COMMITTENTE:

RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

DIREZIONE PRODUZIONE
DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE – GENOVA

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI IMPRESE:

MI.COS s.p.a. - IVECOS s.p.a.
SVECO s.r.l.

PROGETTAZIONE:

STUDIOELB Ingegneri Associati
Dott. Ing. Ernesto LA BARBERA - Dott. Ing. Riccardo GIAMMARINI
Dott. Ing. Andrea DEPRATI - Dott. Ing. Simona CARREGA
Dott. Ing. Michela LA BARBERA - Dott. Ing. Mauro SCAGLIONE
Corso Torino 17/6 sc.A - 16129 Genova
Tel. 010.5740568 - fax : 010.4211059
e-mail: inge@studioelb.it - PEC: studio@pec.studioelb.it

SOGGETTO TECNICO: **DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE - GENOVA**
S.O. INGEGNERIA E TECNOLOGIE

PROGETTO DEFINITIVO

Interventi strutturali di riqualificazione e potenziamento dell'arenile a completamento delle opere di difesa della linea ferroviaria Genova Sampierdarena - Confine Francese in loc. Giunchetto - Comune di Bordighera

STUDIO METEO - MARINO

SCALA: -

Tav. **R04**

PROGETTO/ANNO	SOTTOPR./INT.	LIVELLO	NOME DOC.	PROGR.OP.	FASE FUNZ.	NUMERAZ.
051005	015	PD	TSRT	04	--	

Revis.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
00	EMISSIONE	Studioelb Ing. Associati	05.10.2011								
Verifica e validazione R.F.I.											

POSIZIONE ARCHIVIO

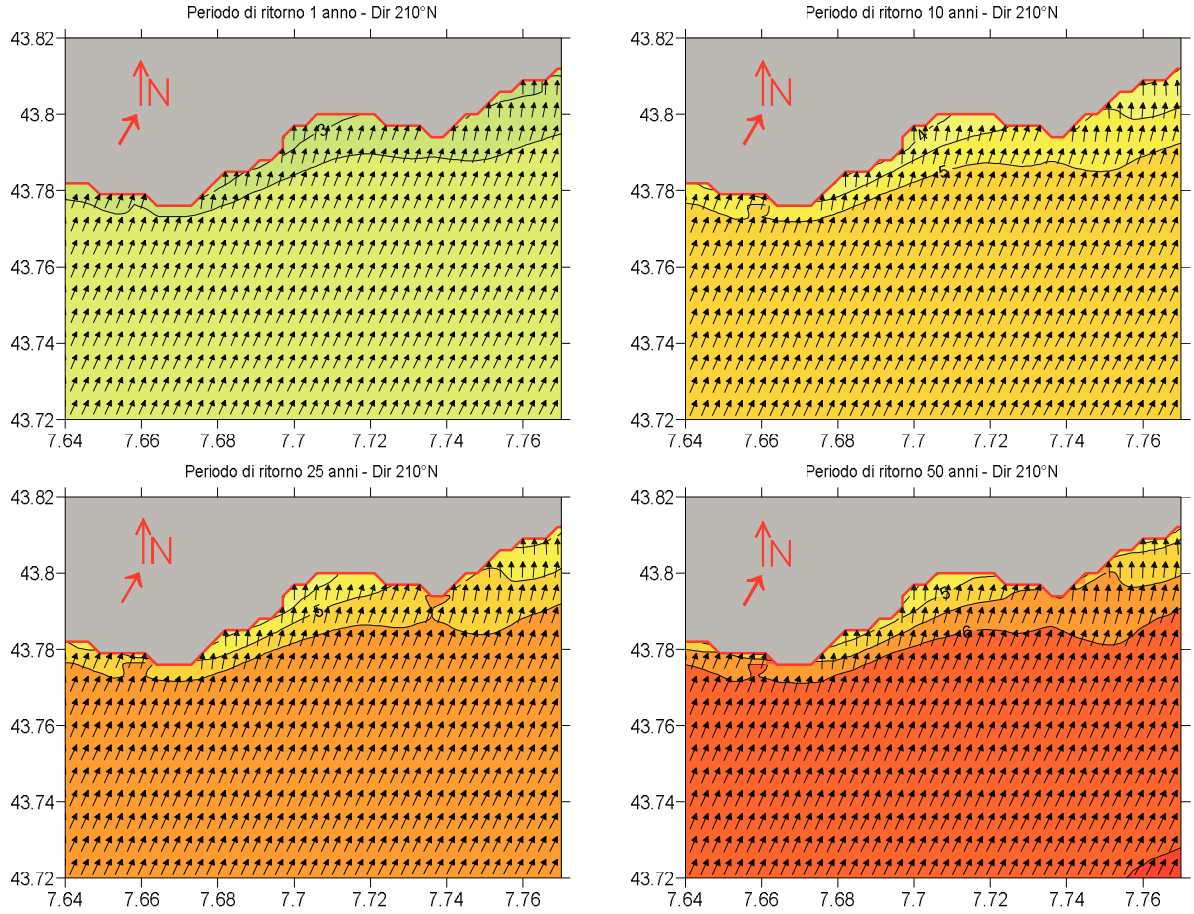
LINEA	SEDE TECN.	NOME DOC.	NUMERAZ.
L440	TR3702	TSRT	

Verificato e trasmesso	Data	Convalidato	Data	Archiviato	Data

FILE 610 PD R04

–

Opere di difesa della linea ferroviaria Genova-Ventimiglia al km 138+100 in loc. Giunchetto (Bordighera)



SEZIONE 1
STUDIO METEO-MARINO

0	Settembre 2011	Emissione	Dr. Maria FRUZZETTI	Dr. Gianluigi DE FILIPPI
REV	DATA	DESCRIZIONE	AUTORE	APPROVATO

INDICE

1. PREMESSA 4
1.1 Interventi a progetto 4
2. SCOPO 5
3. AREA DI STUDIO 6
3.1 Settore di traversia del paraggio e fetch associato 6
3.2 Caratteristiche batimetriche 6
4. DATI DISPONIBILI E CRITERI METODOLOGICI 7
4.1 Dati meteo-marini disponibili 7
4.1.1 Vento e onde 7
4.1.2 Marea 8
4.2 Dati batimetrici 8
5. CRITERI METODOLOGICI 9
5.1 Criteri generali 9
5.2 Stima dei valori estremi 9
5.3 Vento 10
5.3.1 Durata del vento 10
5.3.2 Valori estremi 11
5.4 Moto ondoso 11
5.4.1 Relazioni fra le grandezze caratteristiche del moto ondoso 11
5.4.2 Valori estremi 12
5.5 Livello marino 12
5.6 Correnti 13
5.6.1 Corrente da vento e da slope 13
5.6.2 Valori estremi 14
5.6.3 Profilo verticale di corrente 14
6. REGIME ANEMOLOGICO 16
6.1 Condizioni tipiche 16
6.2 Condizioni estreme 16
7. CARATTERISTICHE DEL MOTO ONDOSO 17
7.1 Clima al largo nel lungo termine 17
7.2 Valori estremi delle onde al largo 17
7.3 Propagazione delle onde a costa 17
7.4 Clima ondoso a costa 18
7.5 Il modello SWAN 18
7.6 Onde estreme a costa 19
8. VARIAZIONI DEL LIVELLO MARINO 20
8.1 Oscillazione dovuta alla marea 20
8.2 Innalzamento indotto dal vento 20
8.3 Valori estremi 21
9. LE CORRENTI 23
9.1 Caratteristiche generali della circolazione 23

9.2 Considerazioni generali sulle correnti costiere 24
9.3 Campo di corrente locale 24
9.4 Valori estremi 25
10. CONCLUSIONI 26
11. BIBLIOGRAFIA 27
INDICE DELLE TABELLE 28
INDICE DELLE FIGURE 52
APPENDICE A: MODELLO *SWAN* 81

1. PREMESSA

La spiaggia in loc. Giunchetto, al limite orientale del litorale di Bordighera, ha un'estensione di circa 700 m ed è caratterizzata da una sottile orlatura ghiaiosa/sabbiosa, con fondali in sabbia fine.
In fregio alla spiaggia corre la linea ferroviaria Genova-Ventimiglia.

Nell'anno 2010 R.F.I. S.p.A., a seguito di un evento meteomarino che ha causato il parziale crollo del muro di protezione della linea ferroviaria, ha realizzato in somma urgenza un muro in cemento armato a tergo della spiaggia stessa, proteggendo lo stesso con scogliera in massi.

Nell'ambito della conferenza istruttoria del 22.06.2011, R.F.I. S.p.A. ha proposto una soluzione progettuale, a completamento dell'intervento di somma urgenza, riguardante la complessiva riqualificazione e potenziamento dell'arenile, che interessa un'area più ampia di quella occupata dalle opere di difesa della linea ferroviaria, e precisamente il tratto compreso tra il pennello del porto di Ospedaletti a levante e la falesia rocciosa a ponente, per un'estensione complessiva di circa 700 m.

Tale soluzione è stata condivisa con i partecipanti alla suddetta conferenza ed è stato stabilito di procedere alla progettazione definitiva, corredata dell'opportuna modellistica meteomarina.

1.1 Interventi a progetto

Le opere a progetto prevedono la riqualificazione e potenziamento dell'arenile mediante la realizzazione di un nuovo pennello in massi naturali, il potenziamento dei pennelli esistenti e il ripascimento strutturale della spiaggia emersa e sommersa.

2. SCOPO

Il presente studio si pone l'obiettivo di definire le condizioni meteo-marine tipiche ed estreme al largo e a costa del tratto di litorale dell'estremo ponente ligure situato tra Bordighera e Ospedaletti (Imperia) interessato dall'intervento di protezione del litorale e ripascimento dell'arenile.

Scopo del presente studio è dunque, l'elaborazione, l'analisi e l'interpretazione dei dati disponibili necessari per la redazione del progetto e per lo sviluppo dello studio morfodinamico, al fine di predisporre un data-base affidabile, sulla base del quale definire la fenomenologia peculiare dell' area in esame.

Sono stati pertanto analizzati i dati disponibili, in modo da definire in maniera sintetica, attraverso opportune tabelle e grafici, sia le condizioni meteo-marine tipiche, vale a dire il regime anemologico, il regime del moto ondoso al largo e a costa, le variazioni del livello del mare, il regime idrodinamico, sia le condizioni estreme per differenti periodi di ritorno.

Nel seguito vengono elencati i dati disponibili e sinteticamente descritti i criteri metodologici adottati. Successivamente, dopo un breve commento sulle caratteristiche dinamiche generali dell'area, vengono presentati i risultati delle analisi effettuate.

Nello studio si è fatto uso di modellistica numerica allo stato dell'arte, i cui lineamenti essenziali sono riportati nell'**Appendice**.

3. AREA DI STUDIO

L'area di studio è situata lungo il tratto di litorale tra Bordighera e Ospedaletti, ubicata quasi al centro di un'insenatura formata da Capo S. Ampelio a ponente e Capo Nero a levante (**Fig. 3.1)**.

3.1 Settore di traversia del paraggio e fetch associato

L'analisi dell'esposizione geografica di un paraggio si basa sulla determinazione dei "fetches" geografici ed efficaci. Per "fetch", com'è noto, si intende la lunghezza del tratto di mare sul quale avviene la generazione del moto ondoso causata dal vento. L'individuazione dei fetches può essere eseguita facendo ricorso al concetto di "fetch geografico" che indica la distanza geografica tra il punto di interesse e la terra più vicina in relazione ad una prefissata direzione e di "fetch efficace", che consente di tener conto del fatto che le onde vengono generate non solo lungo la direzione da cui spira il vento, ma anche in tutte le direzioni comprese in un settore di ±90° rispetto alla direzione media di azione del vento.
L'area di studio, ubicata all'interno di una insenatura, è esposta ad un settore di traversia che va da 85° a 235°N circa. Tale settore naturalmente tende a ridursi leggermente avvicinandosi a costa e ad ampliarsi posizionandosi in acque più profonde. Considerando i fenomeni rifrattivi legati alla batimetria, che può indurre un' accentuata rotazione dei fronti d'onda, è bene considerare cautelativamente un fetch leggermente più ampio.
È stata quindi considerata (**Fig. 3.2)** l'esposizione di un punto al largo dell'area di studio (posizionato a circa 1 km dalla costa) che presenta un angolo di apertura di 160° (da 80° N a 240° N):

Da	A	Fetch geografico	Fetch efficace
80°N	120°N	≈ 240 Km	≈ 210 Km
121°N	160°N	≈ 200 Km	≈170 Km
161°N	240°N	>500 Km	>500 Km

Il settore 160-240°N ha quindi fetches tali da permettere la formazione di mare completamente sviluppato, ed è interessato dalla presenza di forti mareggiate.

3.2 Caratteristiche batimetriche

L'andamento dei fondali nell'area di studio presenta le caratteristiche tipiche delle insenature, con le isobate che, a costa, seguono l'andamento della linea di riva, mentre man mano che aumentano le profondità tendono ad allinearsi con le isobate presenti all'esterno del golfo.
In prossimità di Capo S.Ampelio e Capo Nero il fondale presenta una ripidità più accentuata, mentre nella zona centrale si hanno ripidità minori. In particolare l'area oggetto dello studio, evidenziata nell'ingrandimento di **Fig. 3.3,** è caratterizzata da un fondale piuttosto regolare che digrada dolcemente fino a profondità massime di circa 50 m, con una pendenza media di 0.03 fino a 10 m e di 0.06 da 10 a 30 m.

4. DATI DISPONIBILI E CRITERI METODOLOGICI

Nel seguito vengono presentati commentati i dati disponibili e descritti i criteri metodologici adottati.

4.1 Dati meteo-marini disponibili

Nell'area di studio sono stati reperiti i dati riportati nel seguito. In **Fig. 4.1** vengono mostrate le ubicazioni dei punti in cui sono disponibili i dati rispetto all'area di studio.

4.1.1 Vento e onde

Sono stati reperiti dati di vento e moto ondoso ricostruiti da modelli numerici, estratti dai ben noti archivi ECMWF (European Centre for Medium Range Weather Forecasting) di Reading, Inghilterra [**rif. 1**], che fossero rappresentativi delle condizioni al largo.

I dati di vento sono quelli simulati dal modello meteorologico ECMWF, mentre i dati di moto ondoso sono simulati mediante il modello spettrale di terza generazione WAM, a cui vengono forniti in input i campi di vento simulati dall'ECMWF. I dati sono stati validati, attraverso il confronto con i dati altimetrici rilevati dai satelliti da Fugro OCEANOR, responsabile della distribuzione dei dati ECMWF.

I dati si riferiscono al periodo 1 Gennaio 1997 - 31 Dicembre 2006 ed hanno un passo temporale di 6 ore: sono cioè disponibili 4 dati/giorno alle ore sinottiche 0, 6,12,18 GMT e si riferiscono al punto griglia di coordinate 47°30'N, 8°E (**Fig. 4.1**).

I dati si riferiscono ai seguenti parametri:

- H_{m0} : Altezza d'onda significativa (m) calcolata dallo spettro
- T_m: Periodo medio (s.) calcolato dai momenti spettrali m_1 e m_0
- T_p : Periodo di picco dello spettro (s)
- D_M: Direzione media di provenienza dell'onda (°N)
- H_{m0s} : Altezza dello Swell (m)
- H_{m0w} : Altezza del Wind Sea (m)
- T_{msw} : Periodo medio per lo Swell (s.)
- T_{mws} : Periodo medio per il Wind Sea (s.)
- D_{sw} : Direzione media di provenienza dell'onda per lo Swell (°N)
- D_{ws} : Direzione media di provenienza per il Wind Sea (°N)
- W: Velocità media su 10' del vento alla quota di 10 m l.m.m. (m/s)
- D_W:Direzione media su 10' di provenienza del vento alla quota di 10 m l.m.m. (°N)

Sono state inoltre reperite le statistiche e i dati delle mareggiate più intense misurate dalla boa ondametrica direzionale di Nizza [**rif. 2**], ubicata alle coordinate 43°38.095'N 07°13.745'E a una profondità di 270 m, che, pur in acque costiere è un riferimento utile nelle simulazioni modellistiche.

4.1.2 Marea

Allo scopo di definire le caratteristiche della marea, sono stati utilizzati i dati relativi alle costanti armoniche contenuti nella pubblicazione dell'Ammiragliato Inglese "Admiralty Tide Tables", Vol. 2, 2009, relativamente alla stazione di Imperia.

4.2 Dati batimetrici

Nell'area oggetto dello studio è stato fornito dal Committente un rilievo di dettaglio locale effettuato con tecnica multi-beam, mentre la batimetria a scala regionale è stata desunta da Navichart [**rif. 3**]; entrambi sono riportati graficamente nella **Fig. 3.3**.

5. CRITERI METODOLOGICI

Nel seguito vengono presentati i principali criteri metodologici utilizzati.

5.1 Criteri generali

La metodologia applicata nel presente studio consiste in un'analisi finalizzata alla comprensione della dinamica litoranea in condizioni tipiche ed estreme. Sono stati pertanto reperiti i dati meteo-marini rappresentativi del clima medio del luogo a lungo termine e delle sue variabilità annuali e stagionali.
La metodologia generale adottata, già applicata in numerosi studi, consiste in:

- acquisizione di serie temporali di dati anemologici (intensità e direzione del vento), di moto ondoso (altezza, periodo e direzione delle onde)e di livello marino;
- elaborazione e analisi dei dati ed individuazione delle caratteristiche del clima locale;
- utilizzo di opportuni modelli numerici per la ricostruzione a costa delle caratteristiche dinamiche più importanti, calibrati, quando possibile, sui dati misurati;
- comprensione dei fenomeni fisici tipici dell'area;
- stima dei valori estremi nell'area di studio;
- scelta delle condizioni tipiche ed estreme da fornire in input al modello morfodinamico.

5.2 Stima dei valori estremi

Nell'ambito dell'ingegneria costiera, la definizione dei parametri meteo-marini di progetto è basata sulla stima dei valori estremi di una grandezza (vento, moto ondoso, livello del mare, corrente), cioè di valori che abbiano associato un rischio di superamento nelle varie fasi di messa in opera e vita operativa delle strutture e delle opere in progetto.
La stima degli estremi comporta la definizione dei parametri caratteristici della distribuzione statistica dei valori rilevati, caratteristiche a priori ignote sia per quanto riguarda la forma funzionale che per quanto riguarda i parametri della distribuzione che descrive tale forma funzionale.
A posteriori la scelta può essere giustificata con i metodi di analisi di "bontà del fitting" tra la distribuzione dedotta dai dati misurati e distribuzioni di probabilità che, negli anni, sono state proposte ed utilizzate. La consuetudine ha portato poi ad una certa standardizzazione nell'uso di tali distribuzioni teoriche: in tal senso la stima dei valori estremi di vento, onde e correnti viene effettuata con la distribuzione di Weibull o, più raramente, con quella di Gumbel, quest'ultima utilizzata soprattutto quando siano disponibili solo i massimi rilevati.

La teoria dei valori estremi fornisce dunque stime della probabilità che si verifichino, in un certo periodo temporale, valori estremi di un determinato parametro.

Dato un insieme N di valori estremi di una grandezza, sia F(x) la distribuzione estremale che meglio si adatta ad essi (il ragionamento è comunque indipendente dal tipo di distribuzione considerato).
Il periodo di ritorno T(x) dell'evento x è definito come il numero di anni entro i quali x viene superato mediamente una volta. Allora T(x) è collegato a F (x) da:

$$T(x) = \frac{1}{[1 - F(x)]\lambda} \tag{5.1}$$

dove λ è il numero medio di eventi annui.

La probabilità che il superamento di x avvenga entro un anno è 1/T (x), la probabilità di non superamento è [1 – 1/T (x)], e quindi la probabilità che x non sia superato entro t anni è data da:

$$P^{-}(x) = \left[1 - \frac{1}{T(x)}\right]^{t}. \tag{5.2}$$

(Si indica con P^- la probabilità di non-superamento, con P^+ quella di superamento. E' evidente che $P^- + P^+ = 1$).
Con l'esclusione dei più bassi valori di T, la (5.2) è sostituibile con ottima precisione [**rif. 4**] con:

$$P^{-}(x) = e^{-\frac{t}{T(x)}} \tag{5.3}$$

E' evidente che per applicare la (5.3) è necessario conoscere T (x), e quindi F (x).
Per t=T si ottiene P=63.2%: tale valore è dunque la probabilità media o "rischio medio" associato ad x nel tempo T.
Per t<T tale rischio è ovviamente ridotto: ad es. per t=30 anni e T=100 anni la probabilità di superamento è del 25.9% e così via.

Nel caso attuale si è ritenuto utile fornire i valori estremi per i periodi di ritorno di 1, 10, 25 e 50 anni.

5.3 Vento

I dati di vento disponibili sono rappresentativi del vento medio sui 10 minuti. Nel seguito si riportano alcune considerazioni.

5.3.1 Durata del vento

Nel caso fossero necessarie durate diverse, le rispettive velocità possono venir calcolate mediante la nota formula [**rif. 5**]:

$$\frac{W_t}{W_{3600}} = 1.277 + 0.296 \tanh\left(0.9 \log_{10}\left(\frac{45}{t}\right)\right) \qquad \text{per} 1 < t < 3600 s \qquad (5.4)$$

dove W_t è la velocità del vento di durata t e W_{3600} è la velocità di durata 1 ora.

5.3.2 Valori estremi

I valori estremi, direzionali sono stati calcolati applicando la funzione probabilistica di Weibull:

$$P(w<W) = 1 - \exp[-(w/\alpha)^{\beta}] \qquad (5.5)$$

dove P(w<W) è la probabilità di non superamento ovvero la probabilità che un evento di intensità w sia minore del valore assegnato W, w è la variabile (velocità del vento), α e β sono i parametri della distribuzione calcolati mediante la tecnica di best-fit ai minimi quadrati.

5.4 Moto ondoso

Nel presente studio, i valori di altezza significativa sono desunti dallo spettro del moto ondoso, sono cioè calcolati nel "dominio della frequenza".
Tale valore viene generalmente indicato con H_{m0} (l'altezza d'onda calcolata dal momento spettrale di ordine 0 e, quindi, rappresentativa dell'energia dello spettro) per distinguerlo dal valore calcolato nel "dominio del tempo". Nel seguito tale valore verrà tuttavia indicato come Hs.

5.4.1 Relazioni fra le grandezze caratteristiche del moto ondoso

Generalmente i periodi associati all'altezza d'onda significativa H_s sono il "periodo significativo" T_s, calcolato come media dei periodi associati alle altezze con cui viene calcolata l'altezza d'onda significativa, e il periodo di picco T_p.

Per definire il periodo significativo da associare all'altezza d'onda significativa estrema occorre dunque effettuare un'analisi della probabilità congiunta altezza-periodo sulla base dei dati misurati, in quanto il periodo dell'onda non è una variabile indipendente ma, al contrario, è strettamente legato all'altezza d'onda.
Il problema, particolarmente attuale nell'ingegneria off-shore quando si stimano le onde di progetto, è stato a lungo studiato ed analizzato: non esistono tuttavia relazioni valide in ogni situazione, in quanto sono l'orografia/morfologia del bacino e le caratteristiche anemologiche dell'area a generare onde più o meno ripide.
Per l'area in esame è stata utilizzata la relazione:

$$H_s = 0.06\ T_s^2 \qquad (5.6)$$

dedotta dall'analisi di numerosi dati rilevati in vari bacini [**rif. 6 – 7 – 8**].

Per associare ad H_s il valore del periodo di picco T_p, si può fare invece uso della relazione [**rif. 9**]:

$$T_p = 8.5\pi\ (H_s/4g)^{0.5} \qquad (5.7)$$

che deriva dal considerare le mareggiate ben rappresentate da uno spettro Jonswap.

5.4.2 Valori estremi

Per ciascuna delle distribuzioni direzionali sono stati calcolati i coefficienti α e β della funzione probabilistica di Weibull:

$$P(h<H) = 1 - \exp[-(h/\alpha)^{\beta}] \qquad (5.8)$$

dove P(h<H) è la probabilità di non superamento ovvero la probabilità che un evento di altezza d'onda h sia minore del valore assegnato H, h è la variabile (altezza d'onda), α e β sono parametri della distribuzione calcolati mediante la tecnica di best-fit ai minimi quadrati. Nota la distribuzione di probabilità (5.8) è possibile valutare i valori estremi per i differenti periodi di ritorno considerati.

5.5 Livello marino

La genesi delle variazioni del livello marino è piuttosto complessa, poiché molteplici sono i fenomeni che possono generare o modificare il movimento delle masse d'acqua. Supponendo che ogni fenomeno causi un singolo effetto possiamo pensare al livello come una semplice sovrapposizione di più vettori del tipo:

$$V=\Sigma\eta_i \qquad (5.9)$$

La serie temporale η (t) del livello può essere considerata, ad ogni istante, il risultato della sovrapposizione lineare di due parti fra loro indipendenti, vale a dire la parte deterministica e la parte stocastica:

$$\eta(t)=\eta_T(t)+\eta_s(t) \qquad (5.10)$$

La parte deterministica è costituita dall'oscillazione di marea, mentre la parte stocastica η_s è dovuta principalmente agli effetti indotti dal vento e dai gradienti barici e l'innalzamento del livello è generalmente definito "storm surge".

5.6 Correnti

Non esistendo misure di corrente, il regime dinamico può essere ricostruito a partire dai dati di vento e di marea. Analogamente a quanto descritto per il livello del mare, la corrente totale può essere rappresentata come una sovrapposizione di vettori del tipo:

$$V = \Sigma V_i \tag{5.11}$$

Questa rappresentazione, che presuppone la linearità e l'indipendenza dei differenti fenomeni, non è ovviamente rigorosa: essa tuttavia rappresenta un mezzo valido, sufficientemente attendibile e ragionevolmente approssimato, per impostare lo studio delle correnti marine. Nel caso specifico, i tipi di corrente possono essere fatti derivare da due gruppi completamente diversi di cause, ed essere di conseguenza raggruppati in due categorie fondamentali:

- la componente deterministica della corrente;
- la componente non deterministica o stocastica della corrente.

Ad un dato istante il valore V(t) della corrente supponendo trascurabili i termini d'interazione, può quindi essere considerato il risultato della sovrapposizione lineare di due parti fra loro indipendenti:

$$V(t) = V_T(t) + V_s(t) \tag{5.12}$$

La parte deterministica è costituita dalla corrente di marea. La parte stocastica V_s è a sua volta esprimibile come somma di due termini:

$$V_s(t) = V_W(t) + V_P(t) \tag{5.13}$$

vale a dire le componenti dovute al vento e quelle da pendenza, dovute alla presenza della costa.

5.6.1 Corrente da vento e da slope

La distribuzione delle correnti per direzione può dunque essere ricostruita a partire dalla distribuzione del vento per direzione e tenendo presente l'orientazione della costa, la profondità dell'acqua e la distanza dalla costa.
Il calcolo viene effettuato nell'ipotesi di condizioni stazionarie, eguagliando le componenti normali alla costa del trasporto dovuto alla corrente generata dal vento S e della corrente da "slope" M:

$$S_p = M_p \tag{5.14}$$

Le componenti del trasporto dovuto allo stress del vento, nel sistema di riferimento avente l'asse y diretto come il vento, sono:

$$S_x = (\sigma\varepsilon_y D^2/2\pi^2 A)[\cosh(\sqrt{2}\, ad)+\cos(\sqrt{2}\, a\, d) - 2\cosh(a\, d/\sqrt{2})\cos(a\, d/\sqrt{2})]/[\cosh(\sqrt{2}ad)+(\cos(\sqrt{2}\, a\, d)]$$
$$S_y = (\sigma\varepsilon_y D^2/\pi^2 A)[\sinh(a\, d/\sqrt{2})\sin(a\, d/\sqrt{2})]/[\cosh(\sqrt{2}\, a\, d)+(\cos(\sqrt{2}\, a\, d)] \quad (5.15)$$

mentre le componenti del trasporto dovuto alla pendenza della superficie, nel sistema di riferimento avente l'asse y diretto nella direzione della pendenza superficiale, sono:

$$M_x = (\sigma \check{D} g\, a/2\pi f)\{2\pi d/\check{D} - [\sinh(2\pi d/\check{D})+\sin(2\pi d/\check{D})]/[\cosh(2\pi d/\check{D})+ cDs(2\pi d/\check{D})]\}$$
$$M_y = (\sigma \check{D} g\, a/2\pi f)[\sinh(2\pi d/\check{D})-\sin(2\pi d/\check{D})]/[\cosh(2\pi d/\check{D})+cDs(2\pi d/\check{D})] \quad (5.16)$$

dove ε_y è lo stress del vento, *a* la pendenza della superficie del mare, *D* la profondità di Ekman, *Ď* è la profondità di influenza dell'attrito sul fondo, *A* il coefficiente di viscosità turbolenta, *d* la profondità dell'acqua, *f* il parametro di Coriolis, σ la densità dell'acqua. Dall'equazione precedente viene ricavata la pendenza della superficie del mare nell'ipotesi che *D=Ď.*

5.6.2 Valori estremi

I valori estremi sono stati calcolati applicando la funzione probabilistica di Weibull alla sola parte stocastica:

$$P(v<V) = 1 - \exp[-(v/\alpha)^{\beta}] \quad (5.17)$$

dove v è la variabile (velocità della corrente), α e β sono i parametri della distribuzione calcolati mediante la tecnica di best-fit ai minimi quadrati.

5.6.3 Profilo verticale di corrente

La definizione di un profilo di velocità tipico valido in tutte le condizioni non è certo possibile in generale, in quanto l'andamento verticale del campo di velocità è strettamente legato alle caratteristiche circolatorie generali dell'area in esame, alla stagione considerata, alla presenza o meno di stratificazioni del campo di densità, alle continue variazioni dovute all'oscillazione di marea, a fenomeni transienti quali le perturbazioni meteorologiche, fenomeni a piccola scala, etc.
Di conseguenza andrebbe valutato un profilo tipico, o meglio un insieme di profili tipici, per ogni profondità e per ogni mese.
Poiché localmente, alle basse profondità d'interesse, il sistema è essenzialmente barotropico, ci si limita quindi a prendere in esame un profilo verticale di tipo barotropico, caratterizzato cioè da omogeneità verticale del campo di densità (tale situazione corrisponde, ai fini pratici, alla condizione più energetica).

In acque costiere si può utilizzare un "power profile" [**rif. 10**] caratterizzato cioè da una relazione del tipo:

$$\frac{V_{z1}}{V_{z2}} = \left(\frac{z_1}{z_2} \right)^{1/n} \tag{5.18}$$

dove V_{z1} è la velocità di corrente al livello z_1 e V_{z2} è la velocità di corrente al livello z_2, ed n un valore desumibile dai dati sperimentali. Tale coefficiente, per acque basse o intermedie (<100 m) assume in generale valori di n variabili da 4 a 7.
Tenuto conto che non esistono dati locali sul decadimento verticale della velocità di corrente, è preferibile adottare il valore n = 7, leggermente più cautelativo rispetto agli altri.

6. REGIME ANEMOLOGICO

Nel presente paragrafo vengono analizzate le caratteristiche anemologiche dell'area di studio. Si ricorda che si fa riferimento ai valori ricostruiti a largo per cui modifiche locali possono evidentemente esserci, dovute soprattutto all'orografia dell'area. Si ritiene tuttavia che i settori direzionali che interessano siano poco influenzati dalla costa.

6.1 Condizioni tipiche

La distribuzione dell'intensità del vento per direzione di provenienza desunta dai dati ECMWF è mostrata in **Tab. 6.1** e, graficamente, nella **Fig. 6.1** (rosa del vento).
Il regime medio annuale del vento è caratterizzato da una prevalenza dei settori NE e SO, che complessivamente rappresentano circa il 62% degli eventi (rispettivamente 33% da NE e il 29% da SO). I venti da SE rappresentano circa il 15% degli eventi, mentre quelli da NO sono presenti in circa il 12% dei casi.
Per quanto concerne le intensità, gli eventi con velocità inferiore a 6 m/s sono circa il 62% del totale, quelli inferiori a 18 m/s sono circa il 99%; valori superiori a 18 m/s sono presenti nello 0.6% degli eventi, mentre i valori massimi sono di 26 m/s.

Le distribuzioni dell'intensità del vento per direzione di provenienza, relative alle varie stagioni, vengono mostrate nelle **Tab. 6.2-6.5** e, graficamente, nella **Fig. 6.2**.

6.2 Condizioni estreme

Seguendo la metodologia evidenziata nel cap. 4, mediante il best-fit dei dati con la funzione di distribuzione estremale di Weibull, sono stati prima stimati i valori estremi del vento omnidirezionale, successivamente i valori per le singole direzioni. Un esempio della distribuzione omnidirezionale, graficato su carta di Weibull, è mostrato in **Fig. 6.3.**
Nella **Tab. 6.6** sono presentati i valori estremi della velocità del vento per i differenti periodi di ritorno considerati. Per quanto riguarda la direzione 30°N i valori estremi ottenuti, essendo il best fit non affidabile, sono stati sostituiti con i valori omnidirezionali.

7. CARATTERISTICHE DEL MOTO ONDOSO

Nel presente capitolo viene definito il clima del moto ondoso e vengono calcolati i valori estremi al largo e a costa.

7.1 Clima al largo nel lungo termine

La distribuzione dell'altezza d'onda al largo in funzione delle direzioni di provenienza è mostrata in **Tab. 7.1** e **Fig. 7.1** (rosa delle onde).
Dall'osservazione della figura appare immediata la non comune direzionalità del clima ondoso tipica del Mar Ligure, con il settore SO che rappresenta il 58% degli eventi.

Per quanto concerne l'intensità, circa il 66% delle onde mostra altezze inferiori o uguali a 1 m, circa il 25 % presenta altezze comprese tra 1 e 2 m, circa il 7% tra 2 e 3 m e il 2% è caratterizzato da altezze superiori a 3 m. Si noti che sono state registrate, in sporadiche occasioni, anche onde superiori ai 5 m, limitatamente ai settori 30°e 210-240°N.

Per quanto concerne il periodo di picco (**Tab. 7.2**), il 66 % dei periodi riportati è inferiore o uguale a 7 s, mentre alle mareggiate più intense sono associati periodi di 10 – 13 s.
Per quanto concerne il periodo medio (**Tab. 7.3**) la percentuale di onde con periodi minori o uguali a 7 s è l'84 % circa e alle mareggiate più intense sono associati periodi di 9–11 s.
In **Fig. 7.2** vengono mostrati gli scatter diagram del periodo di picco e del periodo medio.

Per completezza d'informazione vengono anche presentate le distribuzioni dell'altezza d'onda per direzione di provenienza relative alle varie stagioni (**Tab. 7.4-7.7** e **Fig. 7.3**).

7.2 Valori estremi delle onde al largo

Seguendo la metodologia evidenziata nel cap. 4, mediante il best-fit della distribuzione delle altezze con la funzione estremale di Weibull, sono stati prima stimati i valori estremi del moto ondoso omnidirezionale, successivamente i valori per le direzioni principali del settore di traversia dell'area in esame.
Il best fit della distribuzione omnidirezionale, graficato su carta di Weibull, è mostrato in **Fig. 7.4** .
I valori stimati sono presentati in **Tab. 7.8**: all'altezza d'onda sono stati associati il periodo di picco T_p, calcolato adottando la relazione (4.7) e il periodo significativo T_s calcolato adottando la relazione (4.6) Si sottolinea che i valori si riferiscono allo stato di mare di 6 ore.

7.3 Propagazione delle onde a costa

E' ben noto che nella propagazione dal largo verso acque meno profonde le onde subiscono delle trasformazioni dovute all'effetto del fondale (che inizia quando la profondità dell'acqua diventa circa metà della lunghezza d'onda).

Si hanno così i fenomeni di “rifrazione”, cioè la rotazione dei fronti d’onda dovuta alla diminuzione della velocità delle onde con la profondità, di “shoaling”, cioè un incremento o decremento dell’altezza d’onda legato alla concentrazione o dispersione dell’energia per effetto delle differenze tra velocità di fase dell’onda e velocità di gruppo (velocità con cui si propaga l’energia) causato dal fondale, di “attrito”, cioè dalla dispersione di energia per effetto dell’attrito sul fondo che determina una riduzione dell’altezza dell’onda e di “diffrazione”, cioè l’effetto indotto dall’interazione delle onde con le strutture.

Nel caso in esame, allo scopo di effettuare un’analisi delle caratteristiche del moto ondoso a costa, in condizioni tipiche, è stato utilizzato un modello analitico in grado di calcolare i coefficienti di rifrazione e shoaling per ogni elemento della matrice del clima al largo, mentre per le condizioni estreme è stato utilizzato il modello spettrale di terza generazione SWAN (l’applicazione di SWAN per la definizione del clima costiero comportava tempi non compatibili con i tempi richiesti per lo studio).

7.4 Clima ondoso a costa

Tenuto conto di quanto sopra, è stato calcolato il clima in corrispondenza dell’isobata dei 30 m nei pressi dell’area di studio (**Fig. 7.5**), valutando analiticamente i coefficienti di rifrazione e shoaling per ogni elemento della matrice del clima al largo. E’ stato trascurato, ai fini cautelativi, il coefficiente di attrito: le altezze calcolate debbono quindi essere considerate piuttosto conservative.
I risultati vengono presentati in **Tab. 7.9** e graficamente in **Fig. 7.6** .
Si evidenzia che, di tutte le onde presenti al largo, circa il 60% sono calme o comunque hanno valori di altezza d’onda minori o uguali a 0.5 m. Circa il 39% delle onde presenti al largo raggiungono la profondità considerata con altezze d’onda maggiori di 0.5 m e sono comprese nei settori direzionali che vanno da 90° a 240° N. Di queste onde il 30% circa proviene da SO, il 3% circa da S-SE, il 6% circa da E. Il settore più energetico è il 210°N, con onde che raggiungono 4.5 m.

7.5 Il modello SWAN

Il ben noto SWAN (Simulating WAves Nearshore, [**rif. 11**]) è un modello numerico che effettua simulazioni realistiche dei parametri delle onde in aree costiere, a partire da condizioni definite al largo, tenuto conto delle condizioni del vento, delle correnti e delle caratteristiche del fondale.
SWAN è un modello spettrale di terza generazione, che tiene conto dei seguenti processi:

- rifrazione dovuta a variazioni spaziali di profondità e corrente;
- shoaling dovuto a variazioni spaziali di profondità e corrente;
- attrito e rifrazione indotti da correnti contrarie;
- trasmissione o dissipazione dovuti alla presenza di ostacoli (ad esempio barriere frangiflutti).

In SWAN sono formulati I seguenti processi di generazione e dissipazione:

- vento;
- “white-capping”;

- frangimento;
- attrito al fondo;
- interazioni non-lineari onda-onda;

SWAN differisce dagli altri modelli analoghi e dai suoi predecessori per alcuni aspetti principali, grazie ai quali descrive in maniera completa il moto ondoso costiero:

- è un modello spettrale (è, quindi, possibile selezionare il profilo spettrale da definire per le condizioni al contorno così come la funzione di spreading direzionale);
- considera la generazione di onde da vento anche in acque basse;
- considera l'interazione onda-corrente anche in acque basse (non considerato nel presente studio perché le correnti presentano valori tali da non indurre rifrazione).

7.6 Onde estreme a costa

Il modello SWAN è stato utilizzato per simulare la propagazione dello spettro delle onde estreme, definito al largo, verso la costa a larga scala.
Il modello è stato applicato su una griglia di dimensioni di circa 70 km x 40 km, per un numero totale di maglie di 301X131 di ampiezza di circa 260 m (**Fig. 7.7**) .
Sono state effettuate in tutto 28 simulazioni, per le onde provenienti da 60, 90,120, 150, 180, 210 e 240 °N per periodi di ritorno di 1, 10, 25 e 50 anni. Ad ogni simulazione sono stati associati l'altezza d'onda estrema, il periodo di picco, la direzione di provenienza e il vento estremo.

In **Fig. 7.7,** vengono riportati i punti in corrispondenza dell'area di studio (alle profondità di 10, 30 e 50 m) nei quali sono stati estratti i parametri caratteristici del moto ondoso presentati nelle **Tabb. 7.10- 7.13**. In particolare vengono riportate per ogni direzione di provenienza al largo e per ciascun periodo di ritorno (1, 10, 25 e 50 anni):

- la profondità;
- l'altezza d'onda H_s;
- la direzione delle onde sotto costa;
- il periodo di picco T_p.

In **Fig. 7.7** viene presentato un esempio del campo di moto ondoso in tutta l'area simulata. Nelle **Figg.7.8- 7.14,** viene riportato per ciascuna simulazione il campo di moto ondoso, rappresentato mediante isolinee di altezza d'onda significativa, nel dettaglio dell'area di studio.
La scala cromatica utilizzata è la stessa per tutte le figure.

In input è stato fornito lo spettro Jonswap con valore γ di 3.3 che rappresenta un valore leggermente cautelativo per il mar Ligure essendo lo spettro in generale caratterizzato da valori di $\gamma = 2.0 \pm 0.7$ (APAT, Atlante delle onde nei mari italiani, 2004).

8. VARIAZIONI DEL LIVELLO MARINO

La variazione del livello marino in prossimità della costa è dovuta a varie cause, nel seguito elencate e commentate.

8.1 Oscillazione dovuta alla marea

La parte deterministica dell'oscillazione del livello, dovuta alla marea, risulta dal contributo di un gran numero di componenti elementari di periodicità nota (componenti armoniche) e può essere espressa con l'equazione:

$$L_D(t) = \sum_{1}^{N} A_k \cos(\omega_k t + \varphi_k) \qquad (8.1)$$

dove:

A_k è l'ampiezza della k-esima componente armonica della corrente di marea;
ω_k è la sua velocità angolare;
φ_k è la sua fase;
N è il numero di componenti armoniche.

Poiché le ω_k sono note, l'individuazione dell'oscillazione di marea si riduce alla determinazione delle costanti armoniche A_k e φ_k delle principali componenti di marea.

Nell'area di studio l'oscillazione di marea può essere rappresentata, con approssimazione più che sufficiente, attraverso le sole componenti M2 e S2 (semi-diurne), 01 e K1 (diurne) disponibili per la stazione mareografica di Imperia.
Ampiezza e fase di tali componenti armoniche per l'area in esame sono riportate nella **Tab. 8.1**.
I risultati ottenuti, relativi alla durata di un mese, sono mostrati in **Fig 8.1** : si noti che l'escursione di marea è di circa 30 cm in fase di sizigie.
Nella **Tab. 8.2** vengono evidenziati i parametri tipici della marea e precisamente:

- M.H.W.S., cioè la media del livello, in fase di sizigie, durante l'alta marea;
- M.H.W.N., cioè la media del livello, in fase di quadratura, durante l'alta marea;
- M.L.W.N., cioè la media del livello, in fase di quadratura, durante la bassa marea;
- M.L.W.S., cioè la media del livello, in fase di sizigie, durante la bassa marea;
- M.T.L., cioè il livello medio di marea (spesso definito z_0).

8.2 Innalzamento indotto dal vento

L'innalzamento ("set up") del livello del mare a costa, causata dallo stress del vento sulla superficie marina si può estendere ad una fascia costiera piuttosto ampia, le cui dimensioni trasversali sono dell'ordine del "raggio di deformazione di Rossby", R.
Vengono pertanto calcolati i contributi di vari termini forzanti nell'innalzamento complessivo del livello del mare.

L'equazione che descrive l'equilibrio tra lo stress del vento ortogonale a costa e la pendenza della superficie del mare è scritta come:

$$\frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{\tau_w}{\rho_w d_R} \tag{8.2}$$

dove d_R è la profondità del fondale, ρ_w la densità dell'acqua, τ_w lo stress del vento che può essere calcolato in funzione della velocità del vento W come:

$$\tau_W \equiv \rho_{air} C_d w^2$$

ed il coefficiente di drag C_d può essere calcolato come (Garrat, 1977):

$$C_D = 6.9 \cdot 10^{-4} + 7.5 \cdot 10^{-5} W \tag{8.3}$$

dove W rappresenta la velocità media del vento su un intervallo di 10' e alla quota di 10 m rispetto al livello medio del mare.
La distanza su cui si esplica la variazione del livello del mare espresso dall'equazione (8.2) può essere assunta uguale al "raggio di Rossby", definito come:

$$R = \frac{\sqrt{d_R}}{f} \tag{8.4}$$

dove:
$f = 2\omega \sin \varphi$ è il parametro di Coriolis, ω la velocità di rotazione della terra e φ la latitudine.
L'innalzamento del livello medio per effetto del vento longitudinale a costa, con la costa a destra rispetto alla direzione da cui il vento spira, è descritta dall'equazione:

$$\eta = \frac{t\tau_w}{\rho_{air} fR} e^{-x/R} \tag{8.5}$$

dove x è la distanza da costa e t è il tempo per cui spira il vento.
Tale formula viene ottenuta in approssimazione di costa infinita e assenza di attrito, da cui deriva che l'innalzamento cresce indefinitamente con il tempo. In realtà, anche con vento costante, si raggiungerebbe una condizione di equilibrio definita dai fenomeni di attrito. Nei calcoli si è assunta una durata del vento di 3 ore, cioè la durata tipica stimata per i picchi di tempesta ed una profondità d_R pari a 100 m, che è all'incirca quella media antistante la costa in esame.
Per il set up con vento longitudinale è stato considerato il vento proveniente da 30°N, mentre per quello trasversale il vento da 180°N.

8.3 Valori estremi

I risultati ottenuti dall'applicazione delle formule precedenti sono sintetizzati nella **Tab. 8.3**
I valori trovati richiedono un breve commento:

- il valore della componente dovuta alla marea è stato considerato identico, per tutti i periodi di ritorno, il che non è rigorosamente vero in quanto esistono le armoniche di lungo periodo, che però non sono di ampiezza tale da modificare sostanzialmente i valori qui definiti;

- per i calcoli del set-up da vento si sono utilizzate formule semplificate ma che hanno spesso avuto riscontri oggettivi.

- nella stima non sono stati inclusi gli effetti dovuti alle depressioni atmosferiche, in quanto non sono risultate disponibili informazioni sui gradienti barici tipici dell'area.

Si suggerisce pertanto, per maggiore cautela, di considerare come valore estremo da utilizzare nei calcoli la somma dell'elevazione di marea e del set up indotto dal vento longitudinale.

9. LE CORRENTI

Nel presente capitolo vengono evidenziati gli aspetti principali della circolazione nell'area in esame, preceduti da una sintetica descrizione della fenomenologia generale dell'idrodinamica della costa ligure.

9.1 Caratteristiche generali della circolazione

Un'analisi dettagliata della circolazione lungo la costa ligure non sembra essere mai stata effettuata; le informazioni disponibili, che sembrano a volte contraddittorie, confermano tuttavia che l'andamento generale del flusso è antiorario, con correnti che tendono a fluire mediamente, sia in superficie che sul fondo, verso il Golfo del Leone [**rif. 12**].
In superficie scorre, infatti, la cosiddetta MAW (Modified Atlantic Water) cioè l'acqua di provenienza atlantica che, dopo aver subito parziali modifiche delle proprie caratteristiche nel Mare di Alboran, si propaga lungo la costa Algerina e attraversa il Canale di Sardegna, dividendosi poi in due rami: uno si propaga verso il Canale di Sicilia, l'altro risale la penisola in senso antiorario fino a raggiungere la costa savonese dove fluisce verso SW (**Fig. 9.1**).

L'acqua levantina LIW (Levantine Intermediate Water) si forma nel Mediterraneo Orientale, fluisce negli strati intermedi (alle profondità di 300-600 m) del Canale di Sicilia e risale la penisola fino all'altezza della Corsica, dove si divide in due rami, uno dei quali raggiunge la costa savonese e fluisce verso SW (**Fig. 9.2**).

La circolazione più profonda è caratterizzata dalla presenza dell'acqua profonda del Mediterraneo occidentale (WMDW, Western Mediterranean Deep Water) che si forma nel Golfo del Leone quando condizioni invernali particolarmente intense causano il mescolamento e l'affondamento delle acque MAW e LIW. La nuova massa d'acqua fluisce sotto i 600 m di profondità con traiettoria antioraria e gioca un ruolo ancora relativamente poco conosciuto nella circolazione profonda del Mediterraneo Occidentale. L'andamento antiorario nel bacino ligure è mostrato nella **Fig. TAB**. 8.3 .

Poiché il vento rappresenta spesso, soprattutto nel Mar Ligure, il termine forzante principale per la circolazione, vengono ripostati due esempi relativi alla circolazione indotta dal vento, uno con vento da E, il secondo con vento da SO, così come simulati dal modello idrodinamico del Mar Ligure disponibile in DEAM (**Fig. 9.4-9.5**).. In input è stato fornito un vento di 10 m/s e durata 48 ore avente la direzione di volta in volta indicata.
I risultati sono mostrati in forma grafica mediante frecce la cui lunghezza è proporzionale alla velocità (media sulla verticale, come usualmente fornito nei risultati ottenuti dall'applicazione dei modelli) e la cui orientazione corrisponde alla direzione di propagazione. I valori di velocità si riferiscono a valori integrati sulla verticale; le correnti superficiali sono ovviamente più intense.
Il fondo colorato in blu si riferisce alla batimetria dell'area: in blu scuro le acque profonde, in celeste le acque intermedie, in bianco le acque costiere.

Dalle figure si nota come, lungo la costa di Imperia, il flusso risulti sempre parallelo alla costa, diretto verso SO nel primo caso e verso NE nel secondo caso.

9.2 Considerazioni generali sulle correnti costiere

Oltre alla circolazione a grande scala, il regime delle correnti nella fascia costiera è determinato da forze esterne di varia natura.
L'influenza della marea può essere considerata sempre presente nella fascia costiera, anche se solo in casi particolari essa diviene l'elemento dominante della circolazione; nel caso in esame le correnti di marea sono trascurabili ai fini pratici.
Altre correnti a carattere periodico, oltre a quelle di marea, possono interessare la fascia costiera: più significativa, ai fini della circolazione, risulta la propagazione di perturbazioni del livello della superficie libera o del picnoclino, determinate, ad esempio, dall'effetto della disomogeneità del campo di vento.

In Liguria sono state messe in luce, sulla base di dati misurati,correnti di tipo inerziale.
Di gran lunga più importante, ai fini della circolazione costiera, risulta l'effetto meteorologico. Esso si esplica sia mediante lo scambio diretto di quantità di moto dall'aria all'acqua per effetto dello "stress" del vento, sia attraverso la modificazione delle acque costiere, conseguenti allo scambio di calore e di massa attraverso la superficie del mare ed alle variazioni degli apporti fluviali.
L'azione diretta del vento è comunque il fenomeno più rilevante: la costa tende ad ostacolare i moti trasversali, mentre permette il libero sviluppo delle correnti longitudinali, la cui intensità risulta proporzionale alla componente longitudinale dell'impulso dello stress del vento.
Se l'intensità del vento risulta elevata, si possono verificare fenomeni di "upwelling" o "downwelling" a seconda della direzione del vento rispetto alla costa. Tali fenomeni determinano uno spostamento verso il largo della fascia interessata dalle intense correnti longitudinali, le quali tuttavia seguitano ad essere confinate in una zona avente dimensioni trasversali alla costa dell'ordine del raggio di Rossby.

Un ulteriore elemento che concorre a determinare la circolazione costiera, anche se in modo molto meno rilevante dell'azione del vento, è la presenza di gradienti di densità.
Gli apporti fluviali determinano dei gradienti orizzontali di densità, per lo più localizzati in prossimità delle foci dei fiumi, che danno origine a gradienti di pressione che possono influire sulla circolazione locale, anche se tale influenza è generalmente debole.
Anche in questo caso l'effetto locale di tali correnti è trascurabile.

9.3 Campo di corrente locale

Mediante le relazioni (5.14-5.16) è stato calcolata la distribuzione della velocità di corrente superficiale locale, alla profondità di 15 m, indotta dal vento di fronte all'area di interesse.
I risultati sono presentati in **Tab. 9.1** e in **Fig. 9.6** (rosa delle correnti).
Le correnti sono generalmente inferiori ai 40 cm/s e fluiscono essenzialmente lungo la costa.
Per quanto concerne le correnti di marea, esse sono ininfluenti a causa dell'esiguità dell'escursione di marea e possono essere tranquillamente trascurate ai fini pratici.

9.4 Valori estremi

I valori estremi omnidirezionali della velocità di corrente indotta dal vento, calcolati applicando la distribuzione estremale di Weibull (**Fig. 9.7**), sono presentati in **Tab. 9.2.**
Nella stessa tabella sono riportati:

- i valori della corrente di marea, assunti identici per tutti i periodi di ritorno considerati, il che non è rigorosamente vero a causa della presenza di armoniche di lungo periodo il cui contributo è però trascurabile, stimati in 5 cm/s in base a varie esperienze operative lungo al costa ligure basate sull'analisi di misure correntometriche;
- i valori dovuti alla circolazione generale del Mediterraneo, stimati in 10 cm/s, anch'essi considerati costanti per tutti i periodi di ritorno considerati.

Non essendoci misure locali, i valori presentati debbono essere considerati solamente come ragionevolmente indicativi del campo di corrente costiero locale.

10. CONCLUSIONI

Il presente studio ha messo in evidenza le caratteristiche meteo-marine principali dell'area interessata dal progetto sulla base di dati appositamente reperiti presso un noto centro internazionale che, opportunamente elaborati, analizzati ed interpretati, hanno permesso di evidenziare la fenomenologia tipica ed estrema dell'area di interesse.

Lo studio è stato effettuato utilizzando anche la disponibilità di modelli matematici, spesso verificati su dati misurati e applicati più volte, con successo, alle simulazioni del regime idrodinamico e alla generazione-propagazione del moto ondoso nel Mar Ligure e Tirreno.

Ciò ha permesso di definire le condizioni meteo-oceanografiche locali, cioè nel sito in esame, e di stimare condizioni estreme rappresentative della fenomenologia locale dell'area in modo da fornire al progettista tutta l'informazione necessaria per la redazione del progetto di protezione del litorale e ripascimento dell'arenile.

Inoltre, le condizioni qui definite rappresentano l'input per la seconda fase del presente studio, e cioè l'analisi della morfodinamica locale finalizzata alla valutazione della stabilità del litorale conseguente alla realizzazione del progetto.

11. BIBLIOGRAFIA

1. ECMWF (European Model for medium range weather forecast), Reading, UK

2. Centre d'Etudes Tecniques Maritimes et Fluviales, 2009 "*Analyse des donnèes de houle – Nice – Measures du 04/06/2002 au 09/10/2009*"

3. http://www.navichart.com/index.com

4. Gumbel E.J., 1958. "*Statistics of Extremes*", Columbia University Press;

5. Army Corps of Engineers, "*Shore Protection Manual*", vol. 1, 2.. edition, 1984;

6. Grancini G.F., Iovenitti L.M. e De Filippi G.L., 1979. "*Analisi del moto ondoso nel Canale di Sicilia*" Cetena, Genova;

7. Cavalieri L., De Filippi G.L., Grancini G.F., Iovenitti L.M. and Tosi R., 1986. "*Extreme wave conditions in the Tyrrhenian Sea*" Ocean Engng., Vol. 13, no. 2, pp. 257 – 280;

8. Rampolli M., Biancardi A.and De Filippi G.L., 1996. "*Meteo-oceanographic Premises for Structural Design Purposes in the Adraitic Sea: Acquisition and processing of data*", 15 th Int. Conf. O.M.A.E., Firenze;

9. Boccotti P., 1997. "*Idraulica Marittima*" , UTET;

10. Goda Y., 1985. "*Random Seas and Design of Maritime Structures*". University of Tokio Press, Japan;

11. Booij, N., L.H. Holthuijsen and R.C. Ris, 1996, "*The "SWAN" wave model for shallow water*". Proc. 25th Int. Conf. Coastal Engng., Orlando, pp. 668-676;

12. Alain Saliot Editor, 2007 – "The Mediterranean Sea" – Springer

13. Millot C., 1999. "Circulation in the Western Mediterranean sea" Journal of Marine Systems, Volume 20, Issues 1-4

INDICE DELLE TABELLE

TAB. 6.1 – DISTRIBUZIONE DELLA FREQUENZA PERCENTUALE DELLA VELOCITÀ DEL VENTO PER DIREZIONE DI PROVENIENZA - ANNUALE

TAB. 6.2 – DISTRIBUZIONE DELLA FREQUENZA PERCENTUALE DELLA VELOCITÀ DEL VENTO PER DIREZIONE DI PROVENIENZA - AUTUNNO

TAB. 6.3 – DISTRIBUZIONE DELLA FREQUENZA PERCENTUALE DELLA VELOCITÀ DEL VENTO PER DIREZIONE DI PROVENIENZA - INVERNO

TAB. 6.4 – DISTRIBUZIONE DELLA FREQUENZA PERCENTUALE DELLA VELOCITÀ DEL VENTO PER DIREZIONE DI PROVENIENZA - PRIMAVERA

TAB. 6.5 – DISTRIBUZIONE DELLA FREQUENZA PERCENTUALE DELLA VELOCITÀ DEL VENTO PER DIREZIONE DI PROVENIENZA - ESTATE

TAB. 6.6 – VALORI ESTREMI (m/s) DELLA VELOCITA' DEL VENTO

TAB. 7.1 – DISTRIBUZIONE DELLA FREQUENZA PERCENTUALE DELL'ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA AL LARGO PER DIREZIONE DI PROVENIENZA - ANNUALE

TAB. 7.2 – DISTRIBUZIONE DELLA FREQUENZA PERCENTUALE DELL'ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA AL LARGO IN FUNZIONE DEL PERIODO DI PICCO - ANNUALE

TAB. 7.3 – DISTRIBUZIONE DELLA FREQUENZA PERCENTUALE DELL'ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA AL LARGO IN FUNZIONE DEL PERIODO MEDIO - ANNUALE

TAB. 7.4 – DISTRIBUZIONE DELLA FREQUENZA PERCENTUALE DELL'ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA AL LARGO PER DIREZIONE DI PROVENIENZA - AUTUNNO

TAB. 7.5 – DISTRIBUZIONE DELLA FREQUENZA PERCENTUALE DELL'ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA AL LARGO PER DIREZIONE DI PROVENIENZA - INVERNO

TAB. 7.6 – DISTRIBUZIONE DELLA FREQUENZA PERCENTUALE DELL'ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA AL LARGO PER DIREZIONE DI PROVENIENZA - PRIMAVERA

TAB. 7.7 – DISTRIBUZIONE DELLA FREQUENZA PERCENTUALE DELL'ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA AL LARGO PER DIREZIONE DI PROVENIENZA - ESTATE

TAB. 7.8 – VALORI ESTREMI DELLE ONDE AL LARGO

TAB. 7.9 – CLIMA DELLE ONDE A COSTA CALCOLATO ALLA PROFONDITA' DI 30 M.

TAB. 7.10 – VALORI ESTREMI DEL MOTO ONDOSO A COSTA PER DIREZIONE DI PROVENIENZA – PERIODO DI RITORNO 1 ANNO

TAB. 7.11 – VALORI ESTREMI DEL MOTO ONDOSO A COSTA PER DIREZIONE DI PROVENIENZA – PERIODO DI RITORNO 10 ANNI

TAB. 7.12 – VALORI ESTREMI DEL MOTO ONDOSO A COSTA PER DIREZIONE DI PROVENIENZA – PERIODO DI RITORNO 25 ANNI

TAB. 7.13 – VALORI ESTREMI DEL MOTO ONDOSO A COSTA PER DIREZIONE DI PROVENIENZA – PERIODO DI RITORNO 50 ANNI

TAB. 8.1 - AMPIEZZA E FASE DELLE COMPONENTI DI MAREA A IMPERIA

TAB. 8.2 – VARIAZIONI DEL LIVELLO MARINO DOVUTO ALLA MAREA

TAB. 8.3 – VALORI ESTREMI DEL LIVELLO DEL MARE INDOTTI DA MAREA E VENTO

TAB. 9.1 – DISTRIBUZIONE DELLA FREQUENZA PERCENTUALE DELLA VELOCITÀ DI CORRENTE SUPERFICIALE PER DIREZIONE DI PROPAGAZIONE CALCOLATA A 15 m DI PROFONDITA'

TAB. 9.2 – VALORI ESTREMI (m/s) DELLA VELOCITA' DELLA CORRENTE SUPERFICIALE CALCOLATA A 15 m DI PROFONDITA'

DIR [°N]	W [m/s]															
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	TOTALE
0	0.69	1.01	0.81	0.48	0.27	0.10	0.07	0.06	0.02	0.01						3.52
30	0.83	1.96	2.79	2.90	2.33	2.15	1.77	1.10	0.64	0.29	0.09	0.03	0.01			16.89
60	0.99	2.44	4.16	3.71	2.58	1.40	0.62	0.29	0.14	0.01	0.01					16.35
90	0.95	2.20	1.70	0.76	0.34	0.18	0.08	0.02								6.23
120	0.86	1.07	0.28	0.10	0.01	0.01										2.33
150	0.81	1.48	0.25	0.05	0.03	0.01										2.63
180	0.99	2.08	0.67	0.13	0.12	0.05	0.01		0.01							4.06
210	1.03	4.01	4.06	1.81	1.04	0.44	0.19	0.05	0.03							12.66
240	0.99	2.45	3.50	2.53	2.05	1.58	1.31	0.84	0.51	0.07	0.03					15.86
270	0.70	1.33	0.75	0.47	0.47	0.40	0.21	0.14	0.08	0.04	0.01					4.60
300	0.47	0.66	0.42	0.16	0.10	0.06	0.01	0.01								1.89
330	0.63	0.71	0.38	0.12	0.05	0.01	0.01	0.01								1.92
TOTALE	9.94	21.40	19.77	13.22	9.39	6.39	4.28	2.52	1.43	0.42	0.14	0.03	0.01			88.94

VARIABILE: 11.06

Nota: il valore “0.00” corrisponde a percentuali <0.01%

TAB. 6.1 – DISTRIBUZIONE DELLA FREQUENZA PERCENTUALE DELLA VELOCITÀ DEL VENTO PER DIREZIONE DI PROVENIENZA - ANNUALE

Dir [°N]	W [m/s]															
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	TOTALE
0	0.27	0.85	0.69	0.63	0.22	0.11	0.05	0.03	0.03							2.88
30	0.80	1.76	3.24	3.79	3.38	2.61	1.37	1.10	0.55	0.25	0.27					19.12
60	0.96	2.50	5.14	4.40	4.04	1.84	0.49	0.44	0.22	0.03						20.06
90	0.85	2.36	1.79	0.88	0.28	0.19	0.05									6.40
120	0.58	0.82	0.38	0.12												1.90
150	0.77	1.10	0.30	0.05	0.08	0.03										2.33
180	0.80	1.76	0.63	0.16	0.11		0.03		0.03							3.52
210	0.85	3.27	3.27	1.46	0.91	0.38	0.19	0.14	0.05							10.52
240	0.69	1.70	3.35	2.47	2.14	1.57	1.43	0.85	0.61	0.08						14.89
270	0.52	0.78	0.49	0.44	0.30	0.44	0.23	0.05	0.08	0.05	0.03					3.41
300	0.42	0.44	0.47	0.27	0.08	0.11										1.79
330	0.44	0.52	0.36	0.08	0.05		0.03									1.48
TOTALE	7.95	17.86	20.11	14.75	11.59	7.28	3.87	2.61	1.57	0.41	0.30					88.30

VARIABILE: 11.70

TAB. 6.2 – DISTRIBUZIONE DELLA FREQUENZA PERCENTUALE DELLA VELOCITÀ DEL VENTO PER DIREZIONE DI PROVENIENZA - AUTUNNO

Dir [°N]	W [m/s]															
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	TOTALE
0	0.69	1.08	0.97	0.67	0.80	0.22	0.19	0.17	0.06							4.85
30	0.89	2.19	3.22	4.63	3.99	4.27	4.19	2.80	1.54	0.69	0.08	0.08	0.03			28.60
60	1.14	2.30	3.99	4.13	2.85	1.64	1.00	0.42	0.27							17.74
90	0.89	1.55	1.36	0.61	0.44	0.28	0.14	0.05								5.32
120	0.75	0.53	0.28	0.10	0.06	0.03										1.75
150	0.58	1.00	0.28	0.08	0.03											1.97
180	0.78	0.83	0.54	0.06	0.28	0.03	0.03		0.03							2.58
210	0.83	1.91	2.19	1.22	0.67	0.19	0.19		0.06							7.26
240	0.69	1.61	2.66	3.05	2.66	1.55	1.58	0.75	0.67	0.22	0.08					15.52
270	0.50	0.94	0.72	0.55	0.62	0.50	0.39	0.30	0.11	0.08	0.03					4.74
300	0.39	0.61	0.42	0.28	0.19	0.11	0.05	0.03								2.08
330	0.44	0.55	0.42	0.28	0.08	0.05	0.03	0.03								1.88
TOTALE	8.57	15.10	17.05	15.66	12.67	8.87	7.79	4.55	2.74	0.99	0.19	0.08	0.03			94.29

VARIABILE: 5.71

TAB. 6.3 – DISTRIBUZIONE DELLA FREQUENZA PERCENTUALE DELLA VELOCITÀ DEL VENTO PER DIREZIONE DI PROVENIENZA - INVERNO

Dir [°N]	W [m/s]															
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	TOTALE
0	0.71	1.17	0.95	0.41	0.05	0.05	0.03	0.05		0.03						3.45
30	0.54	1.68	2.20	2.12	1.58	1.36	1.44	0.52	0.43	0.22	0.03	0.03				12.15
60	0.76	2.28	4.05	3.91	2.58	1.90	0.90	0.27	0.05		0.03					16.73
90	1.20	2.36	2.26	1.03	0.38	0.27	0.08	0.06								7.64
120	0.98	1.47	0.30	0.14		0.02										2.91
150	0.73	1.63	0.30	0.03		0.03										2.72
180	1.03	2.39	0.73	0.22	0.08	0.14										4.59
210	1.03	3.86	4.92	2.42	1.71	0.79	0.27	0.05	0.03							15.08
240	1.03	3.02	3.86	2.28	1.79	1.39	1.49	0.95	0.63		0.03					16.47
270	0.65	1.55	1.06	0.46	0.54	0.54	0.14	0.17	0.08	0.03						5.22
300	0.33	0.71	0.46	0.05	0.05											1.60
330	0.65	0.81	0.46	0.03	0.03											1.98
TOTALE	9.64	22.93	21.55	13.10	8.79	6.49	4.35	2.07	1.22	0.28	0.09	0.03				90.54

VARIABILE: 9.46

TAB. 6.4 – DISTRIBUZIONE DELLA FREQUENZA PERCENTUALE DELLA VELOCITÀ DEL VENTO PER DIREZIONE DI PROVENIENZA - PRIMAVERA

Dir [°N]	W [m/s]															
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	TOTALE
0	1.09	0.95	0.63	0.21	0.03											2.91
30	1.09	2.23	2.50	1.09	0.43	0.41	0.14	0.02	0.03							7.94
60	1.11	2.66	3.48	2.42	0.88	0.24	0.08	0.03								10.90
90	0.87	2.50	1.39	0.51	0.24		0.03									5.54
120	1.14	1.47	0.16	0.03												2.80
150	1.17	2.15	0.13	0.03												3.48
180	1.36	3.32	0.75	0.08	0.03											5.54
210	1.39	6.95	5.82	2.15	0.87	0.35	0.11									17.64
240	1.52	3.45	4.13	2.31	1.60	1.82	0.73	0.82	0.16	0.03						16.57
270	1.11	2.07	0.73	0.41	0.43	0.14	0.08	0.03	0.03							5.03
300	0.73	0.87	0.35	0.05	0.05	0.03										2.08
330	0.98	0.92	0.30	0.11												2.31
TOTALE	13.56	29.54	20.37	9.40	4.56	2.99	1.17	0.90	0.22	0.03						82.74

VARIABILE: 17.26

TAB. 6.5 – DISTRIBUZIONE DELLA FREQUENZA PERCENTUALE DELLA VELOCITÀ DEL VENTO PER DIREZIONE DI PROVENIENZA - ESTATE

DIR (°N)	PERIODO DI RITORNO			
	1	10	25	50
0	14.4	19.7	21.6	23.1
30*	22.4	26.4	27.9	28.9
60	17.4	20.6	21.7	22.5
90	12.6	15.8	17.0	17.9
120	7.7	11.0	12.2	13.0
150	7.7	10.7	11.7	12.5
180	11.0	17.1	19.5	21.3
210	14.2	17.1	18.1	18.8
240	19.1	22.2	23.3	24.1
270	17.0	21.6	23.3	24.4
300	10.7	15.3	16.9	18.1
330	9.7	14.6	16.4	17.8
OMNI	**22.4**	**26.4**	**27.9**	**28.9**

(*) per questa direzione è stato utilizzato il valore estremo omnidirezionale perché il best fit non è risultato attendibile.

TAB. 6.6 – VALORI ESTREMI (m/s) DELLA VELOCITA' DEL VENTO

DIR [°N]	Hs [m]																
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	TOTALE
0	0.30	0.38	0.20	0.08	0.02												0.98
30	1.16	2.89	2.42	1.73	1.26	0.53	0.37	0.14	0.05	0.01	0.01	*					10.57
60	2.42	4.46	2.60	1.28	0.48	0.21	0.09	0.02	0.01								11.57
90	1.68	2.81	1.11	0.47	0.11	0.05		0.01									6.24
120	1.15	1.44	0.29	0.14	0.04	0.01											3.07
150	1.04	0.86	0.23	0.03	0.02	0.01											2.19
180	2.49	1.51	0.58	0.14	0.06	0.01	0.02	0.01									4.82
210	7.87	9.06	3.20	1.52	0.59	0.19	0.08	0.04	0.05	0.03							22.63
240	11.89	10.90	5.31	3.34	1.92	1.18	0.60	0.22	0.09	0.03	0.02	*					35.51
270	0.55	0.49	0.21	0.10	0.08	0.02											1.45
300	0.21	0.23	0.07	0.03													0.54
330	0.16	0.16	0.08	0.02		0.01											0.43
TOTALE	30.92	35.19	16.30	8.88	4.58	2.22	1.16	0.44	0.20	0.07	0.03	0.01					100.00

Nota: il valore “0.00” corrisponde a percentuali <0.01%

TAB. 7.1 – DISTRIBUZIONE DELLA FREQUENZA PERCENTUALE DELL’ALTEZZA D’ONDA SIGNIFICATIVA AL LARGO PER DIREZIONE DI PROVENIENZA - ANNUALE

Tp [s]	Hs [m]																
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	TOTALE
1																	
2																	
3	0.89	0.50															1.39
4	6.00	4.39	0.12														10.51
5	7.33	8.56	3.13	0.27	0.02												19.31
6	5.07	6.67	4.25	2.98	0.49	0.07											19.53
7	4.28	4.02	2.87	1.77	1.66	0.34	0.05										14.99
8	2.74	2.78	1.44	1.57	1.32	1.31	0.85	0.23	0.03								12.27
9	2.18	2.29	1.79	0.85	0.53	0.19	0.10	0.13	0.09	0.03							8.18
10	1.24	2.76	1.29	0.67	0.30	0.22	0.08	0.03	0.03	0.01	0.03	*					6.67
11	0.50	1.96	0.93	0.46	0.17	0.03	0.05	0.03	0.02	0.01							4.16
12	0.20	0.96	0.46	0.23	0.08	0.08	0.04	0.01	0.02	0.01		*					2.09
13	0.13	0.31	0.03	0.09	0.02				0.01								0.59
14	0.05	0.05	0.01		0.01												0.12
15	0.02	0.01	0.03	0.01													0.07
20	0.08	0.02	0.01	0.01													0.12
25																	
30																	
TOTALE	30.71	35.28	16.36	8.91	4.60	2.24	1.17	0.43	0.20	0.06	0.03	0.01					100.00

Nota: il valore “0.00” corrisponde a percentuali <0.01%

TAB. 7.2 – DISTRIBUZIONE DELLA FREQUENZA PERCENTUALE DELL’ALTEZZA D’ONDA SIGNIFICATIVA AL LARGO IN FUNZIONE DEL PERIODO DI PICCO - ANNUALE

Tm [s]	Hs [m]																
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	TOTALE
1																	
2																	
3	0.26	0.38															0.64
4	4.36	5.92	0.30														10.58
5	9.67	11.68	5.82	0.91	0.02												28.10
6	8.87	7.40	4.04	4.02	1.86	0.18											26.37
7	4.67	4.82	2.83	1.80	1.66	1.47	0.73	0.08	0.01								18.07
8	2.23	3.14	1.92	1.25	0.68	0.32	0.32	0.31	0.12	0.03							10.32
9	0.55	1.52	1.01	0.64	0.24	0.19	0.05	0.02	0.05	0.02	0.03	*					4.33
10	0.16	0.25	0.33	0.23	0.09	0.05	0.05	0.02	0.01	0.02		*					1.21
11	0.09	0.05	0.03	0.03	0.03	0.02	0.01		0.01								0.27
12		0.03	0.02	0.01													0.06
13	0.01	0.01	0.01														0.03
14			0.01														0.01
15		0.01															0.01
20																	
25																	
30																	
TOTALE	30.87	35.21	16.32	8.89	4.58	2.23	1.16	0.43	0.20	0.07	0.03	0.01					100.00

Nota: il valore “0.00” corrisponde a percentuali <0.01%

TAB. 7.3 – DISTRIBUZIONE DELLA FREQUENZA PERCENTUALE DELL’ALTEZZA D’ONDA SIGNIFICATIVA AL LARGO IN FUNZIONE DEL PERIODO MEDIO - ANNUALE

DIR [°N]	Hs [m]																
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	TOTALE
0	0.16	0.44	0.14	0.03	0.03												0.80
30	1.40	3.52	2.66	1.57	1.10	0.30	0.22	0.22	0.14								11.13
60	3.82	6.07	4.09	1.70	0.80	0.30	0.19	0.03	0.03								17.03
90	2.23	2.77	1.21	0.55	0.11												6.87
120	1.27	1.57	0.38	0.14	0.05												3.41
150	1.29	1.10	0.27	0.03		0.03											2.72
180	2.83	1.57	0.85	0.13	0.14		0.03	0.03									5.58
210	7.20	7.03	3.69	2.01	0.93	0.16	0.14	0.05	0.08	0.05							21.34
240	8.24	9.07	4.51	3.02	1.84	0.93	0.74	0.33	0.14		0.03						28.85
270	0.66	0.41	0.19	0.11	0.03												1.40
300	0.16	0.27	0.08														0.51
330	0.08	0.16	0.09			0.03											0.36
TOTALE	29.34	33.98	18.16	9.29	5.03	1.75	1.32	0.66	0.39	0.05	0.03						100.00

TAB. 7.4 – DISTRIBUZIONE DELLA FREQUENZA PERCENTUALE DELL'ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA AL LARGO PER DIREZIONE DI PROVENIENZA - AUTUNNO

DIR [°N]	Hs [m]																
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	TOTALE
0	0.19	0.53	0.50	0.25	0.05												1.52
30	1.19	5.10	5.13	4.07	3.19	1.47	0.96	0.25	0.06	0.03	0.03	0.03					21.51
60	2.91	5.96	3.27	1.88	0.64	0.30	0.11	0.06	0.03								15.16
90	1.55	1.88	0.89	0.58	0.22	0.19											5.31
120	0.53	1.25	0.39	0.30	0.11	0.03											2.61
150	0.42	0.47	0.30	0.06	0.06												1.31
180	1.52	1.14	0.47	0.33	0.08	0.03	0.06										3.63
210	4.49	6.51	3.30	1.94	0.86	0.39	0.06	0.05	0.03	0.05							17.68
240	5.13	8.87	5.90	3.80	1.94	1.75	0.78	0.28	0.16	0.11	0.05	0.03					28.80
270	0.19	0.36	0.44	0.25	0.25	0.06											1.55
300	0.14	0.17	0.11	0.06													0.48
330	0.11	0.08	0.17	0.06		0.02											0.44
TOTALE	18.37	32.32	20.87	13.58	7.40	4.24	1.97	0.64	0.28	0.19	0.08	0.06					100.00

TAB. 7.5 – DISTRIBUZIONE DELLA FREQUENZA PERCENTUALE DELL'ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA AL LARGO PER DIREZIONE DI PROVENIENZA - INVERNO

DIR [°N]	Hs [m]																
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	TOTALE
0	0.43	0.33	0.14														0.90
30	0.90	2.20	1.52	1.25	0.68	0.30	0.30	0.08		0.03							7.26
60	1.55	3.72	2.50	1.41	0.46	0.22	0.05										9.91
90	1.77	3.59	1.84	0.60	0.10			0.03									7.93
120	1.22	1.58	0.27	0.11													3.18
150	1.06	1.03	0.27	0.03	0.03												2.42
180	2.58	1.82	0.87	0.08	0.03												5.38
210	7.83	12.96	4.05	1.71	0.52	0.19	0.14	0.05	0.08								27.53
240	9.18	10.81	4.92	3.70	2.26	1.39	0.65	0.16	0.03								33.10
270	0.65	0.38	0.14	0.05	0.05	0.03											1.30
300	0.27	0.19	0.03	0.08													0.57
330	0.22	0.22	0.05	0.03													0.52
TOTALE	27.66	38.83	16.60	9.05	4.13	2.13	1.14	0.32	0.11	0.03							100.00

TAB. 7.6 – DISTRIBUZIONE DELLA FREQUENZA PERCENTUALE DELL'ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA AL LARGO PER DIREZIONE DI PROVENIENZA - PRIMAVERA

DIR [°N]	Hs [m]																
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	TOTALE
0	0.41	0.22	0.03	0.03													0.69
30	1.17	0.79	0.41	0.08	0.11	0.05											2.61
60	1.43	2.15	0.57	0.14	0.03												4.32
90	1.19	2.99	0.49	0.14		0.03											4.84
120	1.57	1.36	0.14														3.07
150	1.39	0.84	0.05	0.03													2.31
180	3.02	1.49	0.13	0.03													4.67
210	11.88	9.67	1.79	0.43	0.05	0.03											23.85
240	24.84	14.81	5.90	2.82	1.63	0.71	0.24	0.11	0.03								51.09
270	0.68	0.82	0.08														1.58
300	0.24	0.27	0.05														0.56
330	0.22	0.16	0.03														0.41
TOTALE	48.04	35.57	9.67	3.70	1.82	0.82	0.24	0.11	0.03								100.00

TAB. 7.7 – DISTRIBUZIONE DELLA FREQUENZA PERCENTUALE DELL'ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA AL LARGO PER DIREZIONE DI PROVENIENZA - ESTATE

DIR (°N)	PERIODO DI RITORNO 1 ANNO			PERIODO DI RITORNO 10 ANNI			PERIODO DI RITORNO 25 ANNI			PERIODO DI RITORNO 50 ANNI		
	Hs (m)	Ts (s)	Tp (s)	Hs (m)	Ts (s)	Tp (s)	Hs (m)	Ts (s)	Tp (s)	Hs (m)	Ts (s)	Tp (s)
60	3.3	7.5	7.8	4.4	8.5	8.9	4.7	8.9	9.3	5.0	9.1	9.5
90	2.6	6.5	6.8	3.6	7.7	8.0	3.9	8.1	8.5	4.2	8.4	8.7
120	1.9	5.7	5.9	2.9	7.0	7.3	3.3	7.4	7.7	3.6	7.7	8.1
150	1.7	5.3	5.5	2.9	6.9	7.2	3.4	7.5	7.8	3.7	7.9	8.2
180	2.4	6.3	6.5	3.8	7.9	8.3	4.4	8.5	8.9	4.8	8.9	9.3
210	3.8	8.0	8.3	5.3	9.4	9.8	5.8	9.9	10.3	6.3	10.2	10.7
240	4.6	8.7	9.1	5.9	9.9	10.4	6.5	10.4	10.8	6.8	10.7	11.1
OMNI	**4.8**	**9.0**	**9.4**	**6.1**	**10.0**	**10.5**	**6.5**	**10.4**	**10.9**	**6.9**	**10.7**	**11.2**

TAB. 7.8 – VALORI ESTREMI DELLE ONDE AL LARGO

Hs (m)															
Dir (°N)	**≥0.5**	**1**	**1.5**	**2**	**2.5**	**3**	**3.5**	**4**	**4.5**	**5**	**5.5**	**6**	**6.5**	**> 6.5**	**TOT.**
0	0.97														0.97
30	10.57														10.57
60	11.48														11.48
90	2.7	2.33	0.83	0.32	0.13	0.03									6.33
120	1.15	1.44	0.29	0.15	0.03	0.01									3.07
150	1.04	0.86	0.23	0.03	0.02	0.01									2.19
180	2.49	1.51	0.58	0.14	0.06	0.03	0.01								4.83
210	7.87	9.07	3.2	1.56	0.6	0.25	0.09	0.06	0.03						22.72
240	20.08	6.65	3.42	2.71	2.07	0.47	0.01								35.41
270	1.46														1.46
300	0.53														0.53
330	0.43														0.43
TOT.	60.77	21.86	8.55	4.92	2.91	0.79	0.12	0.06	0.03						100

TAB. 7.9 – CLIMA DELLE ONDE A COSTA CALCOLATO ALLA PROFONDITA’ DI 30 M.

PERIODO DI RITORNO 1 ANNO - direzione 60°N				
N. punto	**Prof (m)**	**Hs (m)**	**Dir (°N)**	**Tp (s)**
1	10	1.5	124	7.8
2	30	1.9	108	7.5
3	50	2.4	100	7.6
PERIODO DI RITORNO 1 ANNO - direzione 90°N				
N. punto	**Prof (m)**	**Hs (m)**	**Dir (°N)**	**Tp (s)**
1	10	1.6	129	6.7
2	30	1.9	119	6.8
3	50	2.2	111	6.9
PERIODO DI RITORNO 1 ANNO - direzione 120°N				
N. punto	**Prof (m)**	**Hs (m)**	**Dir (°N)**	**Tp (s)**
1	10	1.2	144	5.9
2	30	1.5	133	5.9
3	50	1.6	127	6.0
PERIODO DI RITORNO 1 ANNO - direzione 150°N				
N. punto	**Prof (m)**	**Hs (m)**	**Dir (°N)**	**Tp (s)**
1	10	1.2	156	5.8
2	30	1.4	153	5.8
3	50	1.5	151	5.8
PERIODO DI RITORNO 1 ANNO - direzione 180°N				
N. punto	**Prof (m)**	**Hs (m)**	**Dir (°N)**	**Tp (s)**
1	10	1.9	172	6.6
2	30	2.2	176	6.6
3	50	2.3	179	6.6
PERIODO DI RITORNO 1 ANNO - direzione 210°N				
N. punto	**Prof (m)**	**Hs (m)**	**Dir (°N)**	**Tp (s)**
1	10	2.6	184	8.5
2	30	3.1	192	8.4
3	50	3.4	199	8.4
PERIODO DI RITORNO 1 ANNO - direzione 240°N				
N. punto	**Prof (m)**	**Hs (m)**	**Dir (°N)**	**Tp (s)**
1	10	2.6	194	9.0
2	30	3.4	204	8.9
3	50	4.0	213	8.9

TAB. 7.10 – VALORI ESTREMI DEL MOTO ONDOSO A COSTA PER DIREZIONE DI PROVENIENZA – PERIODO DI RITORNO 1 ANNO

PERIODO DI RITORNO 10 ANNI - direzione 60°N				
N. punto	**Prof (m)**	**Hs (m)**	**Dir (°N)**	**Tp (s)**
1	10	2.1	126	8.8
2	30	2.5	112	8.7
3	50	3.1	102	8.6
PERIODO DI RITORNO 10 ANNI - direzione 90°N				
N. punto	**Prof (m)**	**Hs (m)**	**Dir (°N)**	**Tp (s)**
1	10	2.4	131	7.9
2	30	2.7	121	7.9
3	50	3.1	113	7.9
PERIODO DI RITORNO 10 ANNI - direzione 120°N				
N. punto	**Prof (m)**	**Hs (m)**	**Dir (°N)**	**Tp (s)**
1	10	2.0	146	7.2
2	30	2.3	136	7.2
3	50	2.5	129	7.3
PERIODO DI RITORNO 10 ANNI - direzione 150°N				
N. punto	**Prof (m)**	**Hs (m)**	**Dir (°N)**	**Tp (s)**
1	10	2.2	160	7.2
2	30	2.5	155	7.2
3	50	2.7	152	7.2
PERIODO DI RITORNO 10 ANNI - direzione 180°N				
N. punto	**Prof (m)**	**Hs (m)**	**Dir (°N)**	**Tp (s)**
1	10	3.5	174	8.7
2	30	3.9	176	8.5
3	50	4.2	178	8.5
PERIODO DI RITORNO 10 ANNI - direzione 210°N				
N. punto	**Prof (m)**	**Hs (m)**	**Dir (°N)**	**Tp (s)**
1	10	3.7	184	9.8
2	30	4.2	190	9.8
3	50	4.8	197	9.8
PERIODO DI RITORNO 10 ANNI - direzione 240°N				
N. punto	**Prof (m)**	**Hs (m)**	**Dir (°N)**	**Tp (s)**
1	10	3.4	193	10.4
2	30	4.3	201	10.2
3	50	5.1	211	10.1

TAB. 7.11 – VALORI ESTREMI DEL MOTO ONDOSO A COSTA PER DIREZIONE DI PROVENIENZA – PERIODO DI RITORNO 10 ANNI

PERIODO DI RITORNO 25 ANNI - direzione 60°N				
N. punto	**Prof (m)**	**Hs (m)**	**Dir (°N)**	**Tp (s)**
1	10	2.2	127	8.9
2	30	2.6	113	8.9
3	50	3.2	103	8.9
PERIODO DI RITORNO 25 ANNI - direzione 90°N				
N. punto	**Prof (m)**	**Hs (m)**	**Dir (°N)**	**Tp (s)**
1	10	2.7	132	8.5
2	30	2.9	122	8.5
3	50	3.3	114	8.5
PERIODO DI RITORNO 25 ANNI - direzione 120°N				
N. punto	**Prof (m)**	**Hs (m)**	**Dir (°N)**	**Tp (s)**
1	10	2.3	145	7.8
2	30	2.6	136	7.8
3	50	2.9	129	7.9
PERIODO DI RITORNO 25 ANNI - direzione 150°N				
N. punto	**Prof (m)**	**Hs (m)**	**Dir (°N)**	**Tp (s)**
1	10	2.5	161	7.9
2	30	2.9	156	7.9
3	50	3.1	153	7.9
PERIODO DI RITORNO 25 ANNI - direzione 180°N				
N. punto	**Prof (m)**	**Hs (m)**	**Dir (°N)**	**Tp (s)**
1	10	4.2	174	9.3
2	30	4.6	175	9.0
3	50	5.0	178	8.9
PERIODO DI RITORNO 25 ANNI - direzione 210°N				
N. punto	**Prof (m)**	**Hs (m)**	**Dir (°N)**	**Tp (s)**
1	10	4.1	183	10.4
2	30	4.6	189	10.3
3	50	5.2	197	10.3
PERIODO DI RITORNO 25 ANNI - direzione 240°N				
N. punto	**Prof (m)**	**Hs (m)**	**Dir (°N)**	**Tp (s)**
1	10	3.8	192	10.8
2	30	4.6	200	10.7
3	50	5.5	210	10.7

TAB. 7.12 – VALORI ESTREMI DEL MOTO ONDOSO A COSTA PER DIREZIONE DI PROVENIENZA – PERIODO DI RITORNO 25 ANNI

PERIODO DI RITORNO 50 ANNI - direzione 60°N				
N. punto	**Prof (m)**	**Hs (m)**	**Dir (°N)**	**Tp (s)**
1	10	2.4	129	9.5
2	30	2.8	114	9.4
3	50	3.4	104	9.3
PERIODO DI RITORNO 50 ANNI - direzione 90°N				
N. punto	**Prof (m)**	**Hs (m)**	**Dir (°N)**	**Tp (s)**
1	10	2.9	132	8.7
2	30	3.2	123	8.7
3	50	3.6	115	8.7
PERIODO DI RITORNO 50 ANNI - direzione 120°N				
N. punto	**Prof (m)**	**Hs (m)**	**Dir (°N)**	**Tp (s)**
1	10	2.6	145	8.0
2	30	2.8	137	8.0
3	50	3.2	130	8.0
PERIODO DI RITORNO 50 ANNI - direzione 150°N				
N. punto	**Prof (m)**	**Hs (m)**	**Dir (°N)**	**Tp (s)**
1	10	2.8	162	8.1
2	30	3.2	156	8.1
3	50	3.5	153	8.1
PERIODO DI RITORNO 50 ANNI - direzione 180°N				
N. punto	**Prof (m)**	**Hs (m)**	**Dir (°N)**	**Tp (s)**
1	10	4.7	174	9.7
2	30	5.3	175	9.5
3	50	5.7	178	9.5
PERIODO DI RITORNO 50 ANNI - direzione 210°N				
N. punto	**Prof (m)**	**Hs (m)**	**Dir (°N)**	**Tp (s)**
1	10	4.5	183	10.8
2	30	5.0	189	10.7
3	50	5.6	196	10.7
PERIODO DI RITORNO 50 ANNI - direzione 240°N				
N. punto	**Prof (m)**	**Hs (m)**	**Dir (°N)**	**Tp (s)**
1	10	4.0	192	10.9
2	30	4.8	200	10.8
3	50	5.7	210	10.8

TAB. 7.13 – VALORI ESTREMI DEL MOTO ONDOSO A COSTA PER DIREZIONE DI PROVENIENZA – PERIODO DI RITORNO 50 ANNI

COMPONENTE ARMONICA	AMPIEZZA (cm)	FASE (gradi)
M2	8	266
S2	3	284
K1	4	206
O1	2	123

TAB. 8.1 - AMPIEZZA E FASE DELLE COMPONENTI DI MAREA A IMPERIA

PARAMETRO	ALTEZZA DEL LIVELLO (cm)
M. H. W. S.	29
M. H. W. N.	20
M. T. L.	15
M. L. W. N.	10
M. L. W. S.	0

TAB. 8.2 – VARIAZIONI DEL LIVELLO MARINO DOVUTO ALLA MAREA

VALORI ESTREMI con i vecchi estremi				
LIVELLO DEL MARE	**1 ANNO (cm)**	**10 ANNI (cm)**	**25 ANNI (cm)**	**50 ANNI (cm)**
set up con vento trasversale	5	15	22	27
set up con vento longitudinale	35	55	64	70
marea	29	29	29	29

TAB. 8.3 – VALORI ESTREMI DEL LIVELLO DEL MARE INDOTTI DA MAREA E VENTO

DIR	V [m/s]										
[°N]	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	TOTALE
0	1.81	1.48	0.25	0.05	0.02	0.03	0.03				3.67
30	1.99	2.08	0.67	0.13	0.12	0.10	0.03				5.12
60	2.03	4.01	5.87	1.04	0.44	0.77	0.03				14.19
90	0.90	1.27	6.03	2.05	1.58	2.15	0.05				14.03
120	1.05	2.45	0.15	0.11	0.47	0.61	0.22				5.06
150	2.47	1.99	1.17	0.63	0.09	0.16	0.02	0.01			6.54
180	1.06	1.71	0.38	0.12	0.05	0.05	0.18				3.55
210	0.99	1.01	0.81	0.48	0.27	1.20	1.05				5.81
240	0.88	1.96	5.69	2.33	2.15	1.92	0.01				14.94
270	0.99	1.20	7.87	2.58	1.40	0.91					14.95
300	0.75	2.44	0.07	0.09	0.34	0.26	0.02				3.97
330	1.96	3.27	1.98	0.86	0.08	0.02					8.17
TOTALE	16.88	24.87	30.94	10.47	7.01	8.18	1.64	0.01			100.00

TAB. 9.1 – DISTRIBUZIONE DELLA FREQUENZA PERCENTUALE DELLA VELOCITÀ DI CORRENTE SUPERFICIALE PER DIREZIONE DI PROPAGAZIONE CALCOLATA A 15 m DI PROFONDITA’

DIR (°N)	PERIODO DI RITORNO (anni)			
	1	10	25	50
CORRENTE DA VENTO OMNIDIREZIONALE	0.38	0.45	0.47	0.49
CORRENTE DI MAREA OMNIDIREZIONALE	0.05	0.05	0.05	0.05
CIRCOLAZIONE GENERALE	0.10	0.10	0.10	0.10
CORRENTE TOTALE OMNIDIREZIONALE	0.53	0.60	0.62	0.64

TAB. 9.2 – VALORI ESTREMI (m/s) DELLA VELOCITA' DELLA CORRENTE SUPERFICIALE CALCOLATA A 15 m DI PROFONDITA'

INDICE DELLE FIGURE

FIG. 3.1 - AREA DI STUDIO (da Google Earth)

FIG. 3.2 - SETTORI DI TRAVERSIA DELL'AREA DI STUDIO

FIG. 3.3 - BATIMETRIA A GRANDE SCALA E DELL'AREA DI STUDIO

FIG. 4.1 - UBICAZIONE DEL PUNTO ECMWF IN CUI SONO STATI RICOSTRUITI I DATI, DELLA STAZIONE MAREOGRAFICA DI IMPERIA E DELLA BOA DI NIZZA RISPETTO ALL'AREA DI STUDIO

FIG. 6.1- ROSA ANNUALE DEI VENTI

FIG. 6.2- ROSE STAGIONALI DEI VENTI

FIG. 6.3 – "FITTING" DELLA DISTRIBUZIONE OMNIDIREZIONALE DEL VENTO MEDIANTE FUNZIONE ESTREMALE DI WEIBULL

FIG. 7.1 – ROSA ANNUALE DELLE ONDE AL LARGO

FIG. 7.2 – SCATTER DIAGRAM DELL'ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA VS PERIODO DI PICCO (SOPRA) E PERIODO MEDIO (SOTTO)

FIG. 7.3 – ROSE STAGIONALI DELLE ONDE AL LARGO

FIG. 7.4 – "FITTING" DELLA DISTRIBUZIONE OMNIDIREZIONALE DELLE ONDE AL LARGO MEDIANTE FUNZIONE ESTREMALE DI WEIBULL

FIG. 7.5 – POSIZIONE DEI PUNTI IN CUI E' STATO CALCOLATO IL CLIMA A COSTA

FIG. 7.6 – ROSA DELLE ONDE A COSTA CALCOLATA A 30 M DI PROFONDITÀ

FIG. 7.7 – ESEMPIO DI SIMULAZIONE A LARGA SCALA E POSIZIONE DEI PUNTI 1, 2 E 3 DA CUI SONO STATI ESTRATTI I RISULTATI (NELL'INGRANDIMENTO LA BATIMETRIA E' TRATTEGGIATA)

FIG. 7.8 – CAMPI DI ALTEZZA D'ONDA INDOTTI DA ONDE ESTREME AL LARGO PROVENIENTI DA 60°N - PERIODI DI RITORNO DI 1, 10, 25 E 50 ANNI

FIG. 7.9 – CAMPI DI ALTEZZA D'ONDA INDOTTI DA ONDE ESTREME AL LARGO PROVENIENTI DA 90°N - PERIODI DI RITORNO DI 1, 10, 25 E 50 ANNI

FIG. 7.10 – CAMPI DI ALTEZZA D'ONDA INDOTTI DA ONDE ESTREME AL LARGO PROVENIENTI DA 120°N - PERIODI DI RITORNO DI 1, 10, 25 E 50 ANNI

FIG. 7.11 – CAMPI DI ALTEZZA D'ONDA INDOTTI DA ONDE ESTREME AL LARGO PROVENIENTI DA 150°N - PERIODI DI RITORNO DI 1, 10, 25 E 50 ANNI

FIG. 7.12 – CAMPI DI ALTEZZA D'ONDA INDOTTI DA ONDE ESTREME AL LARGO PROVENIENTI DA 180°N - PERIODI DI RITORNO DI 1, 10, 25 E 50 ANNI

FIG. 7.13 – CAMPI DI ALTEZZA D'ONDA INDOTTI DA ONDE ESTREME AL LARGO PROVENIENTI DA 210°N - PERIODI DI RITORNO DI 1, 10, 25 E 50 ANNI

FIG. 7.14 – CAMPI DI ALTEZZA D'ONDA INDOTTI DA ONDE ESTREME AL LARGO PROVENIENTI DA 240°N - PERIODI DI RITORNO DI 1, 10, 25 E 50 ANNI

FIG. 8.1 – SERIE TEMPORALE DELL'OSCILLAZIONE DI MAREA (RICOSTRUITA DALLE COSTANTI ARMONICHE DI IMPERIA)

FIG. 9.1 – CIRCOLAZIONE DELL'ACQUA ATLANTICA (MAW) [RIF. 13]

FIG. 9.2 – CIRCOLAZIONE DELL'ACQUA LEVANTINA (LIW) [RIF. 13]

FIG. 9.3 – CIRCOLAZIONE DELL'ACQUA PROFONDA (WMDW) [RIF. 13]

FIG. 9.4 – ESEMPIO DI CAMPO IDRODINAMICO INDOTTO DAL VENTO DA EST

FIG. 9.5 – ESEMPIO DI CAMPO IDRODINAMICO INDOTTO DAL VENTO DA SO

FIG. 9.6 - ROSA ANNUALE DELLA CORRENTE

FIG. 9.7 – "FITTING" DELLA DISTRIBUZIONE OMNIDIREZIONALE DELLA VELOCITA' DI CORRENTE MEDIANTE FUNZIONE ESTREMALE DI WEIBULL



FIG. 3.1 - AREA DI STUDIO (da Google Earth)

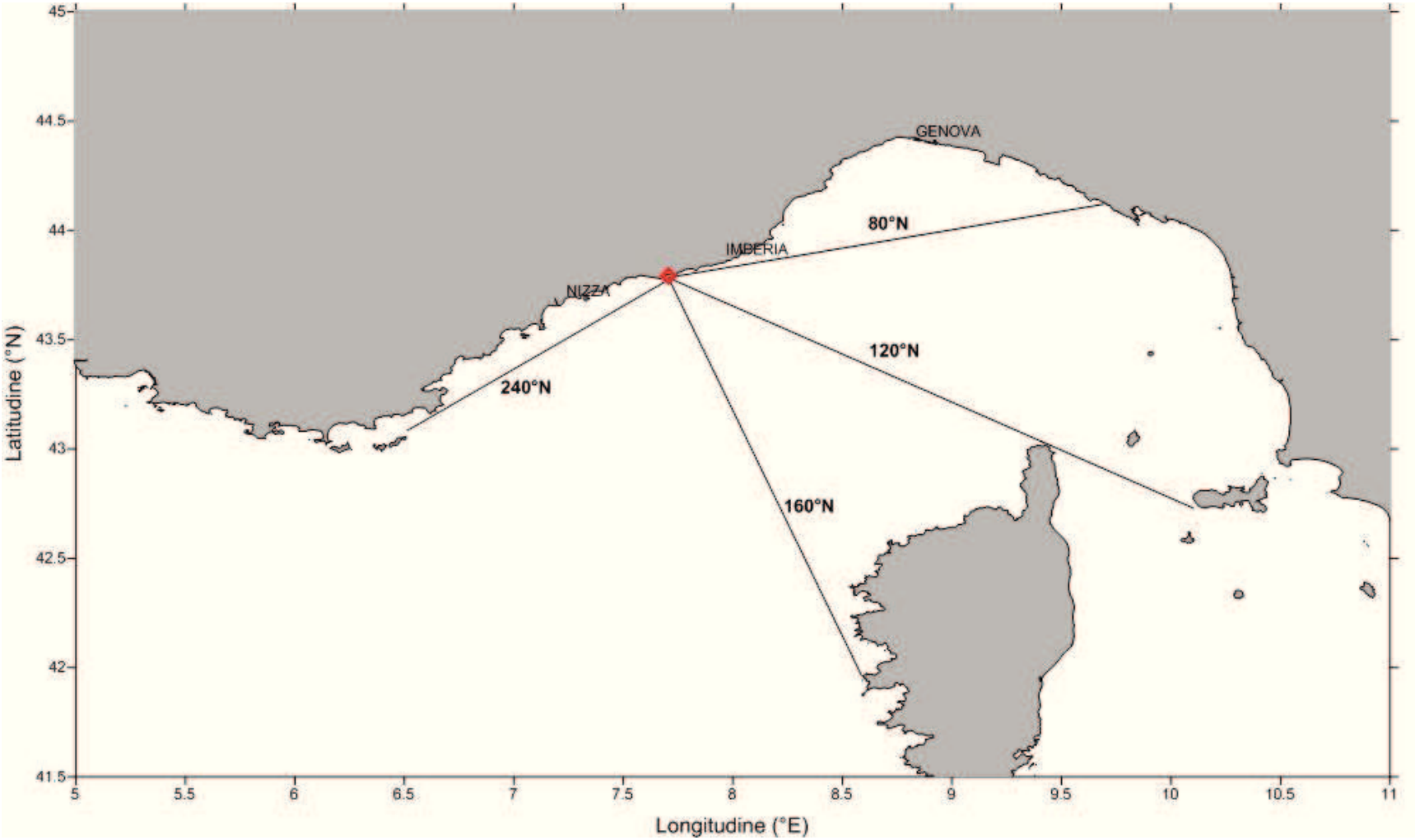


FIG. 3.2 - SETTORI DI TRAVERSIA DELL'AREA DI STUDIO

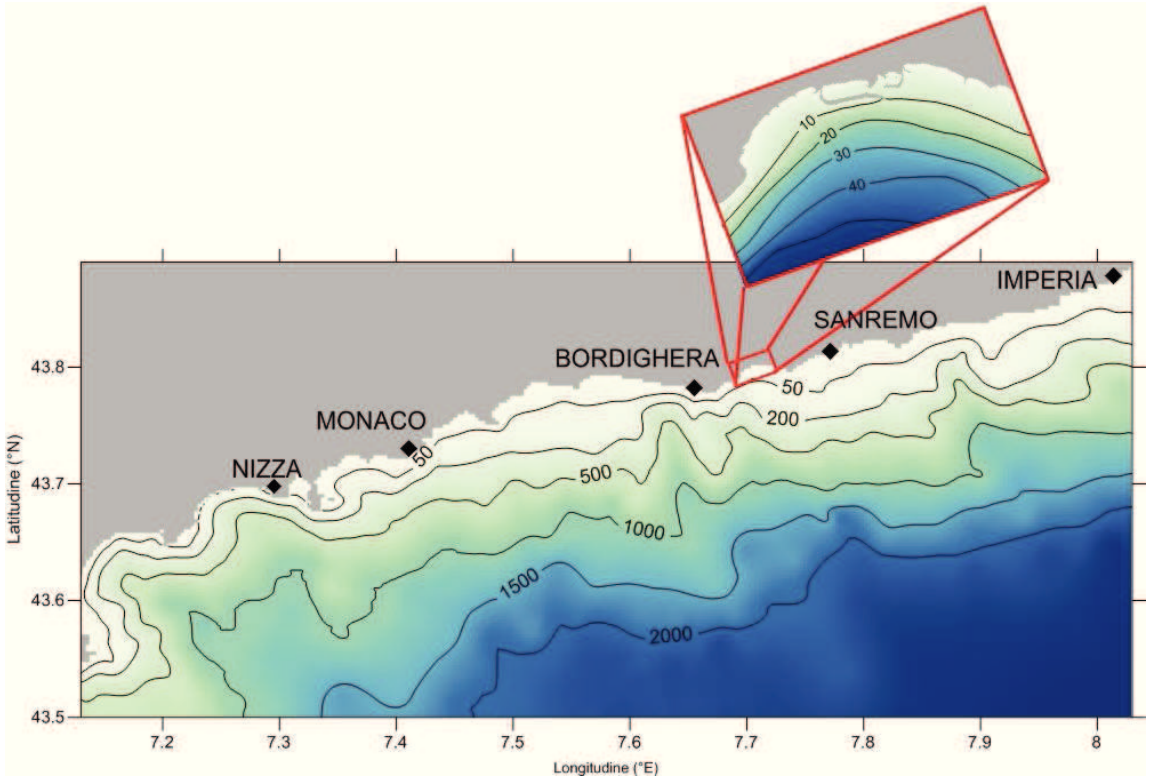


FIG. 3.3 - BATIMETRIA A GRANDE SCALA E DELL'AREA DI STUDIO

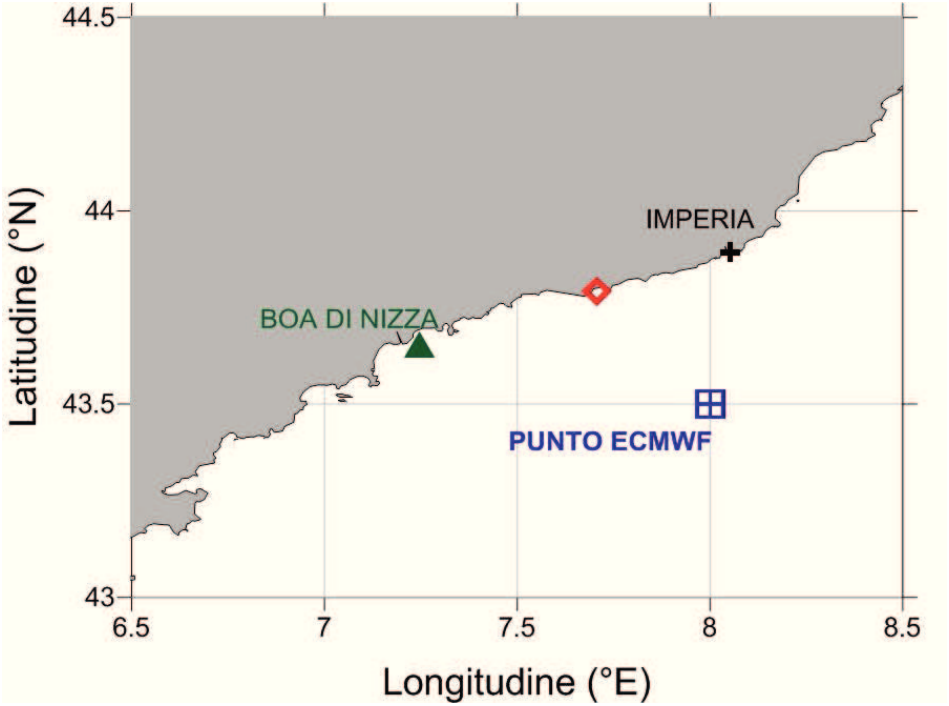


FIG. 4.1 - UBICAZIONE DEL PUNTO ECMWF IN CUI SONO STATI RICOSTRUITI I DATI, DELLA STAZIONE MAREOGRAFICA DI IMPERIA E DELLA BOA DI NIZZA RISPETTO ALL'AREA DI STUDIO

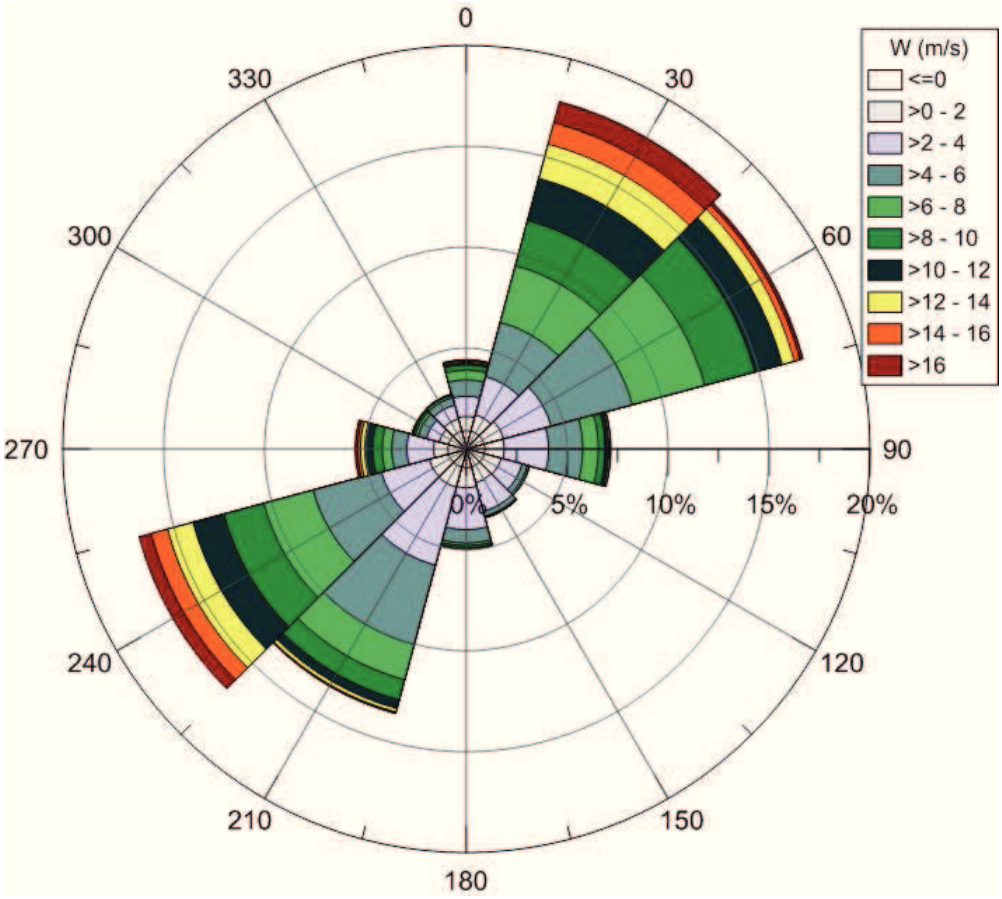


FIG. 6.1- ROSA ANNUALE DEI VENTI

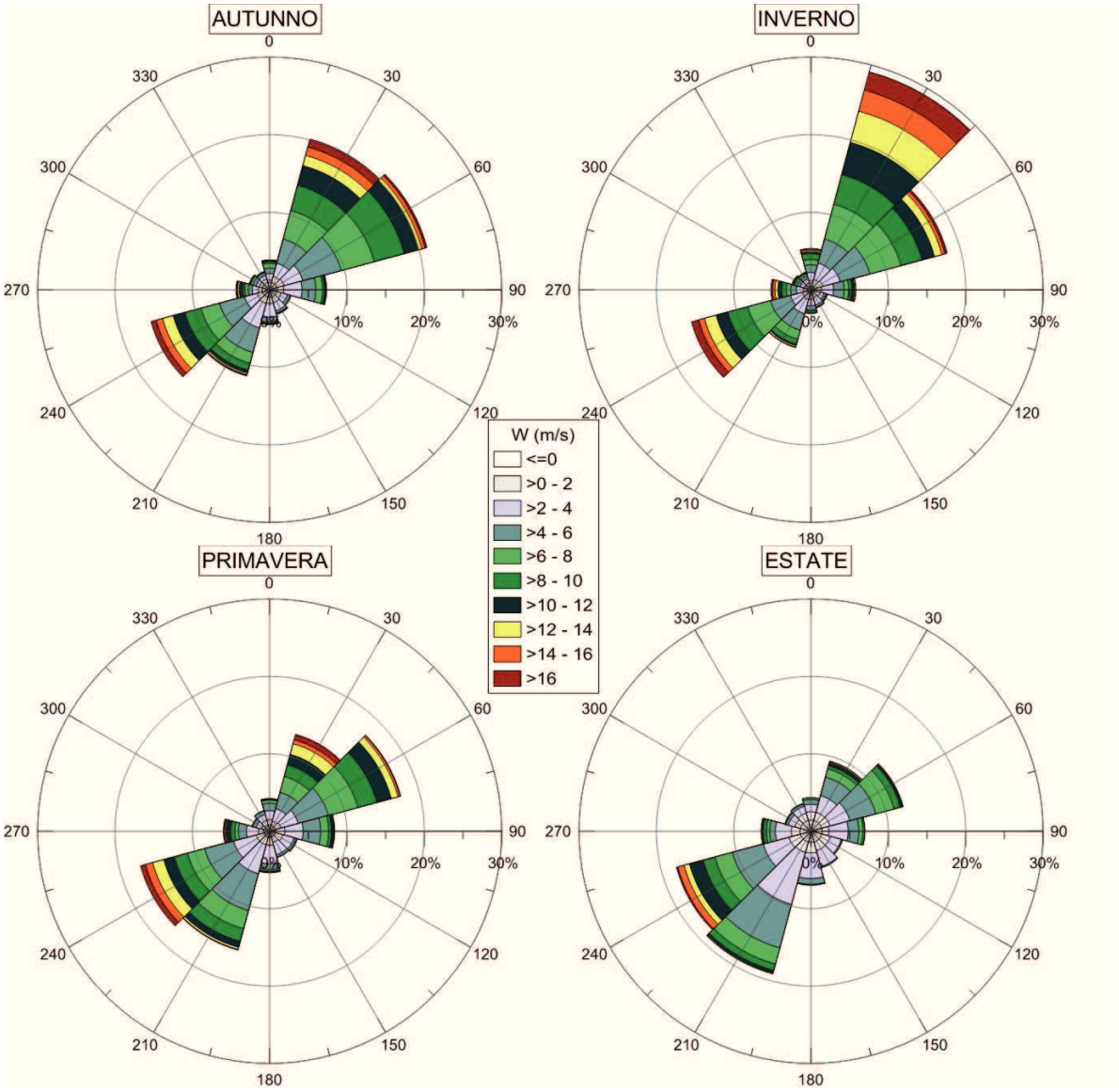


FIG. 6.2- ROSE STAGIONALI DEI VENTI

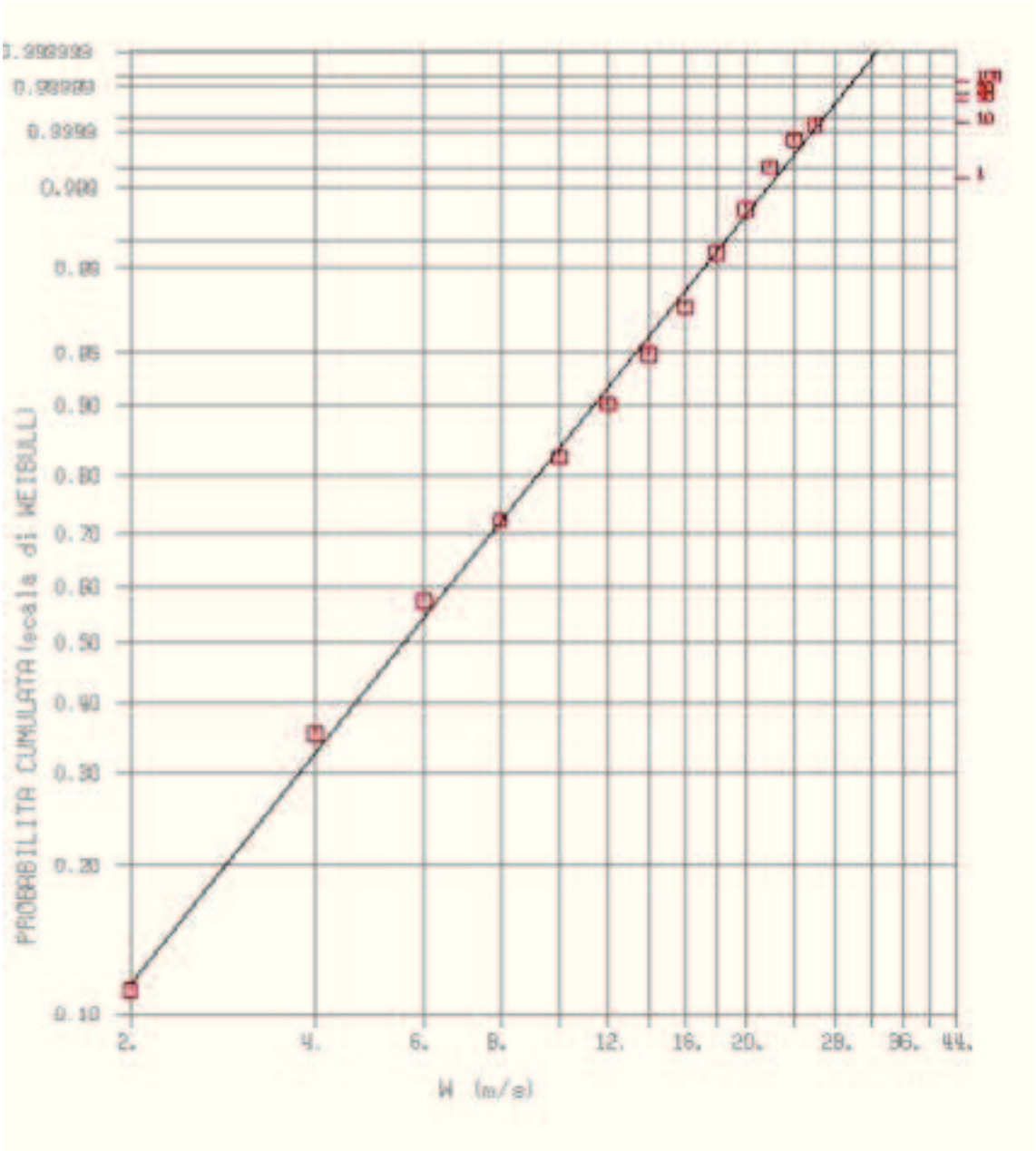


FIG. 6.3 – “FITTING” DELLA DISTRIBUZIONE OMNIDIREZIONALE DEL VENTO MEDIANTE FUNZIONE ESTREMALE DI WEIBULL

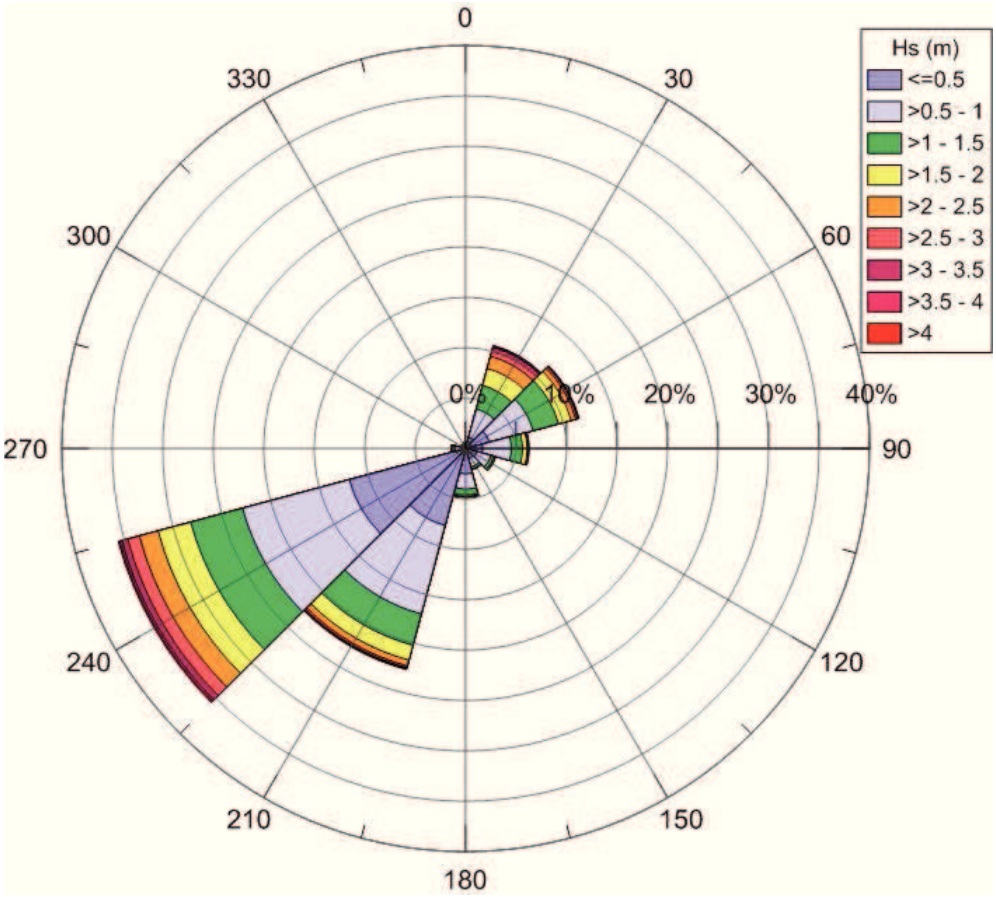


FIG. 7.1 – ROSA ANNUALE DELLE ONDE AL LARGO

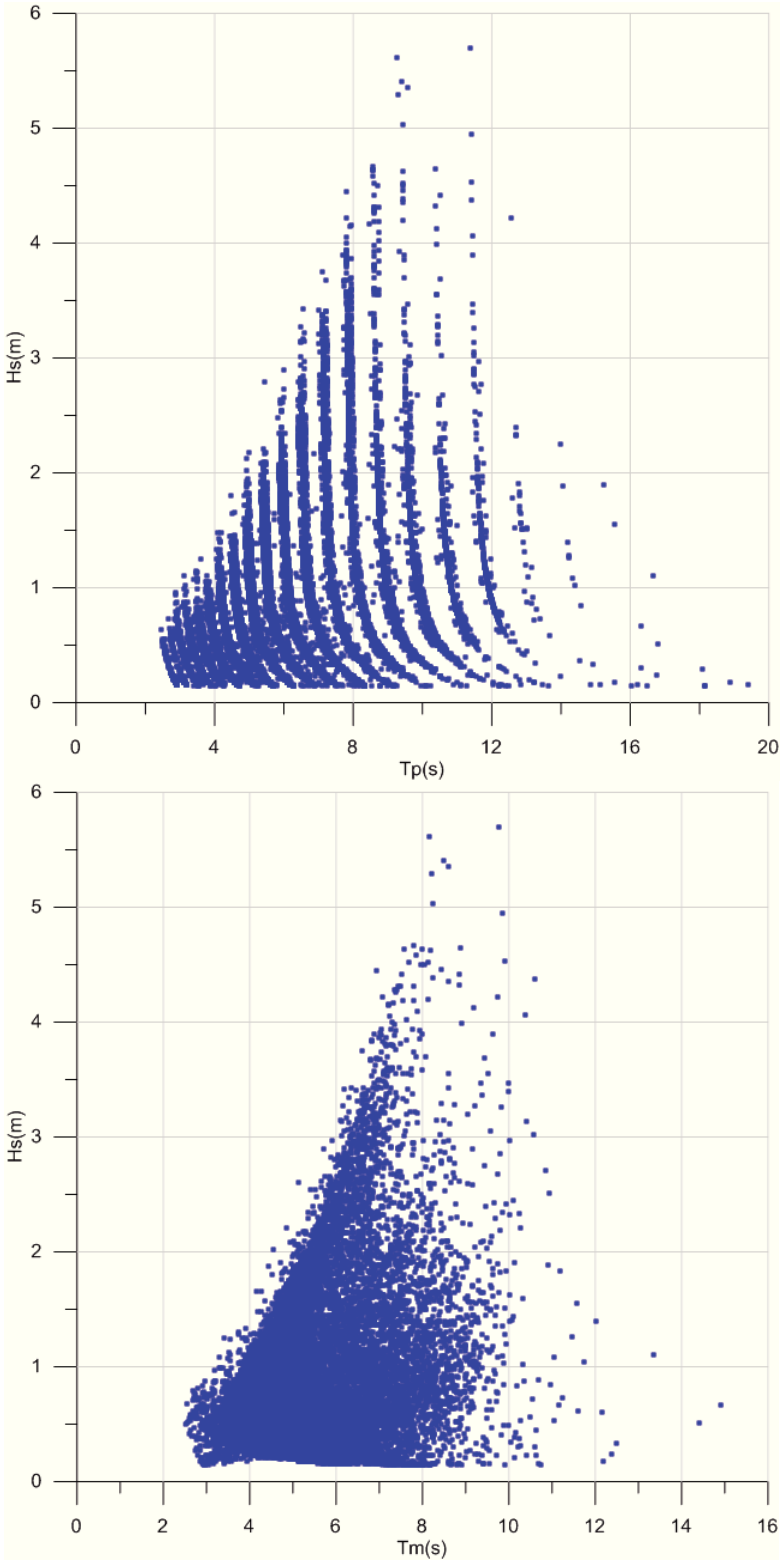


FIG. 7.2 – SCATTER DIAGRAM DELL'ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA VS PERIODO DI PICCO (SOPRA) E PERIODO MEDIO (SOTTO)

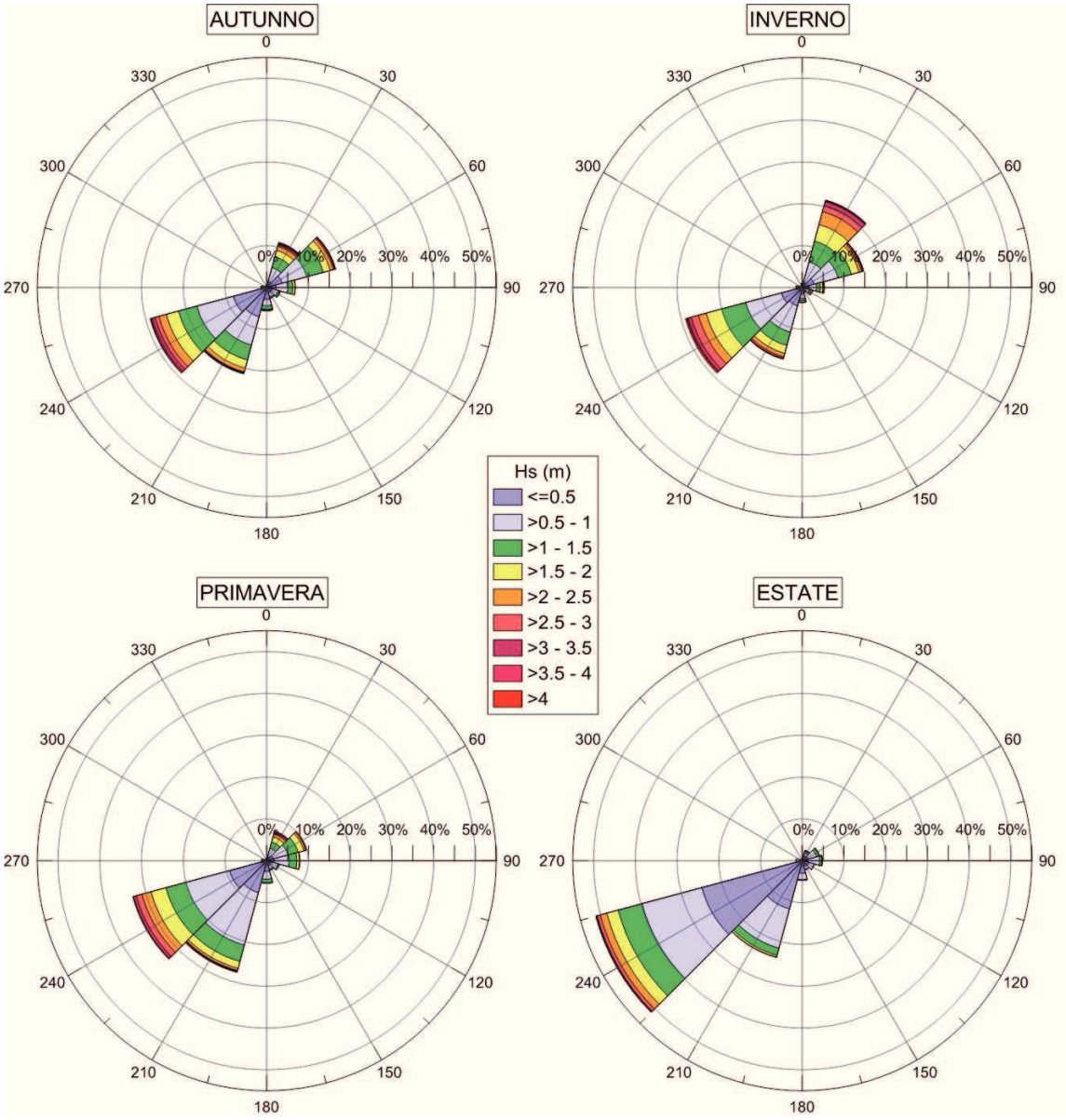


FIG. 7.3 – ROSE STAGIONALI DELLE ONDE AL LARGO

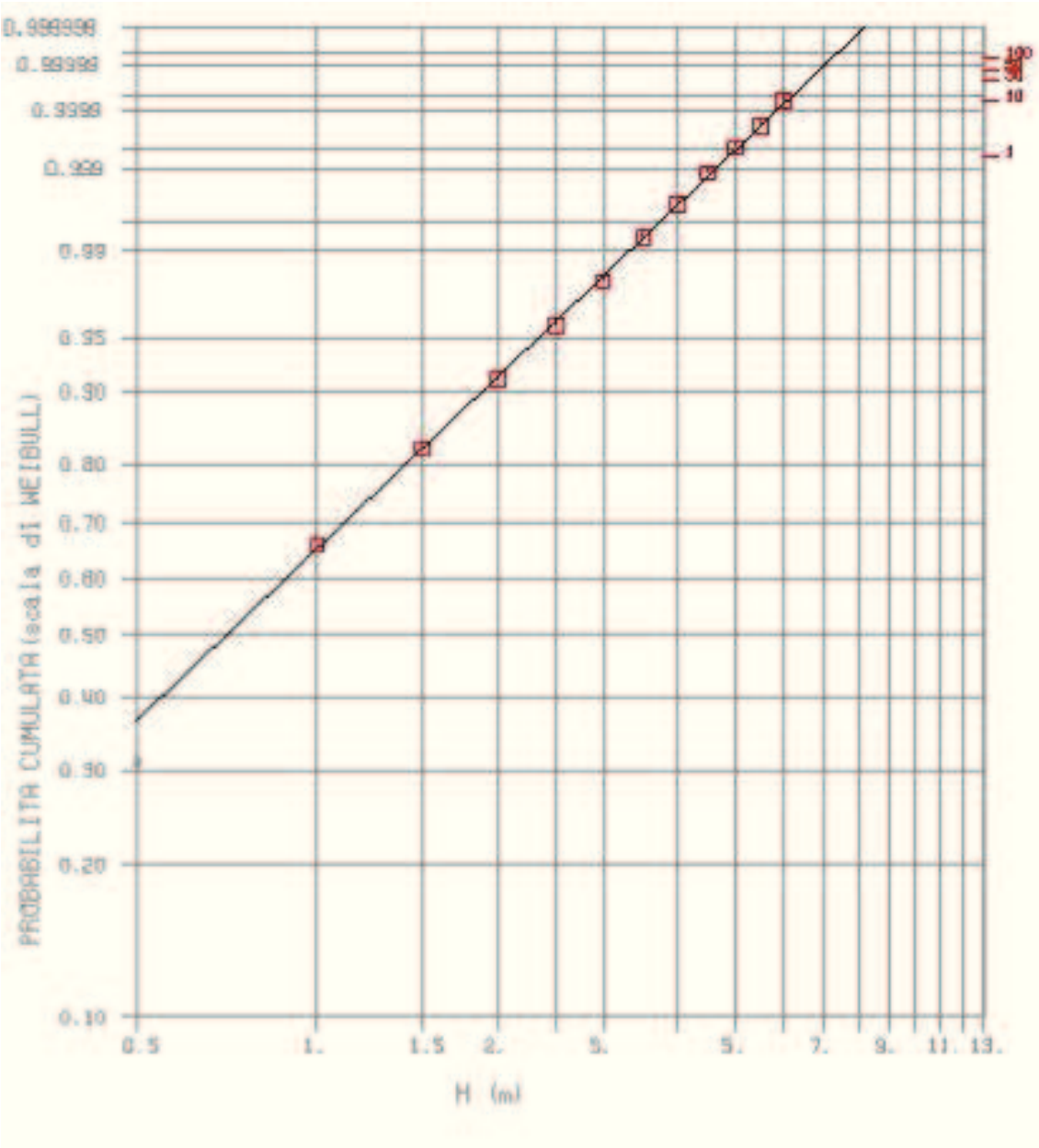


FIG. 7.4 – “FITTING” DELLA DISTRIBUZIONE OMNIDIREZIONALE DELLE ONDE AL LARGO MEDIANTE FUNZIONE ESTREMALE DI WEIBULL

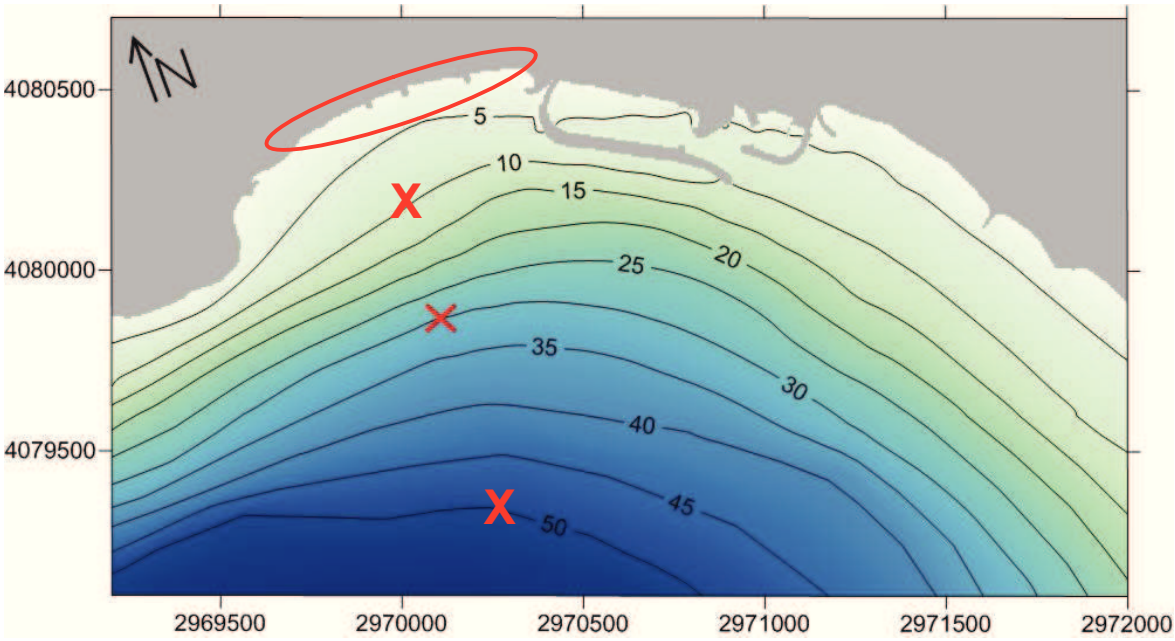


FIG. 7.5 – POSIZIONE DEI PUNTI IN CUI E' STATO CALCOLATO IL CLIMA A COSTA

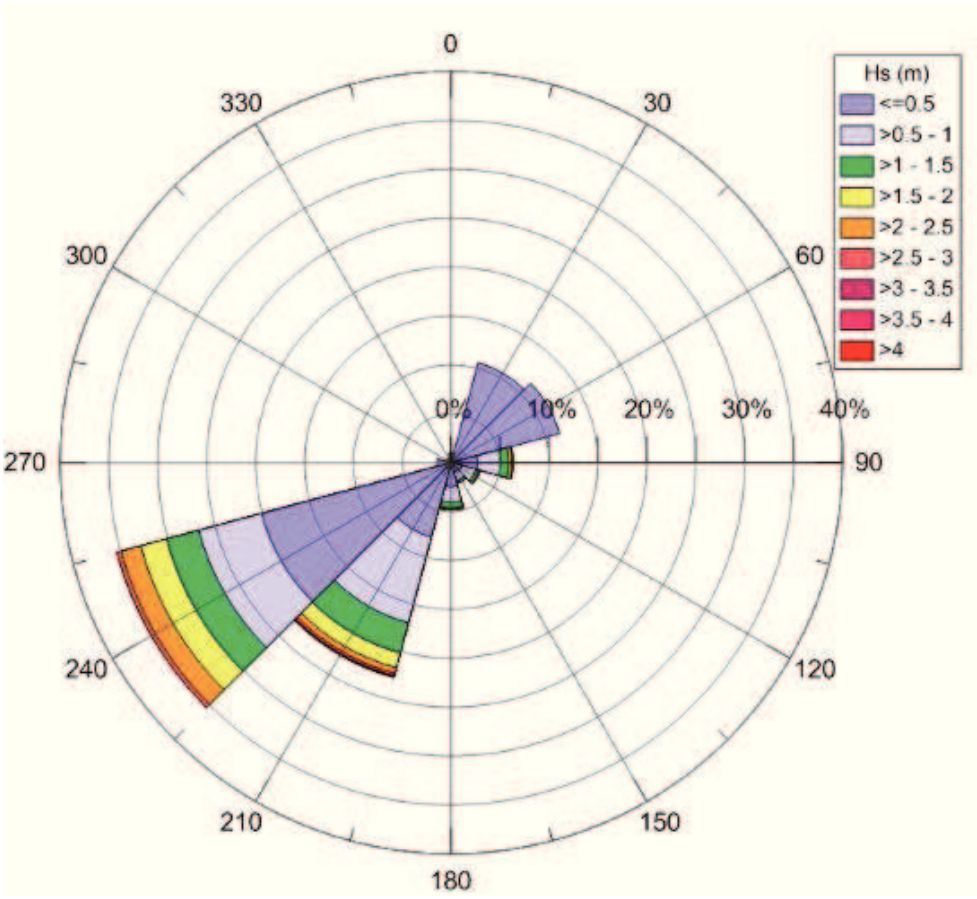


FIG. 7.6 – ROSA DELLE ONDE A COSTA CALCOLATA A 30 M DI PROFONDITÀ

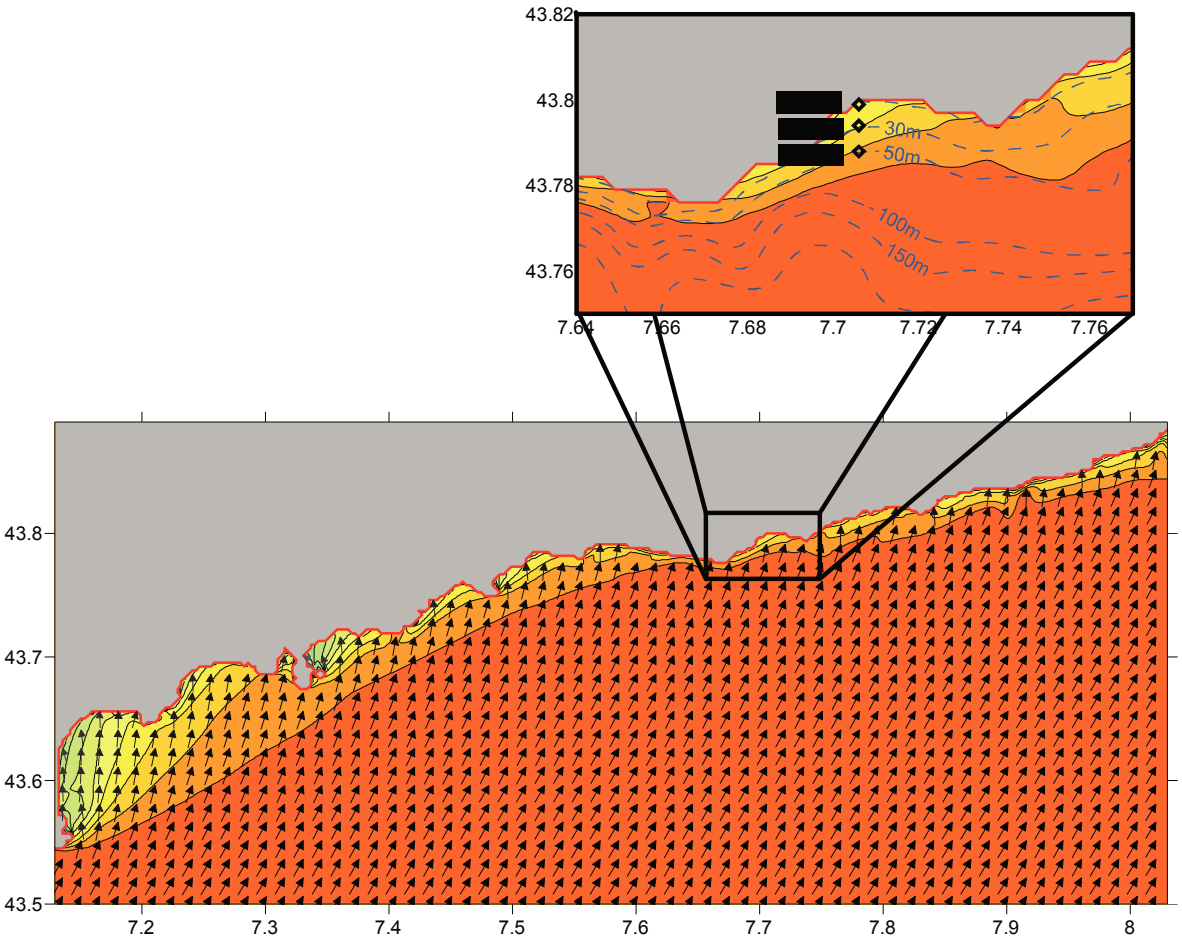


FIG. 7.7 – ESEMPIO DI SIMULAZIONE A LARGA SCALA E POSIZIONE DEI PUNTI 1, 2 E 3 DA CUI SONO STATI ESTRATTI I RISULTATI (NELL'INGRANDIMENTO LA BATIMETRIA E' TRATTEGGIATA)

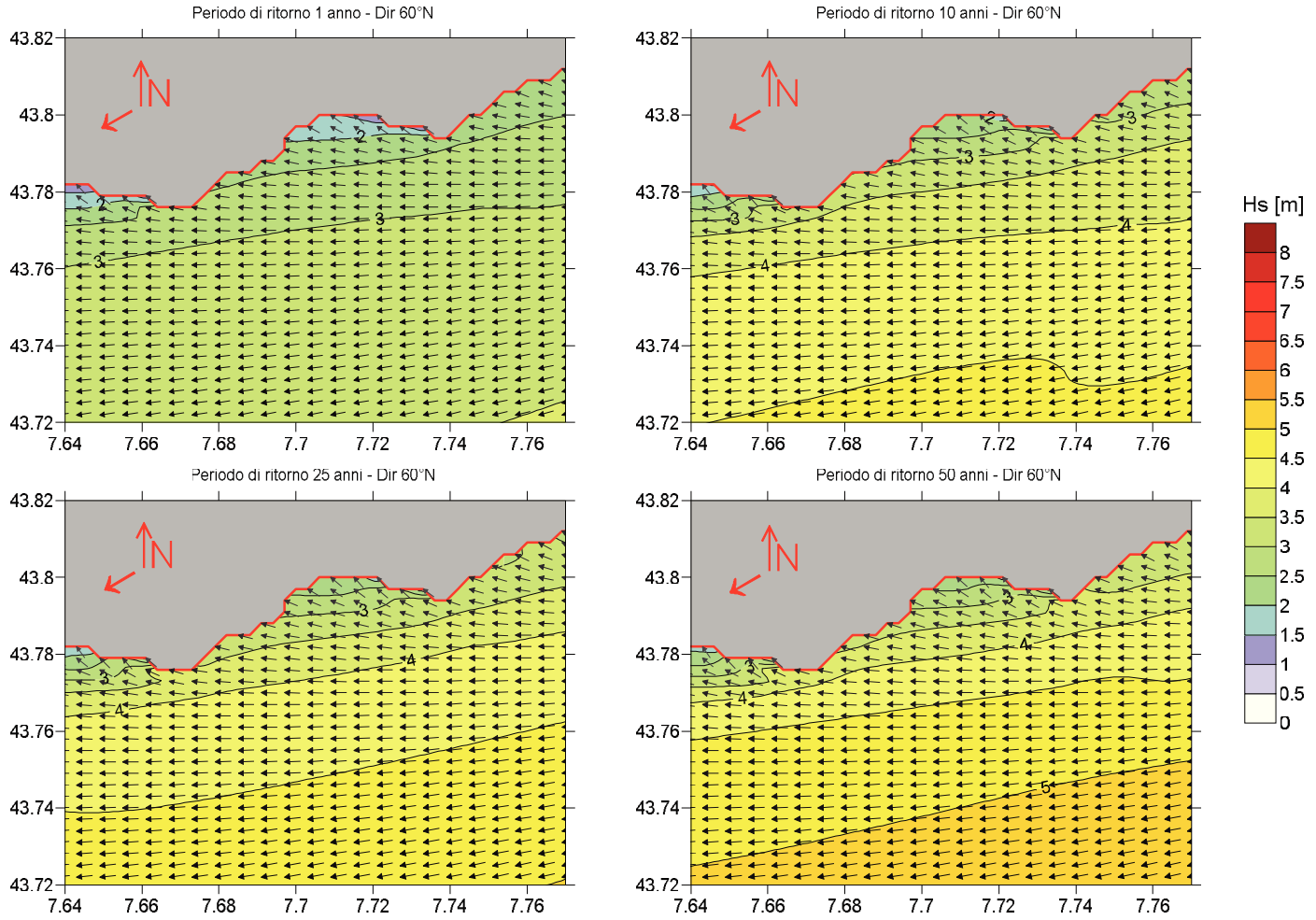


FIG. 7.8 – CAMPI DI ALTEZZA D'ONDA INDOTTI DA ONDE ESTREME AL LARGO PROVENIENTI DA 60°N - PERIODI DI RITORNO DI 1, 10, 25 E 50 ANNI

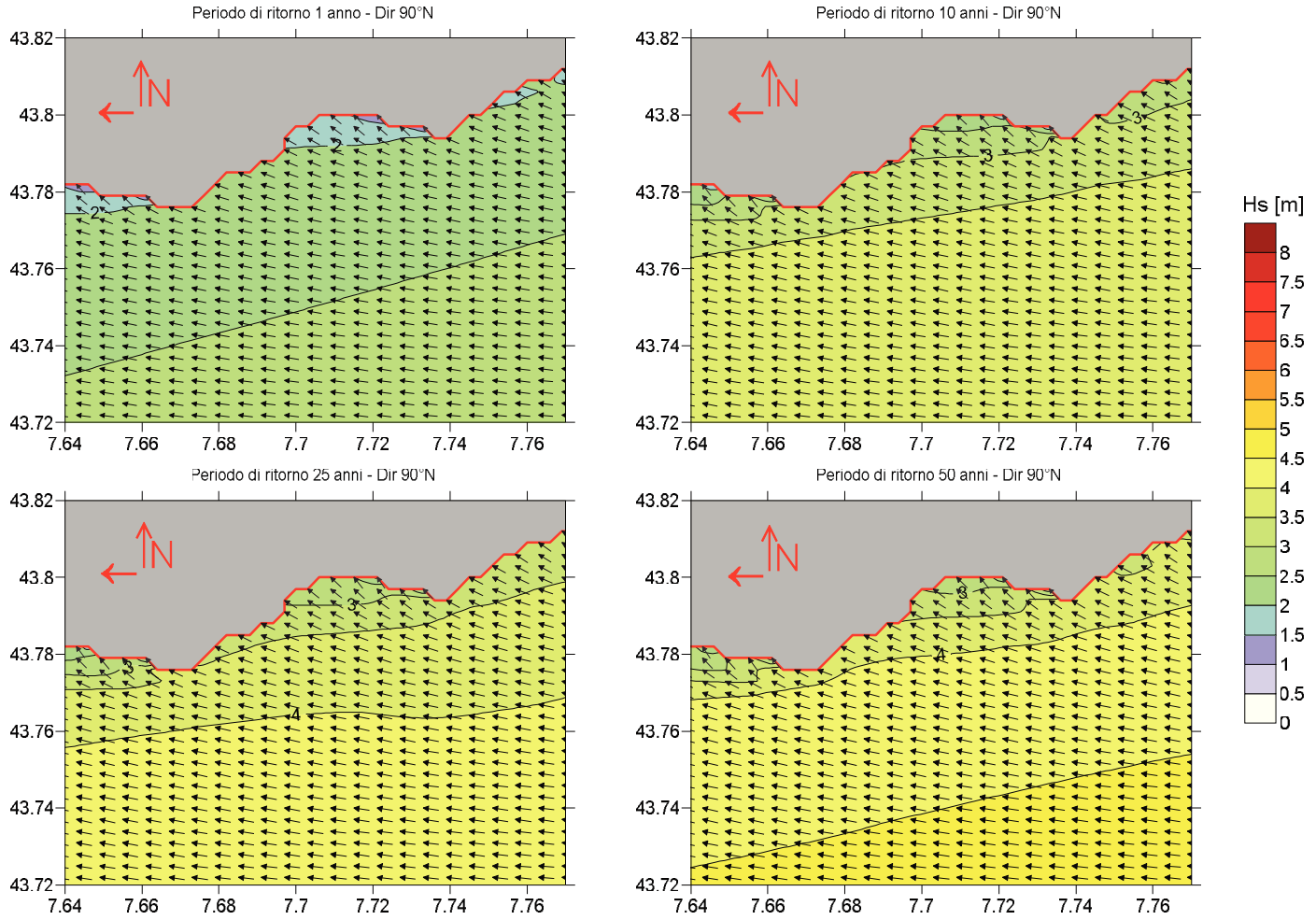


FIG. 7.9 – CAMPI DI ALTEZZA D'ONDA INDOTTI DA ONDE ESTREME AL LARGO PROVENIENTI DA 90°N - PERIODI DI RITORNO DI 1, 10, 25 E 50 ANNI

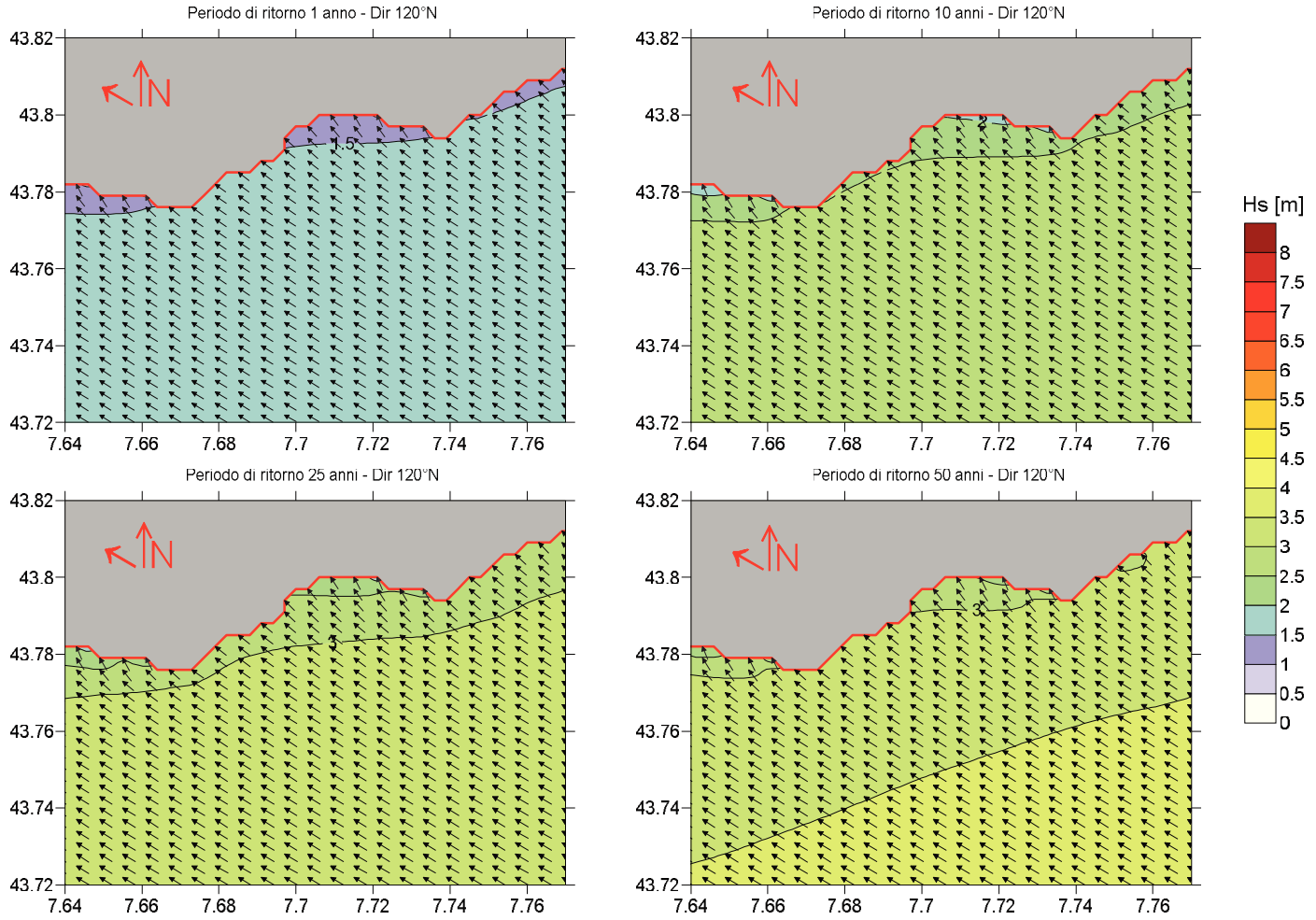


FIG. 7.10 – CAMPI DI ALTEZZA D'ONDA INDOTTI DA ONDE ESTREME AL LARGO PROVENIENTI DA 120°N - PERIODI DI RITORNO DI 1, 10, 25 E 50 ANNI

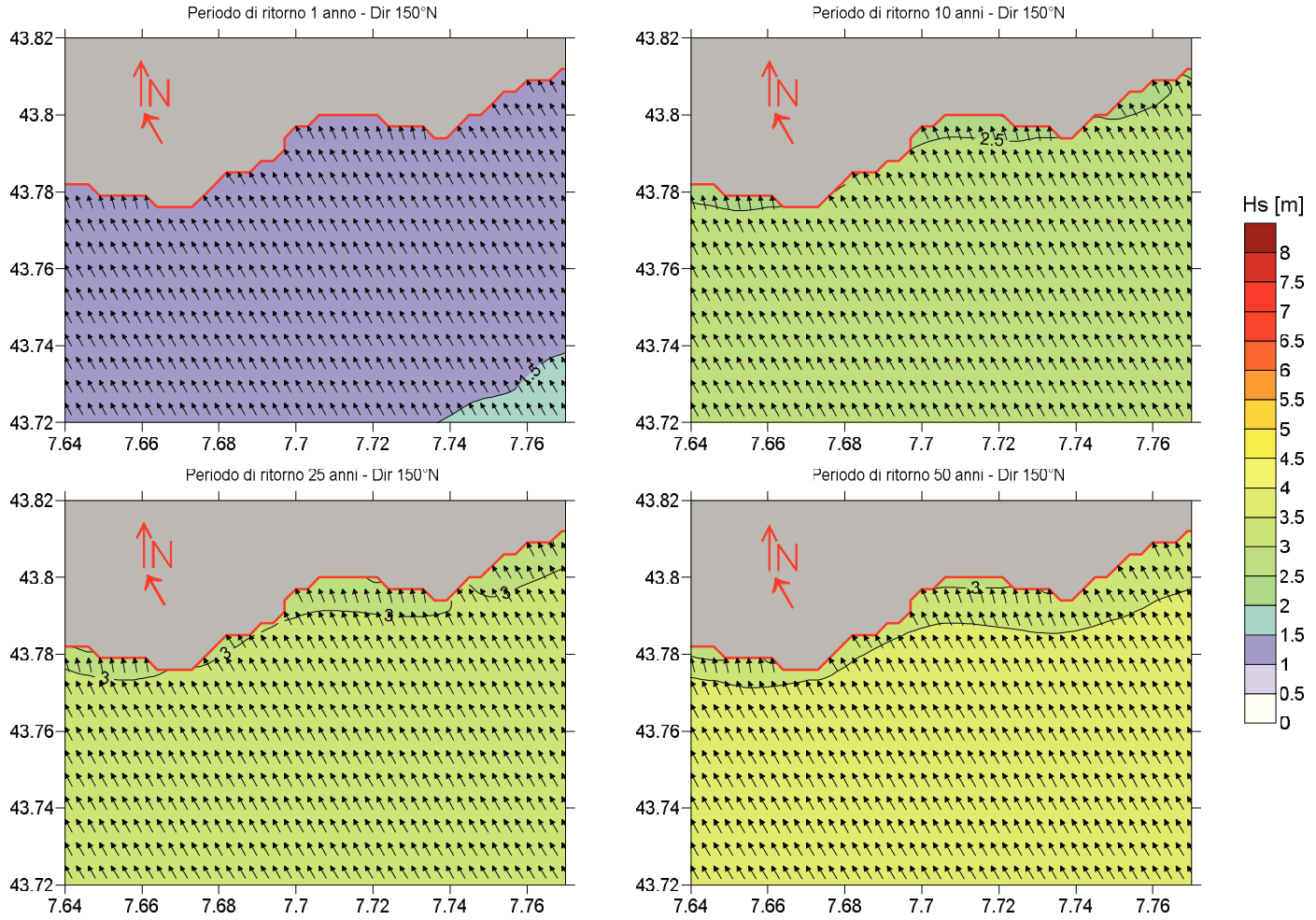


FIG. 7.11 – CAMPI DI ALTEZZA D'ONDA INDOTTI DA ONDE ESTREME AL LARGO PROVENIENTI DA 150°N - PERIODI DI RITORNO DI 1, 10, 25 E 50 ANNI

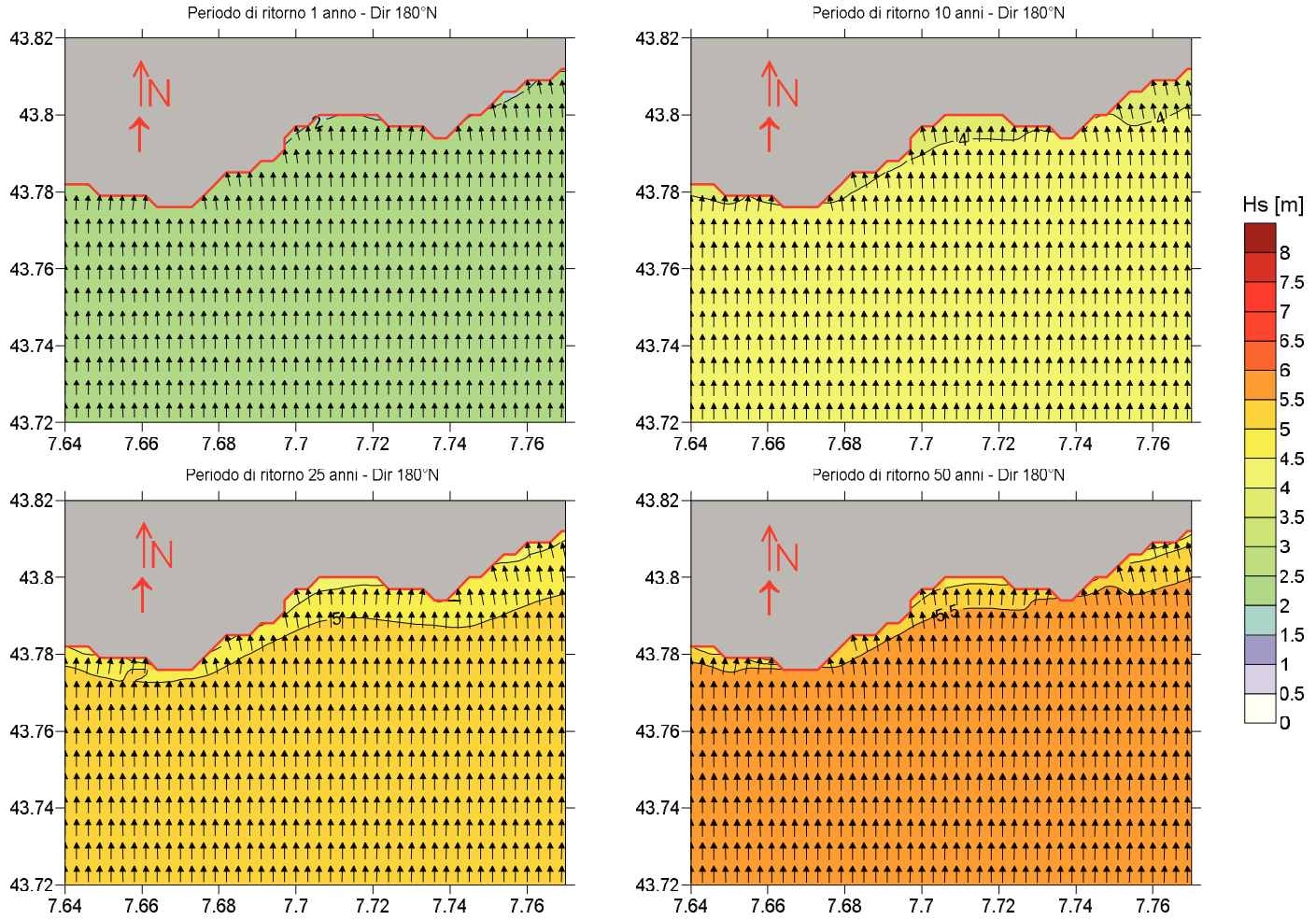


FIG. 7.12 – CAMPI DI ALTEZZA D'ONDA INDOTTI DA ONDE ESTREME AL LARGO PROVENIENTI DA 180°N - PERIODI DI RITORNO DI 1, 10, 25 E 50 ANNI

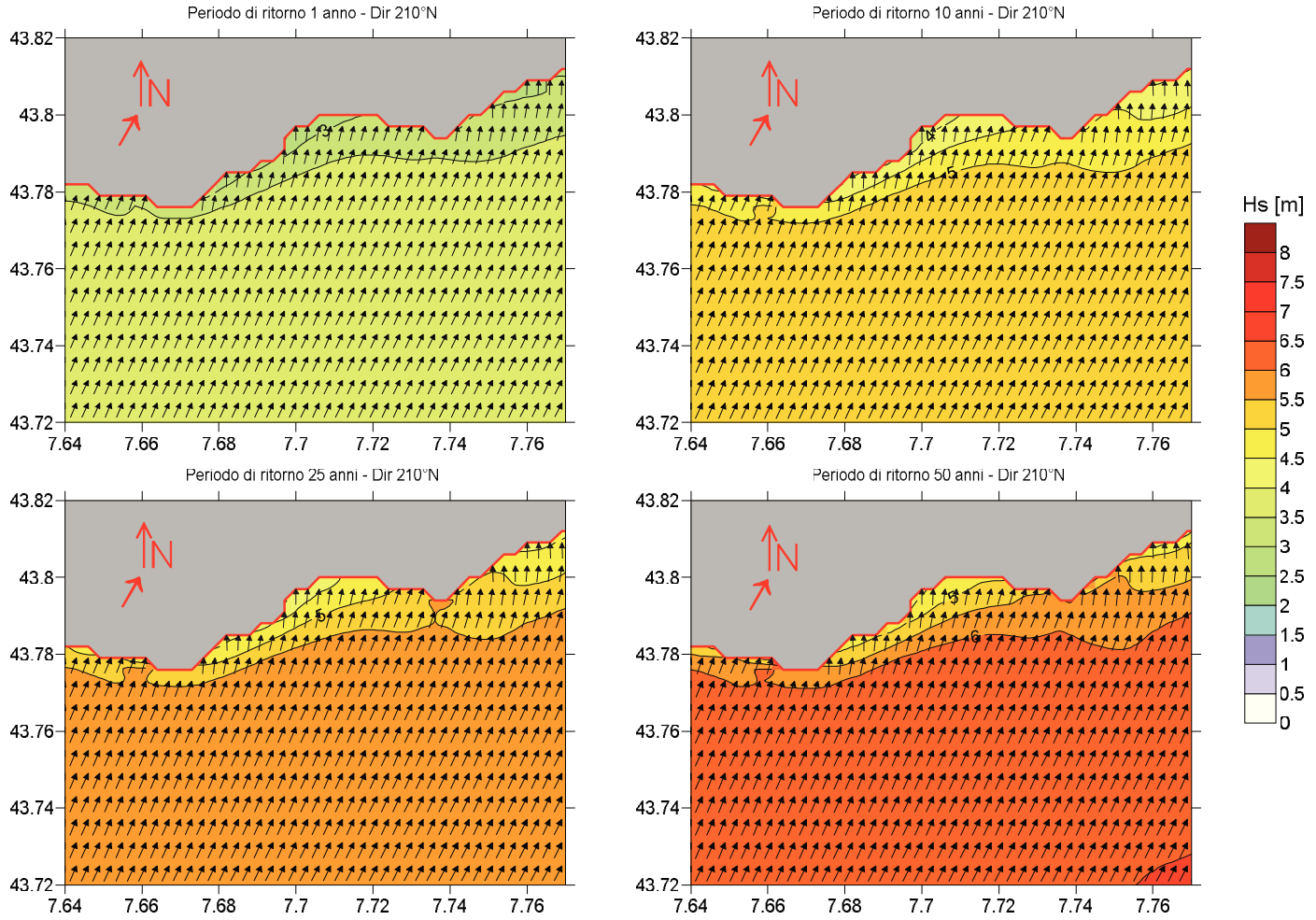


FIG. 7.13 – CAMPI DI ALTEZZA D'ONDA INDOTTI DA ONDE ESTREME AL LARGO PROVENIENTI DA 210°N - PERIODI DI RITORNO DI 1, 10, 25 E 50 ANNI

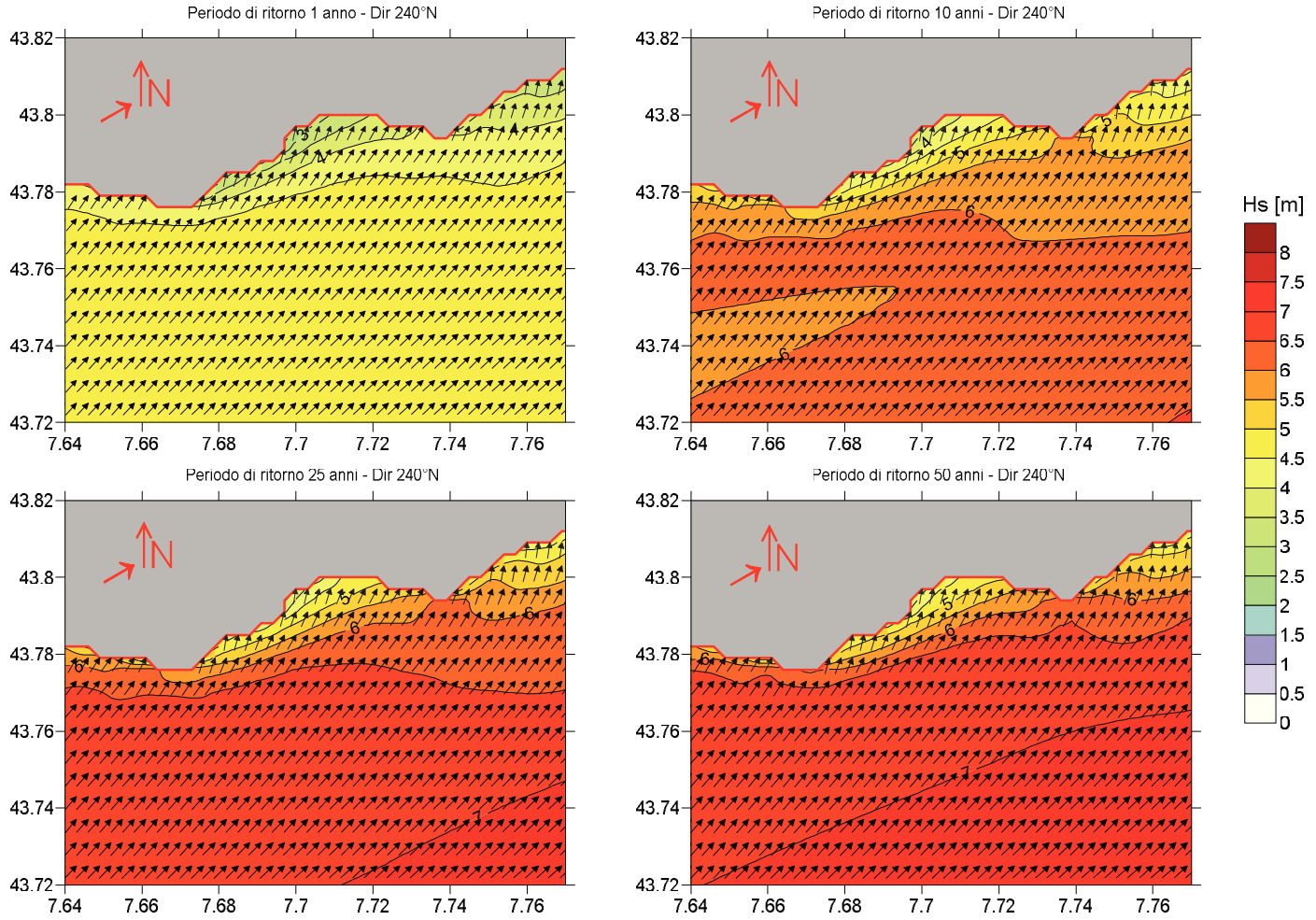


FIG. 7.14 – CAMPI DI ALTEZZA D'ONDA INDOTTI DA ONDE ESTREME AL LARGO PROVENIENTI DA 240°N - PERIODI DI RITORNO DI 1, 10, 25 E 50 ANNI

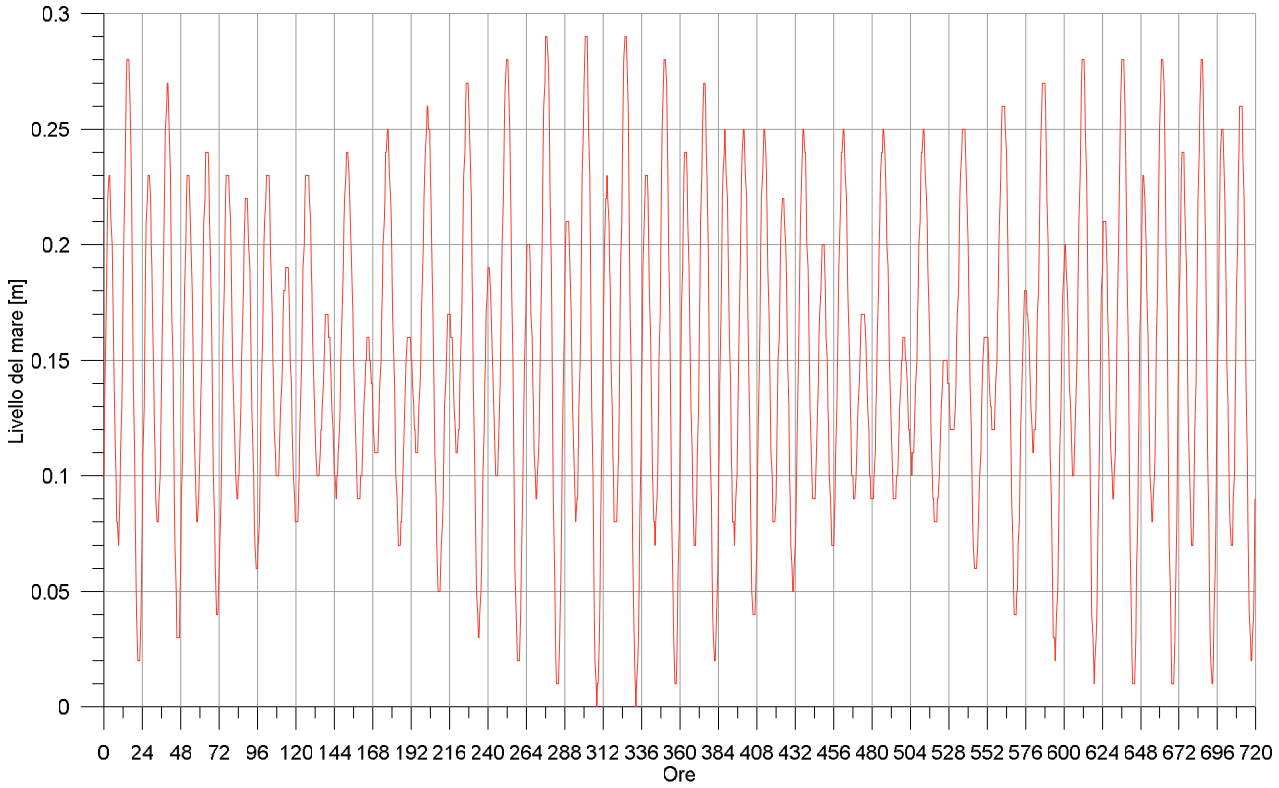


FIG. 8.1 – SERIE TEMPORALE DELL'OSCILLAZIONE DI MAREA (RICOSTRUITA DALLE COSTANTI ARMONICHE DI IMPERIA)

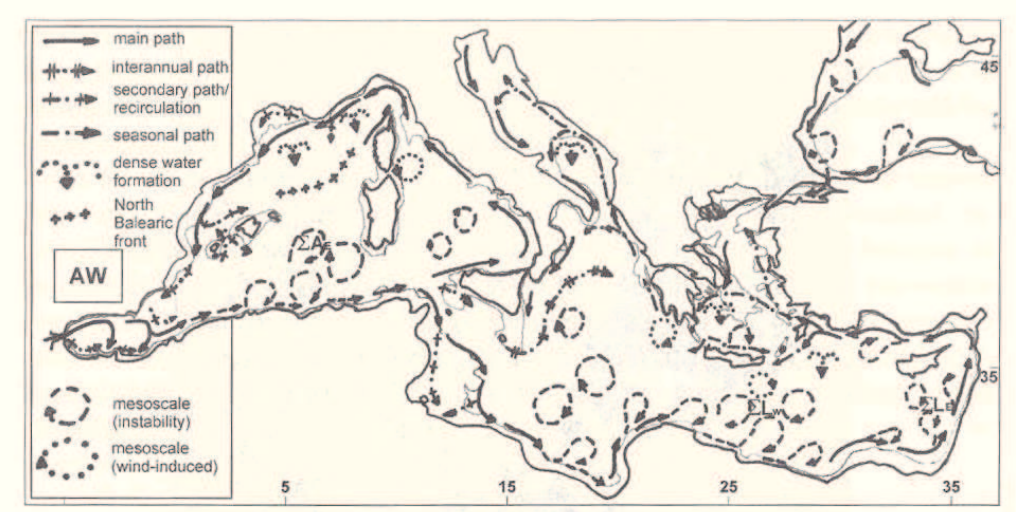


FIG. 9.1 – CIRCOLAZIONE DELL'ACQUA ATLANTICA (MAW) [RIF. 13]

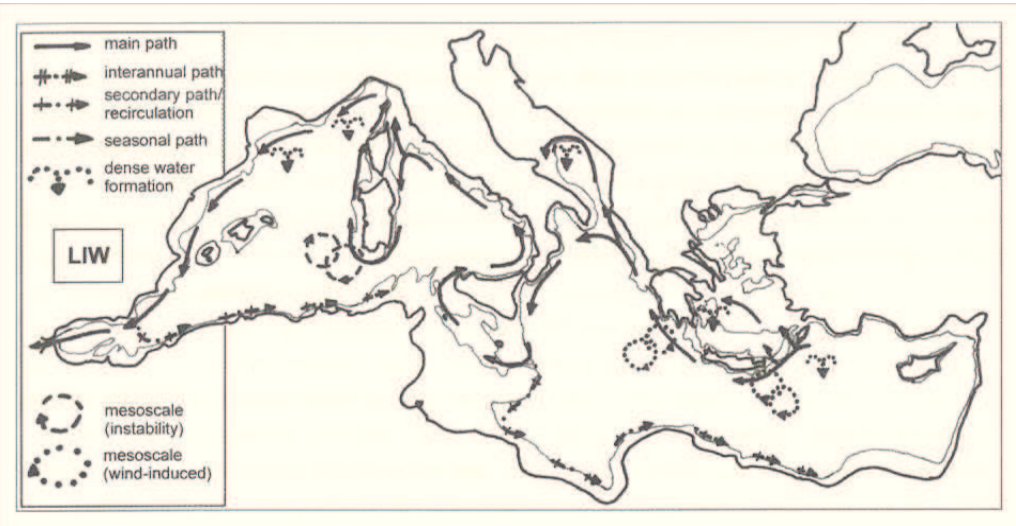


FIG. 9.2 – CIRCOLAZIONE DELL'ACQUA LEVANTINA (LIW) [RIF. 13]

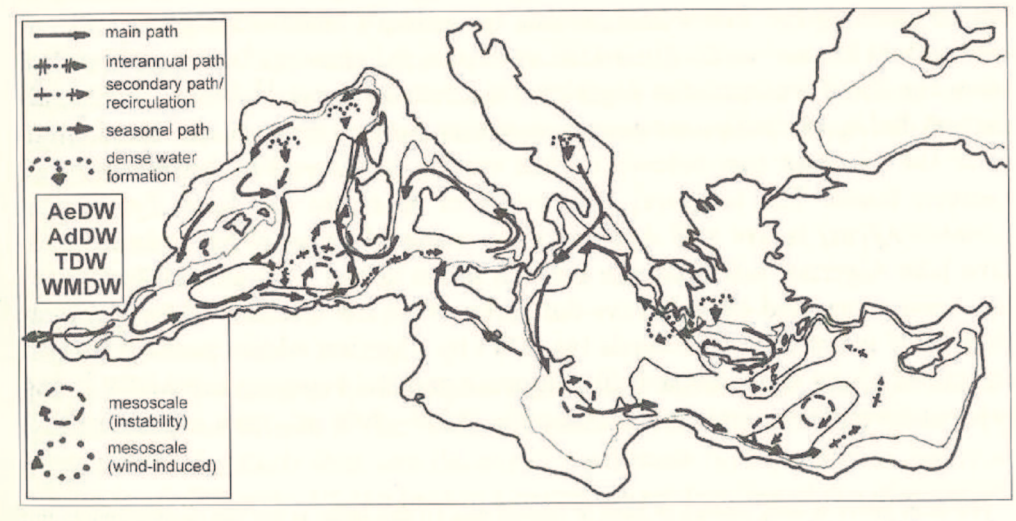


FIG. 9.3 – CIRCOLAZIONE DELL'ACQUA PROFONDA (WMDW) [RIF. 13]

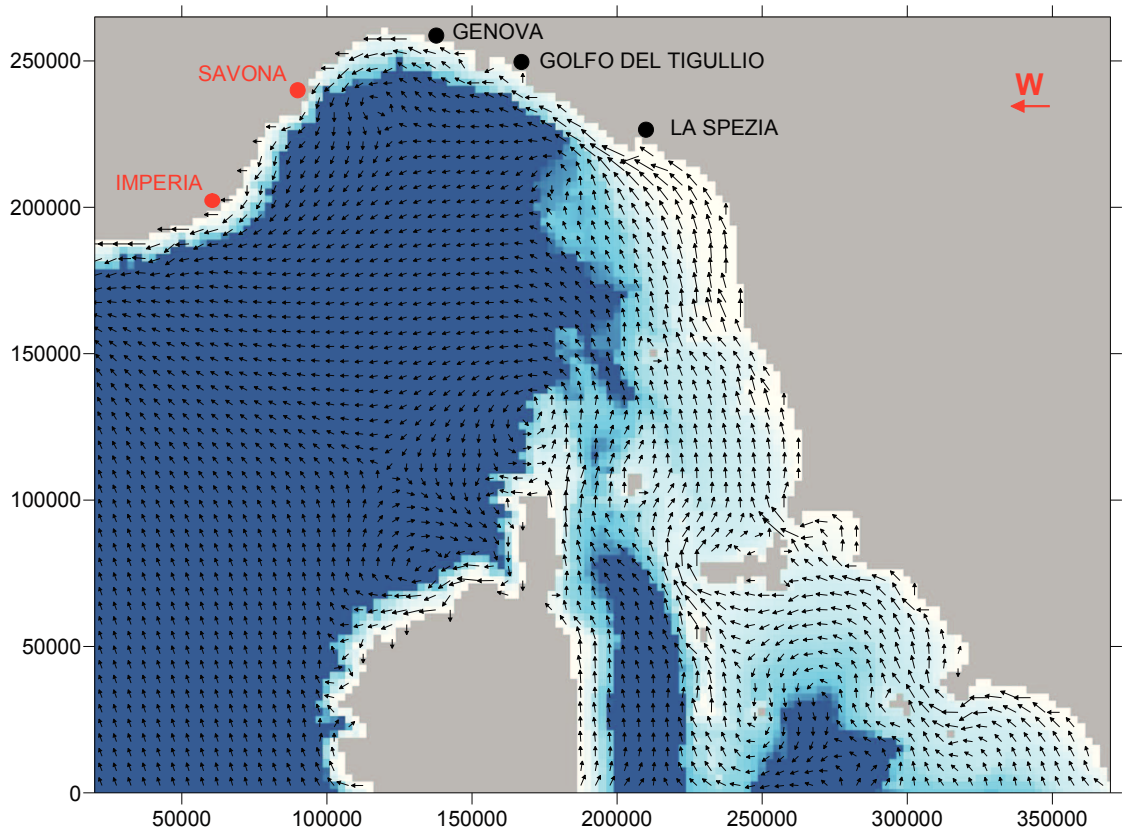


FIG. 9.4 – ESEMPIO DI CAMPO IDRODINAMICO INDOTTO DAL VENTO DA EST

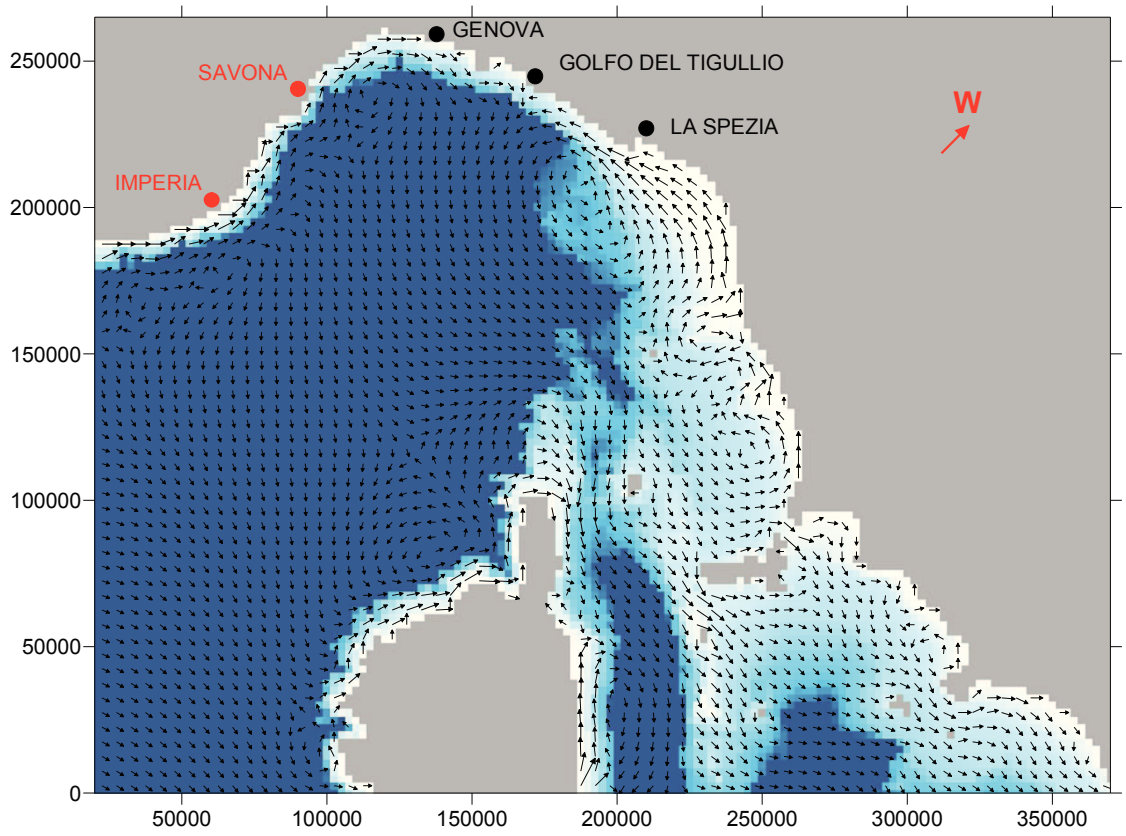


FIG. 9.5 – ESEMPIO DI CAMPO IDRODINAMICO INDOTTO DAL VENTO DA SO

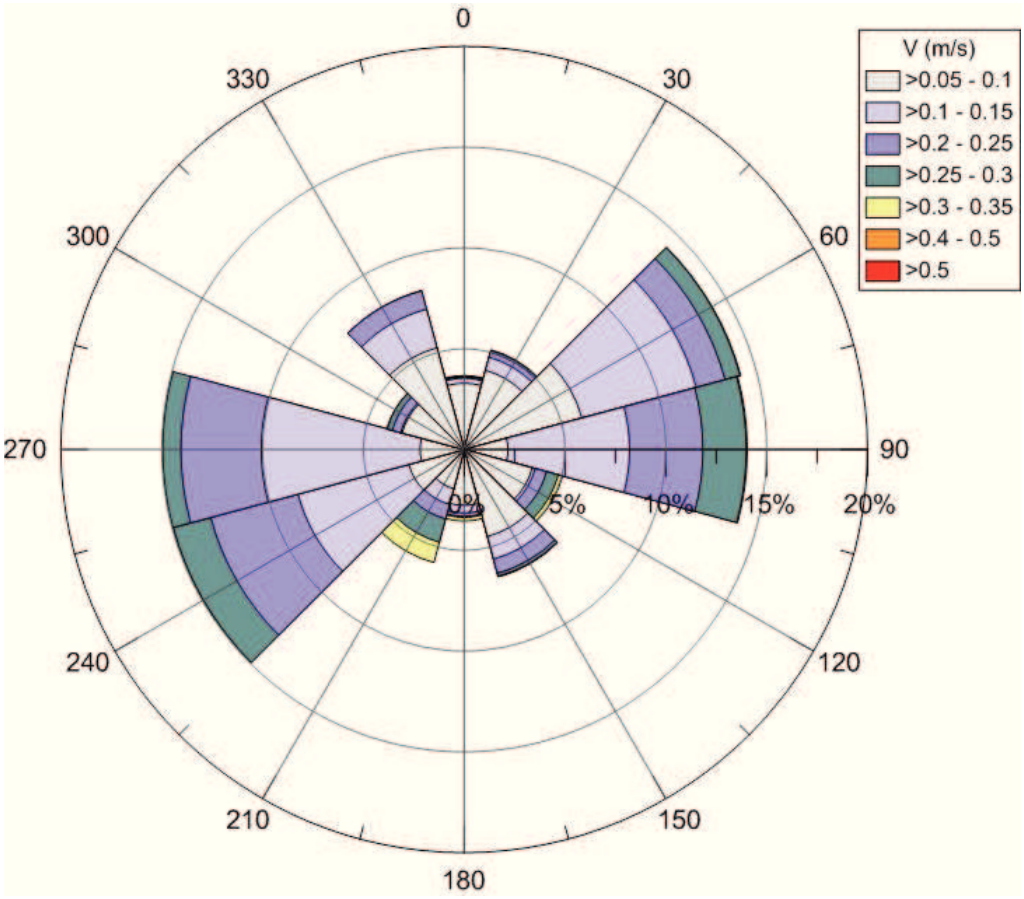


FIG. 9.6 - ROSA ANNUALE DELLA CORRENTE

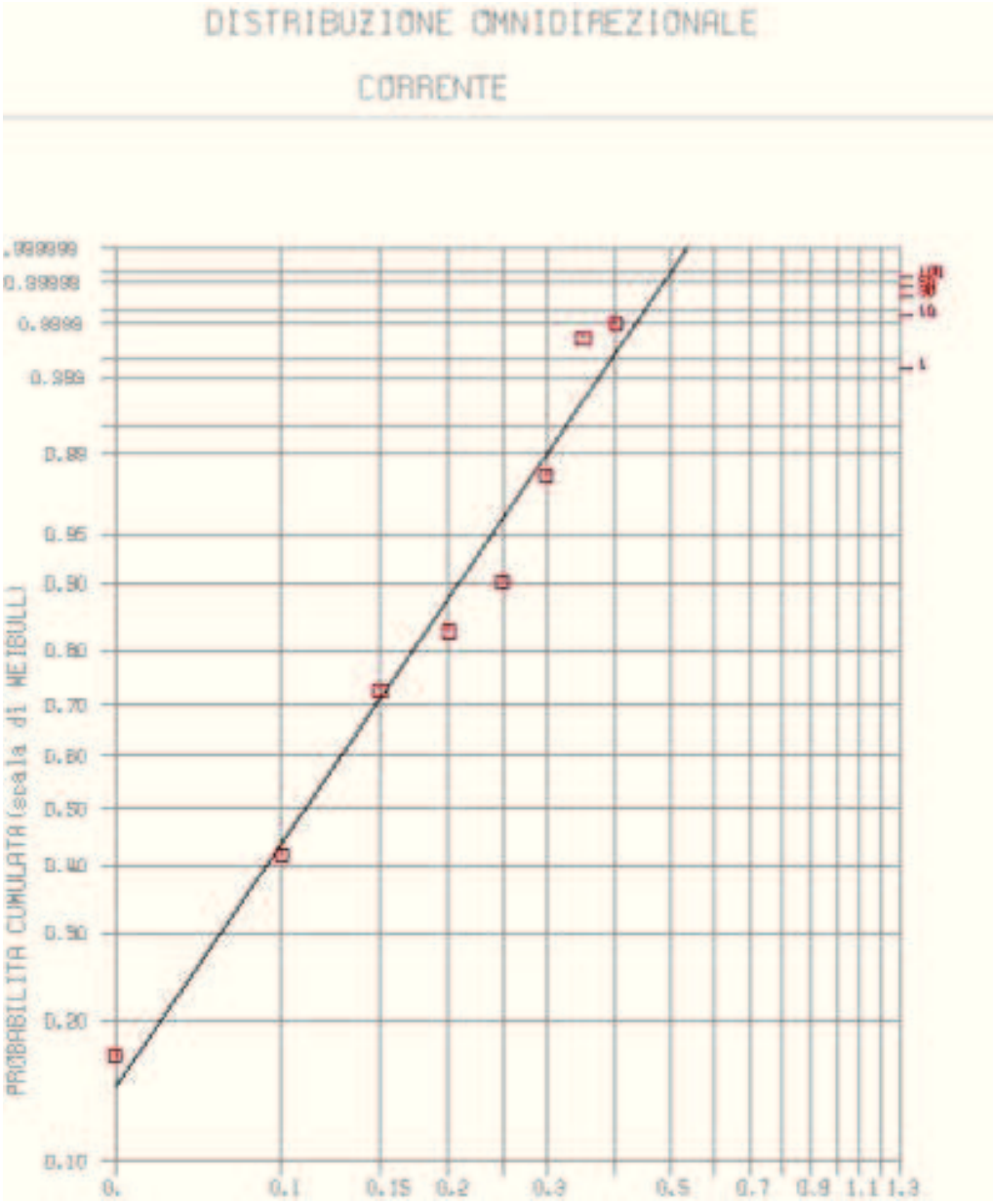


FIG. 9.7 – “FITTING” DELLA DISTRIBUZIONE OMNIDIREZIONALE DELLA VELOCITA’ DI CORRENTE MEDIANTE FUNZIONE ESTREMALE DI WEIBULL

APPENDICE A: MODELLO *SWAN*

MODELLO NUMERICO PER LA PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSO VERSO COSTA

La propagazione delle onde estreme a costa viene simulata mediante il ben noto modello *SWAN*, che rappresenta lo stato dell'arte.
Lo SWAN (Simulating Waves Nearshore) è un modello numerico che produce stime realistiche dei parametri delle onde in aree costiere, a partire da condizioni definite al largo, tenuto conto delle condizioni del vento, delle correnti e delle caratteristiche del fondale.
L'entità dei diversi fenomeni è calcolata a partire dalla batimetria reale dell'area oggetto di studio.

SWAN è un modello spettrale di terza generazione, che tiene conto dei seguenti processi:

- rifrazione dovuta a variazioni spaziali di profondità e corrente;
- "shoaling" dovuto a variazioni spaziali di profondità e corrente;
- attrito e rifrazione indotti da correnti contrarie;
- trasmissione o dissipazione dovuti alla presenza di ostacoli (ad esempio barriere frangiflutti).
-

In SWAN sono formulati I seguenti processi di generazione e dissipazione:

- vento;
- "white-capping";
- frangimento;
- attrito al fondo;
- interazioni non-lineari onda-onda.

SWAN differisce dagli altri modelli analoghi e dai suoi predecessori per i seguenti aspetti principali:

- è un modello spettrale (è, quindi, possibile selezionare il profilo spettrale da definire per le condizioni al contorno così come la funzione di "spreading" direzionale);
- considera la generazione di onde da vento anche in acque basse;
- considera l'interazione onda-corrente anche in acque basse;
-
- Grazie ai tre punti sopra enunciati, SWAN definisce con maggiore completezza la dissipazione dell'energia rispetto ad altri modelli che tengono conto solo dell'attrito al fondo.

A.1. Formulazione generale

SWAN descrive le onde mediante lo spettro bidimensionale di densità di azione d'onda, anche in condizioni in cui prevalgono fenomeni non lineari (ad esempio nella "*surf-zone*"). Anche in condizioni fortemente non lineari, infatti, è possibile stimare con ragionevole accuratezza la distribuzione spettrale al secondo ordine.

SWAN utilizza lo spettro di densità di azione N(k,θ) anziché lo spettro di densità di energia E(k, θ) perché, in presenza di correnti, la densità di azione si conserva mentre la densità di energia non si conserva.
La densità di azione è uguale al rapporto tra la densità di energia e la frequenza relativa σ:

$$N(\sigma,\theta) = E(\sigma,\theta)/\sigma.$$

Le variabili indipendenti sono la frequenza relativa σ (misurata rispetto ad un sistema di riferimento che si muove con la velocità di propagazione dell'azione d'onda) e la direzione dell'onda θ (direzione perpendicolare alla cresta di ciascuna componente spettrale).
L'evoluzione dello spettro viene descritta mediante l'equazione di bilancio dell'azione spettrale, di seguito riportata, rispetto ad un sistema di coordinate cartesiane (Hasselmann et a., 1973):

$$\frac{\partial}{\partial t}N + \frac{\partial}{\partial x}c_x N + \frac{\partial}{\partial y}c_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma}c_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta}c_\theta N = \frac{S}{\sigma}$$

Il primo termine a sinistra rappresenta il gradiente locale di densità di azione, il secondo ed il terzo termine rappresentano la propagazione di densità di azione nello spazio geografico.
Il quarto termine rappresenta lo spostamento della frequenza relativa dovuto alle variazioni di profondità e corrente, mentre il quinto termine rappresenta la rifrazione indotta dalla corrente e dalle variazioni di profondità.

Le velocità di propagazione (c_x, c_y, c_σ, c_θ) all'interno del modello sono definite mediante la teoria lineare.
Il termine **S** (=S(θ,σ)) a destra della precedente equazione è il termine sorgente espresso come densità di energia, ed è costituito dagli effetti di generazione, dissipazione, e interazioni non-lineari onda-onda.
Per maggiori dettagli si rimanda al manuale del modello (SWAN User Manual).

A.2. Parametri principali

In SWAN le principali grandezze sono così definite:

Altezza d'onda significativa: **Hs** (in m):

$$Hs = 4\sqrt{\iint E(\omega,\theta)\, d\omega\, d\theta}$$

dove $E(\omega,\theta)$ è la densità spettrale della varianza, ω la frequenza determinata dallo shift in frequenza della relazione di dispersione.

Periodo medio d'onda: **Tm_{01}** (in s):

$$Tm01 = 2\pi\left(\frac{\iint \omega\, E(\sigma,\theta)\, d\sigma\, d\theta}{\iint E(\sigma,\theta)\, d\sigma\, d\theta}\right)^{-1} = 2\pi\left(\frac{\iint \omega\, E(\omega,\theta)\, d\omega\, d\theta}{\iint E(\omega,\theta)\, d\omega\, d\theta}\right)^{-1}$$

Periodo medio d'onda: **Tm_{02}** (in s):

$$Tm_0 2 = 2\pi\left(\frac{\iint \omega^2\, E(\omega,\theta)\, d\omega\, d\theta}{\iint E(\omega,\theta)\, d\omega\, d\theta}\right)^{-1/2} = 2\pi\left(\frac{\iint \omega^2\, E(\sigma,\theta)\, d\sigma\, d\theta}{\iint E(\sigma,\theta)\, d\sigma\, d\theta}\right)^{-1/2}$$

Direzione media dell'onda: **Dir** (in gradi, secondo la convenzione cartesiana o nautica), come convenzionalmente definita (Kuik et al., 1988).

$$Dir = \arctan[\int \sin(\theta)\, E(\sigma,\theta)\, d\sigma\, d\theta \,/\, \int \cos(\theta)\, E(\sigma,\theta)\, d\sigma\, d\theta\,]$$

Direzione del picco d'onda: **PDir** (in gradi, secondo la convenzione cartesiana o nautica):

$$PDir = E(\theta) = \int E(\sigma,\theta)\, d\sigma = \int E(\omega,\theta)\, d\omega$$

Velocità orbitale "Root-Mean-Square" in prossimità del fondo: **U_{rms}** (in m/s)

$$U_{rms} = < (U^2) >^{1/2}$$

Velocità orbitale massima "Root-Mean-Square" in prossimità del fondo: **U_{bot}** (in m/s)

$$U_{bot} = \sqrt{2}\, U_{rms}$$

A.3. Schematizzazione

L'area di studio viene discretizzata mediante un reticolo di maglie quadrate o rettangolari e ad ogni maglia viene assegnata la corrispondente profondità del fondale.

Il modello non ha particolari problemi nella risoluzione spaziale: possono così essere effettuate simulazioni della propagazione dell'onda a costa considerando reticoli di estremo dettaglio o reticoli a vasta scala.
E' inoltre possibile effettuare, ove necessario, l'innesto, "**nesting**", di uno o più reticoli dettagliati su uno a vasta scala, garantendo in questo modo condizioni ai contorni oggettive dei modelli di dettaglio.

A.4. Referenze Bibliografiche

Andorka Gal, J.H., L.H. Holthuijsen, J.C.M. de Jong and A.T.M.M. Kieftenburg, 1998, Wave transformation near a quasi-1D coast, 26th Int. Conf. Coastal Engng., Copenhagen,150-160

Booij, N., L.H. Holthuijsen and R.C. Ris, 1996, The "SWAN" wave model for shallow water, Proc. 25th Int. Conf. Coastal Engng., Orlando, pp. 668-676

Booij, N., L.H. Holthuijsen and R. Padilla-Hernandez, 1997, A nonstationary, parametric coastal wave model, Conf. Coastal Dynamics '97, Plymouth, 99-107

Booij, N., L.H. Holthuijsen, N. Doorn and A.T.M.M. Kieftenburg, 1997, Diffraction in a spectral wave model, Proceedings 3rd International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis, WAVES'97, ASCE, 243-255

Booij, N., L.H. Holthuijsen and R. Padilla-Hernandez, 1997, Numerical wave propagation on a curvilinear grid, Proceedings 3rd International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis, WAVES'97, ASCE, 286-294

Booij, N., L.H. Holthuijsen and R.C. Ris, 1998, Shallow water wave modelling, Oceanology International 98, The Global Ocean, Brighton, Conference Proceedings, 3, 483-491

Booij, N., L.H. Holthuijsen and IJ.G. Haagsma, 1998, Comparing the second-generation HISWA wave model with the third-generation SWAN wave model, 5th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting, Jan. 27-30, 1998, Melbourne, Florida, 215-222

Booij, N., R.C. Ris and L.H. Holthuijsen, 1999, A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation, J.Geoph.Research, 104, C4, 7649-7666

Cavaleri, L. and L.H. Holthuijsen, 1998, Wave modelling in the WISE group, Proc. 26th Int. Conf. Coastal Engng., Copenhagen, 498-508

Gorman, R.M. and C.G. Neilson, 1999, Modelling shallow water wave generation and transformation in an intertidal estuary, Coastal Engineering, 36, 197-217

Holthuijsen, L.H., N. Booij and R.C. Ris, 1993, A spectral wave model for the coastal zone, Proceedings 2nd International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis, New Orleans, Louisiana, July 25-28, 1993, New York, pp. 630-641

Holthuijsen, L.H., N. Booij and R. Padilla-Hernandez, 1997, A curvi-linear, third-generation coastal wave model, Conf. Coastal Dynamics '97, Plymouth, 128-136

Holthuijsen, L.H., N. Booij, R. Ris, J.H. Andorka Gal and J.C.M. de Jong, 1997, A verification of the third-generation wave model "SWAN" along the southern North Sea coast, Proceedings 3rd International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis, WAVES'97, ASCE, 49-63

Holthuijsen, L.H., R.C. Ris and N. Booij, 1998, A verification of the third-generation wave model SWAN, 5th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting, Jan. 27-30, 1998, Melbourne, Florida, 223-230

Holthuijsen, L.H., N. Booij and IJ.G. Haagsma, 1998, Comparing 1st-, 2nd - and 3rd-generation coastal wave modelling, 26th Int. Conf. Coastal Engng., Copenhagen, 140-149

Padilla-Hernandez, R., P. Osuna, J. Monbaliu and L. Holthuijsen, 1998, Intercomparing third-generation wave model nesting, 5th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting, Jan. 27-30, 1998, Melbourne, Florida, 102-112

Ris, R.C., L.H. Holthuijsen and N. Booij, 1994, A spectral model for waves in the near shore zone, Proc. 24th Int. Conf. Coastal Engng, Kobe, Oct. 1994, Japan, pp. 68-78

Ris, R.C. and L.H. Holthuijsen, 1997, Modelling of current induced wave-blocking in a spectral wave model, 8th International Biennal Conference on Physics of Estuaries and Coastal Seas, J. Dronkers and M.B.A.M. Scheffers (eds.), The Hague, 139-144

Ris, R.C., N. Booij and L.H. Holthuijsen, 1999, A third-generation wave model for coastal regions, Part II: Verification, J.Geoph.Research, 104, C4,7667-7681

Wood, D.J., M. Muttray and H. Oumeraci, 2000, The SWAN model used to study wave evolution in a flume, Coastal Engineering, accepted for publication.