REGIONE LIGURIA

PIANO DI TUTELA DELL'AMBIENTE MARINO E COSTIERO

AMBITO COSTIERO 08

Unità fisiografiche del Centa, Centa Sud e Maremola

ART. 41 LEGGE REGIONALE N° 20/2006

RELAZIONE SUL CLIMA ONDOSO AL LARGO (RO)

REGIONE LIGURIA

Indice

1.	Introduzione	3
1.1.	Inquadramento geografico del paraggio	4
1.2.	Analisi statistica degli eventi estremi di moto ondoso	9

1. Introduzione

Nel presente elaborato è riportato lo studio del clima di moto ondoso lungo l'arco di costa analizzato per la redazione del Piano di tutela dell'Ambiente Marino e Costiero.
Per la valutazione delle caratteristiche della distribuzione delle altezze d'onda e delle onde estreme in un punto al largo, nelle diverse direzioni di provenienza, occorre la disponibilità di dati strumentali e/o di dati ricostruiti che utilizzano modelli indiretti. Il tratto di costa ligure ben descritto dai rilievi della boa di La Spezia è limitato al tratto di Levante, che va da La Spezia a Portofino. Tutta la restante parte della costa ligure, compresi quindi i tratti di costa dell'Ambito in esame, non è coperto da tali misurazioni e occorre fare riferimento, al fine della definizione delle caratteristiche delle onde al largo, a serie temporali di dati ricostruiti.
A tal fine sono state utilizzate le analisi condotte nello studio "Criteri per la determinazione del clima ondoso al largo della costa ligure" condotto dal Dipartimento di Ingegneria delle Costruzioni, dell'Ambiente e del Territorio, dell'Università di Genova (su commissione del Settore Ecosistema Costiero della Regione Liguria, nel 2008). In tale studio sono stati evidenziati per ciascuna zona della costa ligure, distinta a seconda dell'esposizione d'assieme, i dati disponibili strumentali, ricostruiti e visuali, valutando sia per mari omnidirezionali che per mari direzionali le curve di previsione altezza spettrale – tempo di ritorno, da utilizzare per l'individuazione dell'onda di progetto. Le curve di previsione derivate dalle analisi sono state quindi dedotte o direttamente dalle fonti o ricostruite a partire dai dati disponibili.
Il clima ondoso in generale è deducibile dalle tabelle bivariate che riportano il numero o la percentuale delle grandezze di interesse (altezza d'onda spettrale, periodo e direzione), costruite sulla base della disponibilità della serie temporale dei dati strumentali o ricostruiti.
Il Clima ondoso misurato al largo dell'Ambito costiero 08 non può essere ricavato direttamente dai rilievi e dai dati misurati dalle boe ondametriche, rimanendo la zona esclusa, a causa del diverso orientamento della costa, dalla copertura della boa ondametrica RON della Spezia.
Per la zona dell'Albenganese non si dispone di dati misurati ma si ricorre alle tabelle dei dati ricostruiti in mare aperto (MEDATLAS-2 e UKMO) e dei dati visuali KNMI. Dall'analisi di tali dati sono stati direttamente estrapolati i valori delle grandezze estreme caratterizzanti il moto ondoso al largo.
Per quanto riguarda i dati ricostruiti sono stati analizzati i dati dell'atlante MEDATLAS-2 e le tabelle UKMO.
L'Atlante MEDATLAS, approntato da un consorzio europeo di cui fa parte CNR-ISMAR, fornisce per il Mediterraneo mappe di distribuzione spaziale di grandezze meteo marine e tabelle bivariate, ricostruite, utilizzando modelli numerici indiretti, sulla base di dati esaorari di diversa provenienza relativi agli anni 1989-1999. Il punto sulla mappa MEDATLAS di interesse per la zona dell'Albenganese è il MEDATLAS-2 alla posizione 44.1° di latitudine Nord e 8.9° di longitudine Est. La dimensione della maglia del modello è opportunamente ridotta nel Mediterraneo, rispetto al modello generale, trattandosi di mare chiuso, e l'attendibilità dei risultati dipende dall'approssimazione assunta per la geometria della costa, soprattutto in presenza di coste articolate. I dati relativi al Mar Ligure risultano in genere affetti da errore, presumibilmente per difetto, e sono stati utilizzati soprattutto per confronto con gli altri.
In posizione di riferimento al centro del Golfo di Genova (44° di latitudine Nord, 8.7° di longitudine Est) sono disponibili tabelle bivariate e statistiche degli estremi ottenute dai dati triorari ricostruiti da UKMO (United Kingdom Meteorological Office), relativi agli anni 1987-1998, mediante un modello di previsione di seconda generazione. Queste tabelle presentano valori limitati di altezze d'onda spettrali, il limite superiore è pari a 4.5 m.
I dati visuali, invece, consistono in dati archiviati presso il Reale Istituto Meteorologico Olandese (KNMI), relativi alle registrazioni dei rilevamenti sistematici degli stati di mare effettuati a vista dai capitani di mare delle navi in transito nel Mar Ligure negli anni dal 1961 al 1980. Questi dati ricoprono un arco di tempo relativamente ampio, sono omogenei e forniscono un'indicazione dettagliata dell'altezza significativa (scansione 0.5 m) e della provenienza del moto ondoso (settori di 30 gradi). Questi dati sono stati elaborati statisticamente da Boccotti (1986) tenendo in conto i presumibili errori di stima e di registrazione.

1.1. Inquadramento geografico del paraggio

Settori di traversia – fetch geografici ed efficaci

La traversia geografica di un paraggio costiero è definita come la porzione di mare dalla quale può potenzialmente giungere il moto ondoso al paraggio. La traversia è spesso divisa in due settori (principale e secondario) in funzione delle lunghezze delle aree potenzialmente soggette all'azione diretta del vento. Tali lunghezze (fetch geografici) sono definite traguardando la costa limitrofa lungo la direzione di provenienza del vento. Invece il fetch efficace è definito come la porzione di mare che, sotto l'azione diretta del vento, costituisce l'area di generazione dell'evento di moto ondoso, tenendo debito conto delle lunghezze associate a direzioni laterali rispetto a quella principale e quindi anche della larghezza dell'area di generazione.
Il tratto di costa dell'ambito albenganese è compreso nel tratto di costa che va da Capo di Vado a Capo Mele, presentando un orientamento ed un'esposizione della costa omogenea. Il tratto costiero è esposto a fetch illimitato per un settore compreso tra circa 180°N e 220°N e una traversia di circa 20 0 Km verso Est e verso Sud. Risulta quindi esposto prevalentemente a mari da Sud-Ovest, Sud e Sud – Est, ma anche a mari da Est.
Per quanto riguarda l'analisi dell'esposizione geografica della porzione di mare situata al largo dell'Ambito 08 è stato individuato un punto, avente coordinate geografiche pari a 44.042° – 8.396° (come mostrato nella figura seguente), in corrispondenza di un fondale di circa -1000m.

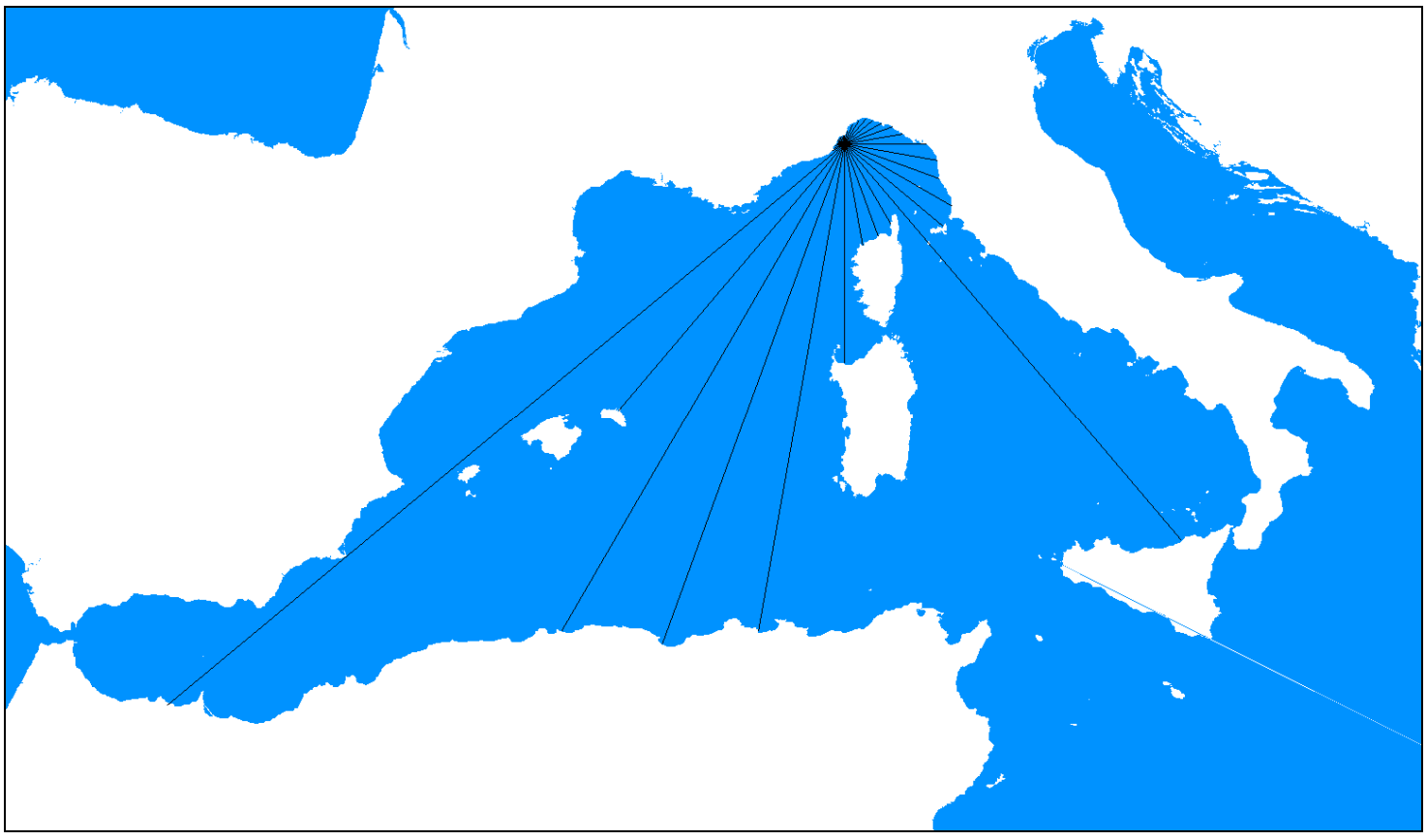


Figura 1.1.1 Localizzazione del sito.

I valori dei fetch geografici sono stati misurati escludendo le direzioni non significative per la propagazione del moto ondoso. Inoltre per una più corretta determinazione del fetch efficace, le lunghezze della traversia geografica sono state limitate ad una estensione massima di 500 km, in ragione delle massime dimensioni delle perturbazioni meteorologiche agenti sui mari del bacino Mediterraneo.
Per completare l'inquadramento geografico del paraggio è necessario determinare i valori dei fetch efficaci sulla base dei valori dei fetch geografici individuati.
Il valore del fetch efficace relativo ad una determinata direzione è funzione dei valori dei fetch geografici associati alle direzioni contigue a quella considerata; in questo modo i fetch efficaci consentono di tenere conto del fatto che il moto ondoso viene generato non solo nella direzione lungo la quale spira il vento ma anche in tutte le direzioni comprese in un settore di ±45° (secondo il metodo di Saville) rispetto alla direzione media di azione del vento.
Il calcolo del fetch efficace è stato eseguito secondo l'espressione di Saville (SPM, 1975):

$$F_{eff} = \frac{\sum_{\phi i=\phi w-\theta}^{\phi w+\theta} x_i \cdot \cos^{n+1}(\phi i - \phi w)}{\sum_{\phi i=\phi w-\theta}^{\phi w+\theta} \cos^{n}(\phi i - \phi w)}$$

dove:

F_{eff} = lunghezza del fetch efficace relativa alla direzione ϕ_w;

F_i = lunghezza del fetch geografico, relativa alla direzione i-esima ϕ_i, espressa in chilometri;

ϕ_w = direzione media espressa in gradi (riferita al nord geografico) di possibile provenienza del vento responsabile del fenomeno di generazione del moto ondoso lungo la traversia;

ϕ_i = direzione i-esima (riferita al nord geografico) relativa ad un settore di 2θ considerato nell'intorno della direzione ϕ_w (secondo il metodo di Saville $\theta = 45°$);

θ = ampiezza del settore di possibile provenienza del moto ondoso;

n = termine esponenziale definito in funzione della legge di distribuzione direzionale degli spettri di moto ondoso che caratterizzano il sito in esame (solitamente n = 2).

Vengono riportati nella tabella sottostante *tab.1.1.1* rispettivamente i valori dei fetch geografici ed efficaci in corrispondenza del sito rappresentativo delle condizioni al largo dell'Ambito Costiero 08. Nella successiva figura 1.2 vengono riportati i confronti, in forma grafica dei fetch geografici ed efficaci nel sito considerato.
I valori più alti della lunghezza del fetch geografico si hanno secondo le direzioni tra i 190°N e i 2 30°N per le quali la lunghezza del fetch geografico risulta superiore ai 500 Km. Il settore per i mari provenienti da direzioni intorno ai 140°-150°N è an ch'esso caratterizzato da lunghezze del fetch geografico superiori ai 500 Km. Tale settore ha infatti un influenza sulla costa dell'Ambito in esame che risulta esposta ortogonalmente in certi paraggi ad esso. Il fetch efficace massimo ottenuto, secondo l'applicazione della formula di Saville, risulta quello relativo ai mari da libeccio 210°.

Sito al largo dell'Ambito 8		
coordinate geografiche: 44.042°- 8.396°		
GRADI °	Fetch geografico [km]	Fetch efficace [km]
40	55	37
50	60	50
60	70	64
70	83	80
80	95	97
90	132	135
100	152	163
110	163	190
120	200	212
130	208	234
140	844	265
150	150	302
160	158	350
170	166	397
180	355	473
190	802	519
200	860	538
210	910	547
220	570	520
230	1410	460
240	24	374
250	19	272
260	17	179

Tabella 1.1.1 Valori dei fetch geografici ed efficaci in corrispondenza del sito al largo dell'Ambito 8.

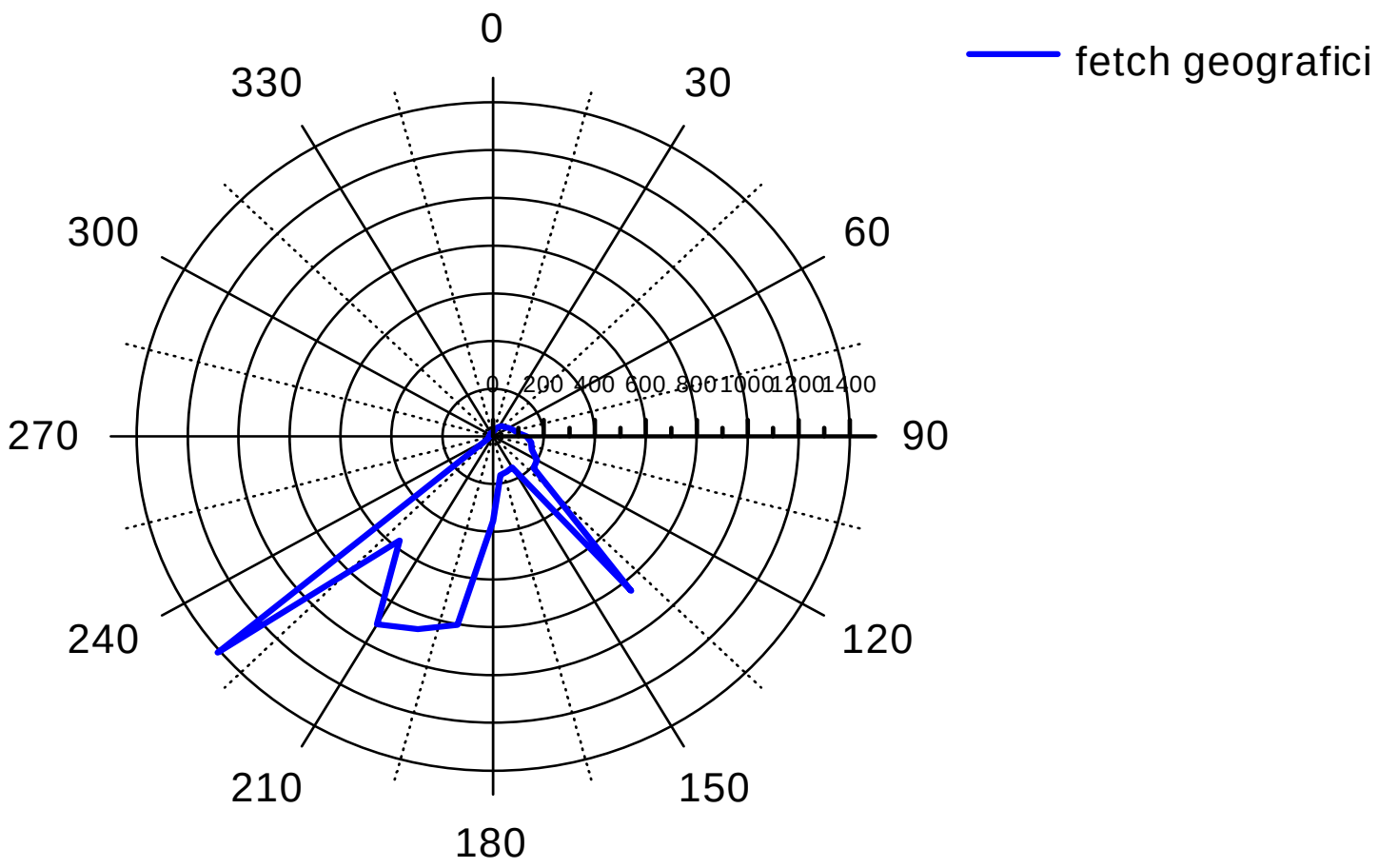


Figura 1.1.2 fetch geografici in corrispondenza del sito davanti all'Ambito Costiero 08 senza limitazione – coordinate geografiche 44.042° - 8.396°.

Nonostante il settore da libeccio al largo risulti il più inflluente, data l'orientazione della costa dell'Ambito 08 e la disposizione del fondale sotto costa, le onde provenienti dal settore 210° sotto costa subiranno forti effetti dissipativi per rifrazione. Analogamente l'Ambito per l'orientamento costiero può essere interessato da mari provenienti da Est, nonostante il fetch di generazione sia limitato e non molto ampio. Occorrerà tenere conto del fatto che le elaborazioni dei dati estremi di Boccotti sono state stimate molto al largo per il settore Est e che di fatto considerano onde più levate di quelle che di fatto verrebbero a manifestarsi sulla costa per la limitatezza del fetch effettivo reale. In questa zona va tenuta in conto la presenza dei mari da Est, anche se il fetch è limitato.

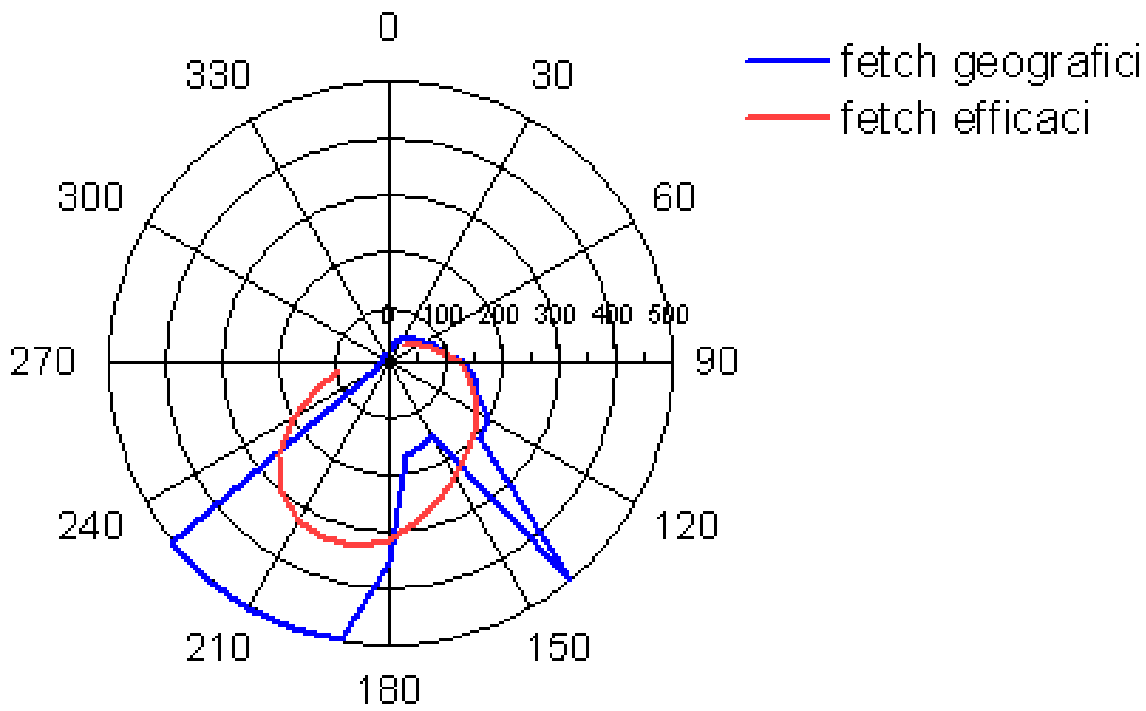


Figura 1.1.3 Confronto fetch geografici ed efficaci in corrispondenza del sito davanti all'Ambito Costiero 08 – coordinate geografiche 44.042° - 8.396°.

1.2. Analisi statistica degli eventi estremi di moto ondoso

Analisi dei dati

Le curve di previsione degli eventi estremi sono state individuate nello studio condotto dall'Università di Genova e utilizzate nell'analisi dell'Ambito Costiero 08.
La metodologia utilizzata nello studio condotto dall'Università di Genova per la zona dell'Albenganese per il calcolo delle onde estreme è la seguente.
Il metodo per la preparazione del campione di dati sul quale operare l'analisi statistica dipende dalla disponibilità di dati in forma di tabelle a doppio ingresso (altezza spettral – periodo di picco o altezza spettrale- direzione di provenienza). I dati di altezza d'onda provenienti da misure visuali o strumentali condotte per un certo numero di anni vengono analizzati in forma di distribuzione cumulata. Il modello di Boccotti utilizza una funzione Weibull non limitata inferiormente, i cui parametri sono determinati a partire da appropriate mareggiate triangolari equivalenti. Il metodo proposto da Boccotti, formulato inizialmente per elaborare i dati KNMI relativi al Mar Ligure, si basa sulla definizione di mareggiata triangolare equivalente e sulla formulazione di una funzione di distribuzione Weibull a due parametri, ritenuta appropriata per il Mediterraneo, almeno per le altezze d'onda superiori alla soglia critica di riconoscimento della mareggiata, assunta generalmente pari a 1.5 m. Nell'elaborazione dei dati visuali KNMI Boccotti (1986) propone per i mari direzionali una Weibull modificata da una funzione che presenta coefficienti w e ν diversi per ciascun settore di ampiezza 30 gradi. In termini di probabilità di superamento quindi si ha:

$$P(H) = \exp\left[-(H/w)^k\right] \{- \exp\left[-(H/\nu)\right]\}$$

Il modello di Boccotti utilizza una funzione Weibull non limitata inferiormente, i cui parametri sono determinati a partire da appropriate mareggiate triangolari equivalenti. Il metodo proposto da Boccotti, formulato inizialmente per elaborare i dati KNMI relativi al Mar Ligure, si basa sulla definizione di mareggiata triangolare equivalente e sulla formulazione di una funzione di distribuzione Weibull a due parametri, ritenuta appropriata per il Mediterraneo, almeno per le altezze d'onda superiori alla soglia critica di riconoscimento della mareggiata, assunta generalmente pari a 1.5 m. Nell'elaborazione dei dati visuali KNMI Boccotti (1986) propone per i mari direzionali una Weibull modificata da una funzione che presenta coefficienti w e ν diversi per ciascun settore di ampiezza 30 gradi. In termini di probabilità di superamento quindi si ha:

$$P(H) = \exp\left[-(H/w)^k\right] \{- \exp\left[-(H/\nu)\right]\}$$

Boccotti definisce il mare equivalente, costituito da una successione di mareggiate triangolari, equivalenti alle mareggiate vere in termini di rischio, in quanto presentano lo stesso valore massimo dell'altezza significativa e la stessa probabilità che l'onda massima individuale superi una qualsiasi assegnata soglia; la prima condizione determina l'altezza del triangolo e la seconda la base, quindi la durata D_M della mareggiata triangolare. Dalla statistica delle mareggiate osservate in un determinato sito Boccotti stabilisce una relazione empirica che consente di legare la durata della mareggiata triangolare D_M all'altezza d'onda significativa ad essa associata H. In questo modo, per ogni sito in esame, si associa ad ogni altezza d'onda una mareggiata triangolare e il relativo periodo di ritorno, il quale dipende dai parametri che precisano la distribuzione delle altezze.
Il tempo di ritorno per mari direzionali si ottiene introducendo un valore medio per D_M, che indicativamente può ritenersi compresa tra le 48 e le 72 ore.
Nella tabella sottostante si riportano per confronto i valori delle altezze d'onda associate ai diversi periodi di ritorno determinate con i diversi metodi di ricostruzione

Metodo	settore	T_R (anni)	1	5	10	50	100	200
		H (m)						
UKMO	Libeccio 180-260		3.2	3.8	4.1	4.6	4.9	5.1
UKMO	Scirocco 100-180		3.4	4.2	4.5	5.2	5.6	5.9
MEDATLAS-2	Libeccio 180-206		3.5	4.8	5.3	6.5	7.0	7.5
MEDATLAS-2	Scirocco 100-180		1.9	2.7	3.1	3.8	4.1	4.4
UKMO	Levante 45-105		2.8	3.5	3.8	4.5	4.8	5.0
MEDATLAS-2	Levante 45-105		1.5	2.1	2.4	2.8	3.0	3.2

La posizione individuata per entrambe le fonti presenta fetches inferiori a quelli che potrebbero essere considerati al largo della zona, i valori di altezza d'onda ottenuti potrebbero essere comunque in difetto. Sono stati considerati inoltre tre settori di 30 gradi, da 45°N a 135°N, elaborati da Boccott i dai dati KNMI, riportati in tabella.

Metodo	settore	T_R (anni)	1	5	10	50	100	200
		H (m)						
Boccotti da dati KNMI	Settore 45-75°N		2.9	4.4	5.0	6.2	6.7	
Boccotti da dati KNMI	Settore 75-105°N		2.0	3.2	3.6	4.6	5.0	
Boccotti da dati KNMI	Settore 105-135°N		1.8	2.7	3.1	4.0	4.3	

Le curve derivate da queste analisi risultano più conservative di quelle ottenute sia da UKMO sia da MEDATLAS, pertanto viene proposto di adottare per la zona in oggetto le curve ottenute da Boccotti dai dati KNMI per tutti i settori interessati.
Dati gli elementi ad oggi a disposizione si ritiene appropriato proporre per una boa virtuale al largo, posizionata su 100 metri di profondità, a circa 3 Km dalla costa le curve di previsione tratte da Boccotti (1986) a partire dai dati visuali del KNMI al largo per i mari omnidirezionali e per i mari direzionali, riferiti ai settori di ampiezza di 30 gradi indicati su ciascuna curva. Le curve sono ottenute dalle relazioni analitiche di seguito riportate.

$T_R(H) = D_M/[H\ p(H) + P(H)]$

Dove indipendentemente dalle direzioni
D_M = 72 ore
$P(H) = -dP/dH$
Dove per i mari direzionali, al di fuori del settore di libeccio:
$P(H) = \exp[-(H/w)^{0.975}]\ [1 - \exp[-(H/\nu)]]$

Risulta:
$T_R(H) = D_M \exp[(H/w)^{0.975}]\ \{[1+0.975\ (H/w)^{0.975}] - \exp([-H/\nu)\ [1 + 0.975(H/w)^{0.975} + H/\nu]\}^{-1}$

dove:
ν = 7 m , w = 0.534 m per il settore 165-195°N
ν = 11 m , w = 0.502 m per il settore 135-165°N
ν = 12 m , w = 0.387 m per il settore 105-135°N
ν = 12 m , w = 0.439 m per il settore 75-105°N
ν = 12 m , w = 0.579 m per il settore 45-75°N

Per il settore libeccio (195-225°N), direzione interessante nella zona in oggetto si è utilizzato direttamente il grafico dedotto dall'originale di Boccotti. A ciascuna altezza spettrale viene associato il periodo di picco
$T_P = a\,(H/4g)^{0.5}$ con $a = 9\,\pi$

Pertanto i valori dal altezze e periodo delle onde significative dedotte dalle curve e dai grafici di Boccotti vengono riportate nella tabella 1.2.1 in relazione ai periodi di ritorno.

La definizione delle caratteristiche meteomarine associate ai periodi di ritorno, mediante analisi statistiche degli eventi estremi, è necessaria per impostare la propagazione del moto ondoso dal largo verso riva, per poter valutare la risalita dell'onda sulla spiaggia, giungendo quindi alla definizione della fascia dinamica della spiaggia stessa per una verifica del rischio a cui sono soggette le aree costiere.
Sono state individuate e ricostruite le curve di previsione degli eventi estremi provenienti dalle elaborazioni condotte da Boccotti sulla base dei dati derivati dalle osservazioni dirette visive del KNMI.
Per le attività collegate a tale studio verranno eseguite le propagazioni fino alla costa di tali misure al fine di definire le forzanti di moto ondoso in prossimità della costa.

Dir °N	Periodo di ritorno = 1 anno		Periodo di ritorno = 50 anni		Periodo di ritorno = 100 anni	
	H_o[m]	T_p [s]	H_o[m]	T_p [s]	H_o[m]	T_p [s]
60	2.9	7.7	6.2	11.3	6.8	11.7
90	2	6.4	4.6	9.7	5	10.1
120	1.7	5.9	4	9	4.4	9.4
150	2.5	7.1	5.4	10.5	5.8	10.9
180	3.1	7.9	6	11	6.5	11.5
210	3.4	8.3	7.8	12.6	8.5	13.2

Tabella 1.2.1 Valori di altezza d'onda e periodo di picco associati ai periodi di ritorno significativi per le direzioni di propagazione scelte in corrispondenza del sito al largo dell'Ambito 08.