



AGENZIA NAZIONALE PER LE
NUOVE TECNOLOGIE, L'ENERGIA E LO
SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

Modellistica del moto ondoso

Seminario di Divisione CLIMAR – 28 febbraio 2025 ore 10:00

Adriana Carillo

SSPT-CLIMAR-MS



1101 0110 1100
0101 0010 1101
0001 0110 1110
1101 0010 1101
1111 1010 0000



Modellistica del moto ondoso

1. Climatologie

- PAR dal 2013 al 2024 Ricerca di Sistema Elettrico Mise (Ministero dello Sviluppo Economico) – MASE (Ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica)
- Progetto SOCLIMPACT DownScaling CLimate ImPACTs
- BLUE-DEAL Interreg (2019-2022) Blue Energy Deployment Alliance
- PELAGOS Interreg- Promoting innovative nETworks and cLusters for mARine renewable energy synerGies in mediterranean cOasts and iSlands 2016-2019

2. Previsioni operative

- PAR dal 2013 al 2024
- Progetto WAVE4M Development of a wave forecasting system for the Maldivian Archipelago - cooperazione internazionale

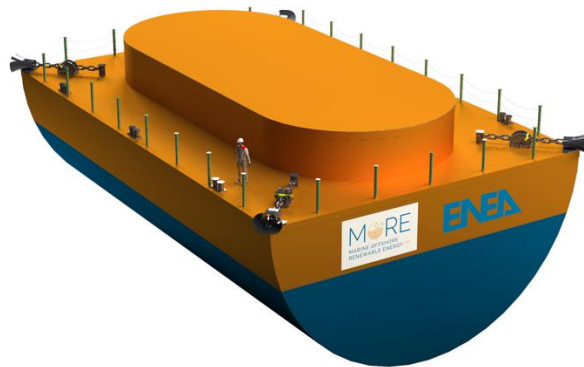
Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma MiSE-ENEA

Ricerca di Sistema elettrico (RdS) attività di ricerca e sviluppo finalizzate a ridurre il costo dell'energia elettrica per gli utenti finali. Le soluzioni tecnologiche innovative sono inoltre finalizzate a ridurre l'impatto del sistema elettrico sulla salute e sull'ambiente, consentendo l'utilizzo razionale delle risorse energetiche al fine di assicurare al Paese le condizioni per uno sviluppo sostenibile.

Dal 2013 ricerca su energia dal mare

Prototipo Scala 1/12



PeWEC

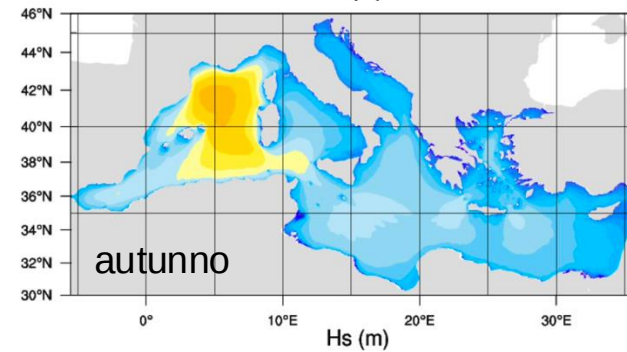
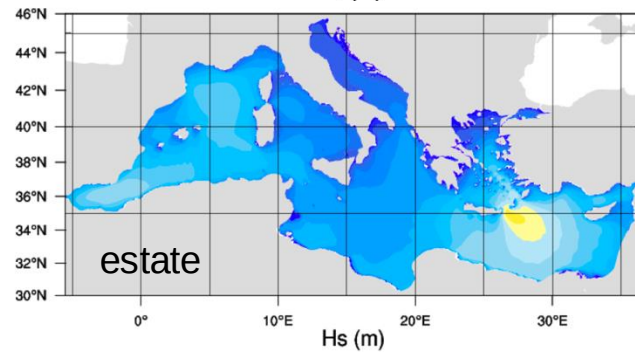
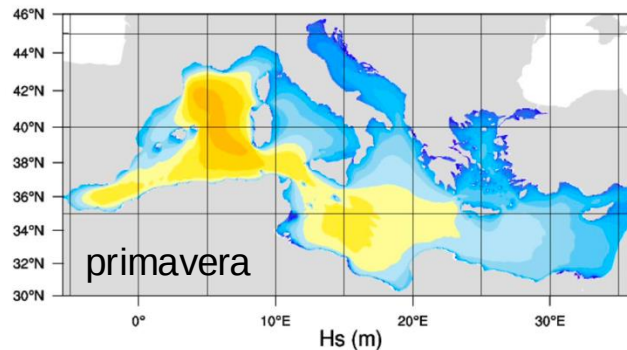
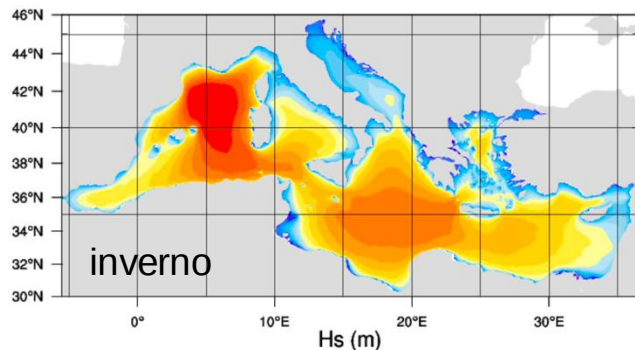
Pendulum Wave Energy Converter



Prove in vasca

Ricerca di Sistema Elettrico

Clima presente



WW3 1/32°
forzante WRF
risoluzione 15 km
ERA-interim
1980-2015

Ricerca di Sistema Elettrico

Boe della Rete Ondametrica Nazionale (RON)
usate per la validazione

boa	longitudine	latitudine	intervallo anni
Alghero	8.107	40.549	1989-2008
Ponza	12.950	40.867	1989-2008
Monopoli	17.378	40.975	1989-2008
Mazara del Vallo	12.533	37.518	1989-2008
Crotone	17.220	39.024	1989-2008
La Spezia	9.828	43.929	1989-2007
Palermo	13.333	38.258	2002-2003
Ancona	13.710	43.832	1999-2006
Catania	15.147	37.440	1989-2006
Cetraro	15.918	39.453	1999-2008
Civitavecchia	11.554	42.245	2002-2003
Ortona	14.537	42.407	1989-2008
Siniscola	9.892	40.617	2002-2003

Statistiche relative al confronto tra i dati di altezza
significativa calcolati dal modello WW3 e dati da tracce dei
satellite (punto più vicino nel tempo e nello spazio).

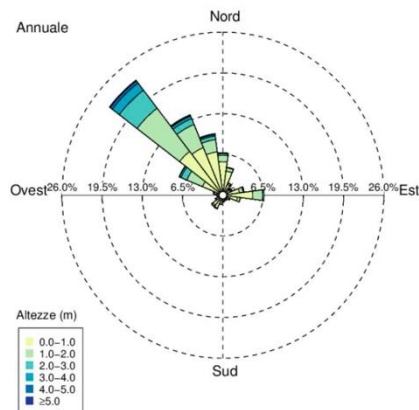
Statistiche relative al confronto tra i dati di altezza
significativa calcolati dal modello WW3 e dati da boe.

anno	n. punti	Media boa (m)	Media modello (m)	Bias(m)	Rmse (m)	slope	si	d
Alghero								
1989	1384	1,035	0,938	-0,098	0,396	0,852	0,422	0,948
1990	2774	1,136	1,021	-0,114	0,396	0,869	0,388	0,962
1991	2711	1,237	1,136	-0,101	0,426	0,871	0,375	0,960
1992	2743	1,194	1,076	-0,117	0,354	0,882	0,329	0,969
1993	2711	1,181	1,078	-0,103	0,415	0,859	0,385	0,955
1994	2648	1,205	1,102	-0,103	0,357	0,881	0,324	0,968
1995	2856	1,259	1,133	-0,126	0,399	0,862	0,352	0,966
1996	2771	1,352	1,270	-0,081	0,431	0,889	0,340	0,963
1997	2840	1,133	1,035	-0,097	0,374	0,875	0,361	0,964
1998	2763	1,289	1,148	-0,141	0,376	0,857	0,328	0,968
1999	2856	1,350	1,233	-0,116	0,395	0,879	0,320	0,972

SATELLITE	intervallo anni	n. punti	media (satellite)	media (modello)	bias	rmse	slope	si	d
Topex	1992-2005	1131868	1,159	1,223	0,064	0,358	1,000	0,293	0,953
ERS-2	1995-2009	942989	1,149	1,189	0,040	0,423	0,982	0,355	0,934
GFO	2000-2008	208219	1,375	1,400	0,025	0,361	0,996	0,258	0,954
Jason-1	2002-2013	1058379	1,190	1,230	0,041	0,396	0,985	0,322	0,944
ENVISAT	2003-2012	600777	1,354	1,334	-0,020	0,392	0,966	0,294	0,949
Jason-2	2008-2015	674738	1,214	1,200	-0,014	0,379	0,950	0,316	0,949
CRYOSAT	2010-2015	221248	1,151	1,046	-0,105	0,378	0,925	0,362	0,944
Hy-2	2011-2015	223232	1,528	1,563	0,035	0,511	0,962	0,327	0,904

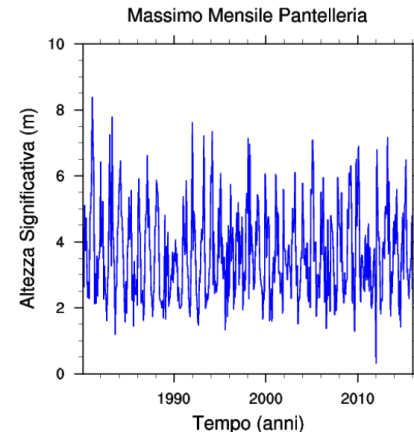
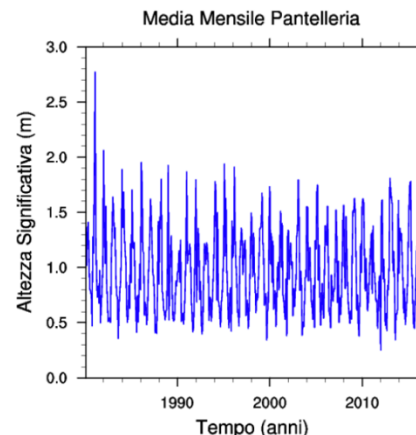
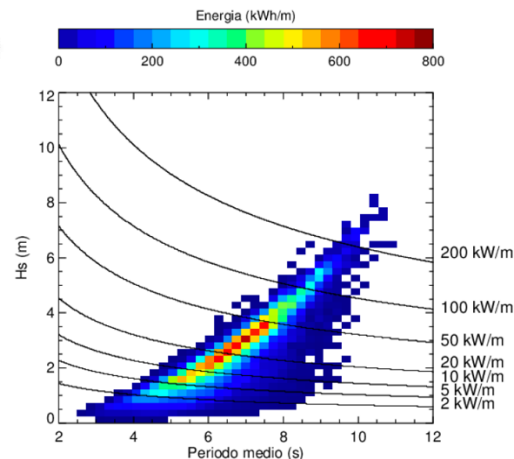
Ricerca di Sistema Elettrico

Climatologia del clima presente realizzata con una simulazione di 35 anni (1980-2015) utilizzando il modello di onde WAVEWATCHIII alla risoluzione di 1/32°.



Pantelleria

Direzioni di provenienza delle onde



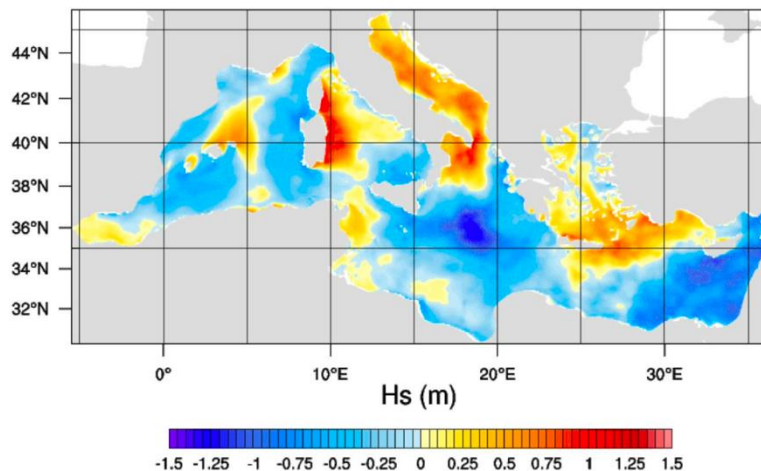
Distribuzione dell'energia media annua in funzione del periodo medio e dell'altezza significativa. Il valore è calcolato utilizzando classi di 0.25 s per il periodo e di 0.25 m per l'altezza. Sono riportate come riferimento le isolinee dei livelli di potenza.

$$P = \frac{\rho g^2}{64\pi} T_{m0,-1} H_{m0}^2 / 1000 \text{ [kW/m]}.$$

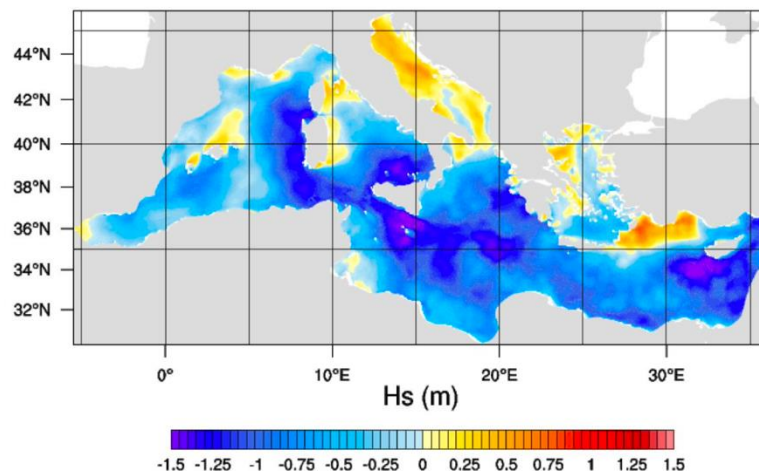
Ricerca di Sistema Elettrico

Simulazioni di scenario a 1/16° - RCP8.5
Forzante downscaling WRF di HadGEM2-ES

2041-2050 - storico



2090-2099 - storico



Differenza tra le medie dei massimi annuali di altezza significativa calcolate sulla simulazione di scenario RCP8.5 e le stesse medie calcolate sul periodo storico (1996-2005).

Ricerca di Sistema Elettrico

Dal 2013 sviluppo di un sistema operativo di previsione del moto ondoso

1° versione Modello WAM per il Mediterraneo SWAN (Simulating Wave Nearshore) per i sottobacini

Wavewatch III versione v6.07

community framework disponibile su github

Modello spettrale di terza generazione che risolve l'equazione:

$$\partial E / \partial t + \nabla \cdot (c_g E) = S = S_{in} + S_{nl} + S_{ds}$$

dove:

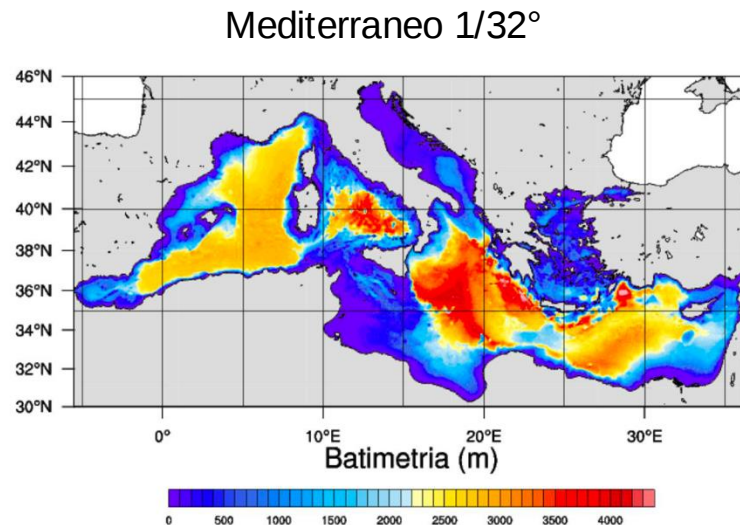
$E = E(f, \theta, x, t)$ spettro bidimensionale

(f frequenza, θ direzione di propagazione)

S funzione sorgente : S_{in} : energia in input dal vento; S_{nl} : trasferimento non lineare di energia da interazioni onda-onda;

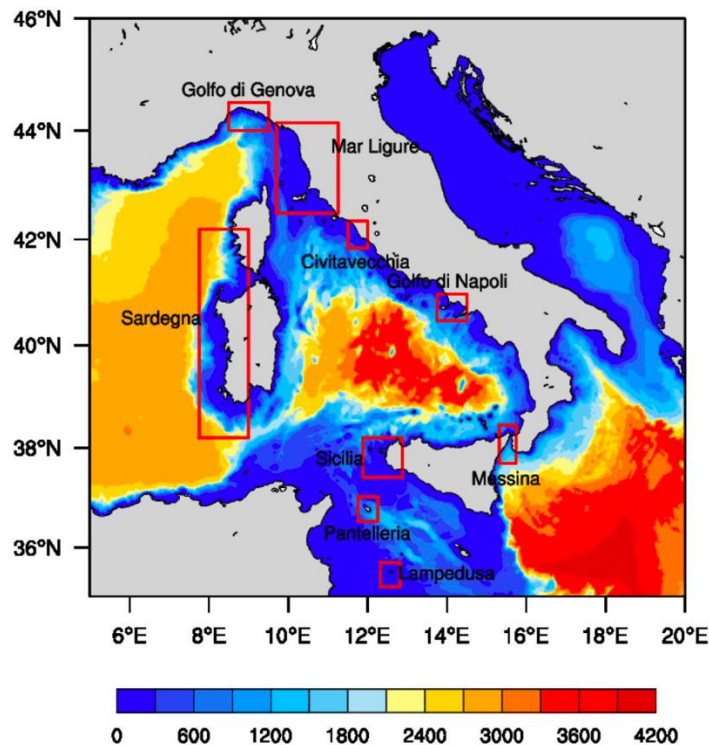
S_{ds} : dissipazione.

Forzante superficiale: componenti orizzontali del vento a 10 metri dal Sistema SKIRON (Università di Atene) alla risoluzione di 0.05°
5 giorni di previsione con uscite ogni ora



Ricerca di Sistema Elettrico

sottobacini 1/128°



Wave Spectrum at PL32, 2023/08/01 14Z

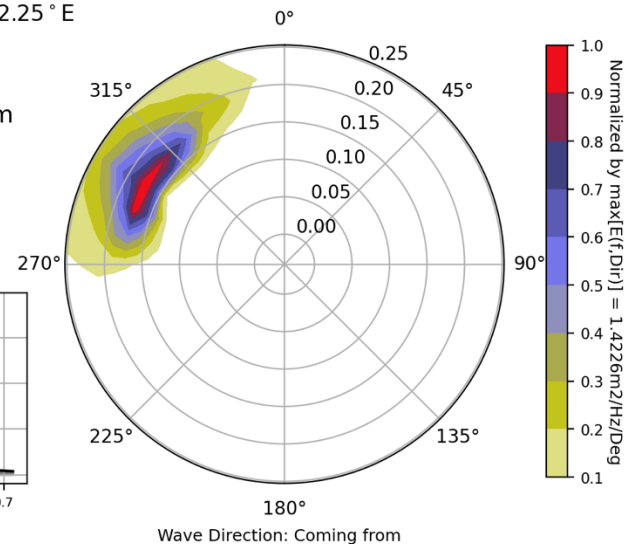
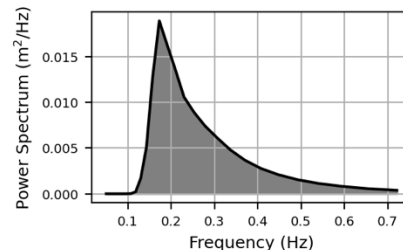
Latitude: 36.93 °N Longitude: 12.25 °E

Water Depth: 170.6 m

Significant Wave Height: 1.38 m

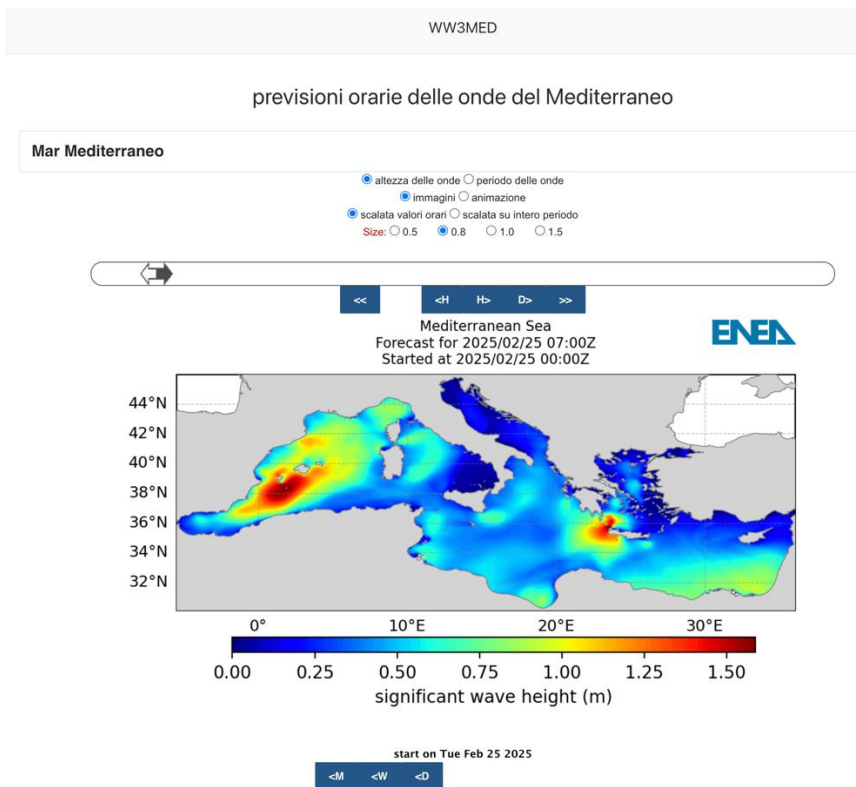
Wind Speed: 9.23 m/s

Wind Direc: 309.0 °

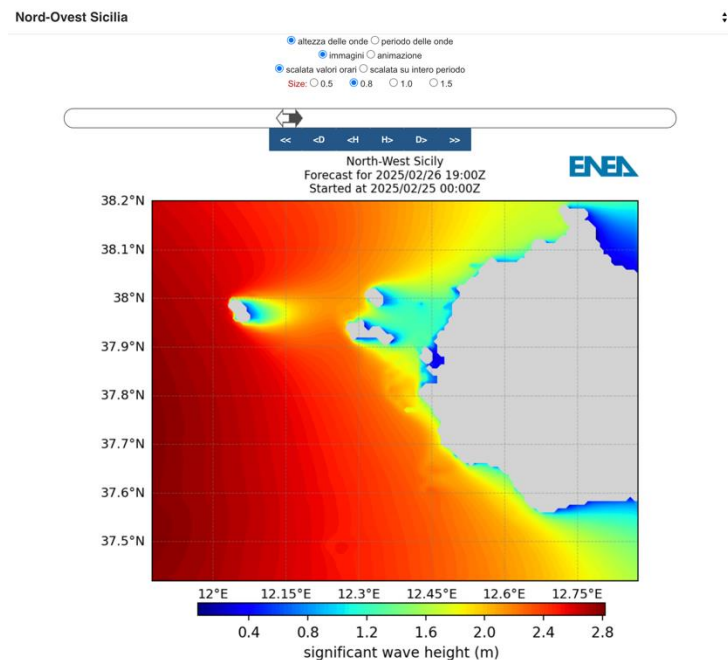


30 frequenze, 36 direzioni

Sistema operativo

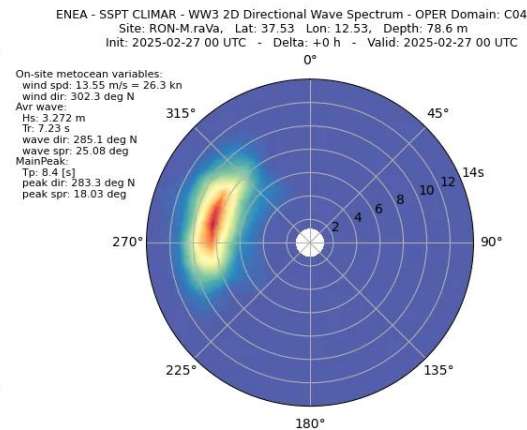
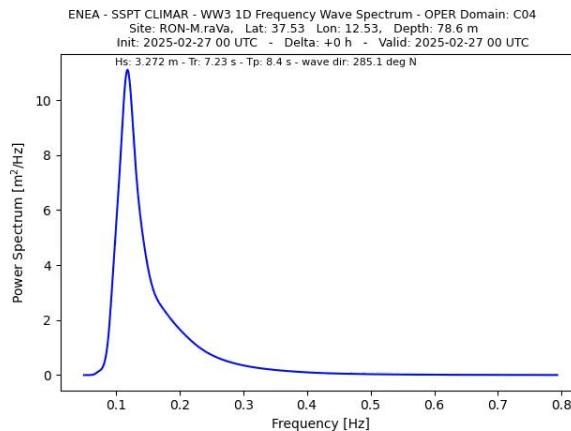
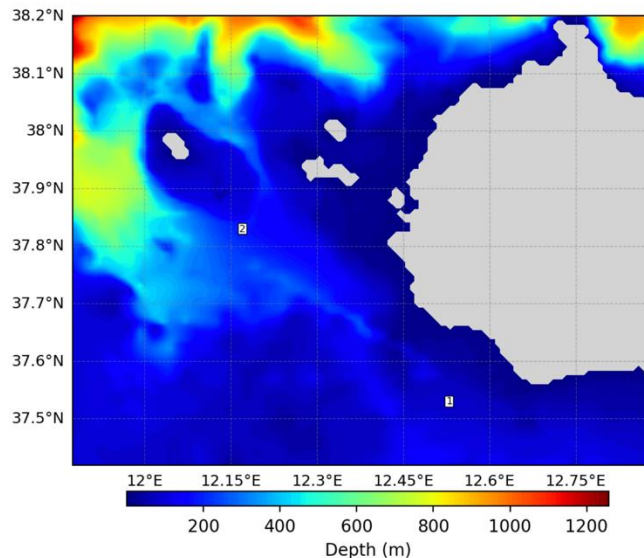


Output orari su sito web <https://geoweb.enea.it>
<https://climaweb.enea.it>



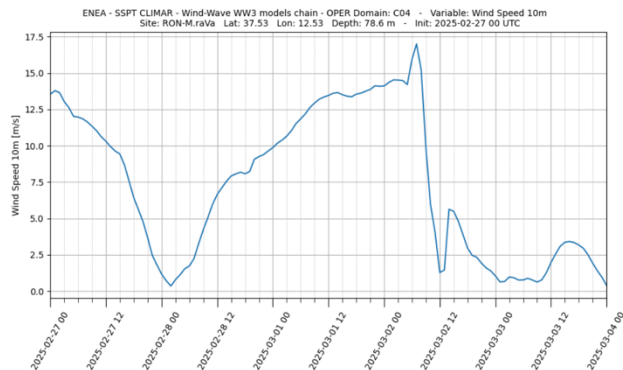
Sistema operativo

Output orari su sito web <https://geoweb.enea.it>
<https://climaweb.enea.it>

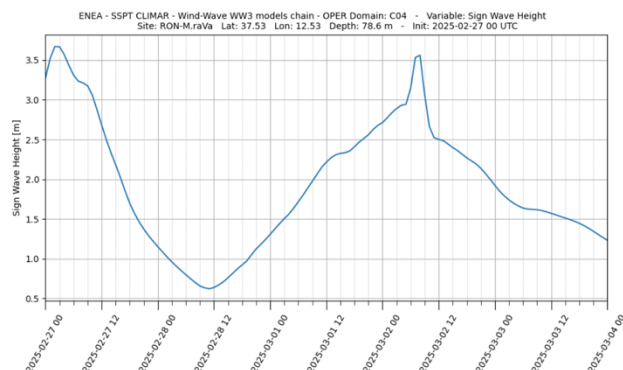


Sistema operativo

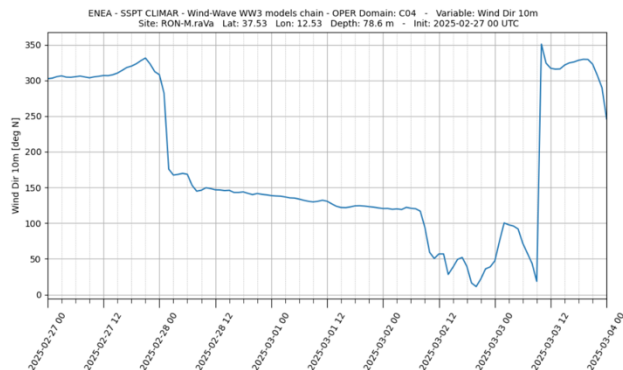
Wind
speed



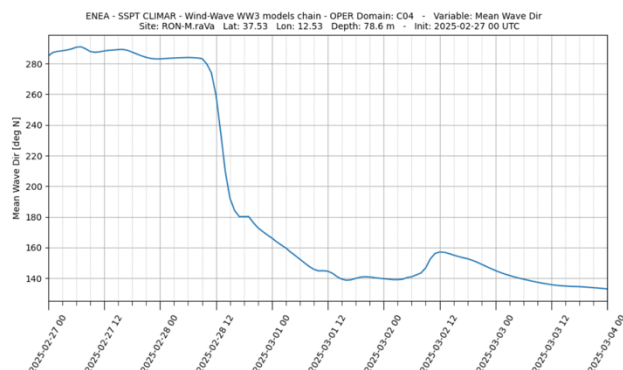
Wave height



Wind
direction



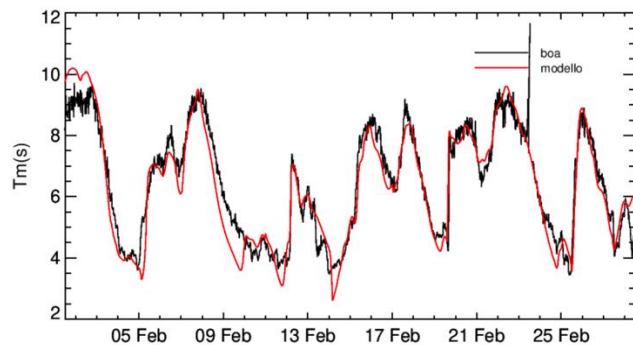
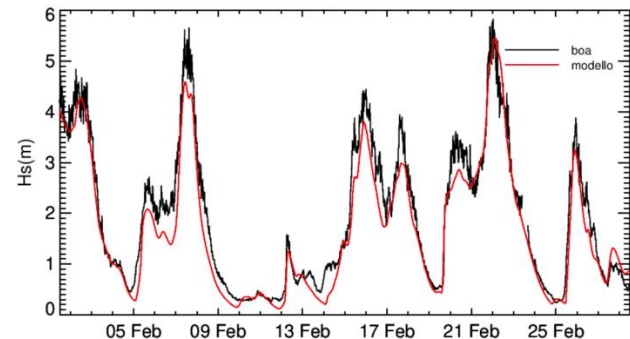
Wave direction



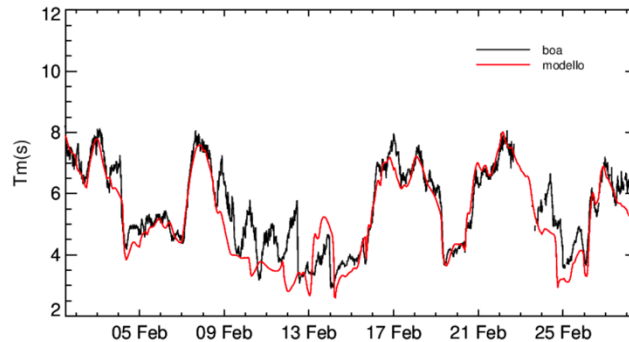
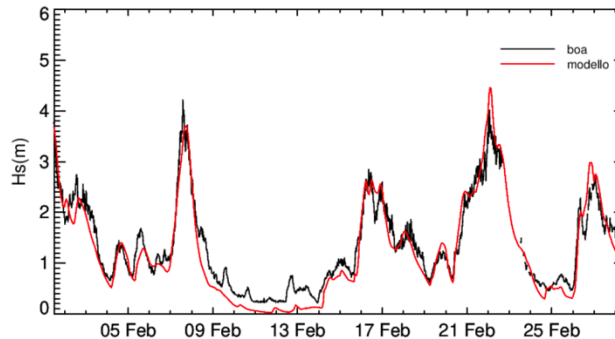
Ricerca di Sistema Elettrico

Validazione del modello operativo con le boe RON

Alghero febbraio 2022



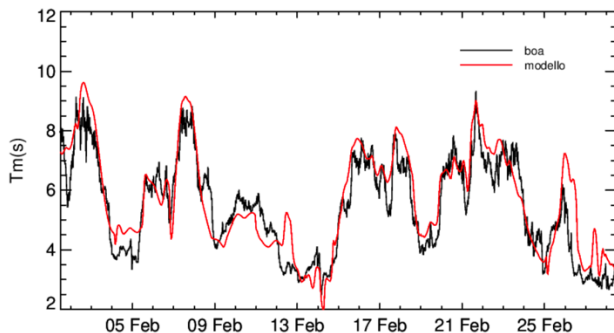
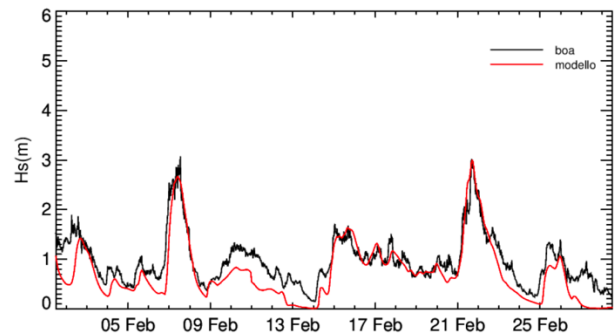
Mazara del Vallo febbraio 2022



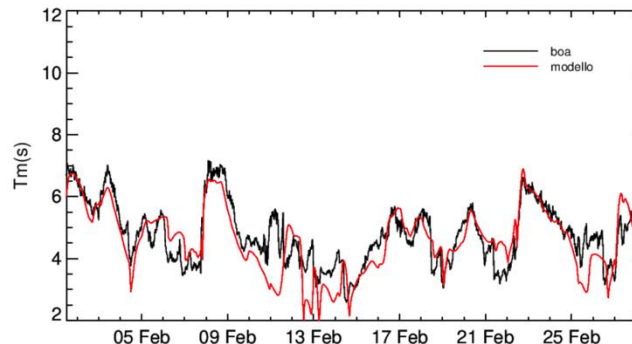
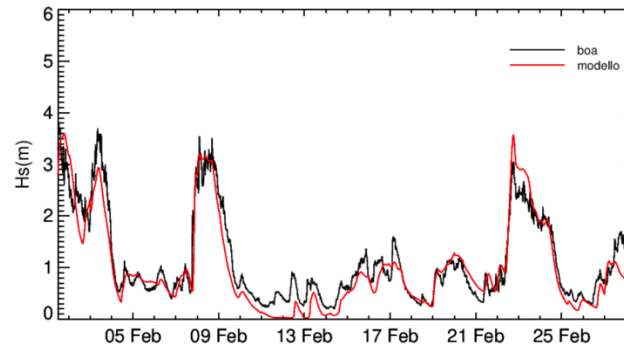
Ricerca di Sistema Elettrico

Validazione del modello operativo con le boe RON

La Spezia febbraio 2022



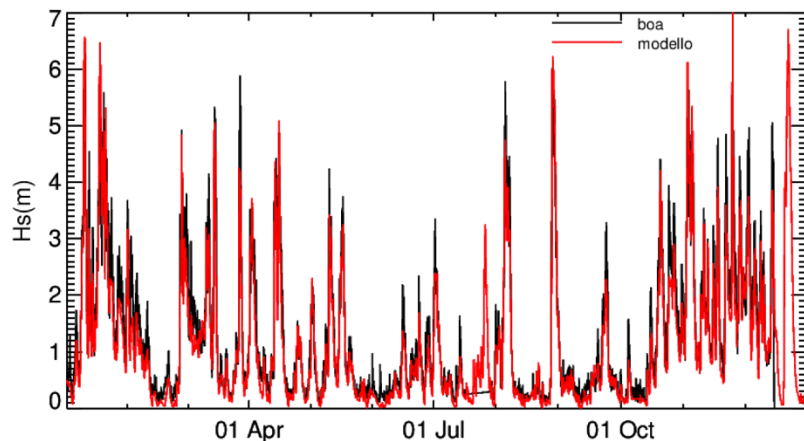
Crotone febbraio 2022



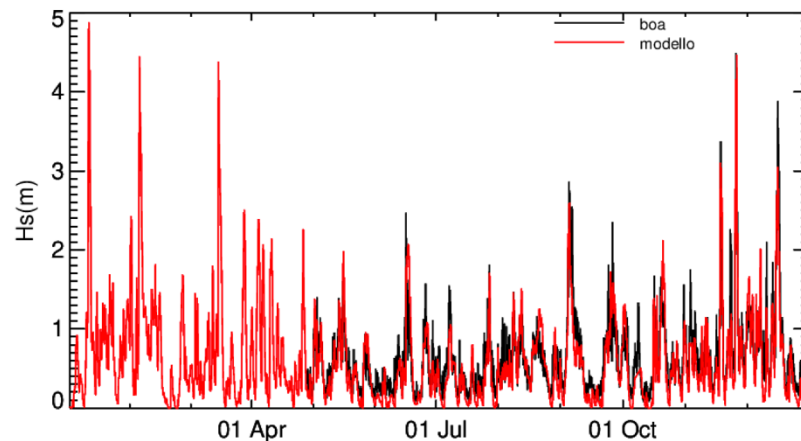
Ricerca di Sistema Elettrico

Confronto dei i valori di altezza significativa ottenuti dal primo giorno di simulazione per la posizione della boa con i valori misurati. Anno 2023

Alghero

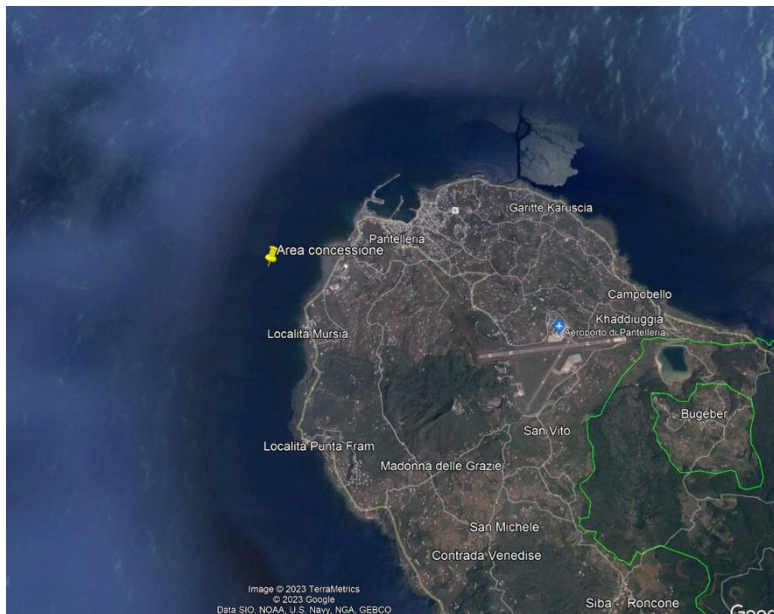


Monopoli

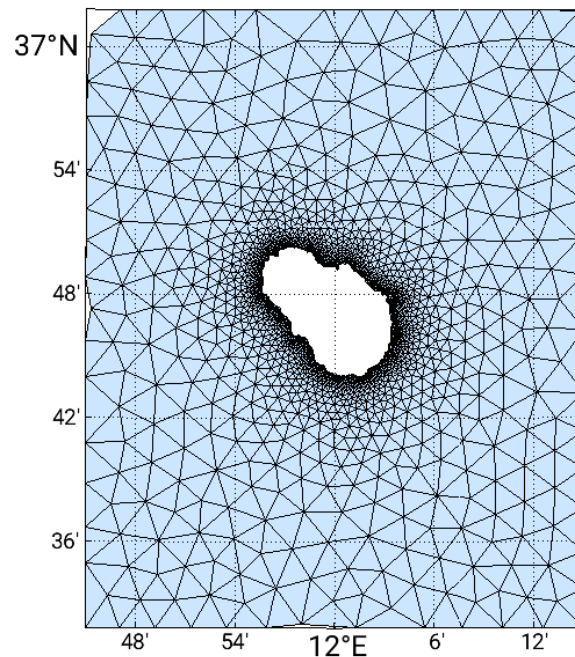


Ricerca di Sistema Elettrico

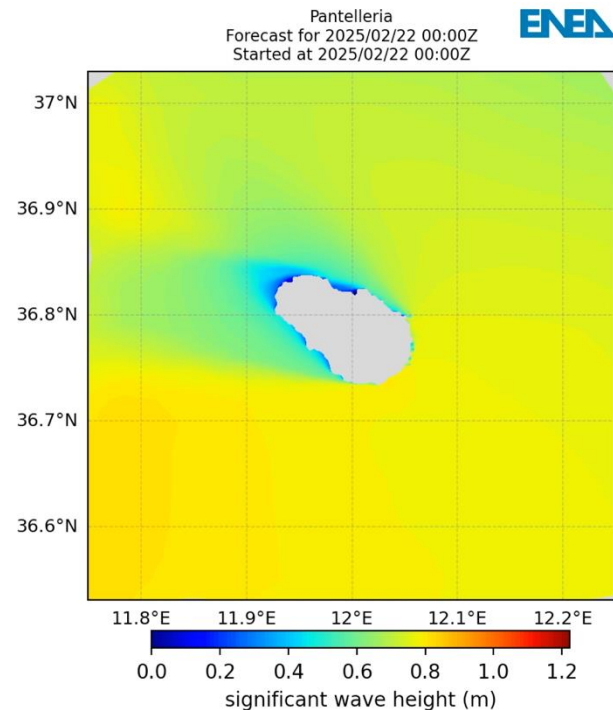
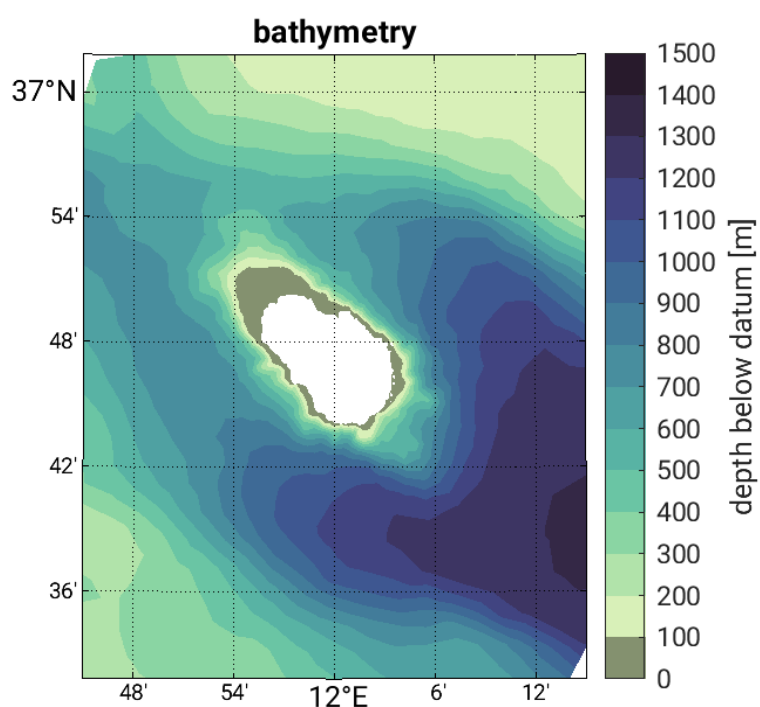
Area in concessione: isola di Pantelleria
1 km dalla costa
Profondità punto installazione circa 35 m



Risoluzione griglia:
circa 100 m sottocosta
2500 m al boundary

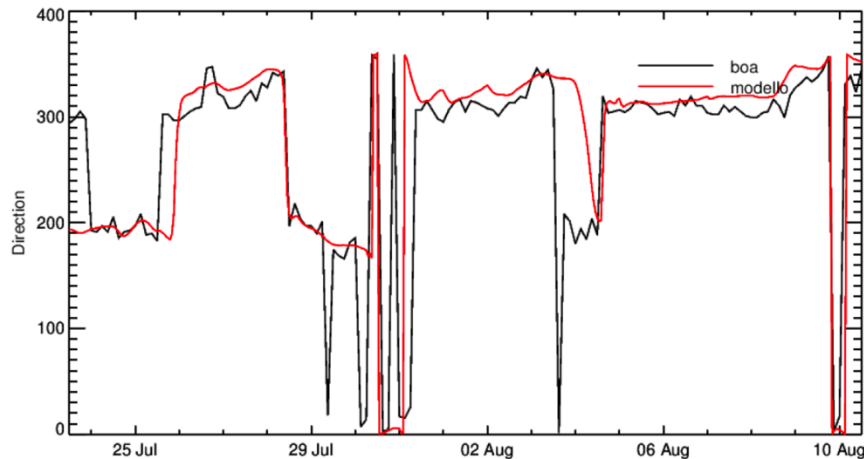
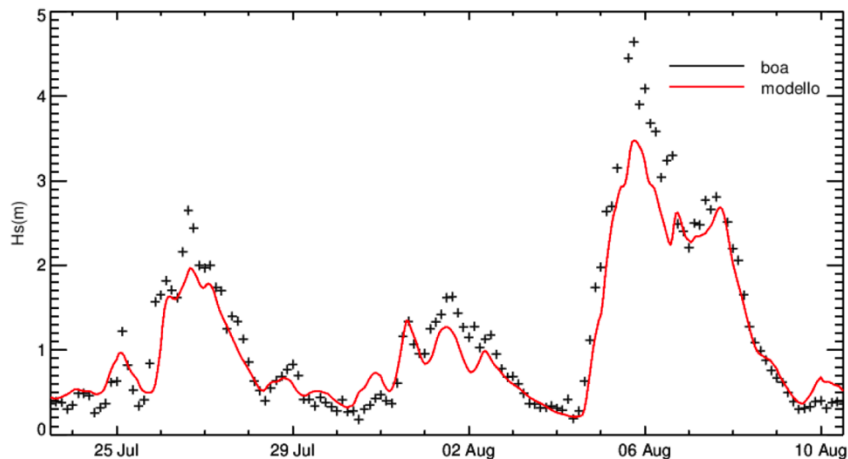


Ricerca di Sistema Elettrico

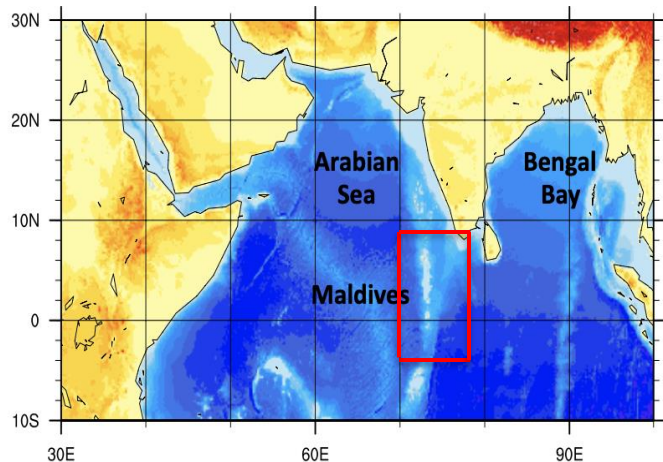


Ricerca di Sistema Elettrico

Confronto dei valori calcolati con il modello per Pantelleria con i valori misurati dalla boa del PoliTO.



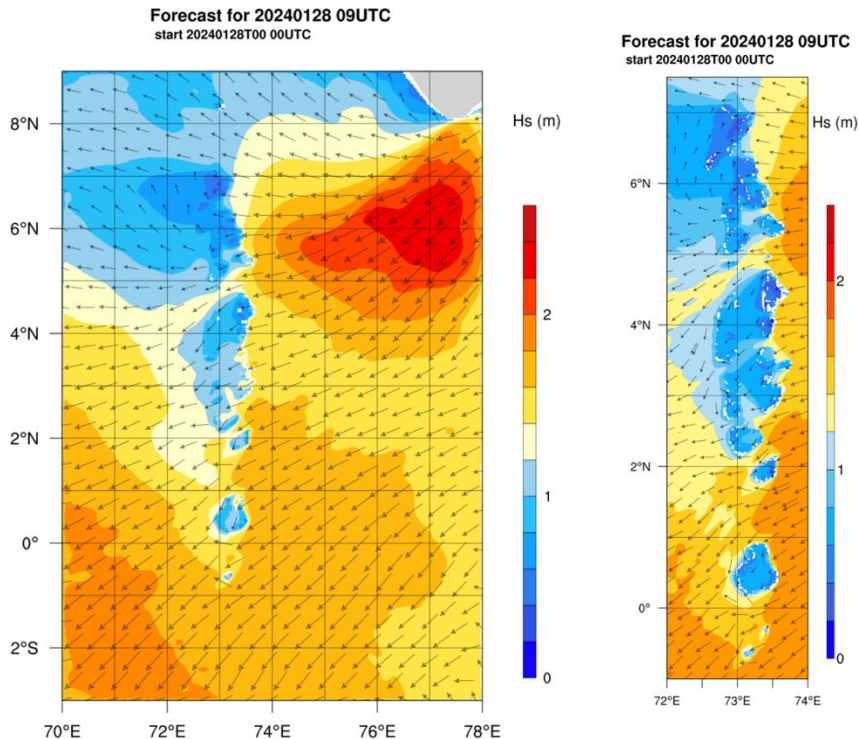
WAVE4M – Development of a wave forecasting system for the Maldivian Archipelago



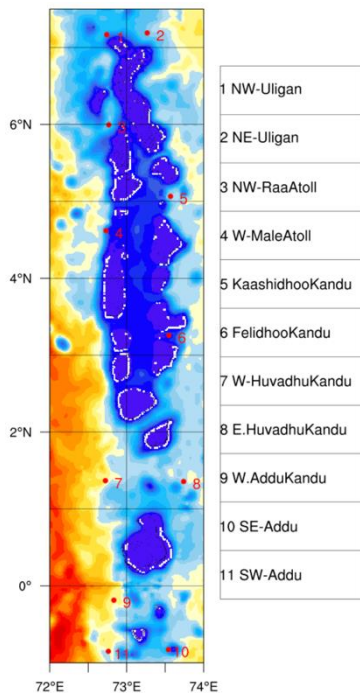
Forzanti:
componenti del vento alla superficie
Previsioni operative ECMWF
risoluzione di 0.1° 3h

Boundary conditions:
Spettri bidimensionali delle onde dalle previsioni
Globali HRES-WAM ECMWF (81 longitudini x 121 latitudini)

Modello WW3 $1/32^\circ$ e $1/128^\circ$ 5 giorni di previsione



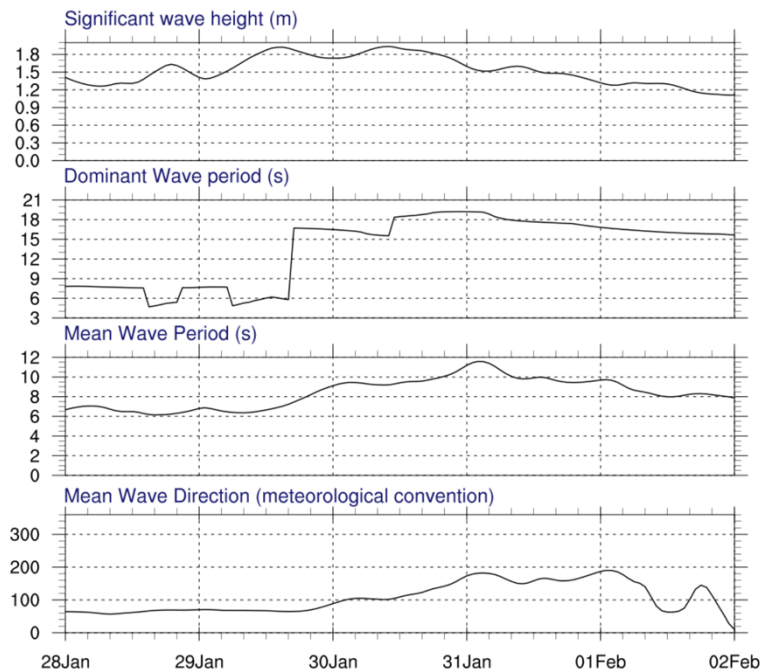
WAVE4M – Development of a wave forecasting system for the Maldivian Archipelago



W-Male

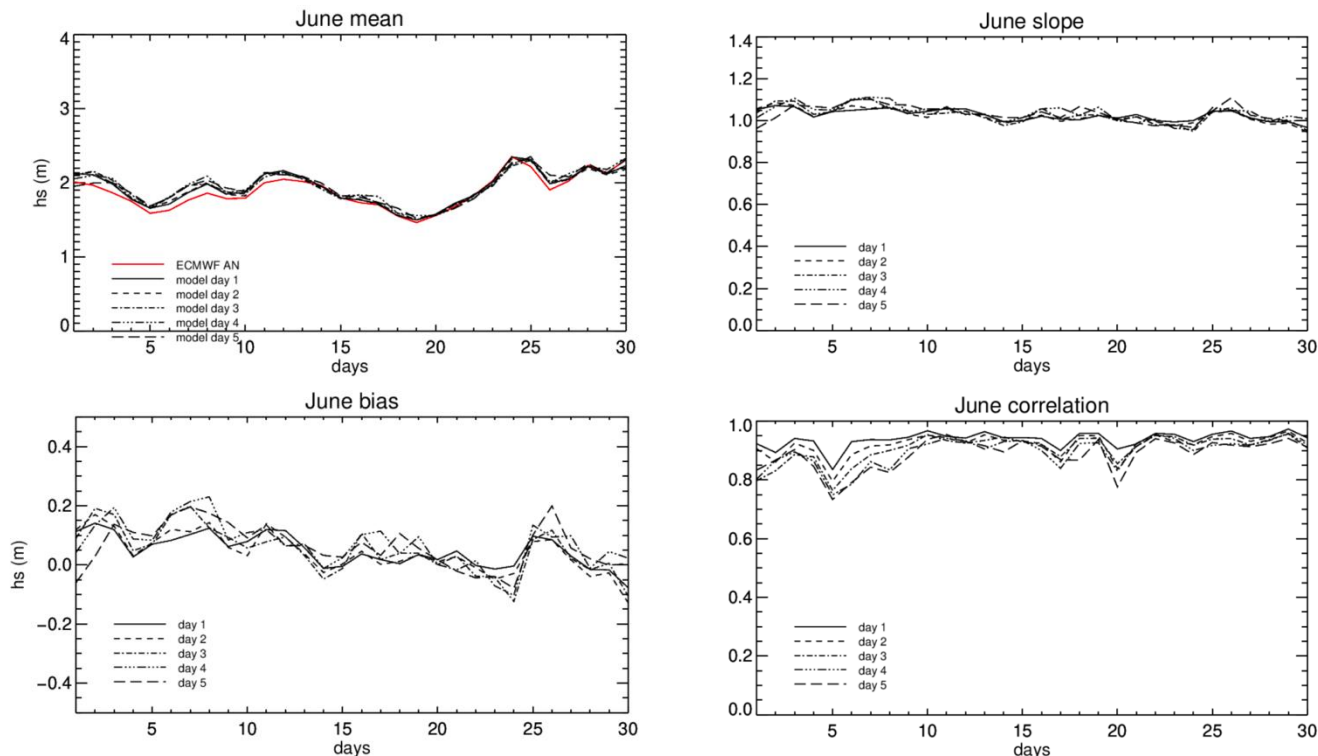
72.7317°E 4.61891°N

High resolution forecast start 20240128 00 UTC



WAVE4M – Development of a wave forecasting system for the Maldivian Archipelago

Validazione dei campi di Altezza Significativa



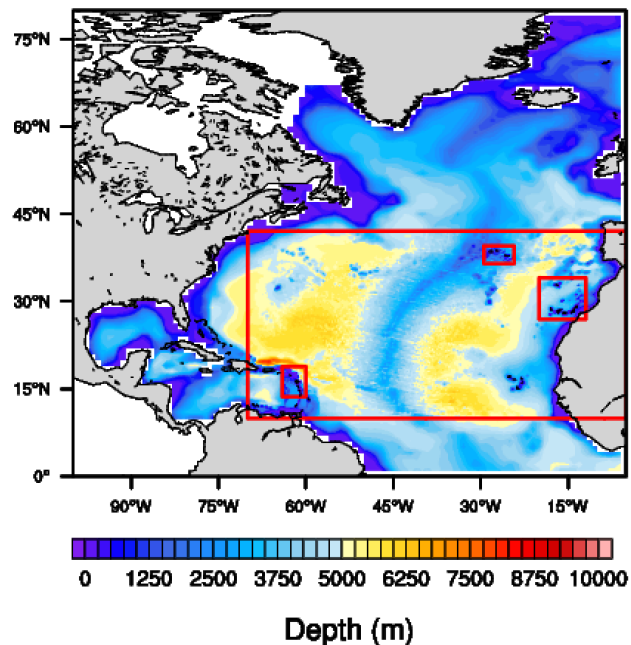
Giugno 2022

analisi ECMWF
Medie sul dominio di calcolo
e sui 4 tempi disponibili ogni
giorno

SOCLIMPACT

Downscaling climate impacts and decarbonisation pathways in EU islands, and enhancing socioeconomic and non-market evaluation of Climate Change for Europe, for 2050 and beyond. Horizon 2020 -

Temi: turismo – acquacoltura – trasporto marittimo - energia



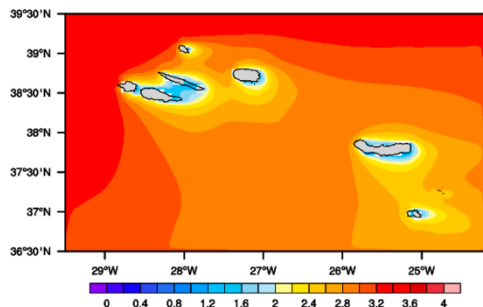
Climatologia del moto ondoso
3 livelli di nesting $1^\circ \times 1^\circ$ Atlantico
 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ intermedio
Antille – Azzorre e Canarie $0.05^\circ \times 0.05^\circ$

Modello globale HadGEM2-ES
Periodo storico 1996-2005
Rcp8.5 2036-2045
2081-2099

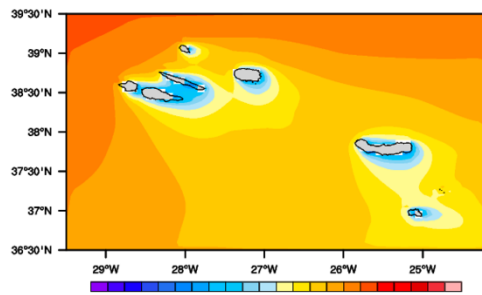
Modello globale ACCESS
Periodo storico 1995-2004
Rcp8.5 2036-2045
2091-2100

Azzorre

Storico 1996-2005



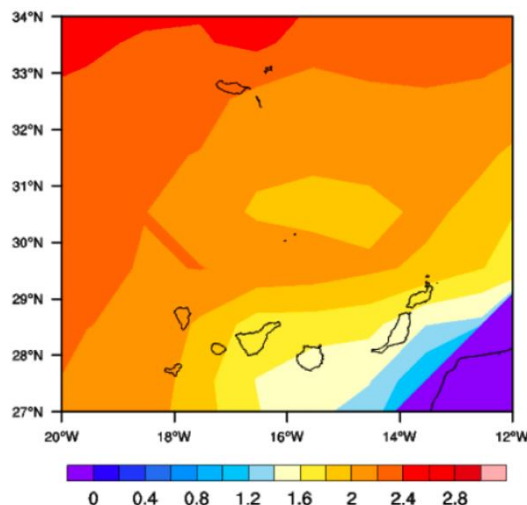
Hs (m) mean DJF



Hs (m) mean DJF

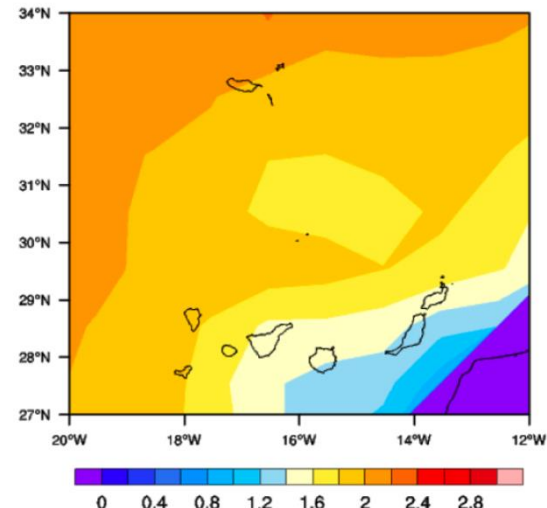
Canarie

Storico 1996-2005



Hs (m) mean DJF

Rcp8.5 2090-2099



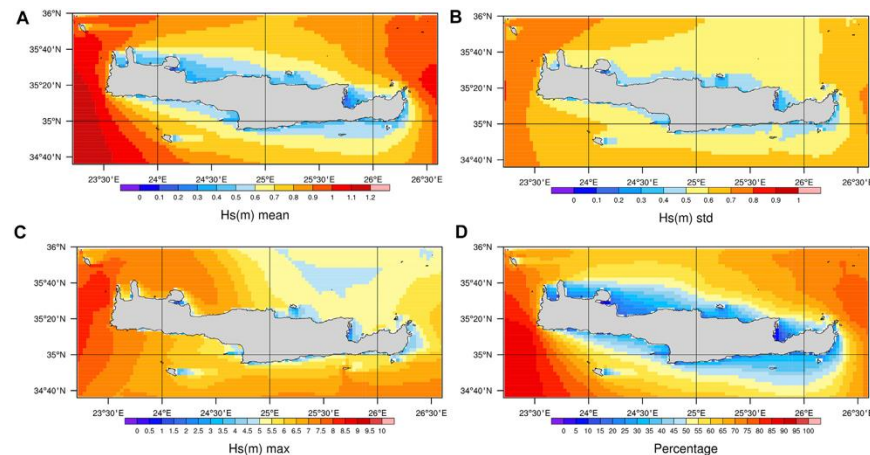
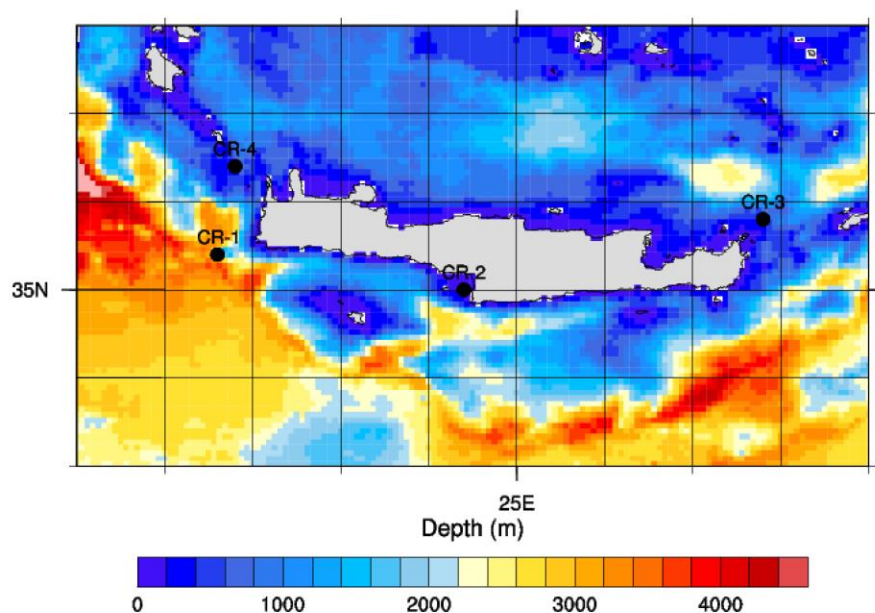
Hs (m) mean DJF

Rcp8.5 2090-2099

HadGEM2- ES

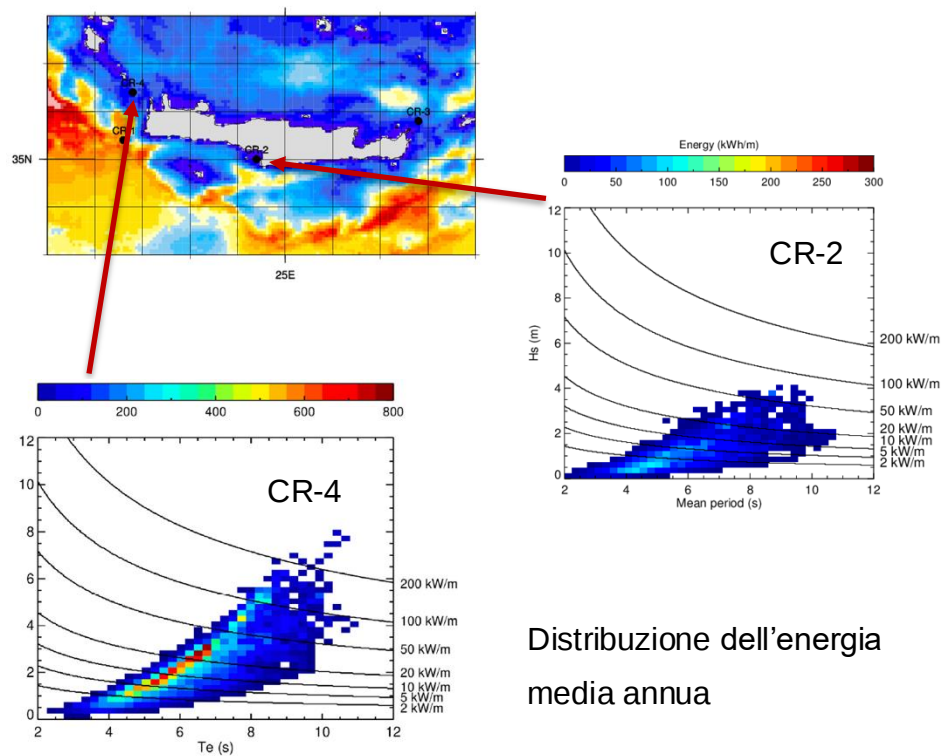
Blue Deal

Le climatologie calcolate sugli output del Sistema operativo delle onde sono state utilizzate per caratterizzare alcuni siti di interesse del Progetto

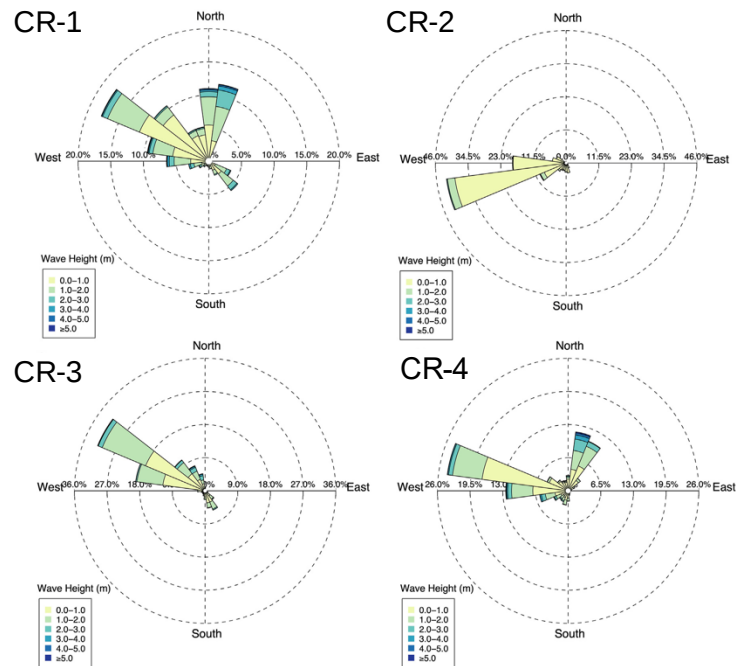


Isola di Creta – (A) Hs media, (B) Hs Std, (C) massimo Hs (D) Percentuale di tempo sopra soglia Hs = 0.5m. periodo 2014–2020

Blue Deal

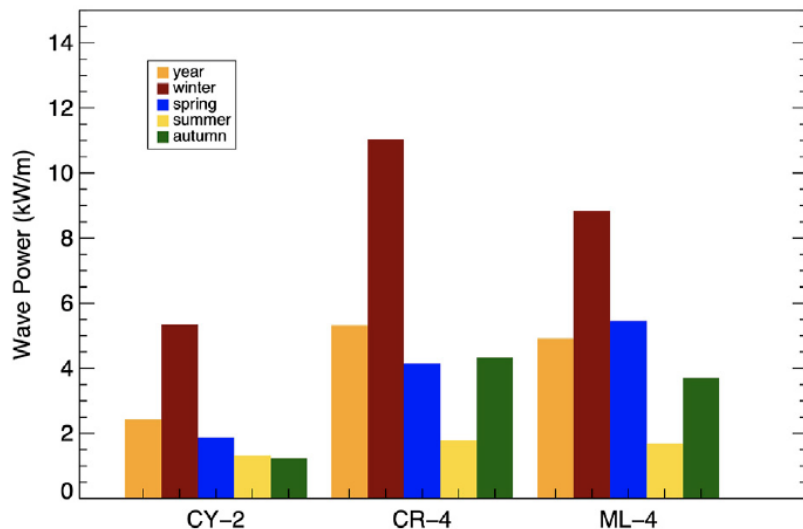


Distribuzione dell'energia
media annua



Rose di provenienza delle onde

Blue Deal



Confronto dei valori di potenza medi annuali e stagionali calcolati per punti selezionati

CY - Cipro

CR – Creta

ML – Malta

La produttività teorica di uno specifico convertitore di energia viene calcolata dal prodotto con la matrice di potenza:

$$P_e = \sum_{i=1}^{i=N_T} \sum_{j=1}^{j=N_H} P_{i,j} * p_{i,j}$$

dove $P_{i,j}$ è la matrice di potenza e $p_{i,j}$ è la frequenza di ogni stato di mare

Grazie
per l'attenzione

adriana.carillo@enea.it



1101 0110 1100
0101 0010 1101
0001 0110 1110
1101 0010 1101
1111 1010 0000

