



Cofinanziato
dall'Unione europea



LIFE
NatConnect
2030



Analisi degli impatti diretti, indiretti e potenziali degli impianti eolici *offshore* e misure di mitigazione

Prof.ssa Silvia Bianchelli

Dipartimento Scienze della Vita e dell'Ambiente
Università Politecnica delle Marche - Ancona

9 Settembre 2026



Le turbine galleggianti portano l'eolico offshore in profondità

Perché serve un approccio ecosistemico

- Fondali >200 m; tecnicamente possibili profondità di ~900 m
- Turbine, pali, cavi e ancoraggi interessano atmosfera, colonna d'acqua e fondale
- Le evidenze sui parchi fissi costieri non sono automaticamente trasferibili



Making eco-sustainable floating offshore wind farms: Siting, mitigations, and compensations

Roberto Danovaro^{a,b,*}, Silvia Bianchelli^{a,b}, Paola Brambilla^c, Gaia Brussa^d, Cinzia Corinaldesi^{b,e}, Adriana Del Borghi^f, Antonio Dell'Anno^{a,b}, Simonetta Frascchetti^{b,g}, Silvestro Greco^h, Mario Grosso^d, Ettore Nepote^{a,b}, Lucia Rigamonti^d, Ferdinando Boeroⁱ

^a Department of Life and Environmental Science, Polytechnic University of Marche, Ancona, Italy

^b National Biodiversity Future Centre, Italy

^c BFEA, Legai, Italy

^d Department of Civil and Environmental Engineering, Politecnico di Milano, Milan, Italy

^e Department of Science and Engineering of Matter, Environment and Urban Planning, Polytechnic University of Marche, Ancona, Italy

^f Department of Civil, Chemical and Environmental Engineering - DICCA, University of Genoa, Genoa, Italy

^g Department of Biology, University of Naples Federico II, Naples, Italy

^h Stazione Zoologica Anton Dohrn, Naples, Italy

ⁱ Dohrn Foundation, Naples, Italy

ARTICLE INFO

Keywords:

Floating offshore wind farms
Environmental impact assessment
Marine mammals
Vulnerable marine ecosystems
Seabirds

ABSTRACT

Floating Offshore Wind Farms (FOWFs) are the most promising renewable energy resource. Floating turbines are installed at progressively increasing water depths, interacting with offshore and deep-sea ecosystems. Thus, specific criteria to enable a sound and accurate Environmental Impact Assessment (EIA) are required. The still limited understanding of the impacts of FOWFs, and the concerns for the conflicts in the use of maritime space (e.g., fisheries), might lead to a more precautionary approach and constrain their development. Here we describe the characteristics of the deep habitats potentially impacted and identify a set of comprehensive and standardized criteria, response variables and approaches for a reliable EIA based on an Ecosystem-based approach. These analyses will support an appropriate design and site prioritization to respect the "Do No Significant Harm" principle. Considering the wide heterogeneity among habitats and geographic regions, we examined the potential interactions of FOWFs with i) Vulnerable Marine Ecosystems; ii) critical habitats; iii) migratory routes of large marine vertebrates; iv) habitat-forming species, benthic/pelagic organisms, v) migratory routes of birds/chiropters; vi) other human uses leading to cumulative/synergistic effects and any other potential interference. We identified mitigation and compensation measures and explored the potential of wind-farm areas as "Other Effective Conservation Measures" to support sustainable fisheries and passive restoration. Adequate siting, EIA and systematic monitoring can minimize FOWFs' environmental interactions, with final negligible, or even positive effects on marine ecosystems. Standardized criteria could significantly reduce the bottlenecks in permitting while offering a strategic vision for the sustainable use of the maritime space.

1. Introduction

The ecological transition towards decarbonization calls for a shift from fossil fuels to renewable energy resources. Recent estimates indicate that up to ~50,000 wind turbines could be installed by 2050 worldwide ([1] and references therein). Among renewable energy sources, Offshore Wind Farms (OWF) represent one of the most suitable to generate "green energy" [2–5].

The development of OWFs will support the achievement of goals of the Paris Agreement, aimed at reducing by 55% the CO₂ emissions by 2030 and reaching "net zero CO₂ emission" by 2050. In addition, rigorous and fast development of new Floating Offshore Wind Farms (FOWFs) will contribute to the Sustainable Development Goals (SDGs) of the "2030 UN Agenda for Sustainable Development", especially the goal number 7, requiring the need to "ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all", and number 13 that asks "to take urgent actions to combat climate changes and its impacts" as

* Corresponding author. Department of Life and Environmental Science, Polytechnic University of Marche, Ancona, Italy.
E-mail address: r.danovaro@unipm.it (R. Danovaro).

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114386>

Received 11 May 2023; Received in revised form 7 January 2024; Accepted 24 March 2024

Available online 28 March 2024

1364-0321/© 2024 The Authors. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Non solo una turbina: un sistema tridimensionale e variabile nel tempo

Le pressioni cambiano durante il ciclo di vita



COSTRUZIONE

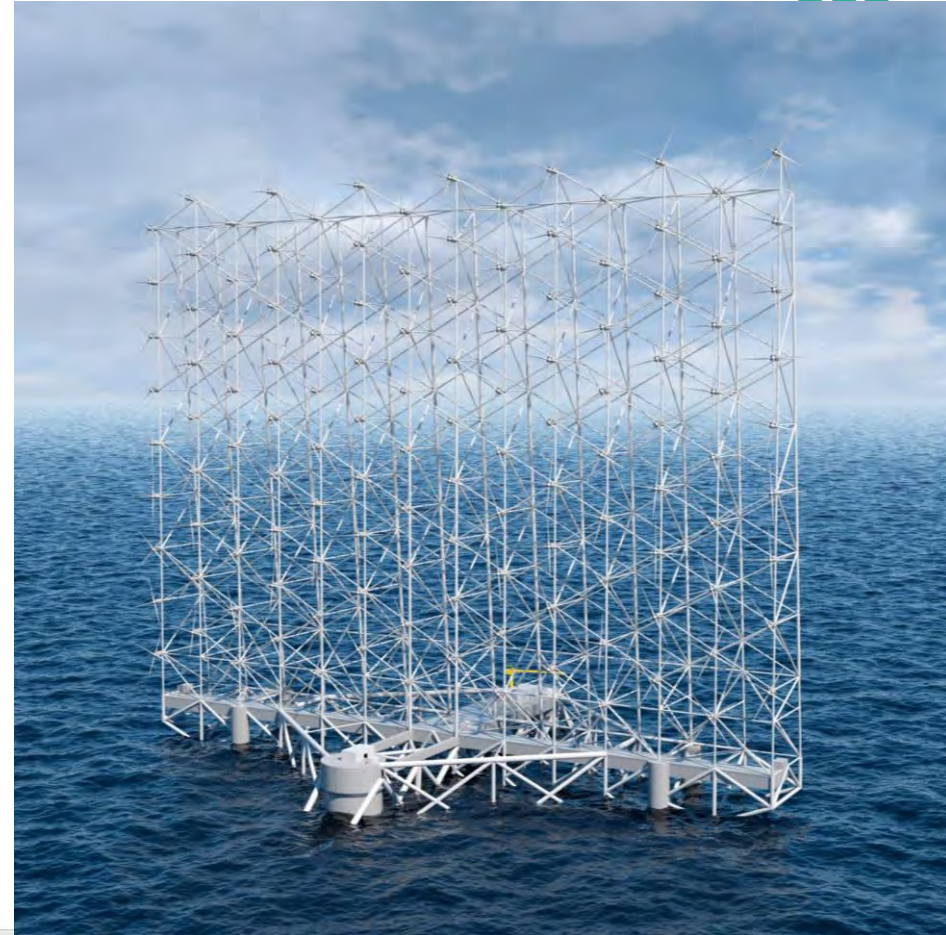
Posa di ancoraggi e cavi, traffico,
rumore, risospensione

FUNZIONAMENTO

Vibrazioni, turbolenza, campi
elettromagnetici, fouling, uso dello
spazio

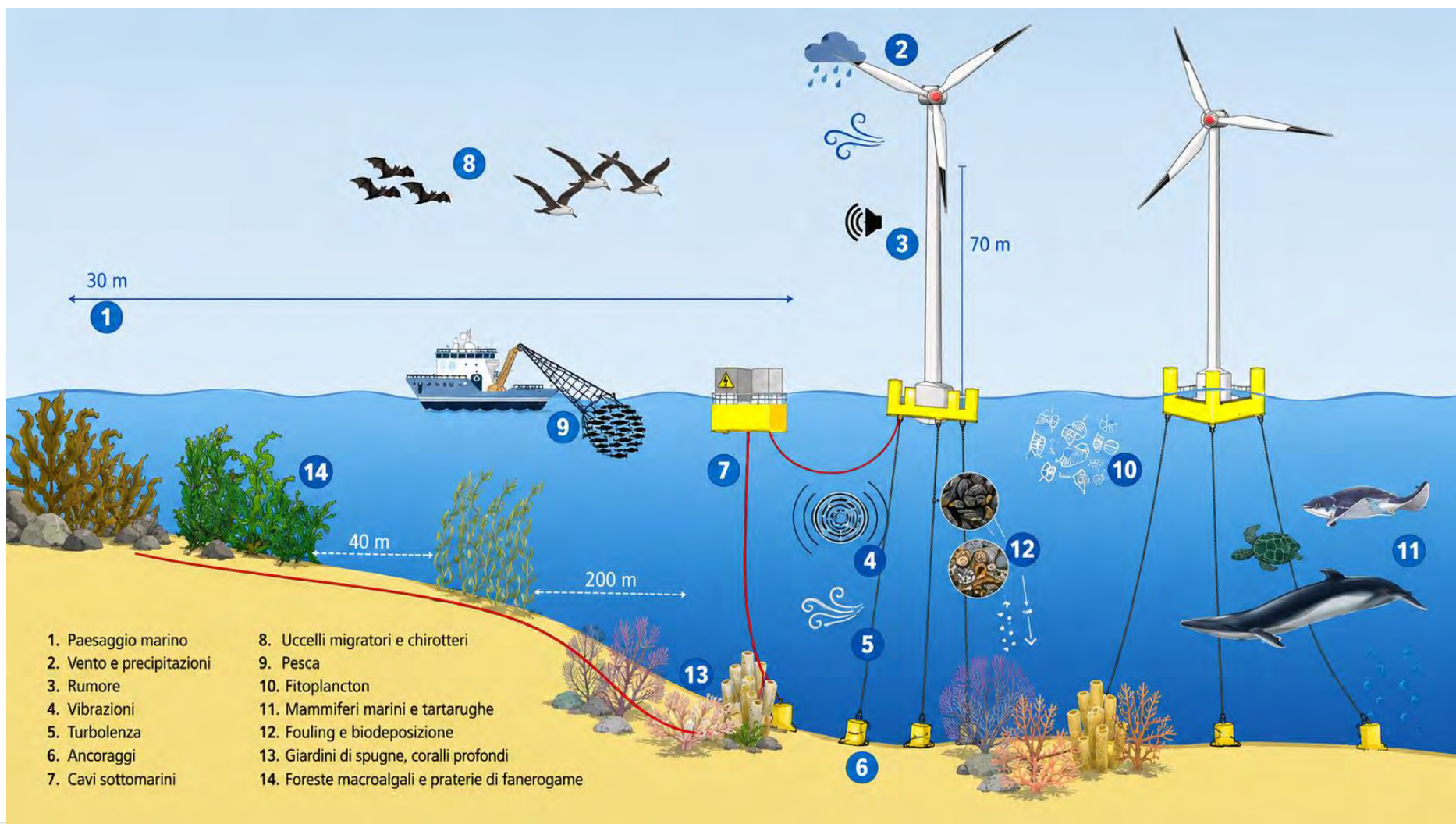
DISMISSIONE

Rimozione e nuovo disturbo; scelta fra
recupero e permanenza delle
strutture



Quattordici possibili impatti in aria, acqua e fondale

Processi fisici, componenti biologiche ed attività umane



Diretto, indiretto e potenziale: tre tipologie di impatto

Una lente operativa per leggere il rischio

DIRETTO — contatto o pressione immediata: occupazione e abrasione del fondale, rumore di installazione, collisione.

INDIRETTO — effetto mediato: risospensione, variazioni idrodinamiche, aggregazione di fauna, fouling e biodeposizione, spostamento della pesca.

POTENZIALE — meccanismo plausibile ma ancora incerto per le FOWF: campi elettromagnetici, collisioni subacquee, alterazioni trofiche ed effetti cumulativi.

**L'incertezza non equivale ad assenza di rischio:
determina intensità di precauzione e monitoraggio**

In fase di costruzione dominano gli impatti diretti e localizzati

Intensità elevata, durata spesso limitata

FONDALE

Penetrazione degli ancoraggi,
abrasione delle catene, posa o
interramento dei cavi

ACQUA

Risospensione e deposizione dei
sedimenti; torbidità lungo il tracciato

FAUNA MOBILE

Rumore e traffico navale; rischio di
disturbo o collisione



In fase di funzionamento prevalgono effetti indiretti e dipendenti dal contesto

La struttura modifica processi e distribuzioni

PROCESSI FISICI

Scie, turbolenza, stratificazione locale, rumore e vibrazioni

PROCESSI ECOLOGICI

Fouling, biodeposizione, aggregazione di pesci e possibile diffusione di specie non indigene

USO DELLO SPAZIO

Esclusione o redistribuzione della pesca, manutenzione, navigazione e nuove attività



Cofinanziato
dall'Unione europea



Il rischio cumulativo supera il confine del progetto

La VIA deve operare alla scala di area vasta

Le FOWF interagiscono con pesca, traffico marittimo, cavi e condotte, turismo, aree militari, acquacoltura, piattaforme oil & gas e altri impianti energetici.

Gli effetti possono essere additivi, sinergici o redistributivi: ad esempio, vietare la pesca dentro il parco può spostare lo sforzo verso habitat adiacenti.

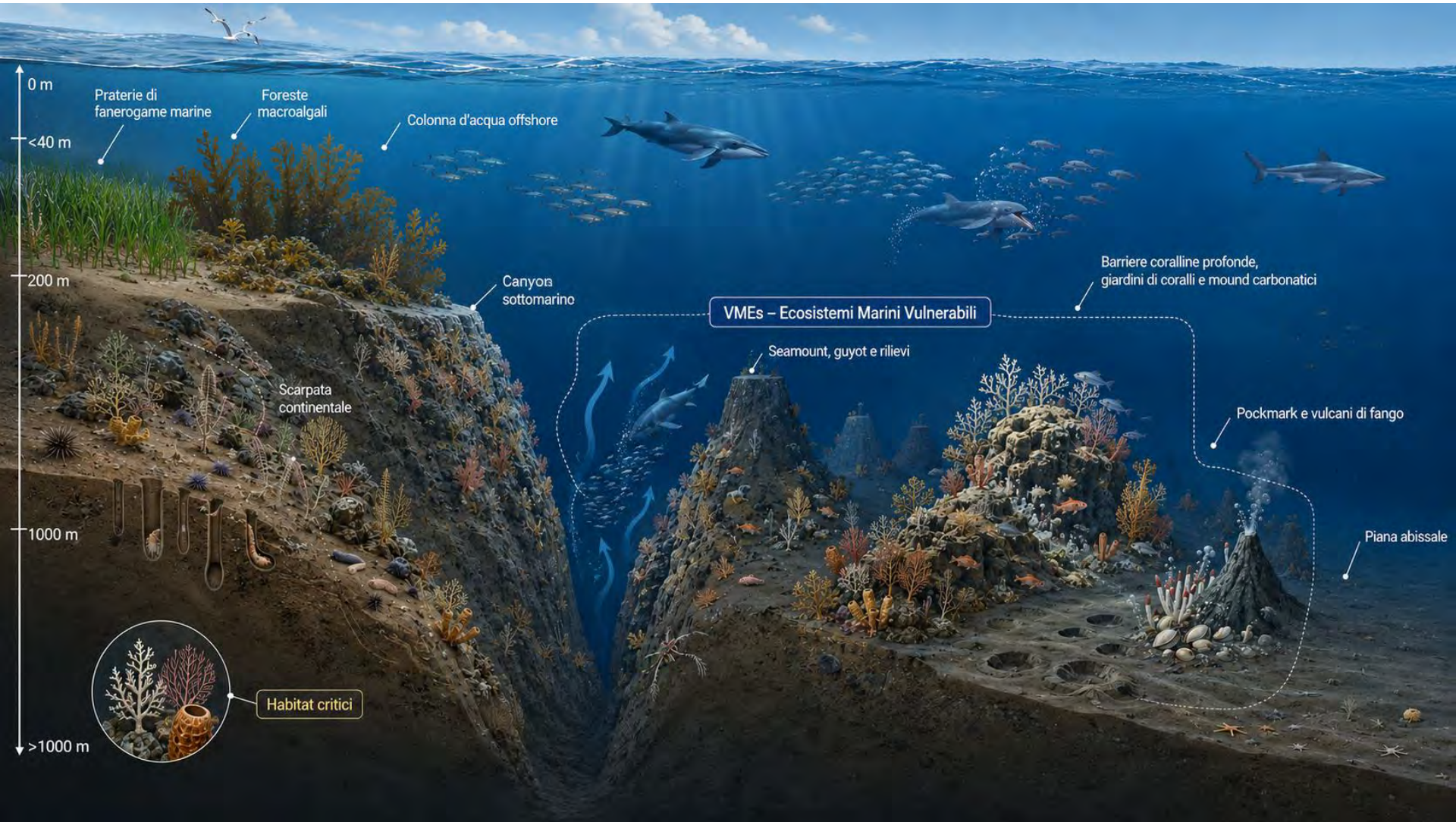
La scala corretta non è il solo poligono di progetto, ma l'intero sistema di usi e connettività ecologica.



Cofinanziato
dall'Unione europea



Setting the scene: gli ambienti marini offshore



Mediterranean Vulnerable Marine Ecosystem (VME) indicator features, habitats, and taxa

«Technical elements for the
protection of VMEs in the
GFCM area of application»

Appendix 3(A)/Annex 1

General Fisheries Commission for the
Mediterranean (GFCM) and the
Scientific Advisory Committee on
Fisheries (SAC)

(a) Mediterranean VME indicators features

The following features potentially support VMEs:

Seamounts and volcanic ridges

Canyon and trenches

Steep slopes

Submarine reliefs (slumped blocks, ridges, cobble fields, etc)

Cold seeps (pock marks, mud volcanoes, methanogenic hard bottom)

Hydrothermal vents

(b) Mediterranean VME indicator habitats

Cold water coral reefs

Coral gardens:

- Hard bottom coral gardens

- Soft bottom coral gardens

Sea pen fields

Deep sea sponge aggregations:

- "Ostur" sponge aggregations

- Hard bottom sponge gardens

- Glass sponge communities

- Soft bottom sponge gardens

Tube-dwelling anemone patches

Crinoid fields

Oyster reef and other giant bivalves

Seep and vents communities

Other dense emergent fauna

(c) Mediterranean VME indicator taxa

Cnidaria Anthozoa: Hexacorallia (Antipatharia, Scleractinia), Octocorallia, (Acyonacea, Pennatulacea) ; Ceriantharia

Hydrozoa, Hydroidolina

Porifera, (sponge) Demosponges

Porifera, Hexactinellida Amphidiscophora Hexasterophora

Bryozoa Gymnolaemata and Stenolaemata

Echinodermata Crinoidea Articulata

Mollusca bivalvia: Gryphaeidae (Neopycnodonte cochlear, N. zibrowii)

Heterodonta* (Lucinoida) (e.g., Lucinoma Kazani), Pteriomorphia* (Mytiloida) (e.g., Idas modiolaeformis)

Annellida* Polychaeta: Sedentaria (Canalipalpata) (e.g., Lamellibranchia anaximandri, Siboglinum spp.)

Arthropoda* Malacostraca, Eumalacostraca (Amphipoda)

La misura più efficace è scegliere dove costruire

Il *siting* viene prima della mitigazione

La scelta del sito ha fasi cruciali:

- 1) individuazione di aree utili in cui è disponibile l'energia eolica;
- 2) individuazione di siti in cui gli impatti devono essere esclusi, come aree protette e habitat vulnerabili (VME);
- 3) Individuazione di siti con assenza di possibili conflitti con altri usi umani dello spazio marino, come le zone di pesca e i corridoi di navigazione.



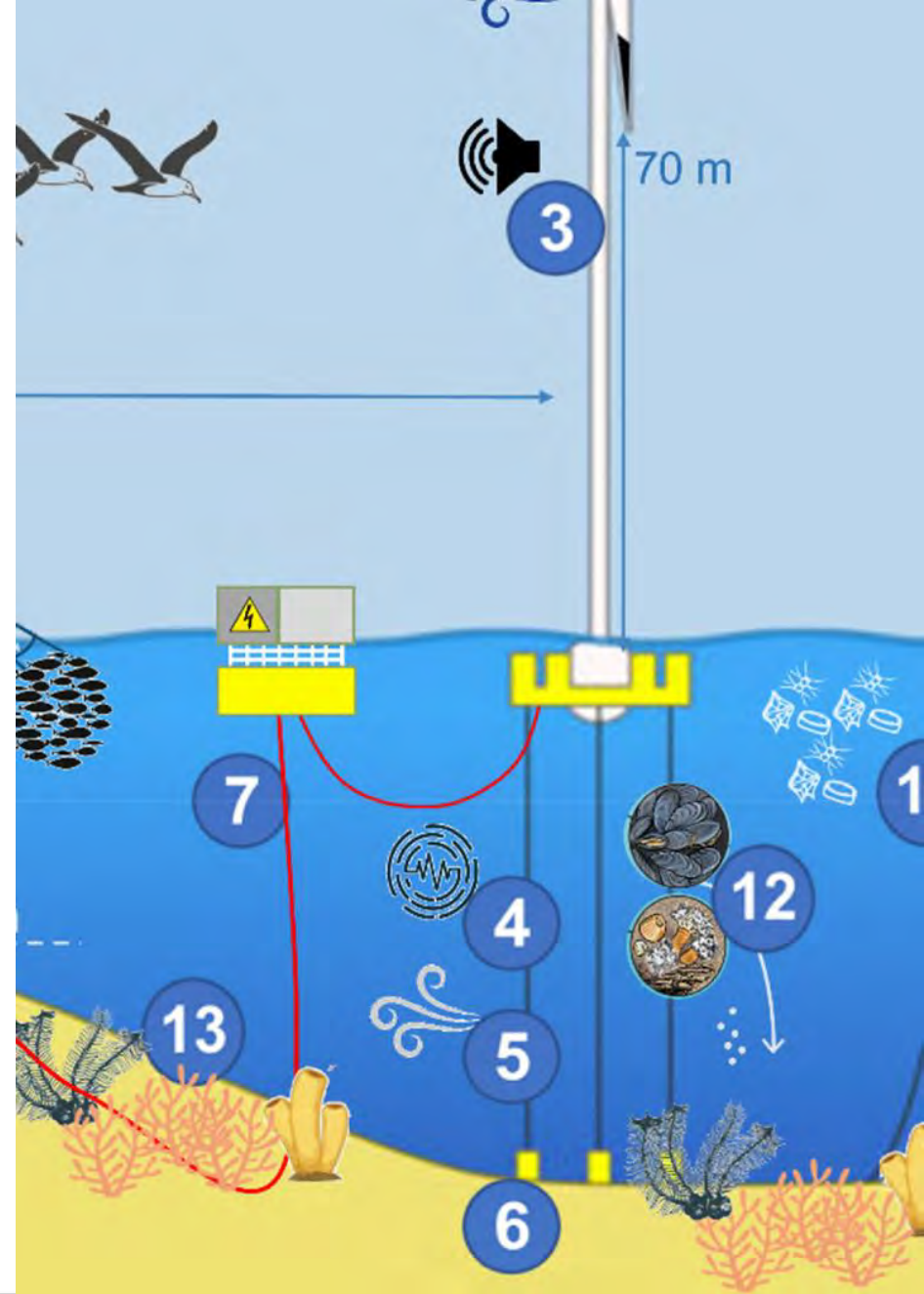
La misura più efficace è scegliere dove non costruire

Il *siting* viene prima della mitigazione

- 1) Escludere aree protette, VMEs, habitat critici e aree con specie minacciate;
- 2) Evitare canyon attivi, aree di alimentazione o riproduzione e corridoi migratori della fauna;
- 3) Integrare cartografia ad alta risoluzione, ROV/AUV e campionamenti del sedimento.



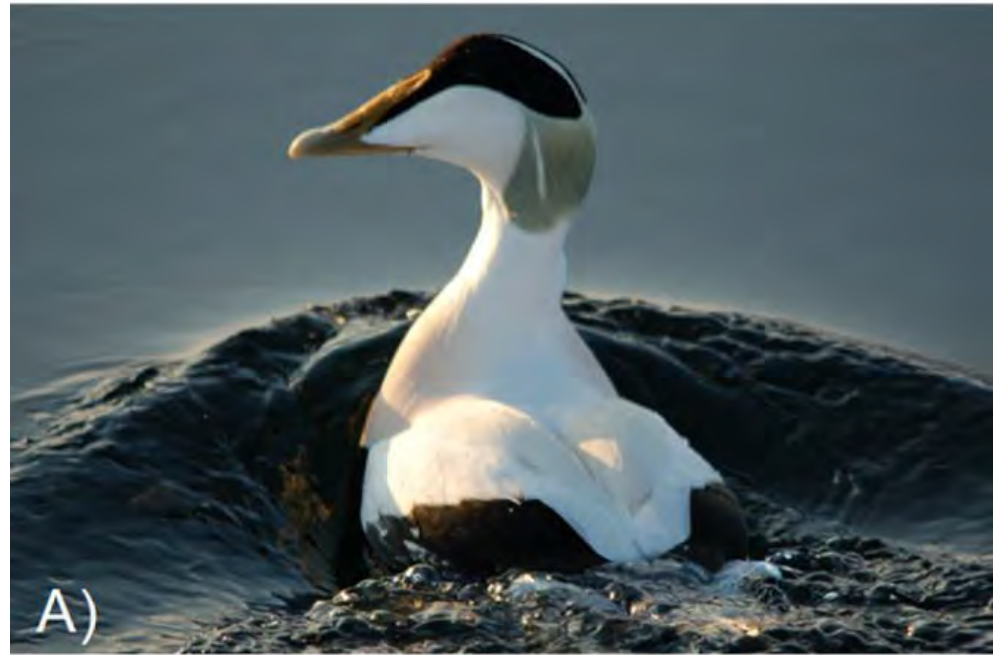
Tracciato, tecnologia e posa devono essere co-progettati



Uccelli e chiroterteri richiedono misure dinamiche

Prevenire collisione, attrazione e barriera

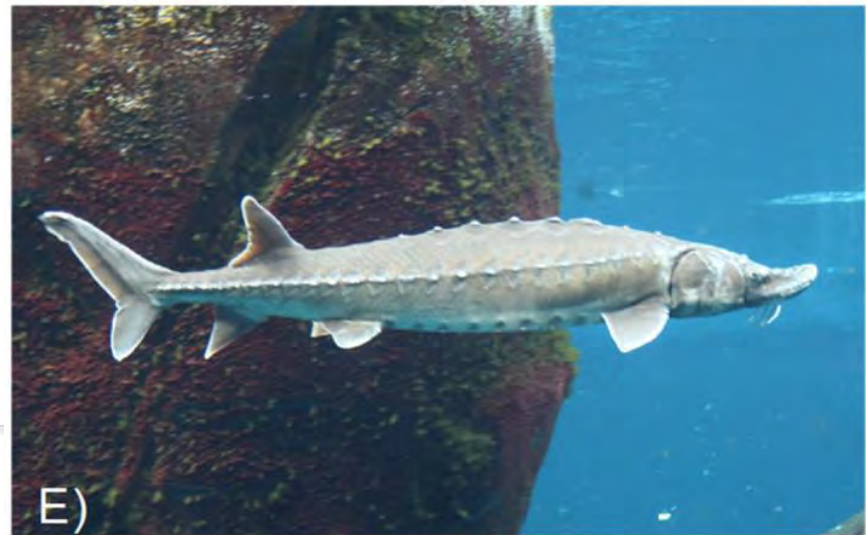
- Evitare rotte e periodi migratori sensibili
- Radar e rilevamento automatico per arresti temporanei
- Aumentare l'altezza del mozzo e rendere visibile una pala
- Deterrenti visivi o acustici adattivi; riduzione dell'illuminazione attrattiva



Per i grandi vertebrati servono sorveglianza e soglie operative

Rumore, traffico e collisioni vanno gestiti in tempo reale

- Localizzare gli impianti fuori da aree di alimentazione e riproduzione
- Velocità delle imbarcazioni <10 nodi in prossimità del parco
- Marine Mammal Observers e monitoraggio acustico passivo
- Soft start, sospensioni stagionali e corridoi tra turbine



Il monitoraggio deve verificare ipotesi e attivare risposte

Dalla fotografia occasionale all'osservazione adattativa

BASELINE — iniziare almeno 12 mesi prima dell'installazione e coprire la variabilità stagionale.

DISEGNO — BACI, Control–Impact o Before–After Gradient, con controlli multipli e scala di area vasta.

FREQUENZA — almeno stagionale; intensificare lo sforzo quando emerge un segnale e collegare soglie a misure correttive.

COMPONENTI — biodiversità, non-indigenous species (aliens), processi ecosistemici, rumore, sedimenti, fauna migratrice e attività umane.

Compensare gli impatti residui con interventi ecologici

Compensare non significa monetizzare il danno

- Protezione del sito per favorire il recupero naturale
- Ripristino di praterie, foreste algali, coralli profondi e sponge grounds
- Substrati artificiali, nursery e trapianto di organismi coloniali
- Rimozione di rifiuti e ghost nets; restocking solo con obiettivi e controlli espliciti



Un parco eolico ben gestito può offrire benefici, ma non automaticamente

Other Effective Conservation Measures (OECM) e restauro passivo sono da dimostrare caso per caso

PROTEZIONE INDIRETTA

L'esclusione di attività impattanti può favorire recupero e *spillover*

NUOVI HABITAT

Ancoraggi e strutture possono ospitare specie, incluse forme vulnerabili

CONDIZIONI

Obiettivi di conservazione, governance, efficacia misurata e assenza di trasferimento degli impatti



Cofinanziato
dall'Unione europea



Condizioni che rendono le FOWF eco-sostenibili

La tecnologia da sola non garantisce il risultato ambientale

- 1 SITING basato su habitat, connettività e specie sensibili
- 2 MITIGAZIONE progettata per l'intero ciclo di vita
- 3 MONITORAGGIO standardizzato, a lungo termine e adattativo
- 4 COMPENSAZIONE pronta per impatti residui o accidentali





Cofinanziato
dall'Unione europea



LIFE
NatConnect
2030



Grazie per l'attenzione

Prof.ssa Silvia Bianchelli

Dipartimento Scienze della Vita e dell'Ambiente
Università Politecnica delle Marche – Ancona
silvia.bianchelli@univpm.it

