

Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili

Domanda di Autorizzazione Unica ex art. 12 D.lgs 387/2003

Ministero della Transizione Ecologica

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

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN
PARCO EOLICO OFFSHORE DI TIPO FLOATING
NEL CANALE DI SICILIA

PROGETTO DEFINITIVO

Allegato allo Studio di Impatto Ambientale



Impatto del Biofouling sulle
strutture dei parchi eolici

ORDINE DEGLI INGEGNERI
della Provincia di TARANTO
Dott. Ing. 
SEVERINI LUIGI
Elaborazioni
N. 776
ilStudio

YR30

C0420.YR30.IMPBIO.00.c

Engineering & Consulting **Studio**

Concept & Innovations:

NiceTechnology[®]

00	30/11/2021	Progetto Definitivo		Ing. L. Severini
REV	DATA	DESCRIZIONE	DESIGNER	PLANNER

Codice:

C	0	4	2	0	Y	R	0	3	0	I	M	P	B	I	O	0	0	c
NUM.COMM.	ANNO	CODSET	NUM.ELAB.	DESCRIZIONE ELABORATO												REV.	R.I.	

	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA	Documento C0420.YR030..IMPBIO.00.c		
iLStudio. Engineering & Consulting Studio	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2021		
IMPATTO DEL BIOFOULING SULLE STRUTTURE DEI PARCHI EOLICI		Pagina 3	Di 21	

SOMMARIO

1	RIFERIMENTI NORMATIVI	4
2	INTRODUZIONE E SCOPO DEL DOCUMENTO.....	5
3	IL BIOFOULING	9
3.1	MODELLAZIONE BIOFOULING	11
3.2	IL MARINE GROWTH NELLE ACQUE ITALIANE	13
3.2.1	Marine growth su una struttura offshore galleggiante.....	13
3.2.1.1	<i>Marine growth su una struttura offshore fissa</i>	<i>16</i>
4	CONCLUSIONI.....	19
5	BIBLIOGRAFIA	20

	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA	Documento C0420.YR030..IMPBIO.00.c	
ilStudio. Engineering & Consulting Studio	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2021	
	IMPATTO DEL BIOFOULING SULLE STRUTTURE DEI PARCHI EOLICI	Pagina 4	Di 21

1 RIFERIMENTI NORMATIVI

- 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. 6/11/03, 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:
 1. imbarcazioni di qualsiasi lunghezza da utilizzare per la navigazione marittima, costiera, estuariale, interna o lacustre;
 2. gabbie, galleggianti, reti e qualsiasi altra apparecchiatura o impianto utilizzato nella piscicoltura e nella molluschicoltura;
 3. qualsiasi apparecchiatura o impianto parzialmente o totalmente sommerso.

	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA	Documento C0420.YR030..IMPBIO.00.c	
iLStudio. Engineering & Consulting Studio	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2021	
	IMPATTO DEL BIOFOULING SULLE STRUTTURE DEI PARCHI EOLICI	Pagina 5	Di 21

2 INTRODUZIONE E SCOPO DEL DOCUMENTO

Con l'evolversi della tecnologia e con la sempre maggiore attenzione alle tematiche del clima e dell'inquinamento, molti più settori di ricerca e sviluppo si stanno approfondendo. L'eolico offshore può fortunatamente attingere, come punto di partenza, al settore della nautica e dell'oil&gas che hanno dalla loro oltre 60anni di studi, banche dati, linee guida e norme tecniche.

Tale punto di partenza non è però bastevole, in quanto la sensibilità ambientale è cambiata e bisogna considerare, con maggiore attenzione e parametri più stringenti, gli impatti positivi e negativi sull'ambiente e la vincolistica di settore.

Parlando specificatamente di accrescimento biocenotico sulle strutture installate a mare, esistono diversi standard, linee guida e legislazione a livello internazionale. Attualmente si fa riferimento alla documentazione fornita da Det Norske Veritas (DNV-GL), British Standards Institute (BSI) e l'International Organization for Standardization (ISO) che spesso è basata su dati derivati dal Mare del Nord che non sono adattabili facilmente a località o regioni specifiche, in più poche normative si occupano specificamente del settore delle energie rinnovabili marine.

Peraltro, ai fini della presente relazione sono stati utilizzati il Database europeo del biofouling (*Marine Biofouling: A European Database for the Marine Renewable Energy Sector*), creato a sostegno del settore delle *Marine Renewable Energies* (MRE) e di altre industrie marittime. Il dataset raccoglie in un unico documento dati qualitativi e quantitativi per la ricerca dei gruppi di biofouling, comprese le specie non autoctone associate alle MRE e alle relative attrezzature marine, in diverse ecoregioni europee. Inoltre, esso fornisce informazioni sul verificarsi di specie incrostanti e dati sui principali parametri di biofouling, come lo spessore e il peso del biofouling.

La crescita marina può alterare considerevolmente il peso delle strutture. Il peso del biofouling che agisce su una struttura dipende dal volume del biofouling e dalle proporzioni relative di specie dure, dense e morbide. Sebbene le soglie di effetto per la massa di biofouling sui dispositivi siano attualmente difficili da definire, la comprensione del peso, del peso in acqua e della densità di biofouling associata alla massa di biofouling sono evidenziati come importanti lacune di conoscenza da colmare per supportare il processo decisionale ingegneristico.

La valutazione della crescita marina serve ad aumentare il diametro effettivo dei componenti strutturali, con il potenziale di alterare la resistenza strutturale e coefficienti di massa aggiunti. Lo spessore della crescita marina è correlato al diametro effettivo dei componenti e sarà influenzato dalla composizione delle specie e dai tassi di crescita, che a loro volta sono influenzati dalle caratteristiche ambientali specifiche del luogo.

	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA	Documento C0420.YR030..IMPBIO.00.c	
ilStudio. Engineering & Consulting Studio	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2021	
IMPATTO DEL BIOFOULING SULLE STRUTTURE DEI PARCHI EOLICI		Pagina 6	Di 21



Figura 2.1 – Sezione di catenaria post manutenzione e sezione di catenaria colonizzata da biofouling

Nella progettazione è importante la comprensione delle caratteristiche ambientali al fine di poter sviluppare la corretta valutazione dei carichi delle strutture e degli impatti positivi o negativi che le opere installate possono avere sulla flora e la fauna.

Parlando di un parco eolico offshore galleggiante, uno tra i tanti fattori da considerare è proprio quello dell'accrescimento biologico sulle strutture e gli eventuali danni strutturali e da corrosione che l'evoluzione della bio-colonizzazione può produrre.

La natura casuale del biofouling e l'incertezza inerente ai processi biologici rendono molto complicata la modellazione del carico ambientale. 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.

Obiettivo del documento è l'inquadramento del fenomeno al fine di attuare mitigare future o eliminare gli impatti negativi sulle strutture offshore come l'eccesso di carico, l'occlusione delle strutture, l'aumento del coefficiente di resistenza idrodinamica e la corrosione e dare un inquadramento ambientale al fenomeno.

Il progetto, proposto dalla 7SEASmed S.r.l., consiste nella realizzazione di un impianto eolico offshore, collocato nel braccio di mare denominato "Canale di Sicilia".

L'impianto sarà realizzato nella fascia di mare rivolta ad ovest delle coste di Marsala, composto da 21 aerogeneratori ad asse orizzontale ed una sottostazione elettrica di trasformazione (FOS). Il sistema di fondazione utilizzato è di tipo galleggiante e permetterà l'installazione del parco in acque profonde e a grande distanza dalle coste.

La collocazione del progetto, frutto di una approfondita conoscenza delle caratteristiche del sito, armonizza le risultanze di studi e consultazioni specialistiche finalizzati alla migliore integrazione delle opere all'interno del contesto naturale e antropico pre-esistente.

Il layout proposto, scelto in relazione alle diverse alternative progettuali esaminate, prevede la disposizione delle turbine e della sottostazione FOS secondo filari paralleli che si estendono da sud-ovest verso nord-est a ortogonalmente alla direzione di vento prevalente spirante lungo la direttrice NO - SE del Canale di Sicilia. Tutte le strutture si collocano tra un minimo di circa 35 km ad un massimo di circa 43 km dalle coste italiane più vicine.

 ilStudio. Engineering & Consulting Studio	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA	Documento C0420.YR030..IMPBIO.00.c	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2021	
IMPATTO DEL BIOFOULING SULLE STRUTTURE DEI PARCHI EOLICI		Pagina 7	Di 21

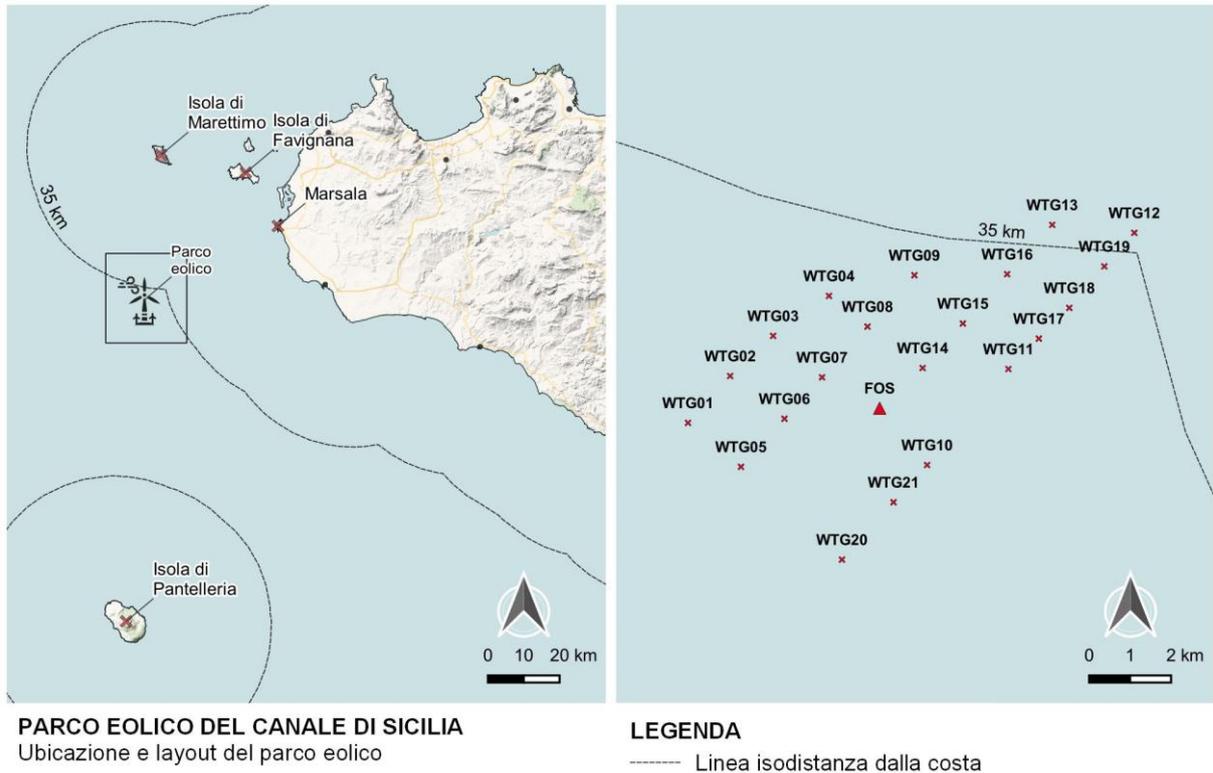


Figura 2.3 - Ubicazione del parco eolico e layout di impianto. Elaborazione ilStudio.

Ciascun aerogeneratore è costituito da un rotore tripala con diametro fino a 250 m calettato su torre ad una quota sul livello medio mare di 155 m.

L'energia elettrica, prodotta dalle turbine alla tensione di 66 kV, viene elevata a 220kV mediante apposita sottostazione elettrica di trasformazione offshore galleggiante (FOS) ed esportata, con elettrodotto sottomarino, fino al punto di giunzione a terra (Transition Junction Bay - TJB).

Da qui, dopo la compensazione della potenza reattiva, l'energia è trasportata tramite elettrodotto in cavo interrato, che si snoda al di sotto della viabilità stradale esistente, presso la sottostazione di consegna e misure adiacente alla esistente stazione elettrica TERNA di Partanna.

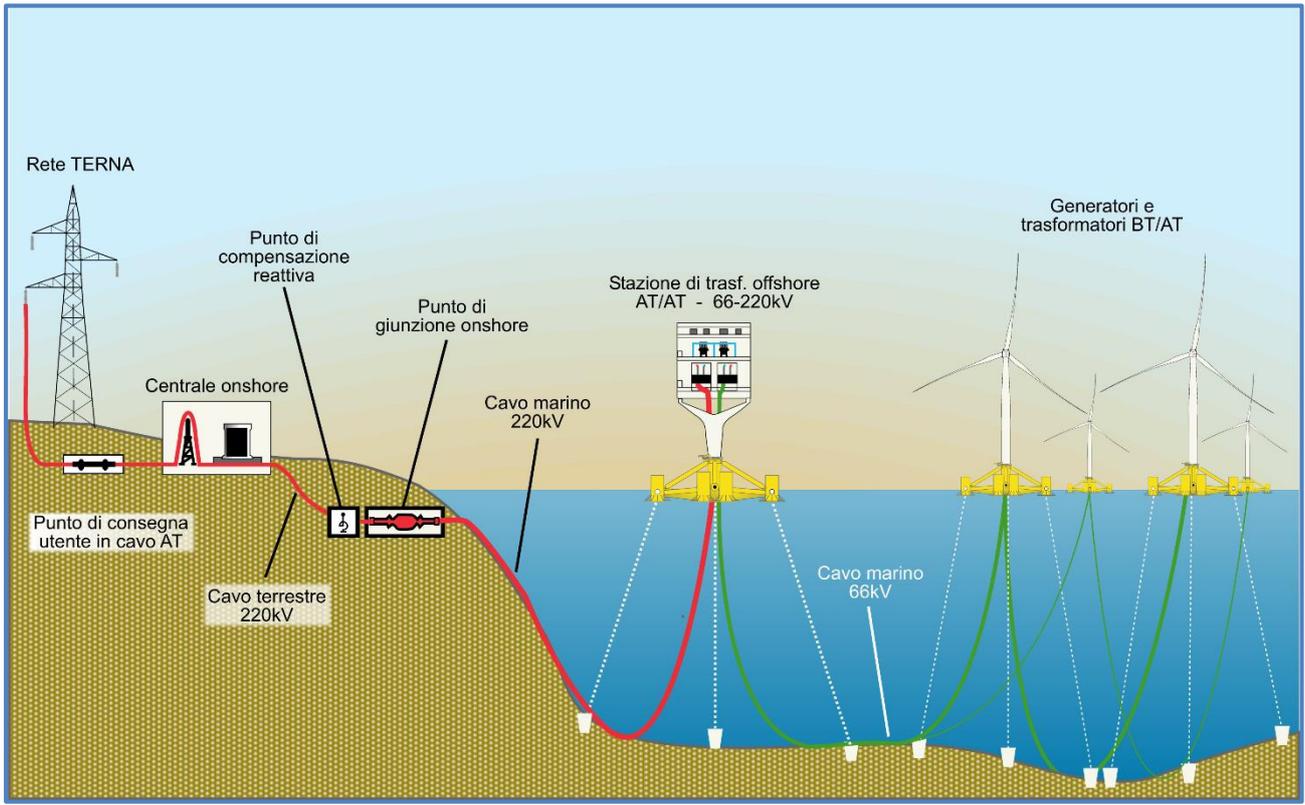


Figura 2.4 – Schema qualitativo del progetto. Elaborazione iLStudio.

	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA	Documento C0420.YR030..IMPBIO.00.c	
iLStudio. Engineering & Consulting Studio	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2021	
	IMPATTO DEL BIOFOULING SULLE STRUTTURE DEI PARCHI EOLICI	Pagina 9	Di 21

3 IL BIOFOULING

Il Biofouling è il termine tecnico con il quale si indica la colonizzazione di manufatti da parte di organismi marini che provengono dalla colonna d'acqua alla ricerca di substrati duri per completare il loro ciclo vitale. Pertanto, qualsiasi struttura sommersa ospiterà una comunità di organismi marini che sarà composta da una varietà di specie a seconda della posizione, della profondità e della configurazione della struttura.

Il progetto del parco eolico offshore galleggiante essendo un'installazione a mare caratterizzata da un'opera viva di notevoli dimensioni sarà sicuramente interessata dalla presenza di accrescimento biocenotico sulla superficie immersa della fondazione, sulle linee di ormeggio e sulle sezioni di cavo non interrato o protetto da sovrastruttura.

Il Biofouling, chiamato anche "*marine growth*", "incrostazione marina", "bio-incrostazione" è causa di notevoli problemi in ambito marittimo e navale, in quanto la colonizzazione delle superfici che restano immerse in acqua marina, è un fenomeno dinamico di complicata gestione.

In generale le principali conseguenze della presenza del Biofouling su opere galleggianti o in navigazione sono:

- Aumento della resistenza frizionale durante la navigazione;
- Modifica della risposta della struttura al carico onda e correnti;
- Cambiamento del comportamento dinamico dovuto a modificazioni della forma;
- Aumento del peso delle strutture;
- Diminuzione della velocità delle imbarcazioni ed aumento dei consumi;
- Danneggiamento delle superfici e dei materiali;
- Malfunzionamento degli impianti.

I principali organismi macrofouling, come le balani, cozze, vermi tubicoli calcarei, briozoi e alghe, sono quelli più frequentemente indicati in letteratura come responsabili di tali impatti.

In particolare, per quanto concerne gli effetti economici sulle MRE, è rilevante la corrosione promossa dai microrganismi e dai macrofouling. Essa può essere indotta e/o accelerata da microrganismi marini anaerobici attraverso la cosiddetta corrosione influenzata microbiologicamente (MIC - *Microbiologically Influenced Corrosion*).

Come detto, la biocolonizzazione è un processo dinamico in continua evoluzione, processo che prende il nome di sviluppo o successione biologica, ovvero "evoluzione della composizione in numero di specie e percentuali di presenza della flora e della fauna presente sulle superfici e sono numerosi i fattori che influenzano la quantità e il tipo di incrostazione marina, tra cui 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.

	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA	Documento C0420.YR030..IMPBIO.00.c	
iLStudio. Engineering & Consulting Studio	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2021	
IMPATTO DEL BIOFOULING SULLE STRUTTURE DEI PARCHI EOLICI		Pagina 10	Di 21



Figura 3.1 – Successione biologica in alto di solo *Mytilus edulis*, in basso di un ecosistema più variegato.

Il processo di bio-colonizzazione dipende da due fasi iniziali:

- (1) 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;
- (2) la sopravvivenza e sviluppo delle larve nella colonna d'acqua.

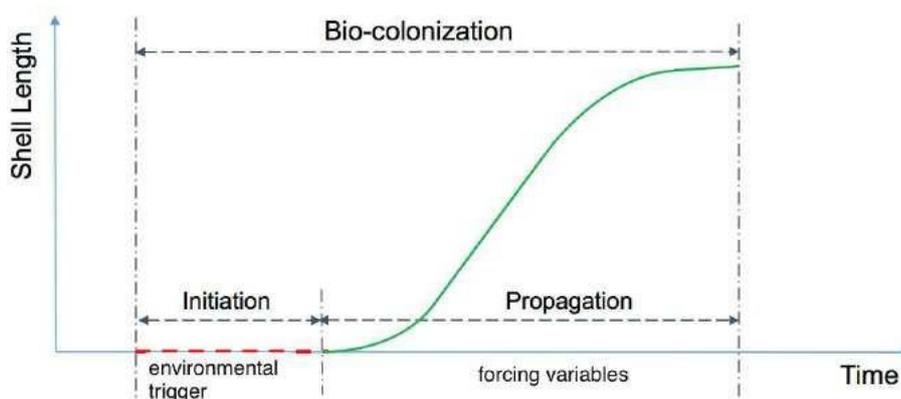


Figura 3.2 – Diagramma schematico delle fasi di bio-colonizzazione e dei loro parametri di influenza.

Tali fattori sono oggetto di ricerca fin dagli anni 60, e negli ultimi anni hanno suscitato notevole attenzione a causa dell'insediamento di numerose specie non indigene (*NIS - Non Indigenous Species* o Specie Aliene).

A titolo di esempio nel 2015, l'Offshore Renewable Energy Catapult ha commissionato uno studio di fattibilità per valutare le opzioni per la mappatura e il monitoraggio della crescita marina sulle strutture di energia rinnovabile. Questo studio di fattibilità comprendeva tre sezioni:

1. Consultazione del settore per ricevere informazioni sui problemi del settore associati al biofouling;
2. Fattibilità della mappatura predittiva della crescita marina: uno studio che esamina le specie chiave di biofouling e le loro implicazioni per le strutture di energia rinnovabile e la fattibilità dello sviluppo di uno strumento di mappatura predittiva per la crescita marina;
3. Fattibilità dello sviluppo di sensori per il monitoraggio in tempo reale della crescita marina sulle strutture.

	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA	Documento C0420.YR030..IMPBIO.00.c	
ilStudio. Engineering & Consulting Studio	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2021	
	IMPATTO DEL BIOFOULING SULLE STRUTTURE DEI PARCHI EOLICI	Pagina 11	Di 21

3.1 Modellazione biofouling

La ricerca previsionale e la modellazione rappresenta una sfida rispetto ai programmi di progettazione e manutenzione. La bio-colonizzazione influenza grandemente l'invecchiamento dei componenti offshore immersi e il monitoraggio della condizione fisica delle strutture (*SHM - Structural Health Monitoring*) è previsto come lo strumento per comprendere le specifiche dinamiche e ridurre le incertezze della biocolonizzazione e le risposte delle strutture.

Invero, al fine di evitare che il biofouling influisca negativamente sulla prestazione delle strutture in questione, il Piano di Monitoraggio Ambientale (C0420.YR34.MONAMB.00.a) prevede attività di acquisizione dati e campionamenti di biofouling mediante l'impiego di Biologi Operatori Tecnici Subacquei (OTS) o tramite acquisizione di immagini video in HD georeferenziate lungo transetti mediante *Remotely Operated Vehicle (ROV)* sottomarino.

Gli istituti di ricerca, così come alcuni installatori o costruttori del settore offshore hanno, negli ultimi 10 anni, incrementato gli studi nel settore dell'accrescimento biocenotico sulle superfici.

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, come precedentemente detto, anche nel settore eolico galleggiante la presenza del biofouling non è da sottovalutare. Nello studio "*Model of Bio-Colonisation on Mooring Lines: Updating Strategy Based on a Static Qualifying Sea State for Floating Wind Turbines*". Pubblicato nel Febbraio 2020 i risultati hanno rilevato che il primo anno è cruciale per modellizzare la colonizzazione.

In termini biologici, il primo anno è di grandissima rilevanza per la costruzione del primo strato di biofouling da parte di un macro-fouler.

Dalle vaste conoscenze acquisite nel corso degli anni di funzionamento e manutenzione delle piattaforme petrolifere/gasiera in tutto il mondo, è stato possibile definire modelli generali nel processo di colonizzazione di una nuova struttura da parte di organismi marini.

In pochi giorni o settimane incominceranno a colonizzare il nuovo substrato duro (cemento o metallo) introdotto nell'ambiente. Tipicamente, si verifica una successione di composizioni di specie con l'aumentare 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 stabilirà in meno di 4-6 anni. Insieme alla successione, i singoli organismi si ingrandiscono, 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 invertebrate, come coralli molli, spugne, anemoni, tunicati e idroidi, mentre l'*hard fouling* comprende invertebrati come cirripedi, cozze e tubicoli (WHOI 1952).

	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA	Documento C0420.YR030..IMPBIO.00.c	
iLStudio. Engineering & Consulting Studio	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2021	
IMPATTO DEL BIOFOULING SULLE STRUTTURE DEI PARCHI EOLICI		Pagina 12	Di 21

Time	Organism	Illustration	Size (mm)
Minutes	Organic Film		
Hours	Bacterial Slimes		0.001 to 0.1
Days	Diatoms and Filamentous algae		0.01 to 1
Weeks	Barnacles, Bryozoans, Tubeworms, Macroalgae		1 to 30
Months	Mussels, Oysters, Sponges		30 to 50



Hard growth



Soft growth

Figura 3.3– Sulla sinistra, immagini che mostrano la crescita delle incrostazioni “hard” e “soft”. Sulla destra, progressione e dimensione delle incrostazioni

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.

Sono stati compiuti studi sulla bio-colonizzazione dei cavi di ormeggio e conseguentemente sull’azione della prestazione, idrodinamicità, usura e forze che intervengono sulla tensione dei cavi colonizzati.

Dalla messa in acqua allo smantellamento, le fonti e i fattori di guasto prematuro sono numerosi. Infatti, Fontaine et al., in un’indagine di settore, ha dimostrato che quasi la metà degli eventi di guasto rilevati erano associati a degrado da fatica e corrosione delle catenarie di ormeggio.

	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA	Documento C0420.YR030..IMPBIO.00.c		
iLStudio. Engineering & Consulting Studio	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2021		
	IMPATTO DEL BIOFOULING SULLE STRUTTURE DEI PARCHI EOLICI	Pagina 13	Di 21	



Figura 3.4 – Sx: *Mytilus galloprovincialis*. Dx: fouling composito con *Branchiomma sp.*

Infine, si evidenzia il database “*Marine Biofouling: A European Database for the Marine Renewable Energy Sector*” per una banca dati europea sul biofouling a sostegno del settore delle MRE. Il dataset raccoglie dati qualitativi e quantitativi sui gruppi di biofouling, comprese le specie non autoctone catalogate in diverse ecoregioni europee.

3.2 Il marine growth nelle acque italiane

La presente sezione fornisce una sintesi dei più ampi dati sulla crescita marina disponibili per strutture sia galleggianti sia fisse nei mari italiani. Le comunità di *fouling* nelle acque italiane sono le più conosciute nel Mar Mediterraneo. La maggior parte delle pubblicazioni relative al *fouling* nel Mar Mediterraneo sono legate a piattaforme fisse, generalmente situate all’interno della piattaforma costiera, ad esempio a meno di 200 m di profondità (Relini G, 1999a0). È probabile che l’incrostazione su boe e strutture galleggianti sia differente a causa della “natura galleggiante” del substrato che significa che la comunità è meno esposta al movimento mareale. Questo, tuttavia, è vero nelle aree con un’ampia escursione di marea. Nell’area di progetto l’escursione di marea è piccola, per cui i tassi di accrescimento dell’incrostazione marina possono essere assunti pari a quelli relativi alle strutture fisse.

3.2.1 Marine growth su una struttura offshore galleggiante

Il lavoro di (Relini et al., 1999a) mostra i risultati delle indagini (dal 1987) sui fenomeni di *fouling* e *macrofouling* sulla boa oceanografica ODAS Italia 1 (*Oceanographic Data Acquisition System*) ormeggiata a 37 miglia da Genova (Mar Mediterraneo NW). La boa, gestita dall’IAN-CNR (*Institute for*

	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA	Documento C0420.YR030..IMPBIO.00.c	
iLStudio. Engineering & Consulting Studio	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2021	
	IMPATTO DEL BIOFOULING SULLE STRUTTURE DEI PARCHI EOLICI	Pagina 14	Di 21

Ship Automation of the Italian National Research Council), è costituita da una struttura tubolare in acciaio (diametro 600 mm), lunga 52 m: 37 m sono sommersi e 15 m sono fuori dall'acqua. La boa è ancorata a un fondale profondo 1270 m, tramite un cavo di ormeggio elastico lungo 1900 m che permette alla boa di muoversi intorno al punto di ormeggio per circa mezzo miglio nautico. Non è stata applicata alcuna vernice antivegetativa. I risultati sono mostrati nella Figura di seguito, in termini di peso umido della biomassa in funzione della profondità dell'acqua, e possono essere riassunti come segue:

- Dopo 52 mesi, la boa ODAS è stata trasferita su un molo di cantiere e il *fouling* depositato lungo tutta la lunghezza di 37 m della parte immersa della boa è stato campionato lungo l'intero corpo, dalla superficie fino a -34 m di profondità. I valori del peso umido della biomassa variavano senza alcun *trend* coerente con l'aumento della profondità. Il valore più alto (20.8 g/dm²) è stato registrato a -20 m, mentre sulla superficie orizzontale del disco stabilizzatore (posto a -37 m), il valore massimo raggiunto è stato di 42.4 g/dm².
- Le ricerche sul *macrofouling* sulla boa ODAS hanno riguardato un periodo più lungo, di 70 mesi. Le cozze e altri bivalvi erano i componenti principali della popolazione di *macrofouling*. Dopo 70 mesi, la biomassa di incrostazione ha raggiunto i 28.1 g/dm² a -12 m e i 47.4 g/dm² a -33 m, in termini di peso umido.

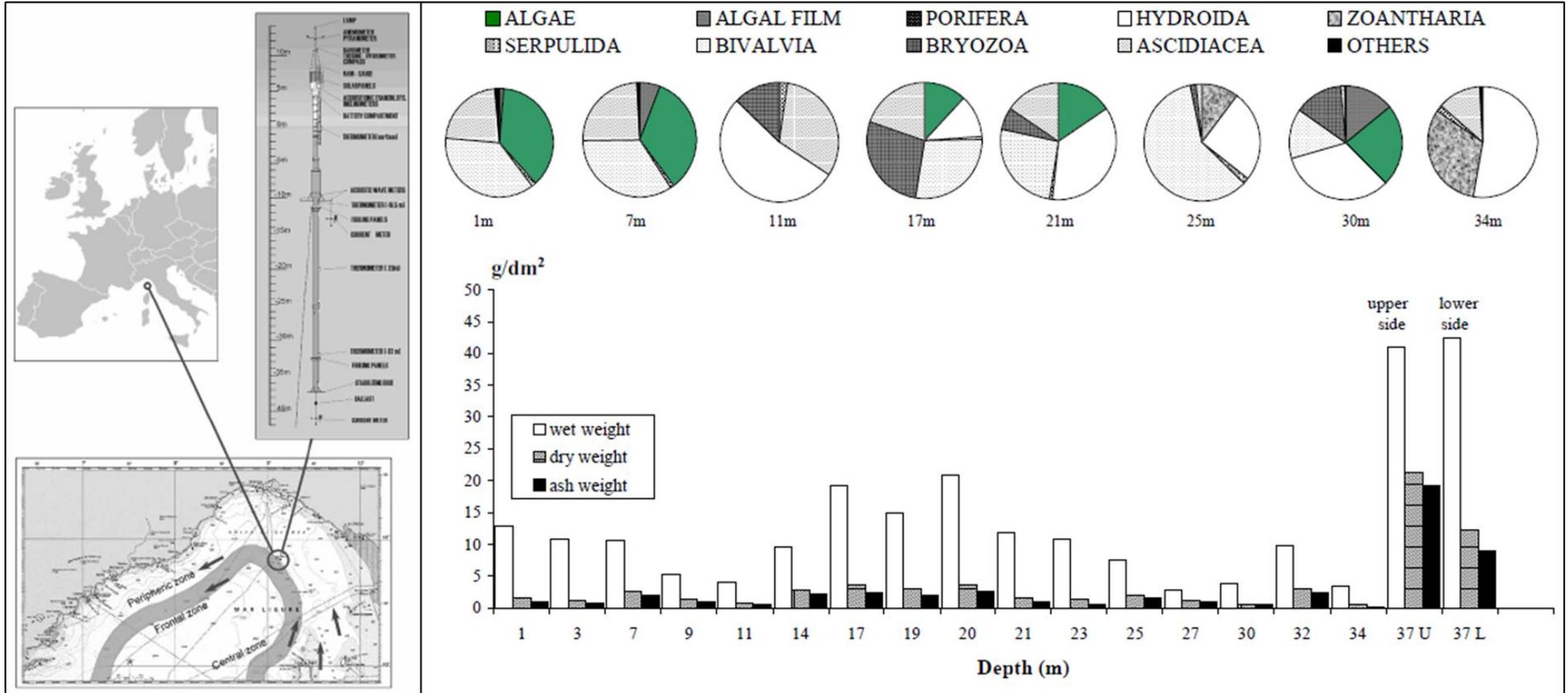


Figura 3.5 – Pannello di sinistra: la boa ODAS Italia 1 e la sua posizione, a 43°48.90' N, 009°06.80' E, a 37 nm da Genova, su acque con 1270 m di profondità. Pannello di destra: caratterizzazione del macrofouling in funzione della profondità. Parte in alto della figura: rappresentazione schematica dei componenti principali presenti nei campioni raccolti ad alcune profondità lungo il corpo verticale della boa. Parte in basso: pesi umido, secco, ash del macrofouling depositato in ciascuna zona del corpo della boa e del disco stabilizzatore

 ilStudio. Engineering & Consulting Studio	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA	Documento C0420.YR030.IMPBIO.00.c	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2021	Pagina 16 Di 21
IMPATTO DEL BIOFOULING SULLE STRUTTURE DEI PARCHI EOLICI			

3.2.1.1 Marine growth su una struttura offshore fissa

Per i dati di crescita marina relative a strutture offshore fisse, si fa qui riferimento al lavoro di (Relini and Montanari, 1999b). Questo lavoro include una sintesi esaustiva del fouling da parte delle specie mediterranee di mitili, preso atto che i mitili sono i 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/m²) 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.

Tabella 3.1 - Sintesi dei dati di fouling su strutture offshore fisse nei mari italiani.

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 ²	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 ²)	10,391	11,600	654	3,129
Weight of mussels (kg/m ²)	86.6	96.6	5.4	26.1
Mussels as % of total fouling weight	95%	97%	80%	90%

I valori di crescita di biomassa in kg/m² potrebbero essere convertiti in tassi di crescita dello spessore (in mm/anno) se fossero disponibili misure di densità. Quando la densità del biofouling non è disponibile, si raccomanda di utilizzare lo standard di 1325 kg/m³. Per una stima più precisa, la letteratura suggerisce di adottare questo valore (1325 kg/m³) per l'hard fouling e un valore più basso (1050 kg/m³) per il soft fouling.

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/m³.

	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA	Documento C0420.YR030.IMPBIO.00.c	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data	Novembre 2021
ilStudio. Engineering & Consulting Studio	IMPATTO DEL BIOFOULING SULLE STRUTTURE DEI PARCHI EOLICI	Pagina	17
		Di	21

Tabella 3.2 - Riepilogo della crescita della biomassa in kg/m² 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/m³).

		Reference	Bottom WD [m]	Ref. WD [m]	biomass growth rate [kg/m ² /year]	growth rate [mm/year] density = 1325 kg/m ³ ⁽³⁾
fouling and macrofouling on a floating body						
Ligurian Sea	ODAS	Relini et al. 1999a	1270	-11 to -20 ⁽¹⁾	2.08	1.6
				-37 ⁽¹⁾	4.24	3.2
				-12 ⁽²⁾	2.80	2.1
				-33 ⁽²⁾	4.74	3.6
mussels on fixed structures						
Ionian Sea	LUNA-A	Relini et al. 1999b	70	surf	5.4	4.1
Ligurian Sea	G.O.L.P.		50	-34	10.3	7.8
Adriatic Sea	PCW-A		12	surf	86.6	65.4
	AGO-A		23	surf	96.6	72.9
		⁽¹⁾ fouling; ⁽²⁾ macrofouling				
		⁽³⁾ according to [1]				

Ai fini di queste considerazioni, è stato utilizzato il valore standard di densità del *biofouling*. Tuttavia, vale la pena notare che le indagini sul campo e la raccolta di dati potrebbero rivelare valori di densità molto diversi da quelli suggeriti dalle attuali linee guida standard 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 sul campo (21 campioni su 2 piattaforme offshore fisse situate nel Mare del Nord) sia di spessore (mm) sia di peso umido (kg/m²) del *biofouling*. Il modello di densità è stato creato come mostrato figura successiva, prevedendo una densità generalizzata di 612 kg/m³, significativamente minore dal valore standard di 1325 kg/m³.

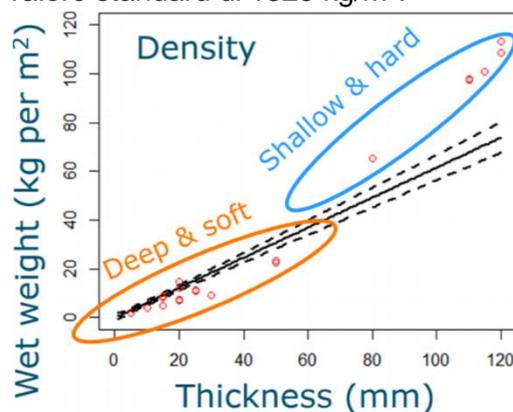


Figura 4.6 - Modello di densità del biofouling

Dal punto di vista della progettazione ingegneristica, si stima che le linee guida standard portino generalmente a sovrastimare il peso del biofouling fino al 42%. Assumendo questa sovrastima, i tassi di crescita dello spessore stimati della Tabella 3.2 - 4.2 aumentano, come riportato nella successiva Tabella 3.3 .

Per le fasi successive della progettazione del parco eolico galleggiante, salvo aggiornamenti di settore, si farà riferimento agli spessori stimati riportati in Tabella 3.3 , più precisamente al caso della

 ilStudio. Engineering & Consulting Studio	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA	Documento C0420.YR030.IMPBIO.00.c	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2021	Pagina 18 Di 21
IMPATTO DEL BIOFOULING SULLE STRUTTURE DEI PARCHI EOLICI			

boa ODAS, in quanto è il più simile al caso in esame, essendo un corpo galleggiante situato in acque profonde.

Vale la pena notare che i valori consigliati sono molto bassi rispetto a quelli suggeriti dalle regole standard (si veda DNVGL-RP-C205) per le aree del Mare del Nord. La comprensione del peso, del peso in acqua e della densità del biofouling associata alla sua massa è quindi evidenziata come informazione chiave, necessaria come supporto per il processo decisionale ingegneristico.

Tabella 3.3 - Riepilogo della crescita della biomassa in kg/m² misurata su corpi galleggianti0 e su strutture offshore fisse. La tabella include anche i tassi di crescita stimati dello spessore in mm/anno derivati dall'assunzione di avere valori di densità sovrastimati del 42%, corrispondenti a 768 kg/m³.

		Reference	Bottom WD [m]	Ref. WD [m]	biomass growth rate [kg/m ² /year]	growth rate [mm/year] density = 1325 kg/m ³ (3)	growth rate [mm/year] density = 768 kg/m ³ (4)
fouling and macrofouling on a floating body							
Ligurian Sea	ODAS	Relini et al. 1999a	1270	-11 to -20 ⁽¹⁾	2.08	1.6	2.7
				-37 ⁽¹⁾	4.24	3.2	5.5
				-12 ⁽²⁾	2.80	2.1	3.6
				-33 ⁽²⁾	4.74	3.6	6.2
mussels on fixed structures							
Ionian Sea	LUNA-A	Relini et al. 1999b	70	surf	5.4	4.1	7.0
Ligurian Sea	G.O.L.P.		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
		⁽¹⁾ fouling; ⁽²⁾ macrofouling					
		⁽³⁾ according to [1]; ⁽⁴⁾ assuming 42% density overestimation according to [63]					

	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA	Documento C0420.YR030.IMPBIO.00.c	
ilStudio. Engineering & Consulting Studio	PROGETTO DEFINITIVO	Data	Novembre 2021
	IMPATTO DEL BIOFOULING SULLE STRUTTURE DEI PARCHI EOLICI	Pagina	19 Di 21

4 CONCLUSIONI

Parlando di strutture offshore galleggianti, uno dei parametri importanti da considerare è proprio quello dell'accrescimento biologico sulle superfici. Nella progettazione la comprensione dell'accrescimento permette di sviluppare la corretta valutazione dei carichi sulle strutture e gli impatti negativi (principalmente aumento di massa, resistenza e corrosione) che la bio-colonizzazione ha sulle opere.

L'aumento di massa, dovrebbe generare l'aumento della tensione media sulle linee di ormeggio, fortunatamente le forze in gioco determinano contributi abbastanza trascurabili per i casi studiati dagli esperti a varie latitudini, questo a causa della grande pre-tensionamento delle linee di ormeggio.

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

	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA	Documento C0420.YR030.IMPBIO.00.c	
iLStudio. Engineering & Consulting Studio	PROGETTO DEFINITIVO	Data	Novembre 2021
	IMPATTO DEL BIOFOULING SULLE STRUTTURE DEI PARCHI EOLICI	Pagina	20 Di 21

5 Bibliografia

2011 GUIDELINES FOR THE CONTROL AND MANAGEMENT OF SHIPS' BIOFOULING TO MINIMIZE THE TRANSFER OF INVASIVE AQUATIC SPECIES

23 Congrès Français de Mécanique Lille, 2017 Effect of Marine Growth on Floating Wind Turbines Mooring Lines Responses

American Bureau of Shipping GUIDANCE NOTES ON BIOFOULING MANAGEMENT PLANS AUGUST 2019

Anderson e Underwood, 1994

Breitburg, 1985

Catapult – Offshore Renewable energy: Marine Growth Mapping and Monitoring “Feasibility of Predictive mapping of Marine Growth March 2016

Cifuentes et al., 2010

Clements 1916

Coolen J.W.P., Luís P. Almeida L.P., Olie R., Modelling marine growth biomass on North Sea offshore structures, Structures in the Marine Environment (SIME2019), May 2019

DNVGL ST 0437 Load and site conditions for wind turbines November 2016

DNV-GL, “DNVGL-RP-C205, Environmental Conditions and Environmental Loads, 19th Edition, December 2020,” DNV-GL, 2020.

DNVGL-CP-0110 Anti-fouling systems March 2016

DNVGL-RP-B101 Corrosion protection of floating production and storage units

Greene & Schoener, 1982

IMO 2011 Biofouling Management guidelines (MEPC.207(62)

McCook, 1994

Miller, R.G. and Macleod, A. K. (2016). Marine Growth Mapping and Monitoring: Feasibility of Predictive Mapping of Marine Growth. A report by SAMS Research Services Ltd to the Offshore Renewable Energy Catapult. Glasgow, UK. 51 pp

Offshore-energy.biz The global biofouling challenge calls for new technology April 2020

Pacheco et al., 2010; 2011

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

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

Rico et al., 2012

Turner e Todd, 1993

Underwood e Anderson, 1994

Woods Hole Oceanographic Institution [WHOI]. 1952. Marine fouling and its prevention. Annapolis, MD: United States Naval Institute

	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA	Documento C0420.YR030.IMPBIO.00.c	
iLStudio. Engineering & Consulting Studio	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2021	
	IMPATTO DEL BIOFOULING SULLE STRUTTURE DEI PARCHI EOLICI	Pagina 21	Di 21

Il presente documento, composto da n. 21 pagine è protetto dalle leggi nazionali e comunitarie in tema di proprietà intellettuali delle opere professionali e non può essere riprodotto o copiato senza specifica autorizzazione del progettista.

Taranto, Novembre 2021

Dott. Ing. Luigi Severini