



Ricerca di Sistema elettrico

# Previsioni operative dello stato del mare per il Mediterraneo e per 10 sotto-bacini italiani

A. Carillo, E. Lombardi, M.V. Struglia, G. Sannino

## PREVISIONI OPERATIVE DELLO STATO DEL MARE PER IL MEDITERRANEO E PER 10 SOTTO-BACINI ITALIANI

A.Carillo, E.Lombardi, M.V. Struglia, G.Sannino

Aprile 2021

### Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - II annualità

Obiettivo: *Tecnologie*

Progetto: 1.8 Energia elettrica dal mare

Work package: *(Energia elettrica dal mare)*

Linea di attività: Previsioni operative dello stato del mare per il Mediterraneo e per 10 sotto-bacini italiani (LA1.22)

Responsabile del Progetto: Gianmaria Sannino ENEA

Responsabile del Work package: Gianmaria Sannino ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "*Piano triennale di realizzazione 2019-2021 della ricerca di sistema elettrico nazionale*"

Responsabile scientifico ENEA: Gianmaria Sannino

Responsabile scientifico Politecnico di Torino: Giuliana Mattiazzo

## Indice

SOMMARIO .....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	5
2.1 DESCRIZIONE DEL SISTEMA OPERATIVO.....	5
2.2 MAPPE DI ALTEZZA SIGNIFICATIVA PER L'ANNO 2020 .....	7
2.3 CONFRONTO DI CASI SELEZIONATI .....	20
3 CONCLUSIONI .....	27
4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	27

## Sommario

Il presente rapporto descrive le attività svolte relativamente alla previsione operativa del moto ondoso nel corso dell'anno 2020. L'attività riguarda le previsioni dello stato del mare sull'intero bacino mediterraneo alla risoluzione spaziale di  $1/32^\circ$  e su una serie di sottobacini dei mari italiani alla risoluzione di  $1/128^\circ$ . Le previsioni, effettuate utilizzando una catena di codici di calcolo messa a punto nel corso del PAR 2013, vengono effettuate quotidianamente e si estendono sui cinque giorni successivi.

Le variabili che descrivono il moto ondoso sono memorizzate su tutti i punti della griglia di calcolo con frequenza oraria e vanno ad accrescere la banca dati prodotta con le previsioni giornaliere a partire dal giugno 2013.

I risultati delle simulazioni vengono pubblicati automaticamente sulla pagina web dell'ENEA (<https://giotto.casaccia.enea.it/waves>), dove sono disponibili mappe delle principali grandezze relative alle simulazioni del giorno corrente, sia per il Mediterraneo che per i sottobacini.

Nel presente rapporto, dopo avere brevemente richiamato le caratteristiche fondamentali del sistema operativo, vengono presentate le mappe mensili medie per l'anno 2020 e le mappe con i valori massimi mensili di altezza significativa dell'onda. Infine sono mostrati confronti dei risultati della previsione per il Mediterraneo con campi di analisi prodotti dal Centro Europeo per le Previsioni Meteorologiche (ECMWF).

## 1 Introduzione

L'attività di studio dello stato del mare ha avuto inizio in ENEA nell'ambito del PAR con lo scopo di fornire supporto alla progettazione, all'installazione ed all'operatività, di impianti di produzione di energia dal moto ondoso.

In una prima fase, è stata realizzata una climatologia del moto ondoso per il bacino Mediterraneo tramite una simulazione alla risoluzione spaziale di  $1/16^\circ$ . I dati di questa climatologia, calcolata su dieci anni, possono essere utilizzati sia per l'identificazione dei siti potenzialmente idonei allo sfruttamento dell'energia delle onde, che per la definizione delle caratteristiche dell'onda da considerare nella fase di progettazione di nuovi sistemi di conversione di energia da moto ondoso.

In seguito è stata realizzata una catena operativa di modelli di previsione del moto ondoso con lo scopo di fornire in tempo reale supporto alla gestione dei convertitori. In taluni casi, infatti, il rendimento del sistema può essere aumentato tramite la modifica di parametri in funzione di frequenza e ampiezza dell'onda incidente. I risultati del sistema operativo sono inoltre memorizzati allo scopo di produrre una nuova climatologia a maggiore risoluzione spaziale.

## 2 Descrizione delle attività svolte e risultati

### 2.1 *Descrizione del sistema operativo*

Il sistema operativo per la previsione del moto ondoso è stato realizzato dall'ENEA nell'ambito del PAR 2013. Il sistema è stato descritto in dettaglio nei rapporti tecnici [1,2,3], una prima validazione dei risultati ottenuti è stata effettuata a partire dai dati relativi ai primi anni di simulazione [4,5].

Il sistema operativo è stato messo a punto per l'intera area Mediterranea ad una risoluzione di  $1/32^\circ$  (circa 3.5 Km). Questa risoluzione non è comunque sufficiente per fini ingegneristici, la catena operativa è quindi completata da una serie di modelli, sviluppati per le zone ritenute interessanti, ad una risoluzione di circa  $1/128^\circ$ , corrispondente a distanze dell'ordine di 700-800 m.

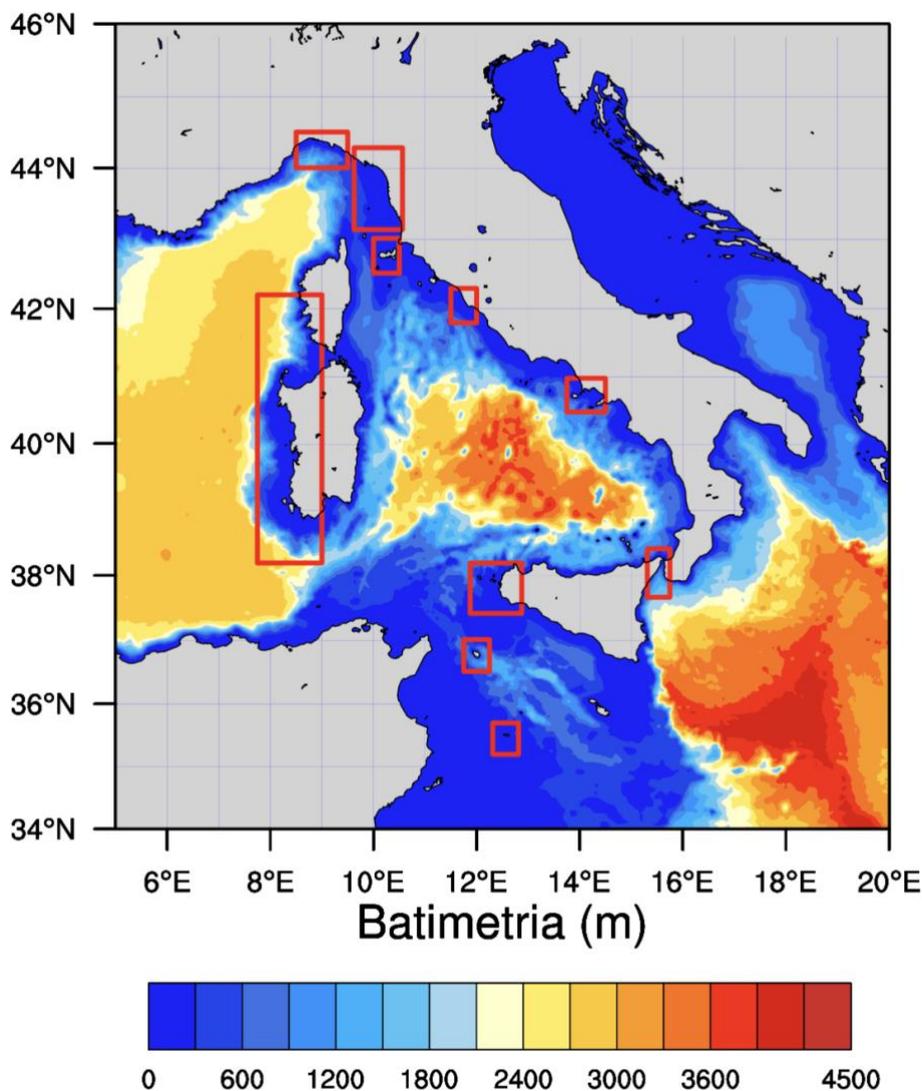
Le informazioni derivate dal modello a risoluzione minore sono utilizzate come condizioni al contorno ai vari modelli dei sotto-bacini, fornendo i dati relativi alle onde provenienti dalle regioni limitrofe, che possono rappresentare una importante componente rispetto a quelle generate localmente.

I dati atmosferici utilizzati come forzante del sistema operativo sono attualmente quelli prodotti dal sistema SKIRON sviluppato dall'Atmospheric Modeling and Weather Forecasting Group dell'Università di Atene alla risoluzione orizzontale di  $0.05^\circ \times 0.05^\circ$  [6,7]. Le previsioni del sistema SKIRON coprono un intervallo temporale di cinque giorni, i dati sono disponibili con frequenza oraria.

Il sistema operativo per il moto ondoso è costituito da una versione parallela del modello di onde WAM ciclo 4.5.3 [8], per l'intera area mediterranea e dal modello SWAN (Simulating WAVes Nearshore) per i sottobacini a maggiore risoluzione. WAM è un modello spettrale di terza generazione che risolve l'equazione di trasporto delle onde esplicitamente, senza assunzioni sulla forma dello spettro dell'onda, sviluppato per simulare la propagazione delle onde in acque profonde. Il modello SWAN [9] invece è stato sviluppato per l'uso in acque costiere ed è dotato di parametrizzazioni specifiche delle acque poco profonde, tiene conto della dissipazione delle onde dovuta all'attrito sul fondo e alla rottura delle onde causata dalla diminuzione della profondità.

Lo spettro energetico bidimensionale è stato discretizzato in entrambi i modelli utilizzando 36 direzioni angolari, pari a  $10^\circ$  di risoluzione, e 32 intervalli di frequenza a partire da 0.05 Hz, con incrementi relativi di 0.1 tra un intervallo di frequenza ed il successivo.

Il dominio di calcolo copre tutto il Mar Mediterraneo, da 5.50 °W a 36.125 °E di longitudine e da 30.2 °N a 45.825 °N di latitudine ed è discretizzato ad una risoluzione uniforme di 1/32° in entrambe le direzioni. Il numero di nodi di calcolo utilizzati è pari a 1333 x 501.



**Figura 1. Batimetria dei mari italiani con indicazione delle aree sulle quali vengono effettuate le simulazioni ad alta risoluzione.**

Nella Figura 1 sono riportate, sulla batimetria del modello WAM, le indicazioni delle aree corrispondenti ai sottobacini su cui sono effettuate le simulazioni con il modello SWAN. Tenendo conto delle aree a più alta intensità del moto ondoso, ricavate dalle climatologie delle onde realizzate in precedenza [10], sono state definite due aree più estese che ricoprono tutta la costa occidentale della Sardegna e l'estremo nord-ovest della Sicilia. Sono state inoltre inserite aree per le quali è in corso l'installazione di impianti sperimentali per la produzione di energia dal moto ondoso (Civitavecchia e Pantelleria) e zone con grosse aree portuali (golfo di Genova, golfo di La Spezia e golfo di Napoli) per le quali è possibile ipotizzare un futuro sviluppo dello sfruttamento della risorsa marina. Infine sono state inserite le aree di mare che includono alcune isole minori, per le quali lo sfruttamento dell'energia marina può rappresentare un interessante contributo all'autosufficienza energetica.

Vengono qui brevemente riassunti i principali passi della catena operativa che viene eseguita automaticamente ogni mattina, non appena i campi di vento prodotti dal sistema operativo SKIRON risultano disponibili.

1. I files con il vento alla superficie vengono trasformati in un formato idoneo alla lettura da parte dei codici WAM e SWAN.

2. Viene eseguito il modello WAM sull'intero Mediterraneo. La simulazione produce oltre alle variabili su tutto il grigliato di calcolo, anche le condizioni al contorno necessarie per l'esecuzione del modello SWAN sui sottobacini. Vengono memorizzati, a distanza di un giorno di simulazione, tutti i dati necessari per il *restart* della simulazione.

3. Vengono eseguite le simulazioni relative ai sottobacini memorizzando, anche in questo caso, per ciascun sottobacino i dati necessari al *restart* delle simulazioni ad una distanza di un giorno di simulazione.

4. Vengono prodotte mappe, per ogni ora dei cinque giorni della simulazione, con i valori di altezza significativa dell'onda, periodo medio ed energia. Le mappe sono poi pubblicate sul sito dell'ENEA (<https://giotto.casaccia.enea.it/waves>).

5. I dati orari relativi alle principali grandezze caratteristiche delle onde, prodotti dalle simulazioni sul bacino Mediterraneo e sui sottobacini, vengono memorizzati su tutti i punti del grigliato di calcolo e vanno ad accrescere la banca dati del moto ondoso dell'ENEA.

Le previsioni sul Mediterraneo e sui sottobacini sono inizializzate a partire dai files di *restart* prodotti dalla simulazione del giorno precedente.

## 2.2 Mappe di altezza significativa per l'anno 2020

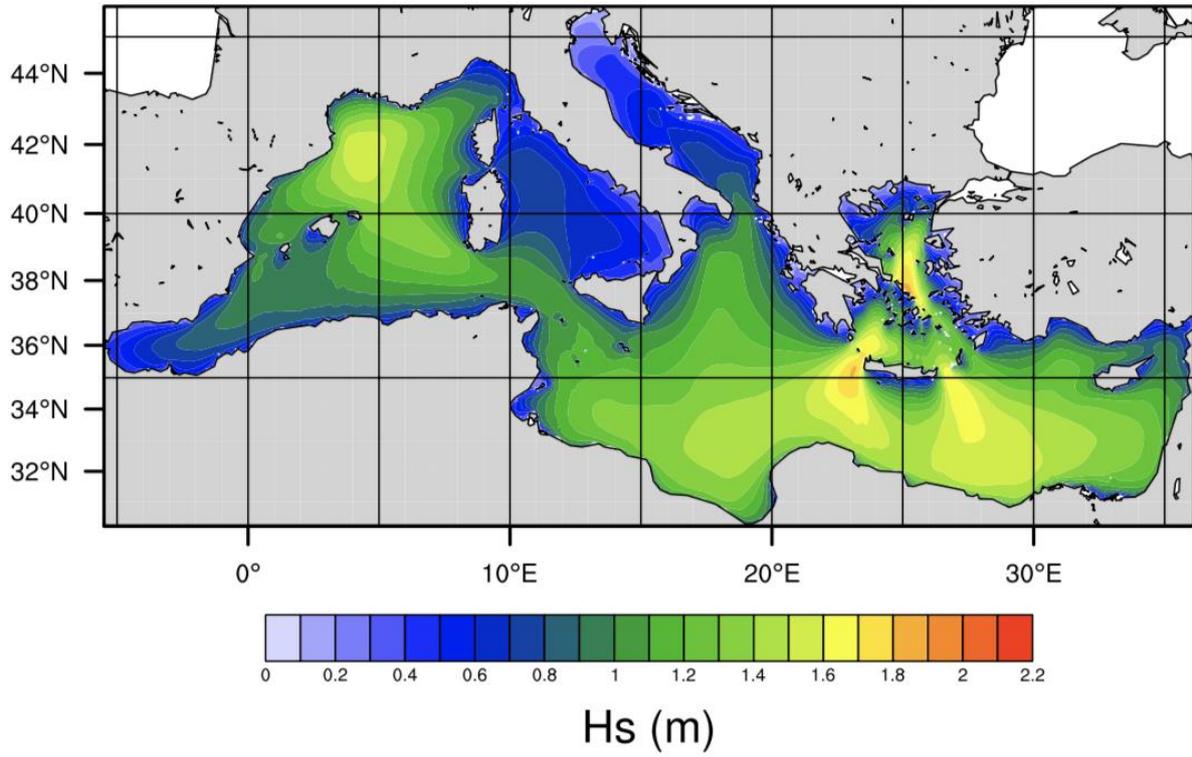
Nella figura 2 sono riportate le altezze significative medie mensili delle onde per l'anno 2020, prodotte dalla simulazione con il modello WAM per l'intero Mediterraneo. Per il calcolo è stato utilizzato il primo giorno della previsione.

Si può notare il massimo centrato nel Golfo del Leone, presente nella maggior parte dei mesi e particolarmente intenso nei mesi invernali e nel mese di marzo. Il mese di dicembre 2020 è stato caratterizzato da valori particolarmente elevati di ampiezza d'onda su tutto il bacino occidentale, con valori medi che hanno superato 2 m in una ampia zona tra le Baleari e la Sardegna.

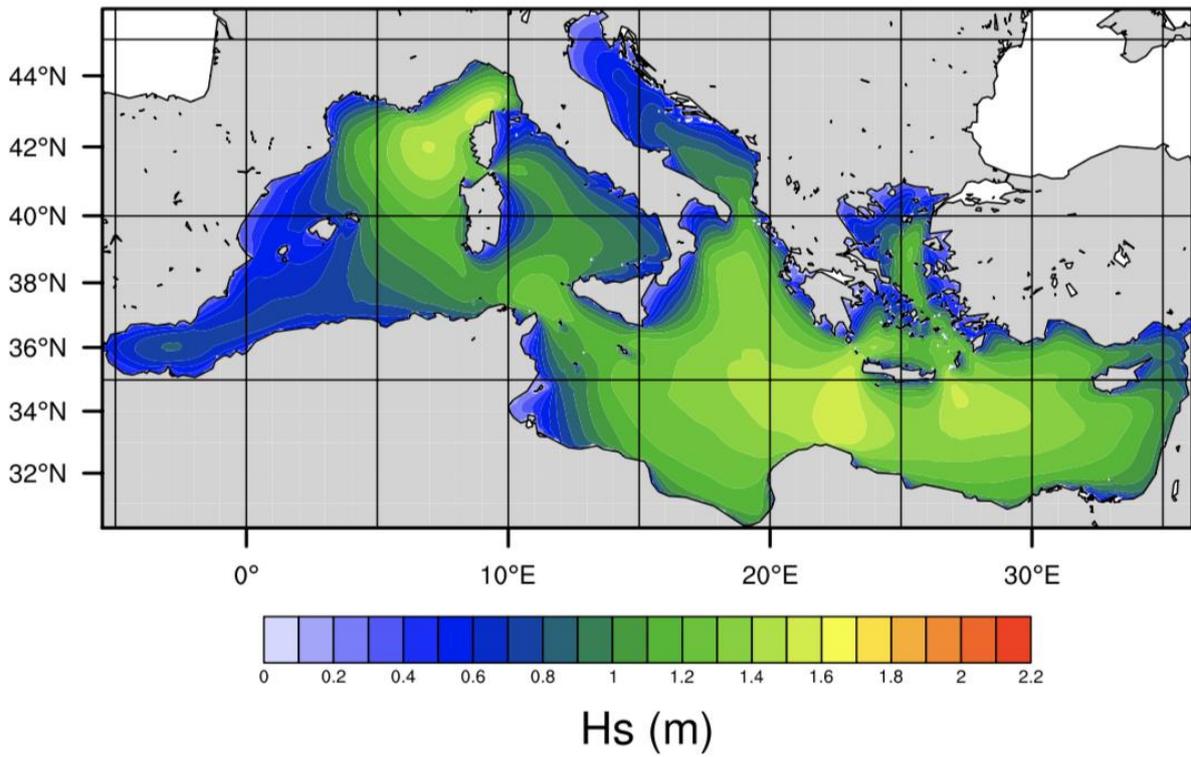
I mesi estivi sono invece principalmente caratterizzati dagli effetti dei venti etesiani, che spirano sulla parte orientale del bacino e determinano valori di onda elevati sull'Egeo e nella zona circostante l'isola di Creta.

Per una analisi più approfondita del moto ondoso nel corso dell'anno, in figura 3 sono riportati per ciascun mese i valori massimi di altezza significativa, calcolati per ciascun punto del grigliato del modello WAM. Mentre in alcuni mesi i valori massimi presentano una distribuzione areale sostanzialmente simile alle mappe medie, in altri si presentano valori estremi elevati in aree con medie basse, indicativi della presenza di specifici episodi di elevata intensità. Questo è ad esempio osservabile nel mese di gennaio, dove si osserva una fascia di valori intorno a 8 m di ampiezza sulla costa iberica. Nel mese di settembre, che non presenta valori medi superiori al metro in tutto il bacino occidentale e centrale, si hanno invece picchi superiori a 7 m a nord-est delle isole Baleari. Una analisi più dettagliata sarà di seguito riportata relativamente a due diversi episodi verificatisi nel corso del mese di settembre.

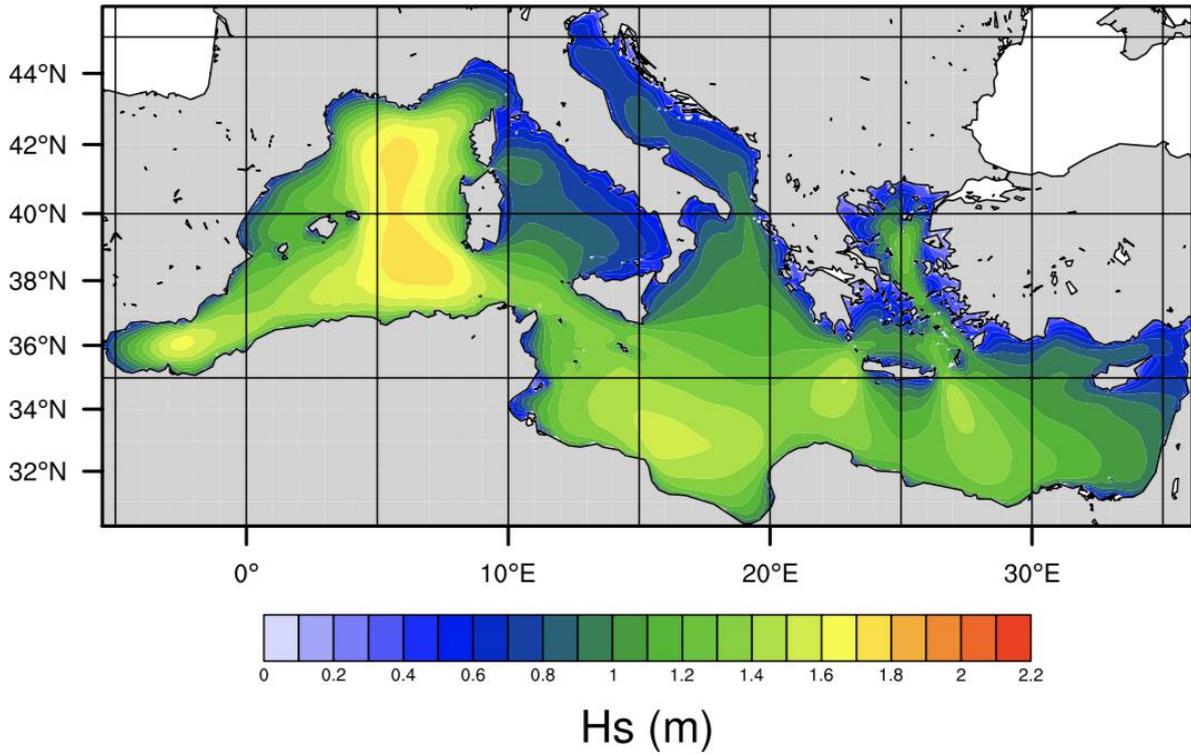
### Gennaio 2020



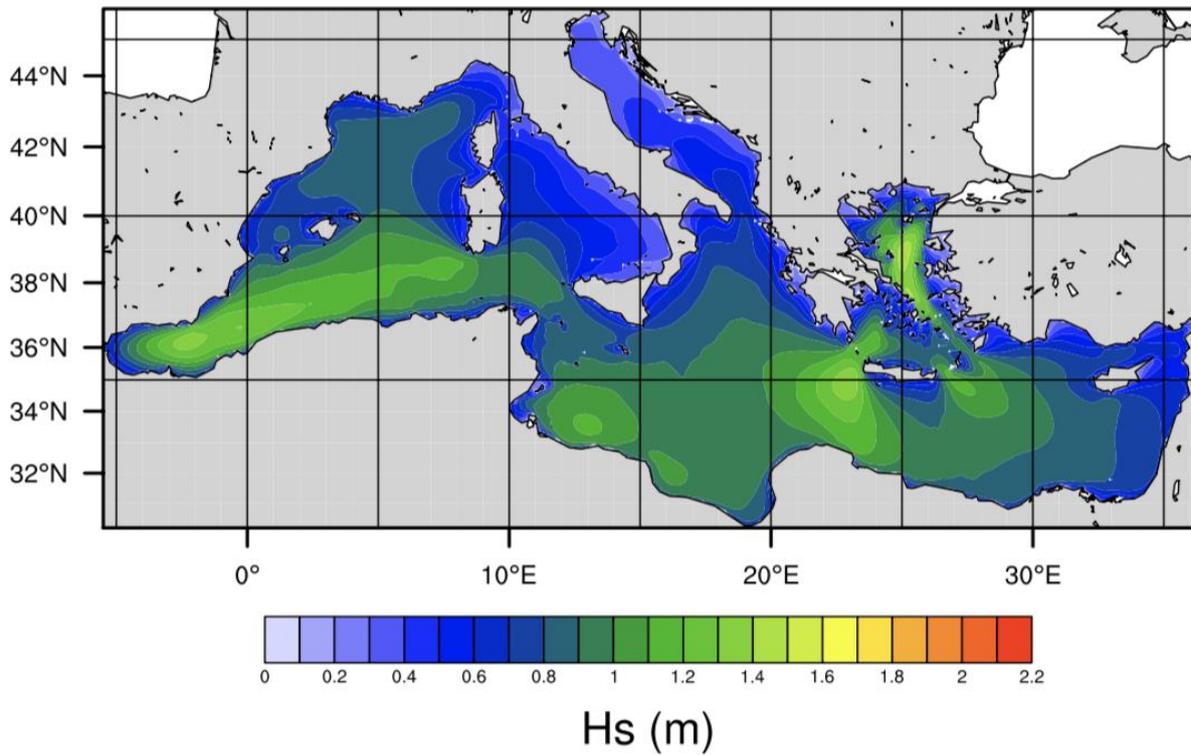
### Febbraio 2020



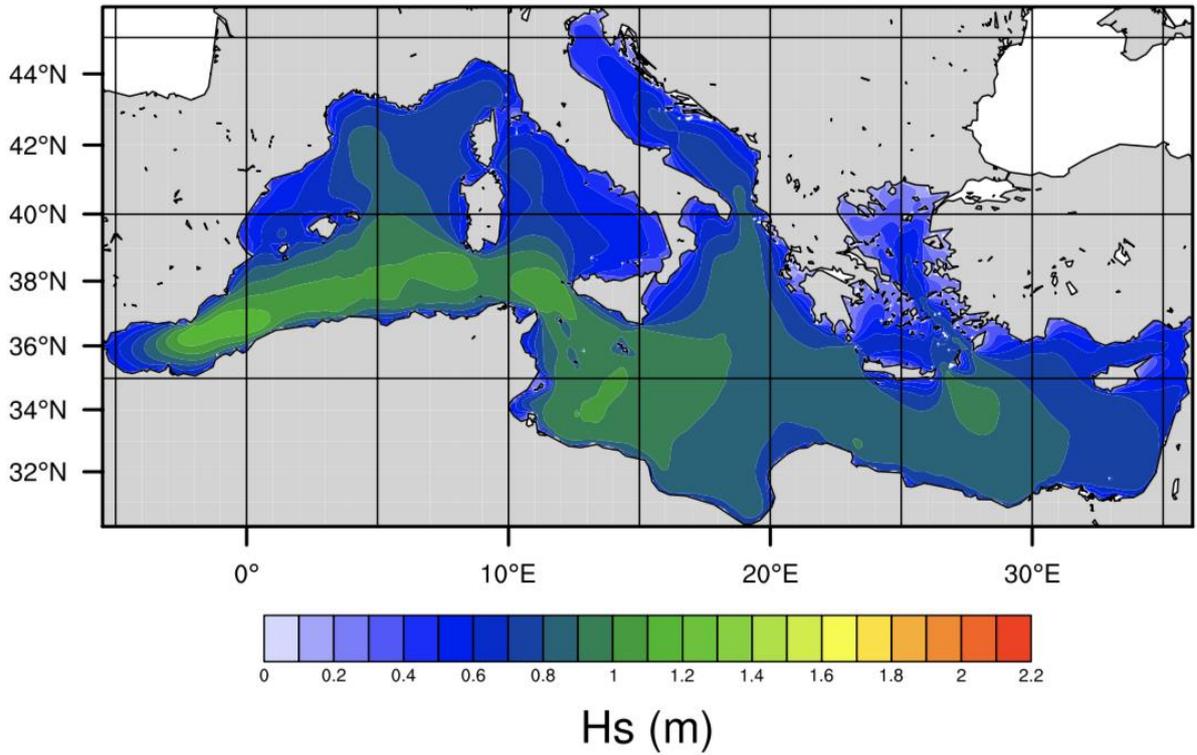
## Marzo 2020



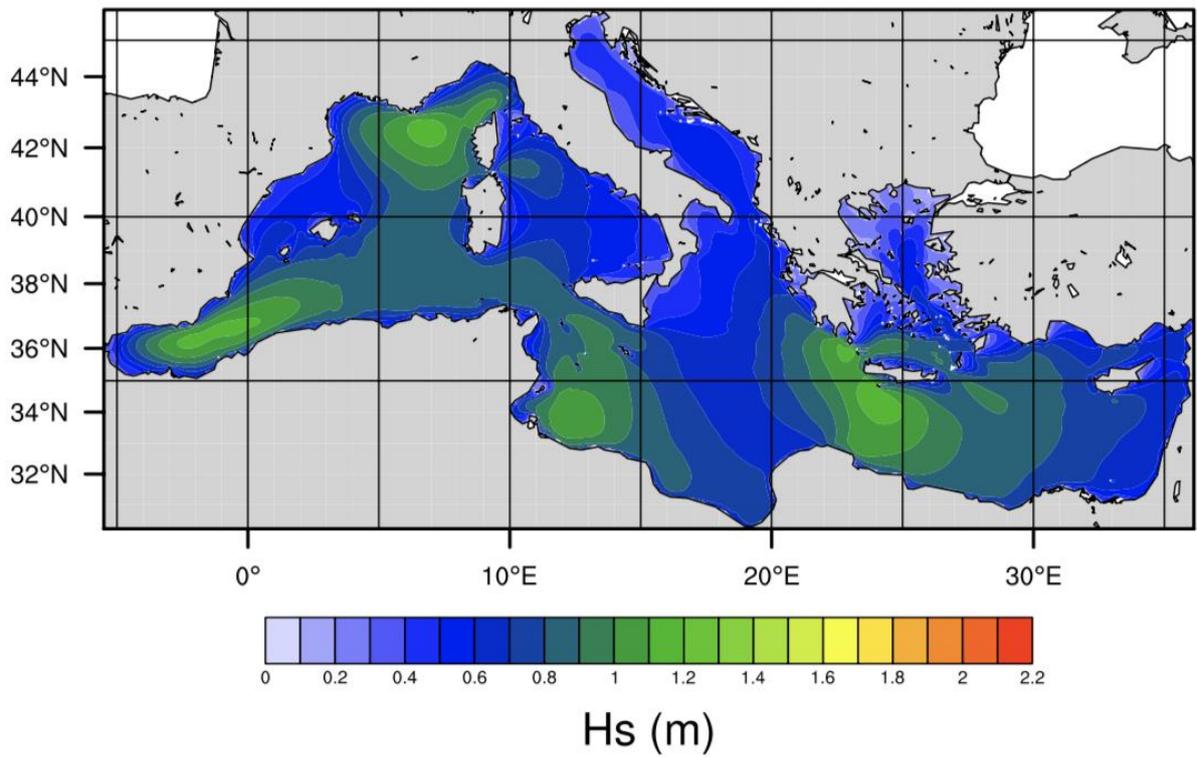
## Aprile 2020



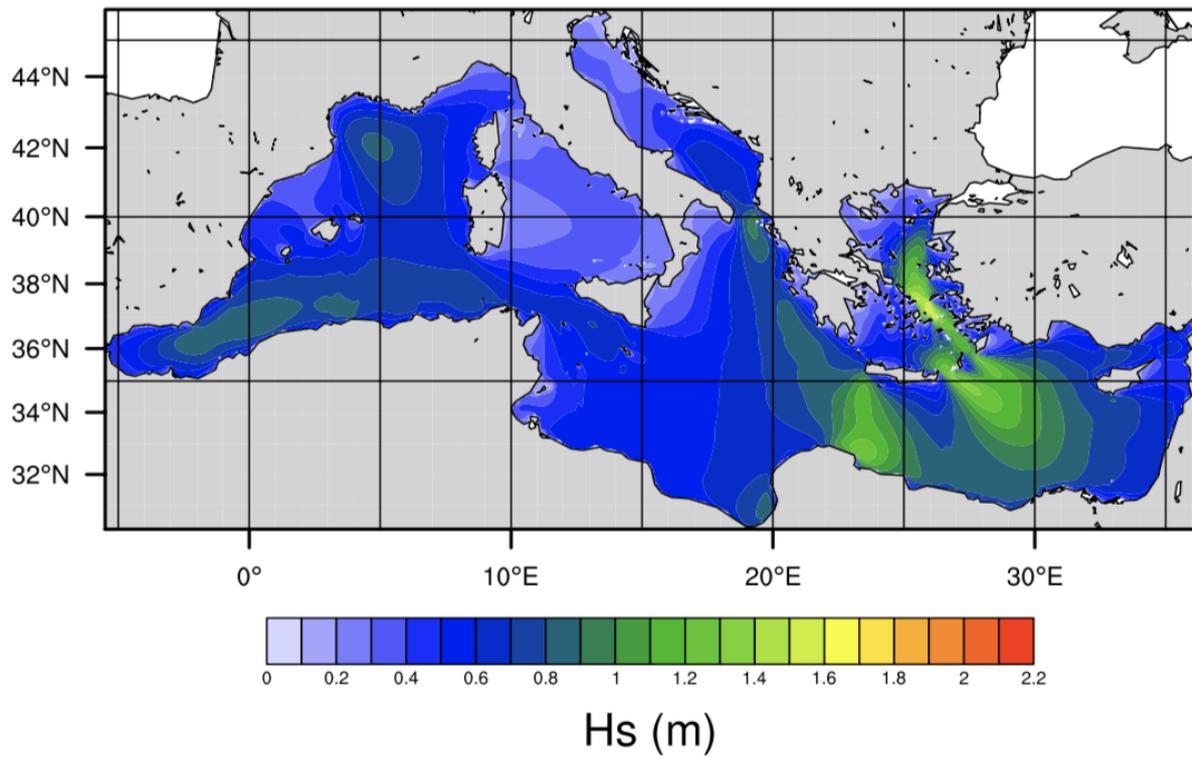
### Maggio 2020



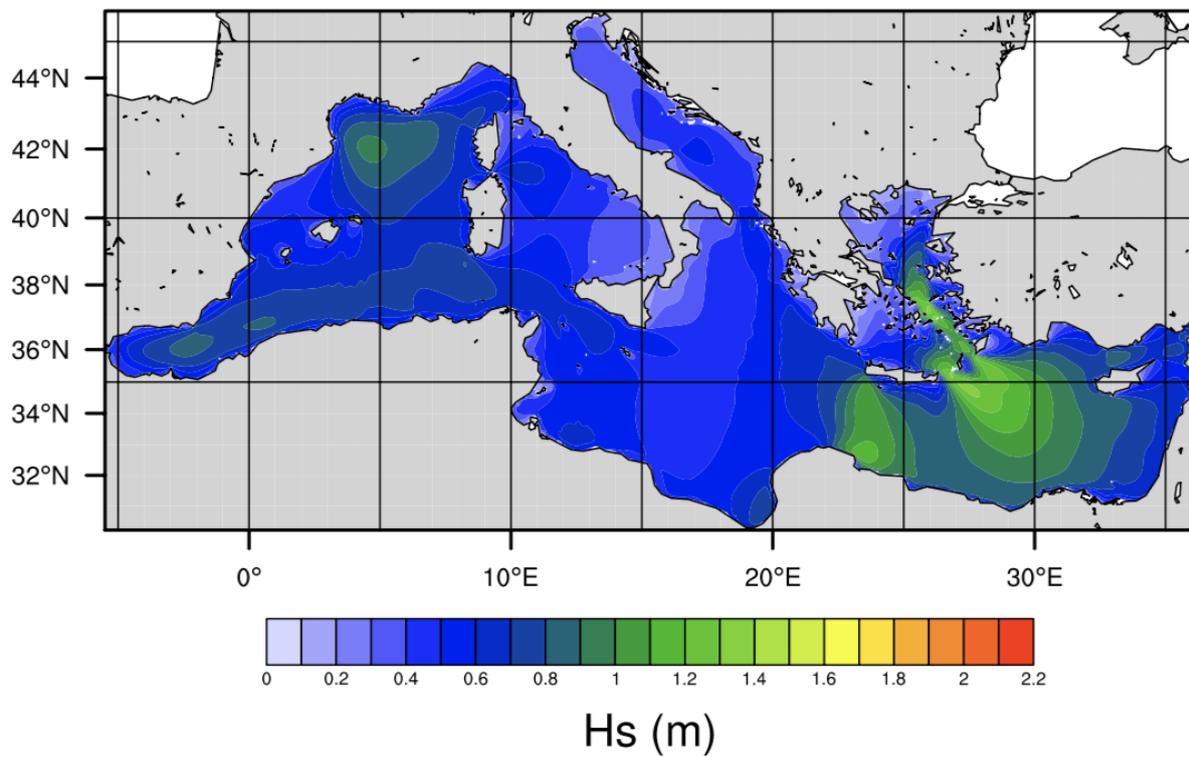
### Giugno 2020



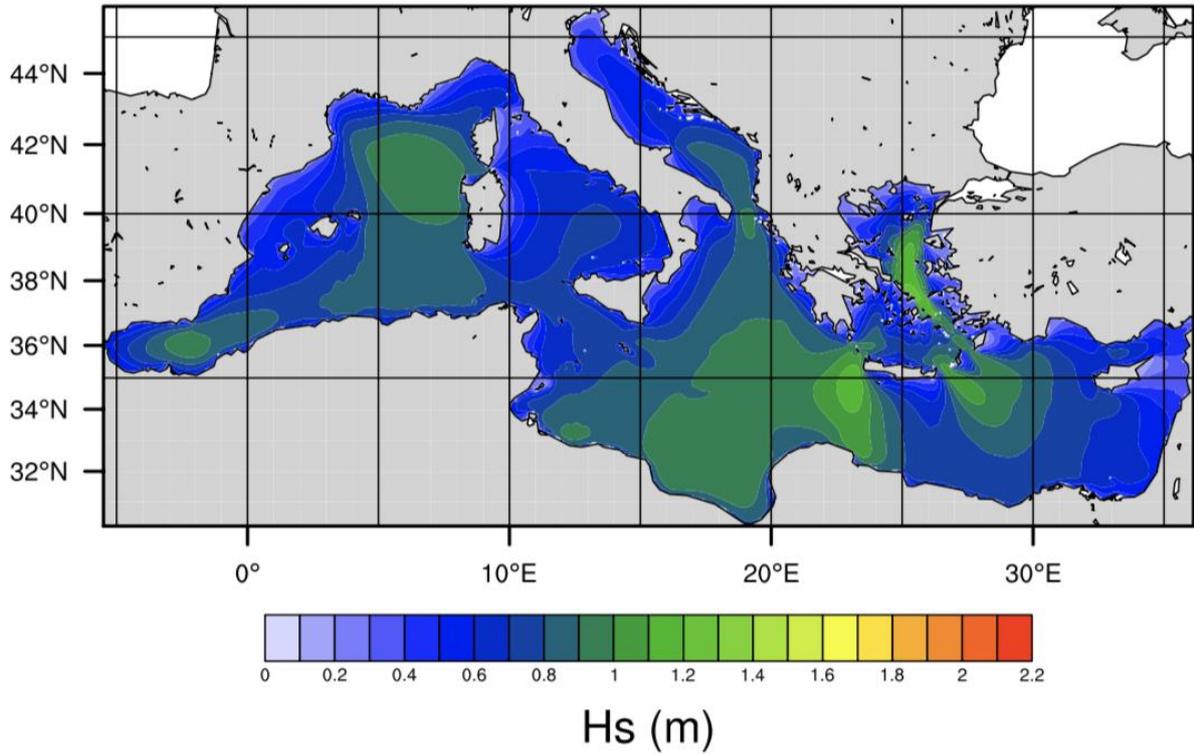
## Luglio 2020



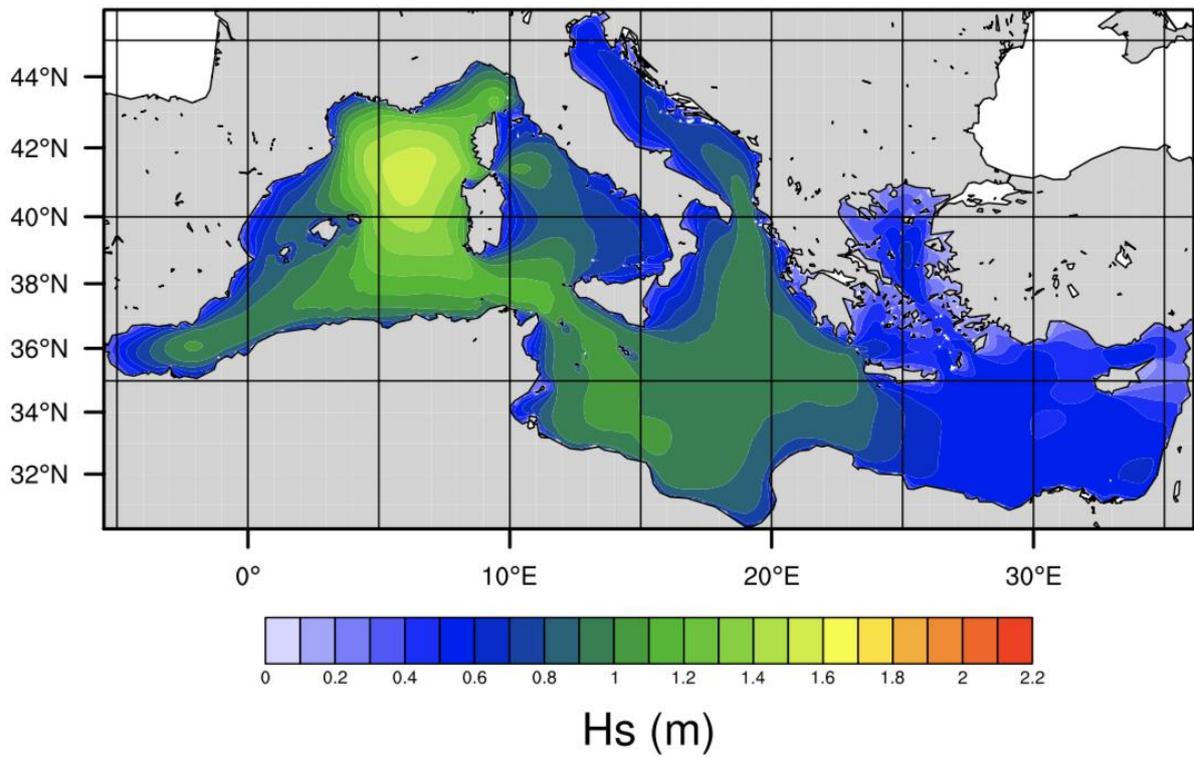
## Agosto 2020



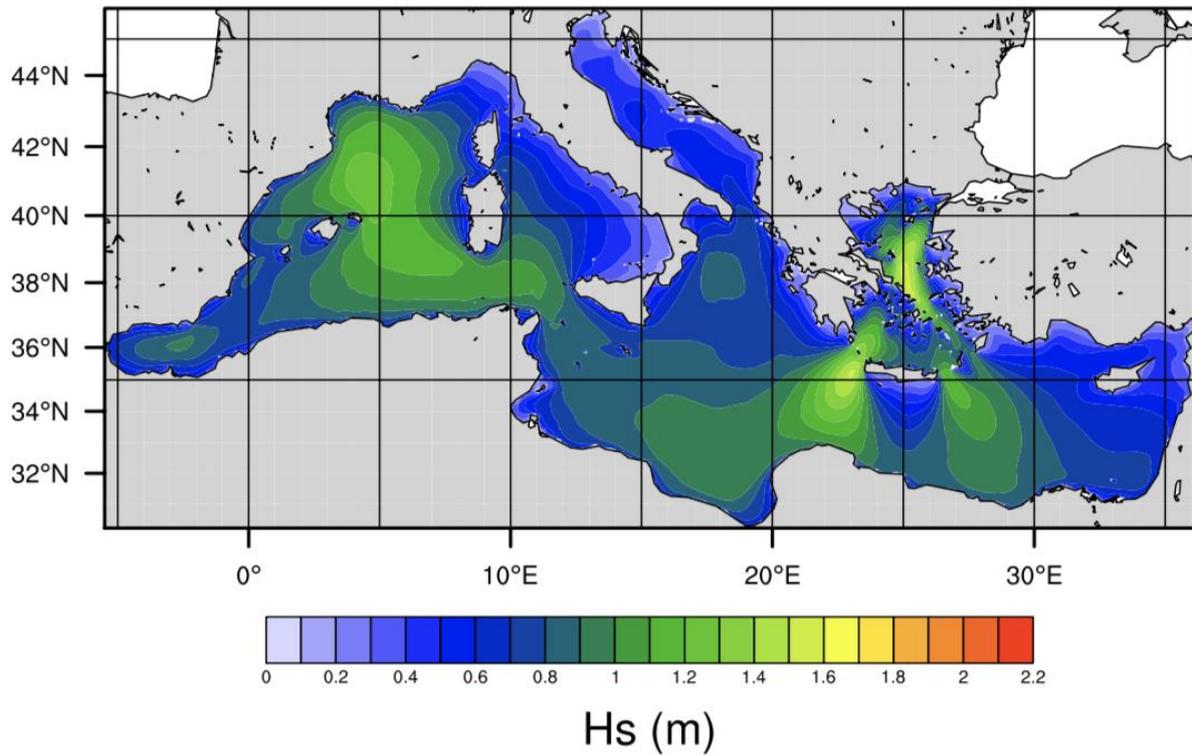
### Settembre 2020



### Ottobre 2020



## Novembre 2020



## Dicembre 2020

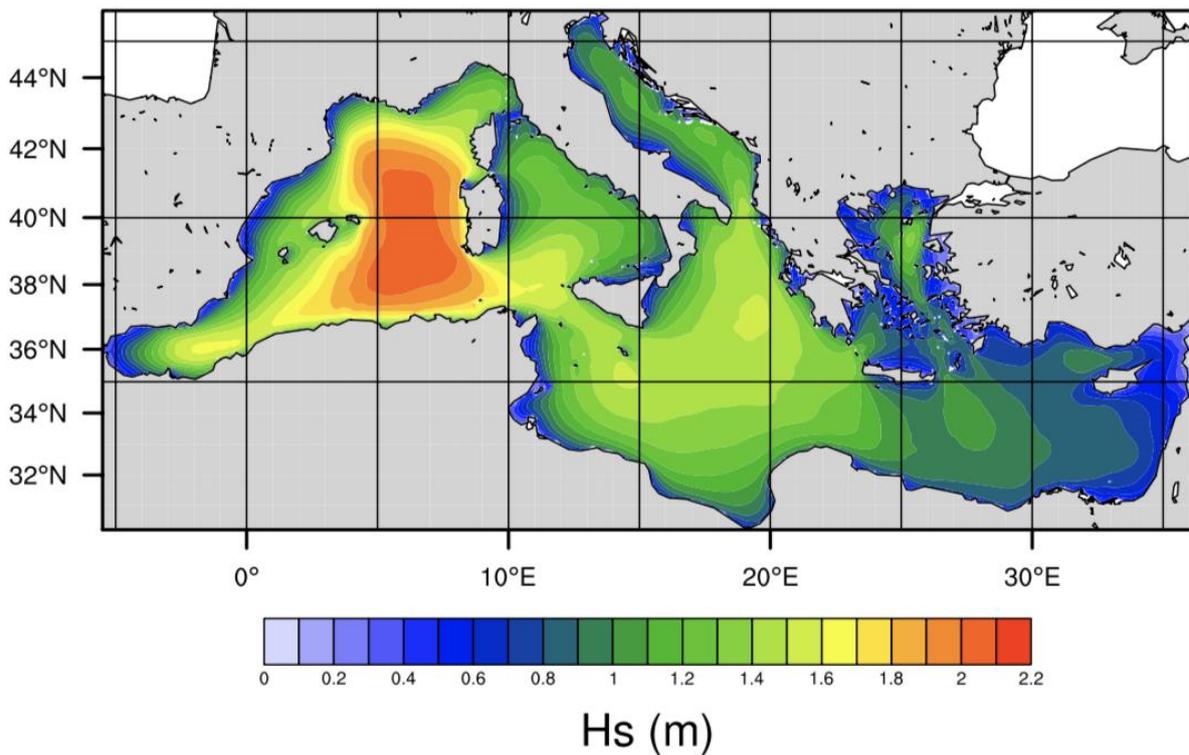
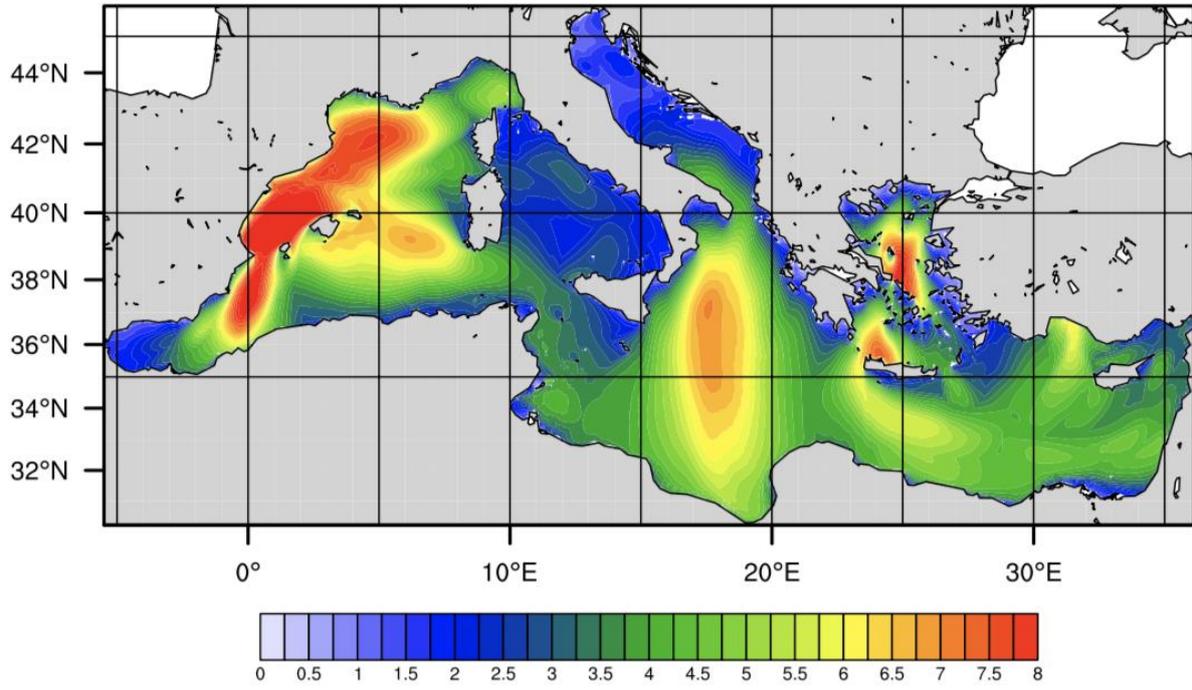


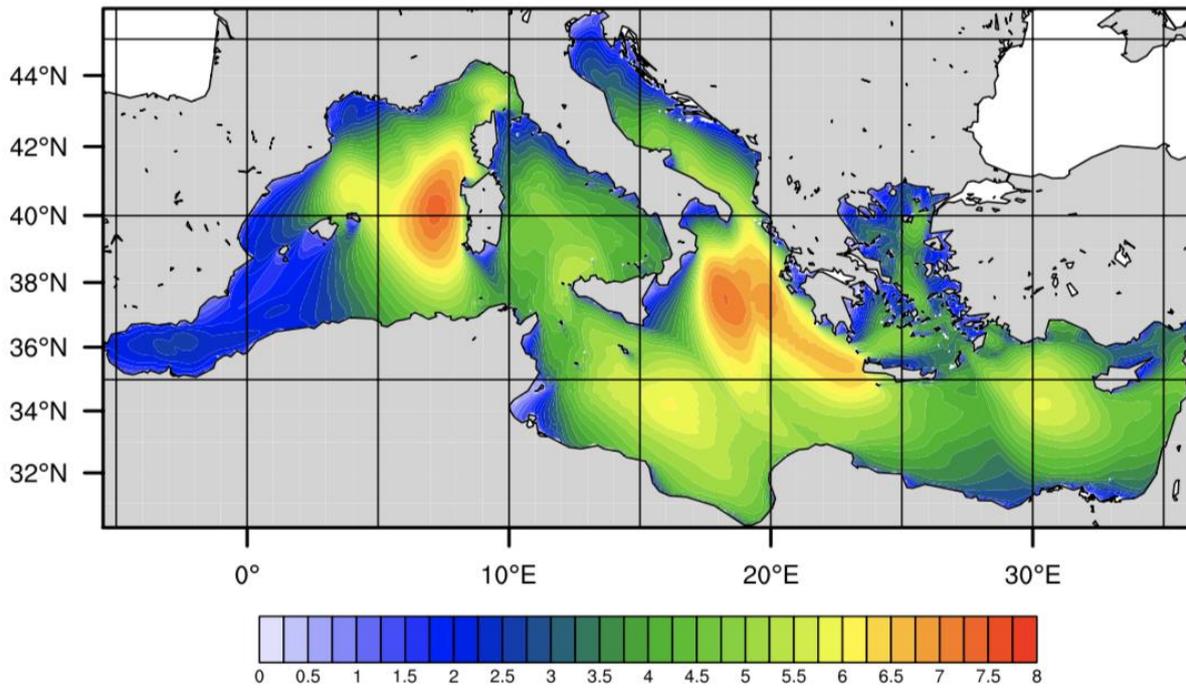
Figura 2. Medie mensili di altezza significativa calcolate con il modello WAM utilizzando il primo giorno di simulazione delle previsioni dell'anno 2020.

### Gennaio 2020



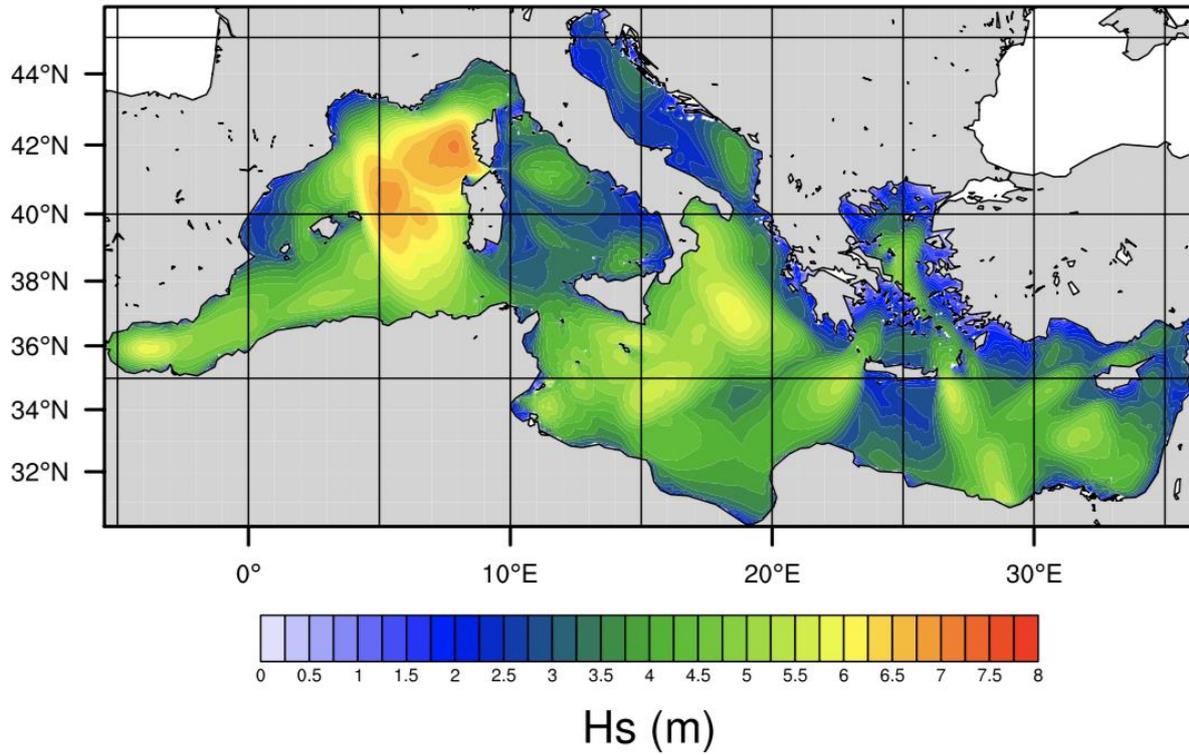
Hs (m)

### Febbraio 2020

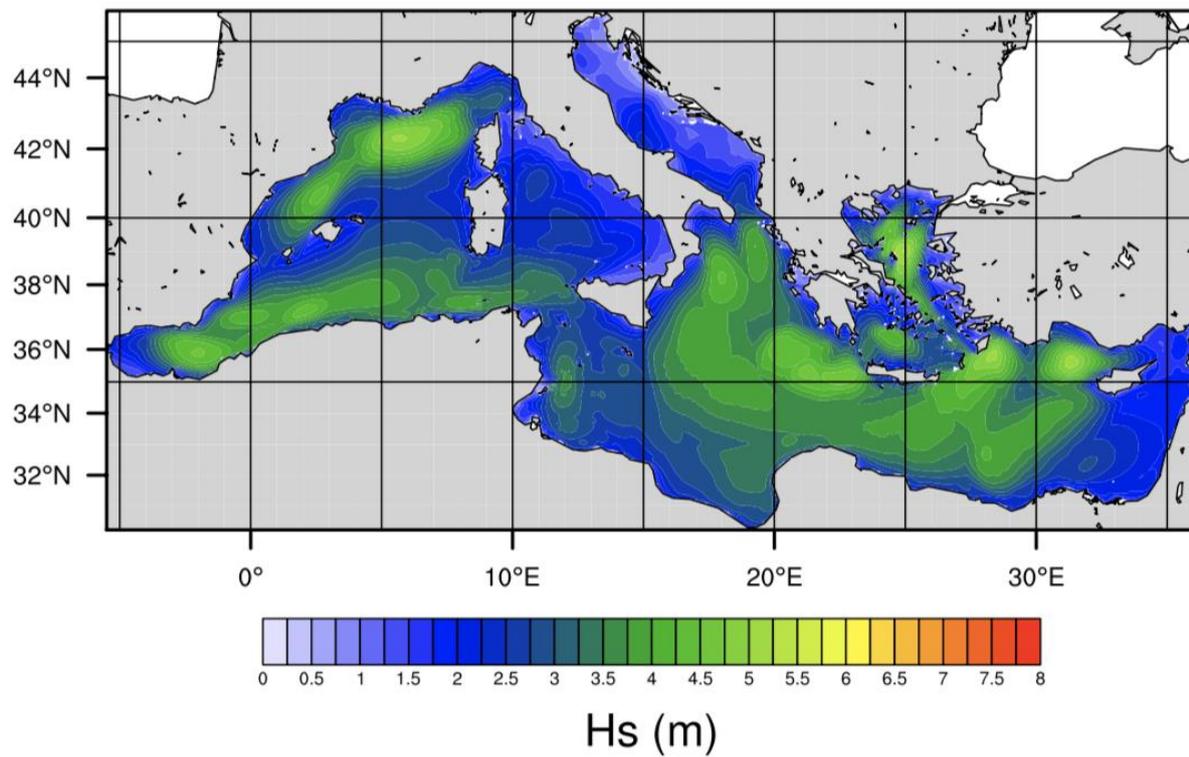


Hs (m)

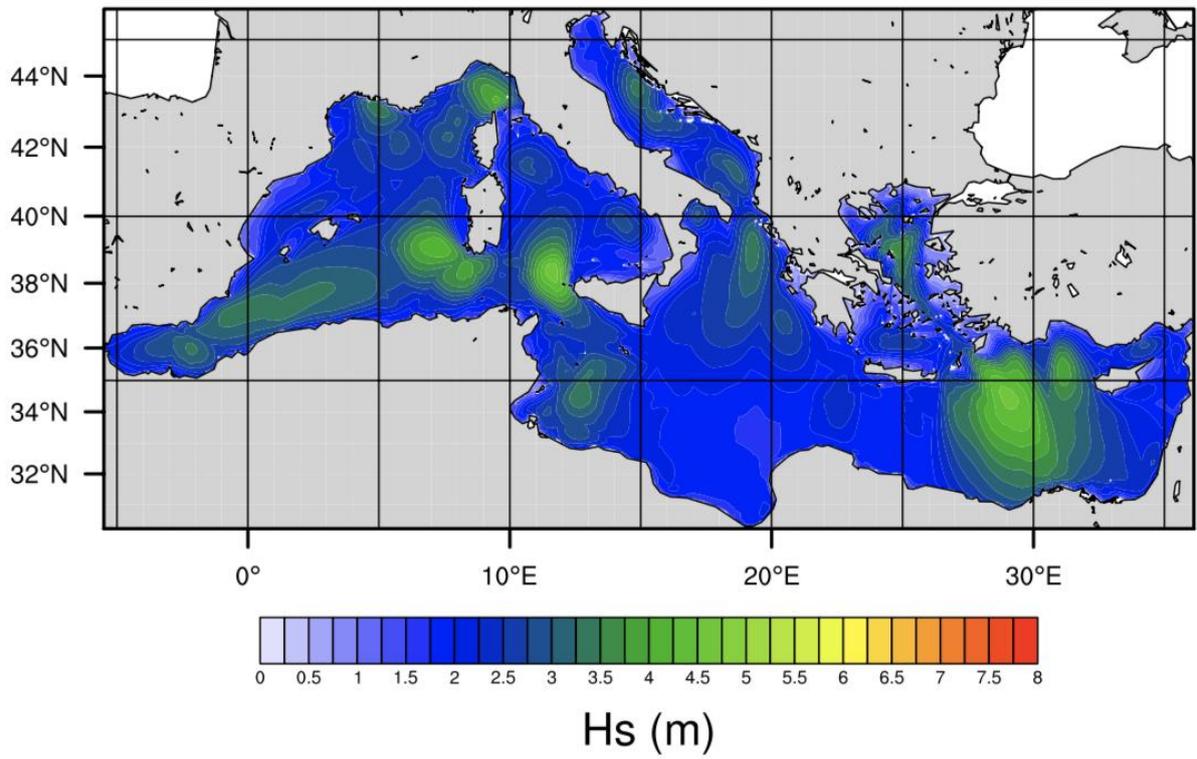
## Marzo 2020



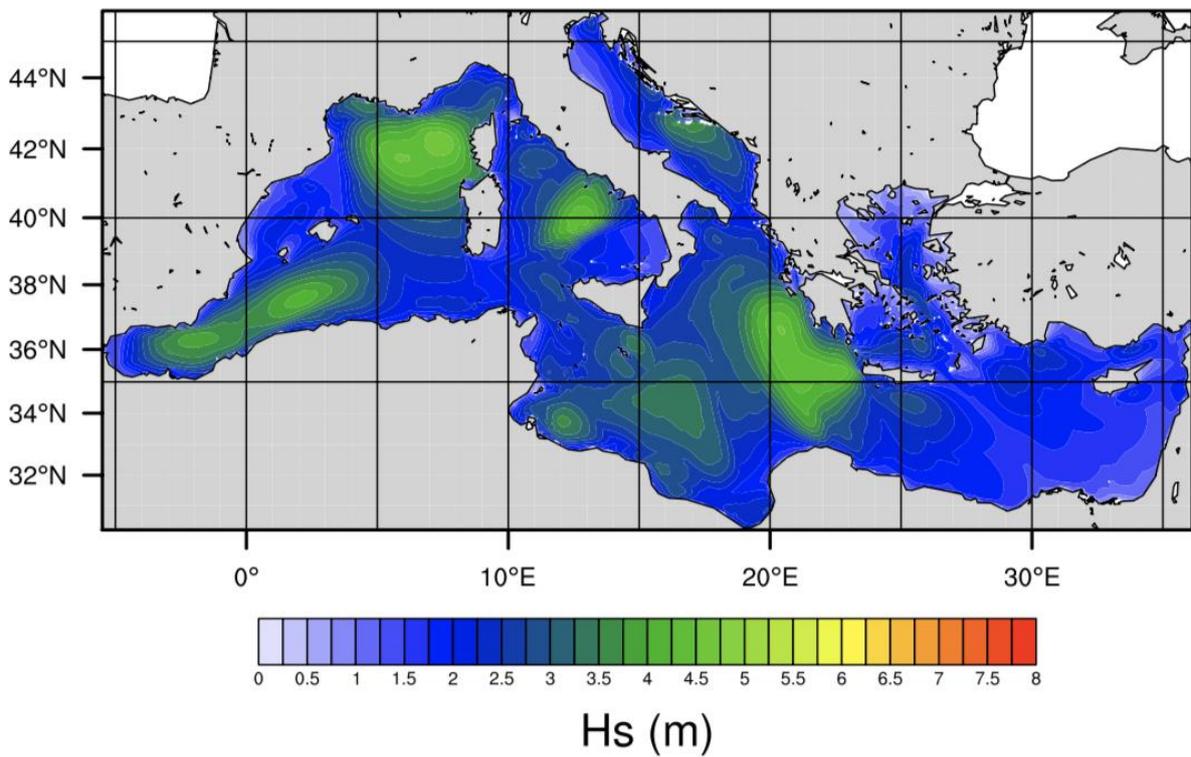
## Aprile 2020



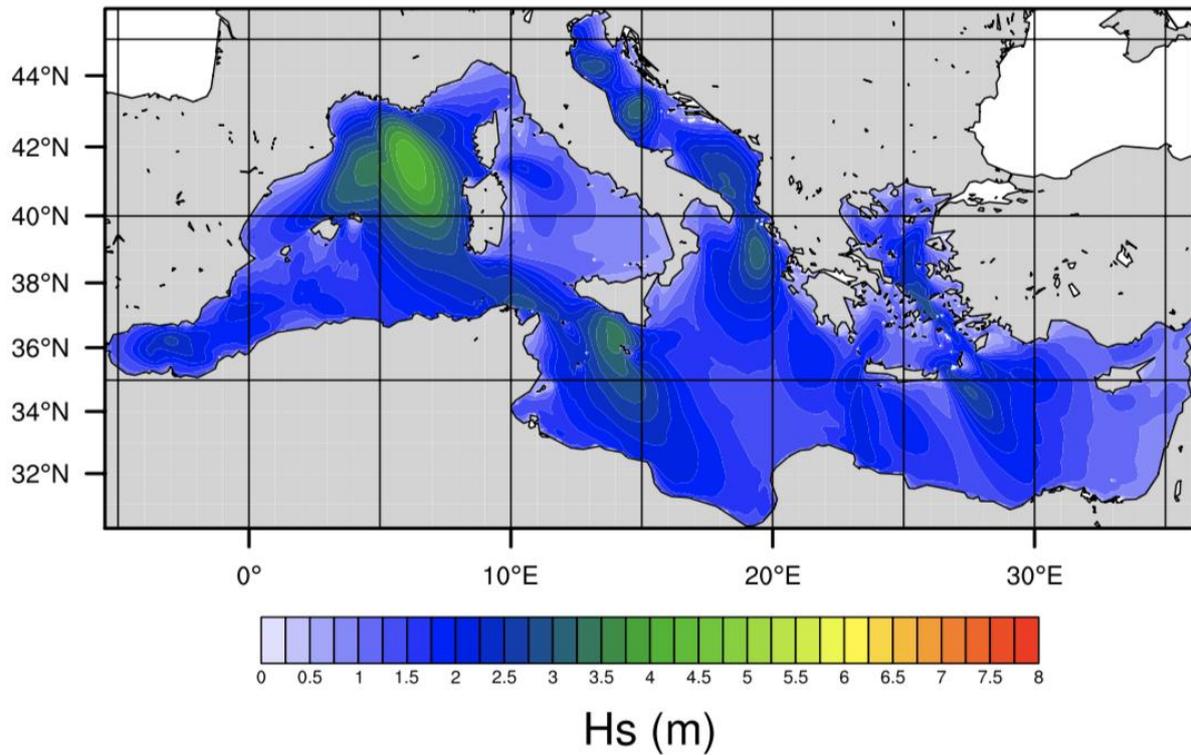
### Maggio 2020



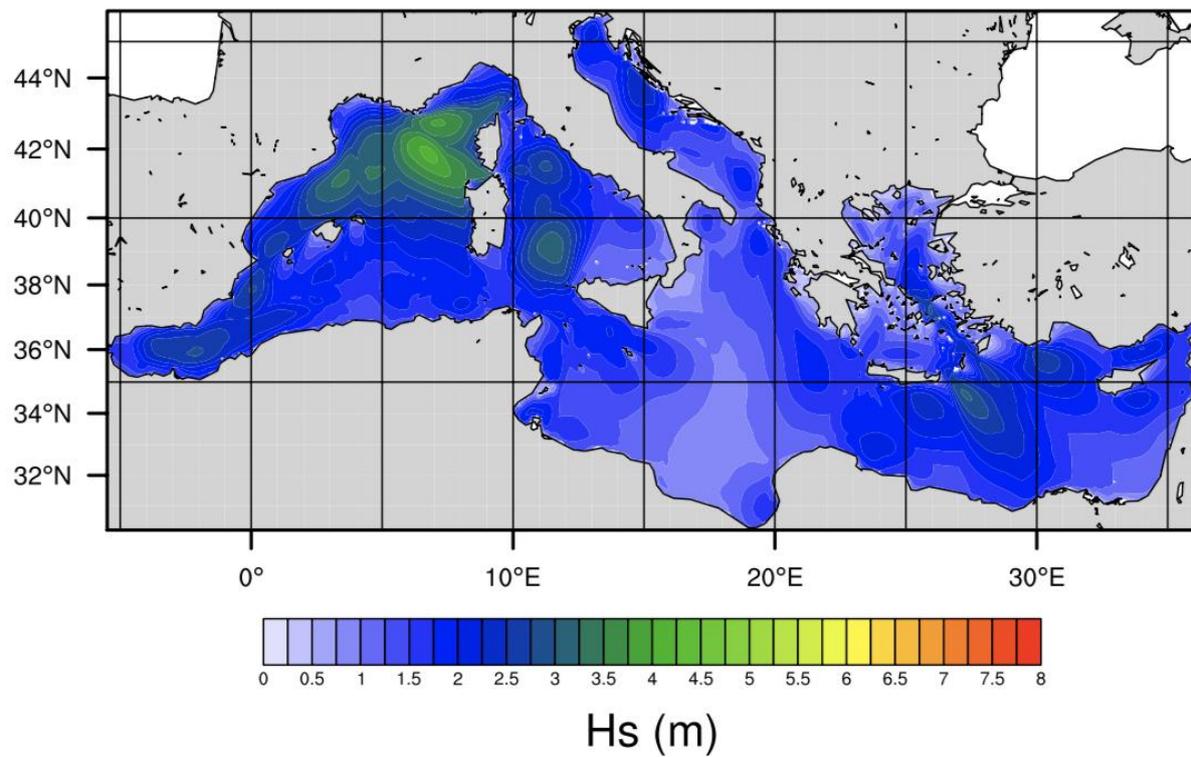
### Giugno 2020



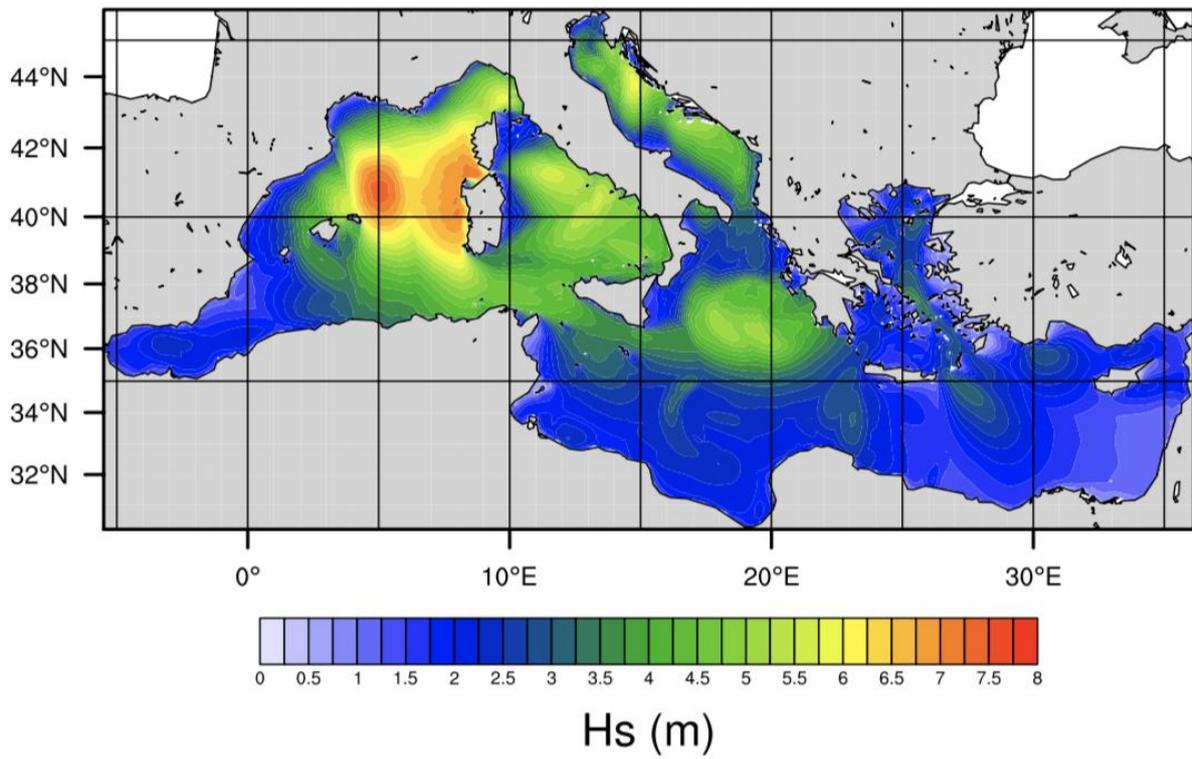
## Luglio 2020



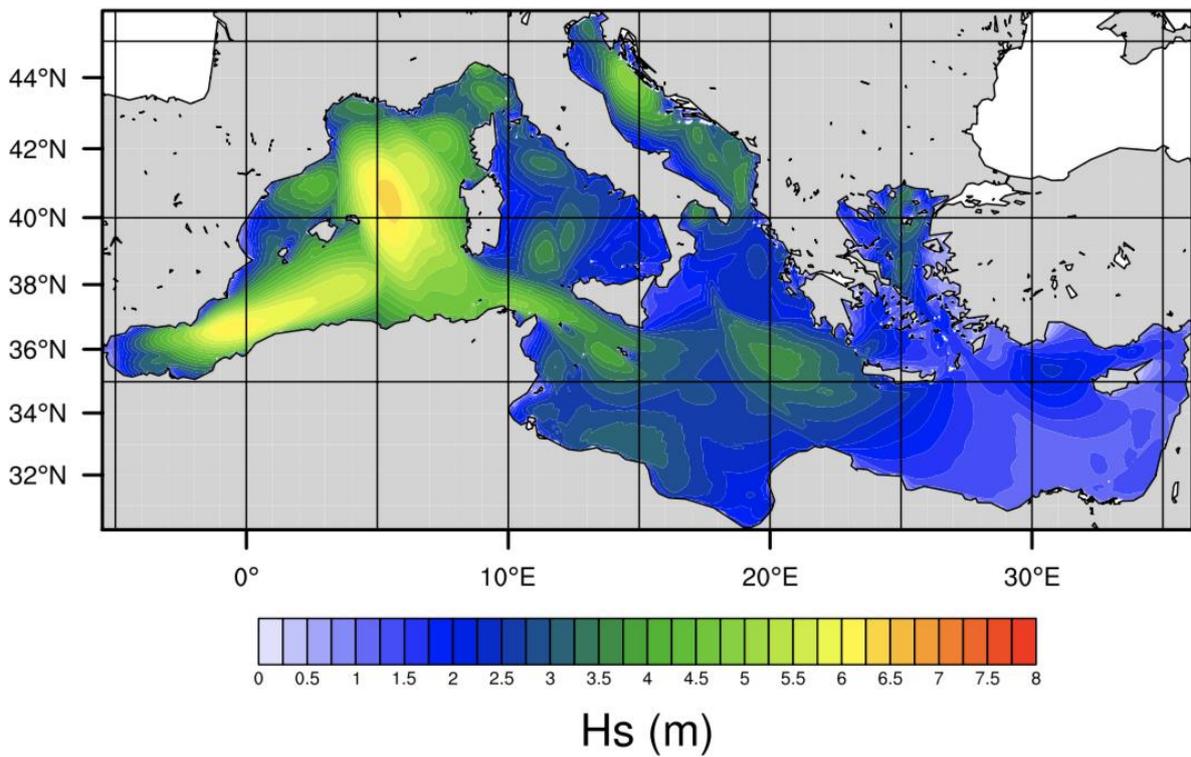
## Agosto 2020



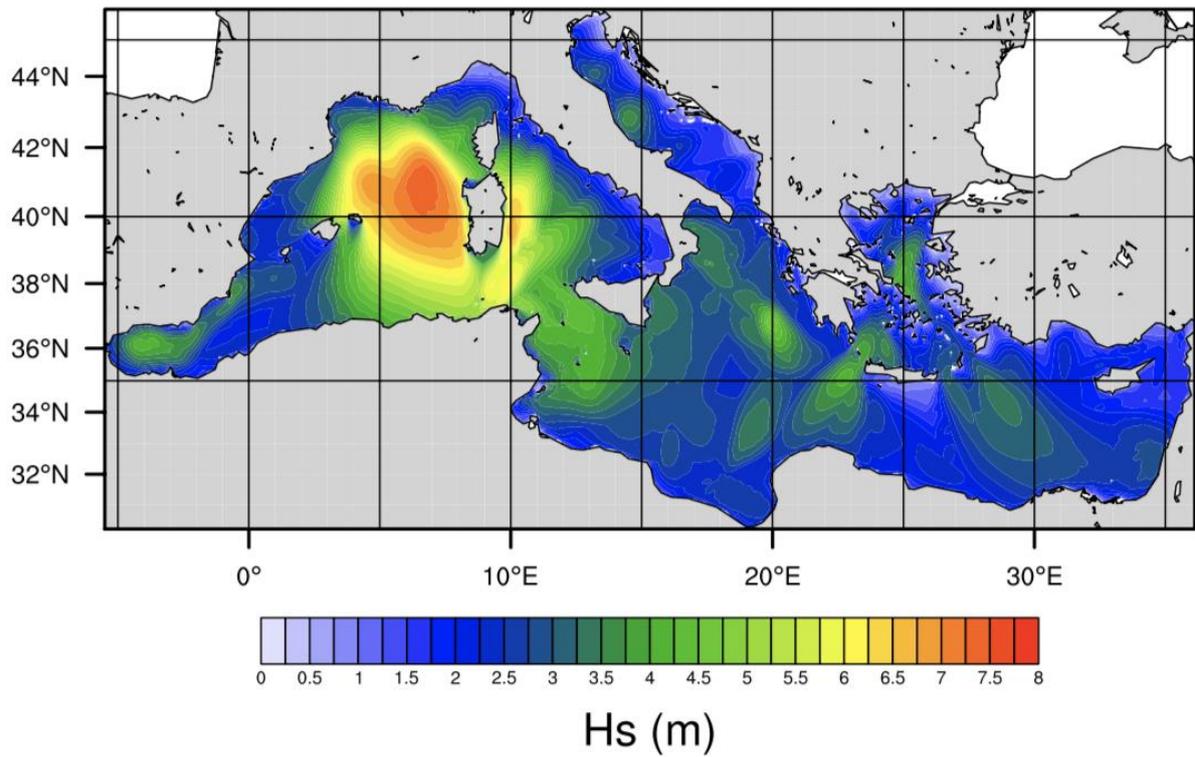
### Settembre 2020



### Ottobre 2020



## Novembre 2020



## Dicembre 2020

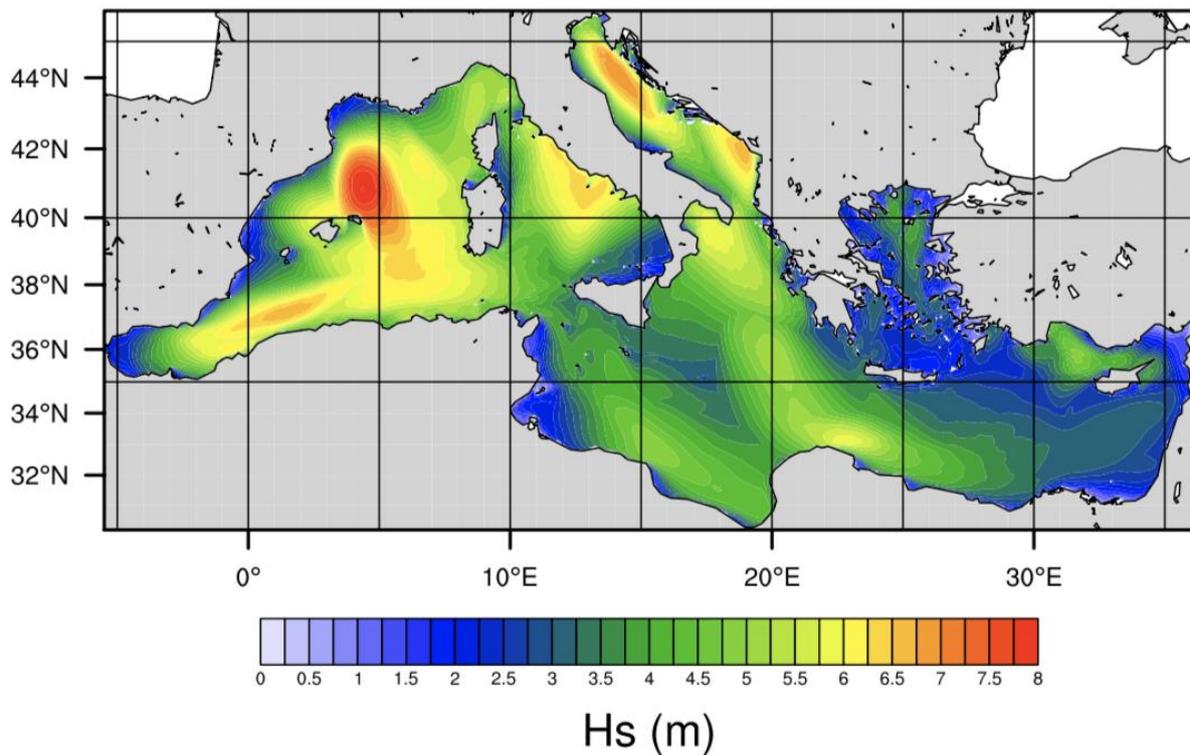


Figura 3. Valore massimo di altezza significativa (m) per ciascun mese del 2020, ricavato dal modello operativo WAM utilizzando il primo giorno della previsione.

### 2.3 Confronto di casi selezionati

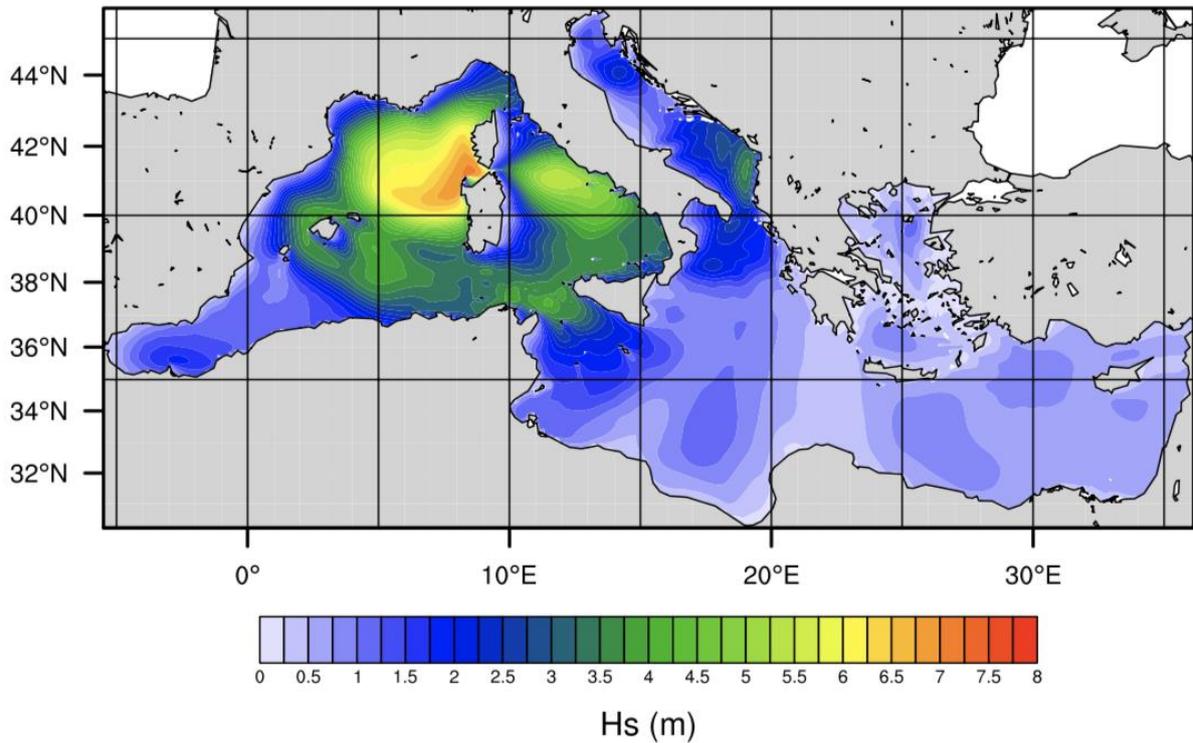
Nella figura 4 viene riportato il risultato delle previsioni effettuate con il modello WAM per il 26 settembre 2020, durante un episodio in cui valori estremi d'onda hanno raggiunto l'area a nord-ovest della Sardegna. Per un confronto dei risultati, vengono riportate in figura 5 le mappe ottenute utilizzando i dati di analisi prodotti dall'ECMWF [11,12] per gli stessi tempi. Il Centro Europeo produce quotidianamente quattro simulazioni del moto ondoso per il bacino Mediterraneo, che hanno inizio alle ore 00, 06, 12 e 18. Le analisi costituiscono le condizioni iniziali per ciascuna di queste simulazioni e sono prodotte assimilando nel modello di onde i dati da satellite e le misure da boe. Costituiscono quindi un utile riferimento per la verifica dei dati ottenuti con il sistema operativo di previsione.

Nella figura 4 sono riportate le previsioni per le prime 12 ore del giorno 26 settembre a distanza di 6 ore, in figura 5 sono riportate le mappe prodotte utilizzando le analisi dell'ECMWF per gli stessi tempi. I campi relativi alle altezze significative delle onde previsti per le ore 00 corrispondono alla previsione a 24 ore della simulazione effettuata con il modello WAM a partire dalle ore 00 del giorno 25. La forma del campo previsto risulta simile a quella dell'analisi, con una vasta area di valori superiori a 4 m che si estende su gran parte del bacino occidentale. Si riscontra tuttavia una sovrastima dei valori lungo la costa sarda rispetto alle analisi. Le due mappe successive, a distanza di 6 ore l'una dall'altra, risultato della simulazione iniziata alle ore 00 dello stesso giorno, risultano estremamente simili a quelle generate utilizzando i dati ECMWF, anche nei valori massimi. Bisogna qui tenere conto del fatto che le previsioni mostrate non utilizzano nessuna assimilazione di dati osservati.

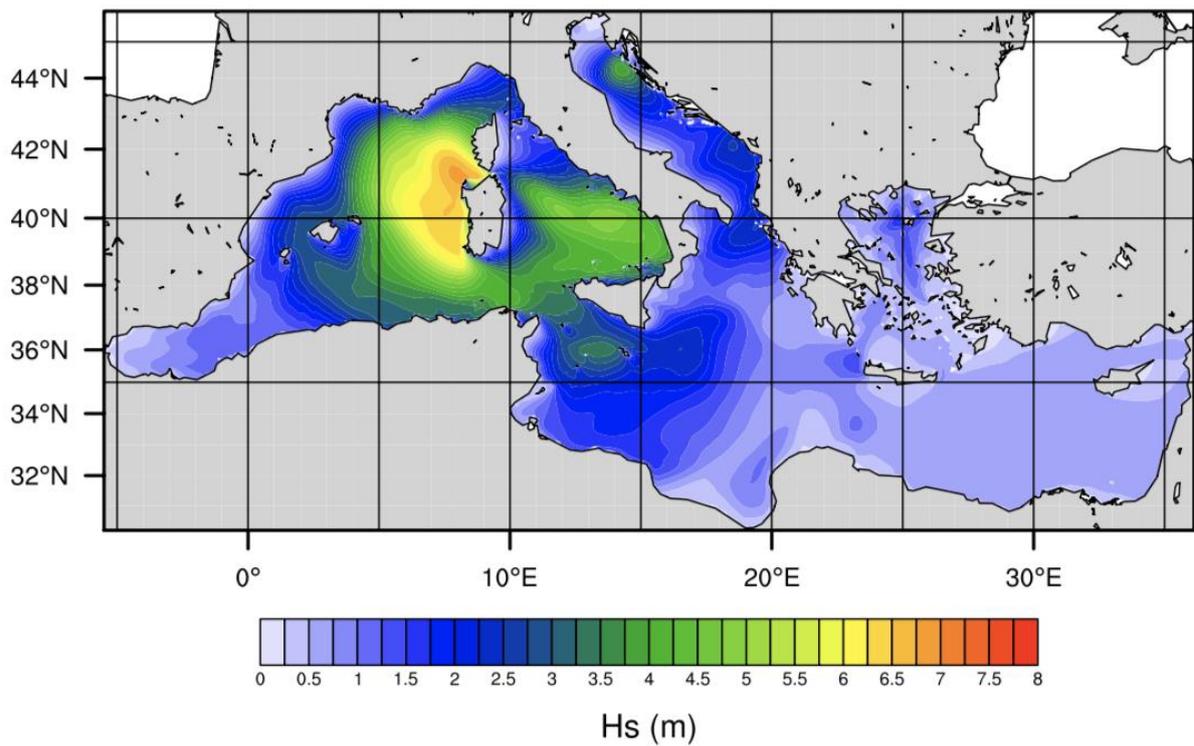
Un'altra zona di massimo nella figura relativa al mese di settembre è associata al ciclone di forte intensità che si è sviluppato ad est della Sicilia il 16 settembre e si è poi rinforzato nel corso del giorno 17, dirigendosi quindi verso le coste della Grecia e interessando con forti mareggiate le isole greche ed il Peloponneso. Nella figura 6 è mostrata l'evoluzione dell'intensità delle onde prevista dal sistema operativo, a partire dalle ore 06 fino alle ore 18 della giornata del 17 settembre. In figura 7 sono riportate le analisi ECMWF per gli stessi tempi.

Sia l'estensione dell'area interessata dal fenomeno che l'intensità risultano correttamente simulate, mostrando come le onde di maggiore intensità abbiano raggiunto la costa del Peloponneso intono alle ore 18 del 17 settembre.

### Forecast for 20200926 0UTC



### Forecast for 20200926 6UTC



### Forecast for 20200926 12UTC

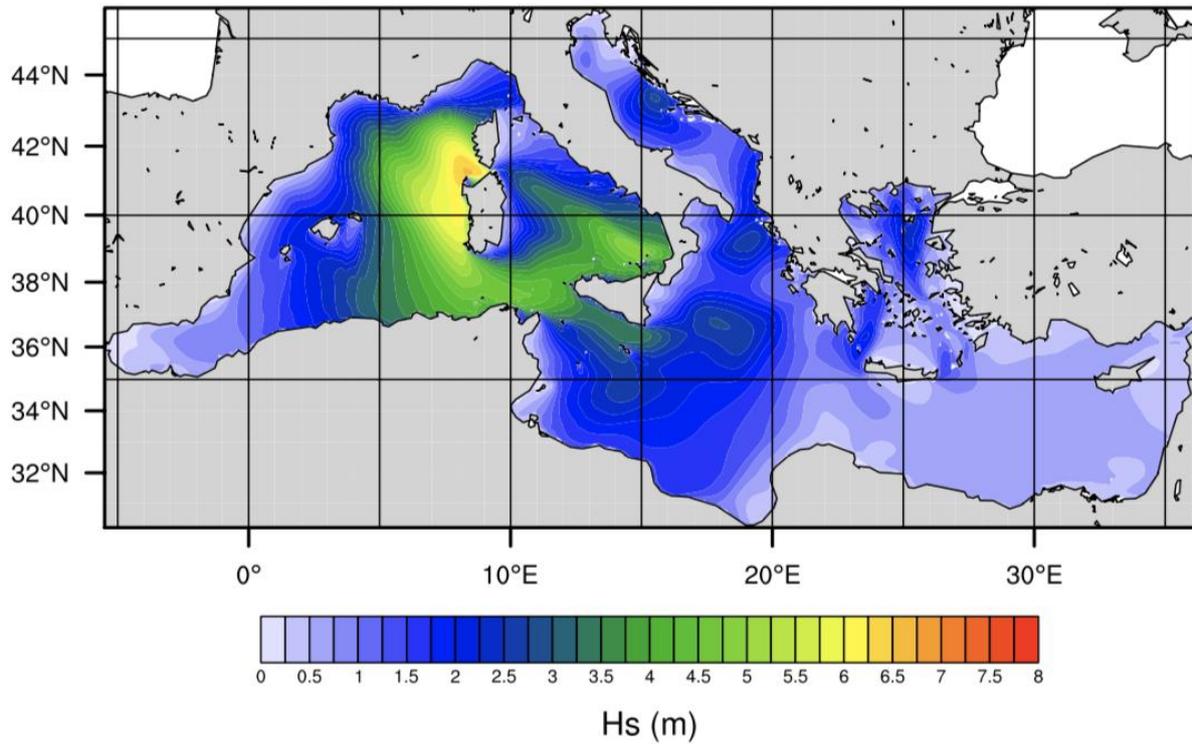
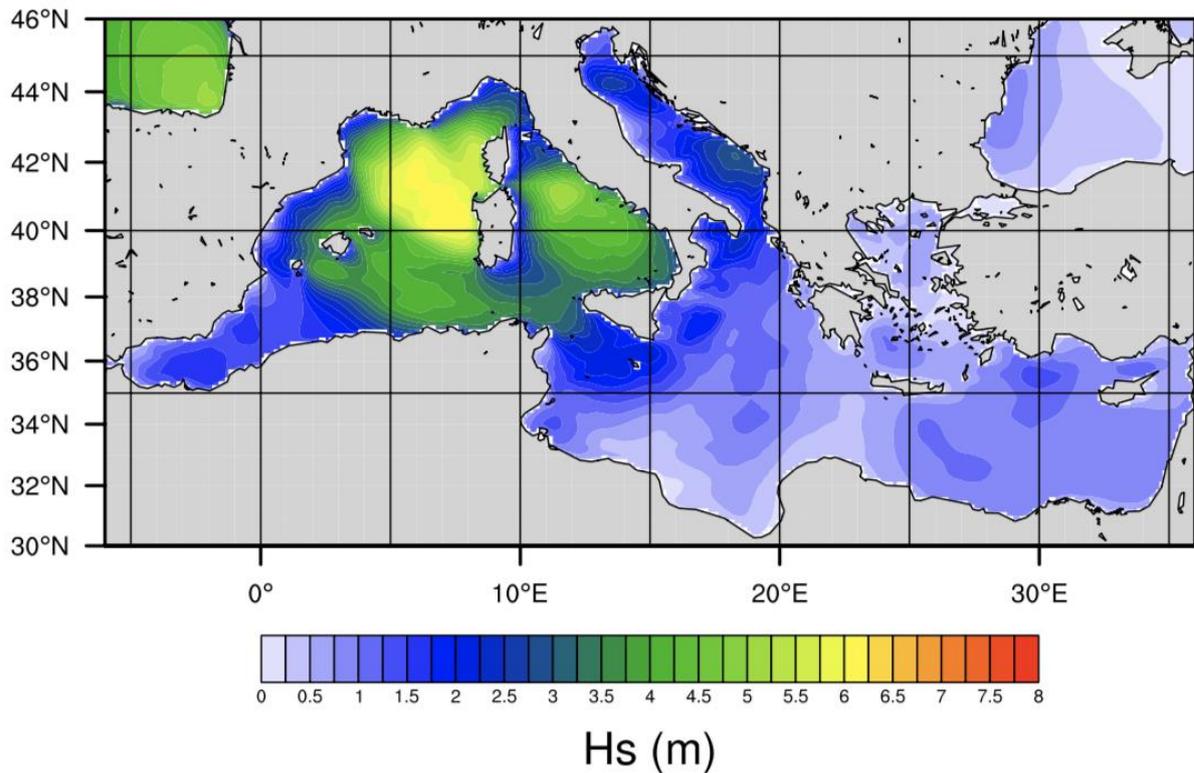
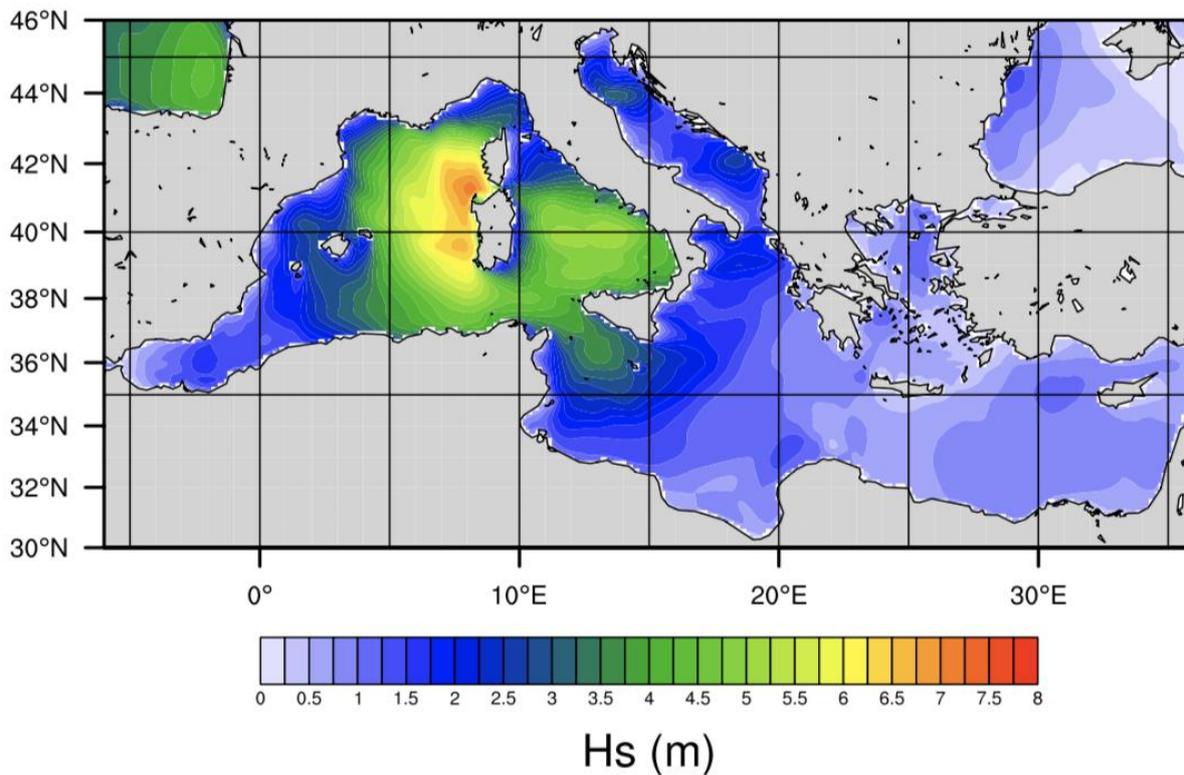


Figura 4. Sequenza di mappe relative alle previsioni del giorno 26 settembre 2020.

### ECMWF Analysis 20200926 0UTC



### ECMWF Analysis 20200926 6UTC



### ECMWF Analysis 20200926 12UTC

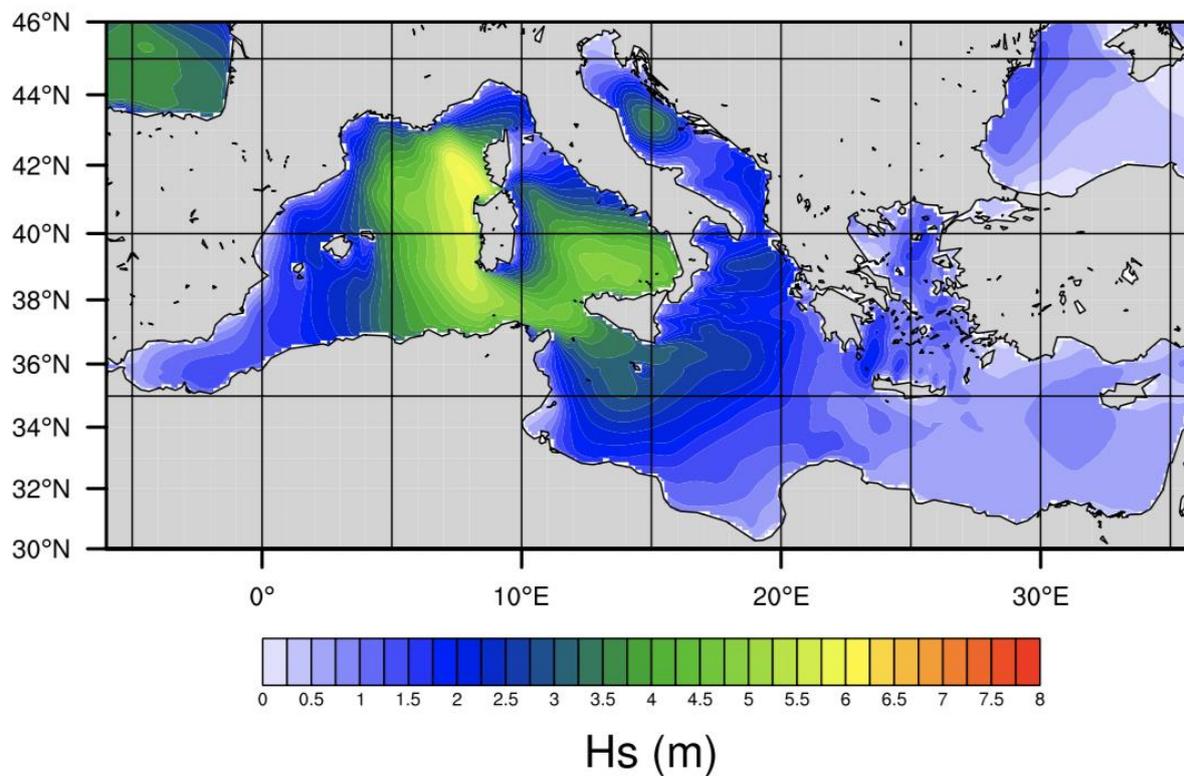
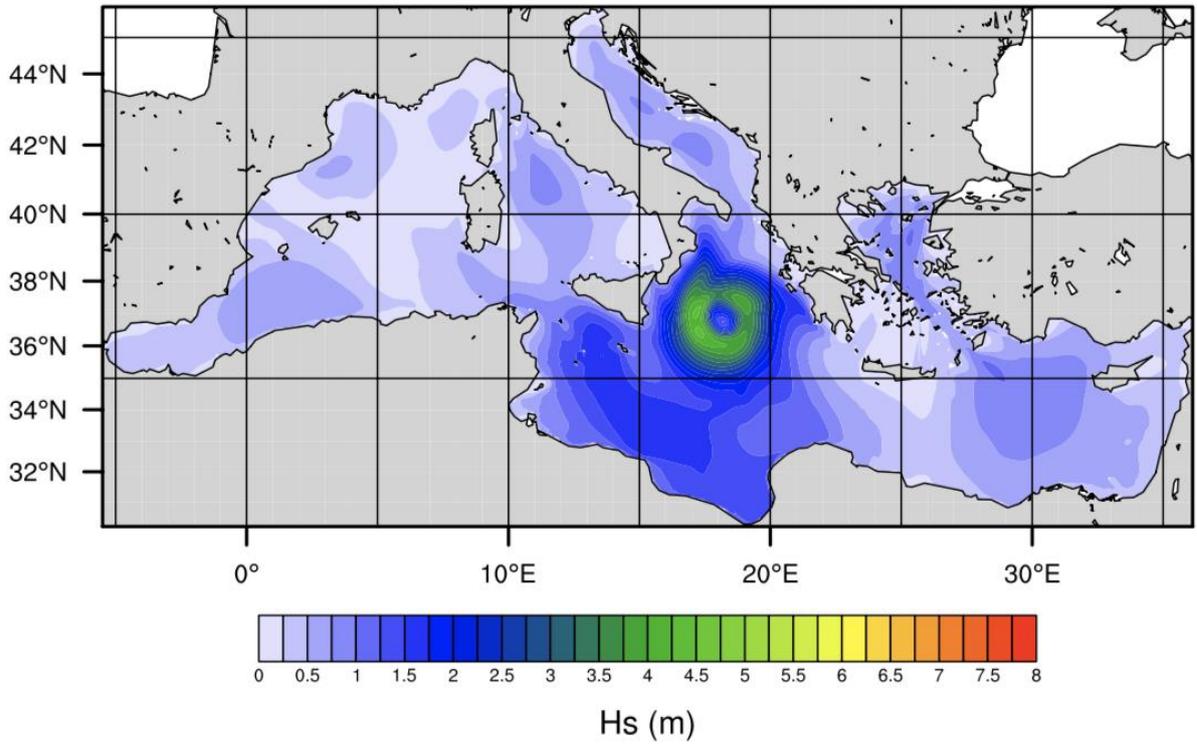
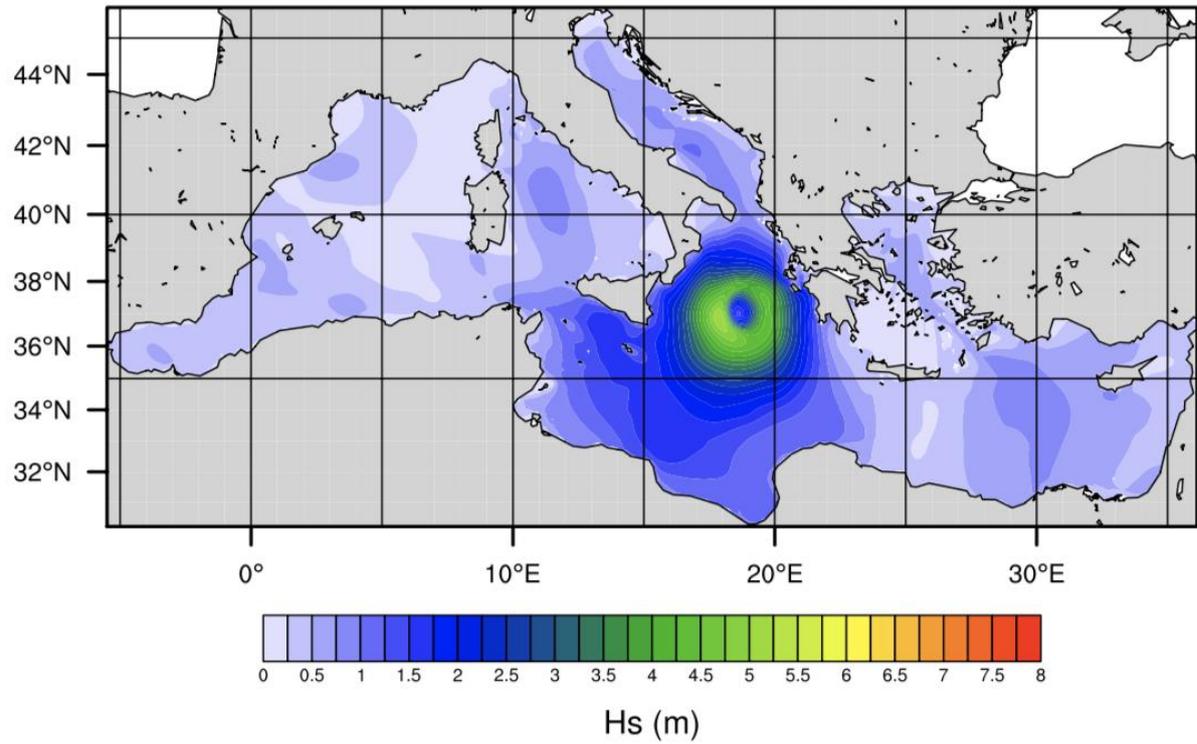


Figura 5. Analisi prodotte dall'ECMWF relative al giorno 26 settembre 2020.

### Forecast for 20200917 6UTC



### Forecast for 20200917 12UTC



### Forecast for 20200917 18UTC

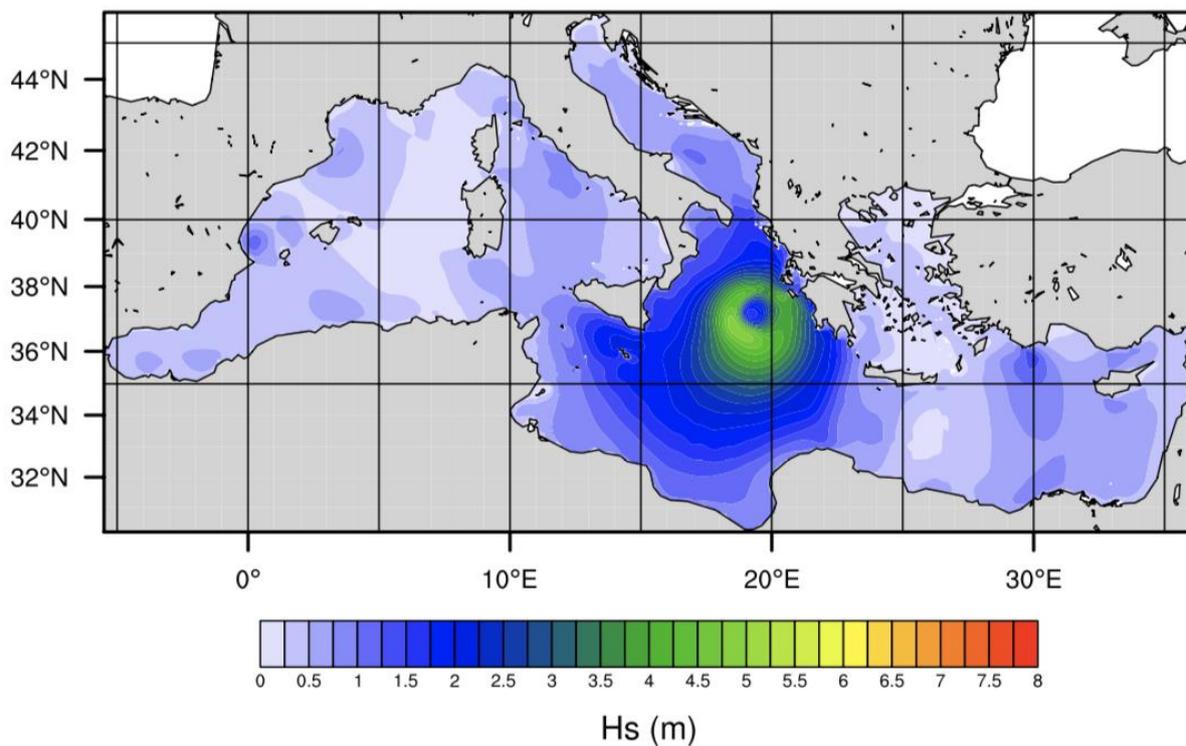
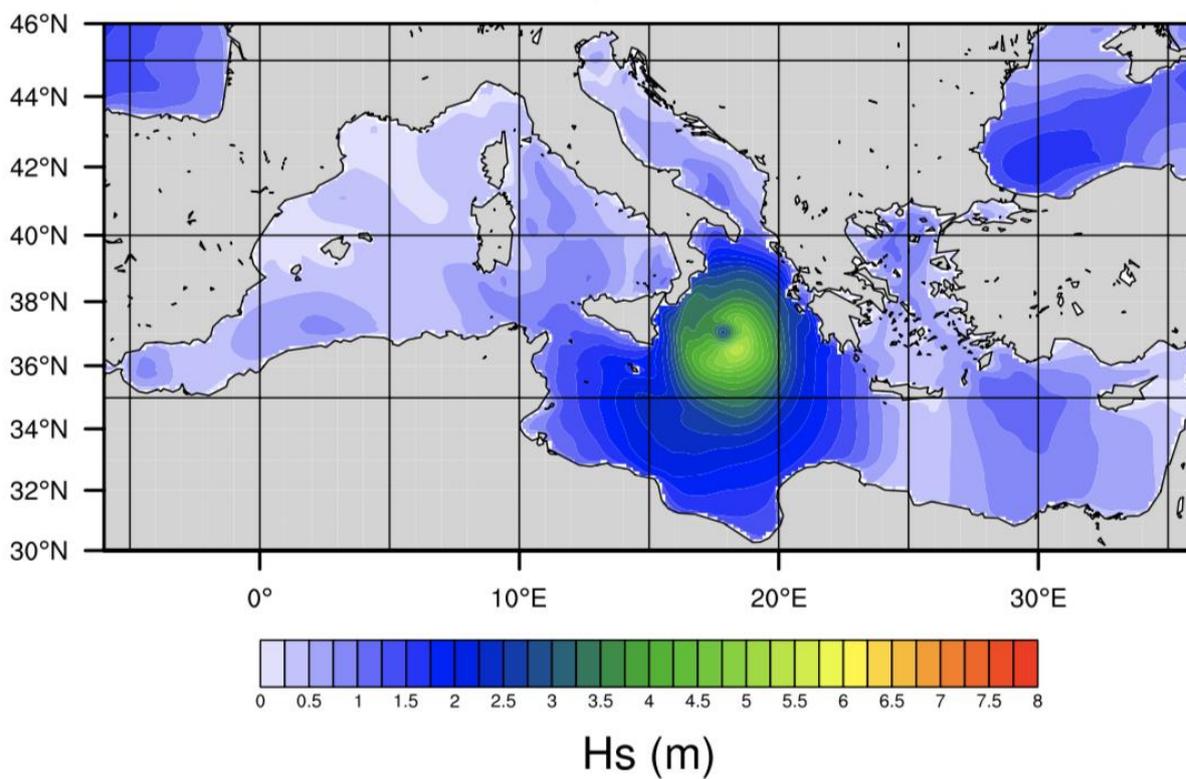
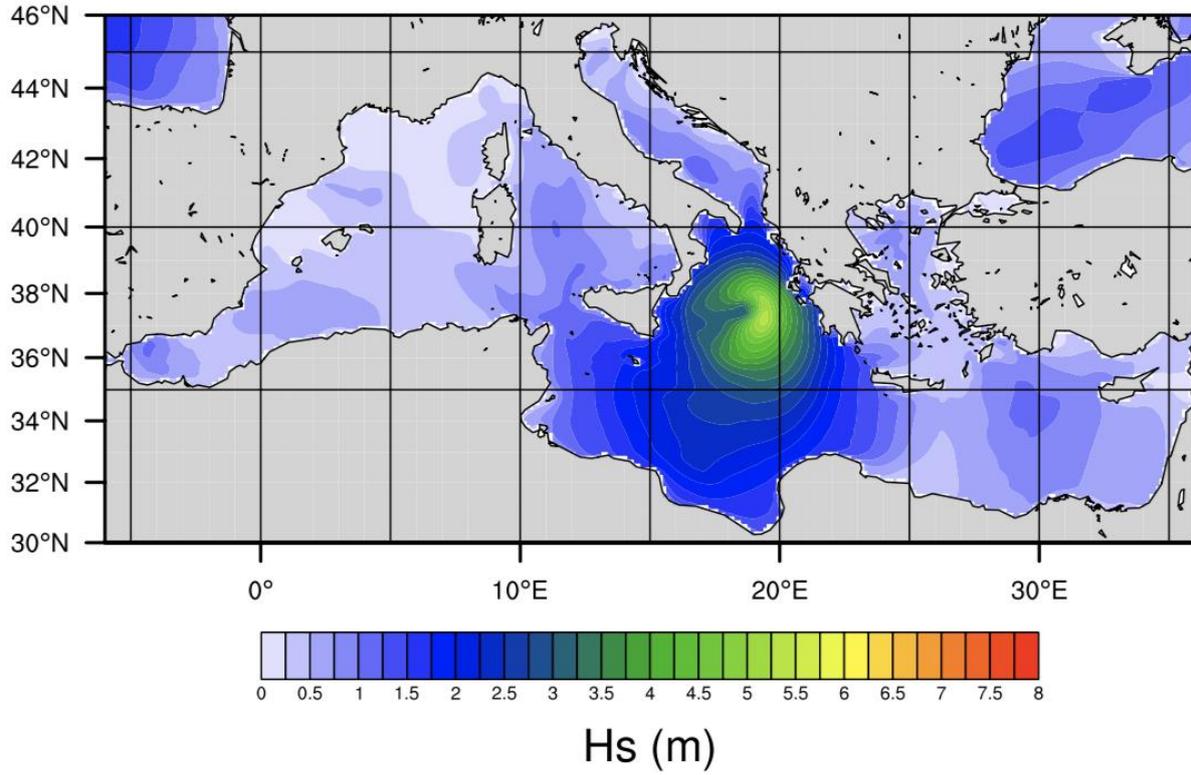


Figura 6. Previsioni ottenute con il modello WAM per il giorno 17 settembre 2020.

### ECMWF Analysis 20200917 6UTC



### ECMWF Analysis 20200917 12UTC



### ECMWF Analysis 20200917 18UTC

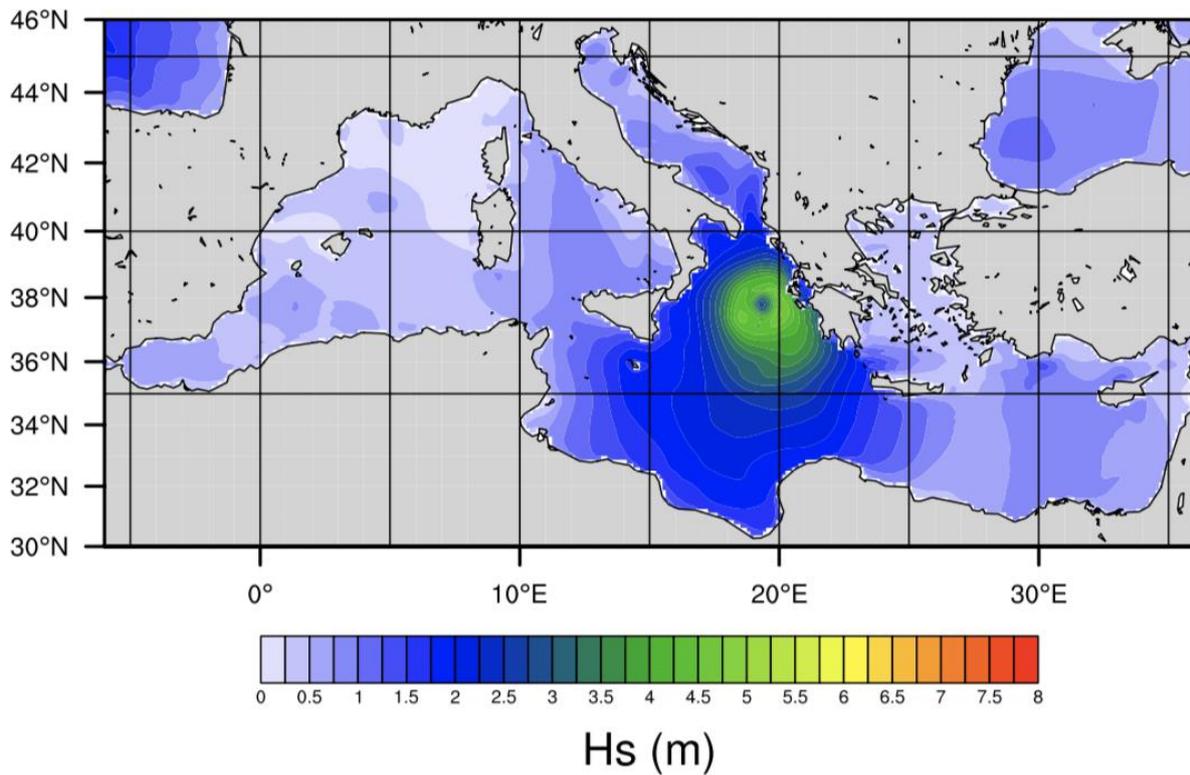


Figura 7. Analisi dell'ECMWF relative al giorno 17 settembre 2020.

### 3 Conclusioni

Nel presente rapporto è stato descritto il sistema per la previsione delle onde che è attualmente operativo all'ENEA. L'operatività è stata garantita per tutto l'arco dell'anno 2020. I dati prodotti dalle simulazioni sono stati regolarmente raccolti per accrescere la banca dati delle onde per la regione mediterranea che contiene i risultati delle previsioni generate a partire dal giugno 2013.

Sono state mostrate per ciascun mese le mappe delle medie e quelle dei valori massimi di intensità delle onde. Per il mese di settembre, è stata mostrata l'evoluzione di due eventi intensi verificatisi rispettivamente nel bacino occidentale e nello Ionio. Le mappe mostrate sono risultate in buon accordo con le analisi per i tempi corrispondenti prodotte dall'ECMWF.

### 4 Riferimenti bibliografici

1. A. Carillo, E. Lombardi, G. Sannino, "Report di sintesi sulla realizzazione di un sistema operativo per la previsione dell'energia da moto ondoso", RdS/2013/085
2. A. Carillo, E. Lombardi, G. La Porta, M. Pollino, E. Caiaffa, G. Sannino, F. Arena, A. Viviano, A. Romolo, "Sviluppo di modelli meteo-marini per la previsione del moto ondoso in aree portuali italiane: produzione di mappe energetiche e visualizzazione web-gis" RdS/2013/229
3. A. Carillo, E. Lombardi, G. Sannino. LA1.2: Previsioni operative dello stato del mare per il Mediterraneo e per 10 sotto-bacini italiani Report RdS/PAR2019-2021/LA1.2
4. A. Carillo, E. Lombardi, G. Sannino, "Validazione del sistema operativo per la previsione del moto ondoso nel Mediterraneo" RdS/PAR2014/238
5. A. Carillo, G. Sannino, E. Lombardi "Wave energy potential: A forecasting system for the Mediterranean basin" Energia Ambiente e Innovazione 61 (special n. 2), 16-21 (2015)
6. G. Kallos, "The regional weather forecasting system SKIRON", Proceedings, symposium on regional weather prediction on parallel computer environments, 15-17 October 1997, Athens p. 9.
7. A. Papadopoulos, P. Katsafados, G. Kallos, "Regional weather forecasting for marine application". Global Atmos Ocean Syst 8(2-3) (2001), pp. 219-237.
8. H. Günther, A. Behrens, "The wam model validation document version 4.5.3." Tech. Rep. Institute of Coastal Research Helmholtz-Zentrum Geesthacht (HZG) (2011)
9. The SWAN team, "SWAN User Manual", Delft University of Technology, The Netherlands, <http://www.swan.tudelf.nl>
10. L. Liberti, A. Carillo, G. Sannino, "Wave energy resource assessment in the Mediterranean, the Italian perspective" ,Renewable Energy, Volume 50, Pages 938-949, ISSN 0960-1481, DOI: 10.1016/j.renene.2012.08.023.
11. Bidlot, Jean-Raymond – "Present Status of Wave Forecasting at E.C.M.W.F." ECMWF Workshop on Ocean Waves, 25 - 27 June 2012
12. IFS Documentation CY40R1 - Part VII: ECMWF Wave Model, Operational implementation 22 November 2013, 2014, ECMWF