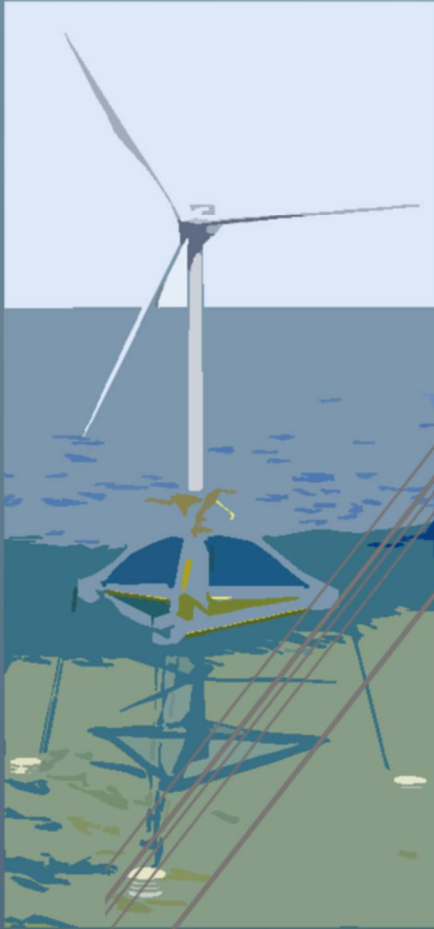




Ichnusa wind power srl

Progetto Definitivo

**PARCO EOLICO FLOTTANTE  
NEL MARE DI SARDEGNA  
SUD OCCIDENTALE**



**YR26**

C0421YR26BIOFOU00g

**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	Marzo 2023	Emesso per approvazione		
REV	DATA	DESCRIZIONE	DESIGNER	PLANNER

Codice:

C	0	4	2	1	Y	R	0	2	6	B	I	O	F	O	U	0	0	g
NUM.COMM.		ANNO		COD.SET	NUM.ELAB.			DESCRIZIONE ELABORATO						REV.	R.I.			



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica – Biofouling sulle strutture sommerse**

Codice documento:  
**C0421YR26BIOFOU00g**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**I di IV**

## SOMMARIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUZIONE E SCOPO DEL DOCUMENTO.....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO.....</b>	<b>3</b>
<b>3.</b>	<b>CARATTERISTICHE DEL BIOFOULING .....</b>	<b>5</b>
3.1.	Processo di sviluppo.....	6
3.1.1.	Fattori che influenzano il processo di sviluppo.....	9
3.2.	Effetti del biofouling sulle strutture sommerse .....	11
3.3.	Il database europeo del biofouling .....	12
3.4.	Il biofouling nelle acque italiane .....	15
3.4.1.	Marine growth su una struttura offshore galleggiante .....	15
3.4.2.	Marine growth su una struttura offshore fissa .....	19
<b>4.</b>	<b>STRATEGIE DI GESTIONE DEL BIOFOULING .....</b>	<b>27</b>
4.1.	Indicazioni delle linee guida di settore.....	27
4.2.	Prevenzione del biofouling .....	28
4.3.	Manutenzione del biofouling.....	30
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>32</b>
<b>6.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>33</b>



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica – Biofouling sulle strutture sommerse**

Codice documento:  
**C0421YR26BIOFOU00g**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**II di IV**

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.1 – Sezione di catenaria post manutenzione e sezione di catenaria colonizzata da biofouling.....	2
Figura 2.1 – Schema concettuale dell'impianto.....	3
Figura 3.1 – Successione biologica.....	6
Figura 3.2 – Diagramma schematico delle fasi di bio-colonizzazione e dei loro parametri di influenza.....	7
Figura 3.3 – Processo di colonizzazione: distinzione in tre fasi (Illustrazioni di Hendrik Gheerardyn).....	7
Figura 3.4 – Modello di successione. ....	8
Figura 3.5 – Esempi di biofouling su elementi sommersi.....	9
Figura 3.6 – Colonizzazione da parte di giovani mitili.....	12
Figura 3.7 – Panoramica dei siti trattati nella database europeo del biofouling. ....	13
Figura 3.8 – Parte sottomarina della boa ODAS Italia 1.....	15
Figura 3.9 – Biocolonizzazione sulla faccia inferiore del disco di smorzamento. ....	16
Figura 3.10 – Struttura portapannelli fissata al corpo della boa e pannello immerso per 51 mesi a -33 m.....	16
Figura 3.11 – Variazione del numero di specie nell'intervallo di tempo (periodo complessivo di 40 mesi).....	17
Figura 3.12 – Risultati della boa ODAS Italia 1. ....	18
Figura 3.13 – Colonizzazione di <i>Mytilus edulis</i> su cime di ormeggio a differenti profondità.....	19
Figura 3.14 – Modello di densità del biofouling. ....	21
Figura 3.15 – Accrescimento dell'hard e soft-fouling sulla piattaforma Perla (2011).....	23
Figura 3.16 – Accrescimento dell'hard e soft-fouling sulla piattaforma Prezioso (2021).....	25
Figura 4.1 – Fonti di immissione e meccanismi di distribuzione dei composti organostannici.....	29
Figura 4.2 – ROV equipaggiato con spazzole morbide. ....	30
Figura 4.3 – Coramella in polietilene ad alta resistenza (HMPE).....	31



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting **Studio**

<b>PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE</b> PROGETTO DEFINITIVO		
<b>Relazione tecnica – Biofouling sulle strutture sommerse</b>		
Codice documento: <b>C0421YR26BIOFOU00g</b>	Data emissione: <b>Marzo 2023</b>	Pagina <b>III di IV</b>

## INDICE DELLE TABELLE

---

Tabella 3.1 – Alcuni esempi di organismi appartenenti al micro e macro-fouling.....	8
Tabella 3.2 – Panoramica dell'origine dei dati utilizzati per generare la banca dati di biofouling.....	13
Tabella 3.3 – Sintesi dei dati di fouling su strutture offshore fisse nei mari italiani. ....	20
Tabella 3.4 – Riepilogo della crescita della biomassa in kg/m <sup>2</sup> misurata su corpi galleggianti e su strutture offshore fisse.....	20
Tabella 3.5 – Risultati del modello di densità.....	21
Tabella 3.6 – Riepilogo della crescita della biomassa in kg/m <sup>2</sup> misurata su corpi galleggianti e su strutture offshore fisse.....	21
Tabella 3.7 – Misura dell'accrescimento marino, piattaforma Perla.....	23
Tabella 3.8 – Misura dell'accrescimento marino – Piattaforma Perla.....	24
Tabella 3.9 – Misura dell'accrescimento marino – Piattaforma Prezioso.....	24



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica – Biofouling sulle strutture sommerse**

Codice documento:  
**C0421YR26BIOFOU00g**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**IV di IV**

## INDICE DELLE VOCI

---

<b>BIS</b>	British Standards Institute
<b>DNV-GL</b>	Det Norske Veritas
<b>IAN-CNR</b>	Istituto per l'Automazione Navale del Consiglio Nazionale delle Ricerche
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization
<b>FOS</b>	Floating Offshore Substation
<b>MIC</b>	Microbiologically Influenced Corrosion
<b>MRE</b>	Marine Renewable Energies
<b>NIS</b>	Non Indigenous Species
<b>ODAS</b>	Oceanographic Data Acquisition System
<b>Ofec</b>	Offshore export cable
<b>Oncc</b>	Onshore connection cable
<b>Onec</b>	Onshore export cable
<b>OTS</b>	Biologi Operatori Tecnici Subacquei
<b>ROV</b>	Remotely Operated Vehicle
<b>SHM</b>	Structural Health Monitoring
<b>TJB</b>	Transition Junction Bay
<b>WTG</b>	Wind Turbine Generator



Ichnusa wind power srl

iLStudio.  
Engineering & Consulting Studio

<b>PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE</b> PROGETTO DEFINITIVO		
<b>Relazione tecnica – Biofouling sulle strutture sommerse</b>		
Codice documento: <b>C0421YR26BIOFOU00g</b>	Data emissione: <b>Marzo 2023</b>	Pagina <b>1 di 37</b>

## 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. 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.

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



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting **Studio**

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica – Biofouling sulle strutture sommerse**

Codice documento:  
**C0421YR26BIOFOU00g**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**2 di 37**

coatings inibitori) sia in fase di manutenzione.



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





Ichnusa wind power srl

iLStudio.  
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica – Biofouling sulle strutture sommerse

Codice documento:  
C0421YR26BIOFOU00g

Data emissione:  
Marzo 2023

Pagina  
3 di 37

## 2. DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO

L'impianto di produzione eolica, a realizzarsi nel mare di Sardegna sud-occidentale nel settore geografico ovest-nord-ovest delle coste di Portoscuso e dell'isola di San Pietro, a oltre 35 km dalle più vicine coste sarde garantirà una potenza nominale massima pari a 504MW attraverso l'utilizzo di 42 aerogeneratori e 2 sottostazioni elettriche di trasformazione sostenuti da innovative fondazioni galleggianti.

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.

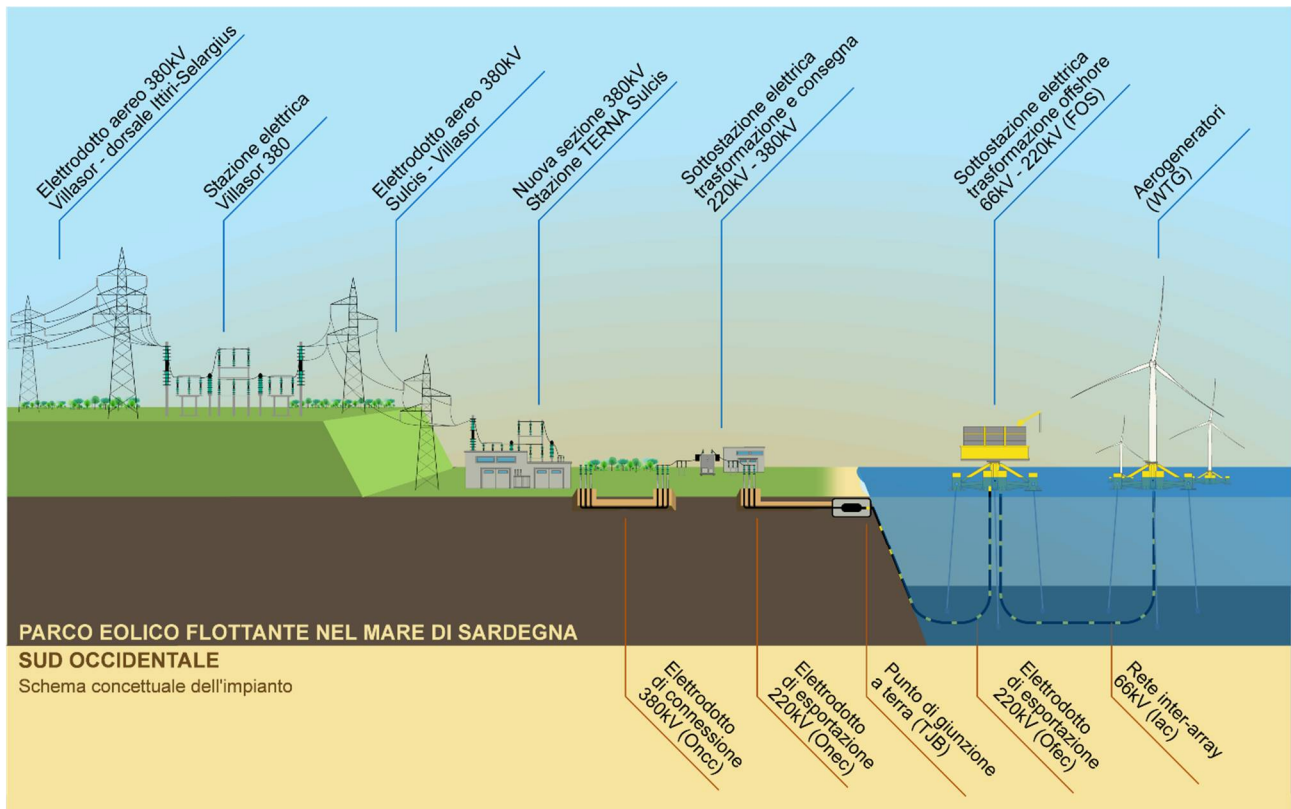


Figura 2.1 – Schema concettuale dell'impianto.

Elaborazione iLStudio.

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 155 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 due sottostazioni elettriche offshore galleggianti (*Floating Offshore Substation* - FOS) per l'elevazione di tensione al livello 220 kV. Il trasporto dell'energia verso la terraferma avverrà con un elettrodotto di esportazione sottomarino (*Offshore export cable* - Ofec) fino ad un punto di giunzione a terra (*Transition Junction Bay* - TJB). L'energia sarà quindi trasportata, mediante elettrodotto di esportazione interrato (*Onshore export cable* - Onec), presso una sottostazione elettrica di trasformazione e consegna in



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**

Engineering & Consulting **Studio**

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica – Biofouling sulle strutture sommerse**

Codice documento:  
**C0421YR26BIOFOU00g**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**4 di 37**

località Portovesme, ove sarà effettuata l'elevazione della tensione nominale da 220kV a 380kV. Da qui, un breve elettrodotto interrato di connessione (*Onshore connection cable* - Oncc), permetterà il collegamento alla nuova sezione a 380kV all'interno della esistente stazione TERNA Sulcis.

Il progetto prevede la sostituzione dell'esistente elettrodotto aereo a 220 kV "Sulcis-Villasor" attraverso la costruzione di un nuovo elettrodotto a 380 kV che, seguendo il tracciato della linea esistente, unirà le stazioni di "Sulcis" e la nuova stazione elettrica Villasor 380 e raccorderà questa alla dorsale regionale 380 kV Ittiri-Selargius. Gli interventi di riqualificazione e ammodernamento della linea, oltre a consentire l'immissione in rete dell'energia prodotta dal parco, costituiranno anche una opportunità per ulteriori iniziative di produzione di energia da fonte rinnovabile, nonché il miglioramento dei servizi elettrici al territorio del Sulcis aumentandone l'efficienza e la fruibilità.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.  
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica – Biofouling sulle strutture sommerse

Codice documento:  
C0421YR26BIOFOU00g

Data emissione:  
Marzo 2023

Pagina  
5 di 37

### 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*).

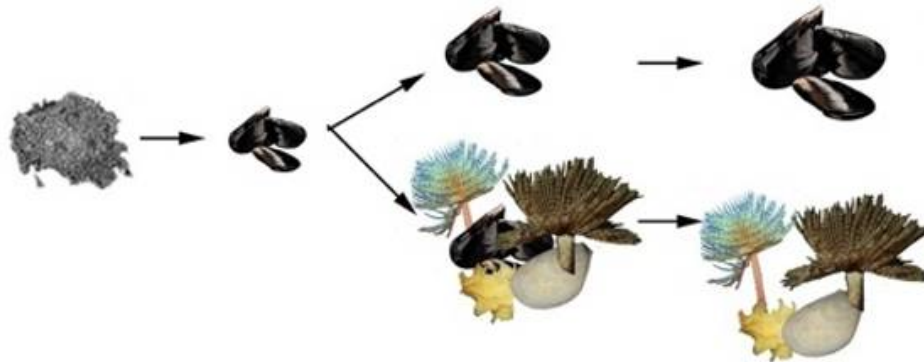
La biocolonizzazione è, come detto, un processo dinamico in continua evoluzione; si parla in generale di *sviluppo o successione biologica*, ovvero "il processo mediante il quale i primi colonizzatori di un sito disturbato (o di una superficie appena esposta), modificano l'ambiente in modo tale che diventi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



Ichnusa wind power srl

iLStudio.  
Engineering & Consulting Studio



**Figura 3.1 – Successione biologica.**

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

### 3.1. Processo di sviluppo

La biocolonizzazione influenza l'invecchiamento dei componenti offshore sommersi; la modellazione dei processi di sviluppo e accrescimento rappresentano quindi aspetti sfidanti nella progettazione dei programmi di sviluppo e manutenzione. Il monitoraggio della condizione fisica delle strutture (*SHM - Structural Health Monitoring*) è attualmente lo strumento più affidabile per la comprensione delle specifiche dinamiche di sviluppo della biocolonizzazione e l'analisi delle variazioni di risposta delle strutture.

Proprio a questo scopo, il Piano di Monitoraggio Ambientale, sviluppato nell'ambito del presente progetto, prevede attività di acquisizione dati e campionamenti di biofouling mediante l'impiego di Biologi e Operatori Tecnici Subacquei (OTS) o tramite acquisizione di immagini video ad alta definizione georeferenziate mediante *Remotely Operated Underwater Vehicle (ROUV)*.

Nonostante alcuni aspetti ancora non deterministici, lo studio e le ricerche sull'accrescimento biocenotico sulle superfici sono stati, negli ultimi 10 anni, sempre più intensi anche per il crescente coinvolgimento di istituti di ricerca e suppliers di mercato via via più interessati ad offrire tecnologie d'avanguardia per il nuovo mercato delle rinnovabili floating.

Gli studi affrontano il problema da un punto di vista fenomenologico basandosi in larga parte sulla vasta disponibilità di dati e osservazioni mutate dal settore Oil&Gas.

In generale, il processo di biocolonizzazione dipende da due condizioni iniziali:

- la riproduzione degli adulti, che depongono le uova nella colonna d'acqua e producono larve che entreranno a far parte del plancton trasportato dalle correnti;
- la sopravvivenza e sviluppo delle larve nella colonna d'acqua che devono legarsi rapidamente su di una superficie per completare il ciclo vitale.

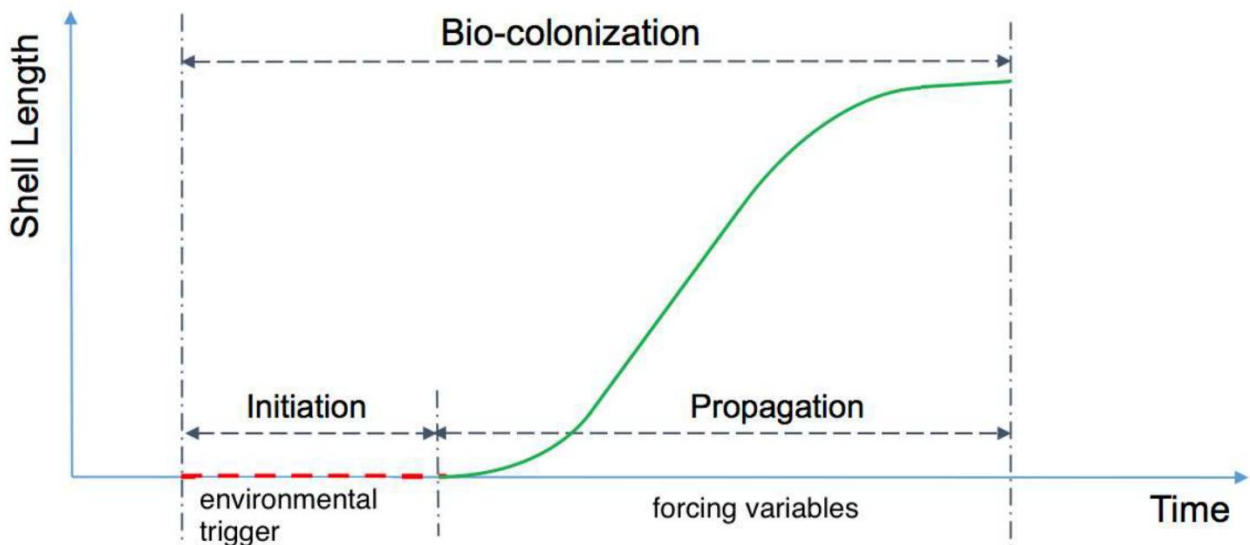


Figura 3.2 – Diagramma schematico delle fasi di bio-colonizzazione e dei loro parametri di influenza.

Fonte: (Ameryoun, et al., 2019).

Lo sviluppo si articola invece in tre fasi (Kerckhof, et al., 2019):

- Fase pioniera (0-2 anni);
- Fase intermedia (3-5 anni);
- Climax (> 6 anni) con dominanza di mitili (*Mytilus edulis*) e anemoni (*Metridium senile*).

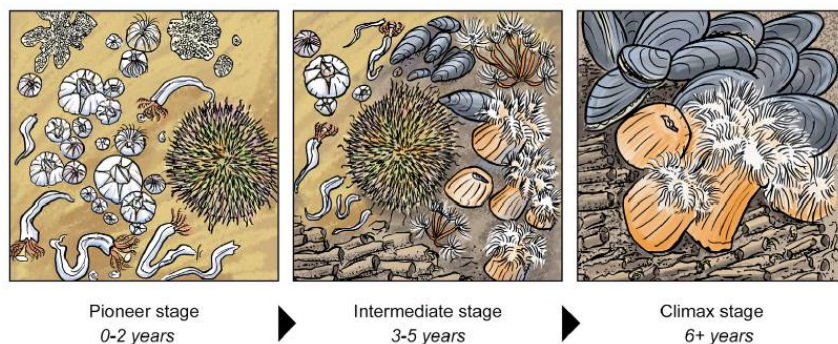


Figura 3.3 – Processo di colonizzazione: distinzione in tre fasi (Illustrazioni di Hendrik Gheerdyn).

In presenza di un substrato appena immerso inizia la formazione di una pellicola naturale che deriva dal materiale animale e vegetale in via di decomposizione (adsorbimento delle molecole organiche sulla superficie) (Wahl, 1989). Questa fase è definita come “evento condizionante” in quanto nessun organismo o particolato inorganico può colonizzare la superficie finché il film organico non è completo.

In poco tempo (giorni o settimane) i microrganismi iniziano a colonizzare il nuovo substrato duro con una *successione* di composizioni di specie crescente in ragione dell’età del substrato.

La *successione* è il risultato di organismi che competono per lo spazio e una condizione quasi-stazionaria delle comunità incrostanti non si stabilisce, generalmente, in meno di 4-6 anni. Insieme alla *successione*, i singoli organismi crescono portando all’aumento dello spessore dell’incrostazione marina.

La tipica *successione* biotica inizia con un biofilm (cioè “*microfouling*”), costituito da batteri e diatomee, entro la prima settimana. Questi sono seguiti da una comunità di “*macrofouling*”, composta da “*soft fouling*” e “*hard fouling*”. Il *soft fouling* comprende alghe e invertebrati, come coralli molli, spugne, anemoni, tunicati e idroidi,





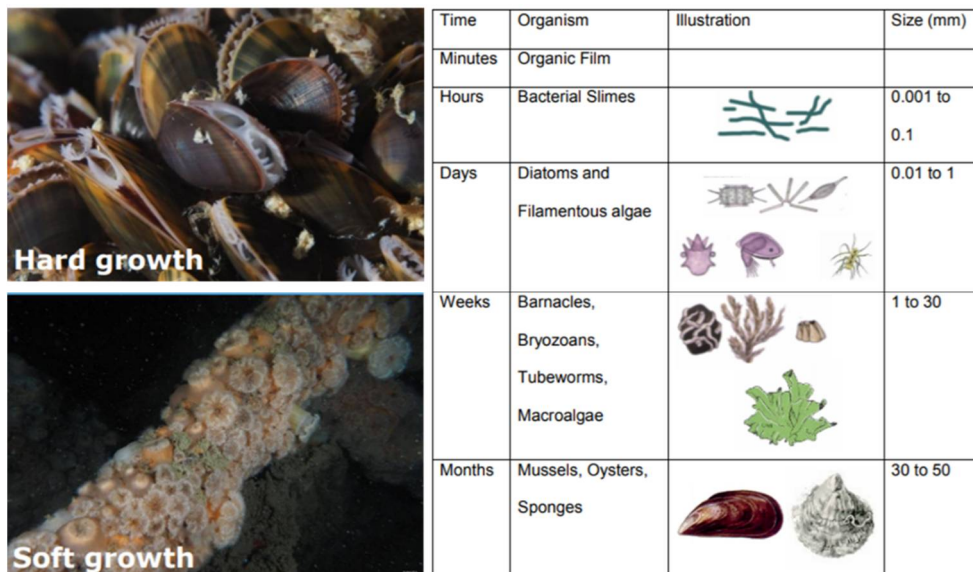
Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

mentre l'*hard fouling* comprende invertebrati come cirripedi, cozze e tubicoli (WHOI 1952) (Figura 3.4, Tabella 3.1). In termini biologici, il primo anno è di grandissima rilevanza per la costruzione del primo strato di biofouling (Vinagre, et al., 2020) (Richmond & Seed, 1991). Dopo un anno tuttavia la comunità è ancora incompleta per l'assenza dei colonizzatori tardivi.

Questo modello di colonizzazione è definito “di facilitazione” (Connell & Slayter, 1997), in quanto le specie residenti favoriscono l'insediamento di altre specie.

Le ricerche di settore evidenziano che le colonizzazioni tendono a convergere verso comunità multiple al variare dei tempi e delle profondità. I modelli statistici per la modellazione e rappresentazione della evoluzione del biofouling hanno preso come riferimento (ricerche francesi nell'Oceano Atlantico) il *Mytilus edulis*, come il più comune e importante colonizzatore di substrati duri.



**Figura 3.4 – Modello di successione.**

Sulla sinistra, immagini che mostrano la crescita delle incrostazioni “hard” e “soft”.  
Sulla destra, progressione e dimensione delle incrostazioni.

**Tabella 3.1 – Alcuni esempi di organismi appartenenti al micro e macro-fouling.**

Fonte: rielaborazione (Bouyssou & Madjidian, 2013).

		TIPOLOGIA	ESEMPI
<b>ORGANISMI MICROFOULING</b>		Batteri sessili	<i>Micrococcus</i> , <i>Pseudomonas</i>
		Diatomee	<i>Amphora</i> spp., <i>Navicula</i> sp., <i>Nitzschia</i> spp.
		Micromiceti	
		Flagellati eterotrofi	<i>Monosiga</i> , <i>Pteridomonas</i>
		Sarcodini	
		Ciliati sessili	
<b>ORGANISMI MACROFOULING</b>	<b>Hard fouling</b>	Cirripedi	<i>Amphibalanus amphitrite</i> , <i>Amphibalanus reticulatus</i> ,
		Bivalvi	<i>Crassostrea gigas</i> , <i>Mytilus</i> spp., <i>Perna canaliculus</i> , <i>Perna perna</i>
		Serpulidi	<i>Hydroides albiceps</i> , <i>Hydroides elegans</i>
	<b>Soft fouling</b>	Alghe	<i>Laminaria</i> spp. (Phaeophyta) <i>Enteromorpha</i> spp., <i>Ulva</i> spp. (Clorophyta) <i>Ahnfeltia</i> spp. (Rhodophyta)
		Anemoni	<i>Haliplanella</i> sp.
		Ascidie	<i>Didemnum vexillum</i>
		Briozoi	<i>Bugula neritina</i> , <i>Cryptosula pallasiana</i> , <i>Watersipora subtorquata</i> , <i>Amathia verticillata</i>



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica – Biofouling sulle strutture sommerse**

Codice documento:  
**C0421YR26BIOFOU00g**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**9 di 37**

	TIPOLOGIA	ESEMPI
	Coralli	
	Idrozoi	<i>Obelia sp.</i>
	Oloturie	
	Poriferi	<i>Acanthella cavernosa</i>



**Figura 3.5 – Esempi di biofouling su elementi sommersi.**

Sx: *Mytilus galloprovincialis*. Dx: fouling composito con *Branchiomma sp.*

### **3.1.1. Fattori che influenzano il processo di sviluppo**

La composizione delle comunità di biofouling è influenzata da numerosi fattori abiotici e biotici (Wahl, 1989) e varia notevolmente sia su scala geografica, sia su base stagionale; a scala locale sono inoltre significativi gli effetti della profondità e dell'idrodinamismo. I fattori abiotici includono le caratteristiche fisico-chimiche dell'acqua tra cui la temperatura, il pH, la quantità di ossigeno disciolto e il contenuto di materia organica. Anche le caratteristiche del substrato, ad esempio il materiale, il colore, la rugosità, il periodo di immersione e le condizioni di moto influenzano sia l'insediamento che la crescita (Lehaitre, et al., 2008) (Cao, et al., 2011) (Van Der Stap, et al., 2016). Tra i fattori biotici, la biologia dei diversi organismi determina la probabilità di insediamento su un substrato sommerso. Questo, a sua volta, dipende da molte interazioni specie-specifiche e può differire notevolmente da specie a specie anche in funzione del luogo. Anche i segnali chimici rilasciati in risposta alla competizione, alla riproduzione, al foraggiamento e alla predazione svolgono un ruolo importante nell'insediamento e nel reclutamento superficiale di diversi organismi (Dayton, 1971) (Raffaelli & Hawkins, 1999) (Johnson & Strathmann, 1989).

#### **Influenza della temperatura dell'acqua**

La temperatura dell'acqua marina è correlata alla latitudine e alla stagionalità ed è un importante fattore geografico sulla composizione delle comunità marine, compreso il biofouling. La temperatura, infatti, influenza il periodo di deposizione delle uova, l'insediamento, la crescita e la riproduzione degli organismi (Newell & Branch, 1980). Il tasso di crescita del biofouling aumenta inoltre con la temperatura. Nelle zone temperate, con temperature fra 5 e 20 °C, le bioincrostazioni si verificano durante tutto l'anno e mostrano una forte stagionalità, con la maggior parte delle deposizioni e della crescita che si verificano dalla primavera (inizio aprile) all'inizio



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

<b>PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE</b> PROGETTO DEFINITIVO		
<b>Relazione tecnica – Biofouling sulle strutture sommerse</b>		
Codice documento: <b>C0421YR26BIOFOU00g</b>	Data emissione: <b>Marzo 2023</b>	Pagina <b>10 di 37</b>

dell'autunno (fine ottobre) (Lehaitre, et al., 2008) (Hellio & Yebra, 2009).

### **Influenza della profondità e illuminamento**

La profondità e la disponibilità di luce influenzano notevolmente la composizione e la crescita degli organismi del biofouling. I *macrofoulers*, in particolare gli organismi fotosintetici come le macroalghe, sono solitamente più abbondanti all'interno della zona eufotica (0-40 m) (Bartsch, et al., 2008). Questa zona è generalmente più calda, presenta livelli di luce più elevati ed è ricca di plancton, che funge da principale risorsa alimentare per molti organismi non fotosintetici. La diminuzione dell'intensità luminosa per assorbimento del mezzo con la profondità, determina, all'interno di questa zona, una crescita di biofouling decrescente con la profondità (Lehaitre, et al., 2008) (Almeida & Coolen, 2020).

### **Influenza delle correnti e della distanza delle coste**

Le correnti e la distanza dalla costa influenzano sia la composizione che l'estensione del biofouling (Almeida & Coolen, 2020). Il nutrimento di molti organismi come cozze, cirripedi e vermi tubicoli dipende infatti dal trasporto di particelle sospese o di sostanze nutritive disciolte attraverso le correnti (Railkin, 2003). Le larve di molti invertebrati e le spore di alghe sono inoltre trasportate al largo dalle correnti e la probabilità di successo della colonizzazione, soprattutto di strutture fisse come le piattaforme, aumenta quanto più il substrato è prossimo alla riva (Almeida & Coolen, 2020). Le velocità delle correnti e l'entità delle forze di taglio generate vicino al substrato sono comunque aspetti sensibili del processo di colonizzazione (Foster, 1987). Mentre infatti gli organismi filtranti sessili possono beneficiare di flussi intensi (maggiore apporto di nutrienti), forti correnti possono tuttavia facilitare la rimozione degli organismi dal substrato. Nella forma adulta, molti organismi sessili come i cirripedi sviluppano, in risposta alle azioni di trascinamento, sofisticati meccanismi per una forte adesione superficiale (Swain, et al., 2000) (Kamino, 2013) (Rittschof, et al., 2008). Per converso, condizioni di scarso idrodinamismo possono invece facilitare l'insediamento di larve / spore.

### **Influenza del materiale del substrato**

L'influenza del materiale costituente il substrato sullo sviluppo del biofouling è prevalentemente determinata dalla loro reattività e tossicità. Le proprietà dei materiali possono infatti influenzare la chimica dell'acqua e dell'interfaccia acqua-substrato modificando la formazione e la composizione nutritiva dello strato di condizionamento macromolecolare e la successiva formazione di biofilm (Whitehead & Verran, 2009). Alluminio, acciaio al carbonio e bronzo sono in generale più suscettibili al biofouling rispetto a substrati non metallici in fibra di vetro, polietilene, poliammide e gomma (Titah-Benbouzid & Benbouzid, 2017) (Pomerat & Weiss, 1946).

### **Influenza della forma e della bagnabilità del substrato**

La forma del substrato influenza le condizioni fisiche e ambientali offerte per l'attecchimento degli organismi. Una maggiore eterogeneità ed estensione del substrato consentono una maggiore diversità e una minore competizione tra le specie. Il livello di rugosità, tessitura e microstrutturazione può anche influenzare la capacità degli organismi di aderire alla superficie influenzando, ad esempio, l'accumulo di biofilm e l'estensione del biofouling (Koehl, 2007) (Aldred, et al., 2010) (Scardino, et al., 2008) (Scardino & De Nys, 2011). Superfici più lisce sono generalmente meno inclini alla formazione di biofouling rispetto a superfici più ruvide (Scardino, et al., 2008) (Scardino & De Nys, 2011).

La microstruttura di un substrato influisce inoltre sulla sua bagnabilità e questo influenza l'adesione degli organismi biofouling. Non è tuttavia possibile stabilire alcuna relazione univoca tra le caratteristiche microstrutturali della superficie e la forza di adesione dell'organismo. Ad esempio, mentre la forza adesiva dei cirripedi sembra essere maggiore su superfici ad alta bagnabilità (Roberts, et al., 1991), diverse specie sembrano preferire substrati idrofobici (*Balanus improvisus*) o idrofilici (*B. amphitrite*) (Clare & Aldred, 2009).





Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica – Biofouling sulle strutture sommerse**

Codice documento:  
**C0421YR26BIOFOU00g**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**11 di 37**

### **Influenza del colore del substrato**

Il colore del substrato influenza la quantità di energia riflessa e assorbita, la sua temperatura superficiale, fattori che possono essere determinanti nel processo di attecchimento e sviluppo del biofouling (Dahlem, et al., 1984). Il colore del substrato influenza maggiormente le prime fasi di sviluppo ed è quindi un fattore da considerare per apparecchiature destinate a brevi immersioni. Le larve e le spore di molti organismi mostrano una fototassi negativa e preferiscono, durante l'insediamento, substrati più scuri e meno riflettenti (Clare & Aldred, 2009) (Dahlem, et al., 1984) (Swain, et al., 2006). Man mano che le comunità di biofouling diventano più complesse, le differenze tra substrati più scuri e più chiari divengono generalmente trascurabili (Dobretsisv, et al., 2013).

### **3.2. Effetti del biofouling sulle strutture sommerse**

Il biofouling è ben noto in ambito marittimo e navale; la colonizzazione delle superfici sommerse è un fenomeno dinamico con effetti potenziali sul funzionamento delle strutture e delle attrezzature e richiede quindi adeguata gestione.

A titolo d'esempio, secondo la *Clean Shipping Coalition*, in ambito navale, l'impatto del biofouling sui consumi di carburante e sulle emissioni delle navi, costano all'industria di settore fino a 30 miliardi di dollari l'anno. Con implicazioni diverse, la presenza del biofouling è di notevole interesse anche nel settore dell'eolico galleggiante. Diversi studi sulla biocolonizzazione dei cavi di ormeggio sono stati condotti per investigarne gli effetti sui carichi, sulle prestazioni idrodinamiche, sull'usura e sulla tensione dei cavi (Jusoh & Wolfram, 1996) (Decurey, et al., 2020). Un'indagine di settore svolta da Fontaine et al. sull'affidabilità dei sistemi a catenarie ha dimostrato che quasi la metà degli eventi di guasto rilevati erano associati a degrado da fatica e corrosione. Yang (Shun-Han, 2016) ha constatato che, a causa della crescita marina, la resistenza delle linee di ormeggio diminuisce del 20%.

In generale le principali conseguenze della presenza del biofouling su opere galleggianti sono riassumibili in:

- aumento del peso delle strutture;
- variazione dello spessore e della rugosità;
- corrosione;
- aumento della resistenza idrodinamica;
- modifica della risposta della struttura al carico onda e correnti;
- cambiamento del comportamento dinamico dovuto a modificazioni della forma;
- danneggiamento delle superfici e dei materiali;
- malfunzionamento degli impianti.

I piani di manutenzione per i progetti di sfruttamento delle energie rinnovabili offshore sono di fondamentale importanza in quanto la manutenzione può rappresentare fino a quasi un terzo dei costi operativi (Callaghan & Boud, 2006). A causa della natura variabile del biofouling e del suo impatto sulle strutture e apparecchiature offshore è di particolare importanza l'accesso, già in fase di progettazione della manutenzione, a dati sito specifici per la caratterizzazione preliminare delle specie di biofouling attese in situ, così da meglio definire piani di manutenzione adeguati.

Si è visto ad esempio che la presenza della bio-colonizzazione, ed in particolare i mitili, sui cavi elettrici marini può modificarne il trasferimento del calore; risultati di laboratorio hanno evidenziato infatti che mitili più giovani presentano una conducibilità termica inferiore rispetto a quella degli adulti (Maksassi, et al., 2022); di tale aspetto si deve tener conto sia durante la progettazione sia durante la pianificazione delle manutenzioni.



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio



**Figura 3.6 – Colonizzazione da parte di giovani mitili.**

Fonte: (Maksassi, et al., 2022).

### **3.3. Il database europeo del biofouling**

Il database europeo del biofouling, elaborato nell'ambito del progetto OCEANIC, raccoglie i dati ottenuti dal campionamento delle comunità di biofouling in diversi siti di prova europei con l'obiettivo principale di promuovere le conoscenze e gli studi finalizzati ad una protezione anticorrosione e antivegetativa duratura in modo economicamente e ambientalmente sostenibile. Il database è stato creato alla fine del 2017 ed è disponibile per il download sul sito web del progetto OCEANIC (<http://oceanic-project.eu/biofouling-database>) dal novembre 2018.

Attualmente, il database comprende nove ecoregioni che comprendono 20 paesi/aree (Figura 3.7) coprendo una profondità fino a 90 m con un tempo di immersione tra 10 giorni e 39 anni.



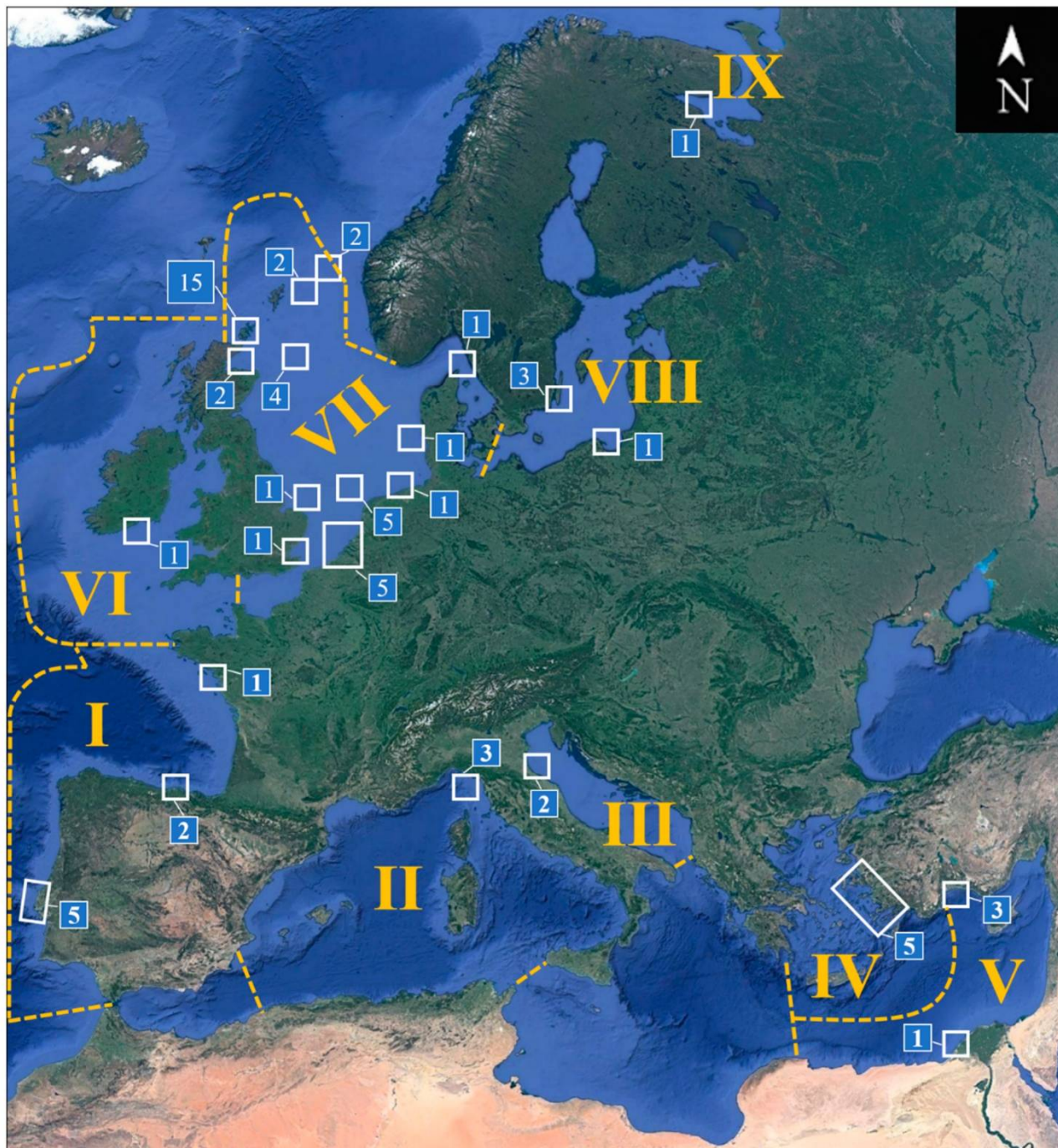


Figura 3.7 – Panoramica dei siti trattati nella database europeo del biofouling.

Ecoregioni chiave (numeri romani gialli): I, piattaforma atlantica dell'Europa meridionale; II, Mediterraneo occidentale; III, Mare Adriatico; IV, Mar Egeo; V, Mar di Levante; VI, Mar Celtico; VII, Mare del Nord; VIII, Mar Baltico; e IX, Mar Bianco. Siti chiave riquadrati in bianco indicativi dell'area e del numero di record di campionamento. Fonte: (Vinagre, et al., 2020).

Tabella 3.2 – Panoramica dell'origine dei dati utilizzati per generare la banca dati di biofouling.

Regione	Paese	Campioni <sup>(a)</sup>	Tipo di struttura	Periodo (mesi)	Profondità (m)	Distanza dalla costa (km)
I	France	1	Moorings	17–19	0–25	20
I	Portugal	5	Metallic and plastic panels, Rubber seals	Energies	Energies	Energies
I	Spain	2	Metallic and plastic panels	5 and 9	25	1.7



Ichnusa wind power srl

iLStudio.

Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica – Biofouling sulle strutture sommerse**

Codice documento:  
**C0421YR26BIOFOU00g**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**14 di 37**

Regione	Paese	Campioni <sup>(a)</sup>	Tipo di struttura	Periodo (mesi)	Profondità (m)	Distanza dalla costa (km)
II	Italy	3	Buoys, panels	3–70	0–39	55 and 68.5
III	Italy	2	Gas platform piles	204–209	0–12	10.5
IV	Turkey	5	Asbestos-cement panels	3–12	3	0.1
V	Egypt	1	Polystyrene panels	1	0–5.5	0.5
V	Turkey	3	Wood panels	13	0–1	0.1
VI	Ireland	1	Gas platform piles	15–51	3–90	50
VII	Belgium	4	Monopiles, concrete foundations	2–45	0–25	30 and 49
VII	Denmark	1	Monopiles	12–42	0–10	14
VII	England	2	Monopiles	31	0–10	10–50
VII	Germany	1	Jacket foundation	21–51	0–28	45
VII	Netherlands	6	Monopiles, jacket foundations	18–468	0–43	18–177
VII	North Sea	4	Oil and gas platforms, clamps	36–180	0–67	100–115
VII	Scotland	21	Jacket foundations, piles, buoys, chains, ADCP, WEC, pontoons, harbor walls, metallic panels	11–60	0–90	0.1–195
VII	Sweden	1	Concrete foundation	2–26	0–25	2
VIII	Poland	1	PVC panels	0.3–2	3–7	0.35
VIII	Sweden	3	Bridge pillars, monopiles, boulders	24–300	1.5–5	Onshore–12
IX	Russia	1	Ceramic panels	2–13	1.5	0.1

(a) Indagini effettuate in siti diversi o durante periodi diversi nello stesso sito.

Le informazioni contenute nel database descrivono, per ciascuna area marina analizzata, i seguenti attributi rilevanti per la caratterizzazione del biofouling:

- **Regione, provincia ed ecoregione** (Spalding, et al., 2007): consente una panoramica dei paesi inclusi nella mappatura e fornisce approfondimenti sui possibili modelli di comunità di biofouling.
- **Paese e sito**: definisce il paese e l'ubicazione del campione.
- **Distanza dalla costa**: definisce la distanza tra il sito campionato e la riva più vicina.
- **Tipo di apparecchiatura / struttura**: descrive le superfici esaminate, comprese le attrezzature e/o strutture dei settori MRE (Marine Renewable Energy) e Oil&Gas.
- **Periodo di immersione**: definisce il periodo (mesi/anni) durante il quale il biofouling potrebbe essersi sviluppato (ad esempio, dalla messa in acqua dell'apparecchiatura fino alla raccolta dei dati).
- **Profondità**: definisce la profondità alla quale sono stati campionati i dati.
- **Temperatura e altezza dell'onda**: presenta i dati relativi alla temperatura dell'acqua e all'altezza d'onda nell'area campionata (o per l'area più vicina).
- **Dati sulle bioincrostazioni**: includono informazioni qualitative e quantitative sui campioni raccolti e sugli organismi di biofouling trovati nei campioni: alghe, briozoi, cozze, cirripedi e anellidi policheti e altri biofouler sessili pertinenti, tra cui NIS (*Non-Indigenous Species*, specie aliene). La tassonomia è stata standardizzata secondo WoRMS (World Record of Marine Species) ([www.marinespecies.org](http://www.marinespecies.org)). I dati quantitativi sui campioni includono il peso e lo spessore del biofouling e il peso e le dimensioni dei biofouler (lunghezza o altezza, a seconda della specie). Il peso è stato standardizzato principalmente in kg di peso fresco al m<sup>2</sup>.
- **Riferimento**: identifica la fonte dei dati presentati.



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

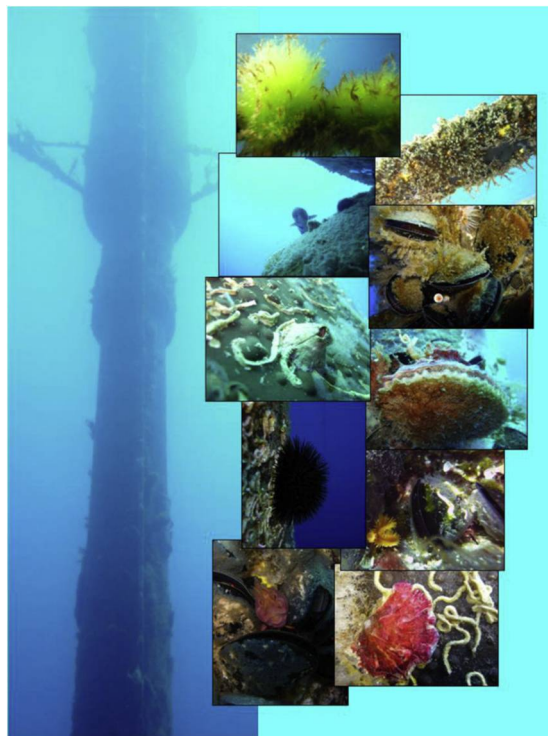
### 3.4. Il biofouling nelle acque italiane

Le comunità di fouling nelle acque italiane sono le più conosciute del Mar Mediterraneo; la maggior parte delle pubblicazioni in merito sono riferite a piattaforme fisse, prossime alle coste, su fondali a profondità solitamente inferiori ai 200 m mentre le analisi su strutture galleggianti (mobili) è perlopiù riferita a campionamenti su boe strumentate.

È probabile che l'accrescimento su strutture fisse sia differente rispetto a quello su strutture galleggianti, proprio a causa della natura mobile del substrato che determina una minore esposizione della comunità bentonica all'azione delle maree. Ciò è particolarmente vero nelle aree con un'ampia escursione di marea (Relini, et al., 1999).

#### 3.4.1. Marine growth su una struttura offshore galleggiante

Lo sviluppo di biofouling su un substrato duro mobile in ambiente marino profondo è stato analizzato da Relini et al. (1999a) il quale riporta i risultati delle indagini, svolte a partire dal 1987, sui fenomeni di *fouling* e *macrofouling* sulla boa oceanografica ODAS Italia 1 (*Oceanographic Data Acquisition System*) ormeggiata a 37 miglia da Genova. La boa, gestita dall'IAN-CNR (Istituto per l'Automazione Navale del Consiglio Nazionale delle Ricerche), è costituita da una struttura tubolare in acciaio (diametro 600 mm), lunga 52 m di cui 37 m sommersi. La boa è ancorata a un fondale profondo 1270 m tramite un cavo di ormeggio elastico lungo 1900 m che permette alla stessa di muoversi intorno al punto di ormeggio per circa mezzo miglio nautico. Sulla superficie della boa non è stata applicata alcuna vernice antivegetativa.



**Figura 3.8 – Parte sottomarina della boa ODAS Italia 1.**

Fonte: (Canepa, et al., 2015).

Dopo 52 mesi, la boa ODAS è stata trasferita su di una banchina e il fouling depositato lungo tutta la lunghezza della parte immersa è stato campionato per intero, a partire dalla superficie fino a 34 m di profondità. Le analisi (Relini, et al., 1999) (Lewis, 2001) hanno evidenziato che i valori del peso umido della biomassa variavano senza alcun trend coerente con l'aumento della profondità. Il campionamento è avvenuto utilizzando una cornice 50 x 50 cm lungo un lato della boa, definito rappresentativo in quanto la boa in acqua ruotava sul proprio asse almeno parzialmente. Entrambe le superfici orizzontali (superiore e inferiore) del disco





Ichnusa wind power srl

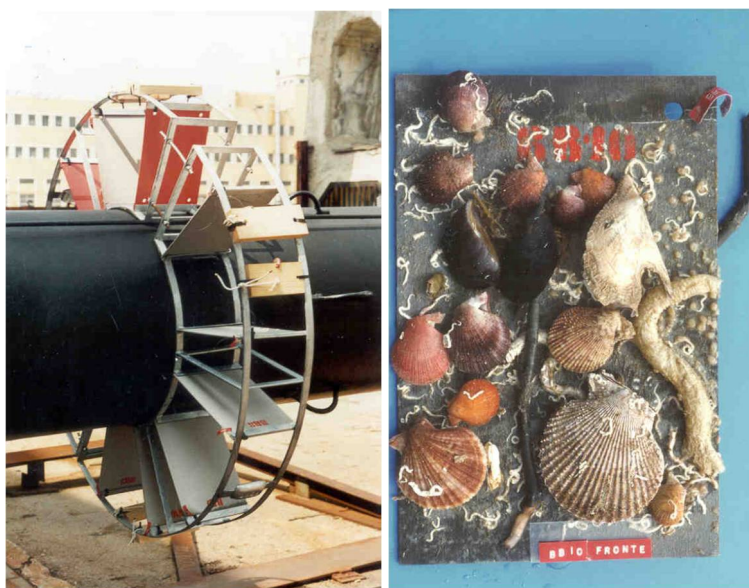
**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

stabilizzante sono poi state raschiate per il prelievo della biocolonizzazione: il peso umido riscontrato sul lato superiore era pari a  $40.9 \text{ g/dm}^2$  e sul lato inferiore  $42.4 \text{ g/dm}^2$ . I risultati delle indagini sono mostrati nelle successive figure ove si riporta anche il peso umido della biomassa in funzione della profondità dell'acqua. Le ricerche sul macrofouling, estese ad un periodo più lungo (70 mesi), hanno invece evidenziato che cozze e altri bivalvi rappresentano i componenti principali della popolazione e che la biomassa di incrostazione ha raggiunto i  $28.1 \text{ g/dm}^2$  a  $-12 \text{ m}$  e i  $47.4 \text{ g/dm}^2$  a  $-33 \text{ m}$  (peso umido). Per studiare ulteriormente il fenomeno di insediamento e colonizzazione, sul corpo della boa sono state fissate due rastrelliere circolari munite di pannelli in materiale inerte (dimensioni  $20 \times 30 \times 0.4 \text{ cm}$ ) a  $12$  e  $33 \text{ m}$  di profondità, monitorate e prelevate con scadenze scalari nel tempo per un periodo complessivo di 40 mesi (Figura 3.10). Dalle superfici rimaste immerse per brevi periodi (3 mesi e 14 mesi) si è riscontrata una sola specie dominante tra i pochi gruppi tassonomici presenti, mentre i pannelli immersi per 24 mesi presentavano una migliore distribuzione e ripartizione degli spazi. Dalla Figura 3.11 si osserva un andamento proporzionale tra l'aumento del tempo di immersione e l'incremento della complessità delle associazioni bentoniche.



**Figura 3.9 – Biocolonizzazione sulla faccia inferiore del disco di smorzamento.**

Il disco era posto alla profondità di  $38 \text{ m}$  dopo 52 mesi di permanenza in mare. Fonte: (Relini, et al., 1999).



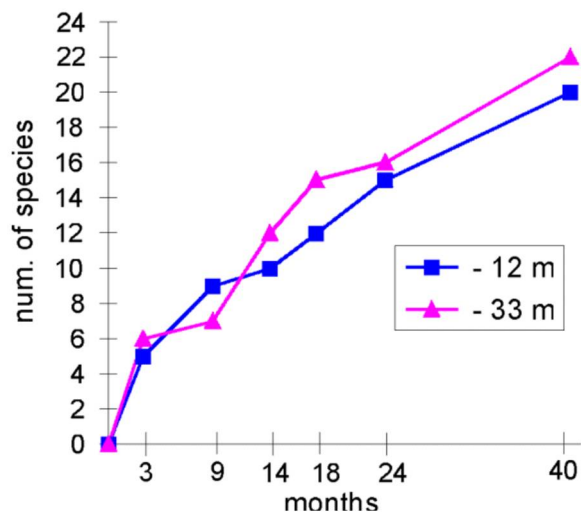
**Figura 3.10 – Struttura portapannelli fissata al corpo della boa e pannello immerso per 51 mesi a  $-33 \text{ m}$ .**

Fonte: (Relini, et al., 1999)



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio



**Figura 3.11 – Variazione del numero di specie nell'intervallo di tempo (periodo complessivo di 40 mesi).**

Fonte: (Siccardi, et al., 1997).



Ichnuza wind power srl

iLStudio.  
Engineering & Consulting Studio

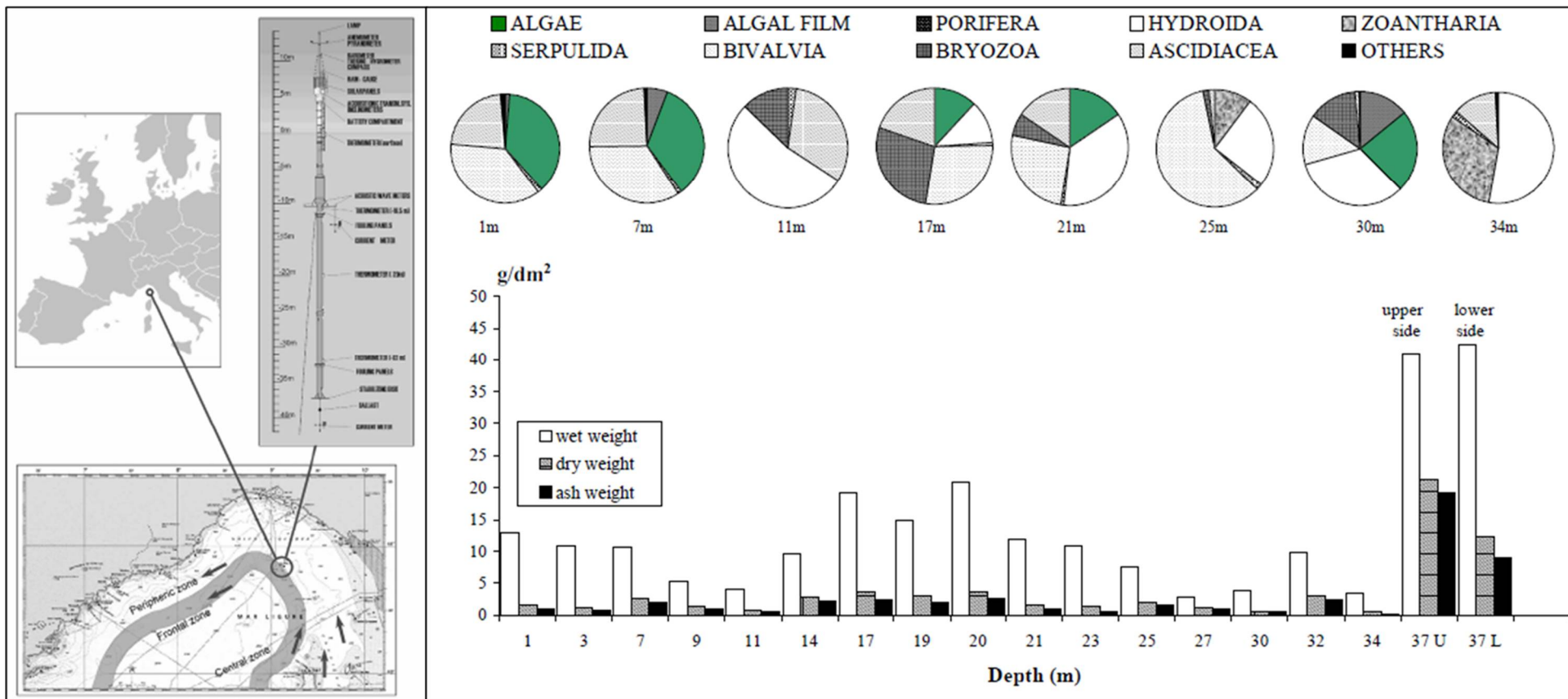


Figura 3.12 – Risultati della boa ODAS Italia 1.

Pannello di sinistra: la boa ODAS Italia 1 e la sua posizione, a 43°48.90' N, 009°06.80' E, a 37 nm da Genova, su acque con 1270 m di profondità. Pannello di destra: caratterizzazione del macrofouling in funzione della profondità. In alto: rappresentazione schematica dei componenti principali presenti nei campioni raccolti a diverse profondità lungo il corpo verticale della boa. In basso: pesi umido, secco, ash del macrofouling depositato in ciascuna zona del corpo della boa e del disco stabilizzatore. Fonte: (Relini, et al., 1999).





Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

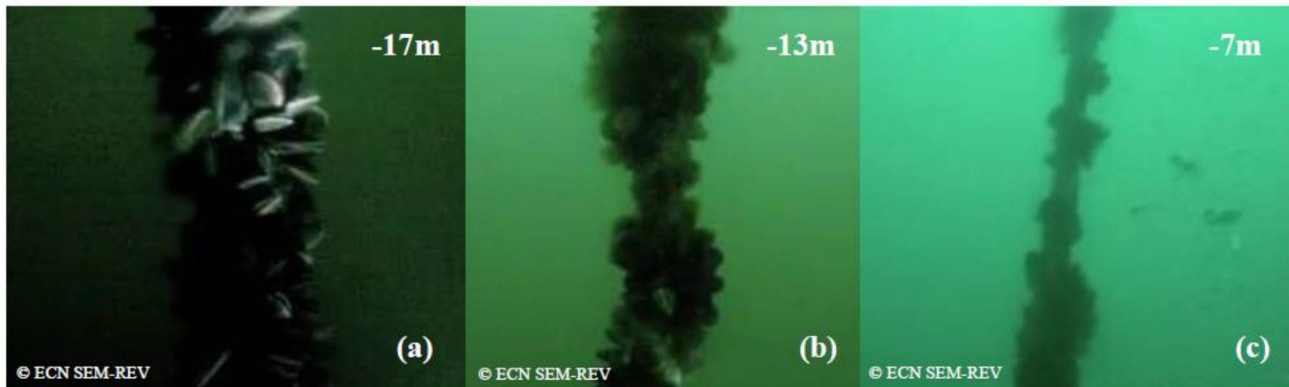
**Relazione tecnica – Biofouling sulle strutture sommerse**

Codice documento:  
**C0421YR26BIOFOU00g**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**19 di 37**

In un ulteriore studio del 2017 (Spraul, et al., 2017) sono state effettuate misurazioni per quantificare l'impatto e lo sviluppo della crescita marina sulle cime di ormeggio dei galleggianti. Dai fotogrammi ricavati dai video, le specie dominanti erano alghe appartenenti agli ordini delle *Laminariales*, *Fucales*, *Ulvales*, gli idrozoi e i bivalvi (*Mytilus edulis*). Tali video sono stati inoltre utilizzati per determinare lo spessore della biocolonizzazione in funzione della profondità (Figura 3.13); i dati ottenuti si riferiscono a cime di ormeggio di 3.4 cm di diametro, immerse per 17-19 mesi.



**Figura 3.13 – Colonizzazione di *Mytilus edulis* su cime di ormeggio a differenti profondità.**

Fonte: (Spraul, et al., 2017).

Dalle linee di ormeggio sono stati eseguiti dei campionamenti con un prelievo di circa 178 esemplari da una sezione di 20 cm. Il peso totale era di 2.6 kg e lo spessore dello strato delle cozze era pari a 7.3 cm; pertanto il volume della biocolonizzazione era di 0.021 m<sup>3</sup>/m.

### **3.4.2. Marine growth su una struttura offshore fissa**

Per i dati di crescita marina relativi a strutture offshore fisse, si fa qui riferimento al lavoro di (Relini & Montanari, 1999). Questo lavoro include una sintesi esaustiva del fouling da parte delle specie mediterranee di mitili, principali foulers delle strutture offshore nei mari italiani. Il lavoro si basa su dati raccolti su piattaforme fisse situate nel Mar Adriatico (PCW-A e AGO-A), nel Mar Ionio (LUNA-A) e nel Mar Ligure (terminal petrolifero per super-petroliere, situato al largo del porto petrolifero di Genova-Multedo, di seguito GOLP).

I tassi di crescita della biomassa risultanti (in kg/m<sup>2</sup>) sono mostrati nella tabella successiva, la quale mostra la grande differenza dell'accumulo di incrostazioni (principalmente mitili) tra l'Adriatico centrale e settentrionale, rispetto agli altri mari italiani. Tale grande differenza è dovuta alle diverse caratteristiche dell'acqua di mare, in particolare al contenuto di nutrienti. Gli autori hanno anche messo in evidenza che i valori di biomassa e i tassi di crescita registrati per i mitili nel Mar Adriatico sono i più alti mai riportati in letteratura.

In situazioni in cui non si hanno a disposizione i dati relativi al peso del biofouling, è possibile sfruttare dati bibliografici; DNV consiglia di utilizzare una densità pari a 1325 kg/m<sup>3</sup> per determinare il peso della crescita marina che agisce su di una cima di ormeggio. Per una stima più precisa si può assumere che la densità per l'hard-fouling sia pari a 1325 kg/m<sup>3</sup> e 1050 kg/m<sup>3</sup> per il soft-fouling (Mallat, et al., 2014).



Tabella 3.3 – Sintesi dei dati di fouling su strutture offshore fisse nei mari italiani.

Fonte: (Relini &amp; Montanari, 1999).

Offshore Structure	PCW-A	AGO-A	LUNA-A	G.O.L.P.
Sea	Adriatic	Adriatic	Ionian	Thyrrhenian
Locality	Ravenna	Ravenna	Crotone	Genova
Distance from coast (km)	7	18	6	2.8
Depth bottom (m)	12	23	70	50
Level of sample	surface	surface	surface	surface
Substrate	panels	panels	panels	girders
Maximum age of mussels	12 months	12 months	12 months	12 months
No of mussels/12 dm <sup>2</sup>	59,988	116,688	4,549	1,059
Maximum length (mm)	60	60	35	62
% of most common	94%	95.30%	78%	37.50%
Length class	(0-10 mm)	(0-10 mm)	(0-10 mm)	(20-30 mm)
Weight of mussels (g/12 dm <sup>2</sup> )	10,391	11,600	654	3,129
Weight of mussels (kg/m <sup>2</sup> )	86.6	96.6	5.4	26.1
Mussels as % of total fouling weight	95%	97%	80%	90%

Una sintesi dei dati di crescita della biomassa raccolti nei mari italiani è riportata nella tabella che segue, insieme a una stima dei tassi di crescita dello spessore derivati con un valore standard di densità di biofouling di 1325 kg/m<sup>3</sup>.

Tabella 3.4 – Riepilogo della crescita della biomassa in kg/m<sup>2</sup> misurata su corpi galleggianti e su strutture offshore fisse.

La tabella include anche i tassi di crescita stimati dello spessore in mm/anno ricavati assumendo i valori di densità del fouling come suggerito dalle linee guida standard DNV-GL (1325 kg/m<sup>3</sup>).

		Reference	Bottom WD (m)	Ref. WD (m)	Biomass growth rate (kg m <sup>2</sup> /year)	Growth rate (mm/year) density = 1325 kg/m <sup>3</sup>
<b>Fouling and macrofouling on a floating body</b>						
Ligurian Sea	ODAS	Relini et al., 1999a	1270	-11 to -20 <sup>(1)</sup>	2.08	1.6
				-37 <sup>(1)</sup>	4.24	3.2
				-12 <sup>(2)</sup>	2.80	2.1
				-33 <sup>(2)</sup>	4.74	3.6
<b>Mussels on fixed structures</b>						
Ionian Sea	LUNA-A	Relini et al., 1999b	70	surf	5.4	4.1
Ligurian Sea	GOLP		50	-34	10.3	7.8
Adriatic Sea	PCW-A		12	surf	86.6	65.4
	AGO-A		23	surf	96.6	72.9

<sup>(1)</sup> fouling; <sup>(2)</sup> macrofouling

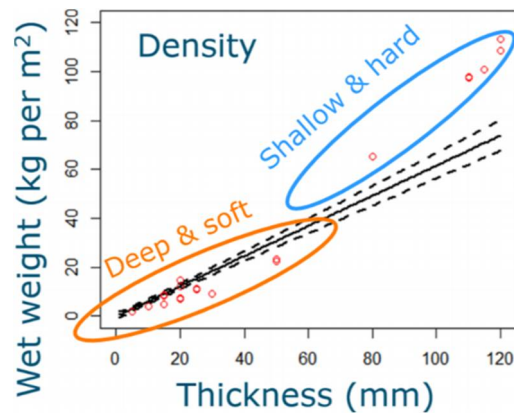
I tassi di crescita proposti si riferiscono a valori standard di densità del biofouling; vale la pena notare che le indagini sul campo e la raccolta di dati rivelano valori di densità diversi da quelli suggeriti dalle attuali linee guida di settore. Un esempio è rappresentato dal lavoro di (Coolen, et al., 2019), nel quale gli autori hanno realizzato un modello di densità basato su osservazioni in campo di spessore e peso umido del biofouling (21 campioni su 2 piattaforme offshore fisse situate nel Mare del Nord). Tale modello prevedeva una riduzione del



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

peso con la profondità e una densità generalizzata di  $612 \text{ kg/m}^3$  (Figura 3.14, Tabella 3.5), significativamente minore dal valore standard di  $1325 \text{ kg/m}^3$ .



**Figura 3.14 – Modello di densità del biofouling.**

Fonte: (Coolen, et al., 2019).

**Tabella 3.5 – Risultati del modello di densità.**

Fonte: (Coolen, et al., 2019).

	Min	Max	Average
Wet weight ( $\text{kg/m}^2$ )	2	113	35
Thickness (mm)	5	120	47
Density ( $\text{kg/m}^3$ )	311	945	611

(Mallat, et al., 2014) concludono invece che la stima del peso del biofouling basato sugli standard applicabili ai mari del nord comportano valori maggiori rispetto a quelli realmente calcolati dalle ispezioni in loco (circa il 42%).

In relazione al valore di densità proposto ( $768 \text{ kg/m}^3$ ) i tassi di crescita dello spessore stimati della Tabella 3.4 aumentano come riportato nella successiva Tabella 3.6.

Per le fasi successive della progettazione del parco eolico galleggiante, salvo aggiornamenti di settore che comprendano anche il Mar Mediterraneo, si farà riferimento agli spessori stimati riportati in Tabella 3.6 più precisamente al caso della boa ODAS, in quanto, per caratteristiche del substrato, più simile alle condizioni di progetto in esame.

**Tabella 3.6 – Riepilogo della crescita della biomassa in  $\text{kg/m}^2$  misurata su corpi galleggianti e su strutture offshore fisse.**

La tabella include anche i tassi di crescita stimati dello spessore in  $\text{mm/anno}$  derivati dall'assunzione di avere valori di densità corrispondenti a  $768 \text{ kg/m}^3$ , rispetto ai dati riportati nella linea guida DNV pari a  $1325 \text{ kg/m}^3$ , ossia maggiori del 42%.

		Reference	Bottom WD (m)	Ref. WD (m)	biomass growth rate ( $\text{kg/m}^2/\text{year}$ )	Growth rate (mm/year) density 1325 $\text{kg/m}^3$	Growth rate (mm/year) density 768 $\text{kg/m}^3$
<b>Fouling and macrofouling on a floating body</b>							
Ligurian Sea	ODAS	Relini et al., 1999a	1270	-11 to -20 <sup>(1)</sup>	2.08	1.6	2.7
				-37 <sup>(1)</sup>	4.24	3.2	5.5
				-12 <sup>(2)</sup>	2.80	2.1	3.6
				-33 <sup>(2)</sup>	4.74	3.6	6.2
<b>Mussels on fixed structures</b>							
Ionian Sea	LUNA-A		70	surf	5.4	4.1	7.0



Ichonusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

<b>PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE</b> PROGETTO DEFINITIVO		
<b>Relazione tecnica – Biofouling sulle strutture sommerse</b>		
Codice documento: <b>C0421YR26BIOFOU00g</b>	Data emissione: <b>Marzo 2023</b>	Pagina <b>22 di 37</b>

		Reference	Bottom WD (m)	Ref. WD (m)	biomass growth rate (kg/m <sup>2</sup> /year)	Growth rate (mm/year) density 1325 kg/m <sup>3</sup>	Growth rate (mm/year) density 768 kg/m <sup>3</sup>
Ligurian Sea	GOLP	Relini et al., 199b	50	-34	10.3	7.8	13.4
Adriatic Sea	PCW-A		12	surf	86.6	65.4	112.7
	AGO-A		23	surf	96.6	72.9	125.7

<sup>(1)</sup> fouling; <sup>(2)</sup> macrofouling

Un ulteriore esempio in merito alla crescita degli organismi marini del biofouling sono le piattaforme Perla e Prezioso, ubicate nel Mar di Gela, nel Canale di Sicilia, su fondali di 67 m (a 12 km al largo di Gela) e 45 m (a 21 km al largo di Marina Gela). Si tratta nello specifico di strutture offshore per l'estrazione degli idrocarburi, soggette periodicamente ad un programma di controllo mediante tecnici subacquei e veicoli filoguidati a controllo remoto (ROV, *Remotely Operated Vehicle*). Le ispezioni consistono in controlli visivi e strumentali non distruttivi sia delle parti immerse che sommerse e la rimozione del biofouling avviene generalmente ogni 5 anni.

Prendendo in considerazione la piattaforma Perla, una prima ispezione è avvenuta tra ottobre e novembre 2011; l'analisi ha evidenziato nella parte emersa della struttura l'azione corrosiva dell'acqua di mare con la presenza di sfogliature di ruggine e camolature modeste mentre, nella parte immersa, accrescimento di organismi marini composto prevalentemente da depositi calcarei incrostanti, cozze e denti di cane (Tabella 3.7).

I fotogrammi ricavati dai video ROV mostrano inoltre che (Figura 3.15):

- dai 2 ai 5 m di profondità lo spessore dell'hard-fouling è pari a 3 mm rispetto al ricoprimento algale (soft-fouling) che si aggira fino ad uno spessore di 150 mm;
- fino ai 10 m le concrezioni calcaree misurano circa 5 mm, mentre il materiale molle aumenta fino ai 200 mm;
- superati i 10 m si osserva un cambiamento nella tendenza di crescita. Lo spessore del soft-fouling inizia a diminuire fino a 20-25 mm alla profondità di 60 m, rispetto al materiale duro il cui spessore si stabilisce intorno ai 35 mm alla medesima batimetria (ENI S.p.A. Div. E&P, 2011).



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica – Biofouling sulle strutture sommerse**

Codice documento:  
**C0421YR26BIOFOU00g**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**23 di 37**

**Tabella 3.7 – Misura dell'accrescimento marino, piattaforma Perla.**

Fonte: (ENI S.p.A. Div. E&P, 2011).

Rapporto No.: 001

Cliente: ENI

Campo offshore: OFFSHORE GELA

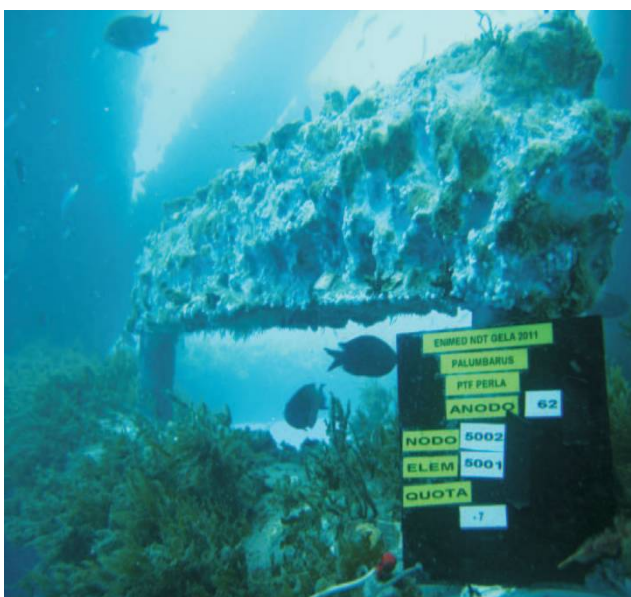
Nome piattaforma: ptf GELA

Sistema di immersione e di ispezione: ROV FALCON 12183

Nave appoggio: M/S VOS MAESTRALE

No.	Tipologia Elemento o Gruppi Elementi <sup>(1)</sup>	Posizione	Elev. (LAT) [m]	Duro		Molle		Commenti
				Sp. [mm]	Ext. [%]	Sp. [mm]	Ext. [%]	
01	Gamba	Gamba A1	2	3	50	1	20	L'accrescimento molle è costituito per la maggior parte da alghe. L'accrescimento duro è composto per la maggior parte da incrostazioni.
			5	3	100	150	80	
			10	5	100	200	80	
			20	5	100	200	80	
02	Gamba	Gamba A1	30	10	100	100	90	L'accrescimento molle è costituito per la maggior parte da alghe. L'accrescimento duro è composto per la maggior parte da denti di cane e ostriche.
			40	30	100	50	90	
			50	35	100	25	90	
			60	35	100	20	90	
03	Gamba	Gamba A2	2	3	50	1	20	L'accrescimento molle è costituito per la maggior parte da alghe. L'accrescimento duro è composto per la maggior parte da incrostazioni.
			5	3	100	150	80	
			10	5	100	200	80	
			20	5	100	200	80	
04	Gamba	Gamba A2	30	10	100	100	90	L'accrescimento molle è costituito per la maggior parte da alghe. L'accrescimento duro è composto per la maggior parte da denti di cane e ostriche.
			40	30	100	50	90	
			50	35	100	25	90	
			60	35	100	20	90	

1) ad esempio PIANO, FILA, ZONA TUBI GUIDA



**Figura 3.15 – Accrescimento dell'hard e soft-fouling sulla piattaforma Perla (2011).**

Fonte: (ENI S.p.A. Div. E&P, 2011).





Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica – Biofouling sulle strutture sommerse**

Codice documento:  
**C0421YR26BIOFOU00g**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**24 di 37**

Nel 2013 la piattaforma Perla è stata nuovamente soggetta ad un controllo periodico della sottostruttura (Tabella 3.8). Dai video ROV si evince che in due anni l'accrescimento calcareo non ha superato lo spessore dei 30 mm oltre i 50 m di profondità e che il ricoprimento algale si sia mantenuto nel range 100-200 mm fino ai 50 m di profondità per poi ridursi a 90 mm a 67 m (Eni S.p.A., 2013).

**Tabella 3.8 – Misura dell'accrescimento marino – Piattaforma Perla.**

Fonte: (Eni S.p.A., 2013).

Rapp n.	Posizione			Tipologia dura		Tipologia molle	
	Elemento	Elev. [m] (LAT)	Spessore [mm]	Estensione [%]	Spessore [mm]	Estensione [%]	
01	01	Gamba B1	-3	1	90	0	0
	02	Gamba B1	-5	1	90	200	40
	03	Gamba B1	-10	1	90	200	40
	04	Gamba B1	-20	3	100	150	70
02	05	Gamba B1	-30	30	100	150	70
	06	Gamba B1	-40	20	100	150	90
	07	Gamba B1	-50	30	90	150	90
	08	Gamba B1	-60	20	90	140	90
	09	Gamba B1	-67	1	80	90	50
03	10	Gamba A2	-3	1	90	0	0
	11	Gamba A2	-5	1	90	200	40
	12	Gamba A2	-10	1	90	200	40
	13	Gamba A2	-20	3	100	150	70
04	14	Gamba A2	-30	30	100	100	70
	15	Gamba A2	-40	20	100	110	80
	16	Gamba A2	-50	20	90	80	80
	17	Gamba A2	-60	20	90	50	80
	18	Gamba A2	-67	10	80	90	80

Nel novembre del 2021 le medesime operazioni sono state svolte per la piattaforma Prezioso (EniMED S.p.A, 2021). Nella zona emersa si è riscontrato uno stato di ossidazione corrispondente alla “splash zone” mentre nella zona immersa si è osservato un accrescimento calcareo soprattutto a 8 m con 100 mm di spessore e a 24 m di profondità con un valore outliers di 300 mm (Tabella 3.9).

**Tabella 3.9 – Misura dell'accrescimento marino – Piattaforma Prezioso.**

Fonte: (EniMED S.p.A, 2021).

Rapp. n.	Posizione			Tipologia dura		Tipologia molle		Commenti
	Nodo	Elemento	Elev. [m] (LAT)	Spessore [mm]	Estensione [%]	Spessore [mm]	Estensione [%]	
1	103	5201	-44	150	100	-	-	Leggermente interrato, effettuata pulizia ad ore 6 per un h di circa 150 mm
2	105	1003	-45	N/A	N/A	N/A	N/A	Nodo interrato
3	170	1821	-33	100	100	-	-	-
4	217	5505	-24	300	100	-	-	-
5	242	2601	-24	100	100	-	-	-
6	242	2805	-24	100	100	-	-	-
7	245	2602	-24	150	100	-	-	-



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

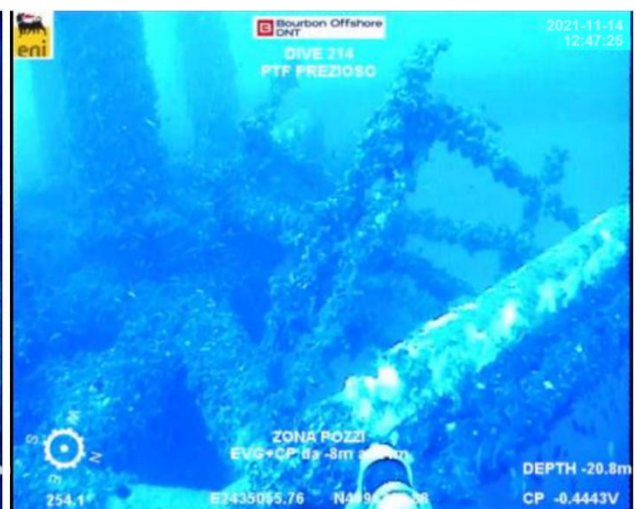
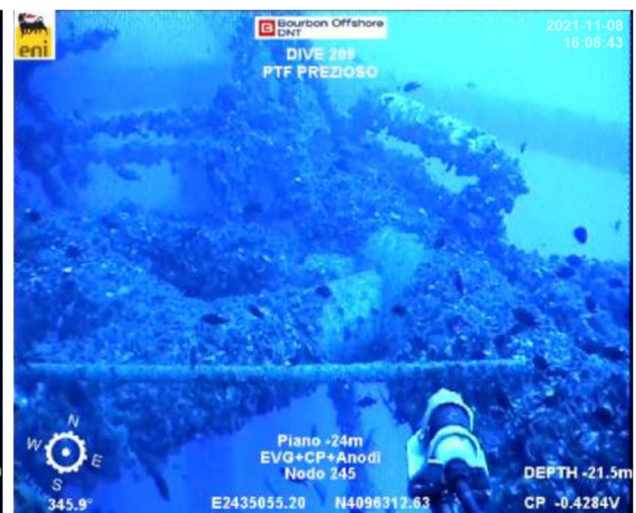
**Relazione tecnica – Biofouling sulle strutture sommerse**

Codice documento:  
**C0421YR26BIOFOU00g**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**25 di 37**

Rapp. n.	Posizione			Tipologia dura		Tipologia molle		Commenti
	Nodo	Elemento	Elev. [m] (LAT)	Spessore [mm]	Estensione [%]	Spessore [mm]	Estensione [%]	
8	245	2805	-24	150	100	-	-	-
9	301	3104	-8	70	100	-	-	-
10	301	5501	-8	50	100	-	-	-
11	308	3101	-8	100	100	-	-	-
12	312	3102	-8	50	70	10	30	-
13	312	3710	-8	50	70	10	30	-
14	312	5503	-8	50	70	10	30	-
15	315	3304	-8	10	10	-	-	-
16	315	5607	-8	100	100	-	-	-
17	317	5608	-8	100	100	-	-	-
18	319	3103	-8	20	100	-	-	-
19	319	5504	-8	50	100	-	-	-
20	342	3709	-8	300	100	-	-	-



**Figura 3.16 – Accrescimento dell’hard e soft-fouling sulla piattaforma Prezioso (2021).**

Fonte: (EniMED S.p.A, 2021).

Dai dati e dalle immagini ricavate dai video ROV delle piattaforme petrolifere sopra descritte emerge che il biofouling si sviluppa prevalentemente nei primi 50-60 m della colonna d’acqua, il cui massimo valore registrato



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting **Studio**

<b>PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE</b> PROGETTO DEFINITIVO		
<b>Relazione tecnica – Biofouling sulle strutture sommerse</b>		
Codice documento: <b>C0421YR26BIOFOU00g</b>	Data emissione: <b>Marzo 2023</b>	Pagina <b>26 di 37</b>

è stato di 300 mm. Questo permette di presupporre che il moto ondoso svolga una prima azione di controllo sulla biocostruzione limitandone la crescita.





Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica – Biofouling sulle strutture sommerse**

Codice documento:  
**C0421YR26BIOFOU00g**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**27 di 37**

## 4. STRATEGIE DI GESTIONE DEL BIOFOULING

La gestione del biofouling si esplica generalmente in due fasi, una preventiva durante la progettazione attraverso il corretto dimensionamento delle strutture e degli spessori, stimando anche il carico dovuto all'accrescimento biologico, il ricorso a speciali coating anti-vegetativi (esenti dalla presenza di composti organostannici ormai vietati dalla normativa internazionale) che inibiscono o ritardano l'attecchimento delle specie incrostanti, l'altra correttiva, durante l'esercizio delle opere attraverso l'attuazione di un piano di monitoraggio e manutenzione finalizzato al controllo delle condizioni di accrescimento.

### 4.1. Indicazioni delle linee guida di settore

Alcuni standard, linee guida e disposizioni di legge sono attualmente in vigore e/o utilizzo per l'unificazione dei metodi di calcolo e la regolamentazione della gestione del biofouling in fase di progetto e manutenzione. Di seguito si riporta un breve elenco delle principali indicazioni di settore tra cui alcuni esempi di standard (Det Norske Veritas, DNV) e norme applicabili all'industria petrolifera offshore e alla navigazione. Le linee guida si riferiscono principalmente ai dati raccolti nel Mare del Nord.

- IMO (International Maritime Organization) 2001. *The International Convention on the Control of Harmful Anti-fouling Systems on Ships*. Vieta l'utilizzo dei sistemi antivegetativi nocivi sulle navi così da poter prevenire e limitare le conseguenze nell'ecosistema marino ad opera delle sostanze antifouling. L'Accordo si compone di 21 articoli e 4 allegati, di cui:
  - art.1 “Gli Stati Membri si impegnano a ridurre o a eliminare tali effetti negativi sull'ambiente marino e sulla salute umana e ad incoraggiare il continuo sviluppo di sistemi anti-vegetativi efficaci e sicuri dal punto di vista ambientale. Gli Stati Membri inoltre, si impegnano a cooperare al fine di garantire un'efficace messa in opera, l'osservanza e applicazione effettiva della Convenzione”.
  - art. 5 “Gli Stati Membri hanno l'obbligo di imporre sul proprio territorio che la raccolta, la movimentazione, il trattamento e lo smaltimento dei residui derivanti dall'applicazione o dalla rimozione dei sistemi anti-vegetativi nocivi considerati dall'Allegato 1 avvenga in maniera ambientalmente sicura e compatibile, tenendo conto delle regole e standard internazionali applicabili”.
- IMO (International Maritime Organization) 2011. *Guidelines for the control and management of ships' biofouling to minimize the transfer of invasive aquatic species*. Nel 2004 con l'adozione della Convenzione BWM (*International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments*) gli Stati aderenti si impegnano a ridurre il trasferimento delle specie acquatiche non indigene per via marittima, soprattutto attraverso l'acqua di zavorra così da prevenirne la diffusione da una regione all'altra. Ai sensi della Convenzione, le navi sono tenute a gestire le acque di zavorre e quindi installare un sistema di trattamento a bordo.
- NORSOK N-003 *Actions and action effects*.
- ISO 12944-5:2019. *Paints and varnishes - Corrosion protection of steel structures by protective paint systems - Part 5: Protective paint systems*. Fornisce indicazioni per le vernici e i sistemi di verniciatura utilizzati per la protezione dalla corrosione delle strutture in acciaio.
- ISO 19901-1:2015. *Petroleum and natural gas industries - Specific requirements for offshore structures - Part 1: Metocean design and operating considerations*.
- ISO 19902:2020. *Petroleum and natural gas industries – Fixed steel offshore structures*.
- ISO 19904-1. *Petroleum and natural gas industries - Floating offshore structures - Part 1: Monohulls*,



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

<b>PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE</b> PROGETTO DEFINITIVO		
<b>Relazione tecnica – Biofouling sulle strutture sommerse</b>		
Codice documento: <b>C0421YR26BIOFOU00g</b>	Data emissione: <b>Marzo 2023</b>	Pagina <b>28 di 37</b>

*semi-submersibles and spars.*

- NR 445: *Rules for Offshore Units*
- NI572: *Guidance Note for the Classification and Certification of Floating Offshore Wind Turbines.*
- NI432 R02: *Certification of fibre ropes for deepwater offshore services.*
- NI624 R00: *Risk-based structural integrity management of offshore jacket structures.*
- DNV-RP-C205. *Environmental conditions and environmental loads.* Fornisce una guida per la modellazione, l'analisi e la previsione delle condizioni ambientali oltre che una guida per il calcolo dei carichi ambientali che possono agire sulle strutture.
- DNV-ST-0119. *Floating wind turbine structures.* Fornisce i principi generali per la progettazione strutturale delle strutture eoliche galleggianti.
- DNV-OS-E301. *Position mooring.*
- DNV-OS-J101. *Design of Offshore Wind Turbine Structures.*
- DNVGL ST 0437 Load and site conditions for wind turbines November 2016
- DNVGL-CP-0110 Anti-fouling systems March 2016
- DNVGL-RP-B101 Corrosion protection of floating production and storage units
- American Bureau of Shipping GUIDANCE NOTES ON BIOFOULING MANAGEMENT PLANS AUGUST 2019
- D.11/05/18. Approvazione dell'Accordo per la delega dei compiti di certificazione statutaria all'American Bureau of Shipping per le navi registrate in Italia, come previsto dalla «Convenzione AFS» e dal regolamento (CE) n. 782/2003 e successive modifiche e integrazioni (18A05246);
- Convenzione Antifouling (IMO) - International Convention on the Control of Harmful Anti-fouling Systems on Ships. Adoption: 5 October 2001; Entry into force: 17 September 2008
- REGOLAMENTO (CE) N. 536/2008 DELLA COMMISSIONE del 13 giugno 2008 sul divieto dei composti organostannici sulle navi;
- D. 06/11/03, n. 367 Regolamento concernente la fissazione di standard di qualità nell'ambiente acquatico per le sostanze pericolose;
- Regolamento (CE) n. 782/2003 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 14 aprile 2003, sul divieto dei composti organostannici sulle navi.
- Direttiva 76/769/CE, vieta a decorrere dal 1° gennaio 2003, l'immissione sul mercato e l'uso di composti organostannici nei prodotti antivegetativi destinati a qualsiasi tipo di nave, indipendentemente dalla lunghezza. In particolare, tali composti organostannici non possono essere immessi nel mercato o utilizzati come sostanze e costituenti di preparazioni che abbiano funzione di biocidi per impedire la formazione di incrostazioni di microrganismi, piante o animali su:
  - imbarcazioni di qualsiasi lunghezza da utilizzare per la navigazione marittima, costiera, estuariale, interna o lacustre;
  - gabbie, galleggianti, reti e qualsiasi altra apparecchiatura o impianto utilizzato nella piscicoltura e nella molluschicoltura;
  - qualsiasi apparecchiatura o impianto parzialmente o totalmente sommerso.

## 4.2. Prevenzione del biofouling

Il biofouling è, come detto, costituito in generale da un'elevata varietà di organismi; ciò determina la necessità, in fase di progettazione delle strutture sommerse, di utilizzare sostanze anti-vegetative o anti-fouling ad ampio



Ichnusa wind power srl

iLStudio.  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica – Biofouling sulle strutture sommerse**

Codice documento:  
**C0421YR26BIOFOU00g**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**29 di 37**

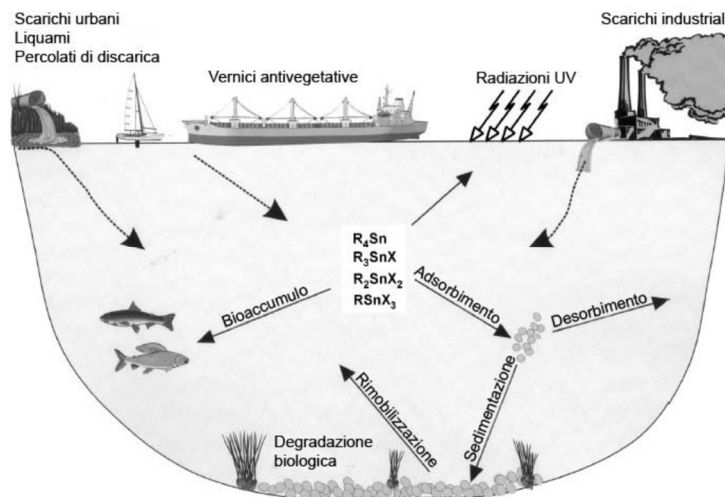
spettro d'azione e, auspicabilmente, di lunga durata.

Generalmente si definisce "sistema antivegetativo" un rivestimento, una vernice, un trattamento superficiale, una superficie o un dispositivo utilizzato su uno scafo per controllarne o prevenirne la colonizzazione da parte di organismi indesiderati". In passato, la calce e più tardi l'arsenico venivano utilizzati per rivestire gli scafi delle navi e prevenirne la biocolonizzazione; questi composti lentamente "lisciviano" nell'acqua di mare, uccidendo cirripedi e altre forme di vita marina attecchite allo scafo. Studi successivi hanno però dimostrato che questi composti persistono nell'acqua, uccidono in maniera non selettiva la vita marina, danneggiano l'ambiente e entrano per bioaccumulo nella catena alimentare. Una delle vernici antivegetative più efficaci, sviluppata nel 1960, era a base di tributale di stagno o la tributilina (TBT), che ha dimostrato, tra gli altri, di causare deformazioni nelle ostriche.

Gli effetti nocivi sull'ambiente dei composti organostannici sono stati riconosciuti dall'IMO nel 1989. Nel 1990 il Comitato per la protezione dell'ambiente marino (MEPC) dell'IMO ha adottato una risoluzione che raccomandava ai governi di adottare misure per eliminare l'uso di vernici antivegetative contenenti TBT su navi con scafo non in alluminio di lunghezza inferiore a 25 metri ed eliminare l'uso di vernici antivegetative con un tasso di lisciviazione superiore a quattro microgrammi di TBT al giorno.

Nel novembre 1999, l'IMO ha adottato una risoluzione dell'Assemblea che invitava il MEPC a sviluppare uno strumento, giuridicamente vincolante a livello mondiale, per affrontare gli effetti nocivi dei sistemi antivegetativi utilizzati sulle navi. La risoluzione chiedeva un divieto globale sull'applicazione di composti organostannici biocidi nei sistemi antivegetativi delle navi entro il 1° gennaio 2003 e un divieto totale entro il 1° gennaio 2008.

Lo strumento è stato successivamente adottato come Convenzione internazionale sul controllo dei sistemi antivegetativi nocivi sulle navi.



**Figura 4.1 – Fonti di immissione e meccanismi di distribuzione dei composti organostannici.**

Fonte: (ISPRA, et al., 2015).

I coatings utilizzati saranno, in coerenza con gli standard internazionali in materia, privi di componenti organostannici. Inoltre, saranno conformi alla Direttiva 2004/42/CE del 21/04/04 sulla riduzione delle emissioni di composti organici volatili dovuti all'uso di solventi organici.

Per le fondazioni galleggianti, con l'obiettivo di contrastare la corrosione elettrochimica, si prevederà, oltre all'applicazione di vernici anticorrosive sulle superfici esposte, l'utilizzo di un idoneo sistema di protezione catodica.



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting **Studio**

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica – Biofouling sulle strutture sommerse**

Codice documento:  
**C0421YR26BIOFOU00g**

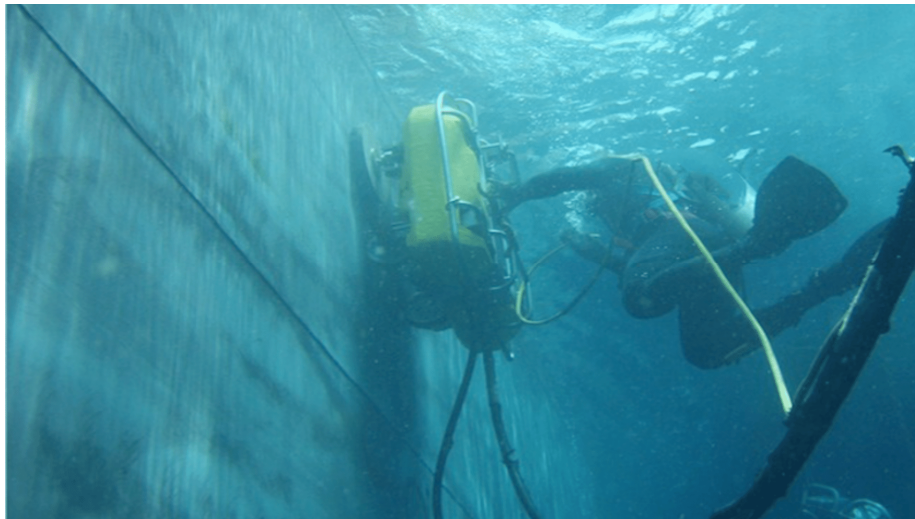
Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**30 di 37**

### 4.3. Manutenzione del biofouling

Durante l'intera vita utile del progetto eolico, sia sulle strutture di fondazione che sulle linee di ormeggio e sui cavi, sarà disposto un piano di monitoraggio subacqueo mediante OTS e/o ROV finalizzata al controllo delle condizioni di accrescimento sulle strutture in accordo alle condizioni di buona funzionalità. Qualora a valle del monitoraggio si dovesse accertare la necessità di rimozione del biofouling, si potrà procedere come descritto di seguito fermo restando l'accesso alle migliori tecniche e tecnologie disponibili (BAT) durante l'esercizio degli impianti.

**Rimozione meccanica subacquea** mediante ROV equipaggiato di spazzole morbide, predisponendo idonei sistemi di raccolta per limitare e/o prevenire la dispersione di materiale biologico nella colonna d'acqua. In questa direzione, sono ad oggi in studio/sviluppo soluzioni tecniche finalizzate a prevenire la dispersione di materiale organico attraverso dispositivi di aspirazione e filtrazione e/o cattura del materiale rimosso tramite reti.



**Figura 4.2 – ROV equipaggiato con spazzole morbide.**

Fonte: <https://www.subseaglobalsolutions.com/services/underwater-hull-cleaning>.

**Rimozione meccanica su nave strumentata** (solo per linee di ormeggio e cavi elettrici) previo smontaggio, caricamento della linea su idonea imbarcazione strumentata e rimozione del biofouling mediante l'utilizzo di una coramella in polietilene ad alta resistenza (HMPE); in questo caso il biofouling rimosso sarà stoccato direttamente sul pontile della nave e successivamente trasportato a terra per il trattamento/smaltimento.





Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting **Studio**

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica – Biofouling sulle strutture sommerse**

Codice documento:  
**C0421YR26BIOFOU00g**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**31 di 37**



**Figura 4.3 – Coramella in polietilene ad alta resistenza (HMPE).**

Fonte: <https://dynamica-ropes.com/products/fowl/>.

In entrambi i casi la biomassa raccolta verrà opportunamente immagazzinata e conferita alle strutture di smaltimento rifiuti, attraverso i canali previsti dalla normativa vigente.



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

<b>PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE</b> PROGETTO DEFINITIVO		
<b>Relazione tecnica – Biofouling sulle strutture sommerse</b>		
Codice documento: <b>C0421YR26BIOFOU00g</b>	Data emissione: <b>Marzo 2023</b>	Pagina <b>32 di 37</b>

## 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 calcolazione.

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.



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica – Biofouling sulle strutture sommerse**

Codice documento:  
**C0421YR26BIOFOU00g**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**33 di 37**

## 6. BIBLIOGRAFIA

Aldred, N. et al., 2010. Attachment strength is a key factor in the selection of surfaces by barnacle cyprids (*Balanus amphitrite*) during settlement.. *Biofouling*, Volume 26, pp. 287-299.

Almeida, L. P. & Coolen, J. W. P., 2020. Modelling thickness variations of macrofouling communities on offshore platforms in the Dutch North Sea.. *J. Sea Res.*, Volume 156, pp. 1-8.

Ameryoun, H., Schoefs, F., Barillé, L. & Thomas, Y., 2019. Stochastic Modeling of Forces on Jacket-Type. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(5), p. 158.

Bartsch, I. et al., 2008. The genus *Laminaria* sensu lato: Recent insights and developments.. *Eur. J. Phycol.*, Volume 43, pp. 1-86.

Bouyssou, A. & Madjidian, J., 2013. Biofouling: a means of aquatic species transfer. *NSBWO*, Volume 3.

Callaghan, J. & Boud, R., 2006. *Future Marine Energy. Results of the Marine Energy Challenge: Cost competitiveness and growth of wave and tidal stream energy*. London, UK: Carbon Trust.

Canepa, E., Pensieri, S., Faimali, M. & Traverso, P., 2015. The ODAS Italia 1 buoy: More than forty years of activity in the Ligurian Sea. *Progress in Oceanography*, Volume 135, pp. 48-63.

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

Clare, A. S. & Aldred, N., 2009. Surface colonisation by marine organisms and its impact on antifouling research.. *Advances in Marine Antifouling Coatings and Technologies*, pp. 46-79.

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

Connell, J. H. & Slayter, R. O., 1997. Mechanism of succession in natural communities and their role in community stability and organization.. *Amer. Naturalist*, 111(982), pp. 1119-1144.

Coolen, J. W. P., Almeida, L. P. & Olie, R., 2019. Modelling marine growth biomass on North Sea offshore structures. *Structures in the Marine Environment*.

Dahlem, C., Moran, P. & Grant, T., 1984. Larval settlement of marine sessile invertebrates on surfaces of different colour and position. *Ocean Sci. Eng.*, Volume 9, pp. 225-236.

Dayton, P. K., 1971. Competition, disturbance, and community organization: The provision and subsequent utilization of space in a rocky intertidal community.. *Ecol. Monogr.*, Volume 41, pp. 351-389.

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.

Decurey, B., Schoefs, F., Barille, A. L. & Soulard, T., 2020. Model of Bio-Colonisation on Mooring Lines: Updating Strategy Based on a Static Qualifying Sea State for Floating Wind Turbines.. *J. Mar. Sci. Eng.*, Volume 8, p. 108.

Dobretsov, S., Abed, R. M. M. & Voolstra, C. R., 2013. The effect of surface colour on the formation of marine micro and macrofouling communities. *Biofouling*, Volume 29, pp. 617-627.

ENI S.p.A. Div. E&P, 2011. Piattaforma Perla. Ispezione periodica alla sottostruttura. Rapporto Finale..

Eni S.p.A., 2013. Piattaforma Perla. Rapporto Finale..

EniMED S.p.A, 2021. Piattaforma Prezioso. Ispezione periodica alla sottostruttura. Rapporto Finale..



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica – Biofouling sulle strutture sommerse**

Codice documento:  
**C0421YR26BIOFOU00g**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**34 di 37**

Foster, B., 1987. *Barnacle ecology and adaptation..* 1 a cura di Rotterdam, The Netherlands: A.A. Balkema.

Glasby, T. M., Connell, S. D., Holloway, M. G. & Hewitt, C. L., 2007. Nonindigenous biota on artificial structures: could habitat creation facilitate biological invasions?. *Marine Biology*, Volume 151, pp. 887-895.

Hellio, C. & Yebra, D., 2009. *Advances in Marine Antifouling Coatings and Technologies*, Boca Raton, FL, USA: Claire Hellio e Diego Yebra.

ISMAR-CNR, 2012. Biofouling e Antifouling (nuovi approcci per lo sviluppo di tecnologie sostenibili).

ISPRA, Berto, D. & Boscolo Brusà, R., 2015. I composti organostannici in ambiente marino e lagunare. *ISPRA, QUADERNI – Ricerca Marina*, Issue 8, p. 117.

Istituto Idrografico della Marina, 1982. *Atlante delle correnti superficiali dei mari italiani*, Genova: Istituto Idrografico della Marina.

Johnson, L. E. & Strathmann, R. R., 1989. Settling barnacle larvae avoid substrata previously occupied by a mobile predator. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, Volume 128, pp. 87-103.

Jusoh, I. & Wolfram, J., 1996. Effects of marine growth and hydrodynamic loading on offshore structures. *J. Mek.*, Volume 1, pp. 77-96.

Kamino, K., 2013. Mini-review: Barnacle adhesives and adhesion. *Biofouling*, Volume 29, pp. 735-749.

Kerckhof, F., Rumes, B. & Degraer, S., 2019. About “mytilisation” and “slimeification”: A decade of succession of the fouling assemblages on wind turbines off the Belgian coast.. *Environmental Impacts of Offshore Wind Farms in the Belgian Part of the North Sea: Marking a Decade of Monitoring, Research and Innovation.*, pp. 73-84.

Koehl, M., 2007. Mini review: Hydrodynamics of larval settlement into fouling communities.. *Biofouling*, Volume 23, pp. 357-368.

Lehaitre, M., Delauney, L. & Compere, C., 2008. Biofouling and underwater measurements. *Real-Time Observation Systems for Ecosystem Dynamics Harmful Algal Blooms: Theory, Instrumentation Modelling; Babin, M., Roesler, C.S., Cullen, J.J., Eds.; UNESCO Publishing: Paris, France.*, pp. 463-493.

Lewis, J. A., 2001. *10th International Congress on Marine Corrosion and Fouling, University of Melbourne, February 1999: Additional Papers.* s.l., DSTO Aeronautical and Maritime Research Laboratory.

Maksassi, Z. et al., 2022. Thermal Characterization and Thermal Effect Assessment of Biofouling around a Dynamic Submarine Electrical Cable. *Energies*, 15(9), p. 3087.

Mallat, C., Corbett, A., Harris, G. & Lefranc, M., 2014. Marine Growth on North Sea Fixed Steel Platforms: Insights From the Decommissioning Industry. *Proceedings of the ASME 2014 33rd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering. Volume 1A: Offshore Technology.*

Miller, R. G. & Macleod, A. K., 2016. Marine Growth Mapping and Monitoring. Feasibility of Predictive Mapping of Marine Growth. *Catapult Offshore Renewable Energy*, p. 51.

Newell, R. C. & Branch, G., 1980. The influence of temperature on the maintenance of metabolic energy balance in marine invertebrates.. *Advances in Marine Biology*, Volume 17, pp. 329-396.

Pomerat, C. & Weiss, C., 1946. The influence of texture and composition of surface on the attachment of sedentary marine organisms. *Biol. Bull.*, Volume 91, pp. 57-65.

Raffaelli, D. & Hawkins, S., 1999. Intertidal Ecology. *Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, The Netherlands*, p. 365.

Railkin, A. I., 2003. *Marine Biofouling: Colonization Processes and Defenses.* 1 a cura di Boca Raton: CRC





Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica – Biofouling sulle strutture sommerse**

Codice documento:  
**C0421YR26BIOFOU00g**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**35 di 37**

Press.

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

Relini, G. & Montanari, M., 1999. Macrofouling Role of Mussels in Italian Seas: A Short Review. *10th International Congress on Marine Corrosion and Fouling*.

Relini, G., Montanari, M., Moschella, P. & Siccardi, A., 1999. Macrofouling of an Oceanographic Buoy in the Ligurian Sea (Western Mediterranean).. *10th International Congress on Marine Corrosion and Fouling University of Melbourne*.

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

Rittschof, D. et al., 2008. Barnacle reattachment: A tool for studying barnacle adhesion.. *Biofouling*, Volume 24, pp. 1-9.

Roberts, D., Rittschof, D., Holm, E. & Schmidt, A. R., 1991. Factors influencing initial larval settlement: temporal, spatial and surface molecular components. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 150(2), pp. 203-221.

Scardino, A., Huenther, J. & De Nys, R., 2008. Attachment point theory revisited: The fouling response to a microtextured matrix.. *Biofouling*, Volume 24, pp. 45-53.

Scardino, A. J. & De Nys, R., 2011. Mini review: Biomimetic models and bioinspired surfaces for fouling control.. *Biofouling*, Volume 27, pp. 73-86.

Scardino, A. J., Fletcher, L. E. & A Lewis, J., 2009. Fouling control using air bubble curtains: protection for stationary vessels. *Proceedings of the Institute of Marine Engineering, Science, and Technology. Part A, Journal of marine engineering and technology*, Issue 13, pp. 3-10.

Shun-Han, Y., 2016. The Influence of biofouling on power capture and the fatigue life of mooring lines and power cables used in wave energy converters. *Proceedings of Renew 2016, 2nd International Conference on Renewable Energies Offshore, Lisbon, Portugal, 2016*.

Siccardi, A. et al., 1997. ODAS Italia 1. Laboratorio marino d'altura in Mar Ligure.

Spalding, M. D. et al., 2007. Marine Ecoregions of the World: A Bioregionalization of Coastal and Shelf Areas. *BioScience*, Volume 57, pp. 573-583.

Spraul, C., Oham, H.-D., Arnal, V. & Reynaud, M., 2017. *Effect of Marine Growth on Floating Wind Turbines Mooring Lines Responses*. Lille, FLOATGEN.

Swain, G. et al., 2000. Biofouling and barnacle adhesion data for fouling-release coatings subjected to static immersion at seven marine sites.. *Biofouling*, Volume 16, pp. 331-344.

Swain, G., Herpe, S., Ralston, E. & Tribou, M., 2006. Short-term testing of antifouling surfaces: The importance of colour. *Biofouling*, Volume 22, pp. 425-429.

Titah-Benbouzid, H. & Benbouzid, M., 2017. Biofouling issue on marine renewable energy converters: A state of the art review on impacts and prevention.. *Int. J. Energy Convers.*, Volume 5, pp. 67-78.

Van Der Stap, T., Coolen, J. W. P. & Lindeboom, H. J., 2016. Marine Fouling Assemblages on Offshore Gas Platforms in the Southern North Sea: Effects of Depth and Distance from Shore on Biodiversity.. *PLoS ONE*, Volume 11.

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.



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting **Studio**

<b>PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE</b> PROGETTO DEFINITIVO		
<b>Relazione tecnica – Biofouling sulle strutture sommerse</b>		
Codice documento: <b>C0421YR26BIOFOU00g</b>	Data emissione: <b>Marzo 2023</b>	Pagina <b>36 di 37</b>

Wahl, M., 1989. Marine epibiosis. I. Fouling and antifouling: some basic aspects. *Marine Ecology Progress*, Volume 58, pp. 175-189.

Whitehead, K. A. & Verran, J., 2009. The effect of substratum properties on the survival of attached microorganisms on inert surfaces.. *Marine and Industrial Biofouling*, Volume 4, pp. 13-33.

Wright, C., Pakrashi, V. & Murphy, J., 2016. The dynamic effects of marine growth on a tension moored floating wind turbine. *Proceedings of Renew.*



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting **Studio**

<b>PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE</b> PROGETTO DEFINITIVO		
<b>Relazione tecnica – Biofouling sulle strutture sommerse</b>		
Codice documento: <b>C0421YR26BIOFOU00g</b>	Data emissione: <b>Marzo 2023</b>	Pagina <b>37 di 37</b>

*Il presente documento, composto da n. 43 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.*

Taranto, Marzo 2023

Dott. Ing. Luigi Severini