



**ENEA**



*Ministero dello Sviluppo Economico*

**RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO**

## **Accordo di Programma MSE-ENEA**

**AREA: PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA E PROTEZIONE DELL' AMBIENTE**

**Tematica di Ricerca: SVILUPPO E DIFFUSIONE DELL' USO DELLE FONTI RINNOVABILI:  
ENERGIA ELETTRICA DA CORRENTI MARINE**

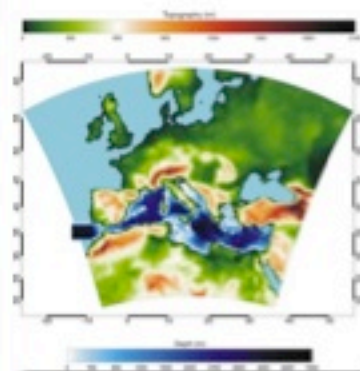
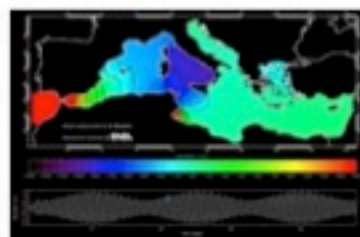
**Progetto 2.1.5: STUDI E VALUTAZIONI SUL POTENZIALE ENERGETICO DELLE CORRENTI MARINE**

Gianmaria Sannino  
ENEA, UTMEA-CLIM  
[gianmaria.sannino@enea.it](mailto:gianmaria.sannino@enea.it)

Roma, 23 Novembre 2011

## DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA'

- Valutare il potenziale energetico estraibile dalle **correnti marine** e dal **moto ondoso** in prossimità delle aree costiere italiane attraverso l'uso di strumenti innovativi di modellistica numerica oceanografica e meteo-marina.
- Valutare il potenziale energetico del mare sulla base di indicatori relativi al **clima presente e futuro**.
- Elaborare **indicatori del potenziale** energetico marino partendo dalle variabili fisico-dinamiche prodotte dai modelli numerici oceanografici e meteo-marini.
- Valutare le attuali **tecnologie** sviluppate per lo sfruttamento dell'energia marina, in termini di **efficienza energetica** e salvaguardia dell'**ambiente marino**, indicando in ultima analisi quali di queste si adattano meglio ai siti costieri italiani che risulteranno caratterizzati da un potenziale energetico significativo.
- Creare un **data-base integrato** all'interno di un sistema **GIS** contenente le informazioni su infrastrutture (porti, rete elettrica etc), aree marine protette e geomorfologia delle aree costiere.
- **Divulgare** i risultati mediante **rapporti tecnici, articoli scientifici, siti web** dedicati, **workshop**.



## 6 Fonti di energia distinte

■ **Onde:** energia cinetica trasferita dal vento alla superficie degli oceani.

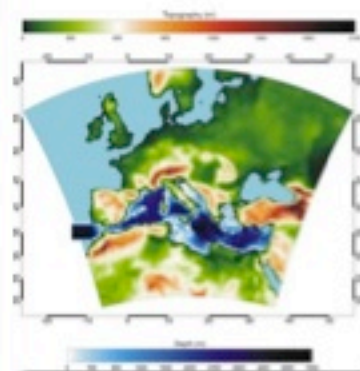
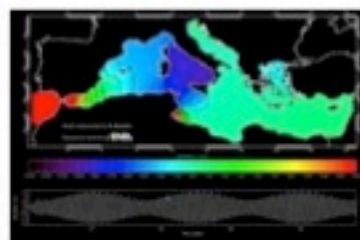
■ **Maree:** energia potenziale derivata dall'attrazione gravitazionale luni-solare degli oceani.

■ **Correnti di marea:** energia cinetica delle correnti marine derivate dall'innalzamento e abbassamento della colonna d'acqua a causa delle maree.

■ **Correnti marine:** energia cinetica delle correnti dovute alla differenza di densità tra masse d'acqua e/o al vento superficiale.

■ **Gradienti di temperatura:** energia termica derivata dalla differenza di temperatura tra gli strati superficiali degli oceani riscaldati direttamente dal sole e gli strati profondi più freddi.

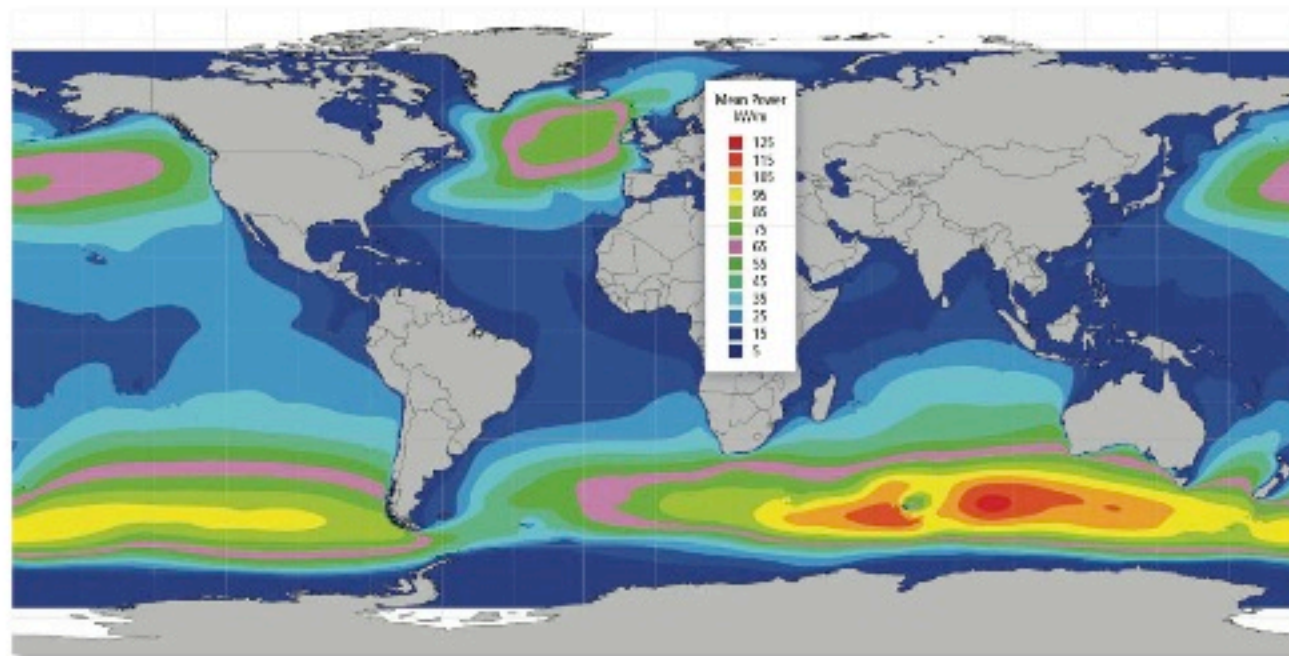
■ **Gradiente di salinità:** energia osmotica derivata dalla differenza di salinità tra gli oceani e l'acqua dolce presente alla foce dei fiumi.





## 6 Fonti di energia distinte

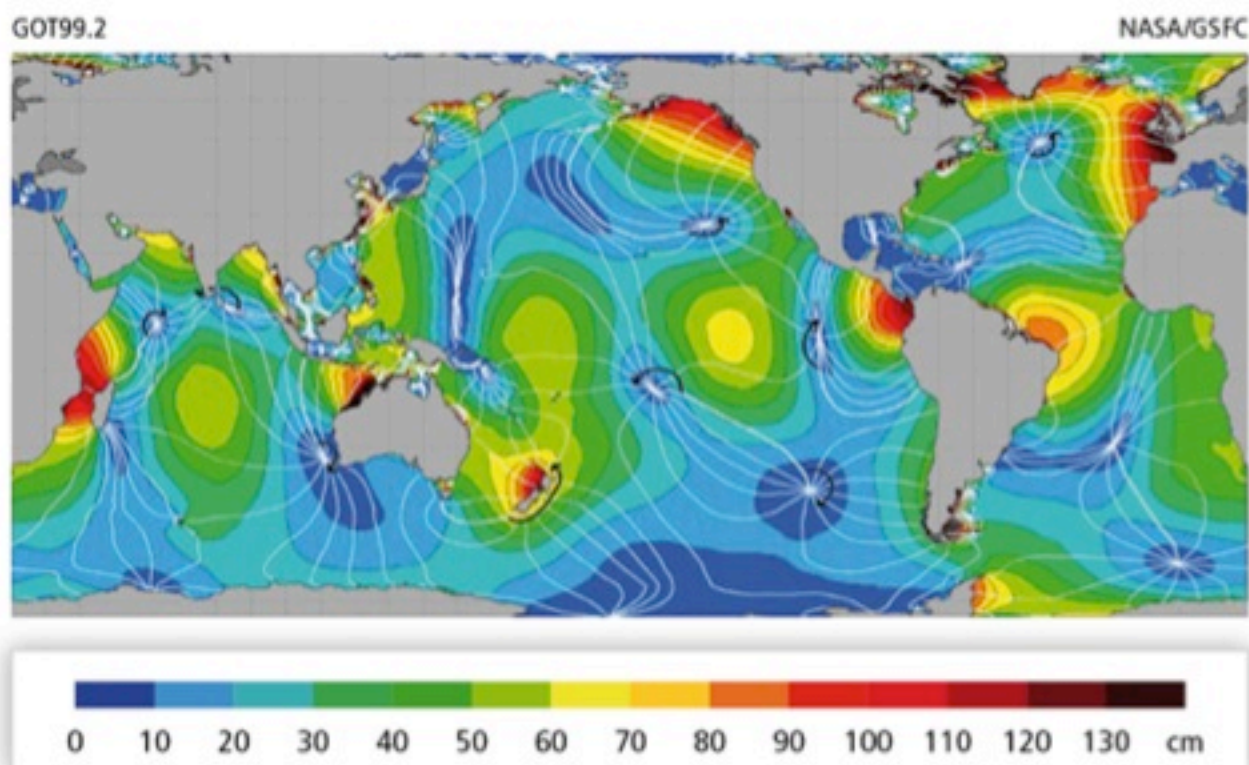
- **Onde:** energia cinetica trasferita dal vento alla superficie degli oceani.



Distribuzione a livello globale della media annuale dell'energia del moto ondoso (Cornett, 2008).

## 6 Fonti di energia distinte

- **Maree:** energia potenziale derivata dall'attrazione gravitazionale luni-solare degli oceani.

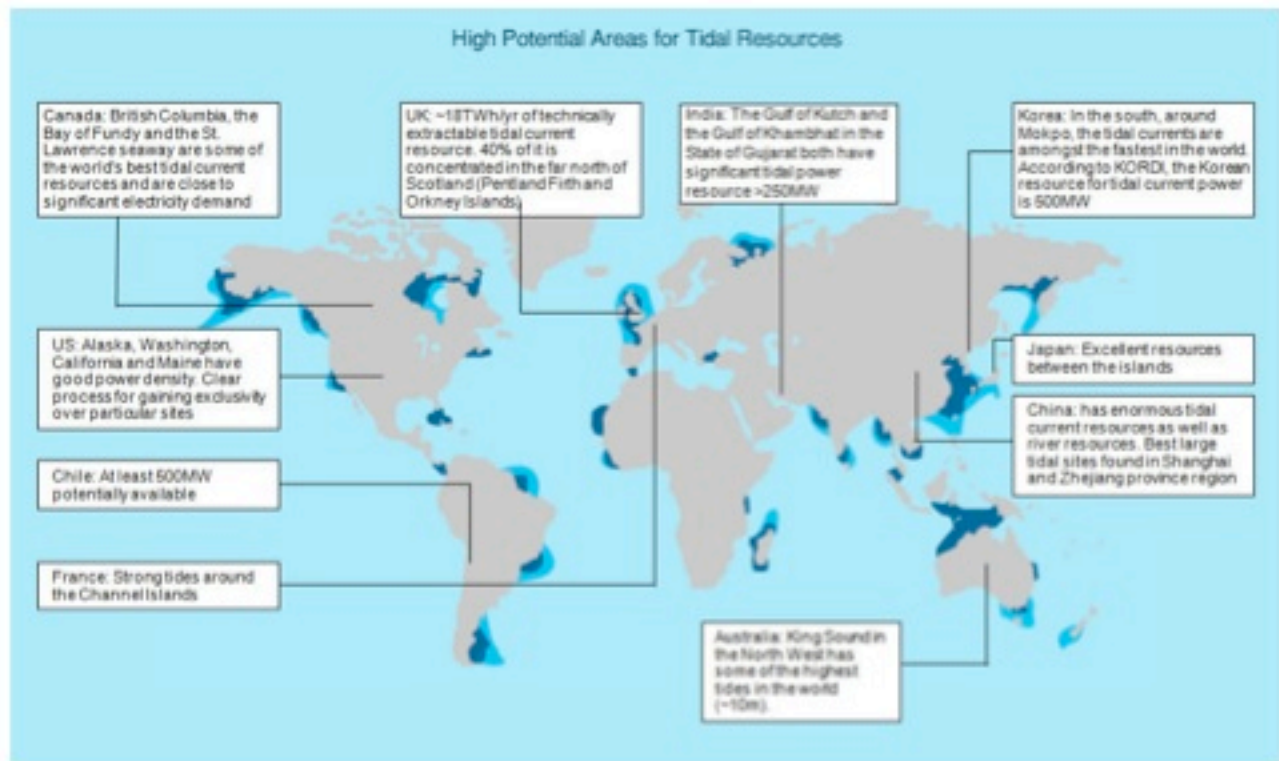


Mappa globale della componente mareale M2 dell'elevazione superficiale (NASA, 2006)

6/99

## 6 Fonti di energia distinte

- **Correnti di marea:** energia cinetica delle correnti marine derivate dall'innalzamento e abbassamento della colonna d'acqua a causa delle maree.

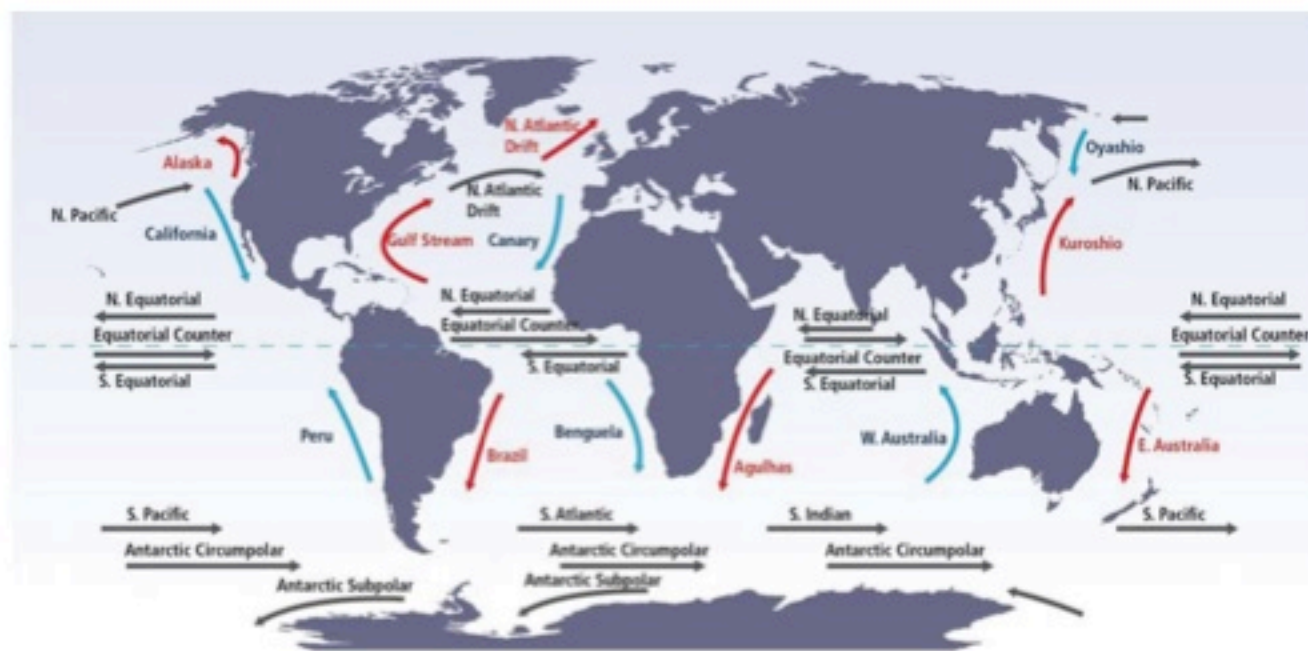


Regioni del pianeta con correnti di marea particolarmente intense.



## 6 Fonti di energia distinte

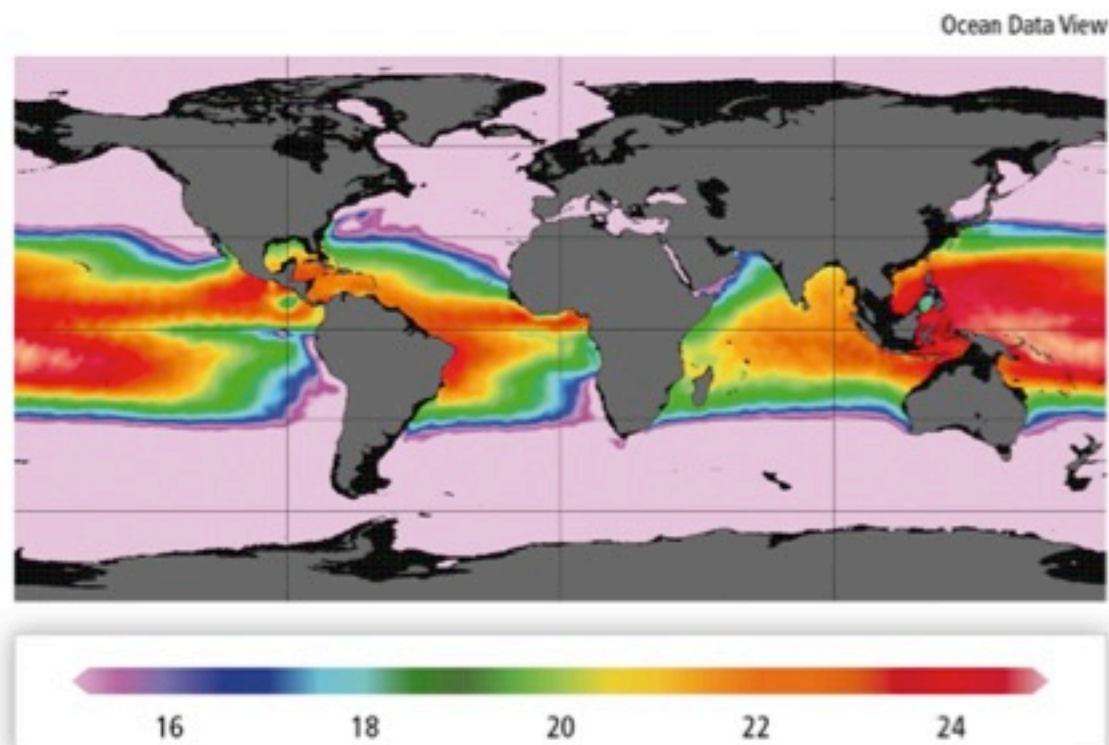
- **Correnti marine:** energia cinetica delle correnti dovute alla differenza di densità tra masse d'acqua e/o al vento superficiale.



Distribuzione globale delle correnti marine  
(no maree)

## 6 Fonti di energia distinte

- **Gradienti di temperatura:** energia termica derivata dalla differenza di temperatura tra gli strati superficiali degli oceani riscaldati direttamente dal sole e gli strati profondi più freddi.



Mappa globale della differenza media annuale di temperatura tra 20m e 1000m ((Nihous, 2010).



## 6 Fonti di energia distinte

■ **Onde:** energia cinetica trasferita dal vento alla superficie degli oceani.

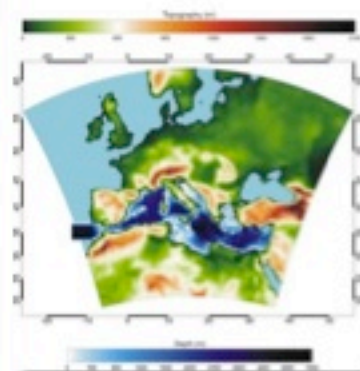
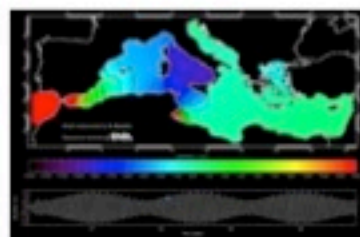
■ **Maree:** energia potenziale derivata dall'attrazione gravitazionale luni-solare degli oceani.

■ **Correnti di marea:** energia cinetica delle correnti marine derivate dall'innalzamento e abbassamento della colonna d'acqua a causa delle maree.

■ **Correnti marine:** energia cinetica delle correnti dovute alla differenza di densità tra masse d'acqua e/o al vento superficiale.

■ **Gradienti di temperatura:** energia termica derivata dalla differenza di temperatura tra gli strati superficiali degli oceani riscaldati direttamente dal sole e gli strati profondi più freddi.

■ **Gradiente di salinità:** energia osmotica derivata dalla differenza di salinità tra gli oceani e l'acqua dolce presente alla foce dei fiumi.



## 6 Fonti di energia distinte

■ **Onde:** energia cinetica trasferita dal vento alla superficie degli oceani.

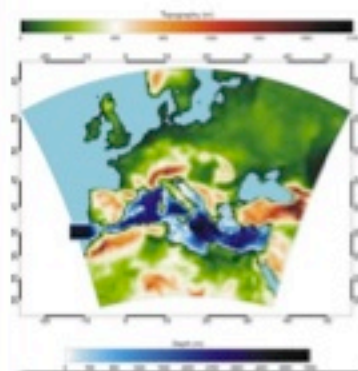
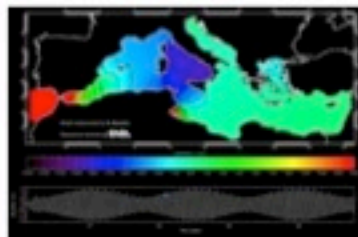
■ **Maree:** energia potenziale derivata dall'attrazione gravitazionale luni-solare degli oceani.

■ **Correnti di marea:** energia cinetica delle correnti marine derivate dall'innalzamento e abbassamento della colonna d'acqua a causa delle maree.

■ **Correnti marine:** energia cinetica delle correnti dovute alla differenza di densità tra masse d'acqua e/o al vento superficiale.

■ **Gradienti di temperatura:** energia termica derivata dalla differenza di temperatura tra gli strati superficiali degli oceani riscaldati direttamente dal sole e gli strati profondi più freddi.

■ **Gradiente di salinità:** energia osmotica derivata dalla differenza di salinità tra gli oceani e l'acqua dolce presente alla foce dei fiumi.



## 6 Fonti di energia distinte

- **Onde:** energia cinetica trasferita dal vento alla superficie degli oceani.

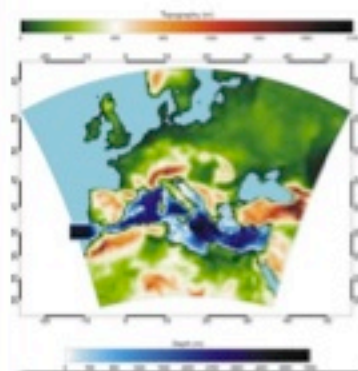
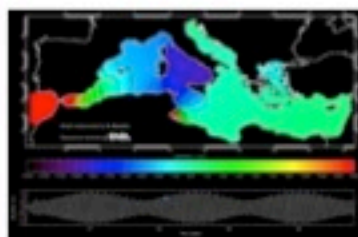
- **Maree:** energia potenziale derivata dall'attrazione gravitazionale luni-solare degli oceani.

- **Correnti di marea:** energia cinetica delle correnti marine derivate dall'innalzamento e abbassamento della colonna d'acqua a causa delle maree.

- **Correnti marine:** energia cinetica delle correnti dovute alla differenza di densità tra masse d'acqua e/o al vento superficiale.

- **Gradienti di temperatura:** energia termica derivata dalla differenza di temperatura tra gli strati superficiali degli oceani riscaldati direttamente dal sole e gli strati profondi più freddi.

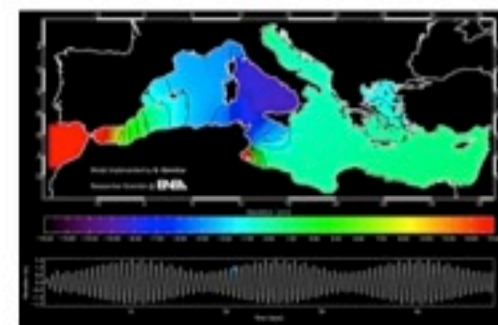
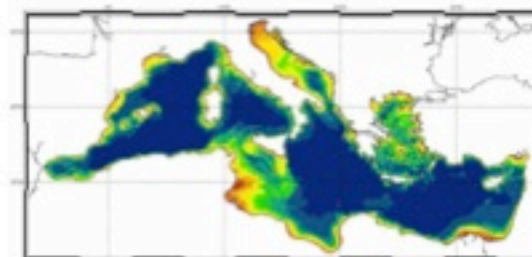
- **Gradiente di salinità:** energia osmotica derivata dalla differenza di salinità tra gli oceani e l'acqua dolce presente alla foce dei fiumi.





## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo A:** Sviluppo del modello numerico per la simulazione della circolazione marina e del modello del moto ondoso per il bacino Mediterraneo a circa 7 km di risoluzione.
- **Obiettivo B:** Produzione delle mappe degli indicatori del potenziale energetico relative alle simulazioni sul bacino del Mediterraneo.
- **Obiettivo C:** Analisi delle attuali tecnologie esistenti per lo sfruttamento della energia marina.
- **Obiettivo D:** Comunicazione e diffusione dei risultati.



Collaborazioni:



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DI ROMA  
"LA SAPIENZA"



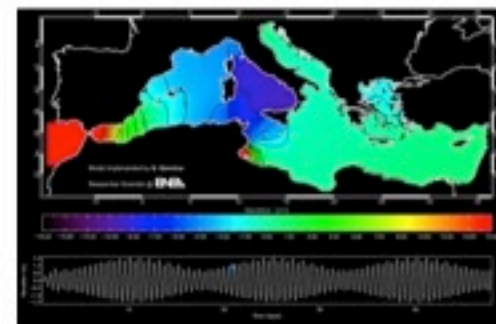
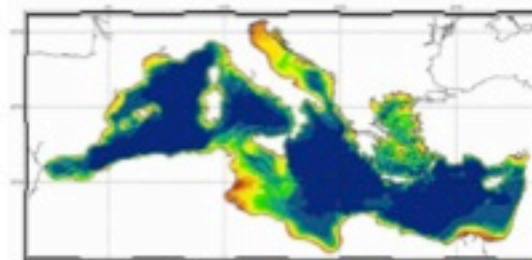
CASPUR  
Consorzio Interuniversitario  
per le Applicazioni di Informatica  
Per l'Ingegneria e la Ricerca



## ATTIVITÀ SVOLTE

■ **Obiettivo A:** Sviluppo del modello numerico per la simulazione della circolazione marina e del modello del moto ondoso per il bacino Mediterraneo a circa 7 km di risoluzione.

1. Modello di onde implementato per l'intero bacino mediterraneo a 7Km di risoluzione;
2. Modello di circolazione implementato per l'intero bacino mediterraneo a 7Km di risoluzione;
3. Modello di circolazione implementato per la regione delle Bocche di Bonifacio 90m di risoluzione;
4. Modello atmosferico a 30 Km di risoluzione implementato per l'area euro-mediterranea;
5. Modello climatico accoppiato atmosfera (30 Km di risoluzione) e oceano (15Km di risoluzione) implementato per l'area euro-mediterranea;



Collaborazioni:



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DI ROMA  
"LA SAPIENZA"



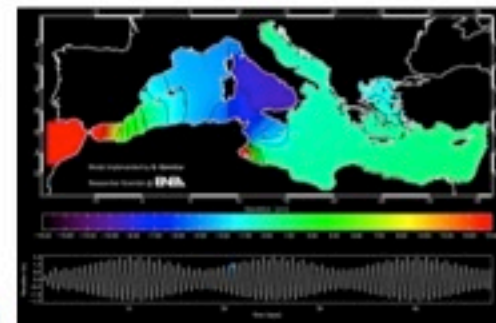
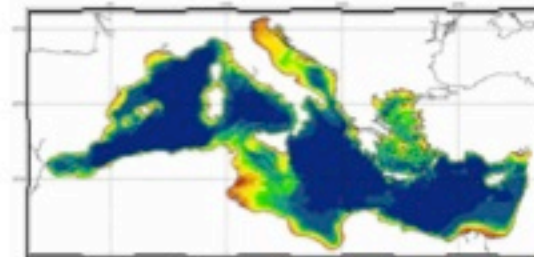
CASPUR  
Consorzio Interuniversitario  
per le Applicazioni di Supercomputing  
Per l'Università e la Ricerca



## ATTIVITÀ SVOLTE

■ **Obiettivo A:** Sviluppo del modello numerico per la simulazione della circolazione marina e del modello del moto ondoso per il bacino Mediterraneo a circa 7 km di risoluzione.

1. Modello di onde implementato per l'intero bacino mediterraneo a 7Km di risoluzione;
2. Modello di circolazione implementato per l'intero bacino mediterraneo a 7Km di risoluzione;
3. Modello di circolazione implementato per la regione delle Bocche di Bonifacio 90m di risoluzione;
4. Modello atmosferico a 30 Km di risoluzione implementato per l'area euro-mediterranea;
5. Modello climatico accoppiato atmosfera (30 Km di risoluzione) e oceano (15Km di risoluzione) implementato per l'area euro-mediterranea;



Collaborazioni:



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DI ROMA  
"LA SAPIENZA"



CASPUR  
Consorzio Interuniversitario  
per le Applicazioni di Supercomputing  
Per l'Ingegneria e la Ricerca

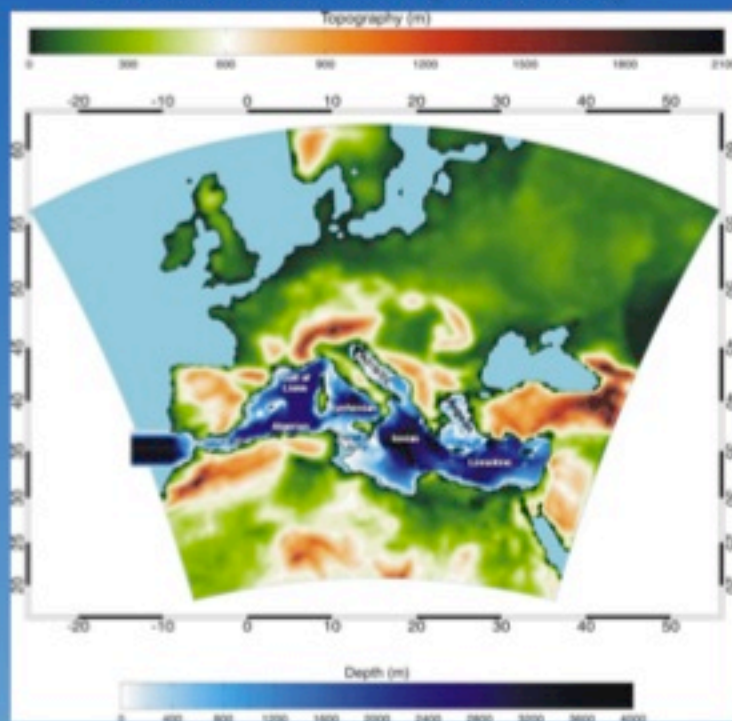




## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo A:** Sviluppo del modello numerico per la simulazione della circolazione marina e del modello del moto ondoso per il bacino Mediterraneo a circa 7 km di risoluzione.

### Modello di clima (Protheus)



Dominio del modello regionale accoppiato PROTHEUS con la corrispondente batimetria e topografia espresse in metri.

## Componenti del modello climatico

### RegCM3

18 livelli verticali sigma

30 Km risoluzione orizzontale

### BATS + IRIS

BATS: Biosph.-Atmosph. Transfer Scheme

IRIS: interactive Rivers Scheme



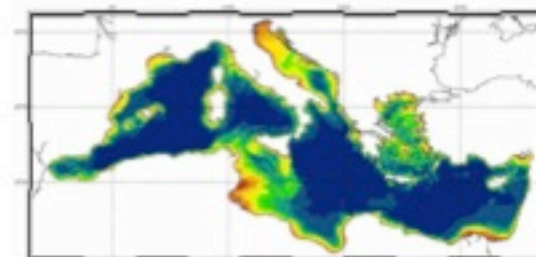
### MedMIT

42 livelli verticali zeta a celle parziali

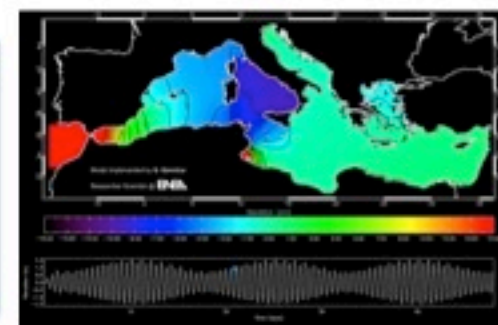
1/8° x 1/8° risoluzione orizzontale

## ATTIVITÀ SVOLTE

■ **Obiettivo A:** Sviluppo del modello numerico per la simulazione della circolazione marina e del modello del moto ondoso per il bacino Mediterraneo a circa 7 km di risoluzione.



1. Modello di onde implementato per l'intero bacino mediterraneo a 7Km di risoluzione;
2. Modello di circolazione implementato per l'intero bacino mediterraneo a 7Km di risoluzione;
3. Modello di circolazione implementato per la regione delle Bocche di Bonifacio 90m di risoluzione;
4. Modello atmosferico a 30 Km di risoluzione implementato per l'area euro-mediterranea;
5. Modello climatico accoppiato atmosfera (30 Km di risoluzione) e oceano (15Km di risoluzione) implementato per l'area euro-mediterranea;



Collaborazioni:



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DI ROMA  
"LA SAPIENZA"



CASPUR  
Consorzio Interuniversitario  
per le Applicazioni di Supercomputing  
Per l'Università e la Ricerca

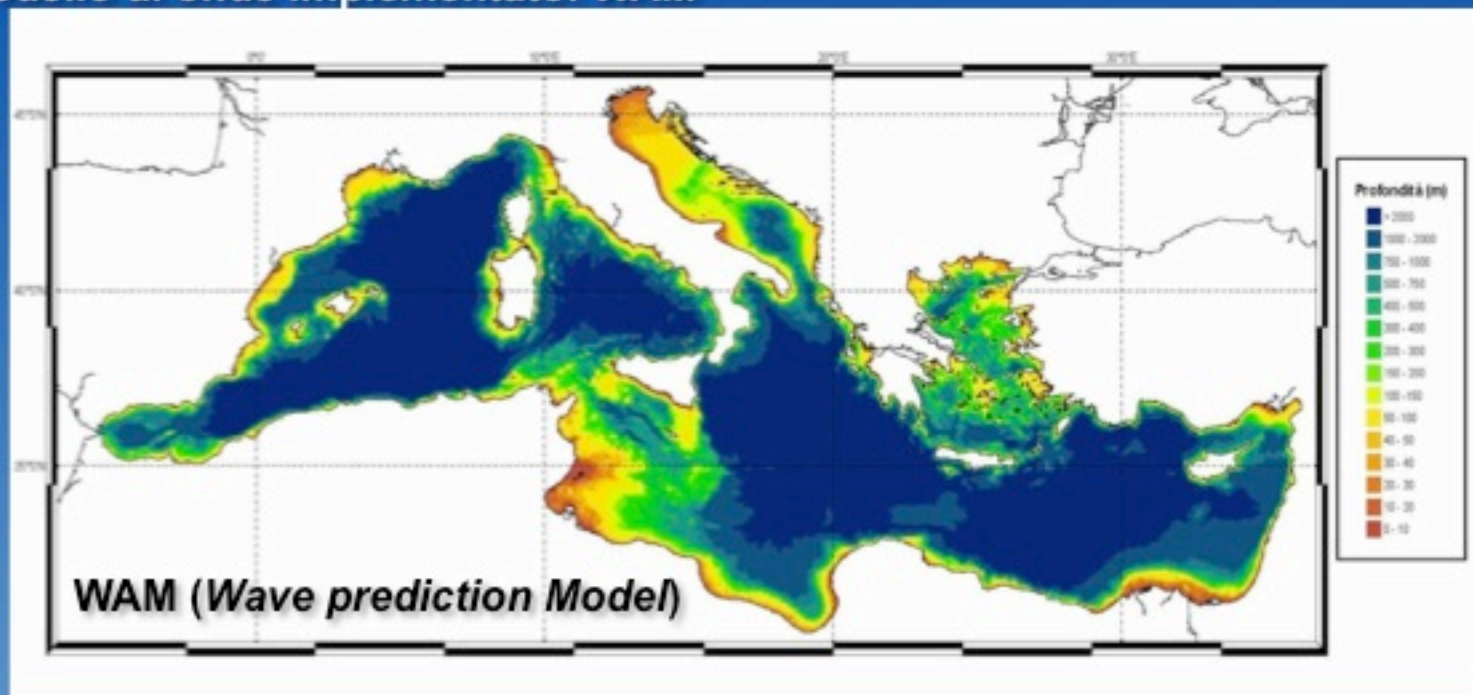




## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo A:** Sviluppo del modello numerico per la simulazione della circolazione marina e del modello del moto ondoso per il bacino Mediterraneo a circa 7 km di risoluzione.

## Modello di onde implementato: WAM



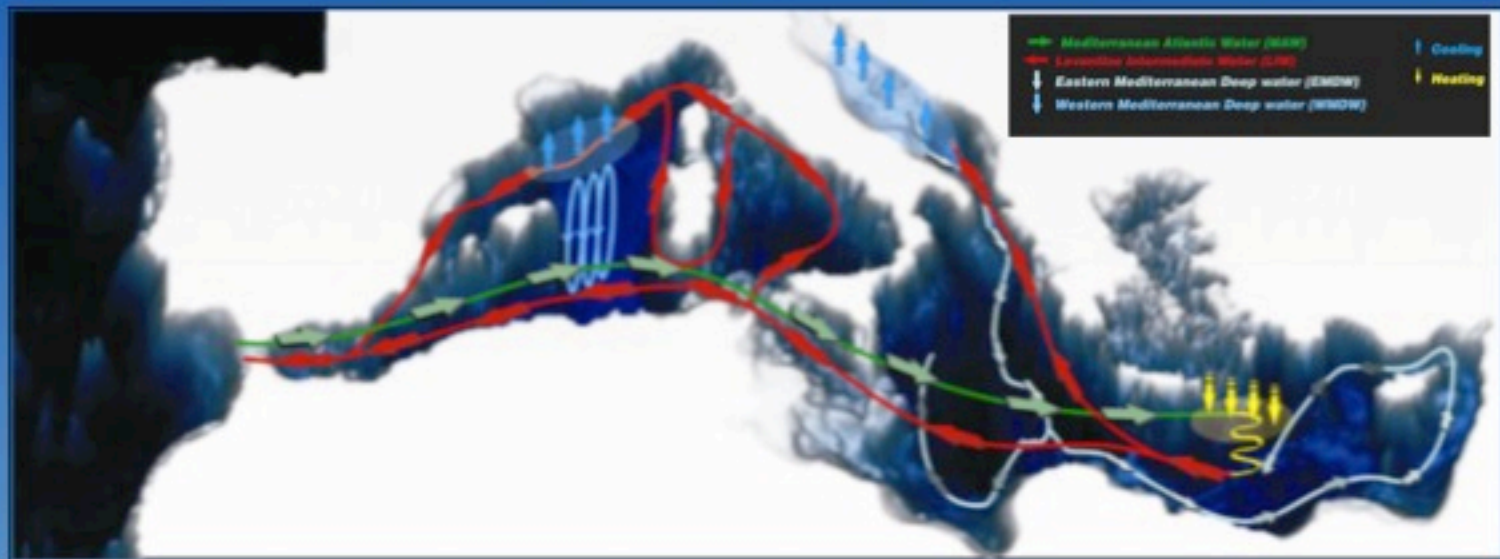
Dominio computazionale e batimetria  
del modello di onde WAM (Wave prediction Model)  
implementato in ENEA



## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo A:** Sviluppo del modello numerico per la simulazione della circolazione marina e del modello del moto ondoso per il bacino Mediterraneo a circa 7 km di risoluzione.

Modello di corrente utilizzato: MITgcm (MIT general circulation model)

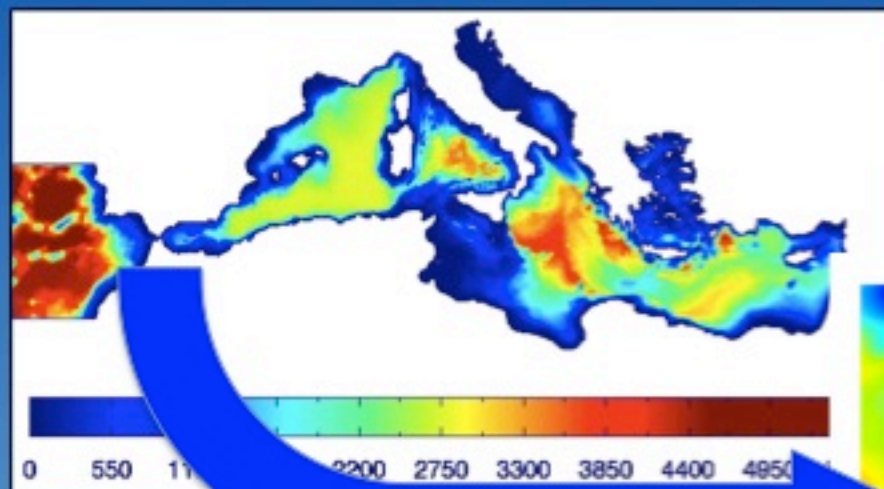


Rappresentazione schematica della circolazione termoalina del Mar Mediterraneo

## ATTIVITÀ SVOLTE

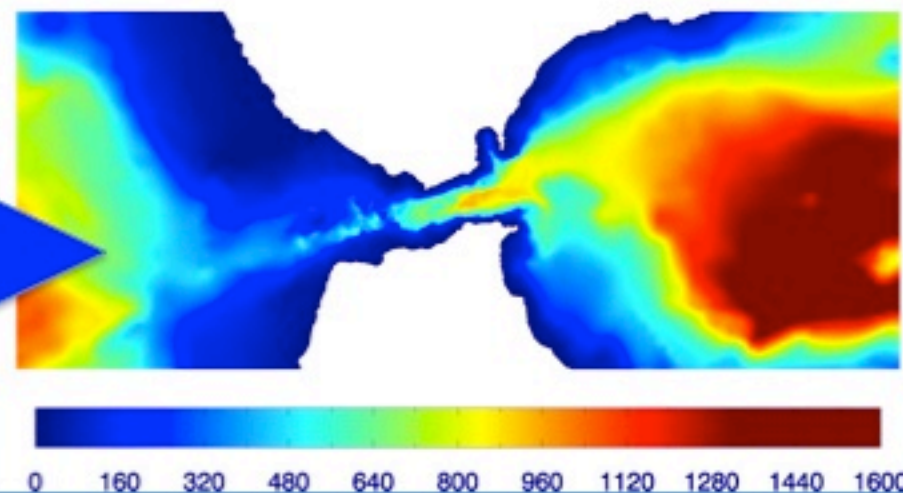
- **Obiettivo A:** Sviluppo del modello numerico per la simulazione della circolazione marina e del modello del moto ondoso per il bacino Mediterraneo a circa 7 km di risoluzione.

Modello di corrente utilizzato: MITgcm (MIT general circulation model)



Risoluzione orizzontale  $1/200^\circ \times 1/200^\circ$

Risoluzione orizzontale  $1/16^\circ \times 1/16^\circ$

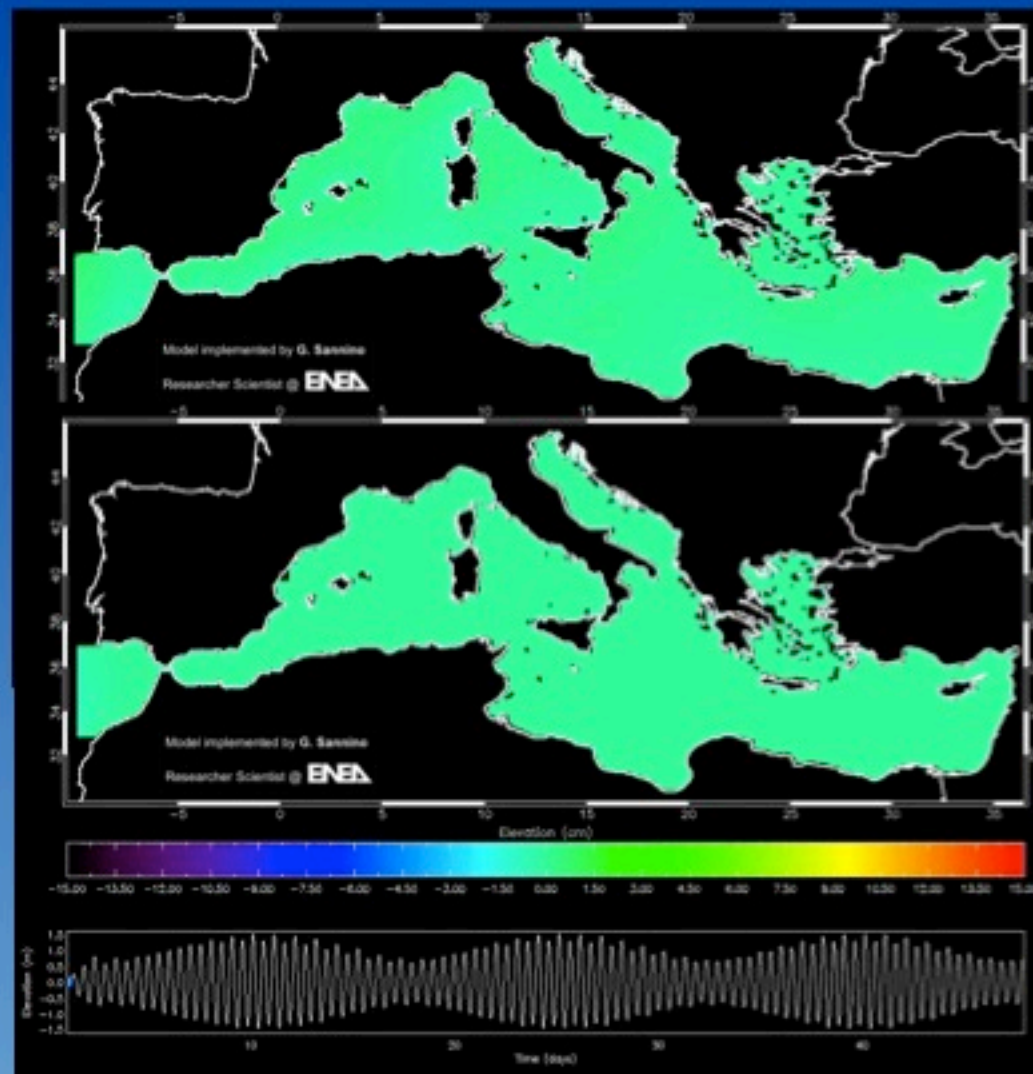




## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo A:** Sviluppo del modello numerico per la simulazione della circolazione marina e del modello del moto ondoso per il bacino Mediterraneo a circa 7 km di risoluzione.

Simulazione componenti di marea:  
Laterale  
Interna (eq. tide)

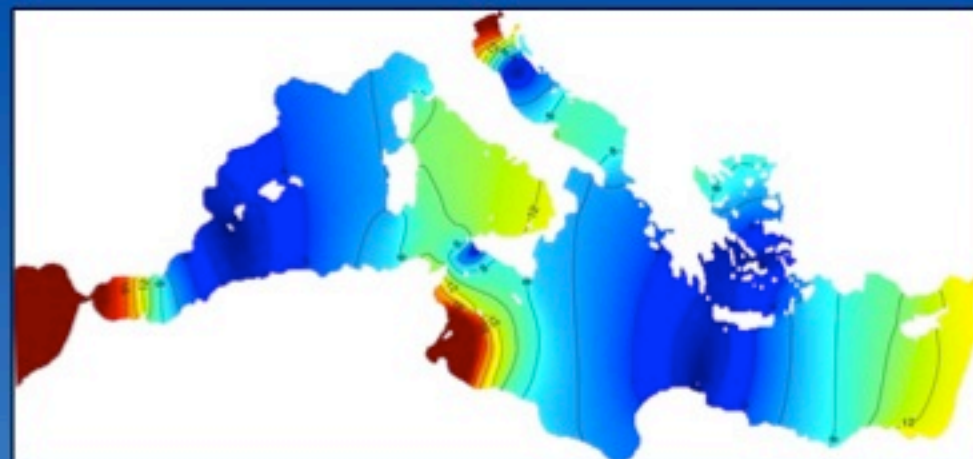




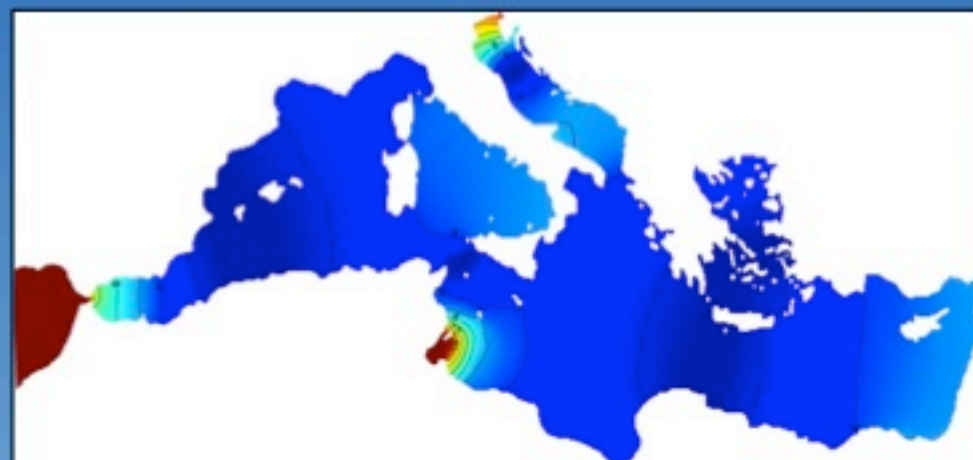
## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo A:** Sviluppo del modello numerico per la simulazione della circolazione marina e del modello del moto ondoso per il bacino Mediterraneo a circa 7 km di risoluzione.

Ampiezza della componente di marea semidiurna **M2** relativa all'elevazione simulata dal modello MITgcm.



Ampiezza della componente di marea semidiurna **S2** relativa all'elevazione simulata dal modello MITgcm.



## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo A:** Sviluppo del modello numerico per la simulazione della circolazione marina e del modello del moto ondoso per il bacino Mediterraneo a circa 7 km di risoluzione.



N	STATION	M <sub>1</sub> Obs	M <sub>1</sub> Mdl	S <sub>1</sub> Obs	S <sub>1</sub> Mdl	O <sub>1</sub> Obs	O <sub>1</sub> Mdl	K <sub>1</sub> Obs	K <sub>1</sub> Mdl
1	Gibraltar	29.8	29.2	10.7	12.9	0.9	1.8	2.0	1.6
2	Malaga	18.0	18.1	7.0	8.2	2.0	1.3	3.0	2.5
3	B. Hoecima	18.0	16.9	7.0	7.6	1.0	2.0	4.0	3.7
4	Almeria	9.0	9.4	4.0	4.5	2.0	1.1	3.0	2.9
5	Alicante	2.0	2.4	1.0	1.3	2.0	1.4	4.0	3.1
6	Palma	3.0	3.2	1.0	1.3	2.0	2.0	4.0	3.1
7	Banyuls	4.6	4.4	1.8	2.1	1.9	2.2	3.2	3.1
8	Marseille	7.0	6.0	2.0	2.4	2.0	2.6	3.0	3.0
9	Skikda	5.6	6.0	2.2	2.4	2.0	3.1	2.3	2.1
10	Porto Maurizio	8.3	8.2	3.4	3.0	1.6	3.3	3.6	3.0
11	Carloforte	6.5	5.9	2.6	2.7	1.9	3.2	3.2	3.1
12	Genova	8.6	8.5	3.2	3.2	1.4	3.6	3.3	3.0
13	Cagliari	7.6	8.3	2.8	3.7	1.8	2.9	3.2	2.7
14	La Spezia	9.4	8.8	3.4	3.4	1.4	3.8	3.7	3.0
15	Gabes	51.1	50.1	36.4	35.1	0.5	3.4	2.5	2.1
16	Livorno	8.5	7.3	3.4	3.6	1.8	3.8	4.0	3.6
17	Sfax	41.6	40.6	26.7	25.0	0.8	0.5	1.8	1.4
18	Zarzis	21.9	20.6	15.3	10.5	0.9	0.7	2.0	2.0
19	Civitavecchia	10.9	10.5	4.1	5.1	1.2	3.3	2.7	2.5
20	Pantelleria	1.6	1.0	1.9	1.7	1.4	1.1	2.0	1.5
21	Venice	23.4	22.1	14.1	14.1	5.6	5.3	17.9	16.4
22	Lampedusa	6.6	6.5	4.2	4.9	0.7	0.8	0.9	0.2
23	Mazara del Vallo	4.3	2.3	1.8	1.8	1.8	1.4	3.5	3.1
24	SG	4.8	4.0	3.1	3.5	0.9	0.8	0.5	0.5
25	Trigoli	11.1	12.5	5.4	4.5	0.6	0.3	2.0	0.9
26	Palermo	10.6	11.5	4.1	5.4	1.2	1.1	3.2	2.6
27	Ancona	6.6	6.8	3.6	3.7	4.2	3.6	13.0	6.6
28	P. Espedole	4.5	4.2	3.2	3.3	1.4	1.4	1.8	1.4
29	Trieste	26.3	26.0	15.2	16.6	6.1	6.0	19.7	8.5
30	Ichia	12.0	11.3	5.0	5.4	1.0	0.9	3.0	2.5
31	Napoli	11.1	11.5	4.4	5.5	1.0	4.0	2.8	2.5
32	Ortona	6.4	6.3	4.5	4.5	3.4	3.7	9.7	9.7
33	Malta	8.0	8.7	4.0	3.7	1.0	1.7	1.0	0.6
34	Bakar	10.6	13.8	5.5	8.2	4.1	4.2	13.8	13.3
35	Lipari	12.0	12.0	4.5	5.7	1.1	1.1	3.1	2.9
36	Catania	6.4	6.1	3.4	5.7	1.1	1.1	1.5	1.3
37	Capo Passero	6.7	7.2	3.5	3.8	0.9	0.4	1.9	1.6
38	Milazzo	12.0	12.2	4.7	5.8	1.1	1.2	3.3	2.9
39	Reggio Calabria	6.2	6.6	3.1	3.5	0.9	0.8	1.3	1.5
40	Santandrea Island	6.8	5.9	4.4	4.4	2.5	2.2	6.8	6.3
41	Vieste	7.9	8.8	5.1	5.9	1.5	1.9	4.2	3.9
42	Split	8.0	7.6	5.6	4.8	2.7	2.1	8.8	8.3
43	Taranto	6.5	6.3	3.7	3.5	0.8	0.5	1.8	1.5
44	Brindisi	8.7	8.7	5.2	5.6	1.5	1.3	4.6	3.6
45	Otranto	7.0	6.8	4.0	4.1	1.0	0.9	2.3	1.7
46	Bar	9.2	8.8	5.6	5.8	1.4	1.1	4.8	4.7
47	Lefkas	4.0	4.8	2.2	2.7	0.8	0.6	1.4	1.1
48	Katakolo	3.3	3.9	1.6	2.0	0.5	0.9	1.3	1.0
49	Kalamata	2.2	2.8	1.1	1.7	0.5	0.6	1.2	1.0
50	Thessaloniki	9.0	9.5	6.1	5.6	1.3	0.9	2.6	2.4
51	Tobrukh	1.4	2.4	1.3	1.0	0.5	0.2	0.6	0.6
52	Souda	1.0	1.5	0.8	0.7	0.6	0.5	1.4	1.0
53	Syros	2.0	1.8	1.0	0.4	1.0	0.8	1.9	1.3
54	Iraklion	1.5	2.5	1.1	1.1	0.9	0.8	1.8	1.4
55	Alexandropolis	7.1	8.2	3.0	3.1	1.3	1.3	0.3	0.3
56	Portoherakio	2.9	2.0	2.9	2.2	0.8	0.7	1.2	0.9
57	Chios	4.4	4.5	2.9	0.7	1.3	1.5	2.3	1.9
58	Leros	2.1	2.7	1.3	1.2	1.1	1.0	2.0	1.9
59	Rodos	4.4	4.1	2.7	3.1	1.1	1.0	1.8	1.3
60	Alexandria	7.2	8.5	4.1	3.8	1.3	1.1	1.7	1.0
61	Port Said	11.2	12.9	6.9	5.9	1.7	1.7	2.1	1.8
62	Kyrenia	10.1	11.1	6.4	5.0	1.8	1.3	2.4	1.6
63	Fanagusta	11.0	12.2	7.3	6.5	1.8	1.5	2.1	1.7



## ATTIVITÀ SVOLTE

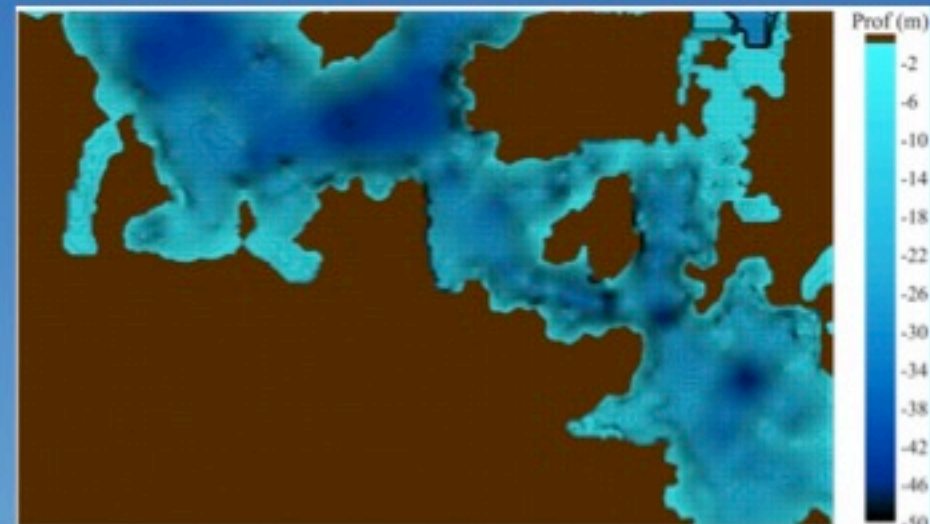
- **Obiettivo A:** Sviluppo del modello numerico per la simulazione della circolazione marina e del modello del moto ondoso per il bacino Mediterraneo a circa 7 km di risoluzione.



L'Arcipelago della Maddalena. I rettangoli gialli indicano le aree analizzate nelle simulazioni

Modello di corrente utilizzato: POM  
(Princeton Pcean Model)

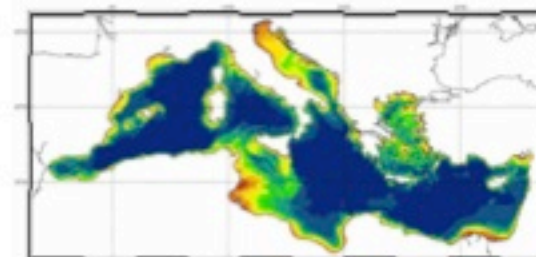
Risoluzione orizzontale: 90m  
Risoluzione verticale: 21 livelli sigma



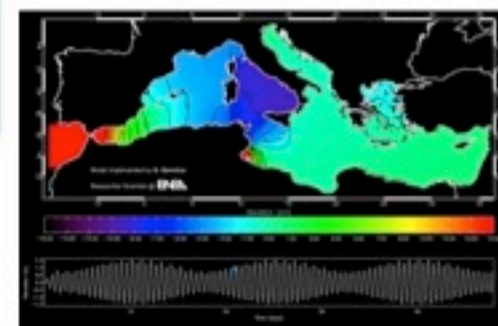


## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo A:** Sviluppo del modello numerico per la simulazione della circolazione marina e del modello del moto ondoso per il bacino Mediterraneo a circa 7 km di risoluzione.



- **Obiettivo B:** Produzione delle mappe degli indicatori del potenziale energetico relative alle simulazioni sul bacino del Mediterraneo.



- **Obiettivo C:** Analisi delle attuali tecnologie esistenti per lo sfruttamento della energia marina.

- **Obiettivo D:** Comunicazione e diffusione dei risultati.

Collaborazioni:



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DI ROMA  
"LA SAPIENZA"



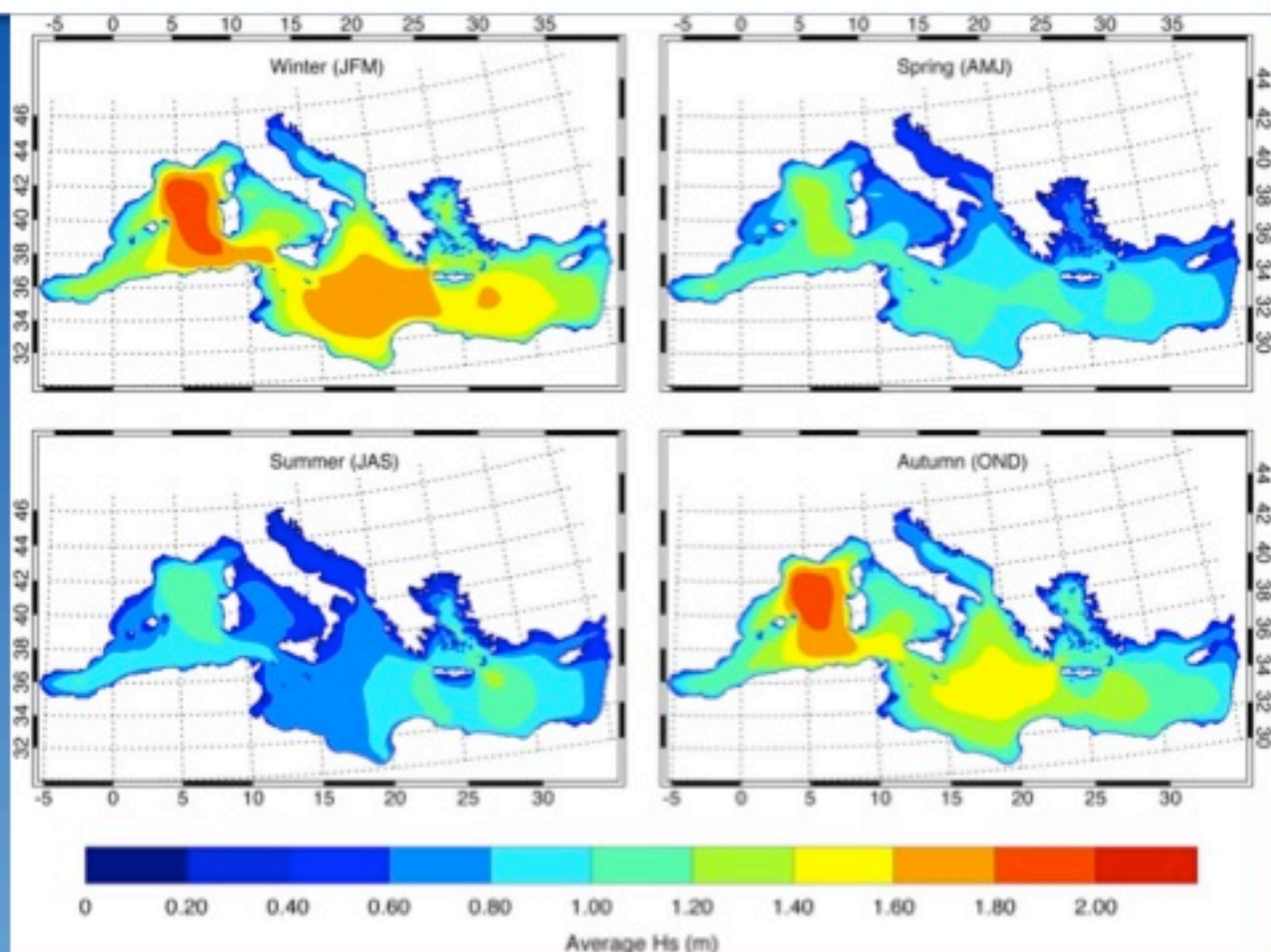
CASPUR  
Consorzio Interuniversitario  
per le Applicazioni di Supercomputing  
Per l'Università e la Ricerca



## ATTIVITÀ SVOLTE

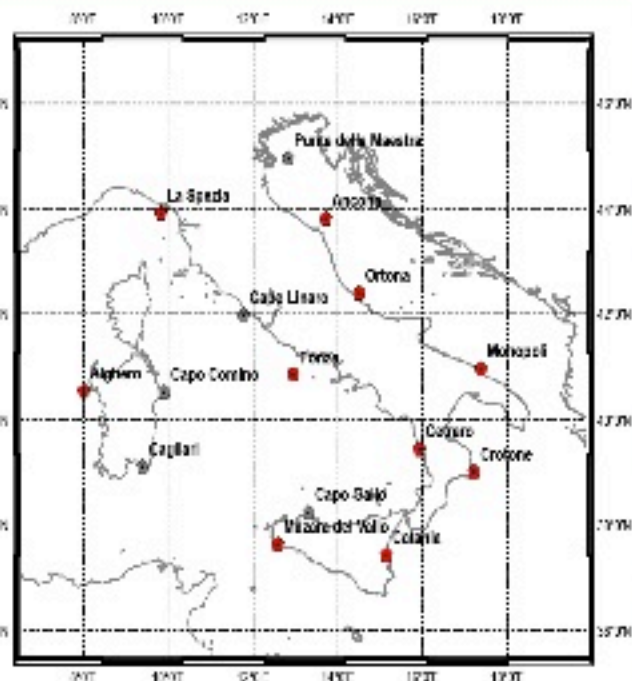
- **Obiettivo B:** Produzione delle mappe degli indicatori del potenziale energetico relative alle simulazioni sul bacino del Mediterraneo.

Mappe di altezza significativa ( $H_s$ ) in metri simulata dal modello WAM (SIM\_ECMWF). I valori riportati si riferiscono alla media stagionale calcolata per l'intervallo 2001-2010.





## Rete Ondametrica Nazionale gestita dal Servizio Mareografico dell'ISPRA Attiva dal 1989

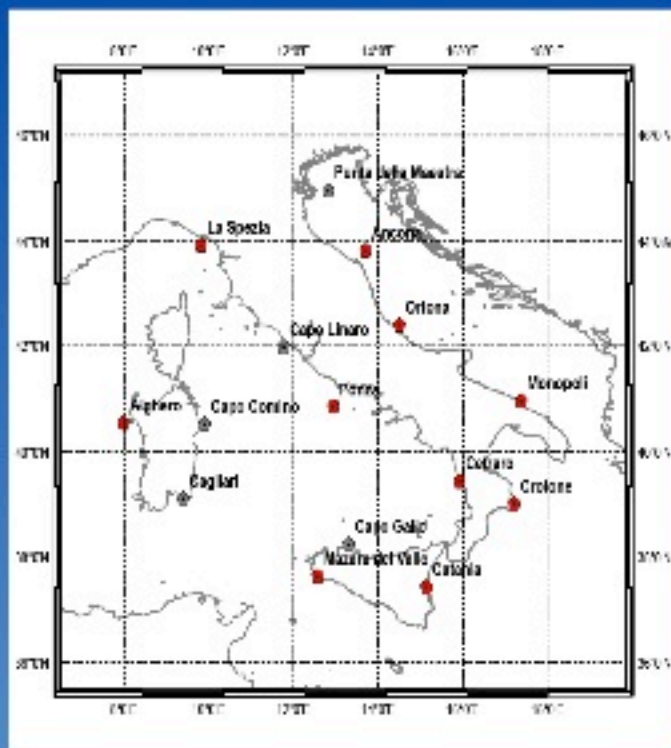


Posizione delle boe della Rete Ondametrica Nazionale (RON). I dati delle boe evidenziate in rosso sono stati utilizzati nel presente studio. Le boe indicate in grigio non sono state considerate perché l'estensione temporale delle serie non è sufficientemente lunga

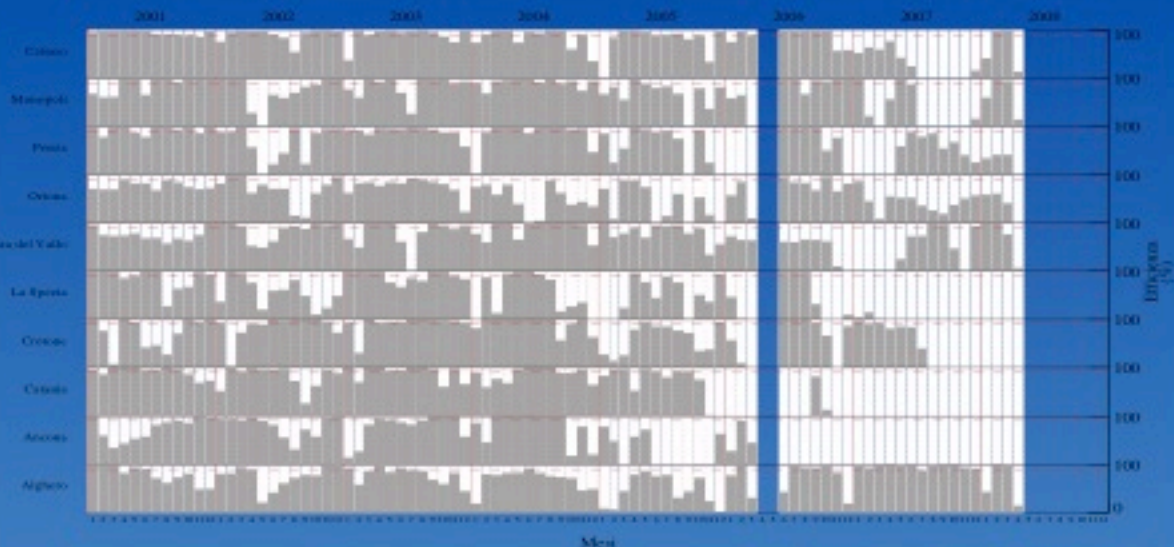




## Rete Ondametrica Nazionale gestita dal Servizio Mareografico dell'ISPRA



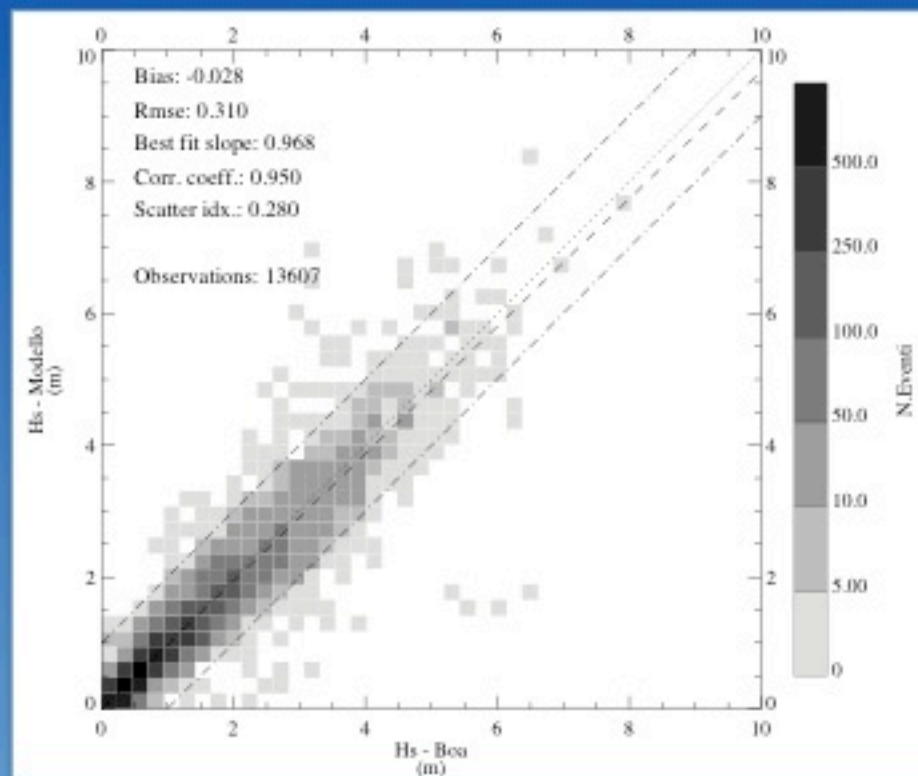
Posizione delle boe della Rete Ondametrica Nazionale (RON). I dati delle boe evidenziate in rosso sono stati utilizzati nel presente studio. Le boe indicate in grigio non sono state considerate perché l'estensione temporale delle serie non è sufficientemente lunga



Efficienza di funzionamento delle boe RON. Le barre grigie indicano la percentuale di funzionamento nel mese considerato. Le righe tratteggiate rosse indicano la percentuale del 90%.

## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo B:** Produzione delle mappe degli indicatori del potenziale energetico relative alle simulazioni sul bacino del Mediterraneo.



Scatter plot delle altezze significative ( $H_s$ ) in metri della simulazione SIM\_ECMWF (a) e del Centro Europeo ECMWF (b) rispetto ai dati relativi alla boa di Alghero per il periodo 2001-2007.



## ATTIVITÀ SVOLTE

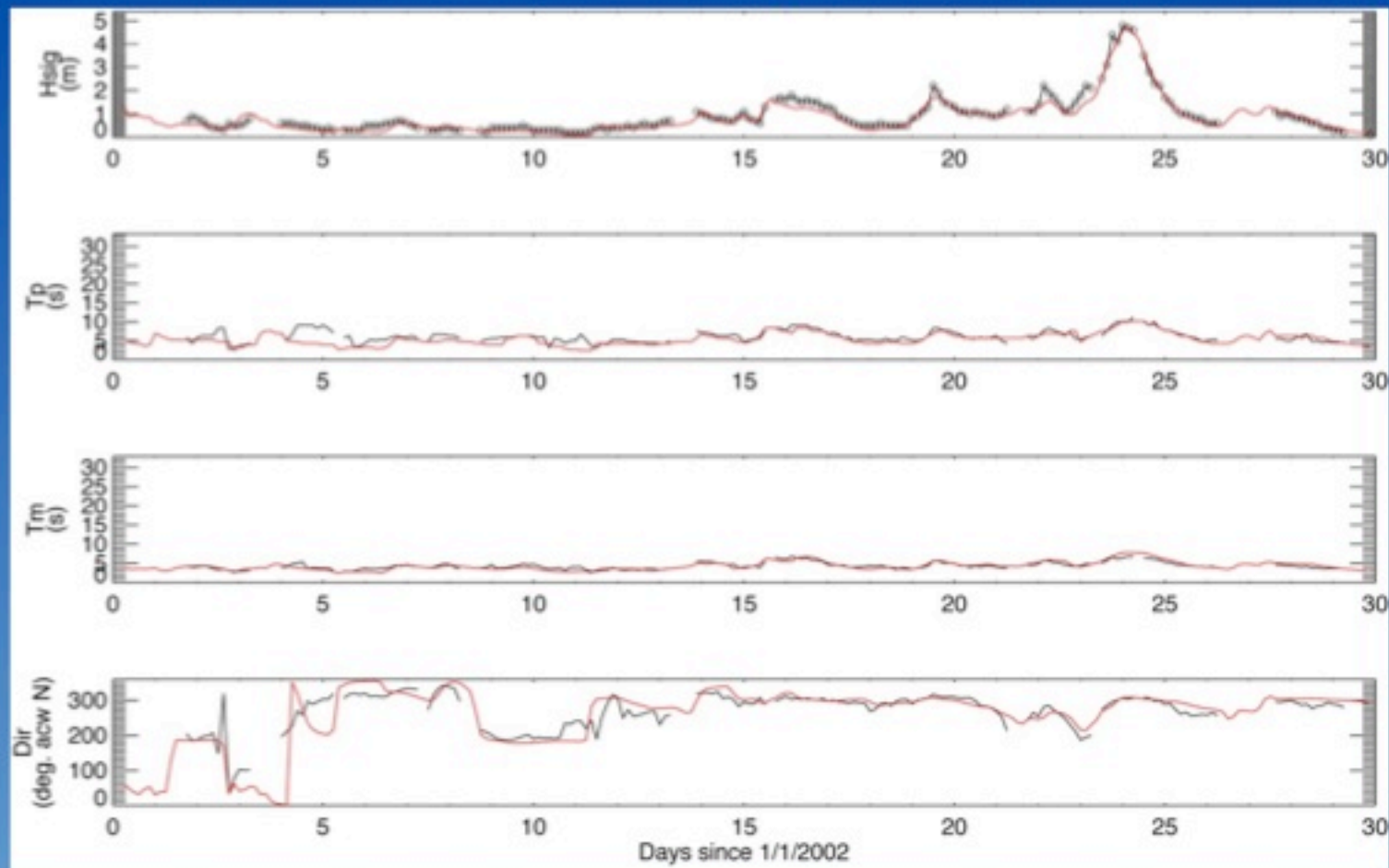
- **Obiettivo B:** Produzione delle mappe degli indicatori del potenziale energetico relative alle simulazioni sul bacino del Mediterraneo.

Confronto statistico relativo alle altezze significative ottenute dalla simulazione SIM\_ECMWF e dai dati prodotti da ECMWF. Le statistiche sono state calcolate confrontando i dati dei modelli con i corrispondenti dati RON per il periodo 2001-2007. N. obs indica il numero di coppie di valori analizzati. Bias è la differenza tra i valori medi, Rmse indica la radice quadrata dello scarto quadratico medio, Corr. Coeff. è il coefficiente di correlazione, Slope rappresenta la pendenza della retta di regressione, si è lo *scatter index*.

Boa	Run	Bias	Bias %	Rmse	Slope	Corr. Coeff	si	N. obs
Alghero	SIM_ECMWF	-0.028	2.529	0.310	0.968	0.950	0.280	13607
	ECMWF	-0.184	14.241	0.398	0.789	0.948	0.359	6811
Ancona	SIM_ECMWF	-0.214	28.997	0.361	0.725	0.867	0.477	9126
	ECMWF	-0.274	36.340	0.417	0.612	0.868	0.553	4568
Catania	SIM_ECMWF	-0.178	28.896	0.308	0.747	0.834	0.501	10705
	ECMWF	-0.212	34.194	0.338	0.648	0.807	0.544	5316
Crotone	SIM_ECMWF	0.003	0.407	0.273	0.993	0.907	0.371	14035
	ECMWF	-0.101	13.649	0.276	0.823	0.907	0.373	6946
La Spezia	SIM_ECMWF	-0.185	23.154	0.309	0.798	0.926	0.386	10594
	ECMWF	-0.289	36.080	0.424	0.628	0.913	0.530	5302
Mazara del Vallo	SIM_ECMWF	0.011	1.000	0.257	1.019	0.947	0.254	14371
	ECMWF	-0.098	9.655	0.270	0.880	0.941	0.265	7172
Ortona	SIM_ECMWF	-0.188	30.274	0.313	0.690	0.885	0.505	11764
	ECMWF	-0.181	29.147	0.321	0.665	0.887	0.518	5864
Ponza	SIM_ECMWF	-0.125	15.097	0.277	0.867	0.923	0.334	13990
	ECMWF	-0.146	17.612	0.288	0.802	0.927	0.347	7004
Monopoli	SIM_ECMWF	-0.128	17.952	0.310	0.826	0.860	0.435	13826
	ECMWF	-0.203	28.352	0.349	0.693	0.859	0.488	6891
Cetraro	SIM_ECMWF	-0.124	17.639	0.266	0.820	0.926	0.379	14206
	ECMWF	-0.111	15.722	0.272	0.797	0.924	0.386	7083



## Simulazione numerica e previsione ENEA



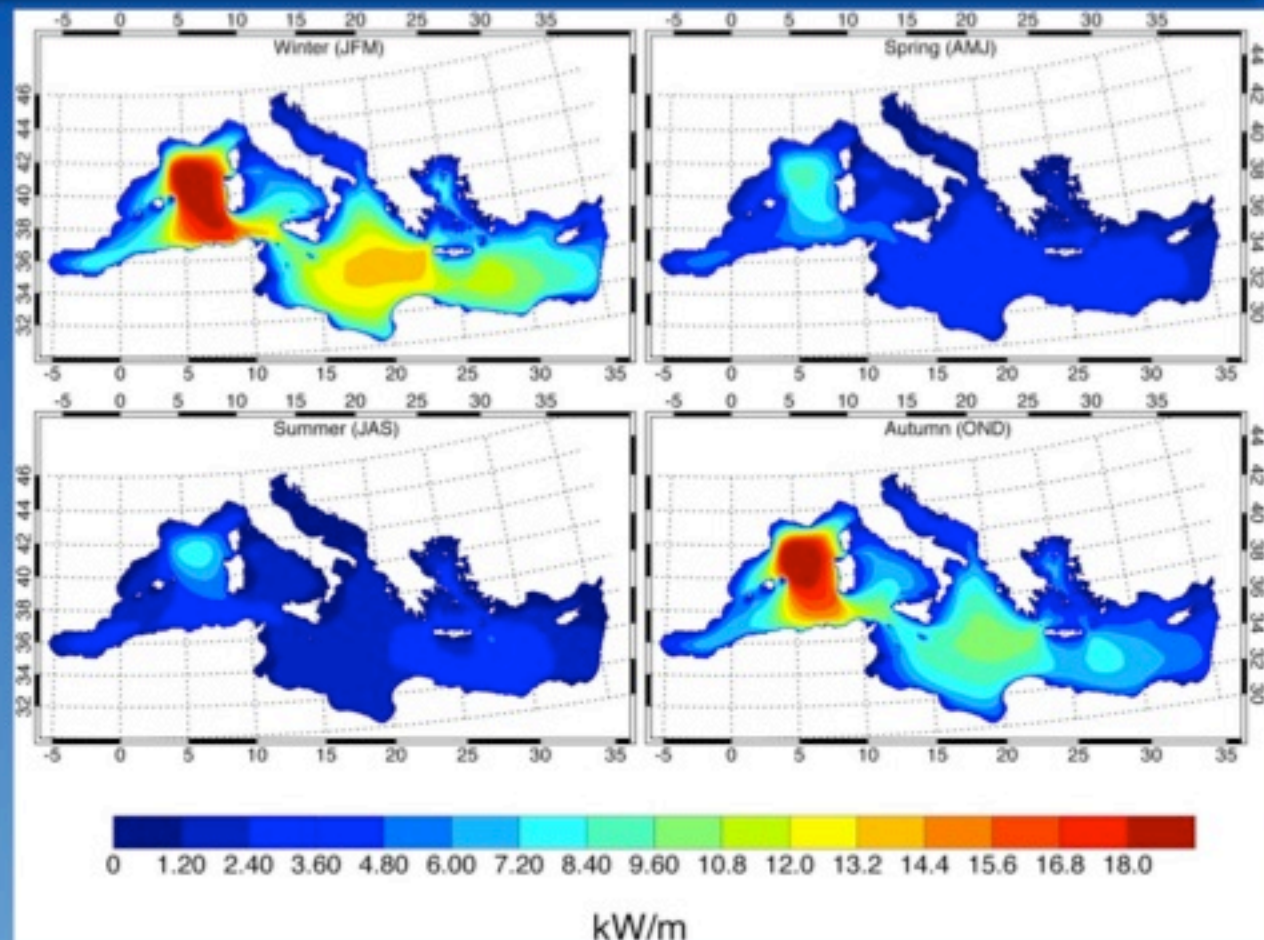
Andamento delle altezze significative (Hs) in metri della simulazione SIM\_ECMWF rispetto ai dati relativi alla boa di Alghero.

## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo B:** Produzione delle mappe degli indicatori del potenziale energetico relative alle simulazioni sul bacino del Mediterraneo.

$$P = \frac{\rho g^2}{64\pi} T_{m0,-1} H_{m0}^2 / 1000$$

Mappe di potenziale energetico (in kW/m) calcolate dai dati del modello WAM (SIM\_ECMWF). I valori riportati si riferiscono alla media stagionale calcolata per l'intervallo 2001-2010.

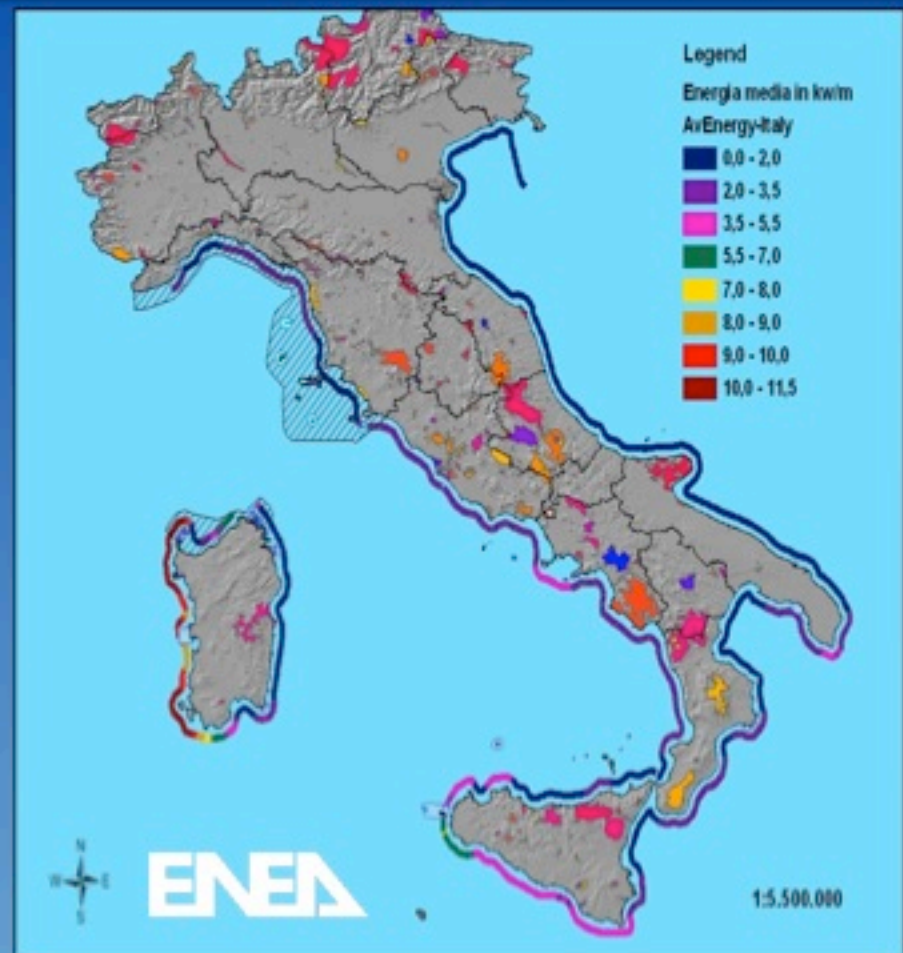


## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo B:** Produzione delle mappe degli indicatori del potenziale energetico relative alle simulazioni sul bacino del Mediterraneo.

$$P = \frac{\rho g^2}{64\pi} T_{m0,-1} H_{m0}^2 / 1000$$

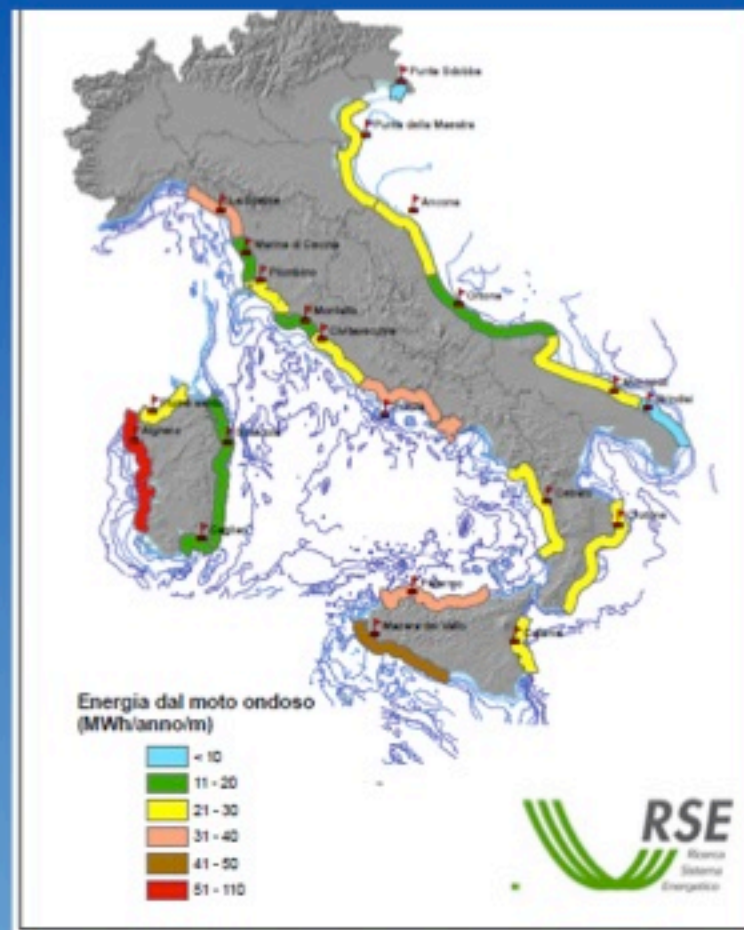
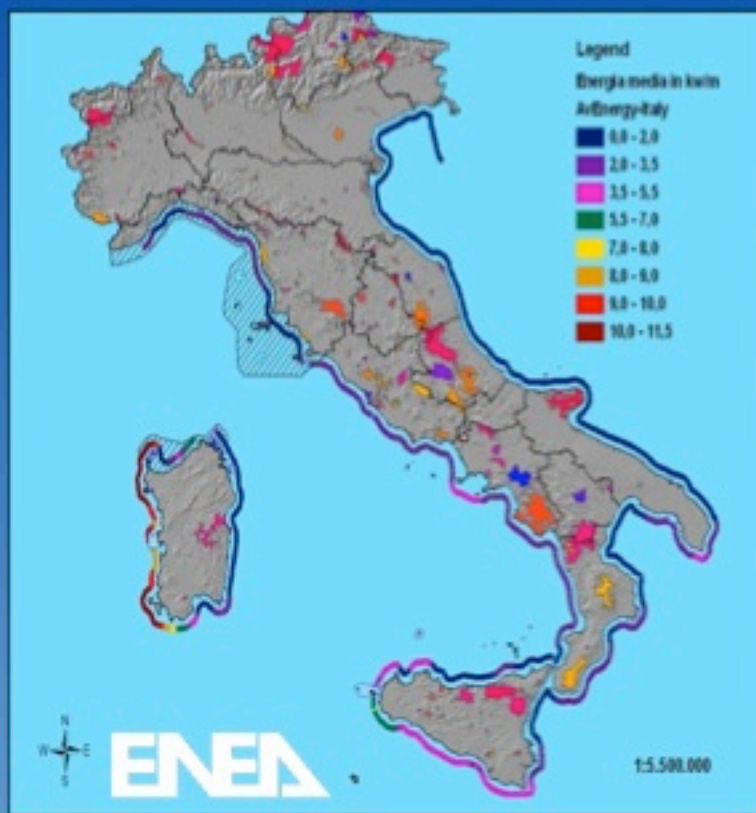
Potenziale media annuale (2001-2019) lungo le coste italiane (in kW/m) Carta tematica delle Aree Naturali Marine Protette e Riserve Naturali Marine.





## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo B:** Produzione delle mappe degli indicatori del potenziale energetico relative alle simulazioni sul bacino del Mediterraneo.

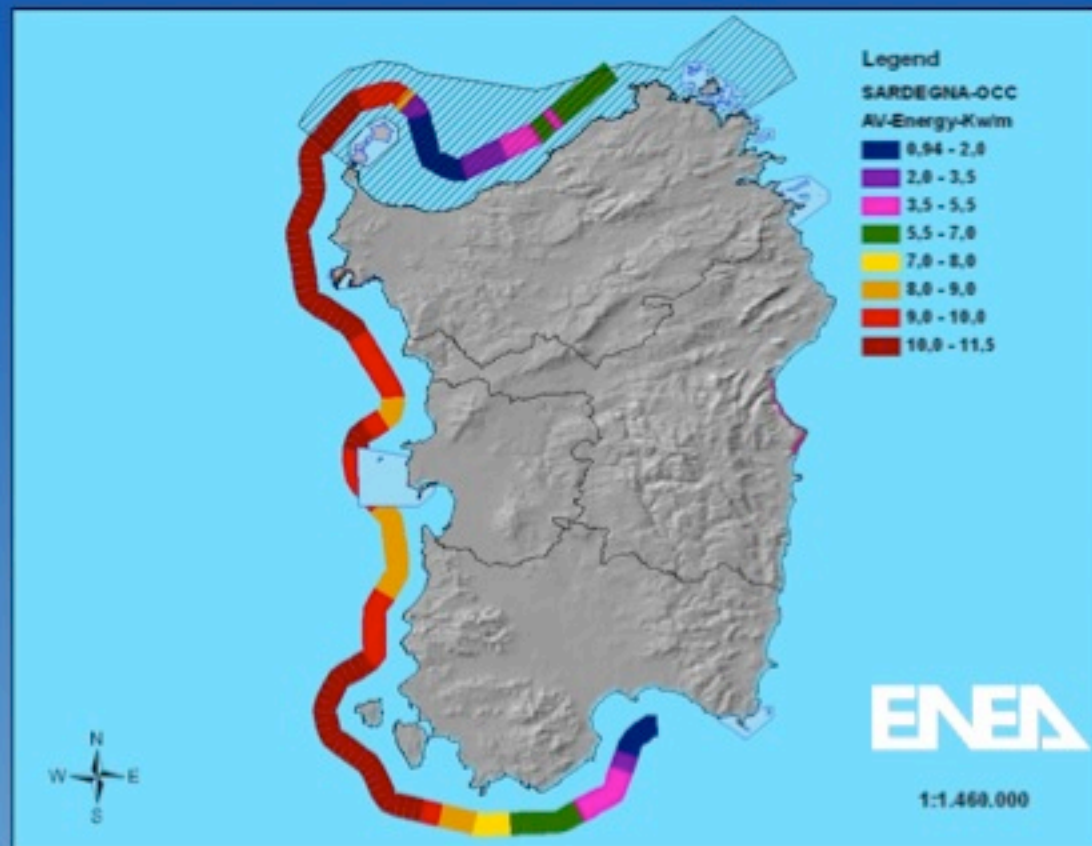


## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo B:** Produzione delle mappe degli indicatori del potenziale energetico relative alle simulazioni sul bacino del Mediterraneo.

$$P = \frac{\rho g^2}{64\pi} T_{m0,-1} H_{m0}^2 / 1000$$

Potenziale media annuale  
(2001-2019) lungo le coste sarde.  
Carta tematica delle Aree Naturali  
Marine Protette e Riserve Naturali  
Marine.



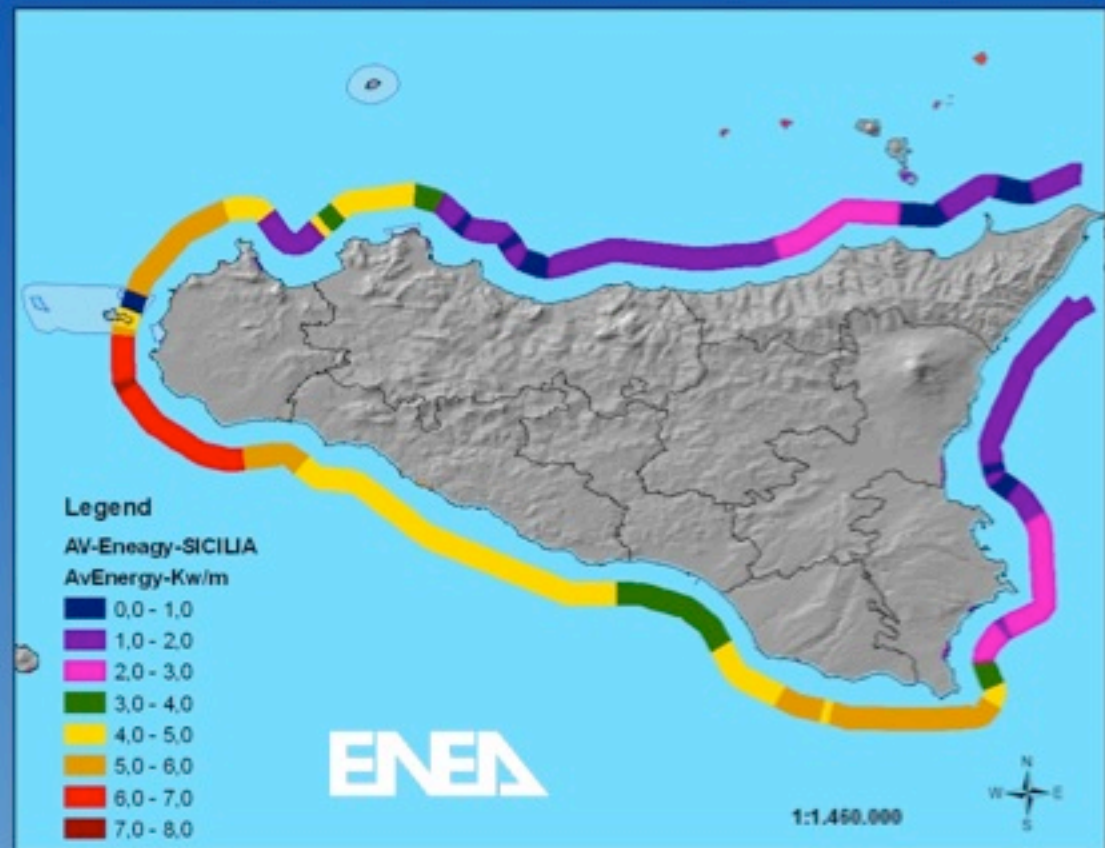


## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo B:** Produzione delle mappe degli indicatori del potenziale energetico relative alle simulazioni sul bacino del Mediterraneo.

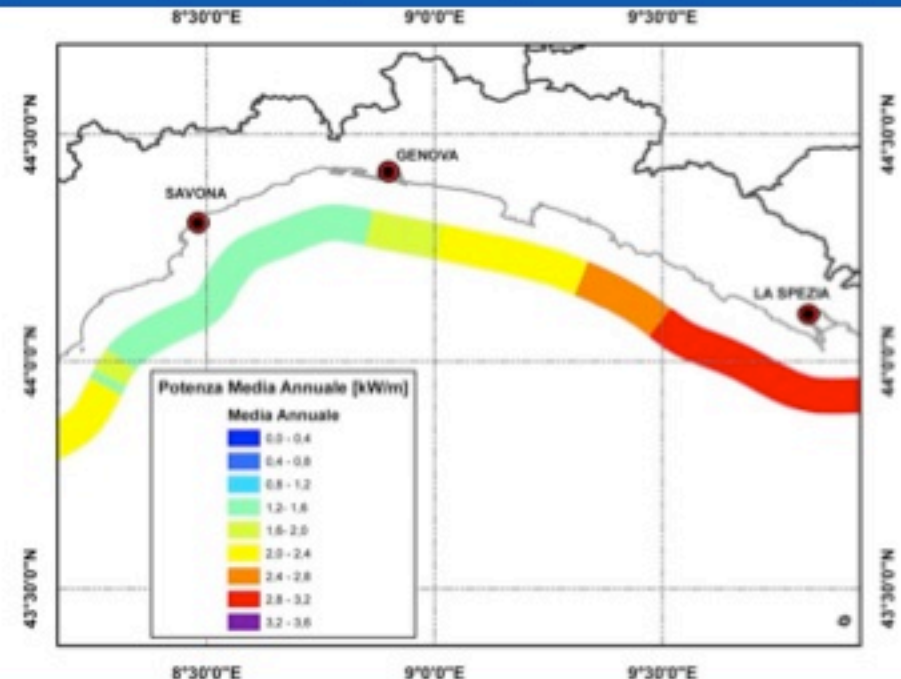
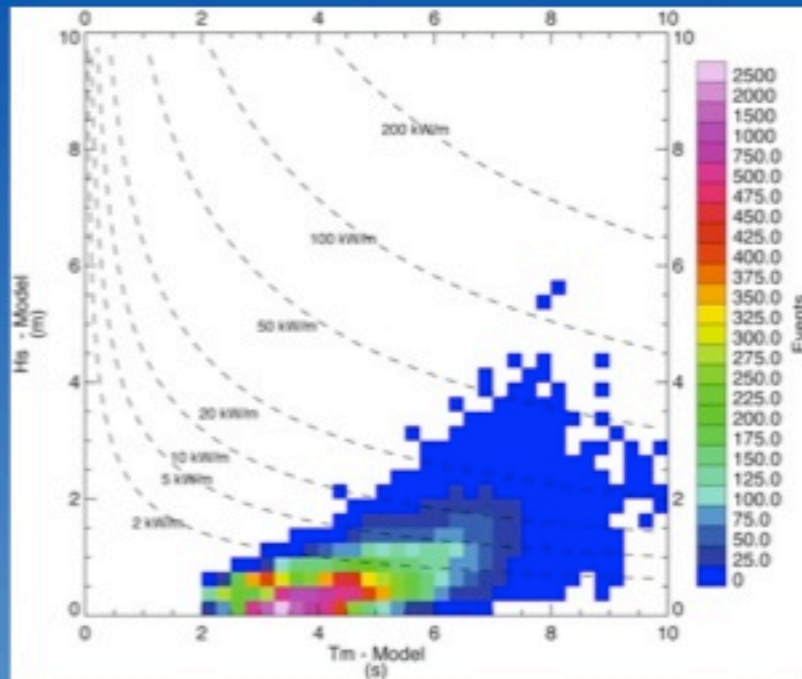
$$P = \frac{\rho g^2}{64\pi} T_{m0,-1} H_{m0}^2 / 1000$$

Potenziale media annuale  
(2001-2019) lungo le coste siciliane.  
Carta tematica delle Aree Naturali  
Marine Protette e Riserve Naturali  
Marine.



## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo B:** Produzione delle mappe degli indicatori del potenziale energetico relative alle simulazioni sul bacino del Mediterraneo.



## Simulazione numerica per Genova

Potenziale medio annuale  
(2001-2010) lungo le coste liguri.

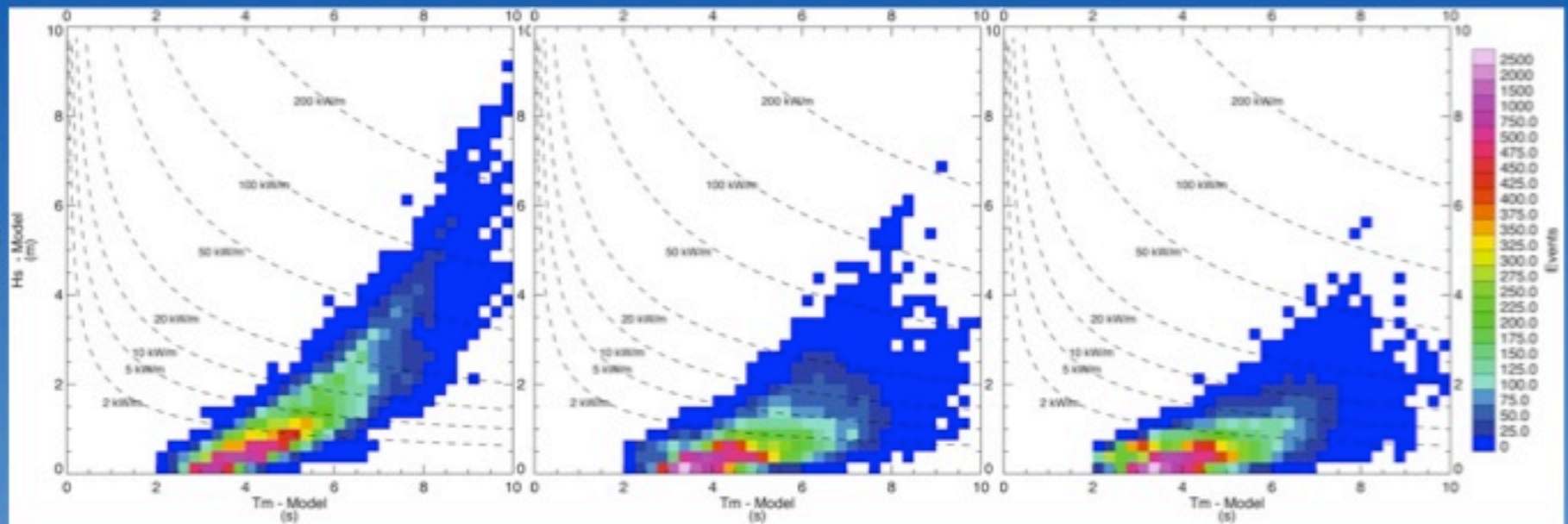
$$P = \frac{\rho g^2}{64\pi} T_{m0,-1} H_{m0}^2 / 1000$$



## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo B:** Produzione delle mappe degli indicatori del potenziale energetico relative alle simulazioni sul bacino del Mediterraneo.

## Simulazione numerica per Alghero, La Spezia e Genova



Alghero

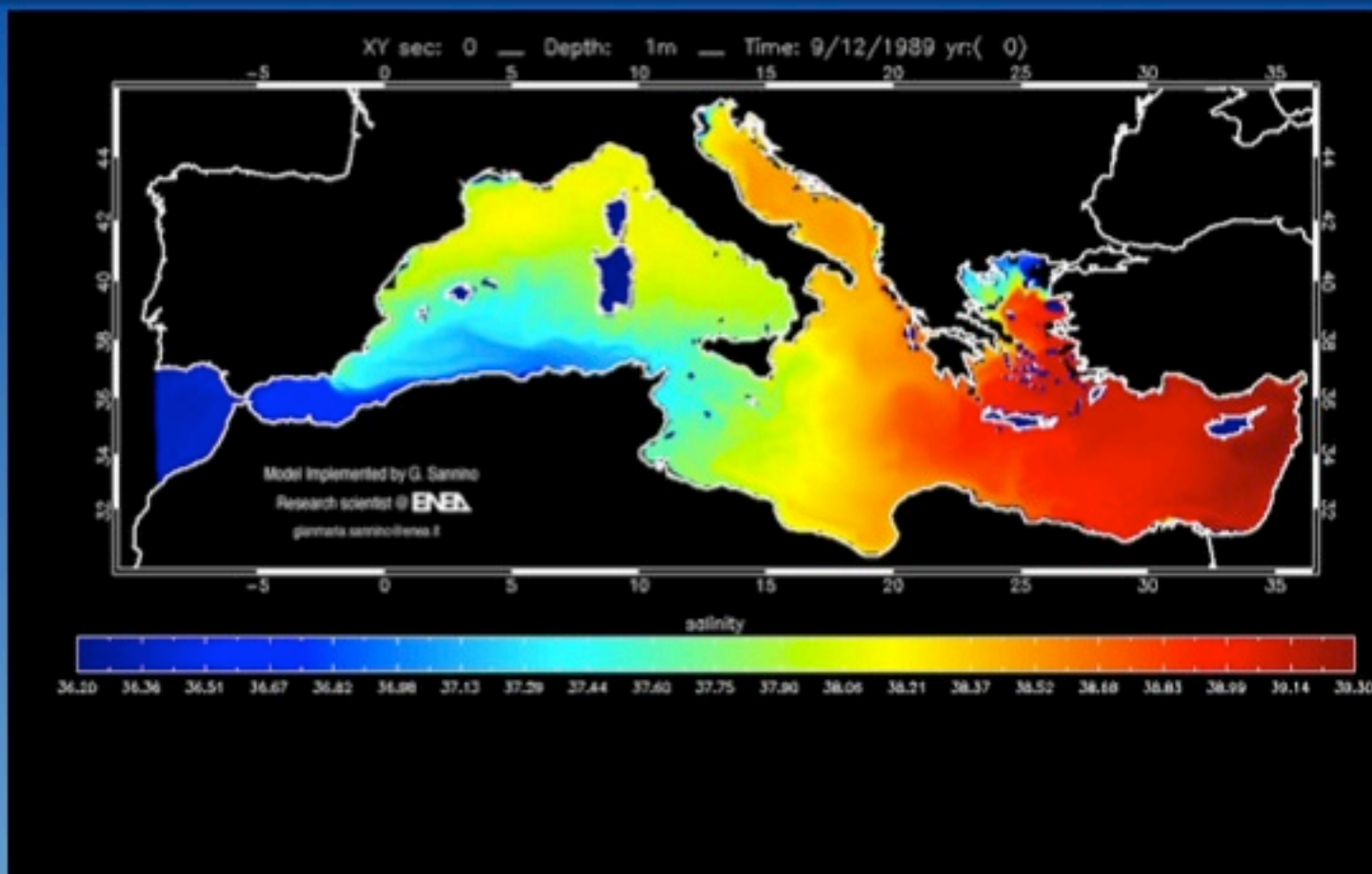
La Spezia

Genova

$$P = \frac{\rho g^2}{64\pi} T_{m0,-1} H_{m0}^2 / 1000$$

## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo B:** Produzione delle mappe degli indicatori del potenziale energetico relative alle simulazioni sul bacino del Mediterraneo.

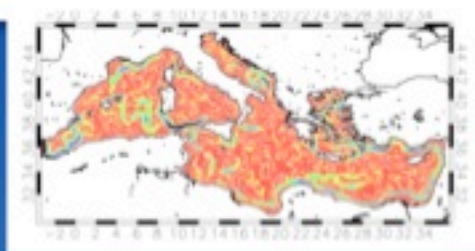




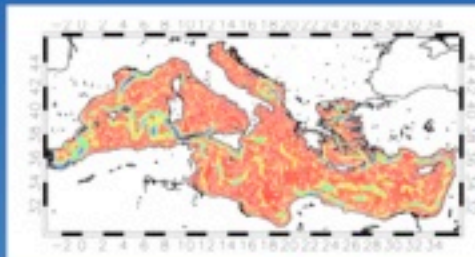
## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo B:** Produzione delle mappe degli indicatori del potenziale energetico relative alle simulazioni sul bacino del Mediterraneo.

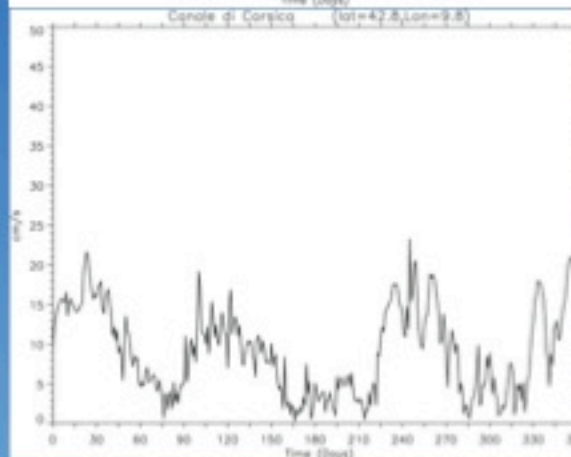
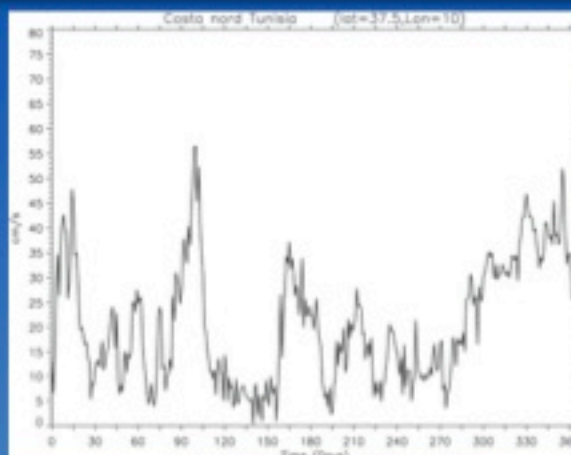
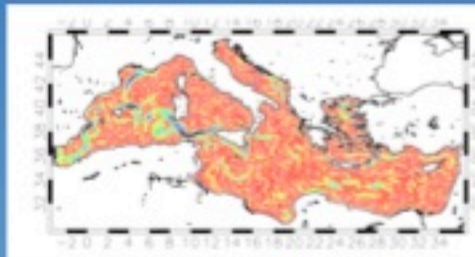
Gennaio



Febbraio



Marzo



Energia cinetica media mensile associata alle correnti marine comprese tra 15 e 30 m di profondità. Le correnti sono state simulate dal modello MITgcm.

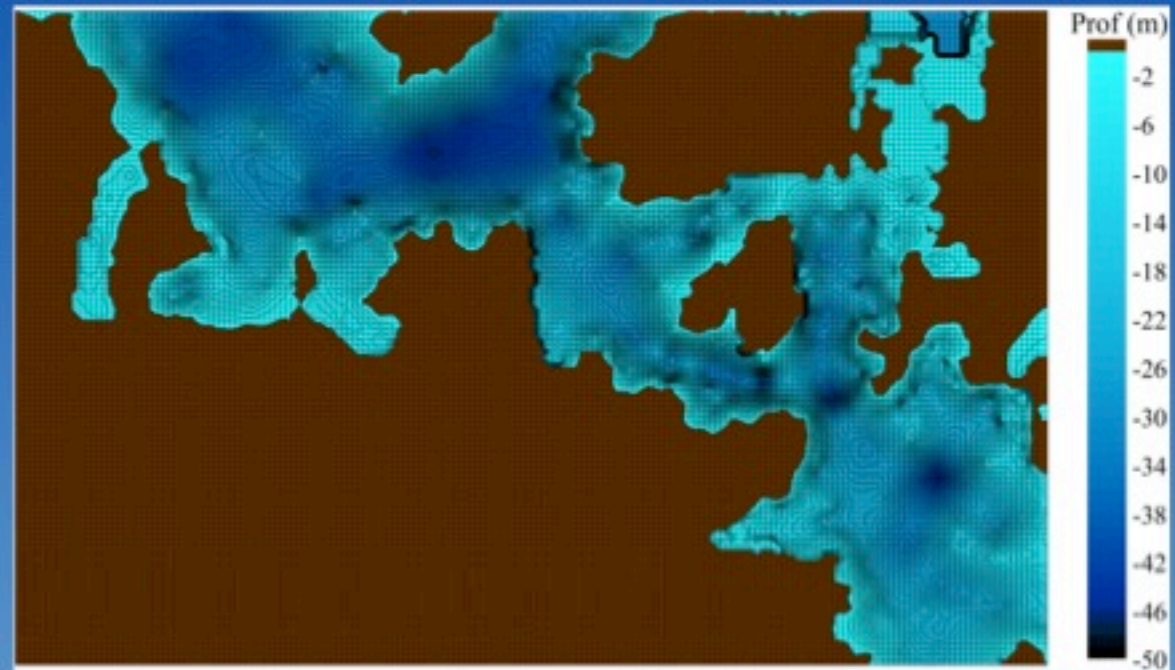
Andamenti temporali dell'intensità della corrente in cm/sec per l'anno 2010 ricavata dalla simulazione numerica effettuata con il modello MITgcm. Gli andamenti si riferiscono alla costa tunisina e Canale di Corsica

## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo B:** Produzione delle mappe degli indicatori del potenziale energetico relative alle simulazioni sul bacino del Mediterraneo.

Modello di corrente utilizzato:  
POM (Princeton Pcean Model)

Risoluzione orizzontale: 90m  
Risoluzione verticale: 21 livelli  
sigma



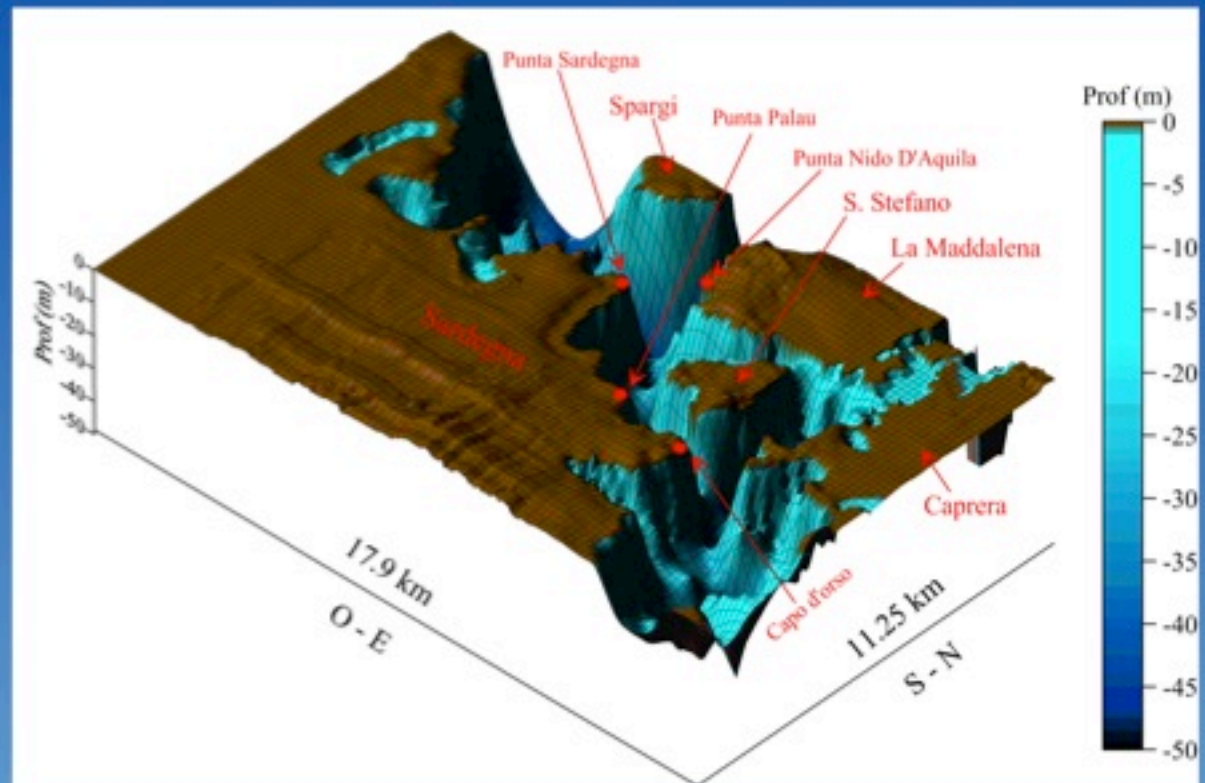


## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo B:** Produzione delle mappe degli indicatori del potenziale energetico relative alle simulazioni sul bacino del Mediterraneo.

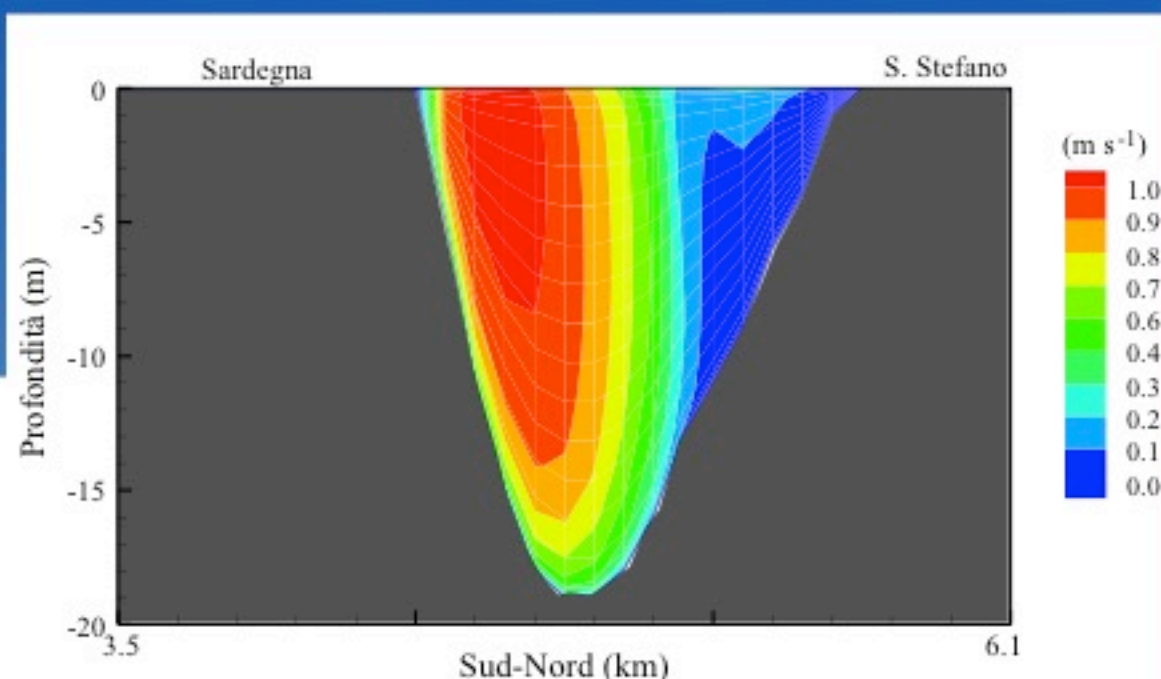
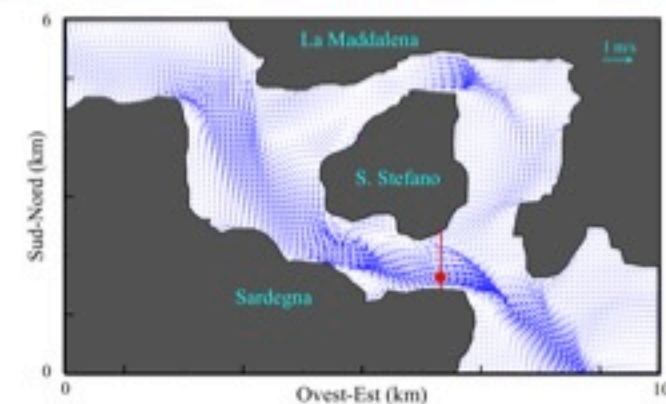
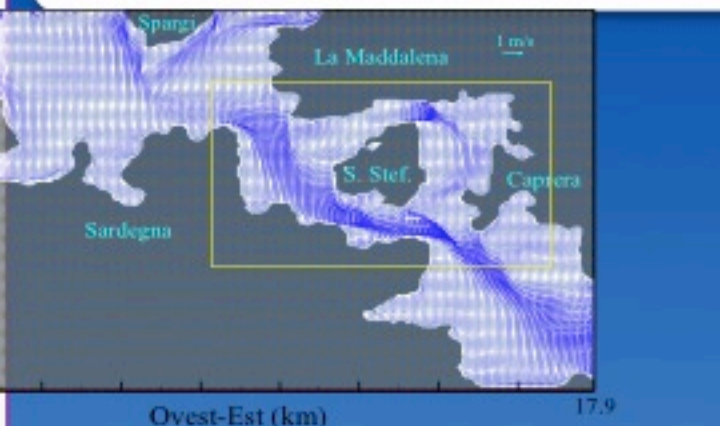
Modello di corrente utilizzato:  
POM (Princeton Pcean Model)

Risoluzione orizzontale: 90m  
Risoluzione verticale: 21 livelli  
sigma



## ATTIVITÀ SVOLTE

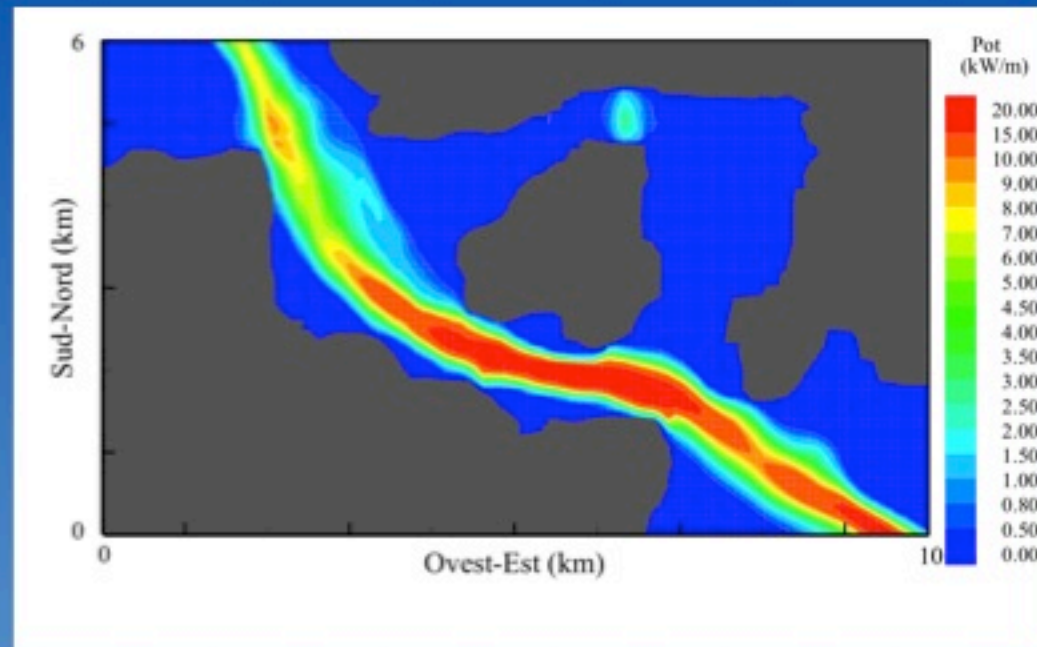
- **Obiettivo B:** Produzione delle mappe degli indicatori del potenziale energetico relative alle simulazioni sul bacino del Mediterraneo.



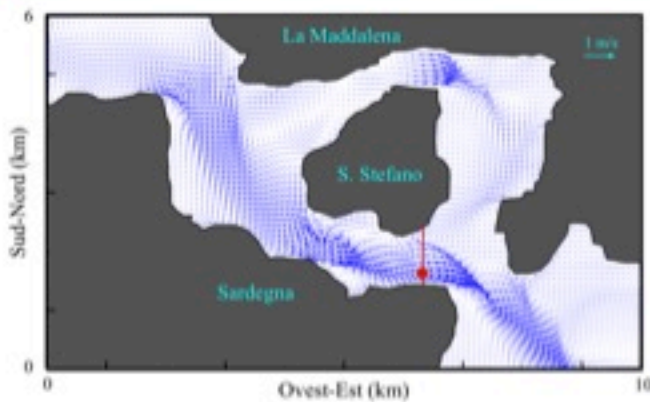


## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo B:** Produzione delle mappe degli indicatori del potenziale energetico relative alle simulazioni sul bacino del Mediterraneo.

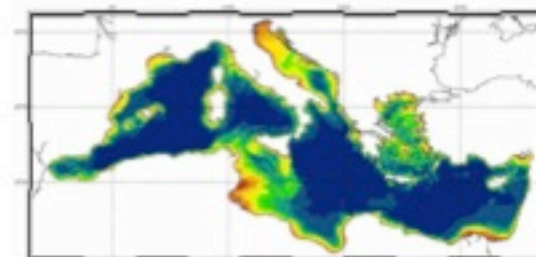


Mappa della potenza media mensile della corrente calcolata lungo la colonna d'acqua (Aprile 2009).

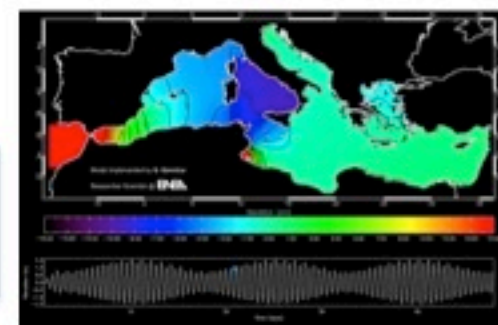


## ATTIVITÀ SVOLTE

■ **Obiettivo A:** Sviluppo del modello numerico per la simulazione della circolazione marina e del modello del moto ondoso per il bacino Mediterraneo a circa 7 km di risoluzione.



■ **Obiettivo B:** Produzione delle mappe degli indicatori del potenziale energetico relative alle simulazioni sul bacino del Mediterraneo.



■ **Obiettivo C:** Analisi delle attuali tecnologie esistenti per lo sfruttamento della energia marina.

■ **Obiettivo D:** Comunicazione e diffusione dei risultati.

Collaborazioni:



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DI ROMA  
"LA SAPIENZA"



CASPUR  
Consorzio Interuniversitario  
per le Applicazioni di Supercomputing  
Per l'Ingegneria e la Ricerca





## ATTIVITÀ SVOLTE

■ **Obiettivo C:** Analisi delle attuali tecnologie esistenti per lo sfruttamento della energia marina.

1. Dispositivi di conversione del moto ondoso;
2. Dispositivi di conversione delle correnti di marea.



Collaborazioni:



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DI ROMA  
"LA SAPIENZA"



CASPUR  
Commissione Interministeriale  
per le Applicazioni di Ricerche  
Per l'Università e Ricerca



## ATTIVITÀ SVOLTE

■ **Obiettivo C:** Analisi delle attuali tecnologie esistenti per lo sfruttamento della energia marina.

1. Dispositivi di conversione del moto ondoso;

- Stato dello sfruttamento dell'energia ondosa nei maggiori Paesi coinvolti (UK, PT, DK, IR, NO, NL, SW, BE, DE, FR, GR, AU, USA, IN, CN, JP)
- Classificazione e tipologie
- Materiali
- Ciclo di vita di un convertitore (preinstallazione-produzione-installazione-esercizio-manutenzione)
- Valutazione di impatto ambientale
- Ancoraggi
- Esempio di applicazione di alcuni convertitori a Cagliari





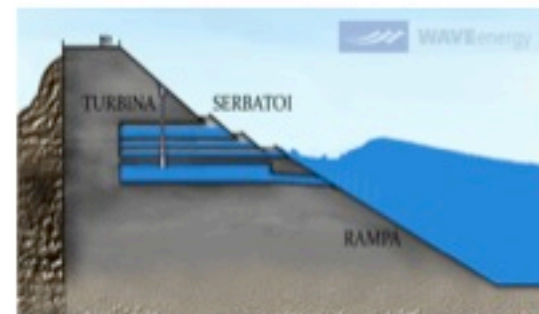
## ATTIVITÀ SVOLTE

■ **Obiettivo C:** Analisi delle attuali tecnologie esistenti per lo sfruttamento della energia marina.

1. Dispositivi di conversione del moto ondoso;

• Esempio di applicazione di alcuni convertitori a Cagliari

- LEANCON
- DEXA
- Sea-Wave Slot-Cone



## ATTIVITÀ SVOLTE

■ **Obiettivo C:** Analisi delle attuali tecnologie esistenti per lo sfruttamento della energia marina.

1. Dispositivi di conversione del moto ondoso;

- Esempio di applicazione di alcuni convertitori a Cagliari

Stati ondosi	$H_s$ (m)	$T_p$ (s)	$P_{acc}$ (%)	$P_{onda}$ (kW/m)
	≤0.5 m, calma		19	
1	0.75	4.8	24.3	1.15
2	0.75	8.1	8.3	1.94
3	1.38	4.8	12.2	3.90
4	1.38	7	9.6	5.69
5	1.38	9.2	4.9	7.47
6	2.3	6.7	10.1	15.12
7	2.3	9.6	5.3	21.67
8	3.5	8.5	2	44.42
9	3.5	10.8	1.1	56.44
10	4.5	10.2	1.5	88.12
11	6.13	10.7	0.6	171.53

Stati ondosi al largo rappresentativi del clima di Cagliari: Altezza d'onda significativa ( $H_s$ ), periodo di picco ( $T_p$ ), potenza ondosa ( $P_{onda}$ ) e probabilità di accadimento nell'anno ( $P_{acc}$ ).





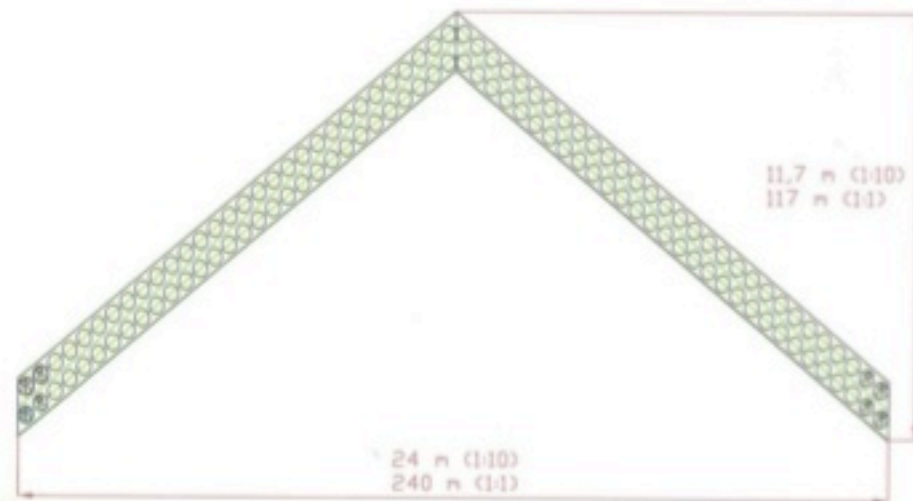
## ATTIVITÀ SVOLTE

### ■ Obiettivo C: Analisi delle attuali tecnologie esistenti per lo sfruttamento della energia marina.

#### 1. Dispositivi di conversione del moto ondoso;

- Esempio di applicazione di alcuni convertitori a Cagliari

- LEANCON – Multi Absorbing Wave Energy Converter & Oscillating Water Column



Pianta del Leancon con indicazione delle misure in scala di prototipo

## ATTIVITÀ SVOLTE

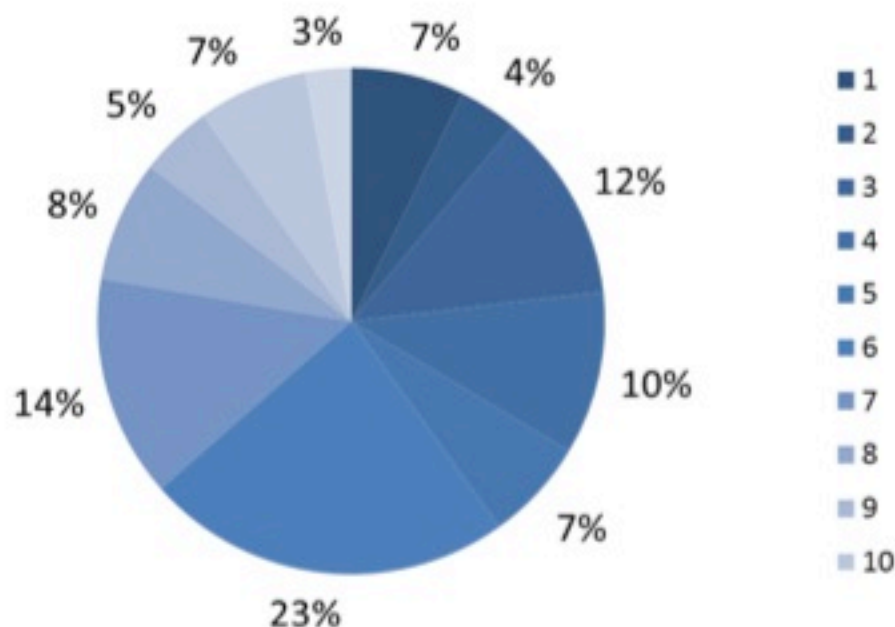
■ **Obiettivo C:** Analisi delle attuali tecnologie esistenti per lo sfruttamento della energia marina.

1. Dispositivi di conversione del moto ondoso;

- Esempio di applicazione di alcuni convertitori a Cagliari

➤ LEANCON – Multi Absorbing Wave Energy Converter & Oscillating Water Column

Il LEANCON che si potrebbe installare è **largo 240 m, lungo 117 m**, ancorato in punta e immerso di 2.8 m



Contributi dalla produzione energetica media annua estraibile dovuti ai singoli stati ondosi riportati in Tab. 7.2; dall'azzurro più intenso al meno intenso si passa dallo stato ondoso meno intenso al più intenso

## ATTIVITÀ SVOLTE

### ■ Obiettivo C: Analisi delle attuali tecnologie esistenti per lo sfruttamento della energia marina.

#### 1. Dispositivi di conversione del moto ondoso;

- Esempio di applicazione di alcuni convertitori a Cagliari

- LEANCON – Multi Absorbing Wave Energy Converter & Oscillating Water Column

L'energia media annua estraibile da un singolo Leancon a Cagliari risulta di **1.55 GWh/anno**.

Stati ondosi	$H/d$	$s_p$	$\lambda'$	$\gamma$	$\mu'$	$\sigma'$	$\mu=P_m$	$\sigma$	$\eta$	$P_m * P_{acc}$
1	0.268	0.021	-1.78	0.52	0.192	0.0112	220.96	12.92	0.192	53.69
2	0.268	0.007	-1.78	0.23	0.173	0.0015	334.75	3.00	0.173	27.78
3	0.493	0.038	-2.06	0.89	0.189	0.0433	736.73	168.93	0.189	89.88
4	0.493	0.018	-2.06	0.46	0.141	0.0046	801.26	25.97	0.141	76.92
5	0.493	0.010	-2.06	0.29	0.132	0.0016	989.74	11.68	0.132	48.50
6	0.821	0.033	-2.47	0.77	0.113	0.0105	1715.00	158.72	0.113	173.21
7	0.821	0.016	-2.47	0.41	0.092	0.0015	1984.77	33.46	0.092	105.19
8	1.250	0.031	-3.01	0.73	0.064	0.0030	2863.40	131.76	0.064	57.27
9	1.250	0.019	-3.01	0.48	0.055	0.0008	3119.17	44.77	0.055	34.31
10	1.607	0.028	-3.46	0.66	0.039	0.0008	3456.99	74.76	0.039	51.85
11	2.189	0.034	-4.19	0.80	0.021	0.0004	3603.66	68.82	0.021	21.62

Sintesi dei principali risultati ottenuti dall'estensione dei dati sperimentali alla ipotetica installazione a Cagliari. Potenza estraibile  $P_m$ , efficienza di conversione



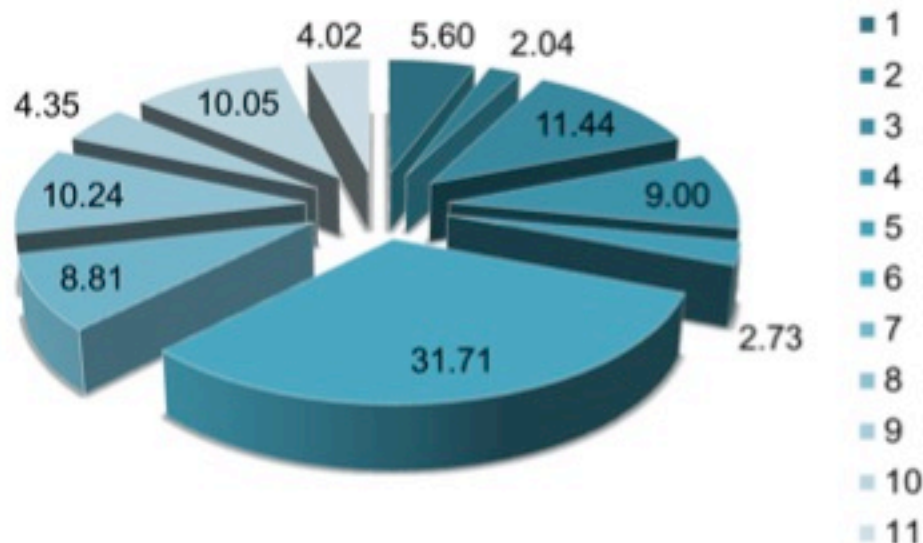
## ATTIVITÀ SVOLTE

■ **Obiettivo C:** Analisi delle attuali tecnologie esistenti per lo sfruttamento della energia marina.

1. Dispositivi di conversione del moto ondoso;

- Esempio di applicazione di alcuni convertitori a Cagliari

➤ DEXA – Wave Activated Body



Produzione di energia annua per un singolo **DEXA (42m x 16m)** installato su un fondale di 11 m al largo di Cagliari. Ripartizione percentuale della produzione per ciascuno degli stati ondosi sottoposti a prova, mostrati in scala di azzurro inversamente correlata all'intensità della agitazione ondosa

## ATTIVITÀ SVOLTE

■ **Obiettivo C:** Analisi delle attuali tecnologie esistenti per lo sfruttamento della energia marina.

1. Dispositivi di conversione del moto ondoso;

- Esempio di applicazione di alcuni convertitori a Cagliari

➤ DEXA – Wave Activated Body

La produzione media annua di energia di un singolo dispositivo è  $E_a = 155 \text{ MWh/anno}$ , che coprirebbe il fabbisogno di circa 50 famiglie, supponendo un fabbisogno giornaliero pari a 8 kWh/gg.



Onda	$P_m$ [kW]	$\eta$	$P_{acc}$ [%]
1	4.09	0.29	24.3
2	4.36	0.15	8.3
3	16.63	0.35	12.2
4	16.63	0.19	9.6
5	9.88	0.09	4.9
6	55.67	0.24	10.1
7	29.47	0.09	5.3
8	90.83	0.14	2
9	70.11	0.08	1.1
10	118.85	0.10	1.5
11	118.85	0.10	0.6

Potenza misurata  $P_m$ , efficienza (valutata come rapporto tra  $P_m$  e  $P_{onda}$  di ogni stato ondoso) e probabilità di accadimento  $P_{acc}$ .



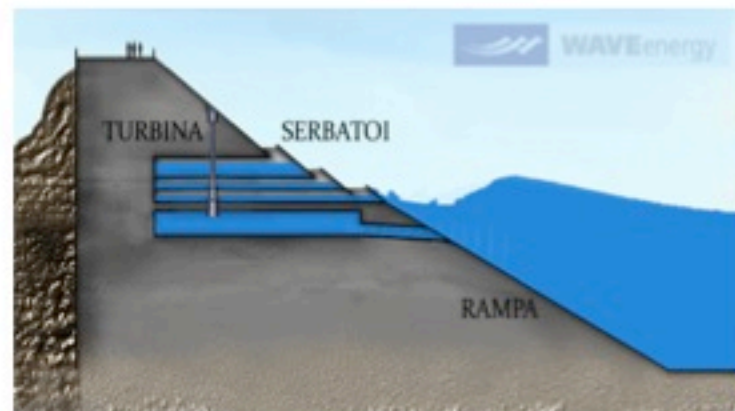
## ATTIVITÀ SVOLTE

■ **Obiettivo C:** Analisi delle attuali tecnologie esistenti per lo sfruttamento della energia marina.

1. Dispositivi di conversione del moto ondoso;

- Esempio di applicazione di alcuni convertitori a Cagliari

➤ Sea-Wave Slot-Cone



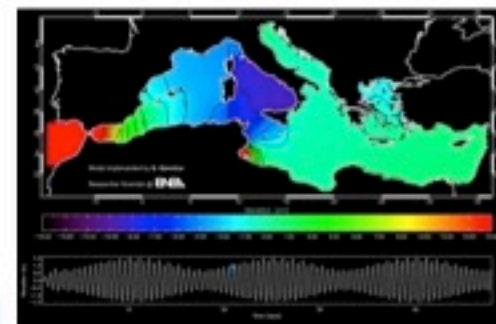
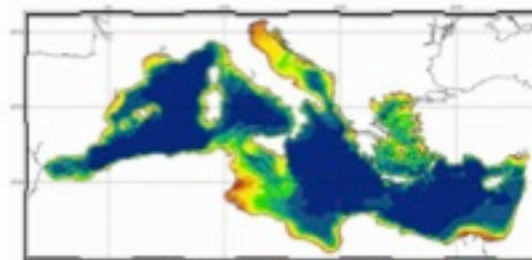
Un singolo modulo di SSG, di **larghezza 15 m** a scala reale, dà luogo ad una produzione di energia media annua pari a 0.21 GWh/anno nel caso a due serbatoi pari a **0.25 GWh/anno** se progettata a tre serbatoi.

Raffigurazione schematica del porto di Cagliari. I dispositivi potrebbero integrarsi sia nel Nuovo Molo di Levante sia nel Molo di Ponente



## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo A:** Sviluppo del modello numerico per la simulazione della circolazione marina e del modello del moto ondoso per il bacino Mediterraneo a circa 7 km di risoluzione.
  - **Obiettivo B:** Produzione delle mappe degli indicatori del potenziale energetico relative alle simulazioni sul bacino del Mediterraneo.
  - **Obiettivo C:** Analisi delle attuali tecnologie esistenti per lo sfruttamento della energia marina.
- **Obiettivo D:** Comunicazione e diffusione dei risultati.



Collaborazioni:



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DI ROMA  
"LA SAPIENZA"



CASPUR  
Consorzio Interuniversitario  
per le Applicazioni di Supercomputing  
Per l'Ingegneria e la Ricerca



### ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo D:** Comunicazione e diffusione dei risultati

European Geophysical Union - Aprile 2011.  
Sessione: *Energy, Resources and the Environment.*

### Assessment of the present wave potential along the Mediterranean coasts: a high resolution numerical modeling study



G. Sannino<sup>1</sup>, A. Bargagli<sup>1</sup>, A. Carillo<sup>1</sup>, L. Libert<sup>2</sup>, V. Ruggiero<sup>3</sup>, P. Lanucara<sup>3</sup>

1. ENEA/UTMEA-CLIM, Rome, Italy 2. ISPRA, Rome, Italy 3. CASPUR, Rome, Italy



#### INTRODUCTION

So far in Europe, wave energy production potential has been explored mainly along Atlantic coasts and in northern seas. In the eastern Mediterranean basin wave energy is on average considerably less than the amount available in the world oceans. However, wave energy extraction in lower energy environment poses relatively minor technical challenges reducing the overall cost of the power generation infrastructure so that energy production might still be economically viable. As a matter of fact a number of wave energy extraction devices specialized in low-energy environments is currently being studied (Barnett et al. 2007). Although a number of basin-scale wave climate studies and forecasting model are available for the Mediterranean sea (Lambert et al. 2007), no long-term high resolution modeling analysis, focusing on energy production, has yet been carried out. In order to fill this gap, in the present study we present the assessment of the wave energy potential along the Mediterranean basin based on a long-term high resolution numerical simulation.

#### MODEL RESULTS

The wave model was calibrated by tuning the parameters governing energy dissipation due to atmospheric and wind growth. Model results were compared to wave measurements (see FIG. 2 and 3) recorded by the buoy of the national network (RSCN - Rete Ossimetrica Nazionale FIG. 2B). Further model validation was performed by comparing modeled significant wave heights to satellite altimetry data (see FIG. 4). Significant wave height obtained from the model is in good agreement with both buoy and satellite data. Simulations were performed on the CRESO computing facilities present at ENEA selecting the OpenMP parallelization which, in our case, provides better performance over MPI.

#### WAVE ENERGY POTENTIAL

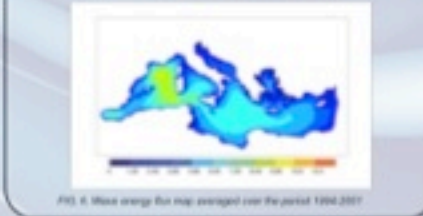
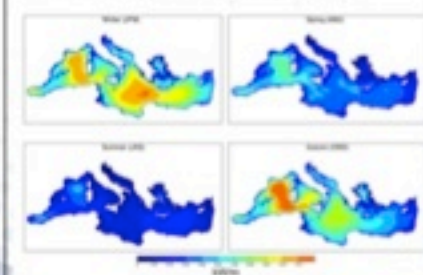
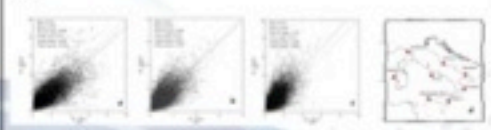
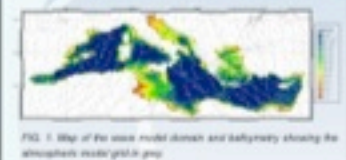
Wave fields obtained from the model were used to evaluate the wave energy potential in the whole Mediterranean basin expressed as average power. The average potential energy flux is expressed in order of wavefront length.

#### MODEL DESCRIPTION

The wave climate assessment was performed using the SWAN wave model because of its widespread use, its parallel processing capabilities and its ability to simulate wave propagation in shallow water that facilitates the task of performing nested finer resolution runs in selected areas. Wave model domain encompasses the whole Mediterranean basin with a uniform 1/10° resolution (30x30 km) bathymetry was extracted from GEBCO dataset (see FIG. 1). The wave model is driven by ERA-Interim wind fields produced by a coupled atmosphere-ocean model based on WRF/NO and M2/lyn respectively for 20 atmospheric and ocean components (Pleschke, 2010). The coupled model was heavily forced with ERA-Interim reanalysis to run correct climate simulation between 1950 and 2001.

#### CONCLUSIONS

Wave fields obtained from a coupled of the Mediterranean were used to force a 1/10 deg. resolution SWAN wave model to simulate wave climate between 1950 and 2001. The report figure results are in good agreement with wave buoy and satellite data. Wave fields from the model were used to evaluate wave energy potential in the Mediterranean basin.





## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo D:** Comunicazione e diffusione dei risultati

E' in corso di pubblicazione sulla rivista internazionale con referaggio *Climate Dynamics* il seguente articolo: **Impacts of long wave fluctuations of the seasonal cycle in an A1B scenario over the Euro-Mediterranean area using a regional earth system model.**

E' stato pubblicato sull'ultimo numero della rivista bimestrale dell'ENEA (Energia, Ambiente e Innovazione), nella sezione "Primo Piano", una serie di articoli sull'energia dal mare.



### **Primo Piano** **Energia dal mare**

[Prospettive di sviluppo dell'energia dal mare per la produzione elettrica in Italia](#)

G. Sannino, L. Liberti, A. Carillo, A. Bargagli, E. Caiaffa

[Energia elettrica dalle maree](#)

D. Coiro

[Conversione di energia ondosa e protezione della costa mediante dispositivi galleggianti di tipo \*Wave activated bodies\*](#)

B. Zanuttigh, E. Angelelli



## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo D:** Comunicazione e diffusione dei risultati



The poster features a background image of a hydroelectric turbine submerged in water. The text is overlaid on a dark blue background. At the top left is the ENEA logo with the tagline 'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile'. To its right is the logo of the 'Ministero dello Sviluppo Economico'. The word 'Workshop' is centered below the logos. A large red rectangular box contains the main title in white capital letters. Below the title, the dates '16-17 giugno 2011' and the location 'ENEA, Sede di Roma, Via Giulio Romano 41' are listed.

ENEA  
Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,  
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

Ministero dello Sviluppo Economico

Workshop

**PROSPETTIVE DI SVILUPPO  
DELL'ENERGIA DAL MARE  
PER LA PRODUZIONE ELETTRICA  
IN ITALIA**

16-17 giugno 2011

ENEA, Sede di Roma, Via Giulio Romano 41



## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo D:** Comunicazione e diffusione dei risultati

Sono state attivate sinergie a livello europeo attraverso la partecipazione al programma congiunto di ricerca sull'energia dal mare (**JP Marine Renewable Energy**) proposto dalla **EERA European Energy Research Alliance**. ENEA partecipa in maniera attiva al progetto congiunto attraverso il coordinamento delle Università e dei centri di ricerca nazionali. Le prossime scadenze vedranno ENEA partecipare al workshop sulle risorse marine che si terrà a Edimburgo il 6 Ottobre 2011.

