



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



RICERCA DI
SISTEMA ELETTRICO



MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA SICUREZZA ENERGETICA

Energia elettrica dalle onde del Mediterraneo

PTR 2022-2024

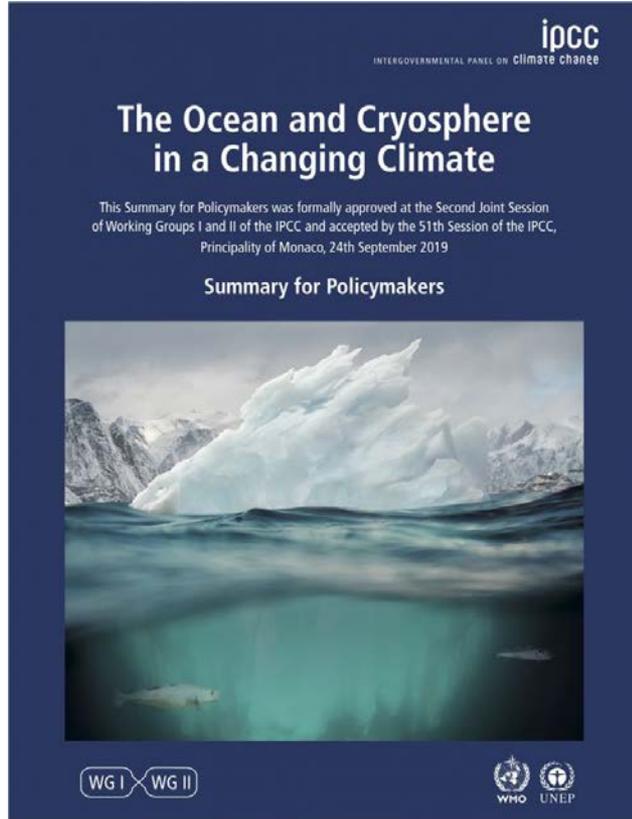
Roma 18 ottobre 2024

Maria Vittoria Struglia / SSPT-CLIMAR



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





Ocean renewable energy can support climate change mitigation ..., although their potential **may also be affected by climate change.**

The emerging demand for alternative energy sources is expected to generate economic opportunities for the ocean renewable energy sector.

ENERGIA DAL MARE & IPCC



Il potenziale energetico dei mari è confrontabile con il consumo complessivo mondiale

Un potenziale teorico di quasi 30.000 TWh/anno dall'energia proveniente dalle onde.

Table 6.1 | Regional theoretical potential of wave energy (Mark et al., 2010).

REGION	Wave Energy TWh/yr (EJ/yr)
Western and Northern Europe	2,800 (10.1)
Mediterranean Sea and Atlantic Archipelagos (Azores, Cape Verde, Canarias)	1,300 (4.7)
North America and Greenland	4,000 (14.4)
Central America	1,500 (5.4)
South America	4,600 (16.6)
Africa	3,500 (12.6)
Asia	6,200 (22.3)
Australia, New Zealand and Pacific Islands	5,600 (20.2)
TOTAL	29,500 (106.2)

- Durata: **36 mesi**
- Affidatario: **Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA)**
- Co-beneficiario: **Politecnico di Torino** (Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale)



Politecnico
di Torino

- **Obiettivo**

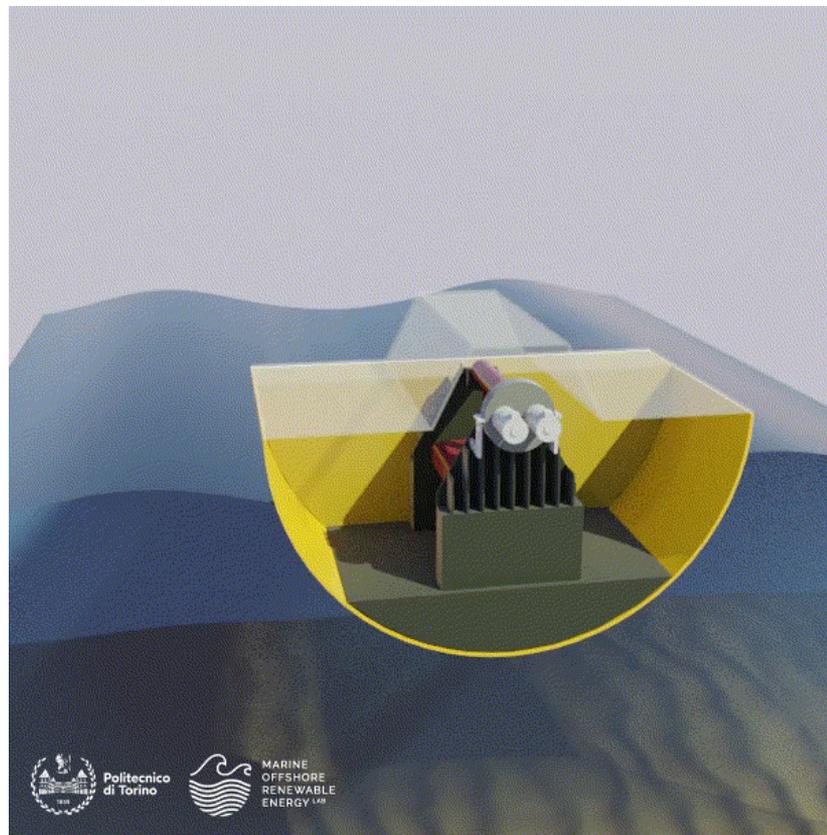
Progettazione esecutiva del prototipo **PeWEC** (Pendulum Wave Energy Converter), il dispositivo sviluppato da ENEA e Politecnico di Torino per la conversione dell'energia delle onde marine in energia elettrica. Il funzionamento del dispositivo si basa su un sistema pendolare inerziale che trasforma l'energia delle onde in energia elettrica.

- **TRL a fine progetto: 4**

PeWEC

ENEA e il Politecnico di Torino hanno sviluppato il **PEndulum Wave Energy Converter (PeWEC)**, dispositivo creato ad hoc per sfruttare le onde del Mediterraneo.

L'obiettivo è **produrre elettricità dal mare** con un sistema innovativo, a costi contenuti, adatto anche ai bacini chiusi e capace di competere prospetticamente con le tecnologie rinnovabili più mature.



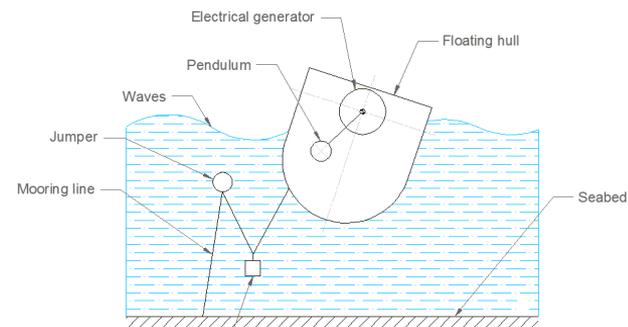
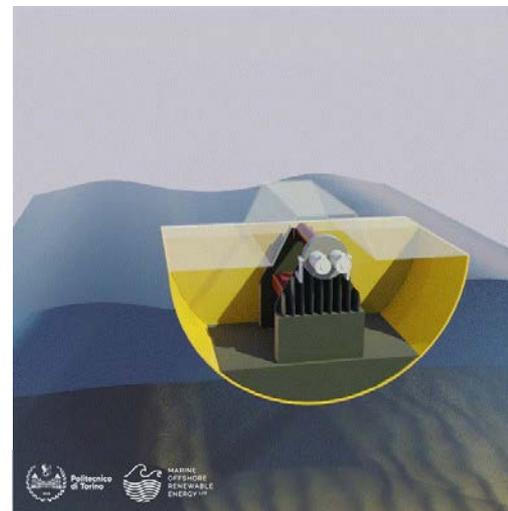
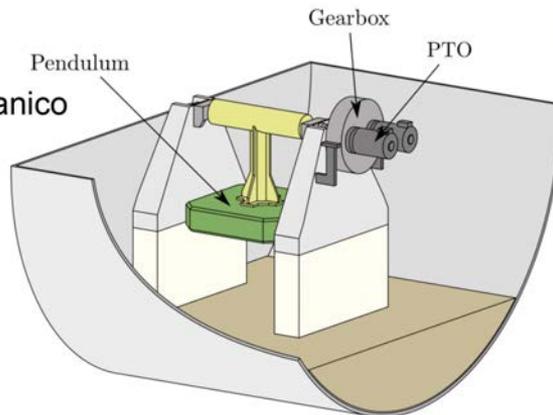
Il dispositivo PeWEC

PeWEC: Caratteristiche principali

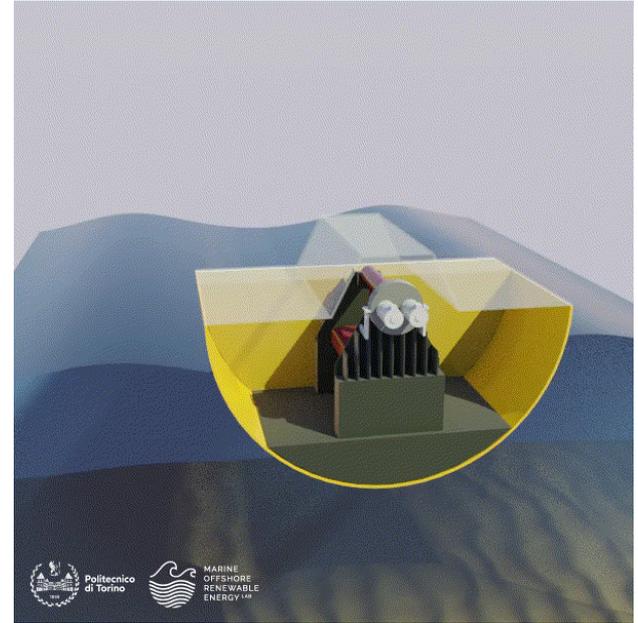
- PeWEC: Pendulum Wave Energy Converter
- Tutti i sistemi di conversione dell'energia sono contenuti all'interno di uno scafo impermeabile
- Progettato per la risorsa ondosa del Mar Mediterraneo

Sottosistemi

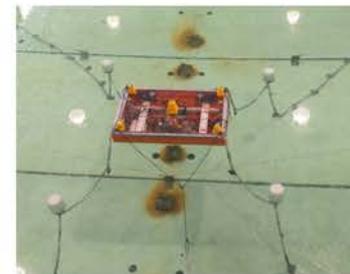
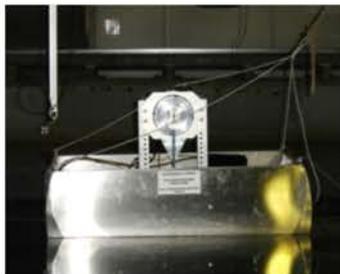
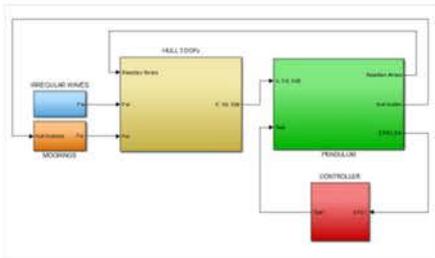
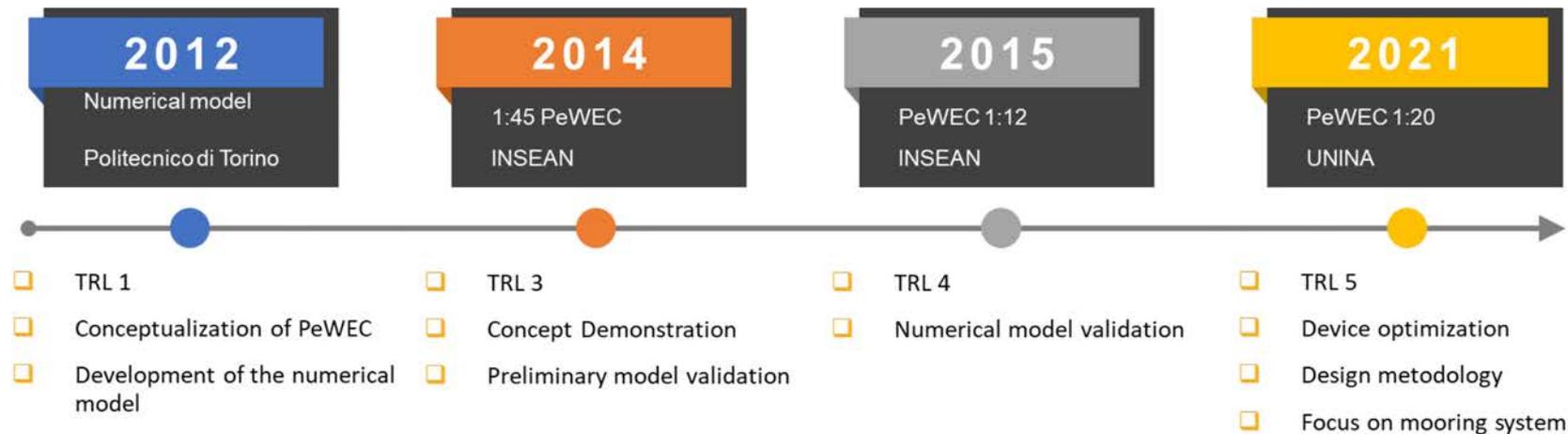
- Scafo
- Sistema pendolante
- Power Take Off (PTO) Elettro-meccanico
- Sistema d'ormeggio

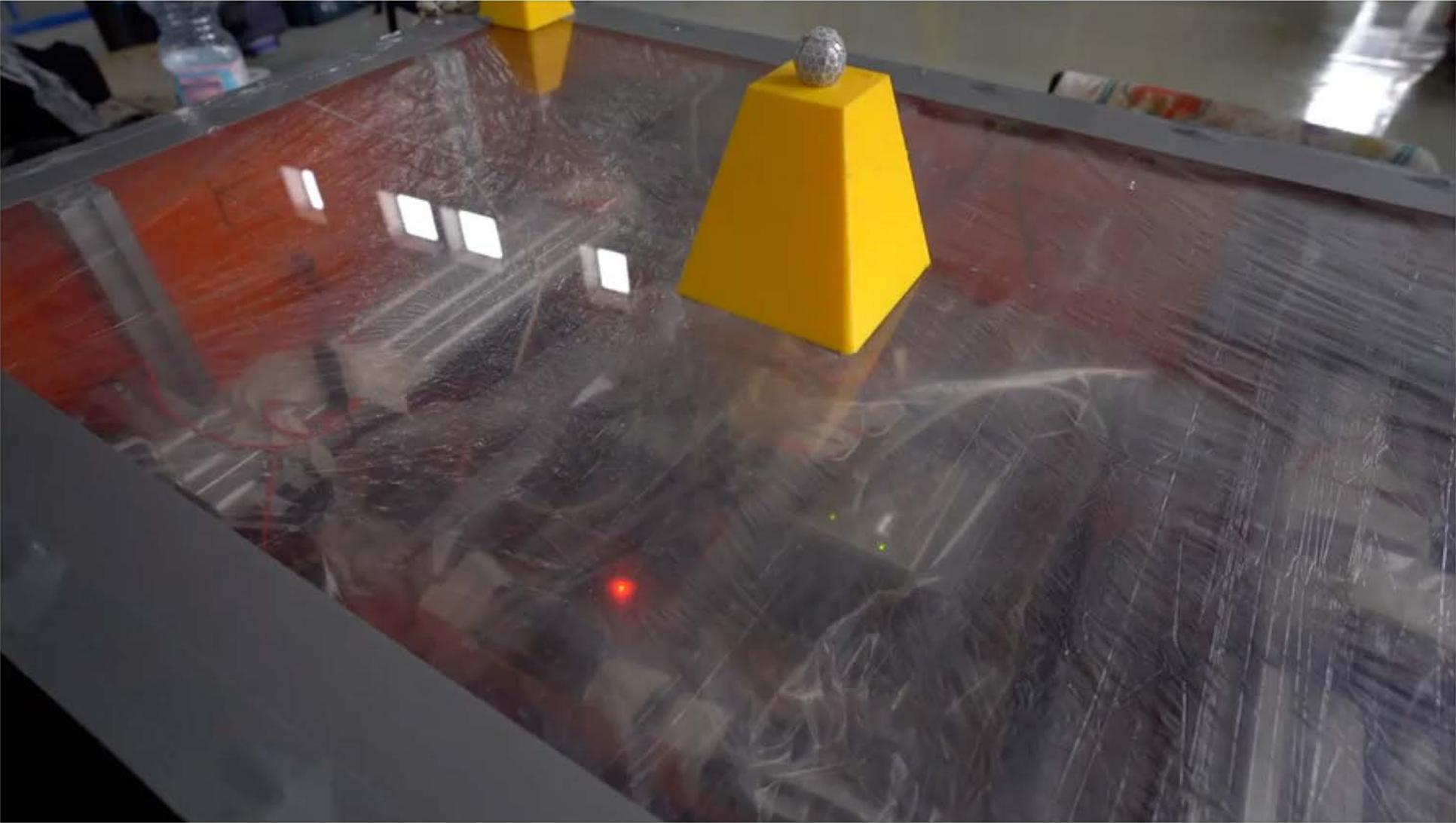


Sulla base dei costi delle materie prime e dei dispositivi elettro-meccanici che saranno utilizzati per la costruzione del prototipo si prevede di realizzare un dispositivo avente un dislocamento compreso tra **60 e 100 tonnellate** ed una potenza installata compresa tra **50 e 90kW**. Queste specifiche sono state identificate come ottimali in base ai costi previsti per la costruzione, il trasporto e l'installazione, e sono adeguate alle finalità tecniche e scientifiche del progetto.



Roadmap della tecnologia PeWEC





Stato dell'arte

Progetti di Wave Energy Converter (WECs) con TRL ≥ 6

CORPOWER



CETO



OPT



WAVEROLLER



MOCEAN



Progetti in Italia di WEC con con TRL ≥ 6 : ISWEC @ Pantelleria (2015&2023)

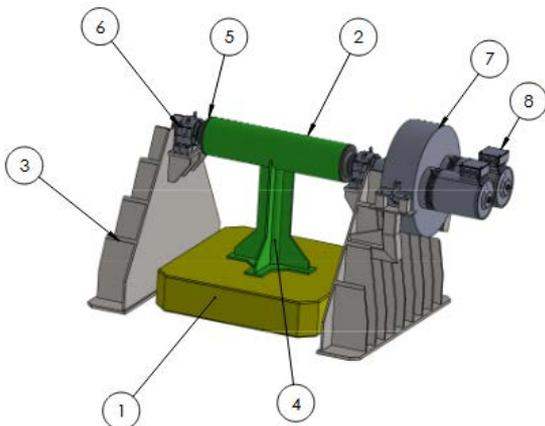
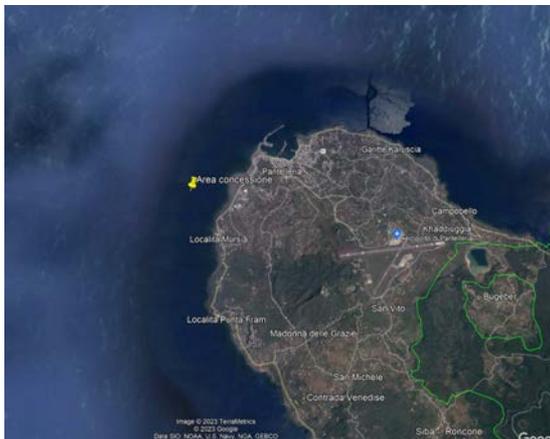


Politecnico
di Torino

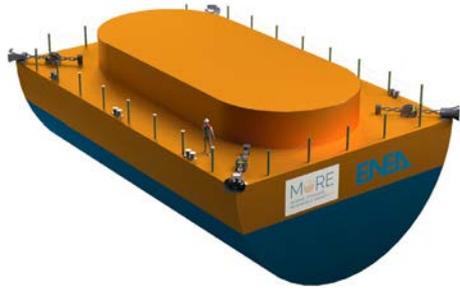


Principali obiettivi del progetto 1.8

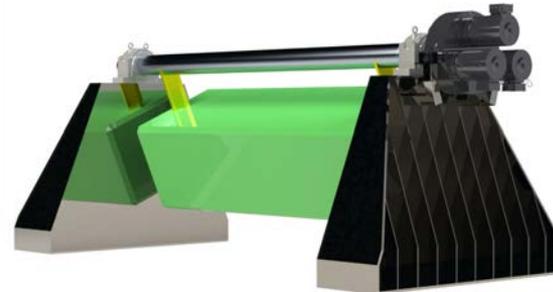
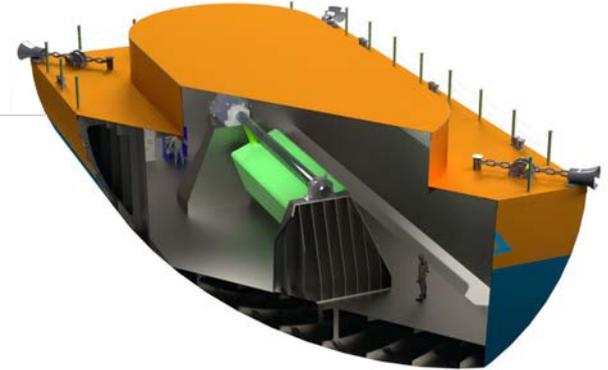
- Progettazione esecutiva del prototipo PeWEC da installare a **Pantelleria**
 - Range potenza installata prevista: 50-90 kW
 - Range peso del prototipo previsto: 60-100 t



Principali obiettivi del progetto 1.8



Render del PeWEC. Vista esterna. La linea di galleggiamento è evidenziata dalla separazione dei colori. Sono rappresentati in maniera schematica gli elementi di connessione dell'ormeggio sulla coperta che comprendono i fairlead e chaistopper e fissaggio della catena.



Viste interne del PeWEC. Si evidenziano le nervature di rinforzo dello scafo, i gavoni per l'alloggio della zavorra e l'unità pendolare posta al centro dello scafo.

Contesto energetico Pantelleria - Agenda di transizione energetica

Pantelleria è scollegata dalla rete nazionale e rappresenta un laboratorio ottimale per il test di integrazione di FER nella rete

Pilastri della transizione energetica

1

Generazione di energia elettrica da FER

Produzione di energia elettrica dalle fonti eolica, solare e moto ondoso. Definizione di aree idonee per lo sfruttamento delle fonti eoliche e solari con impianti di media e grossa taglia. Sfruttamento delle fonti marine (moto ondoso e moto eolico).



2

Autosufficienza degli edifici e produzione distribuita

Raggiungimento di elevati valori di autosufficienza del settore residenziale e massimizzazione dell'autoproduzione in tutti i settori. Copertura dei consumi termici negli edifici attraverso le fonti solare termica e biomassa.



3

Sostenibilità dei trasporti sull'isola

Elettrificazione dei trasporti motorizzati sull'isola e utilizzo di biogas prodotto localmente per una parte dei veicoli. Installazione di periferie idroelettriche compatibili con la naturale parca del territorio per la generazione elettrica e la ricarica dei veicoli.



4

Accumulo dell'energia e carichi differibili

Sistemi di accumulo centralizzati a supporto della stabilità della rete. Sistemi di accumulo distribuiti a supporto dell'autoconsumo negli edifici residenziali e nelle attività economiche. Veicoli elettrici e desolcarizzati come carichi differibili per il completo sfruttamento degli impianti rinnovabili.



5

Pantelleria comunità energetica

Creazione di una o più comunità energetiche sul territorio dell'isola. Massimizzazione dell'autonomia di comunità, scambio di flussi di energia. Compresenza di cittadini, enti pubblici e settore privato negli impianti di produzione di media e grandi dimensioni.



0 - Efficienza energetica

Pantelleria Zero

Obiettivi finali



Penetrazione delle FER nel mix elettrico
100%

Autosufficienza nel settore residenziale
80%



Veicoli a trazione alternativa
100%

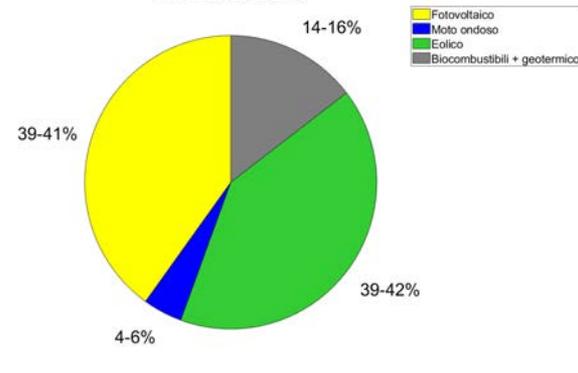
Riduzione emissioni di CO₂
100%*



Autosufficienza energetica dell'isola
90%

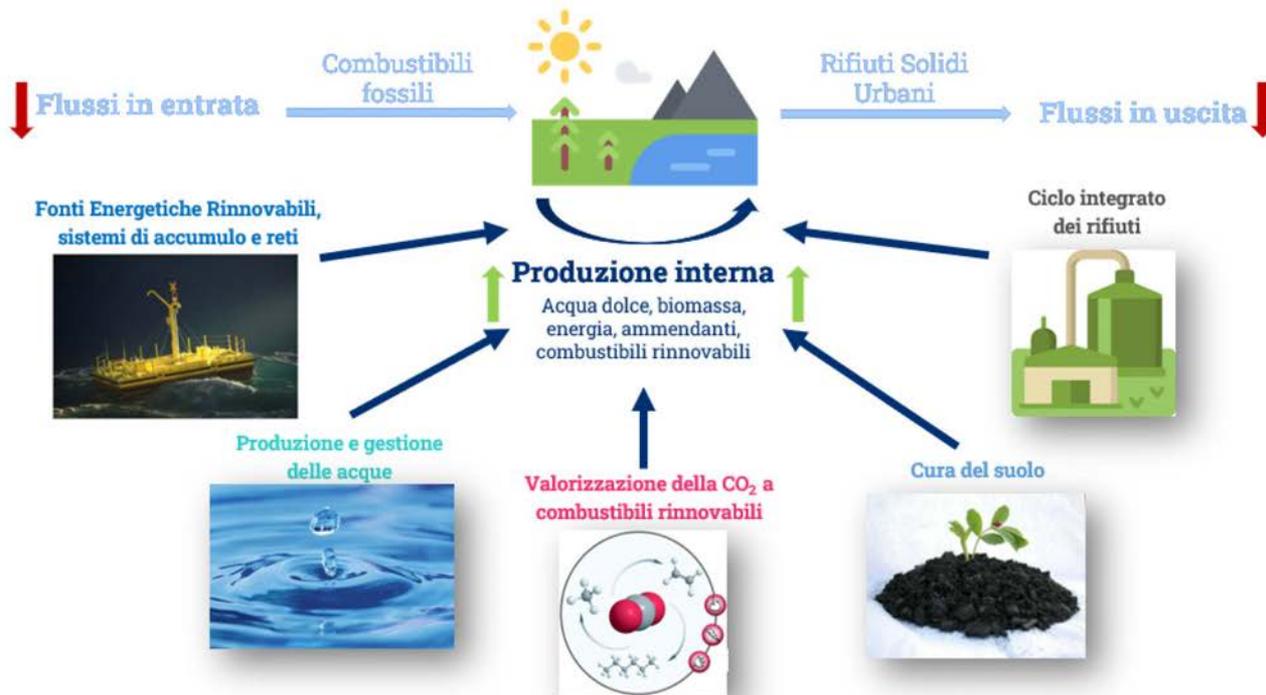
*Percentuale relativa alla copertura dei consumi finali.

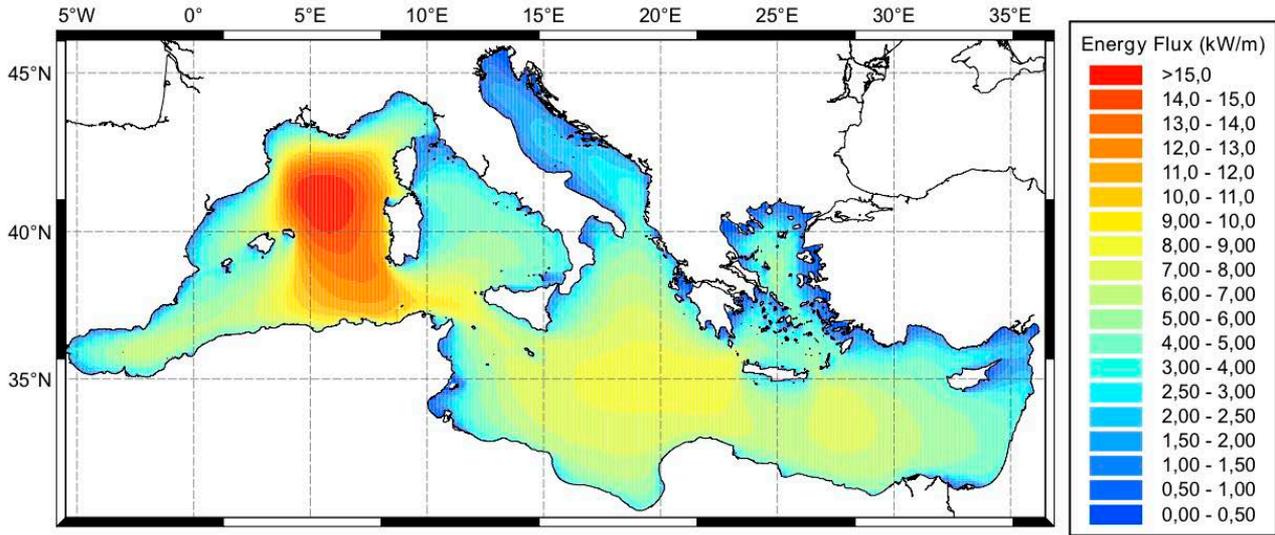
Mix elettrico al 2050



Laboratorio Pantelleria

Caso applicativo per la validazione di tecnologie per la decarbonizzazione, l'autonomia energetica e l'economia verde di scala territoriale





$$J = \frac{\rho g^2}{64\pi} T_e H_s^2$$

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

Risultati attesi: Scelta e caratterizzazione del sito di installazione

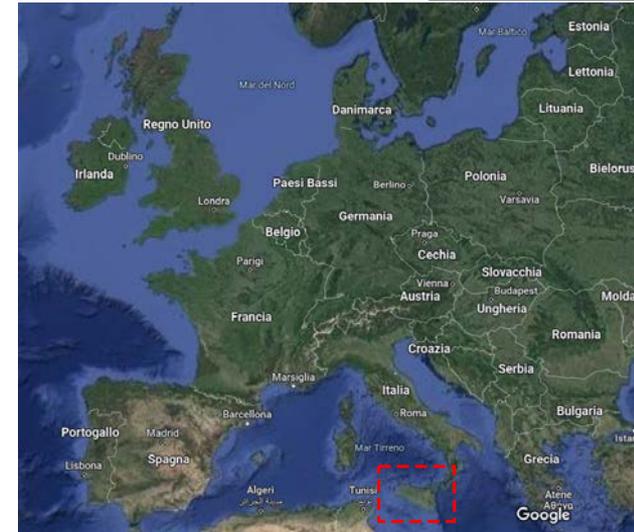
Obiettivo: Scelta e caratterizzazione del sito

- Corografia dell'area di intervento
- Realizzazione di un algoritmo di selezione delle aree idonee
- Planimetria dell'area di interesse

Attività svolte

- **Selezione con software QGIS:** identificazione aree marine adatte a PeWEC basandosi su norme e fattibilità tecnica.
- **Parametri e Esclusioni:** Valutazione di batimetria, ecologia e traffico per escludere zone trafficate e protette.
- **Risultato QGIS:** Mappa batimetrica delle aree marine

Sito d'installazione: Pantelleria



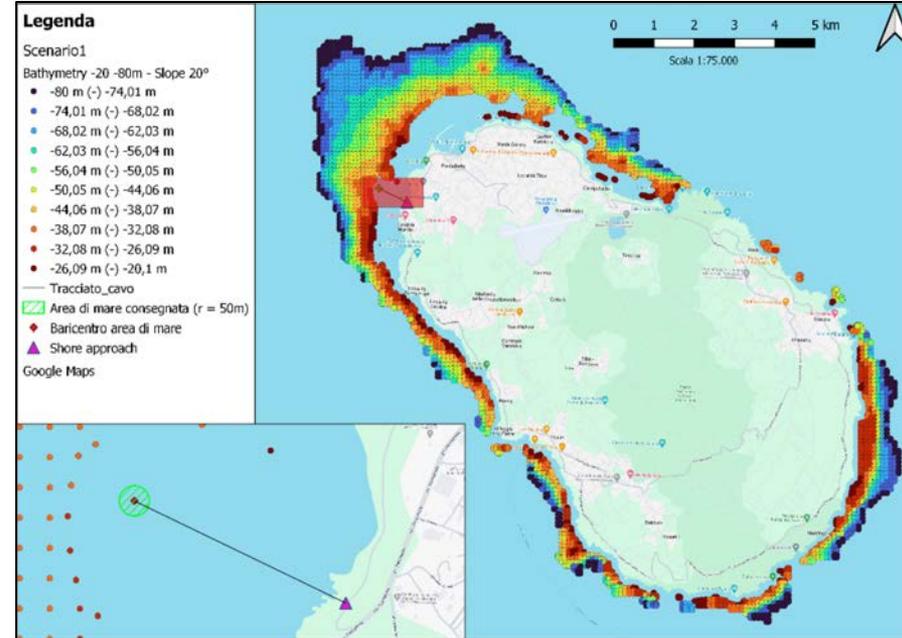
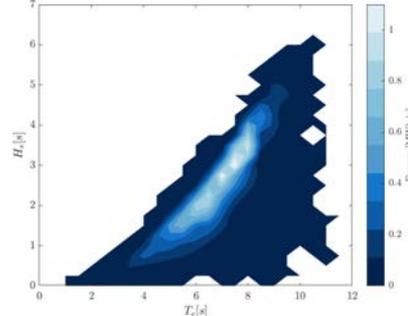
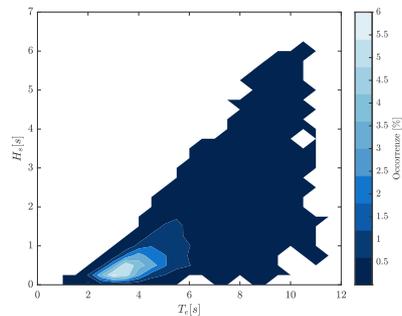
Fattori favorevoli

- Notevole disponibilità di risorsa ondosa
- Onde direzionali
- Non connessa alla rete energetica principale

Risultati: scelta e caratterizzazione del sito di installazione

Risultati

- Cartografia QGIS: siti plausibili per PeWEC , rispettando i vincoli imposti come input del tool
- Selezione del sito specifico, considerando:
 - Siti idonei
 - Procedure burocratiche
- Calcolo delle proprietà energetiche del sito d'installazione.



Risultati: scelta e caratterizzazione del sito di installazione

Input del software QGIS

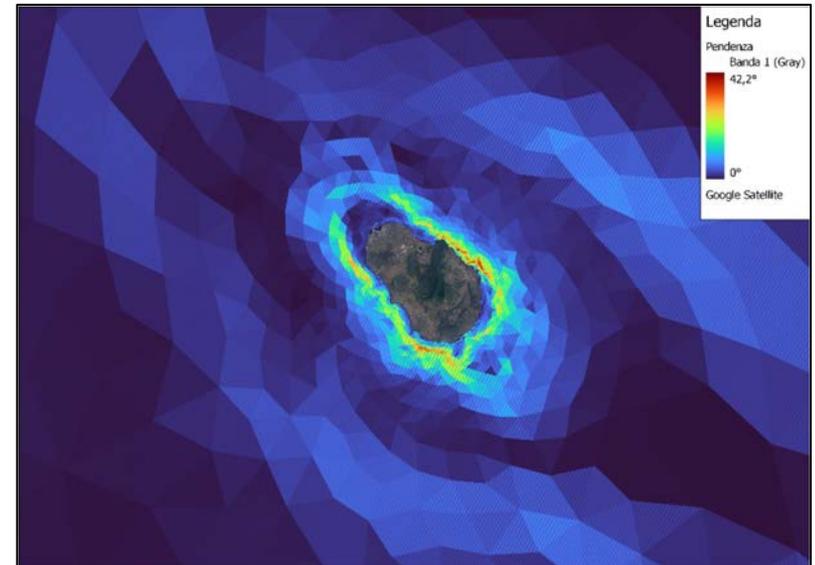
- Batimetria
- Tipologia del fondale marino
- Aree di protezione ambientale
- Distribuzione di Posidonia Oceanica
- Densità del traffico marittimo

1 Batimetria

- **Python per Batimetria:** Analisi del fondale in celle con dati EDMOnet (0,011 km²).
- **Profilo Marino:** Dataset che mappa il fondale marino in metri → Fondale marino < 50 m
- **Variazione Batimetrica:** GDAL slope valuta la pendenza batimetrica → Pendenza < 30°

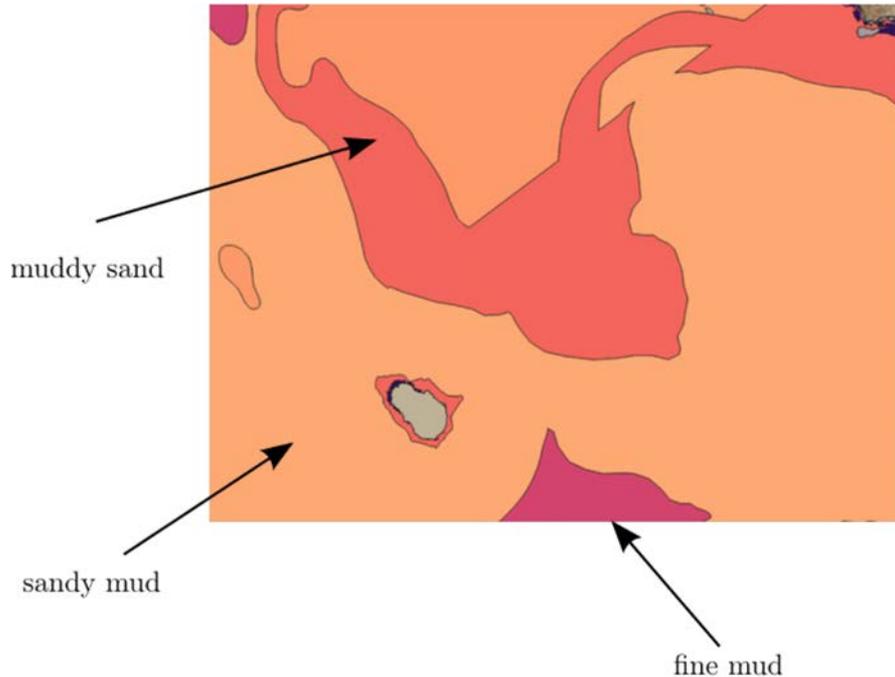
Output del software QGIS

- Identificazione di aree elegibili per l'installazione di PeWEC



Risultati: scelta e caratterizzazione del sito di installazione

Classificazione fondale EMODnet



2 Tipologia del fondale marino

- **Classificazione del fondale** richiesta per affinità con sistema d'ormeggio (preferibile fondale sabbioso).
- **Fondale Pantelleria:** sabbia limosa e rocce.



Risultati: scelta e caratterizzazione del sito di installazione



3 Area ambientale protetta

- **Valutazione Impatto ambientale:** Le installazioni in aree protette richiedono valutazioni secondo le normative italiane e Natura 2000.
- **Conformità Direttive:** Aree definite dalla Direttiva Habitat e Direttiva Uccelli.

4 Distribuzione Posidonia Oceanica

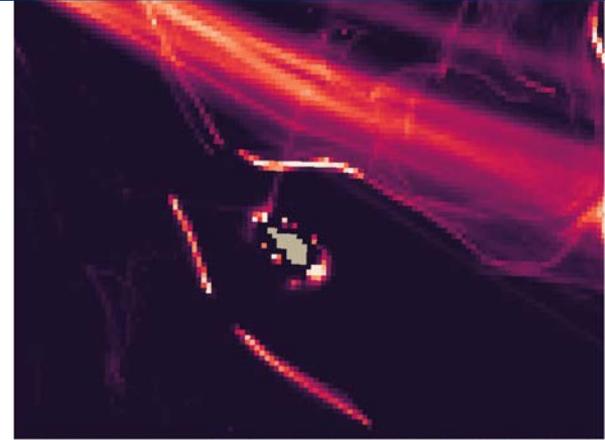
- **Analisi Impatto ambientale approfondita:** Valutare la presenza di flora protetta che proibisce installazioni.
- **Flora Pantelleria:** Abbondante presenza di Posidonia Oceanica nell'area di Pantelleria.

Risultati: scelta e caratterizzazione del sito di installazione

5 Traffico marittimo

Valutazione della densità di traffico marittimo (incompatibile con l'installazione di dispositivi WEC):

- Il picco di traffico marino nell'area di Pantelleria è di circa $700 \text{ h/m}^2/\text{mese}$.



Valutazione di eventuali licenze petrolifere, gas e aree militari non compatibili con le installazioni di WEC:

- Assenza di licenze petrolifere, gas e aree militari vicino a Pantelleria, concentrate vicino alla Sicilia.

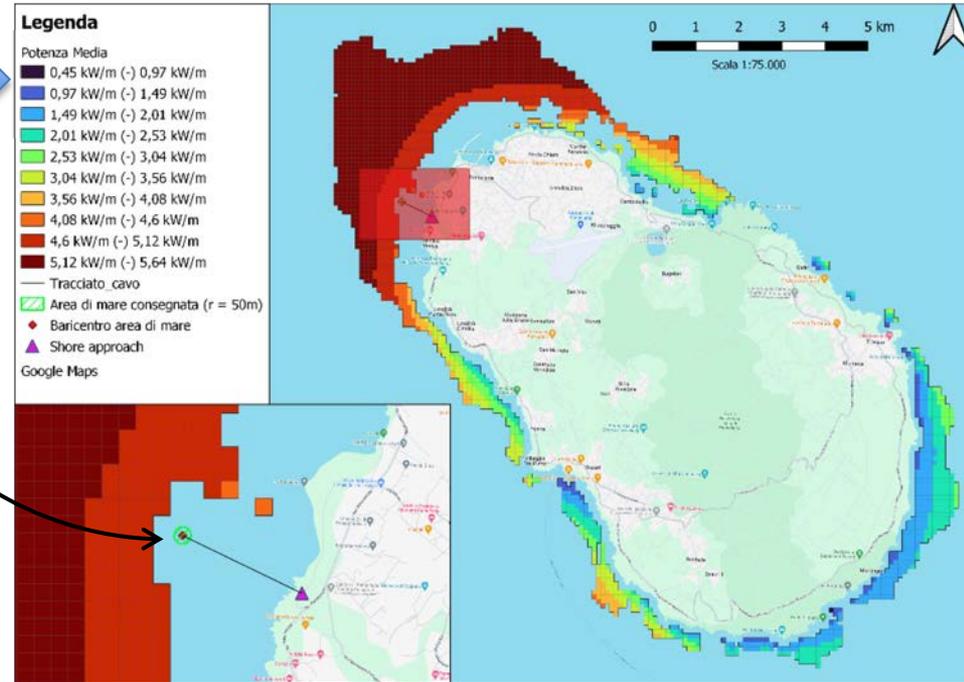


Risultati: scelta e caratterizzazione del sito di installazione

Mappa delle zone idonee in QGIS

Sito specifico selezionato

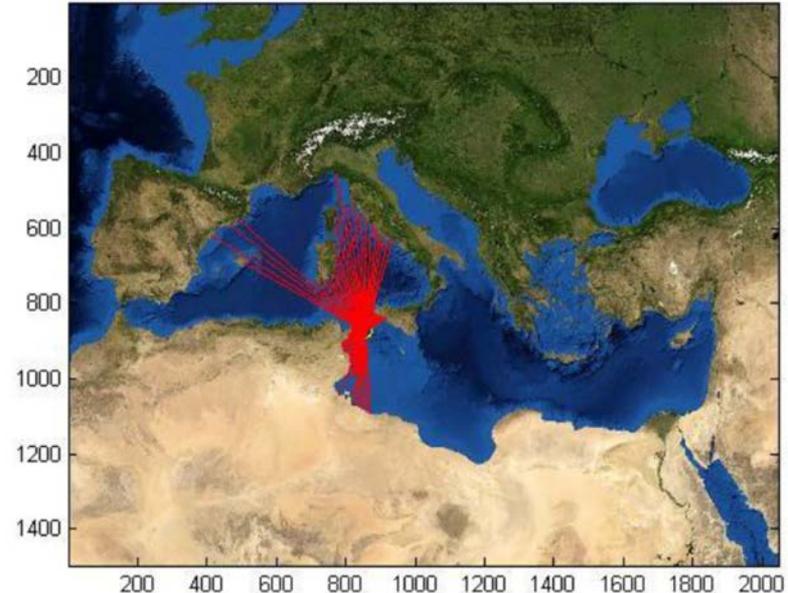
- **Area Selezionata:** Risponde ai criteri di QGIS e requisiti di ancoraggio
- **Potenziale Energetico del sito:** Zona ovest con densità di potenza da 4.6 a 5.12 kW/m
- **Ideale per Array:** Pronta per dispositivi multipli; punto centrale marcato in rosso
- Area già assegnata al Politecnico di Torino per l'installazione di WEC



Risultati: scelta e caratterizzazione del sito di installazione

Dettagli sito scelto

- **Località:** A sud-ovest del porto di Pantelleria (località Arenella) a 300 m dalla costa.
- **Batimetria:** 32 m
- **Posizione strategica:** onde sono generate sia da venti locali, sia dal vento di fetch.
- **Arenella:** Zona industriale con balneazione vietata per scarichi fognari, scarsamente valorizzata.
- **Prossimità Centrale SMEDE:** Vicinanza alla centrale termoelettrica, strategico per l'immissione di energia nella rete



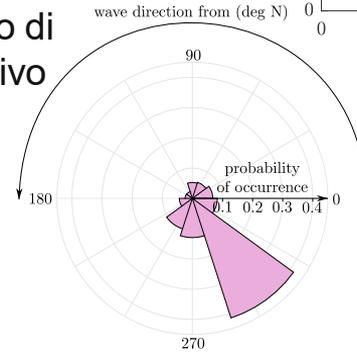
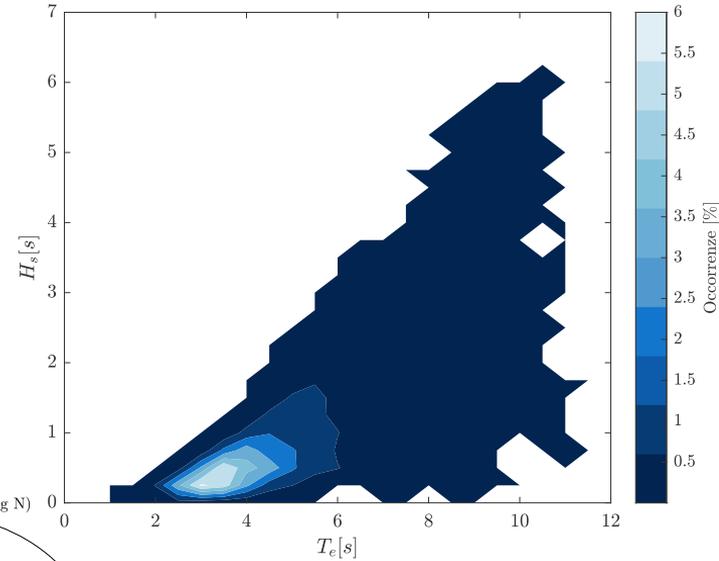
Risultati: scelta e caratterizzazione del sito di installazione

Sito specifico selezionato



Derivazione dati per simulazione PeWEC

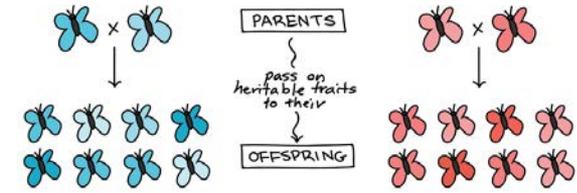
- **Calcolo della mappa delle Occorrenze:** Input del tool di simulazione
- **Caratterizzazione Onde:** Utilizzo dello spettro di JONSWAP, onde identificate da:
 - Altezza significata H_s
 - Periodo energetico T_e
- **Valutazioni su Direzionalità** del sito d'installazione: risorsa ondosa predominante a 300° rispetto al Nord.
- **Valutazioni su Ondate Estreme:** Periodo di ritorno di 50 anni (norme nazionali/internazionali), conservativo rispetto ai 3 anni di vita progetto.



Progettazione preliminare

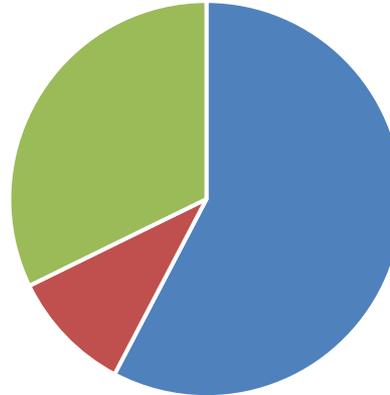
Ottimizzazione del sistema PeWEC

- Sistemi Ottimizzati:
 - Pendolo
 - Scafo
 - Potenza installata
- Obiettivo Ottimizzazione: CoE & Produttività

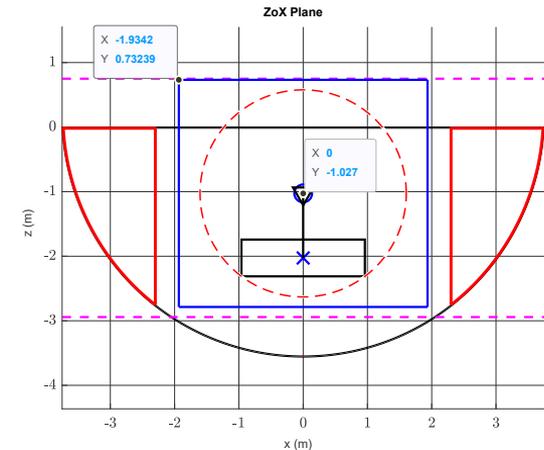


Proprietà	UdM	Valore
Lunghezza scafo	m	7.5
Larghezza scafo	m	6.5
Altezza scafo	m	3.56
Pescaggio scafo	m	2.49
Dislocamento	t	85.7
Potenza Installata	kW	52.5
Periodo di risonanza	s	4.2

Distribuzione Masse



■ Scafo ■ Pendolo ■ Zavorra



Progettazione preliminare

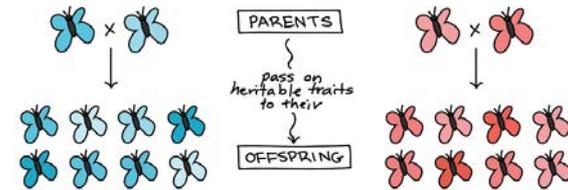
Obiettivo: Progettazione preliminare del sistema PeWEC

- Definizione delle **specifiche** dei sottosistemi principali
- Valutazione dei **carichi agenti** sui componenti meccanici
- Valutazione dell'**energia prodotta**
- **Capitolato tecnico**

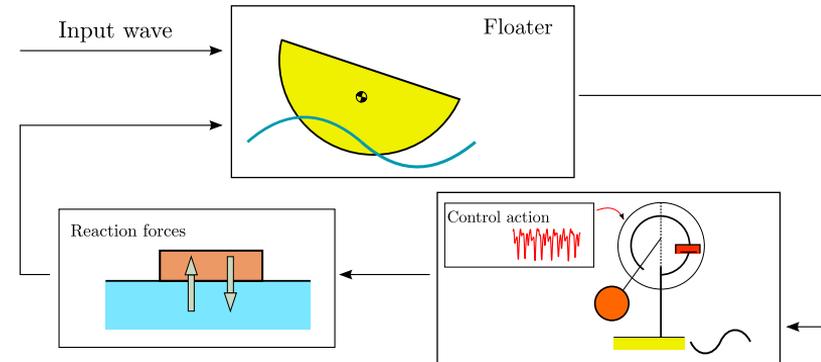
Attività svolte

- **Ottimizzazione multi-obiettivo**
- **Simulazione** con tool ad alta fedeltà per valutazione performance e carichi
- **Progettazione** preliminare

Ottimizzazione



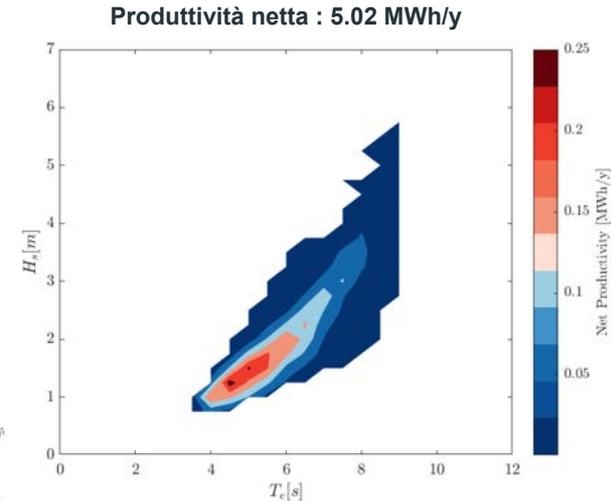
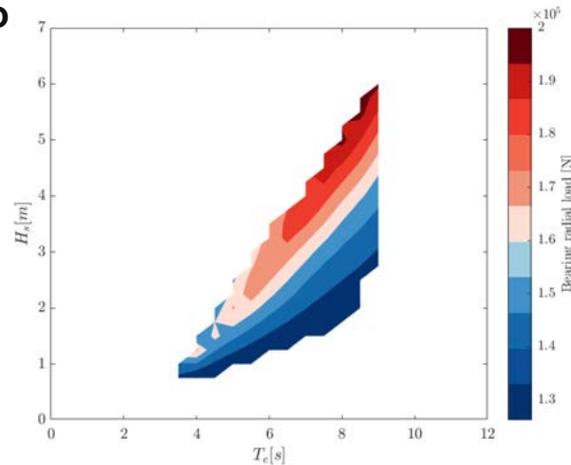
Wave-to-Wire model



Progettazione preliminare

Risultati

- **Layout e Parametri PeWEC:** Ottimizzazione del design e dei parametri dei sottosistemi.
- **Valutazione Energetica:** Previsione della produzione energetica di PeWEC
- **Analisi dei Carichi:** Progettazione avanzata per la durabilità dei cuscinetti radiali
- Redazione del **capitolato tecnico**

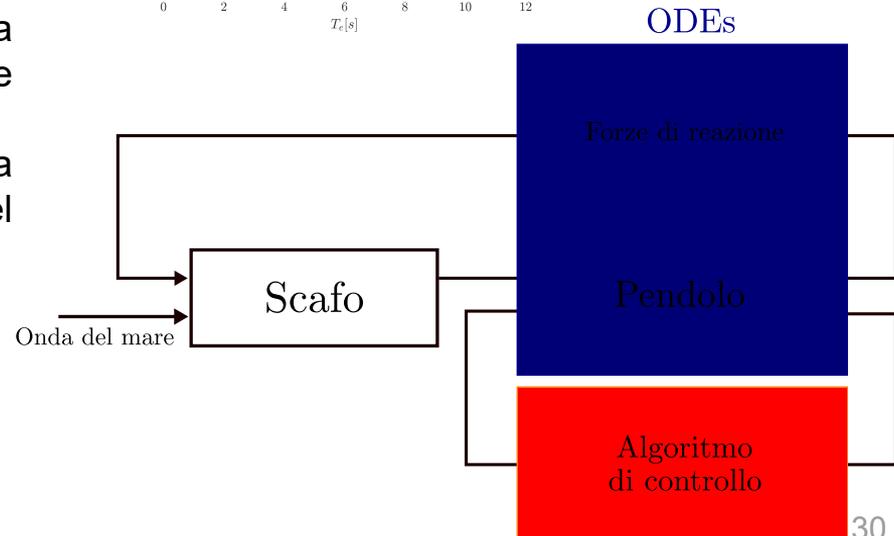
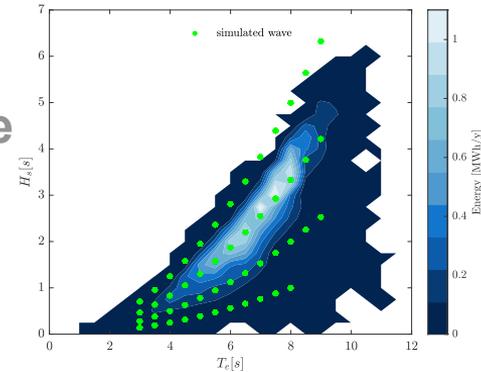


Carico radiale max: 200kN

Progettazione preliminare

Simulazione PeWEC – Calcolo Performance

- **N. Onde selezionate:** 50
- **Modellazione matematica:** Idrodinamica Lineare e dinamica pendolo-scafo non lineare.
- **Valutazione Potenza:** Misurazione della potenza netta del PeWEC, inclusiva di perdite meccaniche ed elettriche.
- **Algoritmo di Controllo Reattivo:** Definisce la coppia ottimale per il generatore elettrico del PeWEC.

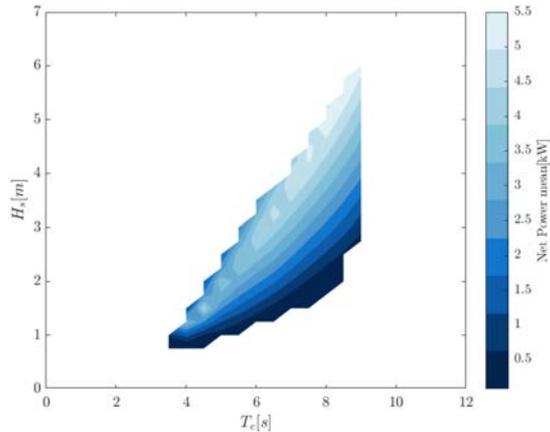


Progettazione preliminare

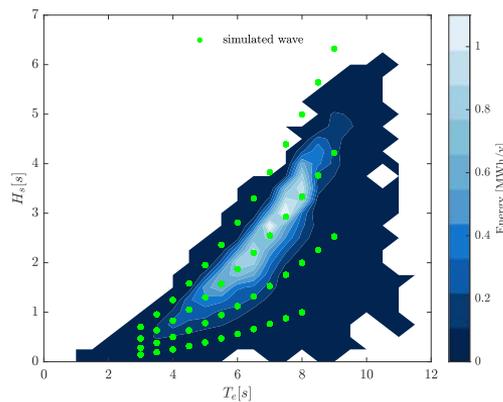
Performance

- Energia totale prodotta : 5.02 MWh/y
- Dispositivo più produttivo per onde nell'intervallo tra i 4 e i 6 sec

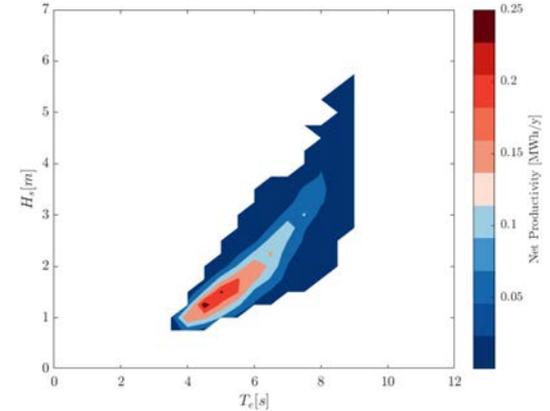
Mapa delle potenze



Mapa delle Occorrenze



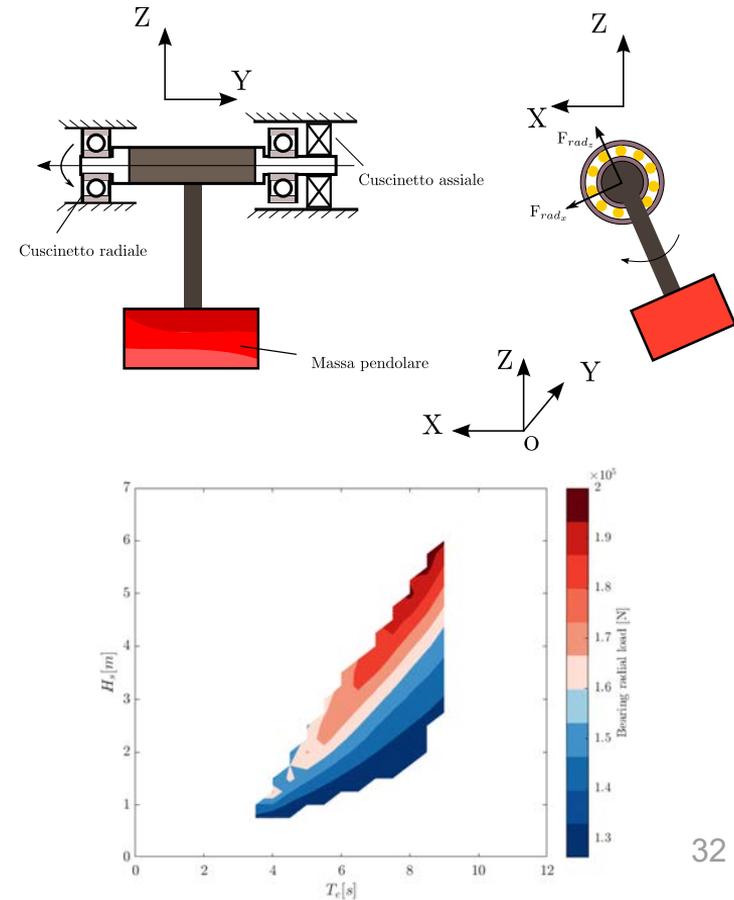
Energia prodotta



Progettazione preliminare

Valutazione Carichi

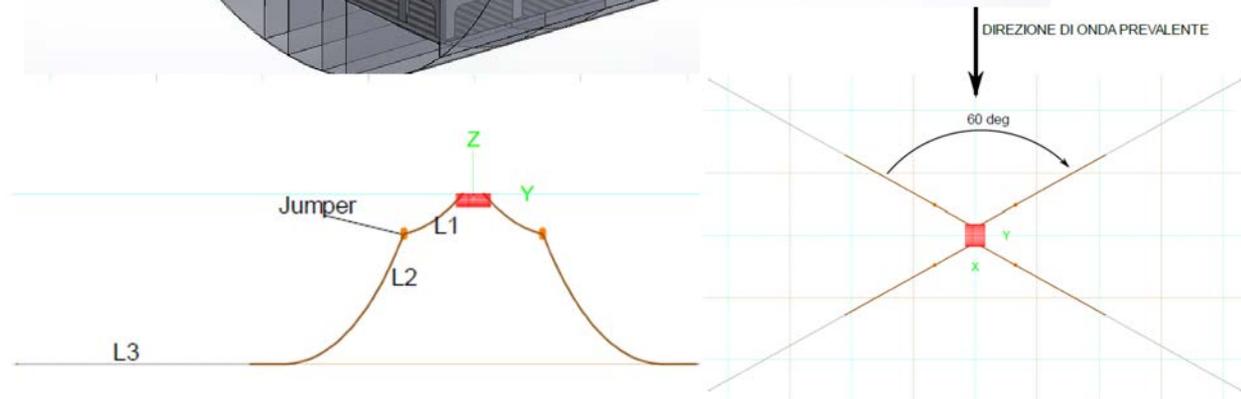
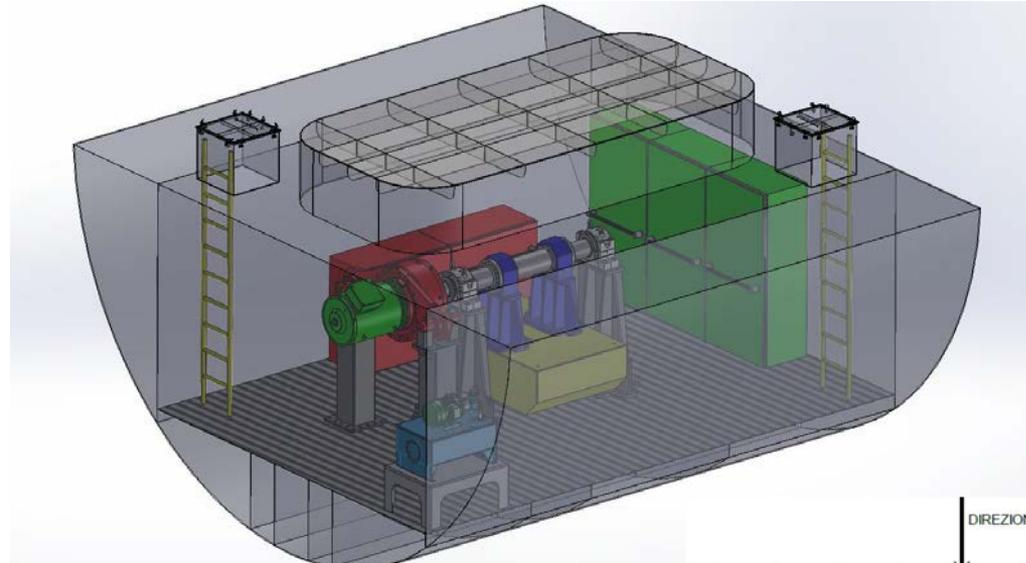
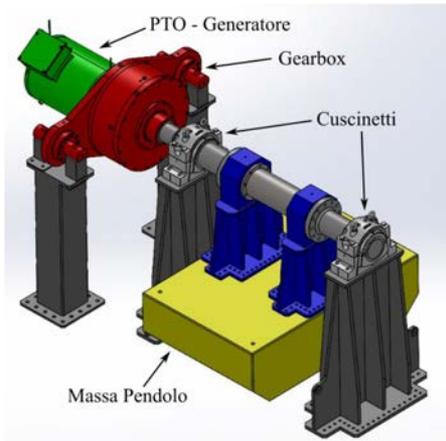
- **Dimensionamento cuscinetti (Elementi meccanici più soggetti a failure)**
- **Valutazione carichi del pendolo:** Il modello analizza i carichi dinamici radiali trasmessi ai cuscinetti di supporto del sistema rotante
- **Scelta del cuscinetto meccanico:** Il cuscinetto è scelto in base alla valutazione del carico massimo
- Carico massimo registrato: **200kN**



Progettazione preliminare

Capitolato tecnico

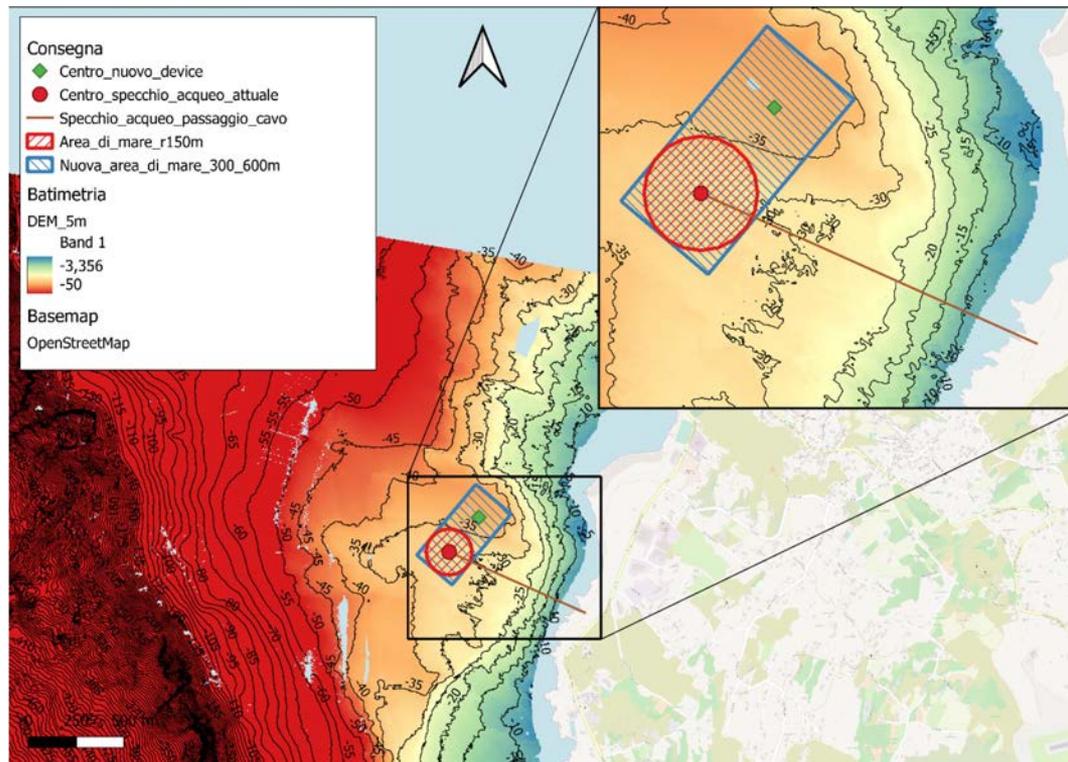
- **Specifiche di progetto:**
 - Scafo
 - Sistema d'ormeggio
 - Pendolo
 - Generatore elettrico



Approvvigionamento e permessi

Ampliamento Area d'Installazione

Il Politecnico di Torino ha ottenuto l'**ampliamento dell'area di concessione** per l'installazione del PeWEC, con implicazioni per l'installazione di Array



Stato attuale dei lavori

Procedura per assegnazione attività di Progettazione

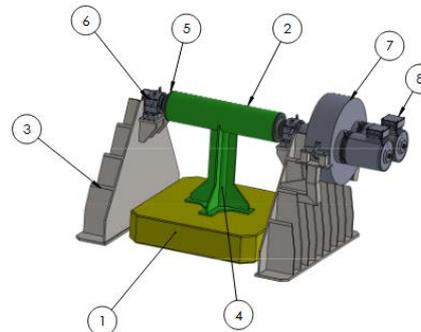
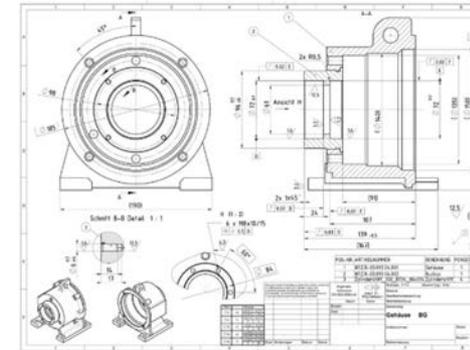
- **Dettagli Progettuali:** Progettazione scafo, ormeggio e conformità alle certificazioni RINA
- **Progettazione Sistema di Conversione:** meccanica e carpenteria del meccanismo pendolante, componenti elettrici/elettronici e controllo del dispositivo PeWEC
- **Gara di Appalto:** Progettazione del prototipo PeWEC affidate tramite gara pubblica unica. (Conformità Normativa: Gara redatta secondo il D.lgs. 50/2016, Codice dei Contratti Pubblici)
- **Tipo di Gara:** Valutazione di gara aperta o ristretta post avviso di manifestazione di interesse



Next steps

Progettazione esecutiva

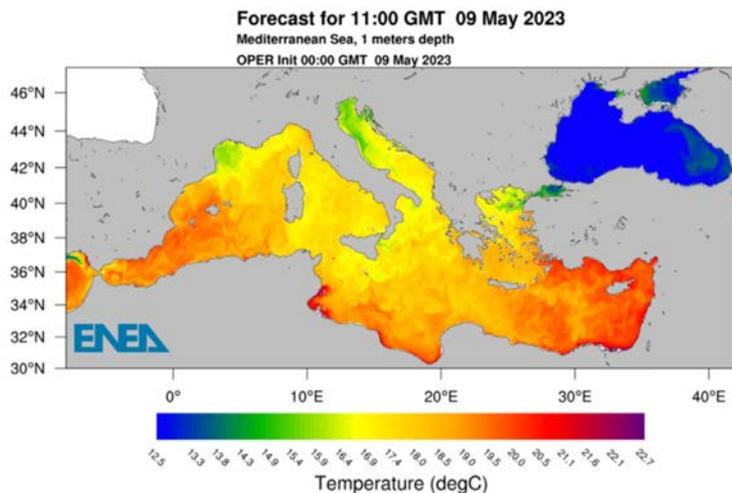
- Studio Contraente: 5 mesi per le seguenti attività di Progettazione:
 - **Scafo**, e **ormeggio**, con certificazioni RINA.
 - meccanica del **pendolo**, sistemi **elettrici/elettronici**.
- **Polito**: Monitoraggio attività di progettazione in seguito a variazioni di progetto



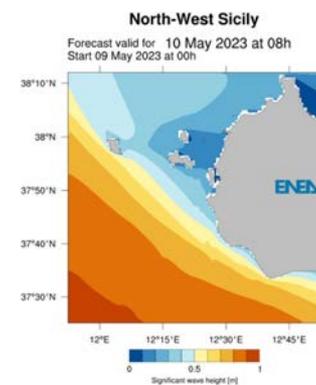
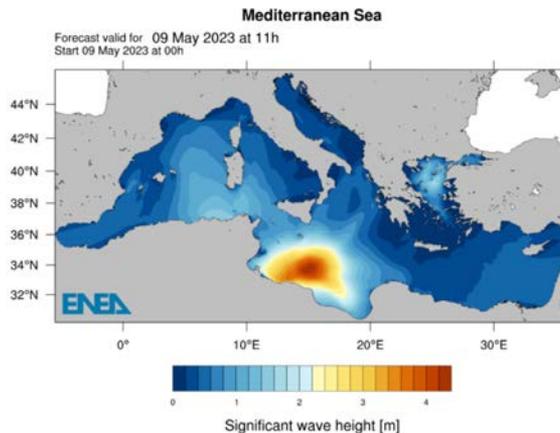
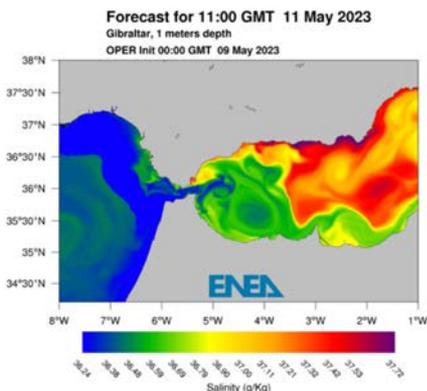
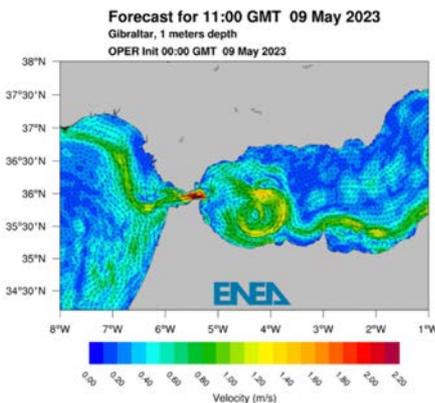
Previsioni operative

Sito Web con risultati dei modelli operativi

<https://climaweb.enea.it/en/mito/>

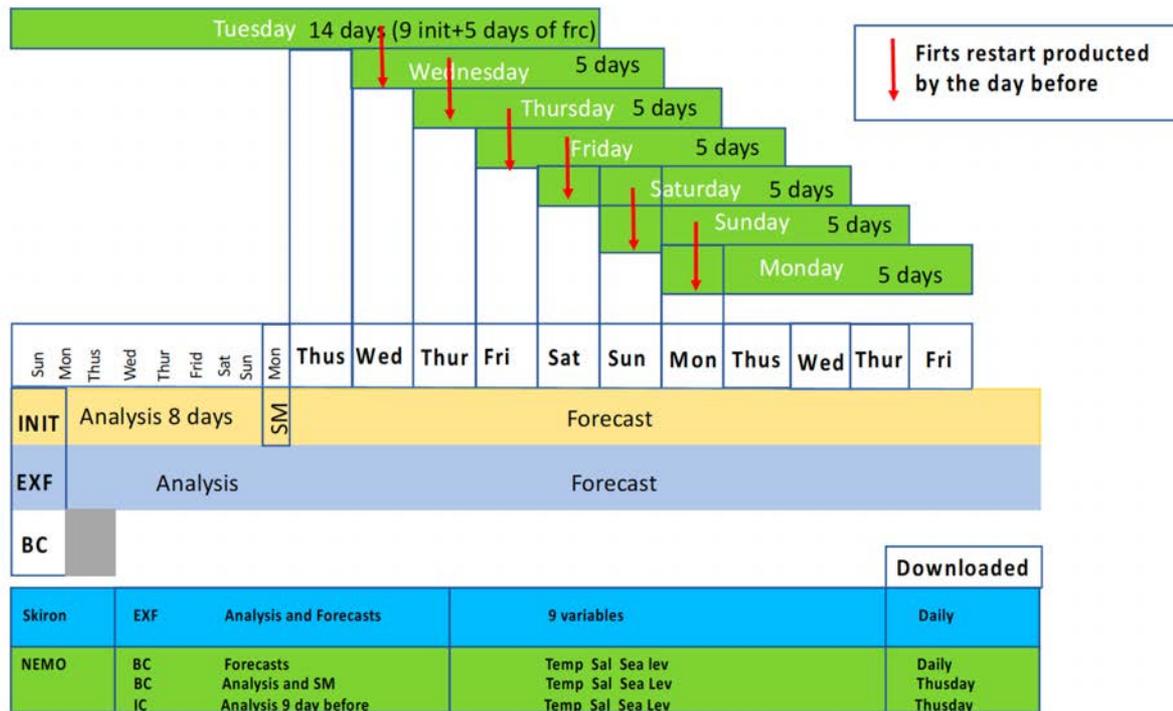


<https://climaweb.enea.it/en/ww3med/>



Previsioni operative

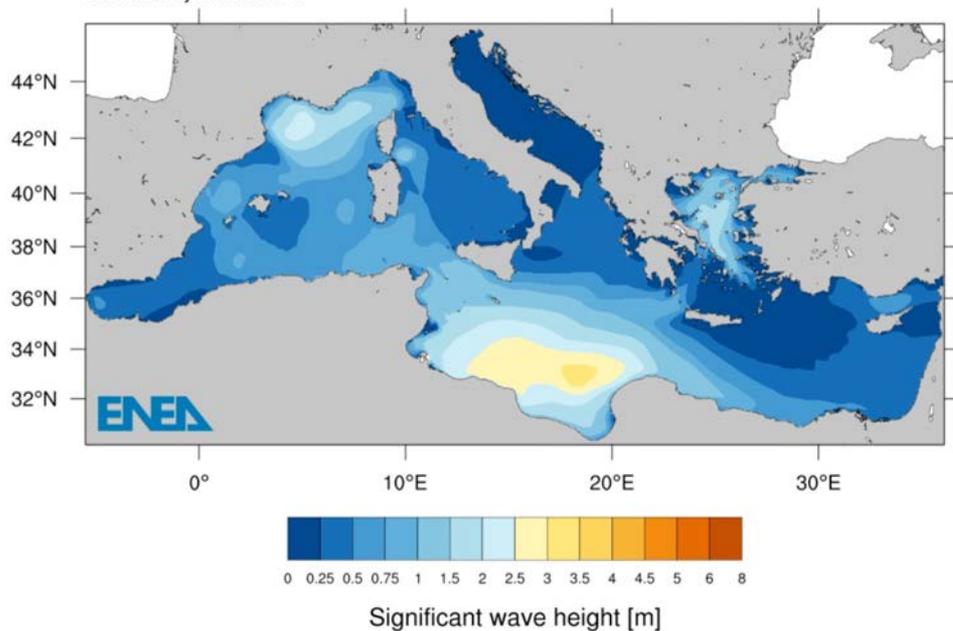
Schema della catena operativa



Previsioni operative

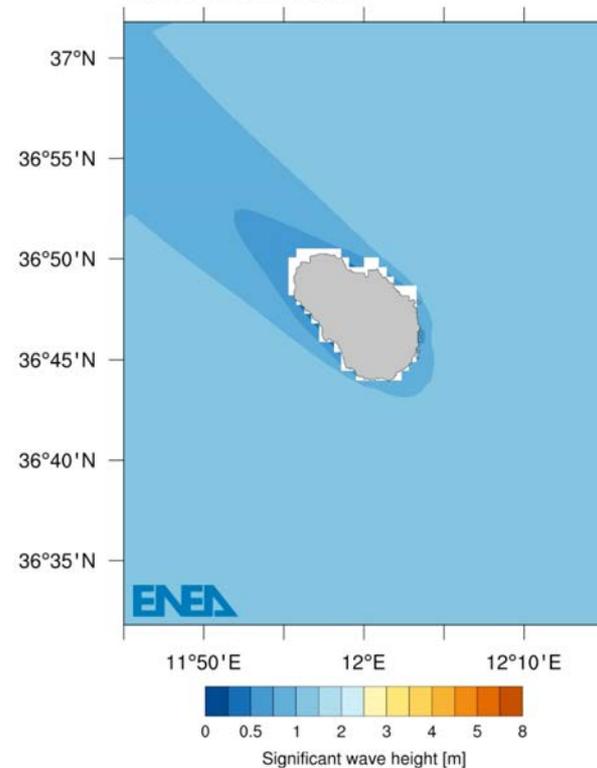
Mediterranean Sea

Forecast valid for 10 May 2023 at 00h
Start 10 May 2023 at 00h



Pantelleria

Forecast valid for 10 May 2023 at 00h
Start 10 May 2023 at 00h

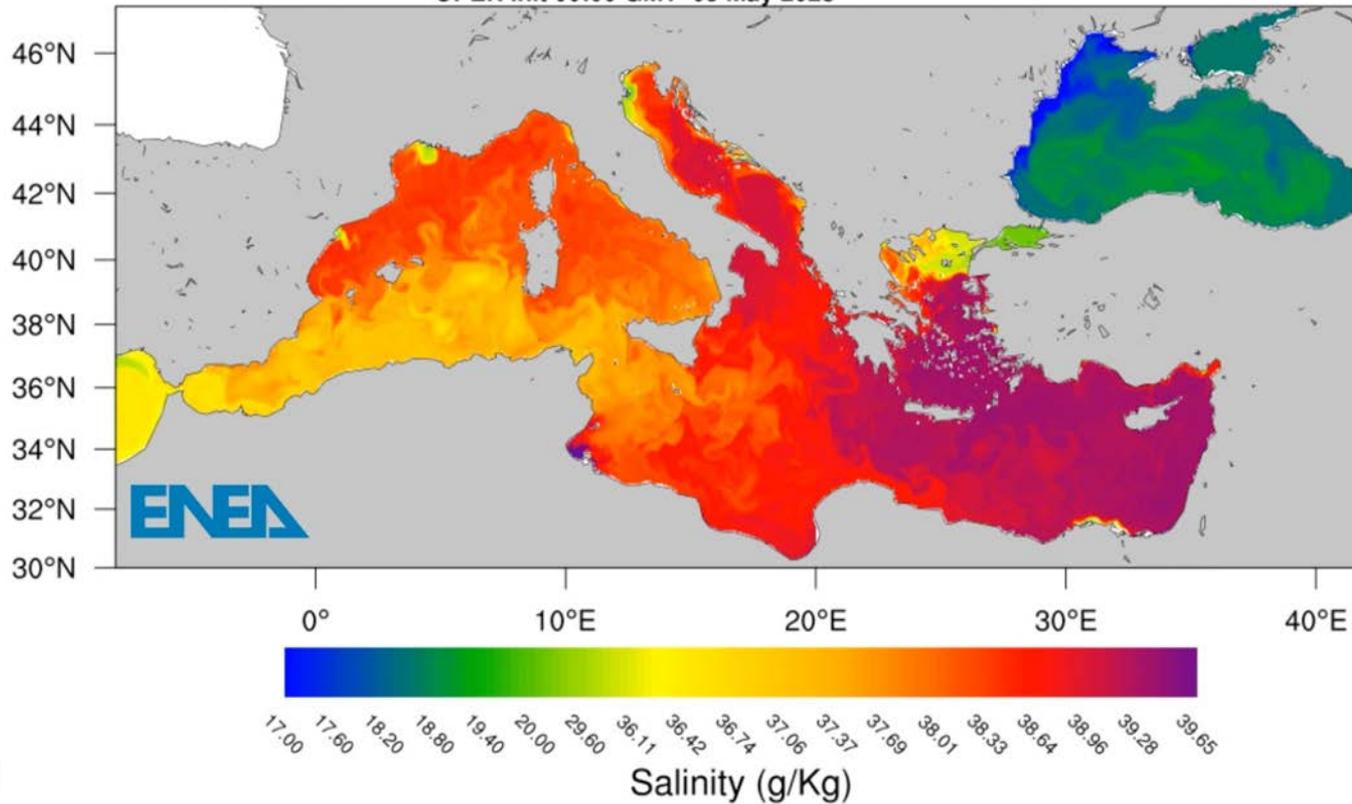


Previsioni operative

Forecast for 00:00 GMT 09 May 2023

Mediterranean Sea, 1 meters depth

OPER Init 00:00 GMT 09 May 2023

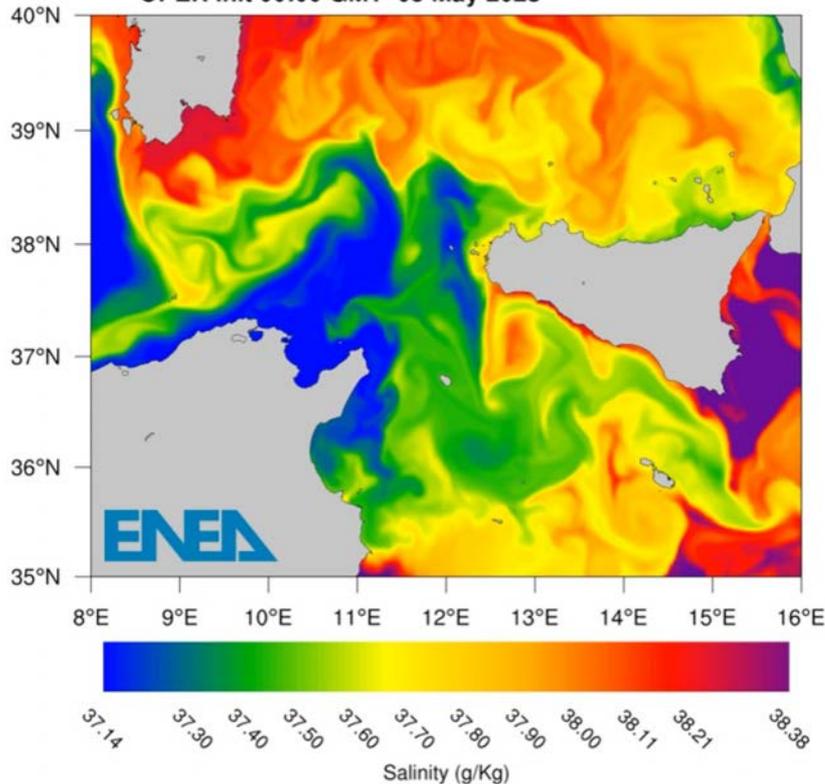


Previsioni operative

Forecast for 00:00 GMT 09 May 2023

Sicily, 1 meters depth

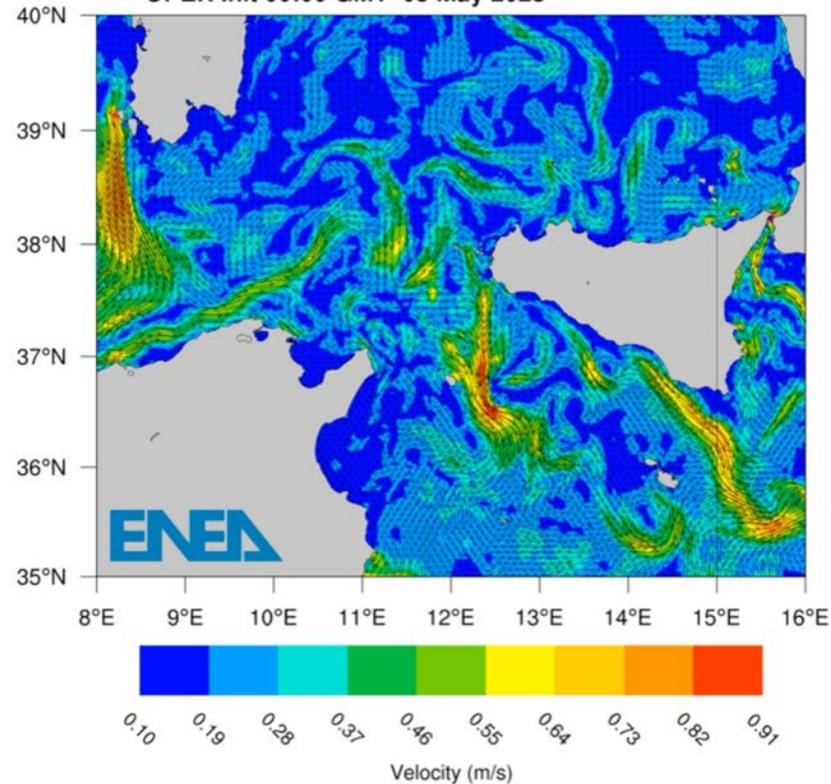
OPER Init 00:00 GMT 09 May 2023



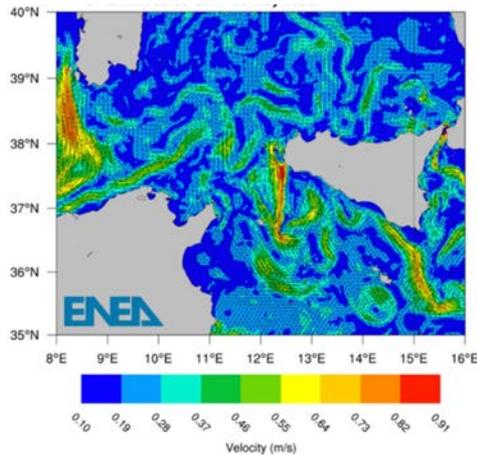
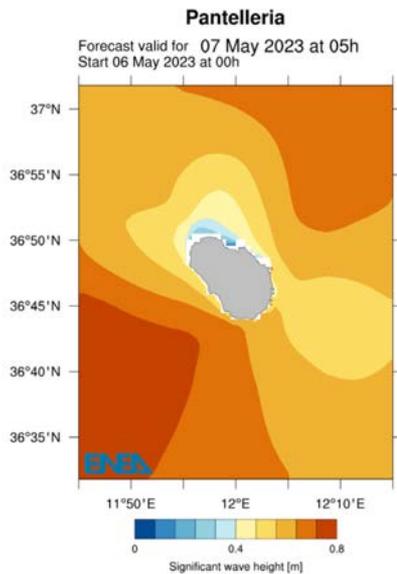
Forecast for 00:00 GMT 09 May 2023

Sicily, 1 meters depth

OPER Init 00:00 GMT 09 May 2023

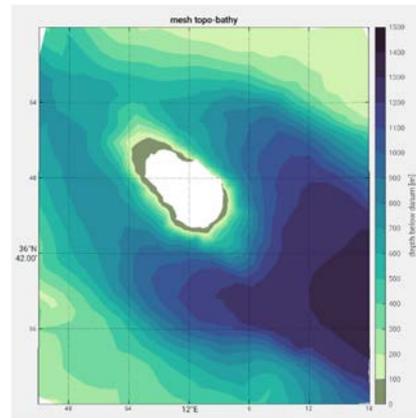
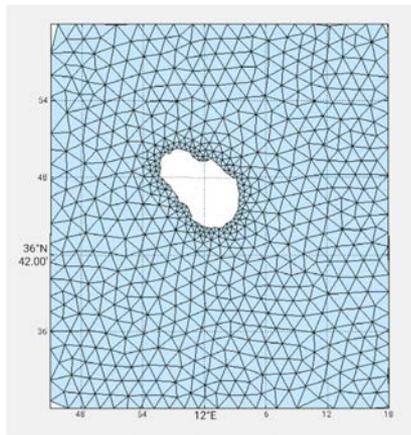


Previsione HR per il sito di Installazione



Circolazione media annuale superficiale (30m)

Saranno prodotte previsioni ad hoc per lo spazio marino circostante l'Isola di Pantelleria, utilizzando una versione ad alta risoluzione del modello di onde e un modello di circolazione agli elementi finiti.



Ipotesi di dominio ad alta risoluzione

Comunicazione e diffusione dei risultati

- E' stata garantita la diffusione dei risultati del progetto sia a livello nazionale che internazionale .

