

Ricerca di Sistema elettrico



Previsioni operative

A.Carillo, R. Iacono, E. Napolitano, M. Palma, E. Lombardi, V. Feliziani, G. Sannino

Previsioni operative

A. Carillo, R. Iacono, E. Napolitano, M. Palma, E. Lombardi, G. Sannino

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: Decarbonizzazione/Digitalizzazione ed evoluzione delle reti

Linea di attività: LA1.1

Responsabile del Progetto: Gianmaria Sannino, (ENEA)

Responsabile del Work Package: Gianmaria Sannino (ENEA)

Mese inizio previsto: gennaio 2022

Mese inizio effettivo: gennaio 2022

Mese fine previsto: dicembre 2024

Mese fine effettivo: dicembre 2024

Indice

1	Sommario.....	4
2	Descrizione del sistema operativi.....	4
2.1	Sistema previsione del moto ondoso.....	4
2.2	Sistema previsione della circolazione	4
3	Validazione dei risultati del sistema di previsione delle onde.....	5
4	Caso studio: evento estremo del settembre 2023 (ciclone Daniel).....	14
5	Bibliografia.....	18

Indice delle figure

Figura 1 - Confronto dei i valori di altezza significativa ottenuti dal primo giorno di previsione per la posizione della boa di Alghero con i valori misurati dalla boa.....	9
Figura 2 - Confronto dei valori di altezza significativa ottenuti dal primo giorno di previsione per la posizione della boa di Monopoli con i valori misurati dalla boa.....	10
Figura 3 - Confronto dei valori di periodo medio ricavati dal primo giorno della previsione per la posizione della boa di Alghero con i valori della boa.....	13
Figura 4 - Confronto dei valori di periodo medio ricavati dal primo giorno della previsione per la posizione della boa di Monopoli con i valori della boa.....	13
Figura 5 - (a) Traiettoria del ciclone Daniel: la dimensione dei cerchi rossi è inversamente proporzionale alla pressione minima al suolo. I toni di azzurro e blu indicano le aree allagate in Grecia e Libia, ricavate da dati acquisiti da uno dei satelliti Sentin-2. I pannelli (b) e (c) mostrano zoom sulle due aree (nei riquadri nel pannello 1).	14
Figura 6 - Anomalie giornaliere di SST per (a) il 3 settembre e (b) il 9 settembre. Le anomalie sono rispetto alla media climatologica su 1982-2011.....	15
Figura 7 - Anomalie di SST (rispetto ai campi del 3 settembre); a sinistra dati da satellite, e a destra dati MITO. In accordo con le osservazioni, il 9 settembre il raffreddamento associato alla propagazione del ciclone si è esteso fino alla fascia costiera del Golfo della Sirte.	16
Figura 8 - Valori massimi di altezza significativa delle onde ricavati dalle analisi ECMWF (pannelli superiori) calcolati sui giorni 8 e 9 e sui giorni 10 e 11 settembre 2023 e valori massimi ricavati sugli stessi giorni dai forecast iniziati rispettivamente il giorno 8 e il giorno 10 (pannelli inferiori).....	17

Indice delle tabelle

Tabella 1 - Elenco delle boe della rete Ondametrica Nazionale (RON).....	5
Tabella 2 - Statistiche relative al confronto dei valori di altezza significativa calcolati dal modello di previsione per il Mediterraneo per l'anno 2023 e le boe RON per ciascuno dei cinque giorni di simulazione.	7
Tabella 3 - Statistiche relative al confronto dei valori del periodo medio calcolati dal modello di previsione per il Mediterraneo per l'anno 2023 e le boe RON per ciascuno dei cinque giorni di simulazione.	11

1 Sommario

Le attività relative alla previsione operativa del moto ondoso e della circolazione marina nella regione mediterranea che si sono svolte nell'ambito del PAR nell'ultimo decennio hanno avuto come principale motivazione il supporto alle attività di sviluppo e test di convertitori di energia marina. Lo scopo di questo rapporto è illustrare le attività svolte nell'ultimo triennio, tese a valutare le performance dei sistemi operativi.

2 Descrizione del sistema operativi

2.1 Sistema previsione del moto ondoso

Il sistema per la previsione del moto ondoso è operativo dal 2013. Tale sistema è costituito da un modello di onde alla risoluzione spaziale di $1/32^\circ$ e da modelli a più alta risoluzione ($1/128^\circ$) su diversi sottobacini dei mari italiani. Il sistema, inizialmente basato sui modelli numerici WAM e SWAN, è poi stato aggiornato utilizzando WavewatchIII (The WAVEWATCH III Group, 2019) che è il modello attualmente maggiormente diffuso nella comunità scientifica e che viene continuamente aggiornato.

Le simulazioni vengono effettuate quotidianamente sui computer dell'ENEA utilizzando come condizione iniziale i risultati della simulazione del giorno precedente. I forzanti superficiali sono derivati dagli output di un sistema previsionale operativo della circolazione atmosferica ad alta risoluzione ($0.05^\circ \times 0.05^\circ$) (SKIRON; (Kallos, 1997), che fornisce quotidianamente previsioni orarie per i 5 giorni successivi. Il sistema di previsione del moto ondoso effettua previsioni della stessa durata, i dati in uscita dal modello vengono memorizzati con frequenza oraria sull'intero dominio Mediterraneo e su tutti i sottodomini.

Le mappe relative all'altezza significativa delle onde ed ai periodi medi sono pubblicate sul sito dell'ENEA. Una descrizione completa del nuovo sistema operativo basato su WavewatchIII ed una prima validazione dei risultati, effettuata analizzando dati registrati dalla boa di Civitavecchia e dati provenienti dalle misure altimetriche da satellite, sono riportati in (Carillo, Lombardi, Struglia, Palma, & G., 2021).

Nel presente rapporto, la validazione viene estesa, analizzando dati che provengono da tutte le boe della Rete Ondametrica Nazionale (RON), relativi all'intero anno 2023. Inoltre, sono valutate le performance del sistema nel riprodurre un evento estremo verificatosi nel settembre dello stesso anno.

2.2 Sistema previsione della circolazione

Il modello oceanografico MITO, alla base della catena operativa per la previsione della circolazione marina, sfrutta il nucleo computazionale di MITgcm (Marshall, Hill, Perelman, & Adcroft, 1997) ed è stato inizialmente sviluppato nell'ambito del PAR 2015 (Sannino, et al., 2016). Tale modello ha tra gli elementi distintivi l'introduzione delle principali forzanti mareali e l'elevata risoluzione spaziale orizzontale ($1/48^\circ$, circa 2 km), che è a tutt'oggi più alta di quella del modello previsionale operativo di Copernicus ($1/24^\circ$). È inoltre dotato di ulteriori raffinamenti del grigliato nella zona dello Stretto di Gibilterra e negli Stretti Turchi, che consentono di risolvere adeguatamente le complesse dinamiche locali.

Le simulazioni operative della circolazione vengono effettuate quotidianamente sui computer dell'ENEA, utilizzando come condizione iniziale i risultati della simulazione del giorno precedente e come forzanti alla superficie dati atmosferici derivati dallo stesso modello

utilizzato per forzare il sistema delle onde (SKIRON). Il sistema operativo MITO effettua ogni giorno previsioni per i 5 giorni successivi, ed i dati in uscita dal modello vengono memorizzati con frequenza oraria sull'intero dominio computazionale. Il sistema viene re-inizializzato una volta a settimana, utilizzando campi prodotti nove giorni prima dal modello di Copernicus (campi di analisi). Ciò consente di ottenere una condizione iniziale che tiene conto di dati osservati (il modello di Copernicus assimila dati in-situ e da satellite), e, allo stesso tempo, permette a MITO di sviluppare adeguatamente le dinamiche a piccola scala indotte dalla batimetria più risolta.

Una validazione dettagliata di MITO e della sua implementazione operativa è stata effettuata nell'ambito del PAR 2019-2021, ed è discussa nei (Iacono, et al., 2020) e (Napolitano, et al., 2021), e nei lavori di (Palma, et al., 2020) e (Napolitano, et al., 2022) Qui viene valutata la capacità del sistema di riprodurre alcune caratteristiche dell'evento estremo del settembre 2023 precedentemente citato.

3 Validazione dei risultati del sistema di previsione delle onde

I risultati dell'attuale versione del sistema operativo delle onde, basato sul modello WavewatchIII, sono stati validati utilizzando i dati provenienti dalle boe della rete RON, gestita dall'Istituto Superiore per Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), per il mese di gennaio 2022 (Carillo, Lombardi, Struglia, Palma, & G., 2021). La validazione viene qui effettuata utilizzando li risultati del modello per l'intero anno 2023 estendendo i confronti a tutti i cinque giorni di simulazione.

In tabella 1 sono elencate le boe della rete RON utilizzate con le loro posizioni geografiche e in tabella 2 sono riportati gli indici statistici calcolati utilizzando il punto di griglia del modello più vicino alla posizione della boa.

Tabella 1 - Elenco delle boe della rete Ondametrica Nazionale (RON)

Boa	Longitudine	Latitudine
Alghero	08°06'25"E	40°32'55"N
Ancona	13°43'10"E	43°49'26"N
Crotone	17°13'12"E	39°01'25"N
La Spezia	09°49'40"E	43°55'45"N
Mazara del Vallo	12°32'00"E	37°31'05"N
Monopoli	17°22'40"E	40°58'30"N
Ponza	12°57'00"E	40°52'00"N
Ragusa	14° 31' 26"E	36° 43' 20"N
Venezia	12° 30' 27"E	45°18'52"N

Per i confronti sono stati utilizzati i seguenti indici statistici: il bias tra il modello e le misure (bias), l'errore quadratico medio (RMSE), l'indice di dispersione (si) e la pendenza della retta di regressione passante (slope). Considerando la serie di n misure x_i e i corrispondenti valori del modello y_i , questi indici sono calcolati come segue:

$$bias = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)$$

$$rmse = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}$$

$$si = \frac{rmse}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i}$$

$$slope = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i x_i}$$

Inoltre, è stato calcolato l'indice di Willmott (Willmott, 1982) che determina l'accordo tra due serie di dati ed è definito nell'intervallo $[0,1]$,

$$d = 1 - \left[\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2 / \sum_{i=1}^n (|y'_i| - |x'_i|)^2 \right]$$

Nelle equazioni y'_i e x'_i rappresentano la deviazione rispetto alla media. Il miglior accordo tra le due serie di dati si ottiene per valori bassi di bias, rmse e si, e per pendenza della retta di regressione e indice di Willmott prossimi all'unità.

La tabella 2 riporta i valori degli indici calcolati separatamente per ciascuno dei cinque giorni di previsione.

Tabella 2 – Statistiche relative al confronto dei valori di altezza significativa calcolati dal modello di previsione per il Mediterraneo per l'anno 2023 e le boe RON per ciascuno dei cinque giorni di simulazione.

	n. valori	media boa	media modello	bias	rmse	si	slope	Willmott index
	ALGHERO							
Giorno 1	7964	1,27	1,10	-0,18	0,36	0,33	0,90	0,98
Giorno 2	7940	1,28	1,09	-0,19	0,41	0,38	0,87	0,97
Giorno 3	7916	1,28	1,06	-0,22	0,48	0,46	0,84	0,95
Giorno 4	7892	1,29	1,06	-0,23	0,59	0,56	0,83	0,93
Giorno 5	7845	1,29	1,06	-0,23	0,66	0,63	0,82	0,91
	ANCONA							
Giorno 1	8403	0,72	0,58	-0,15	0,32	0,55	0,79	0,92
Giorno 2	8379	0,73	0,57	-0,16	0,35	0,60	0,77	0,90
Giorno 3	8355	0,73	0,56	-0,18	0,37	0,68	0,75	0,88
Giorno 4	8331	0,73	0,56	-0,17	0,43	0,78	0,74	0,84
Giorno 5	8284	0,74	0,56	-0,18	0,50	0,89	0,72	0,79
	CROTONE							
Giorno 1	7828	0,69	0,68	-0,01	0,27	0,40	0,99	0,94
Giorno 2	7804	0,69	0,66	-0,03	0,29	0,44	0,96	0,93
Giorno 3	7756	0,69	0,64	-0,06	0,34	0,54	0,91	0,90
Giorno 4	7756	0,70	0,62	-0,07	0,37	0,59	0,86	0,88
Giorno 5	7704	0,70	0,62	-0,07	0,43	0,69	0,84	0,84
	LA SPEZIA							
Giorno 1	7784	0,91	0,76	-0,15	0,32	0,42	0,92	0,96
Giorno 2	7784	0,92	0,76	-0,16	0,35	0,46	0,91	0,96
Giorno 3	7784	0,91	0,73	-0,18	0,39	0,54	0,86	0,94
Giorno 4	7784	0,92	0,74	-0,19	0,44	0,59	0,86	0,93
Giorno 5	7661	0,93	0,73	-0,20	0,54	0,74	0,82	0,89

	n. valori	media boa	media modello	bias	rmse	si	slope	Willmott index
	MAZARA DEL VALLO							
Giorno 1	8542	0,99	0,99	-0,00	0,26	0,26	0,99	0,97
Giorno 2	8542	0,99	0,96	-0,02	0,30	0,31	0,97	0,96
Giorno 3	8542	0,99	0,95	-0,04	0,37	0,39	0,95	0,94
Giorno 4	8542	0,99	0,95	-0,04	0,45	0,47	0,93	0,91
Giorno 5	8519	0,99	0,96	-0,04	0,56	0,58	0,89	0,85
	MONOPOLI							
Giorno 1	5807	0,62	0,54	-0,08	0,26	0,48	0,91	0,93
Giorno 2	5831	0,62	0,54	-0,08	0,29	0,53	0,90	0,91
Giorno 3	5855	0,62	0,55	-0,07	0,32	0,58	0,91	0,89
Giorno 4	5879	0,62	0,55	-0,07	0,36	0,65	0,92	0,87
Giorno 5	5880	0,62	0,55	-0,07	0,42	0,76	0,87	0,82
	PONZA							
Giorno 1	7667	0,86	0,73	-0,14	0,31	0,43	0,87	0,96
Giorno 2	7643	0,87	0,71	-0,16	0,36	0,50	0,84	0,94
Giorno 3	7619	0,87	0,69	-0,17	0,58	0,58	0,81	0,92
Giorno 4	7595	0,87	0,69	-0,18	0,46	0,66	0,80	0,90
Giorno 5	7548	0,87	0,71	-0,17	0,53	0,75	0,79	0,87
	RAGUSA							
Giorno 1	5643	0,76	0,72	-0,04	0,21	0,28	0,96	0,97
Giorno 2	5643	0,76	0,70	-0,06	0,24	0,35	0,92	0,96
Giorno 3	5643	0,76	0,68	-0,08	0,28	0,42	0,89	0,94
Giorno 4	5652	0,76	0,66	-0,09	0,33	0,51	0,86	0,91
Giorno 5	5653	0,75	0,66	-0,10	0,40	0,62	0,84	0,88

Si può notare dalla tabella che le previsioni di altezza significativa mantengono una buona correlazione con i valori osservati per tutta la durata delle simulazioni. I valori del *bias* risultano ovunque negativi, con valori che oscillano per il primo giorno da un minimo di zero per la boa di Mazara del Vallo ad un massimo di 0,18 m per quella di Alghero.

L'indice di correlazione di Willmott è in genere vicino ad 1 per il primo giorno e comunque scende al di sotto di 0.8 in un solo caso, per il quinto giorno di simulazione. La dispersione dei dati, indicata dai valori del *bias* e della *rmse* aumenta, come previsto con il giorno di simulazione.

A titolo di esempio in Figura 1 viene riportato il confronto tra l'andamento dell'altezza significativa misurata dalla boa di Alghero, caratterizzata dai valori più alti tra quelle disponibili, e il valore in uscita dalla previsione del modello per il Mediterraneo, utilizzando il primo giorno della simulazione. Tutti gli eventi di elevata intensità sono correttamente individuati dalle previsioni operative, anche se alcuni picchi particolarmente elevati sono sottostimati.

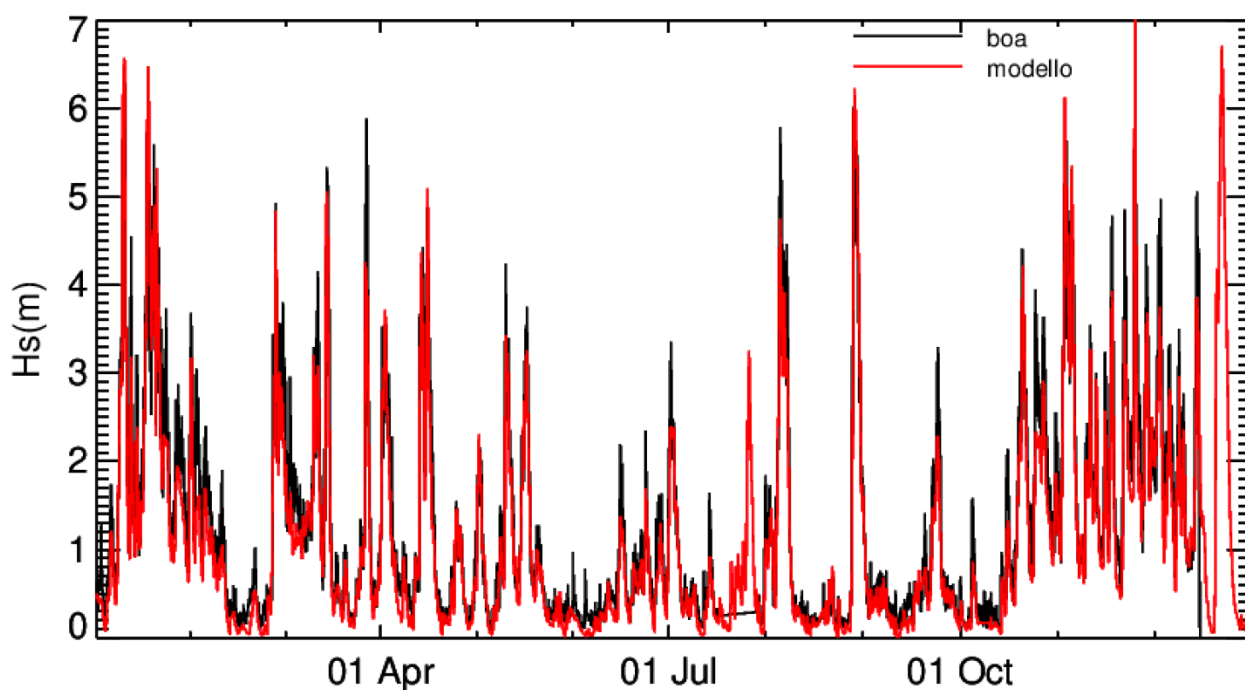


Figura 1 - Confronto dei i valori di altezza significativa ottenuti dal primo giorno di previsione per la posizione della boa di Alghero con i valori misurati dalla boa.

Risultati analoghi a quelli per la boa di Alghero, con una corretta individuazione dei picchi ma una leggera sottostima dei valori, si ottengono anche nel confronto relativo alla boa di Monopoli, che presenta i valori medi più bassi di altezza significativa, mostrato in Figura 2.

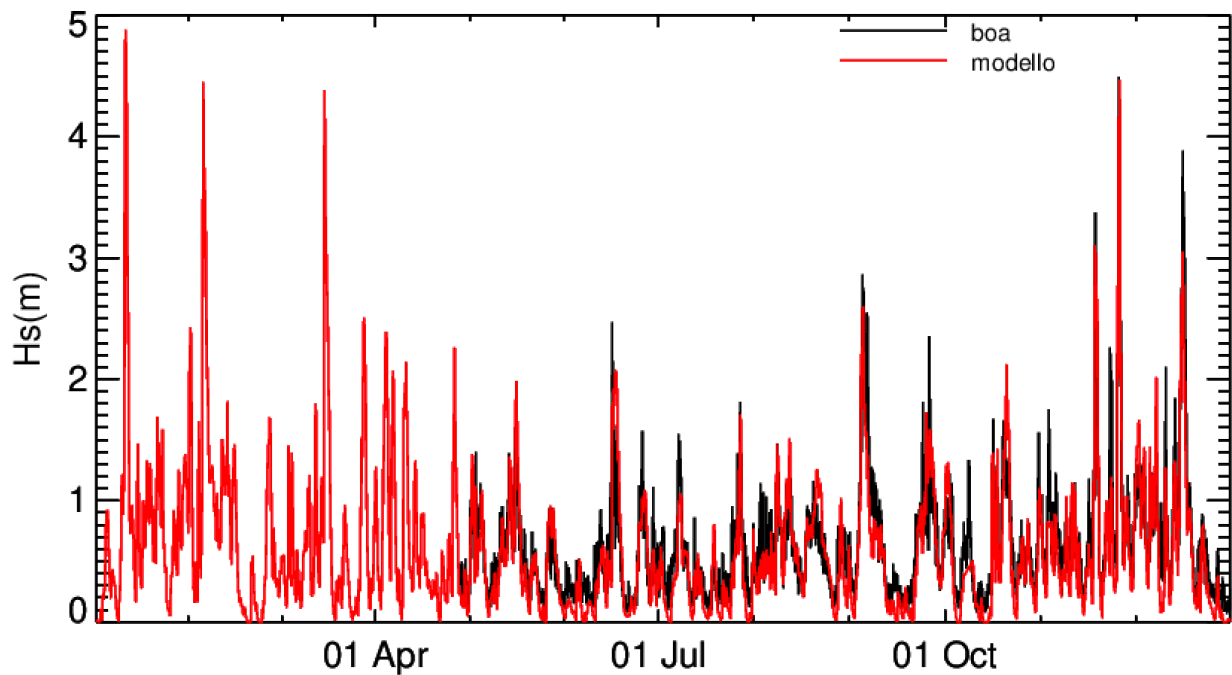


Figura 2 - Confronto dei valori di altezza significativa ottenuti dal primo giorno di previsione per la posizione della boa di Monopoli con i valori misurati dalla boa.

Analogamente alla Tabella 2, in Tabella 3 sono riportati i confronti relativi al periodo medio dell'onda calcolato dal modello per ciascuno dei cinque giorni delle simulazioni per l'anno 2023 e quello ricavato dalla boa. Anche in questo caso la correlazione indicata dai valori dell'indice di Willmott diminuisce con il giorno della simulazione, scendendo però a valori inferiori a 0,8 in alcuni casi ed in particolare sin dal primo giorno nel confronto con la boa di Monopoli.

Nella Figura 3 è riportato il confronto dell'andamento del periodo medio ricavato dal primo giorno di previsione rispetto al valore ricavato dalla boa di Alghero e in Figura 4 il confronto relativo alla boa di Monopoli. Sono evidenti le diverse caratteristiche delle onde nelle due località con periodi più lunghi nel caso di Alghero che risente in modo significativo della propagazione di onde da zone più lontane.

Tabella 3 - Statistiche relative al confronto dei valori del periodo medio calcolati dal modello di previsione per il Mediterraneo per l'anno 2023 e le boe RON per ciascuno dei cinque giorni di simulazione.

	n. valori	media boa	media modello	bias	rmse	si	slope	Willmott index
	ALGHERO							
Giorno 1	7964	5,19	5,11	-0,08	0,65	0,13	0,98	0,96
Giorno 2	7940	5,20	5,10	-0,09	0,72	0,14	0,98	0,96
Giorno 3	7916	5,19	5,07	-0,13	0,84	0,16	0,97	0,94
Giorno 4	7892	5,20	5,03	-0,16	0,94	0,19	0,96	0,93
Giorno 5	7845	5,20	5,03	-0,17	1,04	0,21	0,96	0,91
	ANCONA							
Giorno 1	8403	3,81	3,46	-0,35	0,92	0,26	0,91	0,84
Giorno 2	8379	3,82	3,46	-0,36	0,93	0,27	0,91	0,84
Giorno 3	8355	3,82	3,39	-0,43	0,98	0,29	0,89	0,82
Giorno 4	8331	3,82	3,36	-0,46	1,01	0,30	0,88	0,81
Giorno 5	8284	3,82	3,35	-0,48	1,10	0,33	0,87	0,78
	CROTONE							
Giorno 1	7828	4,40	4,25	-0,16	0,77	0,18	0,96	0,89
Giorno 2	7804	4,40	4,24	-0,15	0,80	0,19	0,96	0,88
Giorno 3	7756	4,40	4,21	-0,19	0,86	0,20	0,95	0,86
Giorno 4	7756	4,40	4,18	-0,22	0,88	0,21	0,95	0,85
Giorno 5	7704	4,40	4,20	-0,20	0,98	0,23	0,95	0,83
	LA SPEZIA							
Giorno 1	7784	4,64	4,93	0,29	0,93	0,19	1,05	0,91
Giorno 2	7784	4,64	4,95	0,30	0,97	0,19	1,05	0,91
Giorno 3	7784	4,64	4,91	0,26	1,00	0,21	1,04	0,90
Giorno 4	7784	4,65	4,88	0,23	1,07	0,22	1,03	0,88
Giorno 5	7661	4,67	4,87	0,20	1,14	0,23	1,02	0,87

	n. valori	media boa	media modello	bias	rmse	si	slope	Willmott index
	MAZARA DEL VALLO							
Giorno 1	8542	4,87	4,76	-0,11	0,71	0,15	0,98	0,94
Giorno 2	8542	4,86	4,74	-0,12	0,74	0,16	0,97	0,93
Giorno 3	8542	4,87	4,69	-0,18	0,83	0,18	0,96	0,91
Giorno 4	8542	4,87	4,68	-0,20	0,89	0,19	0,95	0,90
Giorno 5	8519	4,89	4,65	-0,23	1,00	0,22	0,94	0,87
	MONOPOLI							
Giorno 1	5807	3,86	3,52	-0,34	0,88	0,25	0,91	0,79
Giorno 2	5831	3,87	3,51	-0,36	0,92	0,26	0,90	0,77
Giorno 3	5855	3,87	3,51	-0,36	0,95	0,27	0,90	0,75
Giorno 4	5879	3,86	3,52	-0,34	0,95	0,27	0,90	0,75
Giorno 5	5880	3,86	3,53	-0,34	0,99	0,28	0,90	0,72
	PONZA							
Giorno 1	7667	4,46	4,22	-0,25	0,67	0,16	0,95	0,93
Giorno 2	7643	4,47	4,21	-0,26	0,76	0,18	0,94	0,91
Giorno 3	7619	4,48	4,18	-0,29	0,82	0,20	0,93	0,89
Giorno 4	7595	4,48	4,16	-0,32	0,89	0,21	0,92	0,87
Giorno 5	7548	4,48	4,16	-0,32	1,00	0,24	0,92	0,85
	RAGUSA							
Giorno 1	5643	4,00	4,55	0,55	0,91	0,20	1,13	0,84
Giorno 2	5643	4,00	4,55	0,55	0,93	0,20	1,13	0,84
Giorno 3	5643	3,99	4,51	0,51	0,96	0,21	1,12	0,82
Giorno 4	5652	4,00	4,48	0,47	1,00	0,22	1,11	0,81
Giorno 5	5653	3,99	4,46	0,46	1,04	0,23	1,11	0,79

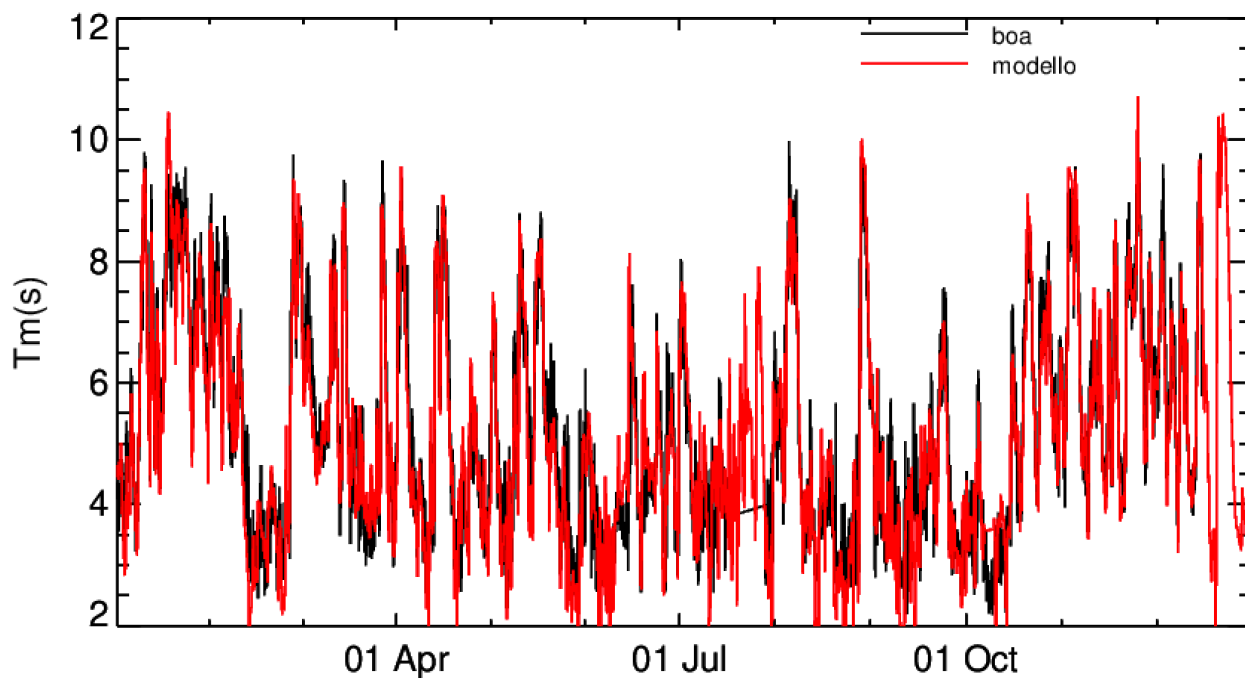


Figura 3 - Confronto dei valori di periodo medio ricavati dal primo giorno della previsione per la posizione della boa di Alghero con i valori della boa.

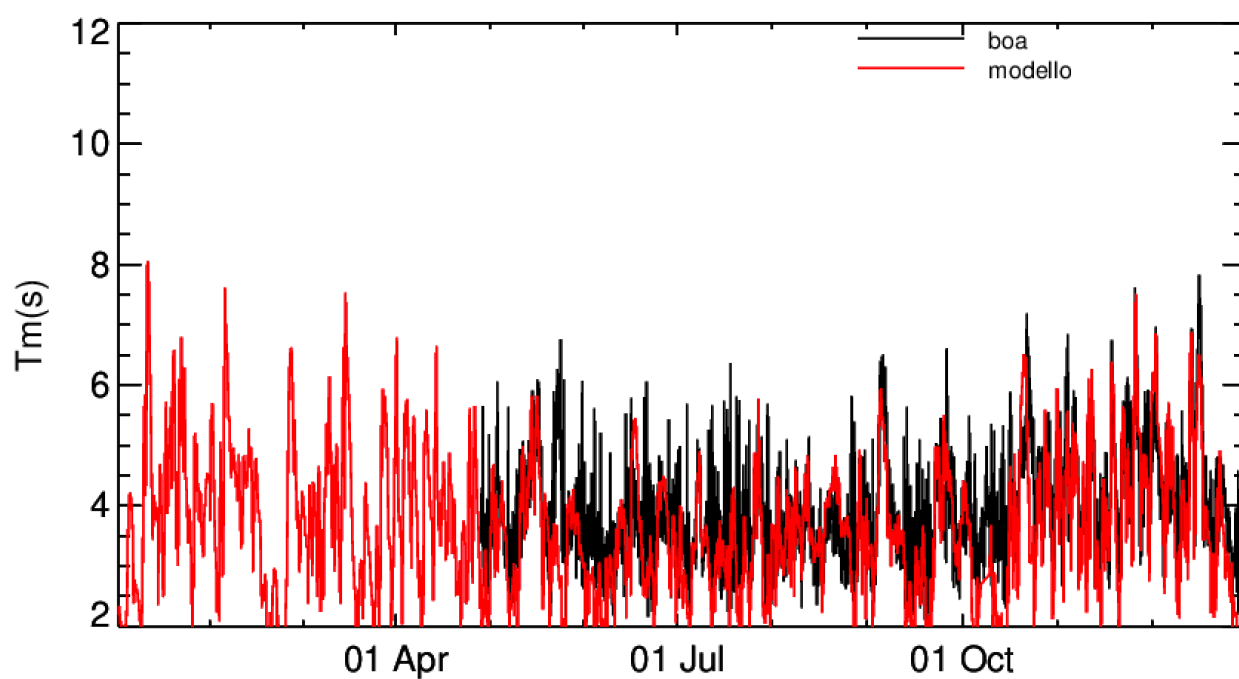


Figura 4 - Confronto dei valori di periodo medio ricavati dal primo giorno della previsione per la posizione della boa di Monopoli con i valori della boa.

4 Caso studio: evento estremo del settembre 2023 (ciclone Daniel)

All'inizio del mese di settembre 2023, nel Mediterraneo centrale, vicino alla Grecia, si è sviluppato un sistema di bassa pressione particolarmente severo, con associate precipitazioni molto intense, cui, il 4 settembre, il servizio meteorologico greco ha dato il nome di Daniel. Rapidamente la tempesta si è poi trasformata in un ciclone che, a partire dal 5 settembre si è propagato verso sud, intensificandosi e acquisendo una struttura simile a quella dei cicloni tropicali, fino a raggiungere le coste della Libia (10-11 settembre), dove ha provocato forti inondazioni. Il percorso del ciclone è illustrato nella figura 5 (pannello a), tratta da un lavoro recente (Flaounas & al., 2024) in cui questo evento è stato analizzato. La traiettoria di Daniel è schematizzata dalla curva nera che congiunge cerchi rossi la cui dimensione è proporzionale alla forza istantanea del ciclone (in termini di profondità della pressione minima al suolo). Gli altri pannelli nella figura mostrano zoom delle aree allagate in Grecia e Libia, ricavate da dati satellitari. Va ricordato che le inondazioni dovute a Daniel hanno mietuto vittime sia in Grecia che, soprattutto, in Libia, dove le piogge torrenziali hanno avuto conseguenze catastrofiche sulla fascia costiera, provocando migliaia di morti (il collasso di due dighe nella città di Derna ha distrutto buona parte dell'abitato). Ciò fa di Daniel il ciclone mediterraneo più letale mai registrato.

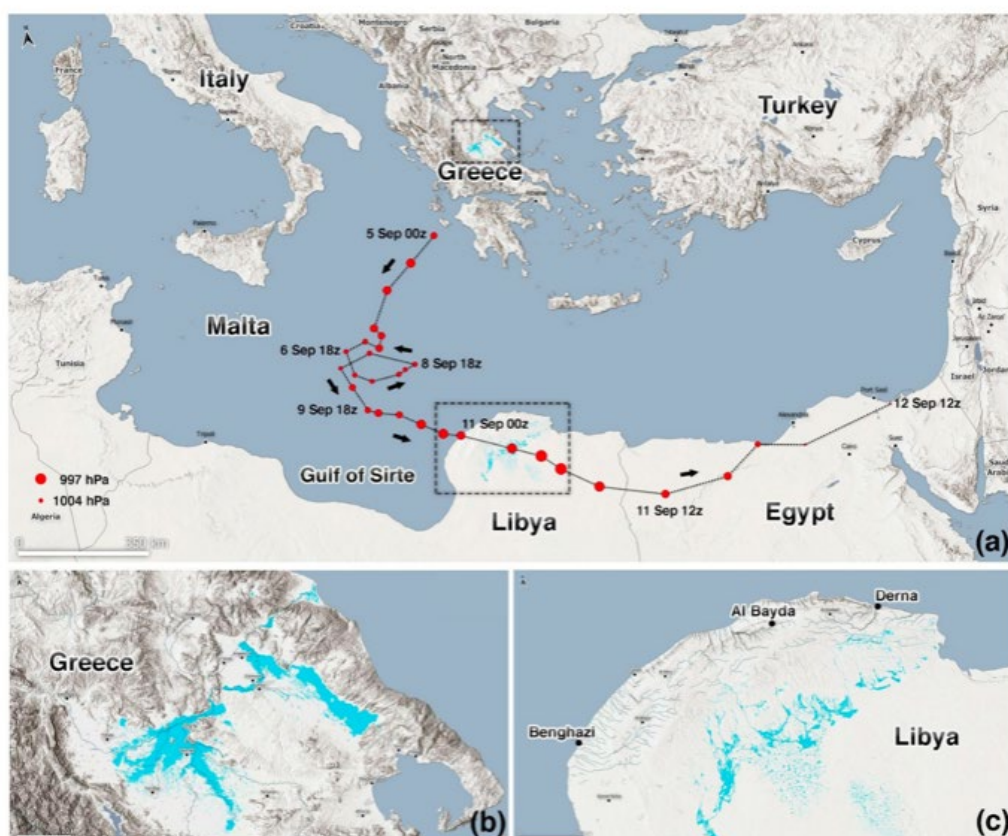


Figura 5 - (a) Traiettoria del ciclone Daniel: la dimensione dei cerchi rossi è inversamente proporzionale alla pressione minima al suolo. I toni di azzurro e blu indicano le aree allagate in Grecia e Libia, ricavate da dati acquisiti da uno dei satelliti Sentin-2. I pannelli (b) e (c) mostrano zoom sulle due aree (nei riquadri nel pannello 1).

La figura 6, tratta dallo stesso lavoro, mostra un aspetto importante associato alla dinamica del ciclone, e cioè la diminuzione della temperatura superficiale ("sea surface temperature"; SST) nella porzione di Mar Ionio interessata dalla propagazione del ciclone. La traccia di questa propagazione è nella forte anomalia negativa (pannello (b); toni di azzurro e blu) che, il 9 settembre, ha raggiunto le coste del Golfo della Sirte. Il calore estratto dal mare ha prodotto un'intensificazione del ciclone, attraverso l'aumento della convezione profonda e il conseguente aumento dell'umidità contenuta nei sistemi nuvolosi associati ("rainbands").

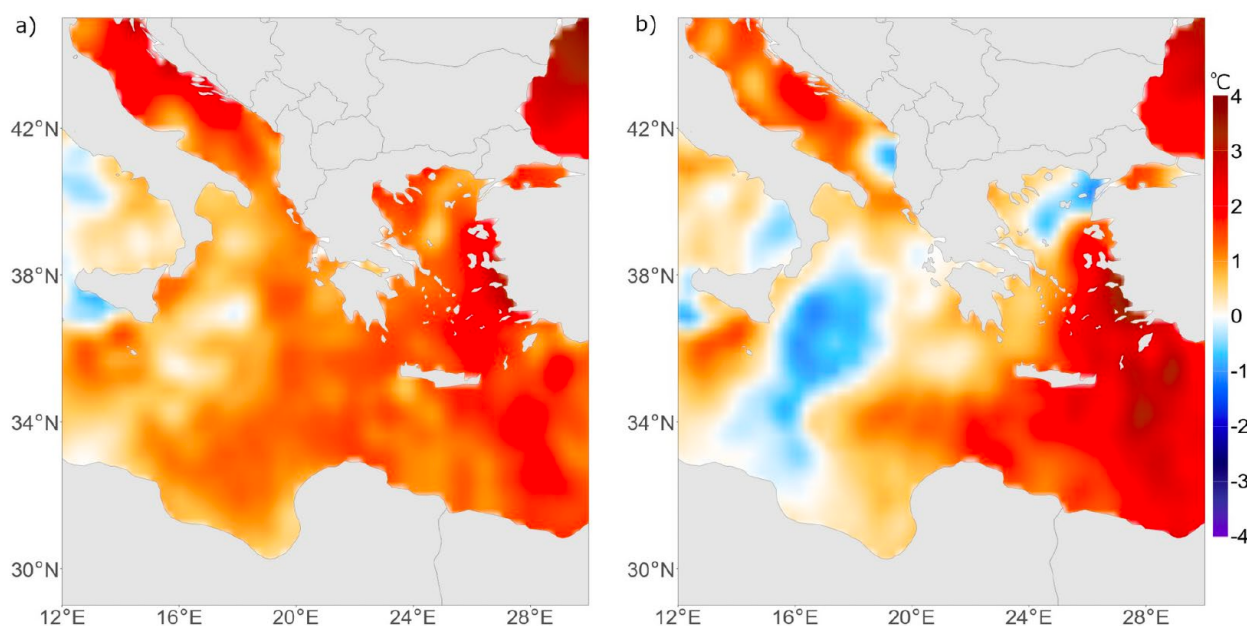


Figura 6 - Anomalie giornaliere di SST per (a) il 3 settembre e (b) il 9 settembre. Le anomalie sono rispetto alla media climatologica su 1982-2011.

Le previsioni di MITO del periodo descrivono bene il raffreddamento. Ciò si evince dalla figura 7, che presenta le anomalie di SST, rispetto ai valori del 3 settembre, per le misure da satellite (colonna sinistra) e per MITO (colonna destra). Le tre righe mostrano le anomalie del 4 settembre, e cioè prima che cominciasse la propagazione del ciclone sullo Ionio, del 7 settembre, quando il ciclone staziona sulla parte centrale del bacino, e del 9 settembre, quando il ciclone ha raggiunto il Golfo della Sirte e devia verso la Libia. I range delle anomalie predette e le loro struttura spaziale a grande scala sono simili a quelli dei dati da satellite. Sia i dati di MITO che quelli osservati mostrano bene la propagazione verso sud dell'anomalia negativa, che il 9 settembre raggiunge la parte più meridionale dello Ionio. Ci sono ovviamente delle differenze locali che possono dipendere dalla diversa risoluzione spaziale (circa 4 km per i dati da satellite e 2 km per MITO), dal fatto che usiamo un prodotto L4 per i dati osservati giornalieri (https://data.marine.copernicus.eu/product/SST_MED_SST_L4_REP_OBSERVATIONS_010_021/), che riempie con valori climatologici le zone in cui i valori rilevati da satellite non sono significativi (per esempio, a causa della copertura nuvolosa), e da eventuali inaccurately del modello. In quanto all'ultimo punto, è da notare, però, che i campi del 7 e 9 settembre risultano da simulazioni che partono il 5 settembre, e sono state quindi re-inizializzate partendo dal 27 agosto. Ciò nonostante, i valori delle anomalie risultano vicini a quelli osservati.

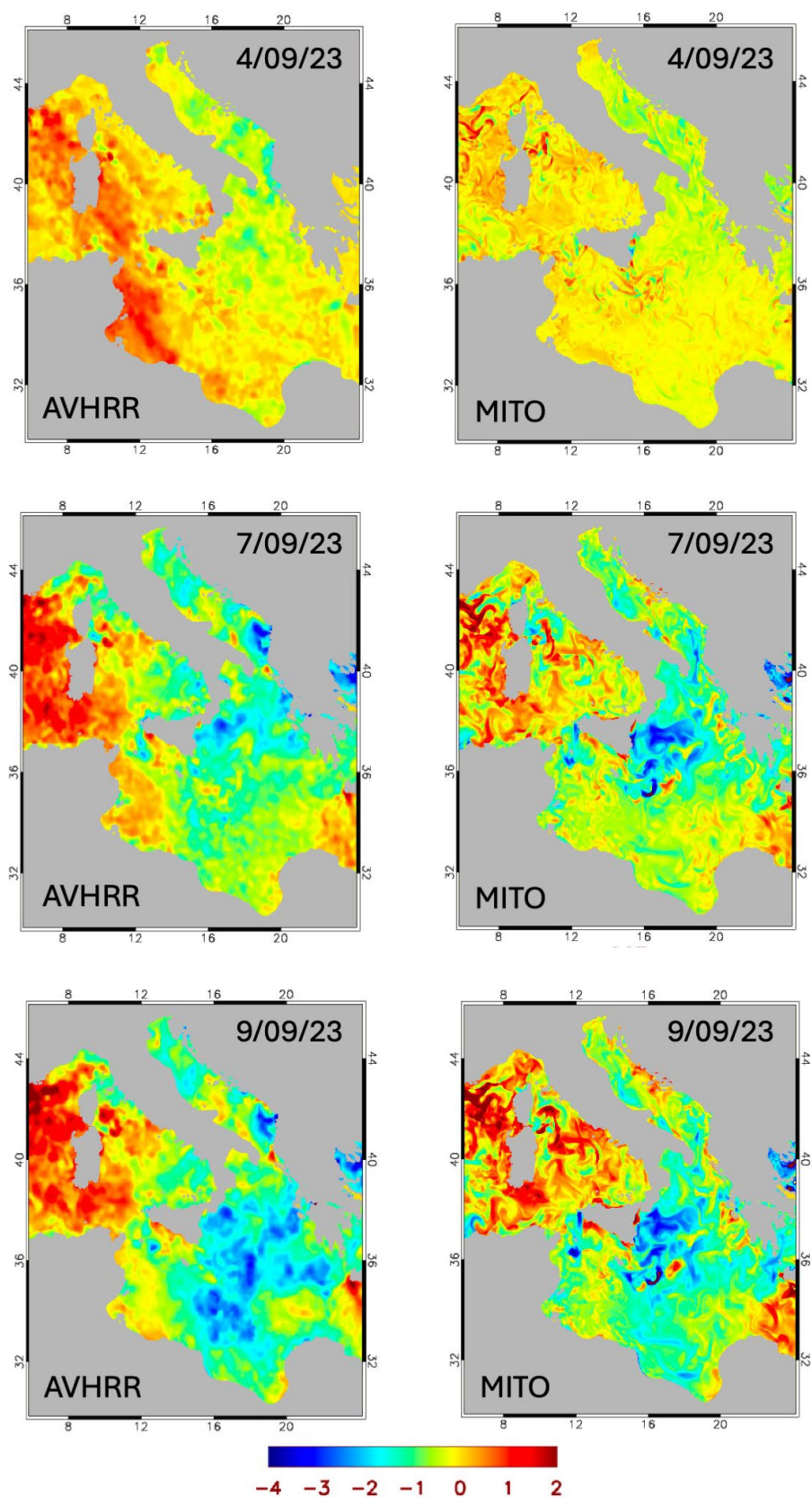


Figura 7 - Anomalie di SST (rispetto ai campi del 3 settembre); a sinistra dati da satellite, e a destra dati MITO. In accordo con le osservazioni, il 9 settembre il raffreddamento associato alla propagazione del ciclone si è esteso fino alla fascia costiera del Golfo della Sirte.

Figura 8 - Valori massimi di altezza significativa delle onde ricavati dalle analisi ECMWF (pannelli superiori) calcolati sui giorni 8 e 9 e sui giorni 10 e 11 settembre 2023 e valori massimi ricavati sugli stessi giorni dai forecast iniziati rispettivamente il giorno 8 e il giorno 10 (pannelli inferiori).

Per quanto riguarda le previsioni dell'altezza delle onde, in figura 8 sono mostrati i confronti dei massimi calcolati su due giorni di simulazione, rispettivamente a partire dal giorno 8 settembre 2023 e dal giorno 10, rispetto ai massimi calcolati nei due periodi rispetto ai valori delle analisi prodotte da ECMWF.

Si può notare che i pattern sono ben rappresentati in entrambi i casi anche se mostrano una leggera sottostima. I valori estremi, di quasi 4.5 m, sono comunque correttamente raggiunti nel Golfo della Sirte. Questi risultati sono in accordo con i confronti relativi alle boe italiane, riportati in precedenza, che mostrano un buon accordo temporale delle previsioni ma una leggera sottostima.

5 Conclusioni

In questo rapporto abbiamo descritto alcune attività di verifica delle performance dei sistemi operativi marini precedentemente sviluppati nell'ambito del PAR. Oltre ad una dettagliata validazione del nuovo sistema operativo per la previsione del moto ondoso, abbiamo anche valutato la capacità dei sistemi operativi di catturare aspetti della dinamica indotta da un evento estremo (Ciclone Daniel) verificatosi nel settembre 2023, con risultati soddisfacenti.

Attività di sviluppo dei sistemi operativi dell'ultimo triennio hanno riguardato lo sviluppo di modelli di onde e di circolazione a più alta risoluzione per la zona di Pantelleria, dove è prevista l'installazione del prototipo PEWEC per la conversione di energia dal moto ondoso. Tali modelli sono descritti in dettaglio in separati rapporti.

6 Bibliografia

- Carillo, A., Lombardi, E., Struglia, M., Palma, M., & G., P. (2021). *Aggiornamento del sistema operativo delle onde: implementazione, validazione e operatività*. Report RdS/PTR(2021)/351.
- Flaounas, E., & al., e. (2024). Dynamics, predictability, impacts, and climate change considerations of the catastrophic Mediterranean Storm Daniel (2023). *Preprint. Discussion started: 19 September 2024*. EGU.
- Iacono, R., Memè, S., Napolitano, E., Bargagli, A., Antonioli, F., Struglia, M., . . . Sannino, G. (2020). *LA1.1: Realizzazione di un sistema operativo per la previsione della circolazione del sistema accoppiato Mediterraneo-Mar Nero, che include gli effetti delle maree*. Report RdS/PTR(2019)/162.
- Kallos, G. (1997). The regional weather forecasting system SKIRON. *Proceedings, symposium on regional weather prediction on parallel computer environments, Athens*, 9 pp.
- Marshall, J., Hill, C., Perelman, L., & Adcroft, A. (1997). Hydrostatic, quasi-hydrostatic, and nonhydrostatic ocean modeling. *J Geophys Res*, 5733–5752.
- Napolitano, E., Iacono, R., Palma, M., Carillo, A., Lombardi, E., & Sannino, G. (2021). *Valutazione delle prestazioni del sistema operativo delle correnti marine e mantenimento della sua operatività*. Rds/PTR2020/103.
- Napolitano, E., Iacono, R., Palma, M., Sannino, G., Carillo, A., Lombardi, E., . . . Struglia, M. (2022). *Frontiers in Energy Research*, 10, 1–14.
- Palma, M., Iacono, R., Sannino, G., Bargagli, A., Carillo, A., Fekete, B., & Lombardi, E. (2020). Short-term, linear, and non-linear local effects of the tides on the surface dynamics in a new, high-resolution model of the Mediterranean Sea circulation. *Ocean Dynamics*, 70(7), 935–963.
- Sannino, G., Bargagli, A., Carillo, A., Lombardi, E., Iacono, R., & Napolitano, E. (2016). *Progettazione e realizzazione di un sistema di previsione della circolazione marina del Mediterraneo*. Rds/PAR2015/304.
- The WAVEWATCH III Group. (2019). User Manual and system documentation of WAVEWATCH III version 6.07. 465 pp.

Willmott, C. (1982). Some Comments on the Evaluation of Model Performance. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1309-1313.