



Autorità di Sistema Portuale  
del Mar Tirreno Centro Settentrionale

PORTI DI ROMA E DEL LAZIO - CIVITAVECCHIA - FIUMICINO - GAETA

# Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Centro Settentrionale



## NUOVO PORTO COMMERCIALE DI FIUMICINO

### PROGETTO ESECUTIVO I LOTTO FUNZIONALE I STRALCIO

"Darsena Pescherecci e viabilità di accesso al cantiere"

Committente:

Il presidente  
AVV. Francesco Maria Di Majo

Il responsabile del procedimento  
Dott. Ing. Maurizio Marini

Il coordinatore generale  
Dott. Ing. Giuseppe Solinas

Progettazione:

ACQUA  
TECNO

Ing. Renato Marconi  
Ing. Paolo Turbolente  
Ing. Barbara Doronzo



Titolo elaborato

Elaborato

A.2202.12 | PE | R

**SM**

Scala

STUDIO METEOMARINO

Data	Preparato	Controllato	Approvato
Novembre 2020	Ing. Daniele Belotti	Ing. Paolo Turbolente	Ing. Renato Marconi
Revisione	Data		
01	Giugno 2021		
02	Febbraio 2022		

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>1</b>
<b>2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....</b>	<b>2</b>
2.1.    Settore di esposizione al clima ondoso.....	2
<b>3. ELABORAZIONE DEI DATI .....</b>	<b>5</b>
3.1.    Dati ondosi utilizzati.....	5
3.2.    Caratterizzazione del clima ondoso.....	6
<b>4. ANALISI STATISTICA DEGLI EVENTI ESTREMI.....</b>	<b>11</b>
4.1.    Calcolo del tempo di ritorno.....	14
4.2.    Modello probabilistico utilizzato.....	15
4.2.1.    Distribuzione di Weibull .....	16
4.2.2.    Distribuzione di Gumbel .....	17
4.3.    Stima dell'altezza d'onda significativa di progetto a largo .....	18
<b>5. CONCLUSIONI .....</b>	<b>21</b>
<b>INDICE DELLE FIGURE .....</b>	<b>22</b>
<b>INDICE DELLE TABELLE.....</b>	<b>22</b>

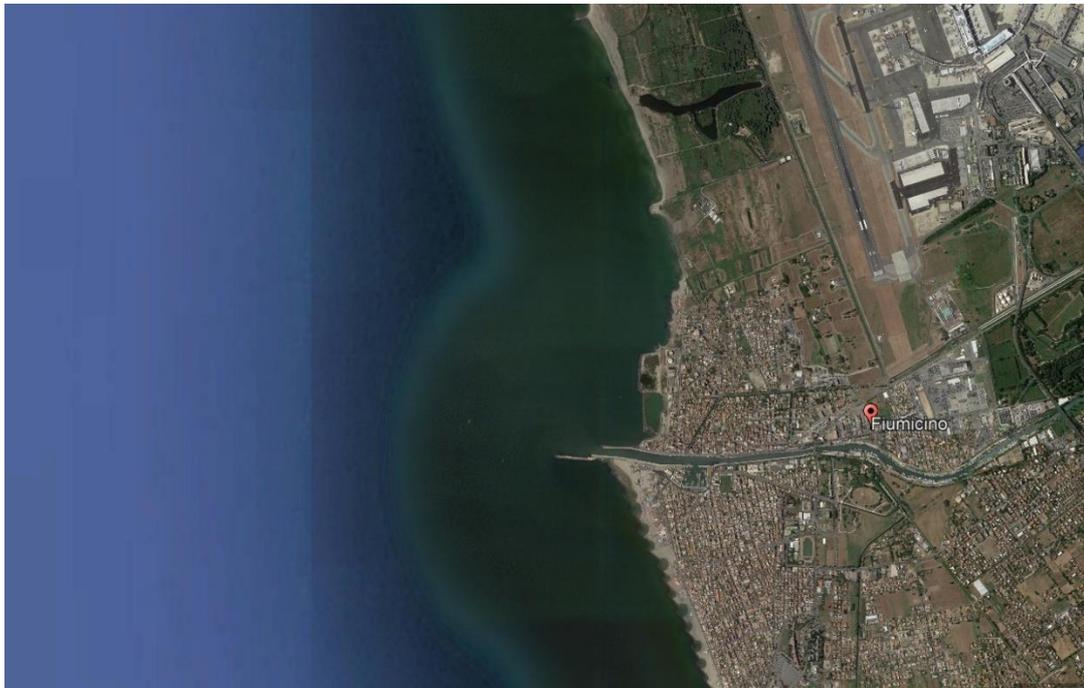
## **1. PREMESSA**

Il presente elaborato costituisce la sintesi tecnica dello Studio Meteomarino e riporta la metodologia attuata, le tecniche di elaborazioni dei dati ed i risultati ottenuti.

Lo studio in oggetto ha la finalità di dettagliare l'inquadramento meteo-marino del paraggio costiero in cui ricade la futura Darsena Pescherecci di Fiumicino (Figura 1).

Lo Studio Meteomarino allegato al Progetto Definitivo - I Lotto Funzionale del Nuovo Porto Commerciale di Fiumicino riassume in modo sintetico i risultati degli studi meteo-marini sviluppati per definire le caratteristiche di tutti i parametri ambientali utili per il progetto di variante al Piano Regolatore Portuale del Porto Canale di Fiumicino (2002). Tenuto conto dell'intervallo temporale intercorso tra la redazione del suddetto studio e l'attuale progettazione esecutiva e, altresì, degli evidenti cambiamenti climatici che hanno caratterizzato l'ultimo ventennio, in via preliminare alla progettazione delle opere marittime, si è reso necessario sviluppare uno Studio Meteomarino che tenesse conto dei dati ondosi più recenti, meglio descritti nei paragrafi successivi.

Una volta determinate le condizioni ondose di largo, queste sono state propagate verso riva in modo da poter determinare l'altezza d'onda di progetto necessaria alla definizione del layout portuale e al corretto dimensionamento delle opere fornatee.



**Figura 1 - Vista planimetrica di Fiumicino**

## 2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Fiumicino è un comune italiano del Lazio (Provincia di Roma) con una popolazione di 81.718 abitanti. È il quarto comune della regione per popolazione ed il quinto per superficie. Si trova sul litorale tirrenico a Nord del delta del Tevere. (Figura 2).

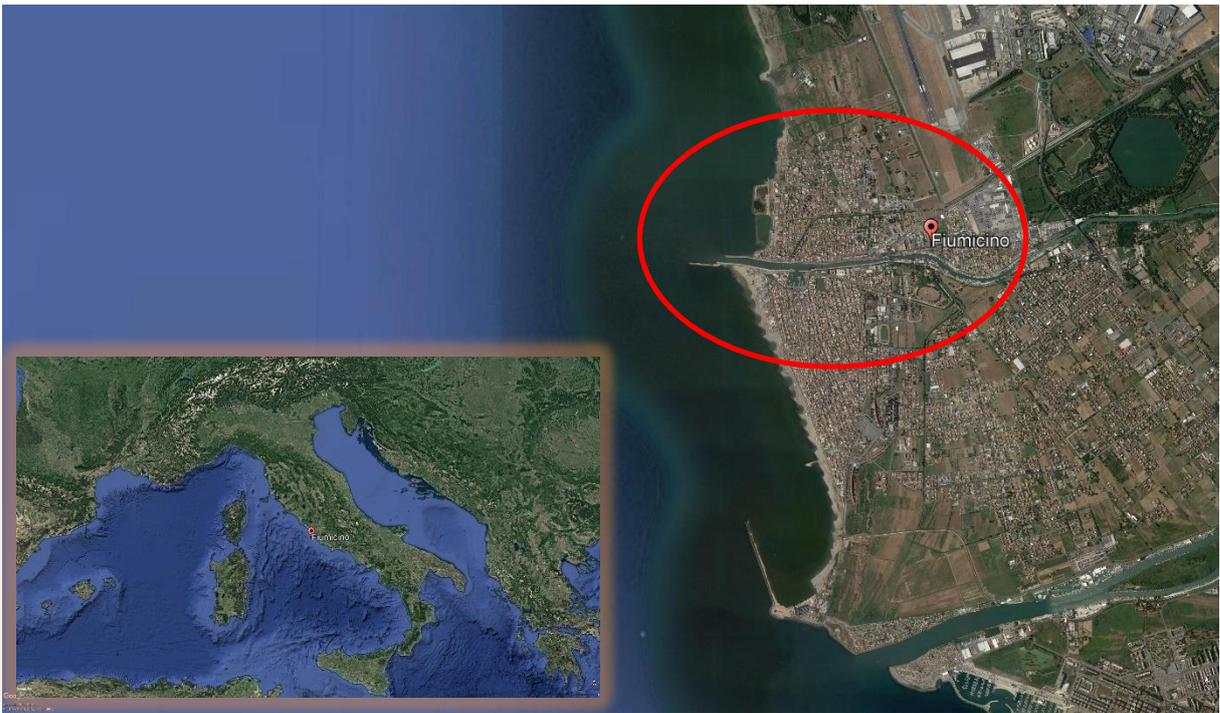


Figura 2 - Inquadramento geografico

### 2.1. Settore di esposizione al clima ondoso

L'esposizione al clima ondoso permette di individuare un settore prevalente di provenienza del moto ondoso di largo ricompreso in gran parte del settore di traversia portuale (Figura 3).

Studio Meteomarino

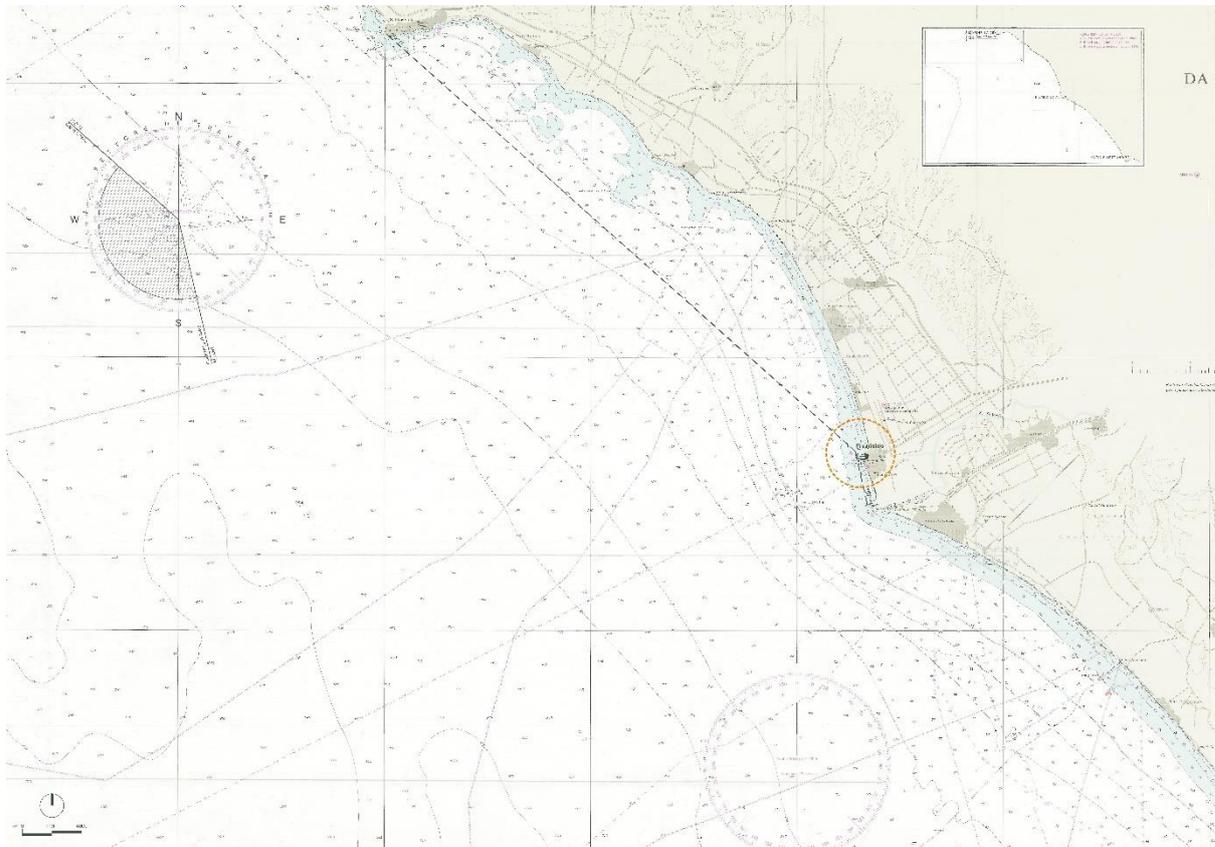


Figura 3 - Corografia

La Figura 4 illustra il regime ondoso di largo in corrispondenza della batimetria -30 m s.l.m.m. Il settore di largo d'interesse è delimitato tra le direzioni 330° N e 160° N, all'interno del quale si evidenzia un settore dominante da cui provengono le mareggiate di maggior intensità e frequenza, compreso tra 240° N - 260° N (Libeccio).

Studio Meteomarinario

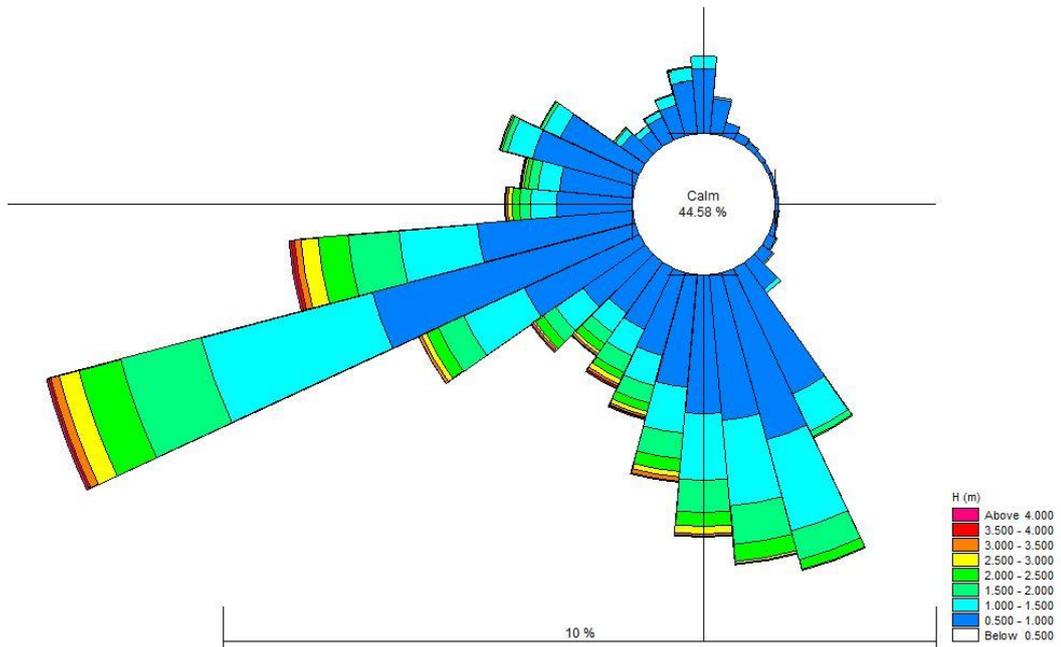


Figura 4 - Regime ondoso a largo di Fiumicino

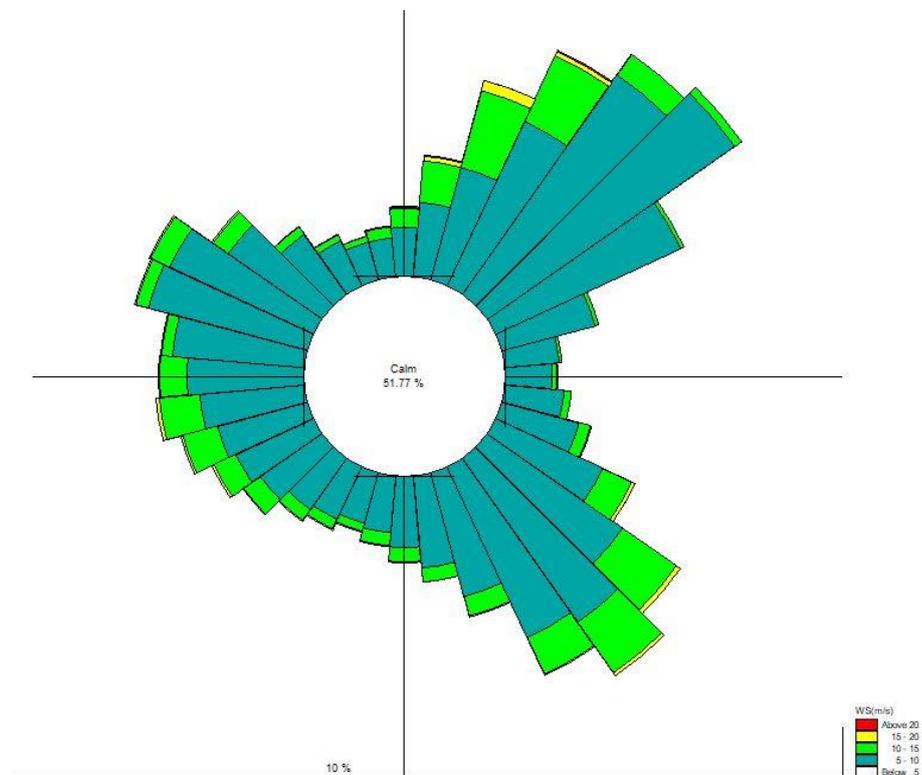


Figura 5 - Regime anemometrico a largo di Fiumicino

### 3. ELABORAZIONE DEI DATI

Il primo passo per lo sviluppo dello studio meteomarino è stato l'individuazione di serie di dati ondosi utilizzabili per il paraggio in esame. Il futuro Porto sarà ubicato a Nord dell'attuale Porto Canale Di Fiumicino (Figura 6).

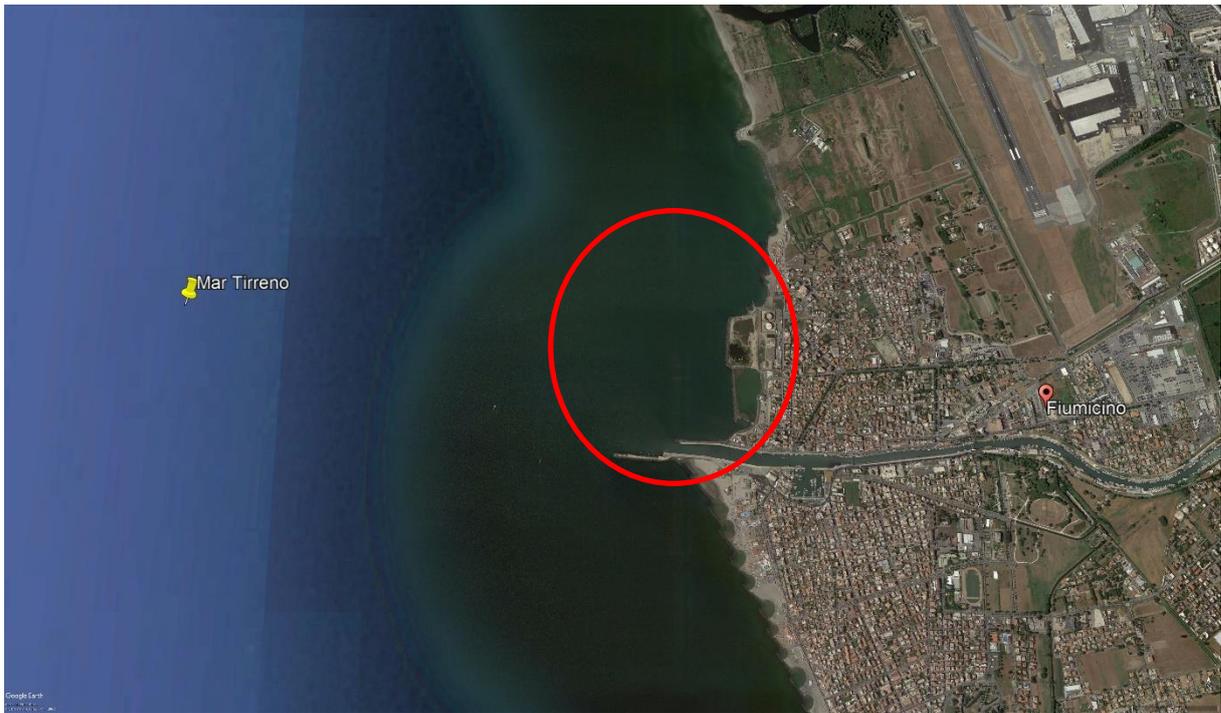


Figura 6 – Paraggio del Porto di Fiumicino

#### 3.1. Dati ondosi utilizzati

A valle di un'indagine conoscitiva volta a sondare la disponibilità di fonti affidabili e complete di dati ondosi, si è deciso di utilizzare i dati forniti dal *DHI - Danish Hydraulic Institut* che ha svolto una ri-analisi delle condizioni atmosferiche e ondose, producendo un database di hindcast per il MWM (Mediterranean Wind Wave Model). Questa ri-analisi è stata sviluppata utilizzando il CFSR (Climate Forecast System Reanalysis) prodotto da NCEP (National Centers for Environmental Prediction). Il modello utilizzato per la ri-analisi dei dati atmosferici è il WRF-ARW (Weather Research and Forecast - Advanced Research WRF) – versione 3.4.1 avente una risoluzione di circa 10 km. I risultati ottenuti consistono in una serie oraria di dati, meteorologici e ondosi, in ogni punto della griglia, comprendente i seguenti parametri:

- Wind speed, WS [m/s]
- Wind direction, WD [deg]
- Significant Wave height, Hs [m]

- Mean wave period,  $T_m$  [s]
- Peak wave period,  $T_p$  [s]
- Zero crossing period,  $T_z$  [s]
- Mean wave direction, MWD [deg]
- Peak wave direction, PWD [deg]
- Directional standard deviation, DSD [deg]

Nel caso in esame, dal punto "P" (Figura 7) a largo di Fiumicino situato ad una profondità di 30 m s.l.m.m (Coordinate LON (E) = 12.15°, LAT (N) = 41.77°) sono stati estratti **venti anni di dati (periodo 1 Gennaio 2000 – 31 Dicembre 2019)** utilizzati, in seguito, per la caratterizzazione climatica e per l'analisi statistica.

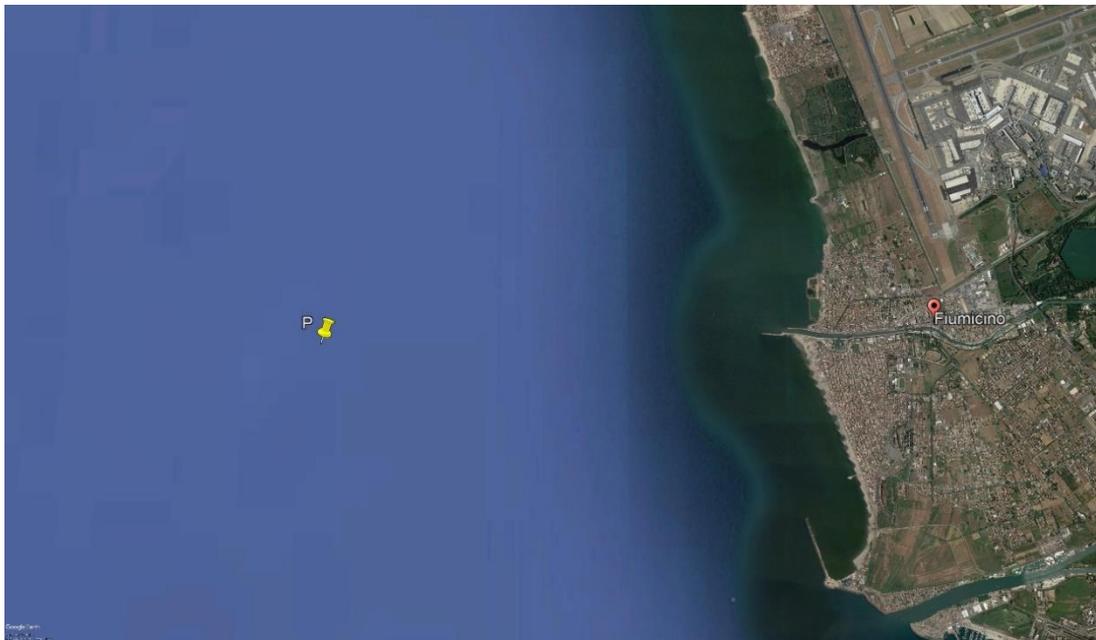


Figura 7 - Indicazione del punto "P" scelto per l'estrazione dei dati ondosi e meteorologici

### 3.2. Caratterizzazione del clima ondoso

Di seguito sono riportate le tabelle rappresentanti la distribuzione degli eventi ondosi relativi alla serie di dati estratta dal punto "P", divisi per classi di altezza d'onda significativa ( $H_s$ ) e secondo settori direzionali di provenienza aventi ampiezza pari a 10° (Tabella 1 e Tabella 2). In Tabella 3 sono rappresentate le distribuzioni degli eventi ondosi classificati secondo il valore dei periodi di picco ( $T_p$ ). Si osserva che il 20% degli eventi proviene dal settore 240°N – 260°N e di questi solo 1,8%

presenta altezze d'onda superiori ai 2,00 m. In Figura 8 è riportata la rosa dei periodi di picco ricostruita sulla base dei dati tabellati.

		<i>Classi di altezza d'onda significativa (m)</i>							
	<i>Hs/MWD</i>	<i>0 &lt; Hs &lt; 0,5</i>	<i>0,5 &lt; Hs &lt; 1</i>	<i>1 &lt; Hs &lt; 1,5</i>	<i>1,5 &lt; Hs &lt; 2</i>	<i>2 &lt; Hs &lt; 2,5</i>	<i>2,5 &lt; Hs &lt; 3</i>	<i>3 &lt; Hs &lt; 3,5</i>	<i>Hs &gt; 3,5</i>
		<i>Classi di direzione di provenienza (°N)</i>	<i>0° &lt; MWD &lt; 10°</i>	990	1309	177	3	0	0
<i>10° &lt; MWD &lt; 20°</i>	882		568	20	4	0	0	0	0
<i>20° &lt; MWD &lt; 30°</i>	656		276	15	0	0	0	0	0
<i>30° &lt; MWD &lt; 40°</i>	487		140	16	0	0	0	0	0
<i>40° &lt; MWD &lt; 50°</i>	371		137	8	0	0	0	0	0
<i>50° &lt; MWD &lt; 60°</i>	319		93	9	1	0	0	0	0
<i>60° &lt; MWD &lt; 70°</i>	233		77	5	0	0	0	0	0
<i>70° &lt; MWD &lt; 80°</i>	207		81	7	0	0	0	0	0
<i>80° &lt; MWD &lt; 90°</i>	203		90	7	0	0	0	0	0
<i>90° &lt; MWD &lt; 100°</i>	201		92	7	0	0	0	0	0
<i>100° &lt; MWD &lt; 110°</i>	250		104	10	0	0	0	0	0
<i>110° &lt; MWD &lt; 120°</i>	283		170	18	0	0	0	0	0
<i>120° &lt; MWD &lt; 130°</i>	386		252	26	1	0	0	0	0
<i>130° &lt; MWD &lt; 140°</i>	763		485	61	3	0	0	0	0
<i>140° &lt; MWD &lt; 150°</i>	4024		1806	374	43	2	0	0	0
<i>150° &lt; MWD &lt; 160°</i>	5943		4509	1833	429	107	5	0	0
<i>160° &lt; MWD &lt; 170°</i>	4192		3731	2365	919	371	59	11	0
<i>170° &lt; MWD &lt; 180°</i>	3611		3613	1901	951	399	110	50	2
<i>180° &lt; MWD &lt; 190°</i>	3609		3110	1368	695	312	182	93	15
<i>190° &lt; MWD &lt; 200°</i>	3572		2437	917	520	283	88	47	45
<i>200° &lt; MWD &lt; 210°</i>	3553		1881	770	454	193	143	74	60
<i>210° &lt; MWD &lt; 220°</i>	3289		1514	639	368	223	115	58	55
<i>220° &lt; MWD &lt; 230°</i>	3163		1674	692	343	191	76	36	20
<i>230° &lt; MWD &lt; 240°</i>	3441		2358	1040	485	236	124	42	25
<i>240° &lt; MWD &lt; 250°</i>	4574		4637	2956	1230	580	244	120	41
<i>250° &lt; MWD &lt; 260°</i>	5905		6235	3747	2168	1201	646	264	131
<i>260° &lt; MWD &lt; 270°</i>	4119		2374	953	499	325	171	68	60
<i>270° &lt; MWD &lt; 280°</i>	3973		1725	552	262	148	79	29	24
<i>280° &lt; MWD &lt; 290°</i>	5163		2150	582	191	74	40	23	6
<i>290° &lt; MWD &lt; 300°</i>	4763		2738	588	118	32	4	0	0
<i>300° &lt; MWD &lt; 310°</i>	1426		1320	263	67	3	0	0	0
<i>310° &lt; MWD &lt; 320°</i>	774		516	157	25	3	0	0	0
<i>320° &lt; MWD &lt; 330°</i>	705		540	126	16	2	0	0	0
<i>330° &lt; MWD &lt; 340°</i>	618		685	225	20	1	0	0	0
<i>340° &lt; MWD &lt; 350°</i>	707		1076	286	21	4	0	0	0
<i>350° &lt; MWD &lt; 360°</i>	811		1554	347	19	0	0	0	0

**Tabella 1 - Distribuzione incondizionata di eventi ondosi divisi per classi di altezza d'onda significativa e settori direzionali di provenienza aventi ampiezza 10°**

**AUTORITA' DI SISTEMA PORTUALE DEL MAR TIRRENO CENTRO SETTENTRIONALE  
AUTORITÀ PORTUALE DI CIVITAVECCHIA, FIUMICINO E GAETA**

**Nuovo Porto Commerciale di Fiumicino – I Lotto Funzionale – I Stralcio**

**Progetto Esecutivo – Darsena Pescherecci e viabilità di accesso al cantiere**

**Studio Meteomarino**

		<i>Classi di altezza d'onda significativa (m)</i>								
	<i>Hs/MWD</i>	<i>0 &lt; Hs &lt; 0,5</i>	<i>0,5 &lt; Hs &lt; 1</i>	<i>1 &lt; Hs &lt; 1,5</i>	<i>1,5 &lt; Hs &lt; 2</i>	<i>2 &lt; Hs &lt; 2,5</i>	<i>2,5 &lt; Hs &lt; 3</i>	<i>3 &lt; Hs &lt; 3,5</i>	<i>Hs &gt; 3,5</i>	
	<i>Classi di direzione di provenienza (°N)</i>	<i>0° &lt; MWD &lt; 10°</i>	0,56	0,75	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>10° &lt; MWD &lt; 20°</i>		0,50	0,32	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,84
<i>20° &lt; MWD &lt; 30°</i>		0,37	0,16	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,54
<i>30° &lt; MWD &lt; 40°</i>		0,28	0,08	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37
<i>40° &lt; MWD &lt; 50°</i>		0,21	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29
<i>50° &lt; MWD &lt; 60°</i>		0,18	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24
<i>60° &lt; MWD &lt; 70°</i>		0,13	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18
<i>70° &lt; MWD &lt; 80°</i>		0,12	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17
<i>80° &lt; MWD &lt; 90°</i>		0,12	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17
<i>90° &lt; MWD &lt; 100°</i>		0,11	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17
<i>100° &lt; MWD &lt; 110°</i>		0,14	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21
<i>110° &lt; MWD &lt; 120°</i>		0,16	0,10	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27
<i>120° &lt; MWD &lt; 130°</i>		0,22	0,14	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38
<i>130° &lt; MWD &lt; 140°</i>		0,44	0,28	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75
<i>140° &lt; MWD &lt; 150°</i>		2,30	1,03	0,21	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	3,56
<i>150° &lt; MWD &lt; 160°</i>		3,39	2,57	1,05	0,24	0,06	0,00	0,00	0,00	7,32
<i>160° &lt; MWD &lt; 170°</i>		2,39	2,13	1,35	0,52	0,21	0,03	0,01	0,00	6,64
<i>170° &lt; MWD &lt; 180°</i>		2,06	2,06	1,08	0,54	0,23	0,06	0,03	0,00	6,07
<i>180° &lt; MWD &lt; 190°</i>		2,06	1,77	0,78	0,40	0,18	0,10	0,05	0,01	5,35
<i>190° &lt; MWD &lt; 200°</i>		2,04	1,39	0,52	0,30	0,16	0,05	0,03	0,03	4,51
<i>200° &lt; MWD &lt; 210°</i>		2,03	1,07	0,44	0,26	0,11	0,08	0,04	0,03	4,07
<i>210° &lt; MWD &lt; 220°</i>		1,88	0,86	0,36	0,21	0,13	0,07	0,03	0,03	3,57
<i>220° &lt; MWD &lt; 230°</i>		1,80	0,95	0,39	0,20	0,11	0,04	0,02	0,01	3,53
<i>230° &lt; MWD &lt; 240°</i>		1,96	1,34	0,59	0,28	0,13	0,07	0,02	0,01	4,42
<i>240° &lt; MWD &lt; 250°</i>		2,61	2,64	1,69	0,70	0,33	0,14	0,07	0,02	8,20
<i>250° &lt; MWD &lt; 260°</i>		3,37	3,56	2,14	1,24	0,69	0,37	0,15	0,07	11,58
<i>260° &lt; MWD &lt; 270°</i>		2,35	1,35	0,54	0,28	0,19	0,10	0,04	0,03	4,89
<i>270° &lt; MWD &lt; 280°</i>		2,27	0,98	0,31	0,15	0,08	0,05	0,02	0,01	3,87
<i>280° &lt; MWD &lt; 290°</i>		2,94	1,23	0,33	0,11	0,04	0,02	0,01	0,00	4,69
<i>290° &lt; MWD &lt; 300°</i>		2,72	1,56	0,34	0,07	0,02	0,00	0,00	0,00	4,70
<i>300° &lt; MWD &lt; 310°</i>		0,81	0,75	0,15	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	1,76
<i>310° &lt; MWD &lt; 320°</i>		0,44	0,29	0,09	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,84
<i>320° &lt; MWD &lt; 330°</i>		0,40	0,31	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79
<i>330° &lt; MWD &lt; 340°</i>		0,35	0,39	0,13	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,88
<i>340° &lt; MWD &lt; 350°</i>		0,40	0,61	0,16	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	1,19
<i>350° &lt; MWD &lt; 360°</i>	0,46	0,89	0,20	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	1,56	
	<b>100,00</b>	<b>44,58</b>	<b>31,97</b>	<b>13,16</b>	<b>5,62</b>	<b>2,68</b>	<b>1,19</b>	<b>0,52</b>	<b>0,28</b>	<b>100,00</b>

**Tabella 2 - Distribuzione incondizionata delle percentuali di occorrenza degli eventi ondosì divisi per settori direzionali di 10° e classi di altezza d'onda significativa (Hs)**

		<i>Classi di periodo di picco (s)</i>				
	$T_p/MWD$	$0 < T_p < 3$	$3 < T_p < 6$	$6 < T_p < 9$	$9 < T_p < 12$	$T_p > 12$
	<i>Classi di direzione di provenienza (°N)</i>	$0^\circ < MWD < 10^\circ$	988	1459	29	2
$10^\circ < MWD < 20^\circ$		917	530	23	3	1
$20^\circ < MWD < 30^\circ$		689	236	22	0	0
$30^\circ < MWD < 40^\circ$		467	147	25	3	1
$40^\circ < MWD < 50^\circ$		355	116	39	4	2
$50^\circ < MWD < 60^\circ$		279	94	46	2	1
$60^\circ < MWD < 70^\circ$		154	112	48	1	0
$70^\circ < MWD < 80^\circ$		91	129	72	3	0
$80^\circ < MWD < 90^\circ$		69	160	69	2	0
$90^\circ < MWD < 100^\circ$		49	167	83	1	0
$100^\circ < MWD < 110^\circ$		27	254	81	2	0
$110^\circ < MWD < 120^\circ$		21	324	123	3	0
$120^\circ < MWD < 130^\circ$		24	445	194	1	1
$130^\circ < MWD < 140^\circ$		89	874	339	9	1
$140^\circ < MWD < 150^\circ$		436	4965	829	16	3
$150^\circ < MWD < 160^\circ$		723	9294	2737	66	6
$160^\circ < MWD < 170^\circ$		786	7811	2812	231	8
$170^\circ < MWD < 180^\circ$		631	5769	3853	367	17
$180^\circ < MWD < 190^\circ$		570	5051	3559	193	11
$190^\circ < MWD < 200^\circ$		490	4933	2353	125	8
$200^\circ < MWD < 210^\circ$		421	4687	1883	128	9
$210^\circ < MWD < 220^\circ$		434	4248	1492	84	3
$220^\circ < MWD < 230^\circ$		565	4185	1398	42	5
$230^\circ < MWD < 240^\circ$		553	5196	1969	28	5
$240^\circ < MWD < 250^\circ$		750	7948	5614	66	4
$250^\circ < MWD < 260^\circ$		946	9964	9260	118	9
$260^\circ < MWD < 270^\circ$		1182	5016	2289	75	7
$270^\circ < MWD < 280^\circ$		1639	4078	1026	38	11
$280^\circ < MWD < 290^\circ$		2043	5495	660	20	11
$290^\circ < MWD < 300^\circ$		1688	6134	404	9	8
$300^\circ < MWD < 310^\circ$	498	2282	280	10	9	
$310^\circ < MWD < 320^\circ$	148	1152	150	9	16	
$320^\circ < MWD < 330^\circ$	157	1110	110	7	5	
$330^\circ < MWD < 340^\circ$	215	1266	52	8	8	
$340^\circ < MWD < 350^\circ$	415	1627	38	11	3	
$350^\circ < MWD < 360^\circ$	728	1978	22	0	3	

Tabella 3 - Distribuzione incondizionata di eventi ondosi, divisi per classi di periodo di picco e settori direzionali di provenienza aventi ampiezza 10°

		Classi di periodo di picco (s)					
		$T_p/MWD$	$0 < T_p < 3$	$3 < T_p < 6$	$6 < T_p < 9$	$9 < T_p < 12$	
Classi di direzione di provenienza (°N)	$0^\circ < MWD < 10^\circ$	0,56	0,83	0,02	0,00	0,00	1,41
	$10^\circ < MWD < 20^\circ$	0,52	0,30	0,01	0,00	0,00	0,84
	$20^\circ < MWD < 30^\circ$	0,39	0,13	0,01	0,00	0,00	0,54
	$30^\circ < MWD < 40^\circ$	0,27	0,08	0,01	0,00	0,00	0,37
	$40^\circ < MWD < 50^\circ$	0,20	0,07	0,02	0,00	0,00	0,29
	$50^\circ < MWD < 60^\circ$	0,16	0,05	0,03	0,00	0,00	0,24
	$60^\circ < MWD < 70^\circ$	0,09	0,06	0,03	0,00	0,00	0,18
	$70^\circ < MWD < 80^\circ$	0,05	0,07	0,04	0,00	0,00	0,17
	$80^\circ < MWD < 90^\circ$	0,04	0,09	0,04	0,00	0,00	0,17
	$90^\circ < MWD < 100^\circ$	0,03	0,10	0,05	0,00	0,00	0,17
	$100^\circ < MWD < 110^\circ$	0,02	0,14	0,05	0,00	0,00	0,21
	$110^\circ < MWD < 120^\circ$	0,01	0,18	0,07	0,00	0,00	0,27
	$120^\circ < MWD < 130^\circ$	0,01	0,25	0,11	0,00	0,00	0,38
	$130^\circ < MWD < 140^\circ$	0,05	0,50	0,19	0,01	0,00	0,75
	$140^\circ < MWD < 150^\circ$	0,25	2,83	0,47	0,01	0,00	3,56
	$150^\circ < MWD < 160^\circ$	0,41	5,30	1,56	0,04	0,00	7,32
	$160^\circ < MWD < 170^\circ$	0,45	4,46	1,60	0,13	0,00	6,64
	$170^\circ < MWD < 180^\circ$	0,36	3,29	2,20	0,21	0,01	6,07
	$180^\circ < MWD < 190^\circ$	0,33	2,88	2,03	0,11	0,01	5,35
	$190^\circ < MWD < 200^\circ$	0,28	2,81	1,34	0,07	0,00	4,51
	$200^\circ < MWD < 210^\circ$	0,24	2,67	1,07	0,07	0,01	4,07
	$210^\circ < MWD < 220^\circ$	0,25	2,42	0,85	0,05	0,00	3,57
	$220^\circ < MWD < 230^\circ$	0,32	2,39	0,80	0,02	0,00	3,53
	$230^\circ < MWD < 240^\circ$	0,32	2,96	1,12	0,02	0,00	4,42
	$240^\circ < MWD < 250^\circ$	0,43	4,53	3,20	0,04	0,00	8,20
	$250^\circ < MWD < 260^\circ$	0,54	5,68	5,28	0,07	0,01	11,58
	$260^\circ < MWD < 270^\circ$	0,67	2,86	1,31	0,04	0,00	4,89
	$270^\circ < MWD < 280^\circ$	0,93	2,33	0,59	0,02	0,01	3,87
	$280^\circ < MWD < 290^\circ$	1,17	3,13	0,38	0,01	0,01	4,69
	$290^\circ < MWD < 300^\circ$	0,96	3,50	0,23	0,01	0,00	4,70
	$300^\circ < MWD < 310^\circ$	0,28	1,30	0,16	0,01	0,01	1,76
	$310^\circ < MWD < 320^\circ$	0,08	0,66	0,09	0,01	0,01	0,84
	$320^\circ < MWD < 330^\circ$	0,09	0,63	0,06	0,00	0,00	0,79
	$330^\circ < MWD < 340^\circ$	0,12	0,72	0,03	0,00	0,00	0,88
	$340^\circ < MWD < 350^\circ$	0,24	0,93	0,02	0,01	0,00	1,19
	$350^\circ < MWD < 360^\circ$	0,42	1,13	0,01	0,00	0,00	1,56
	100,00	11,54	62,31	25,09	0,96	0,10	100,00

Tabella 4 - Distribuzione incondizionata delle percentuali di occorrenza degli eventi ondosi, divisi per settori direzionali di 10° e classi di periodo di picco

Studio Meteomarino

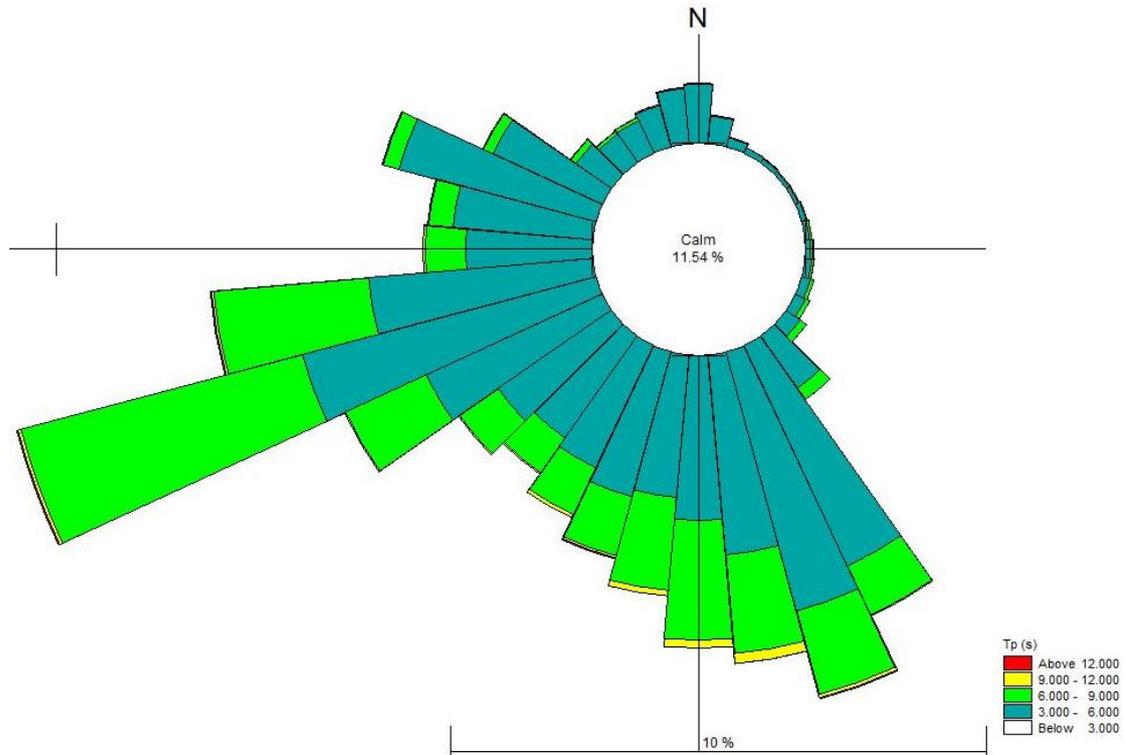


Figura 8 - Rosa dei periodi di picco

#### 4. ANALISI STATISTICA DEGLI EVENTI ESTREMI

L'onda di progetto deve essere rappresentativa delle condizioni meteomarine che possono considerarsi pericolose ai fini della stabilità delle strutture marittime e pertanto deve essere associata al tempo di vita previsto per l'opera stessa.

In generale, l'onda di progetto può essere sia un'onda significativa, rappresentante uno stato di mare, sia un'onda individuale, rappresentante una singola onda random d'altezza massima all'interno di uno stato di mare. In entrambi i casi, l'onda di progetto è definita mediante un'altezza, un periodo e una direzione di provenienza.

Il "rischio" da associare all'onda di progetto si specifica attraverso il periodo di ritorno  $T_r$  degli stati di mare che la contengono e con la probabilità che questi si verifichino durante la vita prevista dell'opera.

Le fasi da affrontare in un'analisi volta alla previsione dei massimi valori che l'altezza d'onda può assumere in un determinato arco temporale, si possono riassumere come segue:

- selezione dei dati omogenei e indipendenti tra quelli disponibili;
- individuazione del modello probabilistico che meglio rappresenta i dati selezionati;
- determinazione del massimo valore di altezza d'onda atteso in un fissato arco di tempo, in base al modello probabilistico individuato.

Le serie temporali modellate sono rappresentative delle condizioni meteomarine locali caratterizzate da una cadenza prefissata. Tale cadenza, chiamata scala di aggregazione della serie, influisce sulla risoluzione con cui si osservano le variazioni della grandezza che è oggetto d'indagine. Maggiore è la scala di aggregazione, minore è il dettaglio con cui è descritta la variabilità della grandezza osservata. La scala di aggregazione, inoltre, influenza anche l'indipendenza dei dati che formano la serie temporale. Per un fenomeno continuo, lentamente variabile, come quello del moto ondoso, minore è la scala di aggregazione e maggiore è il grado di correlazione tra i dati osservati.

Uno dei passaggi più delicati dell'inferenza statistica è la selezione dei dati da analizzare all'interno della serie temporale osservata. In particolare, tale cernita deve assicurare l'omogeneità e l'indipendenza dell'insieme del campione fornito. Nasce, pertanto, l'esigenza di definire criteri di selezione in base ai quali estrarre dalla serie temporale quei valori che siano contemporaneamente descrittivi del fenomeno fisico e mutuamente indipendenti.

Le popolazioni statistiche estratte dai dati osservati possono essere distinte in due diversi tipi, in relazione al procedimento seguito per la loro formazione: il primo prevede il campionamento regolare della serie osservata e genera una popolazione temporalmente aggregata; il secondo prevede un campionamento ad evento e quindi genera una popolazione temporalmente disaggregata. Il primo procedimento è riconducibile al metodo del campione totale, il secondo è riconducibile al metodo delle durate parziali sopra soglia, o al metodo dei massimi annuali.

Il metodo del campione totale non assicura a priori né l'indipendenza né l'omogeneità dei dati che formano l'insieme campionario. Al contrario, il metodo delle durate parziali sopra soglia, previa la definizione di opportuni criteri di individuazione degli eventi, permette la cernita di dati sia omogenei che indipendenti.

La definizione dell'evento "mareggiata" permette di semplificare l'insieme campionario per l'inferenza statistica. La mareggiata si può definire come la successione temporale degli stati di mare caratterizzati da valori d'altezza, periodo e direzione del moto ondoso, variabili in fissati intervalli. È regola caratterizzare una mareggiata assegnandole i valori d'altezza, periodo e direzione corrispondenti al culmine d'intensità della successione degli stati di mare. In particolare, si considera come mareggiata la successione temporale degli stati di mare caratterizzati da:

- persistenza dell'altezza d'onda sopra la soglia di 1 metro maggiore di 12 ore consecutive;
- attenuazione dell'altezza d'onda sotto la soglia di 1 metro per meno di 6 ore consecutive;
- appartenenza della direzione di provenienza a un determinato settore angolare ( $\pm 30^\circ$  rispetto alla direzione iniziale).

L'indipendenza campionaria della serie dei colmi è assicurata imponendo un valore di soglia per l'intervallo che intercorre tra i picchi di due mareggiate successive. La definizione della soglia di troncamento per la serie disaggregata, quindi, può essere finalizzata a separare le mareggiate generate da venti di tempesta, ciclonici o anticiclonici, da quelle generate da brezze costiere, anche se intense. Inoltre, nel caso dei nostri mari, in cui le aree di generazione sono limitate e irregolari, la definizione della seconda soglia può essere sfruttata per distinguere le mareggiate generate da vaste perturbazioni meteorologiche, che si estendono su scale continentali, dalle mareggiate generate da perturbazioni locali, che si estendono su scale regionali. In ogni caso, la scelta della soglia è un'operazione molto delicata, poiché essa condiziona notevolmente le stime dell'altezza d'onda con assegnato tempo di ritorno. Una soglia troppo bassa, infatti, conduce ad avere molti elementi nel campione, la maggior parte dei quali non è rappresentativa di condizioni estreme. Tali circostanze determinano previsioni stabili ma sovrastimate dell'altezza d'onda con assegnato tempo di ritorno. Al contrario, una soglia troppo alta conduce ad avere pochi elementi campionari, anche se tutti rappresentativi di condizioni estreme. Tali circostanze determinano previsioni dell'altezza d'onda variabili con la numerosità campionaria.

**A valle di un'analisi di sensitività della soglia e tenuto conto di quanto sopra esposto con riferimento all'adeguata numerosità del campione, la soglia di troncamento è stata posta pari a  $H_s = 2$  m.**

	Soglia di troncamento $H_s > 2$ m	
	Ommidirezionale	240°N - 260°N
Numerosità del campione	8175	3227

**Tabella 5 - Popolazione di dati per una soglia di troncamento pari a 2 m**

Successivamente è stato eseguito il calcolo delle onde relative al punto "P" ed in seguito la propagazione (si rimanda all'elaborato *SPO - Studio di propagazione ondosa*).

A valle dello studio di propagazione è stata individuata un'onda di progetto appartenente alla traversia principale (240°N–260°N) e con direzione di provenienza coincidente con la bisettrice ovvero 250°N. Nel paragrafo 4.2 si riporta il calcolo dell'altezza di progetto eseguita con l'analisi direzionale degli eventi estremi della serie tronca con soglia a 2 m.

#### 4.1. Calcolo del tempo di ritorno

Al fine di determinare l'onda di progetto, è necessario valutare la vita utile dell'opera in base al contesto in cui è inserita e alle funzionalità che la caratterizzano. È necessario inoltre valutare il livello di rischio legato alla probabilità di superamento dell'onda di progetto durante la vita utile dell'opera e ai danni che le onde possono comportare a valle del superamento suddetto, e la possibilità di ripristinare la normale funzionalità dell'opera mediante interventi di manutenzione.

Si fa perciò riferimento ai valori consigliati dalle *Istruzioni Tecniche Italiane per la Progettazione delle dighe marittime* (1996) del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici riportate di seguito.

Con riferimento alla Tabella 6, **le infrastrutture di uso generale si identificano in opere di difesa di complessi civili, commerciali o industriali, non destinati ad uso specifico.** Le infrastrutture di uso specifico invece sono invece identificabili con opere di difesa di singole installazioni industriali, di porti industriali, di depositi e piattaforme di carico e scarico, di piattaforme petrolifere, ecc.

Per quanto riguarda il livello di sicurezza richiesto, il livello 1 si riferisce a opere o installazioni che comportano un rischio minimo di perdita di vite umane o di danni ambientali in caso di collasso (difese costiere, opere in porti minori ecc.). **Il livello 2 è relativo a opere o installazioni il cui collasso comporterebbe un moderato rischio di perdita di vite umane o di danno ambientale (opere di grandi porto ecc.).** Il livello di sicurezza 3 è riferito a opere o installazioni per la protezione dall'inondazione, comportanti un elevato rischio di perdita di vite umane o di danno ambientale in caso di collasso (difese di centri urbani o industriali, ecc.).

Tipo di opera	Livello di sicurezza richiesto		
	1	2	3
	Vita di progetto (anni)		
<b>Infrastrutture d'uso generale</b>	25	50	100
<b>Infrastrutture d'uso specifico</b>	15	25	50

Tabella 6 - Durata minima di vita (Tv) per opere o strutture di carattere definitivo

Considerando la Tabella 7 per la scelta della probabilità di danneggiamento, è opportuno distinguere il danneggiamento incipiente dalla distruzione totale dell'opera, in base alle deformazioni subite e alla difficoltà di riparare il danno. Per strutture rigide (dighe a parte verticale) si assume la condizione di distruzione totale, poiché i danni sono solitamente molto difficili da riparare. Per strutture flessibili o riparabili, si assume la condizione di danneggiamento incipiente, ovvero il danneggiamento predefinito in base alla tipologia di struttura, al di sopra del quale si deve intervenire con lavori di manutenzione. Per quanto riguarda il fattore di rischio per la vita umana, si parla di rischio limitato

quando non c'è ragione di prevedere la perdita di vite umane in caso di danneggiamento, alternativamente si ha il rischio elevato. Relativamente alla ripercussione economica, si distingue tra bassa, media e alta a seconda se il rapporto tra la somma dei costi diretti di danneggiamento, quelli indiretti dovuti alla perdita di funzionalità dell'opera e il costo totale per la realizzazione dell'opera è minore di 5, compreso tra 5 e 20 o maggiore di 20.

<b>Danneggiamento incipiente</b>		
<b>Ripercussione economica</b>	<b>Rischio per la vita umana</b>	
	<b>Limitato</b>	<b>Elevato</b>
<b>Bassa</b>	0,5	0,3
<b>Media</b>	0,3	0,2
<b>Alta</b>	0,25	0,15
<b>Distruzione totale</b>		
<b>Ripercussione economica</b>	<b>Rischio per la vita umana</b>	
	<b>Limitato</b>	<b>Elevato</b>
<b>Bassa</b>	0,2	0,15
<b>Media</b>	0,15	0,1
<b>Alta</b>	0,1	0,05

**Tabella 7 - Massima probabilità di danneggiamento ammissibile (Pf) nel periodo di vita dell'opera**

Scelti i parametri di cui sopra, si calcola il periodo di ritorno dell'onda di progetto con la formula che segue:

$$T_r = \frac{T_v}{[-\ln(1 - P_f)]}$$

Nel caso in esame è stata considerata una vita utile dell'opera (Tv) pari a 50 anni, una condizione di danneggiamento incipiente con ripercussione economica media e rischio per la vita umana limitato (Pf=0,3), ottenendo così un periodo di ritorno Tr pari a 140 anni:

$$\mathbf{Tr = 140 \text{ anni (Periodo di ritorno dell'onda di progetto)}}$$

$$\mathbf{Tv = 50 \text{ anni (Vita utile dell'opera)}}$$

#### **4.2. Modello probabilistico utilizzato**

La rappresentazione dei picchi di mareggiata mediante un'appropriata legge di distribuzione di probabilità introduce nuove problematiche. Infatti, la distribuzione di probabilità delle altezze d'onda non è nota a priori. In linea di principio, dunque, qualsiasi distribuzione di probabilità può essere verosimile. Nella prassi operativa, tale presupposto obbliga i progettisti a definire alcuni criteri di scelta, volti ad individuare tra le possibili distribuzioni la legge di probabilità che meglio rappresenta

alcune caratteristiche statistiche dei dati. Nel presente studio sono state applicate le distribuzioni di Weibull e Gumbel.

#### 4.2.1. Distribuzione di Weibull

La probabilità di non superamento associata ad ogni valore di altezza significativa è rispettivamente pari a:

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

dove:

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

Operativamente i dati di input vanno ordinati dal valore più grande a quello più piccolo, e quindi per ogni dato progressivo si calcola la  $y_m$ :

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

$$H_{sm} = Ay_m + B$$

L'equazione  $H_{sm} = Ay_m + B$  costituisce la regressione lineare dei dati disponibili, dalla quale si ricavano i due parametri A e B (Figura 9).

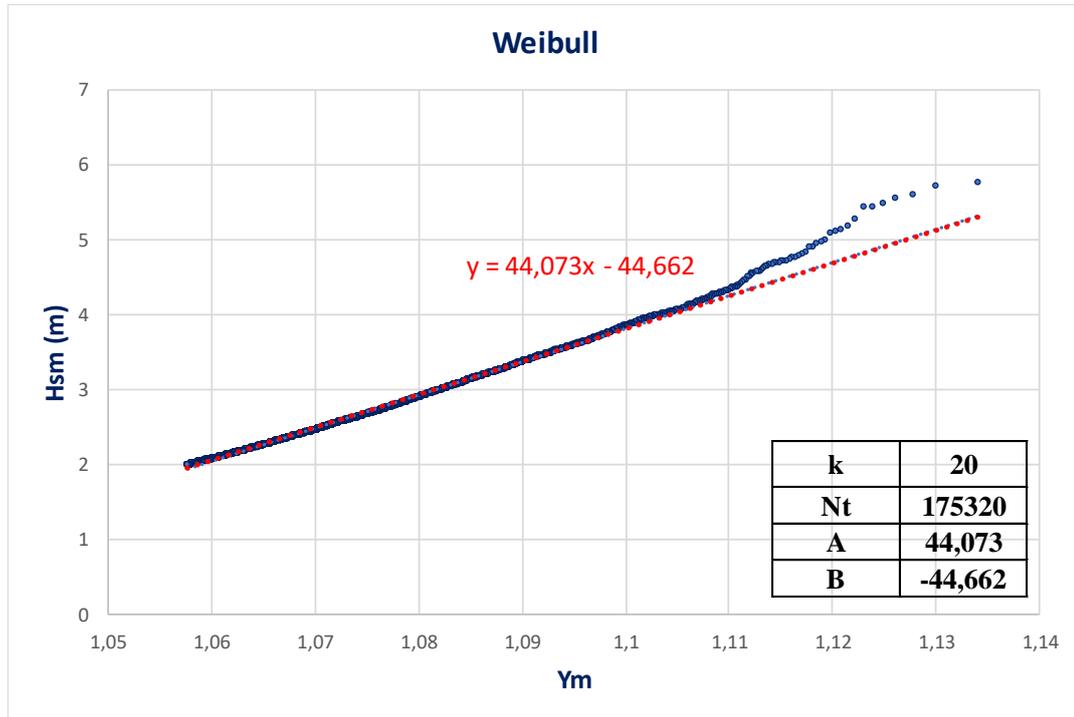


Figura 9 - Distribuzione di Weibull

#### 4.2.2. Distribuzione di Gumbel

La probabilità di non superamento associata ad ogni valore di altezza significativa è rispettivamente pari a:

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

dove:

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

Operativamente i dati di input vanno ordinati dal valore più grande a quello più piccolo, e quindi per ogni dato progressivo si calcola la  $y_m$ .

$$y_m = -\ln[-\ln F(H_s \leq H_{sm})]$$

$$H_{sm} = Ay_m + B$$

L'equazione  $H_{sm} = Ay_m + B$  costituisce la regressione lineare dei dati disponibili, dalla quale si ricavano i due parametri A e B (Figura 10).

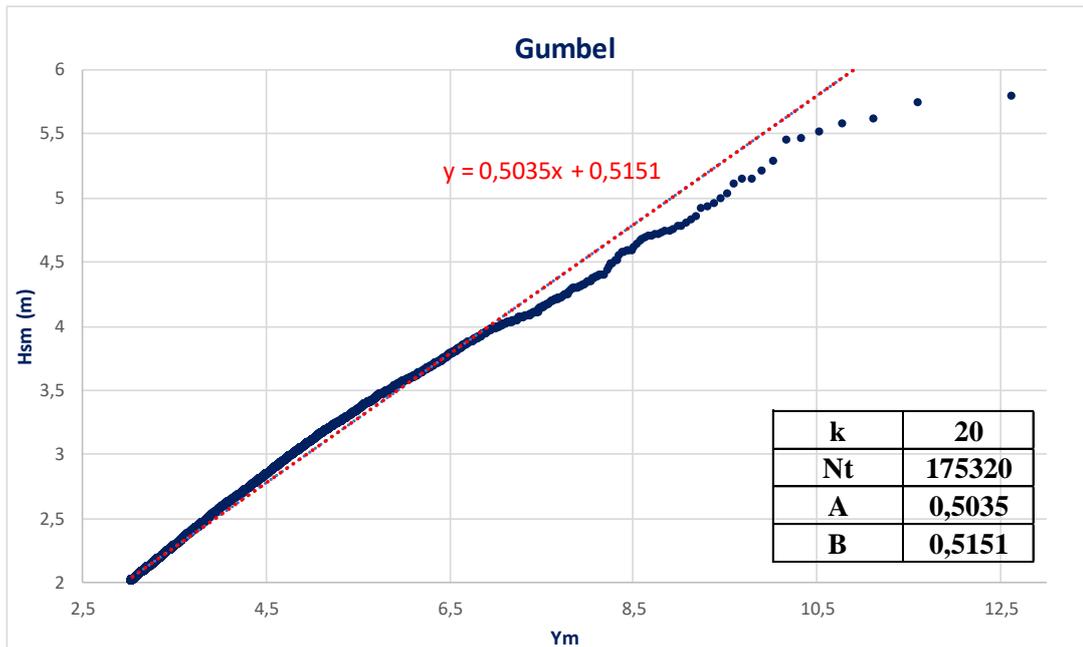


Figura 10 - Distribuzione di Gumbel

#### 4.3. Stima dell'altezza d'onda significativa di progetto a largo

Si è scelto come modello statistico la distribuzione di Gumbel. Osservando la Figura 9 e la Figura 10, rappresentative dei due modelli statistici utilizzati, si nota come la retta di regressione lineare ottenuta con la distribuzione di Gumbel fornisca valori di altezza d'onda leggermente superiori al campione dei dati utilizzati. Pertanto, ponendoci in condizioni di sicurezza, si è scelto di utilizzare i valori di altezza d'onda ottenuti con la distribuzione di Gumbel.

Scelto il modello matematico probabilistico più idoneo ai dati in esame, si procede alla stima del valore di altezza d'onda significativa relativo ad un periodo di ritorno pari a 1, 5, 25, 50, 70, 100 e 140 anni.

Le altezze d'onda per i vari periodi di ritorno possono essere determinate mediante le seguenti espressioni:

$$H_{Tr} = Ay_r + B$$

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

dove:

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

I risultati ottenuti sono sintetizzati in Tabella 8.

Tr (anni)	Yr	Htr (m)
1	9,08	5,09
5	10,69	5,90
25	12,30	6,71
50	12,99	7,06
70	13,33	7,23
100	13,68	7,40
140	14,02	7,57

Tabella 8 – Altezze d'onda significative e Tempi di ritorno associati (Gumbel).

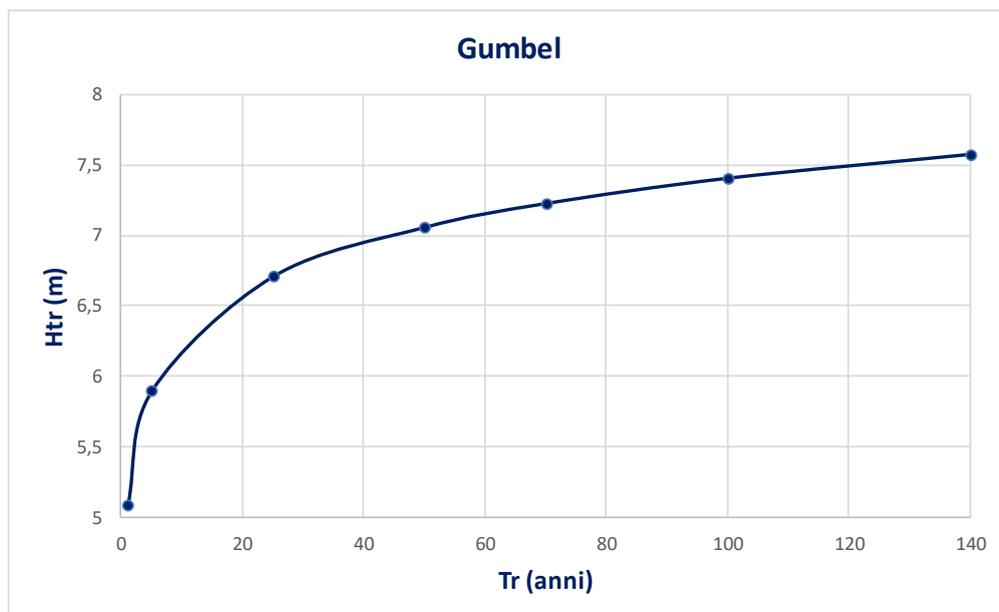


Figura 11 - Distribuzione dell'altezza d'onda significativa (Htr) con un associato tempo di ritorno (Tr)

In particolare, **per il dimensionamento della diga di sopraflutto è stata propagata fino all'opera di progetto l'onda di largo avente le seguenti caratteristiche:**

$$H_s = 7,57 \text{ m}$$

$$T_p = 12,7 \text{ s}$$

**Direzione 250° N**

Il periodo di picco  $T_p$  è stato ricavato dalla nota correlazione statistica del tipo  $T=b(H_s)^c$ , con  $b=7,906$  e  $c=0,233$ , parametri riferiti all'intervallo di confidenza superiore dell'ondametro di Ponza della tab. n.3 dell'*Atlante delle onde nei mari italiani* pag. 30.

## 5. CONCLUSIONI

Il presente studio meteomarino ha permesso di valutare il regime ondoso e le condizioni ondose estreme di largo riportate nella seguente tabella (Tabella 9).

Tr (anni)	Hs largo (m)	Tp largo (s)
1	5,09	11,55
5	5,90	11,95
25	6,71	12,30
50	7,06	12,45
70	7,23	12,50
100	7,40	12,60
140	7,57	12,70

Tabella 9 - Riepilogo risultati

Tali risultati sono stati ottenuti attraverso il seguente procedimento:

- 1) Sono stati acquisiti 20 anni di dati (gennaio 2000 – dicembre 2019) rappresentativi del clima ondoso a largo di Fiumicino (punto P) utilizzando il database di “DHI - Danish Hydraulic Institut”.
- 2) È stata quindi effettuata un’analisi statistica degli eventi estremi considerando la serie di dati tronca, avendo stimato la soglia di troncamento pari a  $H_s = 2$  m. La valutazione dei campioni per la statistica è stata condotta considerando un’analisi omnidirezionale. Dei due modelli statistici inizialmente considerati, Gumbel è risultato più idoneo a rappresentare i campioni ottenuti.
- 3) Mediante l’analisi statistica di Gumbel sono stati ricavati i valori di altezza d’onda significativa, relativi ai periodi di ritorno di 1, 5, 25, 50, 70, 100 e 140 anni.

Ottenuti i già menzionati risultati è stato possibile propagare sulle opere portuali i vari stati ondosi di largo corrispondenti ai diversi tempi di ritorno statistici.

A tale proposito si rimanda all’elaborato *SPO - Studio di Propagazione ondosa* sotto costa nella quale è stato utilizzato il modello matematico Mike 21 SW.

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Vista planimetrica di Fiumicino .....	1
Figura 2 - Inquadramento geografico.....	2
Figura 3 - Corografia.....	3
Figura 4 - Regime ondoso a largo di Fiumicino.....	4
Figura 5 - Regime anemometrico a largo di Fiumicino .....	4
Figura 6 – Paraggio del Porto di Fiumicino .....	5
Figura 7 - Indicazione del punto "P" scelto per l'estrazione dei dati ondosi e metereologici .....	6
Figura 8 - Rosa dei periodi di picco .....	11
Figura 9 - Distribuzione di Weibull .....	17
Figura 10 - Distribuzione di Gumbel .....	18
Figura 11 - Distribuzione dell'altezza d'onda significativa (Htr) con un associato tempo di ritorno (Tr) .....	19

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Distribuzione incondizionata di eventi ondosi divisi per classi di altezza d'onda significativa e settori direzionali di provenienza aventi ampiezza 10° .....	7
Tabella 2 - Distribuzione incondizionata delle percentuali di occorrenza degli eventi ondosi divisi per settori direzionali di 10° e classi di altezza d'onda significativa (Hs) .....	8
Tabella 3 - Distribuzione incondizionata di eventi ondosi, divisi per classi di periodo di picco e settori direzionali di provenienza aventi ampiezza 10° .....	9
Tabella 4 - Distribuzione incondizionata delle percentuali di occorrenza degli eventi ondosi, divisi per settori direzionali di 10° e classi di periodo di picco .....	10
Tabella 5 - Popolazione di dati per una soglia di troncamento pari a 2 m .....	13
Tabella 6 - Durata minima di vita (Tv) per opere o strutture di carattere definitivo.....	14
Tabella 7 - Massima probabilità di danneggiamento ammissibile (Pf) nel periodo di vita dell'opera..	15
Tabella 8 – Altezze d'onda significative e Tempi di ritorno associati (Gumbel).....	19
Tabella 9 - Riepilogo risultati.....	21