

PIANO TRIENNALE DI REALIZZAZIONE 2025-2027 DELLA RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO NAZIONALE

Presentazione dei progetti di ricerca di cui all'art. 10 comma 2, lettera a) del
decreto 26 gennaio 2000

Tema di ricerca 1.8

Titolo del progetto

Energia dal mare

- Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile [ENEA]
- Politecnico di Torino [PoliTO]

Durata del progetto: 36 mesi

Costo proposto: 2.500.000,00 €

2. DATI GENERALI DEL PROGETTO

2.1 Dati progetto

Titolo del progetto

Energia dal mare

Durata del progetto

36 mesi

2.2 Descrizione progetto

Abstract del progetto

Il progetto Energia dal Mare, sviluppato dall'Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA) in collaborazione con il Politecnico di Torino (PoliTO), mira a dimostrare e validare la tecnologia PeWEC (Pendulum Wave Energy Converter) per la produzione di energia elettrica dal moto ondoso. L'iniziativa si inserisce nel contesto delle fonti rinnovabili offshore e punta a portare la maturità tecnologica del PeWEC dal livello TRL 4 (dimostrazione in ambiente controllato) a TRL 6 (dimostrazione in ambiente operativo reale). Questo avanzamento tecnologico è essenziale per il consolidamento della tecnologia dei convertitori di energia dalle onde e per la loro futura implementazione su larga scala nel panorama energetico nazionale ed europeo. Il progetto è quindi strategico per l'evoluzione delle tecnologie marine, in grado di contribuire in modo significativo alla diversificazione del mix energetico e alla riduzione della dipendenza da fonti fossili.

Per raggiungere questo obiettivo, il progetto prevede la progettazione, costruzione e installazione di un prototipo in mare aperto, con particolare riferimento alle acque al largo dell'isola di Pantelleria. L'attività sperimentale consentirà di verificare il comportamento del PeWEC in condizioni operative reali, ottimizzare il sistema di conversione dell'energia, il sistema di ormeggio e il controllo elettronico per massimizzare l'efficienza energetica. Saranno inoltre monitorate le prestazioni e la resistenza del dispositivo nel lungo periodo, raccogliendo dati open-access utili allo sviluppo tecnologico. L'implementazione di un sistema di monitoraggio continuo consentirà di raccogliere informazioni dettagliate sulle condizioni operative del dispositivo, permettendo di validare i modelli numerici e di ottimizzare la gestione del convertitore.

Parallelamente, il progetto analizzerà la possibilità di installare array di dispositivi PeWEC, valutandone la scalabilità e l'integrazione nel mix energetico nazionale. La creazione di una configurazione multi-dispositivo potrebbe consentire una produzione energetica più stabile ed efficiente, riducendo al minimo le fluttuazioni di generazione tipiche delle fonti rinnovabili marine. Verranno esplorate anche configurazioni ibride, che combinano l'energia dal moto ondoso con il fotovoltaico offshore, per ottimizzare la produzione energetica e garantire una maggiore affidabilità dell'approvvigionamento. L'integrazione tra tecnologie diverse consentirebbe di ottenere sistemi più resilienti e performanti, riducendo la variabilità dell'energia disponibile e massimizzando il contributo delle fonti rinnovabili al sistema elettrico.

L'installazione del PeWEC in contesti insulari non interconnessi potrebbe ridurre la dipendenza dai generatori diesel, abbattendo costi ed emissioni di CO₂. Le isole minori, spesso non collegate alla rete elettrica nazionale, dipendono ancora fortemente da combustibili fossili per la generazione di energia, con impatti ambientali e costi elevati. L'implementazione di questa tecnologia potrebbe rappresentare una soluzione sostenibile, migliorando l'autonomia energetica di questi territori e riducendo le emissioni di gas serra. Inoltre, l'installazione del PeWEC potrebbe favorire il ripopolamento della fauna marina nell'area circostante, creando una sorta di riserva naturale protetta grazie alla riduzione delle attività antropiche nelle zone di installazione.

In questo modo, il progetto contribuirà alla transizione energetica italiana, rafforzando il posizionamento del Paese nel settore delle energie rinnovabili offshore e accelerando il percorso verso la decarbonizzazione. Il successo di questa iniziativa potrebbe aprire la strada a nuove applicazioni della tecnologia PeWEC su scala industriale, favorendo lo sviluppo di una filiera nazionale dedicata alla produzione e installazione di convertitori di energia marina. Inoltre, il progetto potrebbe stimolare collaborazioni internazionali per la condivisione di conoscenze e lo sviluppo di standard tecnologici comuni, contribuendo a posizionare l'Italia tra i leader mondiali nella ricerca e nell'innovazione nel settore dell'energia marina.

Abstract del progetto ENG

The Energy from the Sea project, developed by the National Agency for New Technologies, Energy, and Sustainable Economic Development (ENEA) in collaboration with the Polytechnic University of Turin (PoliTO), aims to demonstrate and validate the PeWEC (Pendulum Wave Energy Converter) technology for generating electricity from wave motion. The initiative is part of the offshore renewable energy sector and seeks to advance the technological maturity of PeWEC from TRL 4 (demonstration in a controlled environment) to TRL 6 (demonstration in an operational environment). This technological advancement is essential for consolidating wave energy converter technologies and for their future large-scale implementation within the national and European energy landscape.

The project is therefore strategic for the evolution of marine technologies, which can significantly contribute to diversifying the energy mix and reducing dependence on fossil fuels.

To achieve this objective, the project includes the design, construction, and installation of a prototype in open sea waters, specifically off the coast of Pantelleria Island. The experimental phase will allow for verifying PeWEC's performance under real operating conditions, optimizing the energy conversion system, the mooring system, and electronic control to maximize energy efficiency. Additionally, the device's performance and durability will be monitored over the long term, collecting open-access data that will support further technological development. The implementation of a continuous monitoring system will provide detailed insights into the operational conditions of the device, enabling the validation of numerical models and the optimization of converter management.

At the same time, the project will analyze the possibility of deploying arrays of PeWEC devices, assessing their scalability and integration into the national energy mix. Creating a multi-device configuration could enable more stable and efficient energy production, minimizing the generation fluctuations typical of marine renewable sources. Hybrid configurations that combine wave energy with offshore photovoltaics will also be explored to optimize energy production and ensure a more reliable power supply. Integrating different technologies would result in more resilient and high-performing systems, reducing energy variability and maximizing the contribution of renewable sources to the electrical grid.

Installing PeWEC in non-interconnected island contexts could reduce dependence on diesel generators, cutting costs and CO₂ emissions. Small islands, often not connected to the national electricity grid, still heavily rely on fossil fuels for power generation, leading to environmental impacts and high costs. Implementing this technology could provide a sustainable solution, improving energy autonomy in these territories and reducing greenhouse gas emissions. Furthermore, the installation of PeWEC could foster the repopulation of marine fauna in the surrounding area, creating a sort of protected natural reserve due to the reduced human activities in the installation zones.

In this way, the project will contribute to Italy's energy transition, strengthening the country's position in the offshore renewable energy sector and accelerating the path toward decarbonization. The success of this initiative could pave the way for new applications of PeWEC technology on an industrial scale, fostering the development of a national supply chain dedicated to the production and installation of marine energy converters. Additionally, the project could encourage international collaborations for knowledge sharing and the development of common technological standards, helping position Italy among the global leaders in research and innovation in the marine energy sector.

2.3 TRL progetto

TRL iniziale: 4

TRL finale: 6

Attualmente la tecnologia PeWEC ha raggiunto un livello di maturità tecnologica (TRL) pari a 4, grazie alla validazione del suo funzionamento e comportamento dinamico attraverso prove sperimentali su modelli in scala condotte in vasca navale. In particolare, le precedenti campagne sperimentali hanno coinvolto prototipi in scala 1:12 e 1:25, testati rispettivamente presso la vasca navale del CNR-INSEAN a Roma e presso quella dell'Università Federico II di Napoli. Questi test hanno confermato il principio di funzionamento del PeWEC, la sua capacità di convertire il moto ondoso in energia elettrica e l'efficacia del sistema di ormeggio, sia in condizioni operative che in condizioni di sopravvivenza, rappresentative del sito di installazione.

Il presente progetto mira ad innalzare il TRL al livello 6. Partendo dalla progettazione delle componenti principali, come il sistema di ormeggio, la meccanica e il dimensionamento dell'apparato elettronico, l'obiettivo è la costruzione e l'installazione del sistema in un ambiente operativo reale, situato al largo delle coste di Pantelleria. Saranno monitorati da remoto il funzionamento e l'affidabilità di ogni sottosistema del PeWEC, inclusi il PTO, l'affidabilità del sistema di ormeggio e la risposta dei componenti meccanici ai carichi operativi, oltre alla produzione di energia e all'efficienza di conversione.

Un aspetto cruciale del progetto è la possibilità di testare gli algoritmi di controllo, sintetizzati per regolare la coppia al PTO, ottimizzando così la sincronizzazione tra la forza ondosa e la velocità del sistema pendolante, al fine di massimizzare l'estrazione di energia. Questo processo prevede un accurato tuning dei parametri di controllo, tenendo conto anche dell'ormeggio nella dinamica del sistema. Dopo la costruzione, l'installazione e il collaudo del prototipo, si prevede un periodo di monitoraggio continuo per raccogliere dati fondamentali sulle prestazioni di conversione energetica e sull'affidabilità delle varie componenti del PeWEC.

Le previsioni operative ad alta risoluzione del moto ondoso e della circolazione oceanica rivestono un ruolo essenziale nel processo di incremento del TRL del PeWEC, in quanto consentono ai sistemi di controllo del dispositivo di rispondere in modo efficace alle variazioni di piccola scala che potrebbero influenzare negativamente l'efficienza nella conversione dell'energia ondosa in elettricità. Tali previsioni saranno fondamentali in ogni fase dello sviluppo del PeWEC, dall'installazione alla gestione, manutenzione e, infine, smantellamento,

costituendo un elemento permanente del suo processo di industrializzazione.

2.4 Inquadramento del progetto nello stato dell'arte

a) Stato dell'arte nazionale e internazionale relativamente alle attività previste nel progetto

La risorsa energetica derivante dal moto ondoso presenta un enorme potenziale, con una potenza disponibile stimata fino a 2 TW e una densità di potenza oltre 20 volte superiore a quella della risorsa eolica o solare. Inoltre, la maggiore prevedibilità delle onde rispetto al vento o alla radiazione solare rappresenta un ulteriore vantaggio competitivo. Nonostante ciò, al momento non esiste una convergenza tecnologica verso una soluzione ottimale per i dispositivi di conversione dell'energia ondosa, noti come Wave Energy Converters (WEC). Attualmente, esistono molteplici tipologie di dispositivi, basate su meccanismi di conversione differenti.

Questa mancanza di standardizzazione tecnologica comporta sia una dispersione dei fondi disponibili, sia una frammentazione delle competenze scientifiche nel settore. Le sfide tecniche e ingegneristiche rimangono significative, impedendo ai WEC di raggiungere la maturità necessaria per competere efficacemente con le tecnologie solari ed eoliche. In particolare, le difficoltà operative in ambiente marino, caratterizzato da condizioni corrosive e carichi elevati, si sommano agli elevati costi di sviluppo, costruzione e installazione. Questi fattori hanno rallentato la commercializzazione dei WEC nel mercato delle tecnologie per la produzione di energia da fonti rinnovabili (FER).

Per superare le limitazioni attuali, è essenziale costruire prototipi e testare i dispositivi in ambiente reale, cioè in mare aperto. Solo attraverso prove in mare è possibile valutare l'affidabilità e la durabilità dei sottosistemi di un WEC (Wave Energy Converter). Questo aspetto è particolarmente cruciale per i sistemi WEC inerziali, che utilizzano masse collocate all'interno dello scafo, collegate a un sistema di estrazione di energia. Tali sistemi presentano vantaggi significativi in termini di affidabilità e durata, poiché i componenti meccanici sono racchiusi e protetti dall'ambiente marino ostile. Inoltre, facilitano il controllo del moto delle masse inerziali, che risulta più semplice rispetto ai WEC tradizionali, nei quali il PTO (Power Take Off) è direttamente collegato al galleggiante.

Questa architettura inerziale è attualmente una delle soluzioni più promettenti, già in fase di test in diversi prototipi di WEC. Ad esempio, l'E-device impiega una massa traslante all'interno di uno scafo prismatico, mentre altre tecnologie, come ISWEC e OCEANTEC, utilizzano giroscopi per la conversione dell'energia. Altre soluzioni, come quella del PeWEC, sfruttano un sistema pendolare, che può essere montato anche con un asse verticale, come nel caso del Penguin di Wello. Quest'ultimo è un ottimo esempio di tecnologia installata in scala reale nel Mare del Nord, dove è stato testato per validare la durabilità del sistema in condizioni operative. Il dispositivo, con una capacità nominale di 1 MW, ha fornito elettricità alla rete locale attraverso i cavi sottomarini preinstallati presso il sito di test dell'European Marine Energy Centre (EMEC) a Billia Croo.

L'installazione di dispositivi in scala reale, come nel caso del Penguin, è cruciale non solo per risolvere le sfide tecniche, ma anche per accrescere il know-how tecnologico, migliorando le metodologie di progettazione, costruzione e installazione e affrontando le problematiche economiche legate alla commercializzazione. Nel contesto italiano, installare un dispositivo come il PeWEC in ambiente operativo permetterebbe di portare la tecnologia al TRL 6, validando la durabilità del sistema in un ambiente marino ostile e testando la resistenza di componenti critici, come il sistema di ormeggio, sottoposto a carichi elevati.

Attualmente, vari progetti di WEC hanno raggiunto livelli avanzati di maturità tecnologica e sono stati testati in siti sperimentali di rilievo, oltre all'EMEC. Tra questi, la Biscay Marine Energy Platform (BIMEP) e il Pacific Marine Energy Center (PMEC) rappresentano altri importanti siti lungo le coste dell'Oceano Pacifico. In questi ambienti di test, diverse tecnologie hanno raggiunto la fase di sperimentazione su larga scala, in particolare i dispositivi point absorber, che, grazie alla semplicità dei loro sottosistemi, hanno più rapidamente raggiunto fasi avanzate di sviluppo. Alcuni dei progetti più rilevanti includono:

- Corpower (bottom-referenced point absorber)
- Laminaria (bottom-referenced point absorber)
- Carnegie (bottom-referenced point absorber)
- OPT (self-referenced point absorber)
- Ocean Energy Buoy (floating oscillating water column)
- Oceanec Marmok (floating oscillating water column)
- AW Energy Oy (flap-type)
- Wave Roller (flap-type)
- WELLO Penguin (Inertial system)

L'incremento della maturità tecnologica di questi dispositivi dimostra il potenziale della tecnologia WEC nel contribuire alla produzione di energia rinnovabile, ma evidenzia anche la necessità di continui test in condizioni operative per superare le sfide tecniche e commerciali. In Italia, vi è un buon posizionamento nello sviluppo di WEC, sia di tipo all-in-one che con supporto fisso. Tra i progetti italiani più avanzati tecnologicamente si distinguono:

- ISWEC: Simile al PeWEC, questo dispositivo genera energia utilizzando un sistema inerziale basato su masse giroscopiche o inerti oscillanti che sfruttano il moto di beccheggio dello scafo. Sviluppato in collaborazione con il Marine Offshore Renewable Energy Lab del

Politecnico di Torino e con ENI S.p.A., ISWEC ha una potenza nominale di circa 60 kW. Il primo prototipo in scala reale è stato installato nel 2015 vicino all'isola di Pantelleria. Il sistema di ormeggio utilizza un ancoraggio mediato da jumper, che minimizza l'influenza sulla dinamica di beccheggio dello scafo.

- REWEC: Appartenente alla categoria degli "Oscillating Water Columns" (OWC), questo dispositivo è progettato per essere integrato nei frangiflutti esistenti. Utilizza il moto delle onde per azionare una turbina bidirezionale che genera energia elettrica. Un prototipo è installato nel porto di Civitavecchia, mentre un secondo dispositivo, in scala ridotta, è operativo presso Reggio Calabria. Questi progetti dimostrano l'impegno italiano nello sviluppo di tecnologie WEC, fornendo un'importante base di conoscenze per future evoluzioni.

b) Attività svolte nel triennio precedente

La collaborazione tra ENEA e il Politecnico di Torino sullo sviluppo di tecnologie per la valorizzazione dell'energia dal moto ondoso è iniziata nel 2012 con l'Accordo di Programma MiSE-ENEA. Il focus principale è stato il dispositivo PeWEC (Pendulum Wave Energy Converter). Nel primo triennio di ricerca sono state condotte due campagne sperimentali su prototipi in scala 1:45 e 1:12, convalidando il funzionamento del dispositivo e i modelli numerici.

Nel successivo triennio (2019-2021), l'attenzione si è spostata sull'ottimizzazione tecno-economica, concentrandosi soprattutto sul sistema di ormeggio, considerato cruciale per il corretto funzionamento dei dispositivi per la conversione del moto ondoso. Sono state sviluppate funzioni di costo dettagliate per tutte le componenti del PeWEC e procedure di installazione, adottando un approccio bottom-up per ottenere una descrizione accurata dei costi.

Parallelamente, sono stati studiati i requisiti progettuali e normativi per l'ormeggio, facendo riferimento al Registro Italiano Navale (RINA), alle normative internazionali IEC e agli standard DNVGL. Questi studi hanno portato allo sviluppo di nuovi modelli numerici e metodologie di dimensionamento, poi validati attraverso prove sperimentali su un prototipo in scala 1:25 presso la vasca navale dell'Università Federico II di Napoli.

Negli ultimi tre anni, la collaborazione tra il Politecnico di Torino ed ENEA si è focalizzata sul consolidamento della tecnologia PeWEC, culminando nella progettazione (non esecutiva) di un prototipo in scala reale, progettato per l'isola di Pantelleria. In particolare, la scelta di un'area specifica a largo dell'isola di Pantelleria ha richiesto, nel progetto, analisi accurate del fondale marino, con particolare attenzione alla profondità e alla pendenza, integrate con dati ambientali e restrizioni paesaggistiche. Questa fase è stata cruciale per selezionare aree idonee, considerando fattori come l'intensità di traffico marittimo, attività di pesca locali e turistiche. Una volta individuato il sito ottimale, il Politecnico di Torino ha avviato un dialogo con l'amministrazione locale di Pantelleria per finalizzare la consegna dell'area destinata al test sperimentale, consolidando ulteriormente la collaborazione e promuovendo lo sviluppo di questa tecnologia innovativa in Italia.

L'attività ha riguardato la definizione e l'ottimizzazione dei principali sottosistemi del dispositivo PeWEC, con l'obiettivo di individuare i parametri del prototipo da realizzare. Tra questi sottosistemi, la configurazione dello scafo, l'unità di conversione del pendolo, il dimensionamento del generatore elettrico, l'elettronica di potenza e il sistema di ormeggio hanno richiesto un'attenta progettazione per garantire il massimo dell'efficienza operativa, affidabilità e riduzione dei costi. Ogni elemento contribuisce in modo unico al funzionamento complessivo del PeWEC, e per ciascuno è stato condotto un processo di ottimizzazione mirato.

Un aspetto cruciale del progetto è stata l'analisi dei carichi meccanici, idrodinamici ed elettrici che influenzano i vari sottosistemi, fondamentale per garantire la robustezza strutturale e l'affidabilità del dispositivo nell'ambiente marino. Parallelamente, si è svolta una valutazione dettagliata delle prestazioni del PeWEC nel sito di installazione prescelto, con un calcolo previsionale dell'energia che il dispositivo è in grado di produrre, considerando le condizioni ambientali specifiche e le caratteristiche del moto ondoso.

Questi studi hanno fornito una base solida per la redazione del capitolato tecnico, che descrive in dettaglio le specifiche tecniche e le prestazioni attese del PeWEC, e stabilisce le linee guida per la sua realizzazione e implementazione, garantendo il raggiungimento degli obiettivi prefissati.

Particolare attenzione è stata data alla progettazione del sistema di ormeggio, applicando metodologie sviluppate nel precedente progetto MISE-PAR 2019-2021 e facendo riferimento agli standard regolatori di settore, come DNV e RINA. Il sistema di ormeggio è stato dimensionato per resistere a condizioni estreme, con un periodo di ritorno di 100 anni, ed è stato progettato in ambiente di simulazione Orcaflex per ottimizzare le sue prestazioni. Le soluzioni proposte hanno mirato a minimizzare l'impatto dell'ormeggio sulla produzione energetica del dispositivo, garantire la sua affidabilità in condizioni estreme, e contenere i costi di materiale e installazione, considerando configurazioni con catenarie e semi-tese.

Il percorso svolto fino ad ora è stato caratterizzato dalla linearità e consequenzialità delle azioni pianificate sinergicamente e successivamente realizzate. La presente proposta progettuale rappresenta la naturale continuazione, al fine di valorizzare pienamente il lavoro svolto e i risultati ottenuti negli anni precedenti. In quest'ottica, la dimostrazione della tecnologia in ambiente reale permetterebbe di compiere un significativo salto tecnologico, formalizzando un metodo comprensivo di progettazione, costruzione e installazione per le tecnologie offshore altamente innovative, accrescendo la competenza italiana in materia.

c) Obiettivi scientifici e tecnologici e progressi attesi rispetto allo stato dell'arte

Attualmente la tecnologia PeWEC ha un grado di maturità tecnologica TRL 4 raggiunto tramite lo sviluppo scientifico e tecnologico all'interno dei precedenti piani triennali della ricerca di sistema MISE-PAR. Obiettivo di questo progetto è dunque la realizzazione ed

installazione in mare di un prototipo al largo di Pantelleria per portare il TRL della tecnologia al livello 6. Considerando l'attuale stato dell'arte dei convertitori di energia elettrica, questo costituirebbe un importante passo avanti della tecnologia e delle metodologie di progettazione e installazione di questi sistemi. Di seguito si elencano i principali obiettivi e progressi attesi:

- Progettazione esecutiva del PeWEC
- Costruzione del prototipo PeWEC
- Installazione del prototipo in mare
- Monitoraggio del funzionamento e delle prestazioni del prototipo
- Valutazione dell'affidabilità della tecnologia
- Validazione dei modelli numerici con i risultati delle prove in mare
- Dati open-source

Per quanto riguarda invece l'impatto dei risultati si fa presente che le procedure di progettazione, costruzione ed installazione saranno rese pubbliche attraverso deliverable dedicati per accrescere il know-how riguardo le varie fasi di realizzazione. Un rilevante obiettivo scientifico riguarda la validazione dei modelli numerici adottati per la predizione delle prestazioni del sistema durante le fasi di valutazione iniziale e per la progettazione dei sistemi meccanici ed elettrici. La validazione di tali modelli numerici costituirebbe un importante passo avanti nello sviluppo dei WEC e la loro ottimizzazione tecno-economica.

d) Eventuali collegamenti con altri progetti relativamente alle attività previste nel progetto

Non sono previsti collegamenti con altri progetti in corso.

2.5 Obiettivi e risultati

a) Obiettivi finali del progetto

Obiettivo finale del progetto è la realizzazione ed installazione in mare di un prototipo di PeWEC e il conseguente raggiungimento del TRL 6 della tecnologia. I risultati del progetto risulterebbero interamente open-access a partire dalla metodologia di progettazione ed installazione fino ai dati relativi alle misure delle grandezze fisiche del sistema durante il funzionamento. Questi risultati costituiscono un rilevante passo avanti rispetto allo stato dell'arte di queste tecnologie in quanto totalmente a disposizione della comunità scientifica ed industriale al contrario degli attuali prototipi WEC in fase di test protetti da segreto industriale.

Lo sviluppo di questo progetto inoltre accresce il know-how tecnologico del Paese su questi dispositivi attraverso il coinvolgimento di studi di progettazione, società di costruzione ed installazione e identificando la catena dei fornitori. Le metodologie che portano alla realizzazione di questo prototipo inoltre possono essere estese ad altre tecnologie simili per la conversione dell'energia da fonti rinnovabili offshore ampliando notevolmente l'impatto dei risultati del progetto.

b) Principali risultati attesi/deliverable

1. Sviluppo e implementazione del prototipo PeWEC
 - o Progettazione esecutiva e costruzione del prototipo.
 - o Installazione e test in mare al largo di Pantelleria.
 - o Validazione delle prestazioni del dispositivo.
 - o Monitoraggio del funzionamento e dell'efficienza del sistema.
2. Incremento del livello di maturità tecnologica (TRL)
 - o Passaggio dal TRL 4 (validazione in laboratorio) al TRL 6 (dimostrazione in ambiente operativo reale).
3. Validazione dei modelli numerici
 - o Test sul comportamento idrodinamico e sulle performance energetiche.
 - o Confronto tra dati sperimentali e simulazioni numeriche.
4. Sviluppo di algoritmi di controllo avanzati
 - o Ottimizzazione dell'estrazione di energia mediante regolazione della coppia al PTO (Power Take-Off).
 - o Integrazione delle previsioni meteo-marine per migliorare l'efficienza operativa.
5. Studio delle potenzialità di array di PeWEC
 - o Simulazione di scenari per la distribuzione ottimale di più dispositivi PeWEC in un unico sito.
 - o Analisi delle interazioni idrodinamiche tra dispositivi e del loro impatto sulla produzione energetica.
6. Sviluppo e valutazione di sistemi PeWEC ibridi
 - o Integrazione con altre fonti rinnovabili (fotovoltaico su piattaforme galleggianti).
 - o Analisi delle prestazioni energetiche e della sostenibilità economica.
7. Benefici ambientali e socio-economici
 - o Riduzione delle emissioni di CO₂ nelle isole non interconnesse.
 - o Possibile riduzione dei costi dell'energia per le amministrazioni locali.
 - o Promozione della cantieristica navale e delle attività offshore italiane.

Elenco dei Deliverables (Rapporti Tecnici) e relative LA

LA 1.1 – Previsioni operative dello stato del mare

- Rapporto Tecnico: Produzione e memorizzazione dei dati di forecast meteo-marini prodotti.

LA 1.2 – Elaborazione e visualizzazione dei dati meteomarini

- Rapporto Tecnico: Implementazione ed uso operativo del sistema integrato di visualizzazione di spettri direzionali d'onda e meteogrammi.
- Rapporto Tecnico: Valutazione di schemi di elaborazione di modelli di risposta del sistema PeWEC basati su spettri direzionali d'onda.

LA 1.3 – Algoritmi di controllo avanzati

- Rapporto Tecnico: Sintesi di algoritmi di controllo ottimo basati sull'identificazione di modelli lineari.

LA 1.4 – Modellazione numerica di array di PeWEC

- Rapporto Tecnico: Valutazione delle interazioni idrodinamiche tra gli scafi del sistema PeWEC in differenti disposizioni di array.

LA 1.5 – Impatto di un array di PeWEC nello scenario energetico italiano

- Rapporto Tecnico: Analisi economica su larga scala, configurazione ottimale del mix energetico e strumenti di pianificazione energetica.

LA 1.6 – Progettazione e costruzione del PeWEC

- Rapporto Tecnico: Progetto esecutivo del PeWEC.

LA 1.7 – Supervisione tecnica della costruzione e collaudo

- Rapporto Tecnico: Report descrittivo delle fasi di realizzazione del prototipo.
- Rapporto Tecnico: Report di collaudo e test a secco del prototipo.

LA 1.8 – Installazione del PeWEC

- Rapporto Tecnico: Installazione delle ancore e del sistema di ormeggio, installazione finale del prototipo.

LA 1.9 – Monitoraggio delle prestazioni del PeWEC

- Rapporto Tecnico: Analisi delle prestazioni del prototipo PeWEC e confronto con i modelli numerici.

LA 1.10 – Studio di sistemi PeWEC ibridi

- Rapporto Tecnico: Studio e simulazione di architetture e configurazioni avanzate per la progettazione di sistemi PeWEC ibridi.

LA 1.11 – Soluzioni di conversione avanzate per l'integrazione in rete

- Rapporto Tecnico: Specifiche, progettazione e test di soluzioni di conversione avanzate per l'integrazione in rete.
- Rapporto Tecnico: Analisi tecnico-economica delle soluzioni di conversione.

LA 1.12 – Comunicazione e diffusione dei risultati

- Rapporto Tecnico: Sintesi delle attività di comunicazione e divulgazione.

LA 1.13 – Verifica e coordinamento attività PoliTO

- Deliverable: Minute degli incontri di coordinamento.

2.6 Fattibilità tecnico-scientifica

a) Fattibilità tecnico-scientifica

Il prototipo PEWEC è caratterizzato da un'architettura decisamente semplice e intuitiva, soprattutto se paragonata all'attuale stato dell'arte e al panorama dei convertitori di energia da moto ondoso attualmente installati (o in fase di sviluppo). L'intero progetto del prototipo PeWEC fa uso di componenti commerciali (riduttore meccanico, generatori elettrici ecc.) e lavorazioni di carpenteria rientranti abbondantemente all'interno dello stato dell'arte della cantieristica navale italiana. Le operazioni di posa degli ormeggi e installazione del prototipo rientrano all'interno delle capacità dei maggiori gruppi per operazioni offshore presenti nel panorama nazionale e internazionale. Queste caratteristiche rafforzano la fattibilità tecnica del progetto PeWEC.

Come delineato nel piano di lavoro, il progetto mira alla progettazione definitiva ed esecutiva del prototipo PeWEC, fino a giungere alla sua installazione in un'area idonea nelle acque antistanti l'isola di Pantelleria. Durante la fase di realizzazione, verranno identificati i fornitori della componentistica necessaria e scelto un cantiere di costruzione che soddisfi sia le esigenze tecniche che logistiche.

Una volta completato il prototipo, verrà installato nell'area designata da operatori specializzati nelle installazioni offshore. Infine, si procederà al monitoraggio delle prestazioni del sistema per valutarne l'efficacia.

Sebbene l'installazione del prototipo PeWEC all'interno del proprio specchio d'acqua di pertinenza potrebbe impattare sul fondale marino, l'identificazione della zona d'installazione, come specificato nelle linee di attività del progetto, seguirà un iter fortemente condizionato dall'evitare le zone interessate dalla Posidonia Oceanica e/o gravate da un vincolo ambientale. Sotto questo profilo, numerosi studi dimostrano come l'impatto degli ormeggi sul fondale sia temporaneo e che la ricostruzione della flora marina sia incentivata dalla presenza di corpi morti sul fondale. Inoltre, l'interdizione dell'area di mare al traffico diportistico e alle attività di pesca, dovuto alla presenza del dispositivo, incrementa il ripopolamento della fauna ittica.

La presenza del dispositivo nell'area di Pantelleria impatterà sul tessuto economico dell'isola favorendo le attività della cantieristica navale locale e delle professionalità in ambito di operazioni subacquee per le attività di posa in opera e manutenzione. Inoltre, un futuro

collegamento con la rete isolana potrà garantire che l'energia prodotta rimanga nella titolarità dell'amministrazione comunale, che ne potrà disporre per incidere sul consumo degli edifici pubblici, con una riduzione dei costi per la popolazione locale.

2.7 Impatto sul sistema energetico e benefici attesi

a) Impatto e benefici sul sistema energetico

Il contesto operativo del dispositivo PeWEC è quello delle isole minori, in particolare quelle non interconnesse. In Italia, sono presenti 50 isole minori, delle quali 14 non risultano interconnesse alla rete elettrica nazionale. Questa condizione di insularità comporta difficoltà nell'approvvigionamento energetico, con un conseguente aumento del costo medio dell'energia. Attualmente, l'ARERA (Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente) garantisce un meccanismo di perequazione attraverso il Mercato di Maggior Tutela, che consente ai DSO locali delle isole minori non interconnesse di mantenere i costi energetici allineati a quelli medi nazionali. Tuttavia, questo si traduce in un aumento complessivo del costo dell'energia a carico di tutti i cittadini.

In aggiunta, la produzione di energia nelle isole non interconnesse, come nel caso specifico di Pantelleria, avviene principalmente tramite generatori diesel, caratterizzati da elevati livelli di emissioni di CO₂. Secondo l'Agenda di Transizione Energetica dell'isola di Pantelleria, le emissioni legate alla generazione di energia elettrica – inclusa l'energia necessaria per la dissalazione dell'acqua – rappresentano circa il 54% delle emissioni totali del sistema.

L'installazione del prototipo PEWEC può soddisfare, nel breve-medio periodo, il fabbisogno energetico delle isole minori, contribuendo a ridurre le emissioni legate alla produzione di energia elettrica e apportando notevoli benefici in termini di qualità dell'aria e impatto ambientale. L'integrazione di una nuova fonte energetica rinnovabile nel mix energetico potrebbe inoltre offrire significativi vantaggi in termini di diversificazione delle fonti di approvvigionamento, sia per quanto riguarda la varietà delle risorse, sia per la tempistica di immissione di energia in rete. Questo aspetto sarà ulteriormente approfondito nell'ambito del progetto proposto, data la sua rilevanza. In aggiunta, si prevede un'analisi tecnico-economica finalizzata a esplorare le possibilità di un eventuale scaling up della tecnologia, così come un'analisi economica della farm, che potrebbe avere un impatto più concreto nella penetrazione dell'energia da WAVE nel panorama energetico italiano.

Inoltre, l'installazione del prototipo PEWEC può generare importanti benefici ambientali: l'interdizione dell'area marina che ospita il dispositivo favorisce il ripopolamento della fauna marina, mentre la presenza dei corpi di ormeggio crea un ambiente ideale per lo sviluppo di nuova flora. Grazie alla sua struttura, il prototipo PEWEC presenta una percentuale di affioramento estremamente ridotta, minimizzando l'impatto visivo e preservando la percezione del paesaggio. Infine, l'assenza di parti meccaniche in movimento garantisce un impatto acustico decisamente contenuto.

b) Benefici per gli utenti

L'installazione di dispositivi per la conversione dell'energia del moto ondoso, in particolare del prototipo PEWEC, avrà un impatto significativo sul sistema elettrico locale, generando benefici per gli utenti. L'aumento della penetrazione delle fonti energetiche rinnovabili (FER) nel mix energetico contribuirà infatti a ridurre il meccanismo di perequazione operato da ARERA tramite il Mercato di Maggior Tutela, diminuendo i costi a carico dell'utenza nazionale. Inoltre, il collegamento del dispositivo PEWEC alla rete elettrica locale consentirà la cessione di energia elettrica rinnovabile a favore dell'amministrazione locale, che potrà utilizzarla per alimentare i propri carichi elettrici. Questo permetterà di redistribuire i costi evitati secondo criteri legati alla povertà energetica, con un impatto positivo sulle bollette elettriche per le fasce di popolazione meno abbienti. Infine, lo studio di una farm di sistemi PEWEC consentirà di esplorare l'effetto di tale tecnologia in termini di installazione di più unità, ampliandone l'impatto sul sistema energetico locale.

c) Previsione delle ricadute applicative

Le ricadute applicative provenienti dall'installazione del prototipo PeWEC sono molteplici e riguardando principalmente l'avanzamento tecnologico nell'ambito della produzione di energia da impianti offshore.

I risultati ottenuti dalle operazioni di monitoraggio del dispositivo PeWEC in ambiente operativo permetteranno al partneriato di imporsi sul nascente mercato delle tecnologie offshore, ritagliandosi al contempo un ruolo preminente in tale panorama. Inoltre, l'accrescimento del know-how tecnologico permetterà delle azioni di spillover a beneficio del comparto di riferimento nazionale, contribuendo alla nascita di numerose iniziative nel medesimo campo.

La protezione, tramite brevetti congiunti, di alcuni risultati, consentirà al partneriato l'apertura verso i mercati esteri con un conseguente ritorno positivo in termini economico-finanziari. In aggiunta, i risultati del presente progetto costituiscono un prodotto pre-commerciale che rappresenta una solida base per l'attuazione di programmi specifici di finanziamento dedicati ai principali stakeholders, che consentiranno l'innalzamento del livello tecnologico del prototipo PeWEC fino a TRL9.

2.8 Verifica dell'esito del progetto

a) Oggetti e documentazione dei risultati finali

Il prodotto principale del presente progetto è la realizzazione del prototipo PeWEC e la validazione delle sue prestazioni in ambiente

reale, a partire dai risultati ottenuti nel corso dei precedenti Accordi di Programma. Tutte le attività previste concorrono sinergicamente a questo obiettivo.

L'attività iniziale prevede lo sviluppo di architetture di controllo avanzate volte a massimizzare l'energia estratta, insieme allo studio di un possibile ampliamento della tecnologia mediante l'installazione di una farm con più unità in un unico sito, con l'obiettivo di valutarne l'impatto economico ed energetico. Queste fasi saranno monitorate e valutate tramite rapporti tecnici dettagliati per ciascuna attività e, se necessario, mediante sopralluoghi in cantiere. La fase finale di installazione in mare e testing del dispositivo potrà essere verificata direttamente in situ oltre che attraverso le relazioni tecniche che verranno redatte. Per quanto riguarda le previsioni operative, oltre che valutate grazie alle relazioni contenenti le analisi dei risultati effettuate per tutto il periodo del progetto, esse potranno essere visualizzate quotidianamente sul portale ENEA dedicato.