



**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 2.1.8: STUDI E VALUTAZIONI SUL POTENZIALE ENERGETICO DELLE CORRENTI MARINE**

Roma, 28 ottobre 2012

**Gianmaria Sannino, Vincenzo Artale**

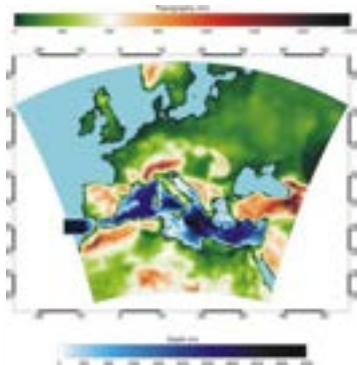
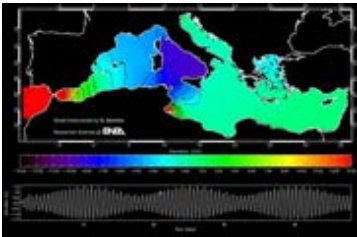
ENEA, Unità Tecnica di Modellistica Energetica e Ambientale

in collaborazione con



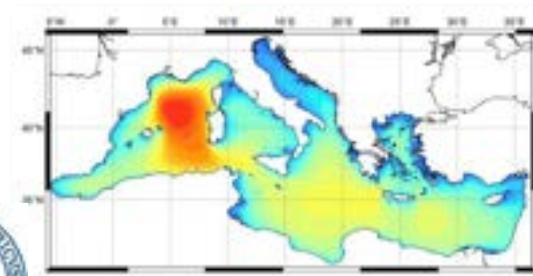
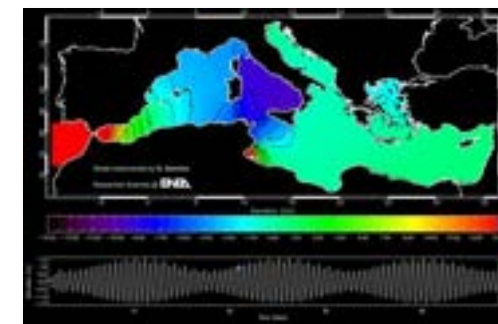
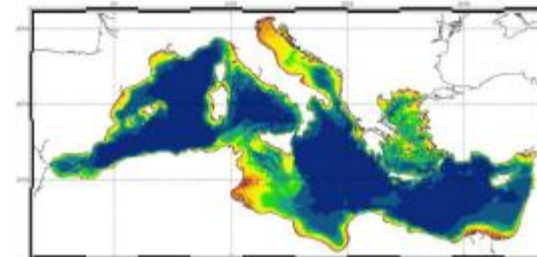
## DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA'

- Valutare il potenziale energetico estraibile dalle **correnti marine** e dal **moto ondoso** in prossimità delle aree costiere italiane attraverso l'uso di strumenti di modellistica numerica oceanografica e meteo-marina.
- Valutare il potenziale energetico del mare sulla base di indicatori relativi al **clima presente** (climatologici).
- 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**.



## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo A:** Potenziale energetico dello Stretto di Messina.
  - A1. Sviluppo di un modello numerico per la simulazione della circolazione marina nello Stretto di Messina
  - A2. Calcolo delle mappe di potenziale energetico per lo Stretto di Messina
- **Obiettivo B:** Valutazione delle caratteristiche fisiche del potenziale ondoso per alcune regioni campione della costa italiana.
  - B1. Sviluppo di modelli ad alta risoluzione per la simulazione del moto ondoso
  - B2. Valutazione delle caratteristiche fisiche del potenziale ondoso nei siti considerati
- **Obiettivo C:** Valutazione del potenziale elettrico erogabile in rete da sistemi di conversione del moto ondoso e correnti di marea.
  - C1. Moto ondoso
  - C2. Correnti di Marea



Collaborazioni:

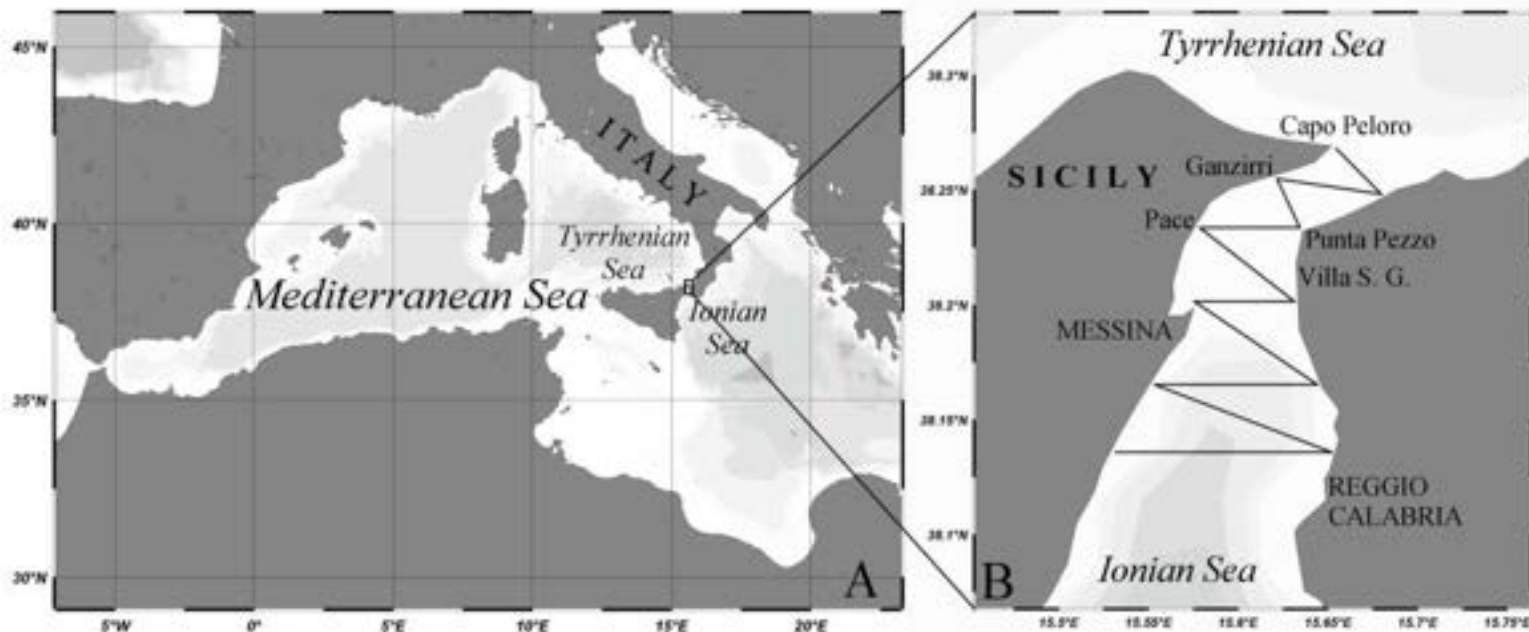


POLITECNICO  
DI TORINO



## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo A:** Potenziale energetico dello Stretto di Messina.
- A1. Sviluppo di un modello numerico per la simulazione della circolazione marina nello Stretto di Messina
- A2. Calcolo delle mappe di potenziale energetico per lo Stretto di Messina



Collaborazioni:



## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo A:** Potenziale energetico dello Stretto di Messina.
- *A1. Sviluppo di un modello numerico per la simulazione della circolazione marina nello Stretto di Messina*

Componenti di marea estratte da  
simulazione precedente POM  
M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1

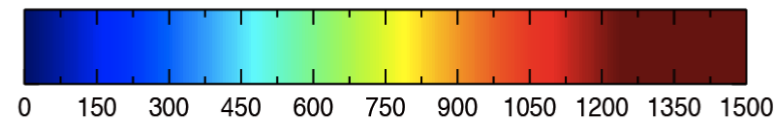
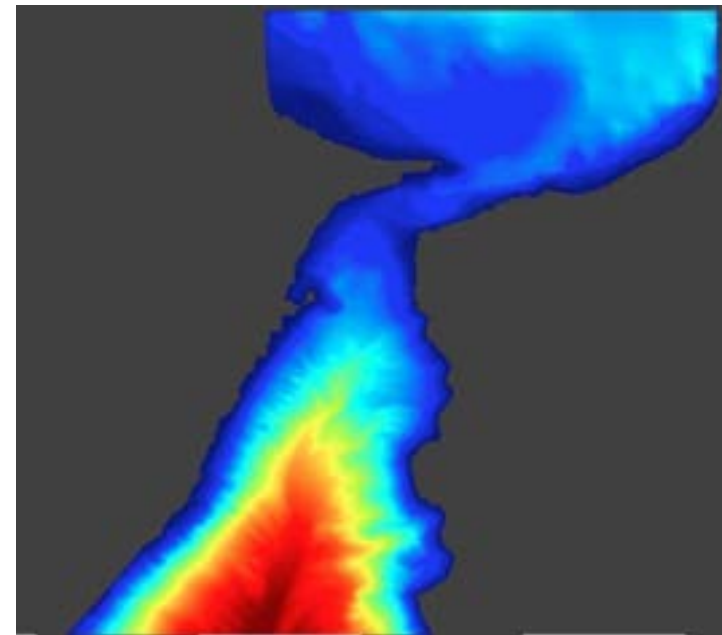
### Simulazione MITgcm

Grid:300X840x55

Ris. Variabile

dx = 50:70 m

dy = 50:80 m



Batimetria considerata dal modello baroclinico MITgcm

## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo A:** Potenziale energetico dello Stretto di Messina.
- *A1. Sviluppo di un modello numerico per la simulazione della circolazione marina nello Stretto di Messina*

2.7 m/s in una zona di mare ad ovest di Punta Pezzo e mostra che i valori più intensi sono dovuti a correnti orientate in direzione NE mentre il massimo in direzione SW è di 2.3 m/s.

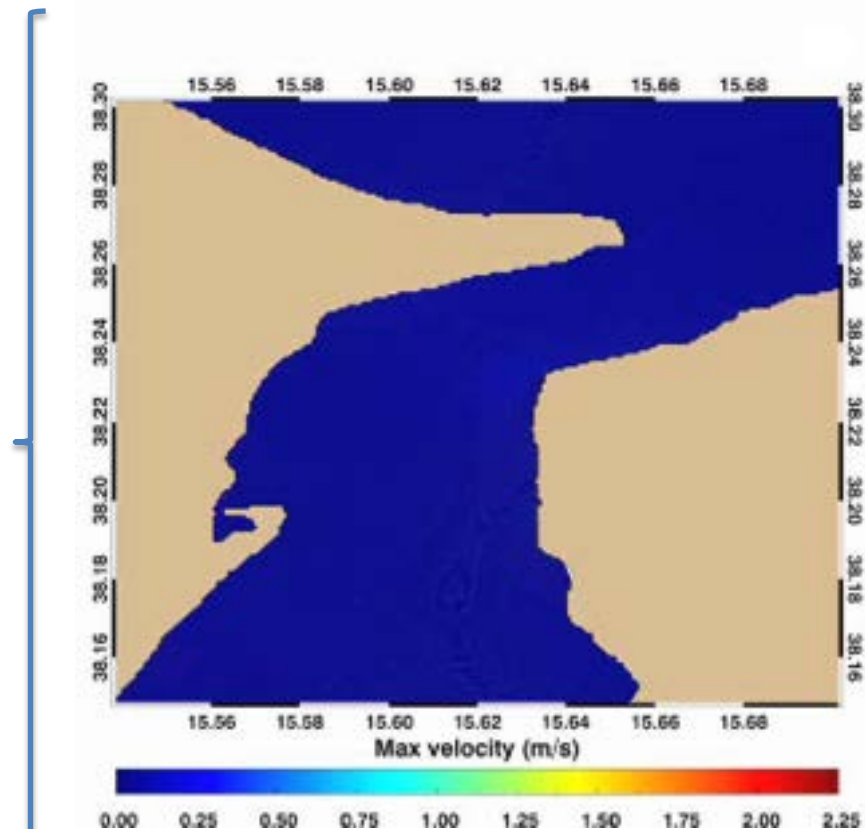
Simulazione MITgcm

Grid:300X840x55

Ris. Variabile

dx = 50:70 m

dy = 50:80 m



Velocità @ 5m simulata dal modello baroclino MITgcm

## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo A:** Potenziale energetico dello Stretto di Messina.
  - *A1. Sviluppo di un modello numerico per la simulazione della circolazione marina nello Stretto di Messina*

Due modelli numerici implementati:

**POM** barotropico

**MITgcm** baroclino

Componenti di marea considerate:

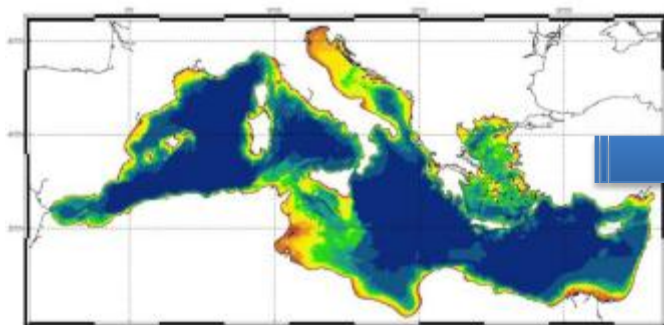
M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1

Località	Ampiezza Simulata (cm)	Fase Simulata	Ampiezza Misurata (cm)	Fase Misurata
Ganzirri	3.1	316	3.2	316
Faro	6.2	328	5.5	269
Punta Pezzo	2.3	322	0.9	143
Reggio	6.1	124	6.2	95
Villa S. Giovanni	3.3	100	3.3	116
Messina	5.3	119	5.3	30
Scilla	10.3	323	10.2	271

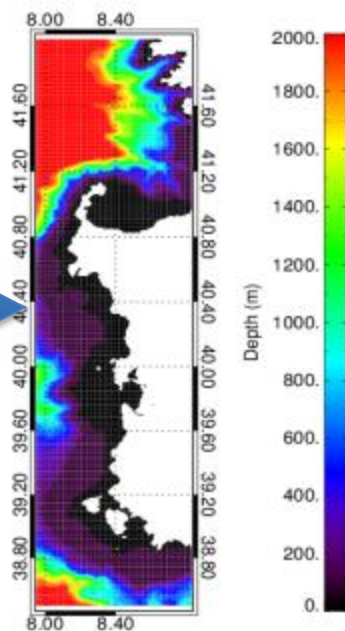
**Tabella:** Ampiezza e fase della componente M2 di marea, confronto tra simulazione POM e misure in alcune località all'interno dello stretto di Messina.

## ATTIVITÀ SVOLTE

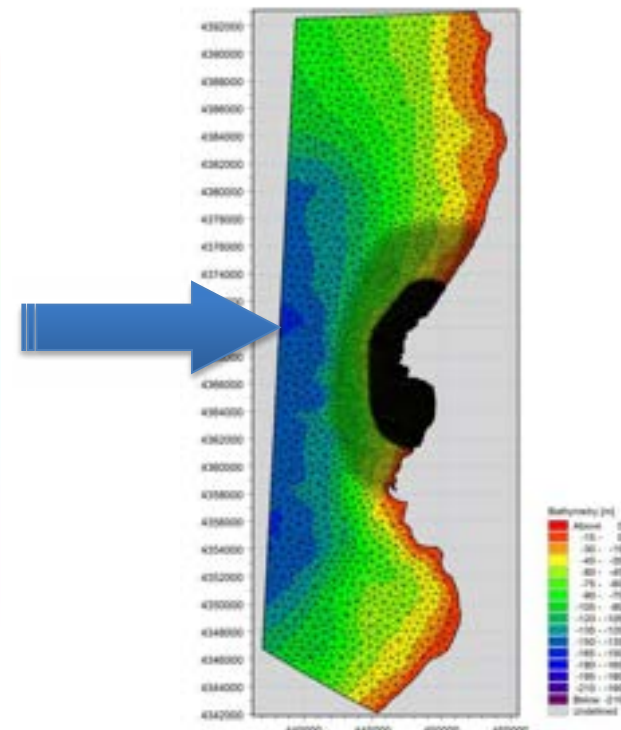
- **Obiettivo B:** Valutazione delle caratteristiche fisiche del potenziale ondoso per alcune regioni campione della costa italiana.
  - B1. Sviluppo di modelli ad alta risoluzione per la simulazione del moto ondoso
  - B2. Valutazione delle caratteristiche fisiche del potenziale ondoso nei siti considerati



WAM  
(1/16° x 1/16° )



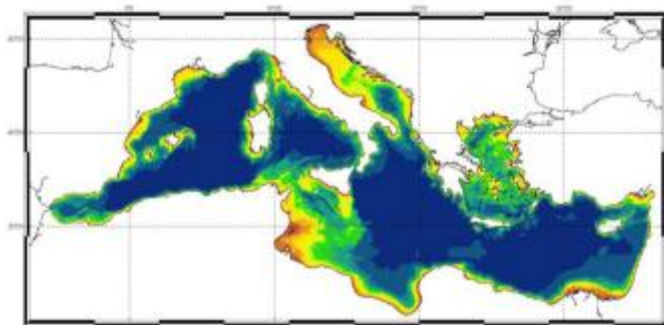
WAM/SWAN  
(1/120° x 1/120° )



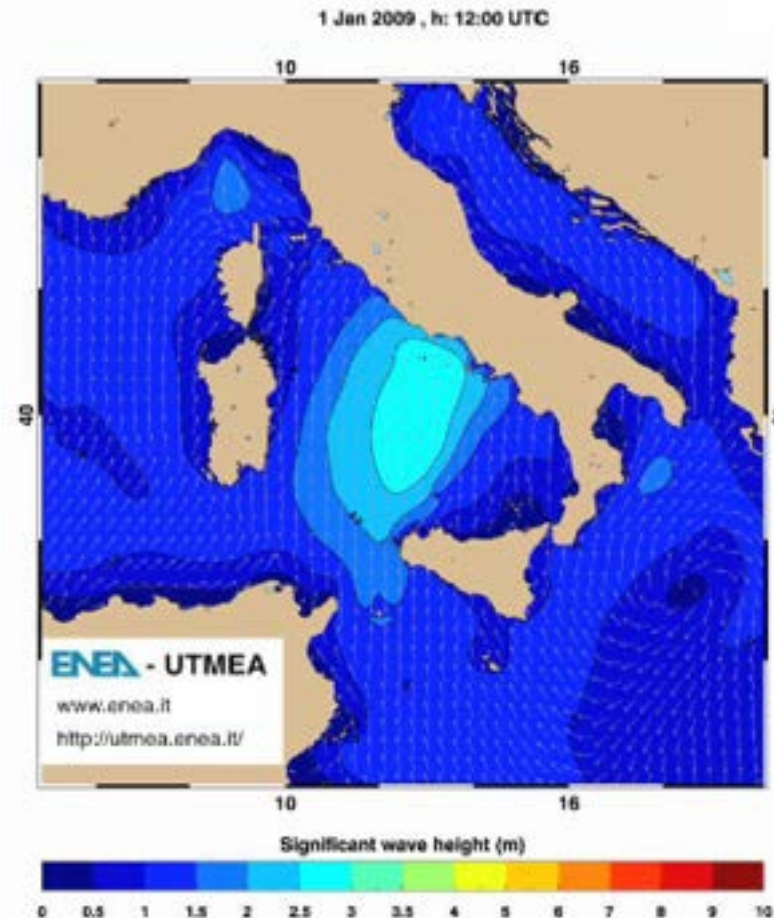
MIKE21 SW

## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo B:** Valutazione delle caratteristiche fisiche del potenziale ondoso per alcune regioni campione della costa italiana.

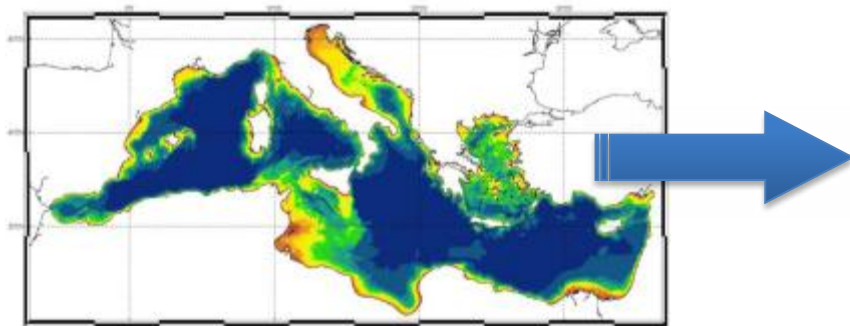
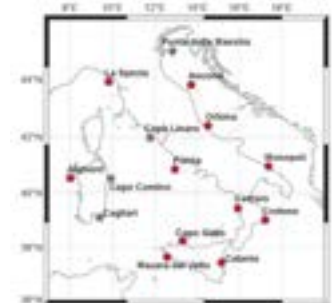


WAM  $1/16^\circ \times 1/16^\circ$   
Forzato da analisi ECMWF – periodo 2001-2010



## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo B:** Valutazione delle caratteristiche fisiche del potenziale ondoso per alcune regioni campione della costa italiana.
  - B1. Sviluppo di modelli ad alta risoluzione per la simulazione del moto ondoso
  - B2. Valutazione delle caratteristiche fisiche del potenziale ondoso nei siti considerati



WAM  $1/16^\circ \times 1/16^\circ$   
Forzato da analisi ECMWF – periodo 2001-2010

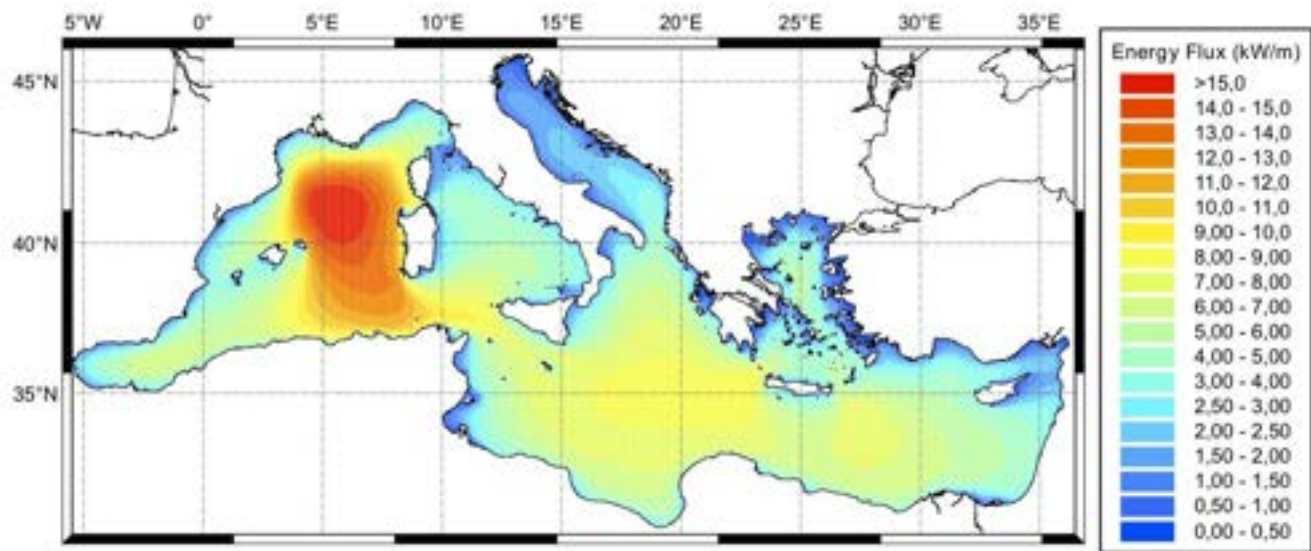
Buoy	Bias (m)	Rmse (m)	Slope	Si
Alghero	-0.005	0.311	0.985	0.278
Ancona	-0.214	0.361	0.725	0.477
Catania	-0.178	0.308	0.747	0.501
Crotona	0.004	0.276	0.993	0.374
La Spezia	-0.143	0.283	0.851	0.354
Mazara del Vallo	0.013	0.257	1.022	0.253
Ortona	-0.150	0.284	0.753	0.460
Ponza	-0.103	0.273	0.892	0.328
Monopoli	-0.124	0.307	0.836	0.427
Cetraro	-0.070	0.241	0.897	0.341
Capo Gallo	0.019	0.255	1.040	0.339

Statistics of buoy and model significant wave height ( $H_s$ ) comparison.

## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo B:** Valutazione delle caratteristiche fisiche del potenziale ondoso per alcune regioni campione della costa italiana.
  - B1. Sviluppo di modelli ad alta risoluzione per la simulazione del moto ondoso
  - B2. Valutazione delle caratteristiche fisiche del potenziale ondoso nei siti considerati

$$P = \frac{1.15\rho g^2 H_s^2 T_m}{64\pi}$$



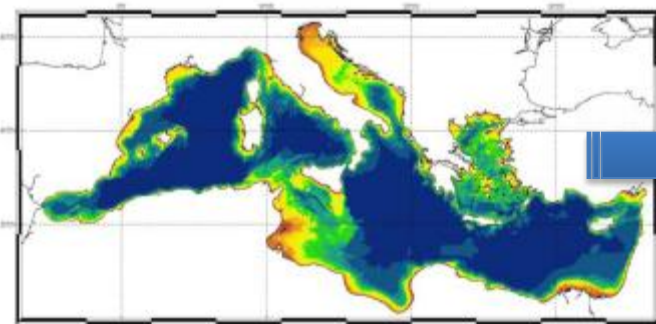
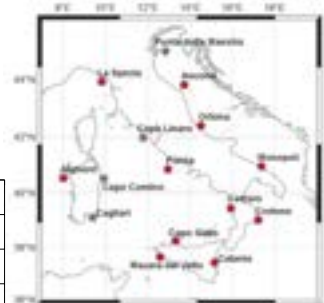
Distribution of average power per unit crest in the Mediterranean between 2001 and 2010.

WAM 1/16° x 1/16°

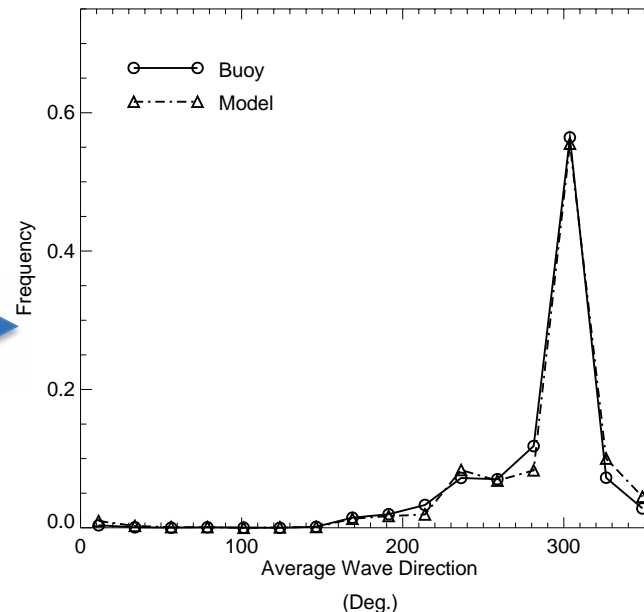
Forzato da analisi ECMWF – periodo 2001-2010

## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo B:** Valutazione delle caratteristiche fisiche del potenziale ondoso per alcune regioni campione della costa italiana.
  - B1. Sviluppo di modelli ad alta risoluzione per la simulazione del moto ondoso
  - B2. Valutazione delle caratteristiche fisiche del potenziale ondoso nei siti considerati



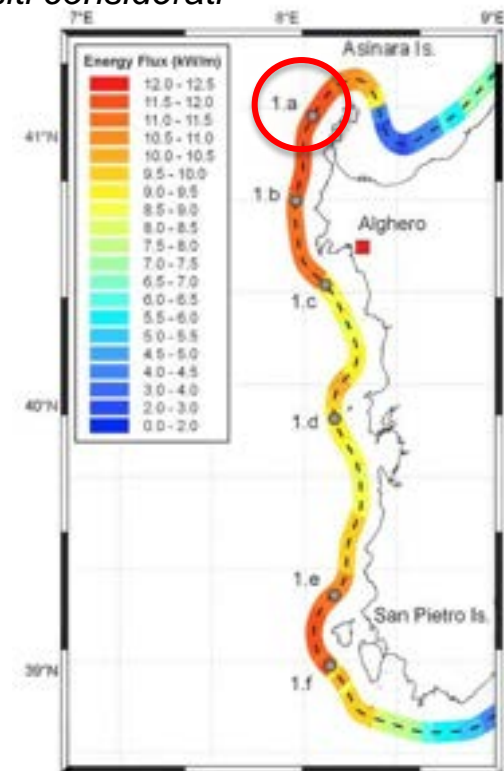
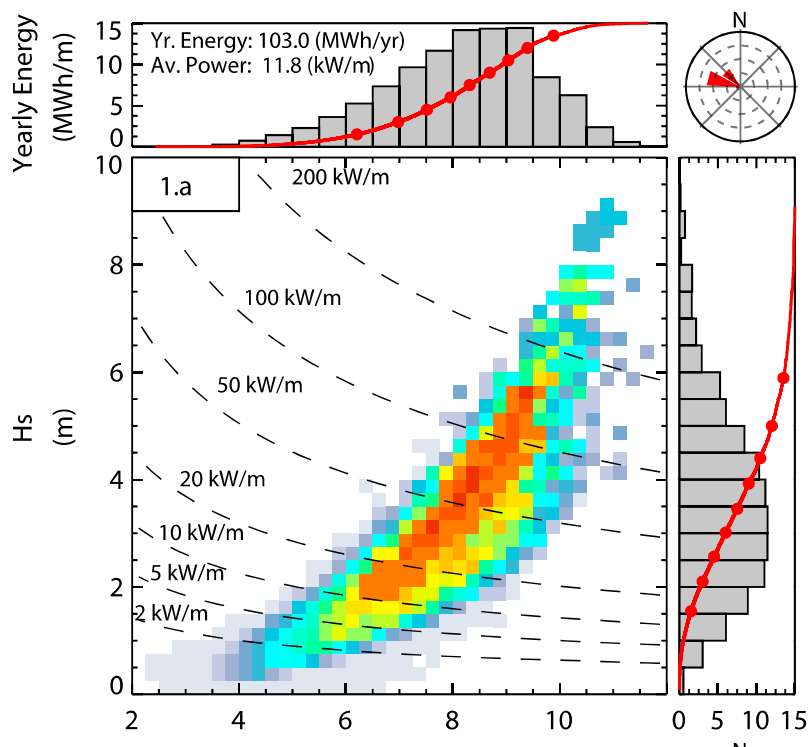
WAM  $1/16^\circ \times 1/16^\circ$   
Forzato da analisi ECMWF – periodo 2001-2010



Frequency distribution of model and buoy average wave direction at **Alghero**. Only records with  $H_s > 1$  m are considered. Incoming wave direction is indicated as degrees in clockwise direction from the north.

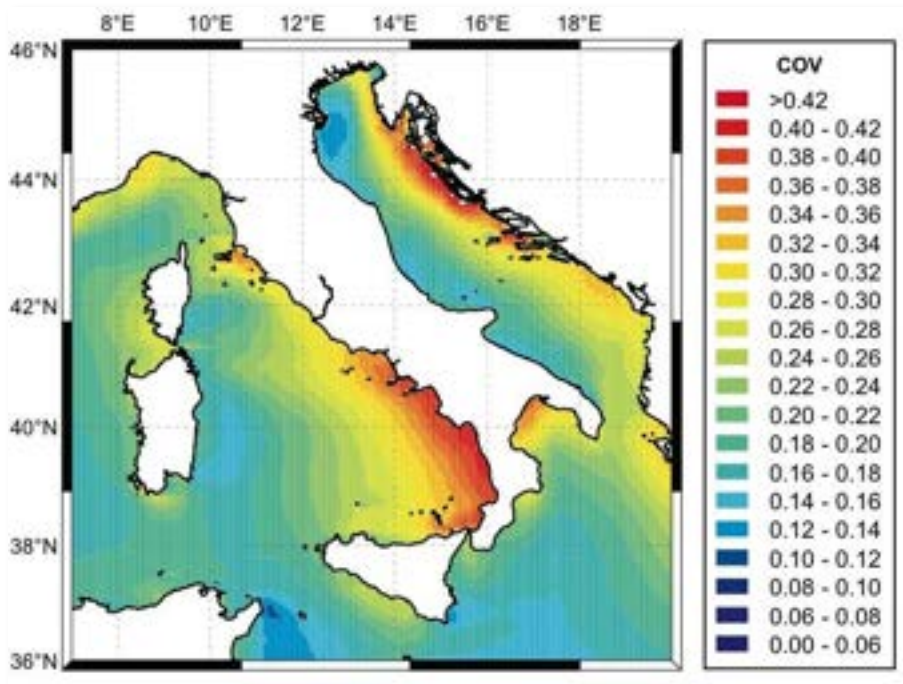
## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo B:** Valutazione delle caratteristiche fisiche del potenziale ondoso per alcune regioni campione della costa italiana.
  - B1. Sviluppo di modelli ad alta risoluzione per la simulazione del moto ondoso
  - B2. Valutazione delle caratteristiche fisiche del potenziale ondoso nei siti considerati



## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo B:** Valutazione delle caratteristiche fisiche del potenziale ondoso per alcune regioni campione della costa italiana.
  - B1. Sviluppo di modelli ad alta risoluzione per la simulazione del moto ondoso
  - B2. Valutazione delle caratteristiche fisiche del potenziale ondoso nei siti considerati

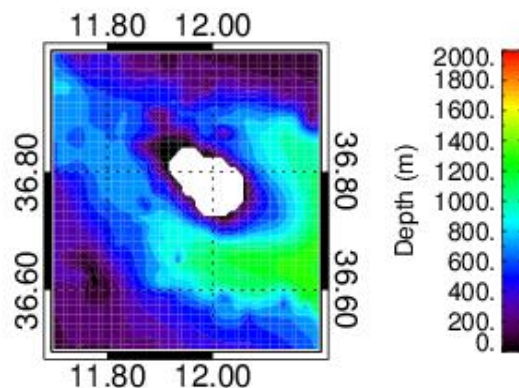
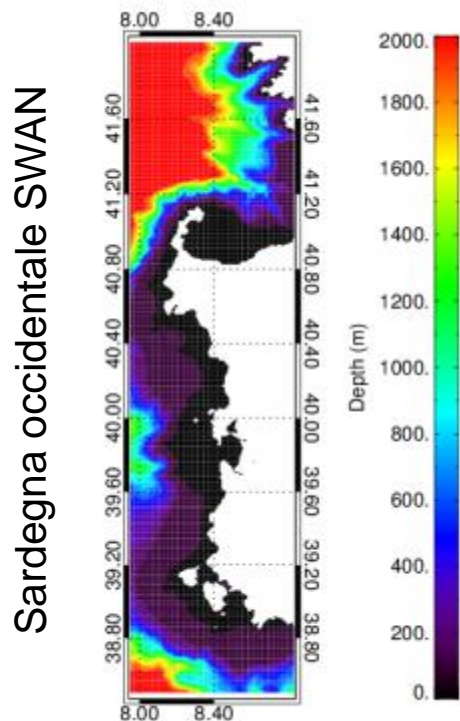


$$COV = \frac{\sigma}{\mu}$$

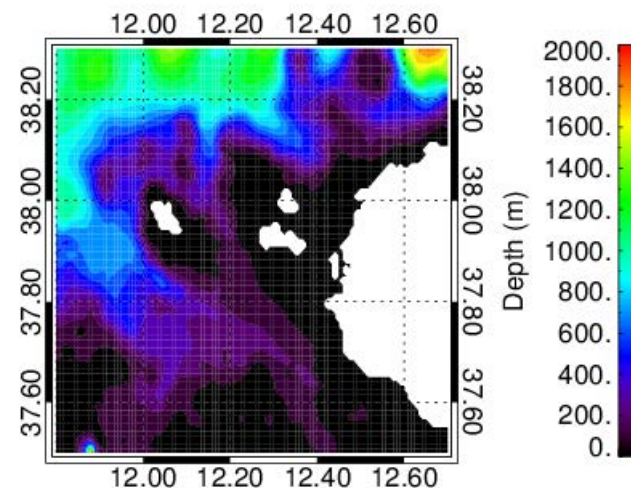
Distribution of the Coefficient of Variation (COV) of the yearly average power fluxes for years 2001-2010 around Italy.

## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo B:** Valutazione delle caratteristiche fisiche del potenziale ondoso per alcune regioni campione della costa italiana.
  - B1. Sviluppo di modelli ad alta risoluzione per la simulazione del moto ondoso
  - B2. Valutazione delle caratteristiche fisiche del potenziale ondoso nei siti considerati



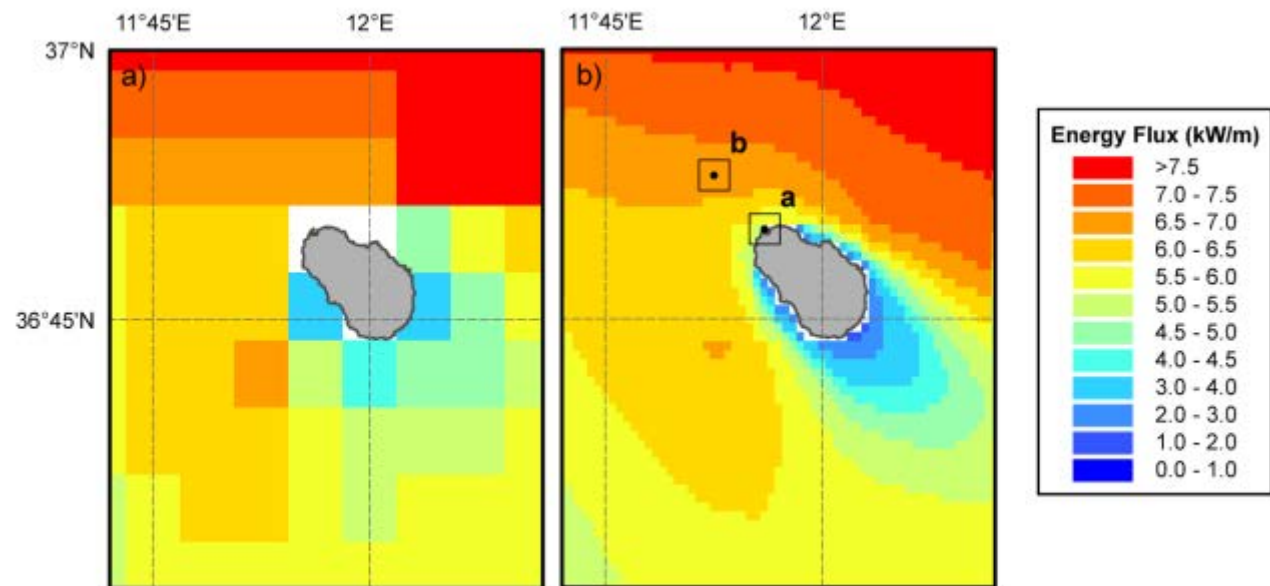
Pantelleria  
WAM



Sicilia occidentale  
SWAN

## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo B:** Valutazione delle caratteristiche fisiche del potenziale ondoso per alcune regioni campione della costa italiana.
  - B1. Sviluppo di modelli ad alta risoluzione per la simulazione del moto ondoso
  - B2. Valutazione delle caratteristiche fisiche del potenziale ondoso nei siti considerati



Pantelleria

## ATTIVITÀ SVOLTE

■ **Obiettivo B:** Valutazione delle caratteristiche fisiche del potenziale ondoso per alcune regioni campione della costa italiana.

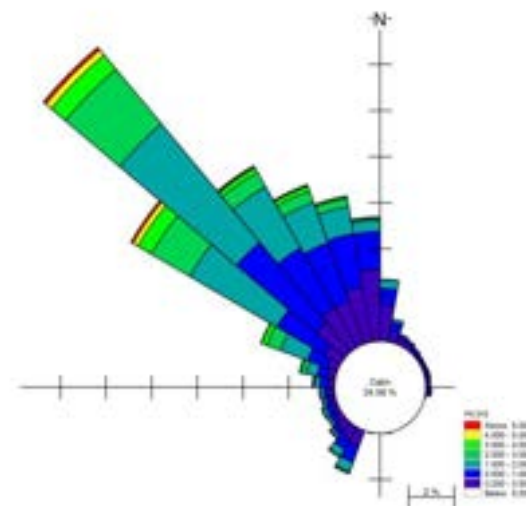
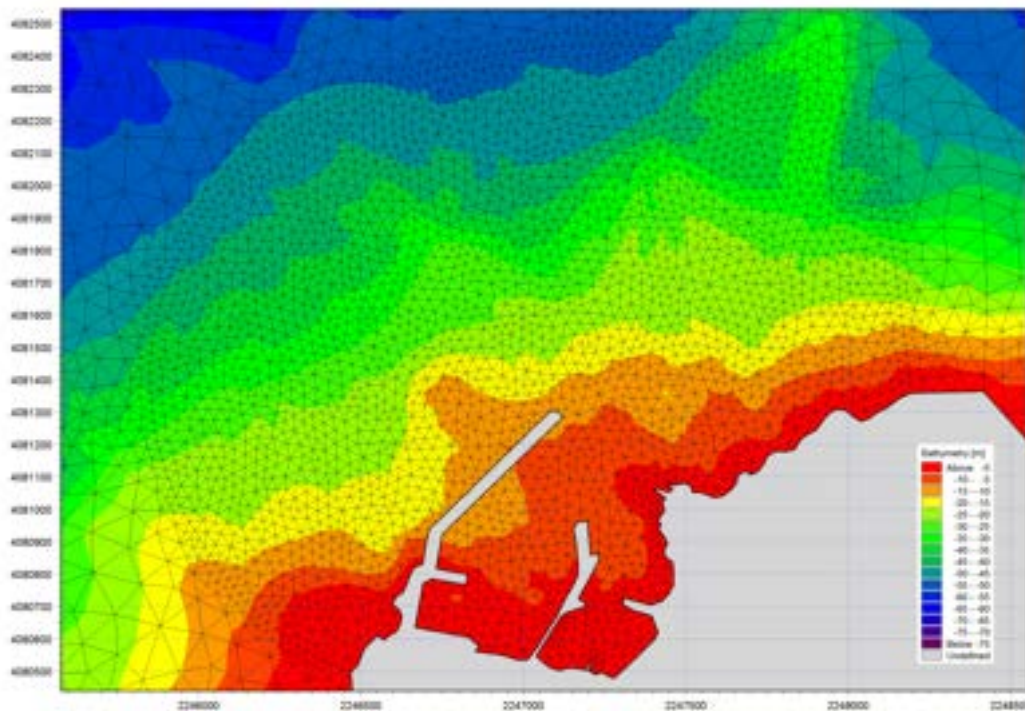
- B1. Sviluppo di modelli ad alta risoluzione per la simulazione del moto ondoso
- B2. Valutazione delle caratteristiche fisiche del potenziale ondoso nei siti considerati

**Pantelleria (potenziale ondoso nei due siti differenti a e b della figura precedente)**



## ATTIVITÀ SVOLTE

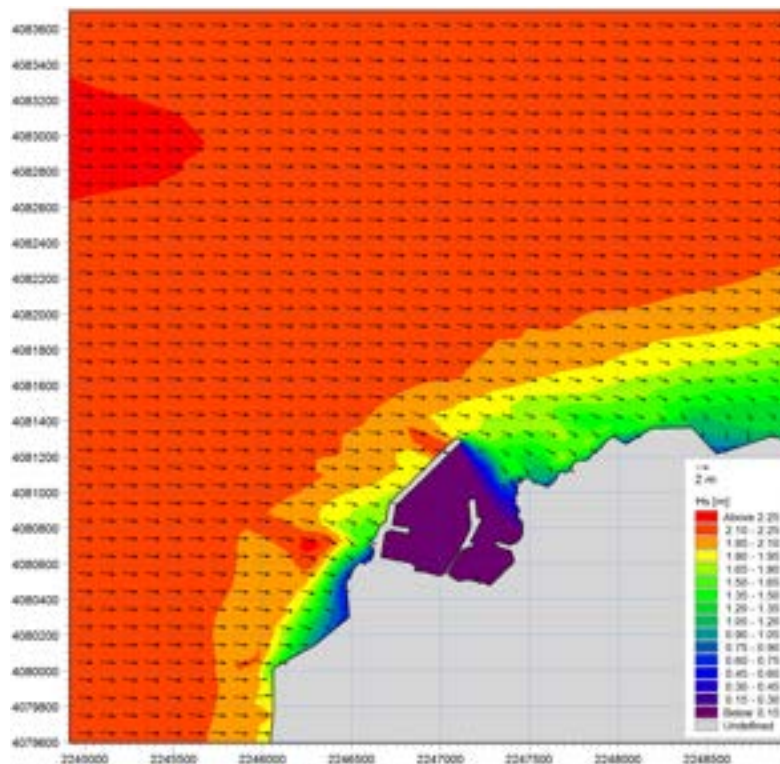
- **Obiettivo B:** Valutazione delle caratteristiche fisiche del potenziale ondoso per alcune regioni campione della costa italiana.
  - B1. Sviluppo di modelli ad alta risoluzione per la simulazione del moto ondoso
  - B2. Valutazione delle caratteristiche fisiche del potenziale ondoso nei siti considerati



Griglia utilizzata per il modello di trasformazione dell'onda nell'area campione di **Pantelleria**. Rappresentazione del tratto di maggiore interesse per lo studio.

## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo B:** Valutazione delle caratteristiche fisiche del potenziale ondoso per alcune regioni campione della costa italiana.
  - B1. Sviluppo di modelli ad alta risoluzione per la simulazione del moto ondoso
  - B2. Valutazione delle caratteristiche fisiche del potenziale ondoso nei siti considerati



Distribuzione planimetrica della altezza d'onda per un evento ondoso tipo. Area campione di **Pantelleria**

## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo B:** Valutazione delle caratteristiche fisiche del potenziale ondoso per alcune regioni campione della costa italiana.
  - B1. Sviluppo di modelli ad alta risoluzione per la simulazione del moto ondoso
  - B2. Valutazione delle caratteristiche fisiche del potenziale ondoso nei siti considerati

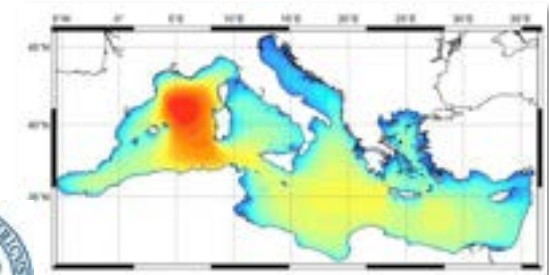
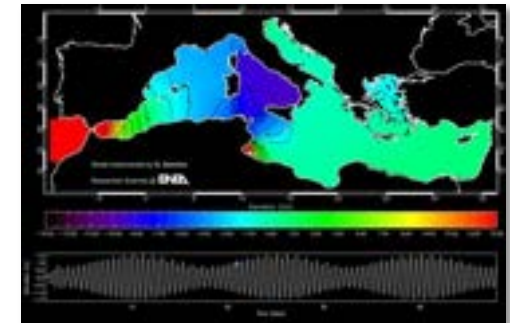
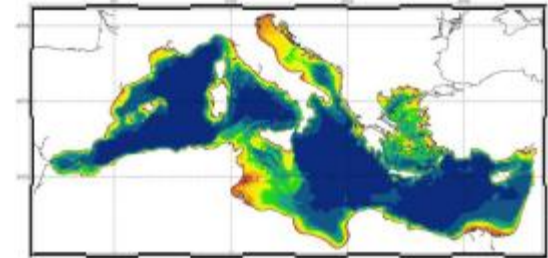
Direzione di provenienza al largo [°N]	R = 5 anni			R = 10 anni			R = 50 anni			R = 100 anni		
	Hs [m]	Tp [s]	Dir [°N]	Hs [m]	Tp [s]	Dir [°N]	Hs [m]	Tp [s]	Dir [°N]	Hs [m]	Tp [s]	Dir [°N]
0	2,98	7,7	358	3,29	8,1	358	3,98	9,0	358	4,27	9,3	357
30	1,40	5,1	29	1,61	5,5	29	2,00	6,2	28	2,15	6,5	27
60	0,86	4,1	56	0,99	4,4	56	1,23	5,0	55	1,32	5,2	54
90	0,76	4,9	69	0,85	5,3	68	1,01	6,0	64	1,07	6,3	63
210	1,25	7,4	260	1,45	7,9	262	1,91	8,7	267	2,09	9,0	268
240	1,58	6,5	261	1,75	6,9	263	2,13	7,7	267	2,27	8,0	269
270	2,34	7,3	282	2,56	7,7	284	3,06	8,6	288	3,28	8,9	290
300	6,17	11,1	314	6,68	11,6	314	7,65	12,5	316	7,99	12,9	316
330	5,52	10,6	332	6,03	11,1	333	7,09	12,1	333	7,48	12,5	334
<b>Omni-direzionale</b>										8,02	12,9	316

**Tabella.** Caratteristiche delle onde estreme sottocosta in termini di altezza d'onda (Hs), periodo di picco (Tp) e direzione di provenienza (Dir), al variare del periodo di ritorno e del settore di provenienza delle onde al largo. Area campione di **Pantelleria**.

## ATTIVITÀ SVOLTE

■ **Obiettivo C:** Valutazione del potenziale elettrico erogabile in rete da sistemi di conversione del moto ondoso e correnti di marea

- C1. *Moto ondoso*
  - ISWEC
  - REWEC3
  
- C2. *Correnti di Marea*
  - *Kobold*
  - *Fri-EI*
  - *GEM*
  - *SeaGen MCT (Marine Current Turbine)*
  - *Verdant Power*



Collaborazioni:



POLITECNICO  
DI TORINO



## ATTIVITÀ SVOLTE

■ **Obiettivo C:** Valutazione del potenziale elettrico erogabile in rete da sistemi di conversione del moto ondoso e correnti di marea.

- C1. *Moto ondoso*
  - ISWEC
  - REWEC3



Collaborazioni:



POLITECNICO  
DI TORINO



## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo C:** Valutazione del potenziale elettrico erogabile in rete da sistemi di conversione del moto ondoso e correnti di marea.

### Inertial Sea Wave Energy Converter



ISWEC 1:8

DIMEAS: Giuliana Mattiazzo  
Ermanno Giorcelli  
Mattia Raffero  
Raffaele Ficco

DIATI: Davide Poggi  
Andrea Cagninei

DENERG: Michele Pastorelli  
Calogero Di Carlo

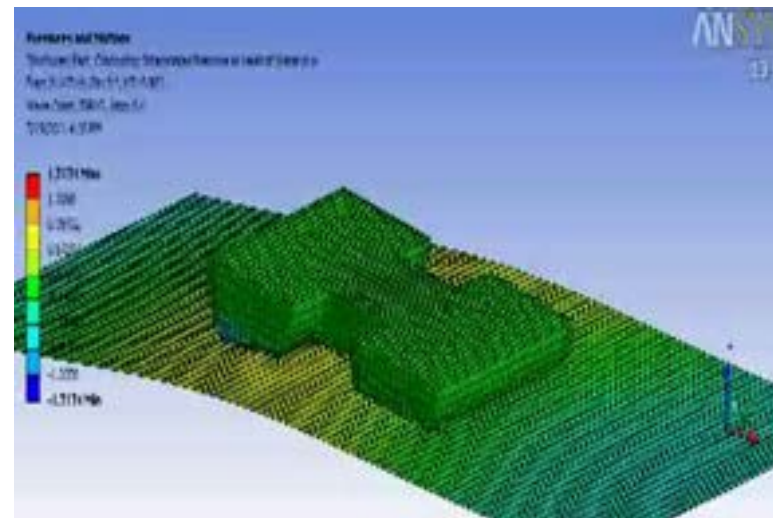


POLITECNICO  
DI TORINO

## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo C:** Valutazione del potenziale elettrico erogabile in rete da sistemi di conversione del moto ondoso e correnti di marea.

### Inertial Sea Wave Energy Converter



Collaborazioni:

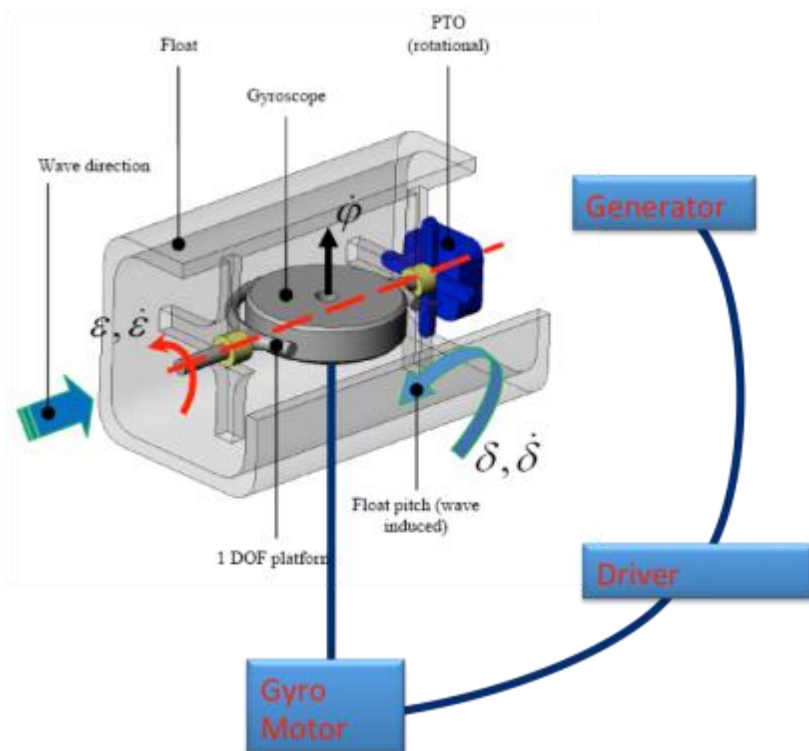


POLITECNICO  
DI TORINO

## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo C:** Valutazione del potenziale elettrico erogabile in rete da sistemi di conversione del moto ondoso e correnti di marea.

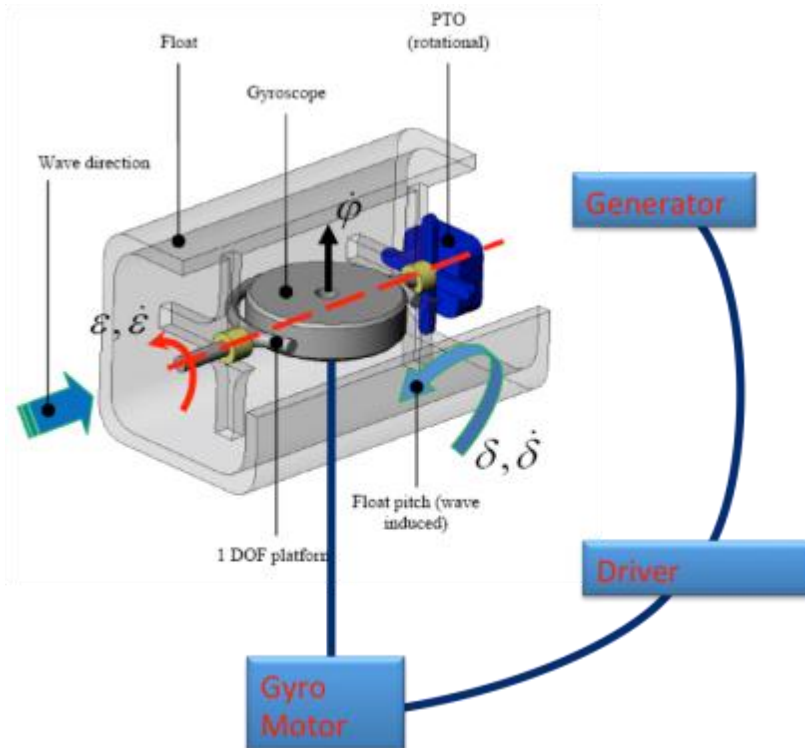
### Inertial Sea Wave Energy Converter



## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo C:** Valutazione del potenziale elettrico erogabile in rete da sistemi di conversione del moto ondoso e correnti di marea.

### Inertial Sea Wave Energy Converter



$$P_{gen} = T_{\epsilon} \cdot \dot{\epsilon}$$

Potenza meccanica in ingresso al generatore

$$T_{\epsilon} = k\epsilon + c\dot{\epsilon}$$

Coppia scambiata tra giroscopio e generatore

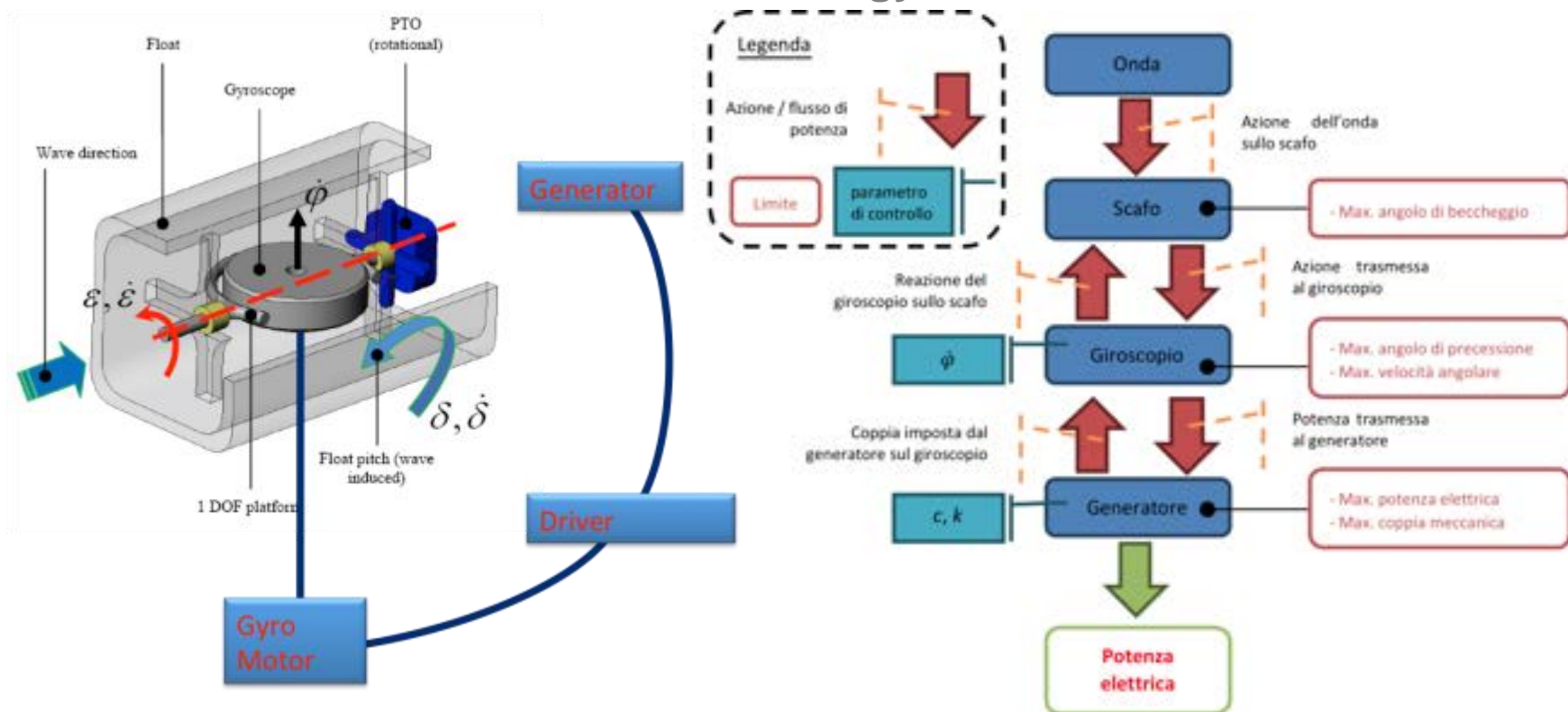
$$P_{scafo} = T_{\delta} \cdot \dot{\delta}$$

Potenza assorbita dallo scafo

## ATTIVITÀ SVOLTE

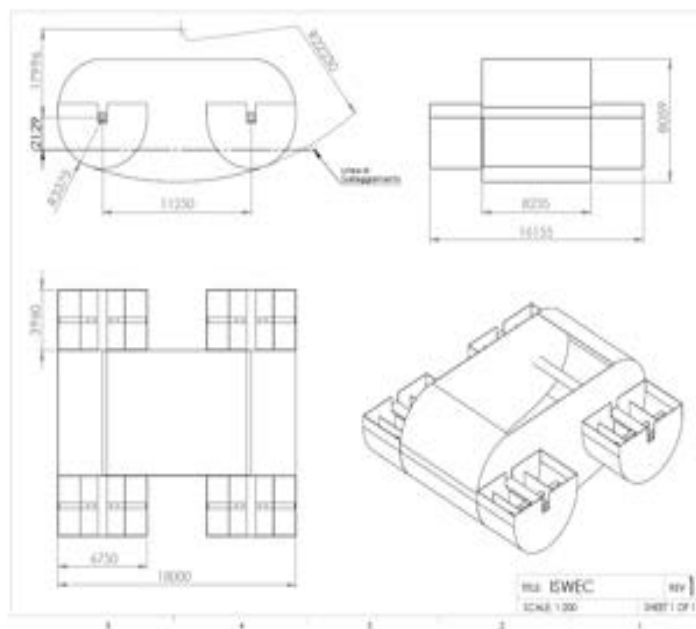
- **Obiettivo C:** Valutazione del potenziale elettrico erogabile in rete da sistemi di conversione del moto ondoso e correnti di marea.

### Inertial Sea Wave Energy Converter



## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo C:** Valutazione del potenziale elettrico erogabile in rete da sistemi di conversione del moto ondoso e correnti di marea.



**Rated power: 60 kW**

Width x length: 16 x 18 m

Total weight: 290 ton  
Gyro weight: 3.2 ton

Gyro inertia: 48550 kgm<sup>2</sup>  
Gyro max speed: 300 rpm  
Gyro diameter 2455 mm



## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo C:** Valutazione del potenziale elettrico erogabile in rete da sistemi di conversione del moto ondoso e correnti di marea.



**Rated power: 60 kW**

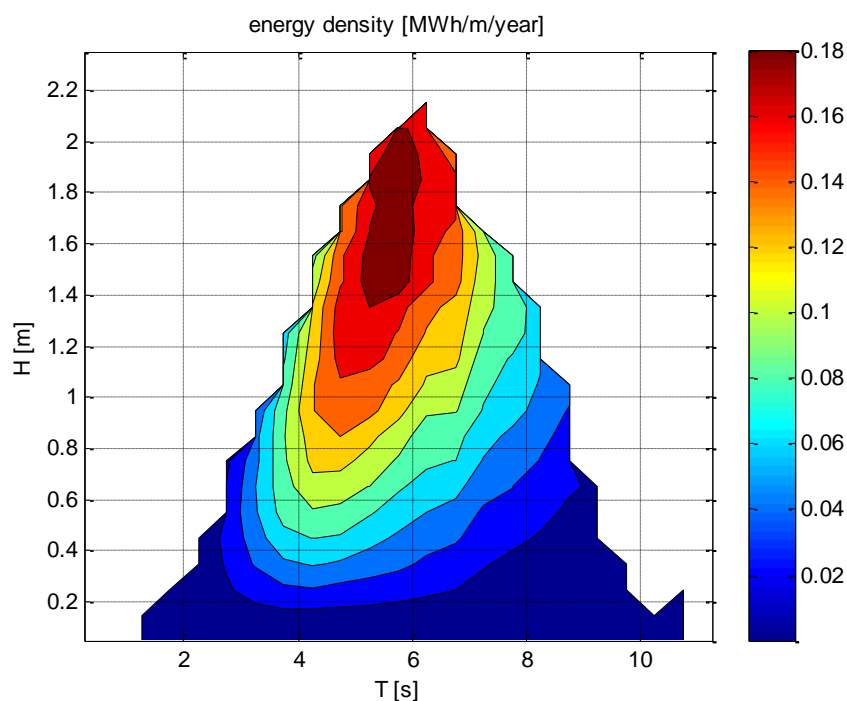
Width x length: 16 x 18 m

Total weight: 290 ton  
Gyro weight: 3.2 ton

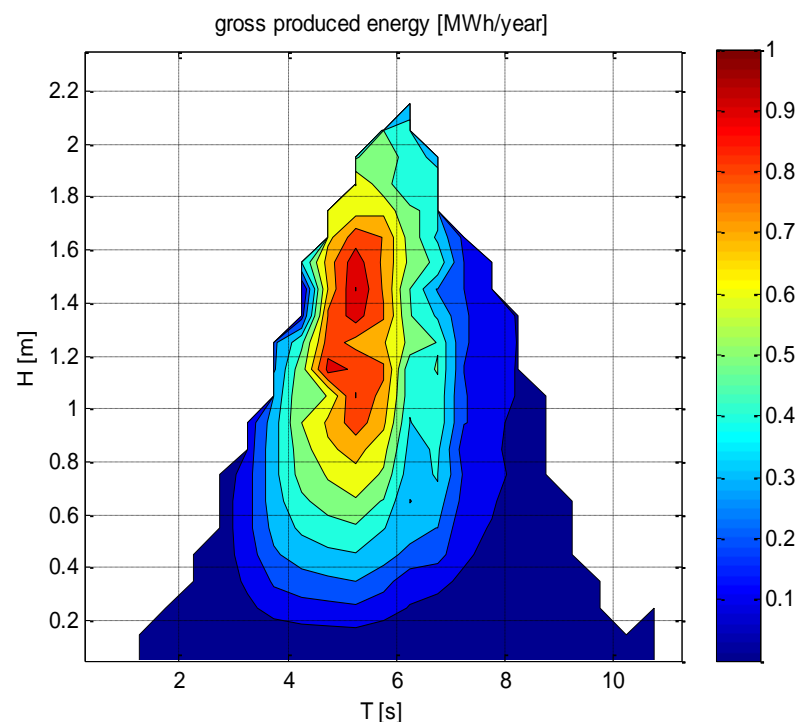
Gyro inertia: 48550 kgm<sup>2</sup>  
Gyro max speed: 300 rpm  
Gyro diameter 2455 mm

## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo C:** Valutazione del potenziale elettrico erogabile in rete da sistemi di conversione del moto ondoso e correnti di marea.



Energia disponibile su base annua

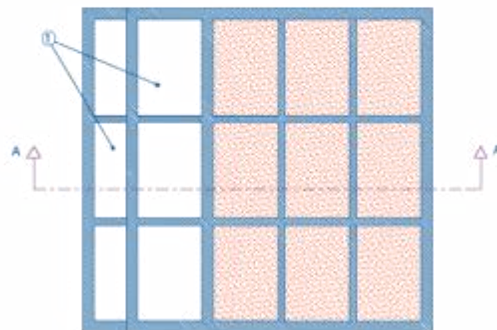
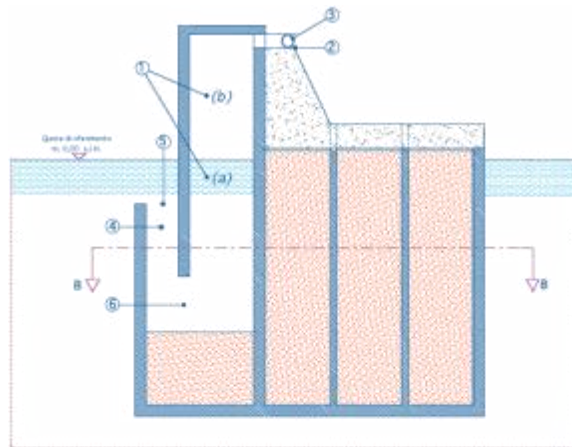


Energia annua prodotta dal dispositivo

Potenza media annuale 31.5 kW – Energia annua prodotta di 276.3 MWh

## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo C:** Valutazione del potenziale elettrico erogabile in rete da sistemi di conversione del moto ondoso e correnti di marea.



## REsonant Wave Energy Converter

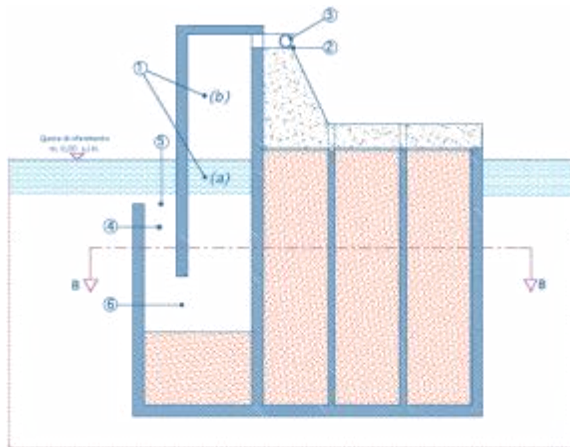


Schema costruttivo di un cassone modificato con tecnologia REWEC3 (U-OWC/3) a celle indipendenti per la conversione di energia ondosa in energia elettrica.

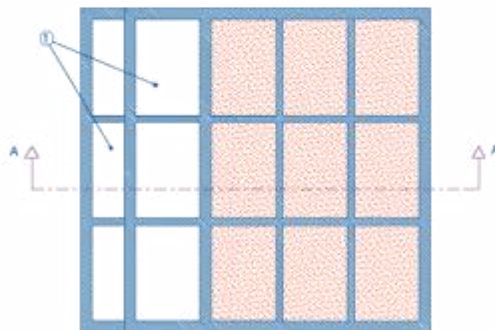


## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo C:** Valutazione del potenziale elettrico erogabile in rete da sistemi di conversione del moto ondoso e correnti di marea.



SEZIONE A - A



SEZIONE B - B

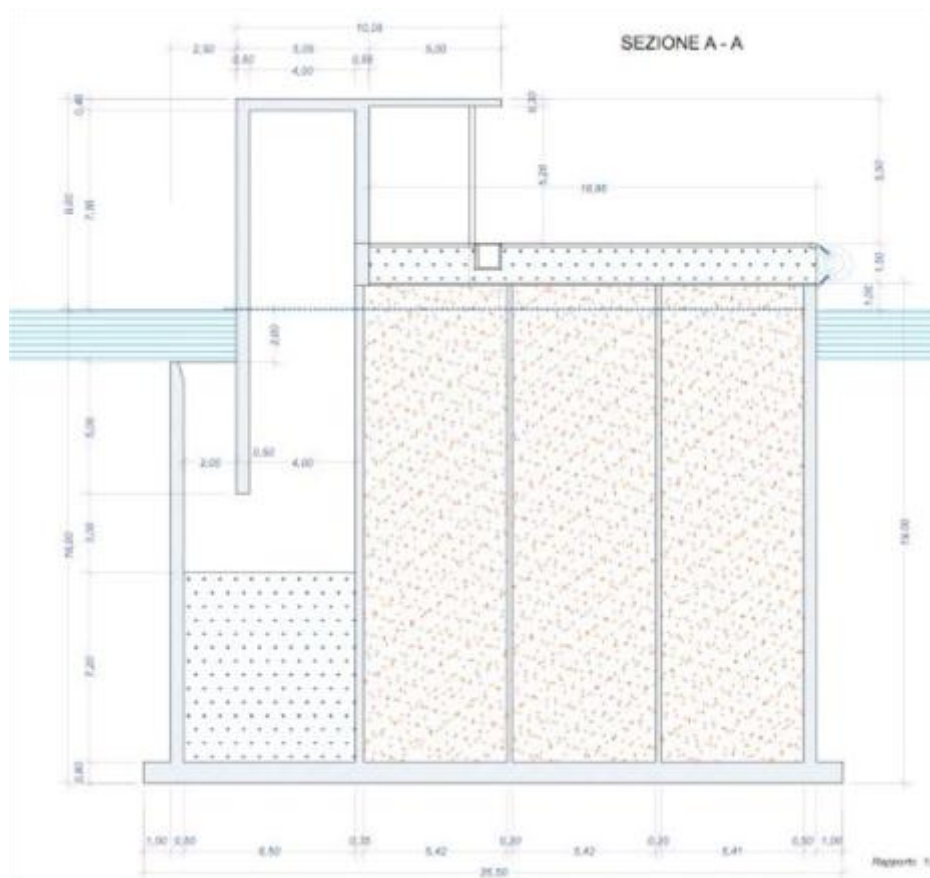


Schema costruttivo di un cassone modificato con tecnologia REWEC3 (U-OWC/3) a celle indipendenti per la conversione di energia ondosa in energia elettrica.



## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo C:** Valutazione del potenziale elettrico erogabile in rete da sistemi di conversione del moto ondoso e correnti di marea.



Sezione del  
REWEC3 per la  
località di  
Pantelleria.

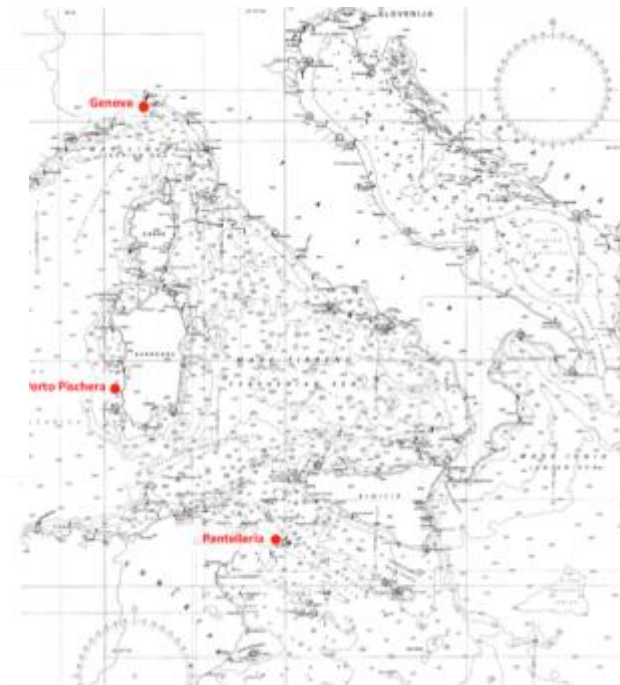


## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo C:** Valutazione del potenziale elettrico erogabile in rete da sistemi di conversione del moto ondoso e correnti di marea.

	<i>Produzione</i> <i>[kWh/anno/turbina]</i>	<i>E<sub>med</sub></i> <i>[kW/m]</i>
<b>Genova</b>	41.621	0,37
<b>Porto Pischera</b>	210.339	1,85
<b>Pantelleria</b>	149.240	1,31

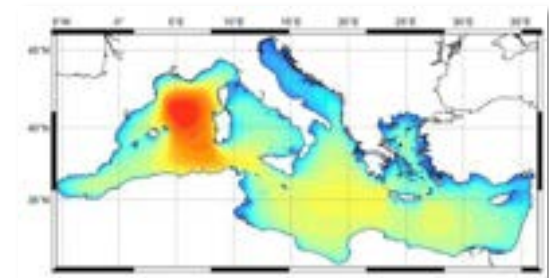
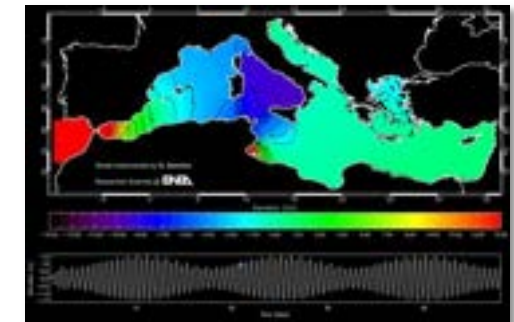
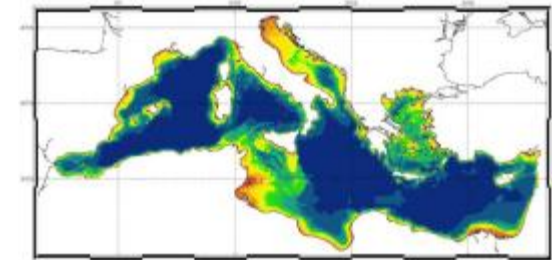
Stima della energia prodotta dal sistema U-OWC per i tre siti in esame in termini di produzione annua per turbina (Wells, diametro 1.5 m, vel. Ang. 3000 giri/minuto) e di energia media per unità di lunghezza della diga (13 m).



## ATTIVITÀ SVOLTE

■ **Obiettivo C:** Valutazione del potenziale elettrico erogabile in rete da sistemi di conversione del moto ondoso e correnti di marea

- C2. *Correnti di Marea*
  - Kobold
  - Fri-EI
  - GEM
  - SeaGen MCT (*Marine Current Turbine*)
  - Verdant Power

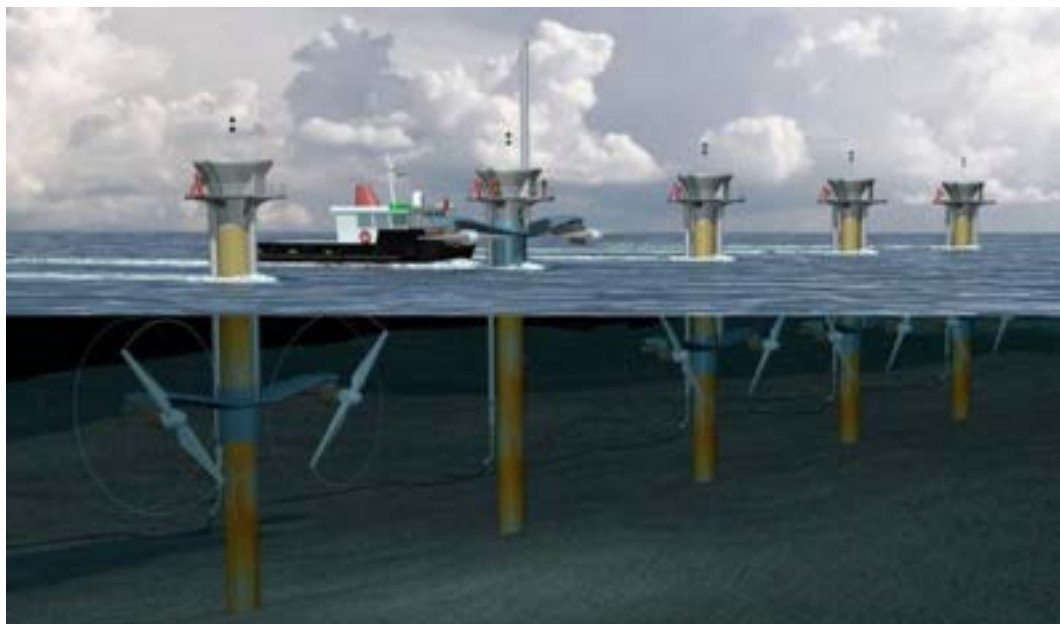


Collaborazioni:



## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo C:** Valutazione del potenziale elettrico erogabile in rete da sistemi di conversione del moto ondoso e correnti di marea.



$$P = \frac{1}{2} \rho V^3 S C_P$$

$$C_P = 0.46$$

$$\eta_t \cong 0.8$$

$C_p$  = Coeff. Potenza  
(misura effic. conv. energetica cinetica/meccanica)

$\eta_t$  = rendimento totale

**Configurazione con due turbine con diametro pari a circa 11 m e con potenza massima di circa 280 kW a 2 m/s.**

Il sistema **SeaGen** è costituito da una coppia di turbine idrauliche montate su una torre di supporto rigidamente ancorata al fondo del mare. Le turbine sono montate su un braccio che può essere sollevato fino alla superficie per scopi di manutenzione e immerso alla profondità di esercizio. Il sistema è stato installato in diversi siti di prova ed in diversi modelli e dimensioni. In particolare è presente sia un modello in cui è prevista una piattaforma affiorante, mentre per fondali più profondi è previsto un sistema completamente sommerso.

## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo C:** Valutazione del potenziale elettrico erogabile in rete da sistemi di conversione del moto ondoso e correnti di marea.



$$P = \frac{1}{2} \rho V^3 S C_P$$

$$C_P = 0.3$$

$$\eta_t \cong 0.8$$

$C_p$  = Coeff. Potenza  
(misura effic. conv. energetica cinetica/meccanica)

$\eta_t$  = rendimento totale

**Altezza della pala: H=6.2 m**

**Raggio della turbina: R=3.1 m**

Il sistema **Kobold**, progettato in collaborazione con il dipartimento di Progettazione Aeronautica dell'Università di Napoli a partire dagli anni '90, è stato realizzato in prototipo dalla società "Ponte di Archimede". Il sistema prevede una turbina ad asse verticale montata su un albero connesso ad un generatore elettrico installato a bordo di una boa galleggiante in grado di fornire le necessarie caratteristiche di tenuta al mare.

## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo C:** Valutazione del potenziale elettrico erogabile in rete da sistemi di conversione del moto ondoso e correnti di marea.



$$P = \frac{1}{2} \rho V^3 S C_P$$

$$C_P = 0.75$$

$$\eta_t \cong 0.8$$

$C_p$  = Coeff. Potenza  
(misura effic. conv. energetica cinetica/meccanica)

$\eta_t$  = rendimento totale

**raggio delle turbine: R=1.54 m**

**raggio del diffusore: 2.5 m**

**lunghezza totale: 9 m**

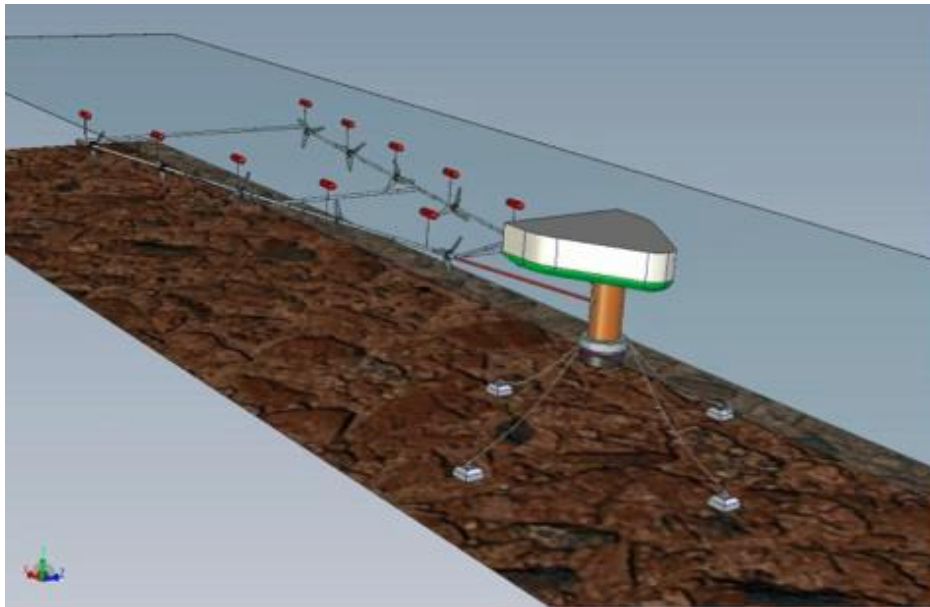
**larghezza totale: 9 m**

**altezza totale: 6 m**

Il sistema **GEM**, anche denominato “aquilone del mare”, consiste in una struttura galleggiante che supporta due turbine idrauliche, eventualmente intubate in alcune configurazioni, per incrementare l'efficienza della conversione energetica. La struttura è collegata attraverso un cavo di ormeggio ad un ancoraggio al fondo marino, costituito anche da un semplice corpo morto. Il sistema può orientarsi autonomamente nella direzione della corrente, consentendo l'utilizzo del sistema anche in regimi di correnti alternanti

## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo C:** Valutazione del potenziale elettrico erogabile in rete da sistemi di conversione del moto ondoso e correnti di marea.



$$P = \frac{1}{2} \rho V^3 S C_P$$

$$C_P = 0.316$$

$$\eta_t \cong 0.8$$

$C_p$  = Coeff. Potenza  
(misura effic. conv. energetica cinetica/meccanica)

$\eta_t$  = rendimento totale

**numero di filari: 4**

**numero di turbine per filare: 3**

Il sistema **Fri-El**, sviluppato dalla FRi-El SpA, con la collaborazione dell'università di Napoli, è costituito da una serie di turbine idrodinamiche ad asse orizzontale montate su un albero snodato, denominato filare, composto da una successione di tubi di opportuna lunghezza connessi tra loro mediante giunti cardanici. Ciascun filare è connesso ad una generatore installato su un pontone galleggiante: ciò fornisce il vantaggio di evitare parti elettriche immerse.

## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo C:** Valutazione del potenziale elettrico erogabile in rete da sistemi di conversione del moto ondoso e correnti di marea.



$$P = \frac{1}{2} \rho V^3 S C_P$$

$$C_P = 0.336$$

$$\eta_t \cong 0.8$$

$C_p$  = Coeff. Potenza  
(misura effic. conv. energetica cinetica/meccanica)

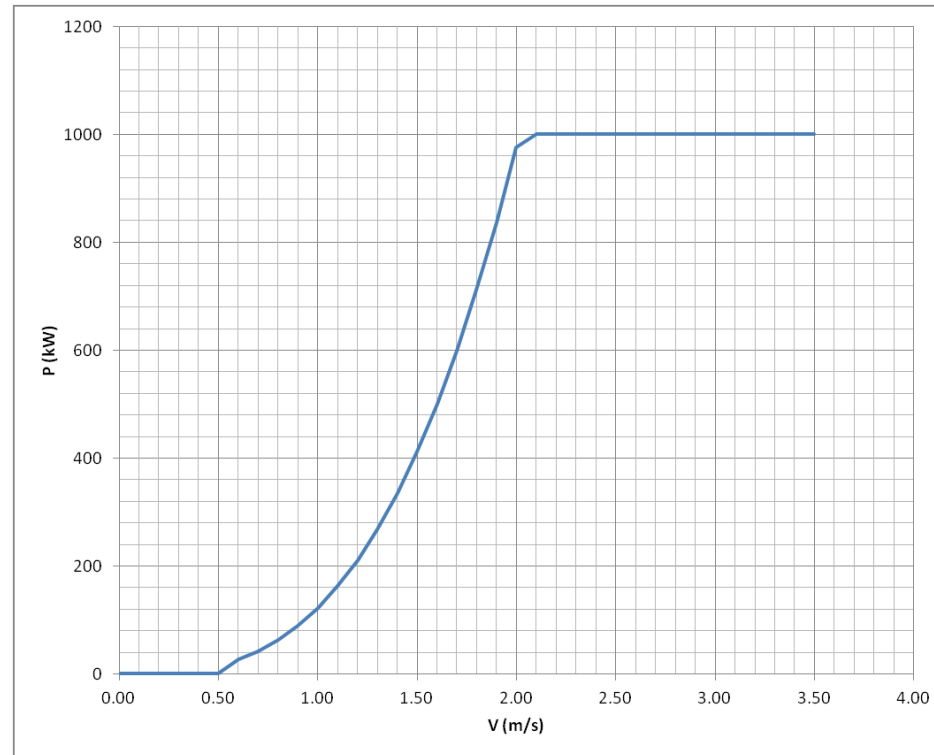
$\eta_t$  = rendimento totale

**Diametro 5m**

Il sistema **Verdant Powe Free Flow** è costituito essenzialmente da una singola turbina tripala ad asse orizzontale installata su una torre di supporto carenata e fissata al fondale. Il sistema è completamente sommerso, riducendo l'impatto visivo e l'interferenza con altre attività. La turbina è regolata a stallo ed è montata su una navicella in configurazione downstream. L'unità di produzione è fornita di un sistema di rotazione di imbardata che consente l'allineamento passivo alla corrente, consentendone il funzionamento in diverse direzioni di flusso.

## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo C:** Valutazione del potenziale elettrico erogabile in rete da sistemi di conversione del moto ondoso e correnti di marea.



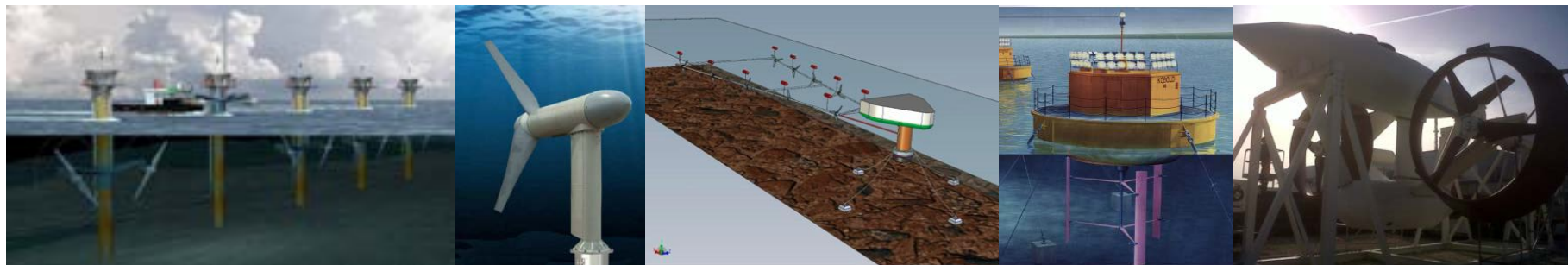
Curva di Potenza assunta per i 5 I dispositivi considerati da 1 MW

## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo C:** Valutazione del potenziale elettrico erogabile in rete da sistemi di conversione del moto ondoso e correnti di marea.

Sistema	Densità installazione
SeaGen	40 unità/km <sup>2</sup>
Kobold	23 unità/km <sup>2</sup>
GEM	36 unità/km <sup>2</sup>
Fri-el	2.5 unità/km <sup>2</sup>
Verdant Power	16 unità/km <sup>2</sup>

Densità di installazione per i sistemi considerati di taglia 1 MW.





## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo C:** Valutazione del potenziale elettrico erogabile in rete da sistemi di conversione del moto ondoso e correnti di marea.

Tabella 20. Produzioni fattorie – sistema MCT SeaGen

<i>SeaGen</i>										
Località riferimento	Lat.	Lon.	Vmax (m/s)	Area impianto (km <sup>2</sup> )	Densità (unità/km <sup>2</sup> )	Numero unità	Potenza max unità (kW)	Potenza installata (kW)	Energia annua (MWh)	Ore equivalenti (h)
Punta Pezzo	38°14'00"N	15°38'00"E	2.95	0.5538	40	22	1000.9	22019.4	53528.5	2431.0
Località riferimento	Lat.	Lon.	Vmax (m/s)	Area impianto (km <sup>2</sup> )	Densità (unità/km <sup>2</sup> )	Numero unità	Potenza max unità (kW)	Potenza installata (kW)	Energia annua (MWh)	Ore equivalenti (h)
Adiacenze NW di T. Cavallo	38°15'00"N	15°40'40"E	1.60	1.107	40	44	1000.9	44038.7	20257.1	460.0
Spiaggia tra Ganzirri e Torre Faro	38°15'24"N	15°37'54"E	2.17	0.800	40	32	1000.9	32028.2	29872.4	932.7
Adiacenze di S. Agata	38°14'54"N	15°36'24"E	1.83	1.182	40	47	1000.9	47041.4	31766.9	675.3
Adiacenze di Pace	38°14'09"N	15°35'12"E	1.61	2.058	40	82	1000.9	82072.2	29269.9	356.6
								Etot=	164694.7	MWh
						eta_wake=	0.712	Etot_wake=	117262.6	MWh

## ATTIVITÀ SVOLTE

- **Obiettivo C:** Valutazione del potenziale elettrico erogabile in rete da sistemi di conversione del moto ondoso e correnti di marea.

Tabella 22. Produzioni fattorie – sistema GEM

<u>GEM</u>										
Località riferimento	Lat.	Lon.	Vmax (m/s)	Area impianto (km <sup>2</sup> )	Densità (unità/km <sup>2</sup> )	Numero unità	Potenza max unità (kW)	Potenza installata (kW)	Energia annua (MWh)	Ore equivalenti (h)
Punta Pezzo	38°14'00"N	15°38'00"E	2.95	0.5538	36	19	1001.1	19021.47	46240.5	2431.0
Località riferimento	Lat.	Lon.	Vmax (m/s)	Area impianto (km <sup>2</sup> )	Densità (unità/km <sup>2</sup> )	Numero unità	Potenza max unità (kW)	Potenza installata (kW)	Energia annua (MWh)	Ore equivalenti (h)
Adiacenze NW di T. Cavallo	38°15'00"N	15°40'40"E	1.60	1.1068	36	39	1001.1	39044.1	17959.4	460.0
Spiaggia tra Ganzirri e Torre Faro	38°15'24"N	15°37'54"E	2.17	0.8004	36	28	1001.1	28031.6	26144.6	932.7
Adiacenze di S. Agata	38°14'54"N	15°36'24"E	1.83	1.1819	36	42	1001.1	42047.5	28394.3	675.3
Adiacenze di Pace	38°14'09"N	15°35'12"E	1.61	2.0578	36	74	1001.1	74083.6	26420.6	356.6
								Etot=	145159.5	MWh
						eta_wake=	0.712	Etot_wake=	103353.6	MWh

## DIFFUSIONE RISULTATI 1/2

Nel corso del presente progetto sono state intraprese diverse attività per la diffusione dei risultati: produzione di articoli scientifici, presentazioni a congressi, organizzazione di un workshop.

Sono state organizzate diverse sessioni dedicate al tema dell'energia dal mare all'interno del meeting internazionale **OWEMES** (OFFSHORE WIND AND OTHER MARINE RENEWABLE ENERGIES IN MEDITERRANEAN AND EUROPEAN SEAS) che si è tenuto a Roma dal 5 al 7 Settembre. Sempre a OWEMES sono stati presentati quattro lavori dal titolo:

- **Wave energy potential in the Mediterranean: the case of Pantelleria** - L. Liberti, A. Carillo, G. Sannino.
- **High-resolution wave forecasting for the Mediterranean Sea** - A. Carillo, G. Sannino, R. Iacono, E. Napolitano
- **Extreme waves in the Central Mediterranean Sea for design of offshore wind farms and wave energy devices**  
- F. Arena, V. Laface, G. Malara, A. Romolo, A. Carillo, G. Sannino

## DIFFUSIONE RISULTATI 2/3

E' stato presentato al workshop "Pantelleria isola energetica: terra, mare, sole e vento - scenari di un futuro sostenibile" il seguente lavoro: **Assessment of wave energy around Pantelleria island**. G. Sannino, A. Carillo, L. Liberti (Giugno 2012).

E' stato presentato al workshop "Energia dal mare" - AGHAPE, Roma il seguente lavoro: **Panoramica delle risorse energetiche marine e litoranee presenti o potenziali nel territorio italiano**. G. Sannino, V. Artale (Giugno 2012).

E' stato presentato al workshop "Studi di aggiornamento sull'ingegneria off-shore e marina", Univ. Mediterranean Reggio Calabria il seguente lavoro: **Assessment of wave and tidal potential along the Italian coasts**. G. Sannino (Giugno 2012).

E' stato presentato al workshop organizzato dall'Autorità Portuale di Civitavecchia "Energie dal mare: le reali prospettive di sviluppo per il territorio nazionale." Il seguente lavoro: **Il potenziale energetico marino lungo le coste italiane**. G. Sannino (Marzo 2012).

E' stato presentato al workshop "Renewable Energy Mediterranean Conference", Ravenna il seguente lavoro: **Assessment of wave and tidal potential in the Mediterranean Sea**. G. Sannino (Febbraio 2012).

E' stato pubblicato il seguente lavoro su rivista internazionale peer-review: Liberti L., A. Carillo and G. Sannino (2012): **Wave energy resource assessment in the Mediterranean, the Italian perspective**. Renewable Energy 50 (2013) 938-949.

## DIFFUSIONE RISULTATI 3/3

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.

Progetto Europeo FP7 **SINGULAR** - Smart and Sustainable Insular Electricity Grids Under Large-Scale Renewable Integration





**GRAZIE PER L'ATTENZIONE**  
**!!!**