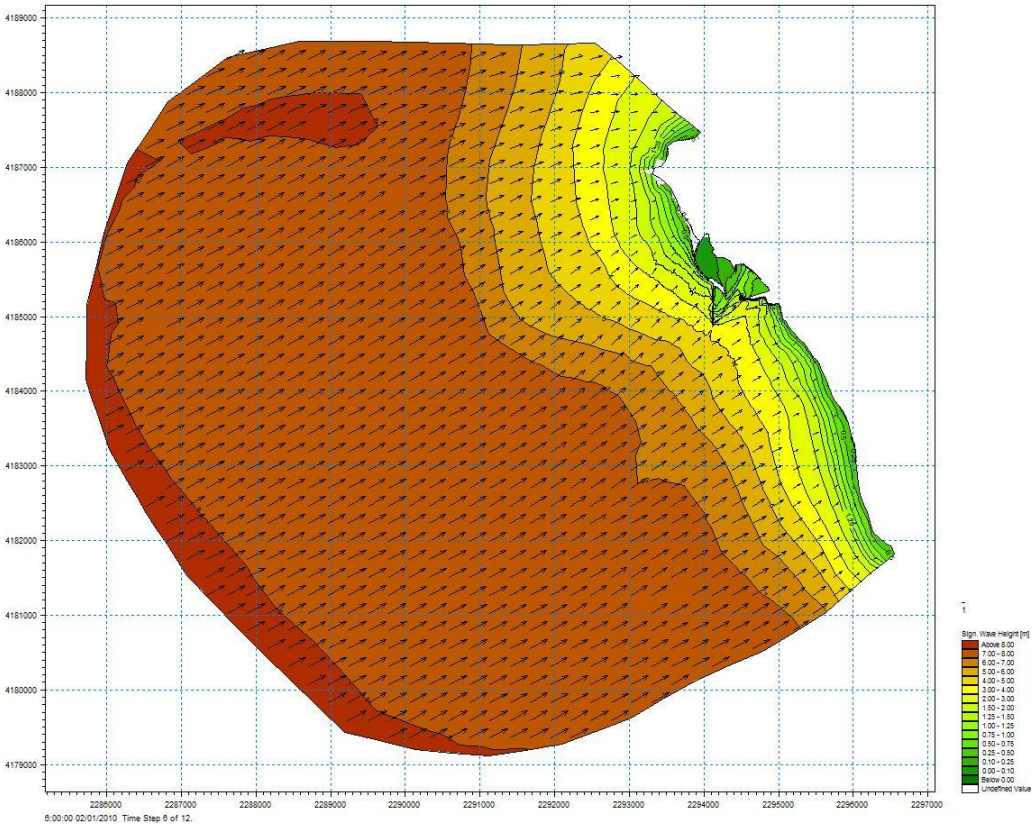


Figura 21 g – Andamento dell'onda dal settore 17 – modello SW - Tr = 120 anni – Stato di fatto – Modello di largo

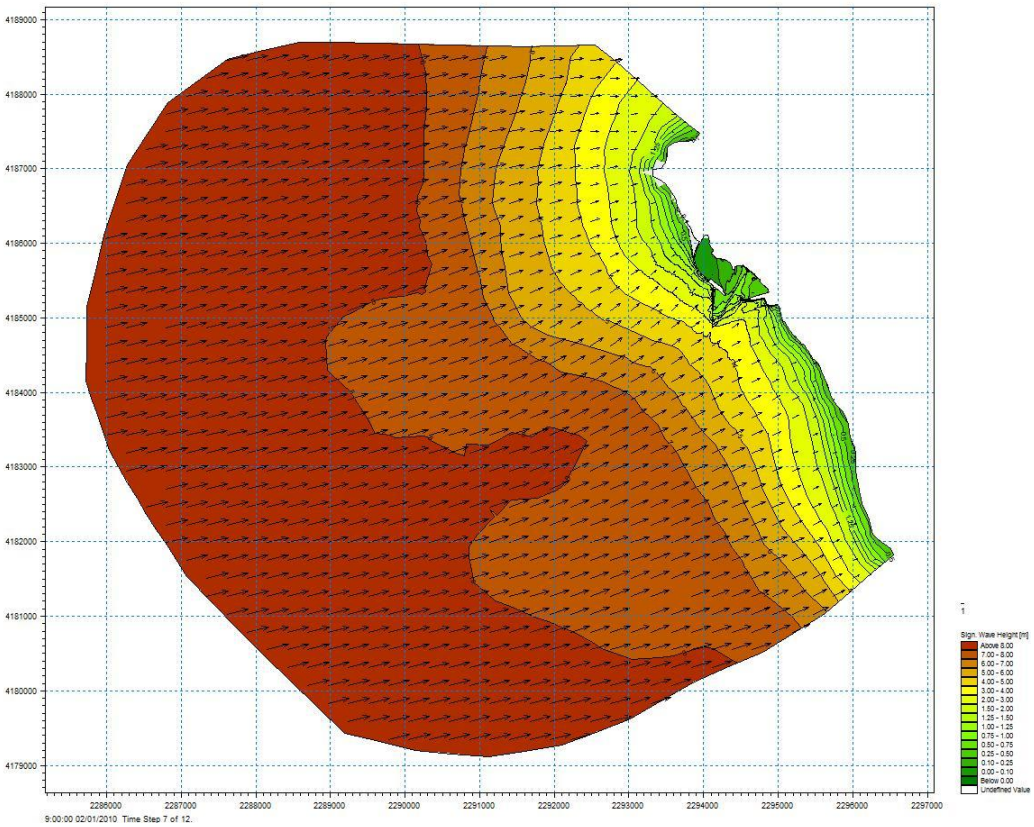


Figura 21 h – Andamento dell'onda dal settore 18 – modello SW - Tr = 120 anni – Stato di fatto – Modello di largo

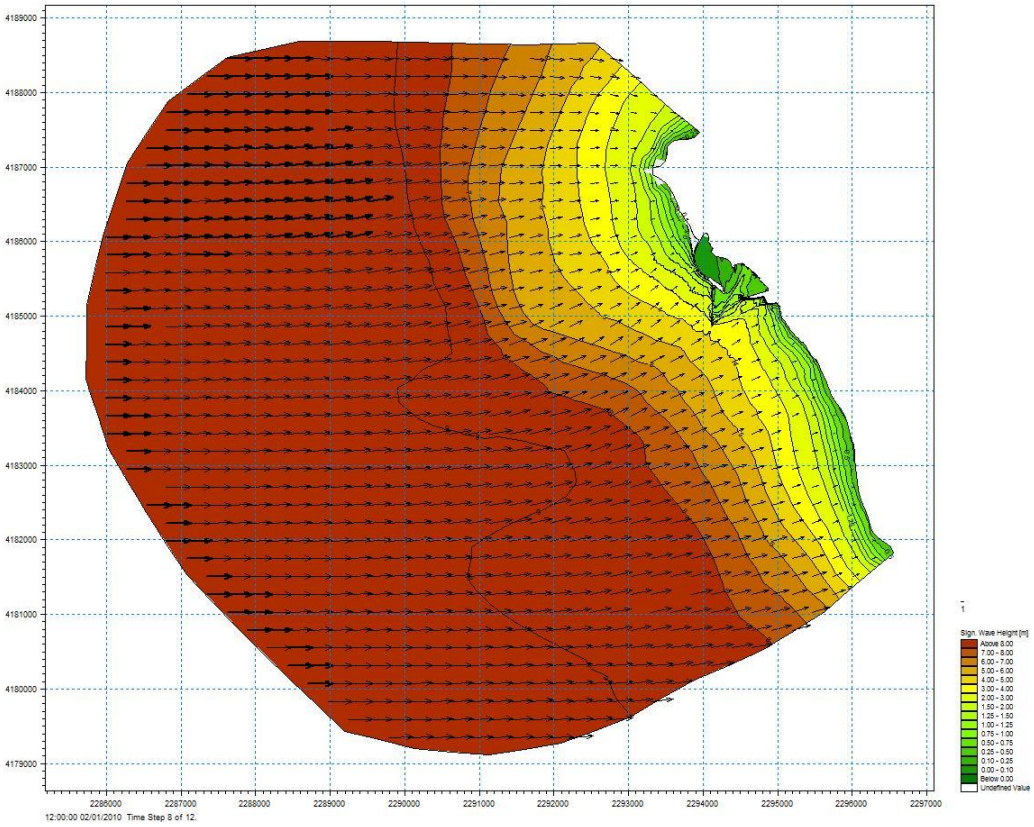


Figura 21 i – Andamento dell'onda dal settore 19 – modello SW - Tr = 120 anni – Stato di fatto – Modello di largo

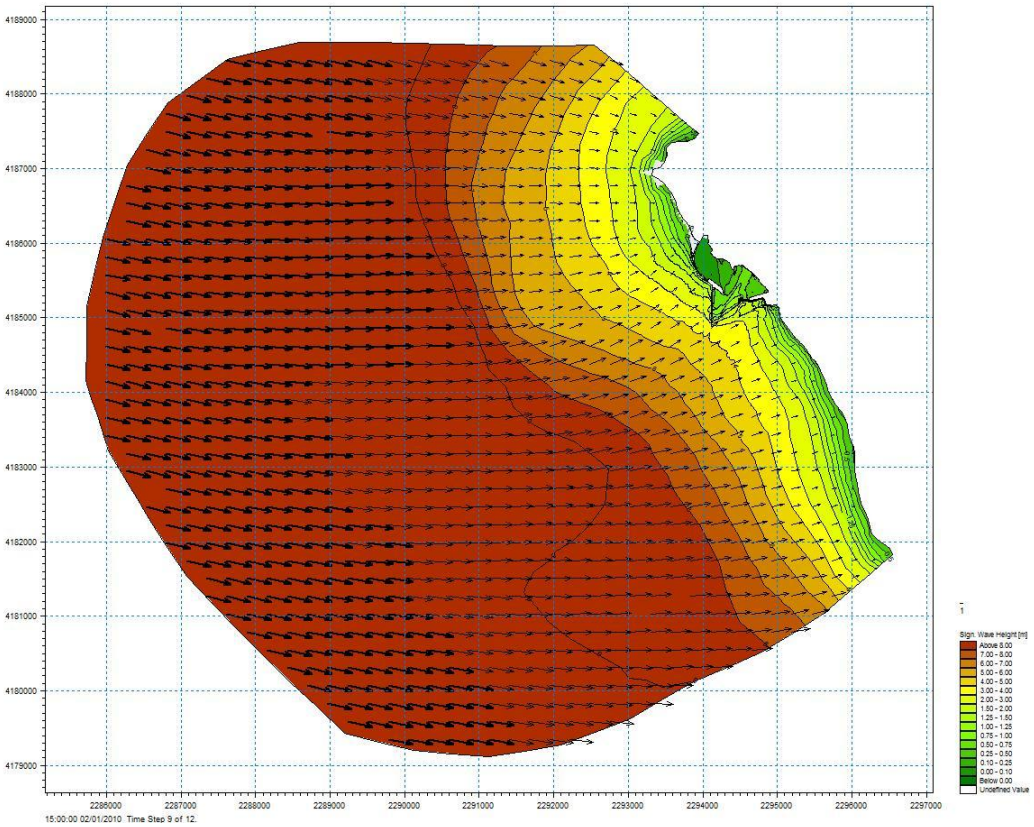


Figura 21 l – Andamento dell'onda dal settore 20 – modello SW - Tr = 120 anni – Stato di fatto – Modello di largo

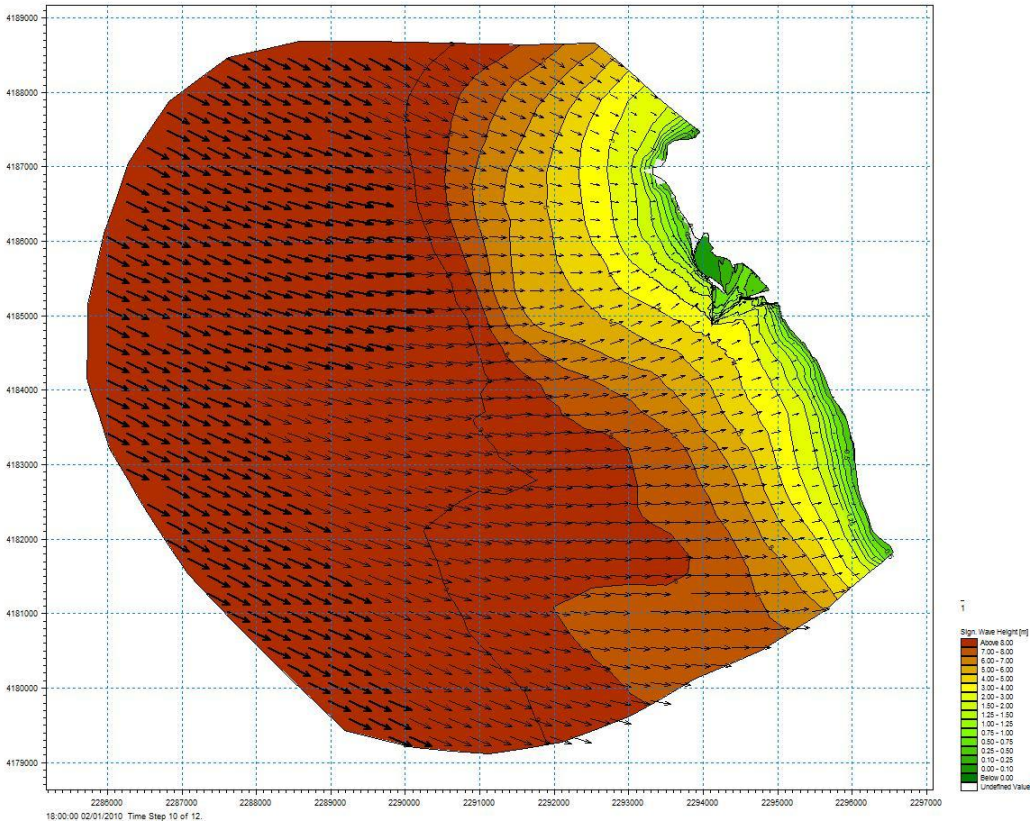


Figura 21 m – Andamento dell'onda dal settore 21 – modello SW - Tr = 120 anni – Stato di fatto – Modello di largo

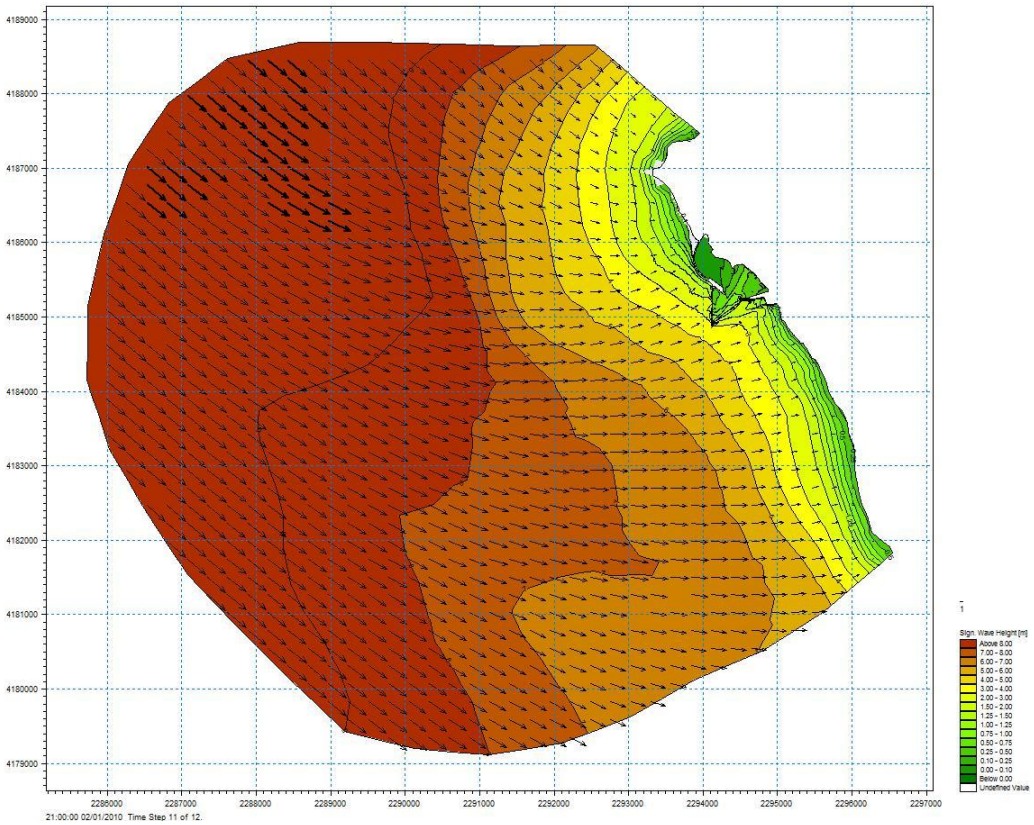


Figura 21 n – Andamento dell'onda dal settore 22 – modello SW - Tr = 120 anni – Stato di fatto – Modello di largo

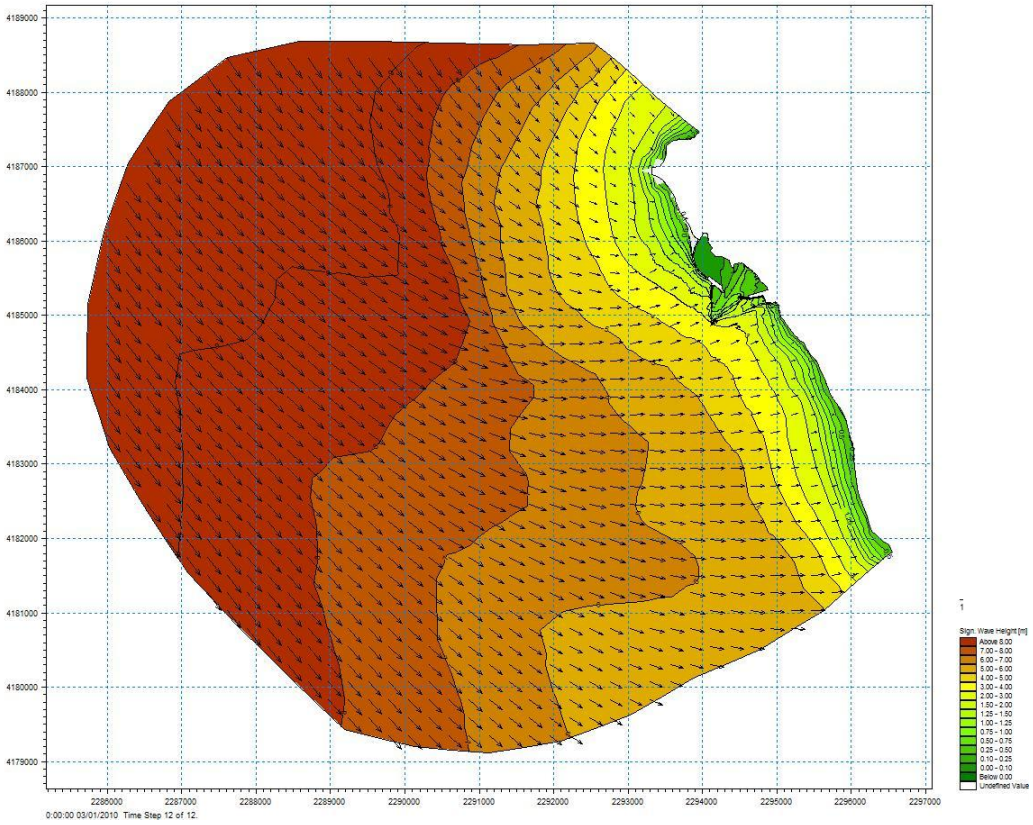


Figura 21 o – Andamento dell'onda dal settore 23 – modello SW - Tr = 120 anni – Stato di fatto – Modello di largo

Una volta studiato il clima ondoso a largo si è "estratto" il clima ondoso sotto costa nel punto di coordinate UTM 4184295,5N 273833,5E. Nelle tabelle seguenti si riportano le onde estratte e poste come input del modello di dettaglio.

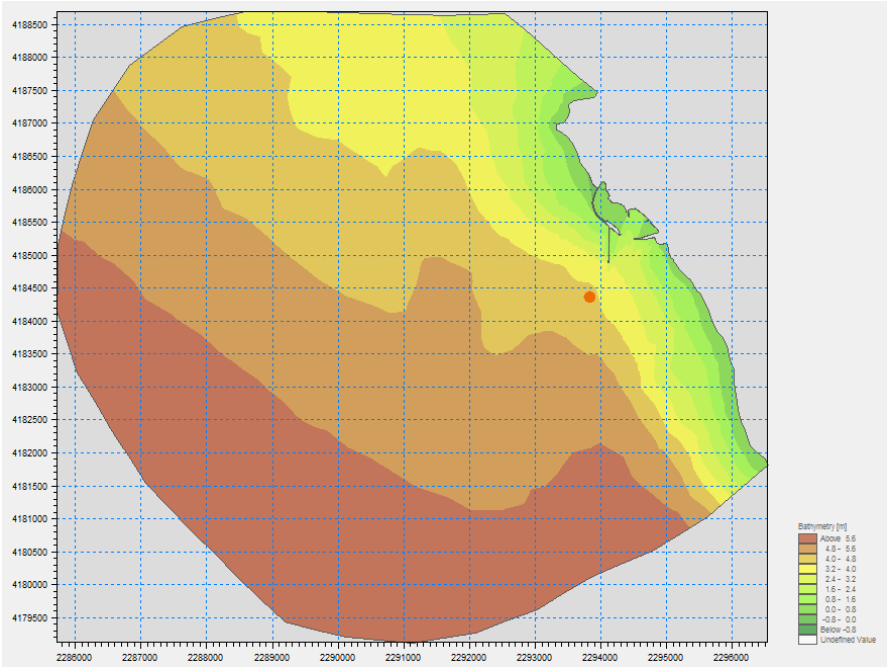


Figura 21 p – individuazione del punto di estrazione del clima ondoso sotto costa

Settori	Hs (m)	Tp (s)	MWD (°)
11	4,21572	9,32958	191,479
12	4,59971	10,1199	199,095
13	4,67871	10,3519	205,075
14	4,69373	10,4446	211,546
15	4,69894	10,5095	218,872
16	4,74979	10,7158	226,455
17	4,75825	10,799	233,279
18	4,7972	11,0729	238,74
19	4,86104	11,6909	242,571
20	4,86311	12,0963	245,788
21	4,75217	11,8625	249,729
22	4,48741	11,1165	255,048
23	4,22052	10,5795	259,686

Tabella 19 – Valori di Hs e Tp per Tr 50 anni

Settori	Hs (m)	Tp (s)	MWD (°)
11	4,50747	9,82005	192,67
12	4,83476	10,7199	200,262
13	4,91157	10,9574	205,998
14	4,93458	11,0388	212,127
15	4,94515	11,1049	219,1
16	4,98042	11,329	226,367
17	4,97874	11,4167	232,961
18	5,00315	11,7074	238,207
19	5,05508	12,357	241,933
20	5,0569	12,7798	245,105
21	4,96753	12,5724	248,696
22	4,75808	11,8596	253,379
23	4,53315	11,3534	257,55

Tabella 20 – Valori di Hs e Tp per Tr 120 anni

Nelle figure seguenti sono riportati i risultati del modello di dettaglio.

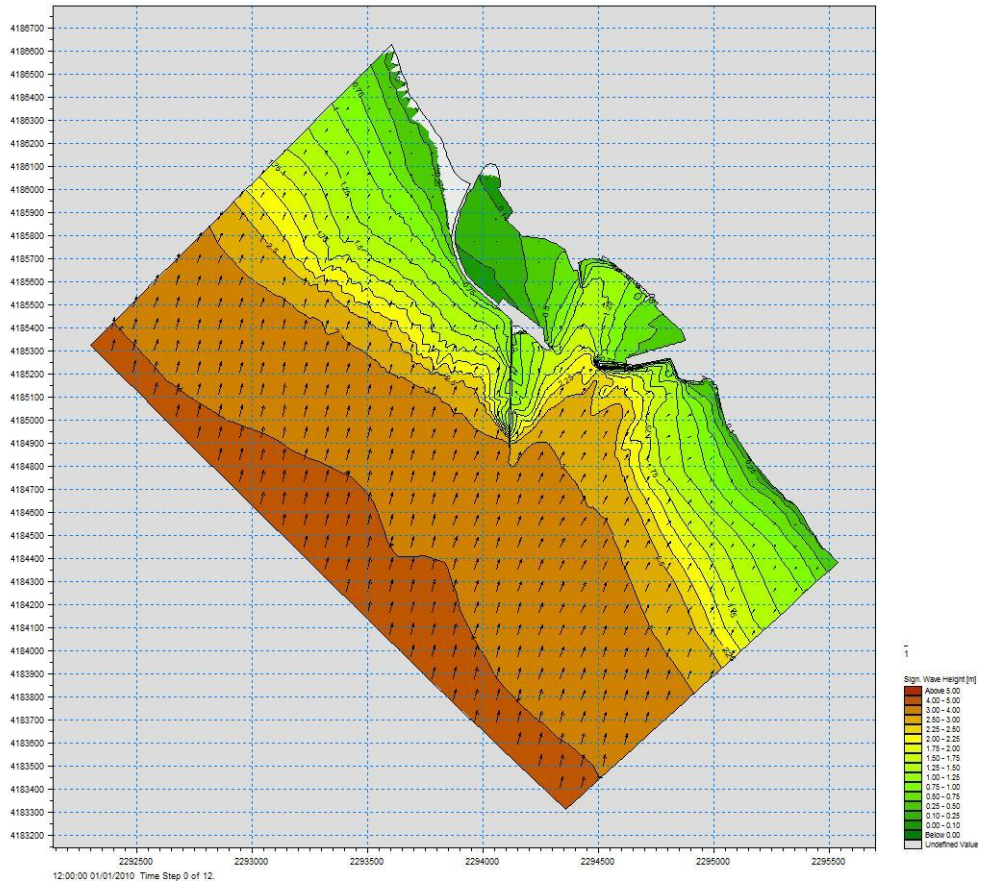


Figura 22 a – Andamento dell'onda dal settore 11 – modello SW - Tr = 50 anni – Stato di fatto – Modello di dettaglio

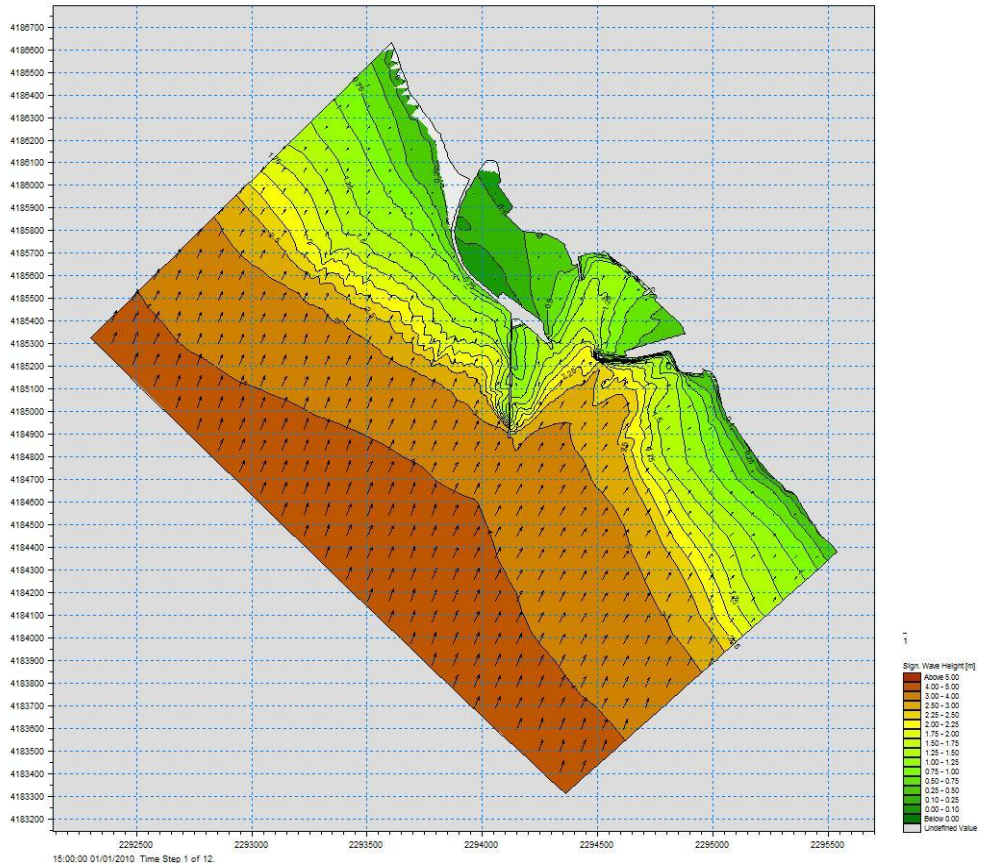


Figura 22 b – Andamento dell'onda dal settore 12 – modello SW - Tr = 50 anni – Stato di fatto – Modello di dettaglio

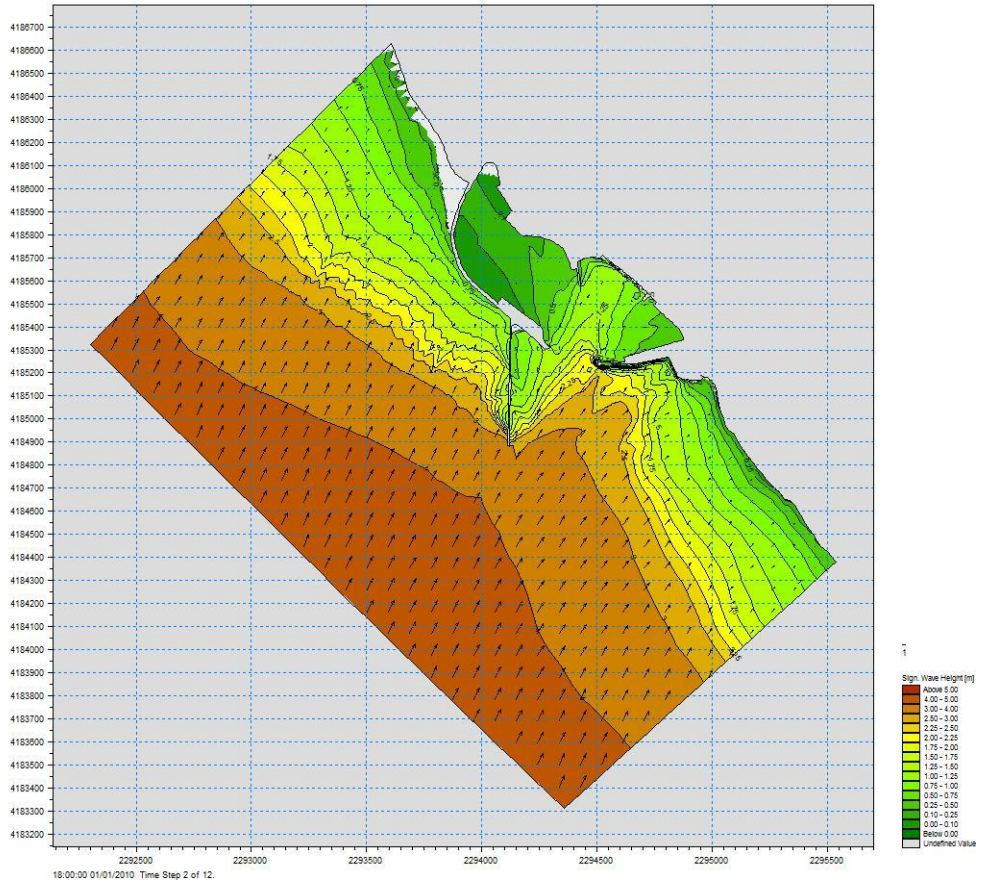


Figura 22 c – Andamento dell'onda dal settore 13 – modello SW - Tr = 50 anni – Stato di fatto – Modello di dettaglio

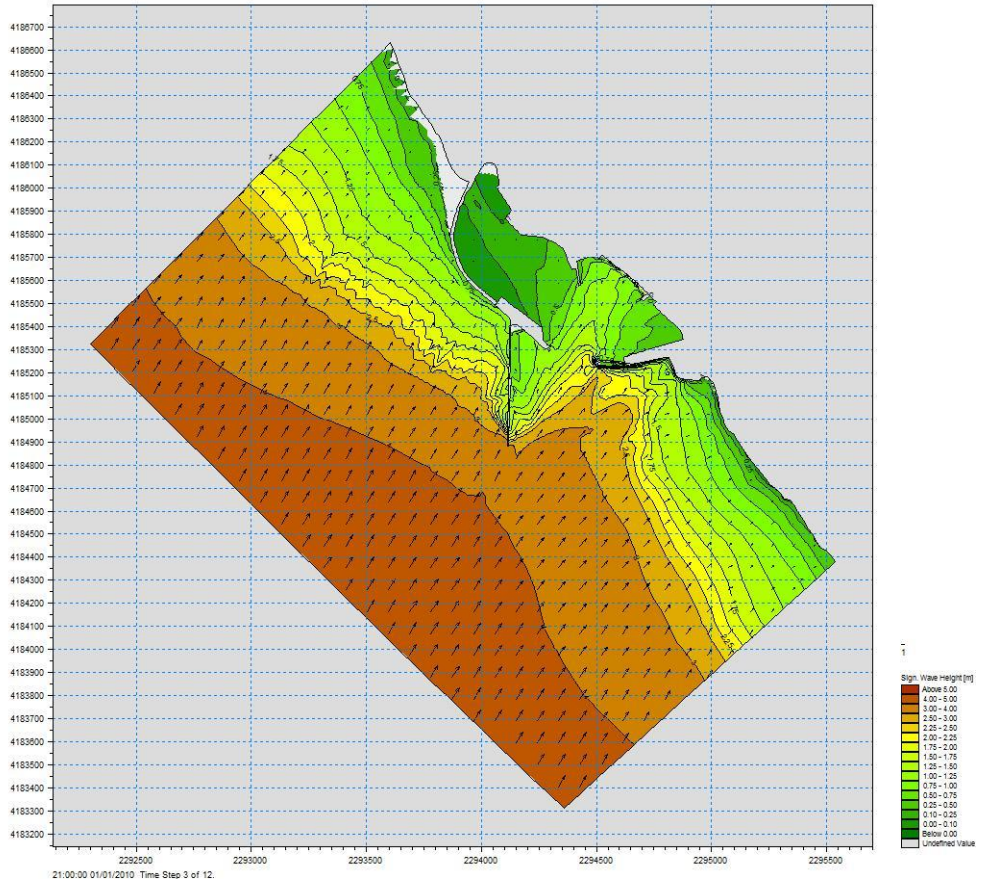


Figura 22 d – Andamento dell'onda dal settore 14 – modello SW - Tr = 50 anni – Stato di fatto – Modello di dettaglio

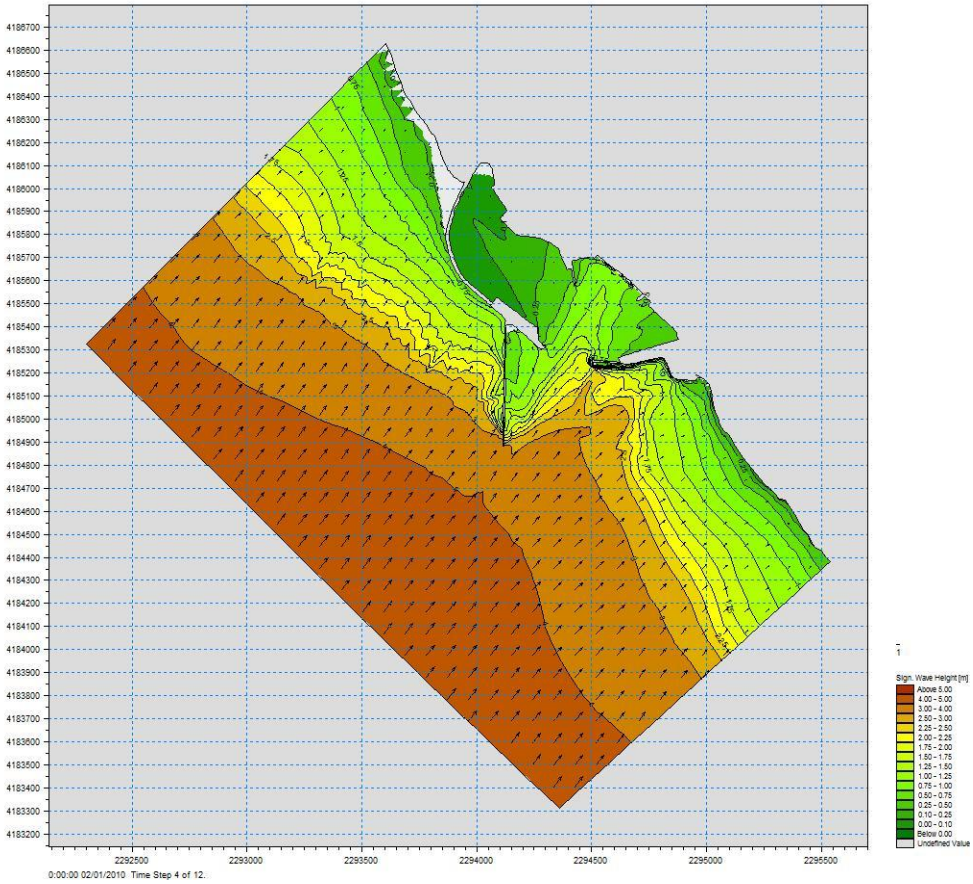


Figura 22 e – Andamento dell'onda dal settore 15 – modello SW - Tr = 50 anni – Stato di fatto – Modello di dettaglio

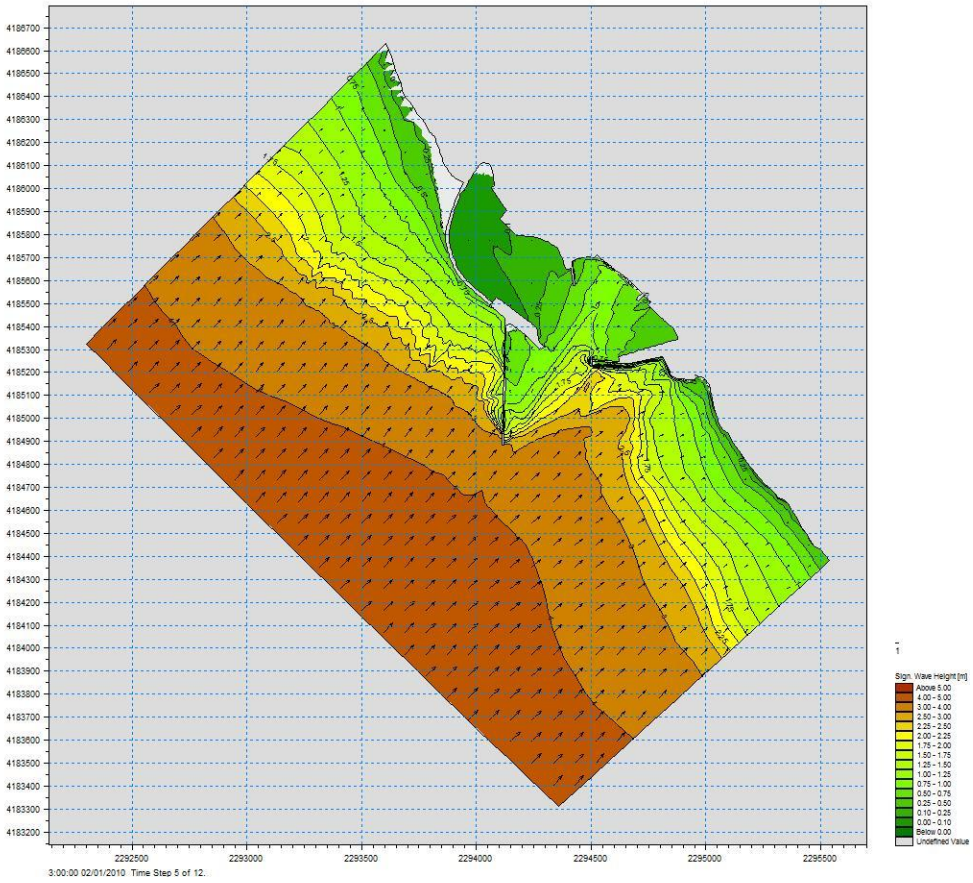


Figura 22 f – Andamento dell'onda dal settore 16 – modello SW - Tr = 50 anni – Stato di fatto – Modello di dettaglio

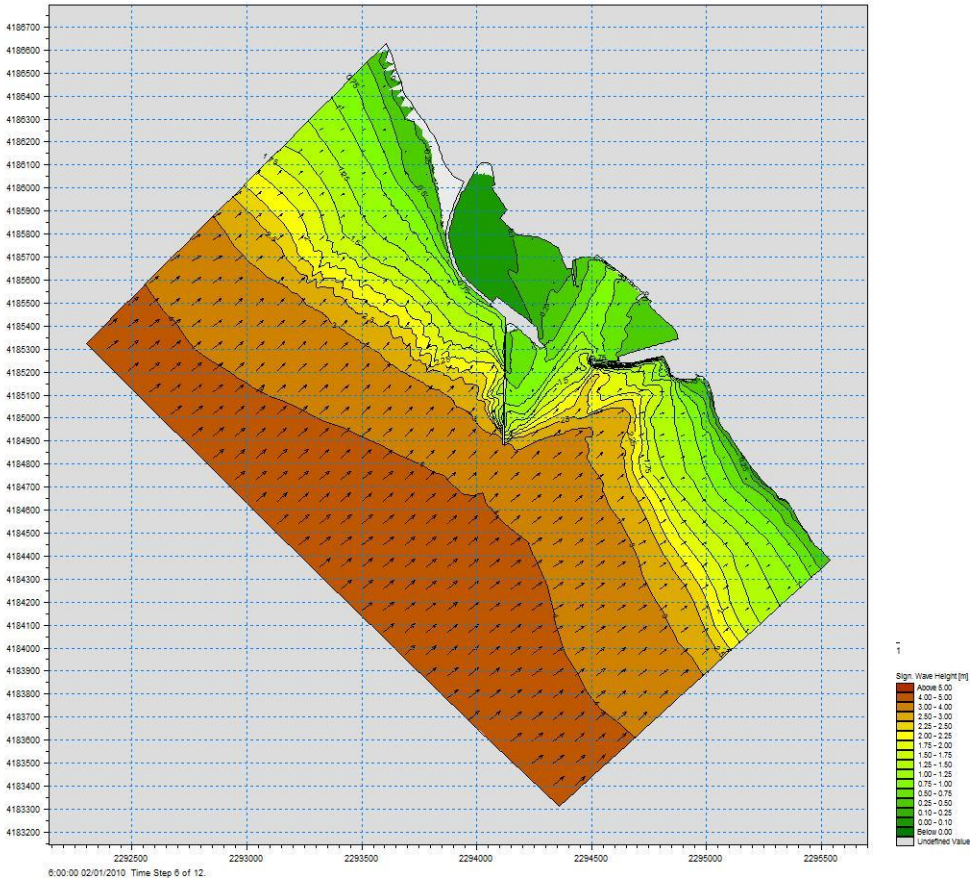


Figura 22 g – Andamento dell'onda dal settore 17 – modello SW - Tr = 50 anni – Stato di fatto – Modello di dettaglio

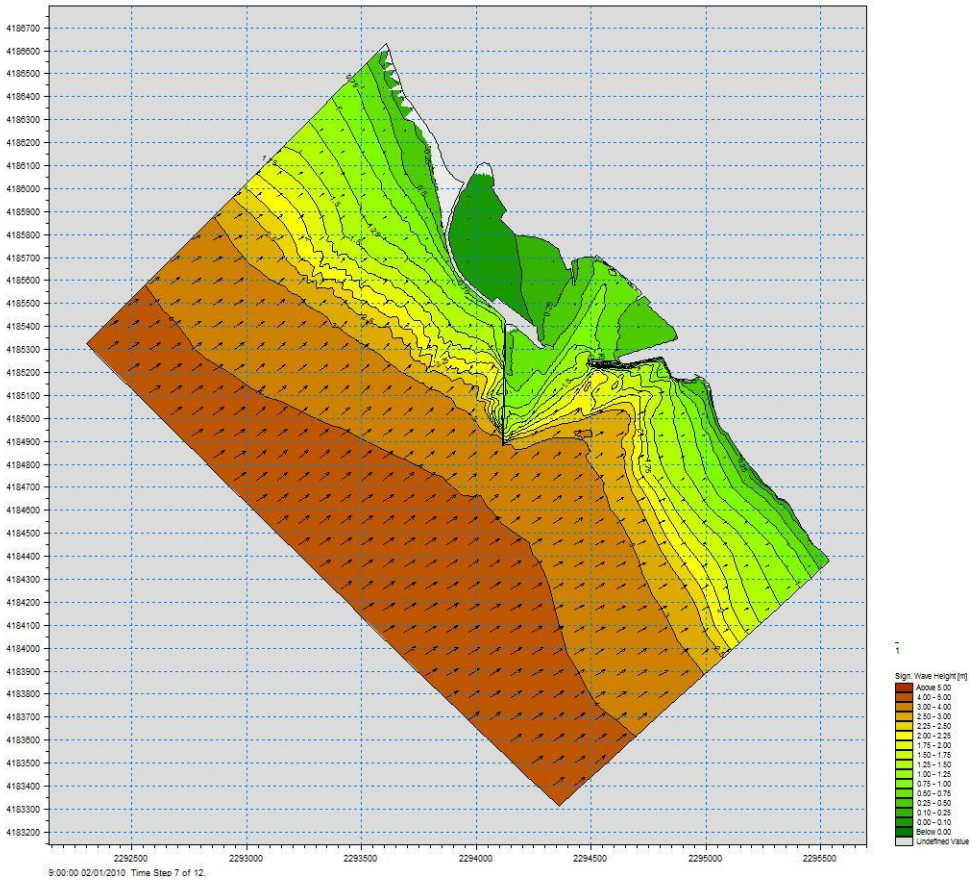


Figura 22 h – Andamento dell'onda dal settore 18 – modello SW - Tr = 50 anni – Stato di fatto – Modello di dettaglio

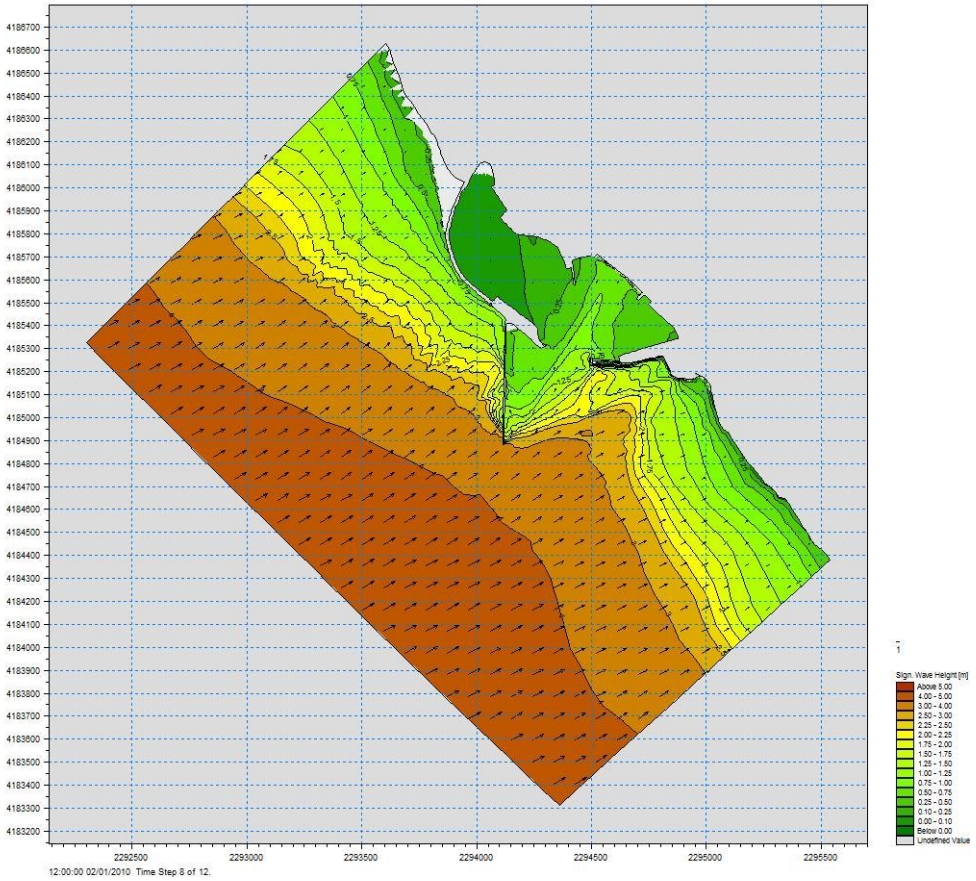


Figura 22 i – Andamento dell'onda dal settore 19 – modello SW - Tr = 50 anni – Stato di fatto – Modello di dettaglio

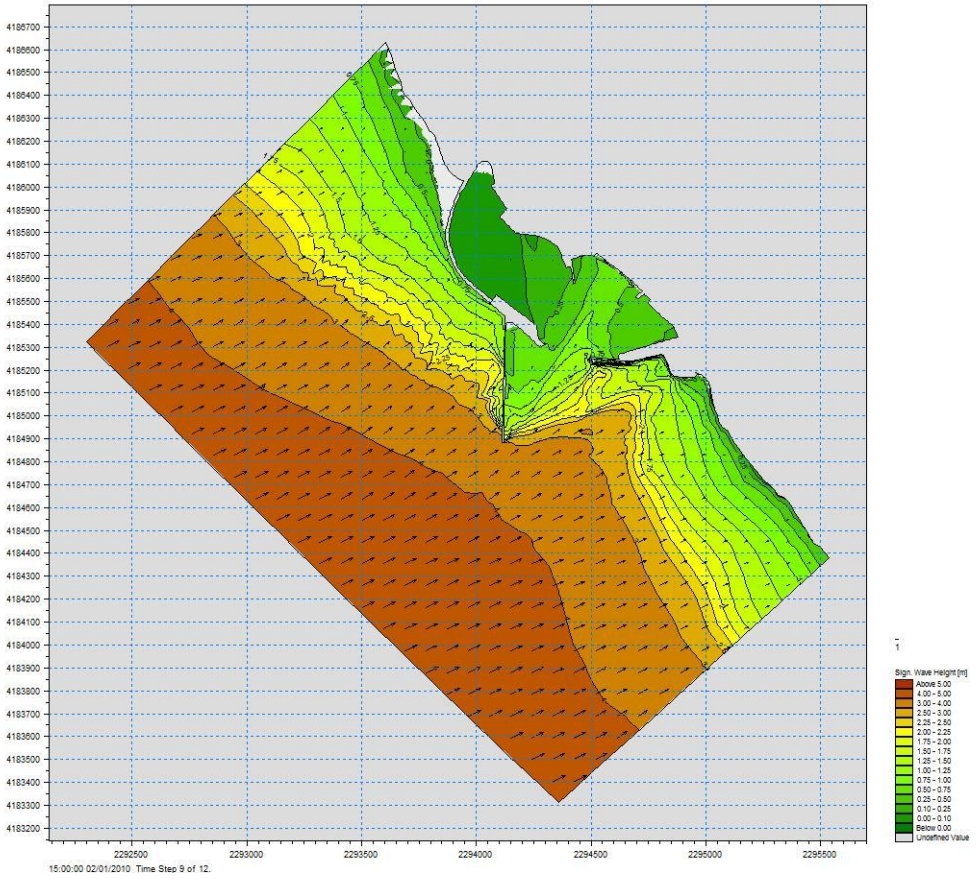


Figura 22 l – Andamento dell'onda dal settore 20 – modello SW - Tr = 50 anni – Stato di fatto – Modello di dettaglio

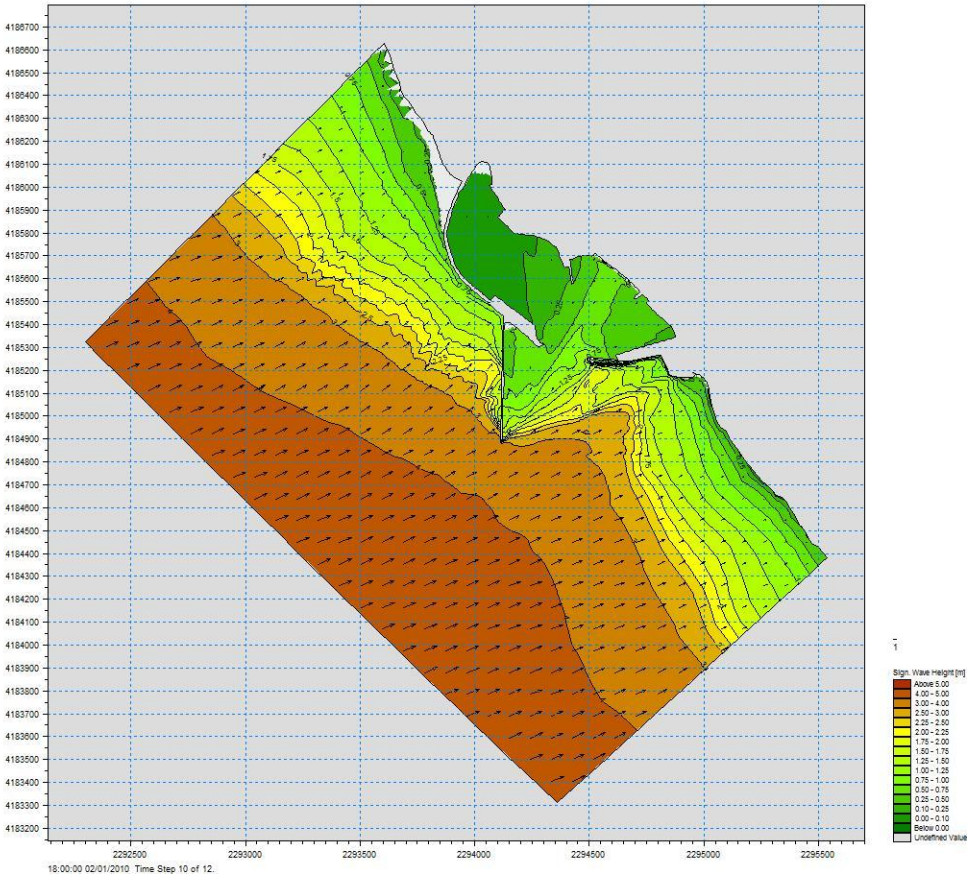


Figura 22 m – Andamento dell'onda dal settore 21 – modello SW - Tr = 50 anni – Stato di fatto – Modello di dettaglio

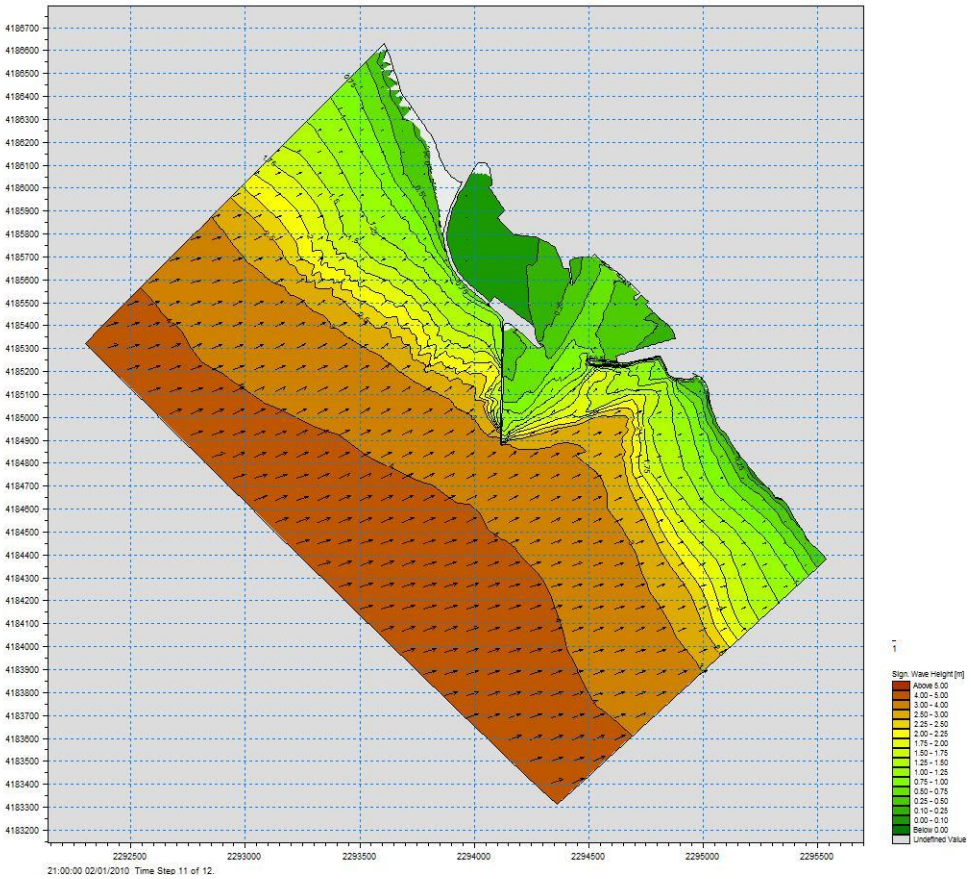


Figura 22 n – Andamento dell'onda dal settore 22 – modello SW - Tr = 50 anni – Stato di fatto – Modello di dettaglio

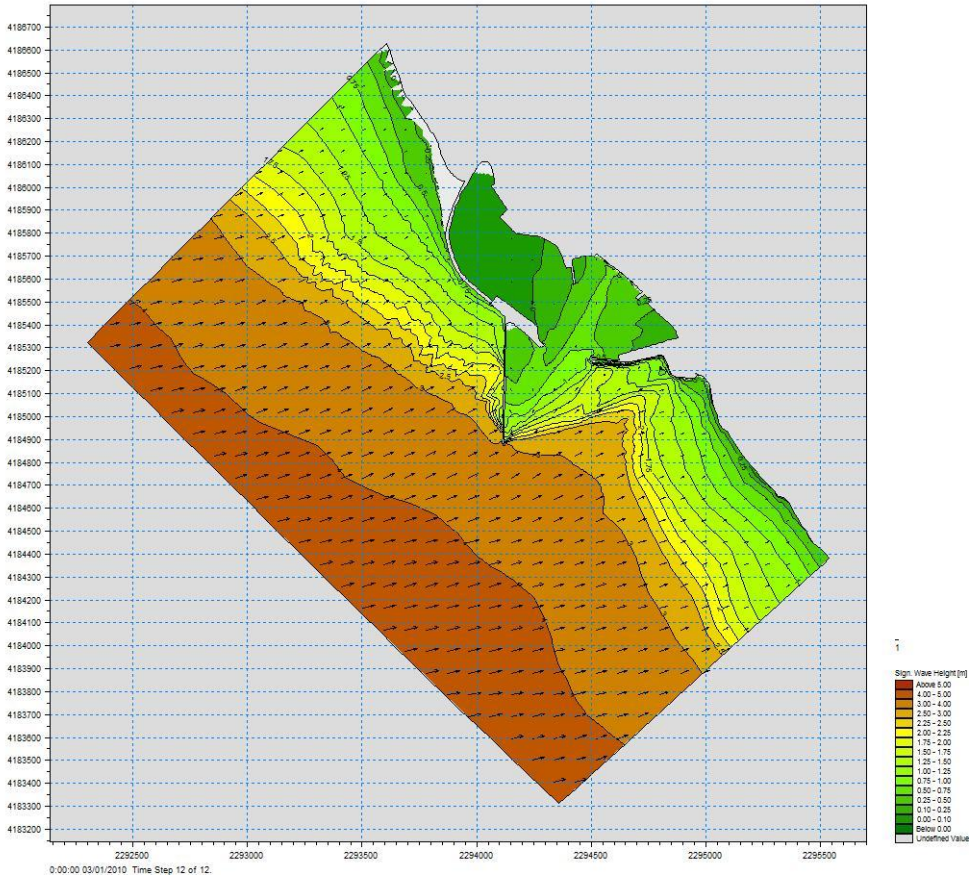


Figura 22 o – Andamento dell'onda dal settore 23 – modello SW - Tr = 50 anni – Stato di fatto – Modello di dettaglio

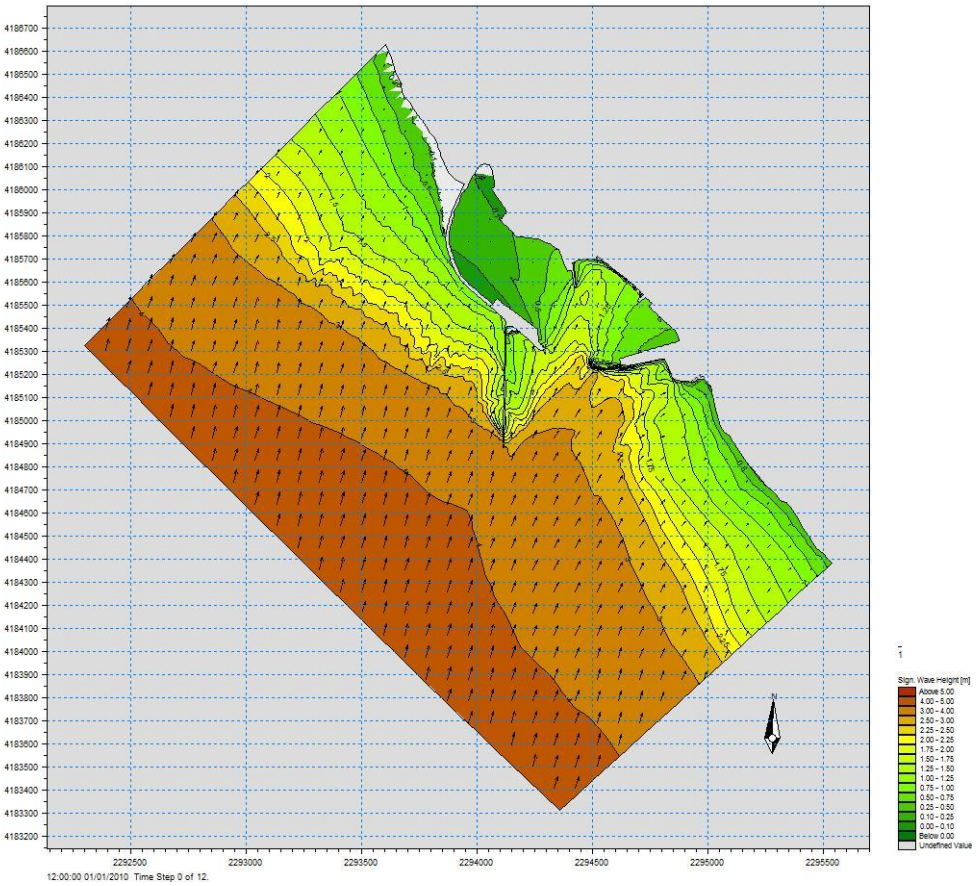


Figura 23 a – Andamento dell'onda dal settore 11 – modello SW - Tr = 120 anni – Stato di fatto – Modello di dettaglio

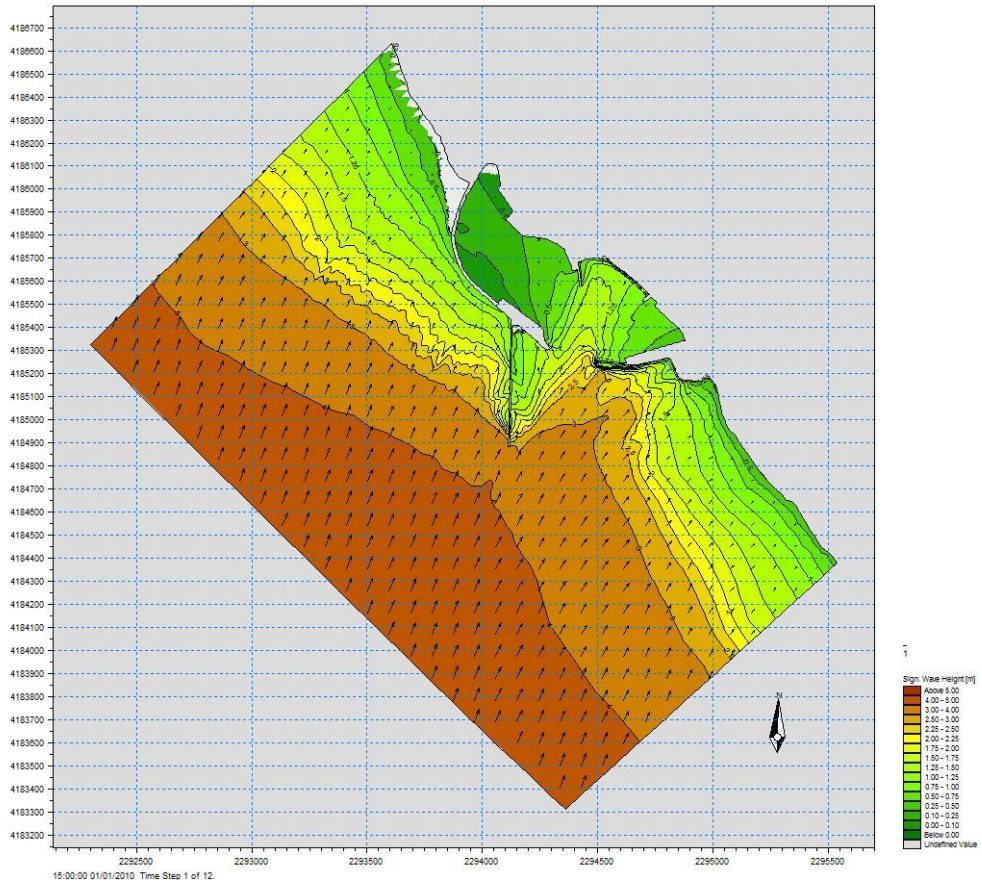


Figura 23 b – Andamento dell'onda dal settore 12 – modello SW - Tr = 120 anni – Stato di fatto – Modello di dettaglio

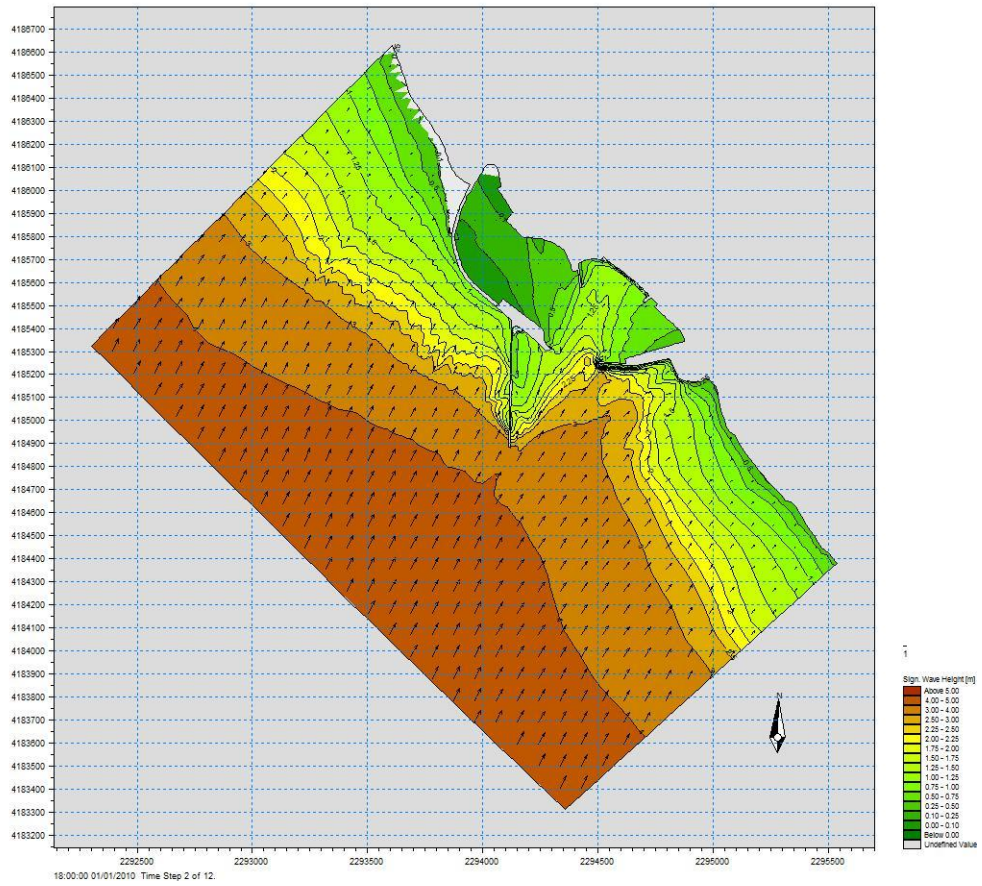


Figura 23 c – Andamento dell'onda dal settore 13 – modello SW - Tr = 120 anni – Stato di fatto – Modello di dettaglio

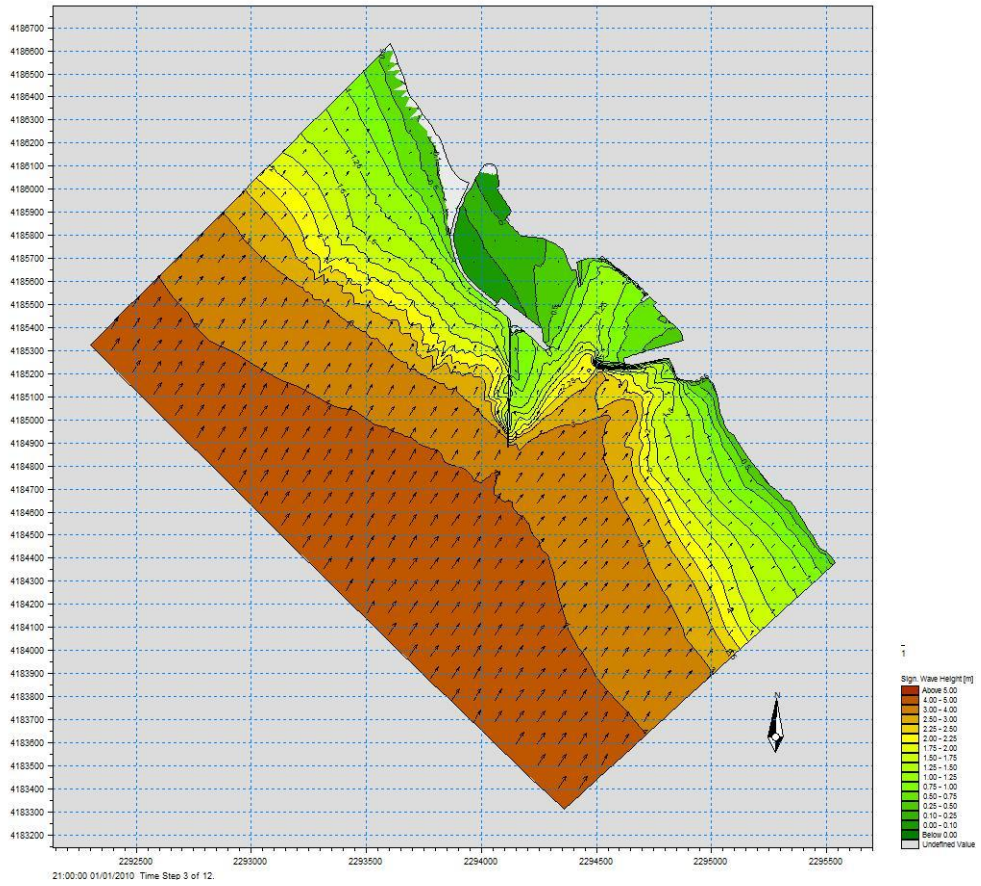


Figura 23 d – Andamento dell'onda dal settore 14 – modello SW - Tr = 120 anni – Stato di fatto – Modello di dettaglio

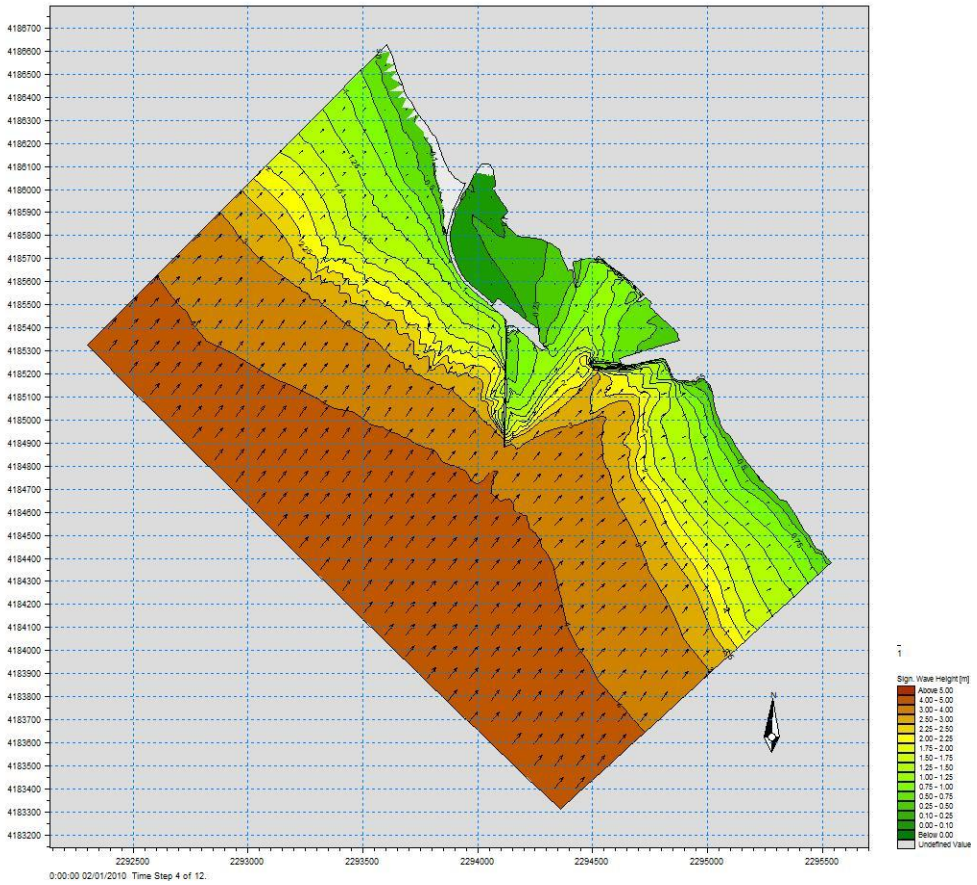


Figura 23 e – Andamento dell'onda dal settore 15 – modello SW - Tr = 120 anni – Stato di fatto – Modello di dettaglio

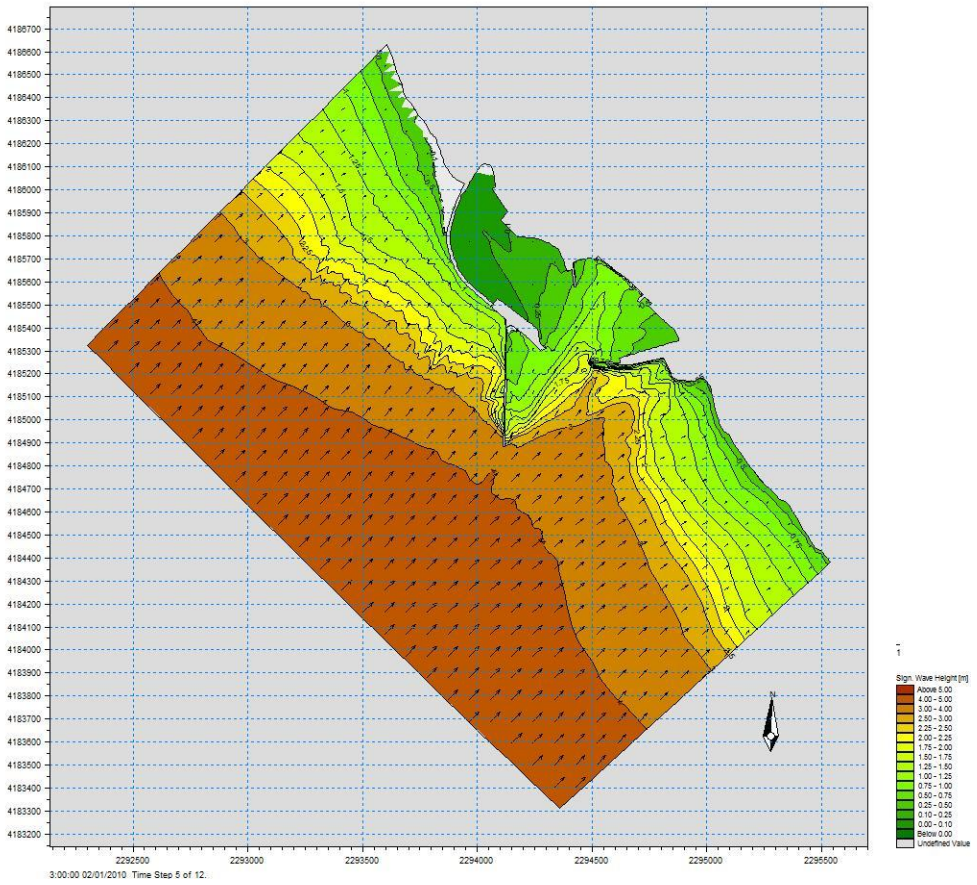


Figura 23 f – Andamento dell'onda dal settore 16 – modello SW - Tr = 120 anni – Stato di fatto – Modello di dettaglio

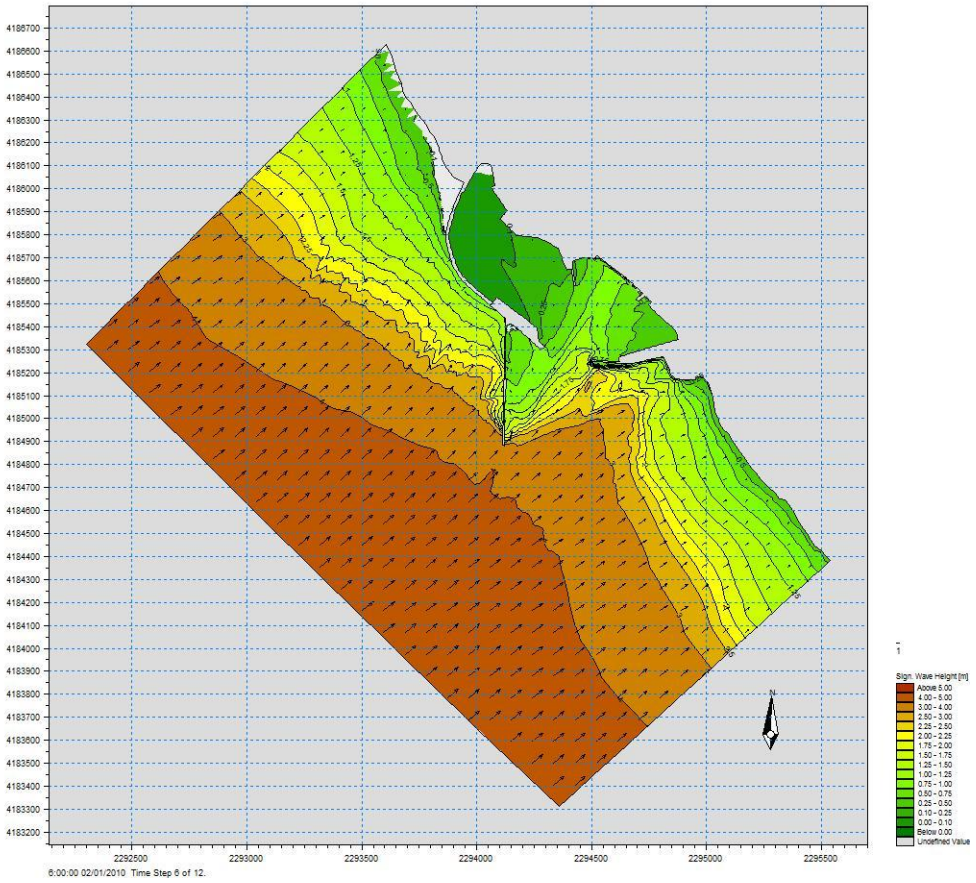


Figura 23 g – Andamento dell'onda dal settore 17 – modello SW - Tr = 120 anni – Stato di fatto – Modello di dettaglio

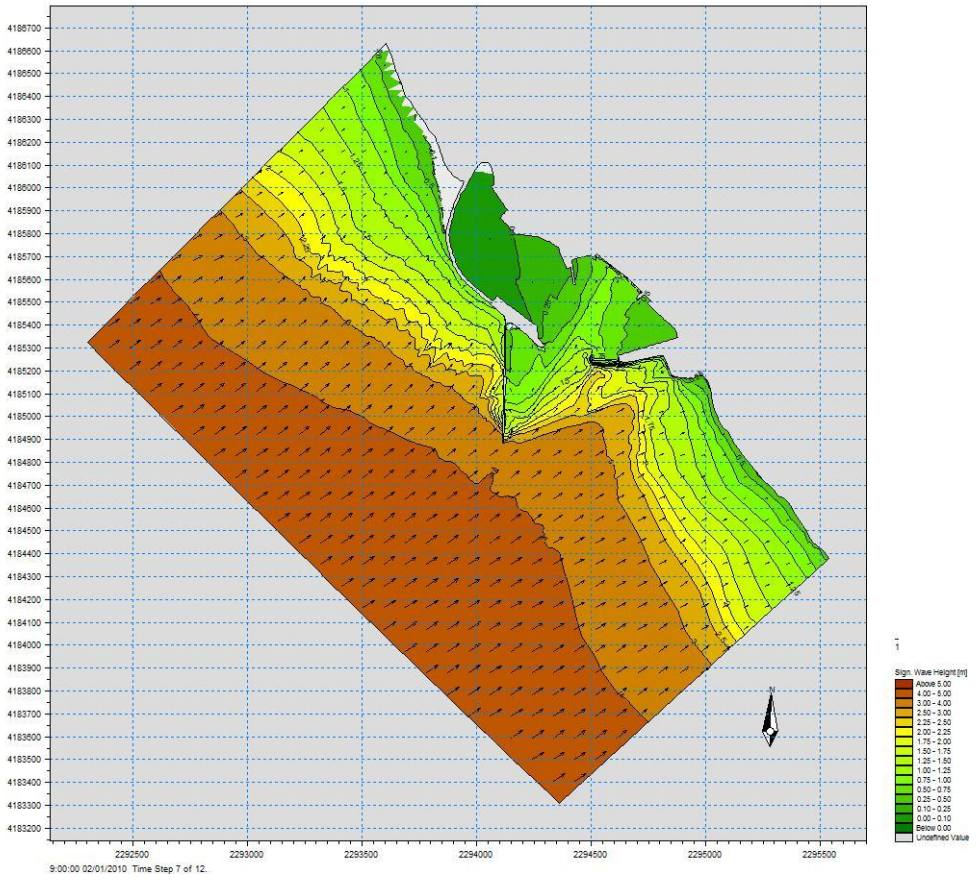


Figura 23 h – Andamento dell'onda dal settore 18 – modello SW - Tr = 120 anni – Stato di fatto – Modello di dettaglio

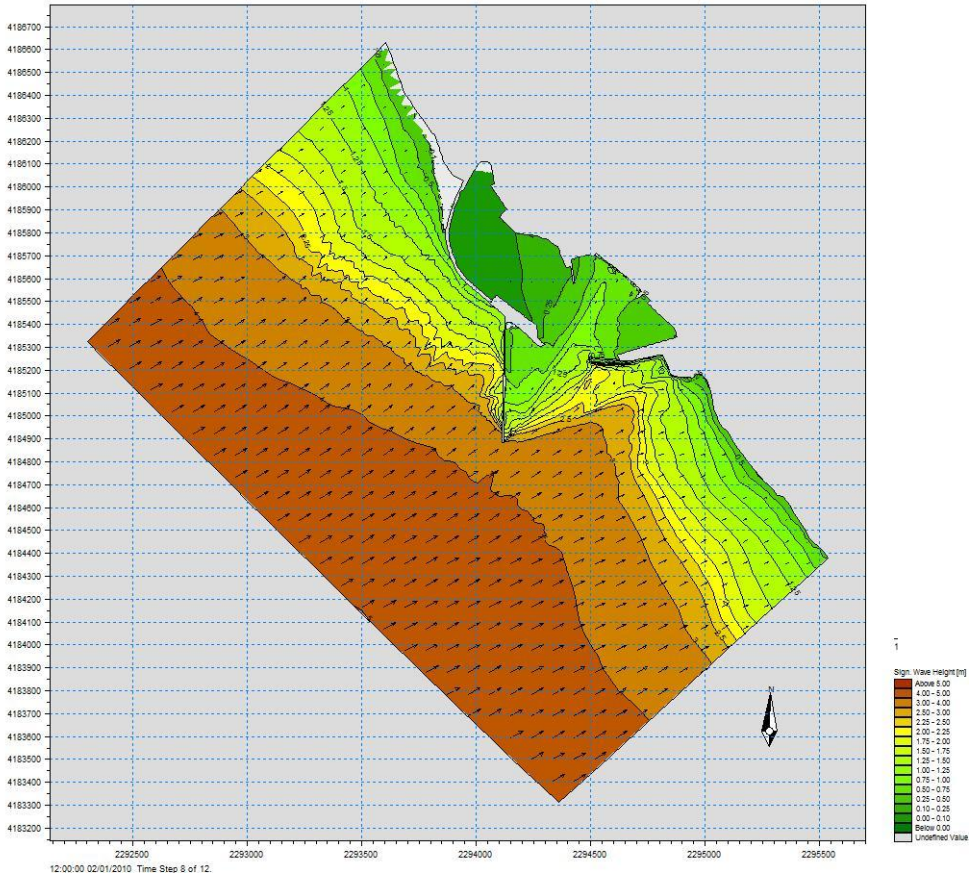


Figura 23 i – Andamento dell'onda dal settore 19 – modello SW - Tr = 120 anni – Stato di fatto – Modello di dettaglio

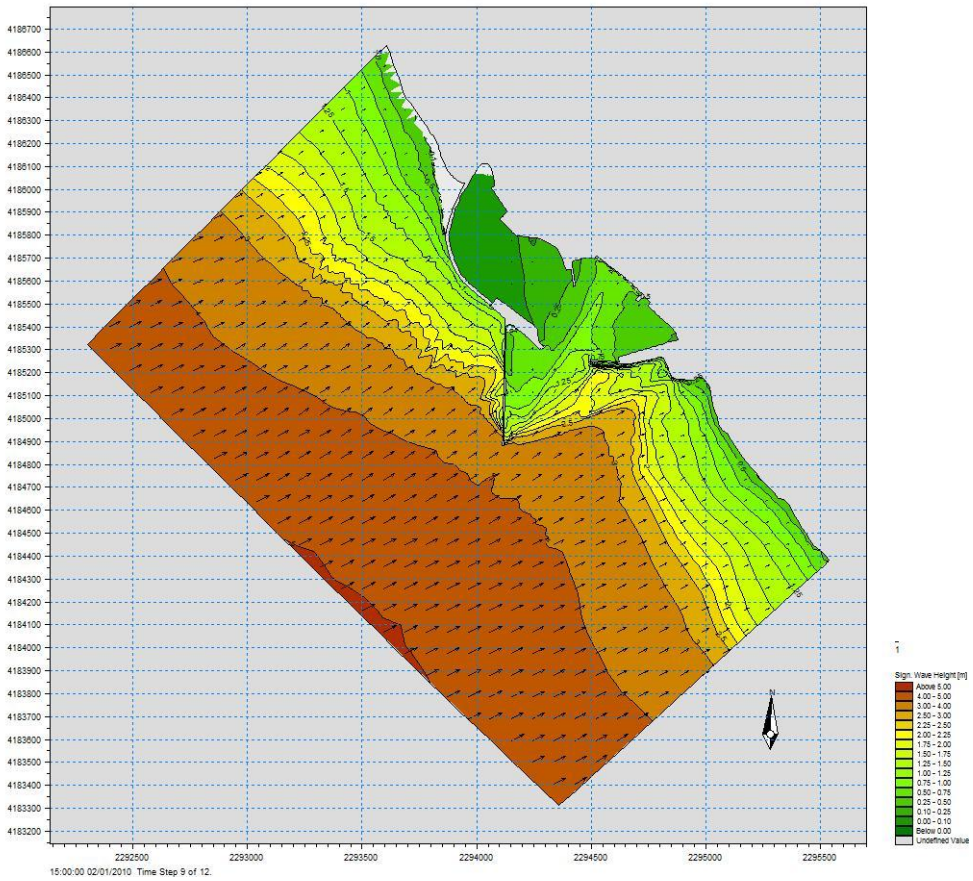


Figura 23 l – Andamento dell'onda dal settore 20 – modello SW - Tr = 120 anni – Stato di fatto – Modello di dettaglio

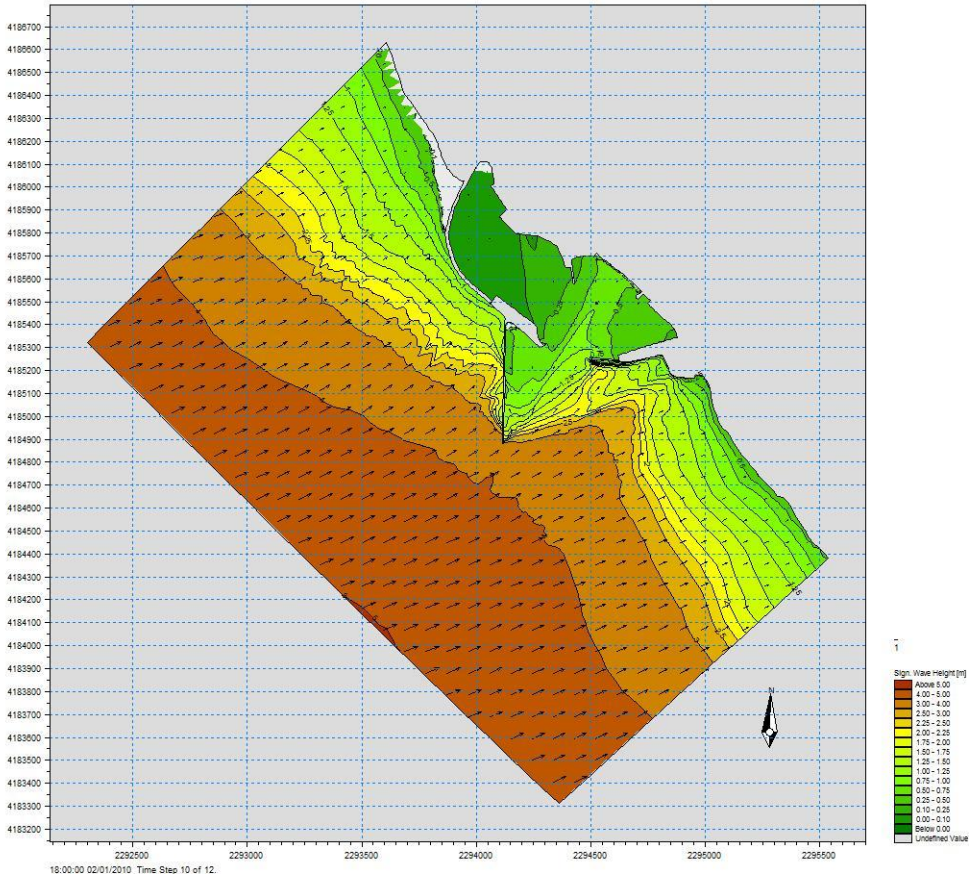


Figura 23 m – Andamento dell'onda dal settore 21 – modello SW - Tr = 120 anni – Stato di fatto – Modello di dettaglio

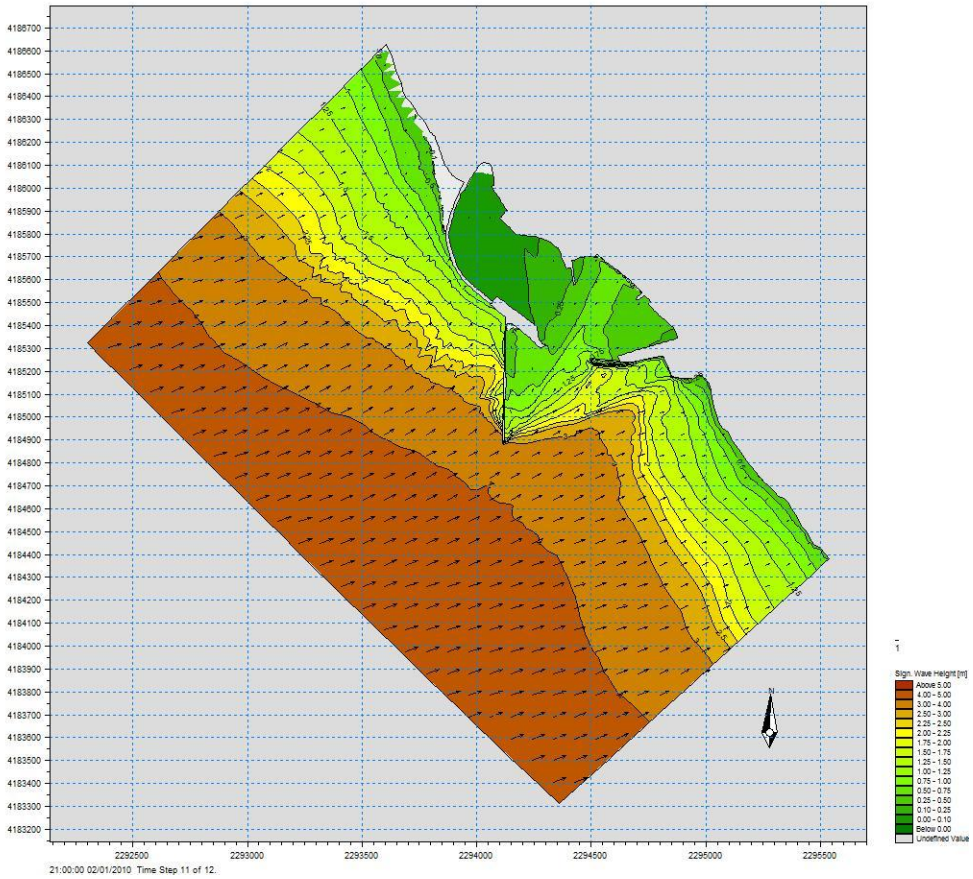


Figura 23 n – Andamento dell'onda dal settore 22 – modello SW - Tr = 120 anni – Stato di fatto – Modello di dettaglio

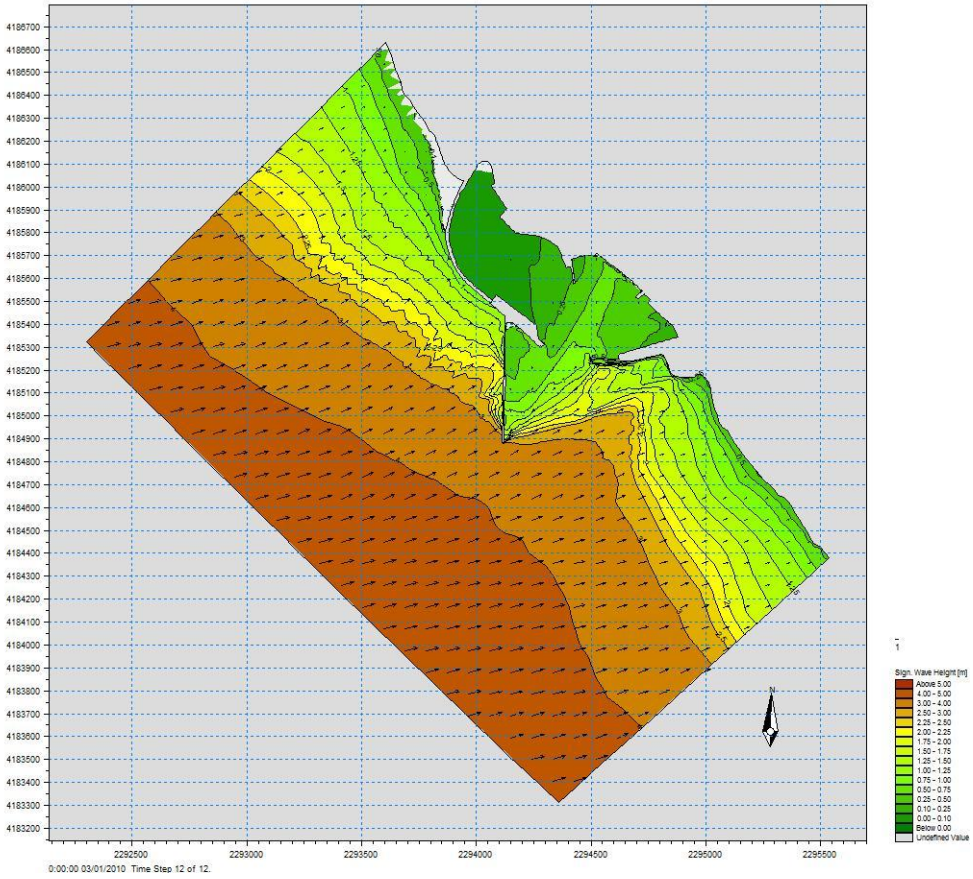


Figura 23 o – Andamento dell'onda dal settore 23 – modello SW - Tr = 120 anni – Stato di fatto – Modello di dettaglio

4. CONCLUSIONI

Sono stati trattati i temi che riguardano lo Studio Idraulico Marittimo ed in particolare è stato studiato il regime dei venti, il regime del moto ondoso a largo facendo riferimento ai dati ottenuti con il metodo SMB e i dati ottenuti dallo studio dell'osservazione diretta del moto ondoso (dati Medatlas e Apat). I dati di progetto sono stati scelti in modo che in complesso le azioni sono le più gravose ai fini del dimensionamento successivo delle strutture in progetto.

E' stato quindi determinato il moto ondoso sotto costa con l'uso di modello matematico SW che tiene conto degli effetti del fondo sull'evoluzione del moto ondoso man mano che ci si avvicina alla costa.