



Regione PUGLIA



MINISTERO DELL'AMBIENTE  
E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE



Autorità Portuale di Taranto



Convenzione Sogesid S.p.A. - Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare  
Regione Puglia - Autorità Portuale di Taranto del 19 Luglio 2011

## INTERVENTI PER IL DRAGAGGIO DI 2,3 Mm<sup>3</sup> DI SEDIMENTI IN AREA MOLO POLISETTORIALE E PER LA REALIZZAZIONE DI UN PRIMO LOTTO DELLA CASSA DI COLMATA FUNZIONALE ALL'AMPLIAMENTO DEL V SPORGENTE DEL PORTO DI TARANTO PROGETTO DEFINITIVO

Titolo elaborato				Elaborato				
STUDIO METEOMARINO				ED 011				
Redatto da				GRUPPO DI LAVORO				
				<b>IL DIRETTORE TECNICO</b> <b>Ing. Carlo MESSINA</b>				
<b>Responsabile Servizio Operativo</b> <b>Bonifiche e Rifiuti :</b> <b>Ing. Enrico BRUGIOTTI</b>				<b>Il Responsabile del Procedimento</b>				
<b>Project Manager :</b> <b>Ing. Giuseppe ALFANO</b>				<b>Ing. G. ALFANO - Ing. R. GRADO</b> <small>(Opere Civili, Idraulica e Impiantistica)</small> <b>Geol. P. MARTINES - Geol. V. SPECCHIO</b> <small>(Geologia)</small> <b>Ing. F. LEO</b> <small>(Geotecnica, Sismica e Strutture)</small> <b>Ing. A. LUCIANO</b> <small>(Impianti Trattamento)</small> <b>Ing. M. TARTAGLINI</b> <small>(Opere Marittime)</small> <b>Ing. B. FERRARO</b> <small>(Computi metrici)</small> <b>Dott. C. CORSI - Biol. S.RANIA</b> <small>(Caratterizzazione Ambientale dei Sedimenti)</small> <b>Arch. K. ELIA - Arch. E. CONFORTI -</b> <b>Dott.ssa F. MONCADA - Geom. M. TEMPESTA</b> <small>(Elaborazioni grafiche)</small>				
Cod. Commessa		Codice			Nome file			Data : Ottobre 2012
PUG102		PD	ED	0	1	1	0	
					rev.			PUG102PDED011_0
Rev.	Data	Descrizione modifica				verificato		approvato
0	ott/2012	1 <sup>a</sup> Emissione						

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSE.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ESPOSIZIONE DEL PARAGGIO.....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>REGIME DEI VENTI .....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>VARIAZIONI DEL LIVELLO MARINO.....</b>	<b>11</b>
4.1	MAREA ASTRONOMICA .....	11
4.2	MAREA METEOROLOGICA .....	11
<b>5</b>	<b>CORRENTI.....</b>	<b>13</b>
<b>6</b>	<b>ONDAMETRIA .....</b>	<b>14</b>
6.1	METODOLOGIA DI LAVORO .....	14
6.2	SETTORE TRAVERSIA PRINCIPALE (130° - 160° N).....	15
6.2.1	Inquadramento geografico del paraggio e trasposizione geografica .....	15
6.3	FETCH EFFICACI.....	17
6.3.1	Regime ondoso registrato dalla boa accelerometrica RON di Crotona .....	18
6.3.2	Legge di dipendenza tra altezza significativa e periodo di picco .....	25
6.3.3	Trasposizione geografica al largo di Taranto .....	25
6.4	SETTORI DI TRAVERSIA SECONDARIO (170° - 230° N) .....	33
6.5	CLIMA ONDAMETRICO COMPLESSIVO .....	41
6.6	ANALISI STATISTICA DEGLI EVENTI ESTREMI DI MOTO ONDOSI AL LARGO DI TARANTO.....	47
<b>7</b>	<b>PROPAGAZIONE SOTTO COSTA DELLA SERIE DI MISURE</b>	
	<b>ONDAMETRICHE.....</b>	<b>53</b>
7.1	CONFIGURAZIONI SIMULATE ED IPOTESI DI CALCOLO .....	54
7.1.1	Studio della penetrazione del moto ondoso con il modello VEGA.....	56
7.2	ANALISI DEI RISULTATI.....	70
<b>8</b>	<b>ALLEGATO 1: DESCRIZIONE SINTETICA DEL MODELLO MATEMATICO</b>	
	<b>VEGA .....</b>	<b>71</b>

## **1 PREMESSE**

La presente relazione è stata redatta con riferimento al progetto definitivo del dragaggio della darsena del Molo Polisettoriale e del I lotto della cassa di colmata da realizzare a fianco del V Sporgente del Porto di Taranto, al fine di definire il quadro conoscitivo delle caratteristiche meteomarine che contraddistinguono il paraggio in esame, necessario ai fini della valutazione delle condizioni di moto ondoso durante le fasi realizzative.

I temi d'indagine principali del presente studio idraulico marittimo sono stati così articolati:

- caratteristiche geo-orografiche del paraggio (traversia del sito costiero);
- esposizione ai venti (stazioni meteorologiche A.M. e stazione semaforica dell' I.I.M.M.);
- variazione dei livelli marini;
- flusso principale delle correnti;
- esposizione al moto ondoso (stazione ondometrica di Crotona – R.O.N. - A.P.A.T.);
- trasposizione geografica del regime ondometrico al largo di Taranto
- trasferimento delle onde dal largo in prossimità delle opere in progetto.

La caratterizzazione geografica del sito in esame consente una prima valutazione delle condizioni di esposizione agli eventi meteomarine (essenzialmente vento e moto ondoso). L'analisi del regime dei venti è finalizzata principalmente ad una prima analisi qualitativa degli stati di mare generati dall'azione del vento: nella conduzione dell'analisi del regime anemologico si è fatto riferimento alle stazioni anemometriche localizzate nei paraggi dell'area di studio e, successivamente, si è proceduto ad una selezione delle stesse individuando la stazione avente esposizione ai venti dominanti il più possibile simile a quella dell'area di intervento.

Nelle fasi preliminari del presente studio è stata effettuata una ricerca delle fonti di dati disponibili al fine di definire il regime del moto ondoso al largo ed in prossimità delle opere in progetto. Per gli studi del moto ondoso si è fatto riferimento ad un ampio "ventaglio" di fonti di informazioni che comprendono misure dirette del vento e del moto ondoso. Per la definizione del regime d'onda si è fatto riferimento sia alla serie storica di dati ondometrici registrati dalla stazione ondometrica direzionale posta al largo di Crotona (appartenente alla Rete Ondometrica Nazionale dell'ISPRA e gestita dal Servizio Idrografico Nazionale), sia alla serie storica dei dati di vento registrati dalla stazione di Taranto (appartenente alla Rete Mareografica Nazionale sempre gestita dall'ISPRA). Tali serie storiche sono state utilizzate per definire, in relazione al settore di traversia del paraggio in esame ed attraverso due differenti metodi di ricostruzione indiretti del moto ondoso (trasposizione geografica e SMB), il regime d'onda in un punto opportunamente scelto poco al largo di Taranto. Sulla serie di dati ondometrici così ricostruiti è stata svolta una elaborazione statistica delle onde estreme in acqua profonda e diverse analisi volte alla definizione di tutti i parametri necessari per il corretto dimensionamento idraulico e strutturale delle opere portuali.

Il regime ondoso ricostruito al largo di Taranto è stato successivamente propagato sotto costa, in prossimità dell'area oggetto di intervento, attraverso l'applicazione del modello matematico VEGA che tiene conto dei fenomeni combinati di diffrazione e riflessione causate dalle opere e di

fondamentale importanza per lo studio dei livelli d'onda nell'area in esame.

Nella Figura 1.1 è illustrata l'ubicazione delle stazioni di misura del moto ondoso e del vento prese in considerazione nei paragrafi successivi, mentre nel seguito vengono elencati i dati utilizzati per la redazione del presente studio:

### **Cartografia e batimetria**

- Carta nautica n° 147 scala 1:40.000 "Litorale di Taranto";
- Carta nautica n° 148 scala 1:20.000 "Porto di Taranto e Mar Grande";
- Carta nautica n° 27 scala 1:100.000 "Da foce del Sinni a Torre dell'Ovo".

### **Dati anemometrici**

Misure del vento relative alla stazione mareografica di:

- Taranto (appartenente alla Rete Mareografica Nazionale gestita dall'ISPRA). Serie sinottica lug 1998- sett 2012);

Misure del vento (Aeronautica Militare) relative alle stazioni meteorologiche di:

- Taranto, tabelle di sintesi (serie sinottica 1951-1967);
- Policoro, tabelle di sintesi (serie sinottica 1953-1962);
- Marina di Ginosa, tabelle di sintesi (serie sinottica 1951-1977).

### **Dati ondametrici**

Registrazioni dirette del moto ondoso relative alla stazione ondametrica di:

- Crotona (appartenente alla Rete Ondametrica Nazionale gestita dall'ISPRA). Serie storica di riferimento da luglio 1989 a giugno 2007.

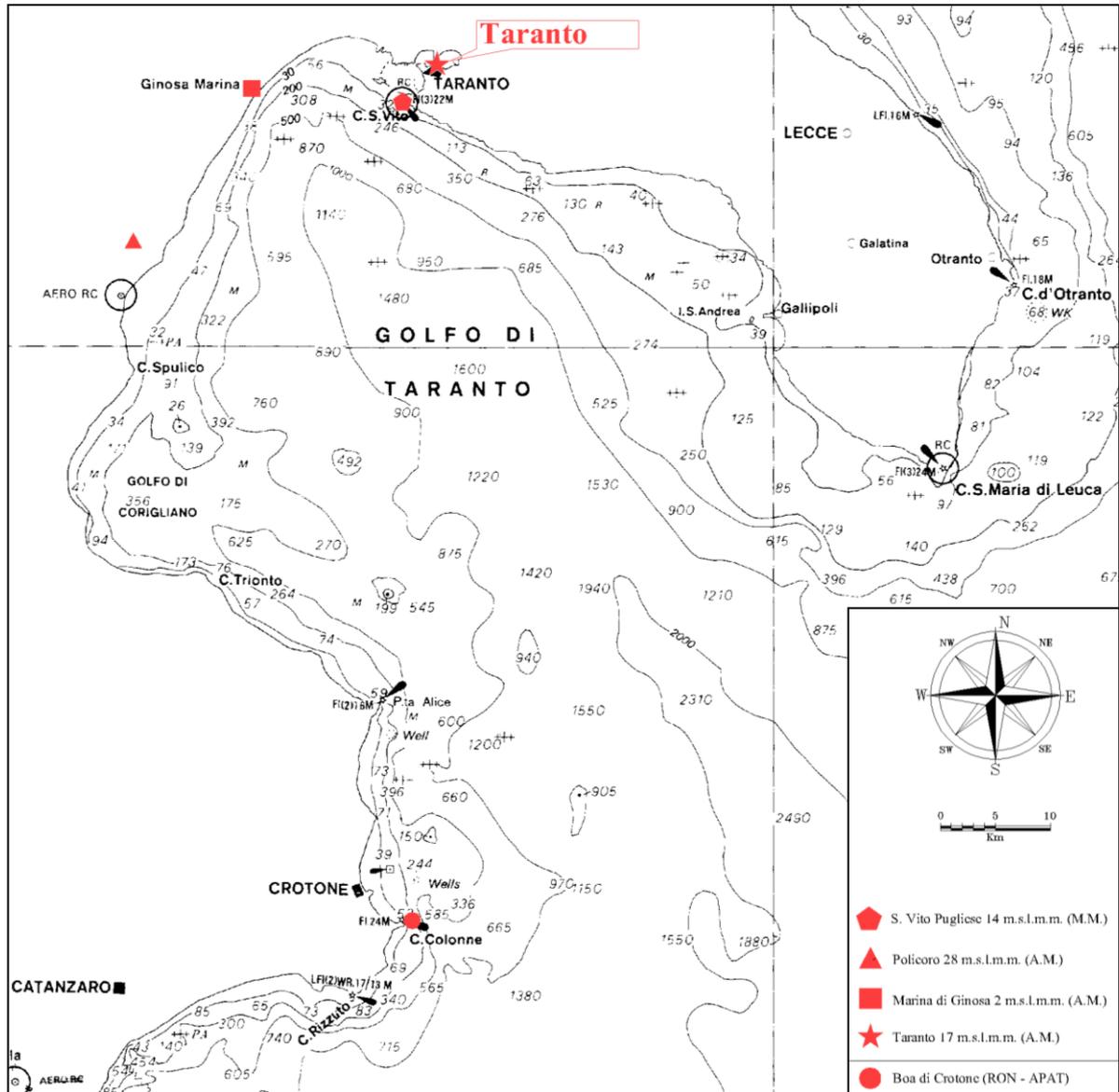


Figura 1.1 – Ubicazione delle stazioni di misura anemometriche e ondamiche nel paraggio in esame.

## 2 Esposizione del paraggio

Il litorale di Taranto è contraddistinto ad Ovest da una zona estesa con secche (con presenza anche di scogli emergenti) che fronteggiano l'area del porto industriale mentre ad Est si ha l'ampio specchio di mare denominato "Mar Grande" che abbraccia tutto l'arco costiero cittadino che si sviluppa da P.ta Rondinella a Nord-Ovest sino a Capo S. Vito a Sud-Est. Il sito ricade all'estremità Nord-Orientale dell'ampio golfo di Taranto contraddistinto da un settore di traversia geografico delimitato dalle coste ioniche della Calabria a Sud, della Basilicata ad Ovest e della penisola salentina ad Est. Ponendosi al largo, su fondali di circa -50 m, il paraggio (Figura 2.1) è esposto al mare aperto per un limitato settore di traversia circa compreso fra le direzioni di 130°N e 160°N.

Tale settore infatti, che rappresenta la traversia principale, si estende sul Mare Mediterraneo sino alle coste della Libia e dell'Egitto (distanti oltre 1000 km).

La traversia secondaria invece, circa compresa tra 170°N e 230°N, è quella che si affaccia sulla costa ionica della Calabria e della Basilicata caratterizzata da fetch geografici mediamente di 50 km (Figura 2.1).

Per un'analisi dettagliata dei settori di traversia, più propriamente mirata alla valutazione delle condizioni di possibile esposizione agli stati di mare, si rimanda al capitolo 6 "ONDAMETRIA".

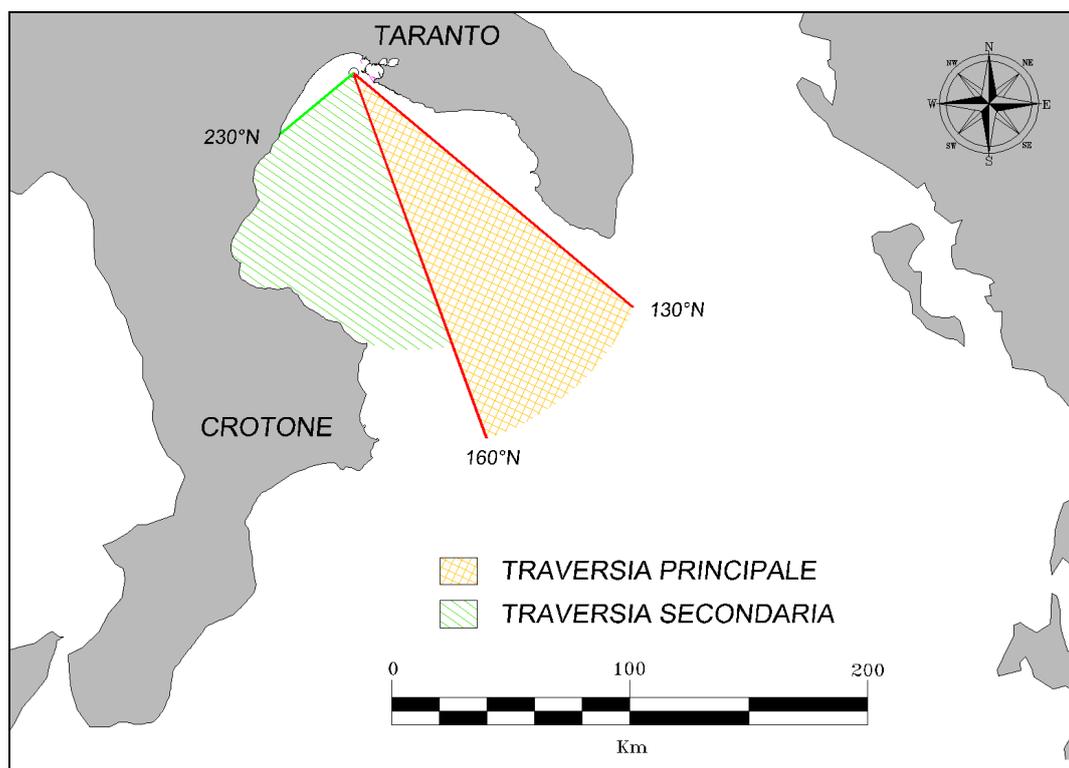


Figura 2.1: Settori di traversia al largo di Taranto.

### 3 Regime dei venti

L'analisi del regime dei venti è principalmente finalizzata ad una prima analisi qualitativa degli stati di mare generati dall'azione del vento: nella conduzione dell'analisi del regime anemologico si è fatto riferimento alle registrazioni delle stazioni meteorologiche costiere prossime al sito in oggetto. Per un'analisi esaustiva del regime dei venti si è fatto riferimento ai seguenti dati:

- **stazione meteorologica di Taranto (R.M.N. - periodo di funzionamento da lug 1998 a sett 2012):** La distribuzione delle frequenze annuali, suddivise per settori di provenienza (16 settori con ampiezza di 22.5°) e 5 classi di intensità del vento (più le calme), è stata sintetizzata nella tab. 3.1 e rappresentata graficamente nel grafico polare riportato nella fig. 3.1. I venti regnanti (più frequenti) risultano essere quelli di tramontana (frequenza cumulata pari a circa 13.3 %), di maestrale (frequenza cumulata pari a circa 12.3 %) e di Libeccio (frequenza cumulata pari a circa 12.5 %), ma contributi significativi provengono anche dai settore di Levante (11.4%) e Mezzogiorno (10.5%). I venti dominanti (più forti) risultano essere quelli di tramontana e di maestrale.
- **stazione meteorologica di Taranto (A.M. - periodo di funzionamento dal 1951 al 1977 - quota: 17 m s.l.m.):** La distribuzione delle frequenze annuali, suddivise per settori di provenienza (16 settori con ampiezza di 22.5°) e 5 classi di intensità del vento (più le calme), è stata sintetizzata nella tab. 3.1 e rappresentata graficamente nel grafico polare riportato nella fig. 3.1. I venti regnanti (più frequenti) risultano essere quelli di tramontana (frequenza cumulata pari a circa 13.3 %), di maestrale (frequenza cumulata pari a circa 12.3 %) e di libeccio (frequenza cumulata pari a circa 12.5 %), ma contributi significativi provengono anche dai settore di Levante (11.4%) e Mezzogiorno (10.5%). I venti dominanti (più forti) risultano essere quelli di Tramontana e di Maestrale.
- **stazione meteorologica di Marina di Ginosa (A.M. - periodo di funzionamento dal 1951 al 1977 - quota: 2 m s.l.m.):** La distribuzione delle frequenze annuali, suddivise per settori di provenienza (16 settori con ampiezza di 22.5°) e 5 classi di intensità del vento (più le calme), è stata sintetizzata nella tab. 3.2 e rappresentata graficamente nel grafico polare riportato nella fig. 3.2. La distribuzione spaziale delle frequenze di accadimento degli eventi risulta essere caratterizzata da un orientamento prevalente lungo la direzione Ovest-NordOvest÷Est-SudEst. Dal settore di maestrale provengono circa il 32.6% degli eventi, mentre i venti più forti risultano provenire dal settore di scirocco.
- **stazione meteorologica di Policoro (A.M. - periodo di funzionamento dal 1953 al 1962 - quota: 28 m s.l.m.):** La distribuzione delle frequenze annuali, suddivise per settori di provenienza (16 settori con ampiezza di 22.5°) e 5 classi di intensità del vento (più le calme), è stata sintetizzata nella tab. 3.3 e rappresentata graficamente nel grafico polare riportato nella fig. 3.3. Per la stazione A.M. di Policoro la distribuzione spaziale delle frequenze di accadimento degli eventi risulta essere caratterizzata da un orientamento prevalente lungo la direzione NordOvest÷SudEst. Infatti dal settore di maestrale provengono circa il 25.4% degli eventi, mentre

nel settore di scirocco la frequenza di accadimento risulta pari a circa il 13.5%. I venti dominati risultano essere quelli spiranti dai settori di maestrale e tramontana.

- **stazione semaforica di S. Vito Pugliese (M.M. - periodo di funzionamento dal 1930 al 1963 - quota: 14 m s.l.m.):** Gli stati del vento della stazione di S. Vito pugliese sono stati dedotti da 3 osservazioni giornaliere. La distribuzione delle frequenze annuali dei dati I.I.M.M., suddivise per classi di provenienza (8 settori di 45° e per classi di intensità del vento scala Beaufort), è stata sintetizzata nella tab. 3.4 e rappresentata graficamente nel grafico polare riportato nella fig. 3.4. Dai precedenti si osserva una netta prevalenza degli eventi provenienti dai settori di maestrale e di mezzogiorno, dai quali spirano anche i venti più intensi.

La distribuzione annuale dei venti per le stazioni indagate risulta essere congruente; nell'insieme, per il sito di Taranto, i venti locali regnanti sono diretti lungo l'asse Nord-NordOvest-Sud-SudEst, sono cioè orientati perpendicolarmente alla direzione media generale della costa metapontina. L'analisi dei soli venti più forti mostra una elevata percentuale relativa soprattutto dei venti da NordOvest e SudEst.

A conclusione dell'analisi per la caratterizzazione anemometrica del sito in esame si è fatto riferimento ad uno studio condotto in passato e riferito alle registrazioni anemometriche effettuate presso l'Istituto Meteorologico e Geofisico "Ferrajolo" di Taranto nel periodo 1960-1996 per velocità superiori a 20 km/h (10 nodi). I dati delle registrazioni confermano la netta prevalenza degli stati di vento più intensi da Sud-Est (Scirocco) e Sud (Mezzogiorno) con una velocità massima di 63 km/h ed un'intensità media degli eventi estremi pari a circa 31 km/h.

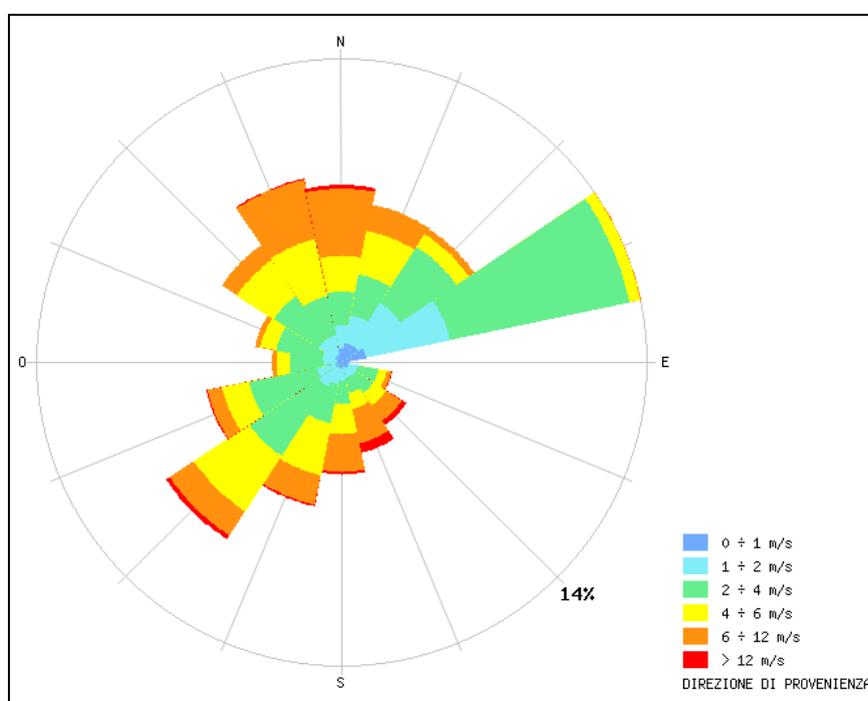
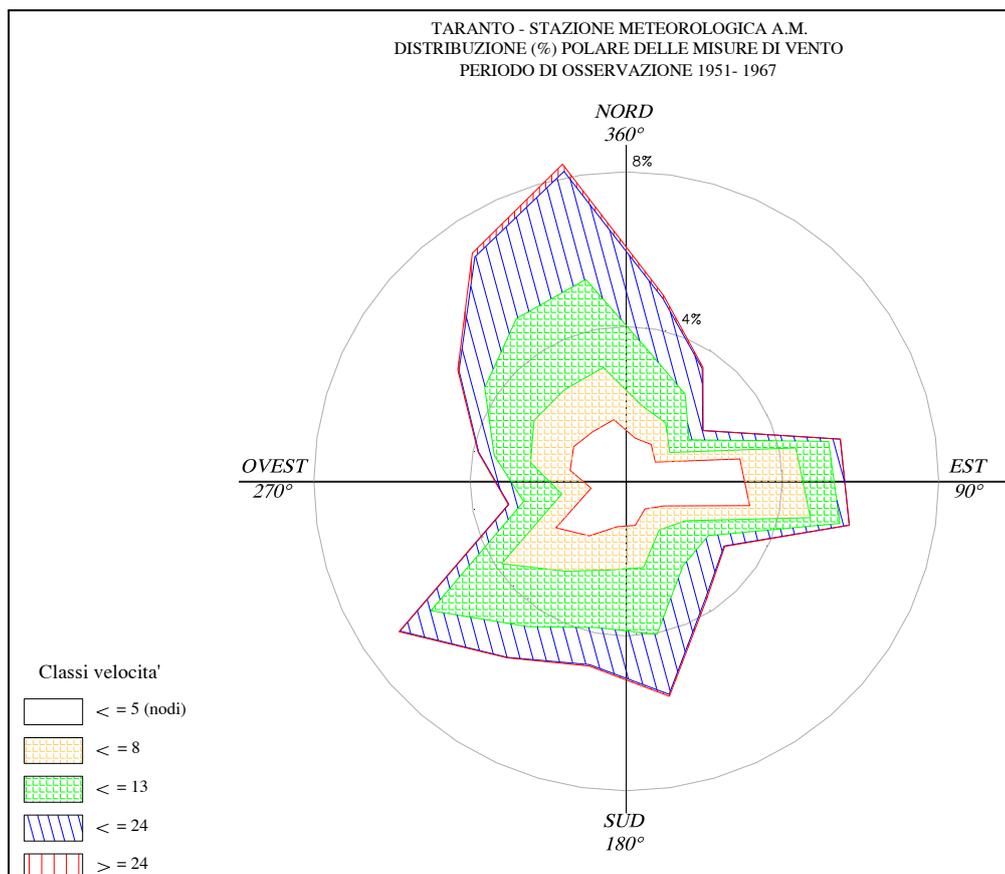


Figure 3.1: Stazione di Taranto (Rete Mareografica Nazionale). Rosa annuale del vento. Periodo di registrazione da luglio 1998 a settembre 2012.

**Tabella 3.1 – Stazione A.M. di Taranto**  
 Direzione e velocità del vento  
 Distribuzione delle frequenze annuali(\*) (media sul periodo 1951 ÷ 1967)

DIR (°N)	Classi di velocità (nodi)						Totali
	0 ÷ 1	2 ÷ 4	5 ÷ 7	8 ÷ 12	13 ÷ 23	24 ÷ 99	
0.0 ÷ 22.5		11.43	8.58	13.38	14.75	0.83	48.97
22.5 ÷ 45.0		11.46	6.69	8.97	7.91	0.37	35.38
45.0 ÷ 67.5		8.93	4.47	5.92	4.25	0.10	23.67
67.5 ÷ 90.0		29.66	14.62	8.55	3.06	0.04	55.94
90.0 ÷ 112.5		32.23	15.88	7.68	2.43	0.04	58.26
112.5 ÷ 135.0		11.49	6.86	6.96	4.81	0.21	30.33
135.0 ÷ 157.5		8.62	6.54	11.04	10.32	0.40	36.92
157.5 ÷ 180.0		11.63	11.09	17.64	15.77	0.53	56.65
180.0 ÷ 202.5		11.98	11.42	15.16	9.75	0.37	48.68
202.5 ÷ 225.0		16.95	11.01	17.24	9.57	0.12	54.90
225.0 ÷ 247.5		21.67	16.69	21.85	9.50	0.25	69.96
247.5 ÷ 270.0		9.17	7.63	9.97	3.89	0.13	30.80
270.0 ÷ 292.5		14.66	10.34	9.47	4.06	0.17	38.70
292.5 ÷ 315.0		16.16	12.21	15.21	7.94	0.37	51.89
315.0 ÷ 337.5		15.43	13.03	22.15	19.17	1.16	70.93
337.5 ÷ 360.0		16.24	13.74	23.24	28.44	1.92	83.58
VARIABILI		0.00	0.04	0.00	0.02	0.00	0.06
0 ÷ .5 m/s	204.36						204.36
<b>Totali</b>	<b>204.36</b>	<b>247.70</b>	<b>170.85</b>	<b>214.43</b>	<b>155.64</b>	<b>7.02</b>	<b>1000.00</b>

Quota strumento (m s.l.m.) 17  
 Numero totale eventi: 48575  
 (\*) Valori per migliaia di unità



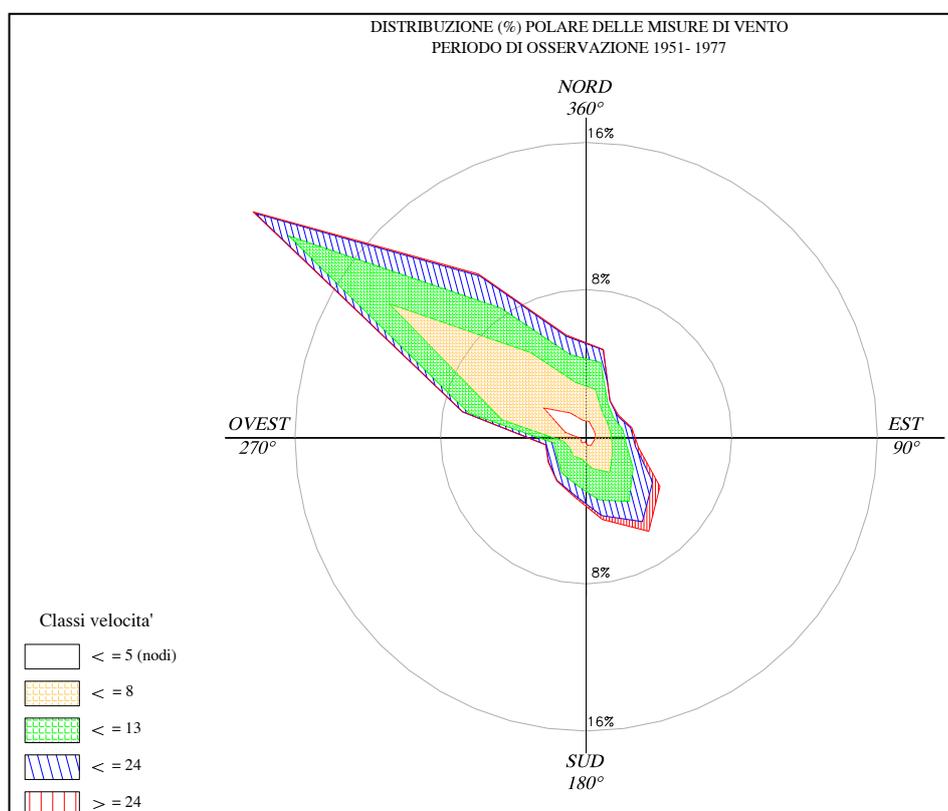
**Figure 3.2: Stazione di Taranto . Distribuzione direzionale degli stati di vento.**

**Tabella 3.2 – Stazione A.M. di Marina di Ginostra**

Direzione e velocità del vento  
 Distribuzione delle frequenze annuali(\*) (media sul periodo 1951 ÷ 1977)

DIR (°N)	Classi di velocità (nodi)						Totali
	0 ÷ 1	2 ÷ 4	5 ÷ 7	8 ÷ 12	13 ÷ 23	24 ÷ 99	
0.0 ÷ 22.5		8.48	17.70	14.94	6.98	0.25	48.34
22.5 ÷ 45.0		6.10	9.89	5.57	1.94	0.11	23.62
45.0 ÷ 67.5		5.41	8.53	4.28	2.33	0.70	21.25
67.5 ÷ 90.0		5.21	8.41	6.87	4.42	0.62	25.51
90.0 ÷ 112.5		5.14	9.33	8.16	5.03	1.62	29.28
112.5 ÷ 135.0		4.73	12.57	13.77	12.91	4.80	48.78
135.0 ÷ 157.5		5.41	17.92	19.01	13.23	6.31	61.87
157.5 ÷ 180.0		4.85	12.75	17.33	8.81	2.18	45.91
180.0 ÷ 202.5		2.93	9.44	14.37	5.62	0.92	33.29
202.5 ÷ 225.0		4.01	8.62	11.31	4.74	0.27	28.95
225.0 ÷ 247.5		3.41	7.39	8.53	5.45	0.23	25.01
247.5 ÷ 270.0		3.61	8.96	5.29	4.65	0.18	22.70
270.0 ÷ 292.5		11.63	35.49	18.54	3.39	0.14	69.18
292.5 ÷ 315.0		28.17	101.89	66.47	22.12	1.47	220.11
315.0 ÷ 337.5		15.58	39.48	28.88	21.14	1.29	106.38
337.5 ÷ 360.0		9.07	21.08	15.36	10.18	0.71	56.40
VARIABILI		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0 ÷ .5 m/s	133.42						133.42
<b>Totali</b>	<b>133.42</b>	<b>123.72</b>	<b>329.43</b>	<b>258.68</b>	<b>132.94</b>	<b>21.81</b>	<b>1000.00</b>

Quota strumento (m s.l.m.) 2  
 Numero totale eventi: 29202  
 (\*) Valori per migliaia di unità



**Figure 3.3: Stazione di Marina di Ginostra. Distribuzione direzionale degli stati di vento.**

**Tabella 3.3 – Stazione A.M. di Policoro**

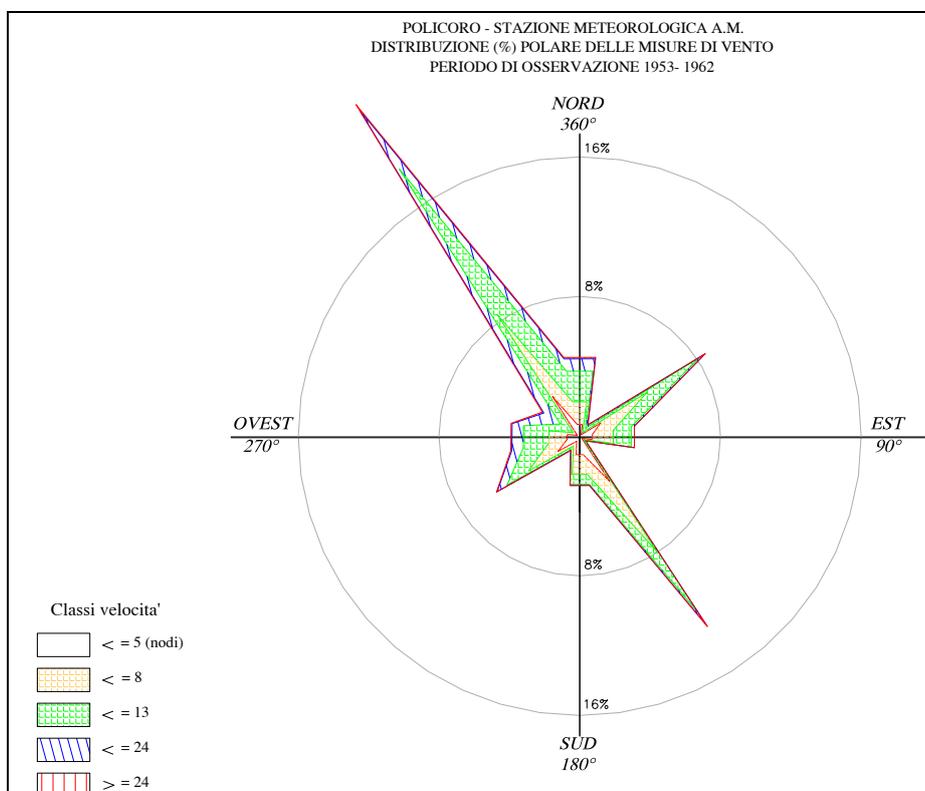
Direzione e velocità del vento  
 Distribuzione delle frequenze annuali(\*) (media sul periodo 1953 ÷ 1962)

DIR (°N)	Classi di velocità (nodi)						Totali
	0 ÷ 1	2 ÷ 4	5 ÷ 7	8 ÷ 12	13 ÷ 23	24 ÷ 99	
0.0 ÷ 22.5		7.35	13.12	17.94	7.23	0.86	46.50
22.5 ÷ 45.0		1.50	1.40	3.13	2.12	0.29	8.44
45.0 ÷ 67.5		14.43	31.50	35.62	4.12	0.14	85.81
67.5 ÷ 90.0		7.33	12.06	10.45	1.82	0.05	31.71
90.0 ÷ 112.5		7.29	12.11	10.45	1.82	0.05	31.71
112.5 ÷ 135.0		1.39	1.29	1.01	0.29	0.10	4.07
135.0 ÷ 157.5		30.59	48.61	41.42	9.06	1.02	130.70
157.5 ÷ 180.0		10.40	11.51	5.78	0.60	0.08	28.37
180.0 ÷ 202.5		10.44	11.54	5.78	0.60	0.05	28.40
202.5 ÷ 225.0		3.03	3.27	2.44	0.53	0.05	9.32
225.0 ÷ 247.5		14.86	20.10	14.86	6.66	0.43	56.92
247.5 ÷ 270.0		7.24	10.61	14.89	6.59	0.58	39.90
270.0 ÷ 292.5		7.19	10.57	14.84	6.59	0.58	39.77
292.5 ÷ 315.0		1.73	2.68	8.92	11.22	1.05	25.60
315.0 ÷ 337.5		27.81	56.62	100.16	40.32	4.03	228.93
337.5 ÷ 360.0		7.31	13.14	17.94	7.19	0.86	46.44
VARIABILI		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
0 ÷ .5 m/s	157.39						157.39
<b>Totali</b>	<b>157.39</b>	<b>159.88</b>	<b>260.13</b>	<b>305.62</b>	<b>106.76</b>	<b>10.21</b>	<b>1000</b>

Quota strumento (m s.l.m.) 28

Numero totale eventi: 20859

(\*) Valori per migliaia di unità

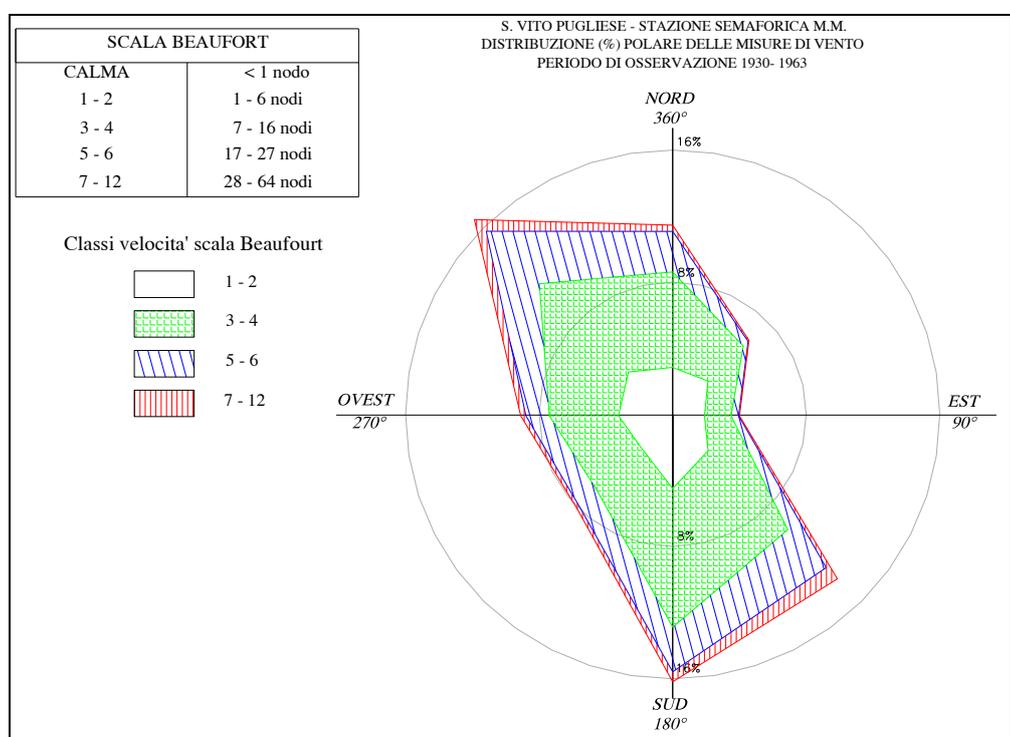


**Figure 3.4: Stazione di Marina di Ginostra. Distribuzione direzionale degli stati di vento.**

**Tabella 3.4 – Stazione Semaforica di S. Vito Pugliese (M.M.)**

Settori di provenienza		Classi di velocità (scala Beaufort)				Totale
n.	(° Nord)	1-2	3-4	5-6	7-12	
1	337.5 - 22.5	2.93	5.78	2.45	0.38	11.54
2	22.5 - 67.5	2.98	3.00	0.40	0.08	6.46
3	67.5 - 112.5	1.90	1.60	0.45	0.05	4.00
4	112.5 - 157.5	3.00	6.75	3.25	0.95	13.95
5	157.5 - 202.5	4.40	8.40	2.70	0.60	16.10
6	202.5 - 247.5	2.70	3.70	1.45	0.20	8.05
7	247.5 - 292.5	3.25	4.14	1.40	0.31	9.10
8	292.5 - 337.5	3.75	7.55	4.50	1.00	16.80
<b>Totale</b>		<b>24.91</b>	<b>40.92</b>	<b>16.60</b>	<b>3.57</b>	<b>86.00</b>

Calme (%) 14.00



**Figure 3.5: Stazione di Marina di Ginostra. Distribuzione direzionale degli stati di vento.**

## 4 Variazioni del livello marino

La conoscenza delle massime variazioni quasi-statiche del livello marino, dovute principalmente alla marea astronomica e "meteorologica", è necessaria per la corretta progettazione delle quote da assegnare alle opere di difesa, delle profondità di dragaggio nei bacini portuali e nel caso di applicazioni alla dinamica costiera, per la determinazione dell'altezza limite di swash (quota della spiaggia emersa raggiunta dal mare). In generale per quanto riguarda le variazioni a breve termine, periodiche e non, occorre distinguere gli effetti della marea astronomica da quelli della marea "meteorologica" (indotta essenzialmente dall'azione del vento e dalle variazioni di pressione atmosferica). Nella zona del Mar Ionio ove ricade il paraggio costiero in esame le escursioni quasi statiche del livello del mare sono di fatto modeste.

### 4.1 MAREA ASTRONOMICA

Per la stima della componente oscillatoria della marea astronomica le ampiezze ed i tempi di marea sono prevedibili per alcuni porti principali italiani in funzione delle "Tavole di Marea" pubblicate annualmente dall'Ufficio Idrografico della Marina Militare. Per il caso in esame si possono utilizzare i dati forniti per il porto di Taranto. L'andamento temporale risultante è di tipo semidiurno (periodo 12 ore e 30 minuti) con due alte maree e due basse maree al giorno di ampiezza diversa (marea di tipo sinodico-declinazionale). Le escursioni di marea astronomica sono contraddistinte da una periodicità bimensile distinta nelle fasi di sizigie (luna piena e nuova) e di quadratura. Nei periodi sizigiali si verificano i massimi dislivelli di oscillazione che raggiungono valori di circa 0.25 m (livello massimo assoluto pari a circa 0.33 m riferito ad un livello medio delle minime maree sizigiali  $Z_0$  pari a 0.12 m).

$$S_{ma} = 0.33 - 0.12 = 0.21 \text{ m s.l.m.m.}$$

### 4.2 MAREA METEOROLOGICA

Si distinguono:  $S_{mm} = S_b + S_v$ , ove

- **$S_b$  sovrалzo barico:** considerata una condizione di minimo barico (legata al passaggio dei centri di bassa pressione caratterizzanti i cicloni) pari a 975 mb (plausibile come valore estremo per il paraggio in esame) rispetto ad una condizione media di 1013 mb ed ipotizzando 0.01 m/mb di variazione unitaria, ne consegue (da un punto di vista prettamente statico) un effetto di sovrалzo marino massimo pari a 0.38m;

$$S_b = 0.38 \text{ m}$$

- **$S_v$  sovrалzo di vento:** l'effetto di innalzamento dei livelli sottocosta indotto dall'azione di venti foranei spiranti verso la costa è definito in funzione dell'estensione della piattaforma continentale. Il calcolo del sovrалzo di vento può essere effettuato con la nota relazione implicita:

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

che fornisce un valore di 0.08 m alla profondità (cautelativa)  $d=0.5$  m, essendo  $D=200$  m la profondità limite assunta per la piattaforma continentale;  $L_p=10000$  m l'estensione della piattaforma continentale;  $g=9.81$  m/s<sup>2</sup>;  $k_p=3 \times 10^{-6}$ ;  $U=30$  m/s la velocità del vento persistente in condizioni estremali.

$$S_v = 0.08 \text{ m}$$

In definitiva, è possibile calcolare il massimo sovrizzo sommando i diversi contributi dell'oscillazione del livello marino, tenendo comunque presente che in generale non si verifica la piena concomitanza dei sovrizzi di varia natura. Pertanto, ai fini progettuali, si può cautelativamente assumere una riduzione del 25% della somma dei contributi di sovrizzo meteorologico e astronomico:

$$S = 0.75 (S_{ma} + S_{mm}) = 0.75 (0.21 + 0.38 + 0.08) = 0.50 \text{ m.}$$

Infine, si devono considerare le variazioni a lungo termine dovute a fenomeni di eustatismo: le attuali proiezioni prevedono un progressivo innalzamento del livello marino dovuto all'incremento della temperatura terrestre (effetto serra) stimabile in circa 30 cm nei prossimi 50 anni. Valutazioni meno pessimistiche considerano possibili incrementi di livello di poco superiori a quelli registrati nell'ultimo millennio (dell'ordine di 10 cm al secolo).

## 5 Correnti

La conformazione batigrafica nella fascia costiera di Taranto, associata alla limitata escursione dei livelli di marea astronomica, lascia prevedere valori trascurabili delle possibili correnti di marea. Pertanto l'unico contributo significativo è apportato dalle correnti di circolazione generale, causate dai gradienti spaziali di densità, le quali hanno generalmente velocità inferiori a 1 nodo e sono dirette lungo la costa. L'analisi d'insieme (riferita alla rappresentazione grafica estratta da "Atlante Tematico d'Italia" TCI, CNR – figura 5.1) mostra che, al largo della costa in esame, i flussi delle correnti di gradiente (o di densità) sono condizionati dal fenomeno di riflusso della circolazione d'insieme antioraria del Mar Ionio. Pur non disponendo di misure correntometriche dirette si può peraltro ritenere che nel golfo di Taranto si abbia una leggera attenuazione per effetto dell'incremento della sezione disponibile.

Le correnti permanenti di circolazione generale non hanno comunque influenza sulla propagazione del moto ondoso e sulla dinamica costiera nella zona in esame. Sotto costa, invece, nella ristretta fascia compresa tra la riva e la linea dei frangenti (ubicata tipicamente su profondità di 2-3 m) è attiva durante le mareggiate la corrente litoranea diretta parallelamente alla costa nello stesso verso della componente principale del moto ondoso obliquo incidente. In definitiva il regime delle correnti marine nel paraggio costiero in esame ha effetti irrilevanti sulla navigazione e sulla dinamica dei sedimenti costieri, dominata invece dalle correnti litoranee, comprese tra la linea dei frangenti e la riva, indotte dall'azione del moto ondoso frangente.

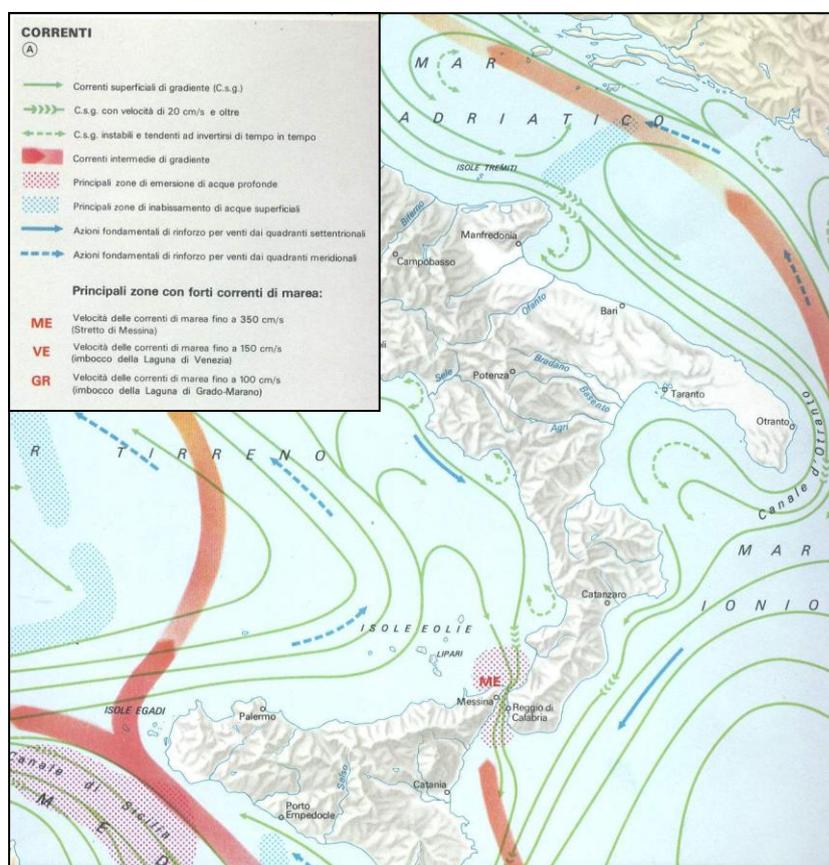


Figura 5.1 – Analisi d'insieme delle correnti al largo di Taranto (TCI-CNR)

## **6 ONDAMETRIA**

### *6.1 METODOLOGIA DI LAVORO*

Il Porto di Taranto è localizzato a Nord della costa dell'omonimo Golfo. A largo di Taranto non sono disponibili misure dirette di moto ondoso e pertanto, come descritto nel seguito, per la definizione del clima ondometrico locale si è dovuto fare ricorso a metodi di tipo indiretto (hindcasting) ovvero a metodi di ricostruzione del moto ondoso basati sulla conoscenza dei campi di vento.

Con riferimento alla Figura 2.1, ponendosi poco a largo del porto di Taranto, si osserva che l'area di generazione del moto ondoso risulta fortemente influenzata dai contorni geografici della costa ionica. In particolare, parte della costa calabrese, sino a Capo Colonne, scherma in modo sostanziale il paraggio di Taranto dalle onde che vengono generate da Libeccio in mare aperto. Le uniche onde generate in mare aperto che sono in grado di raggiungere direttamente la costa ove si affaccia il porto di Taranto senza incontrare ostacoli, sono quelle provenienti dal settore di Scirocco-Mezzogiorno che per le applicazioni seguenti si è assunto compreso tra le direzioni 130° e 160° N (vedi Figura 2.1).

In conclusione l'eterogeneità dei contorni geografici e la presenza di venti frequenti che generano localmente le onde, non consentono per il paraggio in esame di utilizzare per il moto ondoso lo "approccio classico", ovvero quello che prevede prima la definizione del clima ondometrico a largo e poi la sua propagazione a riva, separando in tal modo la fase di generazione da quella di propagazione in costa delle onde. Pertanto nel caso in esame si è operato seguendo il metodo di seguito descritto.

In primo luogo si è suddivisa la traversia ondometrica nei due settori sopra individuati, ovvero:

- il settore di Scirocco-Mezzogiorno (130° N – 160° N), settore di traversia principale, compreso tra le direzioni che tragguardano il promontorio di Crotona (C.po Colonne) e la costa sulla punta Sud-Ovest della Puglia;
- il settore di Mezzogiorno-Libeccio (170° N – 230° N), settore di traversia secondario, che tragguarda la costa calabrese posta di fronte al porto di Taranto.

Per il moto ondoso proveniente dal settore di traversia principale si è fatto riferimento ai dati ondometrici registrati dall'ondametro RON di Crotona (gestito dall'ISPRA), e poi trasposti in un punto opportunamente scelto poco a largo del porto di Taranto (vedi Figura 6.1).

Per il settore di traversia secondario, si è applicato, per lo stesso punto scelto poco a largo del sito in esame, il metodo di ricostruzione del moto ondoso SMB utilizzando la serie storica anemometrica misurata dalla stazione mareografica di Taranto (appartenente alla Rete Mareografica Nazionale, sempre gestita dall'ISPRA).

In conclusione il metodo utilizzato ha consentito di definire per ciascuno dei due settori sopra indicati il relativo clima ondometrico. Nei prossimi paragrafi si descrive in maggior dettaglio il metodo impiegato facendo riferimento ai singoli settori direzionali.

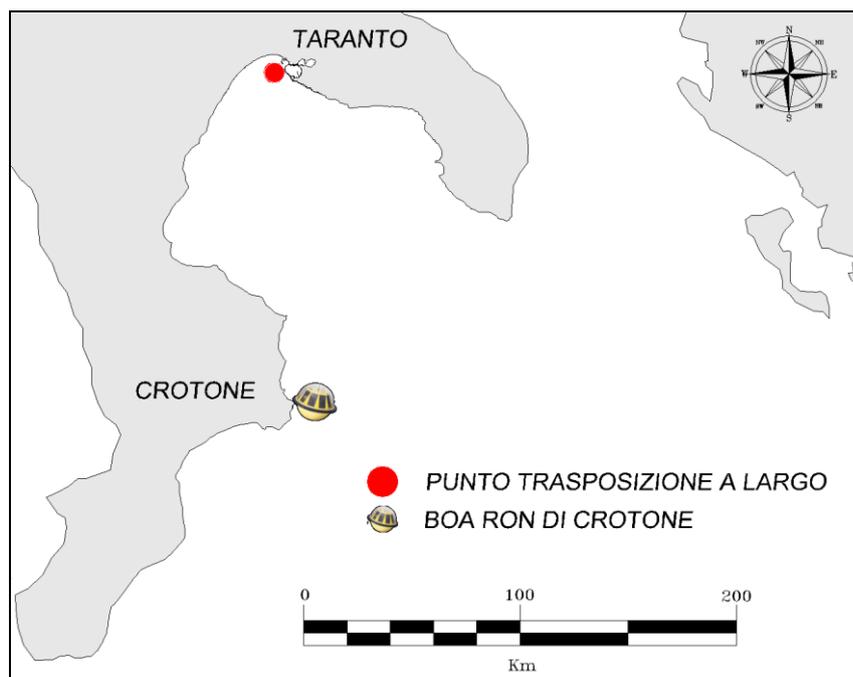


Figura 6.1: Inquadramento geografico e oosizioni relative della boa di Crotona e del punto di trasposizione al largo di Taranto.

## 6.2 SETTORE TRAVERSIA PRINCIPALE (130° - 160° N)

### 6.2.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DEL PARAGGIO E TRASPOSIZIONE GEOGRAFICA

Il porto di Taranto si affaccia sulla costa settentrionale dell'omonimo golfo sul mar Ionio, si estende tra due mari: il Mar Grande ed il Mar Piccolo (vedi Figura 6.1).

Il suo territorio ha un'estensione di circa 210 km<sup>2</sup> ed è bagnato prevalentemente dal mare, essendo caratterizzato dalla presenza di tre penisole naturali e di un'isola artificiale, formatasi in seguito al taglio della penisola originale eseguito durante la costruzione del fossato del Castello Aragonese.

Una prima caratterizzazione delle potenziali condizioni di esposizione al moto ondoso del paraggio in esame viene condotta in funzione della "traversia geografica", che rappresenta la massima estensione della superficie marina da cui possono arrivare gli stati di mare. Per il calcolo della traversia geografica, ponendosi al largo del sito in esame e "materializzando" il cosiddetto "punto di interesse" ("Punto al largo"), vengono delimitati con un sistema di coordinate polari i distinti settori che dal punto di interesse "traguardano" i margini delle coste opposte al punto di interesse (che rappresentano gli estremi della superficie marina).

Ponendosi al largo di Taranto, a circa 8 km dalla costa e su fondali di circa -50 m s.l.m., il settore di traversia geografica risulta delimitato da Nord a Sud-Ovest dalla costa calabrese, da Nord a Sud-Est dalla costa pugliese, e risulta pertanto esposto al mare aperto per un limitato settore compreso all'incirca tra le direzioni 130° e 160°N.

Nel diagramma polare di Figura 6.2 sono indicati graficamente i valori del fetch geografico relativo al punto di analisi. La Tabella 6.1 riporta gli stessi valori in forma numerica.

Considerato che nel Mar Mediterraneo le perturbazioni cicloniche hanno estensioni massime dell'ordine dei 500 km, il fetch geografico è stato limitato a tale dimensione.

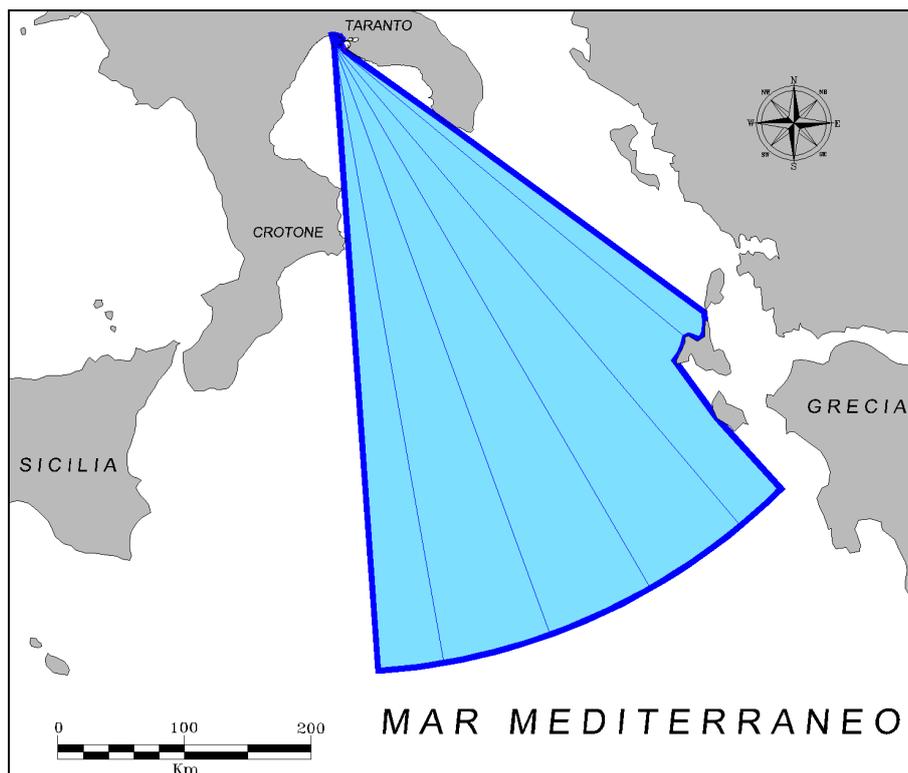


Figura 6.2: Fetch geografici al largo del porto di Taranto.

Tabella 6.1 - Fetch geografici ed efficaci al largo di Taranto.

Fetch geografici ed efficaci al largo di Taranto (-50 m s.l.m.)							
Direzione media settore di traversia (°Nord)	Fetch Geografico (km)	Fetch Efficace (km)	Deviazione direzione vento-mare (°)	Direzione media settore di traversia (°Nord)	Fetch Geografico (km)	Fetch Efficace (km)	Deviazione direzione vento-mare (°)
0	8.43	7.38	352.0	180	112.26	237.06	-16.0
10	8.42	7.12	353.0	190	101.50	188.92	-22.0
20	8.30	6.85	68.0	200	96.83	142.14	-28.0
30	6.03	6.55	65.0	210	96.30	102.90	-33.0
40	5.43	6.21	62.0	220	64.05	73.47	-38.0
50	8.08	5.96	58.0	230	40.65	53.03	-42.0
60	6.38	6.46	54.0	240	30.65	39.27	-46.0
70	5.19	9.73	50.0	250	22.87	29.81	-49.0
80	3.55	19.23	45.0	260	19.28	22.98	-51.0
90	5.35	39.02	39.0	270	16.22	18.04	-51.0
100	6.78	72.14	34.0	280	13.85	14.61	-48.0
110	8.22	118.65	28.0	290	12.13	12.32	315.0
120	15.92	174.10	22.0	300	10.97	10.78	317.0
130	362.27	229.77	15.0	310	10.05	9.70	321.0
140	499.70	274.91	9.0	320	9.42	8.94	334.0
150	499.54	300.17	3.0	330	8.93	8.39	343.0
160	499.77	300.64	-4.0	340	8.71	7.98	348.0
170	500.00	277.44	-10.0	350	8.55	7.66	351.0

### 6.3 FETCH EFFICACI

Per *fetch efficace* si intende la “traversia” o lunghezza della porzione di mare sulla quale si esplica “effettivamente” l’azione del vento responsabile della generazione del moto ondoso.

Il valore del *fetch* efficace relativo ad una determinata direzione è funzione anche dei valori dei *fetch* geografici associati alle direzioni contigue a quella considerata; in questo modo i *fetch efficaci* tengono conto del fatto che alla generazione del moto ondoso oltre alla superficie marina individuata nella direzione media  $\phi_w$  lungo la quale spira il vento contribuiscono anche le porzioni di mare dalle direzioni comprese in un settore di  $\pm\theta$  rispetto alla direzione media di azione del vento. Di conseguenza la lunghezza dei *fetch efficaci* risulta essere diversa da quella dei *fetch geografici*. Il calcolo dei *fetch efficaci* può essere eseguito in base alla seguente relazione:

$$F_{e,w} = \frac{\sum_{\phi_i = \phi_w - \theta}^{\phi_w + \theta} F_i \cos^{n+1}(\phi_i - \phi_w)}{\sum_{\phi_i = \phi_w - \theta}^{\phi_w + \theta} \cos^n(\phi_i - \phi_w)} \quad (2.1.1)$$

nella quale i simboli che compaiono rappresentano i seguenti parametri:

$F_{e,w}$	lunghezza del fetch efficace relativa alla direzione $\phi_w$ ;
$F_i$	lunghezza del fetch geografico relativa alla direzione i-esima $\phi_i$ ;
$\phi_w$	direzione media (riferita al nord geografico) di possibile provenienza del vento responsabile del fenomeno di generazione del moto ondoso lungo la traversia;
$\phi_w - \theta \leq \phi_i \leq \phi_w + \theta$	direzione i-esima (riferita al nord geografico) relativa ad un settore di $2 \cdot \theta$ considerato nell’intorno della direzione $\phi_w$ ;
$\theta$	ampiezza del settore di possibile provenienza del moto ondoso (il metodo di Saville prevede un valore di $\theta = \pm 45^\circ$ mentre quello di Seymour fa riferimento ad un valore di $\theta = \pm 90^\circ$ );
$n$	termine esponenziale definito in funzione della legge di distribuzione direzionale degli spettri di moto ondoso che caratterizzano il sito in esame (solitamente si assume $n = 4$ ).

L’equazione (2.1.1) deriva dalla teoria di ricostruzione indiretta del moto ondoso nota come metodo S.M.B. (Sverdrup, Munk e Bretshneider, 1947) e dai suoi successivi aggiornamenti (Saville 1954, Seymour 1977, Smith 1991).

Il fetch efficace ottenuto utilizzando il modello ENIF, per il calcolo automatico dell’equazione 2.1.1, sono riportati graficamente nel diagramma polare di Figura 6.3 e numericamente nella Tabella 6.1. Il fetch efficace massimo ottenuto risulta pari a circa 300 km ed è riferito al settore di Scirocco ( $150^\circ$ - $160^\circ$  Nord). L’applicazione del modello numerico suddetto consente inoltre di definire la legge di deviazione tra la direzione media del vento e la direzione media del moto ondoso generato (Tabella 6.1).

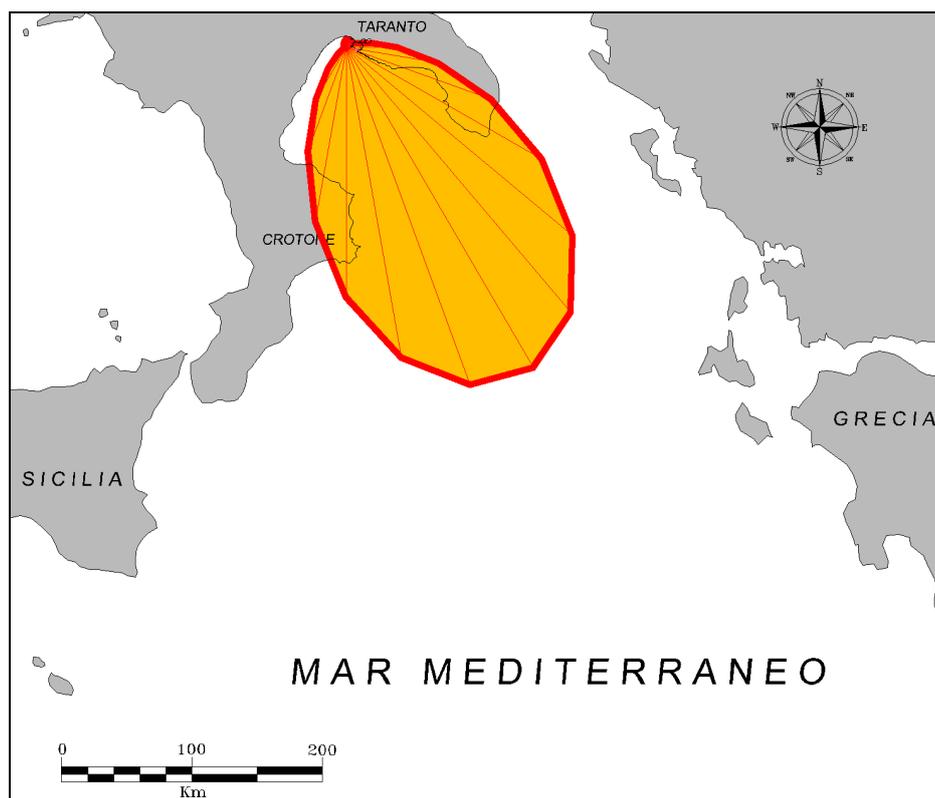


Figura 6.3: Fetch efficaci al largo di Taranto

### 6.3.1 REGIME ONDOSO REGISTRATO DALLA BOA ACCELEROMETRICA RON DI CROTONE

Per la determinazione del moto ondoso al largo del litorale in esame si è reso necessario reperire una serie di misure ondometriche che offrissentro un quadro esaustivo dell'esposizione del sito in esame all'azione del moto ondoso. A tal scopo si è potuto fare riferimento alle misure effettuate dalla stazione ondometrica di Crotona (boa accelerometrica direzionale; coordinate: 39°01.4' N; 17°13.2' E), in esercizio dal 1 luglio 1989 ed ancorata su fondali di circa 90 m; è gestita dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (dell'ISPRA) e ricade all'interno dell'area climatica di generazione degli stati di mare che interessano il sito in esame. Il rendimento medio della stazione è pari al 87.91 % (periodo 1-luglio 1989 – 30 giugno 2007 ≈ 18 anni).

Dalla Tabella 6.2 alla Tabella 6.6 sono rappresentate le distribuzioni annuali del numero di eventi di moto ondoso (in forma percentuale) suddivisi per classi di altezza d'onda significativa ( $H_s$ ) e direzione di provenienza ( $^{\circ}N$ ), registrate dalla boa di Crotona; nella Tabella 6.7 gli eventi sono suddivisi per classi di  $H_s$  e di periodo medio ( $T_m$ ).

Dall'analisi di queste si nota che per eventi con  $H_s > 0.5$  m (escluse le calme):

- la distribuzione spaziale delle frequenze di accadimento degli eventi risulta essere caratterizzata da una accentuata bidirezionalità lungo le direzioni Nord-NordEst e Sud-SudEst;
- la maggiore frequenza di accadimento si ha per i settori di mezzogiorno ( $160^{\circ}$ - $200^{\circ}N$ ) con circa il 12.2% degli eventi e per quello di tramontana ( $340^{\circ}$ - $20^{\circ}N$ ) con circa l'11.8%, mentre dal settore di scirocco provengono il 7.8% delle mareggiate;

- gli eventi aventi  $H_s$  superiore ai 3 m provengono principalmente da scirocco (frequenza cumulata pari a circa lo 0.57% pari a 2 gg/anno) ma anche da tramontana (frequenza cumulata pari a circa lo 0.15% pari a 0.5 gg/anno);
- dal settori di mezzogiorno e tramontana provengono gli eventi di maggiore frequenza in tutte le stagioni dell'anno.

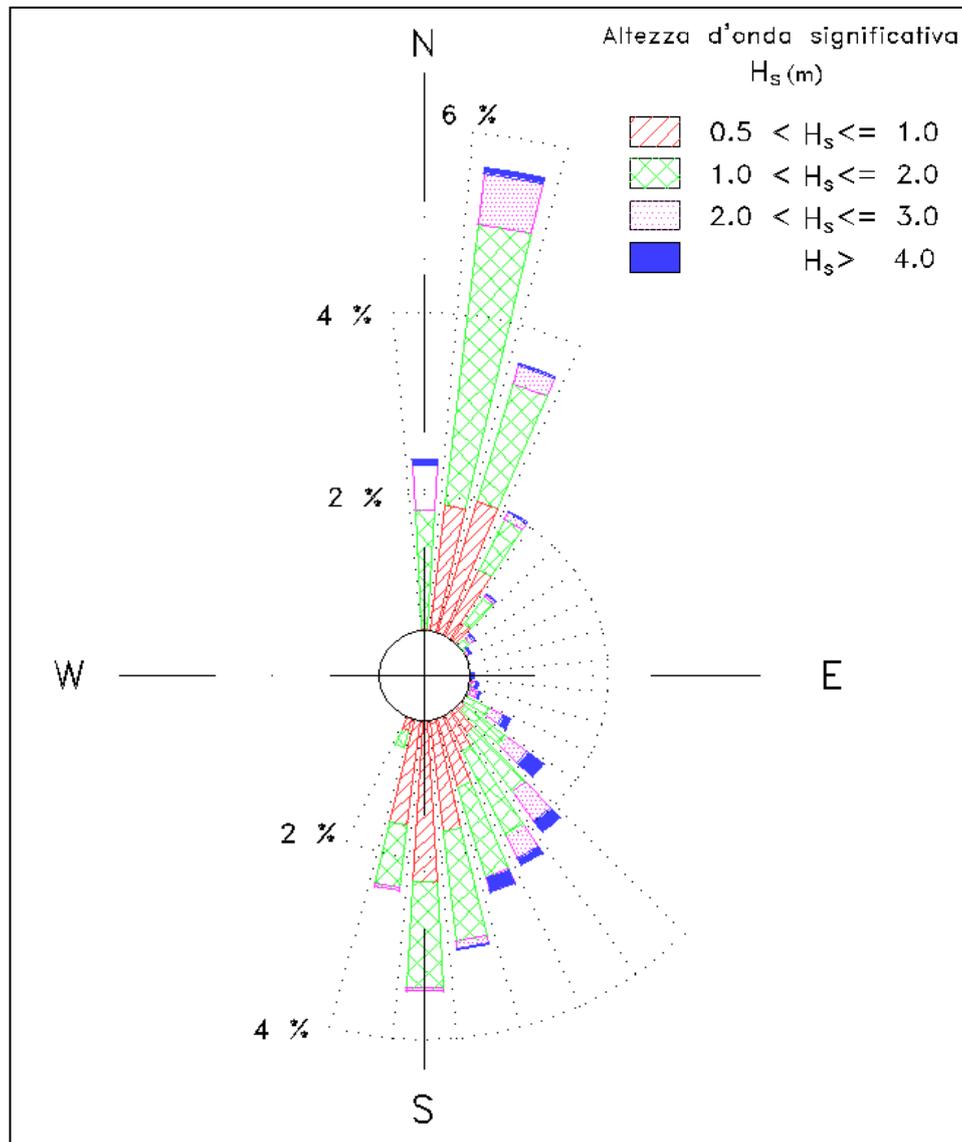


Figura 6.4: Rosa della distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso annuali alla boa ondometrica di Crotona.

**Tabella 6.2: Clima annuale alla boa ondometrica di Crotona: eventi di moto ondoso triorari classificati per altezza e direzione (periodo 1 luglio 1989-30 giugno 2007).**

Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza. ANNUALE

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<.25	.25÷0.5	0.5÷1.0	1.0÷1.5	1.5÷2.0	2.0÷2.5	2.5÷3.0	3.0÷3.5	3.5÷4.0	4.0÷4.5	4.5÷5.0	5.0÷5.5	5.5÷6.0	6.0÷6.5	>=6.5	
10	1.67	1.17	1.89	2.07	1.04	0.43	0.13	0.03	0.02	0.00	0.00					8.45
20	1.70	1.55	2.00	1.03	0.33	0.14	0.05	0.02	0.00							6.84
30	1.52	1.72	1.32	0.43	0.18	0.08	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00					5.27
40	1.42	1.64	0.73	0.24	0.12	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00						4.19
50	1.34	1.41	0.44	0.14	0.04	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00					3.41
60	1.30	1.16	0.32	0.11	0.08	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00						3.02
70	1.16	0.84	0.24	0.12	0.07	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00					2.48
80	1.20	0.75	0.21	0.11	0.08	0.02	0.01	0.00								2.38
90	1.16	0.60	0.26	0.15	0.08	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00					2.29
100	1.27	0.57	0.25	0.16	0.11	0.04	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00					2.43
110	1.22	0.59	0.28	0.18	0.07	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			2.44
120	1.28	0.78	0.39	0.24	0.15	0.11	0.07	0.04	0.03	0.01	0.01	0.00				3.12
130	1.74	1.02	0.57	0.32	0.21	0.16	0.15	0.09	0.05	0.04	0.03	0.00	0.00			4.38
140	1.98	1.06	0.77	0.51	0.33	0.24	0.15	0.07	0.04	0.02	0.01	0.00				5.20
150	2.21	1.35	0.93	0.68	0.36	0.16	0.14	0.05	0.02	0.00	0.00					5.89
160	2.77	1.70	1.29	0.72	0.30	0.12	0.04	0.01	0.00	0.00						6.96
170	3.01	2.36	1.73	0.91	0.32	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00					8.40
180	2.90	3.03	2.27	0.90	0.27	0.03	0.00									9.40
190	1.64	2.20	1.66	0.61	0.09	0.03	0.00									6.23
200	0.56	0.91	0.63	0.17	0.01											2.29
210	0.12	0.25	0.18	0.02												0.57
220	0.05	0.04	0.04	0.01												0.13
230	0.02	0.02	0.01	0.00												0.05
240	0.01	0.01	0.00													0.03
250	0.02	0.01														0.03
260	0.02	0.01	0.00													0.04
270	0.00	0.01	0.01	0.01												0.03
280	0.01	0.00	0.00	0.00												0.02
290	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00											0.01
300	0.01	0.01														0.02
310	0.01	0.01														0.03
320	0.02	0.02	0.01													0.04
330	0.04	0.02	0.00													0.07
340	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00											0.09
350	0.09	0.13	0.06	0.04	0.04	0.04	0.01	0.01								0.42
360	0.53	0.42	0.52	0.67	0.63	0.35	0.15	0.05	0.01	0.00						3.33
TOT.	34.07	27.39	19.04	10.55	4.91	2.21	1.01	0.42	0.21	0.09	0.09	0.02	0.01			100.00
Tot. cumul.	61.45	80.49	91.04	95.95	98.17	99.18	99.59	99.80	99.89	99.98	99.99	100.00	100.00	100.00		

Numero di eventi validi : 41124

**Tabella 6.3: Clima invernale alla boa ondometrica di Crotone: eventi di moto ondoso triorari classificati per altezza e direzione (periodo 1 luglio 1989-30 giugno 2007).**

Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza. INVERNO

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<.25	.25÷0.5	0.5÷1.0	1.0÷1.5	1.5÷2.0	2.0÷2.5	2.5÷3.0	3.0÷3.5	3.5÷4.0	4.0÷4.5	4.5÷5.0	5.0÷5.5	5.5÷6.0	6.0÷6.5	>=6.5	
10	1.46	0.47	1.62	3.41	2.27	0.96	0.27	0.10	0.04	0.00	0.02					10.62
20	1.46	0.77	2.11	1.82	0.71	0.27	0.18	0.08	0.02							7.43
30	0.95	1.12	1.59	0.71	0.42	0.25	0.00	0.01	0.03	0.00	0.01					5.09
40	0.93	1.31	1.21	0.52	0.19	0.09	0.01	0.01	0.00	0.01						4.26
50	0.62	1.24	0.70	0.27	0.10	0.06	0.04	0.00	0.01	0.00	0.01					3.05
60	0.50	1.28	0.47	0.18	0.23	0.09	0.04	0.02	0.00	0.01						2.82
70	0.58	1.19	0.42	0.23	0.13	0.03	0.01	0.03	0.00	0.00	0.01					2.64
80	0.60	1.08	0.43	0.20	0.14	0.01	0.02	0.01								2.49
90	0.62	0.87	0.36	0.27	0.15	0.08	0.03	0.01	0.02	0.00						2.41
100	0.60	0.73	0.42	0.27	0.14	0.08	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01					2.29
110	0.79	0.81	0.36	0.26	0.12	0.07	0.06	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01			2.58
120	0.99	1.08	0.65	0.45	0.25	0.11	0.12	0.06	0.02	0.01	0.03					3.78
130	1.04	1.63	0.56	0.39	0.35	0.22	0.29	0.16	0.07	0.06	0.03					4.80
140	1.46	1.40	0.97	0.45	0.46	0.42	0.29	0.10	0.07	0.06	0.05	0.02				5.77
150	1.67	1.33	0.90	0.60	0.44	0.21	0.16	0.11	0.02	0.01	0.02					5.47
160	1.66	1.53	1.22	0.69	0.37	0.16	0.10	0.01								5.75
170	2.04	1.98	1.98	1.00	0.33	0.11	0.03									7.47
180	1.91	2.53	2.35	0.89	0.14	0.06										7.88
190	0.84	1.35	1.93	0.92	0.12	0.01										5.17
200	0.32	0.41	0.76	0.15												1.65
210	0.02	0.18	0.16	0.04												0.40
220	0.02	0.00	0.03	0.01												0.06
230	0.01	0.00	0.01	0.01												0.03
240	0.01															0.01
250	0.04	0.01														0.05
260	0.02	0.01														0.03
270																
280	0.01	0.00	0.00	0.01												0.02
290	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01											0.01
300																
310																
320	0.00	0.00	0.01													0.01
330	0.01	0.01	0.01													0.03
340	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01											0.03
350	0.04	0.25	0.04	0.04	0.11	0.06	0.05	0.03								0.63
360	0.63	0.41	0.29	1.10	1.49	0.90	0.37	0.07	0.01							5.27
TOT.	21.86	24.99	21.55	14.88	8.71	4.26	2.10	0.85	0.34	0.18	0.22	0.04	0.01			100.00
Tot. cumul.	46.85	68.40	83.28	92.00	96.26	98.36	99.22	99.56	99.73	99.95	99.99	100.00	100.00	100.00		

Numero di eventi validi : 9708

**Tabella 6.4: Clima primaverile alla boa ondometrica di Crotona: eventi di moto ondosu triorari classificati per altezza e direzione (periodo 1 luglio 1989-30 giugno 2007).**

Distribuzione percentuale degli eventi ondosu, per classi di Hs e direzione di provenienza. PRIMAVERA

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<.25	.25÷.5	0.5÷1.0	1.0÷1.5	1.5÷2.0	2.0÷2.5	2.5÷3.0	3.0÷3.5	3.5÷4.0	4.0÷4.5	4.5÷5.0	5.0÷5.5	5.5÷6.0	6.0÷6.5	>=6.5	
10	1.22	1.22	1.85	1.19	0.56	0.13	0.02									6.19
20	1.40	1.69	1.29	0.37	0.08	0.03	0.01									4.86
30	1.33	1.67	0.93	0.21	0.07											4.21
40	1.24	1.48	0.38	0.08	0.03	0.01										3.22
50	1.18	1.31	0.30	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01								2.90
60	1.19	0.99	0.17	0.01	0.02	0.04										2.43
70	1.02	0.59	0.10	0.01	0.01	0.01										1.73
80	1.26	0.64	0.05	0.04	0.02	0.00	0.01	0.01								2.02
90	1.41	0.42	0.16	0.01	0.03	0.01	0.00									2.04
100	1.44	0.44	0.08	0.04	0.01	0.03	0.00									2.04
110	1.37	0.44	0.11	0.08	0.02	0.01										2.02
120	1.47	0.79	0.26	0.19	0.08	0.08										2.87
130	2.59	1.12	0.80	0.40	0.22	0.13	0.02	0.01								5.29
140	3.01	1.40	0.93	0.84	0.45	0.28	0.07	0.03								7.01
150	3.00	1.81	1.21	0.84	0.33	0.10	0.07	0.01								7.36
160	3.78	2.32	1.52	0.64	0.23	0.06										8.56
170	4.19	3.82	2.09	0.59	0.09	0.02	0.01									10.80
180	3.63	4.38	2.51	0.38	0.08											10.97
190	2.11	2.87	1.74	0.23	0.02	0.03										7.00
200	0.55	1.14	0.61	0.11	0.02											2.42
210	0.17	0.27	0.17													0.62
220	0.04	0.04	0.09	0.01												0.17
230	0.01	0.03	0.02													0.06
240	0.03	0.01														0.04
250	0.01	0.01														0.02
260	0.04	0.01														0.05
270	0.00	0.01														0.01
280	0.01	0.02														0.03
290	0.00	0.00	0.01													0.01
300	0.01	0.02														0.03
310	0.01															0.01
320	0.01	0.05	0.01													0.07
330	0.11	0.03														0.13
340	0.06	0.01														0.07
350	0.10	0.11	0.05	0.05	0.03	0.03	0.01									0.37
360	0.48	0.41	0.56	0.41	0.32	0.18	0.03									2.40
TOT.	39.47	31.55	18.00	6.77	2.70	1.19	0.25	0.07								100.00
Tot. cumul.	71.02	89.02	95.78	98.49	99.68	99.93	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Numero di eventi validi : 10390

**Tabella 6.5: Clima primaverile alla boa ondometrica di Crotona: eventi di moto ondosu triorari classificati per altezza e direzione (periodo 1 luglio 1989-30 giugno 2007).**

Distribuzione percentuale degli eventi ondosu, per classi di Hs e direzione di provenienza. ESTATE

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<.25	.25÷0.5	0.5÷1.0	1.0÷1.5	1.5÷2.0	2.0÷2.5	2.5÷3.0	3.0÷3.5	3.5÷4.0	4.0÷4.5	4.5÷5.0	5.0÷5.5	5.5÷6.0	6.0÷6.5	>=6.5	
10	2.34	2.52	2.84	1.64	0.30	0.03										9.67
20	2.51	3.03	2.58	0.57	0.06	0.02	0.01									8.77
30	2.77	2.91	1.17	0.18	0.01											7.04
40	2.52	2.57	0.41	0.05	0.06											5.60
50	2.58	1.98	0.20	0.01	0.01											4.77
60	2.49	1.47	0.11	0.03	0.02											4.12
70	2.14	0.87	0.10	0.10	0.03	0.04										3.28
80	2.00	0.64	0.11	0.04	0.03											2.82
90	1.59	0.42	0.05	0.03	0.02	0.00										2.10
100	1.82	0.46	0.09	0.07	0.03	0.00										2.48
110	1.68	0.41	0.18	0.06	0.04	0.02										2.38
120	1.56	0.43	0.14	0.04	0.06	0.02	0.01									2.25
130	1.71	0.46	0.15	0.06	0.02	0.02	0.05	0.02	0.02							2.49
140	1.73	0.58	0.27	0.06	0.06	0.01	0.03	0.01								2.74
150	2.23	0.93	0.36	0.10	0.03	0.02	0.02									3.69
160	2.79	1.38	0.54	0.30	0.02	0.04										5.07
170	3.52	1.92	0.72	0.33	0.06											6.55
180	3.69	3.49	1.37	0.41	0.04											9.00
190	2.47	3.08	1.37	0.27												7.19
200	0.98	1.27	0.55	0.14	0.01											2.95
210	0.27	0.29	0.15													0.70
220	0.12	0.10	0.02	0.01												0.25
230	0.05	0.04	0.01													0.09
240	0.02	0.05	0.01													0.07
250	0.04	0.01														0.05
260	0.03	0.01	0.01													0.05
270	0.00	0.02	0.01													0.03
280	0.01															0.01
290	0.00	0.00	0.01													0.01
300	0.00	0.02														0.02
310	0.03	0.04														0.06
320	0.04	0.02	0.01													0.06
330	0.03	0.03	0.01													0.06
340	0.06	0.03	0.02													0.10
350	0.14	0.12	0.11	0.05												0.42
360	0.55	0.68	0.87	0.66	0.28	0.02										3.07
TOT.	46.49	32.25	14.54	5.21	1.14	0.22	0.11	0.03	0.02							100.00
Tot. cumul.	78.74	93.28	98.49	99.62	99.84	99.95	99.98	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Numero di eventi validi : 10828

**Tabella 6.6: Clima autunnale alla boa ondometrica di Crotone: eventi di moto ondosu triorari classificati per altezza e direzione (periodo 1 luglio 1989-30 giugno 2007).**

Distribuzione percentuale degli eventi ondosu, per classi di Hs e direzione di provenienza. AUTUNNO

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<.25	.25÷0.5	0.5÷1.0	1.0÷1.5	1.5÷2.0	2.0÷2.5	2.5÷3.0	3.0÷3.5	3.5÷4.0	4.0÷4.5	4.5÷5.0	5.0÷5.5	5.5÷6.0	6.0÷6.5	>=6.5	
10	1.60	0.33	1.20	2.14	1.16	0.67	0.25	0.04	0.04							7.41
20	1.38	0.56	2.02	1.45	0.51	0.27	0.03									6.23
30	0.95	1.09	1.62	0.66	0.25	0.08	0.02									4.66
40	0.89	1.14	0.98	0.34	0.22	0.02	0.01									3.60
50	0.86	1.06	0.57	0.25	0.06	0.02	0.01	0.01								2.84
60	0.89	0.88	0.54	0.24	0.06	0.03										2.64
70	0.81	0.74	0.34	0.15	0.13	0.03	0.03									2.23
80	0.87	0.66	0.28	0.17	0.13	0.08										2.19
90	0.98	0.71	0.47	0.29	0.11	0.05	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02					2.65
100	1.16	0.68	0.44	0.26	0.25	0.07	0.01	0.03	0.03	0.00						2.93
110	0.97	0.73	0.51	0.31	0.11	0.11	0.04	0.03	0.01							2.81
120	1.06	0.86	0.56	0.31	0.23	0.25	0.15	0.11	0.09	0.02	0.02	0.01				3.66
130	1.57	0.94	0.79	0.44	0.28	0.26	0.25	0.18	0.12	0.11	0.08	0.02	0.02			5.06
140	1.71	0.91	0.94	0.71	0.37	0.28	0.24	0.13	0.09	0.03	0.01					5.41
150	1.87	1.33	1.26	1.20	0.66	0.32	0.31	0.10	0.05	0.01						7.12
160	2.78	1.57	1.90	1.28	0.62	0.23	0.08	0.03	0.00	0.01						8.50
170	2.21	1.70	2.19	1.76	0.81	0.11	0.03	0.00	0.01	0.00	0.02					8.83
180	2.25	1.66	2.92	1.96	0.84	0.05	0.01									9.69
190	1.04	1.37	1.64	1.08	0.21	0.07	0.02									5.42
200	0.35	0.78	0.63	0.29	0.03											2.09
210	0.02	0.25	0.25	0.04												0.56
220	0.01	0.00	0.02													0.03
230	0.01	0.01	0.00	0.01												0.03
240	0.00	0.00	0.01													0.01
250																
260	0.01	0.01	0.01													0.03
270	0.00	0.02	0.04	0.03												0.09
280	0.02															0.02
290																
300	0.04	0.01														0.05
310	0.02	0.01														0.03
320	0.02	0.01														0.03
330	0.03	0.01														0.04
340	0.09	0.04	0.00	0.01												0.14
350	0.08	0.05	0.04	0.03	0.03	0.06										0.28
360	0.44	0.15	0.32	0.54	0.49	0.36	0.23	0.12	0.05	0.01						2.71
TOT.	27.00	20.26	22.49	15.95	7.54	3.41	1.70	0.77	0.49	0.19	0.15	0.03	0.02			100.00
Tot. cumul.	47.25	69.75	85.70	93.24	96.66	98.35	99.13	99.62	99.80	99.95	99.98	100.00	100.00	100.00		

Numero di eventi validi : 10198

**Tabella 6.7: Boa ondometrica di Crotona: Ripartizione del numero di stati di mare per classi di  $H_s$  e  $T_p$**

Hs (m)	CLASSI DI PERIODO DI PICCO $T_p$ (s)							Tot.
	( $T_p < 4$ )	( $4 < T_p < 6$ )	( $6 < T_p < 8$ )	( $8 < T_p < 10$ )	( $10 < T_p < 12$ )	( $12 < T_p < 14$ )	( $14 < T_p$ )	
<0.25	7.845	7.412	1.542	0.260	0.028	0.006	0.517	17.611
0.25÷0.75	15.338	23.423	7.030	0.906	0.125	0.004	1.034	47.860
0.75÷1.25	0.712	10.503	6.545	1.066	0.019		0.041	18.887
1.25÷1.75	0.004	3.203	4.073	1.363	0.058			8.702
1.75÷2.25		0.508	2.128	1.071	0.147	0.002	0.002	3.859
2.25÷2.75		0.022	0.833	0.660	0.154		0.004	1.672
2.75÷3.25			0.249	0.361	0.151		0.002	0.764
3.25÷3.75			0.080	0.147	0.134	0.004		0.366
3.75÷4.25			0.002	0.054	0.093		0.002	0.151
4.25÷4.75			0.006	0.015	0.063	0.004		0.089
4.75÷5.25				0.004	0.024			0.028
>5.25				0.002	0.011			0.013
<b>Tot.</b>	23.90	45.07	22.49	5.91	1.01	0.02	1.60	<b>100.00</b>

### 6.3.2 LEGGE DI DIPENDENZA TRA ALTEZZA SIGNIFICATIVA E PERIODO DI PICCO

Un'ulteriore analisi può essere eseguita al fine di individuare la legge di dipendenza tra il periodo di picco delle onde  $T_p$  e l'altezza d'onda significativa  $H_s$ . In particolare si suggerisce di fare riferimento alla seguente relazione (Mathiesen et al., 1994):

$$T_p = a \cdot (H_s)^b \quad [4.3.3.1]$$

ove i parametri  $a$  e  $b$  si possono ricavare mediante il metodo dei minimi quadrati sulla base delle coppie di valori osservati dell'altezza d'onda e del periodo.

Per le onde di altezza maggiore ( $H_s$  superiore a 2,5 m), può essere adottata anche una legge del tipo:

$$T_p = c \cdot (H_s)^{0.5}$$

Nel presente studio si è fatto riferimento ai coefficienti di correlazione ondosi riportati nello "Atlante delle onde e dei mari italiani" per la boa ondometrica di Crotona e di seguito riportati.

$$T_p = 6.002 \cdot (H_s)^{0.327}$$

### 6.3.3 TRASPOSIZIONE GEOGRAFICA AL LARGO DI TARANTO

Il tratto di costa sulla quale sorge il porto di Taranto, nella zona settentrionale dell'omonimo Golfo, è collocato a circa 160 km a Sud della stazione ondometrica RON di Crotona; le registrazioni ondometriche dirette effettuate presso di questa, pur essendo rappresentative dell'esposizione climatica del Mar Ionio, non tengono conto della distinta posizione geografica del sito di interesse.

E' necessario quindi applicare una metodologia di «trasposizione geografica», del clima d'onda, dalla boa ondometrica presa in esame al punto scelto al largo di Taranto.

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 quelle nel punto di interesse. L'ipotesi di base della metodologia (P.Contini e P. De Girolamo, 1998) consiste nel supporre che le stesse condizioni di vento (velocità e direzione), che hanno determinato le condizioni di moto ondoso

registrate dall'ondametro di Crotona, abbiano interessato anche l'area di generazione situata al largo del sito di interesse. Inoltre si ipotizza che le aree di generazione del moto ondoso possano essere determinate per ciascun punto utilizzando il concetto di "fetch efficace" (Seymour, 1977). Nel caso di fetch limitati, le leggi che permettono di calcolare l'altezza d'onda significativa spettrale  $H_{mo}$  e il periodo di picco spettrale  $T_m$  in funzione della lunghezza del fetch e della velocità del vento sono le seguenti (Vincent, 1984, Shore Protection Manual, 1984):

$$\frac{gH_m}{U_A^2} = 1.6 \cdot 10^{-3} \left( \frac{gF}{U_A} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

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

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 del 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:

$$\frac{H_{mo}^P}{H_{mo}^O} = \left( \frac{F^P}{F^O} \right)^{\frac{1}{2}} = (K_F)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$$\frac{T_{mo}^P}{T_{mo}^O} = \left( \frac{F^P}{F^O} \right)^{\frac{1}{3}} = (K_F)^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

Per ottenere le precedenti relazioni si è ovviamente supposto che il fattore di velocità del vento sia lo stesso nei due punti in esame. Tale assunzione deriva dall'aver ipotizzato che le aree di generazione dei due punti siano interessate dalla stessa perturbazione climatica e quindi dalla stessa velocità del vento.

Il termine  $K_F$  è il parametro di trasposizione geografica; valori inferiori ad 1 implicano un'attenuazione delle caratteristiche del moto ondoso nel punto di trasposizione rispetto a quello di misura.

Il metodo si completa utilizzando la legge di Leenknecht et al., 1992 (vedi anche ACES, 1992) che stabilisce il legame tra la direzione media del vento  $\alpha_w$  e la direzione media del moto ondoso  $\Theta$  da esso generato. La direzione del moto ondoso nel punto di trasposizione  $\Theta_P$  viene calcolata in funzione della suddetta legge di corrispondenza con la direzione media del vento (esplicitata rispetto ad  $\alpha_w$  per il punto di misura e rispetto a  $\Theta_P$  per il punto di trasposizione):

$$\alpha_w = f(\Theta_O) \quad (5)$$

$$\Theta_P = f(\alpha_w) = f(\Theta_O) \quad (6)$$

L'applicazione del metodo impone la preliminare caratterizzazione dei fetch geografici ed efficaci per i due siti (ondametro di Crotona e punto al largo di Taranto); a tal scopo è stato utilizzato il

modello di calcolo ENIF per la definizione dei fetch efficaci abbinato al modello di calcolo SAGITTA (sviluppato e commercializzato dalla MODIMAR s.r.l.) che elabora in automatico tutta la serie ondometrica del punto di misura e la traspone in funzione delle equazioni sopra descritte.

I risultati ottenuti dalle seguenti elaborazioni hanno consentito di definire indirettamente il clima d'onda in prossimità del porto di Taranto.

Nella Figura 6.5 sono riportate rispettivamente la rosa annuale e quelle stagionali del clima di moto ondoso. Dalla Tabella 6.8 alla Tabella 6.13 vengono riportati gli stessi risultati in forma numerica.

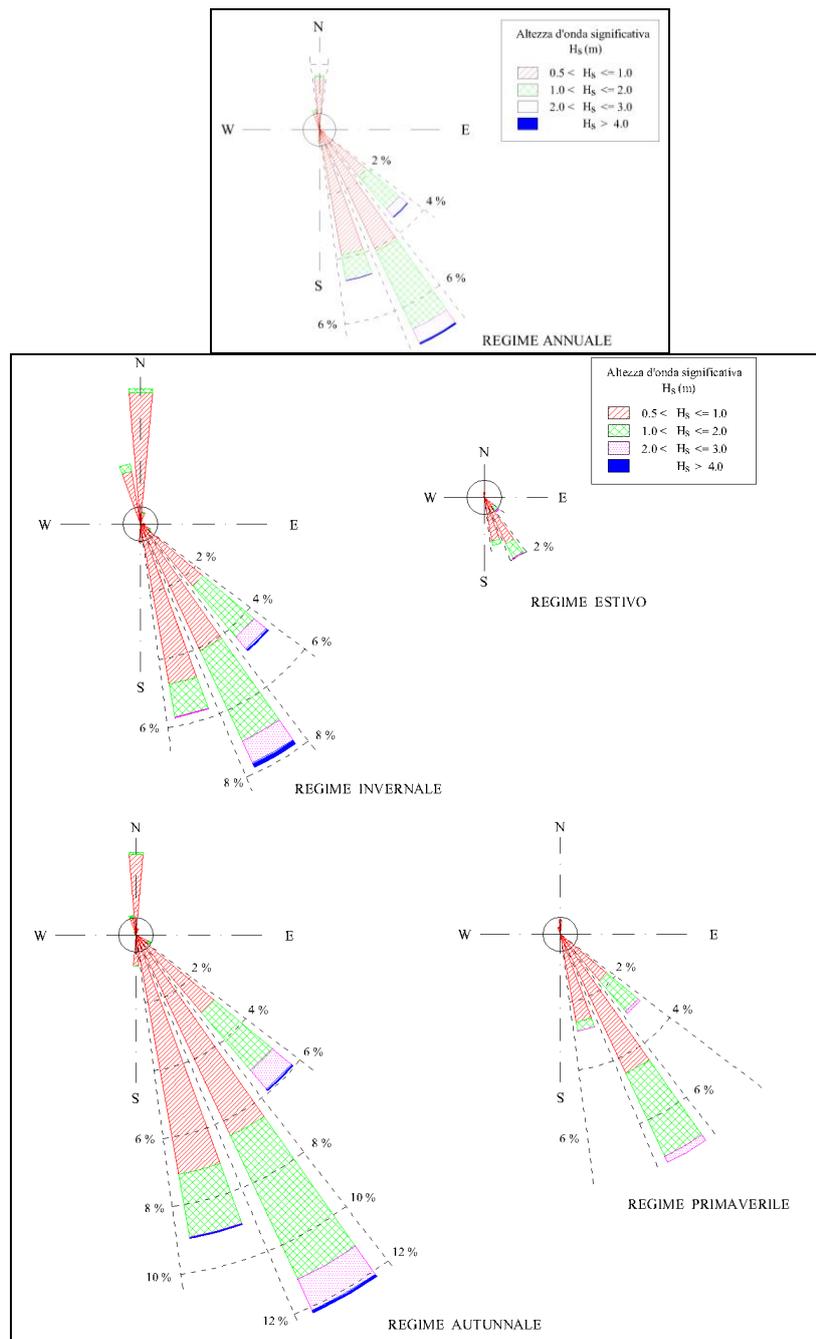


Figura 6.5 – Settore di traversia principale (130°N-160°N): Rose della distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso annuale e stagionali nel punto di trasposizione scelto al largo di Taranto.

**Tabella 6.8 – Settore di traversia principale (130°N-160°N): punto di trasposizione al largo di Taranto: Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza. ANNUALE**

Taranto Serie ondometrica al largo ( Dati rilevati dal 01/07/1989 al 30/06/2007 )  
 Distribuzione percentuale degli eventi ondosi per classi di Hs e direzione di provenienza. Regime ANNUALE

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT
	0+0.25	0.25+0.5	0.5+1	1+1.5	1.5+2	2+2.5	2.5+3	3+3.5	3.5+4	4+4.5	4.5+5	5+5.5	5.5+6	6+6.5	>= 6.5	
10	7.311	1.952	0.258													9.52
20	1.231	0.143	0.017	0.002												1.39
30	0.387	0.045														0.43
40	0.416	0.058	0.002													0.48
50	0.420	0.037	0.002													0.46
60	0.757	0.082	0.006													0.85
70	0.403	0.037	0.004													0.44
80	0.359	0.043	0.004													0.41
90	3.080	0.169	0.026													3.27
100	4.636	0.255	0.032													4.92
110	3.725	0.268	0.028													4.02
120	3.991	0.418	0.093	0.009												4.51
130	3.623	0.866	0.565	0.136	0.032	0.024										5.25
140	3.285	1.816	1.762	0.920	0.526	0.262	0.115	0.030	0.013							8.73
150	3.495	2.266	2.573	1.234	0.548	0.251	0.104	0.028	0.006							10.50
160	4.309	3.668	3.376	0.989	0.214	0.017	0.011	0.006								12.59
170	5.237	4.010	1.891	0.143												11.28
180	3.720	1.350	0.175	0.002												5.25
190	1.612	0.084	0.006													1.70
200	0.299	0.026	0.004	0.002												0.33
210	0.058	0.026	0.004	0.004												0.09
220	0.039	0.002	0.002													0.04
230	0.022	0.004														0.03
240	0.032	0.006	0.002													0.04
250	0.024	0.002	0.002	0.002												0.03
260	0.013	0.015														0.03
270	0.006	0.002	0.004													0.01
280	0.006	0.004	0.002													0.01
290	0.009		0.006	0.002												0.02
300	0.024	0.002	0.004	0.002												0.03
310	0.037	0.002	0.002	0.004												0.05
320	0.041	0.006	0.006													0.05
330	0.039	0.009	0.019	0.002												0.07
340	0.143	0.043	0.050	0.035												0.27
350	1.097	1.076	0.876	0.045												3.09
360	4.374	4.261	1.119	0.032												9.79
TOT	58.26	23.06	12.93	3.57	1.32	0.55	0.23	0.06	0.02							100.00
Tot. cumul.		81.32	94.25	97.81	99.13	99.69	99.92	99.98	100.00							

Numero di eventi validi: 46207

**Tabella 6.9 – Settore di traversia principale (130°N-160°N): punto di trasposizione al largo di Taranto: Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza. PRIMAVERILE**

Taranto Serie ondometrica al largo ( Dati rilevati dal 01/07/1989 al 30/06/2007 )  
 Distribuzione percentuale degli eventi ondosi per classi di Hs e direzione di provenienza. Regime PRIMAVERILE

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT
	0+0.25	0.25+0.5	0.5+1	1+1.5	1.5+2	2+2.5	2.5+3	3+3.5	3.5+4	4+4.5	4.5+5	5+5.5	5.5+6	6+6.5	>= 6.5	
10	6.231	0.691	0.043													6.96
20	1.075	0.051														1.13
30	0.290	0.017														0.31
40	0.376	0.017														0.39
50	0.324	0.017														0.34
60	0.538	0.026														0.56
70	0.299															0.30
80	0.307	0.009														0.32
90	2.697	0.034	0.009													2.74
100	3.935	0.094	0.009													4.04
110	3.192	0.085	0.009													3.29
120	3.952	0.094														4.05
130	3.832	0.410	0.307	0.068	0.009											4.63
140	4.191	2.390	1.938	1.101	0.418	0.119										10.16
150	5.104	3.107	3.056	1.255	0.597	0.137	0.009									13.26
160	7.315	5.104	2.945	0.521	0.051	0.009										15.94
170	7.904	4.413	0.777	0.026												13.12
180	4.805	1.075	0.094													5.97
190	1.656	0.034														1.69
200	0.333	0.009														0.34
210	0.051	0.043														0.09
220	0.043															0.04
230	0.034															0.03
240	0.051	0.009														0.06
250	0.034															0.03
260	0.009															0.01
270	0.009															0.01
280	0.009	0.009														0.02
290	0.009															0.01
300	0.034															0.03
310	0.068															0.07
320	0.102															0.10
330	0.077															0.08
340	0.179	0.034	0.017													0.23
350	1.468	0.691	0.316													2.48
360	4.601	2.287	0.282													7.17
TOT	65.13	20.75	9.80	2.97	1.08	0.26	0.01									100.00
Tot. cumul.		85.88	95.68	98.65	99.73	99.99	100.00									

Numero di eventi validi: 11716

**Tabella 6.10 – Settore di traversia principale (130°N-160°N): punto di trasposizione al largo di Taranto: Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza. ESTIVO**

Taranto Serie ondometrica al largo ( Dati rilevati dal 01/07/1989 al 30/06/2007 )  
 Distribuzione percentuale degli eventi ondosi per classi di Hs e direzione di provenienza. Regime ESTIVO

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT
	0+0.25	0.25+0.5	0.5+1	1+1.5	1.5+2	2+2.5	2.5+3	3+3.5	3.5+4	4+4.5	4.5+5	5+5.5	5.5+6	6+6.5	>= 6.5	
10	11.739	0.904	0.024													12.67
20	1.824	0.033														1.86
30	0.643	0.008														0.65
40	0.570	0.041														0.61
50	0.668	0.008														0.68
60	1.156	0.024														1.18
70	0.676	0.008														0.68
80	0.407															0.41
90	4.583	0.041														4.62
100	6.594	0.033														6.63
110	4.860	0.098														4.96
120	4.233	0.106														4.34
130	4.168	0.440	0.114	0.016												4.74
140	3.557	0.773	0.391	0.081	0.073	0.033	0.008									4.92
150	4.274	1.270	0.895	0.244	0.065	0.016										6.76
160	5.479	2.458	1.262	0.212	0.041											9.45
170	7.270	3.093	0.562	0.008												10.93
180	5.234	0.830	0.016													6.08
190	2.076	0.057														2.13
200	0.464															0.46
210	0.163	0.024														0.19
220	0.065															0.07
230	0.049															0.05
240	0.057															0.06
250	0.033															0.03
260	0.024															0.02
270	0.008															0.01
280	0.016	0.008														0.02
290	0.016															0.02
300	0.049	0.008														0.06
310	0.073															0.07
320	0.041	0.016														0.06
330	0.057	0.008	0.008													0.07
340	0.269	0.057														0.33
350	1.783	1.083	0.090													2.96
360	7.864	3.305	0.065													11.23
TOT	81.04	14.73	3.43	0.56	0.18	0.05	0.01									100.00
Tot. cumul.		95.77	99.20	99.76	99.94	99.99	100.00									

Numero di eventi validi: 12284

**Tabella 6.11 – Settore di traversia principale (130°N-160°N): punto di trasposizione al largo di Taranto: Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza. AUTUNNALE**

Taranto Serie ondometrica al largo ( Dati rilevati dal 01/07/1989 al 30/06/2007 )  
 Distribuzione percentuale degli eventi ondosi per classi di Hs e direzione di provenienza. Regime AUTUNNALE

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT
	0+0.25	0.25+0.5	0.5+1	1+1.5	1.5+2	2+2.5	2.5+3	3+3.5	3.5+4	4+4.5	4.5+5	5+5.5	5.5+6	6+6.5	>= 6.5	
10	5.432	2.898	0.337													8.67
20	0.960	0.234	0.026													1.22
30	0.259	0.061														0.32
40	0.311	0.112														0.42
50	0.303	0.078	0.009													0.39
60	0.597	0.104	0.009													0.71
70	0.311	0.069														0.38
80	0.372	0.112														0.48
90	2.405	0.216	0.043													2.66
100	3.979	0.355	0.009													4.34
110	2.976	0.562	0.043													3.58
120	4.135	0.804	0.242	0.026												5.21
130	3.045	1.419	1.021	0.294	0.078	0.035										5.89
140	2.526	1.920	2.699	1.315	0.882	0.554	0.311	0.061	0.009							10.28
150	2.076	2.457	4.005	2.136	0.882	0.493	0.259	0.061								12.37
160	1.600	3.927	5.640	2.292	0.476	0.026	0.043	0.026								14.03
170	2.396	4.463	3.910	0.337												11.11
180	2.405	1.635	0.389	0.009												4.44
190	1.427	0.156	0.017													1.60
200	0.190	0.035		0.009												0.23
210			0.009													0.01
220	0.026	0.009	0.009													0.04
230		0.009														0.01
240																
250	0.009	0.009		0.009												0.03
260	0.017	0.061														0.08
270			0.017													0.02
280																
290	0.009		0.026	0.009												0.04
300			0.017	0.009												0.03
310			0.009	0.017												0.03
320			0.026													0.03
330	0.017	0.009	0.069	0.009												0.10
340	0.086	0.017	0.043	0.026												0.17
350	0.476	0.882	0.917	0.061												2.34
360	2.059	4.878	1.765	0.052												8.75
TOT	40.40	27.49	21.30	6.61	2.32	1.11	0.61	0.15	0.01							100.00
Tot. cumul.		67.89	89.20	95.80	98.12	99.23	99.84	99.99	100.00							

Numero di eventi validi: 11561

**Tabella 6.12 – Settore di traversia principale (130°N-160°N): punto di trasposizione al largo di Taranto: Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza. INVERNALE**

Taranto Serie ondometrica al largo ( Dati rilevati dal 01/07/1989 al 30/06/2007 )  
 Distribuzione percentuale degli eventi ondosi per classi di Hs e direzione di provenienza. Regime INVERNALE

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT
	0+0.25	0.25+0.5	0.5+1	1+1.5	1.5+2	2+2.5	2.5+3	3+3.5	3.5+4	4+4.5	4.5+5	5+5.5	5.5+6	6+6.5	>= 6.5	
10	5.429	3.522	0.676													9.63
20	1.014	0.272	0.047	0.009												1.34
30	0.338	0.103														0.44
40	0.395	0.066	0.009													0.47
50	0.366	0.047														0.41
60	0.714	0.188	0.019													0.92
70	0.301	0.075	0.019													0.39
80	0.348	0.056	0.019													0.42
90	2.499	0.413	0.056													2.97
100	3.861	0.582	0.122													4.57
110	3.814	0.348	0.066													4.23
120	3.598	0.714	0.141	0.009												4.46
130	3.391	1.259	0.874	0.178	0.047	0.066										5.81
140	2.799	2.273	2.132	1.259	0.780	0.366	0.150	0.066	0.047							9.87
150	2.367	2.283	2.423	1.371	0.686	0.385	0.160	0.056	0.028							9.76
160	2.593	3.203	3.832	0.986	0.310	0.038										10.96
170	3.043	4.133	2.461	0.216												9.85
180	2.207	1.944	0.216													4.37
190	1.231	0.094	0.009													1.33
200	0.188	0.066	0.019													0.27
210	0.009	0.038	0.009	0.019												0.08
220	0.019															0.02
230		0.009														0.01
240	0.019	0.019	0.009													0.05
250	0.019		0.009													0.03
260																
270	0.009	0.009														0.02
280			0.009													0.01
290																
300	0.009															0.01
310		0.009														0.01
320	0.019	0.009														0.03
330		0.019														0.02
340	0.019	0.066	0.150	0.122												0.36
350	0.573	1.700	2.358	0.132												4.76
360	2.611	6.866	2.555	0.085												12.12
TOT	43.80	30.39	18.24	4.39	1.82	0.85	0.31	0.12	0.08							100.00
Tot. cumul.		74.19	92.43	96.82	98.64	99.49	99.80	99.92	100.00							

Numero di eventi validi: 10646

Per il punto scelto al largo del porto di Taranto, nella Tabella 6.13 viene riportata la distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso per classi di altezza d'onda Hs e periodo di picco Tp.

**Tabella 6.13 – Settore di traversia principale (130°N-160°N): punto di trasposizione al largo di Taranto, ripartizione del numero di stati di mare per classi di Hs e Tp**

Numero degli eventi di moto ondoso ripartiti per classi di altezza d'onda significativa e periodo di picco

Hs (m)	CLASSI DI PERIODO DI PICCO Tp (s)							Tot.
	(Tp<4)	(4<Tp<6)	(6<Tp<8)	(8<Tp<10)	(10<Tp<12)	(12<Tp<14)	(14<Tp)	
<0.25	50.930	5.226	0.729	0.366	0.335	0.171	0.502	58.260
0.25+0.75	19.759	9.951	1.753	0.030	0.004	0.006	0.087	31.590
0.75+1.25	0.740	3.406	2.443	0.063	0.002	0.004	0.002	6.661
1.25+1.75	0.004	0.474	1.502	0.095	0.002			2.078
1.75+2.25		0.043	0.719	0.130				0.892
2.25+2.75		0.006	0.240	0.087	0.002			0.335
2.75+3.25			0.052	0.084	0.002			0.139
3.25+3.75			0.017	0.024				0.041
3.75+4.25			0.002	0.002				0.004
4.25+4.75								
4.75+5.25								
>5.25								0.000
Tot.	71.43	19.11	7.46	0.88	0.35	0.18	0.59	100.00

#### 6.4 SETTORI DI TRAVERSIA SECONDARIO (170° - 230° N)

Per la ricostruzione del moto ondoso nel punto scelto poco al largo di Taranto in relazione ai settori di Libeccio e Ponente è stato applicato il metodo indiretto noto nella letteratura specializzata con la sigla SMB che deriva dalle lettere iniziali dei tre autori, ovvero Sverdrup, Munk, e Bretschneider. Il metodo, basato sulle equazioni di bilancio di energia tra il vento e il moto ondoso, consente di ricostruire le caratteristiche del moto ondoso sulla base della conoscenza del campo di vento (supposto costante nell'area di generazione) e dell'area di generazione stessa ("fetch").

Nel caso specifico, per il vento si è fatto riferimento alla serie storica anemometrica registrata dalla stazione di Taranto, gestita dall'ISPRA e facente parte della omonima stazione mareografica nazionale, per il periodo che va dal 1998 al 2012.

Per la ricostruzione delle caratteristiche ondamiche è stato utilizzato il modello numerico Altair (sviluppato dalla società Modimar Srl) che applica le equazioni del metodo SMB. Per l'area di generazione si è fatto riferimento solo al Golfo di Taranto e quindi si sono calcolati i relativi "fetchs" geografici ed efficaci riportati nei grafici polari di Figura 6.6 e Figura 6.7 ed in forma numerica nella Tabella 6.14. L'applicazione del modello Altair ha quindi consentito di ricostruire la serie storica di altezze d'onda significative, periodi significativi e direzioni di provenienza del moto ondoso nel periodo compreso tra il 1998 e il 2012.

Nei grafici polari riportati nella Figura 6.8 vengono rappresentate le distribuzioni percentuali annuale e stagionali del numero di eventi di moto ondoso ricostruiti e suddivisi per classi di altezza d'onda significativa ( $H_s$ ) e direzione di provenienza ( $^{\circ}N$ ); dalla tabella 7.1.1 alla tabella 7.1.5 vengono riportati gli stessi risultati in forma numerica.

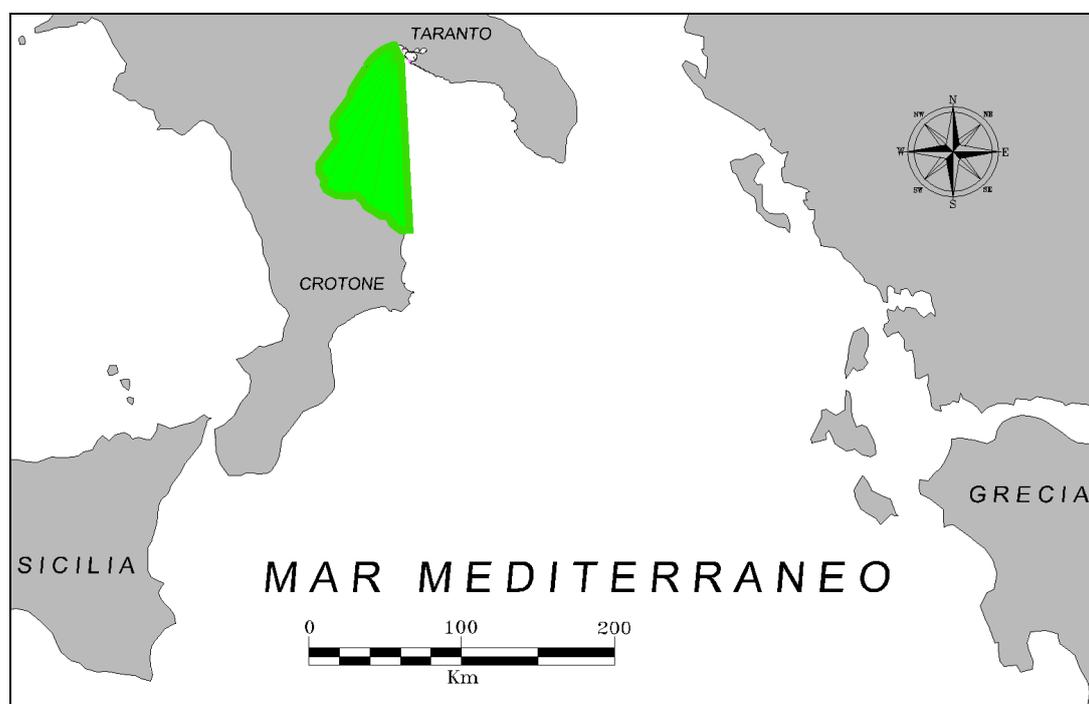


Figura 6.6: Fetchs geografici all'interno del golfo di Taranto.

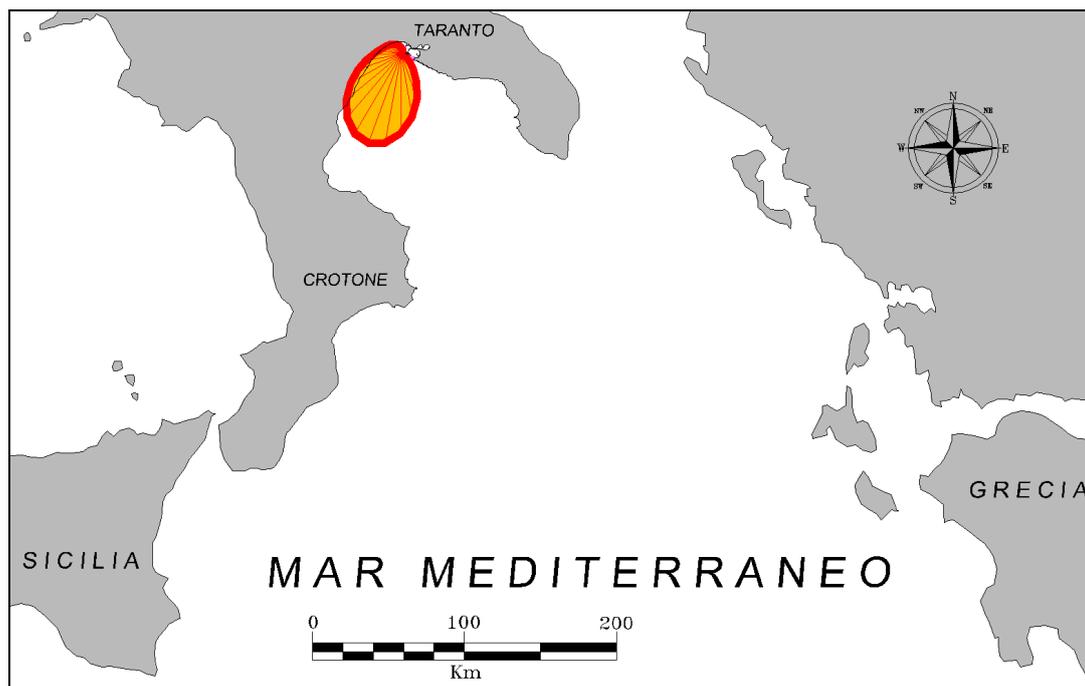


Figura 6.7: Fetchs efficaci all'interno del golfo di Taranto.

Tabella 6.14– Fetchs geografici ed efficaci all'interno del golfo di Taranto.

Fetch geografici ed efficaci nel golfo di Taranto (-50 m s.l.m.)							
Direzione media settore di traversia (°Nord)	Fetch Geografico (km)	Fetch Efficace (km)	Deviazione direzione vento-mare (°)	Direzione media settore di traversia (°Nord)	Fetch Geografico (km)	Fetch Efficace (km)	Deviazione direzione vento-mare (°)
0	3.95	4.71	334.0	180	111.86	52.35	-348.0
10	3.17	3.89	331.0	190	101.50	59.45	-354.0
20	2.71	3.21	329.0	200	96.83	62.29	-360.0
30	2.43	2.71	327.0	210	96.30	60.49	-6.0
40	2.27	2.37	325.0	220	64.05	54.75	-12.0
50	2.19	2.18	325.0	230	40.65	46.56	-18.0
60	2.18	2.11	335.0	240	30.65	37.66	-23.0
70	2.24	2.11	63.0	250	22.87	29.49	-28.0
80	2.37	2.17	61.0	260	19.28	22.88	-33.0
90	2.47	2.29	58.0	270	16.22	17.99	-37.0
100	2.53	2.52	55.0	280	13.85	14.60	-40.0
110	2.68	3.10	51.0	290	12.13	12.30	317.0
120	2.94	4.57	46.0	300	10.97	10.70	317.0
130	3.36	7.67	41.0	310	10.05	9.49	321.0
140	4.08	13.10	36.0	320	9.42	8.46	332.0
150	5.40	21.13	30.0	330	8.93	7.50	337.0
160	8.33	31.31	-336.0	340	8.71	6.55	337.0
170	19.60	42.34	-342.0	350	6.92	5.61	336.0

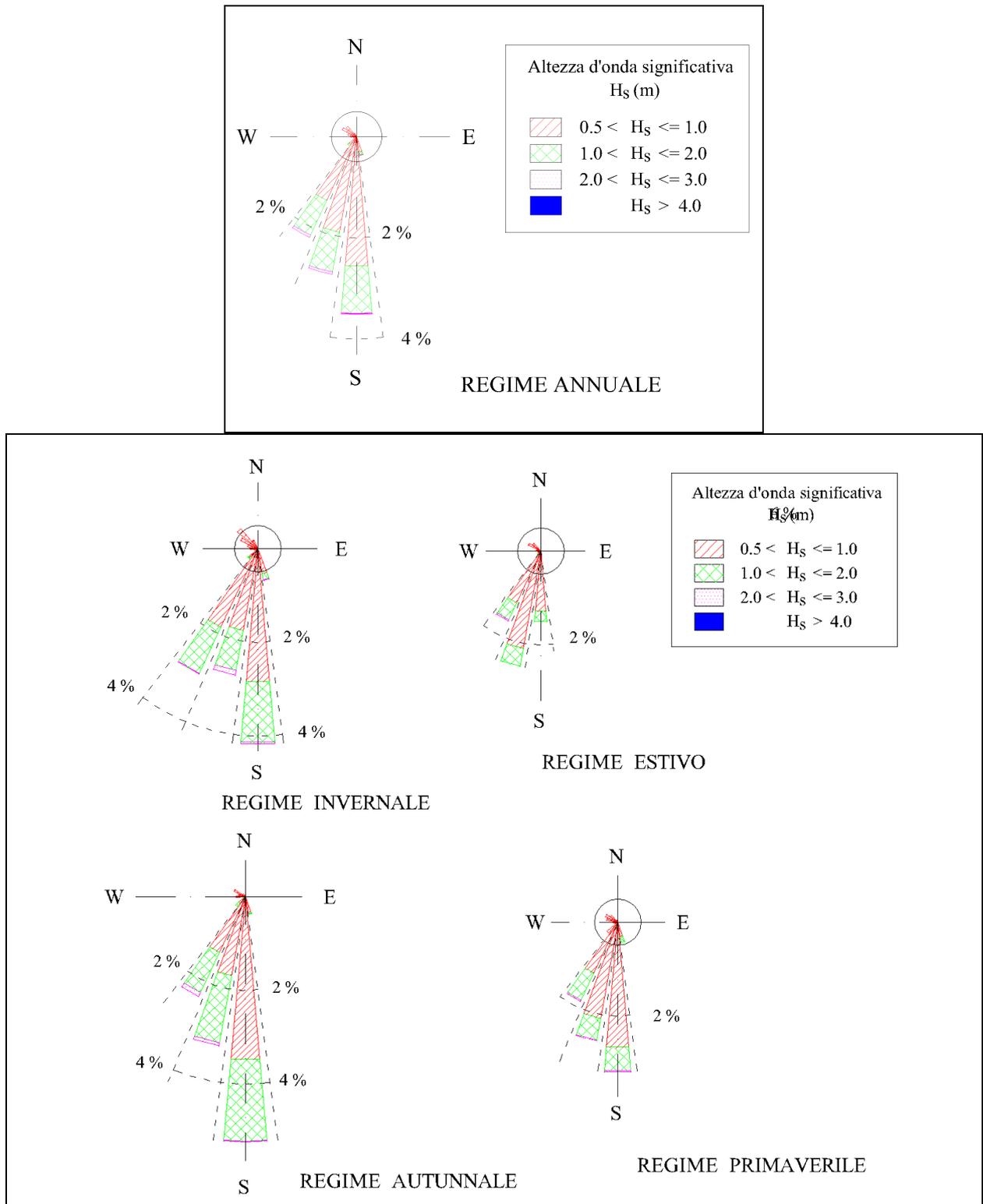


Figura 6.8 – Settore di traversia 170°N-230°N: distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso nel punto di trasposizione al largo di Taranto

**Tabella 6.15 – Settore di traversia 170°N-230°N: punto di trasposizione al largo di Taranto. Distribuzione percentuale degli eventi ondosi per classi di Hs e direzione di provenienza. ANNUALE**

Taranto Golfo Serie ondometrica al largo ( Dati rilevati dal 01/07/1998 al 15/09/2012 )  
 Distribuzione percentuale degli eventi ondosi per classi di Hs e direzione di provenienza. Regime ANNUALE

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT
	0+0.25	0.25+0.5	0.5+1	1+1.5	1.5+2	2+2.5	2.5+3	3+3.5	3.5+4	4+4.5	4.5+5	5+5.5	5.5+6	6+6.5	>= 6.5	
10	5.491	0.023														5.51
20	4.183	0.005														4.19
30	2.171	0.002														2.17
40	0.368															0.37
50	0.423	0.002														0.43
60	0.471															0.47
70	0.402															0.40
80	0.448															0.45
90	0.407															0.41
100	0.366	0.002														0.37
110	0.398															0.40
120	0.356															0.36
130	1.009															1.01
140	2.550	0.009														2.56
150	1.771	0.041														1.81
160	1.577	0.166	0.028													1.77
170	2.001	0.823	0.577	0.087	0.016	0.005										3.51
180	1.720	1.398	1.821	0.550	0.087	0.011										5.59
190	1.945	1.568	1.396	0.536	0.113	0.014										5.57
200	4.033	3.155	1.244	0.400	0.115	0.034	0.007									8.99
210	4.636	2.228	1.012	0.464	0.138	0.037										8.51
220	2.253	0.589	0.274	0.071	0.007											3.19
230	1.727	0.290	0.057	0.005												2.08
240	1.844	0.200	0.018													2.06
250	1.863	0.354	0.034													2.25
260	1.791	0.529	0.041													2.36
270	1.996	0.648	0.094													2.74
280	1.580	0.745	0.106													2.43
290	2.021	1.106	0.124													3.25
300	2.014	1.354	0.223													3.59
310	2.362	1.251	0.205													3.82
320	2.081	1.081	0.156													3.32
330	2.603	0.814	0.044													3.46
340	3.079	0.437	0.007													3.52
350	3.746	0.129	0.002													3.88
360	3.143	0.057	0.002													3.20
TOT	70.83	19.01	7.47	2.11	0.48	0.10	0.01									100.00
Tot. cumul.		89.84	97.30	99.42	99.89	99.99	100.00									

Numero di eventi validi: 43489

**Tabella 6.16 – Settore di traversia 170°N-230°N: punto di trasposizione al largo di Taranto. Distribuzione percentuale degli eventi ondosi per classi di Hs e direzione di provenienza. PRIMAVERA**

Taranto Golfo Serie ondometrica al largo ( Dati rilevati dal 01/07/1998 al 15/09/2012 )  
 Distribuzione percentuale degli eventi ondosi per classi di Hs e direzione di provenienza. Regime PRIMAVERILE

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT
	0+0.25	0.25+0.5	0.5+1	1+1.5	1.5+2	2+2.5	2.5+3	3+3.5	3.5+4	4+4.5	4.5+5	5+5.5	5.5+6	6+6.5	>= 6.5	
10	4.207	0.019														4.23
20	3.108	0.009														3.12
30	1.793															1.79
40	0.300															0.30
50	0.263															0.26
60	0.394															0.39
70	0.319															0.32
80	0.347															0.35
90	0.413															0.41
100	0.319															0.32
110	0.291															0.29
120	0.291															0.29
130	0.930															0.93
140	2.732	0.019														2.75
150	2.225	0.085														2.31
160	2.038	0.207	0.009													2.25
170	2.977	1.127	0.704	0.113	0.009											4.93
180	2.197	1.577	1.962	0.413	0.056	0.019										6.23
190	2.441	2.131	1.531	0.216	0.038											6.36
200	5.465	4.714	1.061	0.282	0.056	0.019										11.60
210	5.887	2.958	0.967	0.376	0.122	0.009										10.32
220	2.948	0.638	0.291	0.056												3.93
230	2.338	0.376	0.094													2.81
240	2.376	0.216	0.009													2.60
250	1.991	0.319	0.019													2.33
260	1.634	0.291	0.047													1.97
270	1.324	0.291	0.075													1.69
280	1.155	0.498	0.141													1.79
290	1.258	0.798	0.150													2.21
300	1.624	1.080	0.244													2.95
310	1.746	1.033	0.188													2.97
320	1.700	1.014	0.066													2.78
330	2.300	0.836	0.028													3.16
340	2.394	0.441														2.84
350	3.230	0.094														3.32
360	2.845	0.056														2.90
TOT	69.80	20.83	7.59	1.46	0.28	0.05										100.00
Tot. cumul.		90.63	98.22	99.67	99.95	100.00										

Numero di eventi validi: 10650

**Tabella 6.17 – Settore di traversia 170°N-230°N: punto di trasposizione al largo di Taranto. Distribuzione percentuale degli eventi ondosi per classi di Hs e direzione di provenienza. ESTATE**

Taranto Golfo Serie ondometrica al largo ( Dati rilevati dal 01/07/1998 al 15/09/2012 )  
 Distribuzione percentuale degli eventi ondosi per classi di Hs e direzione di provenienza. Regime ESTIVO

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT
	0+0.25	0.25+0.5	0.5+1	1+1.5	1.5+2	2+2.5	2.5+3	3+3.5	3.5+4	4+4.5	4.5+5	5+5.5	5.5+6	6+6.5	>= 6.5	
10	4.549															4.55
20	3.695	0.009														3.70
30	2.226															2.23
40	0.458															0.46
50	0.414	0.009														0.42
60	0.449															0.45
70	0.352															0.35
80	0.458															0.46
90	0.396															0.40
100	0.422															0.42
110	0.370															0.37
120	0.405															0.40
130	1.091															1.09
140	2.296															2.30
150	1.478	0.009														1.49
160	1.373	0.044														1.42
170	1.425	0.150	0.044													1.62
180	1.381	0.651	0.977	0.158												3.17
190	1.733	1.566	1.267	0.238	0.044											4.85
200	4.786	5.499	1.504	0.211	0.009											12.01
210	5.912	3.950	0.774	0.255	0.044	0.035										10.97
220	2.921	0.862	0.150	0.026	0.026											3.99
230	2.367	0.414	0.018													2.80
240	2.208	0.229	0.018													2.45
250	2.367	0.361	0.035													2.76
260	2.103	0.414	0.026													2.54
270	2.182	0.343	0.026													2.55
280	1.601	0.554	0.035													2.19
290	1.707	0.792	0.106													2.60
300	1.856	1.346	0.167													3.37
310	2.147	1.575	0.220													3.94
320	2.226	1.346	0.106													3.68
330	2.437	0.651	0.009													3.10
340	3.203	0.405														3.61
350	4.135	0.106														4.24
360	3.027	0.035														3.06
TOT	72.15	21.32	5.48	0.89	0.12	0.04										100.00
Tot. cumul.		93.47	98.95	99.84	99.96	100.00										

Numero di eventi validi: 11366

**Tabella 6.18 – Settore di traversia 170°N-230°N: punto di trasposizione al largo di Taranto. Distribuzione percentuale degli eventi ondosi per classi di Hs e direzione di provenienza. AUTUNNO**

Taranto Golfo Serie ondometrica al largo ( Dati rilevati dal 01/07/1998 al 15/09/2012 )  
 Distribuzione percentuale degli eventi ondosi per classi di Hs e direzione di provenienza. Regime AUTUNNALE

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT
	0+0.25	0.25+0.5	0.5+1	1+1.5	1.5+2	2+2.5	2.5+3	3+3.5	3.5+4	4+4.5	4.5+5	5+5.5	5.5+6	6+6.5	>= 6.5	
10	6.933	0.018														6.95
20	5.390															5.39
30	2.759	0.009														2.77
40	0.445															0.44
50	0.517															0.52
60	0.563															0.56
70	0.581															0.58
80	0.599															0.60
90	0.399															0.40
100	0.408	0.009														0.42
110	0.581															0.58
120	0.426															0.43
130	1.216															1.22
140	2.985															2.99
150	1.706	0.018														1.72
160	1.397	0.172	0.036													1.61
170	1.860	1.152	0.735	0.036												3.78
180	1.706	1.788	2.468	0.889	0.218	0.009										7.08
190	1.779	1.134	1.434	1.089	0.254	0.018										5.71
200	3.040	0.735	1.189	0.717	0.200	0.027	0.027									5.93
210	3.984	0.844	0.944	0.535	0.209	0.091										6.61
220	1.425	0.417	0.254	0.109												2.21
230	0.862	0.172	0.036	0.009												1.08
240	1.162	0.118	0.009													1.29
250	1.388	0.299	0.045													1.73
260	1.661	0.454	0.018													2.13
270	2.232	0.880	0.154													3.27
280	1.760	0.817	0.091													2.67
290	2.822	1.261	0.136													4.22
300	2.459	1.180	0.227													3.87
310	2.740	0.962	0.073													3.77
320	1.833	0.535	0.054													2.42
330	2.668	0.544	0.018													3.23
340	3.385	0.200														3.58
350	4.347	0.064														4.41
360	3.730	0.109														3.84
TOT	73.75	13.89	7.92	3.38	0.88	0.15	0.03									100.00
Tot. cumul.		87.64	95.56	98.95	99.83	99.97	100.00									

Numero di eventi validi: 11020

**Tabella 6.19 – Settore di traversia 170°N-230°N: punto di trasposizione al largo di Taranto. Distribuzione percentuale degli eventi ondosi per classi di Hs e direzione di provenienza. INVERNO**

Taranto Golfo Serie ondometrica al largo ( Dati rilevati dal 01/07/1998 al 15/09/2012 )  
 Distribuzione percentuale degli eventi ondosi per classi di Hs e direzione di provenienza. Regime INVERNALE

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT
	0+0.25	0.25+0.5	0.5+1	1+1.5	1.5+2	2+2.5	2.5+3	3+3.5	3.5+4	4+4.5	4.5+5	5+5.5	5.5+6	6+6.5	>= 6.5	
10	6.304	0.057														6.36
20	4.535															4.53
30	1.875															1.88
40	0.258															0.26
50	0.497															0.50
60	0.478															0.48
70	0.354															0.35
80	0.383															0.38
90	0.421															0.42
100	0.306															0.31
110	0.344															0.34
120	0.297															0.30
130	0.784															0.78
140	2.181	0.019														2.20
150	1.693	0.057														1.75
160	1.521	0.249	0.067													1.84
170	1.779	0.899	0.861	0.210	0.057	0.019										3.83
180	1.617	1.617	1.913	0.756	0.077	0.019										6.00
190	1.846	1.454	1.358	0.603	0.115	0.038										5.41
200	2.803	1.569	1.205	0.392	0.201	0.096										6.27
210	2.660	1.071	1.387	0.708	0.182	0.010										6.02
220	1.693	0.421	0.411	0.096												2.62
230	1.320	0.191	0.086	0.010												1.61
240	1.626	0.239	0.038													1.90
250	1.684	0.440	0.038													2.16
260	1.751	0.976	0.077													2.80
270	2.229	1.100	0.124													3.45
280	1.799	1.129	0.163													3.09
290	2.296	1.598	0.105													4.00
300	2.114	1.827	0.258													4.20
310	2.822	1.425	0.344													4.59
320	2.573	1.435	0.411													4.42
330	3.023	1.253	0.124													4.40
340	3.320	0.717	0.029													4.07
350	3.214	0.258	0.010													3.48
360	2.956	0.029	0.010													2.99
TOT	67.36	20.03	9.02	2.77	0.63	0.18										100.00
Tot. cumul.		87.39	96.41	99.19	99.82	100.00										

Numero di eventi validi: 10453

## 6.5 CLIMA ONDAMETRICO COMPLESSIVO

Utilizzando i risultati ottenuti nei paragrafi precedenti per il settore di Scirocco-Mezzogiorno (130° N – 160° N) e per il settore di Mezzogiorno-Libeccio (170° N- 230° N) si è ricostruito il clima ondametrico complessivo a largo della costa in esame.

I regimi ondametrici annuale e stagionali ottenuti sono riportati in forma numerica dalla Tabella 6.20 alla Tabella 6.24.

Sulla base dei risultati ottenuti si possono trarre le seguenti considerazioni:

- gli stati di mare caratterizzati dai maggiori valori di Hs provengono da un settore molto ristretto compreso tra le direzioni 140° N e 150° N; all'interno di questo settore le altezze d'onda significative risultano comunque mai superiori a 4,0 m;
- gli stati di mare provenienti dal settore di Mezzogiorno-Libeccio (traversia secondaria) risultano sempre inferiori a 3,0 m di Hs;
- nell'ambito del settore di traversia secondario gli stati di mare caratterizzati da altezze d'onda superiori a 2,0 m provengono all'interno di un limitato settore compreso tra 170° N e 210° N.

In termini di frequenza di accadimento si osserva quanto segue:

- le calme di moto ondoso, ovvero condizioni di Hs inferiori a 0,5 m, hanno una frequenza media annuale di occorrenza molto elevata essendo caratterizzate da circa l' 81 % del tempo (circa 10 mesi/anno);
- gli stati di mare caratterizzati da una Hs maggiore di 2,0 m sono piuttosto rari, essendo limitati mediamente a solo 0,5 % all'anno, ovvero a circa 2 giorni/anno;
- gli stati di mare caratterizzati da una Hs maggiore di 3,0 m si verificano mediamente solo lo 0,07 % all'anno, ovvero circa 6 ore/anno.

**Tabella 6.20 - Punto di trasposizione al largo di Taranto: tabella risultante dall'unione dei dati ondametrici ricostruiti sulla base dei dati registrati dalla boa ondametrica di Crotone ed anemometrici registrati alla stazione mareografica di Taranto (ISPRA). Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza. ANNUALE**

Regime ondametrico complessivo al largo di Taranto  
 Distribuzione percentuale degli eventi ondosi per classi di Hs e direzione di provenienza. Regime ANNUALE

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT
	0÷0.25	0.25÷0.5	0.5÷1	1÷1.5	1.5÷2	2÷2.5	2.5÷3	3÷3.5	3.5÷4	4÷4.5	4.5÷5	5÷5.5	5.5÷6	6÷6.5	>= 6.5	
10	4.134	0.014	0.003													4.15
20	3.115	0.009														3.12
30	1.608	0.007														1.61
40	0.254	0.002														0.26
50	0.324															0.32
60	0.333															0.33
70	0.310															0.31
80	0.343															0.34
90	0.303	0.002														0.30
100	0.267	0.002														0.27
110	0.289															0.29
120	0.263															0.26
130	2.92	0.70	0.45	0.11	0.03	0.02										4.22
140	2.64	1.46	1.42	0.74	0.42	0.21	0.09	0.02	0.01							7.03
150	2.81	1.82	2.07	0.99	0.44	0.20	0.08	0.02	0.01							8.46
160	3.47	2.95	2.72	0.80	0.17	0.01	0.01	0.01								10.13
170	1.52	0.62	0.44	0.07	0.01	0.003										2.66
180	1.30	1.06	1.38	0.42	0.07	0.01										4.23
190	1.47	1.19	1.06	0.41	0.09	0.01										4.22
200	3.06	2.39	0.94	0.30	0.09	0.03	0.01									6.81
210	3.51	1.69	0.77	0.35	0.10	0.03										6.45
220	1.71	0.45	0.21	0.05	0.01											2.42
230	1.31	0.22	0.04	0.003												1.57
240	1.397	0.152	0.014													1.56
250	1.411	0.268	0.026													1.71
260	1.357	0.401	0.031													1.79
270	1.512	0.491	0.071													2.07
280	1.197	0.564	0.080													1.84
290	1.531	0.838	0.094													2.46
300	1.526	1.026	0.169													2.72
310	1.789	0.948	0.155													2.89
320	1.576	0.819	0.118													2.51
330	1.972	0.617	0.033													2.62
340	2.332	0.331	0.005													2.67
350	2.838	0.098	0.002													2.94
360	2.381	0.044	0.002													2.43
TOT	60.08	21.18	12.30	4.24	1.42	0.52	0.19	0.05	0.02							100.00
Tot. cumul.		81.26	93.56	97.80	99.22	99.74	99.93	99.98	100.00							

Numero di eventi validi: 57407

**Tabella 6.21 - Punto di trasposizione al largo di Taranto: tabella risultante dall'unione dei dati ondametrici ricostruiti sulla base dei dati registrati dalla boa ondametrica di Crotone ed anemometrici registrati alla stazione mareografica di Taranto (ISPRA). Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza. PRIMAVERILE**

Regime ondametrico complessivo al largo di Taranto  
 Distribuzione percentuale degli eventi ondosi per classi di Hs e direzione di provenienza. Regime PRIMAVERILE

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT
	0+0.25	0.25+0.5	0.5+1	1+1.5	1.5+2	2+2.5	2.5+3	3+3.5	3.5+4	4+4.5	4.5+5	5+5.5	5.5+6	6+6.5	>= 6.5	
10	2.947	0.013														2.96
20	2.182	0.007														2.19
30	1.256	0.007														1.26
40	0.181															0.18
50	0.222															0.22
60	0.181															0.18
70	0.269															0.27
80	0.242															0.24
90	0.255															0.26
100	0.262															0.26
110	0.181															0.18
120	0.215															0.21
130	3.015	0.322	0.242	0.054	0.007											3.64
140	3.297	1.880	1.524	0.866	0.329	0.094										7.99
150	4.015	2.444	2.404	0.987	0.470	0.107	0.007									10.43
160	5.754	4.015	2.316	0.410	0.040	0.007										12.54
170	2.128	0.806	0.504	0.081	0.007											3.52
180	1.571	1.128	1.403	0.295	0.040	0.013										4.45
190	1.746	1.524	1.094	0.154	0.027											4.55
200	3.908	3.370	0.759	0.201	0.040	0.013										8.29
210	4.210	2.115	0.692	0.269	0.087	0.007										7.38
220	2.108	0.457	0.208	0.040												2.81
230	1.672	0.269	0.067													2.01
240	1.699	0.154	0.007													1.86
250	1.423	0.228	0.013													1.67
260	1.168	0.208	0.034													1.41
270	0.947	0.208	0.054													1.21
280	0.826	0.356	0.101													1.28
290	0.900	0.571	0.107													1.58
300	1.162	0.772	0.175													2.11
310	1.249	0.739	0.134													2.12
320	1.215	0.725	0.047													1.99
330	1.645	0.598	0.020													2.26
340	1.712	0.316														2.03
350	2.310	0.067														2.38
360	2.034	0.040														2.07
TOT	60.10	23.34	11.90	3.36	1.05	0.24	0.01	0.00	0.00							100.00
Tot. cumul.		83.44	95.35	98.70	99.75	99.99	100.00	100.00	100.00							

Numero di eventi validi: 14894

**Tabella 6.22 - Punto di trasposizione al largo di Taranto: tabella risultante dall'unione dei dati ondametrici ricostruiti sulla base dei dati registrati dalla boa ondametrica di Crotone ed anemometrici registrati alla stazione mareografica di Taranto (ISPRA). Distribuzione percentuale degli eventi ondososi, per classi di Hs e direzione di provenienza. ESTIVO**

Regime ondametrico complessivo al largo di Taranto  
 Distribuzione percentuale degli eventi ondososi per classi di Hs e direzione di provenienza. Regime ESTIVO

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT
	0+0.25	0.25+0.5	0.5+1	1+1.5	1.5+2	2+2.5	2.5+3	3+3.5	3.5+4	4+4.5	4.5+5	5+5.5	5.5+6	6+6.5	>= 6.5	
10	2.947	0.013														2.96
20	2.182	0.007														2.19
30	1.256	0.007														1.26
40	0.181															0.18
50	0.222															0.22
60	0.181															0.18
70	0.269															0.27
80	0.242															0.24
90	0.255															0.26
100	0.262															0.26
110	0.181															0.18
120	0.215															0.21
130	3.015	0.322	0.242	0.054	0.007											3.64
140	3.297	1.880	1.524	0.866	0.329	0.094										7.99
150	4.015	2.444	2.404	0.987	0.470	0.107	0.007									10.43
160	5.754	4.015	2.316	0.410	0.040	0.007										12.54
170	2.128	0.806	0.504	0.081	0.007											3.52
180	1.571	1.128	1.403	0.295	0.040	0.013										4.45
190	1.746	1.524	1.094	0.154	0.027											4.55
200	3.908	3.370	0.759	0.201	0.040	0.013										8.29
210	4.210	2.115	0.692	0.269	0.087	0.007										7.38
220	2.108	0.457	0.208	0.040												2.81
230	1.672	0.269	0.067													2.01
240	1.699	0.154	0.007													1.86
250	1.423	0.228	0.013													1.67
260	1.168	0.208	0.034													1.41
270	0.947	0.208	0.054													1.21
280	0.826	0.356	0.101													1.28
290	0.900	0.571	0.107													1.58
300	1.162	0.772	0.175													2.11
310	1.249	0.739	0.134													2.12
320	1.215	0.725	0.047													1.99
330	1.645	0.598	0.020													2.26
340	1.712	0.316														2.03
350	2.310	0.067														2.38
360	2.034	0.040														2.07
TOT	60.10	23.34	11.90	3.36	1.05	0.24	0.01	0.00	0.00							100.00
Tot. cumul.		83.44	95.35	98.70	99.75	99.99	100.00	100.00	100.00							

Numero di eventi validi: 14894

**Tabella 6.23 - Punto di trasposizione al largo di Taranto: tabella risultante dall'unione dei dati ondametrici ricostruiti sulla base dei dati registrati dalla boa ondametrica di Crotone ed anemometrici registrati alla stazione mareografica di Taranto (ISPRA). Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza. AUTUNNALE**

Regime ondametrico complessivo al largo di Taranto  
 Distribuzione percentuale degli eventi ondosi per classi di Hs e direzione di provenienza. Regime AUTUNNALE

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT
	0÷0.25	0.25÷0.5	0.5÷1	1÷1.5	1.5÷2	2÷2.5	2.5÷3	3÷3.5	3.5÷4	4÷4.5	4.5÷5	5÷5.5	5.5÷6	6÷6.5	>= 6.5	
10	2.947	0.013														2.96
20	2.182	0.007														2.19
30	1.256	0.007														1.26
40	0.181															0.18
50	0.222															0.22
60	0.181															0.18
70	0.269															0.27
80	0.242															0.24
90	0.255															0.26
100	0.262															0.26
110	0.181															0.18
120	0.215															0.21
130	3.015	0.322	0.242	0.054	0.007											3.64
140	3.297	1.880	1.524	0.866	0.329	0.094										7.99
150	4.015	2.444	2.404	0.987	0.470	0.107	0.007									10.43
160	5.754	4.015	2.316	0.410	0.040	0.007										12.54
170	2.128	0.806	0.504	0.081	0.007											3.52
180	1.571	1.128	1.403	0.295	0.040	0.013										4.45
190	1.746	1.524	1.094	0.154	0.027											4.55
200	3.908	3.370	0.759	0.201	0.040	0.013										8.29
210	4.210	2.115	0.692	0.269	0.087	0.007										7.38
220	2.108	0.457	0.208	0.040												2.81
230	1.672	0.269	0.067													2.01
240	1.699	0.154	0.007													1.86
250	1.423	0.228	0.013													1.67
260	1.168	0.208	0.034													1.41
270	0.947	0.208	0.054													1.21
280	0.826	0.356	0.101													1.28
290	0.900	0.571	0.107													1.58
300	1.162	0.772	0.175													2.11
310	1.249	0.739	0.134													2.12
320	1.215	0.725	0.047													1.99
330	1.645	0.598	0.020													2.26
340	1.712	0.316														2.03
350	2.310	0.067														2.38
360	2.034	0.040														2.07
TOT	60.10	23.34	11.90	3.36	1.05	0.24	0.01	0.00	0.00							100.00
Tot. cumul.		83.44	95.35	98.70	99.75	99.99	100.00	100.00	100.00							

Numero di eventi validi: 14894

**Tabella 6.24 - Punto di trasposizione al largo di Taranto: tabella risultante dall'unione dei dati ondametrici ricostruiti sulla base dei dati registrati dalla boa ondametrica di Crotone ed anemometrici registrati alla stazione mareografica di Taranto (ISPRA). Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza. INVERNALE**

Regime ondametrico complessivo al largo di Taranto  
 Distribuzione percentuale degli eventi ondosi per classi di Hs e direzione di provenienza. Regime INVERNALE

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT
	0+0.25	0.25+0.5	0.5+1	1+1.5	1.5+2	2+2.5	2.5+3	3+3.5	3.5+4	4+4.5	4.5+5	5+5.5	5.5+6	6+6.5	>= 6.5	
10	2.947	0.013														2.96
20	2.182	0.007														2.19
30	1.256	0.007														1.26
40	0.181															0.18
50	0.222															0.22
60	0.181															0.18
70	0.269															0.27
80	0.242															0.24
90	0.255															0.26
100	0.262															0.26
110	0.181															0.18
120	0.215															0.21
130	3.015	0.322	0.242	0.054	0.007											3.64
140	3.297	1.880	1.524	0.866	0.329	0.094										7.99
150	4.015	2.444	2.404	0.987	0.470	0.107	0.007									10.43
160	5.754	4.015	2.316	0.410	0.040	0.007										12.54
170	2.128	0.806	0.504	0.081	0.007											3.52
180	1.571	1.128	1.403	0.295	0.040	0.013										4.45
190	1.746	1.524	1.094	0.154	0.027											4.55
200	3.908	3.370	0.759	0.201	0.040	0.013										8.29
210	4.210	2.115	0.692	0.269	0.087	0.007										7.38
220	2.108	0.457	0.208	0.040												2.81
230	1.672	0.269	0.067													2.01
240	1.699	0.154	0.007													1.86
250	1.423	0.228	0.013													1.67
260	1.168	0.208	0.034													1.41
270	0.947	0.208	0.054													1.21
280	0.826	0.356	0.101													1.28
290	0.900	0.571	0.107													1.58
300	1.162	0.772	0.175													2.11
310	1.249	0.739	0.134													2.12
320	1.215	0.725	0.047													1.99
330	1.645	0.598	0.020													2.26
340	1.712	0.316														2.03
350	2.310	0.067														2.38
360	2.034	0.040														2.07
TOT	60.10	23.34	11.90	3.36	1.05	0.24	0.01	0.00	0.00							100.00
Tot. cumul.		83.44	95.35	98.70	99.75	99.99	100.00	100.00	100.00							

Numero di eventi validi: 14894

## 6.6 ANALISI STATISTICA DEGLI EVENTI ESTREMI DI MOTO ONDOSO AL LARGO DI TARANTO

Per il corretto dimensionamento strutturale ed idraulico di un'opera marittima è necessario determinare la cosiddetta "onda di progetto" in acqua profonda in base ad un'analisi statistica dei valori delle altezze d'onda rappresentative delle condizioni estreme (valori al colmo) di ogni singola mareggiata.

Per eseguire l'analisi statistica delle altezze d'onda risulta necessario selezionare preliminarmente dei campioni di dati che rispondano al doppio requisito di risultare tra di loro statisticamente indipendenti ed omogenei.

Per quanto riguarda l'indipendenza statistica di solito si utilizza il metodo POT (Peaks Over Threshold detto anche "della serie di durata parziale sopra soglia") che consiste nel prendere in esame il solo valore massimo di altezza d'onda (valore di picco) che si verifica nell'ambito di una singola mareggiata. L'individuazione di ciascuna mareggiata nell'ambito della serie storica viene effettuata introducendo una soglia di altezza d'onda e considerando che il singolo evento (mareggiata) abbia inizio quando l'altezza d'onda significativa superi per la prima volta il valore della soglia prestabilito.

Conseguentemente si ipotizza che l'evento termini quando l'altezza d'onda significativa assume per la prima volta un valore inferiore a quello di soglia oppure quando si verifica un forte scarto della direzione del moto ondoso.

Selezionati gli "eventi di picco", l'omogeneità dei dati di solito viene assicurata raggruppando gli stessi dati in eventi caratterizzati da una simile genesi meteorologica. Ciò normalmente si traduce nel separare i valori massimi di altezze d'onda registrati in distinti settori di provenienza degli stati di mare.

Gli stati di mare, caratterizzati da una altezza d'onda significativa ( $H_s$ ) superiore alla soglia individuata, sono quindi oggetto di una elaborazione statistica al fine di ricavare, mediante una regolarizzazione degli eventi estremi secondo note funzioni probabilistiche, le caratteristiche del moto ondoso da associare ad assegnati tempi di ritorno  $T_R$  (o probabilità di occorrenza).

Le leggi adottate di distribuzione di probabilità cumulata di non superamento (funzione di ripartizione) sono quella di Weibull (limitata inferiormente):

$$P_{X_{\min}}(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x - \varepsilon}{\theta}\right)^\beta\right]$$

e la legge di Gumbel

$$P_{X_{\max}}(x) = \exp\left[-e^{-\frac{(x-b)}{\alpha}}\right]$$

dove  $X$  è la variabile aleatoria,  $x$  il valore di non superamento mentre  $\varepsilon$ ,  $\theta = \lambda - \varepsilon$ ,  $\beta$ ,  $\alpha$  e  $b$  sono i parametri delle distribuzioni.

Tenendo conto che la probabilità cumulata di non superamento è legata al tempo di ritorno dell'evento dalla relazione:

$$Tr(X \leq x) = \frac{I}{(1 - P(X \leq x))}$$

si possono stimare le altezze d'onda significative relative a diversi tempi di ritorno.

Nel diagramma polare riportato nella Figura 6.9 sono riportati i valori di picco delle mareggiate ricostruite sulla base dei dati di moto ondoso registrati alla boa ondometrica di Ponza nell'intero settore di traversia che caratterizza il paraggio in esame. In particolare, per ciascuna mareggiata individuata sono stati riportati i valori di altezza d'onda significativa, superiori ad 1.0 m, registrati al colmo dell'evento.

L'analisi del diagramma permette di trarre le seguenti conclusioni:

- le mareggiate più intense provengono dal settore compreso tra  $130^\circ$  e  $160^\circ$ N (settore A-traversia principale) e sono caratterizzate da altezze d'onda significative che possono talvolta raggiungere valori superiori a 3.5 m;
- le mareggiate provenienti dal settore compreso tra  $170^\circ$  e  $230^\circ$  N (settore B-traversia secondaria) sono caratterizzate da altezze d'onda non superiori a 3.0 m;
- le mareggiate provenienti dal resto dei settori di traversia non risultano significative per l'elaborazione statistica finalizzata allo studio degli eventi estremi associati a determinati tempi di ritorno.

Individuati i settori principale e secondario di provenienza del moto ondoso, si è quindi proceduto a determinare per essi i valori di soglia dell'altezza d'onda significativa da utilizzare per "isolare" ciascun evento e quindi i corrispondenti valori di picco. Il valore di soglia è stato individuato seguendo il metodo proposto da Goda (1988).

Nella Tabella 6.25 e nella Figura 6.10 sono riportati i risultati delle analisi statistiche per il settore di traversia principale ( $130^\circ$ N- $160^\circ$ N).

Nella Tabella 6.26 e nella Figura 6.11 sono riportati i risultati delle analisi statistiche per il settore di traversia secondario ( $170^\circ$ N- $230^\circ$ N).

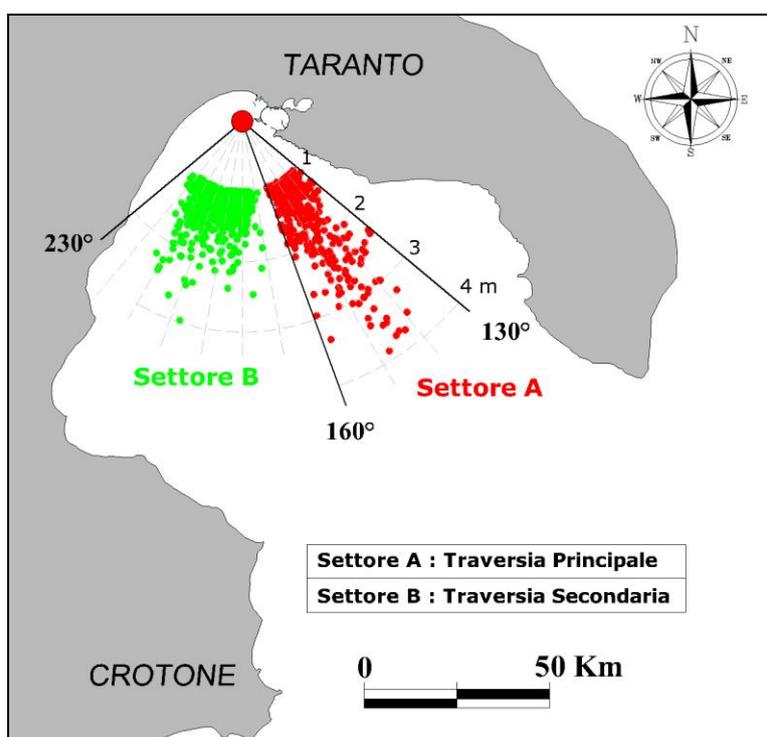


Figura 6.9 – Diagramma polare delle mareggiate con altezza d'onda al colmo superiore ad 1.0 m nel punto di trasposizione posto al largo di Taranto.



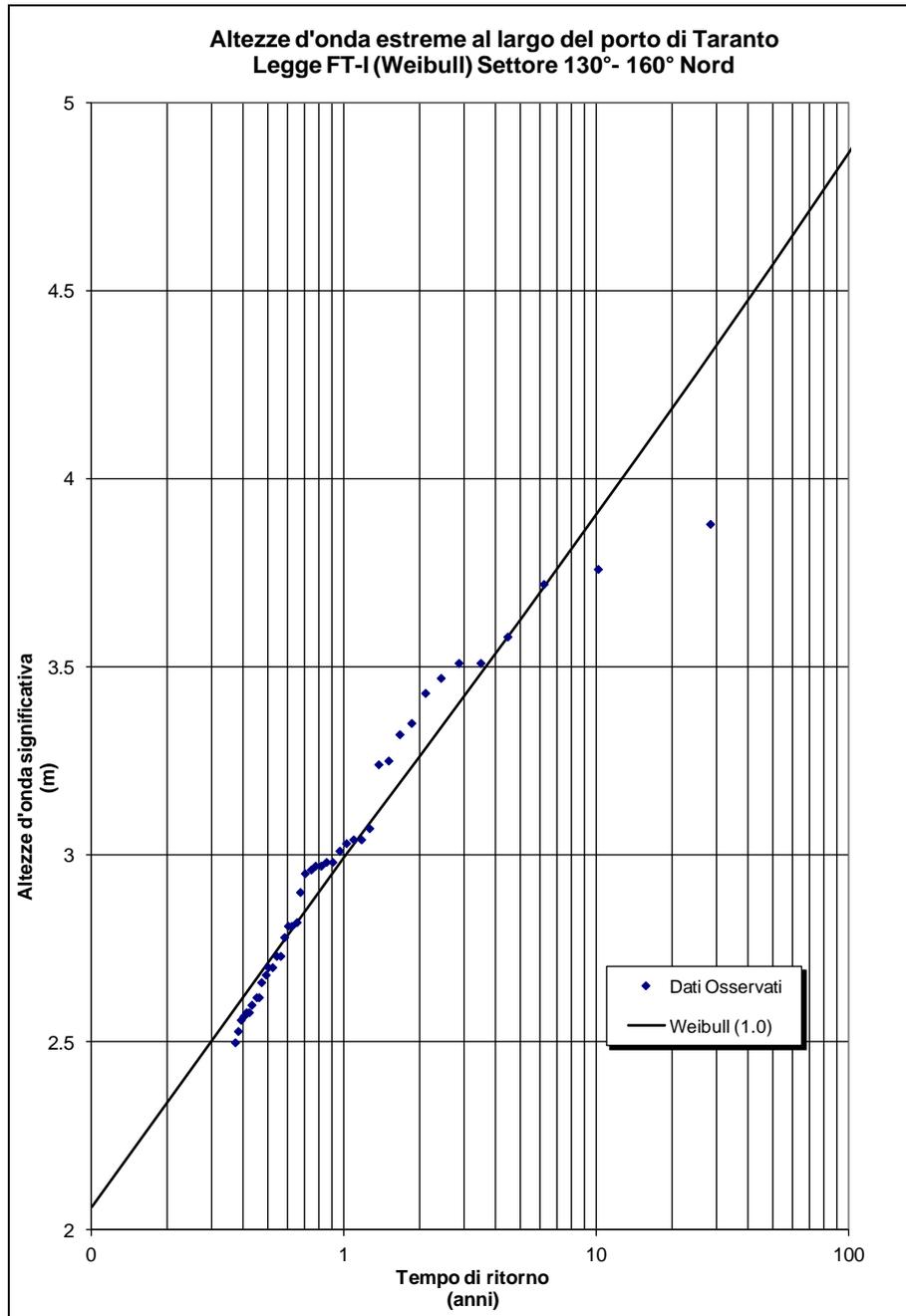


Figura 6.10 – Taranto largo, Settore A (traversia principale): valori dell'altezza d'onda significativa in funzione del tempo di ritorno secondo la legge di Weibull ( $\alpha=1.0$ ).



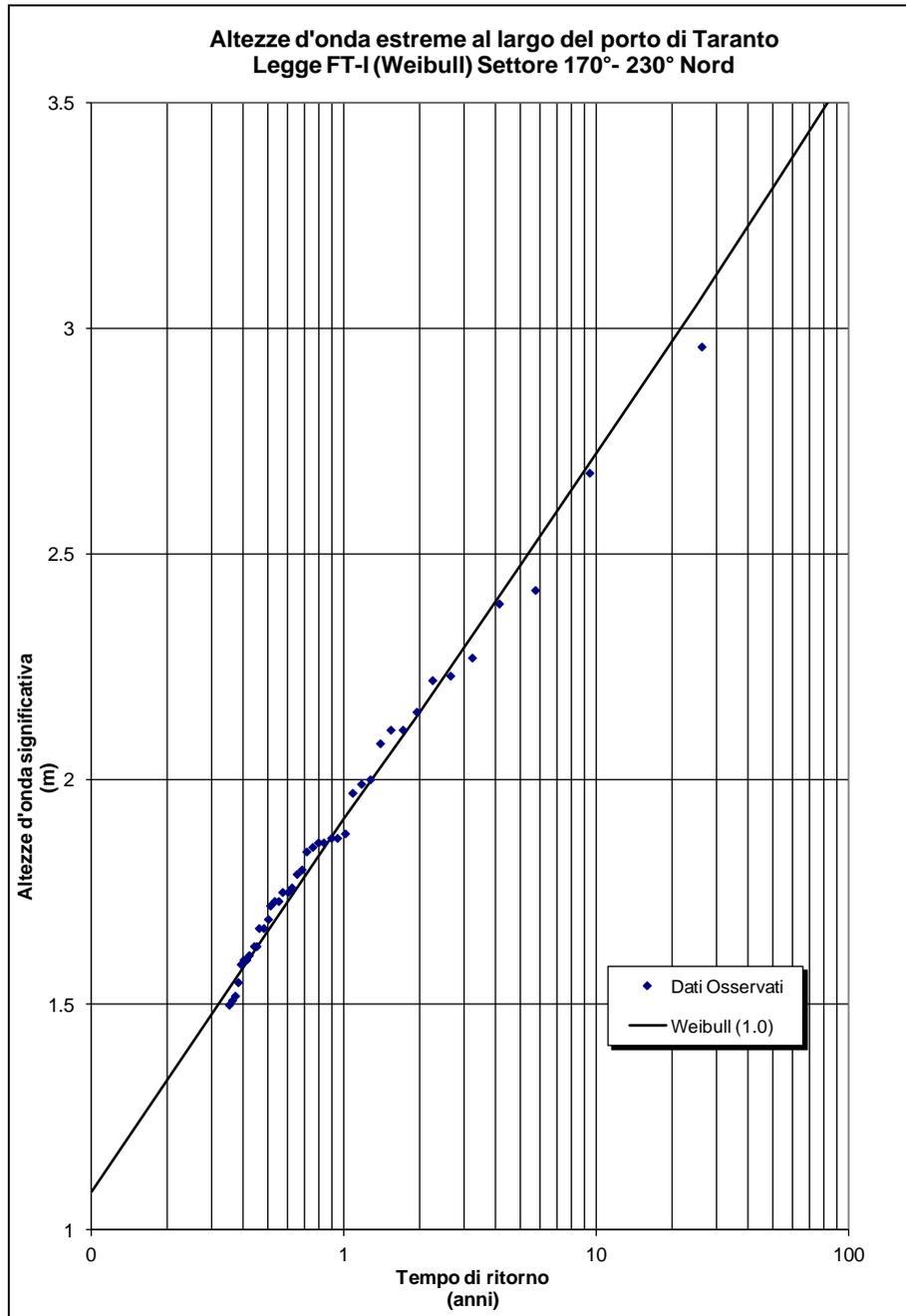


Figura 6.11 – Taranto largo, Settore B (traversia secondaria): valori dell'altezza d'onda significativa in funzione del tempo di ritorno secondo la legge di Weibull ( $\alpha=1.0$ ).

## 7 Propagazione sotto costa della serie di misure ondometriche

Per definire le condizioni di moto ondoso in prossimità dell'area portuale oggetto di intervento, è stato eseguito uno studio di propagazione del moto ondoso dal punto scelto poco al largo del porto di Taranto. A tal fine è stato necessario in primo luogo scegliere il modello numerico più appropriato per lo studio in questione. La scelta del modello numerico viene normalmente effettuata a valle di un'analisi dei principali fenomeni fisici che condizionano l'evoluzione delle onde durante la propagazione. Nel caso in esame, vista la batimetria dei fondali nell'area in esame e potendo trascurare gli effetti dissipativi dovuti al frangimento del moto ondoso a causa dei bassi fondali, i principali fenomeni fisici che intervengono durante la propagazione delle onde sotto costa sono rappresentati principalmente dalla diffrazione e dalla riflessione delle opere a mare che caratterizzano la zona portuale oggetto di studio.

Alla luce di tali considerazioni è stato scelto di utilizzare il modello numerico "VEGA" che integra in modo esatto l'equazione di Helmholtz e la cui descrizione viene riportata nell'appendice allegata alla presente relazione. Tale equazione consente infatti di ricavare i valori dell'altezza d'onda all'interno di un'area portuale tenendo conto proprio dei fenomeni combinati di diffrazione e riflessione indotta dalle opere a mare.

Lo studio su modello matematico è stato condotto considerando gli eventi di moto ondoso più significativi per il paraggio in esame in relazione agli interventi previsti dal presente progetto.

In particolare, l'area ove dovrà essere eseguito il dragaggio dei fondali e la zona destinata alla realizzazione della nuova vasca di colmata non risultano essere esposte direttamente al settore di traversia principale ovvero sono ottimamente ridossate grazie alla presenza dell' Isola di San Pietro (Figura 7.1).

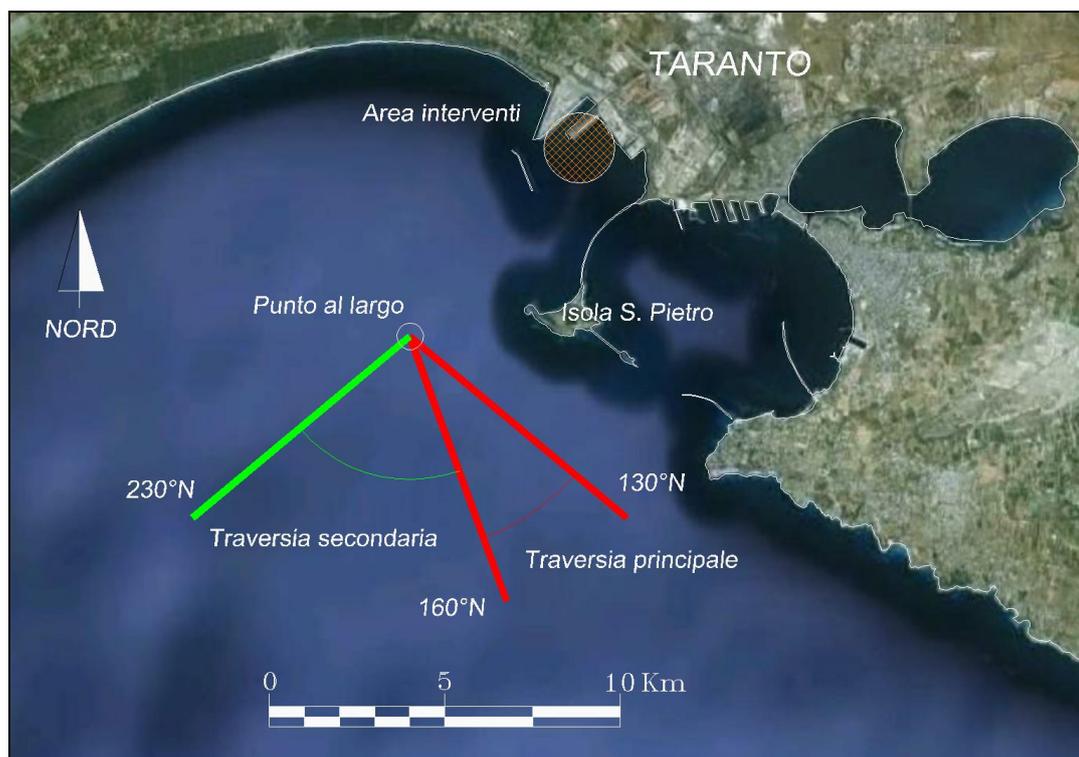


Figura 7.1: inquadramento dell'area oggetto di intervento

### 7.1 CONFIGURAZIONI SIMULATE ED IPOTESI DI CALCOLO

Per lo studio dei livelli di moto ondoso in prossimità delle aree di intervento, si è fatto riferimento alla configurazione attuale (Figura 7.2), di particolare importanza per le attività di dragaggio di prima fase e di realizzazione delle strutture di conterminazione a mare della vasca di contenimento, e alla configurazioni di progetto importante per le successive fasi di dragaggio e per verificare gli effetti dovuti alla realizzazione di tutte le opere previste in progetto (Figura 7.3).

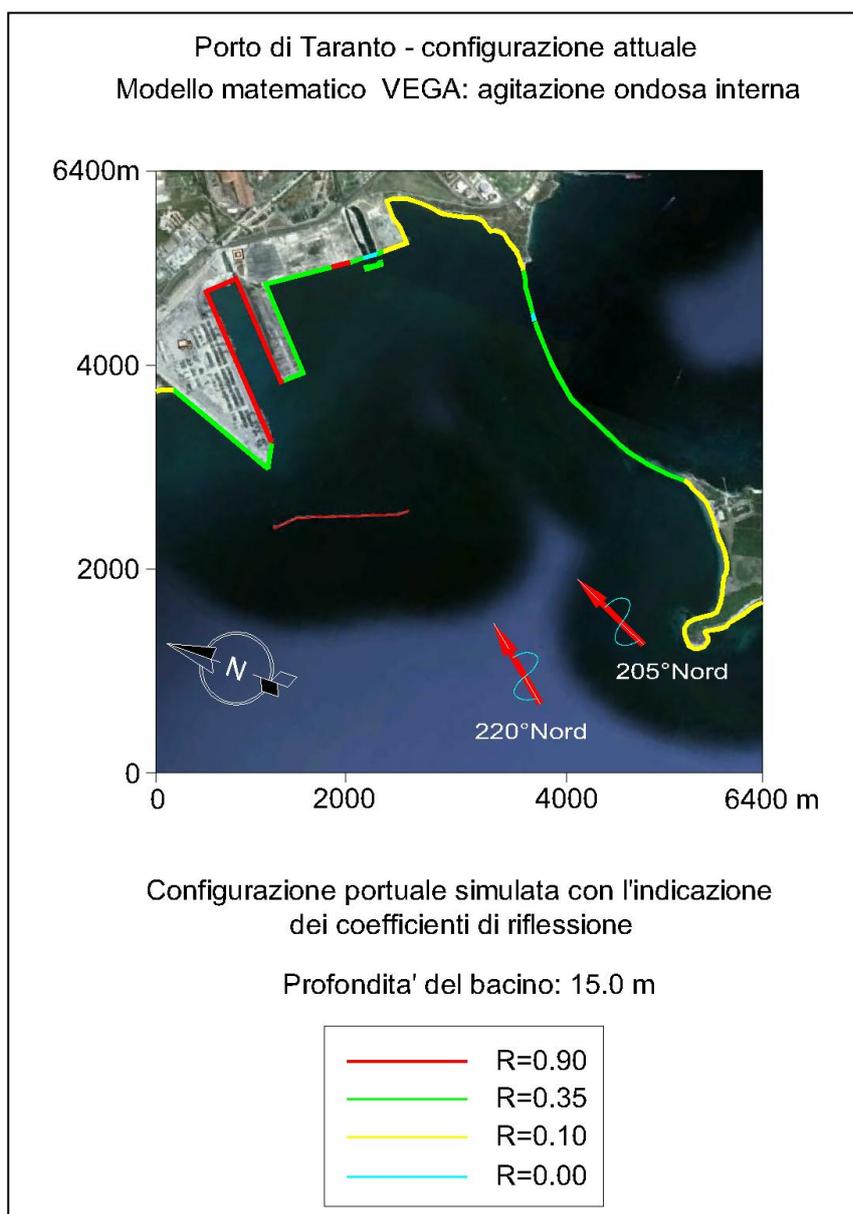


Figura 7.2 - Configurazione attuale: griglia computazionale utilizzata per il modello VEGA con l'indicazione dei coefficienti di riflessione utilizzati e le forzanti di moto ondoso simulate.

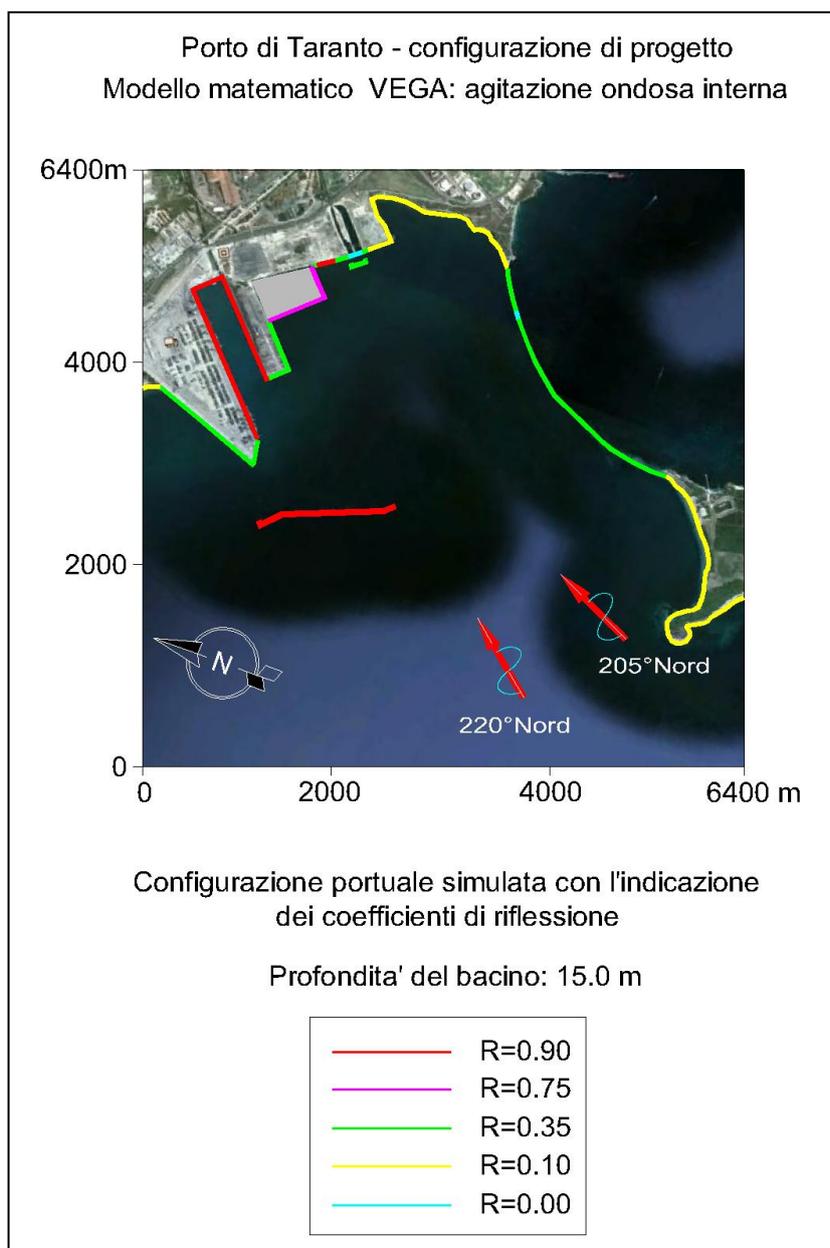


Figura 7.3 - Configurazione di progetto: griglia computazionale utilizzata per il modello VEGA con l'indicazione dei coefficienti di riflessione utilizzati e le forzanti di moto ondoso simulate.

Per le due configurazioni prese in esame è stata assunta una profondità media del bacino portuale costante pari a - 15,0 m rispetto al l.m.m. I coefficienti di riflessione R delle opere perimetrali sono stati scelti in funzione delle caratteristiche riflettenti delle stesse, variabili a seconda della tipologia adottata, riportate nel seguito ed indicate nelle suddette figure:

- opere a pareti verticali riflettenti  $R = 0.90$ ;
- opere riflettenti della vasca di colmata  $R = 0.75$ ;
- opere a scogliera  $R = 0.35$ ;
- tratti di spiaggia sabbiosa  $R = 0.10$ ;
- pontili su pali o galleggianti (completamente permeabili)  $R = 0.00$ .

E' importante evidenziare come tali coefficienti di riflessione sono stati mantenuti costanti approssimandoli prudenzialmente in eccesso, assumendo cioè i valori di riflessione corrispondenti al periodo d'onda più alto utilizzato nelle simulazioni, anziché considerarli variabili in funzione del periodo d'onda incidente come in realtà accade, operando quindi a favore della sicurezza. I valori sopra riportati sono, inoltre, congruenti con quelli desunti dalla letteratura specializzata, con riferimento a pubblicazioni relative a numerose esperienze su modelli analitici, fisici e prototipali. La stessa letteratura tecnica specifica il valore del coefficiente di riflessione  $R$  per le pareti inclinate con angolo  $\alpha$  (come le scogliere presso l'imboccatura e lungo l'Arno), si riduce al diminuire della pendenza. Per le scogliere scabre e porose, ad esempio, si può far riferimento ad una formula di Allsop e Channel in funzione del parametro di surf relativo al periodo di picco  $\xi_p$ :

$$R = 0.125 \xi_p^{0.73} \quad (1)$$

$$\xi_p = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{2\pi H_s}{gT_p^2}}}$$

dove (2)

essendo:

- $H_s$  = altezza dell'onda significativa incidente,
- $T_p$  = periodo di picco,
- $\alpha$  = angolo di inclinazione della parete.

Per pareti impermeabili e lisce si utilizza invece la formula proposta da Seelig (1983) ed aggiornata da Allsop e Channell (1989) :

$$R = a \xi_p^2 / (h + \xi_p^2) \quad (3)$$

con  $a = 0.94$  e  $h = 4.80$ .

#### 7.1.1 STUDIO DELLA PENETRAZIONE DEL MOTO ONDOSO CON IL MODELLO VEGA

Il modello VEGA è in grado di simulare la propagazione di onde armoniche lineari in presenza dei fenomeni combinati di diffrazione e riflessione. Questi fenomeni sono regolati dall'equazione di Helmholtz che viene risolta dal modello numerico VEGA con la tecnica degli elementi di contorno (boundary elements). Tale tecnica richiede che il contorno del dominio di calcolo venga discretizzato in elementi, detti pannelli, ognuno dei quali rappresenta una sorgente di intensità da determinare. Le opere a gettata poste a difesa delle aree portuali e le banchine all'interno degli specchi d'acqua protetti sono state quindi schematizzate per mezzo di una serie di segmenti, ai quali è associato un valore appropriato del coefficiente di riflessione.

Ciascun segmento è stato a sua volta suddiviso in elementi di lunghezza compresa tra 1/6 ed 1/7 della lunghezza d'onda, assicurandosi in tal modo che in tutte le simulazioni vengano introdotte almeno 5 elementi (sorgenti) per ogni segmento considerato.

L'altezza d'onda relativa è stata calcolata, per le due configurazioni simulate, in corrispondenza di circa 409000 nodi della griglia computazionale che rappresenta l'area in esame.

Le caratteristiche del moto ondoso incidente (altezza, direzione e periodo), riportate sinteticamente nella Tabella 7.1, sono state imposte in corrispondenza di un segmento (battitore) che rappresenta un generatore di moto ondoso e che viene interpretato dal modello come contorno di radiazione (la perturbazione riflessa dalle strutture portuali è libera di transitare per tale contorno irradiandosi nel campo, supposto infinito, posto all'esterno del dominio di calcolo schematizzato).

**Tabella 7.1 – Dati di input di moto ondoso utilizzati per le diverse simulazioni.**

<i>Dir (° Nord)</i>	<i>Periodo (s)</i>	<i>Coordinate battitore</i>
205	6, 8, 9	(-450,-4500); (10000, 1300)
220	6, 8, 9	(-450,-4500); (10000, 1300)

Le direzioni di provenienza del moto ondoso nelle due configurazioni sono le più sfavorevoli, quelle cioè per le quali la penetrazione attraverso le opere di difesa portuali è massima. I risultati delle simulazioni, ottenuti con il modello numerico Vega ed elaborati attraverso il programma di interpolazione “Surfer”, sono rappresentati con tematismi cromatici e con curve di eguale agitazione ondosa dalla Figura 7.4 alla Figura 7.15. Essendo il modello lineare, i risultati sono stati rappresentati utilizzando il coefficiente di diffrazione che esprime il rapporto tra l'altezza d'onda calcolata nel punto e l'altezza d'onda incidente. Per ottenere il valore dell'altezza d'onda in un punto è sufficiente moltiplicare il coefficiente di diffrazione per il valore dell'altezza d'onda incidente nel punto considerato.

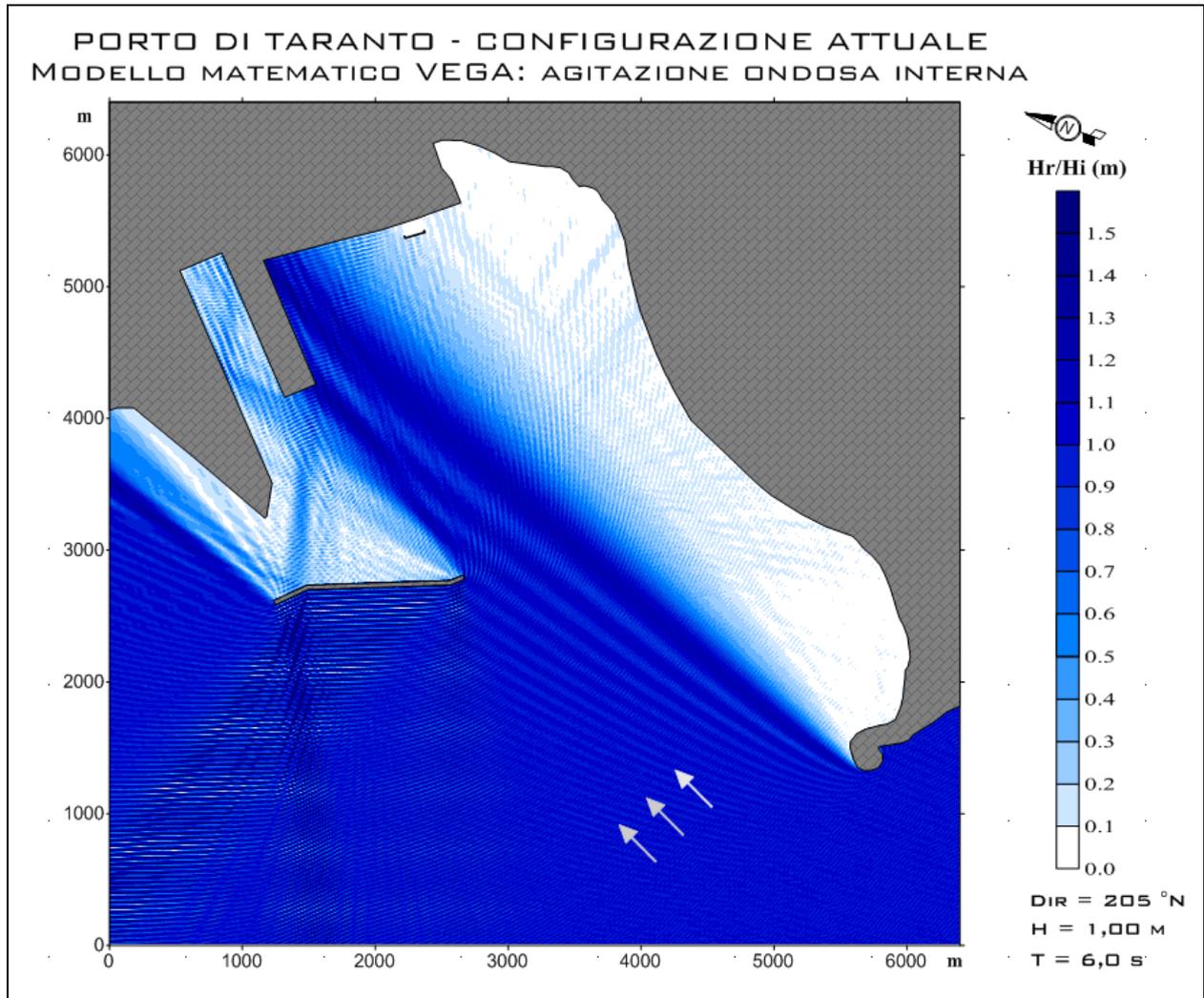


Figura 7.4: Configurazione attuale: agitazione ondosa simulata con eventi provenienti da 205° N e periodo d'onda pari a 6s

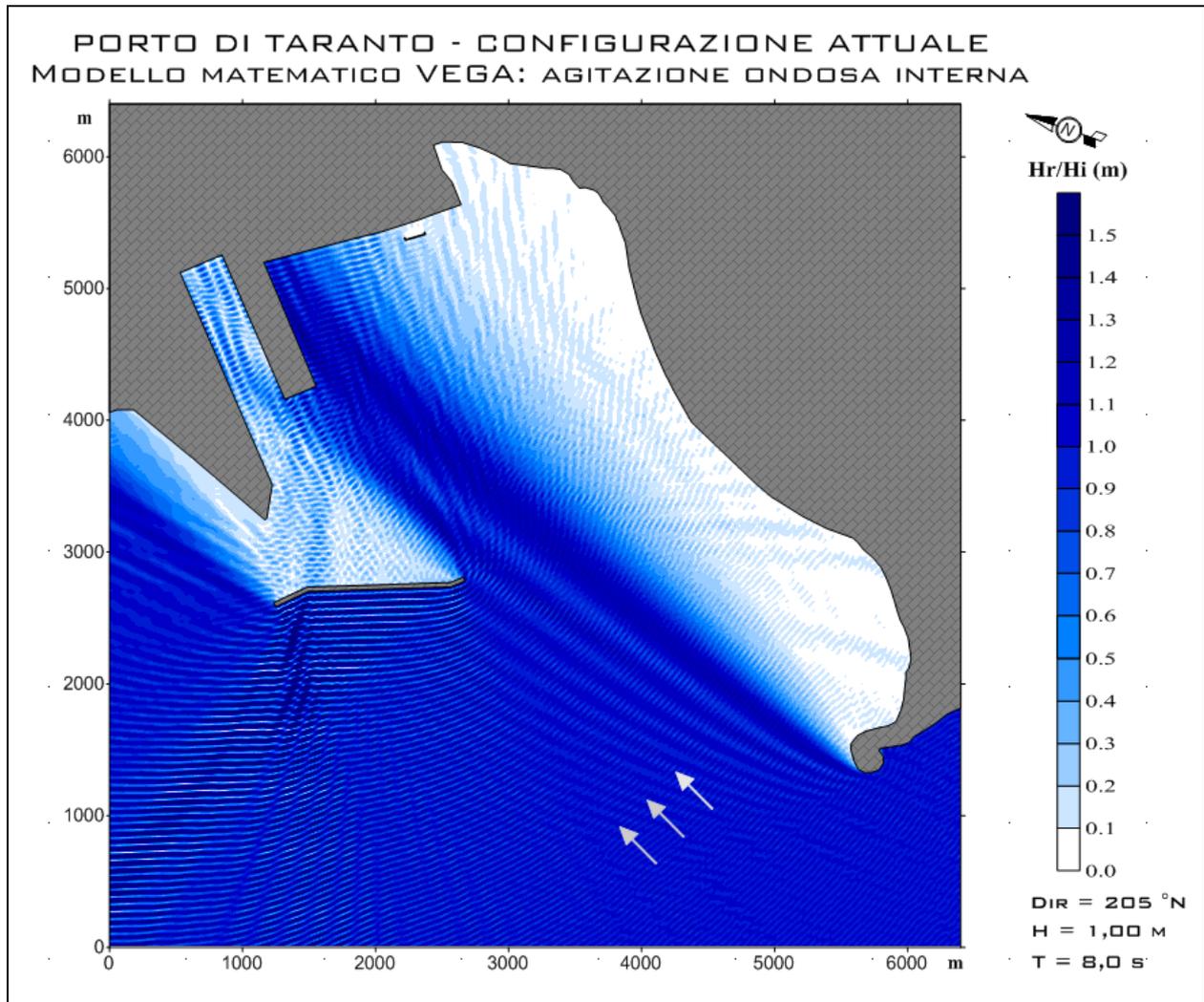


Figura 7.5: Configurazione attuale: agitazione ondosa simulata con eventi provenienti da 205° N e periodo d'onda pari a 8s

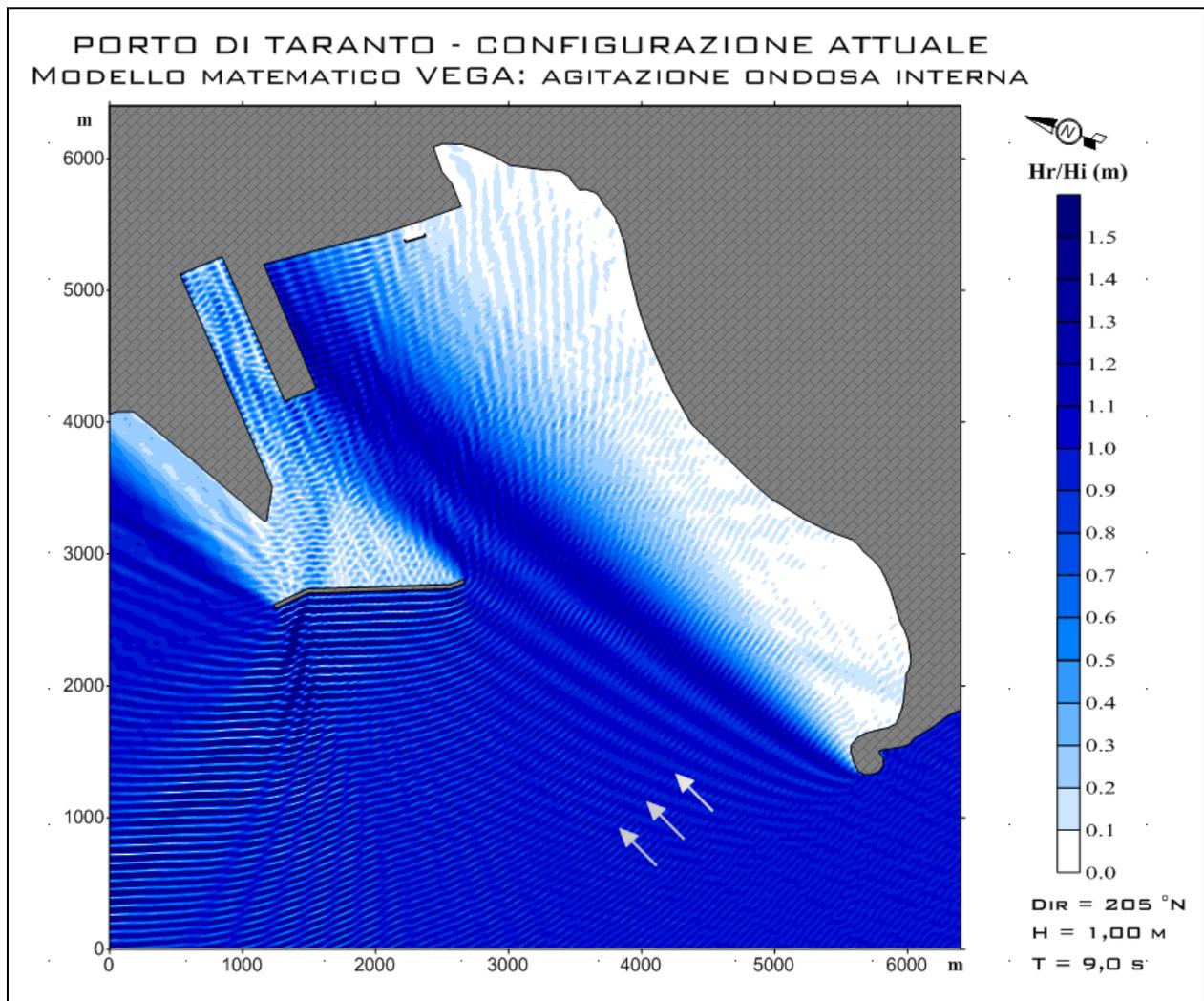


Figura 7.6: Configurazione attuale: agitazione ondosa simulata con eventi provenienti da 205° N e periodo d'onda pari a 9s

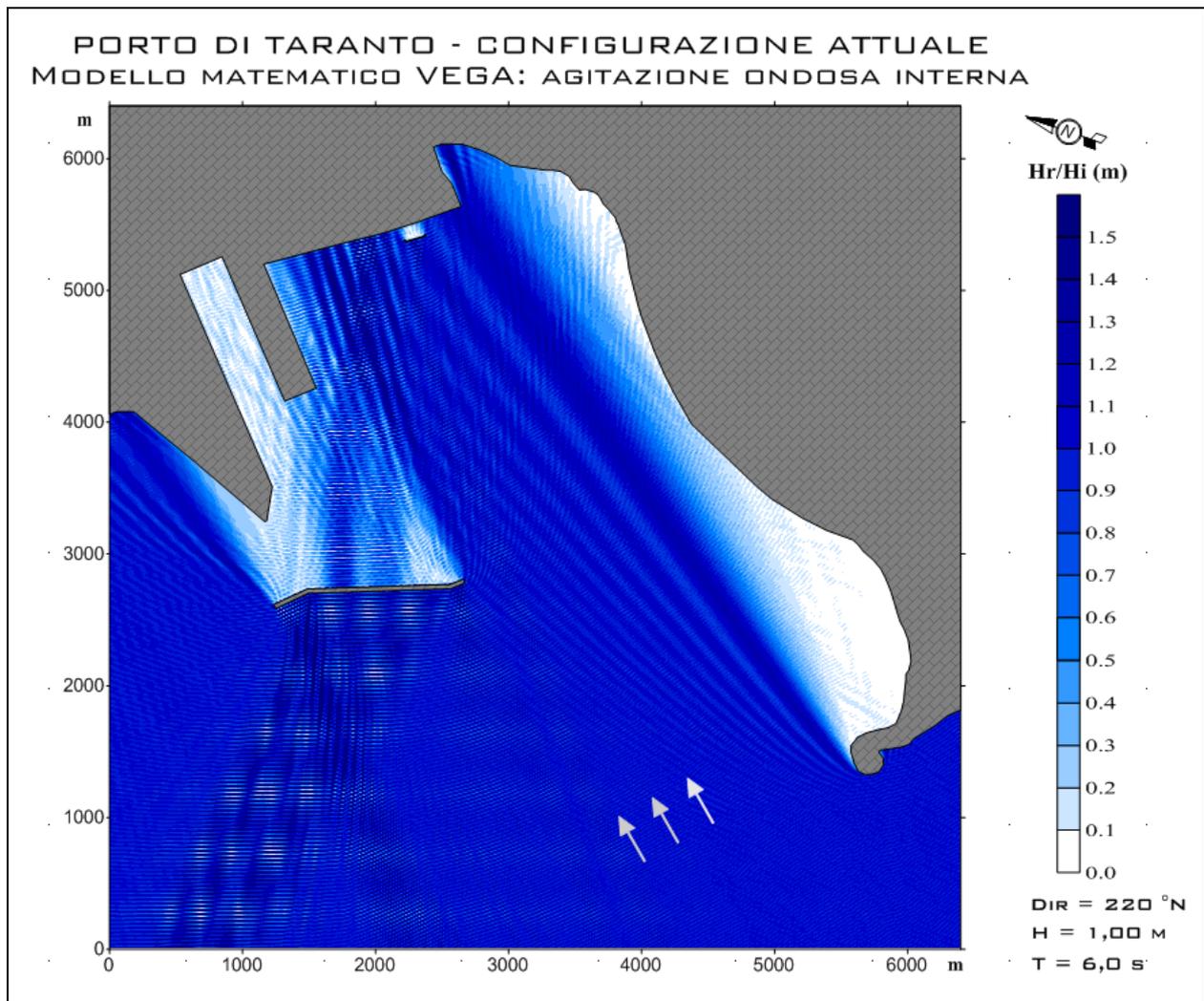


Figura 7.7: Configurazione attuale: agitazione ondosa simulata con eventi provenienti da 220° N e periodo d'onda pari a 6s

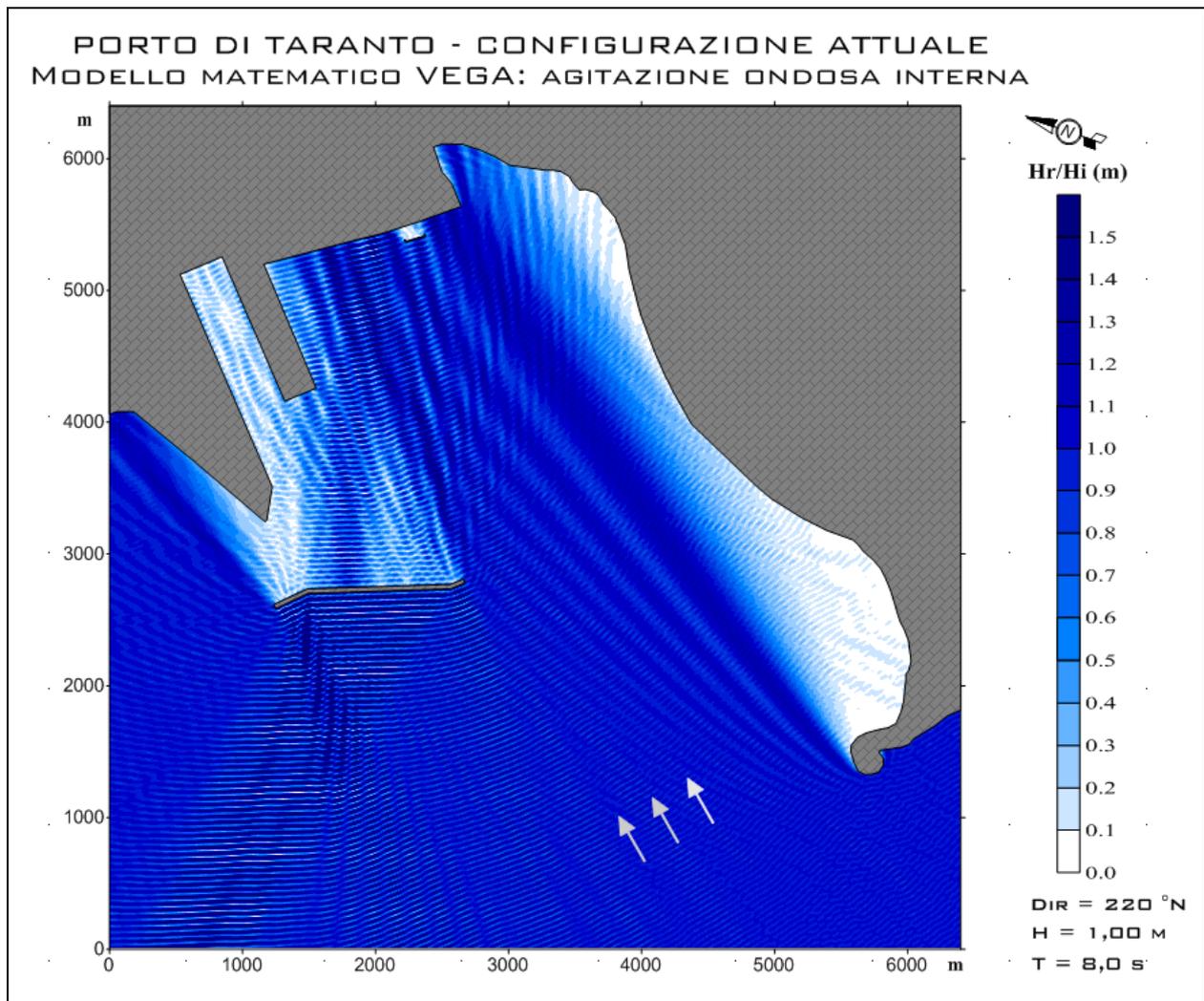


Figura 7.8: Configurazione attuale: agitazione ondosa simulata con eventi provenienti da 220° N e periodo d'onda pari a 8s

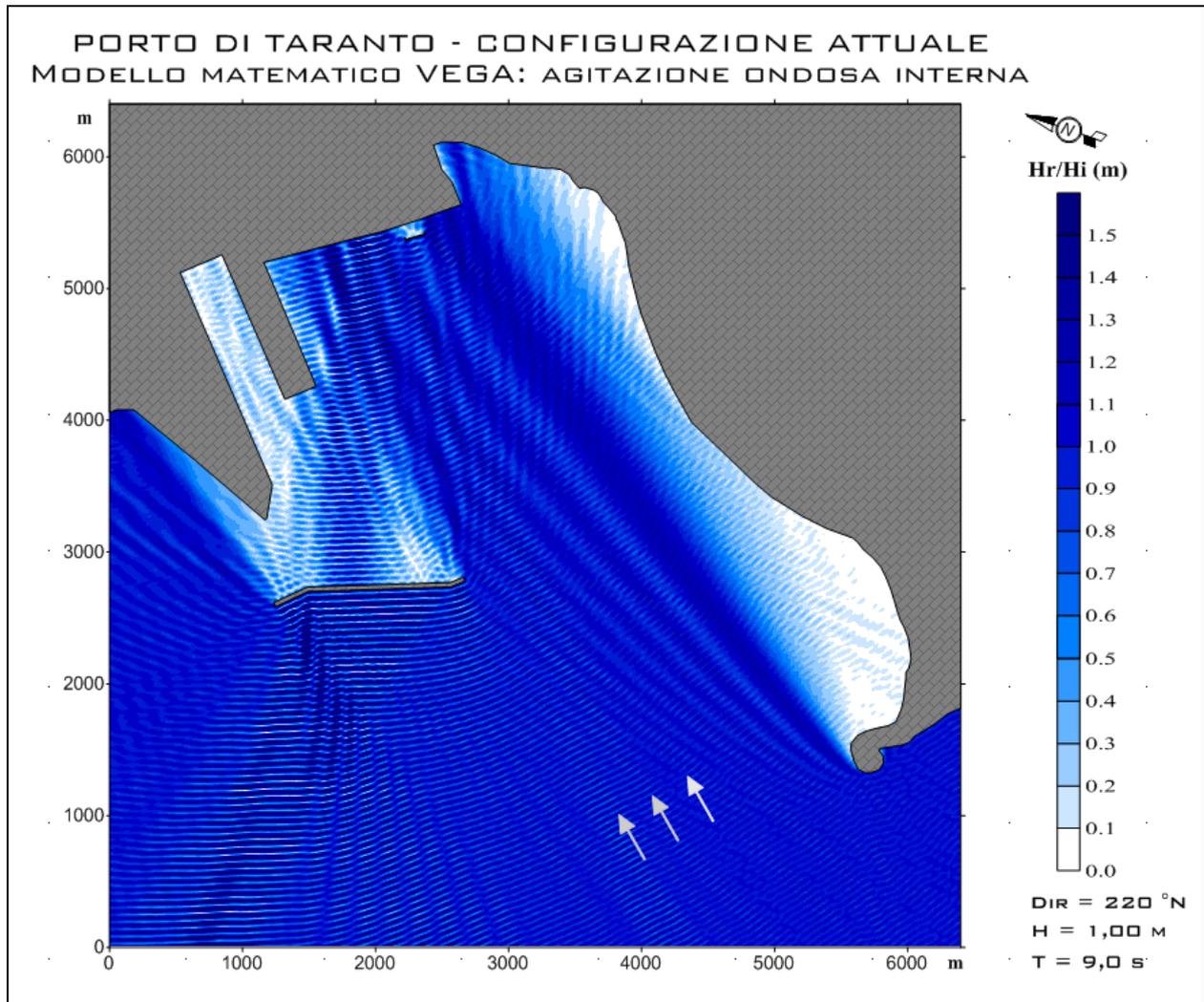


Figura 7.9: Configurazione attuale: agitazione ondosa simulata con eventi provenienti da 220° N e periodo d'onda pari a 9s

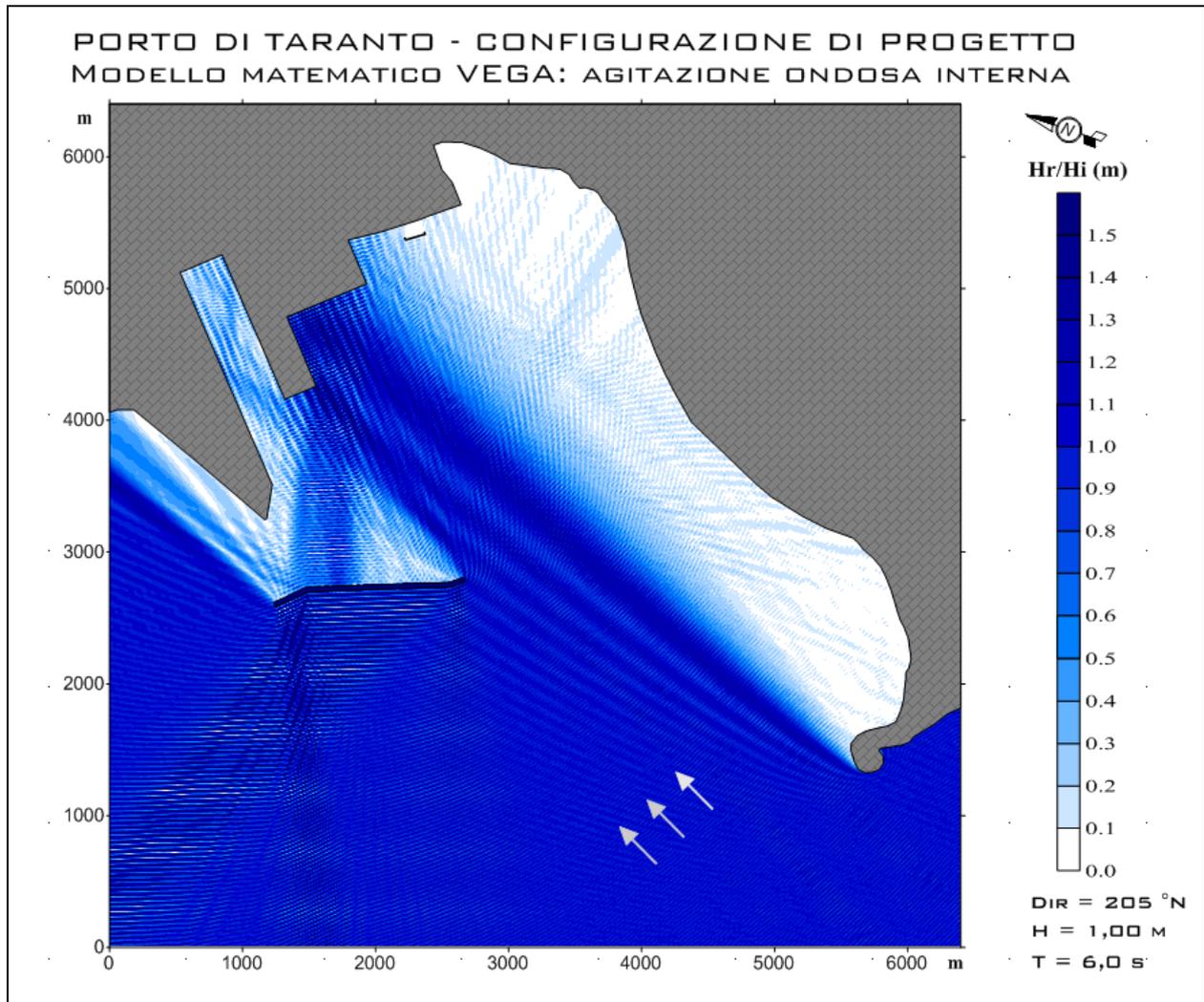


Figura 7.10: Configurazione progetto: agitazione ondosa simulata con eventi provenienti da 205° N e periodo d'onda pari a 6s

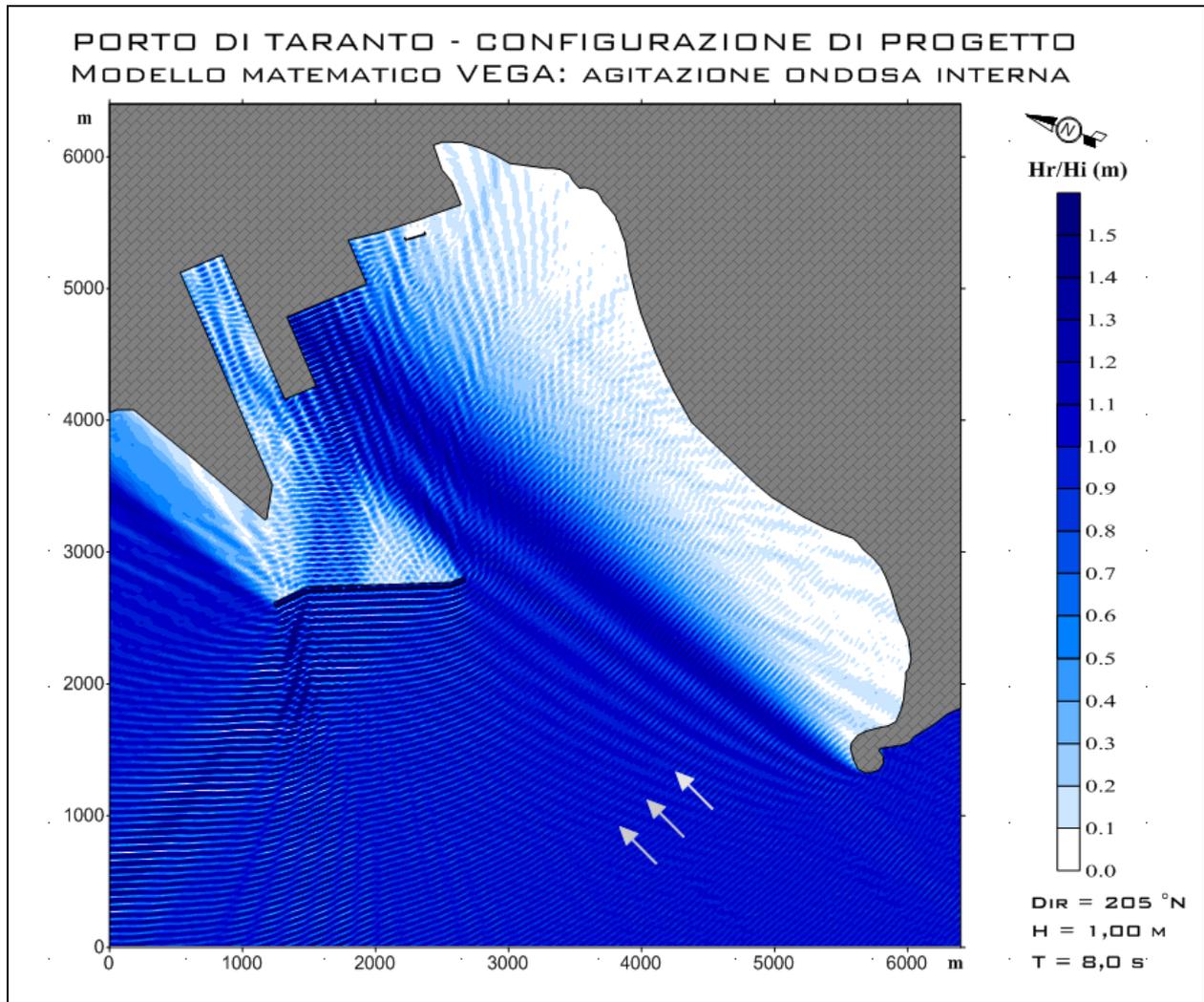


Figura 7.11: Configurazione progetto: agitazione ondosa simulata con eventi provenienti da 205° N e periodo d'onda pari a 8s

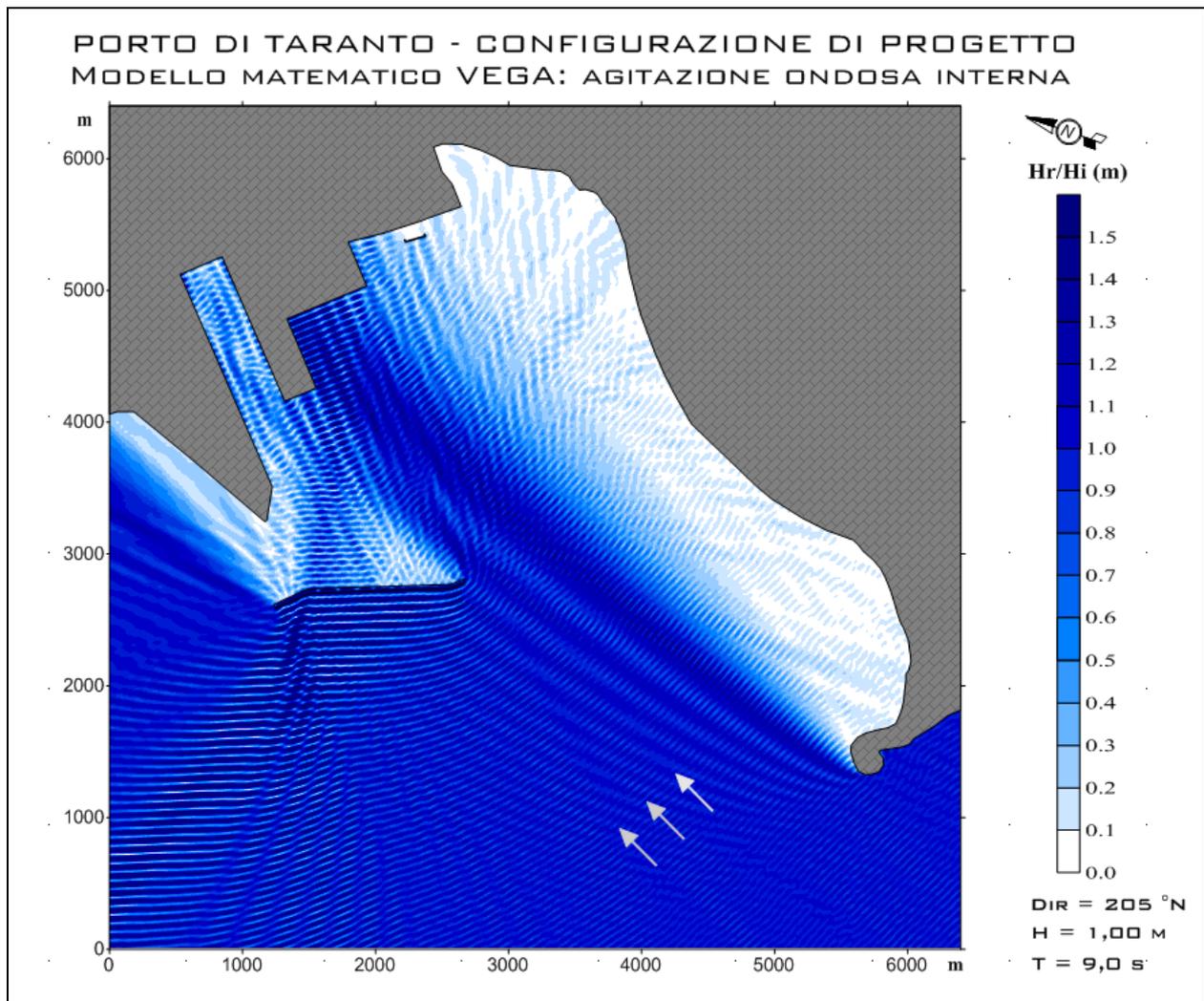


Figura 7.12: Configurazione progetto: agitazione ondosa simulata con eventi provenienti da 205° N e periodo d'onda pari a 9s

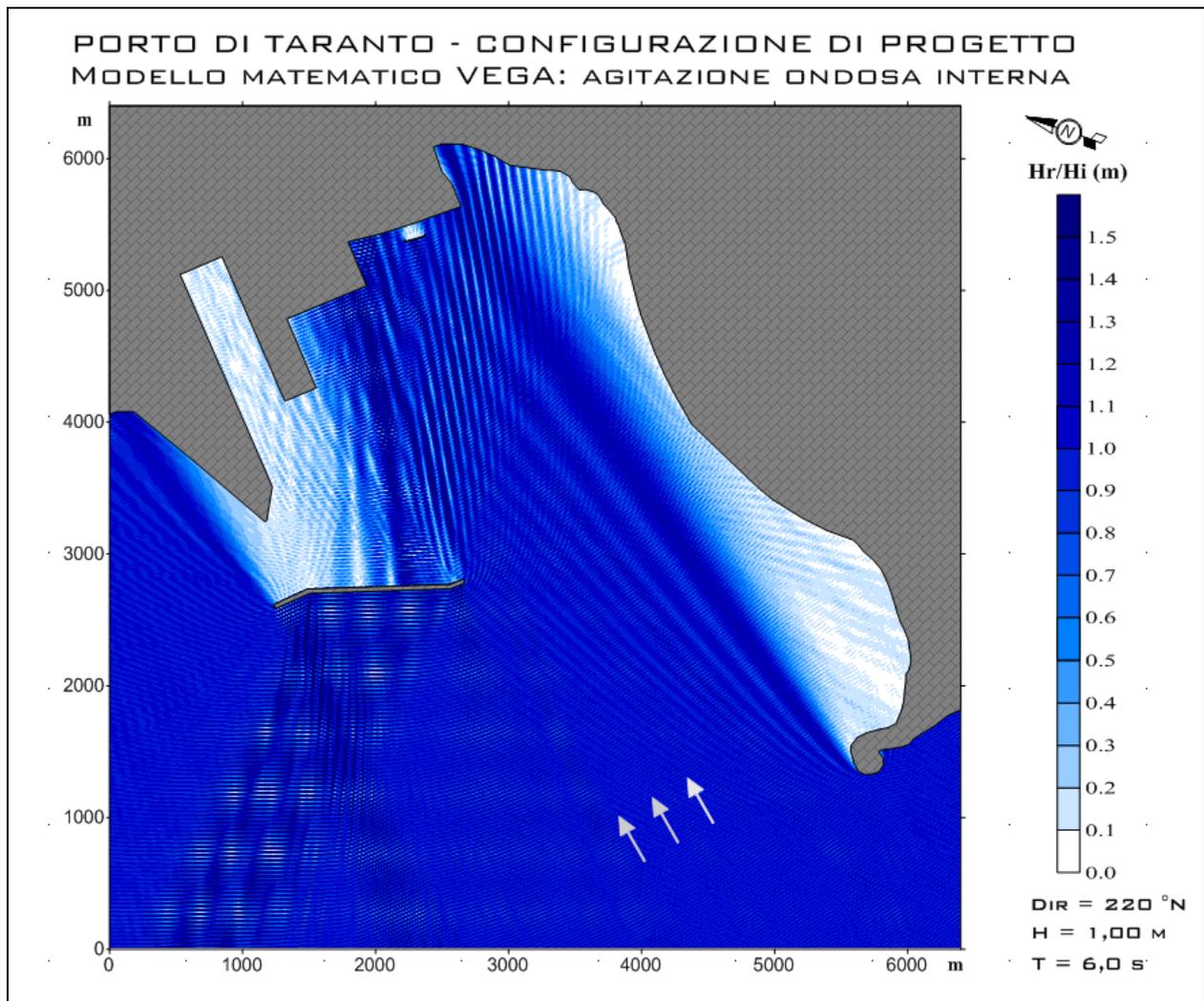


Figura 7.13: Configurazione progetto: agitazione ondosa simulata con eventi provenienti da 220° N e periodo d'onda pari a 6s

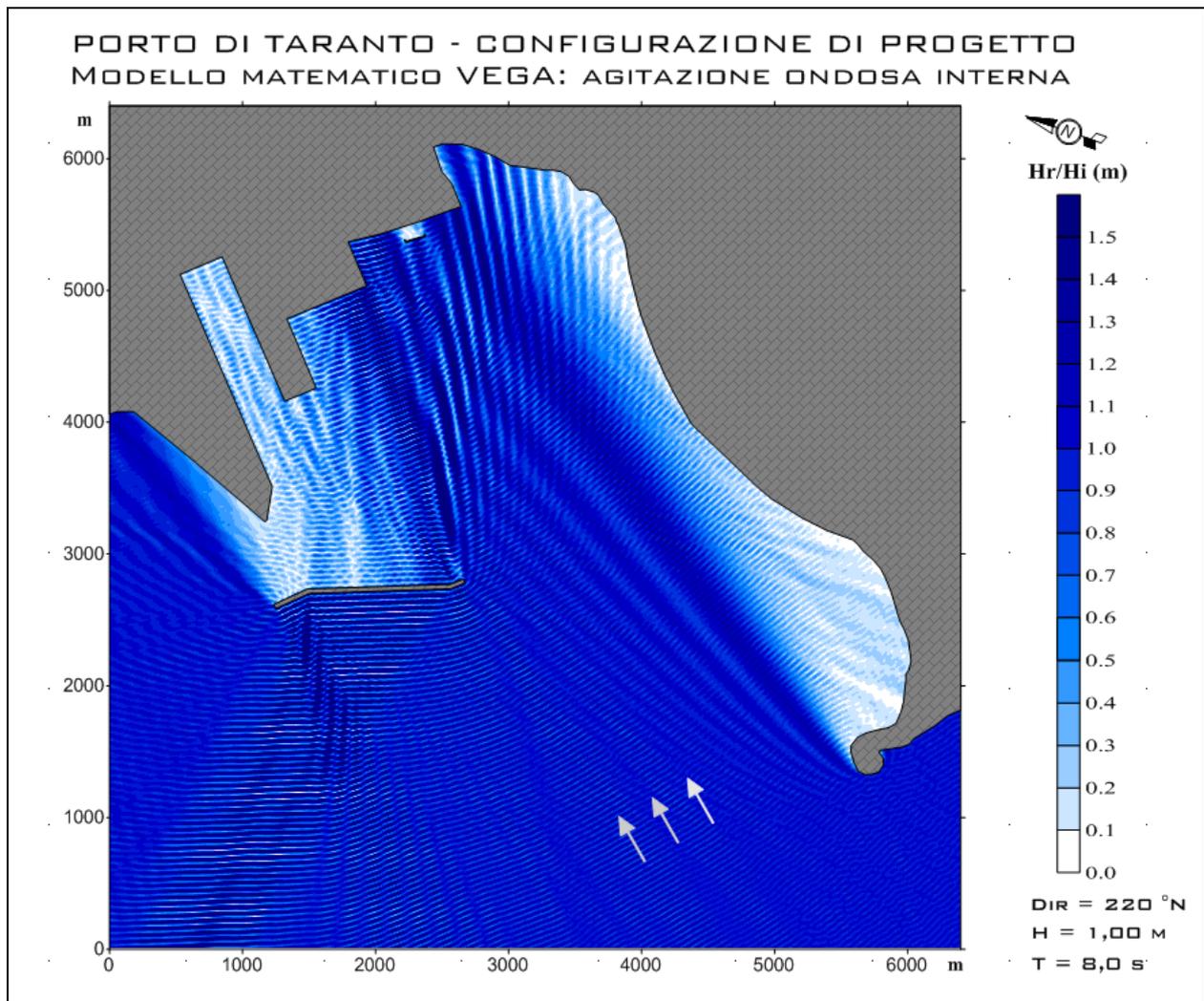


Figura 7.14: Configurazione progetto: agitazione ondosa simulata con eventi provenienti da 220° N e periodo d'onda pari a 8s

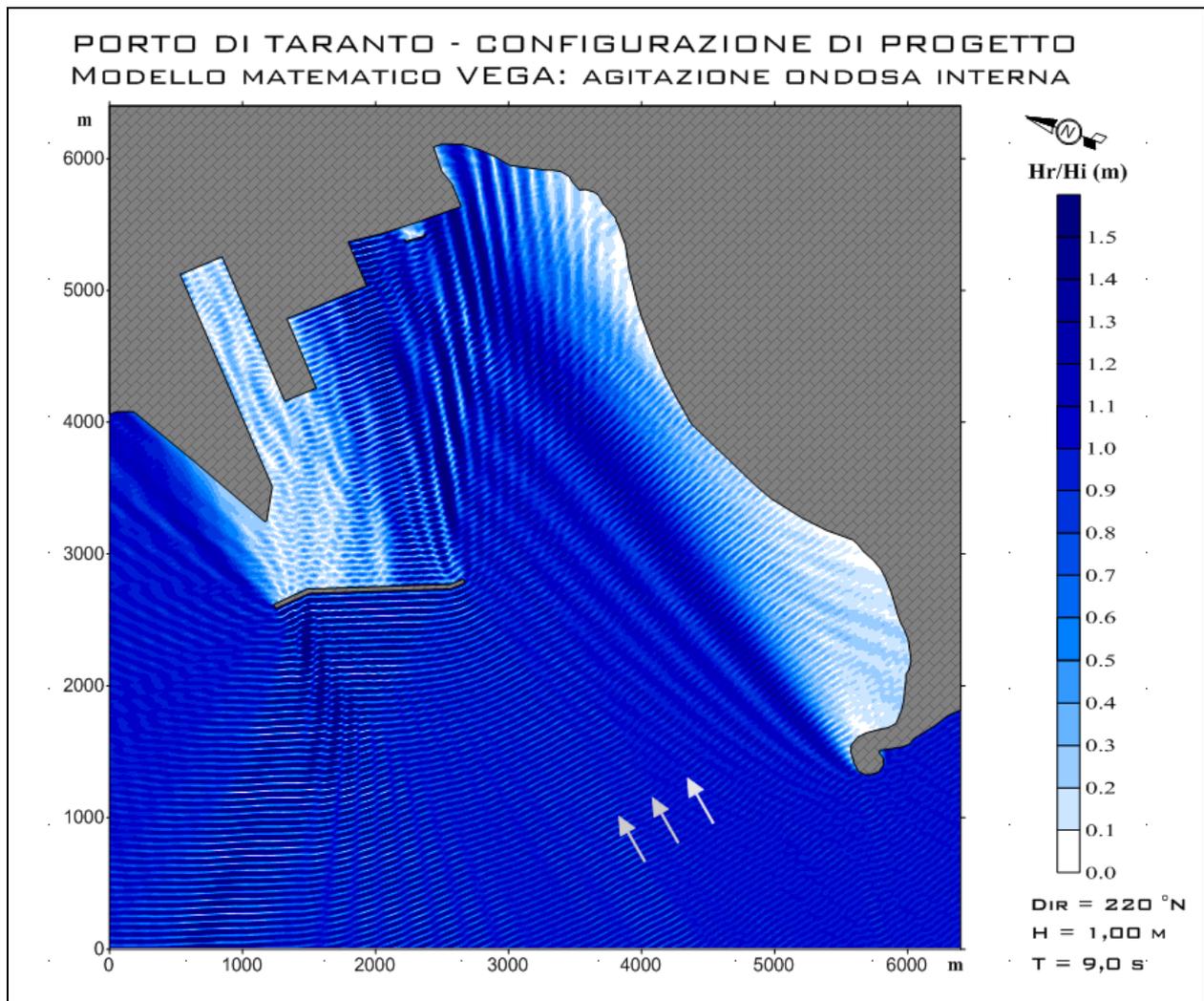


Figura 7.15: Configurazione progetto: agitazione ondosa simulata con eventi provenienti da 220° N e periodo d'onda pari a 9s

## 7.2 ANALISI DEI RISULTATI

I risultati delle simulazioni (dalla Figura 7.4 alla Figura 7.15) mostrano l'irradiazione al largo del campo d'onda riflesso e l'attenuazione di energia nella propagazione all'interno delle aree portuali oggetto di studio. Il moto ondoso incidente viene progressivamente attenuato dalla diffrazione operata dalle opere di difesa portuali, con particolare riferimento alla diga foranea, e dalla dissipazione di energia causata dalle opere a scogliera che nel modello sono state riprodotte utilizzando opportuni coefficienti di riflessione.

## **8 ALLEGATO 1: Descrizione sintetica del modello matematico VEGA**

Il modello numerico VEGA utilizzato è classificabile come modello irrotazionale lineare bidimensionale per onde armoniche. Il modello è basato sull'equazione di Helmholtz valida sotto le seguenti ipotesi:

- irrotazionalità del moto;
- rapporto  $H/L \ll 1$  dove H ed L sono rispettivamente l'altezza e la lunghezza d'onda;
- assenza di dissipazioni;
- assenza di forze legate alla rotazione terrestre (forze di Coriolis);
- profondità del fondale costante;
- fondo impermeabile;
- variazione verticale del potenziale delle velocità coincidente con la soluzione per onde progressive lineari su fondale costante;
- onde armoniche nel tempo (monocromatiche).

L'equazione ellittica di Helmholtz risulta:

$$\nabla^2 \phi + k^2 \phi = 0$$

dove:

- $k$  = numero d'onda calcolato tramite la relazione di dispersione della teoria lineare ( $\omega^2 = gk \tanh(kd)$ ).
- $\phi(x,y)$  = potenziale bidimensionale delle velocità orbitali delle particelle.
- $\nabla^2$  = operatore di Laplace definito nel piano x,y coincidente con il livello medio marino.

Con le ipotesi poste tale equazione è in grado di simulare correttamente il fenomeno combinato di diffrazione-riflessione di onde armoniche lineari. Per risolvere l'equazione di Helmholtz, di tipo ellittico, è necessario imporre condizioni al contorno note su tutta la frontiera del dominio di integrazione. Nel caso di bacini portuali si impone lungo l'imboccatura portuale (o comunque lungo i contorni di continuità con il semispazio infinito escluso dal dominio di integrazione) che venga soddisfatta una opportuna condizione di radiazione. Contemporaneamente lungo il resto della frontiera vengono imposte condizioni sulla derivata direzionale del potenziale delle velocità (totale o parziale riflessione).

Il modello numerico VEGA risolve l'equazione di Helmholtz tramite la tecnica numerica degli elementi di contorno. In breve la tecnica consiste nel ridurre l'equazione ellittica di Helmholtz definita sul campo bidimensionale di calcolo ad un'equazione integrale definita sulla sola frontiera del campo. La discretizzazione della frontiera permette quindi di ridurre l'equazione integrale ad un sistema di equazioni lineari definite nel campo complesso dove le incognite sono costituite da un sistema di sorgenti distribuite sulla frontiera discretizzata. La risoluzione del sistema di equazioni, che costituisce la parte più onerosa dal punto di vista computazionale del modello numerico, è ottenuta utilizzando il metodo delle eliminazioni successive di Gauss. La dimensione del sistema di equazioni dipende dal numero di sorgenti incognite introdotte sulla frontiera che

risulta essere a sua volta funzione della lunghezza d'onda (sono necessarie almeno 5 sorgenti per lunghezza d'onda) e della dimensione dell'elemento (banchina, canale) più corto presente nell'area da simulare (sono necessarie almeno 6 sorgenti per ogni elemento). Risolto il sistema di equazioni è quindi possibile calcolare in ogni punto del campo di potenziale delle velocità orbitali delle particelle idriche in superficie, l'altezza d'onda e la sua fase.

Il modello numerico richiede i seguenti dati in ingresso:

- coordinate dei vertici del contorno dell'area portuale;
- posizione dell'imboccatura/e portuale;
- direzione e periodo del moto ondoso sull'imboccatura portuale;
- profondità del fondale all'interno del porto;
- profondità del fondale all'esterno dell'imboccatura portuale;
- passo di discretizzazione del contorno;
- coefficienti di riflessione delle banchine;
- coordinate dei punti dove devono essere calcolati i risultati.

Il modello fornisce come risultati:

- altezza d'onda, potenziale delle velocità e fase nei punti richiesti.

I risultati ottenuti possono essere restituiti sia sotto forma numerica che grafica.