



**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*

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

- Introduzione – presentazione del caso di studio;

- Analisi del clima meteo marino;

- Considerazioni conclusive personali;



Spiaggia dei Gabbiani pre erosione [fonte Google Image].

## Introduzione

---

DOVE:

Spiaggia del “Pozzale” isola Palmaria,

Comune di Porto Venere,

Provincia della Spezia.

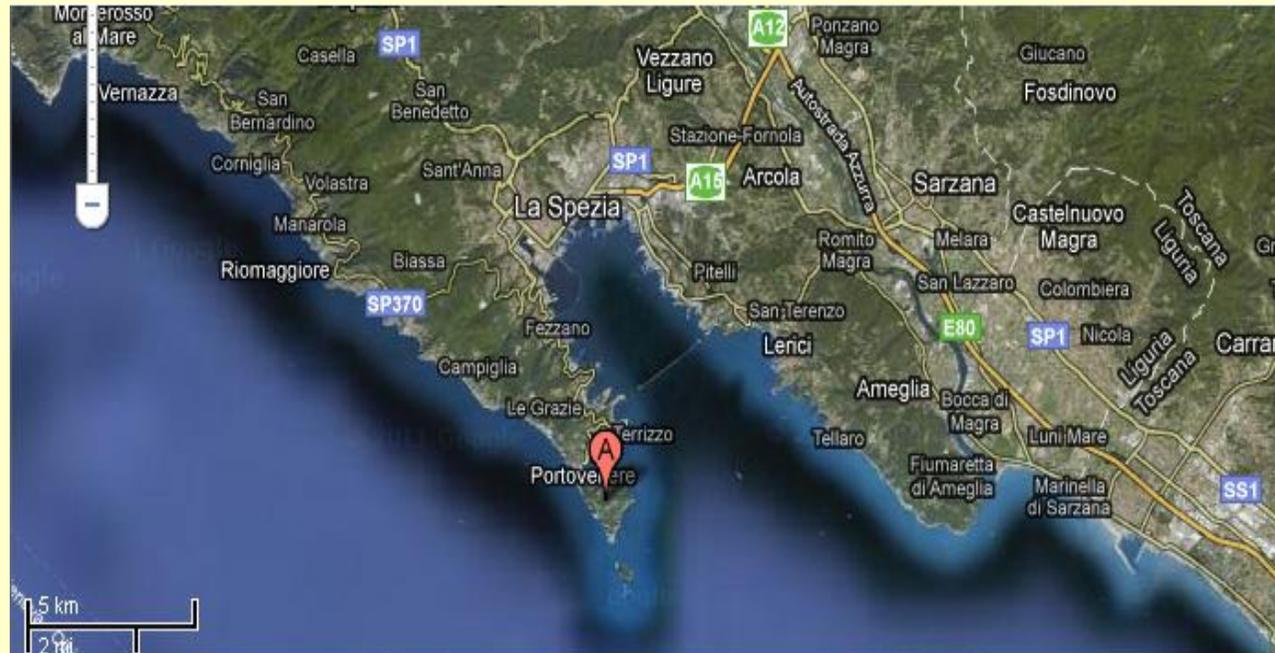


Foto satellitare [fonte Google Maps]

L'isola fa parte del Parco Naturale Regionale di Porto Venere, ed è un SIC [Sito di Interesse Comunitario] secondo la direttiva Habitat 92/43/CEE.

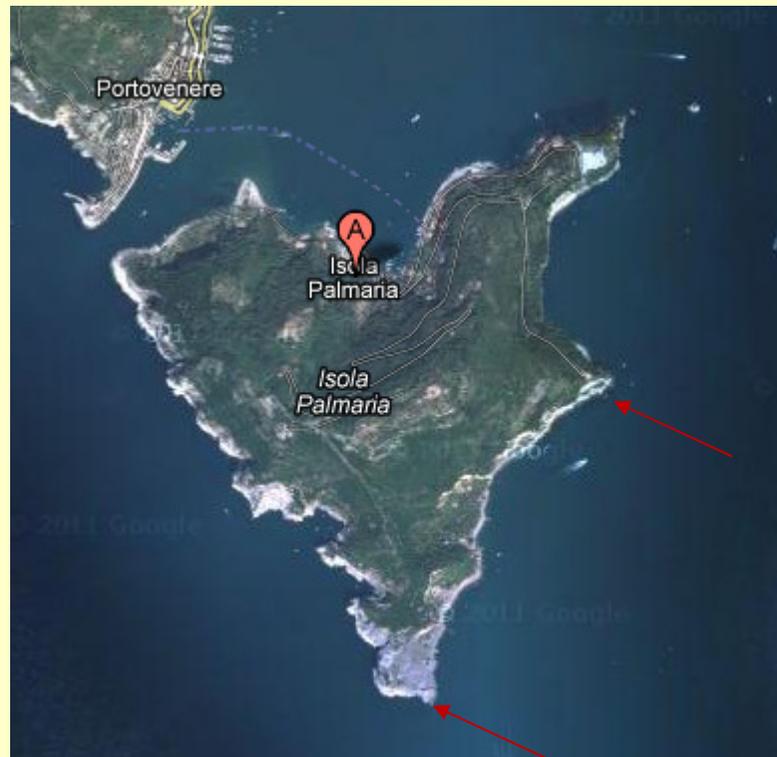
## Introduzione

---

### POBLEMATICA IN ATTO:

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



Isola Palmaria, foto satellitare [Google Maps]

## Introduzione

---

### SOLUZIONI ATTUATE AD OGGI:

L' Aeronautica Militare, ha provveduto da alcuni anni all'allestimento di una barriera radente in massi a protezione del campeggio, retrostante la spiaggia, che limitasse l'invasione dei flutti.



Barriera radente in massi presso spiaggia Pozzale [foto personale]

L'intervento, valido nella protezione dell'area militare, ha peggiorato la situazione erosiva del litorale, generando uno squilibrio ulteriore nel profilo di spiaggia.

L'area più colpita dall'erosione è il tratto limitato dai due pontili di attracco per le barche.

## Introduzione

---

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



Vista satellitare del tratto di primo intervento  
[Fonte Google Maps]



Pontile delimitante l'area di intervento [foto personale]

## Analisi del clima meteo marino

---

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

La conoscenza del clima meteo marino 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:

- ricostruzione del clima meteo marino medio al largo di un paraggio per la successiva ricostruzione del clima sotto costa;
- la determinazione della probabilità di occorrenza delle onde estreme per la progettazione delle opere di difesa .

STUDI EFFETTUATI:

- Ricerca dei dati disponibili;

- Analisi del clima meteo marino:

*Settore di traversia,*

*Fetch geografici ed efficace;*

*Dati di moto ondoso*

*Dati di vento*

*Statistica degli eventi estremi*

*Calcolo della profondità di chiusura*

- Propagazione del moto ondoso sotto costa;

### DATI DISPONIBILI :

#### **-ondametro di La Spezia della Rete Ondametrica Nazionale (1989-2005)**

Dal 1989, sui litorali italiani è attiva una rete ondametrica gestita dall'ISPRA. La **Rete Ondametrica 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.



Rete Ondametrica Nazionale [fonte sito ISPRA]

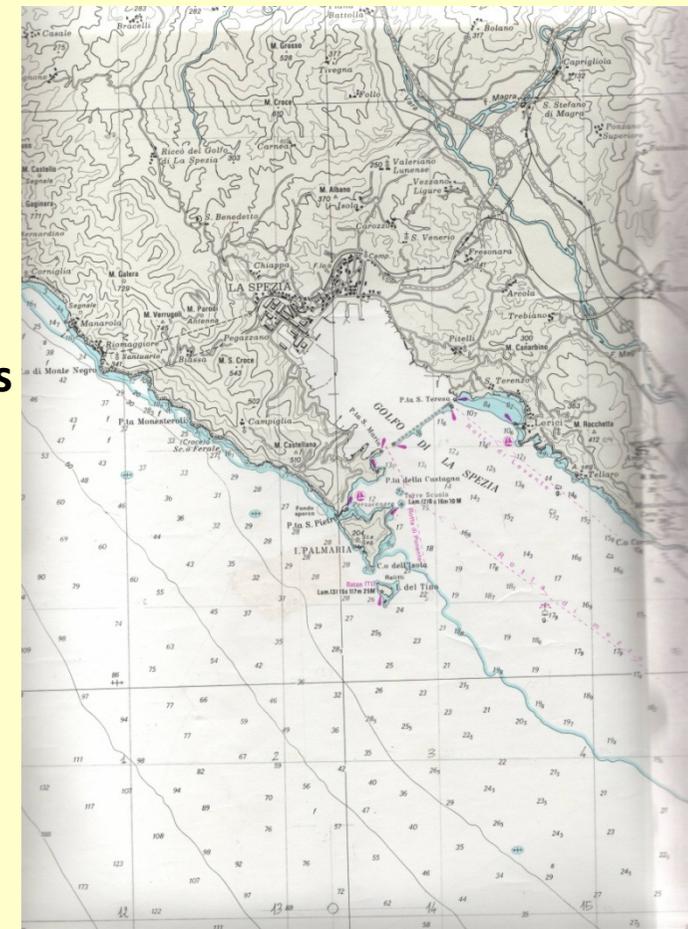
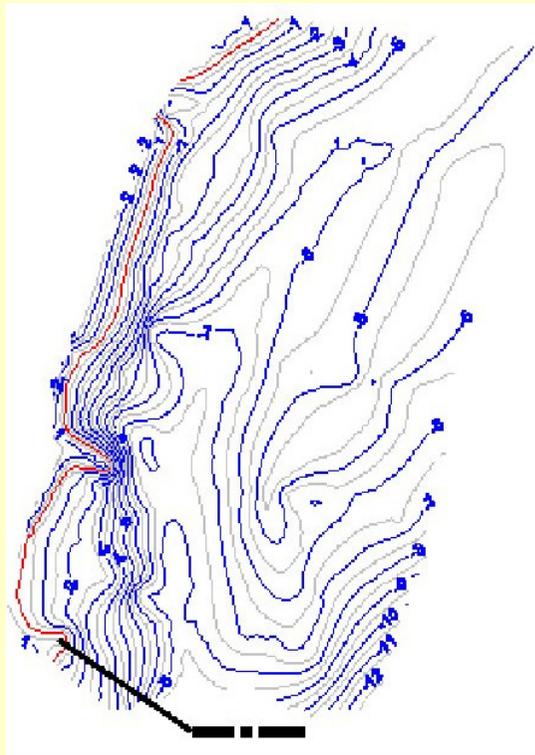
L'ondametro, costituito da una boa accelerometrica tipo WAVEC, è ancorato ad una profondità di circa 70 m al largo di Marina di Massa a sud dell'isola di Palmaria in posizione geografica di coordinate  $43^{\circ} 55.7' N$  e  $9^{\circ} 49.6' E$ , molto prossima e certamente ben rappresentativa per il paraggio in esame.

## Analisi del clima meteo marino

DATI DISPONIBILI :

- **RON: Serie Storiche triorarie altezze significative**
- **Tabelle riassuntive delle distribuzioni direzionali delle altezze d'onda ricostruite pubblicate nel Wind e Wave Atlas**
- **Carta Nautica in scala 1:100000**

- **Carta batimetrica del fondale  
(GeoCoste e Master)**

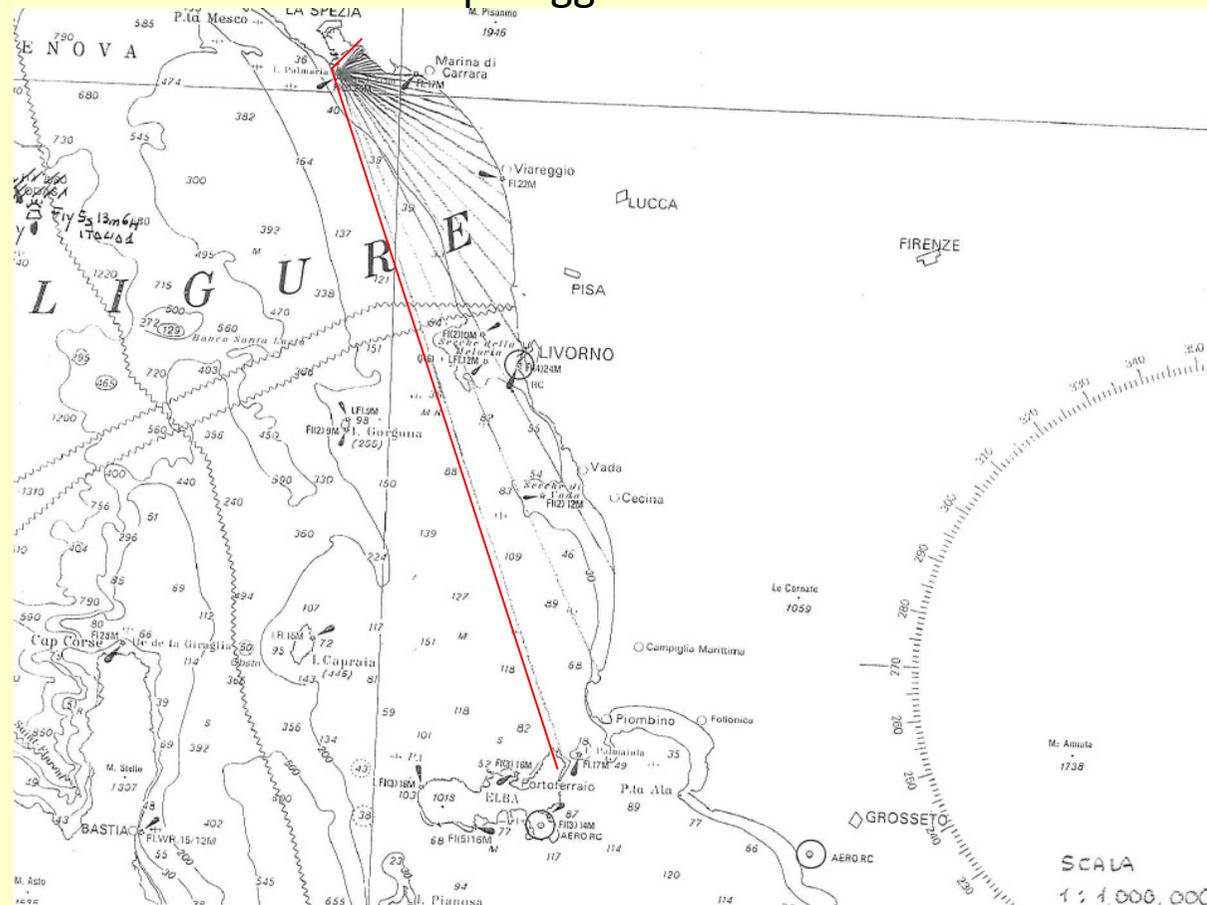


Carta nautica 1:100000

## SETTORE DI TRAVERSIA DI UN PARAGGIO:

il settore angolare con centro nel sito di studio e comprendente tutte le direzioni da cui possono provenire le agitazioni ondose determinate dai venti foranei.

Il settore di traversia del paraggio Pozzale va dai 30°N ai 160°N



Carta Nautica con indicazione del settore di traversia

## Analisi del clima meteo marino

### FETCH

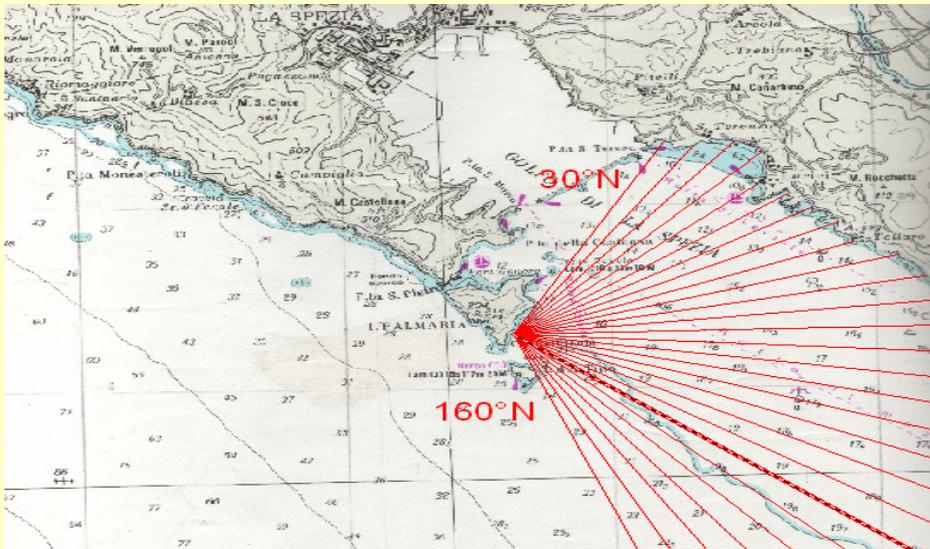
Lunghezza della porzione di mare sulla quale può avvenire la generazione del moto ondoso ad opera dell'azione esercitata dal vento.

#### FETCH GEOGRAFICO

distanza geografica tra il punto di interesse e la terra più vicina in relazione ad una prefissata direzione

#### FETCH EFFICACE

grandezza che considera l'effetto della lunghezza del fetch stesso e della dispersione direzionale dell'energia dell'onda sullo sviluppo e propagazione. Calcolato con la formula di Saville:

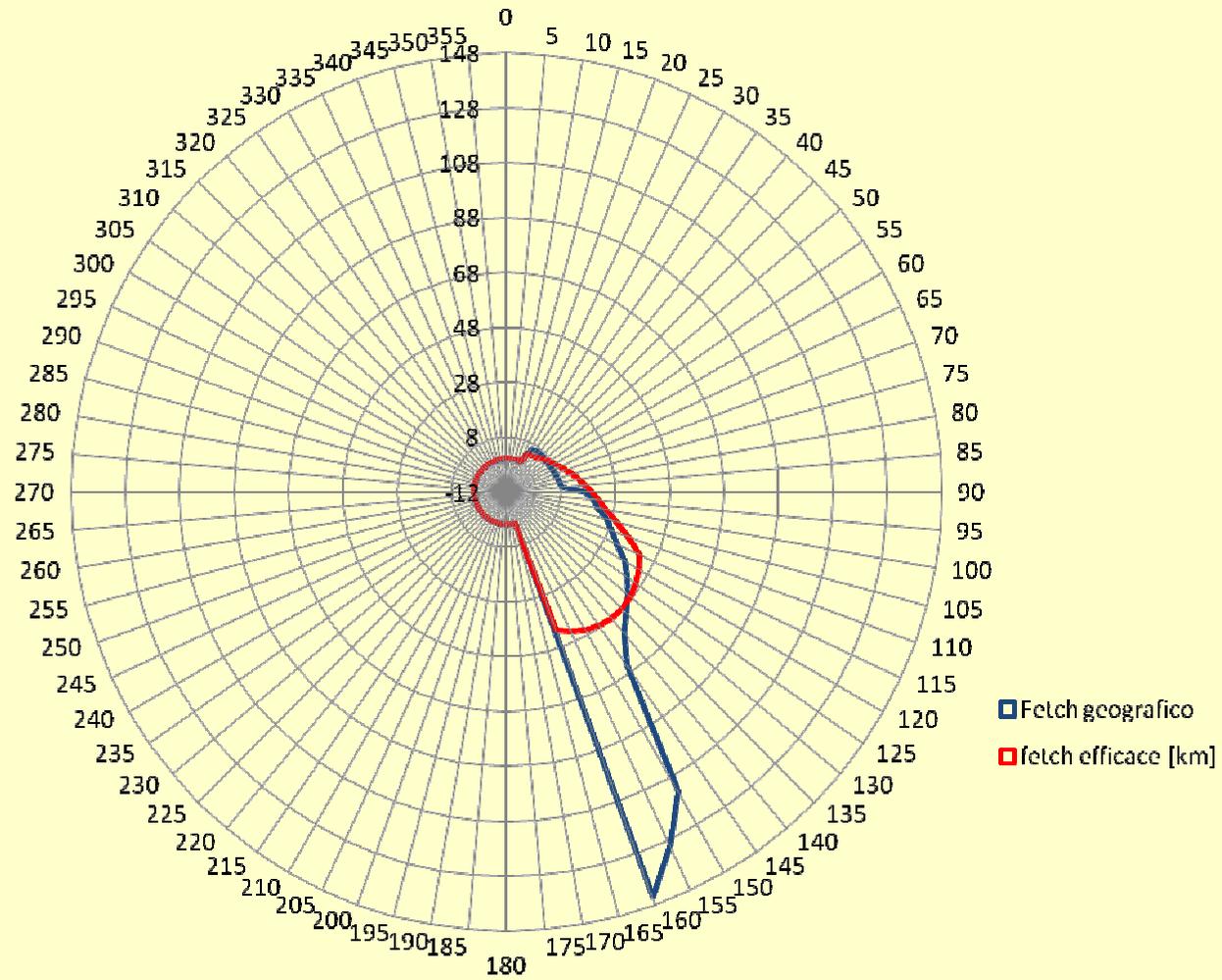


Tracciamento fetch su carta nautica ogni 5°.

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

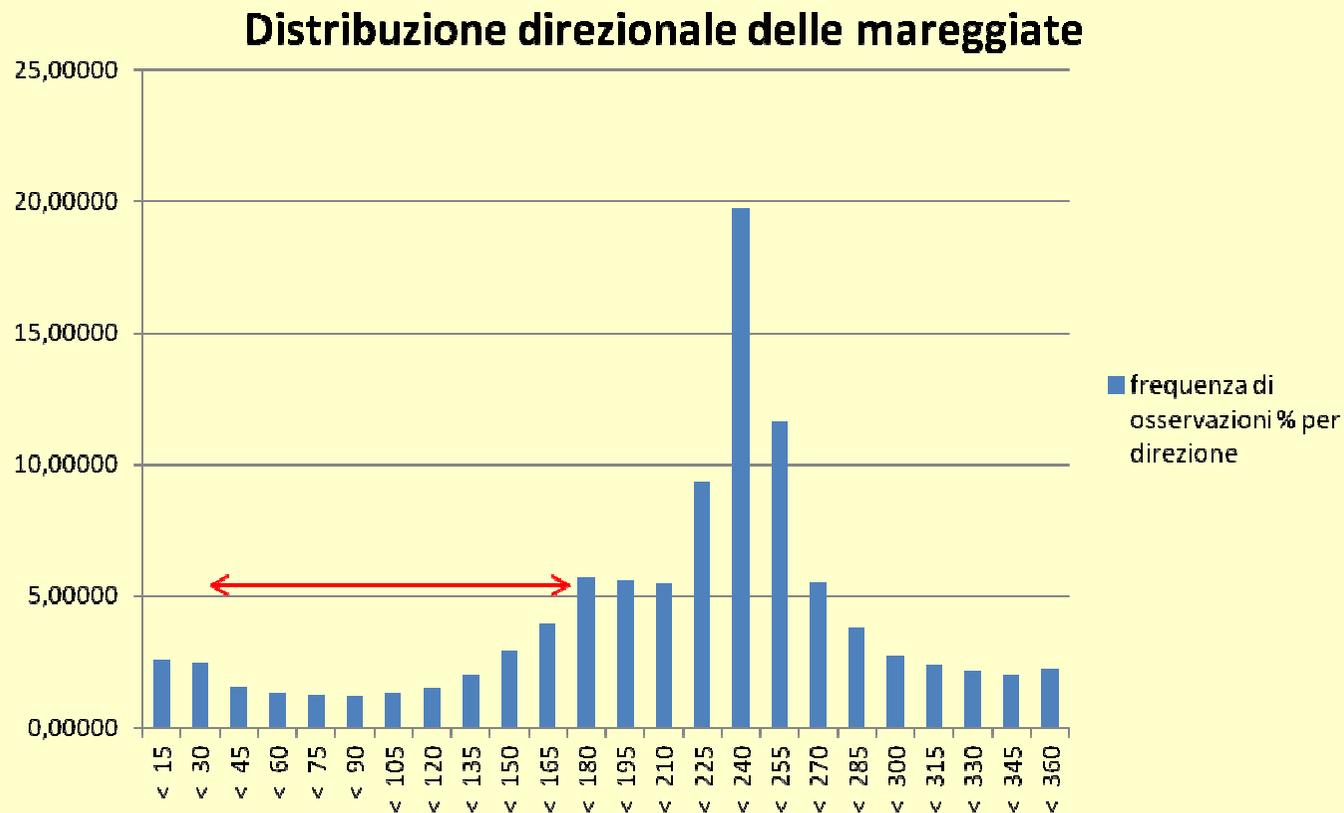
# Analisi del clima meteo marino

## Fetch geografici ed efficaci



## DISTRIBUZIONE DIREZIONALE DELLE MAREGGIATE

Istogramma in cui per ciascuna direzione è stata indicata la frequenza in percentuale delle osservazioni ad essa relative.

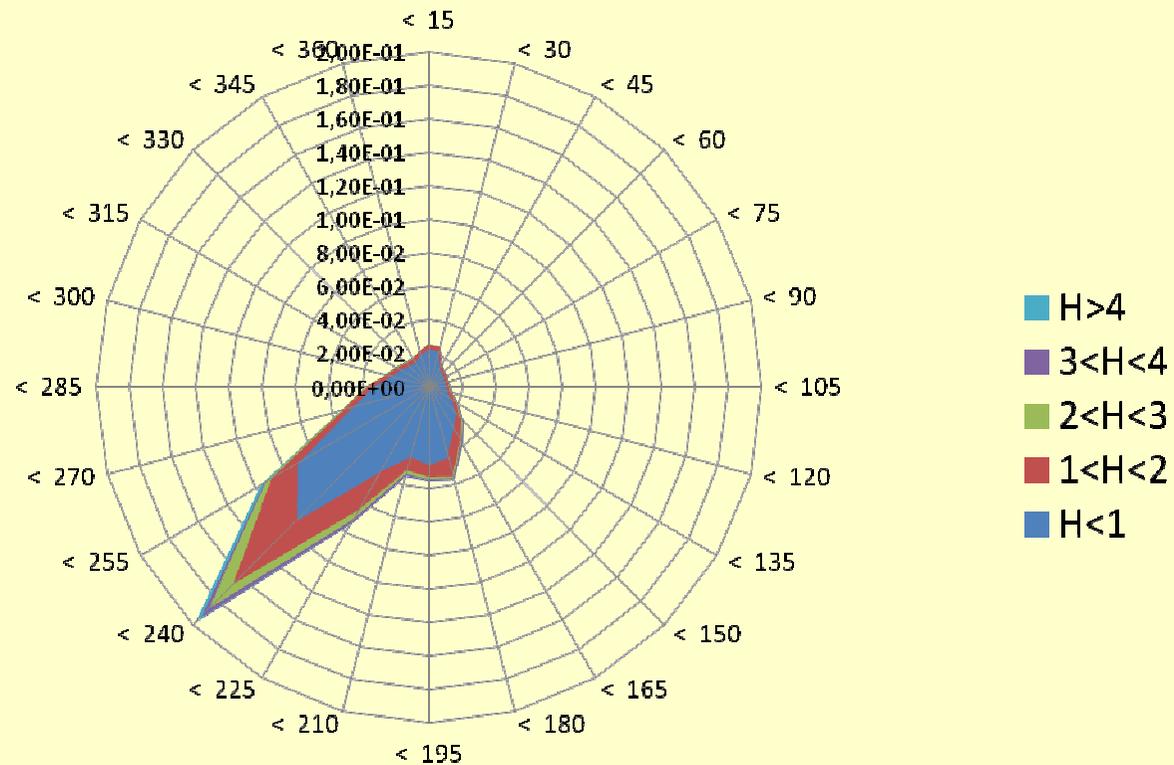


Il settore di traversia in esame 30-160°N non è tra i più colpiti in termini di frequenza di mareggiate

## ROSA DEL MARE:

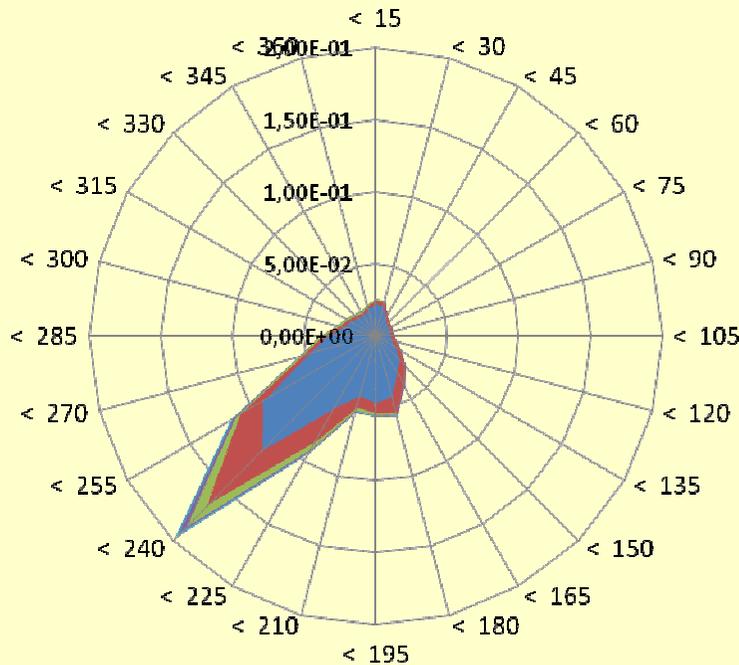
Grafico rappresentante per ciascuna classe direzionale e di altezza (opportunamente scelta) la frequenza degli eventi di mareggiata.

### Rosa del Mare omnidirezionale (Boa La Spezia)



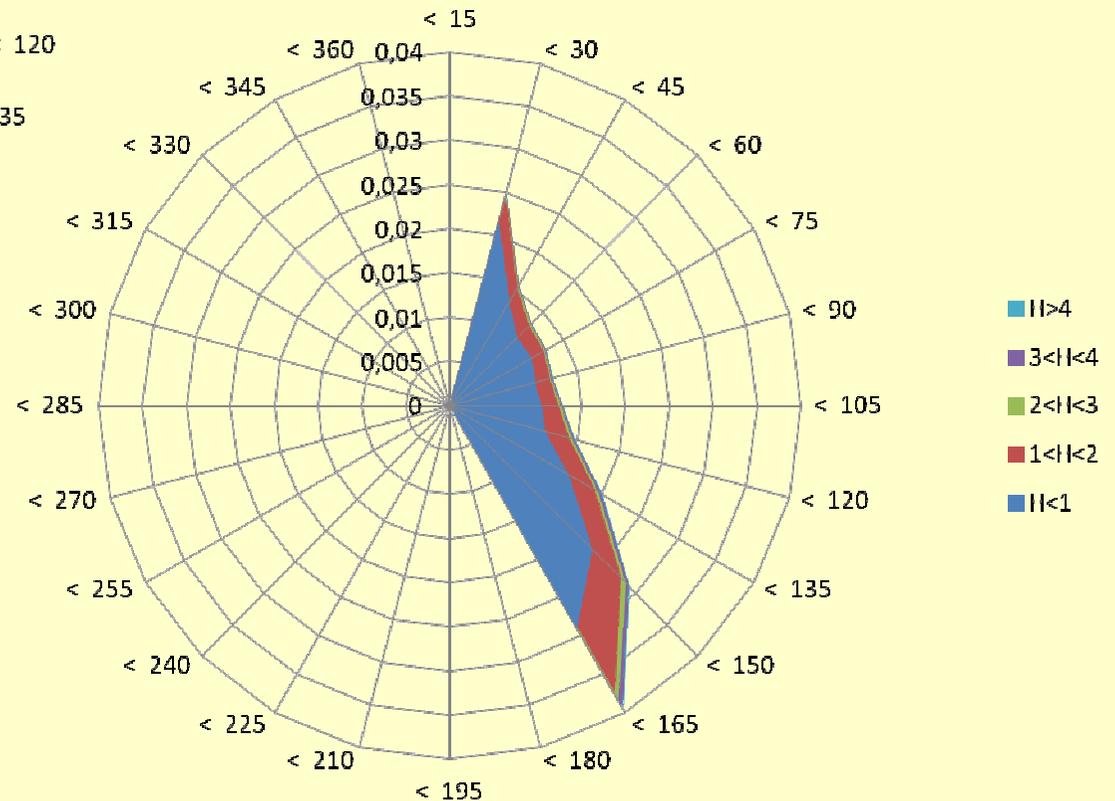
## ROSA DEL MARE:

### Rosa del Mare omnidirezionale (Boa La Spezia)



Onde più alte e più frequenti in direzione 150-160°.

### Rosa del Mare per il settori di traversia

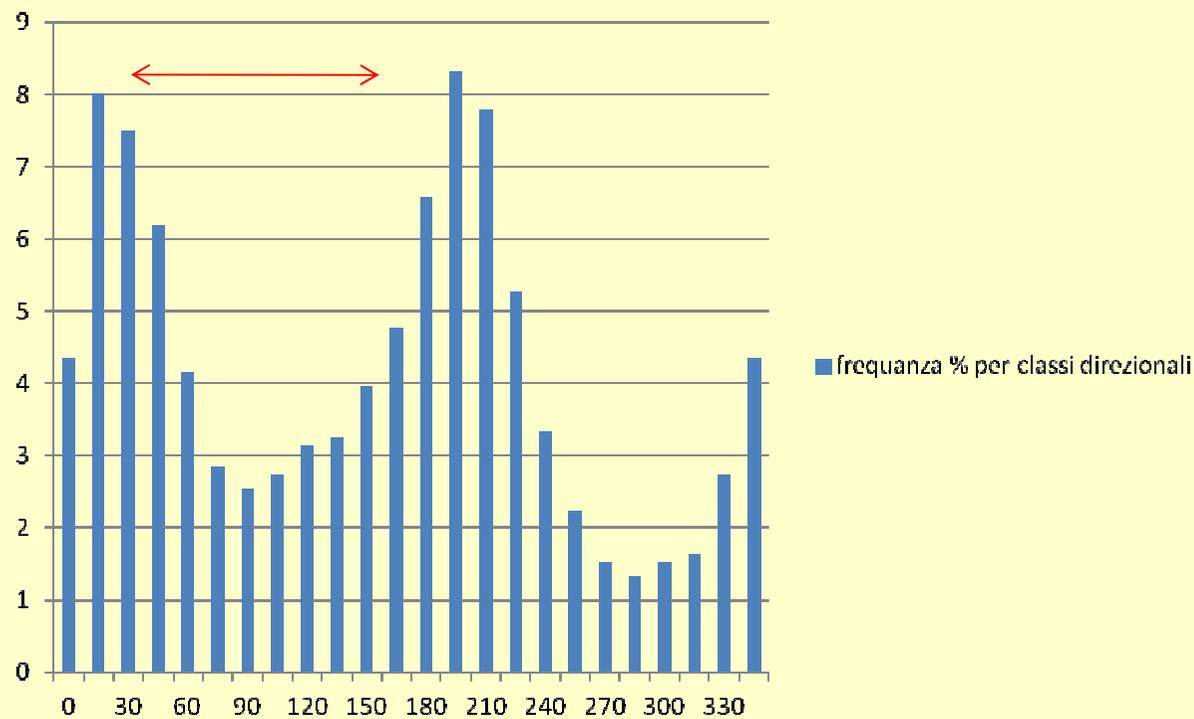


Per una migliore chiarezza grafica, le scale dei due grafici sono diverse, le frequenze relative al settore di traversia sono infatti molto ridotte rispetto al caso omnidirezionale.

## DISTRIBUZIONE DIREZIONALE DEI VENTI

Distribuzione percentuale dei venti in funzione delle direzioni

Frequenza % per classi direzionali

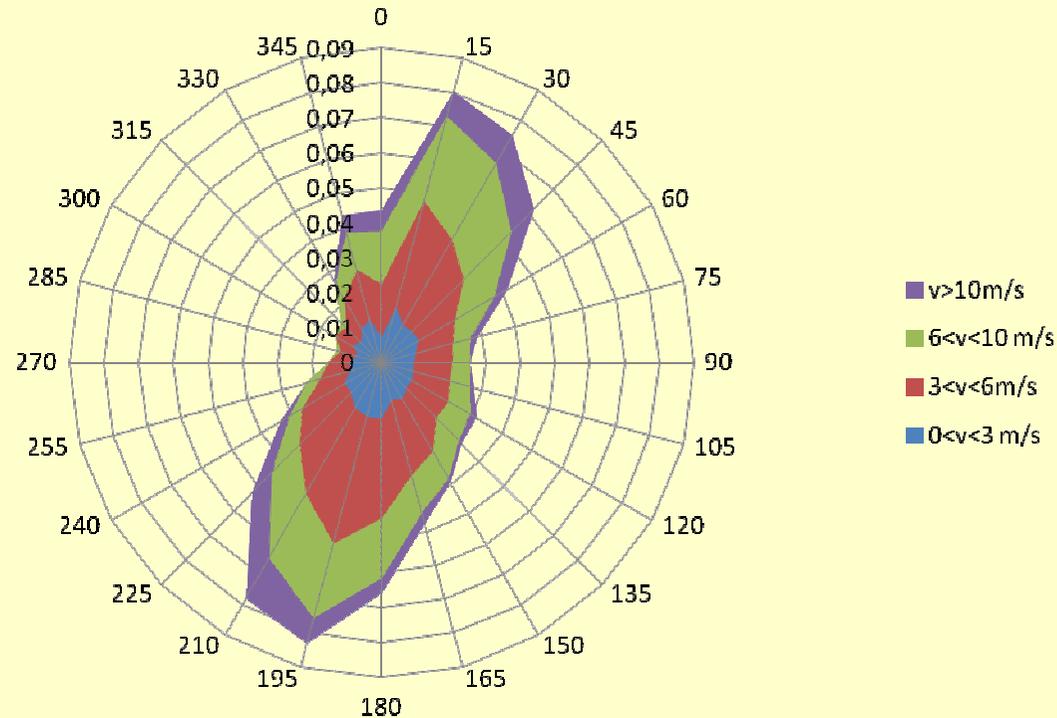


Il settore di traversia è interessato da venti molto frequenti relativamente alle direzioni 30-50°N.

### ROSA DEI VENTI OMNIDIREZIONALE

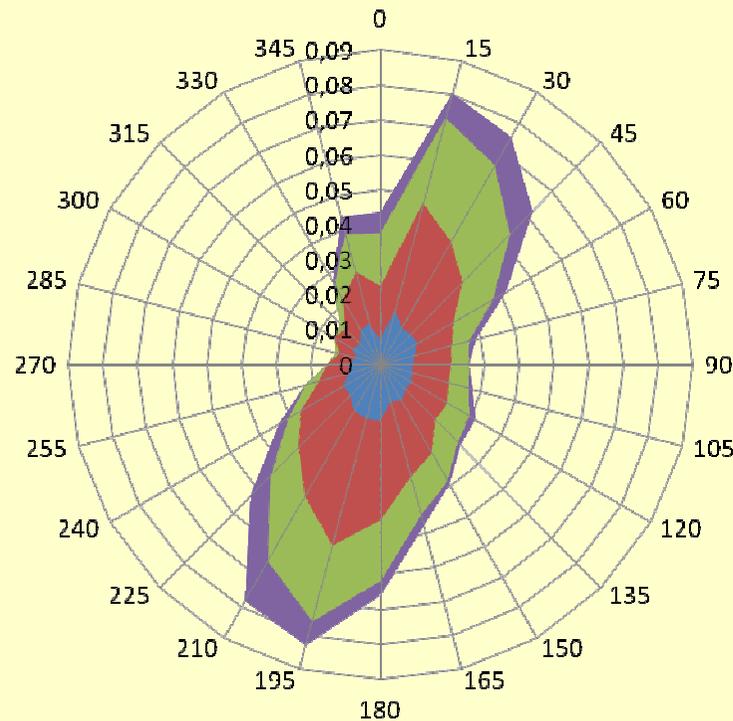
Grafico rappresentante per ciascuna classe direzionale e di velocità (opportunamente scelta) la frequenza degli eventi di vento.

#### Rosa dei venti omnidirezionale



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

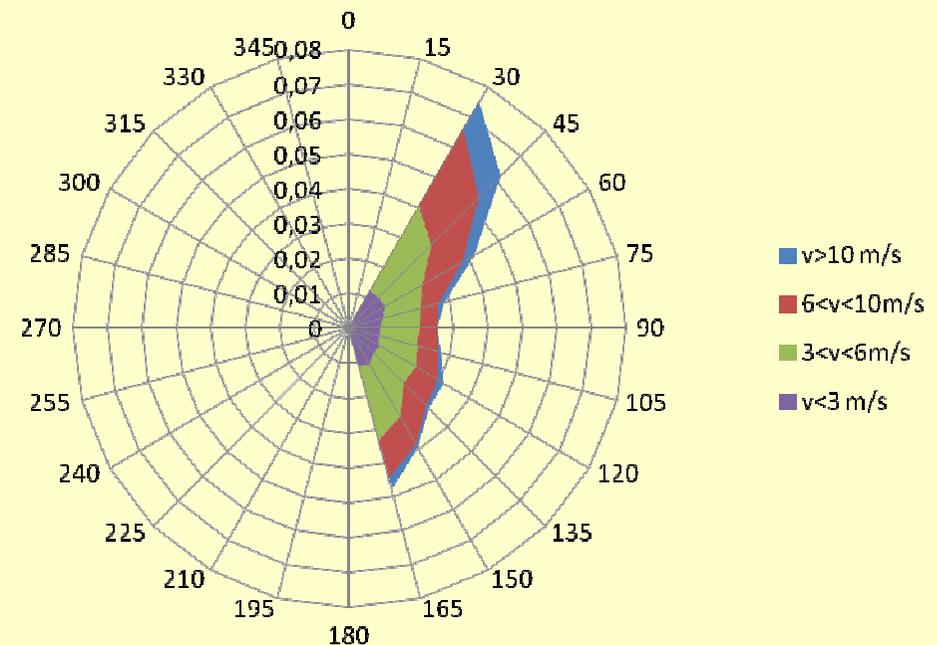
## Rosa dei venti omnidirezionale



I venti prevalenti ( $v > 10$  m/s) interessanti il settore sono quelli di terra tra i  $30^\circ$  e  $45^\circ$  N.

Per una migliore chiarezza grafica, le scale dei due grafici sono diverse, le frequenze relative al settore di traversia sono infatti molto ridotte rispetto al caso omnidirezionale.

## Rosa dei venti per il settore di traversia



## STATISTICA DEGLI EVENTI ESTREMI

Per il dimensionamento di un'opera marittima il progettista ha la necessità di fare riferimento ad un'onda estrema, idonea nel descrivere un determinato stato di mare da considerare come evento più gravoso per la struttura.

Questa onda estrema sarà fornita in funzione di un periodo di ritorno ovvero del tempo durante il quale essa potrà essere uguagliata o superata mediamente una sola volta.

Definizione analitica  
di tempo di ritorno  
con  $P$ =probabilità di  
non superamento

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

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**

**LEGGE DI DISTRIBUZIONE PROBABILISTICA DI GUMBEL**

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

Dove:

- P è la probabilità di non superamento di un certo valore di altezza  $\bar{H}_s$ ;
- $\alpha$  e  $\beta$  sono due parametri caratteristici della distribuzione con espressione:

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}\sigma}{\pi} \qquad \beta = \bar{H}_{sm} - 0,5772 \alpha$$

Con:

- $\sigma$  scarto quadratico medio del campione di altezze a disposizione
- $H_{sm}$  media del campione di altezze a disposizione

$\sigma$	0,822565	$\alpha$	0,641351
$H_{sm}$	2,341575	$\beta$	1,971387

Noti questi parametri, è stata calcolata l'altezza corrispondente ai fissati tempi di ritorno di 2, 5, 10, 20, 50, 100 anni per mezzo dell'espressione:

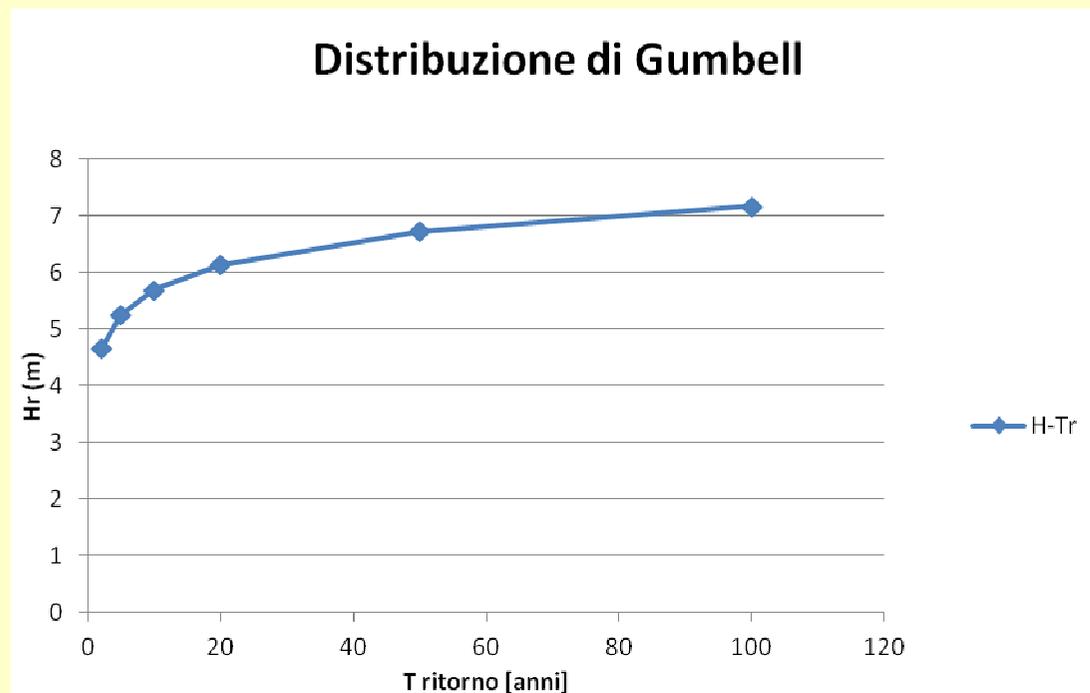
$$H_{tr} = \beta - \alpha \ln(-\ln(P))$$

Dove P:

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

$\lambda$  è il rapporto tra la numerosità del campione e il numero di anni di osservazione.

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



### 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.**

A questo valore di altezza corrisponde un periodo d'onda  **$T_0=10,5$  s.**

La lunghezza d'onda calcolata per mezzo della formula:

$$L_0 = \frac{g}{2\pi} T_0^2$$

risulta essere  **$L_0=171,96$  m**

Grandezza al largo	Valore
$H_0$	4,5 m
$T_0$	10,5 s
$L_0$	171,96 m

## **TRASFORMAZIONE DEL MOTO DAL LARGO A COSTA**

Le onde, mentre si dirigono verso 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. Fenomeni caratteristici del processo di trasformazione:

**SHOALING:** processo legato alla diminuzione della profondità e rallentamento dell'onda, per cui la lunghezza d'onda si riduce e la ripidità, pari al rapporto tra l'altezza d'onda e la lunghezza, aumenta.

**FRANGIMENTO:** giunta sotto costa, l'onda si deforma aumentando la sua altezza al diminuire della profondità, fino al punto in cui non è più stabile e frange.

**RIFRAZIONE:** fenomeno per cui quando il fronte d'onda incontra le batimetriche formando un angolo diverso da zero, 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.

## Analisi del clima meteo marino

Tramite le formule inserite nel CEM Coastal Engineering Manual, *EM 1110-2-1100*, U.S. Army Corps of Engineers' si possono calcolare grandezze caratteristiche di alcuni dei fenomeni descritti:

-Altezza al frangimento  $H_b=5,22$  m

$$\frac{H_b}{H_o} = 0,56 \left( \frac{H_o}{L_o} \right)^{-1/5}$$

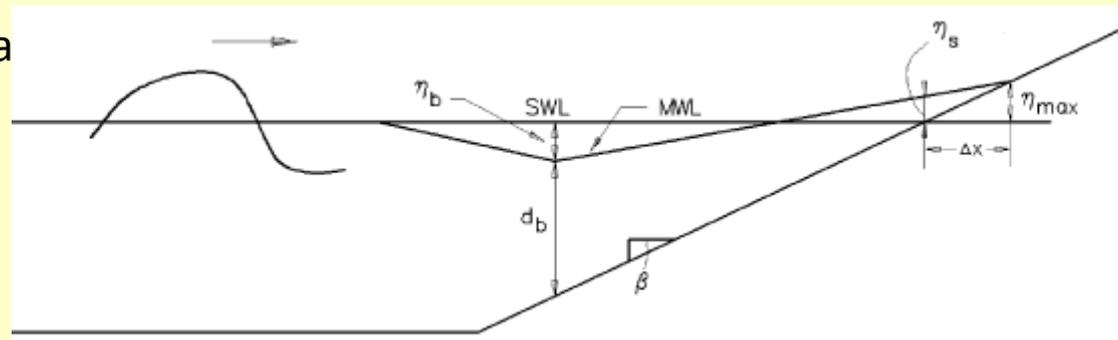
-Profondità al frangimento  $d_b = 7,46$  m [ $\gamma=0,7$ ]

$$d_b = \frac{H_b}{\gamma}$$

Note queste grandezze sono stati calcolati il set – up e il run –up:

**Set – up [ $\eta_s$ ]**: innalzamento medio del livello medio mare in corrispondenza della linea di riva in occasione di una mareggiata

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



Schema per la definizione del Set – Up [CEM]

## Analisi del clima meteo marino

**Run-up [R]:** massima quota di risalita dell'onda sul profilo della spiaggia rispetto al livello medio mare.

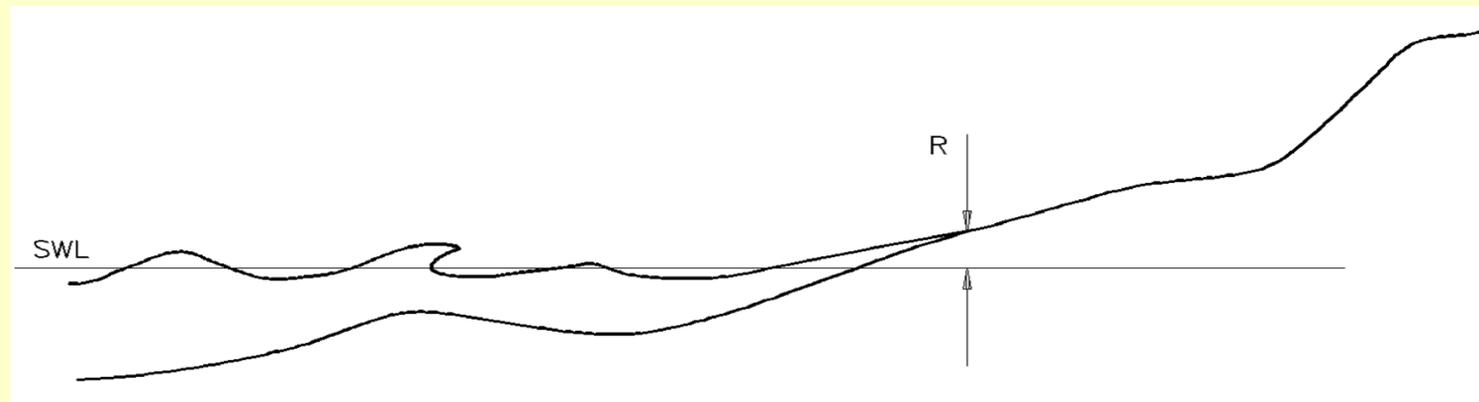
$$R_{max} = H'_0 2,32 \varepsilon_0^{0,77}$$

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

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

con:

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



Grandezza	Valore
$H_b$	5,22 m
$d_b$	7,46 m
$\eta_s$	0,92 m
$R_{max}$	2,52 m
$R_{1/3}$	1,71 m
$R_{2\%}$	2,26 m

Schema per la definizione del Run - Up [fonte CEM]

## PROFONDITÀ DI CHIUSURA

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.

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.

Altrimenti detto LIMITE DELLA FASCIA ATTIVA.

Si calcola con la formula di Hallemeier:

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

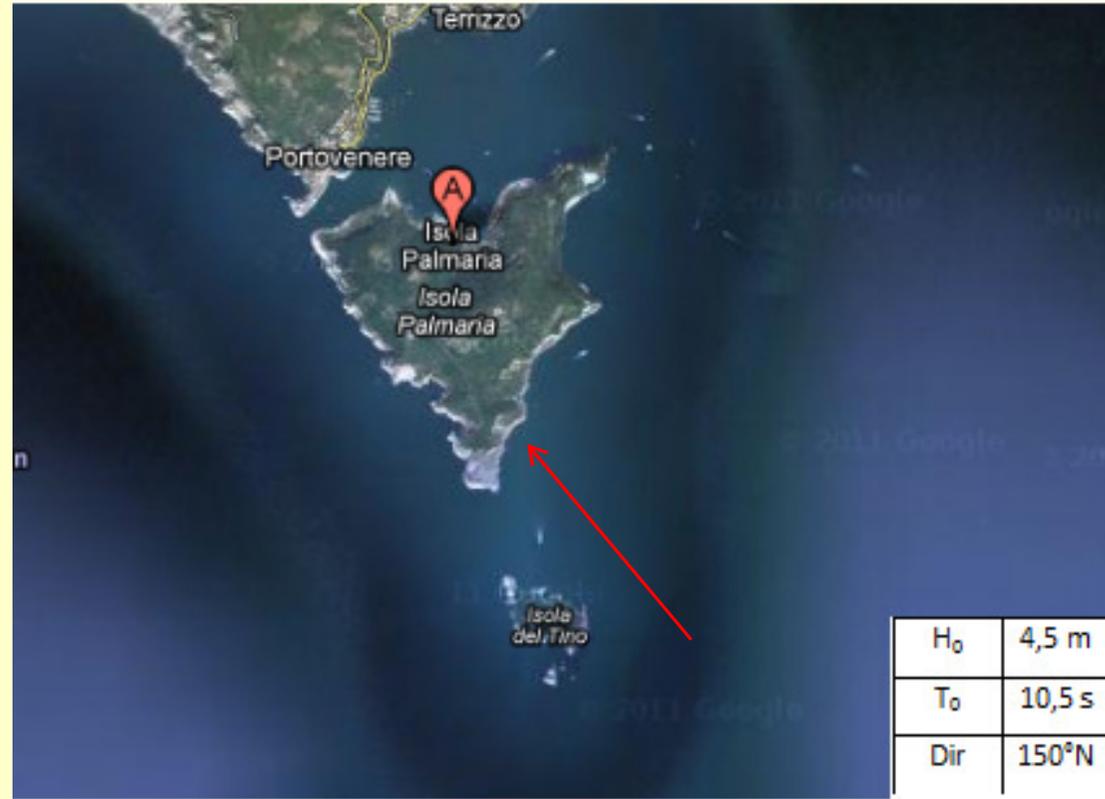
da cui  $D_c=8,98$  m.

## Considerazioni

Alla base di qualsiasi progettazione di opere di difesa marittima c'è l'analisi meteo marina.

Le considerazioni su:

- Intensità e frequenza dei mari;
- Velocità e frequenza dei venti;
- Onde estreme;
- Trasformazione a costa;
- Profili e profondità di chiusura;



sono fondamentali per qualsiasi tipo di studio preliminare.

## Considerazioni

---

Con questa analisi è stato possibile effettuare un progetto preliminare di ripascimento.

Come spesso accade, però, il grado di dettaglio degli studi preliminari e il tipo di intervento e di manutenzione da effettuare sono condizionati fortemente dal **vincolo economico**.

Nel caso della realizzazione oltre al vincolo economico interviene quello **geografico** che può rendere i lavori molto più complessi nel caso di un'isola.

*Grazie a tutti per  
l'attenzione!*

*Eleonora Buzzolino*