

AUTORITA' PORTUALE DI GIOIA TAURO

**Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti**

PROVVEDITORATO INTERREGIONALE OO. PP. SICILIA-CALABRIA  
Ufficio 10° Opere Marittime per la Calabria  
REGGIO CALABRIA



PORTO DI CROTONE

**REALIZZAZIONE DELLA PROSECUZIONE DEL MOLO FORANEO DEL PORTO VECCHIO PER MIGLIORARE IL RIDOSSO IN PRESENZA DI CONDIZIONI METEO AVVERSE - 1° LOTTO FUNZIONALE**

PROGETTO DEFINITIVO

ELABORATO	CONSULENZA SPECIALISTICA IN MATERIA IDRAULICA MARITTIMA	SCALA
A5		

Reggio Calabria 20 NOV. 2008

prot. n. 4437

Redatto da: Dott. Ing. Giovanni Barone

Dott. Ing. Ermenegildo Trisodi

Dott. Arch. Carmela Gramuglia

con la collaborazione: Geom. Giovanni Fiorenza

Geom. Carmelo Polimeno

Geom. Girolamo Carciarello

Geom. Rosario Marino

IL COORDINATORE DELLA PROGETTAZIONE  
IL PROVVEDITORE AGGIUNTO

Dott. Ing. Lorenzo Ceraulo



IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO  
(per conto dell'Autorità Portuale)

Dott. Arch. Luigi Errante

*Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti*

Ufficio del Genio Civile per le Opere Marittime  
Reggio Calabria



**CONSULENZA IN MATERIA  
IDRAULICA FINALIZZATA ALLA  
PROGETTAZIONE DI ALCUNI  
INTERVENTI NEL PORTO DI  
CROTONE**

*Dott . Ing. Franco Guiducci*  
INCARICATO DELLO STUDIO SPECIALISTICO

*Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti*

Ufficio del Genio Civile per le Opere Marittime  
Reggio Calabria

CONSULENZA IN MATERIA  
IDRAULICA FINALIZZATA ALLA  
PROGETTAZIONE DI ALCUNI  
INTERVENTI NEL PORTO DI CROTONE



**1 STUDIO DEL MOTO ONDO  
AL LARGO E SUA  
PROPAGAZIONE A RIVA**

**RELAZIONE**

***Dott. Ing. Franco Guiducci***  
INCARICATO DELLO STUDIO SPECIALISTICO

# RELAZIONE

## INDICE

### RELAZIONE

1.	PREMESSA .....	1
2.	DESCRIZIONE DEL PARAGGIO.....	2
3.	REGIME DEI VENTI .....	3
4.	REGIME DEL MOTO ONDOSO AL LARGO .....	4
4.1	DEFINIZIONE DEL REGIME DI MOTO ONDOSO AL LARGO .....	4
4.2	DISTRIBUZIONE DEL MOTO ONDOSO AL LARGO.....	4
4.3	VALUTAZIONE DELL'ENERGIA ONDOSA .....	5
5.	VALUTAZIONE DEGLI EVENTI ESTREMI AL LARGO.....	6
6.	CARATTERISTICHE DEI MOTI ONDOSI A RIVA.....	9
6.1	PROPAGAZIONE DEI MOTI ONDOSI DA LARGO A RIVA.....	9
6.2	DISTRIBUZIONE DEI MOTI ONDOSI A RIVA.....	10
6.3	VALUTAZIONE DELL'ENERGIA ONDOSA .....	10
6.4	VALUTAZIONE DEGLI EVENTI ESTREMI A RIVA.....	10

### FIGURE

1. COROGRAFIA
2. SETTORE DI TRAVERSIA AL LARGO E UBICAZIONE DEI PUNTI DI MISURA
3. DISTRIBUZIONE DEI FETCH GEOGRAFICI
4. FETCH GEOGRAFICI
5. FETCH EFFICACI E DEVIAZIONI MOTO ONDOSO
6. STAZIONE DI CROTONE - FREQUENZA PER MILLESIMI DEI VENTI
7. DISTRIBUZIONE DELLA FREQUENZA  $^0/_{00}$  DEI MOTI ONDOSI AL LARGO
8. ALTEZZE D'ONDA MASSIME - SETTORE 355°N 25°N
9. ALTEZZE D'ONDA MASSIME - SETTORE 25°N 55°N

10. ALTEZZE D'ONDA MASSIME - SETTORE 55°N 85°N
11. ALTEZZE D'ONDA MASSIME - SETTORE 85°N 115°N
12. ALTEZZE D'ONDA MASSIME - SETTORE 115°N 145°N
13. ALTEZZE D'ONDA MASSIME - SETTORE 145°N 175°N
14. PUNTI DI CALCOLO DELLE CARATTERISTICHE DEI MOTI ONDOSI A RIVA
15. DISTRIBUZIONE DELLA FREQUENZA % DEI MOTI ONDOSI A RIVA SUL PUNTO 1
16. DISTRIBUZIONE DELLA FREQUENZA % DEI MOTI ONDOSI A RIVA SUL PUNTO 2

## TABELLE

1. EVENTI ANEMOLOGICI - DIREZIONE DI PROVENIENZA E INTENSITÀ
2. EVENTI DI MOTO ONDOSI - DIREZIONE DI PROVENIENZA E ALTEZZA D'ONDA
3. EVENTI DI MOTO ONDOSI - PERIODO ED ALTEZZA D'ONDA
4. EVENTI DI MOTO ONDOSI IN UN ANNO STATISTICO MEDIO - PERIODO ED ALTEZZA D'ONDA
5. ENERGIA DEL MOTO ONDOSI
6. ELABORAZIONE STATISTICA DEI VALORI ESTREMI DI ALTEZZA D'ONDA - SETTORE 355°N 25°N
7. ELABORAZIONE STATISTICA DEI VALORI ESTREMI DI ALTEZZA D'ONDA - SETTORE 25°N 55°N
8. ELABORAZIONE STATISTICA DEI VALORI ESTREMI DI ALTEZZA D'ONDA - SETTORE 55°N 85°N
9. ELABORAZIONE STATISTICA DEI VALORI ESTREMI DI ALTEZZA D'ONDA - SETTORE 85°N 115°N
10. ELABORAZIONE STATISTICA DEI VALORI ESTREMI DI ALTEZZA D'ONDA - SETTORE 115°N 145°N
11. ELABORAZIONE STATISTICA DEI VALORI ESTREMI DI ALTEZZA D'ONDA - SETTORE 145°N 175°N
12. RISULTATI DEL MODELLO DI CALCOLO DELLA PROPAGAZIONE A RIVA SUL PUNTO 1 - ALTEZZE D'ONDA A RIVA
13. RISULTATI DEL MODELLO DI CALCOLO DELLA PROPAGAZIONE A RIVA SUL PUNTO 2 - ALTEZZE D'ONDA A RIVA

14. RISULTATI DEL MODELLO DI CALCOLO DELLA PROPAGAZIONE A RIVA SUL PUNTO 1 - DIREZIONI DI PROVENIENZA A RIVA
15. RISULTATI DEL MODELLO DI CALCOLO DELLA PROPAGAZIONE A RIVA SUL PUNTO 2 - DIREZIONI DI PROVENIENZA A RIVA
16. EVENTI DI MOTO ONDOSI NEL PUNTO 1 - DIREZIONE DI PROVENIENZA E ALTEZZA D'ONDA
17. EVENTI DI MOTO ONDOSI NEL PUNTO 2 - DIREZIONE DI PROVENIENZA E ALTEZZA D'ONDA
18. ENERGIA DEL MOTO ONDOSI NEL PUNTO 1
19. ENERGIA DEL MOTO ONDOSI NEL PUNTO 2
20. ALTEZZE D'ONDA IN FUNZIONE DEL TEMPO DI RITORNO A RIVA NEL PUNTO 1
21. ALTEZZE D'ONDA IN FUNZIONE DEL TEMPO DI RITORNO A RIVA NEL PUNTO 2
22. DIREZIONI DI PROVENIENZA A RIVA DEI MOTI ONDOSI CON TEMPO DI RITORNO DI 1 ANNO
23. DIREZIONI DI PROVENIENZA A RIVA DEI MOTI ONDOSI CON TEMPO DI RITORNO DI 25 ANNI

## 1. *PREMESSA*

Il presente studio meteo-marino è stato condotto nell'ambito della "Consulenza in materia di idraulica marittima finalizzata alla progettazione esecutiva di alcuni interventi nel Porto di Crotona".

Lo studio è stato sviluppato al fine di determinare le caratteristiche al largo del moto ondoso e le onde di progetto da inserire nel modello di propagazione a riva e nei successivi studi, valutazioni e verifiche.

Il tratto di litorale esaminato è situato sulla costa ionica della Calabria (Fig. 1); per questo paraggio sono disponibili misurazioni dirette di moto ondoso dal luglio 1989 registrate dalla boa ondometrica di Crotona della rete ondometrica nazionale (RON) appartenente all'APAT (Agenzia Nazionale per la protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici (Fig.2).

Data l'ampia estensione temporale dei periodi di misura, la serie di dati ondometrici è stata utilizzata per la determinazione del clima di moto ondoso (distribuzione nell'anno statistico medio dell'altezza, periodo, contenuto energetico e direzione delle onde, onda di modellazione) e per la valutazione delle mareggiate estreme al largo del tratto di costa di Crotona.

Lo studio tratta anche la valutazione della distribuzione dei venti nel paraggio, ricavata dalle rilevazioni anemometriche triorarie effettuate dal 1951 al 1981 presso la stazione meteorologica dell'Aeronautica Militare di Crotona, che si trova in posizione tale da registrare gli eventi meteorici che si sviluppano nell'area in esame.

Gli eventi determinati al largo sono stati trasferiti a riva attraverso un modello di propagazione ondosa di tipo inverso spettrale e sono state determinate le ondate da inserire nei dimensionamenti degli interventi.

## 2. DESCRIZIONE DEL PARAGGIO

Il settore di traversia della costa di Crotona si estende verso est tra la direzione 352°N e la 172°N, rispettivamente tangenti a Punta Alice e a Capo Colonne (Fig. 2)

I fetches geografici nel paraggio sono limitati dalla costa ionica pugliese nelle direzioni comprese tra 352°N e 51°N (Capo di Santa Maria di Leuca) (115÷153 Km); dalle coste dell'Albania e della Grecia nel settore 51°N÷127°N (Elafonisos - Isola di Creta) (225÷421 Km) e dalla costa dell'Egitto e della Libia nelle direzioni comprese tra 127°N e 172°N (731÷1300 Km) (Figg. 3 e 4).

Per il paraggio, sono stati calcolati anche i fetch efficaci attraverso la funzione di dispersione angolare del moto ondoso ricavata dai risultati della campagna sperimentale Jonswap condotta nel Mare del Nord.

Si assume che la distribuzione direzionale dell'energia del moto ondoso abbracci un settore di  $\pm 90^\circ$  rispetto alla direzione di provenienza del vento, e che ciascuna direzione compresa in questo settore fornisca un contributo energetico proporzionale al quadrato del coseno dell'angolo che essa forma con la direzione di propagazione.

Con questa ipotesi la lunghezza del fetch efficace corrispondente a ciascuna direzione  $\theta_m$  si può calcolare partendo dalle distanze geografiche  $F_g(\theta)$  riportate nella Fig. 4 e proiettate sulla direzione stessa secondo la relazione:

$$F_{\text{eff}}(\theta_m) = \frac{\sum_{\theta=\theta_m-90}^{\theta=\theta_m+90} F_g(\theta) \cos^3(\theta - \theta_m)}{\sum_{\theta=-90}^{\theta=+90} \cos^2 \theta}$$

Nella Fig. 5 è rappresentato il settore efficace del paraggio, i fetches efficaci nonché la deviazione angolare del moto ondoso rispetto alla direzione del fetch.

### 3. *REGIME DEI VENTI*

La distribuzione degli eventi eolici è stata svolta utilizzando i dati di vento relativi alla stazione anemometrica di Crotona, del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare situata in corrispondenza delle coordinate  $39^{\circ} 01,4' N$  e  $17^{\circ}13,2' E$ , ad una quota di 80 m s. l.m.m..

I valori di velocità e direzione dei venti impiegati sono stati misurati con frequenza trioraria negli anni dal 1951 al 1981.

Il periodo di registrazione è sufficientemente lungo perché i dati risultino statisticamente significativi e perché possano essere incluse le principali ciclicità proprie dei fenomeni a lungo termine.

Le registrazioni di vento sono state elaborate ed ordinate in base al settore di provenienza, alla velocità del vento ed al periodo preso in esame.

La Tabella 1 fornisce, per settori di provenienza di ampiezza di  $10^{\circ}$ , e per classi crescenti per ogni nodo di velocità del vento (l'ultima classe comprende tutti gli eventi superiori a 60 nodi), il numero degli eventi triorari registrati.

La Fig. 6 fornisce il diagramma polare della distribuzione delle frequenze non cumulate (%) degli eventi anemologici, nelle varie direzioni.

Come risulta evidente dalla Fig. 6, gli eventi di intensità inferiore a 10 nodi provengono principalmente dalle direzioni comprese tra  $30^{\circ}$ - $210^{\circ}N$  e  $0^{\circ}$ - $180^{\circ} N$  mentre la maggior parte dei venti di intensità superiore a 20 nodi, risulta provenire dalle direzioni  $0^{\circ}N$  e  $240^{\circ}N$  da cui provengono anche gli eventi maggiori.

## 4. REGIME DEL MOTO ONDOSO AL LARGO

### 4.1 Definizione del regime di moto ondoso al largo

Le caratteristiche del moto ondoso al largo sono state determinate elaborando i dati registrati dalla boa ondometrica della RON posta al largo del litorale di Crotona, in corrispondenza del punto di coordinate 39°01.4'N; 17°13.2'E, dove il fondale ha una profondità di circa 80 m (Fig. 2).

I dati elaborati sono relativi al periodo luglio 1989-giugno 2005; il numero di eventi registrati ammonta a 41 805 e rappresenta il 89.4% delle registrazioni attese.

Nella elaborazione non sono state effettuate interpolazioni nel caso di eventi mancanti e sono state ricavate tutte le coppie di valori delle grandezze  $H_s$  e  $T_s$  relative agli eventi registrati e quindi, con l'impiego di metodi statistici, i moti ondosi estremi e il clima del moto ondoso al largo, nel paraggio di Crotona.

### 4.2 Distribuzione del moto ondoso al largo

Le coppie di valori delle grandezze  $HM_0$  e  $T_p$ , sono state classificate in tabelle di frequenza di moto ondoso a doppia entrata suddivise per classi di altezza (ogni 0.5 m) e settore di provenienza (Tab. 2).

Per il settore di provenienza 355°N - 175°N, sono stati classificati gli eventi di moto ondoso per classi di altezza (ogni 0.5 m) e periodo (ogni 0.5 s) (Tab. 3) e sono state calcolate le condizioni relative ad un anno statistico medio (Tab. 4).

Dalle coppie di valori delle grandezze  $HM_0$  e  $T_p$ , per le altezze d'onda più frequenti, è stata definita la seguente relazione tra  $HM_0$  e  $T_{p(fr)}$  mediante la regressione dei dati (coefficiente di correlazione 0.53)

$$T_{p(fr)} = 5.64HM_0^{0.39}$$

mentre dalle coppie di valori dei periodi e delle massime altezze d'onda associate a ciascun periodo è stata ricavata la seguente relazione (coefficiente di correlazione 0.96):

$$T_p = 3.27HM_0^{0.59}$$

Per rappresentare la distribuzione direzionale del clima ondoso sono stati tracciati i diagrammi polari (v. Figg. 7a - 7b) relativi alle frequenze di altezza d'onda (non cumulata) calcolata sul numero di eventi determinati (i valori in frequenza sono espressi in ‰).

Come risulta dal diagramma polare e dalle tabelle relative, le direzioni da cui provengono il maggior numero di eventi sono la 10°N e la 180N, mentre gli eventi di maggiore intensità provengono dal settore 105-135° N dalla quale si sono registrati, in sedici anni di misure, tre eventi triorari con con HM0 superiore a 5.5 m.

L'altezza del moto ondoso al largo che è superata per 12 ore in un anno statistico medio, ovvero che presenta una frequenza di occorrenza di 0.00137 e che è legata alla profondità di chiusura della spiaggia sommersa, risulta:

$$H_{0,00137} = 4.63m$$

### 4.3 Valutazione dell'energia ondosa

Dalle coppie dei valori HM0 e Tp è stata calcolata la distribuzione dell'energia totale a largo per classi di HM0 e Tp per il settore di traversia (Tab. 5) assumendo:

$$H_s = HM0$$
$$T_s = Tp/1.1$$

Per il calcolo della risultante energetica al largo, il settore di traversia è stato suddiviso in settori di ampiezza di 10° per ciascuno dei quali è stata calcolata l'energia totale e le caratteristiche H<sub>se</sub> e T<sub>se</sub> della risultante energetica.

I valori di H<sub>se</sub> e T<sub>se</sub> sono stati ricavati risolvendo le seguenti equazioni:

$$H_{se}^2 T_{se} = \frac{\sum H_s^2 T_s}{N}$$

$$\frac{H_{se}}{T_{se}^2} = \frac{\sum H_s / T_s^2}{N}$$

dove il termine di sommatoria è esteso a tutti gli eventi N, registrati nel settore di traversia.

Dalla composizione vettoriale della energia associata a ciascuna direzione di provenienza del moto ondoso, è stato calcolato il valore della risultante energetica e della sua direzione di provenienza.

La risultante energetica, valutata nell'anno statistico medio, ha intensità pari a 23.44 Mwh/m ed ha direzione di provenienza 95.72 °N, H<sub>se</sub> = 1.44 m, T<sub>se</sub> = 5.79 s.

## 5. VALUTAZIONE DEGLI EVENTI ESTREMI AL LARGO

Le caratteristiche estreme di moto ondoso sono state determinate attraverso un'elaborazione statistica dei valori di moto ondoso registrati dalla boa ondometrica.

Il settore di traversia è stato suddiviso in sei settori di 30° ciascuno: tali settori sono delimitati dalle direzioni 355° N, 25° N, 55°N, 85°N, 115°N, 145°N e 175°N.

Dal numero totale di eventi ondosi ricostruiti sono state ricavate delle serie tronche con altezza significativa maggiore od uguale ad una soglia; tale soglia è stata prefissata in maniera tale da avere, per ciascuna serie, un numero di dati sufficiente per l'elaborazione statistica.

Ad ogni evento estremo è stato associato un tempo di ritorno  $T_r$ , o di occorrenza campionaria, derivato dalla nota espressione di Gringorten, che risulta particolarmente adatta nel caso di analisi di onde estreme:

$$T_r = \frac{N + 0.12}{N(n - 0.44)} \cdot NA$$

dove  $N$  è il numero dei dati della serie,  $n$  è il numero d'ordine del singolo dato nella serie ordinata in senso decrescente ed  $NA$  è il numero degli anni relativi alla serie.

La regolarizzazione della serie è stata quindi eseguita con le più note leggi di distribuzione probabilistica degli eventi estremi: la distribuzione esponenziale di Fuller-Coutagne, la distribuzione dei valori estremi di Gumbel e la distribuzione di Weibull.

Queste leggi di distribuzione forniscono le probabilità cumulate di  $H_s$  in funzione dei parametri caratteristici valore medio e deviazione standard determinati col metodo dei momenti, applicato ai valori campionari.

Nelle Tab. 6 - 11 sono riportati i valori della serie tronca delle  $H_s$  con i corrispondenti tempi di occorrenza campionaria ed i valori forniti dalle suddette leggi di distribuzione per assegnati tempi di ritorno  $T_r$ .

Nelle Figg. 8 - 13 sono rappresentate le rette di regressione delle diverse leggi di estrapolazione utilizzate.

I valori dell'altezza d'onda significativa, per i sei settori di calcolo, sono stati ricavati dalla legge di distribuzione selezionata in base agli indici statistici di adattamento.

Per il settore 115°-145°N è stata selezionata la legge di distribuzione di Gumbel mentre, per tutti gli altri, quella di Fuller.

Si riassumono di seguito i valori di altezza d'onda associati a diversi tempi di ritorno per i suddetti settori di provenienza.

Tempo di ritorno (anni)	H <sub>s</sub> (m)					
	355°N 25°N	25°N 55°N	55°N 85°N	85°N 115°N	115°N 145°N	145°N 175°N
1	3.61	3.00	2.86	3.52	4.56	3.52
2	3.92	3.37	3.25	4.06	4.90	3.87
5	4.33	3.86	3.76	4.78	5.33	4.33
10	4.63	4.23	4.15	5.32	5.66	4.68
25	5.04	4.73	4.67	6.04	6.09	5.14
50	5.35	5.10	5.06	6.58	6.41	5.49
100	5.66	5.47	5.45	7.12	6.74	5.84

La valutazione dei periodi di picco da associare alle altezze d'onda più elevate è stata fatta utilizzando la relazione seguente, illustrata nel paragrafo 4.2:

$$T_p = 3.27HM^{0.59}$$

Di seguito sono riportati i valori del periodo di picco riportati in seguito insieme ai corrispondenti valori di H<sub>s</sub> relativi a tempi di ritorno di 1, 2, 5, 10, 25, 50, e 100 anni.

Settore	Tempo di ritorno (anni)	Hs (m)	Tp (s)
355 °N - 25 °N	1	3,61	6.97
	2	3,92	7.32
	5	4,33	7.76
	10	4,63	8.08
	25	5,04	8.49
	50	5,35	8.80
	100	5,66	9.09
25 °N - 55 °N	1	3,00	6.25
	2	3,37	6.70
	5	3,86	7.25
	10	4,23	7.66
	25	4,73	8.18
	50	5,10	8.55
	100	5,47	8.91
55 °N - 85 °N	1	2,86	6.08
	2	3,25	6.55
	5	3,76	7.14
	10	4,15	7.57
	25	4,67	8.12
	50	5,06	8.51
	100	5,45	8.89
85 °N - 115 °N	1	3,52	6.87
	2	4,06	7.47
	5	4,78	8.23
	10	5,32	8.77
	25	6,04	9.45
	50	6,58	9.94
	100	7,12	10.41
115 °N - 145 °N	1	4,56	8.00
	2	4,90	8.35
	5	5,33	8.78
	10	5,66	9.09
	25	6,09	9.49
	50	6,41	9.79
	100	6,74	10.08
145 °N - 175 °N	1	3,52	6.87
	2	3,87	7.27
	5	4,33	7.76
	10	4,68	8.13
	25	5,14	8.59
	50	5,49	8.93
	100	5,84	9.26

## 6. CARATTERISTICHE DEI MOTI ONDOSI A RIVA

### 6.1 *Propagazione dei moti ondosi da largo a riva*

Lo studio, condotto per mezzo di un modello matematico basato sul metodo della rifrazione spettrale inversa, ha determinato, a partire dalle caratteristiche delle onde di largo, quelle a riva.

Le caratteristiche a riva sono state calcolate in due punti sulla isobata  $-6,0$  m s. l. m. m.: il primo è ubicato dove è previsto il prolungamento del molo sopraflutto ed il secondo davanti alla spiaggia protetta dalle scogliere foranee parallele alla riva (Fig. 14).

Per analizzare la propagazione del moto ondoso da largo a riva si è applicato un modello matematico basato sul metodo della rifrazione spettrale inversa descritto nella appendice A.

Il modello matematico consente di definire le direzioni di propagazione e l'altezza significativa del moto ondoso a riva per un assegnato moto ondoso spettrale al largo.

Il metodo non tiene conto delle perdite per attrito sul fondo e del frangimento; il tracciamento dei raggi viene interrotto in corrispondenza della condizione limite di frangimento.

Il tracciamento a ritroso dei raggi d'onda (rifrazione inversa) da tali punti, è stato eseguito con il modello matematico descritto nell'appendice A che ha come dato di ingresso una matrice  $x$  e  $y$  rappresentante l'area in esame.

La matrice è costituita da 380 punti lungo  $x$  e 166 lungo  $y$  con passo  $\Delta x = \Delta y = 50$  m; le profondità sono state riprodotte fino a  $-200$  m; la matrice è stata ricavata, per interpolazione, dalla batimetria dei rilievi effettuati nell'area antistante il porto nel 2005 e delle isobate e profondità riportate nella carta nautica n° 25 dell'Istituto Idrografico della Marina ( da Capo Rizzuto a Punta Alice - scala 1:100 000 ).

L'irradiazione è stato condotto da ciascun punto di calcolo per direzioni intervallate di  $5^\circ$  sino ad abbracciare l'intero settore di traversia, tenendo conto dei limiti orografici del paraggio; sono stati riprodotti valori di altezza d'onda significativa crescenti di metro in metro fino a  $7.0$  m, periodi crescenti di  $0.5$  s fino a  $13$  s, ed una forma dello spettro d'onda di tipo Jonswap con un fattore di amplificazione  $\gamma = 1.9$  (L. Franco 1993).

I risultati della rifrazione inversa spettrale, per i due punti di calcolo, sono riportati nelle tabelle 12 - 15: nelle tabelle 12 - 13, sono riportati i valori di altezza d'onda significativa a riva in funzione di quella al largo per ciascuna direzione di provenienza al largo, nelle tabelle 14 - 15, per le stesse direzioni al largo, sono riportate le direzioni di provenienza a riva in funzione della altezza d'onda significativa al largo.

Nelle tabelle non è considerato il limite del frangimento dovuto al fondale.

## 6.2 *Distribuzione dei moti ondosi a riva*

La distribuzione delle altezze d'onda a riva è stata ricavata in corrispondenza dei due punti di calcolo applicando i risultati del metodo della rifrazione inversa spettrale agli eventi determinati nell'ambito dello studio del moto ondoso al largo.

Nelle Tabelle 16-17 sono riportati, per i due punti di calcolo, i numeri di eventi per ciascuna direzione di provenienza e classe di altezza d'onda.

Nelle Figure 15 - 16 sono riportati i grafici polari della frequenza degli eventi di moto ondoso ricadenti in classi di altezza d'onda di 0.50 m.

## 6.3 *Valutazione dell'energia ondosa*

In modo analogo a quanto fatto per le condizioni di largo, per i due punti, è stata calcolata la distribuzione dell'energia totale a largo per classi di  $H_{M0}$  e  $T_p$  per il settore di traversia (Tabb. 18 e 19) assumendo:

$$H_s = H_{M0}$$

$$T_s = T_p/1.1$$

Le risultanti energetiche, calcolate nei due punti, hanno, nell'anno statistico medio, rispettivamente, intensità pari a 14.21 Mwh/m e 14.80 Mwh/m, direzione di provenienza 87.15 °N e 72.13°N,  $H_{se1} = 1.00$  m,  $H_{se2} = 1.02$  m,  $T_{se1} = 6.02$  s e  $T_{se2} = 6.02$  s.

## 6.4 *Valutazione degli eventi estremi a riva*

La propagazione delle condizioni estreme di moto ondoso da largo a riva ha come scopo quello di individuare le caratteristiche dell'onda di progetto da utilizzare per il dimensionamento del prolungamento del molo e per le eventuali opere di difesa della spiaggia.

Sulla base dei risultati del modello di calcolo della rifrazione (tabb. 12-15) sono state trasferite a terra le caratteristiche dei moti ondosi estremi.

Per ciascun settore si è adottato il valore del coefficiente di rifrazione più elevato tra quelli ottenuti per le direzioni comprese nel settore considerato e si è indicato, per ciascun valore di altezza d'onda considerato, il settore di provenienza a riva.

Alle onde estreme a riva si sono associati i periodi d'onda che caratterizzano le corrispondenti onde al largo essendo molto contenuta la variazione che il periodo del moto ondoso subisce durante la propagazione.

Nelle tabelle 20 - 21 sono riportati, per i due punti di calcolo, in funzione del tempo di ritorno e del settore di provenienza al largo  $\theta_0$ , il valore del periodo  $T_p$  e dell'altezza d'onda al largo  $H_{S0}$ .

Il modello tratta il fenomeno del frangimento (vedi appendice A) con formule relative a onde regolari; per considerare il limite indotto dal frangimento sulla altezza d'onda significativa in corrispondenza della isobata -6.0 m s.l.m.m. e tenere conto della irregolarità del moto ondoso, si è adottata la formula ricavata da Kamphuis<sup>[1]</sup> per onde irregolari e verificata attraverso innumerevoli prove sperimentali di laboratorio:

$$H_{sb} = 0.56 e^{3.5m} d_b$$

dove  $b$  indica la condizione di frangimento,  $d$  la profondità e  $m$  la pendenza della spiaggia.

L'altezza d'onda significativa limite frangente nei due punti, alla profondità di -6.0 m s.l.m.m., tenendo conto di un sovrizzo complessivo del livello del mare dovuto ad effetti barici, mareali ed eolici di 0,5 m, essendo la pendenza del fondale antistante  $m=0.007$ , risulta pari a 3.73 m.

Il settore da cui provengono, a riva, le onde più alte è quello compreso tra le direzioni  $85^\circ N$  e  $115^\circ N$ .

---

[1] J.W.KAMPHUIS: "COMPUTATION OF COSTAL MORPHOLOGY" DESIGN AND RELIABILITY OF COASTAL STRUCTURES - PROCEEDINGS OF THE SHORT COURSE -

Nei punti di calcolo la maggiore onda con tempo di ritorno di 25 anni corrisponde a quella limitata per frangimento dal fondale.

Nelle tabella 22 e 23 sono riportate, per i moti ondosi con tempo di ritorno di 1 e 25 anni, le direzioni assunte in corrispondenza dei due punti di calcolo dalle bisettrici dei settori al largo considerati; le stesse direzioni sono rappresentate nelle figure 17 e 18.

Per i moti ondosi con tempo di ritorno di 1 anno, le direzioni di provenienza a riva sono comprese in un settore di circa  $40^\circ$  intorno alla direzione  $78^\circ$ n per il punto 1 e in un settore di circa  $60^\circ$  intorno alla direzione  $65^\circ$ N.

Con i moti ondosi aventi tempo di ritorno di 25 anni, i settori di provenienza si riducono rispettivamente a  $26^\circ$  e  $38^\circ$ , il primo intorno alla direzione  $86^\circ$ N ed il secondo alla direzione  $72^\circ$ N.

## APPENDICE A

### MODELLO MATEMATICO DI RIFRAZIONE INVERSA SPETTRALE

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

Prescindendo, perché comunque trascurabili, dalle perdite di energia che (fuori della 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 con il metodo della "rifrazione inversa spettrale".

La differenza più appariscente rispetto al metodo tradizionale dei piani d'onda 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  $\phi$ . Si ricava quindi la direzione  $\Theta$  che i raggi possiedono quando raggiungono la regione di acque profonde.

Tale metodo é basato sulla teoria proposta da Longuet-Higgins secondo la quale la densità di energia dell'onda  $S'$ , in funzione delle componenti del numero d'onda secondo due direzioni orizzontali mutualmente ortogonali, rimane costante lungo ogni singolo raggio di propagazione dell'onda stessa.

Tale legge si traduce nell'equazione:

$$S'(K_x, K_y) = \text{cost.} \quad (1)$$

dove  $K_x$  e  $K_y$  sono le componenti del vettore numero d'onda  $\bar{K}$ .

Il significato principale della equazione (1) é che lo spettro di energia dell'onda in un qualunque punto inshore nel piano del numero d'onda ( $K_x, K_y$ ) può venire dedotto direttamente dallo spettro di energia offshore  $S_o'(K_x, K_y)$ .

Ci sono invece dei vantaggi pratici nel riscrivere la (1) in termini di frequenza e direzione, dato che lo spettro bidimensionale  $S'(K_x, K_y)$  non é quello comunemente adoperato nella letteratura per l'analisi degli spettri del moto ondoso.

Lo spettro bidimensionale  $S(\omega, \Theta)$  é collegato allo spettro  $S'(K_x, K_y)$  attraverso l'equazione:

$$S(\omega, \Theta) d\omega d\Theta = S'(K_x, K_y) dK_x dK_y \quad (2)$$

che vuole significare come le energie sulle aree  $d\omega d\Theta$  e  $dK_x dK_y$  sono identiche.

Passando da coordinate cartesiane a coordinate polari si ha che lungo ogni raggio risulta:

$$S'(K_x, K_y) = \frac{\lambda C_g}{2\pi} S(\omega, \Theta) = \text{cost.} \quad (3)$$

Tornando alla notazione generale in funzione solamente della frequenza e della direzione al largo ed a riva l'equazione (3) fornisce:

$$S(\omega, \Theta) = \frac{C_o C_{g_o}}{C C_g} S_o(\omega, \Theta) \quad (4)$$

in cui le celerità ( $C$ ) e la velocità di gruppo ( $C_g$ ) con il pedice "o" sono quelle off-shore mentre  $\phi$  é la direzione del moto ondoso inshore e  $\Theta$  la direzione offshore.

L'equazione (4), piuttosto che la (1), ha la forma conveniente per lo studio della rifrazione spettrale nelle applicazioni pratiche. Il suo significato é che nel

piano direzione frequenza non solo si trasporta ogni valore dello spettro da una posizione ad un'altra, come avviene nel piano del numero d'onda, ma questo valore va anche moltiplicato per il fattore:

$$F = \frac{C_o C_{g^o}}{C C_g} \quad (5)$$

che é una funzione della frequenza e della lunghezza locale dell'onda.

Per applicare la (4) si deve specificare inizialmente la forma dello spettro offshore  $S_o$ , come risultato di misure o considerazioni teoriche, e quindi, dopo la scelta di una griglia nel piano direzione-frequenza inshore  $(\omega, \Theta)$ , si costruisce il raggio nella direzione inversa fino alle acque profonde per ottenere il corrispondente valore di  $\Theta$ .

Una volta noto questo valore di  $\Theta$ , si estrae il valore dello spettro offshore in  $(\omega, \Theta)$  e, dopo averlo moltiplicato per il fattore  $F$ , lo si assegna al valore dello spettro inshore nel piano  $(\omega, \Theta)$  come indicato dalla relazione (4).

La direzione media inshore viene calcolata dalla relazione:

$$\bar{\phi} = \text{arctg} \frac{\sum_0^{2\pi} \text{sen } \phi S(\phi) d\phi}{\sum_0^{2\pi} \text{cos } \phi S(\phi) d\phi} \quad (6)$$

dove:

$$S(\phi) = \sum_0^{\infty} S(\phi, \omega) d\omega \quad (7)$$

mentre il periodo medio inshore  $T_z$  si calcola come la radice quadrata del rapporto del momento di ordine zero di  $S(\omega)$  con il suo momento di ordine due.

$$T_z = 2\pi \sqrt{\frac{m_o}{m_2}} \quad (8)$$

**FIGURE**

# COROGRAFIA

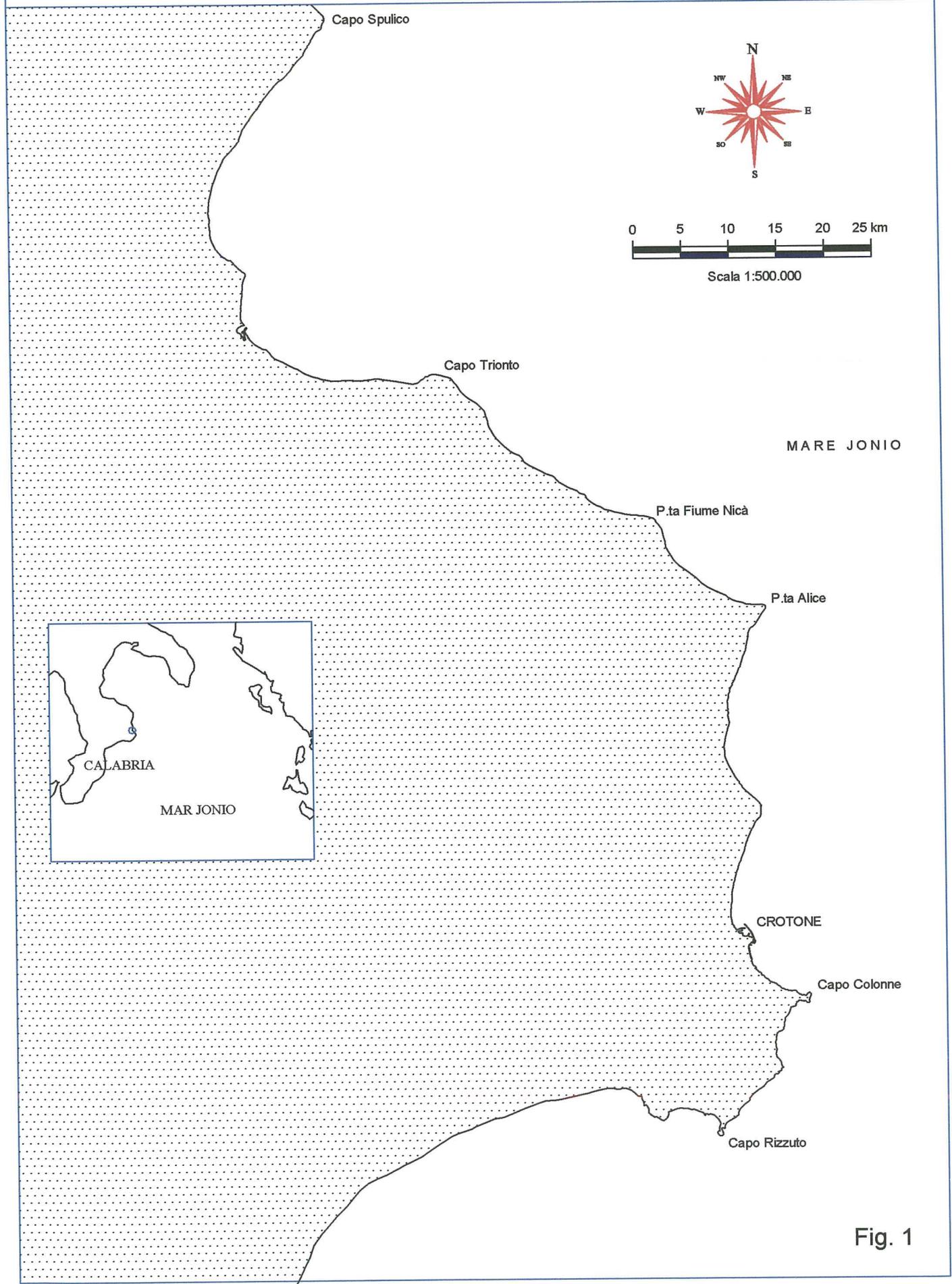


Fig. 1

# SETTORE DI TRAVERSIA AL LARGO E UBICAZIONE DEI PUNTI DI MISURA

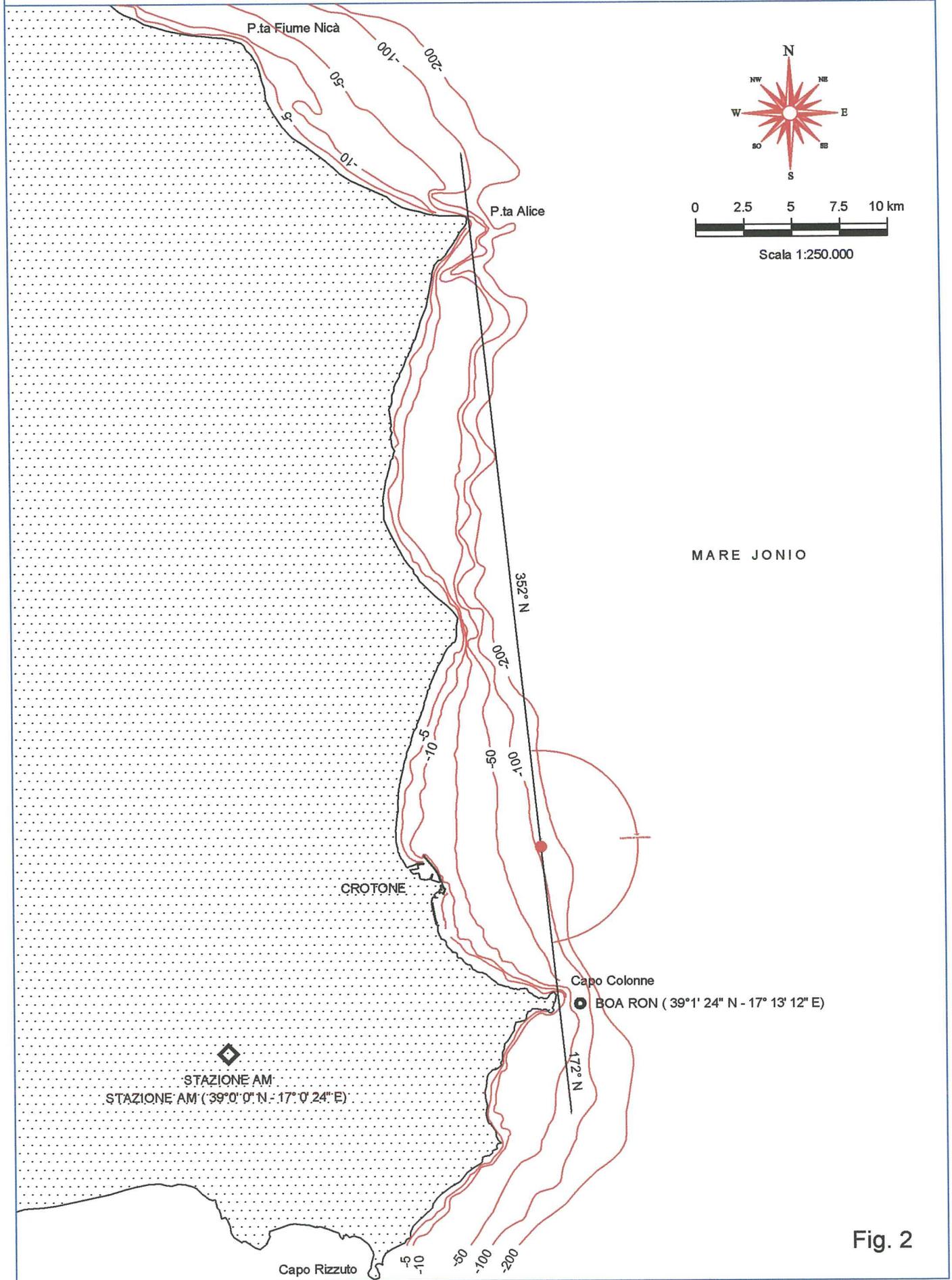


Fig. 2

# DISTRIBUZIONE FETCH GEOGRAFICI

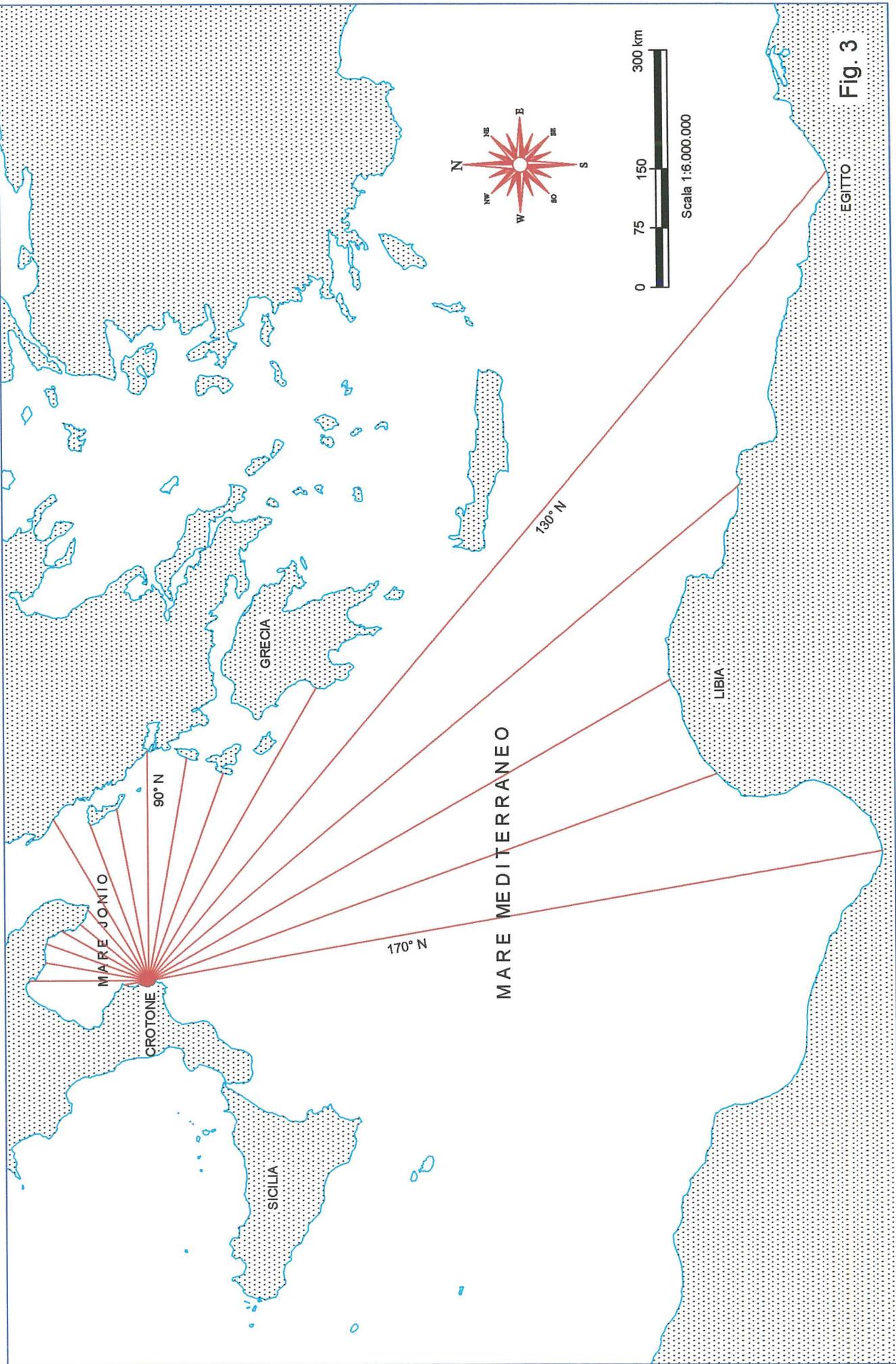
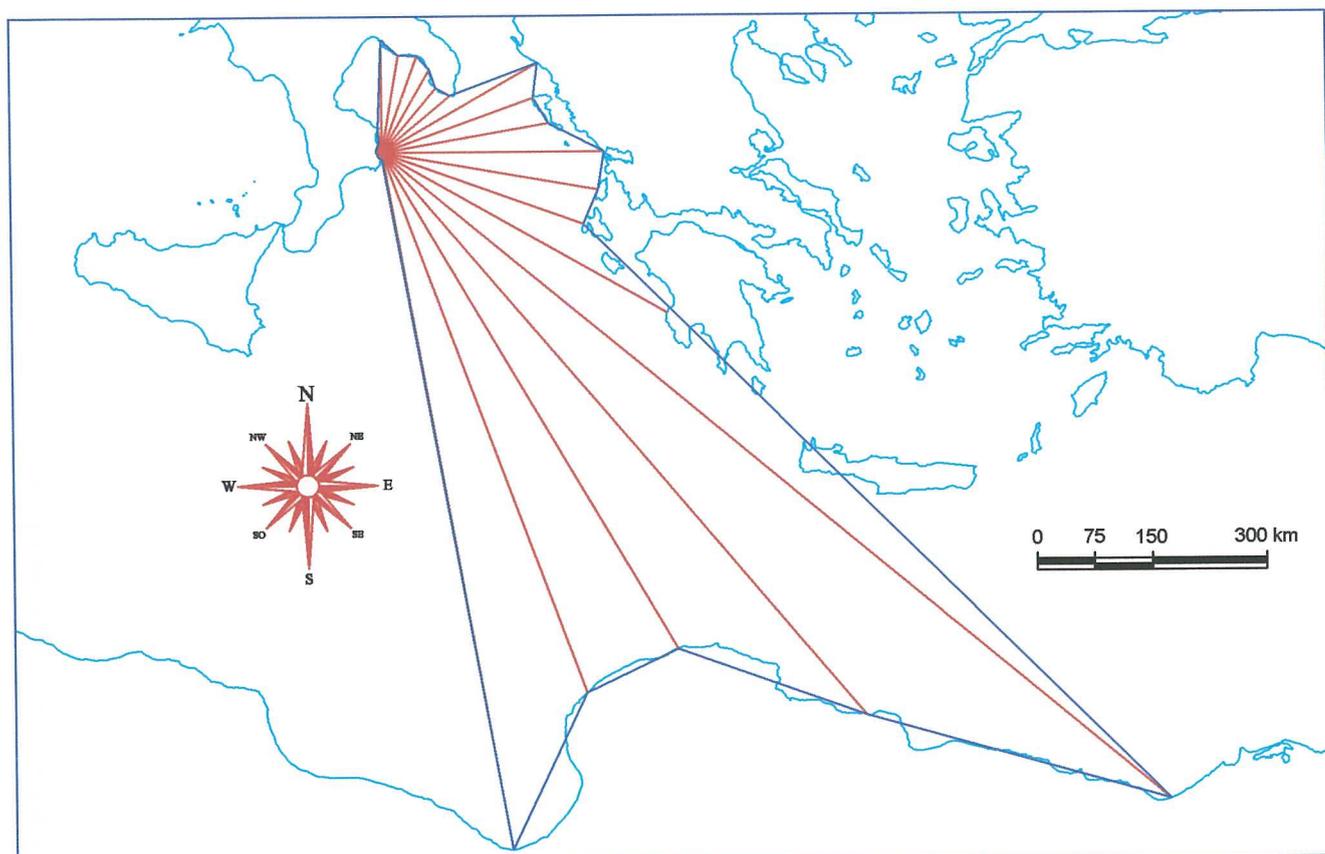


Fig. 3

# PARAGGIO DI CROTONE

## FETCH GEOGRAFICI

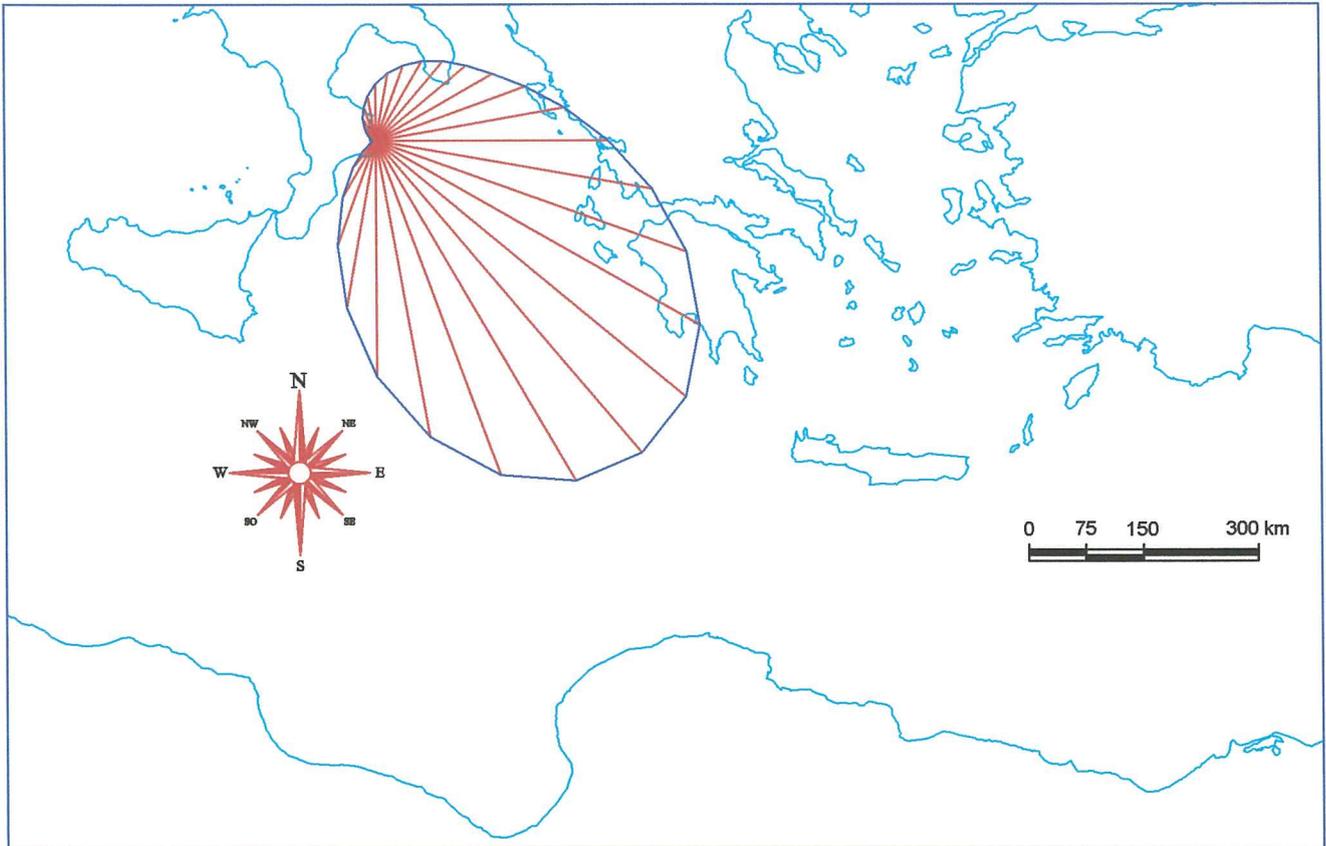


Direzione (°N)	Fetch geo. (km)
0.00	150.75
10.00	135.00
20.00	153.00
30.00	132.75
40.00	114.75
50.00	119.25
60.00	231.75
70.00	243.00
80.00	225.00
90.00	283.00
100.00	326.25
110.00	274.50
120.00	420.75
130.00	1300.50
140.00	940.50
150.00	731.25
160.00	738.00
170.00	900.00
180.00	5.75
190.00	5.75
200.00	6.00
210.00	6.25
220.00	5.75
230.00	5.75
240.00	6.00
250.00	5.75
260.00	5.50
270.00	5.00
280.00	5.00
290.00	7.75
300.00	8.25
310.00	8.75
320.00	10.00
330.00	11.00
340.00	13.25
350.00	32.50

Fig. 4

# PARAGGIO DI CROTONE

## FETCH EFFICACI E DEVIAZIONI MOTO ONDOSO



Direzione (°N)	Fetch eff. (km)	Deviazione (°)
10.00	90.0511	12.3322
20.00	105.3414	9.9550
30.00	120.7738	8.6314
40.00	136.6617	8.1641
50.00	154.2446	8.4249
60.00	176.6917	9.5843
70.00	207.8425	11.4894
80.00	250.2499	13.3963
90.00	304.1312	14.4863
100.00	366.7182	14.2856
110.00	431.2978	12.6126
120.00	488.1115	9.5374
130.00	526.7260	5.2872
140.00	538.6439	.1410
150.00	519.4829	-5.6305
160.00	470.2638	-11.7921
170.00	397.4867	-18.1560
180.00	311.6871	-24.5683
190.00	224.9051	-30.8802
200.00	147.9198	-36.9032
210.00	87.8319	-42.2264
220.00	46.6484	-45.4741
230.00	22.0663	-42.6530
240.00	9.9986	-27.9065
250.00	5.8216	-6.5494
260.00	5.2258	2.3703
270.00	5.4995	4.5932
280.00	6.1046	7.7218
290.00	7.4880	13.5946
300.00	10.3491	21.0652
310.00	15.4049	26.7162
320.00	23.1148	28.6670
330.00	33.4587	27.3141
340.00	45.9599	23.9317
350.00	59.9671	19.7599
360.00	74.8408	15.7047

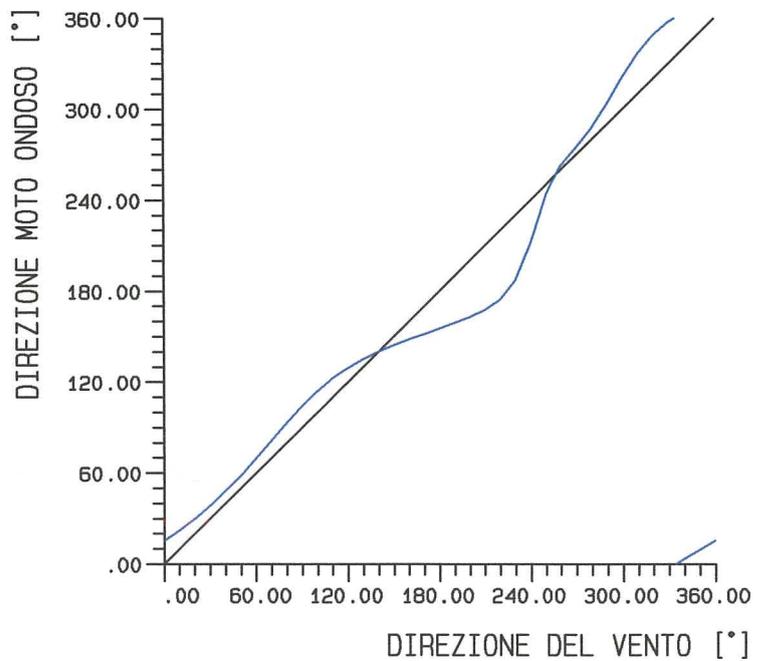


Fig. 5

# PARAGGIO CROTONE

## STAZIONE DI CROTONE Frequenza per millesimi dei venti

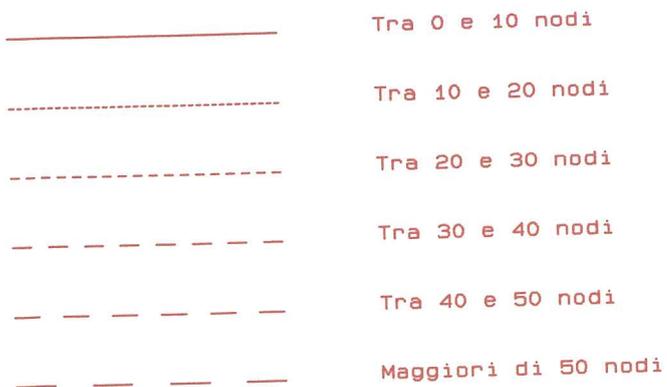
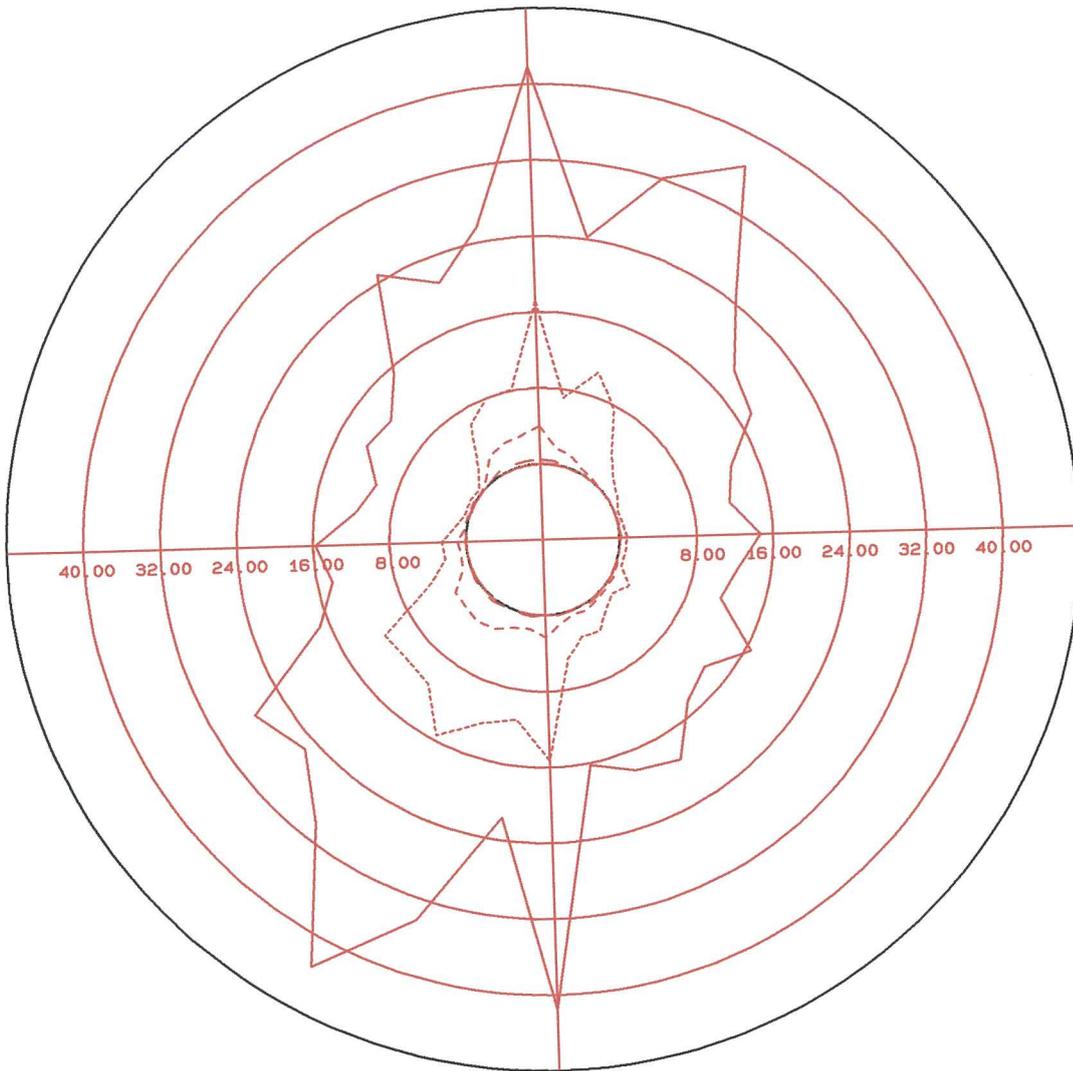


Fig. 6

# PARAGGIO DI CROTONE

Distribuzione della frequenza % dei moti ondosi al largo  
Settore di traversia 355° N - 175° N

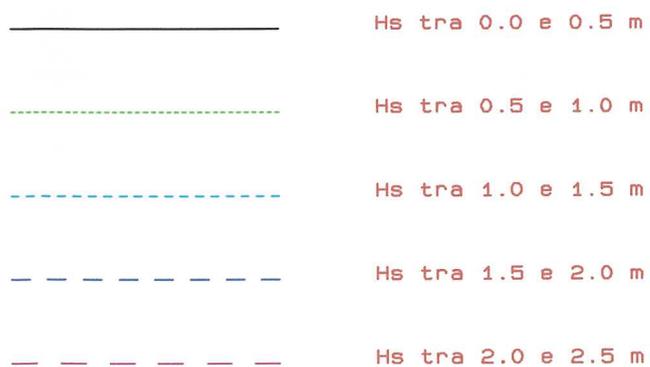
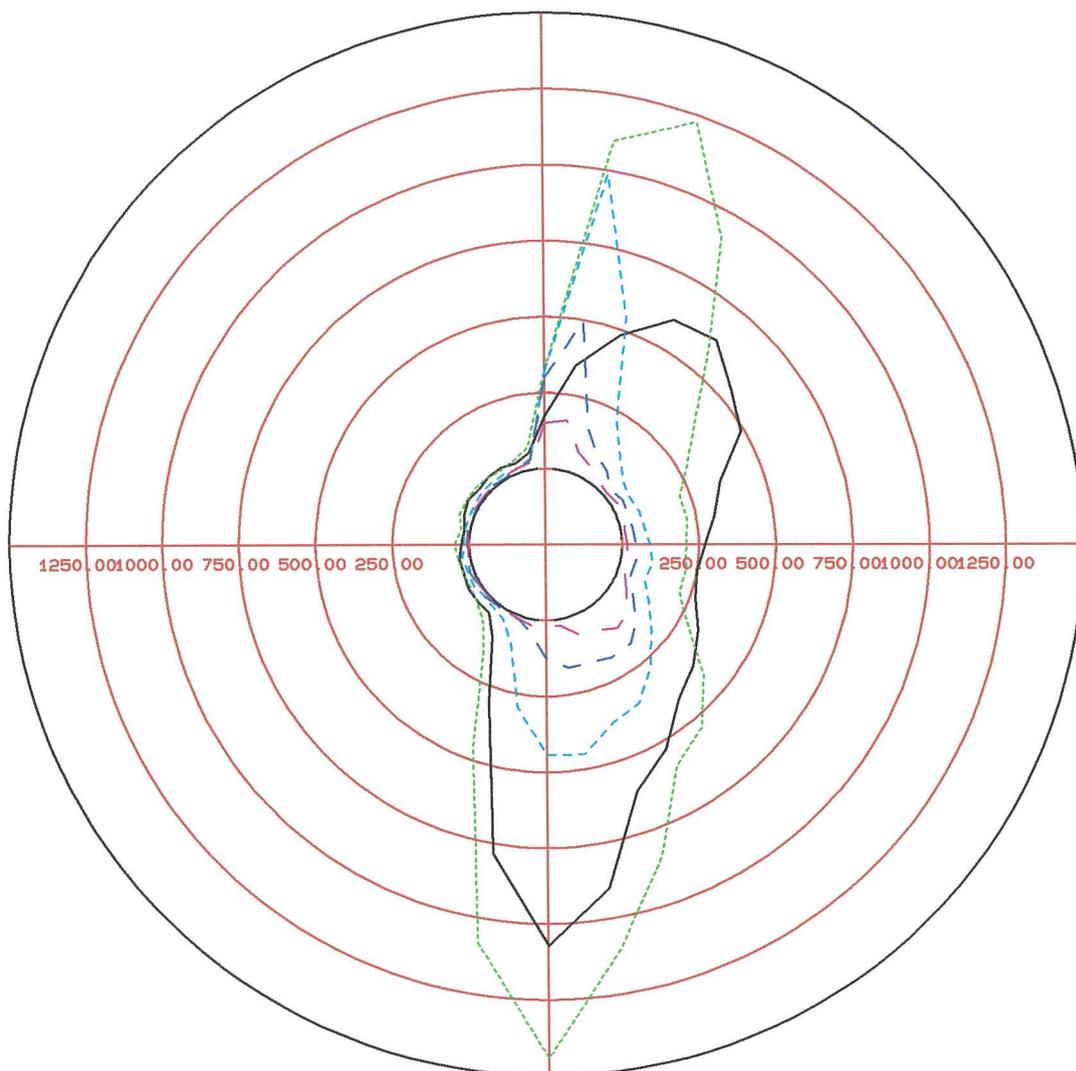


Fig. 7a

# PARAGGIO DI CROTONE

Distribuzione della frequenza % dei moti ondosi al largo  
Settore di traversia 355° N - 175° N

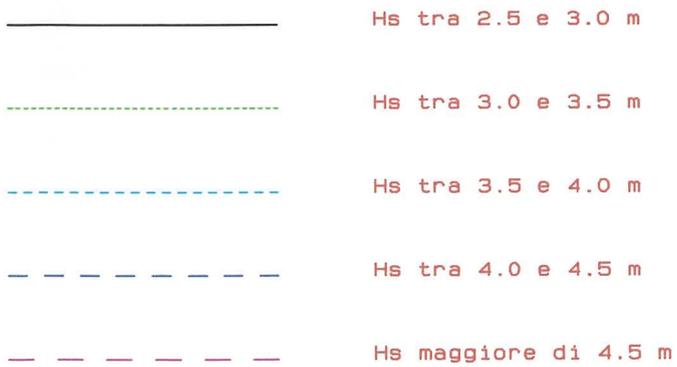
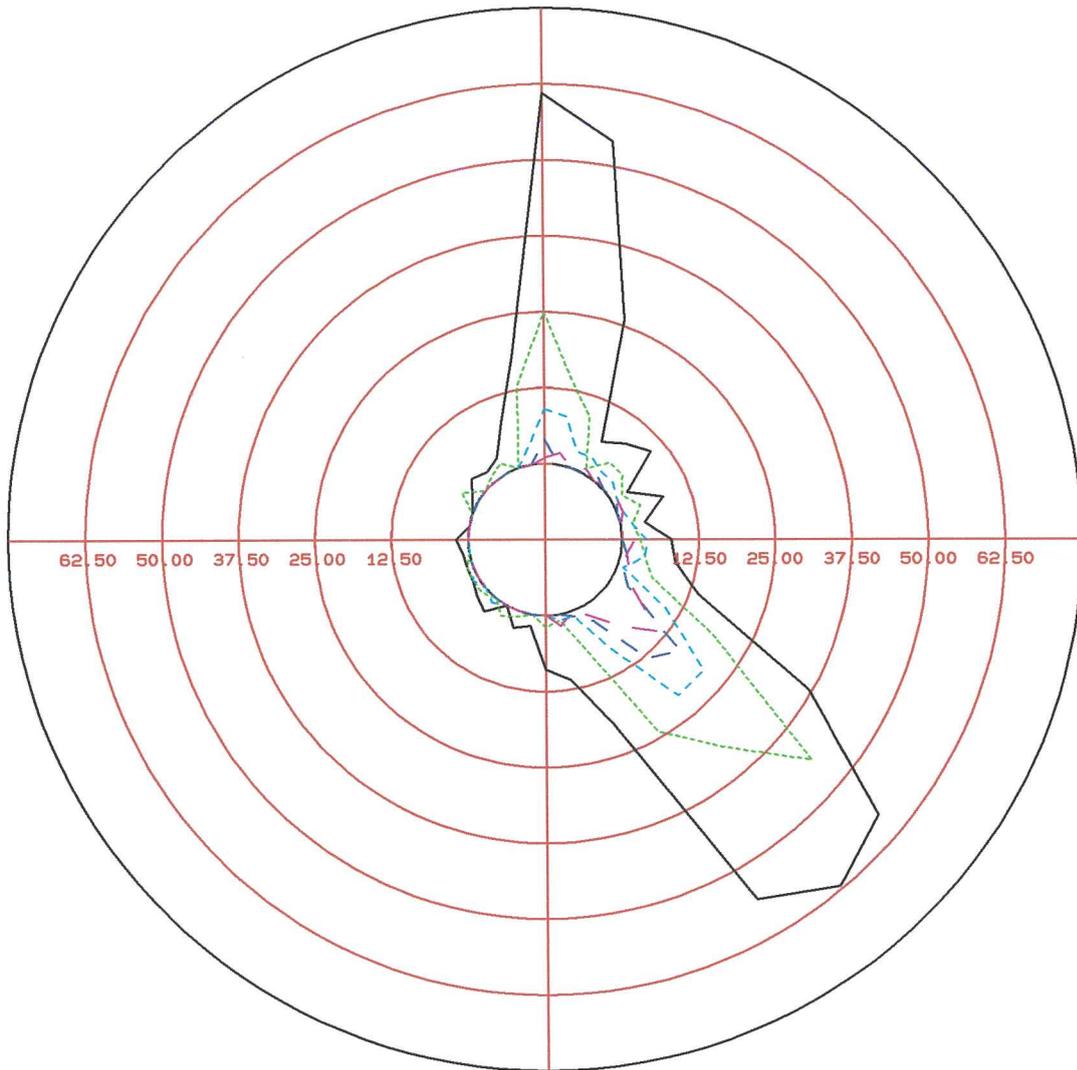
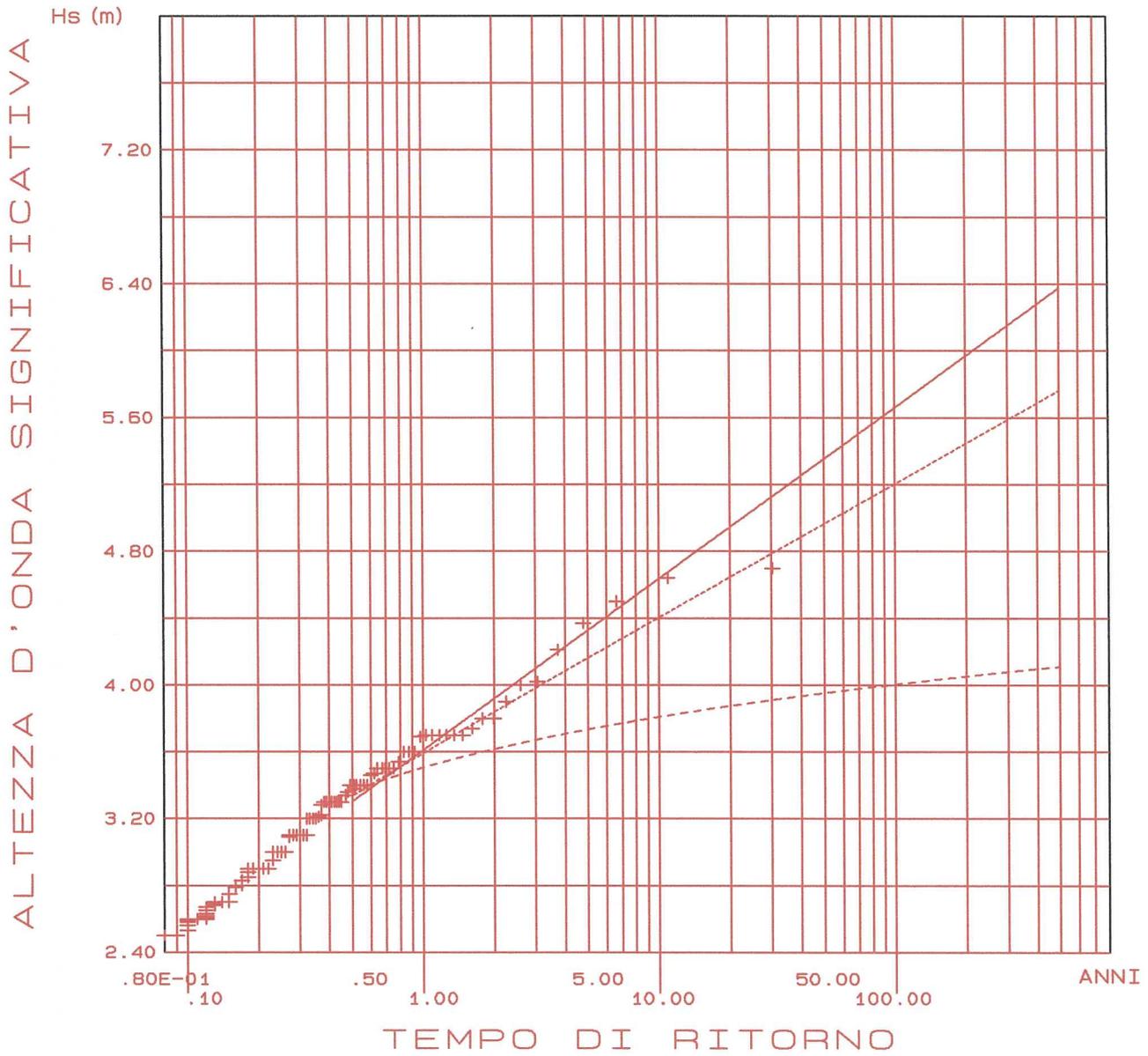


Fig. 7b

# PARAGGIO DI CROTONE

## ALTEZZE D'ONDA MASSIME SETTORE 355° N - 25° N



+ +

Eventi stimati

—————

Distribuzione di Fuller

.....

Distribuzione di Gumbell

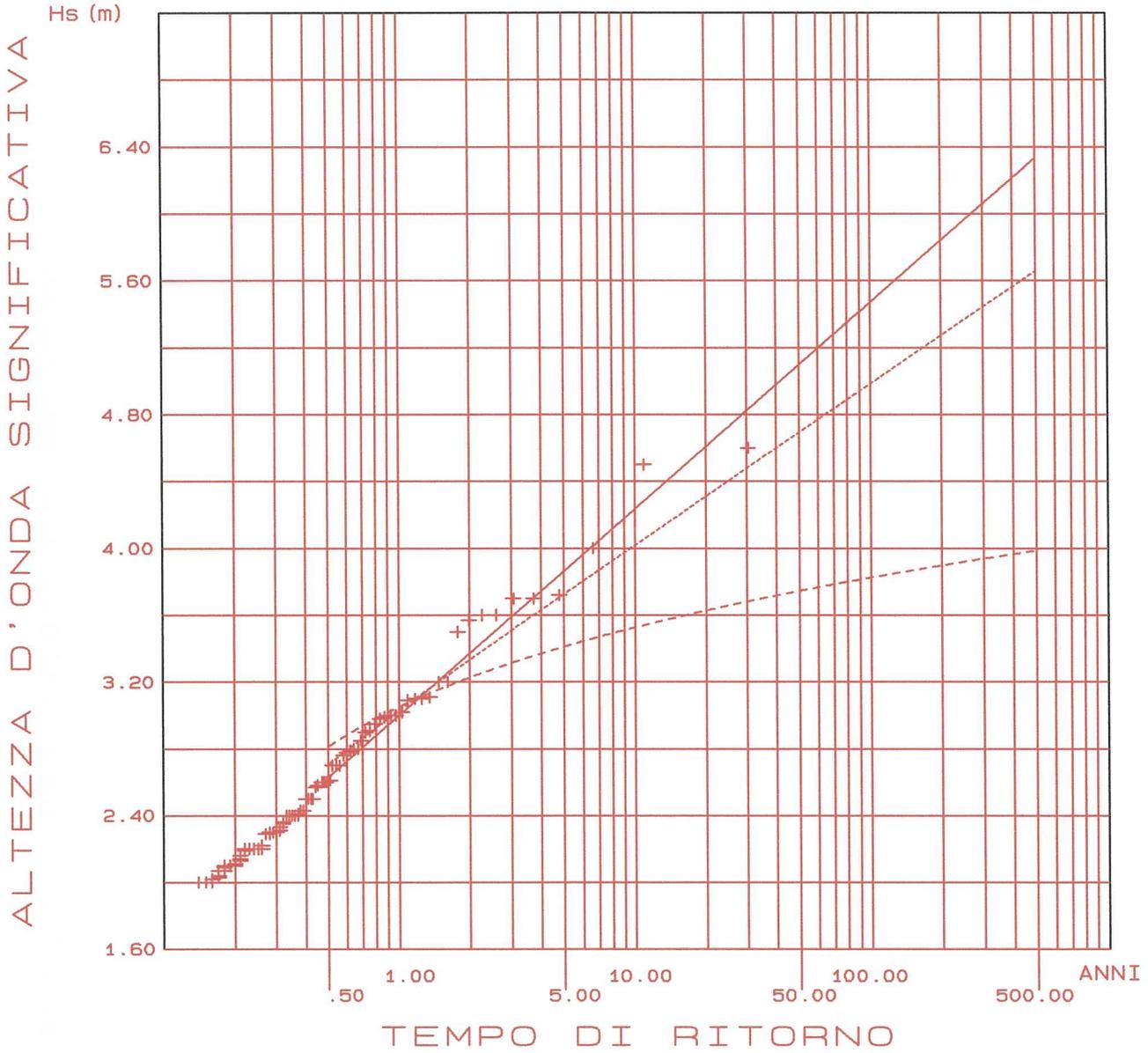
- - - - -

Distribuzione di Weibull

Fig. 8

# PARAGGIO DI CROTONE

## ALTEZZE D'ONDA MASSIME SETTORE 25° N - 55° N

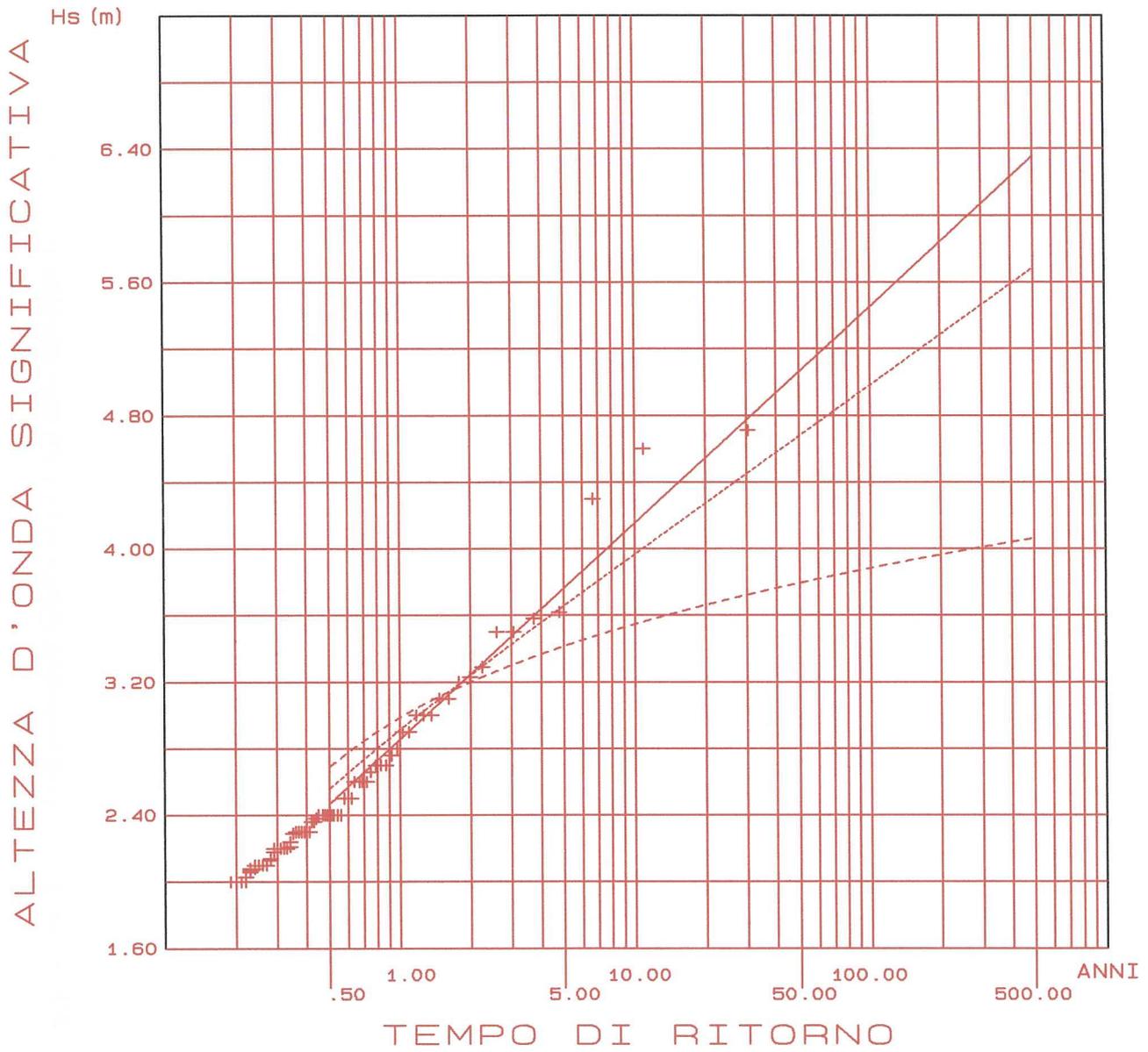


- + +      Eventi stimati
- Distribuzione di Fuller
- .....      Distribuzione di Gumbell
- - - - -      Distribuzione di Weibull

Fig. 9

# PARAGGIO DI CROTONE

## ALTEZZE D'ONDA MASSIME SETTORE 55° N - 85° N

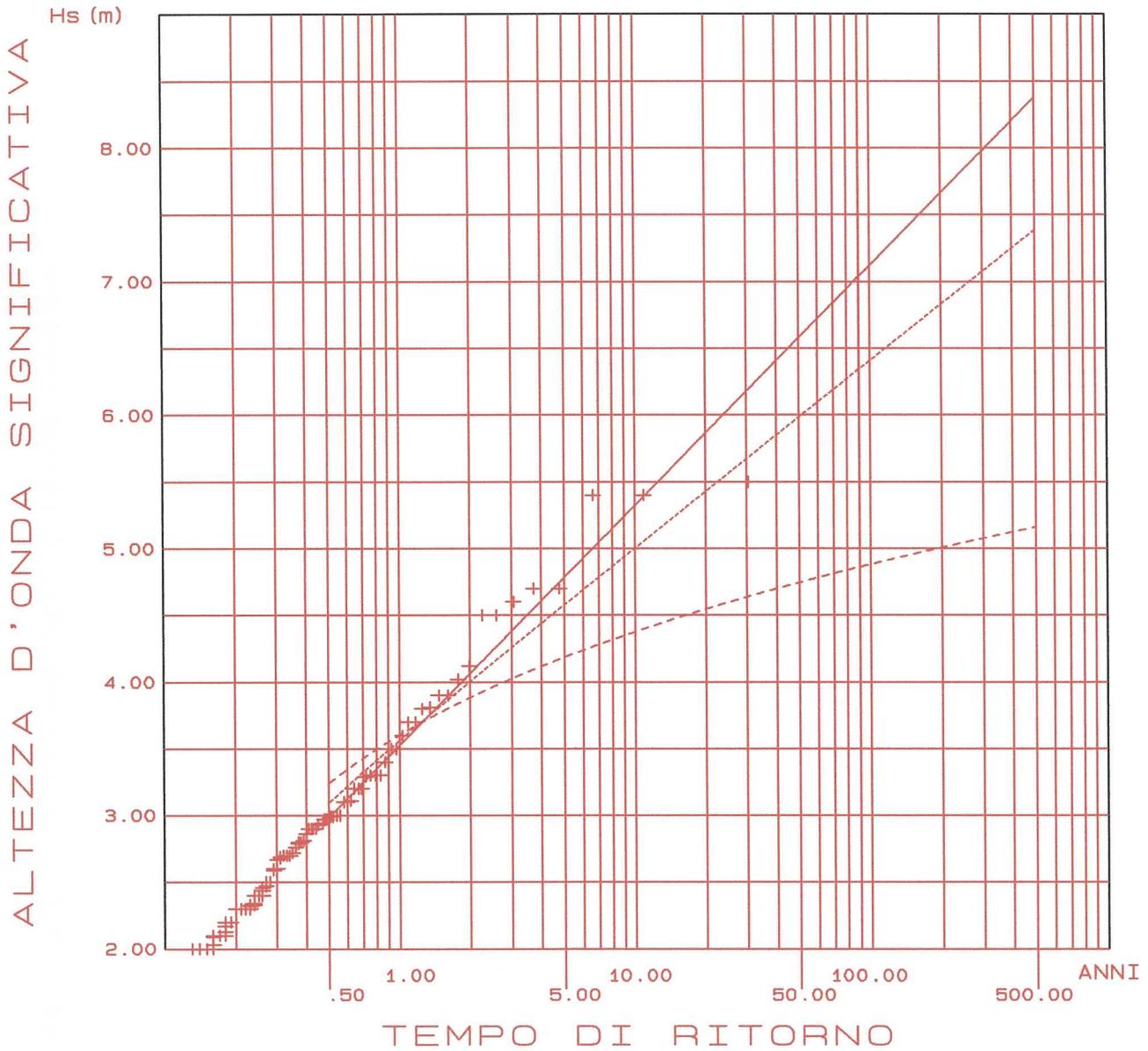


- + +      Eventi stimati
- Distribuzione di Fuller
- .....      Distribuzione di Gumbell
- - - - -      Distribuzione di Weibull

Fig. 10

# PARAGGIO DI CROTONE

ALTEZZE D'ONDA MASSIME  
SETTORE 85° N - 115° N



+ + Eventi stimati

— Distribuzione di Fuller

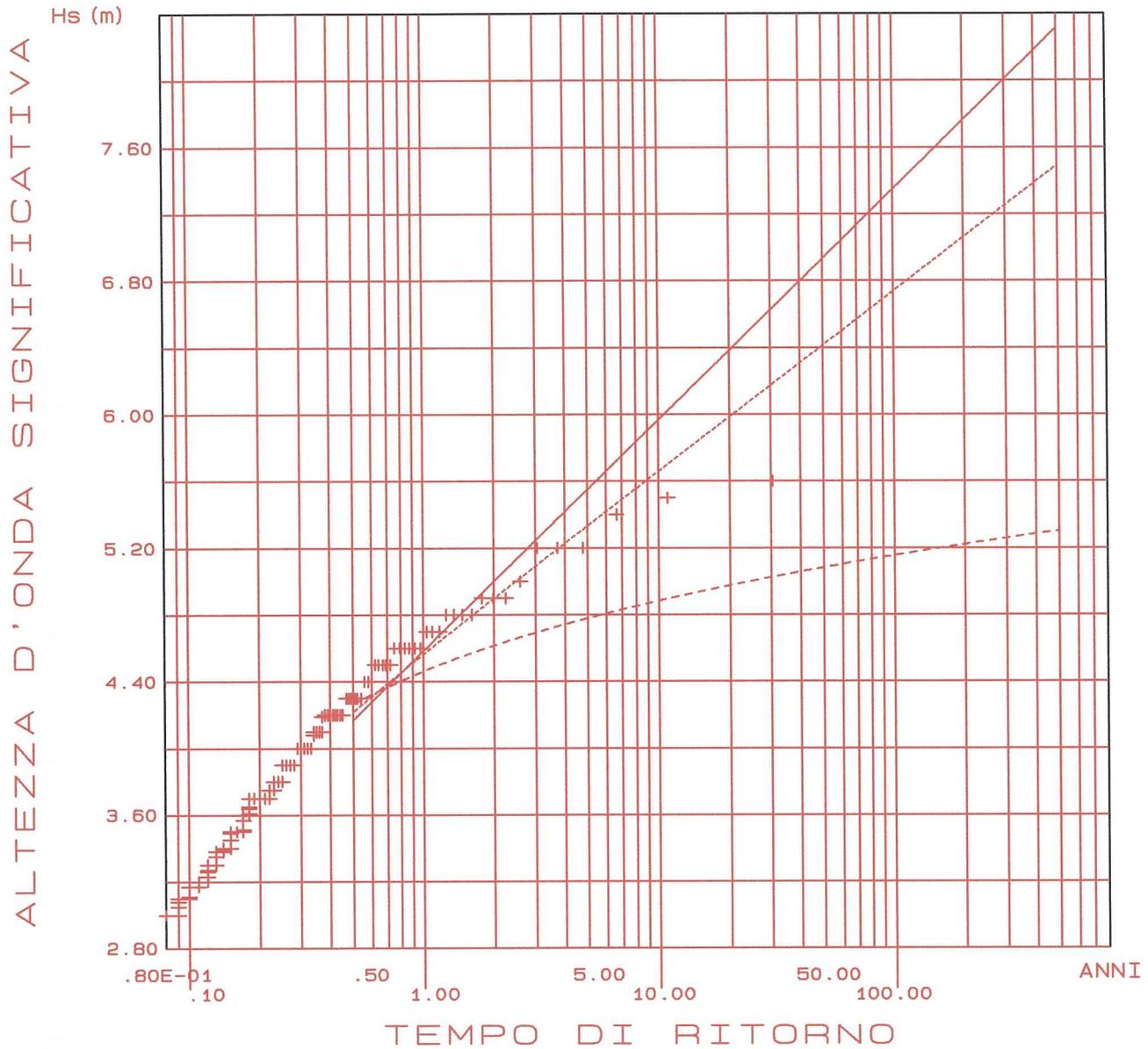
..... Distribuzione di Gumbell

- - - - - Distribuzione di Weibull

Fig. 11

# PARAGGIO DI CROTONE

## ALTEZZE D'ONDA MASSIME SETTORE 115° N - 145° N



+ +

Eventi stimati

—————

Distribuzione di Fuller

.....

Distribuzione di Gumbell

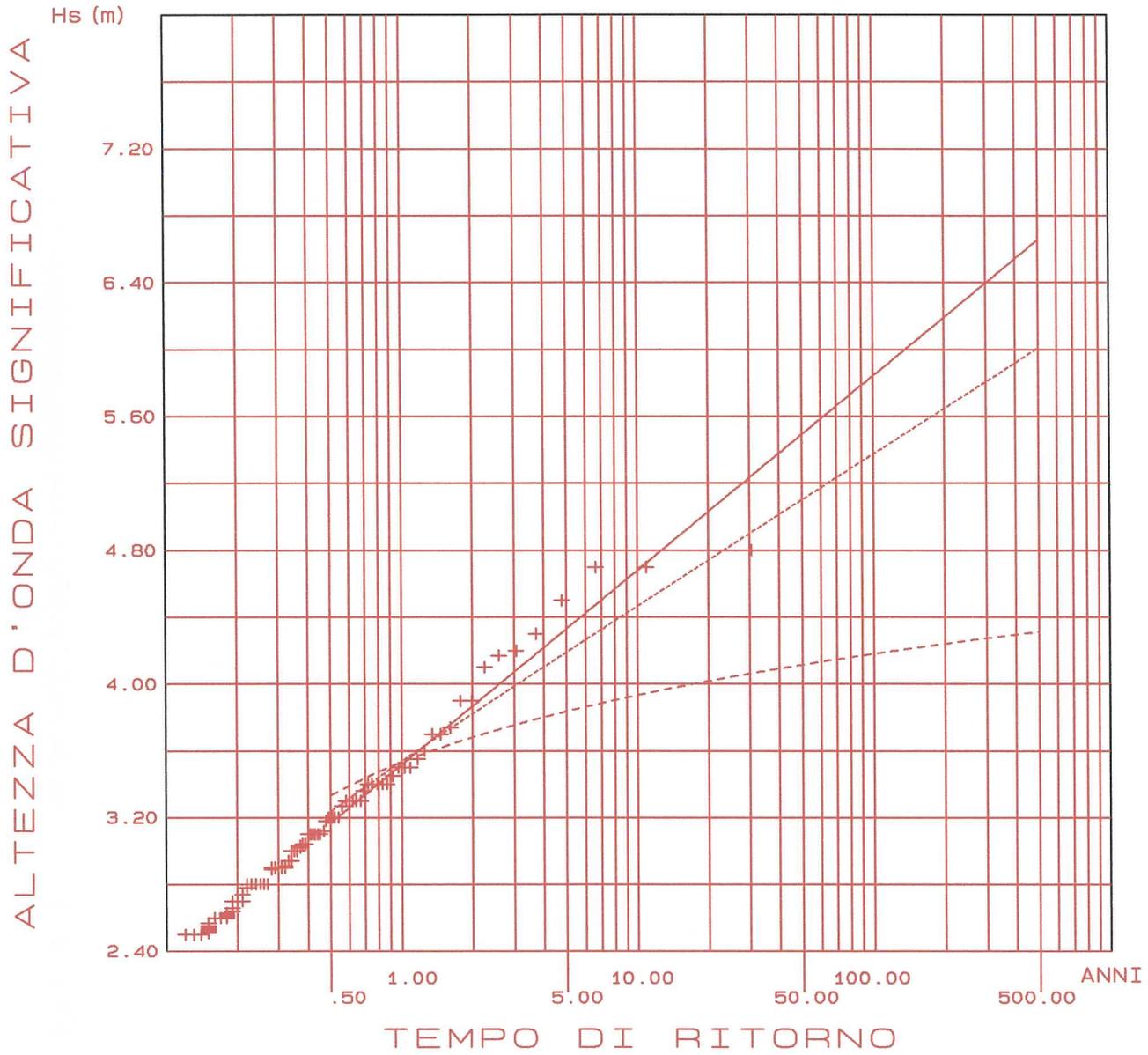
-----

Distribuzione di Weibull

Fig. 12

# PARAGGIO DI CROTONE

## ALTEZZE D'ONDA MASSIME SETTORE 145° N - 175° N



+ +

Eventi stimati

—————

Distribuzione di Fuller

.....

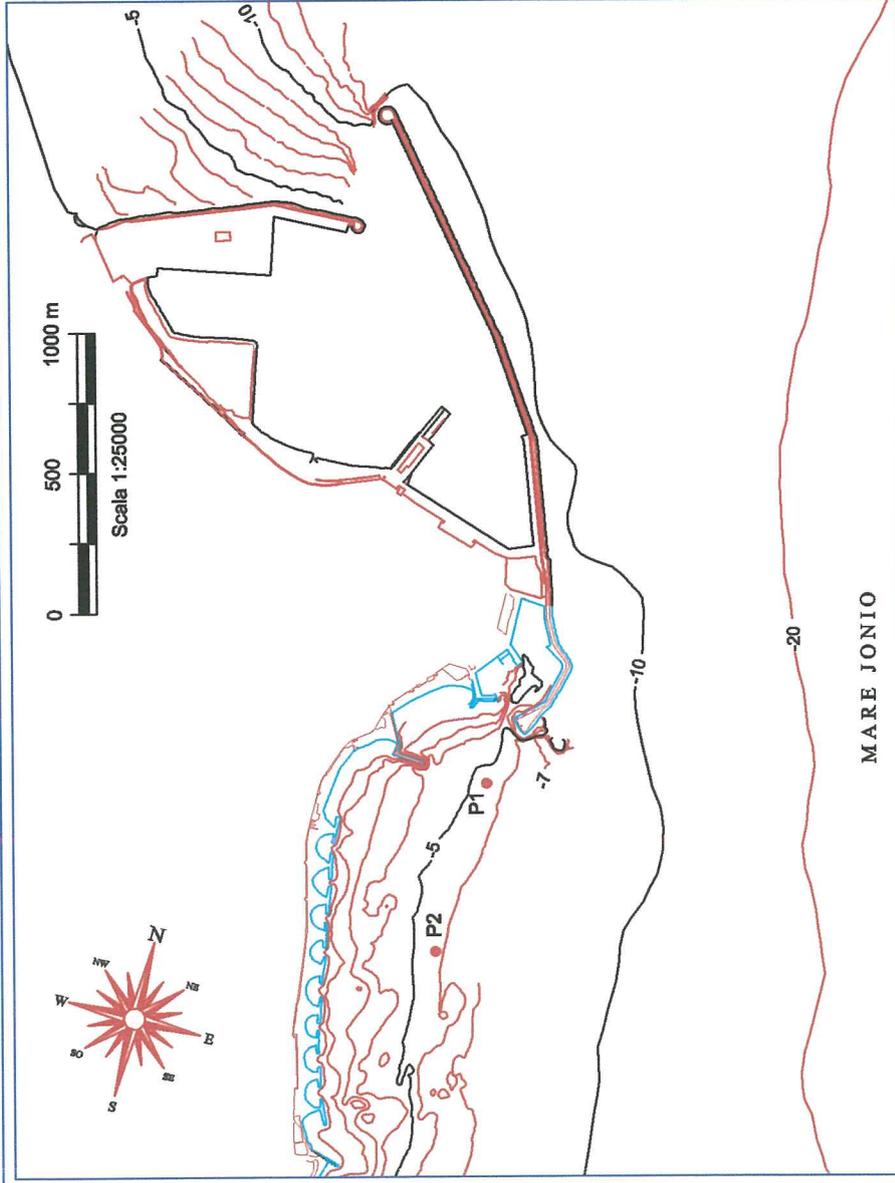
Distribuzione di Gumbell

-----

Distribuzione di Weibull

Fig. 13

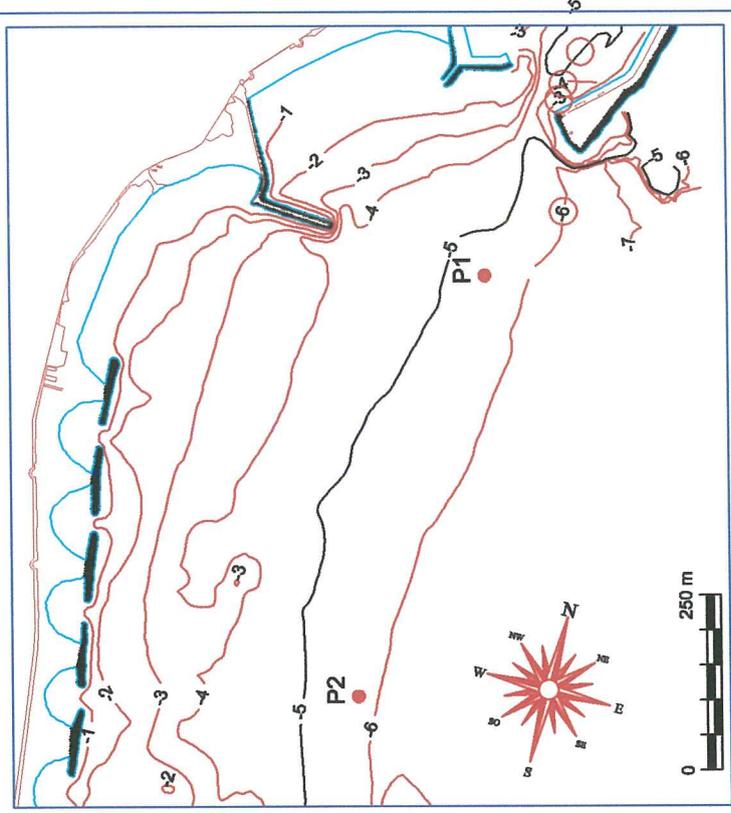
# UBICAZIONE DEI PUNTI DI CALCOLO A RIVA



## COORDINATE GEOGRAFICHE DEI PUNTI DI CALCOLO A RIVA

P1 = 39° 04' 30" N - 17° 08' 11"

P2 = 39° 04' 20" N - 17° 08' 10"



NORD MATRICE DI CALCOLO

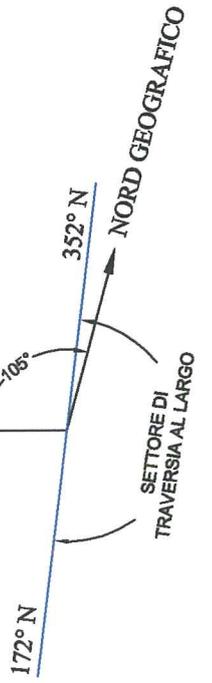


Fig. 14

# CROTONE PUNTO DI CALCOLO A RIVA 1

Distribuzione della frequenza % dei moti ondosi a riva  
Settore di traversia 355° N - 175° N

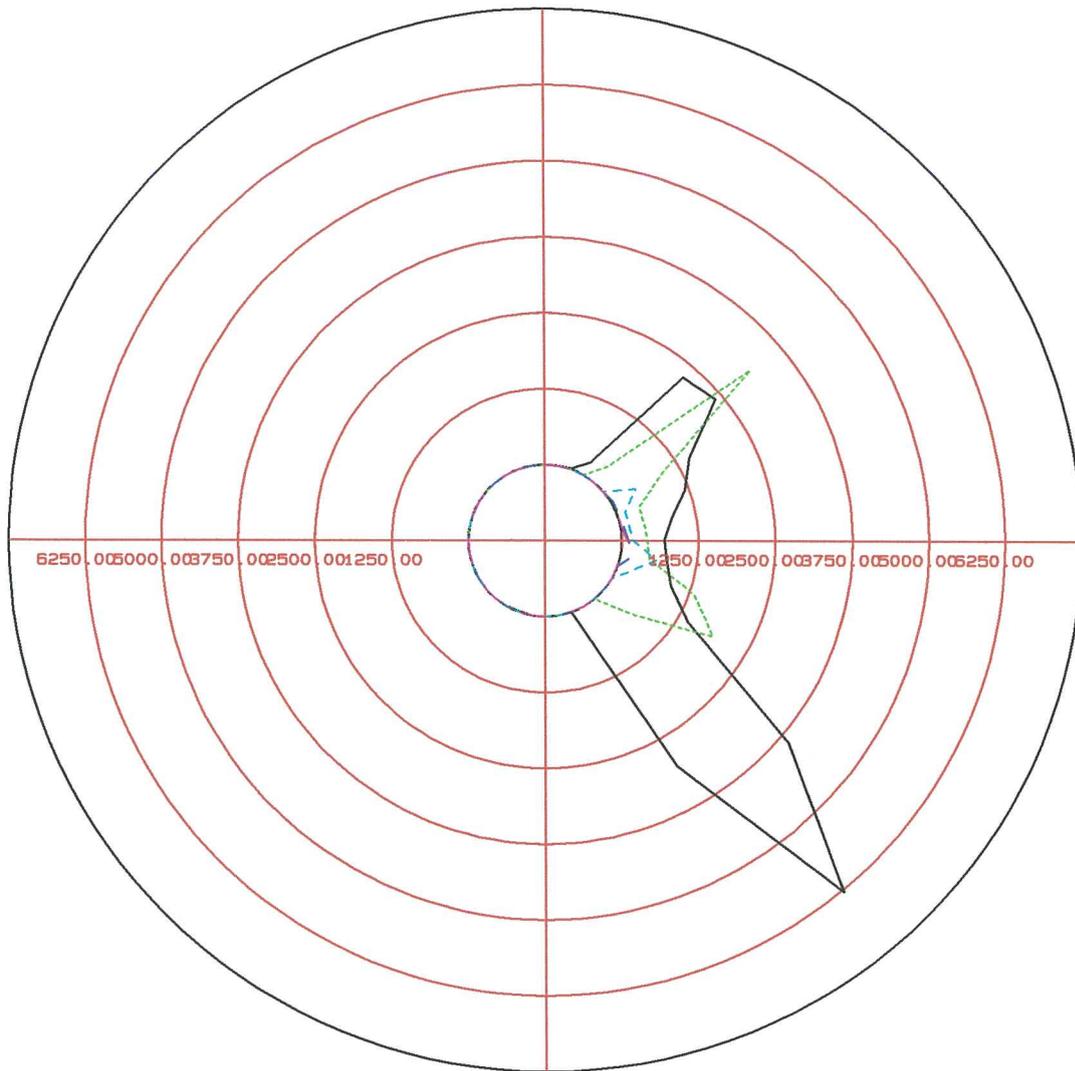
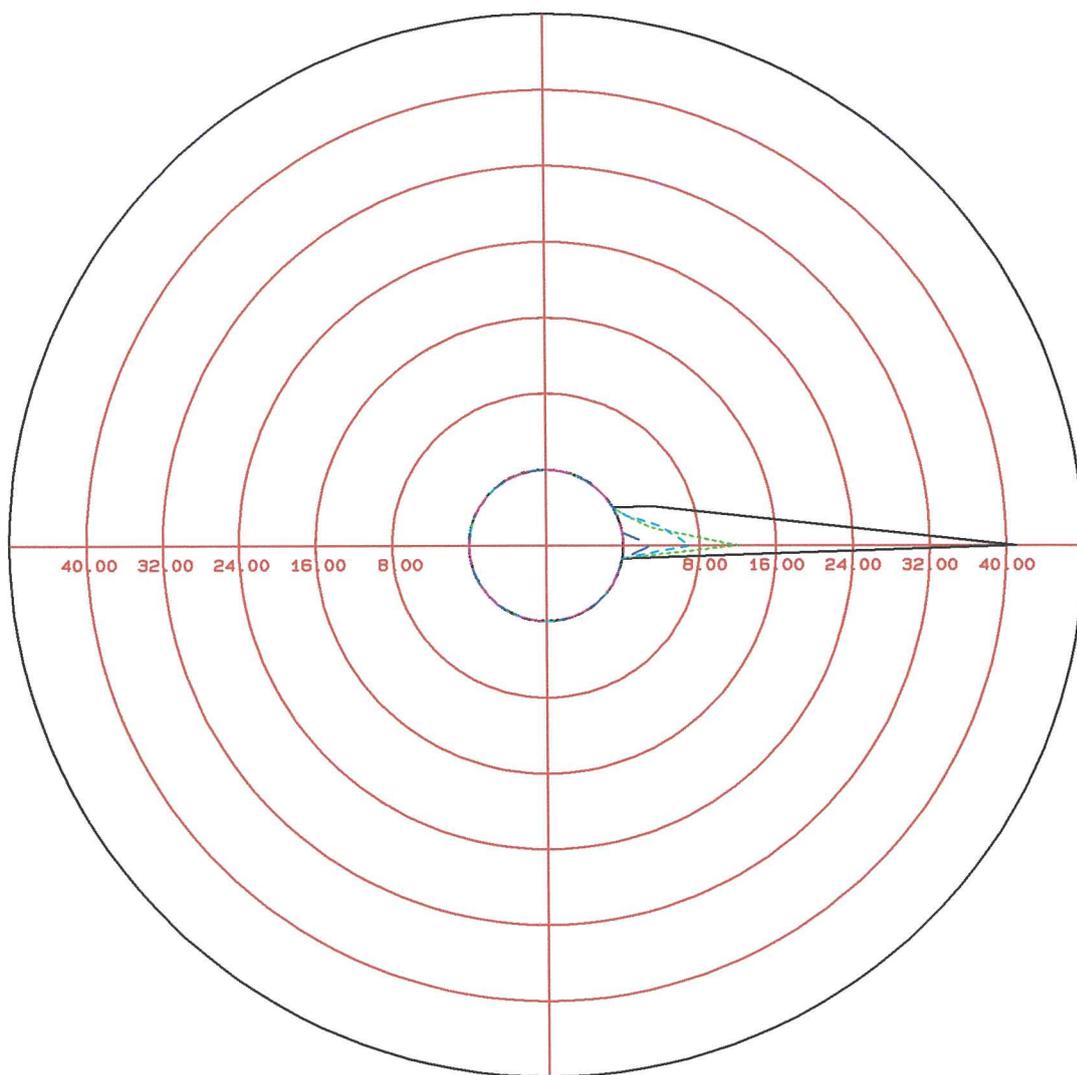


Fig. 15a

# CROTONE PUNTO DI CALCOLO A RIVA 1

Distribuzione della frequenza % dei moti ondosi a riva  
Settore di traversia 355° N - 175° N



—————	Hs tra 2.5 e 3.0 m
- - - - -	Hs tra 3.0 e 3.5 m
- - - - -	Hs tra 3.5 e 4.0 m
- - - - -	Hs tra 4.0 e 4.5 m
- - - - -	Hs maggiore di 4.5 m

Fig. 15b

# CROTONE PUNTO DI CALCOLO A RIVA 2

Distribuzione della frequenza % dei moti ondosi a riva  
Settore di traversia 355° N - 175° N

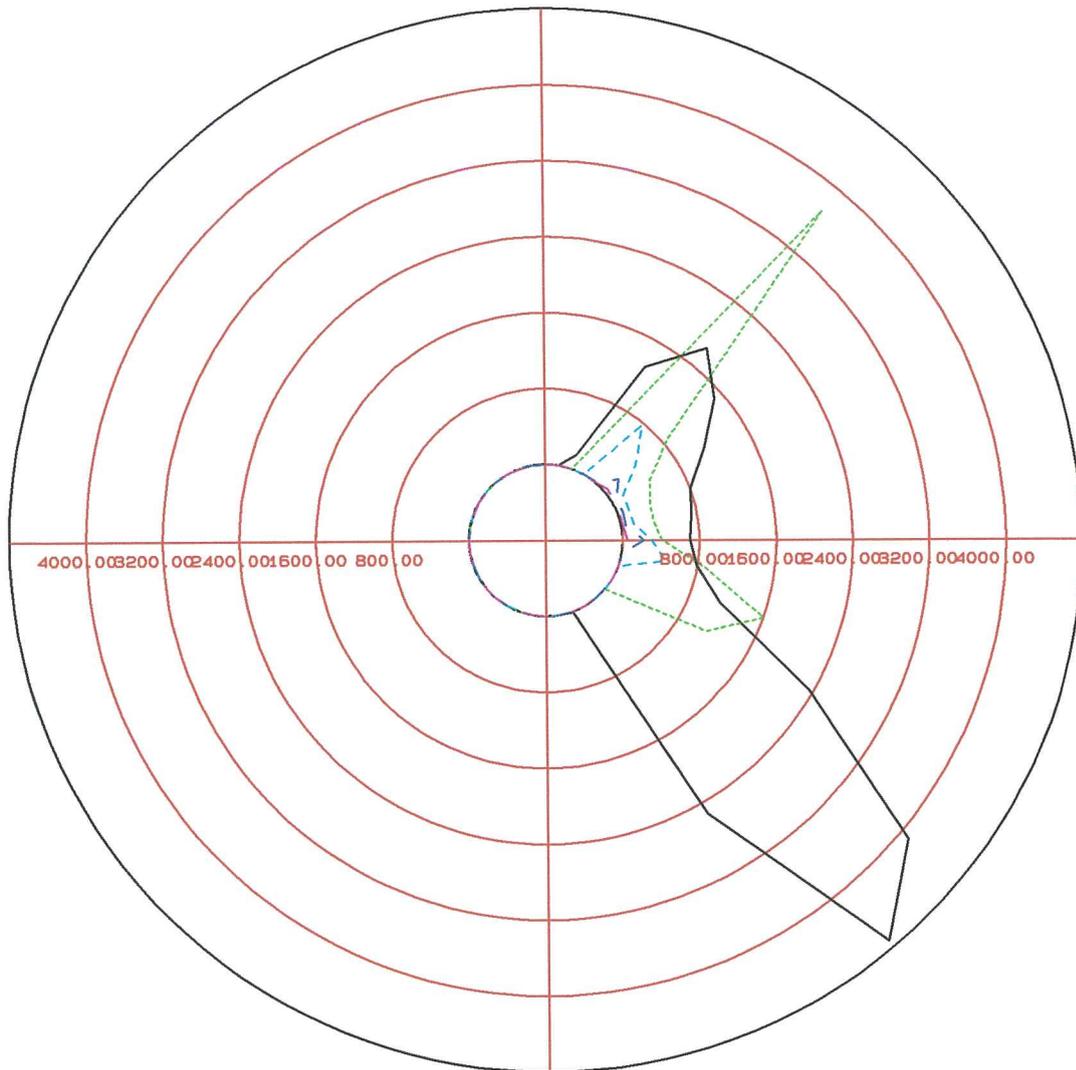


Fig. 16a

# CROTONE PUNTO DI CALCOLO A RIVA 2

Distribuzione della frequenza % dei moti ondosi a riva  
Settore di traversia 355° N - 175° N

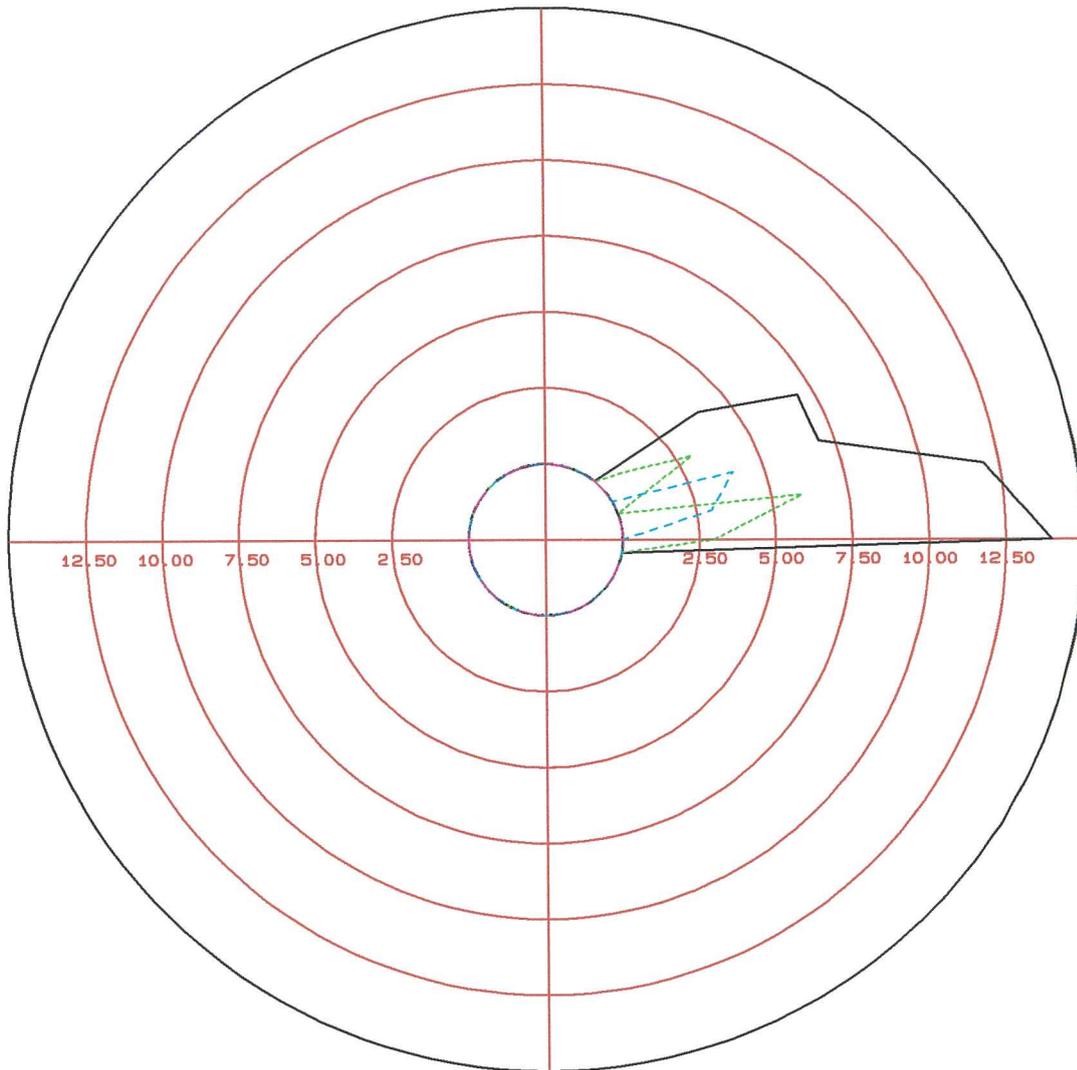


Fig. 16b

# DIREZIONE DEI MOTI ONDOSI A RIVA CON $T_r = 1$ ANNO

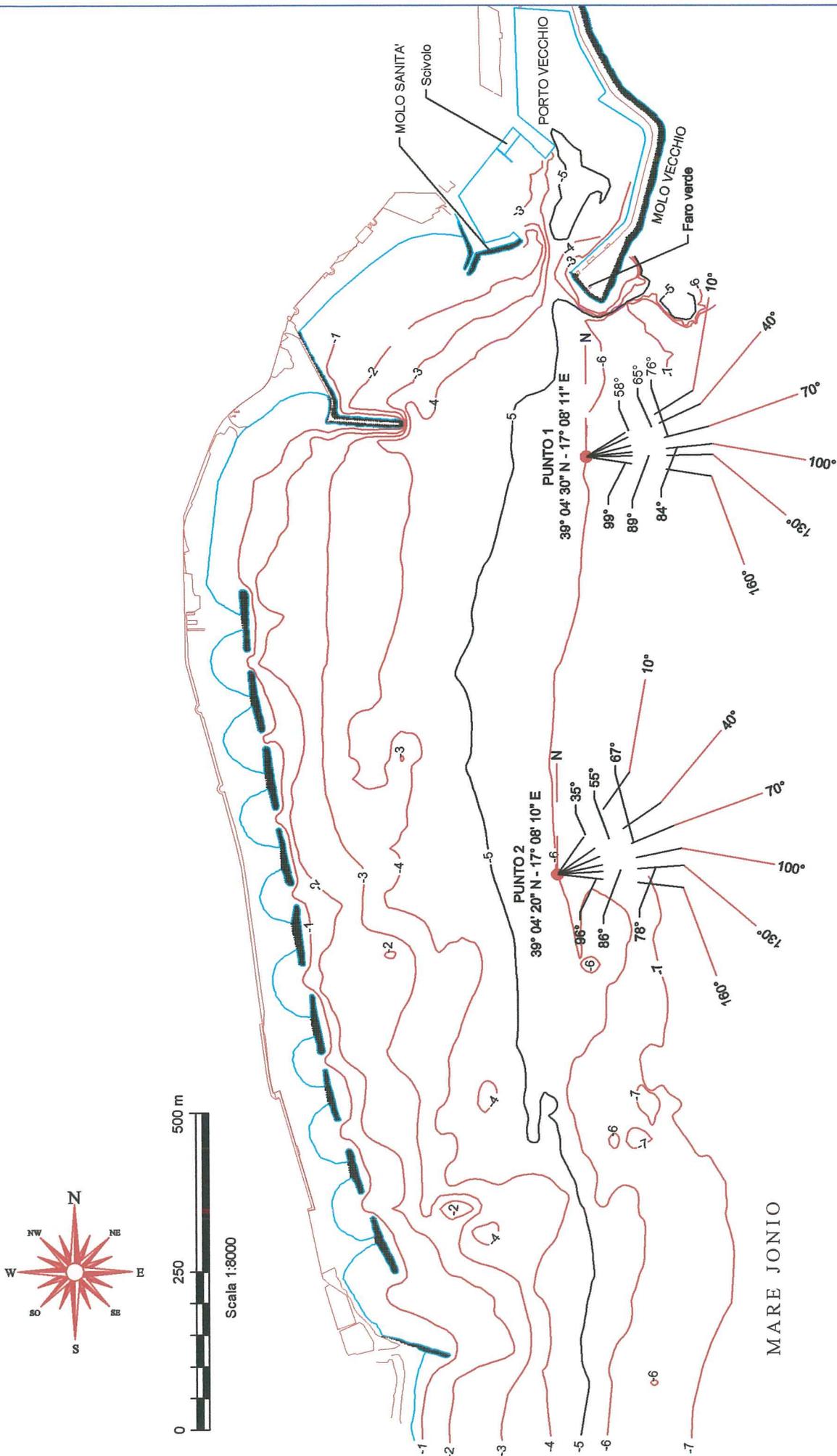
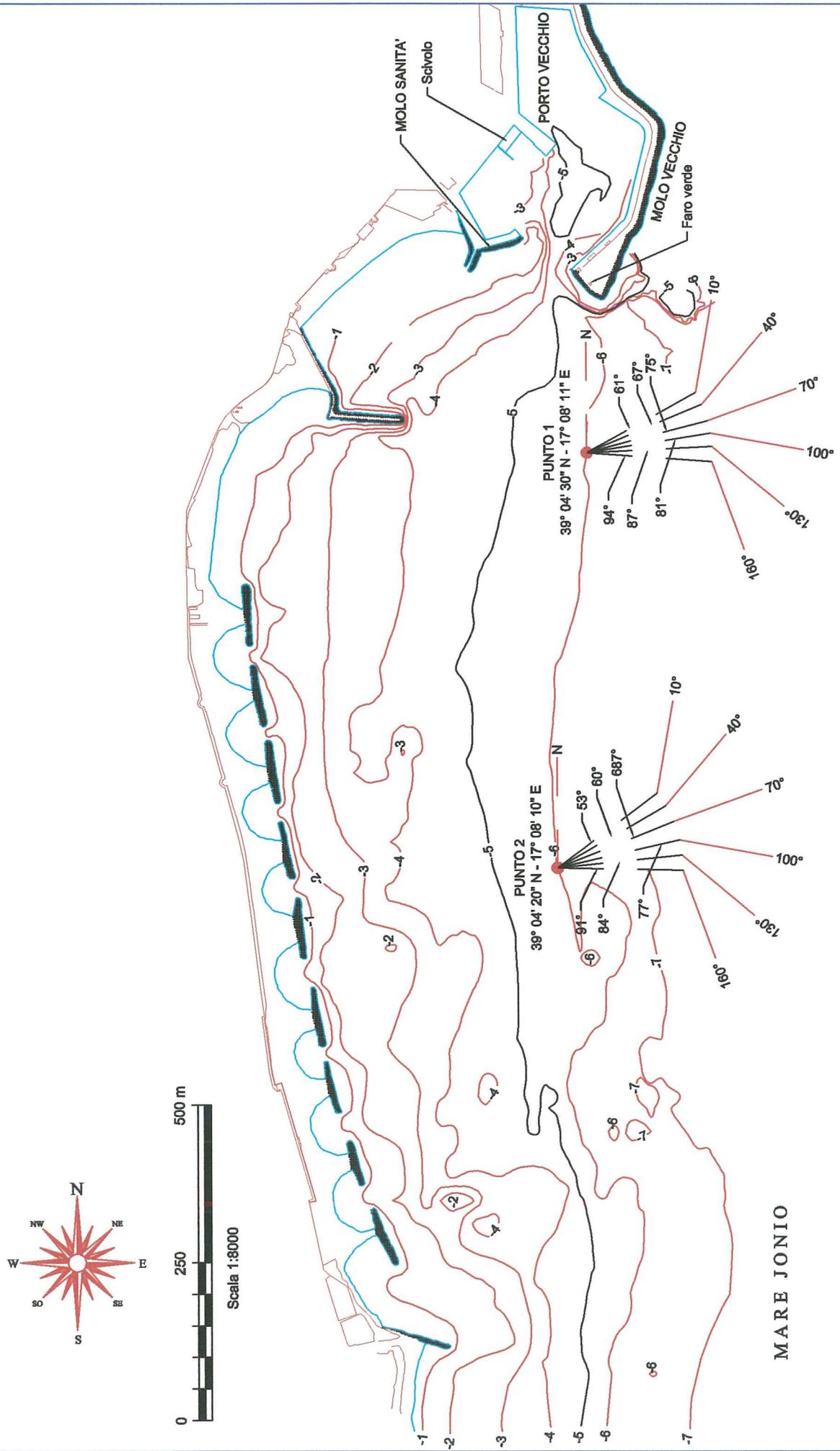


Fig. 17

# DIREZIONE DEI MOTI ONDOSI A RIVA CON Tr = 25 ANNI



— DIREZIONE DI PROVENIENZA DEI MOTI ONDOSI AL LARGO CON Tr = 25 ANNI  
 — DIREZIONE DI PROVENIENZA DEI MOTI ONDOSI A RIVA CON Tr = 25 ANNI

Fig. 18

**TABELLE**







EVENTI DI MOTO ONDOSO / WAVE EVENTS

NUMERO DI EVENTI NELL' ANNO STATISTICO MEDIO / EVENTS NUMBER IN A STATISTICAL YEAR

STAZIONE / STATION: PARAGGIO DI CROTONE

Periodo di registrazione / Recording period: 07/1989-06/2005

Mese / Month - 1- 2- 3- 4- 5- 6- 7- 8- 9-10-11-12-

Settore di provenienza (gradi)/Direction (deg.): - 10- 20- 30- 40- 50- 60- 70- 80- 90-100-110-120-130-140-150-160-170-360-

Periodo Tp (s) inf.(sec) sup.(sec) *****	.0	.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0	13.5	14.0	14.5	15.0	15.5	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	18.5	19.0	19.5	20.0	****			
H (m)	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211		
0- .5	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	
1.0- 1.5	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216
2.0- 2.5	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	
3.0- 3.5	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	
4.0- 4.5	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
5.0- 5.5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
6.0- 6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7.0- 7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8.0- 8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9.0- 9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10.0-10.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11.0-11.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12.0-12.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13.0-13.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14.0-14.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15.0-15.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16.0-16.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17.0-17.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18.0-18.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19.0-19.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20.0-****	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Tot.	1761	211	0	0	0	9	43	99	125	132	151	173	198	111	118	104	81	71	6	40	4	18	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Numero totale di eventi / Total number of events.....: 29936  
 Eventi indeterminati / Indefinite events.....: 0  
 Eventi determinati / Definite events.....: 29936



# STAZIONE: PARAGGIO DI CROTONE

Elaborazione statistica dei valori estremi di altezza d'onda

Periodo di registrazione: 1989 - 2005

Settore di provenienza (gradi) - 360 - 10 - 20 -

Numero dati : 216 Numero anni : 17 Hs di soglia : 2.50

Media : 2.92 Deviazione : .445

DATI	
Hs (m)	Tempo ritorno (anni)
4.70	30.37
4.64	10.90
4.50	6.64
4.37	4.78
4.21	3.73
4.02	3.06
4.00	2.59
3.90	2.25
3.80	1.99
3.80	1.78
3.74	1.61
3.70	1.47
3.70	1.35
3.70	1.25
3.70	1.17
3.70	1.09
3.70	1.03
3.69	.97
3.60	.92
3.60	.87
3.60	.83
3.54	.79
3.50	.75
3.50	.67
3.50	.64
3.47	.62
3.46	.60
3.40	.58
3.40	.56
3.40	.54
3.40	.52
3.40	.51
3.40	.49
3.36	.48
3.34	.47
3.30	.45
3.30	.44

DATI	
Hs (m)	Tempo ritorno (anni)
3.30	.43
3.30	.42
3.30	.41
3.30	.40
3.30	.39
3.30	.38
3.28	.37
3.22	.37
3.21	.36
3.20	.34
3.20	.33
3.20	.32
3.10	.32
3.10	.31
3.10	.31
3.10	.30
3.10	.30
3.10	.29
3.10	.29
3.10	.28
3.10	.28
3.10	.27
3.09	.27
3.00	.26
3.00	.26
3.00	.26
3.00	.25
3.00	.25
3.00	.24
3.00	.24
3.00	.24
3.00	.23
2.95	.23
2.90	.22
2.90	.22
2.90	.22
2.90	.21

DATI	
Hs (m)	Tempo ritorno (anni)
2.90	.21
2.90	.21
2.90	.21
2.90	.20
2.90	.20
2.90	.20
2.90	.20
2.90	.20
2.90	.19
2.90	.19
2.90	.19
2.90	.19
2.90	.19
2.90	.18
2.90	.18
2.90	.18
2.90	.18
2.88	.18
2.85	.18
2.83	.17
2.80	.17
2.80	.17
2.80	.17
2.80	.17
2.80	.17
2.80	.17
2.80	.16
2.80	.16
2.80	.16
2.80	.16
2.80	.16
2.79	.16
2.75	.15
2.75	.15
2.70	.15
2.70	.15
2.70	.15
2.70	.15



Tempo di ritorno (anni)	Fuller Hs(m)	Gumbel Hs(m)	Weibull Hs(m)
.5	3.30	3.34	3.36
1.0	3.61	3.59	3.51
2.0	3.92	3.84	3.62
5.0	4.33	4.16	3.73
10.0	4.63	4.40	3.81
25.0	5.04	4.72	3.90
50.0	5.35	4.96	3.95
100.0	5.66	5.20	4.01
500.0	6.38	5.76	4.11

Parametri statistici	Fuller	Gumbel	Weibull
Gradi di libertà	213	213	2.13
Chi-quadrato	146.12	269.80	*****
Liv. inf. significatività	99.00	.00	.00
Liv. inf. significatività	100.00	50.00	50.00

# STAZIONE: PARAGGIO DI CROTONE

## Elaborazione statistica dei valori estremi di altezza d'onda

Periodo di registrazione: 1989 - 2005

Settore di provenienza (gradi) - 30 - 40 -50 -

Numero dati : 125    Numero anni : 17    Hs di soglia : 2.00

Media : 2.47    Deviazione : .536

DATI	
Hs (m)	Tempo ritorno (anni)
4.60	30.39
4.50	10.91
4.00	6.65
3.72	4.78
3.70	3.73
3.70	3.06
3.60	2.59
3.60	2.25
3.57	1.99
3.50	1.78
3.20	1.61
3.20	1.47
3.11	1.35
3.10	1.25
3.10	1.17
3.09	1.09
3.02	1.03
3.00	.97
3.00	.92
2.99	.87
2.98	.83
2.95	.79
2.91	.75
2.90	.72
2.85	.69
2.80	.67
2.80	.64
2.79	.62
2.78	.60
2.76	.58
2.70	.56
2.70	.54
2.70	.52
2.61	.51
2.60	.49
2.60	.48

DATI	
Hs (m)	Tempo ritorno (anni)
2.60	.47
2.58	.45
2.57	.44
2.50	.43
2.50	.42
2.50	.41
2.50	.40
2.43	.39
2.43	.38
2.41	.37
2.40	.37
2.40	.36
2.40	.35
2.40	.34
2.40	.34
2.40	.33
2.36	.32
2.35	.32
2.33	.31
2.31	.31
2.30	.30
2.30	.30
2.30	.29
2.30	.29
2.30	.28
2.29	.28
2.29	.27
2.29	.27
2.22	.26
2.22	.26
2.20	.26
2.20	.25
2.20	.25
2.20	.24
2.20	.24
2.20	.24

DATI	
Hs (m)	Tempo ritorno (anni)
2.20	.23
2.20	.23
2.20	.23
2.20	.23
2.20	.22
2.20	.22
2.19	.22
2.16	.21
2.16	.21
2.14	.21
2.13	.21
2.11	.20
2.10	.20
2.10	.20
2.10	.20
2.10	.19
2.10	.19
2.10	.19
2.10	.19
2.10	.19
2.10	.18
2.10	.18
2.10	.18
2.09	.18
2.07	.18
2.07	.17
2.07	.17
2.04	.17
2.03	.17
2.03	.17
2.03	.17
2.02	.16
2.00	.16
2.00	.16
2.00	.16
2.00	.16

DATI	
Hs (m)	Tempo ritorno (anni)
2.00	.16
2.00	.16
2.00	.15
2.00	.15
2.00	.15
2.00	.15

DATI	
Hs (m)	Tempo ritorno (anni)
2.00	.15
2.00	.15
2.00	.15
2.00	.14
2.00	.14
2.00	.14

DATI	
Hs (m)	Tempo ritorno (anni)
2.00	.14
2.00	.14
2.00	.14
2.00	.14
2.00	.14

Tempo di ritorno (anni)	Fuller Hs(m)	Gumbel Hs(m)	Weibull Hs(m)
.5	2.63	2.70	2.81
1.0	3.00	3.03	3.05
2.0	3.37	3.33	3.23
5.0	3.86	3.73	3.41
10.0	4.23	4.02	3.53
25.0	4.73	4.40	3.66
50.0	5.10	4.69	3.75
100.0	5.47	4.98	3.83
500.0	6.33	5.66	3.99

Parametri statistici	Fuller	Gumbel	Weibull
Gradi di libertà	122	122	122
Chi-quadrato	37.14	137.40	503501.20
Liv. inf. significatività	99.00	.00	.00
Liv. inf. significatività	100.00	50.00	50.00

# STAZIONE: PARAGGIO DI CROTONE

## Elaborazione statistica dei valori estremi di altezza d'onda

Periodo di registrazione: 1989 - 2005

Settore di provenienza (gradi) - 60 - 70 - 80 -

Numero dati : 90    Numero anni : 17    Hs di soglia : 2.00

Media : 2.48    Deviazione : .563

DATI	
Hs (m)	Tempo ritorno (anni)
4.71	30.40
4.60	10.91
4.30	6.65
3.62	4.78
3.58	3.73
3.50	3.06
3.50	2.59
3.29	2.25
3.23	1.99
3.20	1.78
3.10	1.61
3.10	1.47
3.00	1.36
3.00	1.26
3.00	1.17
2.90	1.09
2.90	1.03
2.80	.97
2.76	.92
2.70	.87
2.70	.83
2.70	.79
2.66	.75
2.60	.72
2.60	.69
2.60	.67
2.60	.64
2.50	.62
2.50	.60
2.50	.58
2.40	.56

DATI	
Hs (m)	Tempo ritorno (anni)
2.40	.54
2.40	.52
2.40	.51
2.40	.49
2.40	.48
2.40	.47
2.40	.45
2.38	.44
2.36	.43
2.36	.42
2.30	.41
2.30	.40
2.30	.39
2.30	.38
2.30	.37
2.30	.37
2.30	.36
2.29	.35
2.24	.34
2.21	.34
2.20	.33
2.20	.32
2.20	.32
2.20	.31
2.20	.31
2.20	.30
2.20	.30
2.20	.29
2.18	.29
2.14	.28
2.13	2.8

DATI	
Hs (m)	Tempo ritorno (anni)
2.10	.27
2.10	.27
2.10	.26
2.10	.26
2.10	.26
2.10	.25
2.10	.25
2.10	.24
2.10	.24
2.08	.24
2.08	.23
2.07	.23
2.06	.23
2.06	.23
2.03	.22
2.03	.22
2.00	.22
2.00	.21
2.00	.21
2.00	.21
2.00	.21
2.00	.20
2.00	.20
2.00	.20
2.00	.20
2.00	.19
2.00	.19
2.00	.19

Tempo di ritorno (anni)	Fuller Hs(m)	Gumbel Hs(m)	Weibull Hs(m)
.5	2.47	2.55	2.69
1.0	2.86	2.91	2.99
2.0	3.25	3.24	3.20
5.0	3.76	3.66	3.42
10.0	4.15	3.97	3.55
25.0	4.67	4.37	3.70
50.0	5.06	4.68	3.79
100.0	5.45	4.98	3.88
500.0	6.35	5.69	4.06

Parametri statistici	Fuller	Gumbel	Weibull
Gradi di libertà	87	87	87
Chi-quadrato	26.28	89.40	300560.50
Liv. inf. significatività	99.00	.00	.00
Liv. inf. significatività	100.00	100.00	50.00

# STAZIONE: PARAGGIO DI CROTONE

## Elaborazione statistica dei valori estremi di altezza d'onda

Periodo di registrazione: 1989 - 2005

Settore di provenienza (gradi) - 90 - 100 -110 -

Numero dati : 129 Numero anni : 17 Hs di soglia : 2.00

Media : 2.72 Deviazione : .781

DATI		DATI		DATI	
Hs (m)	Tempo ritorno (anni)	Hs (m)	Tempo ritorno (anni)	Hs (m)	Tempo ritorno (anni)
5.50	30.39	2.94	.47	2.33	.23
5.40	10.91	2.93	.45	2.32	.23
5.40	6.65	2.90	.44	2.32	.23
4.70	4.78	2.90	.43	2.30	.23
4.70	3.73	2.90	.42	2.30	.22
4.60	3.06	2.90	.41	2.30	.22
4.50	2.59	2.86	.40	2.30	.22
4.50	2.25	2.81	.39	2.30	.21
4.12	1.99	2.80	.38	2.30	.21
4.02	1.78	2.80	.37	2.30	.21
3.90	1.61	2.79	.37	2.30	.21
3.90	1.47	2.76	.36	2.30	.20
3.81	1.35	2.72	.35	2.30	.20
3.80	1.25	2.70	.34	2.30	.20
3.70	1.17	2.70	.34	2.30	.20
3.70	1.09	2.70	.33	2.20	.19
3.60	1.03	2.70	.32	2.20	.19
3.50	.97	2.70	.32	2.20	.19
3.50	.92	2.69	.31	2.20	.19
3.40	.87	2.68	.31	2.20	.19
3.30	.83	2.67	.30	2.20	.18
3.30	.79	2.60	.30	2.20	.18
3.30	.75	2.60	.29	2.17	.18
3.29	.72	2.59	.29	2.13	.18
3.20	.69	2.50	.28	2.10	.18
3.20	.67	2.50	.28	2.10	.17
3.20	.64	2.50	.27	2.10	.17
3.11	.62	2.47	.27	2.10	.17
3.10	.60	2.46	.26	2.10	.17
3.10	.58	2.44	.26	2.10	.17
3.00	.56	2.40	.26	2.10	.17
3.00	.54	2.40	.25	2.10	.16
2.99	.52	2.40	.25	2.10	.16
2.99	.51	2.40	.24	2.09	.16
2.97	.49	2.34	.24	2.09	.16
2.97	.48	2.33	.24	2.03	.16

DATI	
Hs (m)	Tempo ritorno (anni)
2.00	.16
2.00	.16
2.00	.15
2.00	.15
2.00	.15
2.00	.15
2.00	.15

DATI	
Hs (m)	Tempo ritorno (anni)
2.00	.15
2.00	.15
2.00	.14
2.00	.14
2.00	.14
2.00	.14
2.00	.14
2.00	.14

DATI	
Hs (m)	Tempo ritorno (anni)
2.00	.14
2.00	.14
2.00	.14
2.00	.14
2.00	.13
2.00	.13
2.00	.13

Tempo di ritorno (anni)	Fuller Hs(m)	Gumbel Hs(m)	Weibull Hs(m)
.5	2.98	3.09	3.24
1.0	3.52	3.56	3.60
2.0	4.06	4.01	3.89
5.0	4.78	4.58	4.18
10.0	5.32	5.00	4.38
25.0	6.04	5.56	4.60
50.0	6.58	5.98	4.74
100.0	7.12	6.41	4.88
500.0	8.37	7.39	5.16

Parametri statistici	Fuller	Gumbel	Weibull
Gradi di libertà	126	126	126
Chi-quadrato	28.84	98.94	2651.97
Liv. inf. significatività	99.00	95.00	.00
Liv. inf. significatività	100.00	97.50	50.00

# STAZIONE: PARAGGIO DI CROTONE

## Elaborazione statistica dei valori estremi di altezza d'onda

Periodo di registrazione: 1989 - 2005  
 Settore di provenienza (gradi) - 120 - 130 -140 -

Numero dati : 207    Numero anni : 17    Hs di soglia : 3.00  
 Media : 3.68    Deviazione : .600

DATI		DATI		DATI	
Hs (m)	Tempo ritorno (anni)	Hs (m)	Tempo ritorno (anni)	Hs (m)	Tempo ritorno (anni)
5.60	30.37	4.30	.47	3.80	.23
5.50	10.90	4.20	.45	3.80	.23
5.40	6.64	4.20	.44	3.80	.23
5.20	4.78	4.20	.43	3.75	.23
5.20	3.73	4.20	.42	3.75	.22
5.20	3.06	4.20	.41	3.70	.22
5.00	2.59	4.20	.40	3.70	.22
4.90	2.25	4.20	.39	3.70	.21
4.90	1.99	4.20	.38	3.70	.21
4.90	1.78	4.19	.37	3.70	.21
4.80	1.61	4.10	.37	3.70	.21
4.80	1.47	4.10	.36	3.70	.20
4.80	1.35	4.10	.35	3.70	.20
4.80	1.25	4.10	.34	3.70	.20
4.70	1.17	4.08	.34	3.70	.20
4.70	1.09	4.00	.33	3.70	.19
4.70	1.03	4.00	.32	3.70	.19
4.60	.97	4.00	.32	3.70	.19
4.60	.92	4.00	.31	3.70	.19
4.60	.87	4.00	.31	3.70	.19
4.60	.83	4.00	.30	3.70	.18
4.60	.79	4.00	.30	3.65	.18
4.60	.75	4.00	.29	3.64	.18
4.50	.72	4.00	.29	3.61	.18
4.50	.69	3.90	.28	3.60	.18
4.50	.67	3.90	.28	3.60	.17
4.50	.64	3.90	.27	3.60	.17
4.50	.62	3.90	.27	3.60	.17
4.50	.60	3.90	.26	3.57	.17
4.40	.58	3.90	.26	3.51	.17
4.40	.56	3.90	.26	3.50	.17
4.30	.54	3.90	.25	3.50	.17
4.30	.52	3.80	.25	3.50	.16
4.30	.51	3.80	.24	3.50	.16
4.30	.49	3.80	.24	3.50	.16
4.30	.48	3.80	.24	3.50	.16

Tab. 10a



Tempo di ritorno (anni)	Fuller Hs(m)	Gumbel Hs(m)	Weibull Hs(m)
.5	4.17	4.22	4.27
1.0	4.58	4.56	4.46
2.0	5.00	4.90	4.62
5.0	5.55	5.33	4.78
10.0	5.96	5.66	4.88
25.0	6.51	6.09	5.00
50.0	6.93	6.41	5.08
100.0	7.35	6.74	5.16
500.0	8.31	7.49	5.30

Parametri statistici	Fuller	Gumbel	Weibull
Gradi di libertà	182	204	204
Chi-quadrato	322.67	155.29	6175.08
Liv. inf. significatività	.00	99.00	.00
Liv. inf. significatività	50.00	100.00	50.00

# STAZIONE: PARAGGIO DI CROTONE

## Elaborazione statistica dei valori estremi di altezza d'onda

Periodo di registrazione: 1989 - 2005

Settore di provenienza (gradi) -150 - 160 - 170 -

Numero dati : 137    Numero anni : 17    Hs di soglia : 2.50

Media : 2.97    Deviazione : .505

DATI		DATI		DATI	
Hs (m)	Tempo ritorno (anni)	Hs (m)	Tempo ritorno (anni)	Hs (m)	Tempo ritorno (anni)
4.80	30.38	3.10	.45	2.80	.23
4.70	10.91	3.10	.44	2.80	.23
4.70	6.65	3.10	.43	2.80	.22
4.50	4.78	3.10	.42	2.80	.22
4.30	3.73	3.10	.41	2.78	.22
4.20	3.06	3.10	.40	2.74	.21
4.17	2.59	3.04	.39	2.70	.21
4.10	2.25	3.04	.38	2.70	.21
3.90	1.99	3.03	.37	2.70	.21
3.90	1.78	3.02	.37	2.70	.20
3.74	1.61	3.00	.36	2.70	.20
3.70	1.47	3.00	.35	2.70	.20
3.70	1.35	3.00	.34	2.70	.20
3.60	1.25	2.94	.34	2.70	.19
3.55	1.17	2.94	.33	2.70	.19
3.50	1.09	2.91	.32	2.70	.19
3.50	1.03	2.90	.32	2.66	.19
3.50	.97	2.90	.31	2.64	.19
3.45	.92	2.90	.31	2.63	.18
3.40	.87	2.90	.30	2.62	.18
3.40	.83	2.90	.30	2.61	.18
3.40	.79	2.90	.29	2.60	.18
3.40	.75	2.90	.29	2.60	.18
3.40	.72	2.90	.28	2.60	.17
3.36	.69	2.89	.28	2.60	.17
3.30	.67	2.80	.27	2.60	.17
3.30	.64	2.80	.27	2.60	.17
3.30	.62	2.80	.26	2.60	.17
3.30	.60	2.80	.26	2.60	.17
3.30	.58	2.80	.26	2.60	.16
3.27	.56	2.80	.25	2.60	.16
3.20	.54	2.80	.25	2.60	.16
3.20	.52	2.80	.24	2.60	.16
3.20	.51	2.80	.24	2.60	.16
3.20	.49	2.80	.24	2.60	.16
3.18	.48	2.80	.23	2.60	.16
3.12	.47	2.80	.23	2.57	.15

DATI	
Hs (m)	Tempo ritorno (anni)
2.57	.15
2.55	.15
2.54	.15
2.53	.15
2.52	.15
2.51	.15
2.50	.14
2.50	.14
2.50	.14

DATI	
Hs (m)	Tempo ritorno (anni)
2.50	.14
2.50	.14
2.50	.14
2.50	.14
2.50	.14
2.50	.14
2.50	.13
2.50	.13
2.50	.13

DATI	
Hs (m)	Tempo ritorno (anni)
2.50	.13
2.50	.13
2.50	.13
2.50	.13
2.50	.13
2.50	.13
2.50	.13
2.50	.13
2.50	.12

Tempo di ritorno (anni)	Fuller Hs(m)	Gumbel Hs(m)	Weibull Hs(m)
.5	3.17	3.23	3.33
1.0	3.52	3.54	3.53
2.0	3.87	3.82	3.68
5.0	4.33	4.19	3.84
10.0	4.68	4.47	3.93
25.0	5.14	4.83	4.04
50.0	5.49	5.10	4.12
100.0	5.84	5.37	4.18
500.0	6.65	6.01	4.31

Parametri statistici	Fuller	Gumbel	Weibull
Gradi di libertà	134	134	134
Chi-quadrato	29.67	116.18	583215.40
Liv. inf. significatività	99.00	75.00	.00
Liv. inf. significatività	100.00	90.00	50.00

Tab. 11b

PORTO DI CROTONE - RISULTATI DEL MODELLO DI CALCOLO DELLA PROPAGAZIONE A RIVA  
 ALTEZZE D'ONDA A RIVA NEL PUNTO 1

DIREZIONE AL LARGO	Altezza d'onda (m)						
	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m
0°	0,45	0,79	1,16	1,54	1,95	2,45	3,01
10°	0,52	0,93	1,37	1,83	2,33	2,92	3,58
20°	0,59	1,06	1,57	2,12	2,71	3,39	4,13
30°	0,66	1,20	1,78	2,40	3,08	3,85	4,67
40°	0,72	1,32	1,96	2,66	3,43	4,27	5,16
50°	0,77	1,42	2,12	2,89	3,72	4,63	5,59
60°	0,82	1,50	2,24	3,06	3,95	4,92	5,92
70°	0,85	1,55	2,32	3,18	4,11	5,11	6,15
80°	0,87	1,57	2,36	3,23	4,18	5,2	6,25
90°	0,87	1,57	2,34	3,21	4,16	5,18	6,23
100°	0,86	1,53	2,28	3,12	4,05	5,05	6,08
110°	0,84	1,46	2,17	2,97	3,85	4,81	5,81
120°	0,8	1,36	2,01	2,75	3,58	4,48	5,44
130°	0,75	1,25	1,82	2,48	3,24	4,07	4,97
140°	0,69	1,11	1,60	2,17	2,85	3,61	4,43
150°	0,62	0,96	1,36	1,84	2,43	3,1	3,84
160°	0,55	0,80	1,12	1,50	1,99	2,57	3,23
170°	0,47	0,64	0,87	1,16	1,57	2,06	2,62
180°	0,4	0,49	0,65	0,85	1,18	1,57	2,04
190°	0,32	0,36	0,47	0,58	0,84	1,15	1,53
200°	0,25	0,25	0,32	0,38	0,57	0,81	1,1
210°	0,18	0,16	0,22	0,24	0,37	0,55	0,75
220°	0,13	0,09	0,14	0,14	0,23	0,35	0,49
230°	0,08	0,04	0,09	0,09	0,12	0,2	0,28
240°	0,04	0,01	0,06	0,06	0,05	0,1	0,13
250°	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0
260°	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01	0
270°	0,02	0,03	0,03	0,05	0,07	0,06	0,09
280°	0,04	0,05	0,07	0,11	0,13	0,14	0,2
290°	0,07	0,10	0,14	0,19	0,23	0,26	0,36
300°	0,1	0,15	0,23	0,30	0,36	0,43	0,57
310°	0,15	0,22	0,33	0,44	0,52	0,65	0,83
320°	0,19	0,31	0,46	0,60	0,73	0,91	1,15
330°	0,25	0,41	0,61	0,80	0,97	1,22	1,53
340°	0,31	0,53	0,78	1,02	1,26	1,59	1,97
350°	0,38	0,65	0,96	1,27	1,59	2	2,47

PORTO DI CROTONE - RISULTATI DEL MODELLO DI CALCOLO DELLA PROPAGAZIONE A RIVA  
 ALTEZZE D'ONDA A RIVA NEL PUNTO 2

DIREZIONE AL LARGO	Altezza d'onda (m)						
	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m
0°	.59	1.09	1.67	2.29	2.98	3.70	4.42
10°	.66	1.23	1.87	2.57	3.32	4.10	4.89
20°	.73	1.35	2.06	2.81	3.62	4.46	5.30
30°	.78	1.46	2.21	3.01	3.87	4.75	5.64
40°	.83	1.54	2.32	3.16	4.05	4.97	5.89
50°	.86	1.60	2.40	3.26	4.16	5.10	6.05
60°	.89	1.63	2.44	3.30	4.20	5.14	6.11
70°	.90	1.64	2.43	3.27	4.17	5.09	6.05
80°	.89	1.61	2.37	3.19	4.05	4.96	5.90
90°	.88	1.56	2.28	3.05	3.88	4.74	5.65
100°	.85	1.48	2.15	2.87	3.64	4.45	5.32
110°	.81	1.38	1.99	2.64	3.35	4.10	4.91
120°	.76	1.27	1.81	2.38	3.01	3.69	4.43
130°	.70	1.14	1.60	2.10	2.65	3.24	3.91
140°	.64	.99	1.38	1.79	2.26	2.77	3.36
150°	.57	.84	1.16	1.48	1.87	2.29	2.80
160°	.49	.69	.93	1.18	1.49	1.84	2.27
170°	.42	.55	.72	.90	1.13	1.41	1.79
180°	.34	.41	.53	.65	.80	1.03	1.37
190°	.27	.30	.37	.44	.53	.72	1.02
200°	.21	.20	.25	.28	.32	.47	.73
210°	.15	.13	.16	.17	.17	.28	.51
220°	.11	.08	.09	.09	.08	.15	.35
230°	.07	.05	.05	.04	.02	.05	.21
240°	.04	.02	.02	.00	.00	.00	.11
250°	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
260°	.01	.01	.01	.01	.03	.03	.07
270°	.03	.04	.06	.07	.12	.15	.26
280°	.05	.08	.13	.16	.25	.32	.50
290°	.09	.14	.23	.30	.45	.59	.84
300°	.14	.23	.37	.51	.72	.94	1.27
310°	.20	.35	.55	.76	1.04	1.36	1.76
320°	.27	.48	.76	1.05	1.41	1.82	2.29
330°	.35	.63	.98	1.36	1.81	2.30	2.84
340°	.43	.78	1.22	1.68	2.21	2.78	3.39
350°	.51	.94	1.45	1.99	2.60	3.25	3.92

PORTO DI CROTONE - RISULTATI DEL MODELLO DI CALCOLO DELLA PROPAGAZIONE A RIVA  
DIREZIONI DI PROVENIENZA A RIVA DEL PUNTO 1

DIREZIONE AL LARGO	Altezza d'onda (m)						
	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m
0°	39.65	52.74	56.67	59.19	60.58	61.51	62.10
10°	44.81	55.78	59.25	61.45	62.63	63.31	63.73
20°	49.86	59.17	62.21	64.05	64.93	65.34	65.55
30°	54.96	62.87	65.49	66.92	67.47	67.59	67.58
40°	60.22	66.87	68.96	69.94	70.14	69.98	69.75
50°	65.76	70.99	72.44	72.92	72.79	72.40	71.95
60°	71.56	75.08	75.77	75.74	75.29	74.73	74.11
70°	77.51	79.09	78.92	78.38	77.64	76.94	76.20
80°	83.52	82.99	81.91	80.88	79.87	79.05	78.22
90°	89.51	86.79	84.79	83.27	82.01	81.07	80.17
100°	95.44	90.53	87.57	85.60	84.12	83.05	82.09
110°	101.25	94.22	90.33	87.90	86.20	85.00	84.00
120°	106.89	97.90	93.09	90.22	88.30	86.96	85.90
130°	112.25	101.59	95.90	92.57	90.39	88.89	87.74
140°	117.26	105.30	98.76	94.92	92.44	90.72	89.46
150°	122.00	109.03	101.61	97.23	94.38	92.41	91.02
160°	126.58	112.88	104.57	99.56	96.28	93.99	92.47
170°	131.10	117.03	107.82	102.11	98.24	95.56	93.89
180°	135.69	121.71	111.45	104.91	100.19	96.99	95.21
190°	140.53	127.39	115.68	108.12	101.91	98.00	96.24
200°	145.79	134.73	120.26	112.19	103.03	98.32	96.85
210°	151.53	142.80	122.67	116.88	103.35	98.08	97.16
220°	157.13	149.00	121.41	118.64	103.38	97.92	97.55
230°	161.36	157.22	120.04	115.74	102.93	97.95	97.82
240°	164.81	165.67	118.44	113.01	100.04	98.00	98.00
250°	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00
260°	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00
270°	351.82	354.44	250.00	54.00	52.00	250.00	36.00
280°	355.96	37.38	50.37	54.10	52.80	51.06	55.43
290°	.35	40.32	50.65	53.91	52.96	53.96	55.72
300°	4.60	41.96	50.61	53.57	53.11	54.62	55.85
310°	9.32	43.34	50.67	53.46	53.58	55.01	56.02
320°	15.23	44.60	50.87	53.61	54.20	55.58	56.51
330°	21.91	45.96	51.46	54.24	55.29	56.65	57.54
340°	28.33	47.78	52.69	55.50	56.86	58.13	58.94
350°	34.22	50.08	54.48	57.22	58.69	59.82	60.54

PORTO DI CROTONE - RISULTATI DEL MODELLO DI CALCOLO DELLA PROPAGAZIONE A RIVA  
DIREZIONI DI PROVENIENZA A RIVA DEL PUNTO 2

DIREZIONE AL LARGO	Altezza d'onda (m)						
	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m
0°	32.52	41.14	46.20	50.21	53.01	55.01	56.54
10°	36.69	44.46	49.01	52.61	55.16	57.01	58.48
20°	41.21	48.09	52.09	55.26	57.54	59.22	60.61
30°	46.17	52.09	55.46	58.14	60.11	61.60	62.89
40°	51.66	56.46	59.12	61.24	62.86	64.12	65.27
50°	57.72	61.09	62.93	64.47	65.73	66.74	67.69
60°	64.21	65.86	66.83	67.78	68.67	69.39	70.13
70°	70.97	70.71	70.78	71.13	71.64	72.06	72.55
80°	77.84	75.58	74.75	74.51	74.61	74.71	74.91
90°	84.66	80.40	78.67	77.86	77.53	77.27	77.17
100°	91.26	85.09	82.48	81.08	80.31	79.67	79.28
110°	97.44	89.51	86.06	84.08	82.85	81.85	81.22
120°	103.17	93.60	89.33	86.78	85.13	83.82	83.01
130°	108.54	97.40	92.33	89.26	87.23	85.66	84.73
140°	113.64	101.02	95.19	91.66	89.28	87.46	86.44
150°	118.63	104.59	98.06	94.10	91.36	89.31	88.26
160°	123.63	108.24	101.01	96.61	93.42	91.08	90.05
170°	128.81	112.02	103.96	98.92	95.04	92.30	91.34
180°	134.38	116.16	107.18	101.29	96.31	93.00	92.29
190°	140.53	120.86	111.25	104.33	97.53	93.38	93.34
200°	147.23	125.51	116.28	108.50	98.61	93.16	94.67
210°	153.67	127.71	121.89	111.63	100.96	92.91	96.65
220°	158.41	128.44	134.25	111.48	101.70	92.65	100.04
230°	162.18	129.52	156.09	110.38	250.00	90.28	104.22
240°	165.56	136.72	164.18	250.00	250.00	250.00	106.00
250°	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00
260°	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00
270°	352.42	15.58	36.14	28.00	44.35	54.59	48.65
280°	358.34	20.10	32.00	35.70	44.36	48.36	49.22
290°	2.74	22.70	32.08	37.58	43.75	47.83	49.72
300°	8.12	24.99	33.14	39.07	44.41	48.22	50.29
310°	12.98	27.39	34.92	40.90	45.64	48.99	50.99
320°	17.21	29.96	37.06	42.78	46.96	49.91	51.80
330°	21.09	32.62	39.25	44.56	48.32	50.97	52.76
340°	24.83	35.32	41.43	46.29	49.68	52.09	53.78
350°	28.60	38.12	43.69	48.09	51.17	53.36	54.96



EVENTI DI MOTO ONDOSO / WAVE EVENTS

NUMERO DI EVENTI / EVENTS NUMBER

STAZIONE / STATION: CROTONE PUNTO DI CALCOLO A RIVA 2

Periodo di registrazione / Recording period: 7/1989-6/2005

Mese / Month - 1- 2- 3- 4- 5- 6- 7- 8- 9-10-11-12-

DIREZIONE DI PROVENIENZA																				
inf. (° N)	-5.0 -5.0	5.0 15.0	25.0 35.0	45.0 55.0	65.0 75.0	85.0 95.0	105.0 115.0	125.0 135.0	145.0 155.0	165.0 175.0	185.0 195.0	205.0 215.0	225.0 235.0	245.0 255.0	265.0 275.0	285.0 295.0	305.0 315.0	325.0 335.0	345.0 355.0	
sup. (° N)	355.0	5.0 15.0	25.0 35.0	45.0 55.0	65.0 75.0	85.0 95.0	105.0 115.0	125.0 135.0	145.0 155.0	165.0 175.0	185.0 195.0	205.0 215.0	225.0 235.0	245.0 255.0	265.0 275.0	285.0 295.0	305.0 315.0	325.0 335.0	345.0 355.0	
H (m)	0- .0	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127
0- .5	23769	153	1300	1833	1501	1110	805	788	705	883	1123	2327	4108	4721	2533	9				
0.5- 1.0	10290	---	523	3716	877	494	357	582	305	305	470	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1.0- 1.5	2380	---	779	431	183	169	85	220	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1.5- 2.0	983	---	10	181	49	20	50	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
2.0- 2.5	130	---	---	41	22	17	20	50	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
2.5- 3.0	130	---	---	4	7	7	12	14	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
3.0- 3.5	13	---	---	---	1	3	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
3.5- 4.0	7	---	---	---	---	4	3	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
4.0- 4.5	0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
4.5- 5.0	0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
5.0- 5.5	0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
5.5- 6.0	0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
6.0- 6.5	0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
6.5- 7.0	0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
7.0- 7.5	0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
7.5- 8.0	0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
8.0- 8.5	0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
8.5- 9.0	0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
9.0- 9.5	0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
9.5-10.0	0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
10.0-10.5	0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
10.5-11.0	0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
11.0-11.5	0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
11.5-12.0	0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
12.0-12.5	0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
12.5-13.0	0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
13.0-13.5	0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
13.5-14.0	0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
14.0-14.5	0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
14.5-15.0	0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
15.0-15.5	0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
15.5-16.0	0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
16.0-16.5	0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
16.5-17.0	0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
17.0-17.5	0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
17.5-18.0	0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
18.0-18.5	0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
18.5-19.0	0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
19.0-19.5	0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
19.5-20.0	0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
20.0-****	0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Tot.	41805	127	280	1950	6465	3176	1911	1500	1431	1836	2272	2856	3585	4235	4848	2660	136	127	127	127

Numero totale di eventi / Total number of events.....: 41805  
 Eventi indeterminati / Indefinite events.....: 0  
 Eventi determinati / Definite events.....: 41805





ALTEZZE D'ONDA SIGNIFICATIVE ESTREME IN CORRISPONDENZA DEL PUNTO DI CALCOLO 1 - PROFONDITÀ -6.0 m S.L.M.M.																		
SETTORE DI PROVENIENZA AL LARGO $\theta_0$ (° N)																		
Tempo di ritorno (anni)	355°N - 25°N			25°N - 55°N			55°N - 85°N			85°N - 115°N			115°N - 145°N			145°N - 175°N		
	Tp (s)	Hs <sub>0</sub> (m)	Hs <sub>1</sub> (m)	Tp (s)	Hs <sub>0</sub> (m)	Hs <sub>1</sub> (m)	Tp (s)	Hs <sub>0</sub> (m)	Hs <sub>1</sub> (m)	Tp (s)	Hs <sub>0</sub> (m)	Hs <sub>1</sub> (m)	Tp (s)	Hs <sub>0</sub> (m)	Hs <sub>1</sub> (m)	Tp (s)	Hs <sub>0</sub> (m)	Hs <sub>1</sub> (m)
1	7.32	3.61	1.65	6.25	3.00	1.96	6.08	2.86	2.11	6.87	3.52	2.81	8.00	4.56	3.46	6.87	3.52	1.90
2	7.76	3.92	1.79	6.70	3.37	2.22	6.55	3.25	2.54	7.47	4.06	3.29	8.35	4.90	3.73*	7.27	3.87	2.10
5	8.08	4.33	2.00	7.25	3.86	2.56	7.14	3.76	2.97	8.23	4.78	3.73*	8.78	5.33	3.73*	7.76	4.33	2.39
10	8.49	4.63	2.15	7.66	4.23	2.84	7.57	4.15	3.32	8.77	5.32	3.73*	9.09	5.66	3.73*	8.13	4.68	2.63
25	8.80	5.04	2.35	8.18	4.73	3.22	8.12	4.67	3.73*	9.45	6.04	3.73*	9.49	6.09	3.73*	8.59	5.14	2.96
50	9.09	5.35	2.54	8.55	5.10	3.51	8.51	5.06	3.73*	9.94	6.58	3.73*	9.79	6.41	3.73*	8.93	5.49	3.22

\* altezza limitata da frangimento indotto dal fondale

Tab. 20

ALTEZZE D'ONDA SIGNIFICATIVE ESTREME IN CORRISPONDENZA DEL PUNTO DI CALCOLO 2 - PROFONDITÀ - 6 m S.L.M.M.																		
SETTORE DI PROVENIENZA AL LARGO $\theta_0$ (° N)																		
Tempo di ritorno (anni)	355°N - 25°N			25°N - 55°N			55°N - 85°N			85°N - 115°N			115°N - 145°N			145°N - 175°N		
	Tp (s)	Hs <sub>0</sub> (m)	Hs <sub>2</sub> (m)	Tp (s)	Hs <sub>0</sub> (m)	Hs <sub>2</sub> (m)	Tp (s)	Hs <sub>0</sub> (m)	Hs <sub>2</sub> (m)	Tp (s)	Hs <sub>0</sub> (m)	Hs <sub>2</sub> (m)	Tp (s)	Hs <sub>0</sub> (m)	Hs <sub>2</sub> (m)	Tp (s)	Hs <sub>0</sub> (m)	Hs <sub>2</sub> (m)
1	7.32	3.61	2.30	6.25	3.00	2.32	6.08	2.86	2.32	6.87	3.52	2.99	8.00	4.56	3.04	6.87	3.52	1.59
2	7.76	3.92	2.51	6.70	3.37	2.63	6.55	3.25	2.64	7.47	4.06	3.24	8.35	4.90	3.28	7.27	3.87	1.74
5	8.08	4.33	2.82	7.25	3.86	3.04	7.14	3.76	3.07	8.23	4.78	3.73*	8.78	5.33	3.60	7.76	4.33	1.95
10	8.49	4.63	3.04	7.66	4.23	3.36	7.57	4.15	3.41	8.77	5.32	3.73*	9.09	5.66	3.73*	8.13	4.68	2.11
25	8.80	5.04	3.35	8.18	4.73	3.73*	8.12	4.67	3.73*	9.45	6.04	3.73*	9.49	6.09	3.73*	8.59	5.14	2.33
50	9.09	5.35	3.59	8.55	5.10	3.73*	8.51	5.06	3.73*	9.94	6.58	3.73*	9.79	6.41	3.73*	8.93	5.49	2.51

\* altezza limitata da frangimento indotto dal fondale

Tab. 21

DIREZIONI DEL MOTO ONDOSO CON TR=1 ANNO IN CORRISPONDENZA DEI PUNTI DI CALCOLO						
Punto di calcolo	SETTORE DI PROVENIENZA AL LARGO $\theta_0$ ( $^{\circ}$ N)					
	355 $^{\circ}$ N - 25 $^{\circ}$ N	25 $^{\circ}$ N - 55 $^{\circ}$ N	55 $^{\circ}$ N 85 $^{\circ}$ N	85 $^{\circ}$ N - 115 $^{\circ}$ N	115 $^{\circ}$ N - 145 $^{\circ}$ N	145 $^{\circ}$ N - 175 $^{\circ}$ N
Largo	10	40	70	100	130	160
Punto 1	58	65	76	84	89	99
Punto 2	35	55	67	78	86	96

Tab. 22

DIREZIONI DEL MOTO ONDOSO CON TR=25 ANNI IN CORRISPONDENZA DEI PUNTI DI CALCOLO						
Punto di calcolo	SETTORE DI PROVENIENZA AL LARGO $\theta_0$ ( $^{\circ}$ N)					
	355 $^{\circ}$ N - 25 $^{\circ}$ N	25 $^{\circ}$ N - 55 $^{\circ}$ N	55 $^{\circ}$ N 85 $^{\circ}$ N	85 $^{\circ}$ N - 115 $^{\circ}$ N	115 $^{\circ}$ N - 145 $^{\circ}$ N	145 $^{\circ}$ N - 175 $^{\circ}$ N
Largo	10	40	70	100	130	160
Punto 1	61	67	75	81	87	94
Punto 2	53	60	68	77	84	91

Tab. 23

*Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti*

Ufficio del Genio Civile per le Opere Marittime  
Reggio Calabria

CONSULENZA IN MATERIA  
IDRAULICA FINALIZZATA ALLA  
PROGETTAZIONE DI ALCUNI  
INTERVENTI NEL PORTO DI CROTONE



2 ANALISI STORICA DELLA  
EVOLUZIONE DELLA LINEA DI  
COSTA

**RELAZIONE**

***Dott. Ing. Franco Guiducci***  
INCARICATO DELLO STUDIO SPECIALISTICO

# RELAZIONE

## INDICE

### RELAZIONE

1. **INTRODUZIONE.....1**
2. **DATI UTILIZZATI.....2**
3. **RAPPRESENTAZIONE DELLE LINEE DI COSTA NEL TEMPO.....3**
4. **CONFRONTO DELLE LINEE DI COSTA NEL TEMPO .....5**

### FIGURE

1. SETTORE DI TRAVERSIA AL LARGO

### TAVOLE

1. EVOLUZIONE DELLA LINEA DI RIVA DAL 1943 AL 2005
2. SUCCESSIONE DELLE LINEE DI RIVA DAL 1943 AL 1990
3. SUCCESSIONE DELLE LINEE DI RIVA DAL 1990 AL 2005
4. CONFRONTO TRA LE LINEE DI RIVA DEL 1943, 1968, 1990 E 2005

## 1. INTRODUZIONE

Lo studio riguardante l'esame dell'evoluzione storica del litorale a Sud del Porto di Crotona, è stato condotto dall'Ing. Franco Guiducci nell'ambito della "Consulenza in materia di idraulica marittima finalizzata alla progettazione esecutiva di alcuni interventi nel Porto di Crotona".

Il litorale di Crotona si estende nel tratto centrale della costa ionica della Calabria ed è esposto ai moti ondosi provenienti dal settore di traversia al largo compreso tra le direzioni  $352^{\circ}\text{N}$  e la  $172^{\circ}\text{N}$ , rispettivamente tangenti a Punta Alice e a Capo Colonne (Fig. 1)

L'esame è stato esteso all'arco di costa lungo 1,94 km che si estende verso Sud, dal porto di Crotona fino alla punta di San Leonardo.

Lo studio in esame è stato realizzato mediante la raccolta delle documentazioni esistenti relative a rilievi topografici, aerofotogrammetrie, cartografie, foto aeree e studi precedentemente svolti.

Al fine di ottenere un quadro completo dell'evoluzione della linea di costa nel tempo si è provveduto ad individuare, oltre alle variazioni riscontrate, anche le caratteristiche tipologiche e geometriche degli interventi protettivi ed i periodi di realizzazione dei manufatti che interagendo con il flusso detritico litoraneo, hanno costituito causa di modifica della costa.

## 2. **DATI UTILIZZATI**

Per l'analisi sono stati utilizzati i rilievi effettuati nel 2005 dalla Nautilus per conto dell'Ufficio del Genio Civile per le Opere Marittime del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (GENCIMAR RC), le foto aeree archiviate presso Istituto Centrale per la Catalogazione e la Documentazione del Ministero dei Beni Culturali (ICCD) e l'Istituto Geografico Militare Italiano del Ministero della Difesa (IGMI) e i risultati parziali di una elaborazione effettuata dall'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici.

I dati elaborati sono elencati di seguito.

Anno di rilievo	Tipo di rilevamento	Fornitore
1943	Foto aerea bn	ICCD
1955	Foto aerea bn	ICCD
1968	Foto aerea bn	ICCD
1983	Foto aerea bn	IGMI
1990	Foto aerea bn	IGMI
1995	Foto aerea bn	IGMI
1998	Foto aerea col	APAT
2003	Foto aerea bn	ICCD
2005	Rilievi topo batimetrici	GENCIMAR RC

### 3. *RAPPRESENTAZIONE DELLE LINEE DI COSTA NEL TEMPO*

Le foto aeree, in origine a diverse scale, sono state scansionate ad elevata risoluzione e le linee di costa sono state digitalizzate; il rilievo batimetrico effettuato nel 2005 è stato utilizzato come riferimento per la rappresentazione.

Per la referenziazione delle foto sono stati usati gli edifici, le strutture e le infrastrutture del fronte mare.

Le linee di riva relative agli anni compresi nel periodo 1943-2005 sono rappresentate sovrapposte nella tavola 1 in scala 1:5000.

Nelle tavole 2 e 3 sono riportate le sovrapposizioni delle coppie di linee di costa successive per meglio evidenziare le variazioni della costa ed anche gli effetti indotti dalla realizzazione delle opere di protezione; la scala di riproduzione della tavola è 1:4000.

Nel periodo che va dal 1945 al 1968 la spiaggia adiacente il Molo Sanità mantiene la sua ampiezza complessiva subendo delle rotazioni che determinano avanzamenti ed arretramenti massimi di circa 10 m. La spiaggia a Sud del pennello subisce invece un arretramento di ampiezza variabile fino a 40 m che determina la scomparsa della spiaggia nel tratto centrale, per uno sviluppo di circa 200 m.

Tra il 1968 ed il 1983 la spiaggia adiacente al Molo Sanità subisce un limitato avanzamento nella parte meridionale. La spiaggia a Sud del pennello viene protetta con 9 scogliere foranee. Le scogliere avevano lunghezza compresa tra 55 m e 90 m, interasse da 40 m a 155 m e distavano da 40 m a 100 m dalla strada o dalle infrastrutture presenti sul lato mare di questa. La realizzazione risale con probabilità ai primi anni 70 dato che se ne trova indicazione nel volume "Cartografia dei litorali in erosione" che costituisce l'appendice al terzo volume degli atti della Commissione interministeriale per lo studio della sistemazione idraulica e della difesa del suolo (Commissione De Marchi). Le due scogliere più a Sud erano collocate sulla posizione della linea di costa del 1945 mentre le altre risultavano fino a 65 m più al largo di questa. La linea di costa del 1983 non presenta tomboli e, solo per alcune delle scogliere a Sud, un avanzamento modesto a tergo delle opere.

Nel rilievo del 1990 il limite Sud della spiaggia compresa tra il pennello ed il Molo Sanità risulta avanzato di circa 20 m rispetto al rilievo del 1983 mentre il limite Nord si presenta stabile. Lungo la spiaggia a Sud del pennello, tra il 1983 ed il 1990, e, secondo indicazioni locali, proprio nel 1990, è stato fatto un intervento

di ricostituzione delle opere di difesa del litorale. La nuova serie di difese è costituita da 9 elementi lunghi 90 m con varchi regolari di 40 m e distanti da 55 a 85 m dalla strada o dalle infrastrutture presenti sul fronte mare. La scogliera più a Nord della precedente serie non è più presente mentre le sei che seguono verso Sud sono state rinforzare. Una nuova scogliera, la settima, è stata realizzata ex novo. Le due più a Sud sono state realizzate ex novo 30 m al largo delle precedenti. Dietro la quinta scogliera risulta completamente sviluppato un tombolo mentre, in corrispondenza di tutte le scogliere, si rileva un avanzamento della linea di riva.

Nel successivo rilievo (1998) la spiaggia adiacente al Molo Sanità risulta arretrata nel limite Sud di circa 30 m rispetto al 1990 e stabile all'altro estremo. Lungo la spiaggia a Sud del pennello si osserva la formazione del tombolo a tergo di tutte le scogliere; tra la terza e la quarta scogliera e tra la nona ed il pennello di chiusura a Sud, la riva raggiunge la strada e le strutte presenti sul lato mare di questa.

Dal 1998 al 2005 i due tratti di spiaggia risultano in modesto avanzamento. La spiaggia all'interno delle celle delimitate dalle scogliere e dai tomboli avanza anche se di pochi metri. Le ampiezze minime della spiaggia si riscontrano a Sud della nona scogliera e tra le scogliere tre e quattro rispettivamente con meno di 10 m e 12 m.

#### 4. CONFRONTO DELLE LINEE DI COSTA NEL TEMPO

Per effettuare un confronto nel tempo della posizione della linea di riva, sono state poste a confronto le linee relative agli anni che delimitano periodi evolutivi omogenei.

Sono state confrontate le linee di costa 1943 e 1968 a rappresentazione della tendenza evolutiva naturale, le linee di costa 1968 e 1990 a rappresentazione dell'effetto indotto dalla prima serie di opere di protezione, le linee 1990 e 2005 a rappresentazione degli effetti della seconda serie di scogliere e le linee di costa 1943 e 2005 per valutare la situazione attuale con quella di riferimento naturale.

Nella tavola 4, per ciascun confronto, la variazione dell'ampiezza della spiaggia emersa occorsa tra i due rilievi considerati è rappresentata con colore diverso in funzione dell'ampiezza: sono differenziati gli avanzamenti (gamma di blu) e gli arretramenti (gamma di rossi) tra 0 m e 5 m, tra 5 m e 10 m, tra 10 m e 20 m e superiori a 20 m.

Il confronto tra il 1943 ed il 1968, in assenza di opere, mostra un arretramento dell'intera linea di costa particolarmente marcato nel tratto centrale della spiaggia a sud del pennello ed all'estremo Sud di questa.

La riduzione dell'area della spiaggia emersa adiacente al Molo Sanità ammonta a 1 564 m<sup>2</sup>, con arretramento medio di 5.1 m, e di quella a Sud a 17 639 m<sup>2</sup>, con un arretramento medio di 10.4 m,.

Nel successivo periodo esaminato, 1968 - 1990, la costa è avanzata e sono evidenti gli effetti indotti dalla presenza della prima serie di opere realizzate.

Nel tratto a Nord, l'avanzamento ha interessato tutto il tratto con avanzamento maggiore all'estremo Sud; l'area in accrescimento è stata di 3.104 m<sup>2</sup>, superiore all'arretramento registrato tra il 1943 ed il 1968, con un avanzamento medio di 10.2 m.

La spiaggia a Sud del pennello ha subito un avanzamento nella parte più a Nord ed in quella centrale ed un arretramento tra le scogliere 7, 8 e 9 ed a Sud di quest'ultima; l'area risulta complessivamente in accrescimento di 6.988 m<sup>2</sup> con un avanzamento medio di 4.1 m.

Il confronto tra le linee di costa del 1990 ed il 2005 indica una tendenza all'avanzamento ad esclusione del limite Sud della spiaggia adiacente al Molo Sanità ed agli estremi della spiaggia più a Sud.

La spiaggia adiacente al Molo Sanità nel 2005 si presenta ruotata rispetto al 1990 e, complessivamente, in avanzamento di 1.023 m<sup>2</sup> con un avanzamento medio di 3,4 m.

La spiaggia a Sud del pennello risulta avanzata complessivamente di 10.285 m<sup>2</sup> corrispondenti ad un avanzamento medio di 6,0 m.

Il confronto tra la linea del 2005 e quella naturale del 1943 indica che la spiaggia attuale, protetta dalle scogliere, è avanzata rispetto a quella del 1943 in corrispondenza delle dighe ed arretrata nei punti corrispondenti ai varchi; un arretramento marcato si evidenzia in corrispondenza del limite Sud della spiaggia adiacente al pennello.

La spiaggia adiacente al Molo Sanità risulta complessivamente in avanzamento per un'area di 2.563 m<sup>2</sup> corrispondente ad un avanzamento medio di 8,5 m mentre la spiaggia a sud del pennello ha complessivamente subito un arretramento di ampiezza trascurabile e pari a 366 m<sup>2</sup> cui corrisponde una riduzione media della spiaggia emersa di 0,2 m.

**FIGURE**

# SETTORE DI TRAVERSIA AL LARGO

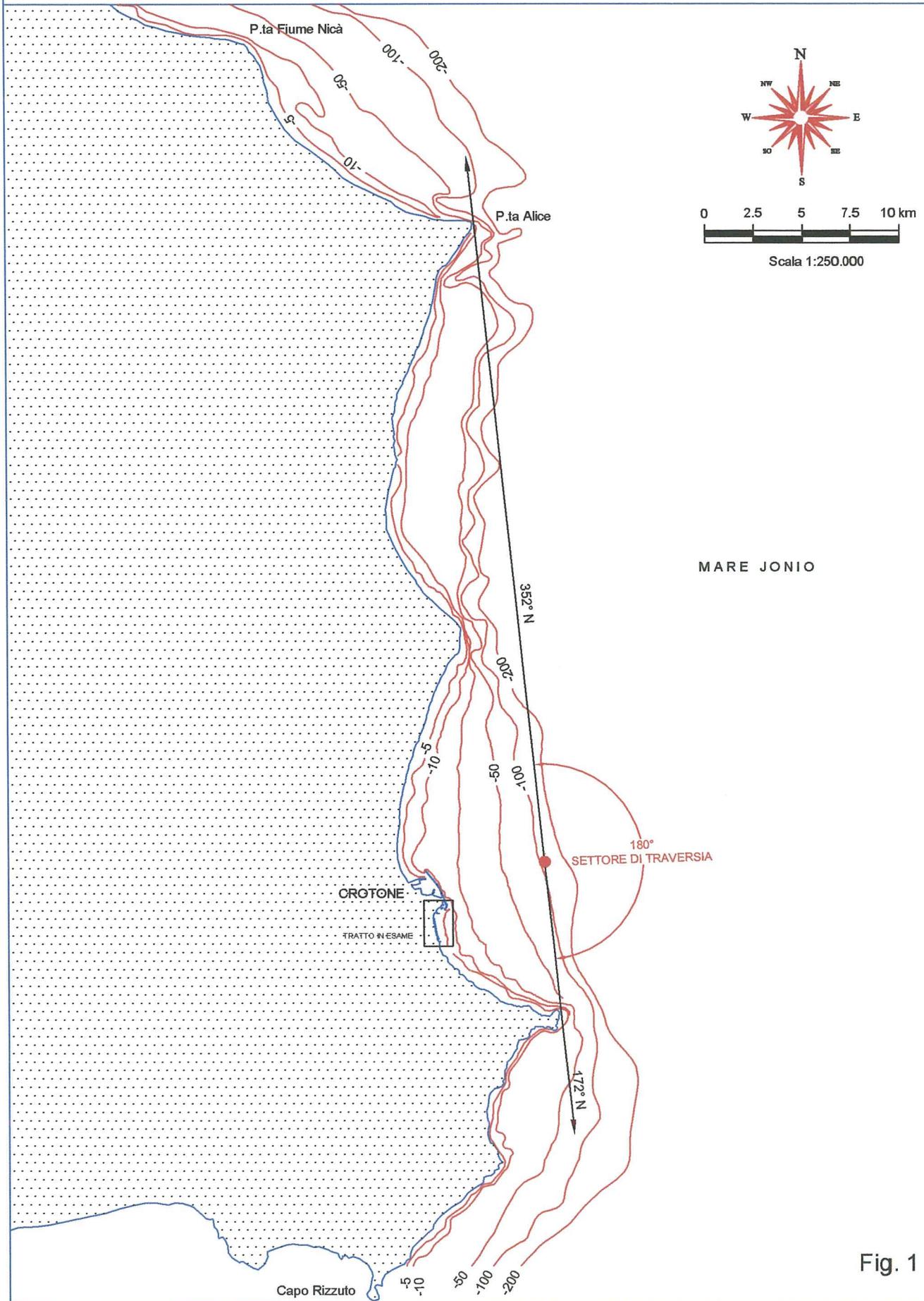


Fig. 1

*Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti*

Ufficio del Genio Civile per le Opere Marittime  
Reggio Calabria

CONSULENZA IN MATERIA  
IDRAULICA FINALIZZATA ALLA  
PROGETTAZIONE DI ALCUNI  
INTERVENTI NEL PORTO DI CROTONE



**3 STUDIO SULL'INTERFERENZA  
TRA L'OPERA DI PROGETTO E  
LA LINEA DI COSTA**

**RELAZIONE**

***Dott. Ing. Franco Guiducci***  
INCARICATO DELLO STUDIO SPECIALISTICO

# RELAZIONE

## INDICE

### RELAZIONE

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>STUDI ED INDAGINI UTILIZZATI .....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>UNITÀ FISIOGRAFICA .....</b>	<b>3</b>
3.1	METODOLOGIA UTILIZZATA .....	3
3.2	L'UNITÀ FISIOGRAFICA.....	4
3.3	LE SOTTOUNITÀ FISIOGRAFICHE .....	5
<b>4</b>	<b>ANDAMENTO DEL TRASPORTO SOLIDO LITORANEO NETTO .....</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>DINAMICA DEL LITORALE IN PROSSIMITÀ DELL'INTERVENTO.....</b>	<b>8</b>
5.1	IL LITORALE PROSSIMO ALL'INTERVENTO.....	8
5.2	CARATTERISTICHE DEI SEDIMENTI.....	8
5.3	DINAMICA DELLA SPIAGGIA ADIACENTE AL MOLO SANITÀ .....	8
5.4	DINAMICA DELLA SPIAGGIA A SUD DEL PENNELLO CON LA PASSEGGIATA A MARE .....	10
<b>6</b>	<b>DINAMICA DEL LITORALE IN PROSSIMITÀ DELL'INTERVENTO.....</b>	<b>13</b>
6.1	CARATTERISTICHE DELL'INTERVENTO .....	13
6.2	INTERFERENZA DELL'INTERVENTO DI ADEGUAMENTO DEL PORTO VECCHIO SULLE SPIAGGE LIMITROFE.....	13
6.3	INTERFERENZA DELL'INTERVENTO DI AMPLIAMENTO DEL PORTO VECCHIO SULLE SPIAGGE LIMITROFE.....	15
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>16</b>
<b>8</b>	<b>RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....</b>	<b>17</b>

### FIGURE

1. COROGRAFIA
2. SETTORE DI TRAVERSIA AL LARGO ED UBICAZIONE DEI PUNTI DI MISURA

3. UBICAZIONE DEI PUNTI DI CALCOLO DEI MOTI ONDOSI A RIVA
4. CROTONE – PUNTO DI CALCOLO A RIVA 10 - DISTRIBUZIONE DELLA FREQUENZA  $0/00$  DEI MOTI ONDOSI A RIVA
5. CROTONE – PUNTO DI CALCOLO A RIVA 11 - DISTRIBUZIONE DELLA FREQUENZA  $0/00$  DEI MOTI ONDOSI A RIVA
6. CROTONE – PUNTO DI CALCOLO A RIVA 20 - DISTRIBUZIONE DELLA FREQUENZA  $0/00$  DEI MOTI ONDOSI A RIVA
7. CROTONE – PUNTO DI CALCOLO A RIVA 2 - DISTRIBUZIONE DELLA FREQUENZA  $0/00$  DEI MOTI ONDOSI A RIVA
8. RISULTANTE DELL'ENERGIA DEI MOTI ONDOSI A RIVA
9. LITORALE PROSSIMO ALL'INTERVENTO
10. UBICAZIONE DEI PUNTI DI PRELIEVO DEI CAMPIONI DI SEDIMENTO
11. GRAFICI DELL'ANDAMENTO DEI VALORI D50
12. EVOLUZIONE DELLA SPIAGGIA ADIACENTE AL MOLO SANITÀ
13. EVOLUZIONE DELLA SPIAGGIA A SUD DEL PENNELLO CON PASSEGGIATA A MARE
14. SOLUZIONE DI ADEGUAMENTO DEL PORTO VECCHIO
15. SOLUZIONE DI AMPLIAMENTO DEL PORTO VECCHIO
16. INTERFERENZA DELL'INTERVENTO DI ADEGUAMENTO DEL PORTO E LA SPIAGGIA ADIACENTE AL MOLO SANITÀ – PUNTI DI CALCOLO
17. INTERFERENZA DELL'INTERVENTO DI AMPLIAMENTO DEL PORTO E LA SPIAGGIA A SUD DEL PENNELLO – ANALISI DELLA RIFRAZIONE
18. INTERFERENZA DELL'INTERVENTO DI AMPLIAMENTO DEL PORTO E LA SPIAGGIA A SUD DEL PENNELLO – DEFINIZIONE DEI LIMITI PLANIMETRICI
19. AMPLIAMENTO DEL PORTO E LIMITE DELL'AREA DI INTERFERENZA

## **TABELLE**

1. DIREZIONI DI PROVENIENZA A RIVA DEI MOTI ONDOSI NEL PUNTO 10
2. DIREZIONI DI PROVENIENZA A RIVA DEI MOTI ONDOSI NEL PUNTO 11
3. DIREZIONI DI PROVENIENZA A RIVA DEI MOTI ONDOSI NEL PUNTO 20
4. DIREZIONI DI PROVENIENZA A RIVA DEI MOTI ONDOSI NEL PUNTO P2

5. ALTEZZE DELLE ONDE A RIVA NEL PUNTO 10
6. ALTEZZE DELLE ONDE A RIVA NEL PUNTO 11
7. ALTEZZE DELLE ONDE A RIVA NEL PUNTO 20
8. ALTEZZE DELLE ONDE A RIVA NEL PUNTO P2

## **1 PREMESSA**

La relazione si riferisce allo studio dell'interazione tra le opere in progetto per l'adeguamento e l'eventuale successivo ampliamento del Porto Vecchio di Crotona e le spiagge limitrofe (Fig. 1).

L'attività è stata condotta nell'ambito della "Consulenza in materia di idraulica marittima finalizzata alla progettazione esecutiva di alcuni interventi nel Porto di Crotona".

Lo studio si articola nella individuazione dell'unità fisiografica e delle sotto unità in cui ricade l'impianto portuale; nella individuazione della dinamica del litorale in prossimità dell'intervento, nella definizione della direzione del trasporto solido netto e quindi nella valutazione delle eventuali interferenze tra le opere ed il tratto di costa adiacente.

## 2 STUDI ED INDAGINI UTILIZZATI

L'analisi dell'interazione tra le previste opere e la spiaggia a sud del porto è stata condotta sulla base dei rilievi batimetrici e dell'indagine sedimentologica eseguiti dalla Nautilus Società cooperativa a r. l. nel maggio 2005.

Sono inoltre stati utilizzati i risultati dei seguenti studi e modelli condotti nell'ambito della consulenza:

- Studio del moto ondoso al largo e sua propagazione a riva (Elaborato 1);
- Analisi storica della evoluzione della linea di costa (Elaborato 2)
- Dimensionamento della sezione tipo dell'opera foranea (Elaborato 7).

### 3 UNITÀ FISIOGRAFICA

#### 3.1 Metodologia utilizzata

Lo studio è stato condotto utilizzando la carta nautica dell'Istituto Idrografico della Marina Militare in scala 1:100 000, n° 25, da Capo Rizzuto a Punta Alice.

La delimitazione dell'unità fisiografica è stata effettuata ricercando i punti di discontinuità nel trasporto solido longitudinale.

La condizione di discontinuità del trasporto solido si verifica allorché siano presenti capi rocciosi o opere che costituiscono dei punti fissi della costa e che interrompono la continuità sia della spiaggia emersa sia di quella sommersa.

La spiaggia sommersa si estende fino alla profondità alla quale il materiale risente dell'azione del moto ondoso.

Tale profondità  $d_l$  può essere calcolata dalle relazioni ricavate da Birkemeier secondo il metodo proposto da Hallermeier [1]:

$$d_l = 2 d_1$$

$$d_1 = 1.75 H_{S,12} - 57.9 (H_{S,12}^2 / gT_s^2)$$

dove  $d_1$  rappresenta la profondità limite della zona dove avviene la massima parte del trasporto longitudinale (surf zone),  $d_l$  la profondità alla quale il trasporto solido avviene per azione del moto ondoso,  $H_{S,12}$  è l'altezza significativa dell'onda che viene superata per 12 ore in un anno medio ovvero che ha una frequenza di superamento di 0.137% e  $T_s$  il periodo ad essa associato.

Il valore del rapporto  $H_{S,12}/gT_s^2$  nel paraggio è pari a 0.0088 in base alla seguente formula ricavata nell'ambito dello studio del moto ondoso al largo per le mareggiate più alte:

$$T_s = 3.27 H_{S,12}^{0.59}$$

I valori  $d_1$  e  $d_l$  risultano quindi :

$$d_1 = 1.24 H_{S,12}$$

$$d_l = 2.49 H_{S,12}$$

Il valore  $H_{S,12}$  ricavato dallo studio del moto ondoso risulta pari a 4.63 m. e pertanto la profondità  $d_1$  e  $d_l$  risultano:

$$d_1 = 5.76 \text{ m}$$

$$d_l = 11,51 \text{ m}$$

L'unità fisiografica è stata pertanto individuata come il tratto di costa delimitato da due strutture, naturali od artificiali, che raggiungono una profondità superiore a 11.5 m ed interrompono la continuità della spiaggia emersa e sommersa.

Una sottounità di litorale consiste, invece, in un tratto di litorale ai cui limiti si interrompe la continuità del flusso del trasporto solido litoraneo ma non quella della spiaggia emersa e sommersa.

Tale interruzione è legata alla divergenza ed alla convergenza delle direzioni di propagazione del trasporto solido longitudinale con riferimento un anno statistico medio.

I punti in cui si riscontrano tali condizioni sono, di norma, costituiti dai delta delle foci dei fiumi e dei torrenti che sfociano a mare e dai punti in cui si annulla il trasporto solido longitudinale.

Per la loro natura, questi punti possono anche essere soggetti ad avanzamenti ed arretramenti nel tempo ma la loro caratteristica rimane quella di interrompere la propagazione lungo riva di elementi perturbativi del trasporto solido.

La suddivisione della unità fisiografica in sottounità prevede quindi l'individuazione dei punti di divergenza e dei punti di assenza del flusso del trasporto solido longitudinale.

Nel processo di individuazione dei limiti delle sottounità fisiografiche, per valutare le direzioni assunte dal trasporto solido longitudinale, si è tenuto presente che la risultante energetica al largo proviene da  $95^{\circ}43' N$ .

### **3.2 *L'unità fisiografica***

L'unità fisiografica nella quale si trova il porto vecchio di Crotona è limitata a Nord dal porto di Crotona che raggiunge in tesata profondità superiori a 13,0 m e da Capo Colonne, costituito da uno sperone roccioso a ridosso del quale si incontrano profondità superiori a 12 m.

Il limite nord della unità è costituito dal molo sopraflutto del Porto commerciale di Crotona; prima della realizzazione del porto, l'unità fisiografica che si estendeva da Capo Colonne al Mar Grande di Taranto.

Lo sviluppo dell'unità è di 10.8 Km ed è caratterizzata dalla assenza di apporti solidi da parte di corsi d'acqua.

La spiaggia deve pertanto il suo equilibrio al bilancio tra l'allontanamento verso il largo del materiale e l'apporto dovuto all'erosione della parte rocciosa prossima alla linea di riva.

### 3.3 *Le sottounità fisiografiche*

Lungo il tratto di costa, la direzione netta del trasporto longitudinale è diretta da Capo Colonne verso il porto.

L'entità del trasporto è ridotta, come mostrano le variazioni nel tempo della linea di riva e la risposta della spiaggia emersa alla realizzazione delle scogliere foranee a sud del porto.

Procedendo da Capo Colonne verso il porto si identificano 4 sottounità fisiografiche:

- Ovest di Capo Colonna: il tratto si estende da Capo Colonne, verso Ovest per 3,8 km fino alla sporgenza a nord della località Semaforo. La costa è rocciosa con alcune piccole insenature in cui sono trattenute, tra scogli affioranti, piccole spiagge emerse;
- San Leonardo: dal limite della precedente sottounità fino al pennello della passeggiata a sud della spiaggia di Sanità. Il tratto, lungo 5,5 km, è caratterizzato nella parte sud, da spiagge lunghe, mantenute dalle sporgenze principali di Capo Donato e del pennello artificiale realizzato davanti a Via Siris, dove inizia l'abitato della città. Da questo pennello fino a 400 m dal limite nord della sottounità sono presenti 9 scogliere foranee a tergo delle quali sono presenti tomboli che costituiscono una spiaggia continua. Per i 400 m Nord del tratto, la spiaggia ha un andamento ad arco per 400 m e presenta una bassa pendenza del fondale.
- Spiaggia Sanità: la spiaggia lunga 300 m, è confinata tra il pennello della passeggiata a mare ed il Molo Sanità che svolge le funzioni di sottoflutto del Porto Vecchio. Gli scambi di materiale con le sottounità limitrofe sono ridotti come si evince dalla analisi delle variazioni della spiaggia nel tempo a seguito delle modifiche delle opere che la confinano.
- Porto vecchio di Crotone: il Molo Sanità costituisce la separazione tra la spiaggia ed il bacino portuale tuttavia, dato che la profondità della bocca del porto è interna all'area dei frangenti, vi è un ingresso di materiale nel bacino portuale cui va fatto fronte con dragaggi periodici.

#### 4 ANDAMENTO DEL TRASPORTO SOLIDO LITORANEO NETTO

Il settore di traversia al largo è esteso tra la direzione 352°N e la 172°N, rispettivamente tangenti a Punta Alice e a Capo Colonne (Fig. 2)

La valutazione dell'andamento del trasporto solido litoraneo netto è stata condotta per l'intera unità fisiografica, considerando l'angolo formato dalla risultante energetica dei moti ondosi in quattro punti a riva e la normale alla costa sottesa.

I quattro punti sono stati scelti lungo il litorale alla profondità -6.0 m s. l. m.; il punto più a Nord, denominato P2 coincide con quello già oggetto delle valutazioni dello studio del moto ondoso a riva (Fig. 3).

Per ciascun punto, utilizzando le procedure descritte nell'Elaborato 1 "Studio del moto ondoso" è stata calcolata la rifrazione dei moti ondosi a riva in termini di direzioni (Tab 1-4) ed altezze (Tab 5-8).

Sono quindi state calcolate sulla base dei dati registrati dalla boa ondometrica della RON posta al largo, le distribuzioni delle altezze d'onda (Fig. 4-7) e le risultanti energetiche dei moti ondosi.

<b>CARATTERISTICHE DELLE RISULTANTI DEI MOTI ONDOSI A RIVA</b>				
<b>Punto</b>	<b>Intensità (Mwh/m)</b>	<b>Direzione di provenienza (°N)</b>	<b>H<sub>se</sub> (m)</b>	<b>T<sub>se</sub> (s)</b>
<b>10</b>	14.44	35.88	1.05	5.85
<b>11</b>	15.91	47.83	1.06	5.94
<b>20</b>	15.50	52.58	1.03	5.84
<b>P2</b>	14.80	72.13	1.02	6.02

I valori ricavati dalla propagazione a riva dei moti ondosi nei punti 10, 11 e 20 hanno carattere indicativo in quanto ricavati utilizzando i dati batimetrici della carta nautica a scala 1:100.000 aggiornata al 1974; i dati relativi al punto P2 sono stati ricavati utilizzando i rilievi batimetrici di dettaglio effettuati nell'area nel 2005.

La differenza tra la normale alla costa e la direzione della risultante dei moti ondosi in corrispondenza dei punti di calcolo fornisce l'andamento del trasporto solido netto lungo il litorale (Fig. 8).

<b>ANDAMENTO DEL TRASPORTO SOLIDO LUNGO COSTA ALLA -6.0 m</b> <b>(+ da Capo Colonne al Porto)</b>			
<b>PUNTO</b>	<b>DIREZIONE RISULTANTE (°N)</b>	<b>NORMALE ALLA COSTA (°N)</b>	<b>DIFFERENZA (°)</b>
<b>10</b>	36	29	+7
<b>11</b>	48	42	+6
<b>20</b>	53	53	0
<b>P2</b>	72	72	0

I valori calcolati, pur con l'approssimazione prima trattata, indicano che in tutto il tratto sud dell'unità fisiografica il trasporto longitudinale netto è diretto nel verso da Capo Colonne al Porto.

Nel tratto dell'unità, dove sono presenti spiagge continue ed in quello protetto dalle scogliere il trasporto solido longitudinale non assume un verso prevalente del trasporto solido longitudinale netto.

## 5 DINAMICA DEL LITORALE IN PROSSIMITÀ DELL'INTERVENTO

### 5.1 *Il litorale prossimo all'intervento*

Il litorale prossimo all'intervento comprende una spiaggia lunga 300 m, confinata ed adiacente al Molo Sanità di sottoflutto del Porto Vecchio ed una spiaggia a Sud di quella che è priva di opere di difesa per 350 m e difesa da 9 foranee nel rimanente tratto (Fig. 9).

La separazione tra le due spiagge è costituita da un pennello che realizza una passeggiata a mare e raggiunge la isobata -4.0 m s. l. m. m. ; le foranee hanno lunghezza 100 m e sono distanziate tra loro di 30 m.

### 5.2 *Caratteristiche dei sedimenti*

Nel tratto in esame il fondale la spiaggia sommersa è caratterizzata da materiali di granulometria omogenea sia lungo la costa che verso il largo.

Il diametro del D50, ricavato dalle elaborazioni della Nautilus del 2005, risulta compreso tra 0.14 mm e 0.15 mm in tutta la spiaggia emersa a sud del porto vecchio fino alla fine delle scogliere di protezione ad eccezione del campione prelevato alla profondità -1.5 m immediatamente a nord delle scogliere che presenta un D50 = 0,10 mm (Figg 10, 11a e 11b).

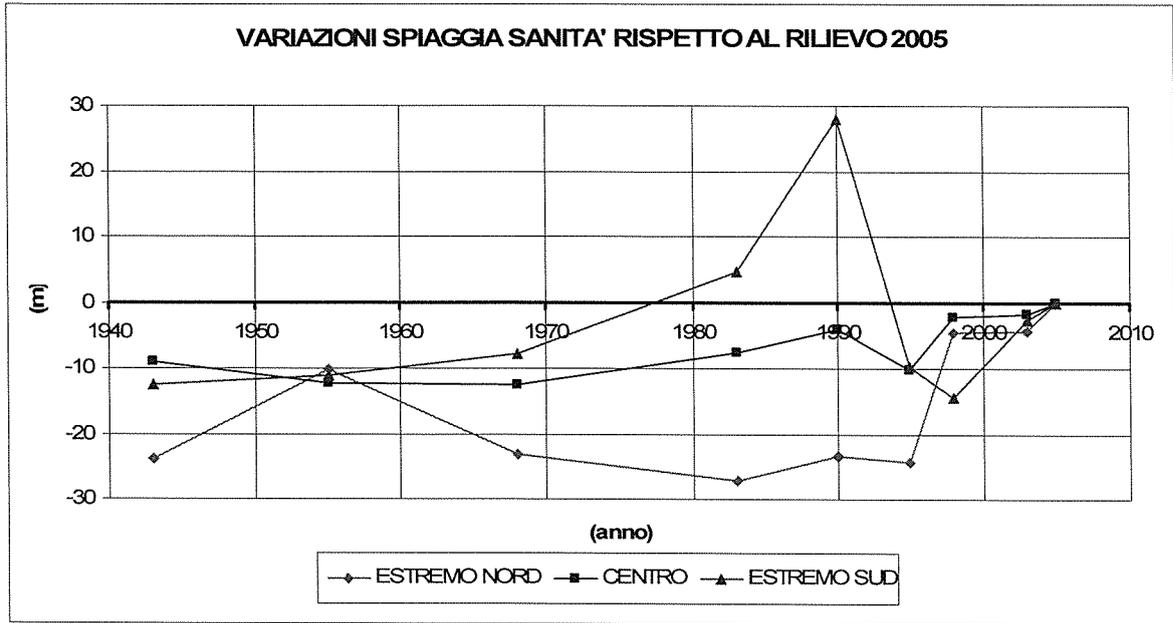
La spiaggia emersa presenta la medesima omogeneità di materiale con D50 compresi tra 0.18 e 0.19 mm.

La omogeneità del materiale costituente la spiaggia è legato all'assenza di apporti fluviali nel tratto ed indica una ridotta azione di trasporto longitudinale.

### 5.3 *Dinamica della spiaggia adiacente al Molo sanità*

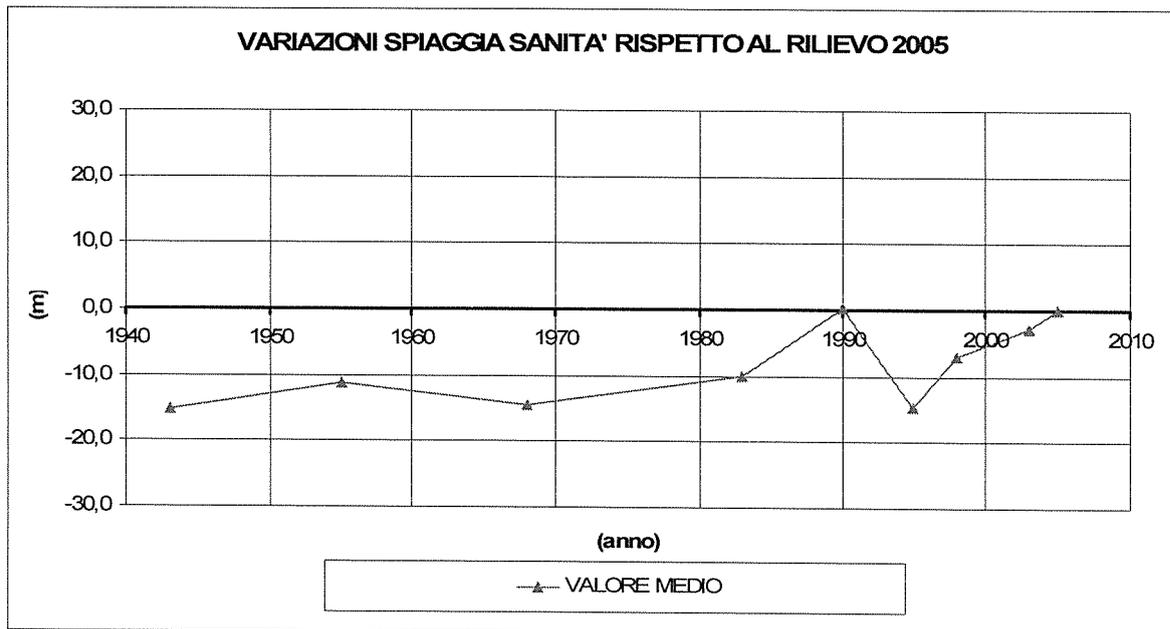
Dalla analisi storica delle variazioni della linea di riva (Elab. 2) è possibile ricavare l'evoluzione nel tempo della spiaggia adiacente al Molo Sanità (Fig. 12) e quindi definirne la dinamica.

Nel grafico che segue sono riportate le variazioni dei punti estremi e del punto medio della spiaggia rispetto al rilievo del 2005.



Dal 1943 la spiaggia ha assunto andamenti ad arco con asse ruotato rispetto all'attuale tra  $+2^\circ$  (1998) e  $-10^\circ$  (1990) ed ha subito un progressivo ampliamento.

Nel grafico che segue è riportata la variazione dell'ampiezza media della spiaggia nel tempo rispetto al rilievo del 2005.



Dal grafico si osserva che la tendenza all'ampliamento della spiaggia è stato continuo salvo che nel periodo compreso tra il 1990 ed il 1998 durante il quale sono state ristrutturare le scogliere foranee poste più a Sud.

L'incremento medio dell'ampiezza della spiaggia emersa risulta pari a 0.24 m anno a cui corrisponde un apporto superiore alle perdite verso il largo di circa 420 m<sup>3</sup>/anno.

L'accumulo di materiale, dato che la normale alle spiagge nell'area risulta allineata alla risultante dell'energia dei moti ondosi, può trovare origine negli effetti locali di trattenimento del Molo Sanità e nella differente permeabilità direzionale del pennello della passeggiata a mare.

#### ***5.4 Dinamica della spiaggia a Sud del pennello con la passeggiata a mare***

La spiaggia a Sud del pennello ha subito un arretramento, nel periodo dal 1945 al 1968, di ampiezza variabile fino a 40 m che determinò la scomparsa di circa 200 m della spiaggia emersa nel tratto centrale (Fig. 13)

Tra il 1968 ed il 1983 vennero realizzate 9 scogliere a distanze comprese tra 40 m e 100 m dalla strada o dalle strutture presenti al limite della spiaggia.

Fino al 1983, le scogliere hanno limitato i fenomeni di arretramento della linea di riva; modesti avanzamenti si sono formati sia dietro le scogliere poste agli estremi che quelle al centro della spiaggia a conferma dell'assenza di una direzione netta del trasporto solido come già ricavato dalle analisi della propagazione a riva dei moti ondosi.

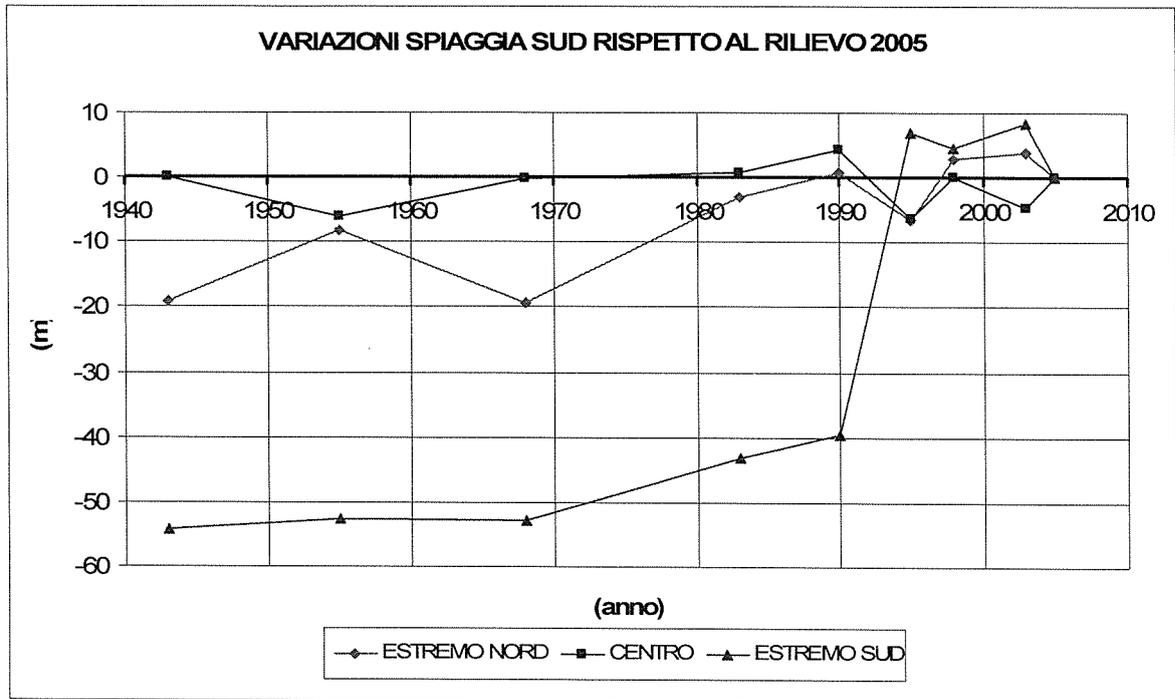
Prima del 1990 è stato fatto un intervento di ricostituzione e rinforzo delle opere di difesa del litorale realizzando, a partire dal limite Sud della sub unità fisiografica, un sistema continuo e regolare di nove scogliere lunghe 90 m, con varchi di 40 m e distanza dalla strada e dalle strutture variabile da 55 m a 85 m.

Nel rilievo del 1990, dietro la quinta delle scogliere, si incontra un tombolo mentre in corrispondenza di tutte le scogliere è presente solo un avanzamento della linea di riva.

Nel successivo rilievo disponibile (1998) sono presenti tomboli a tergo di tutte le scogliere; tra la terza e la quarta scogliera e tra la nona ed il pennello di chiusura a Sud, la riva raggiunge la strada e le strutture presenti sul lato mare di questa; la successione nella formazione dei tomboli conferma l'assenza di un netto verso di propagazione del trasporto solido lungo riva

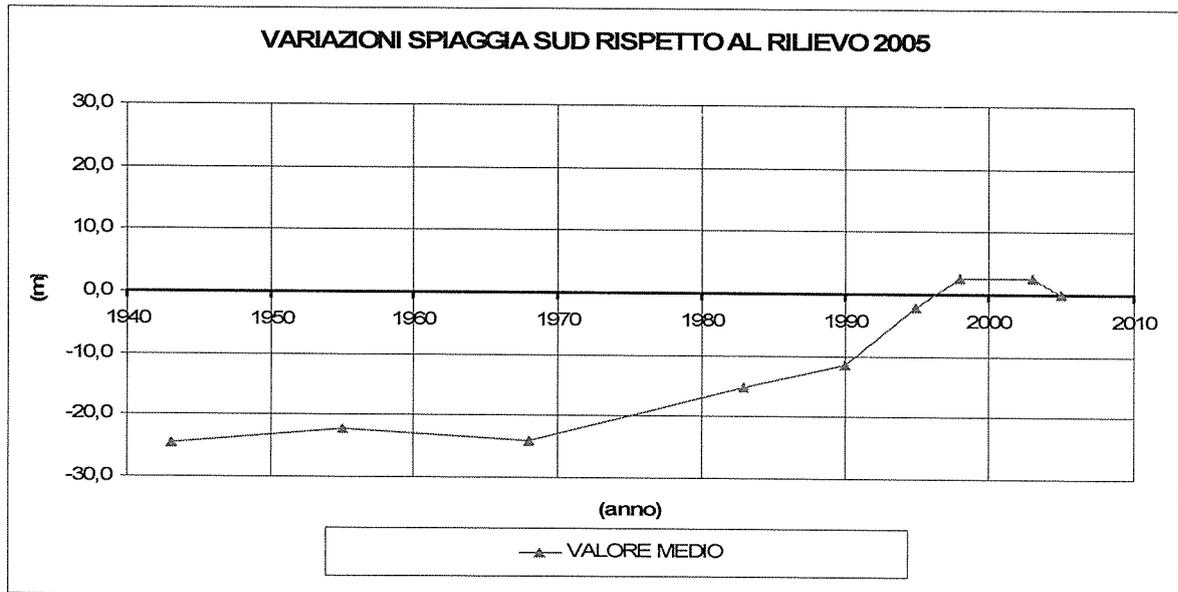
Dal 1998 al 2005, la spiaggia dietro le scogliere avanza mediamente di 0.73 m/anno mentre il tratto non protetto dalle scogliere presenta un avanzamento medio pari a circa 0.3 m/anno.

Il tratto compreso tra le scogliere ed il pennello con la passeggiata a mare, lungo circa 300 m ha subito modeste variazioni nel tempo; nel grafico che segue è riportato l'andamento dei punti estremi e di quello centrale.



Ad esclusione della variazione dell'estremo Sud intorno al 1990 legata alla formazione del tombolo in corrispondenza dell'ultima scogliera, le variazioni sono state molto ridotte nel tempo e, dall'andamento dei tre punti, è evidente che il tratto non ha subito rotazioni nel tempo.

Nel grafico successivo è rappresentata la variazione media dell'ampiezza della spiaggia rispetto a quanto rilevato nel 2005.



Il comportamento rilevato nel tempo indica che anche in questo tratto di litorale la risultante energetica dei moti ondosi non ha un verso netto prevalente.

Nella spiaggia priva di difese non si sono infatti riscontrati arretramenti a seguito della formazione dei tomboli a tergo delle scogliere.

Per l'intero tratto, gli apporti risultano in equilibrio con il materiale che fuoriesce: l'ampiezza media della spiaggia attuale, tenendo conto dei tomboli e degli archi di cerchio tra essi compresi, risulta variata di 0,2 m rispetto a quella del 1943, con una riduzione di area di 366 m<sup>2</sup>.

## 6 *DINAMICA DEL LITORALE IN PROSSIMITÀ DELL'INTERVENTO*

### 6.1 *Caratteristiche dell'intervento*

Nel porto Vecchio di Crotona si riscontrano scarse condizioni di ormeggio in presenza dei moti ondosi provenienti da Sud-Est che sono caratterizzati da elevata occorrenza e da ridotta altezza per effetto della rifrazione sui fondali.

Per eliminare questi effetti indesiderati, è stata prevista la realizzazione di un intervento finalizzato alla riduzione dell'agitazione ondosa nel bacino portuale.

L'intervento è stato ottimizzato in base alle caratteristiche dei moti ondosi incidenti, alle simulazioni su modelli matematici dell'agitazione ondosa e del ricircolo delle acque nel bacino portuale ed alla verifica di navigabilità della bocca del porto e prevede l'allungamento del molo di sopraflutto di 120 m, il prolungamento del molo Sanità per 120 m di cui 94 m rettilinei e 26 m ruotati ortogonalmente al prolungamento del molo Sopraflutto ed il prolungamento di 46 m della parte terminale interna del Molo Sanità (Fig.14).

Oltre alla soluzione di adeguamento del porto, è stata esaminata anche una soluzione di ampliamento del porto stesso che potrà successivamente essere sviluppata.

La soluzione di ampliamento, oltre alle opere di adeguamento, prevede la realizzazione di un darsena aggiuntiva, a Sud, protetta da un molo sottoflutto lungo circa 250 m con la bocca del porto ridotta a circa 80 m (65 m alla profondità - 3.5 m); la soluzione prevede che la spiaggia adiacente al Molo Sanità venga a trovarsi all'interno dello specchio portuale (Fig. 15).

### 6.2 *Interferenza dell'intervento di adeguamento del Porto Vecchio sulle spiagge limitrofe*

Il prolungamento del molo di sopraflutto di 120 m determina la intercettazione di una parte del flusso di energia del moto ondoso che raggiunge le spiagge limitrofe.

È stata inizialmente esaminata l'interferenza sulla spiaggia adiacente al Molo Sanità.

La verifica è stata condotta calcolando in cinque punti disposti con regolarità lungo l'arco della spiaggia Sanità la modifica della risultante energetica dei moti ondosi indotta dal prolungamento di 120 m del molo sopraflutto (Fig. 16).

Il calcolo è stato fatto con lo stesso modello di rifrazione inversa usato per lo studio del moto ondoso a riva.

Nella successiva tabella sono riportati i valori della risultante per ciascun punto in assenza e in presenza del prolungamento di 120 m.

DIREZIONI DELLE RISULTANTI ENERGETICHE DEL MOTO ONDOSO (°N)			
PUNTO	ATTUALE	INTERVENTO DI ADEGUAMENTO	DIFFERENZA
S1	108.16	108.76	+0.60
S2	126.74	128.48	+1.74
S3	133.69	135.60	+1.91
S4	145.62	146.58	+0.96
S5	159.00	159.00	0.00

A seguito della realizzazione dell'intervento di adeguamento del porto la massima variazione della risultante energetica risulta contenuta entro i due gradi.

La modifica delle direzioni delle risultanti energetiche lungo l'arco di costa determina una rotazione della spiaggia.

Assumendo, in via cautelativa, che la rotazione della risultante energetica di 2° interessi tutto il tratto di litorale, le variazioni della spiaggia, a seguito del prolungamento del molo sopraflutto, possono essere stimate in un arretramento di 5 m del il limite sud ed in un avanzamento di pari entità del limite Nord.

Tale modifica non riduce l'efficacia e la funzionalità della spiaggia sia ai fini di difesa del lungomare che della fruibilità dello spazio per l'esposizione al sole e la balneazione.

In proposito, va tenuto conto che l'arco di spiaggia considerato ha una modesta tendenza all'avanzamento e che variazioni tra -14.4 m e +28.0 m sono state registrate nel tempo senza incontrare situazioni critiche.

Data l'entità delle variazioni indotte dall'adeguamento del porto sulla spiaggia adiacente al Molo Sanità, quelle indotte sulla spiaggia a sud del pennello con la passeggiata a mare sono assunte trascurabili.

### 6.3 *Interferenza dell'intervento di ampliamento del Porto Vecchio sulle spiagge limitrofe*

Con l'ampliamento del porto, la spiaggia adiacente al Molo Sanità risulta interna al bacino porto.

Sulla base delle simulazioni sul modello matematico, le onde all'interno della nuova darsena saranno, anche in occasione delle mareggiate estreme, inferiori a 0,6 m e pertanto non avranno energia sufficiente per modificare l'andamento della spiaggia.

È prevedibile che, una volta realizzato l'ampliamento del porto, la spiaggia venga trasformata in zona portuale e che, nell'area, vengano realizzate una colmata ed una banchina di attracco.

La spiaggia a sud del pennello con la passeggiata a mare potrebbe subire delle modifiche a seguito dell'intervento di ampliamento.

Per escludere tale evenienza, si è limitata l'area dello sviluppo portuale a quella esterna all'involuppo dei moti ondosi che raggiungono la spiaggia.

L'involuppo dei moti ondosi che giungono nel tratto è stato determinato attraverso una analisi di rifrazione inversa a partire da cinque punti distribuiti lungo la spiaggia.

Il calcolo è stato fatto con lo stesso modello di rifrazione inversa usato per lo studio del moto ondoso a riva.

I risultati del modello di rifrazione inversa per i cinque punti di calcolo sono riportati graficamente nella figura 17.

Nella successiva figura 18 sono riportati esclusivamente i raggi provenienti da largo ed il loro involuppo che è stato assunto come limite dell'area nella quale è possibile realizzare opere per l'ampliamento del porto.

La configurazione planimetrica selezionata per l'ampliamento del porto è riportata nella figura 19 insieme con la linea di involuppo dei moti ondosi.

## 7 CONCLUSIONI

Lo studio ha individuato l'estensione dell'unità fisiografica cui appartiene il litorale a sud del Porto Vecchio di Crotona che risulta delimitata dal porto e da Capo Colonna.

Nella unità fisiografica sono state individuate quattro sotto unità : Ovest di Capo Colonna, San Leonardo, Spiaggia Sanità e il Porto Vecchio

Il trasporto solido lungo riva è ridotto ed il materiale si muove da Est verso Nord ma è privo di direzione netta in corrispondenza degli archi di spiaggia prossimi al porto.

Gli apporti di materiale derivano dall'erosione della costa rocciosa posta vicino a Capo Colonna che risultano, dopo la costruzione delle scogliere in equilibrio con gli asporti trasversali dovuti al moto ondoso.

La realizzazione dell'intervento di adeguamento del porto con il prolungamento del molo sopraflutto determinerà, nella ipotesi cautelativa assunta nello studio, una rotazione della spiaggia adiacente al Molo Sanità di entità modesta valutato in +/- 5 m agli estremi.

Con il solo prolungamento del molo sopraflutto previsto non sussiste interferenza tra l'adeguamento e la spiaggia a sud del pennello con la passeggiata a mare.

In presenza dell'ampliamento del porto, la spiaggia a sud del Molo Sanità verrà inglobata nel bacino portuale; l'interferenza con la spiaggia più a sud è stata esclusa limitando l'area di sviluppo del porto.

## 8 *RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI*

- [1] AA VV: "Shore Protection Manual" - Coastal Engineering Research Centre - Department of the Army-U.S. Army Corps of Engineers (1984)-pp.: 5.10-5.12

**FIGURE**

# COROGRAFIA

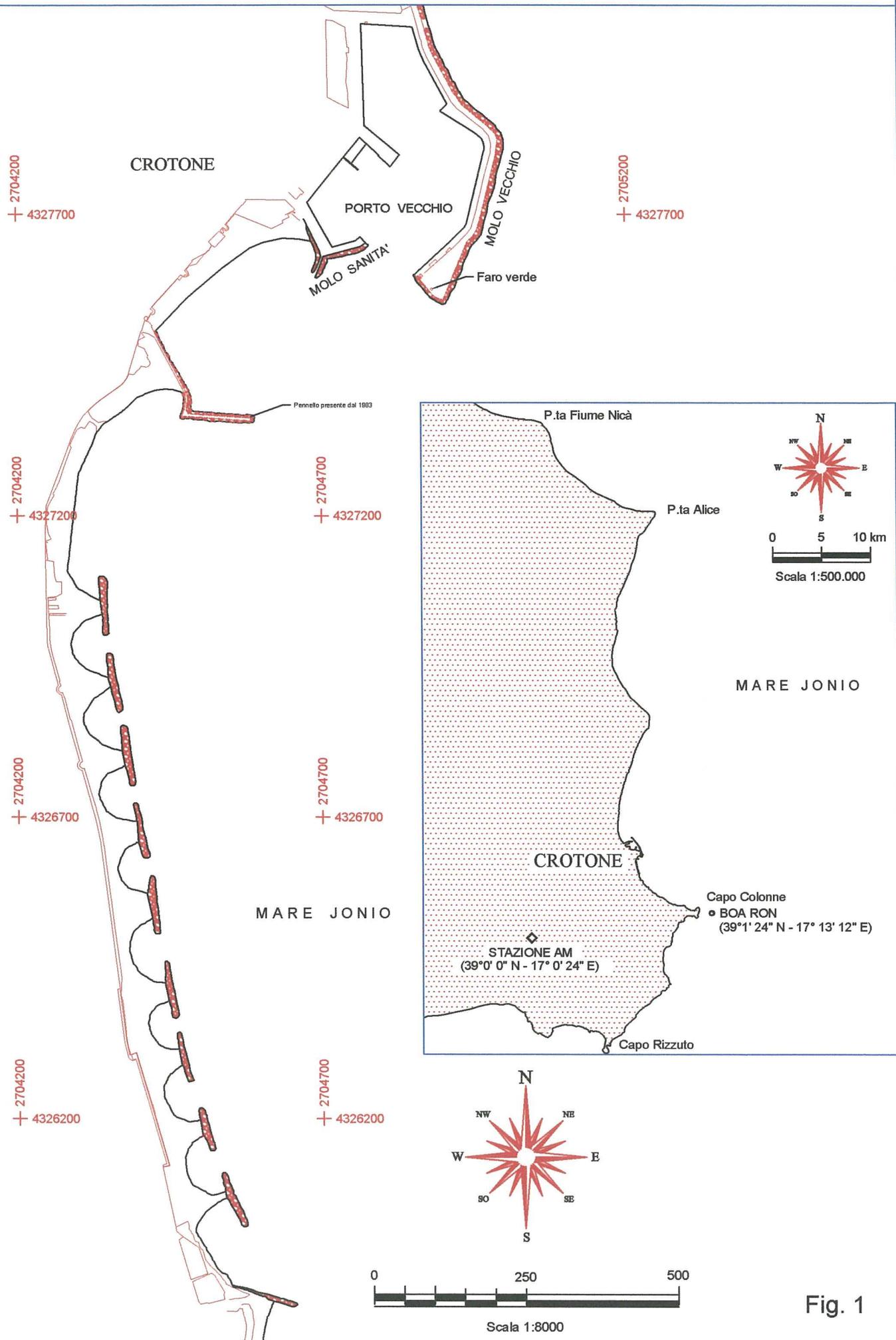


Fig. 1

# SETTORE DI TRAVERSIA AL LARGO ED UBICAZIONE DEI PUNTI DI MISURA

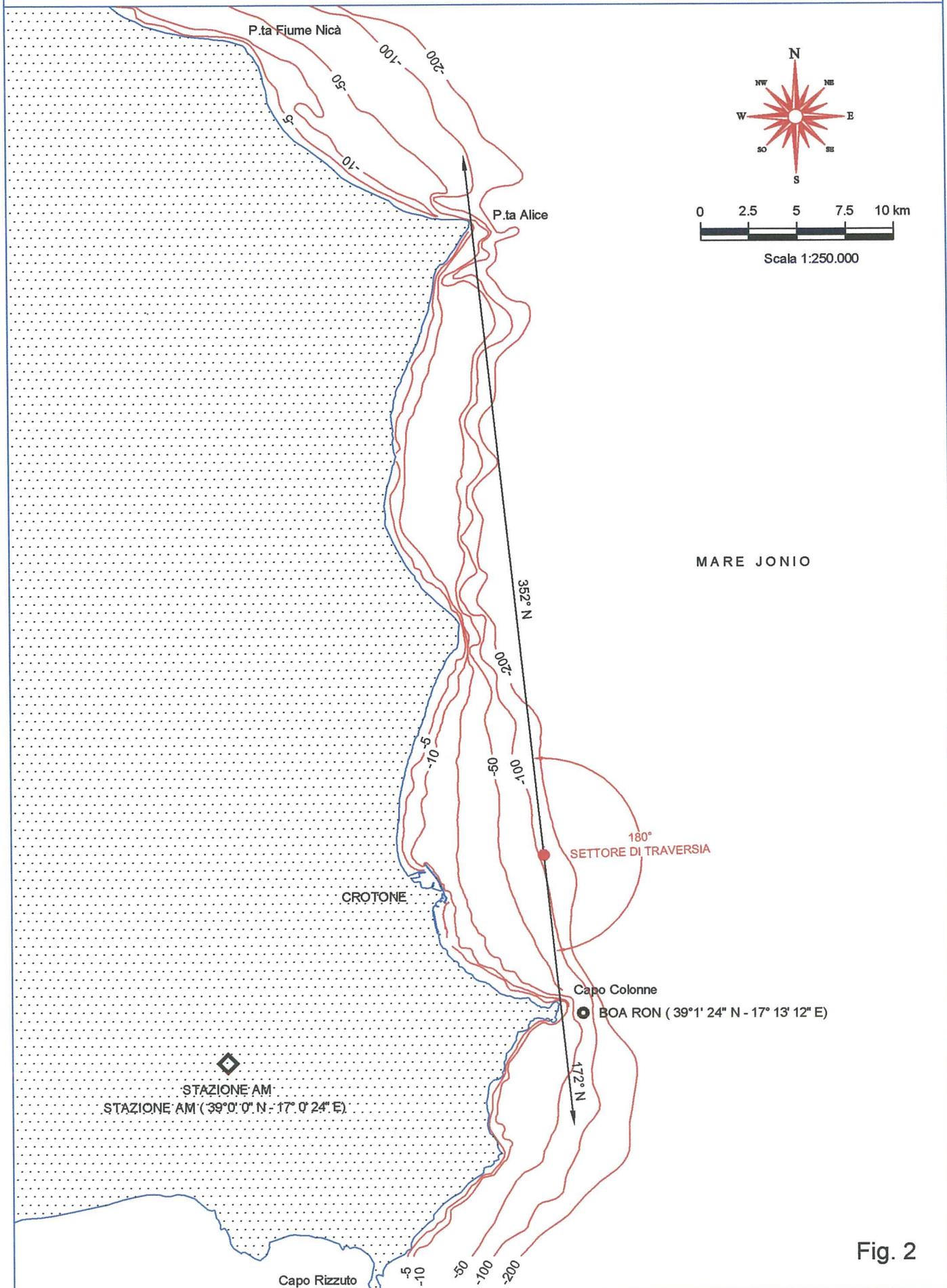


Fig. 2

# UBICAZIONE DEI PUNTI DI CALCOLO DEI MOTI ONDOSI A RIVA

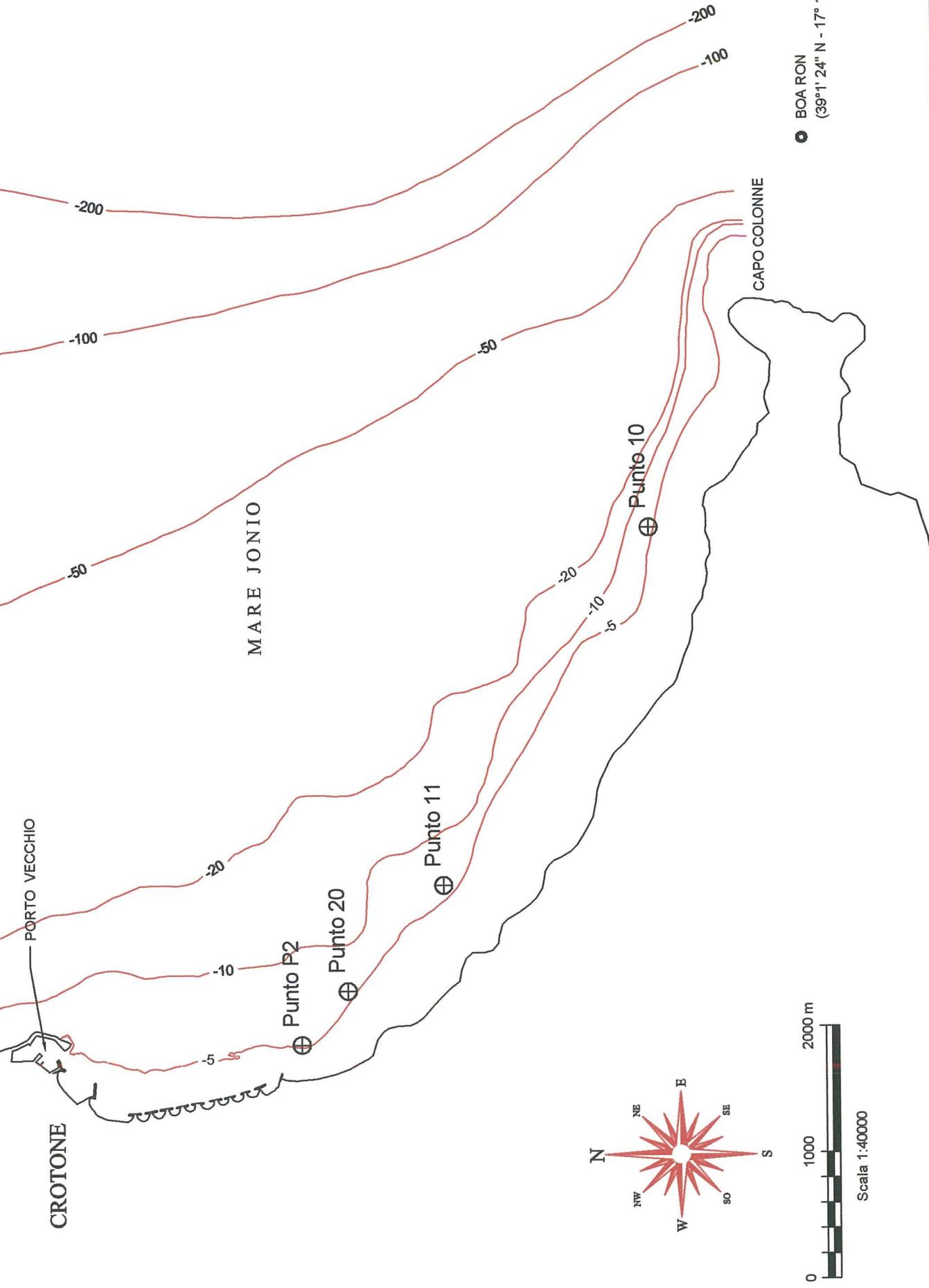
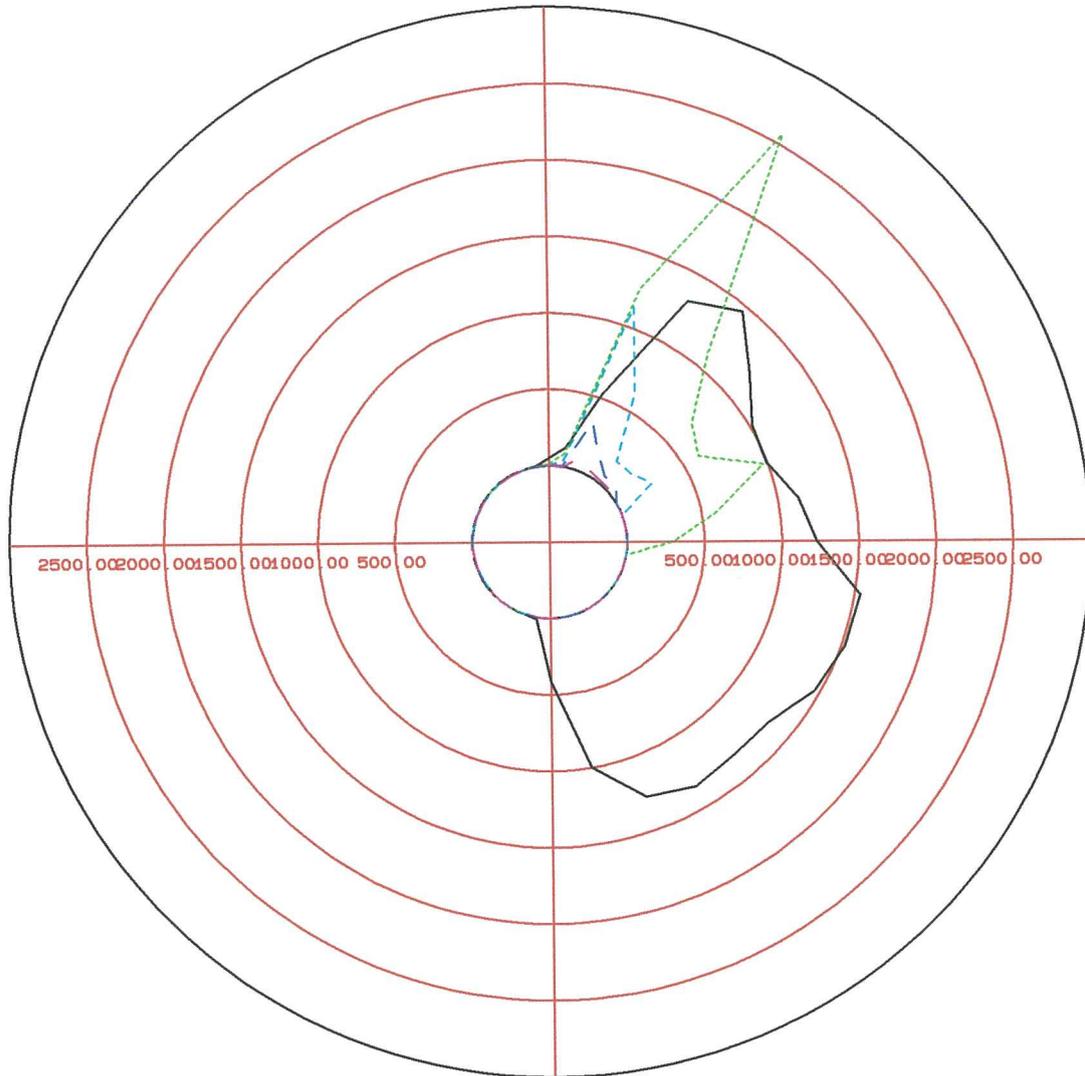


Fig. 3

# CROTONE PUNTO DI CALCOLO A RIVA 10

Distribuzione della frequenza % dei moti ondosi a riva  
Settore di traversia al largo  $355^{\circ}$  N -  $175^{\circ}$  N



—————	Hs tra 0.0 e 0.5 m
.....	Hs tra 0.5 e 1.0 m
- - - - -	Hs tra 1.0 e 1.5 m
- - - - -	Hs tra 1.5 e 2.0 m
- - - - -	Hs tra 2.0 e 2.5 m

Fig. 4a

# CROTONE PUNTO DI CALCOLO A RIVA 10

Distribuzione della frequenza % dei moti ondosi a riva  
Settore di traversia al largo  $355^\circ$  N -  $175^\circ$  N

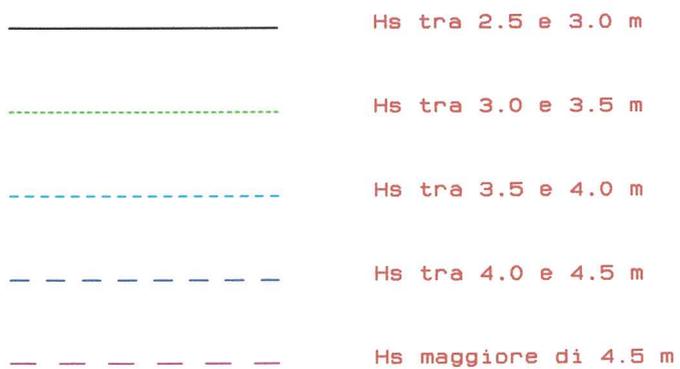
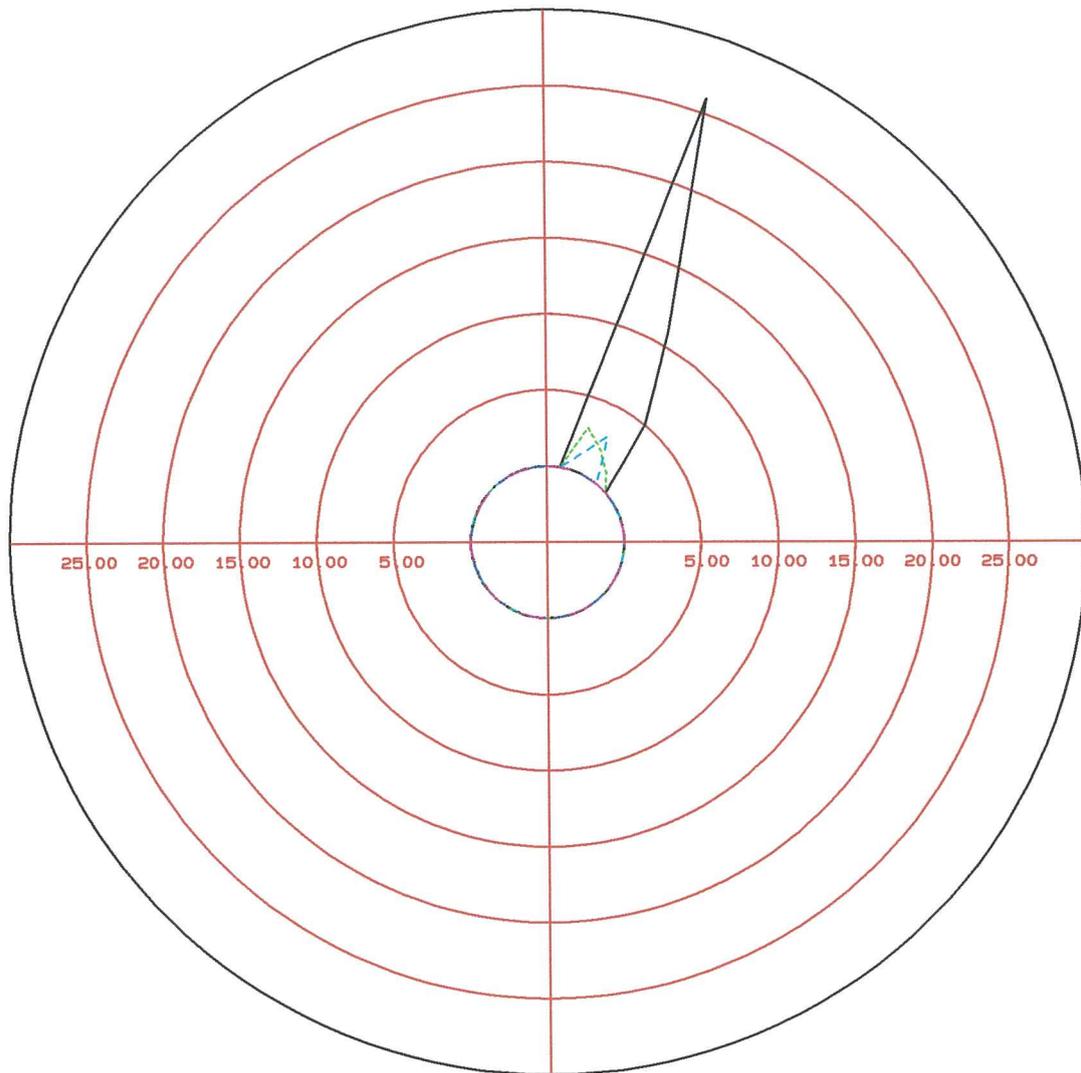


Fig. 4b

# CROTONE PUNTO DI CALCOLO A RIVA 11

Distribuzione della frequenza % dei moti ondosi a riva  
Settore di traversia al largo  $355^{\circ}$  N -  $175^{\circ}$  N

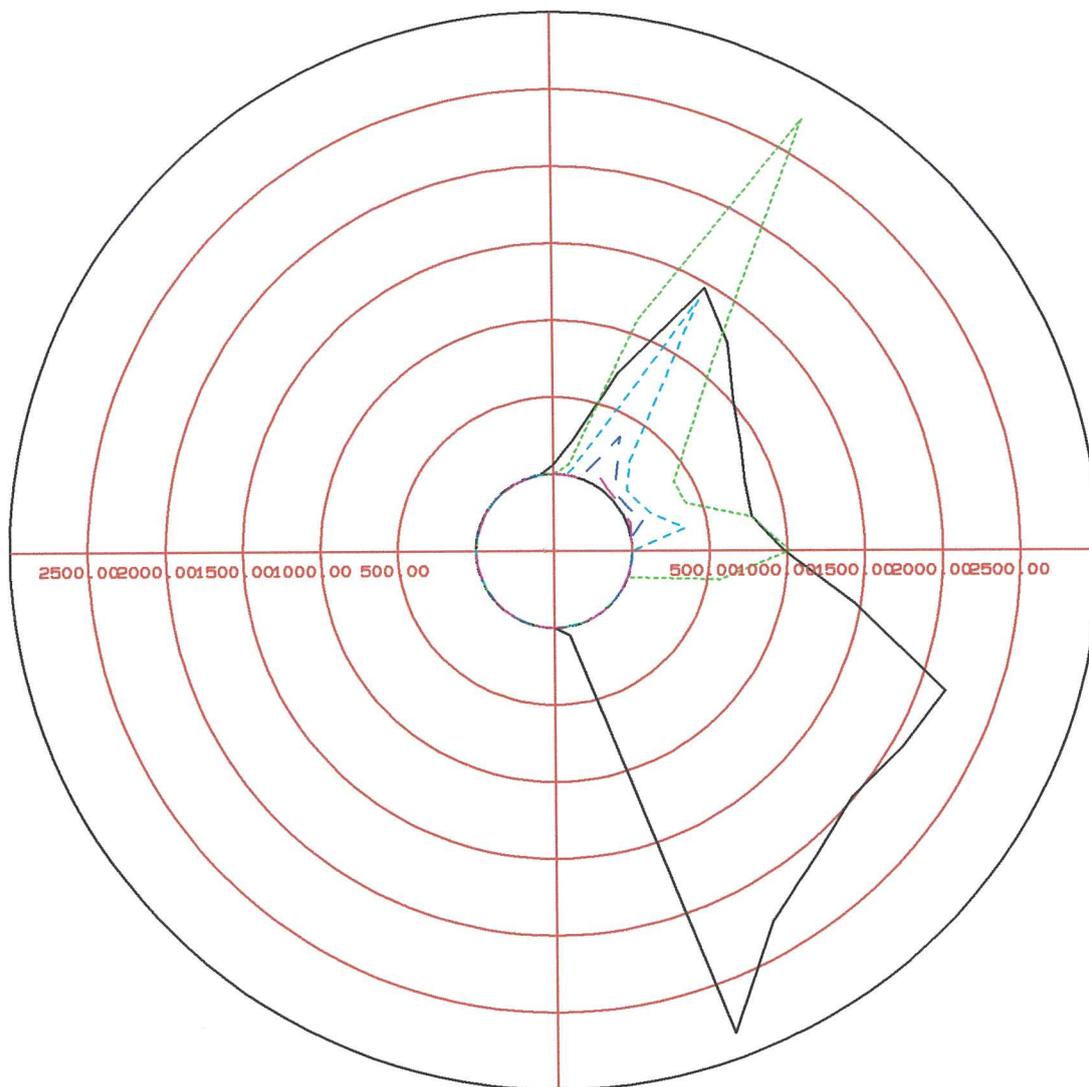


Fig. 5a

# CROTONE PUNTO DI CALCOLO A RIVA 11

Distribuzione della frequenza % dei moti ondosi a riva  
Settore di traversia al largo  $355^{\circ}$  N -  $175^{\circ}$  N

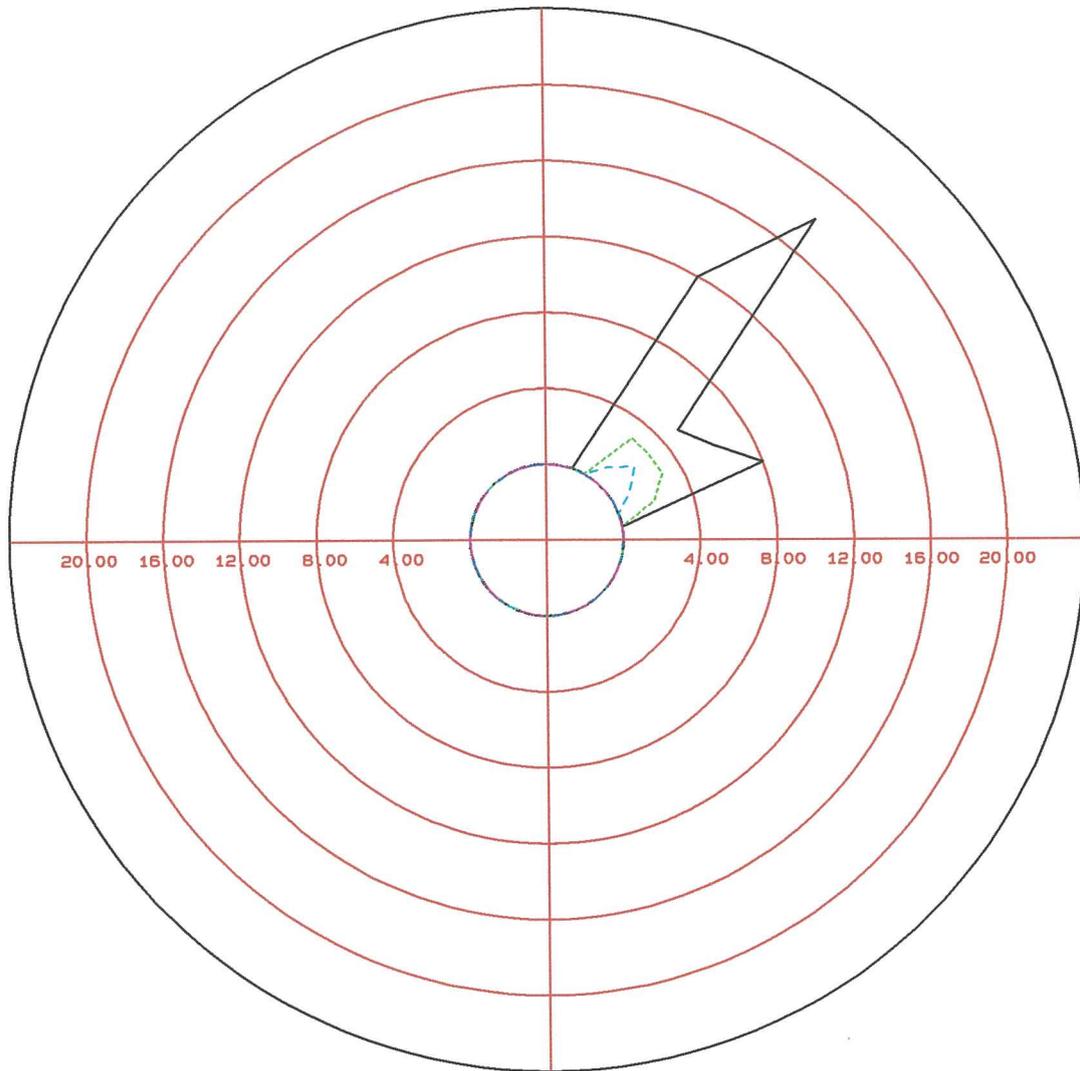


Fig. 5b

# CROTONE PUNTO DI CALCOLO A RIVA 20

Distribuzione della frequenza % dei moti ondosi a riva  
Settore di traversia al largo 355° N - 175° N

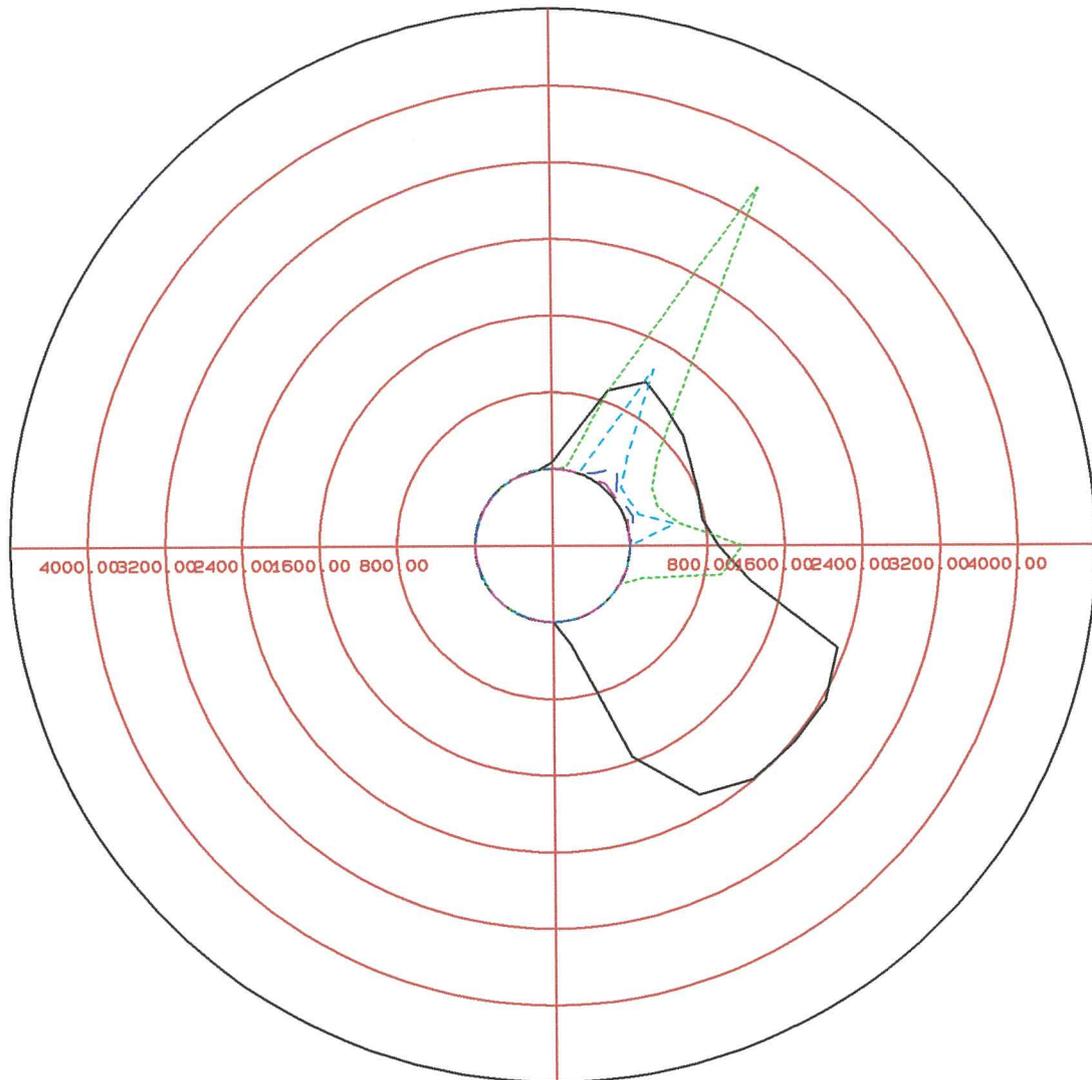


Fig. 6a

# CROTONE PUNTO DI CALCOLO A RIVA 20

Distribuzione della frequenza % dei moti ondosi a riva  
Settore di traversia al largo  $355^{\circ}$  N -  $175^{\circ}$  N

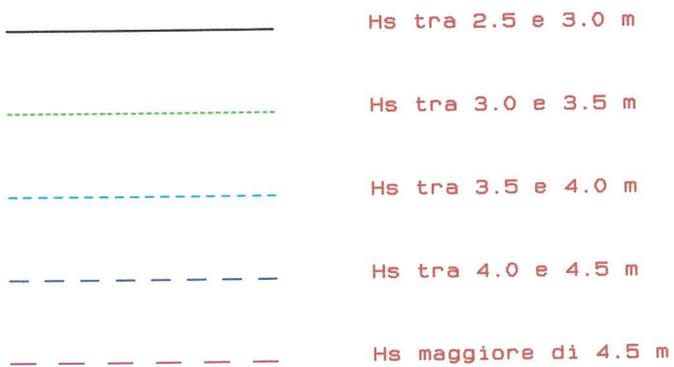
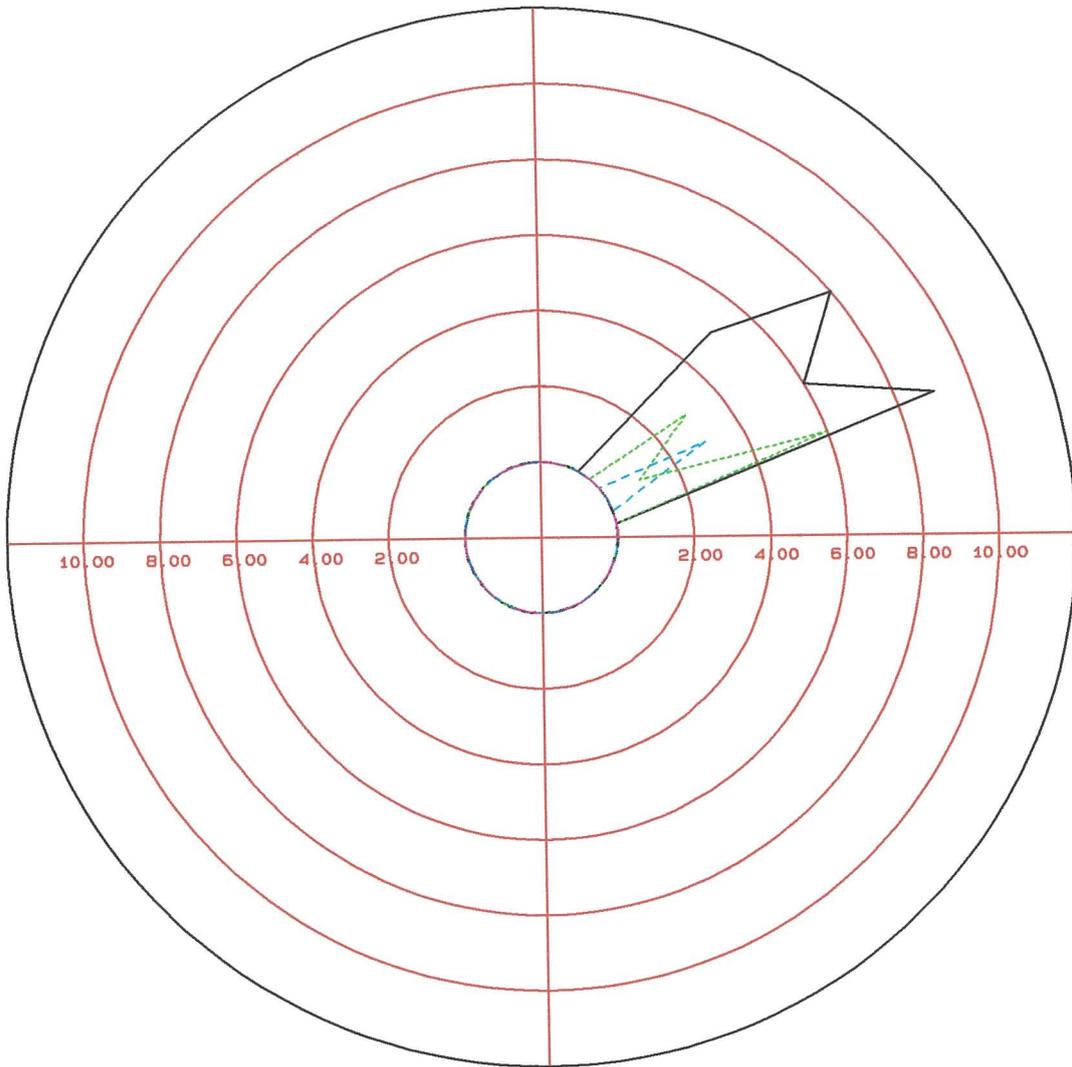


Fig. 6b

# CROTONE PUNTO DI CALCOLO A RIVA P2

Distribuzione della frequenza % dei moti ondosi a riva  
Settore di traversia 355° N - 175° N

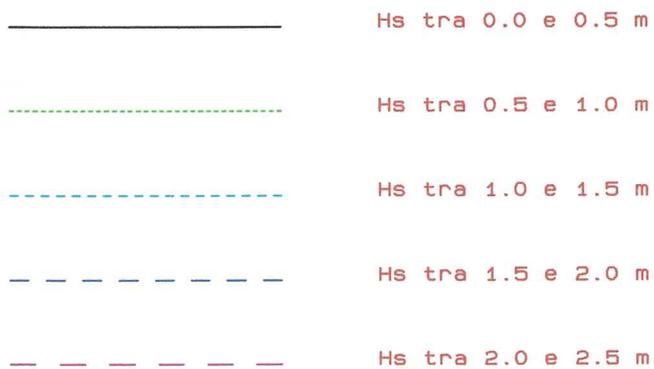
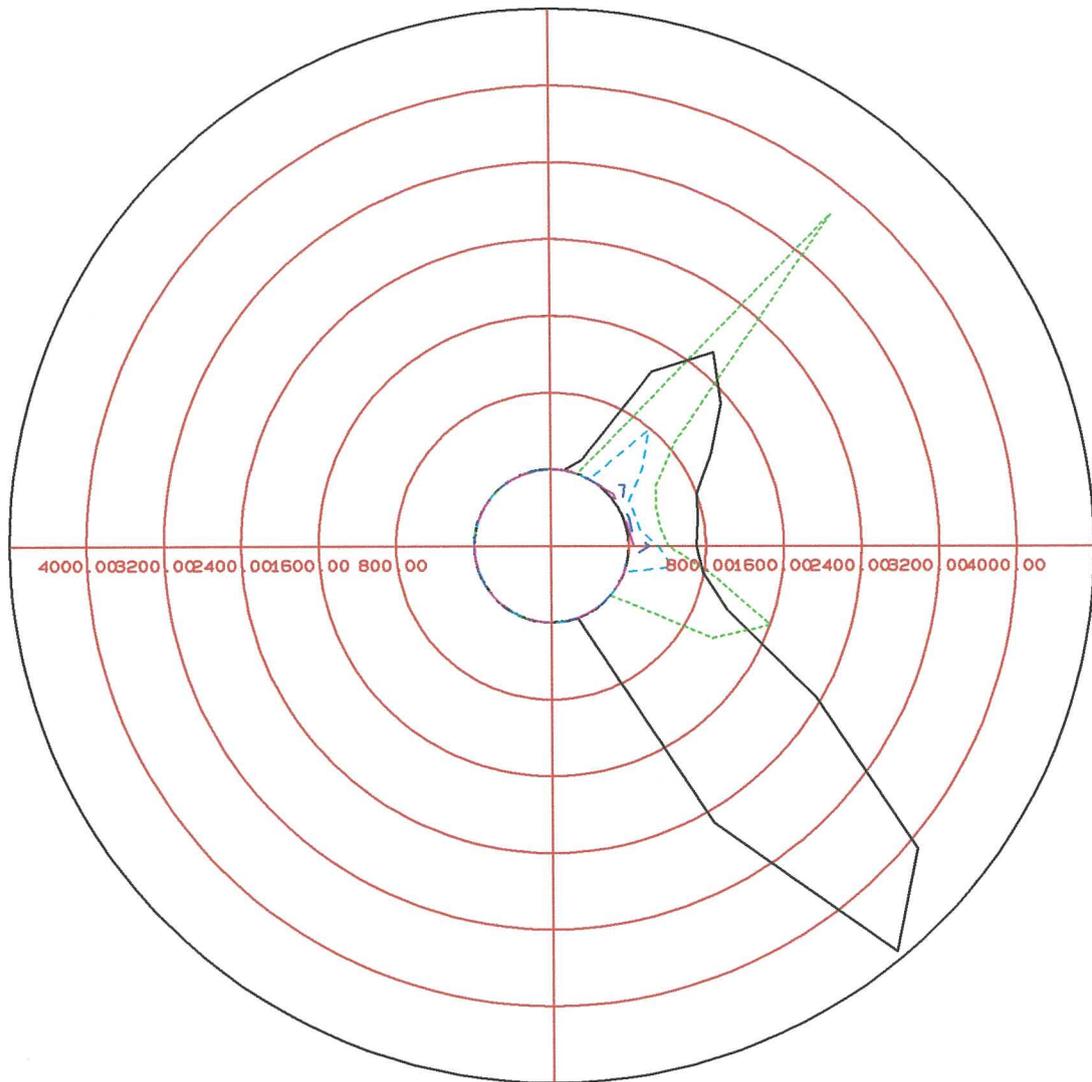


Fig. 7a

# CROTONE PUNTO DI CALCOLO A RIVA P2

Distribuzione della frequenza % dei moti ondosi a riva  
Settore di traversia 355° N - 175° N

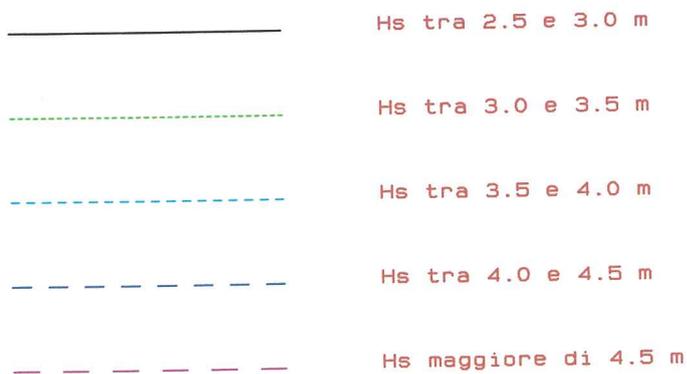
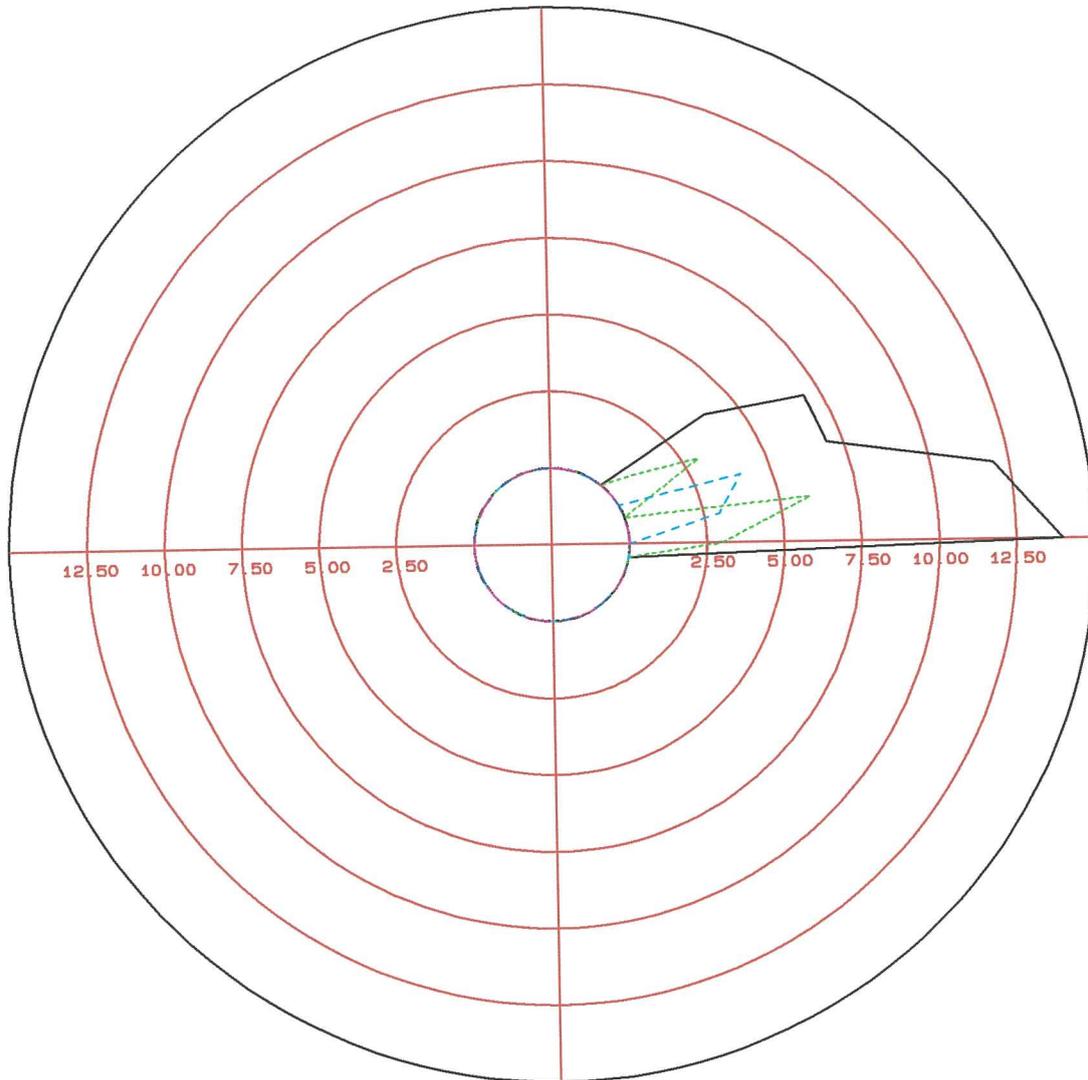


Fig. 7b

# RISULTANTI DELL'ENERGIA DEI MOTI ONDOSI A RIVA

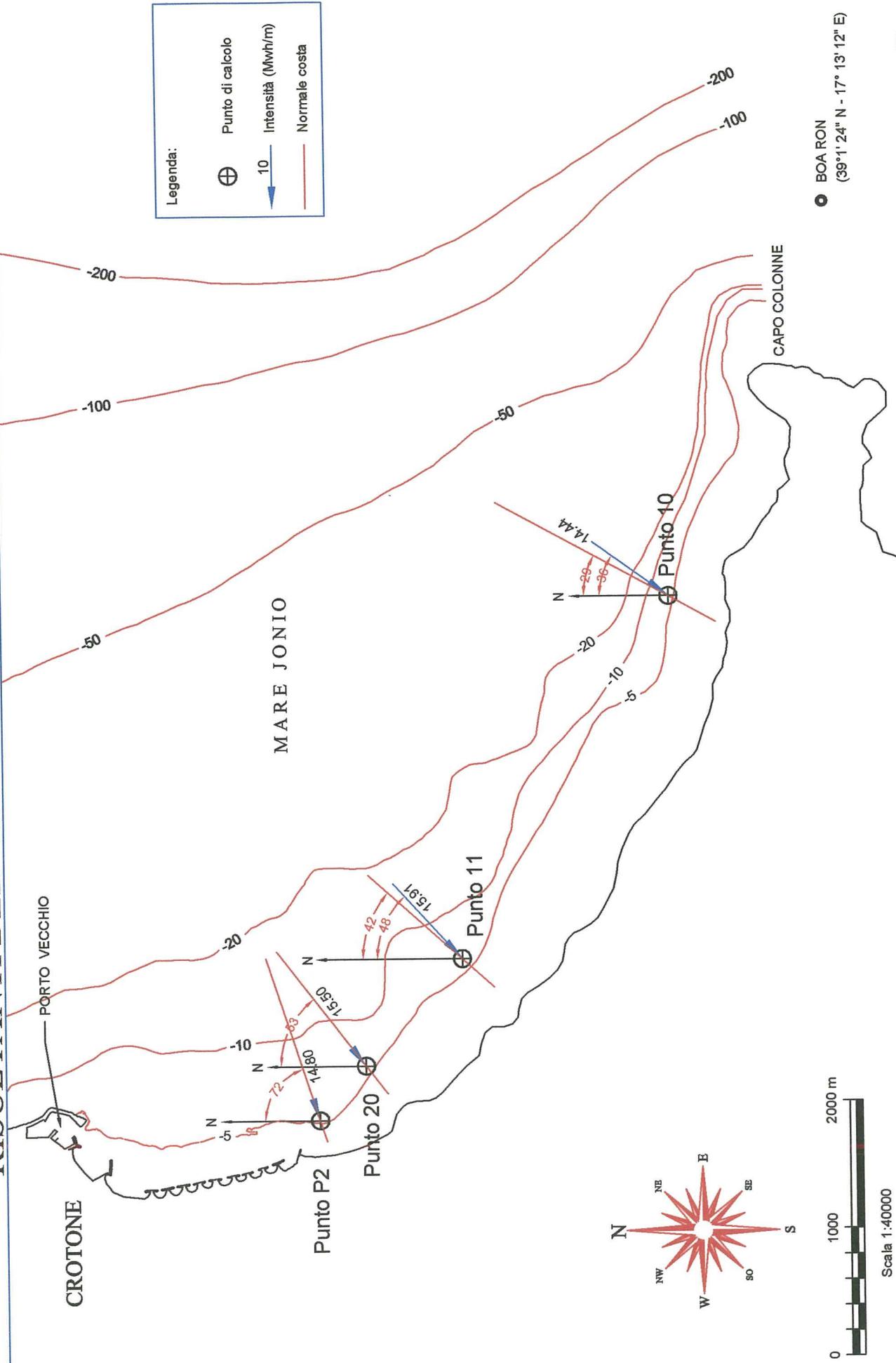


Fig. 8

# LITORALE PROSSIMO ALL' INTERVENTO

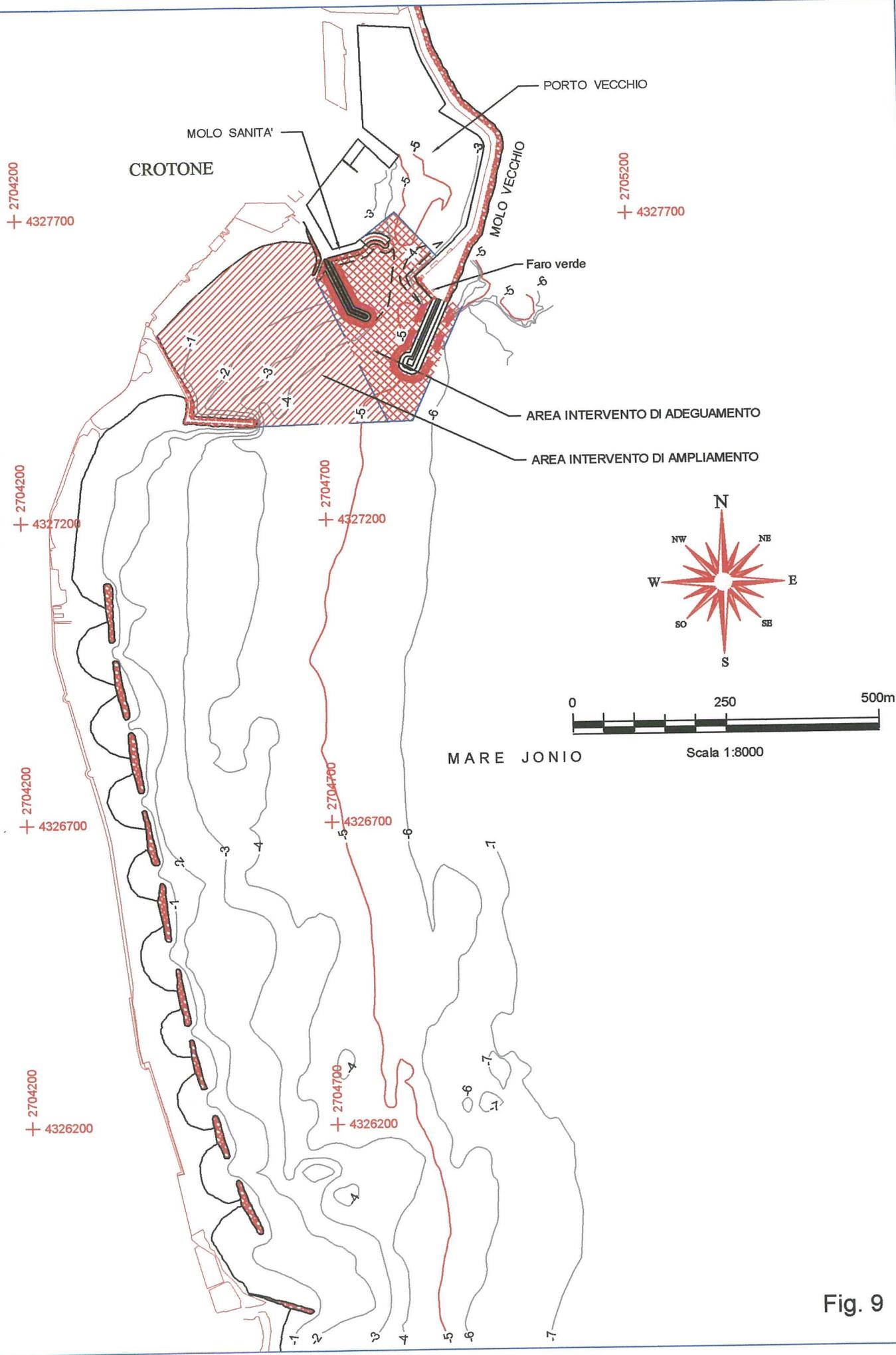


Fig. 9

# UBICAZIONE DEI PUNTI DI PRELIEVO DEI CAMPIONI DI SEDIMENTO

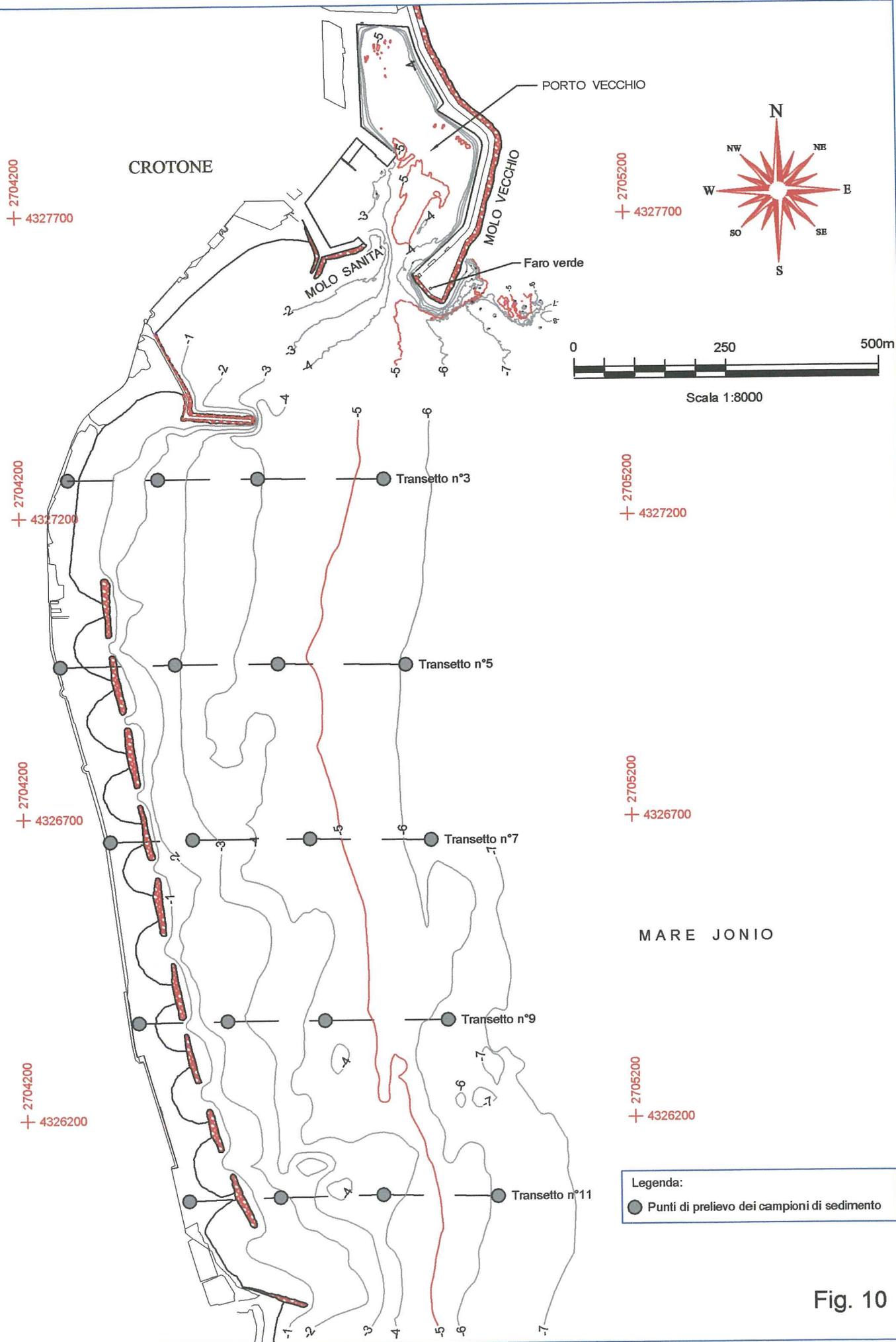
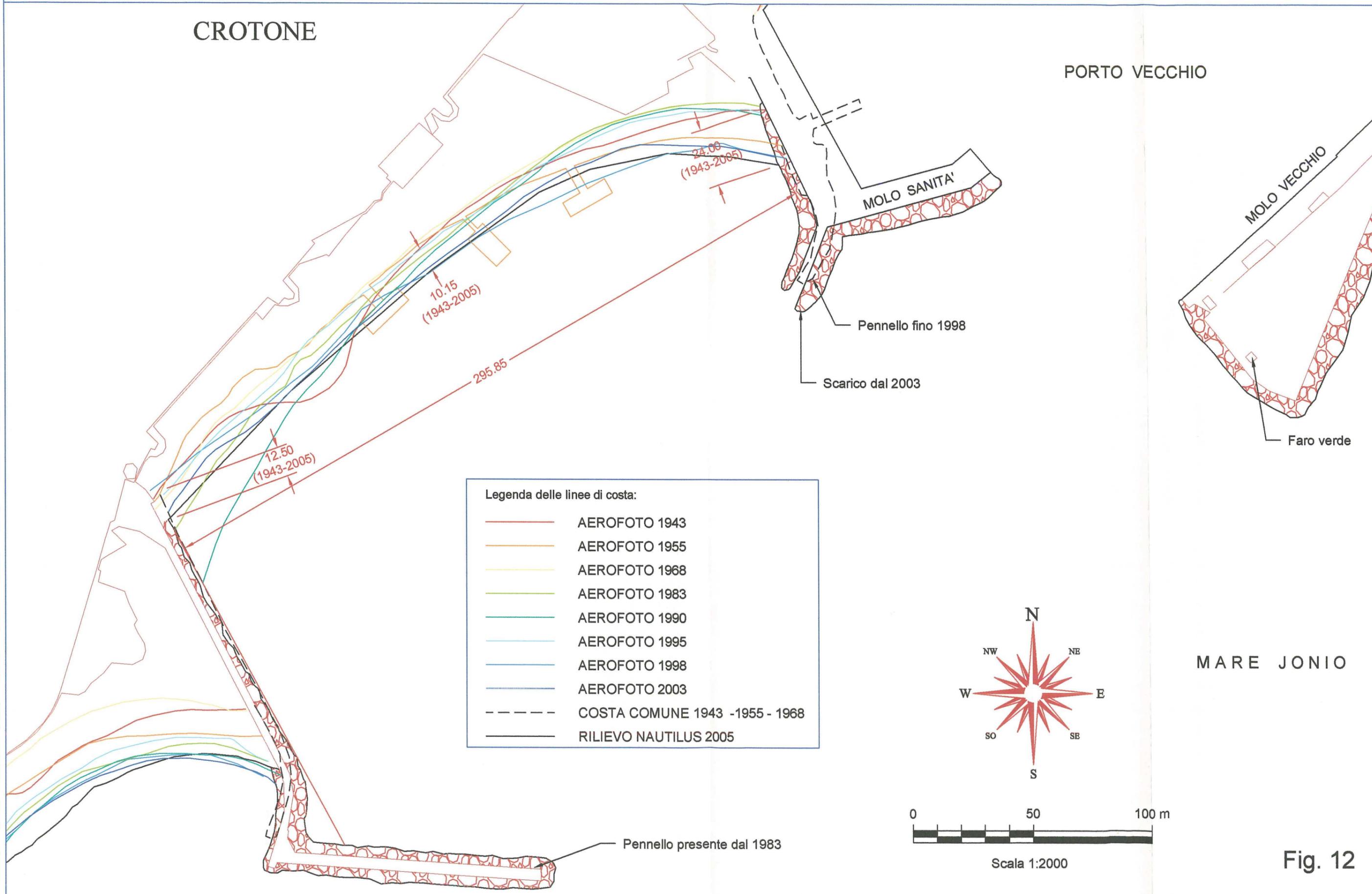


Fig. 10

# EVOLUZIONE DELLA SPIAGGIA ADIACENTE IL MOLO SANITA'

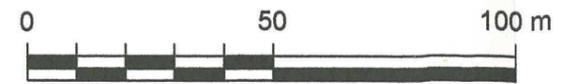
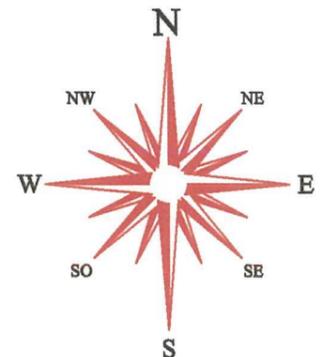
CROTONE

PORTO VECCHIO



Legenda delle linee di costa:

<span style="color: red;">—</span>	AEROFOTO 1943
<span style="color: orange;">—</span>	AEROFOTO 1955
<span style="color: yellow;">—</span>	AEROFOTO 1968
<span style="color: green;">—</span>	AEROFOTO 1983
<span style="color: teal;">—</span>	AEROFOTO 1990
<span style="color: lightblue;">—</span>	AEROFOTO 1995
<span style="color: blue;">—</span>	AEROFOTO 1998
<span style="color: darkblue;">—</span>	AEROFOTO 2003
- - -	COSTA COMUNE 1943 -1955 - 1968
<span style="color: black;">—</span>	RILIEVO NAUTILUS 2005



Scala 1:2000

MARE JONIO

Fig. 12

# EVOLUZIONE DELLA SPIAGGIA A SUD DEL PENNELLO CON PASSEGGIATA A MARE

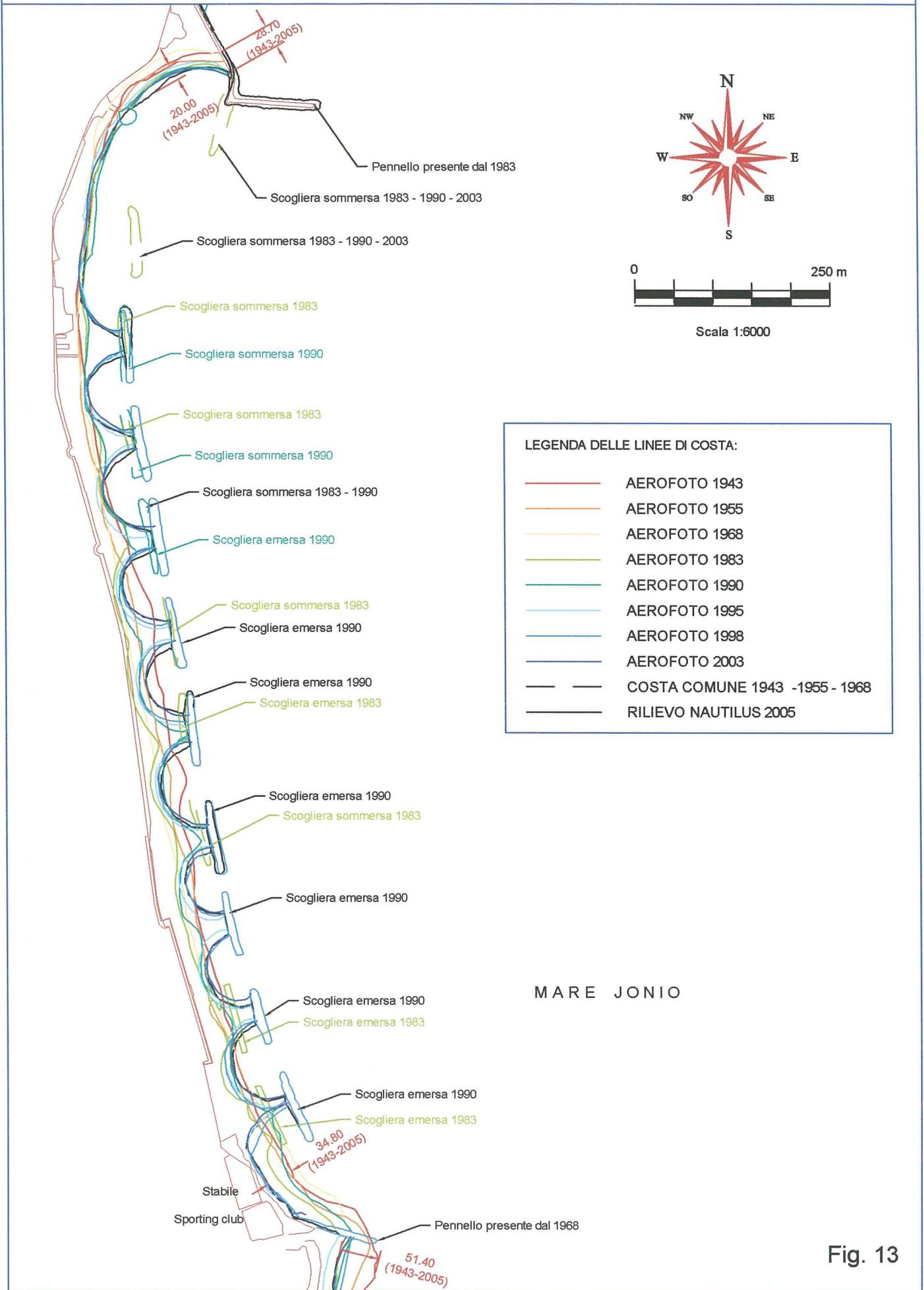


Fig. 13

# SOLUZIONE DI ADEGUAMENTO

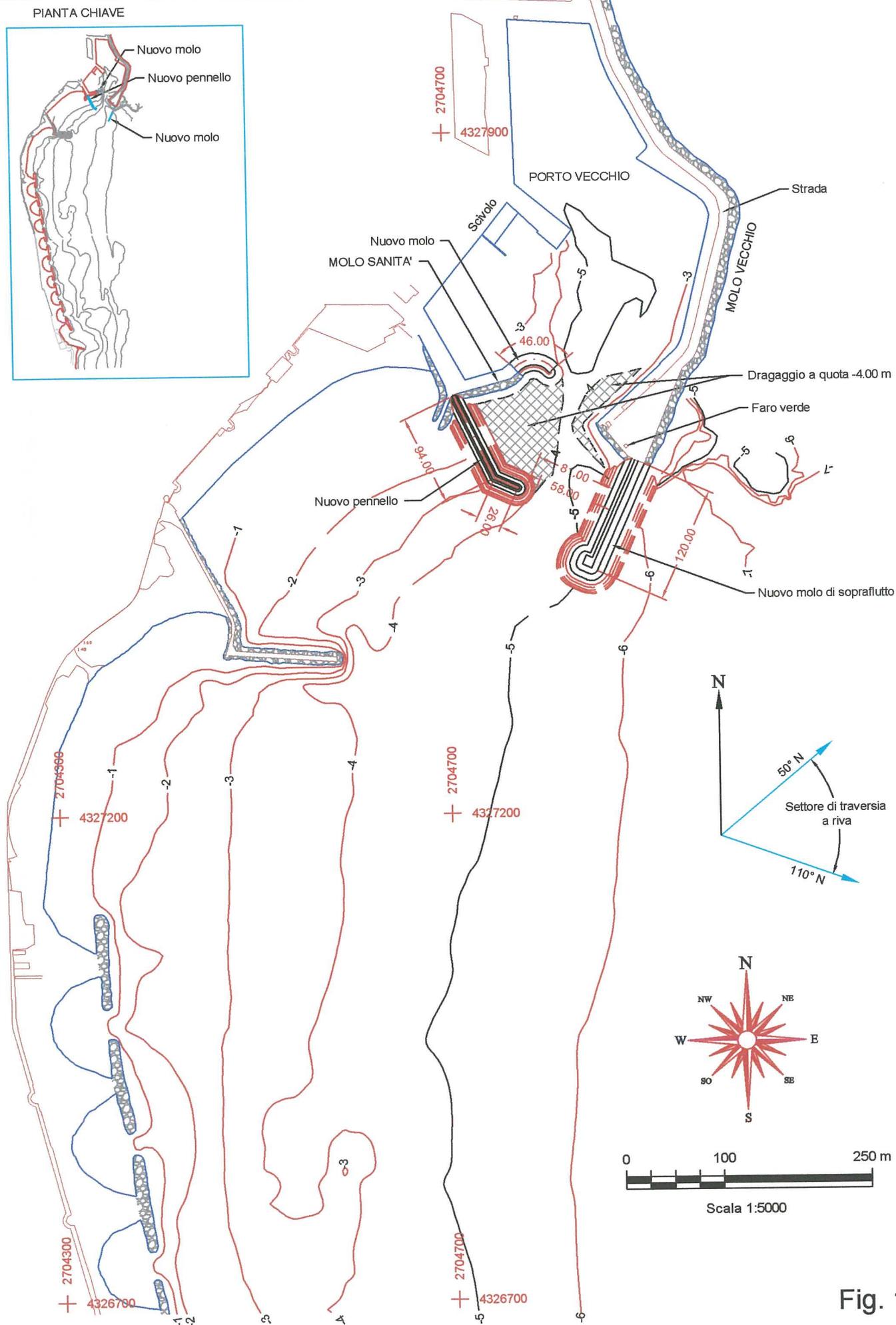


Fig. 14

# SOLUZIONE DI AMPLIAMENTO DEL PORTO VECCHIO

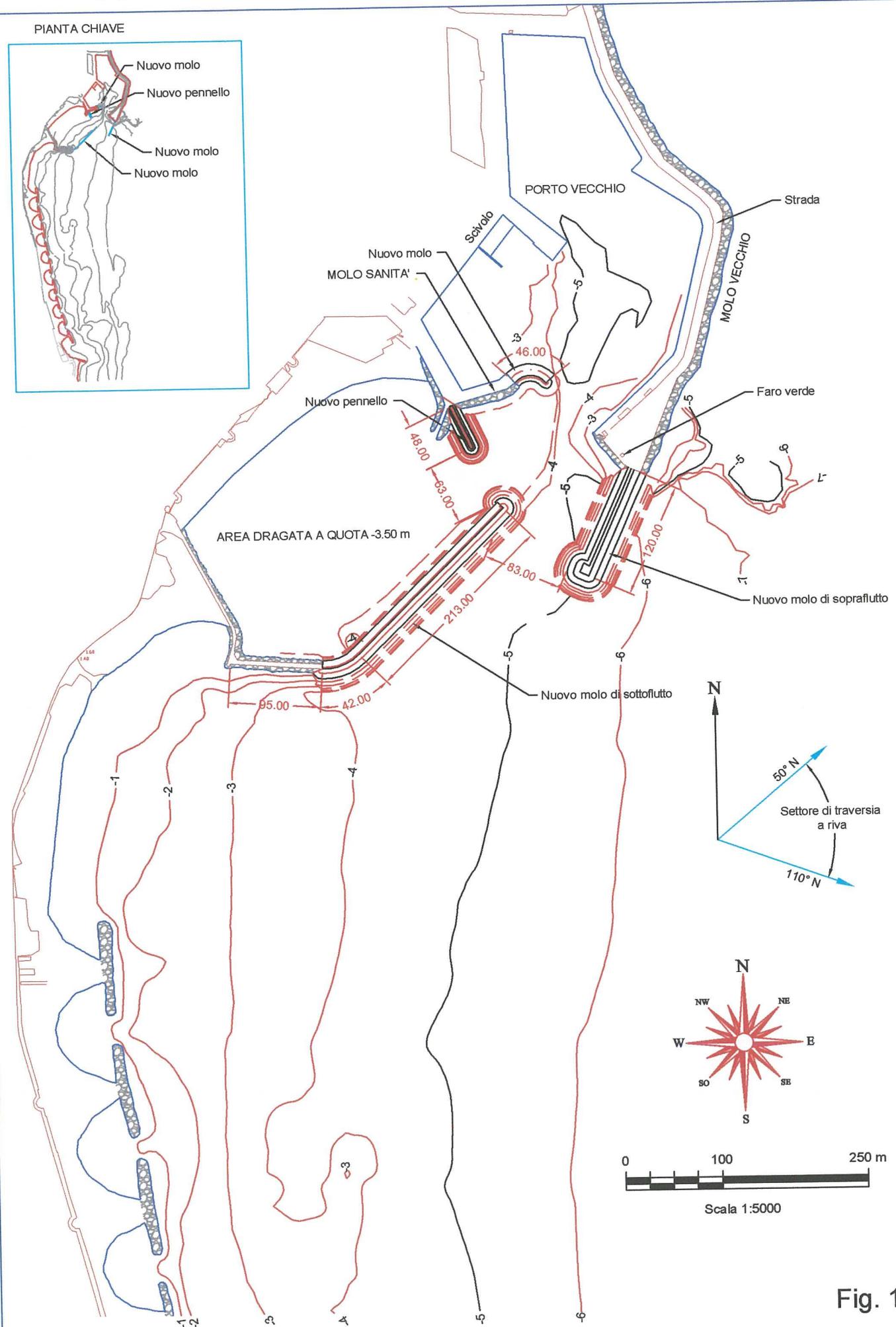
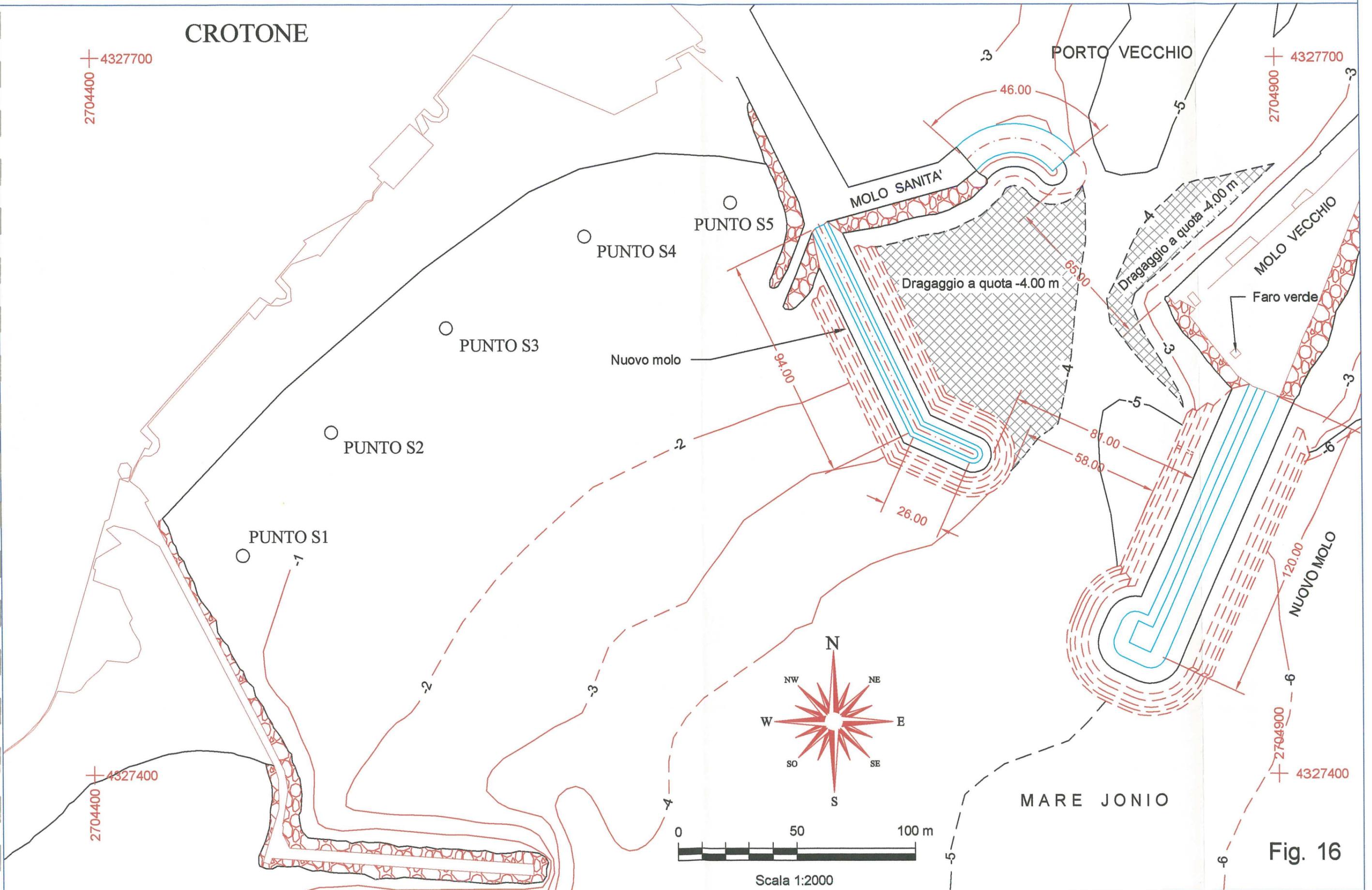
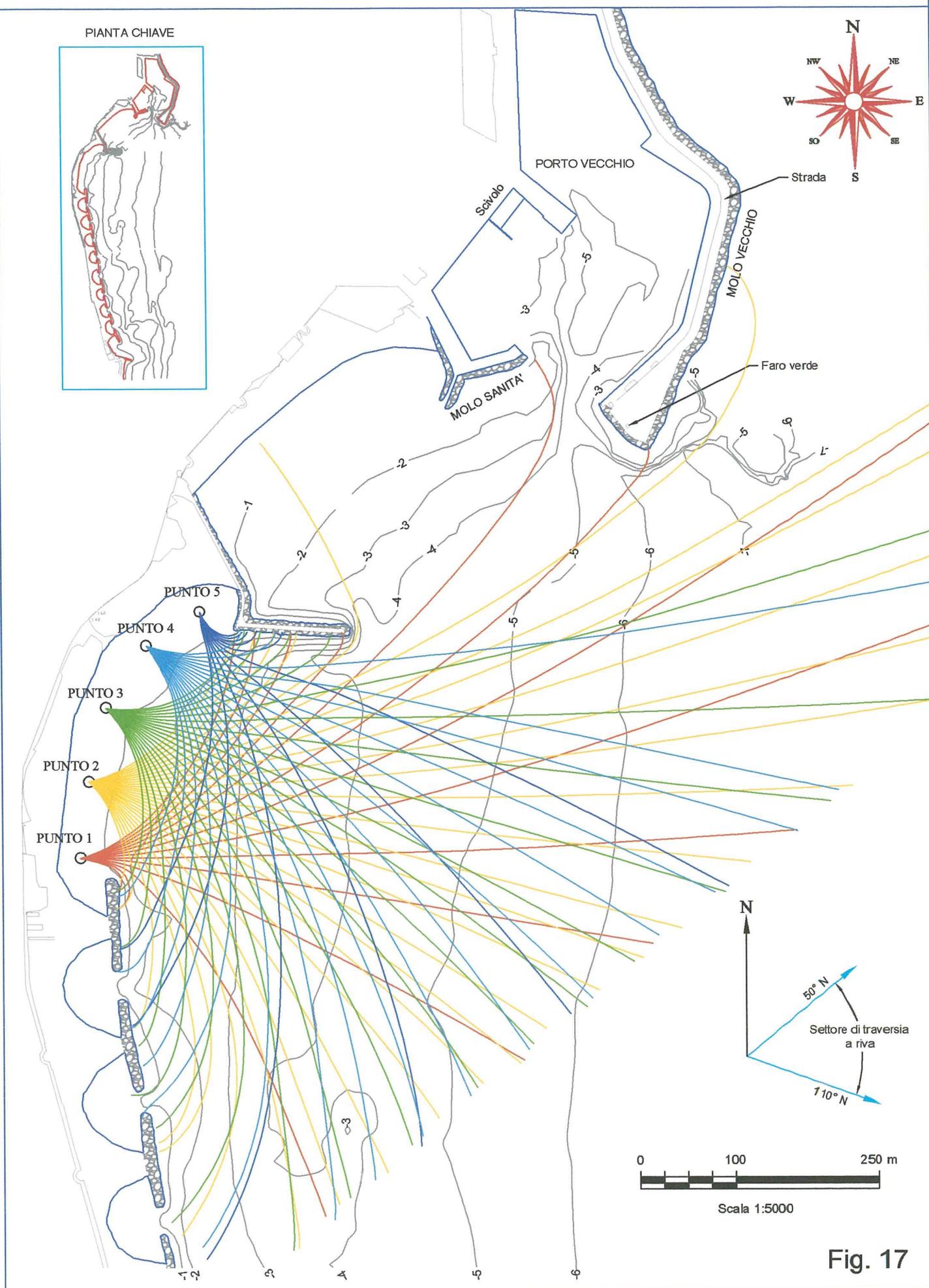


Fig. 15

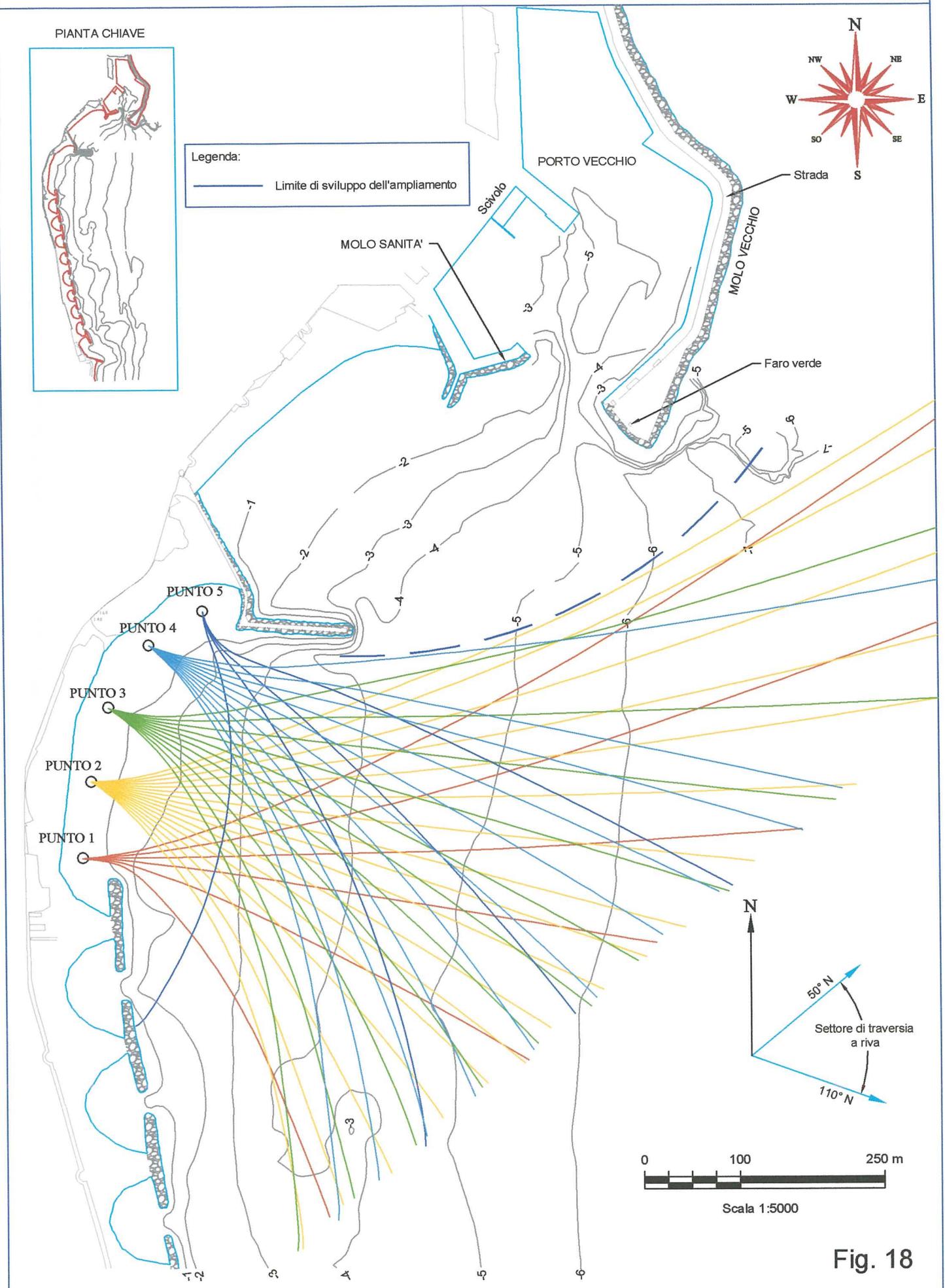
# INTERFERENZA DELL'ADEGUAMENTO DEL PORTO E LA SPIAGGIA ADIACENTE AL MOLO SANITA' - PUNTI DI CALCOLO



# INTERFERENZA DELL' INTERVENTO DI AMPLIAMENTO DEL PORTO E LA SPIAGGIA A SUD DEL PENNELLO - ANALISI DELLA RIFRAZIONE



# INTERFERENZA DELL' INTERVENTO DI AMPLIAMENTO DEL PORTO E LA SPIAGGIA SUD DEL PENNELLO - DEFINIZIONE DEI LIMITI PLANIMETRICI



# AMPLIAMENTO DEL PORTO E LIMITE DELL'AREA DI INTERFERENZA

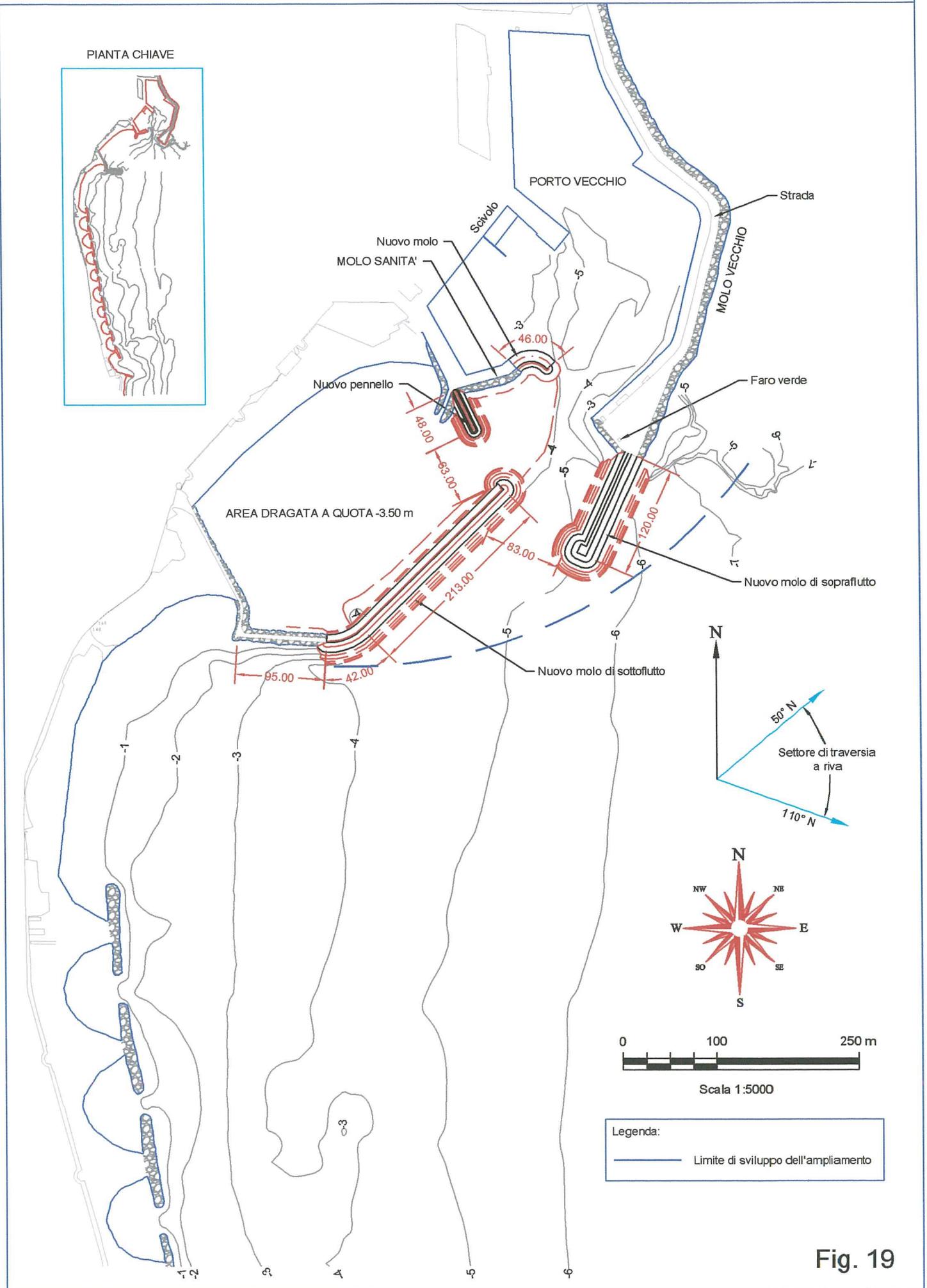


Fig. 19

# TABELLE

DIREZIONI DI PROVENIENZA A RIVA DEI MOTI ONDOSI NEL PUNTO 10

Direzione a riva (°N)	Altezze d'onda al largo (m)									
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
10	20.69	19.43	18.83	19.17	19.79	20.36	21.05	21.85	22.69	23.34
20	25.16	23.05	21.81	21.69	21.98	22.34	22.88	23.54	24.28	24.84
30	30.03	26.89	24.95	24.30	24.23	24.36	24.72	25.24	25.86	26.33
40	35.21	30.87	28.20	26.99	26.55	26.42	26.59	26.96	27.45	27.82
50	40.61	34.97	31.56	29.76	28.94	28.56	28.53	28.74	29.07	29.34
60	46.21	39.20	35.07	32.65	31.45	30.79	30.56	30.59	30.74	30.91
70	52.01	43.57	38.74	35.67	34.10	33.15	32.71	32.54	32.49	32.56
80	57.99	48.05	42.55	38.82	36.88	35.65	34.98	34.60	34.34	34.28
90	64.07	52.51	46.39	42.02	39.72	38.21	37.32	36.73	36.25	36.04
100	70.11	56.69	50.02	45.02	42.41	40.66	39.57	38.77	38.09	37.74
110	76.24	60.56	53.40	47.75	44.88	42.93	41.66	40.68	39.84	39.35
120	82.71	64.21	56.61	50.19	47.11	45.00	43.59	42.47	41.48	40.86
130	89.82	67.70	59.71	52.33	49.08	46.85	45.33	44.08	42.98	42.23
140	97.88	71.14	62.83	54.11	50.76	48.39	46.80	45.45	44.27	43.39
150	107.13	74.70	66.27	55.45	52.11	49.61	48.01	46.57	45.33	44.37
160	117.44	78.55	70.67	56.20	53.11	50.43	48.89	47.32	46.07	45.08
170	127.92	82.60	77.43	56.06	53.63	50.84	49.38	47.52	46.30	45.31
180	136.95	86.14	89.64	54.62	53.99	51.18	49.86	47.51	46.33	45.30
190	143.11	88.42	110.36	52.17	54.75	51.73	50.58	47.47	46.36	45.29
200	146.67	90.06	131.44	50.83	56.24	52.53	51.80	47.44	46.38	45.31
210	149.15	91.19	149.74	50.12	58.13	53.63	53.67	47.36	46.32	45.36
220	151.33	92.23	157.57	50.00	59.91	55.67	56.58	47.10	46.24	45.39
230	153.29	94.23	160.40	50.00	61.22	60.87	60.25	46.67	46.12	45.27
240	155.12	102.48	163.08	50.00	63.09	69.87	65.64	46.00	46.00	44.95
250	157.48	153.67	165.67	250.00	64.00	70.00	66.00	250.00	46.00	44.00
260	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00
270	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00
280	353.10	355.39	357.90	0.41	3.10	5.24	7.11	9.34	8.68	13.91
290	355.60	357.55	359.78	2.25	4.70	6.63	8.37	10.50	11.17	13.91
300	358.15	359.83	1.80	4.14	6.38	8.15	9.77	11.62	12.61	14.59
310	.79	2.19	3.91	6.05	8.09	9.68	11.15	12.79	13.88	15.47
320	3.55	4.66	6.09	8.01	9.84	11.27	12.61	14.07	15.19	16.53
330	6.47	7.26	8.39	10.07	11.69	12.95	14.17	15.49	16.61	17.77
340	9.59	10.01	10.81	12.21	13.60	14.70	15.79	16.98	18.05	19.06
350	12.96	12.94	13.34	14.44	15.59	16.52	17.47	18.51	19.52	20.39
360	16.64	16.06	16.01	16.76	17.66	18.42	19.24	20.16	21.09	21.84

Tab. 1

DIREZIONI DI PROVENIENZA A RIVA DEI MOTI ONDOSI NEL PUNTO 11

Direzione a riva (°N)	Altezze d'onda al largo (m)									
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
10	21.43	25.98	29.82	33.21	36.07	38.37	40.45	41.71	42.93	43.76
20	26.07	29.92	33.10	35.99	38.50	40.58	42.46	43.57	44.67	45.42
30	31.28	34.22	36.66	39.00	41.10	42.90	44.54	45.50	46.45	47.11
40	37.09	38.84	40.47	42.21	43.87	45.34	46.69	47.49	48.28	48.83
50	43.37	43.67	44.44	45.55	46.75	47.88	48.92	49.54	50.14	50.58
60	49.95	48.60	48.51	49.00	49.71	50.49	51.19	51.64	52.04	52.35
70	56.69	53.60	52.66	52.53	52.73	53.15	53.52	53.78	53.98	54.15
80	63.44	58.59	56.85	56.11	55.78	55.84	55.88	55.94	55.94	55.96
90	70.02	63.47	60.99	59.65	58.81	58.50	58.23	58.09	57.91	57.77
100	76.23	68.01	64.90	62.98	61.66	61.02	60.49	60.14	59.83	59.53
110	82.15	72.13	68.45	65.95	64.21	63.30	62.56	62.04	61.64	61.19
120	87.92	75.89	71.65	68.54	66.47	65.33	64.44	63.77	63.32	62.74
130	93.73	79.41	74.65	70.90	68.52	67.19	66.17	65.37	64.89	64.18
140	99.80	82.83	77.61	73.08	70.41	68.88	67.76	66.83	66.33	65.52
150	106.39	86.26	80.60	75.08	72.11	70.42	69.23	68.17	67.67	66.77
160	113.81	89.86	83.70	76.79	73.48	71.66	70.43	69.24	68.71	67.75
170	122.35	94.05	87.15	78.07	74.36	72.49	71.26	69.93	69.42	68.40
180	131.93	100.25	91.69	78.92	74.72	72.92	71.74	70.27	69.85	68.77
190	141.64	112.90	98.09	79.32	74.56	73.03	71.99	70.36	70.12	68.97
200	149.56	138.85	103.60	78.74	74.00	72.91	72.14	70.25	70.31	69.08
210	154.44	154.54	104.00	77.49	73.66	72.63	72.29	70.08	70.47	69.20
220	157.57	157.57	102.11	74.21	73.48	72.18	72.10	69.85	70.65	69.37
230	160.40	160.40	100.00	250.00	250.00	250.00	70.84	69.68	70.73	69.63
240	163.08	163.08	97.62	250.00	250.00	250.00	70.00	250.00	70.78	69.93
250	165.67	165.67	94.69	250.00	250.00	250.00	70.00	250.00	70.74	70.00
260	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00
270	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00
280	353.60	357.45	7.50	12.02	20.61	30.09	29.64	34.48	37.24	38.08
290	356.11	1.69	9.03	14.08	21.73	27.53	28.73	32.97	35.02	35.70
300	358.66	4.79	11.49	17.19	23.32	27.68	29.85	32.93	34.62	35.50
310	1.30	7.70	14.21	19.81	25.00	28.71	31.16	33.57	35.17	36.15
320	4.07	10.51	16.74	22.03	26.61	29.94	32.47	34.55	36.14	37.17
330	7.00	13.26	19.10	24.06	28.23	31.32	33.86	35.72	37.28	38.33
340	10.13	16.08	21.47	26.07	29.89	32.78	35.25	36.94	37.43	39.45
350	13.54	19.09	24.01	28.23	31.73	34.43	36.80	38.33	39.75	40.72
360	17.28	22.39	26.79	30.61	33.80	36.30	38.54	39.94	41.27	42.17

Tab. 2

DIREZIONI DI PROVENIENZA A RIVA DEI MOTI ONDOSI NEL PUNTO 20

Direzione a riva (°N)	Altezze d'onda al largo (m)									
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
10	22.69	30.51	36.07	40.04	42.62	44.27	45.58	46.67	47.49	48.31
20	27.25	34.34	39.34	42.88	45.17	46.62	47.75	48.68	49.36	50.03
30	32.36	38.40	42.70	45.75	47.76	49.06	50.05	50.89	51.50	52.09
40	38.09	42.71	46.12	48.62	50.31	51.45	52.32	53.07	53.62	54.16
50	44.41	47.22	49.58	51.47	52.80	53.75	54.50	55.16	55.65	56.14
60	51.13	51.86	53.05	54.28	55.23	55.97	56.59	57.16	57.57	58.00
70	58.06	56.56	56.53	57.07	57.62	58.13	58.60	59.06	59.37	59.74
80	65.02	61.30	60.04	59.85	59.99	60.25	60.55	60.89	61.09	61.38
90	71.81	66.01	63.57	62.64	62.34	62.32	62.45	62.64	62.72	62.92
100	78.22	70.55	67.06	65.39	64.66	64.33	64.26	64.29	64.25	64.35
110	84.23	74.83	70.43	68.05	66.89	66.25	65.96	65.81	65.65	65.64
120	89.97	78.85	73.65	70.58	69.01	68.03	67.53	67.19	66.92	66.79
130	95.58	82.64	76.74	72.97	70.99	69.67	68.97	68.43	68.07	67.80
140	101.23	86.24	79.73	75.26	72.86	71.22	70.32	69.54	69.15	68.70
150	107.13	89.74	82.71	77.56	74.75	72.81	71.72	70.64	70.26	69.59
160	113.54	93.28	85.87	80.12	76.86	74.72	73.41	71.89	71.59	70.60
170	120.78	96.96	89.14	82.99	79.24	77.44	75.86	73.66	73.49	72.11
180	129.08	101.00	91.77	84.92	80.61	80.69	79.01	76.08	75.83	74.56
190	138.30	106.68	94.08	85.44	80.02	81.78	80.35	76.78	76.71	76.31
200	147.32	117.96	96.40	85.62	78.89	82.79	81.51	76.43	76.69	76.15
210	153.97	141.12	98.23	82.91	78.07	84.26	83.21	76.08	76.70	76.01
220	157.57	157.39	97.25	78.01	78.00	89.99	84.98	76.00	76.69	76.00
230	160.40	160.40	98.06	250.00	78.00	92.00	86.79	250.00	76.63	76.00
240	163.08	163.08	140.00	250.00	78.00	250.00	87.96	250.00	76.50	76.00
250	165.67	165.67	250.00	250.00	250.00	250.00	88.00	250.00	76.21	250.00
260	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00
270	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00
280	354.42	356.28	5.66	27.00	29.00	29.91	36.00	39.93	42.61	43.89
290	357.21	4.25	13.25	25.15	30.82	33.72	36.95	39.12	40.88	43.17
300	359.87	8.18	16.50	25.74	30.94	34.01	37.00	39.24	40.95	42.85
310	2.56	11.36	19.37	27.25	32.02	34.95	37.72	39.84	41.40	43.03
320	5.36	14.35	22.07	29.03	33.47	36.25	38.73	40.69	42.13	43.60
330	8.32	17.35	24.76	31.03	35.13	37.73	39.96	41.75	43.08	44.40
340	11.48	20.43	27.48	33.14	36.87	39.26	41.25	42.87	44.08	45.28
350	14.88	23.59	30.17	35.25	38.62	40.79	42.57	44.04	45.15	46.23
360	18.59	26.92	32.97	37.44	40.41	42.35	43.92	45.23	46.22	47.19

Tab. 3

DIREZIONI DI PROVENIENZA A RIVA DEI MOTI ONDOSI NEL PUNTO P2

Direzione a riva (°N)	Altezze d'onda al largo (m)									
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
10	32.52	41.14	46.20	50.21	53.01	55.01	56.54	57.97	59.73	60.74
20	36.69	44.46	49.01	52.61	55.16	57.01	58.48	59.87	61.52	62.48
30	41.21	48.09	52.09	55.26	57.54	59.22	60.61	61.94	63.46	64.35
40	46.17	52.09	55.46	58.14	60.11	61.60	62.89	64.11	65.45	66.25
50	51.66	56.46	59.12	61.24	62.86	64.12	65.27	66.34	67.46	68.14
60	57.72	61.09	62.93	64.47	65.73	66.74	67.69	68.59	69.45	70.01
70	64.21	65.86	66.83	67.78	68.67	69.39	70.13	70.82	71.42	71.83
80	70.97	70.71	70.78	71.13	71.64	72.06	72.55	73.02	73.35	73.62
90	77.84	75.58	74.75	74.51	74.61	74.71	74.91	75.15	75.24	75.37
100	84.66	80.40	78.67	77.86	77.53	77.27	77.17	77.04	77.04	77.05
110	91.26	85.09	82.48	81.08	80.31	79.67	79.28	79.06	78.74	78.66
120	97.44	89.51	86.06	84.08	82.85	81.85	81.22	80.80	80.32	80.19
130	103.17	93.60	89.33	86.78	85.13	83.82	83.01	82.44	81.81	81.66
140	108.54	97.40	92.33	89.26	87.23	85.66	84.73	84.00	83.24	83.10
150	113.64	101.02	95.19	91.66	89.28	87.46	86.44	85.56	84.70	84.58
160	118.63	104.59	98.06	94.10	91.36	89.31	88.26	87.21	86.26	86.17
170	123.63	108.24	101.01	96.61	93.42	91.08	90.05	88.77	87.74	87.64
180	128.81	112.02	103.96	98.92	95.04	92.30	91.34	89.73	88.62	88.49
190	134.38	116.16	107.18	101.29	96.31	93.00	92.29	90.20	88.97	88.87
200	140.53	120.86	111.25	104.33	97.53	93.38	93.34	90.44	89.04	89.01
210	147.23	125.51	116.28	108.50	98.61	93.16	94.67	90.49	88.94	89.02
220	153.67	127.71	121.89	111.63	100.96	92.91	96.65	90.42	88.82	88.93
230	158.41	128.44	134.25	111.48	101.70	92.65	100.04	90.17	88.75	88.91
240	162.18	129.52	156.09	110.38	250.00	90.28	104.22	89.33	88.07	89.05
250	165.56	136.72	164.18	250.00	250.00	250.00	106.00	250.00	88.00	89.05
260	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00
270	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00
280	352.42	15.58	36.14	28.00	44.35	54.59	48.65	52.95	54.18	58.71
290	358.34	20.10	32.00	35.70	44.36	48.36	49.22	52.21	54.13	57.42
300	2.74	22.70	32.08	37.58	43.75	47.83	49.72	51.94	54.16	56.53
310	8.12	24.99	33.14	39.07	44.41	48.22	50.29	52.18	54.34	56.29
320	12.98	27.39	34.92	40.90	45.64	48.99	50.99	52.70	54.78	56.44
330	17.21	29.96	37.06	42.78	46.96	49.91	51.80	53.44	55.49	56.93
340	21.09	32.62	39.25	44.56	48.32	50.97	52.76	54.35	56.35	57.65
350	24.83	35.32	41.43	46.29	49.68	52.09	53.78	55.31	57.24	58.43
360	28.60	38.12	43.69	48.09	51.17	53.36	54.96	56.43	58.27	59.36

Tab. 4

ALTEZZA DELLE ONDE A RIVA NEL PUNTO 10

Direzione a riva (°N)	Altezze d'onda al largo (m)									
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
10	.73	1.38	2.07	2.80	3.57	4.39	5.23	6.08	6.86	7.76
20	.79	1.48	2.21	2.99	3.82	4.70	5.60	6.51	7.38	8.34
30	.83	1.55	2.31	3.12	3.99	4.91	5.85	6.82	7.75	8.76
40	.86	1.59	2.36	3.19	4.08	5.01	5.98	6.98	7.95	9.00
50	.87	1.60	2.37	3.19	4.08	5.01	5.99	6.99	7.99	9.04
60	.87	1.58	2.32	3.13	3.99	4.91	5.87	6.85	7.85	8.90
70	.85	1.52	2.24	3.00	3.83	4.71	5.63	6.58	7.55	8.58
80	.82	1.45	2.11	2.82	3.60	4.42	5.29	6.19	7.12	8.10
90	.78	1.35	1.95	2.60	3.31	4.07	4.88	5.71	6.58	7.50
100	.72	1.23	1.77	2.34	2.98	3.68	4.42	5.17	5.95	6.80
110	.66	1.10	1.57	2.06	2.63	3.26	3.93	4.59	5.29	6.04
120	.60	.96	1.36	1.78	2.27	2.84	3.43	4.00	4.61	5.27
130	.53	.82	1.15	1.49	1.92	2.43	2.94	3.42	3.96	4.51
140	.46	.68	.94	1.21	1.58	2.05	2.49	2.88	3.35	3.79
150	.40	.55	.75	.95	1.27	1.70	2.08	2.40	2.81	3.15
160	.34	.43	.57	.72	.99	1.41	1.72	1.98	2.35	2.59
170	.30	.34	.43	.52	.76	1.15	1.41	1.62	1.97	2.13
180	.26	.26	.31	.37	.58	.94	1.15	1.32	1.66	1.74
190	.22	.21	.22	.25	.44	.77	.92	1.06	1.40	1.42
200	.19	.17	.16	.17	.33	.61	.72	.83	1.17	1.14
210	.16	.13	.12	.11	.25	.47	.55	.62	.96	.89
220	.13	.10	.09	.08	.19	.34	.40	.42	.76	.67
230	.10	.07	.06	.05	.14	.23	.28	.26	.58	.47
240	.07	.05	.04	.02	.09	.12	.17	.10	.40	.28
250	.04	.02	.03	.00	.06	.04	.09	.00	.26	.14
260	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
270	.01	.03	.04	.06	.07	.09	.11	.12	.13	.16
280	.06	.11	.16	.21	.26	.33	.40	.46	.48	.58
290	.10	.20	.30	.40	.49	.62	.74	.86	.92	1.08
300	.17	.33	.49	.65	.81	1.02	1.21	1.40	1.51	1.77
310	.25	.47	.72	.95	1.20	1.48	1.77	2.05	2.24	2.57
320	.33	.64	.96	1.28	1.62	2.00	2.38	2.75	3.03	3.46
330	.42	.80	1.21	1.62	2.05	2.53	3.01	3.48	3.86	4.39
340	.50	.96	1.45	1.95	2.48	3.05	3.63	4.20	4.69	5.32
350	.59	1.12	1.69	2.27	2.89	3.55	4.23	4.90	5.49	6.21
360	.66	1.26	1.89	2.56	3.25	4.01	4.77	5.53	6.22	7.04

Tab. 5

ALTEZZA DELLE ONDE A RIVA NEL PUNTO 11

Direzione a riva (°N)	Altezze d'onda al largo (m)									
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
10	.73	1.35	2.01	2.68	3.36	4.01	4.61	5.33	6.00	6.74
20	.79	1.47	2.18	2.91	3.64	4.37	5.05	5.84	6.59	7.41
30	.84	1.56	2.31	3.09	3.87	4.65	5.41	6.26	7.09	7.97
40	.87	1.62	2.40	3.21	4.04	4.86	5.68	6.57	7.46	8.41
50	.89	1.66	2.45	3.28	4.13	4.98	5.84	6.77	7.71	8.70
60	.90	1.66	2.46	3.29	4.14	5.01	5.90	6.85	7.82	8.83
70	.90	1.64	2.42	3.23	4.08	4.95	5.85	6.81	7.78	8.80
80	.88	1.59	2.33	3.12	3.94	4.81	5.70	6.64	7.61	8.62
90	.84	1.51	2.21	2.96	3.74	4.58	5.45	6.37	7.32	8.30
100	.80	1.41	2.06	2.76	3.49	4.29	5.12	6.00	6.93	7.86
110	.75	1.29	1.88	2.52	3.20	3.95	4.72	5.56	6.45	7.31
120	.69	1.16	1.68	2.26	2.87	3.56	4.27	5.05	5.90	6.69
130	.62	1.01	1.47	1.97	2.51	3.14	3.79	4.49	5.31	6.02
140	.55	.86	1.25	1.68	2.15	2.70	3.28	3.92	4.70	5.32
150	.48	.70	1.03	1.38	1.79	2.26	2.78	3.34	4.10	4.62
160	.41	.55	.82	1.09	1.45	1.84	2.30	2.77	3.52	3.95
170	.35	.41	.63	.82	1.13	1.44	1.85	2.25	2.98	3.33
180	.29	.29	.47	.58	.86	1.08	1.44	1.76	2.49	2.76
190	.24	.20	.35	.38	.63	.77	1.08	1.33	2.05	2.25
200	.20	.13	.26	.23	.45	.51	.79	.96	1.66	1.81
210	.16	.08	.20	.12	.32	.30	.55	.65	1.31	1.41
220	.12	.06	.16	.05	.21	.16	.37	.39	1.00	1.07
230	.09	.04	.12	.02	.13	.07	.24	.21	.72	.78
240	.06	.03	.09	.00	.06	.01	.14	.06	.45	.51
250	.04	.02	.06	.00	.00	.00	.07	.00	.25	.31
260	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
270	.02	.02	.03	.04	.05	.07	.06	.09	.09	.11
280	.06	.09	.13	.16	.20	.26	.26	.33	.36	.42
290	.10	.17	.25	.32	.40	.50	.51	.64	.70	.80
300	.17	.28	.42	.54	.68	.83	.87	1.07	1.17	1.33
310	.25	.43	.63	.82	1.02	1.24	1.33	1.59	1.75	1.99
320	.33	.58	.86	1.13	1.41	1.69	1.86	2.19	2.42	2.73
330	.42	.75	1.11	1.46	1.83	2.18	2.42	2.82	3.13	3.52
340	.50	.91	1.35	1.79	2.24	2.67	2.99	3.48	3.88	4.35
350	.59	1.07	1.59	2.12	2.64	3.15	3.56	4.13	4.62	5.18
360	.66	1.22	1.81	2.42	3.02	3.60	4.11	4.76	5.33	5.98

Tab. 6

# ALTEZZA DELLE ONDE A RIVA NEL PUNTO 20

Direzione a riva (°N)	Altezze d'onda al largo (m)										
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	
10	.72	1.25	1.79	2.36	2.95	3.60	4.28	4.97	5.71	6.42	
20	.78	1.37	1.98	2.62	3.29	4.02	4.78	5.55	6.36	7.16	
30	.83	1.48	2.14	2.85	3.59	4.39	5.22	6.07	6.96	7.85	
40	.86	1.55	2.26	3.02	3.83	4.69	5.59	6.51	7.48	8.44	
50	.89	1.61	2.34	3.14	4.00	4.91	5.86	6.85	7.87	8.90	
60	.90	1.63	2.38	3.20	4.08	5.02	6.02	7.06	8.12	9.20	
70	.90	1.62	2.36	3.19	4.08	5.04	6.06	7.12	8.22	9.30	
80	.89	1.59	2.31	3.11	3.99	4.95	5.97	7.05	8.16	9.09	
90	.86	1.52	2.21	2.98	3.83	4.75	5.76	6.83	7.93	8.71	
100	.82	1.44	2.07	2.79	3.59	4.47	5.44	6.48	7.56	8.17	
110	.77	1.33	1.89	2.55	3.29	4.10	5.03	6.02	7.06	7.48	
120	.72	1.20	1.70	2.27	2.94	3.68	4.53	5.45	6.44	7.48	
130	.65	1.07	1.48	1.97	2.56	3.20	3.98	4.80	5.72	6.66	
140	.59	.92	1.26	1.65	2.16	2.69	3.38	4.10	4.94	5.74	
150	.51	.77	1.03	1.33	1.76	2.16	2.76	3.35	4.12	4.76	
160	.44	.62	.81	1.03	1.38	1.66	2.16	2.61	3.32	3.76	
170	.38	.48	.61	.76	1.05	1.21	1.63	1.95	2.63	2.85	
180	.31	.36	.44	.53	.77	.84	1.19	1.39	2.06	2.09	
190	.26	.25	.30	.33	.56	.55	.85	.94	1.62	1.48	
200	.21	.17	.19	.19	.41	.34	.62	.60	1.31	1.04	
210	.16	.11	.11	.10	.29	.20	.45	.37	1.08	.73	
220	.13	.07	.06	.04	.19	.10	.33	.20	.88	.49	
230	.09	.04	.03	.01	.12	.05	.24	.09	.67	.30	
240	.06	.03	.01	.00	.05	.01	.16	.01	.47	.11	
250	.04	.02	.00	.00	.00	.00	.11	.00	.30	.00	
260	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.06	.08	
270	.01	.02	.02	.02	.02	.03	.20	.25	.29	.34	
280	.05	.07	.08	.11	.11	.12	.41	.49	.57	.66	
290	.10	.13	.17	.22	.25	.33	.71	.85	.99	1.13	
300	.16	.23	.30	.38	.45	.58	1.11	1.31	1.53	1.74	
310	.23	.35	.47	.60	.73	.92	1.58	1.85	2.16	2.44	
320	.32	.49	.66	.86	1.05	1.31	2.09	2.45	2.84	3.21	
330	.40	.65	.88	1.14	1.41	1.74	2.64	3.08	3.56	4.02	
340	.49	.81	1.11	1.45	1.80	2.21	3.20	3.72	4.29	4.84	
350	.57	.96	1.35	1.76	2.19	2.68	3.75	4.36	5.01	5.64	
360	.65	1.11	1.57	2.07	2.58	3.15	4.36	5.01	5.64	6.42	

Tab. 7

ALTEZZA DELLE ONDE A RIVA NEL PUNTO P2

Direzionale a riva (°N)	Altezze d'onda al largo (m)									
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
10	.59	1.09	1.67	2.29	2.98	3.70	4.42	5.06	5.54	6.22
20	.66	1.23	1.87	2.57	3.32	4.10	4.89	5.60	6.19	6.95
30	.73	1.35	2.06	2.81	3.62	4.46	5.30	6.08	6.78	7.63
40	.78	1.46	2.21	3.01	3.87	4.75	5.64	6.49	7.30	8.21
50	.83	1.54	2.32	3.16	4.05	4.97	5.89	6.80	7.70	8.68
60	.86	1.60	2.40	3.26	4.16	5.10	6.05	7.01	7.97	9.00
70	.89	1.63	2.44	3.30	4.20	5.14	6.11	7.09	8.11	9.17
80	.90	1.64	2.43	3.27	4.17	5.09	6.05	7.06	8.09	9.18
90	.89	1.61	2.37	3.19	4.05	4.96	5.90	6.90	7.93	9.02
100	.88	1.56	2.28	3.05	3.88	4.74	5.65	6.63	7.64	8.72
110	.85	1.48	2.15	2.87	3.64	4.45	5.32	6.25	7.21	8.27
120	.81	1.38	1.99	2.64	3.35	4.10	4.91	5.79	6.68	7.69
130	.76	1.27	1.81	2.38	3.01	3.69	4.43	5.24	6.04	7.00
140	.70	1.14	1.60	2.10	2.65	3.24	3.91	4.63	5.34	6.23
150	.64	.99	1.38	1.79	2.26	2.77	3.36	3.98	4.59	5.42
160	.57	.84	1.16	1.48	1.87	2.29	2.80	3.33	3.84	4.61
170	.49	.69	.93	1.18	1.49	1.84	2.27	2.71	3.12	3.85
180	.42	.55	.72	.90	1.13	1.41	1.79	2.14	2.46	3.16
190	.34	.41	.53	.65	.80	1.03	1.37	1.63	1.88	2.55
200	.27	.30	.37	.44	.53	.72	1.02	1.20	1.39	2.03
210	.21	.20	.25	.28	.32	.47	.73	.84	.98	1.57
220	.15	.13	.16	.17	.17	.28	.51	.54	.65	1.17
230	.11	.08	.09	.09	.08	.15	.35	.32	.40	.82
240	.07	.05	.05	.04	.02	.05	.21	.13	.19	.49
250	.04	.02	.02	.00	.00	.00	.11	.00	.04	.25
260	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
270	.01	.01	.01	.01	.03	.03	.07	.09	.06	.10
280	.03	.04	.06	.07	.12	.15	.26	.33	.27	.37
290	.05	.08	.13	.16	.25	.32	.50	.61	.55	.71
300	.09	.14	.23	.30	.45	.59	.84	1.01	.95	1.17
310	.14	.23	.37	.51	.72	.94	1.27	1.50	1.47	1.75
320	.20	.35	.55	.76	1.04	1.36	1.76	2.05	2.08	2.41
330	.27	.48	.76	1.05	1.41	1.82	2.29	2.64	2.74	3.14
340	.35	.63	.98	1.36	1.81	2.30	2.84	3.26	3.43	3.90
350	.43	.78	1.22	1.68	2.21	2.78	3.39	3.87	4.14	4.67
360	.51	.94	1.45	1.99	2.60	3.25	3.92	4.48	4.85	5.46

Tab. 8

*Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti*

Ufficio del Genio Civile per le Opere Marittime  
Reggio Calabria

CONSULENZA IN MATERIA  
IDRAULICA FINALIZZATA ALLA  
PROGETTAZIONE DI ALCUNI  
INTERVENTI NEL PORTO DI CROTONE



**5 VERIFICA DI NAVIGABILITÀ  
DEL CANALE DI ACCESSO**

**RELAZIONE**

***Dott. Ing. Franco Guiducci***  
INCARICATO DELLO STUDIO SPECIALISTICO

# RELAZIONE

## INDICE

### RELAZIONE

1	PREMESSA.....	1
2	STUDI ED INDAGINI UTILIZZATI .....	2
3	CARATTERISTICHE PLANIMETRICHE DEGLI INTERVENTI PREVISTI .....	3
4	CARATTERISTICHE DELLA FLOTTA.....	4
5	AMPIEZZA DELL'ACCESSO.....	5
6	NAVIGABILITÀDELL'ACCESSO PORTUALE.....	7
7	CONCLUSIONI.....	8
8	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	9

### FIGURE

1. SOLUZIONE DI ADEGUAMENTO DEL PORTO VECCHIO
2. SOLUZIONE DI AMPLIAMENTO DEL PORTO VECCHIO
3. AMPIEZZA DEL CANALE DI ACCESSO AL PORTO
4. NAVIGABILITÀ DELLA CONFIGURAZIONE DI ADEGUAMENTO DEL PORTO
5. NAVIGABILITÀ DELLA CONFIGURAZIONE DI AMPLIAMENTO DEL PORTO

### TABELLE

1. LARGHEZZA BASE DI MANOVRA
2. LARGHEZZA ADDIZIONALE PER TRAFFICO IN DUE DIREZIONI
3. LARGHEZZA ADDIZIONALE PER IL FRANCO LATERALE
4. LARGHEZZA AGGIUNTIVA PER SEZIONI DI CANALI DRITTI

## **1 PREMESSA**

La relazione si riferisce alla verifica del posizionamento dell'imboccatura portuale ai fini della navigabilità dell'accesso al porto.

Le condizioni di accesso sono state esaminate sia per l'intervento di adeguamento del Porto Vecchio che per quello di ampliamento (Figg. 1 e 2).

L'attività è stata svolta nell'ambito della "Consulenza in materia di idraulica marittima finalizzata alla progettazione esecutiva di alcuni interventi nel Porto di Crotona".

La verifica è stata condotta individuando la tipologia di imbarcazione più critica per l'ingresso porto, definendo l'ampiezza dell'accesso in funzione del traffico di natanti previsto, verificando che la geometria delle opere degli interventi previsti sia compatibile con gli spazi di accesso al porto e di evoluzione.

## 2 *STUDI ED INDAGINI UTILIZZATI*

L'analisi della navigabilità dell'accesso al porto è stata condotta sulla base dei rilievi batimetrici e dell'indagine sedimentologica eseguiti dalla Nautilus Società cooperativa a r. l. nel maggio 2005.

Sono inoltre stati utilizzati i risultati dei seguenti studi e modelli condotti nell'ambito della consulenza:

- Studio del moto ondoso al largo e sua propagazione a riva (Elaborato 1);
- Dimensionamento della sezione tipo dell'opera foranea (Elaborato 7).

### 3 CARATTERISTICHE PLANIMETRICHE DEGLI INTERVENTI PREVISTI

Gli interventi previsti per l'adeguamento del Porto Vecchio di Crotona sono finalizzati a ridurre l'agitazione ondosa che si manifesta in occasione delle mareggiate provenienti da Sud-Est che sono frequenti e di ridotta altezza per effetto della rifrazione sui fondali.

Sulla base di simulazioni su modello matematico è stata individuata la soluzione dell'intervento che garantisce condizioni ottimali di ormeggio nel bacino portuale.

L'intervento è costituito da: un prolungamento del Molo Sopraflutto di 120 m allineato al lato esterno del molo esistente; un prolungamento del Molo Sanità rettilineo per 94 m e ruotato ortogonalmente al prolungamento del Molo Sopraflutto per 26 m; un prolungamento curvilineo di circa 46 m dell'ala interna del Molo Sanità; il dragaggio della zona dell'avamposto alla profondità -4.0 m.

Con le opere previste, l'imboccatura principale del porto risulta ampia 81 m a livello del medio mare ed è orientata ortogonalmente alla direzione 203°N; l'imboccatura secondaria è ampia 65 m, allineata alla direzione 228°N e dista 113 m dalla bocca principale.

La profondità del fondale in corrispondenza della bocca del porto è compresa tra la -4.0 m e la -5.0 m.

Per la disposizione planimetrica del porto è stata considerata anche una soluzione di ampliamento del bacino portuale che prevede la realizzazione di una nuova darsena.

L'intervento di ampliamento, rispetto alle opere dell'adeguamento portuale, prevede: la realizzazione di un molo di sottoflutto lungo 255 m e radicato all'esistente pennello ubicato a Sud del Molo Sanità e la rimozione di 71 m del prolungamento del Molo Sanità che risulta così più lungo dell'attuale di soli 48 m.

L'imboccatura portuale con la soluzione di ampliamento risulta ampia circa 78 m (50 m al fondo) ed orientata ortogonalmente alla direzione 222°N; l'ampiezza dell'accesso alla darsena esistente è di 65 m mentre quella alla nuova darsena è di 55m.

All'esterno della bocca portuale, la profondità del fondale è superiore a 4.0 m.

#### **4 CARATTERISTICHE DELLA FLOTTA**

Il porto è utilizzato da pescherecci e da natanti da diporto.

La flotta attuale è indicativamente costituita da 400 natanti di cui il 90% di lunghezza inferiore a 10 m, il 2.5% tra 10 e 12 m, il 2.5% tra 12 e 14 m, il 4.0% tra 14 e 16 m e l'1.0% tra 16 m e 18 m.

Per la verifica delle condizioni della navigabilità all'imboccatura portuale si tiene conto dell'indagine condotta dalla rivista Vela, riportata da Franco e Marconi [1], dalla quale risulta che la quasi totalità delle imbarcazioni sul mercato italiano ha lunghezza non superiore a 20 m, larghezza inferiore a 5.5 m e pescaggio inferiore a 3.5 m.

La profondità nel canale di accesso al porto è superiore a 4.0 m e consente l'accesso a imbarcazioni con pescaggio fino a 3.0 m.

La imbarcazione scelta come riferimento per la verifica della navigabilità ha dimensioni 20.0x5.5x3.0 m che rappresentano il limite superiore delle dimensioni della flotta attualmente presente nel bacino portuale.

## 5 AMPIEZZA DELL'ACCESSO

Le imbarcazioni da pesca e le barche da diporto hanno una notevole capacità di manovra e, in letteratura, non sono disponibili norme sulle dimensioni degli accessi portuali ad esse riferite.

L'ampiezza minima della bocca viene, generalmente, indicata in 50 m o in 6-7 volte la larghezza della imbarcazione di riferimento.

Per esaminare le condizioni di navigabilità dell'imboccatura portuale, in forma cautelativa, si è fatto riferimento alla manualistica esistente per le imbarcazioni commerciali assumendo come imbarcazione di riferimento quella definita nel precedente capitolo.

La verifica è stata fatta sulla base delle linee guida del PIANC PTC II-30 [2], esaminando il possibile ingresso di un natante avente una dimensione trasversale  $B = 5.50$  m.

Le linee guida consentono il calcolo dell'ampiezza minima di un canale di accesso in funzione delle caratteristiche del natante, del traffico marittimo, della morfologia e delle condizioni meteo-marine lungo il canale.

Nelle tabelle 1-4, riprese dalla pubblicazione, sono riportati, in funzione della dimensione trasversale del natante, le ampiezze relative a ciascuna componente da sommare per determinare la larghezza totale del canale.

È stata considerata la presenza di traffico nei due sensi di navigazione e, sulla base delle condizioni previste per il porto Vecchio di Crotona, sono state considerate le seguenti condizioni per gli elementi attinenti, ottenendo i relativi valori:

ELEMENTO	CONDIZIONE DI RIFERIMENTO	VALORE
Larghezza di base Verso A	Manovrabilità buona	$1.3 B = 7.15$ m
Larghezza di base Verso B	Manovrabilità buona	$1.3 B = 7.15$ m
Traffico in due versi	Velocità dei natanti lenta; canale interno protetto	$1.0 B = 5.5$ m
Traffico in due versi	Densità moderata	$0.2 B = 1.10$ m
Franco laterale Verso A	Struttura velocità lenta	$0.3 B = 1.65$ m
Franco laterale Verso B	Struttura velocità lenta	$0.3 B = 1.65$ m
Velocità natante Verso A	Lenta	0

Velocità natante Verso B	Lenta	0
Vento trasversale Verso A	Moderato; velocità natanti lenta	0.5 B = 2.75 m
Vento trasversale Verso B	Moderato; velocità natanti lenta	0.5 B = 2.75 m
Corrente trasversale Verso A	Trascurabile	0
Corrente trasversale Verso B	Trascurabile	0
Corrente longitudinale Verso A	Bassa	0
Corrente longitudinale Verso B	Bassa	0
Altezza d'onda significativa Verso A	Hs >= 1.0m; velocità natanti lenta; canale protetto	0
Altezza d'onda significativa Verso B	Hs >= 1.0m; velocità natanti lenta; canale protetto	0
Supporto alla navigazione Verso A	Moderato con rara scarsa visibilità	0.2 B = 1.10 m
Supporto alla navigazione B	Moderato con rara scarsa visibilità	0.2 B = 1.10 m
Superficie del fondo Verso A	Profondità <1.5T; pendente e soffice	0.1 B = 0.55 m
Superficie del fondo Verso B	Profondità <1.5T; pendente e soffice	0.1 B = 0.55 m
Profondità del canale Verso A	<1.25T, canale interno protetto	0.4 B = 2.20 m
Profondità del canale Verso B	<1.25T, canale interno protetto	0.4 B = 2.20 m
Livello del rischio del carico Verso A	Basso	0
Livello del rischio del carico Verso B	Basso	0

Sulla base degli elementi considerati il canale deve avere un'ampiezza pari a 6.8 B corrispondente a 37.40 m.

Lo schema della determinazione dell'ampiezza del canale di accesso con indicazione delle parti relative ai diversi elementi è riportato nella figura 3.

Nelle figure 4 e 5, a verifica della navigabilità della imboccatura portuale, sono riportati sulle planimetrie della configurazione di adeguamento e di ampliamento del porto le rotte di accesso al porto, il cerchio di evoluzione interno all'avamposto ed il percorso di accesso alle darsene.

L'ampiezza determinata è cautelativa in quanto derivata da indicazioni riferite, al transito di navi commerciali che sono molto meno manovriere delle imbarcazioni da pesca o delle imbarcazioni da diporto che utilizzano l'approdo.

## 6 NAVIGABILITÀ DELL'ACCESSO PORTUALE

Per la valutazione della navigabilità dell'accesso portuale si è assunta una larghezza del percorso di transito di 37.4 m e si è verificato l'andamento della rotta lungo il percorso di ingresso sia per la soluzione di adeguamento portuale che per quella di ampliamento (Fig. 4 e 5).

Lo specchio d'acqua esterno al porto e l'avamperto hanno una profondità superiore a 4.0 m s. l. m. e lungo il percorso di accesso, nella zona esposta ai moti ondosi, il fondale è superiore a 4.5 m mentre il pescaggio della imbarcazione di riferimento per l'analisi di navigabilità è di 3.0 m

Lo spessore dell'acqua al disotto della imbarcazione risulta di 1.5 m e, considerato un franco di sicurezza di 0.30 m, è possibile per il natante di riferimento transitare anche in presenza di un cavo d'onda di 1.2 m.

A tale cavo è associata un'onda di altezza 3.6 m (in acqua bassa il cavo rappresenta circa 1/3 dell'altezza dell'onda) che corrisponde alla massima onda in un moto ondosso di altezza significativa  $H_s=2.0$  (rapporto tra onda massima e onda significativa pari a 1.86).

L'ingresso al porto di una imbarcazione che pesca 3.0 m è pertanto possibile in presenza di moti ondosi di altezza significativa fino a 2.0 m; moti ondosi superiori si verificano per lo 0,8% del tempo, ovvero per 70 ore l'anno.

Il percorso di accesso all'esterno del bacino avviene su fondali superiori a 4,5 e non vi sono alla impostazione della manovra di ingresso al porto.

Una volta realizzata la soluzione di adeguamento, la rotta in prossimità della bocca del porto fino all'ingresso nella vecchia darsena dovrà essere orientata per 16°N.

Con la soluzione di ampliamento, la rotta di ingresso dovrà essere orientata per 15°N in corrispondenza della bocca del porto; le imbarcazioni effettueranno un cambio di direzione nel cerchio di evoluzione che ha un raggio di 100 m (5 volte la lunghezza dell'imbarcazione di riferimento) e si dirigeranno verso la darsena vecchia con direzione 43°N o verso la nuova darsena con direzione 244 °N.

## 7 CONCLUSIONI

La struttura portuale accoglie imbarcazioni da diporto e da pesca che sono caratterizzate da una elevata manovrabilità.

Con la configurazione di adeguamento del porto e con quella di ampliamento, l'ampiezza della bocca del porto, la rotta di accesso e gli spazi di evoluzione sono superiori a quelli necessari per garantire un sicuro accesso al porto; il fondale e le rotte in approccio alla bocca sono adeguate per le imbarcazioni previste.

È previsto che il tempo di non accessibilità al porto "*down time*" dovuto all'azione dei moti ondosi sia pari allo 0.8% ovvero a 70 ore l'anno.

Questa condizione è più che accettabile per un porto turistico e peschereccio e comunque va considerato che, in caso di necessità, è anche possibile trovare ricovero nell'adiacente porto commerciale di Crotona che ha la imboccatura a profondità di 12 m, al largo della zona dei frangenti, e che può fornire rifugio sicuro anche in condizioni meteo marine particolarmente gravose.

## 8 *RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI*

- [1] L. Franco, R. Marconi: "Porti turistici" Maggioli editore (2003)
- [2] PIANC -PTC II-30: "Approach Channels A Guide for Design" Report of the Permanent International Association of Navigation Congresses (PIANC - AIPCN) (1997)

## INDICE

### RELAZIONE

1	PREMESSA.....	1
2	STUDI ED INDAGINI UTILIZZATI .....	2
3	CARATTERISTICHE PLANIMETRICHE DEGLI INTERVENTI PREVISTI .....	3
4	CARATTERISTICHE DELLA FLOTTA.....	4
5	AMPIEZZA DELL'ACCESSO.....	5
6	NAVIGABILITÀDELL'ACCESSO PORTUALE.....	7
7	CONCLUSIONI.....	8
8	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	9

### FIGURE

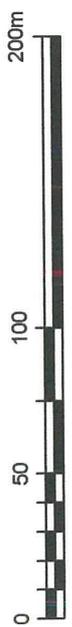
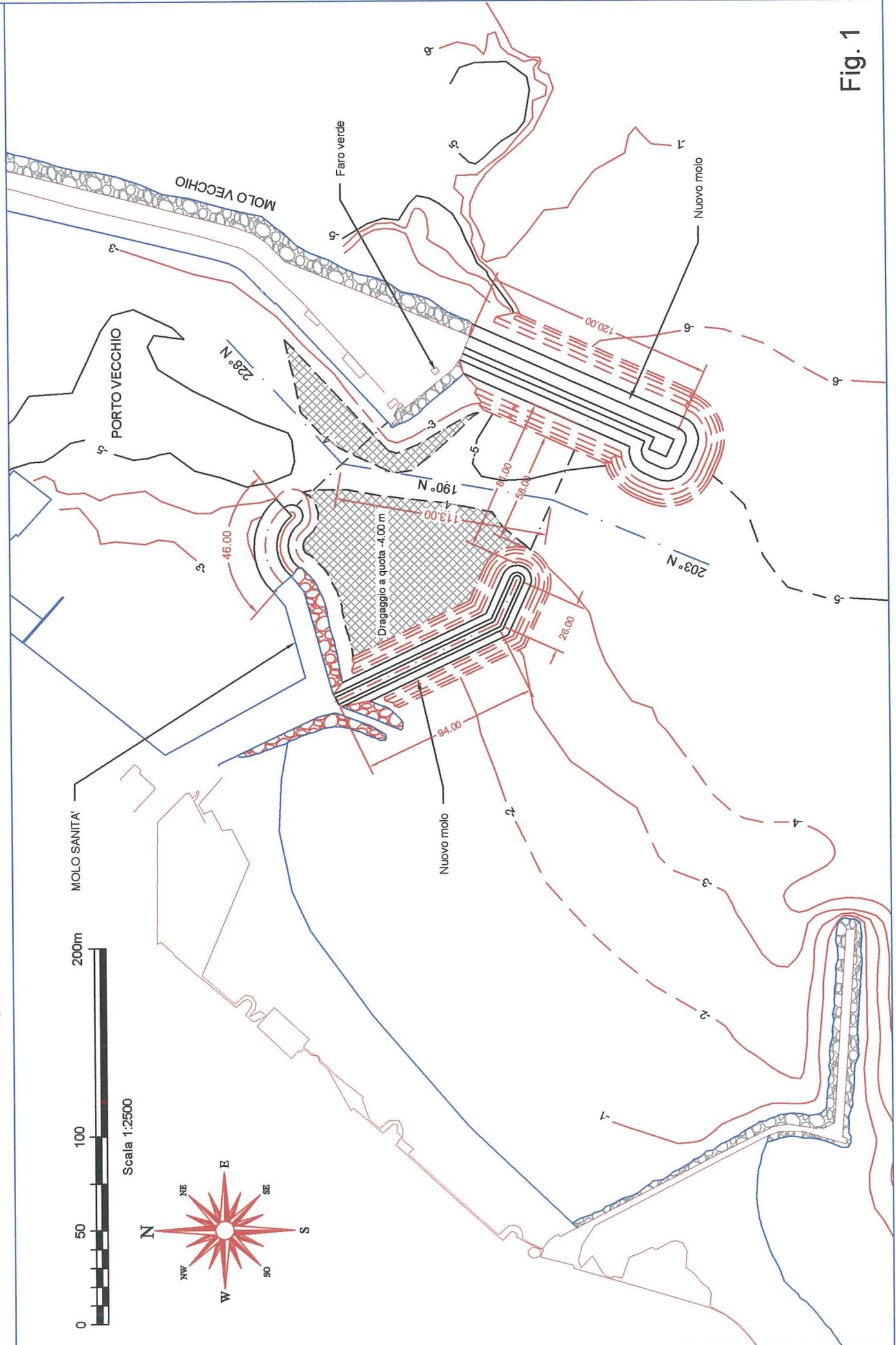
1. SOLUZIONE DI ADEGUAMENTO DEL PORTO VECCHIO
2. SOLUZIONE DI AMPLIAMENTO DEL PORTO VECCHIO
3. AMPIEZZA DEL CANALE DI ACCESSO AL PORTO
4. NAVIGABILITÀ DELLA CONFIGURAZIONE DI ADEGUAMENTO DEL PORTO
5. NAVIGABILITÀ DELLA CONFIGURAZIONE DI AMPLIAMENTO DEL PORTO

### TABELLE

1. LARGHEZZA BASE DI MANOVRA
2. LARGHEZZA ADDIZIONALE PER TRAFFICO IN DUE DIREZIONI
3. LARGHEZZA ADDIZIONALE PER IL FRANCO LATERALE
4. LARGHEZZA AGGIUNTIVA PER SEZIONI DI CANALI DRITTI

**FIGURE**

# SOLUZIONE DI ADEGUAMENTO DEL PORTO VECCHIO



Scala 1:2500

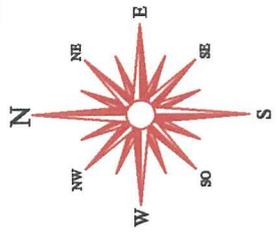


Fig. 1

# SOLUZIONE DI AMPLIAMENTO DEL PORTO VECCHIO

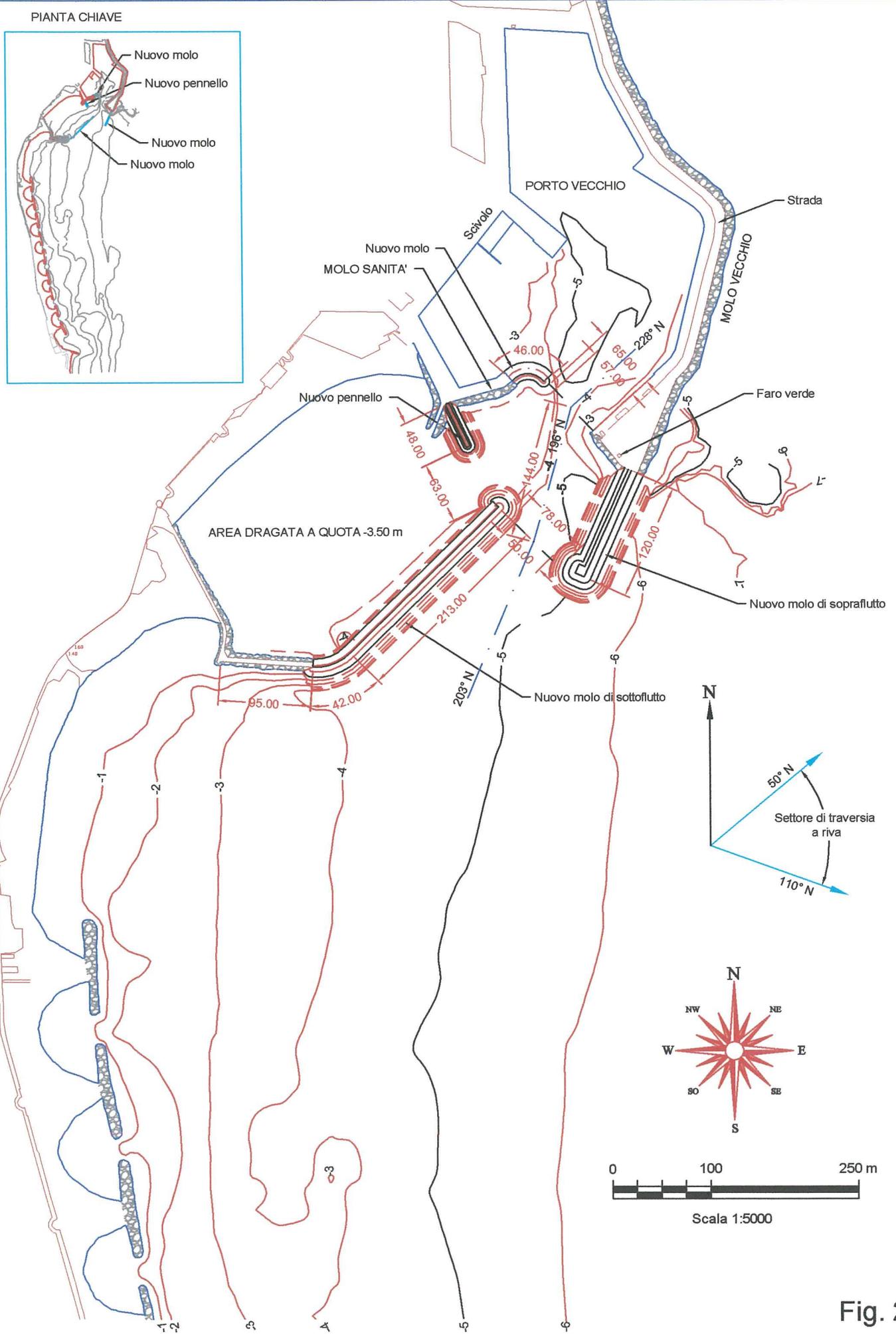


Fig. 2

# AMPIEZZA DEL CANALE DI ACCESSO AL PORTO

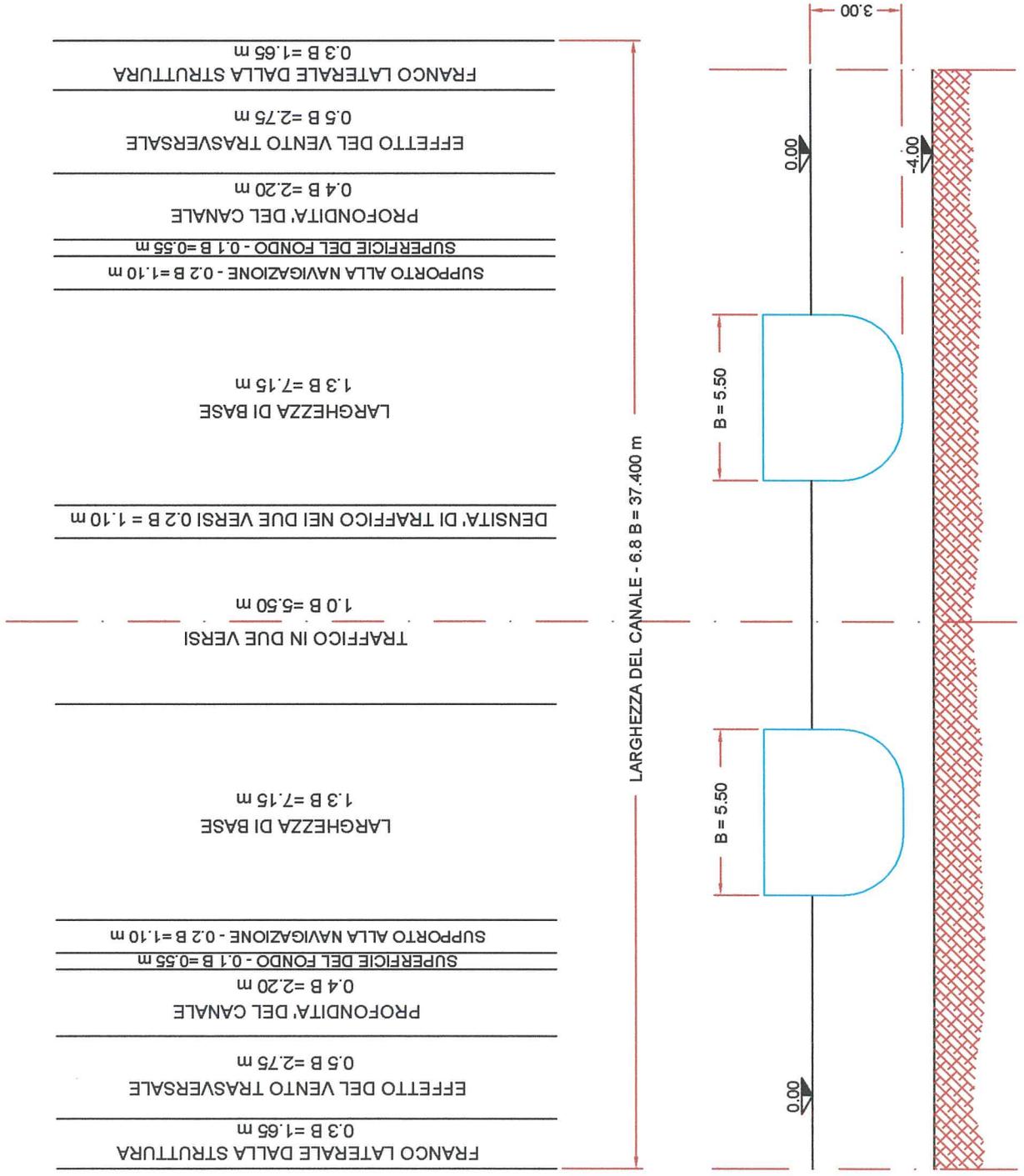


Fig. 3

# NAVIGABILITA' DELLA SOLUZIONE DI ADEGUAMENTO

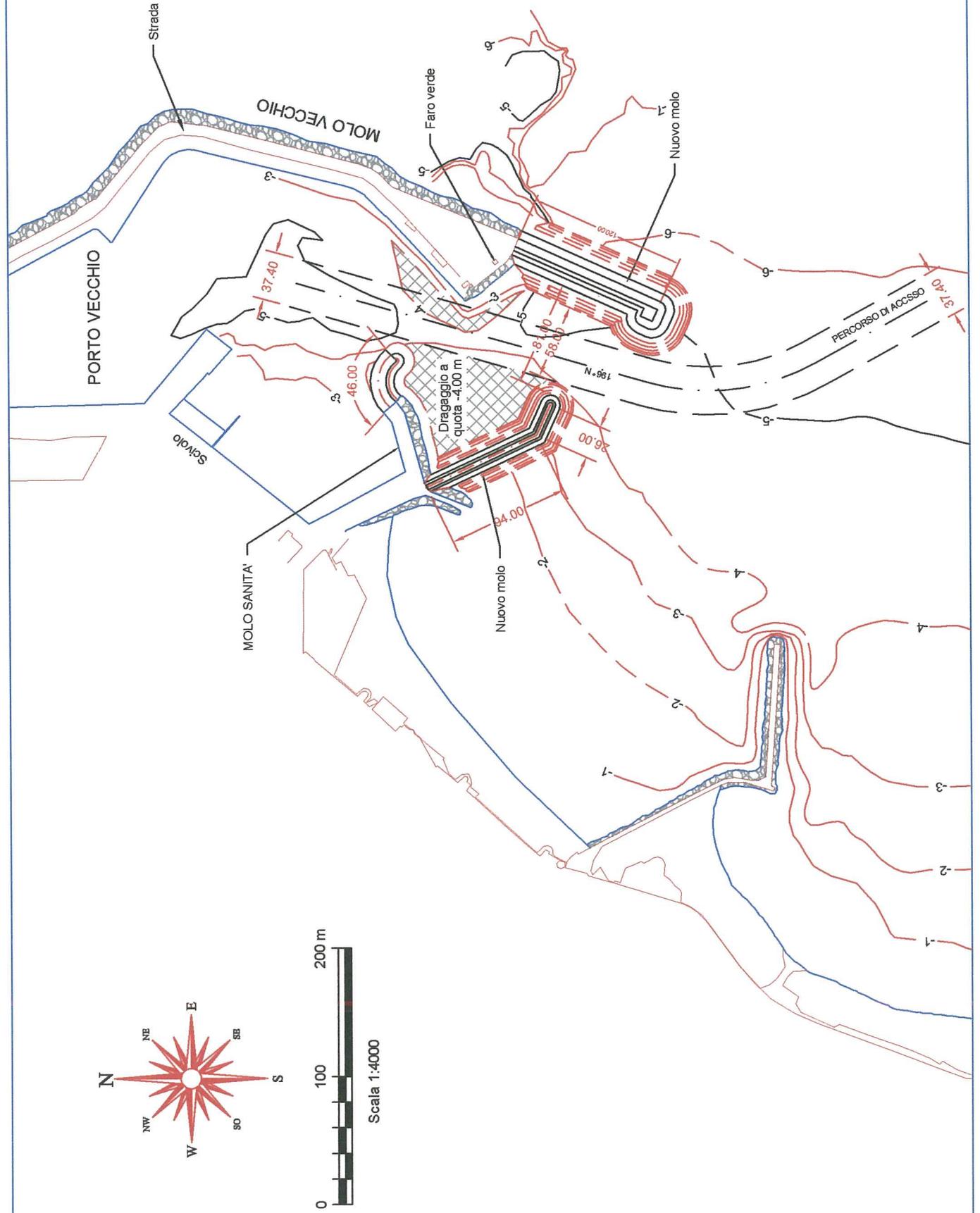


Fig. 4

# NAVIGABILITA' DELLA SOLUZIONE DI AMPLIAMENTO

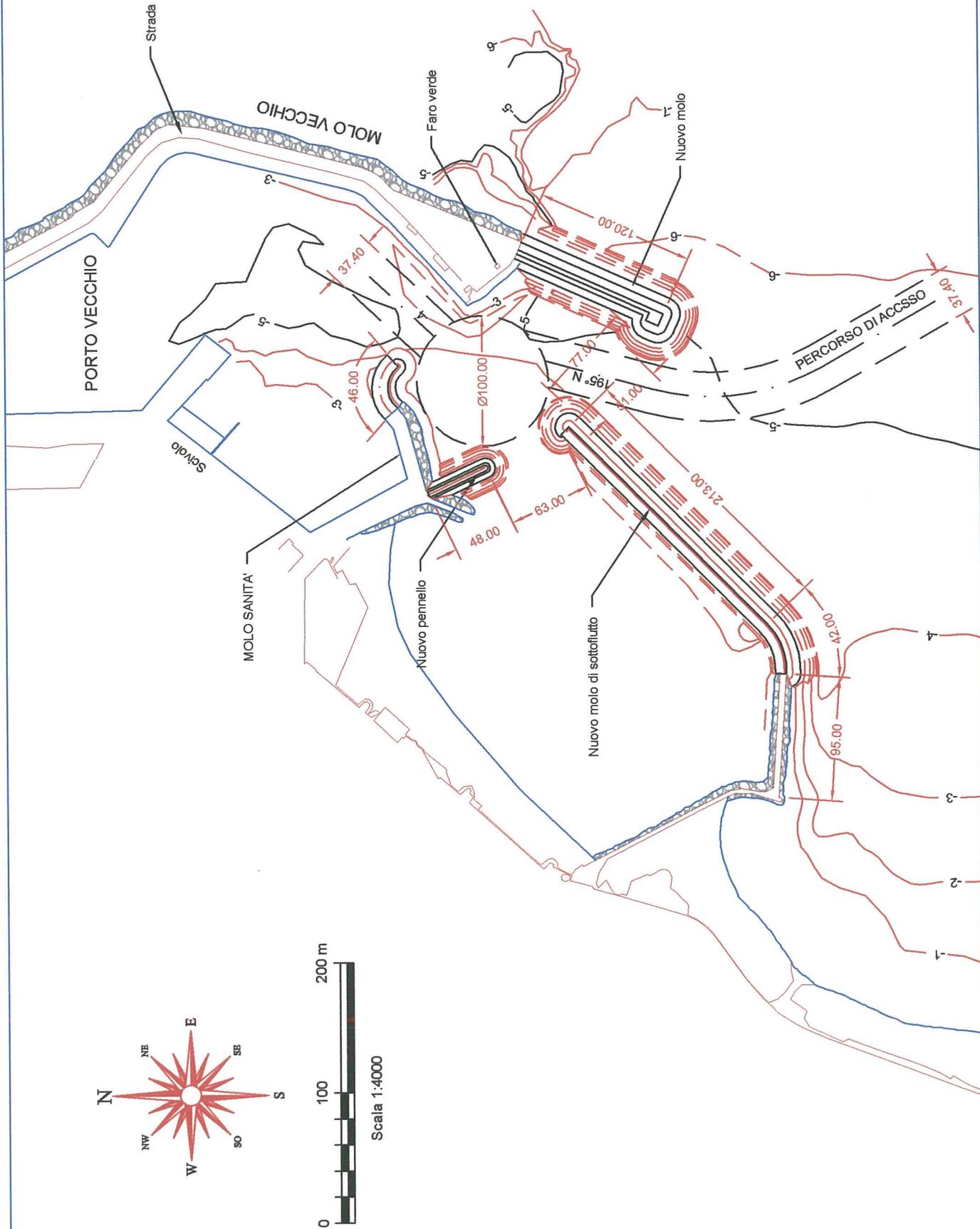


Fig. 5

# TABELLE

LARGHEZZA BASE DI MANOVRA

Larghezza	Manovrabilità della nave		
	buona	moderata	scarsa
Larghezza base di manovra $W_{BM}$	1.3B	1.5B	1.8B

Tab. 1

LARGHEZZA ADDIZIONALE PER TRAFFICO IN DUE DIREZIONI

Larghezza per la distanza tra i natanti $W_p$	Canale esterno mare aperto	Canale interno acque protette
<b>Velocità natante (nodi)</b>		
- veloce > 12	2.0 B	
- moderata > 6 - 12	1.6 B	1.4 B
- lenta 5 - 8	1.2 B	1.0 B
<b>Densità del traffico</b>		
- leggera	0.0	0.0
- moderata	0.2 B	0.2 B
- pesante	0.5 B	0.4 B

Tab. 2

LARGHEZZA ADDIZIONALE PER IL FRANCO LATERALE

Larghezza per il franco laterale ( $W_{Br}$ o $W_{Bg}$ )	Velocità natante	Canale esterno mare aperto	Canale interno acque protette
<b>Bordi e secche inclinate</b>	veloce	0.7 B	
	moderata	0.5 B	0.5 B
	lenta	0.3 B	0,3 B
<b>Strutture e argini ripidi e duri</b>	veloce	1.3 B	
	moderata	1.0 B	1.0 B
	lenta	0.5 B	0,5 B

Nota: con riferimento al natante: B = larghezza; L = Lunghezza; T= immersione

Tab. 3

**LARGHEZZA AGGIUNTIVA PER SEZIONI DI CANALI DRITTI**

Larghezza $w_i$	Velocità natante	Canale esterno mare aperto	Canale interno acque protette
(a) Velocità natante (nodi) - veloce > 12 - moderata > 8 - 12 - lenta 5 - 8		0.1 B 0.0 0.0	0.1 B 0.0 0.0
(b) Vento trasversale prevalente (nodi) - debole < 15 ( $\leq$ Beaufort 4) - moderato 15-33 ( $>$ Beaufort 4 - Beaufort 7)  - forte > 33 - 48 ( $>$ Beaufort 7 - Beaufort 9)	tutte veloce moderata lenta  veloce moderata lenta	0.0 0.3 B 0.4 B 0.5 B 0.6 B 0.8 B 1.0 B	0.0 - 0.4 B 0.5 B  0.8 B 1.0 B
(e) Corrente trasversale prevalente (nodi) - trascurabile < 0.2 - bassa 0.2 - 0.5  - moderata > 0.5 - 1.5  - forte > 1.5 - 2.0	tutte veloce moderata lenta  veloce moderata lenta  veloce moderata lenta	0.0 0.1 B 0.2 B 0.3 B 0.5 B 0.7 B 1.0 B 0.7 B 1.0 B 1.3 B	0.0 0.1 B 0.2 B - 0.5 B 0.8 B - - -
(d) Corrente longitudinale prevalente (nodi) - bassa $\leq$ 1.5 - moderata > 1.5-3  - forte > 3	tutte veloce moderata lenta  veloce moderata lenta	0.0 0.0 0.1 B 0.2 B 0.1 B 0.2 B 0.4 B	0.0 - 0.1 B 0.2 B - 0.2 B 0.4 B
(e) Altezza d'onda significativa $H_s$ e lunghezza $\lambda$ (m) - $H_s \leq 1$ e $\lambda < L$ - $3 > H_s > 1$ e $\lambda = L$  - $H_s > 3$ and $\lambda > L$	tutte veloce moderata lenta  veloce moderata lenta	0.0 2.0 B 1.0 B 0.5 B 3.0 B 2.2 B 1.5 B	0.0
(f) Supporto alla navigazione - eccellente con controllo del traffico -buono - moderato con rare condizioni di scarsa visibilità - moderato con frequenti condizioni di scarsa visibilità		0.0 0.1 B 0.2 B >0.5 B	0.0 0.1 B 0.2 B $\leq$ 0.5 B
(g) Superficie del fondo - se la profondità $\geq 1.5T$ - se la profondità < 1,5T allora  - liscio e soffice - liscio o penedente e soffice - rugoso e duro		0.0  0.1 B 0.1 B 0.2 B	0.0  0.1 B 0.1 B 0.2 B
h) Profondità del canale - $\geq 1.5T$ - 1.5T- 1.25T - < 1.25T		0.0 0.1 B 0.2 B	$\geq 1.5T$ 0.0 <1.5T-1.15T 0.2 B <1.15T 0.4 B
(i) Livello del rischio del carico - basso - medio -alto		0.0 0.5 B 1.0 B	0.0 0.4 B 0.8 B

**Tab. 4**