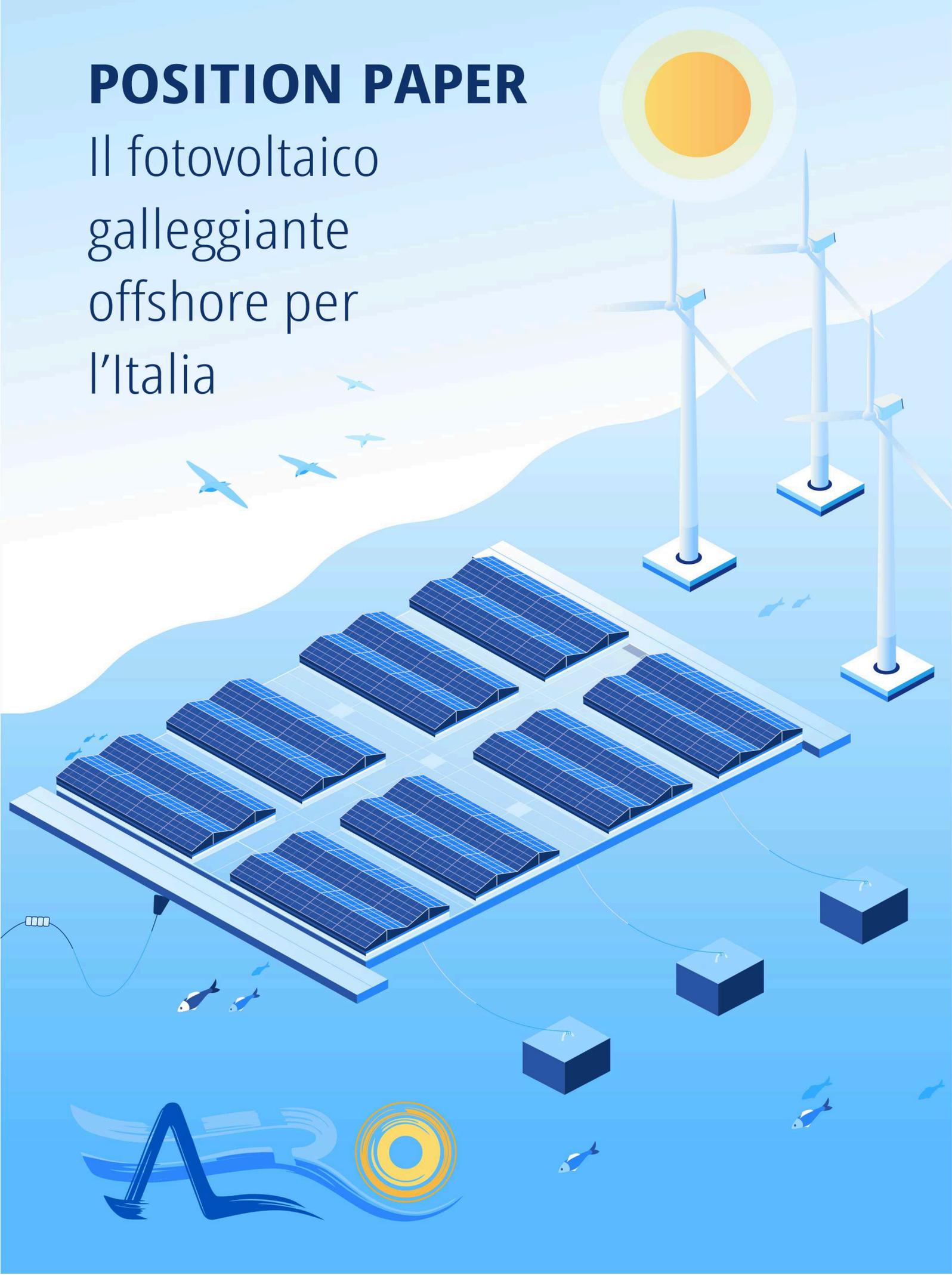


POSITION PAPER

Il fotovoltaico galleggiante offshore per l'Italia





ASSOCIAZIONE DELLE ENERGIE RINNOVABILI OFFSHORE

© AERO 2025

Salvo diversa indicazione, il materiale contenuto in questa pubblicazione può essere liberamente utilizzato, condiviso, copiato, riprodotto, stampato e/o archiviato, a condizione che venga fornito il corretto riconoscimento di AERO come fonte e titolare del copyright. Il materiale di questa pubblicazione attribuito a terze parti potrebbe essere soggetto a termini di utilizzo e restrizioni separati; in tali casi, è responsabilità degli utenti ottenere le autorizzazioni necessarie da queste terze parti prima di utilizzare tale materiale.

Citazioni

AERO (2025), Position Paper: il Fotovoltaico Galleggiante Offshore Per l'Italia, Associazione delle Energie Rinnovabili Offshore, Roma.

Download: www.assoaero.org/press-room/

Informazioni: segreteria@assoaero.it

A proposito di AERO

L'Associazione delle Energie Rinnovabili Offshore, costituita nell'aprile 2023, riunisce oggi le principali società afferenti alla filiera strategica ed energetica del mare, promuovendo l'uso delle fonti di energia rinnovabile offshore, in un rapporto compatibile ed eco-sostenibile con il paesaggio, l'ambiente marino, e le attività tradizionali come la pesca. Si impegna a sviluppare un sistema produttivo nazionale e a rafforzare l'indipendenza energetica del Paese, in linea con gli obiettivi europei del PNRR e di RePower EU, e in un'ottica di progresso dell'economia energetica del mare che porti benefici concreti anche alle economie locali.

Ringraziamenti

Il Position Paper è stato ideato da Agnes Holding e redatto dal Gruppo di Lavoro "Fotovoltaico Galleggiante Offshore". Il coordinamento è stato di Agnes Holding (Gian Luca Vaglio, Francesco Melandri, Pietro Solaroli, Elisa Checcaroni e Carlotta Marconi), supportati da Tonucci & Partners (Stefano Lucarini, Teresa Di Mario e Piergiuseppe Venturella), OWEMES (Alessandro Corsini e Marco Nazzarri), Fred. Olsen Renewables Italy (Lorenzo Longo e Massimo Caporaso), Techfem (Luca Mendicino e Mario Giorgio Lagazzo). Traduzione dall'italiano all'inglese a cura di Anna Rossi (Agnes Holding). Un ringraziamento speciale va anche ad AERO (Fulvio Mamone Capria e Caterina Bagli). Design grafico a cura di [Outcrowd](#).

Avvertenza

Il presente documento è stato elaborato dal Gruppo di Lavoro sul Fotovoltaico Galleggiante Offshore dell'associazione AERO con l'obiettivo di fornire una panoramica generale e indicazioni strategiche sul tema. Le informazioni contenute nel Position Paper si basano su fonti ritenute affidabili e sull'esperienza dei membri del Gruppo di Lavoro, ma non costituiscono in alcun modo un parere legale, tecnico o finanziario vincolante. AERO declina ogni responsabilità per eventuali errori, omissioni o interpretazioni delle informazioni fornite. I lettori sono invitati a condurre le proprie analisi e verifiche prima di intraprendere decisioni basate sui contenuti del documento.

“

Il fotovoltaico galleggiante è una tecnologia innovativa destinata a fare dell'Italia un punto di riferimento nel settore. Contribuirà non solo alla transizione verso un futuro a basse emissioni, ma anche alla nascita di una solida filiera produttiva nazionale.

Fulvio Mamone Capria
Presidente, AERO

Endorsment

“

Il raggiungimento degli obiettivi climatici è strettamente legato all'avanzamento delle energie rinnovabili, anche di quelle offshore. Si tratta di una delle sfide più importanti del nostro tempo. L'obiettivo è strategico: andare avanti con il processo di decarbonizzazione, rafforzare la sicurezza energetica dell'Italia, creare sviluppo attraverso le tecnologie per l'energia pulita. La vera opportunità risiede nel saper cogliere questo momento cruciale per accelerare lo sviluppo di soluzioni innovative, in grado di guidarci verso un futuro più sostenibile e per rafforzare l'industria delle energie pulite del nostro Paese. In questo scenario, il fotovoltaico galleggiante emerge come una delle risposte più promettenti per affrontare le sfide ambientali che ci attendono. Dobbiamo accompagnare il percorso di queste tecnologie in evoluzione e con un potenziale di crescita importante. È nostro dovere non lasciarci sfuggire questa occasione.

Gilberto Pichetto Fratin

Ministro dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica

“

I numeri crescenti degli esiti del permitting statale in materia di valutazioni di impatto ambientale sono in netta discontinuità, in positivo, rispetto al decennio precedente. È fondamentale proseguire questo lavoro in stretta sinergia fra istituzioni e industria, per consentire di realizzare una transizione energetica all'altezza di un grande Paese come il nostro. L'adozione di tecnologie innovative come quella del fotovoltaico galleggiante può rappresentare in questo contesto una leva fondamentale per accelerare il cambiamento.

Massimiliano Atelli

Presidente Commissione VIA-VAS e PNRR-PNIEC

*Un'immagine di **North Sea 2**, il primo
impianto fotovoltaico galleggiante al mondo,
installato nel 2020 da **Oceans of Energy***



Le potenzialità del fotovoltaico galleggiante offshore

In un contesto globale sempre più caratterizzato dalla crescente necessità di energia pulita e sostenibile, è fondamentale sviluppare soluzioni capaci di affrontare le sfide ambientali ed economiche, costruendo un futuro più verde e resiliente per tutti.

In questo scenario, il fotovoltaico galleggiante emerge come una tecnologia promettente, con un potenziale straordinario nel settore delle energie rinnovabili. Se combinato con altre fonti pulite, come l'eolico offshore, potrebbe dare un forte impulso alla produzione di energia sostenibile nel nostro Paese, favorendo al contempo la creazione di una filiera produttiva nazionale e stimolando l'economia locale e nazionale. I benefici si riflettono in vari ambiti: dalla riduzione delle emissioni di gas serra alla creazione di nuovi posti di lavoro, fino al potenziamento delle infrastrutture logistiche e portuali.

Con questo documento, la nostra Associazione intende stimolare attivamente l'adozione di tali tecnologie, con l'obiettivo di garantire alle future generazioni un mondo in cui l'accesso a risorse pulite e rinnovabili migliori la qualità della vita, creando nuove prospettive di crescita. Vogliamo promuovere una realtà in cui lo sviluppo e la protezione del pianeta possano coesistere.

L'Italia ha ora l'opportunità di affermarsi come leader mondiale nell'implementazione del fotovoltaico galleggiante, creando un esempio replicabile a livello internazionale e rafforzando la propria competitività sul mercato. In questo modo, il nostro Paese potrà dare un contributo concreto alla transizione energetica globale, consolidando il proprio ruolo nella lotta ai cambiamenti climatici e generando significativi benefici ambientali, sociali ed economici.



Fulvio Mamone Capria
Presidente AERO

Obiettivi del Position Paper sul fotovoltaico galleggiante offshore

Il presente Position Paper è stato redatto dal Gruppo di Lavoro "Fotovoltaico Galleggiante Offshore" di AERO e ha l'obiettivo di offrire una visione chiara e completa su tali impianti, che costituiscono un settore emergente e strategico per la transizione energetica del nostro Paese, attraverso un'analisi tecnica, normativa, ambientale e socioeconomica. Si intende quindi sensibilizzare e coinvolgere i principali stakeholder, delineando i benefici, le sfide e le opportunità legate allo sviluppo di questa tecnologia in ambiente marino.

L'Italia, grazie a determinate caratteristiche, potrà giocare un ruolo primario nell'adozione di questi impianti; tuttavia, si rileva ancora la mancanza di una conoscenza diffusa relativamente al fotovoltaico galleggiante offshore, unita ad una programmazione né unitaria né strategica.

Gli obiettivi del Position Paper sono i seguenti.

1. Informare e sensibilizzare

Creare maggiore consapevolezza sul potenziale del fotovoltaico galleggiante offshore tra i diversi attori del panorama energetico italiano, illustrando le caratteristiche tecnologiche, economiche e ambientali ed evidenziando il loro contributo alla diversificazione energetica e alla decarbonizzazione.

2. Promuovere il dialogo fra stakeholder

Favorire un confronto costruttivo tra sviluppatori, istituzioni, associazioni di categoria, fornitori, investitori e comunità locali. Questo Position Paper vuole fungere da spunto per creare un ecosistema collaborativo che

supporti la realizzazione di progetti in Italia.

3. Fornire raccomandazioni strategiche

Offrire linee guida e proposte concrete per superare le barriere normative, tecniche e finanziarie per lo sviluppo del fotovoltaico galleggiante offshore. Tali raccomandazioni saranno rivolte principalmente ai decisori politici e agli operatori di settore per accelerare l'integrazione di queste tecnologie nel mercato.

4. Migliorare la pianificazione nazionale

Inserire questa tecnologia come parte fondamentale delle strategie nazionali in materia di rinnovabili, contribuendo al raggiungimento degli obiettivi climatici fissati dal PNIEC e dal Green Deal europeo.

In Italia alcuni progetti stanno già muovendo i primi passi. L'integrazione del fotovoltaico galleggiante con gli impianti eolici, per stabilizzarne la produzione, è uno scenario che molte realtà imprenditoriali stanno esplorando. Attraverso l'irraggiamento favorevole nel Mediterraneo e le capacità ingegneristiche presenti sul suolo italiano, l'ambizione è quella di diventare il paese pioniere di questa tecnologia su scala industriale.

AERO incoraggia i suoi soci a lavorare in modo coordinato per definire le migliori strategie che facilitino la transizione energetica con il supporto di diverse tecnologie offshore; solo con una positiva ed efficace collaborazione riusciremo a superare la sfida di uno sviluppo sostenibile in Italia che permetta di raggiungere l'obiettivo di decarbonizzazione che ci coinvolge da qui al 2030 e ancora fino al 2050.

Perchè questa tecnologia è importante per il nostro Paese

- 1.** L'abbondanza di energia solare convertibile in elettricità nei nostri mari crea grandi opportunità per una decarbonizzazione più rapida

Secondo le stime di AERO, fino ad 1 GW di fotovoltaico offshore potrà essere installato nei nostri mari nei prossimi 5 anni, sufficienti a soddisfare annualmente la domanda di elettricità di circa mezzo milione di famiglie, contribuendo a raggiungere i target di sostenibilità.

- 2.** La mitigazione dell'impatto paesaggistico è cruciale in un paese che vanta un enorme patrimonio storico e naturalistico

Considerando l'altezza esigua dal livello del mare degli impianti fotovoltaici galleggianti, l'effetto della curvatura terrestre rende le strutture pressoché invisibili per un osservatore sulla linea di costa se posizionate indicativamente oltre i 10 chilometri, senza considerare altri fattori di mitigazione.

- 3.** Siamo una penisola, ci affacciamo sul mare: abbiamo linee di costa più lunghe di quelle del Brasile. Il futuro delle rinnovabili è anche offshore

Con 7.600 km di linea di costa e abbondanti spazi acquei, il nostro Paese ha la possibilità di sfruttare le risorse marine in maniera sinergica ed efficiente; le problematiche relative al consumo del suolo sono così neutralizzate grazie alla realizzazione di mega impianti lontani dalla costa.

- 4.** La tradizione manifatturiera e industriale italiana, insieme al know how nell'oil&gas, ci proietta come attore di rilevanza internazionale

L'Italia è stata un punto di riferimento nel Mediterraneo per la coltivazione degli idrocarburi, grazie a competenze ingegneristiche e industriali uniche al mondo; diverse aziende hanno già attivato una transizione ecologica al servizio delle rinnovabili offshore.

- 5.** Gli ambiziosi target di installazione di impianti eolici offshore creano grandi opportunità di coesistenza con il fotovoltaico galleggiante

L'obiettivo di AERO è promuovere la realizzazione di 1 GW di impianti eolici offshore entro il 2030; l'installazione del fotovoltaico galleggiante tra gli aerogeneratori permetterà di ottimizzare l'uso dello spazio marittimo e bilanciare meglio la rete con una produzione complementare.

Che cos'è il fotovoltaico galleggiante offshore?

Il fotovoltaico galleggiante (denominato "FPV") è una tecnologia che prevede l'installazione di pannelli fotovoltaici su piattaforme galleggianti ancorate in mare aperto ("FPV offshore") o in acque costiere ("FPV costiero o nearshore"). La soluzione sfrutta superfici marine per generare elettricità da energia solare.

Le installazioni di fotovoltaico galleggiante (FPV) possono essere classificate in tre categorie principali: soluzioni per ambienti interni, costieri e offshore. Ciascuna presenta opportunità e sfide specifiche, che si riflettono in scelte progettuali e strutturali differenti.

Oggi, il **FPV interno**, tipicamente su laghi, ex-miniere o cave, è il più diffuso grazie alla sua semplicità di realizzazione, favorita dalla ridotta esposizione a carichi ambientali come vento e onde. Tuttavia, la disponibilità limitata di superficie nei bacini e la lontananza dalla rete elettrica possono rappresentare ostacoli significativi alla sua diffusione su larga scala.

Il **FPV costiero**, collocato in acque portuali o a breve distanza dalla costa, rappresenta un compromesso equilibrato grazie alla gestione di condizioni moderate di onde e vento. Con le tecnologie adeguate, questi sistemi possono essere installati in modo efficiente ed economico, rendendoli un'opzione attraente per progetti su larga scala. Non è un caso che nel corso degli ultimi anni si è assistito allo sviluppo di progetti utility-scale di questo tipo.

Il **FPV offshore**, invece, offre ampi spazi e un enorme potenziale per lo sviluppo di impianti su larga scala, grazie alla disponibilità di aree non sfruttate e all'assenza di conflitti di utilizzo del suolo. Tuttavia, deve far fronte a condizioni ambientali impegnative, come vento e onde, e

a costi elevati di installazione e manutenzione, che al momento ne limitano la diffusione. Con il progresso tecnologico e la riduzione dei costi, il FPV offshore potrebbe diventare una soluzione chiave per soddisfare la crescente domanda di energia rinnovabile.

In questo Position Paper saranno presi in considerazione solo i sistemi FPV nearshore e offshore. Per semplicità, utilizzeremo il termine offshore riferendoci a entrambe le soluzioni.

Caratteristiche principali

- Piattaforme galleggianti: i pannelli sono montati su strutture progettate per resistere alle condizioni marine, come onde, correnti, vento e salsedine.
- Ancoraggio e stabilità: i sistemi di ancoraggio mantengono le piattaforme stabili e ne garantiscono il corretto posizionamento.
- Efficienza energetica: l'ambiente marino aiuta a raffreddare i pannelli, migliorandone l'efficienza; inoltre, l'acqua è una superficie riflettente che può incrementare la produzione in caso di pannelli bifacciali.

Opportunità

- Riduzione del consumo di suolo, liberando le superfici terrestri per altri utilizzi, come l'agricoltura.
- Utilizzo di aree marine non idonee all'eolico per installazioni di fonti rinnovabili o, al contrario, creazione di sinergie con esso.
- Accesso a risorse solari abbondanti grazie all'esposizione continua alla luce irradiata in mare aperto, in assenza totale di effetti di ombreggiamento.

Ostacoli

- Costi di realizzazione e manutenzione più alti rispetto al fotovoltaico terrestre o al FPV interno.
- Necessità di creare di una catena del valore in grado di progettare e realizzare componenti capaci di resistere agli ambienti offshore.
- Condizioni meteomarine generalmente più severe di quelle riscontrabili a terra, come onde, correnti, maree e salinità.
- Potenziali impatti ambientali sull'ecosistema marino ancora da confermare e valutare a seguito di monitoraggi approfonditi dopo l'entrata in esercizio degli impianti.

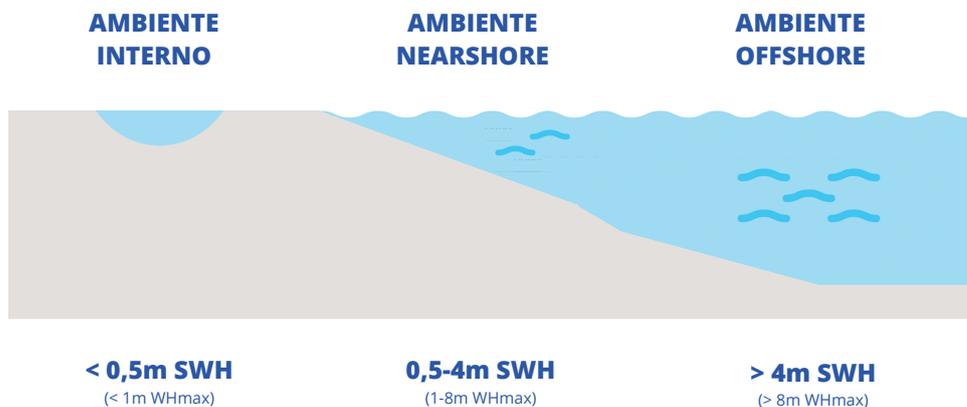
Questa tecnologia è considerata promettente per supportare la transizione energetica globale, in particolare per quegli stati in cui la disponibilità di suolo è limitata mentre vi è abbondanza di superfici marine. Si pensi, ad esempio, alle Maldive, a Malta, a Singapore e

ad altri stati insulari o densamente popolati, la cui unica opzione per diminuire la dipendenza energetica dall'estero è la produzione di elettricità da fonti rinnovabili in acque marine.

L'Italia, dal canto suo, è una penisola che vanta una lunghezza del tratto costiero rilevante, addirittura superiore a quella del Brasile (CIA, 2025). Quindi, grazie all'abbondanza di irraggiamento solare e di superfici marine, ha la possibilità di produrre ingenti quantità di elettricità a basse emissioni e facilitare la decarbonizzazione del proprio mix energetico, il tutto stimolando una filiera nazionale.

Ovviamente, vi sarà la necessità di creare le adeguate condizioni affinché la tecnologia raggiunga un livello di maturità sufficiente, così da stimolare gli investimenti privati, cercando al contempo di diminuire il LCOE, che ad oggi presenta valori ancora elevati e non sempre garantisce la sostenibilità delle iniziative.

Le sfide tecniche per raggiungere un LCOE accettabile



	< 0,5m SWH (< 1m WHmax)	0,5-4m SWH (1-8m WHmax)	> 4m SWH (> 8m WHmax)
Robustezza strutturale	● ●	● ● ● ●	● ● ● ● ● ● ● ●
Altezza dei galleggianti	●	● ●	● ● ● ● ● ● ● ●
Taglia dell'impianto	● ●	● ● ●	● ● ● ● ● ● ● ●
OPEX	● ●	● ● ● ●	● ● ● ● ● ● ● ●
CAPEX	● ●	● ● ●	● ● ● ● ● ● ● ●

Figura 1 - Le sfide per le varie tipologie di fotovoltaico galleggiante

Potenziale di crescita, mercati, stato dell'arte e sviluppi

Nel 2020, il LCOE per il FPV interno era compreso tra 25 e 51 €/MWh, mentre per le applicazioni offshore raggiungeva i 354 €/MWh. Nonostante ciò, si prevede una riduzione significativa per l'offshore, con stime che indicano un calo fino a 40 €/MWh entro il 2050. Inoltre, il potenziale energetico teorico del fotovoltaico galleggiante offshore è stimato tra 220.000 e 1.000.000 TWh/anno (Wu et al., 2024), offrendo una soluzione concreta per soddisfare la crescente domanda globale di energia, prevista in aumento del 50% tra il 2020 e il 2050 secondo l'EIA (Ramanan et al., 2024).

Guardando alla crescita complessiva dell'energia solare, si nota un'espansione significativa negli ultimi anni. Nel 2022, la capacità globale installata è aumentata di 192 GW, registrando un incremento del 22% rispetto all'anno precedente (IRENA, 2024), come illustrato nel grafico sottostante.

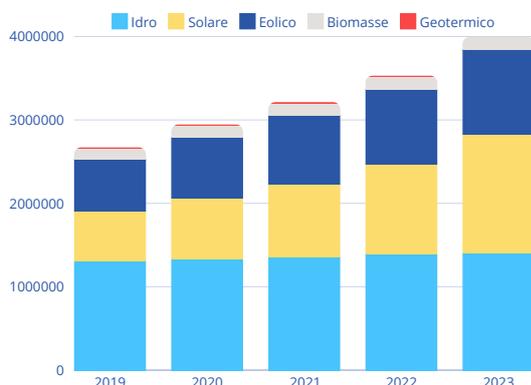


Grafico 1 - Crescita delle rinnovabili (valori in MW)

Questi dati di crescita evidenziano come il solare stia assumendo un ruolo sempre più centrale nella produzione di energia pulita, accanto all'eolico. Tuttavia, è importante

sottolineare che il fotovoltaico richiede una quantità significativa di superficie, pari a circa 10 m² per ogni kW installato (Djalab et al., 2024).

Concentrandosi sull'Europa, le proiezioni indicano che da qui al 2030 verranno installati impianti fotovoltaici con una capacità compresa tra 140 e 222 GW, il che equivale a convertire annualmente tra 280 e 440 km² di territorio in installazioni solari. Questa massiccia trasformazione del suolo solleva preoccupazioni significative per l'ecosistema e la biodiversità, oltre a intensificare la competizione per i terreni tra agricoltura, industria e urbanizzazione. Tali sfide sono particolarmente rilevanti per i Paesi caratterizzati da elevata densità abitativa e vincoli spaziali.

Di fronte a queste problematiche, diventa sempre più cruciale lo sviluppo delle tecnologie di fotovoltaico galleggiante (FPV), che consentono di sfruttare superfici alternative come bacini idrici e aree marine (Djalab et al., 2024).

Al termine del 2023, la capacità installata di energia eolica offshore nell'Unione Europea ha raggiunto circa 19,4 GW. Tuttavia, per allinearsi agli obiettivi climatici dell'UE, è necessario un incremento significativo. Nel 2024 sono stati installati 15 GW di nuova capacità eolica, un valore che rappresenta meno della metà di quanto richiesto annualmente per raggiungere gli obiettivi fissati per il 2030.

Gli obiettivi europei per l'installazione di energie rinnovabili offshore prevedono il raggiungimento di circa 88 GW entro il 2030 e 360 GW entro il 2050. Per raggiungere questi

traguardi, è fondamentale l'introduzione di diverse tecnologie. In Europa stanno emergendo numerose soluzioni e iniziative di fotovoltaico galleggiante offshore, che vanno dai primi prototipi già installati ai contratti siglati per progetti futuri, fino ai bandi lanciati dai Paesi membri per incentivare e sviluppare ulteriormente queste soluzioni.

Di seguito, una mappa illustra lo stato attuale dello sviluppo del FPV offshore a livello europeo. Si evince che il Mare del Nord è attualmente il luogo geografico in cui le soluzioni sono già state in gran parte progettate e installate, seppur ancora in stato prototipale o pilota. Per queste ragioni, il Mare del Nord si propone indubbiamente come leader mondiale del FPV offshore. In particolare, i Paesi Bassi hanno una strategia di decarbonizzazione nella quale il FPV

offshore è considerato una parte integrante: anche se l'ambizioso target di 3 GW al 2030 è stato recentemente sospeso in attesa di sviluppi del mercato, si attendono comunque nei prossimi cinque anni le prime soluzioni utility-scale, integrate a progetti di eolico offshore in corso di realizzazione (Crosswind, 2025).

Il Mar Mediterraneo, invece, grazie alle eccellenti condizioni meteomarine e all'elevata radiazione solare, è considerato uno dei mercati più promettenti. Nel caso dell'Italia, vi sono diverse iniziative di sviluppatori nell'ordine di centinaia di MW, anche se non c'è una pianificazione politica adeguata. In altri paesi lo stimolo da parte delle autorità è molto forte, come nel caso del recente round di Manifestazione di Interesse lanciato dal governo maltese.



Figura 2 - Mappa delle principali iniziative del FPV offshore in Europa

Impatti e sinergie possibili con l'ambiente e l'economia blu

L'ambiente marino è spesso sede di una complessa rete di attività antropiche che devono essere tenute in considerazione nel design di un qualsiasi impianto offshore. Una buona progettazione dovrebbe garantire l'integrazione dell'impianto nel contesto marittimo in cui è realizzato, minimizzando l'impatto sui sistemi naturali e antropici esistenti. Eventuali disturbi inevitabili, tuttavia, possono essere compensati con il co-utilizzo dello spazio marittimo.

Se da un lato, infatti, l'installazione di infrastrutture in mare può costituire un'interferenza agli stakeholder impegnati in attività offshore, dall'altro, essa offre la possibilità di creare sinergie tra il settore energetico e quello dell'economia blu, favorendo nuove forme di collaborazione e sviluppo sostenibile.

I settori più promettenti per l'attivazione di sinergie sono principalmente quelli della pesca/acquacoltura, del turismo e della ricerca; si forniscono di seguito alcune prospettive di collaborazione ipotizzabili ad oggi.

Pesca ed acquacoltura

Una prima interazione positiva è quella legata al ripopolamento ittico: essendo strutture interconnesse e ancorate tramite un sistema di cavi e catenarie, l'area occupata dall'impianto sarà di fatto interdotta alla navigazione ordinaria e alla pesca, creando una zona di riparo per offrire habitat favorevoli ad alcune specie marine e favorendo il ripopolamento ittico con possibile effetto *spillover*, determinando una migrazione di individui (risorse alieutiche) verso zone esterne all'area di progetto.

Diversi autori, inoltre, hanno anche sottolineato l'importanza della presenza di una zona d'ombra o di un riparo per il mantenimento di associazioni ittiche sia al di sotto di materiali alla deriva, sia di Fish Aggregating Devices (FADs). In questo caso, la struttura del fotovoltaico flottante fungerebbe da FAD andando ad incrementare l'aggregazione di specie ittiche al di sotto della struttura (Rountree, 1989; Dempster & Taquet, 2004; Prinsloo, 2019), così generando indirettamente un aumento di risorse e di biodiversità nell'area di progetto.

La presenza di un cluster di strutture galleggianti in alto mare, infine, può essere sfruttata per favorire iniziative di acquacoltura come allevamento di molluschi, pesci o alghe. Gli impianti di acquacoltura, infatti, potrebbero godere di diversi vantaggi sia dal punto di vista tecnico che economico, ad esempio:

- Possibilità di condividere i sistemi di ormeggio;
- Importanti ottimizzazioni dei costi delle uscite a mare tra manutenzione e operazioni impianto acquacoltura;
- Possibilità di fornire energia in-situ per sistemi di ossigenazione di eventuali reti degli impianti di acquacoltura;
- Miglioramento delle condizioni ambientali per alcune specie da allevamento grazie all'ombreggiamento risultante dalle strutture galleggianti (es. ostriche, cozze);
- Possibilità di sperimentazione di impianti di acquacoltura multi-trofica integrata, che combina l'allevamento di pesci e la coltivazione di organismi filtratori;
- Utilizzo di un'area marina già interdotta alla navigazione, senza sottrarre ulteriore spazio marittimo.

Settore del turismo

L'impianto FPV offshore, specie se combinato con un impianto eolico, può essere promosso come destinazione di visite turistiche incentrate sulla sostenibilità ambientale, l'economia blu e l'innovazione energetica, offrendo interessanti opportunità anche di tipo didattico.

La presenza di impianti FPV offshore, infatti, si può inserire nella tendenza in corso verso forme di turismo più sostenibile. L'eco-turismo, come definito dalla United Nations World Tourism Organization (UNWTO), è un turismo responsabile e attento alle caratteristiche economiche, sociali e ambientali del luogo, caratterizzato da un basso impatto negativo delle attività turistiche svolte, e che al contrario genera opportunità per il sistema socio-ecologico locale.

Tra le potenziali attività che si possono sviluppare attorno al parco eolico, precedenti studi hanno evidenziato:

- Centri visite e parchi tematici, al fine di illustrare le installazioni dell'impianto e di informare e apportare conoscenze sulle energie rinnovabili;
- Le visite all'impianto FPV offshore (ed eventualmente eolico offshore) con imbarcazioni dedicate;
- Altre installazioni specifiche collocate in prossimità degli impianti come osservatori, eventualmente anche sommersi;
- Opportunità di collaborazione con il settore alberghiero locale per promuovere pacchetti turistici "green" che includono visite all'impianto, nell'ottica del turismo sostenibile sopra descritto.

Settore della ricerca

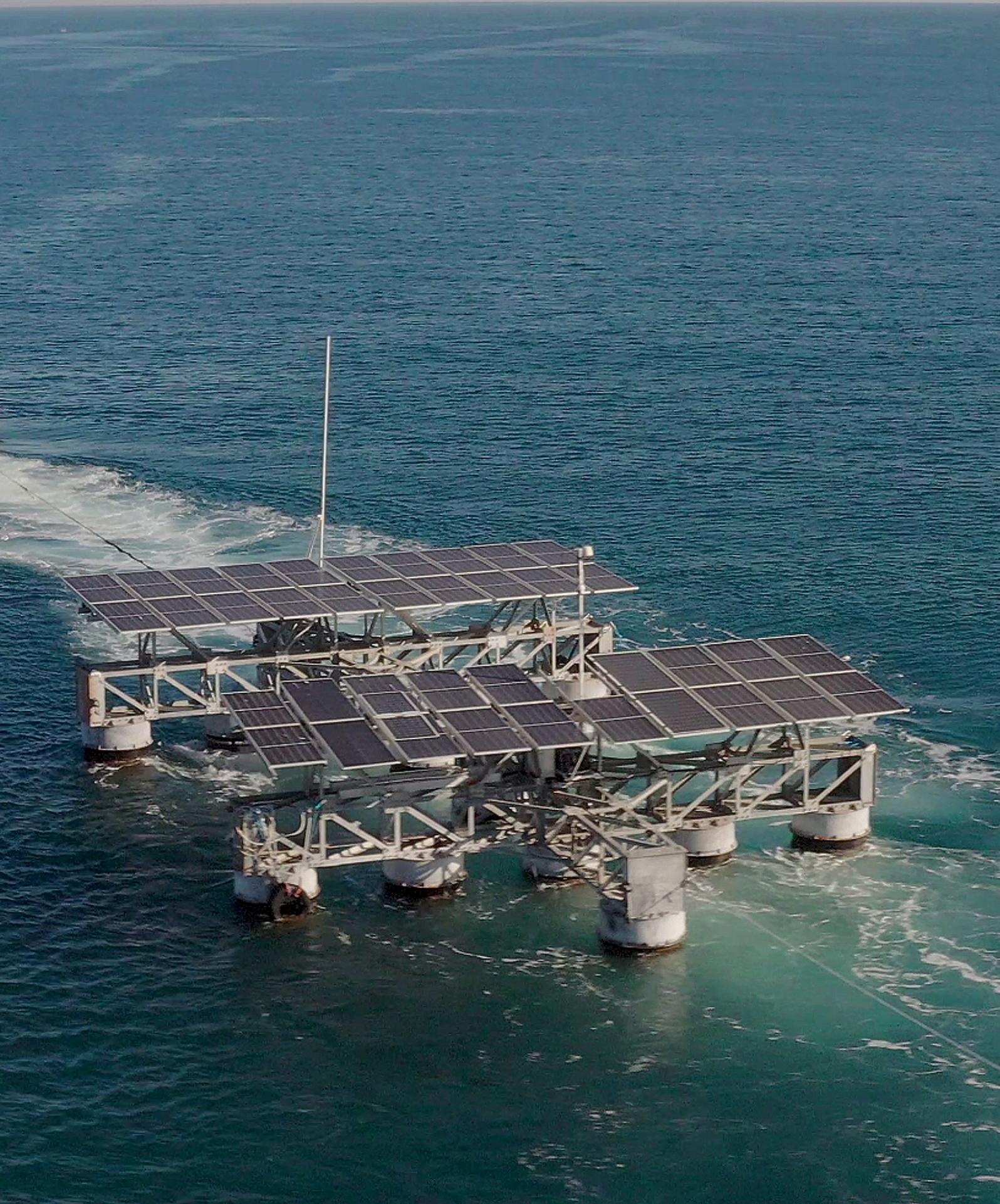
Qualsiasi struttura artificiale localizzata in alto mare è potenzialmente considerabile un vero e proprio avamposto per la ricerca in ambito marino e meteo-oceanografico, agevolando una serie di attività che contribuiscono ad una maggiore conoscenza di una risorsa fondamentale come il mare. Le possibili attività sono discusse in seguito.

- Monitoraggio ambientale: le piattaforme galleggianti offrono una straordinaria opportunità per il monitoraggio di molteplici parametri ambientali e meteomarinari; attraverso l'integrazione di sensori specifici l'impianto può fungere da boa ondometrica e correntometrica, da sonda per la qualità dell'acqua marina, la temperatura, salinità e altri parametri chimico-fisici importanti per la ricerca sul cambiamento climatico e non solo;
- Monitoraggio della biodiversità: come per le componenti chimico-fisiche, la struttura offshore si presta bene anche per il monitoraggio della biodiversità locale, fungendo da osservatorio per lo sviluppo delle comunità pelagiche e bentoniche e per l'effetto della struttura sull'ecosistema.
- Sviluppo tecnologico: un'industria agli albori come quella degli impianti FPV offre l'opportunità di testare tecnologie innovative come materiali più efficienti per i pannelli fotovoltaici e gli elementi strutturali da adattare all'ambiente offshore, o soluzioni avanzate di manutenzione degli impianti.

È bene ricordare che il FPV offshore può avere impatti ambientali legati alla tecnologia e alla localizzazione, per i quali ricerca e monitoraggio sono essenziali. Di seguito si riassumono gli aspetti più critici ad oggi rilevati.

- Gli impianti possono ostacolare le rotte marittime, aumentando costi e tempi di percorrenza. I corridoi segnalati possono ridurre il problema, ma la pesca risulta interdetta per la presenza di ancoraggi e cavi; tuttavia, la minore pressione di pesca potrebbe favorire l'aumento degli stock ittici locali.
- Gli ancoraggi e gli ormeggi possono danneggiare il fondale e disturbare la fauna marina con emissioni acustiche ed essere di intralcio per alcune specie migratorie, come cetacei e tartarughe marine.
- Gli impianti a membrana vicini alla superficie possono ridurre gli scambi gassosi e schermare la luce solare, con effetti negativi sulla catena trofica e sull'ecosistema sottostante.

*Il prototipo **Sun'Sète** della società **SolarinBlue**,
trainato da un rimorchiatore in acque francesi*



Principi di funzionamento ed elementi impiantistici

Il funzionamento del FPV offshore è analogo a quello dei sistemi terrestri, ma con i pannelli installati su piattaforme galleggianti in aree marine, spesso lontane dalla costa.

L'energia generata in corrente continua (DC) viene convertita in corrente alternata (AC) tramite inverter e trasportata ai trasformatori, che innalzano la tensione (solitamente a 33 kV o 66 kV) per minimizzare le perdite lungo il cavo. Nei contesti offshore, le lunghe distanze dal punto di connessione rendono questo processo particolarmente importante.

Il collegamento alla rete terrestre avviene tramite un cavo di tipo dinamico che raggiunge il fondale marino, dove viene interrato per garantire protezione e ridurre l'impatto ambientale. Il cavo è progettato per resistere sia alle correnti marine sia alle sollecitazioni meccaniche tipiche dell'ambiente subacqueo.

Le diverse soluzioni di fotovoltaico galleggiante offshore che stanno emergendo nel panorama energetico globale sono caratterizzate da scelte progettuali differenti per forma e materiali. Le tecnologie possono essere suddivise in due macro-tipologie: (i) strutture rialzate e (ii) strutture a pontone o a membrana.



Figura 3 - Struttura rialzata (Moss Maritime)

Strutture rialzate

Queste soluzioni impiegano strutture robuste e sofisticate, realizzate con supporti metallici, principalmente in alluminio, e galleggianti progettati per mantenere i pannelli a diversi metri sopra il livello del mare. Il design assicura una protezione ottimale contro onde di notevole altezza e condizioni marine avverse. Nonostante l'elevato costo di realizzazione, tali soluzioni sono capaci di adattarsi a condizioni meteomarine estreme, progettate per resistere a onde fino a circa 15 metri e venti fino a 120 km/h.

Strutture a pontone e a membrana

Questi sistemi prevedono l'installazione di pannelli solari a pochi centimetri sopra la superficie dell'acqua, sostenuti da moduli galleggianti o da membrane, spesso realizzati in materiali plastici, interconnessi in modo da comporre una struttura che segue il moto ondoso, garantendo flessibilità e stabilità all'impianto. La tecnologia risulta più economica della precedente, ma richiederà più manutenzione su base annuale, a causa della maggiore esposizione dei pannelli e componenti elettrici all'acqua salata.



Figura 4 - Struttura a pontone (Fred. Olsen 1848)

Sistemi di ancoraggio

La stabilità delle piattaforme fotovoltaiche galleggianti in ambiente marino è garantita da un sistema di ancoraggio con cime, catene e ancore, tipicamente in acciaio o materiali metallici, noti per la loro affidabilità nell'industria offshore. Tuttavia, l'acciaio presenta costi elevati e problemi di corrosione, rendendo necessario esplorare soluzioni o materiali alternativi per ridurre i costi e migliorare le prestazioni.

Dal punto di vista strutturale, esistono quattro principali modalità di ormeggio, illustrate nella figura 5 (Wu et al., 2024).

La parte a diretto contatto con il fondale può essere costituita da ancore oppure da *dead weight*, come ad esempio blocchi di calcestruzzo.

A livello tassonomico, i sistemi possono essere definiti come di seguito.

A. Catenaria

Sistema che usa il peso di catene o cavi per fornire flessibilità e stabilità alla struttura galleggiante, adattandosi a onde e correnti.

B. Ormeggio teso

Cavi in tensione quasi verticali che riducono i movimenti orizzontali e usano materiali elastici per abbassare i carichi. Ideale per acque profonde grazie alla lunghezza dei cavi.

C. Ormeggio elastico con supporti

Integra pesi e galleggianti nei cavi per migliorare stabilità e adattarsi alle condizioni marine, riducendo le sollecitazioni.

D. Pali di fondazione

Adatto a fondali bassi come quelli lagunari, ma non particolarmente indicato per installazioni offshore in acque profonde.

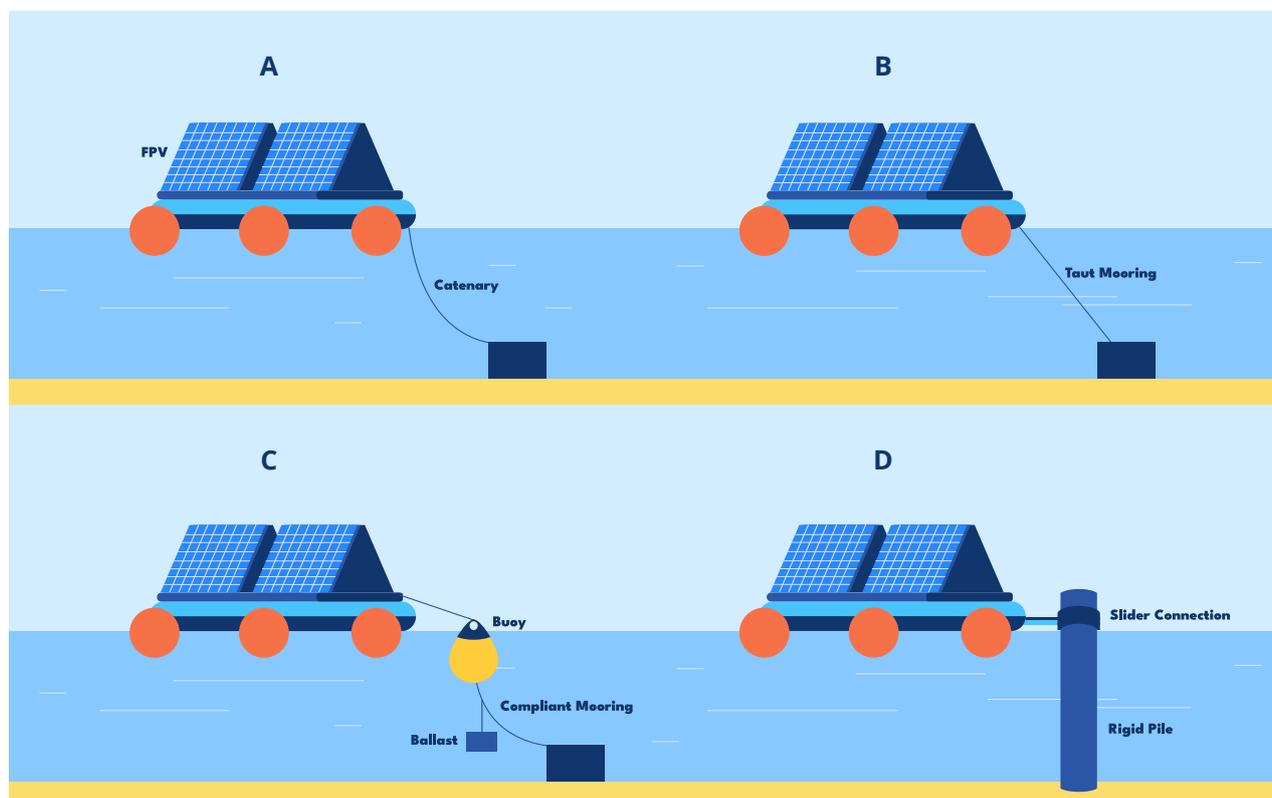


Figura 5 - Diverse tipologie di ormeggio e ancoraggio

Come si installa un impianto fotovoltaico galleggiante offshore?

Tutte le tecnologie esposte in precedenza sono altamente modulari: le piattaforme possono essere interconnesse tramite giunti semi-mobili, formando "isole solari" configurabili e dimensionate in base ai requisiti del progetto. Questo beneficia la scalabilità dei sistemi.

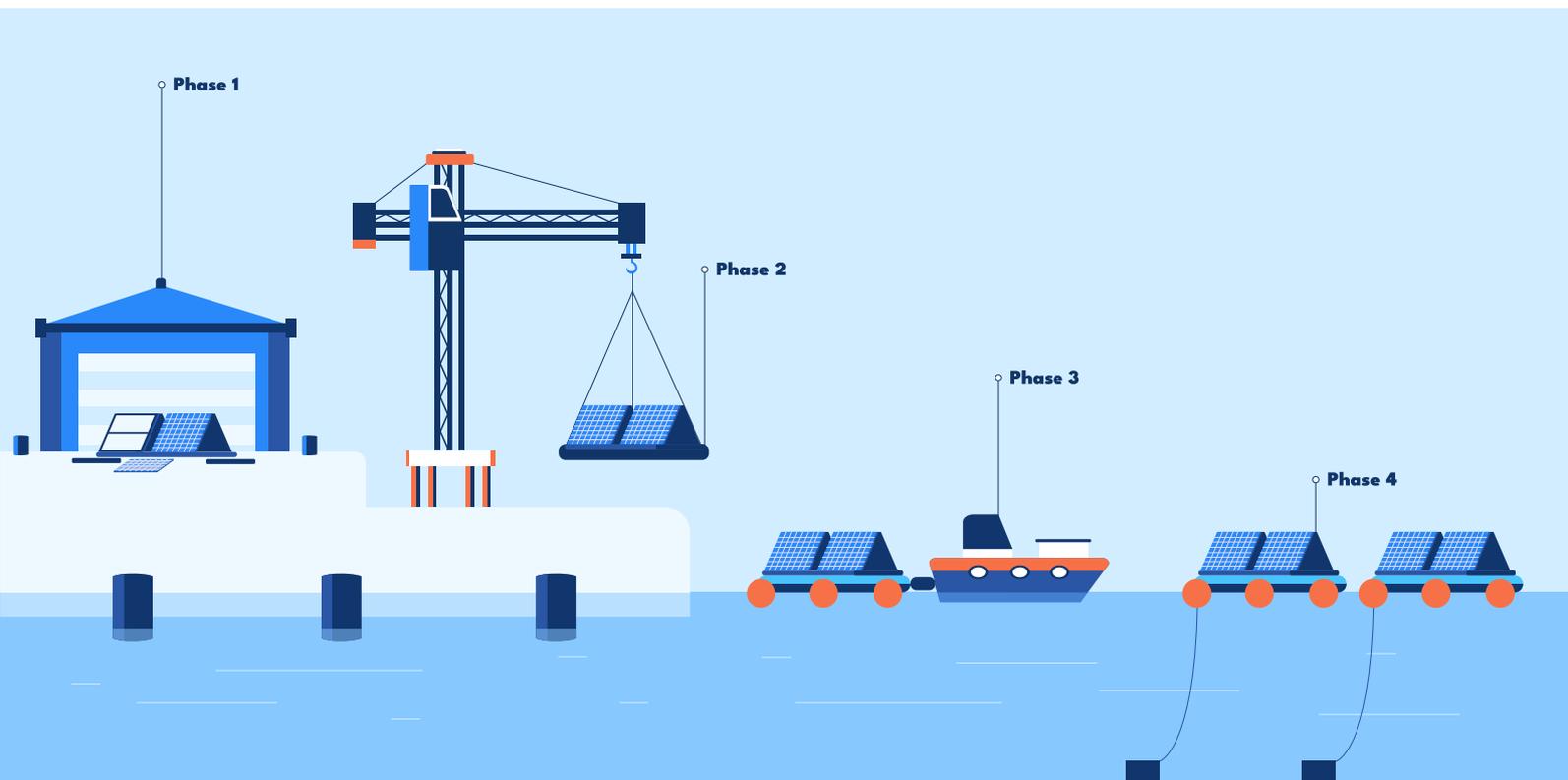
In maniera semplificata, le fasi principali di installazione possono essere riassunte come di seguito.

Fase 1. La struttura, i galleggianti, i pannelli solari e i componenti elettrici vengono assemblati in cantieri temporanei situati nel porto più vicino. Le soluzioni sono progettate per consentire un assemblaggio rapido e semplice, senza necessità di attrezzature specializzate.

Fase 2. Una volta completata, la piattaforma viene calata in acqua utilizzando una gru di modesta portata. È possibile collegare più piattaforme tra loro prima del trasporto verso il sito di installazione.

Fase 3. Il trasporto delle piattaforme non richiede l'impiego di imbarcazioni specializzate. Due rimorchiatori sono sufficienti per trainare una o più piattaforme verso il sito.

Fase 4. Una volta giunte al sito, le piattaforme vengono collegate alle cime già fissate nella posizione designata. Questo processo viene ripetuto fino al completamento dell'intera isola solare. Infine, si eseguono i collegamenti elettrici tra le piattaforme. Parallelamente, si esegue l'installazione del cavo di esportazione.



Filosofie di progettazione: sistemi integrati o stand-alone

Sistemi integrati ad impianti eolici

La soluzione integrata prevede di collegare l'impianto FPV offshore alla turbina eolica più vicina: il cavo in uscita dalla piattaforma fotovoltaica andrà direttamente al trasformatore esistente; pertanto, i cavi di connessione delle turbine alla sottostazione elettrica a mare permettono anche la trasmissione dell'energia solare.

L'integrazione ad un impianto eolico esistente potrebbe ridurre notevolmente i CAPEX del solare, creando al contempo sinergie e ottimizzazioni sia in termini costruttivi che operativi tra l'eolico e il solare.

Una sinergia è legata al fatto che i due sistemi sono complementari, in quanto i loro picchi di produzione si verificano generalmente in periodi diversi dell'anno: l'eolico produce di più nei mesi invernali, il fotovoltaico nei mesi estivi.

Numerosi studi hanno analizzato questa tematica mostrando come la percentuale di *curtailment* (cioè la necessità di limitare la potenza a causa di una produzione congiunta eccessiva dei due sistemi) sia minima, dimostrando che non è necessario sovra dimensionare i cavi di interconnessione tra le turbine.

Per tale motivo, anche impianti eolici offshore esistenti e operativi potrebbero ospitare il fotovoltaico galleggiante, senza apportare in maniera radicale cambiamenti alle infrastrutture comuni. Inoltre, i componenti elettrici più sensibili del fotovoltaico potrebbero essere trasferiti direttamente in turbina, con evidenti benefici in termini di durabilità e manutenzione.

In aggiunta, tra i canoni di concessione e le zone interdette alla navigazione, il fotovoltaico galleggiante integrato all'eolico offre una soluzione per ottimizzare l'utilizzo dello spazio marittimo.

La manutenzione combinata, infine, potrebbe ridurre gli OPEX, che ad oggi rappresentano tra le voci di costo più alte per ambienti offshore. Questi sono alcuni dei vantaggi che permettono di ridurre i costi non soltanto del solare, ma dell'intero impianto.

Sistemi stand-alone

La soluzione stand-alone prevede l'installazione di una centrale fotovoltaica offshore autonoma, progettata per produrre energia in modo indipendente. Questa configurazione richiede un'infrastruttura dedicata per la conversione e il trasporto dell'energia, ma consente una maggiore indipendenza rispetto alle soluzioni integrate.

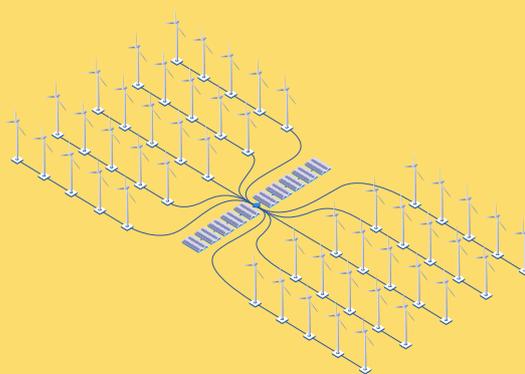
Gli impianti stand-alone, che possono essere collocati più vicino alla costa per ridurre i costi di connessione, presentano un campo solare galleggiante con un sistema reticolare di ormeggi che garantisce stabilità operativa. Queste strutture, pressochè invisibili dalla costa anche a distanze ravvicinate, rappresentano un'importante opportunità di sviluppo per il contesto italiano.

Se da un lato non possono beneficiare di un'ammortizzazione dei costi di realizzazione e manutenzione con un impianto eolico offshore nelle vicinanze, dall'altro rappresentano un'alternativa replicabile pressochè in qualsiasi area marina italiana caratterizzata da fondali anche con profondità sfidanti.

Eolico e fotovoltaico galleggiante offshore: una coppia vincente

Questo caso di studio illustra i vantaggi derivanti dall'integrazione di un impianto fotovoltaico galleggiante ad una centrale eolica offshore, in termini di *curtailment* e di resa energetica.

Luogo geografico	Centro Italia
Potenza impianto eolico	500 MW
Potenza turbina	10 MW
Potenza impianto fotovoltaico	100 MW
Potenza modulo fotovoltaico	10 MW
Vm del vento	6,3 m/s
Irradiazione Globale Orizzontale	1.615,4 kWh/m ²
Tipologia dei cavi di export	Al 3x2.000 mm ²
Ampacità dei cavi di export	2.100 A
Produzione eolica	2.905 h
Produzione fotovoltaica	1.484 h
Area totale degli impianti	138 km ²



Un impianto eolico offshore ipotetico in Centro Italia ha una densità energetica di 3,6 MW/km². L'integrazione del FPV offshore, senza modificare le infrastrutture elettriche, aumenta la densità a 4,3 MW/km². **A parità di area occupata, quindi, si incrementa la potenza installata di circa il 20% .**

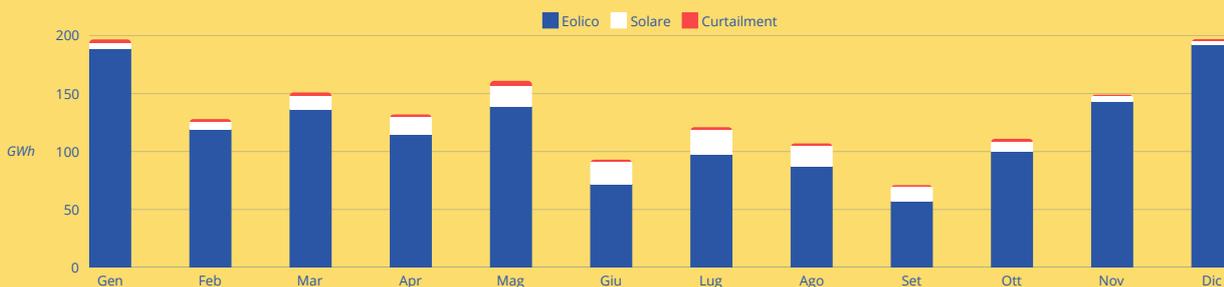


Grafico 2 - Produzione mensile in un anno tipico di un sistema integrato, con indicazione del curtailment (WindPro; PVSyst)

A livello di resa energetica, nel caso del solo eolico si avrebbero 10.500 MWh/km², passando a 11.550 MWh/kmq nel caso di layout integrato. Senza occupare ulteriore spazio marittimo, **si può apprezzare circa un +10% di incremento nel totale di energia prodotta.**

Il calcolo di cui sopra è al netto del *curtailment* (c.d. taglio di potenza), che in questo caso è limitato solo al 1,4%, dimostrando la fattibilità di **integrare energia solare senza modificare il sistema di connessione elettrico** previsto per l'impianto eolico. Ciò è dovuto al fattore di capacità modesto del solare e alla complementarità dei due sistemi: **l'eolico produce di più in inverno, il solare in estate.**

Specificità e lacune normative del fotovoltaico galleggiante

Nonostante il carattere promettente e il ruolo di precursore che l'Italia ha ricoperto oltre un decennio fa, il contesto normativo nazionale – almeno fino alla recentissima adozione del Testo Unico FER – si è caratterizzato per lungo tempo per significative lacune che hanno fortemente rallentato lo sviluppo di progetti di fotovoltaico galleggiante.

Infatti, nell'ultimo decennio, in modo analogo a quanto è stato osservato per lo sviluppo delle altre tecnologie innovative come l'eolico offshore, si è assistito ad un chiaro squilibrio tra la rapidità dello sviluppo tecnologico e il ritardo nell'adeguamento del quadro regolatorio di riferimento.

L'attuale quadro normativo

Nel corso dell'ultimo decennio si è comunque registrato un evidente impulso del Legislatore europeo verso lo sviluppo delle tecnologie innovative quali, appunto, l'eolico e il FPV offshore: basti pensare alle previsioni della Direttiva RED II (Direttiva UE 2018/2001), che hanno riconosciuto il fotovoltaico galleggiante quale tecnologia promettente per accelerare il processo di transizione energetica dell'Europa.

Quanto all'Italia, in sede di aggiornamento del PNIEC, si rileva l'inclusione della tecnologia del FPV, congiuntamente alle altre tecnologie e superfici non convenzionali, tra le tecnologie che si intende promuovere al fine del raggiungimento degli obiettivi fissati.

Il nuovo testo del PNIEC, infatti, prevede che *“tra le tecnologie innovative, si supporterà la realizzazione di impianti fotovoltaici di tipo floating, sia su acque interne sia offshore”* e che *“una rapida e sostenibile espansione della*

capacità fotovoltaica richiede inoltre azioni per lo sviluppo del fotovoltaico galleggiante”.

Si tratta, dunque, della manifestazione di un rinnovato interesse del Legislatore nei confronti di questa promettente tecnologia. Prima dell'aggiornamento del PNIEC e dell'entrata in vigore del D. Lgs. 190/2024 (“T.U. FER”), l'attenzione italiana rispetto allo sviluppo dei progetti di fotovoltaico galleggiante si era tradotta nell'adozione di una normativa dedicata principalmente allo sviluppo del c.d. FPV onshore, tralasciando lo sviluppo offshore.

Rispetto al FPV onshore, infatti, l'ora abrogato (dal T.U. FER) articolo 9 ter del D.L. 34/2022 recava *“semplificazioni per l'installazione di impianti fotovoltaici flottanti”*, riconoscendo la possibilità di autorizzare progetti FPV onshore in PAS per potenze fino a 10 MW.

Con tale norma è stato quindi registrato un primo riconoscimento rispetto alla strategicità del FPV onshore, per la gestione non solo della tematica connessa al consumo di suolo, ma anche rispetto alla gestione della crisi idrica, che sempre più caratterizza il Sud Italia.

Sempre per quanto riguarda il quadro giuridico di riferimento, lo sviluppo delle tecnologie rinnovabili offshore in Italia è certamente rallentato a causa della normativa lacunosa – soprattutto per quanto concerne gli impianti oltre le 12 miglia – in ragione della mancata adozione degli accordi nazionali per la definizione della Zona Economica Esclusiva (ZEE), nonché a causa della tardiva definizione dei Piani di Gestione dello Spazio Marittimo.

In relazione alla definizione della ZEE italiana, la Convenzione dell'ONU sul diritto del mare

(UNCLOS) stipulata a Montego Bay il 10 dicembre 1982, ratificata e resa esecutiva dal nostro Paese ai sensi della legge 2 dicembre 1994, n. 689, ha definito per la prima volta la zona economica esclusiva e il relativo regime applicabile in tale area. Nel dettaglio, tale ZEE non può estendersi oltre le 200 miglia dalla linea di base da cui è misurata l'ampiezza del mare territoriale (188 miglia dal mare territoriale) e, a differenza di quanto avviene per la piattaforma continentale, affinché la ZEE di uno Stato sia efficace, la medesima deve essere proclamata formalmente. Inoltre, nei casi di Stati con coste adiacenti od opposte, separate da una distanza inferiore alle 400 miglia teoriche, tale proclamazione deve avvenire in forza di accordi internazionali tra gli Stati frontisti.

L'articolo 56 della Convenzione di Montego Bay precisa che nella ZEE lo Stato costiero gode di diritti sovrani sia ai fini dell'esplorazione, dello sfruttamento, della conservazione e della gestione delle risorse naturali, sia, tra l'altro, per lo sfruttamento economico della zona, e quindi anche per finalità connesse alla produzione di energia rinnovabile, come nel caso di progetti eolici e FPV *offshore*.

L'Italia ha istituito la propria zona economica esclusiva (ZEE) ai sensi dell'art. 55 della Convenzione solo nel 2021, con la L. 91/21. Tale legge, tuttavia, ha solo *autorizzato l'istituzione* della ZEE, senza individuarne effettivamente i confini, ciò anche in ragione della vicinanza delle coste italiane a quelle di altri Stati frontisti quali, ad esempio, Croazia, Malta, Francia e, dunque, dell'impossibilità di proclamare una ZEE di estensione pari a 200 miglia dalla linea di base senza sovrapporsi alle ZEE dei paesi antistanti.

Pertanto, ai fini del compiuto, pieno ed efficiente sviluppo delle tecnologie *offshore*, si renderà necessario accelerare il processo di definizione negoziale dei confini della ZEE italiana, così da poter anche meglio definire il regime autorizzativo applicabile a tali progetti, ove sviluppati in acque internazionali.

In aggiunta al tema connesso alla puntuale definizione della ZEE, assumono un ruolo sempre più centrale i Piani di Gestione dello Spazio Marittimo.

All'esito di un lungo iter, è stato adottato il Decreto Ministeriale n. 237 del 25/09/2024, recante proprio l'approvazione dei Piani di Gestione dello Spazio Marittimo. Tra gli obiettivi, viene ribadito quello di favorire la transizione energetica verso fonti rinnovabili e a ridotte emissioni, mediante la produzione di energie rinnovabili a mare, nonché di favorire la sperimentazione e lo sviluppo di tecnologie ed impianti di generazione di energia da fonti rinnovabili in mare, sia nelle sub-aree costiere che in quelle offshore, compatibilmente con le vigenti politiche ed esigenze di tutela ambientale e paesaggistica.

Tra le misure rilevanti individuate dai Piani, si ricorda l'indicazione di sviluppare Linee Guida nazionali per l'identificazione di siti idonei per le rinnovabili offshore (eolico, solare, onde e correnti) e la valutazione degli impatti ambientali e paesaggistico-culturali singoli e cumulativi, considerando gli elementi di impatto potenziale, durante le fasi di costruzione, esercizio e dismissione, e considerando anche gli elementi impiantistici per la trasmissione a terra dell'energia prodotta.

Queste Linee Guida consentiranno di: i) affinare la pianificazione spaziale; ii) indirizzare la progettazione degli impianti; iii) facilitare le fasi di permitting.

Inoltre, sarà necessario sviluppare un sistema di supporto alle decisioni (DST), collegato in modo dinamico al Portale Nazionale del Mare ed alimentato anche dai dati derivanti dalle attività di monitoraggio ed indagine ante-operam e post-operam per impianti di produzione di energia rinnovabile offshore.

L'approccio espresso dal Legislatore in sede di approvazione dei Piani di Gestione dello Spazio Marittimo risulta essere coerente con la

rinnovata consapevolezza circa lo sviluppo della tecnologia FPV offshore, considerato che – come riportato nell’aggiornamento del PNIEC – *“per raggiungere questi sfidanti obiettivi sarà importante far ricorso alle diverse tecnologie rinnovabili disponibili, incluse quelle offshore (anche flottanti) al fine di sfruttare ulteriori aree ventose e soleggiate limitando il consumo di suolo e l’impatto paesaggistico”*.

In conclusione, pur se in un contesto normativo frammentato e non ancora compiutamente definito, gli impianti FPV offshore rivestono un ruolo oramai centrale per il raggiungimento degli obiettivi PNIEC (in merito ai quali l’Italia dovrà raggiungere al 2030 una potenza da fonte rinnovabile di 131 Gigawatt).

Tale ruolo centrale appare oggi ancor più evidente dall’analisi del disposto dell’articolo 23 del d.lgs. 199/2021 in materia di semplificazioni ed aree idonee allo sviluppo degli impianti (eolici e fotovoltaici) offshore, e dalle novità introdotte dal recentissimo T.U. FER, entrato in vigore il 30/12/2024, recante “Disciplina dei regimi amministrativi per la produzione di energia da fonti rinnovabili, in attuazione della legge 5 agosto 2022, n. 118”.

In particolare, nel definire i nuovi regimi di autorizzazione per i progetti di energia rinnovabile, il T.U. FER stabilisce finalmente un quadro di riferimento preciso per quanto riguarda i sistemi di autorizzazione degli impianti fotovoltaici galleggianti.

Tra le principali novità introdotte, merita attenzione la previsione contenuta nell’Allegato B, che attua l’articolo 8 del T.U. FER. Quest’ultimo include, tra l’altro, tra gli interventi autorizzabili in regime di Procedura Abilitativa Semplificata (PAS), anche gli impianti fotovoltaici galleggianti di potenza inferiore a 10 MW, collocati su specchi d’acqua di invasi o bacini idrici, sia pubblici che demaniali, compresi quelli situati in cave dismesse o ancora in esercizio, riprendendo sostanzialmente il disposto dell’abrogato articolo 9 ter del D.L. 34/2022.

Per quanto riguarda invece gli impianti da autorizzare in regime di Autorizzazione Unica, si segnala quanto disposto nell’Allegato C, che attua l’articolo 9 del TU FER. Secondo tale disposizione, la procedura autorizzatoria unica si applica agli impianti offshore (eolico e fotovoltaico) e agli impianti fotovoltaici galleggianti posti su invasi realizzati da dighe non incluse nell’articolo 1 del decreto-legge 8 agosto 1994, n. 507 (i.e., cosiddette "dighe di ritenuta" o "traverse", che superano i 15 metri di altezza o generano un volume d’invaso superiore a un milione di metri cubi).

Persiste comunque ancora un’ulteriore importante lacuna normativa rispetto alla concreta disciplina dei regimi di autorizzazione.

Infatti, si rileva il vuoto della mancata implementazione dell’ultimo comma del citato articolo 23 del d.lgs. 199/2021, relativo al cosiddetto Vademecum.

L’adozione del Vademecum, infatti, potrebbe permettere di definire con maggior certezza il quadro normativo per il FPV offshore, risolvendo i dubbi connessi al rapporto tra procedimenti di autorizzazione e di richiesta ed ottenimento della concessione demaniale, ovvero, oltre le 12 miglia, al fine di superare, tra l’altro, anche alcune delle criticità derivanti dall’articolo 10 del T.U. FER in materia di regime di concessione della aree pubbliche, nelle ipotesi in cui sia necessaria la concessione di superfici e, ove occorra, di risorse pubbliche.

Questa recente norma, infatti, impone l’obbligo di ottenere dapprima la concessione e poi – entro i trenta giorni successivi – perentoriamente avviare l’iter di autorizzazione, non potendo quindi disporre di un sufficiente lasso di tempo per la finalizzazione delle attività di analisi, verifica e progettazione, tipicamente molto lunghe e complesse per questo genere di tecnologie; come indicato, queste potenziali criticità potranno essere mitigate dal vademecum di cui si è in attesa di adozione, ai sensi del comma 6 del richiamato articolo 23 del d.lgs. 199/2021.

L'ostacolo del canone di concessione demaniale attuale

Un aspetto innovativo e distintivo nel campo degli impianti fotovoltaici galleggianti riguarda certamente quello dell'acquisizione delle aree destinate alla realizzazione degli impianti che, specialmente nel caso di impianti offshore, risultano beni del demanio e in quanto tali possono essere concessi dallo Stato ai privati solo tramite il pagamento di un canone annuale.

Come noto, sulla base della vigente disciplina, l'entità del canone è regolata principalmente dal Codice della Navigazione e dalle successive normative di adeguamento (R.D. n. 327/1942 e successive modifiche) ed interpretazione (le Circolari MIT). Nella legge n.296/2006 (Finanziaria 2007) all'articolo 1, commi 251-257 vengono disciplinati i criteri di calcolo dei canoni, specificando la distinzione tra usi turistico-ricreativo e usi diversi. Le Regioni, a seguito della riforma del Titolo V della Costituzione, hanno competenza nella gestione del demanio marittimo, il che ha portato all'emanazione di leggi regionali che integrano i criteri nazionali. Da ultimo, con Decreto del Ministero delle Infrastrutture e Trasporti (MIT) del 17/12/2023 (G.U. 25/01/2024, n. 20) è stato quindi fissato l'adeguamento dei canoni per le concessioni demaniali marittime per l'anno 2024.

In base alla Circolare n.22/2009 si distingue:

- **Area scoperta**, ovvero *“un'area su cui non insistono edificazioni che sviluppano volumetria utilizzabile o praticabile”*;
- **Area occupata con impianti di facile rimozione**, ovvero *“quella le cui strutture possono essere costruite con fondazioni isolate o diffuse, che possono essere ricostruite altrove senza che la rimozione comporti la loro distruzione parziale o totale”*;

- **Area occupata con impianti di difficile rimozione**, ovvero *“quella le cui strutture sono costruite con fondazioni profonde, o isolata o diffusa collegata al terreno la cui rimozione comporti la distruzione o alterazione del manufatto”*.

La Circolare 40/2012 ha introdotto un paragrafo specifico per normare gli impianti eolici offshore, riconoscendo la possibilità di identificare delle modalità di calcolo specifiche in ragione della peculiarità tecnologica, aprendo cioè al superamento della consueta logica relativa all'area occupata nel suo insieme. Si legge infatti nella Circolare che *“per tale fattispecie la superficie può essere definita dall'area del cerchio generato dal movimento della pala proiettato sulla superficie acqua e avente per raggio la lunghezza della pala maggiorata di metri 0,50”*, quale alternativa alla normale individuazione che consiste *“nell'intero specchio acqua che comprende al suo interno l'intero impianto eolico e la zona demaniale marittima interessati dalle infrastrutture per la connessione alla rete elettrica”*.

Tale approccio, per quanto concerne l'eolico offshore, comporta la definizione di un canone mediamente pari a circa il doppio rispetto a quanto il mercato esprima per un equipollente diritto di superficie per impianti onshore: ovvero circa 6.000 €/MW/anno, e ciò senza considerare i cavidotti ed infrastrutture di connessione, ma le sole turbine.

L'assenza di una disciplina ad hoc per gli impianti FPV viceversa, e quindi la necessità di considerare l'intera superficie occupata dai moduli e dalle infrastrutture di connessione, condurrebbe inevitabilmente a considerare l'investimento come non sostenibile.

Infatti, ove si applicasse analogicamente il canone previsto per l'eolico offshore (al 2023 pari a 2,34058 €/mq/anno), si avrebbe un prezzo annuo ad ettaro di € 23.405,8; se invece considerassimo le aree occupate come "impianti di facile rimozione" e applicassimo il canone aggiornato al 2023 di 4,38855 €/mq/anno, si avrebbe un prezzo annuo ad ettaro addirittura pari ad € 43.885,5.

Per meglio comprendere lo scenario, ipotizzando un'occupazione media pari a circa 1 ettaro per 1 MWp di FPV, si arriverebbe ad un canone vicino ai 45.000 euro/MW/anno. Oltre a non essere di per sé sostenibile, tale valore sarebbe difficilmente giustificabile sotto ogni punto di vista, anche comparandolo con tecnologie equipollenti: sarebbe superiore di circa 7 volte a quanto previsto per l'eolico offshore. Se considerassimo invece i terreni agricoli per impianti fotovoltaici, il corrispettivo per il diritto di superficie è normalmente compreso tra i 3.500 ed i 5.000 €/ettaro, mentre il canone annuo d'affitto può arrivare a 4.500 €/ettaro (CREA, 2025), rappresentando quindi circa 1/10 del costo per il FPV offshore.

È quindi strettamente necessario che il legislatore introduca una nuova fattispecie specificamente relativa al fotovoltaico galleggiante offshore, che possa assicurare una remunerazione equa e sostenibile del bene demaniale oggetto di concessione. Tra le possibili metodologie di calcolo da perseguire vi sono:

- *Parametrazione rispetto ai costi dei terreni per il fotovoltaico terrestre;*
- *Parametrazione rispetto ai canoni di concessione dell'eolico offshore;*
- *Parametrazione rispetto al Levelized Cost of Energy di questa tipologia di impianti.*

Mentre le prime due metodologie rischierebbero di adeguare i canoni del fotovoltaico galleggiante offshore a tecnologie diverse per fattori di capacità o per costi di realizzazione/esercizio, creando comunque degli effetti potenzialmente distorsivi, la terza metodologia, a fronte di calcoli più complessi,

permetterebbe una quantificazione sicuramente più equa e adeguata del canone di concessione.

In aggiunta all'aspetto squisitamente economico, il FPV offshore introduce un ulteriore tema di non semplice risoluzione, quanto alla disponibilità delle aree di impianto.

Infatti, mentre per quanto riguarda la concessione di aree marittime nell'ambito delle acque territoriali è certamente possibile fare riferimento alle disposizioni dettate dall'articolo 36 ss. del codice della navigazione, nonché dalle disposizioni di recente adozione del T.U. FER, ovvero l'articolo 10, alcune perplessità derivano in merito al regime giuridico applicabile nelle ipotesi di progetti FPV offshore sviluppati oltre le 12 miglia dalla costa, ovvero al di fuori del mare territoriale.

In tale contesto, allora, assume sempre più rilevanza e centralità la definizione delle ZEE e dei Piani di Gestione dello Spazio Marittimo, come sopra richiamati, nonché l'adozione di una normativa ad hoc, specifica, che permetta di definire le modalità di acquisizione della disponibilità di tali aree, ove poste al di fuori delle acque territoriali.

Inadeguatezza dei regimi di sostegno: le criticità del FER 2

Il Decreto FER 2 segna un avanzamento significativo nel quadro normativo per incentivare l'utilizzo delle energie rinnovabili in Italia, con un focus su tecnologie emergenti e in ambienti offshore. Entrato in vigore il 13 agosto 2024, promuove la realizzazione degli impianti a fonti rinnovabili innovativi o con costi elevati di esercizio tra i quali il FPV sia offshore che su acque interne mediante un meccanismo di CfD. Gli operatori offrono il prezzo minimo (*strike price*) a cui sono disposti a vendere energia. Se entrano in posizione utile in graduatoria, si calcola la differenza tra prezzo di mercato e strike price. Quando il prezzo di mercato è minore dello strike price, l'operatore riceve un'integrazione; viceversa, l'operatore restituisce la differenza.

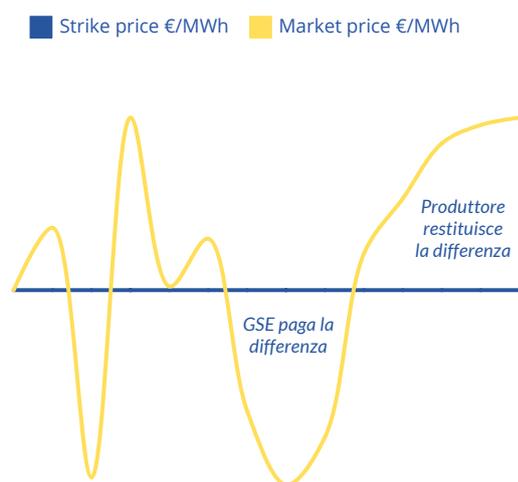


Grafico 3 - Meccanismo del Contract For Difference

La misura, in vigore sino al 31 dicembre 2028, ha tra gli obiettivi principali l'installazione di una capacità complessiva di 4,6 GW entro il 2028; tuttavia, allo stato attuale si rilevano le seguenti criticità nel decreto per stimolare effettivamente la realizzazione di impianti fotovoltaici galleggianti offshore.

Contingente disponibile sottodimensionato

I contingenti messi a disposizione sono pari a soli 50 MWp per il FPV onshore e a 200 MWp per il FPV offshore, in concorrenza peraltro con i progetti di "energia mareomotrice, del moto ondoso e altre forme di energia marina", con ciò rendendo abbastanza aleatorio per gli sviluppatori l'ottenimento del beneficio.

Ad ogni modo, il limite di 200 MW per il fotovoltaico galleggiante offshore risulta essere comunque modesto rispetto al potenziale offerto dal territorio italiano, ricco di coste e aree marine favorevoli, che AERO individua a 1 GW entro il 2030.

Tempistiche sfidanti per la COD

Inoltre, il DM FER 2 prevede che gli impianti fotovoltaici galleggianti offshore risultati in posizione utile nelle relative graduatorie debbano entrare in esercizio nel termine di 43 mesi dalla data di aggiudicazione degli incentivi.

Tale termine per la realizzazione di progetti ad alto contenuto di innovazione potrebbe risultare sfidante, soprattutto per lo stato della catena del valore del settore delle rinnovabili offshore, rischiando di scoraggiare investitori italiani o stranieri a finanziare progetti ambiziosi e spingendo verso realizzazioni meno innovative ma più rapide.

Una tecnologia che ancora non è pienamente matura e dev'essere installata in alto mare, richiede certamente tempistiche più lente per la realizzazione di impianti di taglia pre-commerciale oppure commerciale.

Incentivi insufficienti

Infine, il valore del contributo previsto dal DM FER 2, non può soddisfare gli operatori. Infatti, la tariffa di riferimento prevista per gli impianti FPV offshore è di 105 Euro/MWh, persino inferiore al LCOE previsto fino al 2030 per questa tecnologia, che difficilmente riuscirà a scendere sotto i 150 Euro/MWh (Iglesias & Martinez, 2024). Tale LCOE potrebbe essere più alla portata di progetti di grandi dimensioni (nell'ordine di centinaia di MW), ma questo andrebbe in contrasto con il contingente limitato a 200 MW discusso nel punto in precedenza. Le complessità date dall'ambiente marino, unitamente alla parziale maturazione del fotovoltaico galleggiante offshore, comportano uno schema di costi sicuramente più sfidante rispetto al fotovoltaico terrestre, che il legislatore non sembra avere correttamente considerato. Il risultato è che, attualmente, nessun progetto in Italia può raggiungere la cosiddetta Final Investment Decision con i livelli di incentivi previsti.

Sebbene il DM FER 2 segni un inizio incoraggiante per lo sviluppo del fotovoltaico galleggiante offshore in Italia, il suo impatto effettivo e concreto dipenderà dalla capacità delle Amministrazioni di affrontare alcune

delle sfide intrinseche a questa tecnologia.

Traendo insegnamento da altre realtà internazionali, una corretta strutturazione e pianificazione delle aste è essenziale per garantire lo sviluppo di un determinato settore nel proprio mercato domestico e scongiurare ritardi nel processo di decarbonizzazione.

Si guardi per esempio al bando d'asta AR5 di settembre 2023 nel Regno Unito, oppure a quello di aprile 2024 in Danimarca, entrambi andati deserti.

È importante quindi istituire un dialogo costruttivo tra gli operatori privati, le Associazioni di categoria e le Amministrazioni per trovare il giusto punto di equilibrio per i livelli di incentivi previsti, garantendo sia la possibilità di intraprendere queste iniziative infrastrutturali complesse che un costo di approvvigionamento di energia congruo per lo Stato.

Si auspica che una revisione futura del decreto porti ad ampliare i contingenti disponibili, ad aggiornare il contributo di incentivi verso livelli più congrui e a considerare il ruolo delle partnership pubblico-private per accelerare lo sviluppo di questa tecnologia.

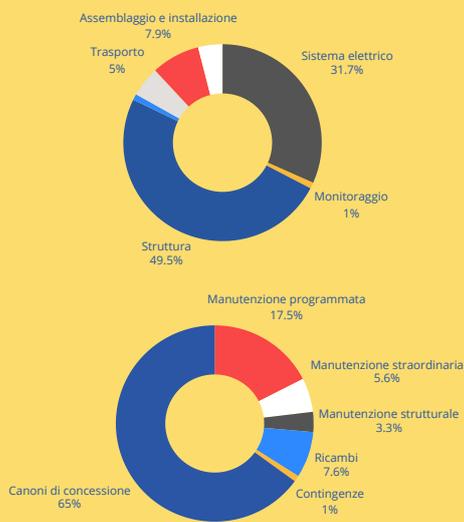


Figura 6 - Prototipo della società Solar Duck

Limiti e possibilità del fotovoltaico galleggiante offshore

Il seguente use case illustra il rendimento finanziario di un ipotetico impianto fotovoltaico galleggiante offshore di tipo stand-alone ubicato nel Centro Italia da realizzarsi nel 2030, evidenziandone i limiti e suggerendo degli aggiustamenti alle autorità per rendere l'investimento sostenibile.

Luogo geografico	Centro Italia
Tipologia impianto	Stand-alone
Orientamento pannelli	Est-Ovest
Potenza impianto	200 MW
Cavi di esportazione	Al 4x(3x630) mm ²
CAPEX	1.500.000 €/MW
OPEX	17.500 €/MW/anno
DECEX	150.000 €/MW
Irradiazione globale orizzontale	1.615 kWh/m ²
Elettricità prodotta al 1° anno	296.800 MWh
Ore equivalenti impianto	1.485 h
Area totale impianto	1,6 km ²
Inflazione annuale media	2%
Durata fase di costruzione	1 anno
Durata fase di esercizio	28 anni
Canone di concessione	4,39 €/m ² /anno
Prezzo base asta FER2	105,00 €/MWh
Prezzo aggiudicato asta FER2	102,90 €/MWh



Grafici 4 e 5 - Distribuzione delle CAPEX e OPEX

Il progetto ipotetico proposto, secondo le date caratteristiche, presenta dei ritorni non soddisfacenti:

- **Unlevered IRR < 3%**
- **Periodo di payback > 20 anni**

Oltre ai costi ancora elevati per questa tecnologia, le motivazioni sono principalmente due:

1. **Il canone di concessione ha un costo sproporzionato**, rappresentando circa il 65% delle OPEX;
2. **La tariffa prevista è troppo bassa**, inferiore persino al LCOE del progetto.

Al fine di rendere sostenibili i progetti di FPV offshore in Italia, basterebbe che le due variabili appena discusse fossero adeguate. Di seguito vi è un'analisi di **sensitivity sull'IRR di progetto** che mostra come il ritorno dell'investimento possa diventare soddisfacente. I numeri qui presentati sono puramente indicativi e a scopo esemplificativo.

		Canone concessorio		
		3,50 €/m ²	2,50 €/m ²	1,00 €/m ²
Tariffa	130 €/MWh	4%	5%	5%
	160 €/MWh	6%	6%	7%
	190 €/MWh	7%	8%	8%

I prossimi passi...

Il fotovoltaico galleggiante rappresenta una tecnologia innovativa dal significativo potenziale di sviluppo su scala globale, con particolare riferimento alle applicazioni offshore. L'interesse crescente verso questa tecnologia è attribuibile a vantaggi intrinseci quali il risparmio di suolo, la riduzione dell'evaporazione delle acque e l'aumento dell'efficienza dei pannelli fotovoltaici, favorito dal raffreddamento naturale fornito dalla superficie idrica; tuttavia, nel contesto sia globale che italiano permangono ancora una serie di criticità da superare. In primis, si rileva ancora una discreta immaturità tecnologica dal momento che non vi sono ancora soluzioni su scala pre-commerciale testate in mare.

Dal punto di vista economico, il fotovoltaico galleggiante su acque interne presenta costi di capitale (CAPEX) nettamente superiori agli impianti tradizionali a terra. Le installazioni in ambito marino sono caratterizzate da costi ancora maggiori, a causa delle condizioni ambientali avverse tipiche di tali contesti, tra cui venti intensi, elevata salinità che accelera la corrosione, e il moto ondoso che compromette la stabilità delle strutture. Queste sfide progettuali richiedono piattaforme galleggianti e pannelli accuratamente progettati per resistere a eventi meteorologici estremi, quali tifoni, onde alte e raffiche di vento violente. Senza adeguate misure tecniche, tali forze potrebbero causare danni irreparabili alle strutture, fino al rischio di ribaltamento. Anche i costi di manutenzione sono tipicamente più alti rispetto al fotovoltaico.

Alla luce di queste complessità tecnologiche e ambientali, emerge l'urgenza di un regime di incentivazione mirato, calibrato sulle specificità di una tecnologia ancora in fase di maturazione. Adottare misure di sostegno paragonabili a quelle delle tecnologie rinnovabili tradizionali, più consolidate e

meno costose, risulta infatti inadeguato. È necessario garantire incentivi dedicati, che rendano economicamente sostenibile lo sviluppo del fotovoltaico galleggiante, incoraggiando gli investimenti degli operatori del settore.

Solo attraverso un sistema di incentivi adeguato e un quadro normativo solido sarà possibile valorizzare appieno il potenziale di una tecnologia che, oltre a rivoluzionare il settore delle rinnovabili, contribuirà in maniera significativa al raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione.

Il Gruppo di Lavoro "Fotovoltaico Galleggiante Offshore" di AERO suggerisce di intraprendere le seguenti azioni.

- **L'adozione di un canone di concessione demaniale ad hoc per gli impianti fotovoltaici galleggianti ubicati nel mare territoriale**, che garantisca un costo equo date le specificità di questa tecnologia;
- **L'adeguamento della tariffa del fotovoltaico galleggiante prevista nel decreto FER2** in modo che rifletta i reali costi di investimento e di manutenzione;
- **Dimensionare correttamente il contingente** a cui sono destinati i meccanismi di aiuto rispetto a tutte le iniziative attualmente in sviluppo nei prossimi anni;
- Strumenti che garantiscano lo **sviluppo di una filiera produttiva nazionale**, con imprese specializzate nello sviluppo e nella realizzazione dei progetti, nella produzione di componenti e che brevettino nuovi design e tecnologie;
- A livello generale, la **strutturazione di un quadro regolatorio e normativo** chiaro a supporto non solo del fotovoltaico galleggiante ma di tutti gli impianti offshore.

Bibliografia

CIA (2025) 'The World Factbook'. Disponibile qui: <https://www.cia.gov/the-world-factbook/field/coastline/>

Claus, R. & López, M. (2022) 'Key issues in the design of floating photovoltaic structures for the marine environment', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 164 (May).

CREA (2025) 'Esempi di valori fondiari e canoni d'affitto per il 2023'. Disponibile qui: <https://www.crea.gov.it/web/politiche-e-bioeconomia/-/indagine-mercato-fondario>

CrossWind (2025) 'Innovations'. Disponibile qui: <https://www.crosswindhkn.nl/innovations/>

Dempster, T., & Taquet, M. (2004). Fish aggregation device (FAD) research: gaps in current knowledge and future directions for ecological studies. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 14, 21-42.

Djalab, A. et al. (2024) 'A comprehensive Review of Floating Photovoltaic Systems: Tech Advances, Marine Environmental Influences on Offshore PV Systems, and Economic Feasibility Analysis', *Solar Energy*, 277 (July).

Ghigo, A. et al. (2022) 'Design and Analysis of a Floating Photovoltaic System for Offshore Installation: The Case Study of Lampedusa', *Energies*, 15 (23).

Hasan, A. & Dincer, I. (2020) 'A new performance assessment methodology of bifacial photovoltaic solar panels for offshore applications', *Energy Conversion and Management*, 220 (May).

IRENA (2024), Renewable energy statistics 2024, *International Renewable Energy Agency*, Abu Dhabi.

Jiang, D. et al. (2021) 'Research and development in connector systems for Very Large Floating Structures', *Ocean Engineering*.

Martinez, A. & Iglesias, G. (2024) 'Floating solar photovoltaics in the Mediterranean Sea: Mapping and sensitivity analysis of the levelised cost of energy', *Journal of Cleaner Production*, 473 (2024).

Prinsloo, F. C. (2019). Development of a GIS-based decision support tool for environmental impact assessment and due-diligence analyses of planned agricultural floating solar systems. Master of Science Dissertation (Geographical Information), *University of South Africa*, 1, 1-121.

Ramanan, C.J. et al. (2024) 'Towards sustainable power generation: Recent advancements in floating photovoltaic technologies', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.

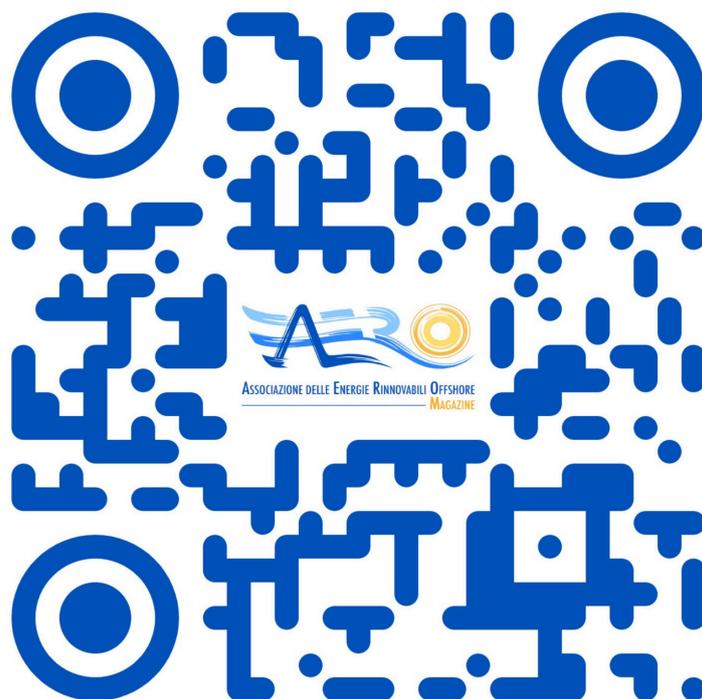
Rountree, R. A. (1989). Association of fishes with fish aggregation devices: effects of structure size on fish abundance. *Bulletin of Marine Science*, 44(2), 960-972.

Shi, W. et al. (2023) 'Review on the development of marine floating photovoltaic systems', *Ocean Engineering*.

Silalahi, D.F. & Blakers, A. (2023) 'Global Atlas of Marine Floating Solar PV Potential', *Solar*, 3(3), pp. 416–433.

The, B.C. & District, W. (2013) 'Ocean sun', pp. 2–4.

Wu, S. et al. (2024) 'Discussion on the development of offshore floating photovoltaic plants, emphasizing marine environmental protection', *Frontiers in Marine Science*, 11 (March).



Piazza Madama, 9 - 00186 Roma (RM)

C.F. 96564570586

E-mail: segreteria@assoaero.org