



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia
e lo sviluppo economico sostenibile

Università degli Studi di Parma
Dipartimento di Ingegneria e Architettura
Dipartimento di Scienze della Terra

**MASTER UNIVERSITARIO INTERSEDE
IN SCIENZE COSTIERE APPLICATE
ANNO ACCADEMICO 2010-11**

Relazione Finale di Ricerca
*Studio meteo marino preliminare all'intervento di
riequilibrio della spiaggia del Pozzale, isola Palmaria*

Relatori

Chiar.mo Prof. Pier Luigi Aminti

Chiar.ma Dott. Serena Strada

Candidata

Dott.ssa

Eleonora Buzzolino



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia
e lo sviluppo economico sostenibile

Università degli Studi di Parma
Dipartimento di Ingegneria e Architettura
Dipartimento di Scienze della Terra

**MASTER UNIVERSITARIO INTERSEDE
IN SCIENZE COSTIERE APPLICATE
ANNO ACCADEMICO 2010-11**

Relazione Finale di Ricerca
*Studio meteo marino preliminare all'intervento di
riequilibrio della spiaggia del Pozzale, isola Palmaria*

Relatori

Pier Luigi Aminti

Prof. Pier Luigi Aminti
Università degli Studi di Firenze

Serena Strada

Dott. ssa. Serena Strada
Parco Naturale Regionale di Porto Venere

Candidata

Eleonora Buzzolino

Dott.ssa Eleonora Buzzolino

Indice

1. Introduzione

2. Nozioni di base sulla generazione del moto ondoso.

3. Studio meteo marino

3.1 Premessa- inquadramento del sito di intervento

3.2 Dati disponibili

3.3 Analisi del clima meteo marino

3.3.1 Settore di traversia, fetch geografici ed efficaci.

3.3.2 Dati di moto ondoso

3.3.3 Dati di vento

3.3.4 Statistica degli eventi estremi

3.4 Propagazione del moto a riva

3.5 Calcolo della profondità di chiusura

4. Vincoli alle scelte progettuali derivati dal clima meteo marino , conclusioni.

5. Bibliografia

1. Introduzione

La presente relazione è una breve trattazione delle procedure che stanno alla base della progettazione preliminare di un'opera di difesa marittima, in particolare, si esamina il caso di un possibile intervento di ripascimento della spiaggia del "Pozzale" in località Palmaria, Comune di Porto Venere, provincia della Spezia.

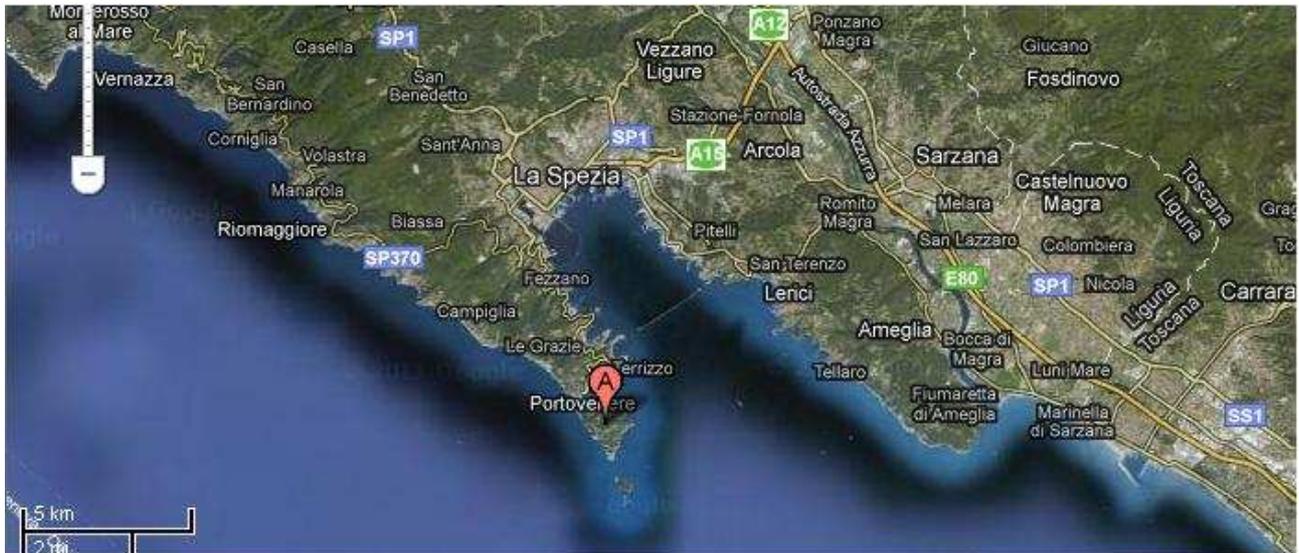


Figura 1. Isola Palmaria, inquadramento nel territorio [fonte Google Maps].

La spiaggia è ubicata all'interno dell'area Parco Naturale Regionale di Porto Venere.



Figura 2. Foto località Pozzale, isola Palmaria [fonte Google Images].

Da vari anni la spiaggia risulta soggetta ad un forte fenomeno di erosione che sta progressivamente depauperando il litorale ghiaioso, non solo nella specifica area della spiaggia ma anche nelle zone limitrofe, che vanno dalla cava situata sulla propaggine più a sud dell'Isola fino alla spiaggia dei Gabbiani (frece rosse di inizio e fine area erosa).

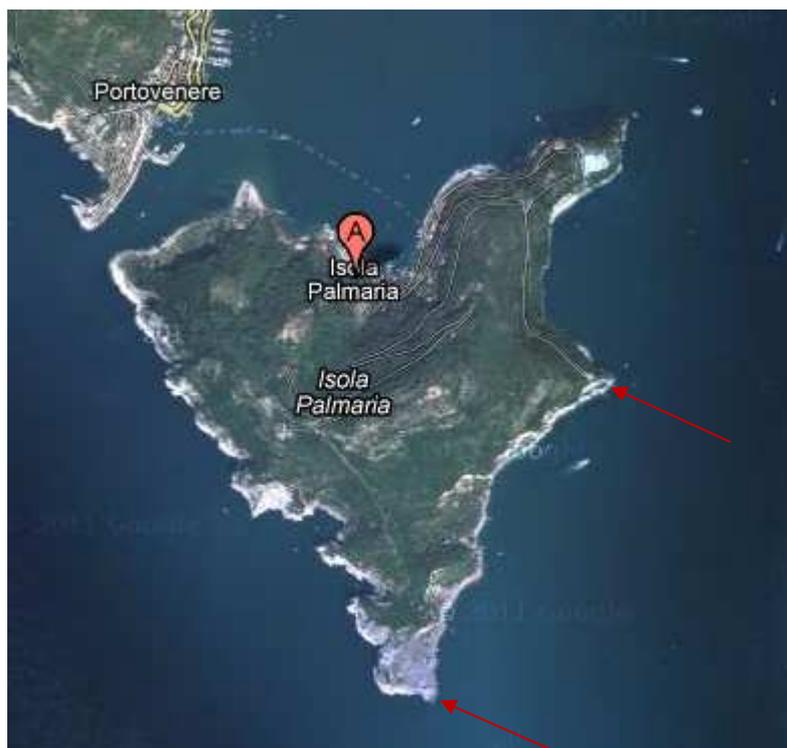


Figura 3. Indicazione dei limiti della zona che evidenze in erosione.[fonte Google Images]

L'Areonautica Militare, proprietaria del territorio, occupato da campeggio, retrostante la spiaggia, ha provveduto da alcuni anni all'allestimento di una barriera radente emersa in massi che limitasse l'invasione dei flutti.



Figura 4. Barriera radente a protezione dell'area di campeggio della Marina Militare.

L'intervento seppur risolutivo nella protezione dell'area militare, ha peggiorato la situazione erosiva del litorale, generando uno squilibrio ulteriore nel profilo di spiaggia, soprattutto nel tratto limitato dai due pontili di attracco per le barche.

L'amministrazione locale ha deciso per intanto di intervenire proprio in tale tratto.



Figura 5. Immagine satellitare in cui si vedono i due pontili scelti come limite dell'intervento [fonte Google Maps].



Figura 6. Pontile di attracco delimitante l'area su cui si opererà il risanamento [fonte Google Images].

Il Parco Naturale Regionale di Porto Venere si estende per circa 400 ha, racchiudendo il promontorio omonimo, le isole Palmaria, Tino e Tinetto e l'Area di Tutela Marina, come propaggine occidentale del Golfo della Spezia.

La separazione, nel tardo Quaternario, delle isole dal promontorio non ha permesso una differenziazione a livello floristico e questo giustifica la presenza della medesima flora su isole e parte terrestre e di pochi, per questo importanti, endemismi. Inoltre le svariate specie mediterranee a distribuzione occidentale, che raggiungono su queste coste il loro limite nord-orientale di distribuzione, aumentano il pregio di tutto il complesso floristico. Per tali presenze l'intera area fa parte di un SIC (Sito di Importanza Comunitaria) identificato dalla Direttiva

92/43/CEE, conosciuta come “Direttiva Habitat”, con il preciso scopo di contribuire a salvaguardare la biodiversità mediante la conservazione degli habitat naturali, nonché della flora e della fauna selvatiche nel territorio.

L’Area di Tutela Marina del Parco Naturale Regionale di Porto Venere comprende la parte sud-occidentale dell’ isola Palmaria, le isole del Tino e del Tinetto e la prateria di *Posidonia* presente nel canale che separa Porto Venere dall’Isola Palmaria.

2. Nozioni di base sulla generazione del moto ondoso.

La generazione delle onde è il risultato del trasferimento di energia dal vento alla superficie del mare, le onde hanno origine in mare aperto, quando la velocità del vento supera un valore critico di circa 1m/s.

In una prima fase si osserva la formazione di increspature dell'ordine di pochi centimetri, in seguito, sotto l'azione continua del vento le onde crescono gradualmente fino a raggiungere le dimensioni massime compatibili con la velocità e la durata del vento e le dimensioni dell'area di generazione.

La descrizione della superficie del mare nella zona di generazione è molto complessa, in quanto le onde interagiscono tra loro sovrapponendosi e cambiando continuamente forma e direzione di propagazione, mentre allontanandosi dall'area di generazione, assumono una forma più regolare e sono caratterizzate da un periodo maggiore. Le onde, mentre si dirigono verso la costa, si modificano: quando il rapporto tra la profondità e la lunghezza d'onda risulta pari a 0,5 l'onda comincia a risentire dei cambiamenti nella batimetria del fondale.

A causa della diminuzione della profondità l'onda rallenta, la lunghezza d'onda si riduce e la ripidità, pari al rapporto tra l'altezza d'onda e la lunghezza, aumenta, questo processo è noto come *shoaling*.

Quando invece il fronte d'onda incontra le batimetriche formando un angolo, l'onda modifica la sua direzione di propagazione, in particolare, la cresta dell'onda tende a diventare parallela alla costa, e il raggio d'onda tende a diventare ortogonale alla linea di riva (*rifrazione*).

Gli effetti dovuti a shoaling e rifrazione aumentano man mano che la profondità diminuisce, giunta sotto costa, l'onda si deforma e, quando ha raggiunto un'altezza pari circa alla profondità, non è più stabile e frange (*frangimento*).

La rappresentazione del moto ondoso appare quindi molto complessa in ogni momento, a causa della irregolarità delle onde sia nel dominio del tempo, che in quello dello spazio.

Di questi fenomeni (rifrazione, frangimento e shoaling) bisogna assolutamente tenere conto in fase di progettazione. Esistono teorie che li contemplano (teoria lineare) con livelli di accuratezza accettabile anche per la diffusione del moto ondoso nella fascia costiera.

In termini pratici, vista l'irregolarità del moto ondoso si osserva, quindi, che non è possibile definire una singola altezza d'onda ed un singolo periodo.

Il moto ondoso in un certo intervallo deve essere caratterizzato solo da valori statistici di H e T. Generalmente si considerano intervalli di 15'-30'

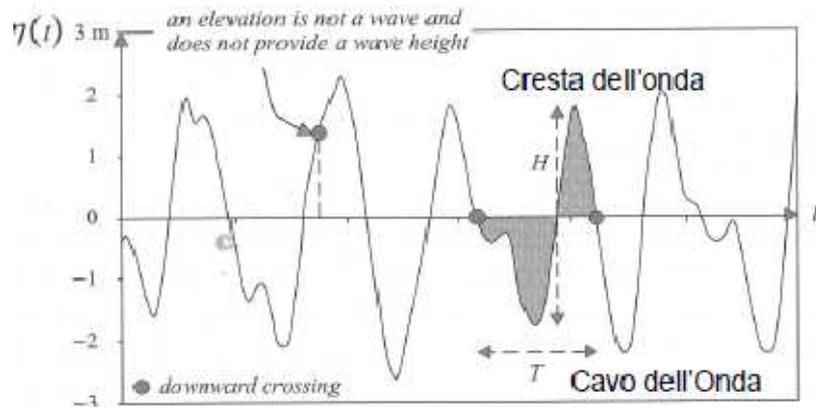


Figura 7. Esempio di variabilità dell'andamento del moto ondoso [fonte CEM]

I dati raccolti nei 30' vengono analizzati generalmente con un'analisi detta a "breve termine" finalizzata a ricavare i parametri caratteristici del moto ondoso H (altezza), T (periodo) e Dir (direzione).

Agli immediati valori di altezza e periodo medio, si affiancano i valori di "altezza e periodo 1/3" o "altezza e periodo 1/10" ossia riferiti rispettivamente al 33% e al 10% delle onde più alte, secondo le seguenti formule:

$$H_{1/3} = \frac{1}{N/3} \sum_{j=1}^{N/3} H_j$$

$$T_{1/3} = \frac{1}{N/3} \sum_{j=1}^{N/3} T_j$$

$$H_{1/10} = \frac{1}{N/10} \sum_{j=1}^{N/10} H_j$$

$$T_{1/10} = \frac{1}{N/10} \sum_{j=1}^{N/10} T_j$$

I valori di altezza 1/3 permettono inoltre di esprimere comodamente anche un valore di altezza massimo, utile per fini progettuali:

$$H_{max} = 1,8H_{1/3} \text{ per onde non frangenti (Goda, 1989)}$$

$$H_{max} = 1,5H_{1/3} \text{ per onde frangenti (Kamphius, 2000)}$$

Tali parametri caratteristici del moto ondoso al largo si modificano nella fascia costiera anche per causa dei tre fenomeni descritti in precedenza (rifrazione, shoaling e frangimento) per cui, ai fini progettuali, si deve calcolare anche il valore dei parametri caratteristici nella fascia costiera.

Le caratteristiche del moto ondoso che occorre conoscere sono relative sia al regime medio annuo e, eventualmente, stagionale, sia alle caratteristiche degli eventi estremi in ambiente costiero.

Tali condizioni, siano esse annue e/o stagionali, sono responsabili dell'evoluzione dei litorali a breve e lungo termine, attraverso il regime delle correnti lungo riva e del conseguente trasporto di sedimenti.

Relativamente ai fenomeni estremi, la loro conoscenza diventa necessaria per il corretto dimensionamento degli interventi di difesa costiera.

3. Studio meteo marino

Alla base della progettazione di un'opera marittima c'è lo studio meteo marino.

La conoscenza del clima meteomarinico al largo di un paraggio è un requisito essenziale per qualsiasi tipo di intervento nella fascia costiera.

La definizione del clima ondoso in un paraggio ha sostanzialmente due obiettivi come già premesso:

- ricostruzione del clima meteomarinico medio al largo di un paraggio;
- la determinazione della probabilità di occorrenza delle onde estreme.

Ai fini di una successiva progettazione di opere costiere, risulta essenziale la definizione di un clima meteomarinico medio sottocosta, in prossimità della zona dei frangenti, input per la modellazione futura dell'evoluzione della linea di riva, e di un clima meteomarinico estremo, per la caratterizzazione delle onde di progetto ai fini del dimensionamento delle opere di difesa costiera. Il regime medio del mare, la cui definizione è necessaria per valutare la dinamica del litorale, deriva da considerazioni energetiche, contemplando tutte le possibili mareggiate che si sono succedute sul litorale, anche se energeticamente modeste.

Il calcolo delle onde estreme, da utilizzare per il progetto delle strutture, si effettua elaborando statisticamente le caratteristiche delle agitazioni ondose che si sono verificate nel paraggio.

Per quanto riguarda la previsione degli eventi estremi, invece, si possono considerare solo le mareggiate di maggiore intensità, giacché quelle di altezza più bassa non influenzano le previsioni effettuate.

Lo studio meteomarinico segue generalmente 6/7 step fondamentali che sono i seguenti:

- **Premessa** (scopo del lavoro);
- Analisi dei **dati** disponibili;
- Analisi del **clima meteomarinico** (inquadramento del paraggio su carta nautica, Unità fisiografica, settore di traversia, diagramma del fetch geografico ed efficace, rosa delle onde e dei venti, statistica degli eventi estremi etc.);
- Livelli del mare (marea astronomica, marea meteorologica, vento, set-up da onda);

- Evoluzione della linea di riva (caratteristiche sedimentologiche della spiaggia, profili di spiaggia, profondità di chiusura, commenti sui rilievi della linea di riva esistenti-elaborazioni e previsioni);
- Ulteriori approfondimenti in funzione dello scopo dello studio (Modelli numerici di propagazione, stima della fascia di rischio, stima del trasporto solido litoraneo valutazione sull'effetto di opere);

a seguire si elabora poi il progetto o la verifica delle opere marittime

In questa sede verranno sviluppati solo alcuni aspetti dello studio meteo marino.

3.1 Premessa- inquadramento del luogo

Come già anticipato la presente relazione di inquadramento meteo-marino ha lo scopo di definire le condizioni di progetto per l'opera di ripascimento presso la spiaggia del Pozzale in località Palmaria, comune di Portovenere.

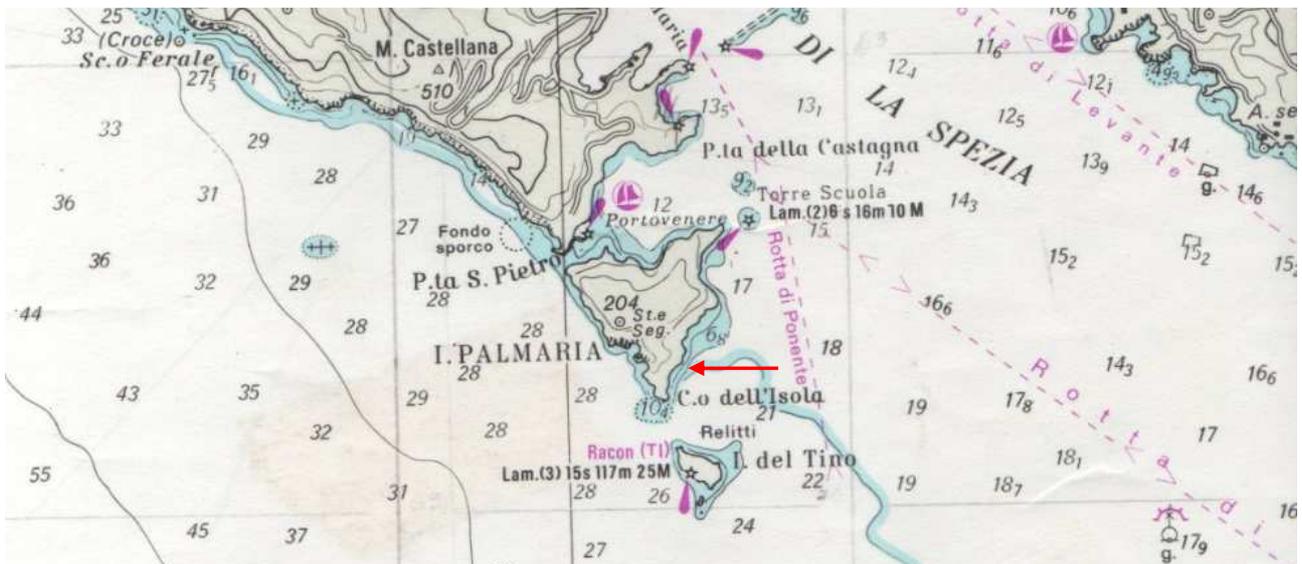


Figura 8. Inquadramento del sito su carta nautica.

3.2 Dati disponibili

Dal 1989, sui litorali italiani è attiva una rete ondometrica gestita dall'ISPRA (già APAT). La Rete Ondometrica Nazionale, attualmente configurata su 15 stazioni di misura, pur non essendo in grado di caratterizzare l'intero litorale italiano (a causa della limitata copertura geografica), in considerazione dell'ottimo rendimento complessivo in termini di dati archiviati, permette di avere a disposizione una gran quantità di dati validi per elaborazioni scientifiche ed ingegneristiche.

L'enorme mole di dati raccolti ha permesso all'APAT in collaborazione con l'Università di Roma Tre di redigere il quadro complessivo e dettagliato delle caratteristiche del moto ondoso nei mari italiani.

Il monitoraggio del livello marino e dei venti è svolto dalla Rete Mareografica Nazionale composta di 26 stazioni di misura uniformemente distribuite sul territorio nazionale ed ubicate prevalentemente all'interno delle strutture portuali.

Tutti i dati acquisiti dalla RON e dalla RMN sono a disposizione degli utenti sui portali www.idromare.it e www.mareografico.it, unitamente ad informazioni relative a serie storiche, osservazioni in tempo reale, previsione e analisi dei dati ai fini progettuali e scientifici.

Allo scopo sono stati analizzati i seguenti dati di base:

- dati disponibili dell'ondametro di La Spezia della Rete Ondamentrica Nazionale (1989-2005)
- Tabelle riassuntive delle distribuzioni direzionali delle altezze d'onda ricostruite pubblicate dal CNR
- Carte nautiche scala 1:100 000
- Serie storica dati trionari dell'ondametro di La Spezia

3.3 Analisi del clima meteo marino

3.3.1 Settore di traversia, fetch geografici ed efficaci.

Alla base dello studio meteo marino vi è la definizione del settore di traversia per il paraggio da analizzare.

Si definisce settore di traversia di un paraggio A, il settore angolare di centro A comprendente tutte le direzioni da cui possono provenire le agitazioni ondose determinate dai venti foranei.

Tali venti provenienti dal largo, detti foranei, si possono suddividere in:

- venti regnanti se presentano un'alta frequenza di apparizione (oltre il 50%);
- venti dominanti se sono caratterizzati da alte velocità (>20 m/s);
- venti prevalenti se eventualmente presentassero contemporaneamente le due caratteristiche di alta frequenza e velocità.

Il settore di traversia si usa dividere in settore di traversia principale, in cui spirano i venti dominanti, e di traversia secondaria, in cui spirano i venti regnanti. I due settori vengono ovviamente a sovrapporsi nella zona dei venti prevalenti.

Le agitazioni ondose su cui si vuole focalizzare l'attenzione, sono quelle generate dai venti.

Tuttavia non esiste sempre coincidenza tra le direzioni delle onde e dei venti, poiché un moto ondoso proveniente dal largo può mutare la propria direzione di propagazione, per esempio, a causa della configurazione batimetrica dei fondali del paraggio su cui giunge come già detto nel paragrafo sulla generazione del moto ondoso.

Il settore di traversia viene tracciato sulla carta a disposizione, evidenziando le due tangenti alla costa, che formeranno un angolo che è quello compreso fra le due semirette con origine nel punto medio della spiaggia e tangenti alle due punte maggiormente protese verso il mare, le quali costituiscono un ostacolo alla libera propagazione del moto ondoso, determinando una protezione più o meno accentuata della spiaggia.

Nel caso in esame, il settore di traversia è quello che va dai 30°N ai 160°N con centro proprio nel paraggio Pozzale in cui verrà fatto il ripascimento.

Per le analisi meteo marine di un paraggio e la definizione dell'esposizione geografica di un sito costiero, occorre poi la determinazione dei fetch geografici ed efficaci.

Per fetch si intende la lunghezza della porzione di mare sulla quale può avvenire la generazione del moto ondoso ad opera dell'azione esercitata dal vento.

In bacini chiusi come il Mediterraneo, l'individuazione dei fetch 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.

Ai fini della determinazione delle grandezze del moto ondoso a partire dai dati di vento e per poter determinare le grandezze del moto ondoso da un paraggio ad un altro, è necessario determinare i valori dei fetch efficaci sulla base dei valori dei fetch geografici individuati.

Il fetch efficace viene introdotto per considerare l'effetto della lunghezza del fetch e della dispersione direzionale dell'energia dell'onda sullo sviluppo e propagazione dell'onda.

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 tener 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 $\pm 90^\circ$ rispetto alla direzione media di azione del vento.

Nella figura seguente è evidenziato il settore di traversia con i relativi fetch interspaziati di 5° : dal Golfo di Lerici all'Isola d'Elba.

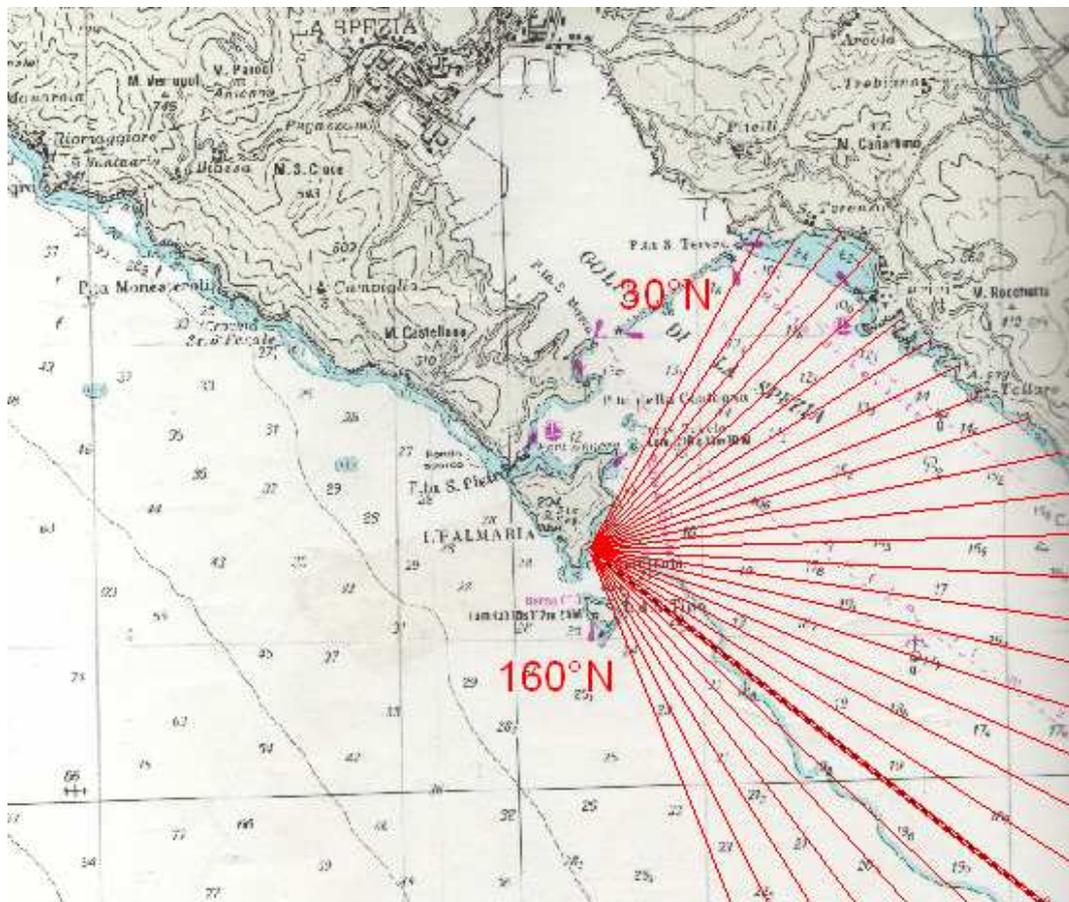


Figura 9. Tracciamento dei fetch geografici per il paraggio di interesse su carta nautica (zoom del settore con centro nel paraggio del Pozzale).



Figura 10. Tracciamento dei fetch su carta nautica per individuare l'area di generazione che interessa il paraggio

La formula per il calcolo dei fetch efficaci è la seguente (Saville):

$$F_j = \frac{\sum_i F_i \cdot \cos^n \vartheta_i}{\sum_i \cos^n \vartheta_i}$$

in cui:

- F_j indica il generico fetch efficace con direzione j ;
- ϑ_i è l'ampiezza del settore angolare formato dalle direzioni j ed i ; esso varia da -45 a $+45$ (ad intervalli di 5°);
- F_i è il fetch geografico lungo la direzione i ;
- n è un coefficiente proporzionale al peso attribuito al fetch F_i (nel caso in esame $n=2$)

Nella tabella seguente si riportano i valori dei fetch geografici ed efficaci calcolati:

Tabella 1 Fetch geografici ed efficaci

Dir [°N]	Fetch geografico [km]	fetch efficace [km]
30	5,8	3,41
35	6,25	3,88
40	6,55	4,37
45	6,6	5,13
50	6,05	6,04
55	6,25	7,05
60	6,4	8,26
65	6,65	9,62
70	6,8	11,16
75	7,35	12,96
80	7,7	14,82
85	8,25	16,92
90	17	19,27
95	20	21,91
100	22	25,00
105	26	29,84
110	29	35,58
115	32,5	42,22
120	38	44,54
125	42	46,38
130	46	47,69
135	50	48,42
140	55	48,32
145	65	47,58
150	114	46,24
155	130	44,29
160	145	41,81

Si riporta di seguito la rappresentazione su grafico a "radar" dei fetch geografici e un confronto tra fetch geografici ed efficaci.

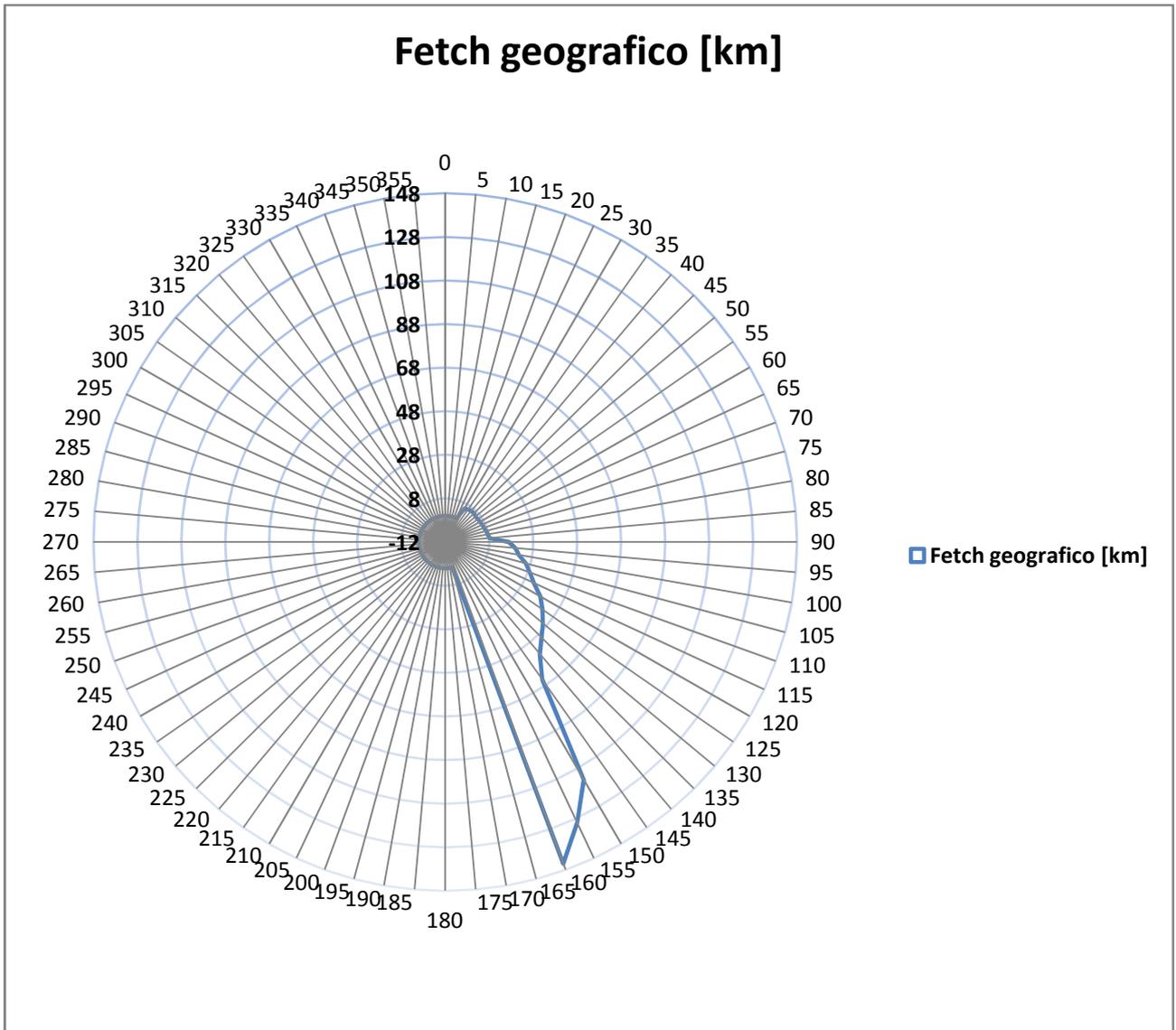


Figura 11. Distribuzione dei Fetch geografici

$$F_i = \frac{\sum F_{\Theta} \cdot \cos^n \Theta}{\sum \cos^n \Theta}$$

Fetch geografici ed efficaci

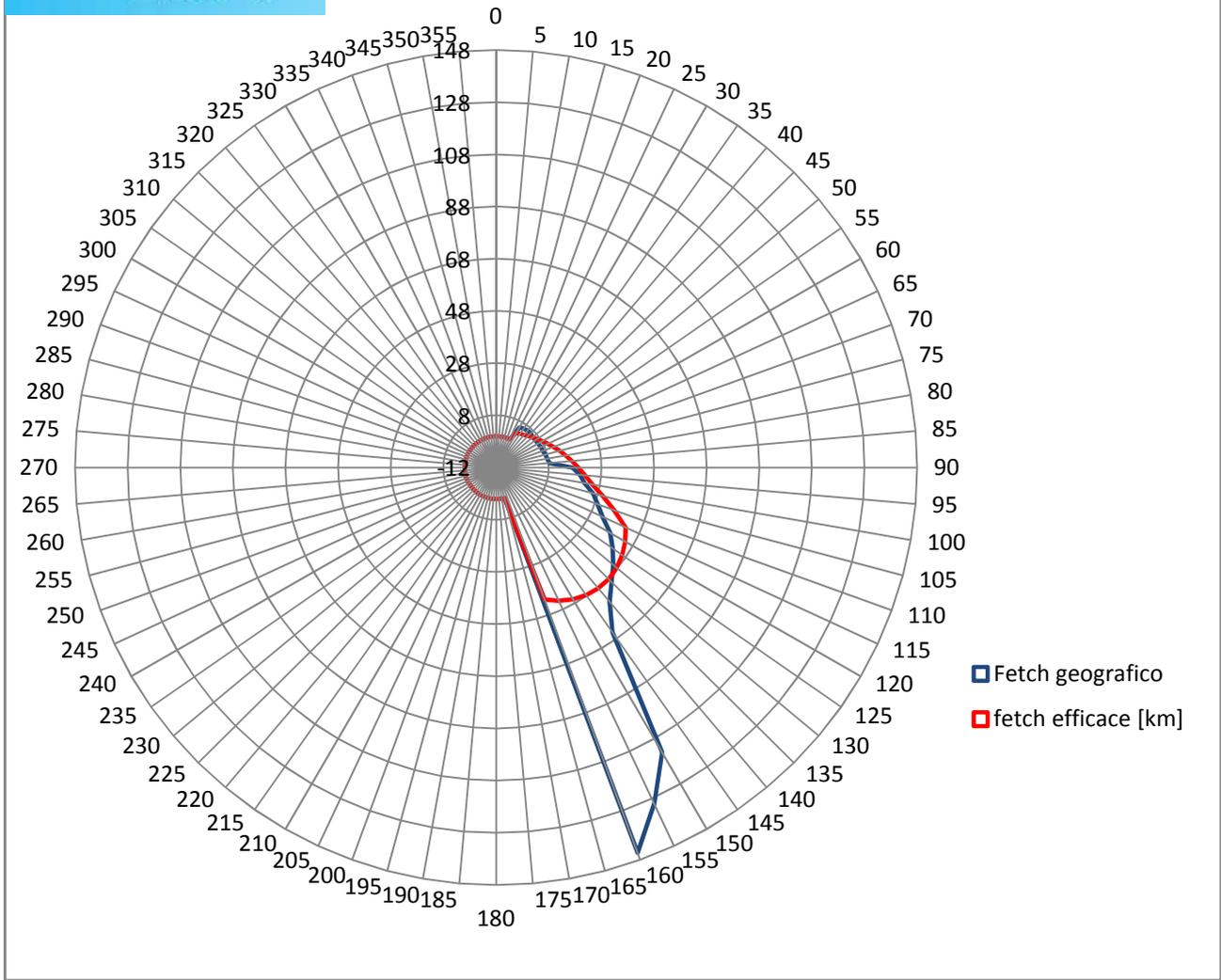


Figura 12. Confronto fetch geografici ed efficaci

3.3.2 Dati di moto ondoso

Nell'analisi del moto ondoso, sono stati utilizzati i dati di altezza d'onda significativa forniti dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale, relativi alle registrazioni dell'ondametro direzionale di La Spezia. L'ondametro, costituito da una boa accelerometrica tipo WAVEC, è ancorato ad una profondità di circa 70 m al largo di Marina di Massa a sud dell'isola di Palmaria in posizione geografica di coordinate 43° 55.7' N e 9° 49.6' E, molto prossima e certamente ben rappresentativa per il paraggio in esame.



Figura 13. Posizione degli ondometri di La Spezia e WWA (43° 30'N, 9° 30'E)

Lo strumento, acquisisce gli spostamenti verticali e le pendenze della superficie libera ad una frequenza di 1.28 Hz, ad intervalli di 3 ore e per durate di 30 minuti; in caso venga superata la soglia d'altezza d'onda di 2.5 m, l'acquisizione avviene in modo continuo.

Le registrazioni considerate sono relative al periodo compreso fra il 1 Luglio 1989 ed il 2005, successivamente i dati raccolti non hanno la continuità delle serie precedenti.

I dati acquisiti forniscono attraverso spettri direzionali informazioni sulle caratteristiche d'onda e le direzioni di provenienza del moto ondoso.

Nell'intervallo temporale considerato il campione esaminato è costituito da oltre 40000 valori di altezza d'onda significativa, con limitati periodi in cui l'Ondametro non ha funzionato correttamente.

I dati di partenza sono raccolti nella tabella sottostante indicante il numero di osservazioni per ciascuna classe direzionale (di 15°) e per classe di altezza.

[N] [m]	<=0.5	<=1	<=1.5	<=2	<=2.5	<=3	<=3.5	<=4	<=4.5	<=5	<=5.5	<=6	<=6.5	<=7	<=7.5	<=8	<=8.5	TOT	freq %per direz
<=15	764	734	181	24	5	9	4	8	2									1731	2,54645
<=30	836	630	157	29	9	8	5	2	3									1679	2,46995
<=45	545	374	97	19	8	6	5	5	1									1060	1,55935
<=60	395	340	97	30	10	7	5	2	1									887	1,30485
<=75	422	308	82	19	7	8	4	4	3									857	1,26072
<=90	383	300	86	25	9	5	5	3	1	2		1						820	1,20629
<=105	399	312	88	33	19	7	5	4	1		1		1					870	1,27984
<=120	398	364	139	42	20	15	6	6	5	1	1							997	1,46667
<=135	491	574	170	48	24	18	15	10	8				1					1359	1,99921
<=150	713	851	235	62	30	37	19	9	5	1	1							1963	2,88774
<=165	945	1036	439	130	43	24	27	28	5	2	1		1					2681	3,94398
<=180	1386	1573	593	210	55	22	19	12	7	3	3							3883	5,71223
<=195	1701	1461	361	130	59	34	24	12	7	4	2	1						3796	5,58424
<=210	1749	1180	446	122	105	42	33	18	8	7	4	1						3715	5,46508
<=225	2037	1915	1142	667	302	121	71	47	16	15	6	3		1				6343	9,33110
<=240	3567	4071	2173	1479	846	555	288	184	72	95	56	20	3	2	1			13412	19,73020
<=255	3400	2788	803	386	179	89	74	45	32	56	14	16	5	1				7888	11,60392
<=270	2161	1043	279	80	64	26	30	16	8	8	7	2	1					3725	5,47979
<=285	1492	758	186	65	41	14	13	13	6	2	1							2591	3,81158
<=300	1014	546	157	48	29	16	11	12	1	1	2	2						1839	2,70533
<=315	820	514	154	36	32	18	15	12		1	1	1						1604	2,35962
<=330	655	497	139	42	33	26	11	17	8	1	2	1						1432	2,10659
<=345	595	495	145	33	25	14	21	7	6	1	1	1	1					1345	1,97861
<=360	670	626	139	28	9	9	11	3	3	1		1						1500	2,20663
TOT	27538	23290	8488	3787	1963	1130	721	479	209	201	103	50	13	4	1	0	0	67977	

Tabella 2. Dati di moto ondoso a disposizione.

La prima elaborazione è stata quella volta ad evidenziare la distribuzione direzionale delle mareggiate ossia un istogramma in cui per ciascuna direzione è stata indicata la frequenza in percentuale delle osservazioni ad essa relative.

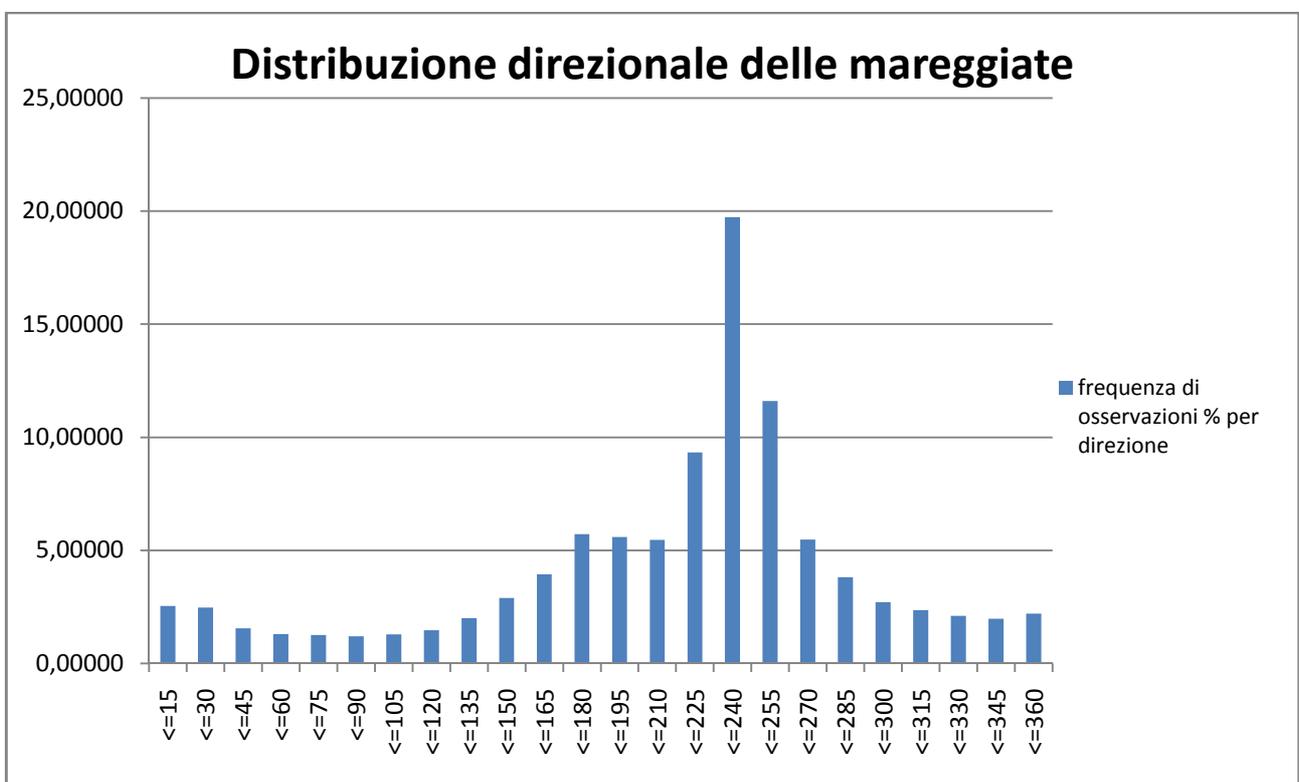


Figura 14. Distribuzione direzionale delle mareggiate.

Si evince che il settore più colpito è quello compreso tra i 220°N e i 240° per l'ondametro di La Spezia.

Quindi sono stati elaborati i dati in frequenze, dividendo il numero delle osservazioni per il numero totale di osservazioni (67977), da qui si è proceduto suddividendo le classi di altezze in 4 gruppi rispettivamente, ritenendo fosse più idoneo lavorare con macroclassi di altezze per avere una più chiara visione dei risultati:

- $H \leq 1m$
- $1m < H \leq 2m$
- $2m < H \leq 3m$
- $3m < H \leq 4m$
- $H > 4m$.

Per ciascuna classe direzionale e di altezza(secondo le classi sopra elencate) è stata calcolata la frequenza cumulativa, ed elaborata la rosa del mare:

Tabella 3. Elaborazione dei dati di frequenza di moto ondoso in macroclassi di altezze.

DIREZIONE	FREQUENZE (CUMULATIVA) ALTEZZE IN CLASSI				
	H<1	1<H2	2<H<3	3<H<4	H>4
0					
<=15	2,20E-02	2,51E-02	2,53E-02	2,54E-02	2,55E-02
<=30	2,16E-02	2,43E-02	2,46E-02	2,47E-02	2,47E-02
<=45	1,35E-02	1,52E-02	1,54E-02	1,56E-02	1,56E-02
<=60	1,08E-02	1,27E-02	1,29E-02	1,30E-02	1,30E-02
<=75	1,07E-02	1,22E-02	1,24E-02	1,26E-02	1,26E-02
<=90	1,00E-02	1,17E-02	1,19E-02	1,20E-02	1,21E-02
<=105	1,05E-02	1,22E-02	1,26E-02	1,28E-02	1,28E-02
<=120	1,12E-02	1,39E-02	1,44E-02	1,46E-02	1,47E-02
<=135	1,57E-02	1,89E-02	1,95E-02	1,99E-02	2,00E-02
<=150	2,30E-02	2,74E-02	2,84E-02	2,88E-02	2,89E-02
<=165	2,91E-02	3,75E-02	3,85E-02	3,93E-02	3,94E-02
<=180	4,35E-02	5,53E-02	5,65E-02	5,69E-02	5,71E-02
<=195	4,65E-02	5,37E-02	5,51E-02	5,56E-02	5,58E-02
<=210	4,31E-02	5,14E-02	5,36E-02	5,44E-02	5,47E-02
<=225	5,81E-02	8,47E-02	9,10E-02	9,27E-02	9,33E-02
<=240	1,12E-01	1,66E-01	1,87E-01	1,94E-01	1,97E-01
<=255	9,10E-02	1,09E-01	1,12E-01	1,14E-01	1,16E-01
<=270	4,71E-02	5,24E-02	5,37E-02	5,44E-02	5,48E-02
<=285	3,31E-02	3,68E-02	3,76E-02	3,80E-02	3,81E-02
<=300	2,29E-02	2,60E-02	2,66E-02	2,70E-02	2,71E-02
<=315	1,96E-02	2,24E-02	2,32E-02	2,36E-02	2,36E-02
<=330	1,69E-02	1,96E-02	2,05E-02	2,09E-02	2,11E-02
<=345	1,60E-02	1,87E-02	1,92E-02	1,96E-02	1,98E-02
<=360	1,91E-02	2,15E-02	2,18E-02	2,20E-02	2,21E-02

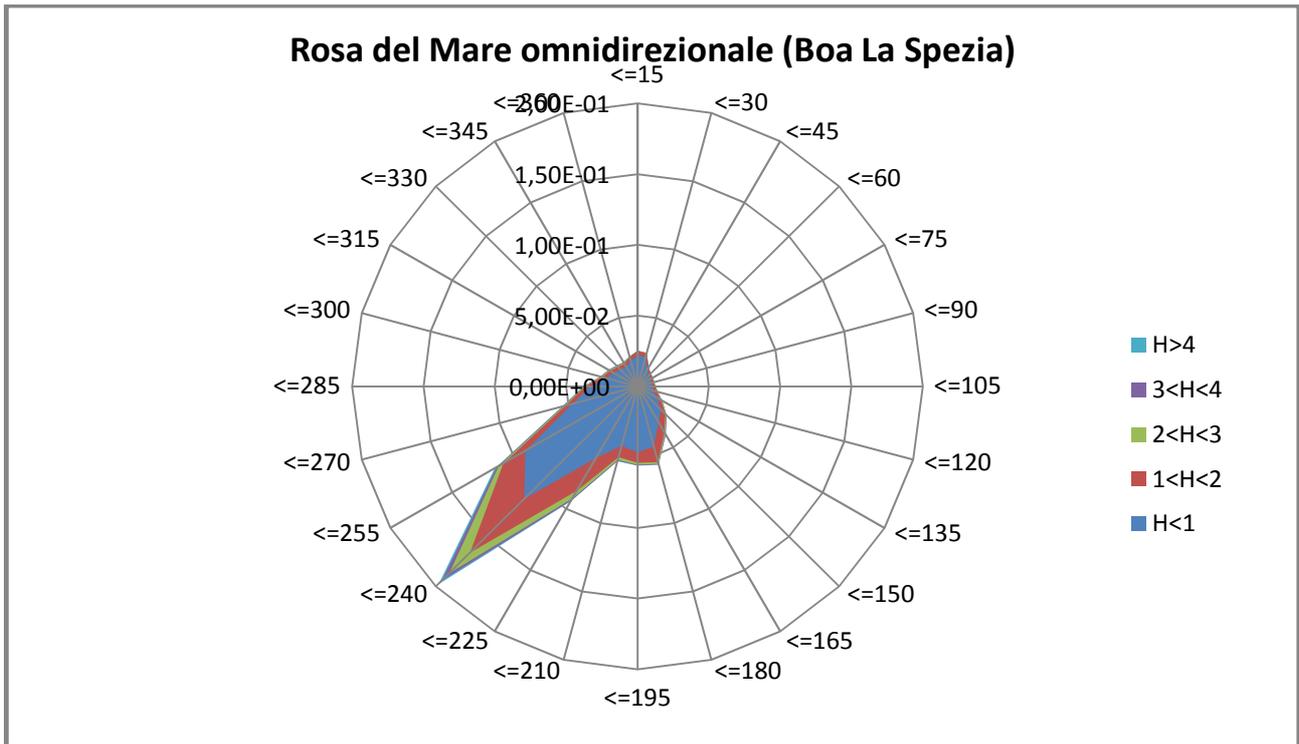
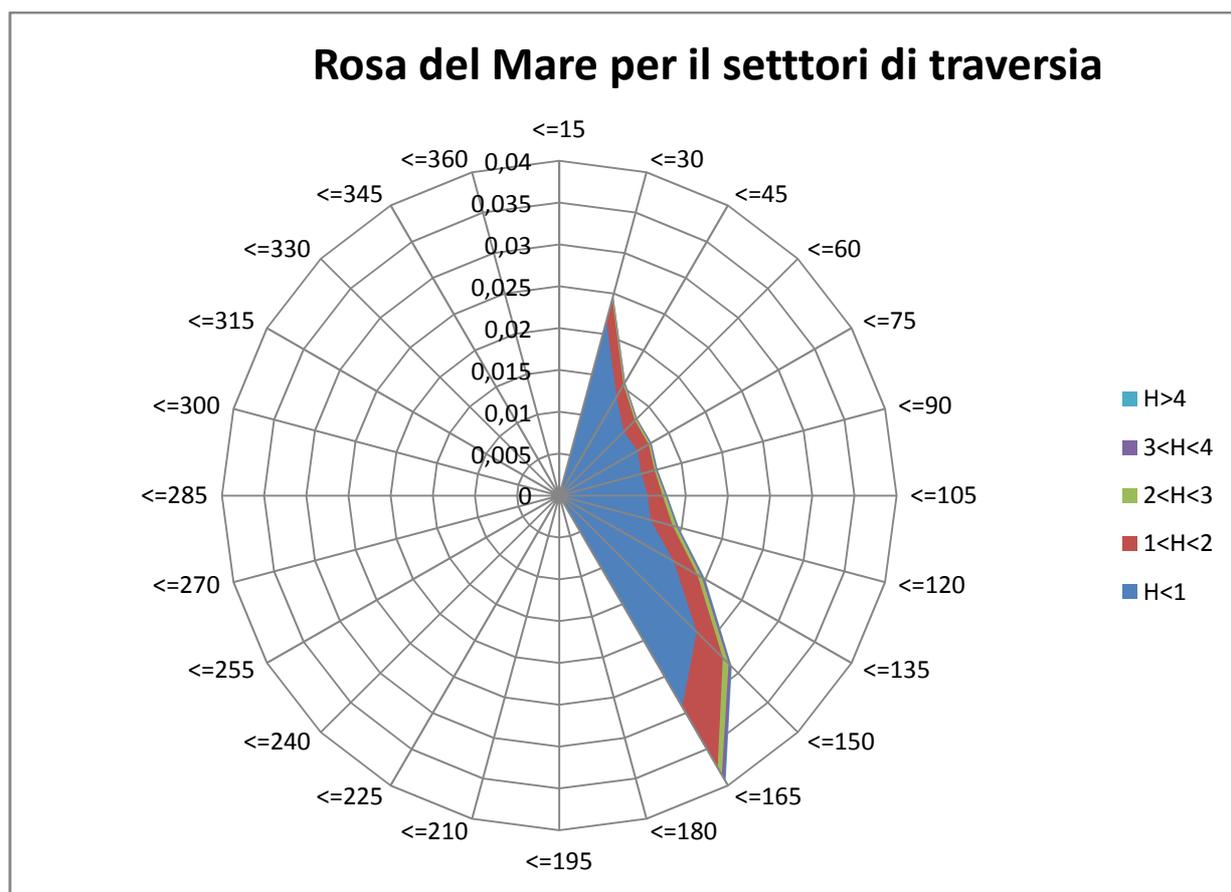


Figura 15. Rosa del Mare omnidirezionale

A questo punto è risultato interessante effettuare un'analisi direzionale per il settore di traversia considerato (30°N-160°N)

Tabella 4 Elaborazione delle frequenze di moto ondoso in macroclassi di altezza per il settore di traversia.

DIREZIONE	FREQUENZA (CUMULATIVA) ALTEZZE IN CLASSI PER IL SETTORE DI TRAVRSIA				
	H<1	1<H2	2<H<3	3<H<4	H>4
<=15					
<=30	0,02157	0,02430	0,02455	0,02466	0,02470
<=45	0,01352	0,01523	0,01543	0,01558	0,01559
<=60	0,01081	0,01268	0,01293	0,01303	0,01305
<=75	0,01074	0,01222	0,01245	0,01256	0,01261
<=90	0,01005	0,01168	0,01189	0,01200	0,01206
<=105	0,01046	0,01224	0,01262	0,01275	0,01280
<=120	0,01121	0,01387	0,01439	0,01456	0,01467
<=135	0,01567	0,01887	0,01949	0,01986	0,01999
<=150	0,02301	0,02738	0,02836	0,02877	0,02888
<=165	0,02914	0,03751	0,03850	0,03931	0,03944
<=180					
<=195					
<=210					
<=225					
<=240					
<=255					
<=270					
<=285					
<=300					
<=315					
<=330					
<=345					
<=360					



E' immediato notare come il settore di traversia considerato sia interessato da frequenze non particolarmente elevate rispetto alla direzione 220-240°N, tanto più se si osserva come le due scale indicanti la frequenza nella rosa del mare omnidirezionale e in quella relativa al settore di traversia non siano le stesse (la prima ha come massimo 0,1 e la seconda 0,04), per chiarezza grafica, infatti, la scala relativa al settore di traversia è stata maggiorata per poter essere meglio letto il grafico.

3.3.3 Dati di vento.

Analogamente a quanto fatto per i dati di moto ondoso, anche quelli relativi ai venti vengono elaborati per evidenziare le direzioni di maggiore incidenza del vento e la distribuzione percentuale degli eventi di vento.

I dati a disposizione sono riassunti nella seguente tabella che riassume per classe direzionale e di velocità il numero di osservazioni:

Tabella 5. Dati di osservazioni di vento

Dir [°N]	Velocità Vento [m/s] Location 44°N. 9°E																TOT	freq % direzionale
	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	12,00	14,00	16,00	18,00	> 18,00		
0	1	2	4	4	6	5	5	4	3	3	3	2	1	0	0	0	43	4,356636272
15	2	7	7	9	12	10	10	7	5	3	5	2	0	0	0	0	79	8,004052685
30	2	3	7	8	11	9	8	7	6	4	5	2	1	1	0	0	74	7,497467072
45	2	5	5	7	8	6	6	5	4	4	5	3	1	0	0	0	61	6,180344478
60	2	4	6	5	4	3	4	4	3	2	3	1	0	0	0	0	41	4,154002026
75	1	4	5	4	3	4	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	28	2,836879433
90	2	3	4	4	4	3	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	25	2,532928065
105	1	4	4	4	4	3	3	1	1	1	1	0	0	0	0	0	27	2,73556231
120	1	4	5	5	3	4	2	2	2	1	1	1	0	0	0	0	31	3,1408308
135	1	4	5	5	4	3	4	2	2	1	1	1	0	0	0	0	32	3,242147923
150	2	4	6	6	6	5	4	3	1	1	1	0	0	0	0	0	39	3,951367781
165	1	4	6	9	8	5	4	3	2	2	2	1	0	0	0	0	47	4,761904762
180	2	5	9	10	10	8	7	4	4	2	3	1	0	0	0	0	65	6,585612969
195	2	5	9	15	13	9	8	6	4	4	4	2	1	0	0	0	82	8,308004053
210	2	4	9	10	9	9	8	5	4	4	6	4	2	1	0	0	77	7,80141844
225	2	3	7	9	7	5	4	3	2	2	3	2	2	1	0	0	52	5,268490375
240	1	5	6	6	5	3	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	33	3,343465046
255	1	3	5	5	2	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	22	2,228976697
270	1	4	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	1,519756839
285	1	3	3	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	1,317122594
300	1	4	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	1,519756839
315	1	3	4	3	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	16	1,621073961
330	2	4	5	4	3	3	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	27	2,73556231
345	1	5	6	5	6	4	5	3	2	1	3	1	1	0	0	0	43	4,356636272
TOT	35	96	135	145	136	107	92	66	50	39	49	24	10	3	0	0	987	100

da questa tabella è immediato ricavare la distribuzione percentuale dei venti a seconda delle direzioni, si evince che le più incidenti sono quelle attorno ai 20-40 °N e quelle tra i 180-220°N.

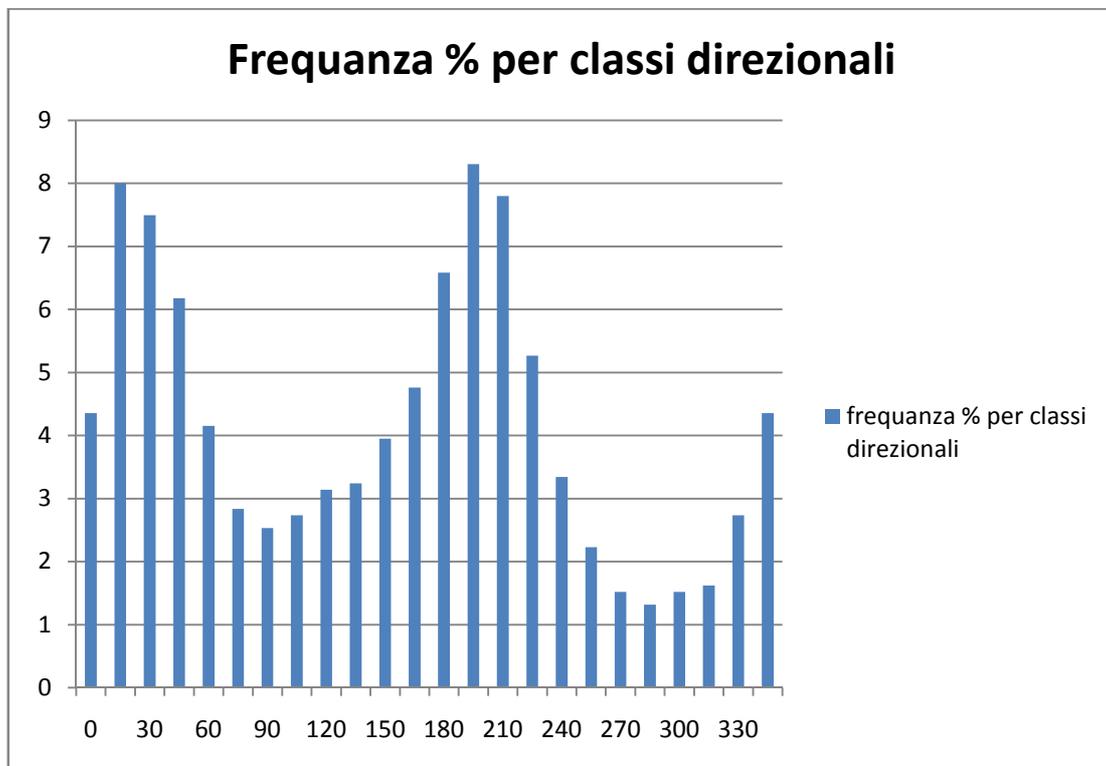


Figura 17. Distribuzione direzionale dei venti.

Le successive fasi di lavoro hanno consistito nella elaborazione delle osservazioni in dati di frequenza (cumulativa) raggruppati secondo quattro macroclassi di velocità del vento, anche in

questo caso la suddivisione in macroclassi è finalizzata ad avere una migliore chiarezza dei dati elaborati:

- $V > 10 \text{ m/s}$
- $6 \text{ m/s} < V < 10 \text{ m/s}$
- $3 \text{ m/s} < V < 6 \text{ m/s}$
- $V < 3 \text{ m/s}$

da cui si è ricavata la rosa dei venti omnidirezionale:

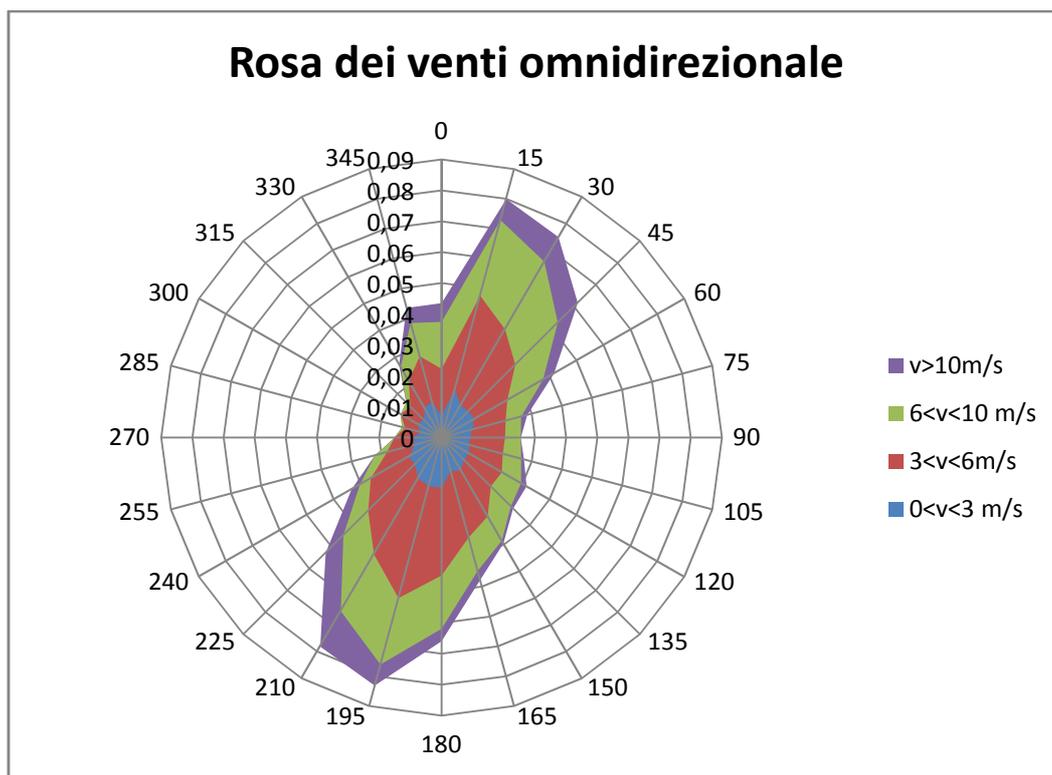


Figura 18. Rosa dei venti omnidirezionale.

e quella relativa al settore di traversia del paraggio Pozzale:

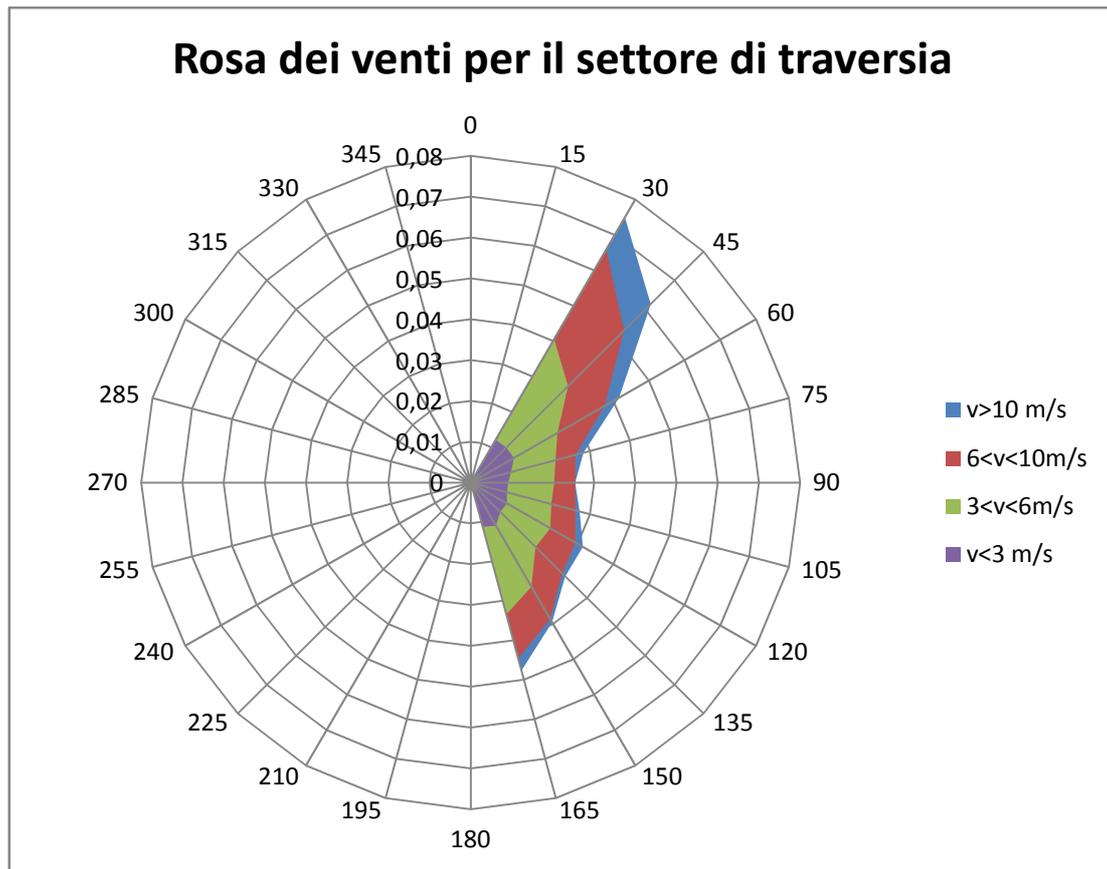


Figura 19. Rosa dei venti per il settore di traversia.

E' immediato vedere come anche venti caratterizzati da grande velocità interessino il settore frequentemente soprattutto tra i 30 e i 45°N del settore di traversia del paraggio in esame per cui possono essere causa di mareggiate di intensità considerevole.

3.3.4 Statistica degli eventi estremi

In questo paragrafo viene riportata la procedura standard adottata per l'analisi statistica dei valori estremi delle altezze d'onda significative, che viene applicata alla serie di dati ondosi a disposizione, cioè quelli rilevati dalla boa onda metrica R.O.N. situata al largo di La Spezia come indicato in fig.7, per un periodo di oltre 15 anni, dal 31 Luglio 1989 al 29 Luglio 2003.

Non esistono giustificazioni teoriche per scegliere una legge di distribuzione di probabilità rispetto ad un'altra, di solito si utilizzano quelle che meglio interpretano i dati sperimentali, tra le più utilizzate sicuramente vi sono la Gumbell e quella di Weibull (a 2 o 3 parametri).

Queste hanno il notevole vantaggio di poter essere rappresentate da rette, in scala logaritmica.

Legge di distribuzione probabilistica di Gumbel

Tale legge ha come espressione fondamentale, è una funzione analitica monodimensionali a due parametri di distribuzione a lungo termine.

$$P(H_s \leq \widehat{H}_s) = e^{-e^{-\frac{\widehat{H}_s - \beta}{\alpha}}}$$

Dove con P si intende la probabilità di non superamento di un certo valore in esame \widehat{H}_s , mentre α e β sono due parametri caratteristici della distribuzione che si possono calcolare secondo due espressioni derivanti dal metodo dei momenti come:

$$\beta = \overline{H_{sm}} - 0,5772 \alpha$$
$$\alpha = \frac{\sqrt{6}\sigma}{\pi}$$

Indicando con H_{sm} la media dei valori delle altezze del campione e con σ la deviazione standard dello stesso. Pertanto, i dati della serie storica sono stati filtrati in funzione del settore di traversia e depurati da valori minori di 1,5 m e sono risultati i seguenti parametri:

σ	0,822565	α	0,641351
H_{sm}	2,341575	β	1,971387

Per ogni valore di altezza significativa del settore (maggiore di 1,5) è stata calcolata la probabilità di non superamento e poi, fissati 5 tempi di ritorno (tempo intercorrente tra due eventi di una data entità) sono state calcolate le corrispondenti altezze H_{tr} con la formula:

$$H_{tr} = \beta - \alpha \ln(-\ln(P))$$

T(anni)	P	H(m)
2	0,98482	4,652312
5	0,993928	5,242922
10	0,996964	5,68845
20	0,998482	6,133489
50	0,999393	6,721445
100	0,999696	7,166093

Si ricorda che T e P sono legati dalla relazione:

$$P = \frac{\lambda T_r - 1}{\lambda T_r}$$

con

$$\lambda = \frac{\text{Numerosità campione}}{\text{anni di osservazione}}$$

λ è, in pratica, il numero medio di eventi estremi in un anno.

La rappresentazione nel piano bi logaritmico mostra come i dati ricavati si allineino perfettamente secondo una retta con un buon livello di confidenza ($R^2=0,996$).

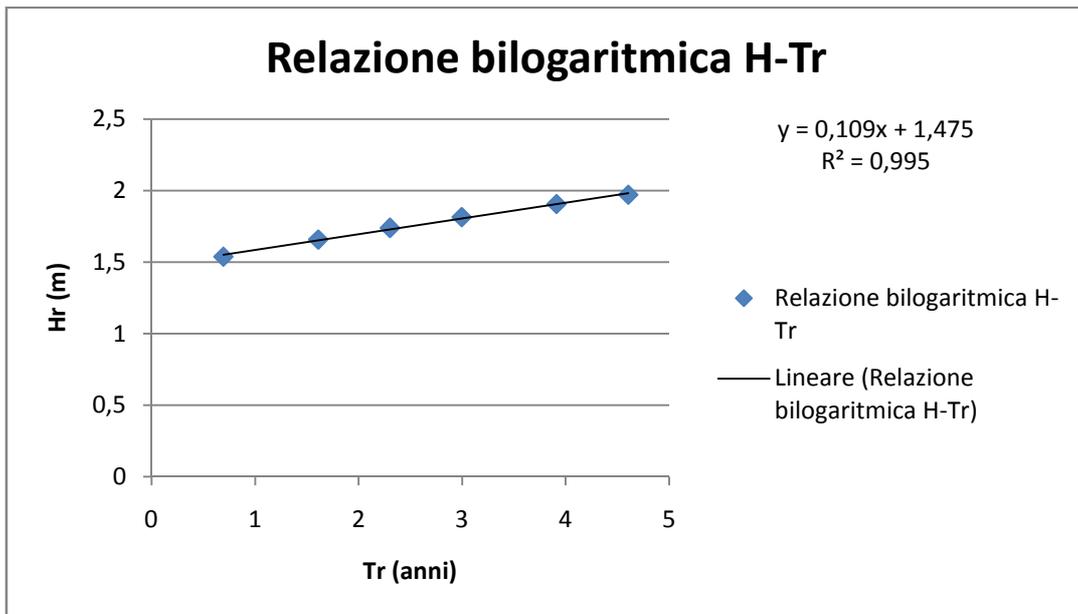


Figura 20. Relazione altezza significativa- tempo di ritorno con Gumbell.

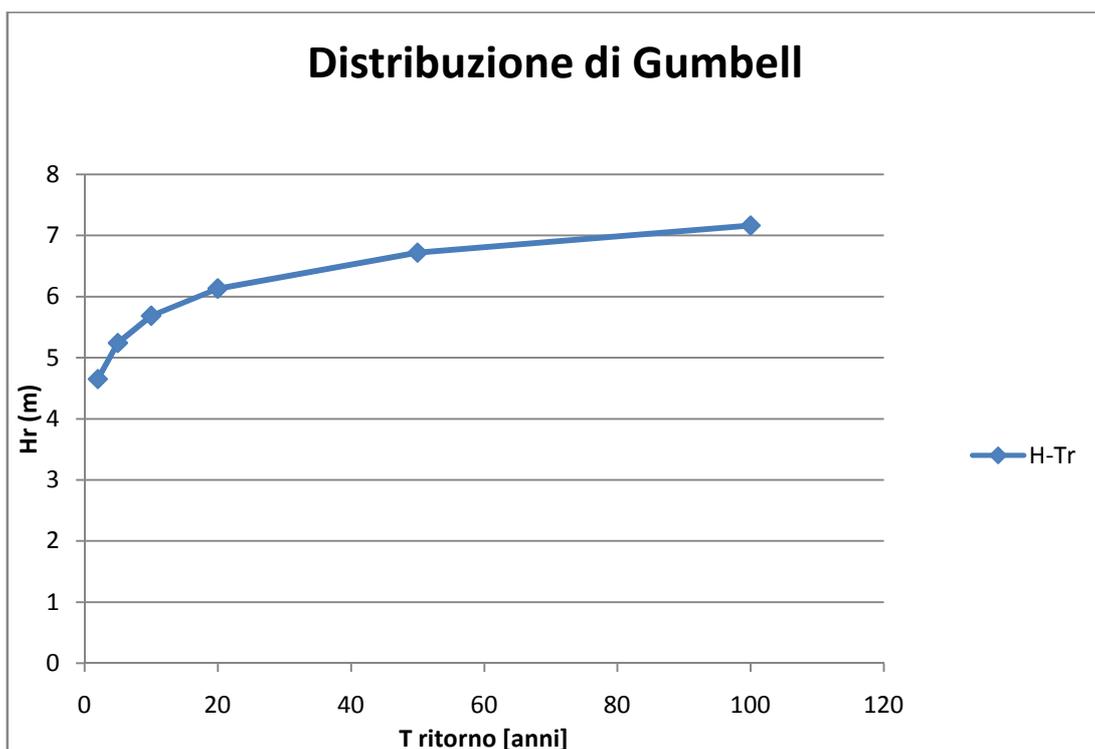


Figura 21. Relazione probabilistica di Gumbel

Distribuzione di Weibull

Tale legge ha come espressione fondamentale:

$$P(H_s \leq \widehat{H}_s) = 1 - e^{-\left(\frac{\widehat{H}_s - B}{A}\right)^K}$$

per il caso a 3 parametri (A, B, K), mentre per il caso a due parametri (A, k) ha espressione :

$$P(H_s \leq \widehat{H}_s) = 1 - e^{-\left(\frac{\widehat{H}_{0s}}{A}\right)^K}$$

con A parametro di scala, B parametro di posizione, e K parametro di forma.

I parametri A e B della distribuzione di Weibull non sono noti a priori e si ricavano con il metodo dei minimi quadrati.

I calcoli sono basati sull'analisi di regressione lineare della seguente relazione:

$$H_{sm} = Ay_m + B$$

I valori di A e B variano a seconda che si usi la distribuzione di Weibull a due parametri o la distribuzione di Weibull a tre parametri con il parametro di forma fissato.

E' stato analizzato entrambe il caso di distribuzione a 2 e a 3 parametri.

Per quanto riguarda la Weibull a 2 parametri, una volta selezionati i dati riferiti ad altezze maggiori di 1,5 m e inerenti il settore di traversia 30-160°N, sono stati calcolati i parametri A e B utilizzando i valori di a e b ottenuti dal seguente grafico di regressione lineare:

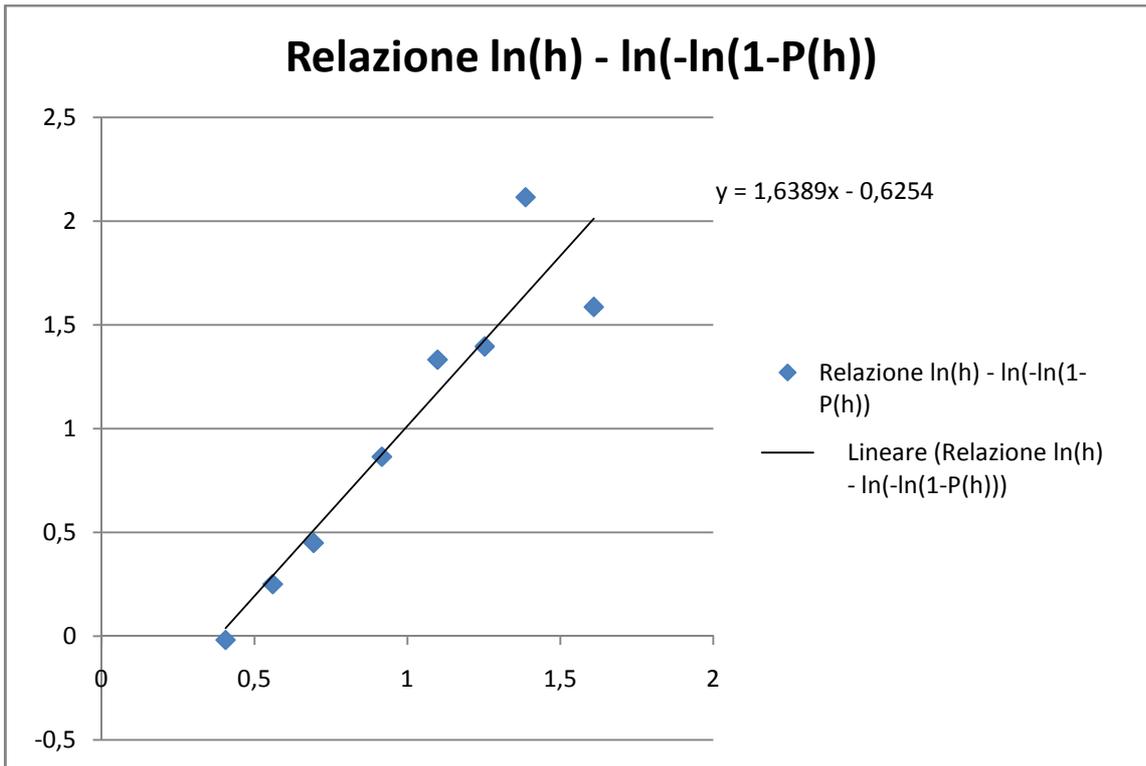


Figura 22. Regressione lineare per la determinazione dei parametri a e b.

secondo le formule:

$$A = e^{\left(\frac{-b}{a}\right)}$$

$$B = 0$$

$$a = k \text{ (coeff angolare retta di regressione)}$$

$$b = [-K(\ln(A))] \text{ (intercetta retta di regressione)}$$

I valori ottenuti sono:

	a	b	A=exp(-b/a)	B=0
Weibull 2 parametri	1,6389	-0,6254	1,4646	0

A questo punto è stato possibile graficare la relazione tra l'altezza d'onda significativa e il tempo di ritorno secondo l'espressione:

$$H_{or} = Ay_r + B = A[\ln(T_r \lambda)]^{\frac{1}{k}}$$

λ assume il significato visto in precedenza.

Weibull 2 parametri		
k=a		
Tr (anni)	Hr=Ayr	$y_r=(\ln(\lambda T_r))^{(1/a)}$
2	3,51	2,396
5	3,96	2,704
10	4,28	2,922
20	4,59	3,131
30	4,76	3,248
50	4,97	3,393
100	5,25	3,584

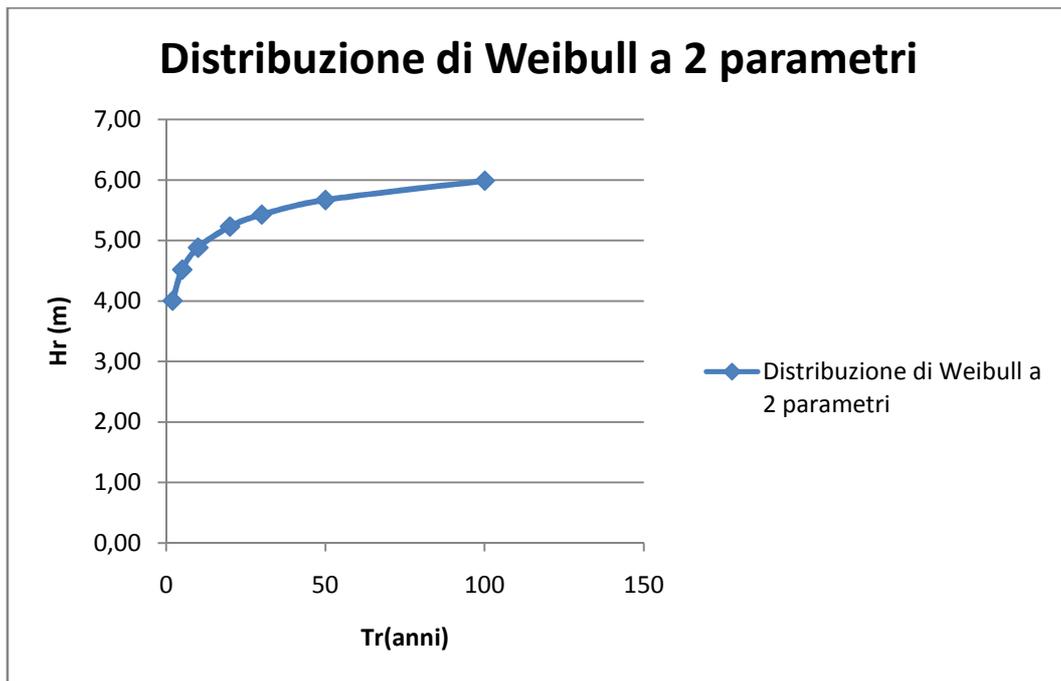


Figura 23. Relazione altezza significativa – Tempo di ritorno con Weibull 2 parametri.

3.4 Propagazione del moto dal largo a costa

L'onda utilizzata come onda di progetto è un'onda che si verifica abbastanza frequentemente 1-2 volte all'anno ossia superata 15-30 volte nel settore di traversia durante il periodo di osservazione di 15 anni (1989-2005). Il risultato ottenuto dalla tabella delle altezze significative per il settore di traversia in esame è quello relativo a classi d'onda di 4-4,5 m.

Si sceglie quindi $H_0=4,5$ m .

Tabella 6. Osservazioni in funzione di altezza a direzione per la ricerca dell'onda di progetto.

[N] [m]	<=0.5	<=1	<=1.5	<=2	<=2.5	<=3	<=3.5	<=4	<=4.5	<=5	<=5.5	<=6	<=6.5	<=7	<=7.5	<=8	<=8.	TOT
<=15																		
<=30	836	630	157	29	9	8	5	2	3									1679
<=45	545	374	97	19	8	6	5	5	1									1060
<=60	395	340	97	30	10	7	5	2	1									887
<=75	422	308	82	19	7	8	4	4	3									857
<=90	383	300	86	25	9	5	5	3	1	2		1						820
<=105	399	312	88	33	19	7	5	4	1		1		1					870
<=120	398	364	139	42	20	15	6	6	5	1	1							997
<=135	491	574	170	48	24	18	15	10	8				1					1359
<=150	713	851	235	62	30	37	19	9	5	1	1							1963
<=165	945	1036	439	130	43	24	27	28	5	2	1		1					2681
<=180																		
<=195																		
<=210																		
<=225																		
<=240																		
<=255																		
<=270																		
<=285																		
<=300																		
<=315																		
<=330																		
<=345																		
<=360																		
TOT	5527	5089	1590	437	179	135	96	73	33	6	4	1	3	0	0	0	0	13173

A questa altezza viene associato un periodo di 10,5 s.

Da qui si può calcolare la lunghezza d'onda al largo con la relazione:

$$L_0 = \frac{g}{2\pi} T_0^2 = 171,96 \text{ m.}$$

A questo punto è possibile propagare il moto a riva, calcolando l'altezza raggiunta dall'onda al frangimento e la relativa profondità con le seguenti formule:

$$\frac{H_b}{H_0} = 0,56 \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{-1/5} = 1,16 \text{ [rapporto di frangimento]}$$

da cui

$$H_b = 1,16 H_0 = 5,22 \text{ m altezza d'onda al frangimento.}$$

La **profondità** d_b a cui si verifica il frangimento è data dalla relazione:

$$d_b = \frac{H_b}{\gamma} = 7,46 \text{ m}$$

utilizzando un $\gamma=0,7$.

Può risultare interessante il calcolo di alcune grandezze caratterizzanti il moto a riva quali il set up e il run up.

Per **set - up** si intende l'innalzamento medio del livello medio mare in corrispondenza della linea di riva in occasione di una mareggiata. E' indicato in figura 24 con il simbolo η_s .

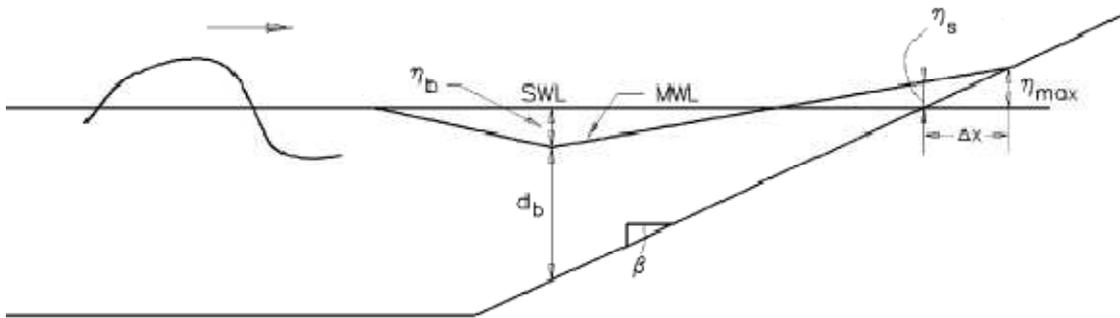


Figura 24. Schema con indicazioni delle grandezze caratteristiche della trasformazione a costa [CEM]

Si calcola con la formula:

$$n_s = n_b + \left[\frac{3\gamma^2}{3\gamma^2 + 8} \right] d_b$$

dove:

- d_b è la profondità al frangimento già calcolata e pari a 7,46 m,
- γ è pari 0,7 (rapporto altezza al frangimento e profondità relativa);
- n_b è il set - down cioè l'abbassamento in corrispondenza della profondità di frangimento che si calcola con la formula $n_b = -\frac{1}{16}\gamma^2 d_b = -0,228m$.

$\eta_s=0,92m$.

Infine si sviluppa il calcolo del **run - up**, cioè la massima quota di risalita dell'onda sul profilo della spiaggia, utile per calcolare la fascia di rischio da lasciare sgombra.

Il run - up massimo, significativo e del 2% si calcolano con la seguente formula previo il calcolo di ξ_0 :

$$R_{max} = H'_0 2,32 \varepsilon_0^{0,77}$$

$$R_{1/3} = H'_0 1,38 \varepsilon_0^{0,70}$$

$$R_{2\%} = H'_0 1,86 \varepsilon_0^{0,71}$$

con:

$$\varepsilon_0 = \frac{\tan\beta}{\sqrt{\frac{H_0}{L_0}}} = 0,158$$

$\tan\beta = 0,0256$ [dalla batimetria]

Da cui:

$R_{max} = 2,52$ m,

$R_{1/3} = 1,71$ m e

$R_{2\%} = 2,26$ m.

La fascia di spiaggia interessata dalla risalita delle onde si estende fino al limite determinato dalla quota di run up 2%.

3.5 Calcolo della profondità di chiusura.

La profondità minima in cui non si verificano cambiamenti del fondale viene definita come profondità di chiusura. Essa non è la profondità alla quale il sedimento cessa di muoversi, ma è la profondità minima in corrispondenza della quale il rilievo del profilo rimane invariabile.

Il valore della profondità è di fondamentale importanza per il calcolo del bilancio solido e per la stima dei volumi di ripascimento.

E' la profondità limite in cui si verificano i cambiamenti del profilo, dipende dall'altezza e del periodo d'onda, oltre che dalla composizione e dimensione granulometrica del sedimento.

La profondità di chiusura può essere determinata in funzione delle sole caratteristiche (altezza significativa H_0 e periodo T_0) dell'onda al largo con frequenza di superamento di 0,14% del tempo. Tale frequenza corrisponde a 12 ore all'anno ossia mezza giornata, nel caso in cui si calcoli una profondità di chiusura annuale.

Avendo osservazioni di 15 anni il valore corrispondente sarà un numero di osservazioni superato di $15 * 0,5$ cioè 7,5 volte, che corrisponde come da tabella a una classe di onde di 4-4,5 m.

La formula empirica proposta da Hallermeier per il calcolo della profondità di chiusura è:

$$D_c = 2,28H_0 - 68,5 \frac{H_0^2}{gT_0^2}$$

da cui risulta che la profondità sia 8,98 m.

4. Vincoli alle scelte progettuali derivati dal clima meteo marino , conclusioni.

La presente relazione, come suggerito nello stesso titolo, è una elaborazione dei dati raccolti e analizzati al fine di un futuro intervento di riequilibrio della spiaggia del Pozzale in località isola Palmaria.

Di fatto, sono presenti le analisi preliminari inerenti il clima meteo marino e la statistica degli eventi estremi, utile per la fase di progettazione e verifica degli interventi strutturali.

In seguito al primo sopralluogo del Gruppo di Progettazione Pozzale, avvenuto in data 22 Luglio 2011, sono state raccolte idee e informazioni relative ad un possibile intervento, nei limiti delle criticità economiche e geografiche, tali considerazioni vengono di seguito riportate e opportunamente ampliate in relazione alle analisi meteomarine svolte.

Per l'esecuzione dei lavori di riequilibrio dell'area, sono stati stanziati dalla Regione Liguria circa 300000 euro, tale cifra vincola fortemente il tipo di intervento da eseguire.

Infatti, opere di difesa come i ripascimenti, vanno stimati non solo sulla base dei costi di realizzazione e dei materiali utilizzati, ma necessitano di ulteriori spese per la gestione e il mantenimento nel tempo dell'opera stessa. Chiaramente, quanto meglio viene realizzata l'opera ex novo, tanto minori saranno i costi di gestione stagionale.

Della cifra a disposizione, si è ipotizzato che circa 200000 euro siano destinati all'acquisto dei materiali e la restante cifra vada indirizzata alla realizzazione dell'opera stessa, tali ripartizioni risultano comunque inadeguate alla risoluzione della criticità del luogo, soprattutto nell'ottica di un intervento duraturo nel tempo. Infatti, la posizione della spiaggia, ubicata su un' isola, eleva i costi di trasporto dei materiali, implica la necessità di lavorare in condizioni di mare calmo con conseguente allungamento dei tempi di lavoro e noleggio dei mezzi rispetto agli standard di realizzazione.

Alla base di qualsiasi progettazione di opere di difesa marittima c'è l'analisi meteomarina, nel caso del Pozzale, le analisi svolte hanno evidenziato come il paraggio sia interessato da un'area di generazione che va indicativamente dal Golfo di Lerici fino all'Isola d'Elba (settore di traversia 30 – 160 °N).

Relativamente a tale settore, le onde più gravose sono quelle provenienti dalla direzione tra i 150 e i 160 ° N, mentre per i venti i più frequenti sono quelli provenienti da terra in direzione 30 – 40 °N.

E' immediato notare come il settore di traversia considerato sia interessato da frequenze non particolarmente elevate rispetto alla direzione 220-240°N (omnidirezionale), tanto più se si osserva come le due scale indicanti la frequenza nella rosa del mare omnidirezionale e in quella relativa al settore di traversia non siano le stesse.

Osservando la rosa del mare e quella dei venti per il settore di traversia, e comparandole con quelle omnidirezionali è immediato notare l'effetto di riparo dell'isola del Tino, che protegge la spiaggia dai forti venti che spirano da mare in direzione 195 – 210 °N, mitigando così l'area del Pozzale che risulterebbe completamente in mare aperto.

Una rapida considerazione sulla tipologia di intervento può essere fatta osservando che i mari più forti sono quelli provenienti dalla parte più a Sud del settore di traversia per cui se la scelta della tipologia di opera di difesa ricadesse sull'ampliamento e il rinforzo dei pontili con creazione di pennelli, si potrebbe suggerire che quello più a Sud venga realizzato con una incurvatura che lo renda trasversale alla direzione di provenienza dei mari e quindi limiti la loro energia di ingresso nella spiaggia.

L'onda di progetto scelta è di 4,5 m, che al frangimento raggiunge valori di 5,22 m in corrispondenza della profondità di 7,46m.

Dalla statistica degli eventi estremi si vede come per le verifiche a 20-30 anni si debbano utilizzare onde di 6 – 6,5 m. Infine è stata calcolata la profondità di chiusura, indicante il limite alla movimentazione dei sedimenti che risulta essere di 8,98 m.

Non solo, anche la conoscenza del set up e del run - up vincolano la progettazione e l'utilizzo del suolo costiero, definendo la fascia di rischio di risalita di 2,26 m rispetto al livello medio mare.

Questi dati risultano alla base di qualsiasi tipo di progettazione di opera di difesa marittima.

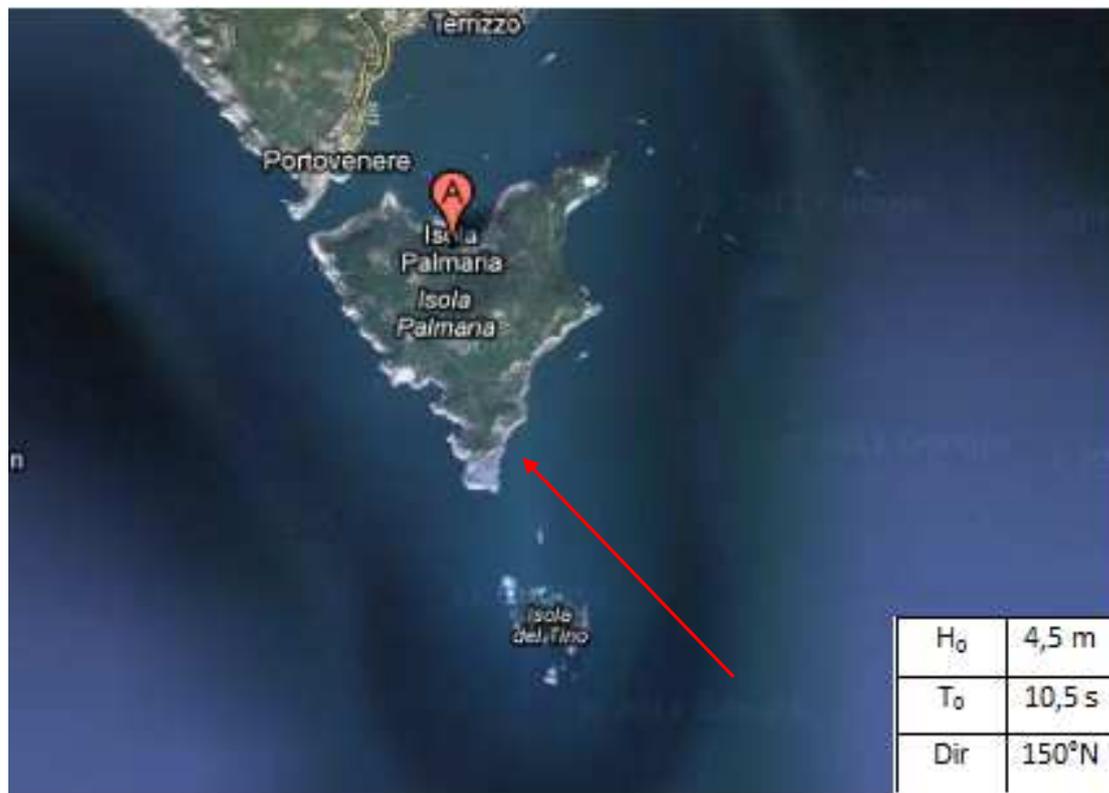


Figura 25. Risultato su foto satellitare dell'analisi effettuata. [fonte Google Maps]

Tutte queste considerazioni servono al progettista per il progetto e la verifica dell'opera di difesa e risultano preliminari ed indispensabili a qualsiasi tipo di calcolo.

5. Bibliografia

- U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS' (USACE). Coastal Engineering Manual, *EM 1110-2-1100*,
- U.S. CORPS OF ENGINEERS, 1984. Shore Protection Manual (Fourth Edition). Department of the Army, Coastal Engineering Research Center. U.S. Government Printing Office, Washington D.C., 20402. Two volumes;
- AMINTI P., 1989. Raccolta dei dati relativi ai venti ed al moto ondoso. In Coste Toscane: studi sulla erosione, sui venti, sul moto ondoso (a cura del Dipartimento Ambiente Regione Toscana e dell' Università degli Studi di Firenze). Convegno Coste toscane: Erosione o Tutela, Alberese Giugno 1989, 11-31;
- CNR, MURST (CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE, MINISTERO DELL'UNIVERSITA' E DELLA RICERCA SCIENTIFICA E TECNOLOGICA), 1997. Atlante delle spiagge italiane: Dinamismo - Tendenza evolutiva - Opere umane. S.EL.CA., Firenze.