



"ALLEGATO E"

# COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

PROVINCIA DI MESSINA



VISTO:  
CON RIFERIMENTO AL PROPRIO VOTO

000056 26 LUG. 2012

## PORTO TURISTICO PROGETTO PRELIMINARE

IL PRESENTE DOCUMENTO COSTITUISCE  
ALLEGATO 5 AL D.D.  
000251 08 NOV. 2012  
DIPARTIMENTO REGIONALE DEL TERRITORIO

- ☐ **A RELAZIONE ILLUSTRATIVA**
  - ☐ **a1** Descrizione generale dell'intervento
  - ☐ **a2** Il contesto di riferimento
  - ☐ **a3** Il sistema nautico
  - ☐ **a4** Gli immobili da utilizzare
  - ☐ **a5** Indirizzi per la redazione del progetto definitivo - cronoprogramma
- ☒ **B RELAZIONE TECNICA**
  - ☒ **b1** studi specialistici: climatologico - anemologico - idraulico marittimo
  - ☒ **b2** edilizia di banchina e urbanizzazioni
- ☐ **C STUDIO DI PREFATTIBILITÀ AMBIENTALE**
- ☐ **D STUDI GEOLOGICI PRELIMINARI**
- ☐ **E PLANIMETRIE E SCHEMI GRAFICI**
- ☐ **F INDICAZIONI E DISPOSIZIONI PER LA STESURA DEI PIANI DI SICUREZZA**
- ☐ **G CALCOLO SOMMARIO DELLA SPESA**
- ☐ **H RILIEVO FOTOGRAFICO E FOTOSIMULAZIONI**

COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA  
Provincia di Messina

Copia Conforme

all'originale adottato/approvato con la delibera DI C.C.

n° 03 del 23-01-09 e allegato e parte integrante dell'atto.

S. Stefano di Camastra, li 30-03-2009

Il Segretario Generale  
**Don Andrea GAGLIU'**

CONSULENZA

STUDI GEOLOGICI

ORDINE DEGLI ARCHITETTI DELLA PROVINCIA DI MESSINA  
Arch. Francesco LA MONICA  
PROGETTISTA

Ing. Prof. G. MALLANDRINO

Geol. M. GERBINO

Arch. F. LA MONICA

Santo Stefano di Camastra, 08 / 05 / 2007

R.U.P.  
Geom. D. DI MAURO

COMUNE DI S. STEFANO DI CAMASTRA  
UFFICIO TECNICO 4° AREA

Visto  
IL SINDACO





**COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA**

**PROVINCIA DI MESSINA**



# **PORTO TURISTICO**

## **PROGETTO PRELIMINARE**

**B RELAZIONE TECNICA**

- b1** studi specialistici: climatologico – anemologico – idraulico marittimo
- b2** edilizia di banchina e urbanizzazioni

3.1.4.2 - I VALORI ESTREMALI AL LARGO .....	32
3.1.4.3 - IL PERIODO.....	33
3.2 - LA TRASFORMAZIONE DELLE ONDE SUI FONDALI DI TRANSIZIONE .....	33
3.2.1 - PREMESSA.....	33
3.2.2 - LA RIFRAZIONE.....	34
3.2.2.1 - L'IMPOSTAZIONE DEL PROBLEMA.....	34
3.2.2.2 - LA MESSA IN EQUAZIONE DEL PROBLEMA.....	35
3.2.2.3 - IL MODELLO DI PROPAGAZIONE INVERSA SPETTRALE .....	37
3.2.2.4 - IL SOFTWARE UTILIZZATO .....	40
3.2.2.5 - IL CLIMA ONDOSI SOTTOCOSTA .....	40
3.2.2.6 - GLI EVENTI ESTREMI SOTTOCOSTA .....	41
3.2.3 - IL FRANGIMENTO .....	42
3.2.3.1 - LA MESSA IN EQUAZIONE .....	42
3.2.3.2 - L'ESITO DELLO STUDIO.....	43
CAPITOLO 4 – STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA INTERNA .....	44
4.1 IMPOSTAZIONI DEL PROBLEMA DELLA CONOSCENZA DELLE AGITAZIONI INTERNE.....	44
4.1.1 VALUTAZIONE DEL COEFFICIENTE DI RIFLESSIONE .....	46
4.1.2 IL MODELLO MATEMATICO DELLA DIFFRAZIONE.....	48
4.2 ANALISI DEI RISULTATI.....	50
4.3 AGIBILITA' .....	51
4.4 CONCLUSIONI.....	53
CAPITOLO 5 – VERIFICA DI STABILITA' IDRAULICA DELLA MANTELLATA.....	54
5.1 - INTRODUZIONE.....	54
5.2 - DETERMINAZIONE DELL'ONDA DI PROGETTO PER LA MANTELLATA....	54
5.3 - DETERMINAZIONE DEL PESO DEL BLOCCO DELLA MANTELLATA SOMMERSA.....	55
5.4 - DETERMINAZIONE DEL PESO DEL BLOCCO DELLA MANTELLATA EMERSA.....	56

## **INDICE DELLE FIGURE**

- 1.1 PROFILO CLIMATICO – STAZIONE DI MESSINA: a), b) c)
- 1.2 PROFILO CLIMATICO – STAZIONE DI PATTI
- 2.1 UBICAZIONE DELLA STAZIONE ANEMOMETRICA DI USTICA
- 2.2 DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE DEI DATI DI VENTO OSSERVATI (STAZIONE DI USTICA 1951-2002)
- 2.3 DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE PER CLASSI DI VELOCITÀ DEL VENTO (STAZIONE DI USTICA 1951-2002)
- 2.4 DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE PER CLASSI DI VELOCITÀ DEL VENTO (STAZIONE DI USTICA 1951-2002)
- 2.5 DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE PER CLASSI DI VELOCITÀ DEL VENTO (STAZIONE DI USTICA 1951-2002)
- 3.1 DETERMINAZIONE DEL COEFFICIENTE  $R_T$
- 3.2 DETERMINAZIONE DEL PARAMETRO  $R_L$
- 3.3 DEFINIZIONI FONDAMENTALI PER IL CALCOLO DEL FETCH EFFICACE
- 3.4 FETCHES GEOGRAFICI ED EFFICACI RELATIVI AL PUNTO DI ANALISI AL LARGO DELLA LOCALITÀ DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA
- 3.5 MAREGGIATE INDIPENDENTI AL LARGO IN FUNZIONE DELLA DIREZIONE DI PROVENIENZA
- 3.6 VALORI DELL'ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA AL LARGO PER IL SETTORE DI PROVENIENZA DEL MOTO ONDOSO DI AMPIEZZA  $270^\circ\text{N} - 330^\circ\text{N}$ , IN FUNZIONE DEL TEMPO DI RITORNO SECONDO LE LEGGI DI GUMBEL E WEIBULL
- 3.7 VALORI DELL'ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA AL LARGO PER IL SETTORE DI PROVENIENZA DEL MOTO ONDOSO DI AMPIEZZA  $330^\circ\text{N} - 30^\circ\text{N}$ , IN FUNZIONE DEL TEMPO DI RITORNO SECONDO LE LEGGI DI GUMBEL E WEIBULL
- 3.8 RIFRAZIONE SPETTRALE INVERSA  $T=5$  SECONDI
- 3.9 RIFRAZIONE SPETTRALE INVERSA  $T=8$  SECONDI
- 3.10 RIFRAZIONE SPETTRALE INVERSA  $T=11$  SECONDI
- 3.11 RIFRAZIONE SPETTRALE INVERSA  $T=14$  SECONDI
- 3.12 MAREGGIATE INDIPENDENTI SOTTOCOSTA IN FUNZIONE DELLA DIREZIONE DI PROVENIENZA
- 3.13 LINEA DEI FRANGENTI PER EVENTI CON TEMPO DI RITORNO 25 ANNI E DIREZIONE AL LARGO  $0^\circ\text{N}$
- 3.14 LINEA DEI FRANGENTI PER EVENTI CON TEMPO DI RITORNO 100 ANNI E DIREZIONE AL LARGO  $0^\circ\text{N}$



## **PREMESSA**

Il comune di Santo Stefano di Camastra ha conferito allo Studio Mallandrino S.n.c., con Disciplinare del 7/08/2006, l'incarico di consulenza specialistica per attività di supporto all'ufficio di progettazione del Comune per la redazione del progetto preliminare del porto turistico di VI classe ed opere di connessione con il territorio.

Il presente elaborato rende conto dello studio climatologico (Cap. 1), di quello anemologico (Cap. 2), di quello idraulico marittimo (Cap. 3) relativo al paraggio di S. Stefano di Camastra. Viene, inoltre, condotta la verifica dell'agitazione ondosa interna per il lay – out prescelto del porto di S. Stefano di Camastra (Cap. 4) e la verifica di stabilità della mantellata (Cap.5).

Mare di Gibilterra, con profondità massima 1400 metri; il Mar delle Baleari, con fondali di circa 3000 metri; il Mar Tirreno, più piccolo, ma più profondo, con una profondità che raggiunge i 3700 metri.

Il bacino Orientale è di circa 5 gradi più meridionale rispetto a quello occidentale, ma risulta esteso in longitudine piuttosto che in latitudine, per una superficie totale di 1.363.000 km<sup>2</sup> ; è, poi, suddiviso in tre bacini minori: quello del Mar Jonio, con una profondità che arriva a toccare i 5120 metri; il bacino egiziano, con fondali di 3400 metri ed il bacino siriano, con 2600 metri di profondità. Complessivamente il secondo ed il terzo bacino formano il Mar di Levante.

Il Mar Adriatico non è altro che una diramazione del bacino orientale e si distingue dal profondo Mar Tirreno, per avere larghezza e profondità molto limitate e coste caratterizzate dalla presenza di grandi catene montuose ad una distanza piuttosto contenuta. Il congiungimento del bacino occidentale e di quello orientale avviene in un settore di mare contraddistinto da bassi fondali, circa 300 metri, ed un'ampiezza di soli 138 km, riconducibile, per morfologia, ad un rialzo sottomarino: il Canale di Sicilia.

L'elemento che, appunto, divide il Mediterraneo in due parti, nettamente distinte, è la penisola italiana: la Sicilia si colloca in posizione determinante rispetto alla congiunzione fra i due bacini, occidentale ed orientale, del Mar Mediterraneo.

In una visione più di dettaglio del clima italiano, la differenza tra versante adriatico e versante tirrenico diviene molto accentuata perché i due mari, avendo caratteristiche fisiche quasi opposte, influenzeranno climatologicamente la terraferma in modo assai differente. La Sicilia, in particolare, occupa, come precennato, una posizione geografica del tutto unica, rispetto al resto della nazione, poiché risulta esposta sia al Mar Tirreno, sia al Mar Jonio, sia al Canale di Sicilia, altrimenti detto Mar d'Africa, che, per ciò che stato detto in precedenza, può essere pensato come una zona di transizione, anche se con caratteristiche alquanto ben definite. Il profilo climatico delle diverse località siciliane, quindi, potrà cambiare o, comunque, essere variamente influenzato, a seconda della loro ubicazione rispetto ai tre fronti che delimitano l'Isola.

Oltre a quanto evidenziato subito sopra, ed in riferimento a ciò che è stato già segnalato all'inizio di questo paragrafo, i fattori climatici che intervengono a determinare il clima di un luogo sono molteplici: qui di seguito, se ne porge un elenco, così da dare un senso di maggior completezza allo studio climatologico che si andrà ad affrontare nei prossimi paragrafi.

Sono fattori del clima la posizione geografica, indicata primariamente dalla latitudine, ma anche dalle condizioni altimetriche, responsabile dei valori di temperatura, umidità e del



conseguentemente, di “mesi confortevoli”, con i quali si intendono mesi nei quali la temperatura è compresa tra 19°C e 27°C; in questo intervallo di temperatura, per convenzione, si assume che, per assicurare il benessere fisico, non sia necessario né riscaldare né rinfrescare gli ambienti. Il numero “3” indica, quindi, il numero di mesi *confortevoli*, mentre la lettera “C” sta a significare, invece, che i mesi *caldi e/o molto caldi* superano in numero quelli *freddi e/o molto freddi*<sup>1</sup>.

In realtà, scendendo ancor più in dettaglio, l'area climatica cui appartiene l'area geografica di interesse, è indicata con la sigla<sup>2</sup> 3C<sub>2</sub> che sta ad indicare una zona genericamente appartenente all'Italia peninsulare, al di sotto dei 600 metri e con escursioni annue moderate. Dal profilo climatico, riportato nella figura 1.1.a sotto forma di istogramma, emerge che i mesi *confortevoli* sono Maggio, Giugno e Ottobre; Luglio, Agosto e Settembre, con una temperatura media minima<sup>1</sup> di 22,4 gradi e una temperatura media massima<sup>2</sup> di 30,2 gradi, sono classificati come mesi *caldi*. Non esistono mesi *molto freddi* o *molto caldi*; infatti, Gennaio, Febbraio, Marzo, Aprile, Novembre e Dicembre sono mesi *freddi*, con temperature medie<sup>3</sup> che vanno da 9,2 gradi, con riguardo alla minima, e 14,1 gradi, per ciò che concerne la massima.

La Stazione di Patti, situata sul versante Nord – orientale della Sicilia è, come S. Stefano di Camastra, interamente esposta all'influenza del Mar Tirreno; essa offre dati rilevati che conducono all'individuazione di un'area climatica di tipo 4C: i mesi *confortevoli*, così come mostrato nel profilo climatico, riportato nella figura 1.2, sono, infatti, Maggio, Giugno, Settembre e Ottobre. In base alle temperature medie, il periodo *caldo* si individua nei mesi di Luglio e Agosto ed è definito inferiormente da una temperatura minima che si aggira sui 20,8 gradi e da una temperatura massima che arriva a toccare in media i 28,4 gradi; i mesi *freddi*, invece, sono sei e si distribuiscono su Gennaio, Febbraio, Marzo, Aprile, Novembre e Dicembre con temperature medie che vanno da 7,7 a 12,6 gradi.

<sup>1</sup> Mesi molto freddi:  $T_{max} \leq 19^{\circ}C$ ,  $T_{min} \leq 0^{\circ}C$ ,  $T_{med} \leq 10^{\circ}C$

Mesi freddi:  $T_{max} \leq 19^{\circ}C$ ,  $T_{min} > 0^{\circ}C$ ,  $T_{med} > 10^{\circ}C$

Mesi caldi:  $27^{\circ}C < T_{max} \leq 32^{\circ}C$

Mesi molto caldi:  $T_{max} > 32^{\circ}C$

<sup>2</sup> Secondo la classificazione adottata dall'Enea l'area climatica 3C si distingue in due zone geografiche con caratteristiche nettamente distinte:

- l'area 3C<sub>1</sub>, alla quale afferiscono solo i territori della Valle Padana, situati al di sotto dei 150 m s.l.m. con temperature minime intorno allo zero ed escursioni annue notevoli;
- l'area 3C<sub>2</sub>, della quale fa parte l'Italia peninsulare, a quote inferiori a 600 m, con temperature più elevate ed escursioni annue meno forti.

<sup>3</sup> Temperatura minima media: media dei valori di temperatura minima disponibili per i giorni di uno stesso mese dell'anno, nell'intero periodo considerato.

<sup>4</sup> Temperatura massima media: media dei valori di temperatura massima disponibili per i giorni di uno stesso mese dell'anno, nell'intero periodo considerato.

<sup>5</sup> Temperatura media: media tra la temperatura massima e la temperatura minima.

1.1.b, è facilmente riscontrabile un valore medio annuale di nuvolosità di circa 5 decimi, con il valore massimo di 7 decimi nei mesi di Dicembre, Gennaio e Febbraio ed il valore minimo, pari a 3 decimi, durante la stagione estiva. A questo stesso periodo appartiene, ovviamente, anche il maggiore numero di giorni sereni, 22 a Luglio e 21 ad Agosto, mentre solo sei sono i giorni sereni durante i mesi di Gennaio e Febbraio.

## **1.5 - PRECIPITAZIONI**

Il regime delle precipitazioni, rappresentato da una curva riportata nella figura 1.1.c riferito alla Stazione di Messina, appare decisamente condizionato dalle stagioni: i mesi invernali, infatti, sono contraddistinti da una quantità media di pioggia pari a 109 mm circa, mentre il valore minimo di precipitazioni si ritrova nel mese di Luglio, con 15 mm, ai quali corrispondono solo due giorni piovosi. Fino ad Agosto, comunque, la quantità di pioggia giornaliera rimane più o meno costante. A partire da Settembre, come mostrato dalla curva, si ha un brusco aumento nella quantità di precipitazioni giornaliere; nonostante, infatti, i giorni piovosi risultino in numero minore, l'entità delle precipitazioni mensili aumenta, in particolare nei mesi autunnali, da Settembre a Novembre, per poi decrescere nuovamente al diminuire delle temperature e dell'umidità, con l'andamento tipico del clima marittimo mediterraneo.

## **1.6 - VENTI**

In relazione all'importanza che hanno i venti quale causa generatrice del moto ondoso, le analisi che li riguardano saranno trattate separatamente in modo particolarmente approfondito nel Capitolo 2.

## **1.7 - CONCLUSIONI**

Usufruendo delle informazioni sopra riportate e discusse, è possibile fare un quadro riepilogativo delle caratteristiche climatiche peculiari dell'area in cui è collocato il paraggio oggetto di studio.

In merito alle temperature, in ragione delle posizioni geografiche relative alle due stazioni di riferimento, si possono ipotizzare, seppur in modo approssimativo, valori di temperatura più vicini a quelli rilevati presso la stazione di Patti piuttosto che ai valori osservati a



## CAPITOLO 2 - STUDIO ANEMOLOGICO

### 2.1 - L'ANEMOMETRO

Si è fatto uso dei dati rilevati nell'anemometro collocato nella stazione dell'isola di Ustica nel punto individuato dalle seguenti coordinate geografiche: latitudine  $38^{\circ} 43'$ ; longitudine  $13^{\circ} 11'$  (Fig. 2.1); lo strumento è posto a quota 259 m sul livello del mare e gestito dall'Aeronautica Militare.

Le osservazioni, come è noto, vengono campionate per 36 direzioni di  $10^{\circ}$  in  $10^{\circ}$ , a partire dal Nord geografico.

Ciascuna osservazione registra la provenienza del vento e l'intensità dello stesso misurata in nodi; tali dati non sono istantanei, ma rappresentano la media in un breve intervallo temporale, pari a circa dieci minuti, a cavallo dell'istante di campionamento; nel caso in cui nell'intervallo considerato siano presenti punte che si discostano per più di dieci nodi dalla media, il precitato Soggetto rilevatore e campionatore fornisce anche il massimo di tali valori, indicandolo come raffica; qualora la direzione sia così variabile da non potere essere definita con accettabile accuratezza, viene riportata la sola intensità del vento.

I dati disponibili vanno dal 01/01/1951 al 31/12/2002; essi, pertanto, coprono un cinquantennio di osservazione.

Tenuto conto che il periodo di funzionamento della stazione anemometria è sì continuo, ma che possono, nonostante, esistere dei periodi in cui manca l'osservazione, si dispone in definitiva di 140.244 osservazioni.

### 2.2 - IL REGIME DEL VENTO

Acquisite le registrazioni di intensità e direzione del vento, in primo luogo se ne è eseguito il campionamento e lo spoglio in modo da pervenire alla valutazione della frequenza di apparizione per ogni direzione di provenienza rilevata.

Tale studio si presenta particolarmente utile perché l'elevata mole dei dati, supponendo la stazionarietà del fenomeno ventoso, consente di confondere la frequenza con la probabilità di apparizione; nel proseguo, quindi, si useranno i due termini l'un per altro.

I dati anemometrici di tutto il periodo disponibile per la stazione di Ustica, sono stati sintetizzati in forma grafica nella figura 2.2, che mostra la distribuzione direzionale delle frequenze osservate. Per maggiore dettaglio si allegano, altresì, le figure 2.3, 2.4 e 2.5

## CAPITOLO 3 - STUDIO IDRAULICO MARITTIMO

Il presente studio idraulico marittimo del paraggio di S. Stefano di Camastra si articola in due fasi: la prima consiste nella definizione del clima ondoso e nella caratterizzazione statistica degli eventi estremi al largo; la seconda è costituita dallo studio del clima ondoso sottocosta ottenuto mediante il trasferimento, sottocosta, delle onde al largo.

In mancanza di misure dirette al fine della definizione dettagliata del regime ondamentrico, sia per quanto riguarda il clima, sia con riferimento ai valori estremali, si è fatto ricorso ai metodi di ricostruzione indiretta del moto ondoso, del tipo SMB.

Lo studio sul regime dei venti, condotto nel Capitolo 2, ha permesso di caratterizzare il paraggio in esame, non solo, con riguardo alla conoscenza del conseguente campo di moto ondoso generato da fenomeni eolici, ma anche, per l'interesse intrinseco che tale analisi può comportare ai fini di una corretta valutazione delle funzioni nautiche che possono essere svolte in relazione alla tipologia delle opere da realizzare.

L'utilizzo di metodi diretti, seppur auspicabile, non è attuabile, poiché l'unica boa ondamentrica presente nel paraggio in esame è quella di Capo Gallo (PA) di recente installazione. Pertanto, l'elaborazione dei dati rilevati dalla suddetta boa non avrebbe condotto ad una analisi statisticamente significativa per l'esiguità del campione ondamentrico.

### ○ 3.1. STUDIO ONDAMETRICO

#### 3.1.1 LA RICOSTRUZIONE DELLA SERIE ONDAMETRICA TRAMITE METODO SMB

La ricostruzione della serie storica delle altezze d'onda e dei relativi periodi è stata eseguita con un modello matematico basato sulle collaudate relazioni fornite da Sverdrup Munk<sup>6</sup> e Bretschneider<sup>7</sup>, dalle iniziali dei nomi dei quali trae origine, come ben noto, l'acronimo SMB.

Per quanto il metodo SMB sia diffusamente conosciuto è utile ricordare in questa sede che la sua applicazione richiede in input le grandezze fetch, velocità e durata del vento; come

<sup>6</sup> Sverdrup, H.U e Munk W.H.: "Wind, Sea and Swell: theory of relations for Forecasting" Hydrographic Office U.S. Department of the Navy, 1947.

<sup>7</sup> Bretschneider, C.L.: "revised Wave Forecasting Curves and Procedures" Technical report No. HE-155047, Institute of Engineering research, University of California, Berkeley, 1951.



$U^*$  = velocità di attrito (la forza di attrito è pari a  $\rho (U^*)^2$ );

$z_0$  = la rugosità della superficie;

$\psi$  = rappresenta gli effetti della stabilità della colonna d'aria sulla velocità del vento;

$L$  = la scala delle lunghezze associata al processo di miscelamento ed è dipendente dalla differenza di temperatura aria-mare.

Se  $z$  è pari o minore di 20 m si può utilizzare la seguente espressione:

$$U_{10}/U_z = (10/z)^{1/7}$$

Una ulteriore correzione ai valori di velocità del vento è dovuta alla differenza di temperatura presente fra la sovrastante massa di aeriformi e la superficie del mare.

Se, infatti, la differenza di temperatura tra aeriforme e liquido  $\Delta T_{as} = T_a - T_s$  è nulla la superficie di separazione si trova in uno stato di sostanziale equilibrio anche se instabile: in tal caso non è necessaria alcuna correzione. Se, viceversa,  $\Delta T_{as}$  risulta negativo, l'equilibrio viene meno, l'instabilità della superficie di separazione prevale e il vento risulta più efficace nel generare le onde.

Se  $\Delta T_{as}$  è positivo, invece, la superficie di separazione è stabile e il processo subisce una contrazione nel trasferimento dell'energia dal vento al mare.

Di tale fatto fisico si tiene conto, appunto, attraverso la modifica del valore della velocità del vento misurata tramite l'introduzione di un coefficiente  $R_T$ . Tale coefficiente di variazione  $R_T$  risulta funzione della differenza di temperatura fra aria e mare,  $\Delta T_{as}$ , secondo un andamento che è stato definito da Resio e Vincent: la dipendenza funzionale di  $R_T$  dalla differenza di temperatura è tracciata nel grafico di figura 3.1.

Si osservi che, alle latitudini boreali, e in particolare nel Mare Mediterraneo, gli eventi più intensi di generazione del moto ondoso si presentano durante la stagione invernale, allorquando, usualmente, la temperatura dell'aria risulta più bassa di quella del mare; in tali condizioni il fattore di correzione è, pertanto, positivo.

La velocità del vento, a seguito dell'introduzione del parametro  $R_T$ , si modifica come segue:

$$U = R_T \cdot U_{10}$$

dove  $U_{10}$  è la velocità del vento relativa alla quota standard di 10 m s.l.m. (altezza dei bordi delle navi utilizzate per le osservazioni).

E' stato, quindi, individuato il settore di traversia geografico relativo al punto in cui si vuole eseguire l'analisi ondametrica, e all'interno della falda relativa si è tracciato il diagramma delle distanze di mare libero.

A partire dalla conoscenza delle distanze di mare libero, dette pure fetches geografici, per il calcolo dei fetches efficaci si fa riferimento ad una relazione, derivata dalla teoria di ricostruzione indiretta del moto ondoso individuata, come detto, tramite l'acronimo SMB, di seguito riportata nella sua forma più generale<sup>9</sup>:

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

ove (fig. 3.3):

- $\phi_w$  direzione media di provenienza del vento responsabile del fenomeno di generazione del moto ondoso lungo la traversia;
- $\phi_i \leq \phi_w \pm \theta$  direzione i-esima relativa ad un settore di ampiezza  $2 \cdot \phi_w$  considerato nell'intorno della direzione  $\phi_w$ <sup>10</sup>.
- $F_{e,w}$  lunghezza del fetch efficace relativa alla direzione  $\phi_w$
- $F_i$  lunghezza del fetch geografico relativa alla direzione i-esima  $\phi_i$  usualmente assunta come valore medio relativo ad un settore di  $15^\circ$  nell'intorno della direzione i-esima  $\phi_i$ .
- $n$  termine esponenziale definito in funzione della legge di distribuzione direzionale degli spettri di moto ondoso che caratterizzano il sito in esame.

Tracciati i fetches geografici è stato possibile ottenere mediante l'applicazione della relazione precedente il diagramma dei fetches efficaci.

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

- la direzione media del moto ondoso corrisponda alla direzione della componente spettrale associata al periodo di picco;
- il moto ondoso generato dal vento sia ben definito e rappresentabile tramite le relazioni introdotte dalla campagna oceanografica JONSWAP.

<sup>9</sup> Saville T.jr: "The Effect of Fetch width on wave generation" Technical Memorandum n.70 BEB, U.S. Army Corps of Engineers, 1954.

<sup>10</sup> Il metodo classico di Saville prevede un'ampiezza di  $45^\circ$ , mentre la metodologia sviluppata da Seymour fa riferimento ad un valore di  $90^\circ$ .



### 3.1.2.1 - LE DEFINIZIONI PROPEDEUTICHE

Prima di procedere al calcolo degli stati di mare generati dall'azione diretta del vento sulla superficie marina si riportano qui di seguito alcuni concetti fondamentali.

E' necessario, infatti, definire preliminarmente l'estensione e la conformazione dell'area di generazione nonché la profondità dei fondali di detta porzione di mare. Per quanto riguarda l'estensione e la conformazione si deve fare riferimento alla seguente classificazione:

- Restricted Fetches per traversie geografiche delimitate dalla presenza della costa o comunque contraddistinte da distanze inferiori a quelle proprie dell'estensione delle perturbazioni atmosferiche<sup>12</sup> responsabili del processo di generazione del moto ondoso;
- Open-Water Fetches per traversie geografiche non limitate da emergenze orografiche e comunque con estensioni superiori a quelle delle perturbazioni atmosferiche.

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

- Shallow-Water per generazione del moto ondoso in acque basse ove cioè i fenomeni dissipativi per attrito non sono trascurabili (Bretschneider e Reid, 1954);
- Deep-Water per generazione del moto ondoso in aree ove i fenomeni dissipativi per attrito sono trascurabili; tali zone sono, in pratica, contraddistinte da profondità superiori a 90 m.

Nel caso che qui interessa, usualmente si riscontrano le condizioni prima e quarta.

### 3.1.2.2 - LA MESSA IN EQUAZIONE

Conosciuti nel modo anzidetto tutti gli elementi anemometrici, si può procedere all'esecuzione della previsione del moto ondoso secondo il modello matematico qui d'appresso sinteticamente esposto.

Indicando con  $R_n$  ed  $R_t$  le componenti normali e tangenziali delle potenze trasferite al mare, mediamente in una lunghezza d'onda, dal vento cui competono componenti di pressione e di velocità rispettivamente indicate da  $p_n$ ,  $p_t$ , e  $V_n$ ,  $V_t$ , si avrà:

<sup>12</sup> Per il Mediterraneo si è soliti considerare comunque un limite superiore dell'estensione delle perturbazioni atmosferiche pari a 600 km

$C_g$  = velocità di gruppo.

Se ora si considera lo stato stazionario, si ha:

$$\frac{dE}{dt} = \left\{ (R_t + R_n) - \frac{d}{dx} (C_g E) \right\}$$

Introducendo la ripidità dell'onda  $\Gamma = \frac{H}{L}$  e l'età dell'onda  $\beta = \frac{C}{U}$  si ha che le precedenti equazioni si trasformano come segue:

1) per il regime transitorio:

$$\frac{d\beta}{dt} = AgU^{-1} \beta^{-2} \frac{1 + B(1 - \beta)^2}{5 + \frac{2\beta}{\Gamma} \frac{d\beta}{d\Gamma}}$$

2) per il regime stazionario:

$$\frac{d\beta}{dx} = 2 AgU^{-2} \beta^{-3} \frac{1 + B(1 - \beta)^2}{5 + \frac{2\beta}{\Gamma} \frac{d\beta}{d\Gamma}}$$

Tenuto conto di quest'ultima relazione fra  $\beta$  e  $\Gamma$ , di cui è stata fornita l'espressione nei diversi campi di valori di  $\beta$ , l'integrazione delle precedenti equazioni differenziali porge:

1) per il regime transitorio:

$$\frac{gt}{U} = F_t(\beta)$$

2) per il regime stazionario:

$$\frac{gt}{U^2} = F(\beta)$$

da cui, noto  $U$ , è possibile ricavare  $\beta = \frac{C}{U}$  e quindi,  $C$ ; ricordando poi che può conoscersi il periodo dall'applicazione dell'equazione di Airy.

Per ricavare l'altezza d'onda significativa si utilizza, infine, la seguente relazione:

$$g \frac{H}{U^2} = 2\pi\Gamma\beta^2$$

Al fine di non appesantire la lettura del presente elaborato si rinuncia ad esporre i diversi passaggi che hanno consentito di pervenire alle equazioni impiegate che, nella forma più generale, sono le seguenti:

### 3.1.3 - L'ELABORAZIONE STATISTICA DELLE ONDE ESTREME

Nell'ambito della progettazione di strutture esposte all'azione diretta del moto ondoso è necessario definire, mediante un approccio statistico, l'altezza d'onda  $H_s$  di assegnato rischio. Quest'ultimo è per comodità espresso mediante la grandezza tempo di ritorno  $T$ , indicata in anni.  $H_{s,T}$  rappresenta pertanto l'altezza d'onda con tempo di ritorno  $T$ , ossia l'onda che viene mediamente raggiunta o superata una volta ogni  $T$  anni.

La metodologia, attualmente ritenuta lo schema di analisi più efficiente ed accurato (Goda, 1988), è quello detto della serie di durata parziale sopra soglia o seguendo la terminologia anglosassone metodo POT (Peaks Over Threshold).

#### 3.1.3.1 - IL METODO POT

Il metodo POT consiste nello schematizzare il fenomeno ondoso tramite il processo estrattivo dei massimi locali delle mareggiate che superano un'altezza di soglia  $H_0$  prestabilita e nel valutare le caratteristiche temporali con cui le mareggiate si manifestano. Le componenti del processo temporale utilizzate nel metodo POT sono rappresentate dall'intervallo tra due eventi successivi, dal valore del colmo della mareggiata e dal valore della soglia. Il processo dei massimi locali può essere considerato come un processo di variabili aleatorie equidistribuite ed indipendenti, la realizzazione delle quali è governata da un contatore casuale. Se si ipotizza che tale contatore, cioè il numero atteso di tempeste in ogni anno durante le quali è superata la soglia prescelta, sia rappresentabile statisticamente mediante la distribuzione di Poisson, il processo puntuale associato alle eccedenze della soglia  $H_0$  è descritto da:

$$P(Na=n) = \lambda^n \cdot \exp^{-\lambda} / n!$$

dove  $\lambda = \hat{\lambda} = N/M$  è il numero medio di eccedenze per anno, con  $N$  numero totale di superamenti ed  $M$  numero di anni di osservazione; la relazione  $H_{s,T}$ , in tal senso, risulta definita in forma implicita come:

$$F(H_{s,T} | \geq H_0) = 1 - 1/\hat{\lambda} \cdot T$$

Assegnato un prefissato valore di  $T$  per risolvere il problema occorre, quindi, determinare il valore di  $H_s$  cui corrisponde il valore della funzione di distribuzione fornito dalla precedente relazione. Si noti che tale ultima espressione è in generale comunque valida, indipendentemente dal processo puntuale associato, qualora si prescinda dall'indagare il processo di superamento della soglia  $H_0$  come un problema stocastico, ma se ne consideri unicamente l'aspetto statistico, assumendo genericamente che  $H_0$  venga

La metodologia di analisi esposta, fondamentalmente analoga a quella presentata da Goda<sup>13</sup>, nella quale si elabora una serie di  $N_I$  eventi estratti superiormente da un campione totale di  $N_T$  dati rappresentativi della popolazione. In generale  $N_T$  è costituito dal numero totale di mareggiate intense registrate durante il periodo di osservazione mentre  $N_I$  indica il numero di episodi all'interno del campione  $N_T$  dove è stata superata una soglia prefissata  $H_c$ . In pratica il campione totale di  $N_T$  è ottenuto con riferimento al superamento di una soglia  $H_c$  mentre gli episodi effettivamente utilizzati per stimare i parametri della distribuzione statistica adottata sono ottenuti estraendo dal campione precedente quelli che superano la soglia  $H_c$ .

In aggiunta a quanto sopra, in relazione al contenuto del successivo paragrafo si ricorda, in aggiunta alla già citata distribuzione di Gumbel e quella di Weibull a tre parametri:

$$F(H_s) = 1 - \exp[-((H_s - b)/a)^k]$$

dove  $a$  è il parametro di scala,  $b$  il parametro di locazione e  $k$  il parametro di forma.

### 3.1.3.2 - I METODI DI STIMA DEI PARAMETRI E LA BONTÀ DELL'ADATTAMENTO

Per adattare la distribuzione teorica prescelta ai dati sperimentali osservati occorre determinare i parametri incogniti che definiscono la distribuzione stessa; i metodi di fittaggio, detti anche di stima, generalmente utilizzati sono tre: il metodo di massima verosomiglianza ML (Maximum Likelihood), quello dei momenti ed il metodo dei minimi quadrati.

Il metodo della massima verosomiglianza impone che i parametri stimati massimizzino la funzione di verosomiglianza e fornisce stime non distorte ed efficienti; l'efficienza di uno stimatore è definita dal rapporto tra la varianza di stima ottenibile e quella della stima effettuata. Tale metodo è inoltre affidabile in quanto non produce risultati affetti da errore quando la distribuzione sperimentale differisce dal modello teorico o contiene dati anomali (outliers). Stime a massima verosomiglianza possono, tuttavia, essere effettuate nel caso della distribuzione di Weibull solo se il parametro di forma  $k$ , è maggiore di 2; in genere, nel caso delle onde significative estreme,  $k$  risulta però compreso

<sup>13</sup> Goda, Y: "A review on statistical interpretation of wave data" Rep. Port and Harbour Res. Inst. Vol.18, n.1, 1979.



### 3.1.3.3 - LA DETERMINAZIONE DEL VALORE DI SOGLIA

L'individuazione del valore di soglia  $H_0$  da utilizzare nel processo di selezione dei massimi locali rappresenta la scelta più delicata e determinante per l'attendibilità delle estrapolazioni statistiche. Le ipotesi di base precedentemente ricordate presuppongono, infatti, l'omogeneità dei dati costituenti il campione e l'indipendenza stocastica dei massimi locali. Per verificare se l'ipotesi di omogeneità è sufficientemente soddisfatta, è bene effettuare una preventiva analisi delle serie temporali per saggiare l'opportunità di eliminare eventi medio bassi, seppur superiori alla soglia, generati da fenomeni di brezze locali, oppure se risulta preferibile effettuare l'analisi su base stagionale. Analogamente, quando possibile, è buona norma suddividere il campione in base alle sue caratteristiche direzionali per evitare di mescolare eventi sperimentali generati da condizioni di fetch molto diverse.

Per assicurare l'indipendenza tra due eventi consecutivi è inoltre utile ricorrere all'utilizzo combinato di vari criteri quali: l'attenuazione intermedia dell'onda al di sotto di un valore prefissato<sup>15</sup>; un intervallo temporale tra due picchi superiore a 48 ore; una deviazione della direzione media di provenienza di almeno 60 gradi. Nel caso si utilizzi la già citata procedura proposta da Goda è, invece, opportuno variare caso per caso il valore di troncamento  $H_c$  della serie in base al quale estrarre dall'insieme NT di campioni un sottoinsieme superiore N1 di almeno 30-50 dati.

Nella tabella appresso vengono riportati il valore di soglia utilizzato per la selezione degli estremi, la durata minima della mareggiata utilizzata e quindi il numero di eventi estremi individuati e l'altezza massima rilevata.

### 3.1.3.4 - LA DURATA DEGLI EVENTI ONDOSI ESTREMI

Un'altra importante caratteristica degli eventi ondosi estremi di interesse progettuale è la loro durata, ossia la probabilità di permanenza dello stato di mare al di sopra di un'altezza di soglia  $H_0$ . Le elaborazioni a tal riguardo sono purtroppo poco numerose e solo recentemente, grazie alla maggior disponibilità di dati, sono state completate indagini specifiche.

E' sufficiente in questa sede ricordare che il processo può essere analizzato in maniera concettualmente analoga all'elaborazione dei valori estremi già descritta. Si individua infatti il numero di eventi indipendenti al di sopra di una soglia prefissata e di

<sup>15</sup> Usualmente si assume il valore di altezza d'onda pari ad 1,00 m.

- gli eventi caratterizzati dai più elevati valori di altezza d'onda si mostrano da Maestrale e Tramontana; infatti, le onde con altezza d'onda superiore al metro e con attacco da Nord-Ovest presentano una frequenza di apparizione del 2,4%, quelle con attacco da Nord presentano una frequenza di apparizione del 1% circa;
- per valori di altezza d'onda superiore a 4,0 m le condizioni più gravose sono esclusivamente da Maestrale con una frequenza di apparizione di 0,05%.

### 3.1.4.2 - I VALORI ESTREMALI AL LARGO

Si dispone di una serie sintetica continua di altezze e direzioni di onde caratteristiche. Il termine sintetico usato qui deve riferirsi all'aver ricavato matematicamente le grandezze derivandole dai dati di vento. Da questa serie sono state estratte le mareggiate indipendenti con altezza d'onda significativa superiore a 1,50 m e durata pari a 12 ore. All'interno di ciascuna si sono, quindi, individuati i valori massimi di  $H_s$  raggiunta. Nella figura 3.5 sono riportate le mareggiate indipendenti in funzione della loro direzione di provenienza. Tale tipo di rappresentazione grafica rende agevole l'individuazione dei settori di provenienza del moto ondoso: la quasi totalità degli eventi proviene dal settore di ampiezza  $270^\circ\text{N} - 360^\circ\text{N}$ , in particolare gli eventi caratterizzati dai più elevati valori di altezza d'onda si mostrano da Tramontana. Non va trascurata, tuttavia, la presenza di eventi con altezza d'onda fino a 6,0 m circa provenienti da Grecale.

Tramite il software "Pegaso", tale serie è stata analizzata statisticamente, e si sono ricavate le altezze relative a differenti tempi di ritorno, per le più usuali leggi probabilistiche usate nello studio delle onde estremali (Gumbel, Weibull). I risultati di tale studio sono riportati nella tabella 3.4 che mostra i valori estremi delle altezze d'onda significative al largo al variare del tempo di ritorno. Si è, altresì, condotta l'indagine assumendo alcune falde di provenienza aventi la direzione bisettrice: N - O e N (tab. 3.5 e 3.6). Nel caso in cui si adottò la soluzione grafica, bisogna verificare l'interpolazione di una retta tra i punti rappresentativi dei dati statistici osservati (fig. 3.6, 3.7).

L'analisi relativa alla serie di mareggiate indipendenti mostra che la tradizionale distribuzione di Gumbel è in sostanziale accordo con quella terza (1,4) di Weibull, mentre la prima (0,75) e la seconda (1,00) porgono altezze d'onda significative leggermente maggiori solo per valori del tempo di ritorno molto alti; il contrario avviene con riguardo alla quarta (2,0) distribuzione di Weibull. Per tale motivo nel seguito si farà riferimento ai valori estremi delle altezze d'onda significative ottenute utilizzando la legge di Gumbel.

pertanto, necessario procedere al trasferimento dei valori ricavati, ed in particolare dell'altezza d'onda significativa, dal largo fin sottocosta.

Il modello di trasferimento ispirato all'analisi del fenomeno della rifrazione, attraverso una serie di semplificazioni insite nello stesso modello, si ispira alla teoria lineare, usualmente utilizzata allo scopo, trascurando, pertanto, per le connesse notevoli difficoltà, di valutare la scabrezza del fondo pelagico, che non solo varia da punto a punto, ma si modifica nel tempo. Nell'ambito del presente capitolo verranno, inoltre, valutate le condizioni di frangimento.

### 3.2.2 - LA RIFRAZIONE

#### 3.2.2.1 - L'IMPOSTAZIONE DEL PROBLEMA

Un treno d'onde che provenga da una qualunque direzione avanza, com'è noto, con altezza e celerità  $C_0 = gT^2/2\pi$  costanti fino ad una profondità  $h_0$  pari alla metà della lunghezza d'onda  $L_0$ .

In acque di profondità illimitata, e cioè fino al raggiungimento del suddetto limite, la celerità dell'onda dipende, pertanto, solamente dal periodo  $T$ , assunto costante con la profondità; tutti i punti di un fronte viaggiano quindi alla stessa velocità; il fronte si mantiene allora parallelo a se stesso ed agli altri fronti.

Al diminuire della profondità  $h$  al di sotto del suddetto limite, la celerità sarà invece espressa dalla nota relazione di Airy:

$$C = C_0 \tanh 2\pi h/L$$

Se, pertanto, il fondo marino si presenta gradualmente acclive man mano che ci si approssimi alla riva, la celerità dell'onda decresce con gradualità dal valore:

$$C_0 = \sqrt{\frac{gL_0}{2\pi}}$$

assunto in profondità illimitata, fino al valore:

$$C = \sqrt{gh}$$

che si raggiunge in acqua bassa ( $h \leq L/20$ ).

I punti di uno stesso fronte sono allora animati da diverse celerità, tanto minori quanto minori sono le profondità.

I fronti d'onda subiranno pertanto una deformazione ed una rotazione progressiva man mano che si approssimano alla linea di riva; il risultato finale di tale fenomeno è quello di una tendenza dei fronti stessi a disporsi parallelamente all'andamento delle

$$\frac{d\vartheta}{ds} = -\frac{1}{C} \frac{dC}{dn}$$

La suddetta equazione differenziale delle ortogonali d'onda mette in risalto come la curvatura dell'ortogonale stessa cresca tanto più quanto decresce la celerità dell'onda, ovvero quanto più si approssima alla riva

Si prendano ora in esame due ortogonali d'onda distanti fra loro di una quantità  $b$  e formanti, con un generico asse di riferimento, rispettivamente gli angoli  $\vartheta$  e  $\vartheta + d\vartheta$ ; allorché le ortogonali si saranno spostate di una quantità infinitesimale " $ds$ " la loro distanza varrà  $b+db$  e potrà scriversi che:

$$d\vartheta = b \frac{d\vartheta}{dn}$$

$$db = d\alpha ds$$

da cui si ricava:

$$\frac{1}{b} \frac{db}{ds} = \frac{d\vartheta}{dn}$$

Dividendo numeratore e denominatore del primo membro della precedente equazione per la distanza  $b_0$  fra le ortogonali al largo, si avrà:

$$\frac{d\vartheta}{dn} = \frac{1}{\beta} \frac{b\beta}{ds}$$

avendo posto  $\beta = b/b_0$ . Si osservi che il coefficiente di rifrazione è, appunto, definito dalla  $K_R = \beta^{1/2}$ .

La suddetta equazione differenziale., ricordando che  $ds = C dt$ , porge infine<sup>16</sup>:

$$\frac{1}{\beta} \frac{d\beta}{dt} = C \frac{d\alpha}{dn}$$

derivando la precedente equazione rispetto al tempo e l'equazione differenziale dell'ortogonale d'onda rispetto alla ascissa curvilinea  $n$  si ottiene rispettivamente:

$$\frac{1}{\beta^2} \left( \frac{d\beta}{dt} \right)^2 + \frac{1}{\beta} \frac{d^2\beta}{dt^2} = C \frac{d^2\vartheta}{dn dt} + \frac{dC}{dt} \frac{d\vartheta}{dn}$$

$$\frac{d^2C}{dn^2} = \frac{d^2\vartheta}{dn dt}$$

Ricordando che  $ds = C dt$  e sostituendo la seconda nella prima, si ha:

<sup>16</sup> LEPETIT J.P.: "Étude de la réfraction de la houle monochromatique par le calcul numérique". Bull. du Centre et d'Ess. De Chatou (1964).



numerico di rifrazione inversa spettrale "Merope". Successivamente tramite il programma "Pegaso" si è realizzata l'elaborazione statistica degli eventi sotto costa.

Propagandosi verso riva su fondali via via decrescenti, le onde subiscono una serie di trasformazioni geometriche e perdite di energia che alla fine conducono al loro frangimento (ciò avviene quando l'onda, deformata, diviene molto alta rispetto alla sua lunghezza e perciò instabile o comunque intercetta fondali bassi incompatibili con la sua altezza).

Prescindendo, perché comunque trascurabili, dalle perdite di energia che (fuori dalla zona dei frangenti) sono dovute all'attrito del fondo e, per fondi permeabili, alla percolazione; nonché dagli effetti indotti dalle correnti, dal vento e dalle riflessioni del fondo, le modifiche delle caratteristiche ondose durante la propagazione verso riva sono indotte essenzialmente dai fenomeni di rifrazione e di shoaling.

Il primo fenomeno (rifrazione) consiste in una trasformazione tridimensionale dovuta a variazioni di fondale lungo i fronti d'onda che comportano variazioni planimetriche di questi e, conseguentemente, a variazioni delle altezze d'onda per effetto della conservazione del flusso di energia fra ortogonali vicine.

Il secondo fenomeno (shoaling) è una trasformazione bidimensionale delle onde dovuta al solo effetto del fondale nella direzione di propagazione. L'effetto fondale modifica la celerità di gruppo e di conseguenza provoca dapprima una riduzione e poi un sostanziale aumento di altezza delle onde allorché queste avanzano su profondità di fondali decrescenti.

La simulazione di detti fenomeni può essere eseguita in modo efficace con il metodo della "rifrazione inversa spettrale". L'importanza di tale metodo è notevole, perché, rispetto a quello convenzionale, si ha il vantaggio che i risultati sono ottenuti direttamente per il luogo che interessa, sulla costa o in prossimità di questa, senza il problema di dover interpolare tra raggi calcolati da una parte o dall'altra del punto.

Il relativo modello matematico è stato sviluppato seguendo le indicazioni di Abernety e Gilbert (1978).

La differenza più appariscente rispetto al metodo tradizionale dei piani d'onda, detta rifrazione diretta, è rappresentata dalla costruzione dei raggi con un verso contrario a quello della propagazione delle onde. Tale impostazione fu introdotta da Dorrestein nel 1960: si costruisce un ventaglio di raggi relativi ad un dato periodo d'onda, che hanno tutti origine nel luogo della costa (o in prossimità) dove si desidera conoscere i risultati, partendo ognuno con una diversa direzione.

### 3.2.2.4 - IL SOFTWARE UTILIZZATO

L'importanza fondamentale dell'introduzione dello spettro d'energia bidimensionale associata a quello di proiezione inversa dei raggi, è che, a differenza del metodo tradizionale e di quello di Dorrestein, dà luogo a risultati univoci ed ovunque finiti, eliminando le singolarità già evidenziate.

Per lo studio della rifrazione, e cioè della trasformazione delle onde al largo nel loro procedere sotto costa, è stato utilizzato il programma "Merope" che consente la simulazione del fenomeno di propagazione del moto ondoso secondo la metodologia inversa spettrale. Il programma è composto da due moduli così distinti:

- Tracing: per il tracciamento dei raggi (ortogonali ai fronti d'onda) dal punto di interesse (solitamente sotto costa), verso il largo, secondo la tecnica del back-tracing;
- Spettral: per il calcolo delle caratteristiche del moto ondoso di interesse (già implementato con il modulo Tracing) in funzione delle caratteristiche del moto ondoso al largo.

A tale scopo viene utilizzata la tecnica di analisi della corrispondenza delle componenti spettrali largo - riva (in frequenza e direzione).

Acquisita la carta nautica si è proceduto alla digitalizzazione della batimetria, che costituisce input necessario per lo studio di che trattasi.

Il programma "Merope" consente di effettuare il tracciamento sia delle ortogonali d'onda, rifrazione diretta, sia le prove inverse (fig. 3.8, 3.9, 3.10 e 3.11).

### 3.2.2.5 - IL CLIMA ONDOSO SOTTOCOSTA

Le tabelle 3.7 e 3.8 riportano il clima ondoso sottocosta sia in termini di numero degli eventi, sia in termini percentuali per le stesse classi già individuate per la definizione del clima al largo, come precisato al Paragrafo 3.1.4.1.

Con riguardo al clima ondoso sottocosta, dall'esame delle tabelle 3.7, relativa ai valori assoluti, e 3.8, che si riferisce alle percentuali, si evince che la maggior parte degli eventi registrati, e in particolare circa il 58%, presenta un'altezza d'onda significativa inferiore a 0,5 m.

Tali eventi provengono per il 22% da nord-ovest, per il 21 % dalla direzione est e per il 10% dalla direzione nord.

Per modeste increspature della superficie, e cioè per altezze d'onda inferiori a 1,0 m, si osserva la presenza di un'elevata frequenza di apparizione, pari a circa il 27%, per la

### 3.2.3 - IL FRANGIMENTO

Sotto il profilo della conoscenza del campo ondametrico sottocosta è risultato opportuno riconoscere le condizioni di frangimento, poiché, com'è noto, la presenza di tale fenomeno limita superiormente le caratteristiche dell'onda incidente.

Le figure allegate (fig. 3.13, 3.14, 3.15 e 3.16) riportano la posizione della linea di frangenti da Nord e da Nord-Ovest per tempo di ritorno pari a 25 anni e 100 anni.

#### 3.2.3.1 - LA MESSA IN EQUAZIONE

Con particolare riguardo al frangimento di onde oblique rispetto alla linea di riva, si osservi che, per la legge di rifrazione di Descartes, fra un punto al largo e quello di frangimento, per una stessa ortogonale, sussiste la relazione:

$$\sin \alpha_f = \sin \alpha_0 \frac{L_f}{L_0}$$

Si prescelgono ora due ortogonali al fronte dell'onda che procede verso riva, e sia  $l_0$  la distanza tra esse allorché l'onda procede in profondità infinita ed  $l_f$  quella al frangimento, si avrà:

$$\frac{l_0}{\cos \alpha_0} = \frac{l_f}{\cos \alpha_f}$$

Considerando che, in assenza di dissipazioni nel percorso dalla profondità infinita a quella a cui avviene il frangimento, l'energia trasmessa nell'unità di tempo dell'onda sia costante, si può scrivere l'eguaglianza:

$$H_f^2 G_{gf} l_f = H_0^2 C_{g0} l_0$$

A questo punto, se si introducono le condizioni per le quali l'onda si frange: si è a tale scopo, fatto ricorso alla nota formula di Miche:

$$\gamma_f = 1/7 \operatorname{tgh} 2\pi h/L$$

La formula sopra trascritta si applica per profondità relative che, nel verso di propagazione da moto ondoso, vanno da 0,50 a 0,11; in alternativa, per profondità relative che vanno da 0,11 a 0,08, può farsi ricorso al criterio suggerito da Scarsi, ottenendo, in ogni caso, una relazione tra la ripidità  $H/L_f$  e la profondità relativa  $h/L_0$ , del tipo:

## CAPITOLO 4 – STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA INTERNA

La verifica dell'agitazione ondosa interna è stata condotta per il lay – out prescelto, (fig. 4.1) che prevede la realizzazione di un bacino protetto di circa 124.000 m<sup>2</sup> delimitato dal molo di sopraflutto con andamento curvilineo, lungo 550m, e dal molo di sottoflutto lungo circa 450 m.

Si è, pertanto, operato un confronto fra lo stato di agitazione all'interno dello specchio liquido protetto e l'escursione massima ammissibile in relazione ai natanti ai quali il dispositivo è destinato.

L'agitazione ondosa è stata valutata utilizzando un modello matematico, che si esporrà di seguito, capace di analizzare il fenomeno della diffrazione per il lay-out di progetto, procedendo alla simulazione di un'ampia casistica. Il modello adottato assume la teoria lineare di Airy e considera la profondità dell'acqua costante, nonché le strutture di difesa con spessore trascurabile rispetto alle altre dimensioni lineari in gioco; tutto il confine della massa liquida sarà definito attraverso la propria capacità di riflessione, determinata dopo approfondita disamina.

### 4.1 IMPOSTAZIONI DEL PROBLEMA DELLA CONOSCENZA DELLE AGITAZIONI INTERNE

Per uno studio particolareggiato dello stato di agitazione all'interno del porto di Santo Stefano di Camastra non può prescindere da un'attenta analisi quantitativa della diffrazione attorno alle testate delle strutture di difesa.

Ben sapendo che con il nome di diffrazione si indica l'insieme fenomenologico conseguente alla propagazione delle onde in base a leggi che non seguono quelle della propagazione rettilinea nei mezzi omogenei, e quindi fuori dai dettami dell'ottica geometrica, occorre precisare che il fenomeno si manifesta in modo sensibilmente apprezzabile solo se le onde incontrano un ostacolo capace di limitare l'estensione utile dei fronti a dimensioni dell'ordine della lunghezza d'onda. Ciò comporta che il flusso energetico connesso ad un treno d'onde subisce anche una propagazione attraverso le ortogonali ai fronti d'onda, cioè lateralmente al senso di propagazione delle stesse onde.

Da ciò segue che, nello studio della diffrazione, non può essere ammessa l'ipotesi della conservazione dell'energia attraverso le ortogonali, come già fatto nella rifrazione. Infatti, nel caso, come quello in esame, di diffrazione attorno alla testata di un'opera frangiflutto, le ortogonali convergono tutte in un punto coincidente con la testata stessa.



La conoscenza dell'agibilità e, pertanto, della connessa affidabilità del dispositivo portuale, implica quindi un approfondimento dello studio del fenomeno di che trattasi, la cui soluzione è stata posta sotto forma di grafici e tabelle dal Wiegel nel caso di ostacolo rettilineo semindefinito e perfettamente riflettente che si erge su profondità costante. Ma tale semplificazione può servire solo per un primo orientamento di larga massima, talché, nel caso che qui verrà trattato, relativo al porto di Santo Stefano di Camastra, si applicherà la teoria nella sua completa formulazione.

#### 4.1.1 VALUTAZIONE DEL COEFFICIENTE DI RIFLESSIONE

Quando un treno di onde incide su un'opera, l'energia connessa allo stesso moto ondoso,  $E_i$ , si suddivide in tre parti: una,  $E_r$ , viene riflessa; un'altra,  $E_d$ , viene dissipata; una terza,  $E_t$ , viene trasmessa oltre l'ostacolo.

In ogni caso varrà la ovvia condizione che:

$$E_i = E_r + E_d + E_t$$

Nel caso di opere interne al porto destinate all'accosto, a tergo delle quali vi sono grandi piazzali operativi, come è, per altro, assai frequente, si deve considerare nulla ogni trasmissione e l'energia dell'onda incidente si ritroverà sotto forma di energia riflessa e di energia dissipata; quest'ultima sarà da assumere nulla solo nel caso di opere a parete verticale piana, mentre dipenderà dalla geometria dell'opera e dalle caratteristiche cinematiche del moto ondoso nel caso di parete perforata o di banchina a scarpa.

Analizzando, per altro verso, la condizione che si viene a creare all'esterno del porto si dovrà fissare l'attenzione sulle opere di difesa: ma anche in tal caso valgono le considerazioni esposte dianzi, avendosi la riflessione perfetta solo nell'ipotesi di applicazione del tipo a parete verticale tradizionale. Nel caso di opere a gettata vi è certamente un'aliquota non trascurabile di energia dissipata, non essendovi, nella generalità dei casi, la possibilità di escludere, almeno in via di principio, l'energia trasmessa, per la presenza dei numerosi vuoti nell'ammasso artificiale che, appunto, forma la difesa.

Nel caso del porto di Santo Stefano di Camastra, le opere portuali esterne sono tali da trasformare l'energia dell'onda incidente in due sole aliquote: quella riflessa e quella dissipata; i moli di sopraflutto e di sottoflutto, infatti, sono studiati in modo tale che l'aliquota di energia trasmessa attraverso il corpo degli stessi sia praticamente nulla per la presenza di un nucleo formato da elementi con pezzatura compresa in un ampio spazio. Per tenere conto dell'influenza sul fenomeno di riflessione della inclinazione dell'ostacolo investito si può fare riferimento alla figura 4.2 che, per il caso di parete impermeabile

la mantellata stessa e del rapporto fra la predetta dimensione caratteristica dei blocchi e l'altezza dell'onda.

Il primo coefficiente riduttivo si ottiene dalla figura 4.6, il secondo, dalla tabella 4.1 sotto riportata.

$d_g/H_i$	n			
	1	2	3	4
<0.75	1.00	0.93	0.88	0.78
da 0.75 a 2.0	1.00	0.71	0.70	0.69
>2.0	1.00	0.58	0.52	0.49

**Tabella 4.1** - Coefficiente correttivo  $\alpha_2$  al variare del numero di ordini che formano la mantellata e del rapporto fra dimensione caratteristica dei blocchi ed altezza dell'onda.

Per ciò che concerne la configurazione di futura realizzazione del porto di S. Stefano di Camastra è stata, quindi, definita la geometria sia delle opere di difesa che di quelle interne, non solo con riguardo alla disposizione planimetrica, ma anche con riferimento alla capacità di riflessione delle onde. Attraverso la conoscenza della sezione trasversale è stato possibile, infatti, definire il coefficiente "a", di cui si parlerà al successivo paragrafo, che, come detto, dipende dall'inclinazione del paramento foraneo, dalla natura e dalla geometria della mantellata.

#### 4.1.2 IL MODELLO MATEMATICO DELLA DIFFRAZIONE

Nell'ipotesi di linearizzazione delle equazioni del moto ondoso irrotazionale in seno ad una massa di fluido perfetto ed introducendo le seguenti condizioni ai limiti:

- pressione nulla in superficie;
- fondo fisso ed impermeabile, in modo che la componente verticale della velocità sia ivi nulla;
- frangionde impermeabile e di geometria nota, anche in termini di capacità di riflessione dello stesso;
- proprietà additiva del potenziale, talchè il potenziale totale sia la somma di quello dovuto all'onda diffratta e di quello dell'onda incidente;

Indicando con  $\varphi_i$  l'aliquota di funzione complessa corrispondente alla sola onda incidente e con  $\varphi_d$  quella della sola onda diffratta, si avrà, per la proprietà additiva del potenziale:

$$\varphi = \varphi_i + \varphi_d$$

In definitiva si avrà pertanto:

$$\Delta_2 \varphi_d + k^2 \varphi_d = 0$$

Con la classica condizione all'infinito di Sommerfield:

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \sqrt{r} \left( \frac{\partial \varphi_d}{\partial r} - jk \varphi_d \right) = 0$$

Dalle suddette equazioni, ricordando che il profilo  $\eta$  è legato al potenziale dalla seguente relazione:

$$\eta = \left( \frac{1}{g} \times \frac{\partial \phi}{\partial t} \right)_{z=0}$$

Si ottiene:

$$\eta = \frac{H}{2} \varphi(r, \alpha) e^{i \left[ \rho(r, \alpha) - \sigma - \frac{\pi}{2} \right]}$$

L'altezza d'onda diffratta è, quindi, proporzionale a quella incidente per tramite del modulo di una funzione complessa ed è sfasata rispetto all'onda incidente di una quantità che dipende dall'argomento della funzione complessa stessa  $\varphi(r, \alpha)$ .

Espressione della funzione complessa fu fornita da Sommerfield per l'ottica ed estesa da Penney e Price alle onde liquide monocromatiche; la soluzione della suddetta funzione complessa richiede l'uso degli integrali di Fresnel e l'introduzione di variabili ausiliarie.

Il caso particolare del porto di Santo Stefano di Camastra verrà affrontato mediante il ricorso ad un modello numerico basato sulle considerazioni teoriche dianzi esposte.

## 4.2 ANALISI DEI RISULTATI

Utilizzando il modello matematico esposto al precedente paragrafo, è stato analizzato il fenomeno della diffrazione per il lay - out di progetto prescelto del porto di Santo Stefano di Camastra, procedendo alla simulazione di un'ampia casistica.

Il modello, come detto, assume la teoria lineare di Airy e considera la profondità dell'acqua costante, nonché le strutture di difesa con spessore trascurabile rispetto alle altre dimensioni lineari in gioco.

onde che aggirano l'ostacolo e penetrano all'interno del bacino portuale e, dall'altro lato, le condizioni di massima mobilità ammissibili per i natanti in relazione alla effettiva possibilità che siano svolgibili, senza incorrere in condizioni di pericolo, le operazioni alle quali i natanti stessi sono destinati e che, essenzialmente dipendono dal tipo di mezzo marittimo, nonché dalla stessa natura delle operazioni che detto mezzo è chiamato a svolgere.

Sotto questo profilo si evidenzia fin d'ora che il natante possiede sei gradi di libertà e che il suo moto viene assimilato a quello di un corpo rigido e, pertanto, descritto attraverso la traiettoria del suo baricentro; i sei gradi di libertà vengono definiti, come è ovvio, da tre coordinate lineari e da tre angolari.

In questa sede interessa verificare, in particolare, che le massime escursioni della superficie libera in prossimità dell'accosto siano inferiori al sussulto consentito al natante per lo svolgimento delle proprie funzioni.

Il primo passo consiste nel calcolare, utilizzando i valori medi del coefficiente di diffrazione, le altezze d'onda diffratte nella zona destinata all'accosto, a partire dalle altezze d'onda sottocosta. Le altezze d'onda sottocosta sono state, quindi, suddivise in 18 classi: le prime due con scansione di 0,25 m e le altre con scansione di 0,50 m per tutte le direzioni di provenienza, ottenendo così, una matrice (tabella 4.2). Gli elementi matriciali rappresentano la percentuale degli eventi per ogni classe di altezza e direzione. A questo punto ad ogni estremo superiore di  $H_s$  è stato accoppiato un periodo di picco,  $T_p$ , mediante la seguente relazione, già utilizzata nell'ambito dello studio idraulico marittimo, in modo tale che la corrispondenza tra altezza d'onda incidente e coefficiente di diffrazione risulti univocamente determinata:

$$T_p = a H_s^{0,5}$$

dove, nella fattispecie, per  $a$  si assume il valore di 4.47.

Si è, quindi, passati a costruire una seconda matrice nella quale ogni elemento non è più un numero puro, come nella matrice precedente, ma ha le dimensioni di una lunghezza in quanto rappresenta l'altezza d'onda diffratta (tabelle 4.3). A tale scopo gli estremi superiori delle classi di altezza d'onda sono stati moltiplicati per il valore medio del coefficiente di diffrazione corrispondente al periodo associato, in precedenza, ad ogni estremo superiore dell'altezza.

Successivamente, è stata costruita una terza matrice identica alla prima escludendo le percentuali degli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda diffratta superiore al valore limite imposto dall'AIPCN; sommando gli elementi di tale matrice si ottiene la percentuale dei casi in cui lo specchio liquido risulta agibile.



## **CAPITOLO 5 – VERIFICA DI STABILITA' IDRAULICA DELLA MANTELLATA**

### **5.1 - INTRODUZIONE**

Le opere di difesa in progetto si estendono fino a fondali aventi profondità di 6.50 m, con riguardo alla testata della diga di sottoflutto, e di 8.00 m per ciò che concerne la diga di sopraflutto.

Per motivi di matrice ambientale, la mantellata sommersa sarà realizzata in massi artificiali e quella emersa in scogli naturali; i primi inducono la rottura dell'onda incidente che, pertanto, non può attaccare gli scogli della mantellata emersa se non dopo una considerevole dissipazione energetica. L'opera di protezione, pertanto, nella sua parte foranea sarà costituita da massi parallelepipedi da 30 t posti dal piano del fondo fino a - 0.50 m e da scogli di 4<sup>a</sup> categoria, del peso singolo da 7 t a 10 t, a partire da tale quota fino alla sommità.

Verranno, quindi, condotte le verifiche di stabilità separatamente per le due parti di mantellata, principiando dalla parte sommersa, e completando lo studio per la parte emersa. Nel Capitolo 3 è stato condotto lo studio idraulico marittimo volto alla determinazione dell'altezza d'onda che per assegnato tempo di ritorno può verificarsi sottocosta.

### **5.2 - DETERMINAZIONE DELL'ONDA DI PROGETTO PER LA MANTELLATA**

Per la verifica di stabilità della mantellata si adotterà l'altezza d'onda risultante dallo studio statistico delle onde estreme sottocosta: infatti, lo studio del fenomeno del frangimento ha mostrato che il molo foraneo del porto si colloca oltre la linea dei frangenti, per tutte le direzioni esaminate eccetto una caratterizzata da elevato tempo di ritorno. Si può ritenere, pertanto, che l'onda investirà la mantellata del molo con tutta l'energia posseduta senza dissiparla nei moti turbolenti che insorgono in seno alla massa liquida durante il fenomeno del frangimento.

Il Decreto del Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti del 14 settembre 2005 "*Norme tecniche per le Costruzioni*" fissa in 500 anni il tempo di ritorno da assumere per il dimensionamento delle opere marittime destinate alla difesa del moto ondoso; tuttavia, poiché, al momento, i termini di entrata in vigore del suddetto decreto sono stati prorogati al 31/12/2007, qui di seguito verrà effettuata la verifica di stabilità con riferimento alle onde di altezza pari a 6.41 m associate, come già detto, ad un tempo di ritorno pari a 100

$K_D$  rappresenta il coefficiente di stabilità, variabile in funzione del grado di danneggiamento<sup>17</sup>, facilmente reperibile in letteratura e qui assunto pari a 5.

Come è noto esistono tabelle sufficientemente vaste ed articolate per la valutazione del coefficiente  $K_D$ ; la maggior parte di esse si riferisce, tuttavia, a condizioni di onde regolari.

Da quanto sopra, risolvendo l'equazione in funzione di  $H_s$  si trae la conclusione che la stabilità della mantellata sommersa, per valori di altezza d'onda significativa di 6.41 m, è assicurata per elementi del peso singolo pari a circa 30 tonnellate.

Con lo scopo di affinare il processo di verifica, si indichi con  $p$  la porosità della mantellata, usualmente compresa fra 0,30 e 0,50 e qui posta pari a 0.40. Sia  $D_n$  la dimensione lineare caratteristica dei blocchi, detta diametro nominale, assunta pari al lato del cubo di peso pari al blocco della mantellata stessa. Il semplice calcolo porge nel caso in esame  $D_n = 2.35$  m. Con riferimento all'altezza d'onda significativa Van der Meer ha fornito per opere a gettata in massi artificiali la seguente espressione per il calcolo del numero di elementi dislocati,  $N_o$ , in una larghezza pari al diametro nominale,  $D_n$ :

$$\frac{H_s}{\Delta D_n} = \left( 6.7 \cdot \frac{N_o^{0.4}}{O^{0.3}} + 1.0 \right) \cdot s_m^{-0.1}$$

dove  $O$  è il numero di onde e  $s_m$  è la ripidità dell'onda.

Il calcolo condotto per massi da 30 t e per onde di altezza pari a 6.41 m porge un valore di  $N_o$  pari a 0,59. Tale valore sta ad indicare che, sotto l'incalzare della mareggiata con altezza pari a 6.41 m, si spostano circa il 5,0% dei massi.

#### 5.4 - DETERMINAZIONE DEL PESO DEL BLOCCO DELLA MANTELLATA EMERSA

Al fine di verificare le condizioni di equilibrio del blocco prescelto per la formazione della mantellata emersa della diga foranea si fa nuovamente ricorso alla formula di Hudson, descritta nel paragrafo 5.3.

Assumendo in questo caso:

$P$  peso del blocco di mantellata, posto pari a 8 t;

$\Delta = (\gamma_c / \gamma_w)$ , con  $\gamma_c$  il peso specifico del blocco (2500 kg/m<sup>3</sup>) e  $\gamma_w$  quello dell'acqua (1000 kg/m<sup>3</sup>);

<sup>17</sup> Nella formula di Hudson il grado di danneggiamento, definito dalla misura della quota parte dei massi che formano la mantellata dislocati sotto l'azione dell'altezza d'onda di progetto, è pari al 5%.

$$\frac{H_s}{\Delta D_n} = 1,0 \cdot (p)^{-0,13} \cdot \left( \frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0,2} \cdot \xi_m^p \cdot \sqrt{\cot g \alpha}$$

nel caso di frangenti tipo *surging*, da utilizzare per  $\xi_m \geq 3,5$ .

Nell'intervallo di  $\xi_m$  compreso tra 2,5 e 3,5 si adotterà la relazione che fornisce il valore minore del numero di stabilità,  $H_s / \Delta D_n$ .

Se il grado di danneggiamento, o livello di danno, S, dovesse raggiungere il valore pari a 2 si avrebbe la condizione di danno incipiente; il precitato valore è da assumere per inclinazioni fino a  $\cot g \alpha = 3$ , e se il livello di danno sale a 3 devono aversi valori di  $\cot g \alpha > 3$ . Di contro, se il valore di S fosse pari ad 8 si registrerebbe il collasso della mantellata, avendosi in tal caso l'esposizione all'attacco diretto del moto ondoso dello strato di transizione sottostante la mantellata stessa.

Per il caso che qui interessa, le equazioni sopra riportate sono state risolte iterativamente ponendo come incognita il grado di danneggiamento S. Orbene, il calcolo in questione porta a concludere che S, per massi da 8 t, vale 1.0 per onde di altezza pari a 3.80 m. Il grado di danneggiamento determinato è tale da comportare l'erosione di 2.20 m<sup>2</sup> del profilo trasversale attorno al livello medio del mare. Il senso di quanto sopra è che, sotto l'incalzare della mareggiata con altezza pari a circa 4.0 m, si spostano circa il 5,0% dei massi.

Il consulente

Prof. Ing. G. Mallandrino

## TABELLE

~~Tabella 3.2- Distribuzione del clima dbnda al largo annuale per classi di He direzione di provenienza~~

Hs (m)	0	0.25	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	>8.00	TOT
dir. (°N)	0.25	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8		
0	6113	1149	758	291	111	57	30	12	7	3	0	0	1	0	0	0	0	0	8532
15	5491	882	584	188	36	10	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	7194
30	1003	184	107	41	5	3	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1345
45	859	188	106	29	5	5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1193
60	7923	1582	733	143	34	5	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10422
75	4150	787	274	24	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5244
90	6549	996	312	41	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	7907
105	3664	443	110	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4222
120	6615	861	177	14	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7674
135	980	209	62	11	4	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1270
150	285	65	23	13	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	392
165	285	71	39	10	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	411
180	222	47	18	5	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	295
195	249	55	23	6	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	339
210	299	66	29	6	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	406
225	334	93	47	8	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	487
240	262	67	31	13	6	1	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	383
255	313	73	46	14	4	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	454
270	3667	1228	286	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5185
285	5935	2321	751	43	6	5	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	9063
300	8050	3849	2484	451	83	16	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14936
315	6287	2355	2091	763	393	148	78	39	22	8	1	1	2	1	0	0	0	0	12189
330	5355	1776	1522	728	318	165	66	39	14	17	9	8	0	2	1	0	0	0	10020
345	6841	1443	1205	455	195	84	48	21	14	8	5	1	2	0	2	0	0	0	10324
TOT.	81731	20790	11818	3306	1233	517	234	116	59	38	17	10	5	5	8	0	0	0	119887

Enti definiti: 21459

Tabella 3.2- Distribuzione del clima dbnda al largo annuale per classi di He direzione di provenienza

TEMPO DI RITORNO	GUMBEL		WEI (.75)		WEI(1.0)		WEI(1.4)		WEI(2.0)	
	Hs	Ic	Hs	Ic	Hs	Ic	Hs	Ic	Hs	Ic
1	3.496	0.196	3.211	0.317	3.401	0.322	3.529	0.240	3.611	0.220
2	4.035	0.260	3.822	0.473	4.055	0.496	4.122	0.334	4.133	0.293
5	4.710	0.362	4.727	0.730	4.932	0.793	4.836	0.491	4.720	0.413
10	5.209	0.451	5.469	0.958	5.606	1.064	5.344	0.631	5.118	0.520
15	5.499	0.508	5.924	1.104	6.004	1.240	5.630	0.722	5.337	0.589
20	5.704	0.550	6.254	1.213	6.288	1.372	5.830	0.790	5.488	0.640
25	5.863	0.584	6.514	1.301	6.510	1.479	5.984	0.845	5.602	0.681
50	6.356	0.695	7.346	1.588	7.204	1.834	6.451	1.025	5.946	0.815
100	6.847	0.815	8.208	1.899	7.908	2.222	6.907	1.221	6.276	0.961
150	7.135	0.890	8.726	2.091	8.324	2.464	7.169	1.343	6.463	1.051
250	7.497	0.987	9.390	2.344	8.852	2.785	7.496	1.503	6.694	1.169
500	7.988	1.126	10.313	2.705	9.578	3.247	7.934	1.733	7.000	1.338
1000	8.479	1.273	11.258	3.085	10.312	3.739	8.366	1.976	7.299	1.516

A: 0.712 0.557 0.915 1.385 1.937

B: 2.545 2.292 2.04 1.692 1.237

r: 0.994 0.965 0.993 0.996 0.981

Hs altezza significativa in m

Ic intervallo di confidenza in m

**Tabella 3.4 - Eventi estremi al largo di S. Stefano di Camastra**



TEMPO DI RITORNO	GUMBEL		WEI (.75)		WEI(1.0)		WEI(1.4)		WEI(2.0)	
	Hs	Ic	Hs	Ic	Hs	Ic	Hs	Ic	Hs	Ic
1	2.901	0.201	2.718	0.264	2.779	0.261	2.871	0.242	2.969	0.224
2	3.483	0.258	3.213	0.405	3.407	0.411	3.540	0.347	3.629	0.290
5	4.157	0.361	3.988	0.665	4.252	0.703	4.309	0.544	4.311	0.411
10	4.641	0.455	4.639	0.908	4.902	0.985	4.846	0.732	4.758	0.525
15	4.920	0.515	5.040	1.067	5.287	1.173	5.149	0.855	5.002	0.600
20	5.117	0.560	5.332	1.187	5.563	1.317	5.359	0.949	5.169	0.656
25	5.269	0.597	5.563	1.283	5.777	1.434	5.521	1.025	5.296	0.701
50	5.739	0.718	6.301	1.605	6.452	1.826	6.013	1.278	5.676	0.852
100	6.208	0.851	7.067	1.957	7.137	2.261	6.495	1.557	6.042	1.017
150	6.482	0.933	7.526	2.176	7.542	2.535	6.773	1.731	6.250	1.119
250	6.827	1.042	8.116	2.466	8.058	2.899	7.120	1.963	6.507	1.255
500	7.295	1.198	8.934	2.882	8.768	3.428	7.588	2.296	6.850	1.450
1000	7.762	1.363	9.769	3.323	9.489	3.995	8.052	2.652	7.186	1.657

A: 0.693 0.538 0.887 1.348 1.893

B: 2.600 2.356 2.110 1.768 1.319

r: 0.986 0.944 0.979 0.989 0.979

Hs altezza significativa in m

Ic intervallo di confidenza in m

**Tabella 3.6 - Eventi estremi al largo di Santo Stefano di Camastra provenienti dal settore 330°N - 30°N**

TABELLA DIREZIONALE ALTEZZA DONDA - ANNUALE  
Distribuzione percentuale del clima d'onda per classi di Hs e direzione di provenienza

Hs (m)	0	0.25	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	>8.00	TOT
dir. (°N)	0.25	0.9	0.68	0.26	0.13	0.08	0.04	0.02	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.57
0	2.44	0.73	0.53	0.12	0.03	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.89
15	2.47	0.17	0.08	0.03	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.85
30	0.56	1.31	0.66	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.96
45	3.91	1.02	0.17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.13
60	13.94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
165	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
195	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
225	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
255	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
270	0.13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.13
285	3.05	0.27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.32
300	6.27	3.61	0.37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.25
315	5.05	3.32	2.31	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.71
330	2.67	1.73	1.95	0.72	0.15	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.23
345	2.89	1.26	1.42	0.73	0.32	0.17	0.07	0.03	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.91
TOT.	43.38	14.32	8.17	1.97	0.64	0.27	0.11	0.05	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	68.95

Eventi indefiniti: 32.05

Tabella3.8 -*Distribuzione percentuale del clima d'onda sottocosta annuale per classi di Hs e direzione di provenienza*

Dir. al largo	Tr	H0	T0	H sottocosta	T sottocosta	Dir. sottocosta	hb
Nord	25	5.27	9.2	5.1	9.8	4	6.6
Nord Ovest	25	5.31	9.2	3.7	9.8	342	4.8
Nord	100	6.21	10.0	6.2	11.4	4	7.9
Nord Ovest	100	6.30	10.0	4.4	9.8	344	5.7

**Tabella 3.10** - Profondità di frangimento

Hs (m)	0	0.125	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2	2.25	2.5	3	3.25	3.5	3.75	4	4.25	4.5	5	5.25	5.5	5.75	6	6.25	6.5	6.75	7	7.25	7.5	7.75	8	7.5 >8.00	
dir.(°N)	0	0.005	0.015	0.030	0.050	0.070	0.090	0.110	0.125	0.140	0.155	0.170	0.185	0.200	0.215	0.230	0.245	0.260	0.275	0.290	0.305	0.320	0.335	0.350	0.365	0.380	0.395	0.410	0.425	0.440	0.455	0.470	0.485	0.500
15	0	0.005	0.015	0.030	0.050	0.070	0.090	0.110	0.125	0.140	0.155	0.170	0.185	0.200	0.215	0.230	0.245	0.260	0.275	0.290	0.305	0.320	0.335	0.350	0.365	0.380	0.395	0.410	0.425	0.440	0.455	0.470	0.485	0.500
30	0	0.005	0.015	0.030	0.050	0.070	0.090	0.110	0.125	0.140	0.155	0.170	0.185	0.200	0.215	0.230	0.245	0.260	0.275	0.290	0.305	0.320	0.335	0.350	0.365	0.380	0.395	0.410	0.425	0.440	0.455	0.470	0.485	0.500
45	0	0.018	0.054	0.108	0.180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	0	0.018	0.054	0.108	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
165	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
195	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
225	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
255	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
270	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
285	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
315	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
330	0.005	0.015	0.030	0.050	0.070	0.090	0.110	0.125	0.140	0.155	0.170	0.185	0.200	0.215	0.230	0.245	0.260	0.275	0.290	0.305	0.320	0.335	0.350	0.365	0.380	0.395	0.410	0.425	0.440	0.455	0.470	0.485	0.500	0.515
345	0.005	0.015	0.030	0.050	0.070	0.090	0.110	0.125	0.140	0.155	0.170	0.185	0.200	0.215	0.230	0.245	0.260	0.275	0.290	0.305	0.320	0.335	0.350	0.365	0.380	0.395	0.410	0.425	0.440	0.455	0.470	0.485	0.500	0.515
TOT.	0.061	0.183	0.366	0.430	0.350	0.360	0.220	0.220	0.345	0.398	0.451	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 4.3 - Altezze d'onda diffratte per il lay out prescelto - Zona 1

CONDIZIONE DI SICUREZZA

Hmax (m)	0.3
H5 (m)	4.398
Tp (s)	9

dir.(°N)	c	Hd	Verifica
0	0.053	0.23	SI
60	0.075	0.33	SI

CONDIZIONE DI SOPRAVVIVENZA

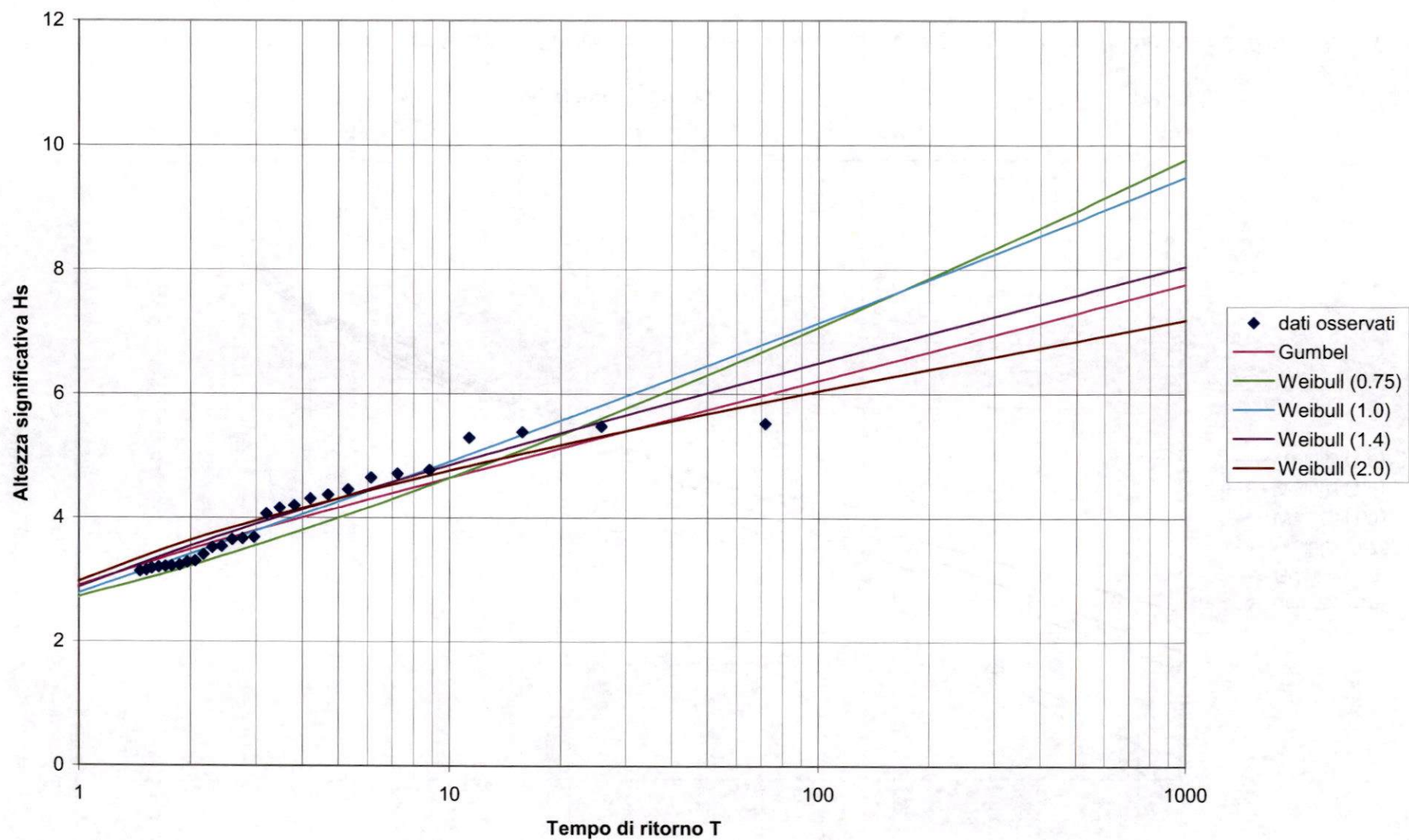
Hmax (m)	0.5
H50 (m)	5.947
Tp (s)	11

dir.(°N)	c	Hd	Verifica
0	0.078	0.46	SI
60	0.084	0.50	SI

c:            Coefficiente di agitazione medio

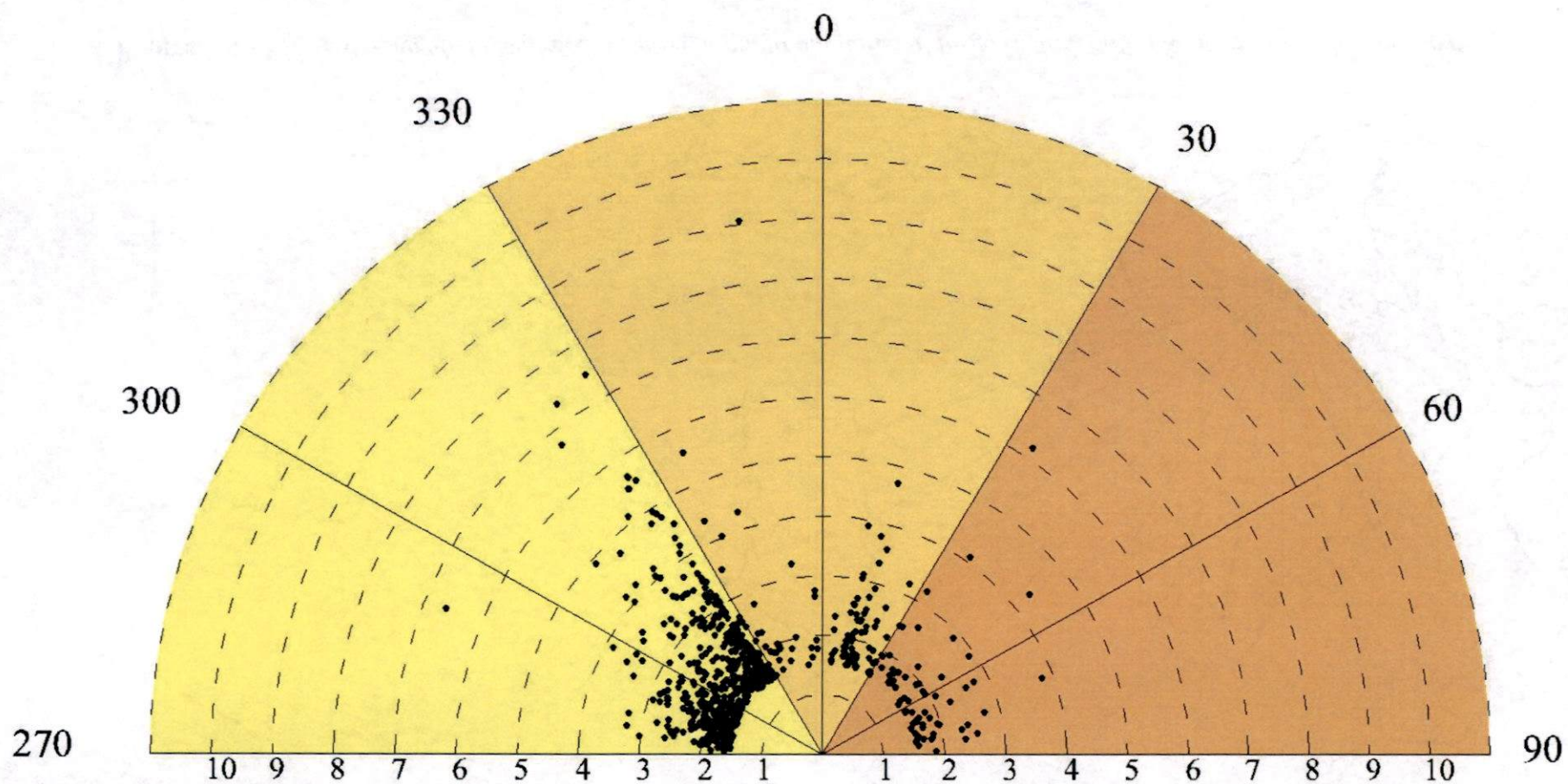
Hd:          Altezza d'onda diffratta (m)

**Tabella 4.5** - Lay out prescelto -Zona 1

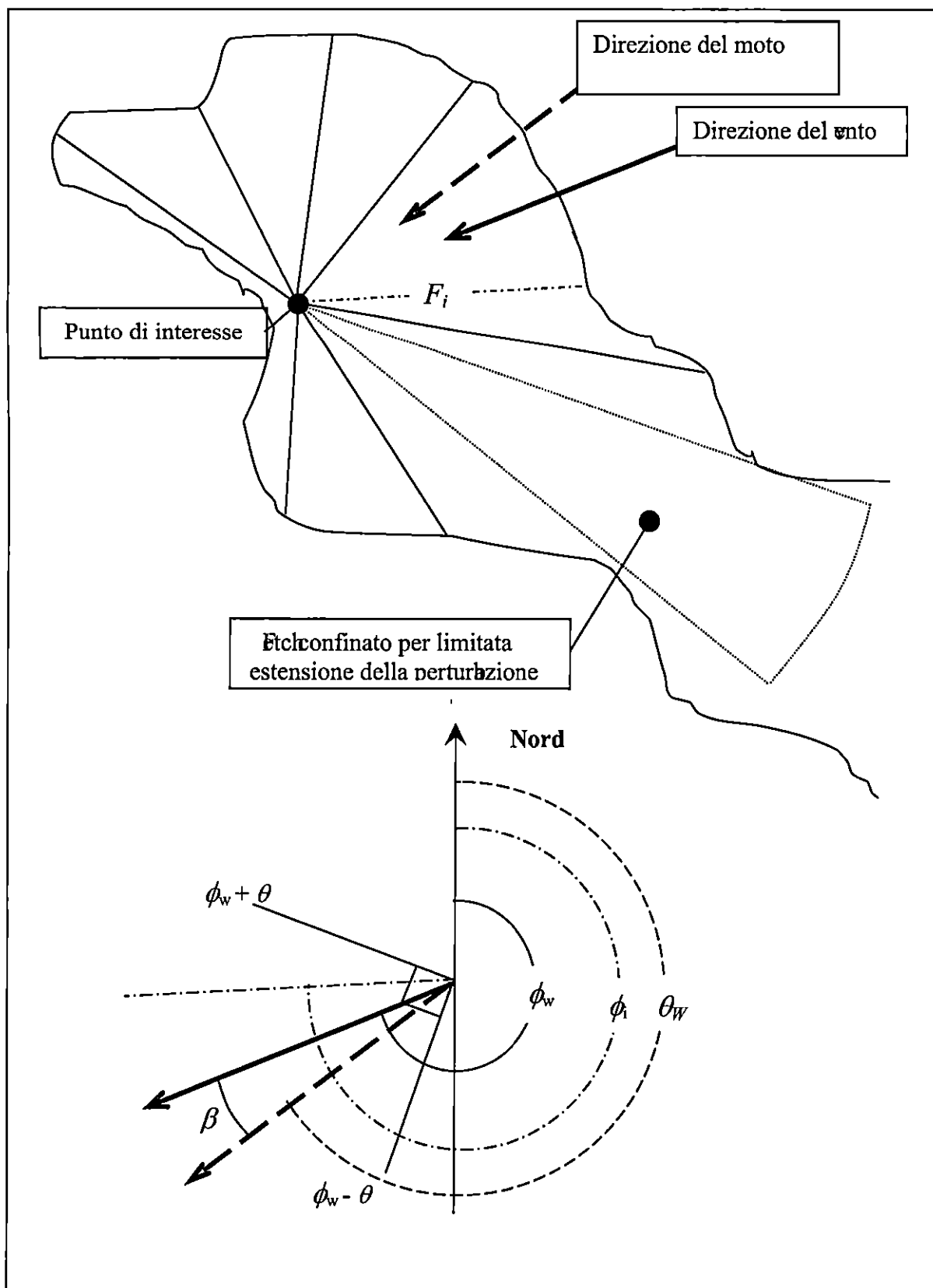


**Figura 3.7** - Valori dell'altezza d'onda significativa al largo per il settore di provenienza del moto ondoso di ampiezza  $330^\circ\text{N} - 30^\circ\text{N}$ , in funzione del tempo di ritorno secondo le leggi di Gumbel e Weibull.



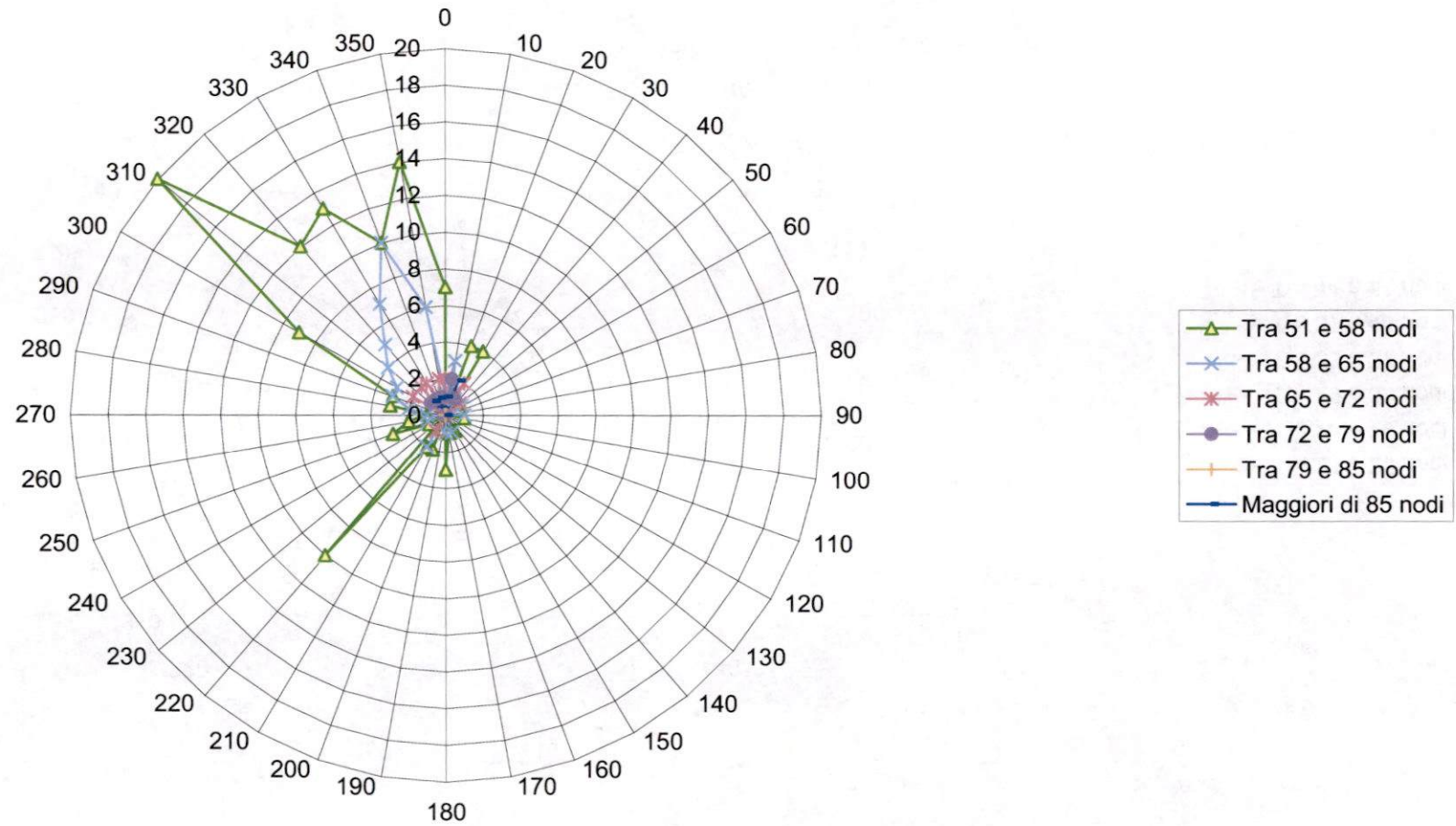


**Figura 3.5** – Mareggiate indipendenti al largo della località Santo Stefano di Camastra in funzione della direzione di provenienza



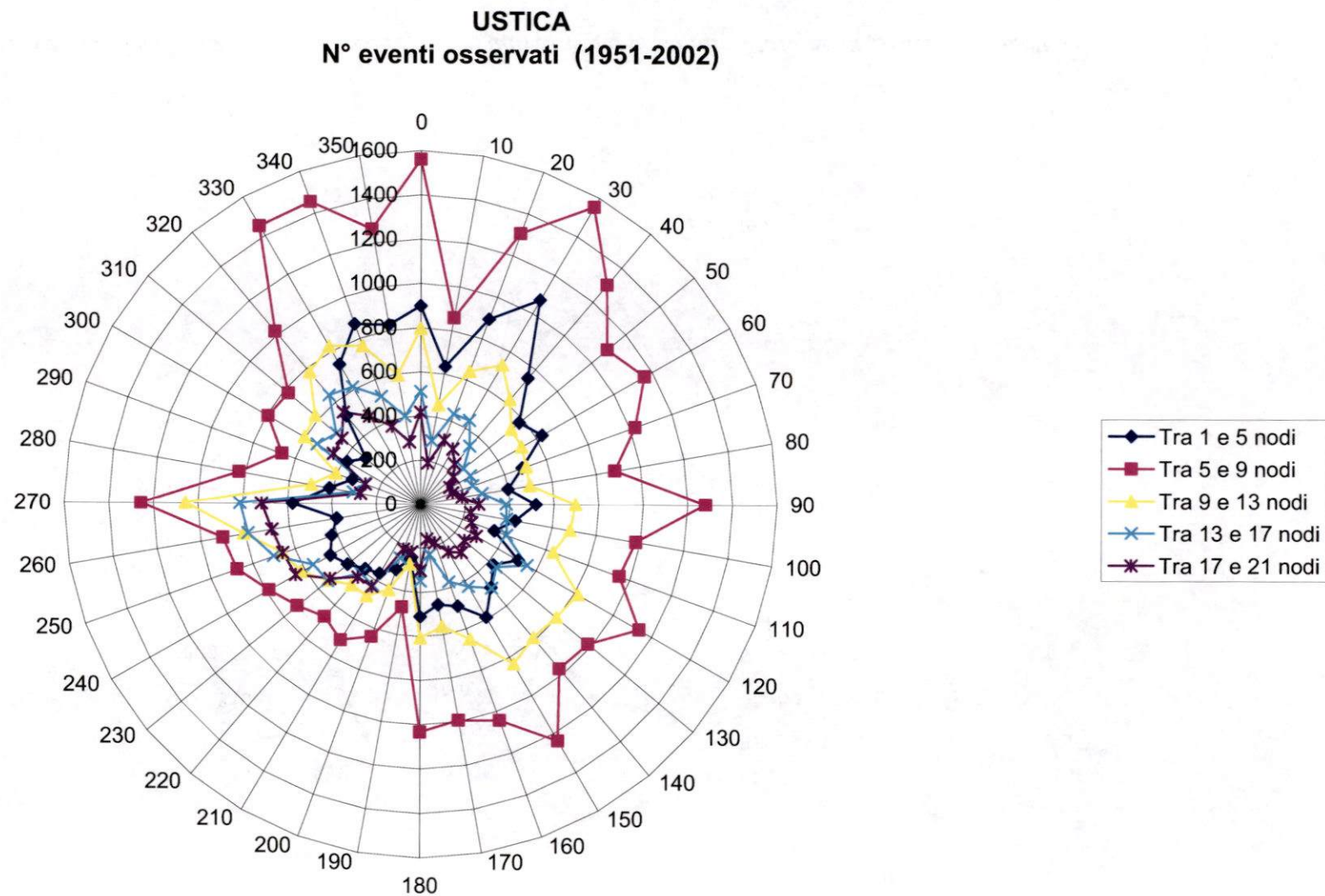
**Figura 3.3** – Definizioni fondamentali per il calcolo del fetch efficace.

**USTICA**  
**N° eventi osservati (1951-2002)**

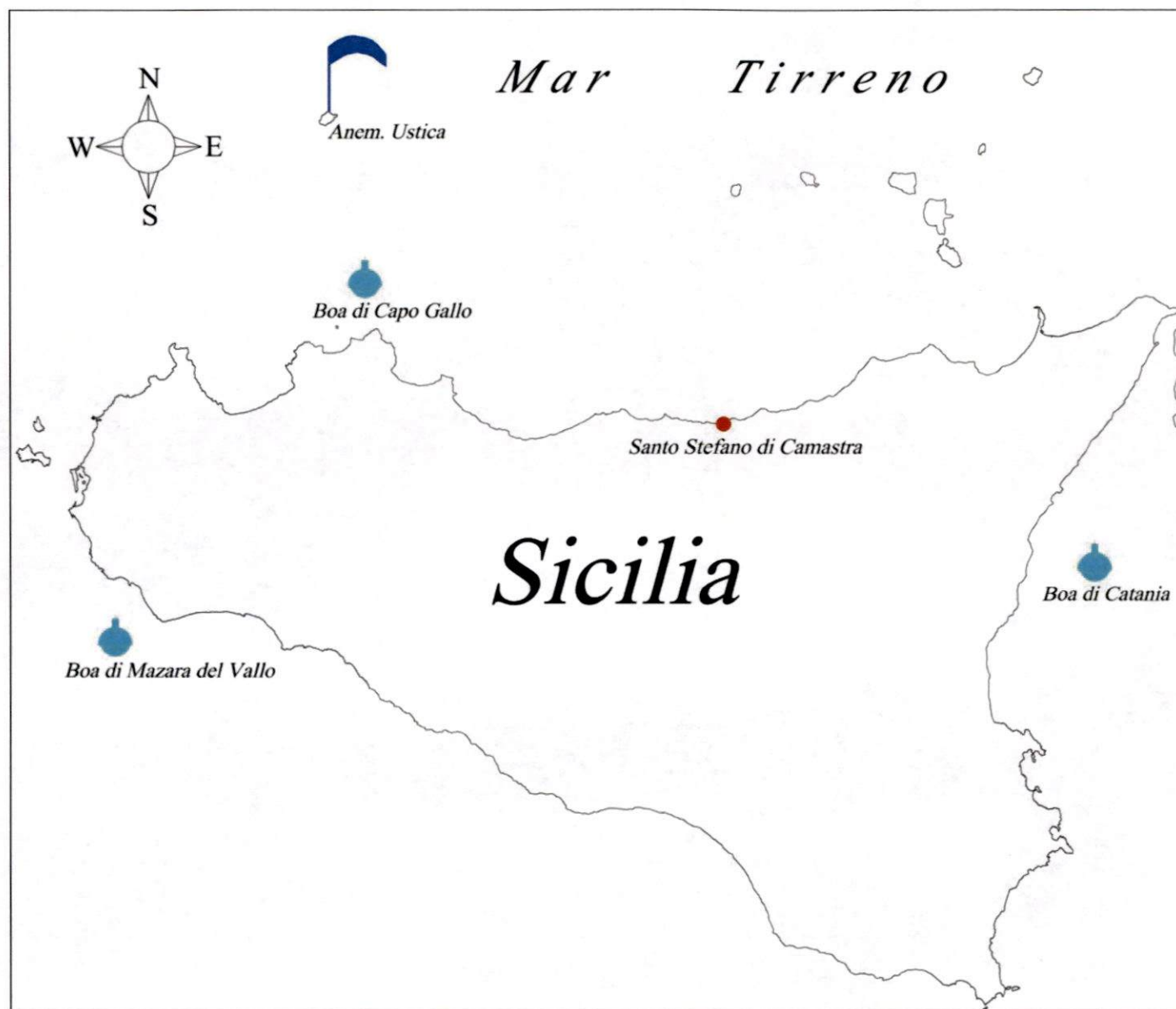


**Figura 2.5** -Distribuzione delle frequenze per classi di velocità del vento (Stazione di Ustica 1951-2002).



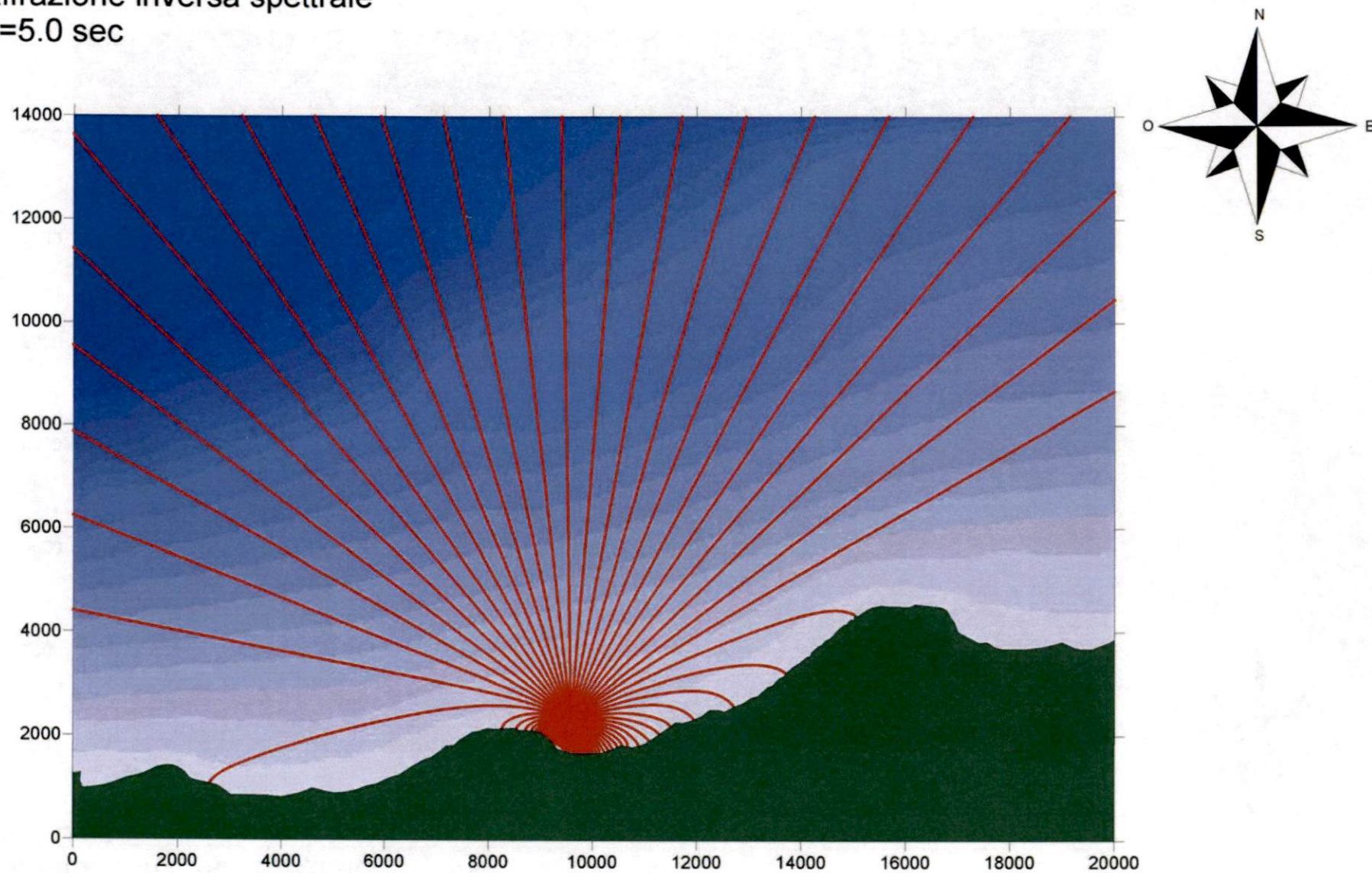


**Figura 2.3** -Distribuzione delle frequenze per classi di velocità del vento (Stazione di Ustica 1951-2002).



**Figura 2.1** - Ubicazione della Stazione anemometrica di Ustica

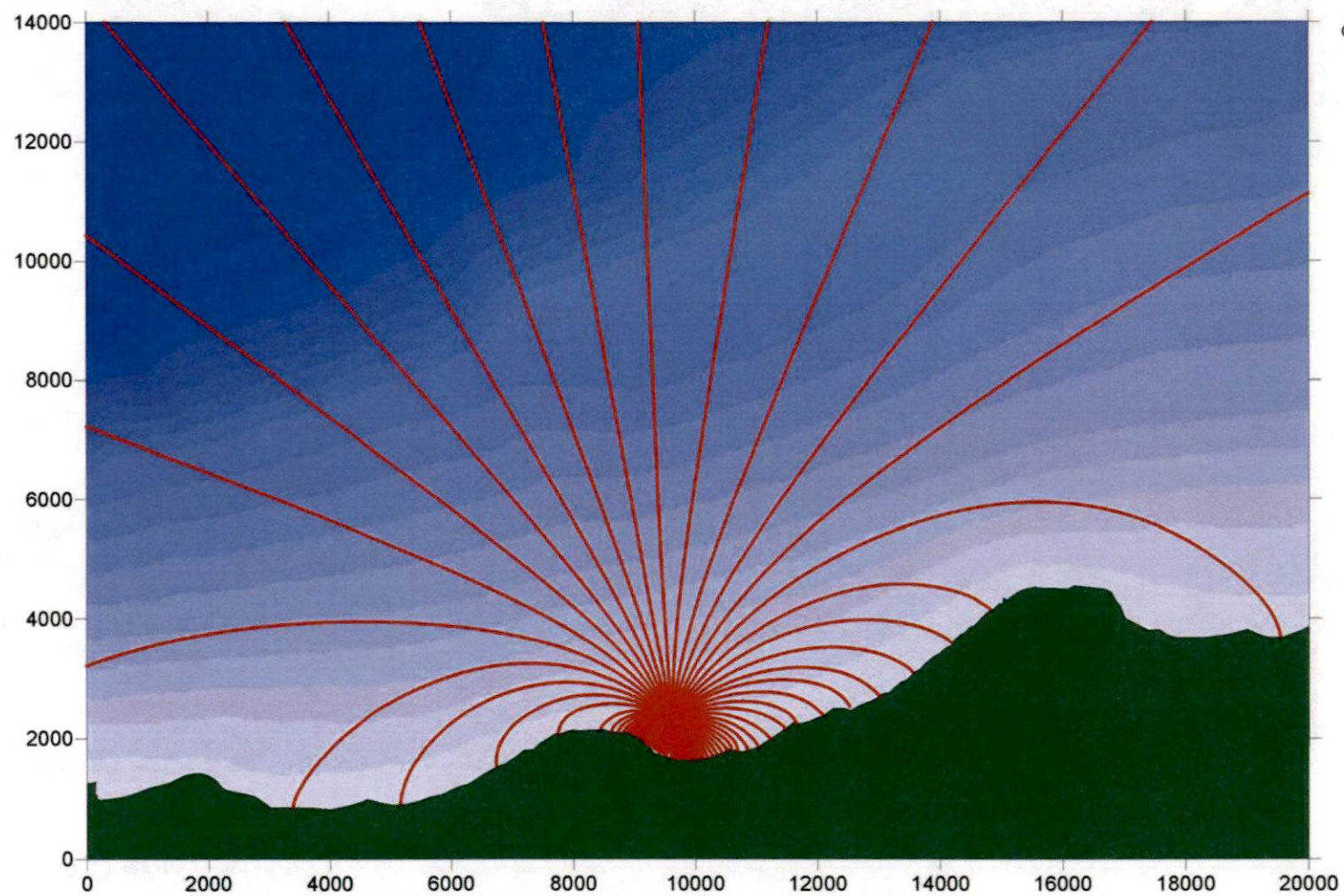
Rifrazione inversa spettrale  
 $T=5.0$  sec



**Figura 3.8** – *Rifrazione spettrale inversa, periodo 5 sec*

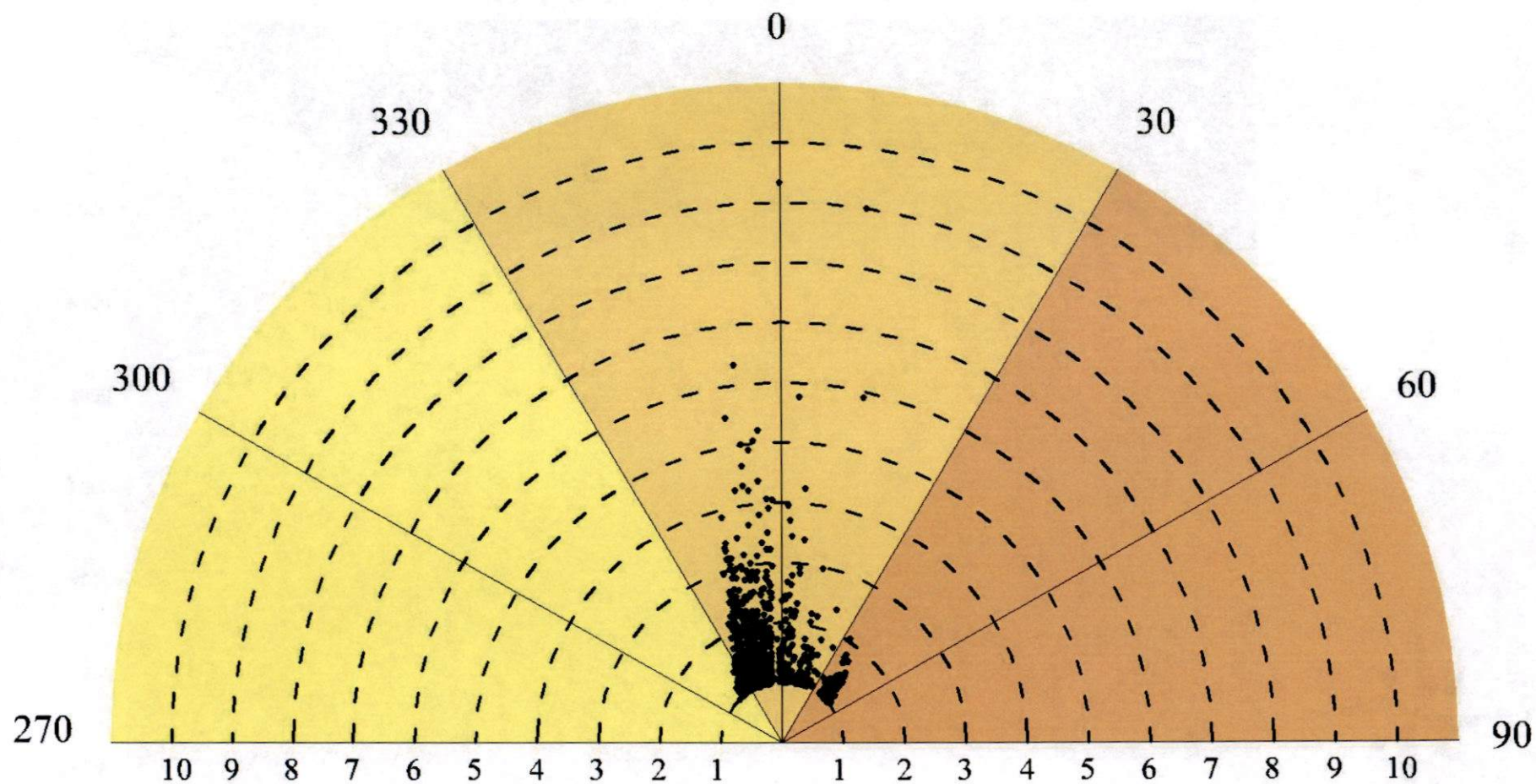


Rifrazione inversa spettrale  
 $T = 11.0 \text{ sec}$



**Figura 3.10** – *Rifrazione spettrale inversa, periodo 11 sec*

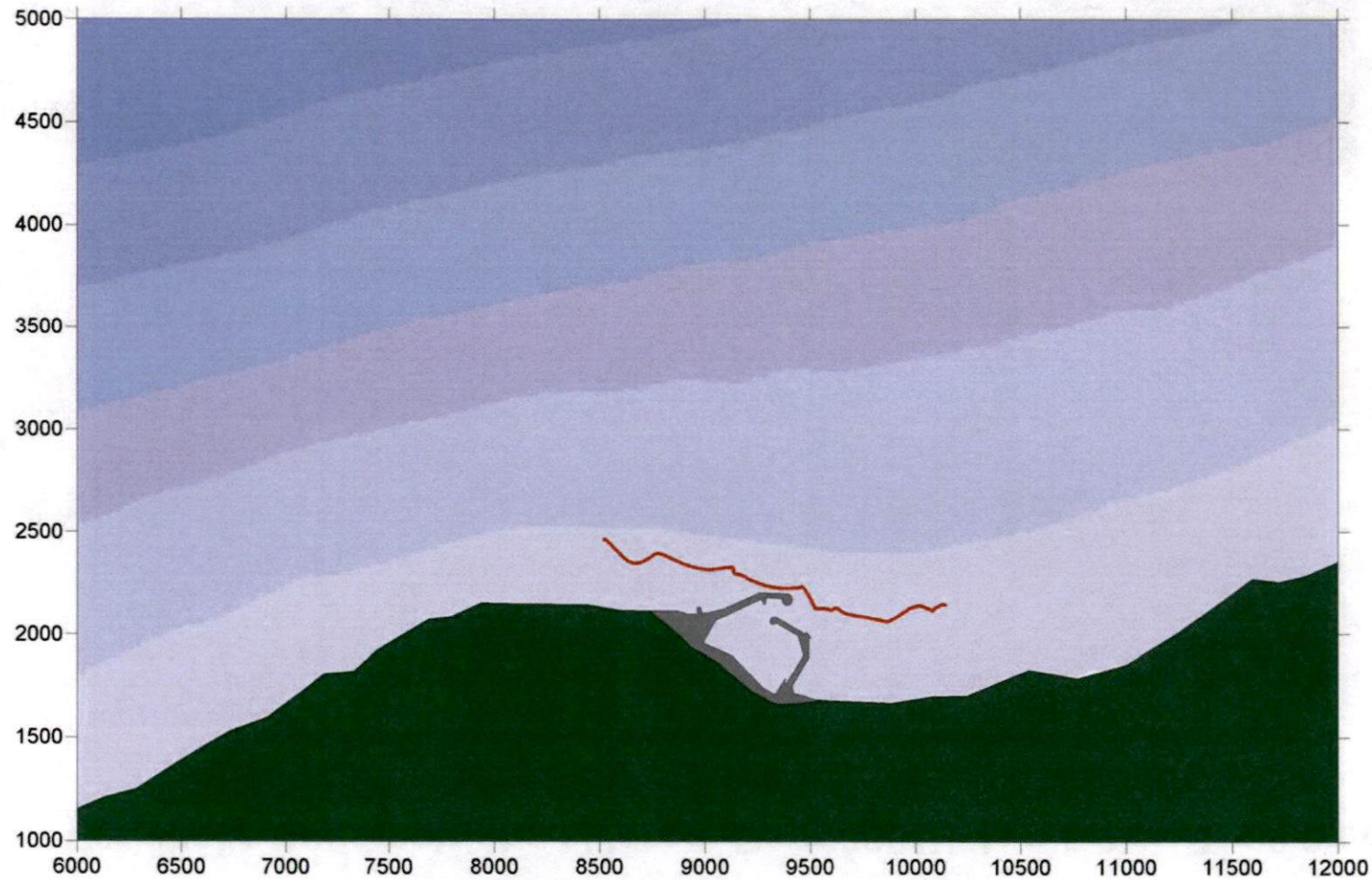




**Figura 3.12** – Mareggiate indipendenti sottocosta in funzione della direzione di provenienza

**Frangimento:  $T_r = 100$  anni;**

**Caratteristiche ondametriche al largo:  $Dir = 0^\circ N$ ;  $H = 6.0$  m;  $T = 10$  sec.**

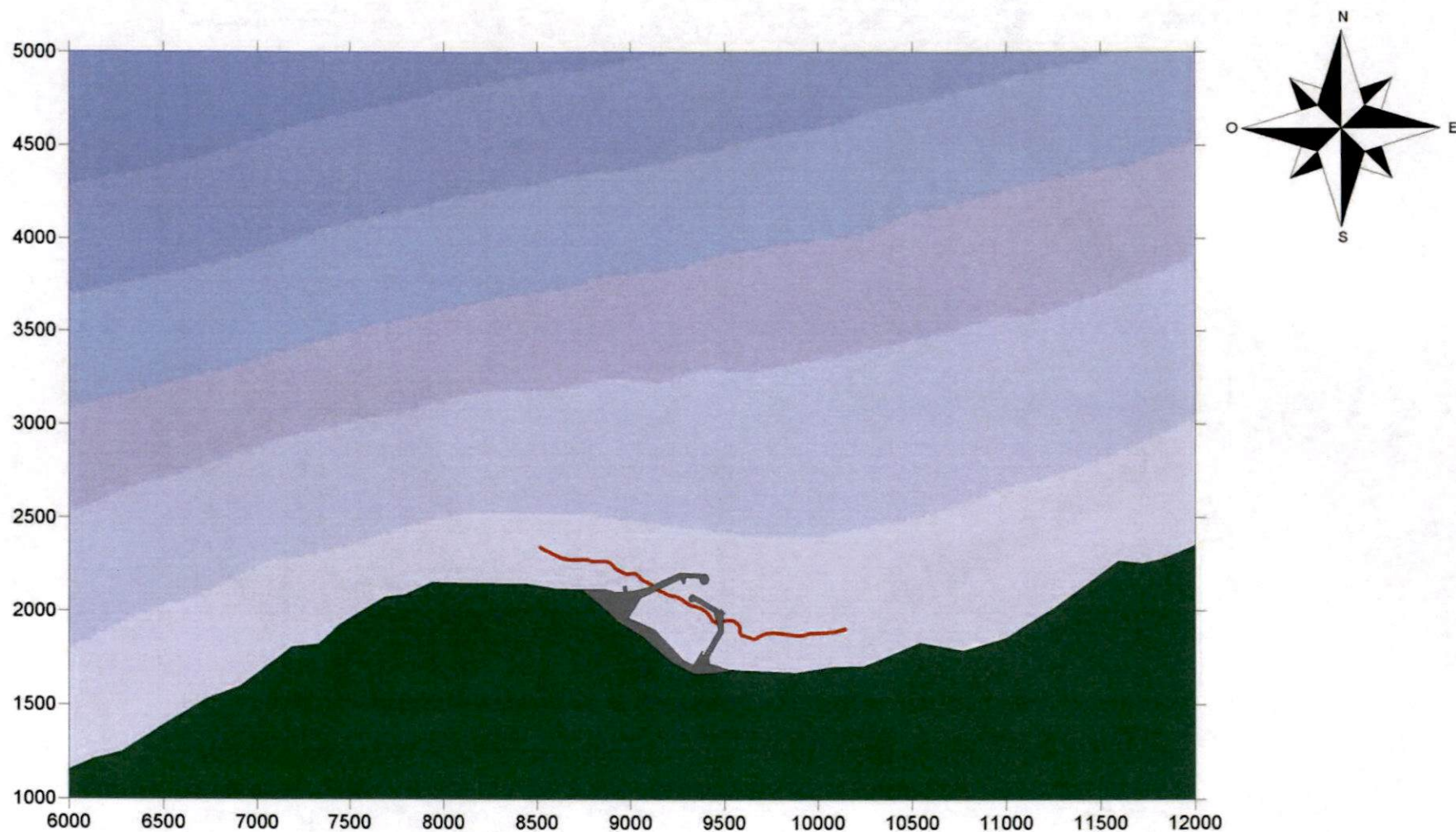


**Figura 3.14** – *Linea dei frangenti per eventi con tempo di ritorno 100 anni e direzione al largo  $0^\circ N$*

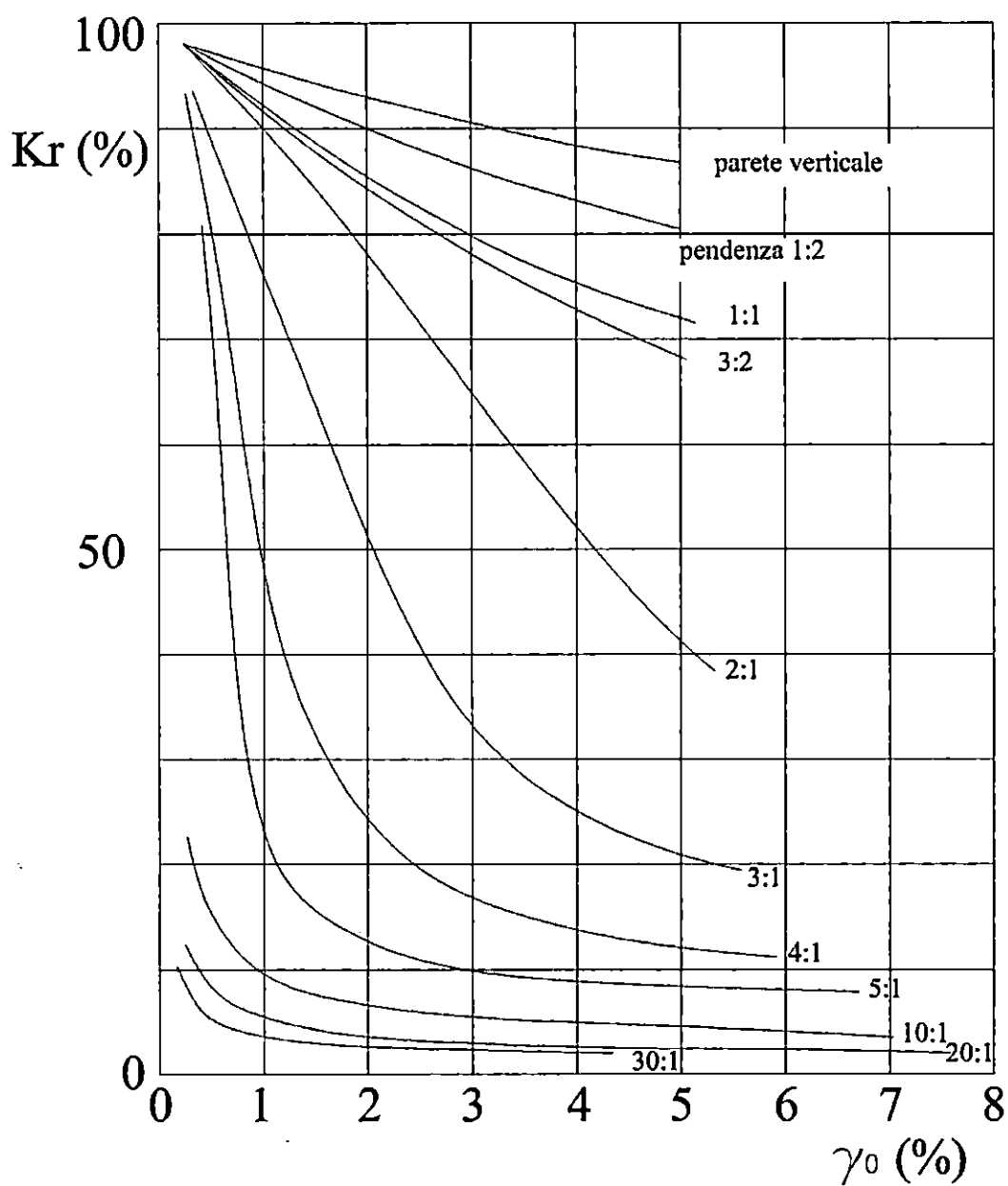


**Frangimento:  $T_r = 100$  anni;**

**Caratteristiche ondametriche al largo:  $Dir = 300^\circ N$ ;  $H = 6.0$  m;  $T = 10$  sec.**



**Figura 3.16** – *Linea dei frangenti per eventi con tempo di ritorno 100 anni e direzione al largo  $300^\circ N$*



**Figura 4.2** – Coefficiente di riflessione di un piano inclinato liscio di diversa pendenza in funzione della ripidità dell'onda incidente

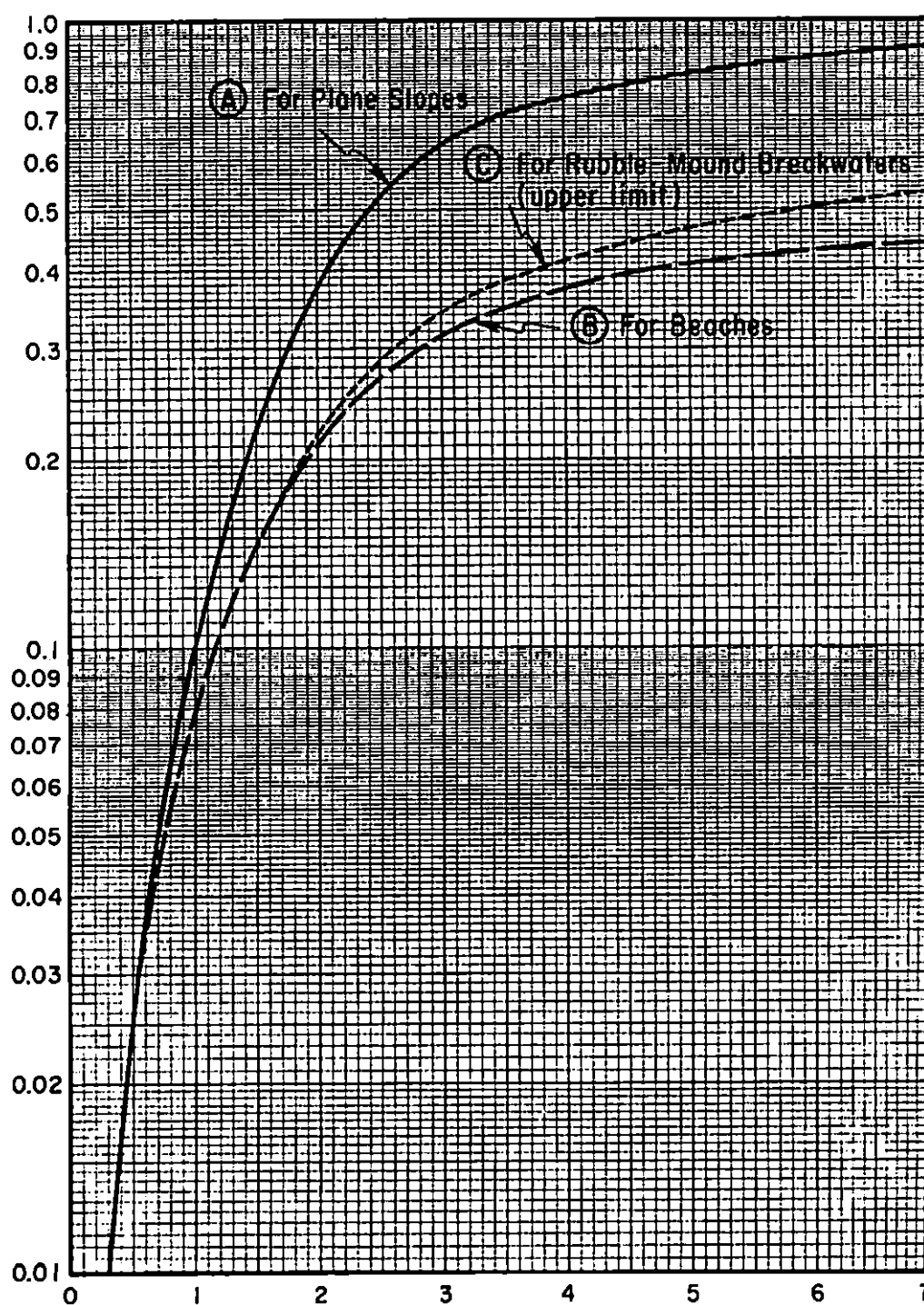
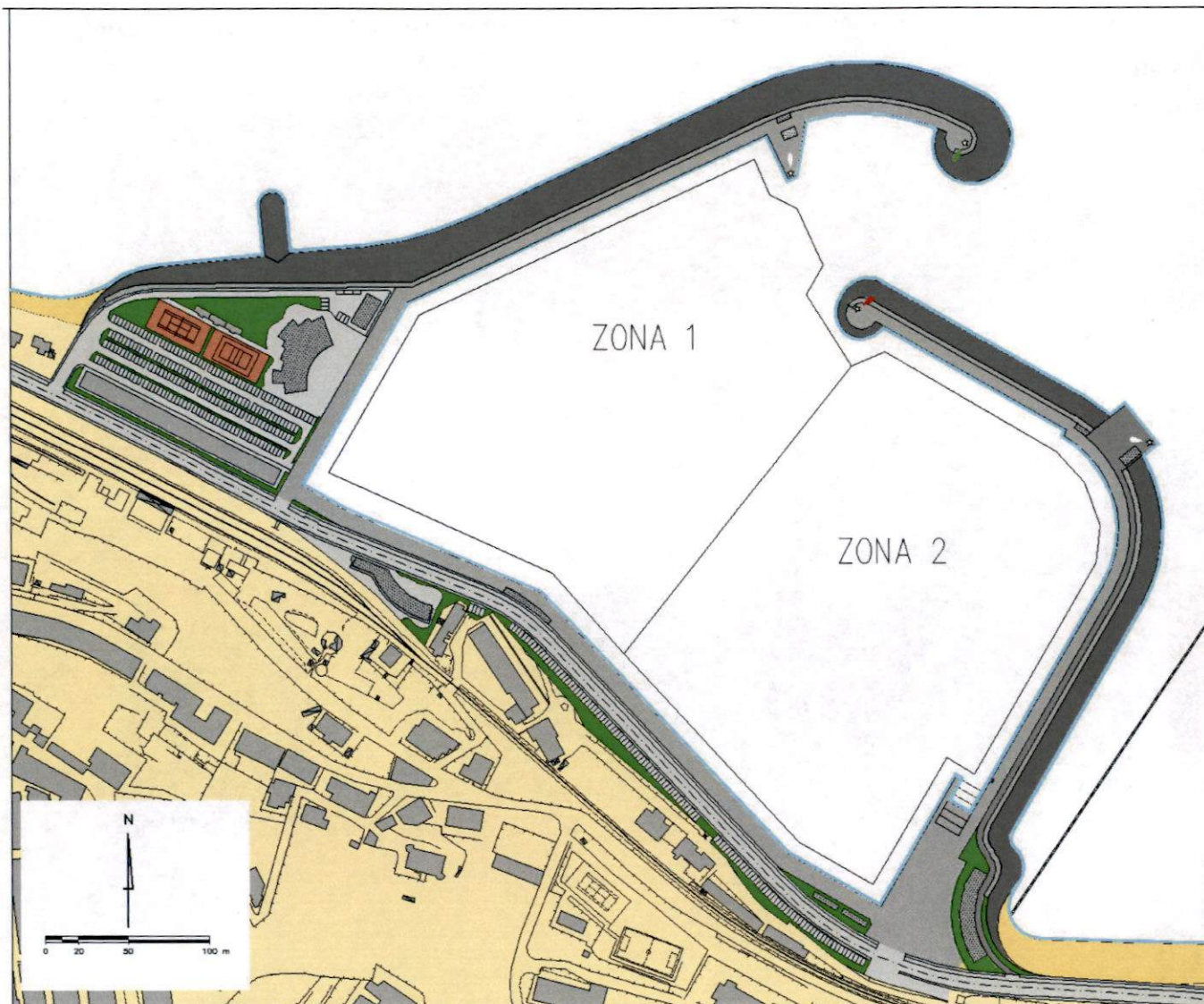
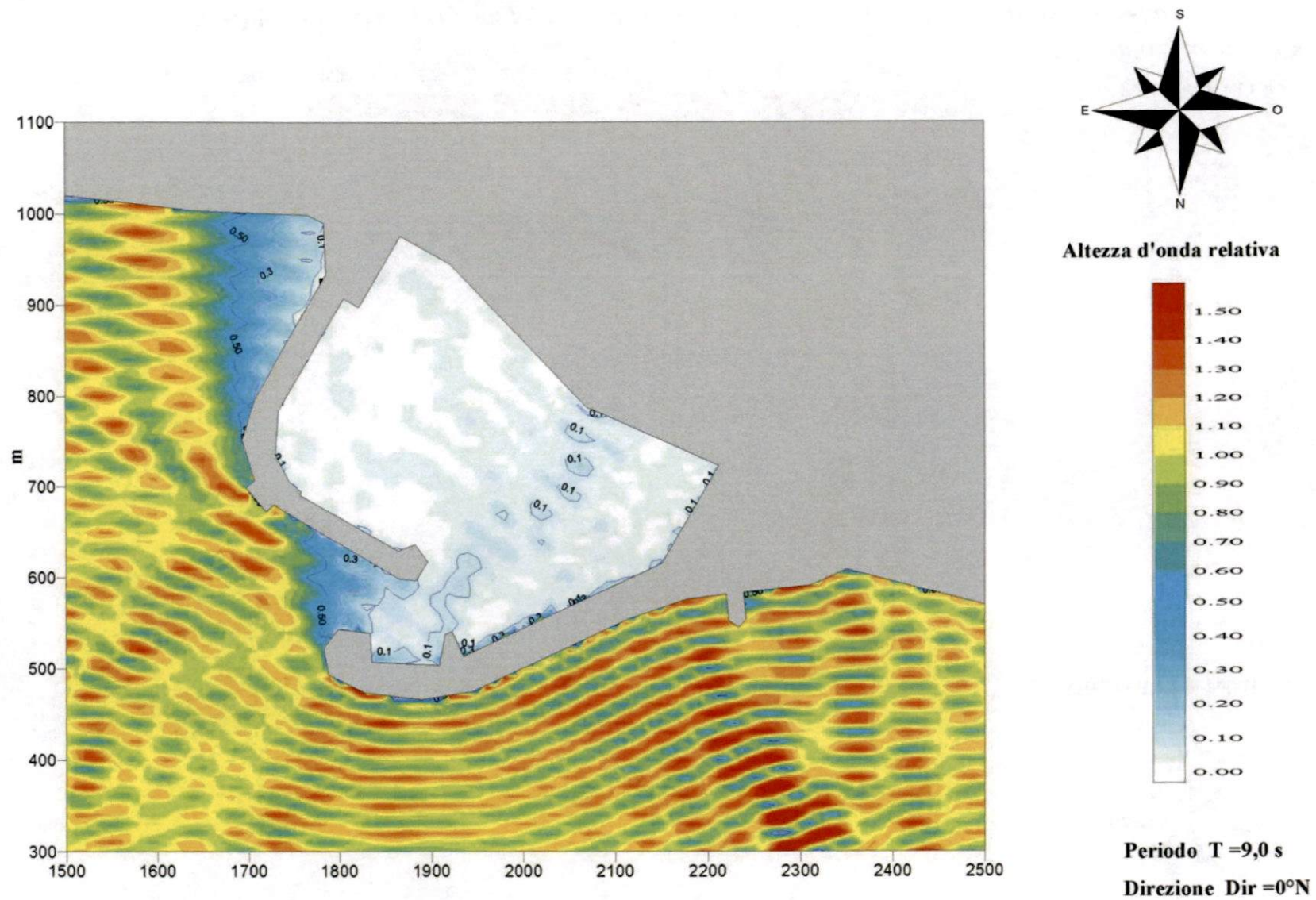


Figura 4.5 - Andamento del coefficiente di riflessione per tre casi relativi ad altrettante diverse nature della parete in funzione del parametro surf similarity



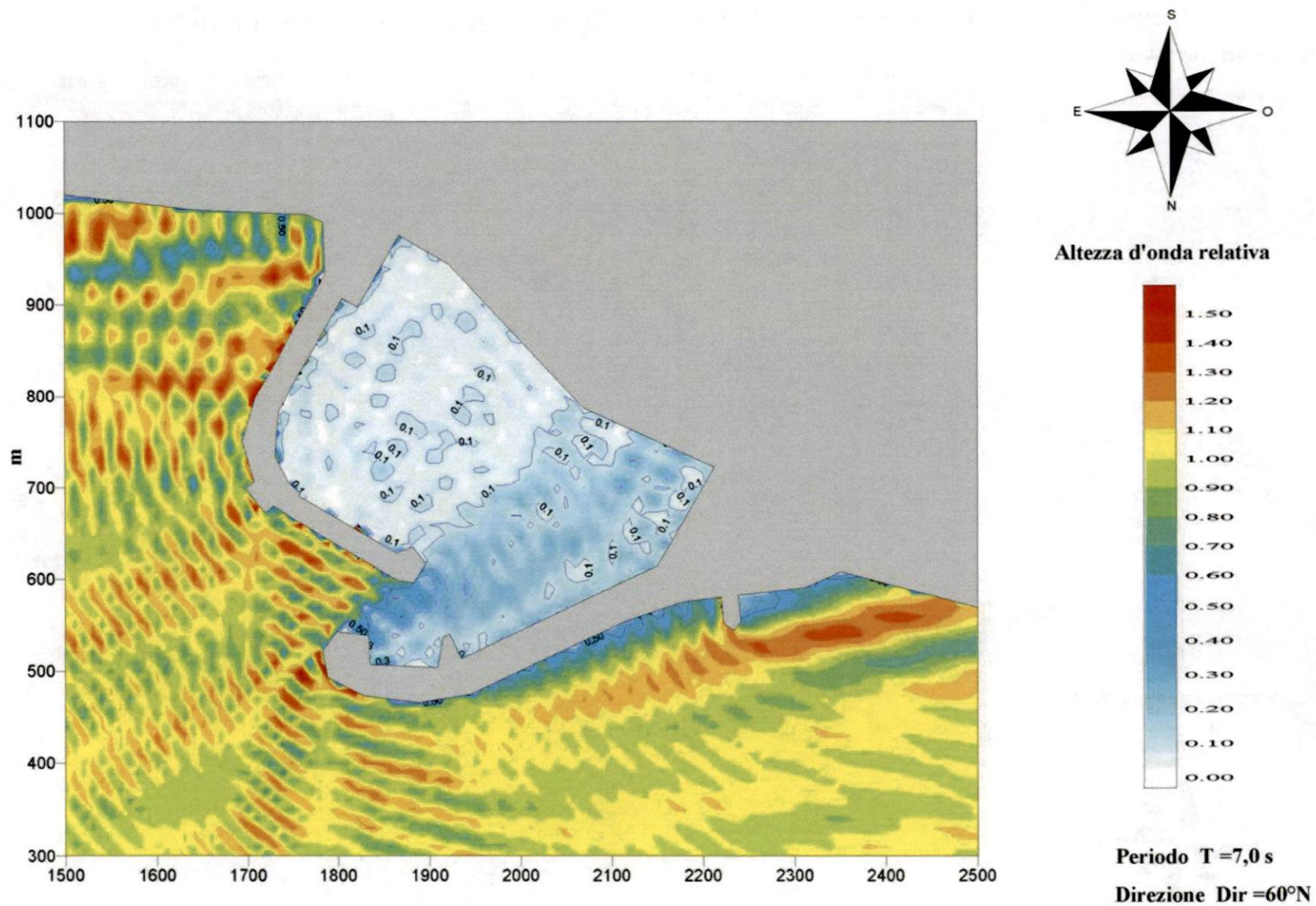


**Figura 4.7** - *Zone in cui è stato suddiviso lo specchio acqueo portuale*

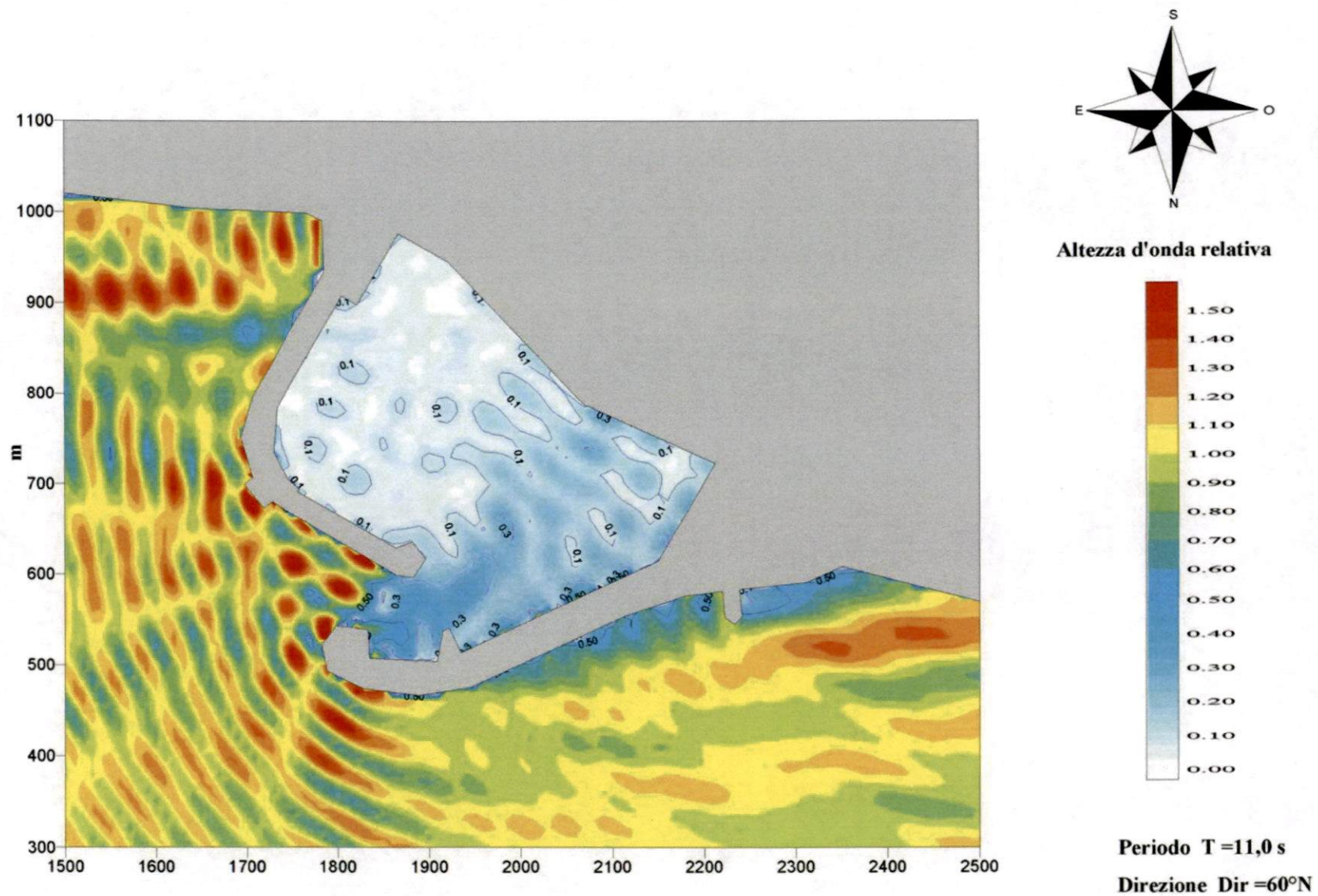


**Figura 4.9** – Diffrazione per onde provenienti da  $0^\circ N$  e per periodo  $T = 9,0$  s – lay out prescelto





**Figura 4.11** – Diffrazione per onde provenienti da  $60^\circ$ N e per periodo  $T = 7,0$  s – lay out prescelto



**Figura 4.13** – Diffrazione per onde provenienti da  $60^\circ \text{N}$  e per periodo  $T = 11,0 \text{ s}$  – lay out prescelto





**COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA**

**PROVINCIA DI MESSINA**



# **PORTO TURISTICO**

## **PROGETTO PRELIMINARE**

**B RELAZIONE TECNICA**

- b1** studi specialistici: climatologico – anemologico – idraulico marittimo
- b2** edilizia di banchina e urbanizzazioni

## EDILIZIA DI BANCHINA E URBANIZZAZIONI

### 1. PREMESSA

La presente relazione tecnica riporta lo sviluppo degli studi di prima approssimazione connessi alle tipologie e categorie di opere previste in progetto per quanto concerne la parte delle opere a terra (edilizia di banchina e urbanizzazioni), con l'indicazione di massima dei requisiti e delle prestazioni che devono essere riscontrate nell'intervento.

Si precisa che il progetto preliminare ha valore prescrittivo relativamente ai seguenti elementi:

1. individuazione delle superfici richieste in concessione a terra e dello specchio acqueo, la loro perimetrazione e connotazione;
2. configurazione e l'articolazione dei moli fissi che definiscono il porto;
3. l'assetto planovolumetrico generale (l'allineamento degli edifici sugli spazi pubblici e sui fronti stradali e delle banchine, le opere viarie e di urbanizzazione);

Il progetto preliminare assume valore indicativo per gli altri elementi, che possono essere modificati, integrati, esplicitati nel progetto definitivo anche in relazione ad eventuali prescrizioni di enti preposti alla formulazione di parere.

### 2. L'EDILIZIA DI BANCHINA

#### 2.1. Il Club House

L'edificio comprenderà, lo Yatch Club, il centro direzionale del porto, una sala riunioni, una banca, il bar, servizi vari al piano terra e ristorante con ampio terrazzo al piano primo.

All'interno del Club House avrà sede anche il pronto soccorso. L'area attrezzata a servizio dei diportisti attorno all'edificio, comprenderà anche ampi parcheggi, un campo da tennis, uno di beach volley e relativi servizi.

##### Assetto planovolumetrico

Sup. coperta mq	H max ml	Piani fuori terra	Volume mc	struttura
850	9,0	2	7650	Intelaiata in c.a

#### 2.2. L'edilizia commerciale

Fisicamente separato dall'area portuale tramite la strada ed a monte di essa, in posizione centrale, viene previsto un corpo edilizio con annessi parcheggi accessibili agli utenti del centro commerciale ed ai visitatori del porto. Esso si articola su tre piani fuori terra ed è organizzato con negozi, bar e porticato a piano terra, mini appartamenti per i diportisti al primo e secondo piano, per una ricettività di 42 posti letto.

##### Assetto planovolumetrico

Sup. coperta mq	H max ml	Piani fuori terra	Volume mc	struttura
1.160	10,0	3	11.600	Intelaiata in c.a.

### **3. LE URBANIZZAZIONI**

#### **3.1. Impianti a rete**

L'approdo è stato dotato di impianti e di apparecchiature idonee a rendere funzionali i servizi resi sulle banchine dei moli e sui pontili e nel contempo assicurare le massime condizioni di sicurezza operativa.

Allo scopo, pertanto, di rendere agevole sia la fase di installazione delle reti impiantistiche progettate che quella successiva di eventuali potenziamenti, la rete distributiva è stata prevista tutta in cunicolo ispezionabile che si diparte dalle centrali tecnologiche sino ai punti di utenza.

Sono stati previsti in cavidotto, esclusivamente i tratti secondari di derivazione della linea primaria, limitandone altresì il numero e la lunghezza di percorrenza.

Di seguito si riporta un quadro riepilogativo delle realizzazioni impiantistiche previste:

- A) Impianto elettrico
  - a) Cabina di trasformazione
  - b) Rete di distribuzione
  - c) Illuminazione pubblica
  - d) Punti di utenza
  - e) Segnalamento luminoso
- B) Impianto idrico
  - a) Vasca di accumulo
  - b) Impianto di sollevamento
  - c) Rete di distribuzione
  - d) Punti di utenza
- C) Impianto antincendio per l'edilizia di banchina
  - a) Rete di presa di acque di mare
  - b) Impianto di sollevamento
  - c) Rete di distribuzione
  - d) Punti di utenza
- D) Impianto antincendio di banchina
  - a) Reti di presa di acque di mare
  - b) Impianto di sollevamento
  - c) Rete di distribuzione
  - d) Punti di utenza
- E) Impianto di fognatura ( acque meteoriche)
  - a) Organi di presa
  - b) Intercettori antinquinamento
  - c) Rete idraulica
- F) Impianto di fognatura ( acque nere)

L'impianto fognante per l'allontanamento delle acque nere prodotte all'interno degli edifici è costituito da singole reti che raccolgono le acque reflue e le riversano in una vasca di accumulo totale. Da detta vasca, infine, vengono sollevate e recapitate a monte del ciclo di trattamento dell'esistente impianto di depurazione.

A tal proposito è stata tenuta in debito conto la circostanza del convogliamento all'impianto di depurazione di acque difficilmente trattabili mediante la dotazione, a monte di alcune aree di idonei sistemi antinquinamento.

In ultimo, per ciò che concerne l'impianto di distribuzione carburanti posto in testata al sottoflutto, si fa presente che esso consta di serbatoio di accumulo adiacente l'area per il rimessaggio che eroga gasolio, benzina e gasolio agevolato S.I.F.

Anche in questo caso si è avuto cura di prevedere un efficace sistema di protezione per l'eventuale versamento in mare di carburanti.

Allo scopo sarà fornita in dotazione una barriera galleggiante oleoassorbente stazionante nell'area di rifornimento per circoscrivere la zona stessa ed una sicurezza per l'eventuale chiusura dell'avanporto.

### **3.2. Impianti elettrici**

#### **3.5.4. Generalità**

In Italia la normativa tecnica generale vigente per tutti gli impianti elettrici utilizzatori, e quindi anche per quelli dei porti turistici, è la Norma CEI 64-8.

A livello di normativa internazionale di riferimento, i requisiti richiesti all'impianto elettrico di un porto turistico (essenzialmente dell'impianto di alimentazione delle imbarcazioni all'ormeggio) sono trattati in modo specifico nella Norma IEC 364- 7-709: "Marinas and pleasures craft" (prima edizione: settembre 1994), alla quale si rimanda per opportuna consultazione.

È possibile trarre ulteriori informazioni all'art. 555 del National Electrical Code (NEC) statunitense: "Marinas and Boatyards".

Altri utili riferimenti tecnici per il dimensionamento degli impianti elettrici possono rinvenirsi nella memoria "Distribuzione ed utilizzazione dell'energia elettrica nei porti turistici" di G. Parise (atti della 2ª edizione delle Giornate Italiane in Ingegneria Costiera AIPCN - PIANC - Ravenna 1995).

L'Impianto Elettrico, di illuminazione e segnalamento sarà costituito da:

- impianto elettrico di distribuzione FM in bt a partire da cabina di trasformazione MT/bt;
- stazioni di energia di riserva con gruppo elettrogeno ad intervento automatico in mancanza di rete;
- impianto di illuminazione pubblica con relativa rete elettrica di alimentazione;
- impianti di segnalamento luminoso marittimo con fanali alimentati a 12V da rete a 220V e muniti di riserva di energia ad intervento automatico.

Gli impianti sopra elencati sono destinati all'erogazione dei servizi relativi alle seguenti utenze ed attrezzature:

- alle colonnine di erogazione dei servizi a bordo delle imbarcazioni, da installare lungo i pontili e le banchine di ormeggio, che saranno servite dalla rete di distribuzione FM e dalla rete elettrica di alimentazione dell'impianto di illuminazione pubblica;



pontili galleggianti. Mentre sarà a bassa densità nei tratti in corrispondenza delle sovrastrutture di conglomerato cementizio aventi adeguato spessore ove saranno alloggiate all'interno di cavidotti in PVC. Le dimensioni dei cavidotti e dei pozzetti saranno tali da consentire l'infilaggio e lo sfilaggio delle tubazioni in polietilene a bassa densità. In corrispondenza delle derivazioni e lungo le distributrici sono previsti pozzetti e camere di manovra, con saracinesche di sezionamento.

### 3.4. Impianto antincendio

L'impianto antincendio dovrà essere realizzato in conformità con le norme tecniche e della sicurezza vigenti (Legge n. 46/90 - Norme UNI 10779) ed in particolare:

- ✓ gli idranti dovranno essere di tipo UNI, posti a distanza reciproca non superiore a 50 m, in modo comunque da assicurare, con i relativi getti, la copertura di tutte le aree a rischio di incendio;
- ✓ gli idranti dovranno essere corredati di cassette antincendio UNI con tubazioni flessibili avvolgibili aventi lunghezza di 20 m e lance a getto variabile;
- ✓ la rete idrica antincendio, dovrà avere caratteristiche idrauliche tali da garantire al bocchello della lancia, nelle più sfavorevoli condizioni di distanza ed altimetria rispetto alla stazione di pompaggio, le seguenti prestazioni: UNI 45 Portata 120 l/1' Prevalenza 2 bar UNI 70 Portata 350 l/1' Prevalenza 2 bar
- ✓ l'impianto dovrà essere proporzionato per una portata totale determinata considerando la probabilità di contemporaneo funzionamento del 50% degli idranti per ogni diramazione
- ✓ l'impianto dovrà essere alimentato da una stazione di pompaggio idonea a conferire in permanenza alla rete le caratteristiche idrauliche suddette e la sicura funzionalità (elettropompe su rete di alimentazione preferenziale)
- ✓ l'impianto dovrà essere dotato di attacco speciale UNI per il collegamento dei mezzi dei Vigili del Fuoco, da installarsi in un punto ben visibile e facilmente accessibile ai mezzi stessi.

L'impianto Antincendio è stato previsto del tipo a spegnimento fisso ad idranti funzionante ad acqua di mare, con gruppi di pressurizzazione. Tutta l'area del Porto sarà coperta da un impianto di spegnimento fisso ad idranti UNI 70, in aggiunta a questi, all'interno o in prossimità di alcuni edifici a particolare destinazione d'uso, disciplinati da specifica normativa in materia di prevenzione incendi, sono previsti idranti UNI 45. Il gruppo di pressurizzazione sarà costituito da due elettropompe centrifughe principali, delle quali una con funzione di riserva, con giranti e corpo pompa realizzati con materiale resistente all'azione corrosiva dell'acqua di mare, di adeguate caratteristiche.

La continuità del funzionamento, anche in mancanza dell'alimentazione elettrica dalla rete esterna, sarà garantita dalla stazione di energia di riserva prevista a servizio del Porto. In punti facilmente accessibile della condotta distributrice saranno installati gruppo di attacco UNI 70 per autopompa VV.FF. con valvola unidirezionale, pressostato e saracinesca di arresto.

La rete di distribuzione sarà realizzata con tubazioni in polietilene che saranno ad alta densità sia nei tratti che ricadono su colmate o rilevati in materiale sciolto e con pavimentazione stradale, sia nei pontili galleggianti, a bassa densità nei tratti in corrispondenza a sovrastrutture di conglomerato cementizio aventi adeguato spessore ove saranno alloggiate all'interno di cavidotti in PVC. Gli idranti, completi di lancia in rame e manichetta, saranno installati in cassette antincendio per esterno in P.R.F.V. verniciate di colore rosso. Potranno essere altresì previsti, lungo i pontili, lungo le banchine ed all'interno degli edifici estintori portatili, sia a polvere, sia a CO2 accoppiati.

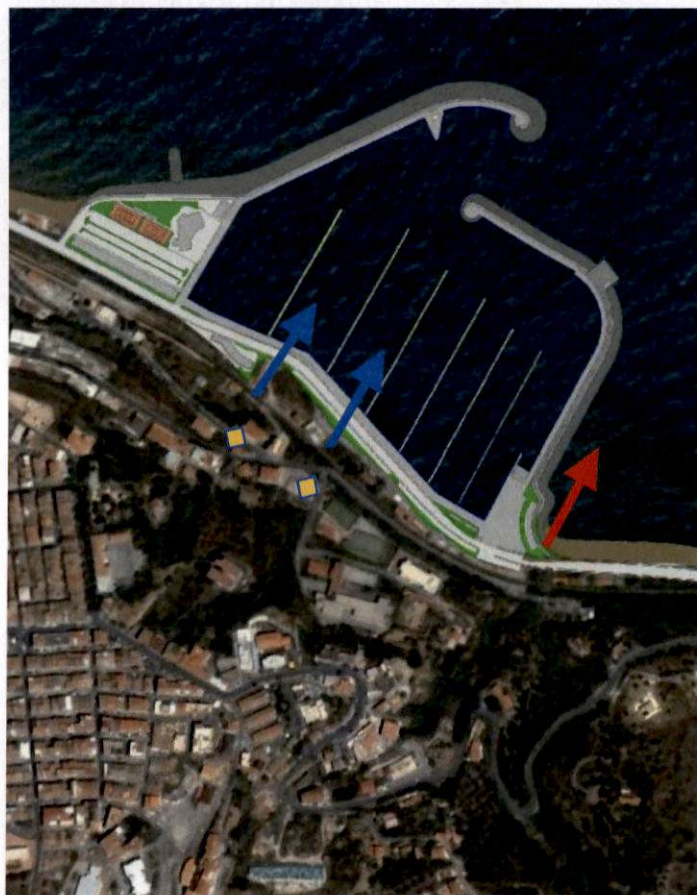
- ✓ sistema di tubazioni sia per impianto a depressione, sia per impianto di alimentazione idrica,
- ✓ tubi flessibili antischiacciamento di lunghezza pari a 6 m, completi all'estremità di valvole di chiusura a sfera a passaggio totale realizzate in materiale plastico e di bocchettoni multidiametrale;
- ✓ serbatoio in poliestere rinforzato con fibre di vetro della capacità di 800 l di adeguato spessore, idoneo allo stoccaggio di olii esausti, da smaltire successivamente attraverso il consorzio obbligatorio, completo di passo d'uomo, valvola di troppo pieno a galleggiante, raccordi con rubinetti in entrata ed allo scarico;
- ✓ quadro elettrico di comando e controllo dell'impianto realizzato in poliestere rinforzato con fibre di vetro;
- ✓ collegamenti tra i vari componenti dell'impianto realizzati con tubazioni in polietilene ad alta densità PN 10 di idoneo diametro, complete di pezzi speciali e raccorderia in PVC o PEAD e di accessori per il fissaggio in acciaio inox.

#### **3.5.4. Acque dei valloni che sfociano nell'area portuale**

Nell'area portuale sfociano tre valloni, meglio descritti nello studio geologico, che in questa sede si richiamano solo al fine di illustrare come si intendono risolvere le problematiche connesse agli apporti di materiale solido e acque di tali valloni per gran parte già intubati a monte.

Per quanto concerne il Vallone Pecoraro-Tudisca questo verrà incanalato e fatto sfociare fuori dal bacino portuale.

Il vallone Palermo ed il vallone Ciaramirello, sfoceranno sulla banchina di riva previa realizzazione di pozzetti sghiaiatore per il trattamento delle acque di prima pioggia lungo la Strada Provinciale Marina nei quali verranno trattenuti eventuali inquinanti e materiale solido.





### 3.8. La strada

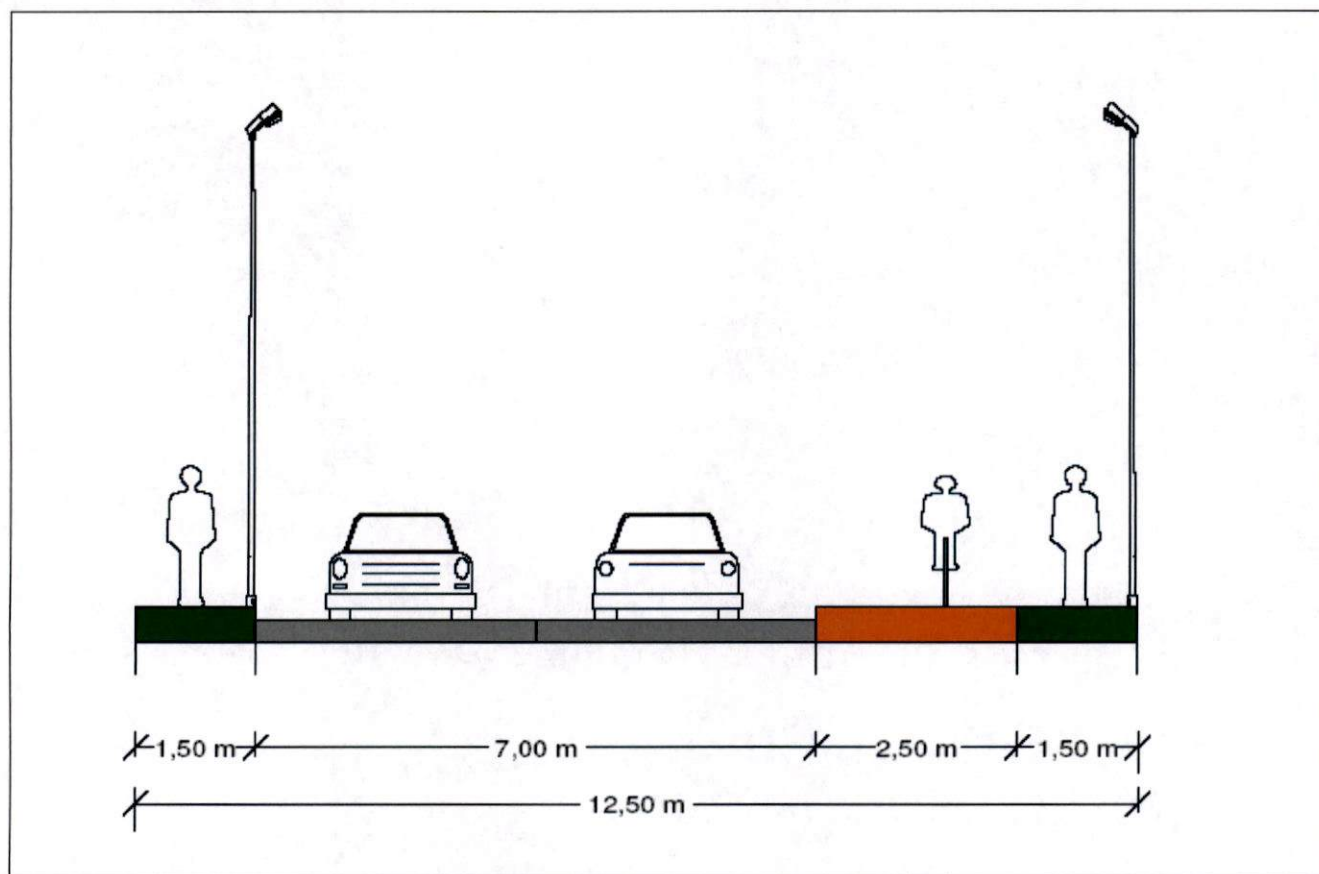
La zona portuale è già servita da viabilità che la collega con la S.P. 169 Via Marina, da una parte con attraversamento ferroviario in sottopasso di larghezza circa ml 5,50 e altezza libera pari a ml 4,30 e dall'altra con strada che attraversa la ferrovia con passaggio a livello. Da ambo i lati la viabilità si collega alla S.P. Marina dalla quale è possibile raggiungere agevolmente la stazione ferroviaria, il centro abitato e la S.S. 113.

Viene prevista una viabilità definitiva che, oltre a servire idoneamente l'area portuale, ha anche la funzioni di collegare l'esistente lungomare di c.da Ortora con l'arteria di servizio alle aree sportive ed artigianali e tramite quest'ultima, l'area portuale direttamente alla S.S. 113 e quindi all'Autostrada. Detta strada potrebbe anche collegare il territorio di Santo Stefano con il lungomare Colonna del Comune di Reitano.

Nell'ambito del progetto del porto turistico si prevede la realizzazione del tratto di strada adiacente il porto stesso e la realizzazione del raccordo con l'esistente viabilità nella zona del sottopasso ferroviario esistente. In tale sottopasso si prevede la tombinatura del torrente Piano Turrazza già convogliato in canale scoperto.

La piattaforma stradale ritenuta idonea allo scopo è quella prevista come "**categoria E - urbana di quartiere**" dal decreto 05/11/2001, con la soluzione base a 1+1 corsia di marcia con limite di velocità di progetto inferiore pari a 40 Km/ora e superiore pari a 60 Km/ora.

La sezione stradale è prevista del tipo a due corsie di mt 3,00 ciascuna, oltre banchina di mt 0,50; vengono previsti percorsi pedonali di mt 1,50 a destra ed a sinistra della strada, nonché pista ciclabile di larghezza mt 2,50 dal lato adiacente il porto.





### 3.6. Rifiuti solidi urbani

Il Concessionario, dovrà assicurare la predisposizione e la gestione di sistemi per la raccolta differenziata dei rifiuti solidi urbani (RSU) prodotti nell'ambito portuale sulla base di sistemi e modalità compatibili con il servizio svolto dalla società d'Ambito di cui il Comune è socio.

### 3.7. Parcheggi

Nell'ambito portuale sono previsti parcheggi per una superficie di circa mq 6.700. Sono localizzati in aree direttamente servite dalla viabilità esterna e dotati di spazi di idonee dimensioni per il deposito dei carrelli di servizio e per il transito dei mezzi di soccorso. Non vengono previsti superfici destinate in esclusiva alle attività commerciali posto che le attività previste hanno tutte superficie < di mq 100.

Le quantità individuate sono > delle quantità previste dalle raccomandazioni in materia che risultano le seguenti:

- dimensione massima dei lotti di parcheggio: 200 posti.
- parcheggi assegnati "in esclusiva: 0,5 parcheggi per ogni posto barca
- parcheggi non assegnati, "a rotazione": < 0,5 parcheggi per ogni posto barca (sono parcheggi che possono essere utilizzati anche per attività diverse, ad esempio commerciali e/o turistiche)

### **3.5. Fognature e impianti connessi**

L'impianto fognario (scarichi di tipo civile) è previsto con rete a gravità fino all'impianto di sollevamento ubicato nella zona rimessaggio, e poi in pressione con pompe sommergibili. Gli scarichi saranno convogliati in una rete fognaria prevista a servizio esclusivo del porto ed avente recapito finale in testa all'impianto di sollevamento esistente. I tronchi principali della rete fognaria sono previsti con tubazioni in Gres. I tronchi secondari sono previsti con tubazioni in PVC interrate o poste all'interno delle sovrastrutture in conglomerato cementizio di adeguato spessore, il tronco in pressione è previsto con tubazioni in polietilene ad alta densità; nei pontili galleggianti e nei tratti in corrispondenza a sovrastrutture di conglomerato cementizio aventi notevole spessore saranno alloggiate all'interno di cavidotti in PVC.

L'immissione nella rete fognaria del porto dalle reti di scarico interne degli edifici avverrà mediante pozzetti con sifone ispezionabile.

#### **3.5.1. Rete per la raccolta di acque piovane e nere a terra**

Sono esclusi dalla rete i pontili e le opere di difesa se prive, lato bacino portuale, di banchine utilizzabili per ormeggi.

Le reti sono previste di tipo tradizionale e, pertanto, non sono necessarie raccomandazioni specifiche.

#### **3.5.2. Rete fognaria per la raccolta di acque nere prodotte dalle imbarcazioni**

Le acque nere prodotte dalle imbarcazioni sono state distinte, ai fini progettuali in due categorie:

- ✓ quelle prodotte da wc di tipo chimico con serbatoio asportabile, che necessitano di un punto di svuotamento e pulitura a terra, da ubicare in corrispondenza dei servizi igienici;
- ✓ quelle raccolte in apposito serbatoio fisso, posizionato all'interno dell'imbarcazione e dotate di collettore unificato ISO 4567 per lo svuotamento tramite un sistema a depressione.

In entrambi i casi i reflui verranno successivamente convogliati alla rete fognaria.

#### **3.5.3. Impianto per l'aspirazione di acque di sentina ed olii esausti**

L'impianto per la aspirazione di acque di sentina ed olii esausti dalle imbarcazioni viene previsto come segue:

- ✓ vasca di eduazione in C.A.V, completa di elettropompa sommergibile di potenza adeguata ed eiettore in acciaio inossidabile;
- ✓ colonnina di aspirazione delle acque di sentina e da una colonnina di aspirazione degli olii esausti, ambedue realizzate con scocca portante in poliestere rinforzato con fibre di vetro colorata e sistema di fissaggio in acciaio inossidabile, munite di rubinetti, valvole automatiche per l'apertura e la chiusura del circuito sottovuoto;
- ✓ quadri in materiale plastico muniti di portello contenente l'impianto elettrico di comando e controllo,
- ✓ valvole manuali a passaggio totale,

- all'edilizia portuale, che sarà servita dalla rete di distribuzione FM; agli stessi servizi tecnici ed impianti ed alle particolari attrezzature portuali a funzionamento elettrico.

Le utenze privilegiate, coperte anche con alimentazione elettrica di riserva, saranno i gruppi di pressurizzazione degli impianti di spegnimento ad idranti, le elettropompe sommergibili dell'impianto fognario, i fanali di segnalamento e circa la metà dei punti luce dell'impianto di illuminazione pubblica del porto.

Sono, altresì previsti i quadri secondari di distribuzione, gli strumenti e gli apparecchi illuminanti, le lampade, gli eventuali pali, colonnine etc., i fanali a luce fissa alla testa di ogni pontile, i sistemi di protezione contro i contatti indiretti.

### **3.5.5. Colonnine per l'alimentazione elettrica delle imbarcazioni**

Le colonnine per l'alimentazione elettrica delle imbarcazioni saranno realizzate con materiali resistenti alla corrosione ed in conformità alla normativa tecnica vigente in materia di sicurezza.

Ciascuna colonnina servirà da 1 a 4 posti barca, in relazione al tipo di imbarcazione ed alla disposizione degli ormeggi.

Le colonnine saranno dotate, secondo le esigenze dell'ente gestore del porto o degli utenti, di contatori per ogni utenza.

### **3.5.6. Illuminazione del porto**

La disposizione dei punti luce sarà schermata verso il mare e dovrà soddisfare, indicativamente, le seguenti condizioni di illuminazione:

- ✓ zone destinate agli ormeggi: 3-5 lux
- ✓ superfici a terra (strade, parcheggi): 7-10 lux

## **3.3. Impianto idrico**

La rete idrica dovrà assicurare almeno:

- ✓ per posti barca di lunghezza superiore a 10 m: 1 rubinetto ogni posto barca;
- ✓ per posti barca di lunghezza compresa tra 7 e 10 m: 1 rubinetto ogni 2 posti barca;
- ✓ per posti barca di lunghezza fino a 7 m: 1 rubinetto ogni 4 posti barca;
- ✓ distanza massima dei rubinetti dalle imbarcazioni: 20 m.
- ✓ pressione minima di esercizio alla radice dei pontili o delle banchine: 0,2 MPa (2 bar). La pressione deve comunque essere determinata in relazione all'effettiva distribuzione dei rubinetti ed alle caratteristiche specifiche delle imbarcazioni.

Trattandosi di località con scarsa disponibilità d'acqua dove l'erogazione della stessa non avviene 24 ore su 24 dal civico acquedotto, si è previsto un serbatoio di accumulo a servizio del porto di idonea capacità, in grado di garantire la fornitura dell'acqua per almeno due giorni in tutta l'area portuale prendendo a riferimento che nei periodi di punta dovrà essere garantita la disponibilità di 170 mc/giorno per i posti barca e almeno 230 mc/giorno a servizio dell'edilizia di banchina.

L'Impianto Idrico, con rete di distribuzione dell'acqua potabile, è destinato ad approvvigionare l'edilizia portuale e le colonnine di erogazione. Queste ultime, per i servizi a bordo delle imbarcazioni, sono previste lungo i pontili e le banchine di ormeggio.

La rete di distribuzione sarà realizzata con tubazioni in polietilene ad alta densità sia nei tratti che ricadono su colmate o rilevati in materiale sciolto e con pavimentazione stradale, sia nei

- a) Organi di presa
- b) Intercettori antinquinamento
- c) Rete idraulica di raccolta
- d) Vasca di accumulo
- e) Impianto di sollevamento
- G) Impianto distribuzione carburanti
  - a) Serbatoi carburante
  - b) Isola di distribuzione
  - c) Sistemi antinquinamento
  - d) Apparecchiature di sicurezza

Per ciò che concerne l'**impianto elettrico** si prevede la realizzazione di un locale per la consegna di energia elettrica a media tensione, che viene trasformata in B.T. in un locale attiguo e distribuita mediante quadri agli edifici di banchina ed alle utenze impiantistiche a mezzo di rete distributiva in cunicolo.

Vengono così alimentati i circuiti per l'illuminazione pubblica costituita dai pali disposti lungo i moli, la banchina di riva e le aree attrezzate, dalle colonnine erogatrici disposte sui moli e sui pontili, che forniscono anche forza motrice in bassa tensione.

A completamento degli impianti elettrici sono stati previsti i segnalatori luminosi da porre sulle testate dei moli foranei che in assenza della tensione di rete sono alimentate da batterie tampone.

L'impianto idrico è composto da una condotta di derivazione dell'acquedotto cittadino, da una vasca di accumulo posizionata sotto il campo da tennis con impianto di sollevamento per la distribuzione alle reti ad uso irriguo e potabile per l'edilizia di banchina.

Anche in questo caso la distribuzione dell'acqua avverrà in cunicolo sino ai punti di utenza che sono rappresentati da pozzetti di consegna come nel caso degli edifici, da idranti posti sopra suolo o dalle già menzionate colonnine erogatrici.

L'impianto antincendio a protezione degli ormeggi è composto da una rete di presa dell'acqua marina, da una centrale per il trattamento dell'emulsione ed il sollevamento idraulico, da una rete distributiva in cunicolo sino alle lance poste in apposite colonnine distribuite lungo le linee di accosto ad interasse medio di 35,00 ml.

Per motivi di sicurezza è stata prevista l'alimentazione dei circuiti idraulici in assenza della tensione di rete mediante motopompa.

Per ciò che concerne l'impianto fognante si è previsto di realizzare reti separate secondo le vigenti normative.

Quello relativo alle acque meteoriche è composto da caditoie stradali, nelle quali sono stati previsti cuscini oleoassorbenti per la trattenuta di eventuali inquinanti versati dagli automezzi e da pozzetti posti ai piedi degli edifici che, opportunamente, versano le acque nei collettori secondari e principali che hanno come recapito finale lo specchio acqueo interno.

È stato preferito tale sistema di smaltimento per le aree attrezzate e la viabilità, nelle zone portuali vere e proprie è stato previsto l'usuale allontanamento per pendenza delle pavimentazioni verso i fili della banchina in quanto più razionale in relazione all'estensione delle aree sottese.

Parallelamente ai fili della banchina viene prevista una griglia di raccolta, prima dello sversamento in mare, per consentire la trattenuta di eventuali inquinanti.

### 2.3. L'edificio per l'Autorità Marittima

L'edificio progettato per l'Autorità Marittima si articola su due piani: è previsto un primo piano dedicato ad alloggi ed un piano terra ad uffici e servizi.

#### Assetto planovolumetrico

Sup. coperta mq	H max ml	Piani fuori terra	Volume mc	struttura
400	7,0	2	2800	Intelaiata in c.a.

### 2.4. Gli impianti sportivi e le aree a verde attrezzato

In ambito portuale sono previsti 4.400 mq di superfici per aree a verde attrezzato variamente arredato e sport. La zona destinata ad impianti sportivi, annessa al Club house, prevede la realizzazione di un campo da tennis ed uno di beach volley, con annesso un corpo prefabbricato di 115 mq. composto da 4 spogliatoi con servizi doccia e locale tecnico. L'impianto, destinato ai diportisti e ad altra utenza, oltre ad avere la funzione di svago per gli utenti, può ospitare anche manifestazioni sportive a carattere competitivo legate al tennis ed al beach volley.

### 2.5. L'area per il rimessaggio e il calafataggio

Nell'area per il rimessaggio è stato pensato un edificio con struttura portante in acciaio della superficie pari a 650 mq, adibito ad officina con area calafataggio ed area rimessaggio, oltre i servizi.

#### Assetto planovolumetrico

Sup. coperta mq	H max ml	Piani fuori terra	Volume mc	struttura
650	7,5	1	4875	Intelaiata in acciaio

Lo scalo di alaggio e le attrezzature di sollevamento previste nell'area di cantiere sono uno scivolo con argano, bacino con sollevatore travel-lift e gru movibili. Lo scivolo sarà servito da uno o più argani ad asse orizzontale o verticale. La gru, dotata di due ruote gommate orientabili, scorre su due pontili paralleli, sollevando l'imbarcazione dal mare con un sistema di cinghie posizionate nelle sezioni più solide dello scafo. La struttura planimetricamente aperta permette di sollevare anche le imbarcazioni con albero. In tal modo, le imbarcazioni possono essere trasportate sul piazzale con facilità e senza ulteriori passaggi su carrelli.

### 2.6. L'edilizia residenziale a servizio dei diportisti

Nel progetto è prevista una cortina edilizia con mini appartamenti per i diportisti che occupa una superficie di circa 1.500 mq ed è organizzata su tre piani fuori terra dei quali il piano terra con porticati e box di parcheggio privati, i piani primo e secondo con mini appartamenti di 62 e 69 mq per una ricettività di 120 posti letto.

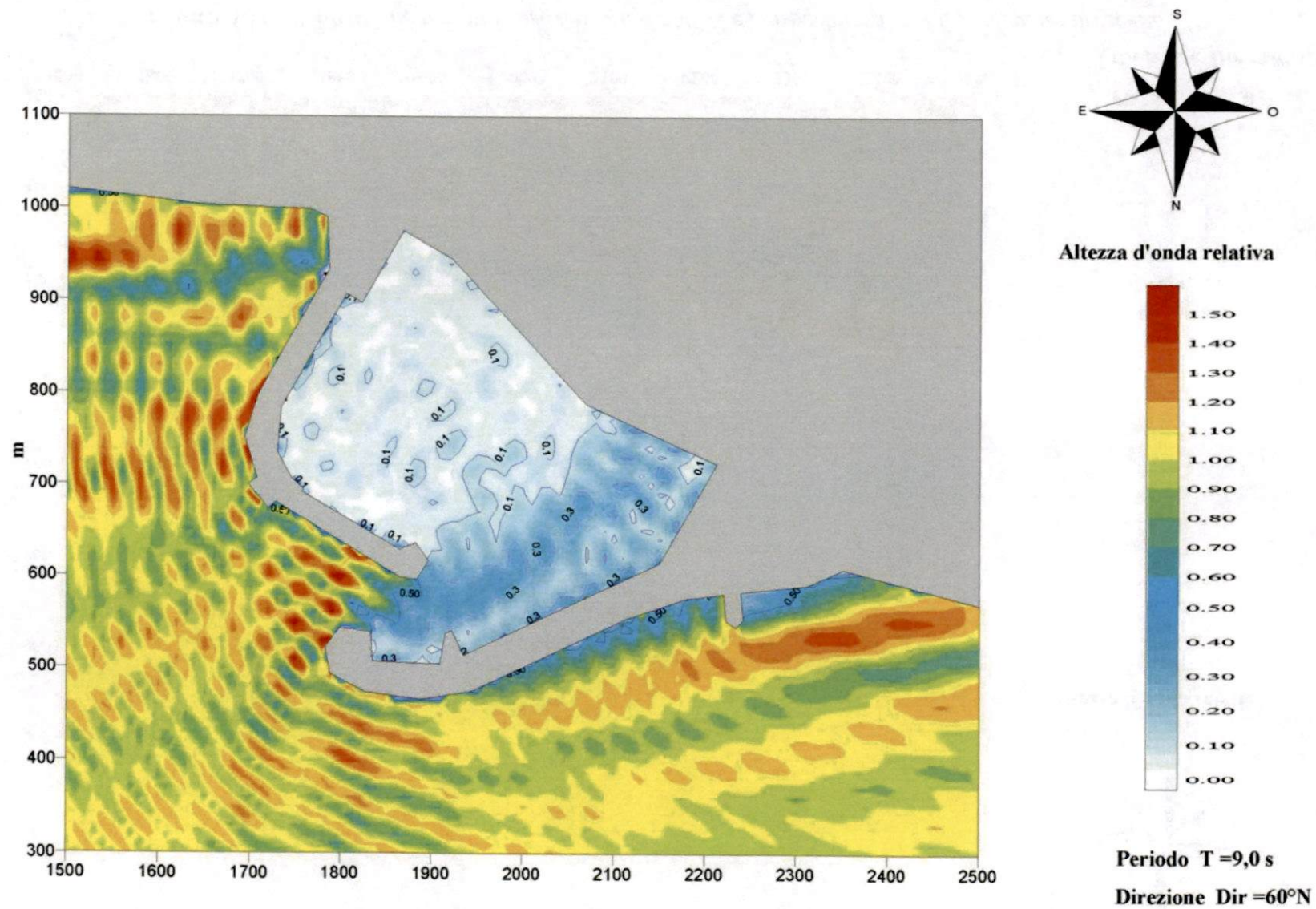
#### Assetto planovolumetrico

Sup. coperta mq	H max ml	Piani fuori terra	Volume mc	struttura
1535	10,0	3	15350	Intelaiata in c.a.

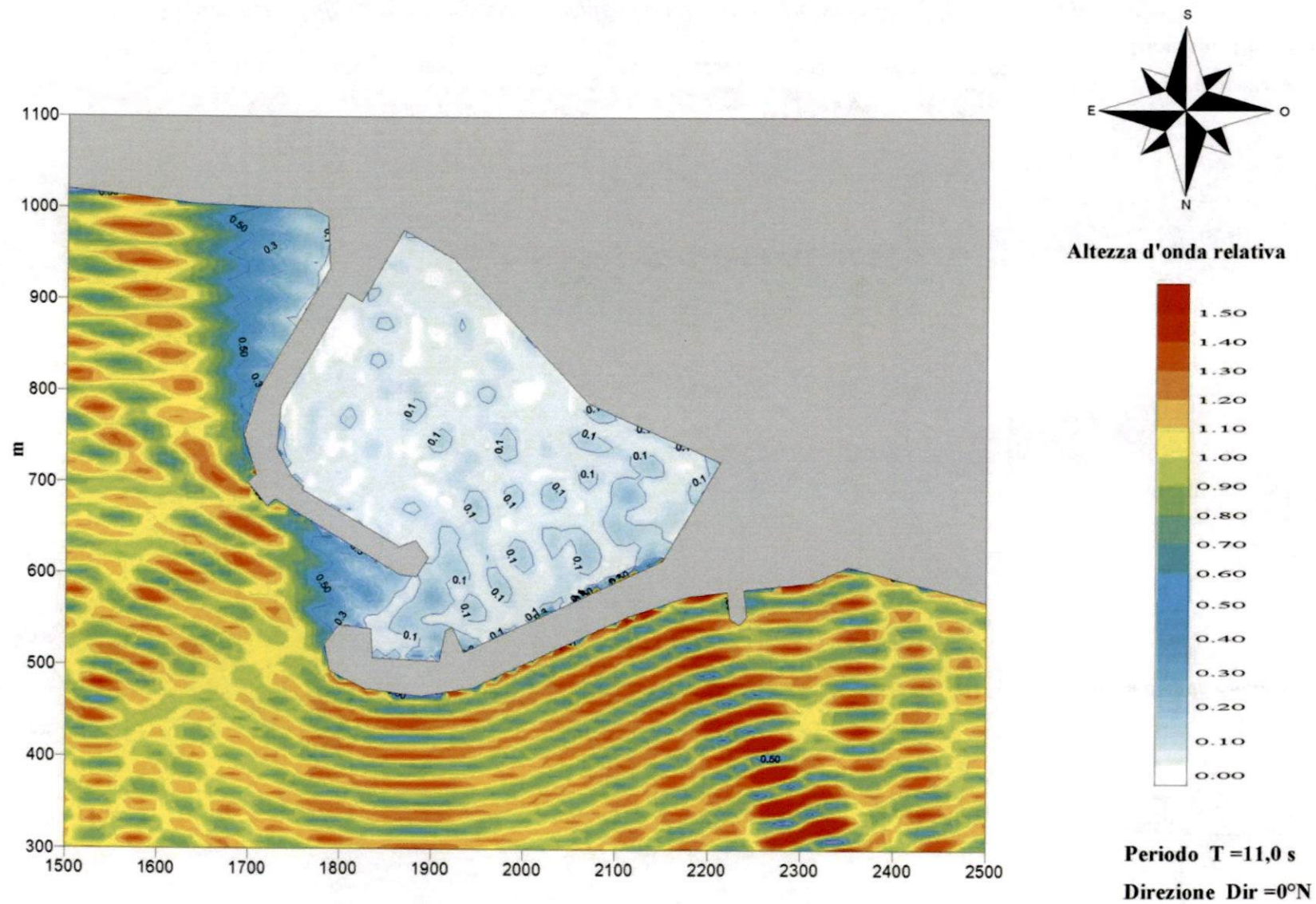
<b>EDILIZIA DI BANCHINA E URBANIZZAZIONI.....</b>	<b>2</b>
1. PREMESSA .....	2
2. L'EDILIZIA DI BANCHINA .....	2
2.1. Il Club House .....	2
2.2. L'edilizia commerciale .....	2
2.3. L'edificio per l'Autorita' Marittima.....	3
2.4. Gli impianti sportivi e le aree a verde attrezzato.....	3
2.5. L'area per il rimessaggio e il calafataggio .....	3
2.6. L'edilizia residenziale a servizio dei diportisti .....	3
3. LE URBANIZZAZIONI.....	4
3.1. Impianti a rete .....	4
3.2. Impianti elettrici .....	6
3.5.4. Generalità .....	6
3.5.5. Colonnine per l'alimentazione elettrica delle imbarcazioni .....	7
3.5.6. Illuminazione del porto.....	7
3.3. Impianto idrico.....	7
3.4. Impianto antincendio .....	8
3.5. Fognature e impianti connessi .....	9
3.5.1. Rete per la raccolta di acque piovane e nere a terra.....	9
3.5.2. Rete fognaria per la raccolta di acque nere prodotte dalle imbarcazioni .....	9
3.5.3. Impianto per l'aspirazione di acque di sentina ed olii esausti .....	9
3.5.4. Acque dei valloni che sfociano nell'area portuale.....	10
3.6. Rifiuti solidi urbani .....	11
3.7. Parcheggi.....	11
3.8. La strada .....	12





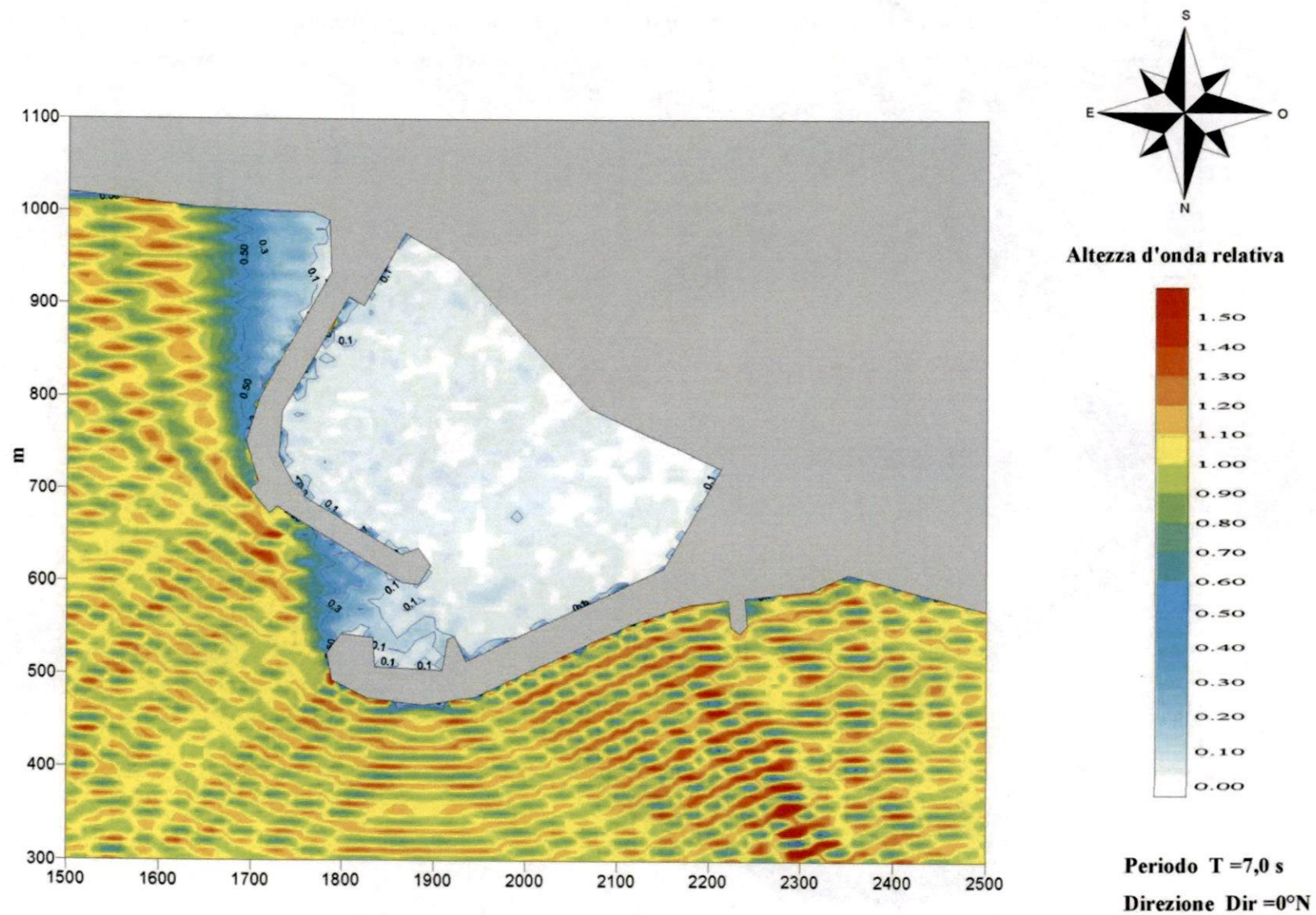


**Figura 4.12** – Diffrazione per onde provenienti da  $60^\circ N$  e per periodo  $T = 9,0$  s – lay out prescelto



**Figura 4.10** – Diffrazione per onde provenienti da  $0^\circ N$  e per periodo  $T = 11,0$  s – lay out prescelto





**Figura 4.8** – Diffrazione per onde provenienti da  $0^\circ$ N e per periodo  $T = 7,0$  s – lay out prescelto

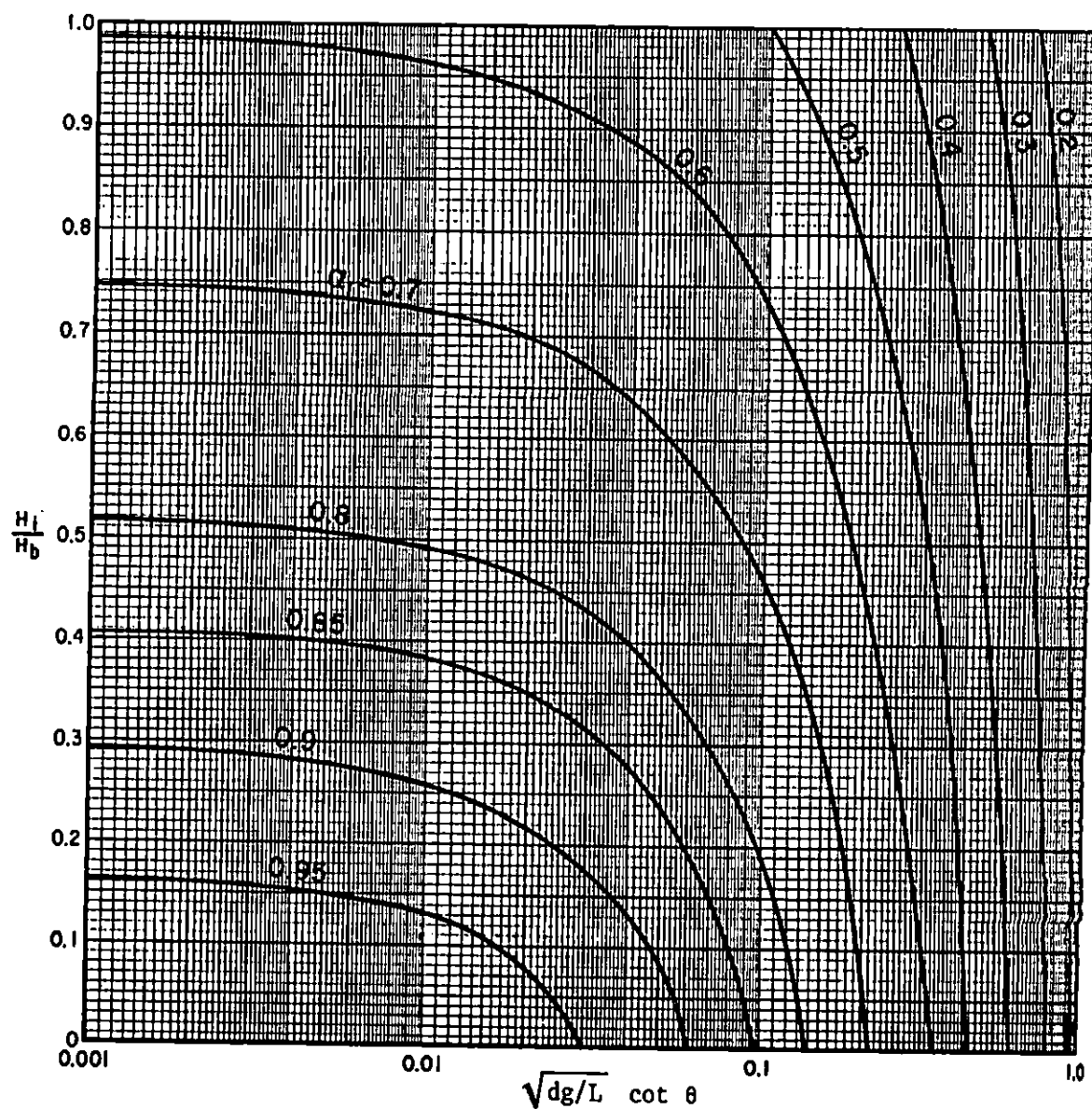


Figura 4.6 – Andamento del coefficiente riduttivo  $\alpha_1$

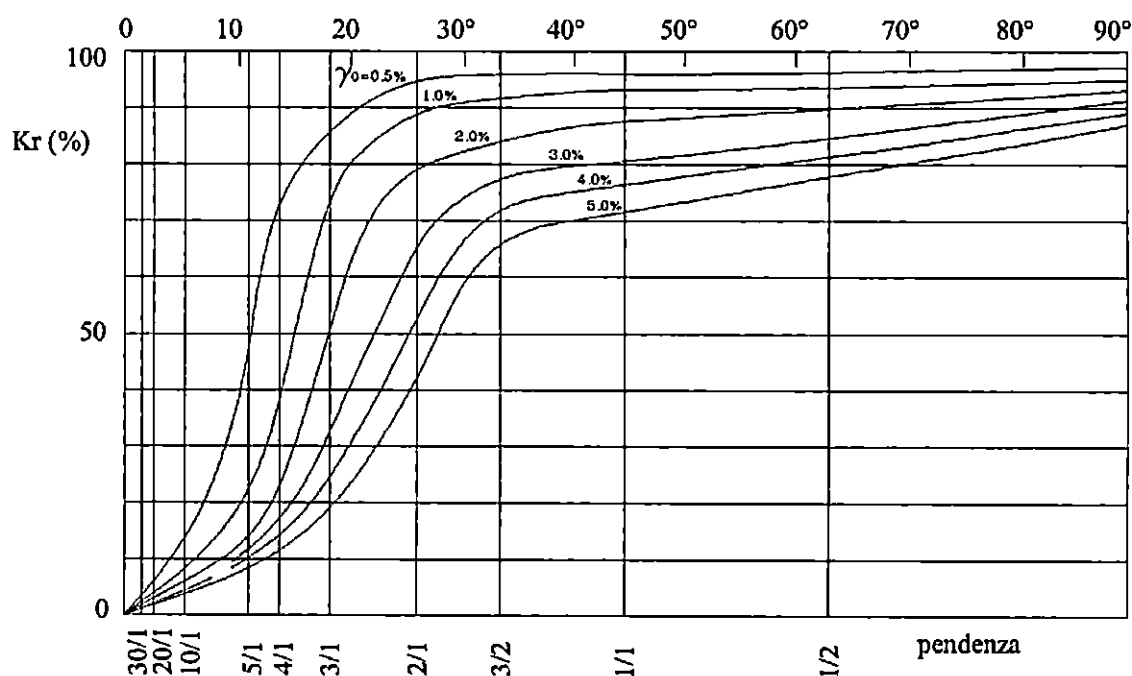


Figura 4.3 – Coefficiente di riflessione di un piano inclinato liscio per diverse ripidità dell'onda incidente in funzione della pendenza dell'ostacolo

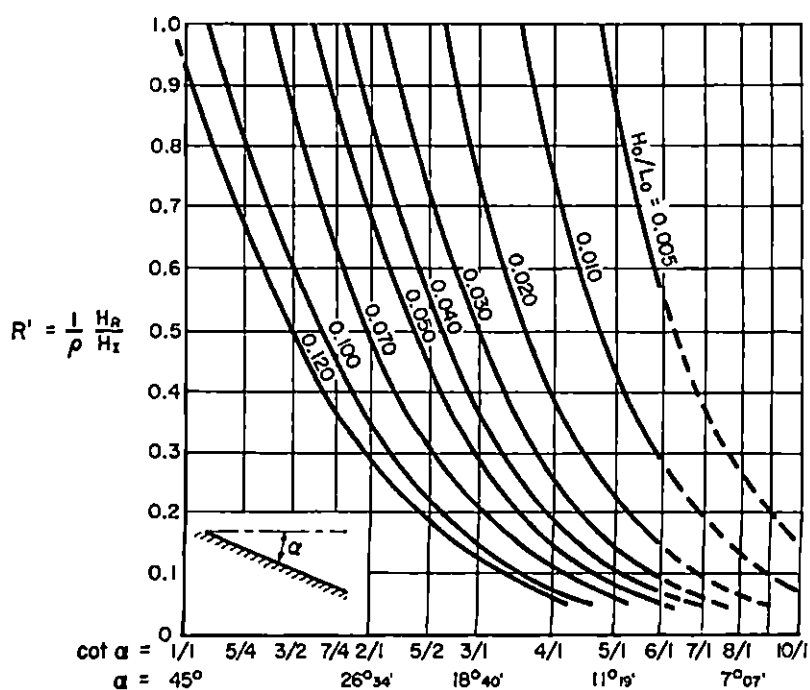
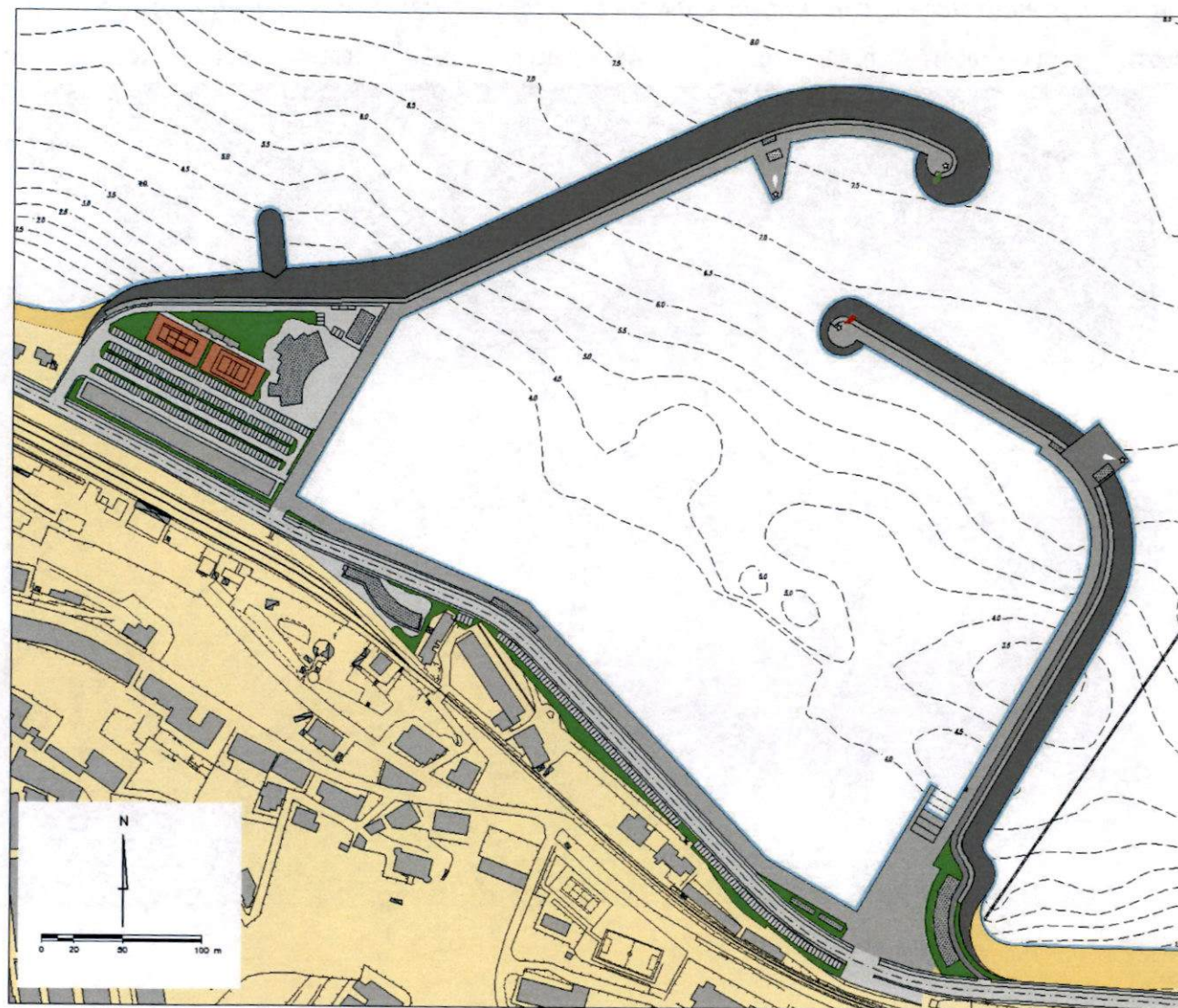


Figura 4.4 - Andamento del valore del coefficiente di riflessione reale in relazione a quello teorico attraverso l'introduzione di un fattore correttivo  $p$

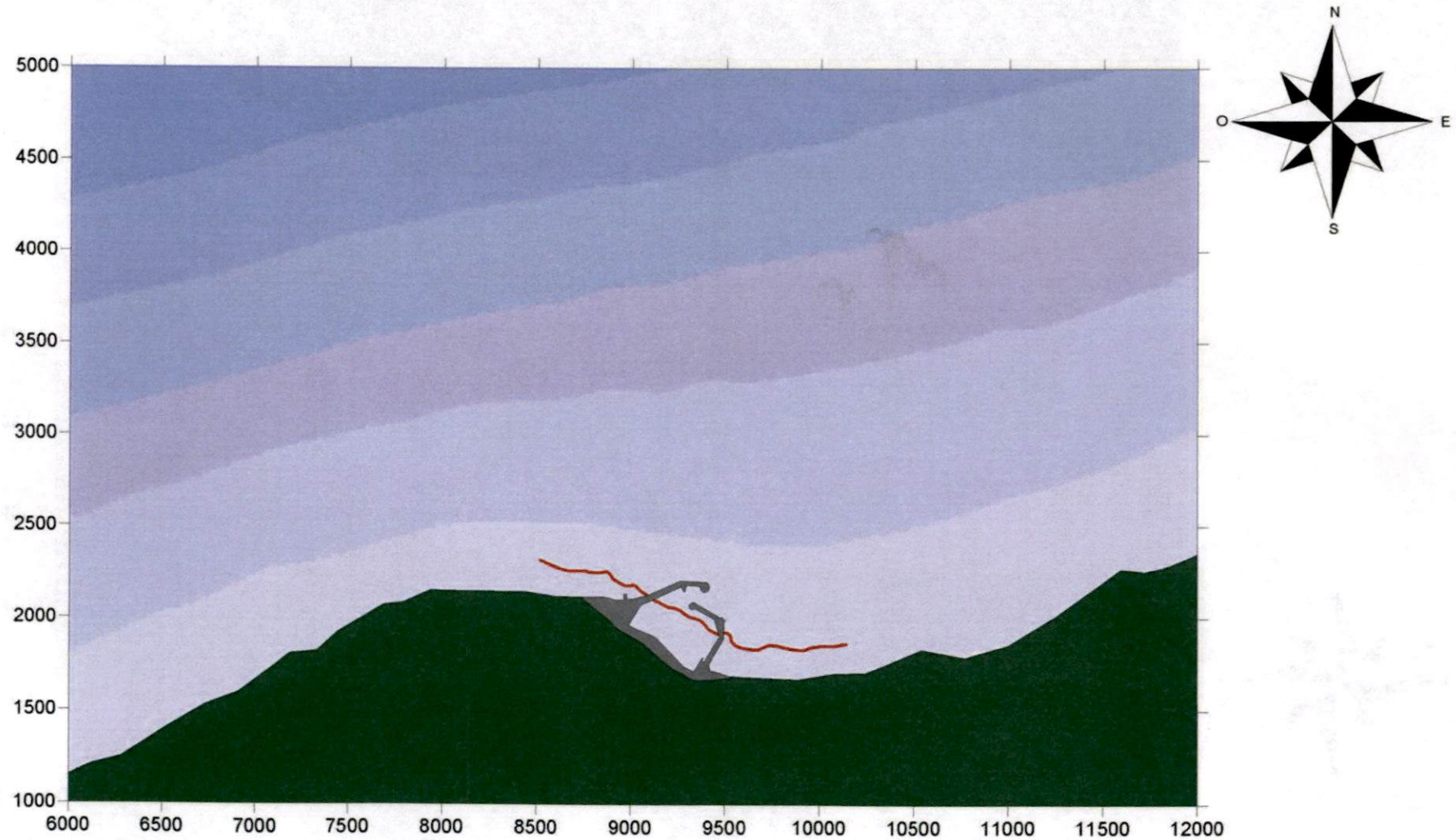




**Figura 4.1** – Planimetria del lay out prescelto del porto di Santo Stefano di Camastra

**Frangimento;  $T_r = 25$  anni;**

**Caratteristiche ondametriche al largo: Dir =  $300^\circ\text{N}$ ;  $H = 5.0$  m;  $T = 9.2$  sec.**

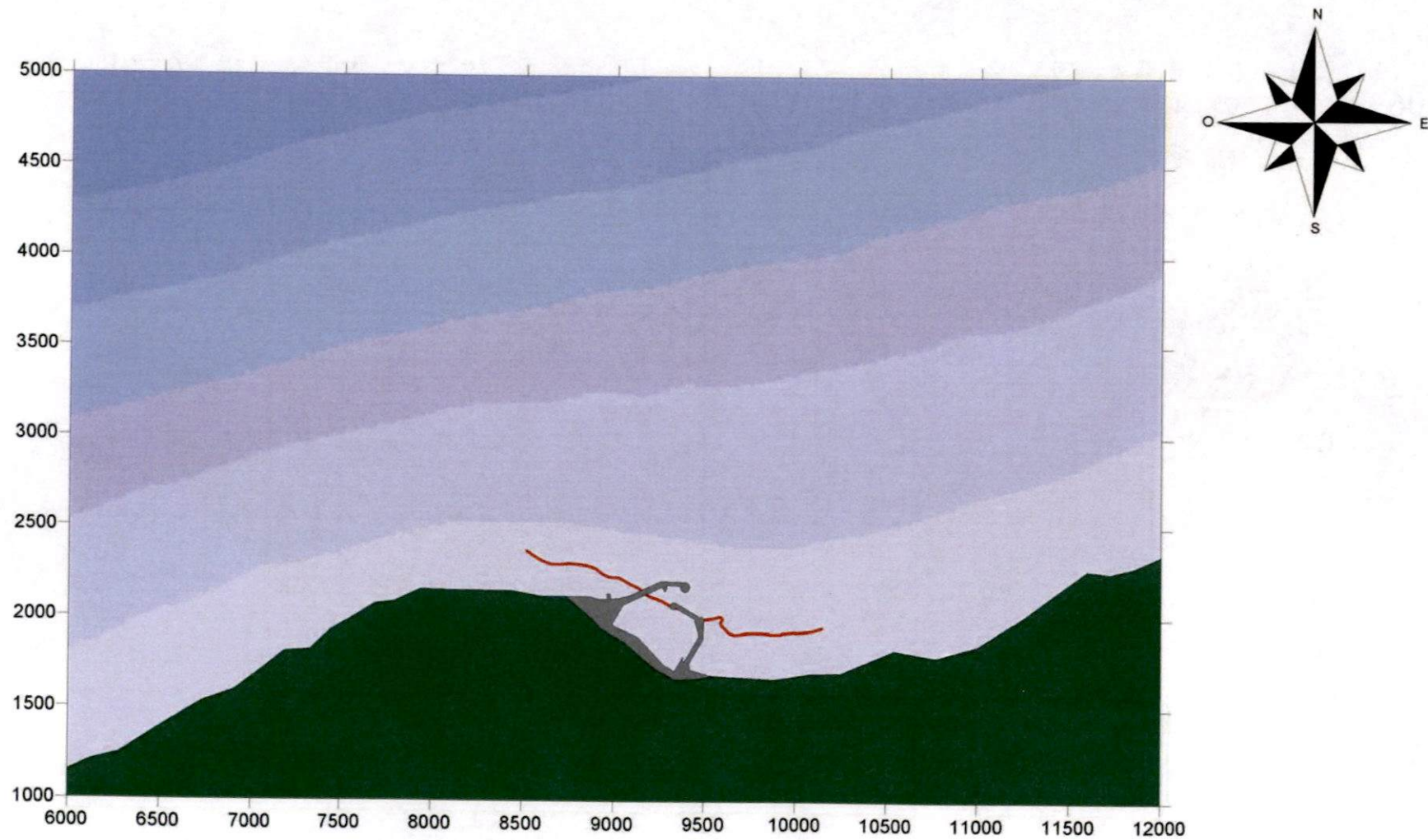


**Figura 3.15** – *Linea dei frangenti per eventi con tempo di ritorno 25 anni e direzione al largo  $300^\circ\text{N}$*



**Frangimento;  $T_r = 25$  anni;**

**Caratteristiche ondametriche al largo:  $Dir = 0^\circ N$ ;  $H = 5.0$  m;  $T = 9.2$  sec.**



**Figura 3.13** – *Linea dei frangenti per eventi con tempo di ritorno 25 anni e direzione al largo  $0^\circ N$*

Rifrazione inversa spettrale  
 $T = 14.0$  sec

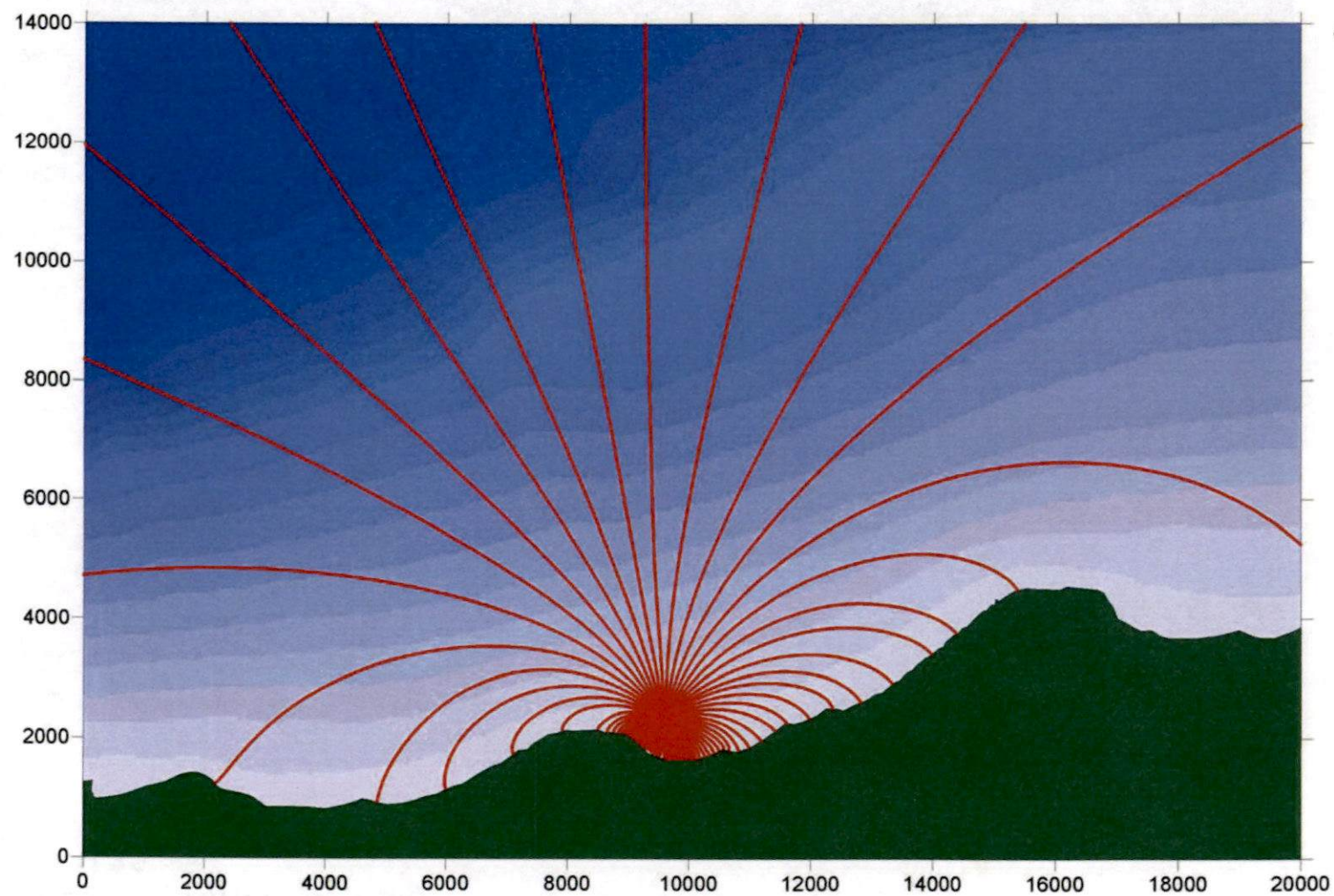


Figura 3.11 – Rifrazione spettrale inversa, periodo 14 sec



Rifrazione inversa spettrale  
 $T = 8.0 \text{ sec}$

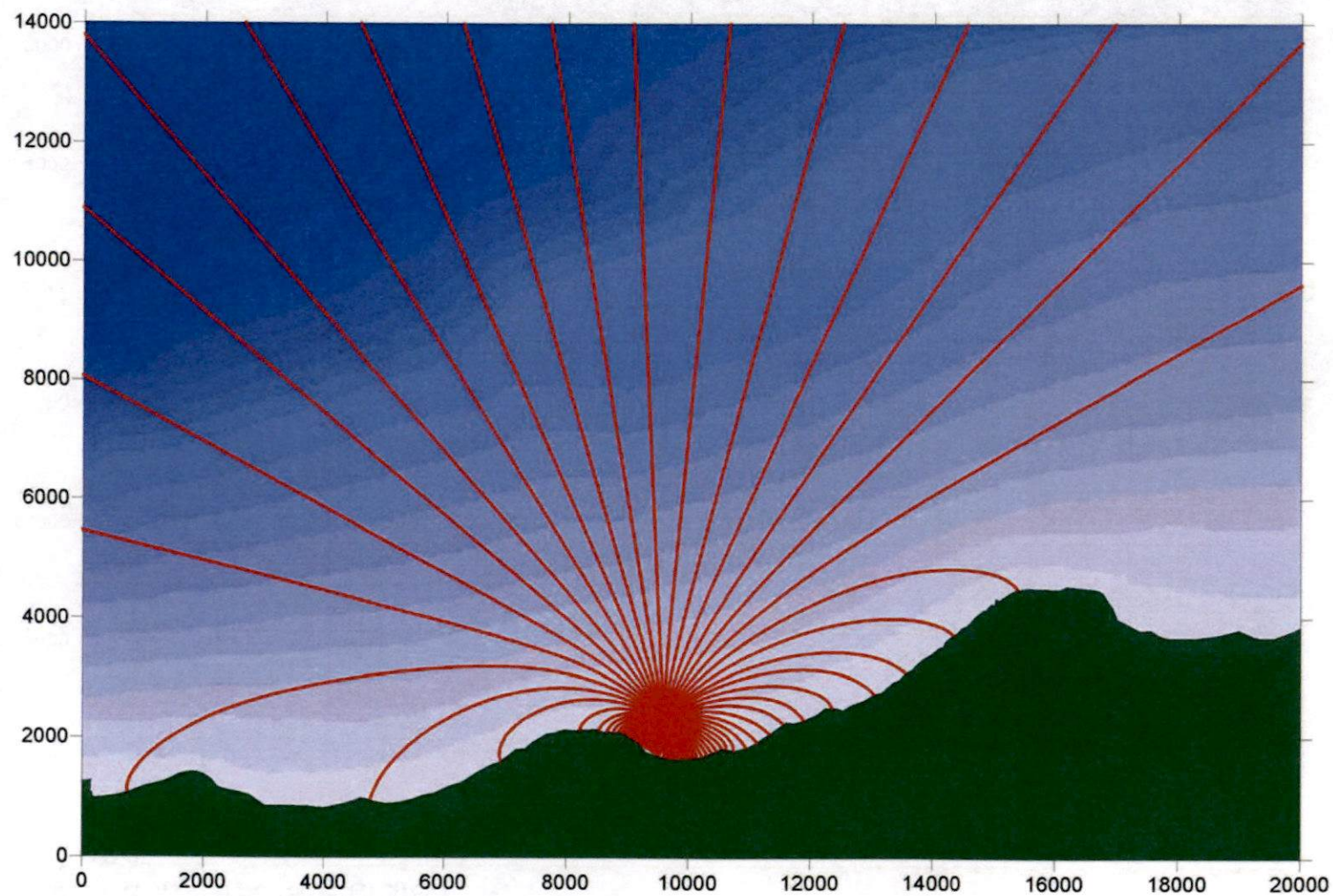
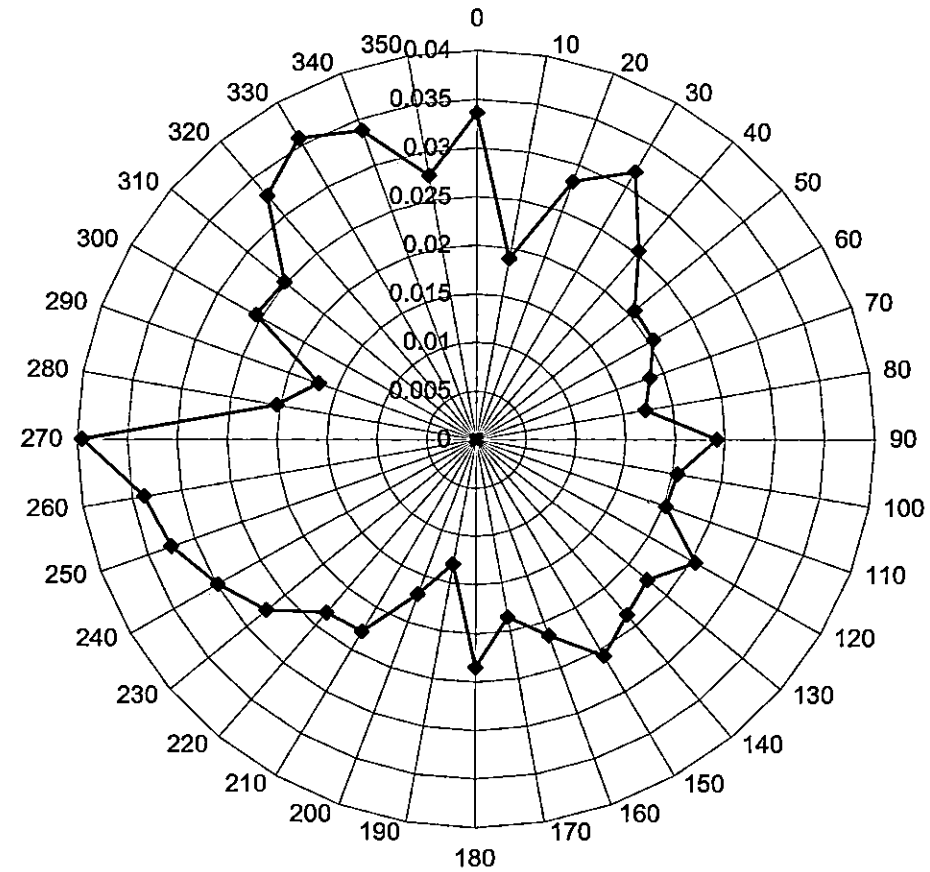


Figura 3.9 – Rifrazione spettrale inversa, periodo 8 sec

**FIGURE**

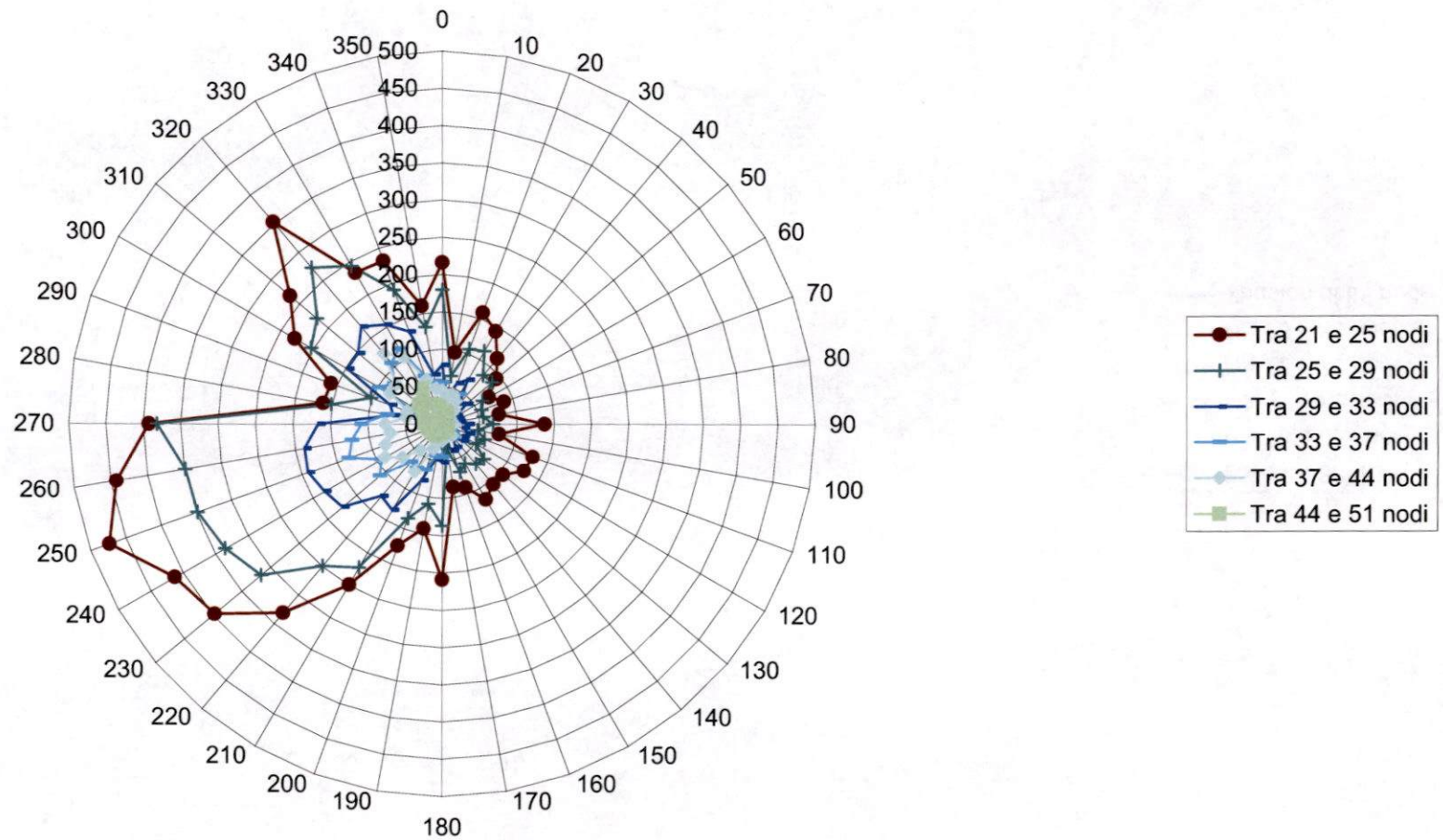


### Frequenze di apparizione del vento a Ustica

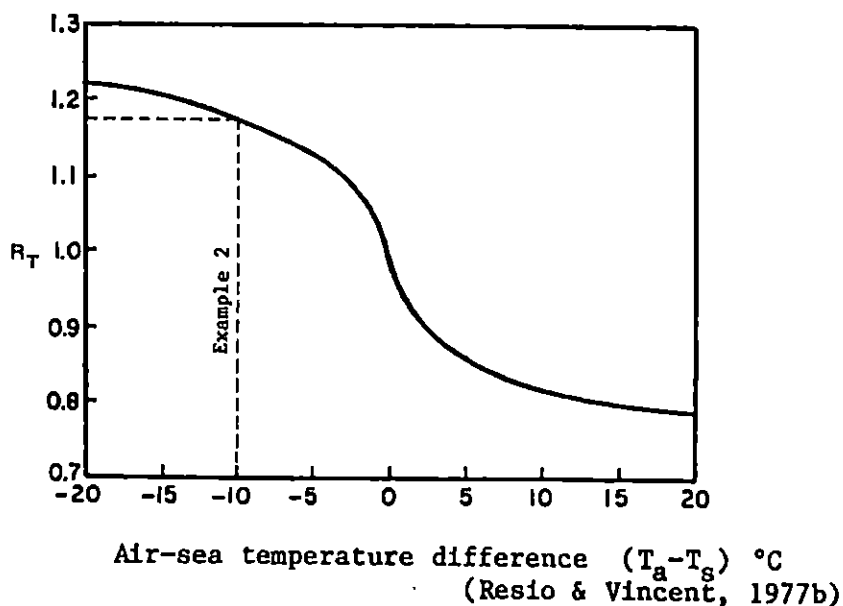


**Figura 2.2** - Distribuzione delle frequenze dei dati di vento osservati (Stazione di Ustica 1951-2002).

**USTICA**  
**N° eventi osservati (1951-2002)**

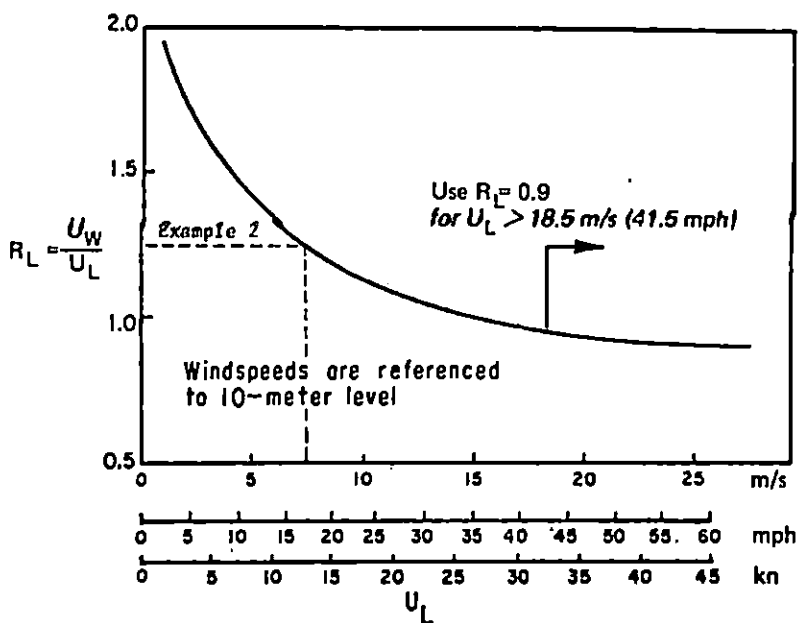


**Figura 2.4** -Distribuzione delle frequenze per classi di velocità del vento (Stazione di Ustica 1951-2002).



Amplification ratio,  $R_T$ , accounting for effects of air-sea temperature difference.

Figura 3.1 - *Determinazione del coefficiente  $R_T$ .*



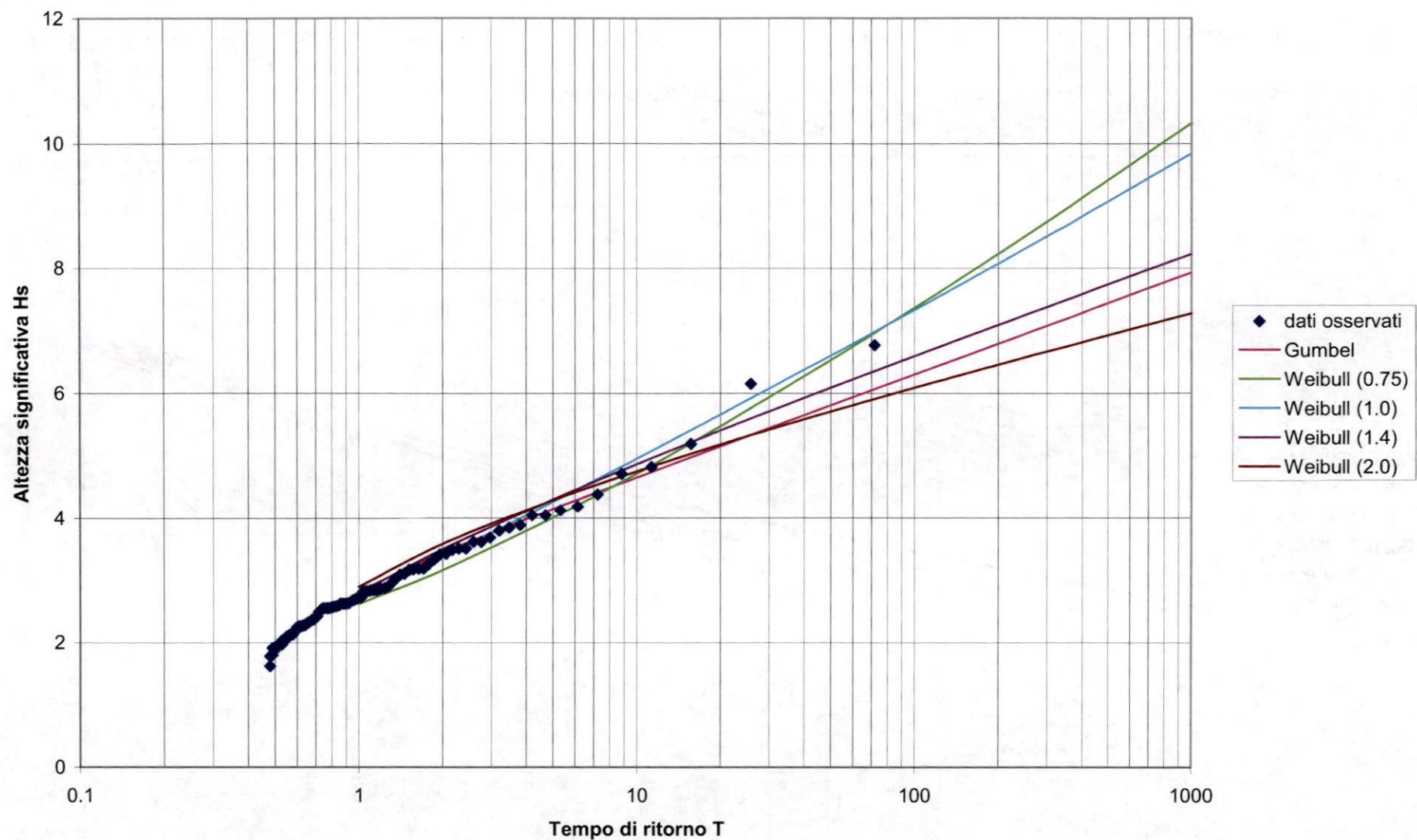
Ratio,  $R_L$ , of windspeed over water,  $U_W$ , to windspeed over land,  $U_L$ , as a function of windspeed over land,  $U_L$ .

Figura 3.2 - *Determinazione del parametro  $R_L$ .*



**Figura 3.4** - *Fetches geografici ed efficaci relativi al punto di analisi al largo della località Santo Stefano di Camastra*





**Figura 3.6** - Valori dell'altezza d'onda significativa al largo per il settore di provenienza del moto ondoso di ampiezza  $270^\circ\text{N} - 330^\circ\text{N}$ , in funzione del tempo di ritorno secondo le leggi di Gumbel e Weibull.





Hs (m)	0	0.25	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	TOT.
	0.25	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5			

Hlmax (m)

0.15

dir (°N)	0	3.54	1.30	0.99	0.38	0.19	0.12	0.06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
----------	---	------	------	------	------	------	------	------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Agibilità	99.75 %	364	99
Non agibilità	0.25 %	1	99

Tabella 4.4 - Condizione di comfort per il lay out precelto - Zona 1

Hs (m)	0		0.25		0.5		1		1.5		2		2.5		3		3.5		4		4.5		5		5.5		6		6.5		7		7.5		7.5 >8.00		TOT.		
	0.25	0.5	0.25	0.5	0.25	0.5	0.25	0.5	0.25	0.5	0.25	0.5	0.25	0.5	0.25	0.5	0.25	0.5	0.25	0.5	0.25	0.5	0.25	0.5	0.25	0.5	0.25	0.5	0.25	0.5	0.25	0.5	0.25	0.5	0.25	0.5			
dir.(°N)																																							
0	3.54	1.30	0.99	0.38	0.19	0.12	0.06	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.62			
15	3.58	1.06	0.77	0.17	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.64			
30	0.81	0.25	0.12	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.23				
45	5.67	1.90	0.96	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.64				
60	20.21	1.48	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.93				
75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
105	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
120	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
135	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
150	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
165	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
180	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
195	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
210	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
225	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
240	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
255	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
270	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19				
285	4.42	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.81				
300	9.09	5.23	0.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.86				
315	7.32	4.81	3.35	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.53				
330	3.87	2.51	2.83	1.04	0.22	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.48				
345	4.19	1.83	2.06	1.06	0.46	0.25	0.10	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.02				
TOT.	62.88	20.76	11.84	2.86	0.93	0.39	0.16	0.07	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	99.95					

Tabella 4.2 - Distribuzione percentuale del clima d'onda sottocosta

TEMPO DI RITORNO	GUMBEL		WEI (.75)		WEI(1.0)		WEI(1.4)		WEI(2.0)	
	Hs	Ic	Hs	Ic	Hs	Ic	Hs	Ic	Hs	Ic
1	3.293	0.213	3.147	0.367	3.320	0.395	3.350	0.235	3.348	0.237
2	3.775	0.281	3.775	0.518	3.913	0.568	3.832	0.312	3.752	0.312
5	4.398	0.384	4.676	0.753	4.706	0.843	4.431	0.432	4.228	0.428
10	4.866	0.472	5.403	0.954	5.315	1.084	4.861	0.536	4.559	0.528
15	5.139	0.527	5.844	1.081	5.674	1.238	5.106	0.602	4.743	0.591
20	5.332	0.568	6.163	1.174	5.931	1.352	5.277	0.651	4.870	0.637
25	5.482	0.601	6.414	1.249	6.130	1.444	5.408	0.690	4.966	0.675
50	5.947	0.707	7.214	1.493	6.755	1.746	5.808	0.818	5.258	0.796
100	6.412	0.821	8.041	1.754	7.388	2.073	6.200	0.956	5.538	0.926
150	6.684	0.890	8.536	1.914	7.761	2.275	6.425	1.041	5.697	1.006
250	7.026	0.982	9.171	2.123	8.235	2.542	6.706	1.152	5.893	1.110
500	7.491	1.111	10.052	2.421	8.885	2.923	7.081	1.311	6.153	1.259
1000	7.956	1.247	10.953	2.733	9.543	3.327	7.451	1.478	6.406	1.415

A: 0.671 0.498 0.821 1.267 1.837

B: 1.735 1.588 1.34 0.984 0.487

r: 0.987 0.988 0.997 0.985 0.963

Hs altezza significativa in m

Ic intervallo di confidenza in m

**Tabella 3.9 - Enti estremi sottocosta**

TABELLA DIREZIONALE ALTEZZA DONDA - ANNUALE  
Distribuzione del clima d'onda per classi di Hs e direzione di provenienza

Hs (m)	0	0.25	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	>8.00	TOT
dir. (°N)	0.25	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	>8.00	TOT
0	3176	1170	882	339	164	98	49	27	17	10	4	4	1	2	2	0	0	0	5945
15	3210	946	684	161	37	11	3	0	1	0	0	0	1	0	4	0	0	0	5058
30	724	215	102	40	19	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1109
45	5089	1706	853	109	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7761
60	18145	1328	216	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19689
75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
165	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
195	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
225	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
255	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
270	174	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	174
285	3966	350	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4316
300	8156	4703	479	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13338
315	6577	4316	3006	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13939
330	3478	2246	2534	934	201	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9403
345	3766	1645	1850	946	421	216	88	40	17	11	5	4	0	0	0	0	0	0	9009
TOT.	56461	18625	10606	2569	846	341	143	67	35	21	9	8	2	2	6	0	0	0	89741

Eventi indefiniti: 41721

TABELLA 3.7 - Distribuzione del clima d'onda sottocosta annuale per classi di Hs e direzione di provenienza

TEMPO DI RITORNO	GUMBEL		WEI (.75)		WEI(1.0)		WEI(1.4)		WEI(2.0)	
	Hs	Ic	Hs	Ic	Hs	Ic	Hs	Ic	Hs	Ic
1	2.816	0.211	2.613	0.278	2.685	0.275	2.785	0.255	2.889	0.235
2	3.43	0.271	3.154	0.426	3.355	0.432	3.488	0.365	3.575	0.305
5	4.139	0.379	4	0.699	4.256	0.739	4.297	0.572	4.285	0.433
10	4.649	0.478	4.711	0.954	4.95	1.036	4.861	0.769	4.75	0.552
15	4.942	0.542	5.149	1.122	5.361	1.234	5.179	0.899	5.004	0.631
20	5.149	0.589	5.469	1.248	5.655	1.385	5.401	0.998	5.178	0.69
25	5.309	0.628	5.721	1.349	5.884	1.507	5.57	1.078	5.31	0.737
50	5.805	0.755	6.528	1.688	6.603	1.919	6.088	1.344	5.707	0.896
100	6.299	0.894	7.367	2.058	7.333	2.377	6.594	1.637	6.088	1.069
150	6.587	0.981	7.87	2.288	7.766	2.665	6.887	1.821	6.305	1.177
250	6.95	1.095	8.515	2.592	8.316	3.048	7.252	2.064	6.573	1.319
500	7.443	1.259	9.411	3.03	9.072	3.604	7.743	2.414	6.93	1.524
1000	7.935	1.433	10.327	3.494	9.84	4.201	8.231	2.788	7.281	1.742

A: 0.73 0.587 0.947 1.417 1.969

B: 2.499 2.219 1.97 1.626 1.172

r: 0.988 0.978 0.994 0.989 0.968

Hs altezza significativa in m

Ic intervallo di confidenza in m

**Tabella 3.5 - Eventi estremi al largo di Santo Stefano di Camastra provenienti dal settore 270°N - 330°N**



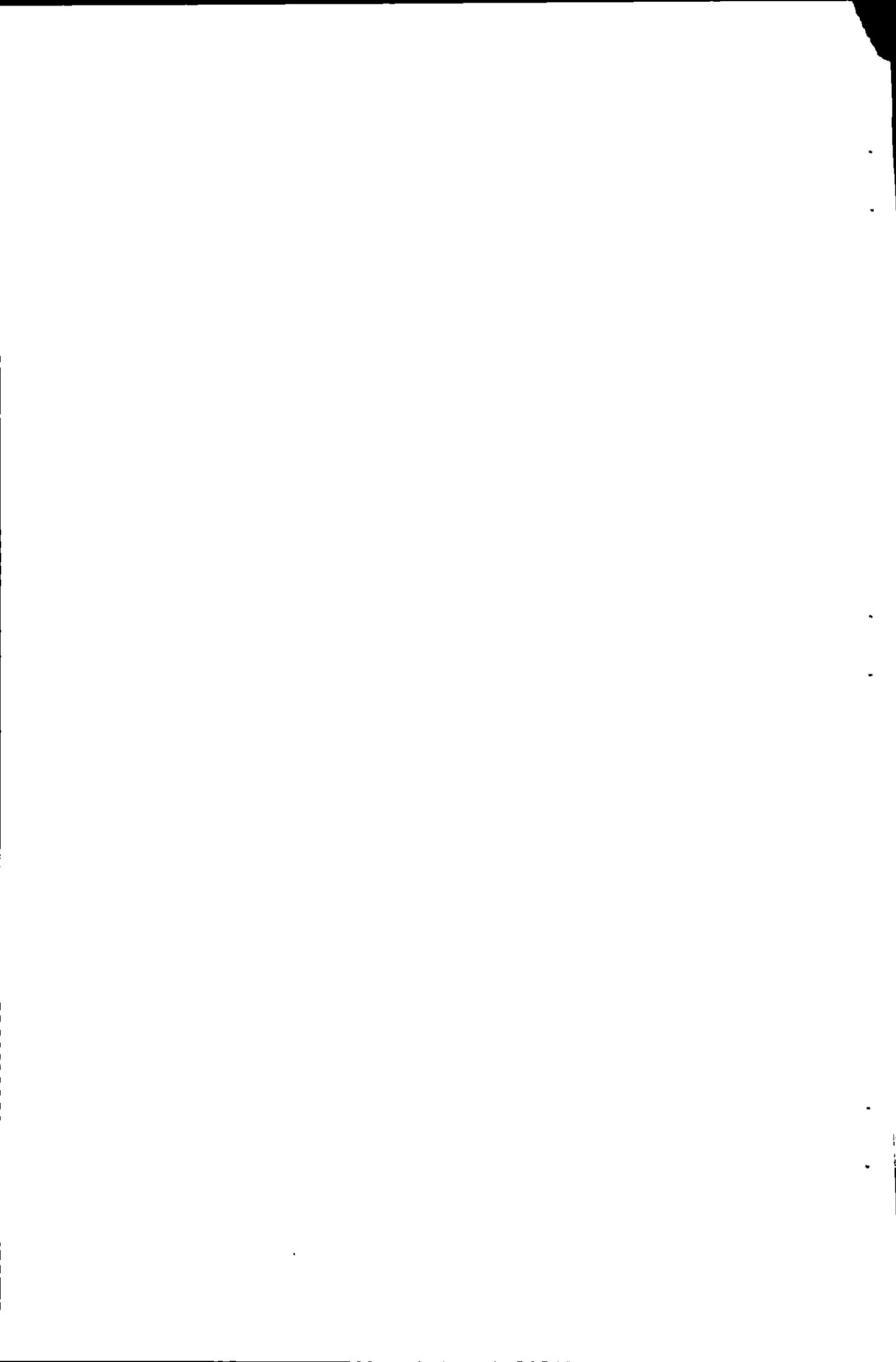
Hs (m)	0	0.25	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	>8.00	TOT
dir. (°N)	0.25	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8			
0	4.32	0.81	0.54	0.21	0.08	0.04	0.02	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.03
15	3.88	0.62	0.41	0.13	0.03	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.08
30	0.71	0.13	0.08	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.95
45	0.61	0.13	0.07	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.83
60	5.61	1.12	0.52	0.1	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.37
75	2.94	0.56	0.19	0.02	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.72
90	4.63	0.7	0.22	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.58
105	2.59	0.31	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.98
120	4.68	0.61	0.13	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.43
135	0.69	0.15	0.04	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.89
150	0.2	0.05	0.02	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.28
165	0.2	0.05	0.03	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.29
180	0.16	0.03	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.20
195	0.18	0.04	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.24
210	0.21	0.05	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.28
225	0.24	0.07	0.03	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.35
240	0.19	0.05	0.02	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.27
255	0.22	0.05	0.03	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.31
270	2.59	0.87	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.66
285	4.2	1.64	0.53	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.40
300	5.7	2.72	1.76	0.32	0.06	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.57
315	4.45	1.67	1.48	0.54	0.28	0.1	0.06	0.03	0.02	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.64
330	3.79	1.26	1.08	0.52	0.22	0.12	0.05	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	7.11
345	4.84	1.02	0.85	0.32	0.14	0.06	0.03	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.29
TOT.	57.83	14.71	8.36	2.34	0.84	0.34	0.16	0.08	0.04	0.03	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	84.75

Erredefiniti: 15.18

Tabella 3.3- Distribuzione percentuale del clima d'onda al largo annuale per classi di direzione di provenienza

Azimuth (°Nord)	Fetch Geografico (metri)	Fetch Efficace (metri)
0	285122	283560
10	285122	240347
20	237161	193131
30	237161	158691
40	61356	144653
50	215304	129629
60	76599	105459
70	73969	83718
80	153765	68682
90	46758	55331
100	36322	41079
110	19915	32268
120	16479	22127
130	12885	13727
140	9437	10338
150	7952	8164
160	6769	6898
170	5974	5995
180	5669	5498
190	5158	5388
200	5421	5587
210	5159	6083
220	5119	7848
230	7323	11602
240	8807	16956
250	10838	34692
260	12330	70045
270	45034	115392
280	54494	172364
290	69875	237985
300	407198	299365
310	429555	335254
320	507140	353525
330	601941	365852
340	615426	357018
350	400104	323866

Tabella 3.1-*Fetchs geografici ed efficaci al largo di Sefano di Gmestra*



$\alpha$  è l'angolo che il paramento foraneo che accoglie la mantellata forma con l'orizzontale, posto pari a 2.5;

$H_s$  è l'altezza d'onda significativa

$K_D$  rappresenta il coefficiente di stabilità, sempre assunto pari a 2.

si trae la conclusione che, tali elementi sono in equilibrio fino a valori dell'altezza d'onda significativa pari a quasi 4.0 m, valori assai superiori a quelli che fisicamente si possono ivi realizzare. Infatti, l'altezza d'onda significativa frangente,  $H_{sb}$ , che può raggiungere la parte di mantellata emersa qui in esame è stata ottenuta, con l'espressione proposta da Kamphuis, a partire dalla conoscenza della profondità corrispondente al frangimento,  $h_b$ , e della pendenza dei fondali  $m$ :

$$H_{sb} = 0,56 e^{3,5 m} h_b$$

Assunto  $h_b = 0.5m$ ,  $m=0$ , risulta  $H_{sb}=0.30m$

Con lo scopo di affinare il processo di verifica, si indichi con  $p$  la porosità della mantellata, usualmente compresa fra 0,30 e 0,50 e qui posta pari a 0.40. Sia  $D_n$  la dimensione lineare caratteristica dei blocchi, detta diametro nominale, assunta pari al lato del cubo di peso pari al blocco della mantellata stessa. Il semplice calcolo porge nel caso in esame  $D_n=1.47$  m.

Conservando lo stesso significato dei simboli già definiti, si indichi, altresì, con  $S$  il grado di danneggiamento relativo<sup>18</sup> e con  $\xi_m$  il parametro di frangimento medio o numero di Irribarren espresso da:

$$\xi_m = tg \alpha / \sqrt{H_s / L_0}$$

Ciò posto, volendo approfondire l'analisi, avendo indicato con  $N$  il numero di onde presenti nella mareggiata<sup>19</sup>, qui posto pari a 2500, definita dal rapporto fra la durata dello stato di mare ed il periodo medio, si ricordano le seguenti formule di Van der Meer<sup>20</sup>, valide per opere a gettata in massi naturali:

$$\frac{H_s}{\Delta D_n} = 6,2 \cdot (p)^{0,18} \cdot \left( \frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0,2} \cdot \xi_m^{-0,5}$$

nell'ipotesi di frangimento del tipo *plunging*, valida per  $\xi_m \leq 2,5$ , e

<sup>18</sup> Il grado di danneggiamento della scogliera è espresso nelle formule che seguono dal rapporto fra l'area erosa nel profilo trasversale, attorno al livello medio del mare, ed il quadrato della dimensione lineare caratteristica dei blocchi, già dianzi definita.

<sup>19</sup> Le esperienze condotte dall'Autore sono relative ad attacchi con numero di onde compreso tra 1000 e 5000, sembra pertanto adeguata la scelta operata in questa sede che corrisponde ad una mareggiata con durata di circa 7 ore.

<sup>20</sup> Le formule di Van der Meer sono particolarmente indicate per acque basse, con  $h/L < 0,15$ .

anni, come raccomandato dalle "Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime" tuttora vigenti.

### 5.3 - DETERMINAZIONE DEL PESO DEL BLOCCO DELLA MANTELLATA SOMMERSA

Al fine di verificare le condizioni di equilibrio del blocco prescelto per la formazione della mantellata sommersa della diga foranea si è fatto ricorso alla formula di Hudson, di consolidata applicazione, ancorché valida per onde regolari. Tra le tante formule esistenti in letteratura, è quella per la quale, più di ogni altra, sono state condotte minuziose ricerche sperimentali atte alla valutazione del coefficiente di stabilità per una vasta ed articolata casistica, non solo con riferimento ai diversi tipi di blocco, ma anche alle caratteristiche idrodinamiche dell'onda incidente. Infatti, il momento più delicato di tutto il processo progettuale è costituito dalla valutazione del coefficiente empirico che tiene conto della geometria macroscopica (forma, dimensione, grado di arrotondamento degli spigoli) e microscopica (scabrezza delle superfici), sia di ogni singolo blocco, sia della mantellata nel suo insieme (grado di interconnessione). E' opportuno ricordare che il periodo dell'onda non compare esplicitamente nella formula di Hudson per il fatto che il valore del coefficiente empirico è relativo al campo più gravoso dei periodi stessi, campo che, secondo lo stesso Autore, è quello per il quale si manifesta il frangimento brusco sulla scarpata.

Inoltre, la precitata formula di Hudson fornisce, a parità di pendenza, valori del peso del blocco sempre più alti di quelli ottenibili da altre formule, quali quella di Iribarren, non solo nel caso di scogli, ma anche di blocchi artificiali sia di forma parallelepipedica sia di forma speciale. Risultando, pertanto, più cautelativi si è fatto riferimento ai valori del peso del blocco deducibili dalla ripetuta formula di Hudson, avente la seguente espressione:

$$P = \frac{\gamma_c}{\Delta^3} \frac{H_s^3}{K_D \cot g \alpha}$$

dove:

$P$  è il peso del blocco di mantellata, incognita del problema;

$\Delta = (\gamma_c / \gamma_w)$ , con  $\gamma_c$  il peso specifico del blocco ( $2300 \text{ kg/m}^3$ ) e  $\gamma_w$  quello dell'acqua ( $1000 \text{ kg/m}^3$ );

$\alpha$  è l'angolo che il paramento foraneo che accoglie la mantellata forma con l'orizzontale, pari a  $2^\circ$ ;

$H_s$  è l'altezza d'onda significativa;



Con riguardo alle imbarcazioni da diporto, utenti del dispositivo portuale di S. Stefano di Camastra, si richiamano le *“Raccomandazioni tecniche per la progettazione dei porti turistici”* edite nel 2002 a cura della Sezione Italiana della già citata Associazione (AIPCN); queste, con riguardo alle onde residue ammissibili, prescrivono:

- *condizioni di comfort, particolarmente significativa nel caso di porti in cui si prevede la presenza di persone a bordo delle imbarcazioni:*

*Hs limite = 0,15 m, per eventi con frequenza massima di 5 giorni/anno;*

- *condizione di sicurezza:*

*Hs limite = 0,30 m, per eventi con periodo di ritorno fino a 5 anni;*

- *condizioni di sopravvivenza:*

*Hs limite = 0,50 m, per eventi con periodo di ritorno fino a 50 anni.*

Per poter stabilire se i valori limite imposti dall'AIPCN vengono rispettati è necessario passare dal coefficiente di diffrazione ai valori assoluti in termini di altezza d'onda come descritto sopra.

Si osserva che, passando dal coefficiente di diffrazione ai valori assoluti in termini di altezza d'onda, nella zona 1 le condizioni di comfort sono garantite per il 99,7% degli eventi totali corrispondenti a 364 giorni di operatività (tab. 4.4), le condizioni di sicurezza e di sopravvivenza vengono sempre rispettate (tab. 4.5).

#### 4.4 CONCLUSIONI

In sintesi, dalla verifica dello stato di agitazione ondosa all'interno del porto di Santo Stefano di Camastra emerge la considerazione che lo specchio acqueo nella configurazione planimetrica prescelta soddisfa pienamente le condizioni di comfort per l'ormeggio delle imbarcazioni da diporto. I valori limite di altezza d'onda necessari per garantire le condizioni di sicurezza e sopravvivenza vengono anch'essi rispettati.

I risultati dello studio condotto per la valutazione dello stato di agitazione residua all'interno dello specchio liquido protetto, consentono di affermare che il lay - out prescelto garantirà, di certo, uno specchio liquido ridossato in condizioni ben al di sotto di quanto prescritto dall'AIPCN per un porto turistico. L'intervento proposto risulta, quindi, efficace poiché lo specchio acqueo portuale è esposto ad una escursione della superficie liquida compatibile con le richieste condizioni di comfort, sicurezza e sopravvivenza.

Al fine di rendere più espressivi i risultati cui si è pervenuti, si è adottato un tipo di rappresentazione adimensionale riportando, al posto dei valori dell'altezza d'onda, quelli del coefficiente d'altezza definito, com'è noto, dal rapporto fra l'altezza d'onda diffratta e quella incidente.

Tale rappresentazione, a differenza di quella ove si riportano direttamente i valori delle altezze, si presenta, per la linearità del fenomeno, con carattere di maggiore generalità, potendosi facilmente condurre utili confronti fra diverse condizioni ondometriche incidenti.

L'analisi del clima ondoso sottocosta ha permesso di individuare le direzioni di provenienza più significative ai fini della valutazione dell'agitazione ondosa all'interno dello specchio liquido portuale. Lo studio della diffrazione è stato condotto, quindi, per onde provenienti da  $0^\circ\text{N}$  e  $60^\circ\text{N}$  e periodi 7 s, 9s e 11s.

Sono state condotte le prove per i predetti valori del periodo, utilizzando il sopra richiamato modello al primo ordine, originariamente sviluppato, come noto, da Sommerfield per le onde luminose e successivamente esteso da Penny e Price al caso di onde liquide.

Si sono, quindi, individuate due diverse superfici liquide in cui è stato suddiviso lo specchio acqueo (fig. 4.7) e si è proceduto al calcolo del valor medio del coefficiente di diffrazione per la zona 1, prossima all'imboccatura portuale e, pertanto, caratterizzata da altezze d'onda unitarie diffratte più elevate rispetto a quelle che si riscontrano nella zona 2. Il raffronto fra gli esiti delle prove condotte, come esposte nelle figure da 4.8 a 4.13 allegate alla presente relazione, che, appunto, rappresentano, con diversi colori, i campi caratterizzati da predeterminati valori dell'altezza d'onda interna per valori unitari di quella incidente, mostra che per la zona 1 il coefficiente di diffrazione assume il valore minimo di 0,04 per la direzione di provenienza di  $0^\circ\text{N}$  e periodo 7s ed il valore massimo pari a 0,17 per la direzione di  $60^\circ\text{N}$ ; per la zona 2 il coefficiente di diffrazione assume valori di gran lunga inferiori poiché, come risulta intuitivo, la zona 2 è più protetta dagli attacchi del moto ondoso.

#### **4.3 AGIBILITA'**

In applicazione a quanto già detto in premessa, al fine della valutazione dell'agibilità, si è già dianzi ricavato lo stato di agitazione all'interno dei bacini protetti, conseguente alla diffrazione attorno alle testate delle opere esistenti e proposte in questa sede. In particolare, l'operatività degli specchi liquidi adibiti a finalità portuale viene valutata attraverso il confronto, da un lato, fra lo stato di agitazione ivi determinato dalle

- assenza di frangimento;

il fenomeno risulta retto dalla seguente nota equazione di Laplace scritta in coordinate cilindriche  $(r, \phi, z)$  con origine nella testata del frangiflutti:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial r^2} + \frac{\partial \phi}{r^2 \partial \alpha} + \frac{\partial \phi}{r \partial r} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0$$

essendo  $\phi$  la funzione potenziale della velocità, la cui espressione può scriversi:

$$\phi = \frac{Hg}{2\sigma} \times \frac{chk(h+z)}{chkh} \varphi(r, \alpha)$$

cioè:

$$\phi = \varphi(r, \alpha) \cosh k(h+z) e^{-j\sigma}$$

con:

$\sigma$  frequenza angolare paria  $2\pi/T$

$k$  numero d'onda pari a  $2\pi/L$ , calcolato tramite la funzione di dispersione della teoria lineare

$h$  generico valore della profondità

Essendo:

$$\varphi(r, \alpha) = \rho(r, \alpha) e^{i\beta(r, \alpha)}$$

una funzione complessa dipendente solo dalle coordinate planimetriche del punto e non dell'affondamento  $z$ .

In tal modo sarà sempre soddisfatta la condizione di fondo fisso ed impermeabile:

$$\left( \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right)_{z=-h} = 0$$

e la condizione di Poisson:

$$g \frac{\partial \phi}{\partial z} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} = 0$$

che si riduce alla:

$$kg \cdot \tanh(kh) = \sigma^2$$

Il problema viene così ridotto ad un problema piano dove la funzione incognita  $\varphi(r, \alpha)$  può essere determinata in base alle condizioni al contorno, risolvendo la seguente equazione di Helmholtz:

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

avendo indicato con  $\nabla^2$  è il noto operatore di Laplace, definito nel piano coincidente con il livello indisturbato del mare.

liscia, riporta l'andamento del coefficiente di riflessione, definito dal rapporto fra l'altezza d'onda riflessa e quella incidente, al variare della pendenza dell'opera e della ripidità dell'onda incidente, cioè, come è noto, del rapporto tra altezza e lunghezza dell'onda.

E' il caso di osservare che il concetto di parete impermeabile impone che la componente della velocità in seno alla massa fluida normale al piano inclinato è nulla; l'ipotesi di parete liscia significa che lungo la stessa parete la componente tangenziale della velocità può cambiare solo per effetto di mutazione nel campo idrodinamico, in relazione alla profondità di ogni singolo punto della parete stessa e giammai per intrinseche caratteristiche di quest'ultima. Nel grafico di figura 4.3 il medesimo andamento viene esposto invertendo la grandezza posta in ascissa con quella assunta a parametro delle curve, fermo restando la collocazione in ordinata del coefficiente di riflessione che, ovviamente, può assumere il valore unitario solo per parete verticale.

La figura 4.4 consente un approccio più vicino alle pratiche applicazioni perchè porge, al variare delle stesse grandezze geometriche dell'opera e cinematiche del moto ondoso, l'andamento del valore del coefficiente di riflessione reale, in relazione a quello teorico dianzi considerato, attraverso l'introduzione di un fattore correttivo,  $\rho$ , che , appunto tiene conto del fatto che la parete non è, nei fatti, né impermeabile, né liscia; per il caso di materiale minuto disposto a formazione di paramenti fortemente irregolari si propone di assumere il valore 0,8; nel caso in cui, viceversa, lo stesso paramento sia costituito da materiale regolarmente disposto si indica il valore 0,35; nell'ipotesi di paramenti realizzati in scogliere si indicano valori compresi fra 0,30 e 0,60.

Per una rappresentazione, ancora meglio aderendo ai casi concreti, si propone il ricorso al grafico di figura 4.5 che riporta l'andamento del coefficiente di riflessione per tre casi relativi ad altrettante diverse nature della parete, in funzione del parametro detto *surf similarity*:

$$\xi = \frac{1.0}{\cot \theta \sqrt{\frac{H_i}{L_0}}}$$

che contiene indicazioni sia della geometria dell'opera sia delle caratteristiche cinematiche del moto ondoso, come l'altezza e la lunghezza.

Tuttavia, nel caso di scogliere, i valori ottenuti dal precedente grafico debbono ulteriormente essere corretti attraverso l'introduzione di due coefficienti riduttivi capaci di tener conto, rispettivamente, della dimensione caratteristica,  $d_g$ , dei blocchi che formano la mantellata e del frangimento dell'onda incidente, nonché del numero di ordini che formano

L'esame teorico della diffrazione del moto ondoso viene, com'è noto, condotto con gli stessi metodi elaborati per lo studio degli analoghi fenomeni nell'ottica e nell'acustica; il fenomeno della diffrazione può essere, infatti, spiegato con il principio di Huygens-Fresnel d'appresso, seppur sinteticamente, ricordato.

Sia  $S$  una sorgente puntiforme ed  $s$  una superficie chiusa che la contiene in cui ogni elemento  $dA$  diviene a sua volta sorgente di onde elementari che, con opportune intensità e fase, si propagano in tutte le direzioni. Ciò, ovviamente, comporta che in un punto posto al di fuori della superficie  $s$ , l'intensità della perturbazione che vi giunge è la risultante dell'interferenza di tutte le onde elementari emesse da ciascun elemento  $ds$ ; allorquando, in particolare, la superficie  $s$  sia una superficie d'onda, le diverse componenti elementari risultano in fase.

Ove, per ricondurre subito il discorso al problema della diffrazione, vi sia un ostacolo che taglia la superficie  $s$ , in un punto al di fuori di essa perverranno solo le onde elementari emesse dalla porzione di  $s$  non intercettata dall'ostacolo.

Ogni punto del fronte d'onda che avanza deve, pertanto, essere considerato come il centro di una perturbazione secondaria che si dirama in tutte le direzioni. La successiva configurazione assunta dai fronti d'onda, dopo un intervallo finito di tempo, nasce, allora, dall'involuppo delle suddette perturbazioni secondarie.

Allorquando un treno d'onde supera la testata di una diga, accanto ad un'aliquota di energia riflessa della diga stessa, una parte dell'energia posseduta dal treno d'onde incidente si propaga a tergo dell'ostacolo. Ove ciò non fosse, infatti, nella zona d'ombra si avrebbe la calma assoluta: il che è un paradosso.

L'aliquota dell'energia riflessa dall'opera dipende, invece, dalla geometria della stessa e, come meglio si vedrà d'appresso, mentre per opere con parete verticale può assumersi un coefficiente di riflessione pari all'unità, per strutture del tipo a gettata il coefficiente in parola dipende, non solo, dall'inclinazione del paramento foraneo e dalla natura della mantellata, sia in termini di natura dei blocchi, sia di collocazione degli stessi, ma anche dalle stesse caratteristiche cinematiche del moto ondoso. Solo in prima approssimazione e per analisi di larga massima è lecito assumere per opere a gettata un valore del coefficiente di riflessione pari a 0,5.

Lo studio della diffrazione, nel senso più generale del termine, affronta la valutazione delle caratteristiche del moto ondoso sia nella zona di riflessione dello stesso, sia nella zona protetta a tergo dell'ostacolo. L'esame dei fenomeni di diffrazione comporta, pertanto, la conoscenza delle agitazioni ondose non solo all'imboccatura ma anche di fronte ed a tergo dell'ostacolo.



$$\frac{H_f}{L_f} = \frac{0.095 \operatorname{tgh} \frac{2\pi h}{L_A}}{1.00 - 0.324 \operatorname{TGH} \frac{2\pi h}{L_f}}$$

Per profondità relative ancora più basse da condizione di frangimento, potrà, con estrema semplicità, essere valutata mediante l'applicazione della nota formula di Mc Cowan (1891), con il ben noto significato dei simboli:

$$H = 0,78 h$$

Comunque, utilizzando le espressioni ricordate si perviene, in ogni caso, ad un sistema di quattro equazioni in quattro incognite, rappresentate dalle grandezze  $H_f$ ,  $L_f$ ,  $\alpha_f$ ,  $h_f$  in funzione delle caratteristiche dell'onda in profondità infinita  $\alpha_0$ ,  $H_0$ ,  $L_0$ .

### 3.2.3.2 - L'ESITO DELLO STUDIO

Applicando il metodo ai valori ondametrici al largo corrispondenti a tempi di ritorno 25 anni e 100 anni, dedotti al Capitolo 3, si ottengono i risultati riportati nella tabella 3.10. In particolare per la direzione Nord si ottengono profondità di frangimento di 6,60 m per tempo di ritorno 25 anni e di 7,90 m per tempo di ritorno 100 anni; per la direzione Nord-Ovest le onde frangono a profondità minori infatti si riscontrano valori dell'ordine di 4,80 m e di 5,70 m rispettivamente per tempo di ritorno 25 e 100 anni.

E' importante notare che la testata dell'opera portuale si colloca oltre la linea di frangimento per onde aventi direzione di provenienza al largo di  $300^\circ\text{N}$  e tempo di ritorno 25 anni e 100 anni e per onde provenienti da  $0^\circ\text{N}$  e tempo di ritorno 25 anni; mentre per onde da  $0^\circ\text{N}$  e tempo di ritorno 100 anni la linea dei frangenti si colloca al largo rispetto al molo di sopraflutto.

direzione di Maestrale; segue la direzione di Levante con il 22% e quella di Tramontana con circa il 13%.

Man mano che le intensità crescono gli eventi provenienti da nord aumentano in numero talché per valori di altezza d'onda superiore ai 2,0 m si registrano eventi provenienti esclusivamente da Tramontana.

### 3.2.2.6 - GLI EVENTI ESTREMI SOTTOCOSTA

È stata calcolata una serie sintetica continua di altezze e direzioni di onde caratteristiche al largo. Attraverso la rifrazione inversa è stato possibile trasportare tali onde sotto costa in un punto posto in prossimità dell'imboccatura del dispositivo portuale con la metodologia descritta nei paragrafi precedenti. Esattamente come operato per le onde al largo si vogliono ora caratterizzare statisticamente le onde sottocosta.

Dalla serie delle onde sottocosta sono state estratte le mareggiate indipendenti, assumendo un valore di soglia dell'altezza d'onda significativa di 1.36 m; all'interno di ciascuna si sono individuate le altezze massime di altezza d'onda significativa,  $H_s$ , raggiunta. Nella figura 3.12 sono riportate le mareggiate indipendenti in funzione della loro direzione di provenienza. L'esame del grafico mostra che il settore di provenienza degli eventi estremi si è notevolmente ridotto, infatti, gran parte delle mareggiate selezionate ricadono all'interno del settore di traversia compreso tra le direzioni  $330^\circ\text{N}$  e  $30^\circ\text{N}$ . tale restringimento come è intuitivo, è dovuto al fatto che gli eventi al largo provenienti dai settori  $270^\circ\text{N} - 330^\circ\text{N}$  e  $30^\circ\text{N} - 90^\circ\text{N}$ , sottocosta, tendono ad assumere una direzione ortogonale alla linea di costa a causa del fenomeno della rifrazione.

Sempre tramite il software "Pegaso", la serie in parola è stata analizzata statisticamente, e si sono, quindi, ricavate le altezze relative a differenti tempi di ritorno, per le più usuali leggi probabilistiche usate nello studio delle onde estremali (Gumbel, Weibull). Anche in questo caso si adotteranno i valori ottenuti con la distribuzione di Gumbel per gli stessi motivi già esposti nel Paragrafo 3.1.4.2. I risultati di tale studio sono riportati nella tabella 3.9.

In particolare, l'applicazione della legge di distribuzione di Gumbel fornisce, per tempo di ritorno 50 anni un'altezza d'onda significativa di 5.947, per tempo di ritorno 100 anni un'altezza di 6.412 m e, infine, per tempo di ritorno 500 anni un valore di 7.491 m. E' da sottolineare che, così come al largo, anche sottocosta, i valori restituiti dalla legge di Gumbel sono molto prossimi a quelli forniti dalla terza legge di distribuzione di Weibull.

Si ricava, quindi, la direzione che i raggi possiedono quando raggiungono la regione di acque profonde.

Riportate in diagramma le molteplici coppie di valori trovate, si ricava per ogni direzione il gradiente  $\frac{\delta\phi}{\delta\theta}$  da introdurre nella formula che conduce poi alle altezze sotto costa:

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

Rispetto al metodo convenzionale, si ha il vantaggio che i risultati sono ottenuti direttamente per il luogo che interessa, sulla costa, senza il problema di dover interpolare tra raggi calcolati da una parte o dall'altra del punto. Inoltre, un unico diagramma di rifrazione, per ciascun periodo, rappresenta i raggi relativi a tutte le direzioni di provenienza del moto ondoso al largo.

Dal punto di vista pratico, la costruzione inversa dei raggi non presenta problemi e si applica la stessa equazione della traiettoria del raggio del metodo convenzionale, con lievi modifiche di segni.

Con la tecnica della proiezione inversa, non sarebbe necessario neppure conoscere il percorso dei singoli raggi poiché basta avere il diagramma di rifrazione f-Q definito con incrementi di frequenza e Q sufficientemente piccoli per riassumere tutti gli effetti della topografia sull'altezza e direzione delle onde nella loro propagazione verso un punto della costa. Si nota in genere che le curve f-Q, dolci per valori alti delle frequenze, presentano discontinuità notevoli per le frequenze minori con conseguenti singolarità nel valore di  $K_r$ . Ciò significa che questa tecnica, così come quella convenzionale, ha il difetto che la funzione altezza d'onda diventa indeterminata proprio in un campo di frequenze e direzioni di interesse non trascurabile.

In pratica, questo comporta che nel percorso dei raggi compaiono singolarità non giustificabili fisicamente, come per i piani d'onda tradizionali. Il fatto che usando spaziature sufficientemente grandi dei raggi questi difetti non siano evidenziati, non esclude l'insufficienza del metodo.

E' stato mostrato che a queste difficoltà si può ovviare abbandonando l'ipotesi che al largo il fronte d'onda si presenti con direzione d'onda e frequenza ben precise ed uniformi, come le onde monocromatiche, e considerando funzioni spettrali sia per la direzione che per la frequenza. Va mantenuta, invece, l'ipotesi di uniformità di fase.

$$\frac{1}{b^2} \left( \frac{d\beta}{dt} \right)^2 + \frac{1}{\beta} \frac{d^2\beta}{dt^2} = C \frac{d^2C}{dn^2} + \frac{1}{\beta} \frac{dC}{ds} \frac{d\beta}{dt}$$

Trascurando ora i termini quadratici e ricordando che le derivate della celerità rispetto alle coordinate  $s$  ed  $n$  della terna intrinseca possono trarsi da quelle relative ad un sistema cartesiano ortogonale  $x$  ed  $y$  tramite la relazione:

$$\frac{d}{ds} = \cos \vartheta \frac{\partial}{\partial x} + \sin \vartheta \frac{\partial}{\partial y}$$

$$\frac{d}{dn} = \sin \vartheta \frac{\partial}{\partial x} + \cos \vartheta \frac{\partial}{\partial y}$$

si ricava la seguente equazione differenziale:

$$\frac{d^2\beta}{dt^2} + p \frac{d\beta}{dt} + q\beta = 0$$

essendo  $p$  e  $q$  delle funzioni dipendenti dalle derivate parziali prime e seconde della celerità, calcolate secondo le seguenti espressioni:

$$p(t) = \frac{dC}{ds} = - \left( \frac{\partial C}{\partial x} \cos \vartheta + \frac{\partial C}{\partial y} \sin \vartheta \right)$$

$$q(t) = C \frac{d^2C}{dn^2} = C \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \sin^2 \vartheta - 2C \frac{\partial^2 C}{\partial x \partial y} \sin \vartheta + C \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \cos^2 \vartheta$$

La risoluzione della suddetta equazione differenziale può essere affrontata con il metodo delle differenze finite, esprimendo in forma ricorrente le grandezze del punto generico della ortogonale in funzione di parametri relativi ai punti che precedono quelli in esame.

In effetti, pur esistendo soluzioni della suddetta equazione più approssimate è sempre da preferire il metodo delle differenze finite che contempera l'esigenza di rapidità di calcolo e una sufficiente approssimazione.

### 3.2.2.3 - IL MODELLO DI PROPAGAZIONE INVERSA SPETTRALE

La serie di dati ondametrici al largo, ricostruita attraverso le relazioni semiempiriche del metodo S.M.B., è stata riportata sotto costa utilizzando il modello

batimetriche. Il fenomeno suddetto, come è noto, prende il nome di rifrazione in analogia a quello ben noto dell'ottica.

Nella rifrazione si individuano due aspetti tipici: il primo, di matrice geometrica, è connesso alla variazione della celerità; il secondo, di natura energetica, comporta una variazione di altezza d'onda.

L'altezza d'onda in corrispondenza della generica profondità può essere ricavata scrivendo, fra due ortogonali contigue fra loro, un bilancio fra il flusso energetico entrante al largo e quello uscente alla profondità  $h$  stessa.

In tal caso è possibile legare la ricercata altezza d'onda  $H$  a quella al largo  $H_0$ , mediante la seguente relazione:

$$H = K_s K_R H_0$$

dove  $K_s$  è il coefficiente di shoaling definito dalla:

$$K_s = \sqrt{\frac{C_0}{2nC}}$$

con:

$$n = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{4\pi h / L}{\sinh 2\pi h / L} \right)$$

Il coefficiente di rifrazione  $K_R$  può definirsi attraverso la radice del rapporto fra la distanza di due ortogonali al largo  $b_0$  e sottocosta  $b$ :

$$K_R = \sqrt{\frac{b_0}{b}}$$

In base a questi soli elementi sarebbe già possibile ricavare le altezze d'onda  $H$ , mediante metodi grafici come ad esempio quello dei cerchi di Huygens.

### 3.2.2.2 - LA MESSA IN EQUAZIONE DEL PROBLEMA

Si considerino due punti di uno stesso fronte d'onda posti a distanza  $dn$  e siano  $C$  e  $C+dc$  le rispettive celerità; l'angolo  $d\theta$  di cui ruota nel tempo  $dt$  il segmentino costituito dalla congiungente i due punti sarà:

$$d\theta = -\frac{dC}{C} \frac{dn}{dt}$$

che, introducendo l'ascissa curvilinea  $s$  lungo l'ortogonale, poiché  $ds = C dt$ , porge:



Tuttavia, si osserva una sostanziale uniformità di risultati nella parte compresa fra 20 e 100 anni di intervallo di ricorrenza, dove si presenta uno scarto molto piccolo di valore d'altezza d'onda passando dall'una all'altra distribuzione, in particolare se si tiene conto dell'intervallo di confidenza, anch'esso esposto nella tabella congiuntamente al valore della stessa altezza d'onda al quale si riferisce.

Infatti, per tempo di ritorno 100 anni si ottiene un'altezza d'onda significativa di 6.847 m con la distribuzione di Gumbel ed un'altezza di 6.907 m con la terza di Weibull, mentre aumenta fino a raggiungere i valori di 8.208 m e 7.908 m applicando rispettivamente la prima e la seconda di Weibull, infine, assume il valore di 6.276 m per la quarta distribuzione di Weibull. Se si prende in esame il tempo di ritorno 500 anni si osserva un'altezza d'onda significativa di 7.988 m con la distribuzione di Gumbel ed un'altezza di 7.934 m con la terza di Weibull, un aumento fino ai valori di 10.313 m e 9.578 m applicando rispettivamente la prima e la seconda di Weibull e infine una riduzione a 7.00 m per la quarta distribuzione di Weibull, in accordo con quanto già detto sopra.

### 3.1.4.3 - IL PERIODO

Come è noto la rappresentazione degli stati di mare deve essere effettuata in termini stocastici e, pertanto, attraverso l'introduzione della funzione densità spettrale di energia.

Senza addentrarsi nel merito di complesse relazioni, in questa sede si ricorda soltanto la seguente espressione che lega l'altezza d'onda significativa,  $H_s$ , al periodo di picco,  $T_p$ :

$$T_p = a H_s^{0,5}$$

dove, nella fattispecie, per  $a$  si assume il valore 4,01, con un valore di determinazione pari a 0,96.

Qualunque altra condizione può essere facilmente ricavata dall'applicazione della formula dianzi trascritta.

## 3.2 - LA TRASFORMAZIONE DELLE ONDE SUI FONDALI DI TRANSIZIONE

### 3.2.1 - PREMESSA

La serie ondametria ricavata al largo che ha consentito poi la determinazione del clima ondoso e dei valori estremali, è relativa alle condizioni di acque profonde: è,

ogni evento si calcola la relativa durata. Si ipotizza, quindi, che la probabilità del numero di eventi in ogni anno sia rappresentato da una distribuzione di Poisson con numero medio annuo atteso di  $\lambda$  eventi e si verifica se la durata degli eventi sopra soglia è interpretabile statisticamente mediante una distribuzione esponenziale:

$$f(t) = \lambda \cdot \exp(-\lambda \cdot t) \quad t \geq 0$$

$$F(t) = 1 - \exp(-\lambda \cdot t) \quad t \geq 0$$

dove  $\lambda$  è stimato come l'inverso della durata media degli eventi sopra soglia. La  $f(t)$  esprime in particolare la probabilità del verificarsi di un evento sopra soglia di durata  $t$ , mentre la  $F(t)$  rappresenta la probabilità cumulata, la probabilità cioè che l'evento abbia una durata minore o uguale a  $t$ .

Nella fattispecie potrà assumersi la seguente funzione che, nell'ipotesi di mareggiata triangolare equivalente, meglio correla i dati disponibili:

$$t(H) = t_{10}(1,11 - 0,11 \times H/H_{10}).$$

Questa consente di calcolare il valore medio delle durate di assegnata altezza  $H$ , note che siano le 10 mareggiate più forti verificatesi nella località durante gli anni di osservazione.

### 3.1.4 - L'ESITO DELLE ANALISI

#### 3.1.4.1 - IL CLIMA ONDOSO AL LARGO

A partire dai dati dianzi ricordati si sono individuati, direzione per direzione, con scansione di quindici gradi, gli eventi che rientrano in ognuna delle diciotto classi di altezza d'onda definita, con passo pari a 0,25 m, per gli intervalli più piccoli e poi di 0,50 m per tutte le classi superiori, sia in valore assoluto, sia in termini percentuali.

Con riguardo al clima ondoso al largo, dall'esame delle tabelle 3.2, relativa ai valori assoluti, e 3.3, che si riferisce alle percentuali, si traggono, pertanto, le seguenti considerazioni di carattere generale:

- la maggior parte degli eventi registrati, più precisamente il 72%, presenta un'altezza d'onda significativa inferiore a 0,5m;
- per bassi valori dell'altezza d'onda gli eventi ai quali è associata una più elevata frequenza di apparizione provengono dal settore di ampiezza  $270^\circ\text{N} - 90^\circ\text{N}$ ; in particolare, le più alte frequenze si evidenziano da Maestrale, Tramontana e Levante con frequenze rispettivamente pari al 19 %, al 15% e al 12% nel campo di altezza fino a 0,5 m che si riducono a circa il 14%, il 13% e il 10% nel campo che va da 0m a 0,25m;

tra 1 e 2, il che preclude l'utilizzo dello stimatore ML. Per la distribuzione di Gumbel non sussiste invece limitazione alcuna.

Il metodo dei momenti, che consiste nell'eguagliare i momenti statistici di vario ordine (media, varianza, etc) della distribuzione teorica ai momenti osservati, sperimentalmente risulta meno efficiente e le stime possono essere distorte o non distorte in base alla distribuzione considerata. Inoltre tale metodo non può essere applicato nel caso di serie tronche, quali quelle ottenibili dall'analisi POT.

Il metodo dei minimi quadrati, forse quello più ampiamente utilizzato nella pratica anche se meno efficiente e più sensibile alla presenza di outliers, non pone, infine, vincoli di alcun tipo e risulta quello più facilmente implementabile. I coefficienti incogniti sono calcolati per regressione minimizzando lo scarto tra la funzione di distribuzione teorica e la funzione di distribuzione sperimentale. Quest'ultima è ottenuta assegnando un idoneo livello di probabilità PP (plotting position) ai valori osservati. La plotting position raccomandata da Goda<sup>14</sup> è del tipo:

$$F = 1 - (m - \alpha) / (N_T + \beta)$$

dove  $m = 1, 2, \dots, N_T$  ( $m=1$  indica il più piccolo valore dei dati sperimentali ordinati in ordine crescente) e  $\alpha=0,44$ ,  $\beta=0,12$  se si utilizza la distribuzione di Gumbel. Se si adotta la distribuzione di Weibull risulta invece  $\alpha=0,2+0,27/k^{0,5}$ ,  $\beta=0,2+0,23/k^{0,5}$ .

Per valutare la bontà dell'adattamento e scegliere tra varie distribuzioni quella migliore, si può ricorrere sia al confronto visivo, sia ad indicatori della qualità del fittaggio come il coefficiente di determinazione, sia a test statistici veri e propri. Una particolare attenzione va posta all'analisi degli outliers, dati anomali che, soprattutto nel caso di stima ai minimi quadrati, possono alterare sensibilmente i risultati ottenuti. In generale è buona norma non eliminare a priori tali valori ma piuttosto analizzare in dettaglio perché o in quali situazioni si presentano nel campione sperimentale.

Per fini applicativi è inoltre importante ricordare che la metodologia di stima adottata gioca un ruolo secondario rispetto sia alle incertezze insite nelle misure sia soprattutto alla dimensione del campione disponibile, perché la stessa serie sperimentale di dati ondametrici analizzata indipendentemente con metodi e distribuzioni diverse conduce a stime con tempo di ritorno di 100 anni che differiscono per meno del 10%.

---

<sup>14</sup> Ibidem.

superato  $\lambda^{\wedge}$  volte nell'anno. In particolare, se si assume per  $F(\cdot)$ , come ampiamente utilizzato nella letteratura specifica, la seguente distribuzione esponenziale:

$$F(H_s | H_s \geq H_0) = 1 - \exp[-(H_s - H_0)/\beta]$$

si ottiene:

$$H_{s,T} = H_0 + \beta^{\wedge} \ln \lambda^{\wedge} + \beta \ln T \quad (4)$$

che esprime in maniera esplicita il legame tra l'altezza d'onda e il tempo di ritorno e dove l'apice indica che  $\beta^{\wedge}$  e  $\lambda^{\wedge}$  sono parametri stimati a partire dai valori sperimentali. Il parametro  $\beta$ , nell'ipotesi di fissare a priori valore di  $H_0$  è fornito dall'espressione:

$$\beta^{\wedge} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (H_{s,i} - H_0)$$

che rappresenta non solo la stima a massima verosomiglianza ma anche quella ricavabile tramite il metodo dei momenti.

La varianza associata alla stima di  $H_{s,T}$ , indicatore dell'affidabilità della stima, risulta fornita da:

$$Var(H_{s,T}) = \frac{\beta^2}{N} [1 + (\ln \lambda^{\wedge} + \ln T)^2]$$

Tramite la quale è possibile calcolare l'errore standard di stima  $\sigma = \sqrt{Var(H_{s,T})}$  e la banda di confidenza, cioè la fascia entro la quale con assegnata probabilità è contenuto il valore reale ma incognito di  $H_{s,T}$ . Facendo riferimento alla probabilità del 95%, tale valore è infatti compreso nell'intervallo ottenuto come  $H_{s,T} \pm 2\sigma$ .

Le espressioni sopra riportate sono peraltro valide unicamente nel caso che la soglia  $H_0$  sia fissata a priori; qualora invece si stimi  $H_0$  direttamente a partire dai dati le espressioni precedenti risultano leggermente modificate.

Se risulta applicabile lo schema Poisson-esponenziale si può inoltre dimostrare che la valutazione delle condizioni estreme è equivalente ad ipotizzare una distribuzione del primo tipo, nota come distribuzione di Gumbell:

$$F(H_s | H_s \geq H_0) = \exp[-\exp[-(H_s - b)/a]]$$

dove i parametri  $a$  e  $b$  si ottengono come  $a = \beta^{\wedge}$  e  $b = H_0 + \beta^{\wedge} \ln \lambda^{\wedge}$ . Si può pertanto asserire che mediante il metodo POT è possibile giungere per via analitica all'identificazione della legge probabilistica per l'estrapolazione dei massimi annuali.

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

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

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

ove

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

Operativamente si è proceduto alla ricostruzione degli stati di mare conseguenti all'azione diretta del vento sulla superficie marina tramite il software ALTAIR. La serie storica di registrazioni anemometriche cui si è fatto riferimento è, ovviamente, quella già descritta nel Capitolo 2.