

# Ricerca di Sistema elettrico



Previsione ad alta risoluzione del moto ondoso per il sito di  
Pantelleria

A. Carillo, E. Lombardi, G. Sannino

Previsione ad alta risoluzione del moto ondoso per il sito di Pantelleria

Dicembre 2024

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica -ENEA Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024

Obiettivo: 1.8 Energia elettrica dal mare

Linea di attività: LA 1.2 Previsione ad alta risoluzione per il sito di installazione

Responsabile del Progetto: Gianmaria Sannino

Responsabile del Work Package: Gianmaria Sannino

Responsabile Linea di Attività: Gianmaria Sannino

Mese inizio previsto: luglio 2023

Mese inizio effettivo: luglio 2023

Mese fine previsto: dicembre 2024

Mese fine effettivo: dicembre 2024

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione: Si ringrazia per la collaborazione alle attività svolte

## Indice

1	Sintesi del documento .....	4
2	Introduzione .....	4
3	Il modello ad alta risoluzione per Pantelleria .....	5
3.1	Il modello di onde WAVEWATCH III .....	5
3.2	Griglia del modello e batimetria.....	6
3.3	Implementazione del modello di onde per il caso di Pantelleria .....	10
4	Verifica dei risultati .....	11
4.1	Confronto con il modello per il Mediterraneo .....	11
4.2	Confronto con le osservazioni.....	12
5	Aggiornamento della catena operativa .....	18
6	Conclusioni.....	19
7	Bibliografia.....	20

## Indice delle figure

Figura 1 - Rilievo ombreggiato ad alta risoluzione dell'area compresa nel foglio 30 - Pantelleria. Dal sito github del Progetto MAGIC. ....	7
Figura 2 - Griglia non strutturata per l'area di Pantelleria.....	8
Figura 3 - Mappa del dominio di calcolo per Pantelleria che riporta la risoluzione della griglia. ....	8
Figura 4 - Ingrandimento della griglia non strutturata relativa alla zona nord di Pantelleria. I colori indicano la dimensione degli elementi della griglia. ....	9
Figura 5 - Batimetria interpolata sulla griglia di calcolo.....	9
Figura 6 - Valori di altezza significativa delle onde estratti dalla simulazione del Mediterraneo (pannelli di sinistra) e ricavati dalla simulazione su griglia non strutturata (pannelli di destra) per le ore 12 e 18 del 24 luglio 2023. ....	13
Figura 7 - Valori di periodo medio delle onde estratti dalla simulazione del Mediterraneo (pannelli di sinistra) e ricavati dalla simulazione su griglia non strutturata (pannelli di destra) per le ore 12 e 18 del 24 luglio 2023. ....	14
Figura 8- Valori di altezza significativa delle onde estratti dalla simulazione del Mediterraneo (pannelli di sinistra) e ricavati dalla simulazione su griglia non strutturata (pannelli di destra) per le ore 12 del 26 luglio 2023 e per le ore 00 del 27 luglio.....	15
Figura 9 - Valori di periodo medio delle onde estratti dalla simulazione del Mediterraneo (pannelli di sinistra) e ricavati dalla simulazione su griglia non strutturata (pannelli di destra) per le ore 12 del 26 luglio 2023 e per le ore 00 del 27 luglio.....	16
Figura 10 - Confronto dei valori di altezza significativa calcolati con il modello per Pantelleria con i valori misurati dalla boa. ....	17
Figura 11 - Confronto dei valori di direzione delle onde calcolati dal modello per Pantelleria con i valori misurati dalla boa. Le direzioni indicano la provenienza delle onde definita a partire da Nord. ....	17
Figura 12 - Confronto dei valori di periodo di picco delle onde calcolati dal modello per Pantelleria con i valori misurati dalla boa.....	18

## 1 Sintesi del documento

Nell'ambito delle attività svolte per la Ricerca del Sistema Elettrico relative allo studio di sistemi di conversione dell'energia del moto ondoso in energia elettrica, negli scorsi anni è stato realizzato un sistema per la previsione del moto ondoso. Il sistema, operativo in ENEA dal 2013, ha subito negli anni diversi aggiornamenti che hanno portato all'uso del modello di onde WAVEWATCH III, con una configurazione costituita da un modello per l'intero bacino mediterraneo e da modelli a più alta risoluzione per 9 sottobacini dei mari italiani.

Il report descrive l'attività svolta per la modifica del modello relativo all'isola di Pantelleria. Un sito a nord-ovest dell'isola è stato infatti individuato per l'installazione del prototipo di convertitore di energia dal moto ondoso PeWEC (Pendulum Wave Energy Converter) (Pozzi, et al. 2018) ed è stato oggetto di diversi studi ed analisi negli scorsi anni (Fenu, et al. 2021) (Sirigu, Dafnakis e Cervelli 2019)). Il modello relativo all'isola di Pantelleria, precedentemente realizzato su griglia regolare alla risoluzione di  $1/128^\circ$ , è stato quindi sostituito nella catena operativa con una versione aggiornata, realizzata su griglia non strutturata, che raggiunge la risoluzione di un centinaio di metri lungo la costa dell'isola.

## 2 Introduzione

Il sistema operativo per la previsione del moto ondoso operativo in ENEA (Carillo, Lombardi e Struglia, et al. 2022) è basato sul modello di onde WAVEWATCH III (WW3) versione v6.07 ((WW3DG) 2019). WW3 è un modello di tipo spettrale di terza generazione che risolve l'equazione di bilancio della densità spettrale di energia in funzione di numero d'onda e direzione. Inizialmente sviluppato presso lo US National Centers for Environmental Prediction (NOAA/NCEP) (Tolman 1991), WW3 costituisce attualmente un sistema di modelli comunitario che include tutti gli aggiornamenti scientifici più avanzati nella rappresentazione modellistica del moto ondoso.

Il sistema operativo è costituito da un modello alla risoluzione di  $1/32^\circ$  relativo all'intero bacino mediterraneo e da una serie di modelli per sottobacini dei mari italiani alla risoluzione di  $1/128^\circ$ . Tutti i modelli sono stati sviluppati su griglie regolari e lo spettro bidimensionale di densità di energia delle onde è stato discretizzato con 36 direzioni angolari, corrispondenti ad una risoluzione di  $10^\circ$ , e 32 intervalli di frequenza a partire da 0.05 Hz, con incrementi relativi di 0.1 tra un intervallo di frequenza e il successivo.

Allo scopo di ottenere una altissima risoluzione nella zona costiera dell'isola di Pantelleria, dove verrà installato il prototipo PeWEC, è stato realizzato un nuovo modello su griglia non strutturata che raggiunge la risoluzione di 100 m lungo la costa.

## 3 Il modello ad alta risoluzione per Pantelleria

### 3.1 Il modello di onde WAVEWATCH III

Il modello WW3 è un modello di onde di tipo spettrale in cui le onde sono rappresentate attraverso il loro spettro bidimensionale, funzione di frequenza e direzione.

La direzione  $\theta$  è definita perpendicolare alla cresta dell'onda e la sua frequenza relativa è data da  $\omega$  ( $= 2\pi f$ ). La frequenza  $\omega$  ( $= 2\pi f_a$ ) osservata nel sistema di riferimento fisso risulta diversa dalla frequenza intrinseca  $\sigma$  ( $= 2\pi f_r$ ), nel caso di presenza di correnti. Nell'approssimazione di acque profonde e correnti che variano lentamente, applicando la teoria lineare, i parametri di fase sono legati dalla relazione di dispersione e dall'equazione tipo Doppler:

$$\sigma^2 = gk \tanh kd$$

$$\omega = \sigma + k \cdot U$$

dove  $d$  è la profondità media e  $U$  la velocità della corrente.

Il modello WW3 si basa sull'equazione di conservazione dell'azione d'onda, valida anche in presenza di correnti:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla c_g N = \frac{S_{tot}}{\sigma}$$

Dove  $c_g$  è la velocità di gruppo e  $N(k, \theta)$  è lo spettro densità d'azione.

I termini a destra dell'equazione rappresentano tutti i flussi di energia sia positivi che negativi, in acque profonde vengono considerati tre termini che corrispondono all'interazione atmosfera-onda  $S_{in}$ , normalmente positivo e legato alla forzante eolica, ma negativo in caso di onde di swell, un termine di interazione non-lineare onda-onda  $S_{nl}$  e un termine di interazione onda-oceano normalmente dominato dalla rottura dell'onda  $S_{ds}$ :

$$S_{tot} = S_{in} + S_{nl} + S_{ds}$$

In acque poco profonde è necessario considerare alcuni processi aggiuntivi, nel caso del modello WW3 possono essere considerate le interazioni onda-fondo ( $S_{bot}$ ), ulteriori termini di rottura delle onde per l'interazione con il fondo, termini di riflessione dalla costa. e interazioni a tre onde. Il trattamento esplicito delle interazioni non-lineari definisce i modelli d'onda di terza generazione. Per una descrizione dettagliata di tutte le parametrizzazioni utilizzabili nel modello si rimanda al manuale d'uso ((WW3DG) 2019).

Per quanto riguarda i settaggi del modello, sono stati adottati gli stessi del modello per il Mediterraneo. In particolare: nel pre-processamento è stata selezionata l'interpolazione lineare del vento sia nel tempo che nello spazio. Per i termini sorgente è stato utilizzato il pacchetto ST4 che adotta la parametrizzazione di Ardhuin (Ardhuin, et al. 2010), l'interazione lineare onda-onda è stata modellata attraverso l'approssimazione discreta DIA, (Hasselmann, et al. 1985), per l'attrito sul fondo è stata utilizzata la formulazione di JONSWAP con valori standard (Hasselmann, et al. 1973). È stata inoltre usata la parametrizzazione della rottura delle onde indotta dalla batimetria (Battjes e Janssen 1978).

In questo caso è stato inoltre necessario attivare la parametrizzazione relativa alla riflessione dalla costa.

È possibile usare sia uno schema implicito che uno schema esplicito per l'integrazione temporale su griglie non strutturate; è stato dimostrato che, per un CFL<1, i due schemi forniscono gli stessi risultati. Se si sceglie il solutore esplicito, viene utilizzato il metodo frazionario usato per le griglie regolari, con la stessa definizione dei diversi passi di integrazione ad eccezione del fatto che il numero delle iterazioni successive viene stimato automaticamente dal massimo CFL del dominio di calcolo. Per il modello di Pantelleria, è stato selezionato lo schema esplicito al secondo ordine.

### 3.2 Griglia del modello e batimetria

La griglia non strutturata relativa all'intera area di Pantelleria è stata realizzata utilizzando il codice open source OceanMesh2D (Roberts, Pringle e Westerink 2019) scritto in linguaggio MATLAB.

Data l'elevata risoluzione stabilita per la griglia di calcolo, è stato necessario individuare un dataset di dati batimetrici idoneo. La batimetria è stata quindi ricavata dai dati prodotti dal Progetto MAGIC (MARine Geohazards along the Italian Coasts). Questo progetto nazionale, di durata quinquennale, è stato avviato nel 2007 con l'obiettivo di definire la pericolosità dei fondali marini italiani, analizzando aree sottomarine antistanti tratti dell'Italia centro-meridionale, della Sicilia, della Sardegna e della Liguria. Il Progetto, finanziato dal Dipartimento della Protezione Civile della Presidenza del Consiglio dei Ministri, è stato realizzato nell'ambito di un Accordo Quadro con in Consiglio Nazionale delle Ricerche. Il Progetto è poi proseguito nel 2015 per un ulteriore anno, nell'ambito di questa seconda fase è stato stipulato un Accordo con l'Istituto Idrografico della Marina (IIM) per lo scambio di dati idro-oceanografici, in seguito al quale i dati batimetrici forniti dall'IIM per i settori marini più vicini alla costa (da 0 a 50 metri di profondità) sono stati integrati con quelli acquisiti dal Progetto MAGIC.

Sono stati acquisiti dati batimetrici ad alta risoluzione dei fondali marini antistanti le coste, a profondità comprese tra i 50 e 500-1000 metri, lungo gran parte delle piattaforme esterne e le scarpate continentali italiane.

Il principale strumento di rilevamento utilizzato è stato un ecoscandaglio multifascio ("multibeam sonar") che emette un ventaglio di impulsi acustici ad alta frequenza trasversali alla rotta della nave e che, retrodiffusi dal fondo, tornano alla sorgente e vengono convertiti in punti quotati. I dati sono stati elaborati attraverso procedure di calcolo dedicate e visualizzati come carte delle isobate, rilievi ombreggiati o superfici tridimensionali.

Sono state realizzate 72 carte in diversi formati. In particolare, per l'attività in corso, sono stati usati i files in formato ASCII che contengono le griglie batimetriche in formato testuale con risoluzione di 1 punto ogni 50m x 50 m, 1 punto ogni 100 m x 100 m, e 1 punto ogni 200 m x 200 m.

I fogli prodotti nel Progetto possono essere scaricati dal sito <https://github.com/pcm-dpc/MaGIC/tree/master/MaGIC-1/fogli/dati>. In Figura 1 è mostrata la batimetria dell'intera area di Pantelleria scaricata direttamente dal sito.

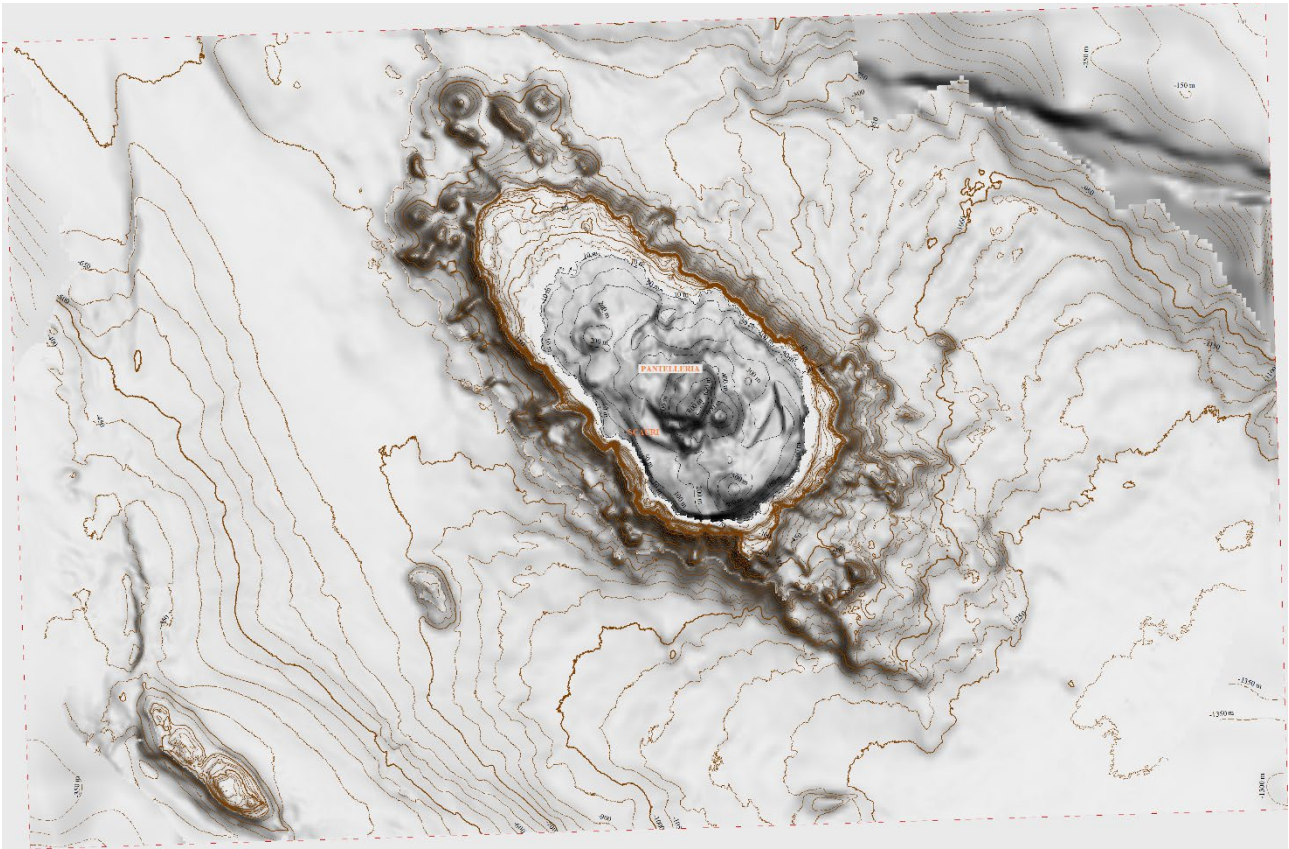


Figura 1 - Rilievo ombreggiato ad alta risoluzione dell'area compresa nel foglio 30 - Pantelleria. Dal sito github del Progetto MAGIC.

I dati batimetrici contenuti nei tre file alle diverse risoluzioni sono stati inizialmente interpolati su un'unica griglia a più alta risoluzione e scritti in formato NETCDF; quindi, è stato utilizzato il codice Oceanmesh2D (Roberts, Pringle e Westerink 2019) per la creazione della griglia non strutturata. La griglia definita andrà a sostituire quella regolare, alla risoluzione costante di  $1/128^\circ$ , che veniva utilizzata in precedenza all'interno della catena operativa di previsione del moto ondoso per la zona dell'isola di Pantelleria ed avrà la stessa estensione. In questo caso è stata definita la massima risoluzione di 100 metri in prossimità della costa e la minima di circa 2500 metri nella zona di scambio con la griglia relativa all'intero Mediterraneo; in questo modo si ottiene una risoluzione analoga a quella del modello per il Mediterraneo che è pari a  $1/32^\circ$ , cioè dell'ordine di 3 km a queste latitudini.

In Figura 2 è mostrata l'intera griglia risultante, con l'infittimento nella zona costiera e maglie più larghe verso le zone esterne. La dimensione degli elementi della griglia per tutto il dominio di calcolo è indicata in Figura 3 mentre in Figura 4 è mostrato un ingrandimento della griglia con riportate le dimensioni, per la sola zona a Nord dell'isola.

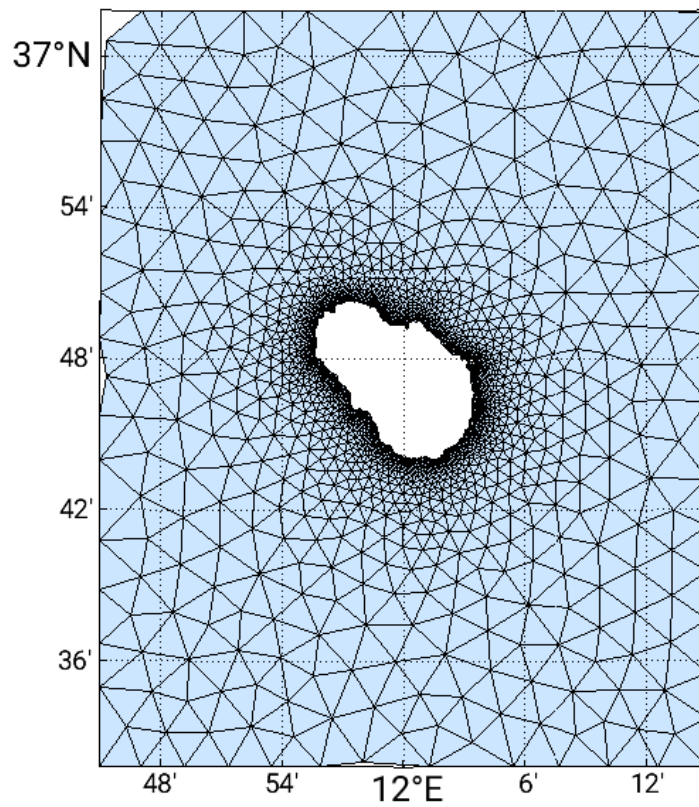


Figura 2 - Griglia non strutturata per l'area di Pantelleria.

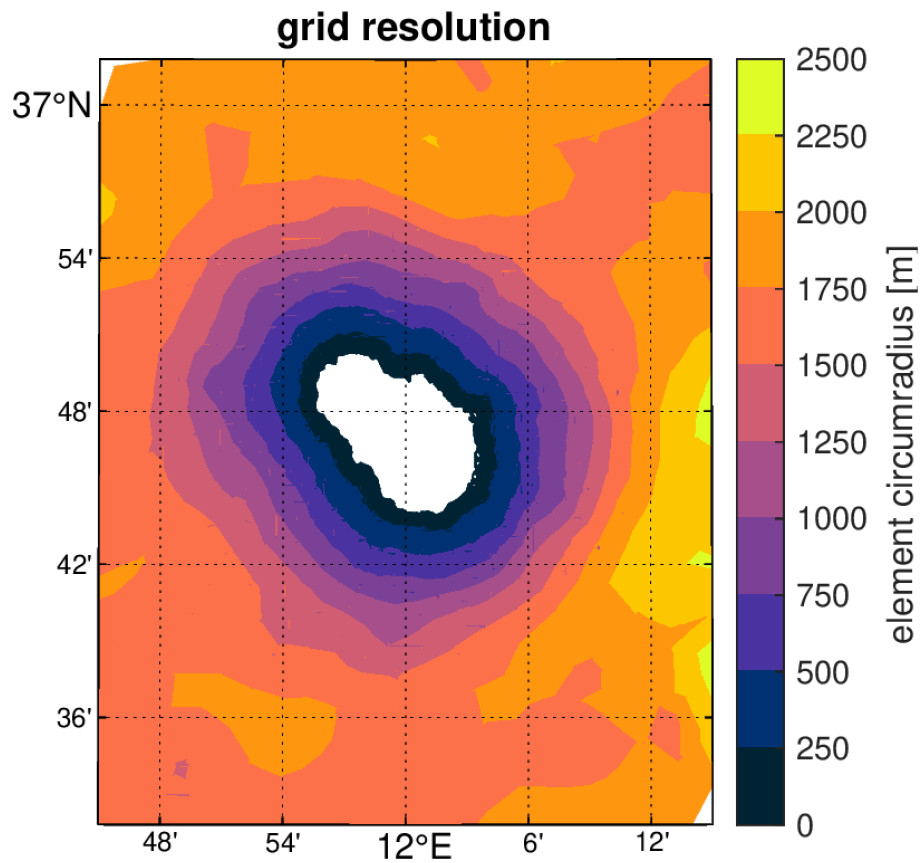


Figura 3 - Mappa del dominio di calcolo per Pantelleria che riporta la risoluzione della griglia.

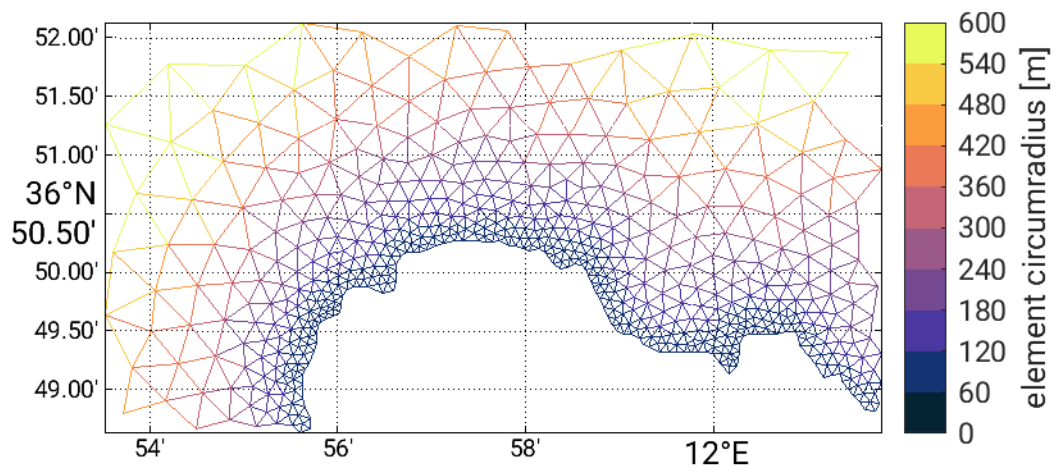


Figura 4 - Ingrandimento della griglia non strutturata relativa alla zona nord di Pantelleria. I colori indicano la dimensione degli elementi della griglia.

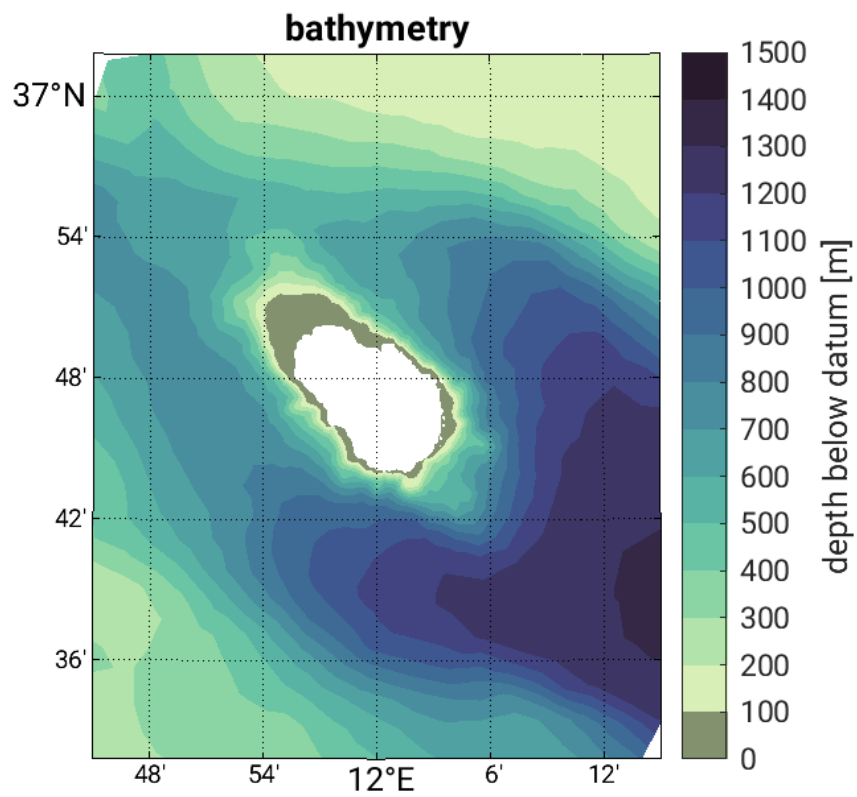


Figura 5 - Batimetria interpolata sulla griglia di calcolo.

La batimetria interpolata sulla griglia di calcolo è mostrata in Figura 5. Si può notare che solo nella zona a Nord dell'isola, dove verrà installato il device per la produzione di energia elettrica dal moto ondoso, è presente un'area abbastanza vasta di profondità inferiore a 100 metri, mentre il resto della costa è caratterizzato da fondali che scendono più velocemente. A sud-est dell'isola, nella zona estrema della griglia, la profondità raggiunge i 1500 m.

### 3.3 Implementazione del modello di onde per il caso di Pantelleria

La griglia precedentemente realizzata per la previsione operativa, centrata sull'Isola di Pantelleria, aveva una estensione di  $0.5^\circ$  di latitudine e  $0.5^\circ$  di longitudine con estremi  $11.75^\circ\text{E}$   $36.53^\circ\text{N}$  e  $12.25^\circ\text{E}$ ,  $37.03^\circ\text{N}$ . La nuova griglia non strutturata ricopre la stessa area già utilizzata in precedenza, raggiungendo però una risoluzione più elevata nella zona costiera.

Il file generato tramite l'uso di Oceanmesh2D viene utilizzato in input al codice *ww3\_grid*, che costituisce il primo passo della catena per il pre-processamento del modello WW3. Il file contiene le posizioni dei punti di griglia e le corrispondenti profondità, ed è strutturato nel modo seguente:

Tre righe iniziali che contengono informazioni su versione e tipo di file

```
$MeshFormat  
2 0 8  
$EndMeshFormat
```

Una sezione che contiene il numero dei nodi e le corrispondenti coordinate e profondità

```
$Nodes  
N nodi  
1 lon1. Lat1 depth1  
2. lon2. Lat 2 depth2  
....  
$EndNodes
```

Una sezione che contiene una lista degli elementi e le relazioni che li legano. Il primo indice indica il numero d'ordine, il secondo rappresenta il tipo di elemento (2 nodo del triangolo, 15 punto di boundary) gli ultimi tre valori, nel caso di punti interni, indicano gli indici dei punti collegati.

```
$Elements  
N elementi  
3994  
1 15 2 0 0 435  
2 15 2 0 0 498  
3 15 2 0 0 574  
4 15 2 0 0 575  
....  
64 2 3 0 1 0 1168 1084 1083  
65 2 3 0 2 0 868 975 976  
66 2 3 0 3 0 1545 1615 1614  
....  
$EndElements
```

Il modello per Pantelleria, come tutti i modelli di previsione che costituiscono la catena operativa, utilizza in input i dati delle due componenti orizzontali del vento ricavate dal sistema di previsione atmosferico SKIRON (Kallós 1997). I dati in formato idoneo alla lettura con WW3 vengono ottenuti tramite una interpolazione sulla griglia del modello tramite il codice *ww3\_prnc*.

Allo scopo di includere la propagazione delle onde dalle zone esterne al dominio, per i sottobacini è necessario fornire anche gli spettri bidimensionali di energia lungo i boundary del modello. Nel caso di griglie regolari è possibile inserire, all'interno della definizione della griglia relativa al modello per il Mediterraneo, la definizione delle linee che costituiscono i boundary dei modelli a più alta risoluzione. In questo modo vengono direttamente generati in uscita del modello WW3 i relativi file di nesting. La procedura seguita nel caso di griglie non strutturate è diversa: in questo caso viene definita esplicitamente una lista di punti per i quali vengono memorizzati gli spettri. Le coordinate relative vengono definite direttamente nella namelist di esecuzione del modello WW3 per il Mediterraneo e costituiscono una uscita del modello stesso. Tali punti vengono scritti in uscita su un unico file che include quindi tutti gli spettri bidimensionali memorizzati alla frequenza temporale scelta, in questo caso pari ad un'ora. Il codice numerico *ww3\_ounp* separa gli spettri bidimensionali corrispondenti ai diversi punti riscrivendoli in formato NETCDF, infine la creazione del file di nesting, utilizzato in input al modello ad alta risoluzione, viene effettuata tramite il codice *ww3\_bounc* nella cui namelist è possibile la selezione dei punti da utilizzare.

## 4 Verifica dei risultati

### 4.1 Confronto con il modello per il Mediterraneo

Dopo aver effettuato alcuni test preliminari relativi alla selezione dei punti di boundary, sono stati definiti in output al modello del Mediterraneo 10 punti, distribuiti regolarmente per ciascun lato della griglia ad alta risoluzione, per i quali memorizzare gli spettri bidimensionali. Per verificare il corretto funzionamento del nuovo modello per Pantelleria, è stata effettuata una simulazione con il modello del Mediterraneo e con quello per Pantelleria, nella stessa modalità del sistema operativo. La simulazione è stata effettuata per il periodo dal 23 luglio al 10 agosto 2023, utilizzando ogni giorno i dati delle ore 24 della simulazione precedente come condizione iniziale.

Nelle Figure dalla 6 alla 9 sono riportati confronti tra i risultati ottenuti estraendo i dati su Pantelleria dal modello di previsione per il Mediterraneo e quelli del modello ad alta risoluzione. Innanzitutto, è possibile osservare che i valori lungo il bordo del modello di Pantelleria seguono perfettamente quelli del modello del Mediterraneo, mostrando quindi la correttezza della procedura di nesting e la propagazione delle onde all'interno del dominio di calcolo.

Nelle Figure 6 e 8 sono mostrate le altezze significative delle onde per due tempi diversi di due eventi, caratterizzati da diverse condizioni di provenienza delle onde. In Figura 6 le onde si propagano da sud-ovest e la zona nord nella simulazione ad alta risoluzione risulta schermata, con valori molto più bassi di ampiezza lungo la costa. La situazione mostrata in Figura 8 è caratterizzata da ampiezze d'onda maggiori di 1.5 m in quasi tutto il dominio e provenienza

prevalente da nord-ovest, con una evidente diminuzione dei valori nella zona sud nel caso ad alta risoluzione, non presente nella simulazione del Mediterraneo.

L'effetto di schermo da parte dell'isola, combinato con la maggiore risoluzione del valore della batimetria, si ripercuote anche sui valori di periodo medio. Nel caso del giorno 24 mostrato in Figura 7, risulta una zona a nord dell'isola, caratterizzata da valori di batimetria inferiori a 100 m e non rappresentata nel modello a bassa risoluzione, in cui si osserva un aumento del periodo medio rispetto a quello al largo. Nel caso presentato in Figura 9 invece, in cui la zona sottovento è caratterizzata da acque profonde, in corrispondenza dei valori più bassi di altezza significativa, si osservano valori bassi di periodo medio.

Risulta quindi chiara l'importanza dell'alta risoluzione del modello di onde per una corretta simulazione dell'ampiezza e del periodo, e quindi dell'energia, nella zona costiera, in vista delle attività di conversione dell'energia del mare in energia elettrica.

## 4.2 Confronto con le osservazioni

Nel corso delle attività del Politecnico di Torino relative allo studio del sito per l'installazione del prototipo PeWEC, è stata installata una boa ondometrica al largo della costa nord-ovest di Pantelleria. La boa è collocata nel punto di coordinate Latitude:  $36.823^{\circ}$  Longitude:  $11.919^{\circ}$  ad una profondità di 33 m. La boa è di tipo Datawell Waverider DWR-G e consente la misurazione direzionale delle onde, è in grado di misurare frequenze fino a 0,01 Hz (corrispondenti a un periodo d'onda di 100 s), mentre le dimensioni della boa stessa limitano la sua risposta alle alte frequenze (Sirigu, et al. 2022). I valori vengono salvati su file con cadenza trioraria.

I valori di altezza significativa e direzione media di propagazione ricavati dalle previsioni effettuate con il modello per Pantelleria, per il periodo dal 23 luglio al 10 agosto 2023, sono stati confrontati con i valori misurati dalla boa, estraendo i dati del modello nel punto più vicino. Mentre la profondità del punto più vicino del modello per il Mediterraneo era di circa 200 m, in questo caso, data l'alta risoluzione del modello, la profondità coincide con quella reale.

In Figura 10 è mostrato il confronto tra i risultati del primo giorno di simulazione della previsione per l'altezza significativa delle onde con il dato osservato alla boa. In figura 11 e 12 sono riportati rispettivamente il confronto relativo alle direzioni di provenienza ed il periodo di picco delle onde. Le previsioni seguono in maniera corretta l'andamento dei dati sperimentali per tutte le variabili sul periodo simulato, si riscontra però una sottostima dei picchi di ampiezza rispetto ai dati.

Dal confronto delle figure si può notare che i valori massimi di ampiezza si hanno in corrispondenza di onde che si propagano dal settore nord-ovest, con periodi di picco più alti caratteristici delle onde di swell che si propagano da remoto. In queste specifiche condizioni le onde non incontrano particolari ostacoli lungo la loro propagazione e non risentono dell'effetto di schermo dell'isola, l'ampiezza nel punto della boa risente quindi principalmente dei valori trasferiti dal modello del Mediterraneo.

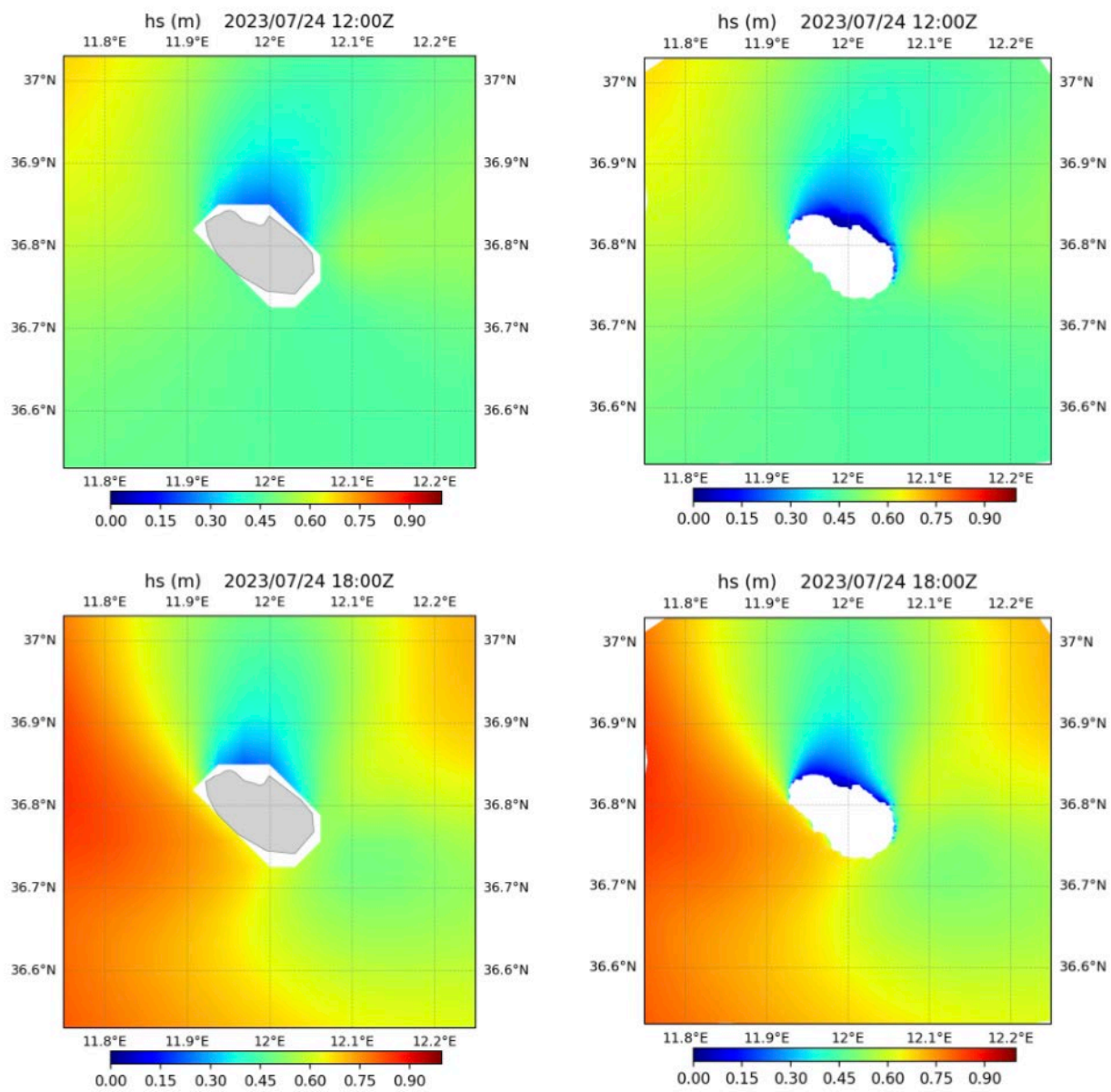


Figura 6 - Valori di altezza significativa delle onde estratti dalla simulazione del Mediterraneo (pannelli di sinistra) e ricavati dalla simulazione su griglia non strutturata (pannelli di destra) per le ore 12 e 18 del 24 luglio 2023.

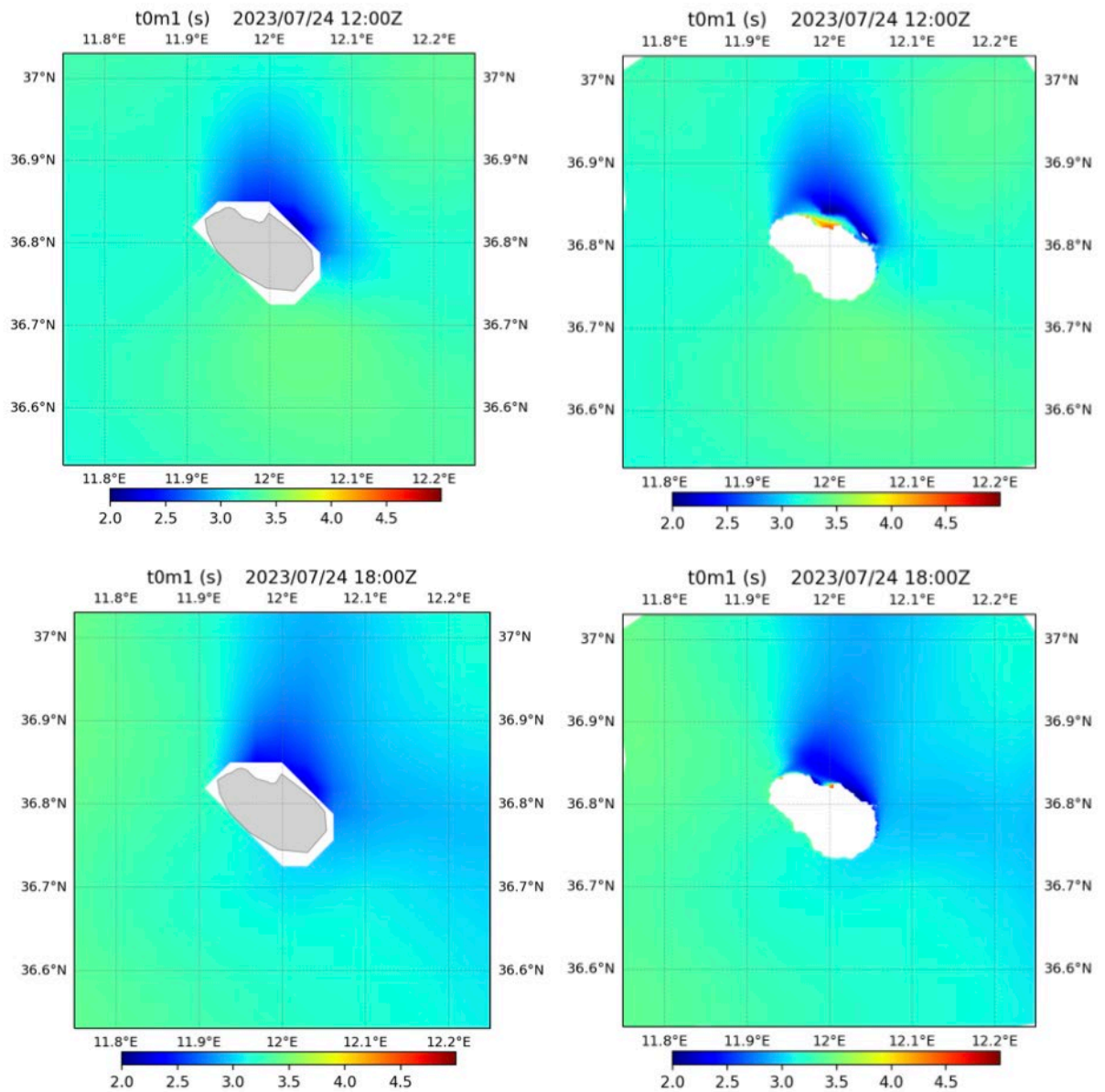


Figura 7 - Valori di periodo medio delle onde estratti dalla simulazione del Mediterraneo (pannelli di sinistra) e ricavati dalla simulazione su griglia non strutturata (pannelli di destra) per le ore 12 e 18 del 24 luglio 2023.

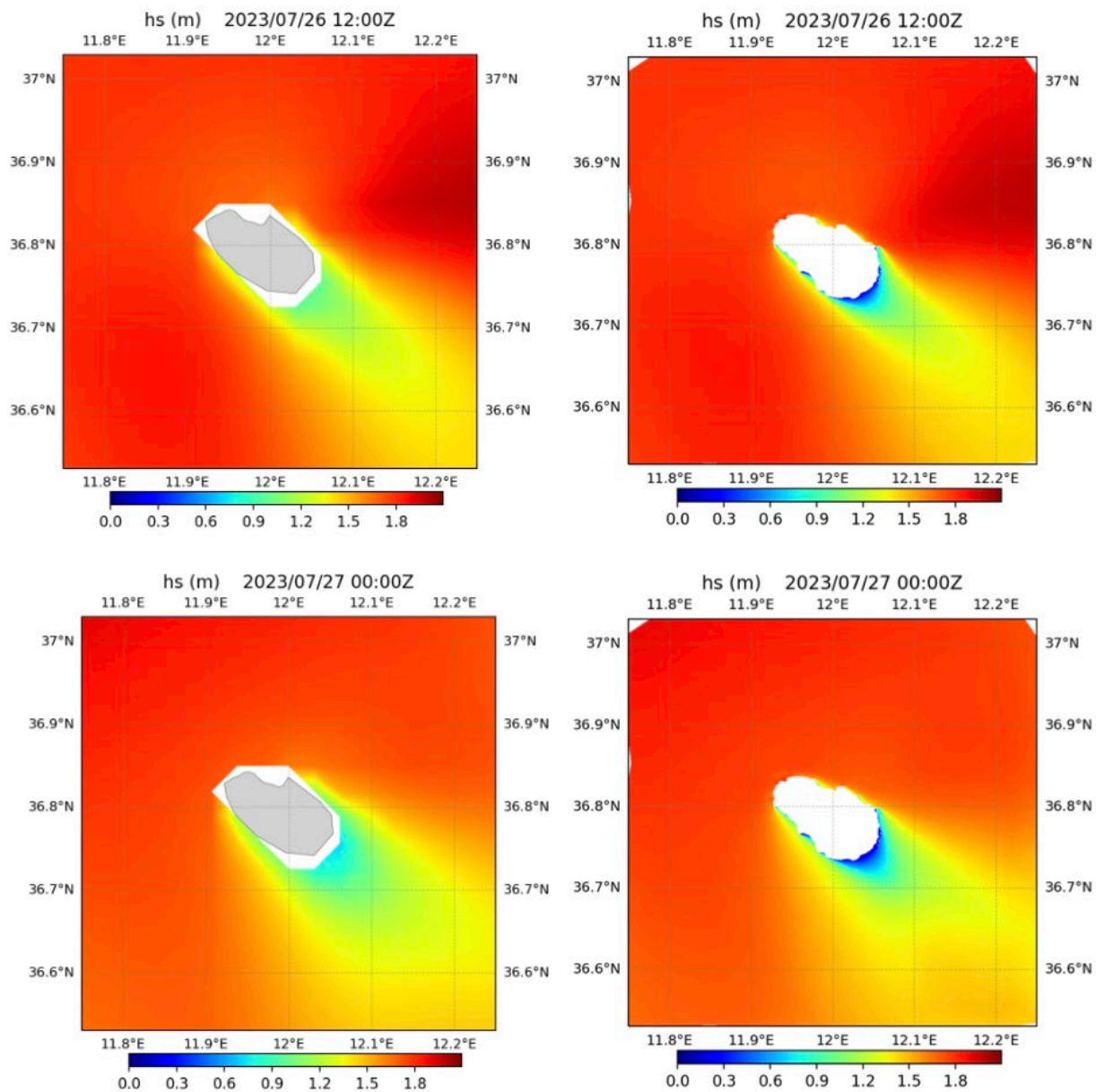


Figura 8- Valori di altezza significativa delle onde estratti dalla simulazione del Mediterraneo (pannelli di sinistra) e ricavati dalla simulazione su griglia non strutturata (pannelli di destra) per le ore 12 del 26 luglio 2023 e per le ore 00 del 27 luglio.

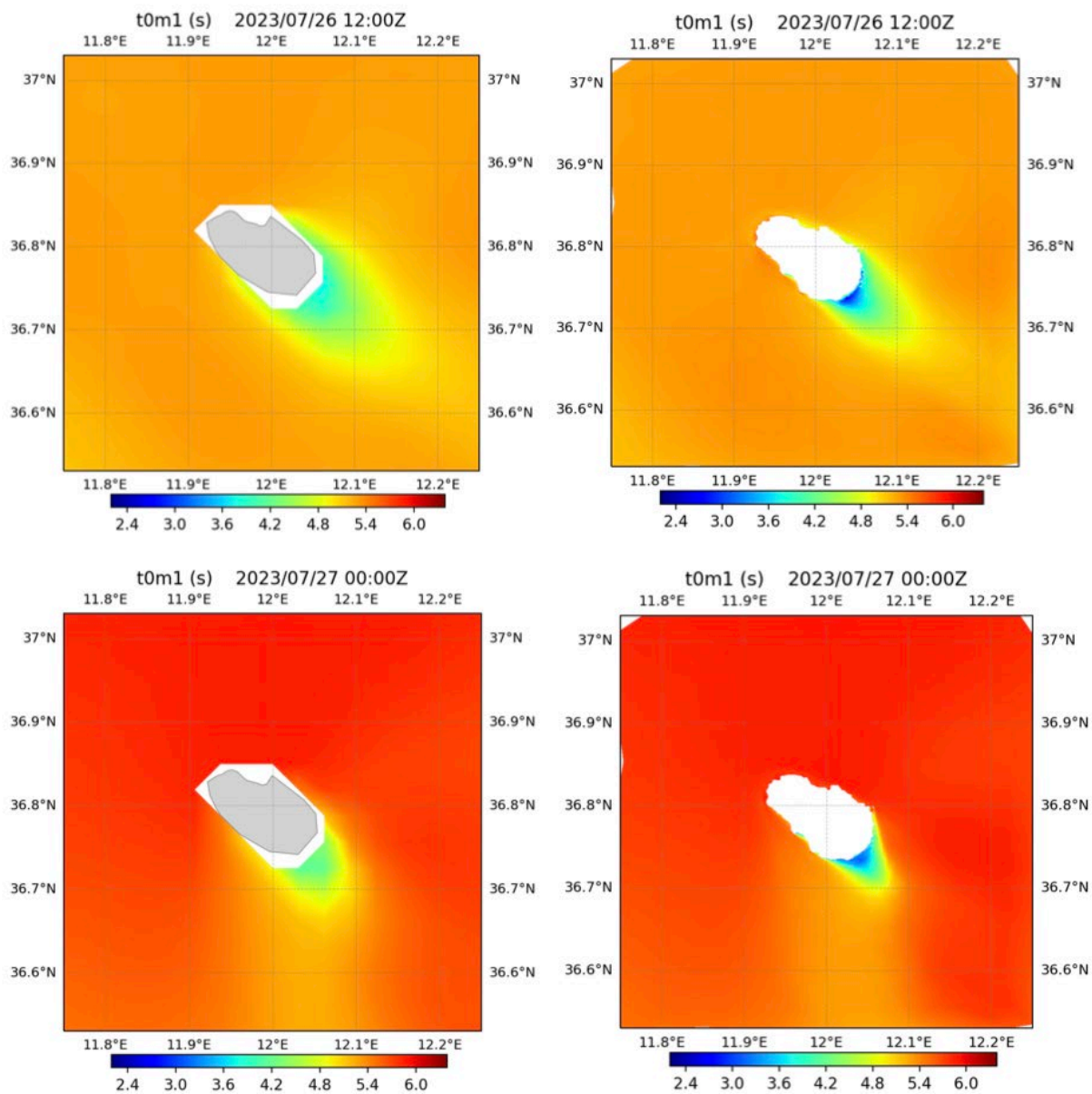


Figura 9 - Valori di periodo medio delle onde estratti dalla simulazione del Mediterraneo (pannelli di sinistra) e ricavati dalla simulazione su griglia non strutturata (pannelli di destra) per le ore 12 del 26 luglio 2023 e per le ore 00 del 27 luglio.

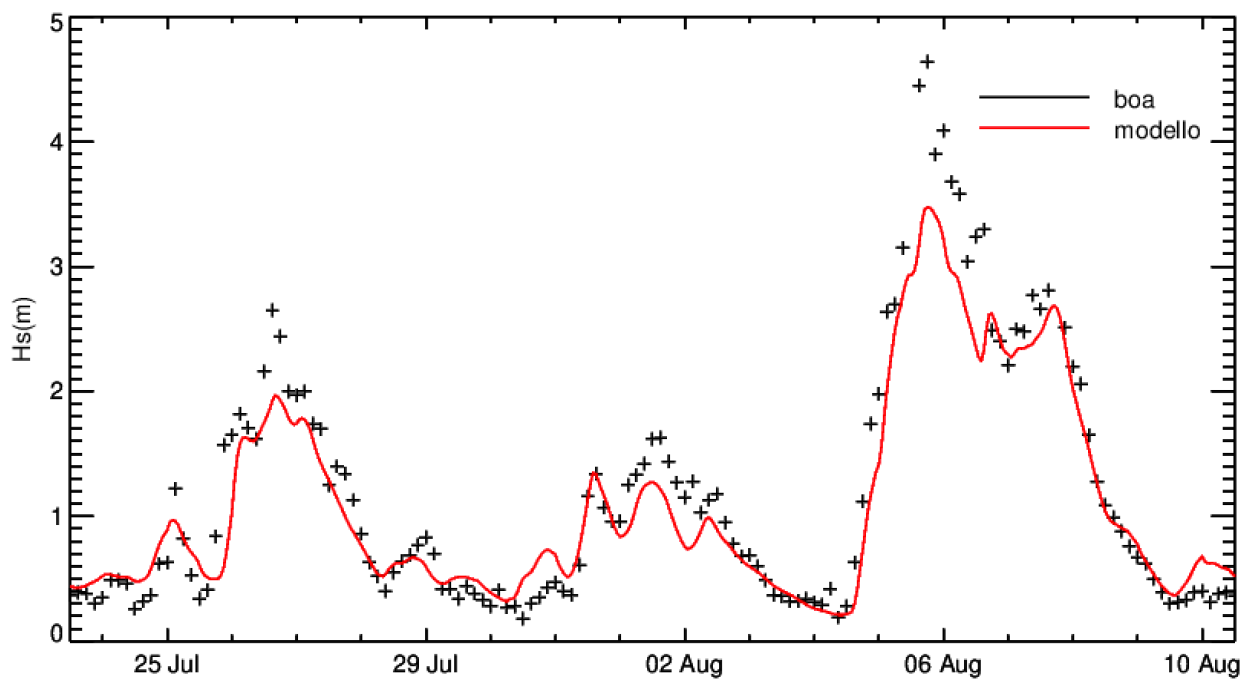


Figura 10 - Confronto dei valori di altezza significativa calcolati con il modello per Pantelleria con i valori misurati dalla boa.

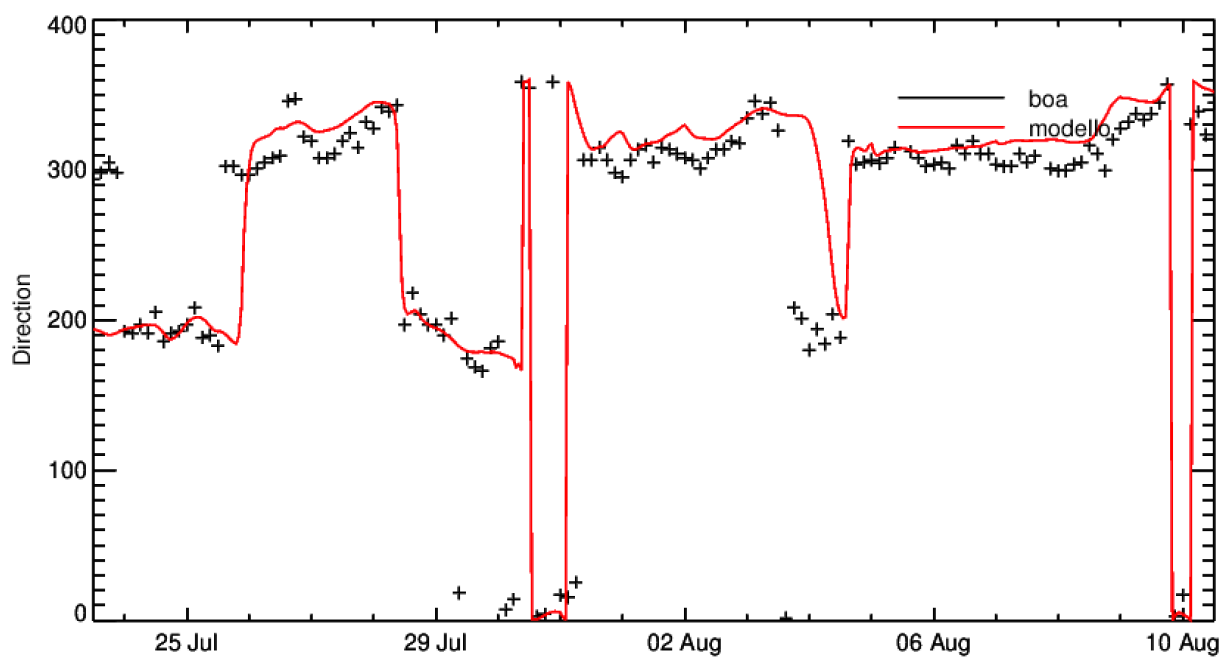


Figura 11 - Confronto dei valori di direzione delle onde calcolati dal modello per Pantelleria con i valori misurati dalla boa. Le direzioni indicano la provenienza delle onde definita a partire da Nord.

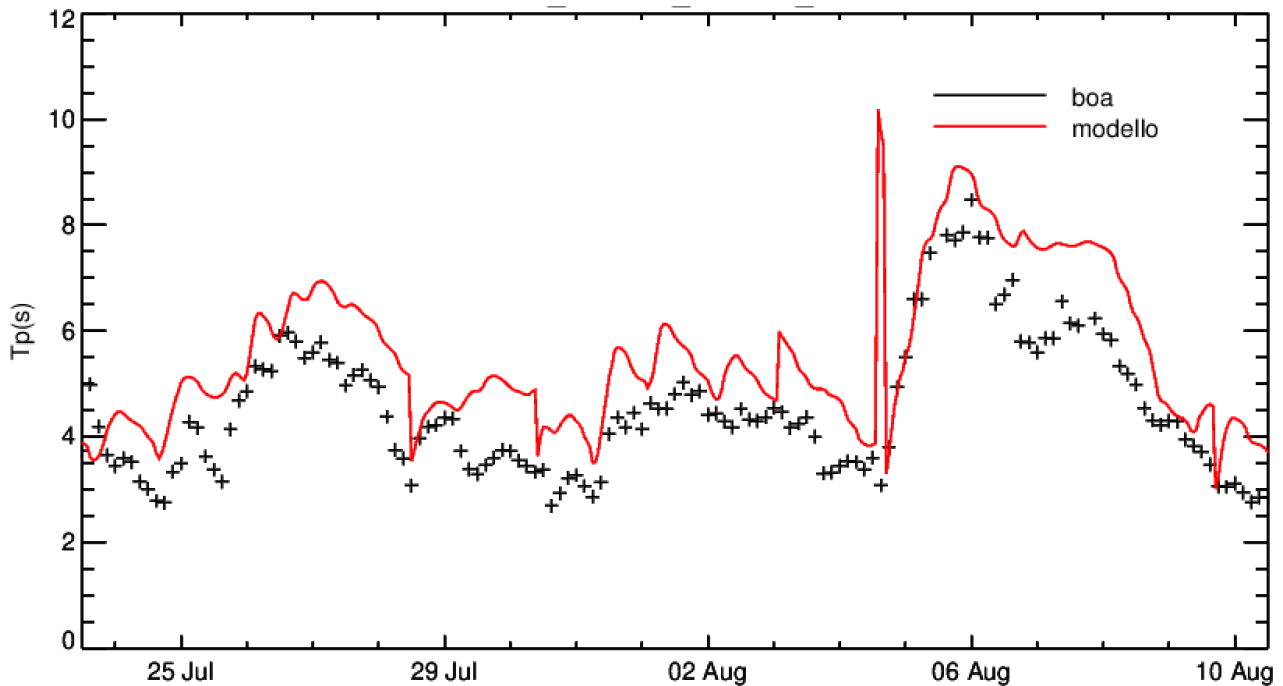


Figura 12 - Confronto dei valori di periodo di picco delle onde calcolati dal modello per Pantelleria con i valori misurati dalla boa.

## 5 Aggiornamento della catena operativa

La catena di previsione del moto ondoso operativa sui computer ENEA, costituita dal modello per il Mediterraneo e da modelli a più alta risoluzione per sottobacini, è stata aggiornata sostituendo il precedente modello alla risoluzione di  $1/128^\circ$  per Pantelleria con il nuovo modello ad altissima risoluzione.

Come accennato nel paragrafo 3.3 è stato necessario apportare alcune modifiche alla catena operativa. Per quanto riguarda il codice per il Mediterraneo:

- è stata inserita la scrittura, con frequenza oraria, degli spettri bidimensionali sui punti lungo il bordo del modello di Pantelleria
- al termine della simulazione, viene eseguito il codice `ww3_ounp` che legge il file `out_pnt.ww3` con gli spettri bidimensionali e prepara i file in formato NETCDF con i dati spettrali

La procedura relativa alla simulazione per l'area di Pantelleria su griglia regolare, precedentemente seguita, è stata sostituita introducendo i seguenti passaggi:

- viene copiato il file con la batimetria sulla griglia ad alta risoluzione
- viene effettuato il link ai file con gli spettri creati nella directory del modello del Mediterraneo ed eseguito il codice `ww3_bounc` per la creazione del file di nesting in formato idoneo alla lettura con il modello WW3
- viene eseguita la simulazione con il modello per Pantelleria
- il file in uscita `out_grd.ww3`, contenente i campi bidimensionali con le principali grandezze d'onda, viene letto dal codice `ww3_ounf` per la scrittura di file in formato NETCDF.

La realizzazione di una griglia non strutturata ha reso necessario anche un aggiornamento dei codici per la visualizzazione dei campi in uscita del modello. I codici per la grafica dell'altezza significativa e del periodo medio delle onde, precedentemente basati sul linguaggio NCL, sono stati sostituiti con codici in linguaggio python.

I campi orari relativi alle previsioni di altezza significativa dell'onda e periodo medio, vengono pubblicati quotidianamente con frequenza oraria, sul sito dell'ENEA.

## 6 Conclusioni

Nel presente documento è stata descritta l'attività relativa all'introduzione della nuova versione del modello ad altissima risoluzione per la zona dell'isola di Pantelleria nella catena operativa per la simulazione del moto ondoso sul Mediterraneo.

Dopo una breve descrizione dell'implementazione sono stati mostrati esempi di risultati e confronti con valori sperimentali provenienti dalla boa situata nella zona nord di Pantelleria, installata dal Politecnico di Torino.

## 7 Bibliografia

- (WW3DG), The WAVEWATCH III Development Group. 2019. *User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 6.07*. Tech. Note 333, College Park, MD, USA: NOAA/NWS/NCEP/MMAB.
- Ardhuin, F., W.E. Rogers, A.V. Babanin, J. Filipot, R. Magne, A. Roland, A. Van der Westhuysen, et al. 2010. «Semiempirical dissipation source functions for ocean waves. Part I: Definition, calibration, and validation.» *Phys. Oceanogr.*, 40, 1917–1,941.
- Battjes, J. A., e H. Janssen. 1978. «Energy loss and set-up due to breaking of random waves.» *Proc. 16th Int. Conf. Coastal Eng.* 569–587.
- Carillo, A., E. Lombardi, G. Sannino, M.V. Struglia, E. Napolitano, e R. Iacono. 2021. «Produzione di climatologie presenti e future dello stato del mar Mediterraneo.» Report RdS/PAR2020/102.
- Carillo, A., E. Lombardi, M.V. Struglia, M. Palma, e G. Pisacane. 2022. «Aggiornamento del sistema operativo delle onde: implementazione, validazione e operatività.» Report RdS/PTR(2021)/351.
- Fenu, B., M. Serra, F. Niosi, S.A. Sirigu, B. Paduano, G. Bracco, e G. Mattiazzo. 2021. «Prototipazione ed esecuzione della campagna sperimentale.» Report RdS/PTR(2021)/350.
- Hasselmann, K., T.P. Barnett, E. Bouws, H. Carlson, D.E. Cartwright, K. Enke, J.A. Ewing, et al. 1973. *Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP)*,. Ergänzungsheft zur Deutschen Hydrographischen Zeitschrift, Reihe A(8), 12,.
- Hasselmann, S., K. Hasselmann, J.H. Allender, e T.P. Barnett. 1985. «Computations and parameterizations of the nonlinear energy transfer in a gravity-wave spectrum, Part II: Parameterizations of the nonlinear energy transfer for application in wavemodells.» *J. Phys. Oceanogr.*, 15, 1,378–1,391.
- Kallos, G. 1997. «The regional weather forecasting system SKIRON.» *Proceedings, symposium on regional weather prediction on parallel computer environments, Athens* 9 pp.
- Pozzi, N., A. Bonetto, M. Bonfanti, G. Bracco, P. Dafnakis, E. Giorcelli, B. Passione, S.A. Sirigu, e G. Mattiazzo. 2018. «Preliminary design of a full-scale plant for the Mediterranean Sea.»
- Roberts, K.J., W.J. Pringle, e J.J. Westerink. 2019. «OceanMesh2D 1.0:MATLAB-based software for two-dimensional unstructured mesh generation in coastal ocean modeling.» *Geosci. Model Dev.* 1847–1868.
- Sirigu, S.A, O. Dell'Edera, B. Paduano, E. Pasta, E. Giglio, G. Bracco, e G. Mattiazzo. 2022. «Basic design del prototipo PEWEC.» Report Rds/PTR(2021)/356.
- Sirigu, S.A., P. Dafnakis, e G. Cervelli. 2019. «LA1.4: Analisi della risorsa ondosa nei siti di interesse.» Report RdS/PTR(2019)/166.
- Tolman, H.L. 1991. «A third-generation model for wind waves on slowly varying, unsteady and inhomogeneous depths and currents.» *J. Phys. Oceanogr.*, 21 782–797.