



UNIONE EUROPEA



REPUBBLICA ITALIANA



REGIONE CALABRIA



CITTA' METROPOLITANA DI REGGIO CALABRIA

Settore 13 Difesa del Suolo e Salvaguardia delle Coste
Edilizia e Impiantistica Sportiva

PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO



LAZZARO



SALINE

TITOLO ELABORATO

STUDIO IDRAULICO MARITTIMO PARAGGIO LAZZARO

SCALA:		SEZIONE		003 - B		ELABORATO N.		001	
REVISIONI	3								
	2								
	1	agg. CdS	Aprile 2018						
	0	EMISSIONE	Settembre 2017						
	N°	MODIFICA	DATA	FIRMA	DATA	FIRMA	DATA	FIRMA	
		DISEGNATO		CONTROLLATO		APPROVATO			

PROGETTAZIONE:

ing. Ezio Maria Giuseppe TRIPODI
via Nazionale, 104 89062 Motta San Giovanni - Lazzaro (RC)
e-mail trends@libero.it
tel./fax 0965713367 cell.3331095009

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

DOTT. ARCH. GIUSEPPE BENCIVINNI
CITTA' METROPOLITANA DI REGGIO CALABRIA
Settore 13 Difesa del Suolo e Salvaguardia delle Coste
Piazza Italia 89100 Reggio Calabria
P.I. 80000100802 fax 0965.895067 - 858519

RESPONSABILE DEL SETTORE:

DOTT. ING. PIETRO FOTI
CITTA' METROPOLITANA DI REGGIO CALABRIA
Settore 13 Difesa del Suolo e Salvaguardia delle Coste
Piazza Italia 89100 Reggio Calabria
P.I. 80000100802 fax 0965.895067 - 858519

INTERVENTI DI DIFESA COSTIERA SUL TRATTO DI LITORALE DA
SALINE IONICHE DEL COMUNE DI MONTEBELLO IONICO A
LOCALITA' LAZZARO DEL COMUNE DI MOTTA SAN GIOVANNI.

STUDIO IDRAULICO MARITTIMO PARAGGIO LAZZARO

Aprile 2018

1 PREMESSA

In allegato si riporta lo "**Studio idraulico marittimo**" redatto dal prof. ing. Fabio Filianoti per conto della Provincia di Reggio Calabria per la redazione della progettazione di altre opere marittime insistenti nello stesso paraggio.



**AMMINISTRAZIONE PROVINCIALE DI
REGGIO CALABRIA**

STUDIO IDRAULICO MARITTIMO

Prof. ing. Pasquale Filianoti

Luglio 2015

i

INDICE

1	INQUADRAMENTO TERRITORIALE E ESPOSIZIONE GEOGRAFICA	5
2	DATI DI MOTO ONDOSI E PARAMETRI METEOMARINI	7
2.1	CRITERI DI VALUTAZIONE DEL CLIMA ONDOSI E DEL RISCHIO DI EVENTI ESTREMI	7
2.2	TIPOLOGIE DI DATI ONDOSI DISPONIBILI	11
3	IL CLIMA ONDOSI DAVANTI A LAZZARO	13
3.1	ESPOSIZIONE AI MARI GENERATI FUORI DALLO STRETTO	13
3.2	ONDAZIONI GENERATE LOCALMENTE	14
4	PROBABILITÀ E PERIODI DI RITORNO AL LARGO DI LAZZARO	18
4.1	LA PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO OMNIDIREZIONALE	18
4.2	LE PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO DIREZIONALI	19
4.3	PERIODI DI RITORNO DELLE MAREGGIATE	36
4.4	PROBABILITÀ DI STATI DI MARE DI ASSEGNATE CARATTERISTICHE	37
4.5	I PERIODI DELLE ONDE	37
5	L'ORIENTAMENTO DEL TRATTO COSTIERO DI LAZZARO	59
6	CLIMA ONDOSI IN ACQUE PROFONDE DAVANTI ALLA COSTA DI LAZZARO	62
7	DALLE ACQUE PROFONDE ALLE ACQUE BASSE	78
7.1	IL PROBLEMA GENERALE DELLA RIFRAZIONE	78
7.1	IL CLIMA ONDOSI SOTTOCOSTA	79
7.1.1	<i>Il flusso medio di energia</i>	81
7.2	LO SCHEMA BASE DI BATIMETRICHE RETTILINEE	83
7.3	LA PERSISTENZA $\bar{D}(h)$	91

SIMBOLI UTILIZZATI PER FIGURE E TABELLE

a [m]	altezza della mareggiata triangolare
b [m]	durata di mareggiata triangolare
d [m]	profondità dell'acqua
D [ore]	persistenza media
\mathcal{D} [ore]	durata media dello stato convenzionale di progetto
f	Fetch
h [m]	soglia di altezza significativa
H_s [m]	altezza d'onda significativa
I	numero di Irribarren
L [m]	lunghezza d'onda
P	probabilità di superamento dell'altezza d'onda significativa
R [anni]	periodo di ritorno
R_U [m]	run-up delle onde sulla spiaggia
S_U [m]	set-up del livello medio del mare
u	parametro probabilità di superamento omnidirezionale dell'altezza d'onda significativa
w [m]	parametro probabilità di superamento omnidirezionale dell'altezza d'onda significativa
w_α [m]	parametro probabilità di superamento direzionale dell'altezza d'onda significativa
w_β [m]	parametro probabilità di superamento direzionale dell'altezza d'onda significativa
x	asse orientato secondo l'allineamento della costa (positivo verso destra)

	per chi guarda dal mare)
X	variabile ausiliaria legata all'altezza d'onda significativa (v. eq. 1)
y	asse perpendicolare all'allineamento di costa (orientato verso terra)
Y	variabile ausiliaria legata alla probabilità di superamento (v. eq. 1)
A [gradi]	angolo della direzione di provenienza delle onde (orario rispetto al Nord)
θ [gradi]	angolo della direzione di propagazione delle onde, rispetto alla perpendicolare alla costa (positivo se le onde attaccano la costa da sinistra per chi guarda dal mare)
T_m [s]	periodo medio delle onde di uno stato di mare

PEDICI

0	sta per "fondali profondi"
b	sta per "breaking" frangimento dell'onda
p	sta per "picco"

PREMESSA

L'affidabilità e l'accuratezza dei dati ondametrici è tanto più importante per la buona progettazione (e di conseguenza la riuscita) di un intervento di difesa, quanto meno "rigido" è l'intervento da progettare. Infatti, quando si tratta di progettare la resistenza statica di una difesa costiera rigida (barriera o pennello che sia), e non si dispone di dati sufficientemente accurati per la zona d'intervento, è sufficiente arrivare a definire i valori massimi attesi dei parametri di progetto per "disuguaglianza" con una funzione "maggiorante", per il periodo di ritorno prescelto. Tale funzione può essere agevolmente ricavata a partire dalla conoscenza del clima ondoso in paraggi costieri attigui quello d'interesse, per confronto tra le relative traversie. Viceversa, nel caso degli interventi morbidi (i ripascimenti) la cui evoluzione non è governata dalle massime intensità bensì dalle alte frequenze di occorrenza, la definizione di una funzione maggiorante risulta assolutamente inefficace. Altrettanto inefficace risulta essere spesso la mera trasposizione tra i due paraggi delle altezze d'onda di assegnate frequenza di apparizione e direzione di provenienza. Infatti le piccole (ma frequenti) altezze d'onda risentono in maniera preponderante di cause "locali" sia perché possono essere loro stesse generate localmente, sia perché, anche se generate altrove, risentono della configurazione geometrica (batimetria, esposizione, ecc.) del paraggio.

Ad oggi, non sono disponibili misure dirette del moto ondoso nello Stretto di Messina, rilevate sistematicamente e per periodi sufficientemente lunghi, tali da consentire la definizione dei parametri medi del clima ondoso di comune impiego nel campo dell'ingegneria marittima. Pertanto, si svolgerà un'analisi dell'insieme di dati attualmente disponibili (a conoscenza di chi scrive) nell'intorno a nord e a sud dello Stretto di Messina, cercando attraverso essi di "pervenire" il clima ondoso nel paraggio di interesse.

I dati ondametrici cui faremo riferimento sono prodotti da modelli numerici che usano come input dati anemometrici. La qualità di tali dati merita qualche osservazione. Dai confronti con i dati delle boe ondametriche emergono due fatti salienti. Primo: i picchi di altezza significativa previsti dai modelli numerici sono sistematicamente più piccoli dei picchi misurati. Secondo: per venti deboli, i modelli tendono a sovrastimare i valori di

altezza significativa. Tali due errori si accentuano via via che i bacini divengono più piccoli. Vale a dire che gli errori delle stime dei modelli crescono passando dagli oceani ai mari chiusi come il Tirreno e l'Adriatico. Il motivo è dovuto soprattutto alla difficoltà di rappresentare la transizione delle superfici dal mare alla terraferma e viceversa.

I predetti errori nelle stime di H_s a partire dai modelli numerici hanno conseguenze diverse a seconda della finalità d'uso dei dati. Se l'obiettivo è dimensionare una struttura costiera, l'altezza significativa dello stato di mare di progetto risulterà più piccola dell'altezza significativa prevista a partire da misure dirette (strumentali e/o visuali), a parità di periodo di ritorno. Se l'obiettivo è prevedere l'evoluzione di un ripascimento, il tempo di dimezzamento previsto a partire dai dati ondosi generati con i modelli numerici è più piccolo del tempo previsto a partire da misure dirette di H_s , vale a dire il grado di stabilità del ripascimento sarà migliore del previsto.

In entrambi i casi (calcolo dell'altezza significativa di progetto, valutazione del grado di stabilità di un ripascimento) la quantificazione degli errori di stima è possibile se si dispone per l'area in esame di misure dirette da usare per la taratura dei dati del modello.

1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE E ESPOSIZIONE GEOGRAFICA

La località di Lazzaro si affaccia sulla sponda calabrese dello Stretto di Messina, in corrispondenza dell'imboccatura Sud del Canale. Il tratto costiero compreso tra Punta Pellaro e Riace Capo, all'interno del quale ricade la zona oggetto dell'intervento di difesa, è grossomodo rettilineo, e presenta un angolo tra l'allineamento fondamentale e il Nord di 33° circa (v. Fig. 1). Con il termine "allineamento fondamentale" si intende l'allineamento che si ottiene rettificando piccole insenature o protuberanze costiere. Come si vede, il paraggio presenta circa il 50% della traversia principale esposta ai mari che sopraggiungono dall'imboccatura Sud dello Stretto, i quali sono formati prevalentemente da onde provenienti da mezzogiorno e dal levante. Queste ultime in particolare non producono alcun effetto sul paraggio in esame, in quanto esso risulta schermato dalla costa Jonica della Calabria. La rimanente porzione della traversia affaccia direttamente sullo Stretto, con fetches di estensione variabile da un massimo di 7,5 km, in direzione grossomodo ortogonale all'allineamento fondamentale, fino a un minimo di 3 km in direzione circa parallela all'allineamento medesimo.



Fig. 1.1 – Area geografica del paraggio costiero sede dell'intervento di difesa.

2 DATI DI MOTO ONDOSO E PARAMETRI METEOMARINI

2.1 Criteri di valutazione del clima ondoso e del rischio di eventi estremi

Le funzioni base per la descrizione del clima ondoso di un paraggio sono

$P(H_s > h)$, la probabilità che l'altezza d'onda significativa H_s superi una qualsiasi soglia assegnata h , ovvero la frazione di tempo in cui la H_s si mantiene al di sopra di una qualsiasi soglia assegnata h , nella località in esame. [Naturalmente P è una funzione decrescente di h .];

$P(H_s > h; \theta_1 < \theta < \theta_2)$, la probabilità che la H_s superi una qualsiasi assegnata soglia h con direzione di propagazione delle onde contenuta entro un assegnato settore $[\theta_1, \theta_2]$;

$\bar{b}(a)$, la regressione basi-altezze delle mareggiate triangolari equivalenti, vale a dire la durata di tempo media di mareggiate nelle quali la H_s tocchi un valor massimo pari ad a .

Due funzioni fondamentali per l'analisi di rischio di eventi ondosi estremi sono

$R(H_s > h)$, il periodo di ritorno di una mareggiata nella quale la H_s superi una qualsiasi assegnata soglia h ;

$R(H_s > h; \theta_1 < \theta < \theta_2)$, il periodo di ritorno di una mareggiata nella quale la H_s superi una qualsiasi assegnata soglia h con direzione di propagazione delle onde contenuta entro un assegnato settore $[\theta_1, \theta_2]$.

Qui verranno proposte le probabilità $P(H_s > h)$ e $P(H_s > h; \theta_1 < \theta < \theta_2)$ nel piano delle variabili ausiliarie

$$X \equiv 100 \ln(2.5h) \quad \text{con } h \text{ in metri,} \quad Y \equiv 100 \ln \ln \frac{1}{P}. \quad (2.1)$$

Quanto alla direzione delle onde, si farà riferimento sia ad A = angolo orario tra il Nord e la direzione di *provenienza* delle onde, sia a θ = angolo orario tra l'asse y di una coppia cartesiana x,y (con x parallelo all'allineamento di costa) e la direzione di *propagazione* delle onde.

Nel Mediterraneo la $P(H_s > h)$ per P minore grossomodo di 0.20 è ben rappresentata dall'espressione

$$P(H_s > h) = \exp \left[- \left(\frac{h}{w} \right)^u \right], \quad (2.2)$$

con i parametri w e u che variano in generale da località a località. Nel piano delle variabili ausiliarie X,Y la (2.2) è rappresentata da una retta. La $P(H_s > h; \theta_1 < \theta < \theta_2)$, per P minore grossomodo di 0.01, è di solito ben rappresentata dall'espressione

$$P(H_s > h; \theta_1 < \theta < \theta_2) = \exp \left[- \left(\frac{h}{w_\alpha} \right)^u \right] - \exp \left[- \left(\frac{h}{w_\beta} \right)^u \right], \quad (2.3)$$

dove il valore dell'esponente u è lo stesso dell'espressione (2.2), e w_α e w_β variano in generale da settore a settore, oltreché da località a località.

Per tutti i mari del pianeta $\bar{b}(a)$ è ben espressa da un'esponenziale:

$$\bar{b}(a) = K_1 b_{10} \exp \left(K_2 \frac{a}{a_{10}} \right). \quad (2.4)$$

Il parametro K_2 è minore di zero in tutti i mari cosicché la regressione è monotona decrescente: debolmente decrescente nel Mediterraneo, decrescente in modo più marcato

in Atlantico, ed in modo ancora più marcato nel Pacifico. Nel Mediterraneo si può assumere $K_1 = 1.1$, $K_2 = -0.11$. Quanto ai parametri a_{10} e b_{10} nell'area tirrenica meridionale si può fissare $a_{10} = 3.4$ m, $b_{10} = 70$ ore.

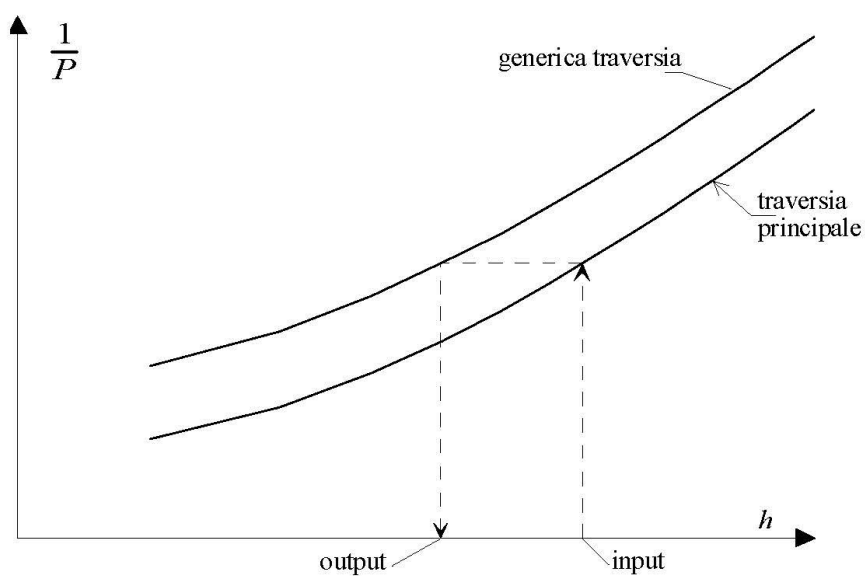


Fig. 2.1 – Si entra in ascisse con il valore di altezza significativa della traversia principale, si segue il flusso indicato dalle frecce e si esce con il corrispondente valore di altezza significativa per il generico settore direzionale.

Per il periodo di ritorno $R(H_s > h)$ vale la soluzione analitica (2.5)

$$R(H_s > h) = \frac{\bar{b}(h)}{h p(H_s = h) + P(H_s > h)}, \quad (2.5)$$

dove $p(H_s = h)$ è la densità di probabilità relativa alla probabilità di superamento $P(H_s > h)$:

$$p(H_s = h) = -\frac{dP(H_s > h)}{dh}. \quad (2.6)$$

Infine il periodo di ritorno $R(H_s > h; \theta_1 < \theta < \theta_2)$ si può ricavare seguendo la logica proposta da Boccotti (1997). Per il settore di traversia principale si può assumere che $R(H_s > h; \theta_1 < \theta < \theta_2)$ coincida con $R(H_s > h)$. Per gli altri settori si può operare la costruzione grafica indicata nella Fig. 2.1. Si entra (input) con l'altezza h corrispondente ad un assegnato valore R del periodo di ritorno $R(H_s > h)$. Si ricava la probabilità corrispondente a tale valore di h in base alla $P(H_s > h; \theta_1 < \theta < \theta_2)$ del settore di traversia principale. Si ricava il valore di h (output) corrispondente a tale valore di P , attraverso la probabilità $P(H_s > h; \theta_1 < \theta < \theta_2)$ del generico settore di interesse. Tale valore di h (output) rappresenta la soglia di altezza significativa superata con periodo di ritorno R nel generico settore direzionale di interesse.

NOTA

Le soluzioni $R(H_s > h)$ e $R(H_s > h; \theta_1 < \theta < \theta_2)$ si basano sul concetto di mareggiata triangolare equivalente introdotto da Boccotti negli anni '80 per risolvere il problema dei periodi di ritorno di mareggiate di assegnate caratteristiche. [Per un approfondimento si veda Boccotti, UTET, 1997.]

2.2 Tipologie di dati ondosi disponibili

Come accennato, non sono disponibili, a conoscenza di chi scrive, rilievi strumentali sistematici del moto ondoso nello Stretto di Messina. Pertanto l'analisi del clima ondoso al largo di Lazzaro viene effettuata a partire dai dati di moto ondoso reperibili presso il Centro Meteorologico Inglese Met-Office (UKMO). L'altezza significativa (H_s), il periodo medio (T_m) e la direzione dominante (θ_m) vengono stimati in prefissati punti del bacino per mezzo di modelli matematici. I dati di input sono i valori della velocità del vento ricavati con i modelli di previsione meteorologica.

I modelli di previsione del moto ondoso si basano sull'integrazione dell'equazione che esprime il bilancio energetico di un volumetto d'acqua, tenendo conto dell'energia trasferita dal vento sulla superficie del mare e dei fenomeni dissipativi interni al moto ondoso. Il risultato è lo spettro direzionale delle onde di superficie.

Il Met office utilizza il modello europeo EWM che elabora le previsioni ondose sui nodi di una griglia di 25-30 km di lato. Le simulazioni vengono lanciate due volte al giorno e forniscono previsioni per un intervallo temporale di 48 ore, 12 delle quali precedono l'istante T considerato (wave hindcasting), le rimanenti 36 ore seguono l'istante T (wave forecasting). I dati relativi all'intervallo [T-12 ore, T] vengono archiviati, i dati relativi all'intervallo [T, T+36] vengono diffusi come previsione.

L'archivio del Met-Office dispone attualmente di osservazioni a partire da gennaio 1990. I valori di altezza significativa, periodo medio (Rice) e direzione dominante sono registrati ad intervalli di 6 ore.

Lo stesso Istituto fornisce inoltre le frequenze di apparizione per svariati livelli di altezza significativa e periodo medio raggruppati per settore di provenienza. I settori hanno ampiezza $\Delta\alpha_0 = 10^\circ$, gli intervalli di altezza significativa sono di 0.5 m e gli intervalli di periodo medio sono di 1 s.

A causa delle notevoli imprecisioni nella previsione del moto ondoso che si verificano in prossimità alle coste, le coordinate geografiche del nodo della griglia di calcolo del modello EWM più vicino a Lazzaro sono [37.8° N-15.5° E]. Si tratta di un punto al disotto dell'imboccatura Sud dello Stretto, situato grossomodo alla stessa latitudine di Taormina

(v. Fig. 2.2).

Nel presente studio la taratura dei dati è stata effettuata utilizzando i dati ondametrici della boa della Rete Ondametrica Nazionale (RON) acquisiti nel periodo 1989 -1999 al largo di Catania.

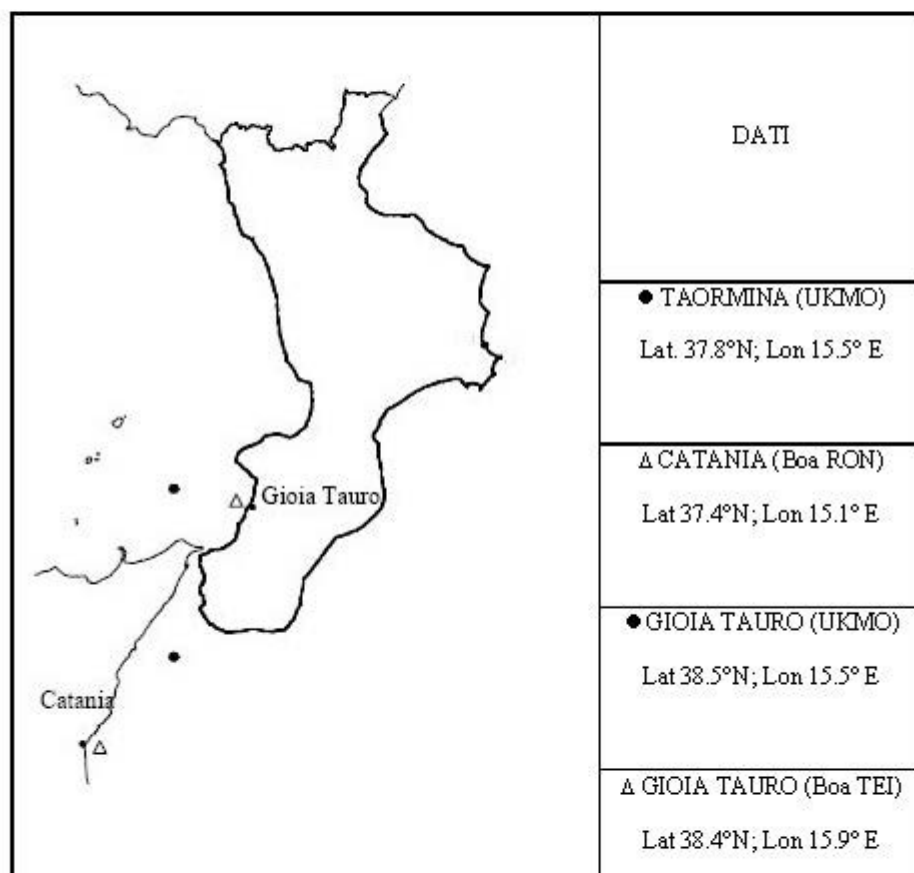


Fig. 2.2 – Localizzazione dei punti in prossimità dello Stretto per i quali si dispone di dati di moto ondoso sia di origine strumentale sia di origine modellistica.

3 IL CLIMA ONDOSO DAVANTI A LAZZARO

3.1 Esposizione ai mari generati fuori dallo Stretto

Il clima ondoso nello Stretto di Messina è determinato dalla sovrapposizione di famiglie di onde aventi differenti origini: quelle generate al di fuori dello Stretto e che vi accedono dalla imboccatura Nord e dalla imboccatura Sud, e quelle generate localmente dai venti di canale. I dati UKMO relativi ai due punti indicati nella Fig. 2.2 possono rappresentare piuttosto dettagliatamente le prime. Il punto [37.8°N, 15.5°E] in particolare, essendo posizionato 20 km circa al largo di Taormina (CT), è rappresentativo delle onde provenienti da Mezzogiorno, le quali si propagano senza incontrare ostacoli fino alla costa di Lazzaro. Le onde nel punto [38.5°N, 15.5°E] non sono in grado di propagarsi fino alla costa di Lazzaro per via della presenza della massa geografica costituita dal lembo occidentale della Sicilia (area Punta Faro), la quale scherma la propagazione dei mari di Maestrale generatisi nel Tirreno Meridionale.

La Fig. 3.1 mostra la $P(H_s > h)$ (nel piano delle variabili ausiliarie X, Y) per i due punti, il 37.8° N e il 38.5° N. I dati relativi al punto 37.8° N si dispongono alla sinistra dei dati relativi al punto 38.5° N, segno che l'altezza delle onde è minore nel punto 37.8° N. La differenza massima tra le ascisse X , a parità di ordinata Y , è pari a 13 che implica una differenza di altezza h del 13% a parità di probabilità di superamento. Tale differenza va via via riducendosi all'aumentare dell'altezza significativa (al diminuire della probabilità di superamento).

Le Figg. 3.2 e 3.3 mostrano il flusso medio di energia ondosa (su base annua) dalle varie direzioni di provenienza. La Fig. 3.2 si riferisce al punto 38.5° N, la Fig. 3.3 al punto

37.8° N. Come si vede, la maggior parte dell'energia ondosa nel punto 38.5° N proviene dai 290° e nel punto 37.8° N proviene dai 110° N. Questo significa che la maggior parte dell'energia ondosa a Sud dello Stretto (mar Jonio) è veicolata dalle onde di scirocco e levante, mentre a Nord (Tirreno meridionale) è veicolata dalle onde di ponente e maestrale. Le onde di scirocco sono le uniche che riescono a penetrare nello Stretto dall'imboccatura Sud, e a raggiungere come detto, la costa di Lazzaro senza subire importanti fenomeni di diffrazione. Mentre le onde da Levante, seppure costituiscano una presenza significativa nel punto 37.8°N, non incidono sul clima ondoso davanti a Lazzaro, per l'effetto di schermo prodotto dalla massa geografica del tratto Jonico della Calabria che va da Riace Capo a Capo Spartivento.

3.2 Ondazioni generate localmente

L'area Sud dello Stretto è frequentemente battuta da venti locali che spirano da Ovest verso Est. Il fetch efficace lungo il quale spirano questi venti davanti alla costa di Lazzaro è alquanto modesto, misurando circa 7,5 km di estensione in direzione ortogonale alla costa (cfr. Fig. 1.1) e diminuendo via via che dalla normale ruotiamo in direzione oraria fino a raggiungere un minimo di 3 km circa, a 90° dalla normale. Sebbene tali venti siano in grado di raggiungere intensità davvero notevoli, l'altezza delle onde da essi formate risulta limitata dalla relativamente piccola ampiezza del fetch. Vediamo un esempio. Calcoliamo l'altezza delle onde prodotte da un vento che soffi stabilmente a 180 km/ora da Ovest verso Est, sul fetch massimo pari a 7,5 km. Secondo i ricercatori del progetto JONSWAP (Hasselmann e al., 1973), il valore di altezza significativa H_s nella fase stazionaria dipende dal fetch F e dalla velocità u del vento attraverso la relazione

$$\frac{gH_s}{u^2} = 1.26 \cdot 10^{-3} \left(\frac{gF}{u^2} \right)^{0.55}, \quad (3.1)$$

che porta ad un valore di H_s pari a 1.75 m. Quindi, considerare davanti a Lazzaro che le onde da Ponente abbiano la stessa altezza che hanno nel punto 38.5°N sarebbe alquanto inverosimile. Una ipotesi di lavoro accettabile è, a parere dello scrivente, assumere che la

frequenza di apparizione delle onde per assegnate direzioni di provenienza sia uguale a quella che si ha nel punto 37.8°N per le medesime direzioni, salvo limitare l'altezza significativa massima degli stati di mare da tali settori ad un valore limite convenzionale, il quale prudentemente potrebbe essere assunto pari 2 m.

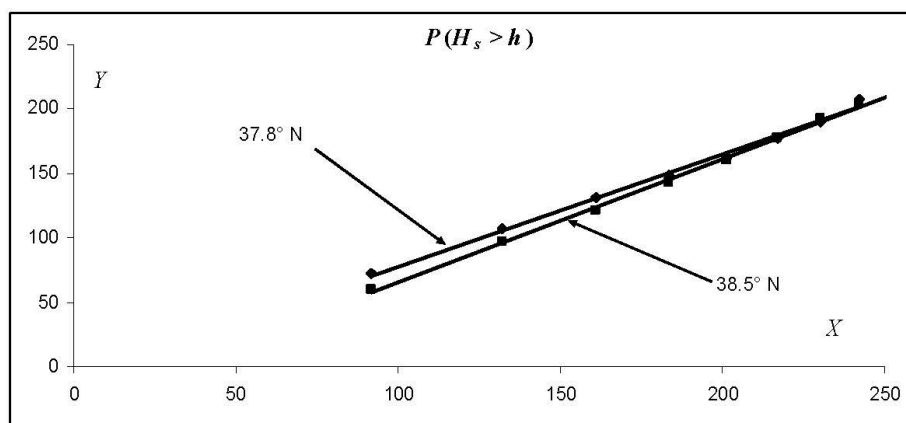


Fig. 3.1 – Confronto tra le probabilità di superamento della H_s nel punto 37.8° N e nel punto 38.5° N.

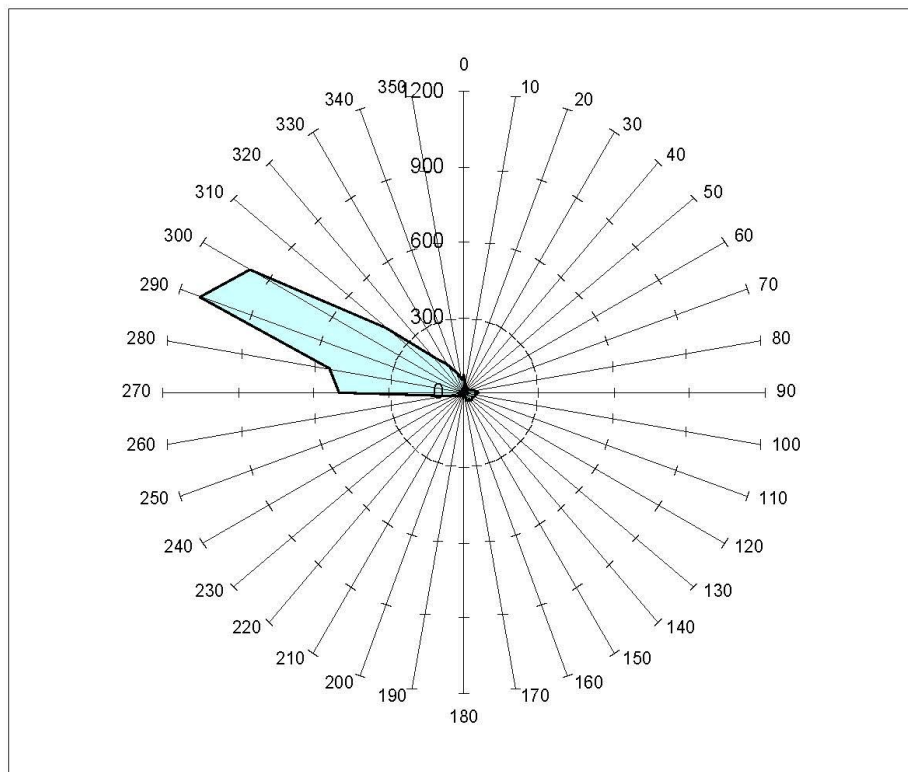


Fig. 3.2 – Punto [38.5°N-15.5°E]: *diagramma polare della distribuzione dell'energia media annua associata al moto ondoso. [I valori dell'energia sono in N/s, in quanto rappresentano il flusso di energia per unità di lunghezza.]*

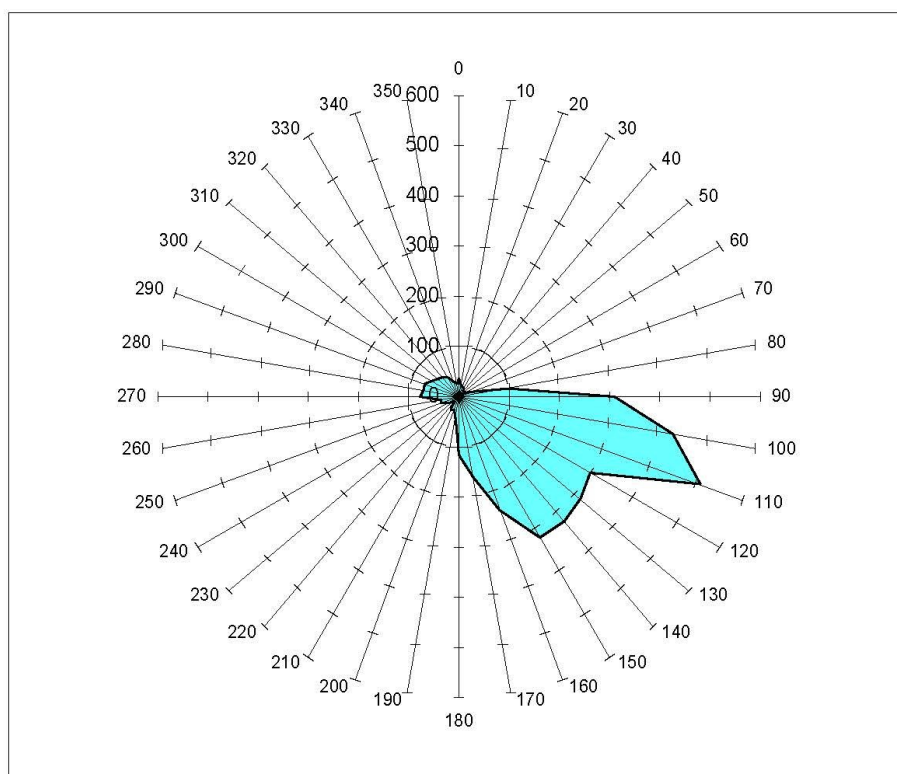


Fig. 3.3 – Punto 37.8°N: diagramma polare della distribuzione dell'energia media annua associata al moto ondoso. [I valori dell'energia sono in N/s, in quanto rappresentano il flusso di energia per unità di lunghezza.]

4 PROBABILITÀ E PERIODI DI RITORNO AL LARGO DI LAZZARO

4.1 La probabilità di superamento omnidirezionale

La probabilità di superamento $P(H_s > h)$ è rappresentata nella Fig. 4.1, nel piano delle variabili ausiliarie X, Y . Come detto una retta nel piano X, Y corrisponde all'espressione (2) della $P(H_s > h)$. I valori dei parametri u e w di tale espressione sono indicati nella stessa Fig. 4.1.

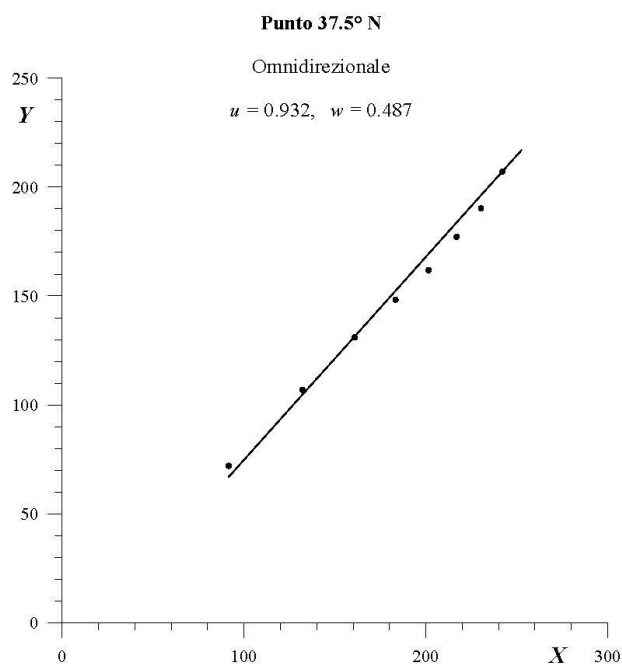


Fig. 4.1 – Punto [37.5°N-15.5°E]: probabilità di superamento omnidirezionale. Il piano della rappresentazione è quello delle variabili ausiliarie X e Y definite dalla (1).

4.2 Le probabilità di superamento direzionali

Nelle Figg. 4.2.a-s sono rappresentate le probabilità $P(H_s > h; A_1 < A < A_2)$ direzionali. Il piano è sempre quello delle variabili ausiliarie X, Y . Le curve corrispondono all'espressione (3). I valori dei parametri w_α , w_β e u che compaiono in tale espressione sono indicati in ciascuna figura.

Punto 37.8° N ($u = 0.932$)

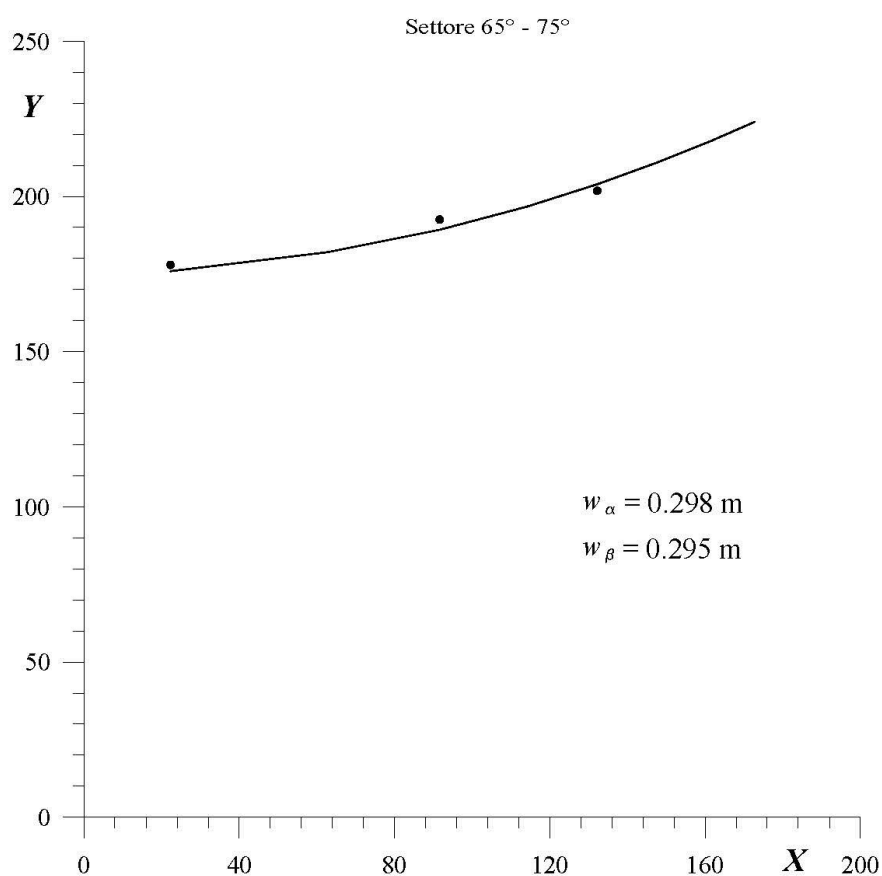


Fig. 4.2.a – Punto [37.8°N-15.5°E]: probabilità di superamento direzionale. Il piano della rappresentazione è quello delle variabili ausiliarie X e Y definite dalla (1).

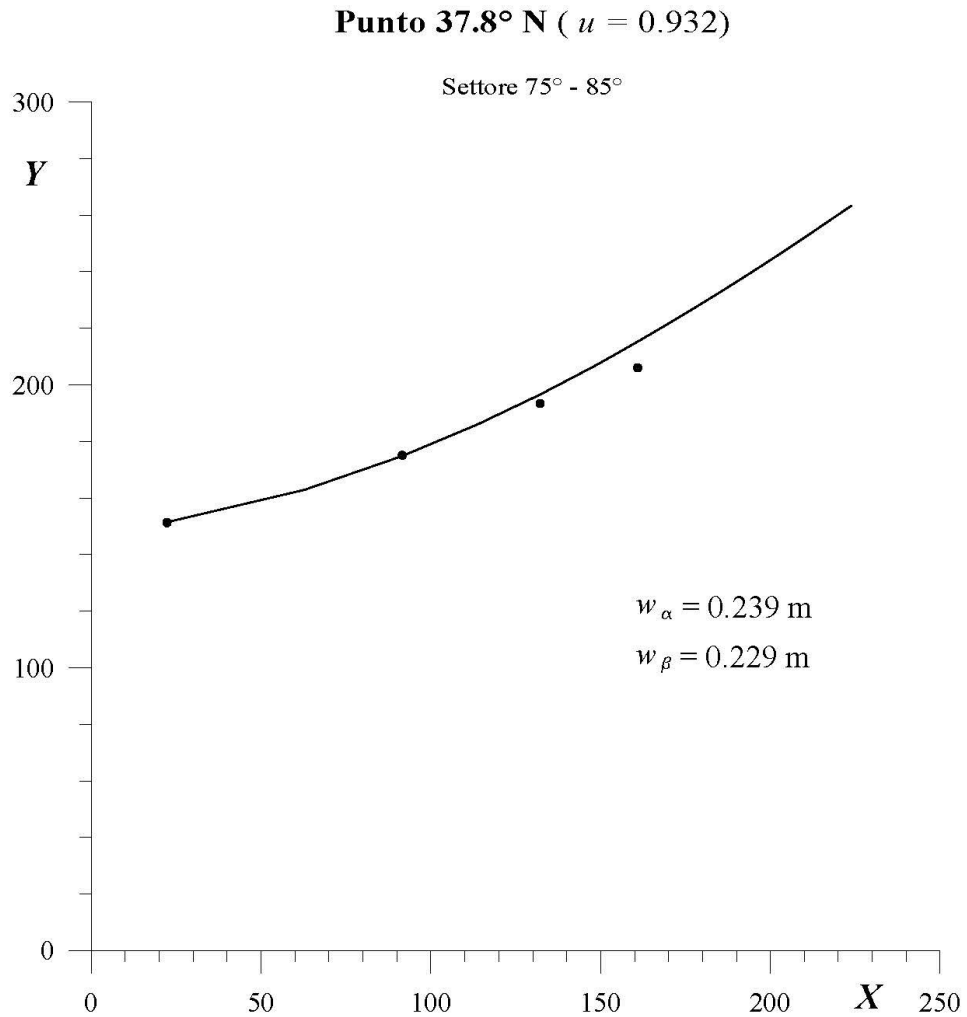


Fig. 4.2.b – Punto [37.8°N-15.5°E]: probabilità di superamento direzionale. Il piano della rappresentazione è quello delle variabili ausiliarie X e Y definite dalla (1).

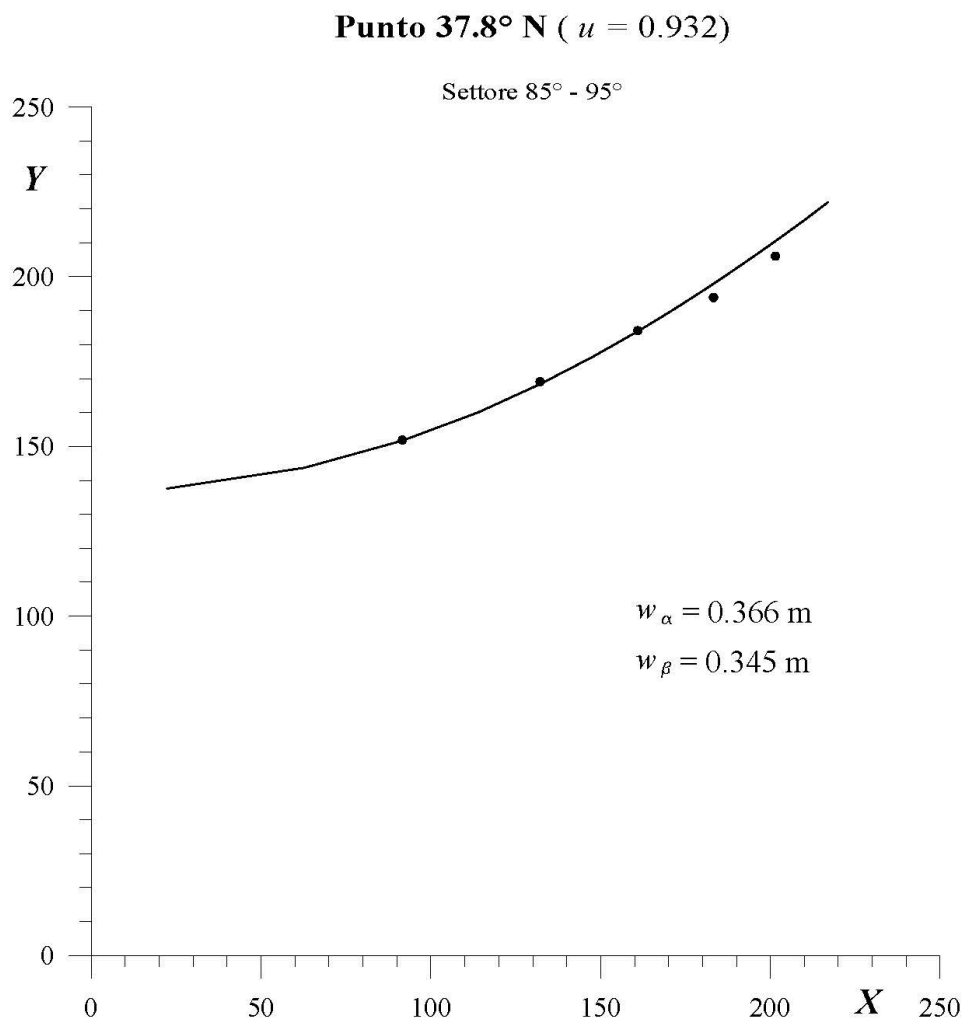


Fig. 4.2.c – Punto [37.8°N-15.5°E]: probabilità di superamento direzionale. Il piano della rappresentazione è quello delle variabili ausiliarie X e Y definite dalla (1).

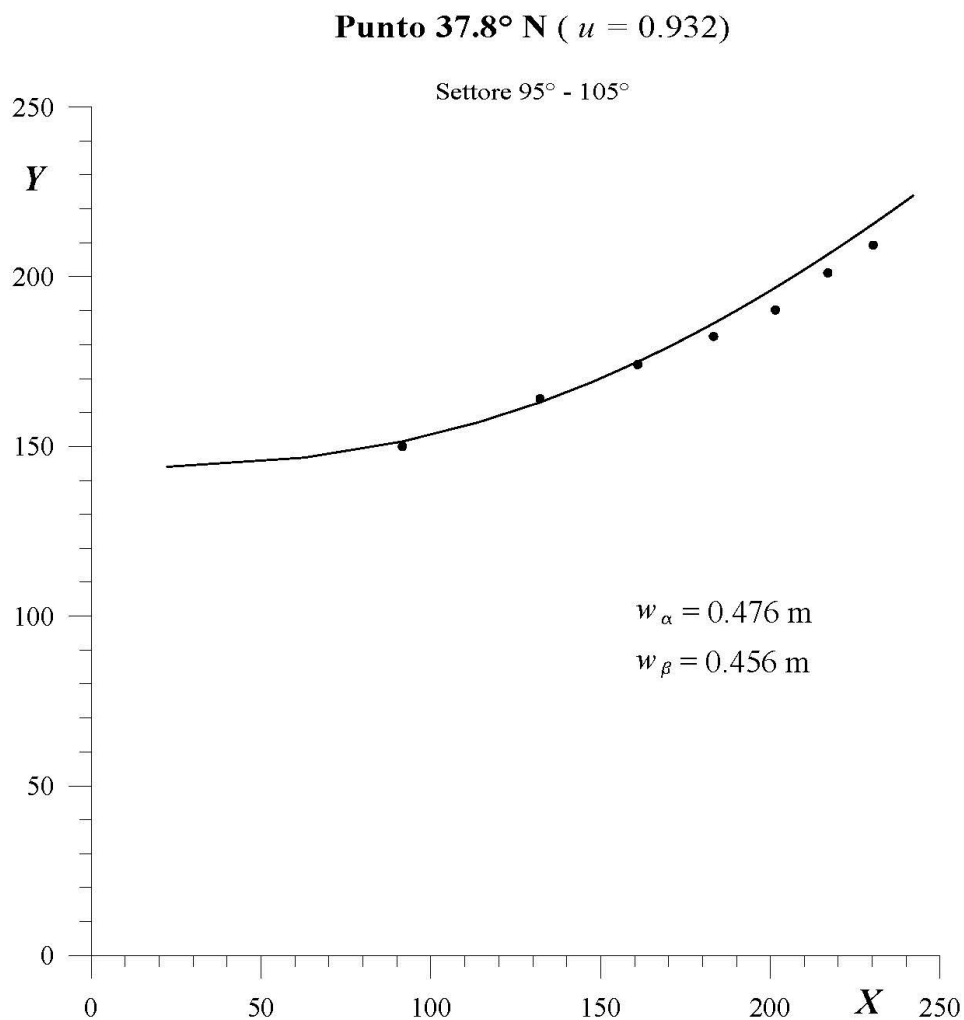


Fig. 4.2.d – Punto [37.8°N-15.5°E]: probabilità di superamento direzionale. Il piano della rappresentazione è quello delle variabili ausiliarie X e Y definite dalla (1).

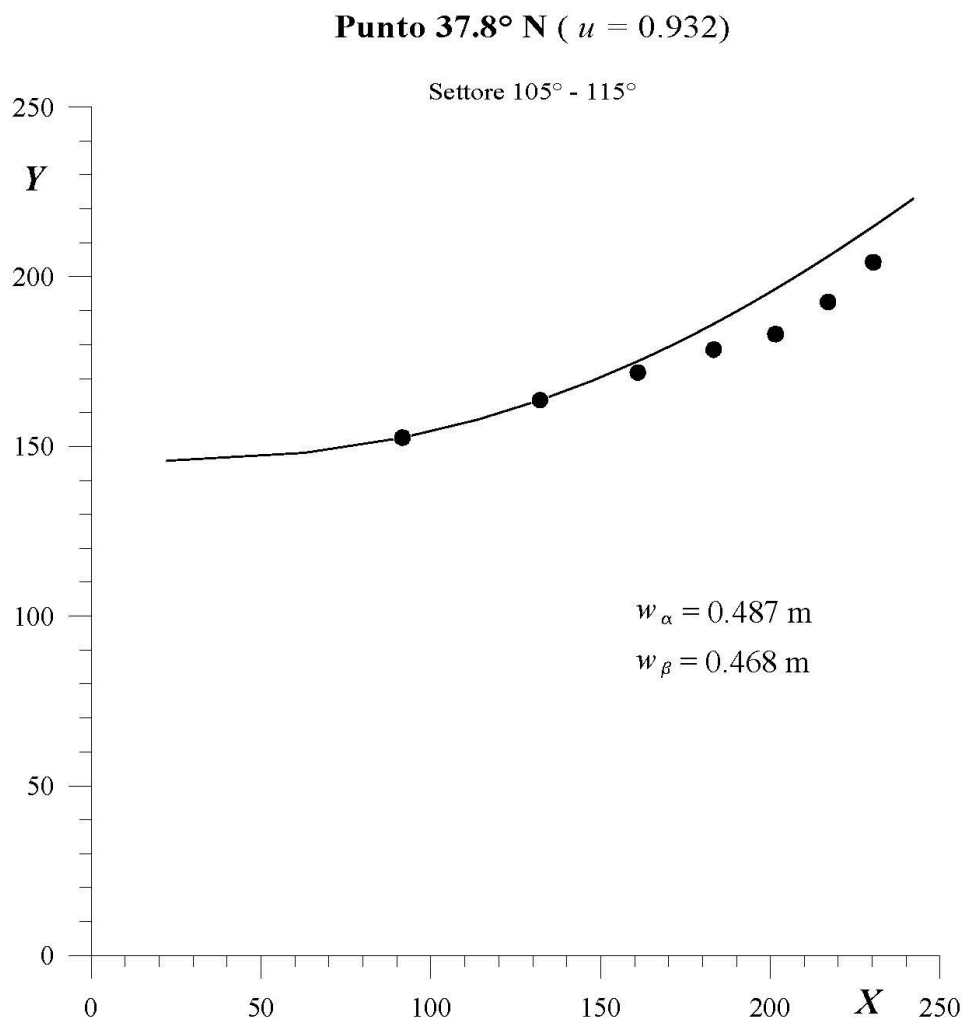


Fig. 4.2.e – Punto [37.8°N-15.5°E]: probabilità di superamento direzionale. Il piano della rappresentazione è quello delle variabili ausiliarie X e Y definite dalla (1).

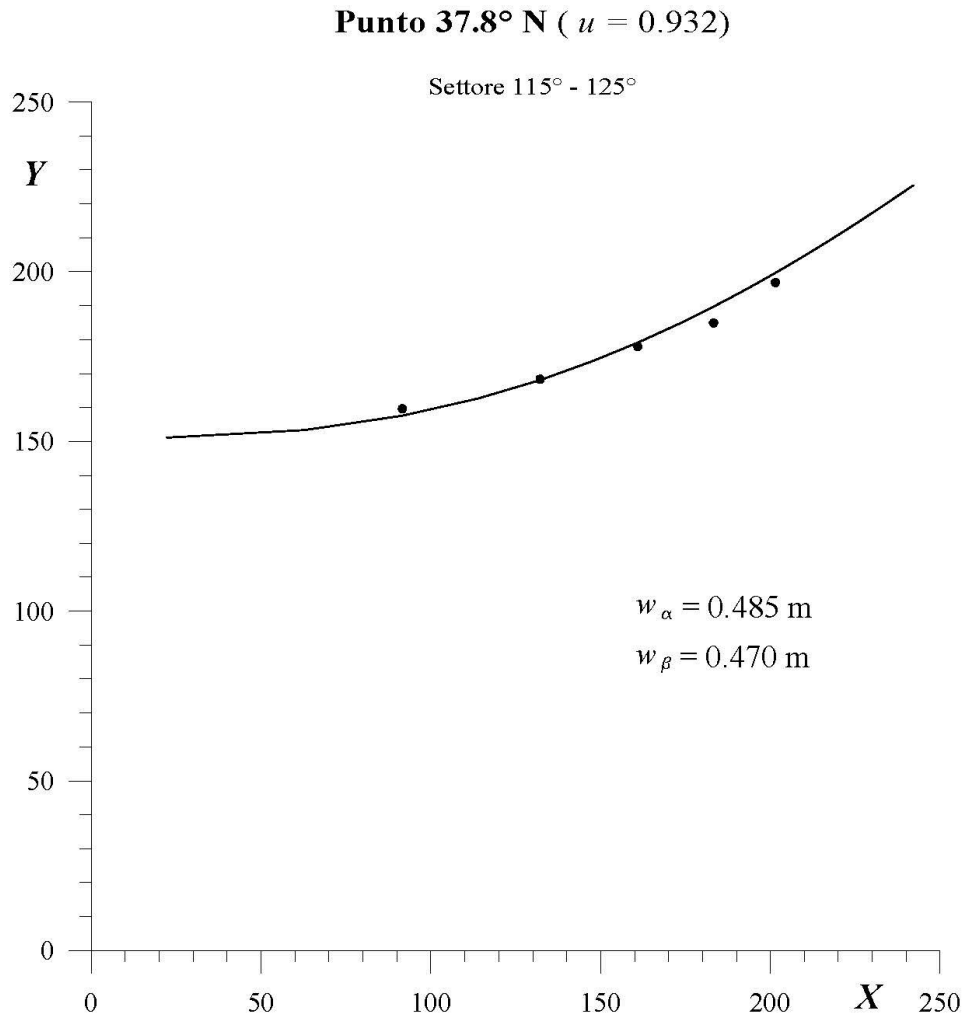


Fig. 4.2.f – Punto [37.8°N-15.5°E]: probabilità di superamento direzionale. Il piano della rappresentazione è quello delle variabili ausiliarie X e Y definite dalla (1).

Punto 37.8° N ($u = 0.932$)

Settore 125° - 135°

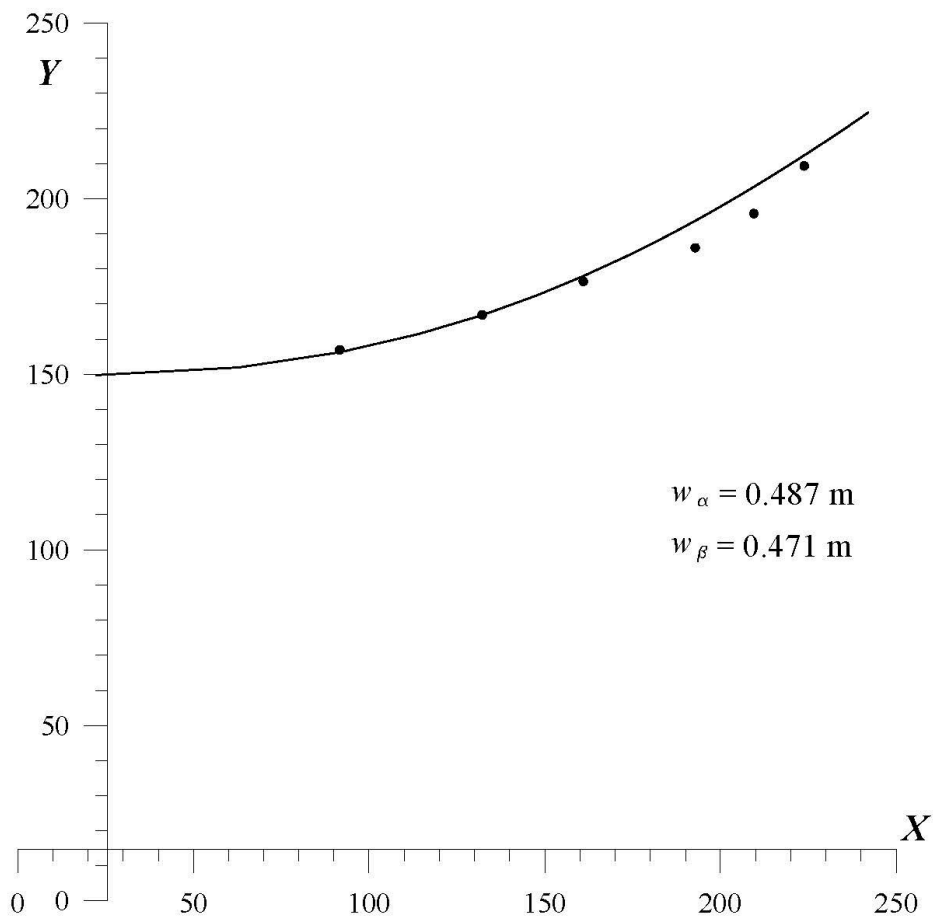


Fig. 4.2.g – Punto [37.8°N-15.5°E]: probabilità di superamento direzionale. Il piano della rappresentazione è quello delle variabili ausiliarie X e Y definite dalla (1).

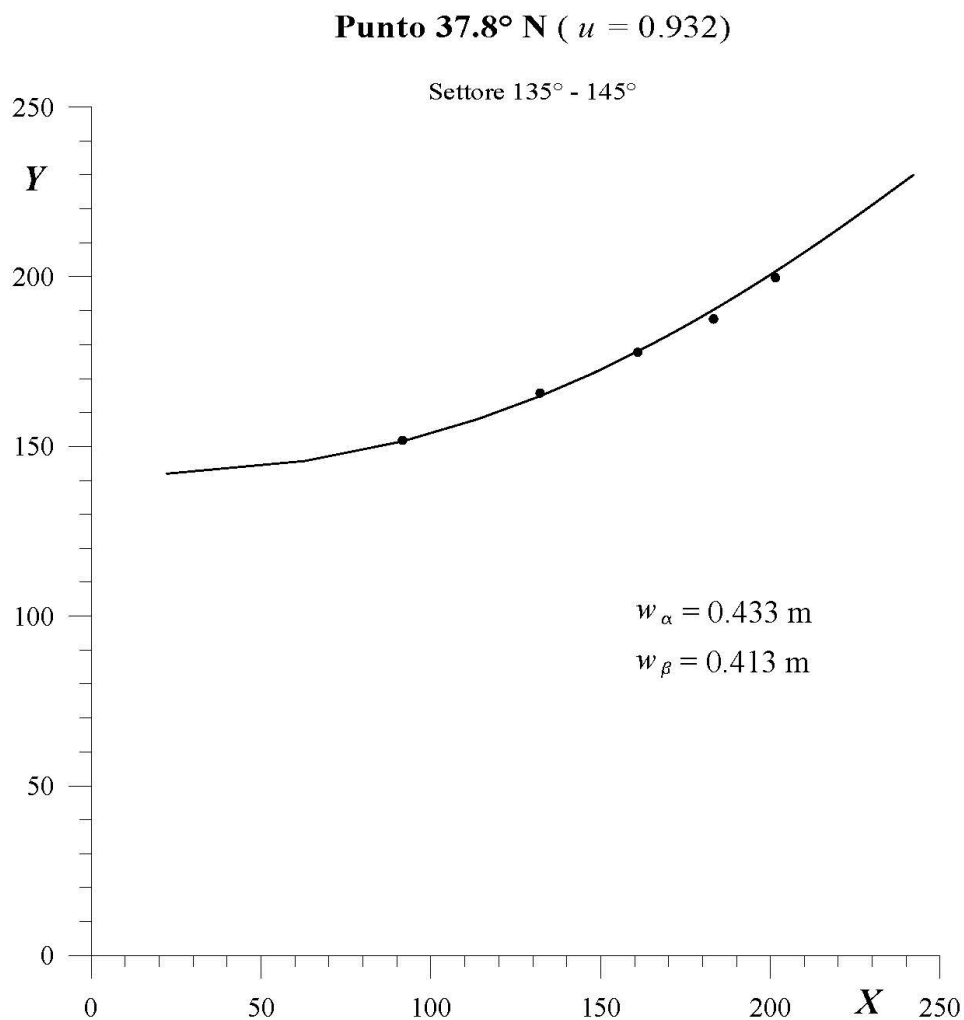


Fig. 4.2.h – Punto [37.8°N-15.5°E]: probabilità di superamento direzionale. Il piano della rappresentazione è quello delle variabili ausiliarie X e Y definite dalla (1).

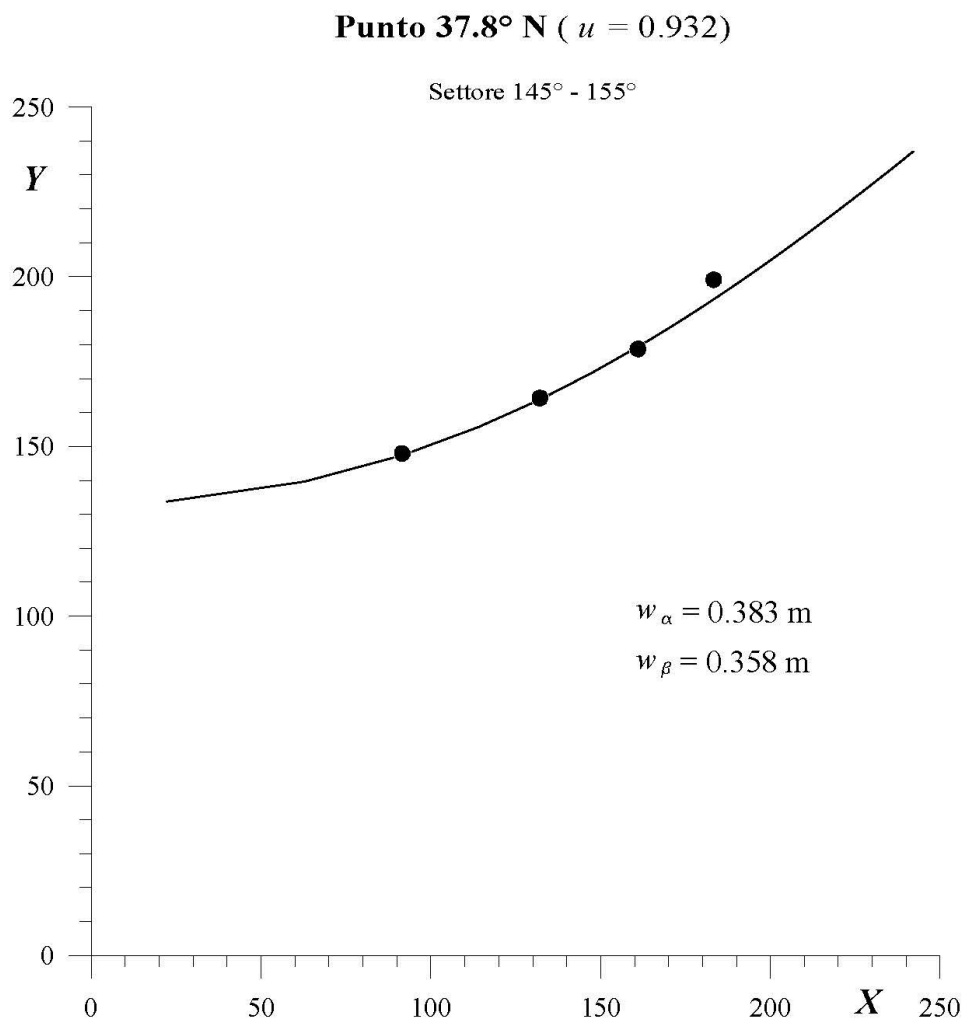


Fig. 4.2.i – Punto [37.8°N-15.5°E]: probabilità di superamento direzionale. Il piano della rappresentazione è quello delle variabili ausiliarie X e Y definite dalla (1). [Nota: La probabilità di superamento per il presente settore è stata ottenuta per interpolazione tra i valori di probabilità dei settori contigui (325° - 335° e 345°-355°) in quanto il dato ondametrico risultava incerto e di difficile interpretazione.]

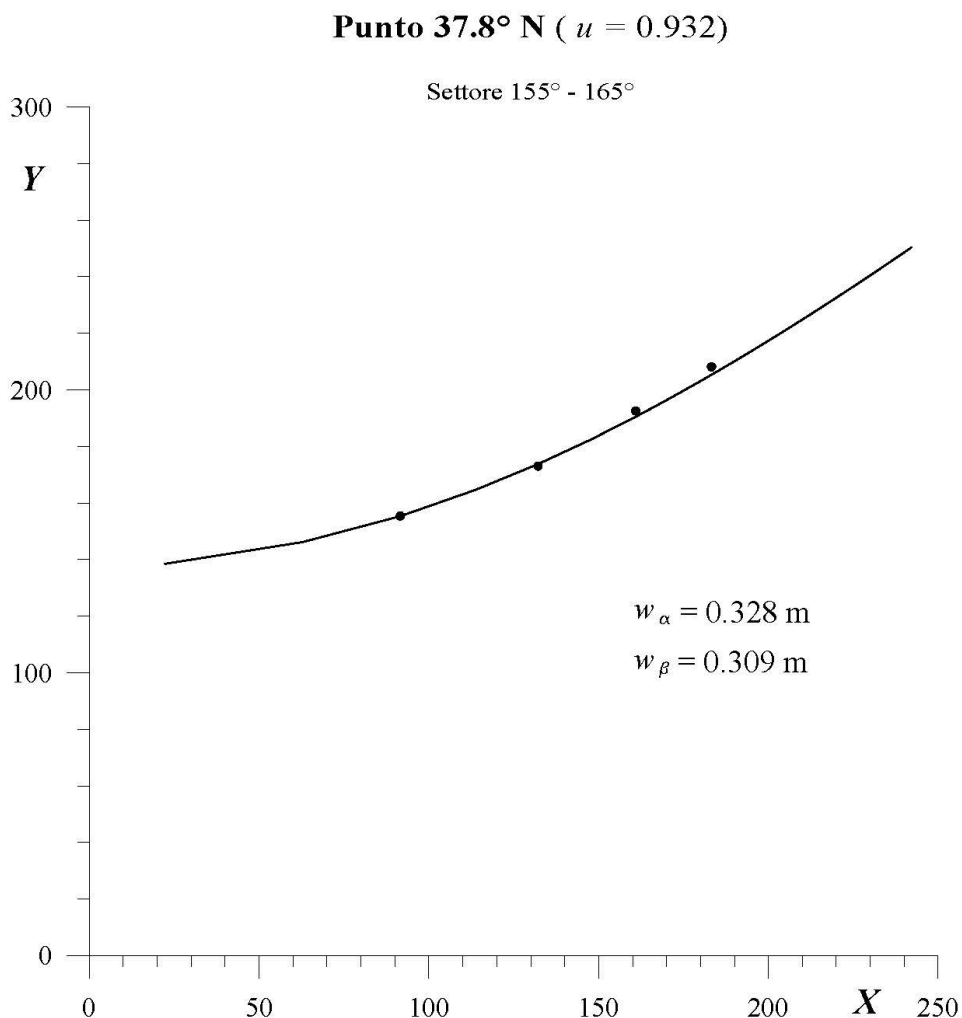


Fig. 4.2.1 – Punto [37.8°N-15.5°E]: probabilità di superamento direzionale. Il piano della rappresentazione è quello delle variabili ausiliarie X e Y definite dalla (1).

Punto 37.8° N ($u = 0.932$)

Settore 165° - 175°

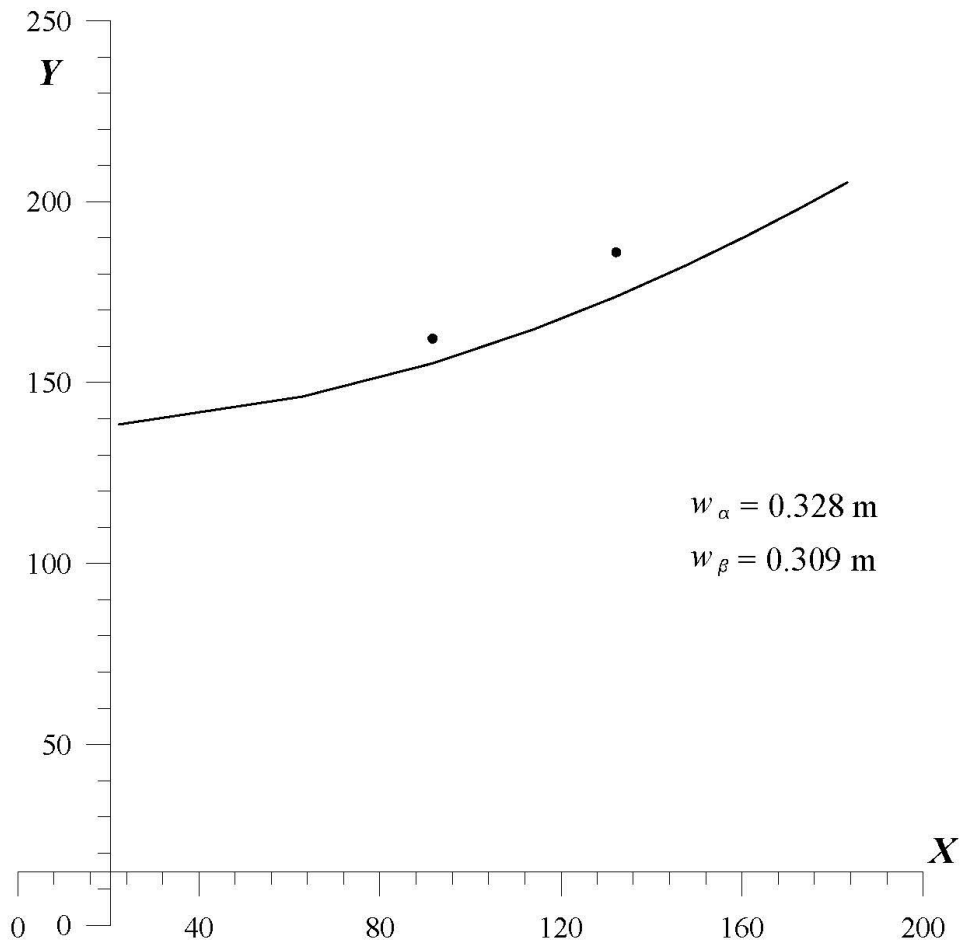


Fig. 4.2.m – Punto [37.8°N-15.5°E]: probabilità di superamento direzionale. Il piano della rappresentazione è quello delle variabili ausiliarie X e Y definite dalla (1).

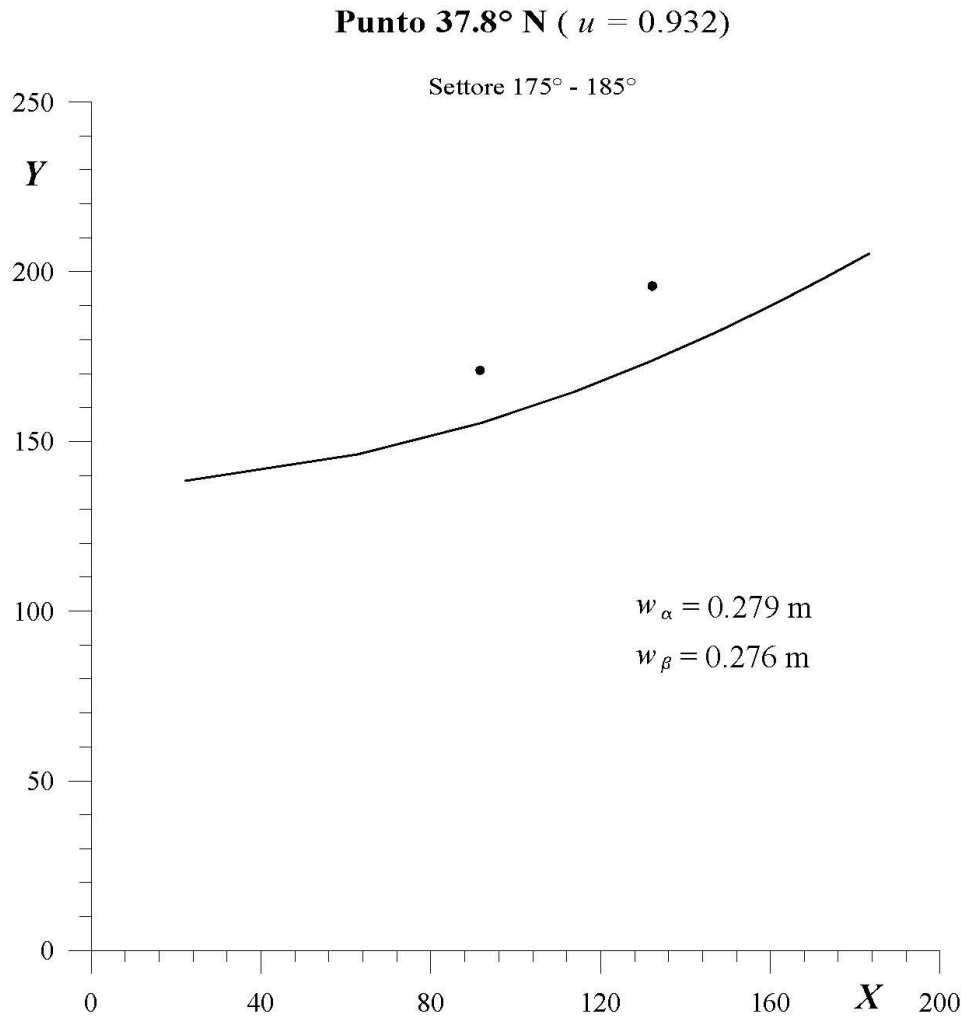


Fig. 4.2.n – Punto [37.8°N-15.5°E]: probabilità di superamento direzionale. Il piano della rappresentazione è quello delle variabili ausiliarie X e Y definite dalla (1).

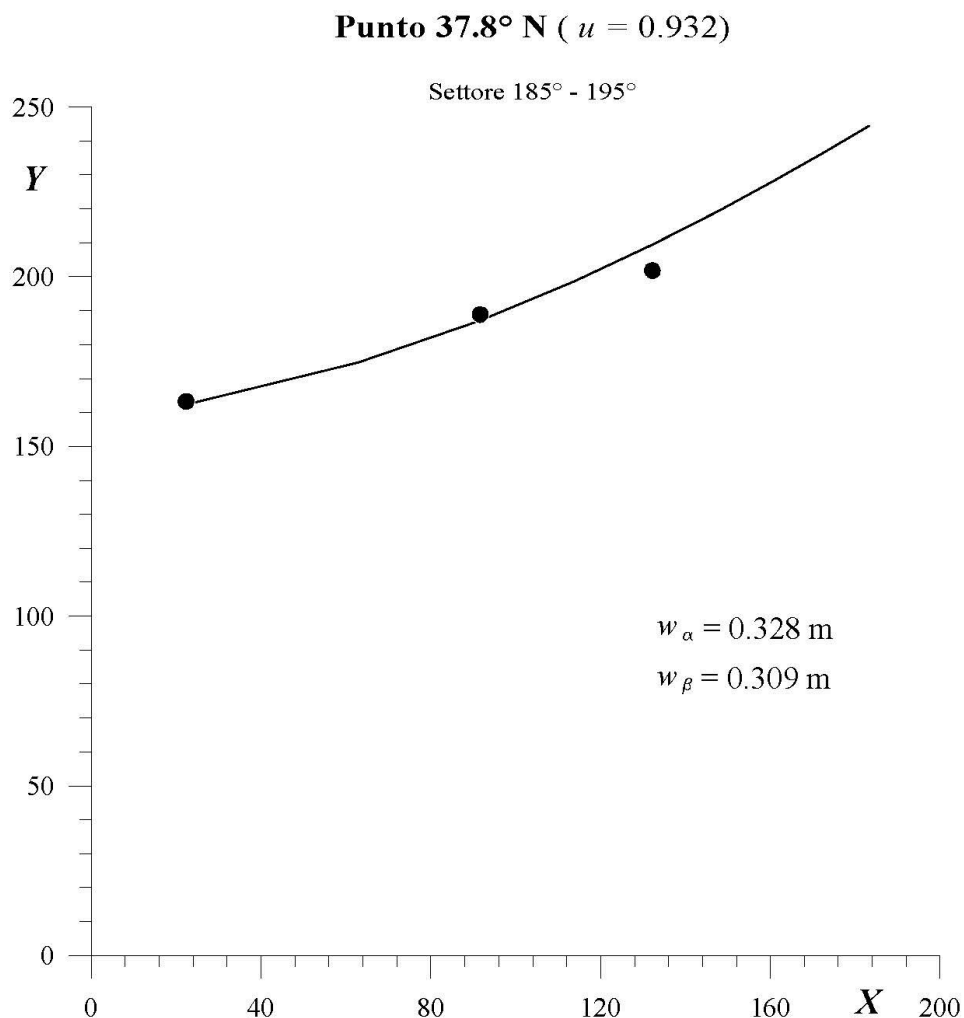


Fig. 4.2.o – Punto [37.8°N-15.5°E]: probabilità di superamento direzionale. Il piano della rappresentazione è quello delle variabili ausiliarie X e Y definite dalla (1).

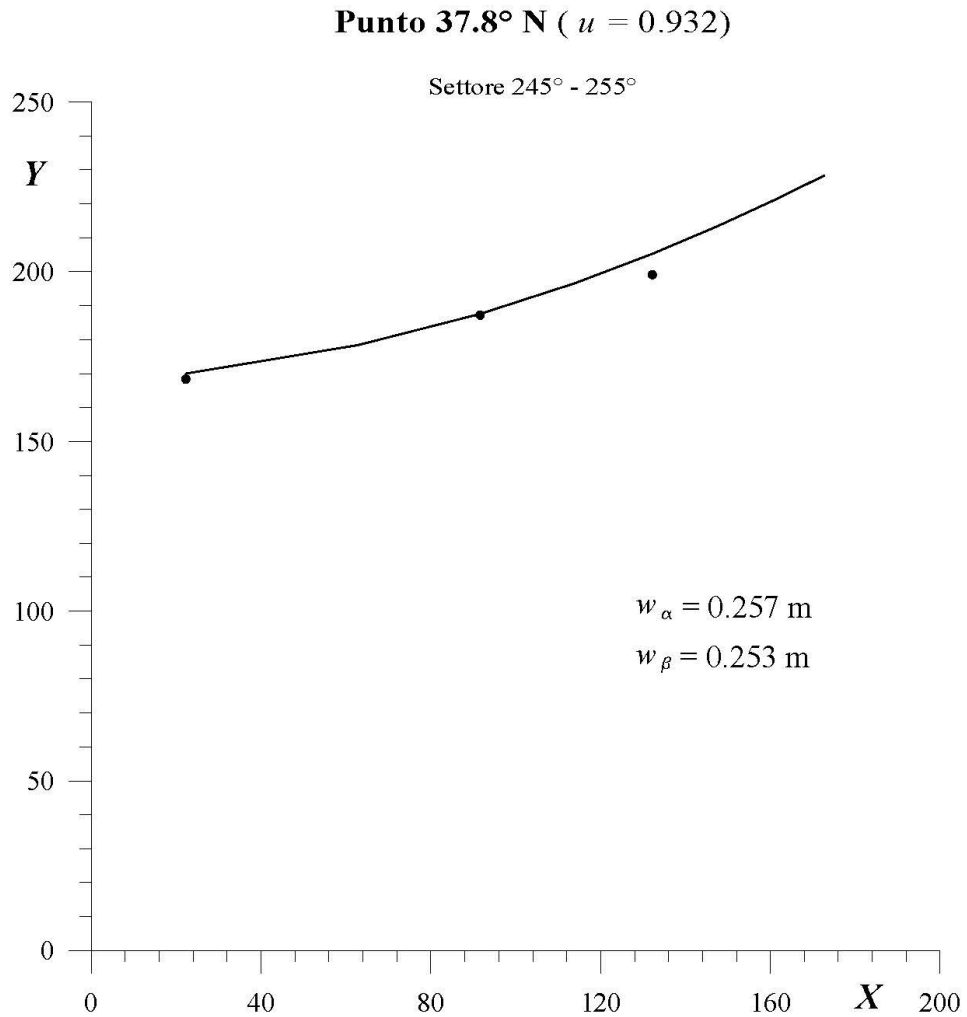


Fig. 4.2.p – Punto [37.8°N-15.5°E]: probabilità di superamento direzionale. Il piano della rappresentazione è quello delle variabili ausiliarie X e Y definite dalla (1).

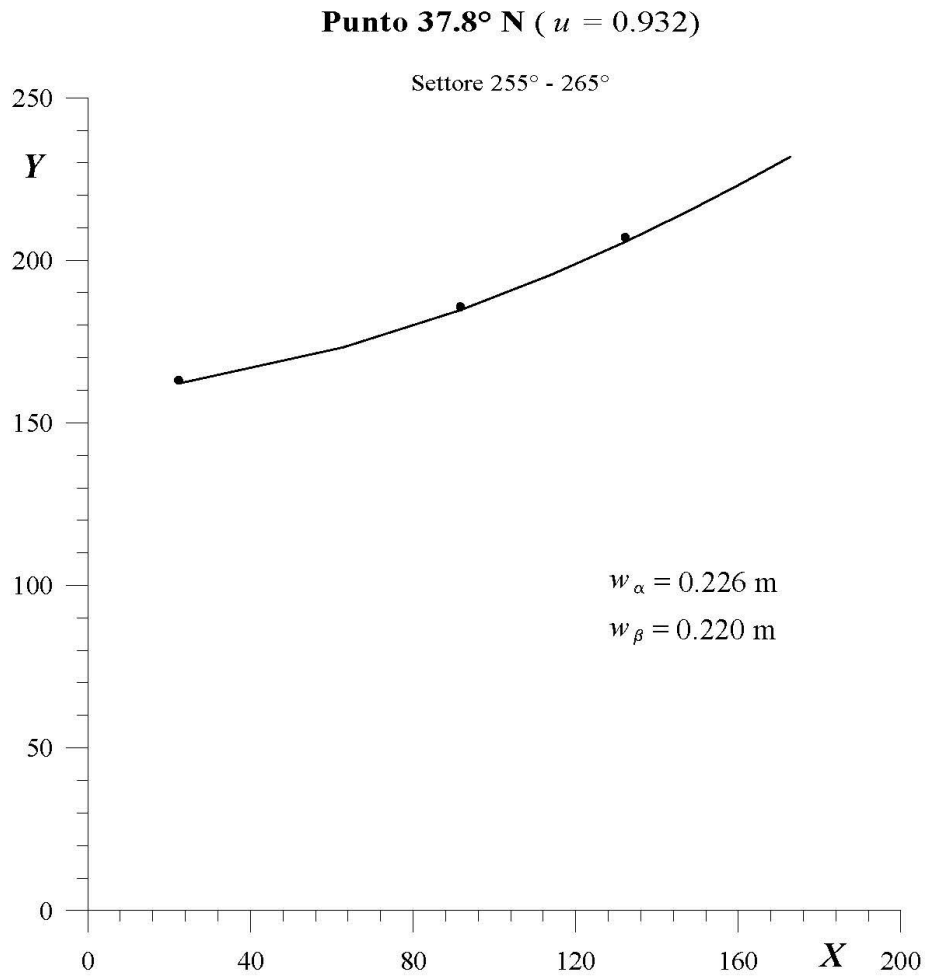


Fig. 4.2.q – Punto [37.8°N-15.5°E]: probabilità di superamento direzionale. Il piano della rappresentazione è quello delle variabili ausiliarie X e Y definite dalla (1).

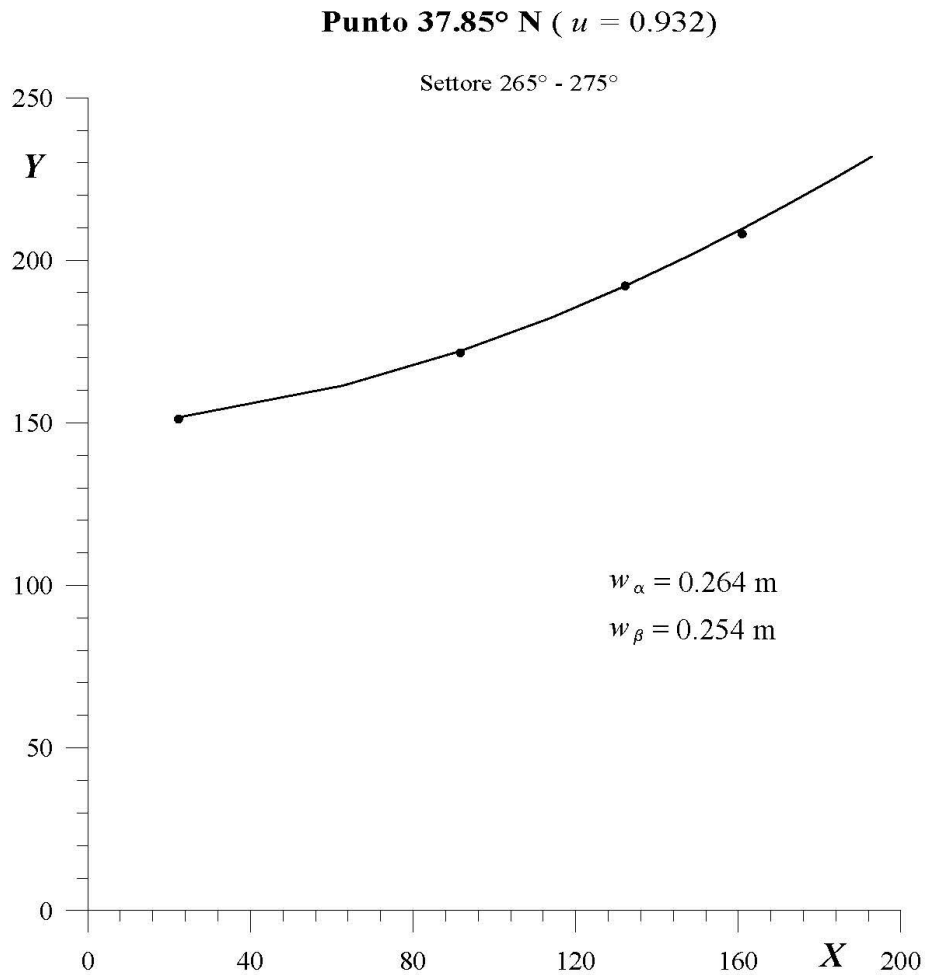


Fig. 4.2.r – Punto [37.8°N-15.5°E]: probabilità di superamento direzionale. Il piano della rappresentazione è quello delle variabili ausiliarie X e Y definite dalla (1).

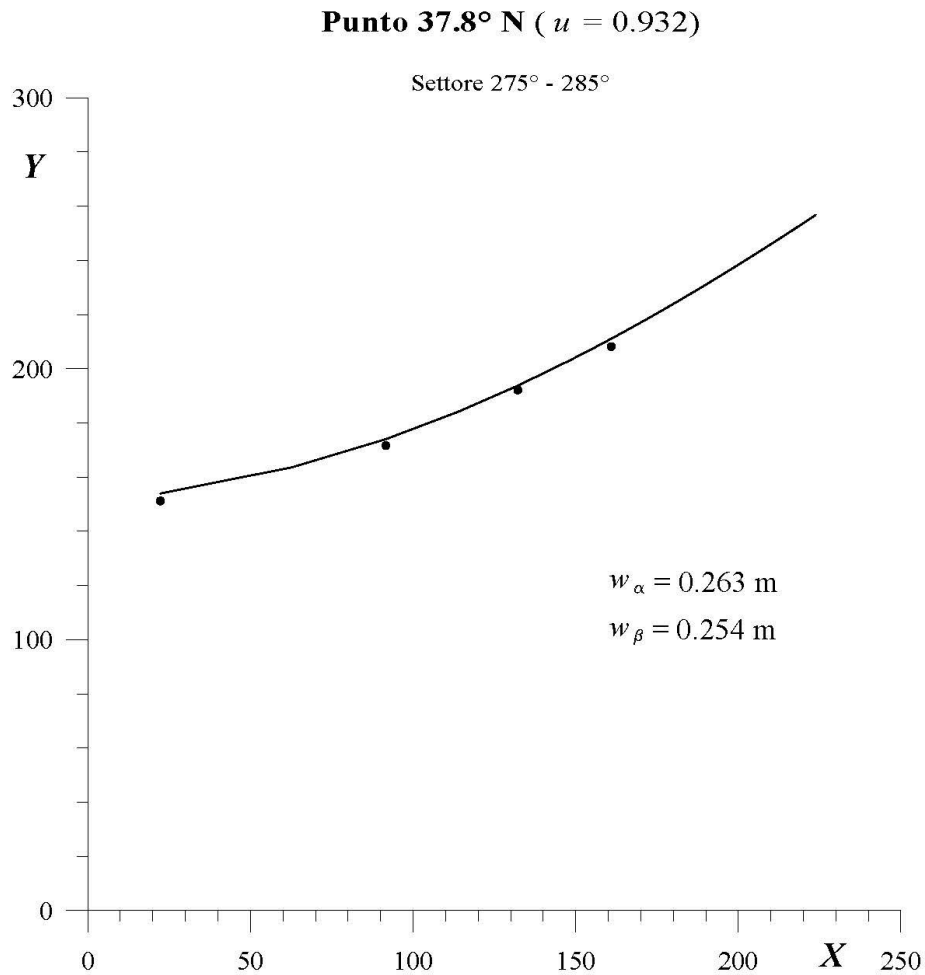


Fig. 4.2.s – Punto [37.8°N-15.5°E]: probabilità di superamento direzionale. Il piano della rappresentazione è quello delle variabili ausiliarie X e Y definite dalla (1).

4.3 Periodi di ritorno delle mareggiate

Il periodo di ritorno $R(H_s > h)$ di una mareggiata nella quale la H_s superi una qualsiasi assegnata soglia h , a prescindere dalla direzione di provenienza delle onde è rappresentata nella Fig. 4.3.

I periodi di ritorno di mareggiate nelle quali la H_s supera la soglia h , per assegnati settori di provenienza delle onde, sono rappresentati nelle Figg. 4.4.a – s.

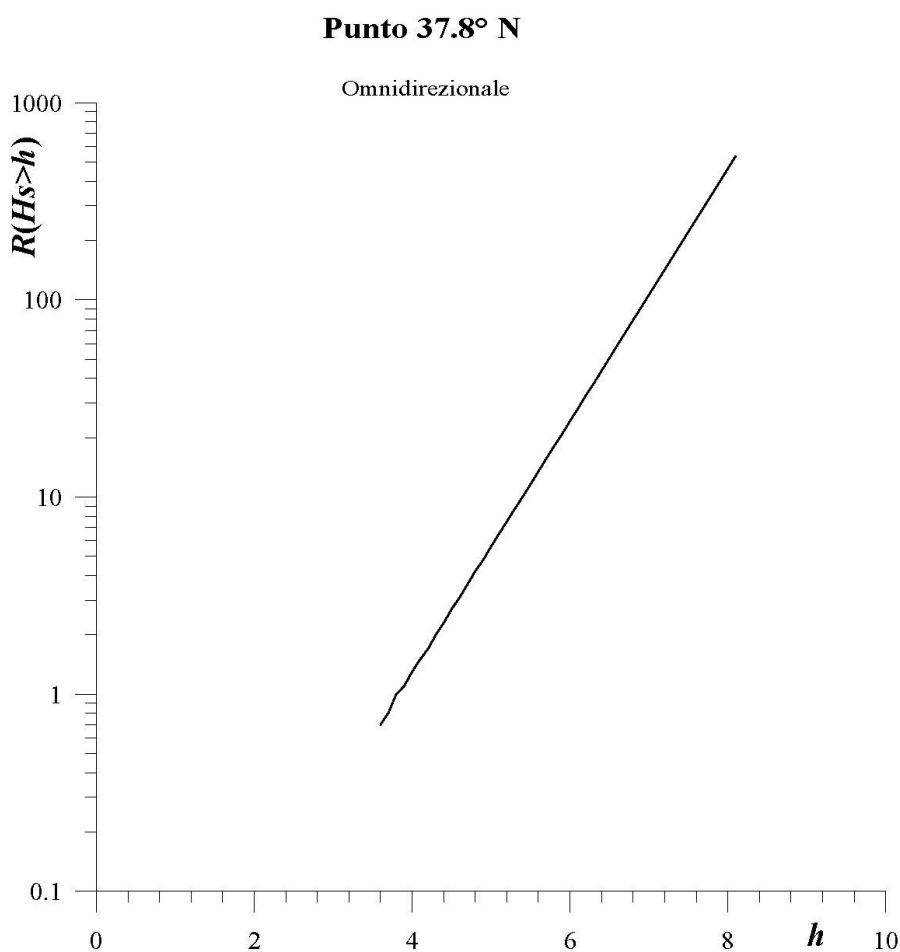


Fig. 4.3 – Punto [38.5°N-15.5°E]: Periodo di ritorno $R(H_s > h)$ omnidirezionale.

4.4 Probabilità di stati di mare di assegnate caratteristiche

Come già detto, la forma (2.2) per la probabilità di superamento omnidirezionale e la forma (2.3) per la probabilità di superamento direzionale sono asintotiche, sono valide, cioè, per P minore di una certa soglia. Tale soglia è pari circa a 0.2 per la probabilità di superamento omnidirezionale, ed è pari circa a 0.01 per le probabilità di superamento direzionali. Le espressioni asintotiche (2.2) e (2.3) consentono di estrapolare fino a bassi livelli della probabilità di superamento, dimostrandosi così essenziali per la stima degli eventi estremi, cioè per il calcolo dei periodi di ritorno di forti mareggiate. Ovviamente la stima degli eventi estremi è cruciale per la progettazione di qualsiasi opera di difesa, ovvero di qualsiasi impianto interagente col mare.

Ci sono però alcuni calcoli di ingegneria (esempio il calcolo del tempo di disfacimento di un ripascimento; ovvero il calcolo del trasporto litoraneo di materiale solido, e l'eventuale conseguente dimensionamento di un impianto di by-pass) per i quali è importante conoscere la frequenza di manifestazione anche dei mari più deboli. Infatti anche i mari deboli, se si prolungano molto nel tempo, concorrono in modo importante alla modellazione delle coste. Per questa finalità (calcolo della frequenza di apparizione di qualsiasi stato di mare ancorché debole) sono utili tabelle come la tab. 1, la quale fornisce la percentuale di tempo di stati di mare con H_s compresa entro assegnati intervalli e A compresa entro assegnati settori. La tabella è stata ricavata direttamente dall'insieme di dati UKMO.

4.5 I periodi delle onde

Gli stati di mare estremi sono sempre formati da onde di vento, cioè da onde sottoposte all'azione del vento (la probabilità che uno stato di mare estremo sia formato da onde di mare-lungo è assolutamente trascurabile). Una relazione piuttosto ben efficace per il legame tra T_p (periodo di picco dello spettro) e H_s per onde di vento su fetch sufficientemente estesi è

$$T_p = 8.5\pi \sqrt{\frac{H_s}{4g}}. \quad (4.1)$$

(cfr. Boccotti, 1997 cap. 4). Tale relazione può essere applicata efficacemente per la stima degli eventi estremi.

Però, come si è detto nel § 3.4, la stima degli eventi estremi non è sufficiente in ingegneria marittima. Per il calcolo dei processi costieri è utile la tab. 4.2 la quale indica il periodo medio delle onde per stati di mare entro assegnati intervalli di H_s e A . La tabella è stata ottenuta dall'insieme dei dati UKMO e va utilizzata assieme alla tab. 4.1. Come detto, quello indicato è il periodo medio. Assumendo uno spettro caratteristico delle onde di mare come è lo spettro JONSWAP, si può risalire direttamente dal periodo medio T_m al periodo di picco T_p . Basta semplicemente moltiplicare T_m per 1.28.

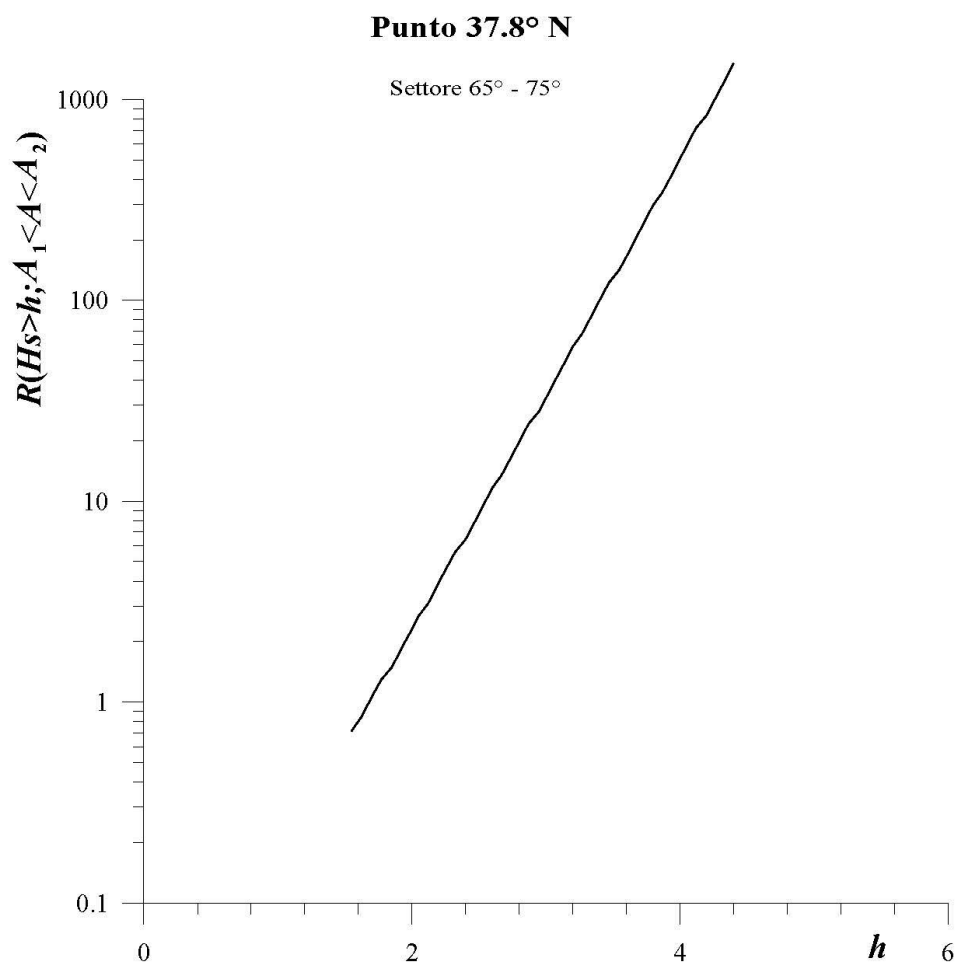


Fig. 4.3a – Punto [37.8°N-15.5°E]: Periodo di ritorno $R(H_s > h; A_1 < A < A_2)$.

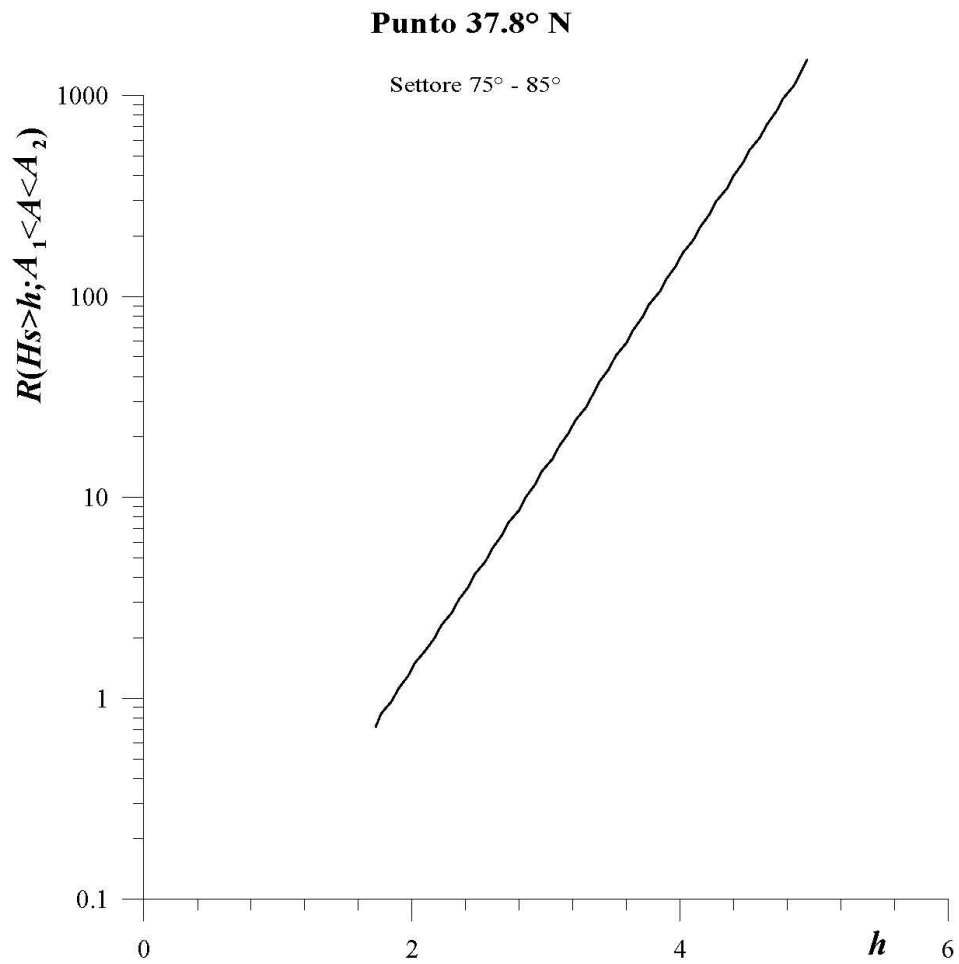


Fig. 4.3b – Punto [37.8°N-15.5°E]: Periodo di ritorno $R(H_s > h, A_1 < A < A_2)$.

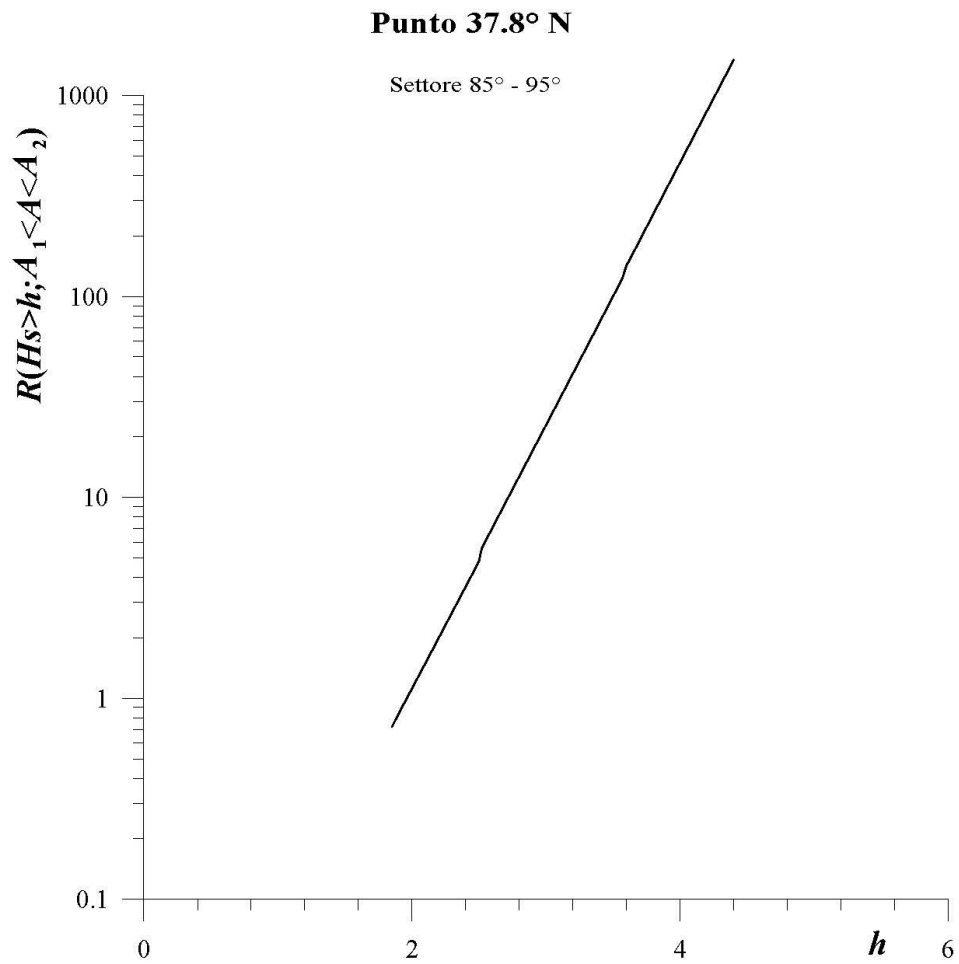


Fig. 4.3c – Punto [37.8°N-15.5°E]: Periodo di ritorno $R(H_s > h; A_1 < A < A_2)$.

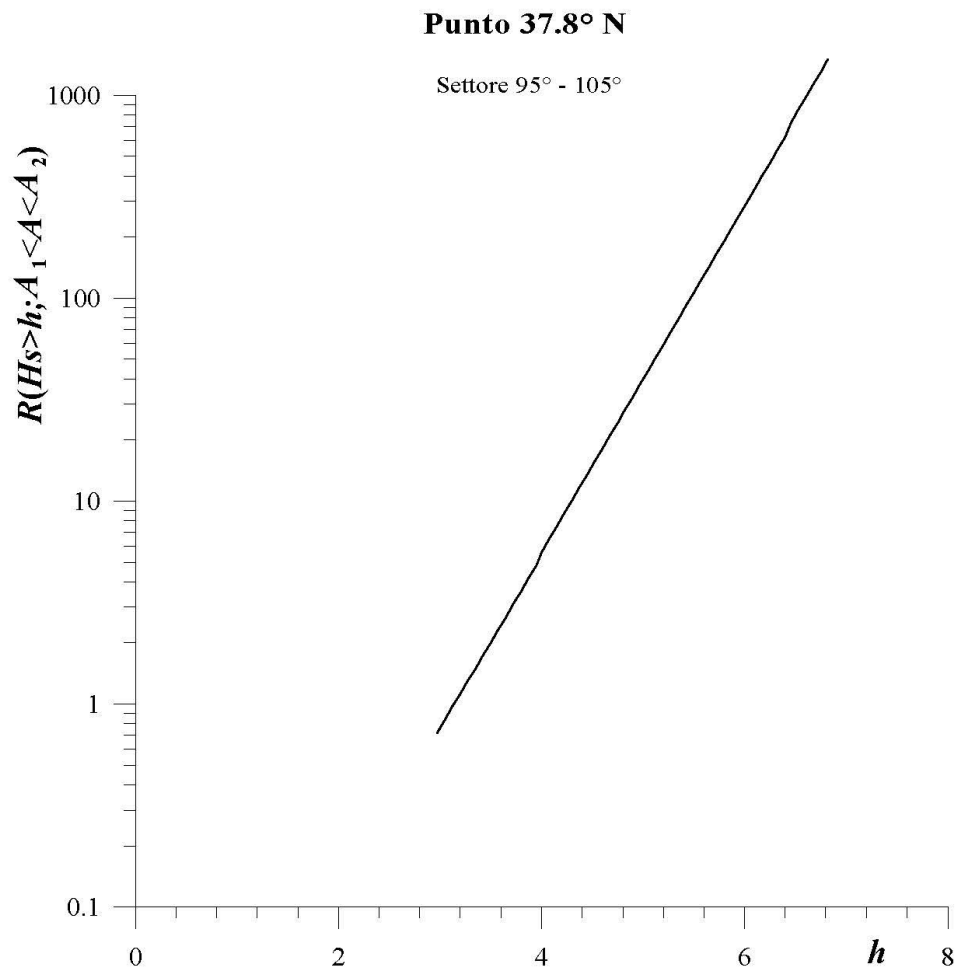


Fig. 4.3d – Punto [37.8°N-15.5°E]: Periodo di ritorno $R(H_s > h; A_1 < A < A_2)$.

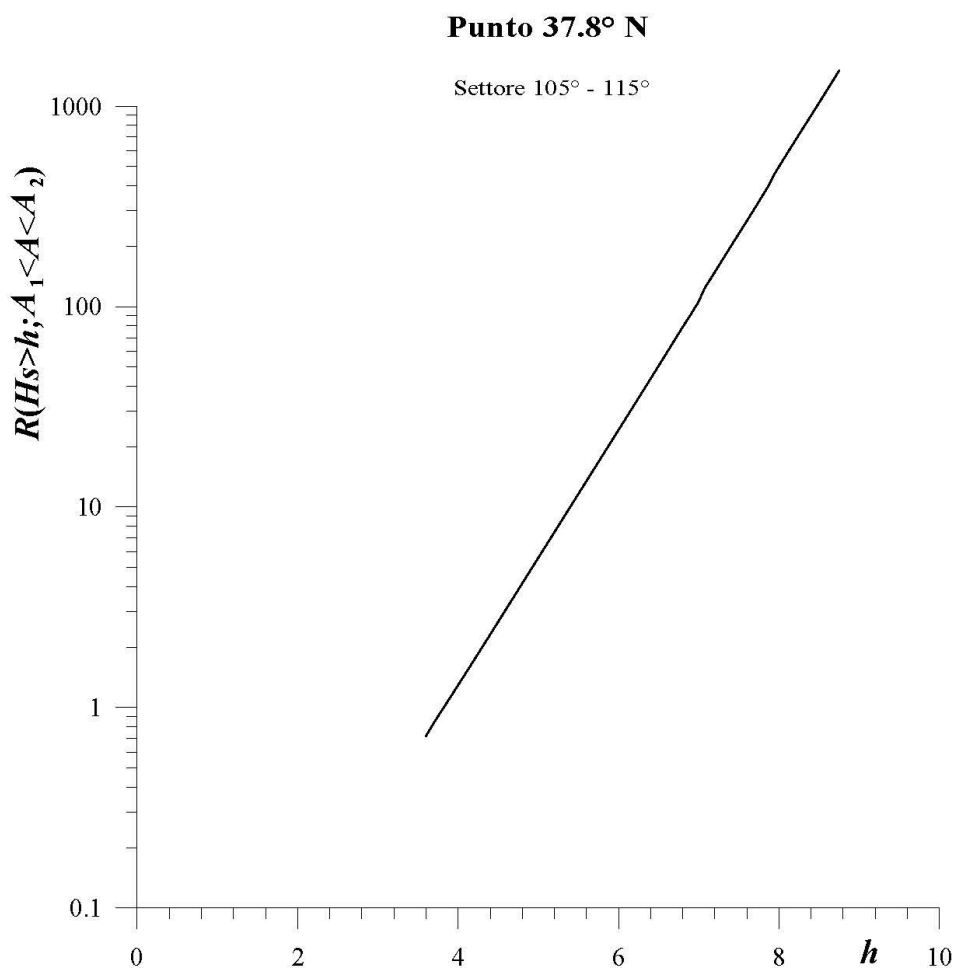


Fig. 4.3e – Punto [37.8°N-15.5°E]: Periodo di ritorno $R(H_s > h; A_1 < A < A_2)$.

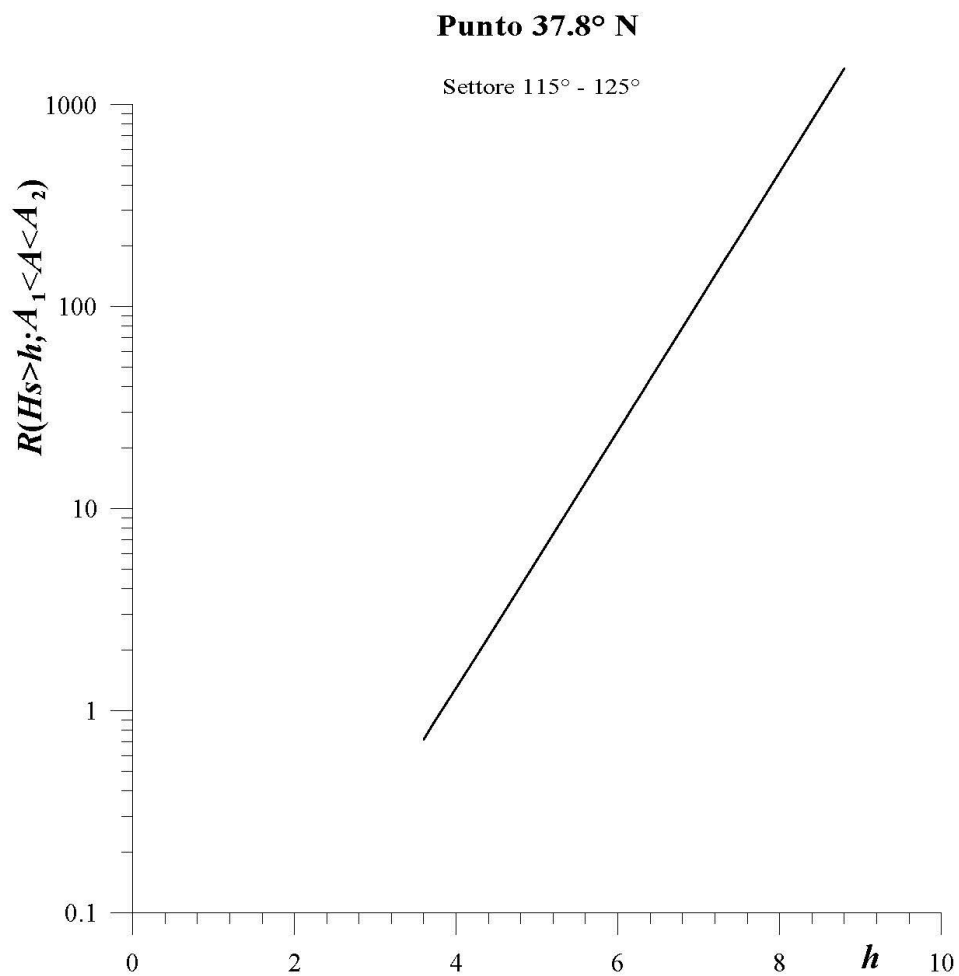


Fig. 4.3f – Punto [37.8°N-15.5°E]: Periodo di ritorno $R(H_s > h; A_1 < A < A_2)$.

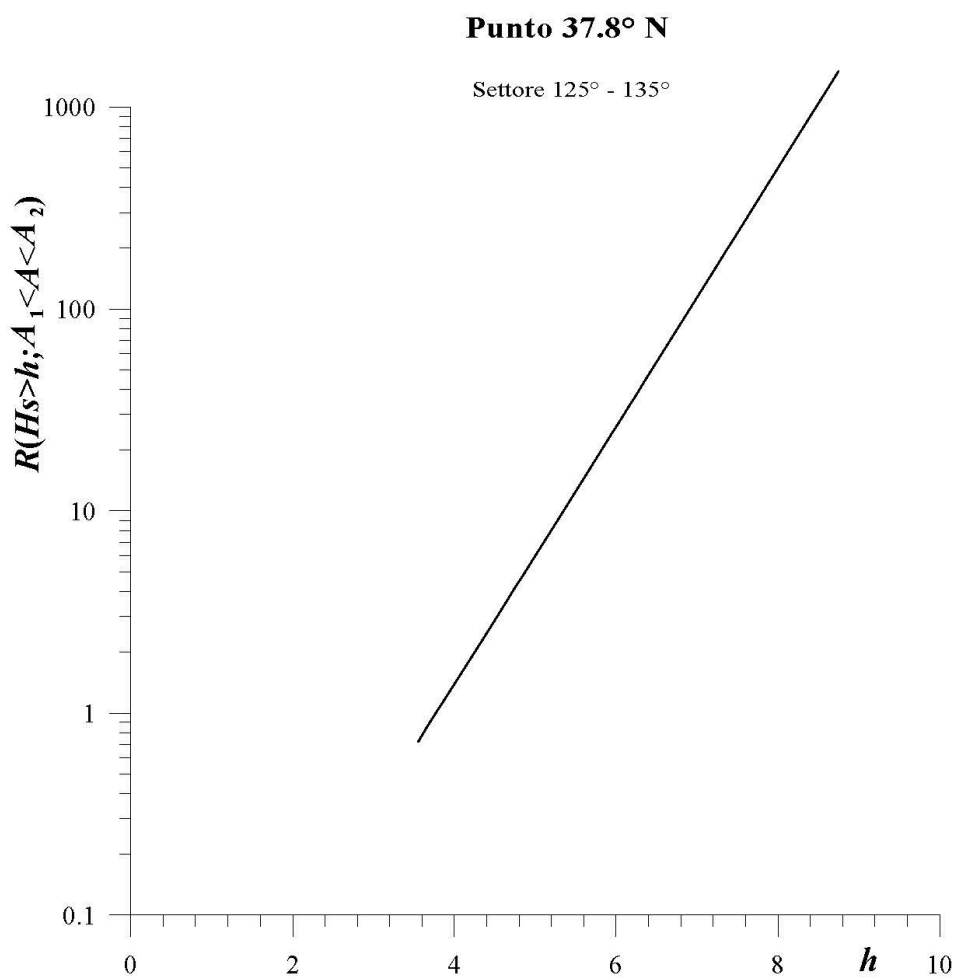


Fig. 4.3g – Punto [37.8°N-15.5°E]: Periodo di ritorno $R(H_s > h; A_1 < A < A_2)$.

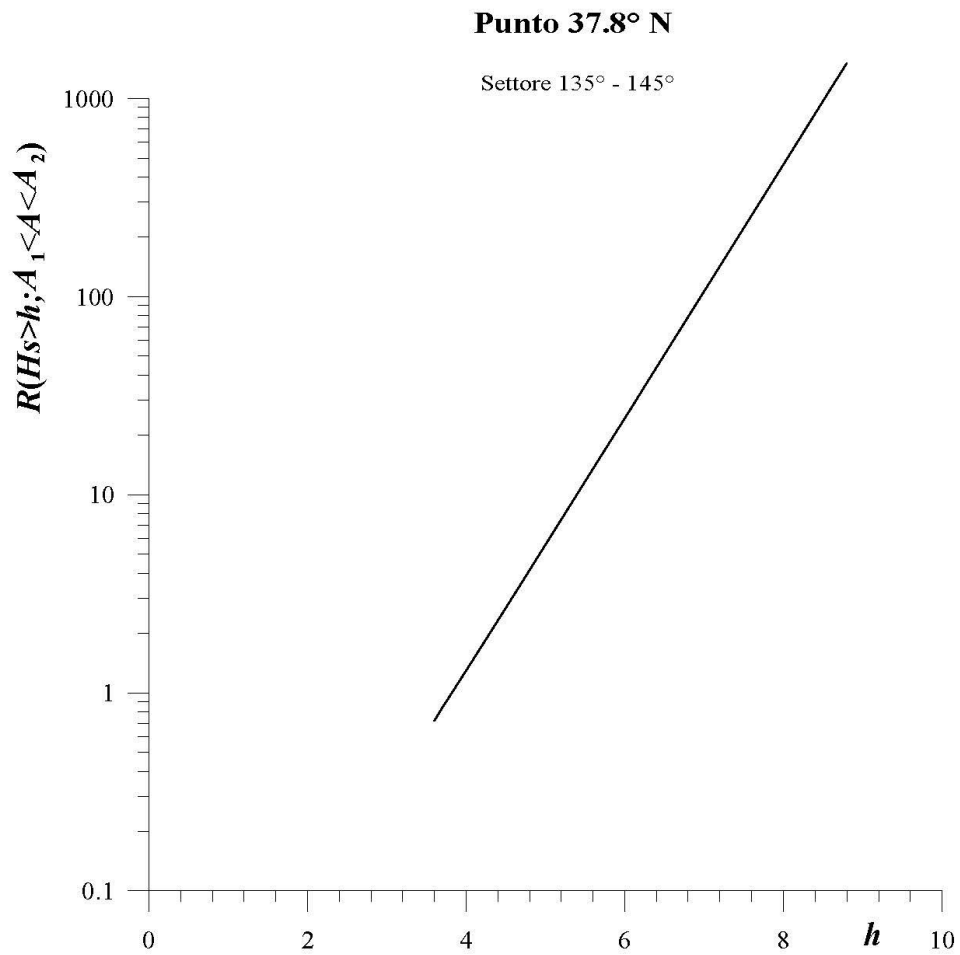


Fig. 4.3h – Punto [37.8°N-15.5°E]: Periodo di ritorno $R(H_s > h, A_1 < A < A_2)$.

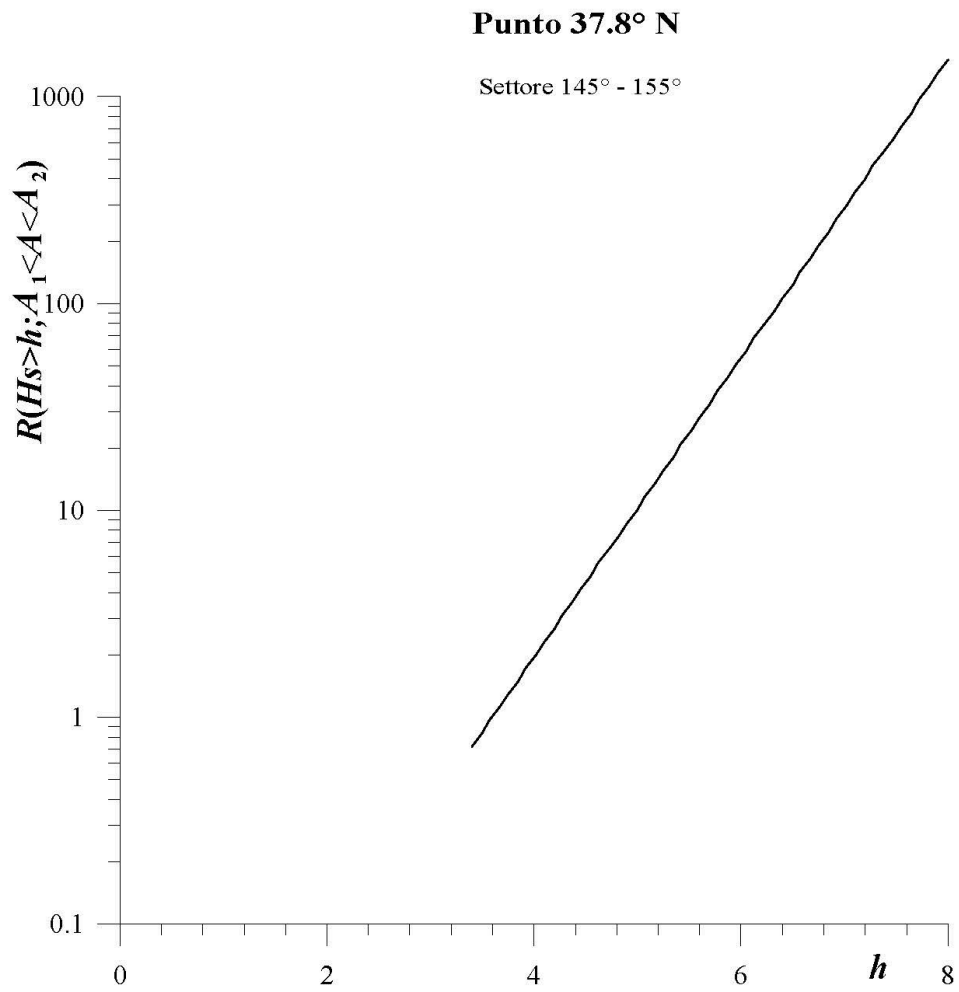


Fig. 4.3i – Punto [37.8°N-15.5°E]: Periodo di ritorno $R(H_s > h; A_1 < A < A_2)$.

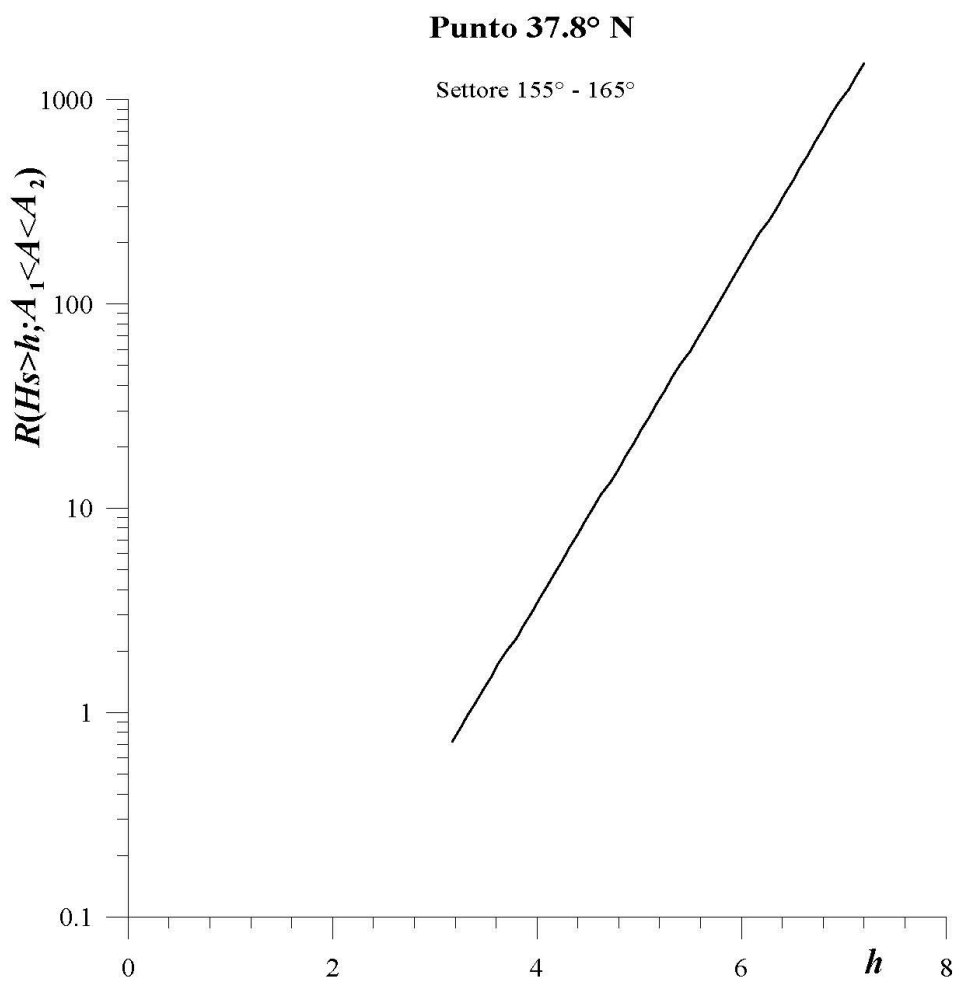


Fig. 4.3I – Punto [37.8°N-15.5°E]: Periodo di ritorno $R(H_s > h, A_1 < A < A_2)$.

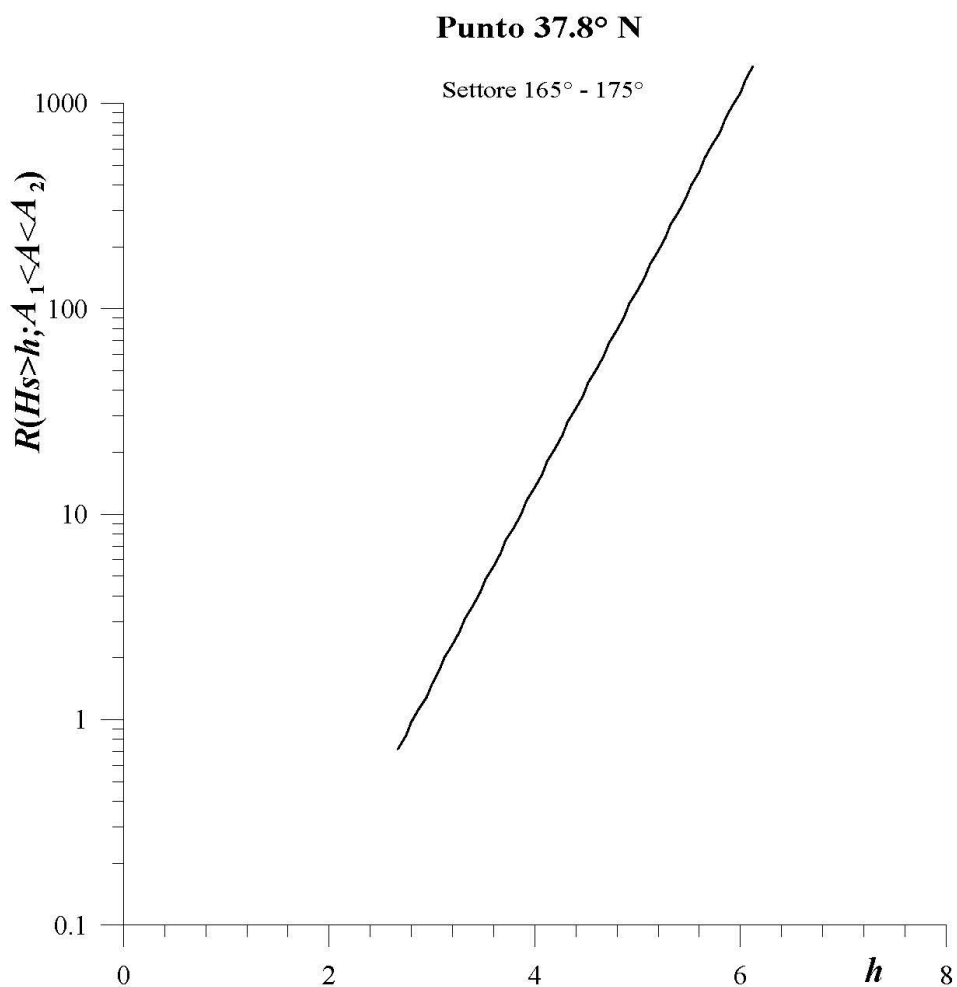


Fig. 4.3m – Punto [37.8°N-15.5°E]: Periodo di ritorno $R(H_s > h, A_1 < A < A_2)$.

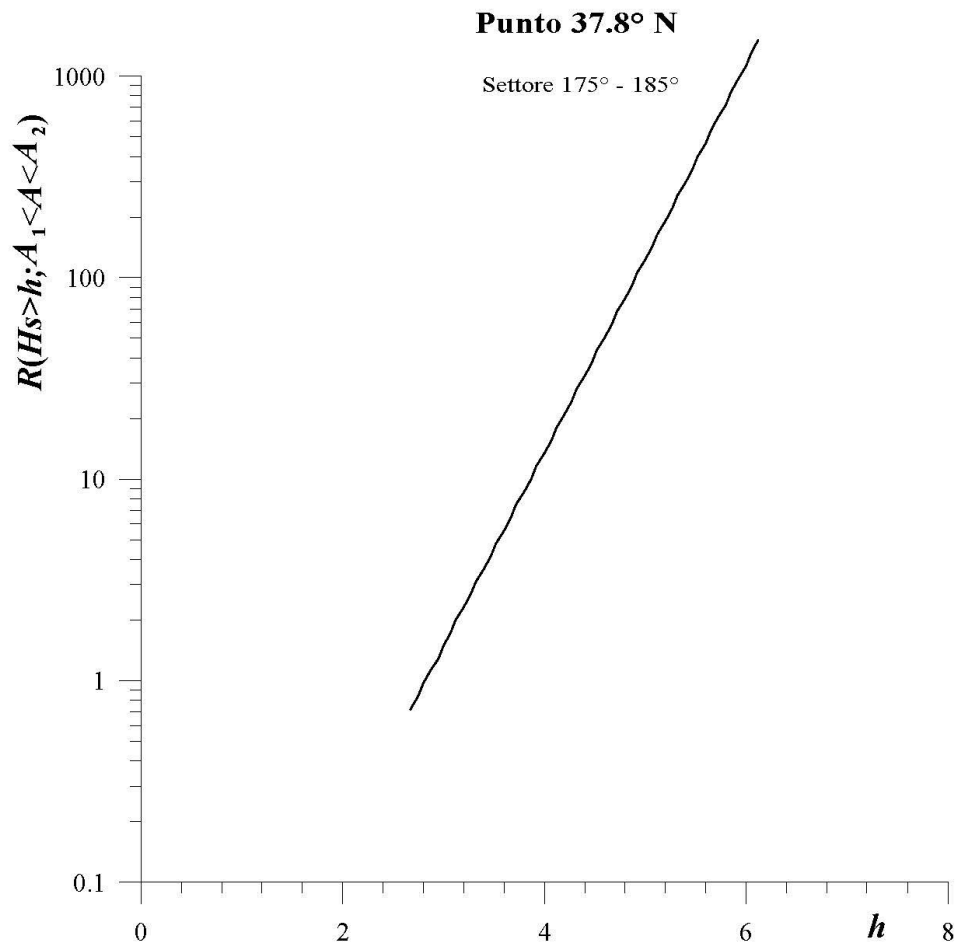


Fig. 4.3n – Punto [37.8°N-15.5°E]: Periodo di ritorno $R(H_s > h, A_1 < A < A_2)$.

Punto 37.8° N

Settore 185° - 195°

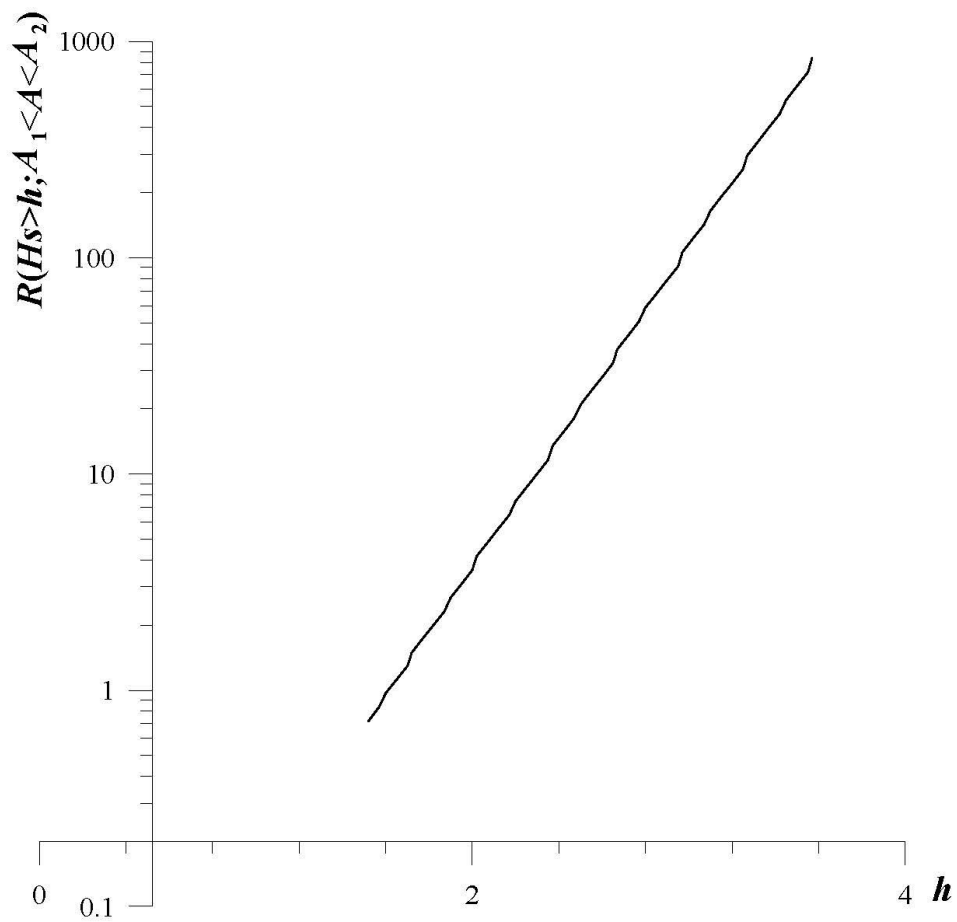


Fig. 4.3o – Punto [37.8°N-15.5°E]: Periodo di ritorno $R(H_s > h; A_1 < A < A_2)$.

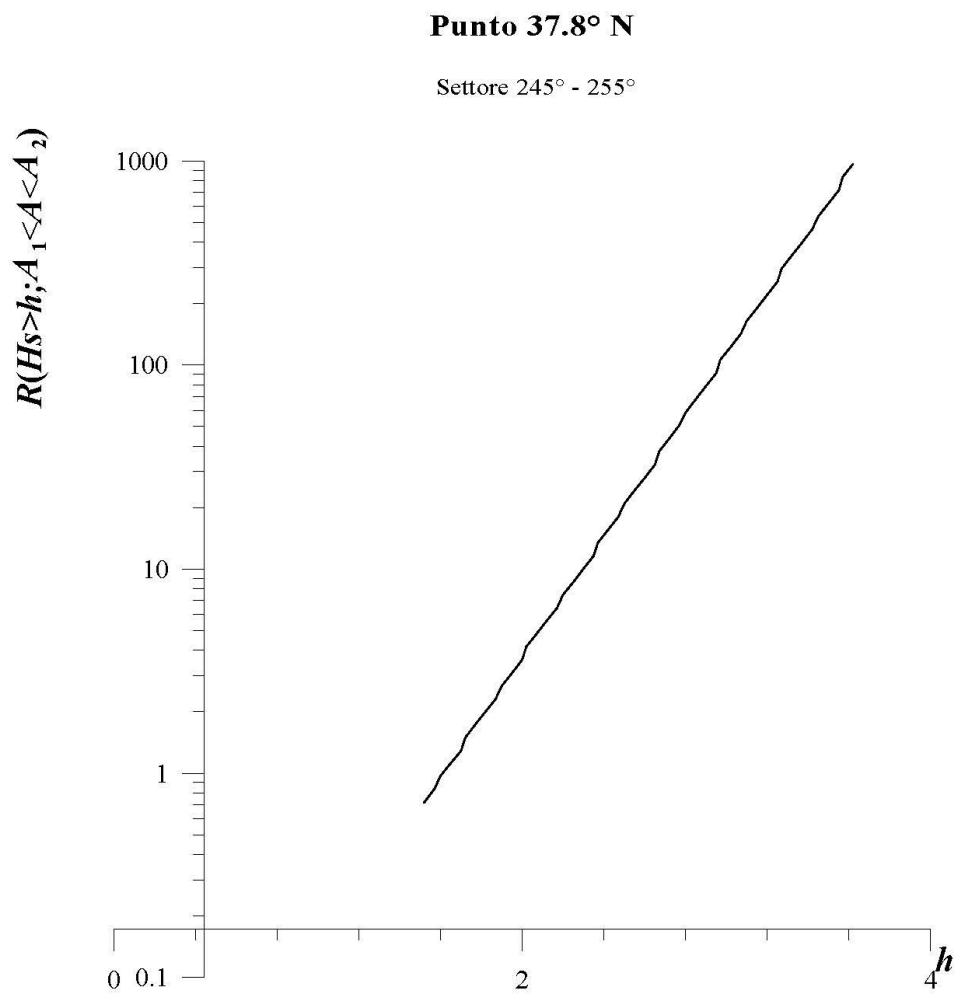


Fig. 4.3p – Punto [37.8°N-15.5°E]: Periodo di ritorno $R(H_s > h; A_1 < A < A_2)$.

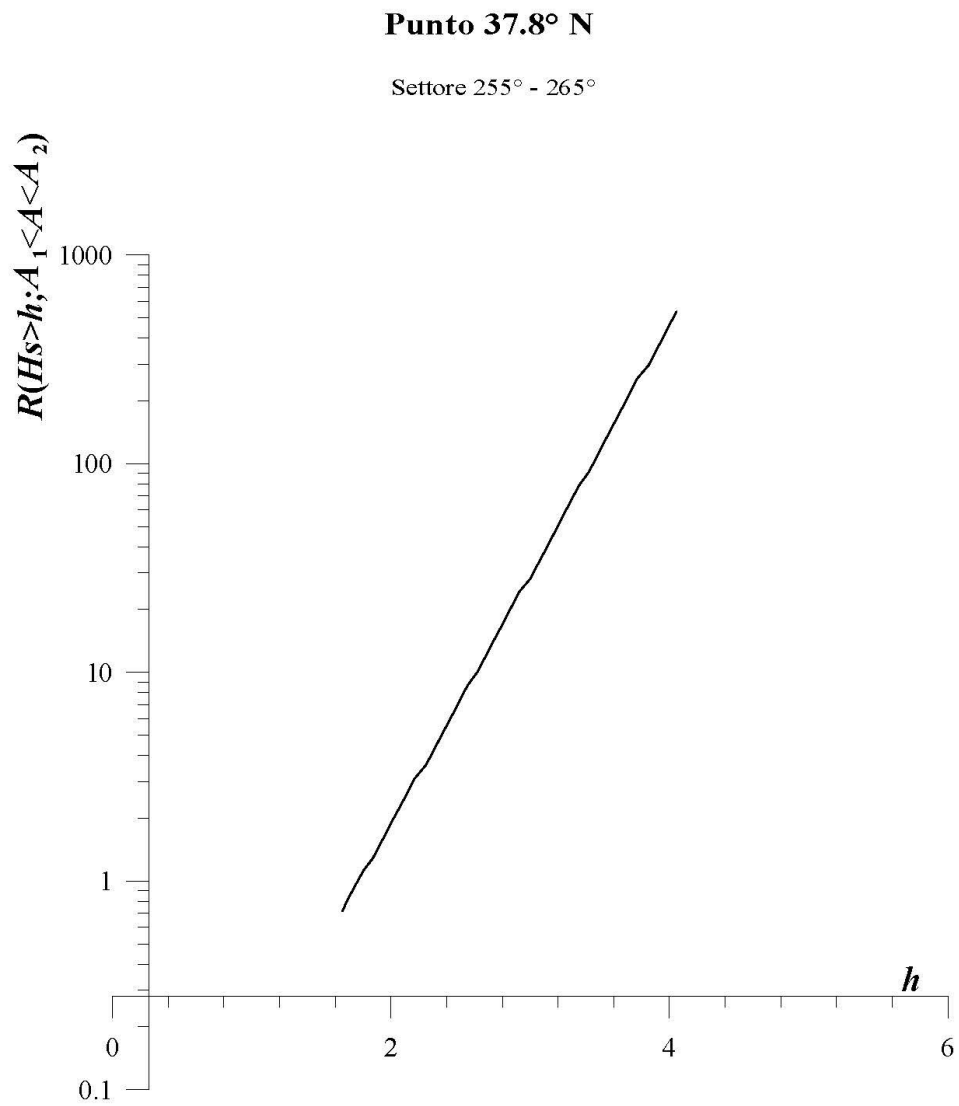


Fig. 4.3q – Punto [37.8°N-15.5°E]: Periodo di ritorno $R(H_s > h; A_1 < A < A_2)$.

Punto 37.8° N

Settore 265° - 275°

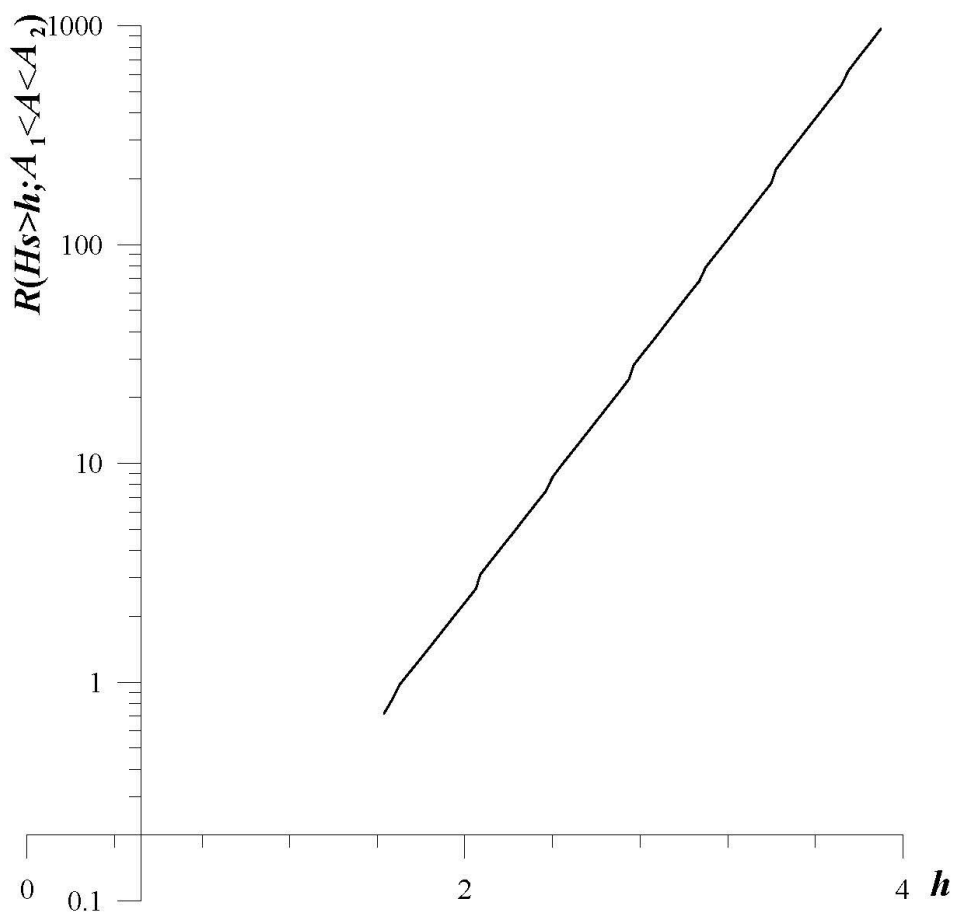


Fig. 4.3r – Punto [37.8°N-15.5°E]: Periodo di ritorno $R(H_s > h; A_1 < A < A_2)$.

Punto 37.8° N

Settore 275° - 285°

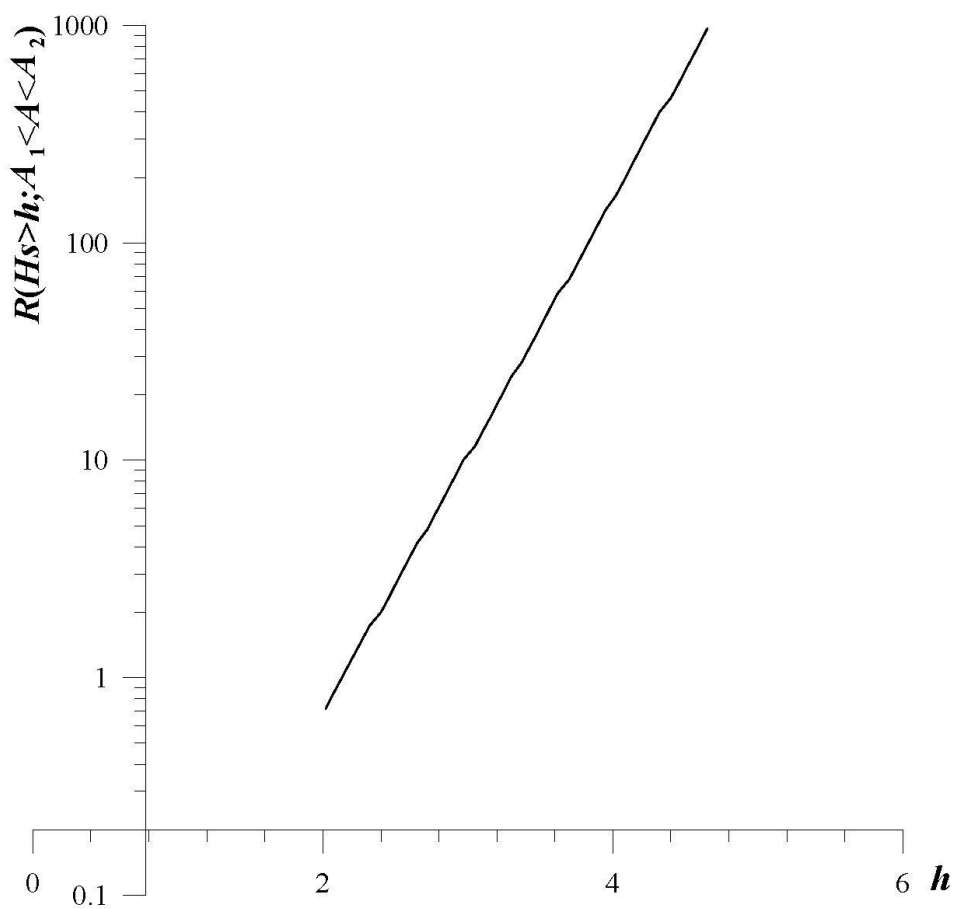


Fig. 4.3s – Punto [37.8°N-15.5°E]: Periodo di ritorno $R(H_s > h; A_1 < A < A_2)$.

Tab. 4.1 – Punto 37.8° N: frequenze (percentuali) di apparizione di stati di mare con H_s compresa entro intervalli di 0.5 m e A compresa entro settori di 10°.

$H_s \backslash A$	65°, 75°	75°, 85°	85°, 95°	955°, 105°	105°, 115°	115°, 125°
0, 0.5	1.602%	2.654%	1.886%	1.073%	3.142%	1.522%
0.5, 1.0	0.160%	0.742%	1.191%	0.904%	1.374%	0.751%
1.0, 1.5	0.050%	0.213%	0.588%	0.550%	0.411%	0.257%
1.5, 2.0	0.044%	0.059%	0.254%	0.239%	0.204%	0.189%
2.0, 2.5	0.006%	0.024%	0.086%	0.127%	0.121%	0.092%
2.5, 3.0	0.003%	0.009%	0.056%	0.080%	0.062%	0.095%
3.0, 3.5	–	–	0.030%	0.065%	0.089%	0.050%

$H_s \backslash A$	125°, 135°	135°, 145°	145°, 155°	155°, 165°	165°, 175°	175°, 185°
0, 0.5	1.365%	1.439%	1.439%	1.702%	2.704%	2.675%
0.5, 1.0	0.724%	0.958%	0.958%	1.105%	1.599%	1.699%
1.0, 1.5	0.319%	0.508%	0.508%	0.662%	0.520%	0.464%
1.5, 2.0	0.201%	0.254%	0.254%	0.310%	0.245%	0.133%
2.0, 2.5	0.287%	0.121%	0.121%	0.186%	0.071%	0.021%
2.5, 3.0	0.127%	0.083%	0.083%	0.044%	0.021%	0.003%
3.0, 3.5	0.077%	0.044%	0.044%	0.009%	0.009%	0.003%

Tab. 4.1 – *Fine*.

$H_s \backslash A$	185°, 195°	245°, 255°	255°, 265°	265°, 275°	275°, 285°
0, 0.5	1.818%	1.253%	1.159%	1.561%	1.797%
0.5, 1.0	0.458%	0.304%	0.423%	0.680%	0.591%
1.0, 1.5	0.080%	0.083%	0.127%	0.272%	0.160%
1.5, 2.0	0.041%	0.041%	0.027%	0.074%	0.092%
2.0, 2.5	0.003%	0.021%	0.009%	0.033%	0.033%
2.5, 3.0	0.006%	–	–	–	–

Tab. 4.2 – Punto 37.8° N: periodi medi (T_m) delle onde per stati di mare con H_s compresa entro intervalli di 0.5 m e A compresa entro settori di 10°.

$H_s \backslash A$	65°, 75°	75°, 85°	85°, 95°	95°, 105°	105°, 115°	115°, 125°
0, 0.5	4.29	4.37	4.07	3.90	4.65	4.14
0.5, 1.0	4.31	5.00	4.81	4.79	5.04	4.77
1.0, 1.5	4.67	5.33	5.83	5.53	5.46	5.47
1.5, 2.0	5.35	5.65	6.17	6.06	5.91	5.80
2.0, 2.5	5.55	6.18	6.69	6.71	6.40	6.16
2.5, 3.0	6.55	6.88	7.02	7.11	6.69	6.58
3.0, 3.5	–	–	7.05	6.78	7.08	6.96

$H_s \backslash A$	125°, 135°	135°, 145°	145°, 155°	155°, 165°	165°, 175°	175°, 185°
0, 0.5	4.01	3.97	3.98	4.04	3.99	4.02
0.5, 1.0	4.56	4.61	4.71	4.57	4.51	4.45
1.0, 1.5	5.26	5.24	5.19	5.23	5.12	4.99
1.5, 2.0	5.87	5.65	5.85	5.69	5.75	5.50
2.0, 2.5	6.02	6.18	5.96	6.05	5.55	5.80
2.5, 3.0	6.55	6.55	6.62	6.41	6.55	6.55

Tab. 4.2 – Fine.

H_s \ A	185°, 195°	245°, 255°	255°, 265°	265°, 275°	275°, 285°
0, 0.5	3.94	3.57	3.62	3.59	3.61
0.5, 1.0	4.06	3.72	3.81	3.78	3.77
1.0, 1.5	4.70	4.41	4.36	4.41	4.46
1.5, 2.0	5.48	5.12	4.99	4.99	5.03
2.0, 2.5	5.55	5.69	5.55	5.55	5.55
2.5, 3.0	6.05	6.55	–	–	6.55

5 L'ORIENTAMENTO DEL TRATTO COSTIERO DI LAZZARO

Assumeremo l'asse x orientato secondo la linea di costa positivo verso destra per chi guarda dal mare, e l'asse y perpendicolare alla linea di costa ed orientato verso terra. Indicheremo con A l'azimut della direzione di *provenienza* delle onde, ed indicheremo con θ l'angolo tra la direzione di *propagazione* e l'asse y . Infine indicheremo con A_y l'azimut dell'asse y (cfr. la schema di Fig. 5.1).

La relazione tra l'angolo A cui fa riferimento l'UK Met Office e l'angolo θ che utilizzeremo per descrivere il clima ondoso sulla spiaggia di Lazzaro è

$$\theta = A - 180^\circ - A_y . \quad (5.1)$$

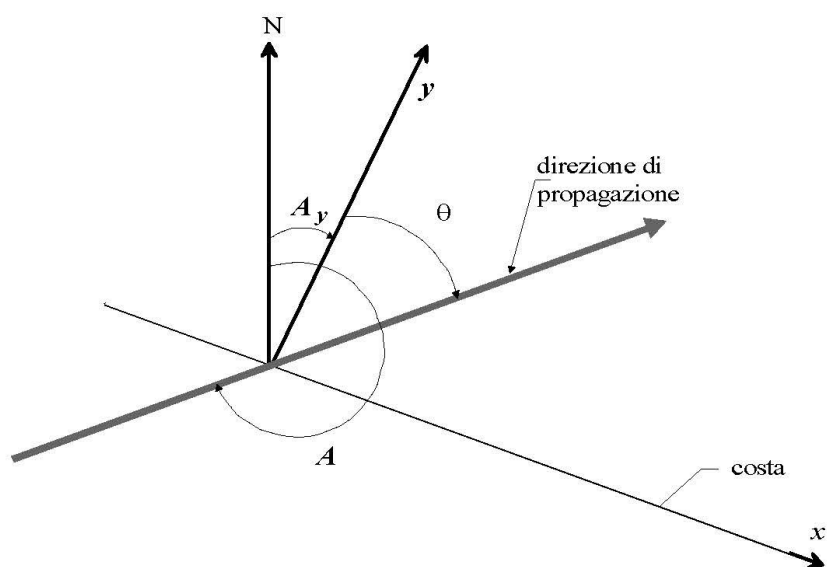


Fig. 5.1 – Schema di riferimento per la conversione tra direzione azimutale A di provenienza delle onde e direzione locale θ di propagazione.

L'allineamento per il tratto costiero in esame è indicato nella Fig. 5.2: come si vede $A_y = 30^\circ$. Tenuto conto che la rosa dei venti è suddivisa dall'UK Met Office nel modo seguente

$$A_1, A_2 = -5^\circ, 5^\circ; A_2, A_3 = 5^\circ, 15^\circ, \dots$$

avremo la conversione di tab. 5.1. Nella redazione della tabella si è tenuto conto che praticamente tutta l'energia ondosa proviene da settori compresi tra 120° e 180° e tra 250° e 300° .

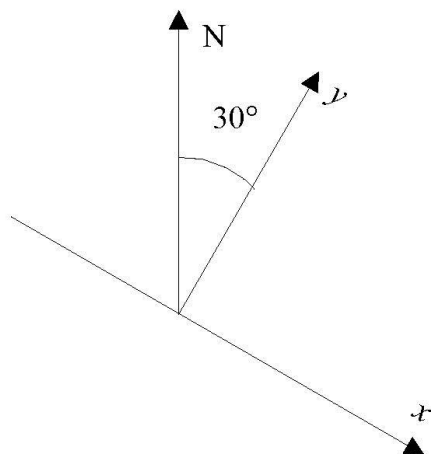


Fig. 5.2 – Sistema di riferimento x-y locale al tratto di costa di Lazzaro. L'asse x è orientato lungo-costa.

Tab. 5.1 – Conversione $A \rightarrow \theta$ per il tratto di costa in esame.

A	θ
125°, 135°	-85°, -75°
135°, 145°	-75°, -65°
145°, 155°	-65°, -55°
155°, 165°	-55°, -45°
165°, 175°	-45°, -35°
175°, 185°	-35°, -25°
235°, 245°	25°, 35°
245°, 255°	35°, 45°
255°, 265°	45°, 55°
265°, 275°	55°, 65°
275°, 295°	65°, 75°
295°, 295°	75°, 85°

6 CLIMA ONDOSO IN ACQUE PROFONDE DAVANTI ALLA COSTA DI LAZZARO

La tabella 6.1 indica i valori dei parametri per il calcolo della probabilità direzionale (eq. 2.3) per i vari settori. Le Figg. 6.1.a-h rappresentano i periodi di ritorno di mareggiate nelle quali la H_s superi una qualsiasi assegnata soglia h . La tabella 6.2 indica la percentuale di tempo di varie condizioni del mare. La tabella 6.3 indica il periodo medio delle onde per i vari intervalli di H_s e θ .

Tab. 6.1 – Parametri $w_\alpha w_\beta$ e u per il calcolo della probabilità direzionale (eq. 2.3) per i vari settori di propagazione delle onde.

θ	w_α	w_β	u
-80°	0.487	0.471	
-70°	0.433	0.413	
-60°	0.383	0.358	
-50°	0.328	0.309	
-40°	0.328	0.309	
-30°	0.328	0.309	0.932
30°	0.257	0.253	
40°	0.226	0.22	
50°	0.264	0.254	
60°	0.263	0.254	
70°	0.238	0.229	
80°	0.227	0.218	

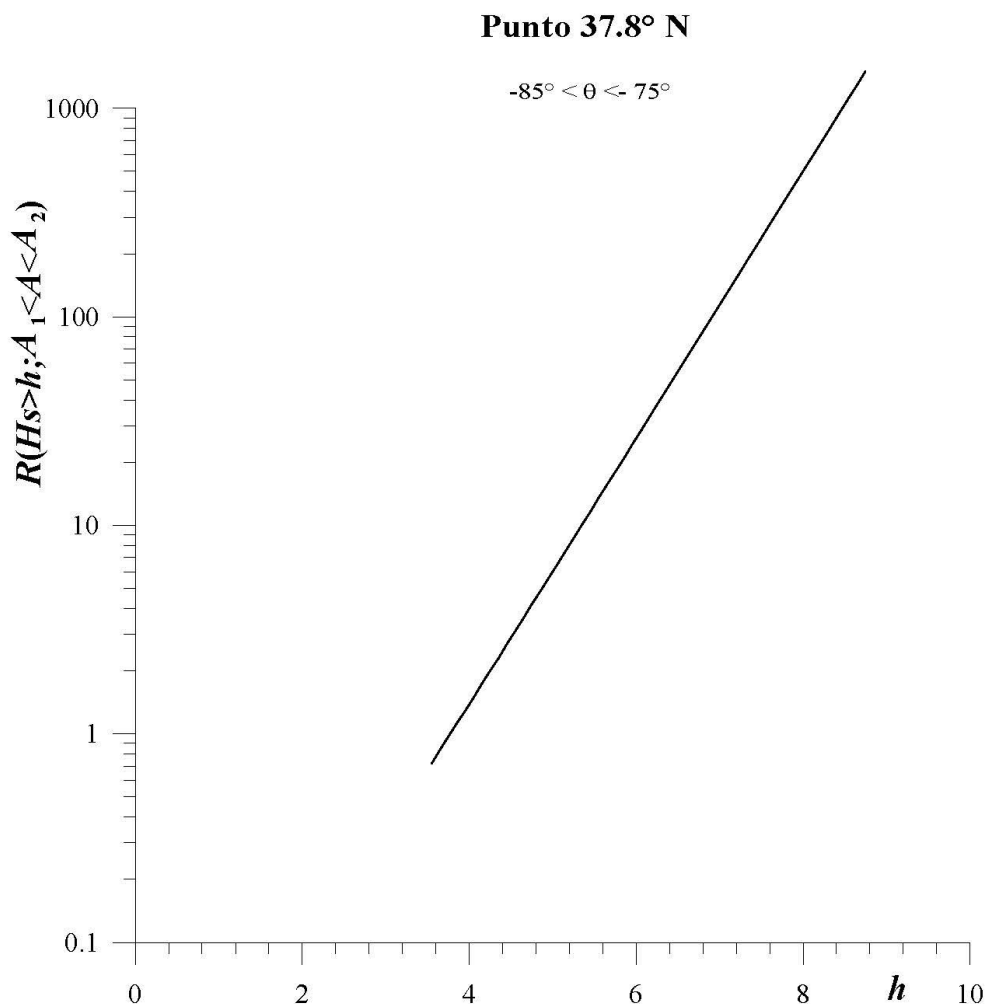


Fig. 6.1a – Periodo di ritorno $R(H_s > h; \theta_1 < \theta < \theta_2)$ di mareggiate nelle quali la H_s superi una qualsiasi assegnata soglia h e la direzione di propagazione delle onde θ sia compresa entro assegnati settori (θ_1, θ_2) .

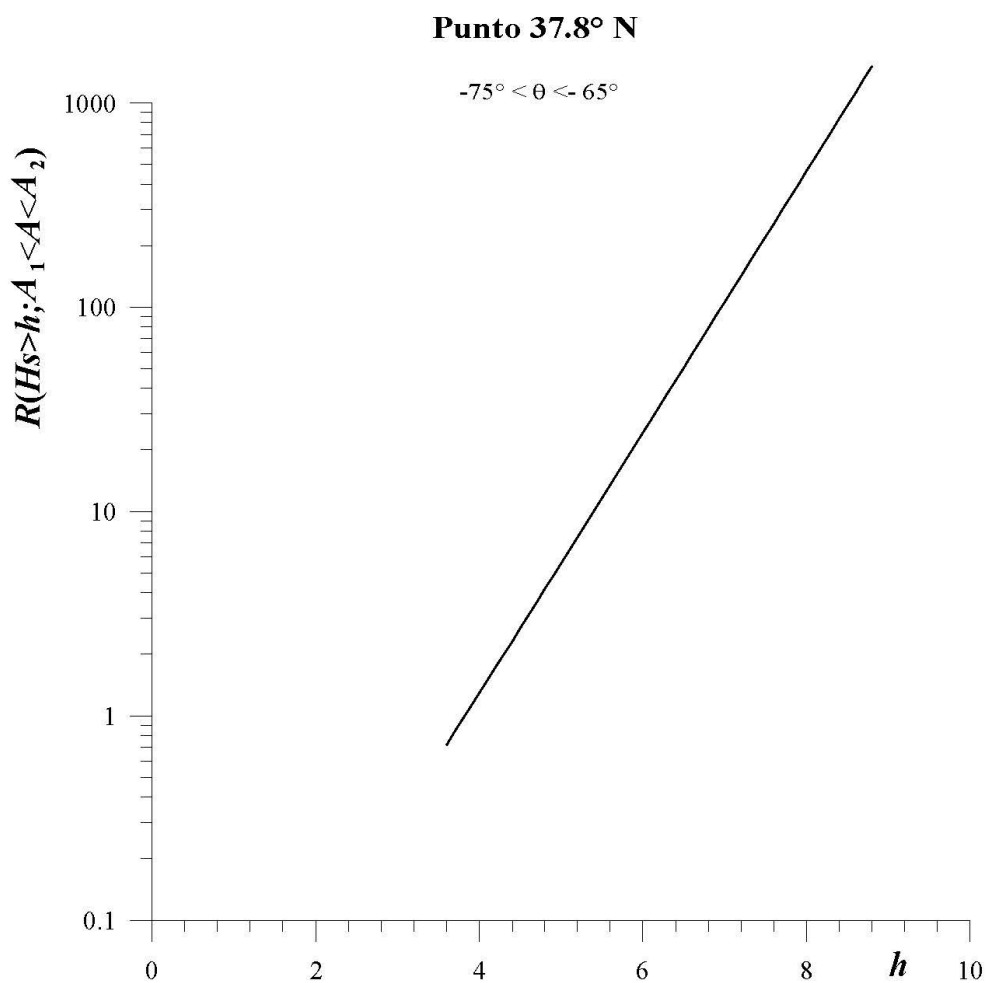


Fig. 6.1b – Periodo di ritorno $R(H_s > h; \theta_1 < \theta < \theta_2)$ di mareggiate nelle quali la H_s superi una qualsiasi assegnata soglia h e la direzione di propagazione delle onde θ sia compresa entro assegnati settori (θ_1, θ_2) .

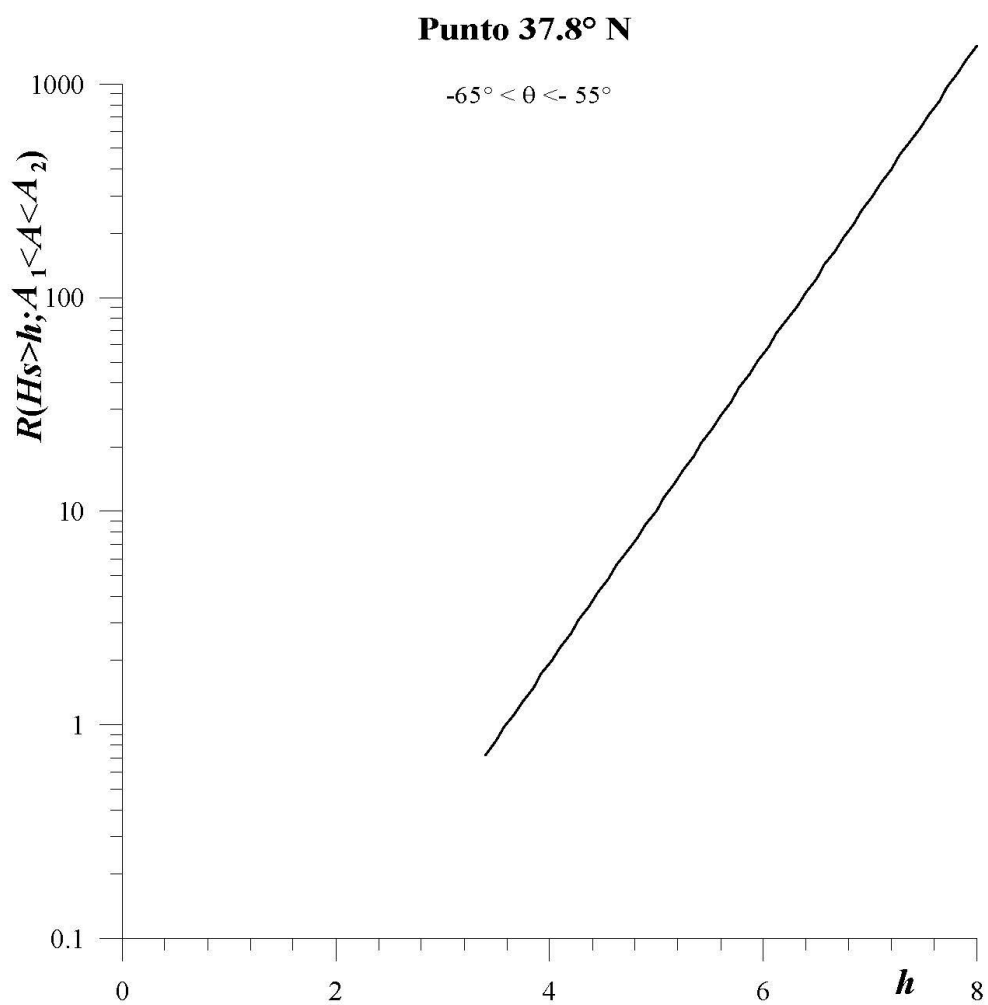


Fig. 6.1c – Periodo di ritorno $R(H_s > h; \theta_1 < \theta < \theta_2)$ di mareggiate nelle quali la H_s superi una qualsiasi assegnata soglia h e la direzione di propagazione delle onde θ sia compresa entro assegnati settori (θ_1, θ_2) .

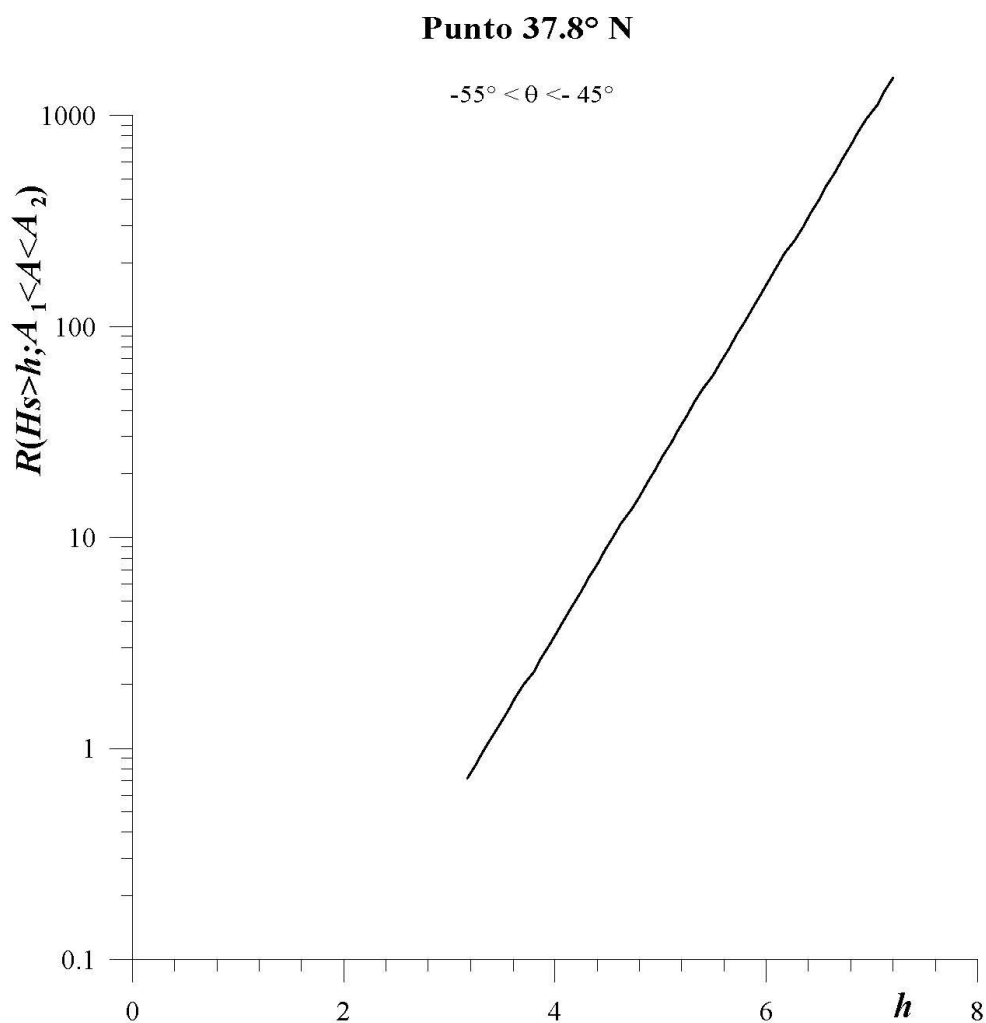


Fig. 6.1d – Periodo di ritorno $R(H_s > h; \theta_1 < \theta < \theta_2)$ di mareggiate nelle quali la H_s superi una qualsiasi assegnata soglia h e la direzione di propagazione delle onde θ sia compresa entro assegnati settori (θ_1, θ_2) .

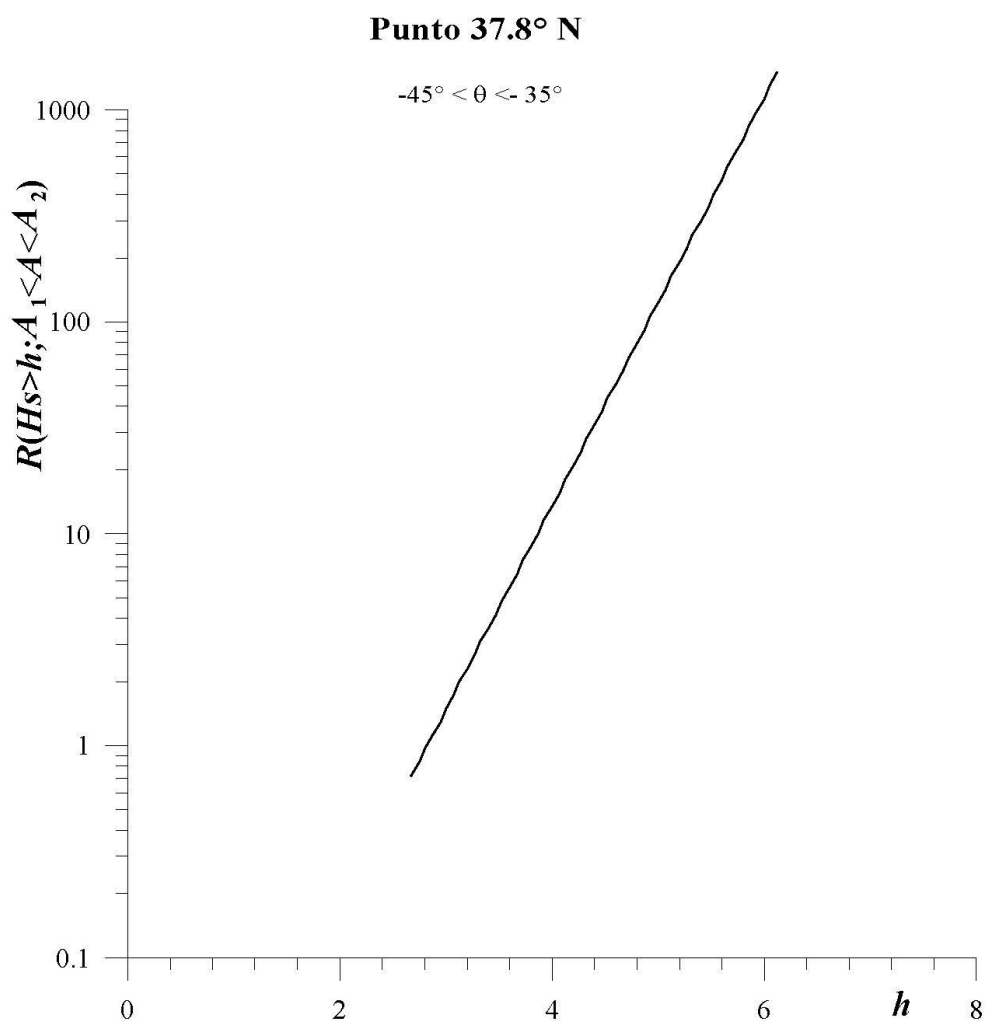


Fig. 6.1e – Periodo di ritorno $R(H_s > h; \theta_1 < \theta < \theta_2)$ di mareggiate nelle quali la H_s superi una qualsiasi assegnata soglia h e la direzione di propagazione delle onde θ sia compresa entro assegnati settori (θ_1, θ_2) .

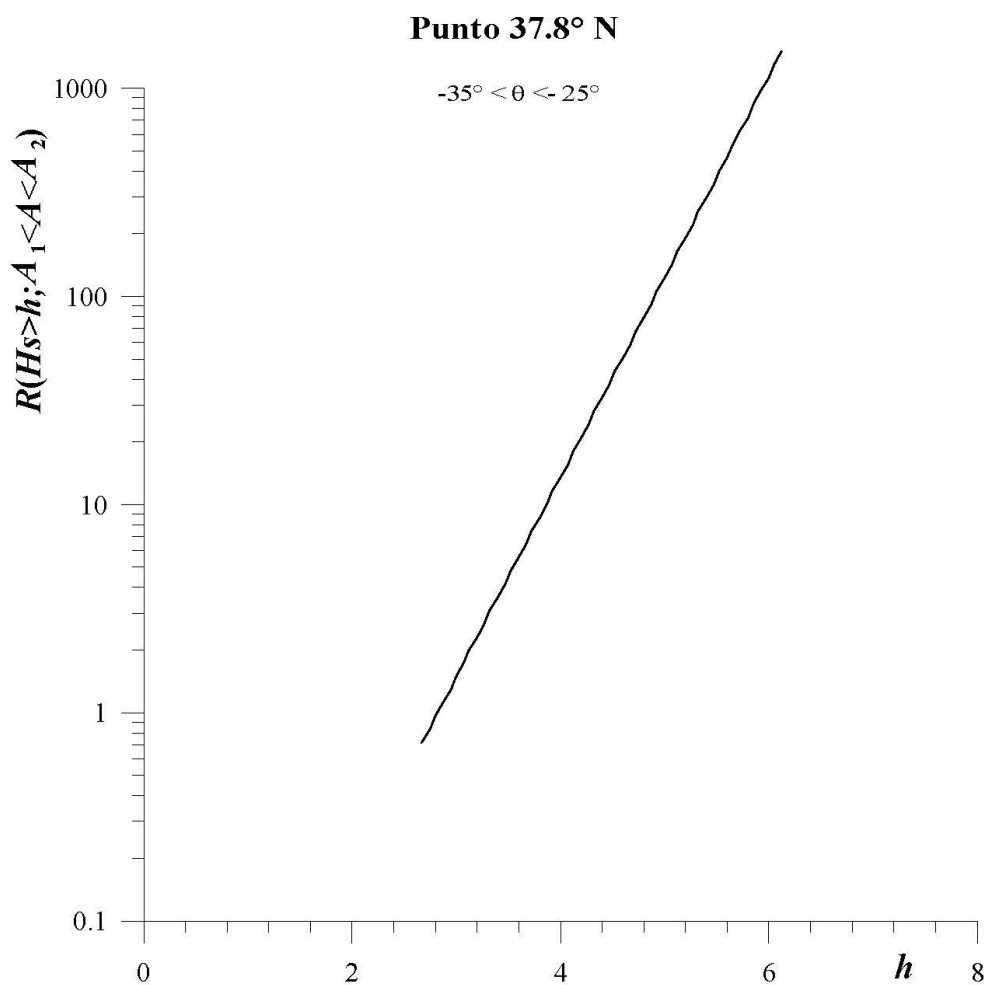


Fig. 6.1f – Periodo di ritorno $R(H_s > h; \theta_1 < \theta < \theta_2)$ di mareggiate nelle quali la H_s superi una qualsiasi assegnata soglia h e la direzione di propagazione delle onde θ sia compresa entro assegnati settori (θ_1, θ_2) .

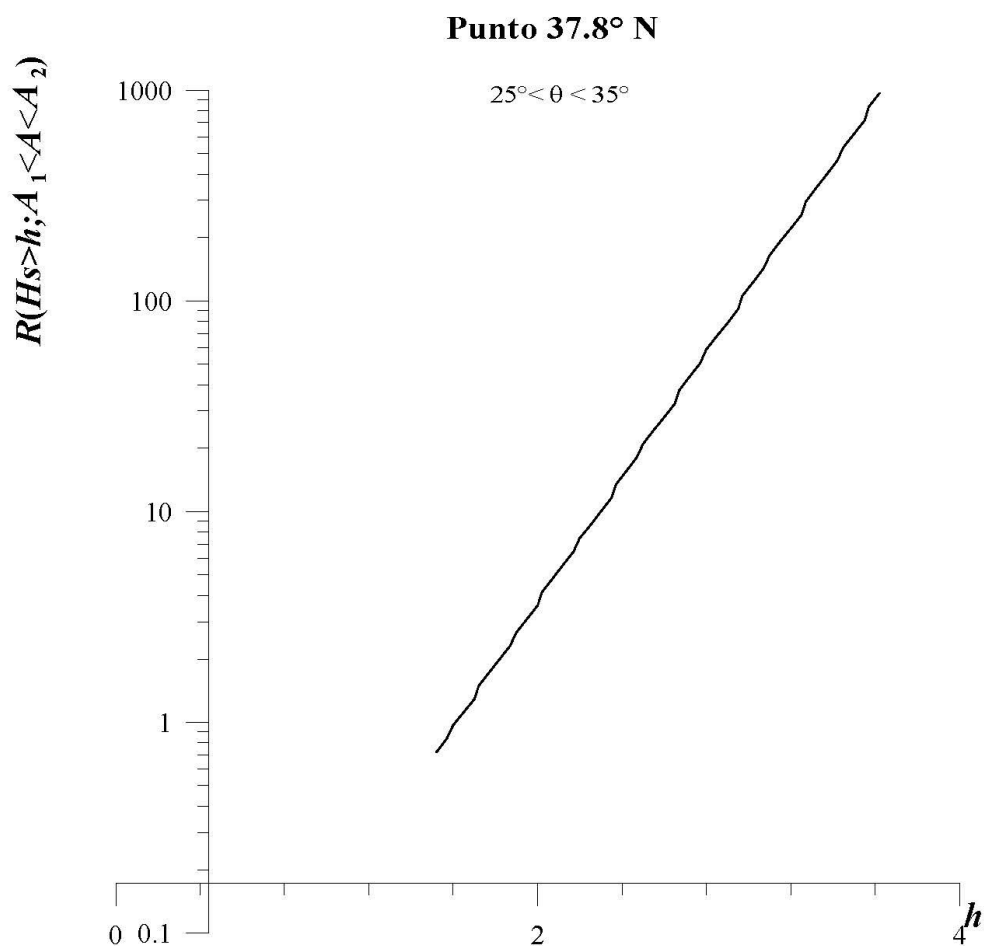


Fig. 6.1g – Periodo di ritorno $R(H_s > h; \theta_1 < \theta < \theta_2)$ di mareggiate nelle quali la H_s superi una qualsiasi assegnata soglia h e la direzione di propagazione delle onde θ sia compresa entro assegnati settori (θ_1, θ_2) .

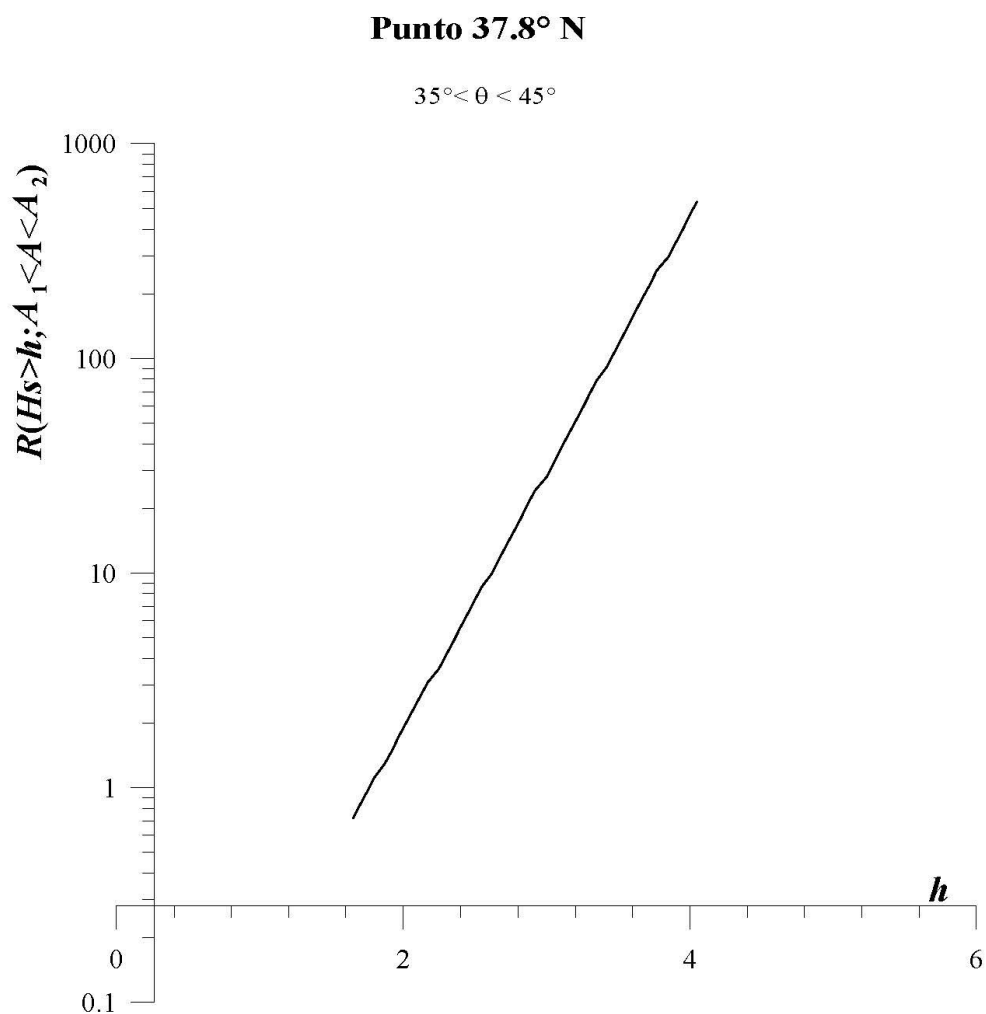


Fig. 6.1h – Periodo di ritorno $R(H_s > h; \theta_1 < \theta < \theta_2)$ di mareggiate nelle quali la H_s superi una qualsiasi assegnata soglia h e la direzione di propagazione delle onde θ sia compresa entro assegnati settori (θ_1, θ_2) .

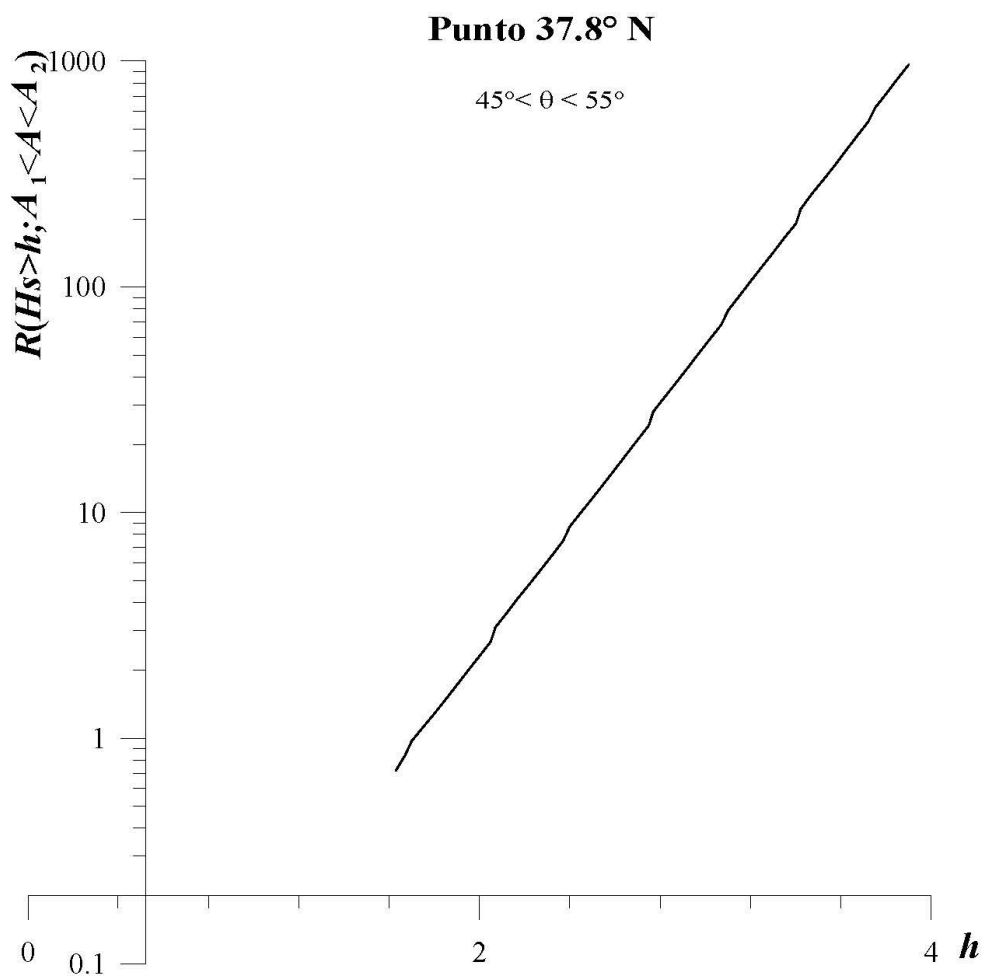


Fig. 6.1i – Periodo di ritorno $R(H_s > h; \theta_1 < \theta < \theta_2)$ di mareggiate nelle quali la H_s superi una qualsiasi assegnata soglia h e la direzione di propagazione delle onde θ sia compresa entro assegnati settori (θ_1, θ_2) .

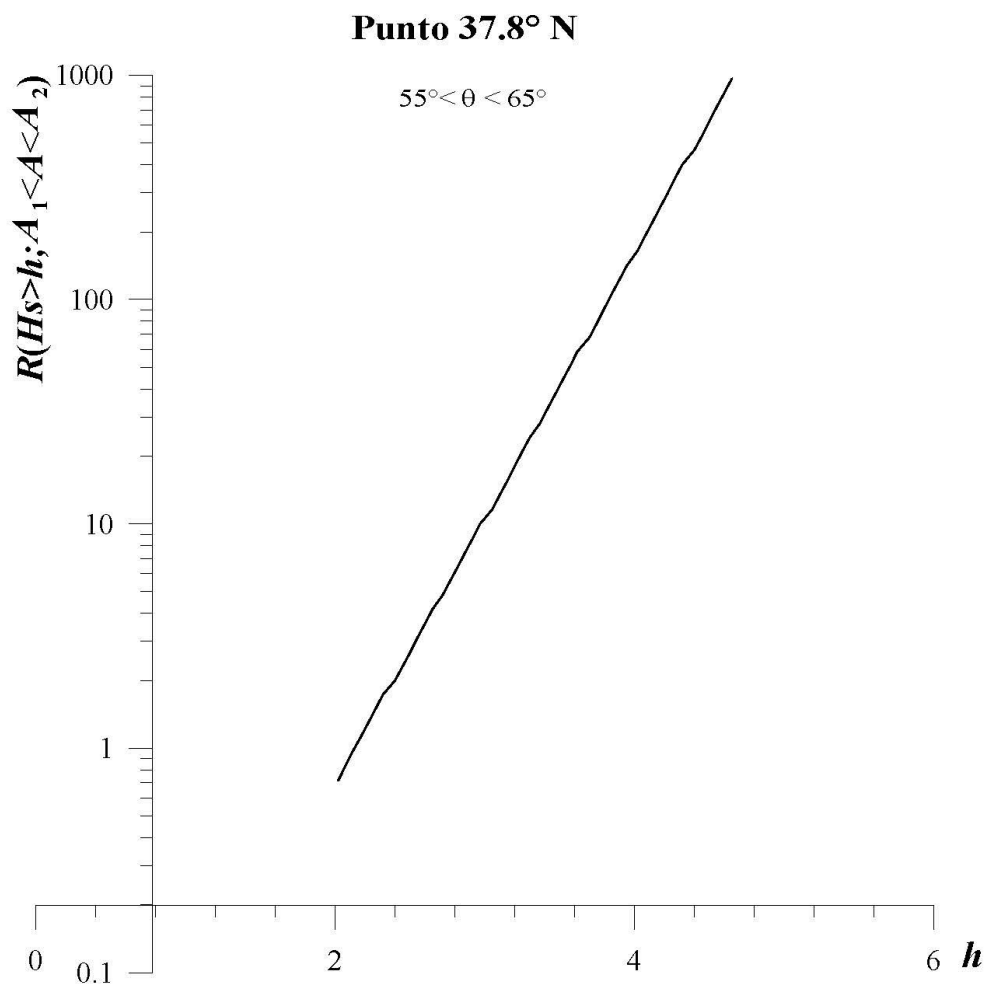


Fig. 6.11 – Periodo di ritorno $R(H_s > h; \theta_1 < \theta < \theta_2)$ di mareggiate nelle quali la H_s superi una qualsiasi assegnata soglia h e la direzione di propagazione delle onde θ sia compresa entro assegnati settori (θ_1, θ_2) .

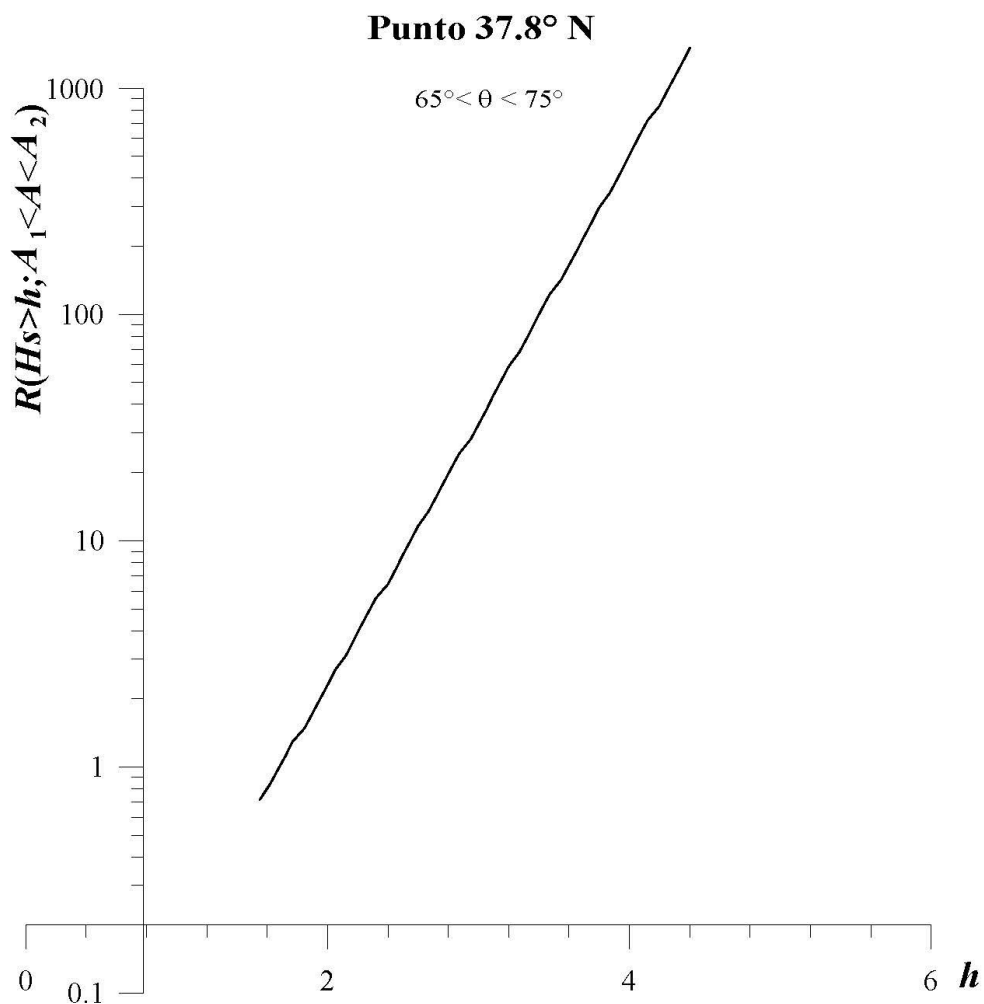


Fig. 6.1m – Periodo di ritorno $R(H_s > h; \theta_1 < \theta < \theta_2)$ di mareggiate nelle quali la H_s superi una qualsiasi assegnata soglia h e la direzione di propagazione delle onde θ sia compresa entro assegnati settori (θ_1, θ_2) .

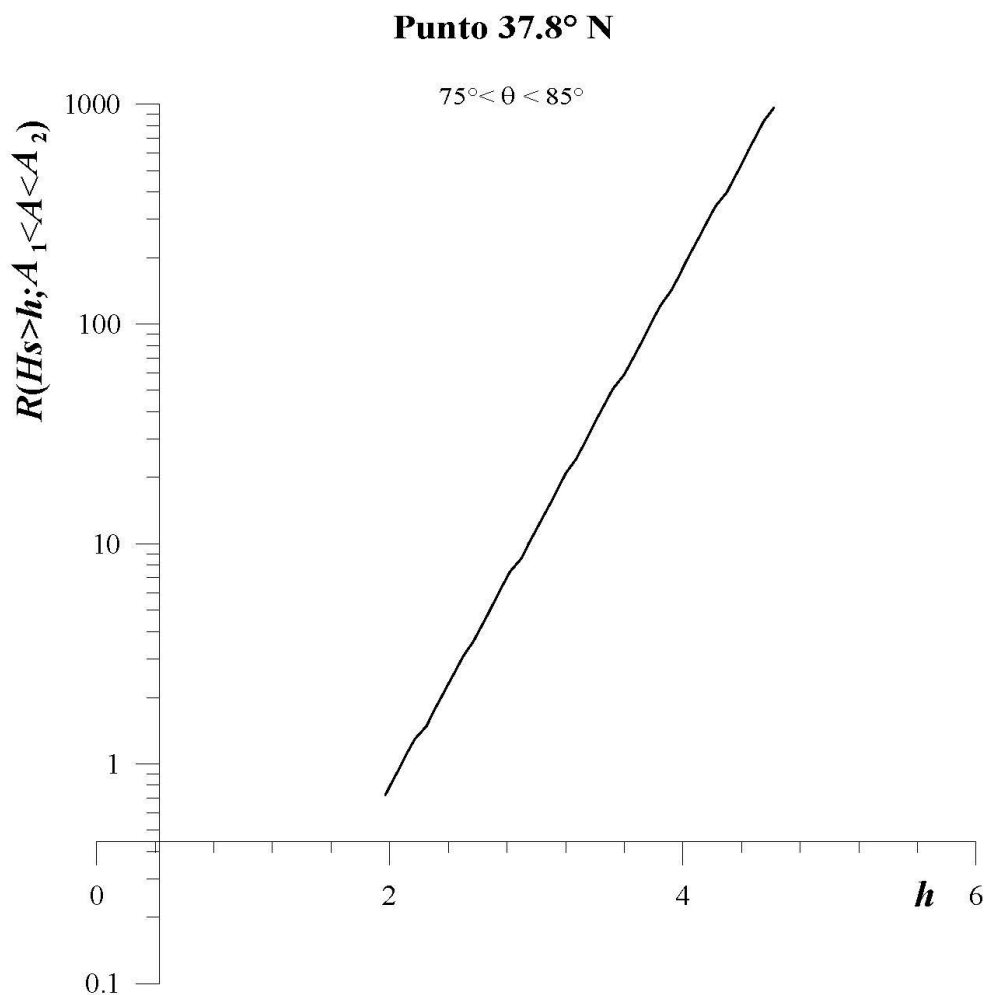


Fig. 6.1n – Periodo di ritorno $R(H_s > h; \theta_1 < \theta < \theta_2)$ di mareggiate nelle quali la H_s superi una qualsiasi assegnata soglia h e la direzione di propagazione delle onde θ sia compresa entro assegnati settori (θ_1, θ_2) .

Tab. 6.2 – Frequenze (percentuali) di apparizione di stati di mare con H_s compresa entro intervalli di 0.5 m e θ compreso entro settori di 10° .

$H_s \backslash \theta$	-85°, -75°	-75°, -65°	-65°, -55°	-55°, -45°
0, 0.5	1.365%	1.439%	1.439%	1.702%
0.5, 1.0	0.724%	0.958%	0.958%	1.105%
1.0, 1.5	0.319%	0.508%	0.508%	0.662%
1.5, 2.0	0.201%	0.254%	0.254%	0.310%
2.0, 2.5	0.287%	0.121%	0.121%	0.186%
2.5, 3.0	0.127%	0.083%	0.083%	0.044%
3.0, 3.5	0.077%	0.044%	0.044%	0.009%

$H_s \backslash \theta$	-45°, -35°	-35°, -25°	-25°, -15°	-15°, -5°
0, 0.5	2.704%	2.675%	1.232%	1.064%
0.5, 1.0	1.599%	1.699%	0.334%	0.260%
1.0, 1.5	0.520%	0.464%	0.071%	0.080%
1.5, 2.0	0.245%	0.133%	0.021%	0.012%
2.0, 2.5	0.071%	0.021%	0.003%	0.003%
2.5, 3.0	0.021%	0.003%	–	–

$H_s \backslash \theta$	-5°, 5°	5°, 15°	15°, 25°	25°, 35°
0, 0.5	0.969%	0.999%	1.120%	1.253%
0.5, 1.0	0.189%	0.174%	0.225%	0.304%
1.0, 1.5	0.077%	0.047%	0.098%	0.083%
1.5, 2.0	0.012%	0.000%	0.012%	0.041%
2.0, 2.5	0.003%	0.003%	0.012%	0.021%
2.5, 3.0	–	–	0.003%	0.003%

Tab. 6.2 – Fine.

$H_s \backslash \theta$	35°, 45°	45°, 55°	55°, 65°	65°, 75°
0, 0.5	1.159%	1.561%	1.797%	2.060%
0.5, 1.0	0.423%	0.680%	0.591%	0.698%
1.0, 1.5	0.127%	0.272%	0.160%	0.189%
1.5, 2.0	0.027%	0.074%	0.092%	0.074%
2.0, 2.5	0.009%	0.033%	0.033%	0.024%
2.5, 3.0	–	–	0.003%	0.003%

Tab. 6.3 - Periodi medi (T_m) delle onde per stati di mare con H_s compresa entro intervalli di 0.5 m e θ compreso entro settori di 10°.

$H_s \backslash \theta$	-85°, -75°	-75°, -65°	-65°, -55°	-55°, -45°
0, 0.5	4.01	3.97	3.98	4.04
0.5, 1.0	4.56	4.61	4.71	4.57
1.0, 1.5	5.26	5.24	5.19	5.23
1.5, 2.0	5.87	5.65	5.85	5.69
2.0, 2.5	6.02	6.18	5.96	6.05
2.5, 3.0	6.55	6.55	6.62	6.41

$H_s \backslash \theta$	-45°, -35°	-35°, -25°	-25°, -15°	-15°, -5°
0, 0.5	3.99	4.02	3.94	3,63
0.5, 1.0	4.51	4.45	4,06	3,73
1.0, 1.5	5.12	4.99	4,70	4,59
1.5, 2.0	5.75	5.50	5,48	5,12
2.0, 2.5	5.55	5.80	5,55	5,55
2.5, 3.0	6.55	6.55	6,05	6,55

Tab. 6.3 - Fine.

$H_s \backslash \theta$	-5°, 5°	5°, 15°	15°, 25°	25°, 35°
0, 0.5	3,56	3,57	3,56	3,59
0.5, 1.0	3,86	3,74	3,80	3,81
1.0, 1.5	4,44	4,32	4,36	4,37
1.5, 2.0	4,80	5,30	—	4,30
2.0, 2.5	5,55	5,55	5,55	5,55
2.5, 3.0	—	—	—	5,55

$H_s \backslash \theta$	35°, 45°	45°, 55°	55°, 65°	65°, 75°
0, 0.5	3,57	3,62	3,59	3,61
0.5, 1.0	3,72	3,81	3,78	3,77
1.0, 1.5	4,41	4,36	4,41	4,46
1.5, 2.0	5,12	4,99	4,99	5,03
2.0, 2.5	5,69	5,55	5,55	5,55
2.5, 3.0	6,55	—	—	6,55

7 DALLE ACQUE PROFONDE ALLE ACQUE BASSE

7.1 Il problema generale della rifrazione

Dalle caratteristiche (H_{s0}, T_p, θ_0) delle onde sugli alti fondali (cioè dalle caratteristiche illustrate nel § 6) è possibile ricavare le caratteristiche (H_s, T_p, θ) sulla generica profondità d davanti al generico tratto di costa. [Finora abbiamo considerato solo onde in acque profonde. Di qui in avanti trattiamo le trasformazioni delle onde dalle acque profonde alle acque basse, e dunque usiamo simboli distinti: H_{s0}, θ_0 per le acque profonde H_s, θ per la generica profondità d . Quanto a T_p , esso si conserva dalle acque profonde alle acque basse (a meno di piccole variazioni dovute alla deformazione dello spettro)].

La trasformazione delle onde dalle acque profonde alle acque basse è dovuta al fenomeno di rifrazione. La rifrazione delle onde periodiche è trattata nei §§ 2.6 e 2.8 di Boccotti (1997). La rifrazione delle onde irregolari generate dal vento è trattata nel § 8.4 di Boccotti (1997). Una conclusione pratica è: calcolare la rifrazione delle onde irregolari generate dal vento con le espressioni valide per le onde periodiche e assumere T_p (il periodo di picco dello spettro) come periodo delle onde periodiche.

Il lavoro fatto nel § 6 della presente relazione consente di effettuare il calcolo della rifrazione delle onde davanti alla costa di Lazzaro. Per il calcolo della rifrazione è infatti necessario conoscere le caratteristiche ondose in acque profonde con le direzioni di propagazione riferite a una coppia di assi coordinati, uno dei quali orientato secondo l'allineamento fondamentale della costa (in modo che la direzione di propagazione risulti sempre compresa nel primo o nel secondo quadrante). Per "allineamento fondamentale" si intende l'allineamento che si ottiene rettificando piccole insenature o protuberanze costiere. L'allineamento fondamentale del tratto costiero di Lazzaro considerato nel presente lavoro è indicato nella Fig. 5.2.

Per cogliere le caratteristiche medie lungo-costa del moto ondoso in acque basse davanti al tratto di costa considerato, conviene ragionare dapprima come se le batimetriche fossero

rettilinee e parallele all'allineamento fondamentale di quel tratto di costa; ed è quello che faremo nei due paragrafi seguenti. Se si desidera ricavare le caratteristiche di dettaglio all'interno di una specifica insenatura o davanti ad una piccola protuberanza costiera, bisogna ricorrere al calcolo delle ortogonali d'onda mediante integrazione numerica delle equazioni del § 2.8.3 di Boccotti (1997). Tale integrazione presuppone la disponibilità di rilievi batimetrici di dettaglio.

7.1 Il clima ondoso sottocosta

Come detto nel § 3.1, il clima ondoso davanti al paraggio di Lazzaro è formato dall'insieme di stati di mare generatisi in differenti aree della traversia. L'insieme più rilevante per dimensioni delle onde è certamente quello costituito dalle ondate provenienti dall'imboccatura sud dello Stretto di Messina. Si tratta in sostanza delle stesse onde che transitano per il punto di coordinate [37.9°N, 15.5°E] le quali, come abbiamo avuto modo di vedere provengono per lo più dal ventaglio di direzioni [120°N, 180°N]. Sono onde formatesi nella parte sud del bacino dello Jonio. Il secondo insieme di onde è costituito da stati di mare generati localmente, ovvero da venti che spirano all'interno dello Stretto di Messina, i quali davanti al paraggio di Lazzaro spirano prevalentemente da ponente. La ridotta estensione del braccio di mare (inferiore a 10 km) limita l'altezza di queste onde. Quanto alla loro frequenza, essa potrebbe essere stimata a partire da rilevazioni anemometriche, le quali, a conoscenza di chi scrive, non sono disponibili. In definitiva, l'unica stima che è possibile fare del clima ondoso davanti a Lazzaro è quella operata a partire dai dati del Met Office.

La Tab. 7.1 indica le frequenze di apparizione di stati di mare di assegnata altezza significativa per assegnato settori di propagazione verso costa. La profondità del fondo è di 10 m.

La Tab. 7.2 indica i periodi medi degli stati di mare indicati nella Tabella 7.1.

Tab. 7.1 – Frequenze (percentuali) di apparizione di stati di mare con H_s compresa entro intervalli di 0.5 m e θ compresa entro settori di 10° , in punto davanti al paraggio di Lazzaro posizionato su 10 m di profondità.

$H_s \backslash \theta$	-75°, 65°	-65°, -55°	-55°, -45°	-45°, -35°	-35°, -25°	25°, 35°
0, 0.5	2.933%	4.688%	3.389%	2.767%	3.098%	1.138%
0.5, 1.0	–	1.297%	2.515%	3.377%	1.210%	0.228%
1.0, 1.5	–	–	0.465%	1.270%	0.786%	0.099%
1.5, 2.0	–	–	–	0.369%	0.156%	0.075%
2.0, 2.5	–	–	–	0.123%	0.024%	0.003%
2.5, 3.0	–	–	–	0.009%	0.012%	1.138%
3.0, 3.5	–	–	–	–	0.006%	0.228%

$H_s \backslash \theta$	35°, 45°	45°, 55°	55°, 65°	65°, 75°	75°, 85°
0, 0.5	1.273%	1.189%	1.654%	4.094%	3.323%
0.5, 1.0	0.309%	0.429%	1.120%	1.309%	0.000%
1.0, 1.5	0.240%	0.504%	–	–	–
1.5, 2.0	0.045%	0.000%	–	–	–
2.0, 2.5	–	–	–	–	–
2.5, 3.0	–	–	–	–	–
3.0, 3.5	–	–	–	–	–

Tab. 7.2 – Periodi medi (in secondi) di stati di mare con H_s compresa entro intervalli di 0.5 m e θ compresa entro settori di 10° , in punto davanti al paraggio di Lazzaro posizionato su 10 m di profondità.

$H_s \backslash \theta$	-75°, 65°	-65°, -55°	-55°, -45°	-45°, -35°	-35°, -25°	25°, 35°
0, 0.5	4	4.6	6.6	7	4	3.6
0.5, 1.0	–	5.3	5.9	8.6	4.4	3.8
1.0, 1.5	–	–	6.6	6.8	5	4.4
1.5, 2.0	–	–	–	7.6	5.6	5.7
2.0, 2.5	–	–	–	7.6	6.6	6.6
2.5, 3.0	–	–	–	7.2	6.6	–
3.0, 3.5	–	–	–	–	7.6	–

$H_s \backslash \theta$	35°, 45°	45°, 55°	55°, 65°	65°, 75°	75°, 85°
0, 0.5	3.6	5.6	4.9	4.4	3.6
0.5, 1.0	3.7	3.8	5.1	3.7	–
1.0, 1.5	5	5.6	–	–	–
1.5, 2.0	6.6	–	–	–	–
2.0, 2.5	–	–	–	–	–
2.5, 3.0	–	–	–	–	–
3.0, 3.5	–	–	–	–	–

7.1.1 Il flusso medio di energia

Il flusso medio di energia che investe la costa di Lazzaro nel corso di un anno può essere stimato a partire dalle frequenze di moto ondoso ricavate dalle oltre 33000 registrazioni di stati di mare ricostruiti dal Met Office e dai relativi periodi (riportati rispettivamente nelle Tab. 7.1 e 7.2) mediante la relazione (Filianoti, 2000)

$$\Phi = 1.09 \frac{1}{64\pi} \rho g^2 H_s^2 T_m, \quad (7.1)$$

I risultati sono rappresentati nella Fig. 7.1. Come si vede, praticamente tutta l'energia ondosa proviene dal settore $[-30^\circ, -50^\circ]$, e presenta un massimo in corrispondenza della direzione -40° (si tratta chiaramente di direzioni rispetto alla normale alla linea di costa). Il picco di energia ondosa che si abbatte su Lazzaro presenta quindi una rotazione antioraria rispetto ai picchi di energia del punto $[37.9^\circ\text{N}, 15.5^\circ\text{E}]$ mediamente pari a circa 40° (cfr Fig. 3.3 considerando che la direzione di propagazione $\theta = -40^\circ$ corrisponde ad $A = 170^\circ\text{N}$).

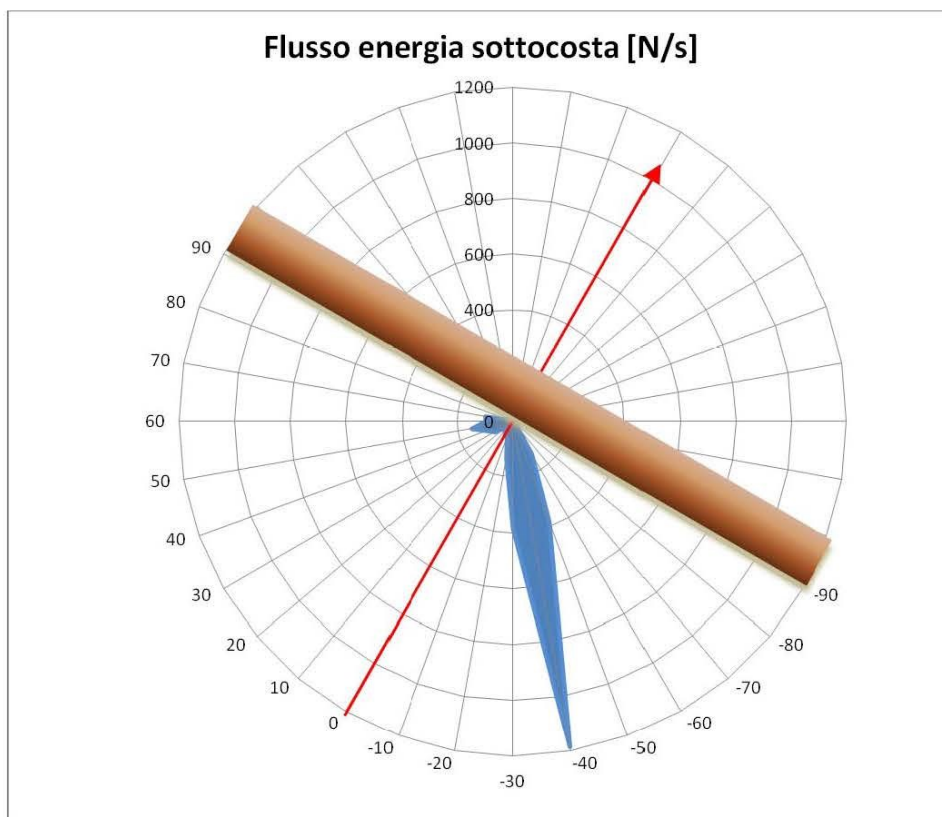


Fig. 7.1. – Flusso medio di energia davanti alla costa di Lazzaro.

7.2 Lo schema base di batimetriche rettilinee

Nella tab. 7.1 sono indicate nell'ordine

- il settore della direzione di propagazione in acque profonde (θ_0' , θ_0''),
- il periodo di ritorno R ,
- l'altezza d'onda significativa in acque profonde (H_{s0}),
- la profondità al frangimento (d_b),
- l'altezza d'onda significativa al frangimento (H_{sb}),
- l'angolo che la direzione di propagazione forma con l'asse y al frangimento (θ_b).

La tabella viene costruita così. Si fissa il settore direzionale (θ_0' , θ_0'') in acque profonde (si intende che la direzione dominante in acque profonde forma un angolo con l'asse y , compreso tra θ_0' e θ_0''). Si fissa il periodo di ritorno R . Si ricava l'altezza d'onda significativa H_{s0} a partire da R utilizzando quella tra le Figg. 6.1a-s corrispondente al settore direzionale (θ_0' , θ_0''). Si calcola il periodo di picco con la relazione (4.1) a partire dall'altezza d'onda significativa H_{s0} . Si calcolano le variazioni di altezza e direzione di propagazione delle onde in acque basse e si individuano le condizioni al frangimento con i criteri di seguito descritti, per l'ipotesi di batimetriche rettilinee. Si assume cioè che per il tratto di costa le batimetriche siano parallele all'asse x .

Le condizioni di frangimento sono definite dalle note relazioni:

$$\frac{H_{sb}}{d_b} = 0.8 \quad (7.2)$$

e

$$\frac{H_{sb}}{L_{p0}} = 0.14 \tanh^2 \left(\frac{2\pi d_b}{L_p} \right) \quad (7.3)$$

In altri termini non si ha frangimento finché vengono verificate le due relazioni:

$$\frac{H_s}{H_{s0}} < \frac{0.8}{H_{s0}/L_{p0}} \frac{d}{L_{p0}}, \quad (7.4)$$

$$\frac{H_s}{H_{s0}} < \frac{0.14}{H_{s0}/L_{p0}} \tanh^2 \left(\frac{2\pi d}{L_p} \right) \quad (7.5)$$

La tabella fornisce un'indicazione delle caratteristiche medie (lungo-costa) delle onde al frangimento. Per un tratto di costa sensibilmente rettilinei come il tratto in questione tali caratteristiche medie sono pressoché coincidenti con le caratteristiche attuali in tutti i punti.

Tab. 7.3 – Caratteristiche ondose al frangimento per assegnati settore di propagazione al largo e periodo di ritorno.[Continua nelle pagg. successive.]

Settore $\Delta\theta_0$ [deg]	R [anni]	H_{s0} [m]	d_b [m]	H_s [m]	θ_b [deg]
(-85°, -75°)	1	3.83	2.5	1.97	-21°
	2	4.3	2.8	2.21	
	5	4.93	3.2	2.54	
	10	5.4	3.5	2.78	
	20	5.87	3.8	3.02	
	50	6.5	4.2	3.35	
	100	6.97	4.5	3.59	
(-75°, -65°)	1	3.6	3.1	2.47	-23°
	2	4.01	3.4	2.75	
	5	4.57	3.9	3.13	
	10	4.98	4.3	3.42	
	20	5.4	4.6	3.7	
	50	5.95	5.1	4.08	
	100	6.37	5.5	4.37	

Tab. 7.3 – Continua...

Settore $\Delta\theta_0$ [deg]	R [anni]	H_{s0} [m]	d_b [m]	H_s [m]	θ_b [deg]
(-65°, -55°)	1	3.34	3.4	2.68	-23°
	2	3.7	3.7	2.97	
	5	4.19	4.2	3.37	
	10	4.55	4.6	3.65	
	20	4.92	4.9	3.95	
	50	5.4	5.4	4.34	
	100	5.77	5.8	4.63	
(-55°, -45°)	1	2.82	3.1	2.5	-21°
	2	3.13	3.5	2.78	
	5	3.55	3.9	3.15	
	10	3.86	4.3	3.43	
	20	4.17	4.6	3.7	
	50	4.59	5.1	4.07	
	100	4.9	5.4	4.35	

Tab. 7.3 – Continua...

Settore $\Delta\theta_0$ [deg]	R [anni]	H_{s0} [m]	d_b [m]	H_s [m]	θ_b [deg]
(-45°, -35°)	1	2.82	3.3	2.67	-18°
	2	3.13	3.7	2.97	
	5	3.55	4.2	3.37	
	10	3.86	4.6	3.66	
	20	4.17	4.9	3.96	
	50	4.59	5.4	4.35	
	100	4.9	5.8	4.65	
(-35°, -25°)	1	2.82	3.5	2.79	-14°
	2	3.13	3.9	3.1	
	5	3.55	4.4	3.52	
	10	3.86	4.8	3.82	
	20	4.17	5.2	4.13	
	50	4.59	5.7	4.55	
	100	4.9	6.1	4.85	

Tab. 7.3 – Continua...

Settore $\Delta\theta_0$ [deg]	R [anni]	H_{s0} [m]	d_b [m]	H_s [m]	θ_b [deg]
(25°, 35°)	1	1.61	2	1.59	14°
	2	1.81	2.2	1.79	
	5	2.09	2.6	2.07	
	10	2.29	2.8	2.27	
	20	2.49	3.1	2.47	
	50	2.76	3.4	2.73	
	100	2.96	3.7	2.93	
(35°, 45°)	1	1.76	2.1	1.67	18°
	2	2.02	2.4	1.92	
	5	2.35	2.8	2.23	
	10	2.61	3.1	2.48	
	20	2.86	3.4	2.71	
	50	3.19	3.8	3.03	
	100	3.44	4.1	3.26	

Tab. 7.3 – Continua...

Settore $\Delta\theta_0$ [deg]	R [anni]	H_{s0} [m]	d_b [m]	H_s [m]	θ_b [deg]
(45°, 55°)	1	1.72	1.9	1.53	21°
	2	1.94	2.2	1.72	
	5	2.23	2.5	1.98	
	10	2.45	2.7	2.18	
	20	2.67	3	2.37	
	50	2.96	3.3	2.63	
	100	3.18	3.5	2.82	
(55°, 65°)	1	2.13	2.1	1.71	23°
	2	2.38	2.4	1.91	
	5	2.72	2.7	2.18	
	10	2.98	3	2.39	
	20	3.23	3.2	2.59	
	50	3.57	3.6	2.87	
	100	3.83	3.8	3.08	

Tab. 7.3 – Fine

Settore $\Delta\theta_0$ [deg]	R [anni]	H_{s0} [m]	d_b [m]	H_s [m]	θ_b [deg]
(65°, 75°)	1	2.09	1.8	1.43	23°
	2	2.34	2	1.6	
	5	2.68	2.3	1.84	
	10	2.93	2.5	2.01	
	20	3.19	2.7	2.19	
	50	3.53	3	2.42	
	100	3.78	3.2	2.59	
(75°, 85°)	1	1.92	1.2	0.99	21°
	2	2.15	1.4	1.11	
	5	2.46	1.6	1.27	
	10	2.68	1.7	1.38	
	20	2.91	1.9	1.5	
	50	3.22	2.1	1.66	
	100	3.45	2.2	1.78	

7.3 La persistenza $\bar{D}(h)$

Un parametro di fondamentale importanza nella progettazione di opere di difesa di tipo flessibile, come le scogliere di massi, è rappresentato dalla durata dell'azione delle onde sull'opera. La durata $\bar{D}(h)$ in cui la H_s si mantiene al di sopra della soglia h , nelle mareggiate dove tale soglia viene superata, viene chiamata "persistenza al di sopra della soglia" o semplicemente "persistenza", e la sua espressione si ottiene dividendo la durata di tempo

$$P(H_s > h)T = \text{durata di tempo in cui } H_s > h, \text{ nel grande intervallo } T,$$

per il numero

$$T/R(H_s > h) = \text{numero di mareggiate in cui } H_s \text{ supera la soglia } h, \text{ durante } T.$$

Il risultato è

$$\bar{D}(h) = P(H_s > h)R(H_s > h), \quad (7.6)$$

ovvero, con le espressioni (1.2) e (1.5) rispettivamente di $P(H_s > h)$ e di $R(H_s > h)$,

$$\bar{D}(h) = \frac{\bar{b}(h)}{1 + u \left(\frac{h}{w} \right)^u}. \quad (7.7)$$

Nelle mareggiate dove la soglia h viene superata, l'altezza significativa si mantiene sulla soglia h mediamente per un tempo \bar{D} pari a $2D$. La Fig. 7.1 riporta le durate convenzionali \bar{D} , degli stati di mare al variare della soglia di altezza significativa considerata.

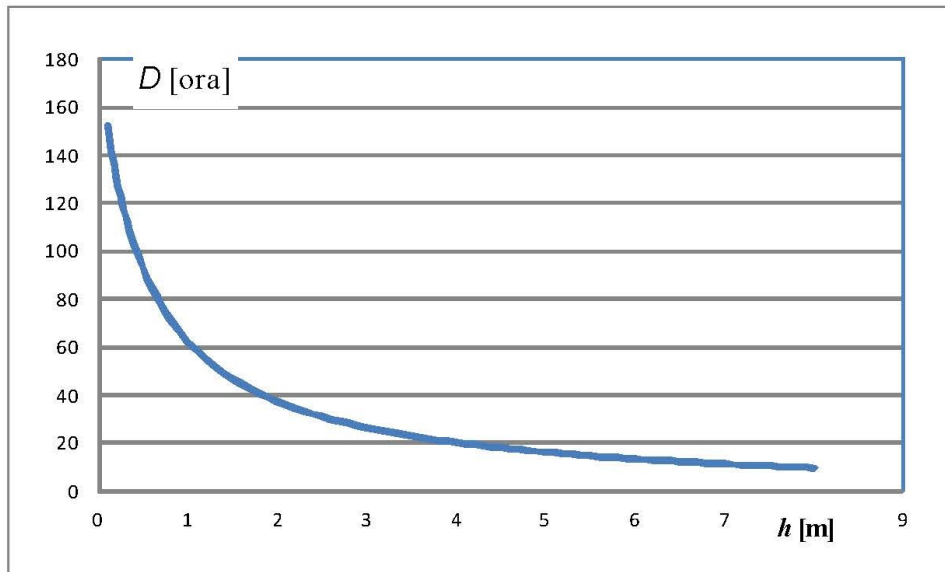


Fig. 7.2. Durata media D , dell'altezza significativa h .