

COMUNE DI SANT'AGNELLO

PROVINCIA DI NAPOLI

RECUPERO E SISTEMAZIONE SCOGLIERA MARINA DI CASSANO PROGETTO DI COMPLETAMENTO

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
DELLA SCOGLIERA

TAVOLA N.

1b

DATA SETTEMBRE 2006

SCALA

PROGETTO:

U.T.C. Geom. Francesco AMBROSIO

Ing. Antonino FIDO

COMUNE DI SANT'AGNELLO

PROVINCIA DI NAPOLI

LAVORI DI RECUPERO E SISTEMAZIONE SCOGLIERA MARINA DI CASSANO

I005SAG

PROGETTO DI COMPLETAMENTO

PROGETTO ESECUTIVO - AGGIORNAMENTO PREZZI 2018

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE STRUTTURE

SOMMARIO

1) RELAZIONE GEOTECNICA	2
2) CALCOLO DELLE STRUTTURE.....	8
2.a) Dimensionamento della mantellata	8
2.b) Verifiche di stabilità globale	16
2.c) Verifica di stabilità dei terreni di fondazione	20
APPENDICE 1 – Tabulati di calcolo	22

1) RELAZIONE GEOTECNICA

La Penisola Sorrentina è costituita da litologie ceno-mesozoiche ascrivibili alla successione lito-stratigrafica calcareo-dolomitico-marnosa, dal complesso delle Argille Varicolori (Miocene) e da quei terreni plio-pleistocenici che si sovrapposero all'ossatura dei Monti Lattari, ossia dapprima dall'Ignimbrite Campana (Tufo Grigio) derivante dalle violente ed abbondanti eruzioni dei Campi Flegrei, poi da materiali fluviali di natura carbonatica in cui risultano intercalate sabbie vulcaniche ed, infine, dalla messa in posto delle piroclastiti sciolte provenienti dalle attività vulcaniche del Somma-Vesuvio.

La fascia costiera ha pendenze sub-verticali e sul fronte dell'alta falesia sono riscontrabili le strutture singenetiche di raffreddamento: linee verticali di fatturazione intersecanti tra loro verso l'interno del fronte tufaceo. L'azione di scalzamento al piede della falesia operata dal moto ondoso ha fatto evolvere la morfologia della costa secondo il modello dell'arretramento parallelo.

Il settore montano del territorio comunale è caratterizzato da una morfologia relativamente giovane evoluta per *slope decline* da versanti di faglia generatisi nell'ultima fase tettonica pliocenica. Su di essi si è evoluto un pattern idrografico che ha seguito le linee di massima pendenza costituendo la genesi dei canali nelle litologie carbonatiche e delle forre in quelle tufacee.

Il centro abitato si sviluppa prevalentemente su un terrazzo deposizionale del Tufo Grigio e delle piroclastiti sciolte sopra i terreni carbonatici: la potente coltre tufacea venne interessata durante la fase interglaciale quaternaria da una considerevole reincisione operata dall'azione erosiva delle acque defluenti dalla zona collinare tanto da generare le forre San Giuseppe e San Filippo.

I terreni piroclastici sciolti che ammantano i rilievi montuosi sono, a causa delle precipitazioni meteoriche, motivo di *colate* note in letteratura come *colate di piroclastici su calcare*, e sono tipiche dell'assetto morfo-strutturale della Penisola Sorrentina interessando gran parte del territorio comunale.

Il sito di intervento è ubicato a valle della costa a falesia che delimita a settentrione il territorio comunale di Sant'Agnello ed è stato sottoposto a rilevanti trasformazioni antropiche con la realizzazione di opere foranee con riempimenti a tergo e la

canalizzazione e deviazione del Rivo San Giuseppe. I litotipi affioranti sono variamente costituiti nel senso che a fianco delle piroclastiti autoctone si rinvengono i materiali di diversa provenienza introdotti dall'uomo.

Il Comune di Sant'Agnello ha commissionato al dott. Salvatore Palomba uno studio geologico specifico finalizzato alla definizione delle caratteristiche geolitologiche, morfologiche, strutturali, idrogeologiche e sismiche dell'area interessata dal progetto ed alla determinazione delle caratteristiche fisico meccaniche dei terreni impegnati dalle opere da realizzare.

Il predetto studio è stato elaborato in base ai dati disponibili, sia presso gli archivi comunali del Comune di Sant'Agnello che di quello di Piano di Sorrento, nonché di altri a disposizione del professionista, relativi ad indagini geognostiche eseguite nelle aree interessate dal progetto. I dati ottenuti e riportati nella predetta relazione hanno consentito di ricavare opportune e attendibili indicazioni sulla stratigrafia del sottosuolo e sulle caratteristiche tecniche dei terreni direttamente interessati dalle opere in progetto.

In particolare si sono utilizzati i dati di indagini eseguite negli anni scorsi dal Centro di Geologia Tecnica, e quelle eseguite dall'Impresa "Fondedile" (1989) messi a disposizione dal Comune di Piano di Sorrento. In particolare sono state utilizzate le stratigrafie dei sondaggi, i dati di prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) e quelli di prove di laboratorio.

Durante le operazioni subacquee effettuate per il rilievo topo-batimetrico dell'area sono stati prelevati n. 4 campioni di sedimenti del fondo marino nell'area di sviluppo della scogliera ed a profondità variabile. Sui campioni sono state eseguite, presso il laboratorio "ILAG S.r.l." di Napoli analisi granulometriche e la determinazione del peso specifico dei grani.

Stratigrafia del sottosuolo

Nello studio geologico vengono analizzate le stratigrafie dei sondaggi eseguiti sia lungo il tratto di arenile prossimo alla banchina del porto di Marina di Cassano che sulla banchina stessa.

Le perforazioni eseguite sull'arenile, sia ad occidente che ad oriente del molo, evidenziano, al di sotto di un livello sabbioso, la presenza della formazione del tufo grigio con spessori variabili, decrescenti dal piede della falesia verso la linea di riva. Al di sotto sono state rinvenute piroclastiti a luoghi ricche di pomici prodotte durante le fasi di attività esplosiva dei vulcani napoletani e depositate per caduta, a luoghi alternate a terreni di origine alluvionale; lo spessore di queste piroclastiti raggiunge alcune decine di metri.

Le perforazioni realizzate lungo la banchina hanno messo in evidenza, al di sotto dello scanno di imbasamento costituito da massi di natura calcarea, un'alternanza di livelli costituiti da sabbie (con spessori variabili da circa 3 metri a oltre 5 metri) e di piroclastiti. La successione stratigrafica ben evidenzia l'alternarsi di periodi di intensa attività vulcanica (con deposizione delle piroclastiti) con periodi di stasi in cui prevale l'azione erosiva del moto ondoso che porta al lento arretramento del fronte del tufo e, dal suo disfacimento, la formazione delle sabbie; i sondaggi eseguiti lungo la banchina del molo hanno consentito di ricavare utili indicazioni sulla costituzione del fondale marino dell'area di intervento.

Caratteristiche geotecniche dei terreni

Nello studio geologico vengono fornite indicazioni sulle caratteristiche geotecniche dei terreni sulla base di rielaborazioni dei dati delle prove penetrometriche S.P.T. disponibili; dette rielaborazioni sono riportate in tabelle.

Da questi dati emerge chiaramente che i terreni del sottosuolo presentano un grado di addensamento piuttosto elevato con una densità relativa di norma maggiore del 60% indicativa di una buona resistenza a compressione. Tale osservazione è suffragata anche dai valori del modulo di deformazione drenato e da quelli del modulo edometrico.

Per quanto riguarda l'angolo di attrito interno i valori determinati si collocano tutti al di sopra dei 30°, con valori medi, per i terreni a granulometria più sottile, prossimi a 35°. Le sabbie grossolane, per le quali i valori ricavati dalle prove penetrometriche sono ancora più attendibili, presentano valori dell'angolo di attrito prossimo a 40°.

Nel corso dei sondaggi eseguiti dalla Fondedile sono stati prelevati, a differenti altezze campioni poi sottoposti a prove di laboratorio per la determinazione delle caratteristiche generali e della distribuzione granulometria. Su 6 campioni, riferiti a terreni con granulometria più fine (sabbie con limo – limi sabbiosi), sono stati determinati i limiti di Attenberg e su 4 campioni sono state effettuate prove di taglio diretto con la determinazione dell'angolo di attrito.

I valori dell'angolo di attrito (tutti prossimi a 26°) differiscono sensibilmente dai valori estrapolati dalle prove S.P.T probabilmente perché i campioni sottoposti a prove di laboratorio non erano indisturbati per cui i valori della resistenza al taglio potrebbero essere risultati sottostimati. Per questi campioni, poi, si sono evidenziati valori non trascurabili della coesione ($0,2 \text{ Kg/cm}^2$).

Ad integrazione dei dati ottenuti dai sondaggi sono state eseguite nell'aprile del 1989 alcune prove penetrometriche dinamiche continue sul fondo marino; in particolare nello studio geologico sono stati analizzati i risultati di quattro prove penetrometriche dinamiche eseguite da un pontone nello specchio di mare antistante la "spiaggia di Caterina", proprio in corrispondenza dell'area di sviluppo della scogliera.

L'analisi dei risultati di tale indagine mette in risalto che il fondale è costituito da terreni che presentano un grado di addensamento sempre piuttosto elevato e crescente con la profondità. Il numero di colpi per la penetrazione dell'attrezzo per tratti di 30 cm è sempre risultato maggiore di 20 con valori progressivamente crescenti fino ad andare a rifiuto a profondità superiori a 4.5 m.

Secondo la relazione geologica, l'angolo di attrito interno dei terreni attraversati, valutato in maniera piuttosto approssimata data la limitazione dei dati disponibili, è da considerare sempre maggiore di 35° (in accordo con i risultati delle prove S.P.T. eseguite nel corso dei sondaggi).

Sedimentologia

Come si è detto, durante l'esecuzione dei rilievi topografici e batimetrici sono stati prelevati quattro campioni di sedimento del fondale, nelle aree in cui dovrà essere realizzata la scogliera.

La composizione granulometrica rilevata in laboratorio è tipica delle sabbie con piccole percentuali di fino e di ghiaia. Le curve granulometriche, ottenute dall'analisi per setacciatura in base alle norme A.S.T.M., evidenziano diametri per la sabbia variabili tra 0,06 mm ed 1,5 mm con code fino a 2,0 mm, con un diametro d50 compreso tra 0,3 mm e 0,6 mm. Si tratta in pratica di un fondale caratterizzato da una matrice sabbiosa medio fine.

In conclusione dello studio geologico, è emerso che il fondo marino interessato dall'opera è costituito per i primi metri da litotipi con una granulometria ricadente in quella delle sabbie al di sotto si alternano livelli sabbioso-limosi ed ancora sabbiosi, con una resistenza alla penetrazione crescente e di conseguenza un grado di addensamento dei materiali sempre piuttosto elevato.

In relazione alla natura dell'opera da realizzare, lo studio conclude che i cedimenti collegati alla posa dei blocchi rocciosi sul fondo marino saranno di entità limitata, ma soprattutto che essi, in relazione alle caratteristiche granulometriche dei terreni direttamente interessati, saranno scontati in tempi brevi, se non addirittura all'atto stesso dell'applicazione dei carichi.

L'area in esame è collocata a valle della costa a falesia che delimita a settentrione il territorio comunale di Sorrento ed è stata sottoposta a rilevanti trasformazioni antropiche con la realizzazione di opere foranee con riempimenti a tergo e la canalizzazione e deviazione del Vallone dei Mulini. I litotipi affioranti sono variamente costituiti nel senso che a fianco delle piroclastiti autoctone si rinvengono i materiali di diversa provenienza introdotti dall'uomo.

2) CALCOLO DELLE STRUTTURE

2.a) Dimensionamento della mantellata

~~L'area in esame è collocata a valle della costa a falesia che delimita a settentrione il territorio comunale di Sorrento ed è stata sottoposta a rilevanti trasformazioni antropiche con la realizzazione di opere foranee con riempimenti a tergo e la canalizzazione e deviazione del Vallone dei Mulini. I litotipi affioranti sono variamente costituiti nel senso che a fianco delle piroclastiti autoctone si rinvengono i materiali di diversa provenienza introdotti dall'uomo.~~

Si riportano di seguito i risultati delle verifiche di stabilità eseguite per il dimensionamento dell'opera sulla base delle indicazioni riportate nelle "Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime" emanate dalla III sez. del Consiglio Superiore LL.PP. nel 1994.

Il progetto prevede la realizzazione di un frangiflutti a gettata con massi naturali vulcanici di IV[^] Categoria (peso compreso tra 7 t e 10 t) con scarpa a lato interno 1/1 e a lato esterno 1/3; è previsto uno strato interno con massi naturali di I Categoria (peso compreso tra 100 kg e 1000 kg) ed un nucleo in tout-venant di cava.

Il coronamento della diga ha larghezza pari a 12 m ed è posto a quota + 2.50 m.s.m. L'opera, che allo stato attuale si presenta incompleta, ha una lunghezza complessiva di circa 120 m ed è imbasata su fondali compresi tra 2.5 m e 8.5 m. al disotto del livello medio del mare.

La definizione dell'opere di difesa oltre che da valutazioni di carattere meteomarinò è orientata anche da valutazioni di carattere funzionale che consentono di distinguere due differenti tipologie costruttive: le dighe a parete verticale e le dighe a gettata.

In linea generale, le prime riflettono l'onda incidente mentre le seconde fanno frangere le onde incidenti provocando la dissipazione della loro energia.

I frangiflutti a parete verticale vengono usualmente adottati in fondali di una certa importanza, quando la realizzazione di mantellate comporterebbe impiego di elevate quantità di materiale.

Negli altri casi, invece, si preferisce adottare scogliere a gettata in quanto presentano diversi vantaggi, sia costruttivi che pratici, primo tra tutti la capacità di assorbire moti ondosi superiori a quelli di progetto adeguando la loro forma senza giungere a drastiche rotture.

Nel caso in esame, in presenza di fondali modesti, la tipologia prescelta è una diga a gettata, con una sezione costituita da un nucleo in materiale arido a pezzatura crescente ed una mantellata esterna in massi naturali.

Nelle verifiche sono stati utilizzati i dati relativi al clima ondoso nel paraggio di Marina di Cassano riportati nello Studio idraulico-marittimo redatto per incarico del Comune di Sant'Agello dalla INCOST s.r.l. di Napoli, considerando un periodo di ritorno $T_r=50$ anni.

Stabilità idraulica e strutturale

La mantellata è quella parte della diga a gettata direttamente interessata dai carichi agenti (moto ondoso) che svolge la funzione di proteggere gli strati e il nucleo sottostante. Se ne verificano:

1. la **stabilità idraulica** ovvero la capacità di ogni singolo elemento a restare nella propria sede;
2. la **stabilità strutturale** ovvero la possibile rottura di ogni singolo elemento che compone la mantellata e il rischio che ne deriva.

Le formule usualmente impiegate per la verifica della stabilità idraulica della mantellata sono la formula di Hudson e quelle di Van der Meer.

1) FORMULA DI HUDSON

Il peso dei massi naturali, in base alla formula di Hudson, è espresso

$$M = \frac{\delta_c H^3}{K_D \Delta^3 \cot \alpha}$$

in cui:

M = massa dell'elemento di mantellata;

$\Delta = \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1 \right)$, ove γ_s è il peso specifico dei massi impiegati per la costruzione

dell'elemento e γ_w il peso specifico dell'acqua;

H = altezza d'onda;

α = angolo di inclinazione del paramento della mantellata sull'orizzontale;

K_D = coefficiente di stabilità del masso fu ricavato per condizioni di moto ondoso regolare e per la condizione di danno compreso tra 0 e 5%.

Calcolate le caratteristiche dell'onda di progetto in corrispondenza del fondale di 10 m, si verifica se l'onda frange prima di raggiungere l'opera, ciò al fine di individuare il valore del coefficiente K_D consigliato dalle Istruzioni Italiane.

Esiste un limite massimo all'altezza dell'onda perché questa possa mantenere la sua forma senza frangere: tale limite dipende dalla profondità e dall'acclività dei fondali. È importante stabilire la posizione dell'onda frangente, perché dal verificarsi o meno del frangimento consegue il comportamento dell'onda nei riguardi delle opere di difesa.

La profondità di frangimento dell'onda solitaria incidente, in condizioni di fondo orizzontale, è calcolata con

$$d_b = \frac{H}{0.78}$$

Applicando le relazioni del Munch (1949 - *teoria modificata dell'onda solitaria*), tenendo conto che quando l'onda che si propaga su fondali decrescenti le condizioni di frangimento dipendono sia dalla profondità relativa d/L che dalla pendenza del fondale, ne deriva che in condizioni di fondale inclinato :

$$\frac{H_b}{H_0} = \frac{1}{3,3 * \left(\frac{H_0}{L_0}\right)^{\frac{1}{3}}} = 0,638$$

$$\frac{d_b}{H_b} = 1,28$$

con:

$\frac{H_b}{H_0}$ indice dell'altezza di frangimento

H_b altezza d'onda di frangimento

H_0 altezza d'onda non rifratta in acqua profonda

L_0 lunghezza d'onda in acqua profonda

d_b Profondità di frangimento

Le caratteristiche del moto ondoso prese in considerazione sono quelle con $Tr=50$ anni e configurazione geometrica scogliera con scarpa esterna 2/1.

Mettendo in conto la pendenza del fondale si è ricavato

$$\frac{d_b}{H_b} = \frac{1}{b - (aH_B / gT^2)} = 1,10$$

dove a e b sono funzioni della pendenza m , nel caso in oggetto $m = 0,16$ e possono essere approssimate da:

$$a = 1,36g(1 - e^{-19m}) = 12,70$$

$$b = \frac{1}{(1 + e^{-19,5m})} = 0,96$$

Da cui deriva:

$$d_b = - 5,13 \text{ m}$$

$$H_b = 4,69 \text{ m}$$

Pertanto l'onda non frange prima di raggiungere l'opera.

Applicando la formula di Hudson si ottiene:

Scarpa 3/1		
Altezze medie e periodi significativi TR 50 anni - sottocosta tratto A		
<i>Peso specifico acqua</i>	γ_o (t/m ³)	1,03
<i>Peso specifico dei massi impiegati per la costruzione</i>	γ_s (t/m ³)	2,6
<i>Altezza significativa onda estrema in prossimità scogliera</i>	Hi (m)	4,18
<i>Altezza significativa onda estrema al largo</i>	Ho (m)	5,40
<i>Coefficiente di stabilità (n = 3 strati mantellata)</i>	K	2,60
	Pmin (t)	6,87

2) FORMULE DI VAN DER MEER

La formula di Hudson non tiene però conto del periodo del moto ondoso, in quanto ricavata nel campo $d/L = 0,15 \div 0,50$ in cui l'effetto del periodo d'onda non è rilevante. Sono stati tentati diversi accorgimenti per estendere la formula di Hudson a condizioni d'attacco irregolari. Una maggiorazione dell'altezza d'onda è frequentemente accettata, tuttavia non vi è concordanza nell'assumere un fattore moltiplicativo costante per tutti i tipi di mantellata.

Per tale motivo le verifiche sono state effettuate utilizzando anche le formule di Van der Meer.

Le due formule di Van der Meer tengono conto dell'azione delle onde irregolari e degli effetti di variabilità del periodo del moto ondoso, particolarmente presenti in acque basse $d/L < 0,15$.

Il parametro di frangimento medio $\xi_m = tg\alpha / \sqrt{\frac{H}{L_0}}$ consente di distinguere tra onde

frangenti di tipo "plunging" e onde frangenti di tipo "surging".

Ambedue i tipi di formula di Van der Meer possono essere impiegati per opere con cresta bassa sul l.m.m. ovvero quando si verifica la condizione:

$$0 < \frac{R_C}{H_S} < 1$$

R_C = altezza della cresta fuori d'acqua

H_s = altezza d'onda significativa

Nel caso in oggetto $R_c = 2,5$ m. e $H_s = 3,12 \div 4,18$ per cui siamo in condizioni di frangiflutti a cresta bassa, pertanto le formule di Van der Meer vanno corrette applicando al valore $H_s / \Delta D_{n50}$ un fattore correttivo, f_i , che misura la riduzione della dimensione del masso in relazione al basso livello della cresta:

$$f_i = \frac{1}{\left[1,25 - 4,8 \left(\frac{R_c}{H_s} \right) \left(\frac{S_m}{2\pi} \right)^{0,5} \right]}$$

Come si è detto in premessa, sono state effettuate verifiche a breve termine (ipotesi $Tr=5$ anni e configurazione geometrica scogliera con scarpa 2/1) e a lungo termine (ipotesi $Tr=50$ anni configurazione geometrica scogliera con scarpa 3/1). Le caratteristiche del moto ondoso prese in considerazione sono le onde medie in prossimità della testata della scogliera.

Attese le caratteristiche del moto ondoso per un $Tr=50$ anni per il tratto A di testata

- altezza d'onda media davanti alla struttura $H = 4,18$ m
- periodo medio $T_m = 11,65$ sec
- lunghezza d'onda al largo riferita al periodo medio T_m $L_0 = \frac{gT_m^2}{2\pi} = 164,10$ m

e la configurazione geometrica della diga a scogliera con scarpa 3/1 ovvero $tg\alpha = 0,333$

si ricava il parametro di Iribarren $\xi_m = 2,09$ per il quale vale la formula di Van der Meer per le onde frangenti del tipo plunging $\xi_m \leq 2,5$

$$H_s / \Delta D_{n50} = 6,2 (p^*)^{0,18} (S / \sqrt{N})^{0,2} \xi_m^{-0,5}$$

$$\text{Ove } \Delta = \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1 \right),$$

γ_s è il peso specifico dei massi impiegati per la costruzione dell'elemento = $2,6 \frac{t}{m^3}$

γ_w il peso specifico dell'acqua = $1,03 \frac{t}{m^3}$;

α = angolo di inclinazione del paramento della mantellata sull'orizzontale;

H_s = altezza d'onda significativa

N = numero d'onde presenti nella mareggiata (si ipotizza mareggiata di 6 ore)

ΔD_{n50} = Diametro nominale del masso (di peso mediano)

p^* = parametro indicatore della permeabilità della struttura (variabile tra 0,1 e 0,6 si assume 0,4)

S = livello di danneggiamento espresso come rapporto A_e / D_{n50}^2 dove A_e è l'area della sezione trasversale erosa dalla mareggiata.

Il livello di danneggiamento è stato tabellato da Van der Meer in funzione delle pendenze e del grado di danneggiamento.

Scarpa	Danno iniziale	Danno da moderato a forte	Cedimento (cioè strato di filtro esposto)
1:1,5	2	3-5	8
1:2	2	4-6	8
1:3	2	6-9	12
1:4	3	8-12	17

Si è assunto un valore cautelativo di $S=4$

Si riportano di seguito i risultati ottenuti:

Scarpa 3/1		
Altezze medie e periodi significativi TR 50 anni - sottocosta tratto A		
<i>Peso specifico acqua</i>	γ_o (t/m ³)	1,03
<i>Peso specifico dei massi impiegati per la costruzione</i>	γ_s (t/m ³)	2,6
<i>Altezza significativa onda estrema in prossimità scogliera</i>	H _i (m)	4,18
<i>Altezza significativa onda estrema al largo</i>	H _o (m)	7,35
<i>Periodo significativo onda al largo</i>	Ts ^o (sec)	11,65
<i>Periodo significativo medio pari a 0,88 del periodo significativo</i>	Ts ^m (sec)	10,25
<i>Lunghezza al largo riferita al periodo significativo</i>	L _o (m)	212
<i>Lunghezza al largo riferita al periodo significativo medio</i>	L _o Tm (m)	164,10
<i>Parametro di Iribarren</i>	ξ_e	2,09
<i>Permeabilità della struttura</i>	p	0,4
<i>Area erosa relativa corrispondente al danneggiamento iniziale</i>	S	4,0
<i>Numero onde presenti nella mareggiata</i>	N	1854
<i>Diametro nominale massi di IV categoria</i>	D _n (m)	1,39
<i>Diametro nominale massi di I categoria</i>	D _n (m)	0,73
<i>Diametro nominale masso di peso mediano</i>	D _{n50} (m)	1,21
<i>Fattore correttivo per frangiflutti a cresta bassa</i>	f _i	0,92
<i>Diametro nominale masso di peso mediano corretto</i>	D _{n50} (m)	1,32
	Pmin (t)	5,99

2.b) Verifiche di stabilità globale

Per le verifiche di stabilità globale si sono seguite le Istruzioni Tecniche per la progettazione delle dighe frangiflutti (1996) che prescrivono che il coefficiente di sicurezza non deve essere minore di 1,3.

Le verifiche di stabilità globale sono state eseguite con il metodo dell'equilibrio limite tenendo conto dei livelli del mare sia in condizioni di assenza del moto ondoso che con cavo d'onda.

Le verifiche di stabilità sono state eseguite facendo riferimento ai metodi dell'equilibrio limite (Janbu, Bishop) utilizzando il codice di calcolo STABL.

Per le verifiche sono state ricercate, per tentativi, le superfici di scorrimento, costituite da archi circolari, cui corrisponde il minor fattore di sicurezza.

Per ogni intervallo di ricerca sono state generate 400 superfici di scorrimento.

Nei tabulati riportati in appendice sono riassunti i dati di input, la forma delle 10 superfici di scorrimento più critiche e i dati di output relativi all'analisi della superficie di scorrimento più critica.

Nelle analisi sono stati considerati i seguenti parametri

1) Materiali della mantellata

Peso di volume	$\gamma = 26.0 \text{ kN/m}^3$
Coesione	$c' = 0$
Angolo di attrito	$\varphi = 39^\circ$

2) Materiale del nucleo

Peso di volume	$\gamma = 26.0 \text{ kN/m}^3$
Coesione	$c' = 0$
Angolo di attrito	$\varphi = 39^\circ$

3) Sabbie e ghiaie (Formazione di base)

Peso di volume	$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$
Coesione	$c' = 0$
Angolo di attrito	$\varphi = 33^\circ$

Per la definizione delle superfici di scorrimento è stato utilizzato il metodo di Bishop, determinando il fattore di sicurezza tra momento stabilizzante e momento ribaltante, definito dalle relazioni seguenti:

$$M_r = r_i \cdot \sum W_i \cdot \text{sen} \alpha_i$$

$$M_s = r_i \cdot \sum (c' + \sigma_{vi} \tan \varphi') \cdot \Delta l_i$$

$$F.S. = \frac{M_s}{M_r}$$

La verifica è stata condotta nelle due condizioni di calcolo seguenti:

- a) condizioni idrostatiche: livello del mare costante sul lato mare e sul lato interno;
- b) massimo run-down sul lato mare della struttura. L'analisi del run-down in corrispondenza delle testate è stata effettuata attraverso la seguente relazione (Van der Meer, 1988):

$$\frac{R_{d2\%}}{H_s} = 2,1 \cdot \sqrt{\tan \alpha} - 1,2 \cdot P^{0,15} + 1,5 \cdot e^{-60 \cdot s_{om}}$$

dove

- $R_{d2\%}$: run down;
- H_s : altezza d'onda significativa;
- P : fattore di permeabilità;
- α : pendenza della mantellata;
- s_{om} : ripidità dell'onda.

Per le condizioni di moto ondosso con periodo di ritorno di 50 anni ($H_s=4,18$ m, $T_m=10,25$ s), considerando un fattore di permeabilità pari a $P=0,4$, il massimo rundown è pari a $R_{d2\%}=3,92$ m

La verifica è stata condotta nella sezione 30 rappresentativa della sezione della diga con fondale alla batimetrica – 10,00 m.

Per tale sezione sono state determinate 100 possibili superfici di scorrimento.

I fattori di sicurezza minimi forniti dal programma di calcolo sono indicati nella tabella seguente.

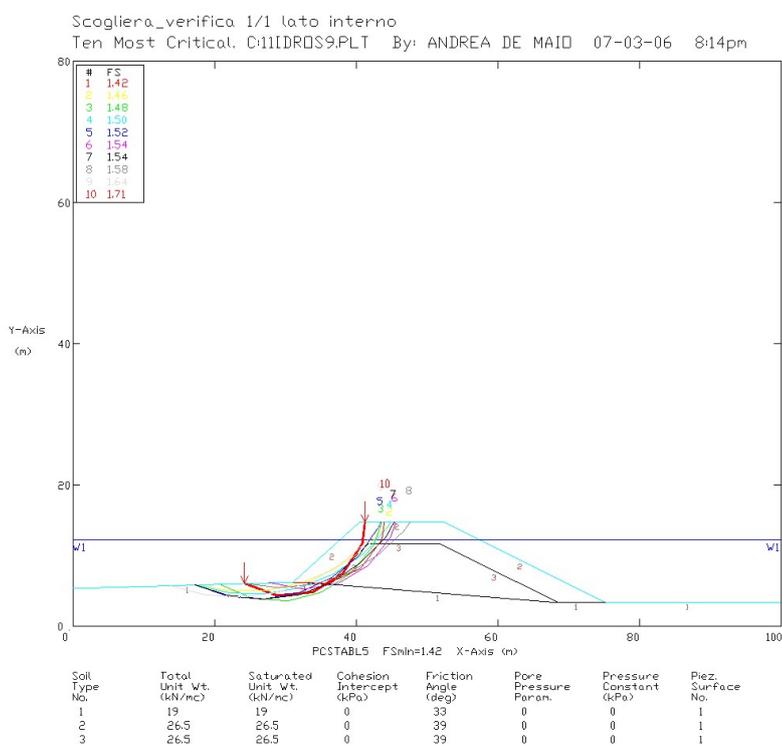
Sezione 30	Condizioni idrostatiche	Massimo run-down
-------------------	--------------------------------	-------------------------

Scarpa 1/1 lato interno	1,42	1,42
Scarpa 3/1 lato esterno	2,10	1,91

Tutte le situazioni considerate soddisfano il criterio F.S. $\geq 1,3$

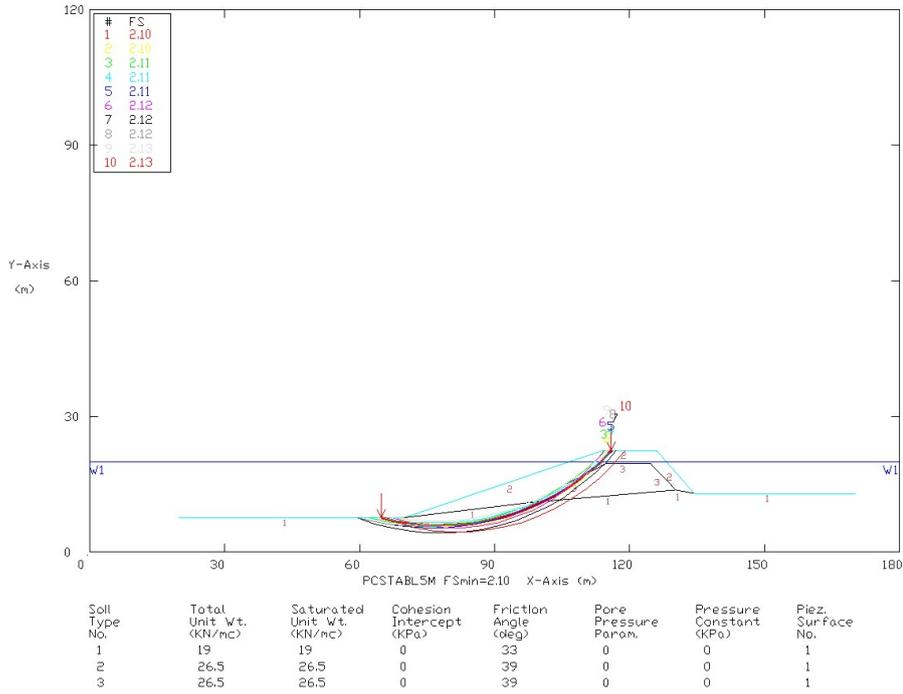
Output grafici

I risultati grafici delle verifiche sono rappresentati nelle seguenti figure:



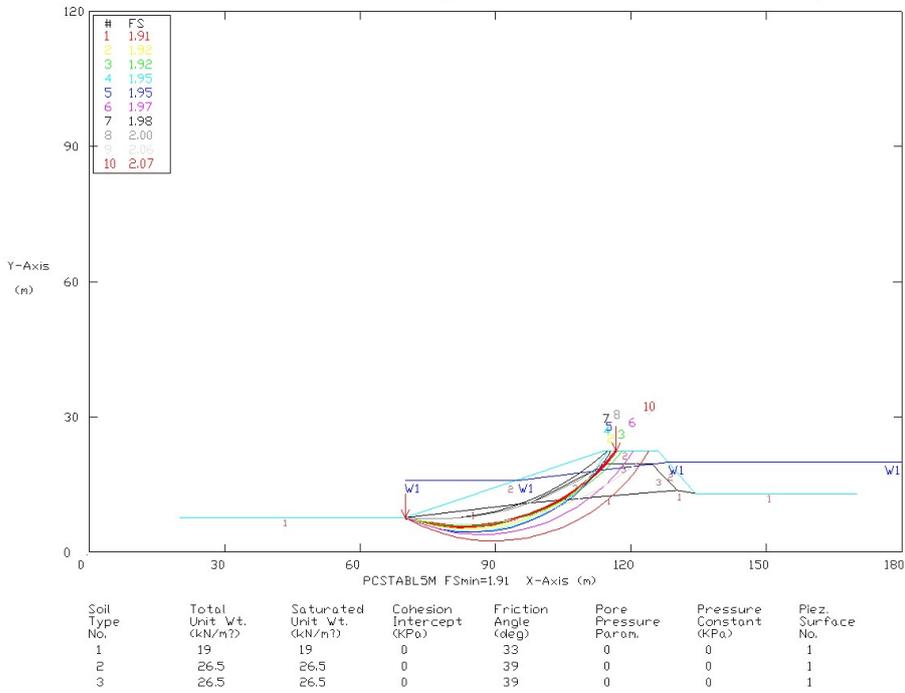
Output grafico – Verifica lato interno scarpa 1/1

Verifica scogliera 3/1 condizioni idrostatiche
 Ten Most Critical. C:\1IDROST.PLT By: ANDREA DE MAIO 07-03-06 8:28pm



Output grafico – Verifica lato mare scarpa 3/1 – Condizioni idrostatiche

Verifica scogliera 3/1 max Run Down
 Ten Most Critical. C:\1IRDW.PLT By: ANDREA DE MAIO 07-03-06 8:29pm



Output grafico – Verifica lato mare scarpa 3/1 – Condizioni massimo run-down

2.c) Verifica di stabilità dei terreni di fondazione

Il terreno di fondazione della struttura deve essere in grado di sopportare il carico che gli viene trasmesso senza che si verifichi rottura.

In questo capitolo viene affrontato il problema della determinazione della resistenza limite a taglio (carico ultimo o carico limite) di una fondazione con il metodo di Brinch-Hansen.

Utilizzando l'espressione che deriva da quella generale del carico limite di *Brinch-Hansen*:

$$q_{lim} = \frac{1}{2} \gamma' B N_{\gamma} + q' N_q + c N_c + \gamma_w D_w$$

nella quale:

$$\gamma' = \gamma - \gamma_w$$

N_{γ} , N_q , N_c = fattori di capacità portante dipendenti dall'angolo d'attrito φ' (*Vesic, 1975*)

$$q' = \gamma' D_w + \gamma' (D - D_w)$$

D = profondità del piano di posa dal p.c.

D_w = profondità della falda dal p.c.

B = larghezza della fondazione rettangolare

c = coesione

Per il terreno di fondazione, si assume un angolo di resistenza al taglio medio pari a 30° e si trascura il contributo fornito dalla coesione.

Tenuto conto che l'opera in progetto rientra tra i manufatti di materiali sciolti con specifiche funzioni di protezione secondo quanto previsto al punto 7.3.5.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14 settembre 2005) deve essere rispettata la condizione

$$E_d \leq R_d$$

ove gli effetti dell'azione E_d sono ottenuti ampliando i carichi di progetto con coefficienti parziali di sicurezza; analogamente il valore di progetto della resistenza del terreno si ottiene calcolando il carico limite di progetto sulla base dei parametri di

resistenza di progetto del terreno ottenuti riducendo i rispettivi valori caratteristici per opportuni coefficienti parziali di sicurezza.

In Tab.1 sono riportati i valori dei fattori di capacità portante utilizzati nei calcoli in funzione dell'angolo d'attrito, fattori ottenuti riducendo la tangente dell'angolo di resistenza al taglio con coefficiente parziale $\gamma_\phi = 1,25$ previsto dalla tabella 7.2.1 del D.M. 14 settembre 2005.

Tab.1

Φ°	N_q	N_γ
30	12,79	12,74

$$N_\gamma = 2 (N_q + 1) \operatorname{tg} \phi \quad (\text{Vesic, 1970})$$

$$N_q = \operatorname{tg}^2(45 + \phi/2) e^{\pi \operatorname{tg} \phi} \quad [\text{Prandtl (1921) e Reissner, 1924}]$$

A vantaggio di sicurezza la verifica viene effettuata per una sezione con impronta pari alla larghezza di berma (12 m).

Geometria rilevato:

Altezza colonna d'acqua = 8,85 m

Altezza parte emersa della scogliera = 2,50 m

Analisi dei carichi:

$$\text{Peso rilevato} = 16 \times 0,85 \times 8,85 + 26 \times 0,85 \times 2,50 = 176 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Carico limite: } q_{\lim d} = 0,5 * 12 * 10 * 12,74 = 764 \text{ kN/m}^2$$

Essendo verificata la condizione $q_{\lim d} \geq q_{esd}$ la verifica è soddisfatta.

APPENDICE 1 – Tabulati di calcolo

** PCSTABL5 **

by
Purdue University

1

--Slope Stability Analysis--
Simplified Janbu, Simplified Bishop
or Spencer`s Method of Slices

Run Date: 07-03-06
Time of Run: 8:20pm
Input Data Filename: C:11IDROS9
Output Filename: C:11IDROS9.OUT
Plotted Output Filename: C:11IDROS9.PLT

PROBLEM DESCRIPTION Scogliera_verifica 1/1 lato interno

BOUNDARY COORDINATES

5 Top Boundaries
11 Total Boundaries

Boundary No.	X-Lem (m)	Y-Lem (m)	X-Right (m)	Y-Right (m)	Soil Type Below Bnd
1	.00	5.41	31.11	6.30	1
2	31.11	6.30	40.48	14.77	2
3	40.48	14.77	52.48	14.77	2
4	52.48	14.77	75.22	3.40	2
5	75.22	3.40	100.00	3.40	1
6	31.11	6.30	36.10	6.01	1
7	36.10	6.01	41.72	11.77	3
8	41.72	11.77	51.77	11.77	3
9	51.77	11.77	68.61	3.35	3
10	36.10	6.01	68.61	3.35	1
11	68.61	3.35	75.22	3.40	1

1

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

3 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (kN/m ³)	Saturated Unit Wt. (kN/m ³)	Cohesion Intercept (kPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (kPa)	Piez. Surface No.
1	19.0	19.0	.0	33.0	.00	.0	1

2	26.5	26.5	.0	39.0	.00	.0	1
3	26.5	26.5	.0	39.0	.00	.0	1

1

1 PIEZOMETRIC SURFACE(S) HAVE BEEN SPECIFIED

Unit Weight of Water = 9.80

Piezometric Surface No. 1 Specified by 2 Coordinate Points

Point No.	X-Water (m)	Y-Water (m)
1	.00	12.27
2	100.00	12.27

1

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

100 Trial Surfaces Have Been Generated.

10 Surfaces Initiate From Each Of 10 Points Equally Spaced Along The Ground Surface Between X = .00 m. and X = 31.11 m.

Each Surface Terminates Between X = 40.48 m. and X = 52.48 m.

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation At Which A Surface Extends Is Y = 1.00 m.

5.00 m. Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

Restrictions Have Been Imposed Upon The Angle Of Initiation. The Angle Has Been Restricted Between The Angles Of -90.0 And .0 deg.

1

Following Are Displayed The Ten Most Critical Of The Trial Failure Surfaces Examined. They Are Ordered - Most Critical First.

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method * *

Failure Surface Specified By 6 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	24.20	6.10
2	28.90	4.41
3	33.88	4.92
4	38.14	7.52
5	40.87	11.71
6	41.27	14.77

Circle Center At X = 30.3 ; Y = 15.6 and Radius, 11.3

*** 1.423 ***

Failure Surface Specified By 8 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	17.28	5.90
2	22.21	5.03
3	27.21	5.10
4	32.10	6.10
5	36.73	8.01
6	40.91	10.75
7	44.50	14.23
8	44.87	14.77

Circle Center At X = 24.4 ; Y = 31.4 and Radius, 26.5

*** 1.458 ***

1

Failure Surface Specified By 7 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	20.74	6.00
2	25.34	4.04
3	30.33	3.66
4	35.17	4.90
5	39.36	7.63
6	42.45	11.56
7	43.58	14.77

Circle Center At X = 29.0 ; Y = 19.0 and Radius, 15.4

*** 1.480 ***

Failure Surface Specified By 8 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	17.28	5.90
2	22.15	4.73
3	27.14	4.59
4	32.06	5.48
5	36.69	7.37
6	40.83	10.17
7	44.31	13.77
8	44.94	14.77

Circle Center At X = 25.3 ; Y = 28.6 and Radius, 24.1

*** 1.496 ***

1

Failure Surface Specified By 8 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	17.28	5.90
2	22.01	4.26
3	26.99	3.87
4	31.91	4.74
5	36.45	6.84
6	40.31	10.02
7	43.25	14.07
8	43.52	14.77

Circle Center At X = 26.0 ; Y = 23.4 and Radius, 19.6

*** 1.520 ***

Failure Surface Specified By 6 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	27.65	6.20
2	32.56	5.26
3	37.49	6.12
4	41.80	8.66
5	44.92	12.56
6	45.64	14.77

Circle Center At X = 32.7 ; Y = 19.2 and Radius, 13.9

*** 1.539 ***

1

Failure Surface Specified By 8 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	17.28	5.90
2	22.03	4.32
3	27.01	3.86
4	31.96	4.53
5	36.63	6.31
6	40.79	9.09
7	44.20	12.75
8	45.36	14.77

Circle Center At X = 26.5 ; Y = 25.8 and Radius, 22.0

*** 1.541 ***

Failure Surface Specified By 7 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	24.20	6.10
2	29.16	5.49
3	34.14	5.97
4	38.88	7.53
5	43.18	10.10
6	46.80	13.54
7	47.63	14.77

Circle Center At X = 29.5 ; Y = 28.2 and Radius, 22.7

*** 1.584 ***

1

Failure Surface Specified By 8 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	13.83	5.81
2	18.65	4.48
3	23.63	4.12
4	28.60	4.73
5	33.34	6.30
6	37.70	8.76
7	41.49	12.02
8	43.64	14.77

Circle Center At X = 23.0 ; Y = 29.7 and Radius, 25.6

*** 1.644 ***

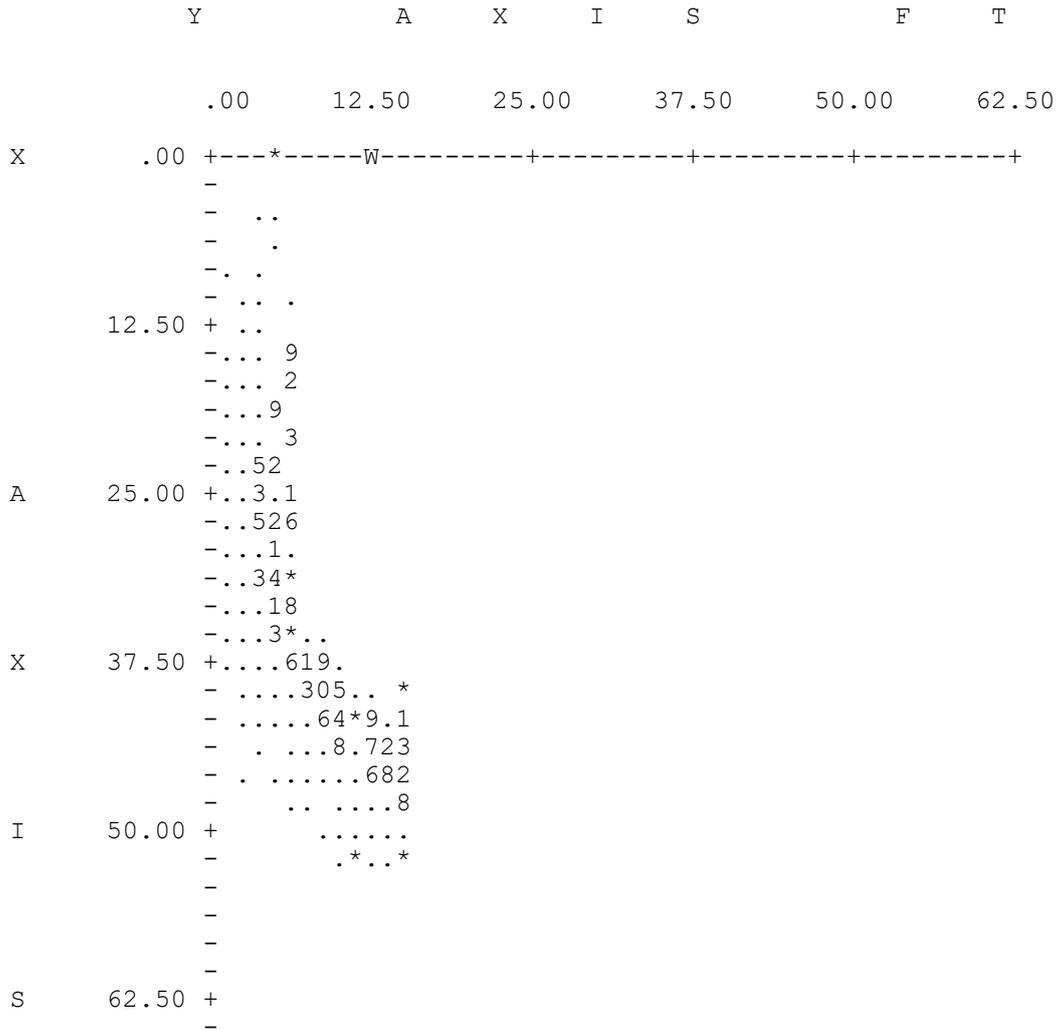
Failure Surface Specified By 5 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	31.11	6.30
2	36.11	6.09
3	40.62	8.25
4	43.58	12.27
5	43.95	14.77

Circle Center At X = 34.0 ; Y = 16.2 and Radius, 10.3

*** 1.711 ***

1



		-		
		-	*	
		-		
		-		
	75.00	+	*	
		-		
		-		
		-		
		-		
F	87.50	+		
		-		
		-		
		-		
		-		
T	100.00	+	*	W

by
Purdue University

1

--Slope Stability Analysis--
Simplified Janbu, Simplified Bishop
or Spencer`s Method of Slices

Run Date: 07-03-06
Time of Run: 8:28pm
Input Data Filename: C:31IDROST
Output Filename: C:31IDROST.OUT
Plotted Output Filename: C:31IDROST.PLT

PROBLEM DESCRIPTION Verifica scogliera 3\1 condizioni idrotr
atiche

BOUNDARY COORDINATES

5 Top Boundaries
11 Total Boundaries

Boundary No.	X-Lem (m)	Y-Lem (m)	X-Right (m)	Y-Right (m)	Soil Type Below Bnd
1	20.00	7.73	70.00	7.73	1
2	70.00	7.73	114.00	22.50	2
3	114.00	22.50	126.00	22.50	2
4	126.00	22.50	134.38	13.13	2
5	134.38	13.13	170.00	13.13	1
6	70.00	7.73	97.87	11.08	1
7	97.87	11.08	114.70	19.50	3
8	114.76	19.50	124.76	19.50	3
9	124.76	19.50	130.38	13.74	3
10	130.38	13.74	134.38	13.13	1
11	97.87	11.08	130.38	13.74	1

1

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

3 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (kN/m³)	Saturated Unit Wt. (kN/m³)	Cohesion Intercept (kPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param. (kPa)	Pressure Constant (kPa)	Piez. Surface No.
1	19.0	19.0	.0	33.0	.00	.0	1
2	26.5	26.5	.0	39.0	.00	.0	1
3	26.5	26.5	.0	39.0	.00	.0	1

1

1 PIEZOMETRIC SURFACE(S) HAVE BEEN SPECIFIED

Unit Weight of Water = 9.80

Piezometric Surface No. 1 Specified by 2 Coordinate Points

Point No.	X-Water (m)	Y-Water (m)
1	.00	20.00
2	180.00	20.00

1

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

400 Trial Surfaces Have Been Generated.

20 Surfaces Initiate From Each Of 20 Points Equally Spaced Along The Ground Surface Between X = 20.00 m.
and X = 70.00 m.

Each Surface Terminates Between X = 114.00 m.
and X = 126.00 m.

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation At Which A Surface Extends Is Y = .00 m.

4.00 m. Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

Restrictions Have Been Imposed Upon The Angle Of Initiation. The Angle Has Been Restricted Between The Angles Of -90.0 And .0 deg.

1

Following Are Displayed The Ten Most Critical Of The Trial Failure Surfaces Examined. They Are Ordered - Most Critical First.

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method * *

Failure Surface Specified By 16 Coordinate Points

Point	X-Surf	Y-Surf
-------	--------	--------

No.	(m)	(m)
1	64.74	7.73
2	68.63	6.83
3	72.59	6.23
4	76.58	5.95
5	80.58	5.97
6	84.57	6.31
7	88.51	6.96
8	92.40	7.92
9	96.19	9.17
10	99.88	10.72
11	103.44	12.55
12	106.84	14.65
13	110.07	17.01
14	113.11	19.62
15	115.93	22.45
16	115.97	22.50

Circle Center At X = 78.2 ; Y = 57.2 and Radius, 51.2

*** 2.095 ***

Individual data on the 21 slices

Slice No.	Width m(m)	Weight Lbs(kg)	Water	Water	Tie	Tie	Earthquake		Surcharge Load
			Force Top	Force Bot	Force Norm	Force Tan	Force Hor	Force Ver	
1	3.9	33.4	468.6	498.7	.0	.0	.0	.0	.0
2	1.4	26.1	164.2	179.7	.0	.0	.0	.0	.0
3	2.6	90.9	316.8	348.3	.0	.0	.0	.0	.0
4	4.0	270.6	442.6	545.3	.0	.0	.0	.0	.0
5	4.0	408.8	388.3	550.3	.0	.0	.0	.0	.0
6	4.0	520.7	331.7	543.2	.0	.0	.0	.0	.0
7	3.9	603.8	274.1	523.8	.0	.0	.0	.0	.0
8	3.9	656.6	217.0	492.4	.0	.0	.0	.0	.0
9	3.8	679.0	161.5	449.1	.0	.0	.0	.0	.0
10	1.7	305.0	55.3	186.5	.0	.0	.0	.0	.0
11	2.0	367.3	53.6	207.7	.0	.0	.0	.0	.0
12	1.2	221.5	25.6	120.4	.0	.0	.0	.0	.0
13	2.3	410.0	34.7	207.6	.0	.0	.0	.0	.0
14	3.4	534.7	16.7	250.9	.0	.0	.0	.0	.0
15	3.2	411.6	.0	163.5	.0	.0	.0	.0	.0
16	.5	52.4	.0	17.5	.0	.0	.0	.0	.0
17	2.5	219.4	.0	48.6	.0	.0	.0	.0	.0
18	.4	24.9	.0	1.0	.0	.0	.0	.0	.0
19	.5	29.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
20	1.9	52.2	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
21	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0

Failure Surface Specified By 15 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	67.37	7.73

2	71.23	6.69
3	75.17	6.01
4	79.16	5.68
5	83.16	5.72
6	87.14	6.12
7	91.07	6.88
8	94.91	7.99
9	98.63	9.45
10	102.21	11.24
11	105.61	13.35
12	108.81	15.75
13	111.77	18.44
14	114.48	21.38
15	115.34	22.50

Circle Center At X = 80.7 ; Y = 49.7 and Radius, 44.1

*** 2.104 ***

1

Failure Surface Specified By 16 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	62.11	7.73
2	66.01	6.84
3	69.96	6.25
4	73.95	5.95
5	77.95	5.95
6	81.94	6.25
7	85.89	6.85
8	89.79	7.74
9	93.62	8.92
10	97.34	10.39
11	100.94	12.12
12	104.40	14.13
13	107.71	16.38
14	110.83	18.88
15	113.76	21.60
16	114.60	22.50

Circle Center At X = 75.9 ; Y = 59.3 and Radius, 53.4

*** 2.105 ***

Failure Surface Specified By 15 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	64.74	7.73
2	68.67	7.02

3	72.65	6.59
4	76.65	6.44
5	80.65	6.58
6	84.62	7.00
7	88.56	7.71
8	92.44	8.69
9	96.23	9.95
10	99.93	11.47
11	103.51	13.26
12	106.96	15.29
13	110.25	17.56
14	113.37	20.07
15	116.00	22.50

Circle Center At X = 76.7 ; Y = 62.6 and Radius, 56.2

*** 2.110 ***

1

Failure Surface Specified By 17 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	59.47	7.73
2	63.35	6.73
3	67.28	6.00
4	71.25	5.55
5	75.25	5.38
6	79.25	5.49
7	83.23	5.89
8	87.17	6.56
9	91.06	7.51
10	94.87	8.74
11	98.58	10.22
12	102.18	11.97
13	105.65	13.96
14	108.96	16.20
15	112.12	18.66
16	115.09	21.34
17	116.21	22.50

Circle Center At X = 75.6 ; Y = 62.1 and Radius, 56.7

*** 2.113 ***

Failure Surface Specified By 15 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	67.37	7.73
2	71.20	6.58

3	75.13	5.82
4	79.11	5.44
5	83.11	5.45
6	87.09	5.85
7	91.01	6.64
8	94.84	7.80
9	98.53	9.34
10	102.06	11.22
11	105.38	13.44
12	108.48	15.98
13	111.31	18.81
14	113.85	21.89
15	114.26	22.50

Circle Center At X = 81.0 ; Y = 46.3 and Radius, 40.9

*** 2.116 ***

1

Failure Surface Specified By 17 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	59.47	7.73
2	63.25	6.40
3	67.11	5.38
4	71.05	4.66
5	75.03	4.26
6	79.03	4.17
7	83.02	4.41
8	86.98	4.96
9	90.89	5.82
10	94.71	6.99
11	98.44	8.45
12	102.03	10.21
13	105.47	12.25
14	108.74	14.56
15	111.82	17.11
16	114.68	19.90
17	116.95	22.50

Circle Center At X = 78.1 ; Y = 54.6 and Radius, 50.4

*** 2.118 ***

Failure Surface Specified By 17 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	59.47	7.73
2	63.36	6.80

3	67.31	6.14
4	71.29	5.74
5	75.29	5.61
6	79.28	5.76
7	83.26	6.17
8	87.20	6.85
9	91.09	7.80
10	94.90	9.01
11	98.63	10.47
12	102.24	12.18
13	105.74	14.13
14	109.09	16.31
15	112.28	18.72
16	115.31	21.33
17	116.49	22.50

Circle Center At X = 75.2 ; Y = 64.7 and Radius, 59.1

*** 2.119 ***

1

Failure Surface Specified By 14 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	67.37	7.73
2	71.33	7.19
3	75.32	6.93
4	79.32	6.97
5	83.31	7.30
6	87.26	7.91
7	91.16	8.81
8	94.98	9.99
9	98.71	11.44
10	102.32	13.16
11	105.80	15.14
12	109.12	17.36
13	112.28	19.82
14	115.25	22.50

Circle Center At X = 76.8 ; Y = 62.1 and Radius, 55.2

*** 2.127 ***

Failure Surface Specified By 17 Coordinate Points

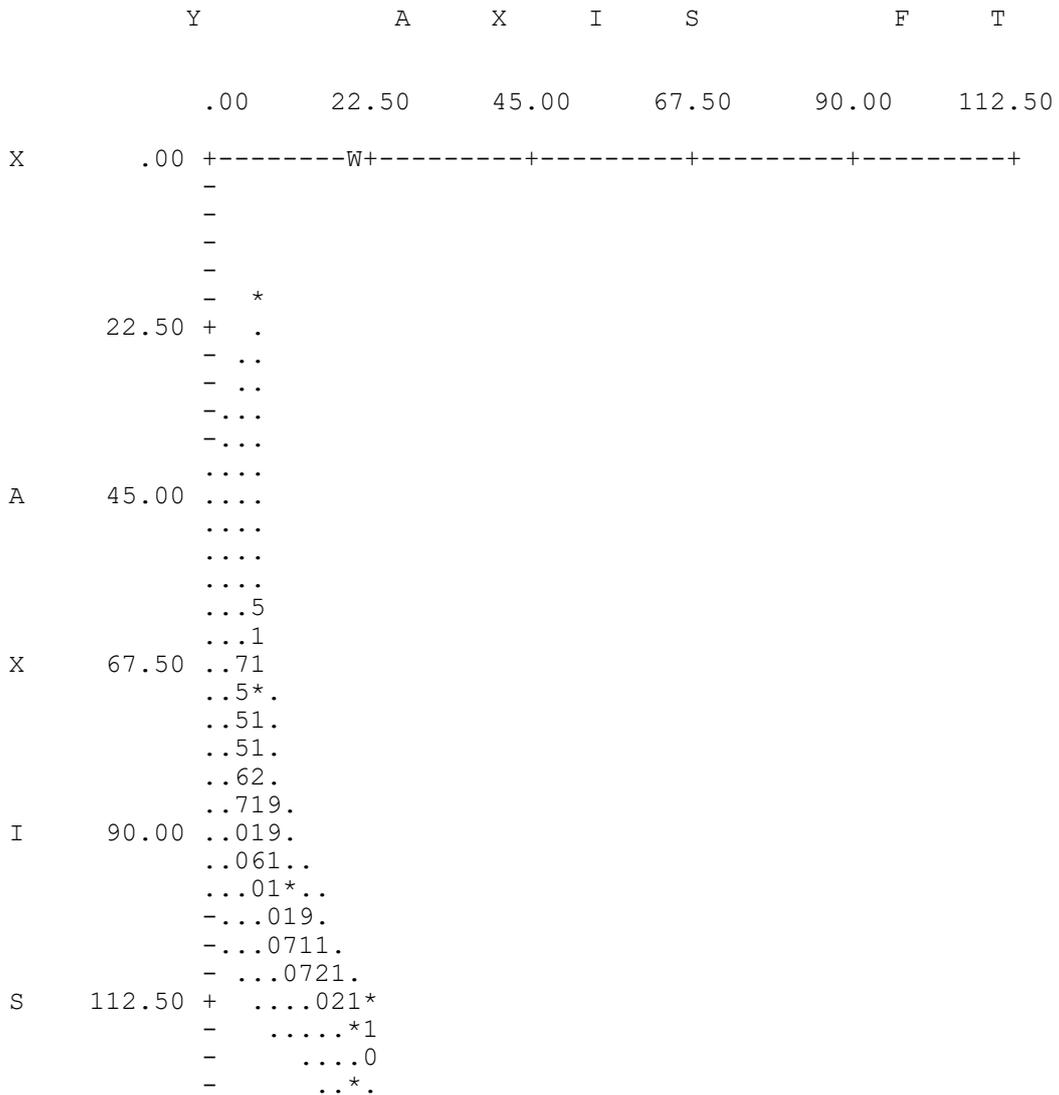
Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	64.74	7.73
2	68.52	6.42
3	72.40	5.44

4	76.34	4.79
5	80.33	4.48
6	84.33	4.51
7	88.31	4.88
8	92.25	5.59
9	96.11	6.63
10	99.87	8.00
11	103.50	9.68
12	106.98	11.66
13	110.27	13.93
14	113.36	16.47
15	116.22	19.27
16	118.83	22.30
17	118.98	22.50

Circle Center At X = 82.0 ; Y = 51.4 and Radius, 47.0

*** 2.129 ***

1



		-		*
		-	*	
	135.00	+	*	
		-		
		-		
		-		
	F	157.50	+	
		-		
		-		
		-	*	
		-		
		-		
	T	180.00	+	W
0	157.50	+		
		-		
		-		
		-	*	
		-		

** PCSTABL5M **

by
Purdue University

1

--Slope Stability Analysis--
Simplified Janbu, Simplified Bishop
or Spencer`s Method of Slices

Run Date: 07-03-06
Time of Run: 8:29pm
Input Data Filename: C:31RDW
Output Filename: C:31RDW.OUT
Plotted Output Filename: C:31RDW.PLT

PROBLEM DESCRIPTION Verifica scogliera 3/1 max Run Down

BOUNDARY COORDINATES

5 Top Boundaries
11 Total Boundaries

Boundary No.	X-Lem (m)	Y-Lem (m)	X-Right (m)	Y-Right (m)	Soil Type Below Bnd
1	20.00	7.73	70.00	7.73	1
2	70.00	7.73	114.00	22.50	2
3	114.00	22.50	126.00	22.50	2
4	126.00	22.50	134.38	13.13	2
5	134.38	13.13	170.00	13.13	1
6	70.00	7.73	97.87	11.08	1
7	97.87	11.08	114.70	19.50	3
8	114.76	19.50	124.76	19.50	3
9	124.76	19.50	130.38	13.74	3
10	130.38	13.74	134.38	13.13	1
11	97.87	11.08	130.38	13.74	1

1

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

3 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (kN/m ³)	Saturated Unit Wt. (kN/m ³)	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1	19.0	19.0	.0	33.0	.00	.0	1
2	26.5	26.5	.0	39.0	.00	.0	1
3	26.5	26.5	.0	39.0	.00	.0	1

1

1 PIEZOMETRIC SURFACE(S) HAVE BEEN SPECIFIED

Unit Weight of Water = 9.80

Piezometric Surface No. 1 Specified by 4 Coordinate Points

Point No.	X-Water (m)	Y-Water (m)
1	70.00	16.08
2	95.11	16.08
3	128.50	20.00
4	180.00	20.00

1

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random
Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

400 Trial Surfaces Have Been Generated.

20 Surfaces Initiate From Each Of 20 Points Equally Spaced
Along The Ground Surface Between X = 20.00 m.
and X = 70.00 m.

Each Surface Terminates Between X = 114.00 m.
and X = 126.00 m.

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation
At Which A Surface Extends Is Y = .00 m.

4.00 m. Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

Restrictions Have Been Imposed Upon The Angle Of Initiation.
The Angle Has Been Restricted Between The Angles Of -90.0
And .0 deg.

1

Following Are Displayed The Ten Most Critical Of The Trial
Failure Surfaces Examined. They Are Ordered - Most Critical
First.

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method * *

Failure Surface Specified By 15 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	70.00	7.73
2	73.86	6.69
3	77.81	6.02
4	81.79	5.72
5	85.79	5.80
6	89.77	6.26
7	93.68	7.09
8	97.50	8.29
9	101.18	9.84
10	104.71	11.73
11	108.04	13.95
12	111.14	16.47
13	113.99	19.28
14	116.57	22.34
15	116.68	22.50

Circle Center At X = 82.9 ; Y = 48.0 and Radius, 42.3

*** 1.909 ***

Individual data on the 21 slices

Slice No.	Width m(m)	Weight Lbs(kg)	Water Force	Water Force	Tie Force	Tie Force	Earthquake Force		Surcharge Load
			Top Lbs(kg)	Bot Lbs(kg)	Norm Lbs(kg)	Tan Lbs(kg)	Hor Lbs(kg)	Ver Lbs(kg)	
1	3.9	97.8	307.4	347.7	.0	.0	.0	.0	.0
2	3.9	287.1	260.5	381.3	.0	.0	.0	.0	.0
3	4.0	453.6	208.7	400.3	.0	.0	.0	.0	.0
4	4.0	590.7	153.8	404.6	.0	.0	.0	.0	.0
5	4.0	693.2	97.8	394.0	.0	.0	.0	.0	.0
6	3.9	757.9	42.8	368.7	.0	.0	.0	.0	.0
7	1.4	290.2	2.4	128.7	.0	.0	.0	.0	.0
8	2.4	493.5	.0	202.2	.0	.0	.0	.0	.0
9	.4	78.1	.0	31.6	.0	.0	.0	.0	.0
10	3.3	694.7	.0	260.9	.0	.0	.0	.0	.0
11	3.3	686.2	.0	229.2	.0	.0	.0	.0	.0
12	.2	42.1	.0	12.6	.0	.0	.0	.0	.0
13	3.3	626.0	.0	177.5	.0	.0	.0	.0	.0
14	3.1	477.6	.0	99.9	.0	.0	.0	.0	.0
15	.6	81.8	.0	10.5	.0	.0	.0	.0	.0
16	1.1	123.6	.0	6.9	.0	.0	.0	.0	.0
17	.9	83.7	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
18	.3	24.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
19	.0	.7	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
20	2.6	114.7	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
21	.1	.2	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0

Failure Surface Specified By 15 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
-----------	------------	------------

1	70.00	7.73
2	73.80	6.47
3	77.71	5.62
4	81.68	5.18
5	85.68	5.17
6	89.66	5.57
7	93.58	6.38
8	97.39	7.60
9	101.05	9.21
10	104.52	11.20
11	107.76	13.54
12	110.74	16.21
13	113.43	19.17
14	115.79	22.40
15	115.85	22.50

Circle Center At X = 83.9 ; Y = 43.3 and Radius, 38.1

*** 1.918 ***

1

Failure Surface Specified By 15 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	70.00	7.73
2	73.88	6.76
3	77.83	6.13
4	81.82	5.85
5	85.82	5.93
6	89.80	6.35
7	93.72	7.12
8	97.57	8.23
9	101.30	9.67
10	104.89	11.44
11	108.31	13.51
12	111.53	15.87
13	114.54	18.51
14	117.31	21.40
15	118.18	22.50

Circle Center At X = 83.0 ; Y = 51.4 and Radius, 45.6

*** 1.921 ***

Failure Surface Specified By 15 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	70.00	7.73
2	73.72	6.27

3	77.59	5.24
4	81.55	4.67
5	85.55	4.55
6	89.53	4.89
7	93.45	5.69
8	97.25	6.94
9	100.89	8.61
10	104.30	10.69
11	107.46	13.14
12	110.31	15.95
13	112.83	19.06
14	114.97	22.44
15	115.00	22.50

Circle Center At X = 84.6 ; Y = 39.3 and Radius, 34.8

*** 1.946 ***

1

Failure Surface Specified By 15 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	70.00	7.73
2	73.71	6.23
3	77.57	5.17
4	81.52	4.55
5	85.51	4.39
6	89.50	4.69
7	93.43	5.44
8	97.25	6.64
9	100.90	8.27
10	104.35	10.30
11	107.54	12.71
12	110.43	15.47
13	112.99	18.55
14	115.18	21.89
15	115.49	22.50

Circle Center At X = 84.9 ; Y = 39.3 and Radius, 34.9

*** 1.947 ***

Failure Surface Specified By 16 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	70.00	7.73
2	73.71	6.22
3	77.54	5.09
4	81.47	4.36

5	85.46	4.01
6	89.46	4.07
7	93.43	4.53
8	97.34	5.39
9	101.14	6.63
10	104.80	8.24
11	108.28	10.22
12	111.54	12.53
13	114.56	15.16
14	117.30	18.08
15	119.73	21.25
16	120.50	22.50

Circle Center At X = 86.9 ; Y = 43.8 and Radius, 39.8

*** 1.972 ***

1

Failure Surface Specified By 14 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	70.00	7.73
2	73.99	7.43
3	77.99	7.41
4	81.98	7.68
5	85.94	8.22
6	89.86	9.04
7	93.70	10.14
8	97.46	11.51
9	101.12	13.14
10	104.65	15.02
11	108.03	17.15
12	111.26	19.51
13	114.32	22.09
14	114.74	22.50

Circle Center At X = 76.3 ; Y = 63.9 and Radius, 56.5

*** 1.983 ***

Failure Surface Specified By 14 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	70.00	7.73
2	73.99	7.42
3	77.99	7.38
4	81.98	7.58
5	85.96	8.05
6	89.89	8.77

7	93.77	9.75
8	97.58	10.97
9	101.30	12.44
10	104.92	14.14
11	108.42	16.07
12	111.79	18.22
13	115.02	20.59
14	117.29	22.50

Circle Center At X = 76.8 ; Y = 69.2 and Radius, 61.8

*** 1.995 ***

1

Failure Surface Specified By 16 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	70.00	7.73
2	73.93	7.01
3	77.91	6.54
4	81.90	6.34
5	85.90	6.39
6	89.89	6.71
7	93.85	7.28
8	97.76	8.11
9	101.61	9.20
10	105.38	10.53
11	109.06	12.11
12	112.62	13.92
13	116.07	15.96
14	119.37	18.22
15	122.51	20.69
16	124.53	22.50

Circle Center At X = 83.1 ; Y = 67.6 and Radius, 61.3

*** 2.055 ***

Failure Surface Specified By 17 Coordinate Points

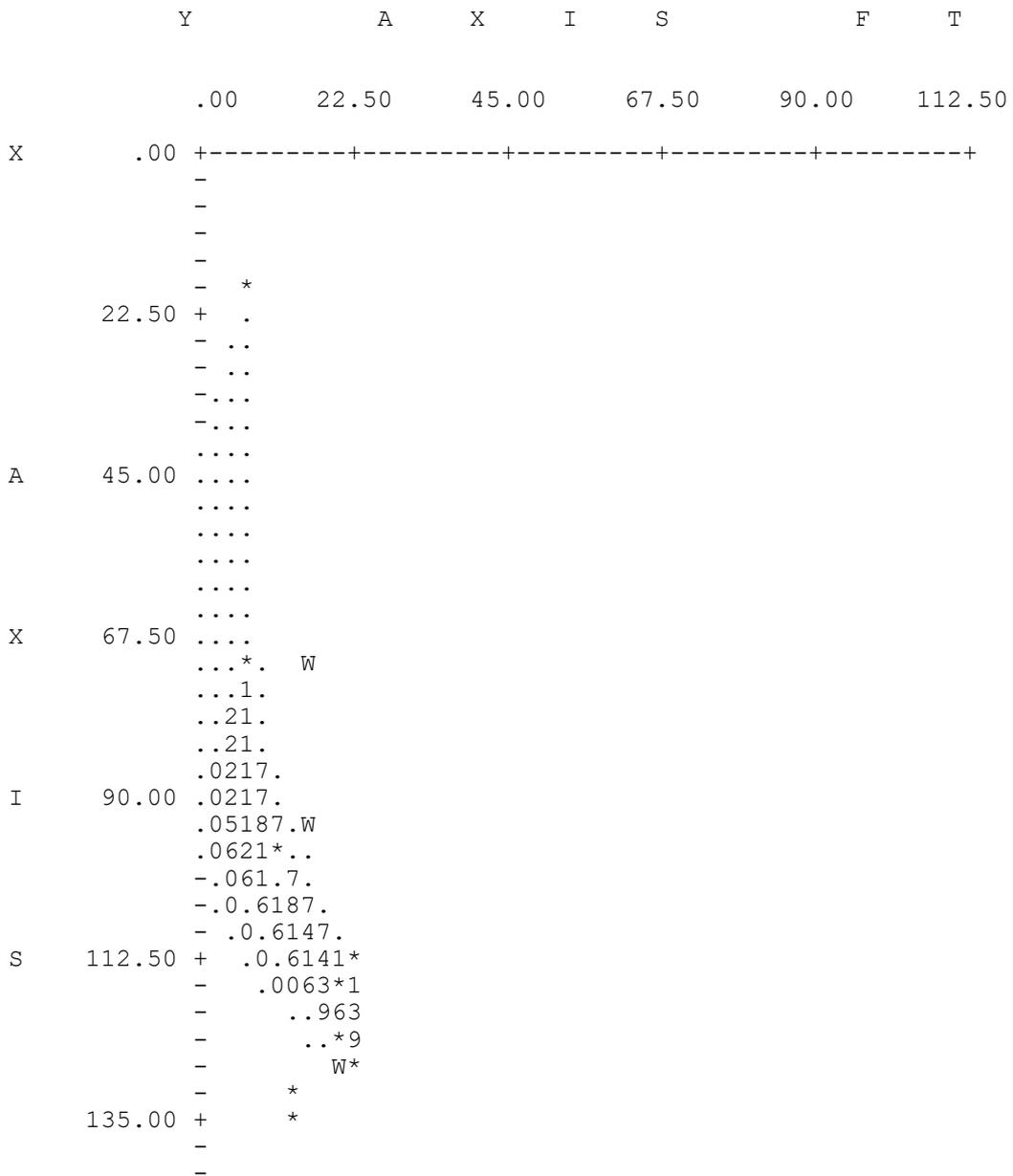
Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	70.00	7.73
2	73.57	5.92
3	77.30	4.49
4	81.16	3.43
5	85.11	2.77
6	89.10	2.52
7	93.09	2.66
8	97.06	3.22

9	100.94	4.16
10	104.71	5.50
11	108.33	7.21
12	111.75	9.27
13	114.95	11.68
14	117.89	14.39
15	120.55	17.38
16	122.88	20.63
17	123.96	22.50

Circle Center At X = 89.6 ; Y = 42.1 and Radius, 39.6

*** 2.073 ***

1



157.50 +
F 157.50 +
180.00 +
T 180.00 +
W *

INGCOST s.r.l.

P.zza D'Annunzio,15
80125 – Napoli

Tel/Fax : 0812399071

e-mail : ingcostsrl@fastwebnet.it

p.iva : 05209111219

**STUDIO METEOMARINO E CARATTERIZZAZIONE DELLE AZIONI DEL MOTO
ONDOSO PROPEDEUTICI ALLA PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED
ESECUTIVA DEI LAVORI DI RECUPERO E SISTEMAZIONE DELLA
SCOGLIERA – COMUNE DI S.AGNELLO – (NA)**



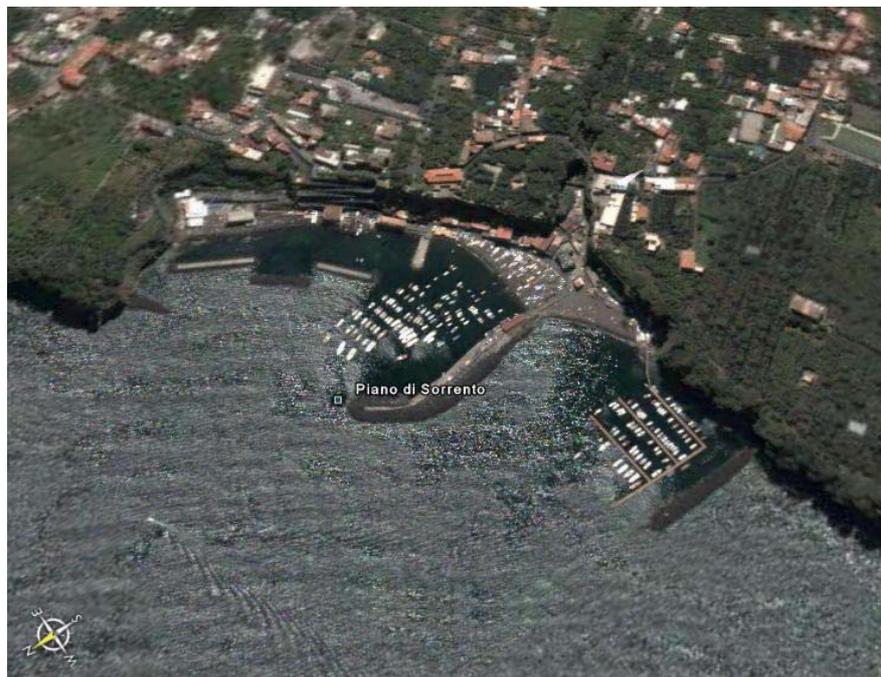
Aprile 2006

INDICE

INDICE.....	1
1. PREMESSA.....	2
2. CARATTERISTICHE METEOMARINE DI LARGO.....	4
2.1. Esposizione del paraggio al moto ondoso	4
2.2. Analisi delle variazioni dei livelli marini	5
2.3. Clima ondoso.....	8
2.4. Statistica delle onde estreme.	11
3. DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI ONDOSE DI PROGETTO	15
4. TRASFERIMENTO DEL MOTO ONDOSO	20
4.1. Descrizione del modello matematico utilizzato per il trasferimento del moto ondoso.....	21
4.2. Clima ondoso sottocosta.	22
4.3. Caratteristiche delle onde estreme in prossimità della scogliera.....	22

1. PREMESSA

Sul litorale di Marina di Cassano, nel comune di S. Agnello, in anni recenti, è stata realizzata una scogliera, all'incirca perpendicolare alla costa, a ridosso della quale, nel periodo estivo, sono sistemati alcuni pontili galleggianti e un campo boe per l'ormeggio delle imbarcazioni da diporto.



Litorale di Marina di Cassano – Comune di S. Agnello

L'opera, che allo stato attuale si presenta incompleta, ha una lunghezza complessiva di circa 120 m ed è imbasata su fondali compresi tra 2.5 m e 8.5 m.

Essendo previsto il recupero e la sistemazione della scogliera, in data 30/11/2005, l'Ufficio Tecnico - sez. LL. PP. - del Comune di S. Agnello, con determina n. 167, ha affidato alla INGCOST s.r.l. l'espletamento degli studi idraulico-marittimi propedeutici alla progettazione definitiva degli interventi.

In estrema sintesi, le attività svolte hanno riguardato:

1. la determinazione delle caratteristiche del moto ondoso in mare aperto al largo del paraggio in esame;
2. il trasferimento delle onde da largo sottocosta, in prossimità dell'opera;

3. l'individuazione dello stato di mare convenzionale di progetto cui far riferimento per la progettazione degli interventi di recupero e sistemazione della scogliera.

2. CARATTERISTICHE METEOMARINE DI LARGO

2.1. Esposizione del paraggio al moto ondoso

Il litorale di S.Agnello è situato nella Penisola Sorrentina, nella parte settentrionale del seno costiero delimitato verso Nord-Est dal costone di Punta Gradelle, tra gli abitati di Vico Equense e di Meta di Sorrento, e verso Sud-Ovest, dal promontorio di Punta del Capo, a ponente dell'abitato di Sorrento (Figg. 1 e 2)

Il paraggio si affaccia in gran parte sul golfo di Napoli ed è esposto alle ondate comprese nel settore di traversia geografica 16°N (P.ta Gradelle) – 262°N (P.ta del Capo) (Fig. 3). Nell'ambito di tale traversia, si individua un modesto settore rivolto verso il mare aperto (traversia principale): tra P.ta del Capo (262°N) e P.ta S.Angelo nell'Isola di Ischia (278°N), rivolto verso il Tirreno centro-meridionale; e tra P.ta della Lingua nell'Isola di Procida (295°N) e P.ta di Torre Fumo a Monte di Procida (300°N), rivolto verso il Tirreno centro-settentrionale.

Al largo della costa (Fig. 4)¹, la traversia principale risulta più ampia e compresa tra le direttrici per Capo Massa (206°N), nella Penisola sorrentina, e P.ta della Chiavica (214°N), nell'Isola di Capri; tra P.ta dell'Arcera a Capri (232°N) e P.ta S.Angelo nell'Isola di Ischia (276°N); ed infine tra P.ta della Lingua a Procida (294°N) e P.ta di Torre Fumo a Monte di Procida (300°N).

Le lunghezze delle zone di mare potenzialmente sottoposte all'azione diretta del vento, associate alla traversia al largo della costa, sono riportati in Tabella 1 e in Figura 5. Tali lunghezze – fetch geografici – sono state calcolate traguardando la costa limitrofa lungo la direzione di provenienza del vento. Nei calcoli condotti si è considerata una estensione massima dei fetch geografici di 500 km in ragione delle massime dimensioni delle perturbazioni meteorologiche agenti sui mari del bacino Mediterraneo.

Poiché il vento trasmette energia sulla superficie del mare non solo secondo la direzione lungo la quale spira ma anche secondo le direzioni vicine, per lo studio della esposizione del paraggio agli stati di mare, si è proceduto a calcolare, sulla base dei valori dei fetch geografici misurati in precedenza, i corrispondenti valori dei fetch efficaci.

¹ Nel punto A di coordinate geografiche LAT 40° 39' 37" N - LON 14° 21' 49", scelto: oltre il ridosso di P.ta Gradelle e P.ta del Capo; su fondali di circa 100 m di profondità e ad una distanza di circa 4 km dal litorale di Marina di Cassano

A tal fine si è applicato il metodo sviluppato da Seymour a seguito della campagna sperimentale JONSWAP, secondo il quale:

- il vento trasferisce energia sulla superficie del mare secondo tutte le direzioni θ che formano con quella del vento, θ_m , un angolo $(\theta - \theta_m)$ di $\pm 90^\circ$;
- le aliquote di energia trasmesse dal vento secondo le varie direzioni sono proporzionali al quadrato del coseno dell'angolo $(\theta - \theta_m)$ che le direzioni stesse formano con quella del vento.

Pertanto si ha:

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

La suddetta relazione fornisce la lunghezza del fetch efficace corrispondente alla direzione θ_m in funzione dei fetch geografici $F_g(\theta)$ e delle differenze angolari $(\theta - \theta_m)$ relative a tutte le direzioni comprese nel settore di 90° centrato su θ_m

I valori dei fetch efficaci, calcolati con riferimento al punto specificato in precedenza, sono riportati nella Tabella 1 e nel diagramma polare di Figura 6.

I risultati delle elaborazioni condotte pongono che l'area di generazione del moto ondoso ha una estensione massima di circa 200 km in corrispondenza della direzione 250°N (libeccio-ponente) e che il settore caratterizzato da fetch superiori a 100 Km, dal quale provengono le ondazioni maggiori, risulta compreso tra le direzioni 200°N (mezzogiorno-libeccio) e 300°N (maestrale-ponente).

2.2. Analisi delle variazioni dei livelli marini

Il livello della superficie del mare è la condizione limite principale per la progettazione delle strutture marittime.

Nella zona di mar Tirreno dove ricade il paraggio costiero in esame le escursioni del livello del mare sono, di fatto alquanto modeste. A tale riguardo occorre distinguere le variazioni di livello indotte dalla marea astronomica, legata all'attrazione luni-solare, e quelle provocate dalla marea "meteorologica", causata, essenzialmente, dall'azione di forti venti e da brusche variazioni di pressione atmosferica.

Per la stima della marea astronomica sono state utilizzate le registrazioni del mareografo della rete RMN ubicato nel porto di Napoli, abbastanza prossimo al sito in esame (24Km).



RMN - Rete Mareografica Nazionale

In particolare sono state adoperate le registrazioni effettuate dal 10/10/1986 al 31/12/2001. Il livello di riferimento dei suddetti dati è il livello medio mare.

L'andamento temporale delle maree risulta di tipo semidiurno con due alte maree e due basse maree al giorno di ampiezza diversa. Le escursioni di marea astronomica sono contraddistinte da una periodicità bisettimanale distinta dalle fasi di sizigie (luna piena e nuova) e di quadratura.

Alcuni esempi di tali registrazioni sono indicate nelle Figure 7.a e 7.b.

Nei periodi sizigiali si verificano i massimi dislivelli positivi e negativi che, mediamente, raggiungono valori di poco diversi da $\pm 0.20\text{m}$ rispetto al livello medio marino (massimo dislivello pari a circa 0.4 m). Nelle fasi di quadratura, invece, l'escursione è limitata a valori medi di circa $\pm 0.10\text{ m}$ s.l.m.m.

Il sovrizzo marino dovuto al passaggio di una perturbazione atmosferica (marea meteorologica) coinvolge essenzialmente l'interazione tra vento e mare (wind setup) e la risposta di quest'ultimo alle variazioni di pressione (barometro inverso).

Il wind setup dipende dall'intensità, dalla durata, e dal cammino che compie la perturbazione e dall'angolo d'incidenza del vento rispetto alla costa. La variazione di pressione atmosferica connessa al transito di un vortice ciclonico genera una variazione di livello del mare che si incrementa a causa della diminuzione di pressione. Allo stesso modo il passaggio di un vortice anticiclonico genera un abbassamento del livello marino a causa dell'aumento di pressione.

Il sovrizzo ed abbassamento barico legato al passaggio dei cicloni ed anticicloni è stato stimato mediante l'espressione semplificata:

$$S_p = 0,01 \cdot (1.013 - p_a)$$

in cui si considera un valore medio di pressione di 1013 mbar e p_a è la pressione attuale anche essa espressa in mbar.

Per ricavare i valori di massimo e minimo barico sono state analizzate le registrazioni della stazione di Napoli suddetta, nell'arco temporale che va dal 1998 a 2001.

Nei riguardi dell'innalzamento, si è considerata una condizione di minimo barico di 990.8 mbar. Tale valore rappresenta il valore minimo registrato nella stazione di Napoli in corrispondenza della tempesta del 28-29 dicembre 1999. Ne consegue un valore del sovrizzo marino:

$$S_p = + 0.22 \text{ m}$$

In corrispondenza del massimo barico pluriennale osservato, di circa 1035 mbar, si ottiene un abbassamento locale del livello marino pari a:

$$S_p = - 0.22 \text{ m}$$

L'effetto del sovrizzo, S_v , dovuto al passaggio del vento è stato calcolato con la relazione approssimata:

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

dove:

d : profondità ove si calcola il sovrizzo

D : profondità limite assunta per la piattaforma continentale ($D=200 \text{ m}$)

L_p : estensione della piattaforma continentale ($L_p = 15000 \text{ m}$)

K_p : coefficiente dimensionale ($K_p = 3.0 \times 10^{-6}$)

U : velocità del vento in condizioni estreme.

Per ricavare i valori di massima velocità del vento sono state analizzate le registrazioni della stazione di Napoli nell'arco temporale che va dal 1998 al 2001; è risultato un valore di U pari a 20.3 m/s.

Alla profondità di imbasamento delle opere in esame ($d=10\text{m}$) è risultato un valore del sopralzo:

$$S_v \approx + 0.04 \text{ m}$$

Ulteriore fenomeno da portare in conto nella valutazione del sovralzo del livello medio mare nel lungo periodo è il fenomeno dell'eustatismo. Le proiezioni attuali prevedono un progressivo aumento del livello marino in conseguenza dell'incremento della temperatura terrestre (effetto serra) quantificabile in circa 30 cm nei prossimi 50 anni. Valutazioni meno allarmistiche considerano plausibili incrementi di livello di poco superiori di quelli registrati nell'ultimo millennio pari a circa 10 cm al secolo.

$$S_e = + 0.1 \text{ m}$$

2.3. Clima ondoso

Per clima ondoso si intende usualmente la ripartizione in frequenza su classi di direzioni ed altezza d'onda dei singoli stati di mare, caratterizzati dall'altezza H_s ed dal periodo T_s dell'onda significativa e dalla direzione θ_m di provenienza, rilevati in un periodo pluriennale.

Scopo fondamentale di tali elaborazioni è quello di rappresentare il corpo della distribuzione di frequenza di accadimento delle onde a diverse scale temporali (stagionale, annuale etc.).

Tali statistiche non costituiscono una rappresentazione completa (in senso statistico) in quanto le informazioni relative al periodo e alla persistenza non vengono considerate.

Il clima ondoso può essere ricostruito sulla base di misure dirette – sia visuali che strumentali – ovvero a partire dalla conoscenza dei dati di vento e di fetch (metodi indiretti).

Le stime visuali delle caratteristiche ondose (es. dati UKMO, KNMI) sono molto approssimate e statisticamente poco affidabili e, pertanto, non sono state prese in considerazione nello studio.

I metodi di ricostruzione indiretta degli stati di mare sulla base delle registrazioni anemometriche, pur essendo affidabili e molto diffusi nella

pratica tecnica, presentano le inevitabili incertezze connesse alla necessità di schematizzare il meccanismo di trasmissione di energia dal vento al mare e di generazione delle onde.

Pertanto, è in generale preferibile ricorrere ai dati ottenuti da registrazioni dirette dello stato di mare.

Dati strumentali affidabili e completi del moto ondoso nelle acque profonde dei mari costieri italiani sono rilevati, sistematicamente a partire dalla metà del 1989, dalle boe direzionali della Rete Ondametrica Nazionale, gestita dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale del Dipartimento dei Servizi Tecnici Nazionali della Presidenza del Consiglio dei Ministri.



RON - Rete Ondametrica Nazionale

Tali registrazioni dirette possono essere utilizzate a condizione che si disponga di una serie temporale sufficientemente ampia di misure, e che la stazione di misura sia sufficientemente prossima al paraggio in esame.

Nel caso in esame, entrambe le condizioni sono verificate per la presenza della stazione ondametrica R.O.N. (Rete Ondametrica Nazionale) di Ponza, in funzione dal mese di luglio del 1989, le cui registrazioni, nonostante non possano considerarsi pienamente rappresentative del clima del paraggio in esame, data la relativa vicinanza, possono sicuramente ritenersi generate dalle stesse perturbazioni atmosferiche.

Si è fatto poi ricorso alla metodologia della “trasposizione geografica” per adeguare le serie ondametriche misurate a Ponza al paraggio in studio.

La metodologia di trasposizione geografica è basata sull'ipotesi che la velocità e la direzione del vento, agente sull'area di generazione del sito d'interesse, siano equivalenti a quelle che hanno determinato lo stato di mare misurato dalla boa. Sotto tale ipotesi, il metodo di trasposizione geografica permette il calcolo delle correlazioni esistenti tra la direzione media di provenienza, l'altezza significativa ed il periodo di picco del moto ondoso misurato e gli stessi parametri relativi al moto ondoso presente nel punto d'interesse.

Nel caso di fetch limitati, le leggi che permettono di calcolare l'altezza d'onda significativa spettrale H_{mo} e il periodo di picco spettrale T_m in funzione della lunghezza del fetch e della velocità del vento sono le seguenti:

$$\frac{gH_m}{U_A^2} = 16 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{gF}{U_A} \right)^{\frac{1}{2}}$$

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

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

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

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

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

Il metodo si completa utilizzando la legge di Leenknecht et al., che stabilisce il legame tra la direzione media del vento e la direzione media del moto ondoso da esso generato.

Per l'applicazione del modello di trasposizione si impone la preliminare caratterizzazione dei fetch geografici ed efficaci per i due siti. Note le caratteristiche del moto ondoso registrate dall'ondametro, sulla base della legge di correlazione tra la direzione dell'onda e quella del vento si determina

la direzione dell'onda nel punto di interesse. Nel contempo si definiscono i coefficienti correttivi H_p/H_o e T_p/T_o per il calcolo dell'altezza e del periodo dell'onda risultante nel punto di trasposizione geografica.

Nelle Figure 8, 9 e 10 per il paraggio considerato sono riportati rispettivamente i diagrammi rappresentativi della deviazione tra le direzioni del moto ondoso ed il vento, delle direzioni delle onde e del vento e della lunghezza dei fetch efficaci.

Nella Tabella 2 è riportato il clima ondoso medio, in termini di frequenze annuali di apparizione associate alle classi di altezza d'onda e direzione di provenienza per l'ondametro di Ponza.

Nella Tabella 3 è riportato il clima ondoso medio, in termini di frequenze annuali di apparizione associate alle classi di altezza d'onda e direzione di provenienza per il punto di trasposizione A prescelto al largo del paraggio di S.Agnello indicato in precedenza (*ondametro virtuale*).

Lo stesso risultato è illustrato in Figura 11 sotto forma di diagramma polare dello stato del mare.

Dall'analisi dei risultati ottenuti si può notare la prevalenza degli stati di mare provenienti dai quadranti occidentali, sia in termini di valori delle altezze d'onda, sia in termini di frequenza di apparizione.

In particolare si osserva che :

- gli eventi caratterizzati da valori dell'altezza d'onda $H_s > 0.5$ m sono circa il 39% del totale, corrispondenti ad una durata di 143 gg/anno;
- gli eventi caratterizzati dalle altezze maggiori, $H_s > 2.00$ m, provengono dal settore 230 - 320°N: mari di libeccio, ponente e maestrale.
- le ondate estreme, $H_s > 6.00$ m, provengono dalle direzioni di ponente, 270 e 280°N. Tali direzioni sono caratterizzate anche dalle maggiori frequenze di apparizione pari circa il 13-14% (51 gg/ anno) ;
- gli eventi provenienti dai quadranti settentrionali, mari di tramontana e grecale, sono caratterizzati da altezze d'onda $H_s < 1.50$ m con frequenze di apparizione medie per ogni direzione di circa l' 1%. (meno di 4 gg/anno)

2.4. Statistica delle onde estreme.

L'analisi statistica degli eventi ondosi estremi costituisce lo strumento fondamentale per poter giungere alla definizione dell'onda di progetto, ossia

dell'onda rappresentativa delle condizioni ambientali da assumere a base della progettazione delle opere marittime.

Tale onda, in genere rappresentata da un'onda significativa, la quale descrive uno stato di mare, viene di norma precisata in termini di altezza, periodo e direzione di propagazione, sulla base del periodo di ritorno degli eventi ondosi che la contengono.

A tal fine e' necessaria la conoscenza della funzione analitica di distribuzione a lungo termine delle altezze significative H_s , che viene selezionata e precisata a partire dai dati di altezza significativa che si sono verificate nel bacino marino in considerazione durante il tempo di osservazione.

Nel caso in esame, è stata selezionata la distribuzione dei valori estremi di Gumbel e si è utilizzato il procedimento che considera i massimi annuali delle altezze d'onda.

In particolare, utilizzando tale procedura, il set di dati costituito dai massimi annuali di altezza d'onda delle serie storiche di dati ondometrici, è stato adattato alla distribuzione di Gumbel. In tal modo, una volta calcolati i parametri della distribuzione, quest'ultima è stata estrapolata oltre il periodo di osservazione dei dati per ottenere l'altezza ed il periodo dell'onda per assegnati periodi di ritorno.

La distribuzione di Gumbel, o Fisher-Tippet I, sviluppata da Gumbel nel contesto della previsione delle piene ed in seguito applicata alle altezze d'onda estreme, presenta una probabilità cumulata data da:

$$P(H) = \exp\{-\exp[-(H - \varepsilon)/\theta]\}$$

essendo:

ε = parametro di posizione;

θ = parametro di scala.

I parametri della distribuzione sono stati calcolati utilizzando il metodo dei minimi quadrati che si basa sulla individuazione nel piano probabilistico della retta di regressione costruita a partire dalle altezze d'onda selezionate.

Introducendo, infatti, la variabile ridotta:

$$W = -\ln\{-\ln[P(H)]\}$$

la precedente relazione diventa:

$$W(H) = (H - \varepsilon)/\theta$$

da cui:

$$H = W(H)\theta + \varepsilon$$

Pertanto, nel piano probabilistico $(H, W(H))$ il parametro di scala rappresenta la pendenza della retta di regressione e il parametro di posizione l'intercetta della retta stessa.

Essendo la variabile ridotta legata alla probabilità totale, o di non superamento, dell'altezza d'onda si pone il problema della sua determinazione.

A tal fine, i dati selezionati sono stati ordinati in senso decrescente, con riferimento ad un indice m tale che ad $m=1$ corrisponda l'altezza d'onda significativa H_{sm} più alta e ad $m=N$ l'onda più bassa, essendo N il numero dei valori selezionati.

La stima $P'(H_{sm})$ della probabilità di non superamento associata ad ogni altezza H_{sm} è stata effettuata utilizzando la plotting position di Gringorten:

$$P'(H_{sm}) = 1 - (m - 0.44)/(N + 0.12)$$

Una volta verificato l'adattamento dei dati alla distribuzione di probabilità, ed ottenute la stime ε' e θ' è stato possibile valutare l'altezza d'onda H_{Tr} associata ad un tempo di ritorno T_r .

Il tempo di ritorno, definito come l'intervallo di tempo medio tra eventi ondosi consecutivi caratterizzati da altezze d'onda che eguagliano o superano l'altezza di riferimento H_{Tr} , è, infatti, correlato alla probabilità di superamento dalla relazione:

$$Q(H_{Tr}) = \frac{1}{T_r} \frac{\tau}{N}$$

dove τ è il tempo di osservazione e N il numero dei valori selezionati; in pratica il rapporto τ/N rappresenta l'intervallo medio con cui si succedono nel tempo i dati della popolazione statistica.

Pertanto la probabilità di non superamento della soglia H_{Tr} è data dalla relazione:

$$P(H_{Tr}) = 1 - \frac{1}{T_r} \frac{\tau}{N}$$

Considerando i massimi annuali dell'altezza d'onda la precedente espressione diventa:

$$P(H_{Tr}) = 1 - \frac{1}{T_r} = \frac{T_r - 1}{T_r}$$

È pertanto:

$$\frac{(H_{T_r} - \varepsilon')}{\theta'} = -\ln \left\{ -\ln \left[\frac{T_r - 1}{T_r} \right] \right\}$$

Da cui:

$$H_{T_r} = \theta' \left\{ -\ln \ln \left[\frac{T_r}{T_r - 1} \right] \right\} + \varepsilon'$$

Il periodo d'onda T_s , dello stato di mare di altezza d'onda significativa H_{Tr} è stato calcolato con la seguente relazione:

$$T_s = \frac{9\pi}{1.05} \sqrt{\frac{H_s}{4g}}$$

basata su considerazioni teoriche e risultati sperimentali

3. DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI ONDOSE DI PROGETTO

La determinazione del periodo di ritorno dello stato di mare convenzionale di progetto da assumere nel dimensionamento di un'opera marittima, discende da attente valutazioni di carattere tecnico ed economico legate alla durata minima di vita dell'opera e alla massima probabilità di danneggiamento ammissibile.

A tal riguardo si è fatto riferimento alle raccomandazioni riportate nelle "Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime" edite dal Ministero dei lavori pubblici e dal CNR-GNDCI (1996).

I valori della vita di progetto suggeriti dalle Istruzioni tecniche sono riportati nella seguente tabella in relazione al progetto in cui l'opera e al livello di sicurezza richiesto:

	Livello di sicurezza richiesto		
	1	2	3
Infrastruttura ad uso	Vita utile opera		
generale	25	50	100
specifico	15	25	50

Per infrastrutture di uso generale si intendono opere di difesa di complessi civili, commerciali o industriali, che non siano destinati ad uno specifico scopo e per i quali non è chiaramente identificabile il termine della vita funzionale dell'opera.

Per infrastrutture ad uso specifico si intendono le opere di difesa di singole installazioni industriali, di porti industriali, di depositi o piattaforme di carico e scarico, di piattaforme petrolifere, ecc....

Il livello di sicurezza 1 si riferisce ad opere o installazioni di interesse locale ed ausiliario, comportanti un rischio minimo di perdita di vite umane o di danni ambientali in caso di collasso della stessa (difese costiere, opere in porti minori o marina, scarichi a mare, strade litoranee, ecc...).

Il livello di sicurezza 2 si riferisce ad opere ed installazioni di interesse generale, comportanti un moderato rischio di perdita di vite umane o di danni ambientali in caso di collasso dell'opera (opere di grandi porti, scarichi a mare di grandi città, ecc...).

Il livello di sicurezza 3 si riferisce ad opere o installazioni per la protezione dall'inondazione, opere di interesse sopranazionale, comportanti un elevato rischio di perdita di vite umane o di danno ambientale in caso di collasso della stessa (difese di centri urbani o industriali, ecc,..).

Per ciò che concerne, invece, la massima probabilità di danneggiamento ammissibile nel periodo di vita operativa dell'opera (definita anche come probabilità di incontro o livello di rischio) le Istruzioni tecniche raccomandano probabilità differenti in relazione alle deformazioni-modificazioni subite dall'opera in caso di danneggiamento ed alla difficoltà di riparare il danno subito, corrispondenti ai casi di danneggiamento incipiente o di distruzione totale. La probabilità ammissibile dipende anche da valutazioni di carattere generale sulle ripercussioni economiche e sui rischi per la vita umana che un eventuale danno può comportare.

Per strutture rigide (ad es. dighe a parete verticale), per le quali è estremamente difficile riparare il danno, sono raccomandate le probabilità di accadimento relative alla distruzione totale.

Per strutture flessibili o comunque per opere riparabili (ad es. opere a gettata in massi naturali o artificiali) è viceversa prescritto un doppio livello di verifica. Si deve verificare che la struttura possa resistere, pur subendo anche importanti modifiche della configurazione di assieme che ne possano inficiare la funzionalità ma senza crollare, sotto l'azione di onde con una probabilità relativamente piccola di verificarsi durante la vita di progetto (verifica a distruzione totale); ed inoltre si deve verificare che la struttura possa resistere pressoché indenne – con solo qualche piccolo assestamento – ad onde che hanno una maggiore probabilità di verificarsi (verifica al danneggiamento incipiente). Il danneggiamento incipiente è inteso come il livello di danneggiamento predefinito in relazione al tipo di struttura, al di sopra del quale il danno è apprezzabile e risulta necessario intervenire con lavori di manutenzione.

	<i>Danneggiamento incipiente</i>		<i>Distruzione totale</i>	
	Rischio per vita umana		Rischio per vita umana	
Ripercussione economica	limitato	elevato	limitato	elevato
Bassa	0.50	0.30	0.20	0.15
Media	0.30	0.20	0.15	0.10
Alta	0.25	0.15	0.10	0.05

Per rischio limitato per la vita umana si intendono i casi in cui, a seguito del danneggiamento, non è logico prevedere alcuna perdita di vite umane. Quando queste perdite sono preventivabili, il rischio è elevato,

Per ripercussione economica bassa, media ed alta si intendono casi in cui il rapporto fra i costi diretti del danneggiamento, sommati a quelli indiretti dovuti alla perdita di funzionalità delle opere protette ed il costo totale per la

realizzazione dell'opera è minore di 5, è compreso fra 5 e 20 o è maggiore di 20.

La combinazione del tempo di vita dell'opera, L , e della probabilità di danneggiamento, P_f , determina il tempo di ritorno, T_{rp} , dello stato di mare convenzionale di progetto:

$$T_{rp} = L / [-\ln(1 - P_f)]$$

la quale ben approssima l'originale relazione proposta da Borgman.

In relazione a questo tempo di ritorno, dalla statistica degli eventi estremi, si desume l'altezza significativa dello stato di mare (altezza d'onda di progetto).

Nel caso in esame, la scogliera di S.Agnello va considerata come un'infrastruttura di uso *generale*; adottando un livello di *sicurezza pari a 1*, richiesto per opere di interesse locale comportanti un rischio minimo di perdita di vite umane o di danni ambientali in caso di collasso della stessa, si può fissare la cosiddetta durata minima di vita dell'opera $L = 25$ anni.

Si può, inoltre, assumere che un eventuale danno dell'opera può comportare una ripercussione economica bassa/medio-bassa ed un rischio limitato per la vita umana, e ragionevolmente considerare un valore di $P_f=0.4$ per il caso di *danneggiamento incipiente* e di $P_f=0.2$ per il caso di *distruzione totale*.

Risulta pertanto che la struttura dovrà essere dimensionata considerando un'onda di progetto con periodo di ritorno $T_{rp}\approx 50$ anni e verificata alla distruzione totale considerando un'onda estrema con periodo di ritorno $T_{rp}\approx 112$ anni.

Per completezza dello studio, oltre alle condizioni ondose sopradette sono state prese in considerazione anche le caratteristiche ondose con periodo di ritorno $T_{rp}=5$ anni che, in accordo con gli standard tecnici e con le linee guida regionali ed insieme alle caratteristiche con periodo di ritorno cinquantennale, devono essere prese a riferimento per le verifiche di agibilità degli specchi acquei destinati all'ormeggio di imbarcazioni da diporto.

Le caratteristiche delle *onde di progetto al largo del paraggio*, ottenute dalla statistica degli eventi estremi, sono riportate nelle Tabelle 4, 5 e 6.

I risultati relativi alle direzioni 270°N e 280°N dalle quali provengono le onde di maggiore altezza sono riassunti nello schema seguente:

T_{rp} (anni)	DD (°N)	H_{sp} (m)	T_{sp} (s)
5	270	5.40	9.99
	280	5.21	9.81
50	270	7.35	11.65
	280	7.03	11.40
112	270	8.01	12.17
	280	7.64	11.88

Per completare la individuazione delle condizioni di progetto è necessario, ovviamente, associare all'onda di progetto – definita in termini di altezza, periodo e direzione di propagazione – il livello marino di riferimento (livello di progetto).

Quest'ultimo rappresenta il livello di riferimento per tutti i fenomeni legati al moto ondoso e condiziona ad esempio: l'ampiezza della mantellata attiva, la quota di run-up sulla struttura e, quindi, la tracimazione sull'opera, l'altezza dell'onda incidente specie quando questa è limitata dal fondale, i livelli di agitazione nell'area protetta, le spinte sulle opere di contenimento dei terrapieni, la sicurezza alla navigazione etc.

Nulla è detto dalle Istruzioni Tecniche circa le combinazioni onda – livello marino da considerare nella progettazione.

In prima approssimazione sono state considerati i seguenti scenari:

1. Onde con $T_{rp}=5$ anni + livello medio delle basse maree sizigiali.
2. Onde con $T_{rp}=50$ anni + sovrizzo del livello marino con $T_{rp}=50$ anni.
3. Onde con $T_{rp}=112$ anni + sovrizzo del livello marino con $T_{rp}=10$ anni.
4. Onde con $T_{rp}=112$ anni + livello medio delle basse maree sizigiali.

Il livello medio delle basse maree sizigiali rappresenta il livello di riferimento (chart datum) delle carte nautiche marine.

Come già accennato nel paragrafo 2.2 il sovrizzo del livello marino è causato dagli effetti della marea astronomica e della marea meteorologica.

Con riferimento al primo contributo, si è proceduto, quindi, ad adattare il set di dati costituito dai massimi livelli annuali di marea (escursione tra alta marea e l.m.m) registrati alla stazione mareografica di Napoli nell'arco temporale 1986-2001, alla distribuzione di Gumbel, con la stessa metodologia descritta nel paragrafo 2.4 per le altezze d'onda.

I livelli di marea di progetto, rispetto al l.m.m., sono risultati pari a:

- $S_m = +0.26$ m per $T_{rp} = 10$ anni
- $S_m = +0.28$ m per $T_{rp} = 50$ anni

Per ciò che concerne viceversa il contributo della marea meteorologica, non è stata effettuata alcuna analisi statistica. Pertanto si sono considerati i valori estremi riportati nel paragrafo 2.2.

$$S_p = + 0.22 \text{ m}$$

Il sovrizzo dovuto al vento è risultato :

$$S_v \approx + 0.04 \text{ m}$$

Il sovrizzo dovuto al fenomeno dell'eustatismo è risultato pari a:

$$S_e = 0.10 \text{ m}$$

In definitiva è possibile calcolare il massimo sovrizzo, rispetto al l.m.m., per gli assegnati periodo di ritorno, Δ_{Trp} , sommando tutti i diversi contributi.

Considerando, però, che i massimi livelli indotti dalla marea astronomica e da quella meteorologica sono raramente concomitanti si può cautelativamente assumere una riduzione del 25% della suddetta somma: $\Delta_{Trp} = 0.75 (S_m + S_p + S_v + S_e)$.

In conclusione, i massimi sovrizzi per i diversi periodo di ritorno rispetto al l.m.m, sono:

$$\Delta_{10} = +0.46 \text{ m per } Tr = 10 \text{ anni}$$

$$\Delta_{50} = +0.48 \text{ m per } Tr = 50 \text{ anni}$$

Il minimo livello marino rispetto al l.m.m. è pari alla somma del massimo abbassamento di marea (sigizie $S'_m = -0.20$ m) e dell'abbassamento barico ($S'_p = -0.22$ m) ; anche in questo caso si può ammettere un abbattimento del 25% dell'oscillazione , pertanto il minimo livello da assumere per la progettazione delle opere è pari a:

$$\Delta = -0.32 \text{ m rispetto al l.m.m}$$

In definitiva le onde selezionate di largo con le relative variazioni di livello da trasferire a ridosso delle opere sono indicate nella Tabella 7 in cui per ogni direzione di provenienza del moto ondoso sono indicate l'altezza d'onda, il periodo e la quota del livello marino rispetto al livello medio mare.

4. TRASFERIMENTO DEL MOTO ONDOSO

Per il trasferimento in prossimità dell'opera di difesa delle condizioni ondose di largo precedentemente individuate sia in termini di matrice climatica sia di eventi estremi di progetto, sono state studiate le modifiche che subisce il moto ondoso nella propagazione verso riva conseguenti sia a processi conservativi (shoaling, la rifrazione e diffrazione) sia a processi non conservativi (dissipazioni di energia).

A tal fine è stato adoperato un modello matematico basato sulla risoluzione della *mild slope equation*.

La prima fase della modellazione numerica ha richiesto la costruzione di un adeguato reticolo batimetrico che tenesse conto della topografia sottomarina del tratto di mare di interesse.

Per le profondità più elevate, da largo fino alla -15 m, è stata utilizzata la Carta Nautica “Da Ischia a punta Licosa”, in scala 1:100.000, edita dall'Istituto Idrografico della Marina Militare. (Fig. 12.a)

In prossimità dell'area d'interesse la batimetria è stata integrata con il rilievo di dettaglio indicato in Figura 12.a ed effettuato per lo scopo specifico.

Tale rilievo topo-batimetrico, ha interessato lo specchio acqueo antistante la scogliera di S.Agnello, dalla batimetrica a -46.0 m (sul l.m.m) sino alla riva. La scansione dei fondali è stata effettuata con uno step di 0.25 m, permettendo di ottenere una restituzione precisa e dettagliata dei fondali di interesse.

La griglia batimetrica finale utilizzata per il trasferimento è indicata nella Figura 12.b.

In un seconda fase, si è proceduto a trasferire la matrice climatica, determinata mediante la trasposizione della serie di dati ondometrici della stazione di Ponza al largo del sito in esame, sulla isobata -15m (sul m.l.w.s.) in un punto prospiciente la scogliera.

Successivamente, in considerazione della minore esposizione sottocosta del paraggio al moto ondoso rispetto a quella in mare aperto, si è proceduto a selezionare tra gli eventi estremi di largo quelli che, effettivamente, arrivano ad incidere sul molo. Selezionate, quindi, le onde estreme di maggior interesse per la progettazione dell'opera di difesa, si è proceduto a studiare la loro evoluzione da largo a riva attraverso l'impiego del modello su menzionato, determinando le caratteristiche delle onde di progetto in prossimità dell'opera.

4.1. Descrizione del modello matematico utilizzato per il trasferimento del moto ondoso

La propagazione del moto ondoso nell'area d'interesse, dall'ondametro virtuale sino alla nuova scogliera di sopraflutto e nei punti sottocosta, è stata condotta utilizzando un modello matematico per la simulazione dei fenomeni di rifrazione, diffrazione e frangimento, basato sulla mild slope equation.

Con riferimento ad un sistema di assi cartesiani x,y,z , con l'asse z verticale avente origine sulla superficie di quiete ed orientato verso l'alto, l'equazione di base si scrive:

$$\bar{\nabla} \cdot (CC_G \bar{\nabla} \phi) + (k^2 CC_G + i\omega W) \cdot \phi = 0$$

Nell'equazione i simboli hanno il seguente significato:

C e C_G rappresentano la celerità e la celerità di gruppo dell'onda, e si possono valutare, come la lunghezza d'onda L , con riferimento alla teoria lineare, in funzione della profondità.

ω è la fase dell'onda, espressa in funzione del periodo T , pari a $2\pi/T$.

ϕ è il potenziale di superficie dell'onda, legato al potenziale di velocità Φ attraverso la relazione:

$$\Phi = \frac{g}{\omega} \cdot \phi \cdot \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh(kh)} \cdot e^{-i\omega t}$$

dove k è il numero d'onda $2\pi/L$, h la profondità del fondale e z il soprizzo della superficie libera rispetto al livello medio.

W rappresenta i termini dissipativi, in termini di densità di energia dell'onda: $W = E_{\text{diss}}/E$.

Nel caso in cui si identifica a priori una direzione prevalente di propagazione dell'onda, che per semplicità si considera coincidente con l'asse delle x , la mild slope equation assume, la forma semplificata:

$$\frac{\partial}{\partial x} CC_G \frac{\partial \phi}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} CC_G \frac{\partial \phi}{\partial y} + (k^2 CC_G + i\omega W) \cdot \phi = 0$$

che prende il nome di *parabolic mild slope equation*.

4.2. Clima ondososo sottocosta.

La matrice climatica media annua ottenuta all'ondametro virtuale è stata trasferita utilizzando il modello di calcolo di cui al precedente paragrafo, in un punto rappresentativo del litorale in esame.

Il punto in questione è il punto P1 indicato nella Figura 13 individuato sulla batimetrica a -15m.

I risultati di tale trasferimento sono indicati nella Tabella 8 in termini di matrice climatica e nella Figura 14 sotto forma di diagramma polare dello stato del mare.

Dal confronto con il clima di largo si osserva nel punto P1:

- il sostanziale restringimento del settore di traversia alle sole ondazioni provenienti dalle direzioni comprese tra 250° e 20° N ;
- l'aumento generalizzato della frequenza di apparizione delle ondazioni del settore rispetto a quella di largo con i valori massimi in corrispondenza dei mari di ovest/sud-ovest (260° N,);
- il valore di altezza d'onda più elevato (tra 5.0m e 5.5m) per i mari provenienti da ponente (270° - 280° N);
- un valore di altezza d'onda modesto (minore di 1,5 m) per i mari provenienti dalle altre direzioni del settore;

4.3. Caratteristiche delle onde estreme in prossimità della scogliera.

Le condizioni ondose estreme più significative tra quelle precedentemente valutate nel capitolo 3 sono state trasferite in prossimità della scogliera da rifiorire in modo da determinare le onde di progetto necessarie per il dimensionamento della struttura.

Tali onde sono indicate nella Tabella 7.

I risultati di tale trasferimento sono riportati nei grafici delle Figure da 15 a 21 per le onde estreme con periodo di ritorno di $T_{rp} = 112$ anni, da 22 a 28 per $T_{rp} = 50$ anni e da 29 a 35 per $T_{rp} = 5$ anni.

In corrispondenza della scogliera sono stati estratti i valori di altezza d'onda rifratta, sia in termini di altezza d'onda media che massima, per tutte le caratteristiche ondose considerate.

I risultati dello studio sono sintetizzati nelle Tabelle da 9 a 16, nelle quali sono riportate, per i diversi periodi di ritorno considerati e le diverse variazioni di livello, le caratteristiche dell'onda significativa massima e media calcolata in prossimità del molo su diverse profondità. In particolare le Tabelle da 9 a 12 si riferiscono ai valori di altezza d'onda medi lungo il tratto considerato, mentre le Tabelle da 13 a 16 si riferiscono ai valori massimi di altezza d'onda riscontrati.

Nella Figura 36 sono indicati i tratti a ridosso della scogliera di progetto lungo i quali sono calcolate le caratteristiche ondose indicate nelle tabelle sopradette.

Si può notare che le ondatazioni cinquantennali (di progetto) più gravose sottocosta risultano essere quelle provenienti dal settore compreso tra 270° e 290° di largo, che sotto costa si restringe a $300 - 320^\circ$ N circa con valori variabili lungo la scogliera. Tale risultato è in sostanziale accordo con le osservazioni dello studio del trasferimento del clima ondoso medio annuo sottocosta. I valori di altezza d'onda cinquantennale riscontrati si attestano intorno a valori medi di 4-4.5 m in prossimità della testata della nuova testata, di 3-3.5 in tronco struttura e di circa 2.5-3 m nella area di raccordo con la scogliera esistente.

Tabelle

Fg (Km)	Fe(Km)	Fe (mn)	DD	Fg (Km)	Fe(Km)	Fe (mn)	DD
14.66	17.19	9.28	0 °N	2.96	51.40	27.76	180 °N
12.59	13.37	7.22	10 °N	2.97	75.10	40.55	190 °N
11.68	11.18	6.03	20 °N	33.75	102.29	55.23	200 °N
12.36	9.99	5.39	30 °N	316.23	130.25	70.33	210 °N
12.79	9.07	4.90	40 °N	14.77	156.47	84.49	220 °N
12.40	8.20	4.43	50 °N	258.19	178.14	96.19	230 °N
11.77	7.37	3.98	60 °N	500.00	192.74	104.07	240 °N
7.41	6.59	3.56	70 °N	428.14	198.62	107.25	250 °N
6.01	5.85	3.16	80 °N	399.25	195.15	105.37	260 °N
4.36	5.17	2.79	90 °N	392.96	182.84	98.72	270 °N
4.26	4.55	2.46	100 °N	35.73	163.24	88.14	280 °N
4.33	4.02	2.17	110 °N	155.27	138.78	74.93	290 °N
4.20	3.70	2.00	120 °N	150.68	112.33	60.65	300 °N
3.74	4.57	2.47	130 °N	26.76	86.15	46.52	310 °N
3.70	7.20	3.89	140 °N	21.11	62.72	33.87	320 °N
3.64	11.82	6.38	150 °N	21.91	44.33	23.94	330 °N
3.48	19.92	10.76	160 °N	21.10	31.13	16.81	340 °N
3.34	32.93	17.78	170 °N	18.15	22.33	12.06	350 °N

Tab. 1 – Valori fetch geografici ed efficaci S.Agnello

DIR	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA H _s																TOTALI
	<0,25	0,25-0,50	0,50-1,00	1,00-1,50	1,50-2,00	2,00-2,50	2,50-3,00	3,00-3,50	3,50-4,00	4,00-4,50	4,50-5,00	5,00-5,50	5,50-6,00	6,00-6,50	6,50-7,00	7,00-7,50	
10 °N	0.062%	0.013%	0.056%	0.029%	0.003%	0.003%											0.167%
20 °N	0.075%	0.049%	0.065%	0.039%	0.003%												0.232%
30 °N	0.069%	0.033%	0.069%	0.023%	0.003%												0.196%
40 °N	0.059%	0.078%	0.105%	0.042%	0.003%	0.003%											0.291%
50 °N	0.098%	0.095%	0.127%	0.039%	0.003%	0.007%											0.369%
60 °N	0.088%	0.144%	0.127%	0.088%	0.026%	0.010%											0.484%
70 °N	0.154%	0.183%	0.324%	0.203%	0.121%	0.033%	0.007%										1.023%
80 °N	0.154%	0.343%	0.860%	0.846%	0.435%	0.160%	0.029%	0.003%									2.830%
90 °N	0.147%	0.523%	1.386%	1.186%	0.706%	0.203%	0.085%	0.016%	0.003%								4.255%
100 °N	0.160%	0.464%	1.294%	0.729%	0.307%	0.118%	0.039%		0.003%								3.115%
110 °N	0.141%	0.490%	0.945%	0.346%	0.082%	0.072%	0.020%	0.007%									2.101%
120 °N	0.150%	0.376%	0.788%	0.261%	0.118%	0.069%	0.023%										1.784%
130 °N	0.186%	0.444%	0.745%	0.405%	0.157%	0.072%	0.026%	0.016%									2.052%
140 °N	0.193%	0.422%	0.696%	0.373%	0.239%	0.078%	0.029%	0.023%	0.003%								2.056%
150 °N	0.173%	0.409%	0.647%	0.252%	0.212%	0.072%	0.007%										1.771%
160 °N	0.183%	0.294%	0.611%	0.278%	0.072%	0.078%	0.026%	0.003%									1.546%
170 °N	0.219%	0.382%	0.732%	0.327%	0.141%	0.078%	0.010%										1.889%
180 °N	0.304%	0.467%	1.000%	0.484%	0.199%	0.111%	0.016%	0.010%	0.003%	0.003%							2.598%
190 °N	0.346%	0.552%	1.065%	0.543%	0.265%	0.173%	0.049%	0.023%	0.007%								3.023%
200 °N	0.435%	0.804%	1.281%	0.595%	0.363%	0.160%	0.072%	0.033%	0.010%								3.752%
210 °N	0.634%	0.997%	1.396%	0.503%	0.317%	0.154%	0.101%	0.033%	0.007%	0.007%							4.147%
220 °N	0.719%	1.288%	1.252%	0.677%	0.366%	0.206%	0.078%	0.052%	0.013%	0.013%	0.023%	0.016%					4.703%
230 °N	0.739%	1.105%	1.356%	0.699%	0.337%	0.173%	0.105%	0.072%	0.023%	0.007%	0.020%	0.020%	0.003%			0.003%	4.660%
240 °N	0.735%	1.114%	1.239%	0.680%	0.337%	0.245%	0.098%	0.056%	0.020%	0.010%	0.003%		0.003%				4.540%
250 °N	0.866%	1.092%	1.386%	0.719%	0.418%	0.232%	0.121%	0.062%	0.016%	0.026%	0.010%	0.003%	0.003%				4.955%
260 °N	0.830%	1.500%	1.997%	1.052%	0.644%	0.395%	0.216%	0.082%	0.059%	0.026%	0.059%	0.010%	0.007%	0.003%	0.003%		6.883%
270 °N	0.915%	1.686%	2.680%	1.824%	1.284%	0.667%	0.422%	0.229%	0.167%	0.065%	0.150%	0.082%	0.069%	0.007%	0.010%		10.256%
280 °N	0.938%	2.252%	3.052%	1.608%	1.173%	0.500%	0.216%	0.144%	0.052%	0.036%	0.056%	0.026%	0.020%	0.003%		0.003%	10.079%
290 °N	1.033%	2.105%	2.046%	0.641%	0.167%	0.114%	0.039%	0.023%	0.007%	0.007%	0.007%	0.007%					6.193%
300 °N	0.761%	1.343%	1.124%	0.307%	0.108%	0.049%	0.036%	0.020%	0.016%	0.007%			0.003%		0.003%		3.778%
310 °N	0.461%	0.686%	0.458%	0.216%	0.078%	0.056%	0.013%	0.007%	0.003%			0.003%					1.981%
320 °N	0.265%	0.324%	0.271%	0.114%	0.026%	0.013%	0.010%				0.003%						1.026%
330 °N	0.180%	0.121%	0.088%	0.059%	0.013%	0.013%	0.007%	0.003%			0.003%						0.487%
340 °N	0.095%	0.105%	0.088%	0.039%	0.007%	0.010%											0.343%
350 °N	0.108%	0.065%	0.062%	0.020%	0.007%	0.003%											0.265%
360 °N	0.069%	0.033%	0.056%	0.010%		0.003%											0.170%
TOTALI	12.743%	22.381%	31.473%	16.256%	8.739%	4.334%	1.899%	0.915%	0.409%	0.209%	0.333%	0.167%	0.108%	0.013%	0.016%	0.007%	100.00%

Tab. 2 – Frequenze annuali di occorrenza del moto ondoso al largo di Ponza per classi di altezza significativa e direzione di provenienza

DIR	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs														TOTALI
	<0,25	0,25-0,50	0,50-1,00	1,00-1,50	1,50-2,00	2,00-2,50	2,50-3,00	3,00-3,50	3,50-4,00	4,00-4,50	4,50-5,00	5,00-5,50	5,50-6,00	6,00-6,50	
10 °N	0.194%	0.263%	0.392%	0.014%											0.863%
20 °N															
30 °N	0.386%	0.730%	0.720%	0.068%	0.003%										1.907%
40 °N	1.092%	1.286%	0.737%	0.034%											3.149%
50 °N	1.296%	0.832%	0.235%												2.364%
60 °N	1.293%	0.355%	0.065%												1.713%
70 °N	1.242%	0.263%	0.038%												1.542%
80 °N															
90 °N															
100 °N															
110 °N															
120 °N															
130 °N															
140 °N															
150 °N															
160 °N	0.597%	0.096%	0.007%												0.699%
170 °N	1.535%	0.273%	0.010%												1.818%
180 °N	1.604%	0.222%	0.003%												1.829%
190 °N	1.549%	0.222%													1.771%
200 °N	1.556%	0.505%	0.075%												2.136%
210 °N	1.818%	1.088%	0.396%	0.017%	0.003%										3.323%
220 °N	1.607%	1.597%	1.143%	0.280%	0.034%										4.661%
230 °N	2.201%	2.030%	1.409%	0.532%	0.174%	0.034%	0.007%								6.387%
240 °N	2.248%	2.068%	1.689%	0.812%	0.310%	0.130%	0.051%	0.038%	0.034%	0.017%					7.397%
250 °N	1.539%	2.037%	1.890%	0.867%	0.444%	0.181%	0.099%	0.031%	0.017%	0.007%	0.003%		0.003%		7.117%
260 °N	1.238%	2.207%	2.255%	0.829%	0.638%	0.256%	0.119%	0.048%	0.044%	0.031%	0.003%	0.007%			7.677%
270 °N	1.279%	3.323%	3.582%	1.839%	1.419%	0.549%	0.399%	0.194%	0.089%	0.160%	0.075%	0.048%	0.007%	0.007%	12.972%
280 °N	1.556%	4.241%	4.207%	2.204%	1.146%	0.478%	0.259%	0.109%	0.085%	0.099%	0.055%	0.010%	0.007%	0.003%	14.459%
290 °N	2.733%	2.470%	1.460%	0.300%	0.102%	0.048%	0.024%	0.014%	0.007%	0.007%					7.165%
300 °N	1.477%	1.003%	0.730%	0.171%	0.068%	0.034%	0.010%		0.003%			0.003%			3.501%
310 °N	0.624%	0.409%	0.252%	0.051%	0.014%	0.003%		0.003%							1.358%
320 °N	0.276%	0.106%	0.096%	0.014%	0.010%	0.003%	0.003%								0.508%
330 °N	0.188%	0.119%	0.109%	0.017%											0.433%
340 °N	0.290%	0.280%	0.290%	0.051%											0.911%
350 °N	0.249%	0.382%	0.546%	0.068%											1.245%
360 °N	0.222%	0.321%	0.495%	0.058%											1.095%
TOTALI	31.890%	28.727%	22.832%	8.226%	4.367%	1.716%	0.972%	0.437%	0.280%	0.321%	0.136%	0.068%	0.017%	0.010%	100.00%

Tab. 3 – Frequenze annuali di occorrenza del moto ondoso al largo di S.Agnello per classi di altezza significativa e direzione di provenienza

Periodo di ritorno = 112 Anni					
Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)	DD
1.46	5.19	10 °N	0.62	3.39	190 °N
		20 °N	0.85	3.95	200 °N
1.79	5.75	30 °N	1.81	5.78	210 °N
1.68	5.58	40 °N	2.58	6.90	220 °N
1.04	4.38	50 °N	3.16	7.64	230 °N
0.95	4.18	60 °N	6.68	11.11	240 °N
0.69	3.58	70 °N	5.16	9.76	250 °N
		80 °N	6.28	10.77	260 °N
		90 °N	8.01	12.17	270 °N
		100 °N	7.64	11.88	280 °N
		110 °N	5.46	10.04	290 °N
		120 °N	5.53	10.11	300 °N
		130 °N	3.58	8.14	310 °N
		140 °N	3.47	8.01	320 °N
		150 °N	1.85	5.84	330 °N
0.69	3.56	160 °N	1.64	5.50	340 °N
0.77	3.78	170 °N	1.62	5.48	350 °N
0.71	3.63	180 °N	1.78	5.73	360 °N

Tab. 4 – Altezze e periodi significativi delle onde estreme al largo di S.Agnello
Periodo di ritorno TR = 112 anni

Periodo di ritorno = 50 Anni					
Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)	DD
1.36	5.01	10 °N	0.57	3.25	190 °N
		20 °N	0.79	3.82	200 °N
1.66	5.54	30 °N	1.64	5.51	210 °N
1.55	5.35	40 °N	2.37	6.61	220 °N
0.98	4.24	50 °N	2.95	7.38	230 °N
0.88	4.03	60 °N	6.03	10.56	240 °N
0.65	3.47	70 °N	4.75	9.37	250 °N
		80 °N	5.73	10.29	260 °N
		90 °N	7.35	11.65	270 °N
		100 °N	7.03	11.40	280 °N
		110 °N	4.83	9.44	290 °N
		120 °N	4.85	9.47	300 °N
		130 °N	3.10	7.57	310 °N
		140 °N	3.00	7.44	320 °N
		150 °N	1.66	5.54	330 °N
0.62	3.39	160 °N	1.54	5.33	340 °N
0.70	3.60	170 °N	1.51	5.29	350 °N
0.65	3.46	180 °N	1.65	5.53	360 °N

Tab. 5 – Altezze e periodi significativi delle onde estreme al largo di S.Agnello
Periodo di ritorno TR = 50 anni

Periodo di ritorno = 5 Anni					
Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)	DD
1.07	4.44	10 °N	0.43	2.81	190 °N
		20 °N	0.63	3.41	200 °N
1.27	4.84	30 °N	1.16	4.64	210 °N
1.15	4.60	40 °N	1.75	5.68	220 °N
0.79	3.83	50 °N	2.32	6.55	230 °N
0.68	3.54	60 °N	4.12	8.72	240 °N
0.53	3.13	70 °N	3.54	8.09	250 °N
		80 °N	4.11	8.71	260 °N
		90 °N	5.40	9.99	270 °N
		100 °N	5.21	9.81	280 °N
		110 °N	2.95	7.39	290 °N
		120 °N	2.84	7.25	300 °N
		130 °N	1.68	5.56	310 °N
		140 °N	1.59	5.42	320 °N
		150 °N	1.10	4.51	330 °N
0.44	2.84	160 °N	1.24	4.78	340 °N
0.50	3.03	170 °N	1.19	4.69	350 °N
0.45	2.89	180 °N	1.29	4.88	360 °N

Tab. 6 – Altezze e periodi significativi delle onde estreme al largo di S.Agnello
Periodo di ritorno TR = 5 anni

Tr = 112 anni			
DD	Hs (m)	T (s)	Δ (m)
240 °N	6.68	11.11	+ 0.46 (l.m.m.)
250 °N	5.16	9.76	
260 °N	6.28	10.77	
270 °N	8.01	12.17	
280 °N	7.64	11.88	
290 °N	5.46	10.04	
300 °N	5.53	10.11	

Tr = 112 anni			
DD	Hs (m)	T (s)	Δ (m)
240 °N	6.68	11.11	- 0.32 (l.m.m.)
250 °N	5.16	9.76	
260 °N	6.28	10.77	
270 °N	8.01	12.17	
280 °N	7.64	11.88	
290 °N	5.46	10.04	
300 °N	5.53	10.11	

Tr = 50 anni			
DD	Hs (m)	T (s)	Δ (m)
240 °N	6.03	10.56	+ 0.48 (l.m.m.)
250 °N	4.75	9.37	
260 °N	5.73	10.29	
270 °N	7.35	11.65	
280 °N	7.03	11.40	
290 °N	4.83	9.44	
300 °N	4.85	9.47	

Tr = 5 anni			
DD	Hs (m)	T (s)	Δ (m)
240 °N	4.12	8.72	- 0.32 (l.m.m.)
250 °N	3.54	8.09	
260 °N	4.11	8.71	
270 °N	5.40	9.99	
280 °N	5.21	9.81	
290 °N	2.95	7.39	
300 °N	2.84	7.25	

Tab. 7 – Altezze e periodi significativi delle onde estreme al largo selezionate per il trasferimento, associate alle variazioni di livello

DIR	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs														TOTALI
	<0,25	0,25-0,50	0,50-1,00	1,00-1,50	1,50-2,00	2,00-2,50	2,50-3,00	3,00-3,50	3,50-4,00	4,00-4,50	4,50-5,00	5,00-5,50	5,50-6,00	6,00-6,50	
10 °N	2.539%	0.353%	0.527%	0.018%											3.438%
20 °N	0.623%														0.623%
30 °N															
40 °N															
50 °N															
60 °N															
70 °N															
80 °N															
90 °N															
100 °N															
110 °N															
120 °N															
130 °N															
140 °N															
150 °N															
160 °N															
170 °N															
180 °N															
190 °N															
200 °N															
210 °N															
220 °N															
230 °N															
240 °N															
250 °N	0.839%														0.839%
260 °N	28.065%	3.997%	2.695%	0.234%			0.005%								34.996%
270 °N	1.719%	4.547%	5.083%	2.924%	1.022%	0.426%	0.138%	0.018%							15.878%
280 °N	2.090%	5.697%	5.652%	4.648%	1.829%	0.972%	0.431%	0.312%	0.358%	0.151%	0.023%	0.005%			22.166%
290 °N	3.671%	3.319%	1.962%	0.463%	0.225%	0.101%	0.064%	0.041%	0.032%	0.014%		0.005%			9.896%
300 °N	1.985%	1.348%	0.981%	0.270%	0.083%	0.032%		0.005%		0.005%					4.707%
310 °N	0.839%	0.550%	0.367%	0.064%	0.018%		0.005%								1.843%
320 °N	0.376%	0.142%	0.105%	0.028%	0.005%	0.005%	0.005%								0.665%
330 °N	0.252%	0.160%	0.147%	0.023%											0.582%
340 °N	0.390%	0.376%	0.390%	0.078%											1.233%
350 °N	0.335%	0.513%	0.733%	0.083%											1.664%
360 °N	0.298%	0.431%	0.665%	0.078%											1.471%
TOTALI	44.021%	21.433%	19.306%	8.910%	3.181%	1.535%	0.646%	0.376%	0.390%	0.170%	0.023%	0.009%			100.00%

Tab. 8 – Frequenze annuali di occorrenza del moto ondoso sottocosta per classi di altezza significativa e direzione di provenienza

Largo			Sottocosta tratto A (h=-10m)			Sottocosta tratto B (h=-10m)			Sottocosta tratto C (h=-7.5m)		
Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)	DD
6.68	11.11	240 °N	0.52	11.11	290.0 °N	0.29	11.11	30.0 °N	0.30	11.11	330.0 °N
5.16	9.76	250 °N	0.63	9.76	302.0 °N	0.39	9.76	304.0 °N	0.37	9.76	329.0 °N
6.28	10.77	260 °N	1.80	10.77	297.0 °N	1.16	10.77	326.0 °N	0.96	10.77	337.0 °N
8.01	12.17	270 °N	4.53	12.17	296.0 °N	3.22	12.17	315.0 °N	2.62	12.17	327.0 °N
7.64	11.88	280 °N	5.04	11.88	301.0 °N	3.78	11.88	318.0 °N	3.27	11.88	324.0 °N
5.46	10.04	290 °N	4.40	10.04	299.0 °N	3.65	10.04	308.0 °N	2.99	10.04	318.0 °N
5.53	10.11	300 °N	4.65	10.11	305.0 °N	4.03	10.11	313.0 °N	3.31	10.11	323.0 °N

Tab. 9 – Altezze medie e periodi significativi delle onde estreme in prossimità della scogliera
TR = 112 anni ($\Delta = + 0.46$ m l.m.m.) – (Tratti A – B – C)

Largo			Sottocosta tratto A (h=-10m)			Sottocosta tratto B (h=-10m)			Sottocosta tratto C (h=-7.5m)		
Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)	DD
6.68	11.11	240 °N	0.50	11.11	288.0 °N	0.31	11.11	330.0 °N	0.26	11.11	330.0 °N
5.16	9.76	250 °N	0.60	9.76	280.0 °N	0.40	9.76	332.0 °N	0.34	9.76	331.0 °N
6.28	10.77	260 °N	1.76	10.77	302.0 °N	1.14	10.77	328.0 °N	0.98	10.77	340.0 °N
8.01	12.17	270 °N	4.49	12.17	297.0 °N	3.23	12.17	315.0 °N	2.58	12.17	327.0 °N
7.64	11.88	280 °N	4.99	11.88	301.0 °N	3.77	11.88	318.0 °N	3.16	11.88	324.0 °N
5.46	10.04	290 °N	4.37	10.04	299.0 °N	3.61	10.04	309.0 °N	2.89	10.04	318.0 °N
5.53	10.11	300 °N	4.57	10.11	306.0 °N	3.96	10.11	314.0 °N	3.15	10.11	324.0 °N

Tab. 10 – Altezze medie e periodi significativi delle onde estreme in prossimità della scogliera
TR = 112 anni ($\Delta = - 0.32$ m l.m.m.) – (Tratti A – B – C)

Largo			Sottocosta tratto A (h=-10m)			Sottocosta tratto B (h=-10m)			Sottocosta tratto C (h=-7.5m)		
Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)	DD
6.03	10.56	240 °N	0.45	10.56	292.0 °N	0.26	10.56	330.0 °N	0.27	10.56	330.0 °N
4.75	9.37	250 °N	0.55	9.37	300.0 °N	0.35	9.37	302.0 °N	0.34	9.37	302.0 °N
5.73	10.29	260 °N	1.56	10.29	296.0 °N	1.00	10.29	324.0 °N	0.86	10.29	334.0 °N
7.35	11.65	270 °N	4.18	11.65	296.0 °N	2.96	11.65	314.0 °N	2.40	11.65	326.0 °N
7.03	11.40	280 °N	4.68	11.40	301.0 °N	3.48	11.40	317.0 °N	3.01	11.40	323.0 °N
4.83	9.44	290 °N	3.97	9.44	298.0 °N	3.31	9.44	307.0 °N	2.75	9.44	317.0 °N
4.85	9.47	300 °N	4.15	9.47	305.0 °N	3.63	9.47	312.0 °N	3.05	9.47	322.0 °N

Tab. 11 – Altezze medie e periodi significativi delle onde estreme in prossimità della scogliera
TR = 50 anni ($\Delta = + 0.48$ m l.m.m.) – (Tratti A – B – C)

Largo			Sottocosta tratto A (h=-10m)			Sottocosta tratto B (h=-10m)			Sottocosta tratto C (h=-7.5m)		
Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)	DD
4.12	8.72	240 °N	0.26	8.72	294.0 °N	0.17	8.72	330.0 °N	0.19	8.72	330.0 °N
3.54	8.09	250 °N	0.33	8.09	281.0 °N	0.23	8.09	332.0 °N	0.26	8.09	332.0 °N
4.11	8.71	260 °N	0.94	8.71	295.0 °N	0.62	8.71	318.0 °N	0.57	8.71	330.0 °N
5.40	9.99	270 °N	3.12	9.99	296.0 °N	2.27	9.99	310.0 °N	1.81	9.99	322.0 °N
5.21	9.81	280 °N	3.46	9.81	298.0 °N	2.57	9.81	313.0 °N	2.20	9.81	321.0 °N
2.95	7.39	290 °N	2.52	7.39	295.0 °N	2.13	7.39	303.0 °N	1.78	7.39	312.0 °N
2.84	7.25	300 °N	2.50	7.25	304.0 °N	2.27	7.25	309.0 °N	2.01	7.25	319.0 °N

Tab. 12 – Altezze medie e periodi significativi delle onde estreme in prossimità della scogliera
TR = 5 anni ($\Delta = - 0.32$ m l.m.m.) – (Tratti A – B – C)

Largo			Sottocosta tratto A (h=-10m)			Sottocosta tratto B (h=-10m)			Sottocosta tratto C (h=-7.5m)		
Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)	DD
6.68	11.11	240 °N	0.69	11.11	304.0 °N	0.38	11.11	330.0 °N	0.47	11.11	330.0 °N
5.16	9.76	250 °N	0.86	9.76	326.0 °N	0.46	9.76	330.0 °N	0.54	9.76	329.0 °N
6.28	10.77	260 °N	2.57	10.77	316.0 °N	1.28	10.77	331.0 °N	1.06	10.77	339.0 °N
8.01	12.17	270 °N	5.19	12.17	306.0 °N	3.73	12.17	320.0 °N	2.87	12.17	337.0 °N
7.64	11.88	280 °N	5.42	11.88	310.0 °N	4.17	11.88	322.0 °N	3.46	11.88	327.0 °N
5.46	10.04	290 °N	4.65	10.04	302.0 °N	3.97	10.04	313.0 °N	3.23	10.04	321.0 °N
5.53	10.11	300 °N	4.79	10.11	307.0 °N	4.33	10.11	318.0 °N	3.63	10.11	327.0 °N

Tab. 13 – Altezze massime e periodi significativi delle onde estreme in prossimità della scogliera
TR = 112 anni ($\Delta = + 0.46$ m l.m.m.) – (Tratti A - B - C)

Largo			Sottocosta tratto A (h=-10m)			Sottocosta tratto B (h=-10m)			Sottocosta tratto C (h=-7.5m)		
Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)	DD
6.68	11.11	240 °N	0.69	11.11	303.0 °N	0.38	11.11	330.0 °N	0.37	11.11	330.0 °N
5.16	9.76	250 °N	0.85	9.76	332.0 °N	0.46	9.76	332.0 °N	0.41	9.76	331.0 °N
6.28	10.77	260 °N	2.43	10.77	316.0 °N	1.28	10.77	333.0 °N	1.05	10.77	341.0 °N
8.01	12.17	270 °N	4.98	12.17	306.0 °N	3.78	12.17	322.0 °N	2.83	12.17	333.0 °N
7.64	11.88	280 °N	5.36	11.88	310.0 °N	4.17	11.88	322.0 °N	3.42	11.88	327.0 °N
5.46	10.04	290 °N	4.61	10.04	302.0 °N	3.96	10.04	314.0 °N	3.18	10.04	322.0 °N
5.53	10.11	300 °N	4.70	10.11	308.0 °N	4.29	10.11	319.0 °N	3.51	10.11	328.0 °N

Tab. 14 – Altezze massime e periodi significativi delle onde estreme in prossimità della scogliera
TR = 112 anni ($\Delta = - 0.32$ m l.m.m.) – (Tratti A - B - C)

Largo			Sottocosta tratto A (h=-10m)			Sottocosta tratto B (h=-10m)			Sottocosta tratto C (h=-7.5m)		
Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)	DD
6.03	10.56	240 °N	0.59	10.56	305.0 °N	0.33	10.56	330.0 °N	0.43	10.56	330.0 °N
4.75	9.37	250 °N	0.74	9.37	324.0 °N	0.40	9.37	332.0 °N	0.52	9.37	332.0 °N
5.73	10.29	260 °N	2.23	10.29	313.0 °N	1.13	10.29	330.0 °N	0.92	10.29	335.0 °N
7.35	11.65	270 °N	4.81	11.65	305.0 °N	3.43	11.65	320.0 °N	2.62	11.65	338.0 °N
7.03	11.40	280 °N	5.05	11.40	309.0 °N	3.84	11.40	321.0 °N	3.18	11.40	325.0 °N
4.83	9.44	290 °N	4.21	9.44	301.0 °N	3.59	9.44	312.0 °N	2.95	9.44	319.0 °N
4.85	9.47	300 °N	4.29	9.47	307.0 °N	3.86	9.47	317.0 °N	3.31	9.47	326.0 °N

Tab. 15 – Altezze massime e periodi significativi delle onde estreme in prossimità della scogliera
TR = 50 anni ($\Delta = + 0.48$ m l.m.m.) – (Tratti A – B – C)

Largo			Sottocosta tratto A (h=-10m)			Sottocosta tratto B (h=-10m)			Sottocosta tratto C (h=-7.5m)		
Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)	DD
4.12	8.72	240 °N	0.33	8.72	313.0 °N	0.21	8.72	330.0 °N	0.30	8.72	330.0 °N
3.54	8.09	250 °N	0.40	8.09	331.0 °N	0.26	8.09	335.0 °N	0.38	8.09	335.0 °N
4.11	8.71	260 °N	1.24	8.71	309.0 °N	0.70	8.71	326.0 °N	0.64	8.71	340.0 °N
5.40	9.99	270 °N	3.50	9.99	301.0 °N	2.62	9.99	316.0 °N	2.02	9.99	328.0 °N
5.21	9.81	280 °N	3.82	9.81	305.0 °N	2.86	9.81	318.0 °N	2.36	9.81	325.0 °N
2.95	7.39	290 °N	2.66	7.39	298.0 °N	2.29	7.39	308.0 °N	1.92	7.39	316.0 °N
2.84	7.25	300 °N	2.54	7.25	305.0 °N	2.36	7.25	313.0 °N	2.11	7.25	322.0 °N

Tab. 16 – Altezze massime e periodi significativi delle onde estreme in prossimità della scogliera
TR = 5 anni ($\Delta = - 0.32$ m l.m.m.) – (Tratti A – B – C)

Figure

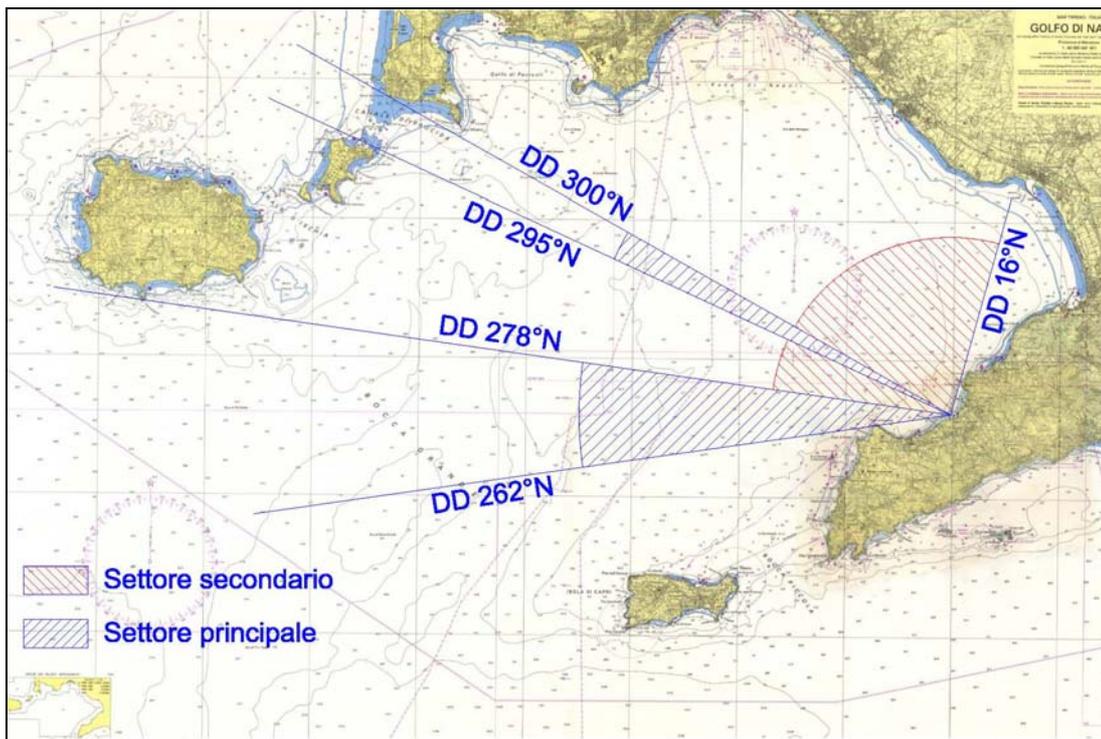


Fig. 3 – Settori di traversia S.Agnello.

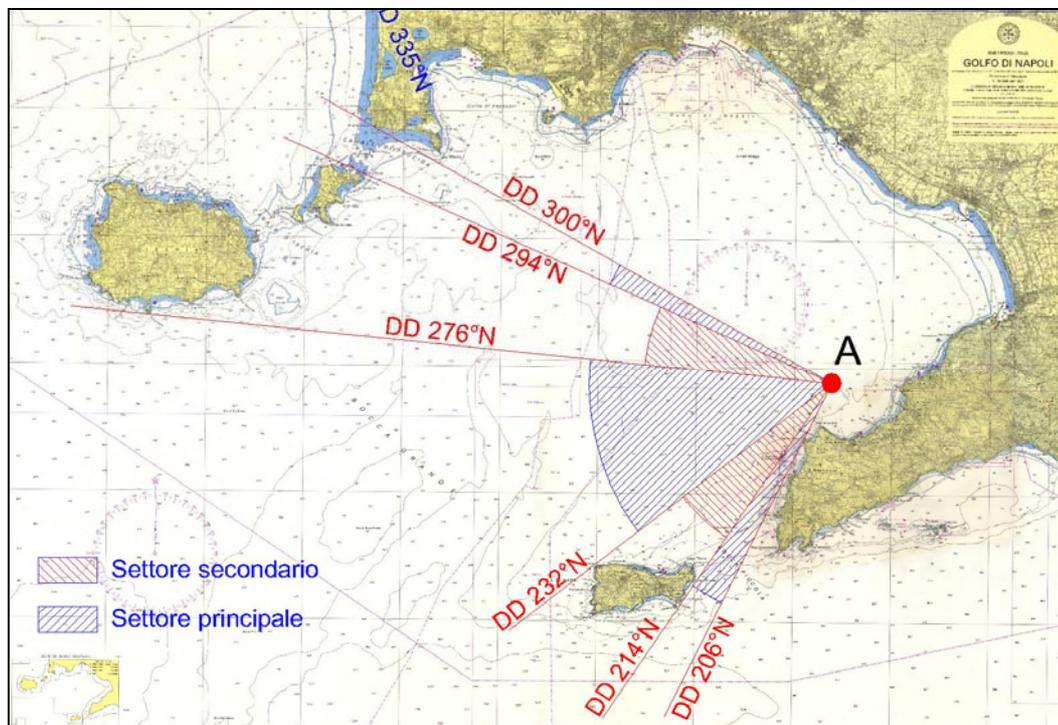


Fig. 4 – Settori di traversia ondometro virtuale.

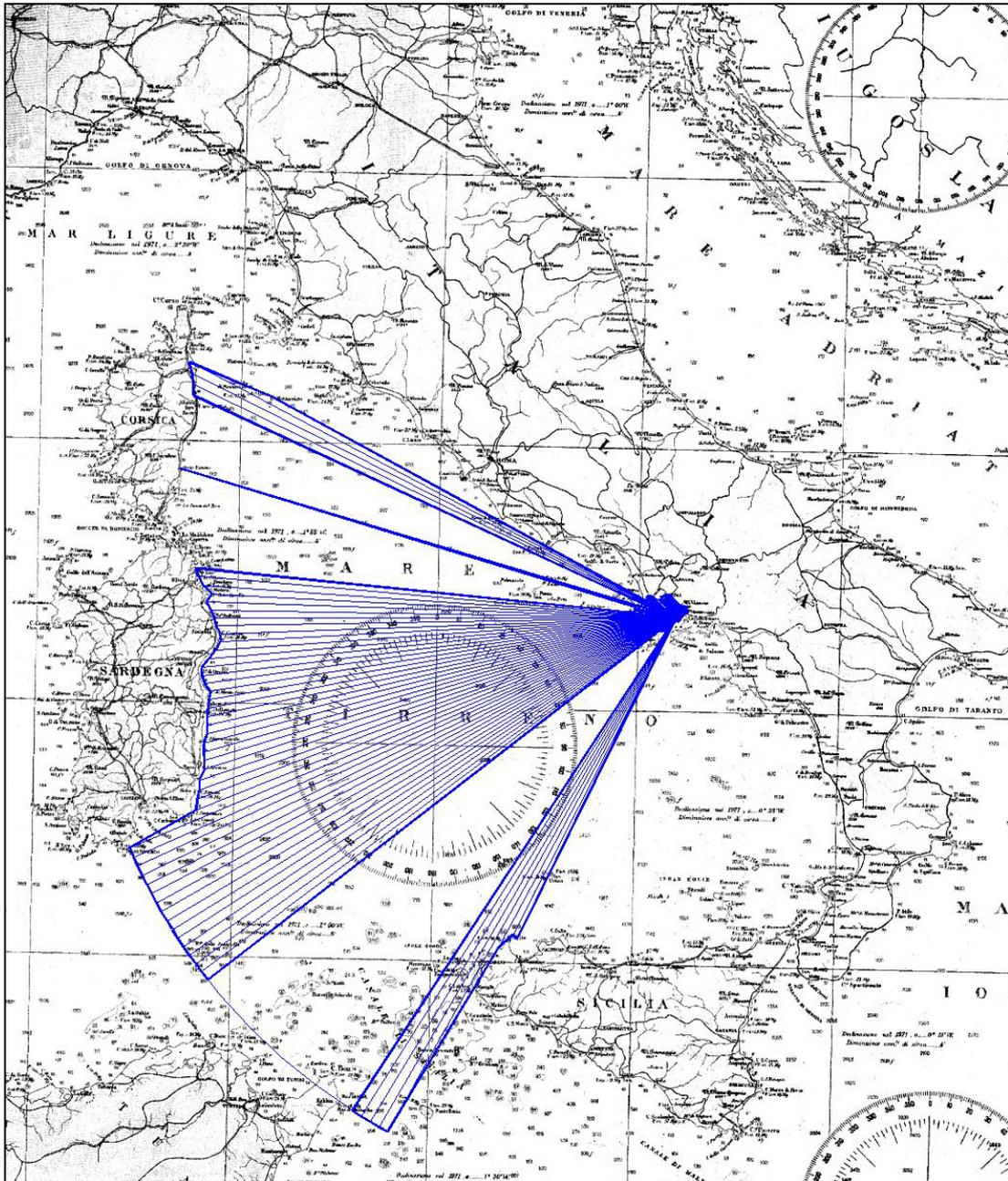


Fig. 5 – Fetch geografici S.Agnello.

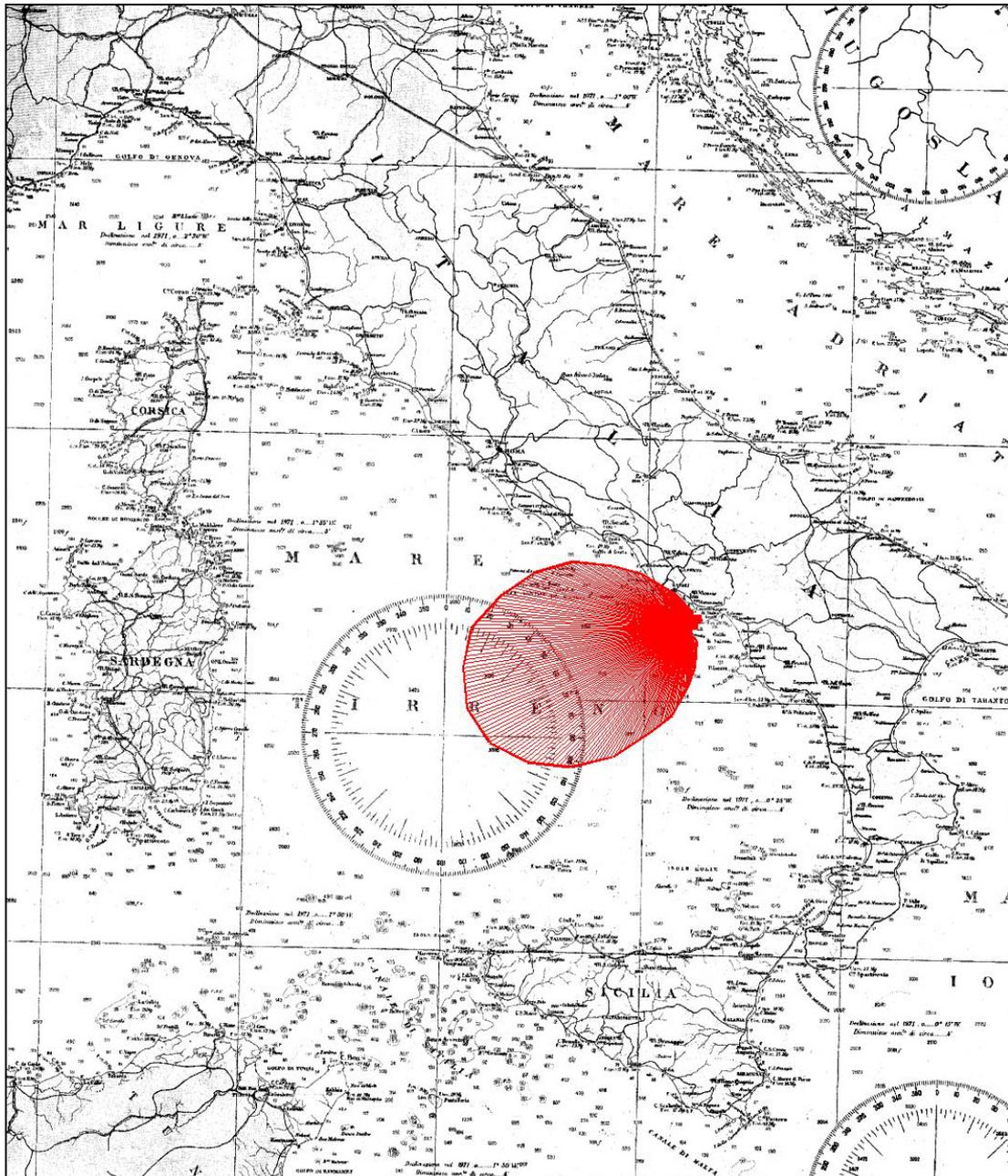


Fig. 6 – Diagramma polare Fetch efficaci S.Agnello.

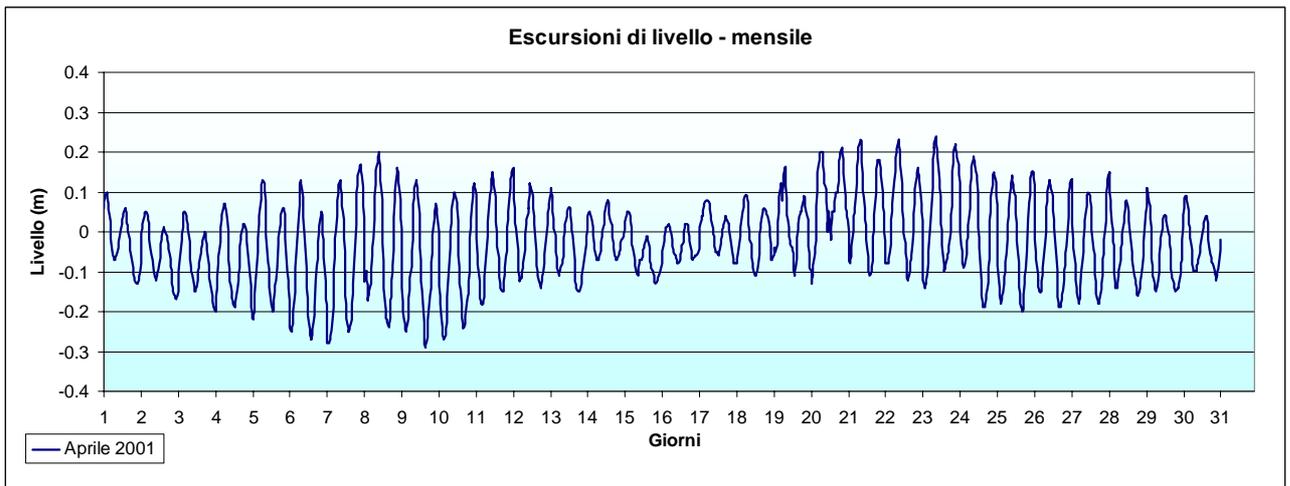
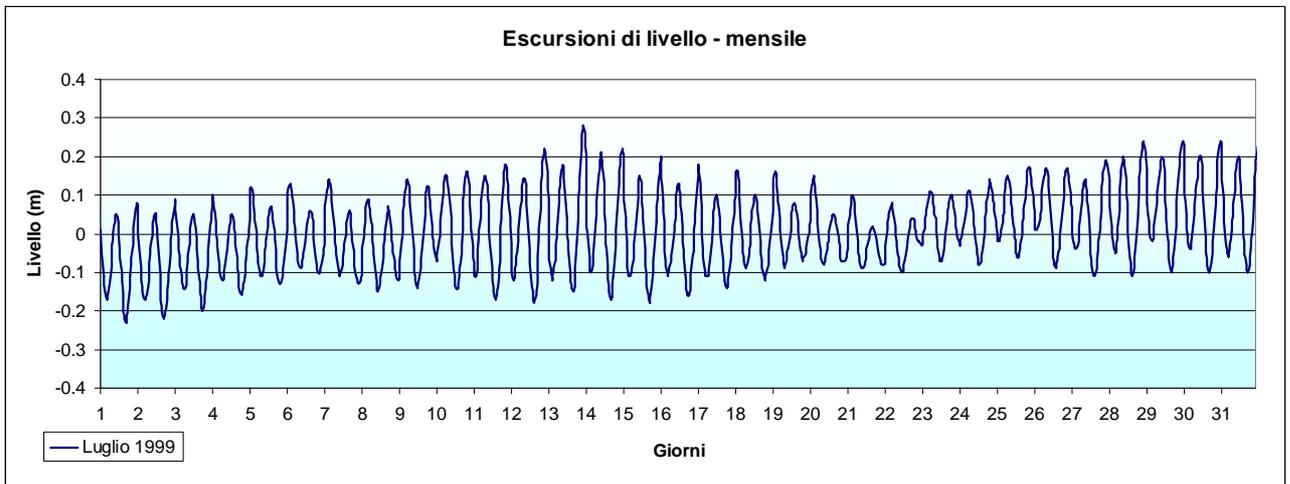
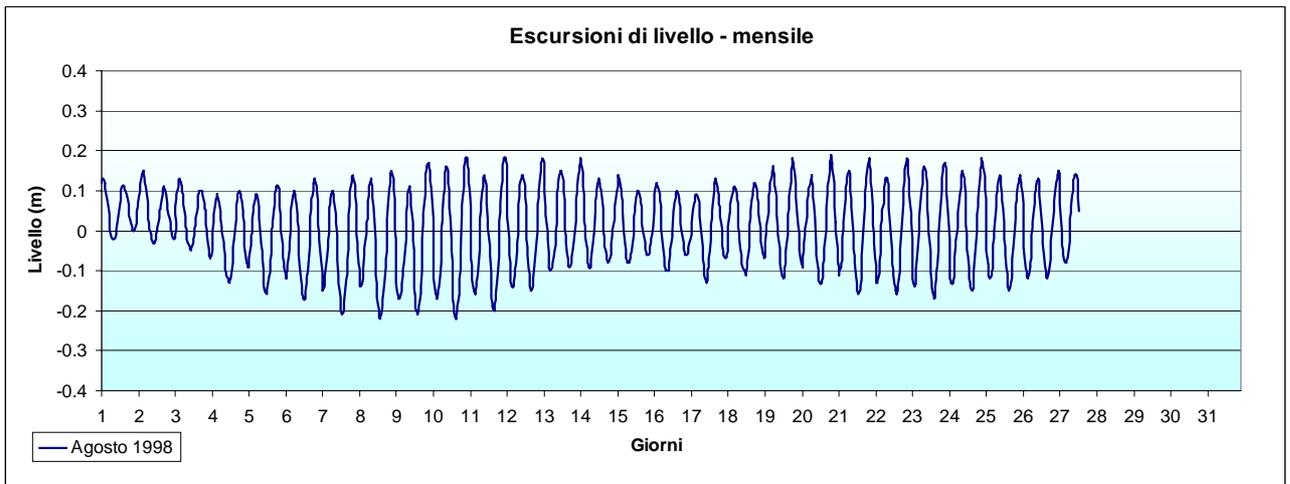


Fig. 7.a – Regrazioni escursioni di marea – Stazione di Napoli

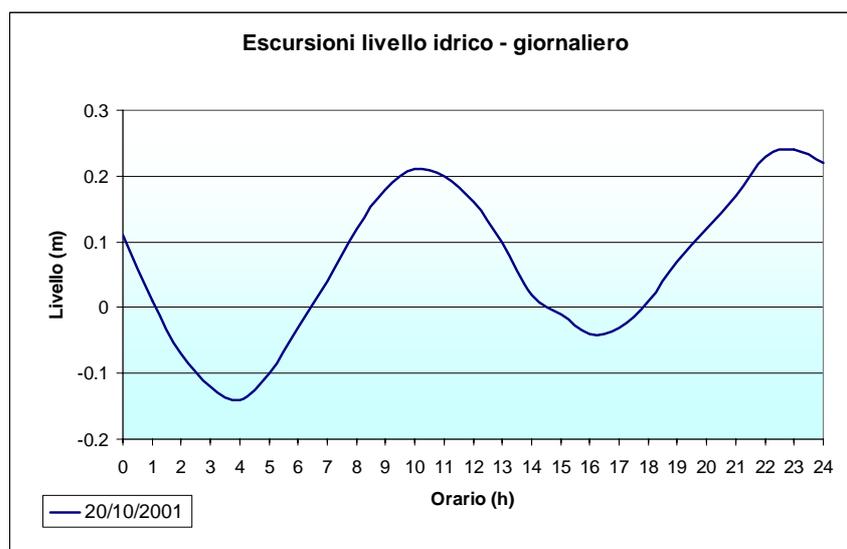
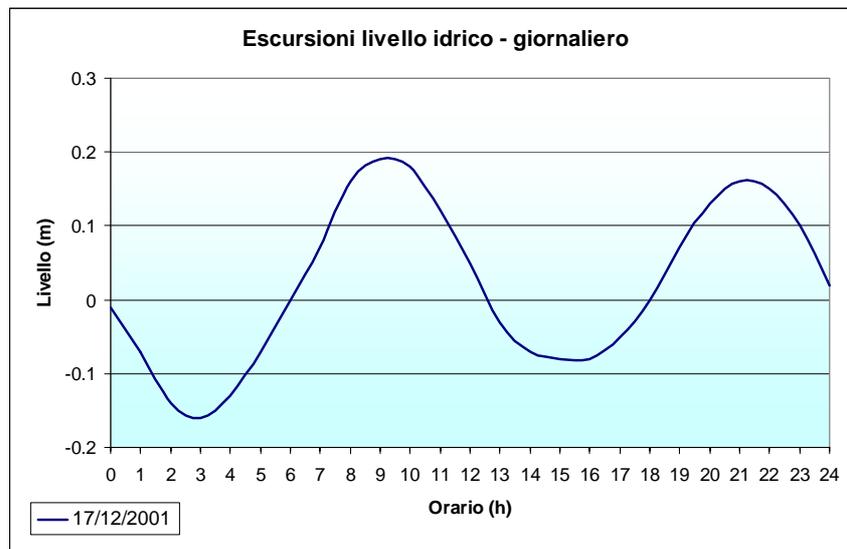


Fig. 7.b – RegISTRAZIONI escursioni di marea – Stazione di Napoli

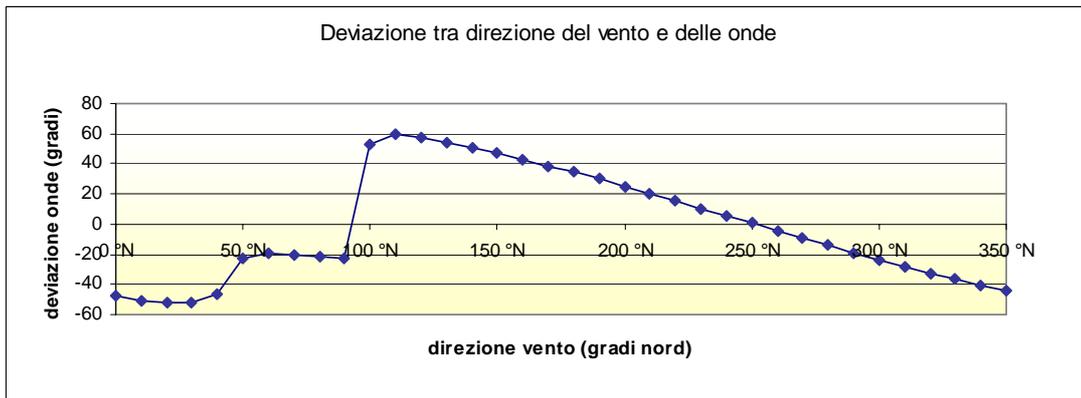


Fig. 8 – Deviazione direzione moto ondoso rispetto alla direzione del vento.

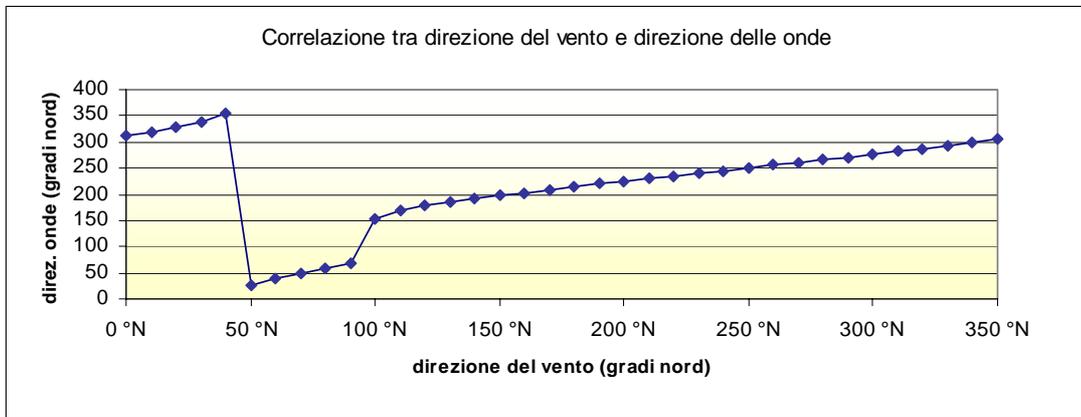


Fig. 9 – Direzione onde-vento.

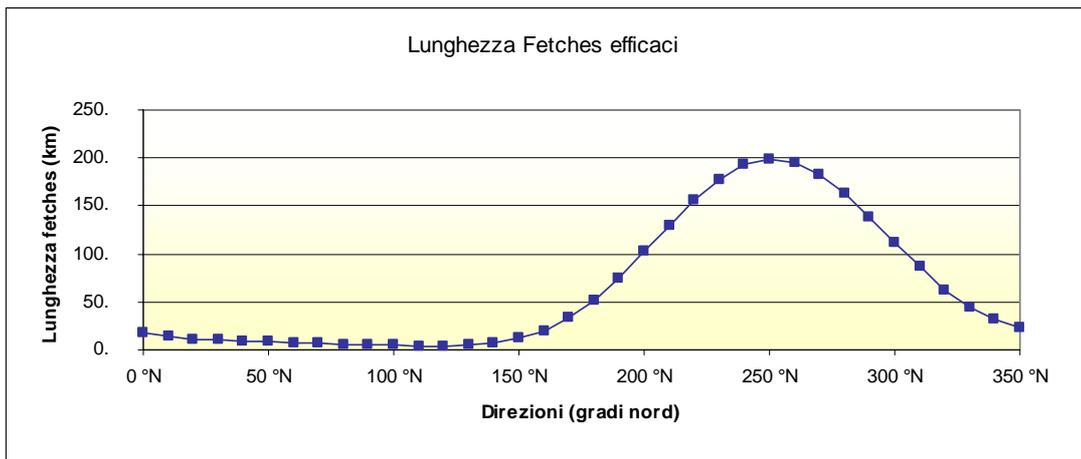


Fig. 10 – Lunghezza fetch efficace.

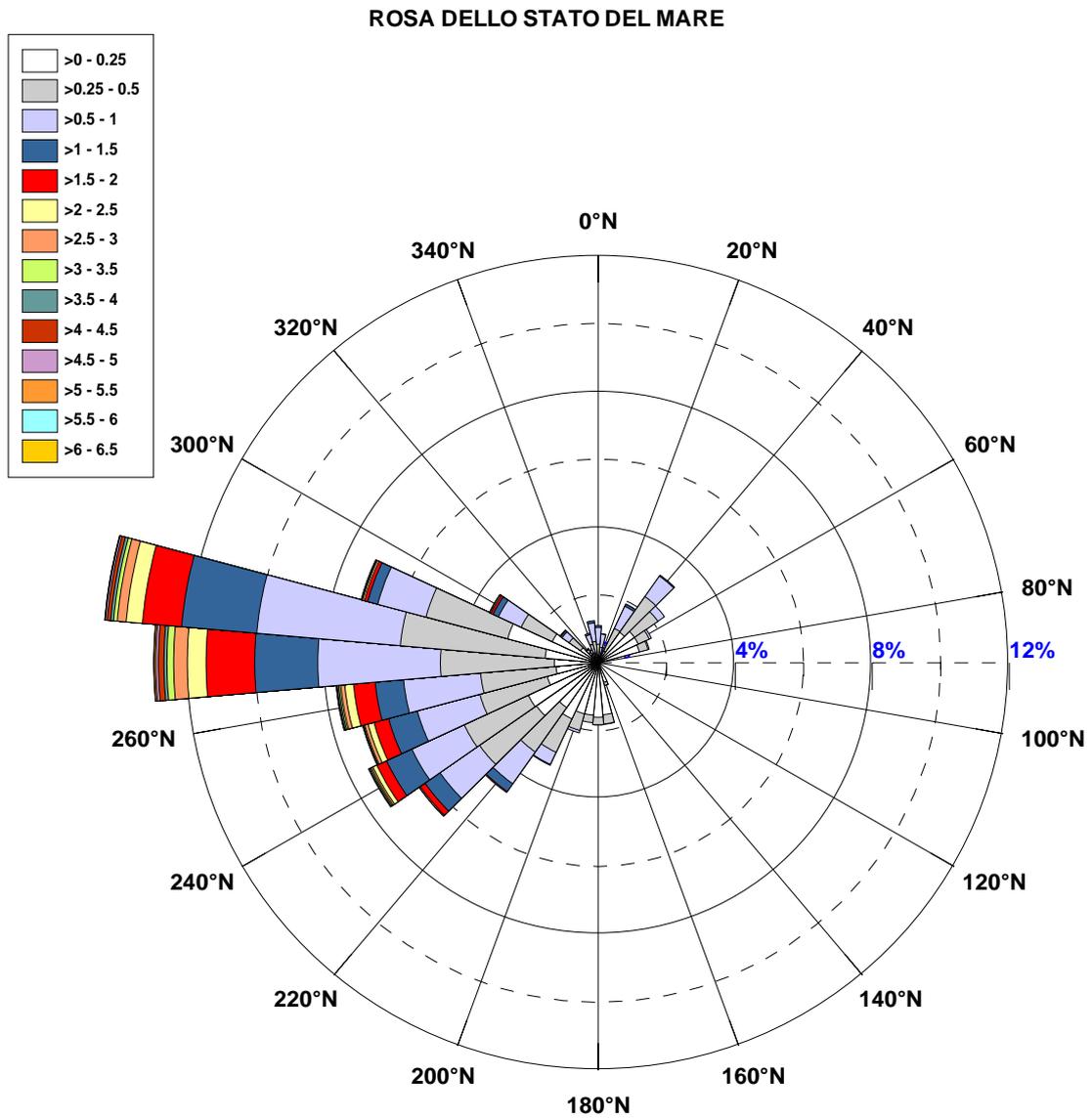


Fig. 11 – Diagramma polare del clima ondoso all'ondametro virtuale di S.Agnello.

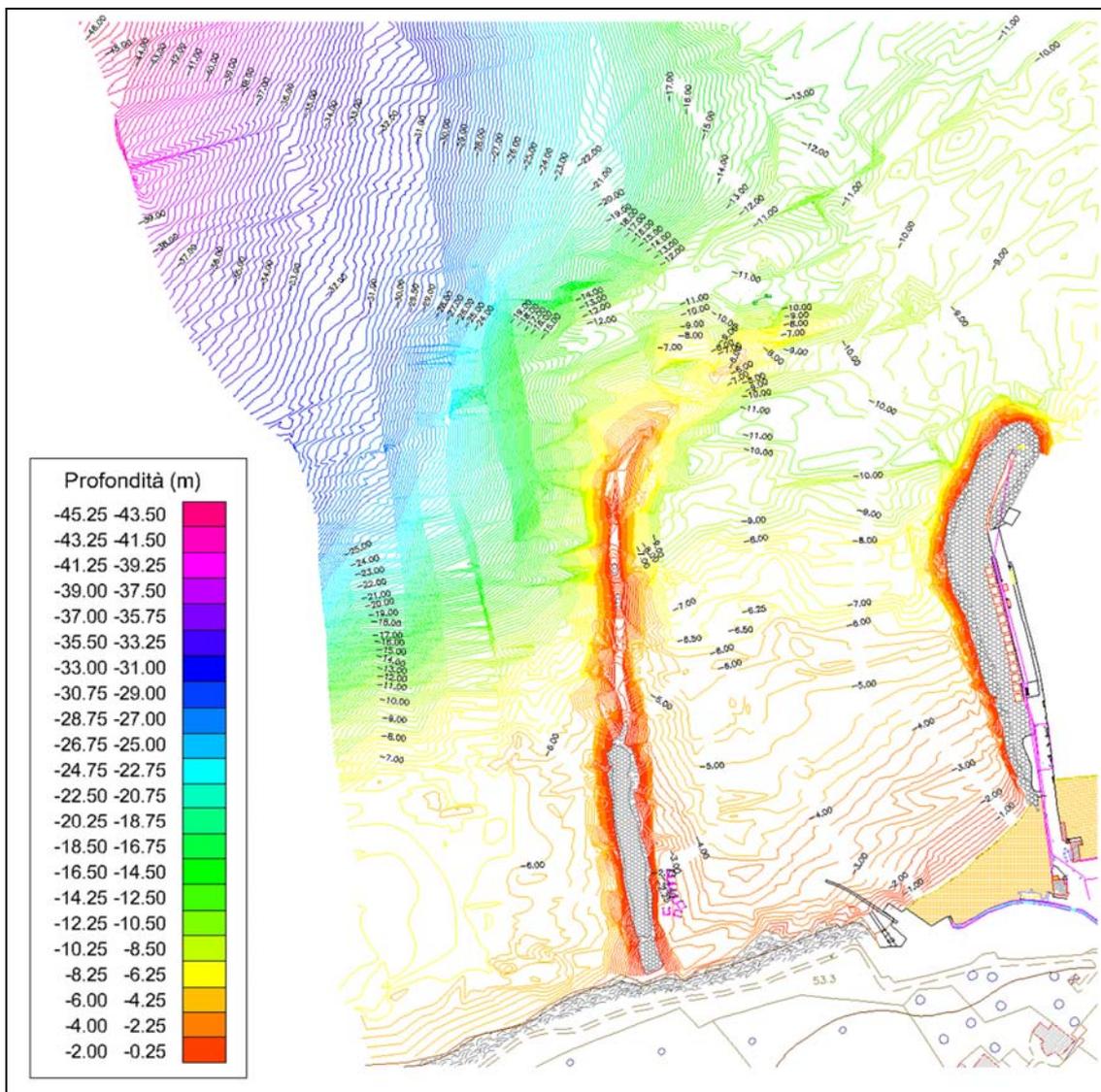


Fig. 12.a – Batimetria di dettaglio

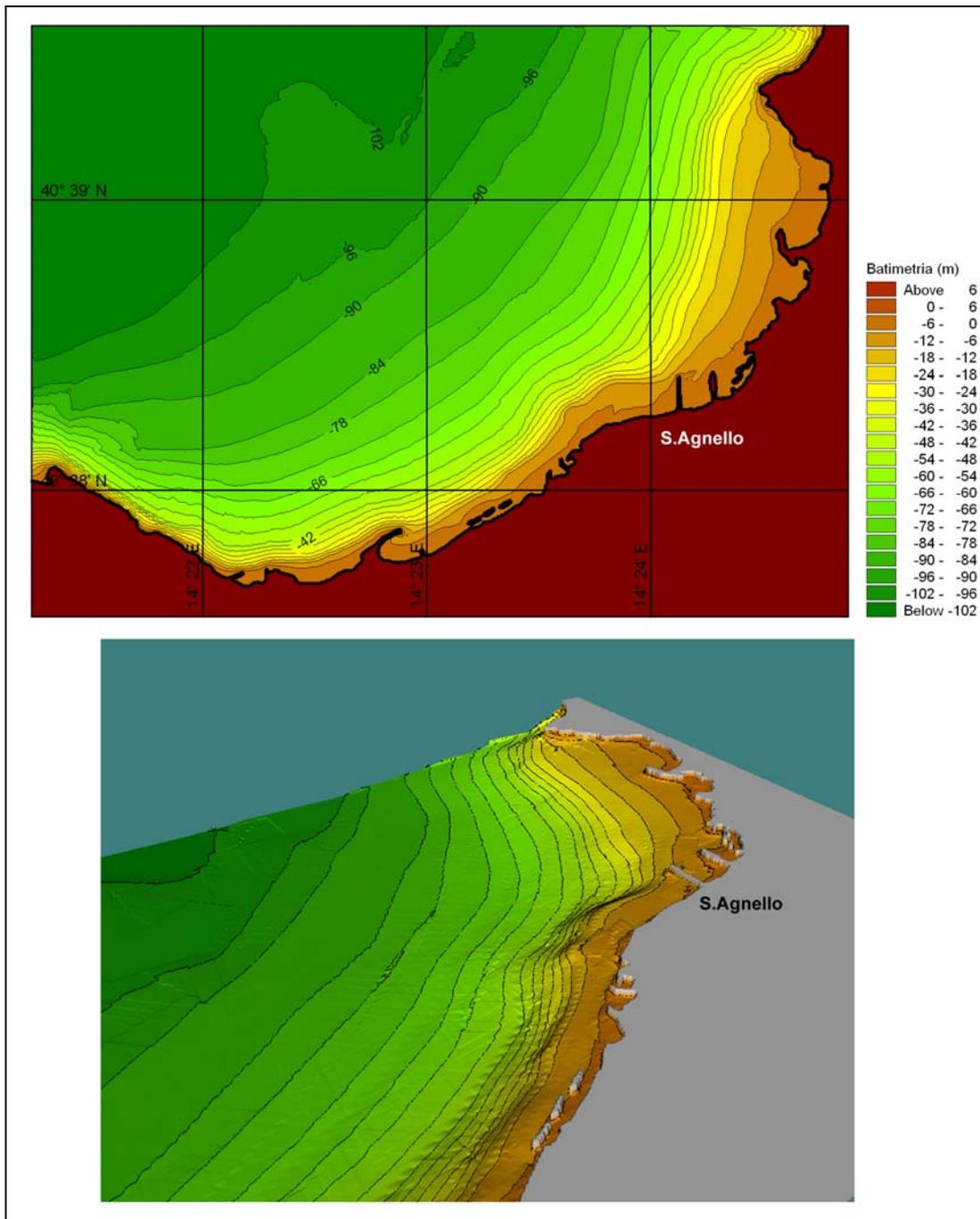


Fig. 12.b – Batimetria di riferimento



Fig. 13 – Ubicazione del punto di trasferimento sottocosta

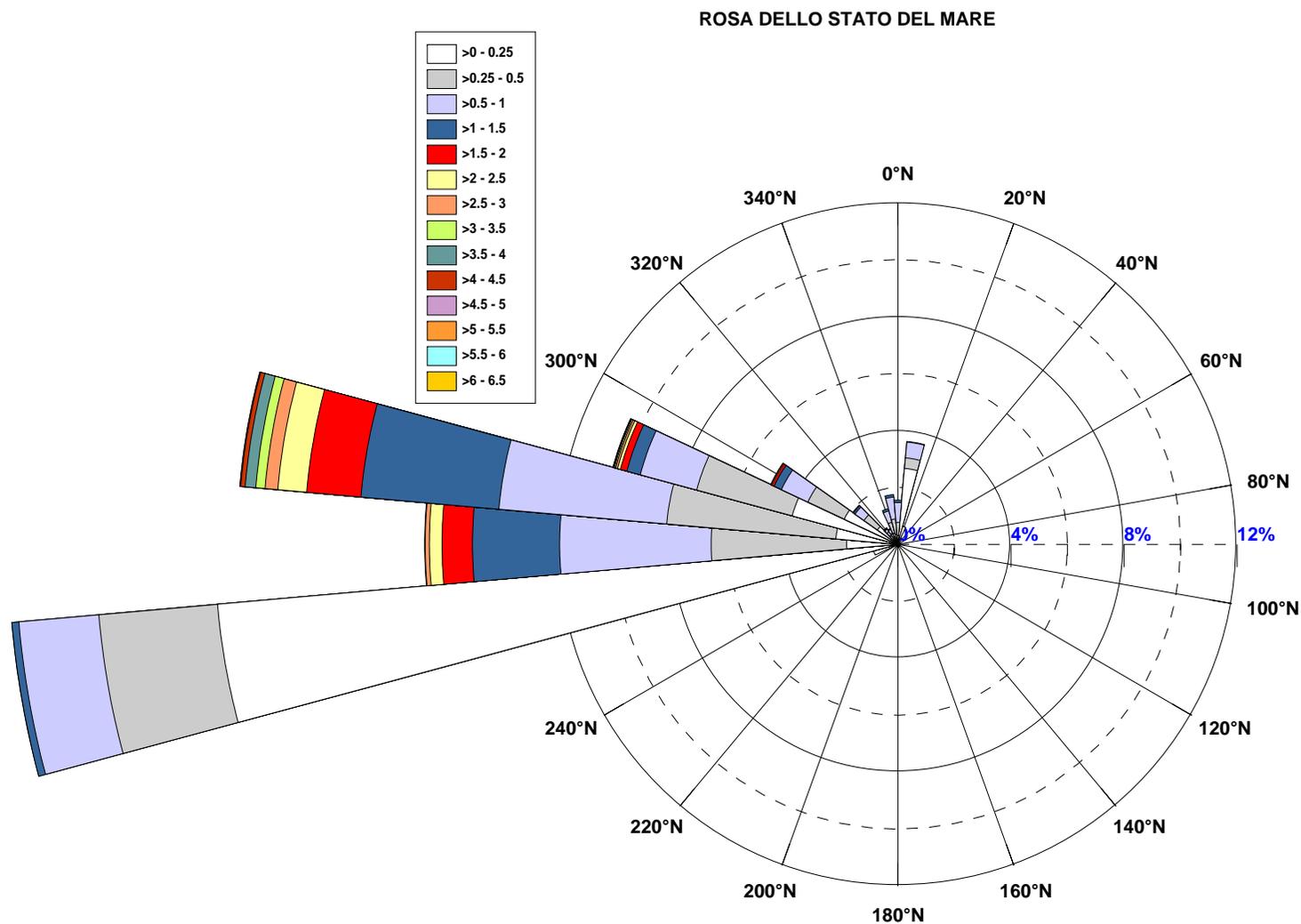


Fig. 14 – Diagramma polare del clima ondoso nel punti P1 sottocosta

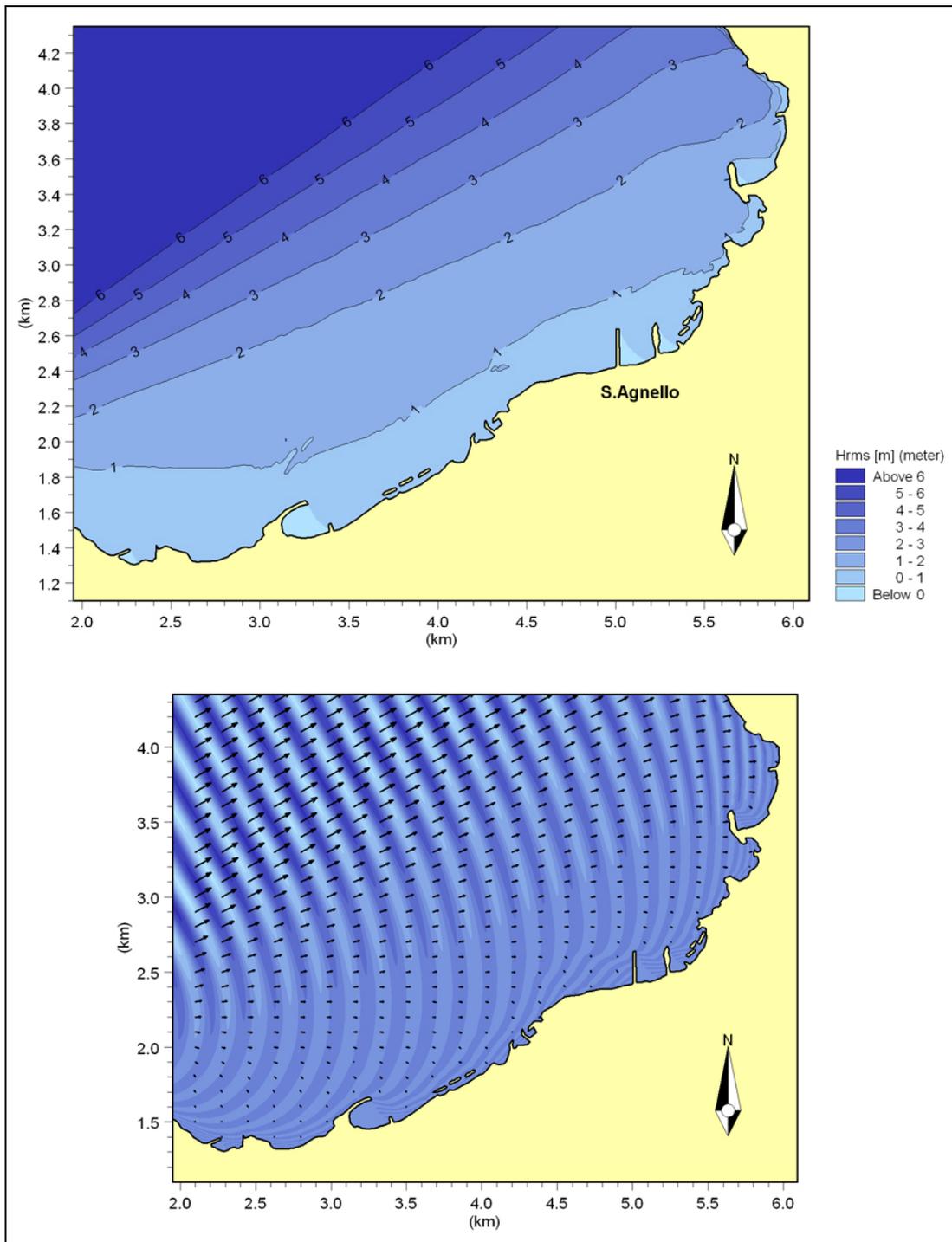


Fig. 15 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo :
Direzione 240° N ; Altezza 6.68 m ; Periodo 11.11 s ; Tr = 112 anni.

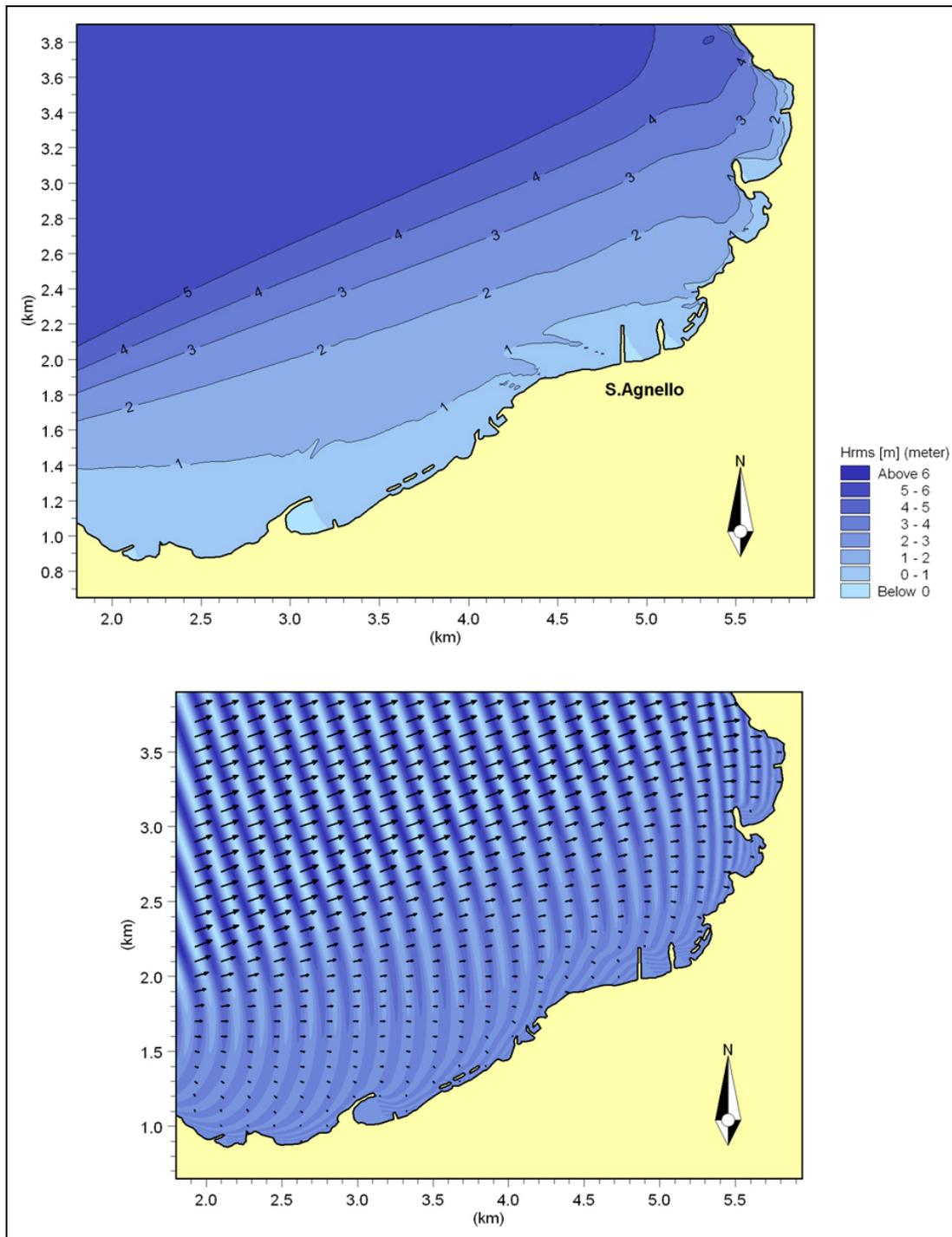


Fig. 16 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo :
Direzione 250° N ; Altezza 5.16 m ; Periodo 9.76 s ; Tr = 112 anni.

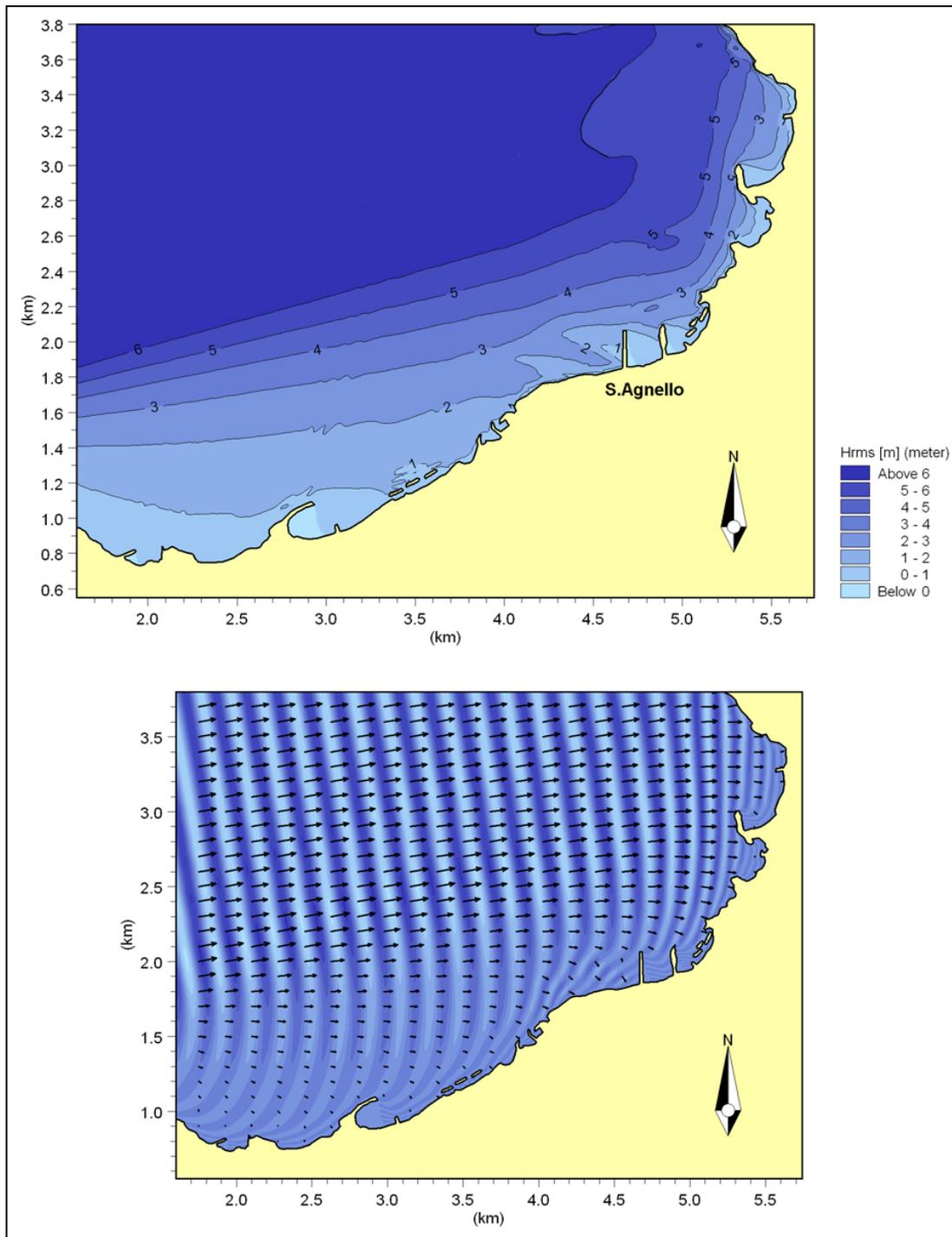


Fig. 17 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo :
Direzione 260° N ; Altezza 6.28 m ; Periodo 10.77 s ; $T_r = 112$ anni.

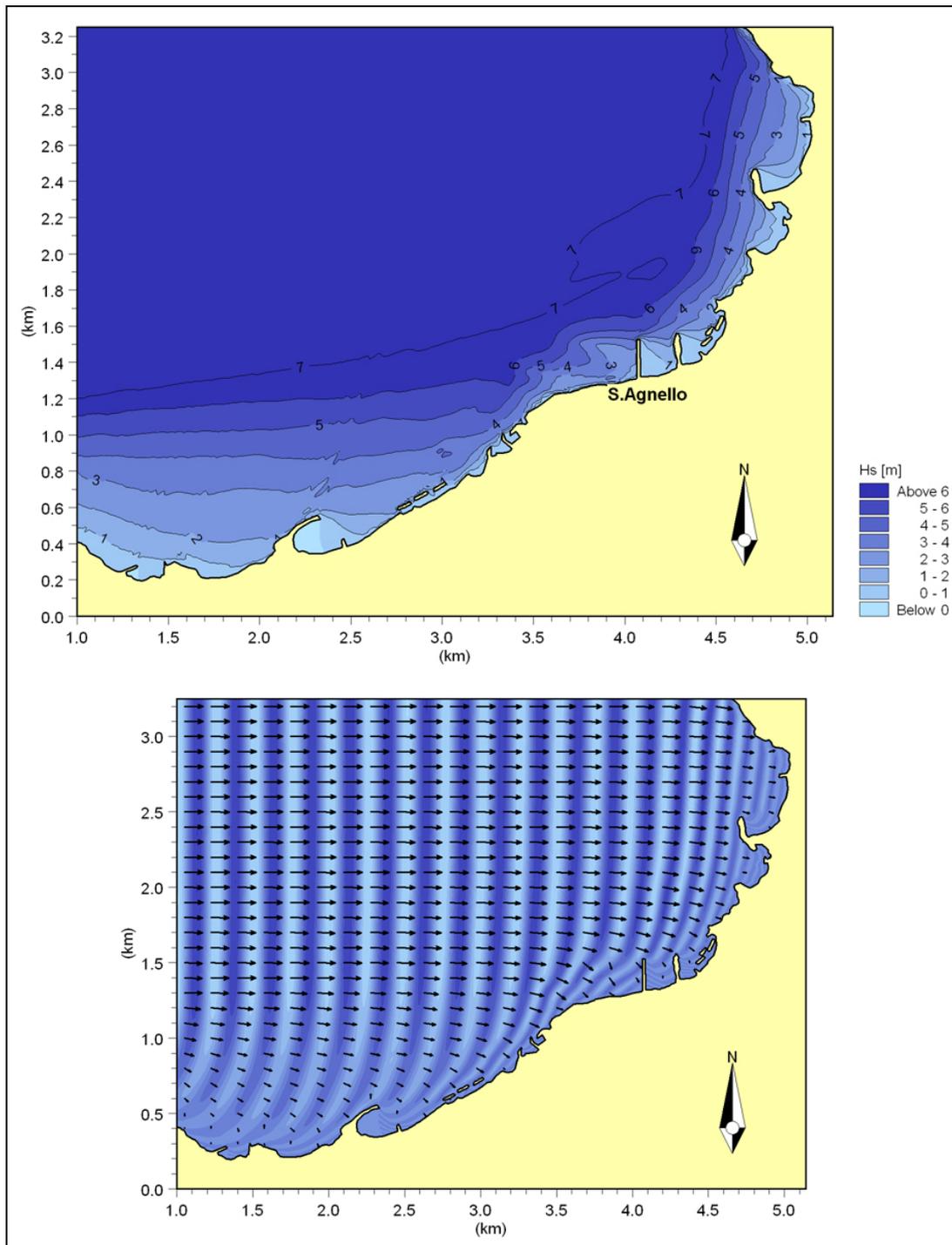


Fig. 18 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo :
Direzione 270° N ; Altezza 8.01 m ; Periodo 12.17 s ; Tr = 112 anni.

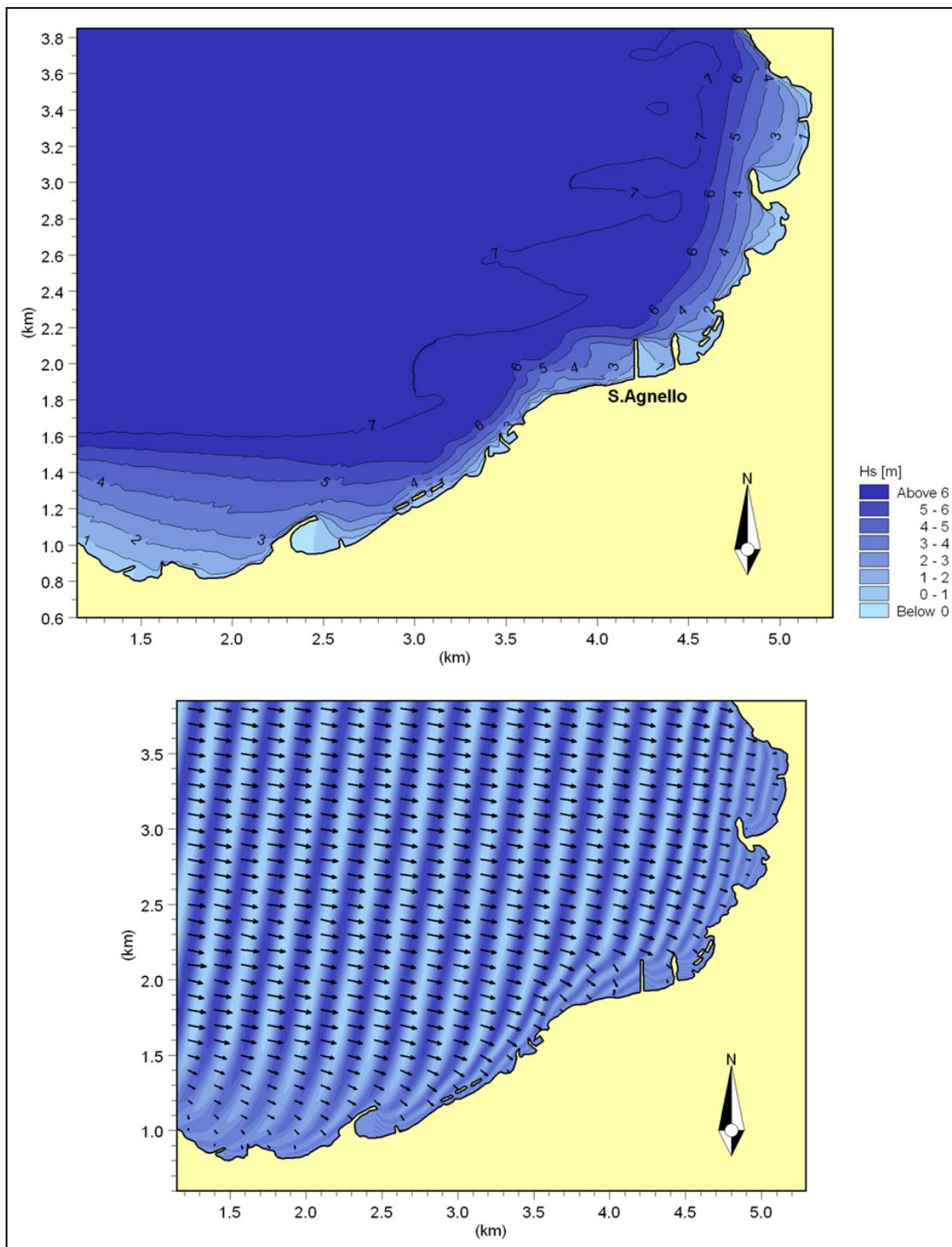


Fig. 19 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo :
Direzione 280° N ; Altezza 7.64 m ; Periodo 11.88 s ; Tr = 112 anni.

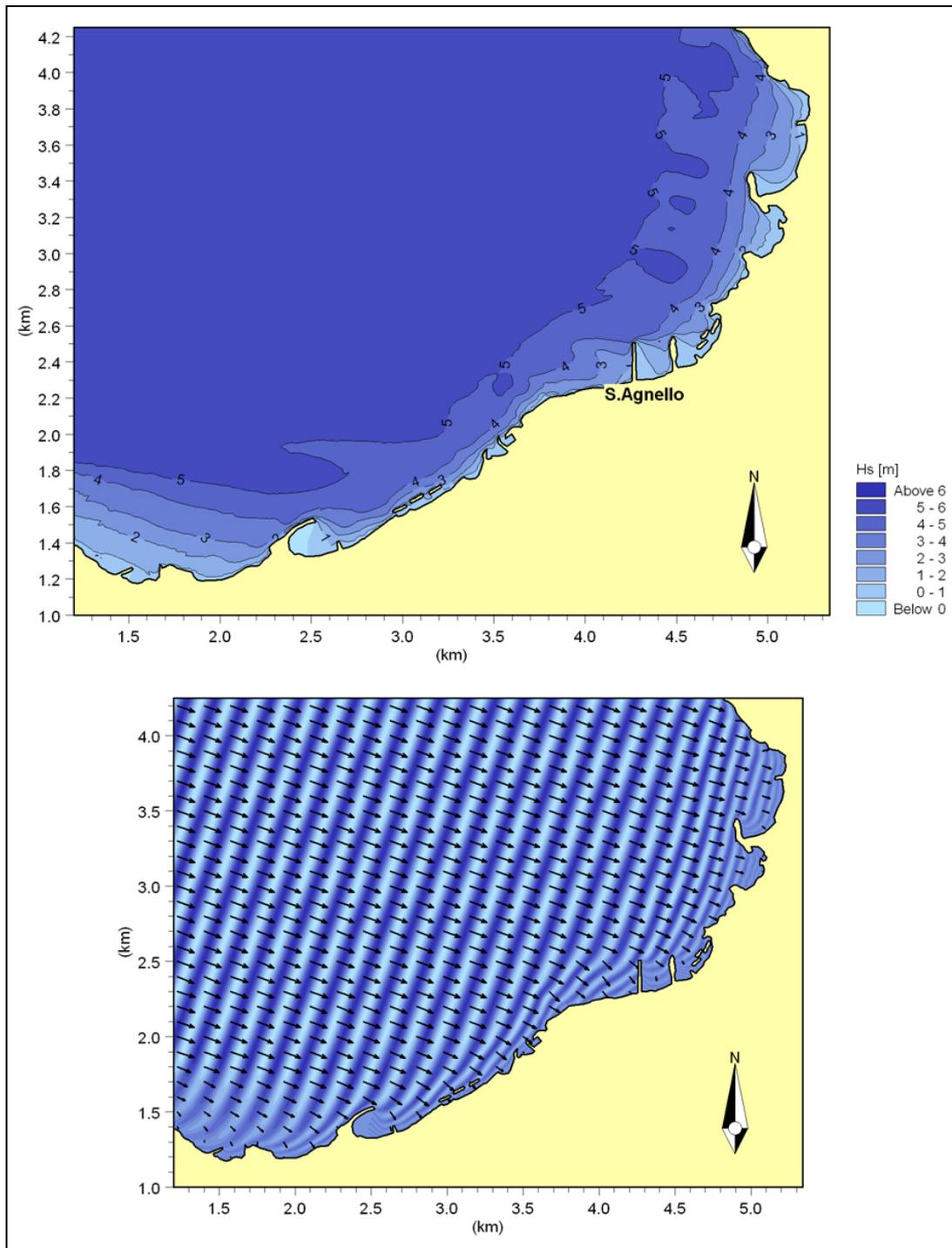


Fig. 20 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo :
Direzione 290° N ; Altezza 5.46 m ; Periodo 10.04 s ; Tr = 112 anni.

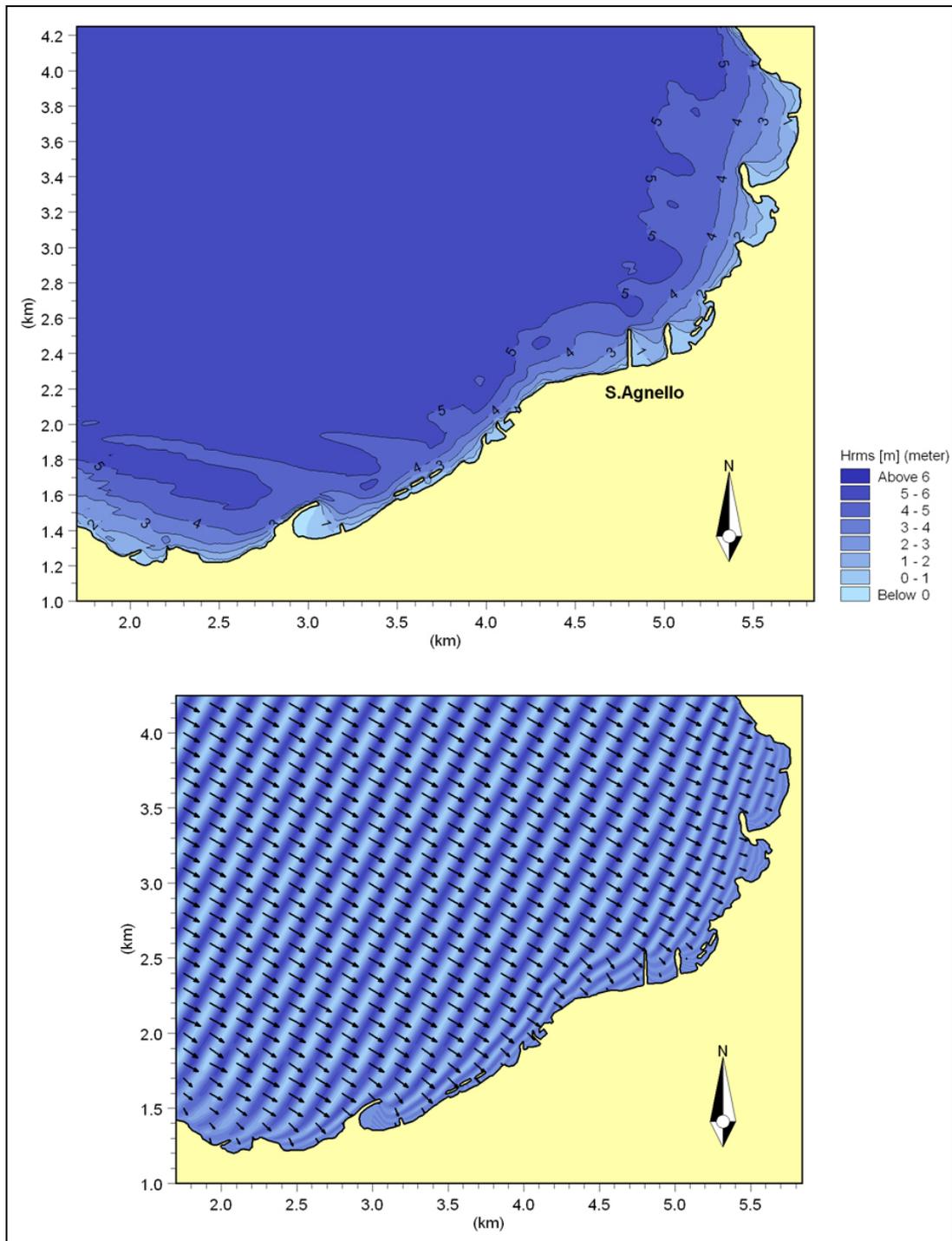


Fig. 21 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo :
Direzione 300° N ; Altezza 5.53 m ; Periodo 10.61 s ; Tr = 112 anni.

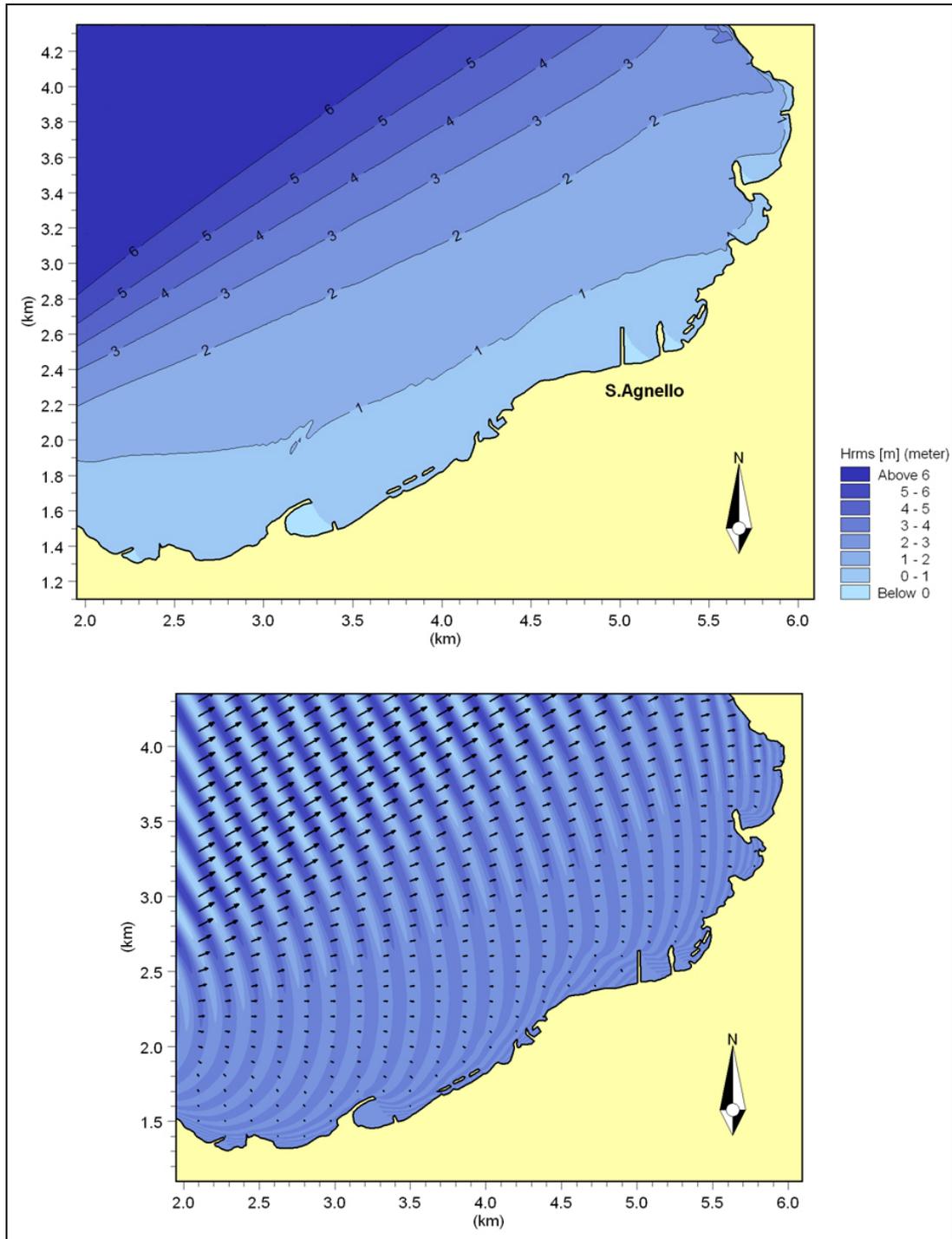


Fig. 22 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo :
Direzione 240° N ; Altezza 6.03 m ; Periodo 10.56 s ; Tr = 50 anni.

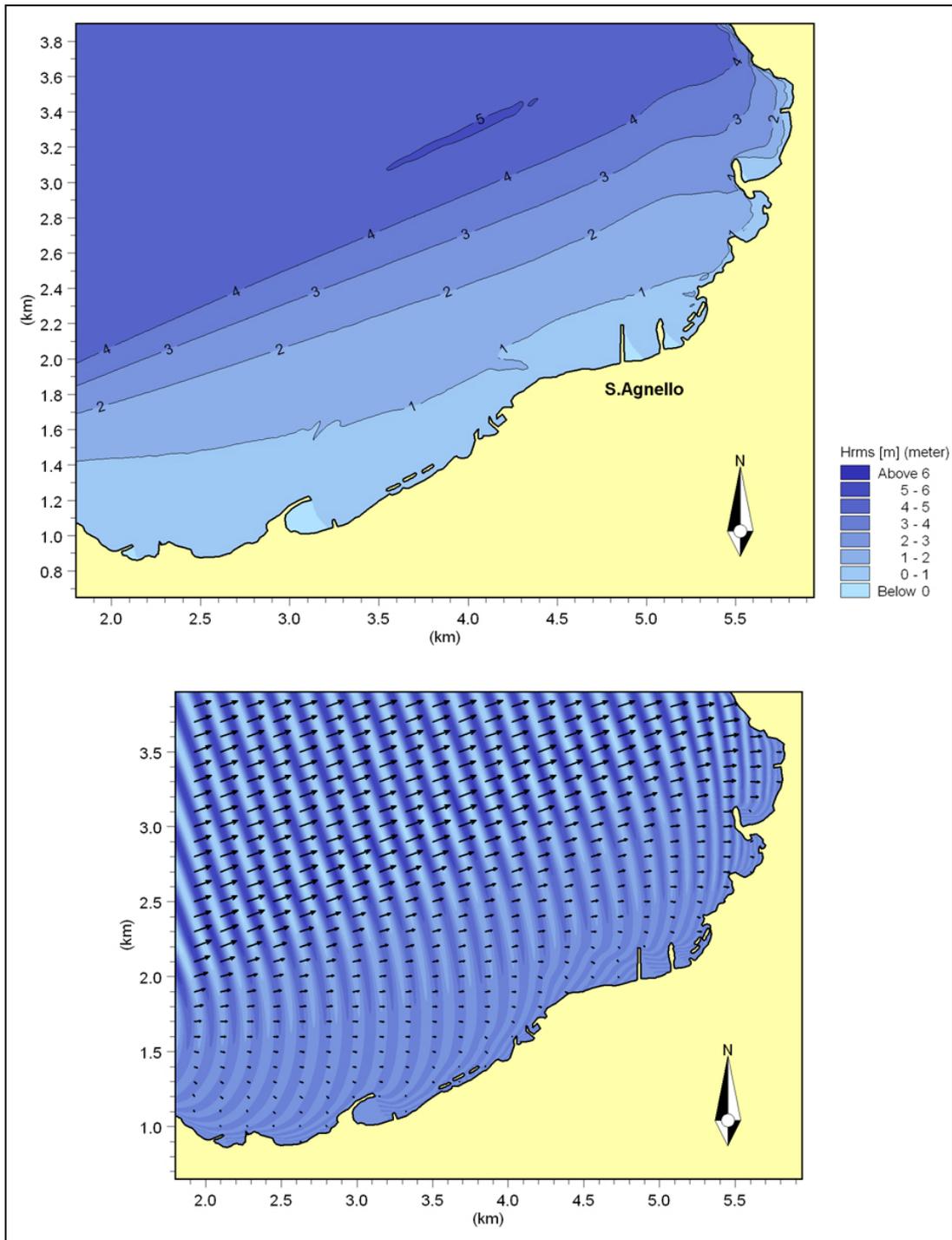


Fig. 23 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo :
 Direzione 250° N ; Altezza 4.75 m ; Periodo 9.37 s ; Tr = 50 anni.

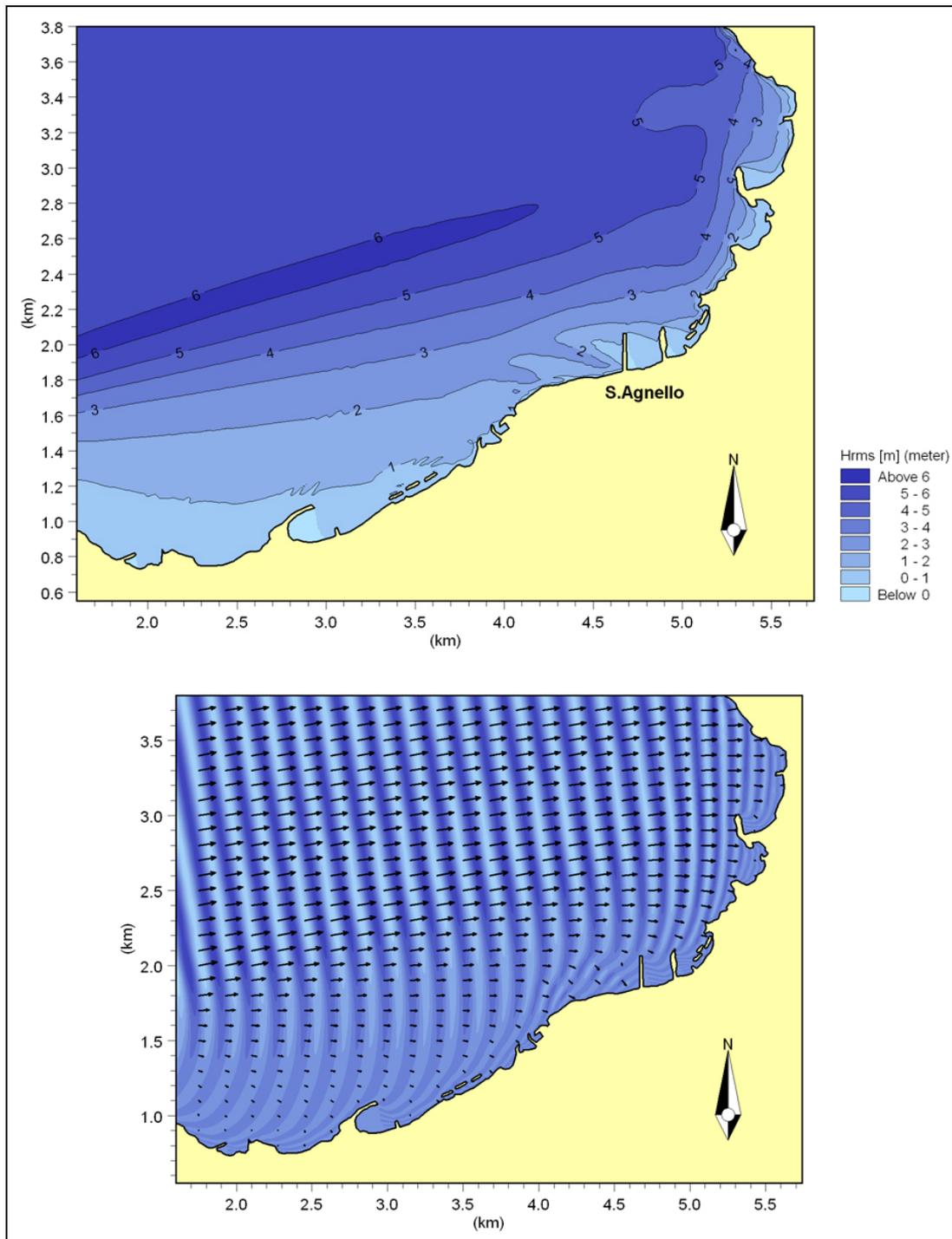


Fig. 24 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo :
Direzione 260° N ; Altezza 5.73 m ; Periodo 10.29 s ; Tr = 50 anni.

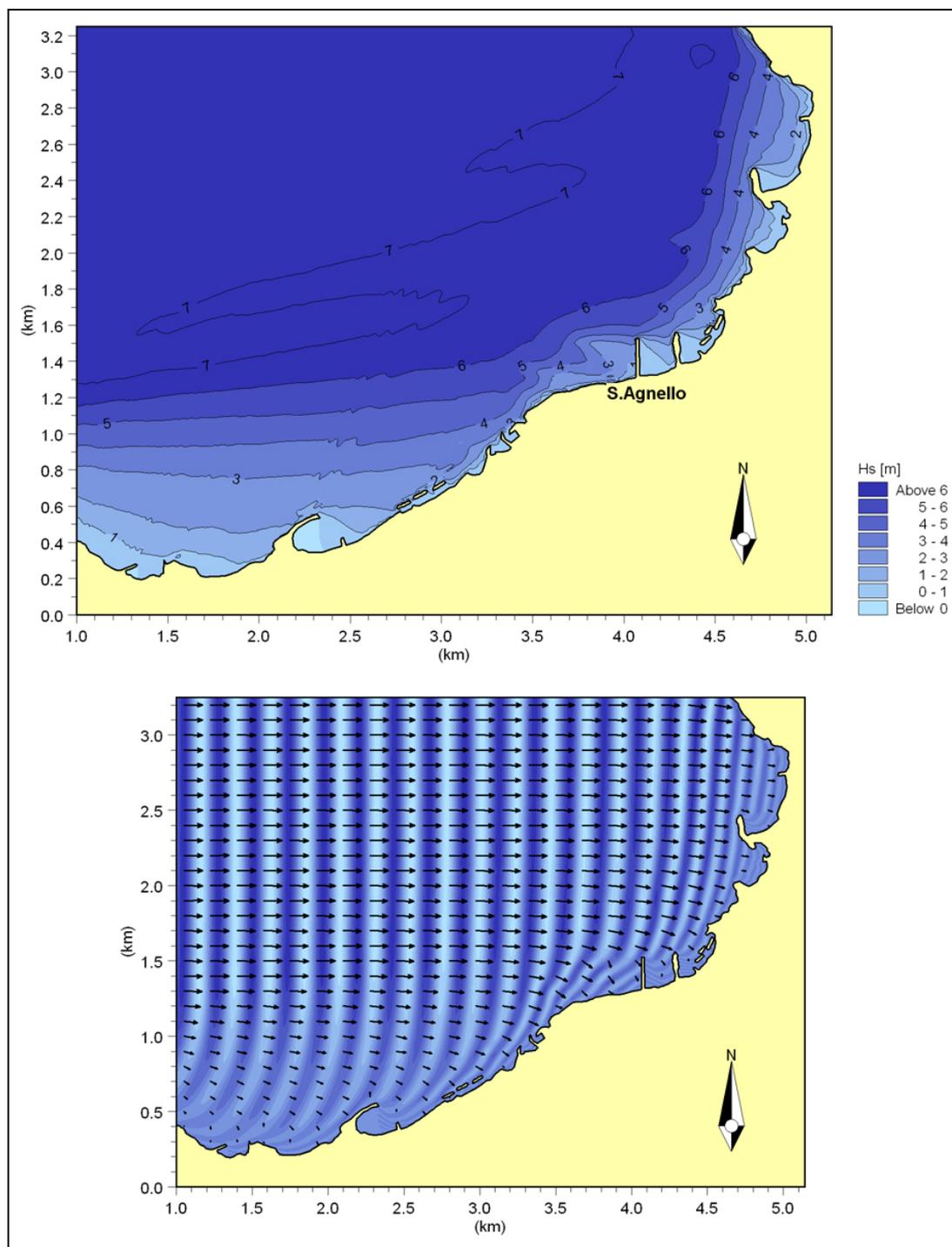


Fig. 25 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo :
Direzione 270° N ; Altezza 7.35 m ; Periodo 11.65 s ; Tr = 50 anni.

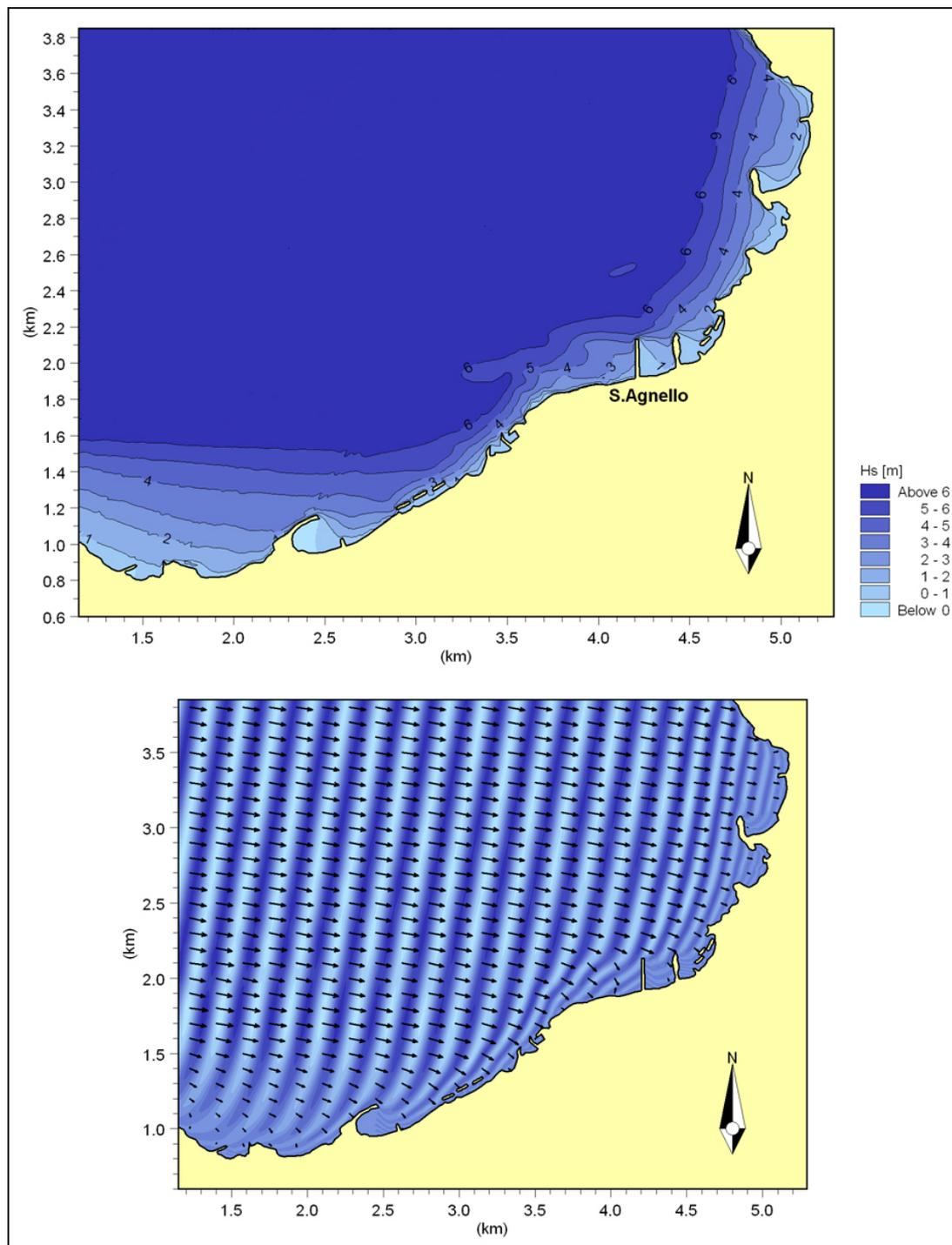


Fig. 26 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo :
Direzione 280° N ; Altezza 7.03 m ; Periodo 11.40 s ; Tr = 50 anni.

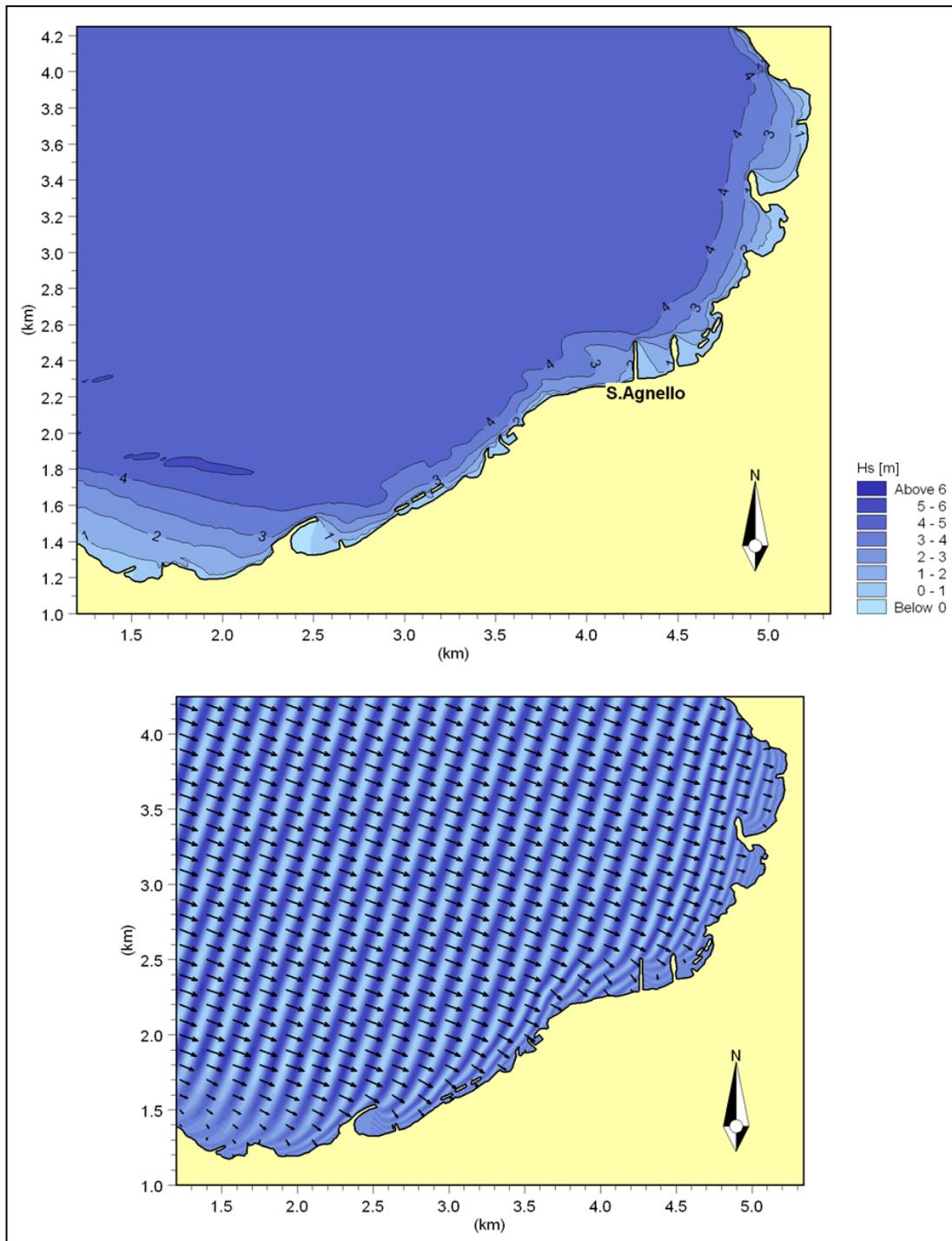


Fig. 27 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo :
Direzione 290° N ; Altezza 4.83 m ; Periodo 9.44 s ; Tr = 50 anni.

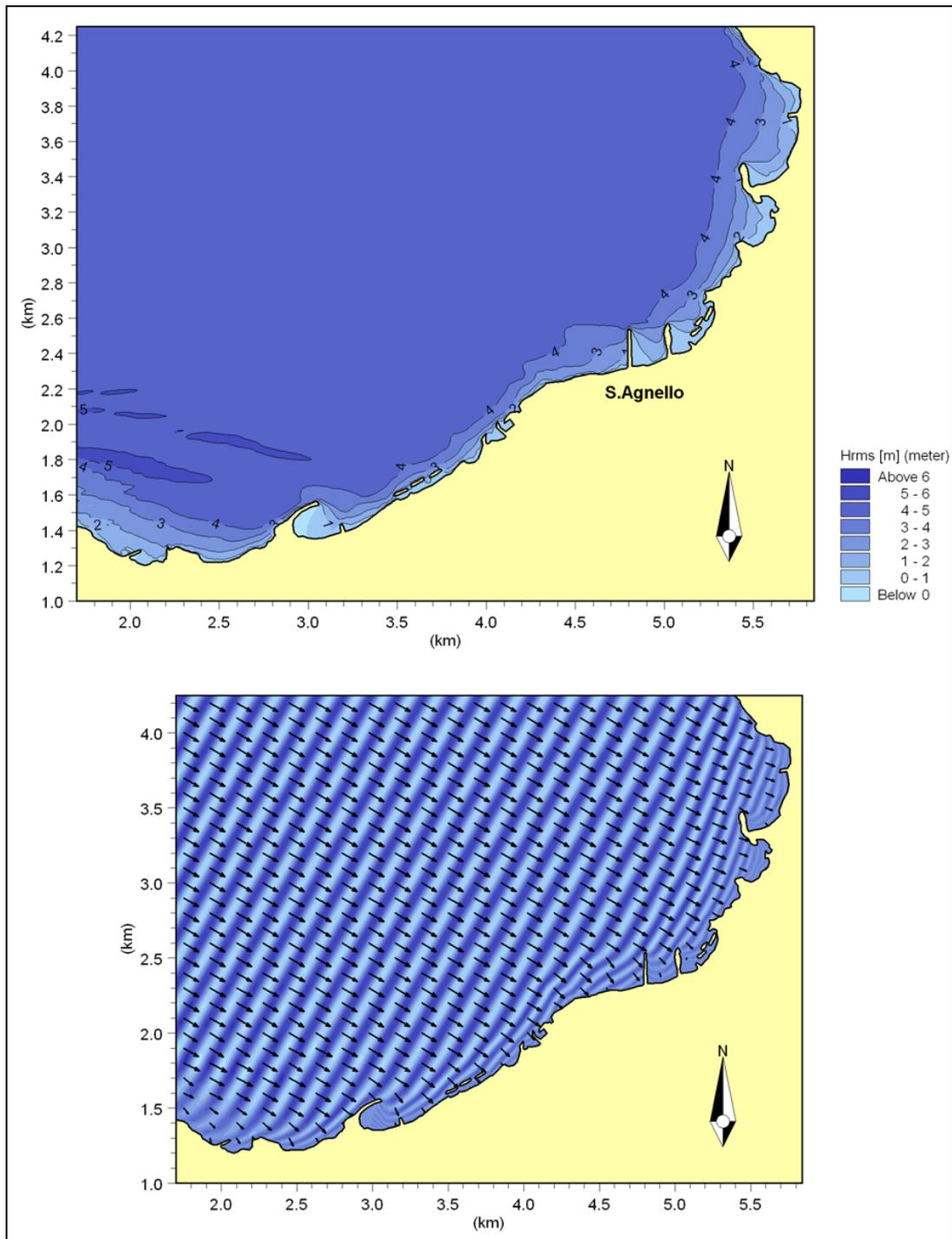


Fig. 28 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo :
Direzione 300° N ; Altezza 4.85 m ; Periodo 9.47 s ; $T_r = 50$ anni.

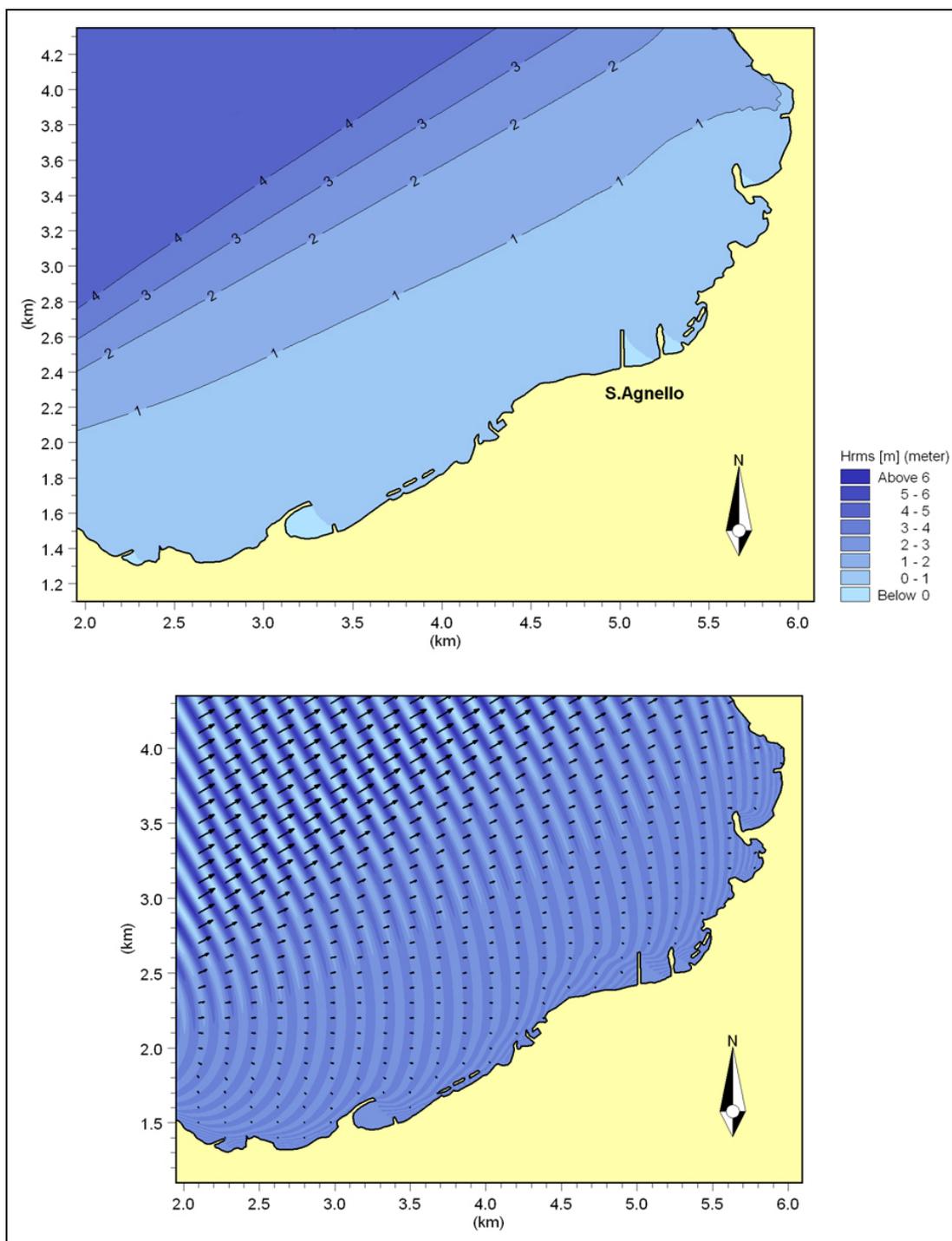


Fig. 29 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo :
Direzione 240° N ; Altezza 4.12 m ; Periodo 8.72 s ; Tr = 5 anni.

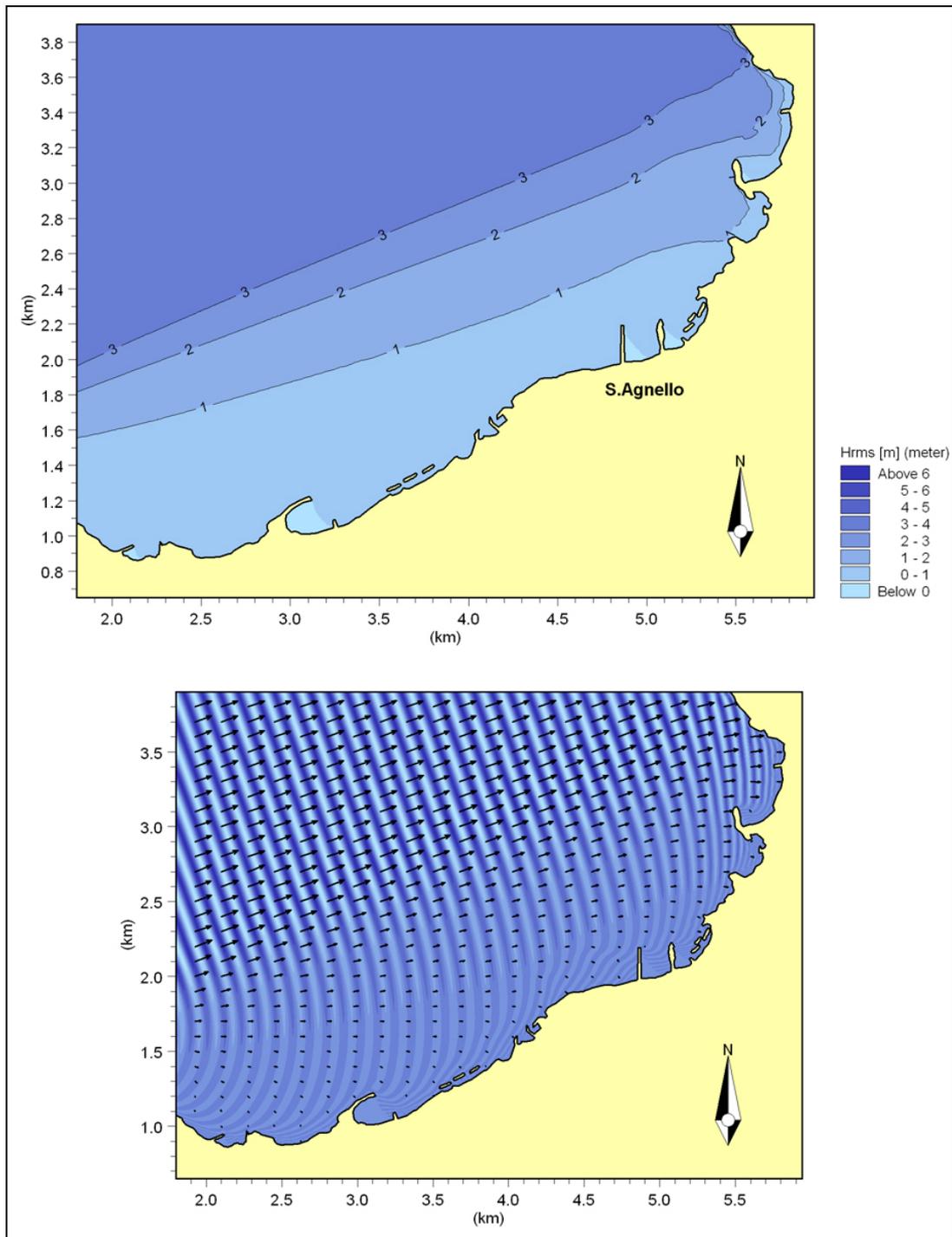


Fig. 30 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo :
Direzione 250° N ; Altezza 3.54 m ; Periodo 8.09 s ; $T_r = 5$ anni.

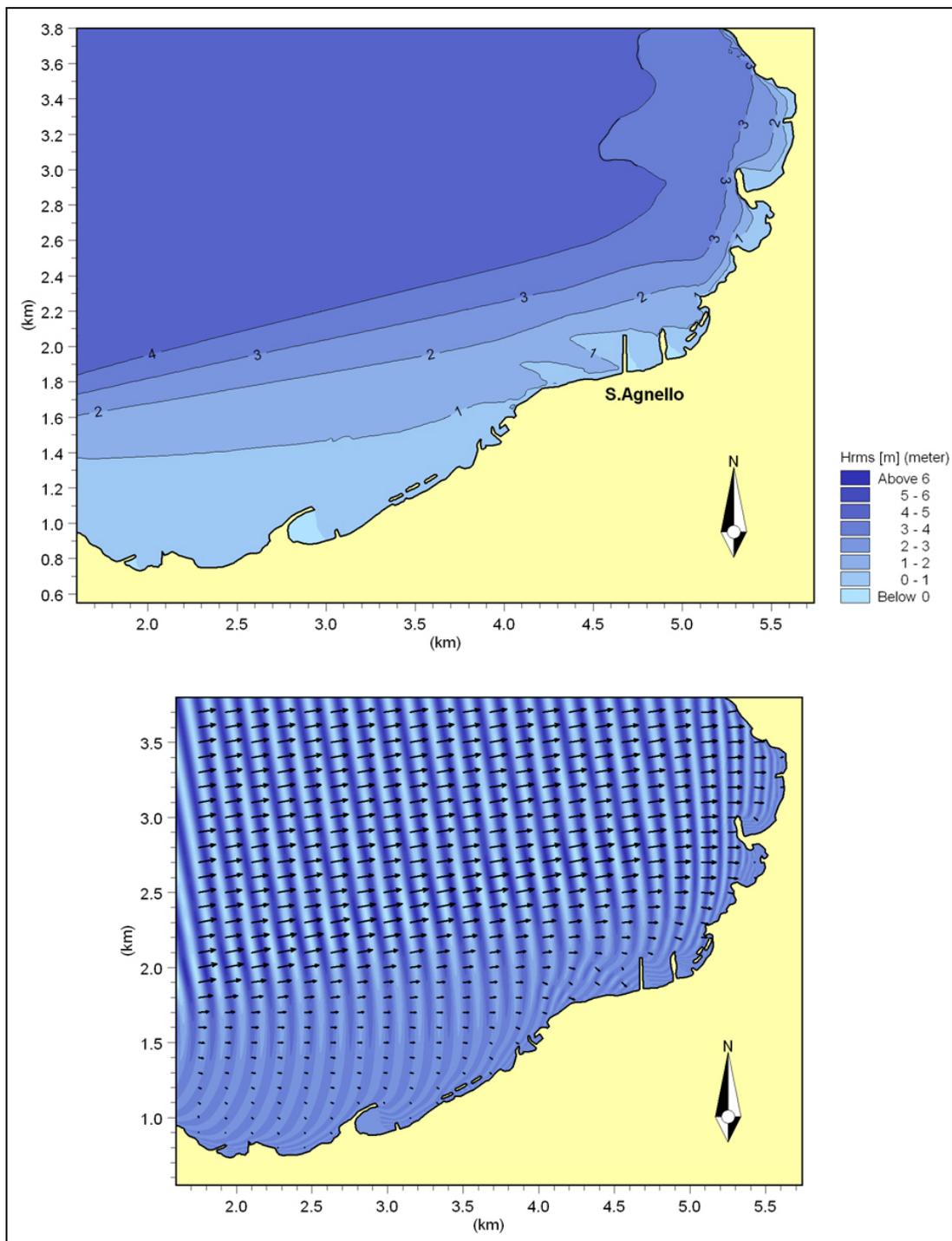


Fig. 31 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo :
Direzione 260° N ; Altezza 4.11 m ; Periodo 8.71 s ; Tr = 5 anni.

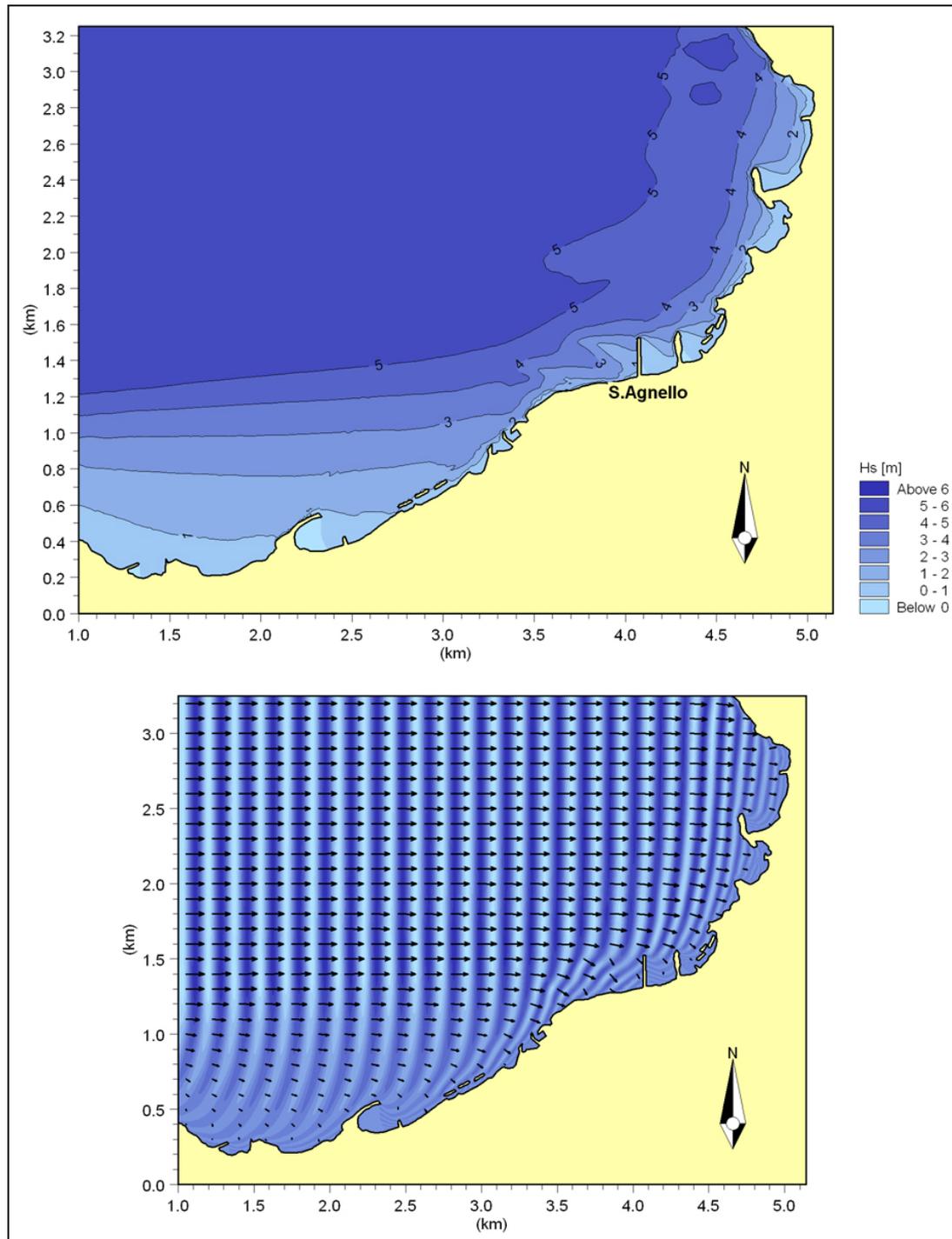


Fig. 32 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo :
Direzione 270° N ; Altezza 5.40 m ; Periodo 9.99 s ; $T_r = 5$ anni.

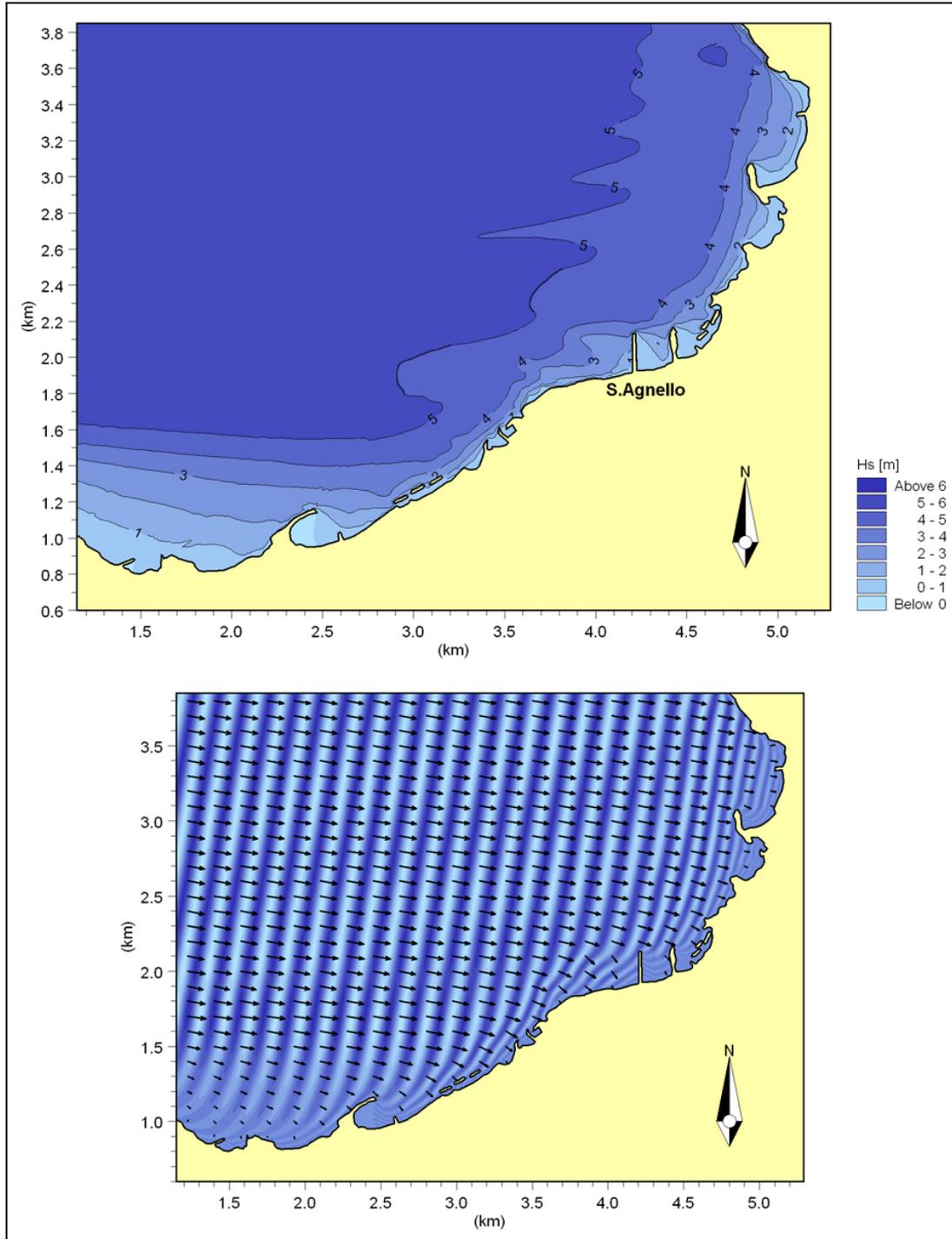


Fig. 33 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo :
Direzione 280° N ; Altezza 5.21 m ; Periodo 9.81 s ; Tr = 5 anni.

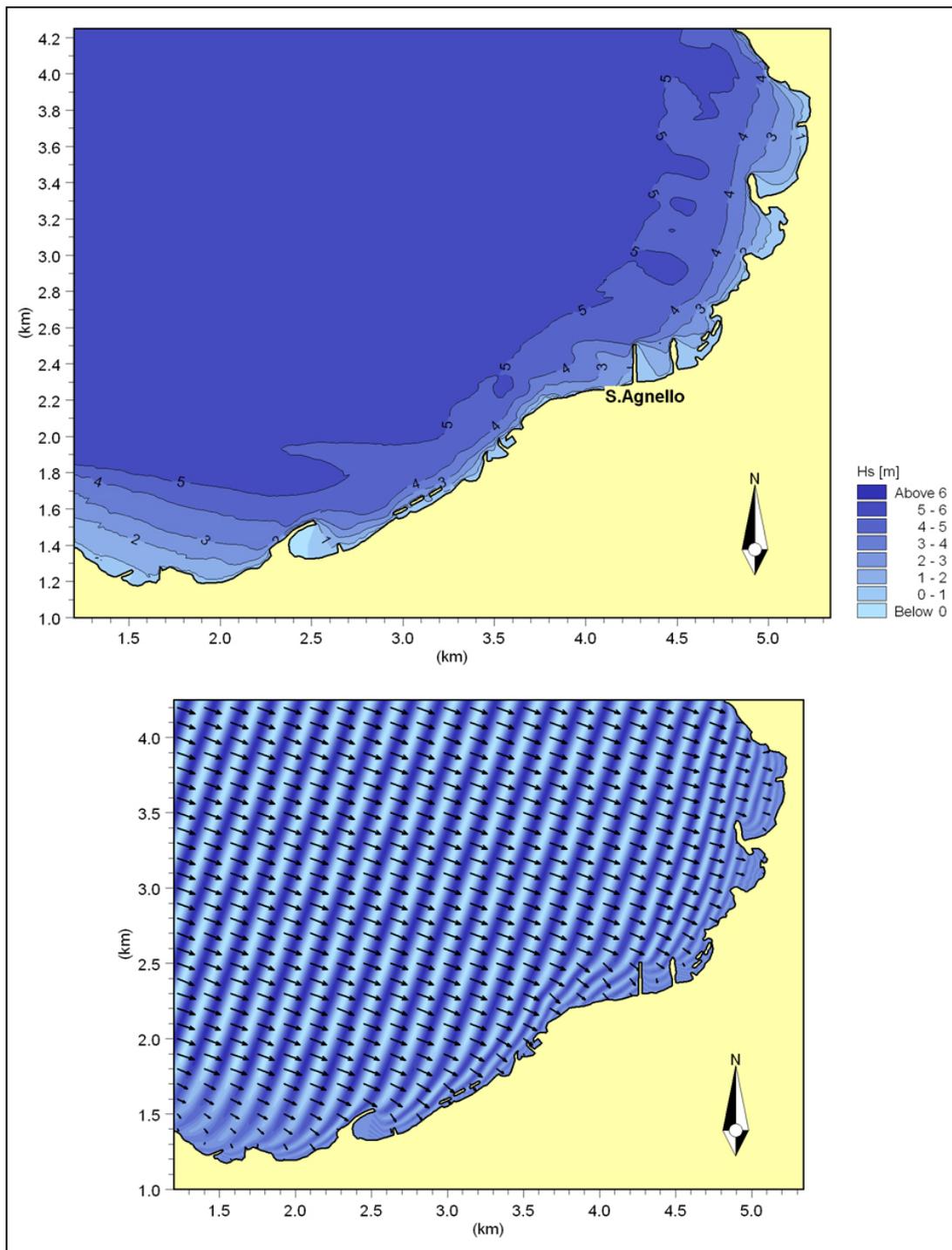


Fig. 34 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo :
Direzione 290° N ; Altezza 2.95 m ; Periodo 7.39 s ; Tr = 5 anni.

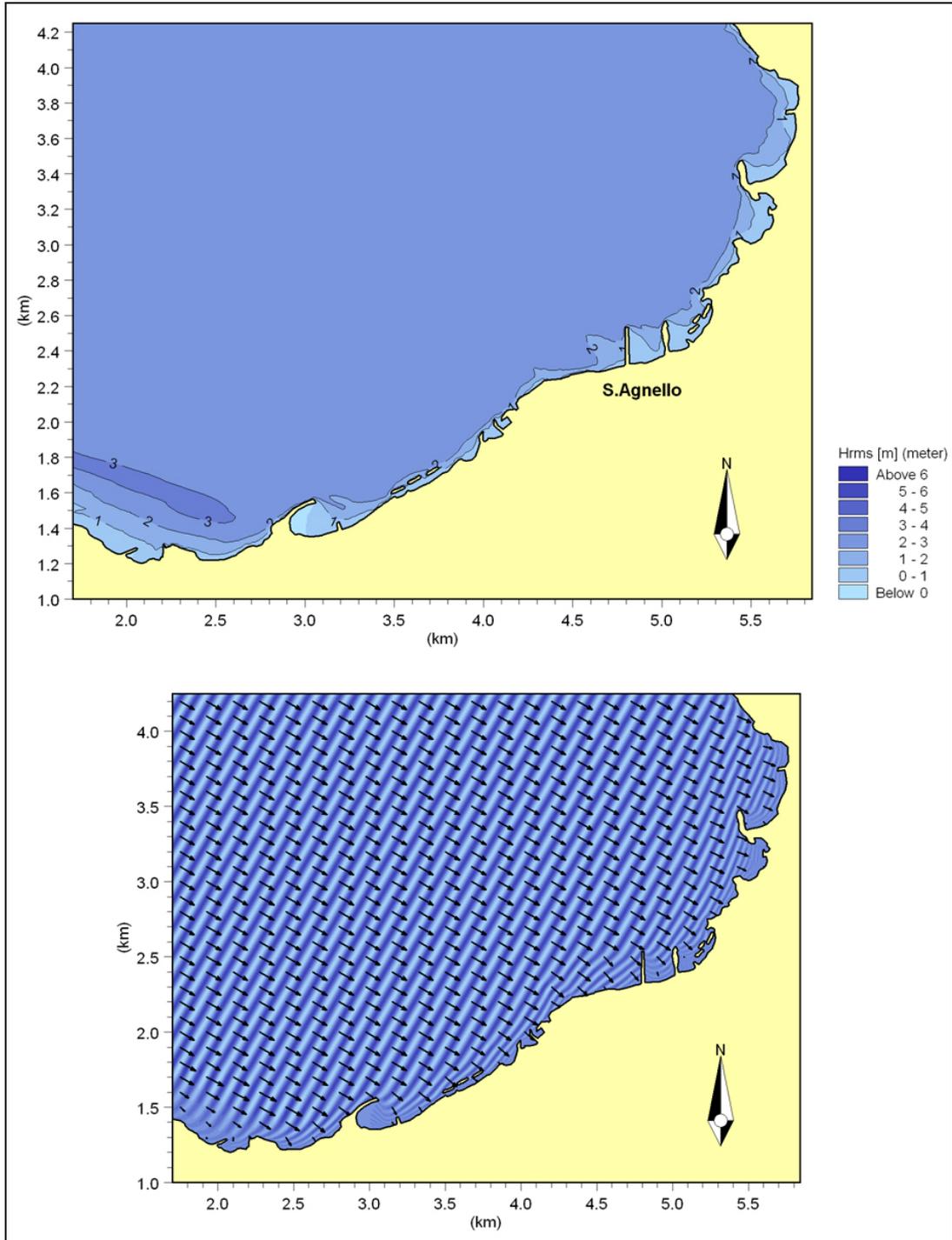


Fig. 35 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo :
 Direzione 300° N ; Altezza 2.84 m ; Periodo 7.25 s ; Tr = 5 anni.

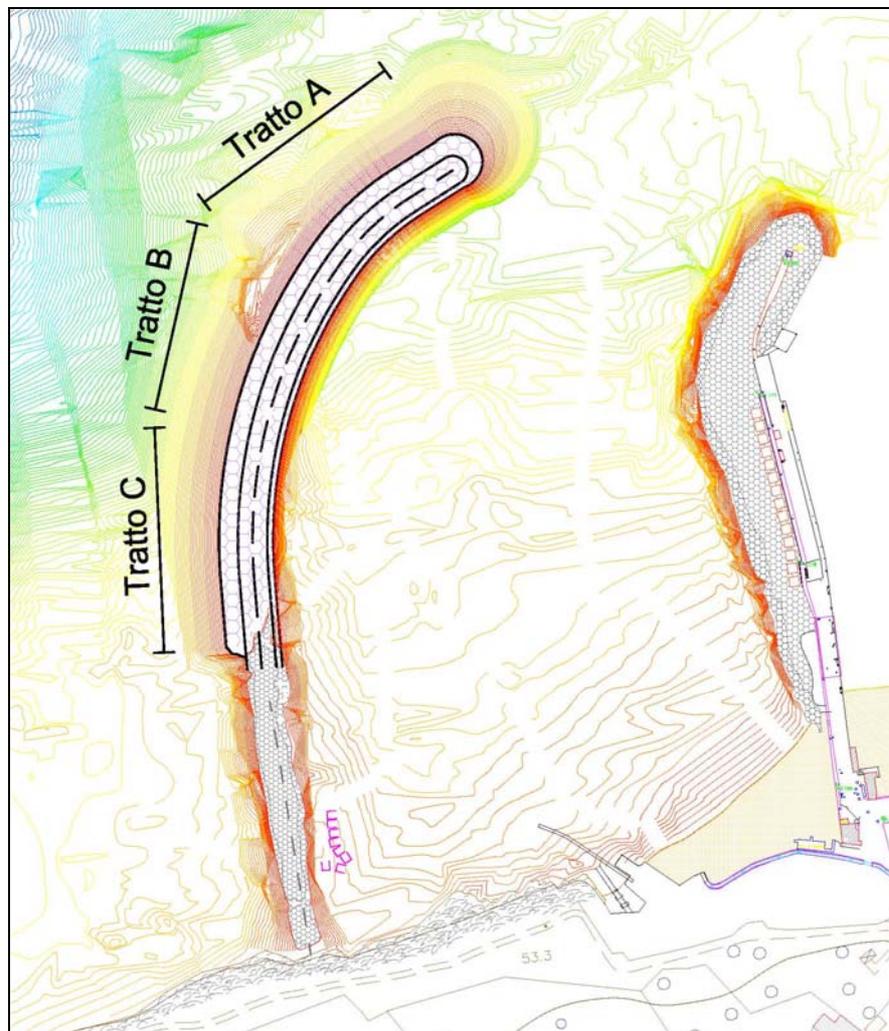


Fig. 36 – Localizzazione dei fronti lungo i quali sono state estratte le altezze d'onda in prossimità della scogliera

INGCOST s.r.l.

P.zza D'Annunzio,15
80125 – Napoli

Tel/Fax : 0812399071

e-mail : ingcostsrl@fastwebnet.it

p.iva : 05209111219

**STUDIO IDRAULICO MARITTIMO INTEGRATIVO
PROPEDEUTICO ALLA PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED
ESECUTIVA DEI LAVORI DI RECUPERO E SISTEMAZIONE DELLA
SCOGLIERA – COMUNE DI S.AGNELLO – (NA)**



Giugno 2006

INDICE

1.	PREMESSA.....	2
2.	CARATTERISTICHE METEOMARINE DI LARGO.....	3
2.1.	Clima ondoso stagionale	3
3.	DETERMINAZIONE DELLE CONDIZIONI ONDOSE PER LE VERIFICHE	6
4.	TRASFERIMENTO DEL MOTO ONDOSO	8
4.1.	Caratteristiche delle onde estreme in prossimità della scogliera.....	8
5.	STUDIO DELL' AGITAZIONE RESIDUA.....	10
5.1.	Modello utilizzato.....	10
5.2.	Coefficienti di riflessione	12
5.3.	Condizioni ondose utilizzate per lo studio dell'agitazione interna.	12
5.4.	Risultati dello studio	13
6.	VALUTAZIONE DELLA RISALITA DELL'ONDA.....	16

1. PREMESSA

In data 30/11/2005, l'Ufficio Tecnico - sez. LL. PP. - del Comune di S. Agnello, con determina n. 167, ha affidato alla INGCOST s.r.l. l'espletamento degli studi idraulico-marittimi propedeutici alla progettazione definitiva degli interventi di recupero e di sistemazione della scogliera sul litorale di Marina di Cassano, nel comune di S. Agnello.

Il completamento definitivo della scogliera consentirà la protezione di un tratto di costa dall'azione diretta del moto ondoso. La sua configurazione, però, permetterà altresì di ottenere nel tratto di mare compreso tra essa e la scogliera esistente di levante uno specchio acqueo relativamente calmo che, in via temporanea e a carattere stagionale, potrebbe consentire la sistemazione di pontili galleggianti e/o di un campo boe per l'ormeggio di imbarcazioni da diporto. Inoltre, essendo la stessa struttura di levante parzialmente protetta dalla nuova struttura, l'Amministrazione Comunale ha proposto la realizzazione di alcune strutture temporanee e, sempre di carattere stagionale, a servizio di uno stabilimento balneare.

Pertanto, al fine di determinare l'agibilità per l'ormeggio nello specchio acqueo protetto dalla nuova struttura e, allo scopo di garantire che le strutture previste sulla scogliera di levante non siano oggetto di mareggiate dirette che ne potrebbero compromettere l'integrità, l'Amministrazione ha chiesto alla INGCOST s.r.l. una integrazione agli studi idraulico-marittimi già eseguiti.

In estrema sintesi, quindi, le attività svolte hanno riguardato i seguenti aspetti:

1. integrazione allo studio meteomarino, già eseguito e facente parte di altro documento, per la valutazione delle condizioni ondose che incidono sul paraggio in esame e relative al periodo di utilizzo delle strutture diportistiche e balneari, cioè relative alla sola stagione estiva;
2. studio dell'agitazione ondosa residua, mediante opportuna modellistica matematica, a tergo della scogliera di Marina di Cassano, nella ipotesi che questa sia completata secondo progetto;
3. valutazione delle condizioni di risalita dell'onda sull'opera esistente a levante allo scopo di verificare le condizioni di sicurezza per la permanenza di persone sulla scogliera stessa nel periodo di utilizzo ai fini balneari.

2. CARATTERISTICHE METEOMARINE DI LARGO

2.1. Clima ondoso stagionale

Nella presente relazione si sintetizzano gli studi eseguiti per la valutazione del clima ondoso “stagionale”, caratteristico del paraggio in esame. Con il termine “stagionale” si intende l’intervallo temporale che va dal 1 aprile al 31 ottobre. Le condizioni ondose relative al clima annuale che investe il tratto di costa in esame sono state oggetto delle valutazioni di cui alla relazione sugli aspetti meteomarini relativi al paraggio di S. Agnello.

Per clima ondoso si intende usualmente la ripartizione in frequenza su classi di direzioni ed altezza d’onda dei singoli stati di mare, caratterizzati dall’altezza H_s ed dal periodo T_s dell’onda significativa e dalla direzione θ_m di provenienza, rilevati in un periodo pluriennale.

Scopo fondamentale di tali elaborazioni è quello di rappresentare il corpo della distribuzione di frequenza di accadimento delle onde a diverse scale temporali (stagionale, annuale etc.). Tali statistiche non costituiscono una rappresentazione completa (in senso statistico) in quanto le informazioni relative al periodo e alla persistenza non vengono considerate.

Il clima ondoso può essere ricostruito sulla base di misure dirette – sia visuali che strumentali – ovvero a partire dalla conoscenza dei dati di vento e di fetch (metodi indiretti).

Nel caso in esame sono stati utilizzati, come per il precedente studio, i dati ondametrici della stazione ondametrica R.O.N. (Rete Ondametrica Nazionale) di Ponza, in funzione dal mese di luglio del 1989. Tali dati di altezza, periodo e direzione di provenienza delle onde sono stati filtrati per ottenere le condizioni ondose registrate nel periodo di riferimento.

Si è fatto poi ricorso alla metodologia della “trasposizione geografica” per adeguare le serie ondametriche misurate a Ponza al paraggio in studio.

La metodologia di trasposizione geografica è basata sull’ipotesi che la velocità e la direzione del vento, agente sull’area di generazione del sito d’interesse, siano equivalenti a quelle che hanno determinato lo stato di mare misurato dalla boa. Sotto tale ipotesi, il metodo di trasposizione geografica permette il calcolo delle correlazioni esistenti tra la direzione media di provenienza, l’altezza significativa ed il periodo di picco del moto ondoso misurato e gli stessi parametri relativi al moto ondoso presente nel punto d’interesse.

Nel caso di fetch limitati, le leggi che permettono di calcolare l'altezza d'onda significativa spettrale H_{mo} e il periodo di picco spettrale T_m in funzione della lunghezza del fetch e della velocità del vento sono le seguenti:

$$\frac{gH_m}{U_A^2} = 16 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{gF}{U_A} \right)^{\frac{1}{2}}$$

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

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

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

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

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

Il metodo si completa utilizzando la legge di Leenknecht et al., che stabilisce il legame tra la direzione media del vento e la direzione media del moto ondoso da esso generato.

Per l'applicazione del modello di trasposizione si impone la preliminare caratterizzazione dei fetch geografici ed efficaci per i due siti. Note le caratteristiche del moto ondoso registrate dall'ondametro, sulla base della legge di correlazione tra la direzione dell'onda e quella del vento si determina la direzione dell'onda nel punto di interesse. Nel contempo si definiscono i coefficienti correttivi H_p/H_o e T_p/T_o per il calcolo dell'altezza e del periodo dell'onda risultante nel punto di trasposizione geografica.

Nelle Tabella 1 è riportato il clima ondoso medio "stagionale", in termini di frequenze annuali di apparizione associate alle classi di altezza d'onda e direzione di provenienza per il punto di trasposizione prescelto al largo del paraggio di S. Agnello, così come indicato nello studio meteomarinario generale.

Lo stesso risultato è illustrato in Figura 1 sotto forma di diagramma polare dello stato del mare.

Dall'analisi dei risultati ottenuti si può notare la prevalenza degli stati di mare provenienti dai quadranti occidentali, sia in termini di valori delle altezze d'onda, sia in termini di frequenza di apparizione.

In particolare si osserva che :

- gli eventi caratterizzati da valori dell'altezza d'onda $H_s > 0.5$ m sono circa il 27% del totale, corrispondenti ad una durata di 99 gg/anno;
- gli eventi caratterizzati dalle altezze maggiori, $H_s > 2.00$ m, provengono dalla direzione 260°N: mari di ponente .
- Le direzioni caratterizzate dalle maggiori frequenze di apparizione sono la 270 e 280° N pari circa il 27-29% (100 gg/ anno) ;
- gli eventi provenienti dai quadranti settentrionali, mari di tramontana e grecale, sono caratterizzati da altezze d'onda $H_s < 0.5$ m con frequenze di apparizione medie per ogni direzione minori dell' 1%. (meno di 4 gg/anno)

3. DETERMINAZIONE DELLE CONDIZIONI ONDOSE PER LE VERIFICHE

La determinazione del periodo di ritorno dello stato di mare convenzionale di progetto da assumere nel dimensionamento e nella verifica di un'opera marittima, discende da attente valutazioni di carattere tecnico ed economico legate alla durata minima di vita dell'opera, alla massima probabilità di danneggiamento ammissibile ed alla sua fruibilità.

Per verificare l'agibilità ed il comfort all'ormeggio del layout di progetto ci si è riferiti all'Allegato 4 delle "Linee programmatiche per lo Sviluppo del Sistema Integrato della Portualità Turistica" della Regione Campania in cui sono indicati i requisiti tecnici minimi di sicurezza all'ormeggio.

Tale documento prescrive la verifica dello specchio acqueo sia nei riguardi delle condizioni operative *limite* che delle condizioni *estreme*.

Per condizioni operative limite si intendono quelle che, se superate, producono perdita di funzionalità delle opere, usura accelerate delle attrezzature e probabile necessità di manutenzione. Il loro superamento saltuario non comporta pregiudizio per la resistenza dell'opera (di norma si assume che annualmente tali limiti di agitazione possano essere superati per un periodo complessivo di pochi giorni).

Le condizioni estreme di sollecitazione sono quelle che se superate anche una sola volta nel periodo di vita dell'opera provocano danni irreparabili alle strutture.

Per la verifica alle condizioni limite di operatività si sono calcolate le agitazioni residue delle ondate con periodo di ritorno TR=5 anni.

Nella verifica per le condizioni estreme si sono calcolate, invece, le agitazioni residue delle ondate con periodo di ritorno TR =50 anni.

Lo studio dell'agitazione residua è stato condotto, in definitiva, sia prendendo in considerazione le condizioni ondose annuali che stagionali con i periodi di ritorno selezionati.

Le caratteristiche delle *onde al largo del paraggio*, ottenute dalla statistica degli eventi estremi, sono riportate nelle Tabelle da 2 a 5. In particolare nelle Tabelle 2 e 3 sono richiamate le condizioni estreme su base media annua calcolate nel precedente studio generale, mentre nelle Tabelle 4 e 5 sono indicate le condizioni ondose ottenute dalla statistica delle onde estreme, applicata così come per le condizioni annuali, su base "stagionale".

Per completare la individuazione delle condizioni incidenti l'area di studio è necessario, ovviamente, associare alle onde individuate – definite in termini di altezza, periodo e direzione di propagazione – il livello marino di riferimento.

Quest'ultimo rappresenta il livello di riferimento per tutti i fenomeni legati al moto ondoso e condiziona ad esempio: l'ampiezza della mantellata attiva, la quota di run-up sulla struttura e, quindi, la tracimazione sull'opera, l'altezza dell'onda incidente specie quando questa è limitata dal fondale, i livelli di agitazione nell'area protetta, le spinte sulle opere di contenimento dei terrapieni, la sicurezza alla navigazione etc.

Nulla è detto dalle Istruzioni Tecniche circa le combinazioni onda – livello marino da considerare nei casi oggetto del presente studio.

In prima approssimazione sono stati, quindi, considerati i seguenti scenari:

1. Onde con $T_{rp}=5$ anni + livello medio delle basse maree sizigiali.
2. Onde con $T_{rp}=50$ anni + sovrizzo del livello marino con $T_{rp}=50$ anni.

I fenomeni che determinano tali variazioni di livello ed i risultati di tale analisi sono stati già affrontati nella relazione di studio generale, di cui si riportano i risultati :

- massimo sovrizzo per il periodo di ritorno selezionato, rispetto al l.m.m

$$\Delta_{50} = +0.48\text{m per } Tr=50 \text{ anni}$$

- livello minimo, rispetto al l.m.m

$$\Delta = -0.32 \text{ m}$$

4. TRASFERIMENTO DEL MOTO ONDOSO

Per il trasferimento in prossimità dell'opera di difesa delle condizioni ondose di largo precedentemente individuate, sono state studiate le modifiche che subisce il moto ondoso nella propagazione verso riva conseguenti sia a processi conservativi (shoaling, la rifrazione e diffrazione) sia a processi non conservativi (dissipazioni di energia).

A tal fine è stato adoperato un modello matematico basato sulla risoluzione della *mild slope equation*.

La prima fase della modellazione numerica ha richiesto la costruzione di un adeguato reticolo batimetrico che tenesse conto della topografia sottomarina del tratto di mare di interesse.

Per le profondità più elevate, da largo fino alla -15 m, è stata utilizzata la Carta Nautica “Da Ischia a punta Licosa”, in scala 1:100.000, edita dall'Istituto Idrografico della Marina Militare.

In prossimità dell'area d'interesse la batimetria è stata integrata con il rilievo di dettaglio effettuato per gli interventi di recupero e riqualificazione della scogliera di Marina di Cassano.

Tale rilievo topo-batimetrico, ha interessato lo specchio acqueo antistante la scogliera di S.Agnello, dalla batimetrica a -46.0 m (sul l.m.m) sino alla riva.

La descrizione del modello matematico utilizzato è indicata nello studio generale.

4.1. Caratteristiche delle onde estreme in prossimità della scogliera.

Le condizioni ondose estreme “stagionali” più significative tra quelle precedentemente valutate, sono state trasferite in prossimità dell'imboccatura dello specchio acque protetto in modo da determinare le onde necessarie per le verifiche del presente studio.

I risultati di tale trasferimento sono riportati nei grafici delle Figure da 2 a 4 per le onde estreme con periodo di ritorno di $T_r = 50$ anni, da 5 a 7 per $T_r = 5$ anni.

I risultati dello studio sono sintetizzati nelle Tabelle 7 e 8, nelle quali sono riportate, per i diversi periodi di ritorno considerati, le caratteristiche

dell'onda significativa calcolata in prossimità dell'imboccatura su fondali di circa -12 m.

Sullo stesso punto, sono state estratte, poi, le condizioni ondose annuali, ottenute dal trasferimento effettuato nel precedente studio generale.

Tali valori sono indicati nelle Tabelle 8 e 9 rispettivamente per $Tr = 50$ anni e per $Tr = 5$ anni.

5. STUDIO DELL' AGITAZIONE RESIDUA.

E' stata esaminata la configurazione della scogliera di Marina di Cassano, così come da progetto di completamento fornito dall'Amministrazione Comunale, ed avente titolo: "Recupero e sistemazione della scogliera di S. Agnello".

Il layout di progetto è indicato nella Figura 8.

Al fine di verificare l'efficienza di detta configurazione è stato eseguito uno studio di agitazione ondosa all'interno del bacino protetto mediante l'utilizzo di un idoneo modello numerico che consente di portare in conto le modifiche del moto ondoso incidente conseguenti ai processi di shoaling, rifrazione, diffrazione, frangimento, attrito sul fondale e alla riflessioni parziali sulle strutture esistenti e/o alla trasmissione attraverso strutture porose.

Per poter simulare correttamente la penetrazione delle agitazioni ondose provenienti dalle diverse direzioni incidenti si è reso necessario preliminarmente individuare reticoli di calcolo distinti per le ondazioni con direzione nord e nord-ovest.

5.1. Modello utilizzato.

Il modello matematico di simulazione utilizzato per lo studio dell'agitazione interna è basato sulla soluzione della "Elliptic Mild Slope Wave Equation" originariamente derivata da Berkoff nel 1972.

Tale modello include gli effetti dello shoaling, della rifrazione, della diffrazione, del frangimento dell'onda e dell'attrito del fondale, nella propagazione del moto ondoso.

Sono inoltre tenute in conto, riflessioni parziali da parte delle strutture esistenti e/o trasmissione attraverso strutture porose.

L'equazione alla base del modello nella sua forma generale è :

$$\nabla(c \cdot c_g \nabla \cdot \zeta) - \frac{c_g}{c} \cdot \frac{\partial^2 \zeta}{\partial t} = 0$$

dove c e c_g sono rispettivamente la celerità dell'onda e la celerità di gruppo e ζ è l'elevazione della superficie del mare.

Introducendo i pseudo flussi P^* e Q^* tale equazione può essere riscritta come un sistema di equazioni differenziali del primo ordine :

$$\frac{c_g}{c} \cdot \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial P^*}{\partial x} + \frac{\partial Q^*}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial P^*}{\partial t} + c \cdot c_g \cdot \frac{\partial \zeta}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial P^*}{\partial t} + c \cdot c_g \cdot \frac{\partial \zeta}{\partial x} = 0$$

La soluzione di questo sistema può essere espressa come :

$$\zeta = S(x, y, t)e^{i\omega t}$$

$$P^* = P(x, y, t)e^{i\omega t}$$

$$Q^* = Q(x, y, t)e^{i\omega t}$$

I valori di S, P e Q sono poi ottenuti con successive iterazioni sino al raggiungimento di uno stato stazionario.

Questo porta alle equazioni seguenti che sono generalizzate per includere la generazione interna delle onde, eventuali assorbitori dove necessari riflessione o trasmissione ad opera di strutture, attrito al fondo e frangimento:

$$\lambda_1 \cdot \frac{\partial S}{\partial t} + \lambda_2 \cdot S + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} = S_{generazione}$$

$$\lambda_1 \cdot \frac{\partial P}{\partial t} + \lambda_3 P + c_g^2 \frac{\partial S}{\partial x} = 0$$

$$\lambda_1 \cdot \frac{\partial Q}{\partial t} + \lambda_3 Q + c_g^2 \frac{\partial S}{\partial y} = 0$$

dove

$$\lambda_1 = \frac{c_g}{c}$$

$$\lambda_2 = i \cdot \frac{c_g}{c} \cdot \varpi + f_s$$

$$\lambda_3 = (i + f_p) \cdot \frac{c_g}{c} \cdot \varpi + f_s + e_f + e_b$$

In tali equazioni i simboli hanno i seguenti significati :

ζ : elevazione della superficie del mare

P^* : pseudo densità di flusso nella direzione x

Q^* : pseudo densità di flusso nella direzione y

S, P, Q: funzioni complesse

ϖ : frequenza angolare

i: unità immaginaria

f_p : coefficiente di attrito dovuto alla porosità

f_s : coefficiente di perdita di energia dovuto agli assorbitori

e_r : dissipazione di energia dovuta all'attrito al fondo

e_b : dissipazione di energia dovuta al frangimento

Il modello risolve le equazioni differenziali con una discretizzazione spaziale su una griglia rettangolare operando una serie di iterazioni sino al raggiungimento di uno stato stazionario.

5.2. Coefficienti di riflessione

I coefficienti di riflessione delle opere perimetrali dello specchio d'acqua, adottati nel modello di penetrazione, sono stati fissati in base all'esperienza e alle indicazioni comunemente riportate nella letteratura tecnica.

Per quanto concerne le opere a gettata relative alle mantellate delle strutture a scogliera sono stati considerati dei coefficienti di riflessione del 40%.

Le pareti di costa alta, invece, sono state considerate con un potere riflettente pari al 90% dell'onda incidente; mentre in corrispondenza del tratto di costa basso e laddove sono presenti delle spiagge si è previsto un coefficiente di riflessione pari al 20% per considerare l'effetto assorbente delle stesse.

Una indicazione più dettagliata dei coefficienti di riflessione adottati è ricavabile dalla planimetria della Figura 9.

5.3. Condizioni ondose utilizzate per lo studio dell'agitazione interna.

Per la verifica del bacino portuale sono state selezionate le più gravose condizioni meteomarine tra quelle individuate nello studio riportato nel precedente capitolo.

Come detto, per verificare l'agibilità ed il comfort all'ormeggio del layout di progetto ci si è riferiti all'Allegato 4 delle "Linee programmatiche per lo Sviluppo del Sistema Integrato della Portualità Turistica" della Regione Campania in cui sono indicati i requisiti tecnici minimi di sicurezza all'ormeggio.

Tali linee guida prescrivono che in relazione al limite di operatività, l'altezza d'onda significativa residua ($T_r = 5$ anni), nel caso di periodi d'onda superiori a 2 sec, deve avere un valore inferiore o al più uguale a 0.30 m.

Nella verifica per le condizioni estreme, invece, le agitazioni residue delle ondate con periodo di ritorno $TR = 50$ anni, devono avere un valore dell'altezza d'onda significativa residua, nel caso di periodi d'onda superiori a 2 sec, inferiore o al più uguale a 0.50 m.

Le caratteristiche ondose **annuali** utilizzate per la verifica in oggetto sono:

- per $TR = 50$ anni

DD 293°N ; H=5.75 m ; T=11.40 s

DD 5°N ; H=1.42 m ; T=5.53 s

- per $TR = 5$ anni

DD 290°N ; H=4.40 m ; T=9.81 s

DD 1.5°N ; H=1.21 m ; T=4.88 s

per le condizioni **stagionali** invece :

- per $TR = 50$ anni

DD 283°N ; H=1.70 m ; T=5.87 s

DD 320°N ; H=0.69 m ; T=3.59 s

- per $TR = 5$ anni

DD 283°N ; H=1.59 m ; T=5.68 s

DD 300°N ; H=0.76 m ; T=3.78 s

Tali direzioni di provenienza e valori di altezza d'onda e periodo, sono stati considerati rappresentative sia dell'intero campione di condizioni estreme che possono interessare l'area di studio sia delle condizioni più sfavorevoli relative al prefissato periodo di ritorno.

5.4. Risultati dello studio

I risultati dello studio sono espressi in termini di altezze d'onda significative residue, ottenute come prodotto del coefficiente di agitazione, rilevato all'interno del bacino protetto, per il valore dell'altezza d'onda incidente all'esterno dell'imboccatura. Tale coefficiente di agitazione esprime, infatti, il rapporto tra l'altezza d'onda riscontrata in tutti i punti interni al bacino portuale e l'altezza d'onda incidente riscontrata all'esterno del porto.

I risultati del modello sono riportati nelle Figure da 10 a 13 per quanto riguarda le condizioni ondose annuali e nelle Figure da 14 a 17 per le condizioni ondose stagionali.

Condizioni ANNUALI

Dai risultati dell'agitazione residua delle condizioni ondose *annuali* si evince che per il periodo di ritorno cinquantennale all'interno dell'area protetta si riscontrano valori di altezza d'onda ancora elevati rispetto ai minimi consentiti dalle linee guida per le condizioni estreme. Tali valori, per la direzione 293°N simulata, si attestano intorno ai 0.6 m nella parte centrale del bacino e soltanto in prossimità della riva scendono al di sotto dei 0.5 m.

Per l'altra condizione cinquantennale, dir. 5°N, si nota come l'imboccatura risulta completamente aperta all'entrata del moto ondoso che conserva in questo modo ancora valori elevati dell'altezza d'onda, in tutta l'area protetta, di circa 0.8-1.0 m.

Relativamente alle condizioni limite di operatività ($T_r = 5$ anni), si può notare ancora una diffusa agitazione al di sopra del limite consentito in quasi tutta l'area fatta eccezione per le zone a ridosso delle scogliere e verso riva. Per la direzione 290°N simulata tali valori di agitazione si attestano intorno a valori di 0.6-0.8 m nella zona dell'imboccatura e di 0.4-0.3 m nelle restanti aree. Per la direzione 1.5°N invece i valori risultano ancora un po' più alti a causa della completa esposizione dell'area di studio, alle ondate provenienti da tale direzione.

Condizioni STAGIONALI

Per quanto riguarda le condizioni estreme ($T_r = 50$ anni) si può notare che l'agitazione residua si mantiene ampiamente al di sotto del limite di 0.5 m, in ragione del fatto che sia per la direzione 283° N che 320° N simulate, i valori di altezza d'onda sono sempre minori di 0.2 m in tutta l'area protetta.

Per le condizioni di comfort, si può notare che, anche in questo caso, per la direzione 283°N le altezze d'onda sono inferiori a 0.2 m, mentre per la direzione 300°N, solo all'imboccatura si riscontrano valori di 0.3 m, che poi immediatamente diventano minori di 0.2 m nella restante area.

In conclusione quindi si può affermare che l'area protetta che si viene a creare con la nuova configurazione della scogliera di Marina di Cassano, può ampiamente garantire l'ormeggio per le imbarcazioni da diporto per tutto il periodo stagionale (1 aprile – 31 ottobre) sia in termini di condizioni estreme sia in termini di comfort dati i limitati valori di altezza d'onda incidente.

Con le condizioni annuali viceversa le altezze d'onda che incidono sull'area oggetto di studio sono relativamente più grandi e la configurazione di

progetto non garantisce un ormeggio sicuro anche nel periodo invernale dove presumibilmente si verificano le condizioni più gravose considerate.

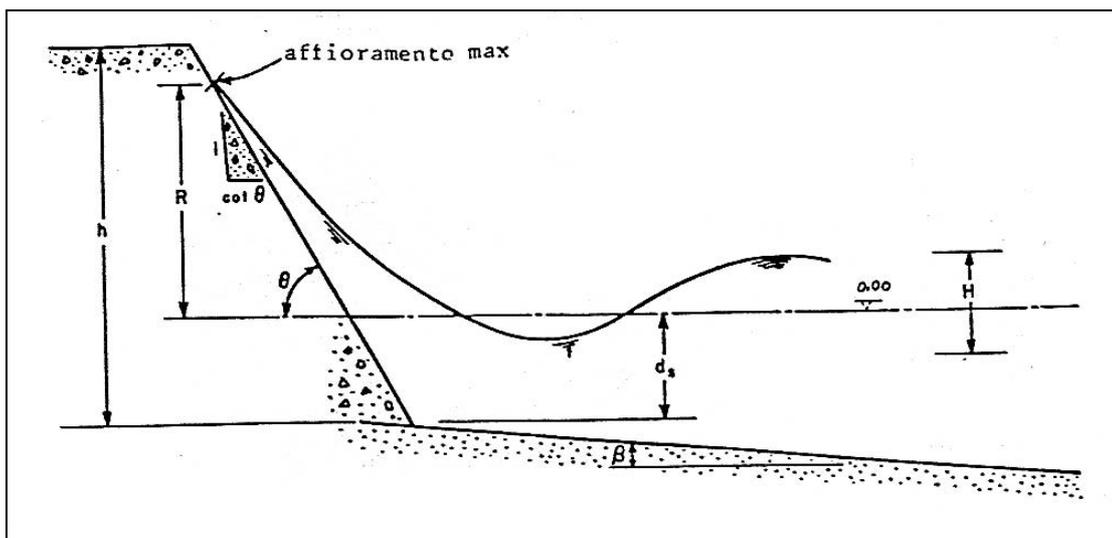
6. VALUTAZIONE DELLA RISALITA DELL'ONDA

La scogliera di levante a difesa del porticciolo di Marina di Cassano è oggetto di un intervento di riqualificazione per permettere, ai fini della balneazione, la presenza di persone su strutture temporanee installate in prossimità e sopra la mantellata esterna di detta opera.

Una indicazione di massima di tali installazioni è rappresentata nella Figura 18.

Al fine di garantire la sicurezza delle persone presenti su queste opere e l'eventuale danneggiamento delle installazioni, è stato condotto uno studio sulla risalita dell'onda sia prendendo in considerazione le condizioni ondose annuali che quelle stagionali, specifiche del periodo di balneazione.

Tale analisi ha permesso di determinare la massima quota R , raggiunta dall'onda incidente sulla mantellata della scogliera (quota di *run-up*).



Lo studio è stato condotto lungo tre sezioni caratteristiche ubicate secondo quanto indicato nella Figura 19.

La massima quota di run-up è stata ricavata attraverso le formulazioni proposte da Van der Meer per strutture a scogliera in cui i valori della risalita dell'onda sono stimati con le seguenti espressioni:

$$\frac{R_x}{H_s} = A \cdot \zeta_{0m} \quad \text{per } \zeta_{0m} < 1.5$$

$$\frac{R_x}{H_s} = B \cdot \xi_{0m}^C \quad \text{per } \xi_{0m} > 1.5$$

dove A, B e C sono dei coefficienti proposti dall'autore mentre ξ_{0m} è il surf-similarity parameter espresso da:

$$\xi_{0m} = \frac{\tan \theta}{\sqrt{s_{om}}}$$

In questa espressione θ rappresenta l'angolo tra il paramento della scogliera e l'orizzontale e s_{om} è la ripidità di largo espressa da:

$$s_{om} = \frac{2 \cdot \pi \cdot H_s}{g \cdot T_m^2}$$

I valori delle altezze d'onda più critici per tale analisi sono stati ricavati dallo studio di agitazione residua riportato nel precedente capitolo. Sono state individuate preliminarmente tre sezioni rappresentative della scogliera di levante ed indicate nella Figura 19. Le sezioni studiate hanno un andamento qualitativo, estrapolato dal rilievo topo-batimetrico fornito, indicato nella Figura 20.

In corrispondenza di ciascuna sezione sono stati estratti dalle elaborazioni precedenti i valori di altezza d'onda al piede delle strutture. Questi sono indicati nella Tabella 10. Le condizioni ondose in prossimità della scogliera, in termini di altezze significative, risultano essere tutte inferiori all'unità a meno che per la condizione calcolata su base annuale e legata al periodo di ritorno cinquantennale.

Nelle espressioni per il calcolo della risalita, il run-up è indicato con la simbologia R_x stante ad indicare che tale è il livello raggiunto dall' x% delle onde incidenti.

Nel seguito è stato calcolato il run-up raggiunto dai seguenti valori delle onde incidenti :

- 2%
- 10%
- 33% (significativo)
- 50% (medio)

I risultati dei calcoli effettuati sono riportati nelle Tabelle da 11 a 14 per ognuna delle condizioni ondose selezionate. In tali tabelle sono indicati inoltre i valori dei coefficienti B e C che hanno permesso la determinazione delle varie quote di run-up, utilizzando la seconda delle formulazioni di Van

der Meer dato che in tutte le configurazioni si sono ottenuti valori di ξ_{om} maggiori di 1.5.

Nelle condizioni più gravose a tali quote va aggiunto il sovrizzo massimo del pelo libero (con $T_r = 50$ anni) calcolato nel precedente capitolo e pari a 0.48 m.

Dal raffronto tra tali quote e quelle di massimo affioramento si deduce che nel periodo della balneazione o, comunque, per tutto l'arco stagionale considerato (1 aprile – 31 ottobre) i valori di risalita si mantengono sempre entro limiti accettabili con valori massimi ($R_{2\%}$ e $T_r = 50$ anni) che, considerando anche l'innalzamento di marea, si attestano intorno al metro. In tutti gli altri casi si evidenzia un run-up che varia da 0.2 ai 0.4 m rispetto al livello medio mare.

Su base annua, e quindi considerando le ondate più gravose che si verificano durante il periodo invernale, la risalita dell'onda, invece, interessa buona parte della mantellata della scogliera che non può in questo modo definirsi sicura per le persone e per le cose.

Tabelle

DIR	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs														TOTALI
	<0,25	0,25-0,50	0,50-1,00	1,00-1,50	1,50-2,00	2,00-2,50	2,50-3,00	3,00-3,50	3,50-4,00	4,00-4,50	4,50-5,00	5,00-5,50	5,50-6,00	6,00-6,50	
10 °N		0.021%													0.021%
20 °N															
30 °N	0.021%														0.021%
40 °N	0.064%														0.064%
50 °N															
60 °N															
70 °N															
80 °N															
90 °N															
100 °N															
110 °N															
120 °N															
130 °N															
140 °N															
150 °N															
160 °N															
170 °N															
180 °N															
190 °N	0.043%														0.043%
200 °N	0.107%														0.107%
210 °N	0.406%	0.107%	0.021%												0.534%
220 °N	1.688%	1.730%	0.085%												3.504%
230 °N	1.944%	1.367%	0.320%	0.043%											3.674%
240 °N	1.453%	0.534%	0.128%	0.021%											2.136%
250 °N	1.474%	0.876%	0.491%	0.064%	0.021%										2.927%
260 °N	4.123%	3.162%	3.803%	0.812%	0.150%	0.021%	0.021%								12.091%
270 °N	10.404%	9.186%	6.708%	2.243%	1.090%										29.630%
280 °N	12.455%	7.562%	5.661%	1.474%	0.470%										27.622%
290 °N	7.498%	2.969%	2.072%	0.790%	0.085%										13.416%
300 °N	2.457%	0.577%	0.107%												3.140%
310 °N	0.385%	0.128%	0.021%												0.534%
320 °N	0.107%	0.064%													0.171%
330 °N	0.107%	0.043%													0.150%
340 °N	0.150%	0.021%													0.171%
350 °N	0.043%														0.043%
360 °N															
TOTALI	44.926%	28.349%	19.419%	5.448%	1.816%	0.021%	0.021%								100.00%

Tab. 1 – Frequenze stagionali di occorrenza del moto ondoso al largo di S.Agnello per classi di altezza significativa e direzione di provenienza (periodo 1 Aprile – 31 Ottobre)

Periodo di ritorno = 50 Anni					
Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)	DD
1.36	5.01	10 °N	0.57	3.25	190 °N
		20 °N	0.79	3.82	200 °N
1.66	5.54	30 °N	1.64	5.51	210 °N
1.55	5.35	40 °N	2.37	6.61	220 °N
0.98	4.24	50 °N	2.95	7.38	230 °N
0.88	4.03	60 °N	6.03	10.56	240 °N
0.65	3.47	70 °N	4.75	9.37	250 °N
		80 °N	5.73	10.29	260 °N
		90 °N	7.35	11.65	270 °N
		100 °N	7.03	11.40	280 °N
		110 °N	4.83	9.44	290 °N
		120 °N	4.85	9.47	300 °N
		130 °N	3.10	7.57	310 °N
		140 °N	3.00	7.44	320 °N
		150 °N	1.66	5.54	330 °N
0.62	3.39	160 °N	1.54	5.33	340 °N
0.70	3.60	170 °N	1.51	5.29	350 °N
0.65	3.46	180 °N	1.65	5.53	360 °N

Tab. 2 – Altezze e periodi significativi delle onde estreme al largo di S.Agnello
Periodo di ritorno TR = 50 anni
(Annuali)

Periodo di ritorno = 5 Anni					
Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)	DD
1.07	4.44	10 °N	0.43	2.81	190 °N
		20 °N	0.63	3.41	200 °N
1.27	4.84	30 °N	1.16	4.64	210 °N
1.15	4.60	40 °N	1.75	5.68	220 °N
0.79	3.83	50 °N	2.32	6.55	230 °N
0.68	3.54	60 °N	4.12	8.72	240 °N
0.53	3.13	70 °N	3.54	8.09	250 °N
		80 °N	4.11	8.71	260 °N
		90 °N	5.40	9.99	270 °N
		100 °N	5.21	9.81	280 °N
		110 °N	2.95	7.39	290 °N
		120 °N	2.84	7.25	300 °N
		130 °N	1.68	5.56	310 °N
		140 °N	1.59	5.42	320 °N
		150 °N	1.10	4.51	330 °N
0.44	2.84	160 °N	1.24	4.78	340 °N
0.50	3.03	170 °N	1.19	4.69	350 °N
0.45	2.89	180 °N	1.29	4.88	360 °N

Tab. 3 – Altezze e periodi significativi delle onde estreme al largo di S.Agnello
Periodo di ritorno TR = 5 anni
(Annuali)

Periodo di ritorno = 50 Anni					
Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)	DD
0.37	2.61	10 °N			190 °N
		20 °N	0.14	1.63	200 °N
0.17	1.77	30 °N	0.98	4.26	210 °N
0.28	2.27	40 °N	1.15	4.60	220 °N
		50 °N	1.76	5.71	230 °N
		60 °N	1.55	5.35	240 °N
		70 °N	2.67	7.02	250 °N
		80 °N	3.36	7.88	260 °N
		90 °N	1.81	5.79	270 °N
		100 °N	1.87	5.87	280 °N
		110 °N	1.55	5.36	290 °N
		120 °N	1.06	4.43	300 °N
		130 °N	0.73	3.68	310 °N
		140 °N	0.70	3.59	320 °N
		150 °N	0.40	2.71	330 °N
		160 °N	0.37	2.61	340 °N
		170 °N	0.10	1.38	350 °N
		180 °N			360 °N

Tab. 4 – Altezze e periodi significativi delle onde estreme al largo di S.Agnello
 Periodo di ritorno TR = 50 anni
 (Stagionali – 1 Aprile/31 Ottobre)

Periodo di ritorno = 5 Anni					
Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)	DD
0.37	2.61	10 °N			190 °N
		20 °N	0.11	1.42	200 °N
0.17	1.77	30 °N	0.52	3.11	210 °N
0.17	1.80	40 °N	0.76	3.74	220 °N
		50 °N	1.05	4.40	230 °N
		60 °N	1.04	4.39	240 °N
		70 °N	1.70	5.61	250 °N
		80 °N	2.47	6.76	260 °N
		90 °N	1.81	5.79	270 °N
		100 °N	1.75	5.68	280 °N
		110 °N	1.53	5.31	290 °N
		120 °N	0.77	3.78	300 °N
		130 °N	0.48	2.96	310 °N
		140 °N	0.44	2.85	320 °N
		150 °N	0.31	2.38	330 °N
		160 °N	0.26	2.20	340 °N
		170 °N	0.10	1.38	350 °N
		180 °N			360 °N

Tab. 5 – Altezze e periodi significativi delle onde estreme al largo di S.Agnello
 Periodo di ritorno TR = 5 anni
 (Stagionali – 1 Aprile/31 Ottobre)

Largo			Sottocosta h = -12 m		
Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)	DD
3.36	7.88	260 °N	1.43	7.88	276.0 °N
1.87	5.87	280 °N	1.70	5.87	283.0 °N
0.70	3.59	320 °N	0.69	3.59	320.0 °N

Tab. 6 – Altezze e periodi significativi delle onde estreme alla profondità -12 m
 Periodo di ritorno TR = 50 anni
 (Stagionali – 1 Aprile/31 Ottobre)

Largo			Sottocosta h = -12 m		
Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)	DD
2.47	6.76	260 °N	0.92	6.76	273.0 °N
1.75	5.68	280 °N	1.59	5.68	283.0 °N
0.77	3.78	300 °N	0.76	3.78	300.0 °N

Tab. 7 – Altezze e periodi significativi delle onde estreme alla profondità -12 m
 Periodo di ritorno TR = 5 anni
 (Stagionali – 1 Aprile/31 Ottobre)

Largo			Sottocosta h = -12 m		
Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)	DD
7.03	11.40	280 °N	5.75	11.40	293.0 °N
1.65	5.33	360 °N	1.42	5.33	5.0 °N

Tab. 8 – Altezze e periodi significativi delle onde estreme alla profondità -12 m
 Periodo di ritorno TR = 50 anni
 (Annuali)

Largo			Sottocosta h = -12 m		
Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)	DD
5.21	9.81	280 °N	4.40	9.81	290.0 °N
1.29	4.88	360 °N	1.21	4.88	1.5 °N

Tab. 9 – Altezze e periodi significativi delle onde estreme alla profondità -12 m
 Periodo di ritorno TR = 5 anni
 (Annuali)

			Sez. A	Sez. B	Sez. C
		T (s)	Hs (m)	Hs (m)	Hs (m)
Annuale	Tr 50	11.40	1.55	0.80	0.40
	Tr 5	9.81	0.88	0.40	0.25
Stagionale	Tr 50	5.87	0.15	0.1	0.1
	Tr 5	5.68	0.1	0.1	0.05

Tab. 10 – Altezze e periodi significativi delle onde utilizzati per il calcolo del run-up

		B	C	sez A	sez B	sez C
		R (m)				
2%		1.17	0.46	4.13	2.50	1.43
10%		0.94	0.42	3.09	1.84	1.04
sign		0.88	0.41	2.84	1.69	0.95
mean		0.6	0.34	1.71	0.99	0.55

Tab. 11 – Valori di run-up – Annuali – Tr 50 anni

		B	C	sez A	sez B	sez C
		R (m)				
2%		1.17	0.46	2.49	1.37	0.93
10%		0.94	0.42	1.85	1.00	0.68
sign		0.88	0.41	1.70	0.92	0.62
mean		0.6	0.34	1.01	0.53	0.35

Tab. 12 – Valori di run-up – Annuali – Tr 5 anni

		B	C	sez A	sez B	sez C
		R (m)				
2%		1.17	0.46	0.50	0.37	0.21
10%		0.94	0.42	0.36	0.27	0.15
sign		0.88	0.41	0.33	0.24	0.14
mean		0.6	0.34	0.19	0.14	0.08

Tab. 13 – Valori di run-up – Stagionali – Tr 50 anni

		B	C	sez A	sez B	sez C
		R (m)				
2%		1.17	0.46	0.37	0.37	0.36
10%		0.94	0.42	0.27	0.27	0.26
sign		0.88	0.41	0.24	0.25	0.24
mean		0.6	0.34	0.14	0.14	0.14

Tab. 14 – Valori di run-up – Stagionali – Tr 5 anni

Figure

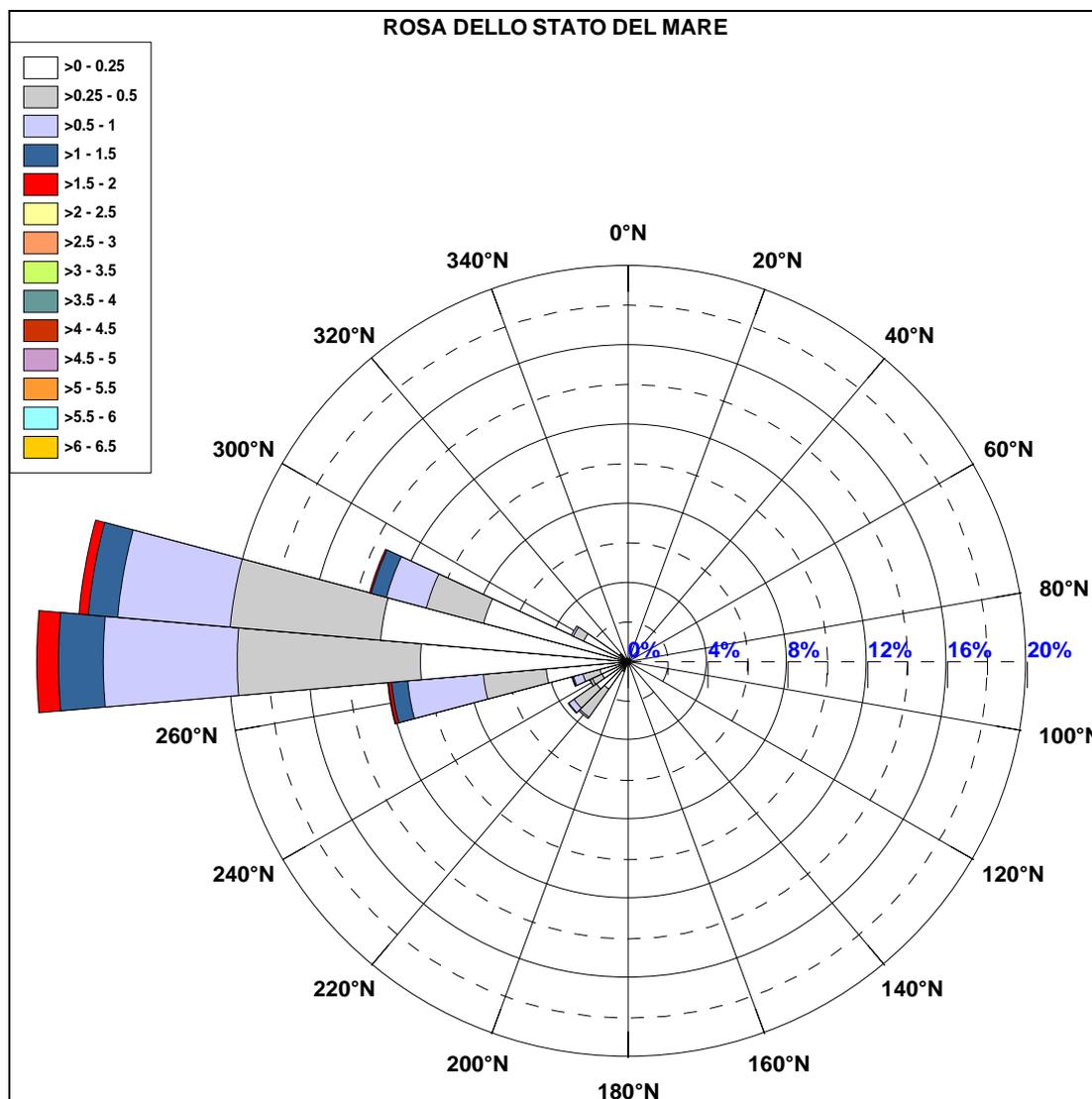


Fig. 1 – Diagramma polare del clima ondoso stagionale all'ondametro virtuale di S.Agnello.
(Stagionale – 1 Aprile/31 Ottobre)

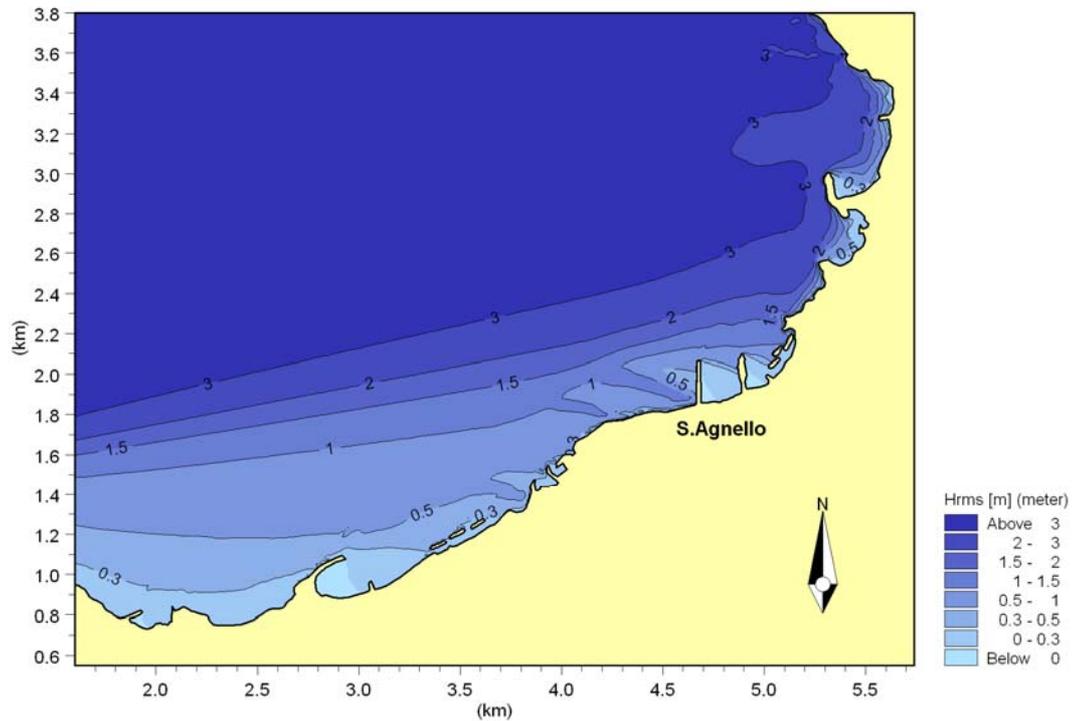


Fig. 2 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo :
 Direzione 260° N ; Altezza 3.36 m ; Periodo 7.88 s ; Tr = 50 anni.
 (Stagionale – 1 Aprile/31 Ottobre)

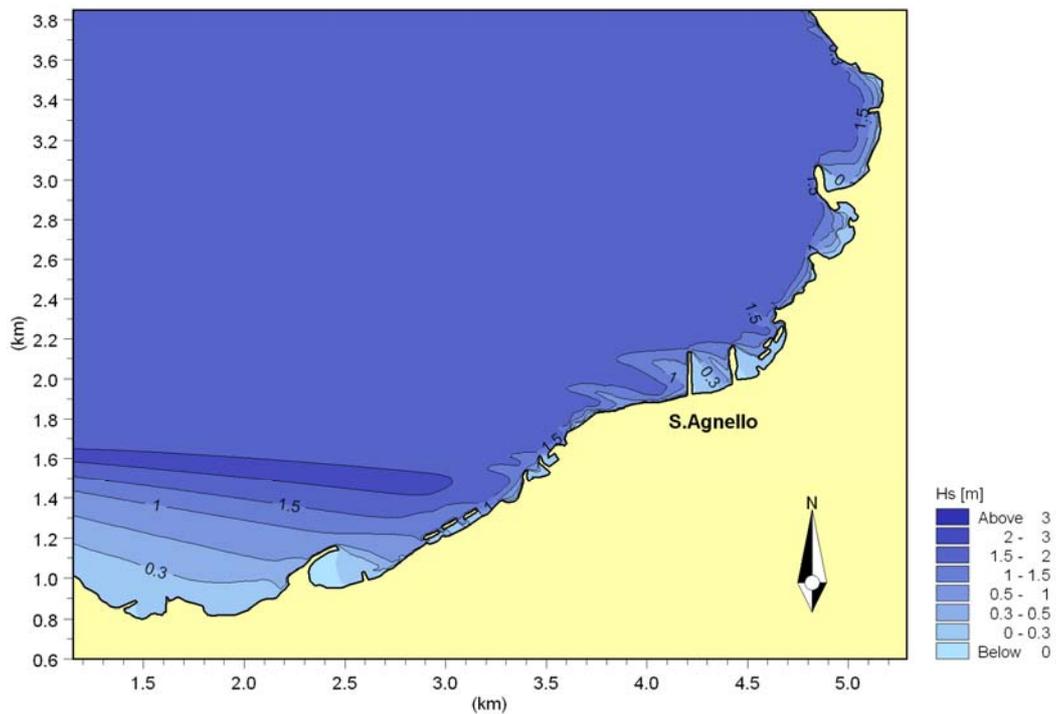


Fig. 3 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo :
 Direzione 280° N ; Altezza 1.87 m ; Periodo 5.87 s ; Tr = 50 anni.
 (Stagionale – 1 Aprile/31 Ottobre)

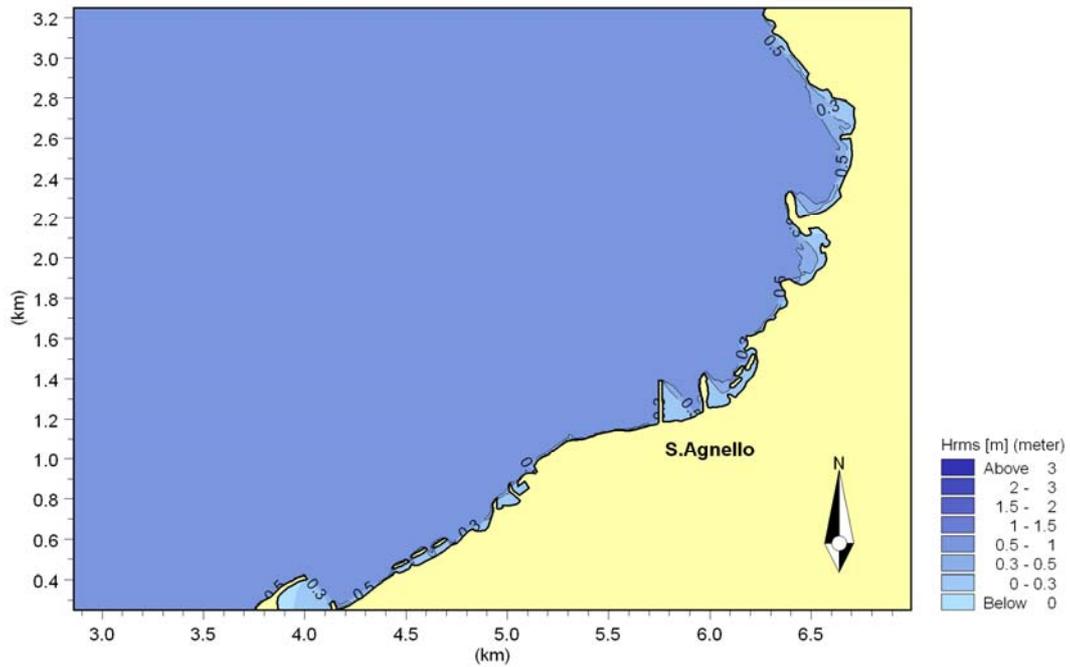


Fig. 4 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo :
 Direzione 320° N ; Altezza 0.70 m ; Periodo 3.59 s ; Tr = 50 anni.
 (Stagionale – 1 Aprile/31 Ottobre)

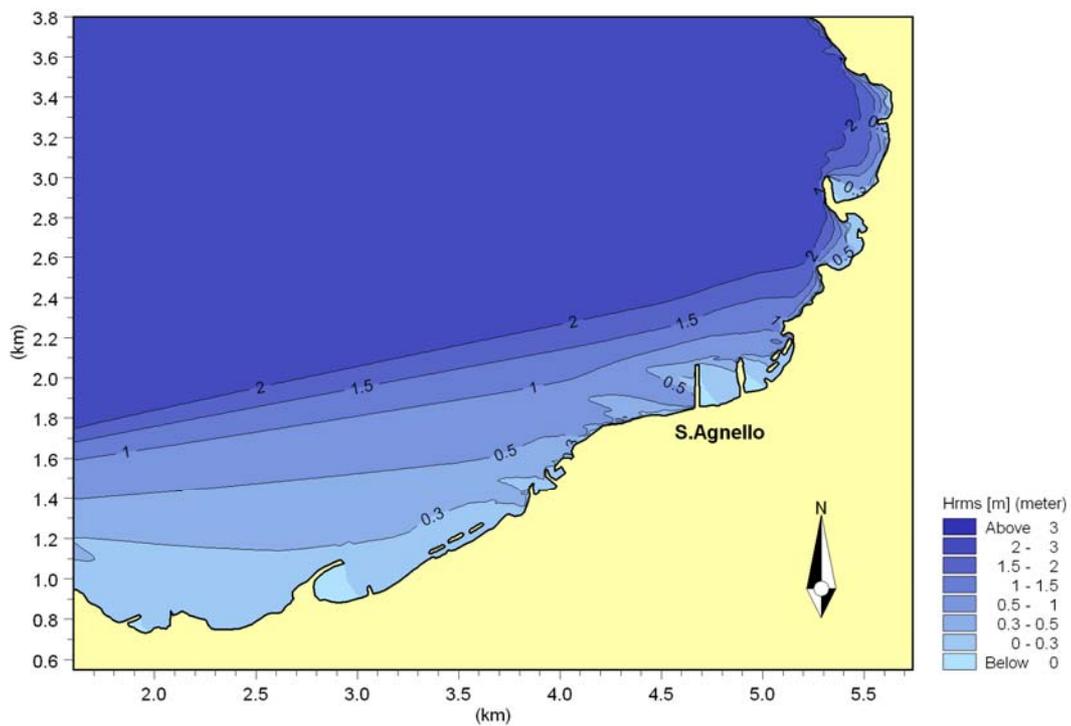


Fig. 5 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo :
 Direzione 260° N ; Altezza 2.47 m ; Periodo 6.76 s ; Tr = 5 anni.
 (Stagionale – 1 Aprile/31 Ottobre)

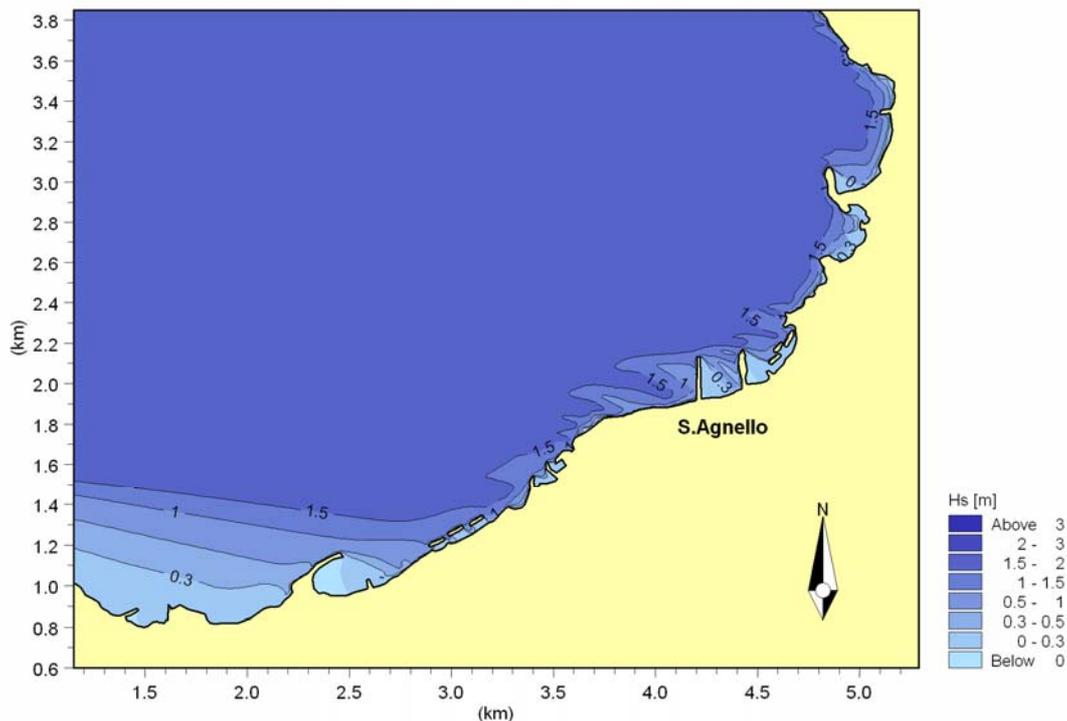


Fig. 6 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo :
 Direzione 280° N ; Altezza 1.75 m ; Periodo 5.68 s ; Tr = 5 anni.
 (Stagionale – 1 Aprile/31 Ottobre)

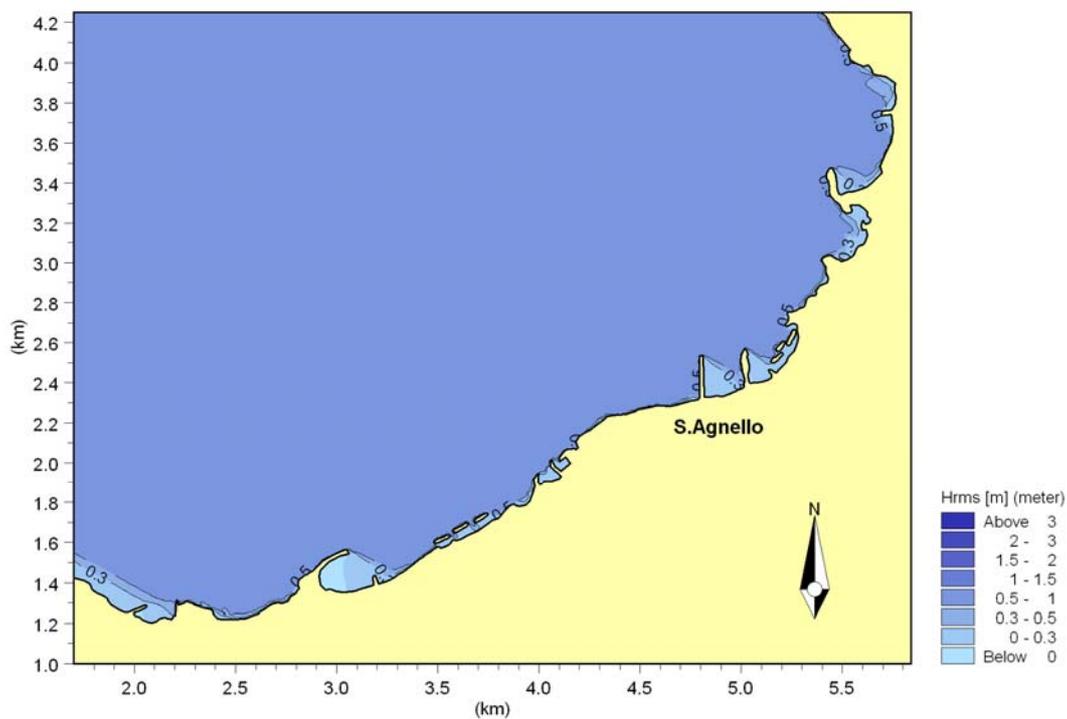


Fig. 7 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo :
 Direzione 300° N ; Altezza 0.77 m ; Periodo 3.78 s ; Tr = 5 anni.
 (Stagionale – 1 Aprile/31 Ottobre)



Fig. 8 – Layout di progetto nuova scogliera

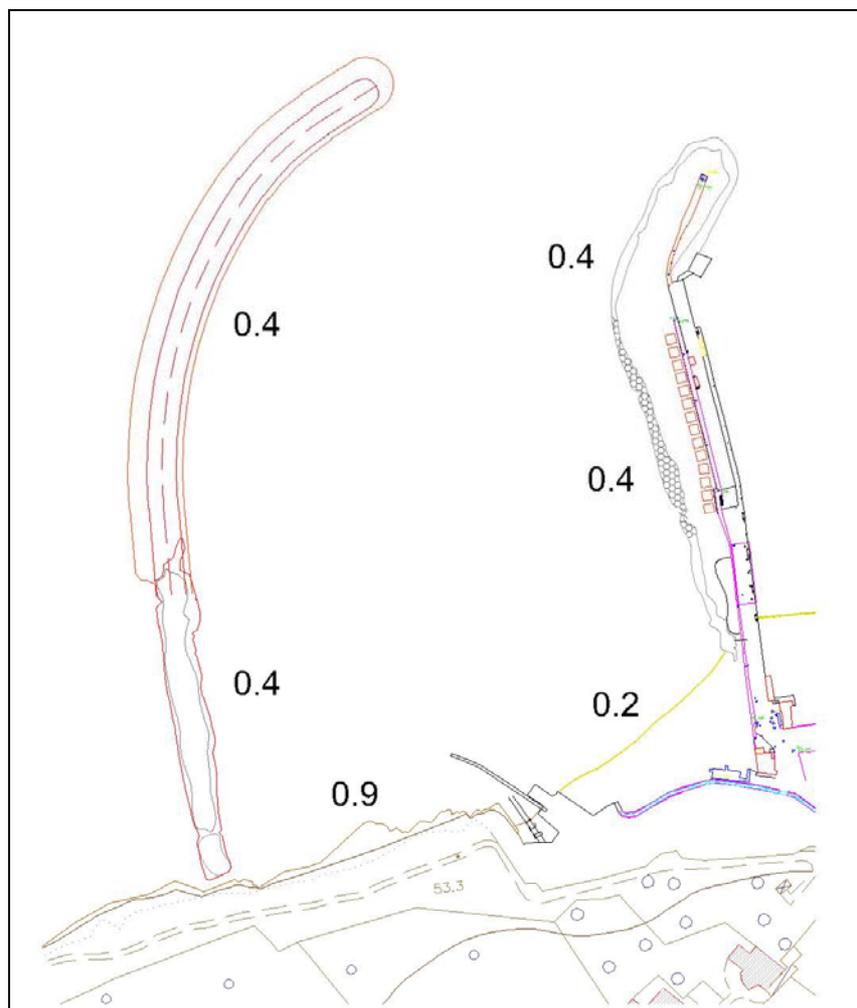


Fig. 9 – Coefficienti di riflessione utilizzati per l'agitazione residua

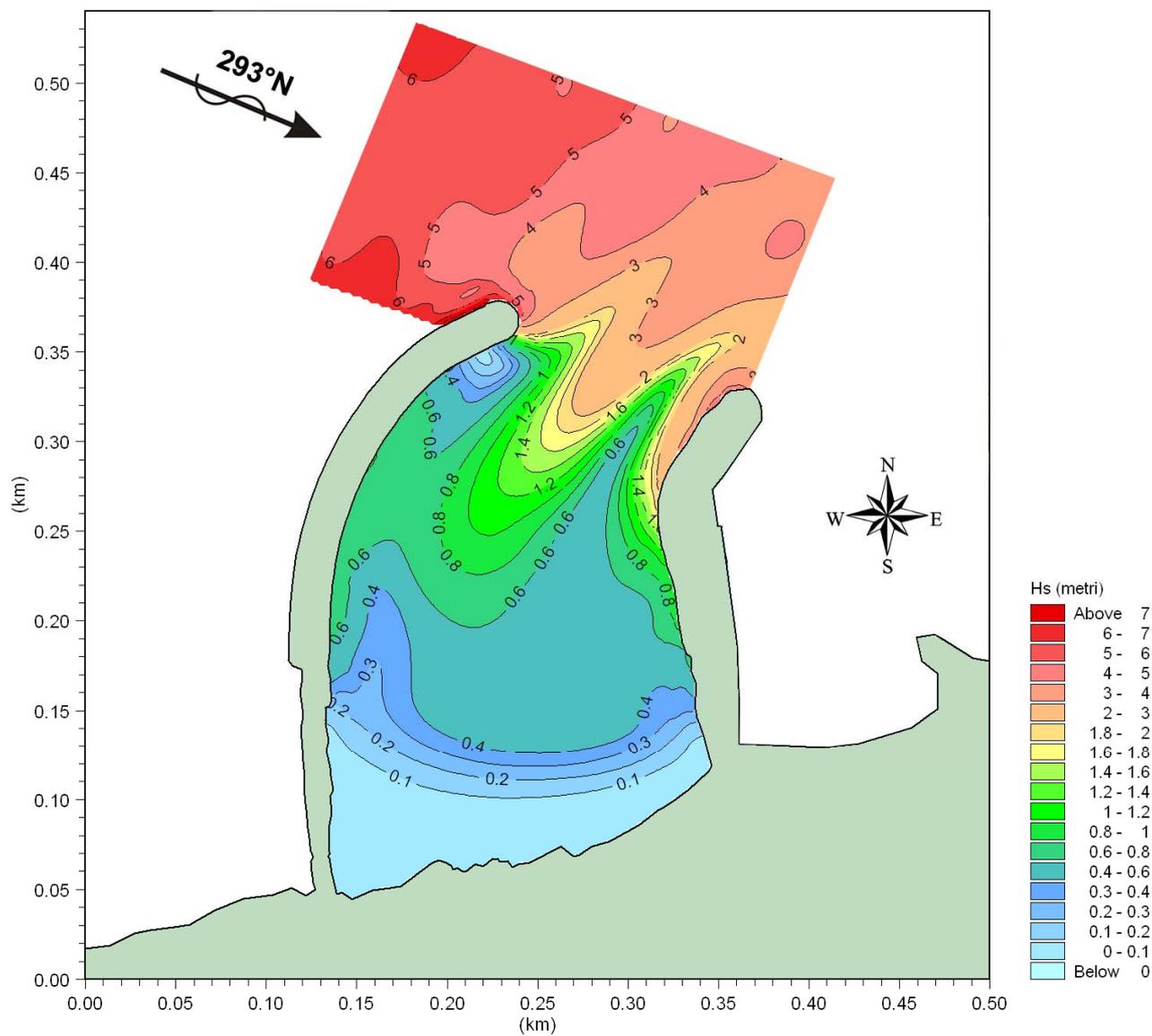


Fig. 10 – Agitazione interna al bacino protetto
Direzione 293°N ; Altezza 5.75 m ; Periodo 11.40 s ; TR = 50 anni
(Annuale)

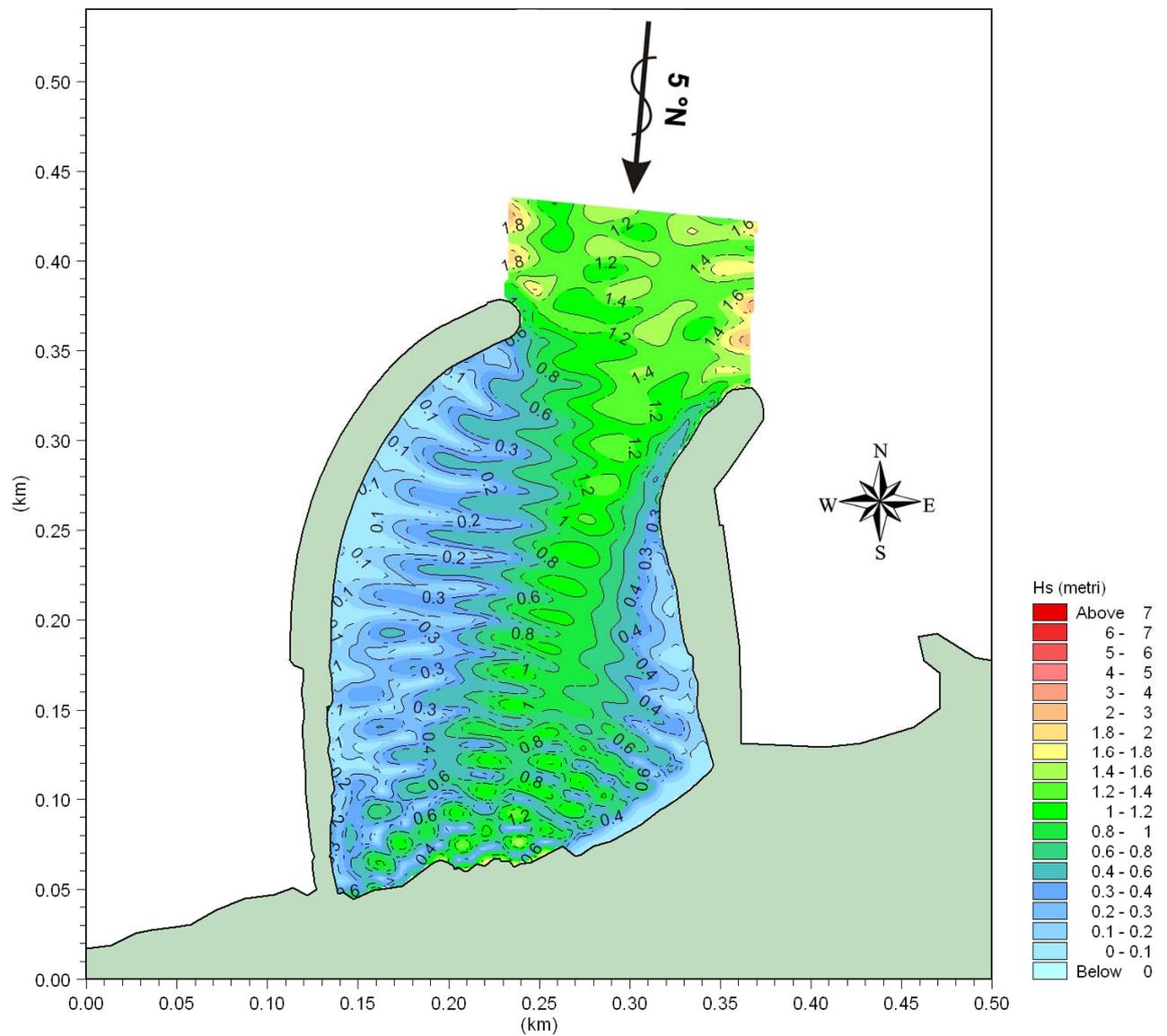


Fig. 11 – Agitazione interna al bacino protetto
Direzione 5°N ; Altezza 1.42 m ; Periodo 5.53 s ; TR = 50 anni
(Annuale)

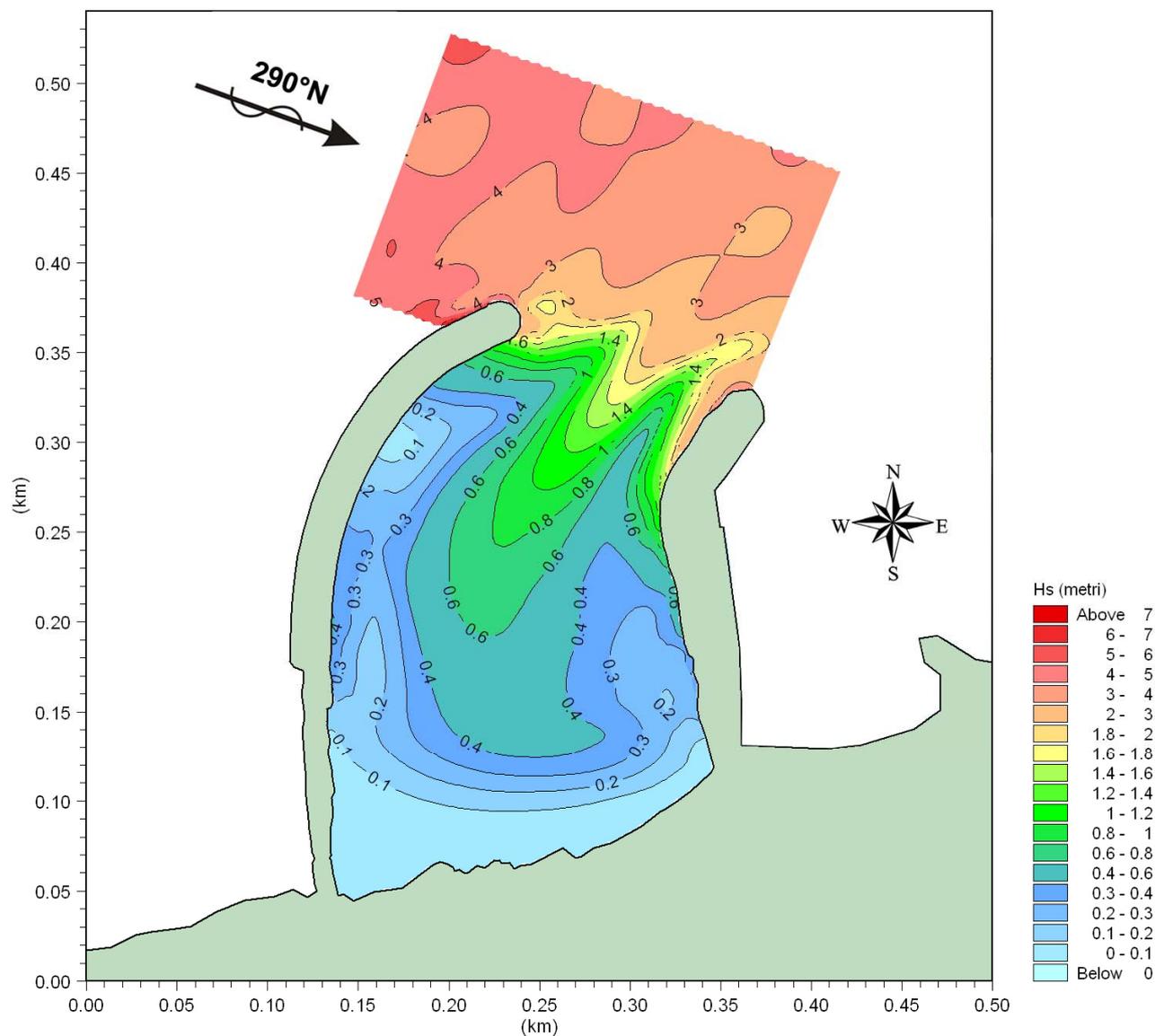


Fig. 12 – Agitazione interna al bacino protetto
Direzione 290°N ; Altezza 4.40 m ; Periodo 9.81 s ; TR = 5 anni
(Annuale)

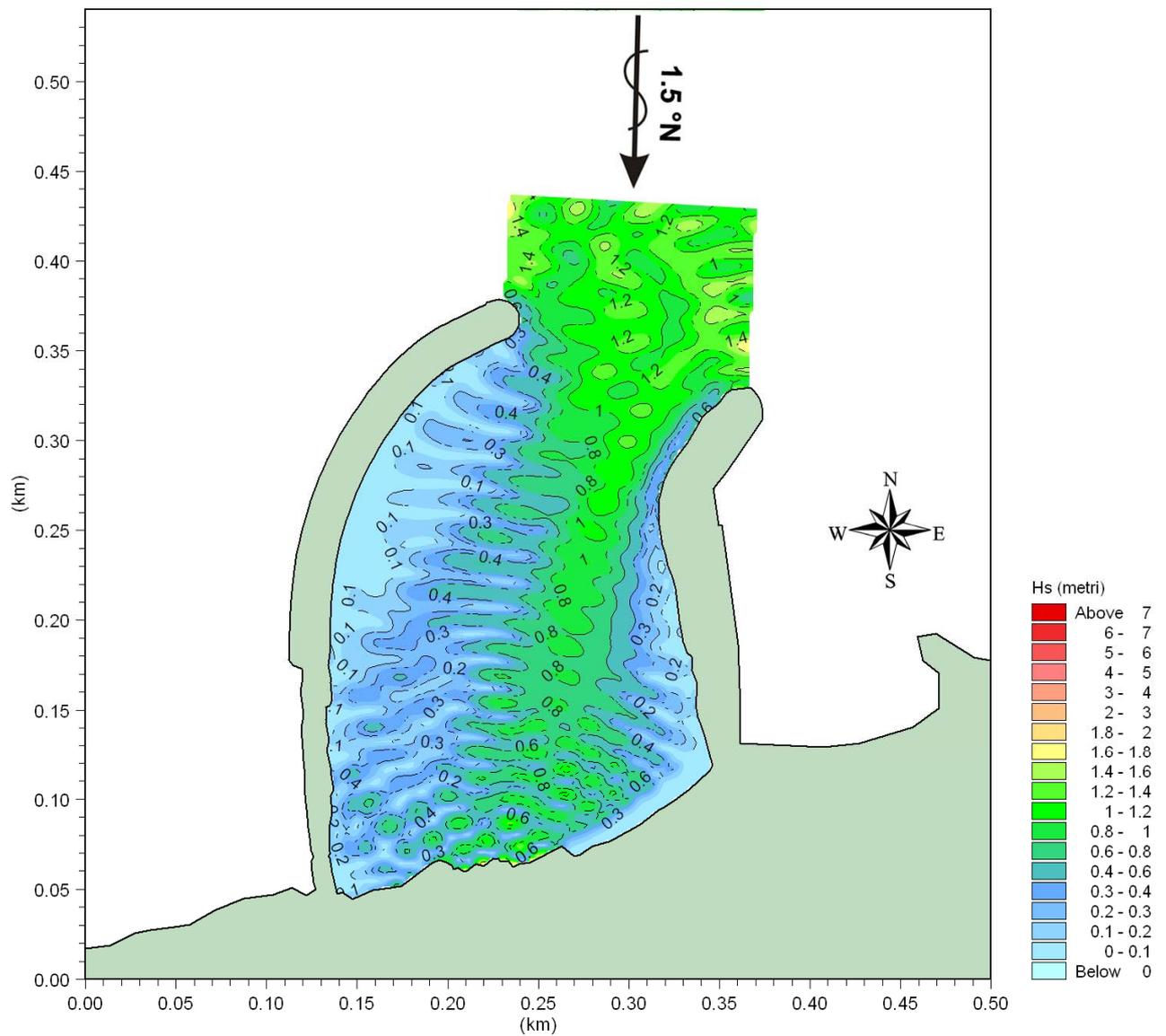


Fig. 13 – Agitazione interna al bacino protetto
Direzione 1.5°N ; Altezza 1.21 m ; Periodo 4.88 s ; TR = 5 anni
(Annuale)

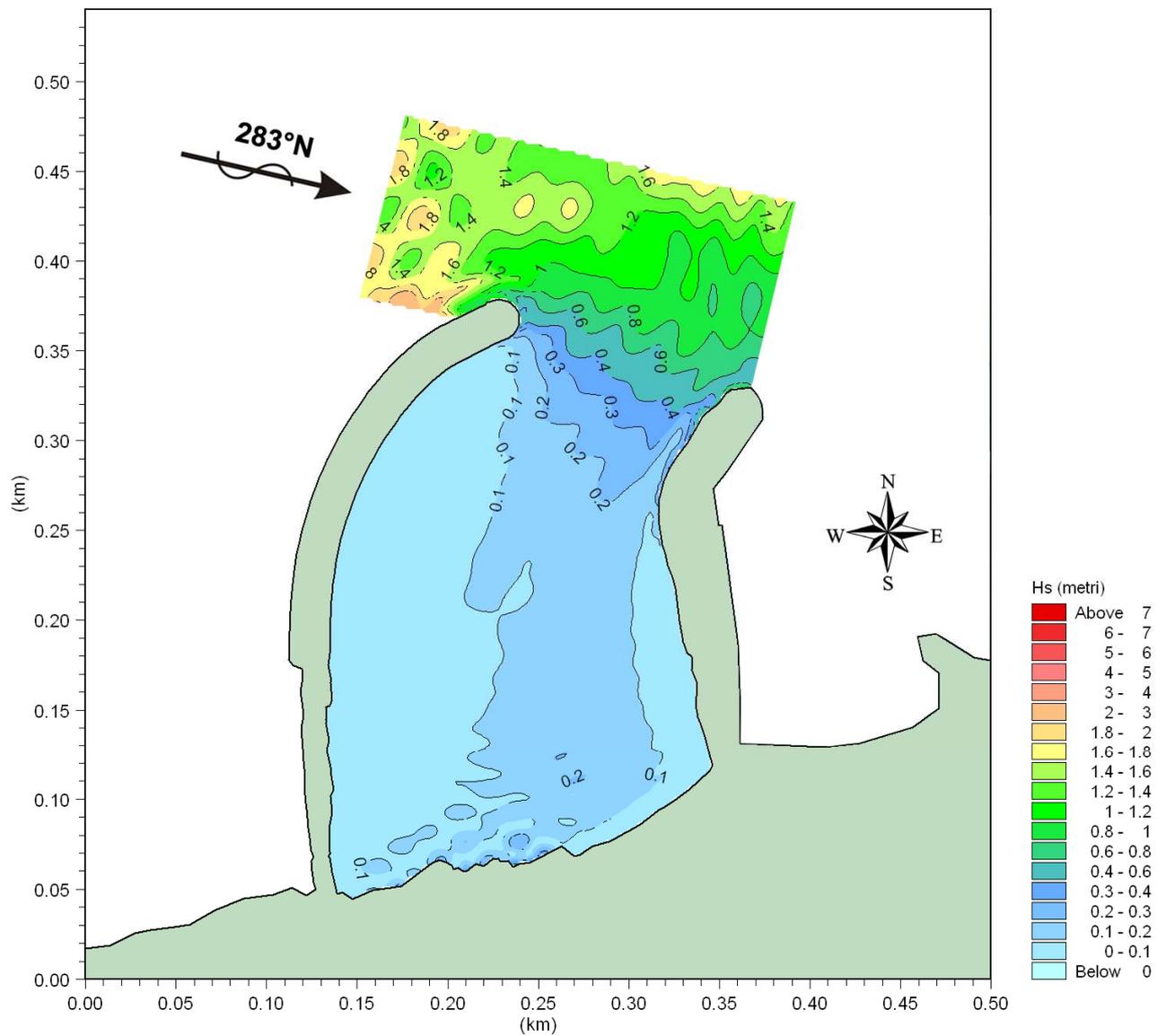


Fig. 14 – Agitazione interna al bacino protetto
Direzione 283°N ; Altezza 1.70 m ; Periodo 5.87 s ; TR = 50 anni
(Stagionale – 1 Aprile/31 Ottobre)

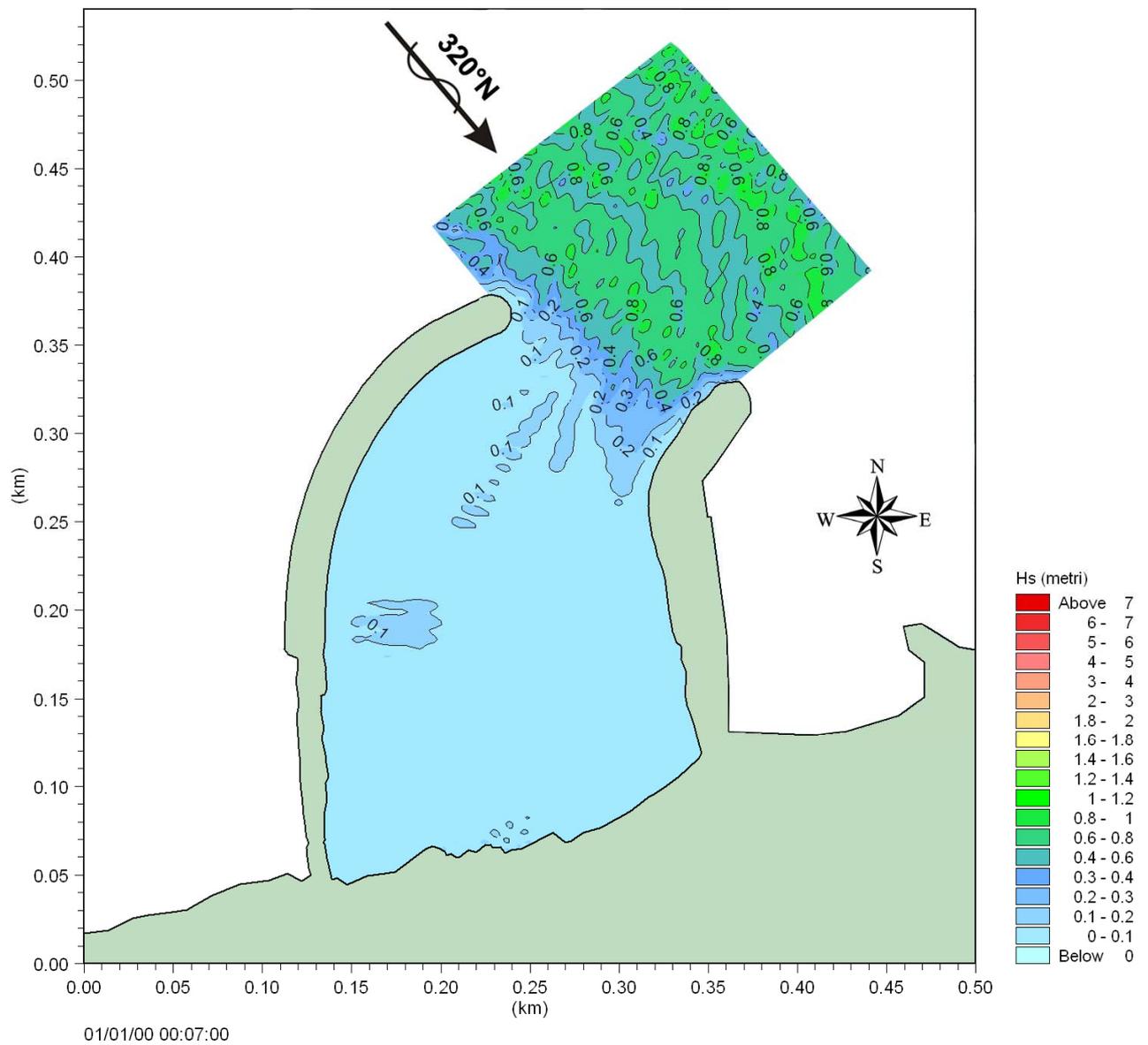


Fig. 15 – Agitazione interna al bacino protetto
 Direzione 320°N ; Altezza 0.69 m ; Periodo 3.59 s ; TR = 50 anni
 (Stagionale – 1 Aprile/31 Ottobre)

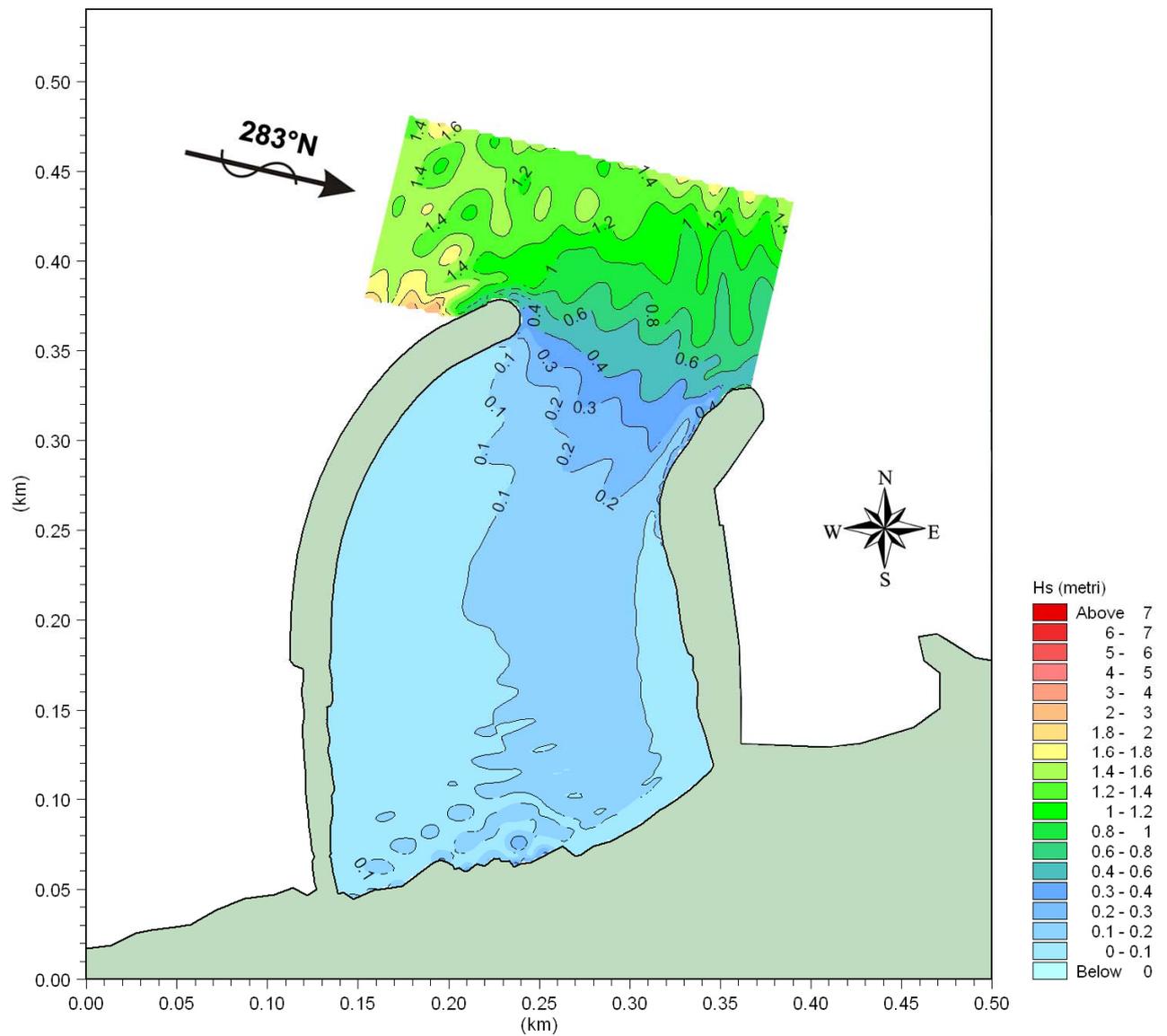


Fig. 16 – Agitazione interna al bacino protetto
Direzione 283°N ; Altezza 1.59 m ; Periodo 5.68 s ; TR = 5 anni
(Stagionale – 1 Aprile/31 Ottobre)

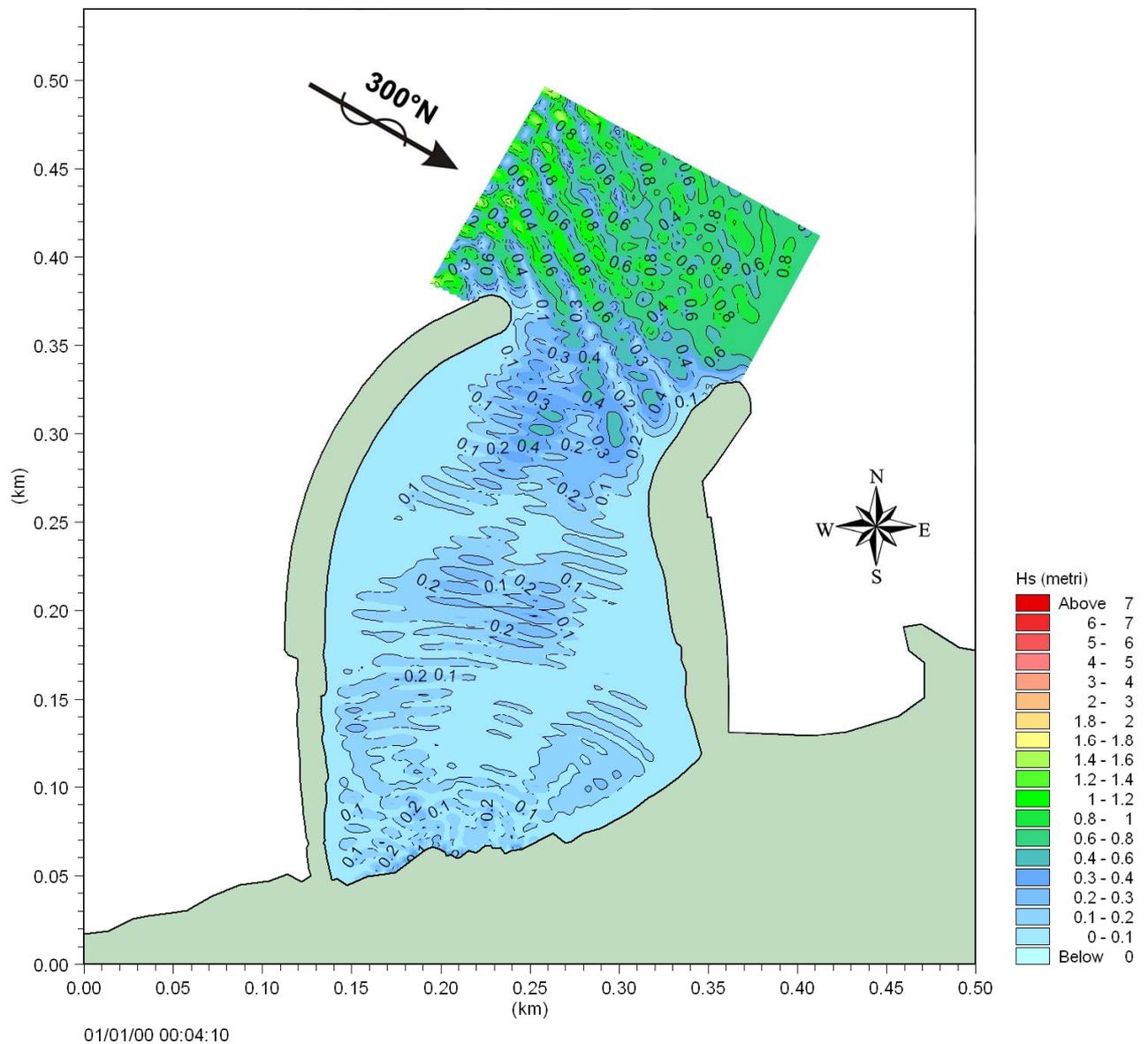


Fig. 17 – Agitazione interna al bacino protetto
 Direzione 300°N ; Altezza 0.76 m ; Periodo 3.78 s ; TR = 5 anni
 (Stagionale – 1 Aprile/31 Ottobre)

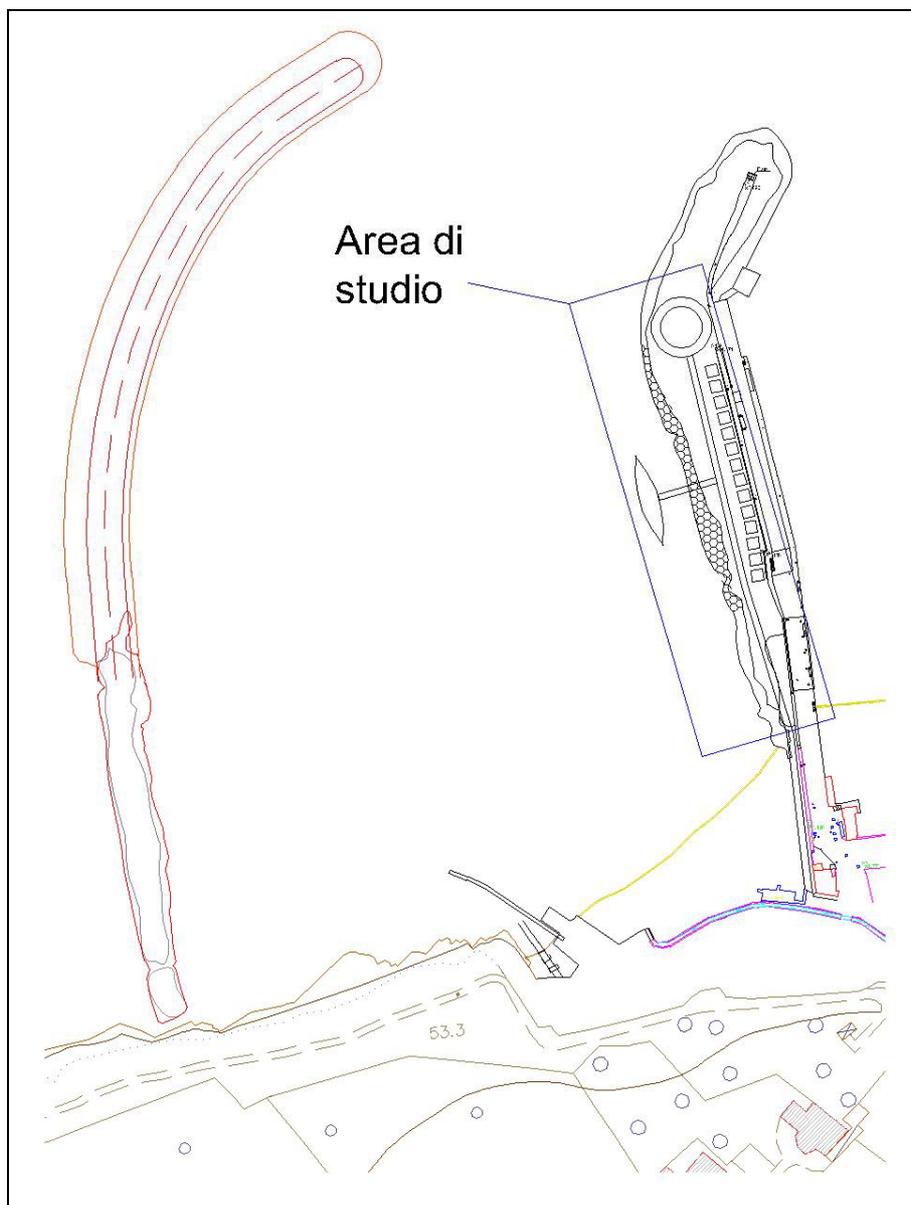


Fig. 18 – Area di studio risalita dell'onda

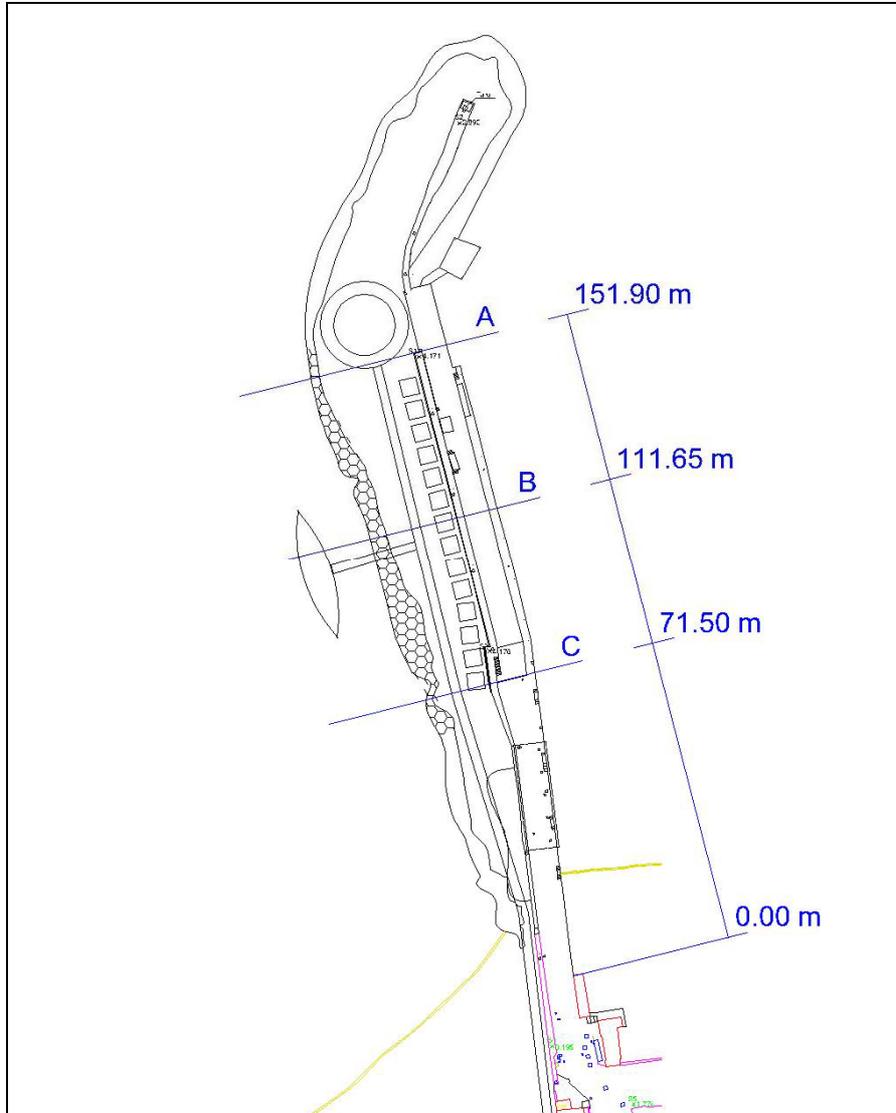


Fig. 19 – Ubicazione sezioni di studio

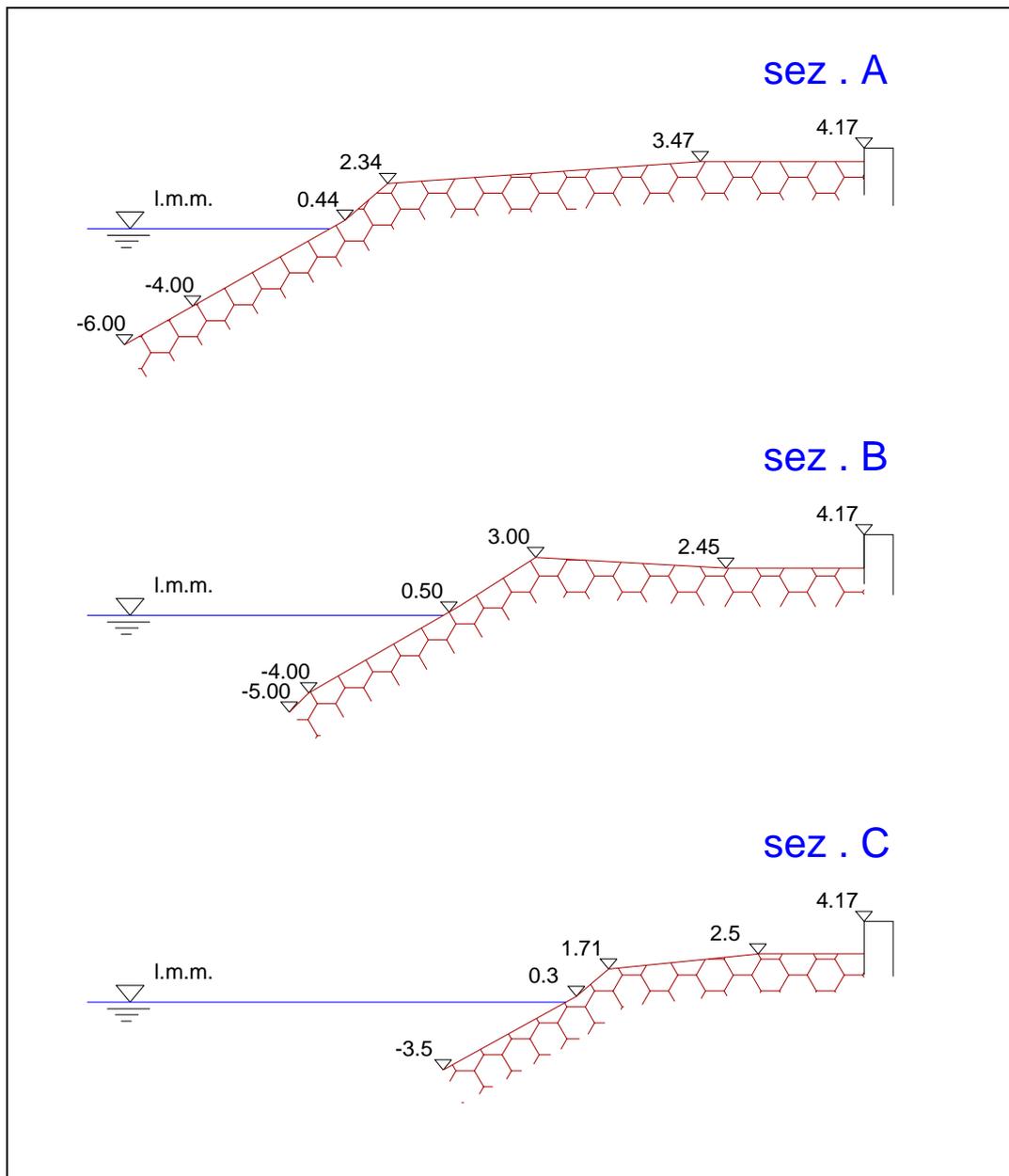


Fig. 20 – Sezioni scogliera

INGCOST s.r.l.

P.zza D'Annunzio,15
80125 – Napoli

Tel/Fax : 0812399071

e-mail : ingcostsrl@fastwebnet.it

p.iva : 05209111219

**STUDIO IDRAULICO MARITTIMO INTEGRATIVO
PROPEDEUTICO ALLA PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED
ESECUTIVA DEI LAVORI DI RECUPERO E SISTEMAZIONE DELLA
SCOGLIERA – COMUNE DI S.AGNELLO – (NA)**



Luglio 2007

INDICE

1.	PREMESSA.....	2
2.	DETERMINAZIONE DELLE CONDIZIONI ONDOSE ED AL CONTORNO PER LE VERIFICHE.....	3
3.	CLIMA ONDOSO	4
4.	TRASFERIMENTO DEL MOTO ONDOSO.....	7
4.1.	Caratteristiche delle onde estreme in prossimità dell'area di studio.....	7
5.	ANALISI DELLE VARIAZIONI DEI LIVELLI MARINI.....	9
6.	STUDIO DEL MOTO ONDOSO INCIDENTE.....	11
6.1.	Modello utilizzato.....	11
6.2.	Coefficienti di riflessione	13
6.3.	Risultati dello studio	13
7.	ANALISI DEL RICAMBIO IDRICO ALL'INTERNO DEL BACINO PROTETTO.....	15
7.1.	Azione della marea	15
7.2.	Azione del vento	24
7.3.	Azione delle correnti generate dalla differenza di densità.....	24
7.4.	Conclusioni.....	24

1. PREMESSA

In data 30/11/2005, l'Ufficio Tecnico - sez. LL. PP. - del Comune di S. Agnello, con determina n. 167, ha affidato alla INGCOST s.r.l. l'espletamento degli studi idraulico-marittimi propedeutici alla progettazione definitiva degli interventi di recupero e di sistemazione della scogliera sul litorale di Marina di Cassano, nel comune di S. Agnello.

Il completamento definitivo della scogliera consentirà la protezione di un tratto di costa dall'azione diretta del moto ondoso. Inoltre, essendo la stessa struttura di levante parzialmente protetta dalla nuova struttura, l'Amministrazione Comunale ha proposto la realizzazione di alcune strutture temporanee e, sempre di carattere stagionale, a servizio di uno stabilimento balneare.

In data 28/06/07 è pervenuta al Comune di S.Agnello richiesta di chiarimenti da parte del R.U.P. .

In tali note si richiedeva una valutazione della sicurezza del costone in relazione alla riflessione delle onde causate dalla riflessione sulla scogliera ed una valutazione della circolazione idrica in prossimità della spiaggia della Caterina ai fini della balneabilità.

Pertanto, al fine di determinare la variazione del regime idrodinamico e quindi delle condizioni energetiche al piede del costone in radice alla nuova scogliera e verificare l'entità del ricambio idrico che si viene a creare nello specchio acque compreso tra la nuova scogliera e quella esistente di levante, l'Amministrazione ha chiesto alla INGCOST s.r.l. una integrazione agli studi idraulico-marittimi già eseguiti.

In estrema sintesi, quindi, le attività svolte hanno riguardato i seguenti aspetti:

1. integrazione allo studio meteomarinario, già eseguito e facente parte di altro documento, per la valutazione delle condizioni ondose che incidono sulle aree in esame;
2. studio dell'agitazione ondosa, mediante opportuna modellistica matematica, nell'area compresa tra il costone e la scogliera, nella ipotesi che questa sia completata secondo progetto;
3. valutazione del ricambio idrico che si instaura all'interno dal bacino tra la scogliera oggetto dell'intervento e la scogliera di levante al fine di determinare la qualità delle acque.

2. DETERMINAZIONE DELLE CONDIZIONI ONDOSE ED AL CONTORNO PER LE VERIFICHE

La determinazione del periodo di ritorno dello stato di mare convenzionale di progetto da assumere nel dimensionamento e nella verifica di un'opera marittima, discende da attente valutazioni di carattere tecnico ed economico legate alla durata minima di vita dell'opera, alla massima probabilità di danneggiamento ammissibile ed alla sua fruibilità.

Nel caso specifico di questo studio, per la verifica delle condizioni ondose che incidono sul costone in prossimità della scogliera adeguata come da progetto, si è ipotizzato di analizzare i cambiamenti occorrenti al regime idrodinamico per condizioni ondose con periodo di ritorno di 10, 30 e 50 anni.

I motivi di tale scelta risiedono nel fatto di escludere mareggiate con periodi di ritorno molto bassi che sono accompagnate da un contenuto energetico più modesto e che possono far risentire la loro influenza su litorali essenzialmente costituiti da materiale sciolto.

I periodi di ritorno selezionati invece permettono di analizzare ondate estreme, associate a frequenze di apparizione più basse, ma con contenuti energetici che possono influenzare la stabilità del costone in quanto costituito da rocce lapidee.

Relativamente al secondo aspetto da analizzare, ovvero il ricambio idrico nel bacino protetto tra le due scogliere, si vuole sottolineare, in via preliminare, che tale circolazione d'acqua dipende da diversi fattori, quali la presenza del moto ondoso, la presenza di vento, la diversa densità tra l'acqua interna ed esterna al bacino ed infine dal fenomeno della marea.

Nei nostri mari è proprio quest'ultimo il principale responsabile del ricambio del volume d'acqua del bacino, mentre di solito gli altri fattori sopradetti hanno un'influenza molto più trascurabile.

In conclusione quindi, nei paragrafi successivi, si è proceduto, in primo luogo, a determinare le condizioni ondose caratterizzate da periodi di ritorno di 10, 30 e 50 anni e successivamente le variazioni di livello dovuti alla marea, per l'area in esame.

3. CLIMA ONDOSO

Nella presente paragrafo si sintetizzano gli studi eseguiti per la valutazione delle condizioni ondose di verifica sopradette. Le metodologie di analisi e le condizioni ondose relative al clima annuale che investe il tratto di costa in esame, sono state oggetto delle valutazioni di cui alla relazione sugli aspetti meteomarini relativi al paraggio di S. Agnello e qui sono brevemente sintetizzati.

Per clima ondoso si intende usualmente la ripartizione in frequenza su classi di direzioni ed altezza d'onda dei singoli stati di mare, caratterizzati dall'altezza H_s ed dal periodo T_s dell'onda significativa e dalla direzione θ_m di provenienza, rilevati in un periodo pluriennale.

Scopo fondamentale di tali elaborazioni è quello di rappresentare il corpo della distribuzione di frequenza di accadimento delle onde a diverse scale temporali (stagionale, annuale etc.). Tali statistiche non costituiscono una rappresentazione completa (in senso statistico) in quanto le informazioni relative al periodo e alla persistenza non vengono considerate.

Il clima ondoso può essere ricostruito sulla base di misure dirette – sia visuali che strumentali – ovvero a partire dalla conoscenza dei dati di vento e di fetch (metodi indiretti).

Nel caso in esame sono stati utilizzati, come per il precedente studio, i dati ondametrici della stazione ondometrica R.O.N. (Rete Ondametrica Nazionale) di Ponza, in funzione dal mese di luglio del 1989. Tali dati di altezza, periodo e direzione di provenienza delle onde sono stati filtrati per ottenere le condizioni ondose registrate nel periodo di riferimento.

Si è fatto poi ricorso alla metodologia della “trasposizione geografica” per adeguare le serie ondametriche misurate a Ponza al paraggio in studio.

La metodologia di trasposizione geografica è basata sull'ipotesi che la velocità e la direzione del vento, agente sull'area di generazione del sito d'interesse, siano equivalenti a quelle che hanno determinato lo stato di mare misurato dalla boa. Sotto tale ipotesi, il metodo di trasposizione geografica permette il calcolo delle correlazioni esistenti tra la direzione media di provenienza, l'altezza significativa ed il periodo di picco del moto ondoso misurato e gli stessi parametri relativi al moto ondoso presente nel punto d'interesse.

Nel caso di fetch limitati, le leggi che permettono di calcolare l'altezza d'onda significativa spettrale H_{m0} e il periodo di picco spettrale T_m in funzione della lunghezza del fetch e della velocità del vento sono le seguenti:

$$\frac{gH_m}{U_A^2} = 16 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{gF}{U_A} \right)^{\frac{1}{2}}$$

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

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

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

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

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

Il metodo si completa utilizzando la legge di Leenknecht et al., che stabilisce il legame tra la direzione media del vento e la direzione media del moto ondoso da esso generato.

Per l'applicazione del modello di trasposizione si impone la preliminare caratterizzazione dei fetch geografici ed efficaci per i due siti. Note le caratteristiche del moto ondoso registrate dall'ondametro, sulla base della legge di correlazione tra la direzione dell'onda e quella del vento si determina la direzione dell'onda nel punto di interesse. Nel contempo si definiscono i coefficienti correttivi H_p/H_0 e T_p/T_0 per il calcolo dell'altezza e del periodo dell'onda risultante nel punto di trasposizione geografica.

A partire dalle registrazioni ondametriche trasposte al largo del luogo d'interesse si è condotta un'analisi statistica degli eventi ondosi estremi che è lo strumento fondamentale per poter giungere alla definizione dell'onda di progetto, ossia dell'onda rappresentativa delle condizioni ambientali da assumere a base della progettazione o verifica delle opere marittime.

Tale onda, in genere rappresentata da un'onda significativa, viene di norma precisata in termini di altezza, periodo e direzione di propagazione, sulla base del periodo di ritorno degli eventi ondosi che la contengono.

A tal fine e' necessaria la conoscenza della funzione analitica di distribuzione a lungo termine delle altezze significative H_s , che viene selezionata e precisata a partire dai dati di altezza significativa che si sono verificate nel bacino marino in considerazione durante il tempo di osservazione.

Nel caso in esame, è stata selezionata la distribuzione dei valori estremi di Gumbel e si è utilizzato il procedimento che considera i massimi annuali delle altezze d'onda.

I parametri della distribuzione sono stati calcolati utilizzando il metodo dei minimi quadrati, che si basa sulla individuazione nel piano probabilistico della retta di regressione costruita a partire dalle altezze d'onda selezionate.

In questo modo è stato possibile valutare i valori di altezza d'onda in funzione di diversi periodi di ritorno, mentre il periodo d'onda T_s , dello stato di mare di altezza d'onda significativa H_s è stato calcolato con la seguente relazione:

$$T_s = \frac{9\pi}{1.05} \sqrt{\frac{H_s}{4g}}$$

basata su considerazioni teoriche e risultati sperimentali

I risultati per i periodi di ritorno selezionati sono indicati nelle tabelle 1, 2 e 3 in cui sono riportati i valori delle altezze d'onda in funzione delle direzioni di provenienza.

Tra tutti questi valori sono stati scelti quelli più gravosi in termini di altezza d'onda e di direzione di provenienza. Tali valori sono indicati nelle tabelle 4, 5 e 6.

Tali valori sono stati infine trasferiti sottocosta per essere poi utilizzati come dati di input per il successivo modello matematico di cui si dirà in seguito.

4. TRASFERIMENTO DEL MOTO ONDOSO

Per il trasferimento in prossimità dell'opera di difesa delle condizioni ondose di largo precedentemente individuate, sono state studiate le modifiche che subisce il moto ondoso nella propagazione verso riva conseguenti sia a processi conservativi (shoaling, la rifrazione e diffrazione) sia a processi non conservativi (dissipazioni di energia).

A tal fine è stato adoperato un modello matematico basato sulla risoluzione della *mild slope equation*.

La prima fase della modellazione numerica ha richiesto la costruzione di un adeguato reticolo batimetrico che tenesse conto della topografia sottomarina del tratto di mare di interesse.

Per le profondità più elevate, da largo fino alla -15 m, è stata utilizzata la Carta Nautica “Da Ischia a punta Licosa”, in scala 1:100.000, edita dall'Istituto Idrografico della Marina Militare.

In prossimità dell'area d'interesse la batimetria è stata integrata con il rilievo di dettaglio effettuato per gli interventi di recupero e riqualificazione della scogliera di Marina di Cassano.

Tale rilievo topo-batimetrico, ha interessato lo specchio acqueo antistante la scogliera di S.Agnello, dalla batimetrica a -46.0 m (sul l.m.m) sino alla riva.

La descrizione del modello matematico utilizzato è indicata nello studio generale.

4.1. Caratteristiche delle onde estreme in prossimità dell'area di studio.

Le condizioni ondose estreme più significative tra quelle precedentemente valutate, sono state trasferite in prossimità dell'area di studio in modo da determinare le onde necessarie per le verifiche da effettuare.

I risultati dello studio sono sintetizzati nelle Tabelle 7, 8 e 9, nelle quali sono riportate, per i diversi periodi di ritorno considerati, le caratteristiche dell'onda significativa calcolata in prossimità dell'area d'interesse.

Le ondatazioni più gravose risultano essere, quindi per i diversi periodi di ritorno :

- per TR =50 anni

DD 296°N ; H=5.81 m ; T=11.40 s

- per TR =30 anni

DD 290°N ; H=5.75 m ; T=11.07 s

- per TR =10 anni

DD 289°N ; H=4.92 m ; T=10.33 s

Tali ondazioni sono state utilizzate per verificare il moto ondoso incidente sul costone a mezzo di un idoneo modello matematico di cui si dirà in seguito.

5. ANALISI DELLE VARIAZIONI DEI LIVELLI MARINI

Il livello della superficie del mare è la condizione limite principale per la progettazione delle strutture marittime.

Nella zona di mar Tirreno dove ricade il paraggio costiero in esame le escursioni del livello del mare sono, di fatto alquanto modeste. A tale riguardo occorre distinguere le variazioni di livello indotte dalla marea astronomica, legata all'attrazione luni-solare, e quelle provocate dalla marea "meteorologica", causata, essenzialmente, dall'azione di forti venti e da brusche variazioni di pressione atmosferica.

Il sovrizzo marino dovuto al passaggio di una perturbazione atmosferica (marea meteorologica) coinvolge essenzialmente l'interazione tra vento e mare (wind setup) e la risposta di quest'ultimo alle variazioni di pressione (barometro inverso).

Il wind setup dipende dall'intensità, dalla durata, e dal cammino che compie la perturbazione e dall'angolo d'incidenza del vento rispetto alla costa. La variazione di pressione atmosferica connessa al transito di un vortice ciclonico genera una variazione di livello del mare che si incrementa a causa della diminuzione di pressione. Allo stesso modo il passaggio di un vortice anticiclonico genera un abbassamento del livello marino a causa dell'aumento di pressione.

Ulteriore fenomeno da portare in conto nella valutazione del sovrizzo del livello medio mare nel lungo periodo è il fenomeno dell'eustatismo. Le proiezioni attuali prevedono un progressivo aumento del livello marino in conseguenza dell'incremento della temperatura terrestre (effetto serra)

Per gli scopi di questo studio, ovvero verifica del ricambio idrico all'interno del bacino protetto, uno dei principali fattori responsabili di tale circolazione è la variazione di livello dovuto alla marea astronomica.

Gli altri fattori sopradetti, che determinano le variazioni di livello sono o fenomeni occasionali legati alla presenza di perturbazioni atmosferiche (marea meteorologica) oppure fenomeni legati al lungo periodo (eustatismo) e quindi non entrano in gioco per un'analisi di breve periodo.

Per questi motivi nel seguito si è valutata unicamente la marea astronomica.

Per la stima della marea astronomica sono state utilizzate le registrazioni del mareografo della rete RMN ubicato nel porto di Napoli, abbastanza prossimo al sito in esame (24Km).

6. STUDIO DEL MOTO ONDOSO INCIDENTE.

E' stata esaminata la configurazione della scogliera di Marina di Cassano, così come da progetto di completamento fornito dall'Amministrazione Comunale, ed avente titolo: "Recupero e sistemazione della scogliera di S. Agnello".

Al fine di confrontare il moto ondoso che si instaura in detta configurazione di progetto, con la configurazione attuale dell'area in esame è stato eseguito uno studio di agitazione ondosa nell'area compresa tra la nuova scogliera ed il costone in radice, mediante l'utilizzo di un idoneo modello numerico che consente di portare in conto le modifiche del moto ondoso incidente conseguenti ai processi di shoaling, rifrazione, diffrazione, frangimento, attrito sul fondale e alla riflessioni parziali sulle strutture esistenti e/o alla trasmissione attraverso strutture porose.

Proprio questi ultimi due fenomeni sono quelli che maggiormente entrano in gioco a seguito della costruzione della nuova scogliera, che può determinare una parziale riflessione del moto ondoso che si andrebbe a sommare a quello che normalmente incide sul costone.

Per poter simulare correttamente la propagazione delle agitazioni ondose si è reso necessario preliminarmente individuare un reticolo di calcolo che tenesse conto di una direzione di provenienza media tra quelle delle ondate più gravose, prime individuate, in funzione dei periodi di ritorno.

Tale direzione è stata fissata pari a 290°N.

6.1. Modello utilizzato.

Il modello matematico di simulazione utilizzato per il presente studio è basato sulla soluzione della "Elliptic Mild Slope Wave Equation" originariamente derivata da Berkoff nel 1972.

Tale modello include gli effetti dello shoaling, della rifrazione, della diffrazione, del frangimento dell'onda e dell'attrito del fondale, nella propagazione del moto ondoso.

Sono inoltre tenute in conto, riflessioni parziali da parte delle strutture esistenti e/o trasmissione attraverso strutture porose.

L'equazione alla base del modello nella sua forma generale è :

$$\nabla(c \cdot c_g \nabla \cdot \zeta) - \frac{c_g}{c} \cdot \frac{\partial^2 \zeta}{\partial t} = 0$$

dove c e c_g sono rispettivamente la celerità dell'onda e la celerità di gruppo e ζ è l'elevazione della superficie del mare.

Introducendo i pseudo flussi P^* e Q^* tale equazione può essere riscritta come un sistema di equazioni differenziali del primo ordine :

$$\frac{c_g}{c} \cdot \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial P^*}{\partial x} + \frac{\partial Q^*}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial P^*}{\partial t} + c \cdot c_g \cdot \frac{\partial \zeta}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial P^*}{\partial t} + c \cdot c_g \cdot \frac{\partial \zeta}{\partial x} = 0$$

La soluzione di questo sistema può essere espressa come :

$$\zeta = S(x, y, t)e^{i\omega t}$$

$$P^* = P(x, y, t)e^{i\omega t}$$

$$Q^* = Q(x, y, t)e^{i\omega t}$$

I valori di S , P e Q sono poi ottenuti con successive iterazioni sino al raggiungimento di uno stato stazionario.

Questo porta alle equazioni seguenti che sono generalizzate per includere la generazione interna delle onde, eventuali assorbitori dove necessari riflessione o trasmissione ad opera di strutture, attrito al fondo e frangimento:

$$\lambda_1 \cdot \frac{\partial S}{\partial t} + \lambda_2 \cdot S + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} = S_{generazione}$$

$$\lambda_1 \cdot \frac{\partial P}{\partial t} + \lambda_3 P + c_g^2 \frac{\partial S}{\partial x} = 0$$

$$\lambda_1 \cdot \frac{\partial Q}{\partial t} + \lambda_3 Q + c_g^2 \frac{\partial S}{\partial y} = 0$$

dove

$$\lambda_1 = \frac{c_g}{c}$$

$$\lambda_2 = i \cdot \frac{c_g}{c} \cdot \varpi + f_s$$

$$\lambda_3 = (i + f_p) \cdot \frac{c_g}{c} \cdot \varpi + f_s + e_f + e_b$$

In tali equazioni i simboli hanno i seguenti significati :

ζ : elevazione della superficie del mare

P^* : pseudo densità di flusso nella direzione x

Q^* : pseudo densità di flusso nella direzione y

S, P, Q: funzioni complesse

ω : frequenza angolare

i: unità immaginaria

f_p : coefficiente di attrito dovuto alla porosità

f_s : coefficiente di perdita di energia dovuto agli assorbitori

e_f : dissipazione di energia dovuta all'attrito al fondo

e_b : dissipazione di energia dovuta al frangimento

Il modello risolve le equazioni differenziali con una discretizzazione spaziale su una griglia rettangolare operando una serie di iterazioni sino al raggiungimento di uno stato stazionario.

6.2. Coefficienti di riflessione

I coefficienti di riflessione delle opere perimetrali dello specchio d'acqua, adottati nel modello di propagazione, sono stati fissati in base all'esperienza e alle indicazioni comunemente riportate nella letteratura tecnica.

Per quanto concerne le opere a gettata relative alle mantellate delle strutture a scogliera sono stati considerati dei coefficienti di riflessione del 40%.

Le pareti di costa alta, invece, sono state considerate con un potere riflettente pari al 90% dell'onda incidente.

6.3. Risultati dello studio

I risultati dello studio sono espressi in termini di altezze d'onda significative residue, ottenute come prodotto del coefficiente di agitazione, rilevato nell'area d'interesse, per il valore dell'altezza d'onda incidente. Tale coefficiente di agitazione esprime, infatti, il rapporto tra l'altezza d'onda riscontrata in tutti i punti interni all'area e l'altezza d'onda incidente impostata in input.

I risultati del modello sono riportati nelle Figure 1, 2 e 3 per quanto riguarda lo stato attuale e nelle Figure da 4, 5 e 6 per lo stato di progetto.

Dal confronto dei risultati si può notare in primo luogo, come previsto, la parziale riflessione del moto ondoso da parte sia della scogliera di progetto che da parte della scogliera semisommersa esistente.

Si può in primo luogo notare che la presenza della scogliera di progetto emergente non determina variazioni sostanziali in tali fenomeni di riflessione.

Andando ad analizzare, infatti, i risultati nello specifico, si può notare che per il periodo di ritorno di 50 anni, nello stato attuale si riscontra in prossimità del piede del costone un valore di altezza d'onda compreso tra 3 e 4 m nella area della radice della scogliera con valori un po' più bassi allontanandosi da questa. Tale situazione resta pressoché invariata nello stato di progetto.

Con le ondazioni con periodo di ritorno trentennale, si verificano valori di altezza d'onda quasi identici alle condizioni cinquantennali, data la modesta variazione di queste onde tra loro già da largo.

Anche in questo caso comunque le condizioni prima e dopo la costruzione della scogliera sembrano restare invariate.

Relativamente al periodo di ritorno di 10 anni, al piede del costone in radice alla scogliera, si registrano valori di altezza d'onda di 2-3 m che anche in questo caso restano invariati anche in presenza della scogliera di progetto.

In definitiva quindi si può affermare che la costruzione della nuova scogliera frangiflutti non sembra modificare il preesistente regime idrodinamico nell'area di studio e conseguentemente non dovrebbe determinare una variazione delle forzanti con le quali attualmente il costone limitrofo è in equilibrio.

7. ANALISI DEL RICAMBIO IDRICO ALL'INTERNO DEL BACINO PROTETTO

Il ricambio idrico all'interno del bacino protetto dalle due scogliere è dovuto, come detto, all'azione concomitante di differenti fattori naturali che determinano uno scambio di masse idriche tra il bacino ed il mare. Tra essi si possono annoverare la marea, il vento (sia in termini di correnti superficiali indotte da esso, sia in termini di variazione del livello idrico nel bacino), le correnti idriche che si attivano all'interno del bacino per effetto della differenza di densità dell'acqua nel bacino e nel mare circostante, il campo idrodinamico indotto dal moto ondoso entrante nel bacino.

7.1. Azione della marea

Come noto, tra i movimenti oscillatori cui è sottoposto il livello marino, le maree sono tra i più uniformi e gli unici assolutamente persistenti. Essi sono generati per azione di una forza esterna (forza di marea) che deriva dalla differente entità dell'attrazione luni-solare fra la superficie e il centro della Terra.

La marea, per S.Agnello è stata valutata nei paragrafi precedenti.

Come detto, l'oscillazione di marea ha una ampiezza variabile durante l'anno, raggiungendo il suo massimo nei giorni prossimi alle sizigie (marea sizigiale) e il suo minimo, in prossimità delle quadrature (maree alle quadrature). Come indicato nella relazione meteomarina, tali variazioni di livello sono pari a $\pm 0.2\text{m}$ (marea sizigiale) e $\pm 0.1\text{m}$ (maree alle quadrature).

Per effetto degli innalzamenti di marea l'acqua del mare entra nel bacino miscelandosi con l'acqua presente; durante le fasi di abbassamento una parte del volume idrico contenuto nel bacino esce all'esterno.

Il risultato è un ricambio di una parte dell'acqua contenuta nel bacino con una parte di acqua proveniente dall'esterno. L'efficienza di tale ricambio dipende prevalentemente da due fattori. In primo luogo dal rapporto tra il volume di acqua che entra nel porto in ogni ciclo di marea (definito tidal prism) e il volume di acqua totale contenuto nel bacino portuale. Questo rapporto dipende, a sua volta, dall'ampiezza della marea, dall'efficienza idraulica del varco di ingresso, e dalla profondità del fondale all'interno del bacino. Inoltre, il ricambio dipende dalla circolazione idrica che, per effetto

della corrente che entra, in concomitanza con gli eventi mareali, si instaura all'interno del bacino.

Il volume idrico che, in ogni ciclo di marea, entra nel porto (tidal prism) può essere determinato come segue.

Tenendo presente la configurazione del bacino di progetto, la velocità del flusso entrante attraverso il varco di ingresso può essere calcolata avvalendosi della equazione del moto unidimensionale di un flusso idrico in un canale:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} = -g \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{f}{8R} V |V| \quad (a)$$

in cui:

V è la velocità media nel varco;

h è la profondità in corrispondenza del varco di ingresso;

f è il coefficiente di attrito al fondo;

R è il raggio idraulico della sezione trasversale del varco di ingresso;

g è l'accelerazione di gravità;

x è la coordinata spaziale nella direzione del flusso;

t è la variabile temporale.

All'equazione unidimensionale del moto occorre associare l'equazione di continuità:

$$V A_{avg} = A_b \frac{dh_b}{dt} \quad (b)$$

in cui:

A_{avg} è la sezione trasversale del varco;

A_b è la superficie del bacino portuale;

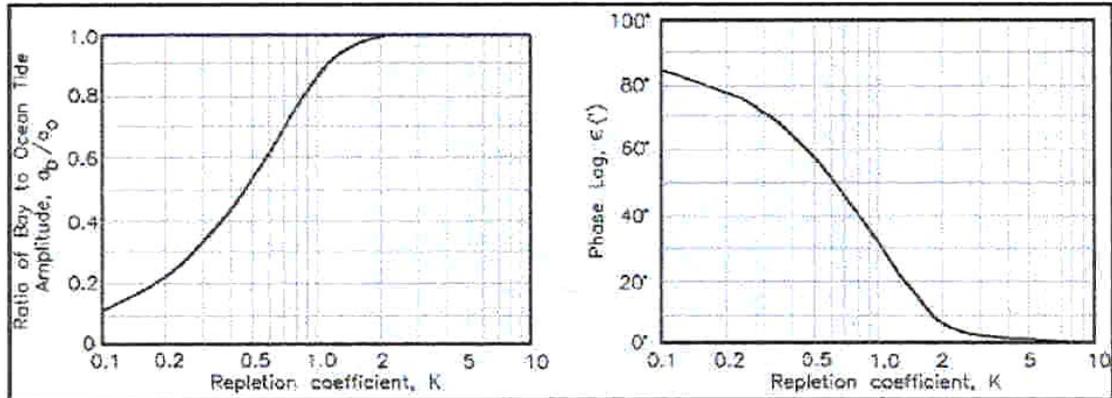
dh_b/dt è la variazione nel tempo del livello idrico nel porto.

La marea nel bacino, in generale, è espressa dalla funzione:

$$h_b = a_b \cos\left(\frac{2\pi t}{T} - \varepsilon\right) \quad (c)$$

essendo h_b l'oscillazione del livello idrico nel porto al tempo t, a_b l'oscillazione massima nel bacino rispetto al livello medio, T il periodo della marea ed ε il ritardo di fase rispetto alla marea all'esterno del bacino.

Le equazioni (a) e (b) sono state risolte da Keulegan¹ che ha fornito, in funzione di un parametro K, la soluzione per la velocità e per il conseguente innalzamento del livello all'interno del bacino. Nella figura seguente è riportato il valore di a_b/a_o e di ϵ al variare del parametro K.



Il parametro K è definito dalla seguente espressione:

$$K = \frac{T A_{avg}}{2\pi A_b} \sqrt{\frac{2g}{a_o \left[k_{en} + k_{ex} + \frac{fL}{4R} \right]}} \quad (d)$$

in cui:

A_{avg} , A_b , g , f e R hanno il significato già illustrato e

T è il periodo della marea;

a_o è l'ampiezza di marea, intesa come la metà della differenza tra il livello di alta e di bassa marea;

k_{en} è il coefficiente di perdita di energia entrante;

k_{ex} è il coefficiente di perdita di energia uscente;

L è la lunghezza del varco di ingresso.

Assumendo per k_{en} e k_{ex} i valori riportati in letteratura ($k_{en} = 0.05$; $k_{ex} = 1$), si ottiene un valore di K superiore a 100.

¹ Keulegan, G.H. 1967. "Tidal Flow in Entrances Water-Level Fluctuations of Basins in Communications with Sea", Technical Bulletin N. 14, Committee on Tidal Hydraulics, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.

Utilizzando pertanto le curve proposte da Kaulegan per il calcolo dell'ampiezza di marea all'interno di un bacino e il relativo sfasamento rispetto alla marea all'esterno di esso, si ottiene:

$$\frac{a_b}{a_0} = 1.0$$

$$\varepsilon = 0^\circ$$

La marea generata nel bacino in esame è dunque esattamente in fase con la marea all'esterno e ha la stessa ampiezza.

Se ne deduce che la funzione con la quale si può descrivere l'andamento nel tempo del livello idrico nel bacino per effetto della marea, che in generale è espressa dalla funzione (c), può scriversi per l'area in esame come segue:

$$h_b = a_0 \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \quad (e)$$

essendo h_b l'oscillazione del livello idrico nel porto al tempo t , a_0 l'oscillazione massima di marea rispetto al livello medio, e T il periodo della marea.

Ne risulta che il volume idrico che, durante ogni ciclo di marea entra/esce dal porto e quindi è soggetto al ricambio è:

$$P = 2 a_b A_b \quad (f)$$

Nel caso di S.Agnello, assumendo $a_b = 0,20$ m.

Posto $A_b = 53.000$ mq circa, si ottiene che in ogni ciclo di marea il volume idrico movimentato è 21.200 mc.

Un altro modo per il calcolo del volume idrico movimentato parte dalla conoscenza della portata idrica effluente dal varco d'ingresso durante il ciclo di marea.

In questo caso assumendo un andamento sinusoidale di tale portata nel tempo e integrando la porzione del grafico del ciclo di marea per la parte in entrata o in uscita si ottiene :

$$P = \frac{T \cdot Q_{\max}}{\pi} \quad (g)$$

In questo caso per calcolare il valore della portata passante per il varco d'ingresso, è stata condotta una simulazione con modello idrodinamico in cui come condizione al contorno è stata posta la variazione di livello dovuta alla marea con due alte e due basse maree di ± 0.2 m per un periodo di 24 ore.

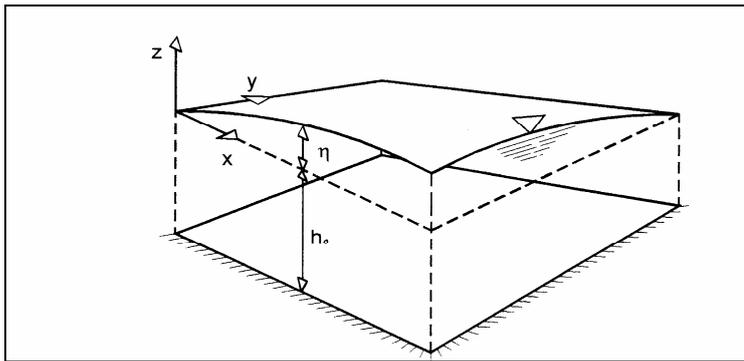
Modello di simulazione delle correnti di circolazione costiera

Le correnti di circolazione originate dagli effetti di marea sono state simulate utilizzando un modello bidimensionale di tipo 2DH (*2-Dimensional Horizontal*), in cui le equazioni di continuità e del moto sono integrate lungo la verticale.

Tale approccio è utilizzabile nell'ipotesi di shallow water, che si basa sulle seguenti assunzioni:

- La componente verticale di velocità è piccola rispetto alle componenti orizzontali
- I gradienti delle componenti orizzontali di velocità sono trascurabili

L'ipotesi di *shallow water*, come si può intuire dal suo significato letterale, ha senso quando si studia l'idrodinamica di un dominio in cui le dimensioni orizzontali prevalgono di gran lunga sulla dimensione verticale.



Tale ipotesi è senza dubbio verificata negli specchi d'acqua costieri, in cui le dimensioni orizzontali sono dell'ordine dei chilometri, a fronte di profondità dell'ordine dei metri, o, al più, delle decine di metri.

In un riferimento cartesiano con assi x, y orizzontali e z verticale le equazioni del modello idrodinamico, scritte in forma conservativa, sono le seguenti:

$$\begin{cases} \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{P^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{PQ}{h} \right) + g \cdot h \frac{\partial \eta}{\partial x} + g \cdot P \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{C^2 \cdot h^2} + \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right) = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{PQ}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{Q^2}{h} \right) + g \cdot h \frac{\partial \eta}{\partial y} + g \cdot Q \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{C^2 \cdot h^2} + \left(\frac{\partial S_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right) = 0 \\ \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} = 0 \end{cases}$$

Le prime due equazioni si ottengono mediando lungo la verticale le equazioni del moto lungo gli assi x ed y . La terza equazione rappresenta l'equazione di continuità per un fluido incomprimibile, mediata lungo la verticale.

Nel sistema le grandezze presenti hanno il seguente significato:

$P(x,y,z,t)$ e $Q(x,y,z,t)$ sono i flussi idrici lungo gli assi x , y pari, rispettivamente, ai prodotti $U \cdot h$ e $V \cdot h$, essendo U e V le componenti del vettore velocità, lungo x e y , mediate lungo la verticale.

$\eta(x,y,t)$ rappresenta l'innalzamento, del pelo libero rispetto alla superficie di riposo, che, nel caso in esame, coincide con il livello medio mare.

$h(x,y,t)$ è il tirante idrico totale, somma della profondità media e del sovralzato istantaneo, secondo la formula: $h(x,y,t) = h_0(x,y) + \eta(x,y,t)$.

C è il coefficiente di resistenza di Chezy.

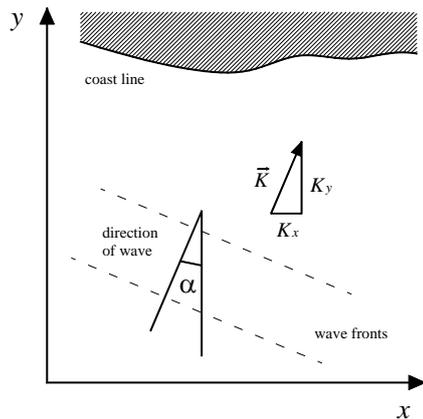
S_{xx} , S_{xy} , S_{yx} sono le componenti dei radiation stress, dovuti alla presenza del moto ondoso, e rappresentano, nelle equazioni del moto, i termini sorgente che originano il campo idrodinamico.

I radiation stress sono sforzi tangenziali associati al trasporto di massa provocato dal moto ondoso. Essi rappresentano gli incrementi medi temporali in un intervallo pari a un periodo ondoso, della pressione agente sulle superfici laterali una colonna d'acqua avente base unitaria e altezza pari al tirante idrico.

In profondità illimitata i radiation stress sono nulli (moto ondoso puramente oscillatorio); essi crescono alle basse profondità e divengono particolarmente intensi nella surf zone, cioè nel tratto di mare compreso tra la linea dei frangenti e la linea di riva.

Nelle equazioni del campo idrodinamico i termini di radiation stress esprimono la presenza del moto ondoso. Questo significa che, essendo l'onda presente solo attraverso grandezze che sono mediate nel periodo, il modello non considera la componente oscillatoria del moto ondoso. Ciò è coerente con gli obiettivi del presente studio.

Per la valutazione dei termini di radiation stress si utilizza la teoria di Stokes al II ordine di approssimazione. Lo schema di propagazione del moto ondoso è illustrato nella figura seguente.



Le espressioni dei termini di radiation stress sono le seguenti:

$$S_{xx} = \frac{1}{2}EG + \frac{1}{2}E(1+G)\cos^2 \alpha$$

$$S_{xy} = \frac{1}{2}E(1+G)\cos \alpha \sin \alpha$$

$$S_{yy} = \frac{1}{2}E(1+G)\sin^2 \alpha$$

in cui: $E = \frac{1}{8}\rho g H^2$ e $G = \frac{2Kh_0}{\sinh(2Kh_0)}$

I risultati del modello di simulazione, sono riportati nelle figure 7 e 8, in cui sono indicati i vettori velocità nel caso in cui vi sia un dislivello di -0.2m e +0.2 m tra l'interno e l'esterno del bacino.

Come si può notare dalle figure i vettori velocità assumono una maggiore intensità nel varco principale e nel varco in radice della nuova scogliera e vanno diminuendo poi verso la parte centrale del bacino.

La portata entrante/uscente dai varchi si è ricavata estraendo tali valori lungo le sezioni in corrispondenza dei passaggi. Sommando la quota del varco principale con quella del varco più piccola si è ottenuto, in totale, un valore di portata pari a 1.65 mc/s.

Applicando la formula (g) si ottiene in questo modo un valore del volume idrico movimentato in un ciclo di marea pari a 22700 mc.

Tale risultato è praticamente in accordo con quanto calcolato in precedenza. In definitiva quindi si può considerare che ad ogni ciclo di marea corrisponde un ricambio idrico, media dei due valori calcolati, pari a circa 21950 mc.

Ponendo la profondità media del bacino pari a 5.67 m, si ottiene un volume totale di 301000 mc circa di acqua.

Considerando dunque che in ogni ciclo di marea avvenga il ricambio idrico su calcolato, si può concludere che il tempo necessario affinché il solo fenomeno mareale determini il ricambio dell'intero volume idrico contenuto nel bacino è di circa 13 cicli/giorni.

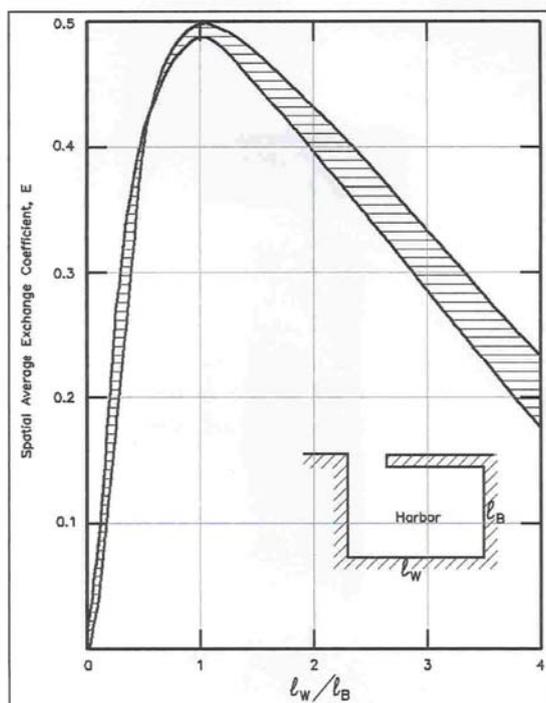
L'efficienza della configurazione nei confronti della circolazione interna può essere valutata utilizzando il coefficiente di ricambio E proposto da Nece e Richey, così come suggerito dal Coastal Engineering Manual.

Tale coefficiente è definito come segue:

$$E = 1 - \left(\frac{C_i}{C_0} \right)^{\frac{1}{i}} \quad (h)$$

essendo C_0 la concentrazione iniziale di una data sostanza nell'acqua del porto e C_i la concentrazione della stessa sostanza dopo i cicli di marea. E può essere definito come valore medio per l'intero bacino, rappresentando l'aliquota di volume del porto che si mescola con l'acqua di mare ad ogni ciclo di marea.

Il coefficiente E dipende, secondo quanto risultato da modelli fisici e numerici, dalla configurazione geometrica del porto. In particolare, per un porto di tipo rettangolare, a cui si può assimilare il porto in progetto, il coefficiente E è funzione del rapporto tra le due dimensioni l_W e l_B .



Indicando con l_w la dimensione in direzione parallela al molo di sottoflutto e l_B quella ortogonale, si ottiene, utilizzando il grafico riportato nel Coastal Engineering Manual, un valore di E pari a circa 0,47 (Figura precedente).

Inserendo tale valore nella formula (h) si ottengono i valori del rapporto C_i/C_o riportati nella seguente tabella.

cicli	C_i/C_o
1	0.53000
2	0.28090
3	0.14888
4	0.07890
5	0.04182
6	0.02216
7	0.01175
8	0.00623
9	0.00330
10	0.00175
11	0.00093
12	0.00049
13	0.00026

*Rapporto tra la concentrazione iniziale di una sostanza nel bacino C_0
e la concentrazione della stessa sostanza dopo i cicli di marea C_i*

In conclusione quindi dopo i 13 cicli di marea necessari per il ricambio dell'intero volume idrico del bacino si determina un abbattimento della concentrazione iniziale pari al 99.97%.

7.2. Azione del vento

L'azione del vento sulla superficie del bacino genera una corrente superficiale che, per le profondità che si riscontrano all'interno del bacino, ha essenzialmente la stessa direzione del vento. Da risultati sperimentali disponibili in letteratura per casi analoghi, la velocità della corrente superficiale è pari a circa il 2 – 3% della velocità del vento che la genera.

7.3. Azione delle correnti generate dalla differenza di densità

L'acqua nel bacino può presentare, per effetto di una differente temperatura o, più frequentemente, per la presenza di sostanze disciolte in essa, una densità differente da quella dell'acqua nel mare aperto. Questa differenza genera, anche per differenze di densità dell'ordine di 1 kg/mc, delle correnti idriche che possono avere intensità ben superiore a quelle associate ai flussi di marea.

7.4. Conclusioni

Il volume idrico contenuto nel bacino subisce, per effetto del solo fenomeno della marea, un completo ricambio in un tempo di circa 13 giorni. Il tempo in cui avviene in realtà il ricambio è comunque inferiore in quanto:

- Il vento genera nel bacino un regime di correnti superficiali che contribuiscono ulteriormente a favorire la circolazione idrica e a migliorare le caratteristiche chimico fisiche delle acque.
- Le differenze di densità delle acque del bacino e del mare generano correnti che favoriscono il fenomeno del ricambio.
- L'agitazione ondosa residua, seppur modesta, genera comunque un campo di moto tale da contribuire alla diluizione e all'allontanamento delle sostanze presenti.

Eventuali verifiche durante l'esercizio porteranno alla conferma delle assunzioni del presente studio e nel corso di esercizio delle attività potranno essere prese eventuali misure di mitigazione del fenomeno.

In definitiva i tempi di ricambi così calcolati sembrano idonei per garantire i requisiti di balneabilità della spiaggia della Caterina, anche in funzione dello specifico risultato del modello di simulazioni delle correnti che proprio in prossimità della spiaggia suddetta, mostra la presenza di correnti di circolazione che lambiscono il litorale, garantendo in questo modo che non si verifichino fenomeni di ristagno.

INGCOST s.r.l.

Amm. Unico ing. Gerardo D'Antonio



Tabelle

Periodo di ritorno = 50 Anni					
DD	Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)
10 °N	1.36	5.01	190 °N	0.57	3.25
20 °N			200 °N	0.79	3.82
30 °N	1.66	5.54	210 °N	1.64	5.51
40 °N	1.55	5.35	220 °N	2.37	6.61
50 °N	0.98	4.24	230 °N	2.95	7.38
60 °N	0.88	4.03	240 °N	6.03	10.56
70 °N	0.65	3.47	250 °N	4.75	9.37
80 °N			260 °N	5.73	10.29
90 °N			270 °N	7.35	11.65
100 °N			280 °N	7.03	11.40
110 °N			290 °N	4.83	9.44
120 °N			300 °N	4.85	9.47
130 °N			310 °N	3.10	7.57
140 °N			320 °N	3.00	7.44
150 °N			330 °N	1.66	5.54
160 °N	0.62	3.39	340 °N	1.54	5.33
170 °N	0.70	3.60	350 °N	1.51	5.29
180 °N	0.65	3.46	360 °N	1.65	5.53

Tab. 1 – Altezze e periodi significativi delle onde estreme al largo di S.Agnello
Periodo di ritorno TR = 50 anni

Periodo di ritorno = 30 Anni					
DD	Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)
10 °N	1.29	4.89	190 °N	0.54	3.16
20 °N			200 °N	0.76	3.74
30 °N	1.58	5.40	210 °N	1.54	5.34
40 °N	1.46	5.20	220 °N	2.23	6.42
50 °N	0.94	4.16	230 °N	2.81	7.21
60 °N	0.84	3.93	240 °N	5.62	10.19
70 °N	0.63	3.40	250 °N	4.49	9.11
80 °N			260 °N	5.38	9.97
90 °N			270 °N	6.93	11.31
100 °N			280 °N	6.63	11.07
110 °N			290 °N	4.42	9.04
120 °N			300 °N	4.42	9.03
130 °N			310 °N	2.79	7.19
140 °N			320 °N	2.69	7.06
150 °N			330 °N	1.54	5.33
160 °N	0.58	3.28	340 °N	1.47	5.22
170 °N	0.66	3.49	350 °N	1.44	5.17
180 °N	0.60	3.34	360 °N	1.57	5.39

Tab. 2 – Altezze e periodi significativi delle onde estreme al largo di S.Agnello
Periodo di ritorno TR = 30 anni

Periodo di ritorno = 10 Anni					
DD	Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)
10 °N	1.16	4.62	190 °N	0.47	2.96
20 °N			200 °N	0.68	3.54
30 °N	1.39	5.07	210 °N	1.31	4.93
40 °N	1.27	4.85	220 °N	1.94	5.99
50 °N	0.85	3.96	230 °N	2.52	6.82
60 °N	0.74	3.70	240 °N	4.72	9.33
70 °N	0.57	3.24	250 °N	3.92	8.51
80 °N			260 °N	4.62	9.23
90 °N			270 °N	6.01	10.53
100 °N			280 °N	5.77	10.33
110 °N			290 °N	3.54	8.09
120 °N			300 °N	3.47	8.01
130 °N			310 °N	2.12	6.26
140 °N			320 °N	2.03	6.12
150 °N			330 °N	1.28	4.85
160 °N	0.49	3.02	340 °N	1.33	4.96
170 °N	0.56	3.22	350 °N	1.29	4.89
180 °N	0.51	3.08	360 °N	1.40	5.09

Tab. 3 – Altezze e periodi significativi delle onde estreme al largo di S.Agnello
Periodo di ritorno TR = 10 anni

DD	Hs (m)	T (s)
280 °N	7.03	11.40
290 °N	4.83	9.44
300 °N	4.85	9.47

Tab. 4 – Altezze e periodi significativi delle onde estreme da trasferire sottocosta (TR 50 anni)

DD	Hs (m)	T (s)
280 °N	6.63	11.07
290 °N	4.42	9.04
300 °N	4.42	9.03

Tab. 5 – Altezze e periodi significativi delle onde estreme da trasferire sottocosta (TR 30 anni)

DD	Hs (m)	T (s)
280 °N	5.77	10.33
290 °N	3.54	8.09
300 °N	3.47	8.01

Tab. 6 – Altezze e periodi significativi delle onde estreme da trasferire sottocosta (TR 10 anni)

LARGO			SOTTOCOSTA		
DD	Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)
280 °N	7.03	11.40	296 °N	5.81	11.40
290 °N	4.83	9.44	297 °N	4.15	9.44
300 °N	4.85	9.47	304 °N	4.34	9.47

Tab. 7 – Altezze e periodi significativi delle onde estreme sottocosta
(TR 50 anni)

LARGO			SOTTOCOSTA		
DD	Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)
280 °N	6.63	11.07	290 °N	5.75	11.07
290 °N	4.42	9.04	294 °N	3.87	9.04
300 °N	4.42	9.03	303 °N	4.03	9.03

Tab. 8 – Altezze e periodi significativi delle onde estreme sottocosta
(TR 30 anni)

LARGO			SOTTOCOSTA		
DD	Hs (m)	T (s)	DD	Hs (m)	T (s)
280 °N	5.77	10.33	289 °N	4.92	10.33
290 °N	3.54	8.09	292 °N	3.32	8.09
300 °N	3.47	8.01	301 °N	3.28	8.01

Tab. 9 – Altezze e periodi significativi delle onde estreme sottocosta
(TR 10 anni)

Figure

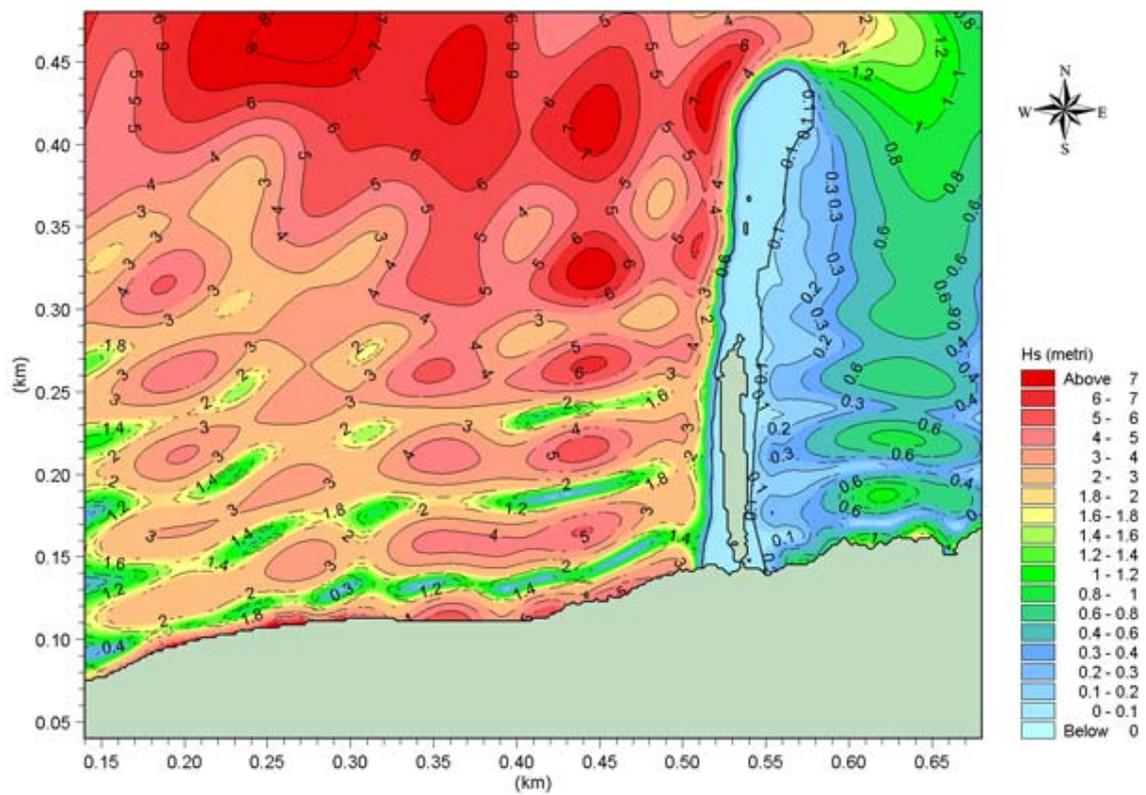


Fig. 1 – Moto ondoso (Stato attuale)
Direzione 290°N ; Altezza 5.81 m ; Periodo 11.40 s ; TR = 50 anni

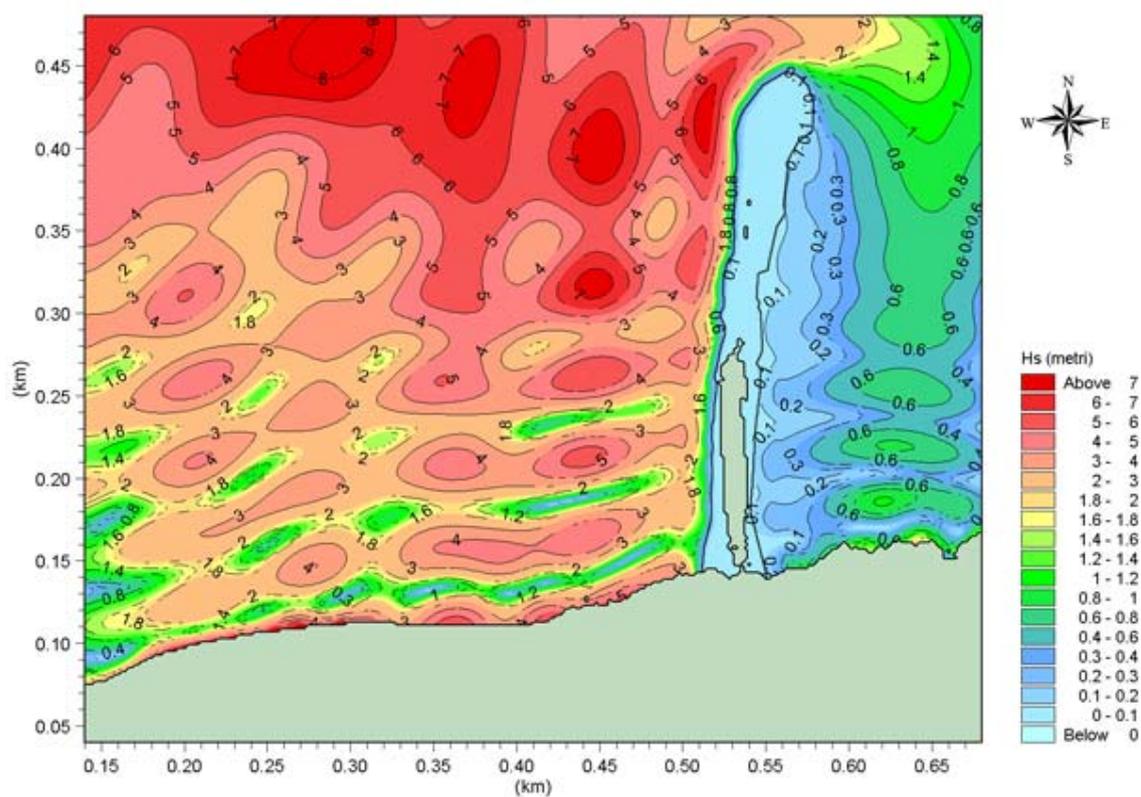


Fig. 2 – Moto ondoso (Stato attuale)
Direzione 290°N ; Altezza 5.75 m ; Periodo 11.07 s ; TR = 30 anni

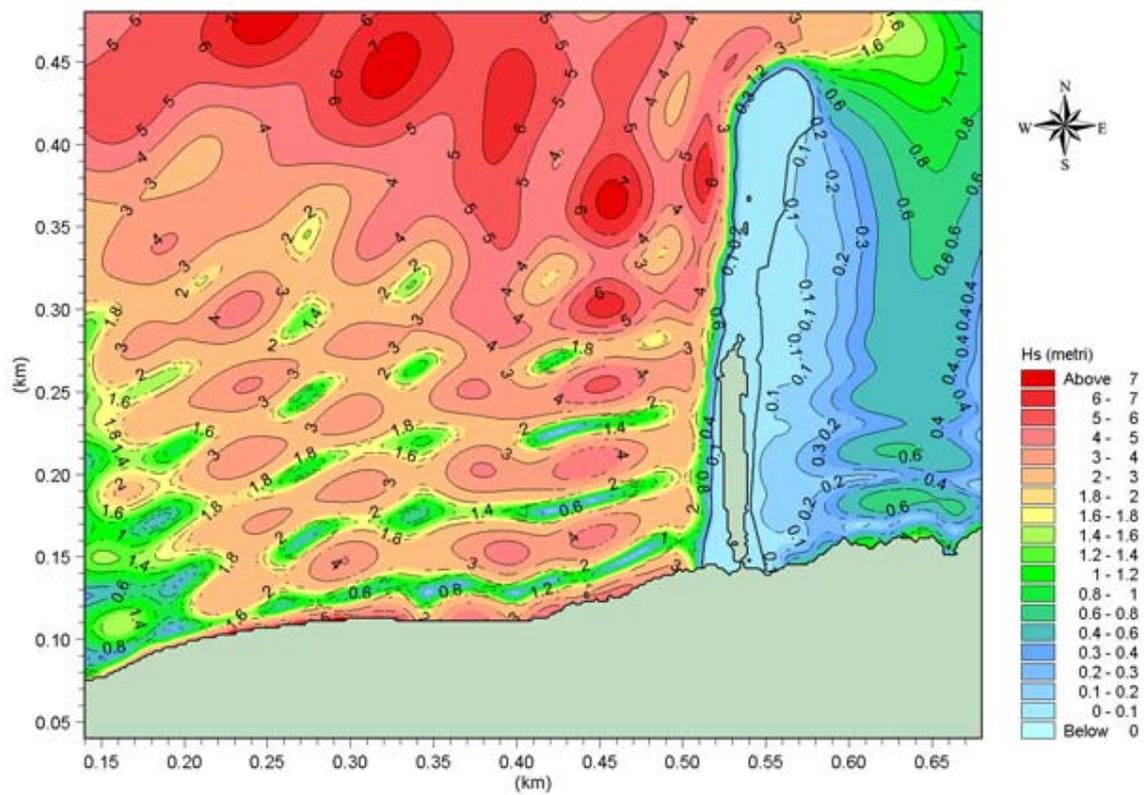


Fig. 3 – Moto ondoso (Stato attuale)
Direzione 290°N ; Altezza 4.92 m ; Periodo 10.33 s ; TR = 10 anni

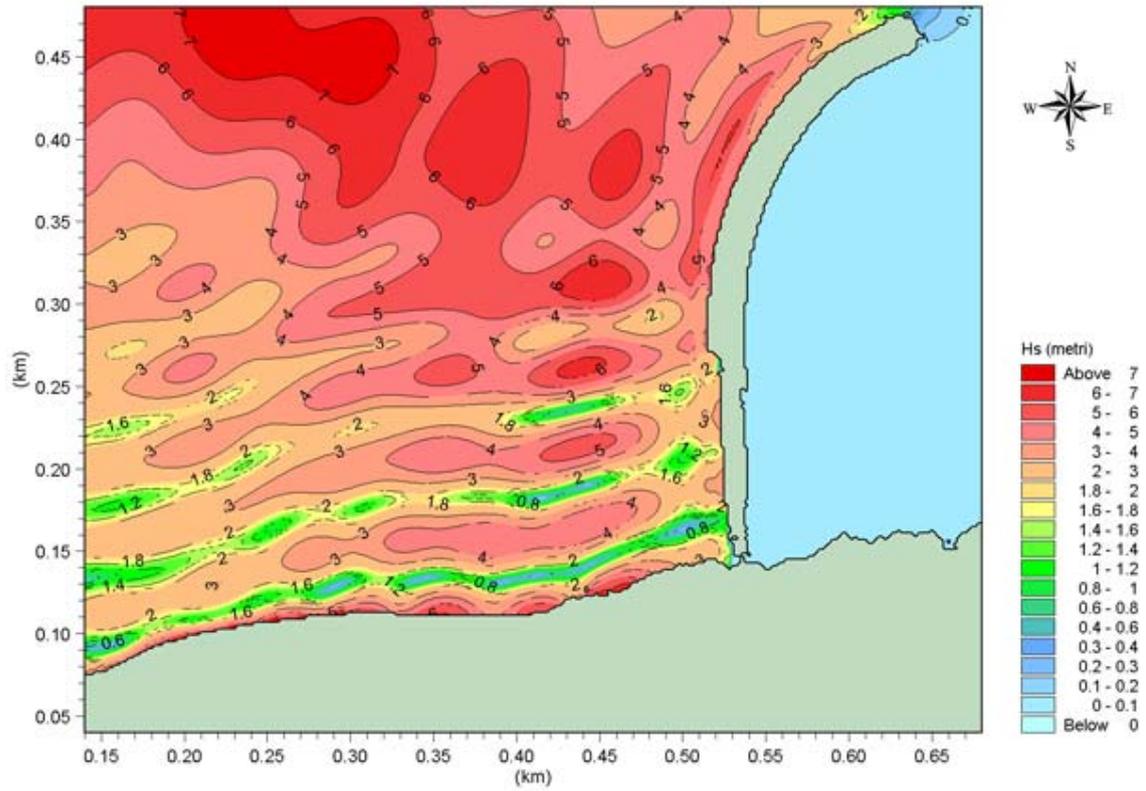


Fig. 4 – Moto ondoso (Stato progetto)
Direzione 290°N ; Altezza 5.81 m ; Periodo 11.40 s ; TR = 50 anni

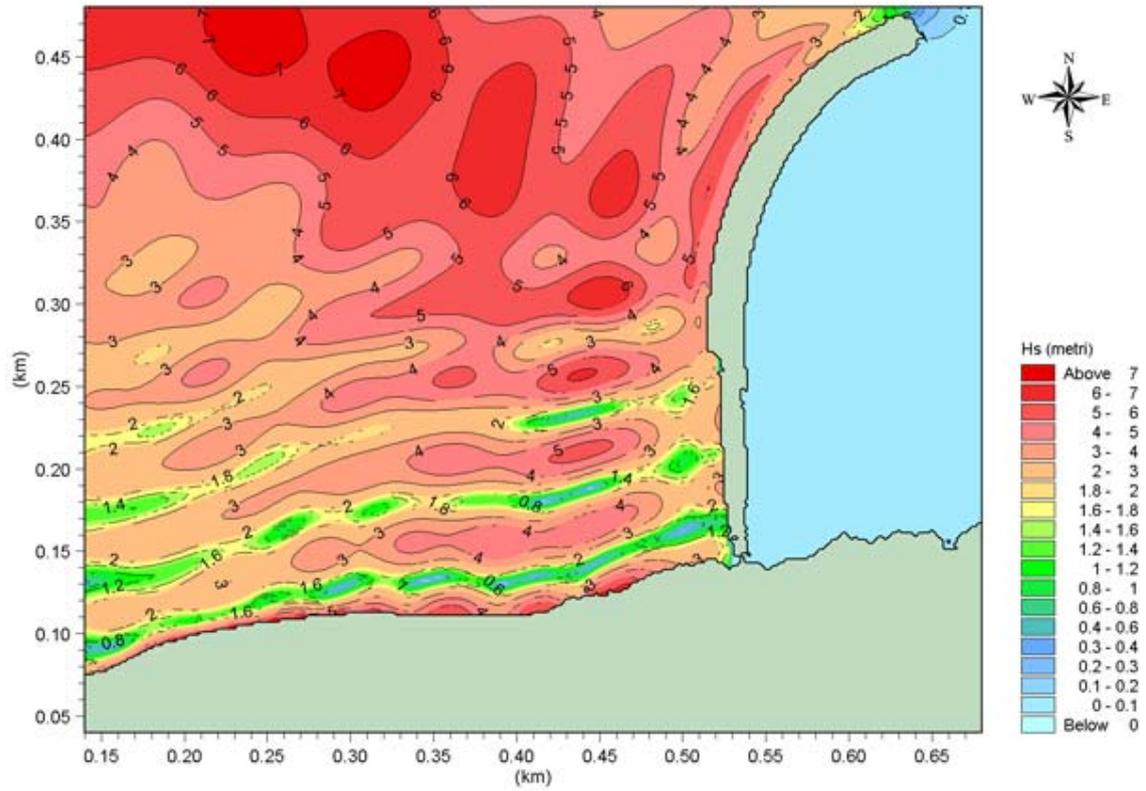


Fig. 5 – Moto ondoso (Stato progetto)
Direzione 290°N ; Altezza 5.75 m ; Periodo 11.07 s ; TR = 30 anni

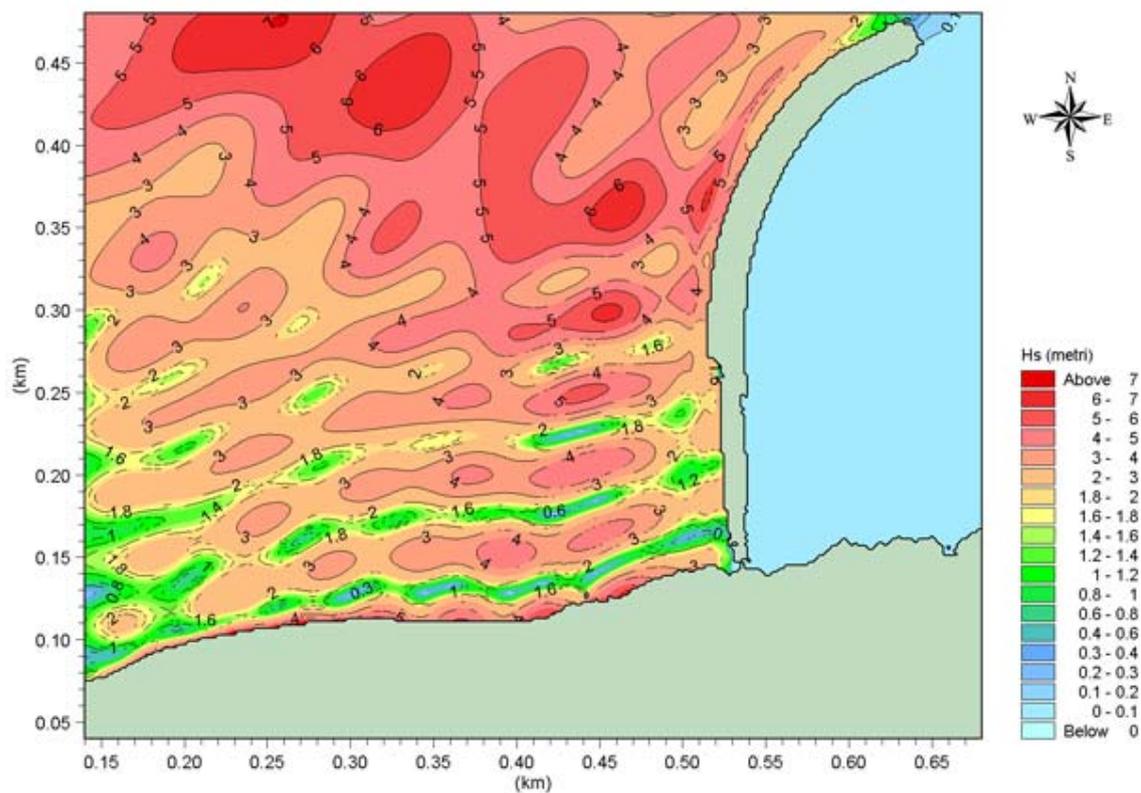


Fig. 6 – Moto ondoso (Stato progetto)
Direzione 290°N ; Altezza 4.92 m ; Periodo 10.33 s ; TR = 10 anni

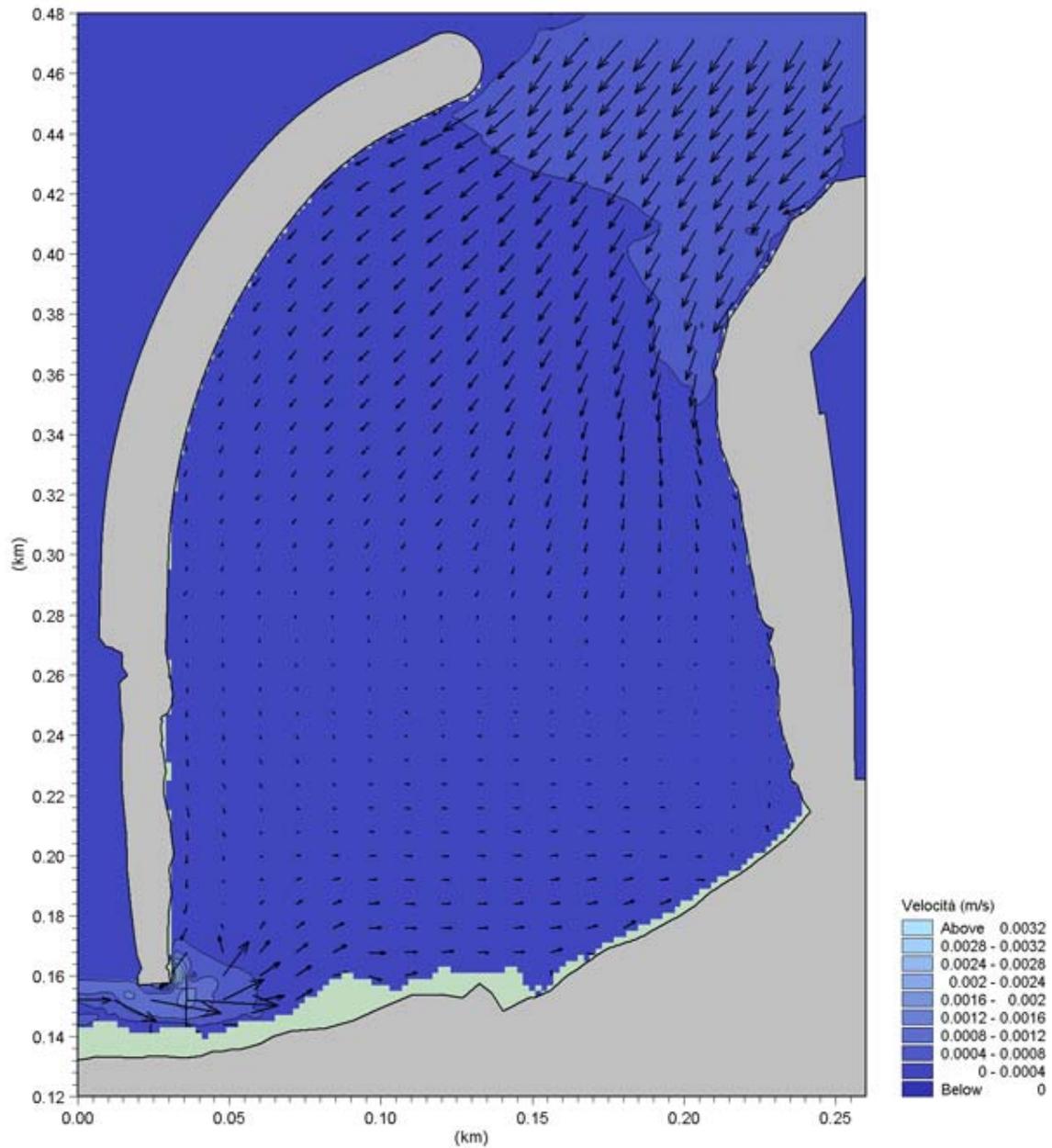


Fig. 7 – Correnti di marea generate da un dislivello di +0.2m all'esterno del bacino

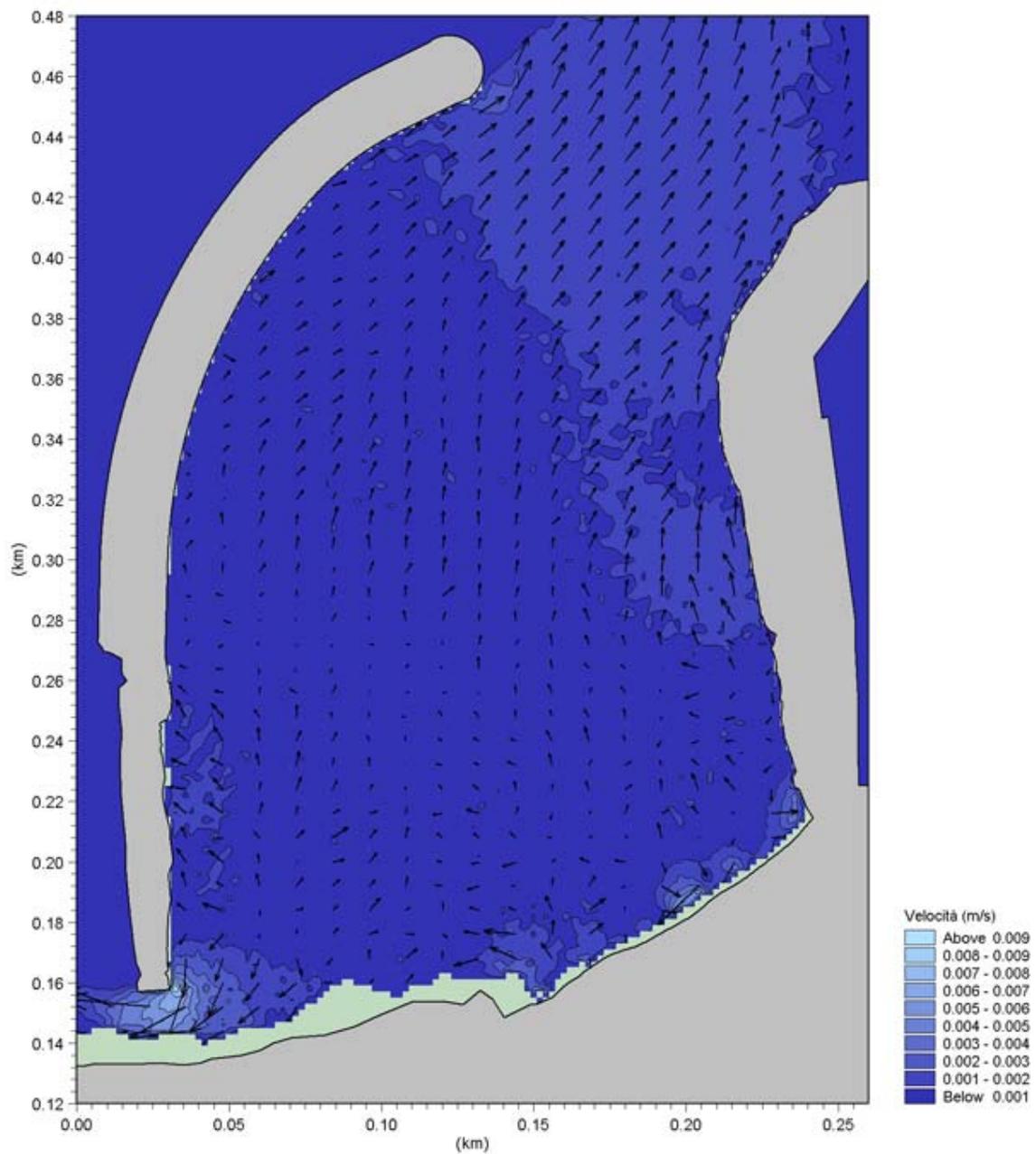


Fig. 8 – Correnti di marea generate da un dislivello di -0.2m all'esterno del bacino