

	PORTO DI MARINA DI CARRARA	
	LAVORI DI ADEGUAMENTO TECNICO-FUNZIONALE DEL MOLO DI LEVANTE	
	STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE	

C4 FATTORI CLIMATICI

C4.1 ANDAMENTO STAGIONALE DELLE TEMPERATURE E DELLE PIOGGE

Il settore toscano in esame, aperto al Tirreno e protetto dalla catena delle Apuane, ha un clima tipicamente marittimo-mediterraneo, con inverni relativamente miti ed estati calde; le precipitazioni sono prevalentemente autunnali e primaverili.

L'andamento delle precipitazioni e delle temperature misurate alla Stazione di Massa (Lat: 44.03 Lon: 10.12 Quota: 65 s.l.m) da parte del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale - Ufficio Compartimentale di Pisa, sono state riassunte al fine di visualizzare le principali caratteristiche meteorologiche e gli eventi critici verificatisi nell'area di studio.

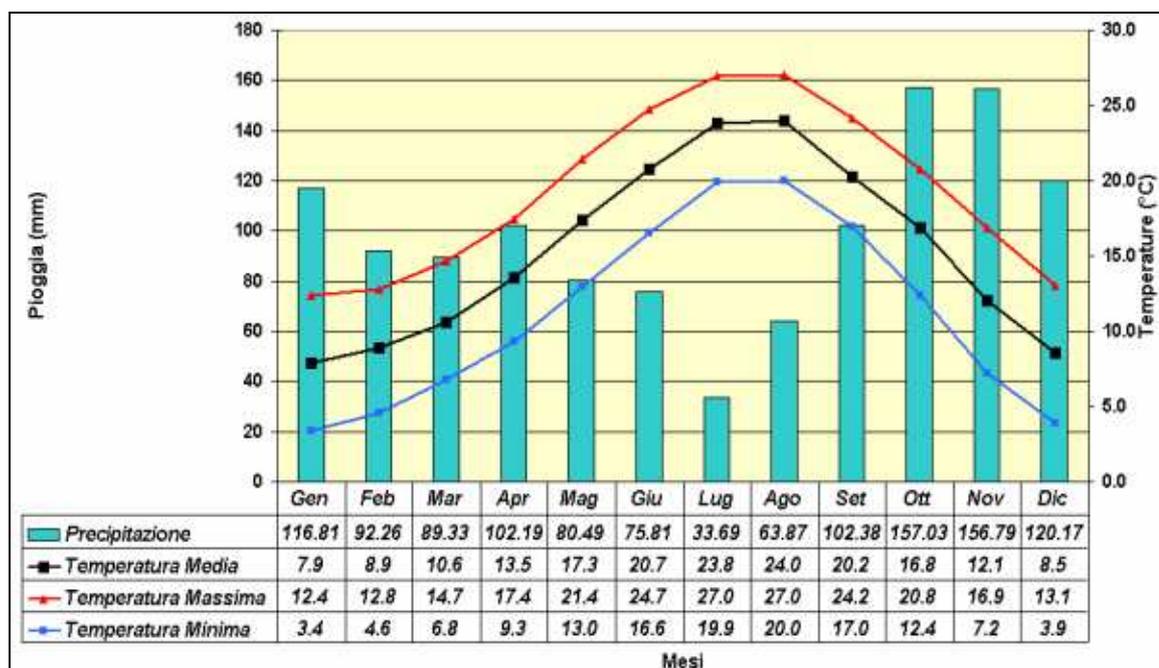


Figura C17 – Diagramma termo-pluviometrico relativo alla stazione meteorologica di Massa (dati 1960-1999)

	PORTO DI MARINA DI CARRARA	
	LAVORI DI ADEGUAMENTO TECNICO-FUNZIONALE DEL MOLO DI LEVANTE	
	STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE	

Periodo	Media (mm)	Massimo (mm)	Anno	Minimo (mm)	Anno
Anno	1198.5	1729.3	1979	887.8	1991
Primavera	279.2	458.4	1975	105.6	1973
Estate	166.4	451.6	1992	42	1993
Autunno	402.2	713.6	1960	131.2	1983
Inverno	348.5	742.2	1979	91.2	1993

Tabella C20 – Dati statistici relativi alle precipitazioni

Parametro	Numero di giorni di gelo	Numero di giorni senza disgelo	Numero G_34
Media	-	-	-
Massimo	34 giorni (1963 -1991)	-	27 giorni (1981)

* Giorni di gelo: temperatura minima sotto gli 0 °C

** Giorni senza disgelo: temperatura massima sotto gli 0 °C

*** G_34 : giorni con temperatura massima uguale o superiore a 34 °C

Tabella C21 – Indici climatici

Temperatura Minima Assoluta	Temperatura Massima Assoluta	Pioggia Massima giornaliera
- 6.9 °C (7 Gennaio 1985)	38.3 °C (5 Agosto 1981)	150.2 mm (20 Settembre 1967)

Serie di dati : 1951-1996.

Tabella C22 – Estremi

C4.2 VELOCITÀ E DIREZIONE DEI VENTI DOMINANTI

Gli indici di ventosità, espressi dalla frequenza delle calme di vento, delle classi di velocità e dei settori di provenienza su base annuale e stagionale, consentono di caratterizzare i fenomeni di trasporto degli inquinanti e, congiuntamente all'indice di stabilità atmosferica, il potenziale di rigenerazione della qualità dell'aria.

Gli indici di ventosità utilizzati sono tre:

frequenza delle calme di vento: n° di eventi anemometrici con calma di vento/n° di osservazioni

	PORTO DI MARINA DI CARRARA	
	LAVORI DI ADEGUAMENTO TECNICO-FUNZIONALE DEL MOLO DI LEVANTE	
	STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE	

frequenza direzioni di provenienza del vento: n° di eventi anemometrici con direzione compresa entro un settore di provenienza/n° delle osservazioni

frequenza delle classi di velocità del vento: n° di eventi anemometrici con velocità del vento compresa in una classe di velocità/n° delle osservazioni.

Nelle elaborazioni statistiche, la direzione del vento viene suddivisa in 16 settori di ampiezza pari a 22° 30', a partire dal Nord geografico, mentre la velocità del vento è ripartita in 6 classi:

- | | |
|----------------------------|----------------|
| 1) $v < 0.5$ m/s | calma di vento |
| 2) $0.5 \leq v < 2.0$ m/s | bava di vento |
| 3) $2.0 \leq v < 4.0$ m/s | brezza leggera |
| 4) $4.0 \leq v < 6.0$ m/s | brezza tesa |
| 5) $6.0 \leq v < 12.0$ m/s | vento teso |
| 6) $v \geq 12.0$ m/s | vento forte |

Di seguito si riportano le elaborazioni grafiche dei dati di vento registrati nell'anno 2006 dall'anemometro installato dall'Autorità Portuale di Marina di Carrara, nell'ambito del Sistema di Monitoraggio Meteorologico del Porto di Marina di Carrara, in prossimità del muro paraonde nella zona di testata del Molo d Levante, relative a velocità (Figura C18 e Figura C19) e direzione (Figura C20).

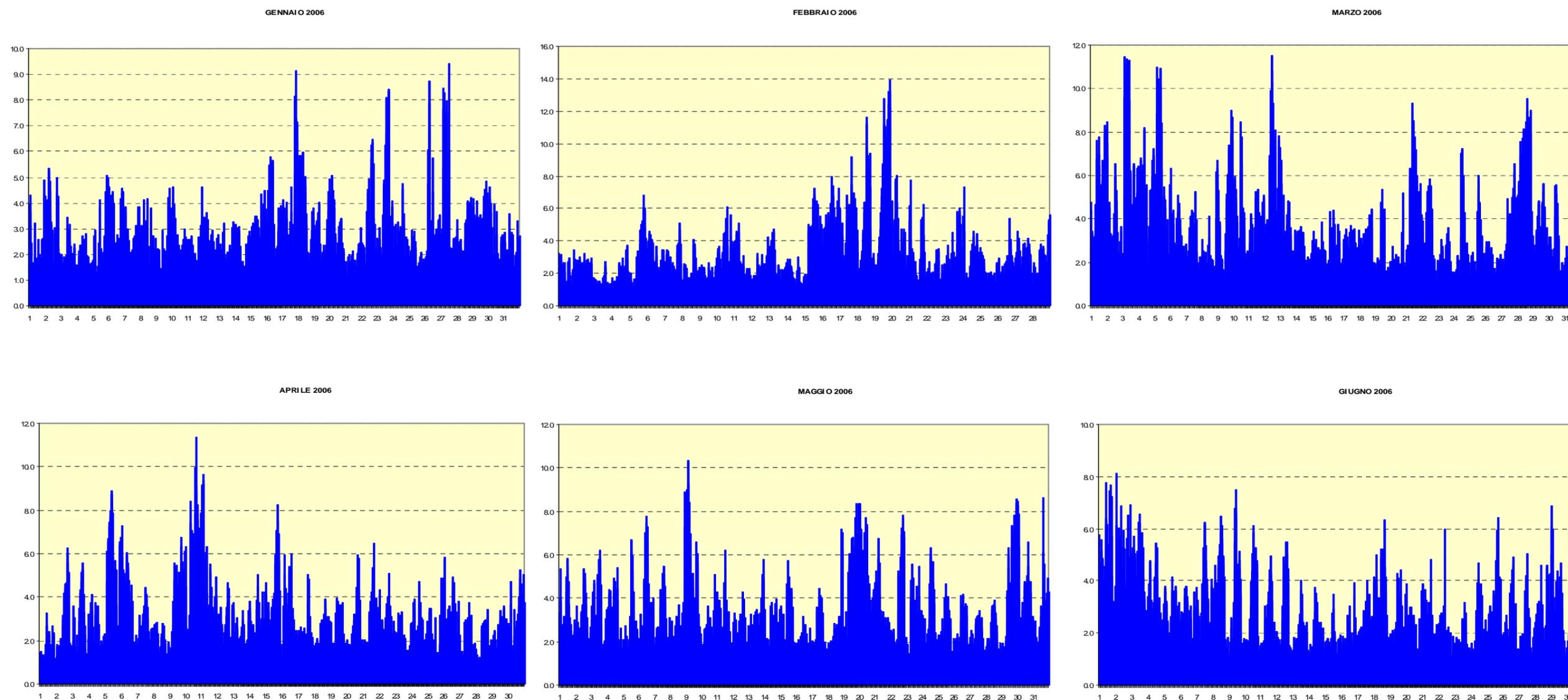


Figura C18 – Velocità del vento rilevate dall’anemometro installato presso il Molo di Levante. (Gennaio – Giugno 2006)

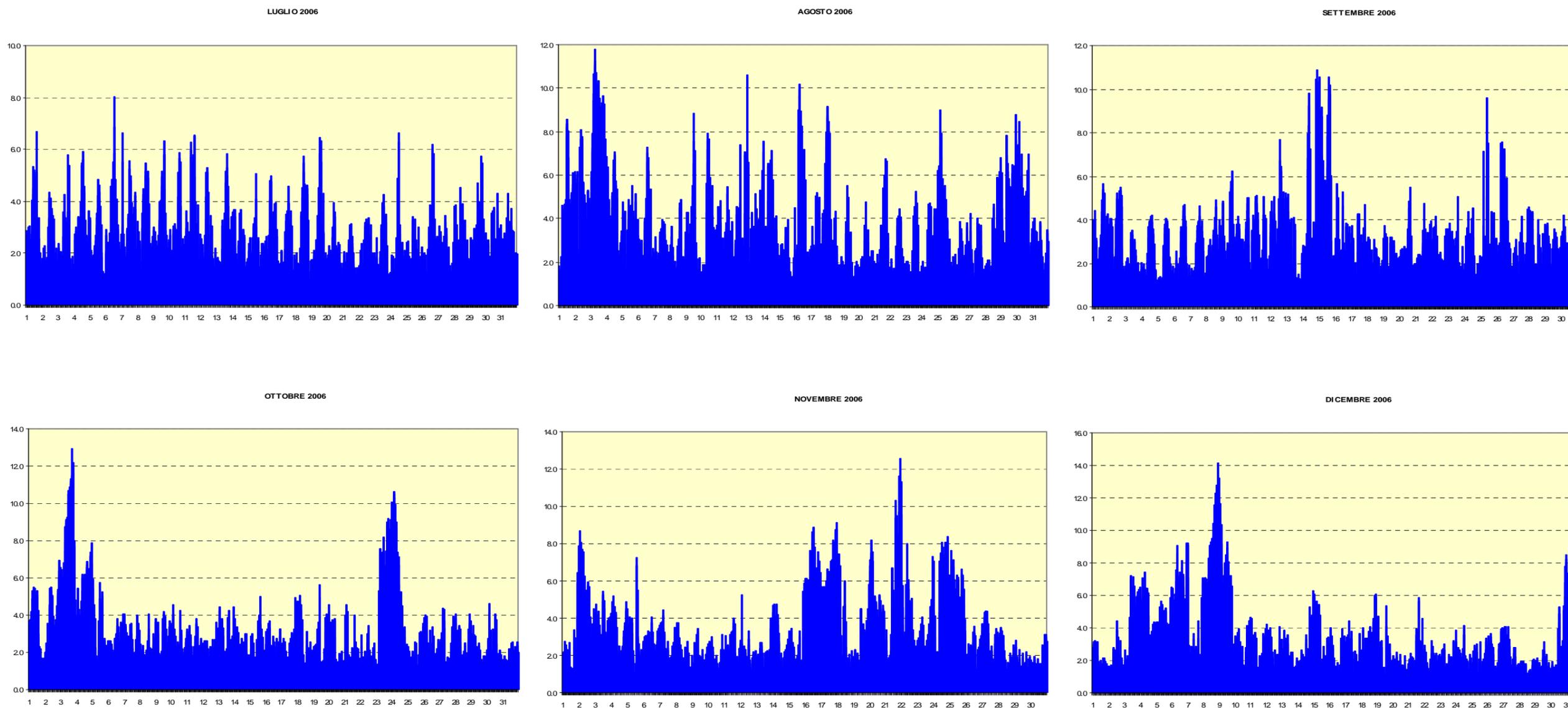


Figura C19 – Velocità del vento rilevate dall’anemometro installato presso il Molo di Levante. (Luglio – Dicembre 2006)

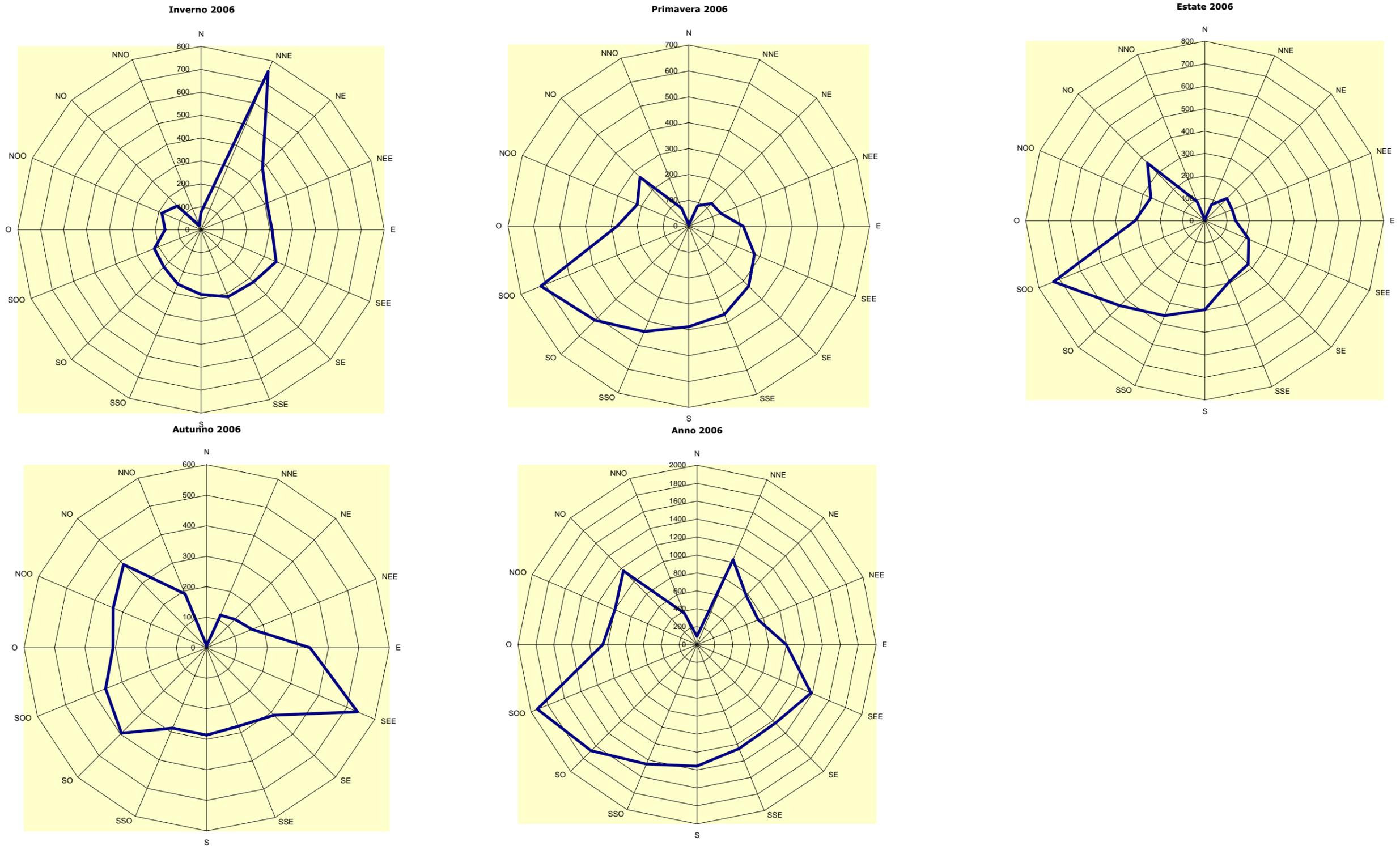


Figura C20 – Direzione del vento rilevata dall’anemometro installato presso il Molo di Levante. - (Andamento stagionale ed intero anno 2006)

	PORTO DI MARINA DI CARRARA	
	LAVORI DI ADEGUAMENTO TECNICO-FUNZIONALE DEL MOLO DI LEVANTE	
	STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE	

C4.3 CARATTERIZZAZIONE METEOMARINA DEL SITO DI PROGETTO

Le caratteristiche meteomarine del sito di progetto risultano ampiamente studiate nel corso degli ultimi anni e, grazie alla molteplicità della documentazione disponibile, ad oggi è possibile definirne un quadro sinottico ad alta risoluzione.

C4.3.1 Esposizione del paraggio

Come già anticipato, il porto di Marina di Carrara ricade nell'unità fisiografica che si estende per circa 60 km dal promontorio di Punta Bianca (estrema propaggine dell'appennino ligure) a nord-ovest sino alle secche della Meloria (a ridosso delle quali è ubicato il porto di Livorno) a sud.

Il sito risulta esposto principalmente a sud-ovest poichè la traversia geografica è confinata a sud dalle isole dell'arcipelago toscano. Più in dettaglio, la traversia geografica si affaccia (Figura C21) sul mar Ligure centro-meridionale, traguardando il mediterraneo occidentale, attraverso un settore di circa 40° limitato tra la costa meridionale della Francia (Isole di Hyeres a 250 °N) e quella settentrionale della Corsica (punta Revellata a 211 °N). Verso sud la traversia geografica raggiunge le coste orientali della Sardegna attraverso un limitato settore di 3°.

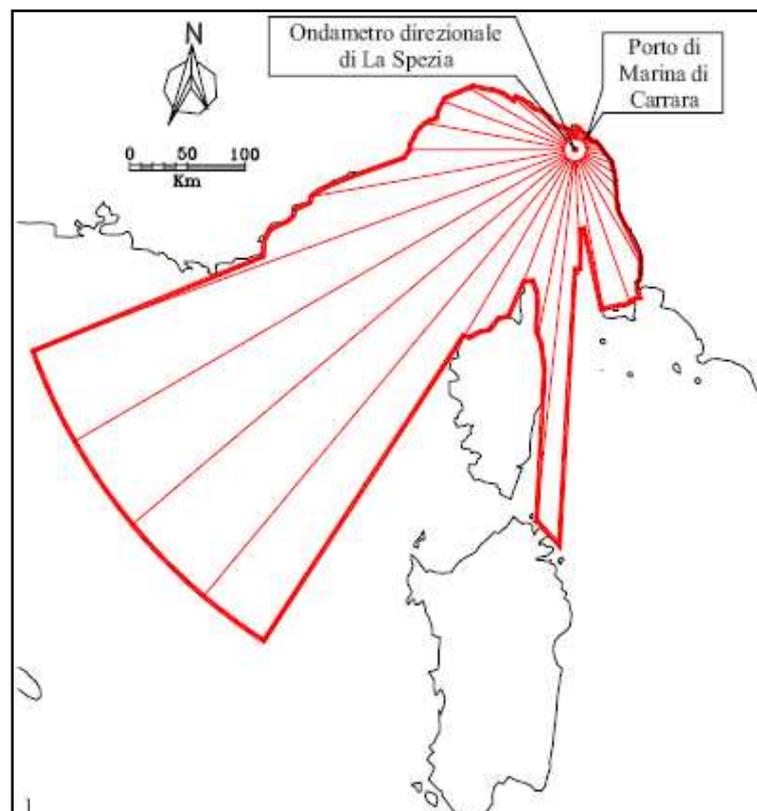


Figura C21 – Fetch geografici al largo del porto di Marina di Carrara

	PORTO DI MARINA DI CARRARA	
	LAVORI DI ADEGUAMENTO TECNICO-FUNZIONALE DEL MOLO DI LEVANTE	
	STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE	

Rispetto al suddetto fetch geografico, il fetch efficace (porzione di mare che costituisce, sotto l'azione diretta dei venti, l'area di generazione delle onde e che quindi partecipa "efficacemente" alla formazione dell'evento di moto ondoso) meglio rappresenta l'esposizione del sito agli stati di mare in quanto l'area di generazione delle onde non può essere semplicemente assimilata alla distanza sopravvento della costa più vicina (in tal modo, infatti, verrebbe trascurata la dimensione trasversale di detta area).

I risultati delle elaborazioni condotte in passato mostrano che l'area di generazione del moto ondoso che può interessare il sito di Carrara ha un andamento abbastanza regolare e presenta un'estensione massima di circa 240 km secondo la direzione di 230°N (libeccio).

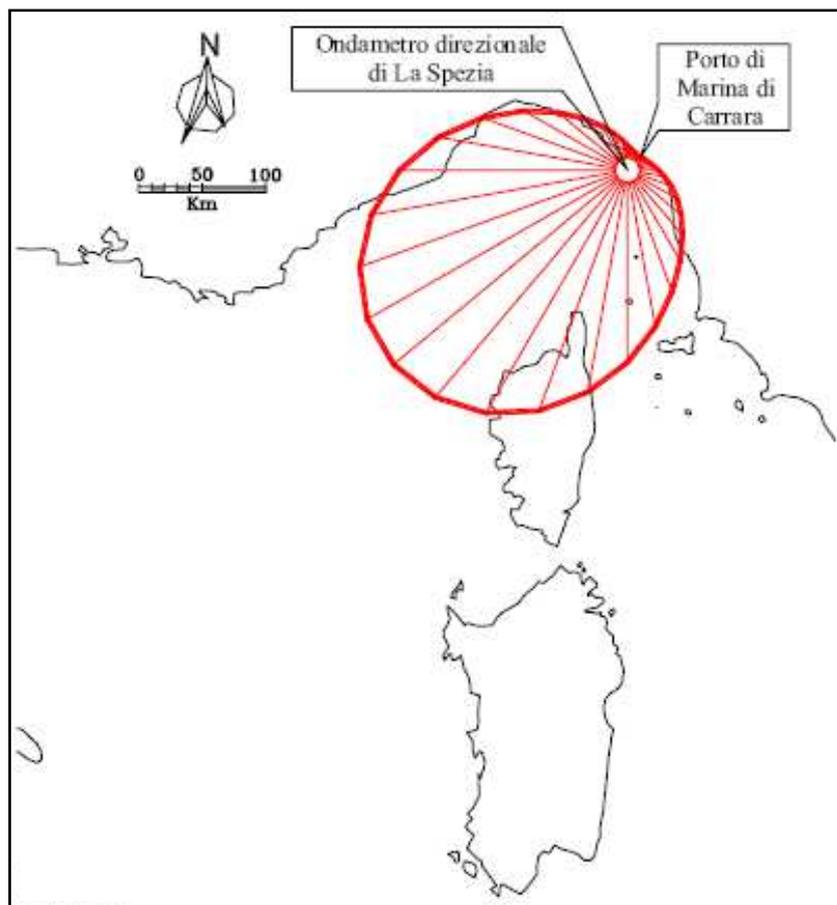


Figura C22 – Fetch efficaci al largo del porto di Marina di Carrara

	PORTO DI MARINA DI CARRARA	
	LAVORI DI ADEGUAMENTO TECNICO-FUNZIONALE DEL MOLO DI LEVANTE	
	STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE	

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	11.46	19.63	-46.0	180	102.27	152.90	21.0
10	18.76	16.40	-46.0	190	168.52	179.47	17.0
20	16.87	14.60	-43.0	200	120.37	203.73	13.0
30	16.60	13.95	-41.0	210	185.09	223.24	9.0
40	15.61	14.13	17.0	220	500.00	236.04	5.0
50	15.32	14.87	30.0	230	500.00	240.85	0.0
60	16.49	16.08	35.0	240	500.00	237.09	-4.0
70	19.52	17.87	38.0	250	500.00	224.94	-8.0
80	21.63	20.59	37.0	260	231.23	205.32	-13.0
90	23.97	24.50	36.0	270	143.11	180.00	-17.0
100	28.19	29.74	36.0	280	131.54	151.42	-21.0
110	34.25	36.72	37.0	290	121.36	121.98	-25.0
120	39.40	45.30	38.0	300	106.30	94.54	-29.0
130	45.70	55.34	37.0	310	68.20	71.52	-33.0
140	56.50	67.65	35.0	320	35.40	53.65	-37.0
150	113.64	83.30	32.0	330	22.40	40.55	-41.0
160	139.18	102.96	29.0	340	19.01	31.25	-44.0
170	138.64	126.62	25.0	350	16.85	24.50	-45.0

Tabella C23 – Settori di traversia al largo del porto di Marina di Carrara

C4.3.2 Il regime anemometrico

L'analisi del regime anemometrico del paraggio si basa sui dati relativi alla vicina stazione ubicata sull'isola di Palmaria, prospiciente la costa di interesse e, come tale, pienamente significativa per la caratterizzazione del paraggio costiero di Marina di Carrara.

La stazione in esame è stata gestita inizialmente dalla Marina Militare (i dati, consistenti in osservazioni visive, sono stati archiviati dall'Istituto Idrografico della Marina Militare e pubblicati in "Il vento e lo stato del Mare", 1978) che dal 1930 effettuava 3 osservazioni giornaliere degli stati di vento e di mare; dal 1963 la stazione è stata rilevata dall'Aeronautica Militare (I.T.A.V.- C.N.M.C.A Ispettorato Trasmissioni e Assistenza al Volo – Centro Nazionale di Meteorologia e Climatologia Aeronautica) che ha predisposto idonea strumentazione per il rilievo automatico delle condizioni meteo (vento, pressione, temperatura) con cadenza trioraria.

L'elaborazione dei dati forniti dalla Marina Militare è sintetizzata sotto forma di grafici polari con risoluzione di 45° e intervalli di intensità misurati seguendo la scala Beaufort: la lunghezza di ogni raggio è proporzionale alla frequenza delle osservazioni di vento proveniente da quella direzione e lo spessore dei segmenti sul raggio è proporzionale alla sua intensità.

	PORTO DI MARINA DI CARRARA	
	LAVORI DI ADEGUAMENTO TECNICO-FUNZIONALE DEL MOLO DI LEVANTE	
	STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE	

Nell'arco dell'anno i venti più frequenti e più intensi sono risultati quelli provenienti dai settori di Nord-Est ("greco") e di Ovest-Sud Ovest ("libeccio").

In particolare si può affermare che nei mesi autunnali e invernali sono predominanti i venti da Nord-Est ed Est mentre in primavera ed estate quelli di Ovest e Sud-Ovest.

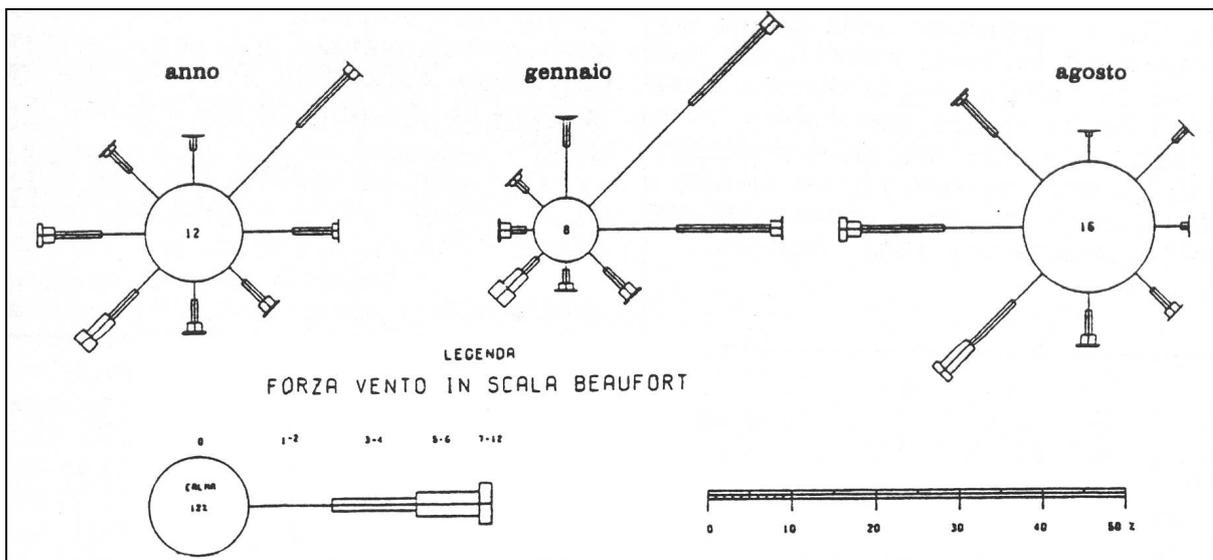


Figura C23 – Distribuzione dei venti relativi alla stazione dell'isola Palmaria

I dati dell'Aeronautica Militare evidenziano, in accordo con quelli della Marina Militare, una maggior frequenza (anzi, una netta prevalenza), anche per gli stati di vento più intensi, del vento da Nord-Est.

Complessivamente, oltre il 40% degli stati di vento proviene da un settore compreso tra 0° e 67.5° Nord; anche per intensità superiori a 12 m/s (oltre i 25 nodi) si ha un contributo percentuale dal quel settore pari al 20%.

Questa prevalenza è molto elevata nei periodi invernali ed autunnali, mentre tende ad equilibrarsi nel periodo estivo.

Limitando l'analisi al settore di traversia (compreso tra scirocco 135° N e maestrale 315° N) è evidente la prevalenza degli stati di vento da libeccio e ponente in termini sia di venti regnanti (associati a maggiori frequenze di accadimento) sia dominanti (più intensi con classi di velocità superiori a 12 m/s).

	PORTO DI MARINA DI CARRARA	
	LAVORI DI ADEGUAMENTO TECNICO-FUNZIONALE DEL MOLO DI LEVANTE	
	STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE	

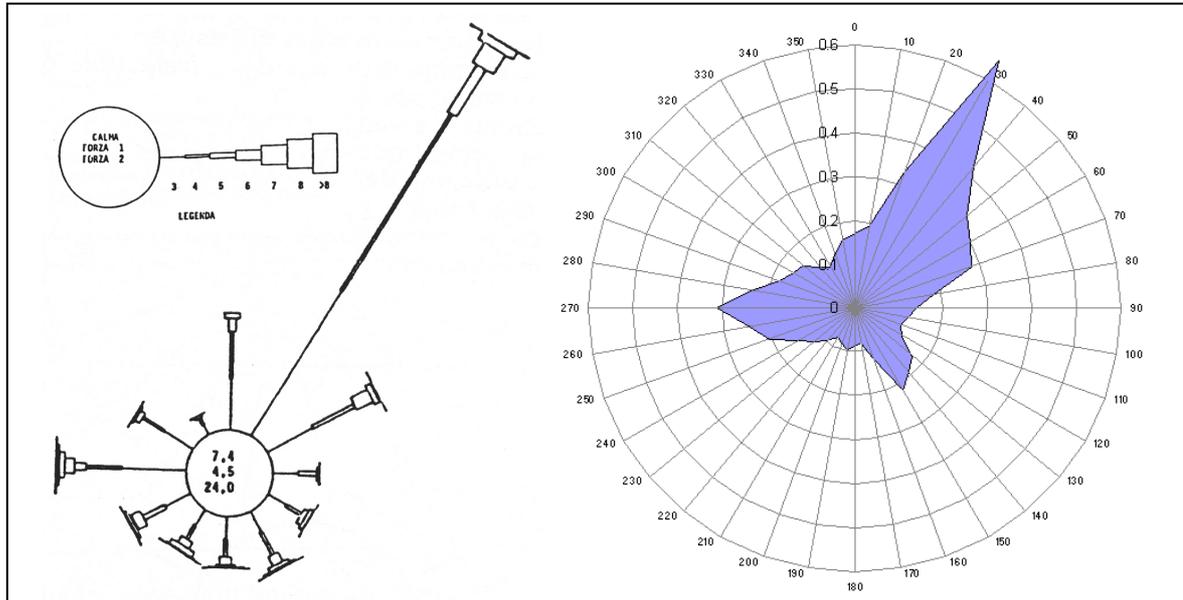


Figura C24 – Stazione isola Palmaria: diagramma della distribuzione direzionale del vento e rappresentazione polare della prevalenza (FxV) del vento

C4.3.3 Il moto ondoso

Le caratteristiche principali del moto ondoso del litorale in esame risultano oggi, grazie all'elevato numero di studi disponibili, definite con un livello di approfondimento assai elevato; i dati che, senza dubbio, possono ritenersi più accurati per la determinazione del clima meteomarinò del sito di progetto sono quelli registrati da:

- Istituto Reale Meteorologico Olandese (K.N.M.I. – Koninklijk Meteorologisch Institut);
- Rete Ondametrica Nazionale, ondometro di La Spezia.

C4.3.3.1 Dati K.N.M.I.

I dati KNMI, raccolti dall'Istituto Reale Meteorologico dei Paesi Bassi (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Institut), costituiscono osservazioni distribuite su ampi tratti di mare eseguite da navi in transito, nel caso in esame, nell'Alto Tirreno. L'acquisizione dei dati è basata in gran parte su stime e non su misurazioni per cui la sperimentazione risulta più facile quando la visibilità è buona e la nave è di dimensioni piuttosto grandi in modo da costituire una piattaforma stabile.

I dati K.N.M.I. analizzati sono stati raccolti nella zona delimitata a Sud e a Nord dai paralleli 42.8° - 45° N e ad Ovest ed Est dai meridiani 8° - 11° E (Figura C25) e si riferiscono al periodo

	PORTO DI MARINA DI CARRARA	
	LAVORI DI ADEGUAMENTO TECNICO-FUNZIONALE DEL MOLO DI LEVANTE	
	STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE	

1961-1990. Nel periodo in esame sono state eseguite complessivamente 30148 osservazioni utili (Tabella C24), con una media di 2.80 osservazioni giornaliere, più frequenti nel periodo estivo (3.70), meno in quello autunnale (2.42) e con una netta prevalenza di dati relativi alle zone interessate dalle rotte di avvicinamento ai porti commerciali di Livorno e Marina di Carrara.

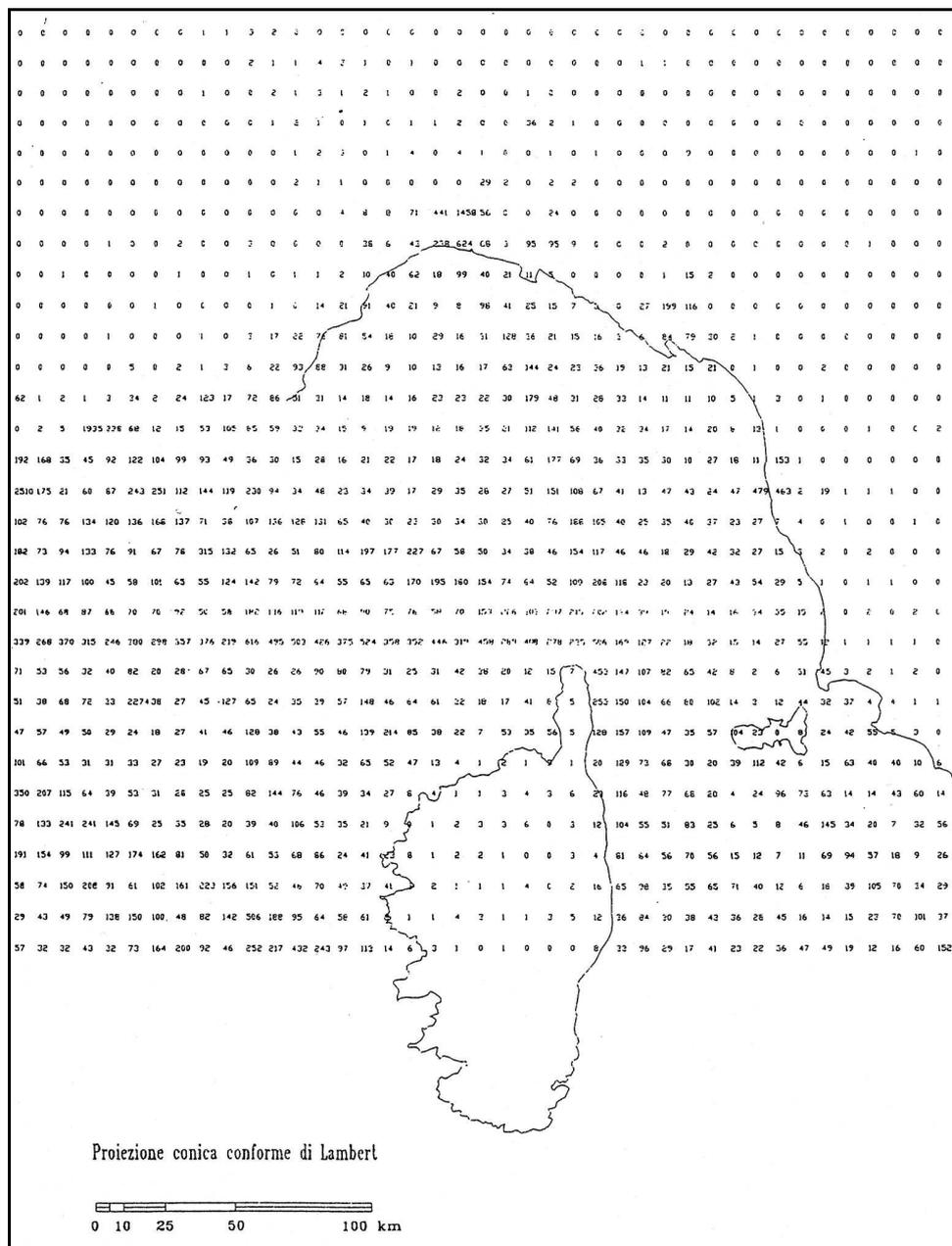


Figura C25 – Distribuzione areale delle osservazioni KNMI.

	PORTO DI MARINA DI CARRARA	
	LAVORI DI ADEGUAMENTO TECNICO-FUNZIONALE DEL MOLO DI LEVANTE	
	STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE	

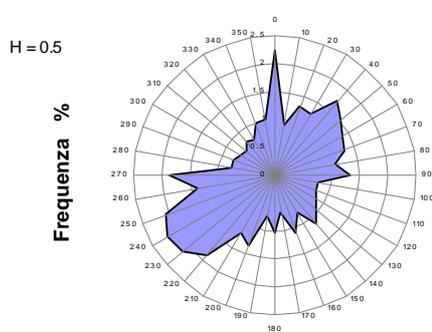
Caratteristiche dei dati	Primavera	Estate	Autunno	Inverno	Totali
Numero totale	7610	9975	6363	6692	30640
Valori confusi	121	160	125	86	492
Valori utili	7489	9815	6238	6606	30148
Stati di calme	3130	4350	2112	2333	11925
Stati di mare vivo (sea)	4309	5396	4090	4238	18033
Stati di mare morto (swell)	50	69	36	35	190
Significatività (ore/dato)	8.55	6.48	9.92	9.69	8.58
Media giornaliera (N/giorno)	2.81	3.68	2.36	2.49	2.80

Tabella C24 – Caratteristiche dei dati KNMI, relativi al periodo 1961-1990.

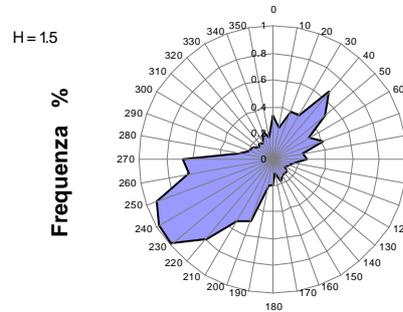
Ciascuna osservazione fornisce informazioni sul vento (velocità V espressa in nodi con risoluzione 1 nodo, direzione D in °N con risoluzione 10 °N) e sul mare (altezza d'onda H_v espressa in metri con risoluzione 0.5 m, periodo T in secondi con risoluzione 1 sec, direzione come per i venti): nonostante l'incertezza legata all'inevitabile imprecisione dell'acquisizione e la disomogeneità spaziale e temporale che li caratterizza, i dati presentano, tuttavia, il vantaggio di essere stati presi in mare aperto e di essere perciò privi degli effetti di distorsione indotti dalla costa e dal fondale (studi passati portano a ritenere le altezze d'onda stimate coincidenti con l'altezza d'onda significativa H_s). Una volta suddivise le onde in classi a seconda della loro altezza sono state individuate le direzioni o i settori di provenienza per ognuna di esse: dalle osservazioni effettuate dalle navi in transito si rileva una frequenza molto bassa di onde di altezza superiore a 4 metri; in tutti gli studi precedenti ciò è stato interpretato come un difetto di campionamento.

Le elaborazioni effettuate sul complesso dei parametri (HS,Dr) rappresentano la distribuzione direzionale media annua delle altezze d'onda: si evidenzia un'elevata frequenza sia dei mari con onde significative comprese tra 0,25 e 1,25 m (43÷55%) che di quelli con onde che vanno da 1,25 a 2,25 m (12,55%). Anche le percentuali relative agli eventi ondosi di maggiore intensità, con onda massima compresa tra 2,25 m e 3,75 m, non sono trascurabili (4%), mentre si riducono notevolmente per i mari con onde massime maggiori di 3,75 m (0,4%). Per quanto concerne la direzione di provenienza in tutto il settore di 360° a cui si riferiscono le osservazioni delle navi in transito si può notare una maggiore frequenza e una maggiore intensità di ondate provenienti dal settore 210° - 270° N (Ovest-Sud-Ovest), con una predominanza delle direzioni fra 230° e 250° N ("libeccio") per quel che riguarda le mareggiate più intense (Tabella C25).

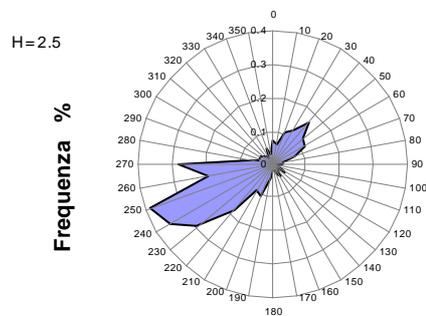
	PORTO DI MARINA DI CARRARA	
	LAVORI DI ADEGUAMENTO TECNICO-FUNZIONALE DEL MOLO DI LEVANTE	
	STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE	



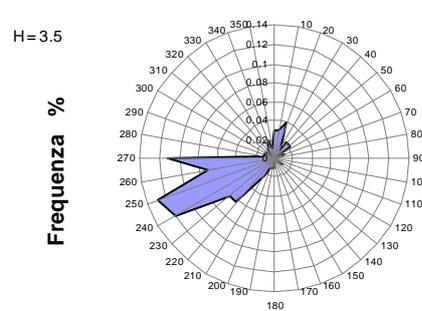
Frequenza delle onde con soglia 0.5 m



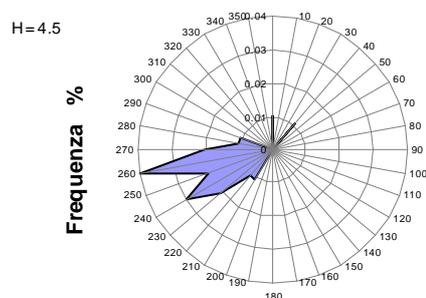
Frequenza delle onde con soglia 1.5 m



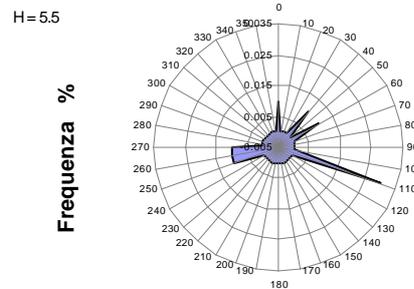
Frequenza delle onde con soglia 2.5 m



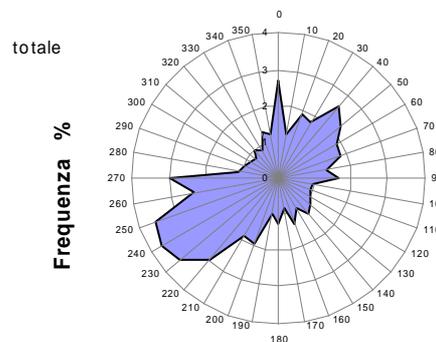
Frequenza delle onde con soglia 3.5 m



Frequenza delle onde con soglia 4.5 m



Frequenza delle onde con soglia 5.5 m



Frequenza complessiva delle onde. CALME = 39.66%

	PORTO DI MARINA DI CARRARA	
	LAVORI DI ADEGUAMENTO TECNICO-FUNZIONALE DEL MOLO DI LEVANTE	
	STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE	

Altezza delle onde	Direzione di provenienza
> 0 m	210°N - 270°N
> 1 ÷ 2 m	220°N - 250°N
> 3 ÷ 4 m	230°N - 250°N

Tabella C25- Direzione di provenienza delle onde. Elaborazione dati KNMI

Analizzando la direzione del vento, invece, si riscontra anche una certa importanza del settore compreso fra 30° e 70 ° N (Nord-Est).

C4.3.3.2 Ondametro di La Spezia

La boa ondometrica di La Spezia, attualmente ubicata in posizione geografica 43°55'7" N, 9°49'6" E (fra Marina di Carrara e La Spezia, a sud dell'Isola Palmaria), ad una profondità di circa 80 m, è operativa a partire dal 1989, fa parte della Rete Ondametrica Nazionale (RON) ed è gestita dall'APAT (Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici).

I dati vengono acquisiti in modo continuo, elaborati in tempo reale e forniscono accurate informazioni sulle caratteristiche d'onda e le direzioni di provenienza del moto ondoso (altezza d'onda significativa, periodo medio e periodo di picco, direzione media di provenienza).

La posizione della boa risulta lievemente variata dal 1989 ad oggi e le registrazioni inizialmente venivano condotte con un acquisitore Datawell, mentre dal 2002 risulta installata una boa Triaxys™ prodotta da Axys Technologies Inc.

L'analisi direzionale del moto ondoso al largo condotta a partire dalle 32.134 registrazioni relative al periodo 01.07.1989 - 30.06.2000, permette di individuare le direzioni preferenziali collegate ai fenomeni di mareggiata.

	PORTO DI MARINA DI CARRARA	
	LAVORI DI ADEGUAMENTO TECNICO-FUNZIONALE DEL MOLO DI LEVANTE	
	STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE	

		Altezza significativa (cm)									Totale
		0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	>8.50	
Direzione di propagazione	0 °	1.294	0.111	0	0	0	0	0	0	0	1.405
	10 °	1.606	0.171	0	0	0	0	0	0	0	1.7772
	20 °	1.828	0.134	0	0	0	0	0	0	0	1.9616
	30 °	1.056	0.05	0	0	0	0	0	0	0	1.1066
	40 °	0.506	0.003	0	0	0	0	0	0	0	0.5097
	50 °	0.359	0.017	0	0	0	0	0	0	0	0.3756
	60 °	0.308	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0.3186
	70 °	0.262	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0.2716
	80 °	0.205	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0.2146
	90 °	0.194	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1945
	100 °	0.265	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0.2850
	110 °	0.288	0.023	0	0	0	0	0	0	0	0.3119
	120 °	0.49	0.111	0	0	0	0	0	0	0	0.6002
	130 °	0.868	0.178	0.003	0	0	0	0	0	0	1.0496
	140 °	1.328	0.251	0.007	0	0	0	0	0	0	1.5861
	150 °	1.75	0.376	0.003	0	0	0	0	0	0	2.1293
	160 °	2.243	0.681	0.023	0	0	0	0	0	0	2.9475
	170 °	2.823	0.828	0.08	0.003	0	0	0	0	0	3.7355
	180 °	3.447	0.624	0.064	0.01	0	0	0	0	0	4.1446
	190 °	3.196	0.372	0.05	0.003	0	0	0	0	0	3.6215
	200 °	2.867	0.473	0.07	0.013	0	0	0	0	0	3.4236
	210 °	3.139	0.852	0.127	0.01	0	0	0	0	0	4.1278
	220 °	4.399	2.626	0.697	0.08	0	0	0	0	0	7.8030
	230 °	8.125	5.006	2.116	0.657	0.101	0.017	0.003	0	0	16.025
	240 °	9.305	3.45	1.15	0.523	0.184	0.037	0.007	0	0	14.657
	250 °	6.106	1.026	0.205	0.064	0.013	0.003	0	0	0	7.4173
	260 °	3.732	0.436	0.057	0.01	0	0	0	0	0	4.2351
	270 °	2.783	0.174	0.054	0	0	0	0	0	0	3.0112
	280 °	2.216	0.164	0.017	0	0	0	0	0	0	2.3976
	290 °	1.643	0.137	0	0	0	0	0	0	0	1.7806
	300 °	1.395	0.094	0.003	0	0	0	0	0	0	1.4922
	310 °	1.029	0.091	0.01	0	0	0	0	0	0	1.1300
	320 °	0.905	0.06	0	0	0	0	0	0	0	0.9657
	330 °	0.905	0.08	0.003	0	0	0	0	0	0	0.9892
	340 °	0.815	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0.8953
350 °	1.06	0.044	0	0	0	0	0	0	0	1.1032	
Tot.		74.74	18.77	4.741	1.375	0.298	0.057	0.01	0	0	100

Tabella C26 – Ondametro di La Spezia, periodo 7/1989 ÷ 6/2000: distribuzione media annua delle frequenze

	PORTO DI MARINA DI CARRARA	
	LAVORI DI ADEGUAMENTO TECNICO-FUNZIONALE DEL MOLO DI LEVANTE	
	STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE	

Seguendo le indicazioni del “Bollettino Ondametrico Trimestrale” pubblicato a cura del SIMN, le registrazioni sono state suddivise nelle tre classi di altezza d’onda:

- 1° classe – onde piccole $0.5 < H_{m0} < 2.0$ metri
- 2° classe – onde medio-alte $2.0 < H_{m0} < 3.5$ metri
- 3° classe – onde alte $3.5 \text{ metri} < H_{m0}$

e la relativa distribuzione delle osservazioni in coordinate polari è riportata in Figura C26.

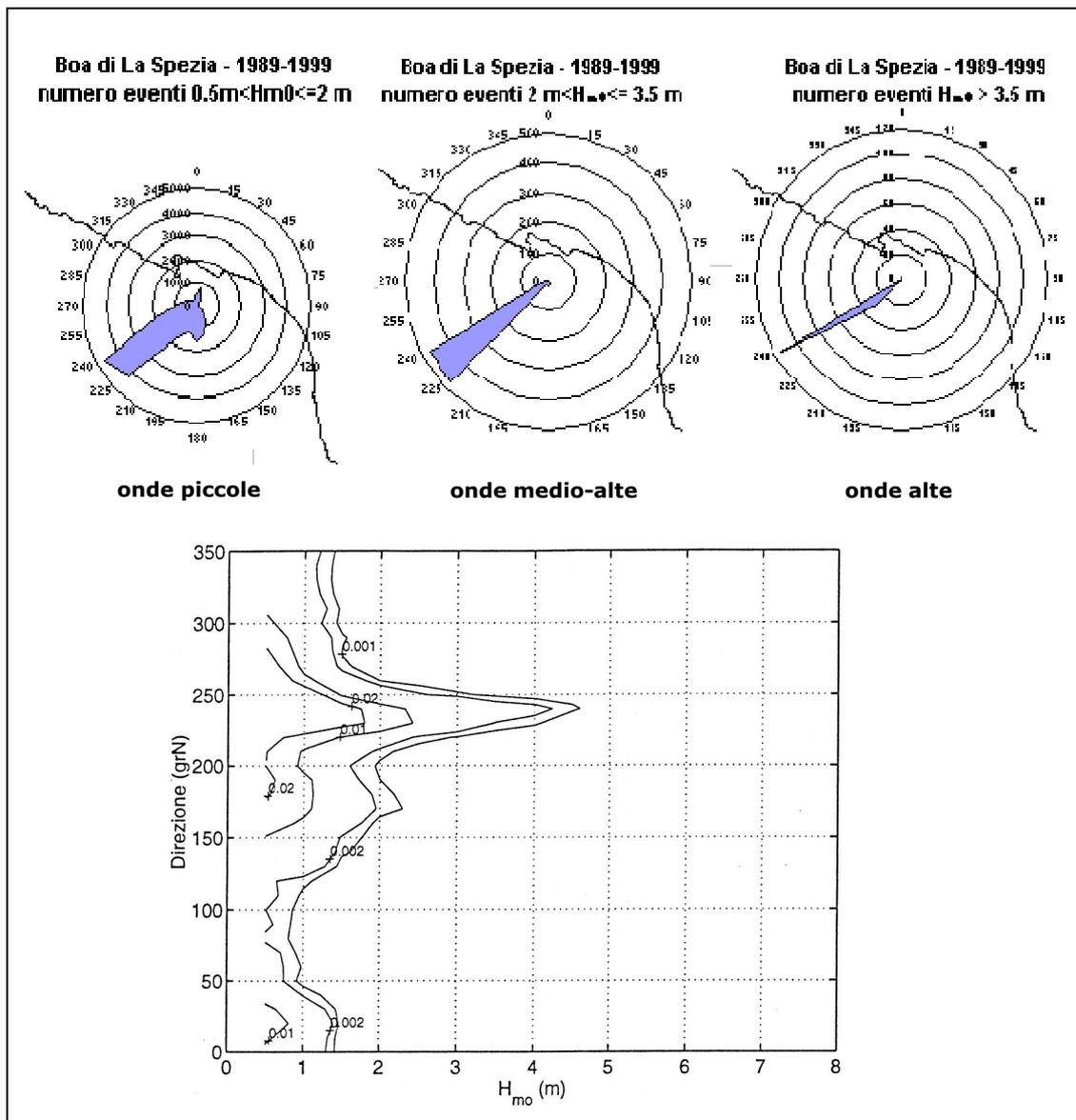


Figura C26 – Ondametro di La Spezia: distribuzione direzionale delle osservazioni suddivise in tre classi di altezza

	PORTO DI MARINA DI CARRARA	
	LAVORI DI ADEGUAMENTO TECNICO-FUNZIONALE DEL MOLO DI LEVANTE	
	STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE	

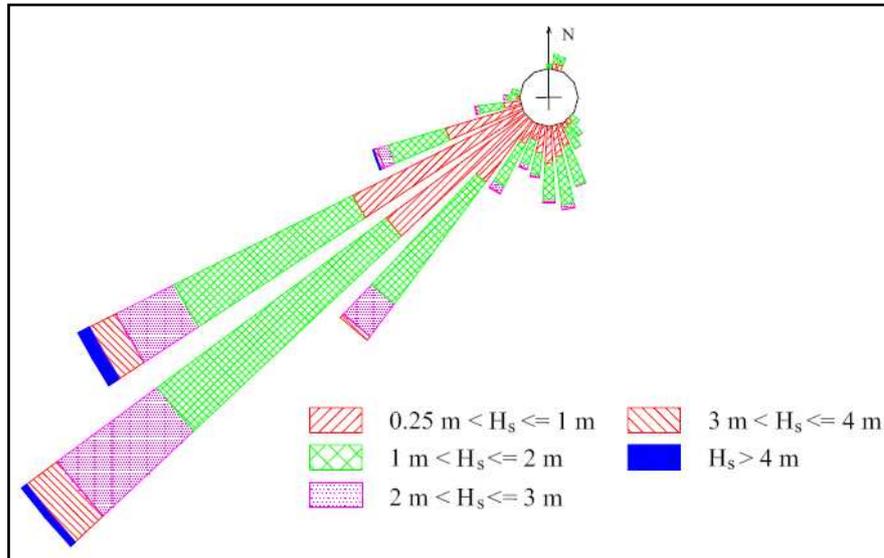


Figura C27 – Distribuzione annuale del moto ondoso al largo. Elaborazione dati ondometro

Dai dati elaborati risulta che, mentre alle onde più basse (cioè aventi altezza minore di 2,0 m) non risulta correlata alcuna direzione preferenziale, per le mareggiate più significative (cioè caratterizzate da altezze d’onda superiori a 3,5 m) è chiaramente individuabile la larga prevalenza dal settore Sud-Ovest (compreso tra i 210° e i 250°N, con un predominio della direzione 240°N). In particolare, al crescere dell’intensità delle mareggiate si restringe il loro settore di provenienza. Il grafico polare di Figura C28 considera, invece, la direzione di provenienza di tutte le ondate registrate: le onde più basse non hanno una direzione di provenienza prevalente, le mareggiate più significative in termini di frequenza ed intensità provengono dal terzo quadrante, ed in particolare dalle direzioni comprese tra i 210° ed i 250° N, con un predominio della direzione 240° N.

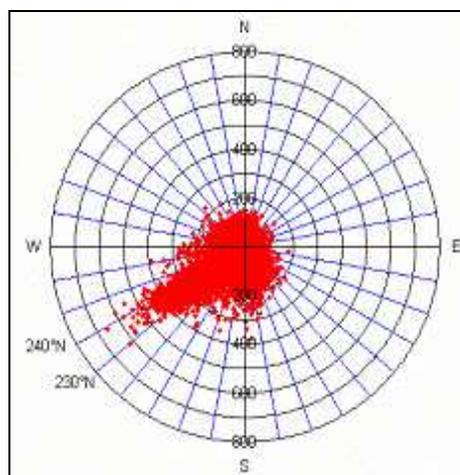


Figura C28– Ondometro di La Spezia: distribuzione direzionale delle osservazioni.

	PORTO DI MARINA DI CARRARA	
	LAVORI DI ADEGUAMENTO TECNICO-FUNZIONALE DEL MOLO DI LEVANTE	
	STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE	

La distribuzione trovata, soprattutto per le onde alte, è spiccatamente unimodale e, correlandosi all'aspetto climatologico, ciò significa che una sola situazione meteorologica dominante contribuisce al clima meteomarinico del paraggio: i venti e le perturbazioni provenienti da Sud-Ovest ("libeccio").

Anche l'analisi di altri indicatori climatici, quali il rapporto tra flusso medio netto (Pn) e lordo (Pw) di energia associati alle onde (detti "power"), pari a $0.8 \div 0.85$, e il minimo scarto fra le direzioni prevalenti medie stagionali ed annuali, pari a 2° , conferma un regime sostanzialmente unidirezionale (Corsini, Guiducci e Inghilesi, 2000).

L'inverno è la stagione in cui risulta massima, fra i vari anni, la variabilità delle ondate (varianza $\sigma^2 = 71\%$) e, insieme all'autunno, è la stagione in cui si presenta il maggior numero delle mareggiate più intense. L'analisi della ripidità media annuale e stagionale dell'onda mostra, inoltre, che le onde più ripide associate alle mareggiate si presentano per lo più in autunno (caratteristica peculiare, insieme alla precedente, del Mar Mediterraneo in cui i primi venti freddi dopo l'estate sono più attivi ed efficienti nella formazione delle onde sulla superficie ancora abbastanza calda del mare). I dati relativi all'ondametro di La Spezia, sia per la rigorosa modalità di acquisizione, sia per la vicinanza geografica al sito in esame, risultano sicuramente quelli meglio rappresentativi del clima meteomarinico sul litorale qui considerato; tuttavia, proprio la posizione prossima alla costa dell'ondametro stesso, costituisce un impedimento nella registrazione di una parte degli eventi provenienti da Ovest (ed in particolare dalle direzioni $260-270^\circ$ N) che risultano, invece, ampiamente presenti nell'analisi dei dati K.N.M.I.

C4.3.3.3 Ondametro dell'Autorità Portuale di Marina di Carrara

L'Autorità Portuale di Marina di Carrara ha realizzato il Sistema di Monitoraggio Meteomarinico del porto di Marina di Carrara attivo da Ottobre 2005. Il sistema di misura installato permette la registrazione contemporanea e in tempo reale del sistema forzante (onde, maree, correnti, venti e pressione atmosferica) e della risposta dinamica del bacino (agitazione ondosa interna di breve e lungo periodo). La rete di sensori presente nel porto di Marina di Carrara è la prima rete del suo genere per la complessità, modernità e molteplicità della strumentazione installata in un porto in Italia e probabilmente nel mondo.

La strumentazione installata è costituita da:

- Boa ondometrica direzionale Datawell Directional Waverider MKIII per la misura delle onde di corto periodo ($1.6s < T < 20s$). La boa è ancorata su un fondale di circa 13.5m di profondità, a circa 600 m dall'imboccatura del porto;
- Stazione Mareografica completa di sensore idrometrico ad ultrasuoni di caratteristiche identiche a quelli della Rete Mareografica Nazionale per la misura del livello di marea;

	PORTO DI MARINA DI CARRARA	
	LAVORI DI ADEGUAMENTO TECNICO-FUNZIONALE DEL MOLO DI LEVANTE	
	STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE	

- Correntometro (Acustico-Doppler) Sontek ADV Hydra (5MHz), con sensore di pressione integrato, posto sulla verticale della boa ondometrica per la misura delle onde di lungo periodo ($T > 20s$);
- Profilatore di corrente (Acustico-Doppler) Sontek ADP-SL (500MHz) posto all'estremità del Molo di Levante;
- 9 sensori di pressione (piezoresistivo), di cui 8 installati all'interno del bacino portuale e 1 all'esterno;
- Stazione Meteorologica completa di sensori per la misura della direzione e velocità della componente orizzontale del vento, della pressione atmosferica e della temperatura dell'aria a norma WMO (quota +10m).

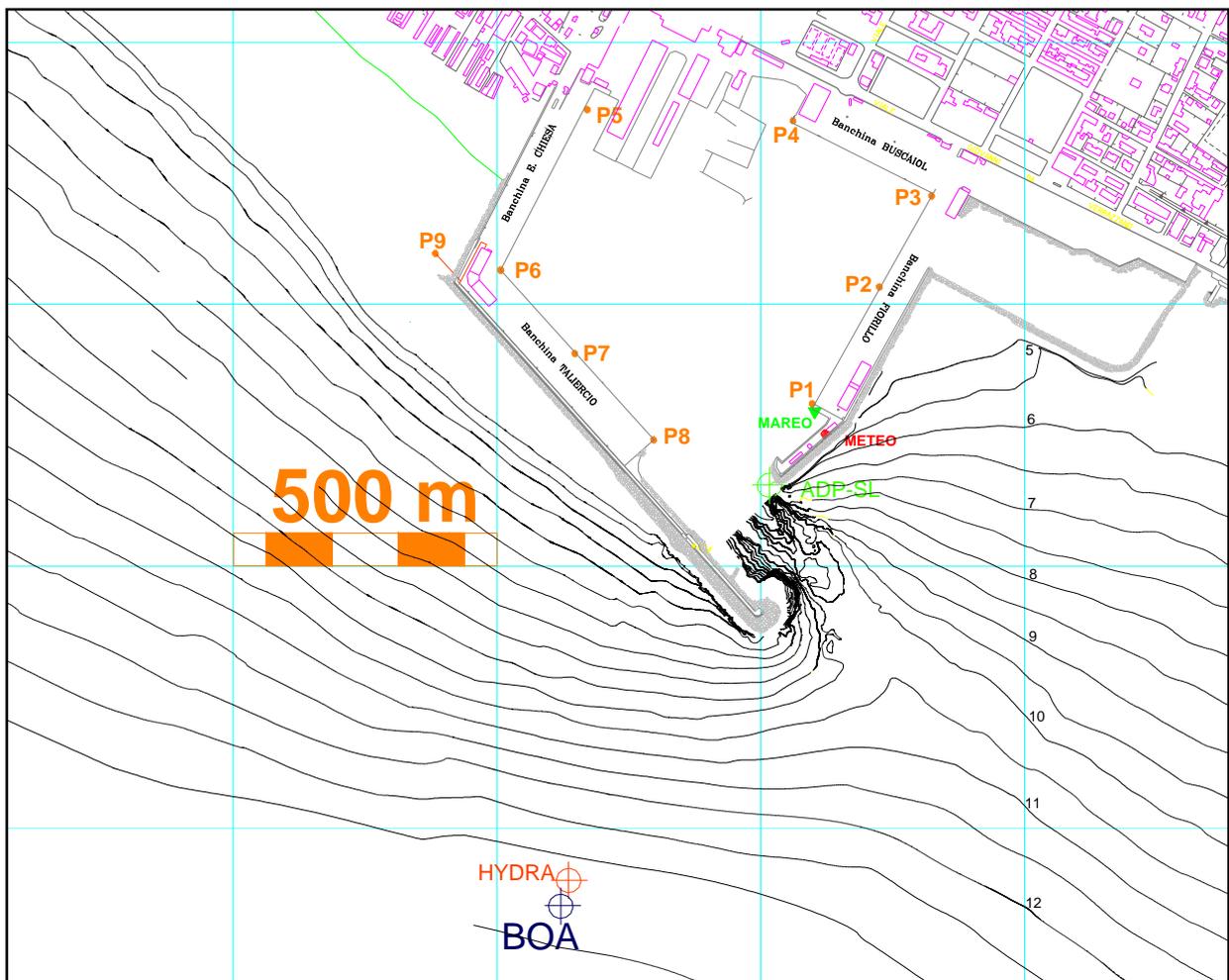


Figura C29– Sistema di Monitoraggio Meteoramarino del porto di Marina di Carrara. Planimetria con ubicazione degli strumenti

	PORTO DI MARINA DI CARRARA	
	LAVORI DI ADEGUAMENTO TECNICO-FUNZIONALE DEL MOLO DI LEVANTE	
	STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE	

Il sistema di monitoraggio è ampiamente descritto in *Melito I., Cuomo G., Bellotti G., Franco L. (2006), "Field measurements of harbour resonance at Marina di Carrara", Proceedings of the 30th International Conference on Coastal Engineering, San Diego, CA, USA, World Scientific, Vol. 2, pp 1280-1292.*

Il moto ondoso registrato a Marina di Carrara da Ottobre 2005 a Settembre 2007 è indicato nella Figura seguente (ogni punto corrisponde a 1.2 ore di intervallo temporale). Nel periodo di osservazione sono state registrate 15 mareggiate con altezza d'onda significativa H_{m0} superiore a 3 m. La direzione media prevalente è SSW.

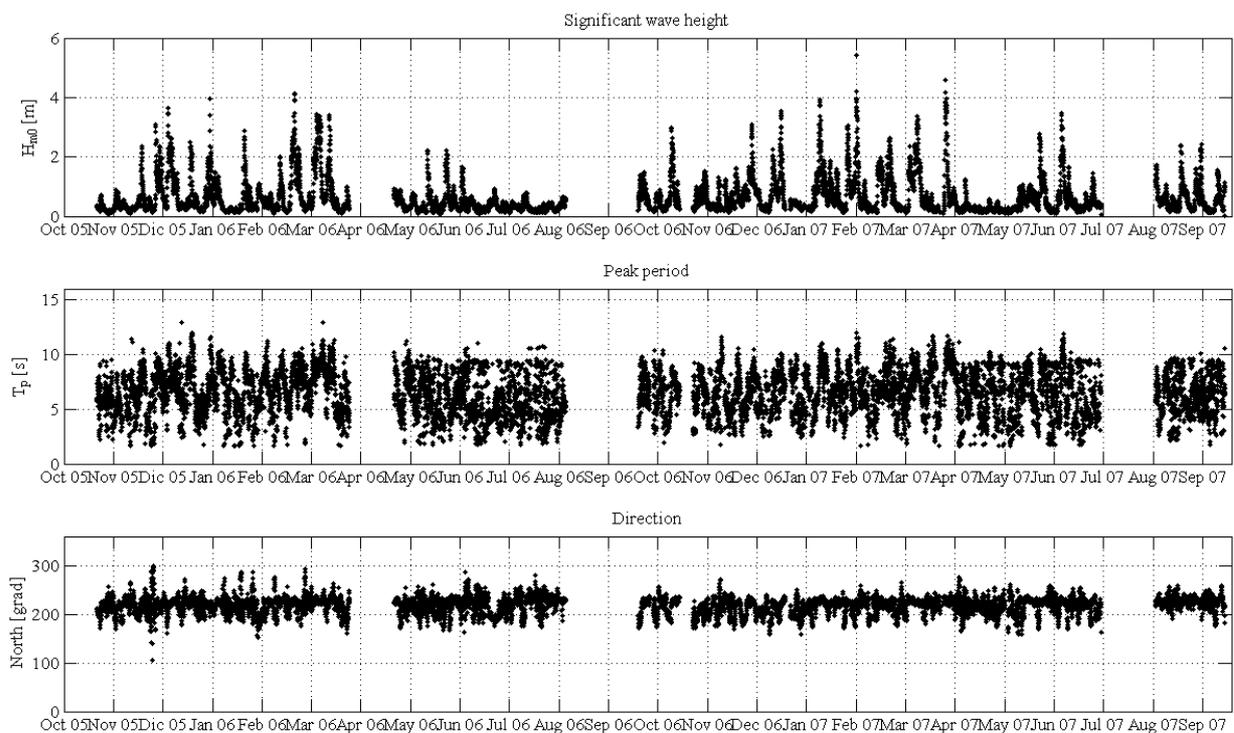


Figura C30– Sistema di Monitoraggio Meteomarinò del porto di Marina di Carrara. Moto ondoso: H_s , T_p e direzione media. Periodo Ottobre 2005-Settembre 2007.

In considerazione del fatto che la boa di Marina di Carrara è operativa solo da Ottobre 2005, le misure in situ sono state correlate con quelle registrate dalla boa di La Spezia appartenente alla Rete Ondametrica Nazionale (RON) gestita dall'APAT (Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici). La boa di La Spezia, ancorata a 20 km da Marina di Carrara in direzione SW su un fondale di circa 100 m di profondità, è attiva dal 1989. Tuttavia da Ottobre 2005, la boa di La Spezia ha funzionato solo raramente.

	PORTO DI MARINA DI CARRARA	
	LAVORI DI ADEGUAMENTO TECNICO-FUNZIONALE DEL MOLO DI LEVANTE	
	STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE	

La due boe sono state operative simultaneamente per 3236 ore. Le correlazioni tra altezza d'onda significativa, periodo di picco e direzione media a Marina di Carrara (MdC) e La Spezia (SP) sono indicate di seguito.

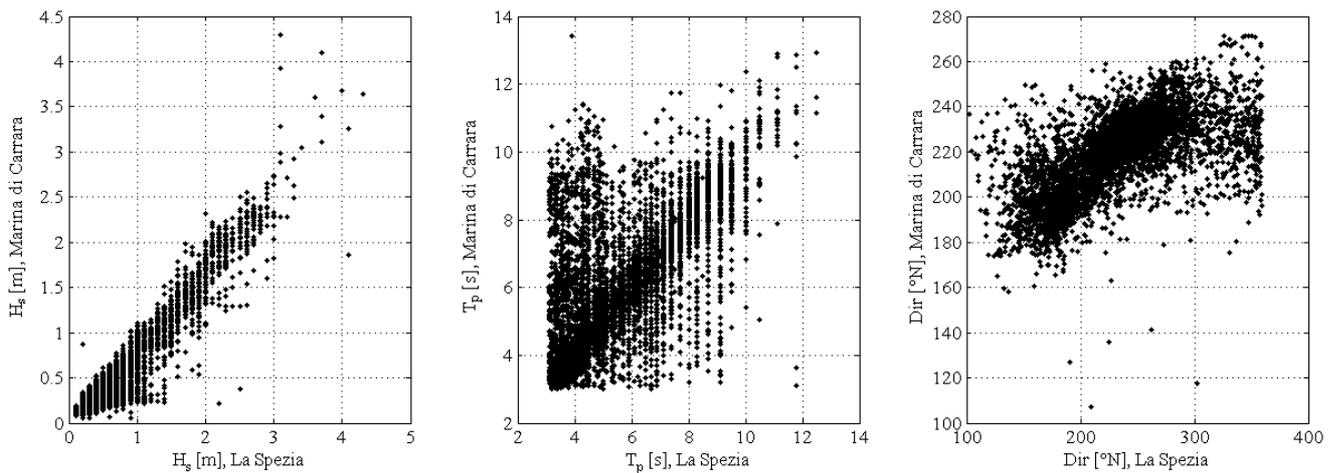


Figura C31– Sistema di Monitoraggio Meteomarinico del porto di Marina di Carrara. Clima ondoso: correlazione fra I parametri statistici del moto ondoso stimati a Marina di Carrara e La Spezia. Da sinistra a destra: H_s, T_p e direzione media. Periodo Ottobre 2005 – Settembre 2007.

Sono state ricavate le seguenti relazioni:

$$H_{s,MdC} = 0.77 \cdot H_{s,SP}$$

$$T_{p,MdC} = 1.01 \cdot T_{p,SP}$$

$$Dir_{MdC} = 0.27 \cdot Dir_{SP} + 153.6$$

che possono essere utilizzate per correlare la statistica del moto ondoso a Marina di Carrara con quella di La Spezia per Dir_{SP} [120 280]. È stato osservato che il moto ondoso negli ultimi 2 anni è molto simile a quello medio di 18 anni.

C4.3.3.4 Mareografo dell'Autorità Portuale di Carrara

L'Autorità Portuale di Marina di Carrara dispone, nell'ambito del citato Sistema di Monitoraggio Meteomarinico del porto di Marina di Carrara, di un mareografo collocato presso la testata del Molo di Levante. In Figura C32 e Figura C33 si riportano le elaborazioni grafiche dei dati registrati dallo strumento nel corso dell'anno 2006.

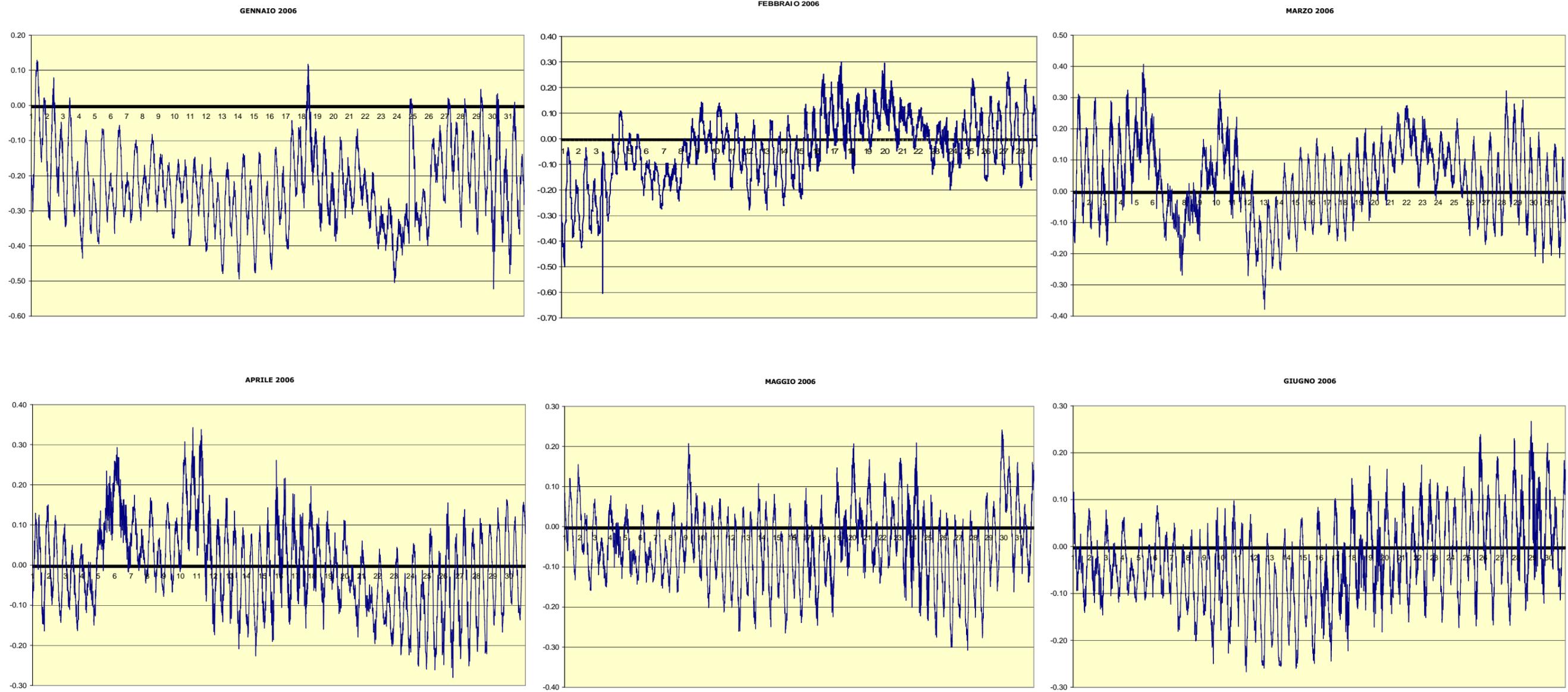


Figura C32- Mareografo dell'Autorità Portuale di Carrara. (Gennaio - Giugno 2006)



PORTO DI MARINA DI CARRARA

LAVORI DI ADEGUAMENTO TECNICO-FUNZIONALE DEL MOLO DI LEVANTE

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE
QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE



ambiente s.c.

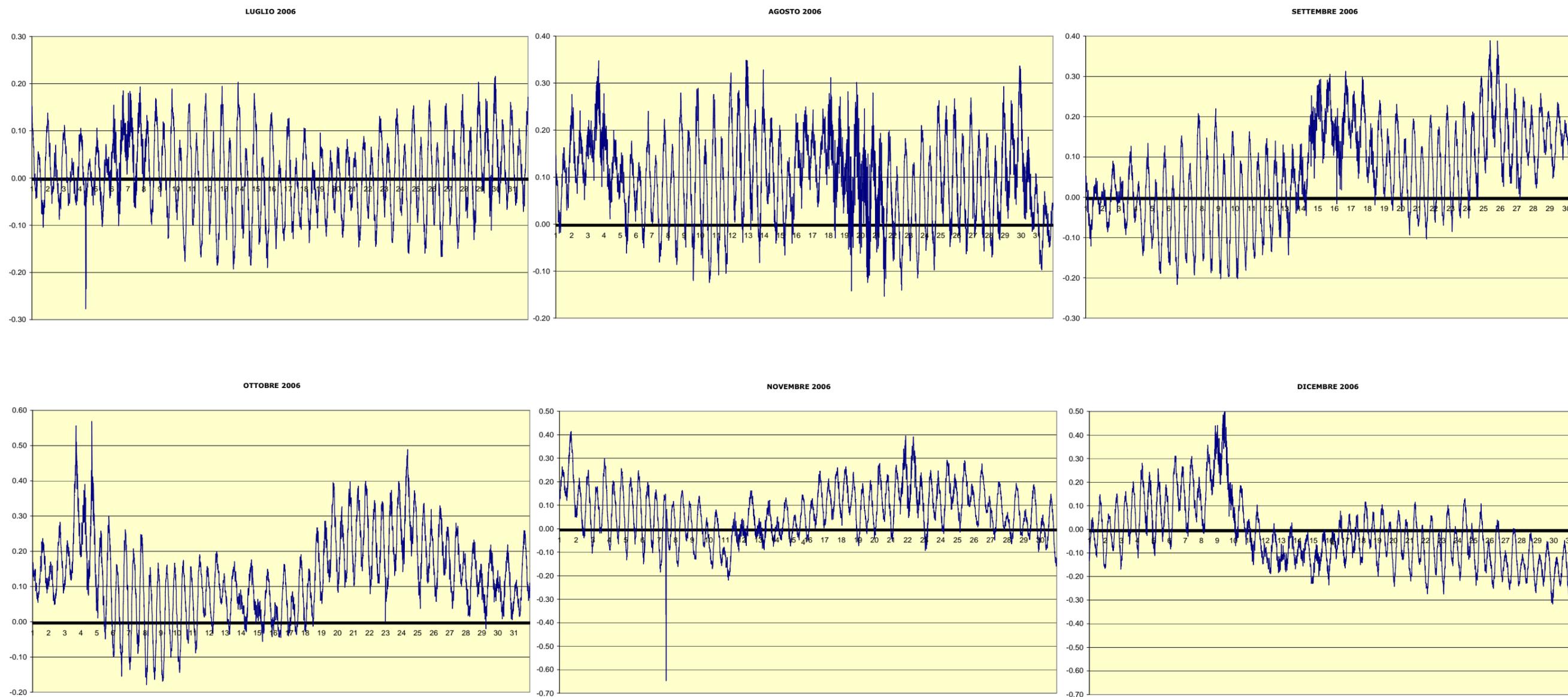


Figura C33- Mareografo dell'Autorità Portuale di Carrara. (Luglio - Dicembre 2006)

	PORTO DI MARINA DI CARRARA	
	LAVORI DI ADEGUAMENTO TECNICO-FUNZIONALE DEL MOLO DI LEVANTE	
	STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE	

C4.3.4 Propagazione del moto ondoso sotto costa

Per la definizione delle condizioni di moto ondoso in prossimità dell'imboccatura portuale è stato eseguito, in passato, un apposito studio di propagazione del moto ondoso registrato al largo del sito (alla profondità di -100 m s.l.m.).

A tal proposito sono stati utilizzati due modelli numerici: il primo, denominato MEROPE, effettua la rifrazione inversa spettrale di intere serie storiche di dati ondametrici sino a punti posti all'esterno della linea dei frangenti; il secondo, denominato SWAN, consente la rifrazione diretta spettrale tenendo conto anche dei fenomeni di frangimento (e pertanto sino a profondità prossime alla linea di riva). Dall'esame dei risultati delle simulazioni condotte per il punto posto in corrispondenza dell'imboccatura portuale (P1), si può notare:

- un'attenuazione generale delle altezze d'onda; tale riduzione risulta maggiormente accentuata sia per gli eventi di ponente-maestrale, dovuta all'effetto di «schermo» esercitato a Nord-Ovest da Capo Corvo e da Capo dell'Isola, che per gli eventi estremi provenienti da Scirocco e da Mezzogiorno.
- che il moto ondoso proveniente dal settore di libeccio (202.5°-247.5°N) non subisce particolari rotazioni, mentre quello proveniente dal settore di ponente e di scirocco ruota mediamente di 20°.

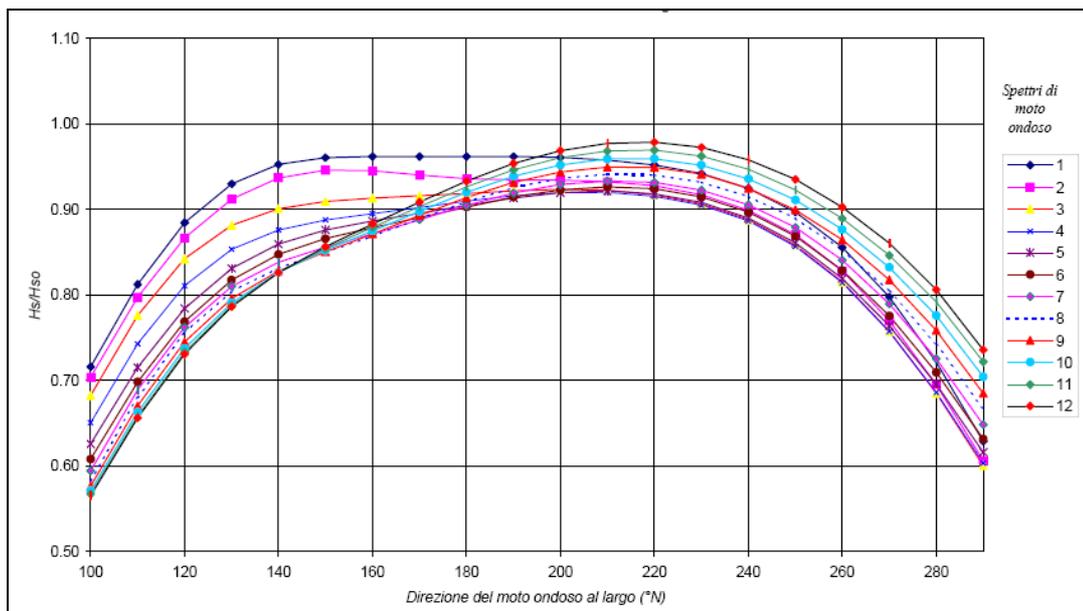


Figura C34 – Rapporto tra altezza d'onda al largo H_{s0} e sottocosta in funzione della direzione del moto ondoso al largo

	PORTO DI MARINA DI CARRARA	
	LAVORI DI ADEGUAMENTO TECNICO-FUNZIONALE DEL MOLO DI LEVANTE	
	STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE	

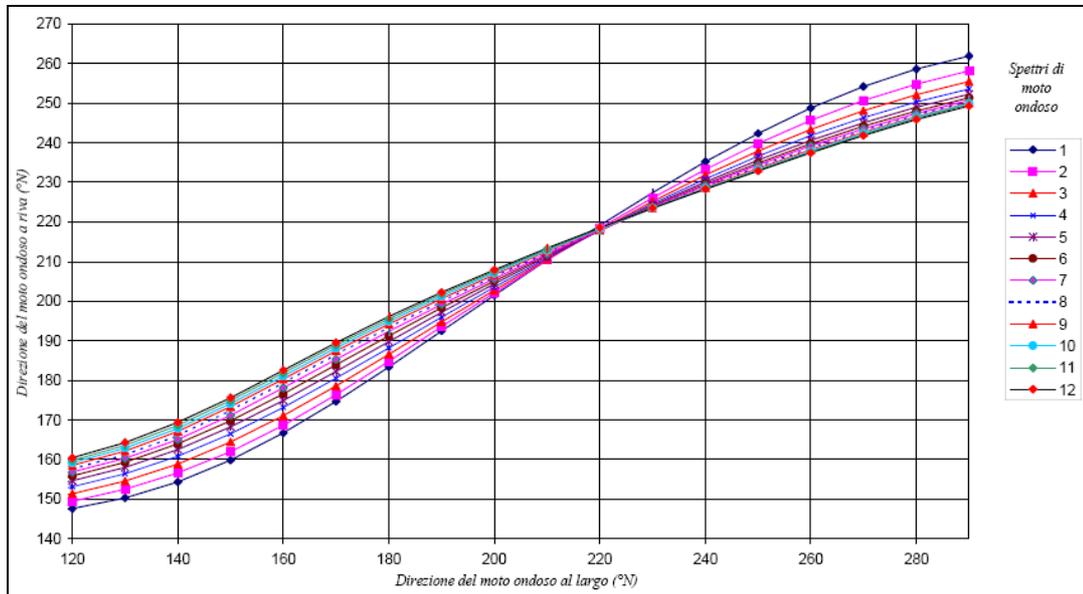


Figura C35 – Corrispondenza direzioni di moto ondoso largo - riva

L'intera serie ondometrica, relativa alla boa di La Spezia, è stata propagata a riva per i punti considerati (tra cui P1, corrispondente all'imboccatura portuale). L'analisi condotta evidenzia che:

- il settore di traversia si stringe all'angolo 140 - 280°N;
- il 45% degli eventi (corrispondente ad una durata di 5,4 mesi) ha una altezza significativa superiore ai 0,5 m;
- il settore di libeccio (202,5 - 247,5°N) ha la maggiore frequenza sia di eventi di moto ondoso: 62% (7,4 mesi / anno), che di eventi con altezza significativa superiore ai 0,5 m: 35% (4,2 mesi/anno);
- gli eventi con $H_s > 2,0$ (eventi estremi) provengono essenzialmente dal settore di libeccio (5%) e di mezzogiorno (0,2%);
- la stagione con il maggior numero di eventi con $H_s > 0,5$ m è l'autunno con il 14%, segue quindi l'inverno e la primavera con l' 8%.

	PORTO DI MARINA DI CARRARA	
	LAVORI DI ADEGUAMENTO TECNICO-FUNZIONALE DEL MOLO DI LEVANTE	
	STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE	

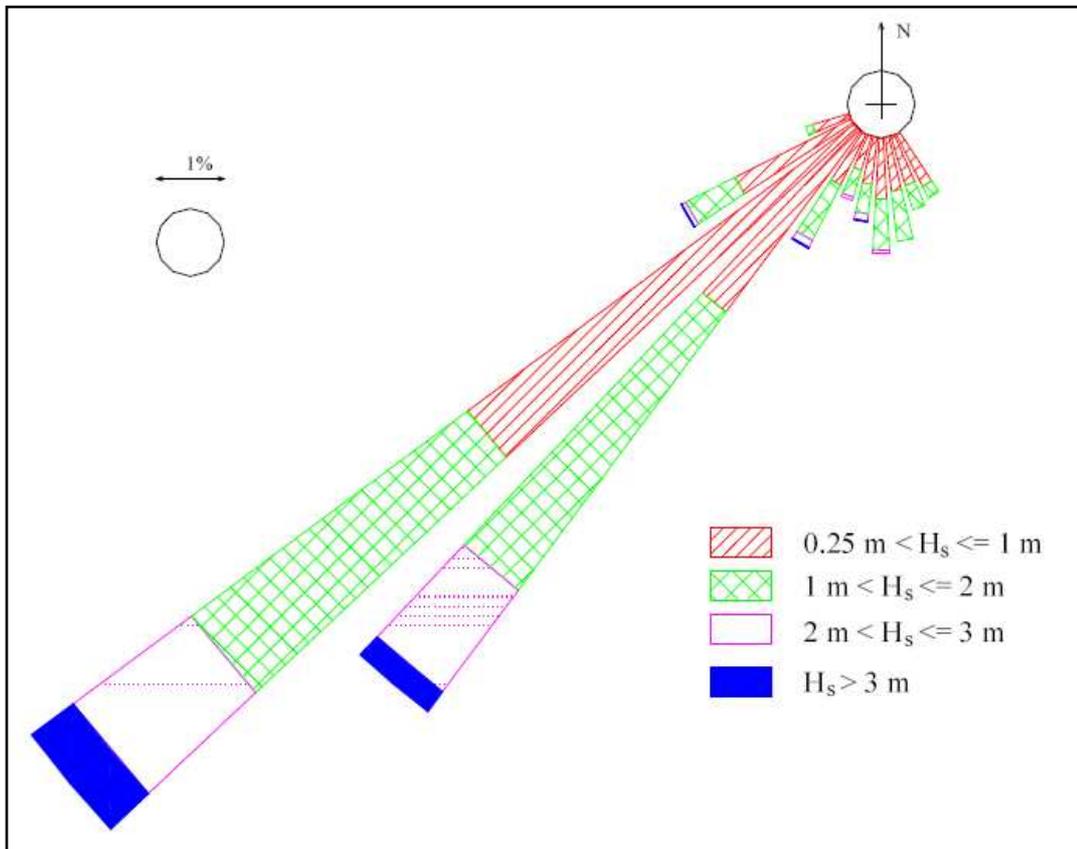


Figura C36- Distribuzione annuale del moto ondoso in corrispondenza dell'imboccatura portuale