

# **Impatti del cambiamento climatico nella caratterizzazione del clima marino nel Mediterraneo**

Andrea Lira Loarca & Giovanni Besio

[andrea.lira.loarca@unige.it](mailto:andrea.lira.loarca@unige.it)

MeteOcean Research Group

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale (DICCA)

Università degli studi di Genova

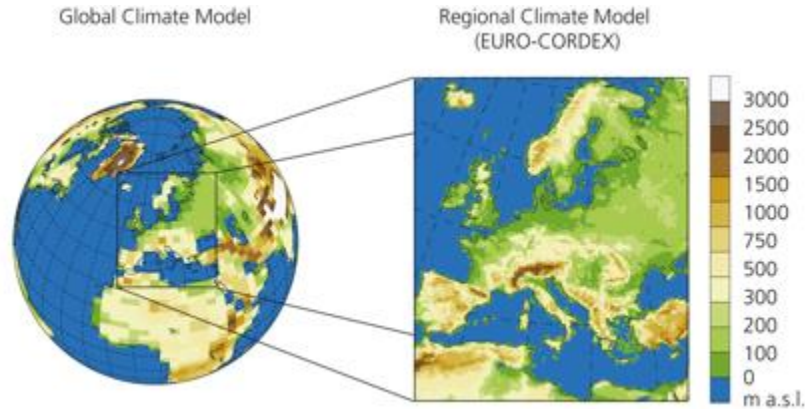
- Quasi **20 milioni di persone** vivono a meno di 5 m sul livello del mare all'interno della fascia costiera mediterranea di 100 km (Schiavina et al, 2019).
- Si prevede che i **danni annuali delle inondazioni costiere aumenteranno di 2-3 ordini di grandezza entro il 2100** rispetto a oggi (SROCC, 2019).
- **GCMs non risolvono** le caratteristiche delle tempeste tropicali ed extratropicali ad **alta risoluzione** richieste per determinare con precisione il contributo delle onde estreme al livello del mare estremo. (IPCC, 2021)

## MIGLIORI PROIEZIONI **REGIONALI** DEL **CLIMA MARINO** COMPRESO IL SUO COMPORTAMENTO **MULTIMODALE** E **MULTIVARIATO**



# Proiezioni del clima ondoso nel Mar Mediterraneo

EURO-CORDEX 0.11° per RCP8.5

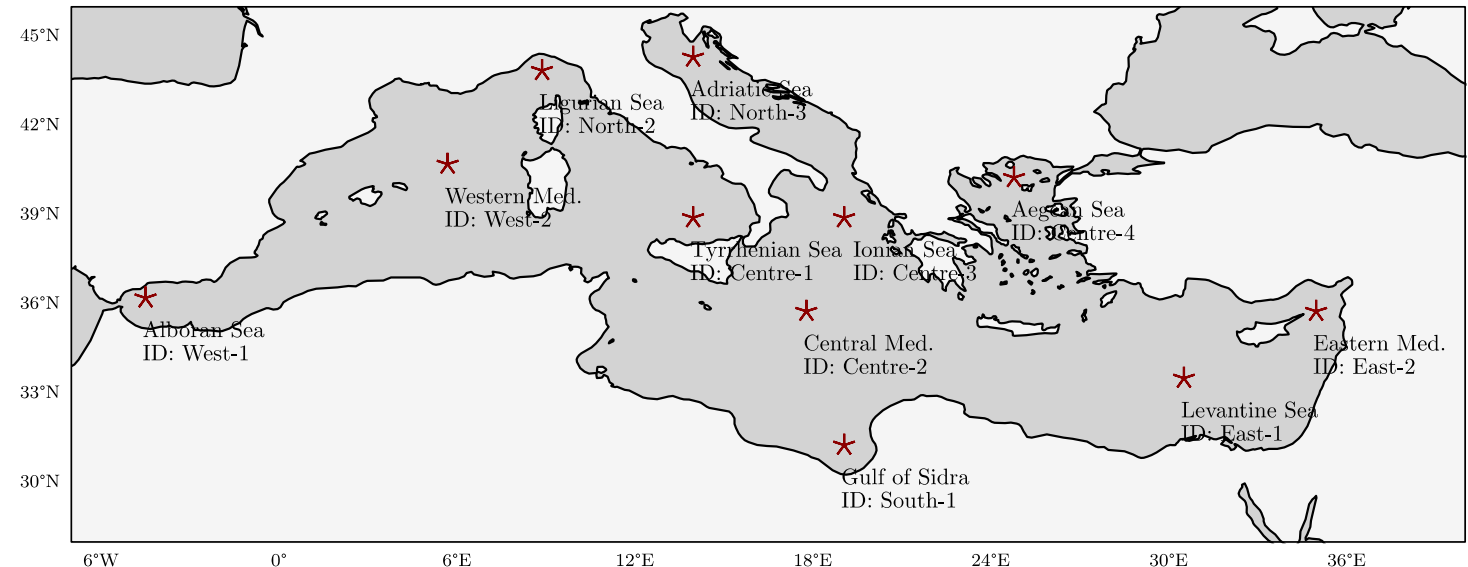


17 GCM-RCMs:

- ✓ Periodo base: 1979 – 2005
- ✓ RCP8.5: 2006-2100

Serie temporale climatica di 3 ore  
e 10 km delle onde ( $H_s$ ,  $T_p$ ,  $\theta_m$  ...)

Spettri di onde direzionali di 3  
ore in 11 posizioni



# Cambiamenti dell'energia delle onde e densità spettrale rispetto al hindcast (1979-2005)

Metà secolo (2030 – 2060)

Fine del secolo (2070 – 2100)

## Densità spettrale

$$\Delta S(f, \theta) = \frac{\frac{1}{N_m} \sum_{m=1}^{N_{RCMs}} \overline{S(f, \theta)_m} - \overline{S(f, \theta)_{hind}}}{\max_{(f, \theta)} \{ \overline{S(f, \theta)_{hind}} \}}$$

## Energia delle onde

$$P_{wave} = \frac{\rho g^2}{64\pi} H_s^2 T_p$$

Ensemble mean

$$\overline{\overline{P_{RCMs}}} = \frac{1}{N_m} \sum_{m=1}^{N_{RCMs}} \overline{P_m}$$

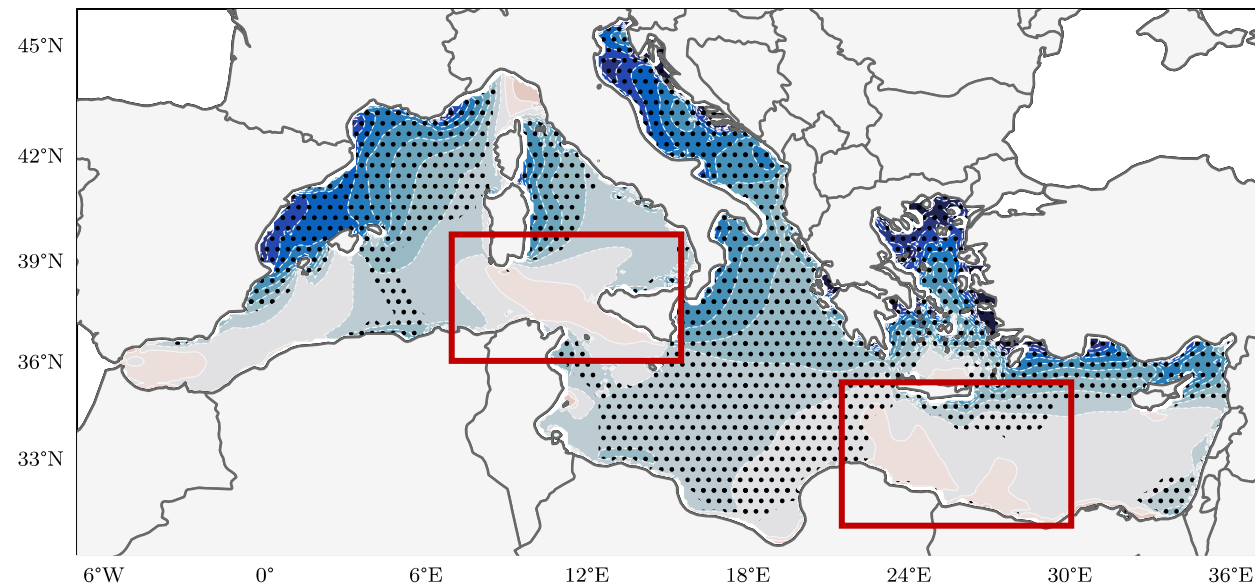
$\overline{P_m}$  = media temporale

$$\Delta P = \frac{\overline{\overline{P_{RCMs}^{RCP8.5}}} - \overline{P_{hind}}}{P_{hind}}$$

Variabilità  
Interna  
RCMs

- Deviazione standard delle medie annuali degli RCMs nel periodo di riferimento
- Accordo tra RCMs (80% degli RCMs concorda sul segno del cambiamento)

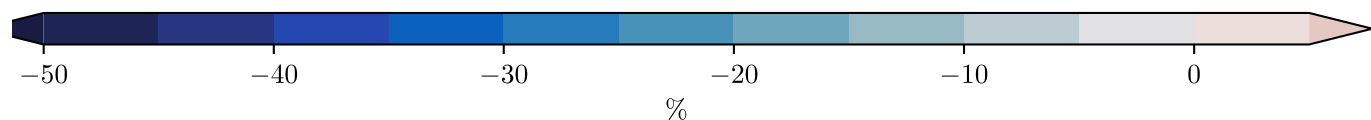
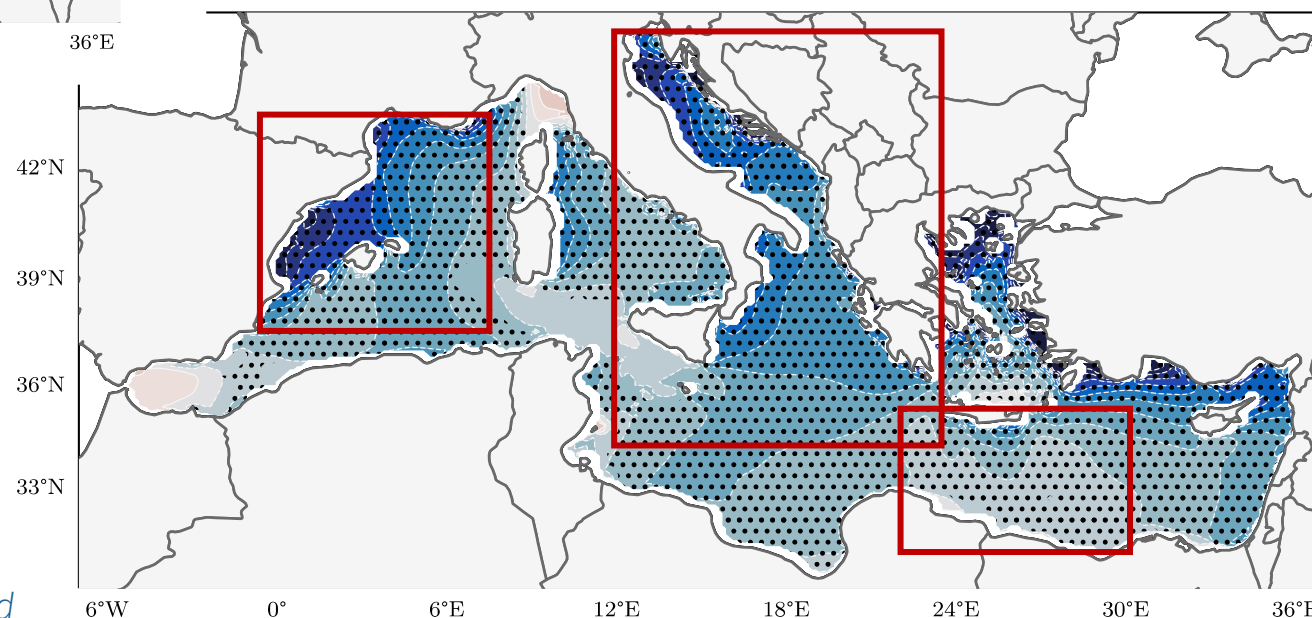
Δ Wave Energy Flux per unit crest | Mid-century (2030-2060)



- ✓ **Diminuzioni consistenti** tra il 10-20% nella maggior parte del Mediterraneo.
- ✓ Leggero aumento nel Canale di Sicilia e nel Mar Libico a metà del secolo → diminuzione robusta alla fine del secolo.
- ✓ Diminuzioni più grandi (fino al **50%**) nei mari Adriatico, Ionio e Baleari.



- Grande cambiamento con accordo tra i modelli:
  - $\overline{P_{RCMs}} > 2\sigma_{IV}$
  - $\geq 80\%$  degli RCMs concorda sul segno del cambiamento
- Piccolo cambiamento con accordo tra i modelli:
  - $\overline{P_{RCMs}} < 2\sigma_{IV}$
  - $\geq 80\%$  degli RCMs concorda sul segno del cambiamento
- Non c'è accordo tra i modelli:
  - $< 80\%$  degli RCMs concorda sul segno del cambiamento

Δ Wave Energy Flux per unit crest | End-of-century (2070-2100)

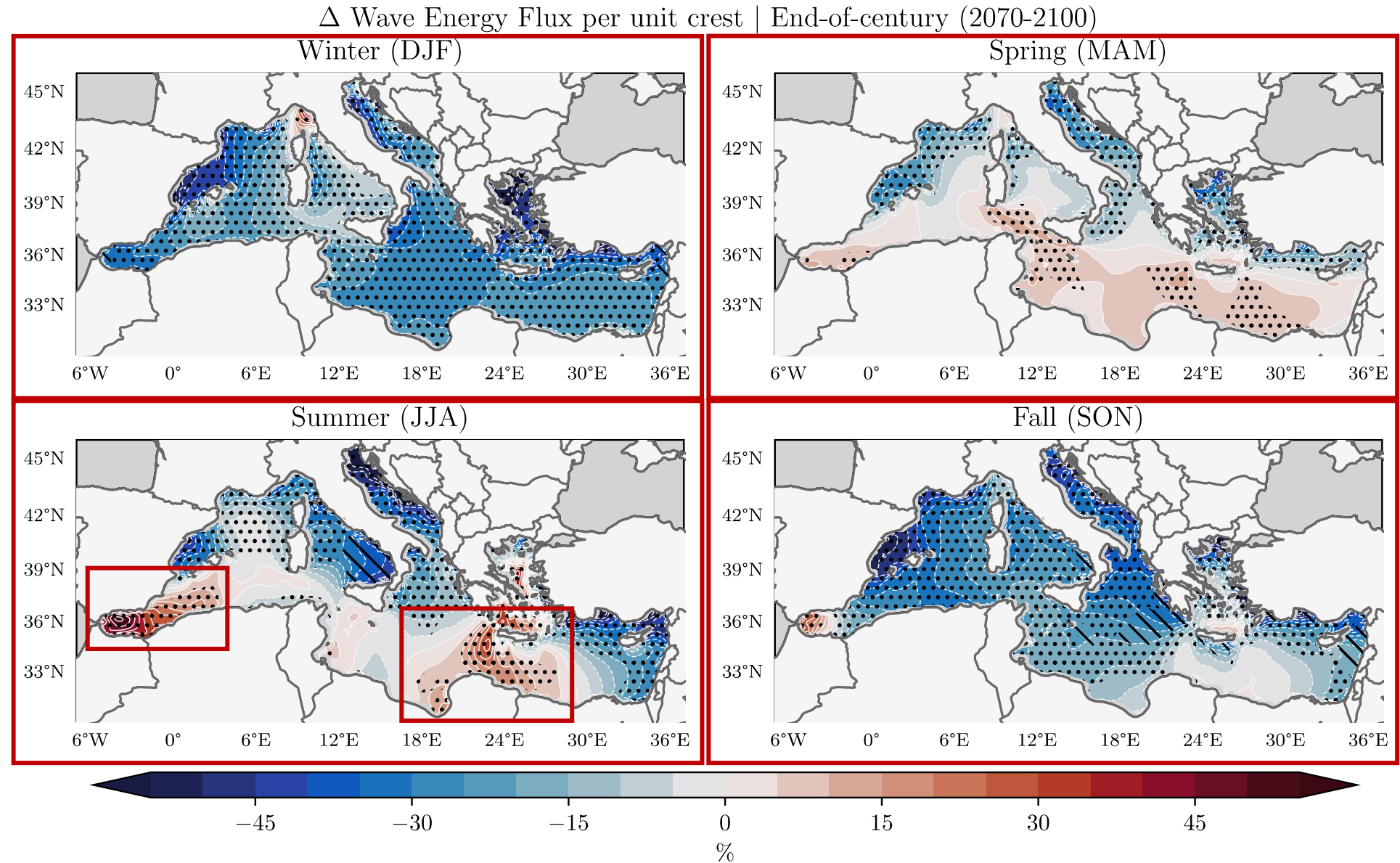


Lira-Loarca, A., Ferrari, F., Mazzino, A. and Besio, G., 2021. Future wind and wave energy resources and exploitability in the Mediterranean Sea by 2100. *Applied Energy*, 302, p.117492.

# Fine del secolo 2070-2100

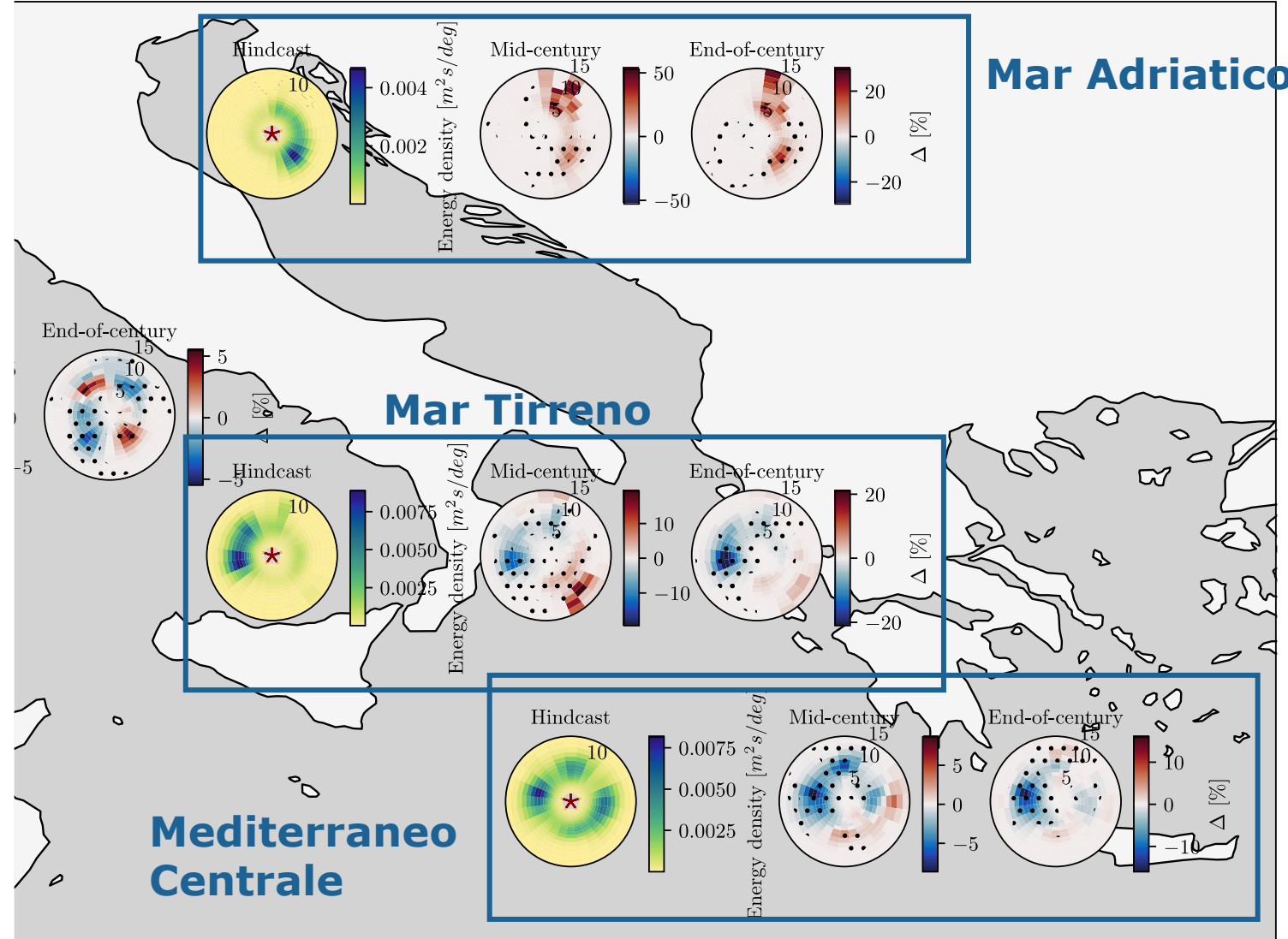
 Grande cambiamento con accordo tra i modelli  
 Piccolo cambiamento con accordo tra i modelli

- La **primavera e l'estate** presentano una distribuzione diversa dai valori medi totali con **robusti incrementi** in alcune aree.
- Il **Mar di Alboran** e il **Mar Libico** mostrano **robusti aumenti fino al 45%**.
- Le distribuzioni delle **medie invernali e autunnali**, con onde più alte, determinano la distribuzione media totale con **diminuzioni previste delle onde del Mediterraneo**.
- Importanza della **variabilità stagionale** → alto turismo in estate.



# Cambiamenti nella densità spettrale - Primavera

- ✓ Hindcast - SE swell
- ✓ Aumento robusto inferiore al 10%
- ✓ Aumento di  $\approx 30-50\%$  NNE swell (non visibile nell'hindcast) senza accordo tra i modelli
- ✓ Hindcast: O-NO swell
- ✓ Diminuzioni robuste di  $\approx 10\%$  e  $\approx 20\%$
- ✓ Hindcast: sea e swell in tutte le direzioni, le onde più energiche da ovest.
- ✓ Diminuzioni previste di  $\approx 10\%$  e  $\approx 15\%$  per la metà e la fine del secolo per le principali onde O-N

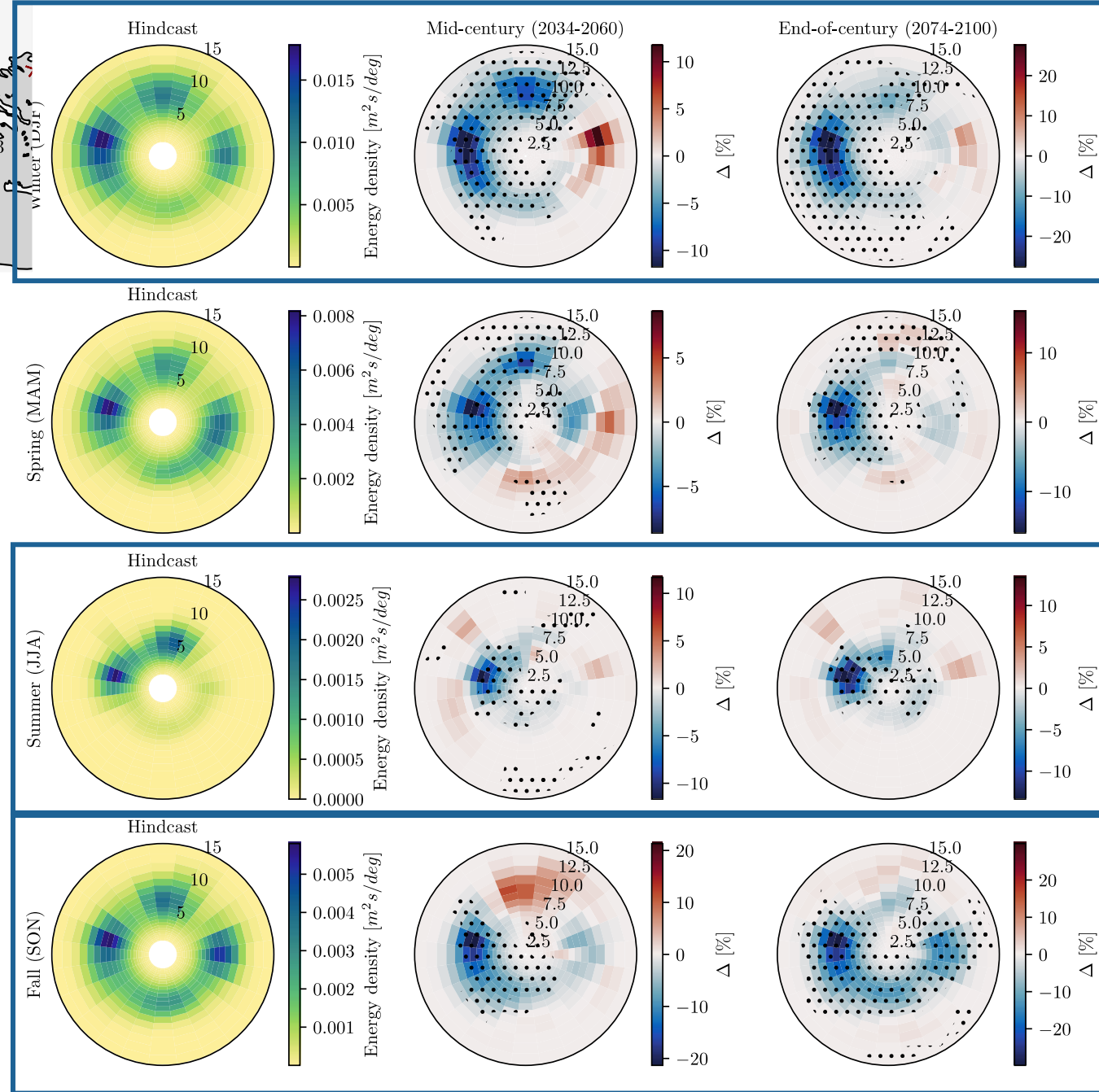


Lira-Loarca, A. and Besio, G., 2022. Future changes and seasonal variability of the directional wave spectra in the Mediterranean Sea for the 21st century. *Environmental Research Letters* (in press).

# Mediterraneo Centrale



- ✓ Combinazione di onde sea e swell da tutte le direzioni con i valori più alti di tutte le stagioni durante l'inverno.
- ✓ Robusta diminuzione di sea e swell da O del 10% (metà) - 25% (fine) per l'inverno e 20% (metà) - 30% (fine) per l'autunno.
- ✓ Diminuzioni robuste nel resto delle direzioni durante l'inverno
- ✓ Comportamento diverso per le onde da N durante l'autunno.
- ✓ Hindcast: predominanti le onde sea O-NE
- ✓ Diminuzioni robuste delle onde sea e swell da Ovest del 10% (metà) e 15% (fine)
- ✓ Cambiamenti verso un sistema unimodale





# Conclusioni

- Proiezioni di moto ondoso ad alta risoluzione ( $0.11^\circ$ ) per 17 EURO-CORDEX GCM-RCMs
- Database ogni 3 ore di parametri d'onda integrati e spettri d'onda 2D dal 1970 al 2100.
- Cambiamenti nell'energia delle onde:
  - Diminuzioni robuste nella maggior parte del bacino del Mediterraneo in corrispondenza delle condizioni invernali e autunnali.
  - Aumenti robusti delle condizioni estive per il Mar di Alboran e il Mar Libico.
- Cambiamenti negli spettri delle onde:
  - Aumento del numero di sistemi per il Mar Ligure e il Mar Adriatico in primavera.
  - Diminuzione dei sistemi predominanti per il Mar Ionio in primavera.

Andrea Lira Loarca  
andrea.lira.loarca@unige.it