

REVISIONE DEL PIANO REGOLATORE PORTUALE DEL PORTO DI LIVORNO

Titolo elaborato:

QUADRO CONOSCITIVO STUDIO METEOMARINO

R R I 0 4 0 2 0 R 0 0 5 0

Committente:

AUTORITA' PORTUALE
DI LIVORNO

Progettisti:

A.T.I.
MODIMAR S.r.l.
Prof. Ing. Alberto NOLI
TECHNITAL S.p.A.
SCIRO S.p.A.
ACQUATECNO S.r.l.

	21/6/05	0	EMISSIONE			
Rif. Dis.	Data	Rev.	DESCRIZIONE	Redatto:	Verificato:	Approvato:

Visto del Committente:

 Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinò					
		Data: giugno 2005					
		RRI	04	020	R	005	01

PORTO DI LIVORNO

REVISIONE DEL PIANO REGOLATORE PORTUALE

QUADRO CONOSCITIVO

STUDIO METEOMARINO

Indice

1	PREMESSE	2
2	UBICAZIONE ED ESPOSIZIONE DEL PARAGGIO AL MOTO ONDOSÒ	3
3	VARIAZIONI DEL LIVELLO MARINO.....	6
4	REGIME DEL MOTO ONDOSÒ	8
4.1	CARATTERISTICHE DEL MOTO ONDOSÒ AL LARGO.....	9
4.1.1	<i>Regime ondoso registrato dalla boa accelerometrica RON</i>	<i>9</i>
4.1.2	<i>Trasposizione geografica della serie di misure ondamicriche al largo di Livorno.....</i>	<i>11</i>
4.2	ANALISI STATISTICHE DEGLI EVENTI ESTREMI DI MOTO ONDOSÒ.....	20
4.3	PROPAGAZIONE SOTTO COSTA DELLA SERIE DI MISURE ONDAMERICHE	24
4.4	ANALISI DEL MOTO ONDOSÒ SOTTO COSTA CON IL MODELLO DI RIFRAZIONE DIRETTA SPETTRALE SWAN 29	
4.5	ANALISI DEL CLIMA DI MOTO ONDOSÒ: ONDA MORFOLOGICA	38
5	REGIME DEI VENTI.....	40
6	CORRENTI.....	43
	APPENDICE	45
A.1	CALCOLO DEI “FETCH EFFICACI” E DELLA RELAZIONE TRA DIREZIONE DEL VENTO E QUELLA DEL MOTO ONDOSÒ – MODELLO ENIF	45
A.2	DESCRIZIONE DEL MODELLO DI PROPAGAZIONE INVERSA SPETTRALE MEROPE	46
A.3	TABELLE	48

 Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
		Data: giugno 2005					
		RRI	04	020	R	005	01

1 Premesse

In generale per una corretta progettazione di un sistema portuale e per una attenta analisi dell'interferenza delle opere esterne di questo sulla dinamica dei litorali adiacenti, è necessario condurre una serie di indagini specialistiche, finalizzate alla definizione delle caratteristiche meteomarine al largo e sottocosta.

I temi d'indagine principali sono stati così articolati: caratteristiche geo-orografiche del paraggio; esposizione al moto ondoso; regime dei venti; correnti; variazione dei livelli marini. Si è proceduto raccogliendo i dati storici di misure dirette di moto ondoso disponibili e con successive analisi ed elaborazioni numeriche, sono state derivate le condizioni al contorno da porre a base dei successivi studi di dettaglio necessari per l'analisi delle condizioni idrodinamiche del tratto di costa in questione.

 Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
		Data: giugno 2005					
		RRI	04	020	R	005	01

2 Ubicazione ed esposizione del paraggio al moto ondoso

Ponendosi al largo di Livorno su fondali di circa –100 m, ad una distanza di circa 24 Km dalla costa, il paraggio risulta esposto al mare aperto per un ampio settore di traversia così delimitato: da Nord ad Ovest dalla costa ligure e dalla costa meridionale della Francia; a Sud-Ovest dalla Corsica, a Sud dalla Sardegna ed a Sud-SudEst dall'Isola d'Elba e dalla costa toscana (P.ta Falcone).

La fig. 2.1 mostra l'esposizione (in termini di fetch geografici ed efficaci) al largo di Livorno su fondali aventi profondità di circa 100m. Per un'analisi del settore di traversia, più propriamente mirata alla valutazione delle condizioni di possibile esposizione agli stati di mare, è ormai prassi consolidata fare riferimento, in luogo dei settori di traversia geografica, al cosiddetto fetch efficace (porzione di mare che contribuisce al fenomeno di generazione delle onde di vento).

A tal proposito si è proceduto secondo il metodo descritto in appendice che consente di valutare le porzioni di mare (fetch efficaci) effettivamente coinvolte dal fenomeno di generazione del moto ondoso. Tale metodo tiene 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 sua direzione media di azione: pertanto ai fini della valutazione delle caratteristiche del moto ondoso occorre tenere conto non solo della lunghezza del fetch corrispondente alla direzione principale, ma anche (in modo opportuno) delle lunghezze corrispondenti a tutte le altre direzioni comprese nel settore di traversia del paraggio in esame (fig. 2.1). Considerato che nel Mar Mediterraneo le perturbazioni cicloniche hanno estensioni massime dell'ordine dei 500 km, i fetch geografici sono stati limitati a tale dimensione utilizzando il modello ENIF per il calcolo automatico dei relativi fetch efficaci.

L'applicazione del modello numerico suddetto consente inoltre di definire la legge di deviazione tra la direzione media del vento e la direzione media del moto ondoso generato (fig. 2.2). Nel grafico di fig. 2.3 vengono riportati i valori dei fetch efficaci calcolati per ciascuna direzione. Dall'analisi di quest'ultimo e della tab 2.1 si evince che nel caso in esame il fetch efficace massimo per il paraggio in oggetto è pari a circa 300 km ed è riferibile alla direzione 250°N , appartenente al settore di ponente-libeccio.

	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.		Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarino					
Autorità Portuale di Livorno			Data: giugno 2005					
Revisione del Piano Regolatore Portuale	RRI	04	020	R	005	01		

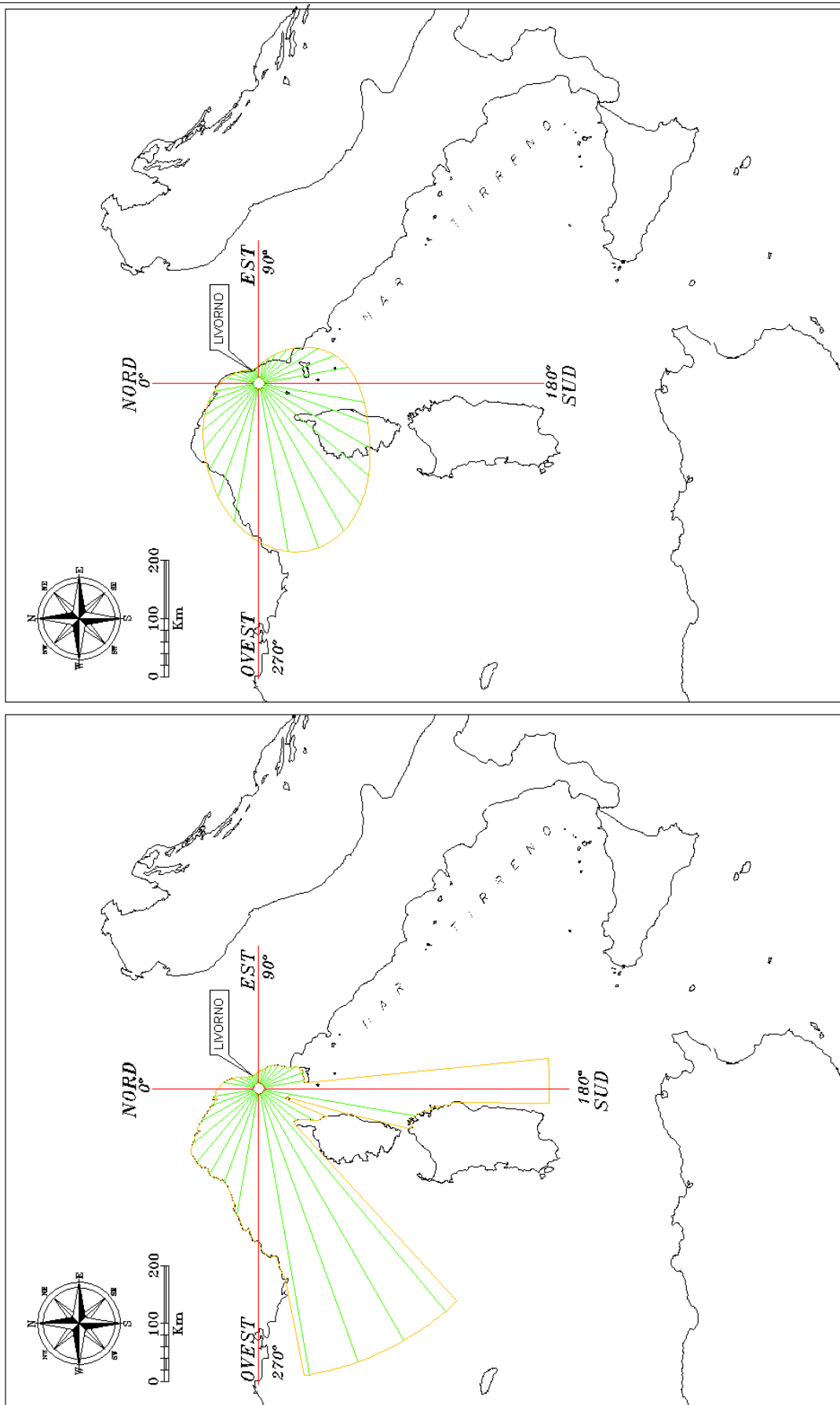
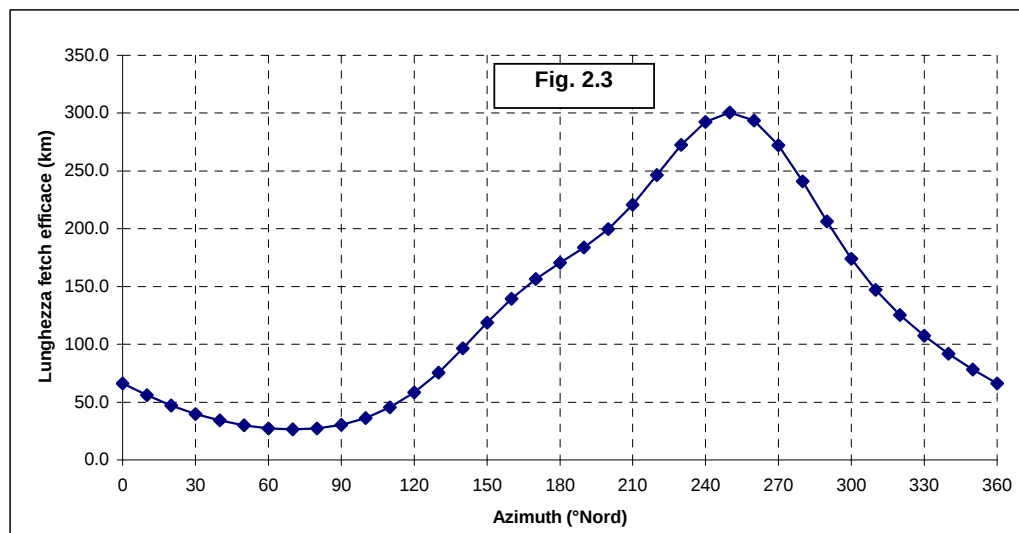
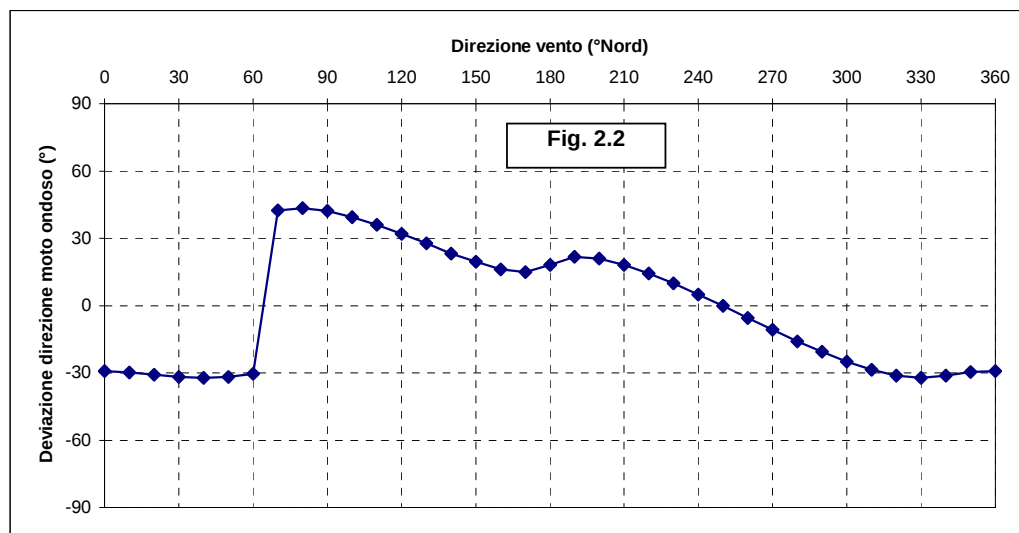


Fig. 2.1 – Fetch geografici ed efficaci al largo di Livorno

 Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
		Data: giugno 2005					
		RRI	04	020	R	005	01

Tab. 2.1 Fetch geografici ed efficaci al largo di Livorno

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	69.93	66.36	-29.3	180	500.00	170.66	18.3
10	61.53	55.88	-29.8	190	277.35	183.85	21.8
20	50.22	47.03	-30.8	200	48.79	199.83	21.0
30	38.76	39.79	-31.8	210	113.49	220.94	18.3
40	30.48	34.09	-32.3	220	86.25	246.52	14.3
50	26.86	29.94	-31.8	230	500.00	272.45	10.0
60	24.47	27.37	-30.5	240	500.00	292.44	5.0
70	23.96	26.43	42.5	250	500.00	300.56	0.0
80	26.08	27.31	43.5	260	500.00	293.58	-5.5
90	28.44	30.44	42.3	270	279.30	272.20	-10.8
100	32.35	36.30	39.5	280	222.41	241.01	-16.0
110	37.15	45.38	36.0	290	173.52	206.47	-20.5
120	44.99	58.38	32.0	300	170.57	174.17	-25.0
130	51.69	75.63	27.8	310	166.45	147.02	-28.5
140	58.40	96.43	23.3	320	152.29	125.20	-31.3
150	147.29	118.65	19.5	330	118.52	107.35	-32.3
160	82.07	139.42	16.3	340	89.16	92.04	-31.3
170	77.90	156.70	15.0	350	78.33	78.44	-29.5



 Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
		Data: giugno 2005					
		RRI	04	020	R	005	01

3 Variazioni del livello marino

La conoscenza delle massime variazioni quasi-statiche del livello marino, dovute principalmente alla marea astronomica e "meteorologica", è necessaria per la corretta progettazione delle quote da assegnare alle opere di difesa, delle profondità di dragaggio nei bacini portuali e nel caso di applicazioni alla dinamica costiera, per la determinazione dell'altezza limite di swash (quota della spiaggia emersa raggiunta dal mare). In generale per quanto riguarda le variazioni a breve termine, periodiche e non, occorre distinguere gli effetti della marea astronomica da quelli della marea "meteorologica" (indotta essenzialmente dall'azione del vento e dalle variazioni di pressione atmosferica). Nella zona del Mar Tirreno ove ricade il paraggio costiero in esame le escursioni quasi statiche del livello del mare sono di fatto modeste. Nel porto di Livorno nel punto di coordinate 43.551998 latitudine - 10.302 longitudine è installato da alcuni anni un mareografo modello SM3810 SIAP all'interno di un manufatto di protezione della stazione. L'analisi dei livelli forniti dalla stazione sostanzialmente conferma i valori di seguito calcolati:

Marea astronomica

Per la stima della componente oscillatoria della marea astronomica le ampiezze ed i tempi di marea sono prevedibili per alcuni porti principali italiani in funzione delle "Tavole di Marea" pubblicate annualmente dall'Ufficio Idrografico della Marina Militare. Per il caso in esame si possono utilizzare i dati forniti per il porto di Livorno. L'andamento temporale risultante è di tipo semidiurno (periodo 12 ore e 30 minuti) con due alte maree e due basse maree al giorno di ampiezza diversa (marea di tipo sinodico-declinazionale). Le escursioni di marea astronomica sono contraddistinte da una periodicità bimensile distinta nelle fasi di sizigie (luna piena e nuova) e di quadratura. Nei periodi sizigiali si verificano i massimi dislivelli di oscillazione che raggiungono valori di circa 0.34 m rispetto al livello medio marino (massimo dislivello assoluto pari a circa 0.38 m riferito ad un livello medio delle minime maree sizigiali Z_0 pari a 0.17 m). Nelle fasi di quadratura i massimi dislivelli di oscillazione raggiungono valori di circa ± 0.13 m rispetto al livello medio marino.

$$S_{ma} = 0.38 - 0.17 = 0.21 \text{ m}$$

Marea meteorologica

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

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

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

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

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

 Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
		Data: giugno 2005					
		RRI	04	020	R	005	01

che fornisce un valore di 0.11 m alla profondità (cautelativa) $d=0.5$ m, essendo $D=200$ m la profondità limite assunta per la piattaforma continentale; $L_p=30000$ m l'estensione della piattaforma continentale; $g=9.81$ m/s²; $k_p=3 \times 10^{-6}$; $U=20$ m/s la velocità del vento persistente in condizioni estremali.

$$S_v = 0.11 \text{ m}$$

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

$$S = 0.75 (S_{ma} + S_{mm}) = 0.75 (0.21 + 0.38 + 0.11) = 0.53 \text{ m.}$$

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

 Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinò					
		Data: giugno 2005					
		RRI	04	020	R	005	01

4 Regime del moto ondoso

Elemento indispensabile sia per una corretta valutazione degli eventi estremi e dei loro tempi di ritorno che per la definizione dell'onda morfologica finalizzata allo studio del litorale, è il regime del moto ondoso che contraddistingue il sito in esame. La conoscenza "climatica" del moto ondoso, ovvero la definizione in termini di frequenze annuali delle grandezze che ne definiscono il regime, quali l'altezza d'onda significativa H_s , il periodo d'onda T e la direzione media di provenienza θ , è stata ricostruita utilizzando la seguente metodologia:

- 1) acquisizione di misure ondametriche condotte in aree prossime e rappresentative del sito in esame, nel caso di Livorno l'ondametro di La Spezia ÷ RON;
- 2) ricostruzione del moto ondoso al largo di Livorno a partire dalla serie storica dell'ondametro di La Spezia con il metodo di trasposizione geografica;
- 3) trasferimento sottocosta attraverso un modello di rifrazione inversa spettrale degli stati di mare al largo di Livorno per un punto caratteristico, localizzato alla profondità approssimativa di 10.5 m in prossimità delle opere di difesa del porto di Livorno ;
- 4) trasferimento sottocosta degli eventi estremi di moto ondoso attraverso un modello di rifrazione diretta spettrale.

Come già sottolineato, la corretta determinazione della distribuzione in frequenza delle onde risponde ai seguenti obiettivi esaminati in dettaglio nei capitoli seguenti:

- 1) definizione delle probabilità di occorrenza degli eventi ondosi estremi per il dimensionamento delle opere foranee;
- 2) definizione del clima d'onda per l'analisi delle condizioni di evoluzione dei fenomeni di dinamica costiera.

Si noti che le fonti dei dati utilizzati risultano le più attendibili e precise, pur disponendo anche di altri dati (osservazioni di navi in transito, modelli previsionali) che peraltro confermano i risultati generali trovati.

 Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
		Data: giugno 2005					
		RRI	04	020	R	005	01

4.1 Caratteristiche del moto ondoso al largo

4.1.1 Regime ondoso registrato dalla boa accelerometrica RON

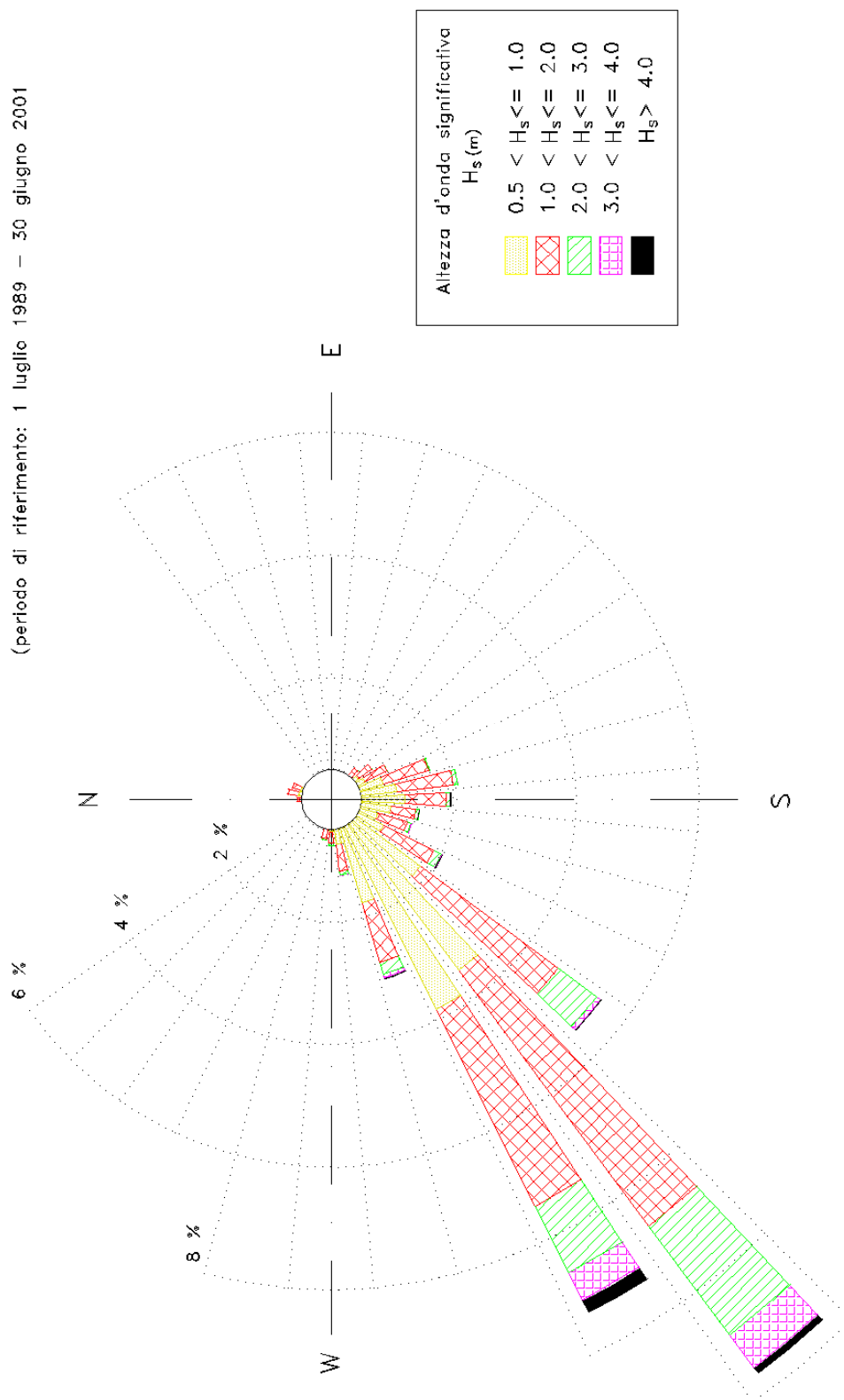
Per la determinazione del moto ondoso al largo del litorale in esame si è reso necessario reperire una serie di misure ondametriche che offrissero un quadro esaustivo dell'esposizione del sito in esame all'azione del moto ondoso. A tal scopo si è potuto fare riferimento alle misure effettuate dalla stazione ondametrica di La Spezia (boa accelerometrica direzionale; coordinate: 43°55' °N; 09°49' °E), in esercizio dal 1 luglio 1989 ed ancorata su fondali di circa 90 m; è gestita dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (attualmente dell'APAT) e ricade all'interno dell'area climatica di generazione degli stati di mare che interessano il sito in esame. Il rendimento medio della stazione è pari al 92.86 %, la durata di registrazione effettiva è di $12 \times 0.928 = 11.14$ anni (periodo 1-luglio 1989 – 30 giugno 2001 = 12 anni);

Nelle tabelle 4.1.1 ÷ 4.1.5 e nella figura 4.1.1 (vedi appendice) sono rappresentate le distribuzioni annuali del numero di eventi di moto ondoso (in forma percentuale) suddivisi per classi di altezza d'onda significativa (H_s) e direzione di provenienza (°N), registrate dalla boa di La Spezia; nelle tabelle 4.1.6a e 4.1.6b gli eventi sono suddivisi per classi di H_s e di periodo medio (T_m).

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

- la maggiore frequenza di accadimento si ha per il settore di libeccio (240°N) con circa il 54.3% degli eventi;
- gli eventi aventi H_s superiore ai 3 m provengono dai settori compresi tra le direzioni Sud ed Ovest (III quadrante);
- dal settore 220-250°N provengono gli eventi di maggiore frequenza e intensità per tutte le stagioni dell'anno.
- agli eventi provenienti dal IV quadrante corrisponde una frequenza di accadimento pari a 3.91% (pari a circa 14 giorni/anno) con un valore di H_s massimo pari 2.5m registrato il giorno 18/11/1995 alle ore 12 e proveniente dalla direzione 272°N.

Fig. 4.1.1 – Ondametro direzionale al largo di La Spezia
Clima annuale. Distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso
(perlo di riferimento: 1 luglio 1989 – 30 giugno 2001)



 Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.		Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
	Data: giugno 2005							
	RRI		04	020	R	005	01	

4.1.2 Trasposizione geografica della serie di misure ondametriche al largo di Livorno

Il sito in esame è ubicato a circa 40 Km dalla stazione ondametrica di La Spezia; le registrazioni ondametriche in esame, pur essendo rappresentative dell'esposizione climatica del Mar Ligure, non tengono conto della distinta posizione geografica del sito di interesse. E' necessario quindi applicare una metodologia di «trasposizione geografica» del clima d'onda da La Spezia al largo del litorale esame.

Il metodo di trasposizione consiste nel determinare la corrispondenza tra le direzioni, le altezze ed i periodi del moto ondoso relative al punto di misura e quelle nel punto di interesse. L'ipotesi di base della metodologia (P.Contini e P. De Girolamo, 1998) consiste nel supporre che le stesse condizioni di vento (velocità e direzione), che hanno determinato le condizioni di moto ondoso registrate dall'ondametro di La Spezia, abbiano interessato anche l'area di generazione situata al largo del sito di interesse.

Inoltre si ipotizza che le aree di generazione del moto ondoso possano essere determinate per ciascun punto utilizzando il concetto di "fetch efficace" (Seymour, 1977). Nel caso di fetch limitati, le leggi che permettono di calcolare l'altezza d'onda significativa spettrale H_{m0} e il periodo di picco spettrale T_m in funzione della lunghezza del fetch e della velocità del vento sono le seguenti (Vincent, 1984, Shore Protection Manual, 1984):

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

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

dove U_A è il fattore di velocità del vento ("wind stress factor"), dipendente in modo non lineare dalla velocità del vento misurata alla quota +10 m s.l.m., ed F è il fetch efficace relativo ad una prefissata direzione geografica.

Indicando con gli apici O e P rispettivamente le grandezze relative al punto di misura e al punto di trasposizione, e fissata una direzione geografica (direzione media da cui spira il vento) alla quale risultano associati i fetch efficaci F^P e F^O , le precedenti relazioni permettono di stabilire la ricercata corrispondenza tra le altezze ed i periodi delle onde relative al punto O e al punto P:

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

$$\frac{T_{m0}^P}{T_{m0}^O} = \left(\frac{F^P}{F^O} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

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

 Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
		Data: giugno 2005					
		RRI	04	020	R	005	01

generazione dei due punti siano interessate dalla stessa perturbazione climatica e quindi dalla stessa velocità del vento.

Il metodo si completa utilizzando la legge di Leenknecht et al., 1992 (vedi anche ACES, 1992) che stabilisce il legame tra la direzione media del vento e la direzione media del moto ondoso da esso generato. L'applicazione del metodo impone la preliminare caratterizzazione dei fetch geografici ed efficaci per i due siti (punto al largo del litorale oggetto di studio ed ondametro di La Spezia).

Nella figura 4.1.1.1 sono rappresentati i fetch geografici ed efficaci ⁽¹⁾ di La Spezia, necessari per la trasposizione geografica delle misure ondametriche dal punto di misura al largo del sito in esame. In figura 4.1.1.1.a è riportato il grafico che esprime la deviazione della direzione del vento del vento rispetto alla generica direzione del moto ondoso. Nel grafico di fig. 4.1.1.1.b vengono riportati i valori dei fetch efficaci calcolati per ciascuna direzione. Dall'analisi di quest'ultimo e della tab 4.1.1.1 si evince che il fetch efficace massimo per il paraggio in oggetto è pari a circa 320 km ed è riferibile al settore di libeccio (230°N).

Note le caratteristiche del moto ondoso registrate dall'ondametro, sulla base della legge di correlazione tra la direzione dell'onda e quella del vento si determina la direzione dell'onda nel punto di interesse. Nel contempo si definiscono i coefficienti correttivi H^0/H^0 e T^0/T^0 per il calcolo dell'altezza e del periodo dell'onda risultante nel punto di trasposizione geografica.

Nelle figure 4.1.1.2 ÷ 4.1.1.6 e nelle tabelle da 4.1.1.2 a 4.1.1.7 (vedi appendice) sono sintetizzati, nelle usuali forme grafica e tabellare, gli stati di mare ricostruiti. Da queste si evidenzia che:

- il 57.24% degli eventi (corrispondente ad una durata media annua di 6.8 mesi) ha una altezza significativa superiore ai 0.5 m (valore di soglia per la modellazione del litorale);
- gli eventi di maggior frequenza e intensità sono relativi al settore di libeccio;
- gli eventi con maggiore intensità ($H_s > 3m$) provengono prevalentemente dal settore di libeccio (1.2% - 4 giorni/anno).

¹ Le metodologie di calcolo sono riportate in appendice

 Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
	Data: giugno 2005						
	RRI	04	020	R	005	01	

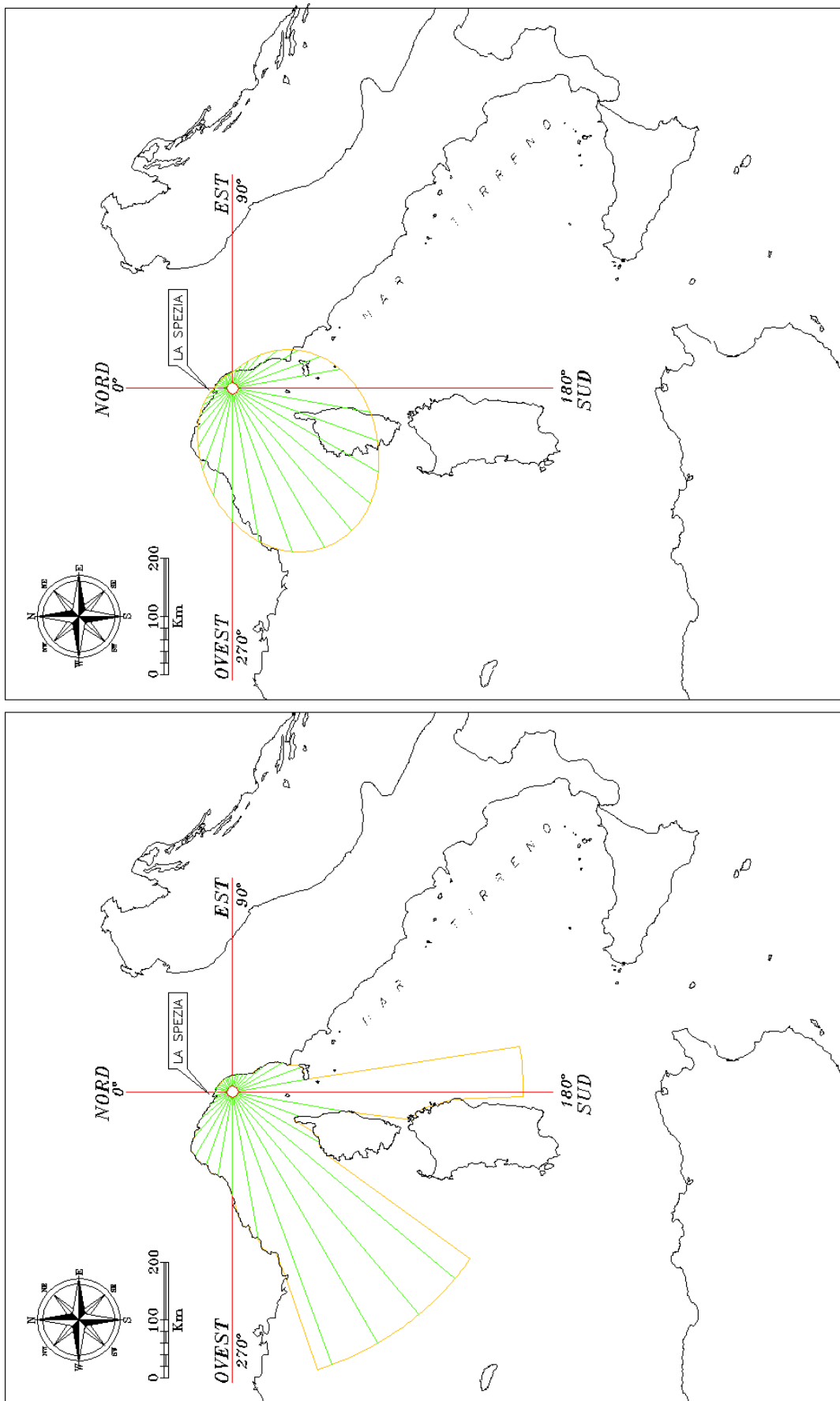


Fig. 4.1.1.1 – Fetch geografici ed efficaci al largo di La Spezia

 Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
		Data: giugno 2005					
		RRI	04	020	R	005	01

Tab. 4.1.1.1 - Fetch geografici ed efficaci - boa RON di La Spezia

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	29.57	31.81	-40.3	180	500.00	215.03	19.0
10	30.33	27.98	-39.5	190	313.23	240.52	16.8
20	27.59	25.80	-37.8	200	127.34	265.79	13.8
30	26.81	24.65	-18.5	210	170.03	289.84	10.0
40	25.89	24.09	-4.3	220	500.00	309.47	6.0
50	25.90	23.89	-0.2	230	500.00	320.04	1.0
60	26.02	24.00	4.3	240	500.00	317.35	-4.0
70	26.83	24.47	48.8	250	500.00	299.61	-9.0
80	26.99	25.52	48.8	260	275.99	268.54	-14.0
90	28.20	27.76	46.5	270	185.82	228.98	-19.0
100	30.11	32.23	43.5	280	147.21	187.34	-24.0
110	31.66	40.53	39.8	290	133.97	149.22	-28.3
120	34.79	54.42	35.8	300	130.28	117.59	-32.5
130	39.81	74.88	32.0	310	109.19	92.74	-36.3
140	65.37	101.07	28.3	320	73.53	73.48	-39.0
150	97.35	130.52	25.0	330	45.10	58.45	-40.5
160	124.16	160.35	22.5	340	33.17	46.72	-41.3
170	125.60	188.62	20.8	350	34.96	37.92	-40.5

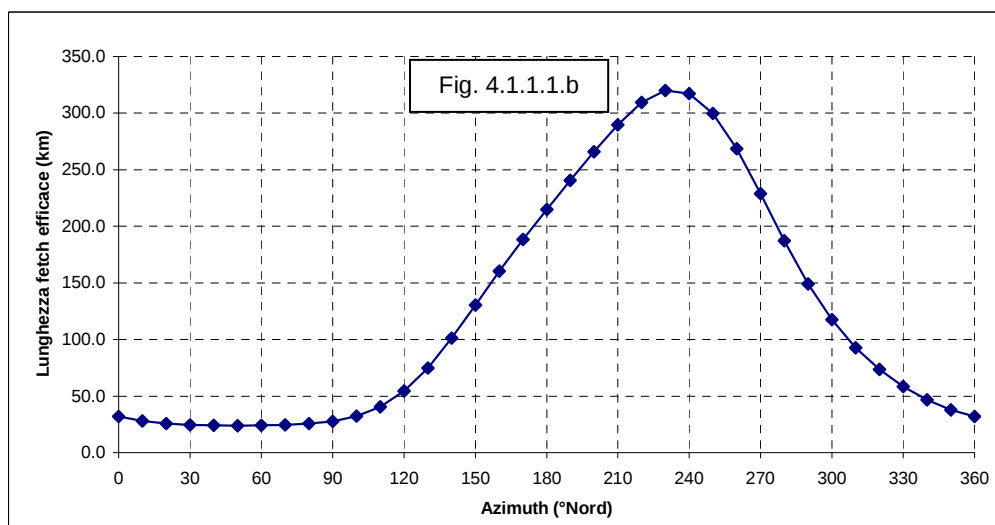
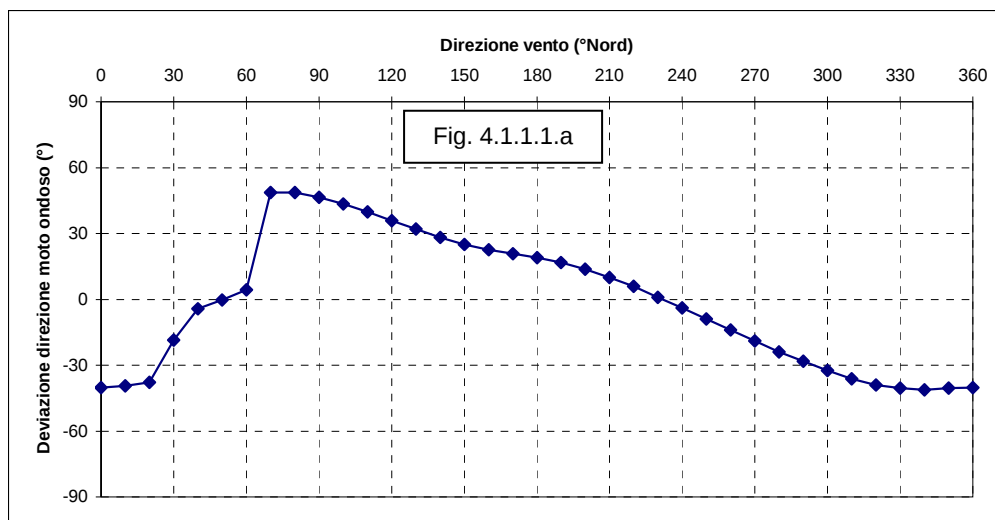
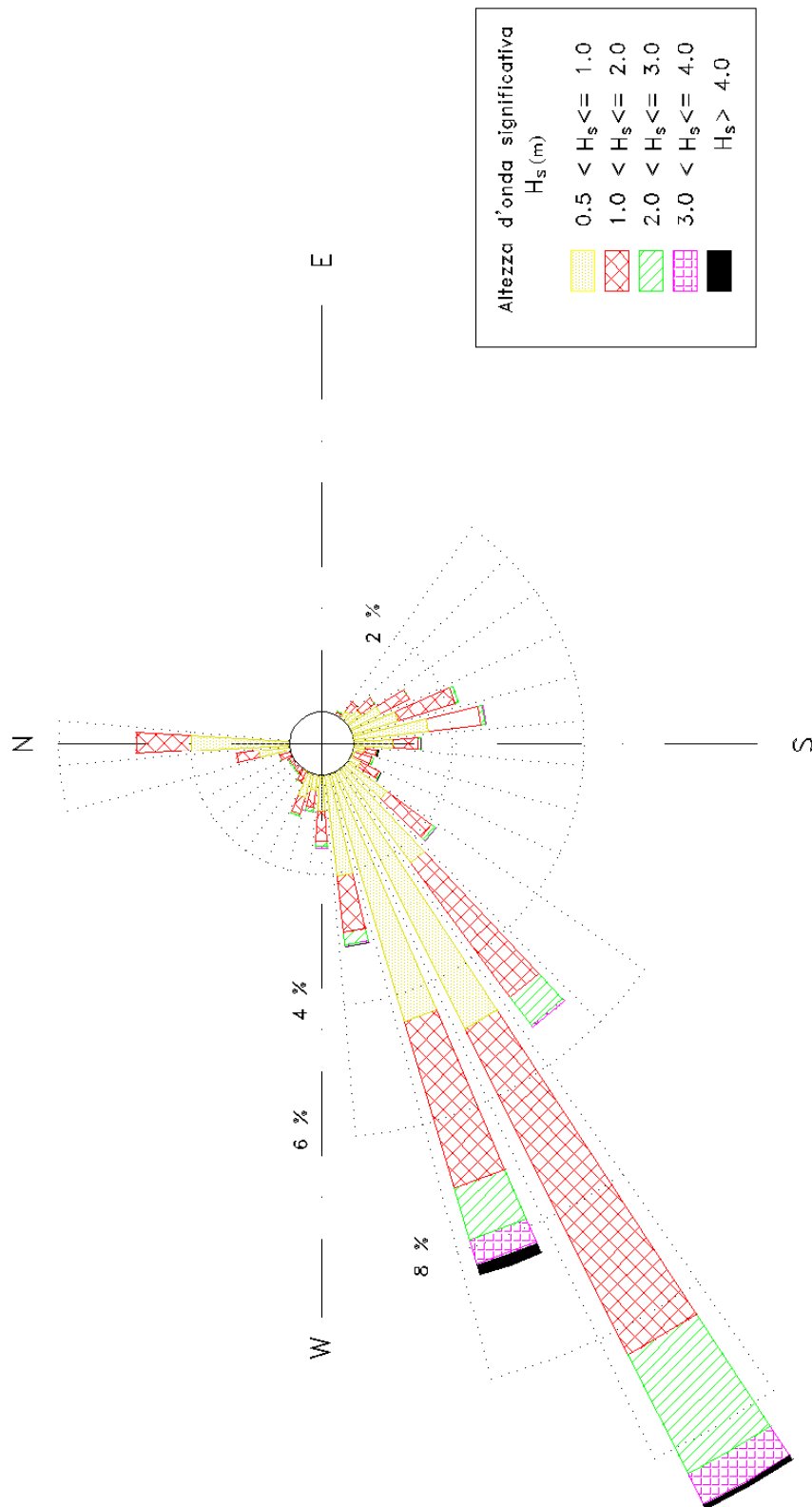
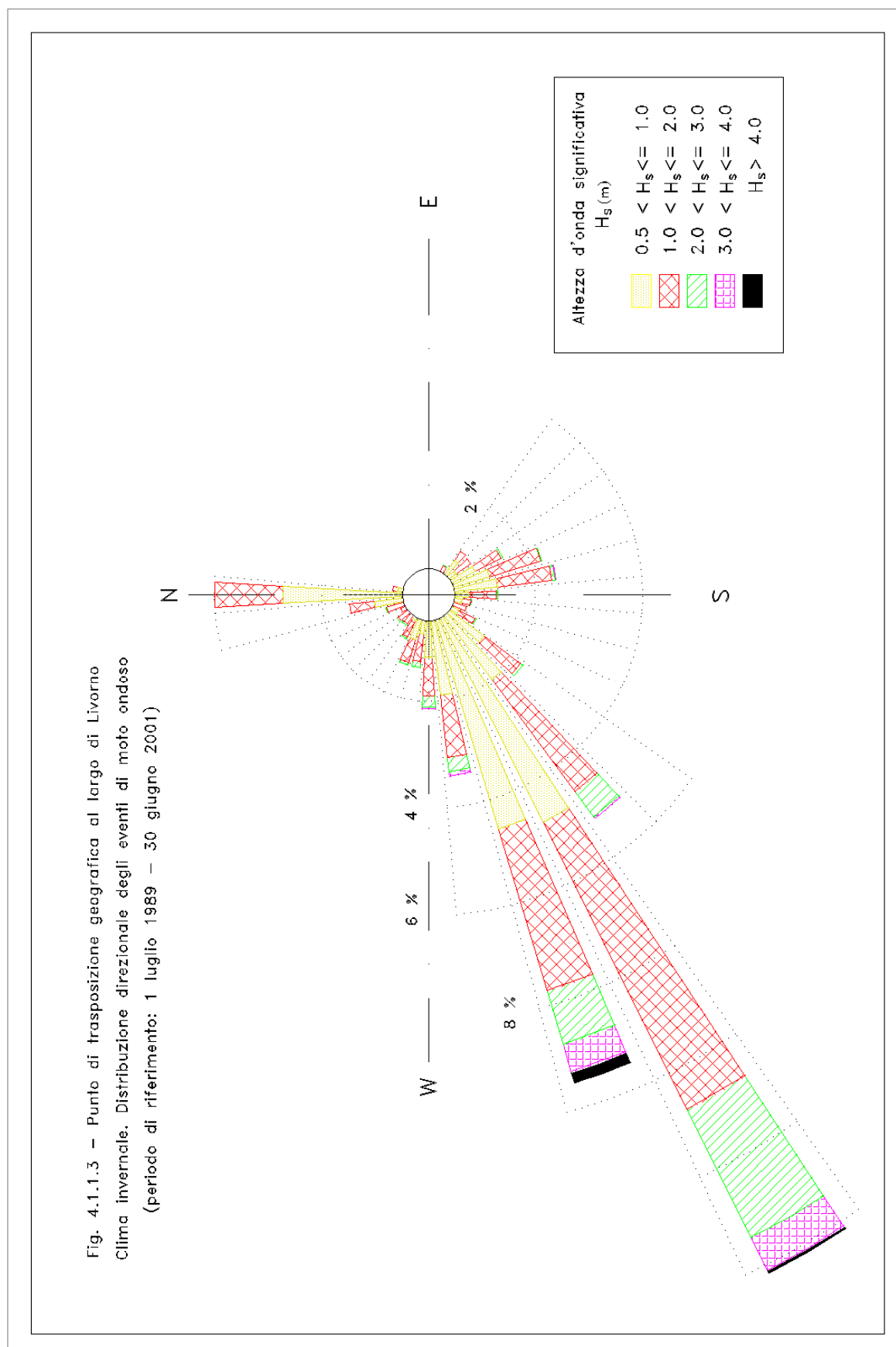
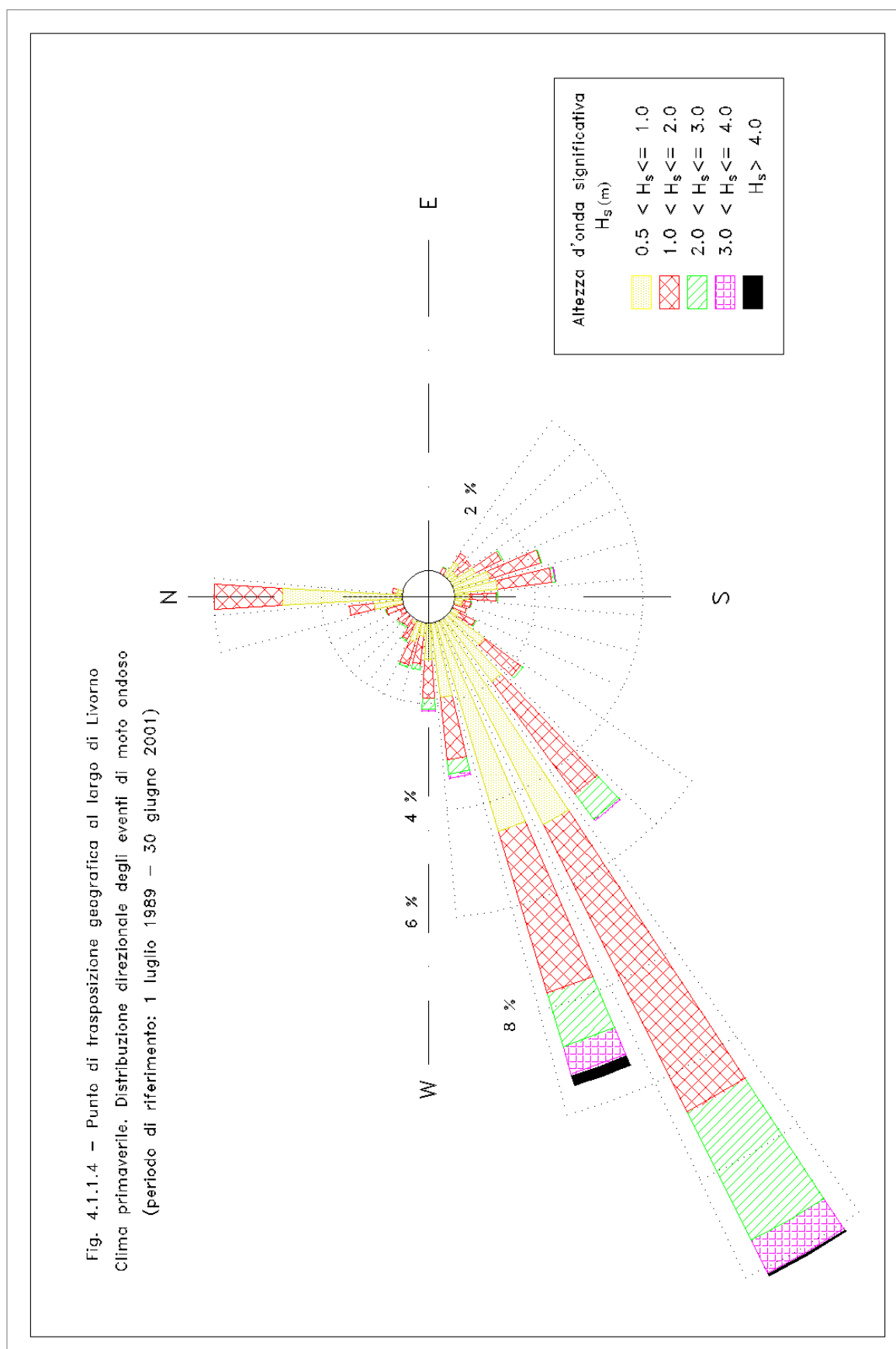


Fig. 4.1.1.2 – Punto di trasposizione geografica al largo di Livorno
Clima annuale. Distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso
(período di riferimento: 1 luglio 1989 – 30 giugno 2001)

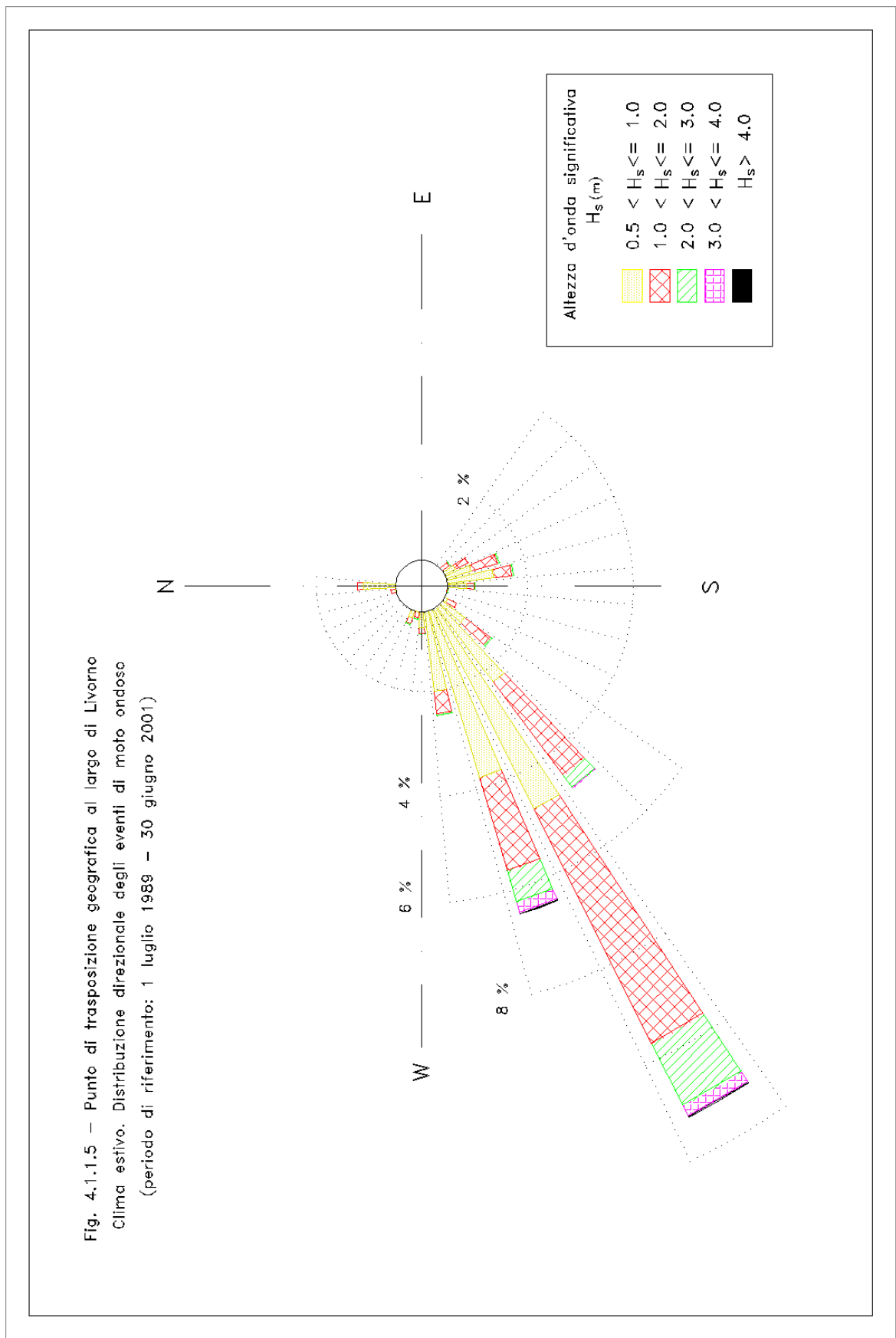




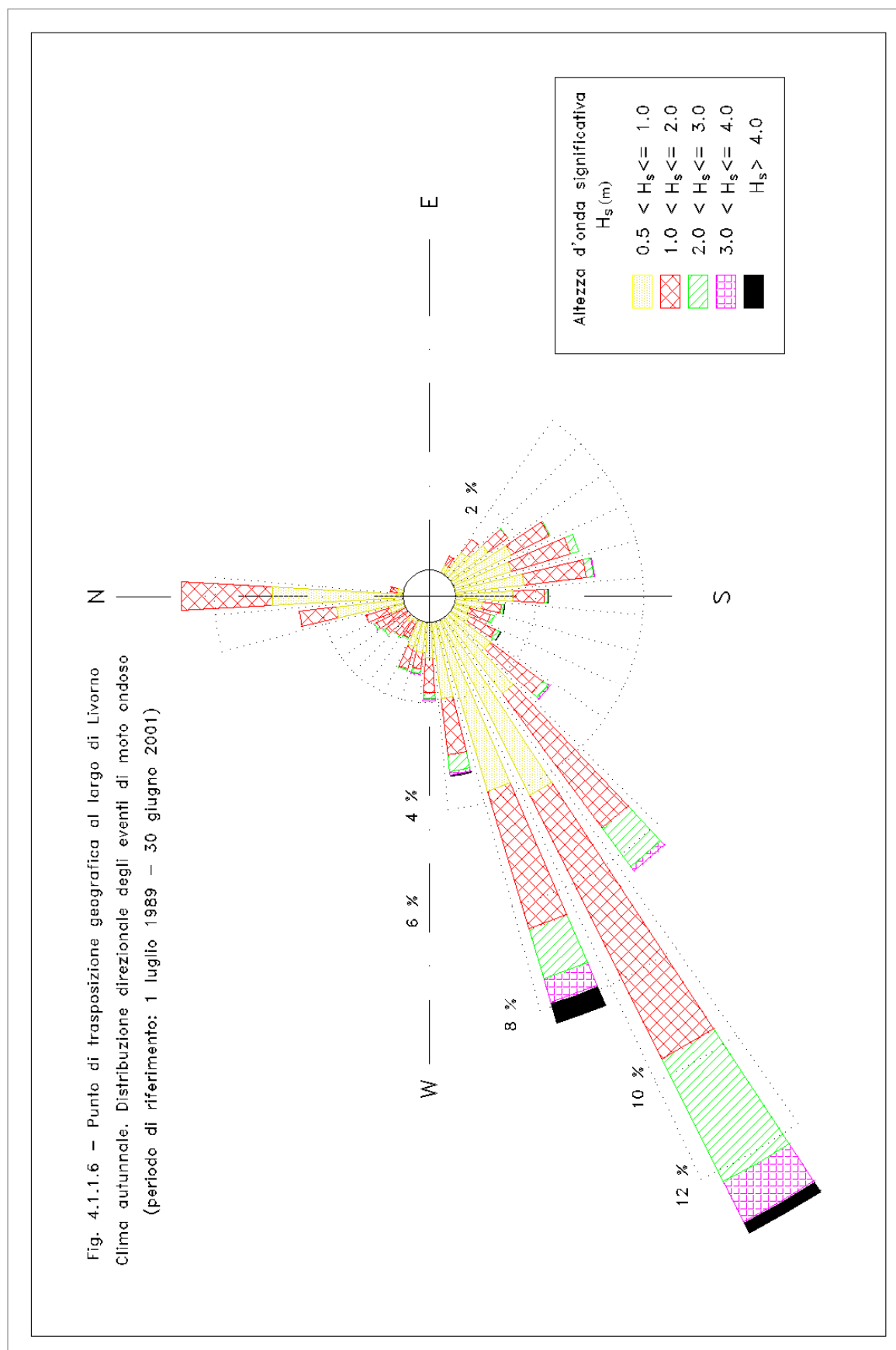
	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
Autorità Portuale di Livorno		Data: giugno 2005					
Revisione del Piano Regolatore Portuale		RRI	04	020	R	005	01



 Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinò				
		Data: giugno 2005				
		RRI	04	020	R	005
						01



	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarino					
Autorità Portuale di Livorno		Data: giugno 2005					
Revisione del Piano Regolatore Portuale		RRI	04	020	R	005	01



 Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
		Data: giugno 2005					
		RRI	04	020	R	005	01

4.2 Analisi statistiche degli eventi estremi di moto ondoso

Per la determinazione della cosiddetta "onda di progetto" in acqua profonda è necessario eseguire un'elaborazione statistica delle altezze d'onda maggiori relative alle serie storiche ricostruite al largo di Livorno. Mediante regolarizzazione della serie degli eventi estremi, secondo note funzioni probabilistiche, è possibile ricavare le caratteristiche del moto ondoso (definite in termini di altezza significativa e periodo) da associare ad assegnati tempi di ritorno (o probabilità di occorrenza). Nel caso di serie di dati relativi a misure di altezza d'onda è più affidabile l'analisi statistica di serie tronche, ottenute selezionando per i diversi settori direzionali di caratteristiche omogenee tutte le altezze d'onda significative, registrate al picco di mareggiate indipendenti, superiori ad una soglia prefissata. Infatti, il metodo delle serie tronche è da preferire sia al metodo dei massimi annuali (dati in numero limitato e per alcune "annate" ben poco estremi) sia a quello dell'analisi di tutta la serie di eventi di moto ondoso (sicuramente non indipendenti e poco omogenei).

L'individuazione di ciascuna mareggiata nell'ambito della serie storica viene effettuata introducendo una soglia di altezza d'onda e considerando che il singolo evento (mareggiata) abbia inizio quando l'altezza d'onda significativa superi per la prima volta il valore della soglia prestabilito. Similmente si ipotizza che l'evento termini quando l'altezza d'onda significativa assume per la prima volta un valore inferiore al valore di soglia. Selezionati gli "eventi di picco", l'omogeneità dei dati di solito viene assicurata raggruppando gli stessi dati in eventi caratterizzati da una simile genesi meteorologica. Ciò normalmente si traduce nel separare i valori massimi di altezze d'onda registrati in distinti settori di provenienza degli stati di mare. La scelta della soglia di troncamento deve essere effettuata al fine di garantire comunque una selezione di un numero di eventi estremi comparabile con il numero di anni di osservazione.

L'analisi del grafico polare degli eventi estremi di moto ondoso (fig.4.2.1) ha consentito di individuare un settore di traversia principale (210°÷280°N) e due settori secondari rispettivamente compresi tra le direzioni 140°÷210°N (mezzogiorno) e 280°÷350°N (maestrale). Nel settore principale sono state registrate 223 mareggiate con 80 eventi sopra la soglia di 3.20m (appendice, tab. 4.2.1 - metodo POT), nel settore secondario 140°÷210°N sono risultate 24 mareggiate ciascuna delle quali presenta un valore massimo sopra la soglia di 2,00 m (appendice, tab. 4.2.2 - metodo POT), mentre nel settore 280°÷350°N sono state registrate 48 mareggiate con 30 eventi sopra la soglia di 1.50 m (appendice, tab. 4.2.3 – metodo POT). Le serie tronche sono state elaborate effettuando dapprima una regolarizzazione di tipo statistico delle serie di valori riferita al periodo di misure e successivamente le serie "tronche" di dati sono state riferite alle usuali leggi di distribuzione probabilistica, al fine di determinare il valore "di progetto" con un prefissato tempo di ritorno, o la probabilità di non superamento durante la vita delle opere. Le leggi adottate di distribuzione di probabilità cumulata di non superamento (funzione di ripartizione) sono la legge di Weibull:

$$P(X \leq x) = 1 - e^{-\left[\frac{(x-B)}{A}\right]^\alpha}$$

 Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
		Data: giugno 2005					
		RRI	04	020	R	005	01

e la legge di Gumbel (1988)

$$P(X \leq x) = \exp[-\exp[-(x-b)/a]],$$

dove X è la variabile aleatoria, x il valore di non superamento e α , A, B, a, b sono i parametri delle distribuzioni. La stima dei parametri delle distribuzioni è stata eseguita sui valori dell'altezza d'onda significativa riportati per ciascun settore rispettivamente nelle tab. 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3. Tenendo conto che la probabilità cumulata di non superamento è legata al tempo di ritorno dell'evento dalla relazione:

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

sono stati ricavati i grafici dell'altezza d'onda associata a ciascun tempo di ritorno per ciascuna serie e per ciascun settore di traversia (vedi figg. 4.2.2, 4.2.3, 4.2.4). I risultati delle elaborazioni statistiche della serie storica indicano che:

- nel settore di traversia principale ($210^\circ \div 280^\circ N$) gli eventi estremi contraddistinti da un tempo di ritorno di 5 anni presentano una altezza d'onda significativa pari a circa 5.7 m, mentre il valore dell'altezza d'onda cinquantennale risulta pari a circa 7.3 m
- nel settore di traversia di mezzogiorno ($140^\circ \div 210^\circ N$) gli eventi estremi contraddistinti da un tempo di ritorno di 5 anni presentano una altezza d'onda significativa pari a circa 3.6 m, mentre il valore dell'altezza d'onda cinquantennale risulta pari a circa 5.4
- nel settore di traversia di maestrale ($280^\circ \div 350^\circ N$) gli eventi estremi contraddistinti da un tempo di ritorno di 5 anni presentano una altezza d'onda significativa pari a circa 2.8 m, mentre il valore dell'altezza d'onda cinquantennale risulta pari a circa 4.0 m

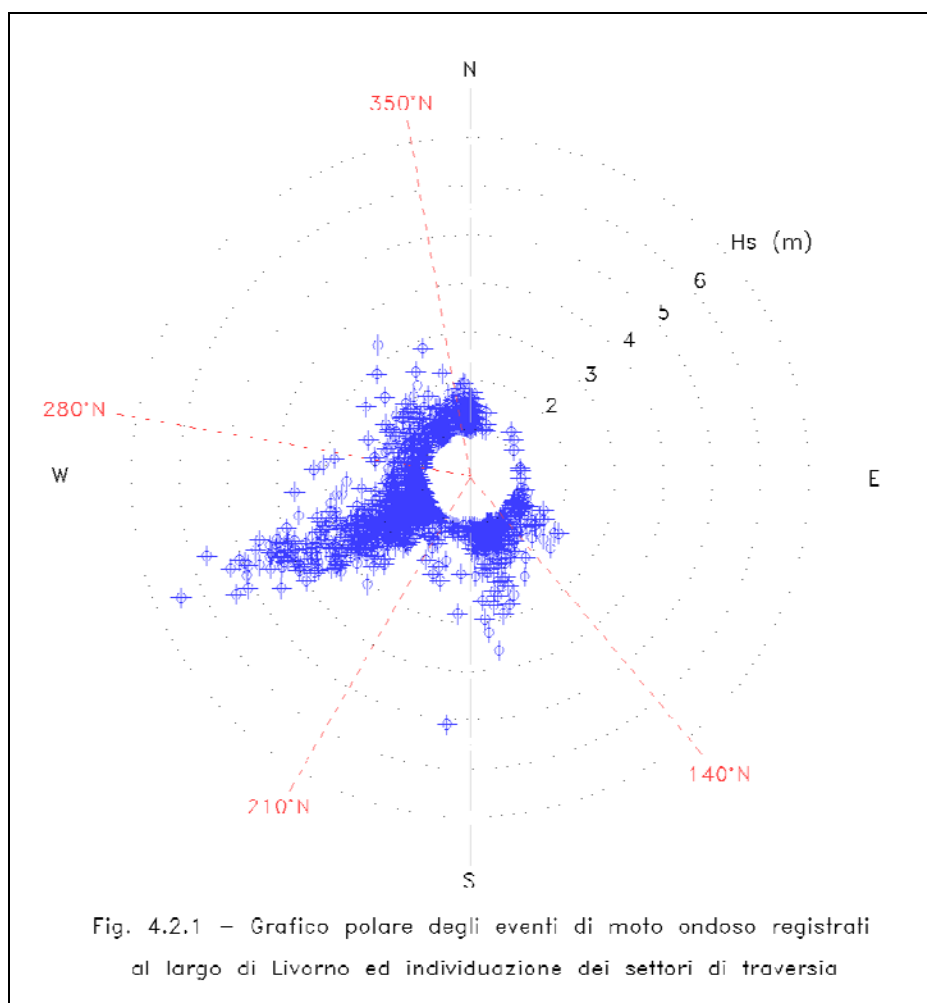
Infine, una analoga analisi statistica è stata condotta sull'intero settore ($140^\circ \div 350^\circ N$) significativamente esposto al moto ondoso: nel periodo considerato sono state registrate 259 mareggiate con 84 eventi sopra soglia pari a 3.20 m (appendice, tab. 4.2.4 - metodo POT). Nella fig. 4.2.5 viene riportato il grafico dell'altezza d'onda associata a ciascun tempo di ritorno relativo all'intero settore.

Dall'analisi dei risultati si osserva che valori dell'altezze d'onda significative associate ai diversi tempi di ritorno nel "settore d'insieme" ($140^\circ \div 350^\circ N$) differiscono minimamente da quelli calcolati per il settore di traversia principale; pertanto risulta immediato dedurre che gli eventi più intensi possano provenire quasi esclusivamente da quest'ultimo settore. Nella tabella seguente sono sintetizzati i valori delle caratteristiche del moto ondoso al largo di Livorno per il settore di traversia principale con $Tr=50$ e 100 anni per la serie ondometrica trasposta al largo di Livorno. La definizione del periodo associato all'altezza d'onda di progetto è stata calcolata facendo ricorso alle recenti correlazioni tra altezza d'onda spettrale (H_{m0}) e periodo di picco fornite dall' "Atlante delle onde dei mari italiani" (APAT- Università di Roma Tre, 2004) nel quale si utilizza una regressione del tipo $T_p = b (H_{m0})^c$; in particolare per il sito in esame in esame si è utilizzata l'espressione:

$$T_p = 9.559 (H_{m0})^{0.090}$$

 Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
		Data: giugno 2005					
		RRI	04	020	R	005	01

Tr (anni)	Settore di traversia (°N)	Altezza significativa al largo H _{so} (m)	Periodo di picco T _p (s)
50	210-280°N	7.30	11.4
100	210-280°N	7.70	11.5



 Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinò					
		Data: giugno 2005					
		RRI	04	020	R	005	01

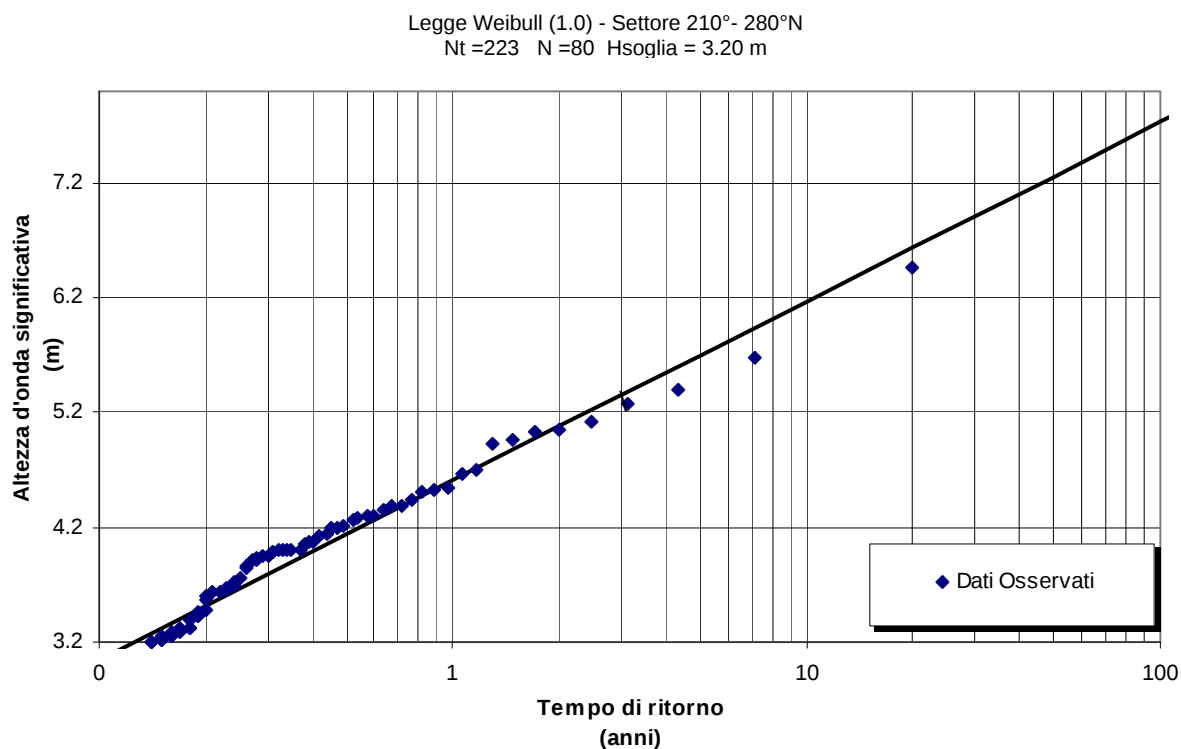


Fig. 4.2.2: Statistica delle onde significative al largo di Livorno

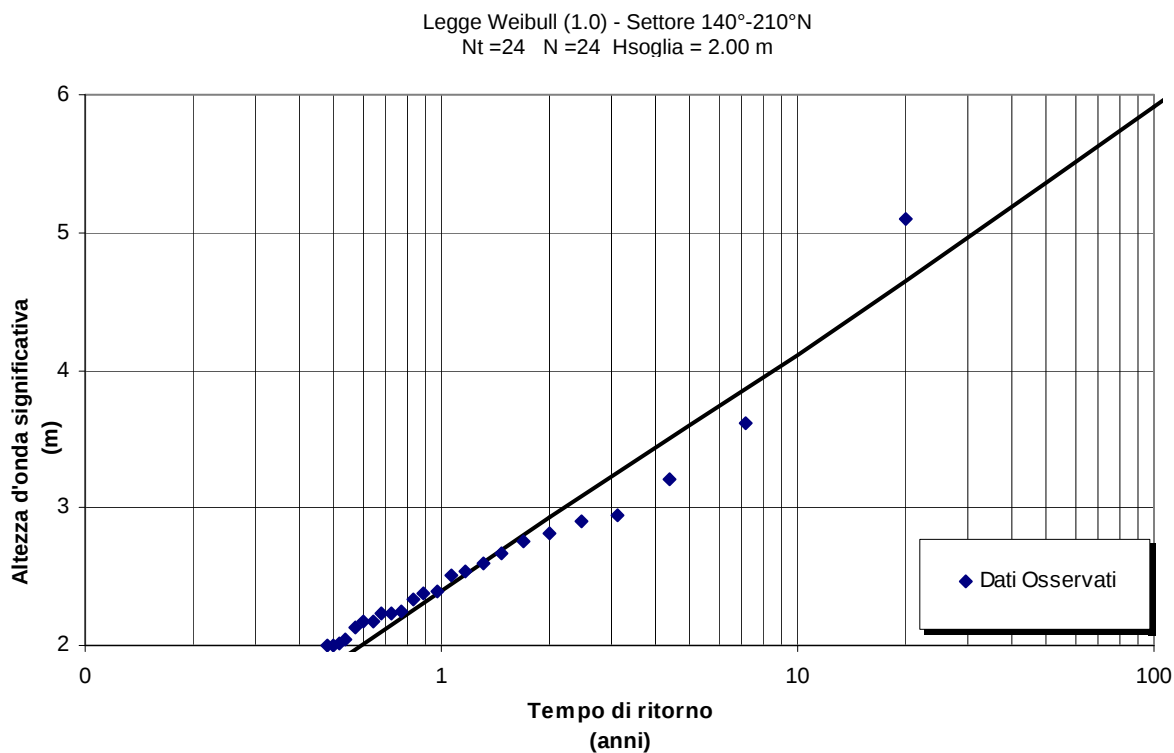


Fig. 4.2.3: Statistica delle onde significative al largo di Livorno

 Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.		Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
	Data: giugno 2005							
	RRI		04	020	R	005	01	

4.3 Propagazione sotto costa della serie di misure ondametriches

Per definire le condizioni di moto ondoso in prossimità dell'imboccatura portuale e delle opere foranee e per la definizione del clima ondamentrico sotto costa, è stato eseguito uno studio di propagazione del moto ondoso da largo a riva. A tal fine è stato necessario in primo luogo scegliere il modello numerico più appropriato per lo studio in questione. La scelta del modello numerico viene normalmente effettuata a valle di un'analisi dei principali fenomeni fisici che condizionano l'evoluzione delle onde durante la propagazione. Tale analisi si basa fondamentalmente su una attenta lettura della conformazione batimetrica dei fondali e delle relative condizioni al contorno che per il sito in esame sono in funzione anche delle direzioni di provenienza del moto ondoso al largo.

Si può ragionevolmente ritenere che l'influenza in termini percentuali dei procedimenti generativi del moto ondoso ad opera del vento che intervengono nella propagazione largo-riva, possano essere, nel caso in esame, trascurati, poiché la zona di evoluzione del moto ondoso su bassi fondali risulta di estensione notevolmente inferiore rispetto a quella, posta in mare aperto, dove le onde vengono generate. Per quanto riguarda i meccanismi che influiscono nella propagazione delle onde sui fondali via via decrescenti che "collegano" il mare aperto alla zona di interesse, la presenza delle secche della Meloria caratterizzate da un andamento irregolare delle linee batimetriche (profondità minima di 2 m a circa 7 Km dalla costa), comporta che oltre ai fenomeni principali della rifrazione e dello shoaling, non possano essere ritenuti trascurabili per gli eventi di una certa importanza i processi dissipativi (attrito sul fondo e frangimento). Per questo motivo i risultati ottenuti con la propagazione sottocosta della serie di dati ondamentrici inizialmente trasposta da La Spezia al largo del sito in esame, condotta tramite il modello numerico di propagazione inversa spettrale MEROPE, possono essere considerati validi unicamente per un'analisi climatica del moto ondoso, in quanto tale modello non consente di tener conto dei fenomeni dissipativi suddetti.

La serie di dati ondamentrici della boa di La Spezia trasposta al largo del porto in esame è stata riportata sotto costa utilizzando il modello numerico di propagazione inversa spettrale MEROPE per la definizione di un database di riferimento utilizzato in una seconda fase dal programma PEGASO per la ricostruzione del clima di moto ondoso sotto costa. La prima fase dello studio della rifrazione richiede la digitalizzazione dei valori di profondità e la costruzione di un adeguato reticolo batimetrico che tenga conto della topografia sottomarina sui "bassi" fondali (profondità inferiori alla semi-lunghezza d'onda, cioè dell'ordine dei 100 m). I dati di profondità sono stati ricavati sia dalle carte nautiche che dai rilievi batimetrici appositamente eseguiti sulla zona più prossima alla spiaggia in esame (vedi fig. 4.3.1). In particolare, sono state utilizzate la carta nautica n° 4 « Dal Gombo al Canale di Piombino» (scala 1:100.000), edita dall'Istituto Idrografico della Marina. Al fine di ottenere un quadro completo del regime di moto ondoso sottocosta è stata condotta l'applicazione del modello MEROPE per un punto di rifrazione P posto ad una distanza di circa 1600 m dall'imboccatura portuale alla profondità di circa 10.5 m (vedi fig. 4.3.1).

 Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
		Data: giugno 2005					
		RRI	04	020	R	005	01

Per il punto P sono stati calcolati 20 piani d'onda per altrettanti periodi compresi tra 2 e 22 secondi, tracciando una serie di raggi (ortogonali ai fronti d'onda), spaziati di 0.5° , sino a coprire l'intero settore (geografico) di traversia. I risultati della rifrazione inversa-spettrale sono sintetizzati in forma tabellare e grafica (tabelle 4.3.1, 4.3.2, 4.3.3 e figure 4.3.2 e 4.3.3) per tutti gli spettri ondosi simulati (tipo JONSWAP), avendo distinto quelli di minore intensità e maggior frequenza (utili per ottenere il regime medio sottocosta) da quelli estremi. Nelle tabelle, dove sono riportati i 9 spettri più rappresentativi del clima d'onda (con T_p variabile da 4 a 12 s e con $H_s = 1$ m in quanto il modello è lineare), sono utilizzati i seguenti simboli:

H_{so} = altezza d'onda significativa al largo;
 Az_{mo} = direzione di provenienza al largo;
 T_{so} = periodo d'onda al largo;
 K = coefficiente di rifrazione;
 Az_{mr} = direzione di provenienza a riva;
 H_{sr} = altezza d'onda significativa a riva;
 T/T_o = rapporto tra il periodo d'onda al largo e a riva.

Nella figura 4.3.3 sono rappresentate in forma grafica le corrispondenze tra le direzioni del moto ondoso incidente dal largo (ascisse) ed i relativi valori di direzione calcolati a riva per i 9 spettri riportati nelle tabelle 4.3.1, 4.3.2 e 4.3.3. In particolare, esaminando il grafico riportato in fig. 4.3.3 si osserva che:

- le onde di libeccio-mezzogiorno ($200^\circ N$) non subiscono sostanziali rotazioni e mantengono una traiettoria pressoché rettilinea nell'avvicinamento a riva;
- le onde provenienti da ponente ($270^\circ N$) subiscono mediamente una deviazione direzionale variabile da 1 a 5° a seconda della componente spettrale considerata (le deviazioni più consistenti corrispondono alle componenti dello spettro aventi i periodi maggiori);
- le onde provenienti da Sud-SudEst ($150^\circ N$) subiscono una deviazione direzionale più consistente variabile dai 20° ai 40° .

La figura 4.3.2 riporta (limitatamente ai 9 spettri presi ad esempio) la corrispondenza dell'altezza d'onda significativa sotto costa rispetto alla direzione di incidenza al largo espressa dal valore del coefficiente k ($k = k_r \cdot k_s$ con k_r coefficiente di rifrazione e k_s coefficiente di shoaling). Da tale figura e dalle tabelle di sintesi da cui esse sono state ricavate, si osserva che nel punto considerato le componenti dello spettro provenienti dal settore $230 - 270^\circ N$ associate ai periodi maggiori risultano schermate dalla presenza delle secche della Meloria in quanto presentano una riduzione variabile dal 22 al 25% del coefficiente k . Tale riduzione per le componenti con periodi minori risulta mediamente pari a circa il 15%. E' doveroso osservare che nella propagazione verso riva degli eventi di moto ondoso in oggetto intervengono anche fenomeni dissipativi di frangimento di cui il modello matematico di rifrazione inversa impiegato non tiene conto. Gli stati di mare associati a periodi elevati provenienti da mezzogiorno ($180^\circ N$) presentano i maggiori valori del coefficiente k (pari a circa al 90%).

 Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
		Data: giugno 2005					
		RRI	04	020	R	005	01

Per completare l'analisi del clima sotto costa la serie ondametria determinata al largo è stata propagata a riva nel punto P precedentemente definito. I risultati dei calcoli condotti con il programma MEROPE sono sintetizzati per classi di altezza e direzione (tabelle da 4.3.4 a 4.3.8 e figura 4.3.4) al fine di fornire un'utile visione d'insieme del clima d'onda sotto costa, mentre nelle tabelle 4.3.9a e 4.3.9b gli eventi sono suddivisi per classi di H_s e di periodo di picco (T_p). Da queste si evidenzia che:

- gli eventi con maggiore frequenza di accadimento sono relativi al settore di libeccio-ponente (il 64% degli eventi provengono dal settore 200° - 290° N);
- gli eventi con maggiore intensità ($H_s > 2.5$ m) provengono dai settori libeccio e ponente (200° - 270° N), con una frequenza dell'1%, pari a circa 4 giorni/anno;
- il 50% degli eventi (corrispondente ad una durata di 6.0 mesi) ha una altezza significativa superiore ai 0.5 m (valore di soglia per la modellazione morfologica del litorale)
- le stagioni in cui si riscontra una maggiore durata del valore di H_s al di sopra della soglia dei 2.5 m, risultano essere l'autunno e l'inverno con durate complessive rispettivamente di 7 e 5 giorni.

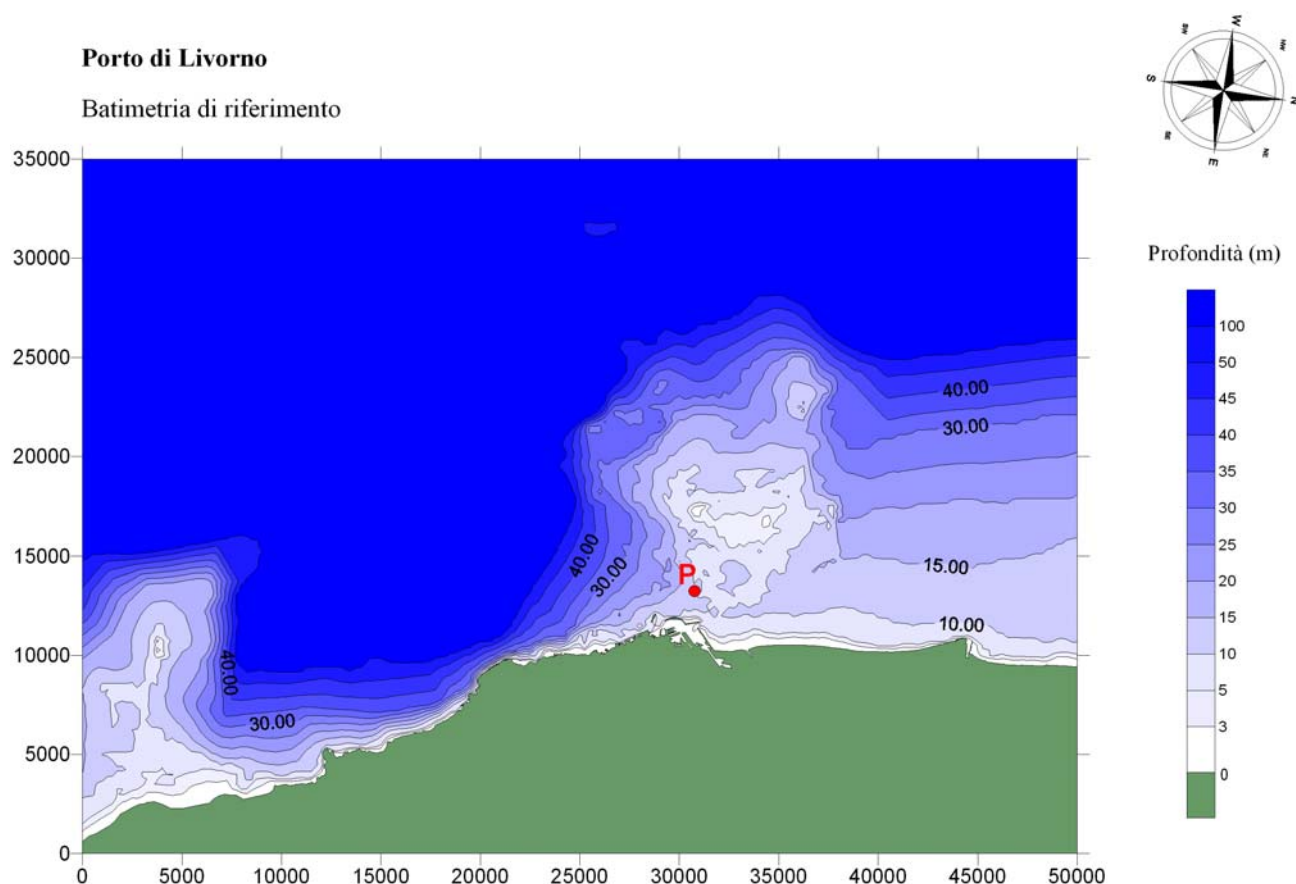


Fig. 4.3.1

 Autorità Portuale di Livorno Revisone del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.		Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
			Data: giugno 2005					
	RRI	04	020	R	005	01		

Fig. 4.3.2: Punto di rifrazione inversa P : Rapporto tra l'altezza d'onda al largo H_{so} e sotto costa in funzione della direzione del moto ondoso al largo

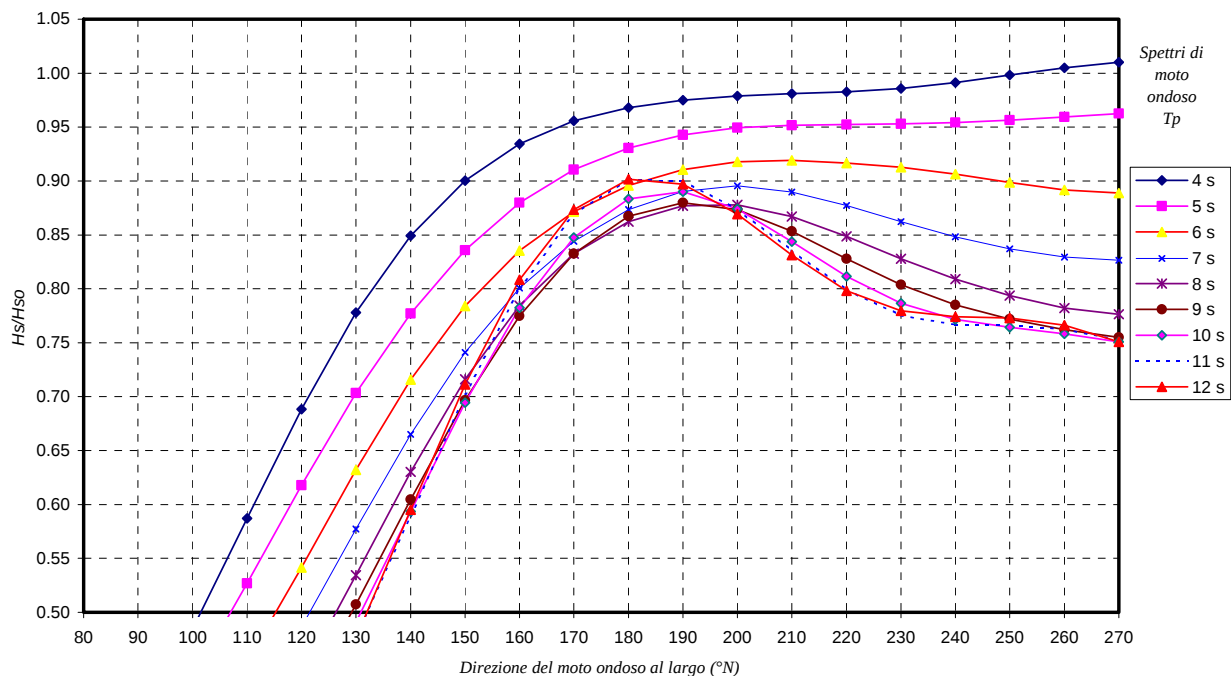
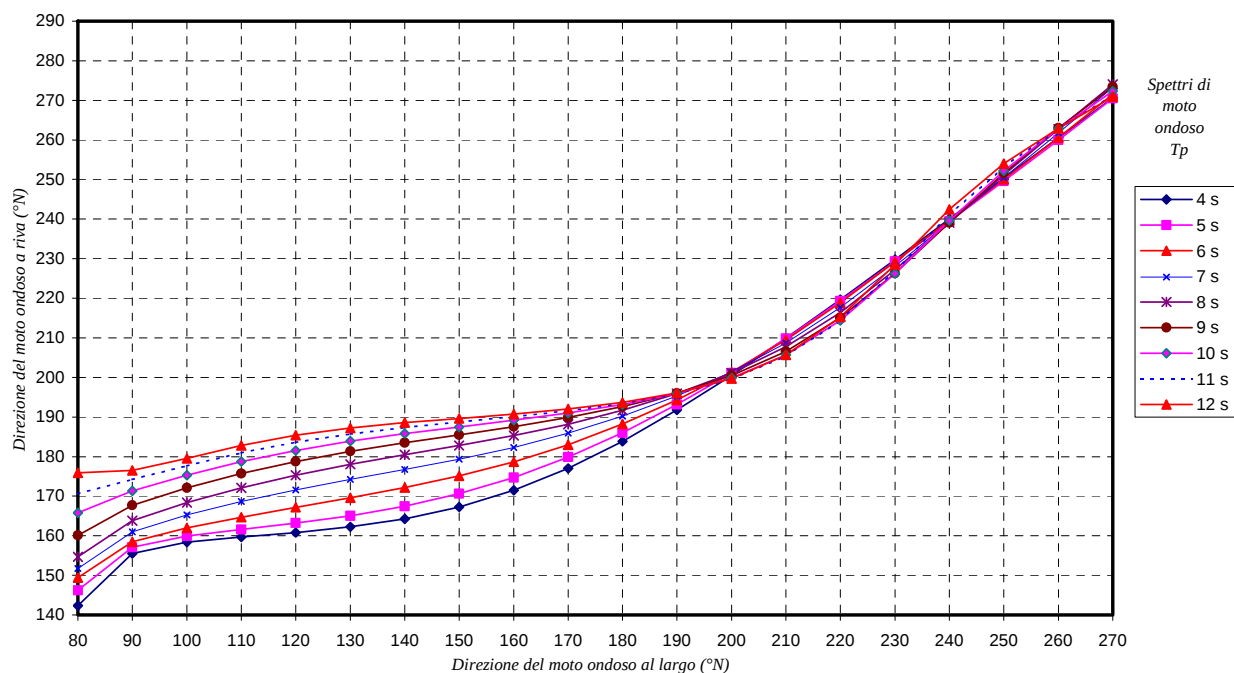
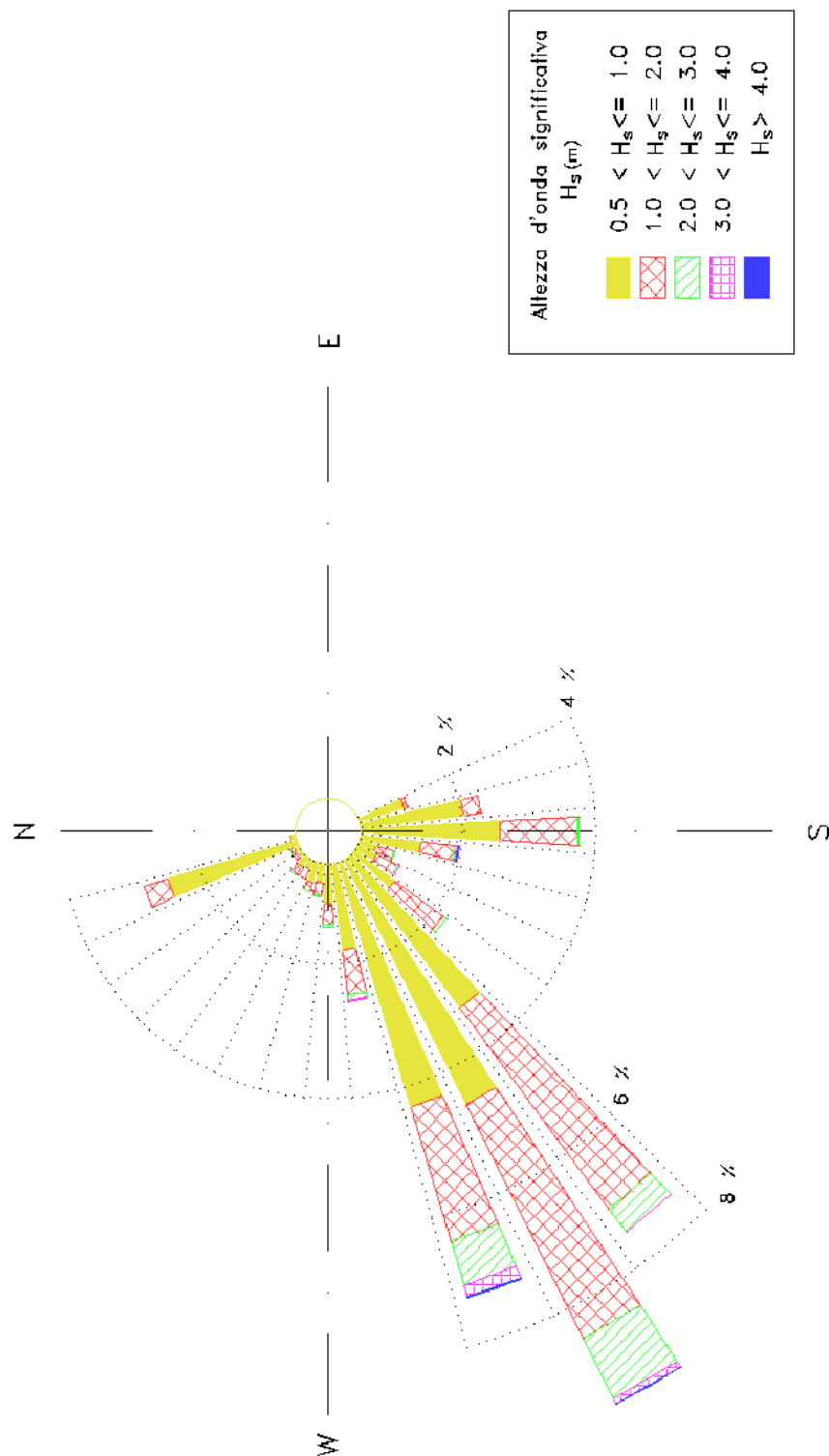


Fig. 4.3.3: Punto di rifrazione inversa P : Corrispondenza direzioni di moto ondoso largo - riva



	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
Autorità Portuale di Livorno		Data: giugno 2005					
Revisione del Piano Regolatore Portuale		RRI	04	020	R	005	01

Fig. 4.3.4 – Punto di rifrazione inversa P
Clima annuale. Distribuzione direzionale degli eventi d' moto ondoso
(periodo di riferimento: 1 luglio 1989 – 30 giugno 2001)



 Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.		Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
	Data: giugno 2005							
	RRI		04	020	R	005	01	

4.4 Analisi del moto ondoso sotto costa con il modello di rifrazione diretta spettrale SWAN

Al fine di poter effettuare correttamente l'analisi della trasformazione delle caratteristiche del moto ondoso durante la propagazione dal largo a riva del sito in esame (dove la topografia fortemente irregolare dei fondali non consente di trascurare i processi dissipativi quali attrito sul fondo e frangimento), è stato utilizzato il modello matematico bidimensionale di rifrazione diretta spettrale SWAN vers. 40.11 (sviluppato dal Delft University of Technology).

Propagandosi su fondali via via decrescenti, le onde subiscono una serie di trasformazioni geometriche e perdite di energia che ne modificano le caratteristiche (in termini di altezza, lunghezza d'onda e direzione del fronte) indotte essenzialmente dai fenomeni di rifrazione e shoaling. Il primo fenomeno (rifrazione) consiste essenzialmente in una trasformazione tridimensionale del campo d'onda dovuta alle variazioni del fondale; tali variazioni comportano contestualmente la rotazione dei fronti d'onda per rallentamento differenziale e la variazione delle altezze, per effetto della conservazione del flusso di energia fra le "ortogonali" vicine. Il fenomeno dello shoaling è una trasformazione bidimensionale delle onde che ne provoca il progressivo accorciamento ed incremento in altezza durante l'avanzamento su profondità decrescenti, causata dalla variazione della celerità di gruppo indotta dal fondale.

Il modello SWAN è in grado di simulare i principali fenomeni fisici presenti nel processo propagativo, rappresentati da:

- rifrazione e shoaling dovuto alle interazioni del moto ondoso con il fondale
- dissipazioni energetiche indotte dal frangimento;
- dissipazioni energetiche indotte dall'attrito sul fondo;

Il modello inoltre è in grado di tener conto, anche se non in modo esatto, della diffrazione indotta dalla presenza di eventuali ostacoli, mediante l'eliminazione delle componenti spettrali che si propagano verso la cosiddetta "zona d'ombra energetica" (area geometricamente protetta dall'ostacolo la cui forma e le cui dimensioni dipendono dall'angolo di incidenza, dalla lunghezza dell'onda esterna, e dal potere riflettente dell'ostacolo).

L'applicazione del modello SWAN ha richiesto la preliminare digitalizzazione dei valori di profondità (ricavati dalla carta nautica n° 4 « Dal Gombo al Canale di Piombino» - scala 1:100.000, edita dall'Istituto Idrografico della Marina) per la costruzione di due adeguati reticoli batimetrici che consentano di tenere conto opportunamente della topografia del terreno. Considerata la particolare morfologia dei fondali ed avendo voluto simulare la presenza delle secche della Meloria e delle secche di Vada, la propagazione degli eventi di moto ondoso è stata effettuata a partire all'interno di un'area molto ampia (50.00 x 35.00 km, dalla foce del fiume Cecina a sud a Gombo a nord), in seguito trasferita in un dominio più ristretto (13.80 x 9.375 km) relativo all'area oggetto di studio (fig. 4.4.1).

	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.		Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
Autorità Portuale di Livorno			Data: giugno 2005					
Revisione del Piano Regolatore Portuale	RRI	04	020	R	005	01		

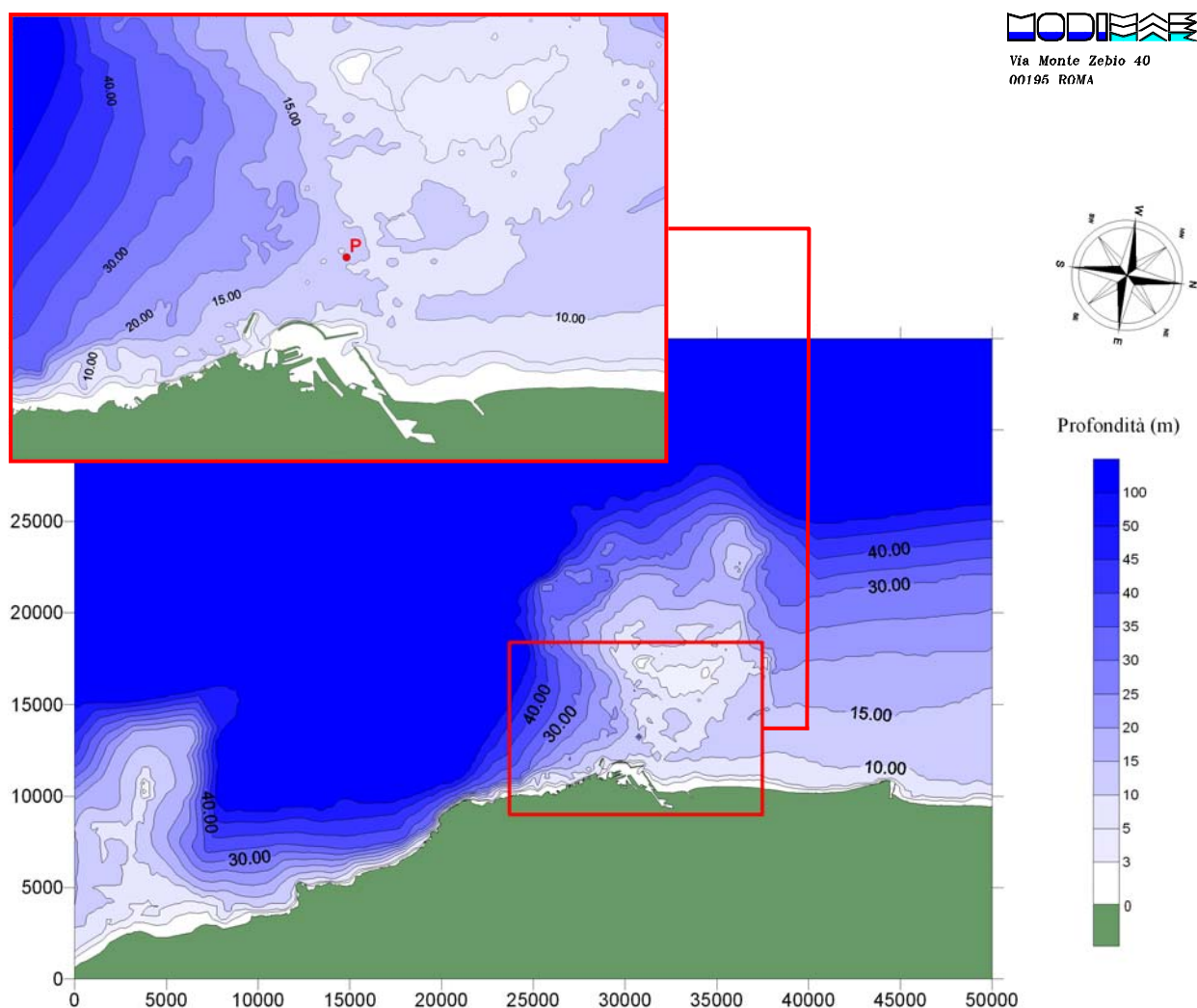


Fig. 4.4.1

Le caratteristiche del moto ondoso simulate al largo dalla griglia esterna sono state propagate fino alla frontiera dell'area interna ed inserite come condizioni al contorno nelle simulazioni di dettaglio. Le griglie di calcolo sono state ricavate mediante un programma di interpolazione tridimensionale (SURFER) partendo da una discretizzazione planimetrica di base a maglia quadrata nei nodi della quale sono stati calcolati i valori della profondità del fondale.

Il dominio esterno presenta maglie quadrate di 250 m di lato per un totale di 28000 nodi di calcolo, mentre nella griglia interna (nested grid) sono stati utilizzati 23000 nodi di calcolo con una discretizzazione spaziale regolare di 75 m per lato: tale operazione assicura l'accuratezza necessaria nella ricerca della soluzione numerica delle variabili. Entrambe le griglie di calcolo presentano l'asse Y orientato a 260°N. Per le caratteristiche del moto ondoso introdotte nelle condizioni al contorno del modello, sono state selezionate le mareggiate estreme aventi un tempo di ritorno cinquantennale (par. 4.2) e tre tra le direzioni prevalenti. In particolare sono

 Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
		Data: giugno 2005					
		RRI	04	020	R	005	01

stati simulati i seguenti stati di mare ritenuti rappresentativi delle condizioni di tempesta estreme nello studio del campo d'onda del paraggio costiero in esame (in via cautelativa il periodo di picco associato all'altezza d'onda estrema è stato assunto pari a 12 s):

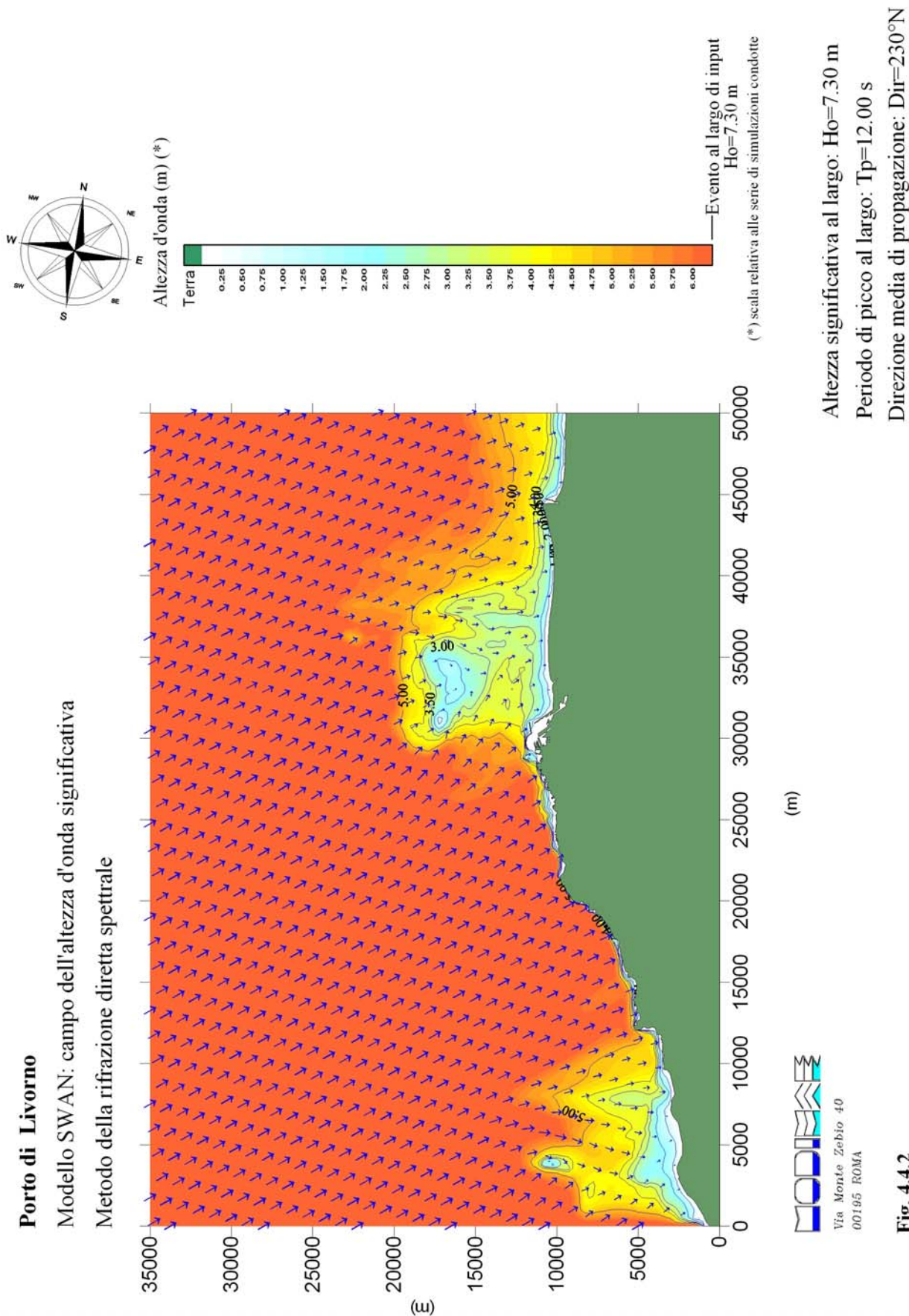
- $H_{s0}=7.30$ m, $T_p=12.00$ s, $Dir=230^\circ N$ - figg. 4.4.2, 4.4.3
- $H_{s0}=7.30$ m, $T_p=12.00$ s, $Dir=240^\circ N$ - figg. 4.4.4, 4.4.5
- $H_{s0}=7.30$ m, $T_p=12.00$ s, $Dir=250^\circ N$ - figg. 4.4.6, 4.4.7

Dall'analisi delle elaborazioni effettuate appare evidente che la variazione della direzione di provenienza degli eventi estremi simulati non comporta variazioni significative nel campo d'onda risultante. Come è possibile osservare dalle figg. 4.4.2 ÷ 4.4.7, le altezze d'onda significative risultano pari a circa 4 m a ridosso della diga foranea del porto; in corrispondenza dell'attuale imboccatura nord (più protetta) le altezze d'onda si riducono a circa 2m, mentre si rilevano valori prossimi ai 5 m nei pressi dell'imboccatura sud dove gli stati di mare provenienti da libeccio non risentono dell'effetto schermo esercitato dalle secche. In particolare nel punto P definito nel paragrafo precedente e riportato nelle figg. 4.3.1 e 4.4.1, si ottengono i seguenti valori delle caratteristiche del moto ondoso:

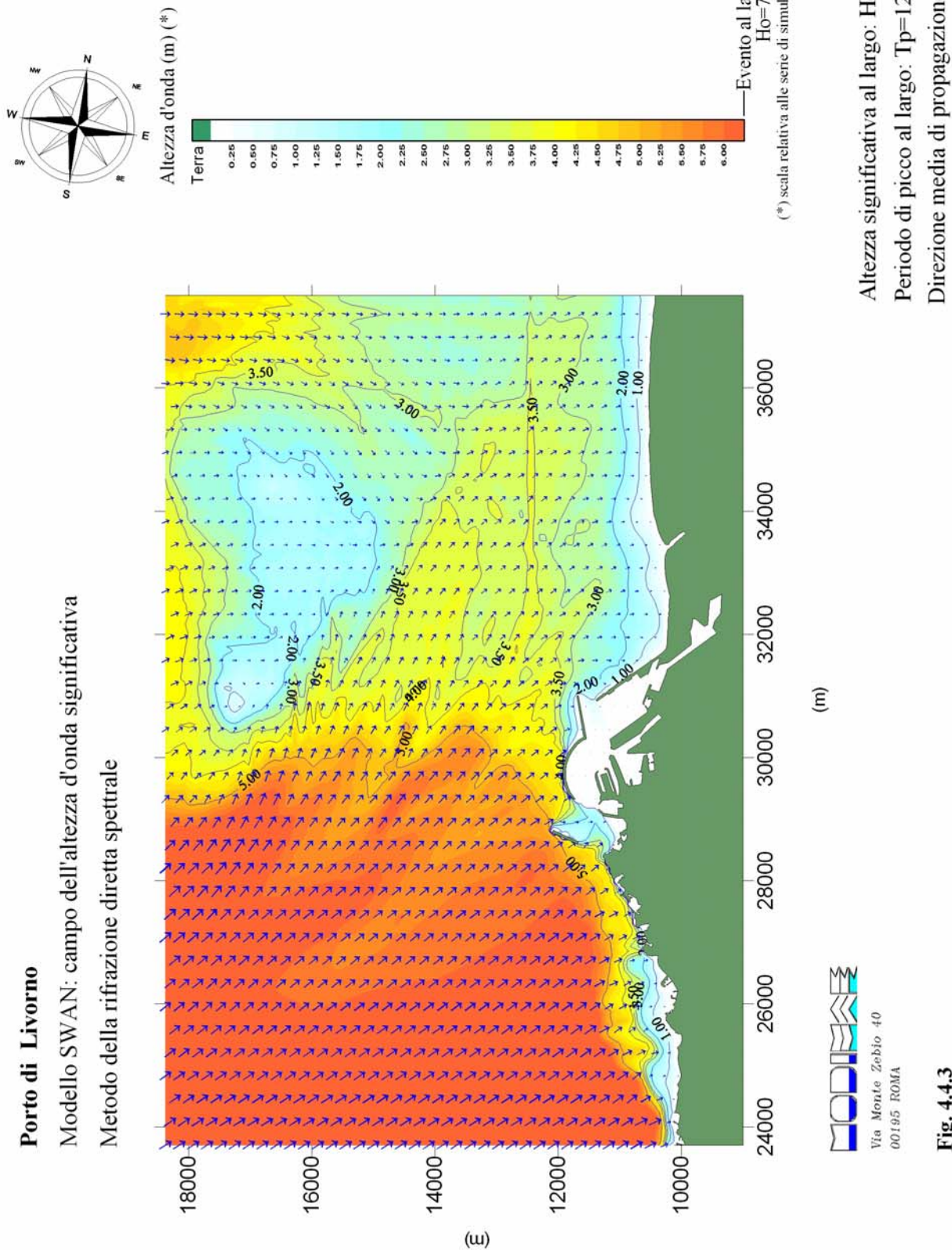
	Hso=7.3 m - Dir=230°N			Hso=7.3 m - Dir=240°N			Hso=7.3 m - Dir=250°N		
	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°N)	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°N)	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°N)
P	4.23	12.41	209.10	4.17	12.41	211.86	4.07	12.41	214.27

In definitiva nel punto P si osserva una riduzione media di circa il 43% dell'altezza d'onda: tale attenuazione è attribuibile principalmente all'effetto schermo esercitato dalle secche sui contributi spettrali provenienti da Ovest. Come era prevedibile la riduzione dell'altezza d'onda significativa calcolata con il modello SWAN (metodo della rifrazione diretta spettrale) risulta notevolmente maggiore a quella ottenuta con il modello Merope (circa il 22%, vedi fig. 4.3.2) poiché quest'ultimo non tiene conto del frangimento.

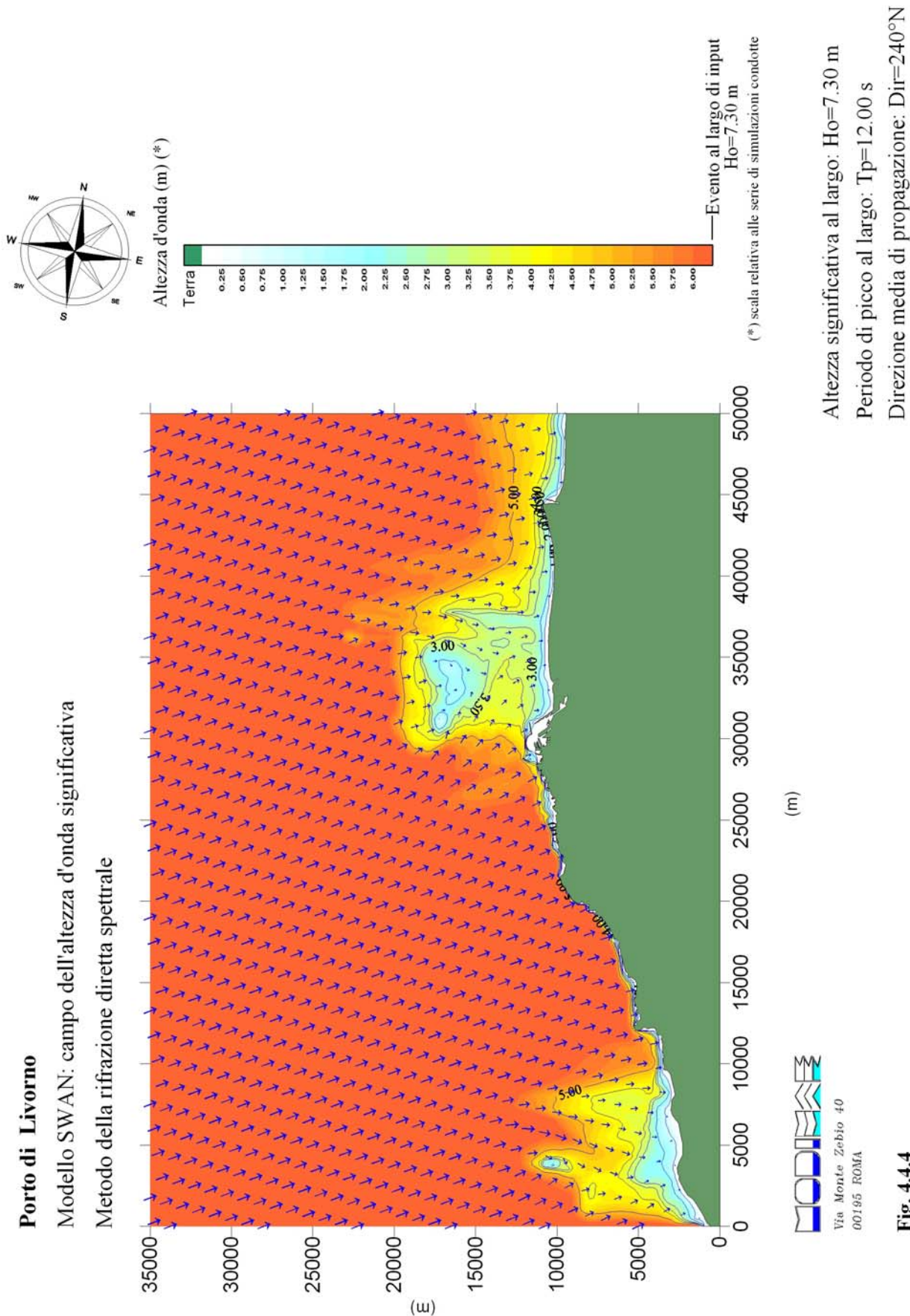
 Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinò					
		Data: giugno 2005					
		RRI	04	020	R	005	01



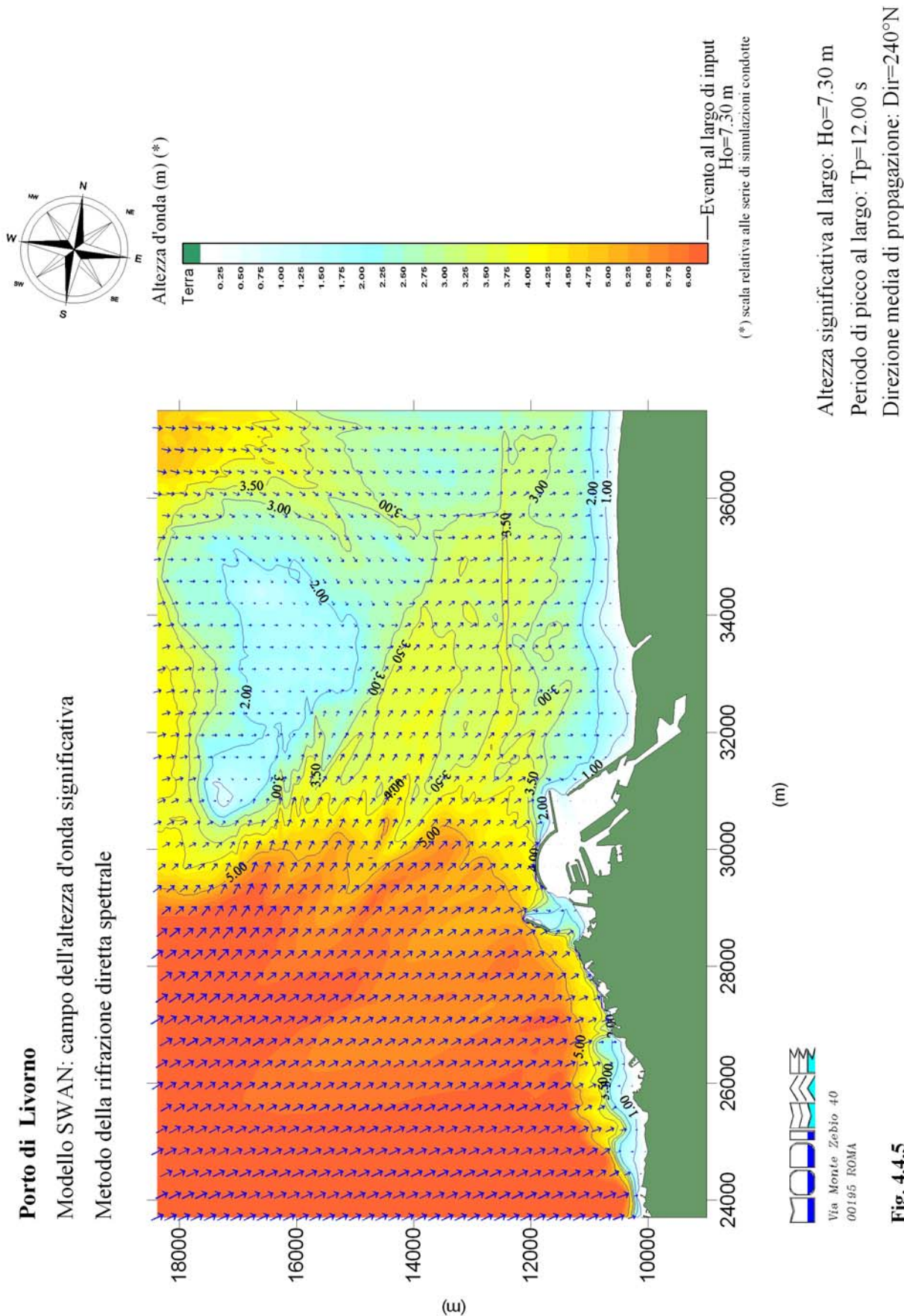
 Autorità Portuale di Livorno	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
		Data: giugno 2005					
		RRI	04	020	R	005	01



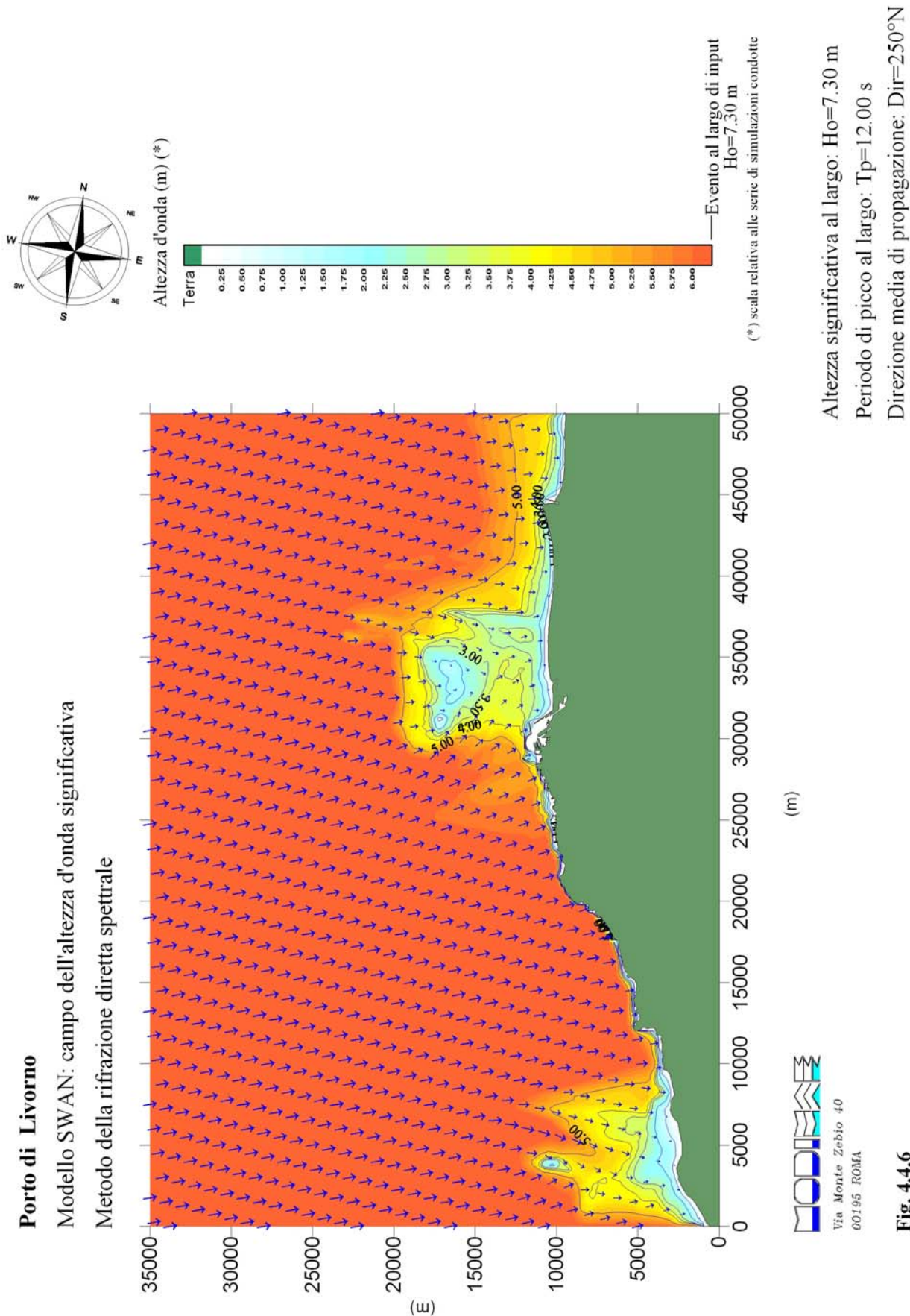
 Autorità Portuale di Livorno	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
		Data: giugno 2005					
		RRI	04	020	R	005	01



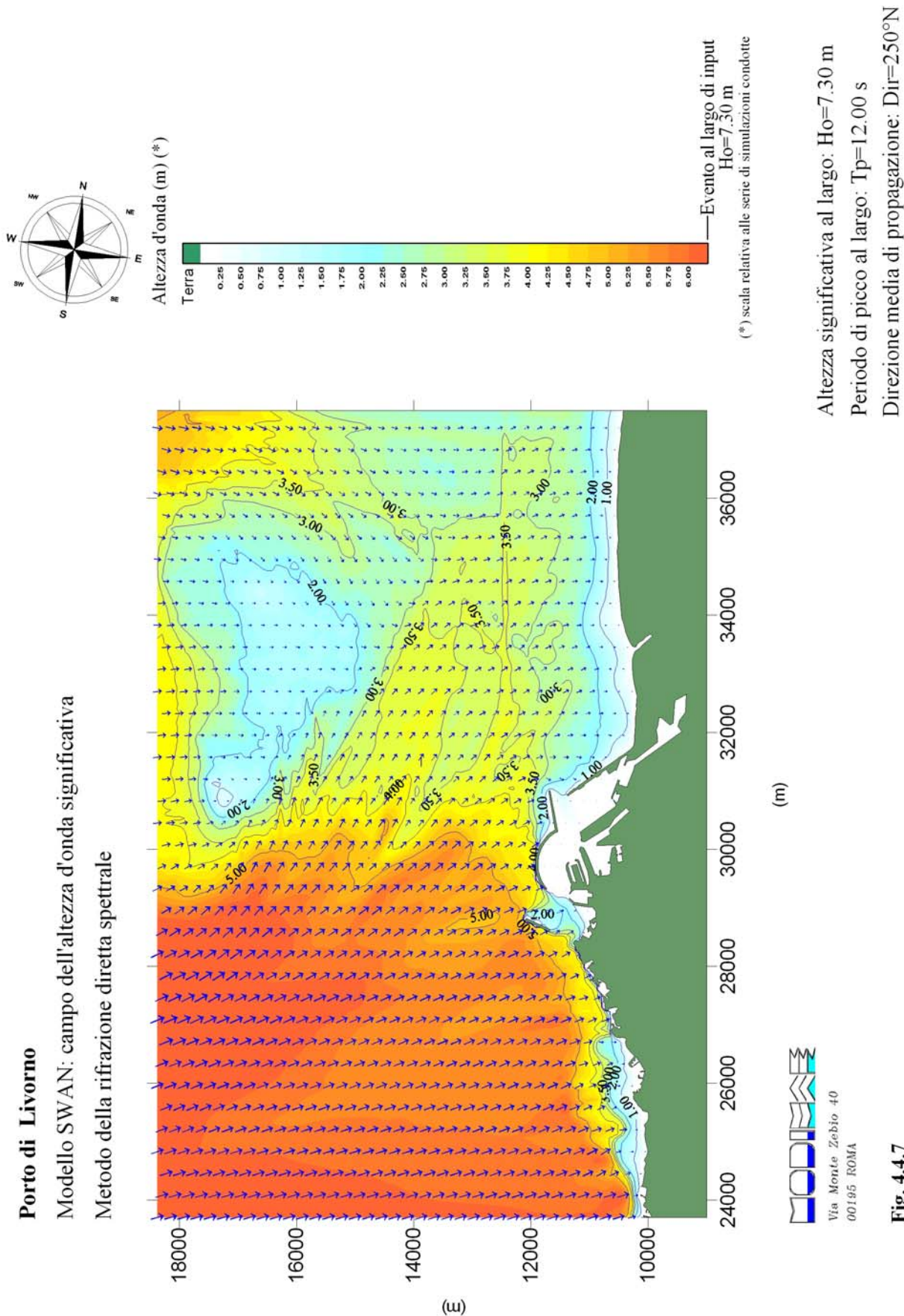
 Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinò					
		Data: giugno 2005					
		RRI	04	020	R	005	01



 Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinò					
		Data: giugno 2005					
		RRI	04	020	R	005	01



 Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinò					
		Data: giugno 2005					
		RRI	04	020	R	005	01



 Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
		Data: giugno 2005					
		RRI	04	020	R	005	01

4.5 *Analisi del clima di moto ondoso: onda morfologica*

Nella conduzione di uno studio finalizzato all'inquadramento preliminare delle caratteristiche idraulico-marittime e morfodinamiche del sito in esame, un tema di indagine fondamentale è rappresentato dall'evoluzione della linea di costa in funzione dall'esposizione al moto ondoso del paraggio.

Per tal proposito si rende necessaria l'individuazione degli stati di mare rappresentativi dell'anno climatico (medio statistico) del sito in esame cui fare riferimento nel periodo considerato. In tale contesto non è necessario prendere in considerazione tutte le mareggiate reali caratterizzanti l'anno statistico medio, bensì è sufficiente definire stati di mare rappresentativi dell'energia totale che compete al clima di moto ondoso che interessa il settore di traversia del sito in esame. L'analisi dettagliata delle registrazioni ondametrichhe ed il trasferimento di queste sottocosta per il sito in esame, ha consentito di derivare utili indicazioni qualitative sulle caratteristiche del clima di moto ondoso responsabile dei fenomeni evolutivi della fascia costiera del sito in esame.

Utilizzando la totalità delle misure di moto ondoso classificate in funzione della direzione di propagazione in settori di 10° si è calcolata, per ciascuna direzione di provenienza, un'onda avente un'altezza H_e ed un periodo T_e , con un contenuto energetico ($\cong H^2T$) ed una ripidità ($\cong H/T^2$) rappresentative del contenuto energetico e della ripidità di tutte le onde provenienti dallo stesso settore. Sotto queste ipotesi si può associare ad una particolare direzione di provenienza (assumendo la direzione media come rappresentativa del singolo settore di 10° di ampiezza) un singolo evento contraddistinto da un'onda H_e , T_e , definita nella letteratura specializzata come "onda di modellazione" o "onda morfologica", avente caratteristiche tali da indurre effetti sul litorale equivalenti a quelli indotti da tutte le onde provenienti da quella direzione in un anno statistico medio.

Dalla serie di misure ondametrichhe, assunta come rappresentativa del clima ondoso le coppie di valori H_i e T_i relative all'i-esimo tra gli N eventi di moto ondoso, provenienti dal settore di traversia, l'onda di modellazione che compete al settore è tale che:

$$N (H_e^2 T_e) = \sum (H_i^2 T_i)$$

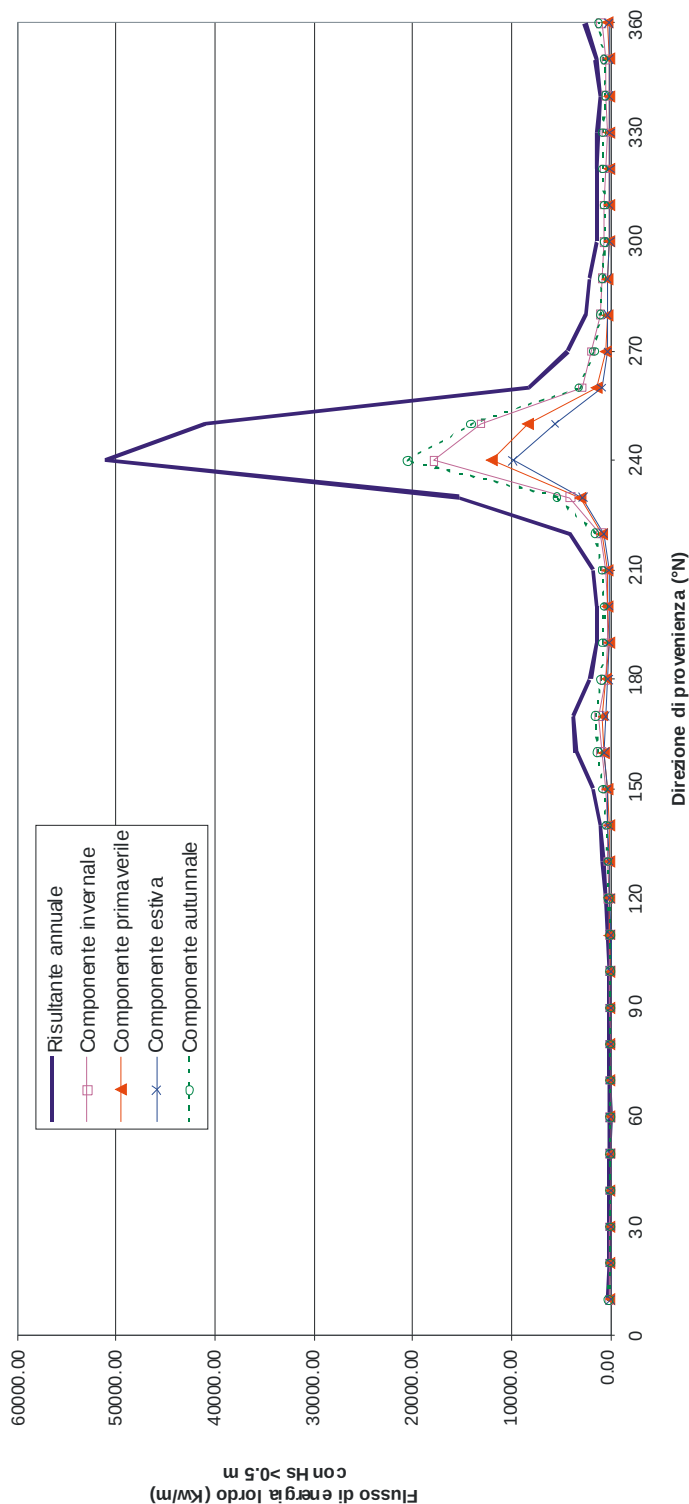
$$N (H_e / T_e^2) = \sum (H_i / T_i^2)$$

La soluzione delle equazioni è stata calcolata per un punto al largo di Livorno (ricadente su un fondale di profondità pari a circa 100 m) determinando l'energia associata a ciascuna classe di altezza d'onda (appendice, tabb. da 4.5.1 a 4.5.5) per ogni settore di provenienza sia su base annuale che stagionale. Tali risultati sono stati riportati anche in forma grafica nelle figura 4.5.1 mediante la rappresentazione degli andamenti stagionale e complessivo annuale del flusso di energia lordo in funzione della direzione di provenienza espressa in °N nel punto di rifrazione inversa considerato. Dall' analisi delle suddette tabelle e figure appare evidente che:

 Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinò					
		Data: giugno 2005					
		RRI	04	020	R	005	01

- i maggiori contributi energetici si hanno nella stagione invernale ed autunnale con un picco della direzione risultante in corrispondenza della direzione 240 °N;
- i contributi della stagione estiva e primaverile sono di minore intensità, ma con direzioni di massimo flusso simili (240°N);
- la direzione media della risultante energetica annuale ($H_s > 0.5\text{m}$) è di circa 240 °N con una durata di 6.9 mesi.

Fig. 4.5.1: Contributi direzionali del flusso di energia associato al moto ondoso
Punto di Trasposizione geografica al largo di Livorno (-100 m)
periodo : 1 luglio 1989 - 30 giugno 2001



 Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
		Data: giugno 2005					
		RRI	04	020	R	005	01

5 Regime dei venti

In generale la conoscenza del “clima anemologico” locale, cioè della distribuzione in frequenza della velocità e direzione del vento, è di grande importanza in quanto influenza in maniera determinante la scelta dell'ubicazione, la configurazione planimetrica delle opere portuali, dell'imboccatura e dei pontili di ormeggio. E' noto infatti che le imbarcazioni rispondono meglio alle azioni di venti longitudinali (paralleli all'asse longitudinale delle imbarcazioni) piuttosto che trasversali, in particolar modo durante le delicate manovre negli spazi ristretti dei bacini portuali ed in fase di stazionamento.

Inoltre la conoscenza della forza del vento è necessaria per il dimensionamento di eventuali pontili di accosto ed altre strutture emergenti e per il calcolo degli effetti sulle variazioni del livello marino sottocosta. Per l'individuazione del regime dei venti nel sito costiero in esame sono stati preliminarmente analizzati i grafici delle osservazioni dell'I.I.M.M. relativi alla stazione di Livorno (Marina Militare: periodo di osservazione dal 1950 al 1963; quota: +19 m s.l.m.).

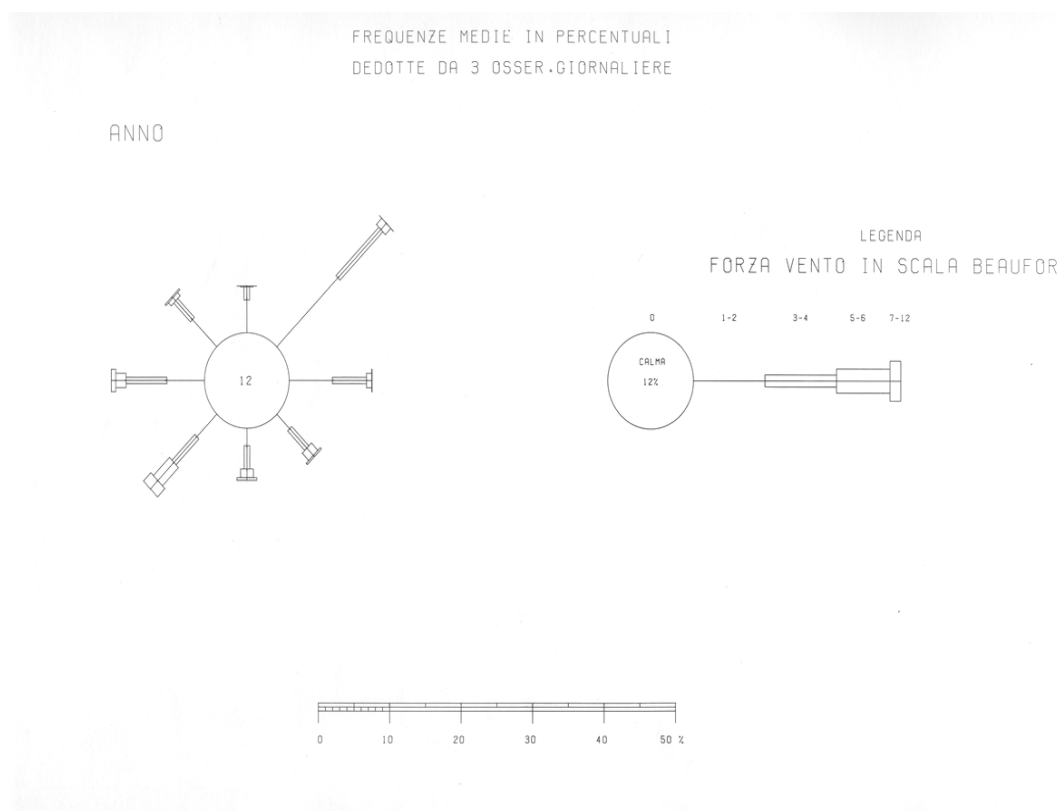
La distribuzione delle frequenze annuali dei dati I.I.M.M., suddivise per classi di provenienza (8 settori di 45° e per classi di intensità del vento scala Beaufort), sono state riportate nella fig. 5.1. Dall'analisi del grafico telescopico si osserva che gli eventi più frequenti provengono principalmente dal I quadrante (NordEst) con frequenze di accadimento inferiori al 23%, mentre gli eventi più intensi provengono dal III quadrante (SudOvest) con frequenze di accadimento pari al 13%.

In una seconda fase è stata acquisita la serie sinottica completa delle registrazioni anemometriche relative alla stazione APAT ubicata presso il mareografo nel porto mediceo (periodo di riferimento: luglio 1998-novembre 2004) sulla base della quale è stata condotta una analisi statistica dei dati mediante il programma Pegaso, sviluppato dalla Modimar per ambiente Windows. Nelle tabb. 5.1, 5.2 e nella figura 4.1.1 sono vengono riportate rispettivamente le distribuzioni annuali del numero di eventi e quella delle frequenze di accadimento (in %), suddivise per classi di velocità del vento (in nodi) e direzione di provenienza (°N); nella figura 5.2 è rappresentato in forma grafica il regime anemologico locale risultante dalle elaborazioni condotte.

I risultati ottenuti sostanzialmente confermano quanto osservato dai dati I.I.M.M.: sia i venti regnanti (più frequenti) che i venti dominanti (più intensi) risultano provenire principalmente dal settore di grecale ed, in maniera meno significativa, anche dal settore di libeccio. Infatti dal settore 20÷60°N provengono circa il 38% degli eventi, mentre dal settore 200÷250°N la frequenza di accadimento cumulata è pari circa al 14%. In definitiva la distribuzione spaziale delle frequenze di accadimento degli eventi risulta essere caratterizzata da un orientamento prevalente lungo la direzione NordEst-SudOvest. E' doveroso osservare una differenza sostanziale dei risultati ottenuti con i dati I.I.M.M. per quanto riguarda il settore di levante che risulta quasi completamente schermato per la presenza della città alle spalle del porto.

 Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinò					
		Data: giugno 2005					
		RRI	04	020	R	005	01

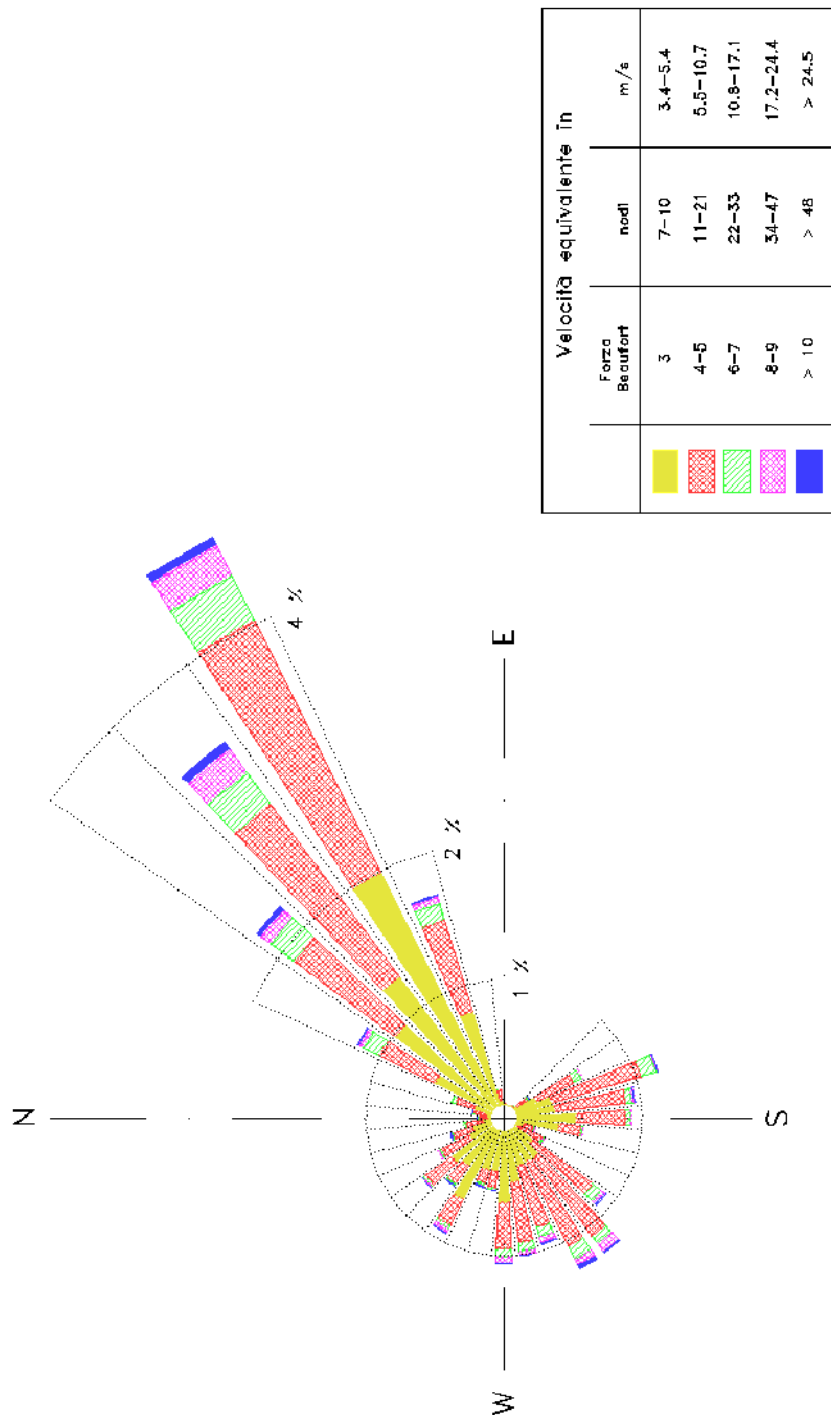
I dati sopra riportati sono considerati i più attendibili e rappresentativi per una attenta analisi del clima anemologico locale; tuttavia, per completezza, nell'ambito del presente studio sono stati presi in considerazione anche altri dati relativi alla stazioni meteorologiche A.M. di Pisa S. Giusto (i dati sostanzialmente ribadiscono l'allineamento della distribuzione spaziale della frequenza di accadimento degli eventi lungo la direzione NordEst-SudOvest), Gorgona e della stazione francese di Capo Corso, l'analisi dei quali conferma i risultati generali.



Forza Beaufort	Velocità equivalente in		
	nodi	km/h	m/s
0	< 1	< 1	0 - 0.2
1	1 - 3	1 - 5	0.3 - 1.5
2	4 - 6	6 - 11	1.6 - 3.3
3	7 - 10	12 - 19	3.4 - 5.4
4	11 - 16	20 - 28	5.5 - 7.9
5	17 - 21	29 - 38	8.0 - 10.7
6	22 - 27	39 - 49	10.8 - 13.8
7	28 - 33	50 - 61	13.9 - 17.1
8	34 - 40	62 - 74	17.2 - 20.7
9	41 - 47	75 - 88	20.8 - 24.4
10	48 - 55	89 - 102	24.5 - 28.4
11	56 - 63	103 - 117	28.5 - 32.6
12	64 ed oltre	118 ed oltre	32.7 ed oltre

Fig. 5.1 – Livorno - Stazione semaforica della Marina Militare

Fig. 5.2 – Stazione anemometrica di Livorno – Clima annuale
Distribuzione direzionale della frequenza di accadimento degli eventi (%)
(periodo di riferimento: 7 luglio 1998 – 1 dicembre 2004)



 Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
		Data: giugno 2005					
		RRI	04	020	R	005	01

6 Correnti

L'analisi d'insieme (riferita alla rappresentazione grafica estratta da "Atlante Tematico d'Italia" TCI, CNR – figura 6.1) mostra che, al largo della costa in esame, i flussi delle correnti di gradiente (o di densità) sono condizionati dal fenomeno di riflusso della circolazione d'insieme antioraria del Mar Tirreno e pertanto sono diretti da Sud verso Nord; in prossimità della costa lungo la zolla continentale l'effetto combinato della batigrafia e l'azione del vento più frequente determina un'inversione della direzione prevalente della corrente. In generale nel Tirreno centrale la velocità media delle correnti in superficie è piuttosto modesta, circa 5 cm/s, con punte massime comunque inferiori a 50 cm/s.

La conformazione batigrafica del sito in esame, associata alla limitata escursione dei livelli di marea astronomica, lascia prevedere valori trascurabili anche delle possibili correnti di marea.

In definitiva il regime delle correnti marine nel paraggio costiero in esame ha effetti irrilevanti sulla dinamica dei sedimenti costieri, dominata invece dalle correnti litoranee, comprese tra la linea dei frangenti e la riva, indotte dall'azione del moto ondoso frangente.

	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.		Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
Autorità Portuale di Livorno			Data: giugno 2005					
Revisione del Piano Regolatore Portuale	RRI	04	020	R	005	01		

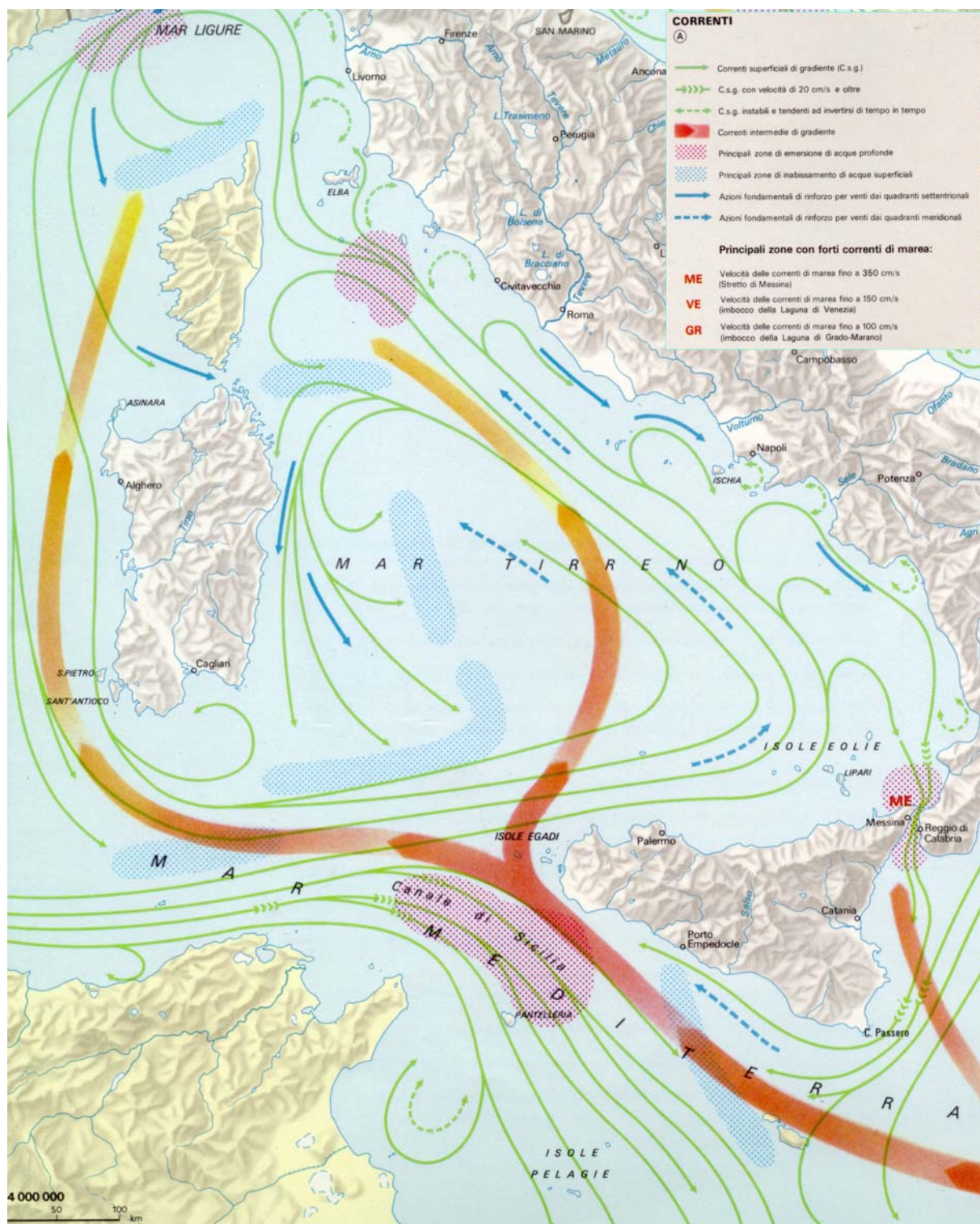


Figura 6.1 – Analisi d'insieme delle correnti al largo di Livorno (TCI-CNR)

 Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
		Data: giugno 2005					
		RRI	04	020	R	005	01

Appendice

A.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 2θ considerato 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:

$$f(\phi_w) = F_{e,\phi_w}^{0.28} \cdot (\cos \phi_w)^{0.44}$$

quindi per $f'(\beta) = 0$ e $f''(\beta) < 0$.

 Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
		Data: giugno 2005					
		RRI	04	020	R	005	01

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

A.2 Descrizione del modello di propagazione inversa spettrale MEROPE

Propagandosi verso "riva" su fondali via via decrescenti, le onde subiscono una serie di trasformazioni geometriche e perdite di energia che alla fine conducono al loro frangimento (ciò avviene quando l'onda, deformata, diviene molto alta rispetto alla sua lunghezza e perciò "instabile" o comunque intercetta fondali bassi «incompatibili» con la sua altezza). Prescindendo, perchè comunque trascurabili, dalle perdite di energia che (fuori dalla zona dei frangenti) sono dovute all'attrito del fondo e, per fondi permeabili, alla percolazione; nonché dagli effetti indotti dalle correnti, dal vento e dalle riflessioni del fondo, le modifiche delle caratteristiche ondose durante la propagazione verso riva sono indotte essenzialmente dai fenomeni di rifrazione e di shoaling.

Il primo fenomeno (rifrazione) consiste in una trasformazione tridimensionale dovuta a variazioni di fondale lungo i fronti d'onda che comportano variazioni planimetriche di questi e, conseguentemente, a variazioni delle altezze d'onda per effetto della conservazione del flusso di energia fra "ortogonali" vicine. Il secondo fenomeno (shoaling) è una trasformazione bidimensionale delle onde dovuta al solo effetto del fondale nella direzione di propagazione. L'effetto "fondale" modifica la celerità di gruppo e di conseguenza provoca dapprima una riduzione e poi un sostanziale aumento di altezza delle onde allorché queste avanzano su profondità di fondali decrescenti.

La simulazione di detti fenomeni può essere eseguita in modo efficace con il metodo della "rifrazione inversa spettrale". Tale metodo fornisce risultati quantitativi esattamente nel punto di interesse, al contrario del metodo classico della rifrazione diretta. Il relativo modello matematico è stato sviluppato seguendo le indicazioni di Abernety e Gilbert (1978). La differenza più appariscente rispetto al metodo tradizionale dei piani d'onda (rifrazione diretta) è rappresentata dalla costruzione dei raggi con un verso contrario a quello della propagazione delle onde. Tale impostazione fu introdotta da Dorrestein nel 1960: si costruisce un ventaglio di raggi relativi ad un dato periodo d'onda, che hanno tutti origine nel luogo della costa (o in prossimità) dove si desidera conoscere i risultati, partendo ognuno con una diversa direzione ϕ . Si ricava quindi la direzione Θ che i raggi possiedono quando raggiungono la regione di acque profonde.

Riportate in diagramma le molteplici coppie di valori Θ - ϕ trovate, si ricava per ogni Θ il gradiente

$$\frac{\delta\phi}{\delta\Theta}$$

da introdurre nella formula che conduce poi alle altezze sotto costa:

$$K_r = \sqrt{\frac{C_0}{C} \cdot \frac{\delta\phi}{\delta\Theta}}$$

Rispetto al metodo convenzionale, si ha il vantaggio che i risultati sono ottenuti direttamente per il luogo che interessa, sulla costa, senza il problema di dover interpolare tra raggi calcolati da

 Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinò					
		Data: giugno 2005					
		RRI	04	020	R	005	01

una parte o dall'altra del punto. Inoltre, un unico diagramma di rifrazione (per ciascun periodo) rappresenta i raggi relativi a tutte le direzioni di provenienza del moto ondoso al largo.

Dal punto di vista pratico, la costruzione inversa dei raggi non presenta problemi e si applica la stessa equazione della traiettoria del raggio del metodo convenzionale, con lievi modifiche di segni. Con la tecnica della proiezione inversa, non sarebbe necessario neppure conoscere il percorso dei singoli raggi poiché basta avere il diagramma di rifrazione $\Theta-\phi$ definito con incrementi di frequenza e Θ sufficientemente piccoli per riassumere tutti gli effetti della topografia sull'altezza e direzione delle onde nella loro propagazione verso un punto della costa. Si nota in genere che le curve $\Theta-\phi$ dolci per valori alti delle frequenze, presentano discontinuità notevoli per le frequenze minori con conseguenti singolarità nel valore di K_r . Ciò significa che questa tecnica (così come quella convenzionale) ha il difetto che la funzione altezza d'onda diventa indeterminata proprio in un campo di frequenze e direzioni di interesse non trascurabile. In pratica questo comporta che nel percorso dei raggi compaiono singolarità (caustiche) non giustificabili fisicamente, come per i piani d'onda tradizionali. Il fatto che usando spaziature sufficientemente grandi dei raggi questi difetti non siano evidenziati, non esclude l'insufficienza del metodo.

E' stato mostrato che a queste difficoltà si può ovviare abbandonando l'ipotesi che al largo il fronte d'onda si presenti con direzione d'onda e frequenza ben precise ed uniformi (onde monocromatiche), e considerando funzioni spettrali sia per la direzione che per la frequenza. Va mantenuta invece l'ipotesi di uniformità di fase. L'importanza fondamentale dell'introduzione dello spettro d'energia bidimensionale associata a quello di proiezione inversa dei raggi, è che, a differenza del metodo tradizionale e di quello di Dorrestein, dà luogo a risultati univoci ed ovunque finiti, eliminando le singolarità già evidenziate.

	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinò					
Autorità Portuale di Livorno		Data: giugno 2005					
Revisione del Piano Regolatore Portuale		RRI	04	020	R	005	01

A.3 Tabelle

Tab.4.1.2: Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza.
INVERNO
Ondametro di La Spezia - Periodo di riferimento 1 luglio 1989 - 30 giugno 2001

DIR (N)		CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
		<.25	2.59	0.50	1.05	1.50	2.09	2.59	3.09	3.59	4.09	4.59	5.05	5.59	6.05	>=6.5	
10	10	0.14	0.90	0.70	0.27												2.01
20	20	0.19	0.90	0.90	0.22												2.21
30	30	0.09	0.48	0.44	0.07												1.09
40	40	0.09	0.26	0.17	0.01												0.53
50	50	0.02	0.20	0.14	0.04	0.01											0.41
60	60	0.04	0.19	0.05	0.01												0.25
70	70	0.04	0.19	0.04	0.01												0.27
80	80	0.01	0.06	0.06													0.14
90	90	0.09	0.10	0.05													0.23
100	100	0.04	0.11	0.06	0.04												0.25
110	110	0.04	0.19	0.09	0.05												0.32
120	120	0.05	0.23	0.21	0.14	0.02											0.65
130	130	0.02	0.28	0.56	0.15	0.05	0.01										1.08
140	140	0.07	0.63	0.61	0.27	0.04											1.62
150	150	0.15	1.05	0.63	0.38	0.11											2.32
160	160	0.20	1.16	0.73	0.58	0.21	0.01										2.89
170	170	0.36	1.47	1.01	0.74	0.27	0.06										3.92
180	180	0.36	1.53	0.84	0.67	0.30	0.04	0.02	0.01	0.01							3.78
190	190	0.51	1.77	0.78	0.25	0.09	0.09	0.01	0.01								3.50
200	200	0.31	1.36	0.72	0.41	0.10	0.04			0.01							2.94
210	210	0.53	1.88	1.03	0.75	0.22	0.14	0.02									4.57
220	220	0.51	1.67	1.71	1.43	1.29	0.58	0.21	0.04	0.04							7.46
230	230	0.68	3.20	3.34	3.05	2.26	1.73	1.05	0.56	0.31	0.09			0.01			16.28
240	240	0.75	4.09	4.08	2.81	1.31	0.96	0.68	0.31	0.37	0.19	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	15.63
250	250	1.01	2.79	1.59	0.85	0.52	0.16	0.06	0.06	0.02	0.01						7.09
260	260	0.69	1.71	0.96	0.56	0.17	0.10	0.02	0.01								4.23
270	270	0.52	1.47	0.68	0.23	0.16	0.05	0.01									3.13
280	280	0.36	0.96	0.73	0.22	0.05	0.01										2.94
290	290	0.21	0.56	0.36	0.26	0.02											1.41
300	300	0.10	0.38	0.41	0.15	0.04	0.01										1.09
310	310	0.15	0.38	0.42	0.12	0.01	0.01										1.10
320	320	0.12	0.27	0.31	0.07												0.78
330	330	0.10	0.31	0.40	0.16		0.01										0.98
340	340	0.05	0.51	0.33	0.06												0.95
350	350	0.09	0.48	0.41	0.09												1.06
360	360	0.06	0.63	0.65	0.15												1.59
TOT.	TOT.	8.72	34.28	26.19	15.29	7.25	4.02	2.10	1.00	0.77	0.28	0.04	0.01	0.02	0.01	0.01	100.00
	Tot. cumul.	430.1	69.19	84.48	91.73	95.75	97.85	98.85	99.62	99.90	99.94	99.95	99.98	99.99	99.99	100.00	

Numero eventi validi : 8092

Tab.4.1.1: Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza.
ANNUALE
Ondametro di La Spezia - Periodo di riferimento 1 luglio 1989 - 30 giugno 2001

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<25	25-50	50-100	100-150	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	400-450	450-500	500-550	550-600	600-650	>650	
10	0.23	0.77	0.54	0.18												1.73
20	0.29	0.90	0.52	0.14	0.00											1.85
30	0.21	0.50	0.25	0.05												1.02
40	0.15	0.24	0.08	0.01												0.48
50	0.07	0.18	0.08	0.01	0.00											0.34
60	0.07	0.17	0.06	0.01												0.31
70	0.06	0.14	0.04	0.01												0.25
80	0.06	0.09	0.04	0.01												0.20
90	0.04	0.10	0.03													0.18
100	0.07	0.13	0.04	0.02	0.00											0.26
110	0.04	0.17	0.07	0.02	0.00											0.29
120	0.08	0.22	0.16	0.10	0.01											0.57
130	0.06	0.33	0.45	0.14	0.04	0.01										1.03
140	0.14	0.58	0.56	0.22	0.03	0.01										1.54
150	0.20	0.89	0.61	0.35	0.07	0.00										2.13
160	0.25	1.11	0.89	0.61	0.15	0.02	0.01									3.04
170	0.33	1.40	1.08	0.69	0.23	0.07	0.02	0.00								3.82
180	0.43	1.75	1.20	0.49	0.18	0.05	0.02	0.01	0.01							4.13
190	0.48	1.65	0.99	0.29	0.11	0.05	0.01	0.00					0.00			3.59
200	0.61	1.38	0.79	0.40	0.10	0.07	0.01	0.01	0.00							3.37
210	0.69	1.50	0.96	0.68	0.25	0.11	0.03	0.00	0.01				0.00			4.23
220	0.69	1.95	1.82	1.69	1.11	0.57	0.21	0.06	0.02	0.00						8.13
230	1.01	3.65	3.48	2.96	2.24	1.41	0.81	0.41	0.24	0.08	0.02	0.01	0.01	0.00		16.32
240	1.07	4.50	3.84	2.40	1.19	0.70	0.51	0.27	0.24	0.13	0.06	0.03	0.01	0.00	0.00	14.94
250	1.07	3.19	1.77	0.67	0.34	0.13	0.08	0.04	0.02	0.01	0.01			0.00		7.32
260	0.79	2.16	0.74	0.37	0.08	0.04	0.02	0.01								4.20
270	0.68	1.52	0.53	0.14	0.05	0.03	0.02									2.97
280	0.53	1.18	0.50	0.13	0.03	0.02										2.38
290	0.48	0.80	0.29	0.13	0.02											1.71
300	0.38	0.62	0.29	0.08	0.02	0.00										1.39
310	0.28	0.40	0.31	0.09	0.01	0.01										1.10
320	0.24	0.35	0.27	0.06	0.01											0.93
330	0.18	0.40	0.29	0.08		0.00										0.95
340	0.16	0.40	0.25	0.07	0.00											0.88
350	0.20	0.47	0.37	0.05												1.08
360	0.19	0.61	0.45	0.11	0.01											1.36
TOT.	12.55	36.39	24.61	13.43	6.28	3.28	1.74	0.82	0.53	0.21	0.08	0.04	0.02	0.01	0.00	100.00
Tot. cumul.	48.94	73.55	86.98	93.26	96.54	98.28	99.10	99.64	99.85	99.93	99.97	99.99	100.00	100.00	100.00	

Numero eventi 3256

	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.		Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinò					
	Autorità Portuale di Livorno		Data: giugno 2005					
	Revisione del Piano Regolatore Portuale		RRI	04	020	R	005	01

Tab.4.1.4 : Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza.

E STATE
Ondametro di La Spezia - Periodo di riferimento 1 luglio 1989 - 30 giugno 2001

DIR (N)	CLASSI DI ALTEZZA DONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<25	250	0.50	1.05	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	>6.5	
10	0.52	0.79	0.16	0.01												1.48
20	0.45	1.12	0.15	0.01												1.72
30	0.39	0.47	0.06	0.01												0.94
40	0.38	0.34	0.02													0.74
50	0.17	0.26														0.43
60	0.15	0.28	0.04	0.01												0.47
70	0.12	0.16	0.01													0.29
80	0.15	0.11	0.01													0.27
90	0.05	0.13	0.01													0.19
100	0.11	0.17	0.04													0.32
110	0.07	0.26	0.01	0.01												0.35
120	0.19	0.26	0.07	0.02												0.55
130	0.11	0.45	0.24	0.06	0.01	0.01										0.88
140	0.29	0.60	0.26	0.12	0.04	0.01										1.31
150	0.40	0.85	0.29	0.21	0.06											1.81
160	0.49	0.94	0.81	0.28	0.13	0.02										2.67
170	0.53	1.26	0.90	0.39	0.12	0.02	0.01									3.24
180	0.86	1.88	0.97	0.22	0.06	0.04										3.62
190	0.66	1.66	0.74	0.21	0.05	0.02										3.34
200	1.04	1.55	0.55	0.19	0.01	0.05										3.40
210	1.00	1.95	0.79	0.49	0.12	0.06	0.02									3.97
220	1.08	2.45	1.91	1.47	0.86	0.40	0.13	0.01								8.33
230	1.51	4.59	3.30	2.65	2.17	1.24	0.39	0.21	0.15	0.01						16.22
240	1.54	5.44	3.23	2.08	0.83	0.57	0.32	0.15	0.15	0.04	0.01					14.34
250	1.68	3.94	1.77	0.33	0.12	0.05	0.04									7.93
260	1.28	2.95	0.46	0.09	0.01											4.79
270	1.12	1.97	0.26	0.07		0.02										3.44
280	0.90	1.47	0.17	0.05	0.01	0.01										2.61
290	1.02	1.07	0.06	0.02	0.01											2.19
300	0.89	1.07	0.05	0.01												2.02
310	0.58	0.62	0.05													1.25
320	0.51	0.45	0.06													1.02
330	0.33	0.47	0.06													0.86
340	0.32	0.34	0.09	0.01	0.01											0.77
350	0.43	0.45	0.09	0.04												1.00
360	0.36	0.79	0.07	0.01												1.24
TOT.	21.47	42.95	17.70	9.07	4.64	2.54	0.91	0.36	0.29	0.05	0.01					100.00
Tot. cumul.	64.42	82.12	91.19	95.83	98.37	99.28	99.65	99.94	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Numero eventi validi : 8233

Tab.4.1.3 : Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza.

PRIMAVERA
Ondametro di La Spezia - Periodo di riferimento 1 luglio 1989 - 30 giugno 2001

DIR (N)	CLASSI DI ALTEZZA DONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<25	250	0.50	1.05	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	>6.5	
10	0.16	0.43	0.35	0.01												0.96
20	0.35	0.43	0.24	0.06												1.08
30	0.26	0.17	0.09													0.52
40	0.06	0.05	0.01	0.01												0.14
50	0.04	0.04	0.05													0.12
60	0.01	0.06	0.02	0.01												0.11
70	0.10	0.06	0.01													0.17
80	0.04	0.06	0.01													0.10
90	0.02	0.06														0.09
100	0.10	0.02	0.02													0.15
110	0.04	0.06	0.01	0.01												0.14
120	0.06	0.04	0.12	0.15	0.01											0.38
130	0.10	0.14	0.24	0.15	0.06											0.68
140	0.14	0.45	0.38	0.10	0.01	0.01										1.09
150	0.16	0.52	0.40	0.14	0.04											1.25
160	0.24	0.94	0.65	0.79	0.05											2.66
170	0.31	1.66	1.28	0.74	0.20	0.04										4.23
180	0.48	2.48	1.59	0.37	0.11	0.05										5.09
190	0.58	1.91	1.03	0.20	0.09											3.81
200	0.79	1.43	0.88	0.30	0.05											3.59
210	0.89	1.36	0.91	0.52	0.22	0.07	0.01									4.00
220	0.82	2.12	1.91	1.85	0.86	0.47	0.15	0.09	0.01							8.28
230	1.22	4.58	4.47	2.88	2.31	1.33	0.68	0.21	0.11	0.04	0.01					17.83
240	1.45	5.97	4.86	2.56	1.32	0.56	0.31	0.30	0.15	0.09	0.02					17.58
250	1.30	4.02	2.02	0.74	0.26	0.11	0.06	0.05								8.57
260	0.94	2.68	0.73	0.31			0.01									4.68
270	0.81	1.70	0.53	0.06												3.10
280	0.76	1.29	0.35	0.05												2.44
290	0.48	1.07	0.24		0.01											1.80
300	0.45	0.65	0.09	0.04												1.22
310	0.31	0.35	0.07	0.05												0.78
320	0.27	0.29	0.09	0.04												0.68
330	0.17	0.37	0.10	0.02												0.67
340	0.15	0.28	0.12	0.02												0.58
350	0.20	0.29	0.11	0.01												0.61
360	0.16	0.37	0.27	0.02												0.83
TOT.	14.43	38.40	24.26	12.31	5.61	2.69	1.23	0.65	0.27	0.12	0.04					100.00
Tot. cumul.	52.83	77.08	89.39	95.00	97.69	98.92	99.57	99.84	99.96	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Numero eventi validi : 8060

	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.					Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
	Autorità Portuale di Livorno					Data: giugno 2005					
	Revisione del Piano Regolatore Portuale					RRI	04	020	R	005	01

Tab.4.1.6a: Ripartizione per classi di altezze d'onda significative e periodo medio Ondametro di La Spezia - Periodo di riferimento 1 luglio 1989 - 30 giugno 2001

Hs (m)	CLASSI DI PERIODO MEDIO Tm (s)								Tot
	Tm < 4	4 < Tm <= 6	6 < Tm <= 8	8 < Tm <= 10	10 < Tm <= 12	12 < Tm <= 14	Tm > 14		
0.25 <	2914	1138	21	11	1			4085	
0.25 ≤	8136	7525	913	7				16581	
0.75 ≤	931	4146	1194	89				6360	
1.25 ≤	27	1753	826	65				2671	
1.75 ≤		604	728	44				1376	
2.25 ≤		174	511	54				739	
2.75 ≤		30	281	62	1		1	375	
3.25 ≤		1	130	56				187	
3.75 ≤		1	60	48				109	
4.25 ≤			19	28				47	
4.75 ≤			6	11				17	
> 5.25			6	7				13	
Tot	12008	15372	4695	482	2		1	32560	

Tab.4.1.6b: Ripartizione percentuale per classi di altezze d'onda significative e periodo medio Ondametro di La Spezia - Periodo di riferimento 1 luglio 1989 - 30 giugno 2001

Hs (m)	CLASSI DI PERIODO MEDIO Tm (s)										Tot	Tot cumul.
	Tm<4	4 Tm<6	6 Tm<8	8 Tm<10	10 Tm<12	12 Tm<14	Tm>14					
0.25<	8.95	3.50	0.06	0.03	0.00					12.55	12.55	
0.25≤	24.99	23.11	2.80	0.02						50.92	63.47	
0.75≤	2.86	12.73	3.67	0.27						19.53	83.00	
1.25≤	0.08	5.38	2.54	0.20						8.20	91.21	
1.75≤		1.86	2.24	0.14						4.23	95.43	
2.25≤		0.53	1.57	0.17						2.27	97.70	
2.75≤		0.09	0.86	0.19	0.00		0.00			1.15	98.85	
3.25≤		0.00	0.40	0.17						0.57	99.43	
3.75≤		0.00	0.18	0.15						0.33	99.76	
4.25≤			0.06	0.09						0.14	99.91	
4.75≤			0.02	0.03						0.05	99.96	
>5.25			0.02	0.02						0.04	100.00	
Tot	36.88	47.21	14.42	1.48	0.01		0.00			100		
Tot cumul.	36.88	84.09	98.51	100.00	100.00	100.00	100.00					

Tab.4.1.5: Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza. AUTUNNO

Ondametro di La Spezia - Periodo di riferimento 1 luglio 1989 - 30 giugno 2001

D/R (N)		CIA SSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
		< 0.25	0.25	0.50	1.05	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.05	5.50	6.00	>=6.5	
10	0.11	0.97	0.95	0.42													2.45
20	0.17	1.14	0.80	0.26	0.01												2.37
30	0.12	0.88	0.43	0.10													1.53
40	0.07	0.32	0.10														0.48
50	0.05	0.21	0.15	0.01													0.42
60	0.07	0.20	0.11	0.01													0.39
70		0.16	0.09	0.02													0.27
80	0.04	0.13	0.07	0.04													0.28
90	0.01	0.12	0.07														0.21
100	0.04	0.21	0.05	0.02	0.01												0.33
110		0.20	0.16														0.35
120	0.02	0.34	0.24	0.10													0.71
130	0.01	0.44	0.77	0.22	0.04												1.48
140	0.04	0.64	1.00	0.40	0.05												2.13
150	0.09	1.15	1.14	0.66	0.06	0.01											3.11
160	0.09	1.39	1.36	0.81	0.22	0.05	0.02										3.94
170	0.13	1.22	1.13	0.88	0.33	0.15	0.05	0.01									3.90
180	0.23	1.32	1.41	0.69	0.27	0.06	0.05	0.01	0.01								4.06
190	0.20	1.26	1.41	0.51	0.21	0.07	0.04						0.01				3.71
200	0.29	1.16	1.02	0.62	0.23	0.13	0.04	0.04									3.54
210	0.35	1.21	1.17	0.94	0.42	0.16	0.06	0.01	0.02				0.01				4.37
220	0.35	1.54	1.74	2.01	1.44	0.84	0.34	0.10	0.05	0.01							8.43
230	0.62	2.21	2.81	3.27	2.21	1.33	1.14	0.69	0.40	0.18	0.05	0.04	0.01	0.01			14.98
240	0.55	2.51	3.19	2.15	1.32	0.70	0.75	0.34	0.28	0.20	0.15	0.10	0.01				12.24
250	0.29	2.01	1.69	0.75	0.46	0.18	0.16	0.06	0.04	0.01	0.02		0.01				5.69
260	0.23	1.30	0.80	0.54	0.13	0.06	0.02	0.02									3.11
270	0.28	0.94	0.67	0.18	0.02	0.05	0.05										2.20
280	0.12	0.98	0.75	0.20	0.05	0.04											2.13
290	0.20	0.51	0.49	0.22	0.02												1.44
300	0.09	0.39	0.62	0.12	0.02												1.25
310	0.07	0.24	0.70	0.18	0.04	0.02											1.26
320	0.06	0.39	0.61	0.13	0.02												1.22
330	0.10	0.45	0.60	0.12													1.27
340	0.11	0.46	0.45	0.20													1.22
350	0.07	0.65	0.86	0.06													1.64
360	0.18	0.65	0.78	0.24	0.02												1.88
TOT.	5.48	29.91	30.37	17.09	7.63	3.87	2.72	1.28	0.81	0.40	0.23	0.15	0.05	0.01			100.00
Tot. cumul.	35.39	65.76	82.85	90.48	94.35	97.06	98.35	99.16	99.56	99.79	99.94	99.99	100.00	100.00			100.00

Numero eventi validi : 8175

 Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
		Data: giugno 2005					
		RRI	04	020	R	005	01

Tab.4.1.1.3 : Distribuzione e percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza.
ANNUALE
Trasposizione La Spezia-Livorno - Periodo di riferimento 1 luglio 1989 - 30 giugno 2001

DIR (N)		CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.					
		<2.5	2.5-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16		16-17	17-18	18-19	19-20	>=20
10	10	0.15	0.51	0.59	0.09																	1.33
20	20	0.02	0.15	0.23	0.02	0.01																0.44
30	30	0.02	0.15	0.07	0.01																	0.26
40	40	0.04	0.07	0.04	0.01																	0.16
50	50	0.01	0.04	0.05																		0.10
60	60	0.02	0.06	0.02																		0.11
70	70	0.06	0.06	0.04																		0.16
80	80	0.02	0.06	0.02	0.02																	0.14
90	90	0.04	0.07	0.07	0.02																	0.21
100	100	0.01	0.10	0.07	0.02																	0.21
110	110	0.02	0.10	0.20	0.12	0.02																0.47
120	120	0.04	0.16	0.43	0.15	0.02	0.01															0.82
130	130	0.06	0.32	0.82	0.15	0.05																1.40
140	140	0.04	0.53	0.65	0.28	0.04																1.54
150	150	0.19	0.79	0.99	0.43	0.10	0.02															2.52
160	160	0.27	1.10	1.19	0.69	0.31	0.01															3.57
170	170	0.44	1.98	1.30	0.74	0.28	0.05	0.01		0.01												4.83
180	180	0.49	1.48	0.75	0.37	0.14	0.02	0.01														3.27
190	190	0.32	1.09	0.64	0.12	0.02		0.01	0.01													2.22
200	200	0.21	0.91	0.43	0.22	0.09	0.01															1.88
210	210	0.36	1.05	0.64	0.26	0.07	0.02															2.41
220	220	0.38	1.40	1.30	0.64	0.21	0.05															3.98
230	230	0.47	1.45	1.98	1.57	1.05	0.42	0.16	0.04													7.13
240	240	0.74	3.88	4.77	3.63	2.36	1.78	0.89	0.43	0.25	0.02	0.01	0.01									18.76
250	250	0.83	3.56	4.58	2.11	1.04	0.56	0.48	0.28	0.25	0.12	0.04	0.01	0.01								13.90
260	260	0.93	1.74	1.90	0.85	0.32	0.21	0.06	0.07													6.09
270	270	0.67	1.42	1.17	0.52	0.21	0.15	0.06	0.02	0.01												4.24
280	280	0.51	0.90	0.75	0.38	0.14	0.09	0.01														2.78
290	290	0.07	0.49	0.88	0.41	0.04	0.04	0.01														1.94
300	300	0.04	0.30	0.56	0.28	0.05	0.01	0.02														1.26
310	310	0.02	0.17	0.40	0.20	0.09	0.02	0.01														0.91
320	320	0.01	0.23	0.33	0.33	0.05		0.02														0.99
330	330	0.01	0.28	0.31	0.22	0.06																0.89
340	340		0.30	0.48	0.28	0.06	0.01															1.14
350	350		0.44	1.03	0.41	0.06																1.94
360	360	0.36	1.62	2.72	1.19	0.10																5.98
TOT.	TOT.	7.90	28.97	32.43	16.79	6.99	3.48	1.79	0.87	0.52	0.15	0.05	0.02	0.01	0.02							100.00
Tot. cumul.	Tot. cumul.	36.96	69.29	96.09	99.08	99.56	99.88	99.94	99.96	99.98	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Numero di eventi validi : 8092

Tab.4.1.1.2 : Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza.
ANNUALE
Trasposizione La Spezia-Livorno - Periodo di riferimento 1 luglio 1989 - 30 giugno 2001

DIR (°N)		CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															
		<25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	>=6.5						
10	0.31	0.32	0.34	0.06	0.00												1.23
20	0.09	0.18	0.14	0.03	0.00												0.43
30	0.06	0.13	0.06	0.01													0.26
40	0.04	0.07	0.04	0.01													0.15
50	0.03	0.05	0.05	0.01													0.13
60	0.05	0.06	0.02	0.00													0.14
70	0.02	0.06	0.04														0.12
80	0.04	0.06	0.03	0.01	0.00												0.16
90	0.05	0.10	0.06	0.01													0.21
100	0.01	0.07	0.06	0.01	0.00												0.15
110	0.06	0.11	0.14	0.08	0.01												0.40
120	0.06	0.19	0.40	0.13	0.02	0.01											0.80
130	0.10	0.31	0.61	0.14	0.04	0.00											1.21
140	0.14	0.45	0.74	0.24	0.03	0.01											1.61
150	0.23	0.65	1.01	0.41	0.08	0.01											2.38
160	0.29	1.11	1.22	0.70	0.21	0.05	0.01										3.57
170	0.50	2.05	1.65	0.63	0.18	0.04	0.02	0.00	0.01								5.07
180	0.43	1.59	1.10	0.30	0.07	0.03	0.01		0.00								3.54
190	0.38	1.08	0.66	0.13	0.06	0.01	0.01	0.00			0.00						2.33
200	0.37	0.80	0.53	0.21	0.06	0.02	0.01										1.99
210	0.41	0.89	0.67	0.25	0.07	0.02	0.01			0.00							2.32
220	0.56	1.23	1.25	0.62	0.22	0.07	0.01	0.01									3.96
230	0.66	1.76	2.28	1.58	0.96	0.43	0.11	0.03	0.00								7.81
240	1.11	4.25	4.87	3.37	2.16	1.31	0.73	0.33	0.18	0.05	0.02	0.01	0.00				18.39
250	1.10	3.94	4.42	1.77	0.87	0.45	0.37	0.23	0.15	0.11	0.04	0.02	0.01	0.01			13.49
260	1.02	2.17	2.05	0.61	0.25	0.11	0.07	0.02	0.01								6.31
270	0.76	1.82	1.04	0.36	0.11	0.06	0.02	0.02	0.01								4.20
280	0.62	1.03	0.74	0.21	0.06	0.03	0.02	0.01									2.71
290	0.08	0.81	0.88	0.21	0.05	0.02	0.01										2.06
300	0.07	0.70	0.50	0.14	0.03	0.01	0.01										1.46
310	0.10	0.54	0.39	0.13	0.05	0.01	0.00										1.23
320	0.07	0.36	0.29	0.21	0.04	0.01	0.01										1.00
330	0.08	0.37	0.31	0.22	0.04	0.01		0.00									1.03
340	0.03	0.41	0.45	0.19	0.03	0.00	0.00										1.11
350	0.02	0.61	0.97	0.29	0.05												1.94
360	0.63	1.66	1.99	0.74	0.09												5.10
TOT.	10.56	32.20	31.98	14.00	5.84	2.73	1.41	0.66	0.36	0.16	0.06	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	100.00
Tot. cumul.	42.76	74.74	88.73	94.57	97.30	98.71	99.37	99.73	99.89	99.95	99.98	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Numero di eventi validi : 32560

Tab.4.1.1.1.4 : Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza.
PRIMAVERA
Trasposizione La Spezia-Livorno - Periodo di riferimento 1 luglio 1989 - 30 giugno 2001

DIR		CLASSI DI ALTEZZA DONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															
		<25	2.50	0.50	1.05	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	>=6.5	
(N		10	0.25	0.21	0.06	0.02											TOT.
		20	0.05	0.01	0.06	0.01											0.55
		30	0.05	0.07	0.01	0.01											0.14
		40	0.05	0.05	0.01												0.15
		50	0.01	0.01	0.01												0.11
		60	0.05	0.04													0.04
		70		0.05	0.01												0.09
		80	0.04	0.01	0.01												0.06
		90	0.07	0.02	0.02	0.01											0.06
		100	0.02	0.04	0.01		0.01										0.14
		110	0.05	0.04	0.07	0.11	0.01										0.09
		120	0.05	0.06	0.21	0.16	0.01										0.29
		130	0.14	0.21	0.32	0.06	0.06	0.01									0.50
		140	0.14	0.41	0.46	0.11	0.01										0.81
		150	0.21	0.35	0.63	0.31	0.02										1.13
		160	0.25	1.19	1.09	0.86	0.11	0.01									1.53
		170	0.55	2.75	2.12	0.57	0.12	0.01									3.51
		180	0.52	2.08	1.22	0.25	0.04	0.02									6.13
		190	0.47	1.09	0.62	0.07	0.02										4.13
		200	0.42	0.91	0.51	0.20	0.06										2.28
		210	0.56	0.66	0.63	0.14	0.07										2.10
		220	0.68	1.32	1.24	0.53	0.16	0.05	0.01	0.01							2.06
		230	0.79	1.99	2.57	1.43	0.78	0.30	0.10								4.01
		240	1.40	5.38	5.84	3.37	2.30	1.27	0.35	0.20	0.10	0.04	0.01				7.95
		250	1.46	5.37	5.51	2.01	0.92	0.36	0.30	0.26	0.09	0.06					20.26
		260	1.20	2.75	2.33	0.60	0.20	0.06	0.01								16.34
		270	0.94	2.21	1.05	0.31	0.05			0.01							7.16
		280	0.71	1.27	0.63	0.14											4.58
		290	0.11	1.15	0.99	0.06	0.02										2.74
		300	0.07	0.67	0.57	0.02											2.34
		310	0.19	0.52	0.30	0.04	0.04										1.35
		320	0.11	0.33	0.16	0.05	0.04										1.08
		330	0.10	0.33	0.25	0.06	0.02										0.69
		340	0.04	0.36	0.32	0.06											0.77
		350	0.05	0.48	0.58	0.12											0.78
		360	0.61	0.78	1.19	0.25	0.01										1.22
		TOT.	12.42	35.19	31.66	11.96	5.11	2.11	0.77	0.48	0.19	0.10	0.01				2.85
		Ta. cumul.		47.61	79.27	91.23	96.34	98.45	99.22	99.70	99.89	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Numero di eventi validi : 8060

Tab.4.1.1.1.5 : Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza.
ESTATE
Trasposizione La Spezia-Livorno - Periodo di riferimento 1 luglio 1989 - 30 giugno 2001

DIR		CLASSI DI ALTEZZA DONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
(N		<25	250	0.50	1.05	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	>=6,5	
10		0.66	0.61	0.10	0.01											1.37	
20		0.22	0.38	0.06	0.01											0.67	
30		0.11	0.10	0.05												0.26	
40		0.07	0.11	0.02												0.21	
50		0.10	0.07	0.02												0.19	
60		0.09	0.09	0.02												0.19	
70		0.02	0.05	0.02												0.10	
80		0.07	0.06	0.05												0.18	
90		0.07	0.21	0.04												0.32	
100		0.01	0.09	0.01	0.01											0.12	
110		0.16	0.15	0.09	0.02											0.41	
120		0.12	0.24	0.30	0.05		0.01									0.73	
130		0.19	0.35	0.30	0.06	0.02										0.94	
140		0.33	0.46	0.47	0.13	0.05	0.01									1.46	
150		0.44	0.67	0.72	0.19	0.07										2.09	
160		0.49	1.01	0.98	0.38	0.15	0.04									3.04	
170		0.78	1.86	1.38	0.24	0.10	0.04									4.40	
180		0.51	1.58	0.86	0.12	0.01	0.01									3.10	
190		0.60	1.30	0.38	0.09	0.04	0.01									2.40	
200		0.64	0.78	0.38	0.09	0.02	0.01									1.92	
210		0.58	1.03	0.56	0.17	0.01										2.36	
220		0.79	1.28	1.01	0.41	0.19	0.05									3.73	
230		1.03	2.27	2.27	1.42	0.78	0.28	0.01	0.01							8.08	
240		1.63	5.25	4.72	2.96	1.99	0.86	0.45	0.19	0.04	0.01					18.11	
250		1.66	4.77	3.80	1.34	0.49	0.38	0.24	0.11	0.10	0.02					12.91	
260		1.64	3.02	2.02	0.30	0.12	0.01	0.02								7.14	
270		1.20	2.71	0.79	0.10	0.01	0.01									4.82	
280		1.02	1.45	0.50	0.10	0.01		0.02								3.10	
290		0.13	1.34	0.63	0.07	0.04	0.01	0.01								2.23	
300		0.17	1.45	0.33	0.01											1.96	
310		0.17	1.32	0.27	0.05											1.81	
320		0.12	0.77	0.23												1.12	
330		0.19	0.73	0.19	0.04											1.15	
340		0.05	0.70	0.22			0.01									0.98	
350		0.04	1.09	0.51	0.04	0.05										1.72	
360		1.18	2.30	1.12	0.10											4.69	
TOT.	17.28	41.61	25.43	8.51	4.15	1.75	0.77	0.32	0.13	0.04						100.00	
Tot. cumul.		53.90	84.33	92.85	97.00	98.75	99.51	99.83	99.96	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Numero di eventi validi : 8233

	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.		Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
	Revisione del Piano Regolatore Portuale		Data: giugno 2005					
			RRI	04	020	R	005	01

	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.					Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
	Autorità Portuale di Livorno					Data: giugno 2005					
	Revisione del Piano Regolatore Portuale					RRI	04	020	R	005	01

Tab.4.1.1.7a: Ripartizione per classi di altezze d'onda significative e periodo medio
Trasposizione La Spezia-Livorno - Periodo di riferimento 1 luglio 1989 - 30 giugno 2001

CLASSIDI PERIODO MEDIO Tm (s)											
Hs (m)	Tm < 4	4 < Tm < 6	6 < Tm < 8	8 < Tm < 10	10 < Tm < 12	12 < Tm < 14	Tm > 14	Tot			
0,25 <	2426	936	71	7				3439			
0,25 5	10056	5638	943	43	3			16703			
0,75 3	2611	3163	1061	101	2			6938			
1,25 3	392	1988	501	82	6			2949			
1,75 3	18	978	274	20				1290			
2,25 3		405	203	12				620			
2,75 3	1	134	166	11			1	313			
3,25 3		35	136	1				172			
3,75 3		4	73	3				80			
4,25 3			33					33			
4,75 3			13					13			
>5,25			10					10			
Tot.	15504	13280	3484	280	11		1	32560			

Tab.4.1.1.7b : Ripartizione percentuale per classi di altezze d'onda significative e periodo medio
Trasposizione La Spezia-Livorno - Periodo di riferimento 1 luglio 1989 - 30 giugno 2001

CLASSIDI PERIODO MEDIO Tm (s)											
Hs (m)	Tm < 4	4 < Tm < 6	6 < Tm < 8	8 < Tm < 10	10 < Tm < 12	12 < Tm < 14	Tm > 14	Tot	Tot. cum.		
0,25 <	7,45	2,87	0,22	0,02				10,56	10,56		
0,25 5	30,88	17,38	2,90	0,13	0,01			51,30	61,86		
0,75 3	8,02	9,71	3,26	0,31	0,01			21,31	83,17		
1,25 3	1,20	6,04	1,54	0,25	0,02			9,06	92,23		
1,75 3	0,06	3,00	0,84	0,06				3,96	96,19		
2,25 3		1,24	0,62	0,04				1,90	98,09		
2,75 3	0,00	0,41	0,51	0,03			0,00	0,96	99,05		
3,25 3		0,11	0,42	0,00				0,53	99,58		
3,75 3		0,01	0,22	0,01				0,25	99,83		
4,25 3			0,10					0,10	99,93		
4,75 3			0,04					0,04	99,97		
>5,25			0,03					0,03	100,00		
Tot.	47,62	40,79	10,70	0,86	0,03		0,00	100			
Tot. cum.	47,62	88,40	99,10	100,00	100,00	100,00	100,00				

Tab.4.1.1.6 : Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza.
AUTUNNO

Trasposizione La Spezia-Livorno - Periodo di riferimento 1 luglio 1989 - 30 giugno 2001

D/R		CIA SSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)																	
(N)		<25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	70-75	75-80	80-85	85-90	90-95	95-100	>=6.5	TOT.
10	0,17	0,76	0,60	0,12	0,01														1,66
20	0,05	0,18	0,18	0,06															0,48
30	0,06	0,20	0,12	0,01															0,39
40	0,04	0,07	0,01																0,12
50	0,07	0,10	0,02																0,20
60	0,04	0,06	0,05	0,01															0,16
70	0,01	0,07	0,07																0,16
80	0,04	0,12	0,05	0,02	0,01														0,24
90	0,09	0,11																	0,20
100	0,07	0,12																	0,20
110	0,01	0,16	0,22	0,05															0,44
120	0,02	0,28	0,65	0,17	0,02														1,15
130	0,02	0,34	1,02	0,27	0,04														1,69
140	0,06	0,42	1,37	0,43	0,02	0,01													2,31
150	0,07	0,80	1,71	0,69	0,11	0,01													3,39
160	0,15	1,13	1,60	0,87	0,27	0,15	0,02												4,18
170	0,23	1,59	1,79	0,97	0,20	0,07	0,06	0,01	0,01										4,93
180	0,20	1,22	1,57	0,46	0,11	0,05	0,02			0,01									3,65
190	0,12	0,86	0,99	0,22	0,15	0,04	0,01												2,40
200	0,18	0,62	0,78	0,32	0,09	0,05	0,02												2,07
210	0,15	0,81	0,84	0,43	0,11	0,07	0,02												2,45
220	0,37	0,95	1,44	0,88	0,32	0,12	0,01	0,04											4,13
230	0,33	1,35	2,29	1,91	1,21	0,73	0,16	0,09	0,01										8,07
240	0,66	2,52	4,17	3,50	1,99	1,35	1,22	0,48	0,35	0,11	0,06	0,04	0,01						16,46
250	0,45	2,08	3,82	1,63	1,04	0,53	0,45	0,28	0,17	0,22	0,11	0,05	0,01						10,84
260	0,31	1,16	1,94	0,70	0,35	0,15	0,17	0,01	0,05										4,88
270	0,24	0,93	1,15	0,51	0,16	0,06	0,04	0,04	0,01										3,14
280	0,24	0,49	1,06	0,23	0,07	0,04	0,05	0,02											2,21
290	0,27	1,00	0,31	0,11	0,01	0,02													1,72
300	0,36	0,55	0,24	0,07	0,02														1,27
310	0,15	0,60	0,24	0,07	0,02														1,09
320	0,02	0,09	0,45	0,46	0,09	0,05	0,01												1,17
330	0,15	0,49	0,55	0,06	0,05														1,31
340	0,02	0,26	0,77	0,40	0,06														1,52
350	0,42	1,75	0,61	0,09															2,86
360	0,35	1,90	2,94	1,43	0,26														6,87
TOT.	4,60	22,96	38,45	18,75	7,09	3,58	2,31	0,98	0,61	0,34	0,20	0,10	0,02						100,00
Tot. cum.	27,56	66,01	84,76	91,85	95,44	97,75	98,73	99,34	99,68	99,88	99,98	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	

Numero di eventi validi : 8175

	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.		Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
	Autorità Portuale di Livorno		Data: giugno 2005					
	Revisione del Piano Regolatore Portuale		RRI	04	020	R	005	01

Tab. 4.2.2: Statistica delle onde significative al largo di Livorno
Settore di traversia: 140 -210

Numero anni: 11.14
 Meda (m): 2.585
 Deviazione Standard (m): 0.674
 Numero delle mareggiate: 24
 Soglia di riferimento (POT) m >2.00
 Numero di eventi sopra POT 24

Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)	Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)	Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)
5.10	19.99	2.23	0.68		
3.62	7.18	2.18	0.64		
3.21	4.37	2.18	0.60		
2.94	3.14	2.13	0.57		
2.90	2.46	2.05	0.54		
2.82	2.01	2.01	0.52		
2.75	1.71	2.00	0.50		
2.67	1.48	2.00	0.48		
2.59	1.31				
2.54	1.17				
2.51	1.06				
2.40	0.97				
2.38	0.89				
2.34	0.83				
2.25	0.77				
2.23	0.72				

Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)	Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)	Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)
6.46	19.92	4.38	0.67	3.32	0.17
5.67	7.15	4.36	0.64	3.31	0.17
5.40	4.36	4.30	0.60	3.31	0.17
5.27	3.13	4.30	0.57	3.29	0.17
5.12	2.45	4.29	0.54	3.29	0.16
5.05	2.01	4.26	0.52	3.27	0.16
5.04	1.70	4.21	0.49	3.27	0.16
4.97	1.48	4.20	0.47	3.26	0.16
4.93	1.30	4.19	0.45	3.25	0.15
4.70	1.17	4.15	0.44	3.23	0.15
4.66	1.06	4.13	0.42	3.23	0.15
4.54	0.97	4.08	0.40	3.22	0.15
4.52	0.89	4.08	0.39	3.21	0.15
4.51	0.82	4.05	0.38	3.20	0.14
4.44	0.77	4.01	0.37	3.20	0.14
4.38	0.72	4.01	0.35	3.20	0.14

Tr	GUMBEL	WEI(.75)
Anni	Hs(m)	c.i.(m)
5	3.5	0.6
10	3.8	0.8
25	4.3	1.1
50	4.6	1.3
100	5.0	1.6
A	0.514	0.452
B	2.297	2.049
r	0.935	0.988

Tr	GUMBEL	WEI(.75)
Anni	Hs(m)	c.i.(m)
5	5.6	0.7
10	6.1	0.9
25	6.7	1.1
50	7.1	1.3
100	7.5	1.6
A	0.632	0.346
B	2.753	3.037
r	0.991	0.972

Tr	WEI(1.0)	WEI(1.4)	WEI(2.0)
anni	Hs(m)	c.i.(m)	Hs(m)
5	3.6	0.9	3.6
10	4.1	1.3	4.0
25	4.8	1.8	4.7
50	5.4	2.3	5.1
100	5.9	2.9	5.5
A	0.69	0.999	1.355
B	1.893	1.675	1.384
r	0.972	0.941	0.903

Tr	WEI(1.0)	WEI(1.4)	WEI(2.0)
anni	Hs(m)	c.i.(m)	Hs(m)
5	5.7	0.7	5.8
10	6.2	0.9	6.2
25	6.8	1.2	6.7
50	7.3	1.4	7.1
100	7.7	1.7	7.5
A	0.66	1.224	2.118
B	2.628	1.983	1.028
r	0.987	0.993	0.994

Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
		Data: giugno 2005					
		RRI	04	020	R	005	01

Tab. 4.2.4: Statistica delle onde significative al largo di Marina di Livorno
Settore di traversia: 1.40 - 35.00

Numero anni: 11.14 Media (m): 3.956 Numero delle mareggiate: 259 Deviazione Standard (m): 0.661 Soglia di riferimento (POT) m >3.20 Numero di eventi sopra POT 84									
Tr	anni	Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)	Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)	Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)	Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)
	5	6.46	19.92	4.19	0.44	3.65	0.22	3.25	0.15
	10	5.67	7.15	4.15	0.40	3.63	0.22	3.23	0.15
	25	5.40	4.36	4.13	0.40	3.63	0.21	3.23	0.14
	50	5.27	3.13	4.08	0.39	3.63	0.21	3.22	0.14
	100	5.12	2.45	4.08	0.38	3.63	0.20	3.21	0.14
	A	5.10	2.01	4.05	0.37	3.62	0.20	3.21	0.14
	B	5.05	1.70	4.01	0.35	3.61	0.20	3.20	0.14
	r	5.04	1.48	4.01	0.34	3.57	0.19	3.20	0.14
		4.97	1.30	4.01	0.33	3.48	0.19	3.20	0.13
		4.93	1.17	4.01	0.32	3.46	0.19		
		4.70	1.06	4.00	0.31	3.43	0.18		
		4.66	0.97	3.98	0.31	3.42	0.18		
		4.54	0.89	3.98	0.30	3.39	0.18		
		4.52	0.82	3.95	0.29	3.33	0.18		
		4.51	0.77	3.95	0.28	3.33	0.17		
		4.44	0.72	3.93	0.28	3.33	0.17		
		4.38	0.67	3.91	0.27	3.32	0.17		
		4.38	0.64	3.91	0.26	3.31	0.17		
		4.36	0.60	3.86	0.26	3.31	0.16		
		4.30	0.57	3.85	0.25	3.31	0.16		
		4.30	0.54	3.75	0.24	3.29	0.16		
		4.29	0.52	3.73	0.24	3.29	0.16		
		4.26	0.49	3.69	0.23	3.27	0.15		
		4.21	0.47	3.67	0.23	3.27	0.15		
		4.20	0.45	3.66	0.23	3.26	0.15		

GUMBEL				WEI(.75)	
Tr	anni	Hs(m)	c.i.(m)	Hs(m)	c.i.(m)
	5	5.7	0.7	5.6	0.6
	10	6.1	0.9	6.1	0.8
	25	6.7	1.1	6.7	1.1
	50	7.2	1.3	7.2	1.3
	100	7.6	1.5	7.6	1.6
	A	0.641		0.344	
	B	2.657		2.976	
	r	0.99		0.971	

WEI(1.0)				WEI(1.4)		WEI(2.0)	
Tr	anni	Hs(m)	c.i.(m)	Hs(m)	c.i.(m)	Hs(m)	c.i.(m)
	5	5.7	0.7	5.8	0.7	5.8	0.6
	10	6.2	0.9	6.2	0.9	6.2	0.8
	25	6.8	1.2	6.8	1.1	6.7	1.0
	50	7.3	1.4	7.2	1.4	7.1	1.2
	100	7.8	1.7	7.7	1.6	7.5	1.4
	A	0.67		1.25		2.187	
	B	2.542		1.858		0.843	
	r	0.986		0.993		0.995	

Tab. 4.2.3: Statistica delle onde significative al largo di Livorno
Settore di traversia: 280-350

Numero anni: 11.14 Media (m): 1.938 Numero delle mareggiate: 48 Deviazione Standard (m): 0.468 Soglia di riferimento (POT) m >1.50 Numero di eventi sopra POT 30					
Tr	anni	Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)	Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)
	5	3.31	19.97	1.73	0.68
	10	2.86	7.17	1.73	0.64
	25	2.83	4.37	1.72	0.60
	50	2.60	3.14	1.65	0.57
	100	2.44	2.45	1.60	0.54
	A	2.41	2.01	1.60	0.52
	B	2.23	1.70	1.58	0.50
	r	2.17	1.48	1.58	0.47
		2.06	1.31	1.56	0.46
		2.02	1.17	1.55	0.44
		2.01	1.06		
		2.01	0.97		
		1.97	0.89		
		1.87	0.82		
		1.82	0.77		
		1.73	0.72		

GUMBEL				WEI(.75)	
Tr	anni	Hs(m)	c.i.(m)	Hs(m)	c.i.(m)
	5	2.7	0.4	2.6	0.6
	10	3.0	0.5	3.0	0.8
	25	3.4	0.7	3.5	1.1
	50	3.7	0.8	3.8	1.4
	100	4.0	1.0	4.2	1.7
	A	0.44		0.28	
	B	1.406		1.452	
	r	0.993		0.98	

WEI(1.0)				WEI(1.4)		WEI(2.0)	
Tr	anni	Hs(m)	c.i.(m)	Hs(m)	c.i.(m)	Hs(m)	c.i.(m)
	5	2.8	0.6	2.8	0.6	2.8	0.4
	10	3.1	0.9	3.2	0.8	3.1	0.6
	25	3.6	1.3	3.6	1.1	3.5	0.7
	50	4.0	1.6	3.9	1.4	3.8	0.9
	100	4.4	1.9	4.2	1.7	4.0	1.0
	A	0.49		0.821		1.308	
	B	1.245		0.923		0.451	
	r	0.993		0.994		0.988	

 Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
		Data: giugno 2005					
		RRI	04	020	R	005	01

	Hso	Tso	Azmo	Hsr	Tsr	Azmr	K	T/To
	m	s	°N	m	s	°N		
Spettro 1	1.00	4.00	80	0.34	2.58	142	0.342	0.65
	1.00	4.00	90	0.40	4.68	156	0.397	1.17
	1.00	4.00	100	0.48	4.03	158	0.485	1.01
	1.00	4.00	110	0.59	4.03	160	0.587	1.01
	1.00	4.00	120	0.69	4.03	161	0.688	1.01
	1.00	4.00	130	0.78	4.03	162	0.778	1.01
	1.00	4.00	140	0.85	4.03	164	0.849	1.01
	1.00	4.00	150	0.90	4.03	167	0.900	1.01
	1.00	4.00	160	0.93	4.03	171	0.935	1.01
	1.00	4.00	170	0.96	4.03	177	0.956	1.01
	1.00	4.00	180	0.97	4.03	184	0.968	1.01
	1.00	4.00	190	0.97	4.03	192	0.975	1.01
	1.00	4.00	200	0.98	4.03	201	0.979	1.01
	1.00	4.00	210	0.98	4.03	210	0.981	1.01
	1.00	4.00	220	0.98	4.03	220	0.983	1.01
	1.00	4.00	230	0.99	4.03	230	0.986	1.01
	1.00	4.00	240	0.99	4.03	240	0.991	1.01
	1.00	4.00	250	1.00	4.03	250	0.998	1.01
	1.00	4.00	260	1.00	4.03	261	1.005	1.01
	1.00	4.00	270	1.01	4.03	271	1.010	1.01
Spettro 2	1.00	5.00	80	0.31	3.48	146	0.313	0.70
	1.00	5.00	90	0.36	4.68	157	0.363	0.94
	1.00	5.00	100	0.44	4.68	160	0.438	0.94
	1.00	5.00	110	0.53	4.68	162	0.527	0.94
	1.00	5.00	120	0.62	4.68	163	0.618	0.94
	1.00	5.00	130	0.70	4.68	165	0.703	0.94
	1.00	5.00	140	0.78	4.68	167	0.777	0.94
	1.00	5.00	150	0.84	4.68	171	0.836	0.94
	1.00	5.00	160	0.88	4.68	175	0.880	0.94
	1.00	5.00	170	0.91	4.68	180	0.911	0.94
	1.00	5.00	180	0.93	5.43	186	0.931	1.09
	1.00	5.00	190	0.94	5.43	193	0.943	1.09
	1.00	5.00	200	0.95	5.43	201	0.949	1.09
	1.00	5.00	210	0.95	5.43	210	0.952	1.09
	1.00	5.00	220	0.95	5.43	219	0.952	1.09
	1.00	5.00	230	0.95	5.43	229	0.953	1.09
	1.00	5.00	240	0.95	5.43	239	0.954	1.09
	1.00	5.00	250	0.96	5.43	250	0.956	1.09
	1.00	5.00	260	0.96	5.43	260	0.959	1.09
	1.00	5.00	270	0.96	5.43	271	0.962	1.09
Spettro 3	1.00	6.00	80	0.28	4.68	149	0.277	0.78
	1.00	6.00	90	0.32	4.68	158	0.317	0.78
	1.00	6.00	100	0.38	4.68	162	0.377	0.78
	1.00	6.00	110	0.45	4.68	165	0.454	0.78
	1.00	6.00	120	0.54	4.68	167	0.541	0.78
	1.00	6.00	130	0.63	6.29	170	0.632	1.05
	1.00	6.00	140	0.72	6.29	172	0.716	1.05
	1.00	6.00	150	0.78	6.29	175	0.784	1.05
	1.00	6.00	160	0.84	6.29	179	0.836	1.05
	1.00	6.00	170	0.87	6.29	183	0.872	1.05
	1.00	6.00	180	0.90	6.29	188	0.896	1.05
	1.00	6.00	190	0.91	6.29	194	0.910	1.05
	1.00	6.00	200	0.92	6.29	201	0.918	1.05
	1.00	6.00	210	0.92	6.29	210	0.919	1.05
	1.00	6.00	220	0.92	6.29	219	0.917	1.05
	1.00	6.00	230	0.91	6.29	229	0.913	1.05
	1.00	6.00	240	0.91	6.29	240	0.906	1.05
	1.00	6.00	250	0.90	5.43	250	0.899	0.90
	1.00	6.00	260	0.89	5.43	261	0.892	0.90
	1.00	6.00	270	0.89	5.43	272	0.889	0.90

Tab. 4.3.1 – Risultati della rifrazione inversa spettrale nel punto P

 Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinò					
		Data: giugno 2005					
		RRI	04	020	R	005	01

	Hso	Tso	Azmo	Hsr	Tsr	Azmr	K	T/To
	m	s	°N	m	s	°N		
Spettro 4	1.00	7.00	80	0.24	4.68	152	0.245	0.67
	1.00	7.00	90	0.28	4.68	161	0.278	0.67
	1.00	7.00	100	0.33	4.68	165	0.331	0.67
	1.00	7.00	110	0.40	4.68	169	0.402	0.67
	1.00	7.00	120	0.49	6.29	172	0.486	0.90
	1.00	7.00	130	0.58	6.29	174	0.577	0.90
	1.00	7.00	140	0.66	6.29	177	0.665	0.90
	1.00	7.00	150	0.74	6.29	179	0.741	0.90
	1.00	7.00	160	0.80	6.29	182	0.801	0.90
	1.00	7.00	170	0.84	7.30	186	0.844	1.04
	1.00	7.00	180	0.87	7.30	190	0.873	1.04
	1.00	7.00	190	0.89	7.30	195	0.890	1.04
	1.00	7.00	200	0.90	7.30	201	0.895	1.04
	1.00	7.00	210	0.89	7.30	209	0.890	1.04
	1.00	7.00	220	0.88	6.29	218	0.877	0.90
	1.00	7.00	230	0.86	6.29	228	0.862	0.90
	1.00	7.00	240	0.85	6.29	239	0.848	0.90
	1.00	7.00	250	0.84	6.29	251	0.837	0.90
Spettro 5	1.00	7.00	260	0.83	7.30	262	0.830	1.04
	1.00	7.00	270	0.83	7.30	273	0.827	1.04
	1.00	8.00	80	0.22	4.68	155	0.219	0.58
	1.00	8.00	90	0.25	4.68	164	0.246	0.58
	1.00	8.00	100	0.29	6.29	168	0.293	0.79
	1.00	8.00	110	0.36	6.29	172	0.359	0.79
	1.00	8.00	120	0.44	6.29	175	0.440	0.79
	1.00	8.00	130	0.53	8.47	178	0.535	1.06
	1.00	8.00	140	0.63	8.47	181	0.630	1.06
	1.00	8.00	150	0.72	8.47	183	0.716	1.06
	1.00	8.00	160	0.78	8.47	185	0.784	1.06
	1.00	8.00	170	0.83	8.47	188	0.833	1.06
	1.00	8.00	180	0.86	8.47	192	0.862	1.06
	1.00	8.00	190	0.88	8.47	196	0.877	1.06
	1.00	8.00	200	0.88	8.47	201	0.878	1.06
	1.00	8.00	210	0.87	8.47	208	0.867	1.06
	1.00	8.00	220	0.85	8.47	216	0.849	1.06
	1.00	8.00	230	0.83	8.47	227	0.828	1.06
Spettro 6	1.00	8.00	240	0.81	7.30	239	0.809	0.91
	1.00	8.00	250	0.79	7.30	251	0.794	0.91
	1.00	8.00	260	0.78	7.30	263	0.782	0.91
	1.00	8.00	270	0.78	7.30	274	0.776	0.91
	1.00	9.00	80	0.20	4.68	160	0.200	0.52
	1.00	9.00	90	0.22	6.29	168	0.224	0.70
	1.00	9.00	100	0.27	6.29	172	0.270	0.70
	1.00	9.00	110	0.33	6.29	176	0.334	0.70
	1.00	9.00	120	0.41	8.47	179	0.414	0.94
	1.00	9.00	130	0.51	8.47	181	0.507	0.94
	1.00	9.00	140	0.60	8.47	184	0.605	0.94
	1.00	9.00	150	0.70	8.47	186	0.697	0.94
	1.00	9.00	160	0.77	8.47	188	0.775	0.94
	1.00	9.00	170	0.83	8.47	190	0.833	0.94
	1.00	9.00	180	0.87	9.83	193	0.867	1.09
	1.00	9.00	190	0.88	9.83	196	0.880	1.09
	1.00	9.00	200	0.87	9.83	200	0.873	1.09
	1.00	9.00	210	0.85	9.83	207	0.854	1.09
	1.00	9.00	220	0.83	9.83	215	0.828	1.09
	1.00	9.00	230	0.80	9.83	226	0.804	1.09
	1.00	9.00	240	0.79	9.83	239	0.785	1.09
	1.00	9.00	250	0.77	9.83	252	0.772	1.09
	1.00	9.00	260	0.76	9.83	263	0.762	1.09
	1.00	9.00	270	0.76	9.83	273	0.755	1.09

Tab. 4.3.2 – Risultati della rifrazione inversa spettrale nel punto P

 Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinò					
		Data: giugno 2005					
		RRI	04	020	R	005	01

	Hso	Tso	Azmo	Hsr	Tsr	Azmr	K	T/To
	m	s	°N	m	s	°N		
Spettro 7	1.00	10.00	80	0.18	5.43	166	0.184	0.54
	1.00	10.00	90	0.21	13.22	171	0.208	1.32
	1.00	10.00	100	0.25	13.22	175	0.253	1.32
	1.00	10.00	110	0.32	13.22	179	0.316	1.32
	1.00	10.00	120	0.40	13.22	182	0.396	1.32
	1.00	10.00	130	0.49	8.47	184	0.491	0.85
	1.00	10.00	140	0.59	11.40	186	0.593	1.14
	1.00	10.00	150	0.69	11.40	188	0.695	1.14
	1.00	10.00	160	0.78	11.40	189	0.783	1.14
	1.00	10.00	170	0.85	11.40	191	0.848	1.14
	1.00	10.00	180	0.88	11.40	193	0.883	1.14
	1.00	10.00	190	0.89	11.40	196	0.890	1.14
	1.00	10.00	200	0.87	11.40	200	0.874	1.14
	1.00	10.00	210	0.84	11.40	206	0.844	1.14
	1.00	10.00	220	0.81	11.40	214	0.812	1.14
	1.00	10.00	230	0.79	11.40	226	0.787	1.14
	1.00	10.00	240	0.77	11.40	240	0.772	1.14
	1.00	10.00	250	0.76	11.40	252	0.764	1.14
	1.00	10.00	260	0.76	11.40	263	0.758	1.14
	1.00	10.00	270	0.75	11.40	272	0.751	1.14
Spettro 8	1.00	11.00	80	0.17	7.30	171	0.172	0.66
	1.00	11.00	90	0.19	15.34	174	0.194	1.39
	1.00	11.00	100	0.24	13.22	178	0.236	1.20
	1.00	11.00	110	0.30	13.22	181	0.299	1.20
	1.00	11.00	120	0.38	13.22	184	0.380	1.20
	1.00	11.00	130	0.48	13.22	186	0.478	1.20
	1.00	11.00	140	0.59	13.22	187	0.589	1.20
	1.00	11.00	150	0.70	11.40	189	0.702	1.04
	1.00	11.00	160	0.80	11.40	190	0.800	1.04
	1.00	11.00	170	0.87	11.40	192	0.869	1.04
	1.00	11.00	180	0.90	11.40	193	0.902	1.04
	1.00	11.00	190	0.90	11.40	196	0.900	1.04
	1.00	11.00	200	0.87	11.40	200	0.874	1.04
	1.00	11.00	210	0.84	11.40	205	0.835	1.04
	1.00	11.00	220	0.80	11.40	214	0.799	1.04
	1.00	11.00	230	0.78	11.40	227	0.775	1.04
	1.00	11.00	240	0.77	11.40	241	0.767	1.04
	1.00	11.00	250	0.77	11.40	253	0.766	1.04
	1.00	11.00	260	0.76	11.40	263	0.763	1.04
	1.00	11.00	270	0.75	11.40	271	0.752	1.04
Spettro 9	1.00	12.00	80	0.16	7.30	176	0.163	0.61
	1.00	12.00	90	0.18	15.34	177	0.181	1.28
	1.00	12.00	100	0.22	15.34	180	0.220	1.28
	1.00	12.00	110	0.28	15.34	183	0.284	1.28
	1.00	12.00	120	0.37	13.22	185	0.369	1.10
	1.00	12.00	130	0.48	13.22	187	0.476	1.10
	1.00	12.00	140	0.60	13.22	189	0.595	1.10
	1.00	12.00	150	0.71	13.22	190	0.711	1.10
	1.00	12.00	160	0.81	13.22	191	0.808	1.10
	1.00	12.00	170	0.87	13.22	192	0.873	1.10
	1.00	12.00	180	0.90	13.22	194	0.902	1.10
	1.00	12.00	190	0.90	13.22	196	0.897	1.10
	1.00	12.00	200	0.87	13.22	200	0.869	1.10
	1.00	12.00	210	0.83	13.22	206	0.831	1.10
	1.00	12.00	220	0.80	13.22	215	0.798	1.10
	1.00	12.00	230	0.78	13.22	229	0.780	1.10
	1.00	12.00	240	0.77	13.22	242	0.774	1.10
	1.00	12.00	250	0.77	11.40	254	0.773	0.95
	1.00	12.00	260	0.77	11.40	263	0.766	0.95
	1.00	12.00	270	0.75	11.40	271	0.751	0.95

Tab. 4.3.3 – Risultati della rifrazione inversa spettrale nel punto P

	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
Autorità Portuale di Livorno		Data: giugno 2005					
Revisione del Piano Regolatore Portuale		RRI	04	020	R	005	01

Tab. 4.3.5: Serie ondamentica trasferita sotto costa di Livorno. Periodo (luglio 1989 - Giugno 2001)

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

D/R	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)																TOT.
	(N	<2.5	2.50	0.50	1.05	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	>=6.5	
10	30	0.05															0.05
	20	0.01															0.01
	30	0.02															0.02
	40	0.04															0.04
	50																
	60																
	70	0.00	0.01														0.01
	80																
	90																
	100	0.01															0.01
	110																
	120	0.01															0.01
	130	0.04	0.02														0.06
	140	0.01															0.01
	150	0.06	0.01														0.07
	160	0.44	1.56	1.30	0.01												3.40
	170	0.51	2.37	2.01	0.25												5.14
	180	0.91	2.25	2.20	1.15	0.15											6.66
	190	1.27	1.67	1.31	0.48	0.17	0.06	0.00	0.01								4.98
	200	0.48	1.10	0.78	0.23	0.04	0.00	0.01									2.64
	210	0.63	1.11	0.84	0.23	0.05	0.01										2.89
	220	0.52	1.48	1.22	0.75	0.28	0.01										4.28
	230	0.74	1.92	2.98	2.60	1.24	0.43	0.09	0.01								10.00
	240	0.96	3.61	4.52	2.50	2.05	0.90	0.40	0.06	0.00	0.01						15.03
	250	1.12	3.87	4.62	1.80	0.80	0.51	0.37	0.17	0.04	0.01	0.02					13.35
	260	1.08	2.24	1.77	0.68	0.28	0.07	0.04	0.01								6.17
	270	0.63	1.61	1.37	0.43	0.14	0.04	0.01									4.23
	280	0.48	1.12	1.12	0.22	0.11	0.05										3.11
	290	0.21	0.93	0.94	0.17	0.02	0.01										2.29
	300	0.09	0.43	0.77	0.30	0.04											1.62
	310	0.07	0.51	0.83	0.17	0.02											1.61
	320	0.10	0.55	0.89	0.16	0.01											1.38
	330	0.21	1.05	0.77	0.12	0.00	0.01										2.16
	340	0.59	1.45	3.44	0.49												5.97
	350	0.57	1.30	0.82	0.01												2.69
	360	0.10															0.10
TOT.	11.99	32.14	34.27	12.78	5.44	2.11	0.91	0.27	0.04	0.02							100.00
Tot. cumuli		44.13	78.40	91.18	96.61	98.73	99.64	99.91	99.95	99.98	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Numero di eventi validi : 8092

Tab. 4.3.4: Serie ondamentica trasferita sotto costa di Livorno. Periodo (luglio 1989 - Giugno 2001)

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

DR		CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)																	
(N)		<2.5	2.50	0.50	1.05	1.50	2.05	2.50	3.05	3.50	4.05	4.50	5.05	5.50	6.05	>=6.5	TOT.		
10		10	0.04														0.04		
20		30	0.01	0.01													0.02		
30		40															0.01		
40		50	0.01														0.01		
50		60	0.01														0.01		
60		70	0.00														0.00		
70		80	0.00														0.01		
80																			
90			0.01														0.01		
100		100	0.00														0.00		
110		110	0.02														0.02		
120		120	0.02														0.02		
130		130	0.02	0.02													0.03		
140		140	0.04	0.01													0.05		
150		150	0.12	0.01													0.13		
160		160	0.62	1.45	1.20	0.05											3.33		
170		170	0.65	2.18	2.05	0.25	0.00										5.13		
180		180	0.89	2.54	2.59	1.04	0.13	0.02									7.20		
190		190	0.95	1.75	1.40	0.39	0.13	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00					4.68		
200		200	0.65	0.97	0.75	0.20	0.08	0.02	0.00								2.67		
210		210	0.71	0.90	0.81	0.29	0.07	0.02	0.00	0.00							2.80		
220		220	0.79	1.27	1.25	0.63	0.28	0.05	0.01								4.27		
230		230	1.13	2.17	3.32	2.56	1.18	0.34	0.08	0.01							10.78		
240		240	1.24	3.87	4.59	2.43	1.49	0.69	0.31	0.07	0.02	0.01					14.72		
250		250	1.25	4.41	4.30	1.46	0.66	0.43	0.24	0.14	0.05	0.01	0.01				12.96		
260		260	1.09	2.74	1.80	0.51	0.16	0.08	0.02	0.01	0.00						6.41		
270		270	0.71	2.01	1.09	0.25	0.06	0.02	0.01								4.15		
280		280	0.56	1.30	0.78	0.14	0.04	0.03									2.86		
290		290	0.32	1.13	0.81	0.12	0.02	0.00									2.40		
300		300	0.29	0.87	0.64	0.14	0.02										1.96		
310		310	0.21	0.67	0.67	0.13	0.02	0.00									1.70		
320		320	0.23	0.59	0.56	0.08	0.00										1.46		
330		330	0.34	0.91	0.57	0.07	0.00	0.00									1.89		
340		340	0.86	1.40	2.51	0.37											5.13		
350		350	0.95	1.51	0.57	0.00											3.04		
360		360	0.11	0.01													0.12		
TOT.		TOT.	14.87	34.70	32.27	11.08	4.33	1.74	0.68	0.23	0.07	0.02	0.01				100.00		
Tot. cumuli				49.56	81.84	92.92	97.25	98.99	99.67	99.90	99.97	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	10.000		

Numero di eventi validi : 32560

Tab. 4.3.6: Serie ondometrica trasferita sotto costa di Livorno. Periodo (luglio 1989 - Giugno 2001.)
Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza. PRIMAVERA

DIR (N)	CLASSI DI ALTEZZA DONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)																TOT.
	<2.5	2.56	0.50	1.05	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	>6.5		
10	0.02																0.02
20	0.01																0.01
30																	
40																	
50																	
60																	
70																	
80																	
90	0.01																0.01
100																	
110																	
120	0.01																0.01
130	0.01	0.01															0.02
140	0.02																0.02
150	0.09																0.09
160	0.43	0.96	0.83	0.05													2.27
170	0.61	1.86	1.56	0.24													4.27
180	0.96	3.35	3.33	0.94	0.05												8.52
190	0.94	2.12	1.12	0.29	0.05												4.52
200	0.76	1.07	0.71	0.12	0.06												2.72
210	0.78	0.78	0.69	0.21	0.07												2.54
220	0.86	1.43	1.25	0.46	0.22	0.05	0.01										4.28
230	1.29	2.63	3.39	2.61	0.79	0.22	0.01										10.94
240	1.50	4.96	5.32	2.63	1.54	0.40	0.22	0.06									16.64
250	1.60	5.98	5.35	1.54	0.60	0.40	0.15	0.09									15.71
260	1.33	3.31	2.05	0.58	0.10	0.04											7.41
270	0.88	2.30	1.04	0.19	0.03	0.01											4.42
280	0.63	1.58	0.69	0.09													2.99
290	0.46	1.33	0.82	0.05													2.66
300	0.42	0.92	0.45	0.02	0.01												1.82
310	0.38	0.56	0.25	0.06													1.25
320	0.29	0.60	0.25	0.02													1.15
330	0.35	0.78	0.37														1.50
340	0.62	0.51	1.25	0.07													2.46
350	0.84	0.62	0.20														1.66
360	0.07																0.07
TOT.	16.09	37.66	30.92	10.17	3.50	1.12	0.40	0.15									100.00
Td. cumul.	53.75	84.67	94.84	98.24	99.45	99.85	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Numero di eventi validi : 8060

Tab. 4.3.7 : Serie ondometrica trasferita sotto costa di Livorno. Periodo (luglio 1989 - Giugno 2001.)
Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza. ESTATE

DIR (N)	CLASSI DI ALTEZZA DONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)																TOT.
	<2.5	2.56	0.50	1.05	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	>6.5		
10	0.02																0.02
20	0.01																0.01
30	0.02																0.02
40																	
50																	
60																	
70																	
80																	
90	0.01																0.01
100																	
110	0.02																0.02
120	0.04																0.04
130	0.01																0.01
140	0.07																0.07
150	0.19																0.19
160	1.07	1.31	0.55	0.04													2.96
170	1.13	1.96	1.40	0.18													4.66
180	1.32	2.59	2.11	0.60	0.07	0.01											6.70
190	1.02	1.63	0.96	0.16	0.07												3.84
200	0.98	0.85	0.40	0.09	0.05												2.37
210	1.02	0.84	0.66	0.15	0.02												2.68
220	1.24	1.11	0.98	0.46	0.19	0.05											4.03
230	1.79	2.49	3.43	2.25	0.97	0.16	0.09										11.16
240	1.71	4.62	4.38	2.25	1.13	0.41	0.09	0.02									14.61
250	1.76	5.03	3.62	0.95	0.57	0.24	0.16	0.02									12.41
260	1.68	3.58	1.71	0.17	0.05	0.02											7.21
270	1.08	2.94	0.62	0.05	0.01												4.70
280	0.89	1.75	0.41	0.05	0.01	0.01											3.12
290	0.53	1.59	0.46	0.07	0.02												2.68
300	0.60	1.57	0.35	0.02													2.54
310	0.38	1.30	0.32	0.01													2.00
320	0.46	0.78	0.27														1.51
330	0.56	1.01	0.21	0.02													1.80
340	1.59	1.81	0.97	0.02													4.40
350	1.77	2.04	0.21														4.02
360	0.16																0.16
TOT.	23.15	40.84	24.01	7.53	3.18	0.91	0.33	0.05									100.00
Td. cumul.	63.99	88.00	95.53	98.71	99.62	99.95	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Numero di eventi validi : 8233

	Autorità Portuale di Livorno		Revisione del Piano Regolatore Portuale		Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.		Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
							Data: giugno 2005					
							RRI	04	020	R	005	01

	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario					
Autorità Portuale di Livorno		Data: giugno 2005					
Revisione del Piano Regolatore Portuale		RRI	04	020	R	005	01

Tab. 4.3.9a-Ripartizione del numero degli eventi di moto ondoso per classi di altezze d'onda significative e periodi di picco
TABELLA DIREZIONALE ALTEZZA D'ONDA

CLASSI DI PERIODO DI PICCO Tp (s)							
Hs (m)	Tp < 4	4 ≤ Tp < 6	6 ≤ Tp < 8	8 ≤ Tp < 10	10 ≤ Tp < 12	12 ≤ Tp < 14	Tp > 14
0.25 <	1356	1815	1426	172	66	4	2
0.25 ÷ 0.75	3563	7932	4458	1363	569	22	8
0.75 ÷ 1.25	300	2118	2584	673	408	24	9
1.25 ÷ 1.75		169	1598	330	147	2	2
1.75 ÷ 2.25		4	543	242	104	2	3
2.25 ÷ 2.75		1	117	164	56	1	339
2.75 ÷ 3.25			16	86	43		145
3.25 ÷ 3.75				16	24		40
3.75 ÷ 4.25				2	10		12
4.25 ÷ 4.75				2	3		5
4.75 ÷ 5.25					1		1
>5.25							
Tot.	5219	12039	10742	3050	1431	55	24
Tot.							
Tot.							

Tab. 4.3.9b - Ripartizione percentuale degli eventi di moto ondoso per classi di altezze d'onda significative e periodo di picco
TABELLA DIREZIONALE ALTEZZA D'ONDA

CLASSI DI PERIODO DI PICCO Tp (s)							
Hs (m)	Tp < 4	4 ≤ Tp < 6	6 ≤ Tp < 8	8 ≤ Tp < 10	10 ≤ Tp < 12	12 ≤ Tp < 14	Tp > 14
0.25 <	416	557	438	0.53	0.20	0.01	0.01
0.25 ÷ 0.75	1094	2436	1369	4.19	1.75	0.07	0.02
0.75 ÷ 1.25	0.92	6.50	7.94	2.07	1.25	0.07	0.03
1.25 ÷ 1.75		0.52	4.91	1.01	0.45	0.01	0.01
1.75 ÷ 2.25		0.01	1.67	0.74	0.32	0.01	0.01
2.25 ÷ 2.75			0.36	0.50	0.17		1.04
2.75 ÷ 3.25			0.05	0.26	0.13		0.45
3.25 ÷ 3.75				0.05	0.07		0.12
3.75 ÷ 4.25				0.01	0.03		0.04
4.25 ÷ 4.75				0.01	0.01		0.02
4.75 ÷ 5.25							100.00
>5.25							100.00
Tot.	1603	3697	3299	9.37	4.39	0.17	0.07
Tot. cumul.	1603	5300	8599	100.00	100.00	100.00	100.00

Tab. 4.3.8: Serie ondometrica trasferita sotto costa di Livorno. Periodo (luglio 1989 - Giugno 2001)
Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza. AUTUNNO

CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)																
D/R	(N	< 25	25-50	50-75	75-100	100-125	125-150	150-175	175-200	200-225	225-250	250-275	275-300	300-325	325-350	>= 350
10	0.05															0.05
20	0.00	0.02														0.02
30																
40																
50	0.02															0.02
60	0.01															0.01
70	0.02															0.02
80																
90																
100																
110	0.04															0.04
120	0.01															0.01
130	0.00	0.02														0.02
140	0.06	0.02														0.09
150	0.13	0.04														0.17
160	0.53	1.98	2.06	0.10												4.66
170	0.34	2.53	3.24	0.32	0.01											6.45
180	0.46	1.97	2.72	1.46	0.24	0.06										6.91
190	0.59	1.59	2.20	0.64	0.22	0.10	0.01	0.01								5.38
200	0.38	0.87	1.11	0.34	0.16	0.07										2.94
210	0.40	0.86	1.06	0.55	0.13	0.05	0.01	0.00	0.01							3.08
220	0.53	1.08	1.55	0.83	0.42	0.07	0.02									4.50
230	0.70	1.66	3.47	2.78	1.70	0.55	0.13	0.02								11.02
240	0.80	2.31	4.12	2.34	1.22	1.06	0.54	0.12	0.07	0.04						12.62
250	0.53	2.72	3.65	1.57	0.66	0.56	0.29	0.27	0.15	0.02						10.41
260	0.28	1.83	1.69	0.62	0.20	0.17	0.02	0.01	0.01							4.84
270	0.23	1.19	1.33	0.34	0.10	0.05	0.02									3.27
280	0.24	0.73	0.91	0.21	0.05	0.06										2.20
290	0.07	0.67	1.03	0.17	0.02											1.97
300	0.06	0.56	0.99	0.21	0.01											1.83
310	0.01	0.31	1.28	0.27	0.06	0.01										1.94
320	0.07	0.45	1.13	0.15												1.80
330	0.23	0.80	0.95	0.13												2.12
340	0.61	1.81	4.39	0.87												7.68
350	0.64	2.06	1.06													3.76
360	0.11	0.04														0.15
TOT.	8.17	28.12	39.95	13.88	5.21	2.83	1.06	0.44	0.25	0.07						100.00
Tot. cumul.	36.29	76.24	90.13	95.24	98.17	99.23	99.67	99.93	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Nu. neri diventati validi : 81.75

	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.				
	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinario				
	Data: giugno 2005				
Autorità Portuale di Livorno Revisione del Piano Regolatore Portuale	RRI	04	020	R	005
					01

Tab. 4.52 - Ondata di modellazione al largo di Livorno - RISULTANTE ANNUALE
TABELLA DIREZIONALE ALTEZZA D'ONDA

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)												TOT.
	0,5-1,0	1,0-1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0	3,0-3,5	3,5-4,0	4,0-4,5	4,5-5,0	> 5,0			
10	904,0	28,10											119,50
20	242,0	12,10	9,00										45,30
30	125,0	8,40											20,90
40	69,0	4,60											11,90
50	83,0												8,30
60	35,0												3,90
70	5,10												5,10
80	4,30	14,40											18,70
90	1,190	16,10											28,00
100	146,0	10,90											25,50
110	282,0	51,60	21,50										101,30
120	507,0	55,60	26,20	17,20									149,70
130	102,20	65,60	60,20										228,00
140	874,0	127,60	31,60										246,00
150	135,00	196,50	126,20	52,40									510,10
160	206,40	312,40	342,20	29,20									880,00
170	212,80	380,50	295,60	92,90	48,30		73,80						1104,90
180	134,90	175,70	142,00	41,10	41,80								595,50
190	112,40	49,40	25,30	40,40	68,00								295,50
200	761,0	109,30	101,30	22,60									309,30
210	119,10	127,10	99,70	51,10									397,00
220	248,50	344,90	241,40	101,10									995,80
230	359,30	946,50	1212,10	831,20	510,70	163,90							4023,70
240	985,80	2217,80	3036,80	3965,30	3084,70	2250,60	1739,50	202,60	165,30	206,30			178547,00
250	1063,30	1477,60	1500,80	1241,90	1814,40	1525,90	1888,10	115,720	427,00	1042,00			1311082,00
260	437,40	628,20	524,60	591,80	266,90	409,30							2898,20
270	291,90	378,90	356,40	423,00	240,90	160,90	91,60						1943,00
280	161,80	289,10	227,10	249,70	58,10								985,80
290	179,80	319,90	78,60	122,60	71,50								772,40
300	130,10	236,80	92,00	35,80	125,10								619,80
310	110,50	153,20	171,00	81,80	70,20								86,70
320	727,0	259,50	70,00	118,00									520,20
330	769,0	160,40	84,20										321,50
340	112,90	204,30	69,20		30,40								415,80
350	167,80	229,40	54,10										461,30
360	385,40	473,90	69,80										928,10
TOT.	6231,00	10066,20	9067,70	7950,70	6521,40	4578,60	3763,00	1359,80	592,30	1248,30			513790,00

Hs>				
	0.5	1.0	1.5	
Flusso di energia risultante (kW/m):	42409.8	38827.9	32314.3	
Direzione del vettore flusso di energia (°N):	245	245	244	
Numero eventi sopra soglia:	5109	2485	1126	
H equivalente (m):	1.33	1.71	2.18	
Durata (mesi):	7.58	3.69	1.67	

Tab. 4.51.1 - Ondata di modellazione al largo di Livorno - RISULTANTE ANNUALE
TABELLA DIREZIONALE ALTEZZA D'ONDA

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)												TOT.
	0,5-1,0	1,0-1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0	3,0-3,5	3,5-4,0	4,0-4,5	4,5-5,0	> 5,0			
10	18,60	98,10	14,30										299,00
20	63,60	37,80	9,00										110,40
30	36,00	17,00											53,00
40	20,30	8,50											28,80
50	24,60	8,20											32,80
60	9,60	3,90											13,50
70	24,30												24,30
80	15,30	24,00	17,30										56,60
90	31,80	27,00											58,80
100	30,30	18,80	8,50										57,60
110	73,00	115,10	37,50										225,60
120	190,50	190,10	54,20	3,340									468,20
130	300,90	235,20	181,50	2,900									746,60
140	381,90	457,10	122,70	3,920									1010,90
150	535,10	786,60	363,40	7,180									1756,30
160	782,00	1323,50	883,20	40,960	70,60								3438,90
170	1048,00	1286,90	713,60	336,90	225,20	53,50	14,610						3810,20
180	696,30	602,70	314,00	194,90	106,80		117,60						2032,30
190	441,20	232,70	270,60	103,40	79,60	68,00				15,600			1351,50
200	363,30	406,90	310,60	130,10	92,10								1303,00
210	476,00	533,40	318,00	187,40	68,70				133,60				1717,10
220	883,50	1336,90	977,00	529,50	77,40	241,20							4046,50
230	1688,30	3682,80	4419,20	3450,80	1378,90	624,10	79,80						15233,90
240	3959,30	6147,10	1747,80	1850,60	10111,30	6737,00	5121,40	1647,10	1094,30	1004,00			51119,90
250	4035,50	4701,20	4913,00	4219,70	5541,20	5127,50	4461,60	4188,10	1814,50	2045,40			4037,70
260	1751,40	1732,20	1437,80	1157,50	1102,70	486,30	408,20		162,10				8238,20
270	903,40	1041,30	672,60	625,80	417,80	453,80	22,770						4342,40
280	595,50	601,60	361,60	362,10	400,60	174,60							2456,00
290	641,50	668,70	384,00	197,00	220,70								2101,90
300	394,40	457,10	213,00	128,50	125,10								1318,10
310	363,90	400,80	343,30	166,00	70,20								1344,20
320	254,30	588,70	284,70	114,00	179,60								1421,30
330	258,70	614,70	207,50	134,30		81,40							1295,60
340	369,50	495,40	157,50	32,70	30,40								1065,50
350	594,20	588,20	250,90										1453,30
360	1081,80	1160,90	309,30										2552,00
TOT.	23485,80	32571,10	20297,60	24204,20	20298,90	14047,40	10434,80	5952,80	3204,50	3205,40			157702,50

Hs>				
	0.5	1.0	1.5	
Flusso di energia risultante (kW/m):	129561.8	115122.1	93125.7	
Direzione del vettore flusso di energia (°N):	243	243	243	
Numero eventi sopra soglia:	18638	8225	3668	
H equivalente (m):	1.24	1.64	2.08	
Durata (mesi):	6.87	3.03	1.35	

Tab. 4.5.3 - Onnda di modellazione al largo di Livorno - RISULTANTE ANNUALE
TABELLA DIREZIONALE ALTEZZA DONDA

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)												TOT.
	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-3.5	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	> 5.0			
10	8.40	7.60											16.00
20	14.50	2.80											17.30
30	1.00	3.80											4.80
40	4.80												4.80
50	1.10												1.10
60													
70	0.70												0.70
80	1.30												1.30
90	5.00	10.90											15.90
100	0.70		8.50										9.20
110	8.30	41.50	16.00										65.80
120	27.90	59.90	11.10										98.90
130	37.90	34.90	62.10	29.00									163.90
140	55.40	56.60	12.40										124.40
150	93.80	145.10	31.10										270.00
160	167.00	39.10	114.60	22.20									702.90
170	312.70	279.40	113.00	23.60									728.70
180	161.80	120.60	41.20	44.50									368.10
190	98.60	35.60	28.00										162.20
200	73.30	90.60	72.50										236.40
210	109.30	71.80	79.50										260.60
220	203.00	293.10	180.10	84.90	43.70	53.70							863.50
230	473.20	790.50	871.10	62.30	300.30								3057.40
240	1125.50	1943.30	2795.70	2726.10	1234.50	1003.00	650.50	309.30	135.00				11922.90
250	1207.10	1252.40	1255.30	811.70	1078.80	1394.80	634.40	600.70					8235.20
260	468.50	401.20	256.80	153.40	51.80								1331.70
270	206.70	197.20	62.90			74.50							411.30
280	116.20	96.40											212.60
290	154.50	38.20	30.10										222.80
300	84.30	11.80		24.60									120.70
310	48.10	21.10	60.90										130.10
320	27.00	32.00	61.20										120.20
330	42.70	56.10	33.10										131.90
340	60.00	45.70											105.70
350	96.70	61.30											158.00
360	171.50	112.30	30.30										294.10
TOT.	5673.50	6712.80	6207.50	4542.30	2709.10	2526.00	1284.90	910.00	135.00				30701.10

Hs >			
0.5	1.0	1.5	
Flusso di energia risultante (kW/m):			
26629.3	22552.7	17464.7	
Direzione del vettore flusso di energia (°N):			
240	240	241	
Numero eventi sopra soglia:			
4223	1671	707	
H equivalente (m):			
1.19	1.61	2.06	
Durata (mes):			
6.29	2.49	1.05	

Tab. 4.5.4 - Onnda di modellazione al largo di Livorno - RISULTANTE ANNUALE
TABELLA REZIONALE ALTEZZA DONDA

	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinò					
Autorità Portuale di Livorno		Data: giugno 2005					
Revisione del Piano Regolatore Portuale		RRI	04	020	R	005	01

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)												TOT.
	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-3.5	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	> 5.0			
10	9.80	4.40											14.20
20	5.30	6.30											11.60
30	4.40												4.40
40	1.50												1.50
50	3.20												3.20
60	2.20												2.20
70	2.10												2.10
80	3.30												3.30
90	3.20												3.20
100	1.50	7.90											9.40
110	30.40	6.70											17.10
120	28.50	16.40		16.20									61.10
130	37.00	33.40	21.90										92.30
140	58.70	66.90	51.80	22.00									198.40
150	90.10	111.50	79.50										281.10
160	161.60	190.40	147.00	65.10									564.10
170	203.20	110.80	94.70	72.80									481.50
180	127.50	51.40	121.00	20.00									211.00
190	56.60	38.70	46.70	17.70									158.70
200	52.30	37.40	33.20	17.00									139.90
210	87.90	81.80	14.10										183.80
220	162.00	20.60	22.60	103.30									697.80
230	368.30	790.90	91.50	58.70	46.50	63.90							2772.40
240	926.10	1830.90	2395.50	1787.30	1588.60	1044.60	242.50	113.90					9879.40
250	880.70	825.20	66.60	91.00	854.80	613.00	681.60	250.20					5622.20
260	407.50	198.00	162.00	27.50	95.90								890.90
270	150.80	57.60	18.20	2.40									250.70
280	59.80	62.20	9.10	14.20									279.30
290	77.10	40.10	64.90	40.20	45.40								267.70
300	44.30	7.30											51.60
310	32.00	37.10											69.10
320	33.80												33.80
330	28.30	31.80											60.10
340	41.10			32.70									73.80
350	63.40	14.80	84.50										162.70
360	113.70	33.90											147.60
TOT.	4323.20	4699.90	5033.00	3744.00	2725.40	1691.50	924.10	354.10					23705.20

Hs >			
0.5	1.0	1.5	
Flusso di energia risultante (kW/m):			
20746.9	17658.0	13562.3	
Direzione del vettore flusso di energia (°N):			
239	239	240	
Numero eventi sopra soglia:			
3384	1290	589	
H equivalente (m):			
1.18	1.62	2.00	
Durata (mes):			
4.93	1.88	0.86	

	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarino					
Autorità Portuale di Livorno		Data: giugno 2005					
Revisione del Piano Regolatore Portuale		RRI	04	020	R	005	01

Tab. 4.5.5 - Ondata di modellazione al largo di Livorno - RISULTANTE ANNUALE
TABELLA DIREZIONALE ALTEZZA D'ONDA

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)												TOT.
	0.5+1.0	1.0+1.5	1.5+2.0	2.0+2.5	2.5+3.0	3.0+3.5	3.5+4.0	4.0+4.5	4.5+5.0	> 5.0			
10	78.00	58.00	14.30										150.30
20	19.60	16.60											36.20
30	18.20	4.80											23.00
40	7.10	3.90											11.00
50	12.00	8.20											20.20
60	3.90	3.90											7.80
70	16.30												16.30
80	6.30	9.60	17.30										33.20
90	11.70												11.70
100	13.50												13.50
110	26.00	15.30											41.30
120	83.40	58.20	16.90										158.50
130	123.90	101.30	37.30										262.50
140	180.40	206.90	26.90	17.30									430.60
150	216.20	333.50	126.60	19.40									695.70
160	246.90	421.50	279.60	293.10	70.60								1311.70
170	319.30	516.20	209.30	147.60	176.90	53.50	72.30						1495.10
180	272.20	255.10	118.70	89.40	65.00			117.60					917.90
190	173.60	108.90	170.70	85.70	39.20					156.00			734.10
200	161.70	169.60	103.60	90.50	92.10								617.50
210	159.70	252.60	124.70	136.30	68.70				133.60				875.60
220	265.00	492.90	329.10	240.30	33.70	187.50							1548.50
230	467.50	1104.90	1420.70	1410.00	521.30	396.30	79.80						5400.50
240	921.90	2155.20	2519.70	3071.90	4223.60	2468.80	2488.90	1021.40	794.00	797.60			2046300
250	934.50	1146.00	1500.90	1255.40	1793.20	1593.70	1277.50	2180.10	1387.50	1003.20			1407200
260	438.00	504.80	494.40	384.80	688.00	77.00	408.20		162.10				3157.30
270	254.00	407.60	235.00	178.80	176.90	218.50	136.10						1606.90
280	223.80	153.90	125.50	112.40	228.30	174.60							1018.50
290	230.10	260.40	210.40	34.20	103.80								838.90
300	135.70	201.20	121.00	68.10									526.00
310	173.30	189.30	111.40	84.20									558.20
320	120.80	297.10	153.50	114.00	61.60								747.00
330	110.70	366.50	90.30	134.30		81.40							783.20
340	155.00	245.40	89.30										490.30
350	266.30	282.60	112.30										661.20
360	411.20	540.90	230.20										1182.30
TOT.	7258.20	10891.90	8989.60	7967.70	8342.90	5251.30	4462.80	3319.10	2477.20	1956.80			6091750

	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Quadro Conoscitivo – Studio meteomarinò					
		Data: giugno 2005					
Autorità Portuale di Livorno		RRI	04	020	R	005	01
Revisione del Piano Regolatore Portuale							

Tab. 5.2: Distribuzione annuale della percentuale degli eventi suddivisi per classi di V e direzione di provenienza.
Anemometro di Livorno
Dati rilevati dal 7 luglio 1998 al 1 dicembre 2004

[illegible]

Tab.5.1: Distribuzione annuale del numero di eventi, per classi di V_v e direzione di provenienza.

[illegible]