

Comune di Centola

Provincia di Salerno

LAVORI DI PROLUNGAMENTO DELLA TESTATA DEL MOLO
E DI AMPLIAMENTO E CONSOLIDAMENTO DELLA PARTE INTERA DEL MOLO
PER RENDERE RIPARATO E SICURO L'ANCORAGGIO
ALL'INTERNO DELLA RADA DI PALINURO

SERVIZIO DI CONSULENZA SPECIALISTICA
PER LA REDAZIONE DELLA RELAZIONE METEOMARINA
E DELLA RELAZIONE DI INGEGNERIA MARITTIMA

CUP: B94B16000040002 – CIG: Z2D1F59A65



Relazione Idraulico-Marittima

Il Consulente

Prof. Mario Calabrese

LUGLIO 2018

Sommario

1. PREMESSA	3
2. CARATTERISTICHE METEOMARINE DI LARGO	4
2.1. Esposizione al moto ondoso	4
2.2. Determinazione del clima ondoso al largo del paraggio	6
2.2.1. <i>Analisi dei Fetches Geografici ed Efficaci nel sito di Ponza</i>	8
2.2.2. <i>Trasposizione geografica del moto ondoso</i>	13
2.3. Esposizione del paraggio agli eventi estremi.....	23
2.4. Statistica delle onde estreme.....	23
3. TRASFERIMENTO DEL MOTO ONDOSO	27
3.1. Descrizione del modello matematico utilizzato per il trasferimento del moto ondoso.....	27
3.2. Caratteristiche delle onde estreme in prossimità del paraggio	28
3.3. Clima ondoso sottocosta.....	32

1. PREMESSA

L'Amministrazione Comunale del Comune di Centola, con determina n.205 del 14/09/2017/ a firma del Responsabile del servizio Area tecnica lavori pubblici, ha affidato allo scrivente “un servizio di consulenza specialistica per la redazione della relazione meteomarina e della relazione di ingegneria marittima necessaria per l'aggiornamento del progetto definitivo redatto all'Ufficio OO.MM. di Napoli” *riguardante i lavori di prolungamento della testata del molo e di ampliamento e consolidamento della parte interna del molo per rendere riparato e sicuro l'ancoraggio all'interno della rada di Palinuro del comune di Centola (SA).*

Nella presente relazione sono riassunte le analisi effettuate finalizzate alla definizione del regime ondoso medio annuo e delle caratteristiche degli stati di mare estremi, tipici del tratto di mare antistante il molo; conoscenze utili alla definizione degli stati di mare convenzionali di progetto necessari alle verifiche strutturali e idrauliche dell'opera di difesa e alla valutazione delle condizioni operative limite degli ormeggi.

In sintesi la metodologia operativa seguita nello svolgimento dello studio meteo marino può essere schematizzata come segue:

1. Definizione delle caratteristiche geografiche del paraggio ed esposizione al moto ondoso.
2. Determinazione del clima ondoso al largo del paraggio
3. Statistica delle onde estreme al largo del paraggio
4. Trasferimento delle onde estreme dal largo sotto costa
5. Trasferimento del clima ondoso dal largo sotto costa

2. CARATTERISTICHE METEOMARINE DI LARGO

2.1. Esposizione al moto ondoso

Il porto di Palinuro ricade in una baia interna al Nord di Capo Palinuro (Fig. 1). Il paraggio relativo all'area di interesse è localizzato al centro del settore di traversia geografico delimitato dalle direttrici che, a partire dalla costa in esame, tragguardano per 270°N e per 332°N a Nord del porto (Fig. 2).

Tale settore è stato definito a partire dalla testata del molo di sopraflutto del su citato porto per un'analisi più propriamente mirata alla valutazione delle condizioni di possibile esposizione alle ondate estreme.

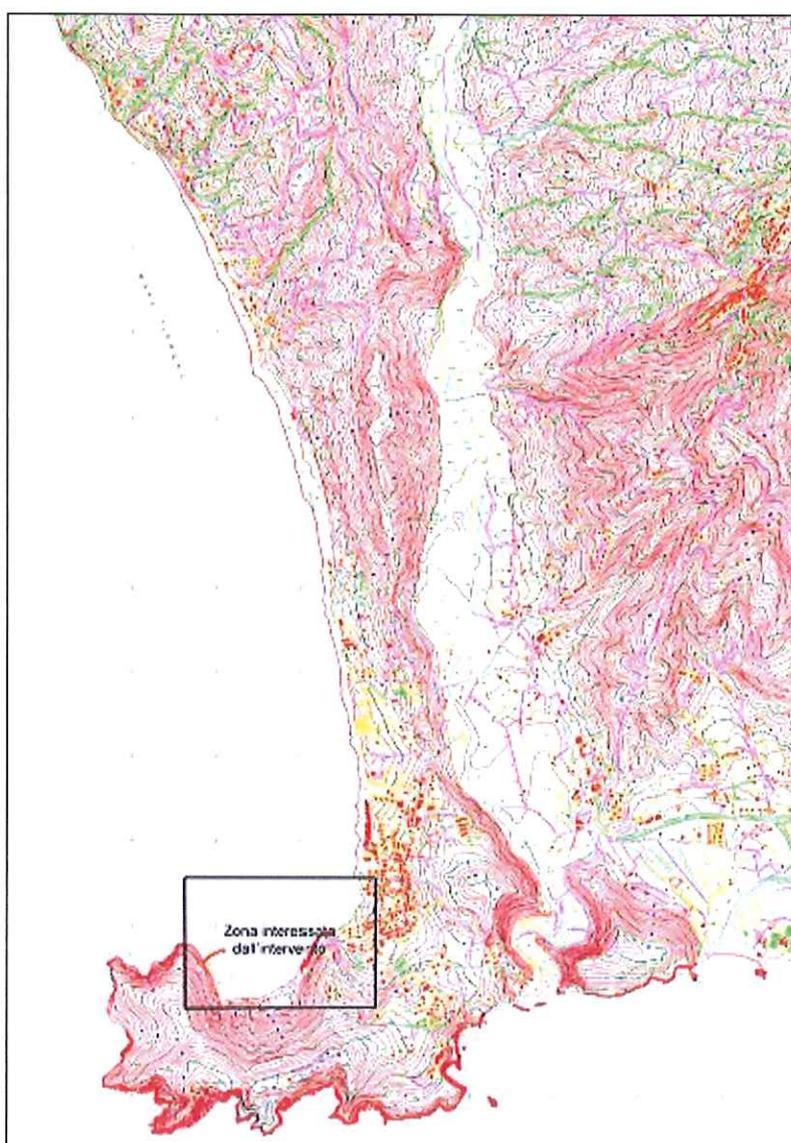


Figura 1 – Inquadramento territoriale

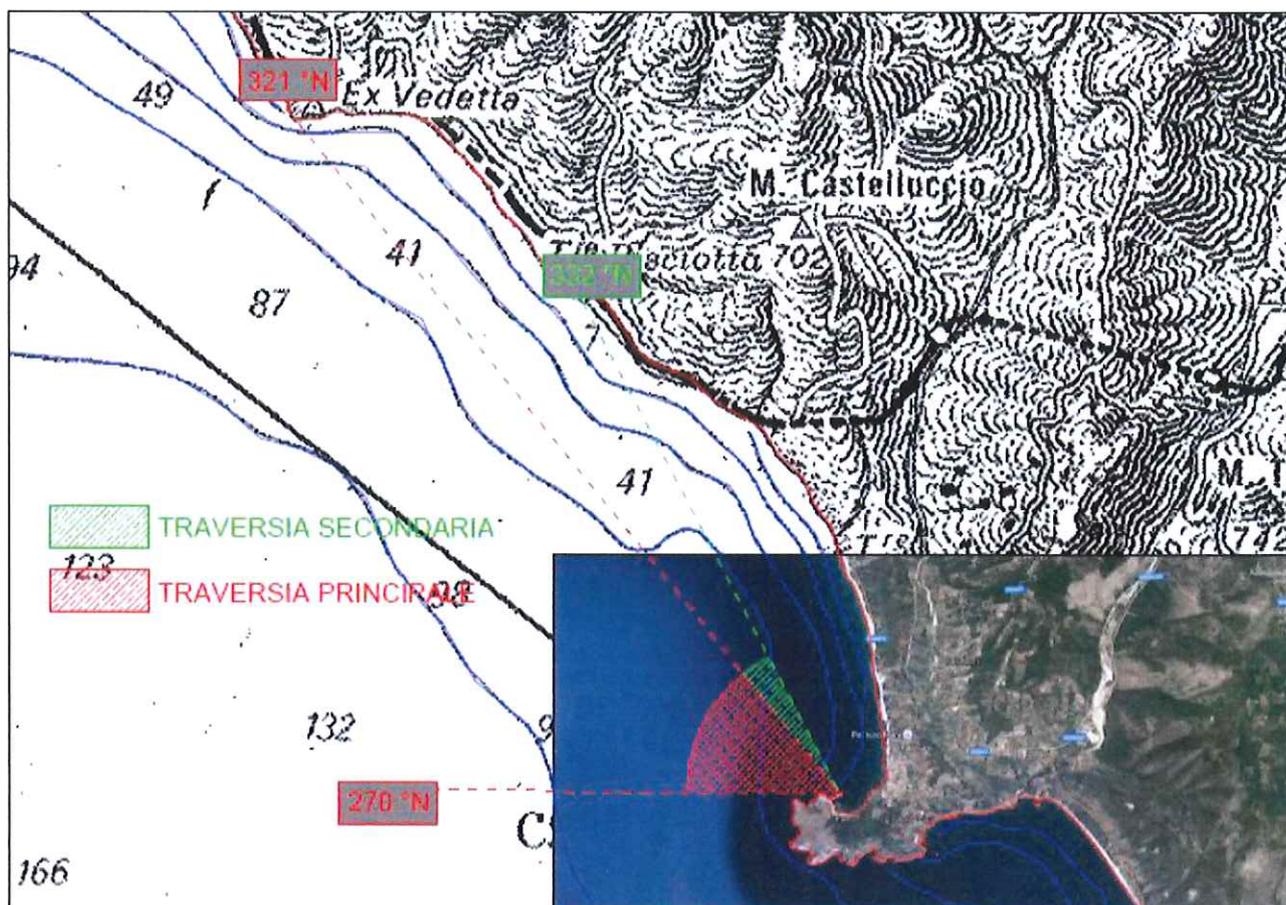


Figura 2 – Settore di traversia geografico

Il settore di traversia, di ampiezza pari a circa 60° , si affaccia dunque sul mar Tirreno ed è aperto ai venti foranei di ponente e maestrale.

All'interno di tale settore è possibile individuare un settore di traversia principale, che comprende le direzioni di provenienza delle onde esterne delimitato dalle direttrici 270°N e 321°N , ed un settore secondario delimitato dalle direttrici 321°N e 332°N .

Per lo studio dell'esposizione al moto ondoso del paraggio di Palinuro, al largo del porto è stato individuato un punto di coordinate geografiche $15^\circ13.00'\text{E}$, $40^\circ02.00'\text{N}$ localizzato al largo della costa su una profondità di circa 100 m (Fig. 3).

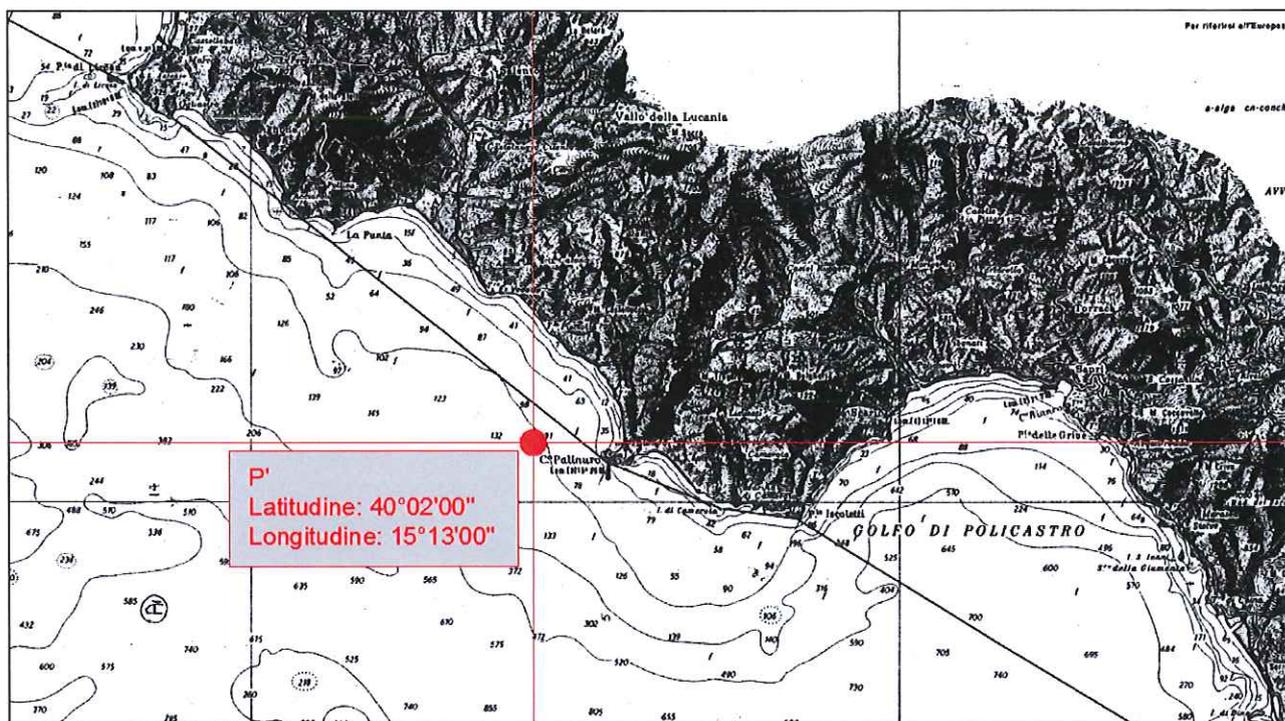


Figura 3 – Punto di trasposizione a largo del porto di Palinuro

2.2. Determinazione del clima ondoso al largo del paraggio

Per clima ondoso si intende usualmente la ripartizione in frequenza su classi di direzioni ed altezza d'onda dei singoli stati di mare, caratterizzati dall'altezza H_s ed dal periodo T_s dell'onda significativa e dalla direzione θ_m di provenienza, rilevati in un periodo pluriennale.

Scopo fondamentale di tali elaborazioni è quello di rappresentare il corpo della distribuzione di frequenza di accadimento delle onde a diverse scale temporali (stagionale, annuale etc.). Tali statistiche non costituiscono una rappresentazione completa (in senso statistico) in quanto le informazioni relative al periodo e alla persistenza non vengono considerate.

Il clima ondoso può essere ricostruito sulla base di misure dirette – sia visuali che strumentali – ovvero a partire dalla conoscenza dei dati di vento e di fetch (metodi indiretti). Le stime visuali delle caratteristiche ondose (es. dati UKMO, KNMI) sono molto approssimate e statisticamente poco affidabili e, pertanto, non sono state prese in considerazione nello studio.

I metodi di ricostruzione indiretta degli stati di mare sulla base delle registrazioni anemometriche, pur essendo affidabili e molto diffusi nella pratica tecnica, presentano le inevitabili incertezze connesse alla necessità di schematizzare il meccanismo di trasmissione di energia dal vento al mare e di generazione delle onde. Pertanto, è in generale preferibile ricorrere ai dati ottenuti da registrazioni dirette dello stato di mare.

Dati strumentali affidabili e completi del moto ondoso nelle acque profonde dei mari costieri italiani sono rilevati, sistematicamente a partire dalla metà del 1989, dalle boe direzionali della Rete Ondametrica

Nazionale (Fig. 4), gestita dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale del Dipartimento dei Servizi Tecnici Nazionali della Presidenza del Consiglio dei Ministri.



Figura 4 - RON (Rete Ondametrica Nazionale)

Tali registrazioni dirette possono essere utilizzate a condizione che si disponga di una serie temporale sufficientemente ampia di misure, e che la stazione di misura sia sufficientemente prossima al paraggio di interesse.

Nel caso in esame, entrambe le condizioni sono verificate per la presenza della stazione ondametrica R.O.N. (Rete Ondametrica Nazionale) di Ponza, in funzione dal mese di luglio del 1989, le cui registrazioni, nonostante non possano considerarsi pienamente rappresentative del clima del paraggio in esame, data la relativa vicinanza, possono sicuramente ritenersi generate dalle stesse perturbazioni atmosferiche.

2.2.1. Analisi dei Fetches Geografici ed Efficaci nel sito di Ponza

Le lunghezze delle zone di mare potenzialmente sottoposte all'azione diretta del vento, associate alla traversia al largo della costa, sono riportati in Figura 5 ed in Tabella 1. Tali lunghezze – fetch geografici – sono state calcolate tralguardando la costa limitrofa lungo la direzione di provenienza del vento.

Nei calcoli condotti si è considerata una estensione massima dei fetch geografici di 250 Mn in ragione delle massime dimensioni delle perturbazioni meteorologiche agenti sui mari del bacino Mediterraneo.

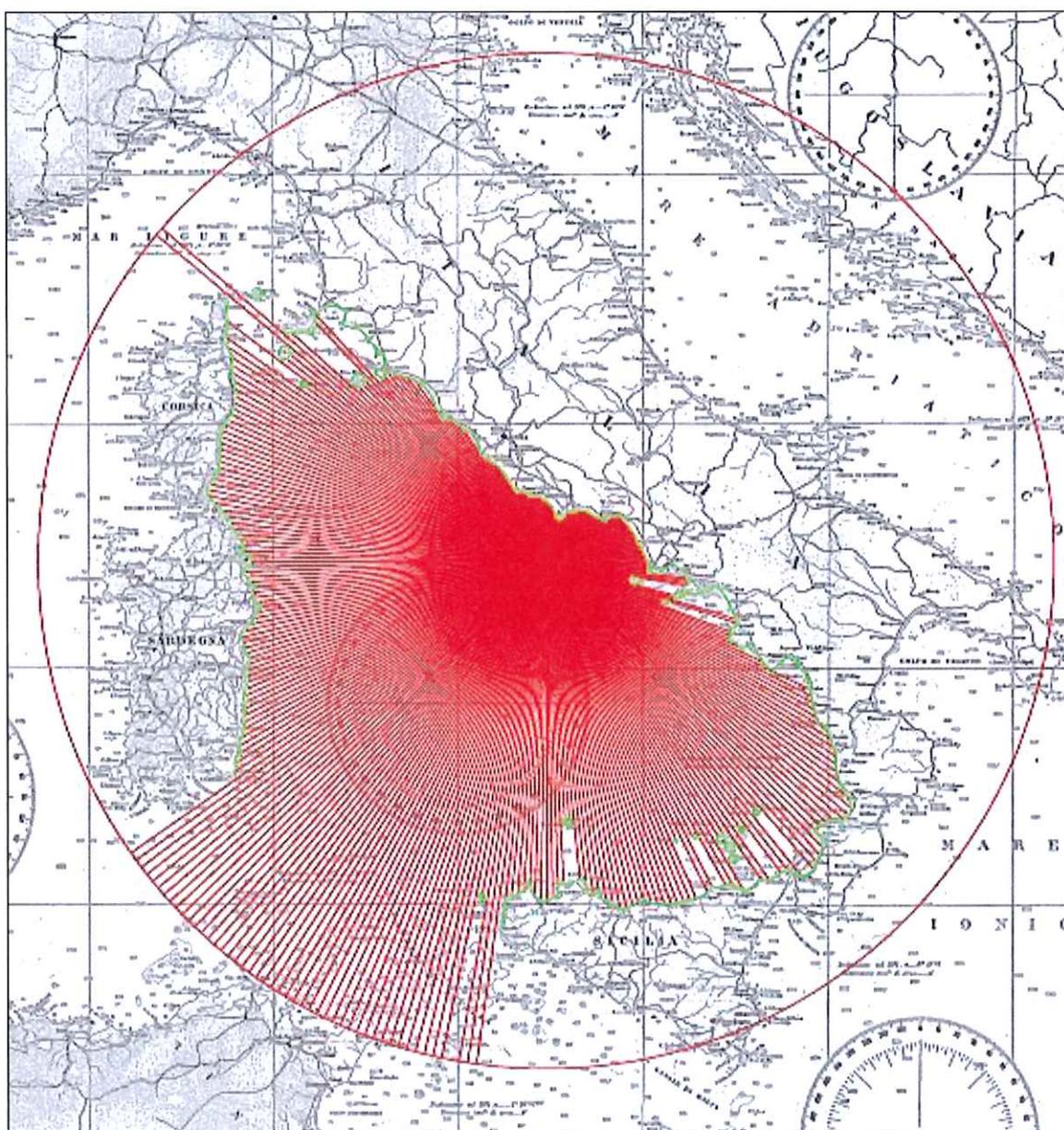


Figura 5 - Fetch geografici Ponza

DD [°N]	nM	DD [°N]	nM	DD [°N]	nM	DD [°N]	nM	DD [°N]	nM	DD [°N]	nM
0	29.56	61	43.05	122	165.96	183	159.37	244	166.03	305	192.60
1	29.25	62	43.17	123	169.15	184	191.04	245	162.99	306	146.10
2	28.80	63	43.36	124	172.07	185	192.67	246	162.24	307	196.42
3	28.34	64	43.57	125	174.28	186	192.35	247	160.66	308	161.98
4	27.91	65	43.81	126	176.99	187	194.77	248	159.38	309	161.76
5	27.50	66	44.04	127	181.09	188	249.91	249	158.43	310	250.05
6	27.11	67	44.20	128	190.33	189	249.91	250	157.10	311	250.05
7	26.52	68	44.37	129	193.11	190	249.91	251	155.04	312	168.06
8	25.69	69	44.55	130	194.37	191	166.52	252	153.05	313	125.88
9	24.92	70	44.75	131	194.53	192	249.91	253	154.60	314	124.92
10	24.20	71	44.97	132	190.43	193	249.91	254	154.91	315	125.88
11	23.53	72	45.20	133	188.95	194	249.91	255	154.97	316	163.80
12	22.90	73	45.45	134	187.35	195	249.91	256	155.09	317	166.83
13	21.65	74	45.58	135	187.08	196	249.91	257	152.70	318	122.44
14	21.55	75	45.70	136	195.84	197	249.91	258	149.14	319	120.42
15	21.46	76	45.83	137	197.43	198	249.91	259	146.33	320	120.79
16	21.38	77	45.81	138	198.75	199	249.91	260	144.35	321	119.40
17	21.33	78	45.76	139	200.68	200	249.91	261	142.63	322	116.31
18	21.52	79	45.74	140	159.49	201	249.91	262	143.59	323	113.24
19	21.71	80	46.35	141	199.49	202	249.91	263	145.63	324	110.23
20	21.92	81	47.24	142	192.85	203	249.91	264	145.53	325	85.07
21	22.63	82	47.51	143	192.35	204	249.91	265	144.09	326	84.42
22	24.61	83	47.79	144	162.04	205	249.91	266	146.55	327	80.09
23	26.33	84	48.07	145	191.13	206	249.91	267	147.33	328	77.03
24	26.54	85	48.37	146	189.46	207	249.92	268	148.61	329	59.94
25	26.77	86	48.68	147	160.68	208	249.92	269	145.55	330	58.05
26	27.01	87	49.02	148	159.56	209	249.92	270	145.53	331	56.29
27	27.26	88	49.37	149	189.47	210	249.92	271	145.55	332	54.65
28	27.52	89	49.67	150	185.56	211	249.92	272	149.37	333	53.12
29	27.80	90	49.89	151	182.23	212	249.92	273	149.39	334	50.00
30	28.09	91	50.01	152	153.73	213	249.92	274	151.29	335	43.98
31	28.40	92	50.04	153	179.69	214	249.92	275	153.30	336	39.42
32	29.47	93	50.20	154	181.26	215	249.92	276	155.10	337	36.61
33	29.98	94	50.27	155	150.35	216	249.92	277	156.77	338	36.58
34	30.22	95	50.30	156	181.09	217	249.92	278	158.55	339	36.63
35	30.47	96	50.21	157	218.12	218	249.92	279	162.15	340	36.70
36	30.73	97	70.07	158	216.82	219	249.92	280	165.97	341	36.49
37	31.01	98	70.73	159	180.22	220	249.93	281	170.03	342	36.28
38	31.30	99	71.41	160	179.33	221	249.93	282	170.42	343	35.50
39	31.54	100	69.80	161	178.17	222	249.93	283	170.12	344	34.57
40	31.65	101	69.05	162	176.97	223	249.93	284	168.85	345	33.69
41	31.77	102	68.69	163	175.65	224	249.93	285	167.73	346	32.87
42	31.90	103	68.03	164	173.63	225	249.93	286	167.10	347	32.67
43	32.04	104	66.01	165	173.63	226	249.93	287	167.93	348	32.61
44	32.19	105	65.83	166	174.48	227	249.93	288	168.45	349	32.57
45	32.35	106	65.84	167	175.03	228	249.93	289	169.44	350	32.52
46	32.53	107	98.36	168	174.74	229	249.93	290	170.49	351	32.43
47	32.71	108	99.46	169	172.11	230	249.94	291	171.51	352	32.34
48	32.89	109	99.15	170	169.61	231	249.94	292	172.29	353	32.24
49	33.03	110	96.80	171	164.29	232	249.94	293	172.08	354	31.80
50	33.18	111	97.68	172	165.67	233	249.94	294	171.45	355	31.38
51	33.30	112	98.01	173	164.03	234	249.94	295	170.88	356	30.98
52	33.89	113	97.68	174	157.24	235	249.94	296	171.07	357	30.59
53	37.64	114	103.73	175	126.88	236	185.89	297	172.03	358	30.23
54	39.18	115	118.15	176	127.29	237	182.42	298	173.06	359	29.89
55	39.66	116	144.35	177	158.19	238	178.28	299	175.19		
56	40.18	117	146.77	178	159.59	239	176.67	300	177.78		
57	40.35	118	148.73	179	165.79	240	174.67	301	180.14		
58	42.40	119	151.47	180	166.96	241	170.49	302	181.69		
59	42.81	120	153.83	181	166.77	242	168.25	303	184.39		
60	42.94	121	160.98	182	164.75	243	167.19	304	189.34		

Tabella 1 – Fetch geografici Ponza

Poiché il vento trasmette energia sulla superficie del mare non solo secondo la direzione lungo la quale spirava ma anche secondo le direzioni vicine, per lo studio della esposizione del paraggio agli stati di mare, si è proceduto a calcolare, sulla base dei valori dei fetch geografici misurati in precedenza, i corrispondenti valori dei fetch efficaci.

A tal fine si è applicato il metodo sviluppato da Seymour a seguito della campagna sperimentale JONSWAP, secondo il quale:

- il vento trasferisce energia sulla superficie del mare secondo tutte le direzioni θ che formano con quella del vento, θ_m , un angolo $(\theta - \theta_m)$ di $\pm 90^\circ$;
- le aliquote di energia trasmesse dal vento secondo le varie direzioni sono proporzionali al quadrato del coseno dell'angolo $(\theta - \theta_m)$ che le direzioni stesse formano con quella del vento.

Pertanto si ha:

$$F_{\text{eff}}(\theta_m) = \frac{\sum_{\theta_m-90^\circ}^{\theta_m+90^\circ} F_g(\theta) \cos^2(\theta - \theta_m)}{\sum_{-90^\circ}^{+90^\circ} \cos(\theta)}$$

La suddetta relazione fornisce la lunghezza del fetch efficace corrispondente alla direzione θ_m in funzione dei fetch geografici $F_g(\theta)$ e delle differenze angolari $(\theta - \theta_m)$ relative a tutte le direzioni comprese nel settore di 90° centrato su θ_m .

I valori dei fetch efficaci, calcolati con riferimento al punto specificato in precedenza, sono riportati nel diagramma polare di Figura 6 e nella Tabella 2.

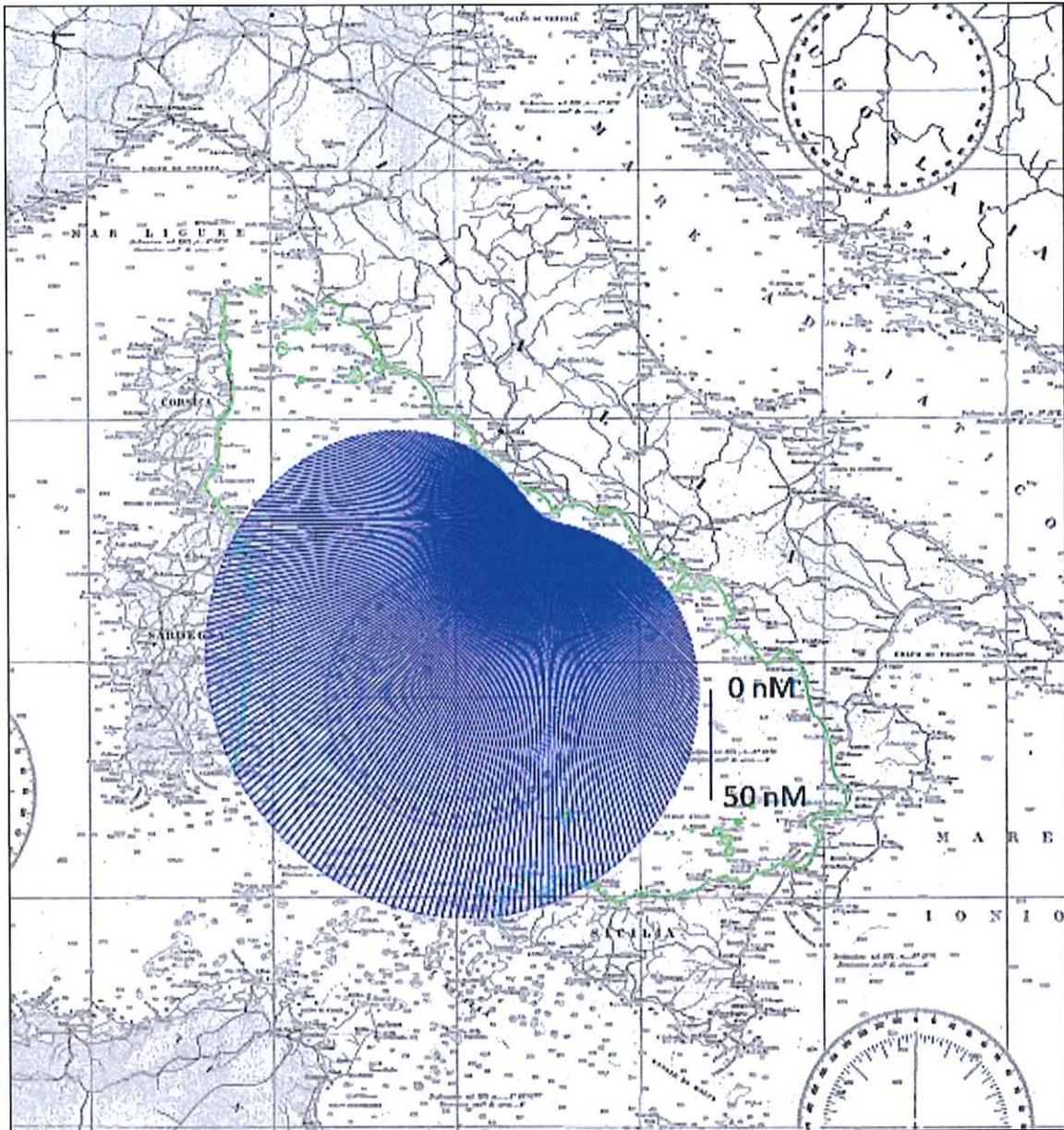


Figura 6 - Fetch efficaci Ponza

DD [°N]	nM	DD [°N]	nM	DD [°N]	nM	DD [°N]	nM	DD [°N]	nM	DD [°N]	nM
0	41.12	61	37.91	122	101.63	183	158.87	244	151.83	305	99.99
1	40.34	62	38.57	123	102.82	184	159.30	245	151.28	306	98.92
2	39.59	63	39.24	124	104.01	185	159.72	246	150.71	307	97.83
3	38.86	64	39.93	125	105.19	186	160.11	247	150.13	308	96.74
4	38.15	65	40.64	126	106.37	187	160.49	248	149.54	309	95.65
5	37.47	66	41.37	127	107.55	188	160.83	249	148.94	310	94.55
6	36.81	67	42.12	128	108.72	189	161.16	250	148.33	311	93.44
7	36.17	68	42.89	129	109.89	190	161.47	251	147.70	312	92.33
8	35.56	69	43.68	130	111.06	191	161.75	252	147.06	313	91.21
9	34.97	70	44.49	131	112.22	192	162.01	253	146.41	314	90.10
10	34.41	71	45.31	132	113.38	193	162.25	254	145.75	315	88.97
11	33.87	72	46.16	133	114.53	194	162.47	255	145.08	316	87.84
12	33.36	73	47.02	134	115.68	195	162.66	256	144.39	317	86.71
13	32.87	74	47.90	135	116.83	196	162.84	257	143.69	318	85.58
14	32.40	75	48.80	136	117.96	197	162.99	258	142.98	319	84.44
15	31.96	76	49.71	137	119.10	198	163.13	259	142.26	320	83.30
16	31.55	77	50.64	138	120.22	199	163.24	260	141.53	321	82.15
17	31.16	78	51.59	139	121.34	200	163.34	261	140.78	322	81.01
18	30.80	79	52.55	140	122.46	201	163.41	262	140.02	323	79.86
19	30.46	80	53.53	141	123.57	202	163.47	263	139.26	324	78.70
20	30.14	81	54.52	142	124.67	203	163.51	264	138.48	325	77.55
21	29.86	82	55.53	143	125.76	204	163.53	265	137.69	326	76.40
22	29.59	83	56.55	144	126.85	205	163.53	266	136.89	327	75.24
23	29.35	84	57.59	145	127.93	206	163.51	267	136.09	328	74.08
24	29.14	85	58.64	146	129.01	207	163.48	268	135.27	329	72.93
25	28.95	86	59.70	147	130.07	208	163.43	269	134.44	330	71.77
26	28.79	87	60.77	148	131.13	209	163.36	270	133.61	331	70.62
27	28.65	88	61.86	149	132.18	210	163.27	271	132.76	332	69.46
28	28.53	89	62.95	150	133.21	211	163.17	272	131.91	333	68.31
29	28.44	90	64.06	151	134.24	212	163.05	273	131.05	334	67.17
30	28.38	91	65.17	152	135.26	213	162.91	274	130.19	335	66.03
31	28.34	92	66.29	153	136.27	214	162.76	275	129.31	336	64.89
32	28.32	93	67.42	154	137.26	215	162.59	276	128.43	337	63.76
33	28.33	94	68.55	155	138.25	216	162.41	277	127.55	338	62.64
34	28.36	95	69.69	156	139.22	217	162.21	278	126.65	339	61.53
35	28.42	96	70.84	157	140.17	218	162.00	279	125.75	340	60.42
36	28.50	97	71.99	158	141.12	219	161.77	280	124.84	341	59.32
37	28.60	98	73.15	159	142.05	220	161.53	281	123.93	342	58.24
38	28.73	99	74.31	160	142.96	221	161.27	282	123.01	343	57.16
39	28.89	100	75.48	161	143.86	222	161.00	283	122.08	344	56.09
40	29.06	101	76.65	162	144.74	223	160.71	284	121.15	345	55.04
41	29.26	102	77.82	163	145.61	224	160.42	285	120.21	346	54.00
42	29.49	103	79.00	164	146.46	225	160.10	286	119.26	347	52.97
43	29.73	104	80.18	165	147.29	226	159.78	287	118.31	348	51.95
44	30.00	105	81.36	166	148.10	227	159.44	288	117.35	349	50.95
45	30.29	106	82.55	167	148.90	228	159.09	289	116.38	350	49.97
46	30.61	107	83.73	168	149.67	229	158.73	290	115.41	351	49.00
47	30.94	108	84.92	169	150.43	230	158.35	291	114.43	352	48.05
48	31.30	109	86.11	170	151.17	231	157.97	292	113.44	353	47.12
49	31.68	110	87.30	171	151.89	232	157.57	293	112.45	354	46.20
50	32.09	111	88.50	172	152.59	233	157.15	294	111.45	355	45.30
51	32.51	112	89.69	173	153.27	234	156.73	295	110.44	356	44.43
52	32.96	113	90.89	174	153.92	235	156.29	296	109.42	357	43.57
53	33.42	114	92.08	175	154.56	236	155.84	297	108.40	358	42.73
54	33.91	115	93.28	176	155.17	237	155.38	298	107.37	359	41.91
55	34.42	116	94.47	177	155.77	238	154.91	299	106.34		
56	34.95	117	95.67	178	156.34	239	154.43	300	105.30		
57	35.50	118	96.86	179	156.89	240	153.93	301	104.25		
58	36.08	119	98.06	180	157.42	241	153.42	302	103.19		
59	36.67	120	99.25	181	157.92	242	152.90	303	102.13		
60	37.28	121	100.44	182	158.41	243	152.37	304	101.07		

Tabella 2 – Fetch efficaci Ponza

2.2.2. Trasposizione geografica del moto ondoso

Il metodo di trasposizione consiste nel determinare la corrispondenza tra le direzioni, le altezze ed i periodi del moto ondoso relative al punto di misura e a quello di interesse.

Per l'individuazione dell'esposizione del paraggio al moto ondoso si è fatto riferimento al punto localizzato in mare aperto di coordinate 15°13.00'E, 40°02.00'N individuato nei paragrafi precedenti.

La metodologia di trasposizione geografica è basata sull'ipotesi che la velocità e la direzione del vento, agente sull'area di generazione del sito d'interesse, siano equivalenti a quelle che hanno determinato lo stato di mare misurato dalla boa.

Sotto tale ipotesi, il metodo di trasposizione geografica permette il calcolo delle correlazioni esistenti tra la direzione media di provenienza, l'altezza significativa ed il periodo di picco del moto ondoso misurato e gli stessi parametri relativi al moto ondoso presente nel punto d'interesse. Nel caso di fetch limitati, le leggi che permettono di calcolare l'altezza d'onda significativa spettrale H_{m0} e il periodo di picco spettrale T_m in funzione della lunghezza del fetch e della velocità del vento sono le seguenti:

$$\frac{gH_m}{U_A^2} = 16 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{gF}{U_A}\right)^{1/2}$$
$$\frac{gT_m}{U_A^2} = 2.857 \cdot 10^{-1} \cdot \left(\frac{gF}{U_A}\right)^{1/3}$$

dove U_A è il fattore di velocità del vento (wind stress factor), dipendente in modo non lineare dalla velocità del vento misurata alla quota +10 m s.l.m., ed F è il fetch efficace relativo ad una prefissata direzione geografica. Indicando con gli apici O e P rispettivamente le grandezze relative al punto di misura e al punto di trasposizione, e fissata una direzione geografica (direzione media da cui spira il vento) alla quale risultano associati i fetch efficaci F_P e F_O , le precedenti relazioni permettono di stabilire la ricercata corrispondenza tra le altezze ed i periodi delle onde relative al punto O e al punto P:

$$\frac{H_{m0}^P}{H_{m0}^O} = \left(\frac{F^P}{F^O}\right)^{1/2}$$
$$\frac{T_{m0}^P}{T_{m0}^O} = \left(\frac{F^P}{F^O}\right)^{1/3}$$

Il metodo contempla anche il calcolo dell'*off-wind angle* ovvero la correlazione esistente tra la direzione media del vento responsabile del fenomeno di generazione del moto ondoso e la direzione media risultante dello stato di mare generato (Fig. 7 e 8).

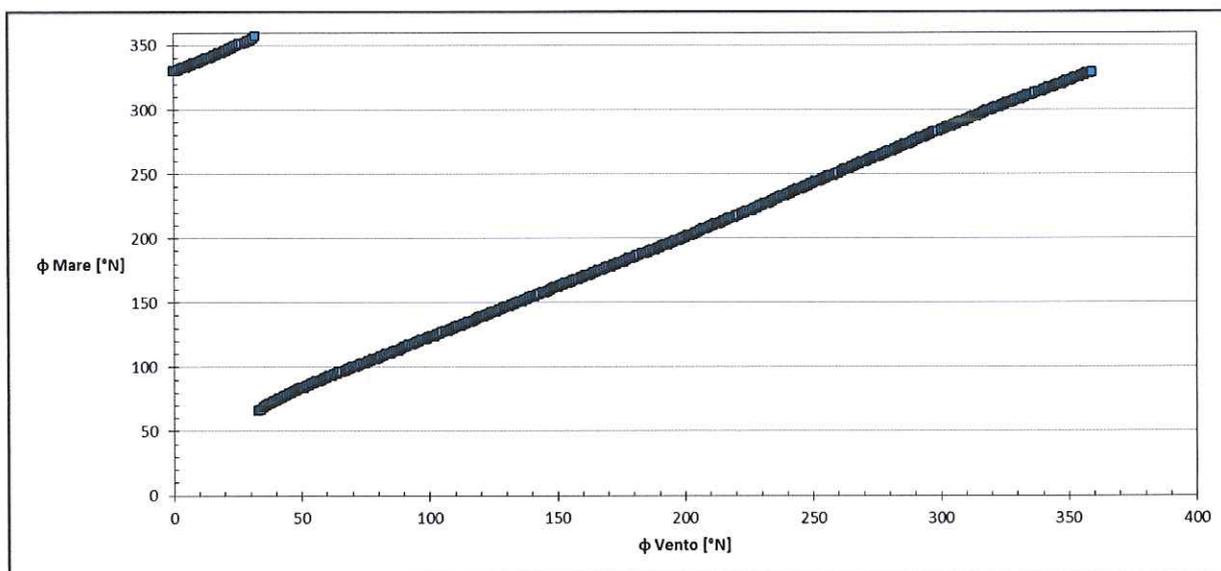


Figura 7 – Deviazione Vento-Mare ondometro di Ponza

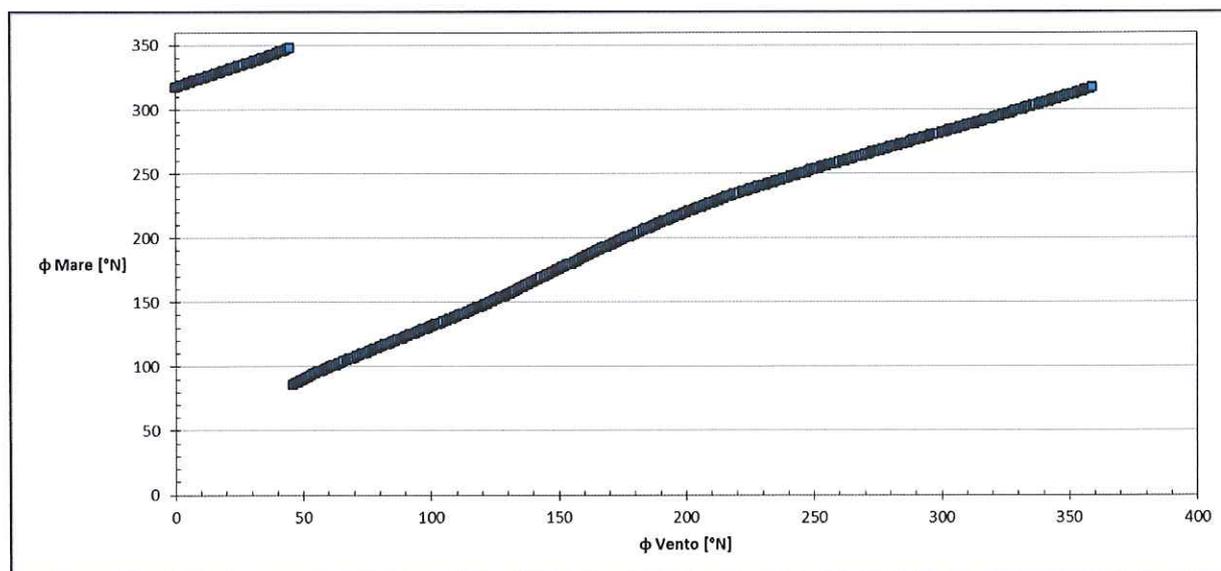


Figura 8 – Deviazione Vento-Mare ondometro virtuale di Palimuro

Per l'applicazione del modello di trasposizione si impone la preliminare caratterizzazione dei fetch geografici ed efficaci per i due siti.

I valori dei fetch geografici ed efficaci, calcolati con riferimento al punto di trasposizione, sono riportati nei diagrammi polari delle Figure 9 e 10 e nella Tabella 3.

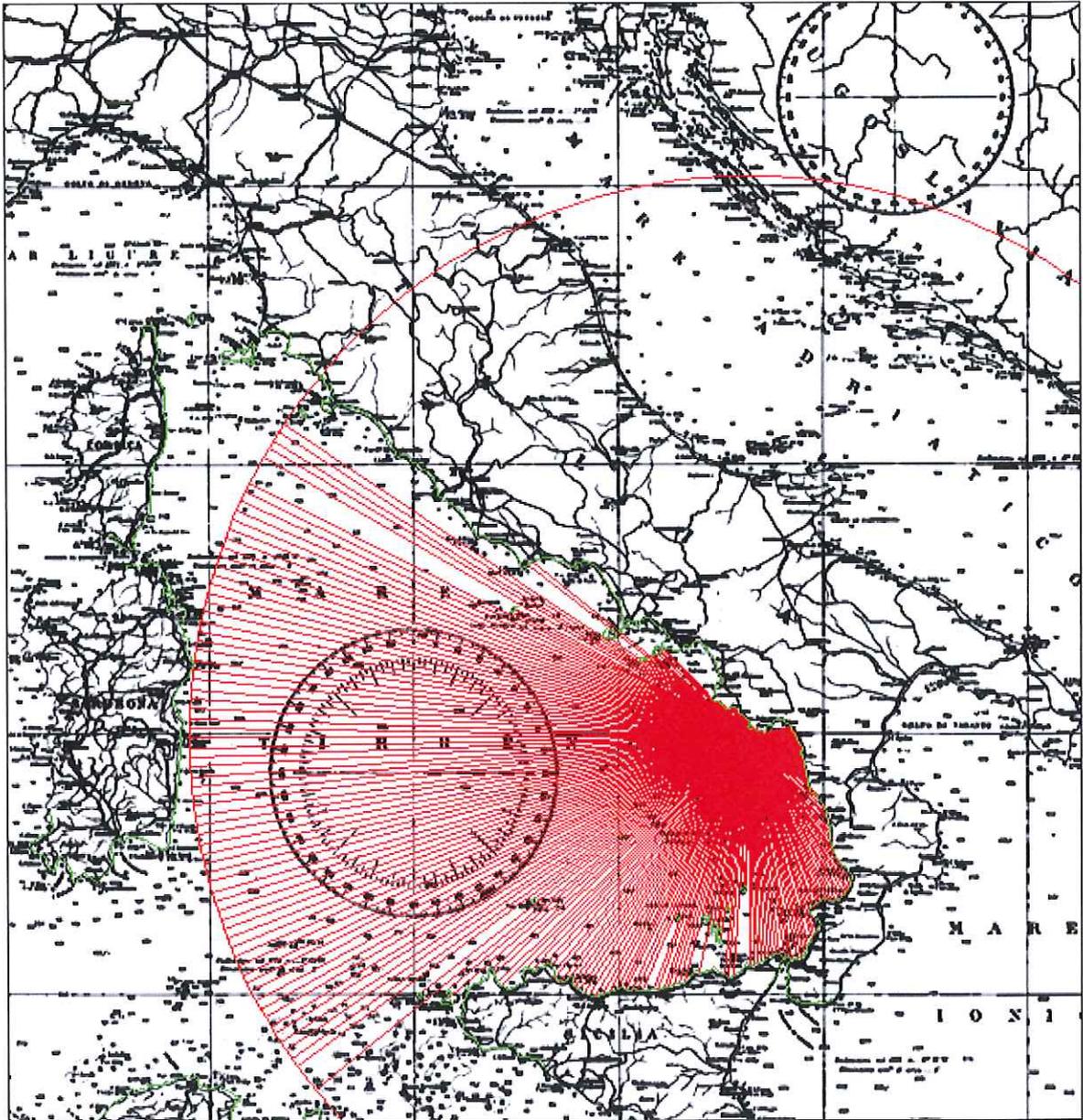


Figura 9 - Fetch geografici nel punto di trasposizione

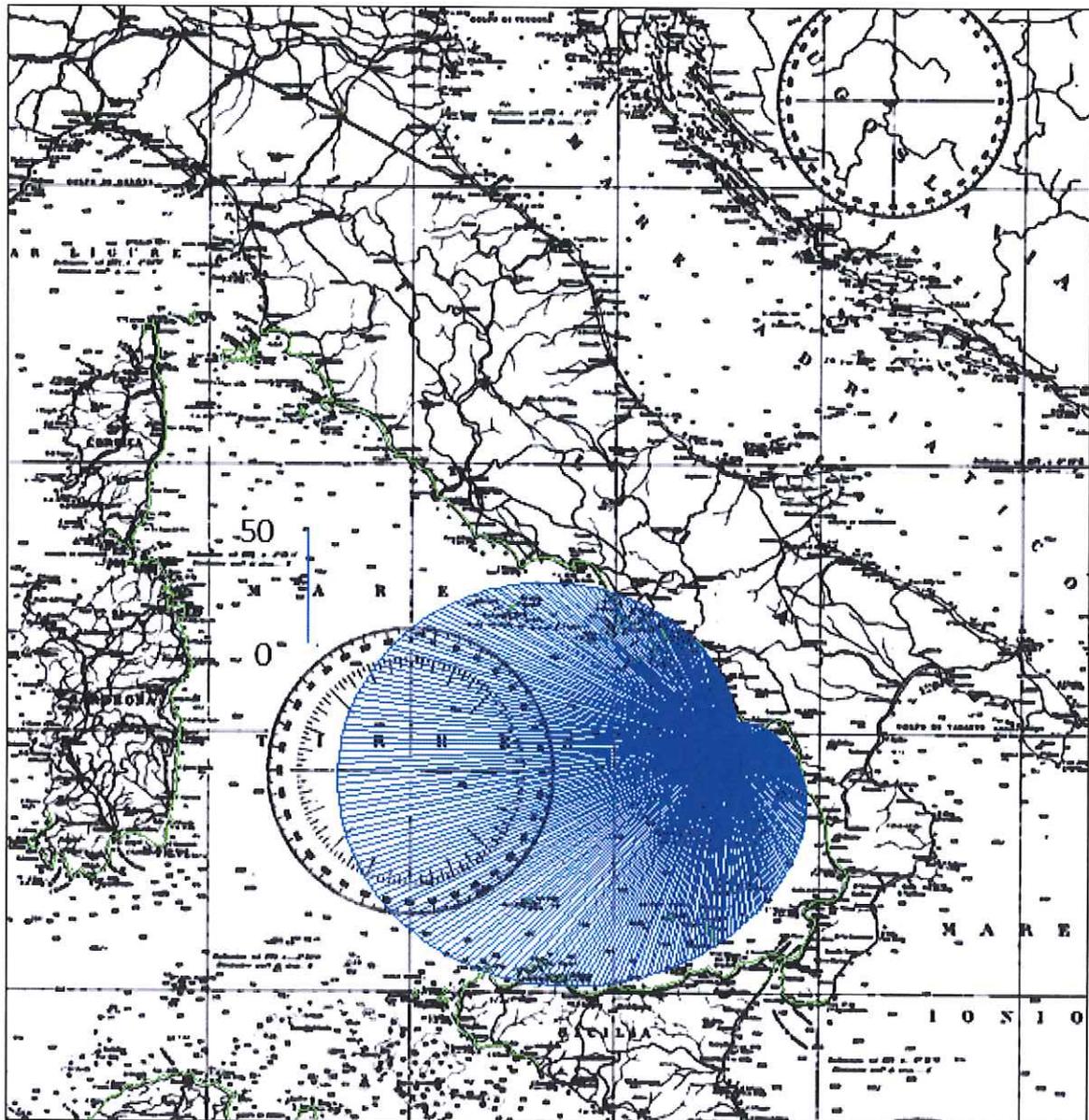


Figura 10 - Fetch efficaci nel punto di trasposizione

DD°N	Fe [Nm]	Fg [Nm]															
0	16.23	3.53	61	9.25	6.47	122	35.08	30.20	183	84.73	67.75	244	156.12	250.00	305	105.09	76.52
1	15.45	3.55	62	9.45	7.13	123	35.71	30.75	184	85.83	107.14	245	156.78	250.00	306	103.08	58.27
2	14.71	3.57	63	9.65	7.80	124	36.35	31.34	185	86.95	107.60	246	157.39	250.00	307	101.06	57.36
3	14.01	3.59	64	9.86	8.38	125	37.00	31.95	186	88.07	106.21	247	157.95	250.00	308	99.04	124.77
4	13.33	3.61	65	10.08	8.75	126	37.65	32.61	187	89.21	76.79	248	158.47	250.00	309	97.00	124.66
5	12.69	3.63	66	10.31	8.89	127	38.30	33.30	188	90.36	91.75	249	158.94	250.00	310	94.97	56.14
6	12.09	3.65	67	10.54	9.04	128	38.96	34.03	189	91.51	86.85	250	159.36	250.00	311	92.92	55.64
7	11.52	3.67	68	10.78	9.20	129	39.62	34.80	190	92.68	84.84	251	159.74	250.00	312	90.88	55.24
8	10.98	3.70	69	11.03	9.39	130	40.29	35.62	191	93.86	85.16	252	160.06	250.00	313	88.84	54.88
9	10.47	3.73	70	11.28	9.57	131	40.96	39.97	192	95.05	107.38	253	160.34	250.00	314	86.80	54.54
10	10.00	3.75	71	11.54	9.79	132	41.64	42.61	193	96.24	82.22	254	160.56	250.00	315	84.76	54.22
11	9.56	3.78	72	11.81	10.06	133	42.32	45.65	194	97.45	82.41	255	160.73	250.00	316	82.73	53.90
12	9.14	3.82	73	12.09	10.70	134	43.00	47.55	195	98.66	113.45	256	160.85	250.00	317	80.71	21.71
13	8.76	3.85	74	12.37	11.38	135	43.69	49.09	196	99.88	114.71	257	160.91	250.00	318	78.70	21.38
14	8.40	3.88	75	12.66	11.64	136	44.38	50.74	197	101.11	115.88	258	160.92	250.00	319	76.69	20.90
15	8.08	3.95	76	12.96	19.09	137	45.08	52.53	198	102.35	117.77	259	160.87	250.00	320	74.70	20.13
16	7.78	4.06	77	13.26	19.15	138	45.78	54.47	199	103.60	118.34	260	160.77	250.00	321	72.73	16.27
17	7.51	4.17	78	13.58	19.11	139	46.48	55.70	200	104.85	120.30	261	160.62	250.00	322	70.76	16.07
18	7.26	4.29	79	13.90	19.04	140	47.19	56.85	201	106.11	120.73	262	160.41	250.00	323	68.82	15.87
19	7.04	4.43	80	14.23	18.98	141	47.90	58.29	202	107.38	86.42	263	160.14	250.00	324	66.89	15.73
20	6.84	4.57	81	14.57	19.13	142	48.61	60.10	203	108.66	122.97	264	159.82	250.00	325	64.98	15.67
21	6.66	4.72	82	14.91	19.44	143	49.33	62.21	204	109.94	123.81	265	159.44	250.00	326	63.09	15.61
22	6.51	4.74	83	15.27	19.76	144	50.06	64.75	205	111.22	124.82	266	159.00	250.00	327	61.22	15.55
23	6.37	4.70	84	15.63	20.09	145	50.78	79.62	206	112.51	125.53	267	158.51	250.00	328	59.38	15.47
24	6.26	4.66	85	16.00	20.34	146	51.52	80.99	207	113.81	125.34	268	157.96	250.00	329	57.55	15.39
25	6.17	4.62	86	16.38	20.54	147	52.25	81.42	208	115.11	127.42	269	157.36	250.00	330	55.75	15.32
26	6.09	4.58	87	16.77	20.75	148	52.99	81.85	209	116.41	129.97	270	156.70	250.00	331	53.98	15.24
27	6.03	4.54	88	17.16	20.97	149	53.74	82.31	210	117.72	132.62	271	155.98	250.00	332	52.23	15.15
28	5.99	4.51	89	17.57	21.12	150	54.50	82.81	211	119.03	135.05	272	155.21	250.00	333	50.51	15.07
29	5.96	4.48	90	17.98	21.27	151	55.26	83.29	212	120.33	135.90	273	154.39	250.00	334	48.82	14.98
30	5.94	4.45	91	18.40	21.44	152	56.03	82.82	213	121.64	136.12	274	153.51	250.00	335	47.15	14.27
31	5.94	4.42	92	18.83	21.60	153	56.80	82.38	214	122.96	136.15	275	152.58	250.00	336	45.52	13.28
32	5.95	4.39	93	19.27	21.73	154	57.59	81.59	215	124.27	136.11	276	151.59	250.00	337	43.91	11.80
33	5.97	4.37	94	19.72	21.88	155	58.38	80.62	216	125.58	134.87	277	150.56	250.00	338	42.33	10.62
34	6.00	4.34	95	20.17	22.03	156	59.18	79.86	217	126.88	135.56	278	149.47	250.00	339	40.79	10.47
35	6.04	4.32	96	20.63	22.34	157	59.99	80.15	218	128.19	138.11	279	148.33	250.00	340	39.27	10.40
36	6.09	4.31	97	21.10	22.68	158	60.81	80.47	219	129.49	138.06	280	147.14	250.00	341	37.79	10.34
37	6.14	4.31	98	21.58	23.03	159	61.63	80.82	220	130.78	136.20	281	145.91	250.00	342	36.34	10.28
38	6.21	4.31	99	22.07	23.39	160	62.47	81.20	221	132.07	134.92	282	144.63	250.00	343	34.93	10.22
39	6.28	4.31	100	22.56	23.66	161	63.32	91.78	222	133.34	137.30	283	143.30	250.00	344	33.54	10.00
40	6.35	4.31	101	23.06	23.94	162	64.17	93.09	223	134.61	141.85	284	141.93	250.00	345	32.20	9.71
41	6.44	4.31	102	23.57	24.29	163	65.04	94.90	224	135.86	142.66	285	140.51	250.00	346	30.88	9.45
42	6.53	4.32	103	24.09	24.76	164	65.92	96.81	225	137.11	156.39	286	139.05	250.00	347	29.60	9.20
43	6.62	4.32	104	24.61	24.78	165	66.81	98.83	226	138.33	156.82	287	137.55	250.00	348	28.36	8.97
44	6.72	4.33	105	25.14	24.67	166	67.70	100.94	227	139.54	155.60	288	136.01	250.00	349	27.15	8.75
45	6.83	4.34	106	25.68	24.16	167	68.61	101.46	228	140.74	154.88	289	134.43	250.00	350	25.98	8.54
46	6.94	4.35	107	26.22	24.00	168	69.54	101.65	229	141.91	178.16	290	132.81	250.00	351	24.84	8.33
47	7.06	4.36	108	26.77	24.14	169	70.47	101.49	230	143.06	175.21	291	131.16	250.00	352	23.74	8.14
48	7.18	4.37	109	27.32	24.28	170	71.41	99.65	231	144.19	250.00	292	129.47	250.00	353	22.67	7.96
49	7.30	4.38	110	27.88	25.35	171	72.37	99.66	232	145.30	185.94	293	127.75	250.00	354	21.65	7.78
50	7.44	4.40	111	28.45	25.65	172	73.33	98.40	233	146.38	119.78	294	126.00	250.00	355	20.65	7.62
51	7.57	4.40	112	29.03	25.97	173	74.31	97.66	234	147.43	250.00	295	124.22	250.00	356	19.70	4.08
52	7.72	4.37	113	29.61	26.31	174	75.30	98.24	235	148.45	250.00	296	122.41	250.00	357	18.78	3.91
53	7.86	4.35	114	30.19	26.66	175	76.30	99.21	236	149.45	250.00	297	120.57	250.00	358	17.89	3.76
54	8.02	4.34	115	30.78	27.03	176	77.32	100.09	237	150.41	250.00	298	118.70	118.66	359	17.04	3.63
55	8.17	4.32	116	31.38	27.41	177	78.34	100.71	238	151.34	250.00	299	116.82	118.95			
56	8.34	4.31	117	31.98	27.82	178	79.38	101.37	239	152.23	250.00	300	114.91	250.00			
57	8.51	4.42	118	32.59	28.25	179	80.42	101.58	240	153.09	250.00	301	112.98	250.00			
58	8.68	4.53	119	33.21	28.70	180	81.48	101.82	241	153.90	250.00	302	111.03	250.00			
59	8.86	4.66	120	33.83	29.17	181	82.55	67.55	242	154.68	250.00	303	109.06	250.00			
60	9.05	5.81	121	34.45	29.67	182	83.64	67.12	243	155.42	250.00	304	107.08	250.00			

Tabella 3 – Fetch geografici ed efficaci nel punto di trasposizione

Note dunque le caratteristiche del moto ondoso registrate dall'ondametro, si definiscono i coefficienti correttivi H_p/H_o e T_p/T_o per il calcolo dell'altezza e del periodo dell'onda risultante nel punto di trasposizione geografica.

Di seguito, nella Tabella 4, è riportato il clima ondoso medio, in termini di frequenze annuali di apparizione associate alle classi di altezza d'onda e direzione di provenienza per il punto di trasposizione prescelto al largo di Sapri indicato in precedenza (ondametro virtuale). Gli stessi risultati sono illustrati sotto forma di diagramma polare dello stato del mare nella Figura 11.

Si è proceduto altresì a valutare le frequenze di apparizione associate alle classi di altezza d'onda e direzione di provenienza in termini stagionali. In particolare è stato analizzato il clima ondoso invernale relativo ai mesi di novembre, dicembre, gennaio e febbraio (Tab. 5, Fig. 12).

Dall'analisi dei risultati ottenuti si può notare la prevalenza degli stati di mare provenienti dal settore compreso tra le direzioni 210°N e 300°N , sia in termini di valori delle altezze d'onda, sia in termini di frequenza di apparizione.

Dai risultati ottenuti, in particolare, si osserva che relativamente al clima annuale si ha che:

- gli eventi caratterizzati da valori dell'altezza d'onda $H_s > 0.5$ m sono circa il 49.6% del totale, corrispondenti ad una durata di 181 gg/anno;
- le ondazioni in cui $2.50 < H_s < 3.50$ m, provengono dal settore, $150-330^\circ\text{N}$;
- le ondazioni estreme, $H_s > 4.00$ m, provengono dal settore, $240-300^\circ\text{N}$;
- la direzione caratterizzata dalla maggior frequenza di apparizione è la 270°N , con frequenze di circa il 12% (44 gg/ anno);

Relativamente al clima invernale:

- gli eventi caratterizzati da valori dell'altezza d'onda $H_s > 0.5$ m sono circa il 70% del totale;
- le ondazioni in cui $H_s > 2.50$ m, provengono dal settore, $270-290^\circ\text{N}$;
- le ondazioni estreme, $H_s > 4.00$ m, provengono dalla direzione 280°N ;
- la direzione caratterizzata dalla maggior frequenza di apparizione è la 280°N .

Nel grafico di Figura 13 si riporta l'andamento della funzione cumulata omnidirezionale del clima ondoso annuale ricavata partendo dalla matrice climatica di largo.

Classi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	TOT.
	H<0.25	H<0.50	H<1.00	H<1.50	H<2.00	H<2.50	H<3.00	H<3.50	H<4.00	H<4.50	H<5.00	H<5.50	H<6.00	H<6.50	H<7.00	H<7.50	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	0.667035	1.021298	1.135131	0.105321	0.008511	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.937297
100	0.768101	1.210664	1.291517	0.111705	0.007447	0.001064	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.390498
110	0.726611	1.087257	0.8064	0.085108	0.010639	0.002128	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.718143
120	0.691504	0.871295	0.481925	0.078725	0.010639	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.134088
130	0.693632	0.788315	0.567033	0.096811	0.006383	0.002128	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.154301
140	0.634056	0.665972	0.609587	0.196813	0.029788	0.002128	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.138343
150	0.753208	0.767038	0.652142	0.234048	0.035107	0.003192	0.001064	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.445797
160	0.568097	0.638311	0.457457	0.107449	0.015958	0.004255	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.791527
170	0.495755	0.598949	0.496819	0.174472	0.04149	0.007447	0.001064	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.815996
180	0.460648	0.571289	0.565969	0.175536	0.026596	0.006383	0.001064	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.807485
190	0.517032	0.754271	0.714909	0.175536	0.058512	0.012766	0.003192	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.236218
200	0.506394	0.755335	0.75108	0.200004	0.087236	0.023405	0.007447	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.330901
210	0.619162	0.860657	1.023426	0.337241	0.137237	0.036171	0.011702	0.001064	0	0	0	0	0	0	0	0	3.02666
220	0.851082	1.438328	1.23726	0.407455	0.178727	0.042554	0.020213	0.003192	0	0	0	0	0	0	0	0	4.178812
230	0.82023	1.491521	1.109598	0.401072	0.150003	0.071278	0.029788	0.004255	0.002128	0	0	0	0	0	0	0	4.079874
240	0.964914	1.805358	1.244707	0.687249	0.385115	0.145748	0.068087	0.037235	0.015958	0.012766	0.009575	0.005319	0	0	0.001064	0	5.383093
250	1.09364	1.778761	1.841529	0.926615	0.451073	0.239367	0.098938	0.05532	0.032979	0.007447	0.001064	0.002128	0.001064	0	0	0	6.529926
260	1.11279	2.054299	2.661759	1.125556	0.721292	0.377668	0.182983	0.114896	0.075534	0.045746	0.01383	0.010639	0	0.002128	0	0	8.499117
270	1.124492	2.643673	3.31922	1.901104	1.600034	0.823422	0.479797	0.319156	0.155322	0.109577	0.058512	0.035107	0.023405	0.018085	0.002128	0.004255	12.61729
280	1.211728	2.931977	3.64795	1.889402	1.018107	0.5798	0.208515	0.121279	0.056384	0.022341	0.019149	0.022341	0.010639	0.004255	0	0.001064	11.74493
290	1.169174	2.597928	1.83089	0.473414	0.161706	0.068087	0.031916	0.015958	0.010639	0.005319	0	0.002128	0	0	0	0	6.367157
300	0.680866	1.271304	0.734058	0.248941	0.091491	0.028724	0.022341	0.006383	0.001064	0.001064	0	0	0	0.001064	0	0	3.0873
310	0.528735	0.469159	0.318092	0.101066	0.029788	0.018085	0.001064	0.001064	0.001064	0	0	0	0	0	0	0	1.468116
320	0.426605	0.312773	0.239367	0.047873	0.021277	0.005519	0	0.001064	0	0	0	0	0	0	0	0	1.054278
330	0.462776	0.319156	0.172344	0.028724	0.014894	0.008511	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.006404
340	0.687249	0.559586	0.409583	0.054256	0.006383	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.717058
350	0.367029	0.481925	0.432988	0.053193	0.004255	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.33939
TOT.	19.60254	30.7464	28.75274	10.42469	5.309687	2.509628	1.169174	0.680866	0.351071	0.20426	0.10213	0.077661	0.035107	0.025532	0.003192	0.005319	100

Tabella 4 – Clima Ondoso Annuale

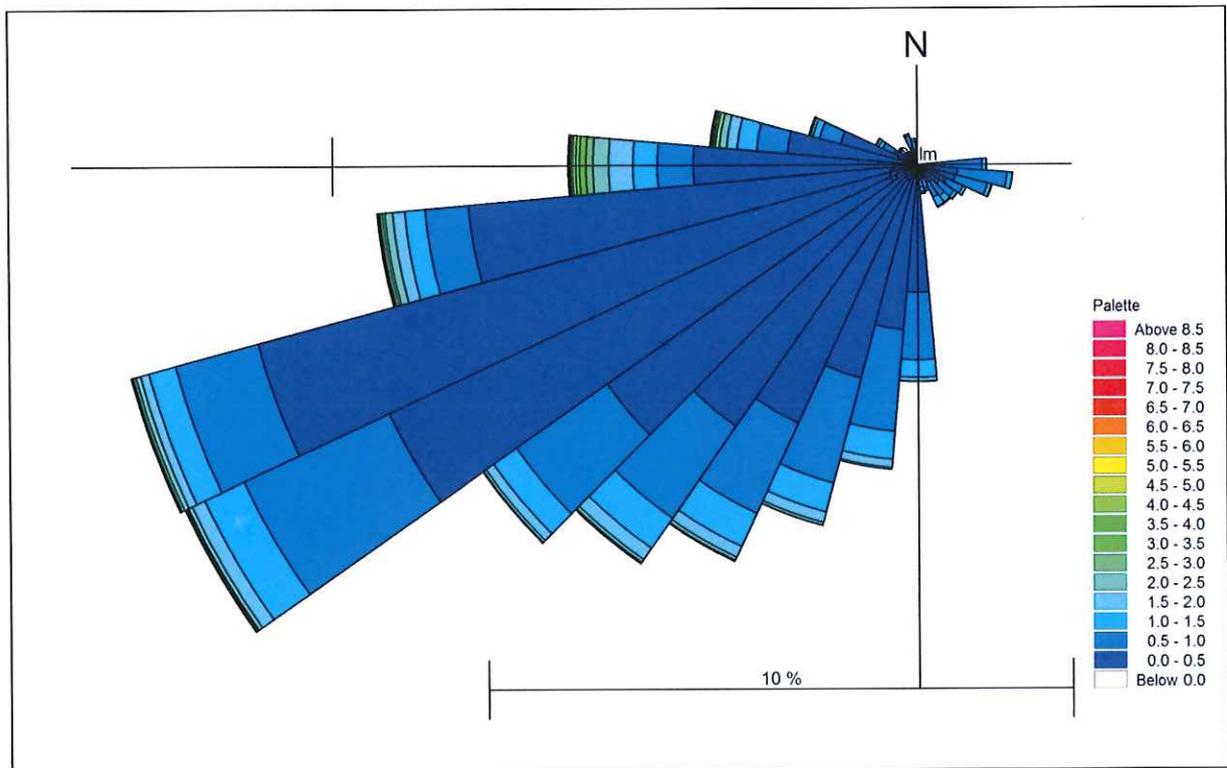


Figura 11 – Diagramma Polare Clima Ondoso Annuale

Classi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	TOT.
	H<0.25	H<0.50	H<1.00	H<1.50	H<2.00	H<2.50	H<3.00	H<3.50	H<4.00	H<4.50	H<5.00	H<5.50	H<6.00	H<6.50	H<7.00	H<7.50	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	0.42079	1.313021	2.322138	0.264942	0.031117	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.352061
100	0.603912	1.955895	3.101379	0.331177	0.015585	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.007948
110	0.588327	1.893556	2.080574	0.249357	0.035066	0.003896	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.850775
120	0.572742	1.457181	1.145484	0.210395	0.019481	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.405283
130	0.576638	1.114315	1.141588	0.237669	0.023377	0.003896	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.097483
140	0.50261	0.822099	1.075353	0.490922	0.089613	0.007792	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.988389
150	0.522091	0.736383	1.01691	0.607808	0.093509	0.007792	0.003896	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.988389
160	0.264942	0.522091	0.751968	0.171433	0.050651	0.011689	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.772773
170	0.167537	0.514299	0.744175	0.292215	0.101301	0.023377	0.003896	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.846801
180	0.249357	0.490922	0.802618	0.3078	0.058443	0.015585	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.924725
190	0.245461	0.67794	0.981844	0.296112	0.101301	0.011689	0.011689	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.326034
200	0.253253	0.475337	0.938985	0.366243	0.202603	0.070132	0.023377	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.329931
210	0.459752	0.716902	1.137692	0.576638	0.280527	0.08182	0.023377	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.276708
220	0.685732	1.449388	1.126003	0.553261	0.319489	0.077924	0.042858	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.254656
230	0.64677	1.215616	1.215616	0.518195	0.222084	0.11299	0.062339	0.011689	0.007792	0	0	0	0	0	0	0	4.013091
240	0.681836	1.426011	1.266267	0.888335	0.603912	0.218187	0.097405	0.054547	0.035066	0.03117	0.027273	0.003896	0	0	0	0	5.339305
250	0.751968	1.671472	1.97148	1.37536	0.514299	0.300008	0.163641	0.093509	0.019481	0.015585	0.003896	0.003896	0	0	0	0	6.884594
260	0.693525	1.644199	2.555911	1.285748	0.763656	0.490922	0.14416	0.163641	0.077924	0.054547	0.023377	0.011689	0	0.007792	0	0	7.917089
270	0.545469	1.531209	2.205252	1.523416	1.51952	0.970155	0.424686	0.412998	0.214291	0.202603	0.116886	0.058443	0.058443	0	0	0	9.849606
280	0.490922	1.363672	1.90914	1.207824	0.693525	0.448064	0.229876	0.120782	0.070132	0.027273	0.042858	0.050651	0.038962	0.015585	0	0	6.713161
290	0.561054	1.398738	1.344191	0.432479	0.128575	0.066235	0.03117	0.015585	0	0	0	0.003896	0	0	0	0	3.981922
300	0.475337	1.126003	0.779241	0.288319	0.128575	0.038962	0.019481	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.855918
310	0.53378	0.459752	0.327281	0.093509	0.027273	0.023377	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.464973
320	0.395517	0.303904	0.206499	0.062339	0.027273	0.003896	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.997429
330	0.366243	0.335074	0.171433	0.035066	0.011689	0.007792	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.927297
340	0.416894	0.681836	0.779241	0.116886	0.007792	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.002649
350	0.167537	0.471441	0.837684	0.151952	0.007792	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.636406
TOT.	12.838	27.76825	33.93595	12.9354	6.07808	2.996182	1.281851	0.87275	0.424686	0.331177	0.214291	0.132471	0.097405	0.08182	0	0.011689	100

Tabella 5 – Clima Ondoso Invernale

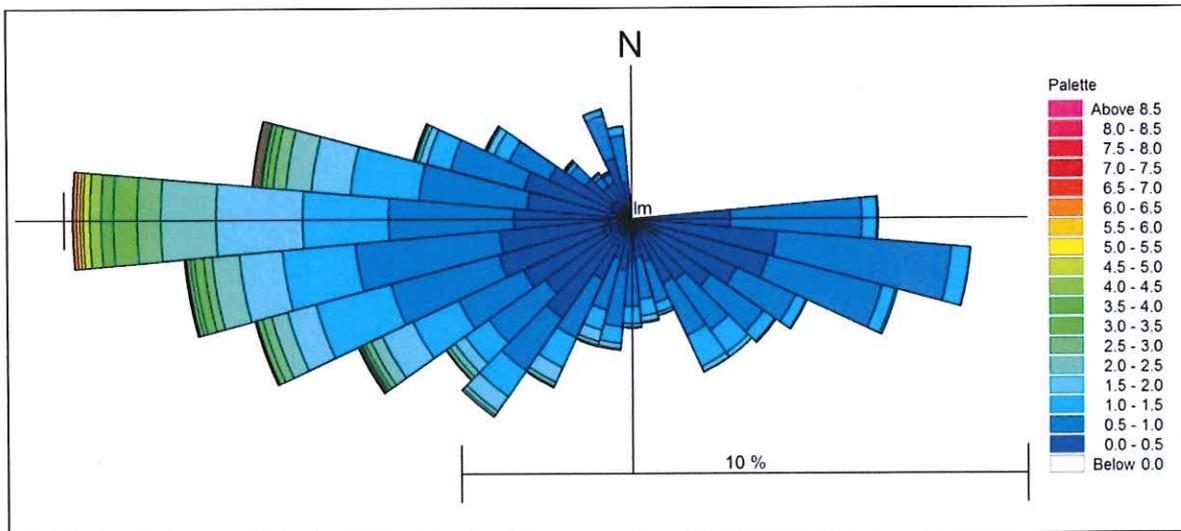


Figura 12 – Diagramma Polare Clima Ondoso Invernale

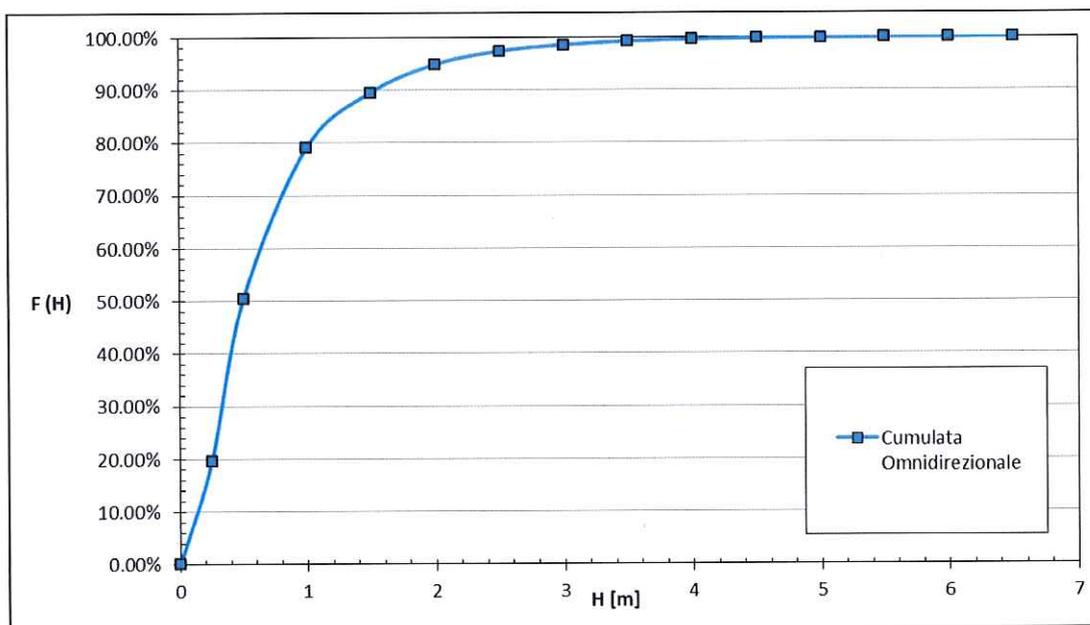


Figura 13 – Funzione cumulata del clima ondoso annuale di largo

2.3. Esposizione del paraggio agli eventi estremi

Allo scopo di valutare le caratteristiche delle ondate estreme che con maggior frequenza annuale attaccano il porto di Palinuro, il set di dati a disposizione, costituito dai massimi annuali di altezza d'onda ($H_s > 3$ m) della serie storica di registrazioni ondametriche trasposte, è stato analizzato mettendo in relazione la percentuale di apparizione delle ondate estreme rispetto alle direzioni di provenienza delle stesse.

Tale correlazione è mostrata nell'istogramma di Figura 14.

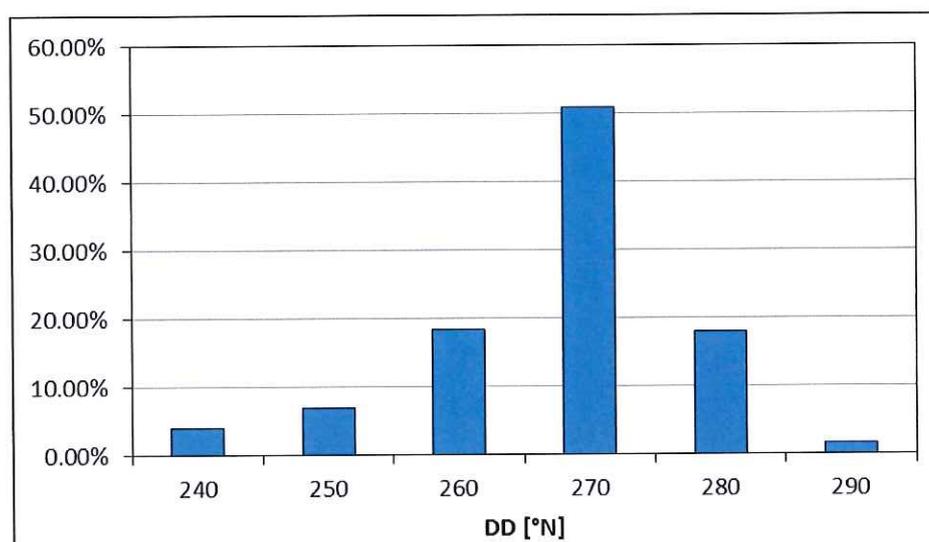


Figura 14 – Relazione tra percentuale di apparizione delle ondate estreme e direzioni

Dall'analisi dei risultati ottenuti si può notare la prevalenza, in termini di frequenza di apparizione, delle ondate estreme provenienti dalla direzione 270°N (direzioni di ponente).

2.4. Statistica delle onde estreme

L'analisi statistica degli eventi ondosi estremi costituisce lo strumento fondamentale per poter giungere alla definizione dell'onda di progetto, ossia dell'onda rappresentativa delle condizioni ambientali da assumere a base della progettazione delle opere marittime.

Tale onda, in genere rappresentata da un'onda significativa, la quale descrive uno stato di mare, viene di norma precisata in termini di altezza, periodo e direzione di propagazione, sulla base del periodo di ritorno degli eventi ondosi che la contengono.

A tal fine è necessaria la conoscenza della funzione analitica di distribuzione a lungo termine delle altezze significative H_s , che viene selezionata e precisata a partire dai dati di altezza significativa che si sono verificate nel bacino marino in considerazione durante il tempo di osservazione.

La selezione del campione di dati rappresenta uno degli aspetti più delicati e determinanti per l'attendibilità delle estrapolazioni statistiche. Per la selezione dei dati a cui applicare le leggi di distribuzione, si è utilizzato sia il procedimento che considera i massimi annuali delle altezze d'onda, che il metodo delle "serie tronche", detto anche delle "serie di durata parziale sopra soglia" (*Peak Over Treshold – POT*).

L'analisi statistica degli eventi ondosi estremi è stata effettuata utilizzando la procedura che utilizza funzioni di distribuzione note. Nel presente studio, il set di dati a disposizione, costituito dai massimi annuali di altezza d'onda della serie storica dei dati ondometrici trasposti, è stato dunque adattato alla distribuzione dei valori estremi di Gumbel.

In tal modo una volta calcolati i parametri di tale distribuzione, quest'ultima è stata estrapolata oltre il periodo di osservazione dei dati per ottenere l'altezza ed il periodo dell'onda di progetto per assegnati periodi di ritorno.

La distribuzione di Gumbel, o Fisher-Tippet I, sviluppata nel contesto della previsione delle piene fluviali ed in seguito applicata alle altezze d'onda estreme, presenta una probabilità cumulata data da:

$$P(H) = \exp\{-\exp[-(H - \varepsilon)/\theta]\}$$

essendo:

ε = parametro di posizione;

θ = parametro di forma.

Il piano probabilistico è definito in ascissa dai valori di H, ed in ordinata dai valori della variabile trasformata:

$$W = -\ln\{-\ln[P(H)]\}$$

L'adattamento dei dati alla distribuzione scelta viene effettuato riducendo le altezze d'onda selezionate ad un set di punti da plottare su carta probabilistica.

A tal fine i dati sono ordinati in senso decrescente, con riferimento ad un indice m tale che ad $m = 1$ corrisponde l'onda più alta ed a $m = N$ l'onda più bassa:

$$C_{H_m} = \{H_m\}_{m-1}^N$$

Con la predetta operazione di ordinamento, la probabilità totale $P(H_m)$ e la probabilità di superamento $Q(H_m)$ da associare ad ogni H_m sono date dalle relazioni:

$$P(H_m) = 1 - \frac{m}{N + 1}$$

$$Q(H_m) = m/(N + 1)$$

le quali rappresentano le relazioni di base per precisare la forma della funzione analitica di distribuzione a lungo termine delle altezze significative, la cui conoscenza è necessaria per poter operare un'estrapolazione dei dati oltre il periodo di osservazione.

Per individuare la retta interpolatrice che sulla carta probabilistica costituisce il miglior adattamento dei dati alla distribuzione è necessario determinare i parametri di quest'ultima con il metodo dei momenti, che si basa sull'eguaglianza tra il valore medio μ_H e la varianza $\sigma^2 H$ dedotti dalle altezze ottenute con la funzione analitica di distribuzione e quelli μ_{H_m} e $\sigma^2 H_m$ ottenuti a partire dalla popolazione statistica.

Una volta effettuato l'adattamento dei dati alla distribuzione di probabilità, questa deve essere estrapolata allo scopo di individuare l'altezza d'onda di progetto corrispondente ad un prefissato periodo di ritorno.

Il tempo di ritorno, definito come l'intervallo di tempo medio tra eventi ondosi consecutivi caratterizzati da altezze d'onda che eguagliano o superano l'altezza di riferimento H_{Tr} , è, infatti, correlato alla probabilità di superamento dalla relazione:

$$Q(H_{Tr}) = \frac{1}{Tr} \frac{\tau}{N}$$

dove τ è il tempo di osservazione e N il numero dei valori selezionati, Il rapporto τ / N rappresenta l'intervallo medio con cui si succedono nel tempo i dati della popolazione statistica.

Pertanto la probabilità di non superamento della soglia H_{Tr} per la distribuzione di Gumbel è data dalla relazione:

$$H_{Tr} = \vartheta' \left[-\ln \ln \left(\frac{\lambda Tr}{\lambda Tr - 1} \right) \right] + \varepsilon'$$

Il periodo d'onda T_s , dello stato di mare di altezza d'onda significativa H_{Tr} è stato calcolato mediante la seguente relazione:

$$T_s = \frac{9\pi}{1.05} \sqrt{\frac{H_s}{4g}}$$

Quanto alla direzionalità delle ondazioni, in base all'analisi degli eventi estremi effettuata nel paragrafo precedente, si è assunto che le condizioni estreme provengano dalla direzione $270^\circ N$. Tale direzione risulta, infatti, quella caratterizzata dalla maggior frequenza di apparizione degli eventi estremi riscontrati al largo del sito in esame.

Di seguito nelle Tabella 6 si riassumono i valori di altezza d'onda, periodo e direzione ricavati dall'analisi statistica descritta in precedenza per i valori di periodo di ritorno pari ad 5, 10, 30 e 50 anni.

Periodo di Ritorno Tr [anni]	Hs [m]	Tp [s]	Dir. [°N]
5	6.94	11.22	270
10	7.39	11.58	270
30	7.97	12.03	270
50	8.36	12.32	270

Tabella 6 – Ondazioni estreme di largo

3. TRASFERIMENTO DEL MOTO ONDOSO

Per il trasferimento in prossimità del bacino portuale oggetto dello studio delle condizioni ondose di largo precedentemente individuate, sia in termini di matrici climatiche (annuale e stagionali) e sia di mareggiate estreme di progetto, sono state studiate le modifiche che subisce il moto ondoso nella propagazione verso riva conseguenti sia a processi conservativi (shoaling, rifrazione e diffrazione) sia a processi non conservativi (dissipazioni di energia).

A tal fine è stato adoperato un modello matematico basato sulla risoluzione delle equazioni sviluppate da Holtuijsen, Booij ed Herbers, che esprimono la conservazione dell'energia.

La prima fase della modellazione numerica ha richiesto la costruzione di un adeguato reticolo batimetrico che tenesse conto della topografia sottomarina del tratto di mare di interesse.

In prossimità dell'area d'interesse la batimetria è stata integrata con il rilievo di dettaglio disponibile.

In una seconda fase, si è proceduto a trasferire e ad estrarre le caratteristiche ondose estreme immediatamente al largo del molo di sopraflutto del porto, alla profondità orientativa di 18.0 m.

3.1. Descrizione del modello matematico utilizzato per il trasferimento del moto ondoso

Nel presente studio è stato utilizzato un modello numerico spettrale che descrive lo sviluppo, la propagazione e il decadimento delle onde in aree costiere basato sulle equazioni sviluppate da Holtuijsen, Booij ed Herbers, che esprimono la conservazione dell'energia:

$$\begin{aligned}\frac{\partial}{\partial x}(c_{gx} \cdot m_0) + \frac{\partial}{\partial y}(c_{gy} \cdot m_0) + \frac{\partial}{\partial \theta}(c_{\theta} \cdot m_0) &= T_0 \\ \frac{\partial}{\partial x}(c_{gx} \cdot m_1) + \frac{\partial}{\partial y}(c_{gy} \cdot m_1) + \frac{\partial}{\partial \theta}(c_{\theta} \cdot m_1) &= T_1\end{aligned}$$

dove θ indica la direzione di propagazione dell'onda e x, y sono due assi cartesiani. In tali equazioni i termini m_0 e m_1 rappresentano i momenti di ordine 0 e 1 dello spettro di energia dell'onda.

In linea generale indicando con $A(\omega, \theta)$ la funzione che descrive lo spettro, il momento di ordine n è definito dall'integrale:

$$m_n(\theta) = \int_0^{\infty} \omega^n A(\omega, \theta) d\omega$$

in cui ω è la frequenza dell'onda.

I termini C_{gx} e C_{gy} sono le componenti lungo gli assi della celerità di gruppo, mentre C_{θ} esprime la celerità dell'onda; tali grandezze sono calcolate utilizzando la teoria lineare.

Il primo membro delle equazioni di conservazione dell'energia tiene conto degli effetti della rifrazione e dello shoaling. I termini sorgente T_0 e T_1 considerano gli effetti del vento, dell'attrito al fondo, delle correnti e del frangimento.

L'energia del moto ondoso si distribuisce lungo varie direzioni all'interno di un settore centrato rispetto alla direzione media di propagazione. Indicando con E_0 l'energia associata allo spettro:

$$E_0 = \frac{H_{m0}^2}{16}$$

La parte di energia che si distribuisce lungo la generica direzione θ è espressa in funzione dell'angolo rispetto alla direzione media di propagazione:

$$E(\theta) = E_0 \cdot D(\theta)$$

La funzione $D(\theta)$ viene detta funzione di dispersione direzionale, ed assume, per le onde di vento, una espressione caratteristica:

$$D(\theta) = \beta \cdot \cos^n \cdot (\theta - \theta_m)$$

L'esponente n (indice di dispersione o indice di *spreading*) determina la maggiore o minore concentrazione dell'energia attorno alla direzione media del moto ondoso d'insieme.

Il termine β è un coefficiente di normalizzazione, funzione di n , che garantisce la condizione:

$$\int_0^{2\pi} D(\theta) d\theta = 1$$

A valori di n elevati corrispondono spettri direzionali molto stretti e appuntiti che tendono a condizioni di stato di mare unidirezionale per $n \rightarrow \infty$.

Nei calcoli effettuati, sulla base di quanto dedotto dall'analisi dei dati della Rete Ondametrica Nazionale, si è posto $n = 4$.

3.2. Caratteristiche delle onde estreme in prossimità del paraggio

Le onde estreme valutate nel capitolo precedente, sono state trasferite in prossimità del molo di sopraflutto ed estratte ad una profondità di circa 18.0 m così da poter stimare la variazione subita da tali ondazioni a causa dei processi conservativi (shoaling, rifrazione e diffrazione) e dei processi non conservativi (dissipazioni di energia) che caratterizzano la propagazione del moto ondoso da alti fondali verso i bassi fondali e quindi determinare le i parametri ondosi con cui la struttura sarà sollecitata.

Il punto in questione P1 è indicato nella Figura 15; il trasferimento di tali onde estreme viene riportato nelle Figure da 16 a 19.

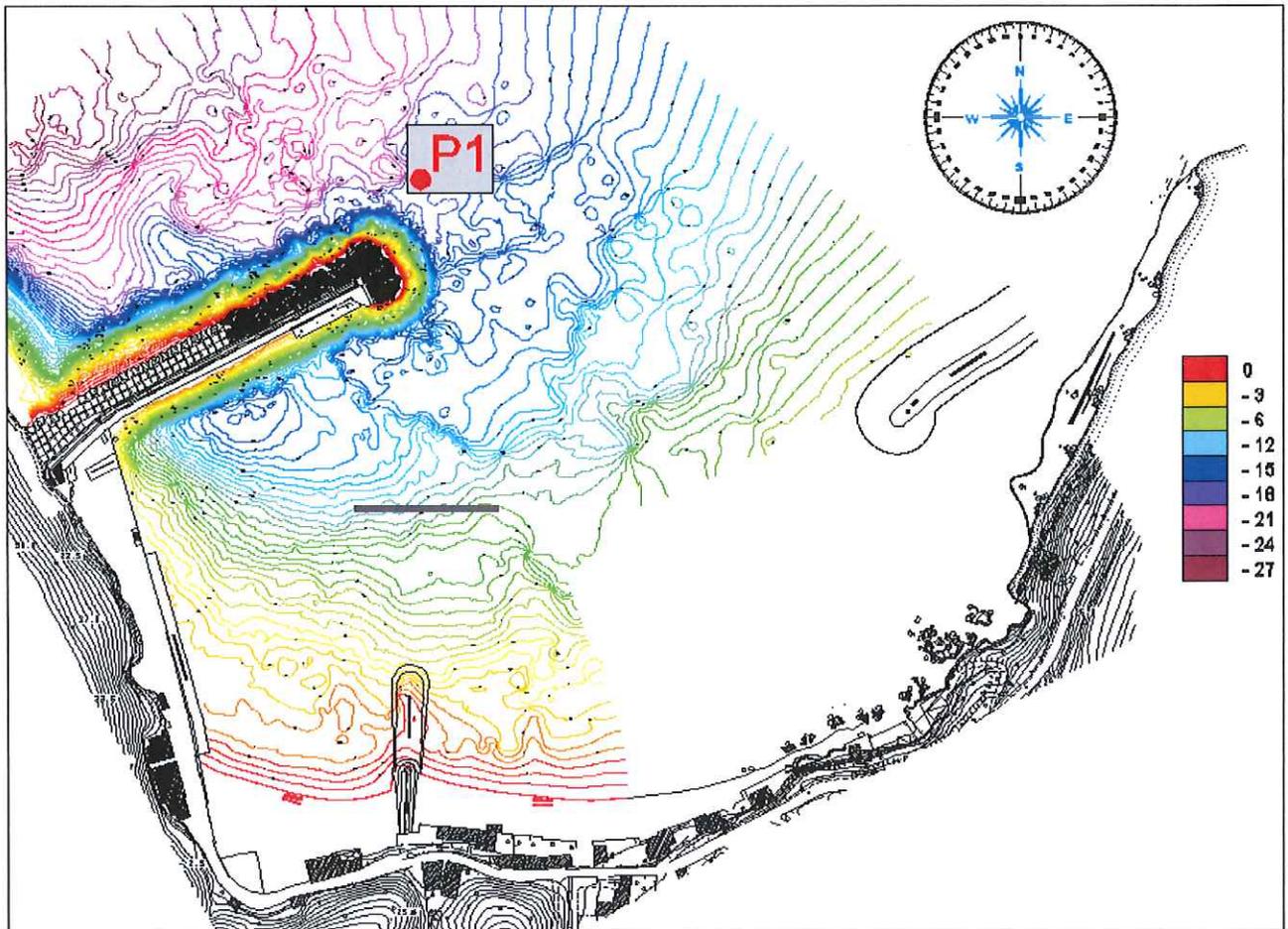


Figura 15 – Punto di estrazione alla profondità di 18m

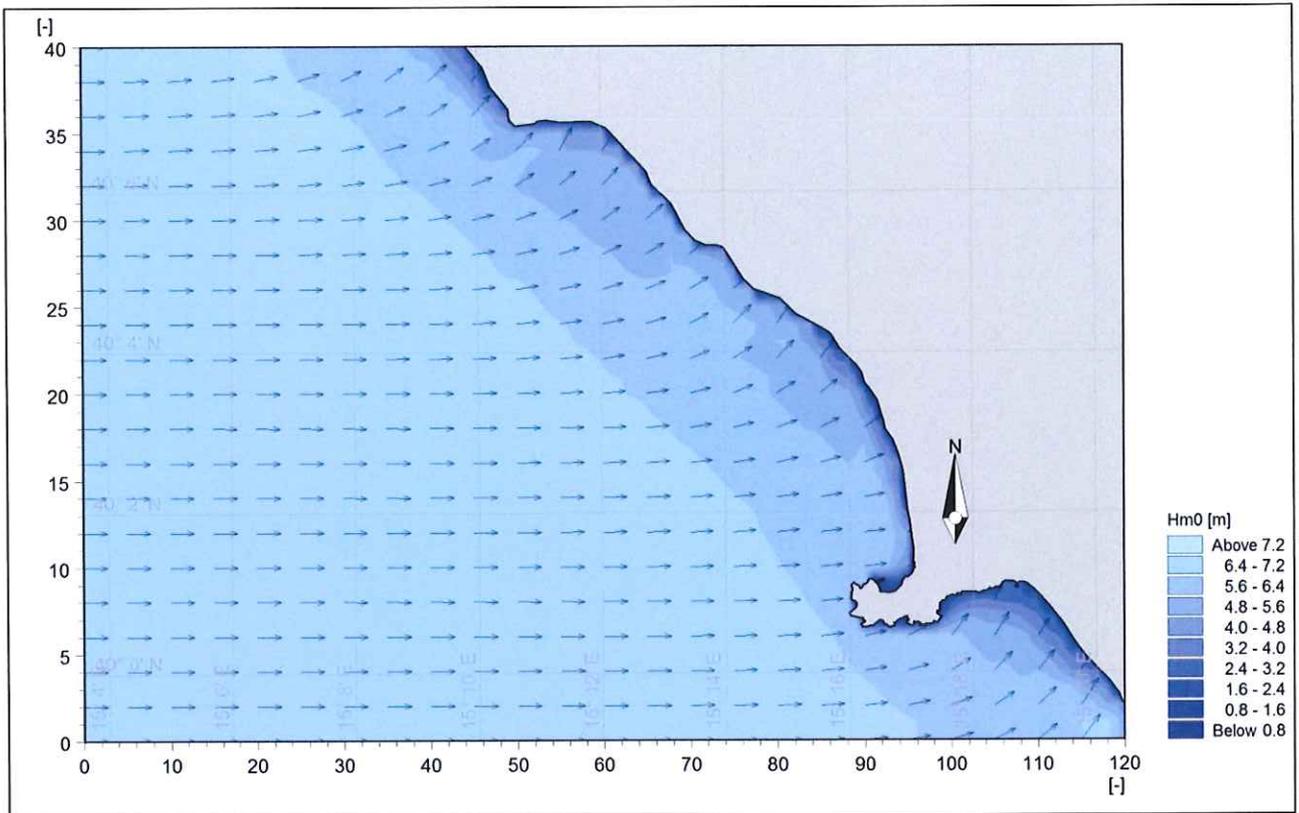


Figura 16 – Propagazione onda estrema $Tr=5$ anni

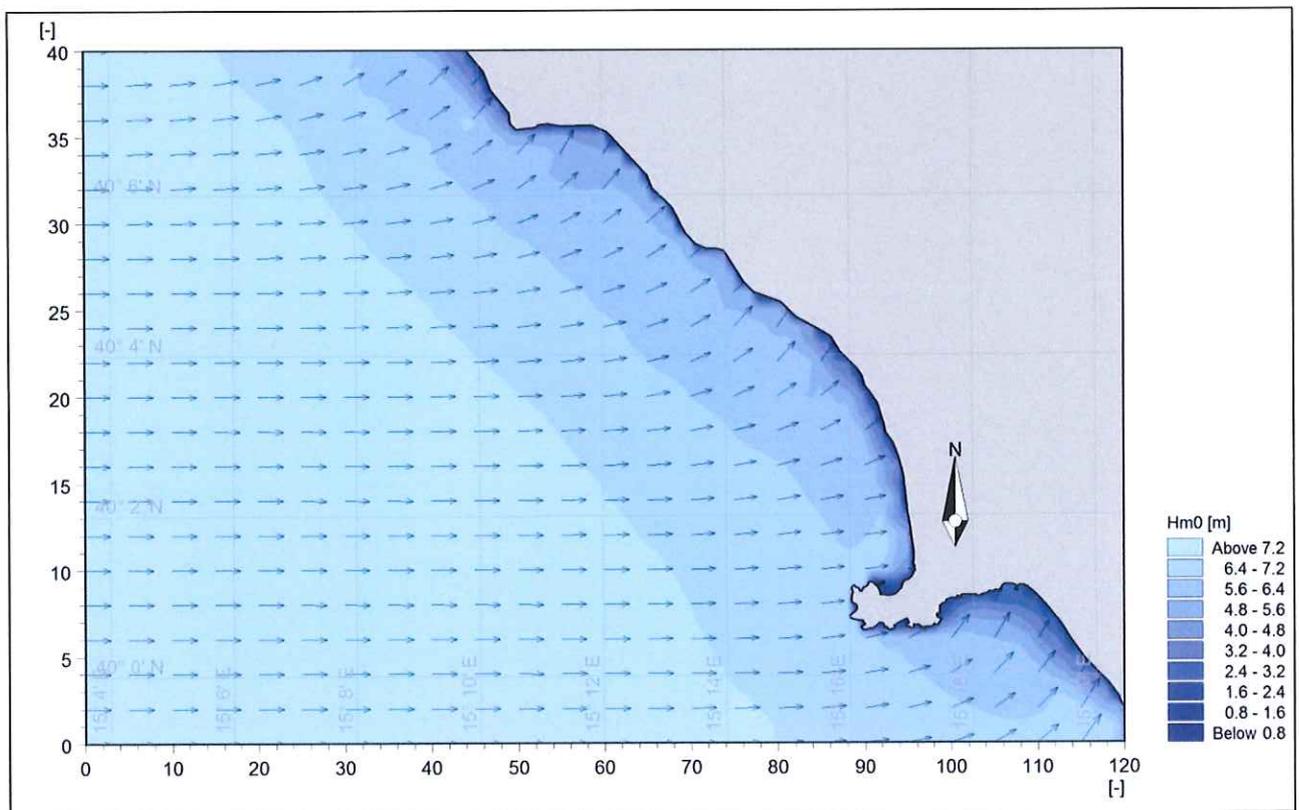


Figura 17 – Propagazione onda estrema $Tr=10$ anni

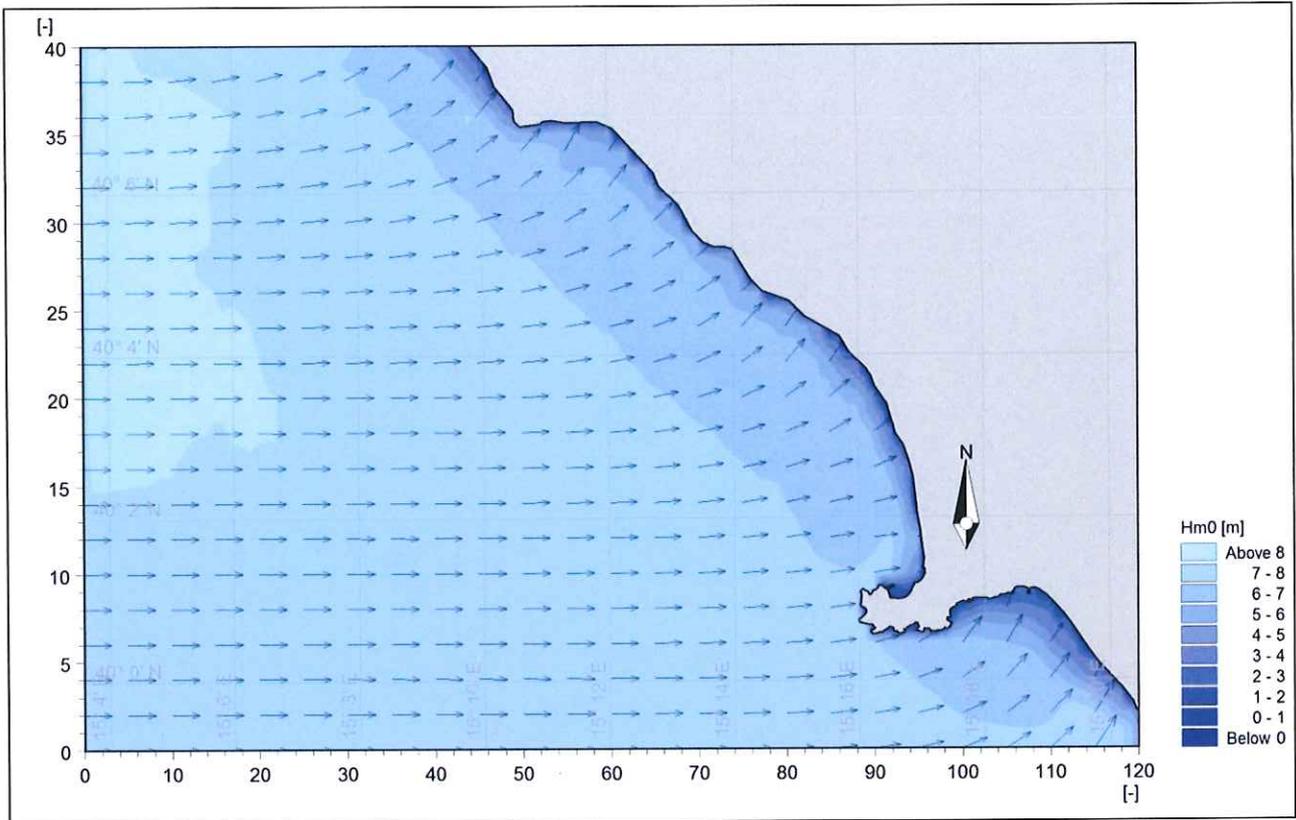


Figura 18 – Propagazione onda estrema $Tr=30$ anni

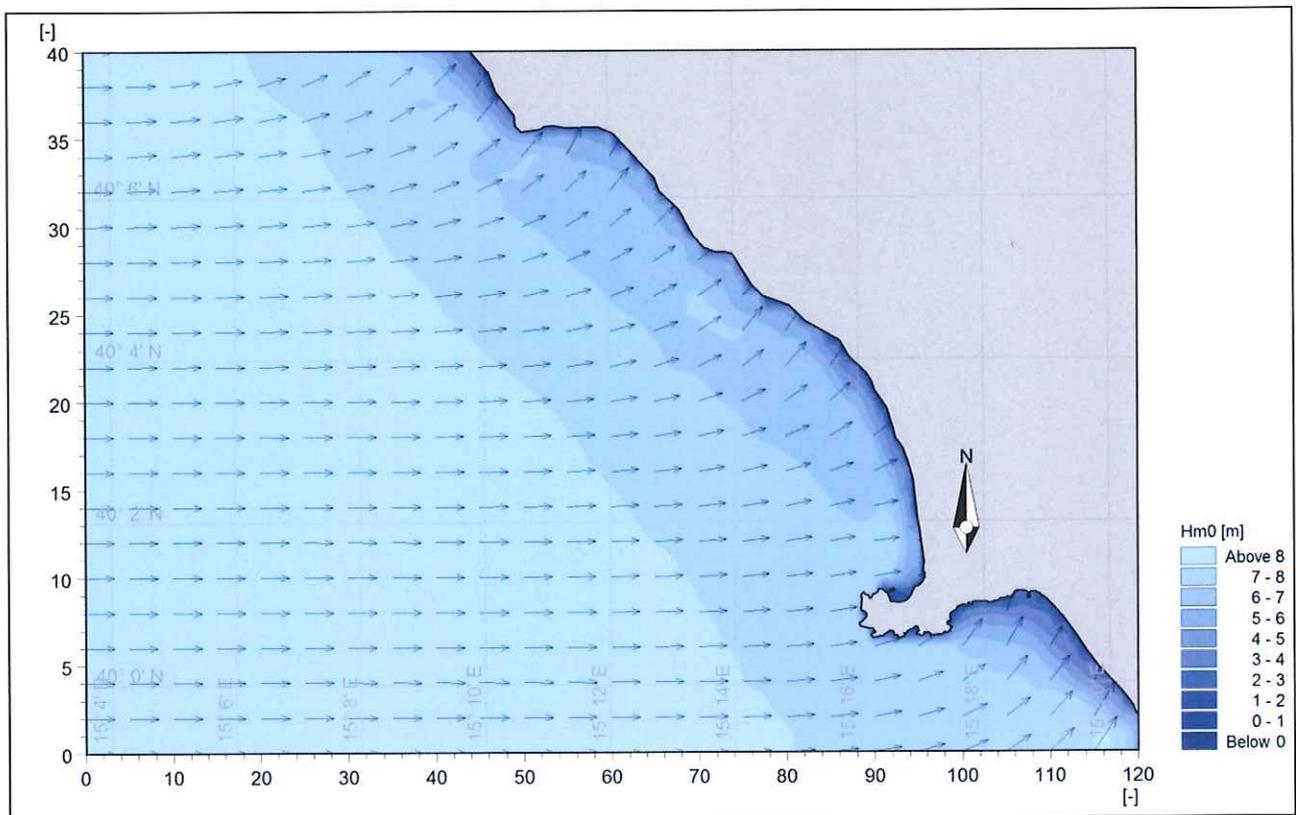


Figura 19 – Propagazione onda estrema $Tr=50$ anni

I valori ottenuti in prossimità del molo di sopraflutto del porto di Palinuro, nel punto P1, sono riportati nella seguente Tabella 7.

Periodo di Ritorno Tr [anni]	Hs [m]	Tp [s]	Dir. [°N]
5	6.08	11.22	268
10	6.48	11.58	267
30	6.99	12.03	267
50	7.34	12.32	267

Tabella 7 – Ondazioni estreme sotto costa

3.3. Clima ondoso sottocosta

La matrice climatica media annua e la matrice climatiche stagionale invernale ottenute all'ondametro virtuale sono state trasferite utilizzando il modello di calcolo descritto in precedenza, nel punto individuato in Figura 16.

I risultati di tale trasferimento sono indicati nelle Tabelle 8 e 9 in termini di matrice climatica e nelle Figure 20 e 21 sotto forma di diagramma polare dello stato del mare.

F(H)	H [m]	Giorni di Superamento in 1 anno
0.981	2.61	5.00

Tabella 7 – Onda con probabilità di superamento di 5 giorni l'anno

Classi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	TOT.
	H<0.25	H<0.50	H<1.00	H<1.50	H<2.00	H<2.50	H<3.00	H<3.50	H<4.00	H<4.50	H<5.00	H<5.50	H<6.00	H<6.50	H<7.00	H<7.50	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
190	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
230	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
260	0	0.370548	9.593083	4.666163	2.827146	1.159679	0.603856	0.466616	0.192136	0.061758	0.013724	0.006862	0	0	0	0	19.96157
270	0	1.475331	25.31394	16.06395	10.78021	5.173952	2.998696	1.372401	0.754821	0.439168	0.315652	0.150964	0.020586	0.03431	0	0	64.89398
280	0	0.569546	4.700473	2.339944	0.988129	0.44603	0.198998	0.054896	0.013724	0.006862	0.006862	0	0	0	0	0	9.325465
290	0	0.41172	2.436012	0.603856	0.13724	0.03431	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.623139
300	0.006862	0.494064	0.65189	0.054896	0.027448	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.235161
310	0.013724	0.638166	0.301928	0.006862	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.960681
320	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
330	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
340	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
350	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOT.	0.020586	3.959377	42.99732	23.73568	14.76017	6.813971	3.801551	1.893913	0.960681	0.507788	0.336238	0.157826	0.020586	0.03431	0	0	100

Tabella 8 – Matrice del clima ondoso medio annuo nel punto P1

Classi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	TOT.
	H<0.25	H<0.50	H<1.00	H<1.50	H<2.00	H<2.50	H<3.00	H<3.50	H<4.00	H<4.50	H<5.00	H<5.50	H<6.00	H<6.50	H<7.00	H<7.50	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
190	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
230	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
260	0	0.248614	6.310958	3.805699	2.352266	0.822337	0.631096	0.497227	0.210365	0.095621	0	0.019124	0	0	0	0	14.99331
270	0	0.97533	13.4825	10.82425	8.777969	4.761905	2.562631	1.606426	1.109199	0.764965	0.573723	0.458979	0.038248	0.038248	0	0	45.97437
280	0	1.663798	11.35972	5.393001	2.505259	1.128323	0.516351	0.133869	0.057372	0.038248	0.019124	0	0	0	0	0	22.81507
290	0	1.147447	6.789061	1.682922	0.382482	0.095621	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.09753
300	0.019124	1.376936	1.816791	0.152993	0.076496	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.442341
310	0.038248	1.778543	0.841461	0.019124	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.677376
320	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
330	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
340	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
350	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOT.	0.057372	7.190667	40.6005	21.87799	14.09447	6.808185	3.710078	2.237522	1.376936	0.898833	0.592848	0.478103	0.038248	0.038248	0	0	100

Tabella 9 – Matrice del clima ondoso invernale nel punto P1

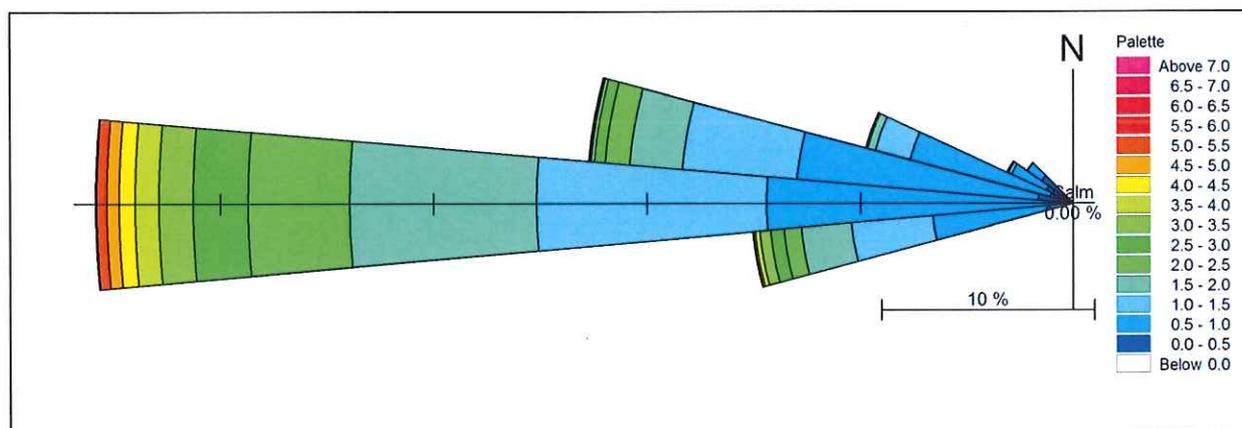


Figura 20 – Matrice del clima ondoso annuale nel punto P1

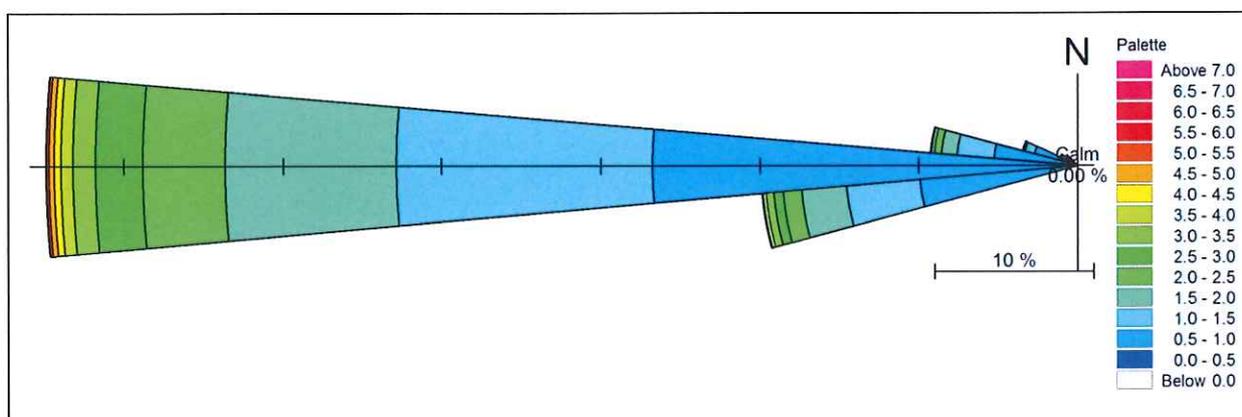


Figura 21 – Matrice del clima ondoso invernale nel punto P1

Dal confronto con i climi valutati a largo, si osserva sia per le condizioni annuali che stagionali:

- il sostanziale restringimento del settore di traversia alle sole ondatazioni provenienti dalle direzioni comprese tra 260° e 310°N;
- i valori di altezza d'onda più elevati provengono dal settore polare compreso tra 260°N e 290°N;
- le ondatazioni in cui $2.50 < H_s < 3.50$ m, provengono dal settore, 260-280°N;
- le ondatazioni estreme, $H_s > 4.00$ m, provengono dal settore, 260-280°N;
- la direzione caratterizzata dalla maggior frequenza di apparizione è la 270°N.

Di seguito nel grafico di Figura 22, si riporta la cumulata omnidirezionale del clima ondoso annuale ricavata alla profondità di -18 metri. Tale cumulata è stata ottenuta ridistribuendo nella matrice climatica, ricavata in prossimità dell'imboccatura portuale, le percentuali di eventi che durante il fenomeno della propagazione hanno modificato le proprie caratteristiche in termini di altezza d'onda e direzione.

Da questa, pertanto, è possibile ricavare l'altezza d'onda con probabilità di superamento minore di 5 giorni l'anno (Tabella 8).

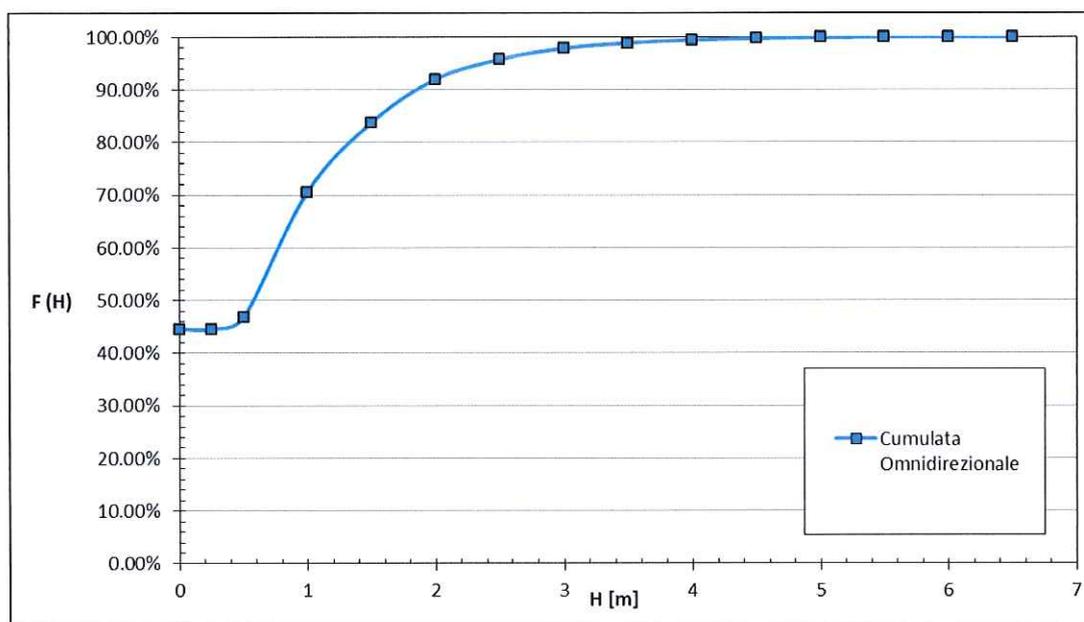


Figura 22 – Funzione cumulata del clima ondoso in corrispondenza della testata del molo di sopraflutto