

Sindaco
Responsabile del Procedimento

ANDREA CIUMEI
GEOM. ROSARIO NAVARRA

Firma e timbro

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

Progettista

ARCH. SILVIA VIVIANI

Collaboratori

ARCH. A. PIRRELLO, ARCH. L. NINNO, ING. A. URBANI, PIAN. TERR. L. COLTELLINI

Aspetti idraulici e diportistici
Aspetti naturalistici
Aspetti geologici
Aspetti valutativi
Aspetti partecipativi
Studio dell'agitazione ondosa

ING. DOMENICO MEI
DOTT. GIUSEPPE MESSANA
GEOL. STEFANO ROSSOMANNO
ARCH. ANNALISA PIRRELLO
ARCH. CHIARA PIGNARIS
ING. MARCO PITTORI

DATA
aprile
2012

QC.AI
ST.M.

STUDIO METEOMARINO

Si tiene a precisare che il presente elaborato costituisce già parte integrante della Variante al Piano Strutturale ed è stato inserito fra gli elaborati costitutivi del Quadro Conoscitivo del Piano Regolatore Portuale con data aprile 2012

STUDIO METEOMARINO

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Lo studio meteomarino allegato alla presente relazione illustrativa e descrittiva in modo sintetico dello stesso, che ne costituisce parte integrante, è stato fornito dalla Amministrazione Comunale di Marciana Marina e già utilizzato in stralcio per la relazione ambientale ed altri documenti della pratica urbanistica in oggetto.

Lo studio sulla base dei rilievi forniti dagli Istituti Idrografici della Marina, si pone lo scopo di prevedere eventi estremi e il calcolo dell'onda a largo, con rifrazione diretta spettrale e rifra-diffrazione a ridosso dell'imboccatura portuale.

Per il porto di Marciana Marina, si ricava un movimento delle maree di effetti limitati, con una variazione astronomica max di 30cm., una variazione barica max di 35cm., una variazione del livello del mare derivante dai venti max di 19cm., cumulabili tra loro in casi eccezionali; risulta trascurabile la marea derivante dalle correnti marine, che hanno una velocità media di 5cm/sec.

Lo studio dei venti fa riferimento all'impianto di Punta Calamita, da cui si rileva un effetto modesto sulla costa, con appena 1.84% di rilevazioni di vento maggiore di 33Nodi (50Km/h) corrispondenti al 7° Grado Beaufort che limita la navigazione, ed una predominanza di regime di brezza con 51%

di eventi con vento compreso tra 7 e 16Nodi.

Le direzioni principali del vento sono comprese tra 115-165°N con frequenze del 20% e da 285-015°N con frequenze del 26%, evidenziando gli effetti sul paramento del porto con venti oscillanti tra 280°N e 060°N.

I rilevamenti effettuati nel periodo 1989-2005 descrivono onde a largo di altezza inferiore a 1.0m con frequenza del 73.2%, il cui periodo (distanza di tempo tra due creste) oscilla tra 3 e 6 secondi.

Il mare impetuoso in cui il molo fa traversia tra 230-270°N produce onde con altezza superiore a 2,5m con una frequenza del 4%, con un'onda massima rilevata di 6,6m con periodo 11,1 secondi derivante da 240°N.

Tenendo conto di un tempo statistico di ritorno di 50 anni, lo studio ha rilevato gli effetti maggiori a Marciana Marina da onde a largo rispettivamente alte 1,5m con periodo 5 secondi derivanti da 50°N, onde alte 2.0m con periodo 6 secondi con provenienza 260°N e onde alte 6.0m con periodo 8 secondi provenienti da 330°N.

Lo studio prosegue gli effetti delle onde generate dal vento nel porto di Marciana Marina utilizzando un coefficiente di rifrazione $R=0,4$ per superfici di massi e $R=0,8$ per pareti verticali, effettuando uno studio di onde armoniche laminari ($H/L \ll 1$)

E' stato rilevato quindi che l'onda più pericolosa per la propagazione in porto deriva da 50°N e produce un'onda

residua nel bacino portuale di altezza 1.20m.

Lo studio effettua pertanto una propagazione dell'onda più pericolosa all'interno del porto anche in due ipotesi di progetto, costituite entrambe da un molo di sottoflutto in posizione simile a quella della ipotesi progettuale ottimale e testata costituita da una scogliera, mentre lo sviluppo del molo viene ipotizzato con due ipotesi rispettivamente su pali con effetto considerato nullo sulla riduzione del moto ondoso e su cassoni a pareti verticali.

La penetrazione del moto ondoso all'interno del bacino portuale nella configurazione del molo su pali rileva un'onda residua di 16cm soltanto con il beneficio della testata del molo di sottoflutto, mentre l'ipotesi con anche lo smorzamento dell'onda derivante dal molo su cassoni determina un'onda all'interno del porto sostanzialmente irrilevante, con valori residui nel bacino pari a 10cm.

Le due configurazioni di progetto differiscono leggermente dalla ipotesi progettuale ottimale prevista, poiché la posizione della testata del molo di sottoflutto corrisponde alla localizzazione della prateria di posidonia con massima densità e non si prevede alcun intervento sul molo di sovraflutto.

Una leggera riduzione dello sviluppo del molo di sottoflutto realizzato con scogliera di massi, soluzione che produce lo stesso effetto di propagazione dell'onda all'interno del bacino descritto nello studio meteo-marino,

ma che smorza l'onda riflessa e migliora quindi la zona antistante il porto, rispetto alla soluzione contenuta all'interno dello studio meteo-marino, con il contributo derivante dalla realizzazione della scogliera superficiale del molo di sovraflutto, produrrà sicuramente effetti dello stesso ordine di grandezza all'interno del porto e probabilmente migliorativi rispetto a quelli inseriti nello studio meteo-marino stesso, compatibili già e comunque con la necessità di avere onde all'interno del porto inferiori a 40cm, misurata in corrispondenza della testata dell'attuale primo pontile di sovraflutto galleggiante.

La ulteriore ottimizzazione degli effetti deriveranno dalla progettazione e saranno influenzati dalla lunghezza e dalla larghezza del molo di sovraflutto, preso atto delle caratteristiche dell'onda di progetto, di limitata frequenza e pertanto facilmente smorzabile in superficie.

Con Osservanza

Ing. Domenico Mei

Comune di Marciana Marina

APPRODO TURISTICO MARCIANA MARINA

PROGETTO PRELIMINARE

PROGETTISTI:

dott. ing. **Marco Pittori**



dott. ing. **Stefano Pittori**



COLLABORAZIONI:

Per l'urbanistica e l'architettura:
Per le strutture in c.a.:

Per la modellistica matematica:

Per l'inserimento ambientale e paesaggistico:
Per la grafica computerizzata:

Per l'editing:

dott. arch. **Francesca Romana Monassi**

dott. ing. **Plinio Monti**

dott. ing. **Tatiana Capone**

dott. ing. **Marco Fioretti**

dott. ing. **Simonetta Piccinini**

geom. **Federico Alonzo**

geom. **Alessandro Marchisella**

sig.ra **Loredana Carusi**

ALL. 3	RELAZIONE TECNICA			DATA
				Luglio 2006
<small>Doc. 500/PRO02002/3</small>				
Rev. n°	DESCRIZIONE	DATA	DESEGNATO	APPROVATO
00	Emissione	Lug_06	ing. M.Pittori	ing. M.Pittori
01				
02				
INTERPROGETTI				<small>Società certificata ISO 9001 : 2000 Certificato n° 148284</small>
<small>INTERPROGETTI S.r.l. Via di Priscilla, 116 - 00199 ROMA - Tel. 0686200297 fax:0686200298 E-mail: INFO@INTERPROGETTI.NET</small>				
<small>QUESTO DOCUMENTO NON PUO' ESSERE RIPRODOTTO NE' COMUNICATO A TERZI SENZA L'APPROVAZIONE DI QUESTA SOCIETA'</small>				

SALES - INTERPROGETTI
APPRODO TURISTICO DI MARCIANA MARINA
PROGETTO PRELIMINARE

Relazione tecnica

Indice

PARTE A: inquadramento meteo-marino, previsione degli eventi estremi e calcolo dell'onda al largo e previsione eventi estremi.

PARTE B: Modello numerico MIKE 21 NSW rifrazione diretta spettrale.

PARTE C: Modello numerico MIKE 21 EMS rifra-diffrazione a ridosso dell'imboccatura portuale.

SALES - INTERPROGETTI
APPRODO TURISTICO DI MARCIANA MARINA

PROGETTO PRELIMINARE

Relazione tecnica

PARTE A

**Inquadramento meteomarinario, previsione degli eventi estremi e calcolo
dell'onda a largo e previsione eventi estremi**

Comune di Marciana Marina
APPRODO TURISTICO MARCIANA MARINA
PROGETTO PRELIMINARE

STUDIO METEOMARINO

INDICE

1) Premesse.....	2
2) Descrizione dell'unità fisiografica.....	3
3) Analisi del quadro informativo esistente.....	4
3.1) Riferimenti cartografici e morfologici.....	4
3.2) Analisi preliminare delle caratteristiche meteomarine sulla base di studi e dati esistenti.....	5
3.2.1) Variazioni del livello marino (maree, sovralti).....	5
3.2.2) Correnti.....	8
3.2.3) Venti.....	9
3.2.4) Moto ondoso.....	12
4) Ricostruzione indiretta del moto ondoso al largo mediante modello matematico.....	13
4.1) Moto ondoso risultante.....	16
5) Elaborazione statistica delle onde estreme.....	17

1) Premesse

Nell'ambito della stesura degli studi necessari ai sensi della L.509/97 al progetto preliminare del approdo turistico di Marciana Marina è stato condotto un approfondito studio dei fattori meteomarini ed idrodinamici del sito costiero.

Lo studio dei fattori meteomarini è stato sviluppato sia per la definizione dei parametri relativi alla progettazione delle strutture portuali, sia per la valutazione della realizzazione del molo di sottoflutto del Marina in oggetto.

Per una corretta analisi delle caratteristiche meteomarine si è proceduto preliminarmente alla raccolta, selezione ed organizzazione dei dati di base relativi ai settori della meteorologia, dell'idraulica marittima e della morfologia della fascia costiera. Successivamente sono stati valutati gli aspetti specifici dei singoli settori, seguendo le consuete metodologie di analisi ed impiegando opportuni modelli numerici per l'elaborazione dei dati.

Nella presente relazione viene fornito un quadro generale del sito costiero in esame e delle distinte problematiche progettuali da esaminare ad integrazione del progetto di massima esistente. In tal modo sono stati individuati gli obiettivi del presente studio meteomarino essenziali per la definizione delle condizioni al contorno cui fare riferimento nei successivi temi di indagine (interferenza delle opere portuali sulla dinamica costiera; ottimizzazione dell'imboccatura portuale; grado di vivificazione dell'area portuale; stabilità delle opere foranee). Per le analisi di dettaglio dei citati temi di indagine si rimanda alle relazioni specifiche.

2) Descrizione dell'unità fisiografica

L'area costiera oggetto del presente studio, risulta parte della più estesa costa Ovest dell'isola d'Elba, compresa tra Capo d'Enfola e Capo S.Andrea, (Fig.1), in dettaglio l'area del porto di Marciana Marina maggior interesse è rappresentata dal tratto di costa che si estende ad Est ed a Ovest di Marciana Marina; in particolare verso Est l'arcata si estende fino a Punta della Crocetta, mentre ad Ovest dell'abitato di Marciana Marina l'arcata raggiunge il promontorio di Punta del Nasuto, per un'estensione di circa 4 Km.

L'arcata costiera si presenta antropizzata dalla presenza delle opere portuali esterne ed interne (diga di sopraffutto, pontili, opera di accosto traghetti) del porto turistico, disposte al centro della falcata litoranea, delimitata ad Ovest dalla Torre pisana ed ad Est da Punta Nera.

Ad Est della struttura portuale risulta presente una spiaggia in ciottoli di media pezzatura, che nella propaggine ridossata all'imboccatura del bacino stesso si presenta come una spiaggia a prevalente granulometria sabbiosa. Sia verso Ovest che verso Est dell'area portuale la costa si presenta rocciosa su alti fondali.

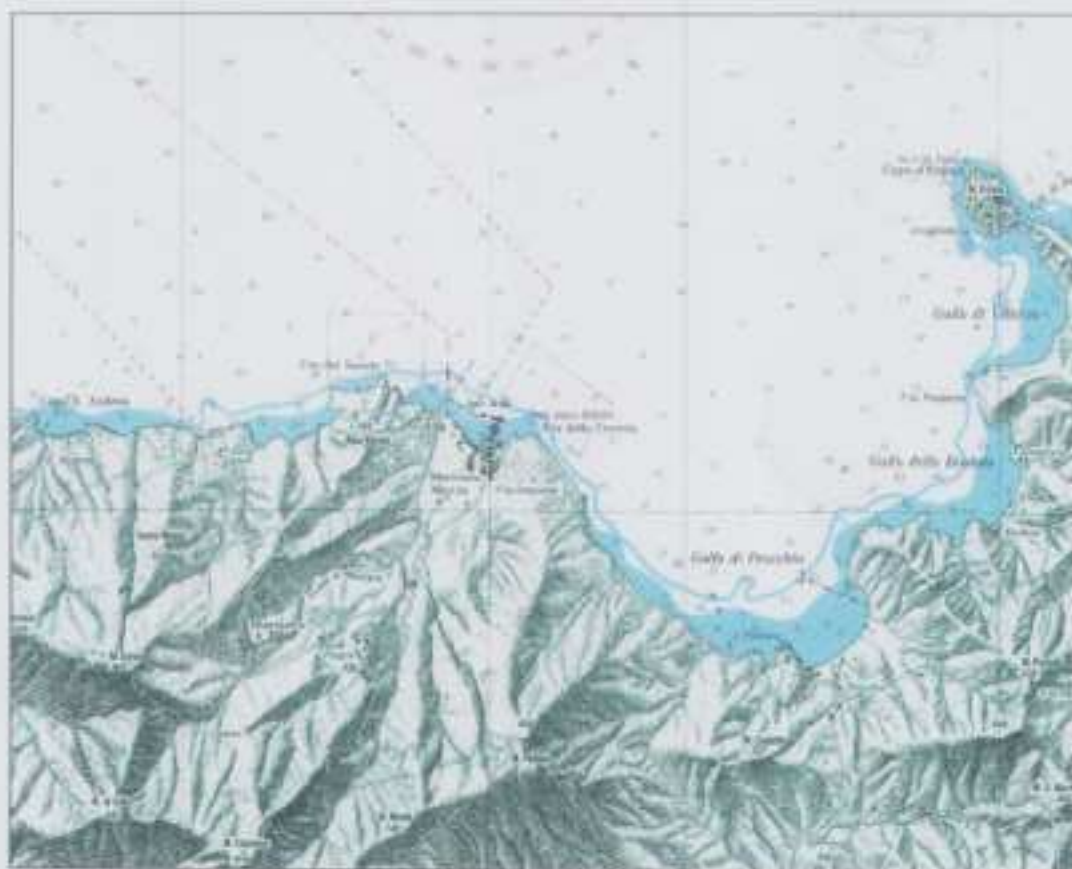


Figura 1 - Inquadramento Geografico

3) Analisi del quadro informativo esistente.

Per la corretta analisi del clima meteomarinario del sito costiero di Marciana Marina sono state sviluppate alcune indagini conoscitive preliminari per il reperimento ed analisi dei dati esistenti relativi ai seguenti temi di studio: cartografia e morfologia; regime dei venti; regime delle correnti; condizioni di escursione del livello marino; regime del moto ondoso.

A tal scopo si è fatto riferimento a studi esistenti, spesso di inquadramento generale, ed alle consuete metodologie per le analisi preliminari reperibili nella letteratura specializzata.

3.1) Riferimenti cartografici e morfologici

I temi del presente studio richiedono un'attenta caratterizzazione cartografica del sito in esame sia per la corretta analisi dell'esposizione al moto ondoso.

L'esigenza di poter definire il regime medio annuale del moto ondoso lungo l'unità fisiografica in esame (per l'analisi della dinamica costiera) unitamente alla necessità di valutare le onde associate ad eventi eccezionali (per il dimensionamento delle opere portuali esterne) ha imposto la raccolta di dati batimetrici esaurienti per la corretta applicazione di modelli di propagazione del moto ondoso dal largo verso riva. A tal proposito si è fatto riferimento alla cartografia edita dall'Istituto Idrografico della Marina, integrando la tavola in scala 1:40.000 dell'isola d'Elba con il rilievo di campo effettuato nei mesi di giugno e luglio 2006.

3.2) Analisi preliminare delle caratteristiche meteomarine sulla base di studi e dati esistenti.

Per un primo inquadramento dei fenomeni di dinamica costiera che caratterizzano il sito di Marcina Marina si è fatto riferimento agli atlanti tematici (Marina Militare e TCI/CNR).

Per la caratterizzazione di alcuni parametri sono state utilizzate formulazioni e metodologie riportate dalla letteratura specializzata (Shore Protection Manual).

Nei paragrafi successivi vengono illustrati i risultati dei diversi temi di studio.

3.2.1) Variazioni del livello marino (maree, sopralzi).

La conoscenza delle massime variazioni quasi-statiche del livello marino, dovute a cause diverse (principalmente marea astronomica e "meteorologica"), è necessaria per molteplici scopi quali: la corretta progettazione delle quote da assegnare alle opere portuali; l'analisi della posizione a breve e lungo termine della linea di costa; 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). Nel Mar Tirreno ove ricade il paraggio costiero in esame, le escursioni del livello del mare sono di fatto molto modeste.

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 dal porto campione di

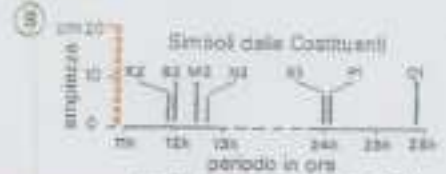
Livorno (Fig.2 estratta da "Atlante Tematico d'Italia, edito a cura del Touring Club Italiano e Consiglio Nazionale delle Ricerche). L'andamento temporale risultante è di tipo semidiurno (periodo 12 ore e 30 minuti) con due alte maree e due basse maree al giorno di ampiezza diversa (marea di tipo sinodico-declinazionale). Le escursioni di marea astronomica sono contraddistinte da una periodicità bisettimanale distinta nelle fasi di sizigie (luna piena e nuova) e di quadratura. Nei periodi sizigiali si verificano i massimi dislivelli positivi e negativi che raggiungono valori di circa 0.20 m rispetto al livello medio marino (massimo dislivello assoluto pari a circa 0,35 m; livello medio del porto campione di Livorno $Z_0=0.17$ m). Nelle fasi di quadratura l'escursione è al massimo limitata a ± 0.10 m s.l.m.. Mediamente l'oscillazione di marea da assumere (dislivello tra il minimo ed il massimo livello diurno) è di 0.30 m.

Per la definizione della marea meteorologica si distinguono:

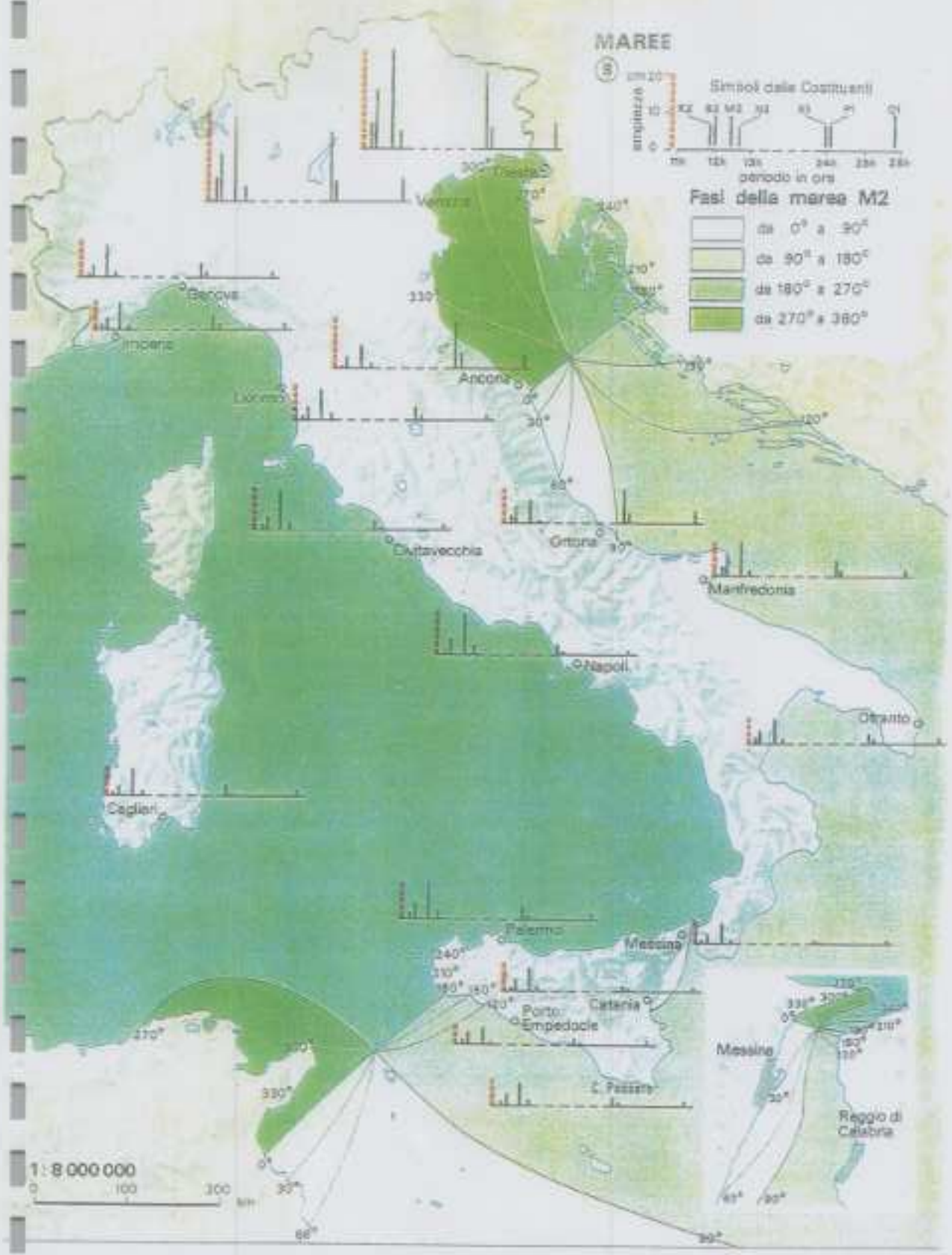
- sovrizzo barico: considerata una condizione di minimo barico (legata al passaggio dei cicloni ed anticicloni) pari a 975 mb rispetto ad una condizione media di 1000 mb ne consegue un effetto di sovrizzo marino massimo pari a 0.35 m;
- sovrizzo di vento: l'effetto di innalzamento dei livelli sottocosta indotto dall'azione del vento di Maestrale -> Tramontana, spirante verso la costa Nord dell'isola è abbastanza importante in ragione della estensione della piattaforma continentale (l'isobata -200 si trova a circa 40 Km dalla linea di riva in direzione 310° N, mentre in tutti gli altri settori è ancora più vicina). Il calcolo del sovrizzo di vento può essere effettuato con la nota relazione implicita:

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

MAREE



Fasi della marea M2



Questa fornisce un valore di 0.10 m alla profondità di 5 m, essendo $D=200$ km profondità limite della piattaforma continentale; $L_p=40000$ m la estensione della piattaforma continentale; $d=5.0$ m profondità ove si calcola il sovrizzo; $g=9.81$ m/s²; $k_p=3 \times 10^{-6}$; $U=20$ m/s velocità del vento. Eseguendo il calcolo anche per profondità inferiori si osserva che il sovrizzo segue una legge esponenziale con un massimo lungo la linea di riva ($d=0$) pari a $s=0.19$ m.

Nella zona più prossima alla riva si verifica un'ulteriore variazione del livello marino associata alla propagazione e frangimento dell'onda. Lungo la fascia litoranea confinata tra la linea dei frangenti e la linea di riva, indicata dalla letteratura specializzata come *Surf-zone*, si registra sostanzialmente un abbassamento del livello marino (wave set-down) nella zona di frangimento delle onde ed un successivo innalzamento verso riva (wave set-up). Il calcolo dei due termini di set-down h_b e set-up h_s rappresentativi del fenomeno può essere effettuato in prima approssimazione in funzione delle relazioni (¹):

$$h_b = -(1/16)\gamma^2 H_b^2 = -0.18 \text{ m s.l.m.}$$

$$h_s = (3/16)\gamma^2 H_b^2 = 0.85 \text{ m s.l.m.}$$

ove

H_b è l'altezza dell'onda al frangimento (posta pari a 3.5 m, altezza d'onda col tempo di ritorno pari a $T_r = 4.2$ anni);

γ è l'indice di frangimento esprime il rapporto tra l'altezza dell'onda frangente e la profondità d a cui si realizza il frangimento (si è soliti assumere $\gamma = 0.78$).

¹ "Coastal Engineering" vol.II, Delft University of Technology, 1993

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).

In definitiva è possibile calcolare il massimo sovrizzo lungo riva sommando tutti i diversi contributi di oscillazione del livello marino ma considerando che in generale non si verifica la piena concomitanza per i sovrizzi di carattere meteorologico ed astronomico. Si può cautelativamente assumere una riduzione del 75% per il sovrizzo massimo di carattere meteorologico ed astronomico.

3.2.2) Correnti

L'analisi d'insieme (Fig.3 estratta da "Atlante Tematico d'Italia" TCI, CNR) mostra come i flussi delle correnti di gradiente (o di densità) sono condizionati dal fenomeno di riflusso della circolazione d'insieme antioraria del Mar Tirreno e dalla corrente che passando tra la costa italiana e la Corsica, descrive il moto circolatorio del mar ligure. Tale combinazione di effetti determina delle correnti instabili e tendenti ad invertirsi nel tempo. 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 delle possibili correnti di marea. In definitiva il regime delle correnti marine nel paraggio costiero di Marciana Marina ha effetti irrilevanti sulla dinamica dei sedimenti costieri, dominata

15 Mari



FIG. 3

invece dalle correnti litoranee, comprese tra la linea dei frangenti e la riva, indotte dall'azione del moto ondoso frangente. In particolare, in prossimità di manufatti costieri, l'azione dei frangenti più intensi può indurre correnti trasversali responsabili di fenomeni di trasporto di sedimenti verso il largo, comunque fenomeno non rilevante per la costa in esame che si presenta rocciosa ed in equilibrio.

In corrispondenza dell'imboccatura portuale l'oscillazione periodica dei livelli di marea determinerà l'insorgere di correnti, da e verso il bacino portuale, responsabili dell'azione di ricircolo naturale dei volumi d'acqua invasati.

3.2.3) Venti

Lo studio dell'esposizione ai venti in un paraggio costiero riveste un'importanza non trascurabile nella determinazione di alcuni parametri importanti per la progettazione delle opere marittime e per lo studio delle condizioni di equilibrio delle spiagge. Nel caso in esame, l'acquisizione di dati anemologici risulta essenziale anche in vista della necessità di ricostruire il campo di vento sul mare per la determinazione indiretta del clima ondoso.

Da un punto di vista generale il bacino tirrenico è dominato da un regime climatico di tipo marittimo sede, in inverno, di un nucleo di bassa pressione, mentre in estate è interessato da alte pressioni indotte dall'anticiclone delle Azzorre.

Peraltro localmente lo stato del tempo climatico, e così il vento che accompagna l'afflusso di masse d'aria, sono sensibilmente influenzati dalle caratteristiche orografiche e dalle discontinuità termiche tra suolo e mare.

Infatti, le osservazioni anemometriche effettuate da stazioni meteorologiche costiere, seppure vicine tra loro, possono dare indicazioni apparentemente contrastanti.

E' possibile individuare tali differenze (Fig. 4, tratta dall'Atlante Tematico d'Italia) dalle carte meteorologiche, in cui è facile osservare discordanze nelle distribuzioni in frequenza di stazioni ubicate in siti adiacenti.

Per quanto riguarda le informazioni anemologiche relative alle stazioni meteorologiche più significative per il sito in esame, si dispone dei dati rilevati nella stazione meteorologica di Monte Calamita (Isola d'Elba), gestita dall'Istituto Idrografico della Marina, nella stazione dell'isola di Pianosa, gestita dall'Aeronautica Militare, e nella stazione del porto di Livorno, gestita dalla Rete Mareografica Nazionale.

Stazioni	Ente	Quota	Dati
Punta Calamita (Elba)	I.I.M.	396	1980 - 1995
Livorno	R.M.N.	5	1995 - 2005
Pianosa	A.M.	27	1951 - 1978

I dati delle registrazioni anemometriche, relative ad osservazioni giornaliere triorarie, sono stati esaminati preliminarmente ricavando alcune informazioni statistiche (Tabb. 1.1a,b,c,d) e riportando i risultati sotto forma di diagrammi polari (Figg. 3.5a,b,c,d).

In relazione alla diversa esposizione delle tre stazioni ed ad operazioni di verifica dei dati registrati si è preferito tenere in considerazione i dati della stazione dell'Isola d'Elba, Monte Calamita; (Figg. 5e) la stazione di Livorno risente di un regime di vento che per le condizioni più gravose risulta esterno al settore di traversia di

Il Vento

VENERELLI ANNO

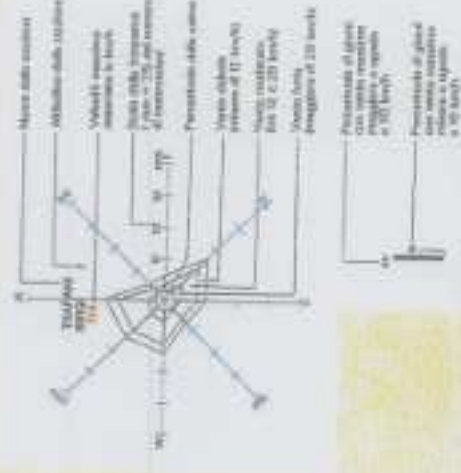
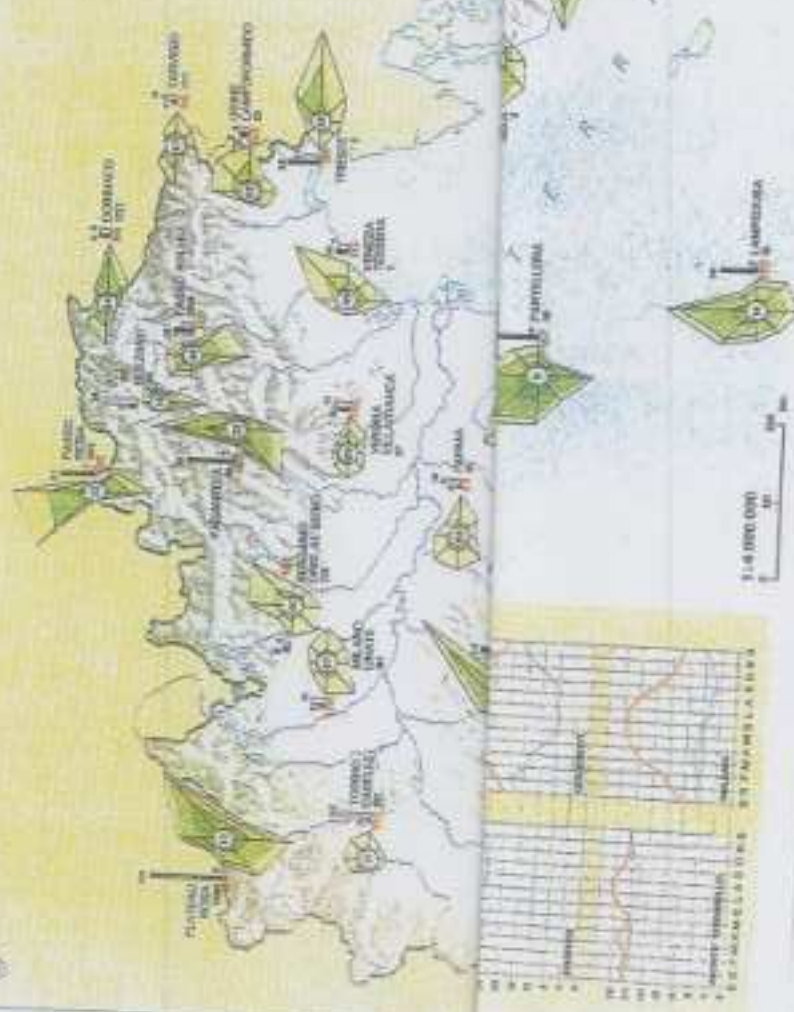


FIG. 4

Probabilità di venti venti
informati in diversi paesi...

Forza Beaufort	DIREZIONE DI PROVENIENZA DEI VENTI (°N)												Tot.
	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	
1 - 2	30.36	20.48	13.58	14	24.92	21.8	27.93	13.69	16.82	17.09	24.81	26.93	252.41
3 - 4	78.39	38.46	28.74	36.42	78.2	43.86	20.14	8.68	10.18	24.84	79.62	61.61	509.14
5 - 6	16.24	4.55	5.21	9.14	28.74	16.82	5.4	3.24	5.02	4.36	13.39	17.44	120.54
7 - 12	0.85	0.04	0.27	1.31	5.32	3.59	1.58	1.47	1.62	0.73	0.85	0.77	18.4
Tot.	25.84	63.54	47.8	60.87	137.2	86.07	55.05	27.08	33.64	47.03	118.7	106.7	909.5

Numero totale di eventi rilevati = 25922

Stati di vento (vel. ≥ 1 nodo) = 23491

Calme di vento (vel. ≤ 1 nodo) = 2343

Eventi indefiniti: 88 dei quali:

Eventi con direzione indefinita: 75

Eventi con velocità indefinita: 13

Eventi con direzione e velocità indefinita: 0

Tab. 1. Frequenza valori millesimali direzione e velocità del vento (ANNUALE)

Forza Beaufort	DIREZIONE DI PROVENIENZA DEI VENTI (°N)													Tot.
	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360		
1 - 2	9,84	5,25	3,12	3,09	4,86	4,36	3,36	1,77	1,7	2,66	4,86	6,56	51,42	
3 - 4	26,77	13,04	8,8	9,37	13,93	9,14	3,47	2,12	2,55	4,78	15,74	15,24	124,95	
5 - 6	8,8	2,85	2,7	2,47	5,25	4,17	1,62	1,39	2,08	2,16	3,66	6,37	43,52	
7 - 12	0,58	0	0,15	0,69	1,35	1,12	0,46	0,54	0,85	0,35	0,66	0,27	7,02	
Tot.	45,98	21,14	14,78	15,62	25,38	18,79	8,91	5,83	7,18	9,95	24,92	28,43	226,91	

Numero totale di eventi rilevati = 6451

Stati di vento (vel. ≥ 1 nodo) = 5871

Calme di vento (vel. ≤ 1 nodo) = 567

Eventi indefiniti 13 dei quali:

Eventi con direzione indefinita: 4

Eventi con velocità indefinita: 9

Eventi con direzione e velocità indefinita: 0

Tab. Ia. Frequenza valori millesimali direzione e velocità del vento (INVERNO)

Forza Beaufort	DIREZIONE DI PROVENIENZA DEI VANTI (°N)											Tot.	
	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330		360
1-2	6.6	4.86	3.63	3.66	7.99	6.79	9.26	4.17	4.78	4.36	7.29	7.02	70.4
3-4	15.62	7.52	7.95	11.07	27.89	12.77	6.91	2.31	2.66	7.87	22.88	15.93	141.39
5-6	1.97	0.69	0.81	2.97	10.8	4.4	0.96	0.46	1.08	0.85	4.44	3.86	33.29
7-12	0.12	0.04	0.08	0.19	1.58	0.62	0.04	0.12	0.19	0.04	0.15	0.19	3.36
Tot.	24.3	13.12	12.46	17.9	48.26	24.57	17.17	7.06	8.72	13.12	34.76	27	248.44

Numero totale di eventi rilevati = 7008

Stati di vento (vel \geq 1 nodo) = 6401

Calme di vento (vel \leq 1 nodo) = 568

Eventi indefiniti 39 dei quali:

Eventi con direzione indefinita: 37

Eventi con velocità indefinita: 2

Eventi con direzione e velocità indefinita: 0

Tab. 1b Frequenza valori milleannali direzione e velocità del vento (PRIMAVERA)

Forza Beaufort	DIREZIONE DI PROVENIENZA DEI VENTI (°N)													Tot.
	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360		
1-2	6,06	5,63	3,36	3,24	6,37	6,25	11,77	6,52	8,37	6,94	8,49	8,45	81,44	
3-4	13,35	4,94	3,51	6,06	18,44	11,5	4,75	2,28	2,39	7,72	30,05	15,74	120,71	
5-6	0,77	0,15	0,19	0,81	4,71	2,93	0,42	0,42	0,42	0,42	3,47	1,62	16,36	
7-12	0	0	0,04	0,08	0,62	0,31	0,15	0,12	0,12	0,08	0	0,04	1,54	
Tot.	20,18	10,72	7,1	10,18	30,13	20,99	17,09	9,34	11,3	15,16	42,01	25,85	220,04	

Numero totale di eventi rilevati = 6403

Stati di vento (vel. ≥ 1 nodo) = 5686

Calme di vento (vel. ≤ 1 nodo) = 698

Eventi indefiniti 19 dei quali:

Eventi con direzione indefinita: 18

Eventi con velocità indefinita: 1

Eventi con direzione e velocità indefinita: 0

Tab. 1c Frequenza valori millenari di direzione e velocità del vento (ESTATE)

Forza Beaufort	DIREZIONE DI PROVENIENZA DEI VENTI (°N)												Tot.
	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	
1-2	7.87	4.75	3.47	4.01	5.71	4.4	3.55	1.23	1.97	3.12	4.17	4.9	49.15
3-4	22.64	12.96	8.49	9.91	17.94	10.45	5.02	1.97	2.58	4.47	10.96	14.7	122.1
5-6	4.71	0.85	1.5	2.89	7.99	5.32	2.39	0.96	1.43	0.93	1.81	5.59	36.38
7-12	0.15	0	0	0.35	1.77	1.54	0.93	0.69	0.46	0.27	0.04	0.27	6.48
Tot.	35.38	18.56	13.46	17.17	33.41	21.72	11.88	4.86	6.44	8.8	16.97	25.46	214.1

Numero totali di eventi rilevati = 6059

Stati di vento (vel. ≥ 1 nodo) = 5533

Calme di vento (vel. ≤ 1 nodo) = 509

Eventi indefiniti: 17 dei quali:

Eventi con direzione indefinita: 17

Eventi con velocità indefinita: 1

Eventi con direzione e velocità indefinita: 0

Tab. 1d. Frequenza valori millisimali direzione e velocità del vento (AUTUNNO)

DISTRIBUZIONE DIREZIONALE DEI VENTI A: ISOLA D'ELBA

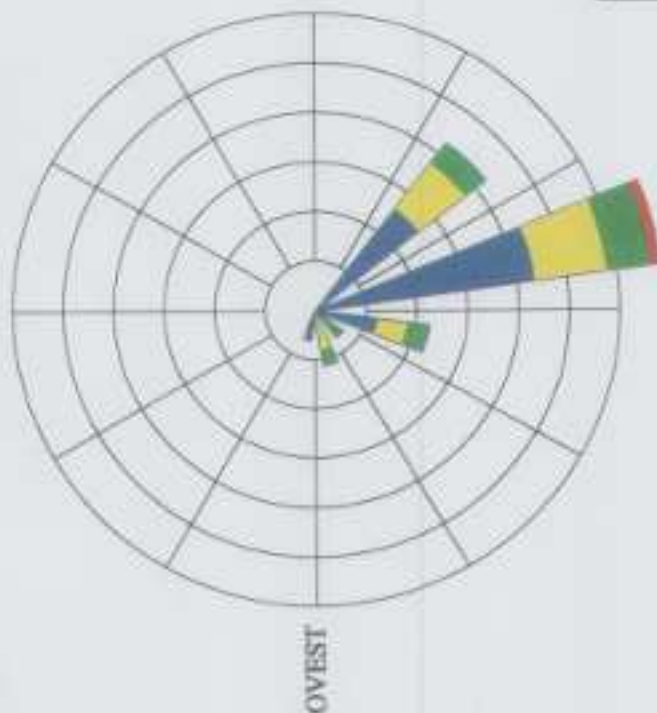
STAZ. VENTI: ISOLA D'ELBA

ANNI DI RILEVAMENTO: 1981 - 1995

PERIODO: ANNUALE

CALME: 9.07

NORD



11.70 %
9.75 %
7.80 %
5.85 %
3.90 %
1.95 %



7 - 12
5 - 6
3 - 4
1 - 2

VELOCITA' DEL VENTO
IN BEAUFORT

PERCENTUALI SUL NUMERO
TOTALE DEGLI EVENTI RILEVATI
NEGLI ANNI 1981 - 1995

SUD

INTERPROGETTI S.r.l. - Via di Prisdella, 116 ROMA - Tel. 06.85000297
Modello autorizzato di ristampa del sito italiano "WAVECART" 1 -

Fig. 5

DISTRIBUZIONE DIREZIONALE DEI VENTI A: ISOLA D'ELBA

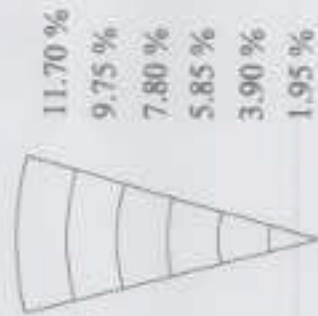
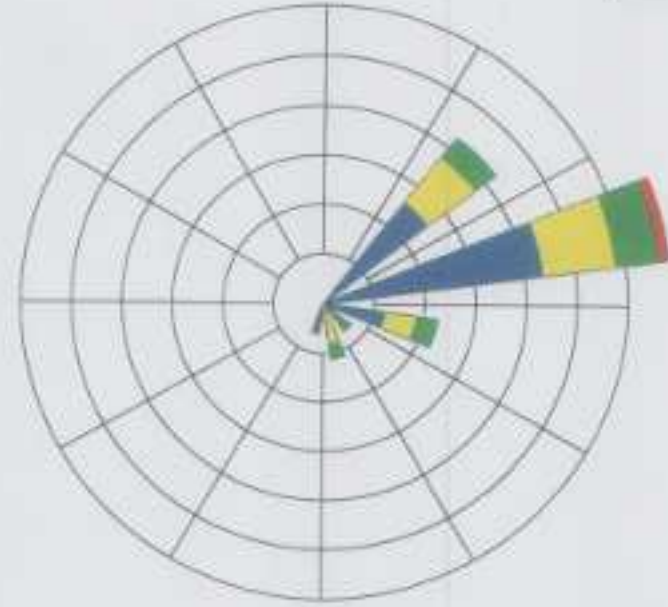
STAZ. VENTI: ISOLA D'ELBA

ANNI DI RILEVAMENTO: 1981 - 1995

PERIODO: ANNUALE

CALME: 9.07

NORD



VELOCITA' DEL VENTO
IN BEAUFORT

PERCENTUALI SUL NUMERO
TOTALE DEGLI EVENTI RILEVATI
NEGLI ANNI 1981 - 1995

SUD

INTERPROGETTO S.r.l. - Via di Pisaella, 118 ROMA - Tel. 06/86200297
Modello istatimatico di distribuzione dei venti onshore - WAVECAST 1 -

Fig. 5

DISTRIBUZIONE DIREZIONALE DEI VENTI A: ISOLA D'ELBA

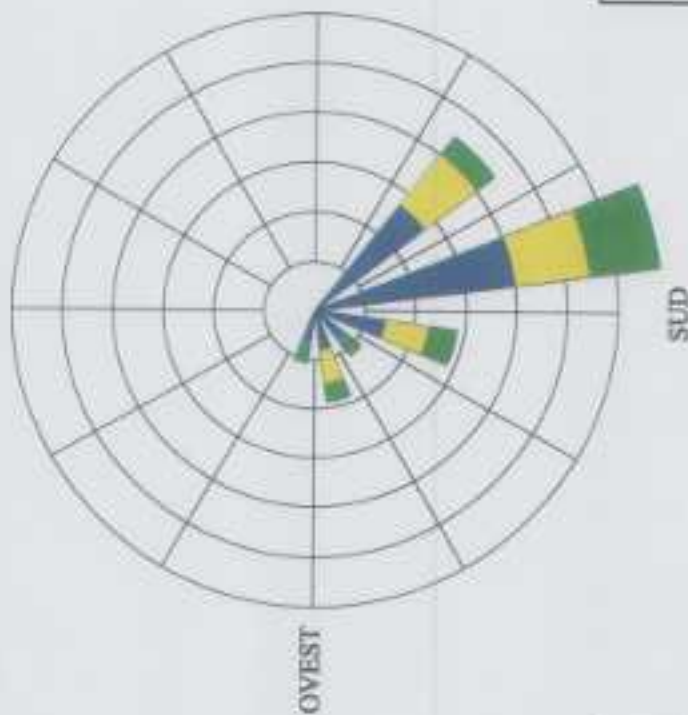
STAZ. VENTI: ISOLA D'ELBA

ANNI DI RILEVAMENTO: 1981 - 1995

PERIODO: INVERNO

CALME: 2.14

NORD



7 - 12
5 - 6
3 - 4
1 - 2



VELOCITA' DEL VENTO
IN BEAUFORT

3.28 %
2.74 %
2.19 %
1.64 %
1.09 %
0.55 %



PERCENTUALI SUL NUMERO
TOTALE DEGLI EVENTI RILEVATI
NEGLI ANNI 1981 - 1995

Fig. 5a

INTERPROGETTI S.r.l. - Via di Priscilla, 116 ROMA - Tel. 06.86200297
Modello automatico di rielaborazione del vento: WAVECAST I -

DISTRIBUZIONE DIREZIONALE DEI VENTI A: ISOLA D'ELBA

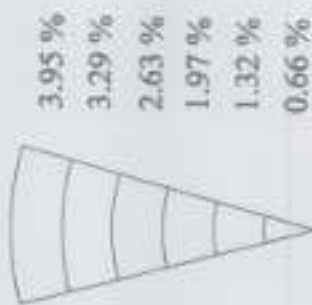
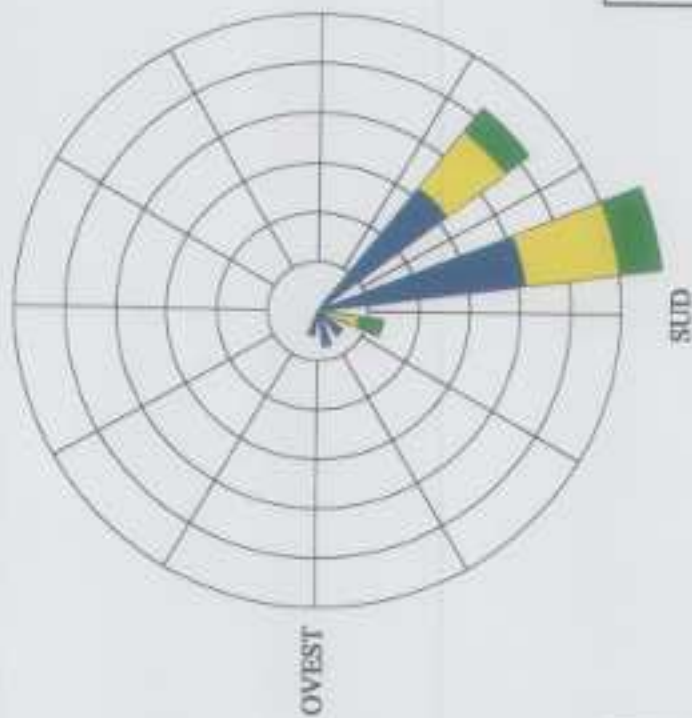
STAZ. VENTI: ISOLA D'ELBA

ANNI DI RILEVAMENTO: 1981 - 1995

PERIODO: PRIMA VERA

CALME: 2,24

NORD



VELOCITA' DEL VENTO
IN BEAUFORT

PERCENTUALI SUL NUMERO
TOTALE DEGLI EVENTI RILEVATI
NEGLI ANNI 1981 - 1995

INTERPROGETTI S.r.l. - Via di Prineola, 116 ROMA - Tel. 06/86000297
Modello matematico di classificazione del vento onshore - WAVBCAST 1 -

Fig. 5b

DISTRIBUZIONE DIREZIONALE DEI VENTI A: ISOLA D'ELBA

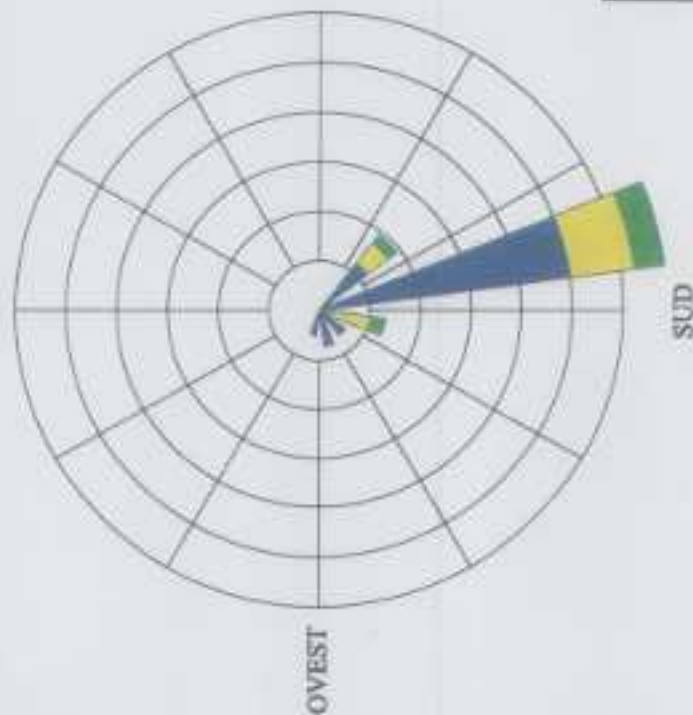
STAZ. VENTI: ISOLA D'ELBA

ANNI DI RILEVAMENTO: 1981 - 1995

PERIODO: ESTATE

CALME: 2.74

NORD



7 - 12
5 - 6
3 - 4
1 - 2

3.11 %
2.59 %
2.08 %
1.56 %
1.04 %
0.52 %

VELOCITA' DEL VENTO
IN BEAUFORT

INTERPROGETTI S.p.A. - Via di Pisa, 116, ROMA - Tel. 06.4600297
Modello matematico di ricostruzione del vento medio - WAVECAST 1 -

PERCENTUALI SUL NUMERO
TOTALE DEGLI EVENTI RILEVATI
NEGLI ANNI 1981 - 1995

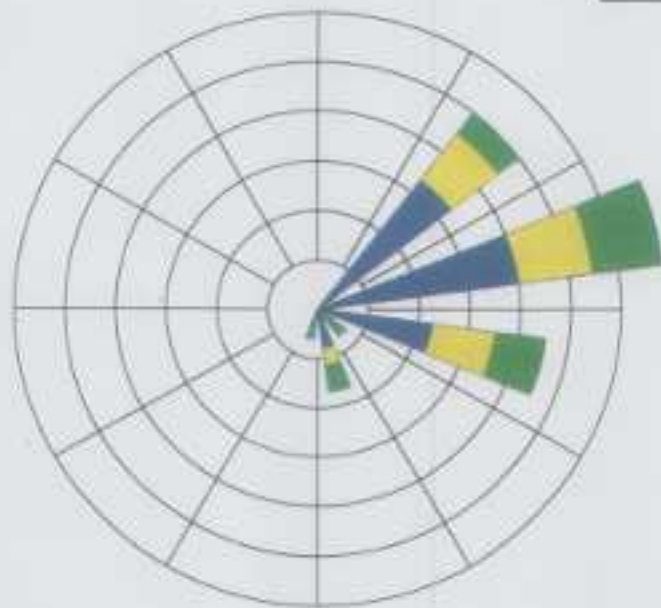
Fig. 5c

DISTRIBUZIONE DIREZIONALE DEI VENTI A: ISOLA D'ELBA

STAZ. VENTI: ISOLA D'ELBA ANNI DI RILEVAMENTO: 1981 - 1995 PERIODO: AUTUNNO

CALME: 1.95

NORD



7 - 12
5 - 6
3 - 4
1 - 2

2.83 %
2.35 %
1.88 %
1.41 %
0.94 %
0.47 %

VELOCITA' DEL VENTO
IN BEAUFORT

PERCENTUALI SUL NUMERO
TOTALE DEGLI EVENTI RILEVATI
NEGLI ANNI 1981 - 1995

SUD

Fig. 5d

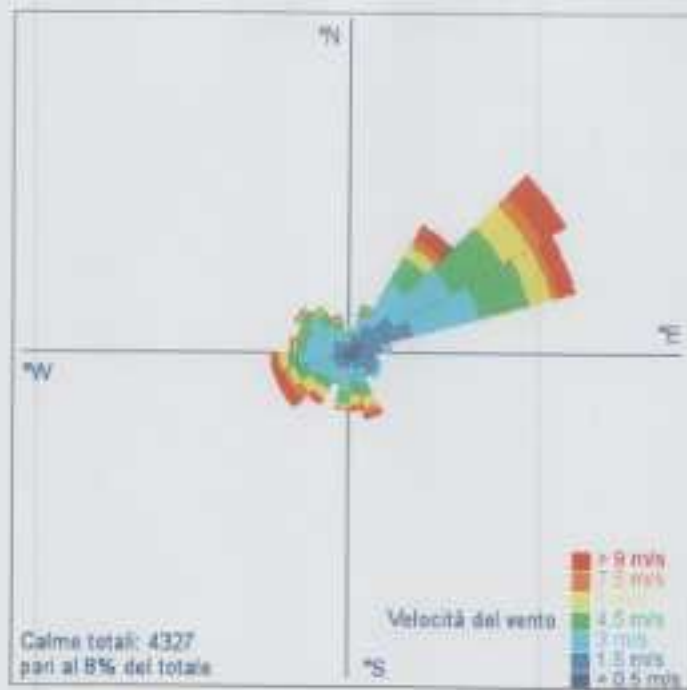


Fig. 5e – Distribuzione del vento nella stazione semaforica di Livorno

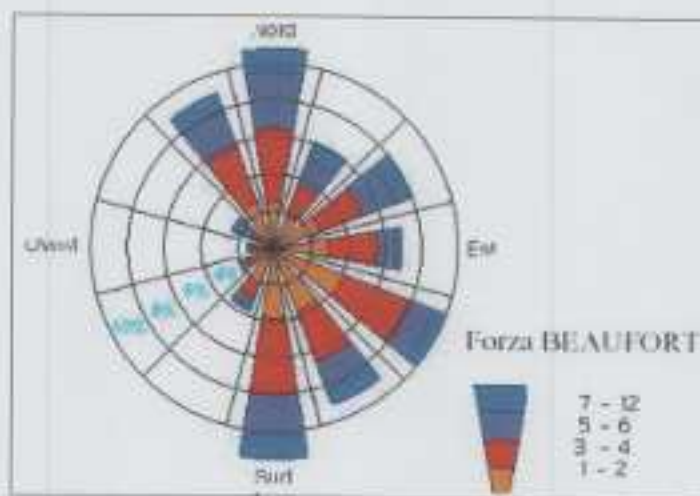


Fig. 5f – Distribuzione del vento nella stazione semaforica di Pianosa

Marciana Marina . I dati di Pianosa (distante solo poche Mn dall'Elba) evidenziano come il paraggio di Marciana Marina, interessato (Figg. 5f) dal settore di traversia, N-NO, sia soggetto al campo di vento più frequente registrato dalla stazione .

Osservando nel loro complesso le rose dei venti è difficile individuare una razionale correlazione fra le varie stazioni, anche perché alcune sono chiaramente influenzate da effetti geo-orografici locali.

Va osservato che per la stazione esaminata, Monte Calamita, il periodo di funzionamento ha durata sufficientemente ampia (dal 1981 al 1995) per consentire attendibili analisi statistiche ed "indicazioni climatiche".

I dati anemometrici raccolti hanno fornito le seguenti indicazioni sul regime anemologico :

- frequenze molto basse (1,84%) delle osservazioni in cui la velocità sia risultata superiore a 33 nodi (50 km/h) quindi limitato accadimento di stati di vento estremi (superiori al 7° grado della forza Beaufort).
- prevalenza dei venti con intensità compresa tra 7 e 16 nodi (51%).
- i venti prevalenti sono quelli provenienti da scirocco (oltre il 20,0% degli stati di vento provengono dal settore di 115-165 °Nord) e quelli di maestrale e tramontana (circa il 26% degli stati di vento provengono dal settore 285-15 °Nord)
- in particolare considerando il settore geografico di generazione del moto ondoso (compreso tra 280 e 60 °Nord) i venti prevalenti sono quelli provenienti da maestrale e grecale.

3.2.4) Moto ondoso

Elemento indispensabile per una corretta valutazione degli eventi estremi e del trasporto solido litoraneo è il regime del moto ondoso che contraddistingue il litorale 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 di provenienza θ , è stata effettuata in questo studio operando una preliminare fase di approccio in base alle osservazioni dirette effettuate da navi in mare aperto (fonte K.N.M.I.) e dalle rilevazioni dirette effettuate dall'ondametro della Rete Ondametrica Nazionale (R.O.N) di La Spezia. È stato possibile ricavare così utili indicazioni di carattere qualitativo, riscontrandone la validità nella seconda fase di studio (vedi cap.4), nella quale i dati sono stati ricostruiti facendo uso di un modello matematico di ricostruzione (hindcasting).

Una registrazione dettagliata degli stati di mare al largo del sito in esame (Fig. n.6) è stata effettuata dal KNMI sulla base delle osservazioni trasmesse dalle navi in transito. I dati esaminati si riferiscono ad un periodo di osservazione di 20 anni (dal 1960 al 1980) per un totale di 7582 osservazioni con una frequenza media di rilevamento di più di una osservazione giorno (Tabb. II e III).

La serie dei dati a disposizione è troppo limitata per considerazioni di carattere statistico; la frequenza delle osservazioni è molto variabile nel tempo, in quanto legata ai periodi di transito delle navi, ed inoltre lo stesso evento ondoso può essere conteggiato più volte da navi diverse. Infine si dovrebbe tenere conto delle inevitabili approssimazioni legate alla soggettività ed imprecisione delle stime visuali.



Fig. 6 - Area di osservazione del KNMI

Direzionale	Altezza (gradi I.M.)					
	3	4	5	6	7	8
350 - 10	55	6	1	1	1	0
20 - 40	79	12	2	0	0	0
50 - 70	96	24	3	0	0	0
80 - 100	90	7	0	0	0	0
110 - 130	73	7	2	2	2	0
140 - 160	81	11	1	0	0	0
170 - 190	50	8	1	0	0	0
200 - 220	145	66	14	2	2	0
230 - 250	247	84	42	4	4	0
260 - 280	92	25	17	2	2	0
190 - 310	59	11	3	1	1	0
320 - 340	43	14	0	0	0	0

Tab. II - Distribuzione in classi di altezza e direzione delle osservazioni K.N.M.I.

Dir / Hs	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	TOT.
180	123	37	14	7	1	0	0	0	0	0	0	182
190	57	10	3	4	1	0	0	0	0	0	0	83
200	108	30	13	2	1	1	0	0	0	0	0	155
210	83	37	21	9	5	0	1	0	0	0	0	155
220	108	55	27	23	8	5	2	2	0	1	0	231
240	153	65	64	20	17	7	7	5	0	3	0	341
250	143	103	58	28	21	12	5	3	1	0	0	374
260	108	63	33	20	3	5	2	4	3	0	0	241
270	202	77	36	19	10	9	9	5	1	1	0	359
280	95	20	21	10	4	2	0	0	0	0	0	152
290	92	26	13	5	0	3	0	1	0	0	0	142
300	113	23	8	6	3	0	1	1	0	0	0	155
310	76	30	12	6	1	0	0	0	1	0	0	126
320	121	35	18	5	5	2	1	0	0	0	0	187
330	106	20	4	3	2	0	1	0	0	0	0	144
340	117	20	14	6	5	1	0	3	0	0	0	175
350	80	16	12	6	1	2	0	0	0	0	0	120
360	103	43	11	4	2	0	1	0	0	0	1	185
Tot.	1988	740	382	183	90	49	30	24	6	5	1	3498
Tot. %	56.8%	21.2%	10.9%	5.2%	2.6%	1.4%	0.9%	0.7%	0.2%	0.1%	0.0%	100.0%

Tab. III - Dati K.N.M.I. relativi al settore di traversia

La seconda fonte utilizzata per lo studio preliminare del moto ondoso interessante il paraggio è stata l'ondametro direzionale della R.O.N. di La Spezia, i cui dati di registrazione vanno dal 1989 al 2005 con un rendimento medio della stazione del 95%. Le indicazioni estratte (Tabb. IV), si possono così riassumere:

- il sito è interessato da un clima meteomarinò con moto ondoso per l'73,2% inferiore ad 1 m di altezza; con periodi compresi tra i 3 ed i 6 s;
- il settore di traversia principale è identificabile da 230 a 270°N (Tab. IV);
- le mareggiate con onde superiori a 2.5 m hanno una frequenza del 4%;
- l'altezza d'onda massima registrata, nel periodo di registrazioni dell'ondametro a disposizione (1989-2005), ha le seguenti caratteristiche: H_s pari a 6.60 m $T_p=11.1s$ $Dir= 240^\circ N$.

dal confronto tra le due fonti (rete R.O.N. e K.N.M.I.) si evidenzia la concordanza del settore di traversia principale e l'effetto di schermatura che "obbligatoriamente" l'ondametro di La Spezia subisce per le ondatazioni provenienti dal I quadrante che sono rilevanti nella statistica del KNMI. Di tale differenziazione si terrà conto nel successivo passaggio di ricostruzione del moto ondoso.

4) Ricostruzione indiretta del moto ondoso al largo mediante modello matematico.

Come già sottolineato nel capitolo precedente, la determinazione della distribuzione di frequenza delle onde risponde ad obiettivi progettuali:

- a) definizione delle probabilità di occorrenza degli *eventi ondosi estremi* per il dimensionamento delle opere esterne;
- b) definizione del *clima d'onda* per la valutazione delle condizioni di evoluzione dei fenomeni di dinamica costiera;

IntDir	0 - 0,50	0,50 - 1,0	1,0 - 1,50	1,5 - 2,0	2,0 - 2,50	2,50 - 3,00	3,0 - 3,50	3,50 - 4,0	4,0 - 4,50	4,5 - 5,0	5,0 - 5,50	5,50 - 6,0	6,0 - 6,5	6,5 - 7,0	Tot
0 - 30	1505	1157	366	102	43	9	7	3	0	0	0	0	0	0	3.222
30 - 60	1342	2135	1391	830	485	300	140	94	40	8	5	3	0	0	7.292
60 - 90	2073	1446	417	162	85	50	36	17	11	10	2	1	1	0	4.321
90 - 120	1251	555	142	37	26	5	2	2	3	1	0	0	1	0	2.025
120 - 150	884	655	191	45	24	5	5	4	3	1	0	0	0	0	1.827
150 - 180	1174	1310	470	147	46	14	12	9	7	2	3	0	0	0	3.200
180 - 210	2150	1905	484	130	114	44	40	20	10	9	5	2	0	0	4.915
210 - 240	2501	2756	1563	1059	444	224	163	96	38	55	45	11	0	1	9.059
240 - 270	2222	1722	521	247	148	58	56	43	26	17	14	4	1	0	5.084
270 - 300	557	558	152	45	35	9	6	8	5	3	2	1	0	0	1.825
300 - 330	891	870	249	52	19	3	2	4	0	0	1	0	0	0	2.091
330 - 360	1255	1253	453	131	33	10	5	3	1	0	0	0	0	0	3.155
Tot.	16607	16384	6445	2988	1502	748	485	303	145	105	77	22	3	1	48.017
Tot. %	35,2%	34,1%	13,4%	6,2%	3,1%	1,6%	1,0%	0,6%	0,3%	0,2%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	100%

Tab. IV distribuzione direzionale del cima ondosio registrato dalla ondamento di La Spezia (settembre 30')

- c) verifica delle condizioni di *agitazione ondosa residua* all'interno dello specchio portuale;
- d) valutazione del *grado di agibilità del porto* in rapporto alla frequenza di accadimento dei fenomeni di moto ondoso.

La limitata attendibilità dei dati disponibili hanno imposto l'uso di un modello tipo hindcasting per la ricostruzione degli eventi di moto ondoso sulla base di registrazioni anemometriche.

Il modello matematico di ricostruzione del moto ondoso è basato sulle note relazioni semiempiriche del metodo S.M.B., che forniscono l'altezza ed il periodo dell'onda significativa generata da un vento avente velocità e direzione costanti, per un prefissato intervallo di tempo, lungo una porzione della superficie marina (fetch) ove si esplicano i processi di trasferimento di energia dal vento alle onde. Questa schematizzazione del fenomeno di generazione del moto ondoso rende sufficienti, per la ricostruzione delle mareggiate, la conoscenza dei dati anemometrici registrati da un'opportuna stazione meteorologica e la corretta definizione del fetch.

Il modello di ricostruzione del moto ondoso utilizzato è stato concepito per elaborare i dati anemometrici registrati dal Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare (CNMCA-ITAV); i dati utilizzati sono riferiti ai valori medi delle misure di velocità e direzione del vento effettuate in continuo nei 15' antecedenti le ore sinottiche fissate secondo gli standard internazionali. L'applicazione del procedimento di hindcasting richiede quindi la preliminare selezione della stazione anemometrica rappresentativa delle condizioni di generazione del moto ondoso al largo del sito in esame. Per continuità, rappresentatività ed affidabilità della serie di dati registrati si è ritenuta qualitativamente più valida per lo studio in esame la stazione meteo dell'Isola

d'Elba. Il periodo di osservazione a disposizione (dal 1981 al 1995) è sufficientemente elevato con un numero totale di eventi rilevati pari a 25922.

Per la corretta applicazione del modello di ricostruzione degli eventi di moto ondoso, si deve fare riferimento alla porzione di mare che contribuisce realmente alla generazione degli stati di moto ondoso (fetch efficace). Questa è definita riferendosi all'estensione geografica del bacino (fetch geografico) che viene corretta considerando le caratteristiche di dispersione direzionale dell'energia associata al vento ed al moto ondoso ed eventualmente limitata considerando la massima estensione delle perturbazioni atmosferiche che si manifestano nel mediterraneo (raramente superiore ai 600 km).

Posizionandosi al largo del sito di Marciana Marina (su fondali dell'ordine di -30 m), la porzione del Mare Tirreno responsabile dei fenomeni di generazione e propagazione degli eventi di moto ondoso (fetch geografico) che possono interessare il paraggio costiero in esame, è delimitata (Fig. 7): da Capo Corso ad Ovest, dalla costa Azzurra e dalla Liguria ad Ovest Nord - Nord, dal promontorio di Piombino a Nord-Est.

Trascurando i settori di traversia contraddistinti da un fetch geografico inferiore a 50 km, l'angolo di traversia geografica complessivo è pari a circa 130°; l'estensione massima si ha in direzione 290°N con 269 Km.

Alle lunghezze geografiche relative ai distinti settori di traversia, misurati posizionandosi al largo di Marciana Marina, si è associato il relativo fetch efficace calcolato in base ad una legge di dispersione angolare (tipo JONSWAP), proporzionale alla seconda potenza del coseno dell'angolo formato tra la direzione in considerazione e



Fig. 7 - Fetch geografico

la direzione principale media, cui si è soliti fare riferimento per le zone più "aperte" del Mar Mediterraneo.

Il risultato delle elaborazioni condotte (Tab.V e Fig. 8) evidenzia che per il sito in esame si registrano valori massimi del fetch efficace di circa 143 - 144 km per il settore compreso tra 320 e 330° Nord. Le elaborazioni forniscono anche la deviazione tra la direzione del vento di generazione e quella del moto ondoso risultante cui deve fare riferimento il modello di ricostruzione.

4.1) Moto ondoso risultante

Il modello di calcolo fornisce i risultati delle elaborazioni in opportuni formati tabellari e grafici. Dai tabulati riassuntivi di calcolo relativi ad ogni settore di ampiezza di 10° della traversia derivano le tabelle riassuntive (Tab.VI). I risultati sono stati graficizzati in forma di diagramma polare (relativo a settori di 10°) per una più chiara e sintetica interpretazione della distribuzione direzionale del clima ondoso (Figg.9,9a,b). Il programma oltre a riassumere i dati elaborati, seleziona e definisce, sulla base dei risultati del modulo di calcolo:

- gli eventi ondosi con altezza significativa massima al di sopra di una determinata soglia. Questo modulo di calcolo tiene conto delle fasi di sviluppo e decadimento dell'evento ondoso nonché delle condizioni di congruenza, in termini di direzione e durata, con cui evolve il fenomeno di trasferimento energetico vento-onda;

I risultati della simulazione condotta con i dati di vento dell'Isola d'Elba indicano una netta prevalenza degli eventi estremi del moto ondoso provenienti da N - NW, con traversia a largo non trascurabile anche per gli eventi provenienti dal settore N - NE, ondate maggiori di 3 m risultano provenienti dal settore 330 - 340.

θ ($^{\circ}$)	Fg Km	Fe Km
0	116	122
10	70	82
20	58	67
30	50	52
40	41	40
50	33	30
60	28	23
70	23	16
80	0	12
90	0	8
100	0	5
110	0	3
120	0	1
130	0	1
140	0	0
150	0	0
160	0	0
170	0	0
180	0	0
190	0	0
200	0	0
210	0	0
220	0	0
230	0	5
240	0	14
250	0	28
260	0	45
270	62	65
280	64	87
290	269	107
300	229	125
310	215	137
320	221	143
330	208	144
340	168	138
350	143	131
360	118	122

Tab V

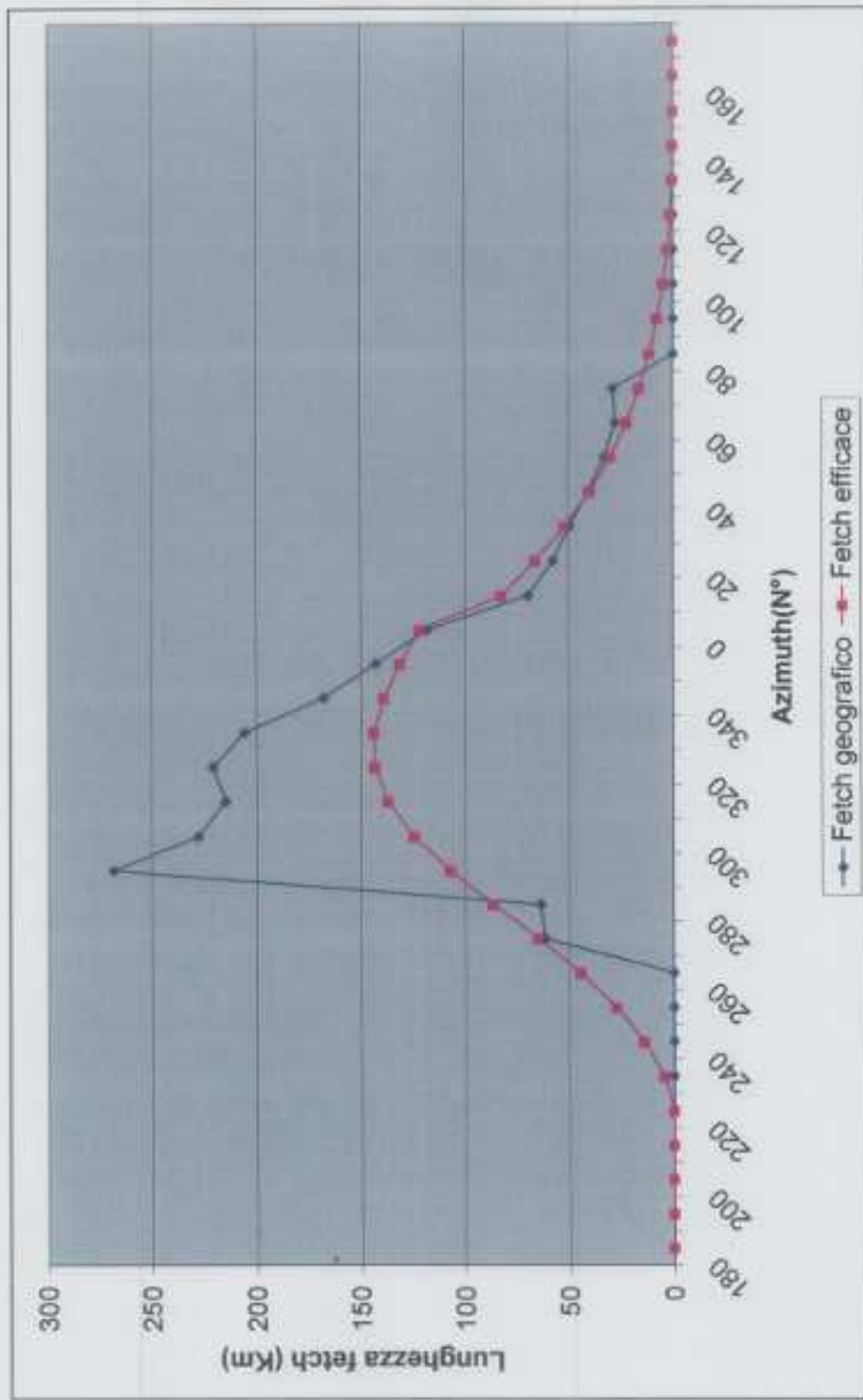
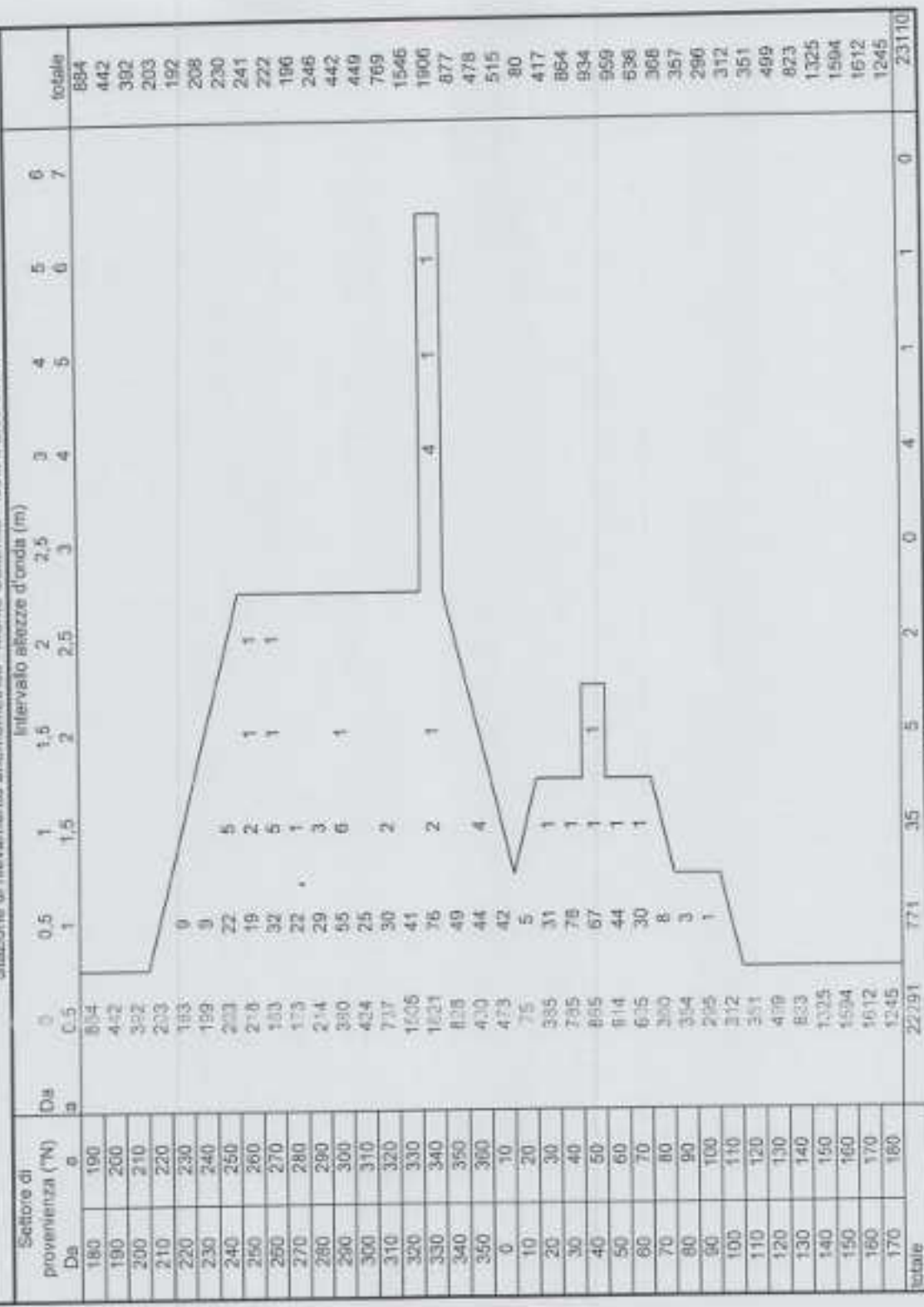




Fig. 8 - Fetch efficace (\cos^2)

Distribuzione delle altezze d'onda significative per classi di altezza e direzione a Marciana Marina
Stazione di rilevamento anemometrico Monte Calamita - Isolotti d'Elba 397 m



Tab. VI

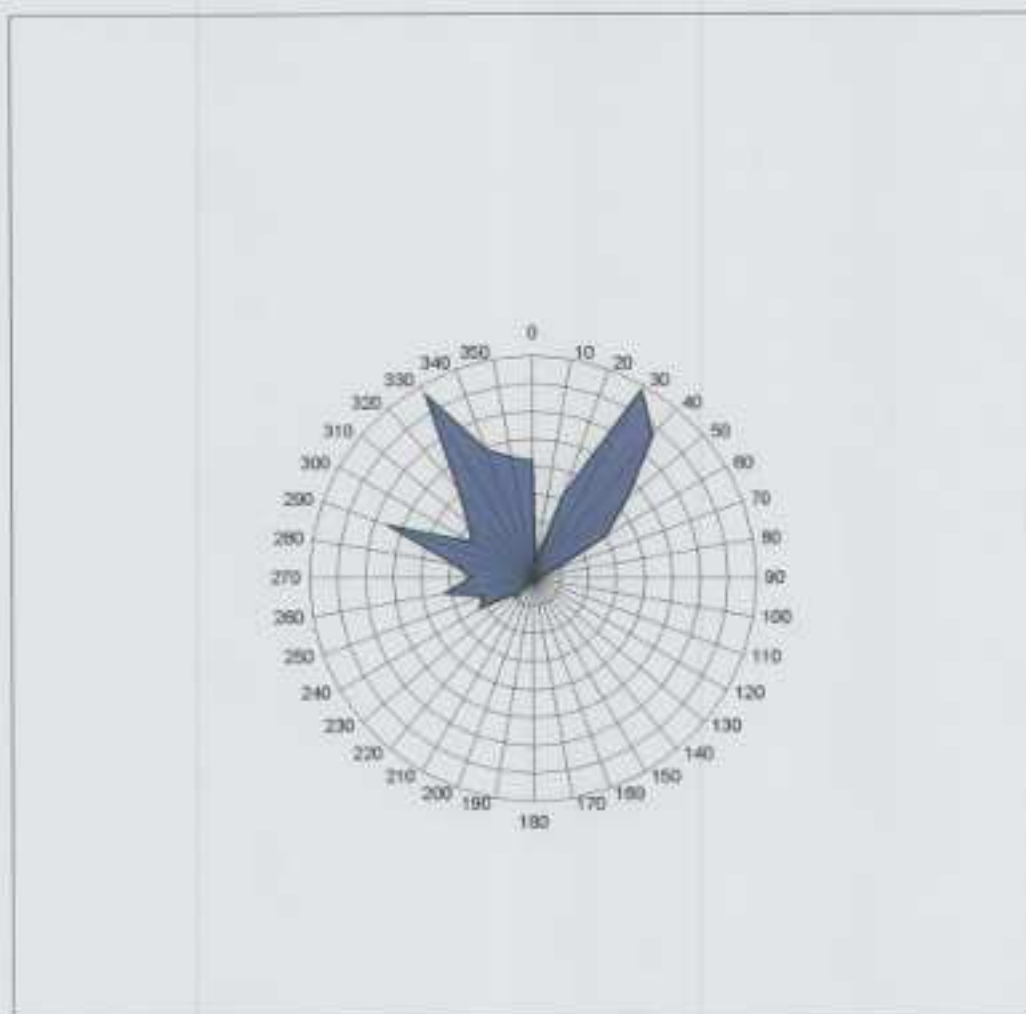


Fig.9 - Distribuzione moto ondoso con metodo SMB, Direzione di provenienza per onde di altezza compresa tra 1 - 1,5 m

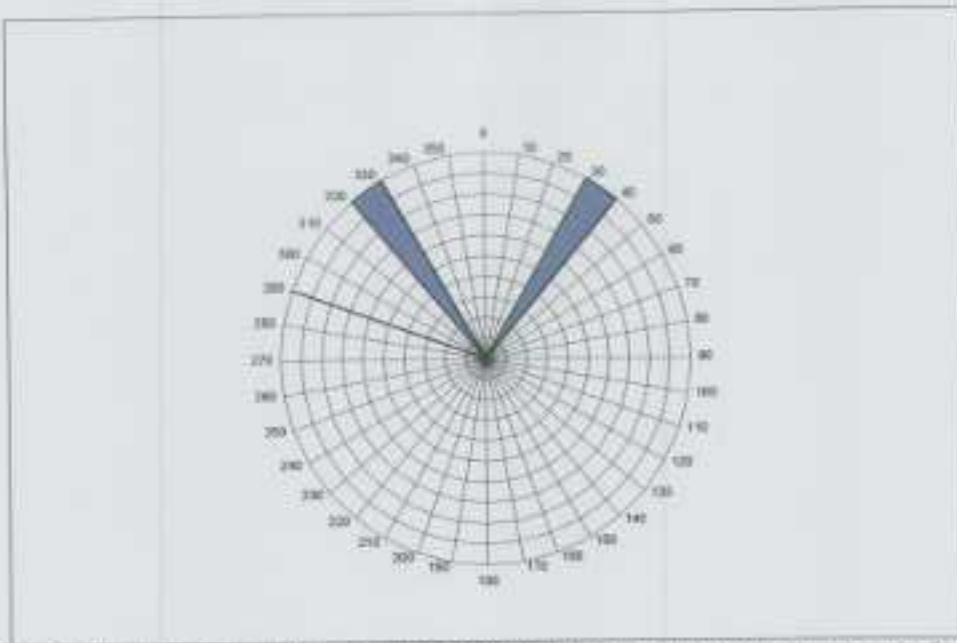


Fig 9a - Distribuzione moto ondoso con metodo SMB, Direzione di provenienza per onde di altezza compresa tra onde 1,5 - 2 m



Fig 9b - Distribuzione moto ondoso con metodo SMB, Direzione di provenienza per onde di altezza superiore a 4 m

Il regime del moto ondoso determinato con il modello di hindcasting è rappresentativo delle condizioni in acqua profonda (>50 m); per individuare poi più correttamente le ondatazioni che possono raggiungere il litorale in esame, nonché le opere portuali, occorre sviluppare un modello di simulazione dei fenomeni di rifrazione e shoaling, che tenda quindi conto della specificità morfologica del sito costiero.

5) Elaborazione statistica delle onde estreme

Per la determinazione dell'onda di progetto è necessario eseguire un'elaborazione statistica degli eventi estremi di moto ondoso relativi alla serie storica di riferimento definita con il modello di hindcasting (cap. 4). Mediante regolarizzazione della serie di eventi estremi, secondo note funzioni probabilistiche, è possibile ricavare le caratteristiche del moto ondoso (definite in termini di altezza significativa e periodo) da associare a prefissati tempi di ritorno.

Nel caso degli eventi di moto ondoso si è dimostrata più affidabile come metodologia di studio l'analisi statistica delle serie tronche, ottenute selezionando tutte le altezze d'onda significative registrate al picco di mareggiate indipendenti superiori ad una soglia prefissata. La scelta della soglia di troncamento è legata alla necessità di operare comunque una selezione di un numero di eventi estremi comparabile con il numero di anni di osservazione.

Si è scelto come valore di troncamento della serie (soglia) 1.0 m ed è stata poi eseguita l'elaborazione statistica delle altezze significative indipendenti superiori alla soglia prefissata effettuando dapprima una regolarizzazione di tipo statistico (Tab. VII) della serie di valori riferita al periodo di misure (15 anni).

Numero anni : 15
Numero di dati : 34

Media : 1,4569
Deviazione : 1,1428

Soglia : 1,0 m

Onda (m)	Tempo di ritorno(anni)		Onda (m)	Tempo di ritorno(anni)
5,81	25,88		1,17	0,66
4,90	9,65		1,12	0,81
3,91	5,89		1,12	0,81
3,48	4,23		1,07	0,7
3,48	4,23		1,07	0,7
3,10	3,9		1,07	0,7
2,12	2,71		1,07	0,7
2,03	2,29		1,07	0,7
1,62	2,29		1,07	0,7
1,51	2,11		1,07	0,7
1,51	2,11		1,07	0,7
1,34	2,04		1,07	0,7
1,29	1,2		1,07	0,7
1,28	1,11		1,07	0,7
1,27	1,03		1,07	0,7
1,23	0,97		1,02	0,46
1,23	0,97		1,01	0,45

Tab VII- Regolarizzazione statistica serie tronca degli eventi estremi

Altezza significativa massima di ogni singola mareggiata a Marciana Marina
Stazione di rilevamento anemometrico Isola D'Elba

Data	Altezza (m)	Periodo (s)	Direzione (N°)
16/06/1981	1,51	5,13	40
27/11/1981	2,12	5,97	260
07/12/1981	1,23	4,68	294
11/03/1982	1,62	5,3	282
13/03/1982	1,07	4,4	313
31/03/1982	1,07	4,4	320
23/01/1984	5,8	9,9	334
09/02/1984	1,34	4,87	279
18/03/1984	3,48	7,74	334
22/12/1984	1,51	5,13	265
08/01/1985	3,91	8,21	335
15/06/1985	1,62	5,3	25
05/01/1986	3,48	7,74	332
16/12/1986	4,9	9,19	338
06/12/1988	1,07	4,4	289
09/02/1989	1,07	4,4	270
21/04/1989	3,1	7,1	335
27/02/1990	1,62	5,3	341
13/12/1990	1,17	4,59	349
28/12/1990	3,48	7,74	337
20/12/1991	1,02	4,31	303
21/01/1992	1,62	5,3	43
17/02/1992	1,02	4,31	321
17/04/1992	1,17	4,59	309
21/02/1993	1,12	4,5	309
05/06/1994	1,34	4,87	26
12/08/1994	1,07	4,4	294
19/10/1994	1,17	4,5	243
20/12/1994	2,03	5,91	251
02/01/1995	2,12	6,04	288
15/01/1995	3,1	7,1	331
27/01/1995	1,23	4,68	294
18/02/1995	1,45	5,04	32
29/03/1995	1,28	4,77	326

Tab. VIII

Successivamente le serie "tronche" ⁽²⁾ 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. L'elaborazione (Tab.IX) è stata eseguita con le quattro più note leggi di distribuzione (Gumbel, Frechet, Weibull tipo U, Weibull tipo L), avendone determinato i parametri caratteristici con il metodo dei minimi quadrati.

Le distribuzioni di Weibull, tipo L e U, danno valori di altezze significative più bassi rispetto a quelli ottenuti con Frechet e Gumbel, che per tempi di ritorno superiori a 50 anni sembrano invece divergere. Per tempi di ritorno inferiori l'andamento delle quattro leggi tende quasi a sovrapporsi, in particolar modo per l'onda con tempo di ritorno pari 20 anni dove i risultati sono contenuti in un range di 30 cm con un'onda media pari 5.3 m.

Considerando la omogeneità dei risultati delle quattro leggi di regolarizzazione utilizzate si può stimare il valore dell'onda cinquantennale al largo di Marciana Marina in $h_s=5.8$ m.

I precedenti valori estremi d'altezza d'onda al largo sono stati selezionati per la successiva elaborazione (rifrazione diretta spettrale) al fine di determinare le altezze d'onda massime in prossimità del porto di Marciana Marina.

Per la definizione del periodo associato all'altezza d'onda di progetto è uso corrente determinarlo per mezzo di formule del tipo $T_s = c H^{1/m}$ (vedi le espressioni Bretschneider, Grancini ed altri). In questa sede si è fatto uso dell'espressione valida per

²⁾ Il metodo delle serie tronche è da preferire sia al metodo dei massimi annuali (dati in numero limitato e per alcune "annate" ben pochi estremi) sia a quello dell'analisi di tutta la serie di eventi di moto ondoso (vicariamente non indipendenti e poco omogenei).

Frechet				
tempo di ritorno	P(T _r)	H(T _r)	T _s	T _s
10	0,9441	5,3	9,55	9,55
20	0,9721	5,5	9,73	9,73
50	0,9888	6,0	10,17	10,17
100	0,9944	6,5	10,58	10,58

Weibull(tipoL)				
tempo di ritorno	P(T _r)	H(T _r)	T _s	T _s
10	0,9441	5,05	9,33	9,33
20	0,9721	5,37	9,62	9,62
50	0,9888	5,75	9,95	9,95
100	0,9944	5,9	10,08	10,08

Gumbel				
tempo di ritorno	P(T _r)	H(T _r)	T _s	T _s
10	0,9441	4,8	9,09	9,09
20	0,9721	5,2	9,40	9,40
50	0,9888	7,12	6,04	6,04
100	0,9944	6,1	10,25	10,25

Weibull(tipoU)				
tempo di ritorno	P(T _r)	H(T _r)	T _s	T _s
10	0,9441	4,64	9,13	9,13
20	0,9721	5,15	9,42	9,42
50	0,9888	5,54	9,77	9,77
100	0,9944	5,82	10,01	10,01

Media delle distribuzioni				
tempo di ritorno	P(T _r)	H(T _r)	T _s	T _s
10	0,9441	5,00	9,28	9,28
20	0,9721	5,31	9,56	9,56
50	0,9888	4,86	9,14	9,14
100	0,9944	6,08	10,23	10,23

Tab IX. Elaborazione eventi estremi

Confronto



spettro energetico del tipo Jonswap per il quale il periodo significativo è espresso dalla :

$$T_s = 4,15 \cdot \sqrt{H_s}$$

Elenco delle figure:

Fig. 1	Inquadramento geografico
Fig. 2	Atlante tematico TCI - CNR. Livelli di marea
Fig. 3	Atlante tematico TCI - CNR. Correnti marine
Fig. 4	Atlante tematico TCI - CNR. Registrazioni anemometriche
Fig. 5	Distribuzione direzionale dei venti a Marciana Marina. (annuale)
Fig. 5a	Distribuzione direzionale dei venti a Marciana Marina. (inverno)
Fig. 5b	Distribuzione direzionale dei venti a Marciana Marina. (primavera)
Fig. 5c	Distribuzione direzionale dei venti a Marciana Marina. (estate)
Fig. 5d	Distribuzione direzionale dei venti a Marciana Marina. (autunno)
Fig. 6	Area di rilievo delle osservazioni del K.N.M.I.
Fig. 7	Fetch geografico.
Fig. 8	Fetch efficace (\cos^2).
Fig. 9	Diagramma polare del regime di moto ondoso a Marciana Marina.(1
m<H<1.5 m)	
Fig. 9a	Diagramma polare del regime di moto ondoso a Marciana Marina.(1.5
m<H<2 m)	
Fig. 9b	Diagramma polare del regime di moto ondoso a Marciana Marina.(H>4
m)	
Fig. 10	Confronto altezze d'onda con le quattro leggi di distribuzione applicate.

Elenco delle tabelle:

Tab. I	Frequenza valori millesimali direzione e velocità del vento (annuale).
Tab. Ia	Frequenza valori millesimali direzione e velocità del vento (inverno).
Tab. Ib	Frequenza valori millesimali direzione e velocità del vento (primavera).
Tab. Ic	Frequenza valori millesimali direzione e velocità del vento (estate).
Tab. Id	Frequenza valori millesimali direzione e velocità del vento (autunno).
Tab. II	Distribuzione in classi di altezza e direzione delle osservazioni K.N.M.I.
Tab. III	Dati K.N.M.I. relativi al settore di traversia.
Tab. IV	Distribuzione direzionale del clima ondoso registrato dall'ondametro di La Spezia (settore 30°)
Tab. V	Distribuzione direzionale delle lunghezze del fetch a Marciana Marina.
Tab. VI	Distribuzione delle altezze d'onda significative per classi altezza e direzione a Marciana Marina. Stazione di rilevamento anemometrico Isola d'Elba.
Tab. VII	Regolazione statistica serie tronca degli eventi estremi.
Tab. VIII	Altezza significativa massima di ogni singola mareggiata a Marciana Marina. Stazione di rilevamento anemometrico Isola d'Elba.
Tab. IX	Elaborazione eventi estremi.

SALES - INTERPROGETTI
APPRODO TURISTICO DI MARCIANA MARINA

PROGETTO PRELIMINARE

Relazione tecnica

PARTE B

Modello numerico MIKE 21 NSW rifrazione diretta spettrale

SALES - INTERPROGETTI

Comune di Marciana Marina

APPRODO TURISTICO DI MARCIANA MARINA

STUDIO DELLA PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSO DAL LARGO

VERSO RIVA RIFRAZIONE DIRETTA SPETTRALE

INDICE

1) Introduzione	1
2) Moto ondoso sottocosta - modello matematico di rifrazione diretta spettrale	2
3) Conclusioni	6

1) Introduzione

Il presente rapporto illustra i risultati degli studi di rifrazione del moto ondoso eseguiti relativamente all'ampliamento del porto turistico di Marciana Marina.

Si è studiata dapprima la propagazione del moto ondoso dal largo fino all'imboccatura portuale attraverso l'utilizzo del modello matematico di rifrazione diretta spettrale con approccio alle differenze finite di tipo Euleriano MIKE 21 - NSW.

Lo studio su modello matematico è stato condotto considerando le mareggiate più intense provenienti dai diversi settori di traversia, per le condizioni meteomarine raggiungibili nel paraggio di Marciana Marina e ricavate nel precedente studio meteomarinario.

2) Moto ondoso sottocosta - modello matematico di rifrazione diretta spettrale

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").

Nell'applicazione del modello, si sono inclusi gli effetti cosiddetti di "Bottom Dissipation", utilizzando l'espressione di Nikuradse, mentre sono state escluse le dissipazioni di energia dovute a fondali permeabili, alla percolazione; nonché dagli effetti indotti dalle correnti, dal vento e dalle riflessioni del fondale; le modifiche delle caratteristiche ondose durante la propagazione verso riva sono quindi 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 prima fase dello studio della rifrazione richiede la digitalizzazione dei valori di profondità ricavati da carte nautiche con la costruzione di un adeguato reticolo batimetrico che tenga conto della topografia sottomarina sui "bassi" fondali (profondità

inferiori alla semi-lunghezza d'onda). I valori di profondità sono stati ricavati dalle carte batimetriche disponibili per il sito costiero in esame (vedi corografia e reticolo batimetrico di figg.1 e 2).

Dal momento che il modello opera nell'ambito della teoria lineare, le equazioni di base che governano il moto sono le equazioni dell'iconale e del trasporto ed in particolare dovendo affrontare soprattutto fenomeni di shoaling e rifrazione esse sono utilizzate nelle loro forme semplificate secondo l'approssimazione dell'ottica geometrica.

La risoluzione numerica delle equazioni viene effettuata riferendosi ad una griglia a maglie quadrate o rettangolari, rappresentativa della superficie batimetrica dell'area costiera d'interesse.

I valori della profondità vengono individuati in ogni nodo della griglia ed un metodo numerico alle differenze finite in avanti esplicito, provvede a risolvere in ogni nodo le equazioni alle derivate parziali che governano il moto e a dare come output sempre in ogni nodo il valore dei seguenti parametri rappresentativi dello spettro bidimensionale discreto della perturbazione:

- a) altezza d'onda
- b) periodo medio
- c) direzione media
- d) radiation stress

Tali valori sono di fondamentale importanza ai fini dell'individuazione della distribuzione energetica in prossimità della costa .

Nel caso in esame e' stata generata una griglia batimetrica di calcolo a maglie rettangolari di lato 50m x 200m con 160 righe e 55 colonne rappresentativa del sito costiero tra Capo d'Enfola ad est e Capo S. Andrea ad ovest, quindi un'area di 11 x 8 Km.(fig.2)

Sono state realizzate due differenti griglie batimetriche al fine di poter simulare sia le ondatazioni provenienti dal I e dal IV-quadrante che quelle dal III. Tali griglie, perpendicolari tra di loro, sono orientate rispettivamente a 0 e 90°N (fig. 3 griglia batimetria 90°N).

Per conoscere le caratteristiche meteomarine dell'intero paraggio e quindi definire il comportamento dell'intera unita' fisiografica, sulla base dei risultati dello studio meteomarino, si sono simulate le seguenti condizioni ondose, rappresentative delle mareggiate di maggiore intensita' per settore di provenienza e di condizioni con tempo di ritorno annuale.

- altezza d'onda al largo di 1.5 m con periodo significativo di $T_s=5$ s per le direzioni $D=30, 40, 50, 60, 70^\circ N$;
- altezza d'onda al largo di 2.0 m con periodo significativo di $T_s=6$ s per le direzioni $D=250, 260, 270^\circ N$;
- altezza d'onda al largo di 6.0 m con periodo significativo di $T_s=8$ s per le direzioni $D=320, 330, 340^\circ N$.

I risultati delle elaborazioni in termini di altezza d'onda sono rappresentati nelle figg. 4, 5, 6, 7, 8, rispettivamente per le ondatazioni provenienti da 30, 40, 50, 60 e 70°N, nelle figg. 9, 10, 11, rispettivamente per le ondatazioni provenienti da 250, 260, 270 °N e nelle figg. 12, 13, 14, rispettivamente per le ondatazioni provenienti da 320, 330, 340 °N. Nelle figg. 15, 16 e 17 sono stati riportati invece, in una visualizzazione

grafica di dettaglio sull'area in esame, i vettori direzione del moto ondoso, proporzionali in lunghezza all'altezza d'onda (media pesata in base al valore dell'energia) che permettono di capire come l'energia del moto ondoso si distribuisca in intensità e direzione lungo la costa per l'onda con direzioni di propagazione a largo rispettivamente di 50, 260 e 330°N.

Dall'analisi dei risultati delle elaborazioni si può notare come il sito in esame risulti particolarmente esposto alle ondatazioni provenienti dal settore di traversia principale, ossia 320 – 340°N. Il settore più critico per la configurazione portuale proposta risulta però essere quello proveniente da 30 – 70°N; in questo caso la protezione offerta dal promontorio di Capo d'Enfoia non interessa la zona di studio.

Nella tabella seguente vengono riportate le caratteristiche delle singole onde propagate a largo e le relative caratteristiche a riva prima del frangimento (batimetrica -8,0 s.l.m.m.) prese nella sezione 18 corrispondente alla localizzazione del porto in fase di studio.

Moto ondoso a LARGO		Moto ondoso a RIVA		Ks
D (°N)	Hs (m)	D' (°N)	H's (m)	
30	1.5	27	1.34	0.9
40	1.5	35	1.32	0.8
50	1.5	41	1.28	0.85
60	1.5	46	1.24	0.8
70	1.5	48.5	1.22	0.8
250	2.0	306.6	0.2	0.1
260	2.0	307.3	0.3	0.15
270	2.0	308.3	0.5	0.25
320	6.0	347	3.9	0.65
330	6.0	351	4.2	0.7
340	6.0	355	4.3	0.7

Dall'esame dei risultati esposti nella tabella si può notare come il paraggio risulti particolarmente riparatato dalle ondatazioni provenienti dal settore 250 - 270°N.

3) Conclusioni

Da quanto sopra esposto si può affermare che il paraggio in esame risulta naturalmente protetto dalle ondazioni provenienti dai settori del III quadrante. Le direzioni di provenienza più pericolose risultano essere quelle provenienti dal settore 320 - 340°N, le quali, in virtù dell'assenza di naturali protezioni ed anche della morfologia del fondale che rimane di profondità elevate fino in prossimità del bacino portuale stesso, non subiscono particolari fenomeni rifrattivi e raggiungono l'opera portuale con forte intensità. La verifica sul molo foraneo esistente risulta quindi positiva ed il molo ben orientato.

Le ondazioni provenienti invece dal primo quadrante risultano pericolose per l'assenza del molo di sottoflutto e per lo scarso ridosso offerto da Capo d'Enfoia. Tali ondazioni hanno comunque caratteristiche di minore intensità.

Al fine di studiare la penetrazione del moto ondoso all'interno del bacino portuale si rimanda alla successiva fase di elaborazioni numeriche di dettaglio.



Figura 1: Inquadramento geografico

Doc. relazione tecnica - Rifrazione diretta spettrale



Figura 2: Area di discretizzazione - Reticolo batimetrico



Passo di discretizzazione Dm=200m

Figura 3: Batimetria di calcolo

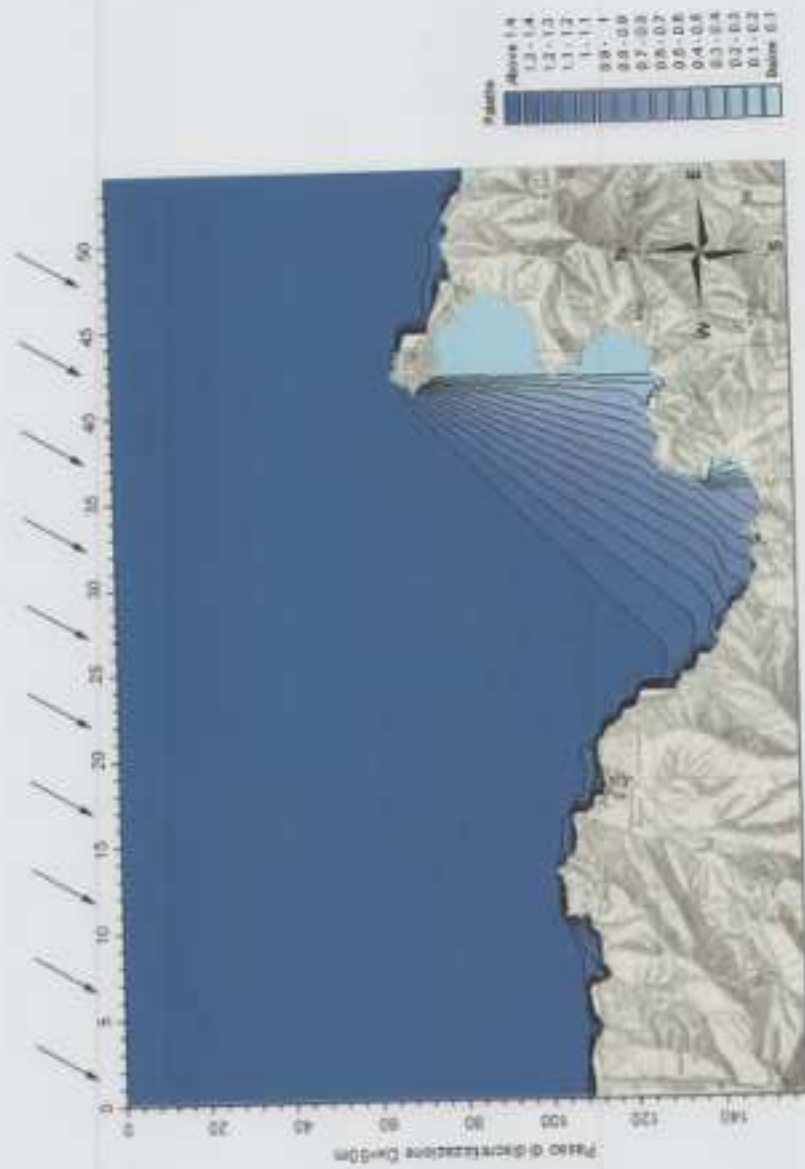


Figura 4: Altezza d'onda H₅₀ 1.5 m Dir. 30°N T_s=5s



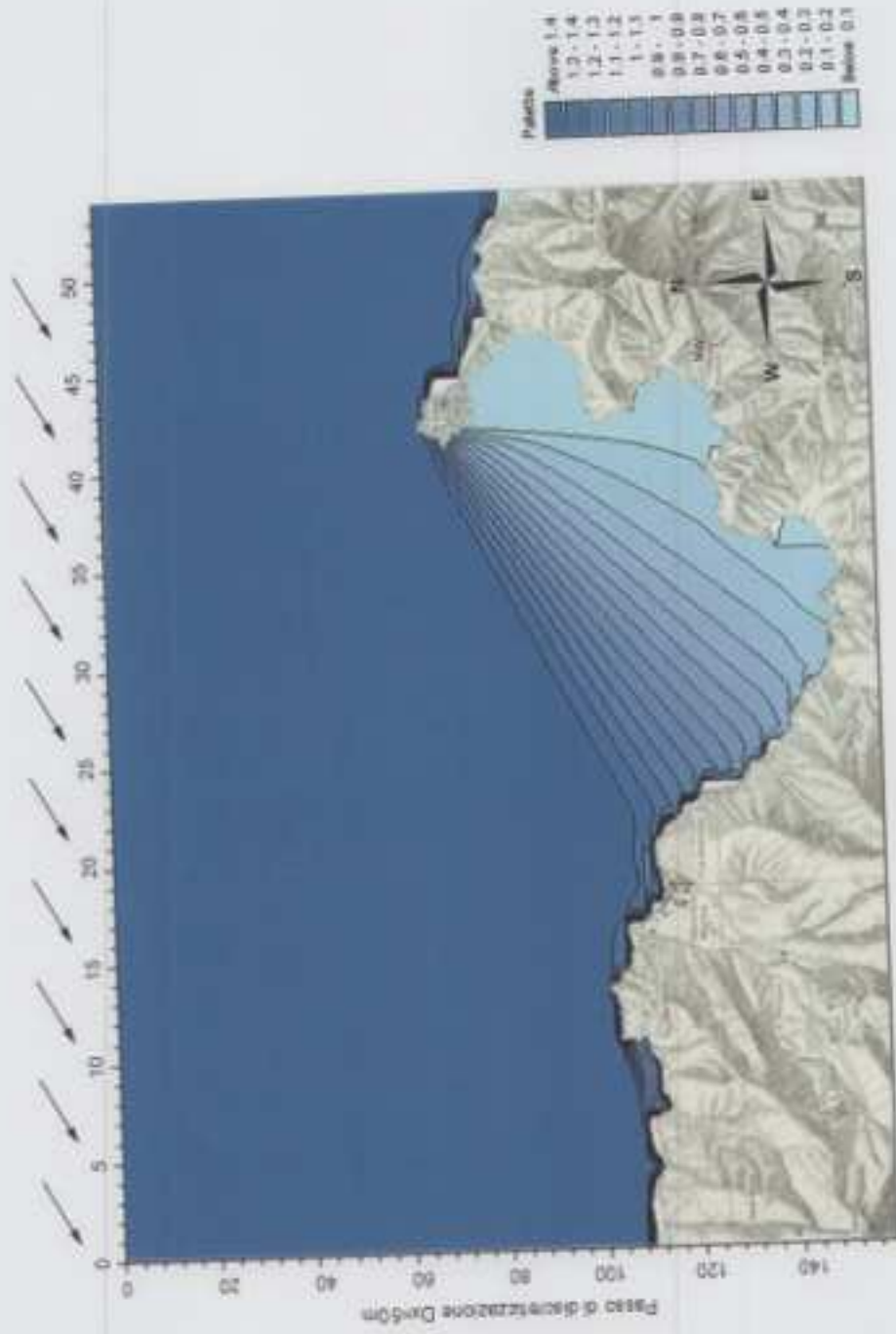
Passo di discretizzazione Dm=200m

Figura 5: Altezza d'onda $H_s=1.5m$ Dir. $40^\circ N$ $T_s=5s$



Passo di discretizzazione $\Delta x=200m$.

Figura 6: Altezza d'onda $H_s=1.5m$ Dir. $50^\circ N Ts=5s$



Pianche di discretizzazione Dir=200m

Figura 7: Altezza d'onda $H_s=1.5m$ Dir. $60^\circ N$ $T_s=5s$



Figura 8: Altezza d'onda $H_s=1.5m$ Dir. $70^\circ N$ $T_s=5s$

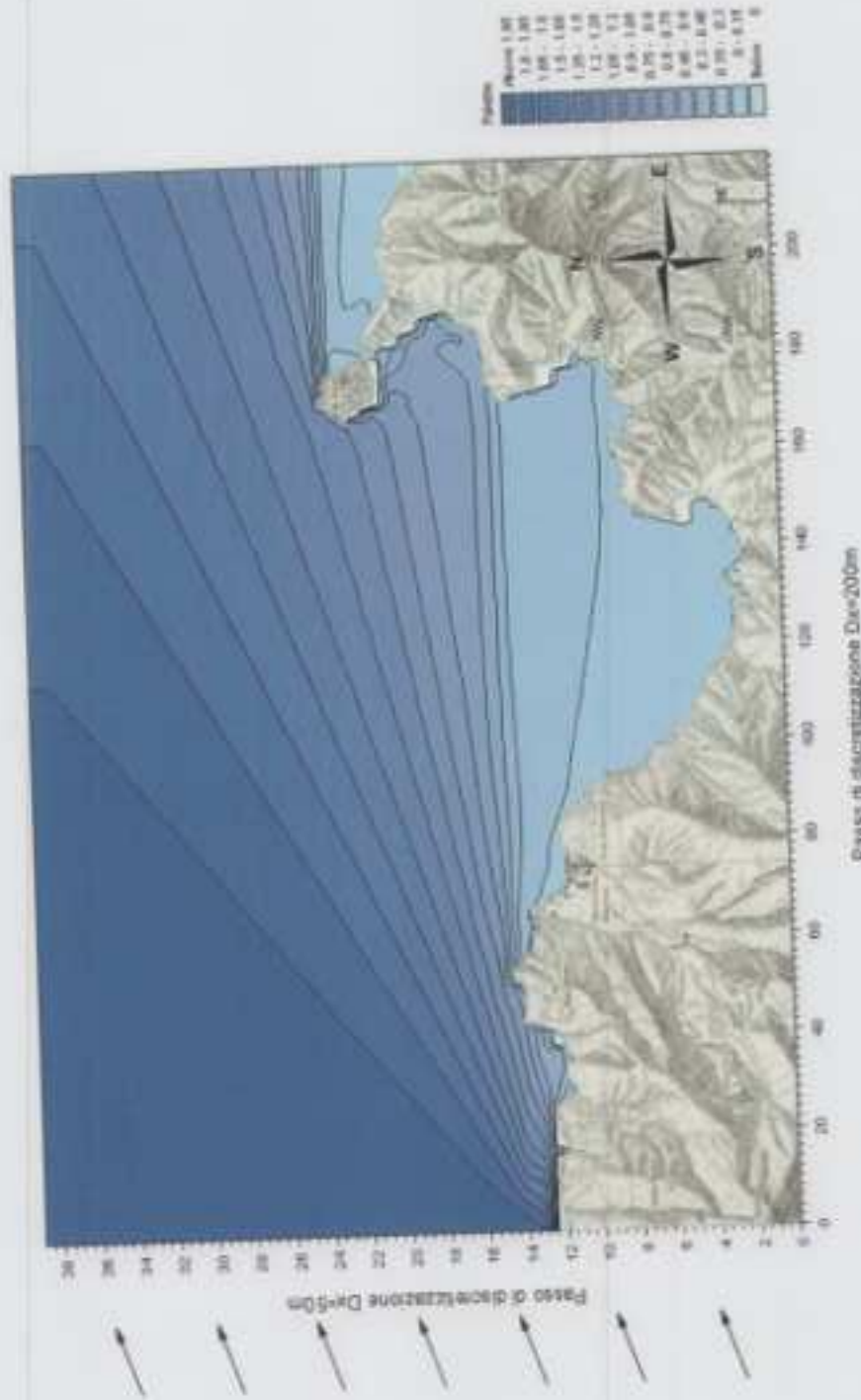


Figura 9: Altezza d'onda $H_s=2m$ Dir. $250^\circ N T_s=6s$

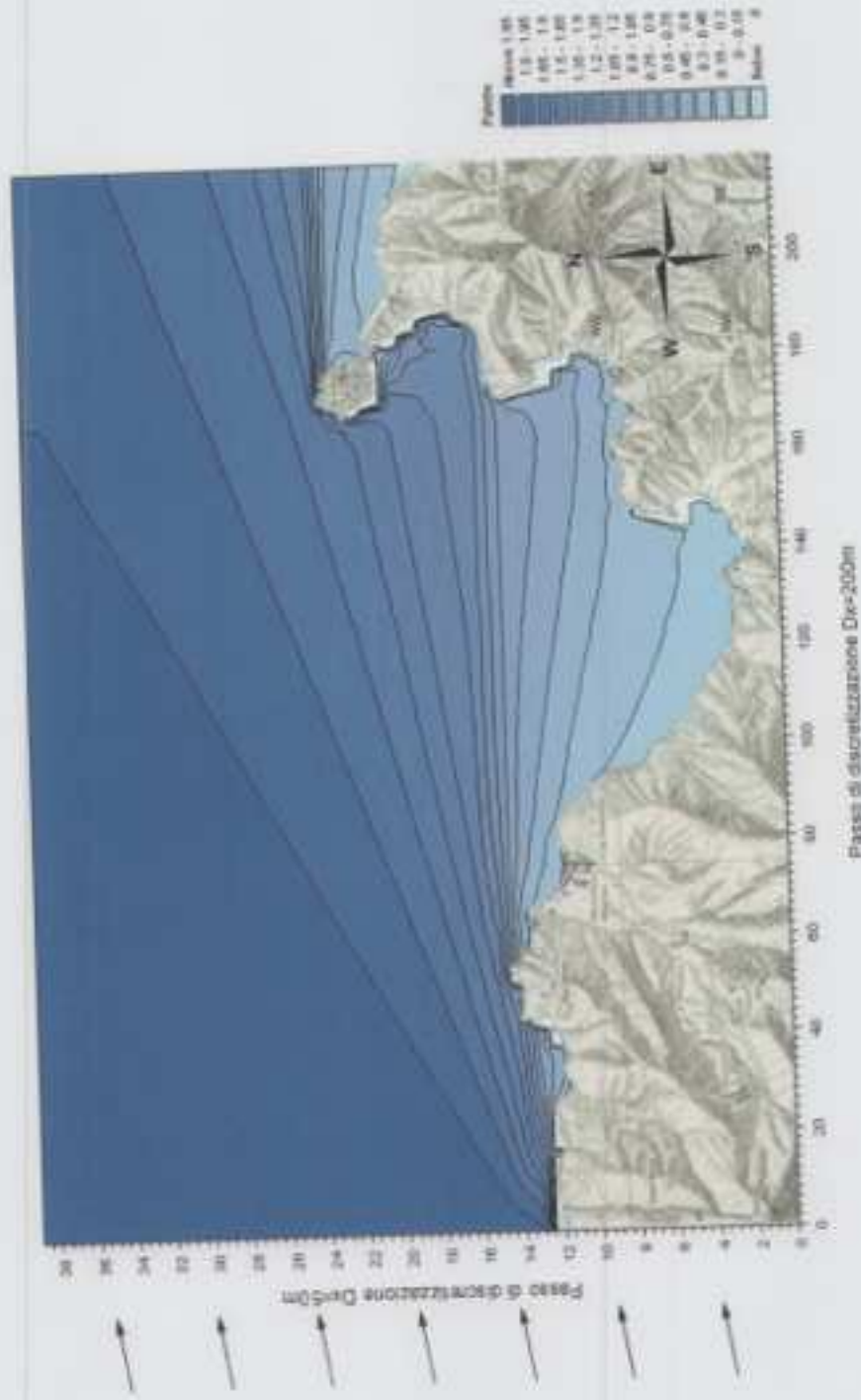


Figura 10: Altezza d'onda $H_s=2.0m$ Dir. $260^\circ N$ $T_s=6s$

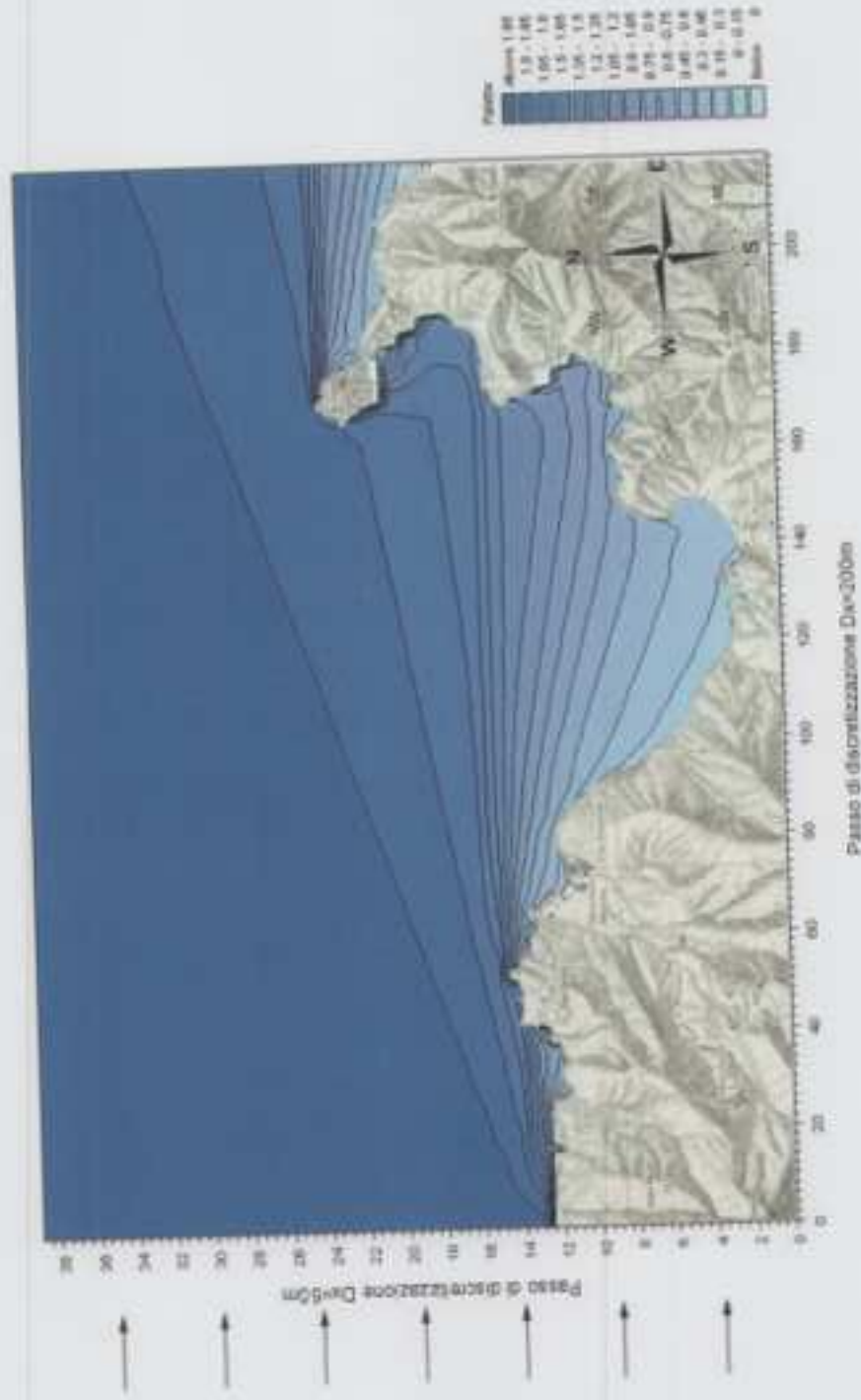


Figura 11: Altezza d'onda $H_s=2m$ Dir. $270^\circ N$ $T_s=6s$



Figura 12: Altezza d'onda H_s=6.0m Dir, 320°N Ts=8s

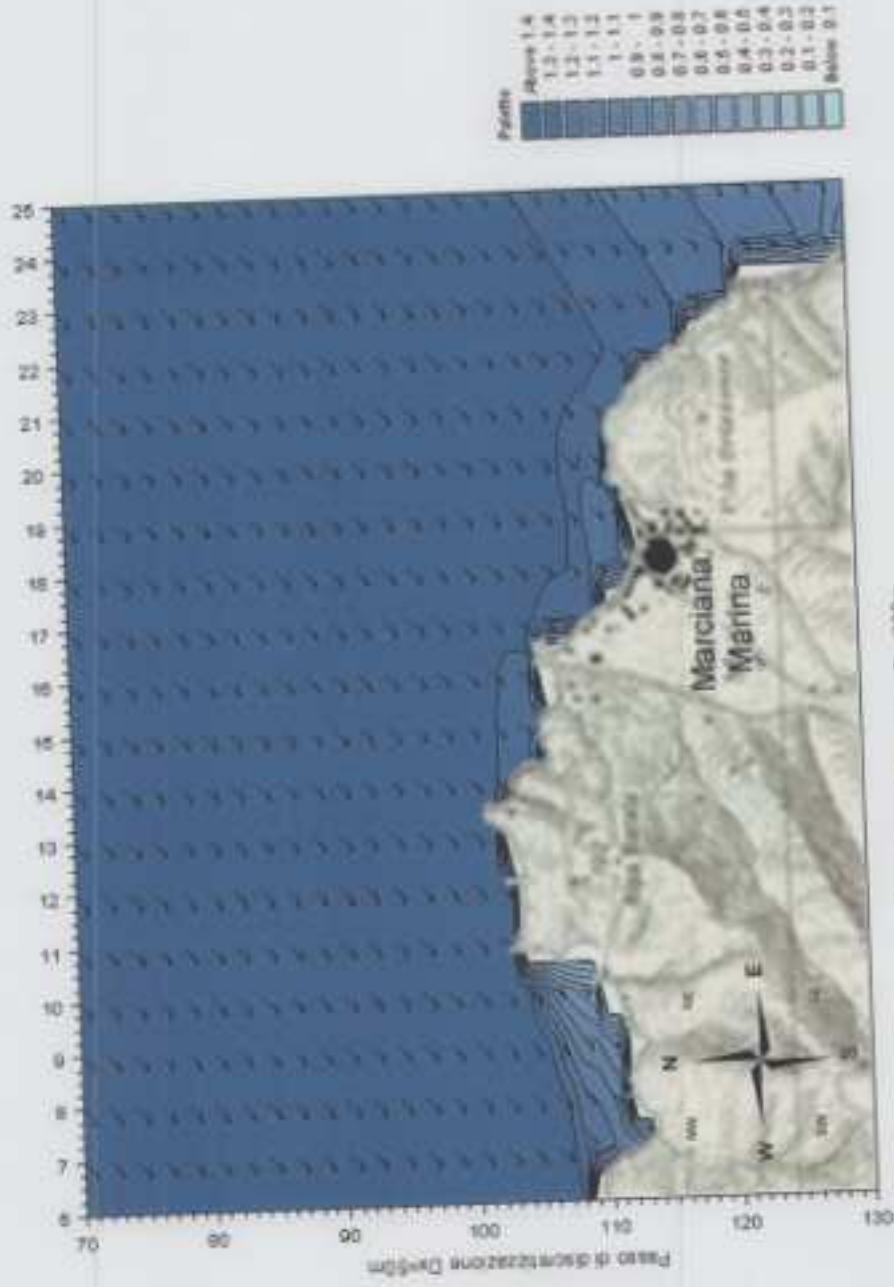


Passo di discretizzazione Dm=200m

Figura 13: altezza d'onda Hs=6m Dir. 330°N Ts=8s



Figura 14: Altezza d'onda $H_s=6.0m$ Dir. $340^\circ N$ $T_s=8s$



Passeo di discretizzazione Dy=200m

Figura 15: Altezza d'onda $H_s=1.5m$ Dir. $50^\circ N$ $T_s=5s$ - Ingrandimento dell'area di interesse

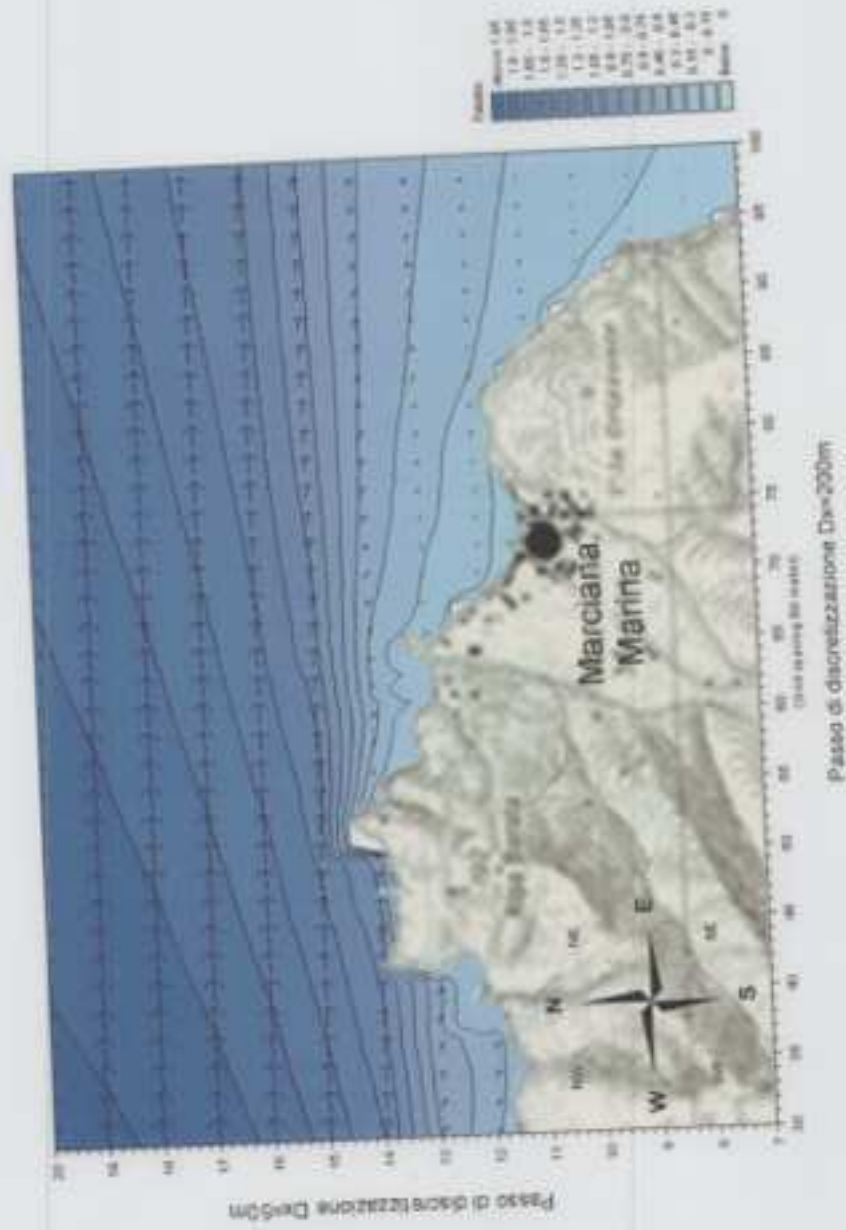


Figura 16: Altezza d'onda $H_s=2.0m$ Dir. $260^\circ N$ $T_s=6s$ - Ingrandimento dell'area di interesse

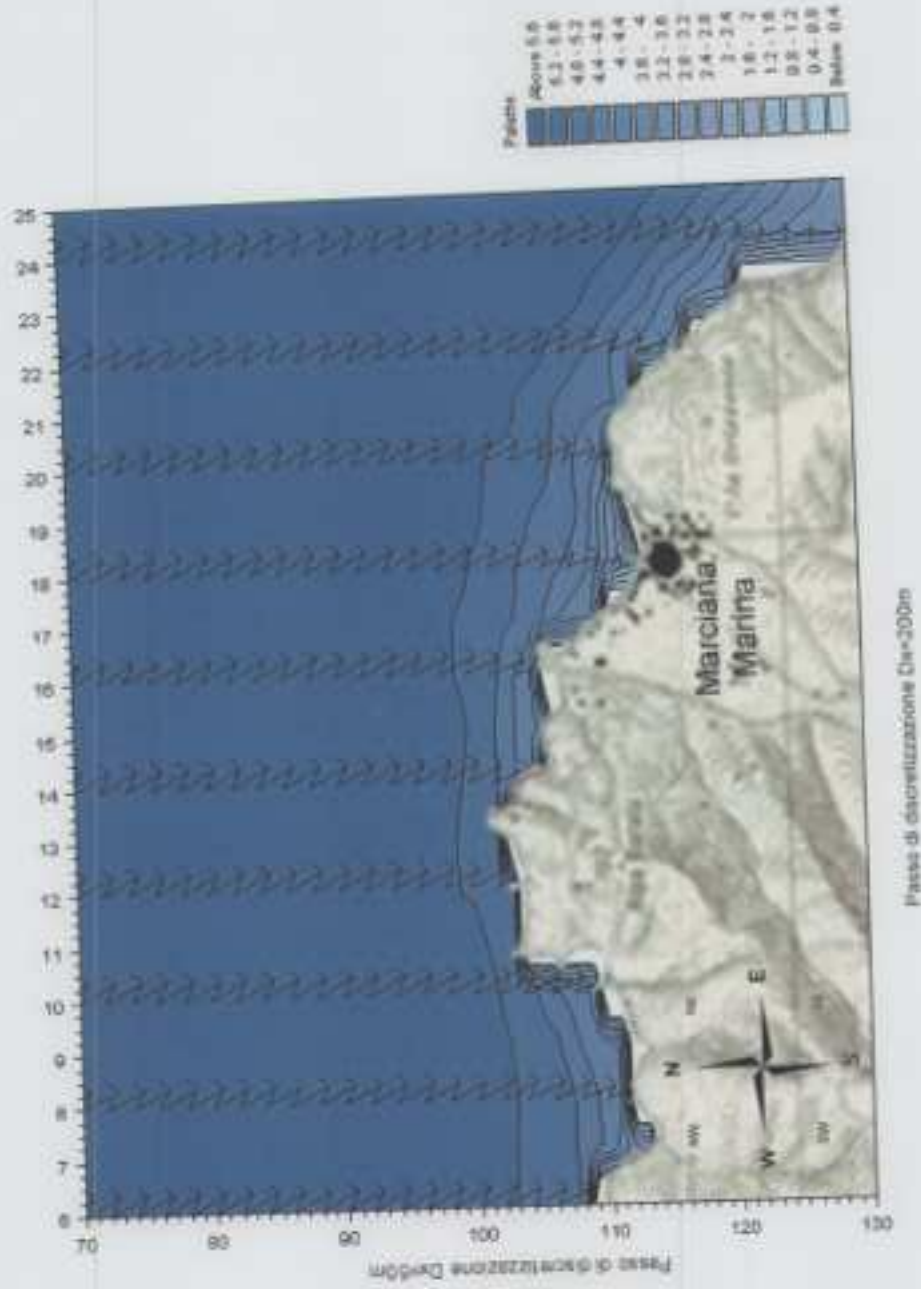


Figura 17: Altezza d'onda $H_s=6.0m$ Dir. $330^\circ N$ $T_s=8s$ - Ingrandimento dell'area di interesse

SALES - INTERPROGETTI
APPRODO TURISTICO DI MARCIANA MARINA

PROGETTO PRELIMINARE

Relazione tecnica

PARTE C

**Modello numerico MIKE 21 NSW rifra-diffrazione a ridosso dell'imboccatura
portuale**

SALES INTERPROGETTI

Comune di Marciana Marina

APPRODO TURISTICO DI MARCIANA MARINA

STUDIO DELLA AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO

DELLO SPECCHIO ACQUEO PORTUALE

INDICE

1) Introduzione	1
2) Lo studio della configurazione di Progetto	2
2.1) Studio della penetrazione del moto ondoso	3
2.2) Analisi dei risultati	5

1) Introduzione

Il presente rapporto illustra i risultati degli studi di penetrazione del moto ondoso eseguiti relativamente all'ampliamento dell' approdo turistico di Marciana Marina nella configurazione di progetto proposta.

Si è studiata l'agitazione ondosa all'imboccatura ed all'interno del bacino portuale, utilizzando il modello numerico MIKE 21 EMS che integra in modo esatto l'equazione di Helmholtz.

Tale equazione, come è noto, consente di ricavare i valori dell'agitazione in un bacino portuale tenendo conto dei fenomeni di diffrazione e riflessione, che nel caso specifico sono dominanti per la quasi costanza dei fondali presenti nel porto turistico in esame, una volta eseguiti i necessari dragaggi.

Lo studio su modello matematico è stato condotto considerando una serie di direzioni d'onda e periodi ritenuti significativi per le condizioni meteomarine raggiungibili nel paraggio di Marciana Marina e ricavate nei precedenti studi meteomarini e di propagazione del moto ondoso da largo verso riva. Utilizzando i risultati ottenuti in tali studi si sono considerati tre periodi medi e cinque direzioni.

Si è in questo modo verificata praticamente l'intera gamma di condizioni che si possono presentare all'imboccatura del marina.

L'analisi è stata condotta tenendo in considerazione lo stato dei luoghi e quindi la configurazione progettuale proposta che riguarda la costruzione di un molo di sottoflutto su pali con testata realizzata a scogliera e banchinamento interno.

2) Lo studio della configurazione di Progetto

Nelle simulazioni matematiche sulla penetrazione del moto ondoso all'interno del bacino portuale del porto di Marciana Marina si è utilizzato il lay-out portuale riportato in fig. 3.

I coefficienti di riflessione R delle opere delimitanti l'avamposto e le darsene portuali sono stati scelti in funzione delle caratteristiche riflettenti delle stesse, variabili a seconda della tipologia adottata.

Si è assunto così il valore $R=0.4$ per le mantellate delle opere a gettata in massi naturali, $R=0.8$ per le pareti verticali previste nel progetto; i pontili e le strutture su pali essendo trasparenti al moto ondoso non sono stati tenuti in considerazione nelle simulazioni.

Lo studio di agitazione interna al porto è stato condotto simulando le direzioni d'onda più probabili per il paraggio e di maggior interesse ai fini della penetrazione del moto ondoso.

Al fine di rappresentare le condizioni ondose ricavate nello studio meteomarino e significative per prove di agitazione interna portuale, si è ritenuto necessario effettuare diverse simulazioni variando sia il periodo dell'ondazione ($t=8s$, $t=6s$ e $t=5s$) che la sua direzione di provenienza ($350^\circ N$, $330^\circ N$, 30 , 40 , $50^\circ N$).

Essendo il modello lineare è stato possibile utilizzare l'altezza d'onda unitaria all'imboccatura.

Le condizioni di moto ondoso da considerare nell'analisi dei risultati devono rappresentare sia le condizioni di normale operatività e perciò raggiungibili frequentemente nel corso dell'anno ($T=5$ s), che condizioni più gravose e meno frequenti ($T=8$ s). Per il paraggio in esame si sono desunti dalla relazione meteomarina

precedentemente richiamata il periodo 5 e 8 s per le onde con tempo di ritorno di circa due anni e 8 s per le onde associate ad un tempo di ritorno pari ad circa 20 anni.

I valori prescelti per le prove di simulazione matematica sono i seguenti :

Prova 1: $H = 1 \text{ m}$, $T = 5.0 \text{ s}$, $\text{Dir} = 30^\circ\text{N}$

Prova 2: $H = 1 \text{ m}$, $T = 5.0 \text{ s}$, $\text{Dir} = 40^\circ\text{N}$

Prova 3: $H = 1 \text{ m}$, $T = 5.0 \text{ s}$, $\text{Dir} = 50^\circ\text{N}$

Prova 4: $H = 1 \text{ m}$, $T = 6.0 \text{ s}$, $\text{Dir} = 330^\circ\text{N}$

Prova 5: $H = 1 \text{ m}$, $T = 8.0 \text{ s}$, $\text{Dir} = 350^\circ\text{N}$

Tali simulazioni sono state effettuate tanto per lo stato dei luoghi quanto per il lay out di progetto. Per la prova 3, relativa ad una direzione di provenienza di 50°N , è stata anche effettuata una prova considerando il molo di sottoflutto su cassoni a parete verticale anziché su pali; questo al fine di studiare la scelta progettuale ottimale che consentisse da un lato un'adeguata protezione, dall'altro una moderata circolazione all'interno del bacino portuale.

2.1) Studio della penetrazione del moto ondoso

Con fondale costante l'equazione che regola la propagazione del moto ondoso per onde armoniche lineari ($H/L \ll 1$ dove H ed L sono rispettivamente l'altezza e la lunghezza d'onda) è l'equazione ellittica di Helmholtz (caso particolare della mild-slope equation, che risolve i problemi di propagazione su fondali variabili).

L'equazione di Helmholtz è in grado di simulare il fenomeno combinato di diffrazione- riflessione del moto ondoso in assenza di fenomeni dissipativi. Nella situazione presa in esame le resistenze offerte dal fondo (bottom friction) sono del tutto trascurabili a causa della limitata area di propagazione presa in esame. Simile

considerazione può essere fatta per le dissipazioni viscosse interne al fluido che generalmente risultano trascurabili rispetto agli altri fenomeni in gioco; è comunque da sottolineare che trascurando i fenomeni dissipativi si opera in favore di sicurezza.

Per l'applicazione del modello di propagazione del moto ondoso si è discretizzato non solo il bacino portuale ma anche una ampia area costiera, al fine di evidenziare oltre all'effetto delle nuove opere anche gli effetti di riflessione ed assorbimento che sono generati dalle strutture e dalle spiagge esistenti.

Il passo di discretizzazione scelto di 5m x 5m, pari ad 1/12 della lunghezza d'onda minima propagata, consente una puntuale discretizzazione delle opere ed una ottima rispondenza del modello ai fenomeni in esame. L'area discretizzata, delle dimensioni di 1,3 Km x 1,8 Km, per un totale di 93600 nodi di calcolo, è stata quella su cui si sono effettuati i calcoli ma, al fine di ottenere una maggiore visibilità della zona interessata dal bacino portuale, i risultati sono espressi considerando un inquadramento dettagliato della zona in esame, le relative batimetrie (stato dei luoghi e lay out portuale) sono riportate nella figura 1 e figura 3. In figura 2 è presentata la batimetria relativa alla configurazione con molo di sottoflutto su cassoni a parete verticale; come si può facilmente notare dal confronto tra le figg. 2 e 3, la presenza del molo di sottoflutto su pali è stata simulata non considerando la presenza di tale opera, quindi in condizioni a favore della sicurezza.

Per la propagazione del moto ondoso, in relazione ad ogni direzione di provenienza è stata individuata una retta rappresentativa della generazione del moto ondoso incidente (altezza, direzione e periodo). Essendo il modello lineare, per ottenere il valore dell'altezza d'onda in un punto per altezze di onda incidenti diverse

dall'unitaria è sufficiente moltiplicare l'altezza determinata all'interno dei bacini per il valore effettivo (in m) dell'onda incidente.

2.2) Analisi dei risultati

L'impostazione progettuale è stata ricercata nel ridosso dato dall'attuale molo di sopraflutto del porto esistente e quindi nella volontà di evitare nuove ed importanti opere di protezione. Il progetto si inserisce nel cono di protezione dato dalla struttura foranea esistente e con l'ausilio di una piccola nuova opera di protezione.

L'analisi del lavoro svolto è quindi basata sul confronto numerico tra la situazione attuale e la situazione futura, evidenziando l'effetto di protezione dato dall'aggetto del nuovo molo.

Dal confronto tra le simulazioni dello stato attuale e delle condizioni di progetto si evidenzia:

PROVA 1 2 e 3 (Figg. n. 4,5,6,7,8,9,10)

Le ondazioni provenienti dal settore 30 – 70°N risultano essere le più gravose per quanto concerne la nuova struttura in esame. In particolare dal confronto della simulazione per onde provenienti da 50°N, si evidenzia:

- La penetrazione del moto ondoso all'interno del bacino portuale nella configurazione attuale risulta rilevante con valori massimi di circa il 60% dell'onda incidente pari a 2 m (altezza d'onda residua nel bacino pari a 1.2 m)
- La penetrazione del moto ondoso all'interno del bacino portuale nella configurazione con molo continuo su cassoni risulta sostanzialmente

irrilevante, con valori massimi di circa il 5% dell'onda incidente pari a 2 m (altezza d'onda residua nel bacino pari a 10 cm)

- La penetrazione del moto ondoso all'interno del bacino portuale nella configurazione di progetto risulta leggermente superiore al caso precedente ma comunque contenuta entro il limite dell'8% dell'onda incidente pari a 2 m (altezza d'onda residua nel bacino pari a 16 cm).
- L'agitazione ondosa all'imboccatura portuale risulta sostanzialmente invariante tra la configurazione di progetto e la configurazione con il molo su cassoni;
- la soluzione progettuale scelta risulta essere adeguata a garantire la protezione del bacino portuale e a mantenere l'attuale livello di circolazione idrica all'interno dello stesso.

PROVA 4 e 5 (Fig. n. 11,12,13,14)

Per le ondatazioni provenienti dal IV settore, il molo di sottoflutto oggetto della progettazione in esame, garantisce una adeguata protezione, sia per l'onda incidente che per l'onda riflessa nella zona ad est del molo stesso. Considerando che questo settore riguarda le ondatazioni con altezze massime maggiori (6 metri), la scelta progettuale effettuata garantisce una netta diminuzione dell'agitazione ondosa all'interno del bacino rispetto all'opera foranea esistente.



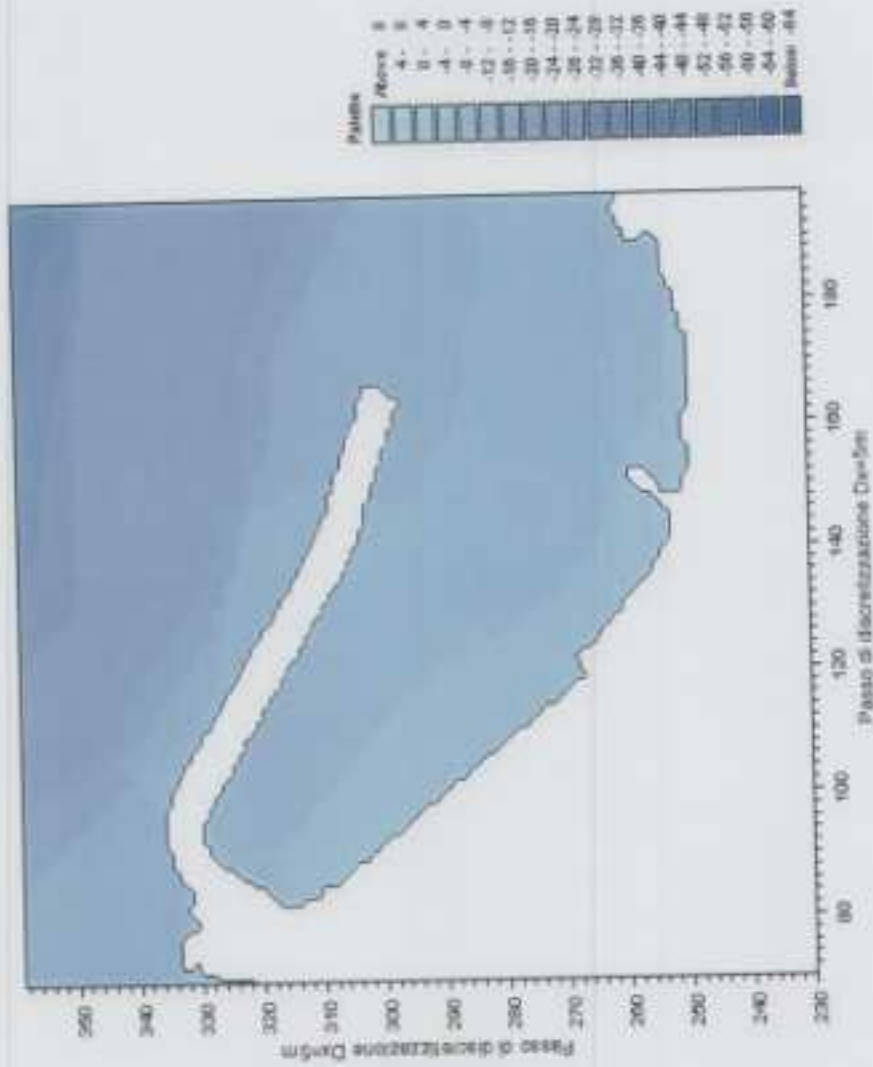


Figura 1: Batimetria - Stato dei luoghi

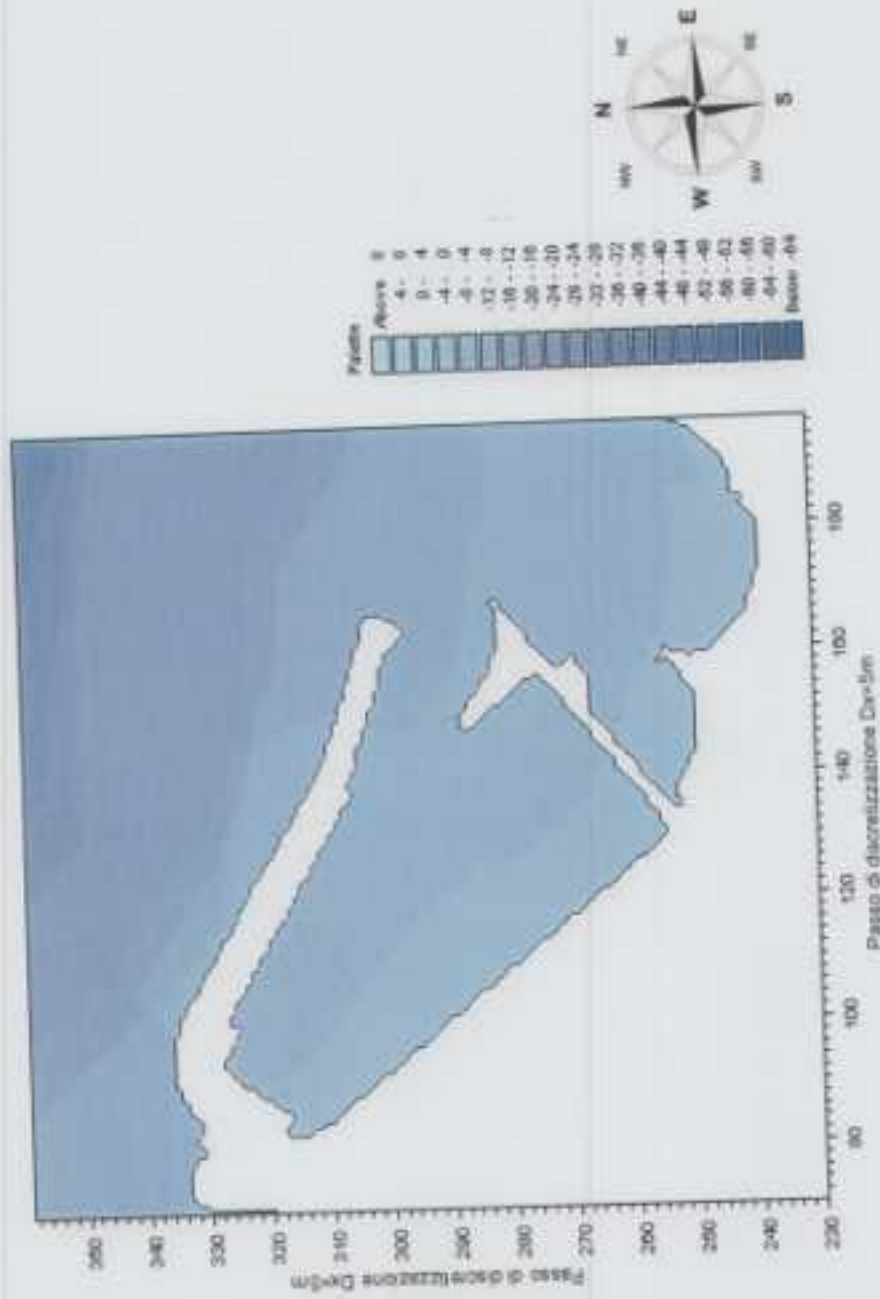


Figura 2: Batimetria - lay out portuale (molo di sottoflutto a cassoni)

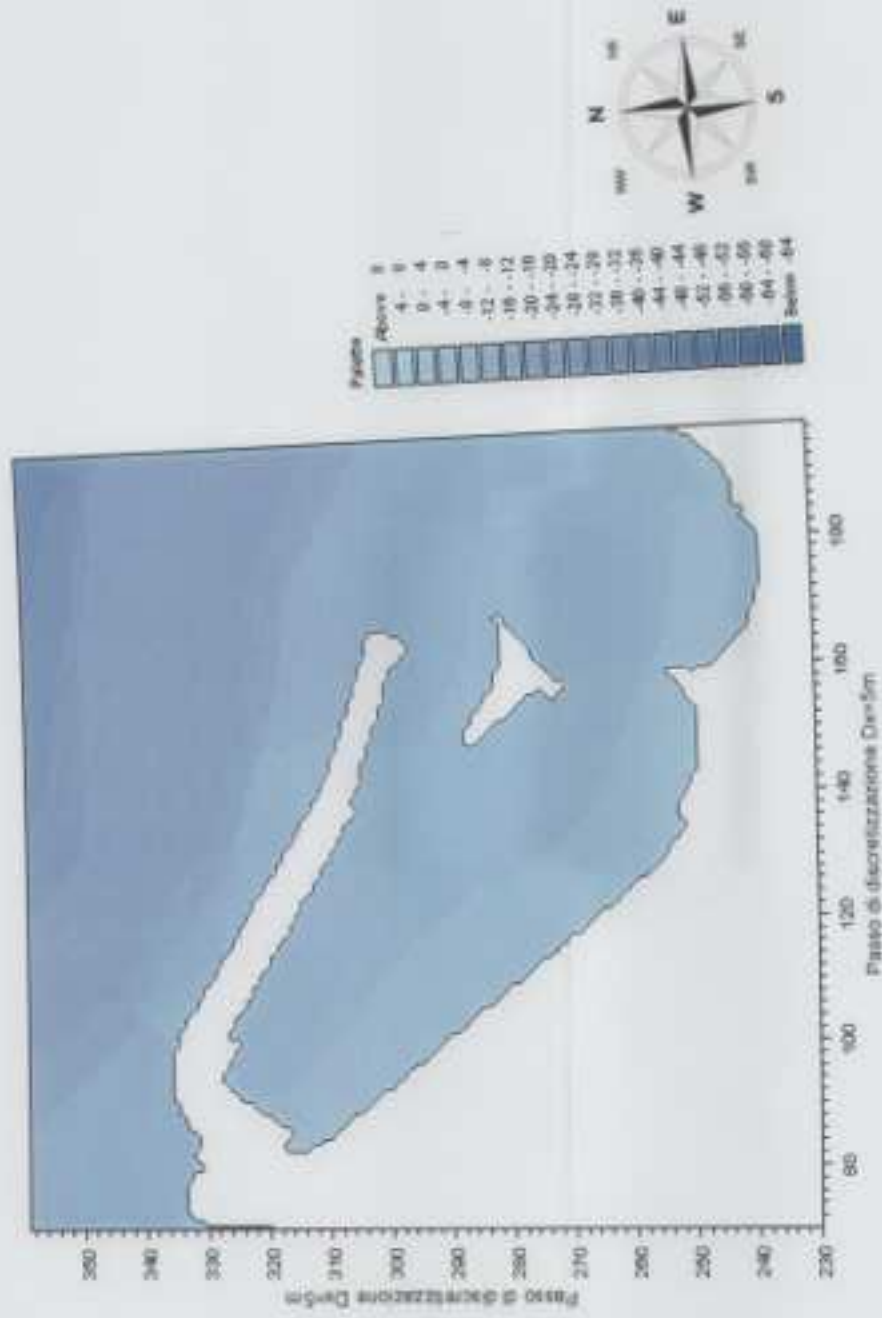


Figura 3: Batimetria - lay out portuale



Passo di discretizzazione D=300m

Figura 7: Altezza d'onda $H_s=1.5m$ Dir. $60^\circ N$ $T_s=5s$



Figura 8: Altezza d'onda $H_s=1.5m$ Dir. $70^\circ N$ $T_s=5s$

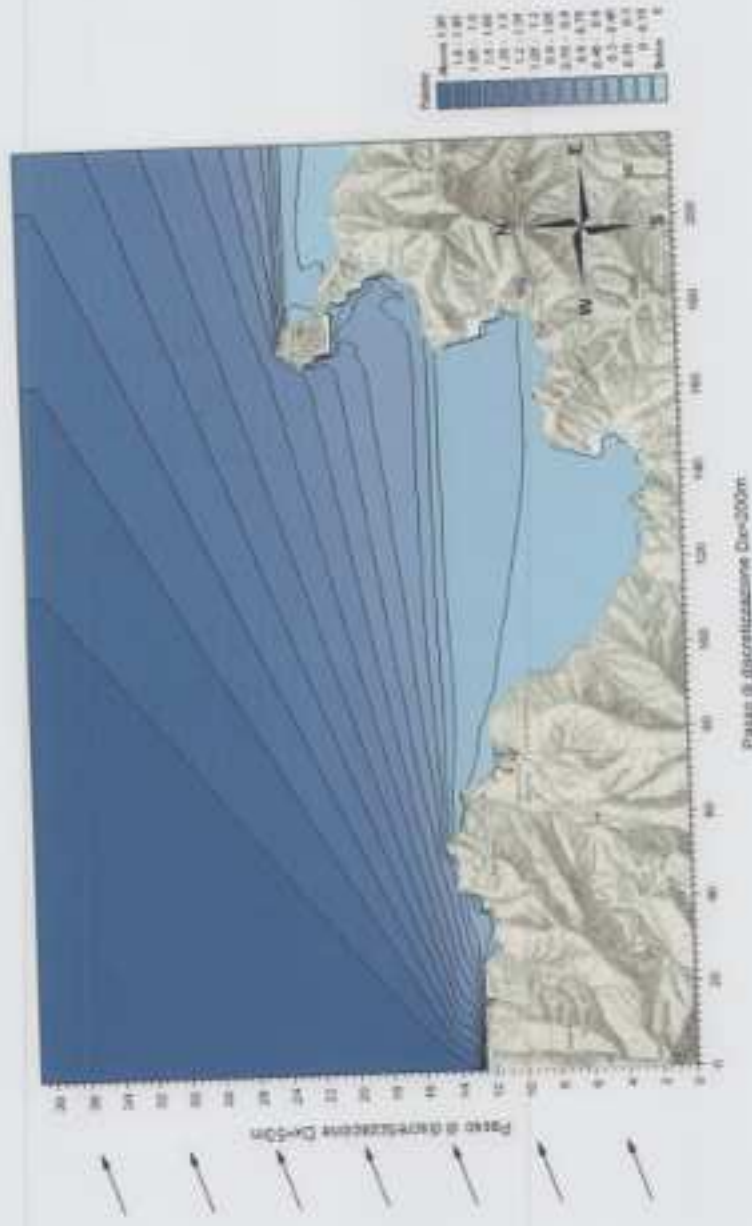


Figura 9: Altezza d'onda $H_s=2m$ Dir. $250^\circ N$ $T_s=6s$

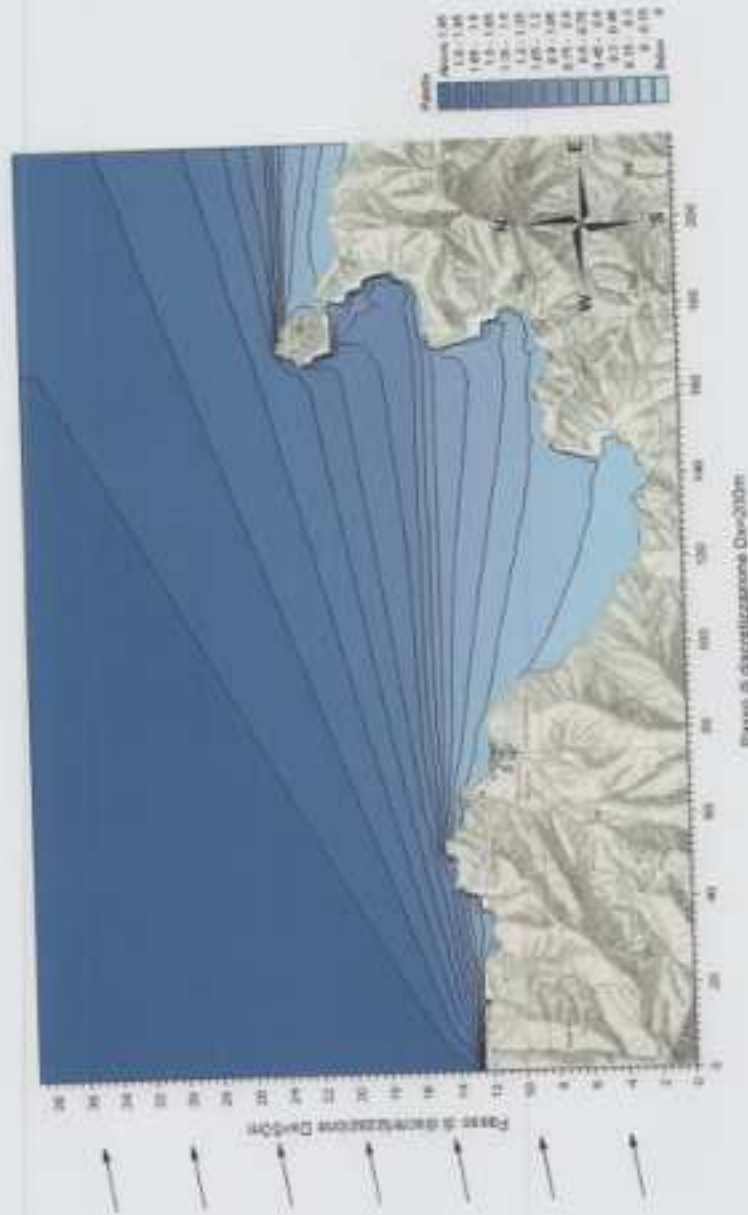


Figura 10: Altezza d'onda Hs=2.0m Dir. 260 °N Ts=6s

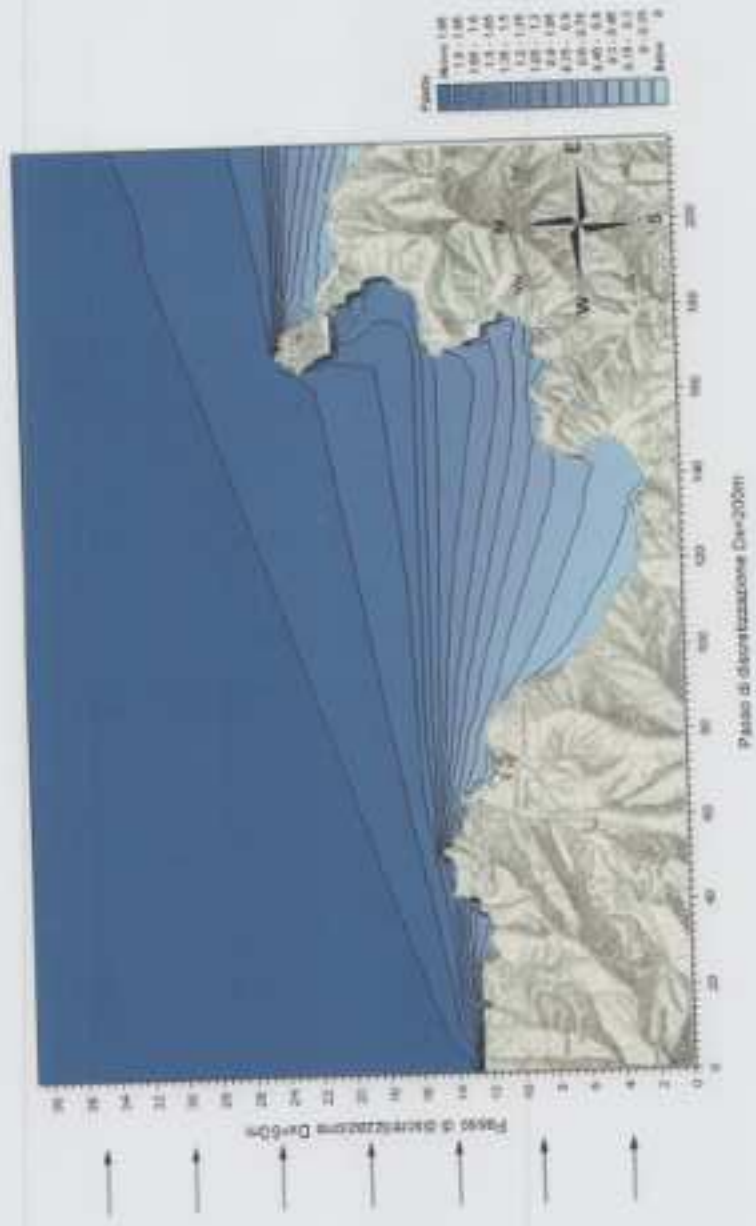


Figura 11: Altezza d'onda $H_s=2m$ Dir. $270^\circ N$ $T_s=6s$



Figura 12: Altezza d'onda $H_s=6.0m$ Dir. $320^\circ N$ $T_s=8s$



Figura 13: altezza d'onda $H_s=6m$ Dir. $330^\circ N$ $T_s=8s$



Passo di discretizzazione Dazio/200m

Figura 14: Altezza d'onda $H_s=6.0m$ Dir. $340^\circ N$ $T_s=8s$

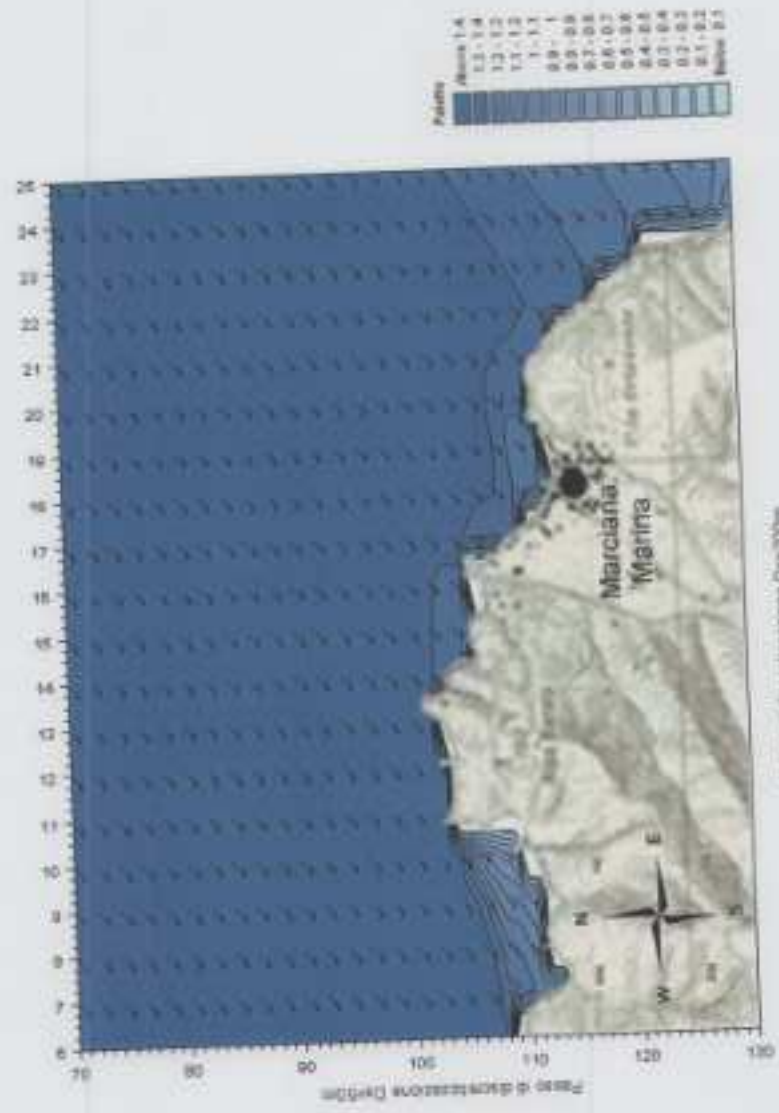


Figura 15: Altezza d'onda Hs=1.5m Dir, 50°N Ts=5s - Ingrandimento dell'area di interesse

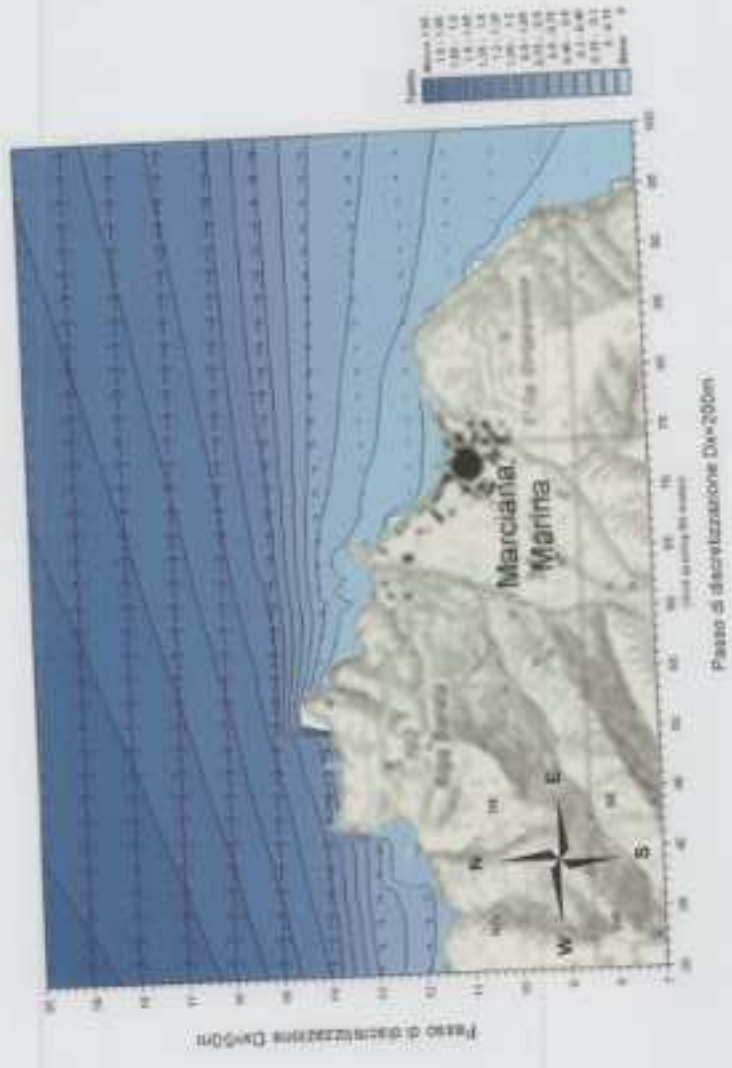


Figura 16: Altezza d'onda $H_s=2.0m$ Dir. $260^\circ N$ $T_s=6s$ - Ingrandimento dell'area di interesse

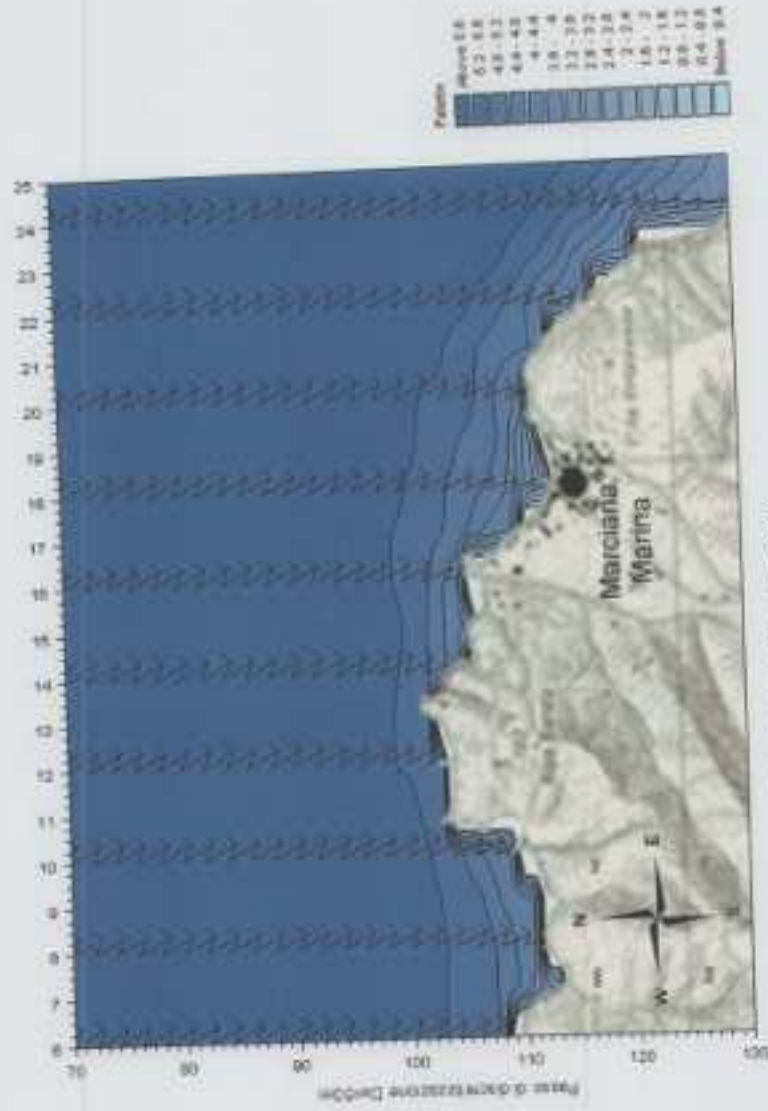


Figura 17: Altezza d'onda $H_s=6.0m$ Dir. $330^\circ N$ $T_s=8s$ - Ingrandimento dell'area di interesse

SALES - INTERPROGETTI
APPRODO TURISTICO DI MARCIANA MARINA

PROGETTO PRELIMINARE

Relazione tecnica

PARTE C

**Modello numerico MIKE 21 NSW rifra-diffrazione a ridosso dell'imboccatura
portuale**

SALES INTERPROGETTI

Comune di Marciana Marina

APPRODO TURISTICO DI MARCIANA MARINA

STUDIO DELLA AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO

DELLO SPECCHIO ACQUEO PORTUALE

INDICE

1) Introduzione	1
2) Lo studio della configurazione di Progetto	2
2.1) Studio della penetrazione del moto ondoso	3
2.2) Analisi dei risultati	5

1) Introduzione

Il presente rapporto illustra i risultati degli studi di penetrazione del moto ondoso eseguiti relativamente all'ampliamento dell' approdo turistico di Marciana Marina nella configurazione di progetto proposta.

Si è studiata l'agitazione ondosa all'imboccatura ed all'interno del bacino portuale, utilizzando il modello numerico MIKE 21 EMS che integra in modo esatto l'equazione di Helmholtz.

Tale equazione, come è noto, consente di ricavare i valori dell'agitazione in un bacino portuale tenendo conto dei fenomeni di diffrazione e riflessione, che nel caso specifico sono dominanti per la quasi costanza dei fondali presenti nel porto turistico in esame, una volta eseguiti i necessari dragaggi.

Lo studio su modello matematico è stato condotto considerando una serie di direzioni d'onda e periodi ritenuti significativi per le condizioni meteo-marine raggiungibili nel paraggio di Marciana Marina e ricavate nei precedenti studi meteo-marini e di propagazione del moto ondoso da largo verso riva. Utilizzando i risultati ottenuti in tali studi si sono considerati tre periodi medi e cinque direzioni.

Si è in questo modo verificata praticamente l'intera gamma di condizioni che si possono presentare all'imboccatura del marina.

L'analisi è stata condotta tenendo in considerazione lo stato dei luoghi e quindi la configurazione progettuale proposta che riguarda la costruzione di un molo di sottoflutto su pali con testata realizzata a scogliera e banchinamento interno.

2) Lo studio della configurazione di Progetto

Nelle simulazioni matematiche sulla penetrazione del moto ondoso all'interno del bacino portuale del porto di Marciana Marina si è utilizzato il lay-out portuale riportato in fig. 3.

I coefficienti di riflessione R delle opere delimitanti l'avamposto e le darsene portuali sono stati scelti in funzione delle caratteristiche riflettenti delle stesse, variabili a seconda della tipologia adottata.

Si è assunto così il valore $R=0.4$ per le mantellate delle opere a gettata in massi naturali, $R=0.8$ per le pareti verticali previste nel progetto; i pontili e le strutture su pali essendo trasparenti al moto ondoso non sono stati tenuti in considerazione nelle simulazioni.

Lo studio di agitazione interna al porto è stato condotto simulando le direzioni d'onda più probabili per il paraggio e di maggior interesse ai fini della penetrazione del moto ondoso.

Al fine di rappresentare le condizioni ondose ricavate nello studio meteo-marino e significative per prove di agitazione interna portuale, si è ritenuto necessario effettuare diverse simulazioni variando sia il periodo dell'ondazione ($t=8s$, $t=6s$ e $t=5s$) che la sua direzione di provenienza ($350^\circ N$, $330^\circ N$, 30 , 40 , $50^\circ N$).

Essendo il modello lineare è stato possibile utilizzare l'altezza d'onda unitaria all'imboccatura.

Le condizioni di moto ondoso da considerare nell'analisi dei risultati devono rappresentare sia le condizioni di normale operatività e perciò raggiungibili frequentemente nel corso dell'anno ($T=5$ s), che condizioni più gravose e meno frequenti ($T=8$ s). Per il paraggio in esame si sono desunti dalla relazione meteo-marina

precedentemente richiamata il periodo 5 e 6 s per le onde con tempo di ritorno di circa due anni e 8 s per le onde associate ad un tempo di ritorno pari ad circa 20 anni.

I valori prescelti per le prove di simulazione matematica sono i seguenti:

Prova 1: $H = 1 \text{ m}$, $T = 5.0 \text{ s}$, $\text{Dir} = 30^\circ\text{N}$

Prova 2: $H = 1 \text{ m}$, $T = 5.0 \text{ s}$, $\text{Dir} = 40^\circ\text{N}$

Prova 3: $H = 1 \text{ m}$, $T = 5.0 \text{ s}$, $\text{Dir} = 50^\circ\text{N}$

Prova 4: $H = 1 \text{ m}$, $T = 6.0 \text{ s}$, $\text{Dir} = 330^\circ\text{N}$

Prova 5: $H = 1 \text{ m}$, $T = 8.0 \text{ s}$, $\text{Dir} = 350^\circ\text{N}$

Tali simulazioni sono state effettuate tanto per lo stato dei luoghi quanto per il lay out di progetto. Per la prova 3, relativa ad una direzione di provenienza di 50°N , è stata anche effettuata una prova considerando il molo di sottoflutto su cassoni a parete verticale anziché su pali; questo al fine di studiare la scelta progettuale ottimale che consentisse da un lato un'adeguata protezione, dall'altro una moderata circolazione all'interno del bacino portuale.

2.1) Studio della penetrazione del moto ondoso

Con fondale costante l'equazione che regola la propagazione del moto ondoso per onde armoniche lineari ($H/L \ll 1$ dove H ed L sono rispettivamente l'altezza e la lunghezza d'onda) è l'equazione ellittica di Helmholtz (caso particolare della mild-slope equation, che risolve i problemi di propagazione su fondali variabili).

L'equazione di Helmholtz è in grado di simulare il fenomeno combinato di diffrazione- riflessione del moto ondoso in assenza di fenomeni dissipativi. Nella situazione presa in esame le resistenze offerte dal fondo (bottom friction) sono del tutto trascurabili a causa della limitata area di propagazione presa in esame. Simile

considerazione può essere fatta per le dissipazioni viscosse interne al fluido che generalmente risultano trascurabili rispetto agli altri fenomeni in gioco; è comunque da sottolineare che trascurando i fenomeni dissipativi si opera in favore di sicurezza.

Per l'applicazione del modello di propagazione del moto ondoso si è discretizzato non solo il bacino portuale ma anche una ampia area costiera, al fine di evidenziare oltre all'effetto delle nuove opere anche gli effetti di riflessione ed assorbimento che sono generati dalle strutture e dalle spiagge esistenti.

Il passo di discretizzazione scelto di 5m x 5m, pari ad 1/12 della lunghezza d'onda minima propagata, consente una puntuale discretizzazione delle opere ed una ottima rispondenza del modello ai fenomeni in esame. L'area discretizzata, delle dimensioni di 1,3 Km x 1,8 Km, per un totale di 93600 nodi di calcolo, è stata quella su cui si sono effettuati i calcoli ma, al fine di ottenere una maggiore visibilità della zona interessata dal bacino portuale, i risultati sono espressi considerando un inquadramento dettagliato della zona in esame, le relative batimetrie (stato dei luoghi e lay out portuale) sono riportate nella figura 1 e figura 3. In figura 2 è presentata la batimetria relativa alla configurazione con molo di sottoflutto su cassoni a parete verticale; come si può facilmente notare dal confronto tra le figg. 2 e 3, la presenza del moto di sottoflutto su pali è stata simulata non considerando la presenza di tale opera, quindi in condizioni a favore della sicurezza.

Per la propagazione del moto ondoso, in relazione ad ogni direzione di provenienza è stata individuata una retta rappresentativa della generazione del moto ondoso incidente (altezza, direzione e periodo). Essendo il modello lineare, per ottenere il valore dell'altezza d'onda in un punto per altezze di onda incidenti diverse

dall'unitaria è sufficiente moltiplicare l'altezza determinata all'interno dei bacini per il valore effettivo (in m) dell'onda incidente.

2.2) Analisi dei risultati

L'impostazione progettuale è stata ricercata nel ridosso dato dall'attuale molo di sopraffutto del porto esistente e quindi nella volontà di evitare nuove ed importanti opere di protezione. Il progetto si inserisce nel cono di protezione dato dalla struttura foranea esistente e con l'ausilio di una piccola nuova opera di protezione.

L'analisi del lavoro svolto è quindi basata sul confronto numerico tra la situazione attuale e la situazione futura, evidenziando l'effetto di protezione dato dall'aggetto del nuovo molo.

Dal confronto tra le simulazioni dello stato attuale e delle condizioni di progetto si evidenzia:

PROVA 1 2 e 3 (Figg. n. 4,5,6,7,8,9,10)

Le ondatazioni provenienti dal settore 30 - 70°N risultano essere le più gravose per quanto concerne la nuova struttura in esame. In particolare dal confronto della simulazione per onde provenienti da 50°N, si evidenzia:

- La penetrazione del moto ondoso all'interno del bacino portuale nella configurazione attuale risulta rilevante con valori massimi di circa il 60% dell'onda incidente pari a 2 m (altezza d'onda residua nel bacino pari a 1.2 m)
- La penetrazione del moto ondoso all'interno del bacino portuale nella configurazione con molo continuo su cassoni risulta sostanzialmente

irrelevante, con valori massimi di circa il 5% dell'onda incidente pari a 2 m (altezza d'onda residua nel bacino pari a 10 cm)

- La penetrazione del moto ondoso all'interno del bacino portuale nella configurazione di progetto risulta leggermente superiore al caso precedente ma comunque contenuta entro il limite dell'8% dell'onda incidente pari a 2 m (altezza d'onda residua nel bacino pari a 16 cm).
- L'agitazione ondosa all'imboccatura portuale risulta sostanzialmente invariante tra la configurazione di progetto e la configurazione con il molo su cassoni;
- la soluzione progettuale scelta risulta essere adeguata a garantire la protezione del bacino portuale e a mantenere l'attuale livello di circolazione idrica all'interno dello stesso.

PROVA 4 e 5 (Fig. n. 11,12,13,14)

Per le ondatazioni provenienti dal IV settore, il molo di sottoflutto oggetto della progettazione in esame, garantisce una adeguata protezione, sia per l'onda incidente che per l'onda riflessa nella zona ad est del molo stesso. Considerando che questo settore riguarda le ondatazioni con altezze massime maggiori (6 metri), la scelta progettuale effettuata garantisce una netta diminuzione dell'agitazione ondosa all'interno del bacino rispetto all'opera foranea esistente.



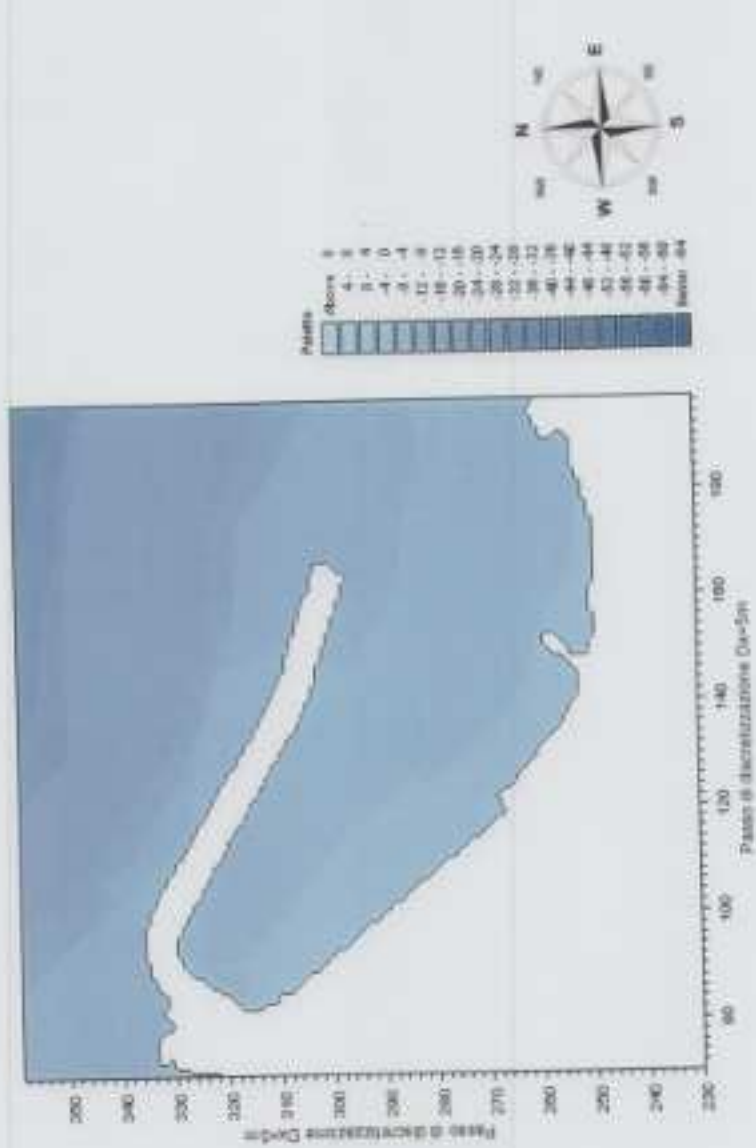


Figura 1: Batimetria - Stato dei luoghi

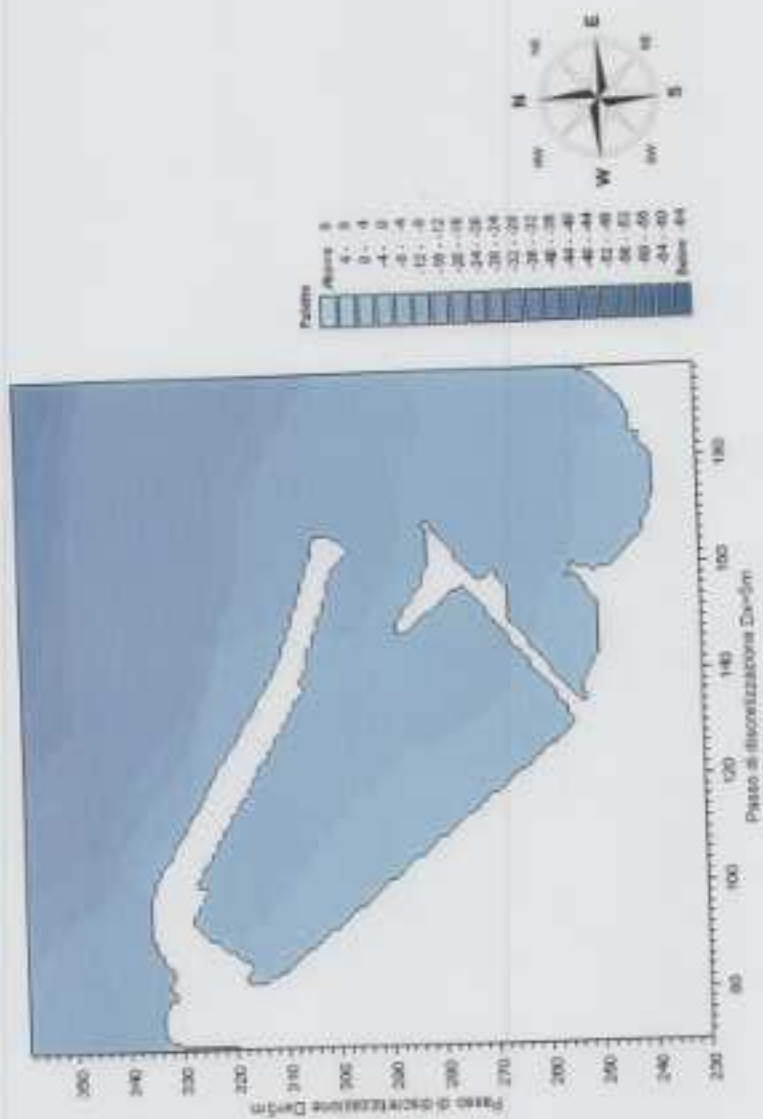


Figura 2: Batimetria - lay out portuale (molo di sottoflutto a cassoni)

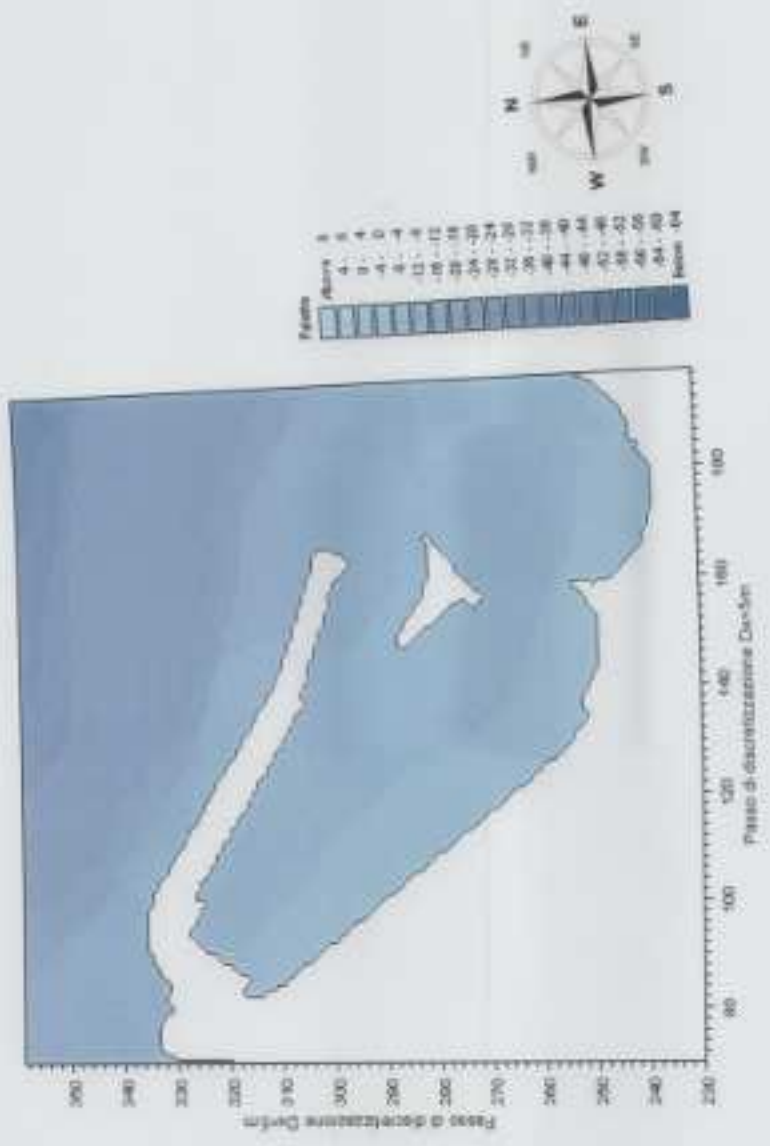


Figura 3: Batimetria - lay out portuale

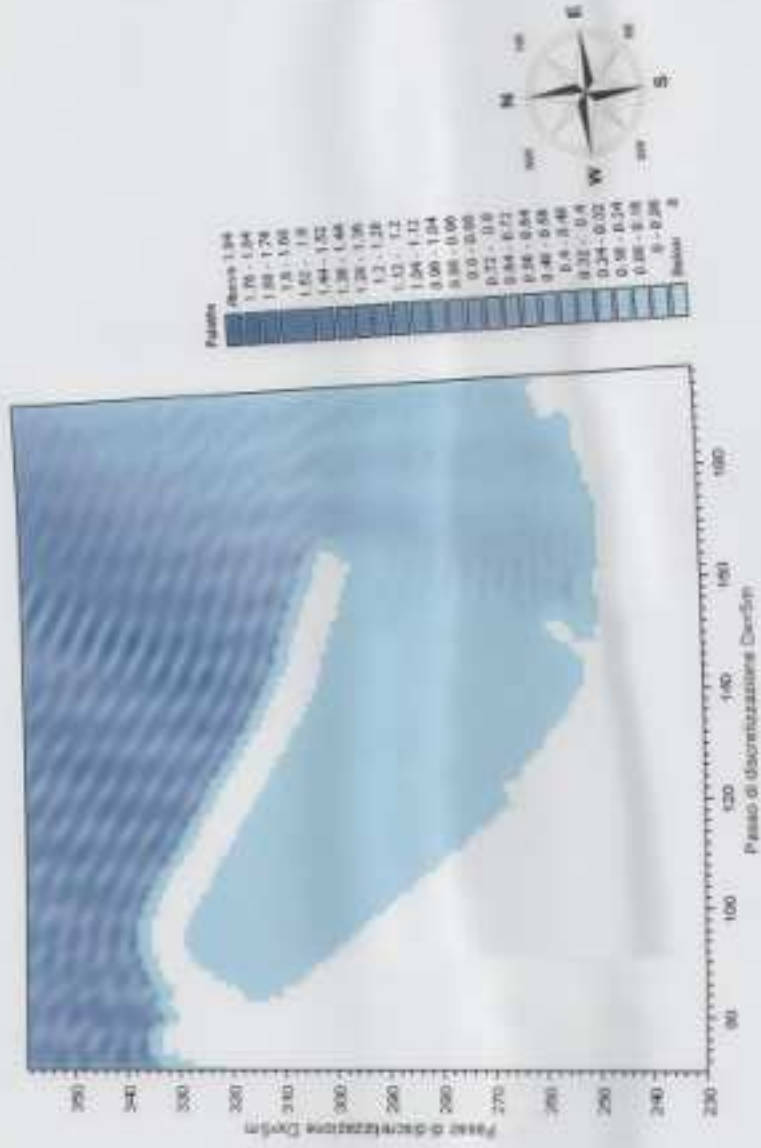


Figura 4: Agitazione ondosa - Stato del Inoghi Direzione 30°N Periodo Ts=5s



Figura 5: Agitazione ondosa a ridosso dell'area portuale Direzione 30° N Periodo T=5s

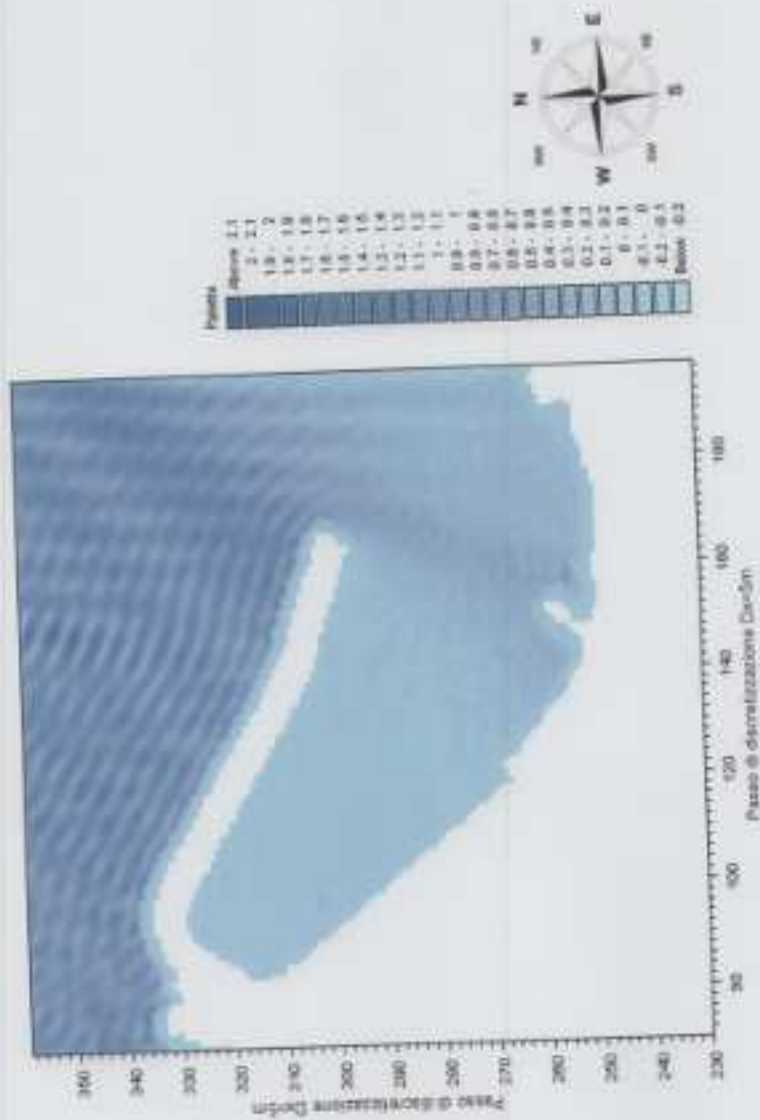


Figura 6; Agitazione ondosa - Stato del lago Direzione 40°N Periodo Ts=5s



Figura 7: Agitazione ondosa a rifosso dell'area portuale Direzione 40° N Periodo $T_s=5s$

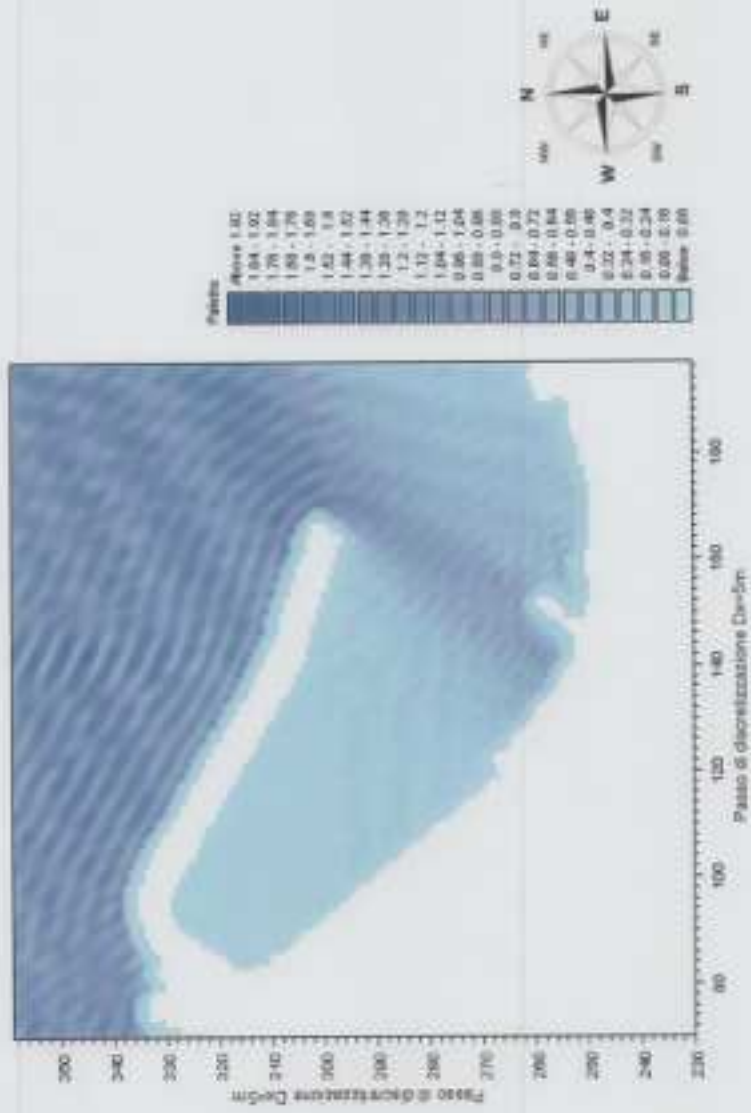


Figura 8: Agitazione ondosa - Stato dei luoghi Direzione 50°N Periodo $T_s=5s$

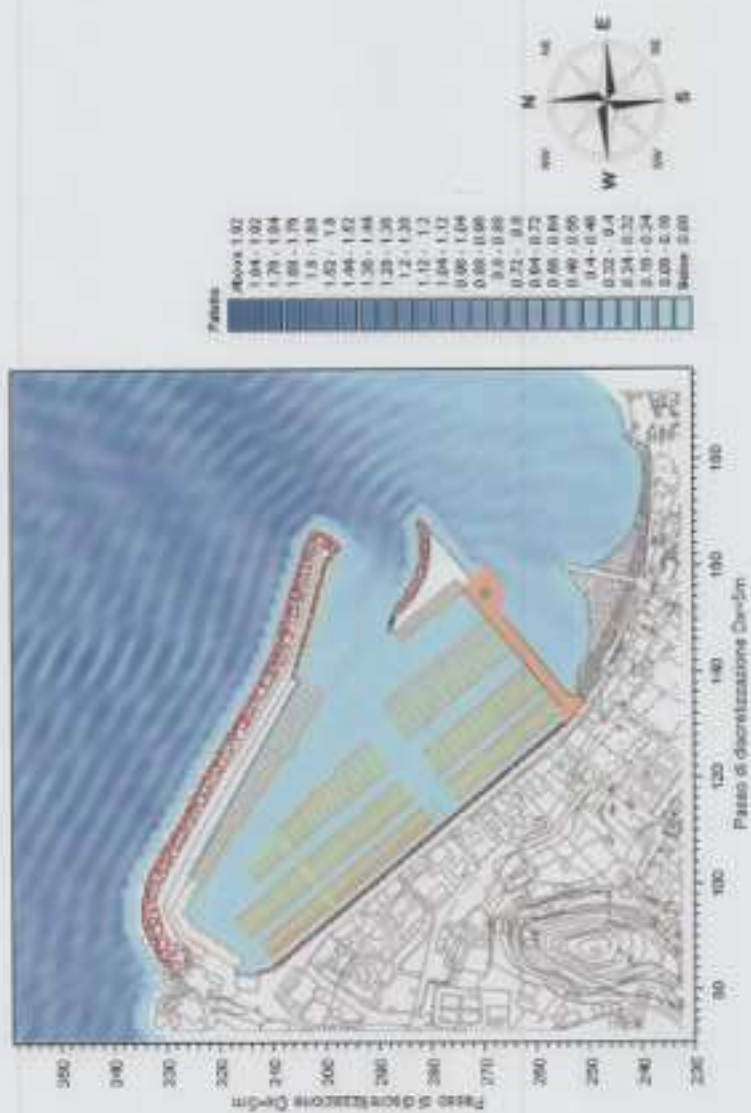


Figura 9: Agitazione ondosa a ridosso dell'area portuale Direzione 50°N Periodo $T_s=5s$

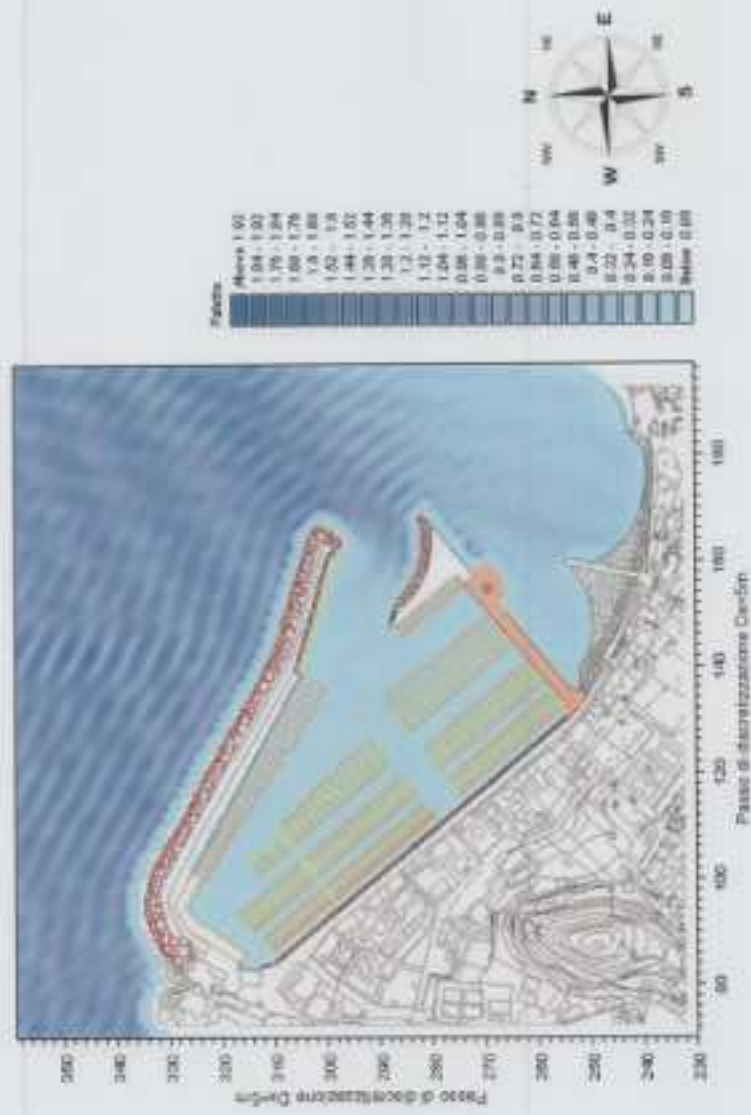


Figura 10: Agitazione ondosa a ridosso dell'area portuale Direzione 50°N Periodo Ts=5s (molo di sottofutto a cassoni)

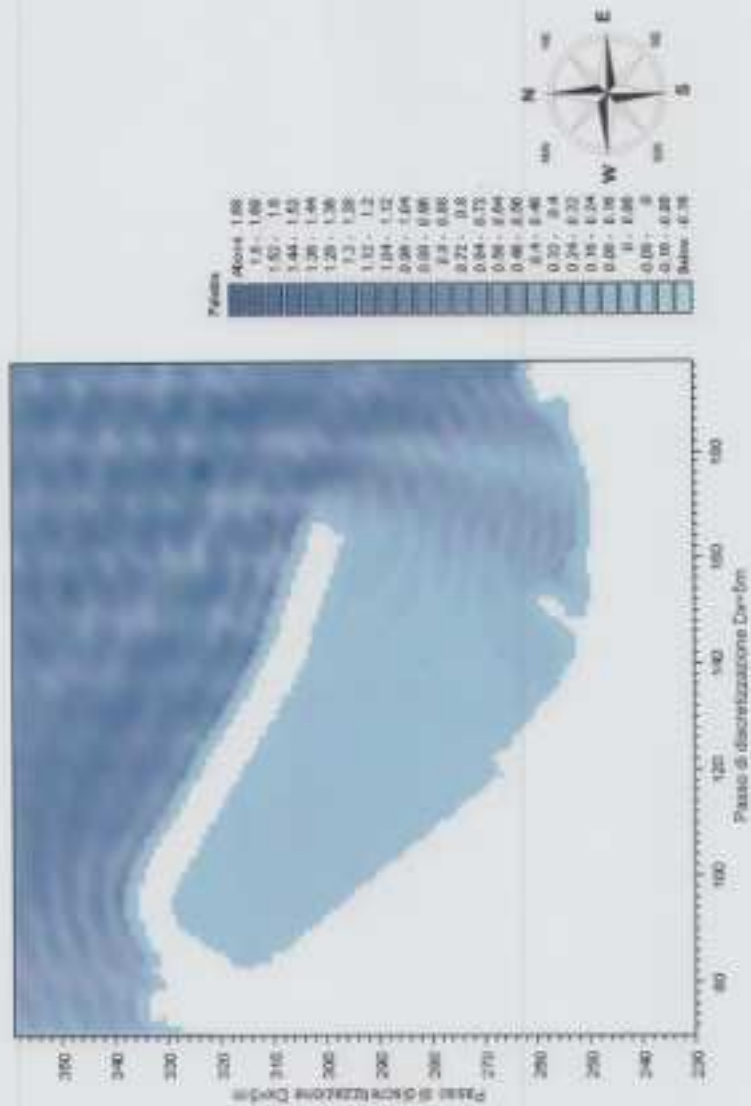


Figura 11: Agitazione ondosa - Stato dei luoghi Direzione 330°N Periodo T=6s

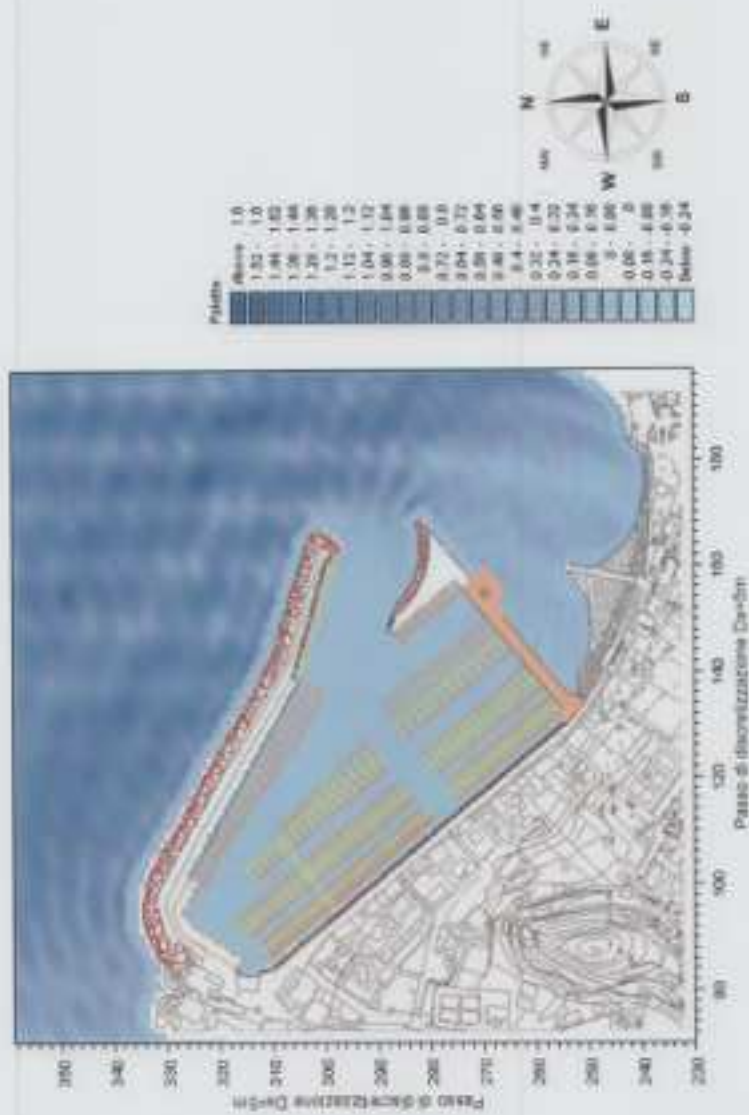


Figura 12: Agitazione ondosa a ridosso dell'area portuale Direzione 330° N Periodo Ts=6s

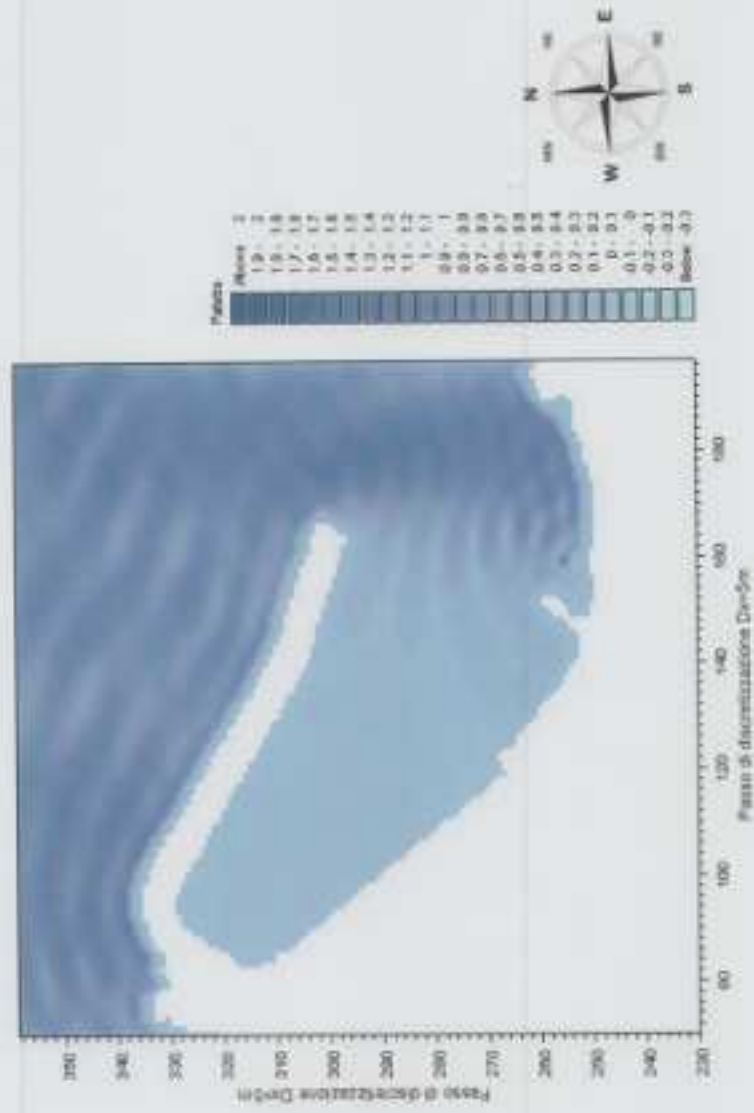


Figura 13: Agitazione ondosa - Stato dei luoghi Direzione 350°N Periodo $T_s=8s$



Figura 14: Agitazione ondosa a ridosso dell'area portuale Direzione 350° N Periodo $T_s=8s$