COMUNE DI ALASSIO

PROVINCIA DI SAVONA

OPERE A DIFESA NATURALE DEL CENTRO URBANO PROSPICIENTE IL LITORALE PER LA SICUREZZA DELLE VITE UMANE E A SALVAGUARDIA DELLE STRUTTURE, INFRASTRUTTURE E DEI BENI PUBBLICI E PRIVATI ATTRAVERSO LA RICOSTITUZIONE DELLA SPIAGGIA EMERSA CONIUGATA CON MANUTENZIONE STAGIONALE E/O OPERE A MARE DI DIFESA E CONSERVAZIONE DEGLI ARENILI

PROGETTO DEFINITIVO

Oggetto: RELAZIONE PROF. ING. GIOVANNI BESIO

Argomento: CARATTERIZZAZIONE DEL CLIMA METEO-MARINO DI PROGETTO IN CORRISPONDENZA DI UN PUNTO AL LARGO DELLA COSTA DI ALASSIO (SV)

REDATTO NEL MESE DI LUGLIO 2020 DA:

- Ing. Franco Ferrando
- Ing. Guido FERRI
- Ing. Paolo Gaggero
- Ing. Luca Rossi
- Dott. Geol. Eros Aiello — Geologia
- Dott.ssa Frida Occelli — Archeologia

Con la consulenza:

- Prof. Enzo Pranzini — consulenza ambientale
- Geoscape (spin off università di Genova) — modellistica e verità mare
- Prof. Giovanni Besio (università di Genova) — fornitura ed elaborazione dati meteomarini

R.U.P.
Geom. Luca Corciulo

Università di Genova

DICCA DIPARTIMENTO
DI INGEGNERIA CIVILE, CHIMICA
E AMBIENTALE

CARATTERIZZAZIONE DEL CLIMA METEO-MARINO DI PROGETTO IN CORRISPONDENZA DI UN PUNTO AL LARGO DELLA COSTA DI ALASSIO (SV)

Prof. Ing. Giovanni Besio
Ordine degli Ingegneri di Genova
Matricola 7761
e-mail: giovanni.besio@unige.it

Ing. Francesco De Leo
Ordine degli Ingegneri di Genova
Matricola 10543A
e-mail: francesco.deleo@edu.unige.it

Genova, 28/07/2020

Rel. n. 41228/20

Indice

1 Area di studio **6**
1.1 Dati meteo-marini di riferimento 6

2 Analisi del clima meteo-marino al largo di Alassio **8**
2.1 Analisi ai valori estremi 9

3 Propagazione dei dati d'onda sotto-costa **16**
3.1 Batimetria dell'area 16

4 Risultati delle simulazioni **17**
4.1 Direzione al largo E-SE 18
4.2 Direzione al largo S-SW 20

Elenco delle figure

1 Vista aerea dell'area di studio (fonte: *Google Earth*); l'immagine riporta anche la posizione del punto hindcast usato nella presente relazione 6
2 Punto hindcast utilizzato per lo studio meteo-marino. Immagine tratta da http://www3.dicca.unige.it/meteocean/hindcast.html 7
3 Serie di H_s nell'anno 2018 per il punto 000354 8
4 Diagramma polare relativo al punto 000354 9
5 Caratteristiche di altezza e direzione dei picchi d'onda selezionati nel punto 000354 10
6 Caratteristiche di altezza e direzione dei picchi d'onda selezionati nel punto 000354, ripartite tramite analisi k-means 11
7 Caratteristiche di altezza e direzione dei picchi d'onda selezionati nel punto 000354, mostrare in relazione alle frequenze di occorrenza. La figura mostra anche i limiti direzionali usati per le analisi successive. 11
8 Caratteristiche di altezza e direzione degli eventi POT nel punto 000354 . . . 12
9 Funzione di autocorrelazione per gli eventi estremi del cluster 1 nel punto 000354 12
10 Funzione di autocorrelazione per gli eventi estremi del cluster 3 nel punto 000354 13
11 Curve H_s/T_r relative al punto 000354 per gli estremi del cluster 1 13
12 Curve H_s/T_r relative al punto 000354 per gli estremi del cluster 3 14
13 Distribuzione iniziale dei picchi di H_s e T_p e curve relative ai due modelli empirici considerati per gli estremi del cluster 1 15
14 Distribuzione iniziale dei picchi di H_s e T_p e curve relative ai due modelli empirici considerati per gli estremi del cluster 3 15
15 Batimetria dell'area in esame 17
16 Distribuzione areale di H_s per T_r uguale a 1 anno; direzione di provenienza SE 18
17 Distribuzione areale di θ_m per T_r uguale a 1 anno; direzione di provenienza SE 18
18 Distribuzione areale di H_s per T_r uguale a 50 anno; direzione di provenienza SE 19
19 Distribuzione areale di θ_m per T_r uguale a 50 anno; direzione di provenienza SE 19
20 Distribuzione areale di H_s per T_r uguale a 1 anno; direzione di provenienza SW 20
21 Distribuzione areale di θ_m per T_r uguale a 1 anno; direzione di provenienza SW 20
22 Distribuzione areale di H_s per T_r uguale a 50 anno; direzione di provenienza SW 21
23 Distribuzione areale di θ_m per T_r uguale a 50 anno; direzione di provenienza SW 21

Elenco delle tabelle

1 Valori di progetto per i settori considerati e i due diversi valori di T_r 14
2 Caratteristiche del punto sotto-costa dove sono state estratte le caratteristiche d'onda 16
3 Caratteristiche del punto sotto-costa dove sono state estratte le caratteristiche d'onda 17

Premessa

La presente relazione riassume lo studio meteo-marino che ha permesso di valutare le forzanti ambientali in prossimità della costa di Alassio (SV). Tale disamina si è avvalsa di analisi ai valori estremi condotte su dati di un punto hindcast al largo della costa in esame, al fine di calcolare le caratteristiche d'onda associate a due specifici periodi di ritorno per definiti settori direzionali. Successivamente, le forzanti progettuali risultanti sono state propagate sotto costa tramite opportuno modello numerico.

1 Area di studio

L'area di studio è situata lungo la costa del comune di Alassio, sito in provincia di Savona nella zona di ponente della costa ligure.

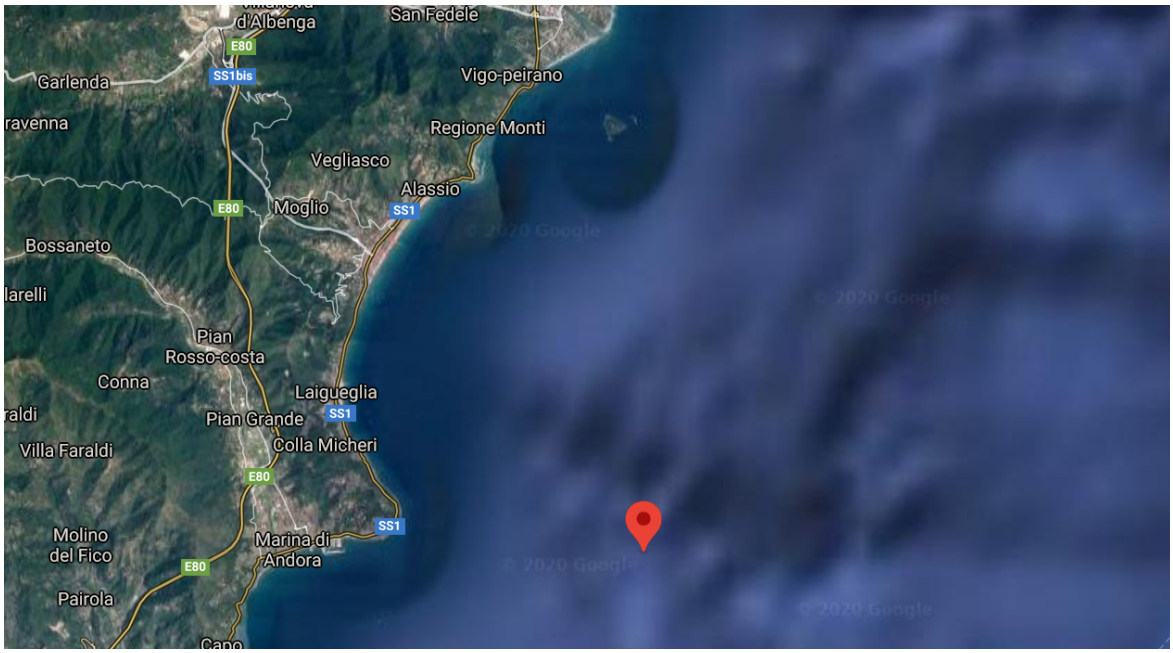


Figura 1: Vista aerea dell'area di studio (fonte: *Google Earth*); l'immagine riporta anche la posizione del punto hindcast usato nella presente relazione

1.1 Dati meteo-marini di riferimento

I dati meteo-marini utilizzati provengono dal servizio hindcast del Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale dell'Università degli Studi di Genova (di seguito DICCA, www3.dicca.unige.it/meteocean). L'hindcast fornisce i principali parametri d'onda su intervalli orari nel periodo 1979-2019, definiti su tutto il Mar Mediterraneo a risoluzione pari a circa 10 km sia in longitudine che in latitudine (Mentaschi et al., 2013, 2015). Per il presente studio, è stato utilizzato il punto 000354, le cui caratteristiche sono evidenziate in Figura 2.



Figura 2: Punto hindcast utilizzato per lo studio meteo-marino. Immagine tratta da http://www3.dicca.unige.it/meteocean/hindcast.html

In particolare, ai fini dello studio si sono utilizzati specifici parametri d'onda, di seguito riportati assieme ai relativi simboli utilizzati nel prosieguo della relazione:

- altezza significativa H_s
- periodo medio T_m
- periodo di picco T_p
- direzione media di provenienza θ_m
- direzione di provenienza al picco θ_p

La Figura 3 riporta l'esempio di una serie di H_s nell'anno 2018.

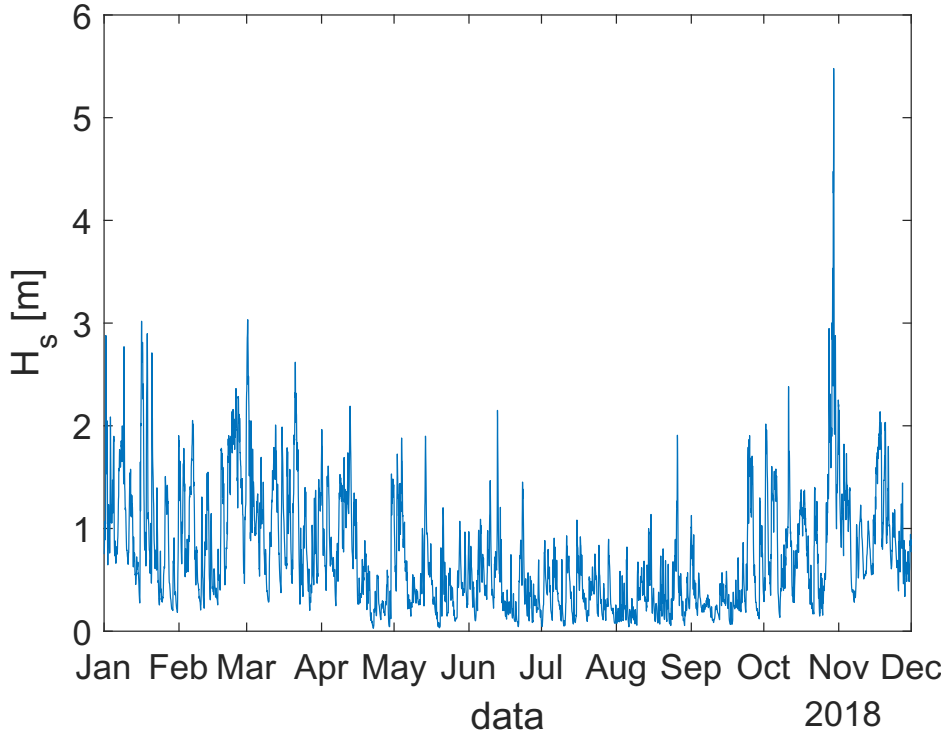


Figura 3: Serie di H_s nell'anno 2018 per il punto 000354

2 Analisi del clima meteo-marino al largo di Alassio

Il clima ondoso ricostruito al largo della costa di Alassio ne riflette i principali settori di traversia. Guardando l'estensione dei fetch di riferimento (ovvero, gli specchi acquei su cui il vento possa soffiare e generare onde senza che vi siano ostacoli frapposti), la direzione principale risulta essere SW. Questa considerazione trova supporto dall'analisi di Figura 4, la quale mostra la distribuzione di H_s in funzione di θ_m, espressa secondo la cosiddetta convenzione nautica. Ovvero, le direzioni delle onde si esprimono in riferimento alla direzione di provenienza, definita in senso orario a partire dalla direzione Nord (risultante quest'ultima in θ_m uguale a 0/360°N). La figura suddetta evidenzia altresì come i dati d'onda si ripartiscano in tre picchi direzionali in frequenza, afferenti le direzioni SW e NE (picchi più marcati), e direzione E-SE, caratterizzato quest'ultimo da un minor numero di dati.

Per quanto concerne il picco relativo alla direzione N-NE, esso è legato a fenomeni di generazione locale per venti intensi di tramontana. Le onde così generate si allontanano dalla terraferma verso il largo, e non sono di interesse per le successive applicazioni sottocosta. Al contrario, le onde provenienti da S-SW (relative al settore di libeccio, predominante nell'area in esame), e da E-SE, si propagano verso riva. Le successive analisi si concentrano dunque sui medesimi settori di traversia.

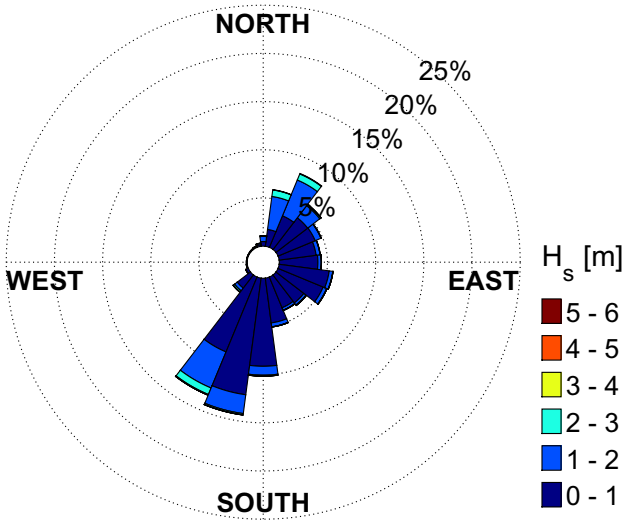


Figura 4: Diagramma polare relativo al punto 000354

2.1 Analisi ai valori estremi

Le analisi ai valori estremi (più note nella usuale locuzione inglese, *Extreme Value Analysis* o "EVA"), permettono di eseguire un'estrapolazione statistica a partire da una serie storica di dati osservati e/o modellati. Il fine è quello di stimare le grandezze associate a definiti *tempi di ritorno* . Il tempo o periodo di ritorno, è definito come il tempo medio intercorrente tra il verificarsi di due eventi successivi di entità uguale o superiore ad un dato valore. Le EVA, richiedono dapprima di selezionare una serie di eventi estremi per il dato che si intenda studiare. In questo caso, il dato di riferimento è costituito da H_s. In seguito, la serie di picchi estratti viene modellata tramite apposita distribuzione di probabilità. Una volta calcolati i parametri della distribuzione scelta, è possibile risalire alle altezze d'onda riferite a periodi di ritorno ritenuti di interesse progettuale:

$$F_x = 1 - \frac{1}{\lambda T_r} \tag{1}$$

Dove λ rappresenta il numero medio di mareggiate annue e T_r il periodo di ritorno considerato. A partire dal quantile di interesse F_x, si risale dunque in maniera univoca all'altezza d'onda ricercata.

Nel presente studio, le mareggiate sono state selezionate tramite approccio "Peak Over Threshold" (POT). Dapprima, la serie iniziale di H_s è stata scansionata tramite una finestra temporale mobile di 1 giorno; quando il massimo valore di H_s si trovi al centro della finestra, viene selezionato come picco di una mareggiata. In secondo luogo, i picchi così estratti sono stati ripartiti per settori direzionali, tenendo in considerazione la particolare climatologia del luogo. Infine, gli eventi estremi gruppi relativi ad altrettanti settori direzionali sono stati selezionati imponendo un valore di soglia pari al 95^{th} percentile della distribuzione iniziale dei dati, e considerando per le successive analisi solamente i dati che eccedessero tale soglia (maggiori dettagli sulla procedura di selezione possono trovarsi in De Leo et al., 2020).

Per quanto riguarda la distribuzione ai valori estremi, la scelta è ricaduta sulla "Generalized Pareto" (di seguito GPD), che risulta essere la distribuzione più adatta per analisi che si avvalgano di dati selezionati tramite approccio POT (Coles et al., 2001).

La probabilità di non superamento della GPD è definita come segue:

$$F_x = 1 - \left(1 + \frac{\xi x^*}{\sigma}\right)^{-\frac{1}{\xi}} \tag{2}$$

Riferendosi x^* alle eccedenze di soglia per il settore considerato, mentre ξ, σ sono i parametri della distribuzione da stimare in funzione della serie di dati a disposizione.

La distribuzione delle onde mostrata in Figura 4 si riscontra anche per i picchi selezionati tramite finestra mobile, come mostrato in Figura 5.

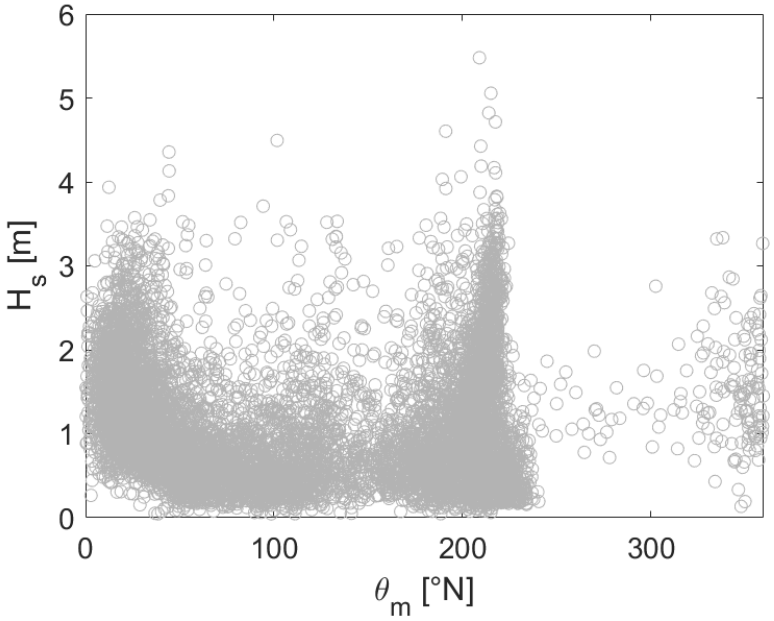


Figura 5: Caratteristiche di altezza e direzione dei picchi d'onda selezionati nel punto 000354

Per l'identificazione di settori direzionali di interesse in riferimento alla climatologia del luogo, si è dapprima impiegata una tecnica di classificazione automatica dei dati chiamata *k-means*. Il k-means è un algoritmo di clustering partizionale che permette di suddividere un insieme di oggetti (o vettori) in un dato numero di gruppi sulla base dei loro attributi. L'obiettivo è quello di minimizzare la varianza all'interno di ciascun gruppo, ognuno identificato con un centroide o punto medio della stessa dimensione dei dati originali (MacQueen et al., 1967). Nel caso specifico, la caratteristica utilizzata per il raggruppamento delle mareggiate è θ_m. La Figura 6 mostra i gruppi di picchi ripartiti in 4 clusters tramite la tecnica introdotta in precedenza.

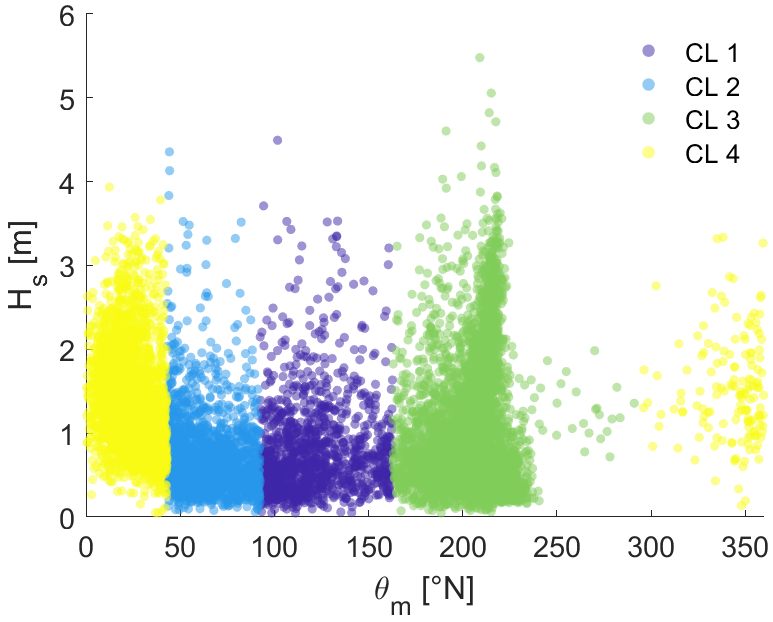


Figura 6: Caratteristiche di altezza e direzione dei picchi d'onda selezionati nel punto 000354, ripartite tramite analisi k-means

Dal confronto delle Figure 4 e 6, è possibile notare come le direzioni di interesse progettuale siano rappresentate dai dati appartenenti ai clusters 1 (direzione E-SE) e 3 (direzione S-SW). Al contrario, i dati dei clusters 2 e 4 non sono rilevanti per il presente studio, e si possono accorpare in unico gruppo, essendo inoltre caratterizzati da simili distribuzioni in frequenza, come mostrato nella figura successiva.

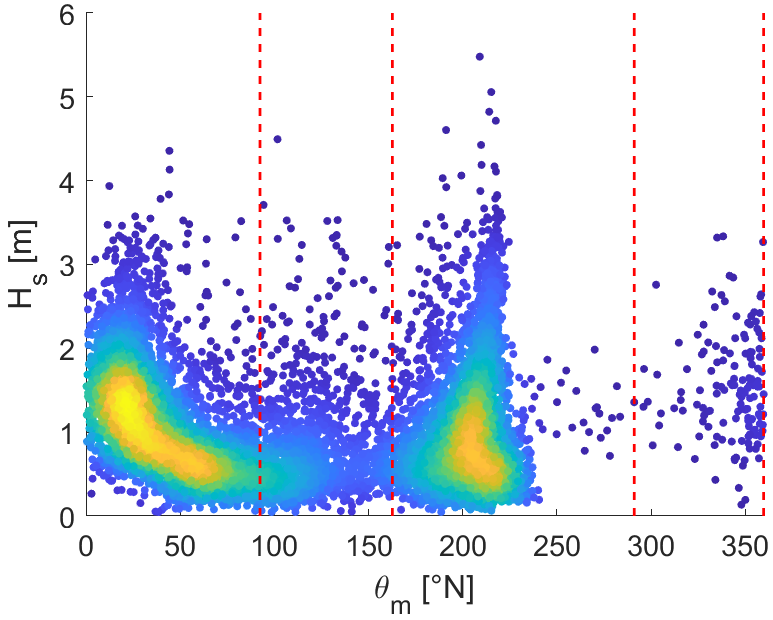


Figura 7: Caratteristiche di altezza e direzione dei picchi d'onda selezionati nel punto 000354, mostrare in relazione alle frequenze di occorrenza. La figura mostra anche i limiti direzionali usati per le analisi successive.

In virtù dei risultati mostrati sino ad ora, le EVA sono state successivamente sviluppate per i dati appartenenti i clusters 1 e 3, caratteristici delle direzioni di provenienza delle onde E-SE e S-SW, rispettivamente. Figura 5 evidenzia gli eventi estremi selezionati tramite POT ed utilizzati per lo sviluppo delle EVA, e le relative direzioni interpolate minimizzando lo scarto quadratico medio (linee tratteggiate in rosso), utilizzate per le successive analisi.

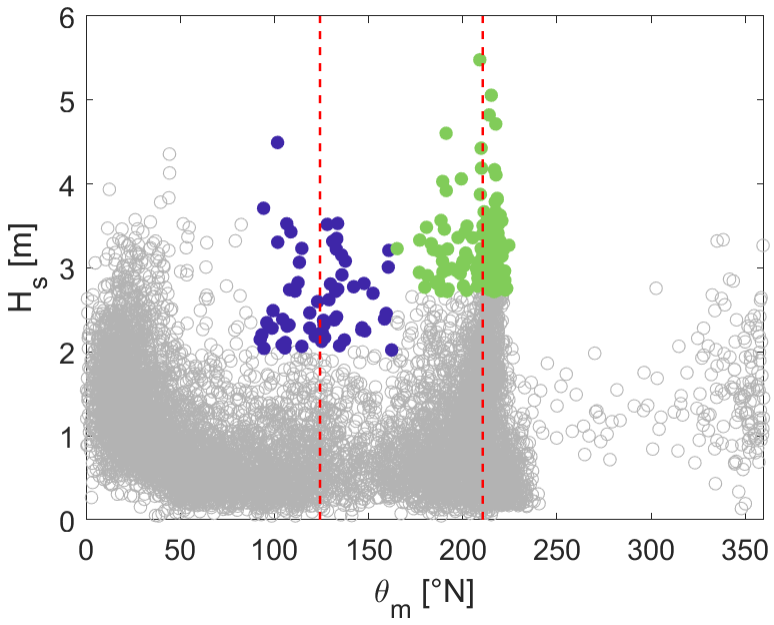


Figura 8: Caratteristiche di altezza e direzione degli eventi POT nel punto 000354

Le Figure 9 e 10 mostrano dunque le funzioni di auto-correlazione inerenti gli estremi evidenziati in Figura 8 per i due settori di traversia. Tali funzioni dimostrano che gli eventi selezionati tramite POT non violano la condizione cosiddetta *iid*, ovvero i dati non sono auto-correlati e possono dunque essere correttamente impiegati per il calcolo dei periodi di ritorno.

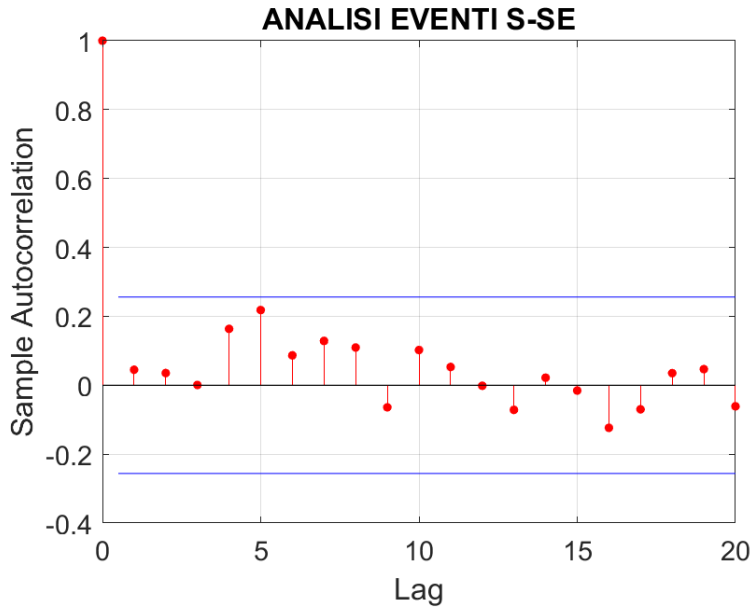


Figura 9: Funzione di autocorrelazione per gli eventi estremi del cluster 1 nel punto 000354

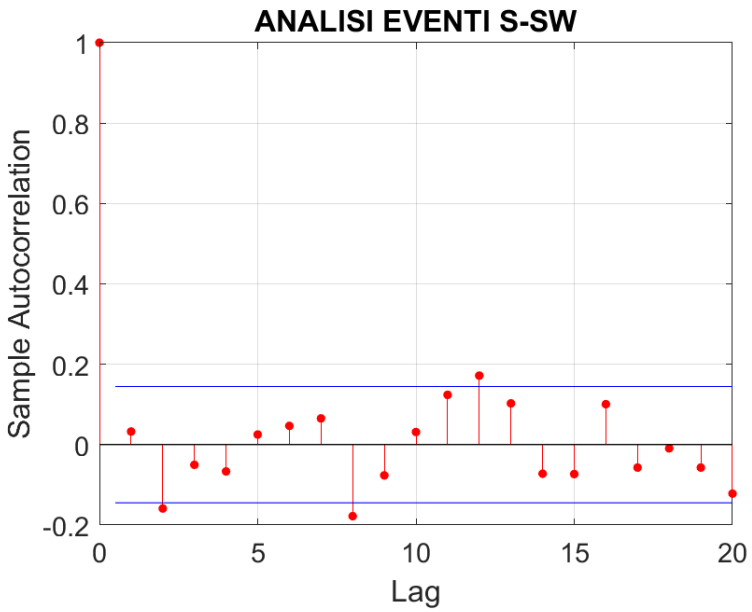


Figura 10: Funzione di autocorrelazione per gli eventi estremi del cluster 3 nel punto 000354

Le Figure 11 e 12 mostrano dunque le curve H_s-T_r calcolate tramite le equazioni 1 e 2 per i settori considerati.

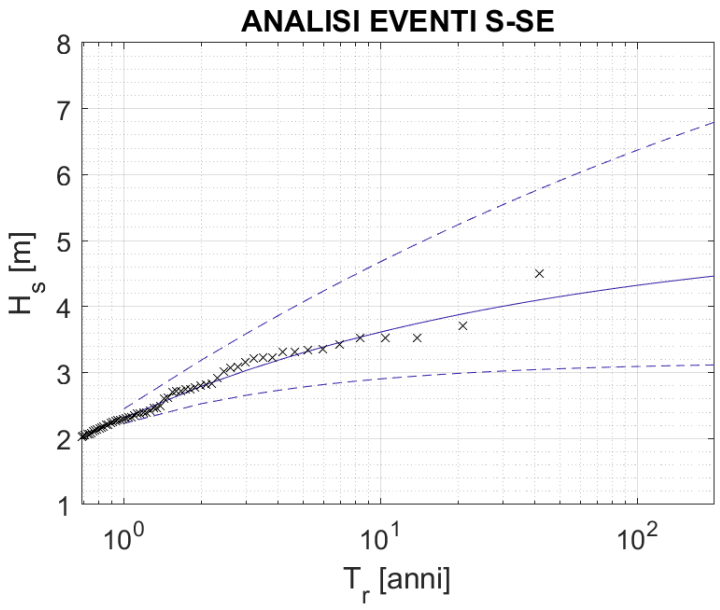


Figura 11: Curve H_s/T_r relative al punto 000354 per gli estremi del cluster 1

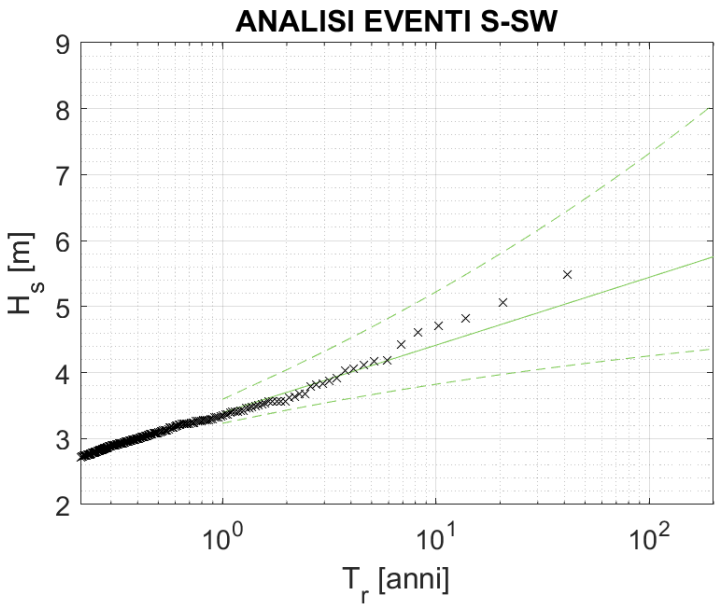


Figura 12: Curve H_s/T_r relative al punto 000354 per gli estremi del cluster 3

Noti i valori di H_s associati ad assegnati tempi di ritorno, per assegnare i periodi di progetto, sono stati posti a confronto i modelli empirici proposti da Boccotti (1997) e Goda (2003), che permettono il calcolo del periodo d'onda a partire dal relativo valore di H_s:

$$\begin{cases} T = 8.5\pi\sqrt{\dfrac{H_s}{4g}} \\ \\ T = 3.3H_s^{0.63} \end{cases} \tag{3}$$

Le Figure 13 e 14 mostrano le distribuzioni iniziali di H_s e T_p assieme alle curve associate ai modelli sopracitati. Dall'analisi dei risultati si può osservare come il modello di Boccotti (1997) risulti maggiormente conservativo, pertanto le analisi successive si avvalgono di quest'ultimo.

In Tabella 1 si riportano dunque i parametri d'onda progettuali calcolati per i due tempi di ritorno considerati, ovvero 1 e 50 anni.

Direzione onde	T_r [anni]	H_s [m]	T_p [s]	θ_p [°N]
SE	1	2.31	6.5	124.3
	50	4.15	8.7	124.3
SW	1	3.39	7.8	210.7
	50	5.13	9.7	210.7

Tabella 1: Valori di progetto per i settori considerati e i due diversi valori di T_r

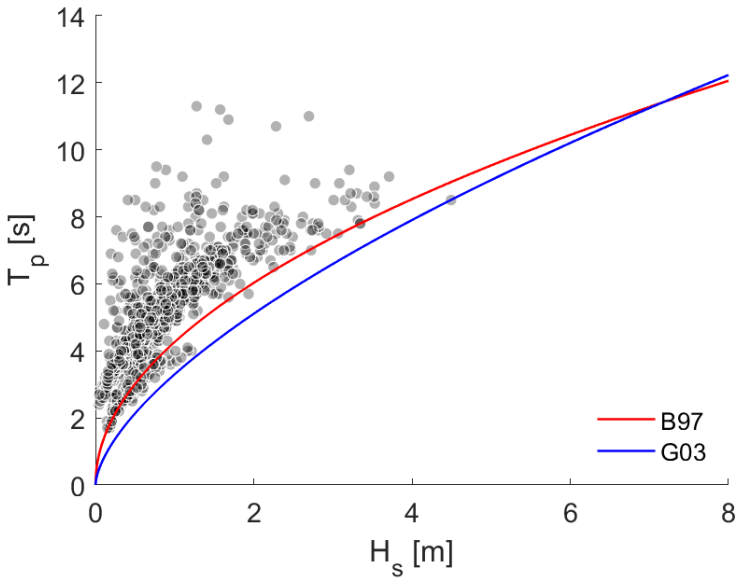


Figura 13: Distribuzione iniziale dei picchi di H_s e T_p e curve relative ai due modelli empirici considerati per gli estremi del cluster 1

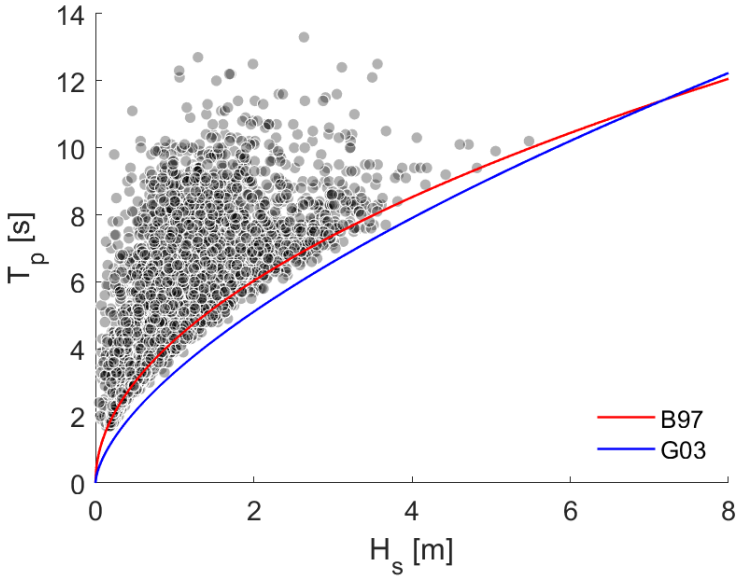


Figura 14: Distribuzione iniziale dei picchi di H_s e T_p e curve relative ai due modelli empirici considerati per gli estremi del cluster 3

Infine, occorre notare che l'analisi sulle direzioni si è avvalsa dei parametri medi, in quanto meno passibili di incertezze legate alla modellazione numerica degli stati di mare; tuttavia, per la propagazione dei dati sotto-costa, si farà riferimento ai valori di picco, che essendo maggiori permettono di lavorare a favore di sicurezza.

3 Propagazione dei dati d'onda sotto-costa

I dati d'onda progettuali, definiti in corrispondenza del punto hindcast 000354, sono stati successivamente propagati in prossimità dell'area di interesse tramite il modello numerico Simulating WAves Nearshore (SWAN, Booij et al., 2003). SWAN è un modello numerico di terza generazione che permette di simulare la generazione delle onde ad opera del vento, e la successiva propagazione a riva, modificata da effetti indotti dalla batimetria, quali shoaling e rifrazione. Le onde di progetto definite in Tabella 1, sono state dunque propagate tramite SWAN nel punto di interesse, le cui caratteristiche sono riportate in Tabella 2.

LON [°]	LAT [°]	SR
8.189206	43.994739	WGS84

Tabella 2: Caratteristiche del punto sotto-costa dove sono state estratte le caratteristiche d'onda

Tale operazione ha richiesto la costruzione di una griglia computazionale su assegnati dati batimetrici, come spiegato nel successivo paragrafo.

3.1 Batimetria dell'area

La caratterizzazione del clima ondoso all'interno del golfo richiede di disporre di dati batimetrici di dettaglio. Infatti, la quota del fondale marino è informazione imprescindibile per comprendere come le caratteristiche delle onde si modifichino nel corso della loro propagazione dal largo verso riva. A tal fine, il presente studio si è avvalso dei dati derivati dalle carte nautiche fornite dall'Istituto Idrografico della Marina Militare (www.marina.difesa.it). Sulla base di questi dati batimetrici, è stata costruita una griglia computazionale per SWAN a passo costante in longitudine e latitudine pari a 10 m, risultante in 301 X 251 nodi, ciascuno dei quali ad assegnata profondità. La maglia risultante è riportata in Figura 15. Nella figura sono riportati anche la posizione del punto 000354 (al largo) e il punto a riva nel quale sono estratte le caratteristiche delle onde, tramite due stelle bianche, e l'isobata posta a profondità pari a 160m. Questa quota è stata evidenziata in quanto rappresenta il limite di profondità infinita per l'onda di progetto più lunga, ovvero la profondità oltre la quale siano irrilevanti gli effetti batimetrici, ed è calcolata come:

$$L = 0.5\frac{g{T_p}^2}{2\pi} \tag{4}$$

Avendo assunto T_p pari a 9.7 secondi (vedasi Tabella 1).

Come visibile da Figura 15, i bordi esterni della maglia sono stati estesi oltre al punto hindcast usato per forzare il modello, al fine di limitare effetti legati alle condizioni al contorno. Ad ogni modo, trovandosi il punto in esame in acqua più profonda rispetto alla condizione di profondità infinita per le onde di progetto, questo non inficia le successive simulazioni.

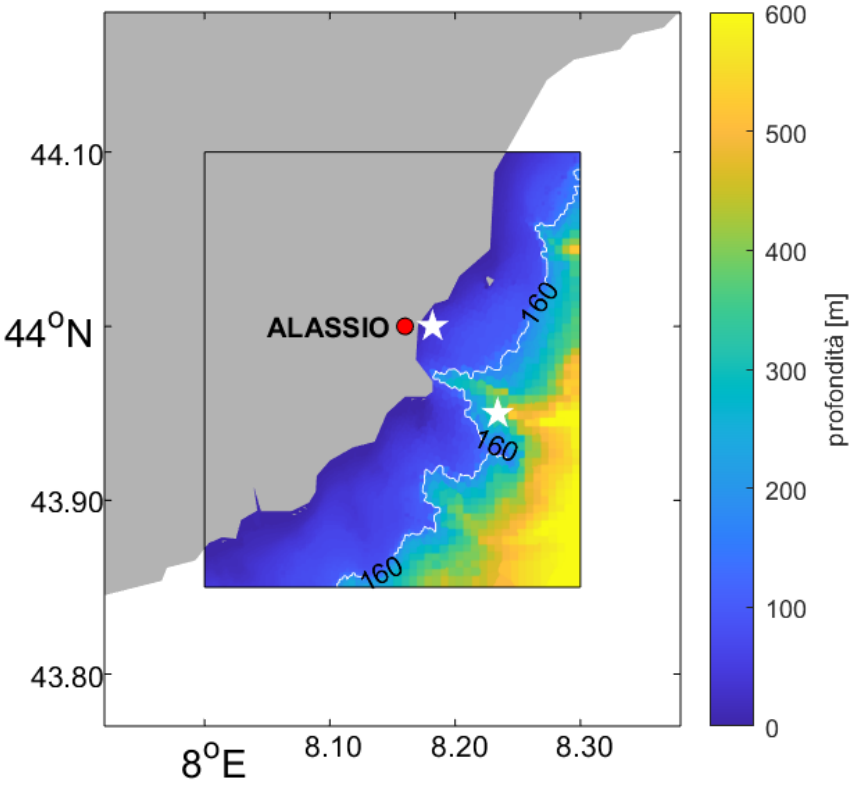


Figura 15: Batimetria dell'area in esame

4 Risultati delle simulazioni

Le figure di seguito riportate mostrano i campi d'onda simulati tramite SWAN all'interno del dominio di calcolo. Si può notare come nel caso di eventi provenienti da SW (cluster 3, Figure da 20 a 23), sia le altezze d'onda che le direzioni di propagazione siano influenzate dal fenomeno di rifrazione a tergo del capo a sud di Alassio, che ne riduce l'intensità e tende ad orientarle in direzione ortogonale alla costa. I risultati relativi a tutti i parametri estratti nel punto di interesse sono invece riportati in Tabella 3.

	Direzione SE		Direzione SW	
T_r	1 anno	50 anni	1 anno	50 anni
H_s [m]	2.22	3.85	2.00	2.75
T_p [s]	6.5	8.3	7.4	9.5
T_{m-10} [s]	6.0	7.9	7.0	8.5
T_{m01} [s]	5.6	7.4	6.5	7.9
T_{m02} [s]	5.3	7.1	6.2	7.4
θ_m [°]	123.5	122.8	173.9	164.7
θ_p [°]	115.0	115.0	185.0	165.0

Tabella 3: Caratteristiche del punto sotto-costa dove sono state estratte le caratteristiche d'onda

4.1 Direzione al largo E-SE

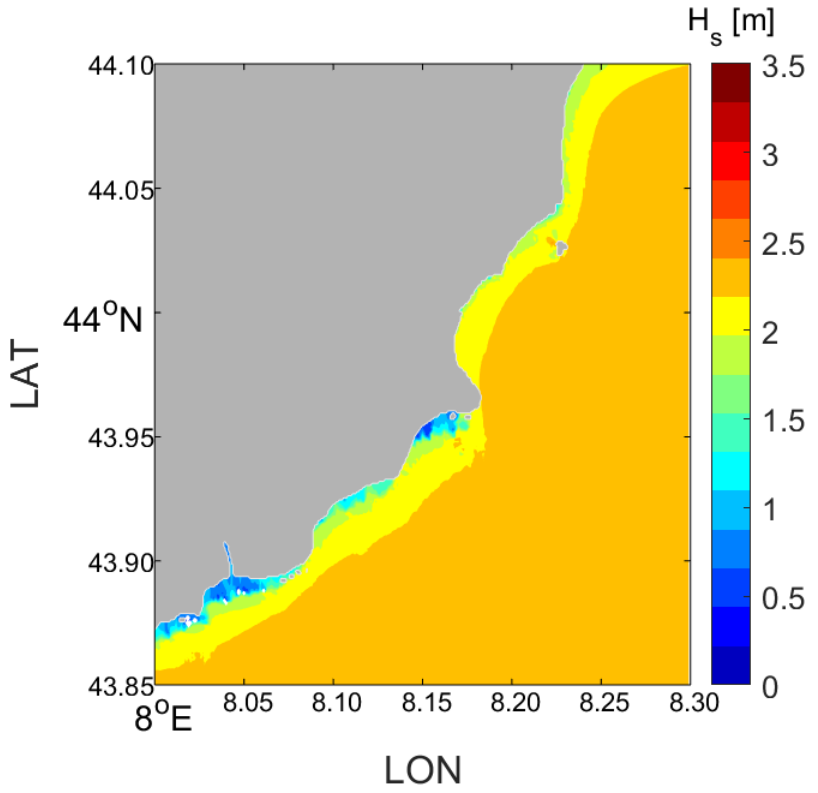


Figura 16: Distribuzione areale di H_s per T_r uguale a 1 anno; direzione di provenienza SE

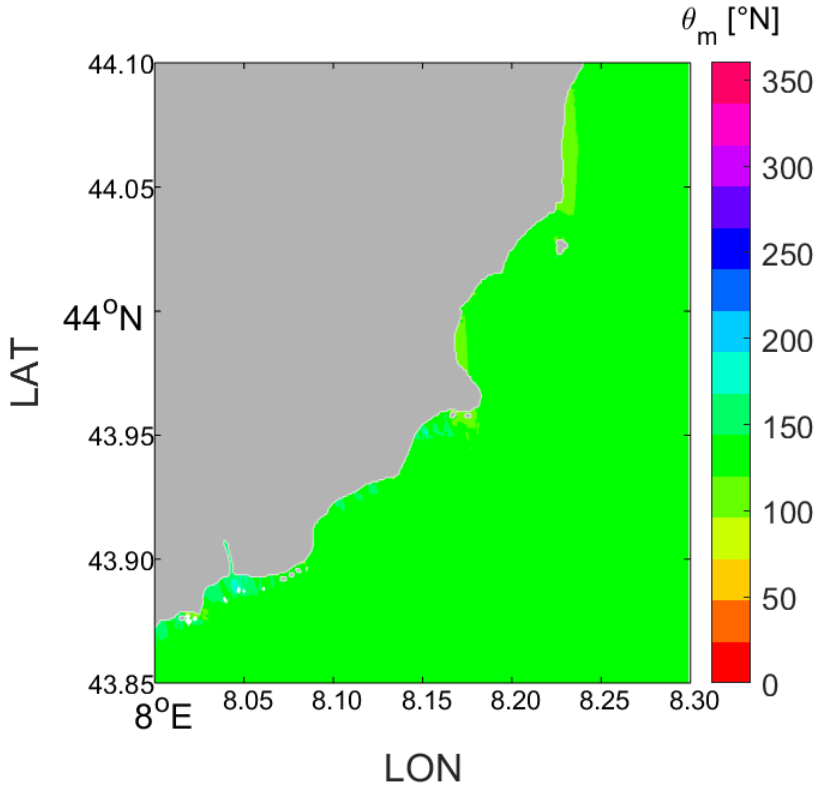


Figura 17: Distribuzione areale di θ_m per T_r uguale a 1 anno; direzione di provenienza SE

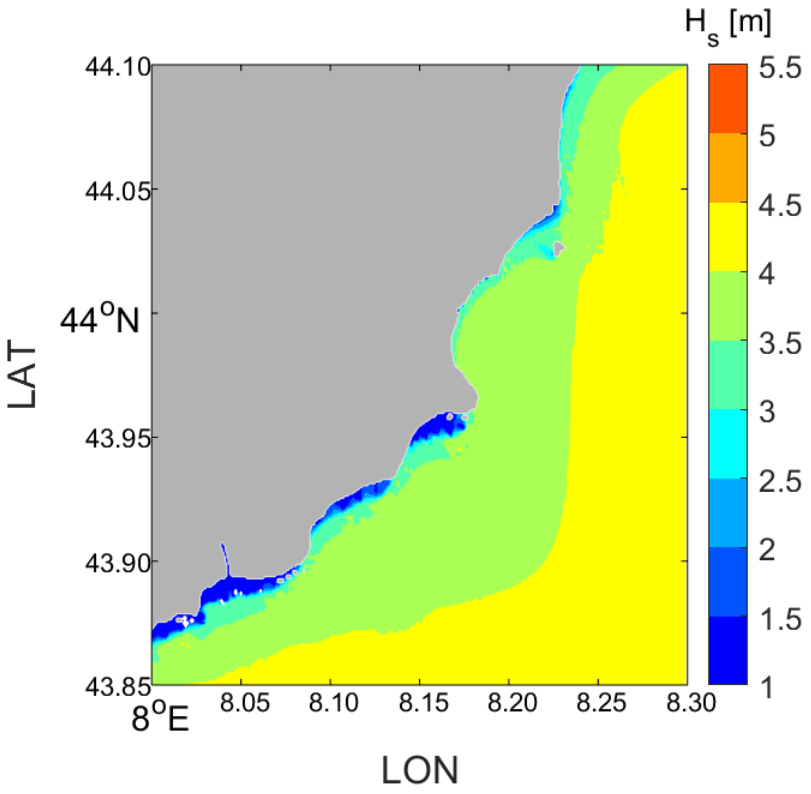


Figura 18: Distribuzione areale di H_s per T_r uguale a 50 anno; direzione di provenienza SE

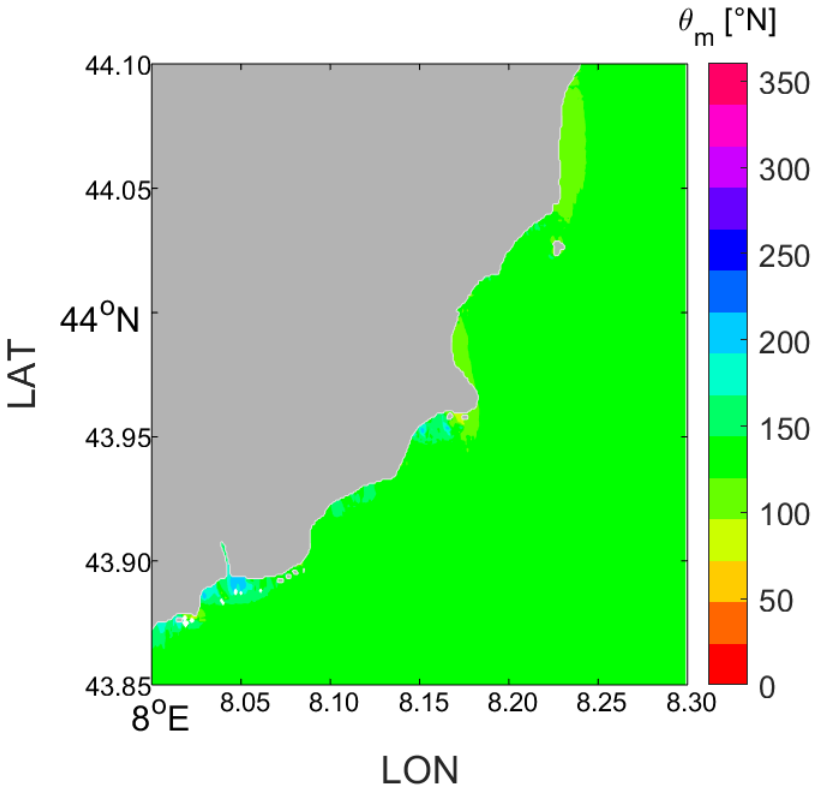


Figura 19: Distribuzione areale di θ_m per T_r uguale a 50 anno; direzione di provenienza SE

4.2 Direzione al largo S-SW

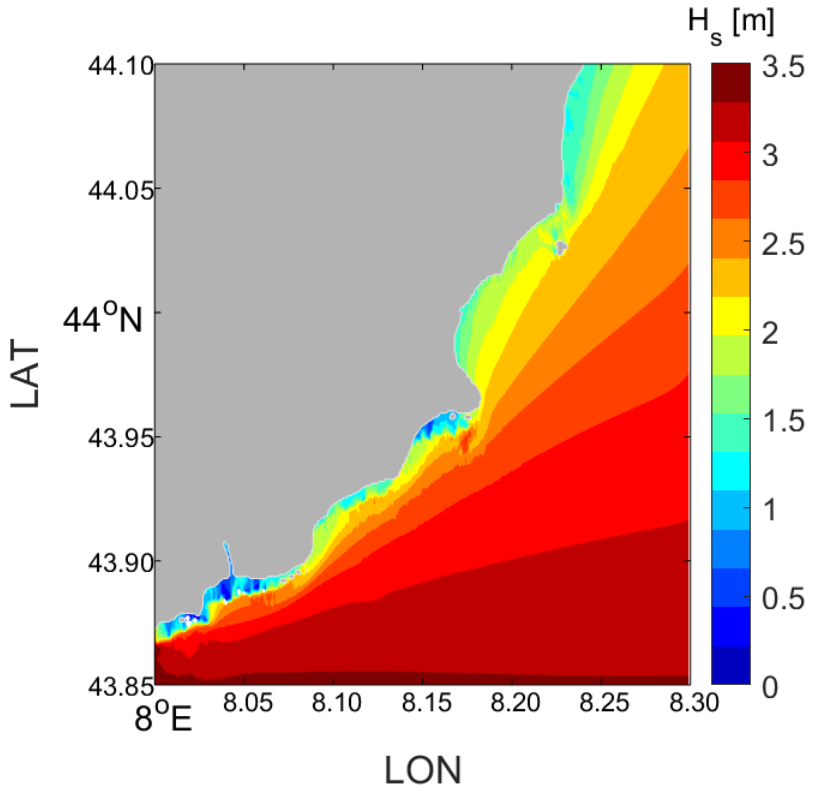


Figura 20: Distribuzione areale di H_s per T_r uguale a 1 anno; direzione di provenienza SW

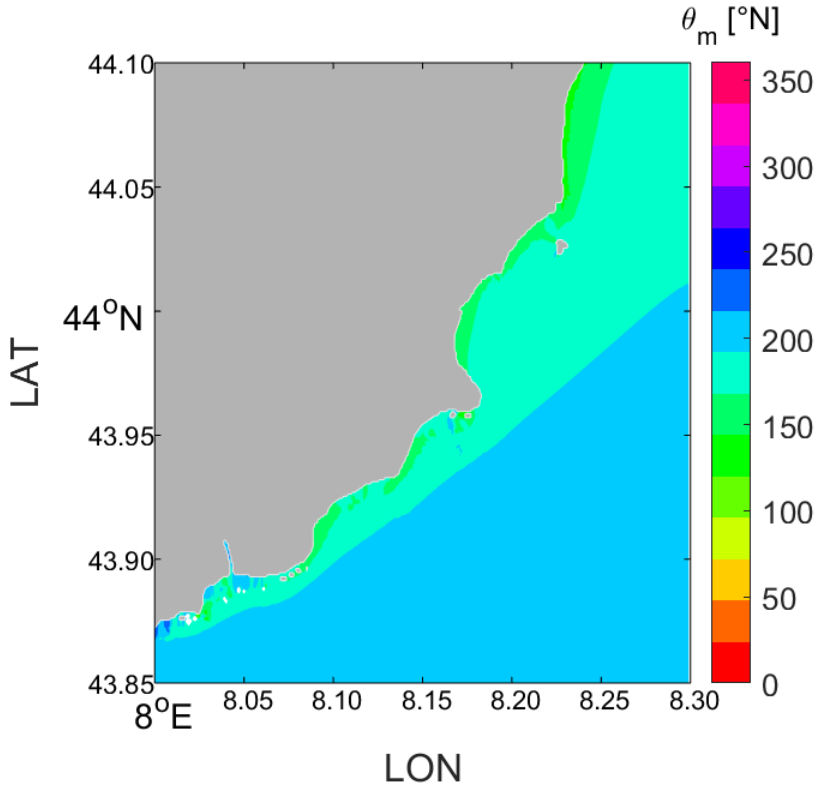


Figura 21: Distribuzione areale di θ_m per T_r uguale a 1 anno; direzione di provenienza SW

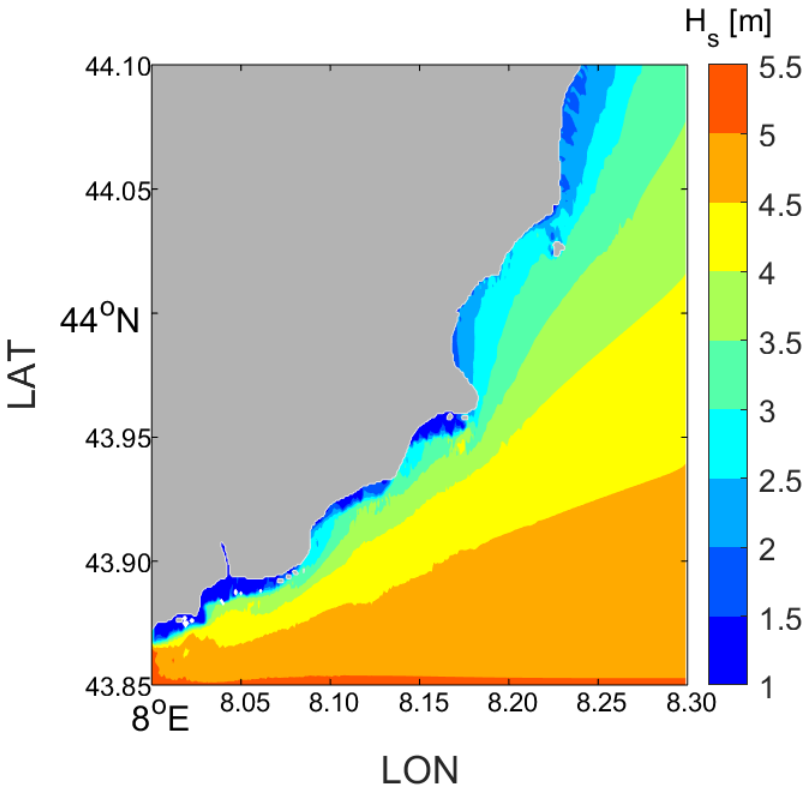


Figura 22: Distribuzione areale di H_s per T_r uguale a 50 anno; direzione di provenienza SW

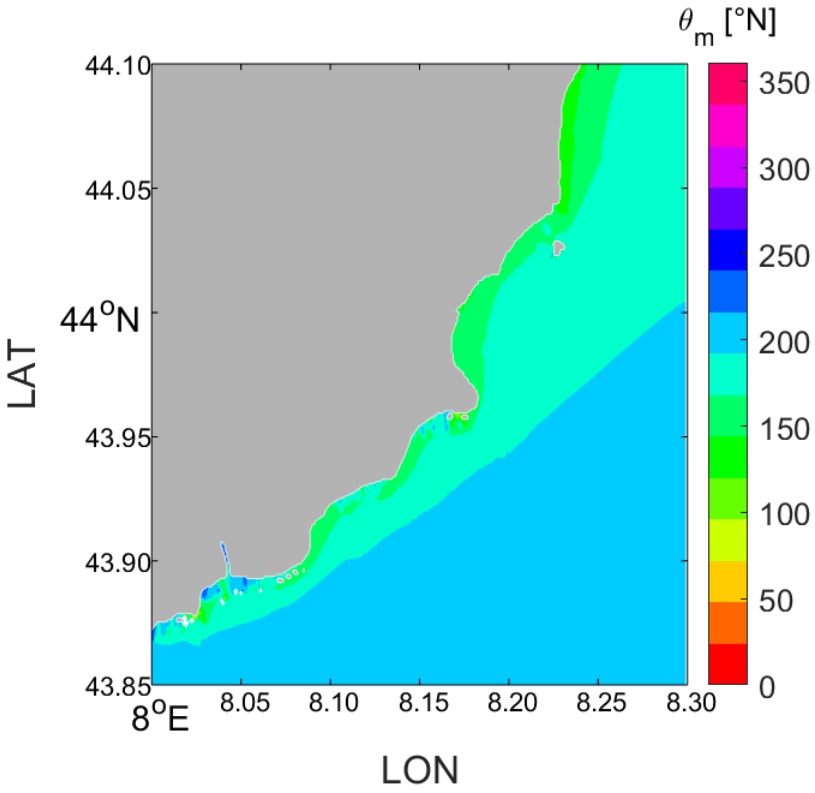


Figura 23: Distribuzione areale di θ_m per T_r uguale a 50 anno; direzione di provenienza SW

Riferimenti bibliografici

Boccotti, P. (1997). *Idraulica marittima*. UTET Università.

Booij, N., R. Ris, and L. Holthuijsen (2003). A third-generation wave model for coastal regions. *104*, 7649–7666.

Coles, S., J. Bawa, L. Trenner, and P. Dorazio (2001). *An introduction to statistical modeling of extreme values*, Volume 208. Springer.

De Leo, F., S. Solari, and G. Besio (2020). Extreme wave analysis based on atmospheric pattern classification: an application along the italian coast. *Natural Hazards and Earth System Sciences 20*(5), 1233–1246.

Goda, Y. (2003). Revisiting wilson's formulas for simplified wind-wave prediction. *Journal of waterway, port, coastal, and ocean engineering 129*(2), 93–95.

MacQueen, J. et al. (1967). Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In *Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability*, Volume 1, pp. 281–297. Oakland, CA, USA.

Mentaschi, L., G. Besio, F. Cassola, and A. Mazzino (2013). Developing and validating a forecast/hindcast system for the Mediterranean sea. *Journal of Coastal Research SI 65*, 1551–1556.

Mentaschi, L., G. Besio, F. Cassola, and A. Mazzino (2015). Performance evaluation of WavewatchIII in the Mediterranean Sea. *Ocean Modelling 90*, 82–94.