

Progetto Definitivo

PARCO EOLICO OFFSHORE AL LARGO DELLE COSTE DI CIVITAVECCHIA



BIOFOU

C0123YR00BIOFOU00a

TYRRHENIAN WIND ENERGY

Ministero dell'Ambiente
e della Sicurezza Energetica

Ministero della Cultura

Ministero delle Infrastrutture
e dei Trasporti

*Procedura di Valutazione di Impatto Ambientale
ex D.lgs. 152/2006*

*Domanda di Autorizzazione Unica
ex D.lgs. 387/ 2003*

*Domanda di Concessione Demaniale Marittima
ex R.D. 327/1942*

Relazione tecnica **BIOFOULING SULLE STRUTTURE SOMMERSE**

Progetto
Dott. Ing. Luigi Severini
Ord. Ing. Prov. TA n.776

Elaborazioni
iLStudio.
Engineering & Consulting **Studio**



00	Luglio 2023	Emesso per approvazione		
Rev. Est.	Data emissione	Descrizione		Cod. Ela.

Cod.:

C	0	1	2	3	Y	R	0	0	B	I	O	F	O	U	0	0	a
Tipo	Num. Com.	Anno	Cod. Set.	Tip. Ela.	Prog. Ela.	Descrizione elaborato						Rev. Est.	Rev. Int.				

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE E SCOPO DEL DOCUMENTO	1
2. DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO	3
3. CARATTERISTICHE DEL BIOFOULING	4
3.1. Processo di sviluppo.....	5
3.1.1. Fattori che influenzano il processo di sviluppo.....	10
Influenza della temperatura dell'acqua.....	10
Influenza della profondità e illuminamento.....	11
Influenza delle correnti e della distanza delle coste.....	11
Influenza del materiale del substrato.....	11
Influenza della forma e della bagnabilità del substrato.....	11
Influenza del colore del substrato.....	11
3.2. Effetti del biofouling sulle strutture sommerse.....	12
3.3. Il database europeo del biofouling.....	13
3.4. Il biofouling nelle acque italiane.....	15
3.4.1. Marine growth su una struttura offshore galleggiante.....	16
3.4.1. Marine growth su una struttura offshore fissa.....	20
4. STRATEGIE DI GESTIONE DEL BIOFOULING	27
4.1. Indicazioni delle linee guida di settore	27
4.2. Prevenzione del biofouling	28
4.3. Manutenzione del biofouling.....	29
5. CONCLUSIONI.....	31

PARCO EOLICO OFFSHORE AL LARGO DELLE COSTE DI CIVITAVECCHIA PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica – Biofouling sulle strutture sommerse		
Codice documento: C0123YR00BIOFOU00a	Data emissione: Luglio 2023	Pagina II di III

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.1 – Sezione di catenaria post manutenzione e sezione di catenaria colonizzata da biofouling.....	6
Figura 2.1 – Schema concettuale dell’impianto.....	7
Figura 3.1 – Successione biologica.....	9

INDICE DELLE VOCI

DNV-GL	Det Norske Veritas
Iac	Inter-array cable
IAN-CNR	Istituto per l'Automazione Navale del Consiglio Nazionale delle Ricerche
ISO	International Organization for Standardization
MIC	Microbiologically Influenced Corrosion
MRE	Marine Renewable Energies
NIS	Non Indigenous Species
ODAS	Oceanographic Data Acquisition System
OFEC	Offshore export cable
Onec66	Onshore export cable
Onec380	Onshore export cable
OTS	Biologi Operatori Tecnici Subacquei
OWF	Offshore Wind Farm
ROV	Remotely Operated Vehicle
SHM	<i>Structural Health Monitoring</i>
TBT	Tributilina
TJB	Transition Junction Bay
WoRMS	World Record of Marine Species
WTG	Wind Turbine Generator

1. INTRODUZIONE E SCOPO DEL DOCUMENTO

Le opere installate in mare divengono, in tempi più o meno brevi, oggetto di colonizzazione da parte di organismi marini (ISMAR-CNR, 2012).

L'accrescimento biocenotico, in inglese *biofouling* o *marine growth*, è una tematica di ricerca considerata da oltre 60 anni in diversi settori dalla nautica alle opere portuali e costiere fino all'Oil&Gas. Anche le strutture eoliche offshore non sono esenti dall'aggressione dei microrganismi e, con l'evolversi delle tecnologie e la sempre maggiore attenzione alle tematiche ambientali, climatiche e dell'inquinamento, le attuali nozioni sono solo il punto di partenza per i futuri sviluppi scientifici ed industriali.

Dal punto di vista normativo esistono diversi standard, linee guida e legislazioni a livello internazionale circa la determinazione, il controllo, il trattamento e lo smaltimento dell'accrescimento biocenotico sulle strutture installate a mare. Attualmente si fa riferimento alla documentazione fornita dal Det Norske Veritas (DNV). Tali documenti sono spesso basati su dati raccolti nei mari del nord Europa e pertanto non direttamente rappresentativi per località o regioni in altre aree del mondo; pochi riferimenti si occupano specificamente del settore delle energie rinnovabili marine.

La conoscenza dei parametri di crescita marina è un aspetto importante della progettazione e il dimensionamento delle strutture sommerse e/o semi-sommerse; tale accrescimento modifica infatti le condizioni di carico delle strutture incrementando le masse e le azioni dinamiche di trascinamento sotto l'azione delle correnti e delle onde. In generale, la valutazione del peso aggiunto, della densità e della rugosità associata alla massa di biofouling sono evidenziati come importanti elementi di supporto al processo decisionale ingegneristico.

L'incremento di peso determinato dal biofouling dipende, ad esempio, dal volume e dalle proporzioni relative delle specie appartenenti all'*hard-fouling* (cirripedi, cozze e vermi tubicoli) e al *soft-fouling* (alghe non calcaree, anemoni, spugne, tunicati e idroidi). Lo spessore della crescita marina è correlato alla superficie aggredibile e all'esposizione dei componenti ed è influenzato dalla composizione delle specie e dai tassi di crescita, che a loro volta sono influenzati dalle caratteristiche ambientali specifiche del luogo. Il calcolo del diametro effettivo dei componenti strutturali, soggetti alle azioni dinamiche di trascinamento, dipende dalla valutazione dell'accrescimento.

Il biofouling è un fenomeno complesso che coinvolge diverse specie marine, le quali costituiscono comunità la cui dinamica è guidata da processi fisici e biologici.

Il lavoro di (Vinagre, et al., 2020) fornisce un importante riferimento conoscitivo, ovvero un database europeo sul biofouling creato a sostegno del settore delle *Marine Renewable Energies* (MRE) e di altre industrie marittime. Tale mappatura è stata ottenuta nell'ambito del progetto europeo OCEANIC (<http://oceanic-project.eu>), allo scopo di sviluppare, per il settore MRE, un sistema di protezione di lunga durata (>10 anni) che fosse sostenibile sia dal punto di vista economico che ambientale. Questa raccolta di informazioni include dati quantitativi e qualitativi sulle specie appartenenti all'hard e soft-fouling (cirripedi, mitili, anellidi policheti, briozoi ed alghe), sui parametri che giocano un ruolo chiave nei confronti del biofouling (spessore e peso) ed infine dati relativi alle condizioni dell'acqua e dell'altezza delle onde per i siti considerati. È possibile quindi sfruttare la raccolta dei dati per prevedere ulteriormente l'eventuale sviluppo di specie alloctone, la diffusione di agenti patogeni e parassiti e i relativi piani di gestione. Nel lavoro di Glasby (Glasby, et al., 2007) è evidente come le specie non indigene fossero presenti più frequentemente sulle strutture artificiali rispetto a quelle rocciose naturali adiacenti, in quanto le prime rappresentano una nicchia vuota in cui estendere la loro distribuzione.

Attraverso una analisi bibliografica, in relazione alle esperienze in altri settori dell'industria marina, sulla base anche delle conoscenze maturate dal proponente, il presente documento mira quindi a fornire un primo inquadramento del fenomeno al fine di delineare misure di mitigazione o eliminazione degli impatti associati al biofouling sia per aspetti puramente tecnici inerenti il dimensionamento delle strutture offshore (es. l'eccesso di carico, l'occlusione di passaggi tecnologici, l'aumento del coefficiente di resistenza idrodinamica o la

protezione dalla corrosione) sia per quanto strettamente attinente gli effetti sull'ambiente marino. Sono altresì proposte soluzioni tecniche per la gestione dell'accrescimento sia in fase di progettazione (applicazione di coatings inibitori) sia in fase di manutenzione.



Figura 1.1 – Sezione di catenaria post manutenzione e sezione di catenaria colonizzata da biofouling.

2. DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO

L'impianto di produzione eolica, a realizzarsi nel Mar Tirreno nel settore geografico sud-ovest delle coste di Civitavecchia, a oltre 20 km dalle più vicine coste laziali, garantirà una potenza nominale massima pari a 504 MW attraverso l'utilizzo di 28 aerogeneratori sostenuti da innovative fondazioni galleggianti.

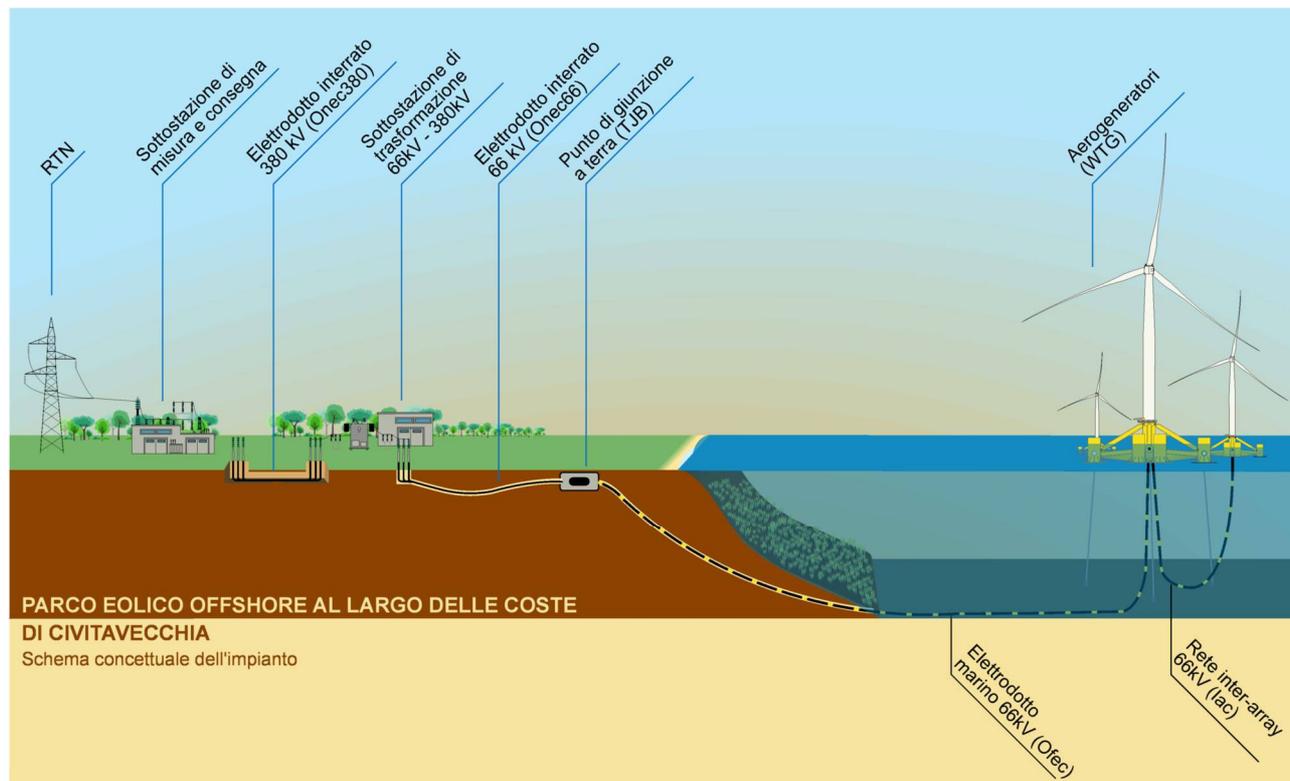


Figura 2.1 – Schema concettuale dell'impianto.

Elaborazione iLStudio.

L'impiego di questi sistemi consente l'installazione in aree marine profonde e molto distanti dalle coste, dove i venti sono più intensi e costanti e la percezione visiva dalla terraferma è estremamente ridotta, mitigando così gli impatti legati alle alterazioni del paesaggio tipici degli impianti realizzati sulla terraferma o in prossimità delle coste. La collocazione del parco, frutto di una approfondita conoscenza delle caratteristiche del sito, armonizza le risultanze di studi e consultazioni finalizzati alla migliore integrazione delle opere all'interno del contesto naturale e antropico pre-esistente.

L'opera in oggetto, nella sua completezza, si sviluppa secondo una componente a mare (sezione offshore), dedicata prevalentemente alla produzione di energia, ed una a terra (sezione onshore) destinata al suo trasporto e immissione nella rete elettrica nazionale.

Ciascun aerogeneratore (*Wind Turbine Generator – WTG*) sarà costituito da un rotore tripala con diametro fino a 255 m calettato su torre ad una quota sul livello medio mare fino a 165 m. L'energia elettrica prodotta dalle turbine alla tensione di 66 kV sarà collettata attraverso una rete di cavi marini inter-array (*Inter-array cable - Iac*) e convogliata verso la terraferma attraverso un sistema di 6 cavi marini tripolari di esportazione (*Offshore export cable - Ofec*) a 66 kV, con approdo in TOC a circa 200 m oltre la linea di costa in un punto di giunzione a terra (*Transition Junction Bay - TJB*). Da qui, previo collegamento a 66 kV (*Onshore export cable – Onec66*), l'energia sarà trasportata presso una sottostazione elettrica di trasformazione prossima al punto di giunzione, ove sarà effettuata l'elevazione della tensione nominale da 66 kV a 380 kV. Un nuovo elettrodotto interrato di esportazione a 380 kV (*Onshore export cable – Onec380*), permetterà quindi il collegamento alla nuova sottostazione di misure e consegna in prossimità della esistente stazione elettrica RTN TERNA "Aurelia" per la definitiva connessione alla Rete Nazionale.

3. CARATTERISTICHE DEL BIOFOULING

Biofouling, marine growth, incrostazione marina (o bio-incrostazione) sono i termini tecnici con il quale si indica la colonizzazione di strutture da parte di organismi marini che provengono dalla colonna d'acqua e determinano l'incrostazione e la copertura delle superfici degli oggetti temporaneamente o permanentemente sommersi in ambiente acquatico e marino, anche a scarso idrodinamismo ed elevata concentrazione di nutrienti. Tale colonizzazione, ad opera di organismi viventi (unicellulari e pluricellulari), sia animali che vegetali o di altre sostanze non viventi organiche e inorganiche è composta da una varietà di specie a seconda della posizione, della profondità e della configurazione della struttura. Il fenomeno è più evidente nelle zone temperate, nelle acque poco profonde in prossimità della costa e nei pressi dei bacini portuali, in cui è presente un'elevata quantità di nutrienti (Cao, et al., 2011) (Richmond & Seed, 1991).

La tendenza degli organismi a colonizzare una struttura sommersa dipende dal luogo di immersione e dalla loro abilità nell'insediarsi e accrescersi (Relini, 1977). Inoltre le comunità, in relazione alla profondità e alla stagionalità, si differenziano sia dal punto di vista quantitativo che qualitativo.

Il fattore limitante è rappresentato dalla presenza di substrati duri in quanto importanti per l'insediamento degli organismi meroplanctonici (ossia quegli organismi che svolgono una parte del loro ciclo vitale nella colonna d'acqua per poi divenire bentonici o nectonici da adulti). Pertanto il substrato è necessario per gli organismi sessili per poter captare particelle di cibo o per i vegetali per effettuare la fotosintesi. È emerso anche da alcuni studi che sia il colore della superficie che l'ombreggiatura sono fattori che possono incidere nel processo di colonizzazione degli invertebrati. Considerando i punti di vista di diversi autori, Thorson (1964) ritiene ragionevole presumere che superfici scure contrastanti con il mezzo circostante tendano ad attirare le larve di animali intertidali (Richmond & Seed, 1991).

Il progetto del parco eolico offshore galleggiante, comprendendo installazioni a mare, sarà sicuramente interessato dalla presenza di accrescimento biocenotico sulla superficie immersa delle fondazioni, sulle linee di ormeggio e sulle sezioni di cavo non interrato o protetto da sovrastrutture.

Una conseguenza della presenza delle OWF (Offshore Wind Farm) è infatti quella di fornire due tipologie di habitat: substrati duri artificiali e substrati orizzontali. Sulle fondazioni delle turbine si determina infatti una zonazione verticale, che consiste in una comunità dominata da mitili, cirripedi e macroalghe vicino alla superficie, principalmente artropodi filtratori a profondità intermedie e anemoni a profondità maggiori (De Mesel, et al., 2015).

Se da un lato l'attecchimento di nuove colonie biologiche può determinare un positivo incremento della disponibilità trofica della colonna d'acqua e un effetto di ripopolamento con conseguente incremento di biodiversità, dall'altro, per quanto concerne gli effetti economici sulle MRE, è richiesta una maggiore attenzione sia in fase di dimensionamento delle strutture che durante la loro successiva gestione. La corrosione, ad esempio, può essere indotta e/o accelerata da microrganismi marini anaerobici attraverso la cosiddetta corrosione influenzata microbiologicamente (MIC - *Microbiologically Influenced Corrosion*).

La biocolonizzazione è, come detto, un processo dinamico in continua evoluzione; si parla in generale di *sviluppo o successione biologica*, ovvero "il processo mediante il quale i primi colonizzatori di un sito disturbato (o di una superficie appena esposta), modificano l'ambiente in modo tale che diventi adatto per l'insediamento di coloni successivi" (Clements, 1916).

I fattori che influenzano la quantità e il tipo di incrostazione marina sono numerosi e tra di essi vi sono la salinità, la temperatura, la profondità, la velocità della corrente e l'esposizione alle onde, oltre a fattori biologici come la disponibilità di cibo, l'approvvigionamento larvale, la presenza di predatori e la biologia e fisiologia generali delle specie incrostanti.



Figura 3.1 – Successione biologica.

In alto di solo *Mytilus edulis*, in basso un ecosistema più variegato.

I contenuti utili al pubblico per la Valutazione di Impatto Ambientale (art. 24 D.lgs. 152/2006) sono riportati nello Studio di Impatto Ambientale, cod. C0123YR00RELSIA00.

4. STRATEGIE DI GESTIONE DEL BIOFOULING

I contenuti utili al pubblico per la Valutazione di Impatto Ambientale (art. 24 D.lgs. 152/2006) sono riportati nello Studio di Impatto Ambientale, cod. C0123YR00RELSIA00.

PARCO EOLICO OFFSHORE AL LARGO DELLE COSTE DI CIVITAVECCHIA PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica – Biofouling sulle strutture sommerse		
Codice documento: C0123YR00BIOFOU00a	Data emissione: Luglio 2023	Pagina 7 di 9

5. CONCLUSIONI

L'accrescimento biologico sulle superfici sommerse, noto come biofouling, è uno dei parametri importanti da considerare per il dimensionamento e la gestione di strutture offshore galleggianti. La modellazione dell'accrescimento permette, in fase di progettazione, di sviluppare oltre alla corretta valutazione dei carichi, un idoneo dimensionamento del coating di protezione per evitare o ritardare i fenomeni di corrosione indotti dalla biocolonizzazione. La natura casuale del biofouling e l'incertezza inerente ai processi biologici rendono molto complicata la modellazione del carico ambientale. La densità della bio-colonizzazione e le masse vengono normalizzate per una più facile e cautelativa calcolo.

L'aumento di massa, genera una riduzione del galleggiamento, un aumento dei carichi sugli ormeggi e una maggiore resistenza delle strutture al moto ondoso e correnti.

La valutazione degli effetti sul peso e sulla densità del biofouling è quindi evidenziata come informazione chiave, necessaria come supporto per il processo decisionale ingegneristico; allo stato attuale le linee guida internazionali, basate su condizioni tipiche dei mari del nord, risultano essere cautelative per le applicazioni nel Mar Mediterraneo.

Dato il tipo di strutture e dimensionamenti, le forze addizionali collegate all'accrescimento biocenotico determinano contributi normalmente trascurabili. Le condizioni di esercizio saranno comunque monitorate al fine di garantire la corretta funzionalità di tutti i componenti.

RIFERIMENTI

Cao, S., Wang, J., Chen, H. & Chen, D., 2011. Progress of marine biofouling and antifouling technologies. *Chinese Science Bulletin*, 56(7), pp. 598-612.

Clements, F. E., 1916. Plant Succession: Analysis of the Development of Vegetation.. *Carnegie Institution of Washington Publication Sciences*, Volume 242, pp. 1-512.

De Mesel, I. F., Kerckhof, A., Norro, B. & Degraer, S., 2015. Succession and seasonal dynamics of the epifauna community on offshore wind farm foundations and their role as stepping stones for non-indigenous species.. *Hydrobiologia*, 756(37), pp. 37-50.

ISMAR-CNR, 2012. *Bifouling e Antifouling (nuovi approcci per lo sviluppo di tecnologie sostenibili)*, s.l.: s.n.

Relini, G., 1977. Le metodologie per lo studio del fouling nell'indagine di alcuni ecosistemi marini. *Boll. Zool*, Volume 44, pp. 97-112.

Richmond, M. D. & Seed, R., 1991. A review of marine macrofouling communities with special reference to animal fouling. *Biofouling*, Volume 3, pp. 151-168.

Vinagre, P. A. et al., 2020. Marine Biofouling: A European Database for the Marine Renewable Energy Sector. *Journal of Marine Science and Engineering*, Volume 8, p. 495.

PARCO EOLICO OFFSHORE AL LARGO DELLE COSTE DI CIVITAVECCHIA PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica – Biofouling sulle strutture sommerse		
Codice documento: C0123YR00BIOFOU00a	Data emissione: Luglio 2023	Pagina 9 di 9

Il presente documento, composto da n. 41 fogli è protetto dalle leggi nazionali e comunitarie in tema di proprietà intellettuali delle opere professionali e non può essere riprodotto o copiato senza specifica autorizzazione del Progettista.

Taranto, Luglio 2023

Dott. Ing. Luigi Severini