



## Ricerca di Sistema elettrico

Sviluppo di modelli meteo-marini per la  
previsione del moto ondoso in aree  
portuali italiane: produzione di mappe  
energetiche e visualizzazione web-gis

*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 AMPPE ENERGETICHE E VISUALIZZAZIONE WEB-GIS

A. Carillo, E. Lombardi,, G. La Porta, M. Pollino, E. Caiaffa, G. Sannino (ENEA)

F. Arena,, A. Viviano, A. Romolo (Università Mediterranea di Reggio Calabria, Dipartimento di Ingegneria Civile, dell'Energia, dell'Ambiente e dei Materiali)

Settembre 2013

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2012

Area: Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente

Progetto: Studi e valutazioni sulla produzione di energia elettrica dalle correnti marine e dal moto ondoso

Obiettivo: Sviluppo e verifica di modelli meteo-marini per la simulazione del moto ondoso per aree portuali italiane di interesse

Responsabile del Progetto: G. Sannino, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione *"Elaborazione di dati meteomarini da modelli ad alta risoluzione in prossimità di aree portuali e ottimizzazione di dispositivi U-OWC"*

Responsabile scientifico ENEA: Gianmaria Sannino

Responsabile scientifico Università Mediterranea di Reggio Calabria: Felice Arena

## Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE .....	4
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	5
2.1 IMPLEMENTAZIONE DI MODELLI NUMERICI AD ALTA RISOLUZIONE SPAZIALE .....	5
2.2 AUTOMAZIONE DELLA PREVISIONE DELLO STATO DEL MARE .....	13
2.3 PROPAGAZIONE SOTTO COSTA DEI DATI DI MOTO ONDOSI IN UNA AREA CAMPIONE .....	39
2.4 PROGETTAZIONE E SVILUPPO WEBGIS .....	45
2.5 L'APPLICAZIONE WEBGIS "ENERGIA DAL MARE" .....	46
3 CONCLUSIONI.....	55
4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	56

## Sommario

L'attività svolta nel corso del progetto attuale è stata dedicata alla creazione di un sistema operativo per la previsione dell'energia del moto ondoso, su alcune aree dei mari italiani di particolare interesse, ad una risoluzione che raggiunge all'incirca i 700-800 m. Il modello numerico più idoneo alla simulazione del moto ondoso nelle aree costiere è costituito dal modello SWAN (Simulating WAVes Nearshore); esso è infatti in grado di simulare il moto ondoso in acque poco profonde, includendo fenomeni fisici di dissipazione dell'energia caratteristici delle acque basse. La scelta delle aree è stata effettuata tenendo conto delle mappe climatologiche delle onde ricavate nel corso del PAR 2011. Le due aree più estese sono state definite nella zona ovest della Sardegna e nell'area della Sicilia nord-occidentale caratterizzate dai valori più elevati di energia. Inoltre simulazioni ad alta risoluzione sono effettuate in alcune importanti zone portuali, come nel golfo di Genova, in quello di Napoli e nell'area di mare che include il porto di La Spezia e di Carrara e il porto di Civitavecchia. Quest'ultimo è particolarmente interessante perché è in corso l'installazione di un impianto di produzione di energia dal moto ondoso. Sempre nell'ottica di una attività di supporto all'utilizzo dell'energia delle onde, sono state definite come aree di interesse quelle corrispondenti alle piccole isole, per le quali l'autosufficienza energetica risulta fondamentale.

Il sistema operativo realizzato fornisce, in ciascuna delle aree definite, previsioni dell'energia ondosa per i cinque giorni successivi. Vengono prodotte mappe con valori dell'energia ondosa e mappe dell'ampiezza d'onda e del periodo medio, per ogni ora di simulazione.

Oltre alla visualizzazione delle singole mappe statiche sono state messe a punto metodologie GIS finalizzate alla gestione dei dati territoriali, all'elaborazione di analisi spaziali (*geoprocessing*) ed alla rappresentazione di mappe tematiche. I dati geospaziali di base e le mappe elaborate sono archiviati e gestiti in un apposito *Repository*: essi possono essere visualizzati ed interrogati mediante applicativi di tipo desktop GIS o tramite l'applicazione WebGIS appositamente sviluppata. Quest'ultimo costituisce l'interfaccia geografica di alcuni dei principali risultati prodotti nel Progetto, rendendoli fruibili in maniera *open* e accessibili on-line (<http://utmea.enea.it/waves> per le mappe singole, [http://utmea.enea.it/waves\\_gis](http://utmea.enea.it/waves_gis) per il webgis).

## 1 Introduzione

L'attività svolta è finalizzata al supporto modellistico necessario all'applicazione di tecnologie innovative nel campo dell'energia ricavabile dal moto ondoso. Nel corso del PAR 2011 sono state prodotte mappe climatologiche delle condizioni del moto ondoso per l'intero mar Mediterraneo alla risoluzione di 1/16°; una volta individuate le aree più interessanti dei mari italiani dal punto di vista energetico, per queste aree sono state realizzate climatologie a risoluzioni spaziali più elevate. Allo scopo di fornire informazioni utili alla messa a punto di tecnologie di conversione energetica specifiche per le coste italiane è stata inoltre effettuata una caratterizzazione dell'energia in funzione dell'altezza significativa e del periodo su siti specifici.

Il passo successivo, che viene sviluppato nel corso del progetto attuale, è la realizzazione di un sistema operativo per la previsione del moto ondoso. La disponibilità di tali previsioni potrà essere utilizzata per valutare in anticipo la quantità di energia prodotta dal singolo dispositivo e quindi quella immessa nella rete elettrica. Inoltre la previsione delle caratteristiche spettrali delle onde può essere utilizzata da alcuni



dispositivi di conversione per sfruttare al meglio il moto ondoso, tramite la riconfigurazione di parametri di esercizio.

Il sistema messo a punto per l'intera area Mediterranea ad una risoluzione di  $1/32^\circ$ , nell'ambito del PAR attuale, non è sufficiente per fini ingegneristici; la catena operativa è quindi completata da una serie di modelli realizzati ad una risoluzione di circa  $1/128^\circ$ , corrispondente a distanze dell'ordine di 700-800 m. Ulteriori codici numerici, a risoluzione ancora maggiore, sono stati realizzati allo scopo di ottenere una descrizione accurata delle onde anche in prossimità di zone portuali.

## 2 Descrizione delle attività svolte e risultati

### 2.1 Implementazione di modelli numerici ad alta risoluzione spaziale

La realizzazione di simulazioni operative del moto ondoso viene effettuata a partire dalle previsioni meteorologiche operative che forniscono i campi del vento a 10 metri. Poiché si vogliono effettuare simulazioni ad elevata risoluzione spaziale, è opportuno che i forzanti atmosferici abbiano una analoga risoluzione.

Le previsioni meteorologiche ad alta risoluzione attualmente disponibili che coprono l'intera area Mediterranea, sono rappresentate principalmente dal sistema SKIRON sviluppato dall'Atmospheric Modeling and Weather Forecasting Group dell'Università di Atene e dalle previsioni fornite dal Centro Nazionale di Meteorologia e Climatologia Aeronautica (CNMCA). Entrambi i modelli meteorologici su cui si basano sono stati ampiamente validati e sono in uso presso diversi centri di ricerca e servizi meteorologici nel mondo. Come illustrato nella Report dell'obiettivo B.2, per la realizzazione del sistema ondoso in oggetto è stato scelto di utilizzare i dati provenienti dal sistema SKIRON [1]. Queste previsioni coprono un intervallo di cinque giorni, i dati sono disponibili con frequenza oraria alla risoluzione spaziale di  $0.05^\circ \times 0.05^\circ$ .

Come descritto nel detto Report, la catena operativa per la valutazione dell'energia da moto ondoso ha come passo iniziale la simulazione su tutto il bacino Mediterraneo tramite il modello numerico WAM alla risoluzione di  $1/32^\circ$ , pari a 2-3 km. Le simulazioni a più alta risoluzione sono invece effettuate mediante il codice SWAN ad una risoluzione di  $1/128^\circ$ . In questo modo il rapporto tra le due griglie resta all'interno di un fattore 4, come generalmente suggerito [2].

Sono state definite 10 aree per le quali vengono memorizzati dal codice WAM, con frequenza oraria, i valori che costituiscono le condizioni al contorno per il modello a più alta risoluzione. La scelta delle aree è stata effettuata tenendo conto delle mappe climatologiche delle onde ricavate nel corso del PAR 2011 e quindi le due aree più estese sono state definite nella zona ovest della Sardegna e nell'area della Sicilia nord-occidentale. Inoltre sono state incluse aree su cui è in corso l'installazione di impianti di produzione di energia dal moto ondoso (come Civitavecchia) e zone che contengono grosse aree portuali (golfo di Genova e Golfo di La Spezia-Carrara e Golfo di Napoli). Infine sono state inserite alcune aree relative ad alcune isole minori, per le quali l'autosufficienza energetica può risultare fondamentale.

Il modello SWAN [2] utilizzato per la simulazione del moto ondoso nei sotto bacini dei mari italiani, descritto in dettaglio nella relazione [3], è un modello numerico, nato come evoluzione del modello WAM, sviluppato per l'uso in acque costiere. È dotato di parametrizzazioni specifiche delle acque poco profonde,

e tiene conto della dissipazione delle onde dovuta all'attrito sul fondo e alla rottura delle onde causata dalla diminuzione della profondità. In questo codice è stata adottata la stessa discretizzazione in frequenza e in direzione dello spettro utilizzata per il codice WAM, corrispondente a 32 livelli di frequenza e 36 direzioni angolari.

La definizione delle griglie viene effettuata nella fase di pre-processamento del codice WAM. Questa operazione richiede particolare attenzione poiché è opportuno che le coordinate geografiche che definiscono le aree, coincidano con punti di griglia del modello WAM. E' stata scelta la risoluzione di 1/128° ottenendo un rapporto di 1 a 4 tra i punti della simulazione del Mediterraneo e quelli dei sotto-bacini. Questa risoluzione corrisponde nell'area di interesse a distanze di circa 700 - 800 m. In tabella 1 vengono riportati i limiti geografici delle 10 zone.

La batimetria per le aree ad alta risoluzione è stata calcolata a partire dalla Carta Batimetrica degli Oceani GEBCO alla risoluzione di 30 arco-secondi [4]. In Figura 1 sono indicate sulla mappa dei mari italiani le 10 griglie delle aree relative alle simulazioni ad alta risoluzione. Nelle successive Figure 2-11 sono mostrate le batimetrie delle 10 aree.

**Tabella 1 – Coordinate degli estremi delle aree ad alta risoluzione.**

Indice area	Nome area	Latitudine minima	Latitudine massima	Longitudine minima	Longitudine massima
C01	Sardegna occidentale	38.2	42.2	7.75	9.
C02	isola di Pantelleria	36.5125	37.0125	11.75	12.25
C03	isola di Lampedusa	35.2	35.7	12.3125	12.8125
C04	Sicilia nord-occidentale	37.41875	38.2	11.875	12.875
C05	Civitavecchia	41.79375	42.29375	11.5	12.0
C06	Golfo La Spezia/Carrara	43.7625	44.26250	9.75	10.25
C07	Isola d'Elba	42.5125	43.0125	10.	10.5
C08	Golfo di Napoli	40.48125	40.98125	13.75	14.5
C09	Golfo di Genova	44.0125	44.5125	8.5	9.5
C10	Isola di Gorgona	43.1375	43.6375	9.625	10.125

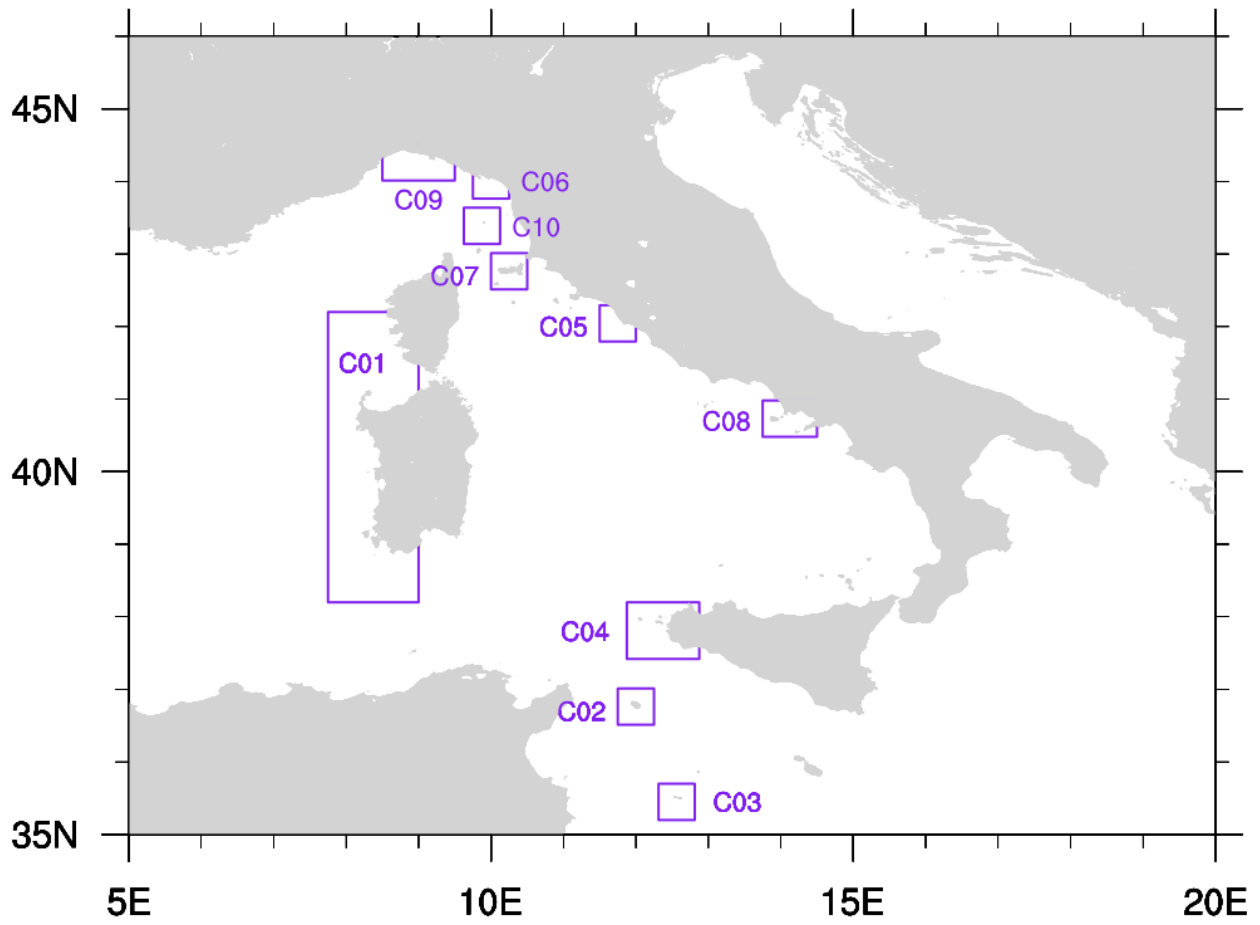


Figura 1. Mappa dei mari italiani con indicazione delle aree sulle quali vengono effettuate le simulazioni ad alta risoluzione.

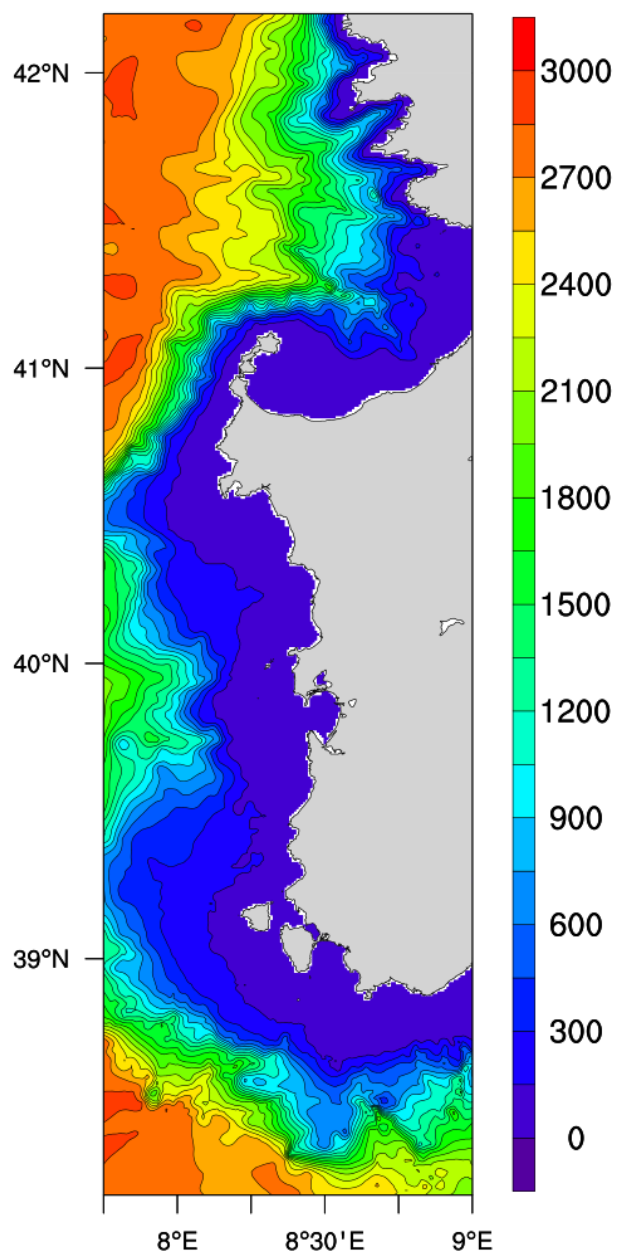
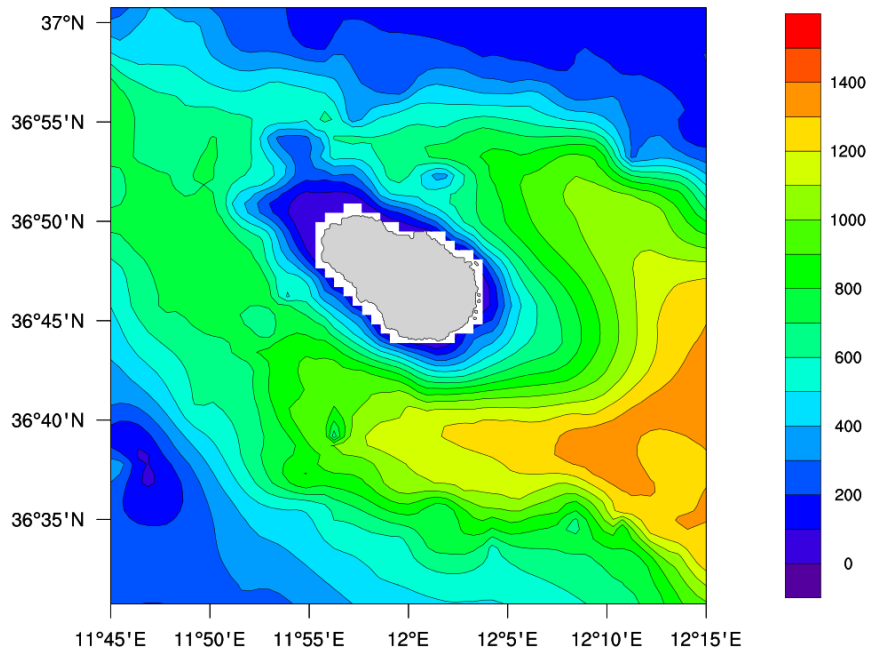
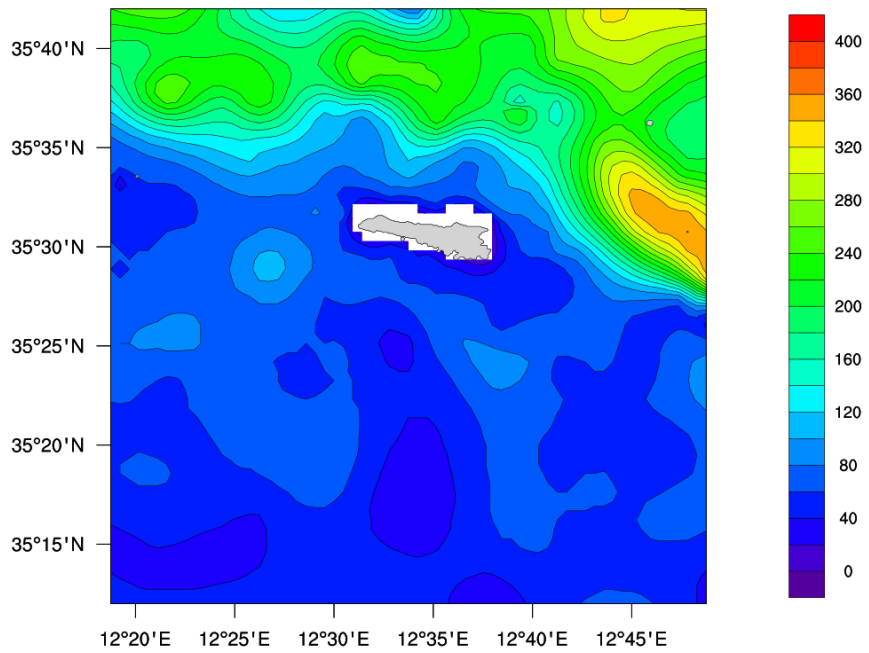


Figura 2. Batimetria relativa alla zona C01 utilizzata per il modello SWAN.



**Figura 3. Batimetria relativa alla zona C02 utilizzata per il modello SWAN.**



**Figura 4. Batimetria relativa alla zona C03 utilizzata per il modello SWAN.**

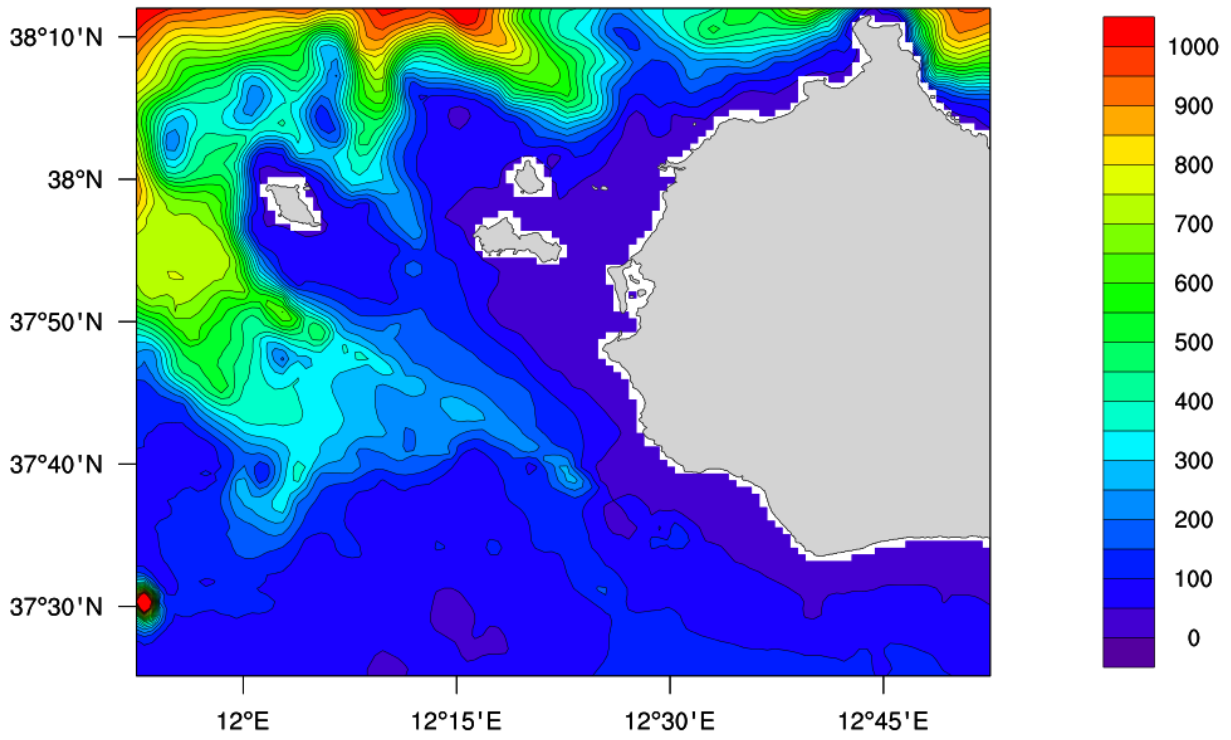


Figura 5. Batimetria relativa alla zona C04 utilizzata per il modello SWAN.

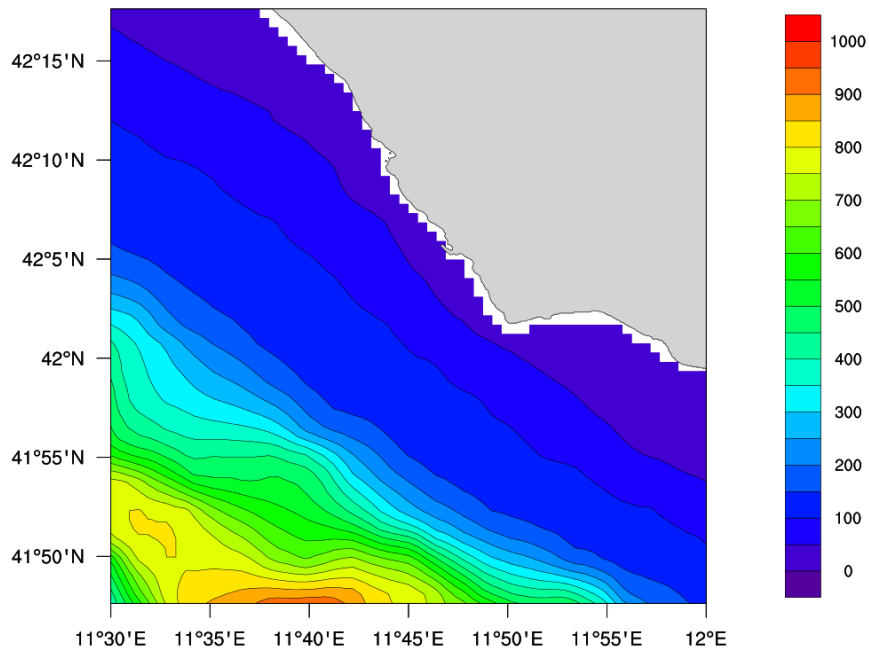
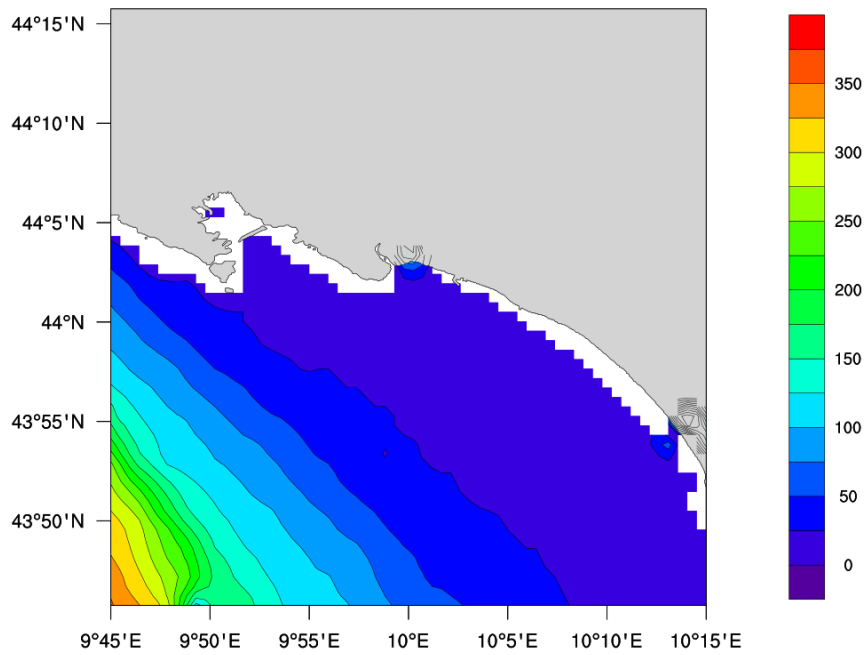
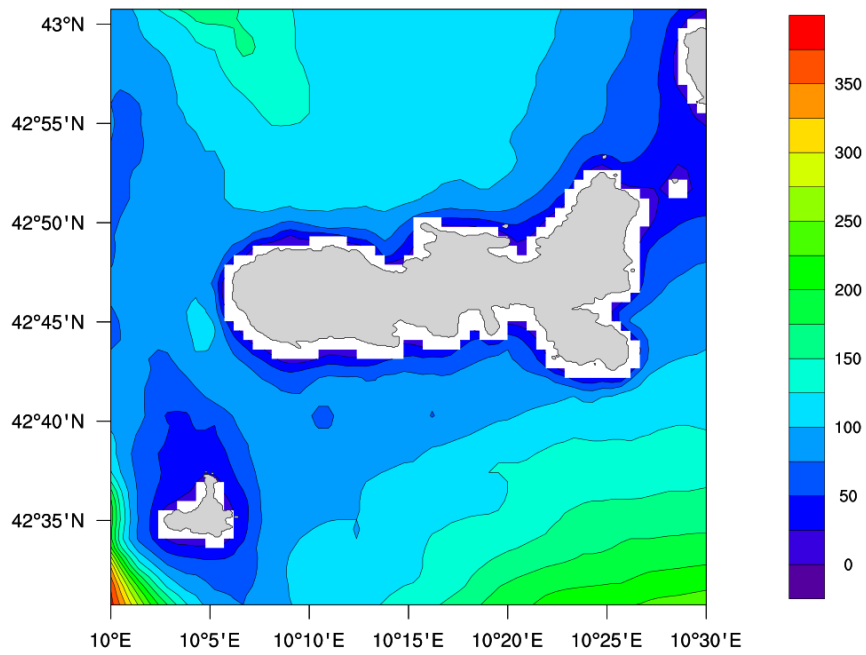


Figura 6. Batimetria relativa alla zona C05 utilizzata per il modello SWAN.





**Figura 7. Batimetria relativa alla zona C06 utilizzata per il modello SWAN.**



**Figura 8. Batimetria relativa alla zona C07 utilizzata per il modello SWAN.**

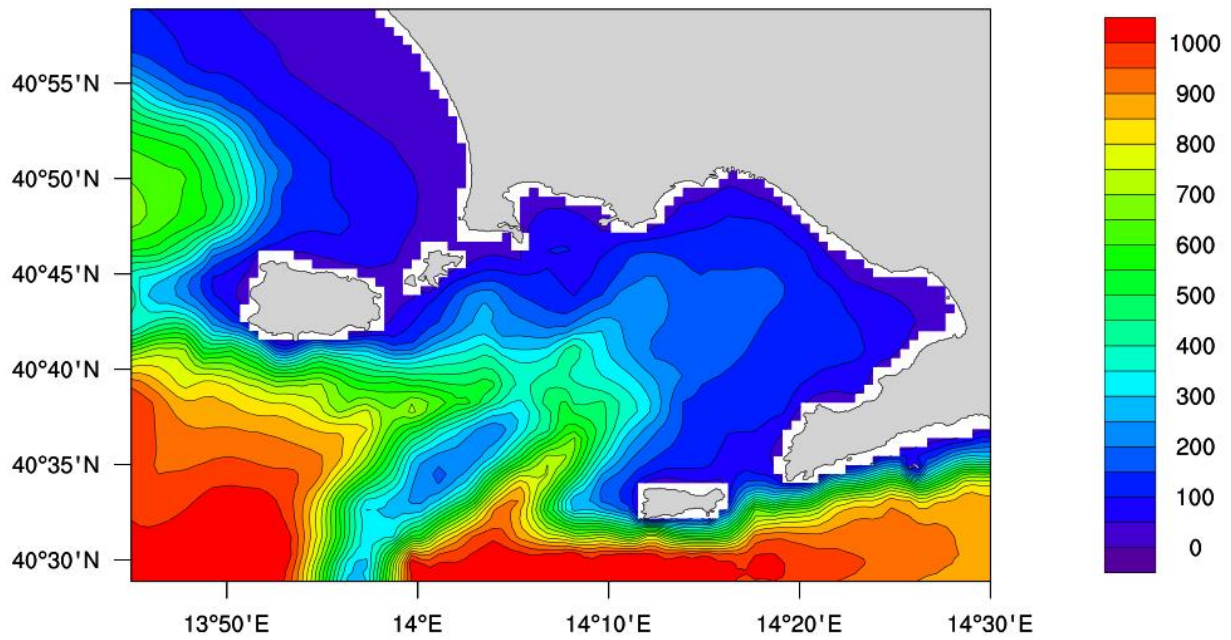


Figura 9. Batimetria relativa alla zona C08 utilizzata per il modello SWAN.

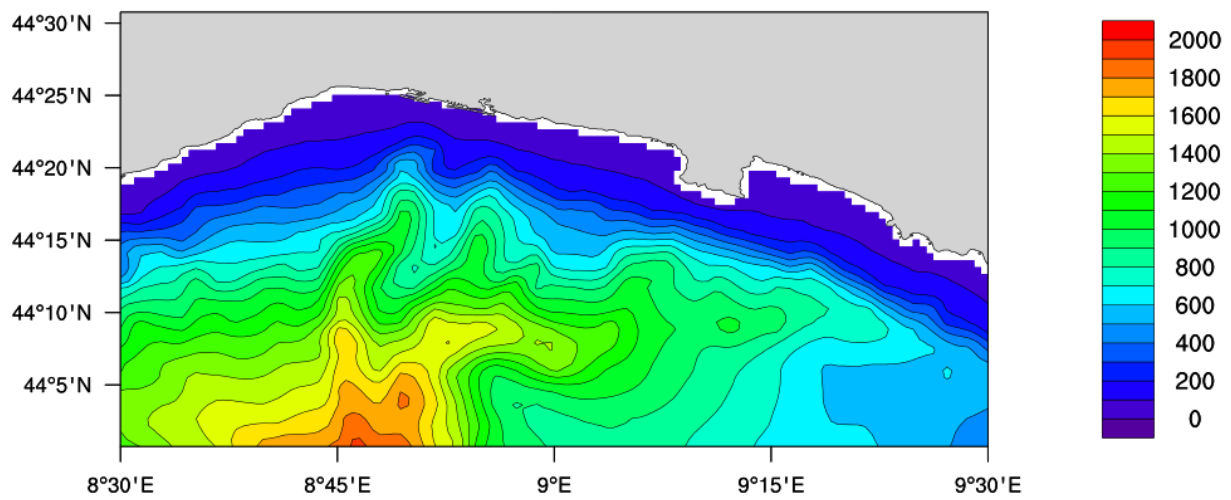
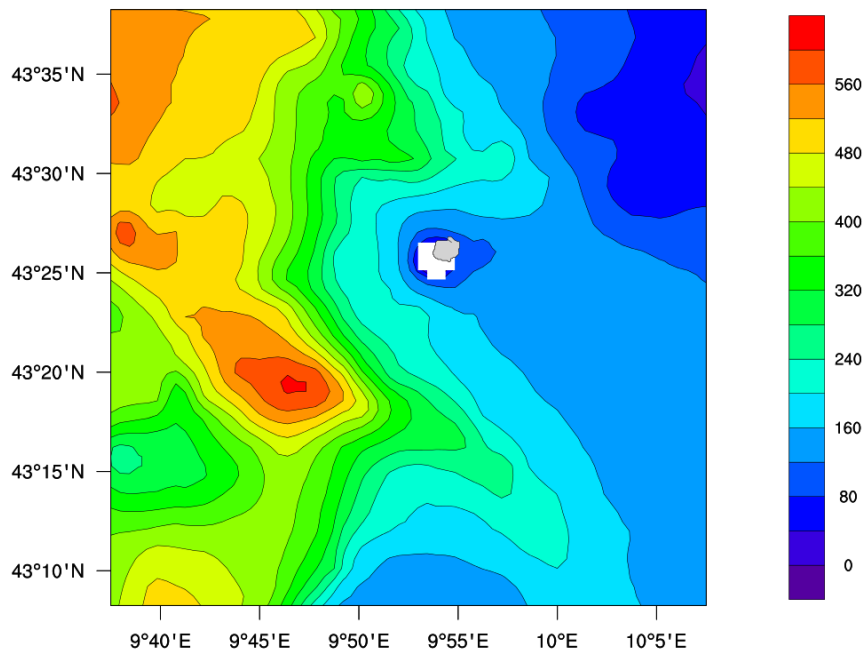


Figura 10. Batimetria relativa alla zona C09 utilizzata per il modello SWAN.



**Figura 11. Batimetria relativa alla zona C10 utilizzata per il modello SWAN.**

## 2.2 Automazione della previsione dello stato del mare

Il sistema per la previsione dello stato del mare è stato attivato in modalità operativa sul computer centrale dell'unità di Modellistica Ambientale dell'ENEA. Le previsioni per una durata di 5 giorni, vengono effettuate ogni mattina e comportano la seguente sequenza di operazioni:

1. I dati orari di vento relativi alla previsione effettuata dal dipartimento di fisica dell'Università di Atene vengono copiati tramite *ftp* dal sito relativo al sistema operativo SKIRON. I dati sono contenuti in 121 file in formato grib (GRIdded Binary) che costituisce uno standard per lo scambio di dati meteorologici in seno alla WMO (World Meteorological Organization). Ciascuno dei file ha dimensioni di circa 12 Mb e contiene tutte le variabili prodotte dalla simulazione meteorologica. In generale i dati sono disponibili sul sito intorno alle 3, ora italiana.
2. Dai 121 file grib vengono estratti i dati relativi al vento a 10 m e con essi vengono prodotti due file, uno per la componente U (file TOT\_U) e l'altro per la componente V (file TOT\_V), relativi all'intero periodo di 5 giorni. Questi file sono in formato *netcdf* (Network Common Data Form).
3. Una procedura scritta in linguaggio *idl* trasforma i file *netcdf* TOT\_V e TOT\_U nel file binario *wind\_SKIN*, idoneo alla lettura da parte dei codici di onde WAM e SWAN.
4. Viene eseguito il modello WAM sull'intero bacino Mediterraneo. Vengono memorizzati su file i dati necessari per la *restart* del codice in corrispondenza di un giorno di simulazione, tali file verranno usati per inizializzare la simulazione del giorno successivo. Il codice WAM produce, tra l'altro, 120 file MAP, uno per ciascuna ora di simulazione che contengono tutte le variabili che descrivono ampiezza e frequenza delle onde e il flusso di energia derivato dal moto ondoso. Allo scopo di

facilitare la distribuzione dei dati e la creazione di mappe viene anche prodotto un singolo file netcdf contenente tutti i dati della simulazione di 5 giorni.

5. Il codice WAM produce per ogni giorno di simulazione anche i file binari che contengono le condizioni al contorno, a frequenza oraria, necessari per la successiva esecuzione del codice SWAN sui diversi sottobacini del Mediterraneo. Tali file sono denominati con la lettera C seguita dal numero d'ordine del sottobacino (es: C01).
6. Il sistema operativo procede con l'esecuzione del codice SWAN su tutti i sottobacini Cxx. Anche in questo caso per ciascun sottobacino vengono memorizzati su file i dati necessari per il *restart* del codice in corrispondenza di un giorno di simulazione, tali file verranno usati per inizializzare la simulazione SWAN del giorno successivo.
7. Vengono create le mappe statiche ed animazioni dei risultati di WAM sull'intero bacino Mediterraneo. Per ogni ora simulata vengono prodotte mappe statiche per ciascuna variabile (energia delle onde, altezza e periodo).
8. Vengono create le mappe statiche ed animazioni dei risultati di SWAN su ogni singolo bacino Cxx. Su ogni bacino, per ogni ora simulata vengono prodotte due mappe statiche per ciascuna variabile (energia delle onde, altezza e periodo). Una prima mappa (chiamata "localmax") è scalata su massimi e minimi di quell'ora, una seconda mappa (chiamata "nolocalmax") viene invece scalata su massimi e minimi dell'intero periodo simulato. Le mappe "nolocalmax" vengono utilizzate per le animazioni poiché i valori corrispondenti ad ogni colore sono costanti su tutto il periodo simulato. Le mappe "localmax" sono invece utili per vedere nel dettaglio la situazione di ogni singola ora. Le mappe vengono create utilizzando NCL che è un software creato dall' NCAR (USA) appositamente per scopi scientifici ed è in grado di leggere i file netcdf e di scrivere mappe grafiche in formato .png (tra gli altri). Sono state create tre diverse procedure NCL, una per visualizzare l'energia, una per l'altezza ed una per il periodo. Per ciascun tempo della simulazione le tre procedure NCL vengono eseguite due volte: una per creare la mappa "localmax" e l'altra per creare la mappa "nolocalmax". Il risultato è la creazione di sei file .png per ciascuna ora simulata. Utilizzando appositi comandi vengono quindi create le animazioni in formato mp4 comprendenti tutte le 120 mappe orarie di ciascuna delle tre variabili, prima di tipo "localmax" e poi di tipo "nolocalmax". In totale alla fine per ogni bacino Cxx abbiamo:
  - 120 mappe statiche di energia "localmax"
  - 120 mappe statiche di altezza "localmax"
  - 120 mappe statiche di periodo "localmax"
  - 120 mappe statiche di energia "nolocalmax"
  - 120 mappe statiche di altezza "nolocalmax"
  - 120 mappe statiche di periodo "nolocalmax"
  - 1 animazione di energia "localmax"
  - 1 animazione di altezza "localmax"
  - 1 animazione di periodo "localmax"
  - 1 animazione di energia "nolocalmax"
  - 1 animazione di altezza "nolocalmax"
  - 1 animazione di periodo "nolocalmax"

Quindi per i 10 bacini attualmente calcolati vengono prodotti  $121 \times 6 \times 10 = 7260$  file grafici.

9. Mediante tre procedure scritte in linguaggio Python (una per l'energia, una per l'altezza ed una per il periodo) vengono create le coperture necessarie alla visualizzazione mediante GIS di tutti i dati prodotti sia dal codice WAM che dal modello SWAN sui vari sottobacini. Ciascuna copertura è costituita di tre file.
10. Tutti i 726 file grafici di WAM, tutti i 7260 file grafici di SWAN e tutte le 11 x 3 coperture prodotte (vedi tre punti precedenti) sono copiati sul sito web di UTMEA (<http://utmea.enea.it>) dove sono disponibili per la visualizzazione. Le mappe possono essere visualizzate sia singolarmente che in sequenza (<http://utmea.enea.it/waves>).

#### NOTE TECNICHE:

- Il computer centrale utilizzato è un UV2000 della Silicon Graphics costituito di 128 cores e avente 512GB di RAM condivisa.
- Per ciascun sottobacino è stata necessaria la realizzazione di uno specifico *script* contenente le informazioni necessarie alla simulazione con il codice SWAN, che consistono oltre alla scelta dei parametri fisici, ovviamente uguale per tutti i sottobacini, alla definizione dei limiti dell'area, numero di punti ed eventuale scelta per la creazione di condizioni al contorno per la realizzazione di una successiva simulazione a risoluzione ancora maggiore.
- Per tutta la durata del calcolo della previsione dello stato del mare il computer centrale viene interamente dedicato all'esecuzione.
- Al fine di velocizzarne l'esecuzione, il codice WAM viene eseguito in modalità parallela su tutti i processori.
- Analogamente, il codice SWAN viene eseguito in modalità parallela per i singoli bacini. Inoltre poiché le aree dei sottobacini Cxx hanno dimensioni diverse e sono rappresentate da differenti numeri di punti della griglia orizzontale, per l'ottimizzazione del tempo di calcolo è stata adottata la strategia di suddividere le CPU disponibili in modo proporzionale alle dimensioni di ciascun sottobacino.
- L'esecuzione automatica della procedura operativa è lanciata alle ore 3:00 mediante il comando "crontab". L'intera catena operativa, inclusa la pubblicazione sul web, viene completata entro le ore 8 della mattina, quindi in un orario idoneo al loro utilizzo. Questo valore varia a causa della variazione automatica, dell'intervallo di propagazione del codice WAM in funzione della situazione meteorologica, L'intervallo di tempo per la propagazione delle onde nel codice WAM è stato fissato a 15 secondi, questo valore costituisce solo il limite superiore in quanto il codice automaticamente riduce il valore di questo intervallo per rispettare il criterio di stabilità CFL (Courant-Friedrichs-Lewy) nel caso di situazioni di velocità elevate.
- La procedura operativa è costituita da una serie di programmi scritti nel linguaggio "bash", tipico di Linux.
- Le condizioni al contorno necessarie per le simulazioni ad alta risoluzione non possono essere estratte dai dati che vengono usualmente prodotti in uscita dal modello ma devono essere definite prima di iniziare la simulazione. La possibilità quindi di gestire direttamente anche la simulazione relativa all'intero bacino Mediterraneo risulta fondamentale per poter rispondere a richieste relative a specifiche zone di interesse.
- Sulla pagina web sono rese disponibili per tutto l'intervallo della simulazione, con frequenza oraria, mappe relative all'altezza significativa dell'onda, al periodo medio e all'energia corrispondente. Sono

presenti sia le mappe per il bacino Mediterraneo che per i 10 sottobacini, richiamabili separatamente o tramite animazioni, che coprono tutto l'intervallo di tempo della simulazione. Nelle Figure 12-31 sono mostrati esempi per le diverse variabili e aree.

Per alcune aree più significative è stata predisposta la possibilità di effettuare una simulazione a risoluzione ancora più elevata con lo stesso codice SWAN. Un esempio è stato realizzato per il sottobacino della Sardegna, sull'area circostante il porto di Alghero. Le condizioni al contorno sono memorizzate in maniera operativa per un'area di dimensioni  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ , a partire dalle coordinate  $8.1^\circ \text{ E} - 40.4^\circ \text{ N}$ . Nelle Figure 32 e 33 viene mostrato un esempio di campo di energia prodotto dal sistema operativo per l'intero sottobacino della Sardegna per le ore 12 del giorno 13 settembre, e il campo di energia relativo alla simulazione con il successivo passo di *nesting*. La risoluzione a cui è stata effettuata la simulazione raggiunge in questo caso valori dell'ordine di poche centinaia di metri.



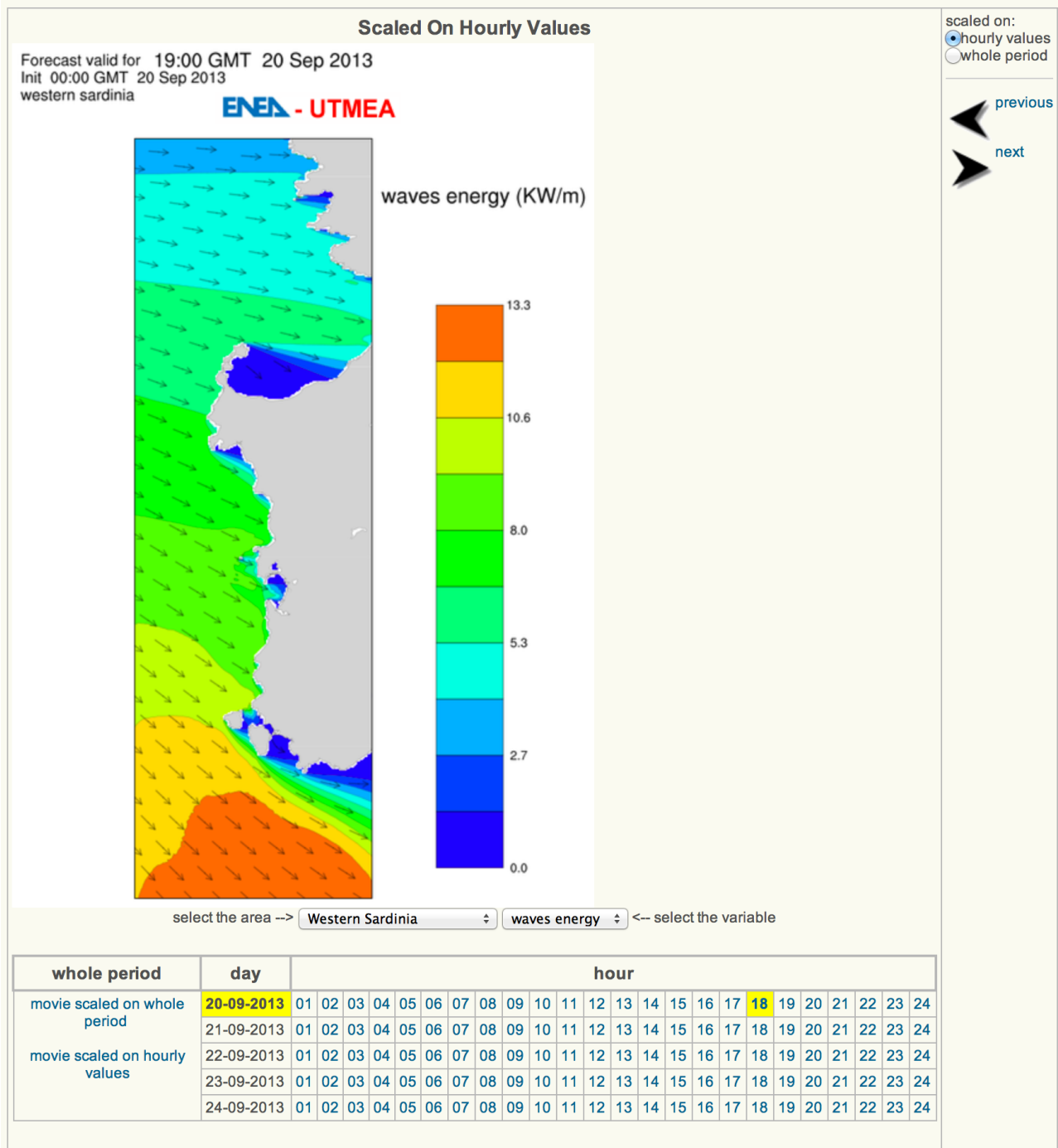


Figura 12. Esempio di previsione di energia delle onde per la zona ovest della Sardegna tratta dal sito UTMEA.

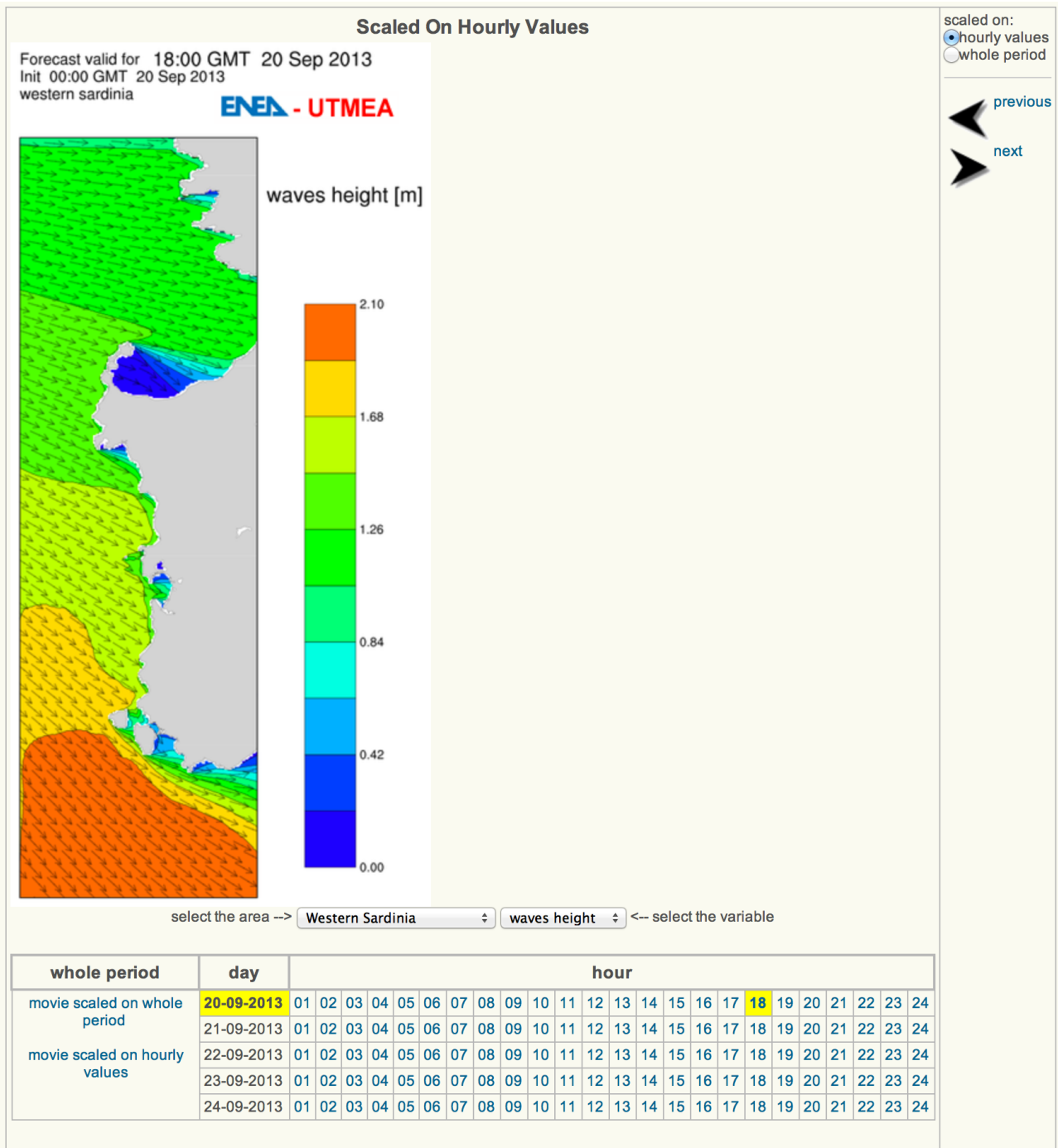


Figura 13. Esempio di previsione di altezza significativa delle onde per la zona ovest della Sardegna tratta dal sito UTMEA.

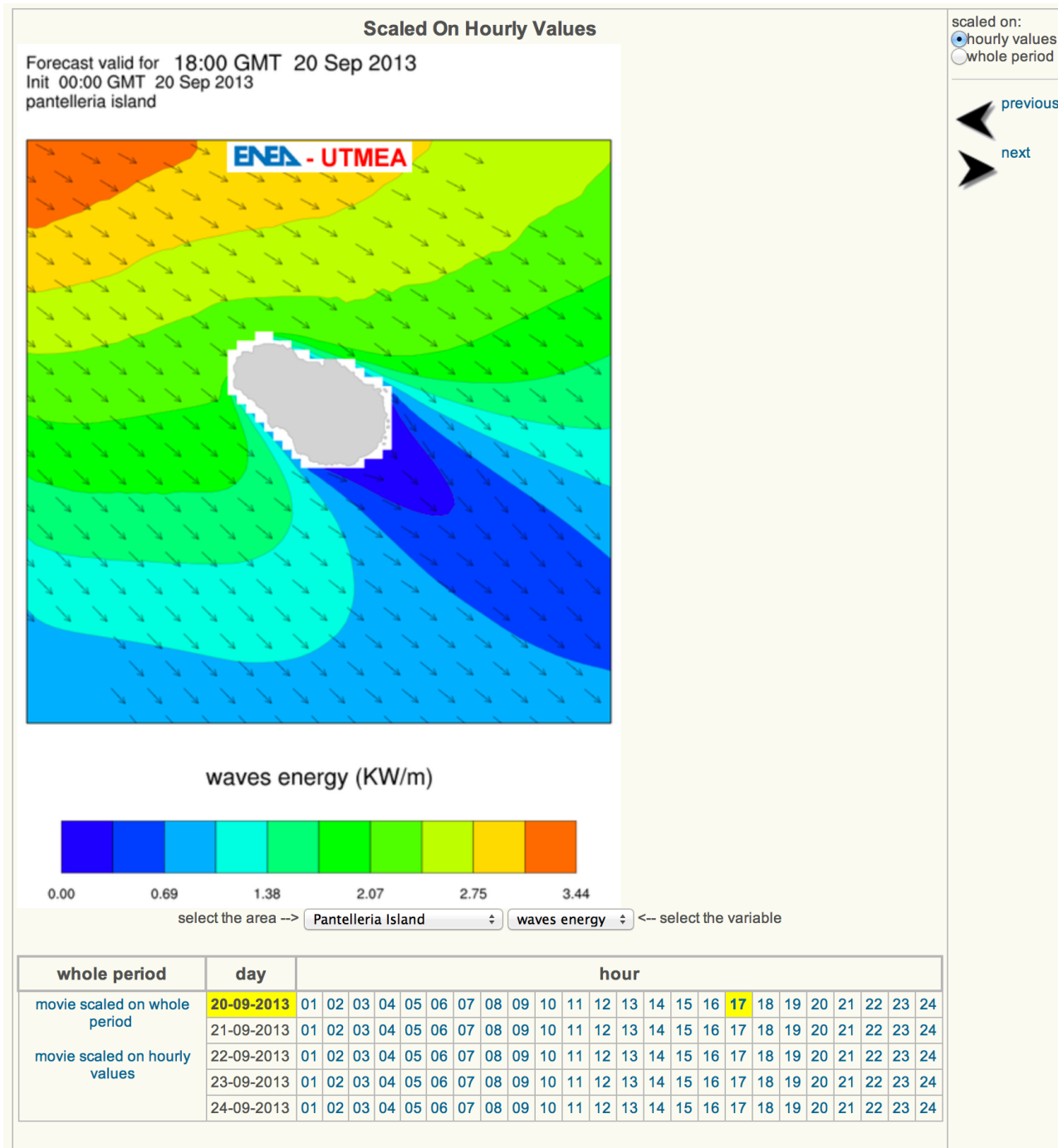


Figura 14. Esempio di previsione di energia delle onde per l'isola di Pantelleria tratta dal sito UTMEA.

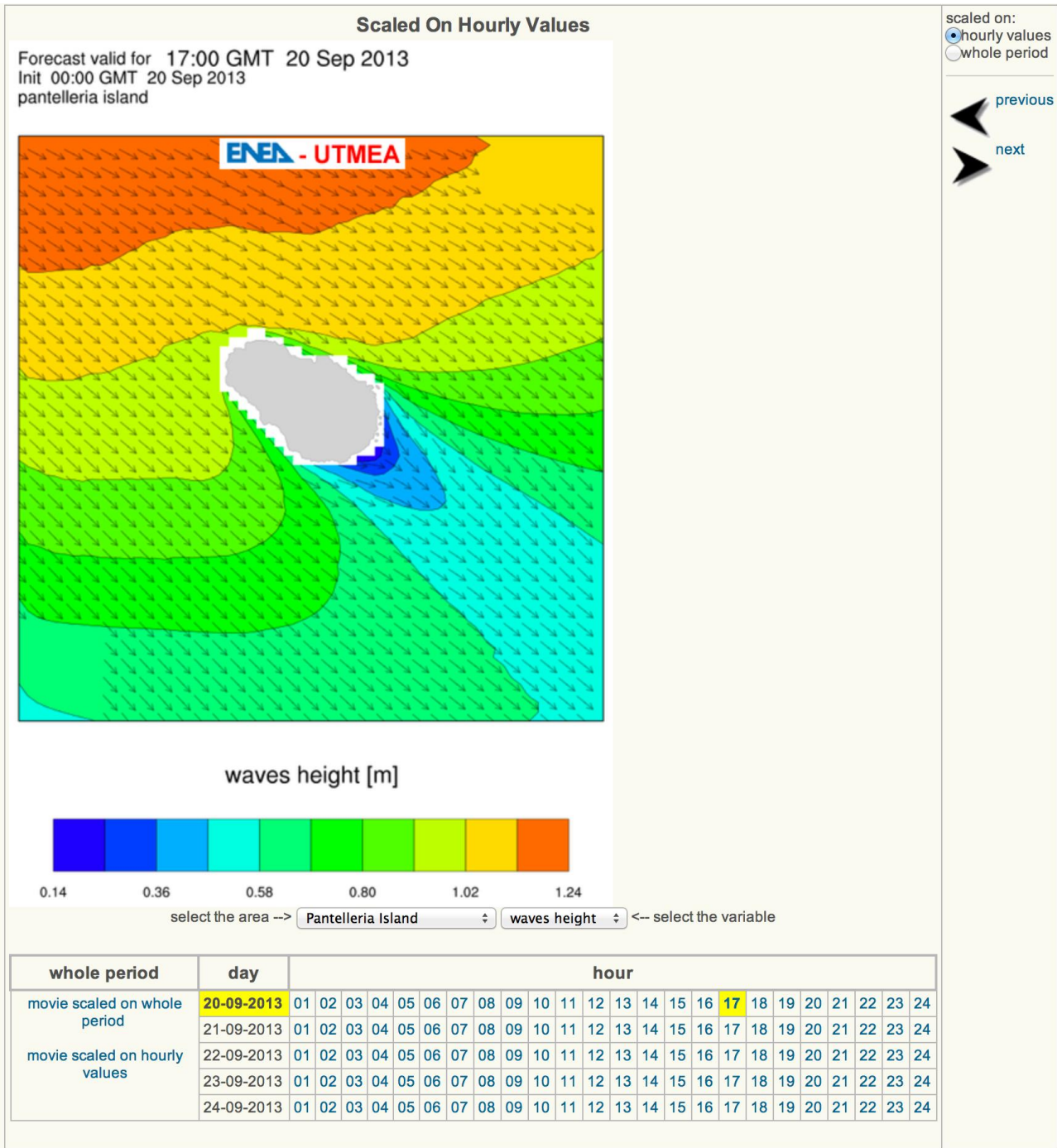


Figura 15. Esempio di previsione di altezza significativa delle onde per l'isola di Pantelleria tratta dal sito UTMEA.

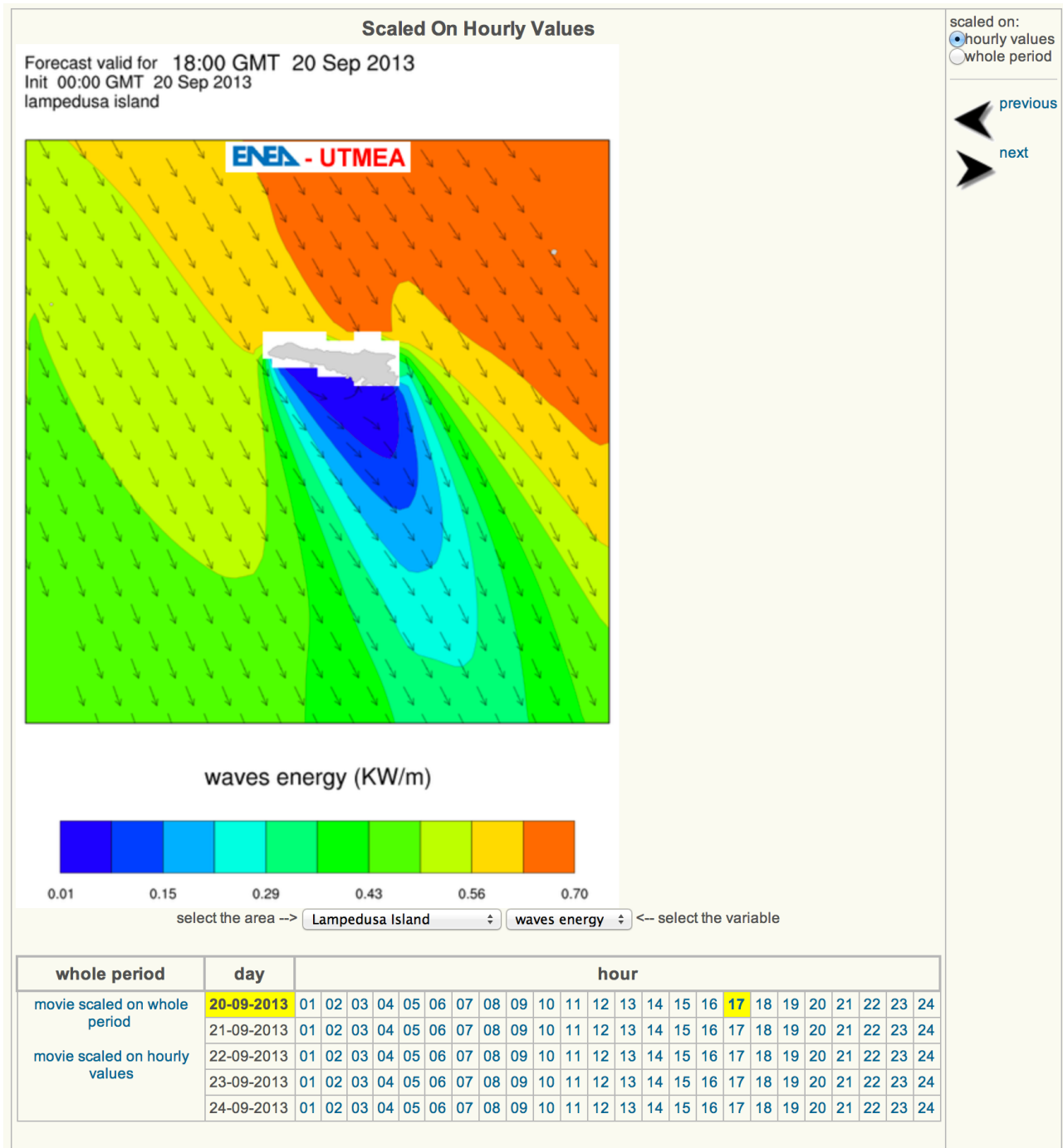


Figura 16. Esempio di previsione di energia delle onde per l'isola di Lampedusa tratta dal sito UTMEA.



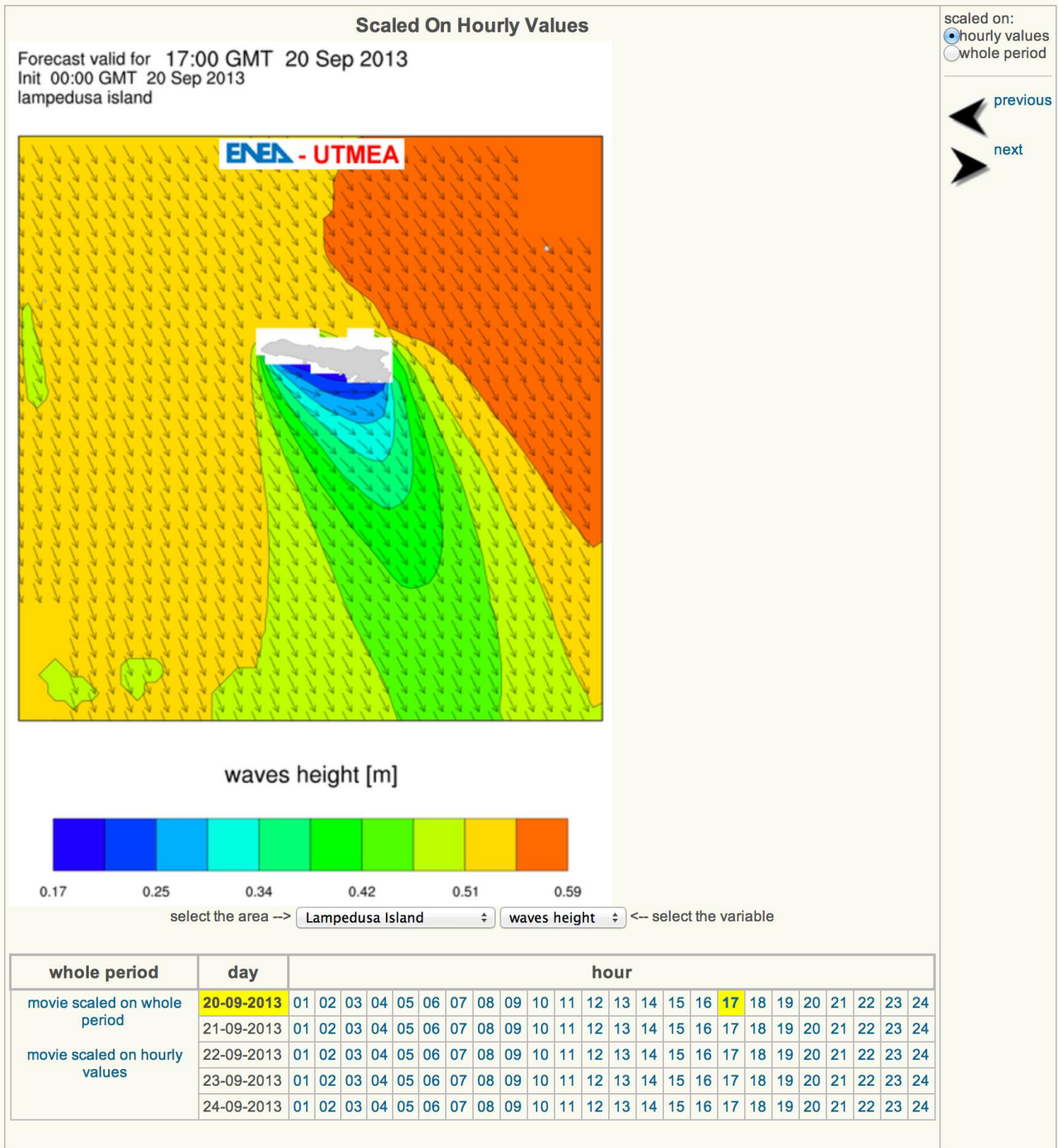


Figura 17. Esempio di previsione di altezza significativa delle onde per l'isola di Lampedusa tratta dal sito UTMEA.



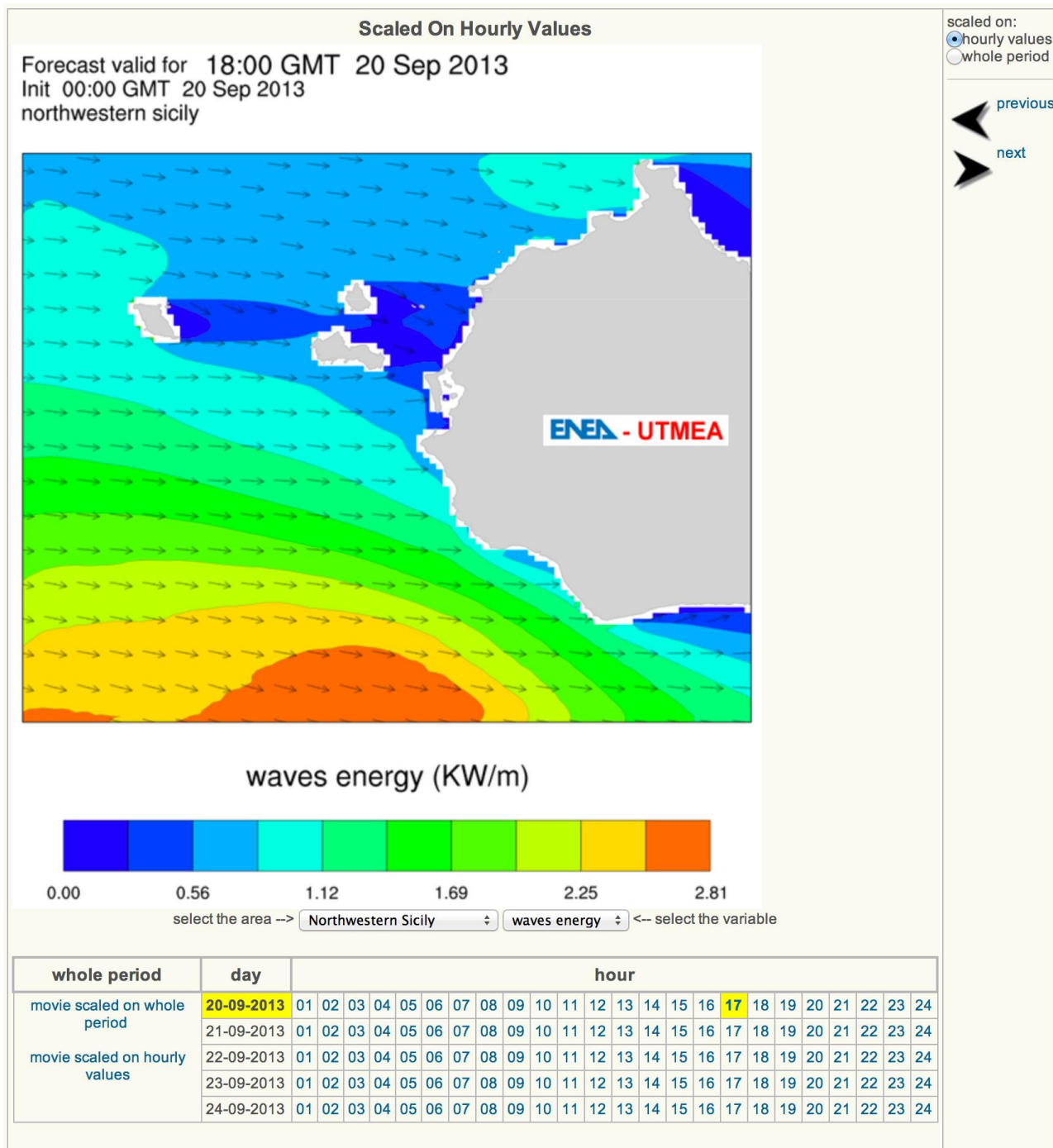


Figura 18. Esempio di previsione di energia delle onde per la zona nord-occidentale della Sicilia tratta dal sito UTMEA.

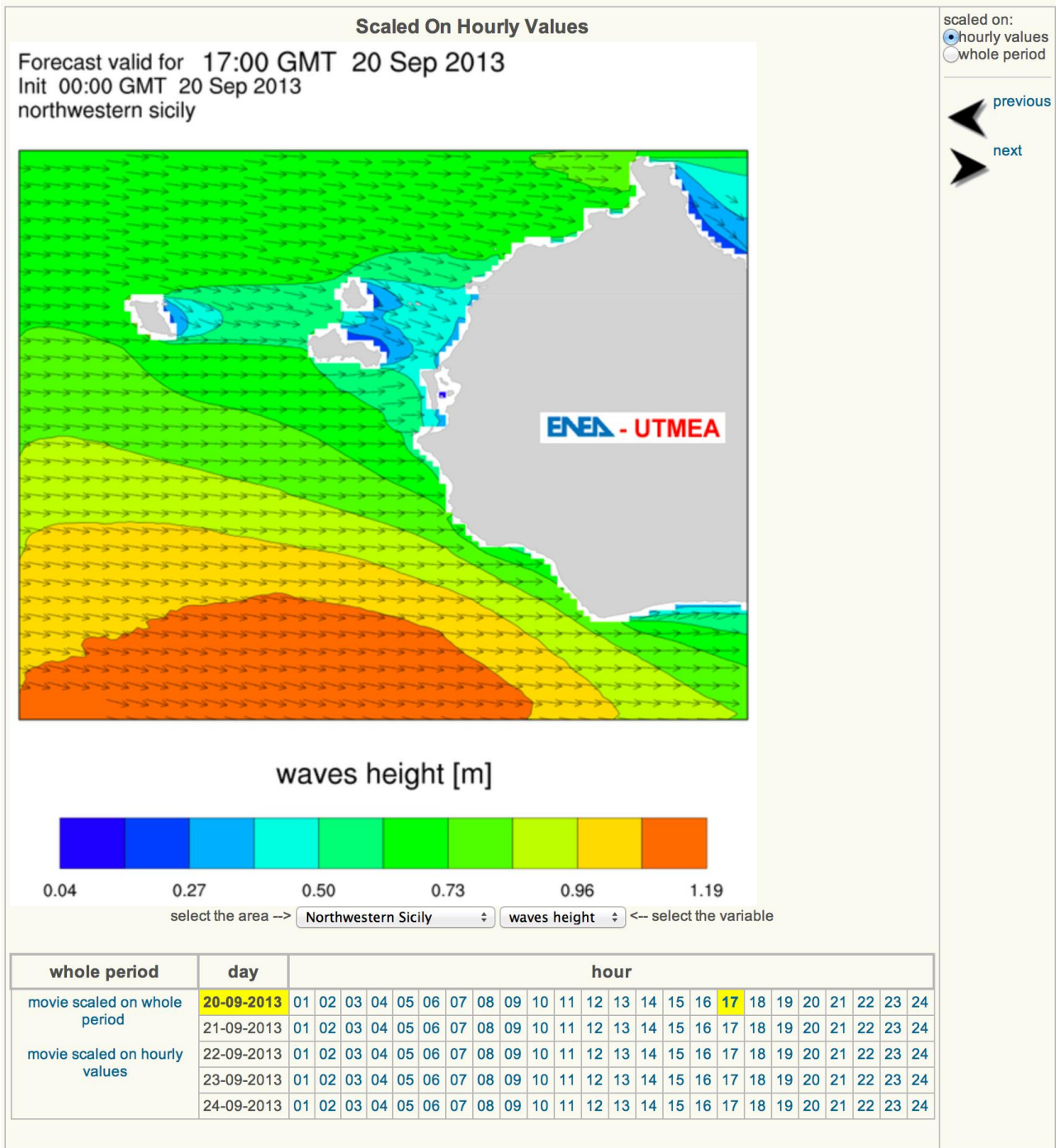


Figura 19. Esempio di previsione di altezza significativa delle onde per l'area nord-occidentale della Sicilia tratta dal sito UTMEA.

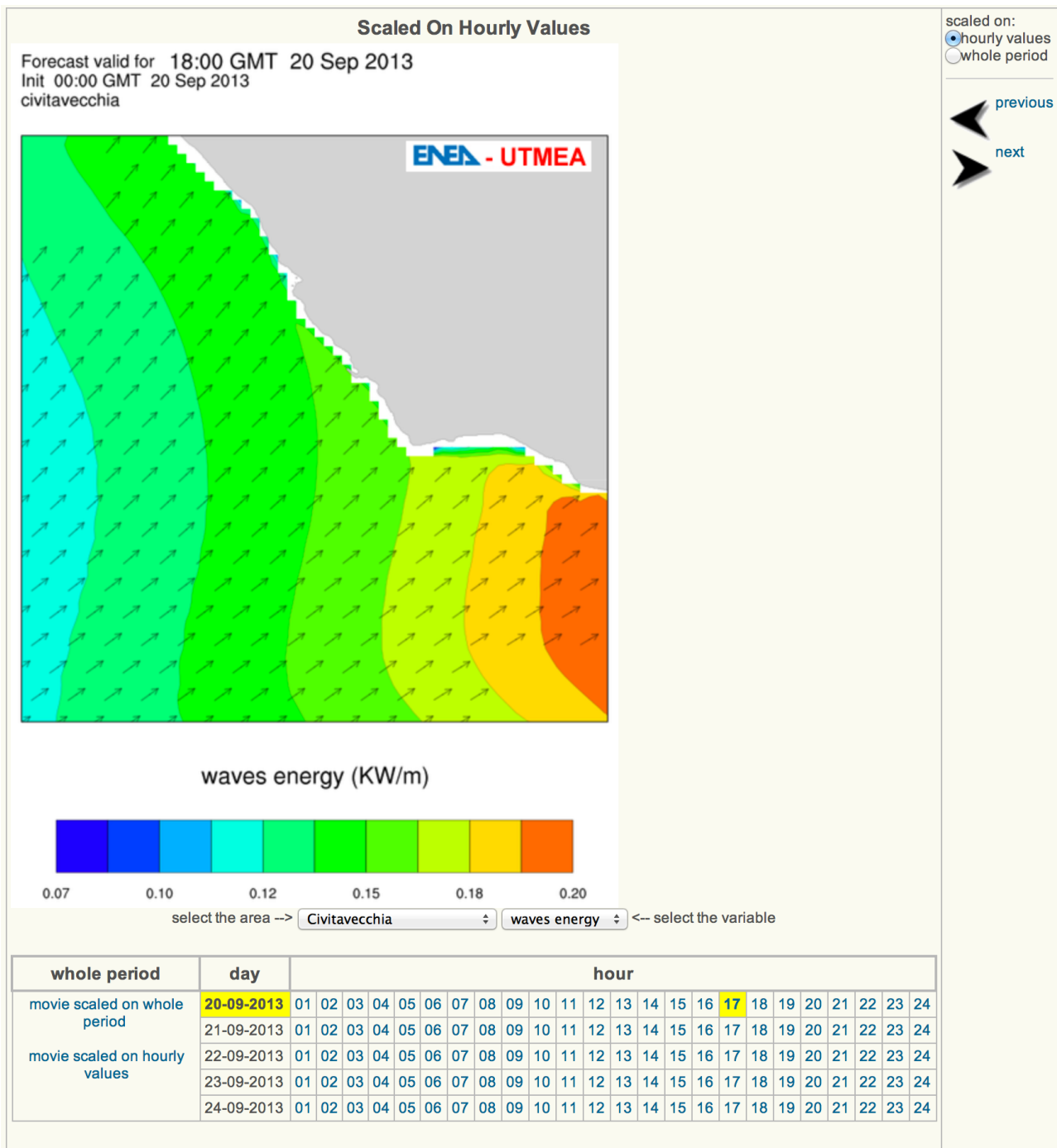


Figura 20. Esempio di previsione di energia delle onde per la zona di Civitavecchia tratta dal sito UTMEA.

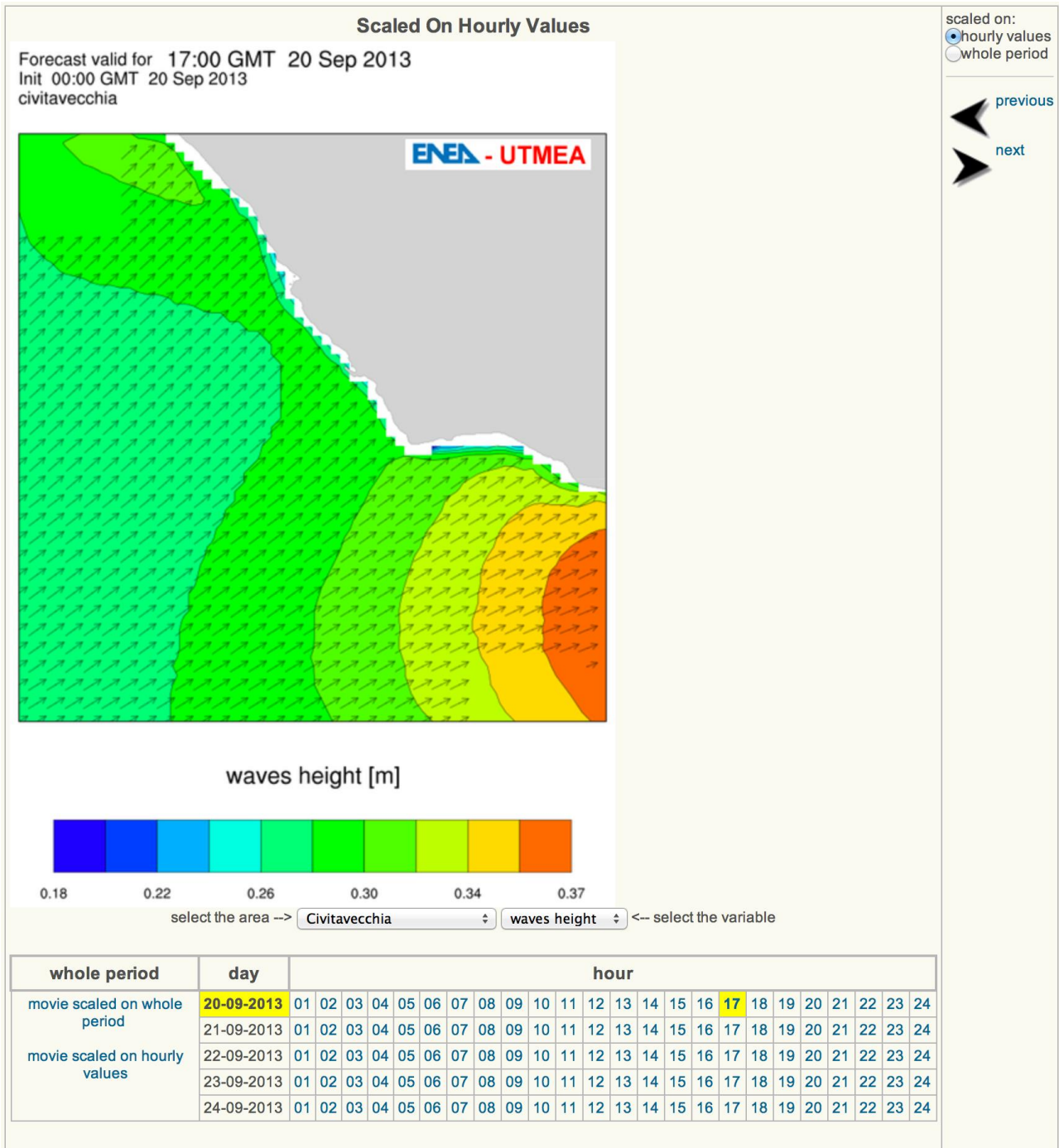


Figura 21. Esempio di previsione di altezza significativa delle onde per la zona di Civitavecchia tratta dal sito UTMEA.

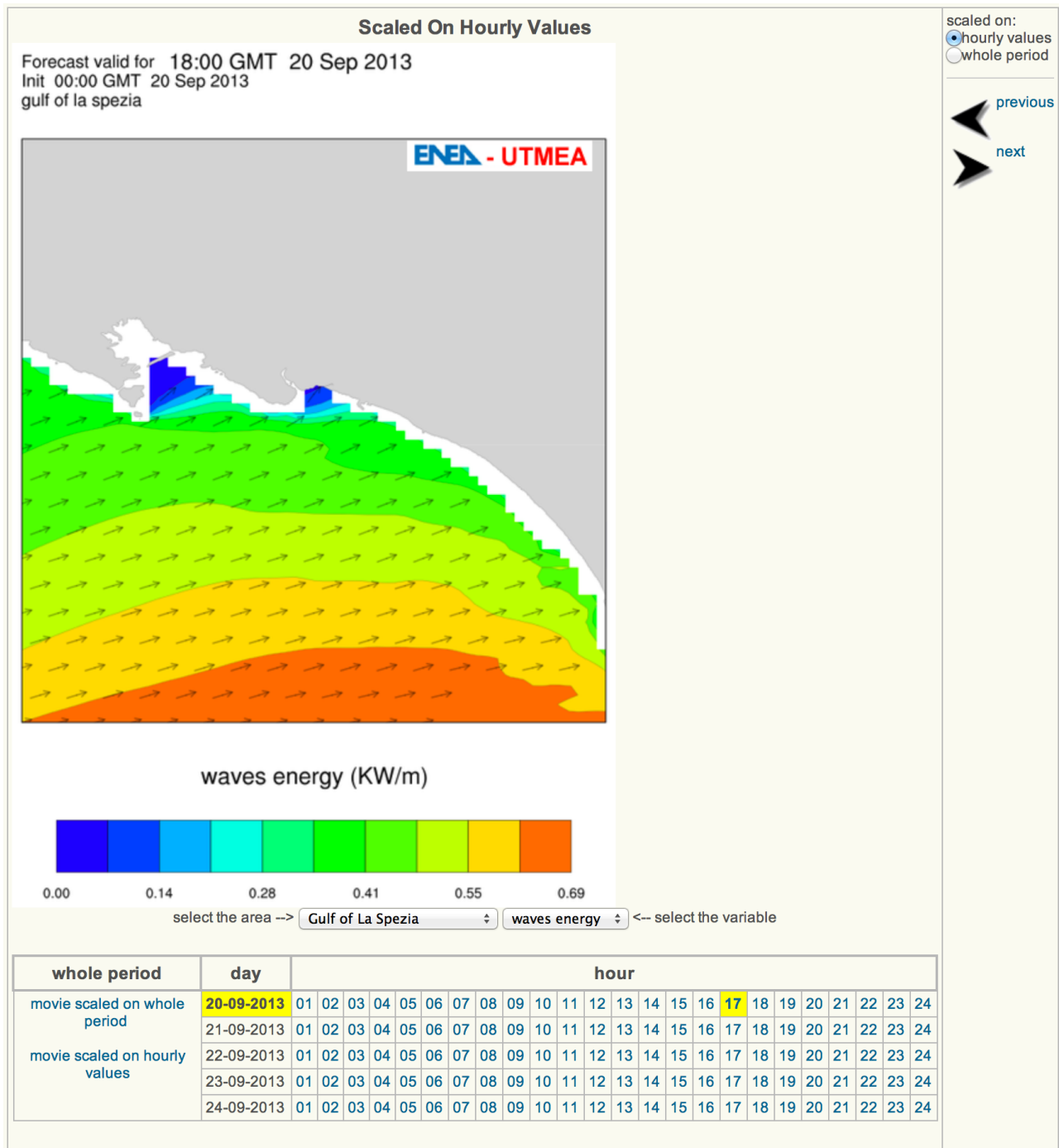


Figura 22. Esempio di previsione di energia delle onde per la zona del Golfo di La Spezia tratta dal sito UTMEA



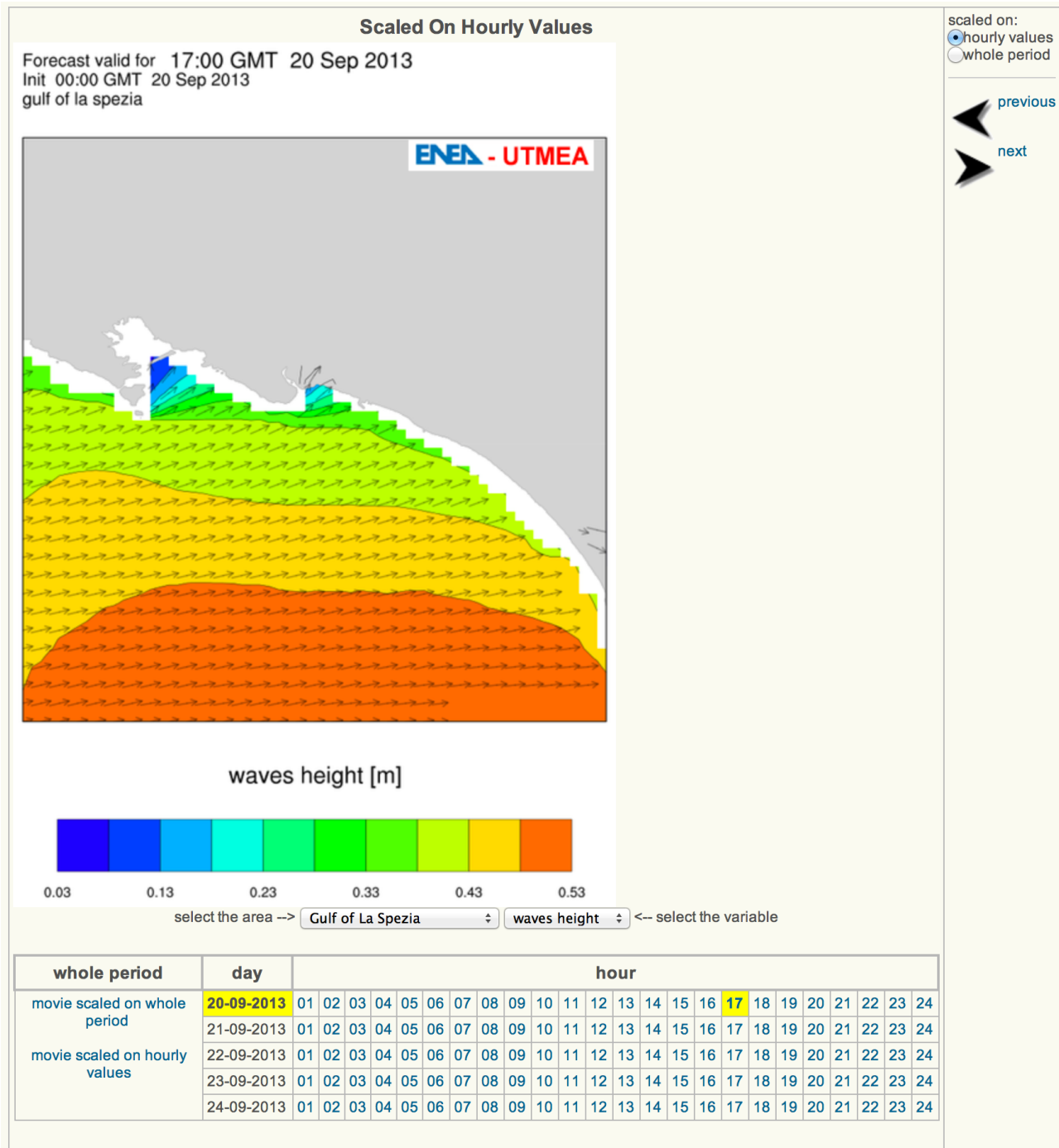


Figura 23. Esempio di previsione di altezza significativa delle onde per la zona del Golfo di La Spezia tratta dal sito UTMEA.



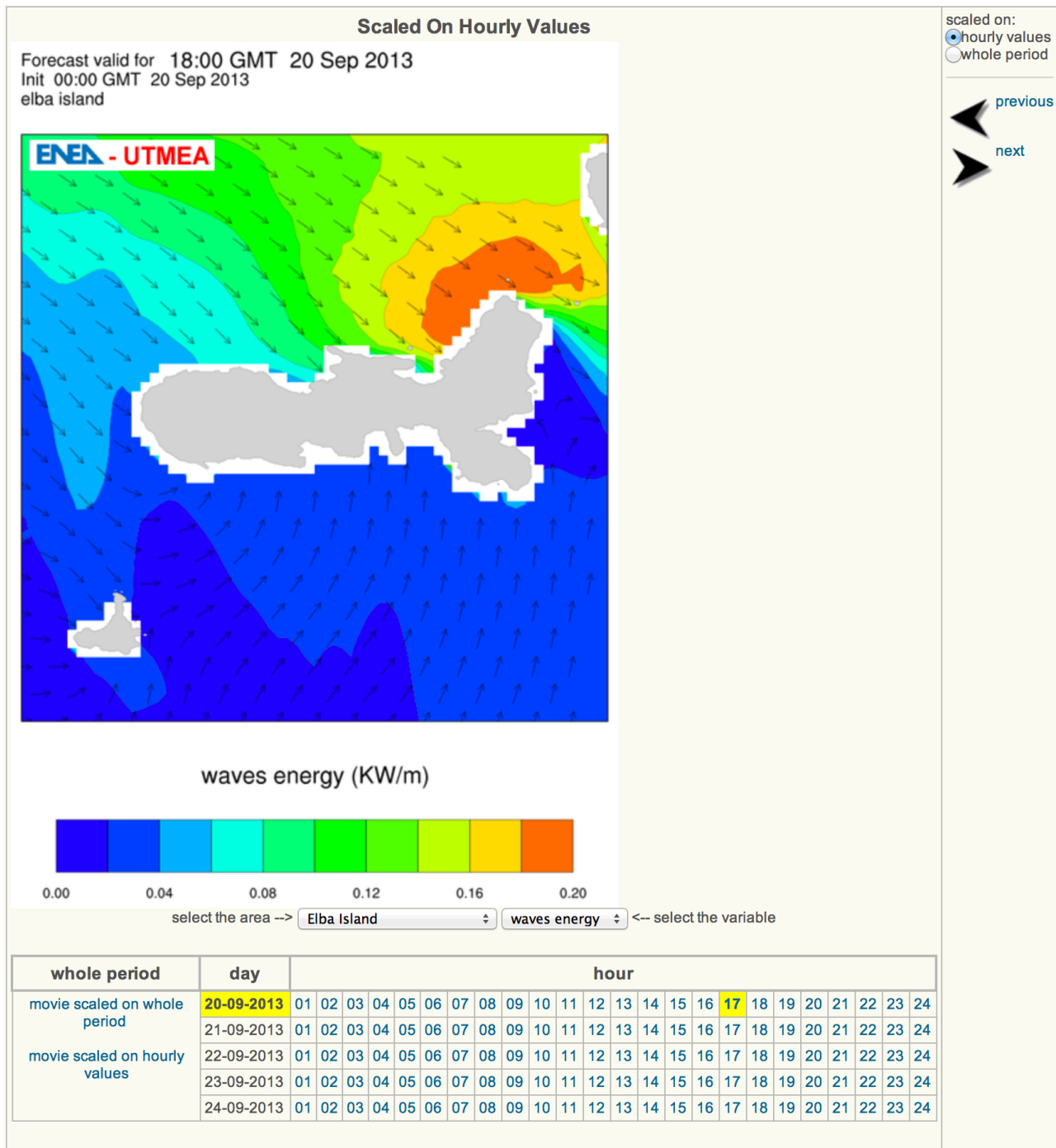


Figura 24. Esempio di previsione di energia delle onde per la zona dell'isola d'Elba tratta dal sito UTMEA.

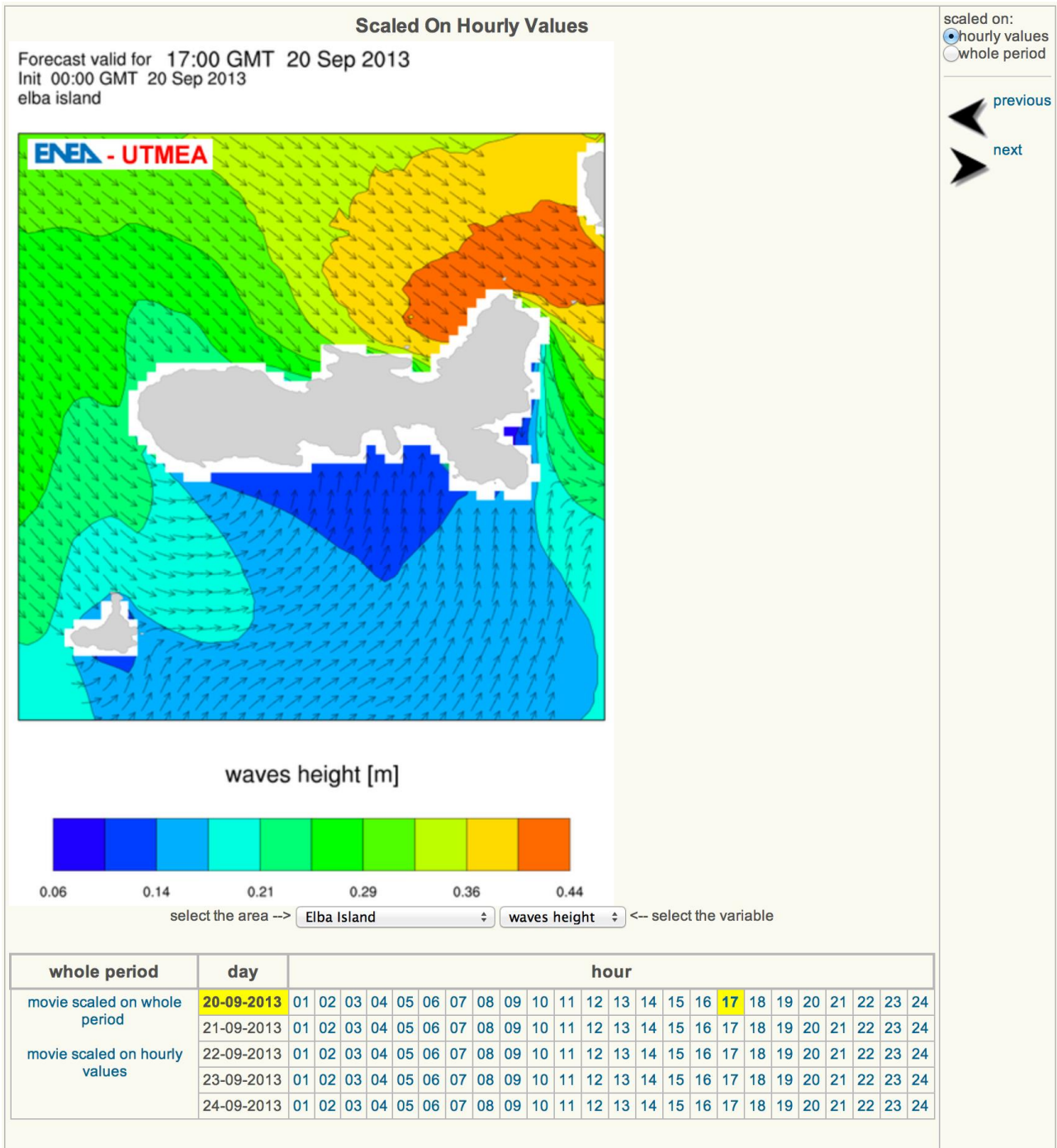


Figura 25. Esempio di previsione di altezza significativa delle onde per la zona dell'isola d'Elba tratta dal sito UTMEA.

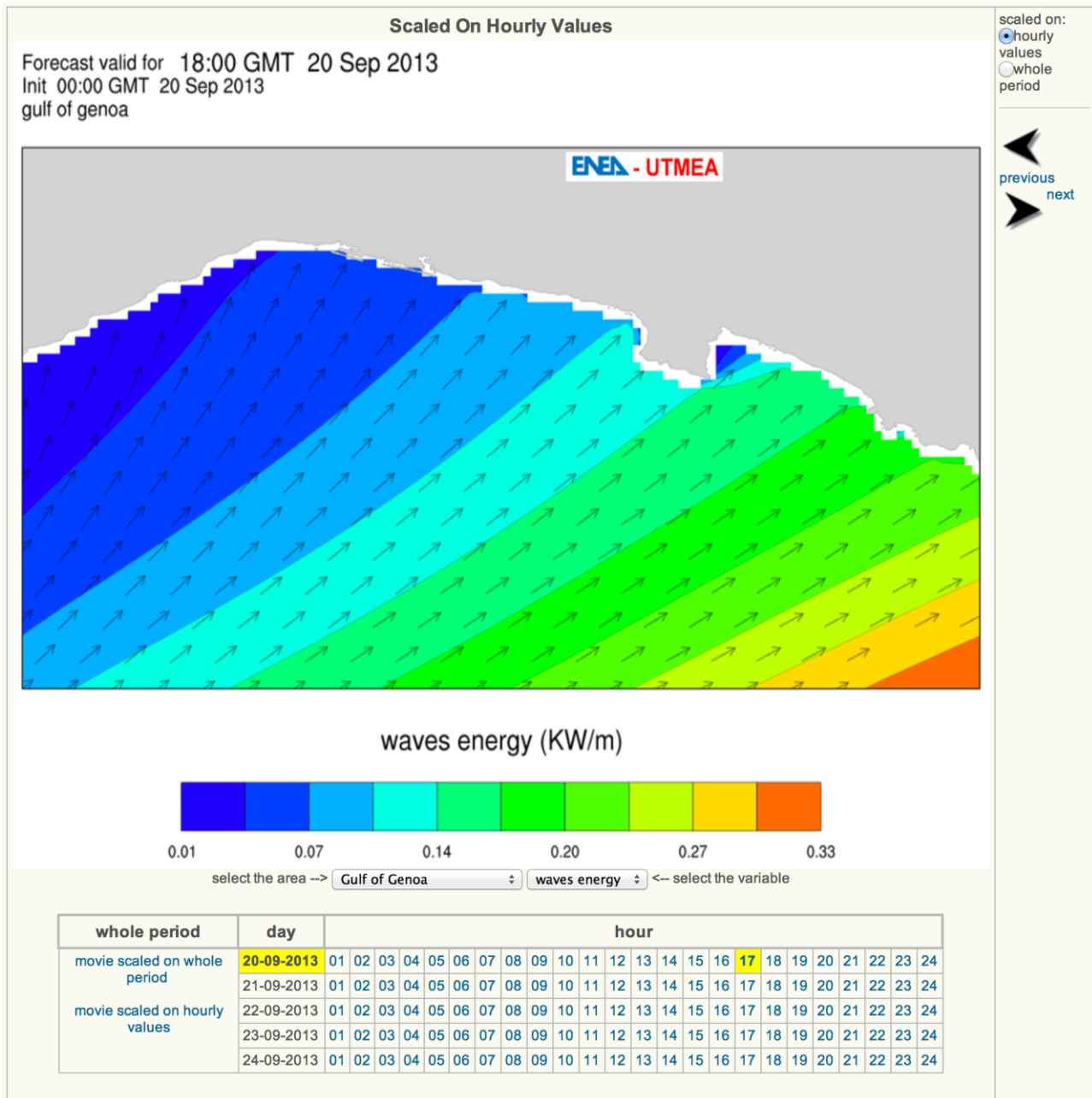


Figura 26. Esempio di previsione di energia delle onde per la zona del Golfo di Genova tratta dal sito UTMEA.

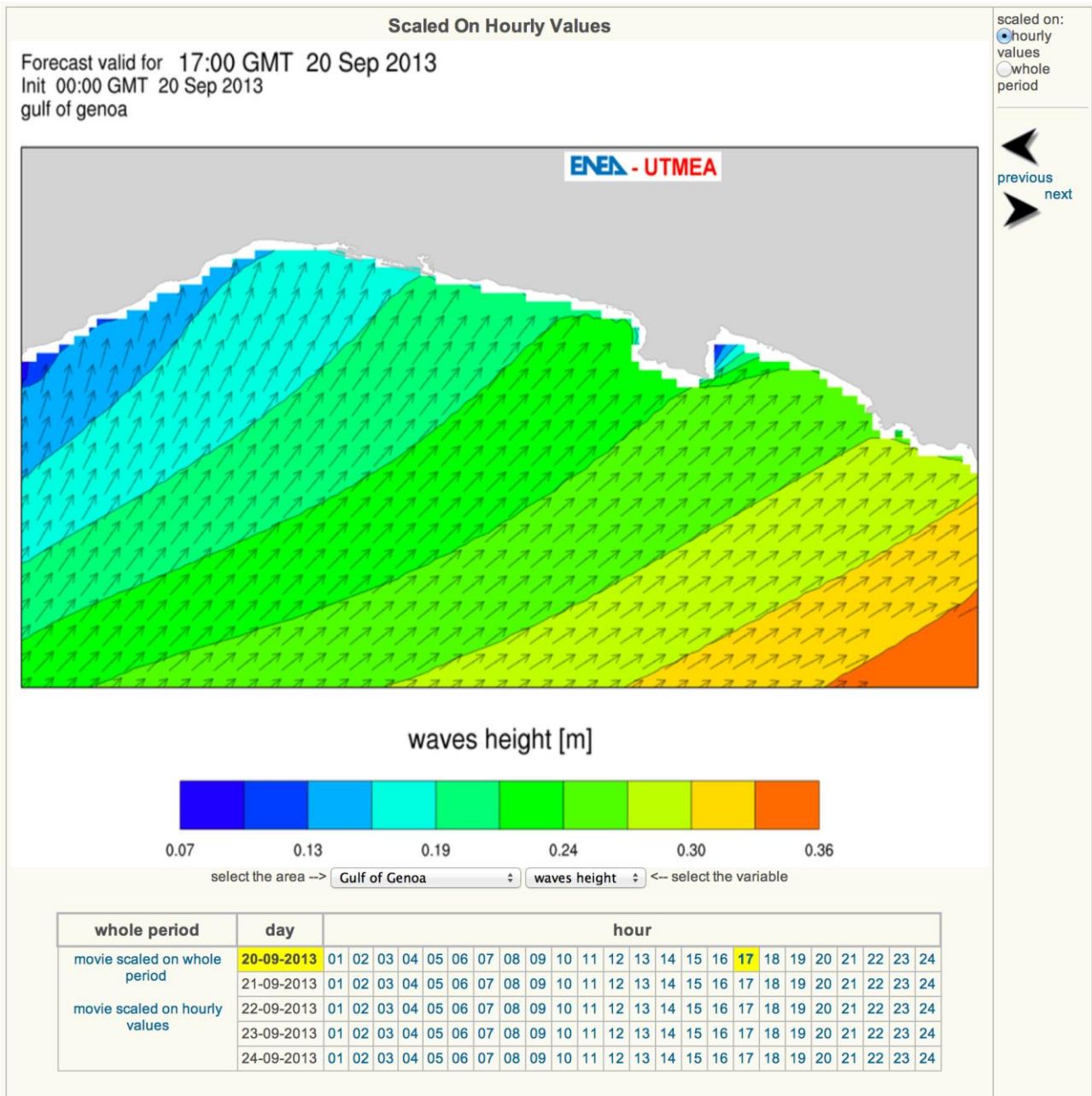


Figura 27. Esempio di previsione di altezza significativa delle onde per la zona del Golfo di Genova tratta dal sito UTMEA.

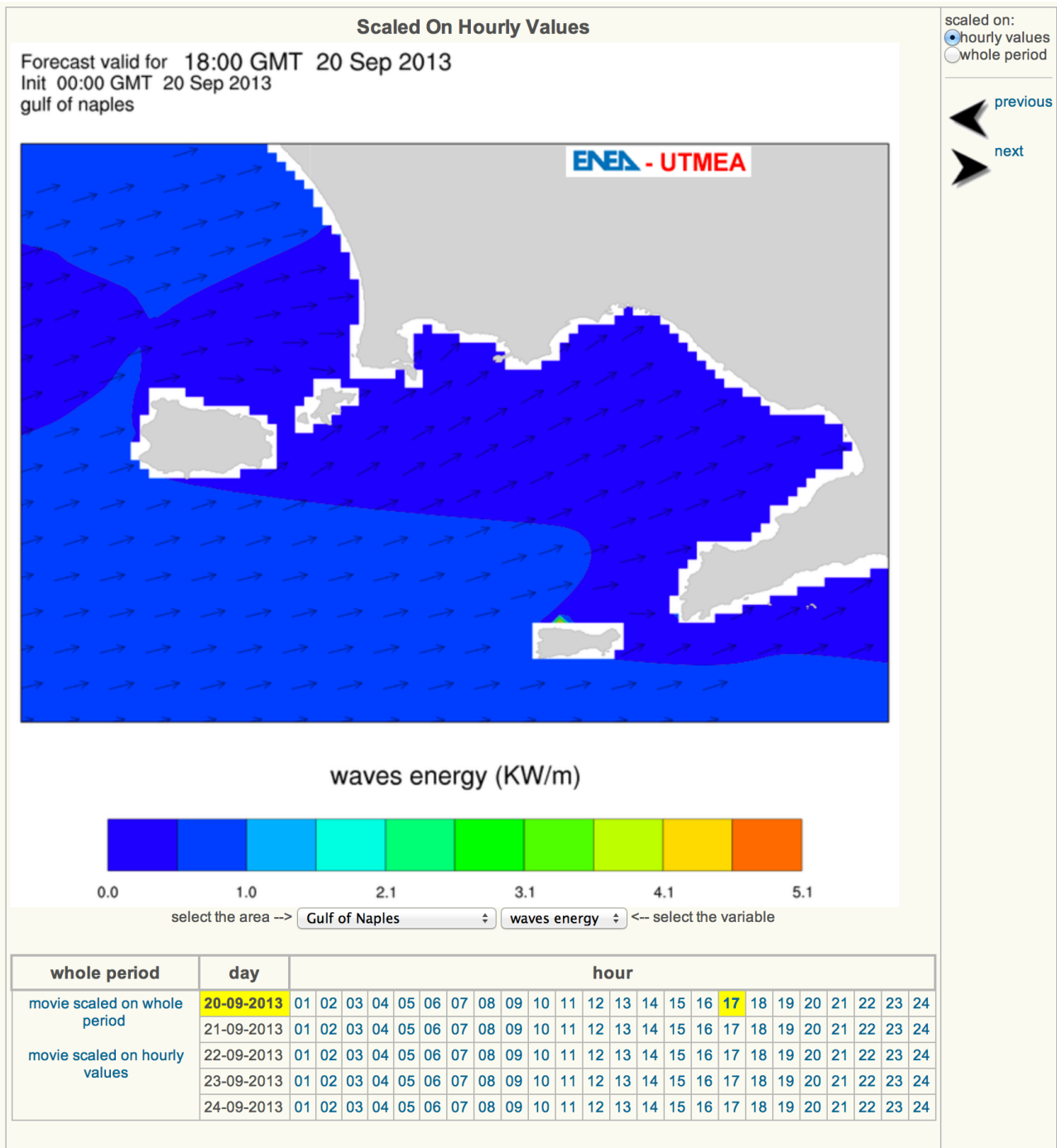


Figura 28. Esempio di previsione di energia delle onde per la zona del Golfo di Napoli tratta dal sito UTMEA.



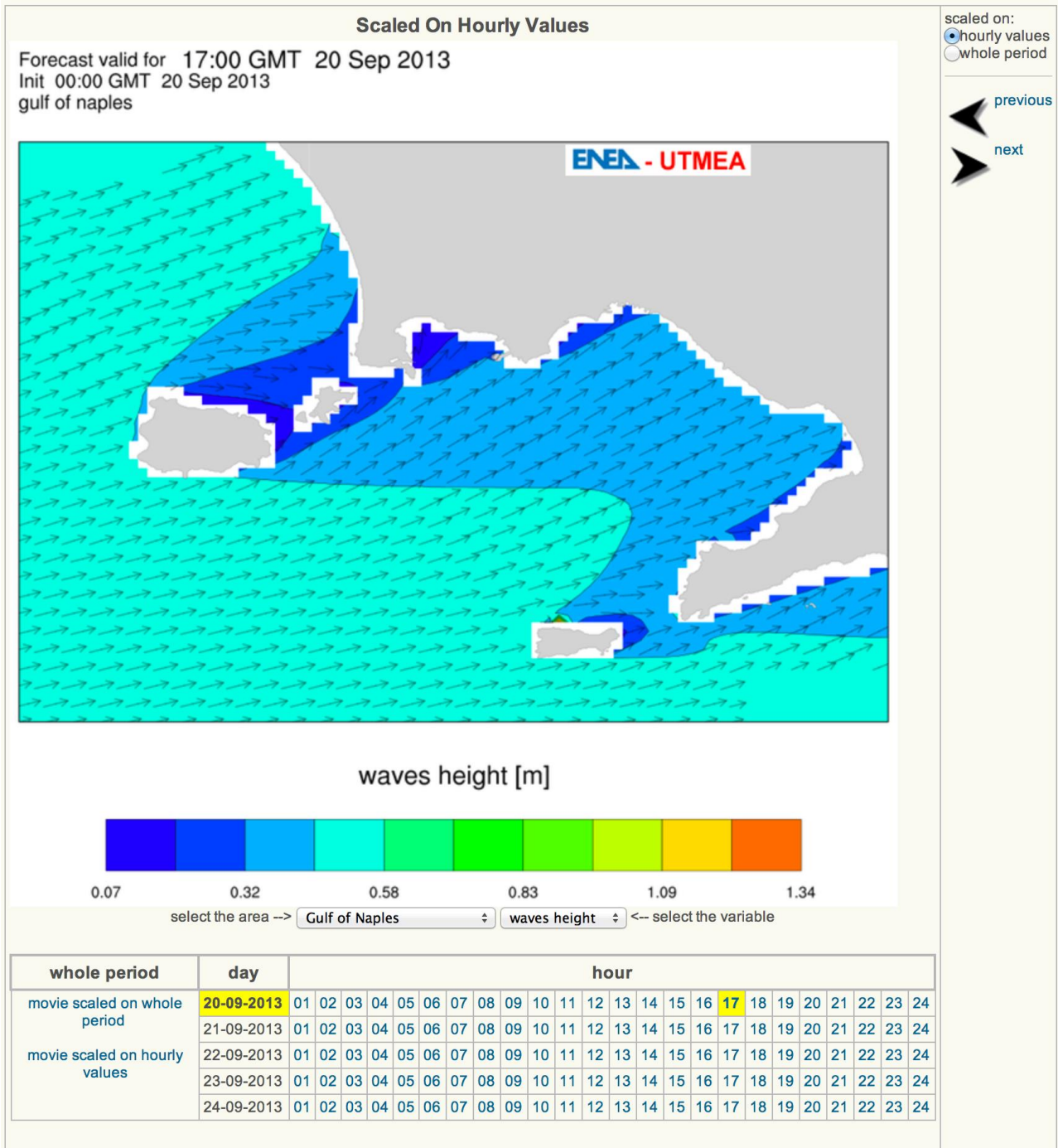


Figura 29. Esempio di previsione di altezza significativa delle onde per la zona del Golfo di Napoli tratta dal sito UTMEA.

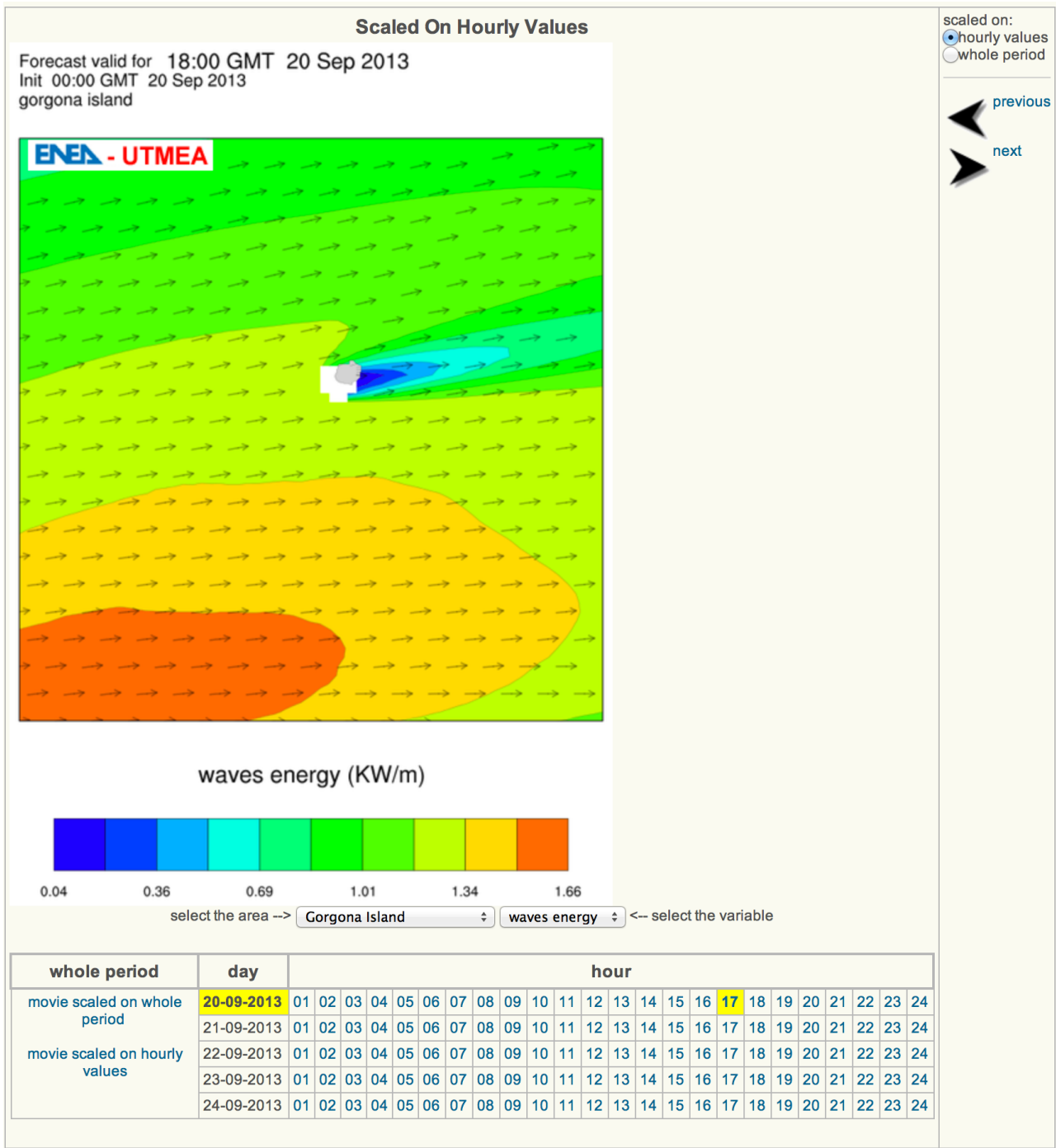


Figura 30. Esempio di previsione di energia delle onde per la zona dell'isola di Gorgona tratta dal sito UTMEA.

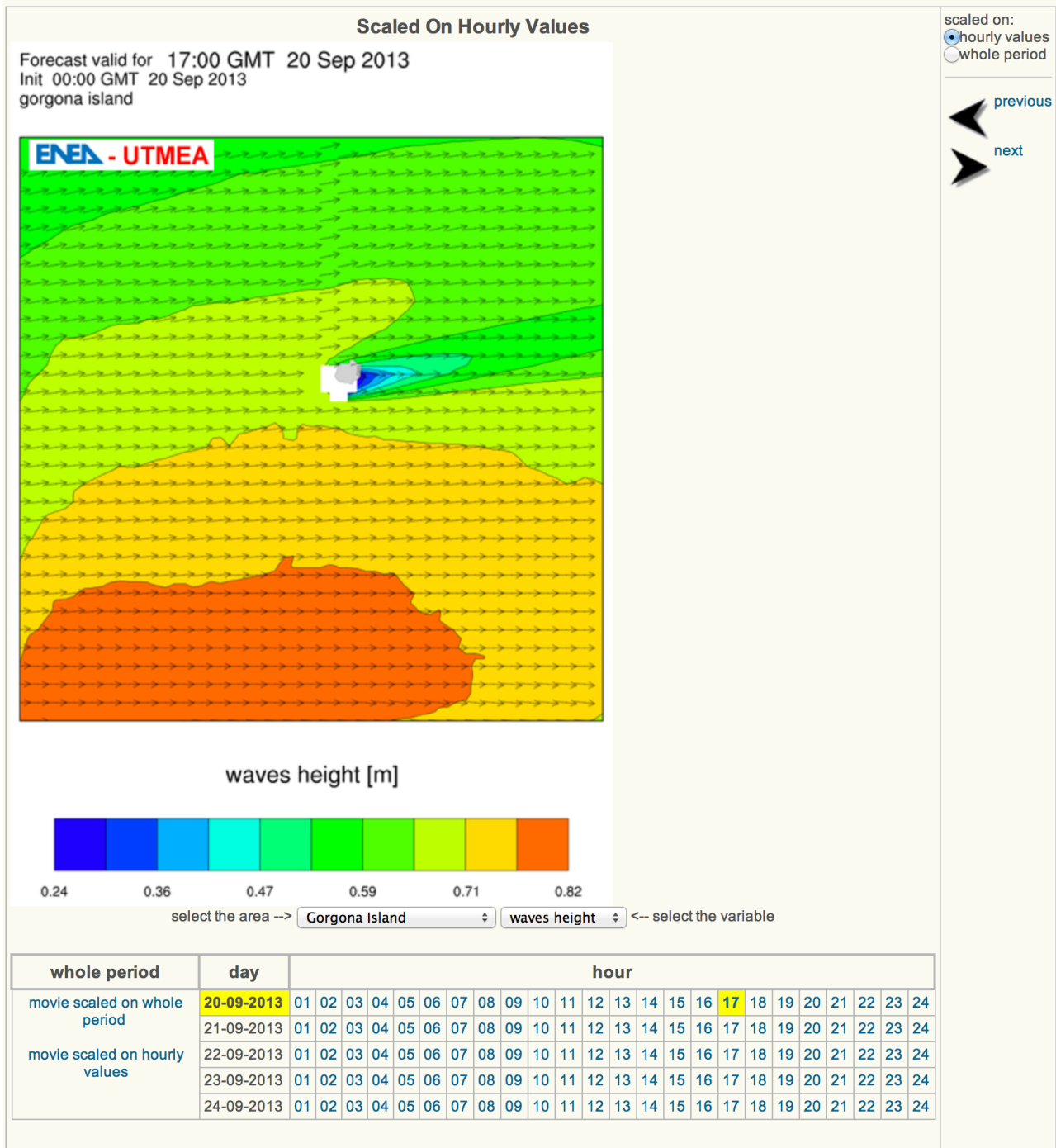


Figura 31. Esempio di previsione di altezza significativa delle onde per la zona dell'isola di Gorgona tratta dal sito UTMEA.



Forecast valid for 12:00 GMT 13 Sep 2013  
Init 00:00 GMT 13 Sep 2013

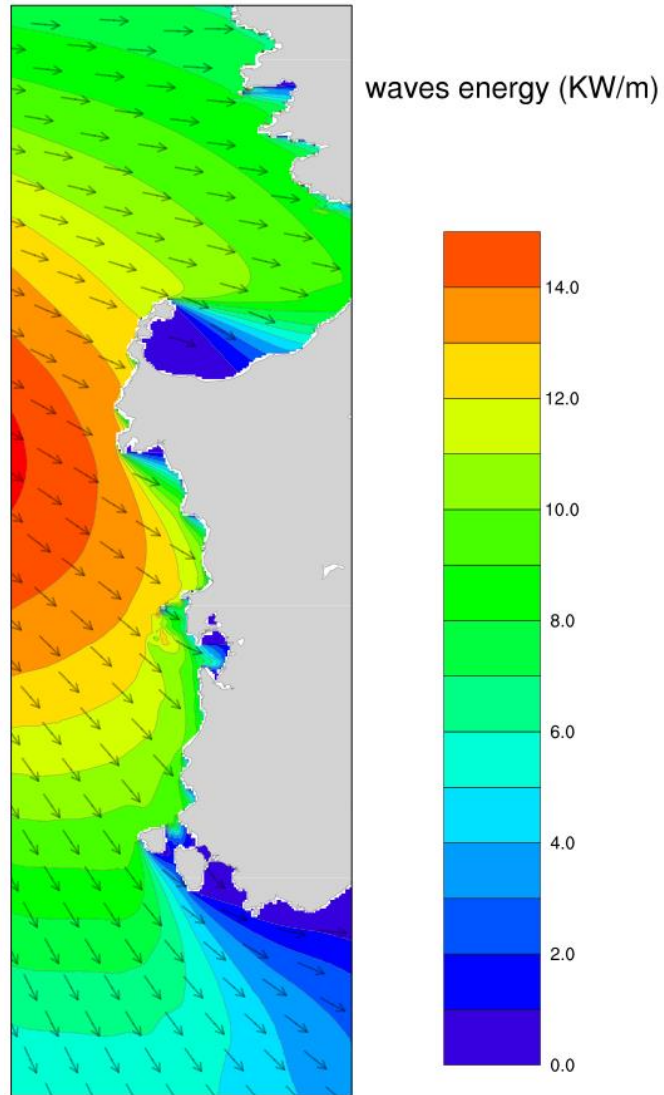


Figura 32. Esempio di previsione di energia per il sottobacino della Sardegna. Previsione per le ore 12 del giorno 13 settembre 2013.

Forecast valid for 12:00 GMT 13 Sep 2013  
Init 00:00 GMT 13 Sep 2013

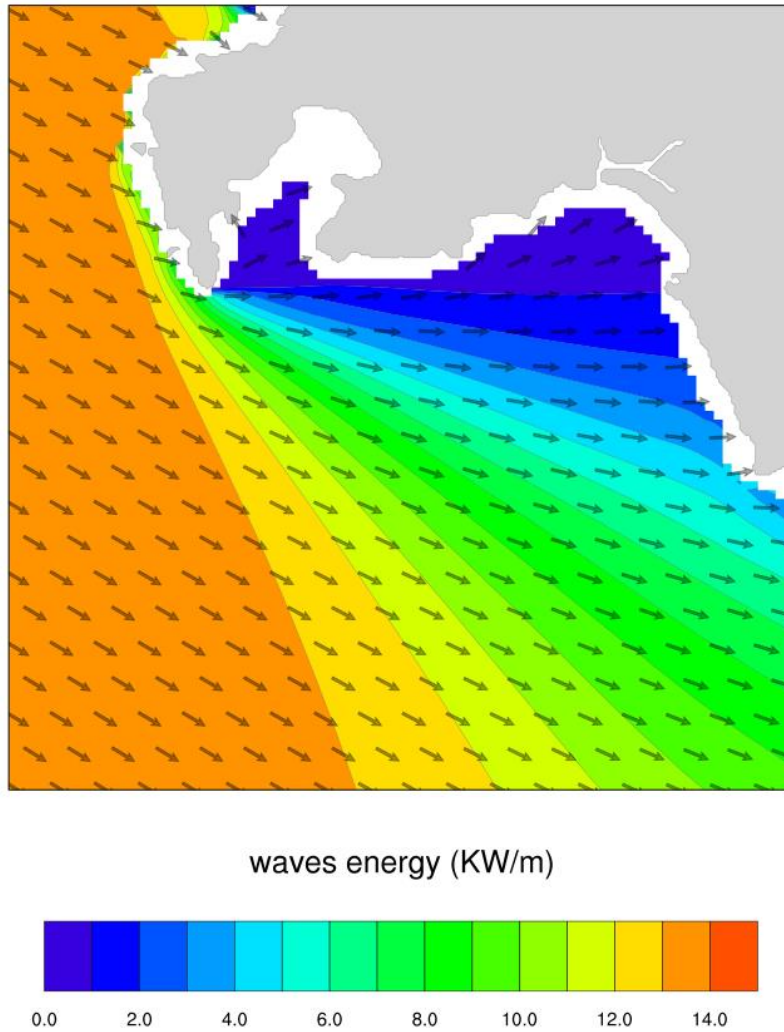


Figura 33. Esempio di previsione di energia per l'area di mare circostante il porto di Alghero, effettuata con il codice SWAN a più alta risoluzione. Previsione per le ore 12 del giorno 13 settembre 2013.

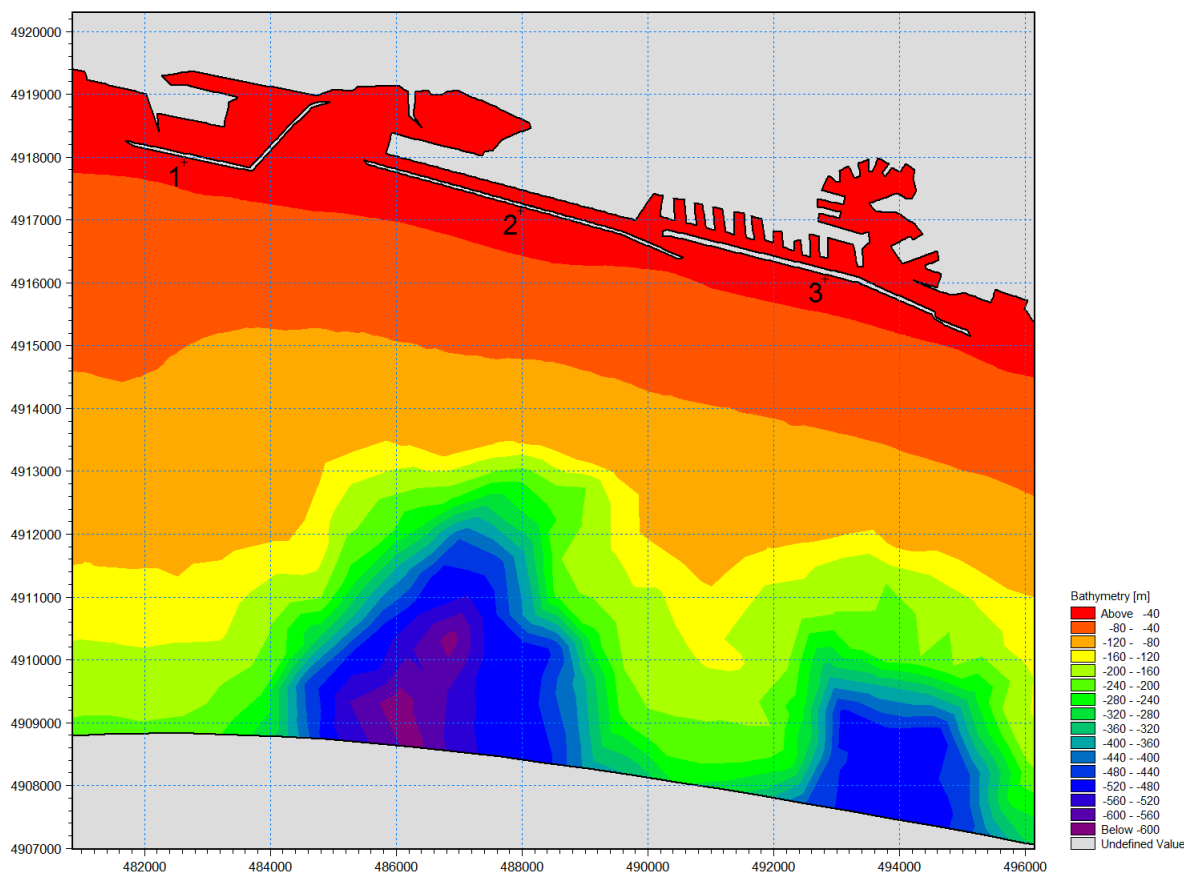
### 2.3 Propagazione sotto costa dei dati di moto ondoso in una area campione

Qualora sia necessaria la previsione relativa alla propagazione delle onde in zone particolarmente circoscritte, quali le zone portuali, il codice di calcolo più idoneo risulta il modello MIKE 21 SW. Questo modello adotta una discretizzazione delle equazioni tramite il metodo dei volumi finiti ed utilizza griglie non strutturate che consentono quindi di raggiungere risoluzioni estremamente elevate. Simula la crescita, il decadimento e la trasformazione di onde generate dal vento e di onde lunghe (swell) sia al largo che sotto costa. Il modello include i fenomeni di propagazione delle onde: 1) interazioni non lineari tra onde, 2) dissipazione dovuta a frangimento al largo (white capping), 3) dissipazione dovuta alla scabrezza del fondo, 4) dissipazione dovuta la frangimento indotto dalla profondità, 5) rifrazione e irripidimento dovute alle variazioni di profondità, 6) interazione onde correnti. Viene utilizzata la formulazione parametrica disaccoppiata, basata su una parametrizzazione della equazione di conservazione della azione ondosa, eseguita nel dominio delle frequenze secondo le modalità proposte da [5].

Il modello MIKE 21 è stato utilizzato a valle della catena operativa di previsione del moto ondoso nella zona del porto di Genova, per il quale sono disponibili i dati prodotti dal codice SWAN alla risoluzione di  $1/128^\circ$ . Nella Figura 34 è riportata la batimetria utilizzata per il modello MIKE 21 nella zona del porto di Genova. I dati relativi alle linee di costa ed alle profondità sono stati ricavati dalle carte nautiche fornite dall'Istituto Geografico Militare. Per tre punti antistanti le dighe del porto (indicati in Figura 34) sono stati estratti i valori delle onde in funzione di quelli al largo ricavati dal codice SWAN. Nel corso del PAR 2011 erano state prodotte climatologie delle onde sotto costa per l'area di Genova utilizzando dati provenienti dalla simulazione di 10 anni con il codice WAM [6]. In Tabella 1 sono indicate le caratteristiche delle onde utilizzate come input al codice MIKE 21. I primi 3 eventi indicano altezze di riferimento crescenti definite secondo la direzione d'onda prevalente ricavata dalla climatologia, il quarto indica un evento tipico da traversia secondaria, gli ultimi due sono stati invece definiti a partire dalle previsioni estratte dal codice SWAN in un punto al largo, rispettivamente alle ore 05 e alle ore 00 del giorno 17 settembre 2013.

**Tabella 1. Caratteristiche delle onde utilizzate in input al modello MIKE 21.**

n° evento	Hs [m]	Tp [s]	Dir. prov. [°N]	Pot. [kW/m]
1	2,00	6,0	210	10,7
2	4,00	8,5	210	60,4
3	6,00	10,4	210	166,4
4	3,00	7,4	150	29,4
5	1,65	9,2	206	11,1
6	1,43	7,7	210	7,0



**Figura 34. Rappresentazione della batimetria utilizzata per il modello di onde MIKE 21 nell’area di Genova. I numeri indicano i punti su cui sono state effettuate le analisi.**

Nelle Figure 35-40 viene mostrata la distribuzione planimetrica di altezza significativa e direzione, ricavate con il modello MIKE 21 a partire dalle condizioni d’onda definite nella Tabella 1, il periodo delle onde è ipotizzato costante su tutto il dominio di calcolo. Nelle Tabelle 3-5 sono riportati i risultati, in termini di altezza significativa, direzione e potenza, per ciascuno dei 3 punti indicati in Figure 34. La provenienza delle onde nel caso dei dati ricavati dalla catena operativa, è la stessa delle condizioni prevalenti ricavate dalla climatologia, l’energia associata nei tre punti sulla costa non raggiunge i 10 kW/m. In generale la riduzione dell’energia nei punti sotto costa raggiunge il 20% di quella al largo.

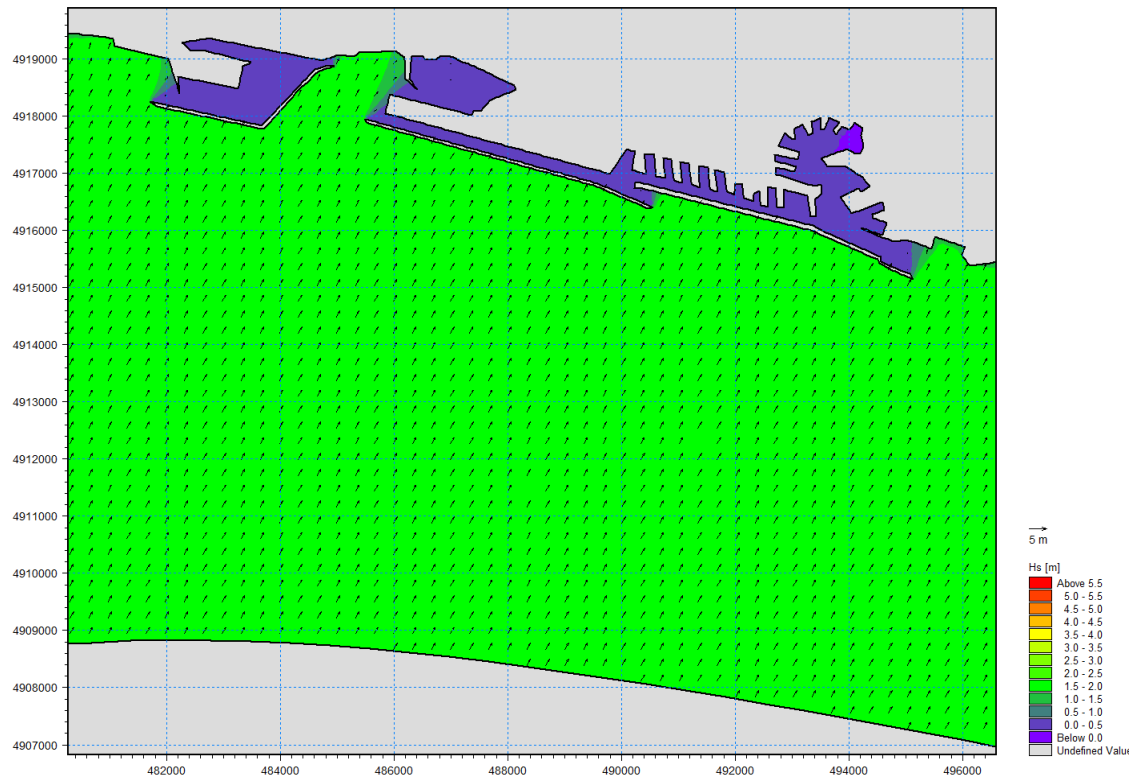


Figura 35. Rappresentazione planimetrica dell'altezza d'onda per il caso 1.

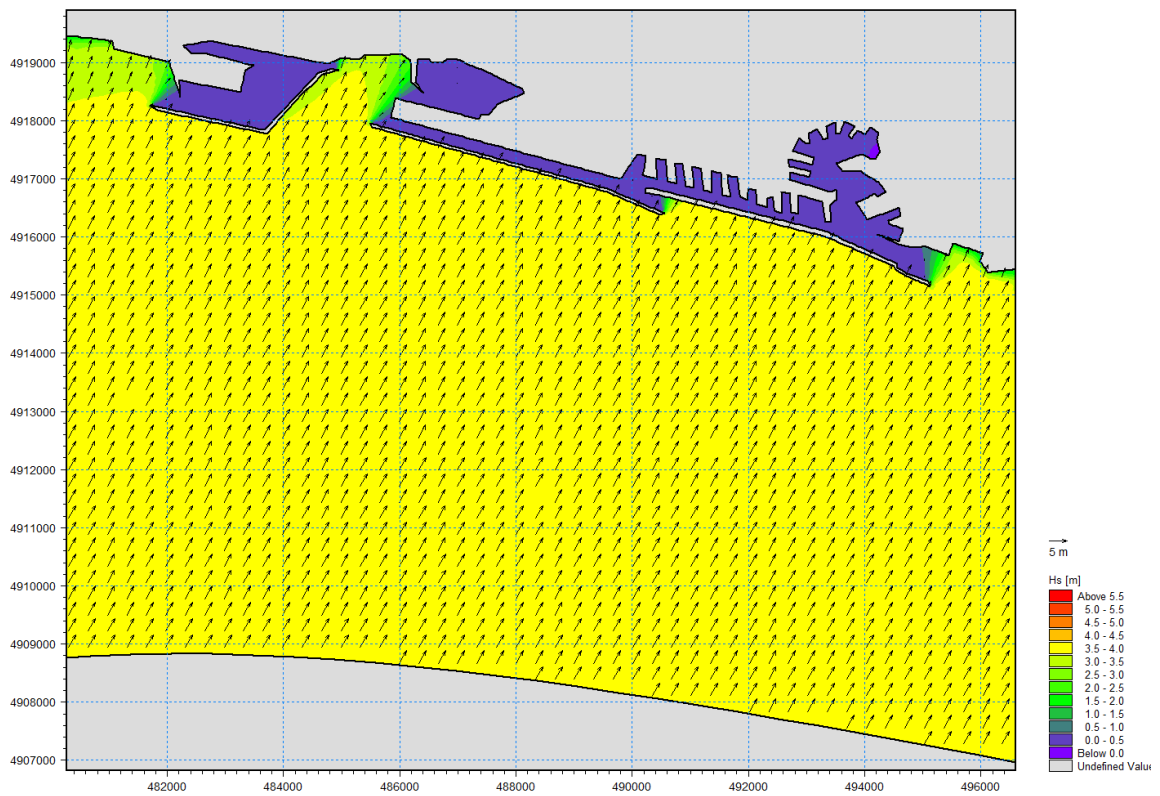


Figura 36. Rappresentazione planimetrica dell'altezza d'onda per il caso 2.

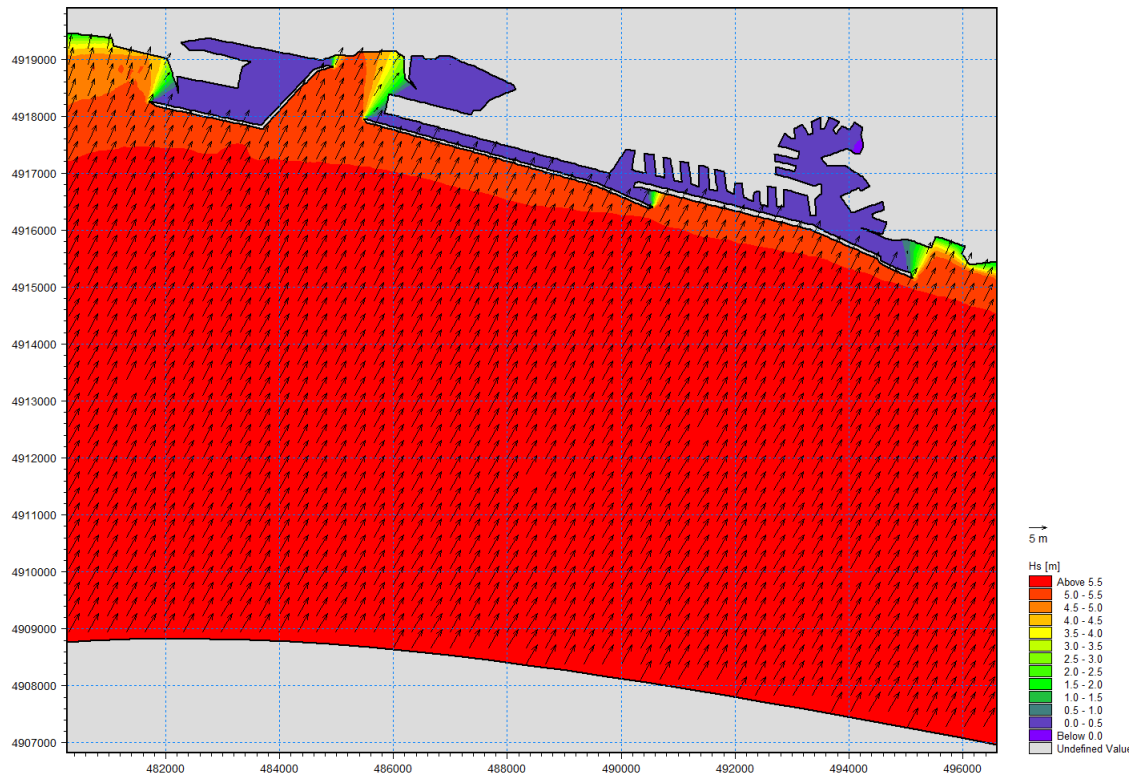


Figura 37. Rappresentazione planimetrica dell'altezza d'onda per il caso 3.

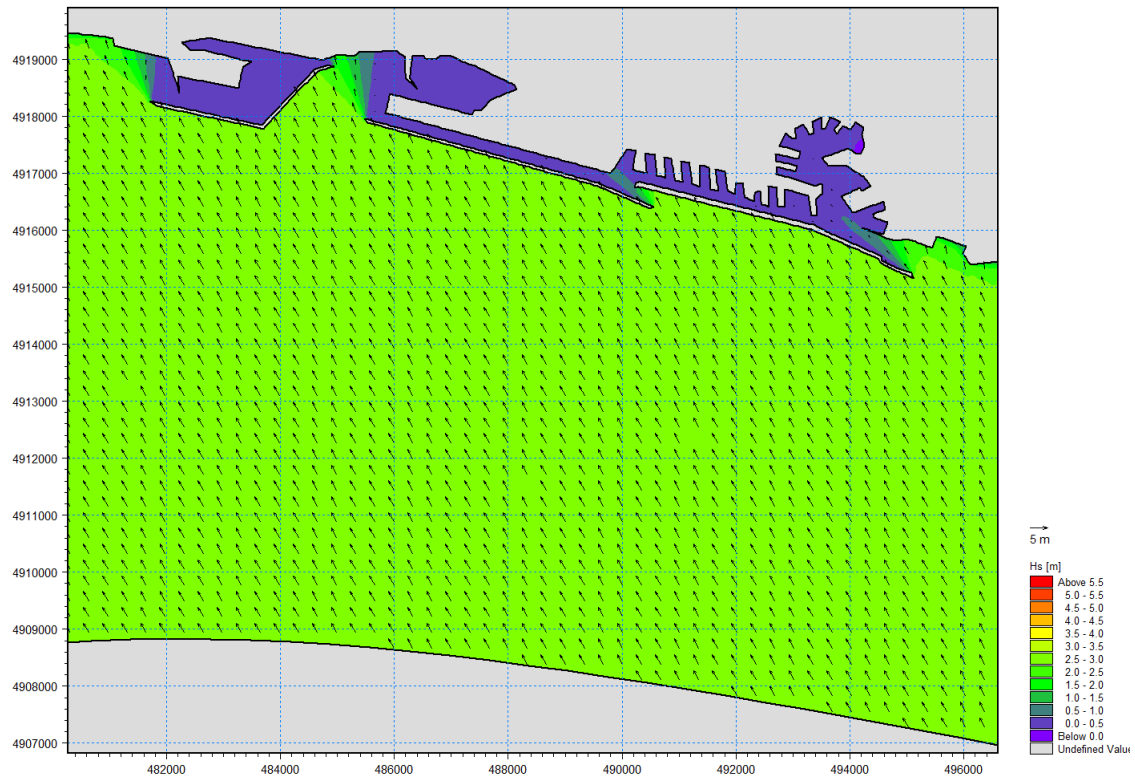
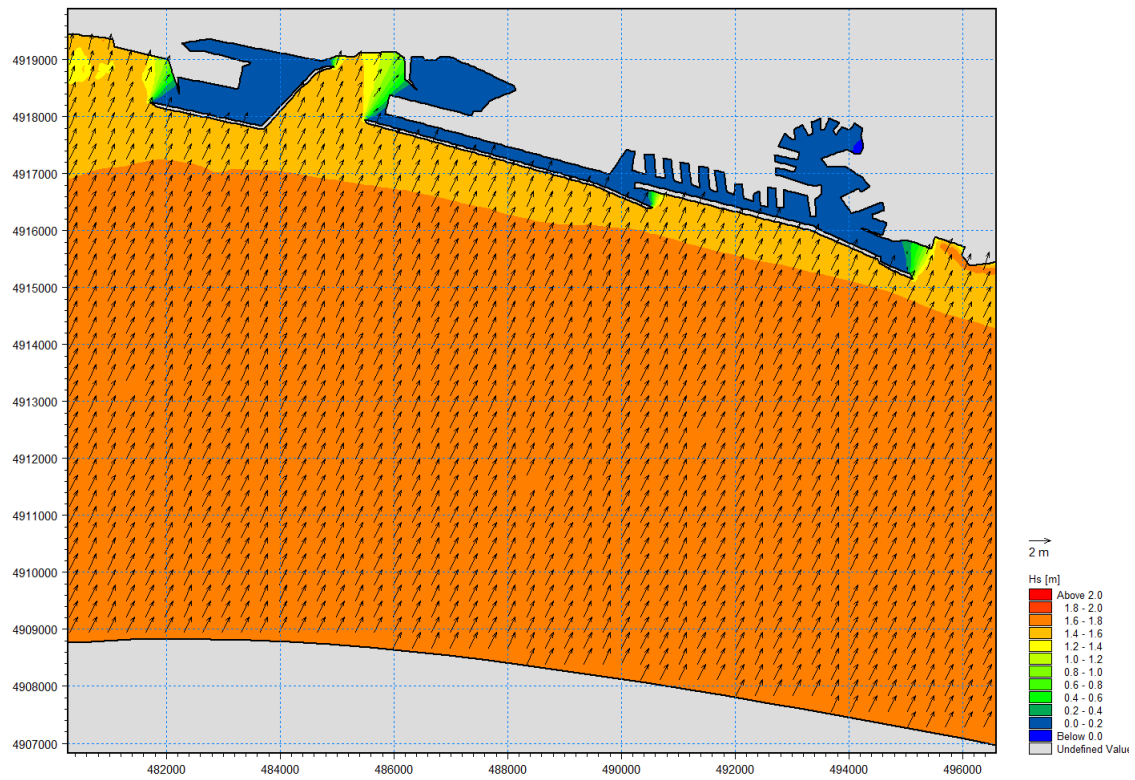
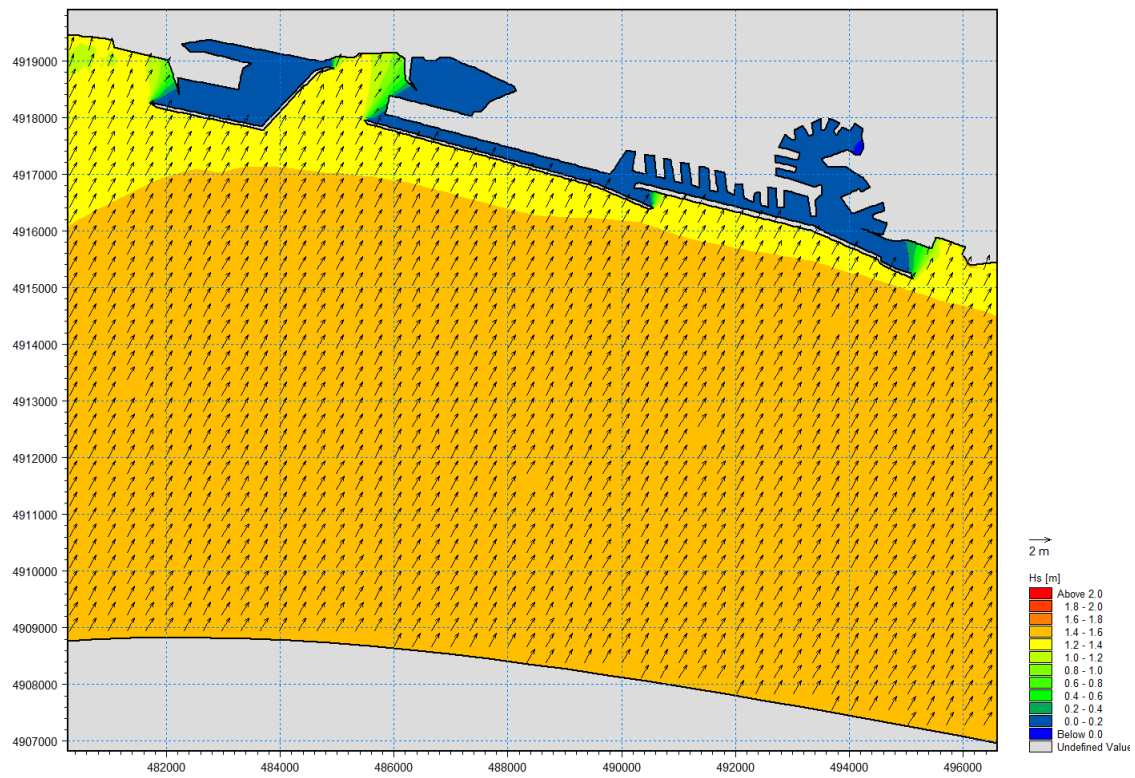


Figura 38. Rappresentazione planimetrica dell'altezza d'onda per il caso 4.





**Figura 39. Rappresentazione planimetrica dell'altezza d'onda per il caso 5.**



**Figura 40. Rappresentazione planimetrica dell'altezza d'onda per il caso 6.**

**Tabella 2. Caratteristiche delle onde calcolate dal modello MIKE 21 per il punto 1 di coordinate (UTM 32) 482.630 E, 4.917.920 N, profondità 30 m.**

n° evento	Hs [m]	Tp [s]	Dir. prov. [°N]	Pot. [kW/m]
1	1,95	6,0	208	10,2
2	3,72	8,5	207	52,2
3	5,27	10,4	206	128,5
4	2,92	7,4	151	27,8
5	1,52	9,2	204	9,4
6	1,36	7,7	208	6,3

**Tabella 3. Caratteristiche delle onde calcolate dal modello MIKE 21 per il punto 2 di coordinate (UTM 32) 487.970 E, 4.917.140 N, profondità 20 m.**

n° evento	Hs	Tp	Dir. prov. [°N]	Pot. [kW/m]
1	1,93	6,0	209	10,0
2	3,63	8,5	207	49,6
3	5,37	10,4	206	133,5
4	2,75	7,4	154	24,7
5	1,50	9,2	204	9,1
6	1,32	7,7	208	5,9

**Tabella 3. Caratteristiche delle onde calcolate dal modello MIKE 21 per il punto 3 di coordinate (UTM 32) 492.810 E, 4.916.060 N, profondità 20.**

n° evento	Hs	Tp	Dir. prov. [°N]	Pot. [kW/m]
1	1,94	6,0	209	10,1
2	3,59	8,5	207	48,7
3	5,25	10,4	205	127,4
4	2,73	7,4	154	24,4
5	1,47	9,2	203	8,8
6	1,32	7,7	208	5,9



## 2.4 Progettazione e sviluppo WebGIS

Con il termine WebGIS si indica un insieme di tecnologie che permettono di sfruttare funzionalità GIS via Web (Internet/Intranet). Altri termini in uso sono Web-based GIS, Online GIS, Distributed GIS, Web o Internet Mapping, etc.

Con l'utilizzo di un WebGIS le applicazioni GIS tradizionalmente sviluppate per utenze stand-alone (dette anche di tipo Desktop) o in reti intranet possono essere implementate su web server (anche detto map-server), in modo da permettere l'interazione attraverso la rete internet con le mappe tematiche e con i dati ad essa associati. Le applicazioni WebGIS sono utilizzabili attraverso i browser internet (Mozilla Firefox, Google Chrome, Internet Explorer, etc.), talvolta con l'impiego di specifici plugin, oppure per mezzo di software (e.g., Google Earth).

Quando un Sistema Informativo Territoriale viene condiviso attraverso la rete intranet o direttamente in internet, le sue informazioni vanno, pertanto, oltre i limiti fisici del contenitore che le custodisce e assumono proporzioni globali. Tra i vantaggi legati all'utilizzo di tecnologia WebGIS vi sono: la condivisione globale di informazioni geografiche e dati geospaziali, la facilità d'uso da parte del Client, la diffusione in rete e la capacità di raggiungere una platea più vasta di fruitori. Lo strumento WebGIS può essere utilizzato, perciò, come elemento di consultazione delle informazioni arricchite dalla componente geospaziale, di interrogazione e di analisi di dati geografici e mappe tematiche. Il WebGIS non è una semplice estensione di una suite GIS di tipo Desktop, ma fa parte della grande categoria software Web Oriented. La rete è la via per l'interscambio dei dati attraverso il browser Web e la comunicazione si basa su un'architettura Client-Server (Figura 41) in cui due moduli indipendenti interagiscono per eseguire un compito.

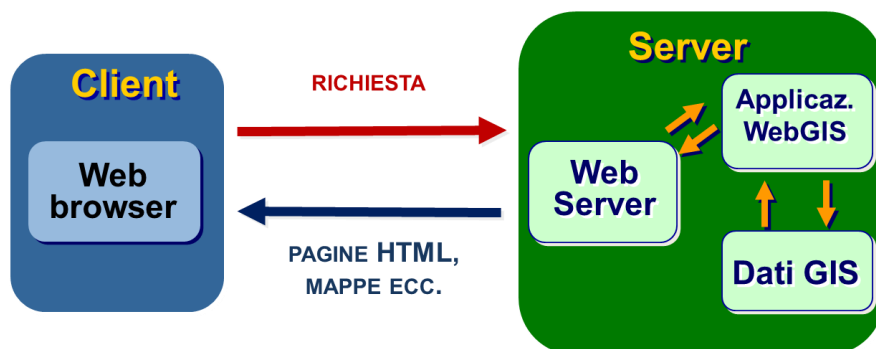


Figura 41. Schema base di un WebGIS

Nello sviluppo di un WebGIS, oltre che all'implementazione di una architettura tecnologica (hardware e software), occorre fare riferimento anche ad un insieme di standard, regole e procedure miranti a facilitare la disponibilità, l'omogeneità e l'accesso a dati geospaziali. In tal caso, si parla correntemente di una Infrastruttura di Dati Territoriali (*Spatial Data Infrastructure, SDI*), ossia una piattaforma comune per la ricerca, la pubblicazione e la fruizione di dati geografici. Una SDI è qualcosa di più che un insieme di dati:

essa gestisce dati e relativi attributi, metadati<sup>1</sup>, strumenti per la ricerca, visualizzazione e valutazione dei dati (cataloghi e *webmapping*), modalità di accesso ai dati. Una SDI fornisce un ambiente ideale alla connessione delle applicazioni ai dati, influenzando allo stesso tempo la creazione dei dati e lo sviluppo delle applicazioni sulla base di standard e procedure appropriate.

Infine, all'utilizzo dei GIS come supporto ai processi decisionali e di pianificazione, si aggiunge la possibilità di condivisione in rete delle informazioni attraverso l'opportuno sviluppo di WebGIS come strumenti agili e funzionali (soprattutto per l'utente non esperto).

In questo contesto generale si inserisce il WebGIS progettato e sviluppato nell'ambito delle presenti attività. Esso si pone l'obiettivo di raggiungere un livello più complesso come quello interattivo, tipico di un'applicazione GIS Desktop, in cui l'utente è in grado di ottenere la rielaborazione della mappa in base alle funzioni attivate (ad esempio, operazioni di pan e zoom, l'identificazione degli oggetti geografici presenti, etc.).

## 2.5 L'applicazione WebGIS "Energia dal mare"

Al fine di rendere fruibili e consultabili on-line una serie di risultati ottenuti nell'ambito del presente Progetto, è stata progettata e sviluppata una apposita applicazione di tipo WebGIS, consultabile all'indirizzo: [http://utmea.enea.it/data/waves\\_gis](http://utmea.enea.it/data/waves_gis).

Per lo sviluppo di tale applicazione è stato scelto di avvalersi di pacchetti Software Free/Open Source (FOSS), conferendo al tutto caratteristiche di originalità e versatilità applicativa. L'architettura logica del WebGIS è riportata nella Figura 42 e si articola nella catena operativa: Repository Dati -> Web Server (GeoServer) -> Libreria (OpenLayers) -> Map Viewer (WebGIS).

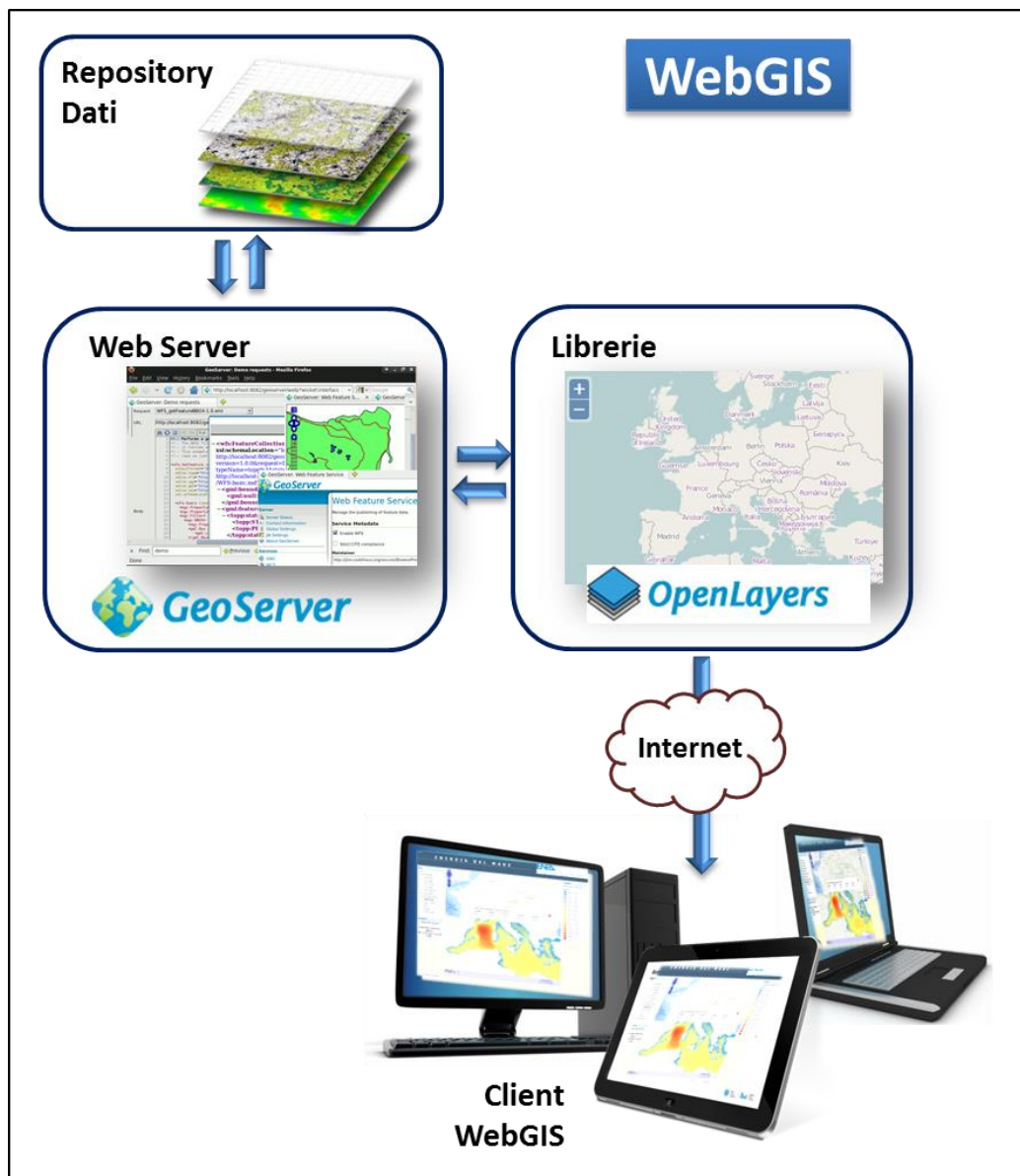
Il Repository Dati individua l'area di archiviazione che contiene l'insieme dei dati da utilizzare (in generale in formato GIS) e che consentono l'accesso unicamente agli apparati definiti fisicamente a livello della Storage Area Network, in modo da garantire l'assoluta integrità e coerenza degli stessi.

Per Web Server si intende l'insieme degli apparati e dei relativi software che consentono al sistema di organizzare le informazioni e renderle fruibili alla rete. Nel caso in oggetto si è scelto di utilizzare GeoServer. Esso è un Web Server che permette di fornire mappe e dati da una varietà di formati a client standard, come i browser web e software GIS di tipo desktop. Ciò rende possibile memorizzare i dati spaziali in quasi qualsiasi formato si preferisce. Dal punto di vista tecnico, GeoServer è l'implementazione di riferimento degli standard definiti dall'Open Geospatial Consortium (OGC): Web Feature Service (WFS), Web Coverage Service (WCS) e Web Map Service (WMS).

L'Open Geospatial Consortium (in precedenza OpenGIS Consortium) è un'organizzazione internazionale no-profit, basata sul consenso volontario, che si occupa di definire specifiche tecniche per i servizi geospaziali e di localizzazione (location based). OGC è formato da oltre 280 membri (governi, industria privata, università) con l'obiettivo di sviluppare ed implementare standard per il contenuto, i servizi e l'interscambio di dati geografici che siano "aperti ed estensibili" e che favoriscano l'interoperabilità. Le specifiche definite da OGC sono pubbliche (PAS) e disponibili gratuitamente.

---

<sup>1</sup> I metadati sono dati sui dati, dicono come sono fatti i dati, chi li ha acquisiti, quando, in che modo, chi è il proprietario, come fare ad ottenerli, etc.



**Figura 42. Architettura logica del WebGIS implementato**

Per interoperabilità si intende l'abilità di due o più sistemi di comunicare e cooperare tra loro, interscambiando ed utilizzando i dati attraverso protocolli di comunicazione e formati standard [ISO/IEC 2382-1]. Il tema dell'interoperabilità riveste un ruolo fondamentale nell'implementazione di Infrastrutture di Dati Geografici; solo soluzioni interoperabili basate su standard internazionali abilitano le varie componenti di una SDI a comunicare tra di loro

OpenLayers<sup>2</sup> è una libreria JavaScript di tipo Open Source con licenza derivata dalla licenza BSD<sup>3</sup> per visualizzare mappe interattive nei browser web. OpenLayers offre una cosiddetta *Application Programming Interface* (API) per poter accedere a diverse fonti d'informazioni cartografiche in Internet come: WMS, WFS, mappe di tipo commerciale (Google Maps, Bing, Yahoo, etc.), diversi formati vettoriali, mappe del progetto OpenStreetMap, ecc.

<sup>2</sup> <http://www.openlayers.org/>

<sup>3</sup> <http://opensource.org/licenses/bsd-license.php>

Nello sviluppo dell'architettura prevista per il WebGIS in oggetto, attraverso un normale browser web ogni utente (non necessariamente dotato di specifiche conoscenze GIS) può visualizzare le mappe che rappresentano i risultati prodotti nell'ambito delle presenti attività progettuali. In particolare, per la visualizzazione dei dati di interesse, si è fatto ricorso allo standard WMS<sup>4</sup>. Questa tipologia di *Map Server Interface* fornisce una semplice interfaccia http, permettendo ad un *client* di effettuare la richiesta di immagini di mappa da uno o più database spaziali distribuiti. La risposta alla richiesta sono una o più immagini di mappa (restituite come JPEG, PNG, ecc.) che possono essere visualizzate - come detto in precedenza - in applicazioni desktop e browser.

Entrando più in dettaglio, il *map-server* consente di:

1. produrre una mappa di dati georeferenziati;
2. rispondere a *query* di base sul contenuto della mappa;
3. rendere noto ad altri programmi che tipo di mappe può produrre.

Il browser web, pertanto, richiede al *map server* di eseguire queste procedure tramite il meccanismo delle URL. La specifica WMS standardizza il modo in cui i *client* richiedono le mappe. Essa definisce tre operazioni:

- *GetCapabilities*: fornisce metadati a livello del servizio, che sono descrizioni sul contenuto delle informazioni del servizio e sui parametri richiesti accettati;
- *GetMap*: fornisce una mappa i cui i parametri geospaziali e dimensionali sono ben definiti;
- *GetFeatureInfo* (opzionale): fornisce informazioni circa particolari elementi (*features*) mostrati sulla mappa.

L'area Client include tutti gli apparati con i relativi software (ossia i browser web) che costituiscono in generale gli originatori delle richieste e gli utilizzatori delle informazioni. Il modello delinea l'estrema variabilità di tali apparati, che vanno dal PC al tablet. Ciò implica che il sistema è stato sviluppato in modo da garantire in modo automatico la piena fruibilità dell'applicazione, a partire da richieste standard, indipendentemente dal tipo di apparato ricevente.

I risultati ottenuti dalle simulazioni con i modelli numerici oceanografici (modello WAM su tutto il bacino del Mediterraneo) sono memorizzati sotto forma di file in formato NetCDF<sup>5</sup> (Network Common Data Form). Tramite opportune elaborazioni, tali file NetCDF sono stati trasformati in un formato GIS compatibile (Esri shapefile *.shp*<sup>6</sup>) e resi disponibili per le successive elaborazioni.

I dati esposti dal WebGIS sono di due tipologie: previsioni ("*Forecasting*") e serie storiche ("*Climatology*"). I primi, disponibili per tutto il Mediterraneo (risoluzione spaziale circa 3 km, 1/32 di grado), forniscono la previsione a 5 giorni, ad intervalli orari, delle seguenti grandezze fisiche:

- Energia delle onde;
- Altezza delle onde;
- Direzione delle onde;
- Periodo.

I secondi, invece, ricavati da serie storiche e direttamente in formato *shapefile*, sono relativi al potenziale energetico da onde e contengono i valori medi di energia in KW/m nel periodo 2001-2010, suddivisi anche per periodi trimestrali.

In particolare nel WebGIS sono stati inseriti i seguenti dati:

---

<sup>4</sup> <http://www.opengeospatial.org/standards/wms>

<sup>5</sup> <http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/>

<sup>6</sup> <http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf>

- Energia media 2001-2010 per tutto il Mediterraneo;
- Energia media 2001-2010 lungo la costa della Sicilia per una fascia di 12 Km;
- Energia media 2001-2010 lungo la costa della Sardegna per una fascia di 12 Km;
- Energia media 2001-2010 lungo la costa Ligure-Tirreno per una fascia di 12 Km;
- Energia media 2001-2010 lungo la costa Adriatica-Ionica per una fascia di 12 Km.

In Figura 43 è visibile la schermata iniziale del WebGIS. In particolare, nel layout dell'applicazione (Figura 44) si possono individuare 3 sezioni principali:

- A. La sezione "Maps" (sul lato sinistro): essa permette di selezionare il layer (mappa tematica) visualizzare;
- B. La sezione centrale: è l'area in cui è possibile la visualizzazione del layer o dei tematismi selezionati, nonché la loro interrogazione (informazioni, grafici, etc.);
- C. La sezione "Legend" (posta sul lato destro): qui viene visualizzata la legenda relativa al layer selezionato.

Inoltre, il WebGIS riporta le informazioni circa le coordinate geografiche (Latitudine e Longitudine), la scala di visualizzazione delle mappe nella sezione centrale ed una breve descrizione del contenuto del layer selezionato per la visualizzazione (posta sul lato sinistro sotto la sezione "Maps"). Nelle Figure 45 e successive sono riportati alcuni esempi di visualizzazione delle mappe tematiche prodotte.

Dal punto di vista delle funzionalità specificatamente implementate, cliccando su un punto qualsiasi del layer selezionato, vengono mostrate le informazioni o gli attributi quantitativi relativi al punto prescelto. In particolare, nel caso dei layer tematici presenti nella Sezione "Forecasting", tali informazioni sono presentate sotto forma di grafico (Figura 45).

Per i dati della sezione "Climatology", oltre al dato puntuale sui valori medi di energia (nel decennio e per ciascun trimestre nel medesimo intervallo), sono visualizzabili e consultabili anche i relativi grafici (Figura 48).

Tra gli sviluppi futuri si prevede l'inserimento di ulteriori strati informativi, quali ad esempio le mappe tematiche relative al potenziale energetico di aree di maggior dettaglio, per le quali i dati saranno prodotti ad una maggiore risoluzione spaziale (circa 800 m).



Figura 43. Schermata iniziale del WebGIS



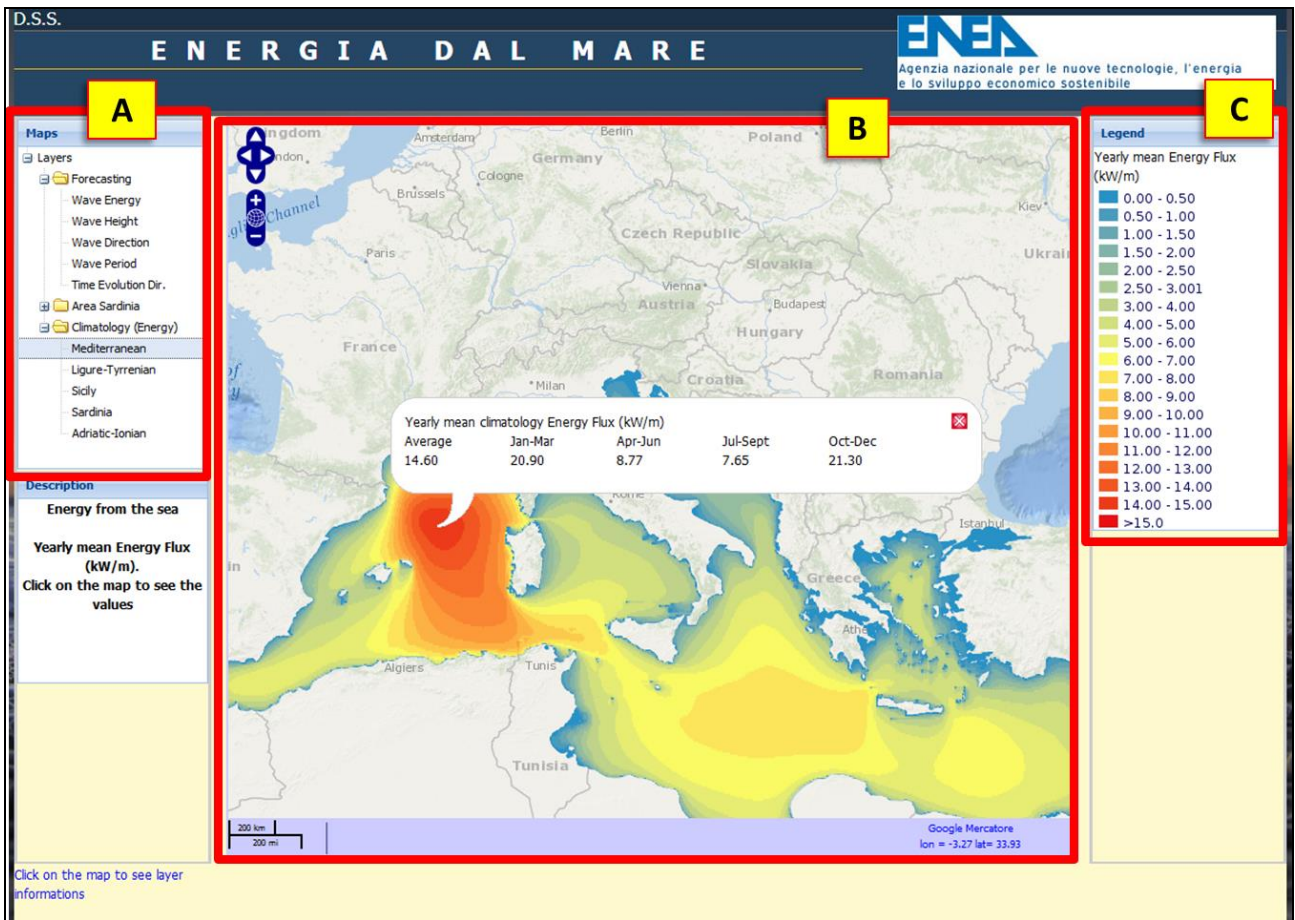


Figura 44. Sezioni principali dell'applicazione WebGIS.



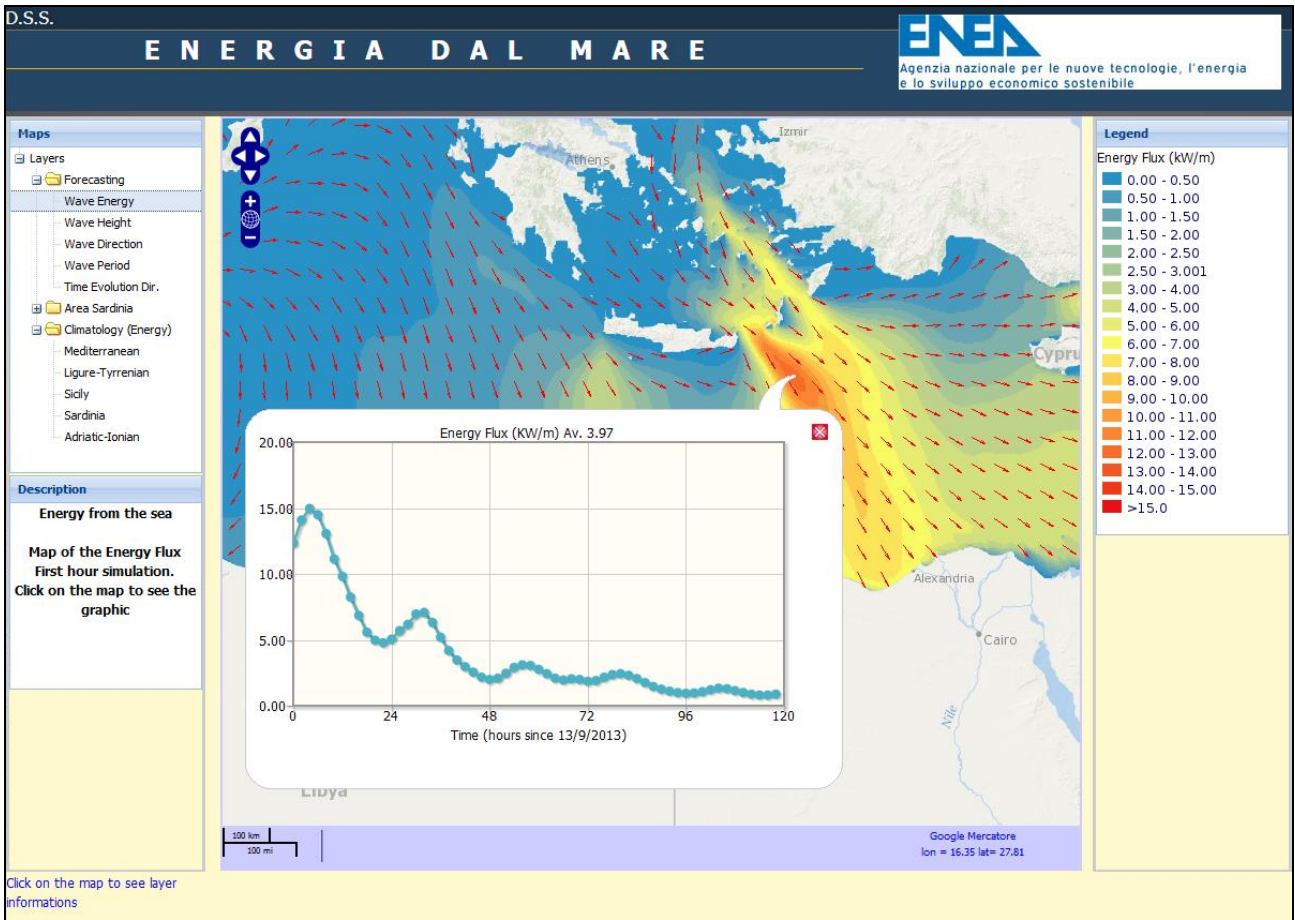


Figura 45. Mappa tematica dell'energia delle onde e relativo grafico orario

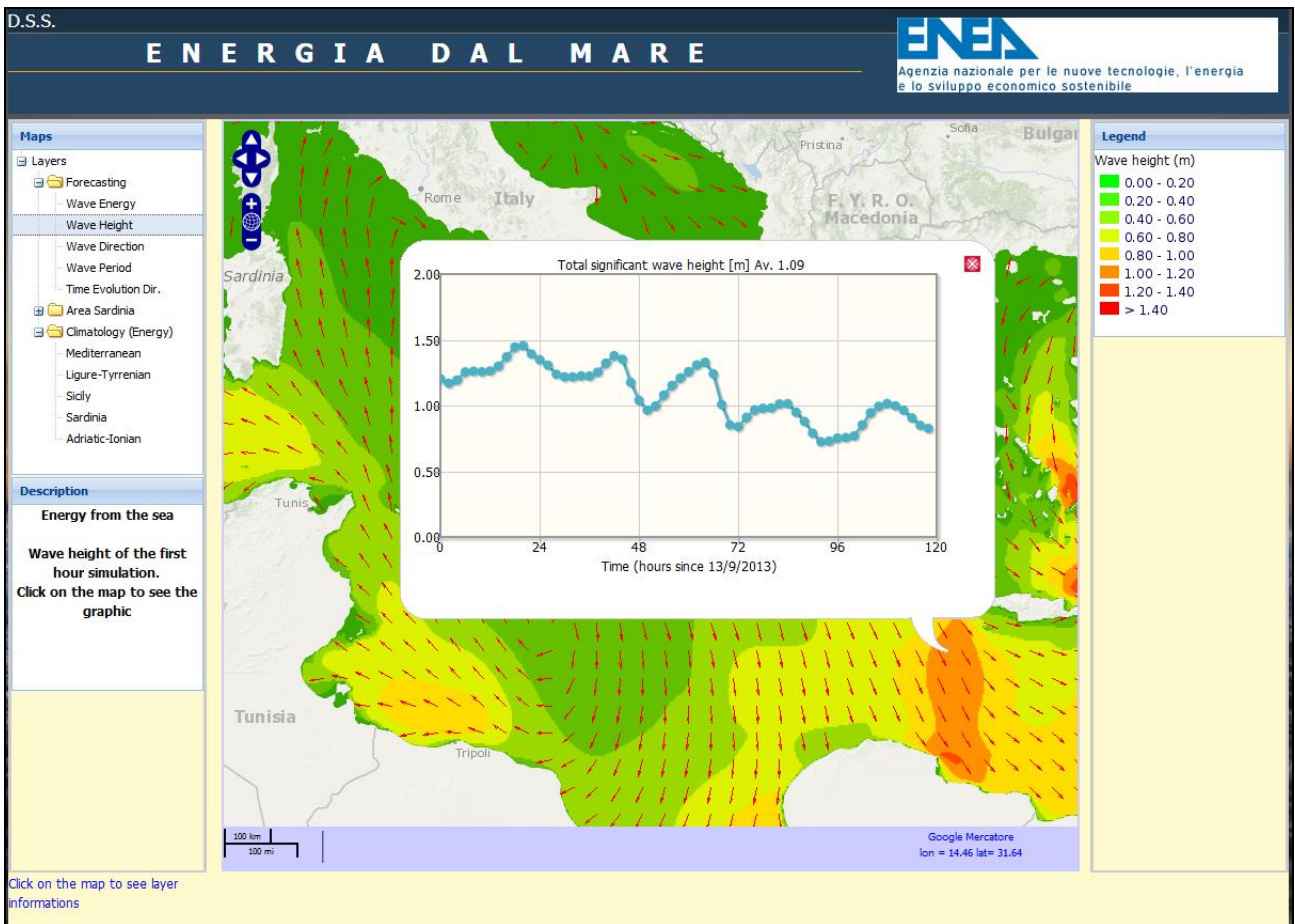


Figura 46. Mappa tematica dell'altezza delle onde e relativo grafico orario.

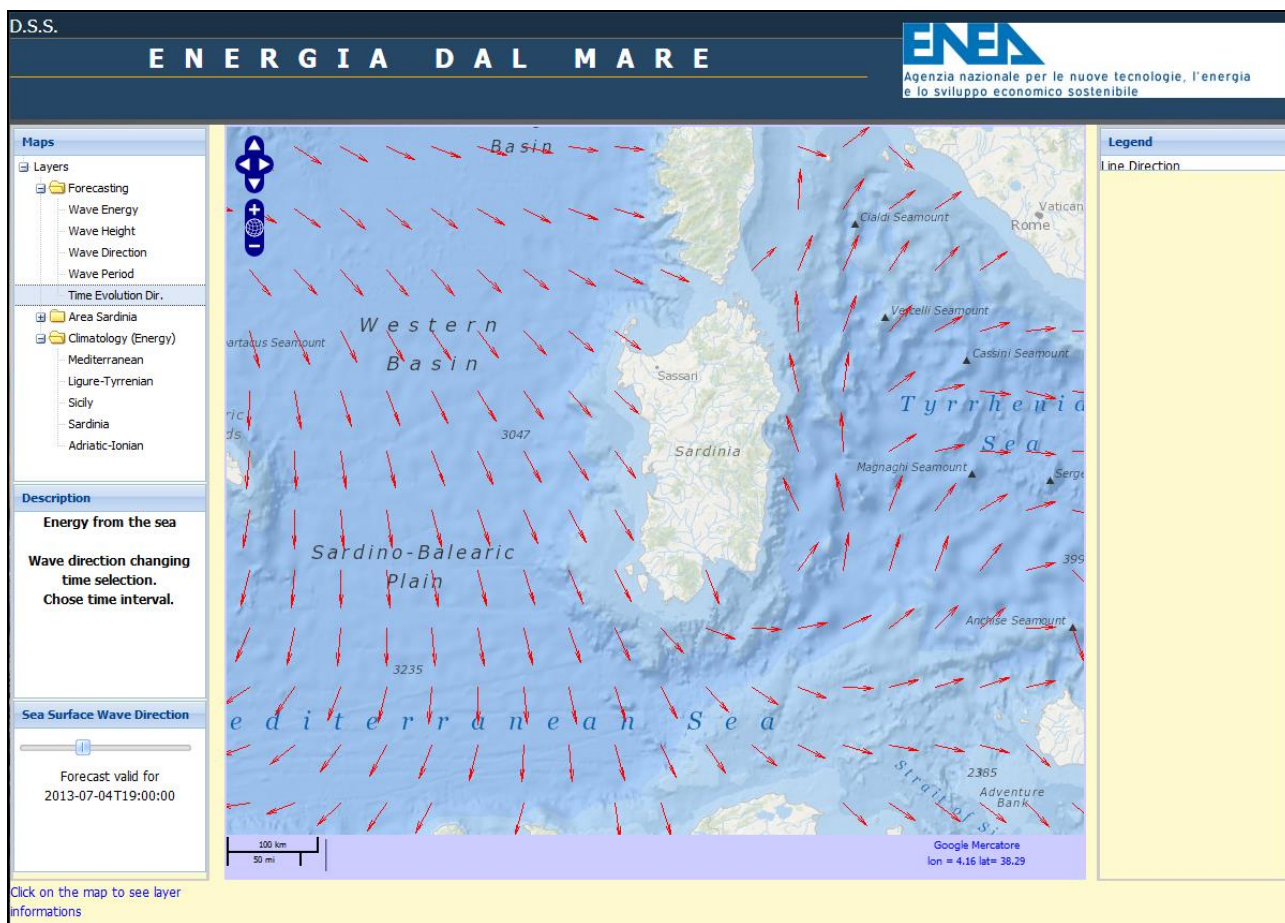


Figura 47. Evoluzione temporale della direzione delle onde (sequenza oraria attivabile mediante comando “slider”, in basso a sinistra).

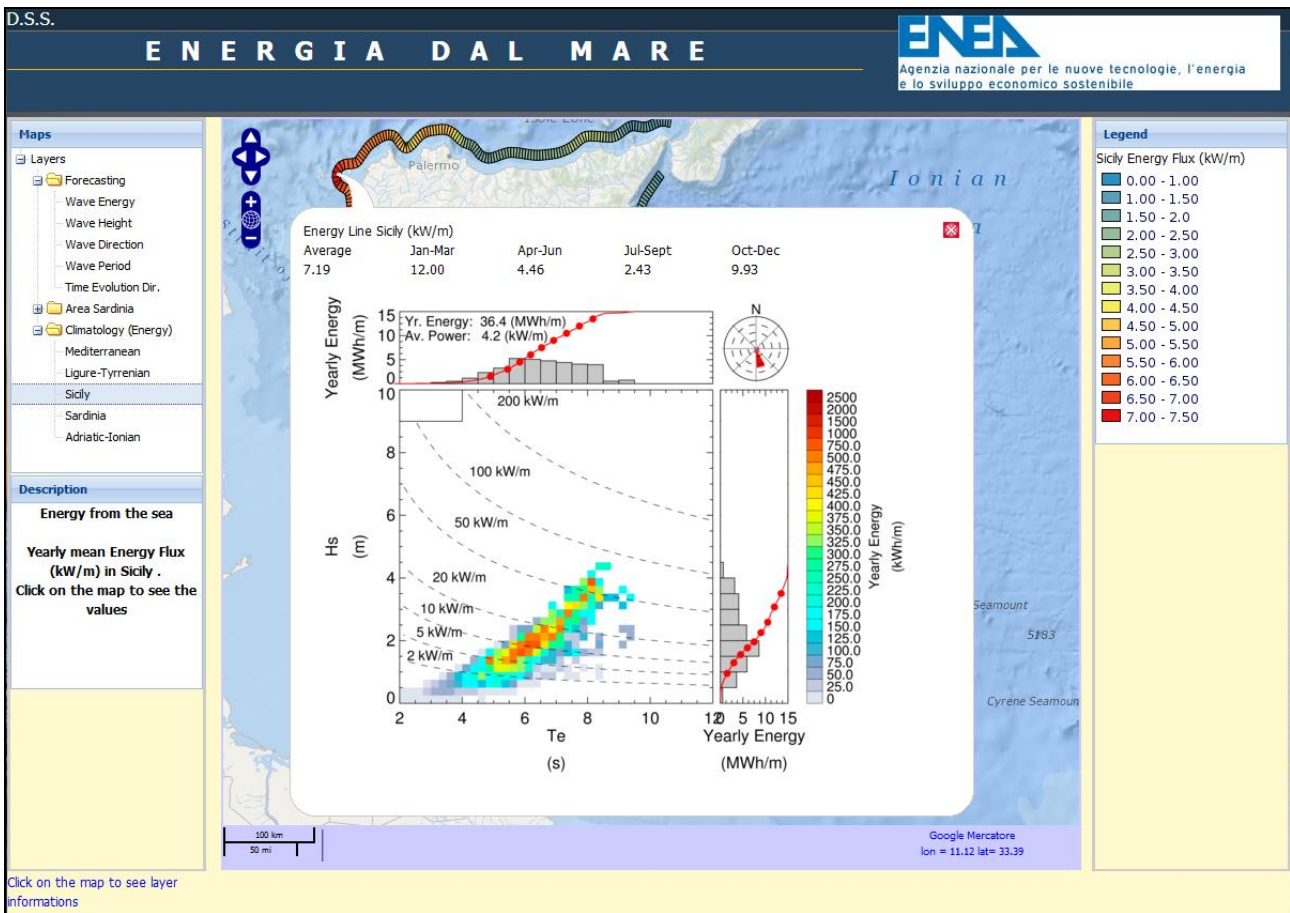


Figura 48. Esempio di visualizzazione dei valori medi di energia nel decennio di osservazione (2001-2010) e relativi grafici.

### 3 Conclusioni

L'attività svolta ha portato alla realizzazione di un sistema operativo per la previsione dell'energia da moto ondoso su 10 aree di particolare interesse dei mari italiani. Questo sistema si basa sull'uso del codice di onde WAM alla risoluzione di  $1/32^\circ$  sull'intero bacino Mediterraneo e del codice SWAN alla risoluzione di  $1/128^\circ$  sui sottobacini dei mari italiani. Il sistema operativo fornisce previsioni per i 5 giorni successivi e fornisce dati con frequenza oraria, il sistema è forzato in superficie dai campi di vento a 10 metri, provenienti dal sistema operativo SKIRON dell'Università di Atene. Le condizioni laterali per le simulazioni con il codice SWAN provengono dal modello WAM.

La catena operativa è stata realizzata con la tecnica del multinesting (annidamento multiplo) rilocabile (posizionabile in ogni area del Mediterraneo). L'utilizzo di entrambe le tecniche garantisce la possibilità di realizzare le previsioni del moto ondoso anche in zone di limitata estensione di particolare interesse, quali aree portuali.

Una parte significativa dell'attività è stata inoltre dedicata alla diffusione dei risultati attraverso la realizzazione di un sito web dedicato (<http://utmea.enea.it/waves>). In particolare è stato creato un sito web con metodologia GIS per la gestione dei dati territoriali che permette di visualizzare ed interrogare sia



le mappe climatologiche prodotte nel PAR 2011 che le previsioni prodotte nel corso di questo progetto sia per l'intera area Mediterranea per ciascuno dei sottobacini definiti ([http://utmea.enea.it/waves\\_gis](http://utmea.enea.it/waves_gis)).

#### 4 Riferimenti bibliografici

1. 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.
2. The SWAN team, "SWAN User Manual", Delft University of Technology, The Netherlands, <http://www.swan.tudelft.nl>
3. A. Carillo, A. Bargagli, E. Caiaffa, R. Iacono, G. Sannino, "Stima del potenziale energetico associato al moto ondoso in regioni campione della costa italiana" - Report Rds/2012/170 – 2012
4. GEBCO. [http://www.gebco.net/data\\_and\\_products/gridded\\_bathymetry\\_data/](http://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/)
5. L.H. Holthuijsen, N. Booij, T.H.T Herbers, "prediction model for stationary, short crested waves in shallow water with ambient currents", Coastal Engineering, 13 (1989), pp. 23-54.
6. F. Arena, A. Romolo, V. Laface, G. Malara, A. Viviano, "Analisi di fattibilità di impianti di tipo REWEC3 (o U-OWC) per la produzione di energia elettrica da moto ondoso in aree campione lungo le coste italiane" – Report Rds/2012/231 - 2012