



AUTORITA' PORTUALE NORD SARDEGNA

SEDE DI PORTO TORRES

HUB PORTUALE DI PORTO TORRES

PROLUNGAMENTO DELL'ANTEMURALE DI PONENTE E RESECAZIONE BANCHINA ALTI FONDALI 1° e 2° STRALCIO

PROGETTO PRELIMINARE
PROGETTO DEFINITIVO
PROGETTO ESECUTIVO
PROGETTO DI VARIANTE

DATA: GIUGNO 2014
LUOGO: PORTO TORRES
SCALA:

ELABORATO

RELAZIONE IDRAULICA STUDIO METEOMARINO

ALLEGATO

B.01

COLLABORATORI:
DOTT.SA MONICA COZZI
SIG. CARLO PITURRU

I PROGETTISTI

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Bastiano Deledda

IL COMMISSARIO STRAORDINARIO

C.A., (C.P.) Nunzio Martello

AUTORITA' PORTUALE NORD SARDEGNA



**COMUNE DI PORTO TORRES
PORTO DI PORTO TORRES**

PIANO REGOLATORE PORTUALE 2011

STUDIO METEOMARINO

Roma, Luglio 2012

Redatto:

Prof. Ing. Paolo De Girolamo



INDICE

1	Premessa e obiettivi del lavoro	3
2	MAREOGRAFIA	4
2.1	La stazione mareografica di Porto Torres.....	4
2.2	Marea astronomica e livelli medi	5
3	ANEMOMETRIA	9
3.1	Dati analizzati	9
3.2	Classificazione degli eventi anemometrici in base alla velocità e alla direzione del vento – clima anemometrico.....	10
3.2.1	Clima anemometrico al largo	11
3.2.2	Clima anemometrico in costa.....	11
4	ONDAMETRIA	24
4.1	Metodologia di lavoro	24
4.2	Settore settentrionale (350° - 50° N).....	26
4.2.1	Correzione/calibrazione della serie ondometrica dell'ECMWF	26
4.2.2	Inquadramento geografico del paraggio e trasposizione geografica.....	30
4.2.3	Correlazione tra direzione del vento e dello stato di mare generato.....	33
4.2.4	Analisi climatica della serie ondometrica relativa al settore settentrionale.....	34
4.2.5	Classificazione degli eventi di moto ondoso al largo in base all'altezza ed al periodo d'onda 35	
4.2.6	Legge di dipendenza tra altezza significativa e periodo di picco	42
4.3	Settori di levante (50° - 120° N) e di ponente (270° -350° N)	44
4.4	Clima ondometrico complessivo	52
5	ANALISI ESTREMALE DELLE FORZANTI MARINE	59
5.1	Introduzione.....	59
5.2	Analisi estremale dei livelli.....	61
5.3	Analisi estremale delle altezza d'onda.....	64
6	CONCLUSIONI	67
7	APPENDICE: descrizione modelli numerici	69
7.1	Calcolo dei “fetch efficaci” e della relazione tra direzione del vento e quella del moto ondoso – modello ENIF	69
7.1	Ricostruzione indiretta degli stati di moto ondoso a partire dai dati lle registrazioni anemometriche – modello SAGITTA.....	70
7.1.1	Teoria di riferimento.....	71
7.2	Modello hindcasting tipo S.M.B. per la ricostruzione di stati di mare in funzione di serie storiche di registrazioni anemometriche – modello ALTAIR.....	72
7.2.1	Premesse	72
7.2.2	Teoria di riferimento.....	73

1 Premessa e obiettivi del lavoro

Il Provveditorato Interregionale alle Opere Pubbliche per il Lazio, L'Abruzzo e la Sardegna, sede coordinata di Cagliari, del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, ha conferito con Disciplinare di Incarico rep. N. 182, del 12/10/2010 al Prof. Ing. Paolo De Girolamo l'incarico di "Consulenza per gli aspetti meteo-marini ed idrodinamici" e collaborazione tecnica per le attività connesse alla redazione del Piano Regolatore Portuale di Porto Torres. Il presente studio meteomarinario è stato condotto nell'ambito di tale incarico.

Obiettivo dello studio è quello di definire dal punto di vista statistico le condizioni meteomarine (moto ondoso, maree e vento) che caratterizzano il paraggio costiero di Porto Torres, provincia di Sassari, sito sulla costa Nord Occidentale della Sardegna. Si evidenzia che il paraggio costiero in esame include sia il Porto Civico sia il Porto Industriale.

A tal fine sono state effettuate una serie di indagini conoscitive volte dapprima al reperimento delle informazioni e dei dati esistenti relativi alle caratteristiche meteo marine del paraggio e successivamente alla loro elaborazione ricavando i parametri statistici necessari sia per la progettazione delle opere marittime sia per l'analisi degli aspetti navigazionali.

Nel dettaglio, le analisi condotte hanno consentito di definire per il paraggio di Porto Torres:

- le variazioni dei livelli idrici indotti sia dalla marea astronomica sia dalla marea meteorologica;
- il regime anemometrico a largo e in costa;
- il clima ondometrico medio annuale e stagionale a largo;
- i fetch geografici ed efficaci e quindi i settori di traversia;
- la statistica degli eventi estremi di moto ondoso a largo;
- la statistica degli eventi estremi di marea.

Nei prossimi paragrafi vengono descritte in dettaglio le analisi condotte e i risultati ottenuti.

2 MAREOGRAFIA

2.1 La stazione mareografica di Porto Torres

Il Porto Civico di Porto Torres è sede della omonima stazione mareografica della RMN (Rete Mareografica Nazionale). La stazione (Figura 2.1.1) è posta sul lato ridossato del molo di levante, in corrispondenza alle coordinate geografiche 40° 50' 31" N e 08° 24' 13" E. In analogia a tutte le stazioni della RMN, la stazione di Porto Torres, impiantata nel 1986, è stata oggetto di lavori di ripristino e ammodernamento nell'estate del 1998.



Figura 2.1.1 – Localizzazione della stazione mareografica di Porto Torres.

La stazione misura il livello idrometrico (tramite un sensore a ultrasuoni), la velocità e la direzione del vento, la pressione atmosferica, nonché le temperature dell'aria e dell'acqua (si veda al riguardo http://www.idromare.it/rmn_strumenti.php).

Relativamente alle misure di livello, la serie storica oraria disponibile va dal giugno del 1998 al novembre del 2010. La Tabella 2.1.1 mostra i rendimenti annuali del sensore di livello in tale periodo. Tenuto conto dell'assenza di dati relativamente all'intero anno 1999, per il presente studio si è considerata la serie storica che va dal 1 gennaio 2000 al 30 novembre 2010.

Anno	Rendimento (%)
1998	31.24
1999	0.00
2000	74.98
2001	98.41
2002	83.73
2003	98.30
2004	98.24
2005	95.48
2006	97.83
2007	94.34
2008	91.10
2009	91.82
2010	87.65

Tabella 2.1.1 - Rendimenti annuali del sensore di livello della stazione di Porto Torres

2.2 Marea astronomica e livelli medi

L'analisi dei dati disponibili mostra come la marea astronomica a Porto Torres sia, in analogia a tutte le località del Mediterraneo, del tipo mista-semidiurna (Figura 2.2.1 – Figura 2.2.2). *Il livello medio marino*, relativo all'intera serie considerata (2000-2010), *risulta 0.14 m superiore rispetto allo zero idrometrico del mareografo*. Rispetto a tale riferimento, il livello di massima alta marea astronomica risulta pari a 0.39 m mentre quello di minima bassa marea astronomica risulta pari a -0.20 m (Tabella 2.2.1 e Tabella 2.2.2). La escursione dei livelli tra alta e bassa marea appare mediamente di circa 0.20 m.

	Periodo 2000-2010	
HAT - Highest Astronomical Tide (m)	0.39	(Massima Alta Marea Astronomica)
MHWS - Mean High Water Springs (m)	0.27	(Altezza Media delle Alte Maree Sigiziali)
MHWN - Mean High Water Neaps (m)	0.24	(Altezza Media delle Alte Maree in Quadratura)
MSL - Mean Sea Level (m)	0.14	Livello Medio Marino
Ordnance datum (m)	0.00	Zero Idrometrico del mareografo
MLWN - Mean Low Water Neaps (m)	0.06	(Altezza Media delle Basse Maree in Quadratura)
MLWS - Mean Low Water Springs (m)	0.02	(Altezza Media delle Basse Maree Sigiziali)
LAT - Lowest Astronomical Tide (m)	-0.20	(Massima Bassa Marea Astronomica)

Tabella 2.2.1 - Livelli medi astronomici misurati al mareografo di Porto Torres (2000-2010) riferiti allo zero idrometrico

	Periodo	
	2000-2010	
HAT - Highest Astronomical Tide (m)	0.24	(Massima Alta Marea Astronomica)
MHWS - Mean High Water Springs (m)	0.13	(Altezza Media delle Alte Maree Sigiziali)
MHWN - Mean High Water Neaps (m)	0.09	(Altezza Media delle Alte Maree in Quadratura)
MSL - Mean Sea Level (m)	0.00	Livello Medio Marino
Ordinance datum (m)	-0.14	Zero Idrometrico del mareografo
MLWN - Mean Low Water Neaps (m)	-0.08	(Altezza Media delle Basse Maree in Quadratura)
MLWS - Mean Low Water Springs (m)	-0.13	(Altezza Media delle Basse Maree Sigiziali)
LAT - Lowest Astronomical Tide (m)	-0.34	(Massima Bassa Marea Astronomica)

Tabella 2.2.2 - Livelli medi astronomici misurati al mareografo di Porto Torres (2000-2010) riferiti al livello medio marino

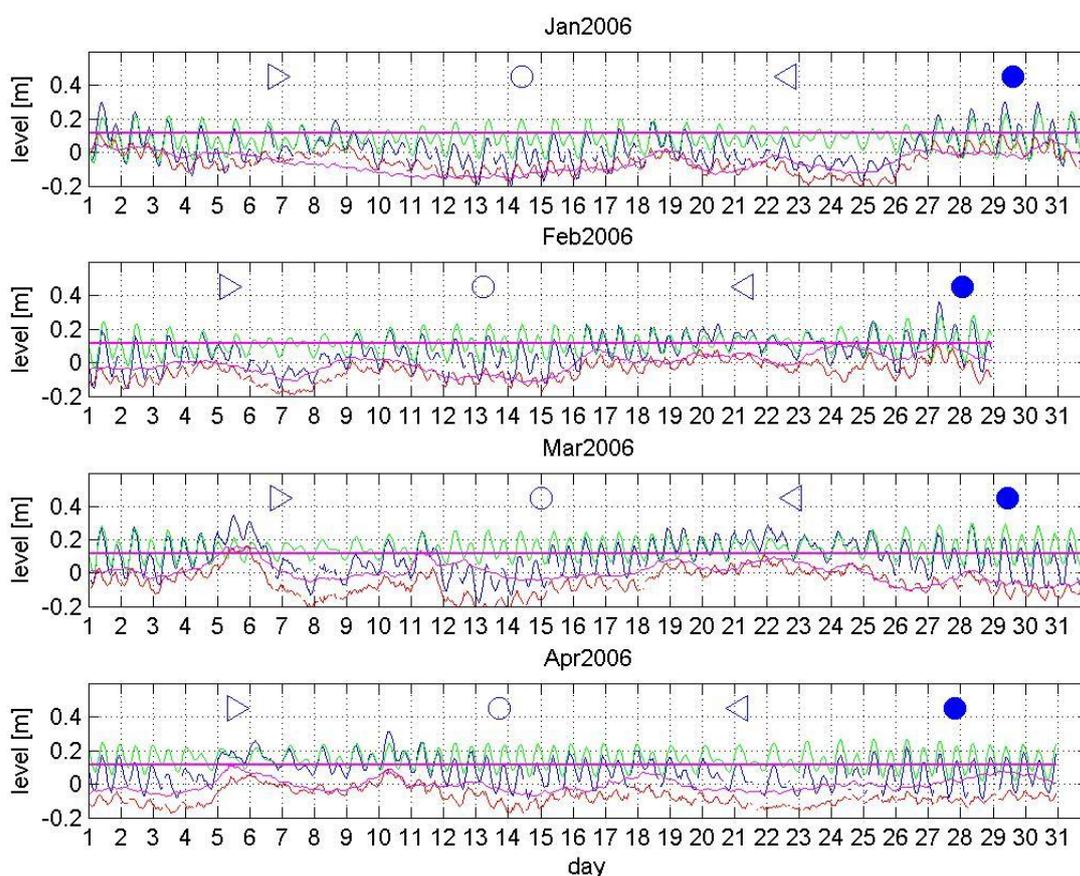


Figura 2.2.1 - Variazione dei livelli orari a Porto Torres (gen-apr 2006). Livelli osservati (linea blu), previsti (linea verde), residui (linea rossa) e inverso barico (linea magenta). I grafici riportano anche le fasi lunari (cerchio vuoto=luna piena, cerchio pieno=luna nuova, triangolo a dx= primo quarto, triangolo a sx=ultimo quarto).

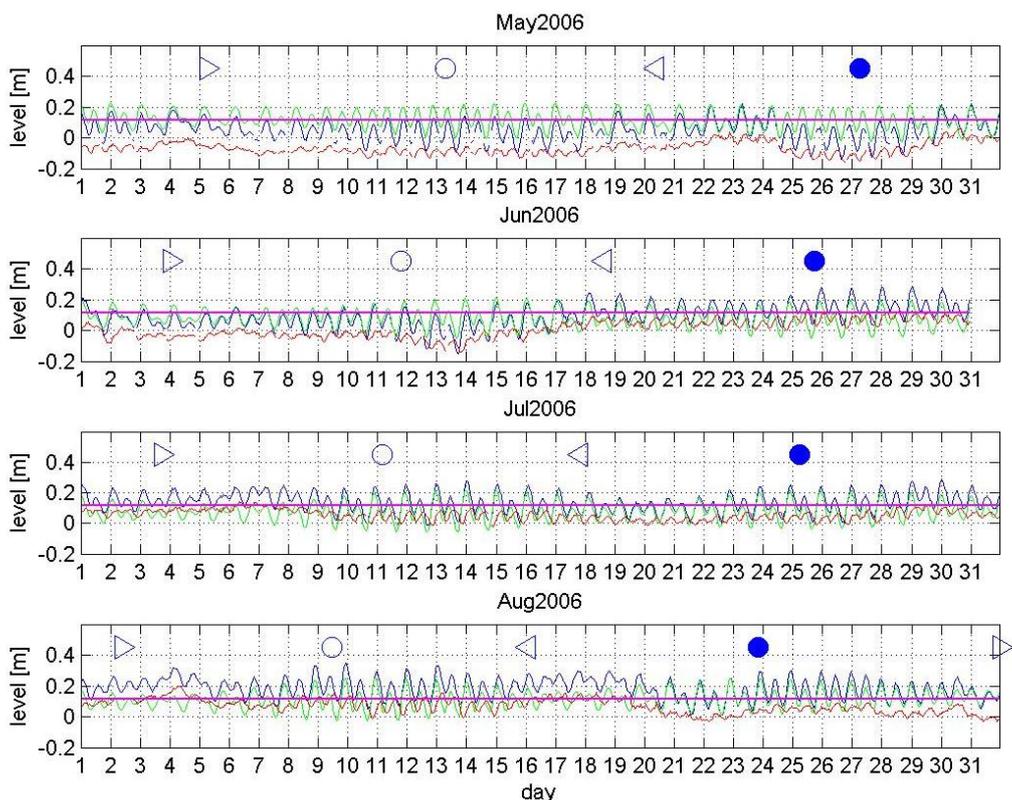


Figura 2.2.2 - Variazione dei livelli orari a Porto Torres (mag-ago 2006). Livelli osservati (linea blu), previsti (linea verde), residui (linea rossa) e inverso barico (linea magenta). I grafici riportano anche le fasi lunari (cerchio vuoto=luna piena, cerchio pieno=luna nuova, triangolo a dx= primo quarto, triangolo a sx=ultimo quarto).

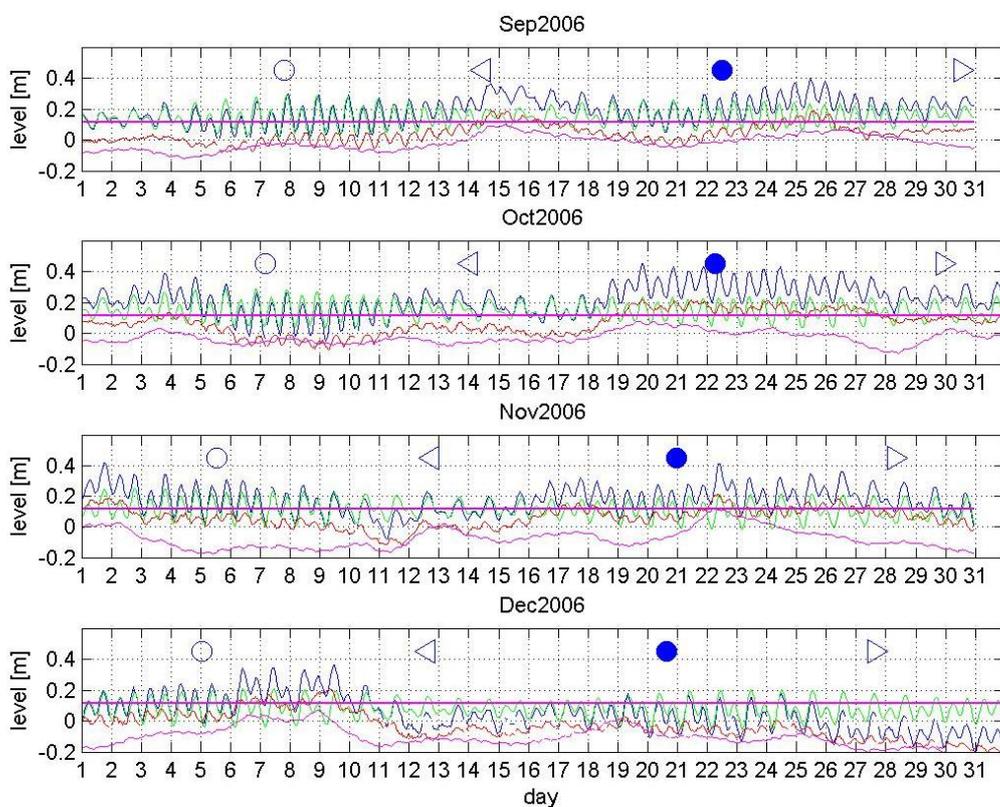


Figura 2.2.3 – Variazione dei livelli orari a Porto Torres (set-dic 2006). Livelli osservati (linea blu), previsti (linea verde), residui (linea rossa) e inverso barico (linea magenta). I grafici riportano anche le fasi lunari (cerchio vuoto=luna piena, cerchio pieno=luna nuova, triangolo a dx= primo quarto, triangolo a sx=ultimo quarto).

L'analisi dei dati mostra che le oscillazioni del livello marino indotte da cause astronomiche sono disturbate da cause meteorologiche, in particolare dalle variazioni della pressione atmosferica (variazioni bariche). Il massimo e il minimo livello misurato dal mareografo nell'ambito della serie storica analizzata risultano rispettivamente pari a +0.66 m e a -0.33 m sullo zero idrometrico (ovvero +0.52 e -0.47 m sul l.m.m.). Tali valori includono sia la componente astronomica, di tipo deterministico, sia la componente meteorologica, di tipo stocastico. In condizioni statiche, assumendo valida la legge dell'effetto barico inverso (per la quale a una variazione ± 1 mmBar rispetto alla pressione media atmosferica, posta pari a 1013.25 mmBar, può farsi corrispondere una variazione di livello pari a ± 0.01 m), è possibile verificare come le differenze tra il mareogramma osservato e il mareogramma previsto (marea astronomica) siano essenzialmente legate a variazioni di pressione atmosferica. Il mareogramma residuale segue infatti dappresso la variazione dell'inverso barico (Figura 2.2.1÷Figura 2.2.3).

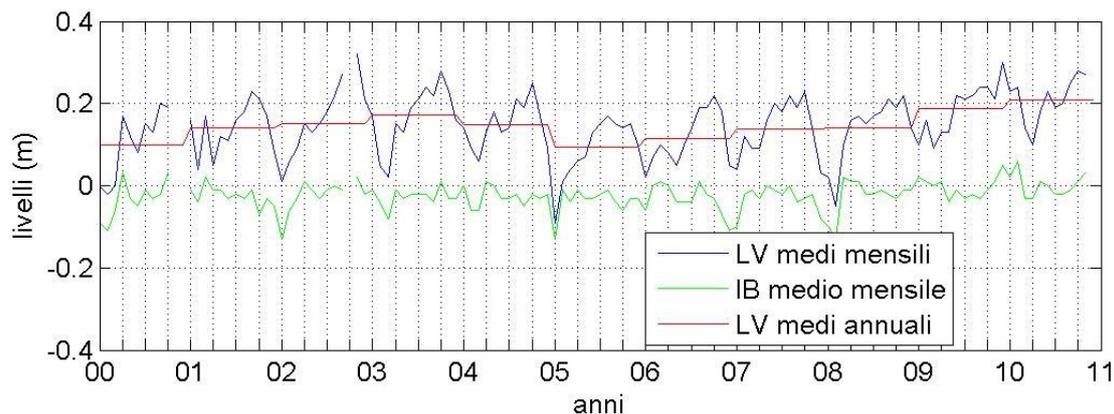


Figura 2.2.4 – Variazione dei livelli medi mensili a Porto Torres (2000-2010). Livelli medi mensili (linea blu), inverso barico medio mensile (linea verde) e livelli medi annuali (linea rossa).

I livelli medi mensili mostrano una variazione stagionale (massima escursione di circa 0.20 m) con un minimo in corrispondenza ai primi mesi invernali e un massimo in corrispondenza ai primi mesi autunnali (Figura 2.2.4). Tale variazione appare avere una chiara origine meteorologica in quanto tende a coincidere con la variazione dei valori medi dell'inverso barico, ovvero della pressione atmosferica. Da quanto precede sembra plausibile correlare l'incremento del livello medio annuale osservato negli anni 2009 e 2010 all'abbassamento della pressione atmosferica media osservato in tali anni.

3 ANEMOMETRIA

3.1 Dati analizzati

Per il vento in costa si è analizzata la serie oraria disponibile (1998-2010) misurata dall'anemometro della stazione mareografica di Porto Torres (si veda il paragrafo 2.1), mentre per il vento al largo si è ritenuto opportuno fare riferimento ai dati ottenuti 'in analisi' risultanti dal modello numerico di previsione del centro meteorologico europeo (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts - ECMWF). Il punto di griglia (di passo 0.25°) scelto corrisponde a 41.00° di latitudine Nord e 8.50° di longitudine (Figura 3.1.1). La serie storica esaoraria analizzata si estende dal 01.01.2000 al 31.12.2009 per un complessivo di 10 anni. La Tabella 3.1.1 fornisce i rendimenti annuali dell'anemometro della stazione mareografica, essendo il rendimento del modello ovviamente pari al 100%.



Figura 3.1.1 – Posizioni relative del punto di griglia ECMWF e della stazione mareografica di Porto Torres

Anno	Rendimento (%)
1998	29.94
1999	89.44
2000	76.07
2001	97.48
2002	84.35
2003	95.53
2004	99.35
2005	96.60
2006	98.34
2007	95.11
2008	92.03
2009	82.25
2010	81.29

Tabella 3.1.1 – Rendimenti annuali dell’anemometro della stazione RMN di Porto Torres

3.2 Classificazione degli eventi anemometrici in base alla velocità e alla direzione del vento – clima anemometrico

Questo tipo di analisi climatica consiste nel suddividere gli eventi anemometrici in base alla loro frequenza di accadimento nell’ambito di classi di velocità del vento e di direzione geografica di provenienza. Al fine di valutare sia il clima anemometrico medio annuale sia quello stagionale, questa analisi viene normalmente eseguita prendendo in esame sia le frequenze medie annuali di accadimento valutate sull’intera serie storica (clima annuale), sia quelle che si ottengono prendendo in esame le singole stagioni dell’anno (climi stagionali).

Per quanto riguarda la suddivisione degli eventi in classi di velocità del vento si sono considerate le classi che si ottengono facendo riferimento ai gradi della scala di Beaufort, compresi tra 0 e 12. Le velocità del vento sono espresse in nodi (kn) (1 kn \approx 0,5 m/s).

Per quanto riguarda la suddivisione degli eventi in base alla direzione di provenienza del vento si sono considerati settori di ampiezza pari a 10°.

Nelle rappresentazioni grafiche realizzate in forma polare (rose del vento) le classi della scala di Beaufort sono state accoppiate mentre quelle direzionali sono raggruppate in settori di ampiezza di 30°.

3.2.1 Clima anemometrico al largo

Il clima anemometrico al largo nel punto di griglia dell'ECMWF riportato in fig. 3.1.1, è rappresentato in forma grafica nella Figura 3.2.1.1 (rosa annuale e rose stagionali) e in forma tabellare nelle tabelle da 3.2.1.1 a 3.2.1.5.

In clima è di tipo bimodale essendo caratterizzato dalla prevalenza di eventi provenienti da Levante e da Ponente (Fig. 3.2.1.1). La bimodalità delle condizioni anemometriche è tipica della zona essendo dovuta ai rilievi montuosi della Corsica che incanalano i venti prevalentemente lungo l'asse est-ovest delle Bocche di Bonifacio. Per tale ragione localmente la frequenza di accadimento dei venti settentrionali è estremamente modesta.

I settori di provenienza caratterizzati dalla maggiore frequenza di accadimento sono quelli di levante (Est), compresi tra i 45°N e i 135°N, e quelli di ponente (Ovest) compresi tra 225°N e i 285°N.

Gli eventi con velocità minore o uguale agli 11 kn coprono circa il 66% dell'anno medio statistico (circa 8 mesi); quelli con velocità del vento minore o uguale a 22 kn coprono circa il 97% dell'anno (circa 354 gg/anno). I venti di maggiore intensità, compresi tra 34 e 41 kn, presentano una frequenza media di accadimento di circa lo 0,05 %, ovvero di circa 4,5 ore all'anno.

3.2.2 Clima anemometrico in costa

Come detto, il clima anemometrico in costa è stato ottenuto analizzando i dati di vento acquisiti in corrispondenza della stazione anemometrica della RMN localizzata nel Porto Civico di Porto Torres.

I risultati ottenuti sono rappresentati in forma grafica nella Figura 3.2.2.1 (rosa annuale e rose stagionali) e in forma tabellare nelle tabelle da 3.2.2.1 a 3.2.2.5.

Le rose climatiche risultano simili a quelle ottenute a largo, anche se in costa appare un vento meridionale che a largo non è denunciato dai dati dell'ECMWF. Questo vento è di origine catabatica ed è causato dai rilievi posti all'interno della Sardegna. A ragione della sua scarsa intensità, questo vento meridionale non ha alcuna importanza dal punto di vista puramente marittimo, ovvero per gli aspetti strutturali e navigazionali.

I dati costieri mostrano che i settori di provenienza più frequenti sono quelli di grecale e di ponente. Anche in questo caso i venti settentrionali sono rari e di modesta intensità.

Gli eventi con velocità minore o uguale agli 11 kn coprono circa il 78% dell'anno medio statistico (circa 9,5 mesi); quelli con velocità del vento minore o uguale a 22 kn coprono

circa il 97% dell'anno (circa 354 gg/anno). I venti di maggiore intensità, compresi tra 34 e 48 kn, presentano una frequenza media di accadimento di circa lo 0,12 %, ovvero di circa 10,0 ore all'anno. Questi valori risultano molto simili rispetto a quelli ottenuti a largo.

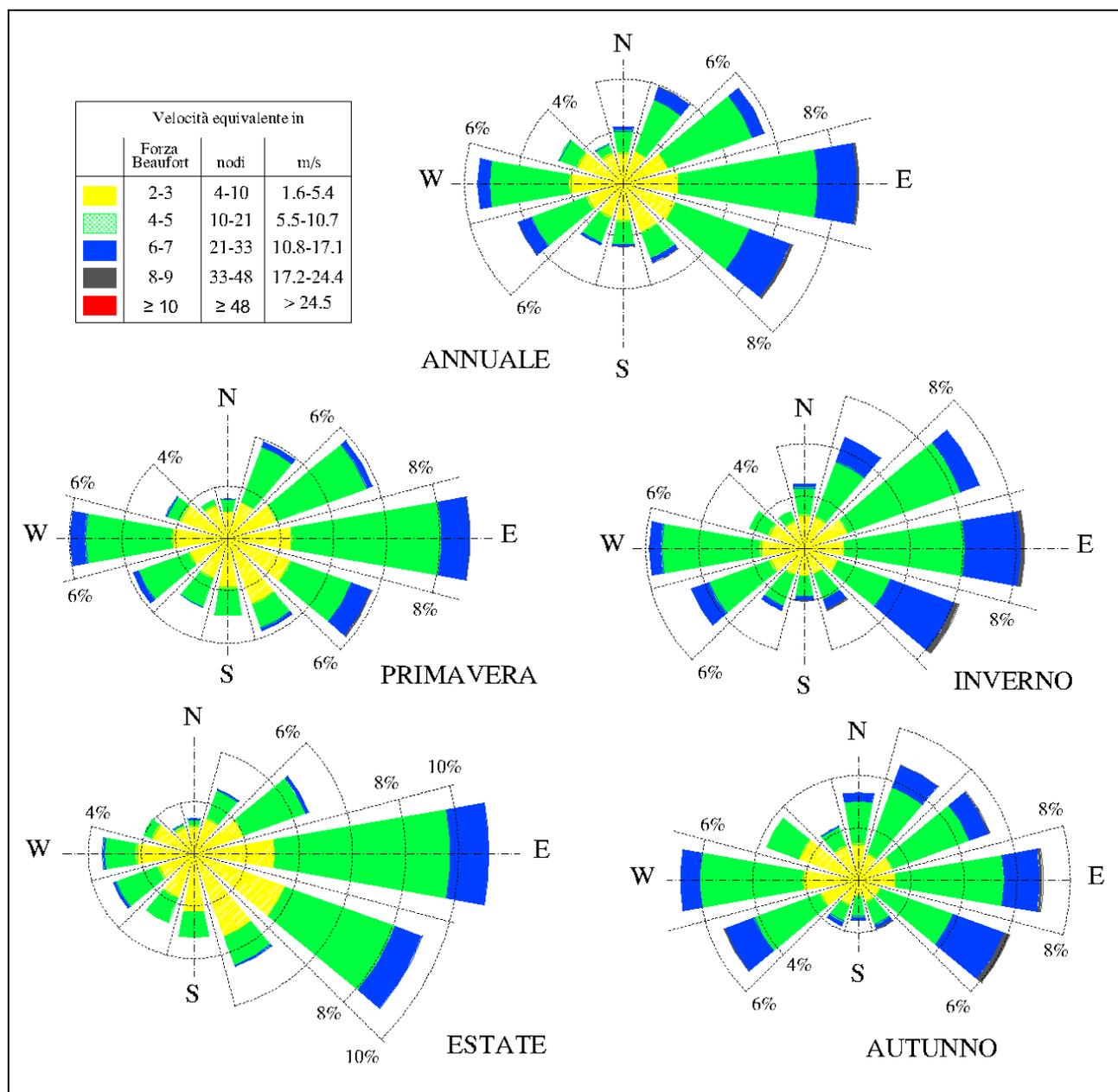


Fig. 3.2.1.1 - Distribuzione direzionale della velocità del vento nel punto scelto ECMWF (Lat 41.00° Lon 8.50°)

Distribuzione annuale del numero di eventi, per classi di V_v e direzione di provenienza.

ECMWF (LAT 41.00°; LON 8.50°)
 Dati rilevati dal 1 gennaio 2000 al 31 dicembre 2009

DIR (°N)	CLASSI DI VELOCITA' DEL VENTO (nodi)												TOT.
	1-4	4-7	7-11	11-17	17-22	22-28	28-34	34-41	41-48	48-56	56-63	>63	
10	0.32	0.44	0.44	0.44	0.10	0.01							1.76
20	0.44	0.45	0.52	0.51	0.16	0.07							2.14
30	0.28	0.54	0.77	0.75	0.32	0.09							2.74
40	0.38	0.55	0.86	0.74	0.29	0.14	0.01						2.96
50	0.38	0.71	0.99	0.99	0.26	0.05	0.01						3.39
60	0.37	0.77	1.01	1.13	0.26	0.06	0.01						3.61
70	0.48	0.83	1.37	1.31	0.24	0.07	0.01						4.31
80	0.40	1.05	1.37	1.62	0.45	0.07	0.01						4.97
90	0.41	0.98	1.45	1.95	0.65	0.12	0.03	0.01					5.60
100	0.42	0.95	1.57	2.41	1.28	0.40	0.05	0.01					7.09
110	0.43	0.97	1.13	1.98	1.07	0.72	0.12	0.01					6.45
120	0.50	0.91	0.76	0.96	0.62	0.34	0.03	0.01					4.13
130	0.49	0.91	0.56	0.50	0.30	0.20	0.03						2.99
140	0.53	0.73	0.57	0.25	0.10	0.05	0.01	0.01					2.24
150	0.61	0.77	0.38	0.23	0.08	0.02	0.01						2.09
160	0.55	0.79	0.45	0.15	0.10	0.03							2.07
170	0.38	0.58	0.51	0.18	0.05	0.01	0.01						1.73
180	0.39	0.62	0.45	0.12	0.03	0.01							1.62
190	0.31	0.60	0.42	0.10	0.04	0.01							1.48
200	0.42	0.53	0.47	0.12	0.03								1.57
210	0.38	0.50	0.42	0.18	0.07								1.55
220	0.36	0.55	0.52	0.31	0.06	0.01							1.83
230	0.30	0.63	0.59	0.38	0.16	0.07							2.12
240	0.40	0.61	0.68	0.68	0.25	0.10	0.01						2.72
250	0.34	0.68	0.94	1.12	0.38	0.14							3.60
260	0.42	0.76	1.05	1.21	0.51	0.08							4.02
270	0.50	0.88	1.19	1.00	0.17	0.03							3.77
280	0.52	0.95	1.15	0.43	0.06	0.01							3.13
290	0.50	0.97	0.66	0.18	0.01								2.31
300	0.54	0.71	0.27	0.08									1.60
310	0.51	0.49	0.26	0.03									1.28
320	0.37	0.51	0.16	0.05									1.08
330	0.38	0.42	0.17	0.07	0.01								1.04
340	0.36	0.47	0.21	0.08	0.01								1.12
350	0.37	0.45	0.23	0.11	0.04	0.01							1.21
360	0.39	0.47	0.23	0.23	0.06	0.01							1.38
calme:	1.27												1.27
TOT.	15.12	24.72	24.75	22.58	8.21	2.95	0.34	0.05					100.00
Tot. cumul.		41.11	65.86	88.44	96.65	99.60	99.95	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

calme: 185
 Numero eventi validi: 14427

**Tab. 3.2.1.1 – Punto ECMWF al largo di Porto Torres.
 Distribuzione percentuale degli eventi anemometrici,
 per classi di velocità e direzione di provenienza del vento.
 ANNUALE**

Distribuzione autunnale del numero di eventi, per classi di V_v e direzione di provenienza.

ECMWF (LAT 41.00°; LON 8.50°)
Dati rilevati dal 1 gennaio 2000 al 31 dicembre 2009

DIR (°N)	CLASSI DI VELOCITA' DEL VENTO (nodi)											TOT.	
	1-4	4-7	7-11	11-17	17-22	22-28	28-34	34-41	41-48	48-56	56-63		>63
10	0.30	0.54	0.63	1.06	0.27								2.80
20	0.22	0.49	0.71	0.98	0.27	0.19							2.85
30	0.14	0.68	0.98	0.90	0.54	0.16							3.40
40	0.33	0.33	0.90	0.87	0.46	0.19	0.03						3.10
50	0.22	0.43	0.95	1.01	0.38	0.11	0.03						3.13
60	0.24	0.52	0.63	1.25	0.38	0.11	0.03						3.15
70	0.73	0.60	0.98	1.33	0.38	0.22	0.03						4.27
80	0.22	0.57	0.87	1.49	0.49	0.14							3.78
90	0.24	0.71	0.98	1.68	0.52	0.11	0.03	0.03					4.29
100	0.33	0.79	1.14	1.96	1.14	0.33	0.11	0.03					5.82
110	0.19	0.52	1.01	1.96	0.92	1.06	0.22	0.03					5.90
120	0.49	0.22	0.76	1.09	0.76	0.52	0.08	0.05					3.97
130	0.08	0.30	0.41	0.57	0.49	0.35	0.05						2.26
140	0.27	0.27	0.41	0.35	0.05	0.05		0.03					1.44
150	0.41	0.16	0.27	0.30	0.11	0.05							1.30
160	0.35	0.33	0.33	0.16	0.11								1.28
170	0.16	0.24	0.43	0.27	0.05	0.03							1.20
180	0.14	0.14	0.27	0.16	0.08	0.05							0.84
190	0.22	0.35	0.30	0.11	0.05	0.03							1.06
200	0.35	0.52	0.19	0.05	0.05								1.17
210	0.24	0.27	0.16	0.05	0.16								0.90
220	0.14	0.52	0.35	0.49	0.11								1.60
230	0.19	0.82	0.49	0.63	0.27	0.22							2.61
240	0.41	0.68	0.68	0.95	0.43	0.38	0.03						3.56
250	0.24	0.71	0.98	1.58	0.65	0.43							4.59
260	0.27	0.92	1.36	1.44	0.90	0.22							5.11
270	0.33	1.01	1.39	1.17	0.14	0.08							4.10
280	0.49	1.20	1.71	0.68	0.08	0.03							4.18
290	0.33	1.49	1.14	0.14									3.10
300	0.38	1.06	0.63	0.14									2.20
310	0.65	0.87	0.49	0.05									2.07
320	0.41	0.76	0.27	0.08									1.52
330	0.24	0.63	0.35	0.19	0.03								1.44
340	0.27	0.52	0.43	0.19	0.03								1.44
350	0.33	0.65	0.38	0.22	0.16								1.74
360	0.35	0.65	0.35	0.57	0.19	0.03							2.15
calme:	0.71												0.71
TOT.	10.90	21.44	24.29	26.11	10.68	5.08	0.63	0.16					100.00
Tot. cumul.		33.04	57.34	83.45	94.13	99.21	99.84	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

calme: 26
Numero eventi validi: 3654

**Tab. 3.2.1.2 – Punto ECMWF al largo di Porto Torres.
Distribuzione percentuale degli eventi anemometrici,
per classi di velocità e direzione di provenienza del vento.
AUTUNNO**

Distribuzione invernale del numero di eventi, per classi di V_v e direzione di provenienza.

ECMWF (LAT 41.00°; LON 8.50°)
Dati rilevati dal 1 gennaio 2000 al 31 dicembre 2009

DIR (°N)	CLASSI DI VELOCITA' DEL VENTO (nodi)											TOT.	
	1-4	4-7	7-11	11-17	17-22	22-28	28-34	34-41	41-48	48-56	56-63		>63
10	0.36	0.53	0.53	0.50	0.14	0.03							2.08
20	0.25	0.47	0.69	0.44	0.22	0.06							2.13
30	0.30	0.64	0.66	1.08	0.61	0.11							3.41
40	0.19	0.69	0.72	0.91	0.61	0.30							3.43
50	0.42	0.86	1.16	1.58	0.42	0.06							4.49
60	0.50	0.66	1.08	1.69	0.55	0.14							4.62
70	0.25	0.83	1.41	2.10	0.28	0.06							4.93
80	0.42	0.83	1.19	2.08	0.83	0.08	0.03						5.45
90	0.44	0.50	1.11	1.83	0.97	0.30	0.08						5.23
100	0.25	0.64	0.91	1.91	1.25	0.78	0.11						5.84
110	0.30	0.42	0.61	1.38	1.47	1.16	0.19	0.03					5.56
120	0.39	0.69	0.33	0.80	1.02	0.53	0.06						3.82
130	0.30	0.61	0.39	0.66	0.61	0.36	0.08						3.02
140	0.17	0.36	0.47	0.44	0.19	0.14	0.03	0.03					1.83
150	0.47	0.42	0.17	0.30	0.14	0.03	0.03						1.55
160	0.22	0.47	0.39	0.28	0.25	0.06							1.66
170	0.36	0.36	0.33	0.25	0.14	0.03	0.03						1.50
180	0.25	0.30	0.39	0.17	0.03								1.14
190	0.28	0.53	0.30	0.19	0.11								1.41
200	0.39	0.28	0.44	0.19	0.08								1.38
210	0.42	0.42	0.44	0.42	0.11								1.80
220	0.33	0.36	0.58	0.39	0.11	0.06							1.83
230	0.22	0.64	0.61	0.33	0.33	0.06							2.19
240	0.30	0.58	0.69	0.78	0.39	0.03							2.77
250	0.39	0.64	1.16	1.30	0.44	0.14							4.07
260	0.33	0.64	1.36	1.52	0.50	0.08							4.43
270	0.44	0.86	1.58	1.14	0.25	0.03							4.29
280	0.25	0.83	1.22	0.61	0.03								2.93
290	0.39	0.78	0.61	0.42									2.19
300	0.42	0.69	0.11	0.14									1.36
310	0.28	0.33	0.22	0.03									0.86
320	0.22	0.47	0.14	0.11									0.94
330	0.14	0.36	0.17	0.06									0.72
340	0.36	0.66	0.22	0.11									1.36
350	0.33	0.44	0.33	0.19		0.03							1.33
360	0.33	0.61	0.36	0.17	0.03	0.03							1.52
calme:	0.94												0.94
TOT.	11.66	20.38	23.09	26.50	12.10	4.65	0.64	0.06					100.00
Tot. cumul.		32.97	56.06	82.56	94.66	99.31	99.94	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

calme: 34
Numero eventi validi: 3578

**Tab. 3.2.1.3 – Punto ECMWF al largo di Porto Torres.
Distribuzione percentuale degli eventi anemometrici,
per classi di velocità e direzione di provenienza del vento.
INVERNO**

Distribuzione primaverile del numero di eventi, per classi di V_v e direzione di provenienza.

ECMWF (LAT 41.00°; LON 8.50°)
 Dati rilevati dal 1 gennaio 2000 al 31 dicembre 2009

DIR (°N)	CLASSI DI VELOCITA' DEL VENTO (nodi)											TOT.	
	1-4	4-7	7-11	11-17	17-22	22-28	28-34	34-41	41-48	48-56	56-63		>63
10	0.22	0.41	0.38	0.11	0.00	0.03							1.15
20	0.60	0.44	0.47	0.36	0.14	0.03							2.03
30	0.22	0.55	0.96	0.69	0.11	0.05							2.58
40	0.52	0.63	1.07	0.91	0.05	0.03							3.21
50	0.30	0.71	0.82	0.96	0.14	0.05							2.99
60	0.36	1.18	1.29	1.07	0.08								3.98
70	0.47	0.91	1.70	1.35	0.16								4.59
80	0.41	1.29	1.65	1.37	0.30	0.03							5.05
90	0.44	1.18	1.73	2.23	0.49	0.05	0.03						6.15
100	0.41	1.10	1.76	2.45	1.02	0.25							6.98
110	0.33	1.18	1.18	1.37	0.82	0.25	0.08						5.22
120	0.49	1.24	0.69	0.66	0.33	0.11							3.52
130	0.71	1.10	0.63	0.27	0.11								2.83
140	0.74	1.02	0.58	0.14	0.11								2.58
150	0.74	0.99	0.55	0.16	0.03								2.47
160	0.82	1.02	0.44	0.05	0.03	0.05							2.42
170	0.55	0.77	0.63	0.16									2.12
180	0.41	0.85	0.55	0.14									1.95
190	0.47	0.71	0.55	0.05									1.79
200	0.38	0.71	0.66	0.19									1.95
210	0.41	0.60	0.55	0.14									1.70
220	0.55	0.58	0.58	0.19	0.03								1.92
230	0.44	0.47	0.52	0.36	0.03								1.81
240	0.44	0.58	0.66	0.55	0.05								2.28
250	0.44	0.77	0.96	0.99	0.33								3.49
260	0.47	0.80	0.85	1.48	0.58	0.03							4.20
270	0.47	0.85	1.18	1.51	0.30	0.03							4.34
280	0.71	0.91	1.07	0.41	0.14	0.03							3.27
290	0.63	1.04	0.60	0.11	0.03								2.42
300	0.71	0.52	0.14	0.05									1.43
310	0.52	0.41	0.16	0.03									1.13
320	0.49	0.49	0.16										1.15
330	0.52	0.36	0.08	0.03									0.99
340	0.41	0.47	0.08	0.03									0.99
350	0.33	0.41	0.16	0.03									0.93
360	0.38	0.38	0.08	0.14									0.99
calme:	1.37												1.37
TOT.	17.55	27.64	26.15	20.74	5.41	1.02	0.11						100.00
Tot. cumul.		46.57	72.72	93.46	98.87	99.89	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

calme: 50
 Numero eventi validi: 3590

**Tab. 3.2.1.4 – Punto ECMWF al largo di Porto Torres.
 Distribuzione percentuale degli eventi anemometrici,
 per classi di velocità e direzione di provenienza del vento.
 PRIMAVERA**

Distribuzione estiva del numero di eventi, per classi di V_v e direzione di provenienza.

ECMWF (LAT 41.00°; LON 8.50°)
 Dati rilevati dal 1 gennaio 2000 al 31 dicembre 2009

DIR (°N)	CLASSI DI VELOCITA' DEL VENTO (nodi)											TOT.	
	1-4	4-7	7-11	11-17	17-22	22-28	28-34	34-41	41-48	48-56	56-63		>63
10	0.41	0.27	0.24	0.08									1.01
20	0.68	0.41	0.22	0.24									1.55
30	0.46	0.30	0.46	0.33	0.03	0.03							1.60
40	0.46	0.57	0.73	0.27	0.03	0.03							2.09
50	0.60	0.84	1.03	0.41	0.11								2.99
60	0.38	0.73	1.03	0.52	0.03								2.69
70	0.46	1.01	1.39	0.49	0.14								3.48
80	0.57	1.49	1.77	1.55	0.19	0.03							5.60
90	0.52	1.52	1.98	2.07	0.63	0.03							6.74
100	0.71	1.28	2.45	3.32	1.71	0.24							9.70
110	0.90	1.77	1.71	3.21	1.09	0.41							9.08
120	0.63	1.49	1.25	1.28	0.35	0.22							5.22
130	0.84	1.63	0.82	0.49	0.00	0.08							3.86
140	0.92	1.25	0.82	0.08	0.05								3.13
150	0.82	1.49	0.54	0.14	0.05								3.04
160	0.79	1.36	0.65	0.11									2.91
170	0.46	0.95	0.65	0.05									2.12
180	0.76	1.17	0.60										2.53
190	0.30	0.79	0.54	0.03									1.66
200	0.57	0.60	0.57	0.05									1.79
210	0.46	0.71	0.52	0.14									1.82
220	0.43	0.76	0.57	0.19									1.96
230	0.35	0.60	0.73	0.19									1.88
240	0.43	0.60	0.68	0.46	0.11								2.28
250	0.27	0.63	0.65	0.63	0.08								2.26
260	0.60	0.68	0.63	0.41	0.05								2.36
270	0.76	0.79	0.63	0.19									2.36
280	0.63	0.87	0.60	0.03									2.12
290	0.65	0.57	0.27	0.05									1.55
300	0.65	0.57	0.19										1.41
310	0.57	0.33	0.16										1.06
320	0.35	0.30	0.05										0.71
330	0.60	0.33	0.08										1.01
340	0.38	0.22	0.08	0.00	0.03								0.71
350	0.49	0.30	0.05										0.84
360	0.49	0.22	0.11	0.03	0.03								0.87
calme:	2.04												2.04
TOT.	20.35	29.38	25.46	17.01	4.70	1.06							100.00
Tot. cumul.		51.77	77.23	94.24	98.94	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

calme: 75
 Numero eventi validi: 3605

**Tab. 3.2.1.5 – Punto ECMWF al largo di Porto Torres.
 Distribuzione percentuale degli eventi anemometrici,
 per classi di velocità e direzione di provenienza del vento.
 ESTATE**

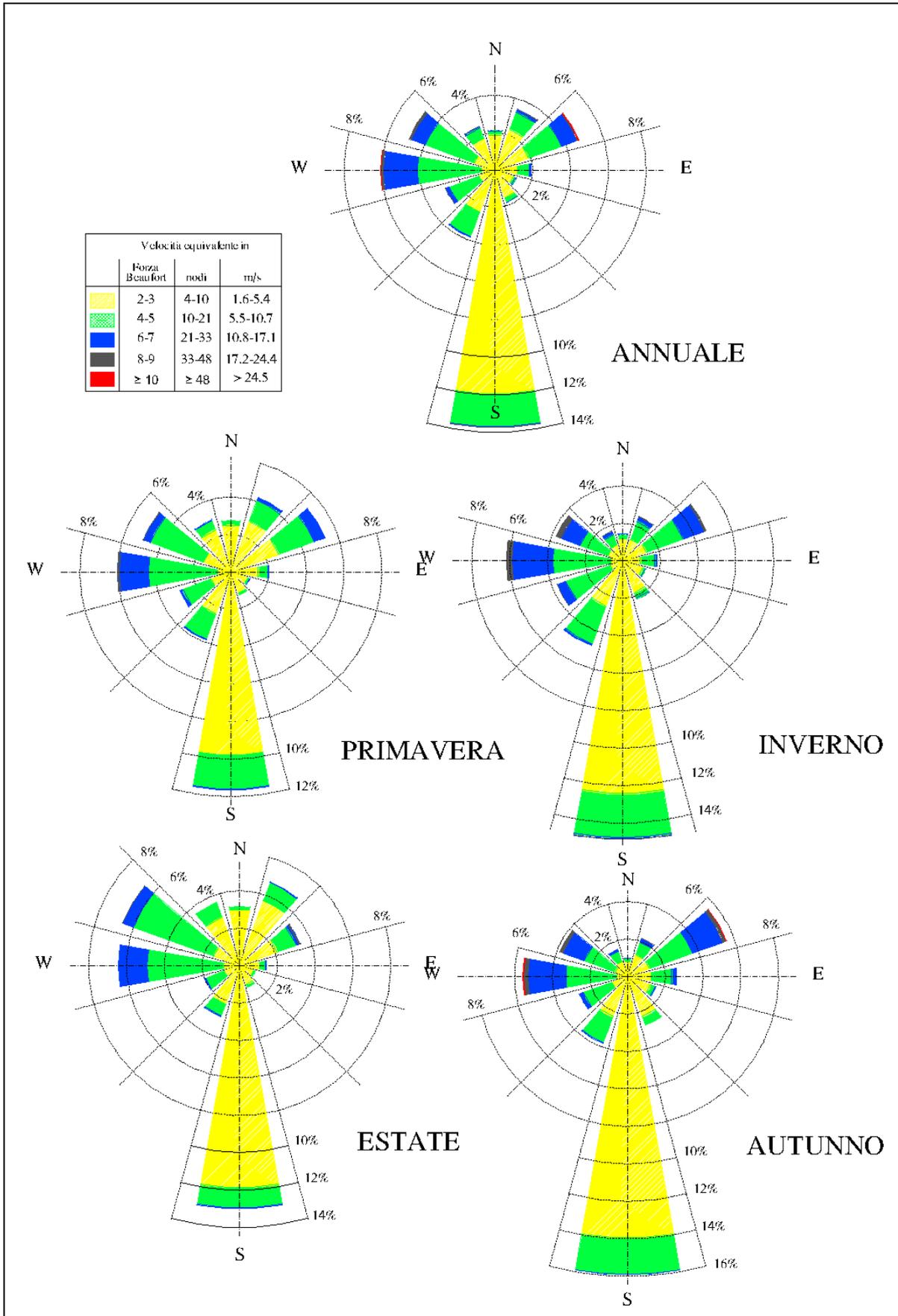


Fig. 3.2.2.1 - Distribuzione direzionale della velocità del vento a Porto Torres (RMN)

Distribuzione annuale del numero di eventi, per classi di V_v e direzione di provenienza.

Rete Mareografica Nazionale - Stazione anemometrica di Porto Torres

Dati rilevati dal 1 gennaio 1998 al 31 dicembre 2010

DIR (°N)	CLASSI DI VELOCITA' DEL VENTO (nodi)											TOT.	
	1÷4	4÷7	7÷11	11÷17	17÷22	22÷28	28÷34	34÷41	41÷48	48÷56	56÷63		>63
10	1.00	0.50	0.12	0.02	0.00								1.63
20	0.77	0.52	0.17	0.04	0.01	0.00							1.52
30	0.95	0.74	0.41	0.21	0.04	0.02	0.01						2.37
40	0.73	0.90	0.62	0.50	0.17	0.07	0.01						2.99
50	0.60	0.64	0.49	0.58	0.40	0.17	0.05	0.01	0.00				2.94
60	0.53	0.59	0.67	0.61	0.44	0.19	0.06						3.09
70	0.73	0.69	0.72	0.55	0.37	0.19	0.01	0.00					3.26
80	0.57	0.47	0.40	0.36	0.09	0.02							1.89
90	0.38	0.25	0.23	0.10	0.03	0.00							1.00
100	0.46	0.25	0.16	0.07	0.00								0.94
110	0.50	0.27	0.12	0.02	0.01								0.91
120	0.45	0.20	0.07	0.01	0.00								0.74
130	0.48	0.16	0.06	0.02									0.71
140	0.49	0.16	0.08	0.02									0.75
150	0.52	0.38	0.13	0.02	0.00								1.06
160	0.91	0.64	0.24	0.02									1.81
170	3.42	4.11	0.85	0.12	0.01	0.00							8.51
180	5.74	6.51	1.15	0.25	0.02	0.00							13.67
190	2.15	1.58	0.78	0.33	0.03	0.00	0.00						4.88
200	1.18	0.99	0.82	0.46	0.02								3.47
210	0.71	0.80	0.60	0.27	0.03	0.01							2.42
220	0.48	0.49	0.43	0.20	0.03	0.00							1.63
230	0.39	0.33	0.43	0.27	0.03	0.01							1.46
240	0.26	0.32	0.54	0.44	0.10	0.02							1.68
250	0.20	0.28	0.79	0.84	0.24	0.03	0.00						2.39
260	0.19	0.21	0.66	1.02	0.45	0.11	0.02						2.65
270	0.17	0.24	0.70	1.46	0.88	0.39	0.06	0.01	0.00				3.92
280	0.24	0.36	1.09	1.76	1.15	0.59	0.16	0.02	0.01				5.38
290	0.25	0.39	1.11	1.10	0.55	0.34	0.11	0.03					3.87
300	0.21	0.47	1.18	0.76	0.36	0.16	0.05	0.02					3.21
310	0.34	0.67	0.84	0.43	0.15	0.05	0.01						2.49
320	0.46	0.75	0.43	0.20	0.05	0.02							1.90
330	0.51	0.63	0.25	0.14	0.02	0.02							1.57
340	0.70	0.47	0.19	0.07	0.04	0.01	0.00						1.48
350	0.78	0.37	0.10	0.03	0.01								1.30
360	0.81	0.38	0.10	0.02	0.01								1.32
calme:	3.19												3.19
TOT.	29.26	27.71	17.70	13.31	5.73	2.43	0.56	0.10	0.02				100.00
Tot. cumul.	60.16	77.86	91.17	96.90	99.33	99.88	99.98	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

calme: 1041

Numero eventi validi: 31598

Tab. 3.2.2.1 – Porto Torres, RMN.
Distribuzione percentuale degli eventi anemometrici,
per classi di velocità e direzione di provenienza del vento.
ANNUALE

Distribuzione autunnale del numero di eventi, per classi di V_v e direzione di provenienza.

Rete Mareografica Nazionale - Stazione anemometrica di Porto Torres

Dati rilevati dal 1 gennaio 1998 al 31 dicembre 2010

DIR (°N)	CLASSI DI VELOCITA' DEL VENTO (nodi)											TOT.	
	1-4	4-7	7-11	11-17	17-22	22-28	28-34	34-41	41-48	48-56	56-63		>63
10	0.48	0.21	0.04										0.74
20	0.40	0.36	0.08	0.05	0.01								0.91
30	0.48	0.39	0.27	0.16	0.03	0.03							1.35
40	0.51	0.36	0.36	0.45	0.16	0.19	0.01						2.05
50	0.31	0.44	0.52	0.55	0.49	0.24	0.12	0.03	0.01				2.71
60	0.27	0.39	0.79	0.98	0.76	0.43	0.16						3.77
70	0.55	0.55	0.84	1.02	0.84	0.63	0.05	0.01					4.49
80	0.43	0.53	0.56	0.75	0.25	0.07							2.59
90	0.36	0.25	0.31	0.24	0.08								1.24
100	0.51	0.40	0.24	0.12	0.01								1.28
110	0.61	0.44	0.23	0.05	0.01								1.35
120	0.43	0.33	0.15	0.03									0.94
130	0.48	0.29	0.09										0.87
140	0.55	0.27	0.19	0.03									1.03
150	0.83	0.53	0.19	0.03									1.58
160	1.30	1.04	0.48	0.01									2.83
170	4.55	5.21	1.14	0.08									10.98
180	6.32	7.95	1.42	0.24	0.01								15.95
190	1.98	1.51	0.60	0.24	0.03								4.36
200	1.10	0.91	0.78	0.37	0.01								3.17
210	0.72	0.80	0.71	0.28	0.01								2.53
220	0.41	0.60	0.37	0.32	0.03	0.01							1.75
230	0.29	0.40	0.47	0.19	0.03	0.04							1.42
240	0.21	0.45	0.56	0.43	0.08	0.03							1.76
250	0.21	0.19	0.78	0.76	0.21	0.03							2.18
260	0.19	0.23	0.66	0.78	0.37	0.08	0.01						2.31
270	0.12	0.24	0.49	1.15	0.83	0.43	0.11	0.03	0.01				3.41
280	0.19	0.25	0.72	1.50	1.23	0.99	0.21	0.08	0.05				5.23
290	0.15	0.23	0.68	0.88	0.92	0.57	0.17	0.07					3.68
300	0.17	0.36	0.59	0.51	0.32	0.25	0.09	0.05					2.35
310	0.20	0.36	0.39	0.33	0.23	0.04	0.01						1.56
320	0.27	0.24	0.27	0.28	0.07	0.03							1.15
330	0.28	0.24	0.20	0.17	0.03	0.04							0.96
340	0.48	0.16	0.11	0.12	0.09	0.01							0.98
350	0.31	0.11	0.07	0.04	0.03								0.55
360	0.32	0.17	0.13	0.04	0.01								0.68
calme:	3.32												3.32
TOT.	26.97	27.43	16.46	13.18	7.21	4.13	0.96	0.27	0.08				100.00
Tot. cumul.		57.71	74.17	87.35	94.56	98.69	99.65	99.92	100.00	100.00	100.00	100.00	

calme: 248

Numero eventi validi: 7232

Tab. 3.2.2.2 – Porto Torres, RMN.
Distribuzione percentuale degli eventi anemometrici,
per classi di velocità e direzione di provenienza del vento.
AUTUNNO

Distribuzione invernale del numero di eventi, per classi di V_v e direzione di provenienza.

Rete Mareografica Nazionale - Stazione anemometrica di Porto Torres

Dati rilevati dal 1 gennaio 1998 al 31 dicembre 2010

DIR (°N)	CLASSI DI VELOCITA' DEL VENTO (nodi)											TOT.	
	1-4	4-7	7-11	11-17	17-22	22-28	28-34	34-41	41-48	48-56	56-63		>63
10	0.69	0.21	0.14	0.03	0.01								1.08
20	0.40	0.25	0.11	0.10	0.01	0.01							0.89
30	0.48	0.38	0.35	0.23	0.06	0.06	0.03						1.58
40	0.48	0.44	0.64	0.59	0.21	0.09	0.03						2.48
50	0.18	0.41	0.44	0.69	0.49	0.25	0.04						2.50
60	0.41	0.49	0.64	0.68	0.53	0.30	0.11						3.17
70	0.55	0.64	0.83	0.77	0.55	0.20							3.55
80	0.40	0.40	0.41	0.55	0.11								1.89
90	0.24	0.28	0.26	0.08	0.01								0.87
100	0.35	0.23	0.18	0.10									0.86
110	0.54	0.31	0.14	0.01	0.01								1.02
120	0.52	0.25	0.05	0.01									0.83
130	0.50	0.16	0.04	0.03									0.73
140	0.47	0.16	0.10	0.01									0.74
150	0.54	0.67	0.24	0.01	0.01								1.47
160	0.99	0.77	0.25	0.05									2.06
170	3.65	5.70	1.09	0.31	0.01	0.01							10.78
180	5.67	6.17	1.14	0.49	0.04	0.01							13.53
190	1.69	1.55	0.99	0.58	0.06	0.01	0.01						4.89
200	1.19	1.19	1.32	0.70	0.05								4.46
210	0.58	1.01	0.80	0.40	0.05	0.01							2.85
220	0.54	0.59	0.74	0.23	0.06								2.16
230	0.26	0.36	0.68	0.63	0.06								2.00
240	0.18	0.28	0.75	0.78	0.29	0.06							2.34
250	0.15	0.18	0.78	1.27	0.48	0.08	0.01						2.94
260	0.20	0.23	0.77	1.30	0.78	0.25	0.05						3.57
270	0.13	0.19	0.74	1.18	0.99	0.50	0.14	0.03					3.90
280	0.25	0.28	0.82	1.23	1.12	0.63	0.31	0.01					4.65
290	0.19	0.28	0.43	0.74	0.57	0.44	0.25	0.08					2.97
300	0.15	0.31	0.47	0.60	0.54	0.25	0.09	0.04					2.45
310	0.33	0.39	0.35	0.49	0.24	0.11	0.04						1.95
320	0.33	0.29	0.25	0.30	0.10	0.06							1.33
330	0.30	0.30	0.10	0.28	0.06	0.03							1.07
340	0.39	0.14	0.19	0.09	0.09	0.03	0.01						0.93
350	0.49	0.23	0.14	0.09									0.94
360	0.55	0.11	0.11	0.01	0.01								0.80
calme:	3.75												3.75
TOT.	24.96	25.83	17.51	15.64	7.63	3.41	1.12	0.15					100.00
Tot. cumul.		54.54	72.04	87.69	95.32	98.73	99.85	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

calme: 298

Numero eventi validi: 7654

Tab. 3.2.2.3 – Porto Torres, RMN.
Distribuzione percentuale degli eventi anemometrici,
per classi di velocità e direzione di provenienza del vento.
INVERNO

Distribuzione primaverile del numero di eventi, per classi di V_v e direzione di provenienza.

Rete Mareografica Nazionale - Stazione anemometrica di Porto Torres

Dati rilevati dal 1 gennaio 1998 al 31 dicembre 2010

DIR (°N)	CLASSI DI VELOCITA' DEL VENTO (nodi)											TOT.	
	1÷4	4÷7	7÷11	11÷17	17÷22	22÷28	28÷34	34÷41	41÷48	48÷56	56÷63		>63
10	1.26	0.66	0.15	0.02									2.09
20	0.92	0.48	0.21		0.01								1.62
30	1.49	0.76	0.49	0.27	0.05								3.07
40	0.96	1.08	0.80	0.56	0.24	0.02							3.67
50	0.85	0.89	0.54	0.80	0.52	0.14							3.74
60	0.85	0.81	0.82	0.49	0.40	0.04							3.41
70	1.00	0.99	0.87	0.33	0.08								3.27
80	0.79	0.47	0.40	0.09									1.75
90	0.52	0.35	0.22	0.07	0.05	0.01							1.22
100	0.56	0.28	0.13	0.06									1.03
110	0.48	0.26	0.07	0.02									0.83
120	0.39	0.15	0.07		0.01								0.62
130	0.52	0.06	0.06	0.01									0.65
140	0.47	0.12	0.01										0.60
150	0.33	0.20	0.07	0.01									0.61
160	0.81	0.43	0.14										1.39
170	2.54	2.89	0.78	0.06	0.01								6.28
180	4.64	4.96	1.14	0.22									10.97
190	2.47	1.70	1.00	0.39	0.02								5.58
200	1.12	1.06	0.79	0.48	0.04								3.48
210	0.76	0.82	0.63	0.25	0.02	0.01							2.50
220	0.45	0.46	0.46	0.22	0.01								1.60
230	0.59	0.29	0.38	0.18	0.02								1.46
240	0.28	0.32	0.55	0.42	0.04	0.01							1.62
250	0.29	0.43	0.93	0.73	0.21	0.01							2.61
260	0.11	0.20	0.66	1.10	0.42	0.09	0.02						2.61
270	0.20	0.29	0.80	1.93	0.89	0.38	0.02						4.51
280	0.21	0.42	1.20	1.47	0.94	0.40	0.12						4.76
290	0.36	0.46	1.40	1.13	0.27	0.16	0.02						3.81
300	0.28	0.55	1.46	0.68	0.19	0.09	0.01						3.27
310	0.51	0.91	0.93	0.31	0.06								2.70
320	0.58	1.15	0.51	0.09	0.02								2.35
330	0.72	0.83	0.27	0.06	0.01								1.89
340	0.85	0.65	0.09	0.04									1.62
350	1.16	0.42	0.14										1.73
360	1.12	0.42	0.08	0.01									1.63
calme:	3.44												3.44
TOT.	31.42	27.26	19.25	12.52	4.54	1.38	0.20						100.00
Tot. cumul.		62.12	81.37	93.89	98.43	99.80	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

calme: 293

Numero eventi validi: 8215

Tab. 3.2.2.4 – Porto Torres, RMN.
Distribuzione percentuale degli eventi anemometrici,
per classi di velocità e direzione di provenienza del vento.
PRIMAVERA

Distribuzione estiva del numero di eventi, per classi di V_v e direzione di provenienza.

Rete Mareografica Nazionale - Stazione anemometrica di Porto Torres

Dati rilevati dal 1 gennaio 1998 al 31 dicembre 2010

DIR (°N)	CLASSI DI VELOCITA' DEL VENTO (nodi)											TOT.	
	1÷4	4÷7	7÷11	11÷17	17÷22	22÷28	28÷34	34÷41	41÷48	48÷56	56÷63		>63
10	1.46	0.84	0.13	0.01									2.44
20	1.26	0.95	0.28	0.01									2.51
30	1.26	1.34	0.52	0.16	0.01								3.30
40	0.92	1.60	0.63	0.38	0.07								3.60
50	0.99	0.76	0.47	0.30	0.13	0.07	0.03						2.75
60	0.56	0.62	0.45	0.34	0.13	0.02							2.13
70	0.78	0.56	0.36	0.15	0.07								1.92
80	0.62	0.47	0.23	0.10	0.01								1.44
90	0.39	0.13	0.14	0.05									0.70
100	0.40	0.13	0.09	0.02									0.64
110	0.37	0.09	0.05	0.01									0.52
120	0.47	0.09	0.02										0.59
130	0.43	0.14	0.05	0.02									0.63
140	0.49	0.10	0.03	0.02									0.66
150	0.43	0.17	0.06	0.01									0.67
160	0.61	0.37	0.10	0.02									1.10
170	3.09	2.92	0.44	0.05									6.49
180	6.36	7.09	0.93	0.07	0.02								14.47
190	2.43	1.56	0.53	0.11	0.01								4.64
200	1.31	0.80	0.44	0.28									2.83
210	0.76	0.60	0.30	0.15	0.03								1.84
220	0.53	0.32	0.15	0.05	0.01								1.06
230	0.39	0.26	0.21	0.11	0.02	0.01							1.01
240	0.34	0.25	0.30	0.17									1.07
250	0.14	0.30	0.69	0.62	0.08	0.02							1.85
260	0.26	0.20	0.55	0.89	0.23	0.01							2.14
270	0.23	0.22	0.74	1.54	0.82	0.25							3.79
280	0.30	0.47	1.56	2.76	1.31	0.39							6.79
290	0.26	0.56	1.80	1.59	0.47	0.23	0.01						4.93
300	0.23	0.63	2.07	1.21	0.38	0.06							4.58
310	0.32	0.98	1.59	0.57	0.08	0.03							3.58
320	0.63	1.22	0.64	0.14									2.63
330	0.71	1.05	0.39	0.07									2.22
340	1.02	0.87	0.36	0.03									2.29
350	1.09	0.69	0.07	0.01									1.86
360	1.17	0.75	0.09	0.01									2.02
calme:	2.32												2.32
TOT.	33.04	30.12	17.44	12.05	3.89	1.10	0.05						100.00
Tot. cumul.		65.48	82.92	94.96	98.85	99.95	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

calme: 202
 Numero eventi validi: 8497

Tab. 3.2.2.5 – Porto Torres, RMN.
Distribuzione percentuale degli eventi anemometrici,
per classi di velocità e direzione di provenienza del vento.
ESTATE

4 ONDAMETRIA

4.1 Metodologia di lavoro

Il Porto Civico e il Porto Industriale di Porto Torres sono localizzati sulla costa sud del Golfo dell'Asinara. A largo di Porto Torres 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.

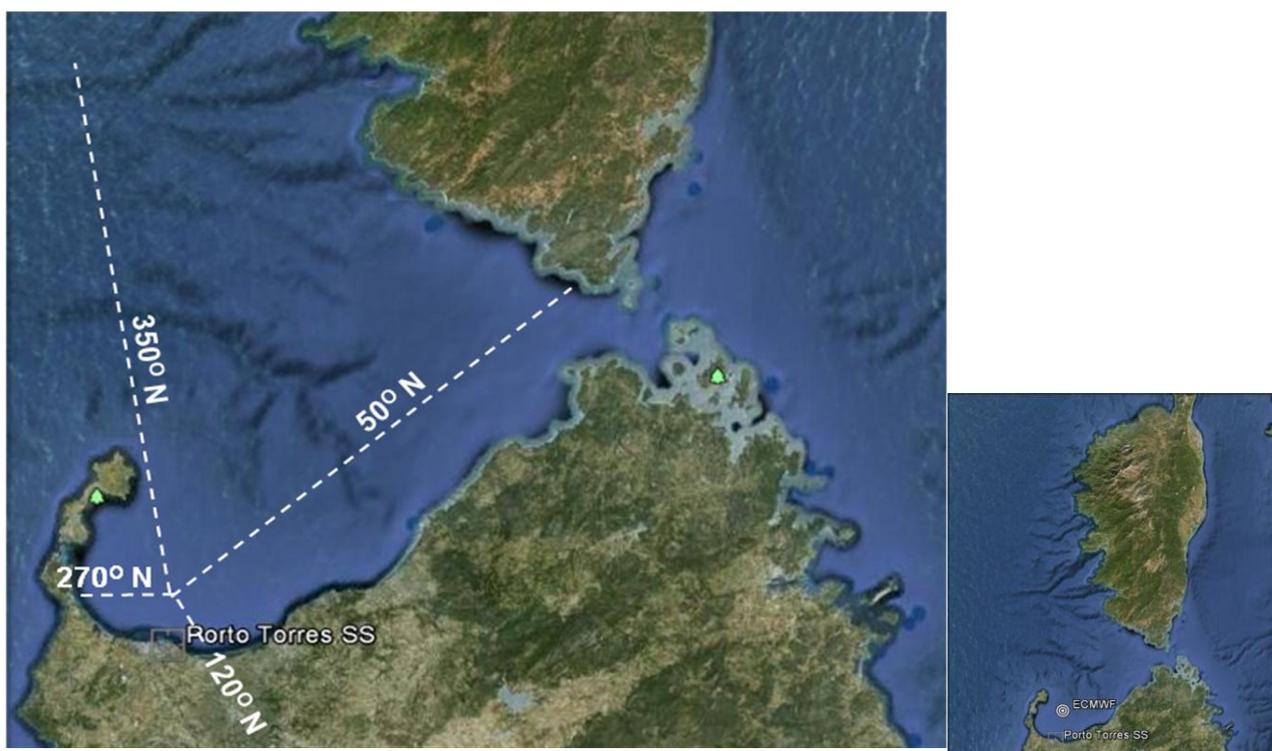


Fig. 4.1.1 – Settori di traversia al largo di Porto Torres

Con riferimento alla figura 4.1.1, ponendosi poco a largo dell'area portuale, si osserva che l'area di generazione del moto ondoso risulta fortemente influenzata dai contorni geografici della Sardegna e della Corsica. In particolare l'Isola dell'Asinara scherma in modo sostanziale il paraggio di Porto Torres dalle onde che vengono generate dal maestrale in mare aperto, ovvero nel Golfo del Leone. Queste onde sono tra le più alte del Mediterraneo, tanto che l'ondametro di Alghero, facente parte della Rete Ondametrica Nazionale (RON) gestita dall'ISPRA, localizzato sulla costa occidentale della Sardegna (vedi fig. 4.1.2) poco a sud dell'Isola dell'Asinara, registra ogni anno le onde più alte tra quelle misurate da tutti gli ondametri italiani, raggiungendo e superando quasi ogni anno

gli 8,0 m di altezza d'onda significativa. Fortunatamente la presenza dell'Asinara costituisce uno schermo molto efficace per queste onde ed in particolare per quelle che provengono dal settore di ponente compreso tra circa 270° e 350° N. Poiché all'interno di questo settore si verificano frequentemente venti anche di elevata intensità come riportato nel capitolo 3, nonostante che l'area di generazione (fetch) risulti mediamente di lunghezza modesta a causa della presenza dell'Asinara, si verifica una certa persistenza di moto ondoso proveniente dal settore di ponente generato localmente, ovvero ad est della costa della Sardegna e dell'Asinara. La stessa cosa accade per il settore di levante, ovvero per quello posto ad est della direzione 50° N, in corrispondenza del quale le onde sono generate dai venti di levante anch'essi piuttosto frequenti come evidenziato dall'analisi anemometrica. Le uniche onde generate in mare aperto che sono in grado di raggiungere direttamente la costa di Porto Torres senza incontrare ostacoli, sono quelle provenienti dal settore settentrionale che per le applicazioni seguenti si è assunto compreso tra le direzioni 350° e 50° N (vedi fig. 4.1.1).

In conclusione l'eterogeneità dei contorni geografici e la presenza di venti frequenti che generano localmente le onde, non consentono per il paragone in esame di utilizzare per il moto ondoso l' "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 tre settori sopra individuati, ovvero:

- il settore settentrionale (350° N – 50° N), compreso tra le direzioni che traggono la costa est dell'Asinara e Capo Pertusato (punta meridionale della Corsica)
- il settore di levante (50° N – 120° N), posto ad est del settore settentrionale;
- il settore di ponente (270° N – 350° N), posto ad ovest del settore settentrionale.

Per ciascuno dei due settori di levante e di ponente, si è applicato, per un punto posto poco a largo del sito in esame, il metodo di ricostruzione del moto ondoso SMB utilizzando la serie storica anemometrica misurata dalla stazione mareografica dell'ISPRA di Porto Torres (vedi capitoli 2 e 3).

Per il moto ondoso proveniente dal settore settentrionale si è fatto riferimento ai dati acquisiti dall'ECMWF per un punto posto a largo della costa in esame. Tali dati, ricostruiti in analisi dallo stesso Ente sulla base dei dati di vento calcolati dal GCM (General Circulation Model) dell'ECMWF, sono stati prima calibrati, mediante un confronto con i dati

ondametrici registrati dall'ondametro RON di Alghero gestito dall'ISPRA, e poi trasposti nel punto in corrispondenza del quale sono state ricostruite le condizioni di moto ondoso per i settori di levante e di ponente.

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



Fig. 4.1.2 – Posizioni relative del punto di griglia ECMWF, della boa di Alghero e del punto di trasposizione al largo di Porto Torres

4.2 Settore settentrionale (350° - 50° N)

4.2.1 Correzione/calibrazione della serie ondametrica dell'ECMWF

Come accennato in precedenza, in assenza di misure dirette di moto ondoso, si è fatto riferimento ai dati 'in analisi' ricostruiti dal centro meteorologico europeo (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts - ECMWF) sulla base dei dati di vento calcolati sempre in analisi dallo stesso Ente. Il punto di griglia (di passo 0.25°) scelto ha coordinate geografiche 41.00° latitudine Nord e 8.50° longitudine Est ed è riportato nella Fig. 4.1.2. La serie storica esaoraria analizzata si estende dal 01.01.2000 al 31.12.2009 per un complessivo di 10 anni.

I dati in analisi sono stati corretti dell'errore sistematico di sottostima da cui sono affetti generalmente i risultati del modello numerico di moto ondoso nel Mediterraneo. Tale

correzione è stata effettuata confrontando i dati ECMWF con i dati misurati, nell'ambito del periodo disponibile, dalla boa di Alghero (40° 33' 11.99" N - 08° 07' 0.01" E).

In particolare, data la differente esposizione geografica del punto di griglia scelto e della posizione della boa, si sono confrontati i dati sincroni (ovvero corrispondenti allo stesso giorno e ora) caratterizzati da una direzione di provenienza inclusa nel settore 310°-360°N. Relativamente a tale settore infatti, l'esposizione dei due punti considerati è da ritenersi pressoché equivalente.

Per quanto riguarda il confronto tra i dati sincroni nel punto ECMWF scelto e quelli registrati direttamente dalla boa presa come riferimento, l'obiettivo è stato quello di definire -univocamente e a priori - un coefficiente moltiplicativo da applicare ai dati in analisi per ridurre mediamente l'errore. Poiché il metodo prevede il calcolo una volta per tutte di tale coefficiente, il metodo è definito "*calibrazione statica*". La valutazione dell'*errore sincro* (Fig. 4.1.2), definito come la differenza ΔH tra la misura alla boa di Alghero (HM) e il dato ECMWF (HP) a un istante coincidente, ha permesso di analizzare la funzione di densità empirica e la funzione di distribuzione cumulata empirica di tale errore e quindi di verificare il grado di sotto-sovrastima del dato ECMWF rispetto alle misure. Si è poi considerata la variabile aleatoria $HR=HM/HP$, ovvero la variabile rapporto tra l'altezze d'onda misurate e fornita dall'ECMWF. Si osserva come tale variabile, per sua definizione, costituisca il coefficiente correttivo per il quale moltiplicare i dati ECMWF allo scopo di renderli mediamente uguali alle misure.

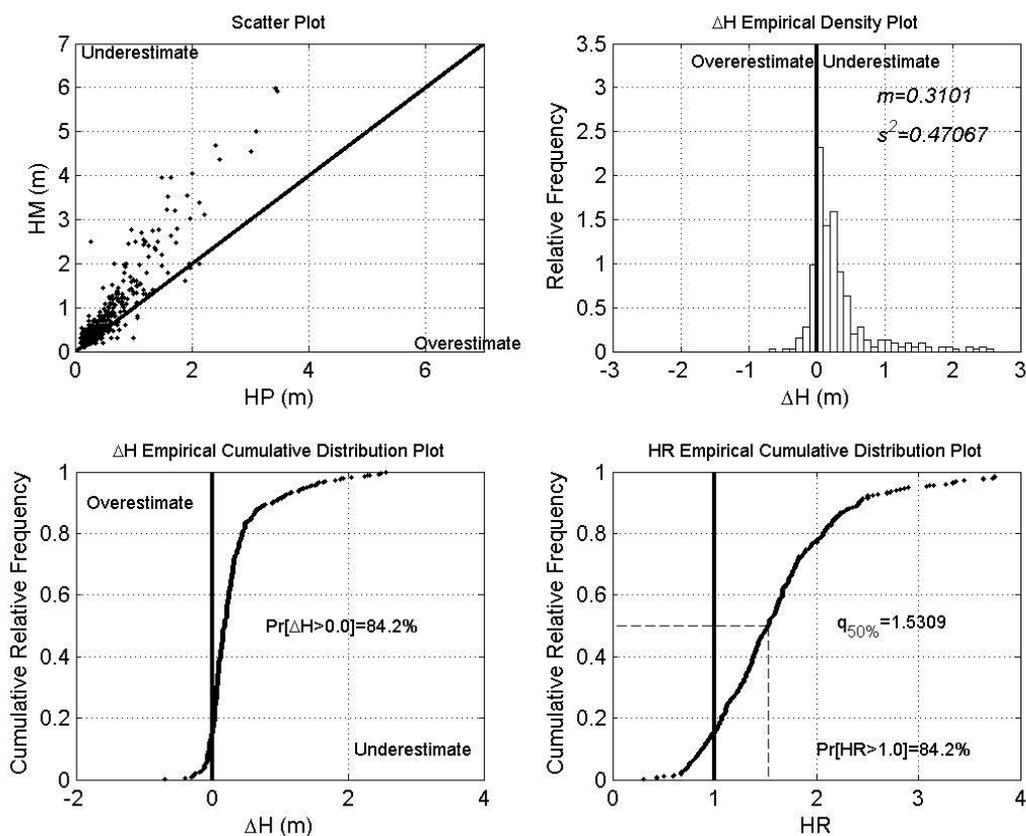


Fig. 4.1.3 - Misure ALGHERO– Dati ECMWF. Dispersione dei dati di altezza d’onda, densità empirica e distribuzione cumulata empirica dell’errore.

L'analisi della funzione di distribuzione cumulata empirica della variabile HR, oltre a offrire una ulteriore verifica del grado di sotto-sovrastima delle previsioni rispetto alle misure, ha permesso di calcolare i quantili di HR, ovvero il valore assunto da HR in corrispondenza a definite probabilità di superamento (ovvero non superamento).

Il grafico di dispersione ('scatter plots') e della distribuzione di errore mostrano in maniera evidente la sostanziale sottostima del modello ECMWF rispetto alle misure. La figura 4.1.3 mostra la dispersione nonché le funzioni di densità empirica e di distribuzione cumulata empirica calcolate. In questo caso, la media (m) e la varianza (s^2) della funzione di densità empirica sono risultate rispettivamente pari a 0.31 e 0.47 mentre la percentuale di sottostima della ricostruzione, ovvero la probabilità che l'errore ΔH sia maggiore di 0.0 è risultata pari al 84.2%. Il migliore coefficiente moltiplicativo da applicare ai dati ECMWF per ridurne mediamente l'errore è apparso il quantile 50% ($q_{50\%}=1.53$) della variabile aleatoria HR. Questo è confermato dal confronto della serie corretta con la serie misurata ad Alghero (Fig. 4.1.4).

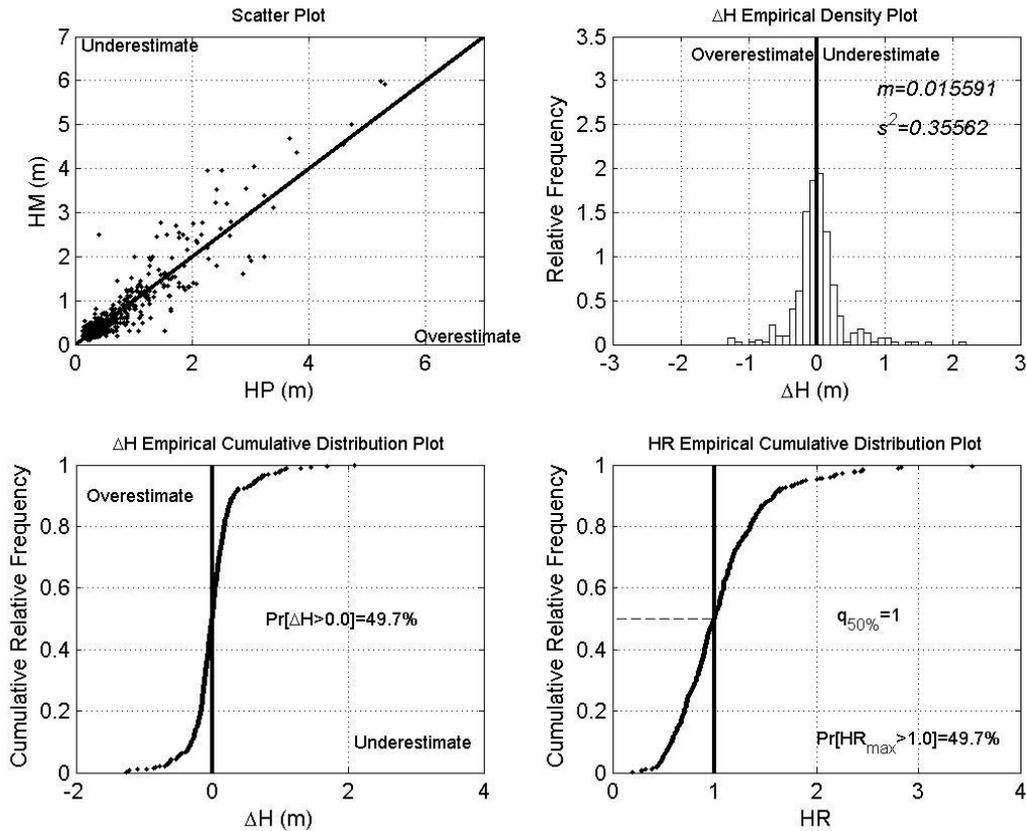


Fig. 4.1.4 - Misure ALGHERO– Dati ECMWF. Dispersione dei dati di altezza d’onda, densità empirica e distribuzione cumulata empirica dell’errore nel caso di moltiplicazione dei dati ECMWF per un coefficiente $q_{50\%}=1.53$.

La serie esaoraria estesa su nove anni ottenuta nel punto di griglia considerato del dominio del modello numerico di moto ondoso è stata quindi corretta nel parametro altezza d’onda significativa moltiplicando i valori originali per un coefficiente pari a 1.53. La serie così corretta, limitatamente al settore che si estende da Tramontana a Grecale ($350^{\circ}\div 50^{\circ}N$), è stata trasferita in un punto al largo di Porto Torres (Fig. 4.1.2). Per il resto della traversia, settori di Ponente-Maestrale ($270^{\circ}\div 350^{\circ}N$) e Grecale-Levante ($50^{\circ}\div 120^{\circ}N$), come già accennato in precedenza, vista la particolare corografia del paraggio in esame ovvero la differente esposizione meteomarina tra il punto ECMWF in esame ed il punto scelto per la ricostruzione della serie ondometrica, prospiciente al porto civico di Porto Torres, si è ritenuto opportuno, attraverso il metodo di ricostruzione comunemente denominato SMB, determinare il regime del moto ondoso a partire dai dati anemometrici registrati dalla stazione mareografica di Porto Torres.

4.2.2 Inquadramento geografico del paraggio e trasposizione geografica

L'analisi dell'esposizione geografica di una stazione di misura del moto ondoso o di un sito costiero si basa sulla determinazione dei *fetch* geografici ed efficaci.

Per *fetch* si intende la lunghezza della porzione di mare sulla quale può avvenire la generazione del moto ondoso ad opera dell'azione esercitata dal vento. In bacini semichiusi di estensione limitata, l'individuazione dei *fetch* può essere eseguita facendo ricorso al concetto di "*fetch* geografico" che indica la distanza geografica tra il punto di interesse e la terra più vicina in relazione ad una prefissata direzione. Tale assunzione risulta plausibile poiché le dimensioni caratteristiche delle perturbazioni che normalmente interessano il Mediterraneo sono dello stesso ordine di grandezza dei valori massimi che caratterizzano i *fetch* geografici (circa 400÷500 km).

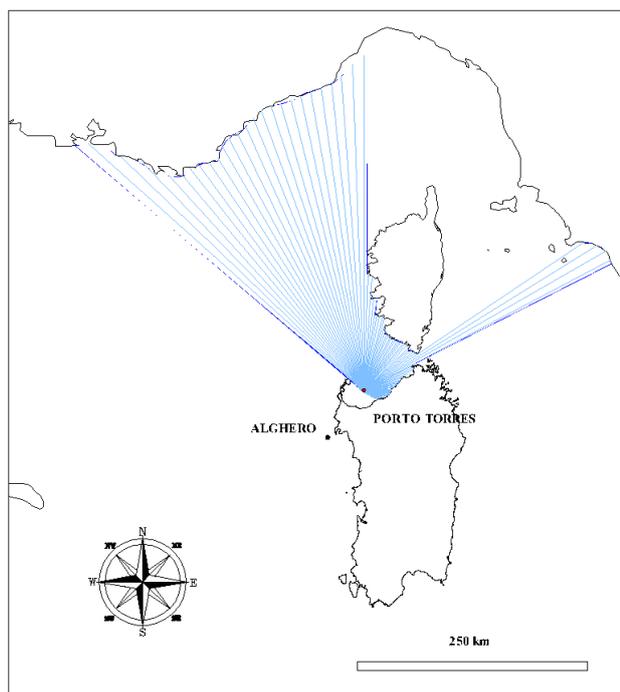
Per completare l'inquadramento geografico del paraggio è necessario determinare i valori dei *fetch* efficaci sulla base dei valori dei *fetch* geografici individuati. Il valore del *fetch* efficace relativo a una determinata direzione è funzione dei valori dei *fetch* geografici associati alle direzioni contigue a quella considerata. In questo modo i *fetch* efficaci consentono di tener conto del fatto che il moto ondoso viene generato non solo nella direzione lungo la quale spira il vento ma anche in tutte le direzioni comprese in un settore di $\pm 90^\circ$ rispetto alla direzione media di azione del vento. Di conseguenza la lunghezza dei *fetch* efficaci risulta essere diversa da quella dei *fetch* geografici.

La definizione dei *fetch* geografici ed efficaci costituisce uno dei punti fondamentali degli studi meteomarini. Infatti i valori dei *fetchs* sono utilizzati nelle seguenti analisi:

1. la definizione preliminare dei settori di traversia principali e secondari per il sito di interesse;
2. la determinazione della correlazione tra direzione di provenienza del vento e quella del moto ondoso generato;
3. la trasposizione geografica di misure ondometriche;
4. la propagazione largo-riva di stati di mare.

Il punto di griglia scelto nell'ambito del dominio di calcolo del modello di moto ondoso dell'ECMWF è contraddistinto (Fig. 4.2.1.1) da un settore di traversia geografico delimitato a Nord Ovest dall'Asinara, a Nord-Nord Est dalla Corsica e ad Est dalla costa settentrionale sarda. Ponendosi nel punto di griglia scelto il paraggio risulta invece esposto al mare aperto per un settore di traversia compreso tra 310° e 0° N ed un ridotto settore compreso tra 55° e 65° N.

FETCH GEOGRAFICI



FETCH EFFICACI

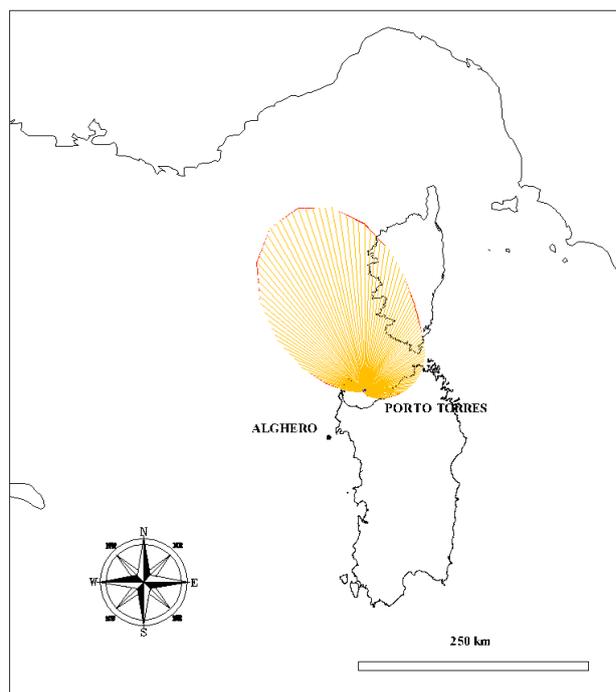


Fig. 4.2.1.1 – Fetchs geografici ed efficaci al punto di griglia ECMWF

I valori più elevati della lunghezza del fetch geografico si hanno secondo le direzioni che riguardano la costa francese (circa 310°N) e la costa tirrenica italiana (circa 60°N) per le quali la lunghezza del fetch geografico risulta rispettivamente pari a circa 400 e 300 km. Nel diagramma polare di Fig. 4.2.1.1 sono indicati graficamente i valori dei fetches geografici ed efficaci relativi al punto di griglia ECMWF. La Tab. 4.2.1.1 riporta gli stessi valori in forma numerica.

Per quanto riguarda il punto di trasposizione al largo di Porto Torres, il settore di traversia geografico risulta ancor più ristretto rispetto a quello individuato nel punto ECMWF scelto; infatti è delimitato da Ovest a Nord dalla propaggine estrema del golfo dell'Asinara, da Nord a Nord Est sempre dalla costa corsa e ad Est dalla costa sarda che si estende sino alle bocche di Bonifacio. Di fatto risulta quindi esposta a lunghe distese di mare aperto (fetch geografici superiori a 100 km) nell'ambito di due settori assai modesti compresi rispettivamente tra 350° e 10°N , e tra 50° e 55°N . I valori più elevati della lunghezza del fetch geografico si hanno in ogni caso sempre secondo le direzioni che riguardano la costa francese (circa 360°N) e la costa tirrenica italiana (circa 50°N) per le quali la lunghezza del fetch geografico risulta rispettivamente pari a circa 385 e 300 km. Nel diagramma polare di Fig. 4.2.1.2 sono indicati graficamente i valori dei fetches geografici

ed efficaci relativi al punto scelto per la trasposizione al largo di Porto Torres. La Tab. 4.2.1.2 riporta gli stessi valori in forma numerica.

Fetch geografici ed efficaci							
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	365.52	182.32	-12.0	180	2.14	2.58	-50.0
10	83.89	155.85	-18.0	190	1.96	2.10	-49.0
20	68.70	130.04	-23.0	200	1.86	1.85	70.0
30	65.20	109.14	-28.0	210	1.78	1.74	67.0
40	67.79	94.25	-32.0	220	1.75	1.71	63.0
50	67.84	83.92	-34.0	230	1.76	1.77	60.0
60	303.76	75.56	-31.0	240	1.84	2.23	56.0
70	51.07	66.84	-22.0	250	1.98	4.24	51.0
80	36.98	56.64	-21.0	260	2.22	9.99	46.0
90	30.35	45.36	-24.0	270	2.60	22.11	41.0
100	27.71	34.36	-28.0	280	3.24	42.76	36.0
110	22.47	24.96	-33.0	290	4.47	72.45	30.0
120	18.88	17.79	-37.0	300	7.56	109.10	24.0
130	12.31	12.74	-41.0	310	412.12	147.81	18.0
140	5.74	9.24	-45.0	320	307.12	181.83	12.0
150	3.82	6.66	-48.0	330	305.81	204.58	6.0
160	2.93	4.75	-50.0	340	325.22	211.76	0.0
170	2.44	3.42	-51.0	350	331.54	203.07	-7.0

Tab. 4.2.1.1 - Fetchs geografici ed efficaci al punto di griglia ECMWF

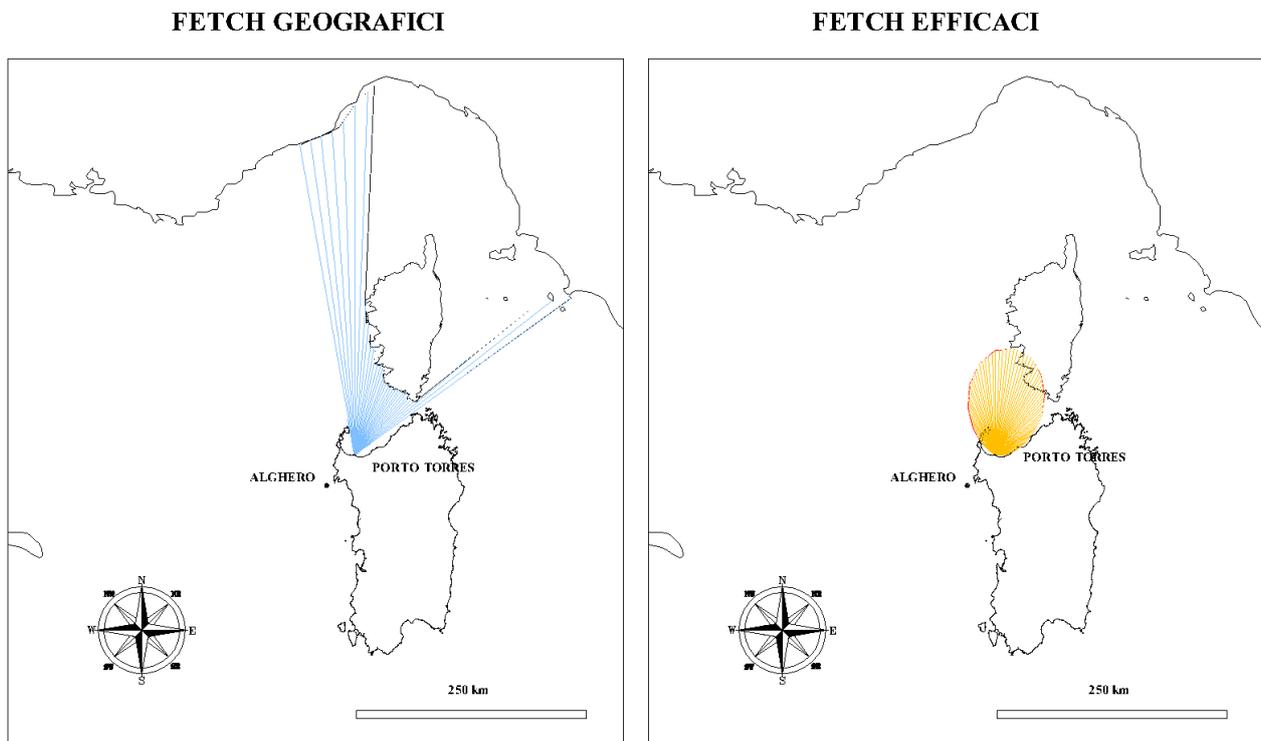


Fig. 4.2.1.2 – Fetchs geografici ed efficaci al punto di trasposizione al largo di Porto Torres

Fetch geografici ed efficaci							
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	384.81	113.45	6.0	180	0.79	0.70	-4.0
10	119.45	117.49	0.0	190	0.76	0.69	-3.0
20	90.97	112.63	-7.0	200	0.75	0.69	-1.0
30	84.28	100.60	-12.0	210	0.75	0.69	0.0
40	85.84	84.21	-18.0	220	0.77	0.69	2.0
50	271.38	66.45	-24.0	230	0.80	0.70	72.0
60	7.39	49.58	-29.0	240	0.81	0.71	69.0
70	2.85	34.85	-34.0	250	0.79	0.73	65.0
80	1.80	22.70	-38.0	260	0.80	0.76	61.0
90	1.34	13.30	-42.0	270	0.83	0.84	57.0
100	1.10	6.83	-46.0	280	0.88	1.32	52.0
110	0.98	3.10	-50.0	290	0.96	3.43	47.0
120	0.92	1.43	-53.0	300	1.10	9.19	42.0
130	0.88	0.91	-56.0	310	1.32	20.40	36.0
140	0.87	0.80	-60.0	320	1.71	37.48	30.0
150	0.85	0.76	-64.0	330	2.56	58.87	24.0
160	0.84	0.74	-67.0	340	5.39	81.28	18.0
170	0.81	0.72	-70.0	350	343.56	100.67	12.0

Tab. 4.2.1.2 – Fetchs geografici ed efficaci al punto di trasposizione al largo di Porto Torres.

4.2.3 Correlazione tra direzione del vento e dello stato di mare generato

La legge di deviazione direzionale tra la direzione media di propagazione del vento (spirante lungo il fetch efficace) e del moto ondoso generato è stata determinata per i punti ECMWF e al largo di Porto Torres. Le leggi ottenute vengono riportate in forma grafica nella Fig. 4.2.2.1 e in forma numerica nelle precedenti Tab. 4.2.1.1 - 4.2.1.2.

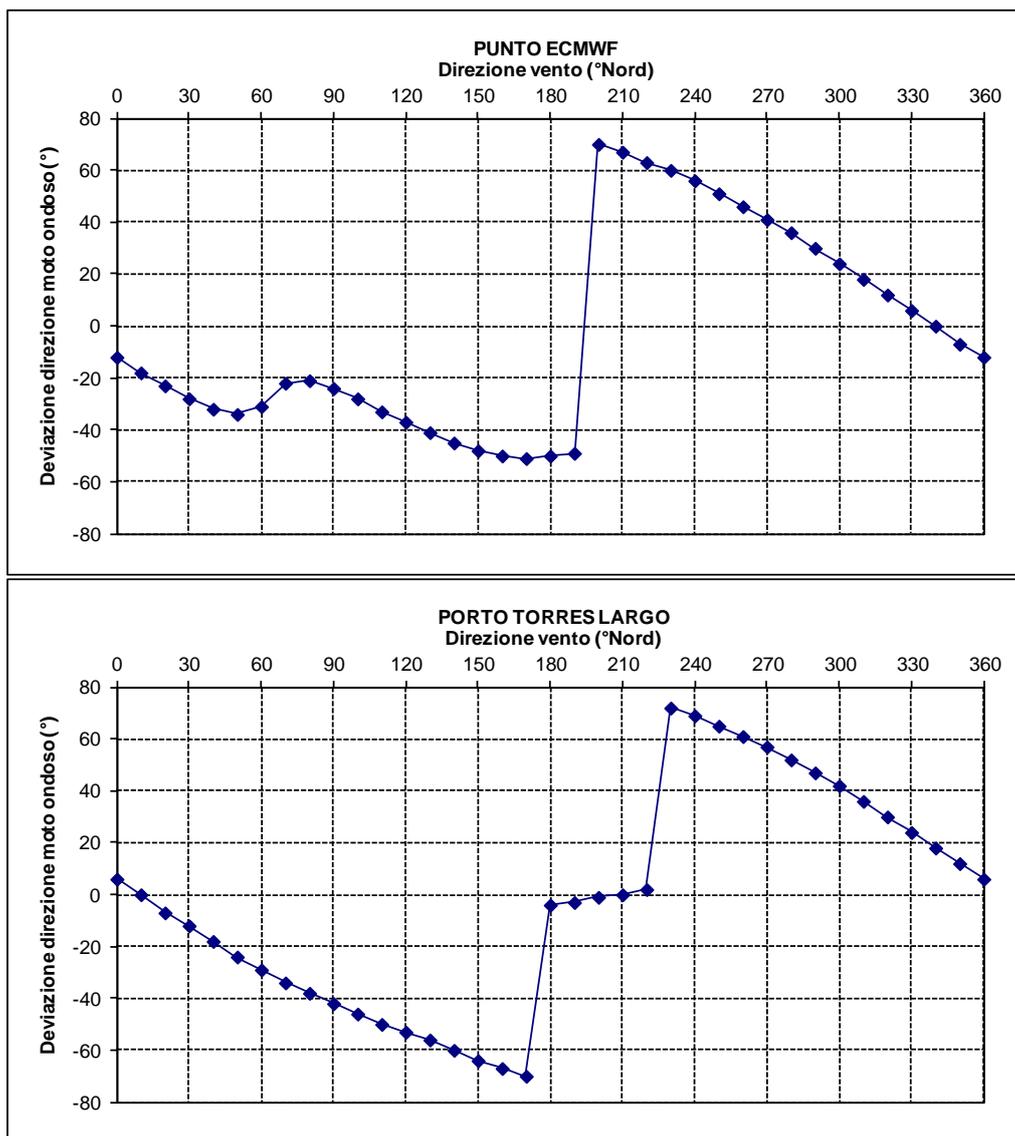


Fig. 4.2.2.1 – Deviazione della direzione media di propagazione del moto ondoso rispetto a quella del vento (punto ECMWF e al largo di Porto Torres)

4.2.4 Analisi climatica della serie ondometrica relativa al settore settentrionale

Questo tipo di analisi consiste nel suddividere gli eventi di moto ondoso in base al valore dell'altezza d'onda significativa ed alla direzione di provenienza al fine di individuare la frequenza di accadimento di ogni singola classe di eventi. E' buona norma eseguire tale analisi sia su tutti gli eventi della serie, sia considerando separatamente gli eventi stagionali.

Per quanto riguarda la suddivisione degli eventi in classi di altezza d'onda significativa si sono considerati due diversi criteri in funzione del tipo di rappresentazione che si intende dare al risultato dell'analisi. Nel caso di rappresentazione in forma tabellare si è adottato il seguente schema:

-
- per gli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda inferiore a 0,5 m (calme) si prendono in esame due classi: $0 \div 0,25$ m, $0,25 \div 0,5$ m;
 - per gli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda superiore a 0,5 m si prendono in esame classi di altezza d'onda aventi un intervallo di ampiezza pari a 0,5 m (ad esempio $0,5 \div 1,0$ m; $1,0 \div 1,5$ m; ...).

Nel caso di rappresentazione grafica invece si è adottato il seguente schema:

- per gli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda inferiore a 1,0 m una sola classe: $0,5 \div 1,0$ m;
- per gli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda superiore a 1,0 m le seguenti classi: $1,0 \div 2,0$ m; $2,0 \div 3,0$ m; $3,0 \div 4,0$ m; $>4,0$ m.

Per quanto riguarda la suddivisione degli eventi, in base alla direzione di provenienza del moto ondoso, si sono considerati settori di ampiezza di 10° per le rappresentazioni tabellari e di 30° per le rappresentazioni grafiche.

Per le motivazioni riportate nei paragrafi precedenti, i dati ottenuti dalla trasposizione geografica sono stati limitati al settore compreso tra 350°N e 50°N .

Nella Fig. 4.3.1.1 sono riportate rispettivamente la rosa annuale e quelle stagionali del clima di moto ondoso. Le tabelle da 4.3.1.1 a 4.3.1.5 riportano gli stessi risultati in forma numerica.

4.2.5 Classificazione degli eventi di moto ondoso al largo in base all'altezza ed al periodo d'onda

Per quanto riguarda la classificazione degli eventi, una prima analisi consiste nel suddividere gli eventi di moto ondoso in base al valore dell'altezza d'onda significativa e del periodo al fine di individuare la frequenza di accadimento di ogni singola classe di eventi. Per quanto riguarda la suddivisione degli eventi in classi di altezza d'onda significativa si è adottato il seguente criterio di riferimento:

- una classe per gli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda inferiore a 0,25 m;
- per gli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda superiore a 0,25 m classi aventi un intervallo di 0,5 m (ad esempio $0,25 \div 0,75$ m; $0,75 \div 1,25$ m; ...).

Per quanto riguarda la suddivisione degli eventi in base al periodo d'onda si sono considerate classi di ampiezza pari a due secondi (ad esempio $0 \div 2$ s, $2 \div 4$ s, $4 \div 6$ s, ...).

Nella Tab. 4.3.2.1 è riportata la classificazione percentuale degli eventi in base al periodo di picco ed all'altezza d'onda.

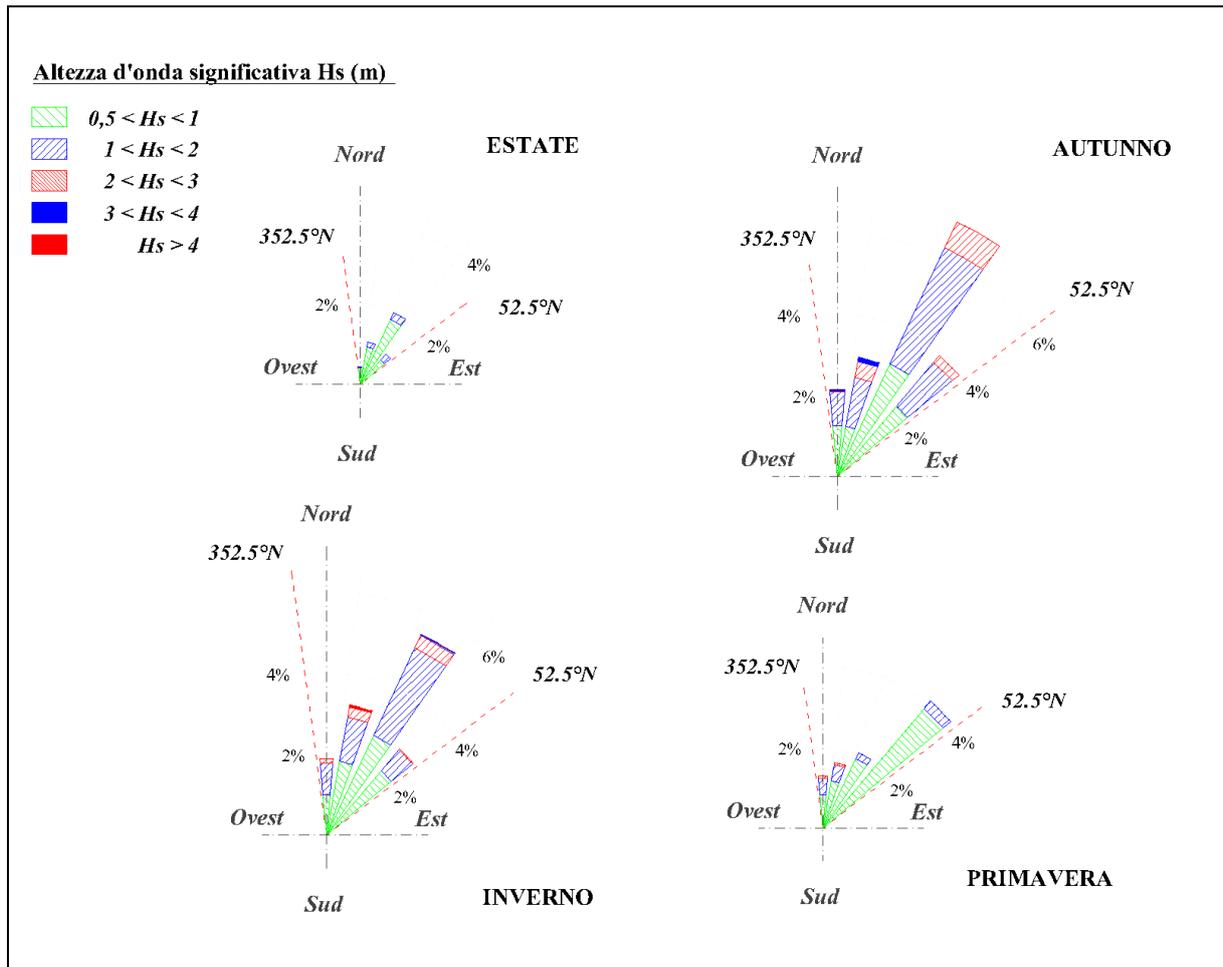
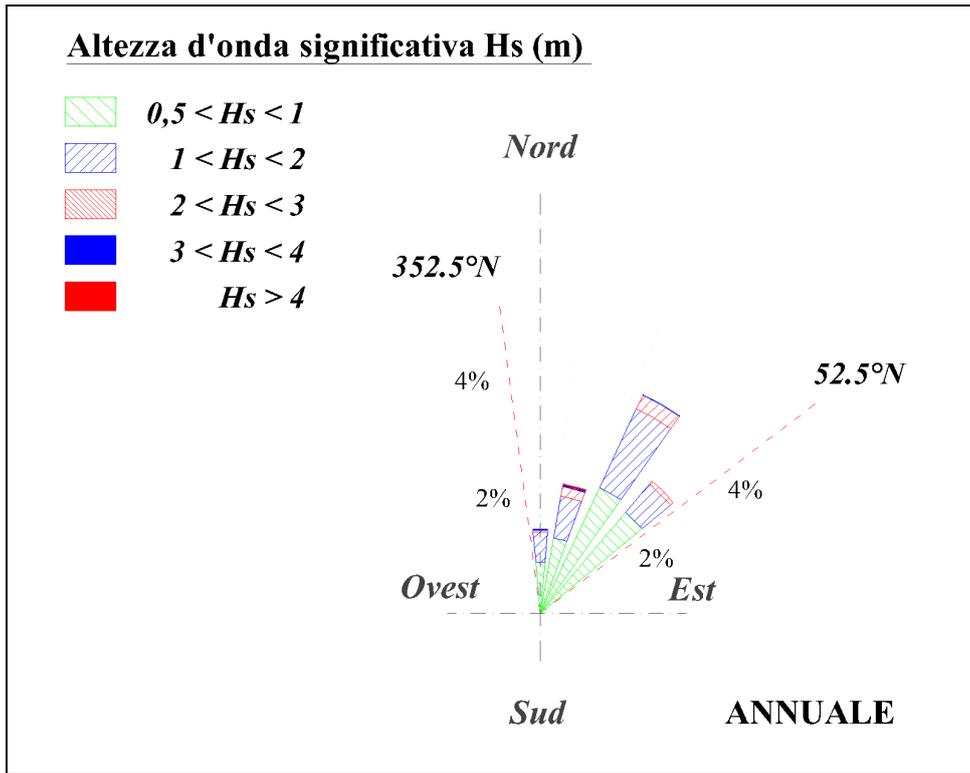


Fig. 4.3.1.1 – Settore di traversia principale (350°N - 50°N): distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso nel punto di trasposizione al largo di Porto Torres.

Porto Torres: Serie ondometrica al largo (Dati rilevati dal 01/01/2000 al 31/12/2009)																
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)															
	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	TOT
10	0.575	0.835	0.739	0.308	0.130	0.062	0.027	0.007								2.68
20	0.513	0.691	0.944	0.370	0.151	0.089	0.062	0.014	0.007	0.014						2.85
30	0.917	1.382	1.588	0.705	0.328	0.144	0.055	0.007								5.13
40	0.985	2.211	1.896	0.547	0.233	0.062	0.021									5.95
50	0.527	0.979	1.054	0.137	0.021											2.72
60																
70																
80																
90																
100																
110																
120																
130																
140																
150																
160																
170																
180																
190																
200																
210																
220																
230																
240																
250																
260																
270																
280																
290																
300																
310																
320																
330																
340																
350	0.958	0.609	0.616	0.164	0.041	0.014	0.007									2.41
360	0.664	0.650	0.493	0.226	0.103	0.021	0.014	0.007								2.18
TOT	5.14	7.36	7.33	2.46	1.01	0.39	0.18	0.03	0.01	0.01						23.92
Tot. cumul.		12.50	19.83	22.28	23.29	23.68	23.86	23.90	23.91	23.92						
Numero di eventi validi:			14612													

**Tab. 4.3.1.1 – Punto di trasposizione al largo di Porto Torres.
Distribuzione percentuale degli eventi ondosi,
per classi di Hs e direzione di provenienza.
ANNUALE**

Porto Torres: Serie ondometrica al largo (Dati rilevati dal 01/01/2000 al 31/12/2009)																
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	0.380	0.978	0.897	0.516	0.245	0.109	0.054	0.027								3.21
20	0.571	0.707	1.005	0.543	0.217	0.190	0.136	0.054	0.027							3.45
30	0.734	1.522	2.120	1.304	0.951	0.353	0.190									7.17
40	1.087	2.038	1.957	1.223	0.734	0.217	0.082									7.34
50	0.761	0.870	1.060	0.299												2.99
60																
70																
80																
90																
100																
110																
120																
130																
140																
150																
160																
170																
180																
190																
200																
210																
220																
230																
240																
250																
260																
270																
280																
290																
300																
310																
320																
330																
340																
350	0.489	0.788	0.897	0.082	0.082	0.027	0.027									2.39
360	0.380	0.435	0.734	0.408	0.109	0.027		0.027								2.12
TOT	4.40	7.34	8.67	4.38	2.34	0.92	0.49	0.11	0.03							28.67
Tot. cumul.		11.74	20.41	24.78	27.12	28.04	28.53	28.64	28.67							
Numero di eventi validi:			3680													

**Tab. 4.3.1.2 – Punto di trasposizione al largo di Porto Torres.
Distribuzione percentuale degli eventi ondosi,
per classi di Hs e direzione di provenienza.
AUTUNNO**

Porto Torres: Serie ondometrica al largo (Dati rilevati dal 01/01/2000 al 31/12/2009)																
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)															
	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	TOT
10	0.581	0.803	0.914	0.443	0.194	0.083	0.028									3.05
20	0.221	0.581	1.301	0.720	0.360	0.166	0.111			0.055						3.52
30	0.748	1.190	1.910	1.357	0.305	0.221	0.028	0.028								5.79
40	0.720	1.550	1.966	0.526	0.194	0.028										4.98
50	0.360	1.052	0.941	0.166	0.055											2.57
60																
70																
80																
90																
100																
110																
120																
130																
140																
150																
160																
170																
180																
190																
200																
210																
220																
230																
240																
250																
260																
270																
280																
290																
300																
310																
320																
330																
340																
350	0.415	0.941	0.941	0.388	0.055	0.028										2.77
360	0.194	0.720	0.581	0.277	0.166	0.028	0.055									2.02
TOT	3.24	6.84	8.55	3.88	1.33	0.55	0.22	0.03	0.00	0.06						24.70
Tot. cumul.		10.08	18.63	22.51	23.84	24.39	24.61	24.64	24.64	24.70						
Numero di eventi validi:			3612													

**Tab. 4.3.1.3 – Punto di trasposizione al largo di Porto Torres.
Distribuzione percentuale degli eventi ondosi,
per classi di Hs e direzione di provenienza.
INVERNO**

Porto Torres: Serie ondometrica al largo (Dati rilevati dal 01/01/2000 al 31/12/2009)																
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)															
	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	TOT
10	0.467	0.769	0.687	0.275	0.055	0.055	0.027									2.34
20	0.467	0.495	0.797	0.082	0.027											1.87
30	0.742	1.181	1.209	0.082	0.055											3.27
40	1.209	3.462	2.418	0.220												7.31
50	0.467	1.401	2.115	0.055												4.04
60																
70																
80																
90																
100																
110																
120																
130																
140																
150																
160																
170																
180																
190																
200																
210																
220																
230																
240																
250																
260																
270																
280																
290																
300																
310																
320																
330																
340																
350	1.071	0.357	0.412	0.137	0.027											2.01
360	0.907	0.687	0.467	0.192	0.137	0.027										2.42
TOT	5.33	8.35	8.10	1.04	0.30	0.08	0.03									23.24
Tot. cumul.		13.68	21.79	22.83	23.13	23.21	23.24									
Numero di eventi validi:			3640													

**Tab. 4.3.1.4 – Punto di trasposizione al largo di Porto Torres.
Distribuzione percentuale degli eventi ondosi,
per classi di Hs e direzione di provenienza.
PRIMAVERA**

Porto Torres: Serie ondometrica al largo (Dati rilevati dal 01/01/2000 al 31/12/2009)																
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	0.870	0.788	0.462		0.027											2.15
20	0.788	0.978	0.679	0.136												2.58
30	1.440	1.630	1.114	0.082												4.27
40	0.924	1.793	1.250	0.217												4.18
50	0.516	0.598	0.109	0.027	0.027											1.28
60																
70																
80																
90																
100																
110																
120																
130																
140																
150																
160																
170																
180																
190																
200																
210																
220																
230																
240																
250																
260																
270																
280																
290																
300																
310																
320																
330																
340																
350																
360	1.168	0.761	0.190	0.027												2.15
TOT	5.71	6.55	3.80	0.49	0.05											16.60
Tot. cumul.		12.26	16.06	16.55	16.60											
Numero di eventi validi:			3680													

**Tab. 4.3.1.5 – Punto di trasposizione al largo di Porto Torres.
Distribuzione percentuale degli eventi ondosi,
per classi di Hs e direzione di provenienza.
ESTATE**

Numero degli eventi di moto ondoso ripartiti per classi di altezza d'onda significativa e periodo di picco								
CLASSI DI PERIODO DI PICCO T_p (s)								
Hs (m)	($T_p < 4$)	($4 < T_p < 6$)	($6 < T_p < 8$)	($8 < T_p < 10$)	($10 < T_p < 12$)	($12 < T_p < 14$)	($14 < T_p$)	Tot.
<0.25	52.491	0.438	0.007	0.007				52.943
0.25÷0.75	33.418	4.325	0.322					38.065
0.75÷1.25	3.169	2.005	1.061	0.041				6.276
1.25÷1.75	0.212	0.766	0.541	0.137				1.656
1.75÷2.25		0.322	0.219	0.082				0.623
2.25÷2.75		0.096	0.089	0.130	0.014			0.328
2.75÷3.25		0.014	0.007	0.048	0.007			0.075
3.25÷3.75				0.007		0.007		0.014
3.75÷4.25				0.007	0.014			0.021
4.25÷4.75								
4.75÷5.25								
>5.25								0.000
Tot.	89.29	7.97	2.24	0.46	0.03	0.01	0.00	100.00

Tab. 4.3.2.1 – Eventi di moto ondoso classificati per Hs e Tp – Distribuzione percentuale

4.2.6 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:

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

Si osserva che generalmente nel Mediterraneo il coefficiente c assume valori compresi nell'intervallo 4,0÷5,5.

Nella Fig. 4.3.3.1 sono riportati tutti gli eventi della serie storica diagrammati in funzione del periodo e dell'altezza d'onda e la curva limite annuale relativa all'equazione [4.3.3.1].

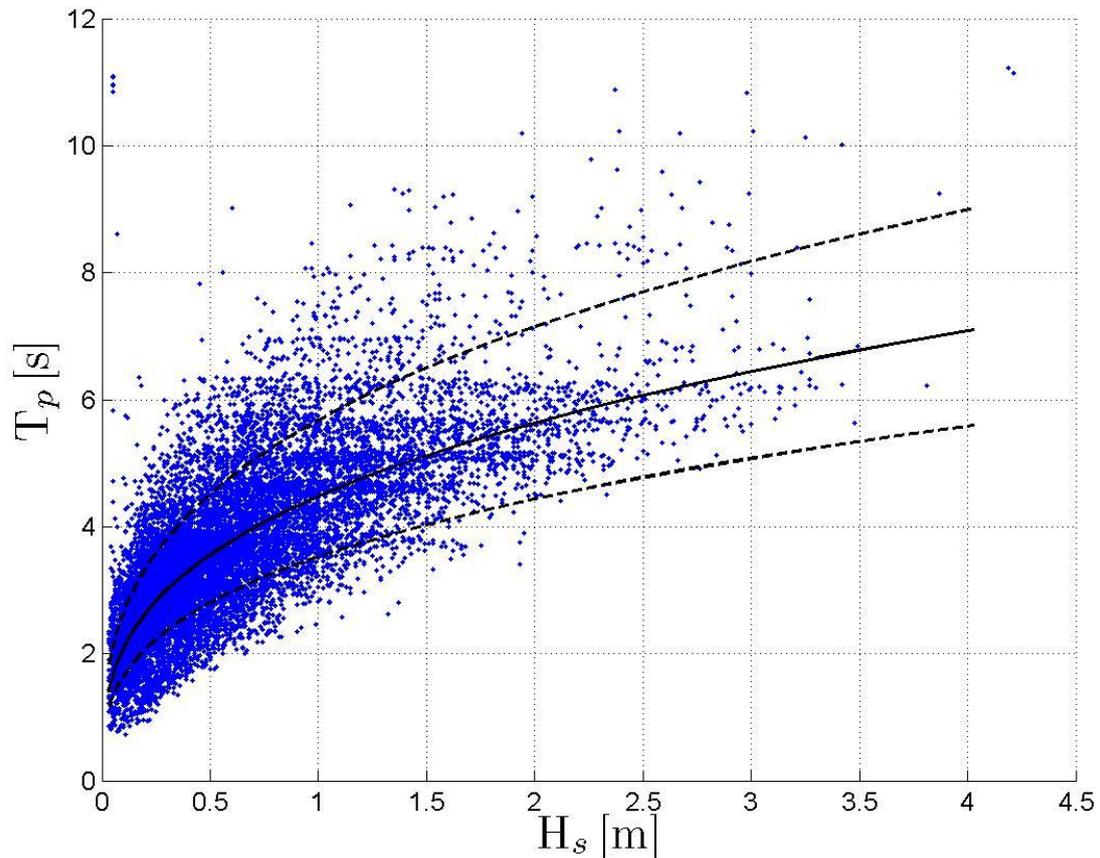


Fig. 4.3.3.1 – Periodo di picco in funzione dell'altezza d'onda significativa (lim. Confidenza 95%)

Nella Tab. 4.3.3.1 sono riportati i valori dei coefficienti a, b relativi all'equazioni [4.3.3.1].

	inverno	primavera	estate	autunno	annuale
Coeff. a	4.36	4.48	4.43	4.66	4.57
Coeff. b	0.34	0.42	0.33	0.33	0.36
Coeff. c	4.36	4.37	4.19	4.28	4.31

Tab. 4.3.3.1 – Valori dei coefficienti a, b, c e del coefficiente di correlazione

4.3 Settori di levante (50° - 120° N) e di ponente (270° - 350° N)

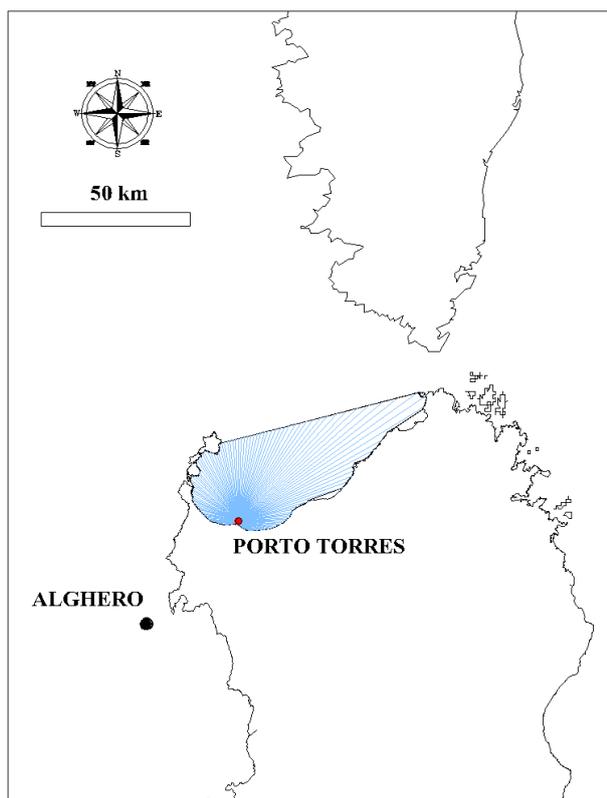
Per la ricostruzione del moto ondoso nel punto scelto al largo di Porto Torres in relazione ai settori di Ponente e di Levante è stato applicato il metodo indiretto noto nella letteratura specializzata con la sigla SMB che deriva dalle lettere iniziali dei tre autori, ovvero Sverdrup, Munk, e Bretschneider. 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 Porto Torres gestita dall'ISPRA e facente parte della omonima stazione mareografica (vedi cap. 2). La serie analizzata copre il periodo 1998 - 2010 e la cui analisi ed elaborazione viene riportata in maniera dettagliata nel capitolo 3.

Per la ricostruzione delle caratteristiche ondometriche 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 dell'Asinara e quindi si sono calcolati i relativi "fetchs" geografici ed efficaci secondo quanto indicato nella figura 4.4.1 e nella tabella 4.4.1. 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 2010.

Nei grafici polari riportati nella figura 4.4.2 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.

FETCH GEOGRAFICI



FETCH EFFICACI

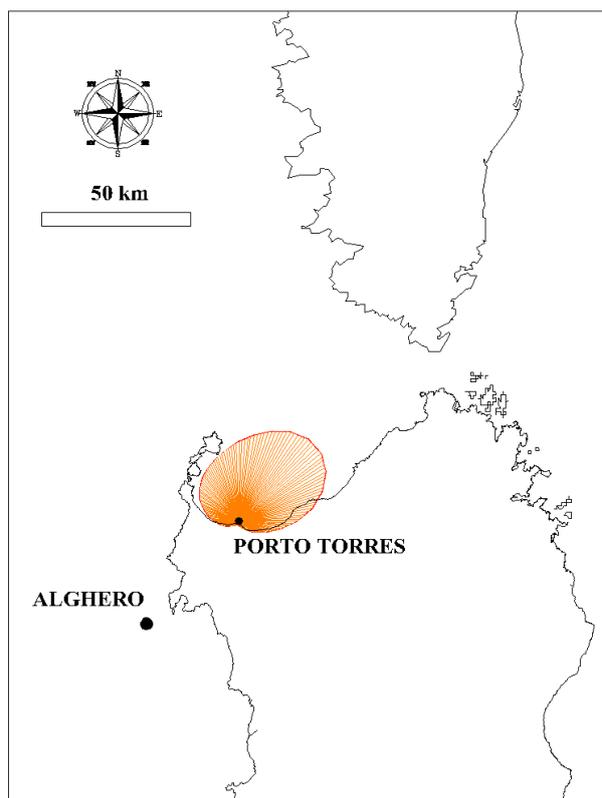


Fig. 4.4.1 – Fetchs geografici ed efficaci all'interno del golfo dell'Asinara.

Fetch geografici ed efficaci							
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	28.04	26.96	18.0	180	0.94	1.37	-49.0
10	29.81	29.73	15.0	190	0.83	1.20	-48.0
20	32.89	32.61	11.0	200	0.85	1.19	50.0
30	37.97	35.06	7.0	210	1.17	1.35	47.0
40	46.74	36.40	2.0	220	1.40	1.73	45.0
50	63.44	36.07	-3.0	230	1.39	2.38	42.0
60	55.09	33.86	-9.0	240	1.65	3.36	38.0
70	38.50	29.96	-14.0	250	3.02	4.69	35.0
80	18.11	24.96	-19.0	260	5.38	6.37	32.0
90	15.62	19.64	-25.0	270	9.03	8.34	28.0
100	11.79	14.72	-30.0	280	11.66	10.50	25.0
110	8.27	10.68	-34.0	290	15.09	12.74	22.0
120	6.26	7.66	-39.0	300	17.61	14.95	20.0
130	4.90	5.54	-43.0	310	20.92	17.04	18.0
140	3.60	4.06	-46.0	320	20.46	18.97	17.0
150	2.19	3.00	-49.0	330	25.29	20.78	17.0
160	1.53	2.24	-50.0	340	24.70	22.58	19.0
170	1.40	1.71	-50.0	350	27.25	24.58	20.0

Tab. 4.4.1 – Fetchs geografici ed efficaci all'interno del golfo dell'Asinara.

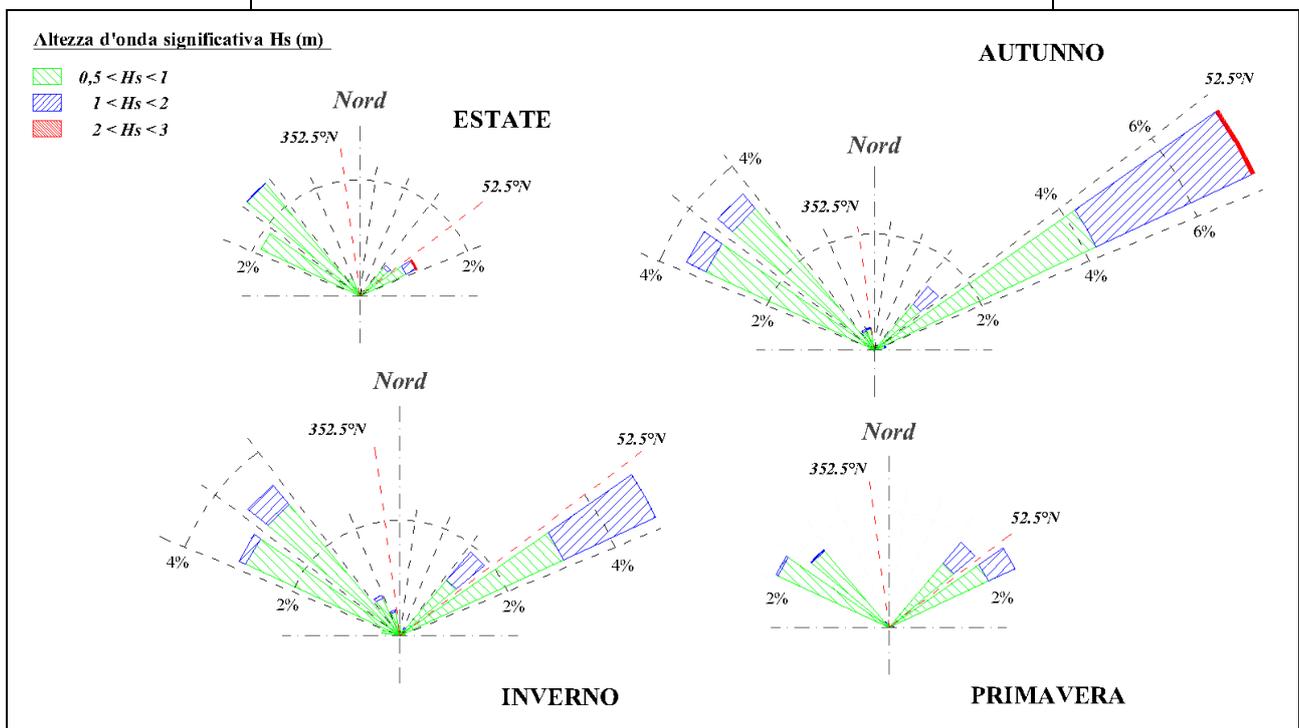
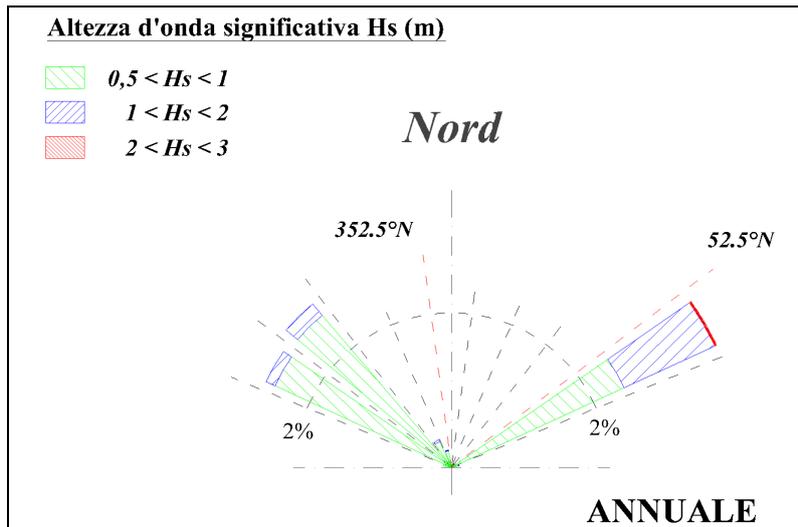


Fig. 4.4.2 – Settori di traversia 50°N-350°N: distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso nel punto di trasposizione al largo di Porto Torres

Serie ondometrica al largo ricostruita a partire dai dati di vento registrati alla stazione di Porto Torres (Dati rilevati dal 01/01/1998 al 31/12/2010)																
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)															
	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	TOT
10	0.513	0.041	0.006													0.56
20	0.063	0.009														0.07
30	1.407	0.066	0.016	0.006												1.49
40	3.071	0.472	0.235	0.041	0.016											3.83
50	2.971	1.282	1.251	0.400	0.078	0.006										5.99
60	3.096	1.501	1.901	0.823	0.250	0.013	0.003									7.59
70	1.708	0.366	0.253	0.056	0.006											2.39
80	1.420	0.091	0.016													1.53
90	1.554	0.038	0.006													1.60
100	1.110	0.019														1.13
110	2.005	0.016														2.02
120	8.313	0.028														8.34
130	15.224	0.056														15.28
140	6.048	0.041														6.09
150	2.821	0.009														2.83
160	0.538	0.009	0.003													0.55
170	0.457	0.006														0.46
180	0.275															0.28
190	0.185	0.009	0.006													0.20
200	0.391	0.009														0.40
210	0.266	0.006														0.27
220	0.266	0.013														0.28
230	0.335	0.006	0.003													0.34
240	0.428	0.003														0.43
250	0.194															0.19
260	1.335	0.022														1.36
270	1.511	0.056														1.57
280	2.023	0.288	0.013													2.32
290	1.814	1.126	0.172	0.003												3.11
300	1.876	2.690	1.479	0.066												6.11
310	2.296	3.331	2.812	0.206												8.64
320	1.855	1.780	0.801	0.041	0.003											4.48
330	1.773	0.919	0.213	0.019												2.92
340	1.733	0.341	0.150	0.013												2.24
350	1.423	0.200	0.138	0.006												1.77
360	1.210	0.081	0.034													1.33
TOT	73.51	14.93	9.51	1.68	0.35	0.02	0.00									100.00
Tot. cumul.		88.44	97.95	99.62	99.98	100.00	100.00									
Numero di eventi validi:			31975													

**Tab. 4.4.1 – Punto di trasposizione al largo di Porto Torres.
Distribuzione percentuale degli eventi ondosi,
per classi di Hs e direzione di provenienza.
ANNUALE**

Serie ondometrica al largo ricostruita a partire dai dati di vento registrati alla stazione di Porto Torres (Dati rilevati dal 01/01/1998 al 31/12/2010)																
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	0.671															0.67
20	0.096															0.10
30	1.510	0.132	0.012													1.65
40	3.763	0.575	0.168	0.036												4.54
50	4.171	1.726	1.762	0.623												8.28
60	4.279	1.426	1.366	0.264	0.036											7.37
70	2.025	0.300	0.120	0.024												2.47
80	1.462	0.084	0.012													1.56
90	1.510	0.024														1.53
100	0.779															0.78
110	1.354															1.35
120	5.477															5.48
130	12.524	0.048														12.57
140	6.975	0.036														7.01
150	2.948	0.024														2.97
160	0.623	0.012														0.64
170	0.527															0.53
180	0.276															0.28
190	0.132	0.024														0.16
200	0.563															0.56
210	0.288	0.012														0.30
220	0.407															0.41
230	0.455	0.012														0.47
240	0.455	0.012														0.47
250	0.180															0.18
260	1.546															1.55
270	1.654															1.65
280	1.846	0.216														2.06
290	2.037	0.995	0.060													3.09
300	2.325	3.284	1.318	0.012												6.94
310	2.517	3.308	2.217	0.048												8.09
320	2.313	1.942	0.324													4.58
330	2.493	0.995	0.048	0.012												3.55
340	2.421	0.252	0.024													2.70
350	1.762	0.204	0.036													2.00
360	1.414	0.036	0.024													1.47
TOT	75.78	15.68	7.49	1.02	0.04											100.00
Tot. cumul.		91.45	98.95	99.96	100.00											
Numero di eventi validi:			8344													

**Tab. 4.4.2 – Punto di trasposizione al largo di Porto Torres.
Distribuzione percentuale degli eventi ondosi,
per classi di Hs e direzione di provenienza.
PRIMAVERA**

Serie ondometrica al largo ricostruita a partire dai dati di vento registrati alla stazione di Porto Torres (Dati rilevati dal 01/01/1998 al 31/12/2010)																
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	0.794	0.023														0.82
20	0.093															0.09
30	2.427	0.047	0.012													2.49
40	4.960	0.630	0.198													5.79
50	4.038	1.167	0.595	0.093	0.023	0.023										5.94
60	3.209	0.747	0.665	0.128												4.75
70	1.552	0.175	0.093													1.82
80	1.062	0.023														1.09
90	1.494	0.023														1.52
100	0.945	0.035														0.98
110	1.354	0.012														1.37
120	5.660	0.012														5.67
130	15.124	0.012														15.14
140	5.707	0.012														5.72
150	2.672															2.67
160	0.630															0.63
170	0.502															0.50
180	0.198															0.20
190	0.327															0.33
200	0.338	0.023														0.36
210	0.187															0.19
220	0.280	0.023														0.30
230	0.303															0.30
240	0.572															0.57
250	0.105															0.11
260	1.050															1.05
270	1.144	0.012														1.16
280	1.505	0.012														1.52
290	1.202	0.525	0.035													1.76
300	1.949	2.812	1.120													5.88
310	2.976	4.936	2.416	0.012												10.34
320	2.649	3.209	0.957													6.82
330	2.451	1.669	0.187													4.31
340	2.696	0.478	0.035													3.21
350	2.229	0.303	0.047													2.58
360	1.961	0.093														2.05
TOT	76.34	17.01	6.36	0.23	0.02	0.02										100.00
Tot. cumul.		93.36	99.72	99.95	99.98	100.00										
Numero di eventi validi:			8569													

**Tab. 4.4.3 – Punto di trasposizione al largo di Porto Torres.
Distribuzione percentuale degli eventi ondosi,
per classi di Hs e direzione di provenienza.
ESTATE**

Serie ondometrica al largo ricostruita a partire dai dati di vento registrati alla stazione di Porto Torres (Dati rilevati dal 01/01/1998 al 31/12/2010)																
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	0.218	0.055														0.27
20	0.014	0.041														0.05
30	0.791	0.027	0.014													0.83
40	1.473	0.164	0.205	0.041	0.014											1.90
50	1.828	1.023	1.282	0.396	0.164											4.69
60	2.305	1.991	3.314	1.923	0.668	0.055	0.014									10.27
70	1.896	0.682	0.586	0.136	0.027											3.33
80	1.800	0.123	0.041													1.96
90	1.718	0.068	0.014													1.80
100	1.500	0.027														1.53
110	3.260	0.014														3.27
120	11.566	0.041														11.61
130	18.085															18.09
140	5.687	0.041														5.73
150	2.237	0.014														2.25
160	0.327		0.014													0.34
170	0.355	0.027														0.38
180	0.205															0.20
190	0.150	0.014	0.027													0.19
200	0.205	0.014														0.22
210	0.273	0.014														0.29
220	0.205	0.014														0.22
230	0.177	0.014	0.014													0.20
240	0.355															0.35
250	0.177															0.18
260	1.091	0.041														1.13
270	1.405	0.109														1.51
280	2.073	0.273	0.014													2.36
290	1.869	1.077	0.150													3.10
300	1.446	1.882	1.746	0.245												5.32
310	1.650	2.673	3.969	0.382												8.67
320	1.241	0.968	0.682	0.068												2.96
330	0.968	0.450	0.205	0.014												1.64
340	0.709	0.314	0.205	0.014												1.24
350	0.696	0.150	0.245	0.027												1.12
360	0.696	0.055	0.041													0.79
TOT	70.65	12.40	12.77	3.25	0.87	0.05	0.01									100.00
Tot. cumul.		83.05	95.81	99.06	99.93	99.99	100.00									
Numero di eventi validi:			7332													

**Tab. 4.4.4 – Punto di trasposizione al largo di Porto Torres.
Distribuzione percentuale degli eventi ondosi,
per classi di Hs e direzione di provenienza.
AUTUNNO**

Serie ondometrica al largo ricostruita a partire dai dati di vento registrati alla stazione di Porto Torres (Dati rilevati dal 01/01/1998 al 31/12/2010)																
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	0.310	0.091	0.026													0.43
20	0.039															0.04
30	0.750	0.052	0.026	0.026												0.85
40	1.746	0.479	0.375	0.091	0.052											2.74
50	1.578	1.177	1.397	0.505	0.142											4.80
60	2.445	1.953	2.510	1.151	0.362											8.42
70	1.358	0.349	0.259	0.078												2.04
80	1.410	0.142	0.013													1.57
90	1.514	0.039	0.013													1.57
100	1.281	0.013														1.29
110	2.238	0.039														2.28
120	11.229	0.065														11.29
130	15.537	0.168														15.71
140	5.770	0.078														5.85
150	3.402															3.40
160	0.543	0.026														0.57
170	0.427															0.43
180	0.427															0.43
190	0.116															0.12
200	0.440															0.44
210	0.323															0.32
220	0.155	0.013														0.17
230	0.388															0.39
240	0.310															0.31
250	0.323															0.32
260	1.656	0.052														1.71
270	1.863	0.116														1.98
280	2.743	0.686	0.039													3.47
290	2.199	1.979	0.466	0.013												4.66
300	1.721	2.678	1.798	0.026												6.22
310	1.915	2.199	2.794	0.427												7.34
320	1.061	0.789	1.255	0.103	0.013											3.22
330	1.009	0.453	0.427	0.052												1.94
340	0.893	0.310	0.362	0.039												1.60
350	0.854	0.129	0.246													1.23
360	0.647	0.142	0.078													0.87
TOT	70.62	14.22	12.08	2.51	0.57											100.00
Tot. cumul.		84.84	96.92	99.43	100.00											
Numero di eventi validi:			7730													

**Tab. 4.4.5 – Punto di trasposizione al largo di Porto Torres.
Distribuzione percentuale degli eventi ondosi,
per classi di Hs e direzione di provenienza.
INVERNO**

4.4 Clima ondametrico complessivo

Utilizzando i risultati ottenuti nei paragrafi precedenti per il settore settentrionale (350° N – 50° N) e per i settori di levante (50° N- 120° N) e di ponente (270° N-350° N) si è ricostruito il clima ondametrico complessivo a largo della costa in esame.

Il climi annuali e stagionali ottenuti sono riportati in forma grafica nella figura 4.5.1 e in forma numerica nelle tabelle 4.5.1 – 4.5.5.

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

- gli stati di mare caratterizzati dai maggiori valori di Hs provengono dal settore settentrionale e sono caratterizzate da altezze d'onda significative comprese tra 3,0 e 4,5 m. In particolare le onde con Hs superiore a 3,0 m (ma comunque inferiori a 4,5 m) provengono da un settore molto ristretto compreso tra le direzioni 360° N - 30° N;
- gli stati di mare provenienti dai settori di levante e di ponente risultano sempre inferiori a 3,0 m di Hs;
- nell'ambito del settore di levante, le onde di maggiore altezza provengono grossomodo da grecale (60° N – 70° N) e risultano sempre inferiori a 3,0 m di Hs;
- nell'ambito del settore di ponente le onde di maggiore altezza provengono dal settore 290° - N 340° N e risultano sempre inferiori a 2,0 m di Hs.

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 dall' 84,33 % del tempo (circa 10,2 mesi/anno);
- invece gli stati di mare caratterizzati da una Hs maggiore di 2,0 m sono molto rari, essendo limitati mediamente al solo 0,2 % all'anno, ovvero a circa 17,0 ore/anno.

Infine, confrontando il clima anemometrico con quello ondametrico, si evidenzia che mentre le onde di maggiore altezza provengono dal settore settentrionale, i venti più frequenti e di maggiore intensità provengono dai settori di levante e di ponente. La ragione di questa apparente incongruenza tra il clima ondametrico e quello anemometrico è pienamente giustificata dall'osservazione che nel caso in questione la direzione di provenienza dei venti locali è fortemente condizionata dalla conformazione delle coste e dell'orografia e non corrisponde alla direzione dei venti che generano il moto ondoso all'esterno del Golfo dell'Asinara.

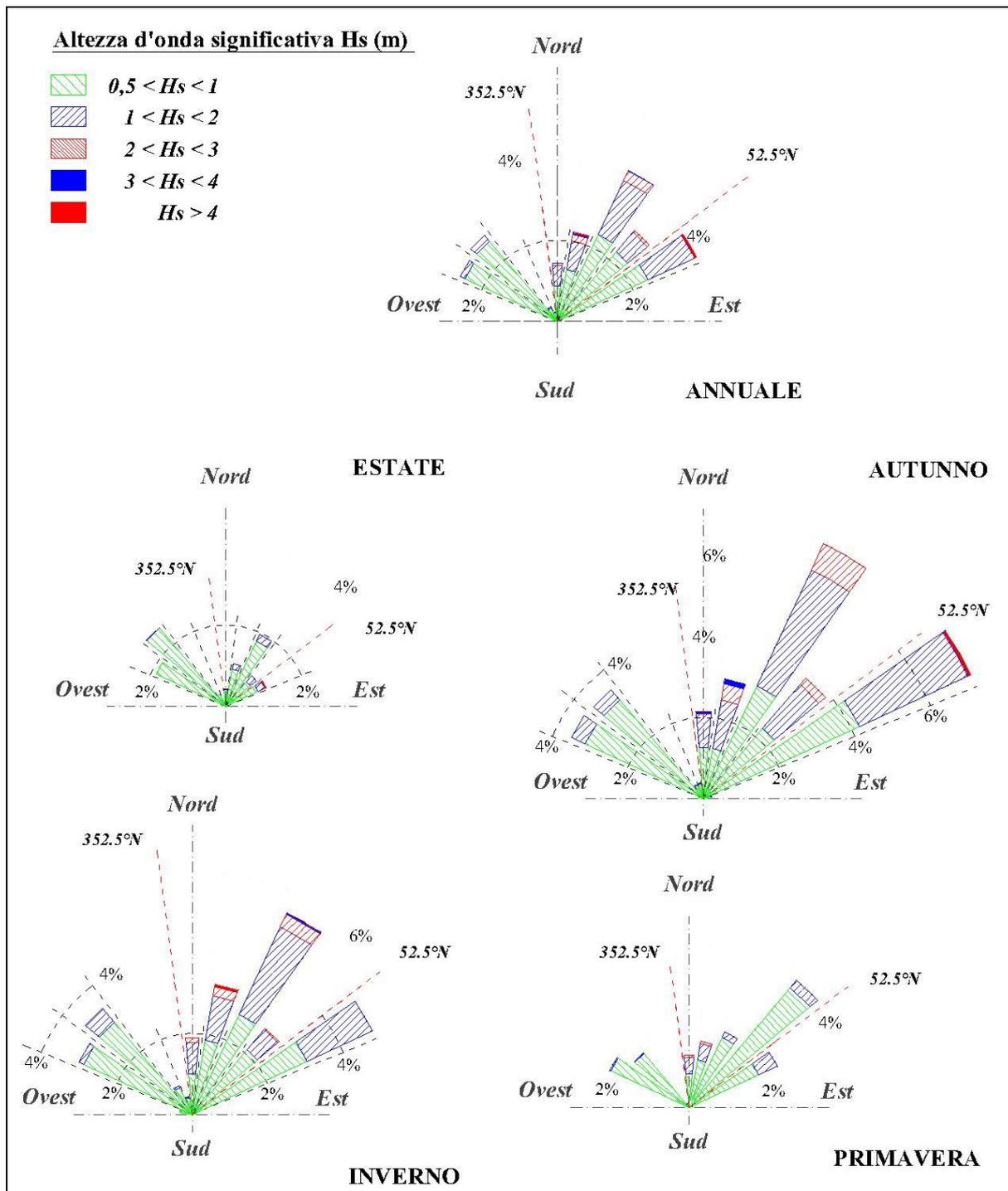


Fig. 4.5.1 – Risultante della distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso nel punto di trasposizione al largo di Porto Torres

Serie ondometrica ricostruita al largo di Porto Torres
(dati ondometrici ricostruiti da ECMWF e dai dati anemometrici registrati alla stazione di Porto Torres)
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)															
	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	TOT
10	0.274	0.398	0.352	0.147	0.062	0.029	0.013	0.003	0	0	0	0	0	0	0	1.28
20	0.245	0.329	0.450	0.176	0.072	0.042	0.029	0.007	0.003	0.007	0	0	0	0	0	1.36
30	0.437	0.659	0.757	0.336	0.157	0.068	0.026	0.003	0	0	0	0	0	0	0	2.44
40	0.470	1.053	0.903	0.261	0.111	0.029	0.010	0	0	0	0	0	0	0	0	2.84
50	0.251	0.466	0.502	0.065	0.010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.29
60	3.229	1.566	1.983	0.858	0.261	0.013	0.003	0	0	0	0	0	0	0	0	7.91
70	1.781	0.382	0.264	0.059	0.007	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	2.49
80	1.481	0.095	0.016	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.59
90	1.621	0.039	0.007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.67
100	1.158	0.020	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.18
110	2.091	0.016	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.11
120	8.669	0.029	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.70
130	15.877	0.059	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.94
140	6.308	0.042	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.35
150	2.942	0.010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.95
160	0.561	0.010	0.003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.57
170	0.476	0.007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.48
180	0.287	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.29
190	0.192	0.010	0.007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.21
200	0.408	0.010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.42
210	0.277	0.007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.28
220	0.277	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.29
230	0.349	0.007	0.003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.36
240	0.447	0.003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.45
250	0.202	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.20
260	1.393	0.023	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.42
270	1.575	0.059	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.63
280	2.110	0.300	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.42
290	1.892	1.174	0.179	0.003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.25
300	1.957	2.805	1.543	0.068	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.37
310	2.394	3.474	2.932	0.215	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.02
320	1.934	1.856	0.835	0.042	0.003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.67
330	1.849	0.959	0.222	0.020	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.05
340	1.807	0.356	0.157	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.33
350	0.457	0.290	0.294	0.078	0.020	0.007	0.003	0	0	0	0	0	0	0	0	1.15
360	0.316	0.310	0.235	0.108	0.049	0.010	0.007	0.003	0	0	0	0	0	0	0	1.04
TOT	67.99	16.83	11.66	2.45	0.75	0.20	0.09	0.02	0.003	0.01	0	0	0	0	0	100.00
Tot. cumul.	84.83	96.48	98.93	99.68	99.88	99.97	99.99	99.99	100.00	100.00						

Numero di eventi validi: 30660

Tab. 4.5.1 – Punto di trasposizione al largo di Porto Torres: tabella risultante dall'unione dei dati ondometrici ricostruiti sulla base dei dati ondometrici ECMWF ed anemometrici registrati alla stazione di Porto Torres (ISPRA).

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

Serie ondometrica ricostruita al largo di Porto Torres
(dati ondometrici ricostruiti da ECMWF e dai dati anemometrici registrati alla stazione di Porto Torres)
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)															
	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	TOT
10	0.223	0.367	0.328	0.131	0.026	0.026	0.013	0.000	0	0	0	0	0	0	0	1.11
20	0.223	0.236	0.380	0.039	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0.89
30	0.354	0.564	0.577	0.039	0.026	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	1.56
40	0.577	1.652	1.154	0.105	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	3.49
50	0.223	0.669	1.009	0.026	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.93
60	4.680	1.560	1.494	0.288	0.039	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	8.06
70	2.216	0.328	0.131	0.026	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	2.70
80	1.599	0.092	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.70
90	1.652	0.026	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.68
100	0.852	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.85
110	1.481	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.48
120	5.991	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.99
130	13.700	0.052	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.75
140	7.630	0.039	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.67
150	3.225	0.026	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.25
160	0.682	0.013	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.69
170	0.577	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.58
180	0.302	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.30
190	0.144	0.026	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.17
200	0.616	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.62
210	0.315	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.33
220	0.446	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.45
230	0.498	0.013	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.51
240	0.498	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.51
250	0.197	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.20
260	1.691	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.69
270	1.809	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.81
280	2.019	0.236	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.25
290	2.229	1.088	0.066	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.38
300	2.543	3.592	1.442	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.59
310	2.753	3.618	2.425	0.052	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.85
320	2.530	2.124	0.354	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.01
330	2.727	1.088	0.052	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.88
340	2.648	0.275	0.026	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.95
350	0.511	0.170	0.197	0.066	0.013	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0.96
360	0.433	0.328	0.223	0.092	0.066	0.013	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	1.15
TOT	70.79	18.21	9.87	0.89	0.18	0.04	0.01	0.00	0.000	0.00	0	0	0	0	0	100.00
Tot. cumul.	89.00	98.87	99.76	99.95	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00						

Numero di eventi validi: 7628

Tab. 4.5.2 – Punto di trasposizione al largo di Porto Torres: tabella risultante dall'unione dei dati ondometrici ricostruiti sulla base dei dati ondometrici ECMWF ed anemometrici registrati alla stazione di Porto Torres (ISPRA).

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

Serie ondometrica ricostruita al largo di Porto Torres
(dati ondometrici ricostruiti da ECMWF e dai dati anemometrici registrati alla stazione di Porto Torres)
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)															
	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	TOT
10	0.422	0.383	0.224	0.000	0.013	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	1.04
20	0.383	0.475	0.330	0.066	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0	0	1.25
30	0.699	0.792	0.541	0.040	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	2.07
40	0.449	0.871	0.607	0.106	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	2.03
50	0.251	0.290	0.053	0.013	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.62
60	3.629	0.845	0.752	0.145	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	5.37
70	1.755	0.198	0.106	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	2.06
80	1.201	0.026	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.23
90	1.689	0.026	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.72
100	1.069	0.040	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.11
110	1.531	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.54
120	6.400	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.41
130	17.102	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17.12
140	6.453	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.47
150	3.022	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.02
160	0.713	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.71
170	0.567	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.57
180	0.224	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.22
190	0.369	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.37
200	0.383	0.026	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.41
210	0.211	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.21
220	0.317	0.026	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.34
230	0.343	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.34
240	0.647	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.65
250	0.119	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.12
260	1.188	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.19
270	1.293	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.31
280	1.702	0.013	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.72
290	1.359	0.594	0.040	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.99
300	2.204	3.180	1.267	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.65
310	3.365	5.582	2.732	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11.69
320	2.996	3.629	1.082	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.71
330	2.771	1.887	0.211	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.87
340	3.048	0.541	0.040	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.63
350	0.897	0.172	0.106	0.026	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	1.20
360	0.567	0.369	0.092	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	1.04
TOT	71.34	20.03	8.18	0.42	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	100.00
Tot. cumul.	91.37	99.55	99.97	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00					

Numero di eventi validi: 7578

**Tab. 4.5.3 – Punto di trasposizione al largo di Porto Torres: tabella risultante dall'unione dei dati ondometrici ricostruiti sulla base dei dati ondometrici ECMWF ed anemometrici registrati alla stazione di Porto Torres (ISPRA).
Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza. ESTIVO**

Serie ondometrica ricostruita al largo di Porto Torres
(dati ondometrici ricostruiti da ECMWF e dai dati anemometrici registrati alla stazione di Porto Torres)
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)															
	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	TOT
10	0.182	0.469	0.430	0.247	0.117	0.052	0.026	0.013	0	0	0	0	0	0	0	1.54
20	0.273	0.339	0.482	0.260	0.104	0.091	0.065	0.026	0.013	0.000	0	0	0	0	0	1.65
30	0.352	0.729	1.016	0.625	0.456	0.169	0.091	0.000	0	0	0	0	0	0	0	3.44
40	0.521	0.977	0.938	0.586	0.352	0.104	0.039	0	0	0	0	0	0	0	0	3.52
50	0.365	0.417	0.508	0.143	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.43
60	2.201	1.901	3.164	1.836	0.638	0.052	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0	9.81
70	1.810	0.651	0.560	0.130	0.026	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	3.18
80	1.719	0.117	0.039	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.88
90	1.641	0.065	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.72
100	1.432	0.026	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.46
110	3.112	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.13
120	11.043	0.039	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11.08
130	17.268	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17.27
140	5.430	0.039	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.47
150	2.136	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.15
160	0.313	0.000	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.33
170	0.339	0.026	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.36
180	0.195	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.20
190	0.143	0.013	0.026	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.18
200	0.195	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.21
210	0.260	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.27
220	0.195	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.21
230	0.169	0.013	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.20
240	0.339	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.34
250	0.169	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.17
260	1.042	0.039	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.08
270	1.341	0.104	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.45
280	1.979	0.260	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.25
290	1.784	1.029	0.143	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.96
300	1.380	1.797	1.667	0.234	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.08
310	1.576	2.552	3.790	0.365	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.28
320	1.185	0.925	0.651	0.065	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.83
330	0.925	0.430	0.195	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.56
340	0.677	0.300	0.195	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.19
350	0.234	0.378	0.430	0.039	0.039	0.013	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0	1.15
360	0.182	0.208	0.352	0.195	0.052	0.013	0.000	0.013	0	0	0	0	0	0	0	1.02
TOT	64.11	13.91	14.64	4.75	1.78	0.49	0.25	0.05	0.013	0.00	0	0	0	0	0	100.00
Tot. cumul.		78.02	92.66	97.41	99.19	99.69	99.93	99.99	100.00	100.00	100.00					

Numero di eventi validi: 7679

**Tab. 4.5.4 – Punto di trasposizione al largo di Porto Torres: tabella risultante dall'unione dei dati ondometrici ricostruiti sulla base dei dati ondometrici ECMWF ed anemometrici registrati alla stazione di Porto Torres (ISPRA).
Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza. AUTUNNALE**

Serie ondometrica ricostruita al largo di Porto Torres
(dati ondometrici ricostruiti da ECMWF e dai dati anemometrici registrati alla stazione di Porto Torres)
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)															
	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	TOT
10	0.270	0.373	0.424	0.206	0.090	0.039	0.013	0.000	0	0	0	0	0	0	0	1.41
20	0.103	0.270	0.605	0.334	0.167	0.077	0.051	0.000	0.000	0.026	0	0	0	0	0	1.63
30	0.347	0.553	0.887	0.630	0.141	0.103	0.013	0.013	0	0	0	0	0	0	0	2.69
40	0.334	0.720	0.913	0.244	0.090	0.013	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	2.32
50	0.167	0.489	0.437	0.077	0.026	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.20
60	2.431	1.942	2.495	1.145	0.360	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	8.37
70	1.350	0.347	0.257	0.077	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	2.03
80	1.402	0.141	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.56
90	1.505	0.039	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.56
100	1.273	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.29
110	2.225	0.039	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.26
120	11.164	0.064	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11.23
130	15.447	0.167	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.61
140	5.736	0.077	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.81
150	3.383	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.38
160	0.540	0.026	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.57
170	0.424	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.42
180	0.424	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.42
190	0.116	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.12
200	0.437	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.44
210	0.322	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.32
220	0.154	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.17
230	0.386	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.39
240	0.309	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.31
250	0.322	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.32
260	1.646	0.051	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.70
270	1.852	0.116	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.97
280	2.727	0.682	0.039	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.45
290	2.186	1.968	0.463	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.63
300	1.711	2.662	1.788	0.026	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.19
310	1.904	2.186	2.778	0.424	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.29
320	1.055	0.785	1.248	0.103	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.20
330	1.003	0.450	0.424	0.051	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.93
340	0.887	0.309	0.360	0.039	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.59
350	0.193	0.437	0.437	0.180	0.026	0.013	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	1.29
360	0.090	0.334	0.270	0.129	0.077	0.013	0.026	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0.94
TOT	65.83	15.25	13.85	3.68	0.99	0.26	0.10	0.01	0.000	0.03	0	0	0	0	0	100.00
Tot. cumul.	81.08	94.93	98.61	99.60	99.86	99.96	99.97	99.97	100.00	100.00						

Numero di eventi validi: 7775

**Tab. 4.5.5 – Punto di trasposizione al largo di Porto Torres: tabella risultante dall'unione dei dati ondometrici ricostruiti sulla base dei dati ondometrici ECMWF ed anemometrici registrati alla stazione di Porto Torres (ISPRA).
Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza. INVERNALE**

5 ANALISI ESTREMALE DELLE FORZANTI MARINE

5.1 Introduzione

L'analisi estrema di una variabile casuale x prevede l'individuazione della funzione di distribuzione cumulata (cdf – cumulative distribution function), ovvero della funzione

$$F(x) = \Pr[X \leq x]$$

rappresentante la probabilità di non superamento di un determinato valore, che meglio si adatta al campione disponibile dei valori estremi della variabile casuale considerata.

Il primo problema affrontato nell'analisi estrema è quindi la definizione di tale campione il quale, oltre a essere rappresentativo dei valori estremi di interesse, deve garantire la loro indipendenza e omogeneità. Nel caso delle forzanti marine, ovvero di variabili casuali rappresentative di fenomeni sia direttamente meteorologici sia da questi generati, il campione viene desunto a partire dalle serie storiche misurate (time series), per le quali l'indipendenza nel tempo appare una assunzione irrealistica. Per tali variabili, nell'ipotesi di stazionarietà ⁽¹⁾ della serie storica di partenza, può considerarsi indipendente e omogeneo un campione formato da valori rappresentativi di eventi estremi indipendenti fra loro ma caratterizzati da genesi comune ⁽²⁾.

Come noto, allo scopo di garantire l'indipendenza del campione, l'approccio classico (Gumbel, 1958) consiste nell'estrarre dalla serie storica di partenza i massimi osservati all'interno di intervalli di tempo omologhi, ovvero all'interno di blocchi di uguale lunghezza (block maxima), risultando la lunghezza del blocco generalmente posta pari all'anno (massimi annuali). Si osserva come tale approccio non garantisca a priori l'omogeneità del campione e presupponga che la serie storica di partenza si estenda a un numero di anni sufficiente esteso, risultando una statistica realizzata su pochi dati non significativa. Nel caso di serie storiche poco estese, allo scopo di garantire tale significatività, è possibile far ricorso alla modellazione dei massimi di ordine r o delle eccedenze, ovvero alla modellazione dei primi r massimi (r -order statistics) misurati all'interno di blocchi di uguale lunghezza, o alla modellazione dei massimi di blocchi di dati superiori a una soglia

⁽¹⁾ L'ipotesi di stazionarietà prevede che le variabili della serie storica pur potendo risultare mutuamente dipendenti, abbiano proprietà stocastiche omogenee nel tempo.

⁽²⁾ Ad esempio, dai massimi valori di altezza d'onda - osservati a una qualche distanza l'una dalle altre - attribuibili a mareggiate diverse ma generate da perturbazioni meteorologiche di caratteristiche simili.

prefissata (peak over threshold). In entrambi casi, scelte specifiche sono necessarie a garantire l'indipendenza ⁽³⁾ e l'omogeneità del campione.

Una volta definito il campione, il secondo problema dell'analisi estrema consiste nell'individuare, tra quelle note, la funzione di distribuzione cumulata che meglio gli si adatta (problema di inferenza).

Se nel caso di un campione di massimi di blocchi di uguale lunghezza,

$$M_n = \max\{X_1, \dots, X_n\}$$

ovvero dei primi r massimi, le funzioni di distribuzione più comunemente utilizzate sono le funzioni del valore estremo del I° (Gumbel, 1959) del II° (Weibul, 1939) e del III° tipo (Frechet, 1927), generalizzabili nella funzione di distribuzione generalizzata dei valori estremi (GEV – Generalized Extreme Value distribution) -

$$F(x) = \Pr[M_n \leq x] = \exp \left\{ - \left[1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right)^{\frac{1}{\xi}} \right] \right\}$$

ove ξ , $\sigma (>0)$ e μ sono i parametri rispettivamente di forma, scala e posizione – è possibile dimostrare (Leadbetter e al., 1983, Coles, 2000) che la funzione secondo la quale si distribuisce la popolazione della variabile $Y=X-u$ ($X>u$), nell'ipotesi di soglia u sufficientemente alta (e che la distribuzione dei massimi della variabile X sia del tipo GEV), risulta la funzione di distribuzione generalizzata di Pareto

$$F(y) = \Pr[Y \leq y] = \Pr[X \leq u + y | X > u] = 1 - \left(1 + \xi \frac{y}{\tilde{\sigma}} \right)^{-\frac{1}{\xi}} \quad \tilde{\sigma} = \sigma + \xi(u - \mu)$$

ove ξ , σ e μ sono i parametri della corrispondente GEV, mentre u è la soglia.

Il problema di interferenza si concretizza quindi nel determinare i parametri di tali funzioni di distribuzioni in grado di realizzare il migliore adattamento al campione dato. Inoltre, tenendo conto che la probabilità cumulata è legata al tempo di ritorno dell'evento dalla relazione

$$Tr(x) = \frac{1}{1 - F(x)}$$

si possono stimare i valori assunti dalla variabile casuale considerata relativamente a precisati tempi di ritorno.

⁽³⁾ L'applicazione del metodo delle eccedenze non garantisce in se l'indipendenza del campione, la quale dipende dalla scelta della soglia.

5.2 Analisi estrema dei livelli

Nell'analisi statistica degli estremi di livello sono possibili due approcci (Bortot e Tawn, 1997, Hawkes et al, 2002):

- la modellazione statistica della serie storica originaria, ovvero composta dalla sovrapposizione della sua componente deterministica costituita dalla marea astronomica e della sua componente stocastica costituita dalla marea meteorologica (approccio diretto);
- la decomposizione della serie storica nelle singole componenti deterministica e stocastica, la modellazione statistica della componente stocastica e quindi della dipendenza tra le due componenti (approccio indiretto).

Per quanto l'approccio indiretto, tenendo separate la componente deterministica (per la quale non è necessaria alcuna estrapolazione in quanto esattamente predicibile) da quella stocastica, sia da preferire, esso presenta una qualche difficoltà nella modellazione della dipendenza esistente tra le due componenti. Nel seguito si darà conto dell'applicazione del metodo diretto.

Nell'ipotesi di stazionarietà dell'intera serie storica misurata, ovvero di stazionarietà stagionale ⁽⁴⁾, se l'omogeneità del campione può essere assunta analizzando la serie completa, ovvero le serie storiche stagionali separatamente, la sua indipendenza, data l'esiguità dell'estensione della serie originale, prevede usualmente l'applicazione del metodo delle eccedenze, ovvero l'individuazione di una opportuna soglia (threshold), la definizione di gruppi di dati sopra di essa associabili a eventi indipendenti (clusters) e la individuazione del massimo di ciascun gruppo (peak over threshold). In particolare, è possibile procedere nel seguente modo:

- Nell'ipotesi di stazionarietà dell'intera serie storica misurata, ovvero di stazionarietà stagionale, l'omogeneità del campione viene assunta ipotizzando l'omogeneità della serie storica completa, depurata della media, ovvero considerando quattro serie storiche, ciascuna riferibile a una stagione dell'anno;
- per le serie storiche depurate della media così ottenute, si può scegliere una prima soglia pari a 0.0 m sul l.m.m., definendo - mediante procedura di de-raggruppamento (declustering) - i gruppi (clusters) rappresentativi di eventi indipendenti nell'ipotesi che tra un evento indipendente e l'altro esista una persistenza sotto la soglia pari a circa 12 ore, ovvero ipotizzando un intervallo tra eventi indipendenti pari all'intervallo che

⁽⁴⁾ Nel caso che la serie storica misurata mostri una ciclicità annuale è possibile ipotizzare che le variabili della serie pur risultando mutuamente dipendenti, abbiano proprietà stocastiche stagionalmente omogenee.

separa i due massimi di una marea astronomica a carattere semidiurno (Hawkes e al, 2002);

- utilizzando i campioni dei massimi dei clusters così ottenuti si traccia il grafico di vita residua del valore atteso degli eccessi (mean residual life plot), individuando su di esso la soglia oltre la quale tale valore atteso varia linearmente al variare della soglia stessa (Coles, 2000). Il campione viene quindi definito considerando i soli valori sopra la seconda soglia determinata ⁽⁵⁾.

Sulla base del campione così ottenuto, utilizzando il metodo della massima verosimiglianza (maximum likelihood), si inferisce la distribuzione scelta (distribuzione generalizzata di Pareto), verificando la validità del modello attraverso grafici diagnostici (diagnostic plots) quali il confronto tra le probabilità del modello e le frequenze empiriche (probability plot) tra i quantili della distribuzione considerata e empirici (quantile plot), nonché verificando l'andamento delle funzioni distribuzione di probabilità (return level plot) e densità di probabilità (density plot).

Nelle figure 5.2.1 e 5.2.2 e nella tabella 5.2.1 sono presentati i risultati dell'adattamento della distribuzione generalizzata di Pareto al campione derivato dalla serie storica dei livelli misurati al mareografo di Porto Torres nell'ipotesi di applicazione del metodo diretto. In particolare, nella figura 5.2.1 sx è possibile osservare la variazione del valore atteso degli eccessi sopra soglia al variare della soglia stessa. L'andamento prossimo al lineare assunto dal valore atteso degli eccessi per valori della soglia $u \geq 0.25$ m indica come il fissare la soglia a 0.25 m possa ritenersi una scelta adeguata. La costanza dei parametri di forma e di scala nell'intervallo di soglie 0.25-0.45 m appare inoltre confermare tale scelta (Fig. 5.2.1 dx). Nella tabella 5.2.1 sono indicati i parametri di forma e di scala derivanti dall'adattamento, comprensivi del loro errore standard e dei loro limiti di confidenza. Nella stessa tabella sono anche forniti – unitamente ai loro intervalli di confidenza - i valori corrispondenti a prescritti tempi di ritorno (vedi anche la figura 5.2.2). Si osserva come al tempo di ritorno di 10 anni sia associato il livello +0.65 m sullo zero idrometrico (+0.51 m sul l.m.m.), ovvero un valore praticamente uguale al massimo valore misurato (0.66 m – vedi par. 2.2) nell'ambito della serie storica di undici anni analizzata.

⁽⁵⁾Si osserva che - allo scopo di verificare la validità della scelta della soglia – è possibile verificare la costanza dei parametri della distribuzione scelta per l'inferenza all'aumentare della soglia stessa (Coles, 2000).

soglia	0.25 m
n. dati campione	173

Tr (anni)	LV (m)	IC +/- (m)
2	0.60	0.05
5	0.63	0.06
10	0.65	0.07
20	0.67	0.08
50	0.69	0.09
100	0.70	0.10

	valore	Err. Stan.	Int. Confidenza	
scala mod	0.120	0.010	0.098	0.142
forma	-0.232	0.057	-0.343	-0.120

Tab. 5.2.1 – Soglia, parametri della distribuzione ed estremi di livello per il mareografo di Porto Torres (i livelli estremi sono riferiti allo zero idrometrico del mareografo posto a quota - 0.14 m rispetto al l.m.m.)

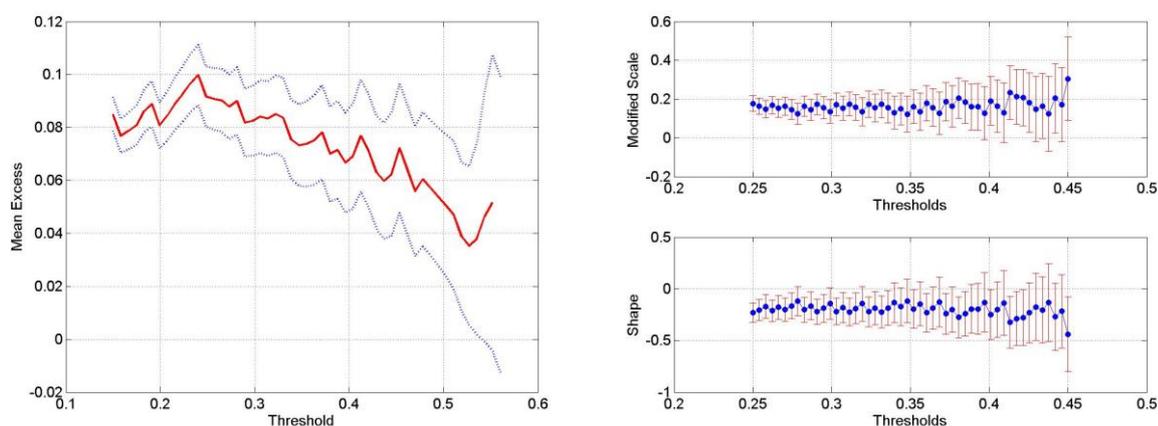


Fig. 5.2.1 – Analisi estrema dei livelli a Porto Torres: valore atteso degli eccessi (sx) e parametri della GPD (dx) al variare della soglia.

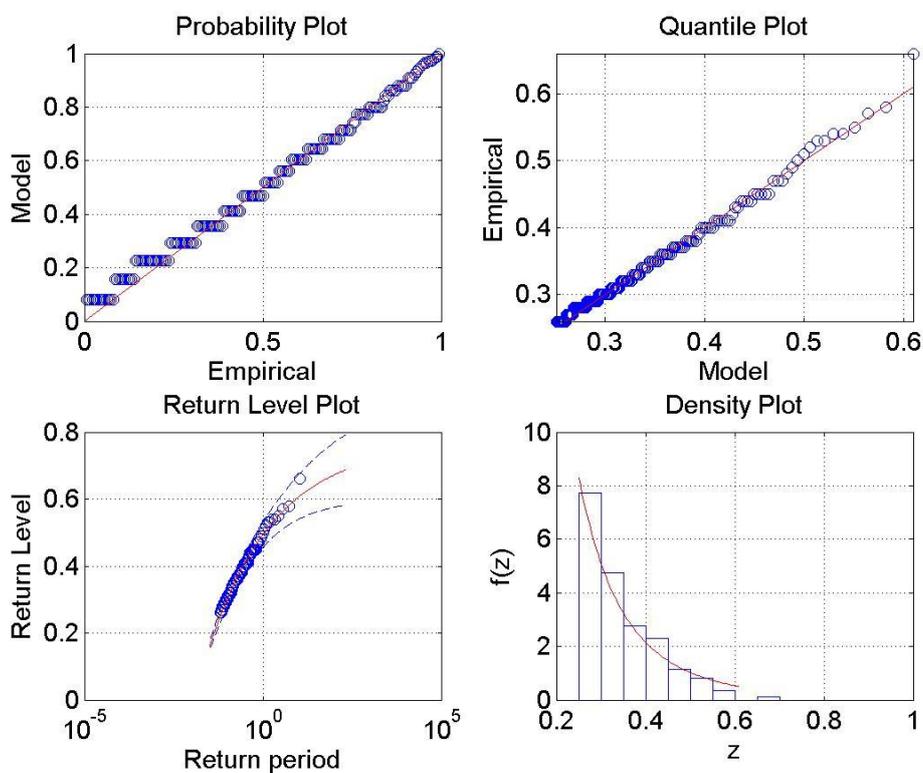


Fig. 5.2.2 – Analisi estrema dei livelli a Porto Torres: grafici diagnostici per la distribuzione generalizzata di Pareto (GPD).

5.3 Analisi estrema delle altezze d'onda

L'analisi è stata condotta limitatamente al settore settentrionale dal quale provengono le onde più alte.

Nell'ipotesi di stazionarietà, a meno di ipotizzare l'omogeneità dell'intera serie storica, campioni omogenei possono essere determinati separando la serie originale in serie caratterizzate da altezze d'onda con direzioni di provenienza appartenenti a precisati settori direzionali ⁽⁶⁾. Per quanto riguarda l'indipendenza invece, data l'usuale esiguità dell'estensione delle serie, si ricorre al metodo delle eccedenze. In analogia al caso dell'analisi estrema dei livelli, nonché nell'ipotesi di stazionarietà della serie di partenza, è dunque possibile procedere nel seguente modo:

- l'omogeneità del campione viene assunta ipotizzando l'omogeneità della serie storica completa, ovvero considerando serie storiche separate ciascuna caratterizzata da altezze d'onda con direzioni di provenienza ricadenti nello stesso settore (si veda al riguardo, tra gli altri, Corsini e al., 2004);
- per le serie storiche così ottenute, si sceglie una prima soglia pari a 0.5-1.0 m, definendo, mediante procedura di de-raggruppamento (declustering), i clusters rappresentativi di eventi indipendenti nell'ipotesi che tra un evento indipendente ⁽⁷⁾ e l'altro esista una persistenza sotto la soglia pari a circa 24-48 ore (Corsini e al., 2004);
- utilizzando i campioni dei massimi dei clusters così ottenuti, in analogia all'analisi estrema dei livelli, si traccia il grafico di vita residua della media allo scopo di individuare la seconda soglia e il relativo campione.

Sulla base del campione così ottenuto, sempre in analogia all'analisi estrema dei livelli, si inferisce la distribuzione generalizzata di Pareto, verificando la validità del modello attraverso grafici diagnostici (diagnostic plots).

La figura 5.3.1 mostra, per la serie storica trasposta al largo di Porto Torres a partire dai dati in analisi ECMWF in un punto opportunamente scelto, il diagramma polare dei valori di altezza d'onda significativa registrati al colmo di ciascuna mareggiata. In particolare la mareggiata è stata stabilita nell'ipotesi che tra un evento indipendente e l'altro esista una

⁽⁶⁾ Si ipotizza cioè che stati di mare con direzioni di provenienza compresa in precisati settori siano generati da condizioni meteorologiche omogenee.

⁽⁷⁾ Generalmente, si considera quale evento mareggiata la successione temporale degli stati di mare caratterizzati da una persistenza dell'altezza d'onda sopra la soglia di 1.0 m pari a 12 ore consecutive, una attenuazione dell'altezza d'onda al di sotto della detta soglia per meno di 6 ore consecutive e l'appartenenza della direzione di provenienza a un settore angolare compreso tra $\pm 30^\circ$ rispetto alla direzione di provenienza iniziale (Corsini e al., 2004). Caso particolare è costituito dalla progressiva variazione della direzione di provenienza delle onde durante una stessa mareggiata, fenomeno che si verifica ad esempio al largo di Ortona. Al riguardo si rimanda a Piscopia, et al. (2004).

persistenza sotto la soglia di 1 m pari a 24 ore (pari a 4 dati della serie esaoraria disponibile).

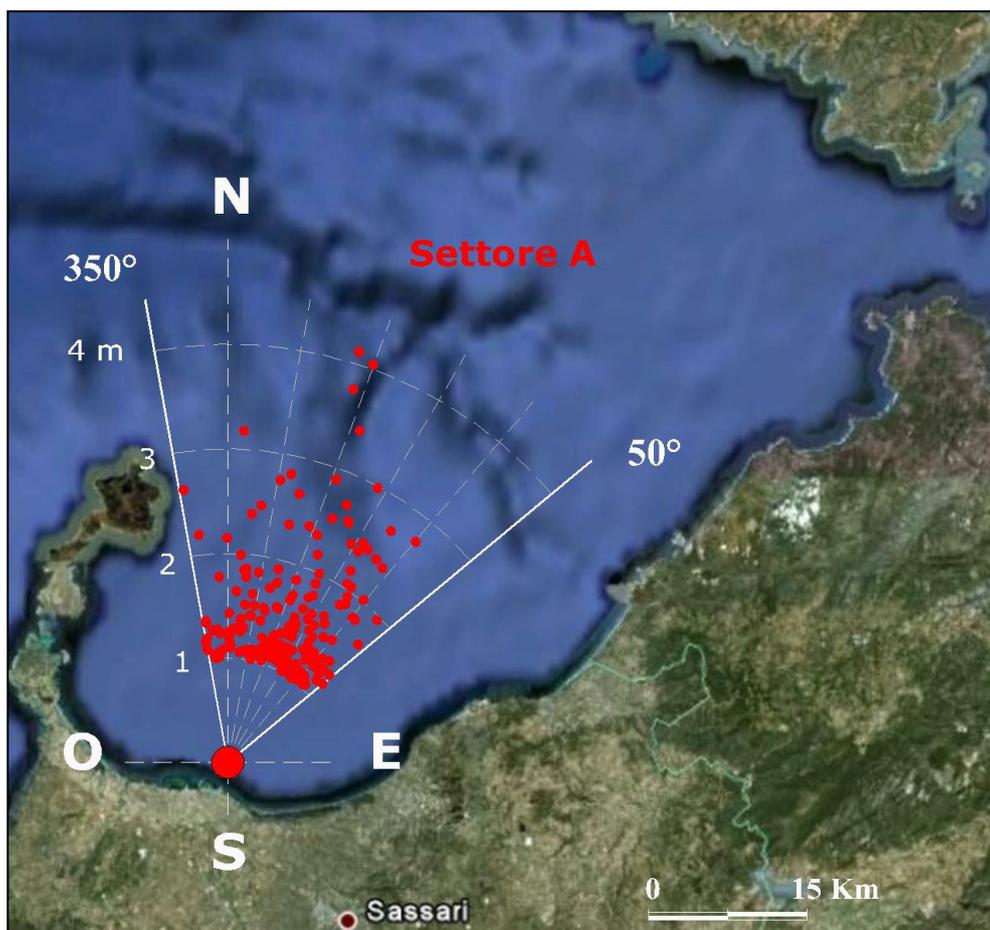


Fig. 5.3.1 – Diagramma polare degli eventi con altezze d'onda al colmo superiori ad un metro.

Le figure 5.3.4 e 5.3.5, nonché la tabella 5.3.1 presentano i risultati dell'adattamento della distribuzione generalizzata di Pareto ai campioni così derivati. Nel caso in esame, l'andamento prossimo al lineare assunto dal valore atteso degli eccessi, per valori della soglia $u \geq 2.0$ m, indica come il fissare la soglia a 2.0 m possa ritenersi una scelta adeguata. La costanza dei parametri di forma e di scala, nell'intervallo di soglia $2.0 \div 2.5$ m, appare inoltre confermare tale scelta (Fig. 5.3.4 dx).

soglia	2 m
n. dati campione	40

Tr (anni)	LV (m)	IC +/- (m)
2	4.00	0.36
5	4.21	0.46
10	4.33	0.55
20	4.42	0.64
50	4.51	0.75
100	4.56	0.83
200	4.60	0.89

	valore	Err. Stan.	Int. Confidenza	
scala mod	1.015	0.211	0.600	1.429
forma	-0.371	0.148	-0.661	-0.081

Tab. 5.3.1 – Analisi estemale delle onde al largo di Porto Torres (settore 350-50°N): soglia, parametri della distribuzione ed estremi di altezza d'onda per il punto di trasposizione al largo Porto Torres.

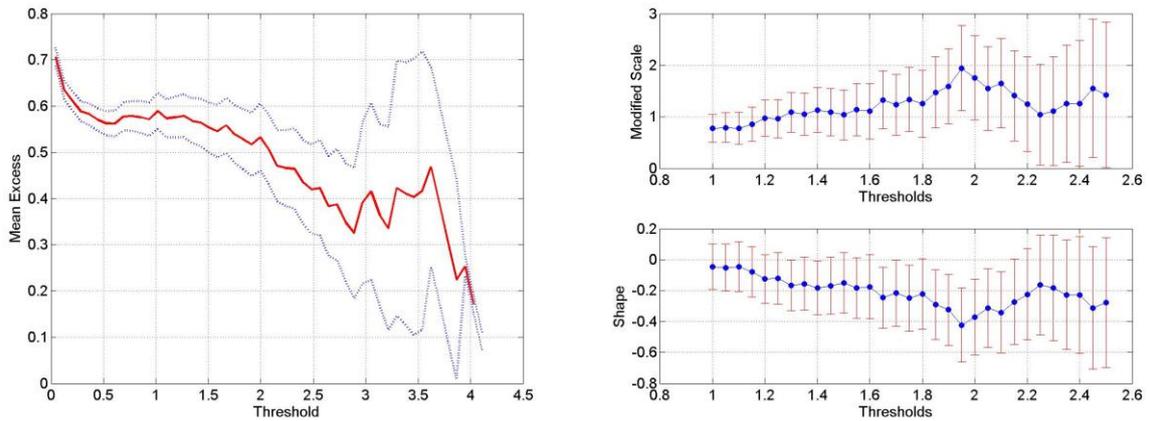


Fig. 5.3.4 – Analisi estrema delle onde al largo di Porto Torres (settore 350-50°N): valore atteso degli eccessi (sx) e parametri della GPD (dx) al variare della soglia.

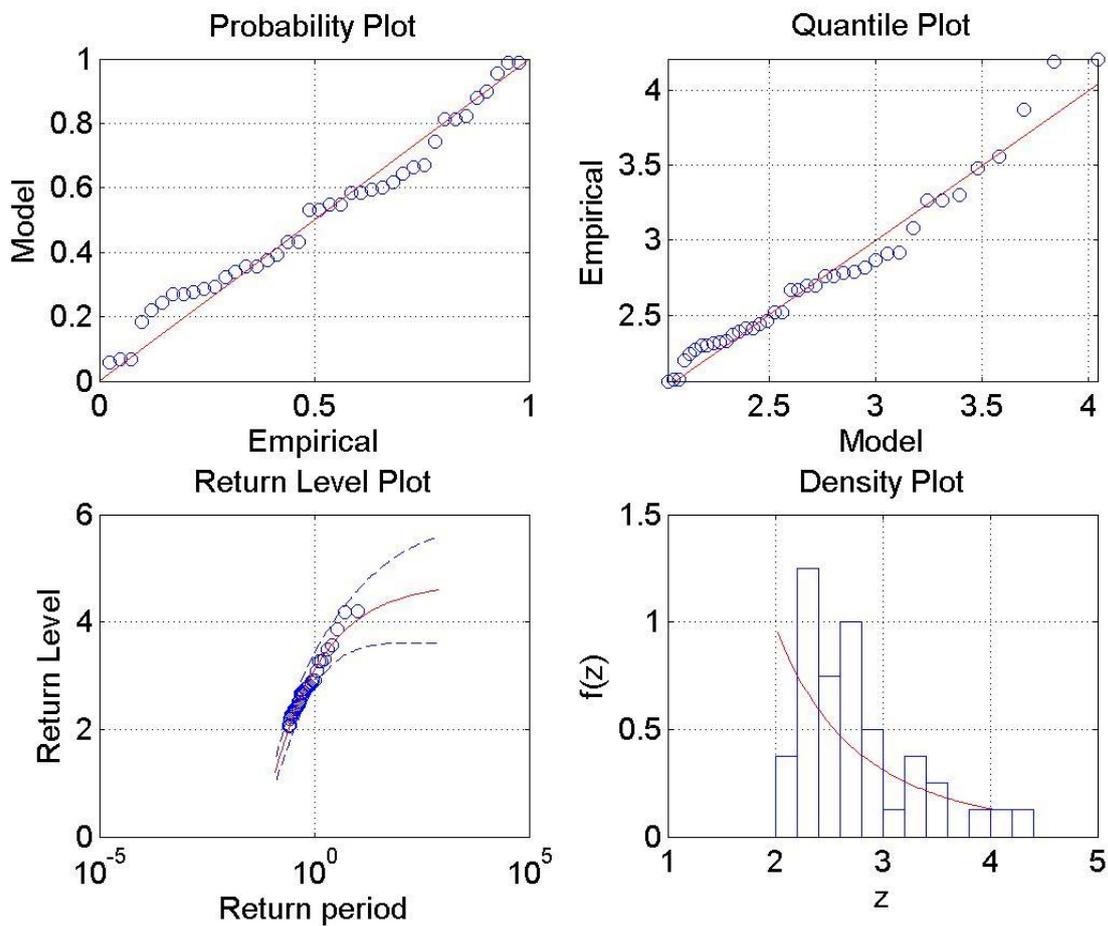


Fig. 5.3.5 – Analisi estrema delle onde al largo di Porto Torres (settore 350-50°N): grafici diagnostici per la distribuzione generalizzata di Pareto (GPD).

6 CONCLUSIONI

Le analisi condotte coprono i parametri meteomarini più importanti per il sito in questione, ovvero la marea (astronomica e meteorologica), il vento e il moto ondoso.

Per tutti i parametri analizzati sono state condotte sia analisi climatiche, di interesse prevalente per la valutazione di condizioni connesse all'operatività del porto, sia analisi di valori estremi, di interesse per il dimensionamento geometrico e strutturale delle opere.

Per quanto riguarda le variazioni del livello idrico (maree astronomiche e meteorologiche) si è fatto riferimento a misure dirette eseguite dalla stazione mareografica di Porto Torres gestita dall'ISPRA e localizzata nel Porto Civico.

Per quanto riguarda il vento si sono analizzate sia le condizioni anemometriche che sussistono a largo del porto, sia condizioni rappresentative di ciò che accade all'interno del porto, ovvero in costa. A tal fine per l'analisi del vento a largo si sono utilizzati i dati calcolati "in analisi" dall'ECMWF, mentre per quelli in costa si sono utilizzati i dati registrati dalla stazione anemometrica facente parte della stazione mareografica dell'ISPRA.

Per quanto riguarda il moto ondoso, data la mancanza di misure dirette, è risultato necessario ricostruire le condizioni ondometriche del paraggio ricorrendo a metodi di "hindcasting" basati sulla conoscenza del campo di vento. L'analisi condotta ha richiesto una certa attenzione a causa della rilevante eterogeneità delle coste che delimitano l'area in esame. A tal fine si sono utilizzati sia i dati di moto ondoso calcolati in analisi dall'ECMWF, sia i dati di moto ondoso ricostruiti in questa sede mediante l'applicazione di un modello del tipo SMB.

In conclusione si ritiene che le analisi condotte e i risultati ottenuti risultino pienamente esaustivi per le finalità del presente lavoro.

Riferimenti bibliografici

1. Bortot, P., e Tawn, J.A. (2000): "The joint probability of waves and water levels: Join-Sea. A rigorous but practical approach ", HR Wallingford - Report SR 537.
2. Cavaleri L. & Bertotti L. (2003). The characteristics of wind and wave fields modelled with different resolutions. Quarterly Journal Of The Royal Meteorological Society, 129 (590): 1647-1662.
3. Cavaleri, L; Bertotti, L (2004). Accuracy of the modelled wind and wave fields in enclosed seas. Tellus Series A-Dynamic Meteorology And Oceanography, 56 (2): 167-175.
4. Coles, S. (2000): "An introduction to statistical modelling of extreme values", Springer.
5. Corsini, S., Inghilesi, R., Franco, L., Piscopia R. (2004) "ATLAS – Atlante delle onde nei mari italiani", APAT, 2004.
6. Goda Y., "On the methodology of selecting design wave height", Proc. 21st Coastal Engineering Conference, Malaga, 1988.
7. Hawkes, P.J., Gouldby, B.P., Tawn, J.A., Owen, M.W. (2002): "The joint probability of waves and water levels in coastal engineering design", Journal of Hydraulic Research, Vol. 40. n.3.
8. Mathiesen M., "Estimation of wave height duration statistics", Coastal Engineering, Vol. 23, 1994.
9. Mathiesen M., Goda Y., Hawkes P., Mansard E., Martin M.J., Peltier E., Thompson E. e Van Veddler G., "Recomended practice for extreme wave analysis", Journal of Hydraulic Research, Vol. 32. n° 6, 1994.
10. Saville T. et altri, 1962
11. Seymour R.J., 1977, "Estimating wave generation on restricted fetches", Journal of the Waterway Port Coastal and Ocean Division, Proc. ASCE, n.103 WW2 may 1977
12. Smith, J.M. 1991, "Wind-wave generation on restricted fetches", Miscellaneous paper CERC-91-2, US Army Engineer Waterways Experiment Station.
13. Van Veddler G., Goda Y., Hawkes P., Mansard E., Martin M.J., Mathiesen M., Peltier E. e Thompson E., "Case studies of extreme wave analysis: a comparative analysis", Proc. Conf. WAVES 93, New Orleans, U.S.A., 1993.

7 APPENDICE: descrizione modelli numerici

7.1 Calcolo dei “fetch efficaci” e della relazione tra direzione del vento e quella del moto ondoso – modello ENIF

Per il calcolo dei fetch efficaci si fa riferimento ad una relazione, derivata dalla teoria di ricostruzione indiretta del moto ondoso nota come metodo S.M.B. (Sverdrup, Munk e Bretshneider, 1947) e successivi aggiornamenti (Saville 1954, Seymour 1977, S.P.M. 1984, Smith 1991), di seguito riportata nella sua forma più generale:

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

dove:

- ϕ_w direzione media (riferita al nord geografico) di possibile provenienza del vento responsabile del fenomeno di generazione del moto ondoso lungo la traversia;
- $\phi_i \leq \phi_w \pm \theta$ direzione i-esima (riferita al nord geografico) relativa ad un settore di $2\cdot\theta$ considerato nell'intorno della direzione ϕ_w . Il metodo classico di Saville prevede un valore di $\theta=45^\circ$ mentre la metodologia sviluppata da Seymour fa riferimento ad un valore di $\theta=90^\circ$.
- $F_{e,w}$ lunghezza del fetch efficace relativa alla direzione ϕ_w
- F_i lunghezza del fetch geografico relativa alla direzione i-esima ϕ_i (si fa riferimento alla lunghezza calcolata su base cartografica) eventualmente assunta come valore medio relativo ad un settore di 15° nell'intorno della direzione i-esima ϕ_i (metodo proposto dal C.E.R.C. nel software package A.C.E.S.)
- 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 $n=2$).

Per il calcolo della relazione esistente tra la direzione del vento e quella del moto ondoso generato, si fa riferimento al criterio introdotto da Donelan. Nell'ipotesi che:

- la direzione media del moto ondoso corrisponde alla direzione della componente spettrale associata al periodo di picco;

-
- il moto ondoso generato dal vento è ben definito e rappresentabile tramite le relazioni introdotte dalla campagna oceanografica JONSWAP (JOint North Sea WAve Project, Hasselmann 1976).

Si può affermare che la direzione media β del moto ondoso relativa alla direzione media di provenienza del vento ϕ_w è individuata come il valore che rende massima la funzione:

$$f(\phi_w) = F_{e, \phi_w}^{0.28} \cdot (\cos \phi_w)^{0.44} \text{ quindi per } f'(\beta) = 0 \text{ e } f''(\beta) < 0.$$

Il programma ENIF sviluppato dalla Modimar effettua il calcolo dei fetch efficaci e della correlazione del vento e quella del moto ondoso generato.

7.1 Ricostruzione indiretta degli stati di moto ondoso a partire dai dati delle registrazioni anemometriche – modello SAGITTA

In numerose applicazioni di ingegneria marittima è importante poter disporre di serie storiche di moto ondoso registrate al largo del paraggio in esame. Tuttavia gli ondometri sono localizzati necessariamente in un limitato numero di punti ubicati al largo e ciascuno è rappresentativo, rispetto alle aree di generazione delle onde, di una limitata porzione di litorale. Talvolta, per utilizzare in zone decentrate rispetto all'ondometro le serie storiche registrate, sorge la necessità di trasporre le registrazioni dal punto di misura sino ad un punto localizzato al largo del paraggio di interesse. A tal scopo è stato elaborato un metodo che consente la definizione al largo di un sito costiero, di una serie di dati ondometrici “virtuali” (definiti cioè per via indiretta) partendo da una serie di dati ondometrici “reali” (realmente misurati al largo di un sito costiero) ed opportunamente corretta in funzione delle distinte caratteristiche di esposizione geografica. Per il corretto impiego del metodo deve essere preliminarmente verificato che i due siti di riferimento sono caratterizzati comunque dalla stessa esposizione climatica.

I due siti di interesse sono così contraddistinti: uno è relativo al punto ove è ubicata la stazione di misura ondometrica (di seguito denominato “ondometro reale”), l'altro è relativo al punto ove si vuole trasferire la serie di dati (di seguito denominato “ondometro virtuale”). La metodologia prevede:

- la preliminare analisi di “congruenza climatica” tra i due punti di calcolo;

- la caratterizzazione d'insieme della traversia (conformazione e profondità media dell'area di generazione) ed il calcolo di dettaglio dei fetch efficaci e della correlazione esistente tra la direzione del vento e quella dello stato di mare generato.

7.1.1 Teoria di riferimento

L'ipotesi di base della metodologia consiste nel supporre che le stesse condizioni di vento (velocità e direzione), che hanno determinato le condizioni di moto ondoso registrate dall'ondametro, abbiano interessato anche l'area di generazione situata al largo del sito di interesse. Inoltre si suppone che le aree di generazione del moto ondoso possano essere determinate per ciascun punto utilizzando il concetto di "fetch efficace" (Saville 1954, Seymour 1977, S.P.M. 1984, Smith 1991). Il metodo di trasposizione consiste nel determinare la corrispondenza tra le direzioni, le altezze ed i periodi del moto ondoso relative al punto di misura e a quello di interesse.

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):

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

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

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 (ondametro reale) e al punto di trasposizione (ondametro virtuale), 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:

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

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

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 caratterizzate dalla stessa velocità del vento.

Il metodo si completa utilizzando la legge che stabilisce il legame tra la direzione media del vento e la direzione media del moto ondoso da esso generato. A tal riguardo si fa riferimento al criterio introdotto da Donelan; per una descrizione più dettagliata dei criteri di calcolo del fetch efficace e della correlazione esistente tra vento e mare si rimanda al programma ENIF.

7.2 Modello hindcasting tipo S.M.B. per la ricostruzione di stati di mare in funzione di serie storiche di registrazioni anemometriche – modello ALTAIR

7.2.1 Premesse

Per l'analisi di dettaglio delle caratteristiche meteomarine che contraddistinguono un sito costiero, in mancanza di misure dirette di moto ondoso (sistematiche e sufficientemente continuative nel tempo) è possibile ricorrere a modelli numerici di ricostruzione indiretta (hindcasting) del moto ondoso riferite ad idonee serie di rilevazioni anemometriche.

A tal riguardo esistono diverse tipologie di modelli numerici, alcuni anche notevolmente accurati i quali tuttavia presentano notevoli oneri di calcolo e richiedono una dettagliata definizione delle condizioni al contorno. Quelli più diffusi nel campo dell'ingegneria marittima sono classificati come modelli empirico-parametrici basati su relazioni sperimentali tra stati di vento e caratteristiche del moto ondoso da questi generato. Il più noto e collaudato è il metodo noto come SMB (dalle iniziali degli autori Sverdrup-Munk-Bretschneider) basato su un bilancio di tipo energetico, esplicitato con formulazioni che richiedono la preliminare conoscenza della velocità del vento in superficie (opportunamente corretta) nonché la durata e l'estensione della perturbazione.

La metodologia da seguire prevede la preliminare caratterizzazione d'insieme della traversia (conformazione e profondità media dell'area di generazione) ed il calcolo di dettaglio dei fetch efficaci nonché la correlazione esistente tra la direzione del vento e quella dello stato di mare generato. Contemporaneamente è necessario individuare una serie di registrazioni anemometriche rappresentativa dell'area di generazione del moto ondoso e definire i termini correttivi cui fare riferimento nel successivo trasferimento delle velocità del vento al modello di ricostruzione.

7.2.2 Teoria di riferimento

Per il calcolo degli stati di mare generati dall'azione diretta del vento sulla superficie marina si fa riferimento alle relazioni, derivate dalla teoria di ricostruzione indiretta del moto ondoso nota come metodo S.M.B. (Sverdrup, Munk e Bretsheneider, 1947) e successivi aggiornamenti (Saville 1954, Seymour 1977, S.P.M. 1984, Smith 1991). E' necessario definire preliminarmente l'estensione e la conformazione dell'area di generazione nonché la profondità dei fondali di detta porzione di mare. Per quanto riguarda l'estensione e la conformazione si deve fare riferimento alla seguente classificazione:

- Restricted Fetches per traversie geografiche delimitate dalla presenza della costa o comunque contraddistinte da distanze inferiori a quelle proprie dell'estensione delle perturbazioni atmosferiche ⁽⁸⁾ responsabili del processo di generazione del moto ondoso;
- Open-Water Fetches per traversie geografiche non limitate da emergenze orografiche e comunque con estensioni superiori a quelle delle perturbazioni atmosferiche.

Per quanto riguarda la profondità dei fondali si deve fare la seguente distinzione:

- Shallow-Water per generazione del moto ondoso in acque basse ove cioè i fenomeni dissipativi per attrito e/o percolazione sul fondale non sono trascurabili (Bretchneider e Reid, 1954);
- Deep-Water per generazione del moto ondoso in aree contraddistinte da profondità superiori a 90 m (300 ft, SPM 1984).

Le equazioni impiegate, nella forma più generale, sono le seguenti:

⁸ Per il Mediterraneo si è soliti considerare comunque un limite superiore dell'estensione delle perturbazioni atmosferiche pari a 600 km

$$t_{fetch, \min} = D \cdot \frac{F^{1-C}}{g^C \cdot U_a^{(1-2C)}} \quad (1)$$

$$H_{m0} = \frac{U_a^2}{g} \cdot 0.283 \cdot \tanh \left[0.530 \left(\frac{gd}{U_a^2} \right)^{0.75} \right] \cdot \tanh \left\{ \frac{\frac{A}{0.283} \left(\frac{gF}{U_a^2} \right)^{1/2}}{\tanh \left[0.530 \left(\frac{gd}{U_a^2} \right)^{0.75} \right]} \right\} \quad (2)$$

$$T_p = \frac{U_a}{g} \cdot 7.540 \cdot \tanh \left[0.833 \left(\frac{gd}{U_a^2} \right)^{0.375} \right] \cdot \tanh \left\{ \frac{\frac{B}{7.54} \left(\frac{gF}{U_a^2} \right)^C}{\tanh \left[0.833 \left(\frac{gd}{U_a^2} \right)^{0.375} \right]} \right\} \quad (3)$$

ove

- d profondità (m) del fondale (assunto costante) relativo all'area di generazione;
- U_a velocità (m/s) del vento "regolarizzata" (adjusted) in funzione delle caratteristiche della stazione di registrazione (quota e posizione geografica) e di un termine (coefficient drag) dovuto alla non linearità del legame esistente tra la velocità del vento e l'azione tangenziale di questo sulla superficie marina
- F estensione della superficie marina lungo la quale si esplica l'azione del vento (fetch)
- g accelerazione di gravità pari a 9.81 m/s^2
- A costante pari a 0.0016 in condizioni di Open-Water e 0.0015 per Restricted Fetch
- B costante pari a 0.2857 in condizioni di Open-Water e 0.3704 per Restricted Fetch
- C costante pari a 0.3333 in condizioni di Open-Water e 0.28 per Restricted Fetch
- D costante pari a 68.80 in condizioni di Open-Water e 51.09 per Restricted Fetch

Per la definizione del termine U_a si fa riferimento alla relazione (SPM, 1984):

$$U_a = 0.71 \cdot U_{10}^{1.23} \quad (4)$$

ove U_{10} esprime la velocità del vento relativa alla quota standard di misura pari a 10 m s.l.m.m.

Il valore della velocità del vento misurato dallo strumento posto alla generica quota z U_z deve essere quindi preliminarmente riferito alla quota standard di riferimento pari a 10 m s.l.m.m.; a tal riguardo si definisce un coefficiente correttivo tramite la relazione:

$$\frac{U_{10}}{U_z} = \frac{1}{\left[1 + 0.1 \ln\left(\frac{z}{10}\right)\right]} \quad (5)$$

Il termine F rappresenta il fetch efficace che viene calcolato preliminarmente, in funzione della conformazione geografica dell'area di generazione, tramite relazioni come quelle classiche di Saville o Seymour:

$$F_{e,w} = \frac{\sum_{\phi_i=\phi_w-\theta}^{\phi_w+\theta} F_i \cos^{n+1}(\phi_i - \phi_w)}{\sum_{\phi_i=\phi_w-\theta}^{\phi_w+\theta} \cos^n(\phi_i - \phi_w)} \quad (6)$$

ove:

- ϕ_w direzione media (riferita al nord geografico) di provenienza del vento responsabile del fenomeno di generazione del moto ondoso lungo la traversia
- $\phi_i \leq \phi_w \pm \theta$ direzione i-esima (riferita al nord geografico) relativa ad un settore di $2 \cdot \theta$ considerato nell'intorno della direzione ϕ_w . Il metodo classico di Saville prevede un valore di $\theta=45^\circ$ mentre la metodologia sviluppata da Seymour fa riferimento ad un valore di $\theta=90^\circ$.
- $F_{e,w}$ lunghezza del fetch efficace relativa alla direzione ϕ_w
- F_i lunghezza del fetch geografico relativa alla direzione i-esima ϕ_i (si fa riferimento alla lunghezza calcolata su base cartografica) eventualmente asunta come valore medio relativo ad un settore di 15° nell'intorno della direzione i-esima ϕ_i (metodo proposto dal C.E.R.C. nel software package A.C.E.S.)
- 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 $n=2$).