

Interreg



UNIONE EUROPEA
EVROPSKA UNIJA

ITALIA-SLOVENIJA



GreenHull

Progetto standard co-finanziato dal Fondo europeo di sviluppo regionale
Standardni projekt sofinancira Evropski sklad za regionalni razvoj

Linee guida e requisiti per lo sviluppo delle tecnologie verdi

Smernice in zahteve za razvoj zelenih tehnologij

ATT5 Supporto legale per lo sviluppo di tecnologie verdi innovative

ATT5 Pravna podpora k razvoju inovativnih zelenih tehnologij

Versione/ Verzija: N. /Št. 4

Autor/ Avtorji:

Dabalà Caterina, Chiara Dall'Angelo (PP4-CORILA)

Zanelli Riccardo (PP5-COMET)

Uroš Puc, Andreja Abina (PP1-MPŠ)

Uroš Ačko (PP3-Esotech)

Vlado Malačič, Janja France (PP2-NIB)



NIB NACIONALNI INŠTITUT ZA BIOLOGIJO
NATIONAL INSTITUTE OF BIOLOGY

ESOTECH



COMET
CLUSTER METALMECCANICA FRIULI VENEZIA GIULIA



GreenHull	
Zeleni tehnologiji za ekološko čiščenje biološke obrasti s trupa ladij v severnem Jadranu	Tecnologie verdi di pulizia ecologica dell'incrostazione biologica sugli scafi nell'Alto Adriatico
Trajanje projekta / Durata del progetto	01/03/2020 - 31/08/2022
Celotni znesek / Budget totale	EUR 959'815.89
ESRR / FESR	EUR 815'843.49
Projektni partner / Partner di progetto	LP: Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana (MPŠ) PP2: Nacionalni inštitut za biologijo (NIB) PP3: Esotech PP4: CORILA PP5: COMET

Document history		
Versione n. / Verzija st.	Data /	Redatto da /
1	26/10/2020	Dabalà Caterina (CORILA) Zanelli Riccardo (COMET)
2	6/5/2022	Andreja Abina (MPŠ) Uroš Puc (MPŠ)
3	20/6/2022	Vlado Malačič (NIB) Uroš Ačko (Esotech)
4	4/7/2022	Uroš Puc (MPŠ) Dabalà Caterina (CORILA) Riccardo Zanelli (COMET) Uroš Ačko (Esotech)

Questo progetto è supportato dal Programma di cooperazione Interreg V-A Italia-Slovenia, finanziato dal Fondo europeo di sviluppo regionale.

Ta projekt ima podporo Programa sodelovanja Interreg V-A Italija-Slovenija, ki ga financira Evropski sklad za regionalni razvoj.

Il contenuto della presente pubblicazione non rispecchia necessariamente le posizioni ufficiali dell'Unione europea. La responsabilità del contenuto della presente pubblicazione appartiene agli autori.

Vsebina te publikacije ne odraža nujno uradnih stališč Evropske unije. Odgovornost za vsebino te publikacije pripada avtorjem.

Indice

Sintesi	7
1. Introduzione	8
1.1 Il progetto GreenHull.....	8
1.2 Obiettivi e risultati attesi dal progetto	9
1.3 Articolazione del progetto.....	9
1.4 Il presente documento	10
2. Analisi della legislazione sulla tutela ambientale e qualità delle acque di mare	12
2.1 Introduzione	12
2.2 L'attività svolta nell'ambito del progetto	12
2.2.1 <i>Modalità di svolgimento</i>	12
2.2.2 <i>Vantaggi e potenzialità del progetto</i>	13
2.2.3 <i>Profili di criticità legati al progetto</i>	13
2.2.4 <i>Individuazione delle metodologie utilizzate in concreto</i>	13
2.3 Inquadramento giuridico fronte internazionale-comunitario.....	13
2.4 La normativa nazionale italiana	29
2.5 La normativa nazionale slovena	31
2.6 Ulteriori fonti normative	36
2.7 Conclusioni.....	38
2.7.1 <i>Le competenze in materia</i>	38
2.7.2 <i>I rischi del progetto</i>	39
2.7.3 <i>Conclusioni</i>	40
3. Indagine della letteratura scientifica e professionale in materia di sviluppo delle tecnologie verdi innovative	43
3.1 Premessa.....	43
3.2 Introduzione	44
3.3 ROVs - Veicoli subacquei a controllo remoto	47
3.3.1 <i>Definizione di ROV e cenni storici</i>	47
3.3.2 <i>Principali sfere di applicazione dei ROV</i>	48

3.3.3 Soluzioni e tecnologie meccaniche presenti sul mercato	49
Spazzole rotanti o tamponi abrasivi	50
Sistemi meccanici senza contatto.....	54
Getti d’acqua ad alta pressione.....	56
Getti d’acqua cavitazionali	63
Pulizia subacquea a ultrasuoni	66
Pulizia subacquea con laser	67
Pulizia mediante riscaldamento, luce UV e tecnologia di incapsulamento.....	68
3.3.4 Conclusioni dell’analisi bibliografica.....	69
3.4 Tecnologie di trattamento delle acque reflue per il trattamento del biofouling in acqua ...	71
3.4.1 Trattamento iniziale delle acque reflue.....	71
3.4.2 Coagulazione, flocculazione, sedimentazione	71
Sistemi colloidali.....	72
Struttura e stabilità dei colloidi	73
Destabilizzazione delle particelle colloidali	75
Assottigliamento del doppio strato ionico	75
Adsorbimento e neutralizzazione della carica.....	75
Formazione di precipitati.....	75
Adsorbimento e aggregazione delle particelle.....	75
Fattori che influenzano il processo di coagulazione e flocculazione.....	76
Test JAR	79
3.4.3 Filtrazione con filtri a sabbia	79
Filtrazione di superficie	81
Filtrazione in profondità	82
Costruzione del filtro a sabbia	82
Letto filtrante.....	84
Costruzione del filtro per strati	85
Mezzi filtranti.....	86
Sistema di drenaggio	89



Contenitore del filtro a sabbia.....	90
Pulizia e manutenzione del filtro.....	90
3.4.4 Conclusioni sulla tecnologia per il trattamento delle acque contaminate.....	90
4. Monitoraggio della qualità ambientale prima, durante e dopo il trattamento del biofouling in acqua.....	92
4.1 Impatto dei rivestimenti antivegetativi sull'inquinamento marino.....	92
4.2 Monitoraggio dello stato ecologico e chimico delle acque (secondo la WFD, 2000/60/CE)...	92
4.3 Monitoraggio dello stato ecologico e chimico delle acque (secondo la MSFD, 2008/56/CE)..	95
4.4 Monitoraggio dello stato biologico delle acque	96
4.5 Confronto tra i sistemi per il monitoraggio multiparametrico dell'acqua di mare.....	97
4.6 Conclusioni.....	99
5. Conclusioni.....	101
Bibliografia	103



Sintesi

Il progetto GreenHull “Tecnologie verdi di pulizia ecologica dell’incrostazione biologica sugli scafi nell’Alto Adriatico” mira a contribuire a risolvere il problema dell’inquinamento nell’Area di Programma, grazie allo sviluppo di tre soluzioni pilota innovative (ITV) per una gestione transfrontaliera efficace delle acque reflue e dei rifiuti provenienti dalla pulizia le incrostazioni biologiche sullo scafo delle navi (IBSN), con conseguente miglioramento delle prestazioni delle navi, oppure su strutture offshore in mare.

I partner del progetto GreenHull intendono dimostrare che l’utilizzo di ROV nella pulizia degli scafi delle imbarcazioni può rappresentare un mezzo efficace per contrastare l’inquinamento marino derivante dall’introduzione di specie alloctone, ovviamente se integrato ad un sistema di recupero e filtrazione che impedisca il rilascio in mare delle stesse.

Fondamentale ai fini progettuali, e propedeutico allo sviluppo delle ITV, sarà la preparazione di linee guida e strategie congiunte transfrontaliere, che integreranno la legislazione vigente nel settore della gestione delle acque e dei rifiuti con l’utilizzo delle tecnologie verdi nella pulizia delle incrostazioni biologiche sullo scafo delle navi. Le linee guida incorporeranno anche le più recenti conoscenze scientifiche e specialistiche nel campo delle tecnologie di trattamento delle acque reflue e dei rifiuti organici, nonché le pratiche consolidate in diverse parti del mondo.

Il lavoro si è focalizzato sulla definizione della base legale per l’utilizzo di tecnologie verdi innovative, con riferimento alla finalità di pulizia subacquea delle bioincrostazioni, dallo scafo delle imbarcazioni così come da grandi strutture offshore, nel rispetto dei diversi aspetti legati alla tutela ambientale (rifiuti pericolosi, specie alloctone, qualità delle acque), con individuazione dei potenziali rischi ed approfondimento dei requisiti di legge.

L’analisi della legislazione sulla tutela ambientale e qualità delle acque di mare è avvenuta a livello internazionale, comunitario e nazionale, compresa anche la valutazione delle buone prassi e le convenzioni internazionali le cui norme e linee guida non sono sempre vincolanti in tutti i paesi.

È stata inoltre eseguita un’analisi bibliografica per comprendere lo stato dell’arte di soluzioni tecnologiche presenti sul mercato ed emergenti per la pulizia dell’incrostazione biologica degli scafi delle navi, che facciano ricorso all’utilizzo di ROV (veicoli sottomarini pilotati, *Remotely Operated Vehicle*) e piattaforme robotizzate subacquee; l’utilizzo di droni sottomarini infatti risulta una scelta efficace ed efficiente per la pulizia della carena delle imbarcazioni, a prescindere dalla dimensione delle stesse, soprattutto se ad essi vengono integrati dei sistemi di recupero e filtraggio dei detriti. Lo studio cerca di comprenderne criticità e eventuali rischi residui collegati all’utilizzo delle singole soluzioni.

Vengono qui descritte nel dettaglio anche le metodologie per il trattamento delle acque reflue dal trattamento del biofouling in acqua ed i principi per il monitoraggio della qualità delle acque marine.



1. Introduzione

1.1 Il progetto GreenHull

La sfida del progetto GreenHull “Tecnologie verdi di pulizia ecologica dell’incrostazione biologica sugli scafi nell’Alto Adriatico” è aiutare a risolvere il problema dell’inquinamento nell’Area di Programma, grazie allo sviluppo di tre tecnologie verdi innovative che permettano la pulizia delle incrostazioni biologiche, sugli scafi delle imbarcazioni e su grandi strutture fisse in mare. Ciò porterà al miglioramento delle prestazioni delle navi e alla riduzione dell’introduzione di specie alloctone nell’ambiente.

Il mare Adriatico è infatti un ambiente importante per l’Area Programma in quanto comprende i principali porti del Nord Adriatico (Trieste, Capodistria, Venezia), cantieri navali (Monfalcone) nonché, d’altra parte, ambienti marini protetti con una ricca biodiversità. Data la posizione economico-strategica dei porti, la zona è soggetta a un traffico navale intenso e perciò ad un possibile inquinamento e degrado ambientale. Le navi in arrivo dai porti mondiali possono rappresentare una minaccia per l’habitat locale, anche per le incrostazioni biologiche sullo scafo delle stesse; esse sono indesiderate dal punto di vista economico ed ecologico perché riducono la capacità di movimento dell’imbarcazione, aumentano il consumo di carburante, contribuendo ad amplificare le emissioni di gas serra, oltre che introdurre specie alloctone. Inoltre, un ulteriore importante fattore di inquinamento è dato dalle vernici delle navi, che contengono sostanze chimiche pericolose per l’ambiente marino.

Anche le strutture sommerse offshore, costruite dall’uomo, accumulano biofouling e pongono problemi di protezione ambientale; esse richiedono, per lo più, una manutenzione che nell’ambiente marino è tecnicamente impegnativa e costosa e che, se non viene eseguita correttamente, può portare al deterioramento dell’ambiente marino.

La legislazione prevede la pulizia dell’incrostazione da parte degli armatori che la eseguono solitamente nei porti, dove la nave si pulisce nei bacini all’asciutto, ma la procedura risulta molto lunga e costosa. Inoltre, una pulizia incontrollata e inefficiente dell’incrostazione può peggiorare la qualità dell’acqua e la salute degli organismi marini: se la pulizia non viene eseguita professionalmente e ai sensi di legge, si può verificare una contaminazione dell’ambiente transfrontaliero.

Il progetto GreenHull, grazie alla collaborazione tra partner del settore pubblico e privato italiano e sloveno, aiuterà a definire le procedure di controllo, monitoraggio e gestione delle acque dell’ambiente marino e per il trattamento dei rifiuti pericolosi prodotti nella pulizia dell’incrostazione biologica sullo scafo delle navi, anche sviluppando tre tecnologie verdi pilota innovative (ITV).

In questo contesto, l’approccio di collaborazione transfrontaliera è essenziale per affrontare le sfide ambientali comuni perché:

- il mare non conosce confini. Di qui la necessità di linee guida e strategie congiunte in grado di affrontare la complessa sfida della gestione transfrontaliera delle acque marine;



- lo scambio di buone pratiche tra i partners garantirà l'aspetto multidisciplinare e transfrontaliero del progetto, importante per creare e poi stimolare l'utilizzo delle ITV che saranno sviluppate;
- grazie all'utilizzo di tecnologie verdi, la cooperazione transfrontaliera influirà sulla crescita della competitività dell'area, per una qualità ambientale superiore.

1.2 Obiettivi e risultati attesi dal progetto

L'obiettivo del progetto è migliorare la tutela ambientale del Mar Adriatico attraverso lo sviluppo di tre soluzioni pilota innovative per una gestione transfrontaliera efficace delle acque reflue e dei rifiuti provenienti dalla pulizia le incrostazioni biologiche sullo scafo delle navi (IBSN). In particolare, il progetto andrà a sviluppare un sistema interconnesso e costituito da:

1. una piattaforma robotica multisensoriale subacquea (ROV), dotata di una unità di pulizia delle incrostazioni;
2. un impianto di depurazione modulare che andrà a filtrare i composti inquinanti e gli organismi delle acque di scarto della pulizia, prima della loro reimmissione in mare;
3. un sistema multisensore specifico per la pulizia di strutture artificiali costiere e sottomarine.

Si vuole così arrivare alla realizzazione di un sistema prototipale integrato e testato in ambiente di prova, ovvero in mare sloveno.

Fondamentale ai fini progettuali, e propedeutico allo sviluppo delle ITV, sarà la preparazione di linee guida e strategie congiunte transfrontaliere, che integreranno la legislazione vigente nel settore della gestione delle acque e dei rifiuti con l'utilizzo delle tecnologie verdi nella pulizia delle incrostazioni biologiche sullo scafo delle navi e superfici piane sommerse.

Infine, lo sviluppo delle tecnologie verdi, data la loro mancanza sul mercato nell'Area di Programma, contribuirà a promuovere le opportunità economiche di sviluppo dell'area, preservandone contemporaneamente l'ambiente marino.

1.3 Articolazione del progetto

L'attuazione del progetto si realizza nei WP.

WP1 - GESTIONE DEL PROGETTO /DS1 - PROJEKTNO UPRAVLJANJE (responsabile MPŠ)

Il WP riguarda la gestione amministrativa e finanziaria e il coordinamento generale del progetto e del partenariato.

WP2 - ATTIVITÀ DI COMUNICAZIONE /DS2 - KOMUNIKACIJA (responsabile CORILA)

Il WP2 è finalizzato a svolgere attività di comunicazione in conformità con il piano di comunicazione preparato. Il Communication Manager, in collaborazione con tutti i PP., coordinerà le attività pianificate a livello locale, nazionale e internazionale per informare sui risultati del progetto.

Saranno organizzati workshops, per le aziende di rifiuti e inquinanti (es. cantieri navali) e le aziende coinvolte nella gestione dei rifiuti pericolosi (es. aziende dei centri tecnologici nell'APR).



WP3.1 - SVILUPPO DI TECNOLOGIE VERDI INNOVATIVE /DS3.1 - RAZVOJ INOVATIVNIH ZELENIH TEHNOLOGIJ (responsabile MPŠ) e WP3.2 - UTILIZZO DI TECNOLOGIE VERDI INNOVATIVE /DS3.2 - UPORABA INOVATIVNIH ZELENIH TEHNOLOGIJ (responsabile NIB)

WP3.1 e WP3.2 sono destinati a implementare le attività di sviluppo di tre tecnologie innovative verdi per il campionamento dell'incrostazione dallo scafo delle navi ai fini della pulizia ecologica, nonché l'uso pilota per dimostrazione l'uso sostenibile delle tecnologie sviluppate da parte delle imprese.

Il piano di attuazione comprende inizialmente le attività di assistenza legale e professionale connesse alla tutela dell'ambiente e della qualità delle acque marine a livello internazionale, europeo e nazionale, necessarie per garantire lo sviluppo e l'uso di tecnologie verdi innovative; l'analisi legale sarà completata da una revisione della letteratura tecnica nel campo dello sviluppo tecnologico. Le linee guida e i requisiti per lo sviluppo di tecnologie verdi serviranno come base per lo sviluppo e l'uso di tecnologie verdi.

Verranno sviluppate tre tecnologie ecologiche, ovvero una piattaforma robotica subacquea multisensoriale dotata di un sistema di pulizia, un dispositivo di pulizia modulare e un sistema multisensore specifico per la pulizia di strutture artificiali costiere e sottomarine. Le tecnologie sviluppate saranno testate prima in un ambiente di prova in cui verranno verificate le loro prestazioni.

Insieme allo sviluppo e all'uso delle tecnologie sviluppate, saranno inoltre svolte le attività necessarie per garantire la tutela dell'ambiente e la qualità delle acque marine, in particolare lo sviluppo del modello del sistema di gestione dei rifiuti pericolosi IBSN.

Seguirà un'attività di monitoraggio dei parametri ambientali durante il campionamento e l'analisi biochimica delle acque reflue e della materia secca di scarto per i test e l'uso pilota. Quest'ultimo servirà a verificare la qualità dell'acqua depurata prima di tornare in mare e la massa di rifiuti da riciclare o incenerire.

Verrà condotto uno studio per esplorare le modalità per istituire e gestire un'infrastruttura transfrontaliera per il trattamento di tali rifiuti, tenendo conto della legislazione pertinente.

Seguirà l'applicazione pilota e la dimostrazione delle tecnologie verdi nell'ambiente reale a società.

1.4 Il presente documento

Il lavoro ha previsto i seguenti step:

1. analisi della legislazione sulla tutela ambientale e qualità delle acque di mare a livello internazionale, comunitario e nazionale, compresa anche la valutazione delle buone prassi e le convenzioni internazionali le cui norme e linee guida non sono sempre vincolanti in tutti i paesi (cap. 2).
2. analisi dello stato dell'arte in materia di sviluppo delle tecnologie verdi innovative (cap. 3), con due focus particolari:
 - a. soluzioni che utilizzano i ROV come metodo di pulizia delle imbarcazioni e con la valutazione di criticità e eventuali rischi residui collegati all'utilizzo delle singole soluzioni;

- b. metodologie per la depurazione delle acque reflue provenienti dalla pulizia dello scafo.
3. analisi della legislazione sul monitoraggio ambientale e selezione della sonda multiparametrica più adatta alle esigenze di progetto (cap. 3).

Tale lavoro è stato condotto, principalmente durante i primi 6 mesi del progetto, rispettivamente da CORILA (PP4), attraverso i consulenti legali avv. Giuseppe Duca e dr Mitja Grbec. COMET (PP5) e MPŠ (PP1) hanno realizzato la revisione da letteratura scientifica e sui sistemi attualmente in uso relativa a ROV e metodi di trattamento del biofouling dello scafo, ESOTECH (PP3) si è occupata della descrizione delle metodologie per il trattamento delle acque di risulta dalla pulizia, mentre, assieme a NIB (PP2) hanno preparato il contributo relativo al monitoraggio e l'analisi dell'acqua di mare prima, durante e dopo il trattamento con il Sistema GreenHull. NIB (PP2) infine, ha selezionato la sonda multiparametrica da posizionare sul ROV.

2. Analisi della legislazione sulla tutela ambientale e qualità delle acque di mare

2.1 Introduzione

In primo luogo, è necessario identificare il quadro giuridico in cui si inseriscono le attività previste dal progetto GreenHull. È quindi essenziale l'analisi delle fonti giuridiche internazionali, regionali e, naturalmente, nazionali applicabili in questo ambito. Esse sono ovviamente collegate, il più delle volte in un'interdipendenza gerarchica, ma possono anche rinviarsi a vicenda. Questo corpus di fonti giuridiche deve essere applicato collettivamente ed è importante distinguere l'ambito di applicazione e la gerarchia tra le singole norme. Va ribadito che Slovenia e Italia sono entrambe soggette alle normative europee e sono per lo più vincolate anche dalle convenzioni internazionali in materia (ad esempio UNCLOS, AFS, MARPOL, ecc.). Le differenze emergono a livello statale, ove le Direttive Europee possono venir recepite in maniera differente, oppure per la presenza di regolamenti più o meno severi su materie specifiche, a livello nazionale o regionale. Nell'analisi del quadro legislativo complessivo, è necessario tenere anche conto dei principi fondamentali del moderno diritto ambientale (marittimo), in particolare del principio "chi inquina paga", dello sviluppo sostenibile e dell'equità intergenerazionale. Il quesito è individuabile nei seguenti termini:

- fornire una base legale per l'utilizzo di tecnologie verdi innovative, con riferimento alla finalità di pulizia subacquea delle bioincrostazioni nel rispetto dei diversi aspetti legati alla tutela ambientale (rifiuti pericolosi, specie alloctone, qualità delle acque) con individuazione dei potenziali rischi ed approfondimento dei requisiti di legge;
- analisi della legislazione sulla tutela ambientale e qualità delle acque di mare a livello internazionale, comunitario e nazionale, compresa anche la valutazione delle buone prassi e le convenzioni internazionali le cui norme e linee guida non sono sempre vincolanti in tutti i paesi.

2.2 L'attività svolta nell'ambito del progetto

2.2.1 Modalità di svolgimento

Pulizia - con nave in acqua -delle carene mediante modulo automatizzato (ROV), aspirazione e trattamento delle acque durante le operazioni di pulizia, trattamento e gestione dei residui e delle acque reflue.

La specificità del progetto è quella di prevedere la raccolta ed il trattamento delle acque contenenti i residui post pulizia della carena dalle incrostazioni biologiche, che vengono aspirati da un ROV sottomarino e convogliati in una nave appoggio, per essere sottoposti a trattamenti di purificazione progressiva mediante vari tipi di filtri, meccanici e biologici, prima della reimmissione in mare, nonché epurati da rifiuti pericolosi, che vengono raccolti e trattati a parte, contribuendo così a ridurre l'introduzione di specie alloctone.



2.2.2 Vantaggi e potenzialità del progetto

La pulizia delle carene eseguita in acqua consente di velocizzare e semplificare l'operazione, incentivando gli armatori ad eseguire con regolarità la pulizia di eliche e carene, senza dover alare la nave per provvedervi, con evidenti vantaggi in termini economici e contraendo notevolmente i tempi di non utilizzabilità della nave conseguenti al fermo in cantiere. Ne consegue un risparmio complessivo di risorse, anche sotto il profilo dei consumi, che sono ridotti in caso di scafo mantenuto in efficienza, con minori emissioni di CO₂ e, parallelamente, contenimento del rischio di trasferimento di specie alloctone da una zona ad un'altra, anche per il loro minore proliferare ove c'è minore presenza di biofilm.

2.2.3 Profili di criticità legati al progetto

Se pure complessivamente dall'attività prevista dal progetto dovrebbe derivare un miglioramento delle prestazioni delle navi, con positivi riflessi sia sotto il profilo dei minori consumi e minore produzione di CO₂, sia sotto il profilo di tutela ambientale sia anche per la potenziale riduzione della presenza di specie alloctone introdotte dalle navi nelle zone di intervento, in linea anche con le finalità della Direttiva Quadro sulla strategia per l'ambiente marino, non è possibile escludere a priori dei profili di criticità legati a questa attività. Tra questi, anche per la novità della metodologia utilizzata, vi è un potenziale rischio di dispersione in acqua di residui derivanti dalle operazioni di pulizia, che potrebbero rilevare sotto il profilo delle sostanze pericolose e/o nocive e/o comunque vietate ai sensi della vigente normativa, internazionale, comunitaria e nazionale, con conseguenti profili sanzionatori anche di rilievo penale.

2.2.4 Individuazione delle metodologie utilizzate in concreto

La presenza di sostanze nocive e/o classificate pericolose e/o comunque vietate dipende in larga misura dalla metodologia che concretamente verrà adottata, sia per l'aspirazione delle acque contenenti residui durante le operazioni di pulizia, con individuazione del margine di dispersione, sia delle tecniche che verranno effettivamente utilizzate per la gestione ed il trattamento delle acque e dei fanghi di risulta e dai parametri che verranno forniti circa il grado di purificazione e sanitizzazione delle acque marine che sia possibile ottenere prima di restituirle al mare.

Per rispondere al quesito di cui al primo punto, va preliminarmente esaminata la normativa di riferimento interessata dal progetto GreenHull, premettendo che non sempre le fonti in materia fissano positivamente disposizioni operative circa i comportamenti da adottare, prevedendo invece la normativa internazionale dei principi, cui deve attenersi il legislatore nazionale in attuazione e recepimento dei medesimi, quali i fondamentali principi di prevenzione e "chi inquina paga".

2.3 Inquadramento giuridico fronte internazionale-comunitario

Le operazioni di pulizia degli scafi delle imbarcazioni con sistemi automatizzati ROV e il successivo trattamento delle acque reflue non risulta allo stato positivamente disciplinato; tuttavia, con riferimento all'attività oggetto del progetto GreenHull, si ritengono rilevanti le



seguenti normative, che possono essere esaminate per blocchi tematici, all'interno dei quali vengono per completezza richiamate anche le rispettive norme di attuazione.

- i. La **Convenzione AFS** (International Convention on the Control of Harmful Anti-fouling Systems on Ships), adottata a Londra il 5.10.2001, ratificata in Italia con legge 163/2012 del 31.8.2012 ed in vigore da aprile del 2013, che prevede il divieto a livello mondiale dell'applicazione di vernici a base di TBT su carene di ogni dimensione a partire dal 1 gennaio 2003 e ne ha totalmente bandito l'utilizzo a partire dal 1 gennaio 2008. Tale Convenzione, ratificata da 25 paesi, che rappresentavano il 38% del tonnellaggio mondiale, è entrata in vigore a partire dal 17 settembre 2008. La legge sulla ratifica della Convenzione internazionale per il controllo dei sistemi di incrostazione nociva sulle navi del 2001 (ICNS), adottata dall'Assemblea nazionale della Repubblica di Slovenia nella riunione del 29 settembre 2006, è stata promulgata in Slovenia il 9 ottobre 2006 ed è entrata in vigore 15 giorni dopo la pubblicazione nella Gazzetta ufficiale della Repubblica di Slovenia.¹

La convenzione persegue l'obiettivo di prevenire e limitare i danni all'ambiente marino provocati dall'utilizzo delle sostanze antivegetative, vietando l'utilizzo dei composti organostannici (ossia i composti organici a base di stagno) che sono usati come sistemi antivegetativi sulle navi e che sono in particolare contenuti nei rivestimenti a base di tributile (TBT)² dai noti effetti negativi sull'ambiente marino.

Nelle more dell'entrata in vigore della Convenzione AFS, a livello europeo sono stati adottati in particolare due regolamenti

- a) il REG 782/2003/CE in vigore dal 15.4.2003 obbligatorio e direttamente applicabile a tutti gli Stati membri (che vieta l'applicazione delle vernici a base di TBT su ogni tipo di scafo a partire dal luglio 2003, e la presenza nei rivestimenti delle navi a partire dal 1° gennaio 2008)³.
- b) il REG 536/2008/CE del 13.6.2008, recante attuazione dell'art. 6 par. 3, e art. 7 del Reg. (CE) 782/2003 e modifica di detto Regolamento⁴;

¹ UL RS- Mednarodne pogodbe, št. 20/06, UL RS 114/2006

² Quello dell'eliminazione e del controllo quantitativo del tributile è un concetto chiave, poiché i danni che provoca e che sono accertati nella fauna e nell'ambiente marino lo faranno poi dichiarare sostanza pericolosa o sostanza prioritaria da vari altri atti, tra cui segnaliamo la Dir. 2013/39/EU e, a livello nazionale, il d.lgs 152/2006.

³ Cfr. le definizioni di cui all'art. 2 n. 1) < sistema antivegetativo >, n. 4) < nave > e 5) < Convenzione AFS > e art. 5 < Divieto della presenza di composti organo-stannici che agiscono come biocidi >.

⁴ Cfr. art. 1 < obiettivi > – stabilire misure che consentano alle navi battenti bandiera di uno Stato terzo, che entrano in un porto o in un terminale offshore di uno Stato membro, di dimostrare la propria conformità all'articolo 5 del regolamento (CE) n. 782/2003, – stabilire procedure di controllo da parte dello Stato di approdo all'interno della Comunità, e – modificare i riferimenti alla dichiarazione di conformità AFS nel regolamento (CE) n. 782/2003 e nell'allegato I di detto regolamento. Art.4 Nell'adempiere agli obblighi previsti dagli articoli 6 e 7 del regolamento (CE) n. 782/2003, gli Stati membri fanno riferimento alle linee guida per il campionamento rapido dei sistemi antivegetativi sulle



va poi considerato:

c) REG 528/2012 obbligatorio dal 1.9.2013 e direttamente applicabile in tutti gli Stati, che si pone come scopo al suo art. 1 l'armonizzazione delle norme sulla messa a disposizione sul mercato e sull'uso di biocidi, ispirandosi al principio di precauzione⁵.

Ai fini del progetto sono rilevanti, tra le altre, le definizioni di "residuo" (articolo 3, lettera h)) e "uso" (articolo 3, lettera k: per "uso" si intendono tutte le attività connesse al biocida, compresi lo stoccaggio, la manipolazione, la miscelazione e l'applicazione (...)).

- ii. La **Direttiva 2013/39/UE (Water Framework Directive - WFD)** che modifica le direttive 2000/60/CE e 2008/105/CE in tema di sostanze prioritarie nel settore della politica delle acque. La Direttiva Acque stabilisce un quadro per la protezione delle acque interne, delle acque salmastre, del mare costiero (acque marine interne, parte del mare territoriale) e delle acque sotterranee e fissa l'obiettivo ambizioso di raggiungere un buono stato delle acque inizialmente entro il 2015. Per buono stato delle acque si intende un buono stato chimico e quantitativo delle acque sotterranee e un buono stato chimico ed ecologico delle acque superficiali. In particolare, lo "stato ecologico delle acque" è un concetto nuovo, introdotto solo con questa Direttiva. La Direttiva Acque prevede che gli Stati membri preparino e adottino piani di gestione delle acque e programmi d'azione per la gestione delle acque per ogni corpo idrico, al fine di raggiungere gli obiettivi stabiliti.⁶ La Direttiva sulle acque è nuova in quanto, oltre al principio "chi inquina paga", introduce anche il principio del "pieno recupero dei costi dei servizi connessi all'inquinamento idrico"; ciò significa che coloro che provocano pressioni sull'acqua devono pagare per il carico (nei termini di uso e inquinamento) in modo da garantire che i fondi raccolti siano utilizzati per la gestione delle acque in conformità con la stessa Direttiva sulle acque. La direttiva sulle acque è stata recepita nell'ordinamento giuridico sloveno principalmente attraverso due leggi chiave in questo campo, la legge sulle acque (ZV-1) e la legge sulla protezione ambientale (ZVO-1).

La direttiva 2000/60/CE - Direttiva Quadro Acque- ha istituito un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque e, richiamandolo nei suoi consideranda, fa proprio quanto stabilito dall'articolo 174 del Trattato, secondo cui " *la politica ambientale della Comunità deve contribuire a perseguire gli obiettivi della salvaguardia, tutela e miglioramento della qualità*

navi, allegate alla risoluzione MEPC 104(49) del MEPC. Art. 5 Il regolamento (CE) n. 782/2003 è modificato come segue: 1) All'articolo 2, il punto 9 è sostituito dal seguente: «9. "Dichiarazione europea di conformità AFS": un documento che attesta la conformità all'allegato 1 della convenzione AFS, rilasciato da un organismo riconosciuto per conto dell'amministrazione di uno Stato membro;» 2) All'articolo 6, paragrafo 2, la lettera b) è sostituita dalla seguente: «b) Fino ad un anno dopo la data di cui alla lettera a), gli Stati membri riconoscono ogni dichiarazione europea di conformità AFS.» 3) Nell'allegato I, punto 1.4, il riferimento alla risoluzione MEPC 101(48) è sostituito da un riferimento alla risoluzione MEPC 102(48).

⁵ Cfr. La definizione dell'art. 3 lett h, per il concetto di <residuo> e lett. K, per quello di <uso>.

⁶ Kodre in Stanič Racman v Štravs L. (Ur.), Direktive EU s področja upravljanja voda, Uradni list, 2013, p. 56

dell'ambiente, dell'utilizzazione accorta e razionale delle risorse naturali, che dev'essere fondata sui principi della precauzione e dell'azione preventiva, sul principio della correzione, anzitutto alla fonte, dei danni causati all'ambiente, nonché sul principio «chi inquina paga», ed è stata a più riprese modificata.

La direttiva 2008/105/CE del 16 dicembre 2008 è relativa a standard di qualità ambientale nel settore della politica delle acque, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive del Consiglio 82/176/CEE, 83/513/CEE, 84/156/CEE, 84/491/CEE e 86/280/CEE, nonché modifica della direttiva 2000/60/CE del Parlamento europeo e del Consiglio e secondo il suo art. 1 istituisce standard di qualità ambientale (SQA) per le sostanze prioritarie e per alcuni altri inquinanti, come previsto all'articolo 16 della direttiva 2000/60/CE, al fine di raggiungere uno stato chimico buono delle acque superficiali e conformemente alle disposizioni e agli obiettivi dell'articolo 4 di tale direttiva. Gli SQA rilevano ai sensi di una serie di normative secondarie, anche nazionali.

Tra i consideranda della WFD troviamo il riferimento al principio di precauzione e di azione preventiva che ispira la politica dell'Unione in materia ambientale (cons.2) e l'incentivo allo sviluppo di tecnologie innovative del trattamento di acque reflue (cons. 3), con applicazione del principio <chi inquina paga> che come detto è alla base della Dir. 2000/60/CE (cons. 6)⁷.

⁷ Cfr. per l'impostazione in tema di politica delle acque alcuni dei consideranda della Convenzione, che ben esemplificano l'approccio operativo alla materia: (1.) L'inquinamento chimico delle acque superficiali rappresenta una minaccia per l'ambiente acquatico, con effetti quali la tossicità acuta e cronica negli organismi acquatici, l'accumulo di inquinanti negli ecosistemi e la perdita di habitat e di biodiversità, e rappresenta una minaccia anche per la salute umana. È opportuno in via prioritaria individuare le cause dell'inquinamento e affrontare alla fonte la questione delle emissioni di inquinanti, nel modo più efficace dal punto di vista economico e ambientale. (2) Ai sensi dell'articolo 191, paragrafo 2, seconda frase, del trattato sul funzionamento dell'Unione europea (TFUE), la politica dell'Unione in materia ambientale è fondata sui principi della precauzione e dell'azione preventiva, sul principio della correzione, in via prioritaria alla fonte, dei danni causati all'ambiente, nonché sul principio «chi inquina paga». (3) Il trattamento delle acque reflue può essere molto costoso. Al fine di agevolare un trattamento più economico e più efficace dal punto di vista dei costi potrebbe essere incentivato lo sviluppo di tecnologie innovative di trattamento delle acque. (4) La direttiva 2000/60/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 ottobre 2000, che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque (4), delinea una strategia per combattere l'inquinamento idrico. Tale strategia prevede l'individuazione di sostanze prioritarie tra quelle che rappresentano un rischio significativo per l'ambiente acquatico o proveniente dall'ambiente acquatico a livello di Unione. La decisione n. 2455/2001/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 20 novembre 2001, relativa all'istituzione di un elenco di sostanze prioritarie in materia di acque (5), elabora un primo elenco di trentatré sostanze o gruppi di sostanze prioritarie a livello di Unione ai fini dell'inserimento nell'allegato X della direttiva 2000/60/CE. (5) La direttiva 2008/105/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 16 dicembre 2008, relativa a standard di qualità ambientale nel settore della politica delle acque (6), definisce standard di qualità ambientale (SQA), in conformità della direttiva 2000/60/CE, per le trentatré sostanze prioritarie individuate nella decisione n. 2455/2001/CE e per altri otto inquinanti che erano già regolamentati a livello di Unione. Ai sensi dell'articolo 191, paragrafo 3, TFUE, nel predisporre la sua politica in materia ambientale l'Unione deve tener conto dei dati scientifici e tecnici disponibili, delle condizioni dell'ambiente nelle varie regioni dell'Unione, dei vantaggi e degli oneri che possono derivare dall'azione o dall'assenza di azione nonché dello sviluppo socioeconomico dell'Unione nel suo insieme e dello sviluppo equilibrato delle sue singole



regioni. È opportuno tener conto di fattori scientifici, ambientali e socioeconomici, compresi gli aspetti relativi alla salute umana, nel porre in essere una politica economicamente vantaggiosa e proporzionata in materia di prevenzione e controllo. dell'inquinamento chimico delle acque superficiali, anche in sede di riesame dell'elenco di sostanze prioritarie in conformità dell'articolo 16, paragrafo 4, della direttiva 2000/60/CE. In tale ottica si dovrebbe applicare sistematicamente il principio «chi inquina paga», che è alla base della direttiva 2000/60/CE. (7) La Commissione ha proceduto a un riesame dell'elenco delle sostanze prioritarie in conformità dell'articolo 16, paragrafo 4, della direttiva 2000/60/CE e dell'articolo 8 della direttiva 2008/105/CE, giungendo alla conclusione che è opportuno modificare l'elenco delle sostanze prioritarie individuando nuove sostanze cui attribuire una priorità d'intervento a livello di Unione, definendo SQA per le sostanze identificate di recente, rivedendo gli SQA per alcune sostanze esistenti in linea con le nuove acquisizioni scientifiche e fissando SQA relativi al biota per alcune sostanze prioritarie esistenti e per le sostanze identificate di recente. (8) Il riesame dell'elenco di sostanze prioritarie si è avvalso del contributo di un'ampia consultazione condotta con esperti dei servizi della Commissione, degli Stati membri, delle parti interessate e del comitato scientifico dei rischi sanitari e ambientali. (9) Nei piani di gestione dei bacini idrografici per il periodo 2015-2021 si dovrebbe tener conto per la prima volta degli SQA rivisti per le sostanze prioritarie esistenti. Nell'elaborazione di programmi di monitoraggio supplementari e nei programmi preliminari di misure da presentare entro la fine del 2018 si dovrebbe tener conto delle sostanze prioritarie identificate di recente e dei relativi SQA. Al fine del conseguimento del buono stato chimico delle acque superficiali, gli SQA rivisti per le sostanze prioritarie esistenti dovrebbero essere raggiunti entro la fine del 2021 e gli SQA per le sostanze prioritarie identificate di recente entro la fine del 2027, fatto salvo l'articolo 4, paragrafi da 4 a 9, della direttiva 2000/60/CE, che comprende, tra l'altro, disposizioni riguardanti la proroga dei termini previsti per il conseguimento del buono stato chimico delle acque superficiali o la fissazione di obiettivi ambientali meno rigorosi per specifici corpi idrici in ragione di costi sproporzionati e/o di esigenze socioeconomiche, a condizione che non si verifichi un ulteriore deterioramento dello stato dei corpi idrici in questione. La determinazione dello stato chimico delle acque superficiali entro il termine del 2015 stabilito all'articolo 4 della direttiva 2000/60/CE dovrebbe basarsi pertanto solo sulle sostanze e sugli SQA di cui alla direttiva 2008/105/CE nella versione in vigore al 13 gennaio n, a meno che tali SQA non siano più rigorosi degli SQA rivisti nell'ambito della presente direttiva, nel qual caso si dovrebbero applicare questi ultimi. (10) Dall'adozione della direttiva 2000/60/CE sono stati adottati numerosi atti dell'Unione a norma dell'articolo 16, paragrafo 6, della medesima direttiva, che costituiscono misure di controllo delle emissioni applicabili a singole sostanze prioritarie. Inoltre, molte misure di tutela dell'ambiente ricadono nell'ambito di applicazione di altre normative dell'Unione esistenti. Qualora gli obiettivi di cui all'articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 2000/60/CE possano essere efficacemente raggiunti con gli strumenti esistenti, dovrebbero essere privilegiate l'attuazione e la revisione di tali strumenti piuttosto che l'istituzione di nuove misure. L'inserimento di una sostanza nell'allegato X della direttiva 2000/60/CE non pregiudica l'applicazione del regolamento (CE) n. 1107/2009 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 21 ottobre 2009, relativo all'immissione sul mercato dei prodotti fitosanitari (1). (11) Al fine di migliorare il coordinamento tra la direttiva 2000/60/CE, il regolamento (CE) n. 1907/2006 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 18 dicembre 2006, concernente la registrazione, la valutazione, l'autorizzazione e la restrizione delle sostanze chimiche (REACH), che istituisce un'Agenzia europea per le sostanze chimiche (2), e la pertinente legislazione settoriale, dovrebbero essere esplorate le potenziali sinergie al fine di individuare gli eventuali settori in cui i dati raccolti attraverso l'attuazione della direttiva 2000/60/CE possano essere utilizzati per sostenere REACH ed altre pertinenti procedure di valutazione delle sostanze e, di converso, i settori in cui i dati generati ai fini delle valutazioni delle sostanze nell'ambito di REACH e della legislazione settoriale pertinente possano essere utilizzati per sostenere l'attuazione della direttiva 2000/60/CE, compresa la definizione delle priorità di intervento di cui all'articolo 16, paragrafo 2, di tale direttiva. (12) La progressiva riduzione dell'inquinamento causato dalle sostanze prioritarie e l'arresto o la graduale eliminazione di scarichi, emissioni e perdite di sostanze pericolose prioritarie, come previsto dalla direttiva 2000/60/CE, possono spesso essere ottenuti nel modo più efficace sotto il profilo dei costi mediante misure dell'Unione specifiche per le sostanze alla fonte, per esempio ai sensi dei regolamenti



Nel contesto del progetto GreenHull, è importante notare che i composti del tribulositolo (TBT) sono inclusi nell'elenco delle sostanze prioritarie per la politica sulle acque. Nell'all. I sono precisati i quantitativi massimi ammessi di Tributilstagno (composti) nelle acque *superficiali interne e altre acque superficiali* con riferimento agli SQA-AA (media annua) e SQA-CMA (concentrazione massima ammessa) espressa in mg/l⁸. Anche le disposizioni della direttiva sugli standard di qualità ambientale sono state recepite nell'ordinamento giuridico sloveno sulla base di ZVO-1 e ZV-1, e anche alcune leggi riproducono gli articoli della Direttiva. Ad esempio, l'elenco delle sostanze prioritarie sulla base delle quali vengono determinati lo stato chimico delle acque e i relativi standard di qualità ambientale è stato recepito nell'ordinamento giuridico sloveno dal Regolamento sullo stato delle acque di superficie. Il regolamento stabilisce inoltre i criteri per determinare e classificare lo stato delle acque superficiali e i tipi di monitoraggio da effettuare in conformità alla Direttiva acque. I composti di tributilstagno sono anche designati come sostanze prioritarie nell'allegato 1 (parametri dello stato chimico delle acque superficiali) del regolamento.⁹

- iii. **La Convenzione MARPOL (Marine Pollution)** che deriva dall'adozione di due trattati, rispettivamente del 1973 (Marpol 73) e del 1978 (TSPP, Tanker Safety and Prevention Pollution). Tale Convenzione riguarda la prevenzione dell'inquinamento marino causato da navi e dipendente da cause operative o accidentali, è composta da 20 articoli, 3 protocolli e 6 allegati¹⁰ ed è stata ratificata dall'Italia con le leggi n. 462 del 1980 e n.

(CE) n. 1907/2006, (CE) n. 1107/2009 e (UE) n. 528/2012 (3) o delle direttive 2001/82/CE (4), 2001/83/CE (5) o 2010/75/UE (6). Occorre pertanto rafforzare la coerenza tra tali atti giuridici, la direttiva 2000/60/CE e le altre normative pertinenti onde garantire l'idonea applicazione di meccanismi di controllo alla fonte. Qualora il risultato del riesame periodico dell'allegato X della direttiva 2000/60/CE e i dati di monitoraggio disponibili indichino che le misure adottate a livello di Unione o di Stato membro sono insufficienti per raggiungere gli SQA per certe sostanze prioritarie o l'obiettivo di arresto o di graduale eliminazione per certe sostanze pericolose prioritarie, si dovrebbero prendere iniziative appropriate a livello di Unione o di Stato membro per raggiungere gli obiettivi della direttiva 2000/60/CE, tenendo conto delle valutazioni del rischio e dell'analisi socioeconomica e di rapporto costi-benefici effettuate nel quadro della pertinente normativa nonché della disponibilità di alternative. (...)

⁸ Il TBT è indicato nell'allegato I, colonna 30- denominazione: Tributistagno (composti) TBT-catione; Numero CAS 36643-28-4; SQA-AA (acque superficiali interne) 0,0002 (mg/l); SQA-AA (altre acque di superficie) 0,0002 (mg/l); SQA-CMA (acque superficiali interne) 0,00015 (mg/l); SQA-CMA (altre acque di superficie) 0,00015 (mg/l); SQA biota. (Dove AA indica la media annua e CMA indica la concentrazione massima ammissibile).

⁹ Točka 30.

¹⁰ A seconda della effettiva attività da svolgere e delle modalità in concreto adottate potrebbero rilevare le regole MARPOL di cui in particolare agli *ANNEX IV Regulations for the Prevention of Pollution by Sewage from Ships (Regulation 11- discharge of sewage.)* e *ANNEX V.Regulations for garbage disposal at sea*. L'annesso IV è relativo alle disposizioni inerenti lo scarico delle acque e dei liquami e contiene il modello del relativo certificato Marpol. L'annesso V detta le regole relative alla prevenzione dall'inquinamento prodotto da rifiuti scaricati dalla nave, progressivamente proibiti, e prevedendo le zone in cui tali scarichi sono tassativamente proibiti.

Con DM del 1 luglio 2009 del Min. Ambiente le acque reflue sono state inserite tra le sostanze da notificare, con la precisazione che le acque di scarico possono essere scaricate in mare conformemente



438 del 1982, è in vigore dal 2.10.1983. La Convenzione MARPOL è stata recepita nel corpus legislativo in vigore in Slovenia in base al punto D.11 dell'Atto di notifica della successione dall'ex Stato comune della RSFJ, GU RS Trattati internazionali, n. 15-86/92, pag. 194. In virtù dell'articolo 8 della Costituzione, le disposizioni della MARPOL sono direttamente applicabili nella Repubblica di Slovenia. Il Protocollo del 1997 che modifica la Convenzione internazionale per la prevenzione dell'inquinamento causato da navi del 1973, emendata dal relativo Protocollo del 1978, fatto a Londra il 26 settembre 1997 e pubblicato nella Gazzetta ufficiale della Repubblica di Slovenia - Trattati internazionali, n. 10/05 (Gazzetta ufficiale della Repubblica di Slovenia, n. 66/05), è entrato in vigore anche nella Repubblica di Slovenia il 3 giugno 2006. La Convenzione ha lo scopo di ridurre al minimo l'inquinamento del mare da idrocarburi, gas di scarico e altre sostanze nocive ed assoggetta alle sue prescrizioni tutte le navi battenti bandiera dei paesi aderenti, a prescindere dal luogo in cui navigano; i singoli paesi sono responsabili per le navi iscritte nei propri porti. La Convenzione, che ha 6 allegati, in base a diversi gruppi di sostanze nocive, è stata adottata con l'obiettivo di ridurre al minimo l'inquinamento del mare causato dalle navi da idrocarburi, gas di scarico e altre sostanze nocive. Le caratteristiche principali della Convenzione possono essere riassunte come segue: (i) identifica gli inquinanti e li classifica in base alla loro pericolosità; (ii) introduce un divieto generale di scarico degli inquinanti con alcune eccezioni restrittive; (iii) introduce aree marine specifiche con un regime più restrittivo (ad es. (iv) introduce attrezzature speciali per le navi che trasportano sostanze pericolose come carico; (v) introduce regimi e registri specifici per le sostanze pericolose a bordo; (vi) introduce un sistema di ispezioni obbligatorie delle navi e certificati speciali; (vii) prevede controlli più severi e l'obbligo di adottare disposizioni penali nella legislazione nazionale per le violazioni

- iv. **La Direttiva 2008/56/CE¹¹**, che istituisce un quadro per l'azione comunitaria nel campo della politica per l'ambiente marino (**Direttiva quadro sulla strategia per l'ambiente marino**, recepita in Italia con d.lgs 190 del 13.10.2010) La Direttiva quadro stabilisce che gli Stati membri elaborino una strategia marina che si basi su una valutazione iniziale, sulla definizione del buono stato ambientale, sull'individuazione dei traguardi ambientali e sull'istituzione di programmi di monitoraggio. Per buono stato ambientale delle acque marine si intende la capacità di preservare la diversità ecologica, la vitalità dei mari e degli oceani affinché siano puliti, sani e produttivi mantenendo l'utilizzo dell'ambiente marino ad un livello sostenibile e salvaguardando il potenziale per gli usi e le attività delle generazioni presenti e future e pone come obiettivo agli Stati membri di raggiungere entro il 2020 il **buono stato ambientale (GES, "Good Environmental Status")** per le proprie acque marine. Ogni Stato deve quindi mettere in atto, per ogni

alla regola 11 dell'allegato IV della Marpol 73/78 e che le corrispondenti caselle dell'allegato relativo alla notifica non devono essere compilate nel caso in cui si effettui uno scarico in mare autorizzato.

¹¹ La Direttiva 2008/56/CE è stata modificata dalla Dir. 2017/845/UE del 17.5.2017 (attuata con decreto 15.10.2018 del Ministero dell'Ambiente (in G.U. del 6.12.2018, n. 284) per quanto riguarda gli elenchi di indicativi di elementi da prendere in considerazione ai fini dell'elaborazione di strategie per l'ambiente marino, contenuti nell'allegato III e dalla Decisione (UE) 2017/848 del 17.5.2017 con l'introduzione di modifiche tecniche e definizione di criteri e norme metodologiche.

regione o sotto-regione marina, una strategia che consta di una “fase di preparazione” e di un “programma di misure”. (La Direttiva ha suddiviso le acque marine europee in 4 regioni: Mar Baltico, Oceano Atlantico nordorientale, Mar Mediterraneo e Mar Nero, e per alcune di queste ha provveduto ad un’ulteriore suddivisione individuando delle sotto-regioni. Nel Mediterraneo sono state individuate tre sub-regioni).

Gli 11 descrittori sulla base dei quali vengono effettuate le valutazioni previste dalla Direttiva 2008/56/CE sono indicati nella DECISIONE (UE) 2017/848 DELLA COMMISSIONE EUROPEA del 17 maggio 2017, che definisce i criteri e le norme metodologiche relativi al buono stato ecologico delle acque marine nonché le specifiche e i metodi standardizzati di monitoraggio e valutazione, e che ha abrogato la decisione 2010/477/UE; con riferimento alle potenzialità di GreenHull rilevano in particolare:

- il “**Descrittore 2:** Le specie non indigene introdotte dalle attività umane restano a livelli che non alterano negativamente gli ecosistemi” e
- il “**Descrittore 8:** Le concentrazioni dei contaminanti presentano livelli che non danno origine a effetti inquinanti”.

In attuazione degli articoli 9 e 10 del D.lgs. 190/2010, di recepimento della Direttiva Quadro per l’ambiente marino, l’Italia ha aggiornato i requisiti del buono stato ambientale e la definizione dei traguardi ambientali della Strategia Marina con **Decreto del Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare del 15 febbraio 2019 (in G.U. n. 69 del 22.3.2019)**, di cui sono parte integrante i due allegati (GES e Target) in cui sono fissati i criteri di buono stato ambientale ed i traguardi da raggiungere.

La base per il recepimento della direttiva sull’ambiente marino nell’ordinamento giuridico sloveno è costituita dall’articolo 59a ZV-1, che stabilisce gli elementi chiave del piano di gestione ambientale marina. Sulla base di quest’ultimo, è stato adottato il Regolamento sul contenuto dettagliato del Piano di Gestione Ambientale Marino.¹²

- v. **L’Organizzazione marittima internazionale (IMO)** è un’agenzia marittima specializzata delle Nazioni Unite (ONU), istituita per migliorare la sicurezza marittima e prevenire l’inquinamento. In questo contesto, ad oggi sono state adottate circa 40 convenzioni e protocolli e centinaia di codici e raccomandazioni. Affinché una nuova convenzione entri in vigore, è necessario che un certo numero di Paesi la ratifichi. I codici e le proposte adottate dall’Assemblea dell’IMO non sono vincolanti per i governi nazionali, ma il loro contenuto può essere importante e molti governi li incorporano nella loro legislazione nazionale. L’Italia è membro del Consiglio dell’IMO, categoria A, dal 1948 rientrando nel gruppo dei 10 principali Stati che forniscono, in ragione dell’importanza della flotta mercantile, grande impulso allo sviluppo del trasporto marittimo; tale riconoscimento deriva dal fatto che l’Italia è tra gli Stati che hanno ratificato il maggior numero di Trattati attualmente in vigore nel settore del trasporto marittimo e possiede una flotta ampiamente rinnovata e tecnologicamente avanzata, che è garanzia di sicurezza della navigazione e di tutela dell’eco-sistema marino. La Slovenia è diventata membro a pieno

¹² Uradni list RS, št. 92/10, 20/13 in 60/18



titolo dell'IMO il 10 febbraio 1993; da allora ha ratificato più di 20 convenzioni e protocolli derivanti da iniziative dell'IMO, che ha formulato diverse linee guida direttamente o indirettamente collegate al progetto GreenHull.

- **Linee guida per il controllo e la gestione del biofouling sulle navi**, al fine di ridurre al minimo il trasferimento di specie acquatiche invasive (Risoluzione MEPC.207 (62)), al fine di garantire un approccio coerente a livello globale alla gestione del biofouling, ovvero l'accumulo di vari organismi acquatici sugli scafi delle navi. Sono stati adottati dal Comitato per la protezione dell'ambiente marino (MEPC) nel luglio 2011 e sono il risultato di tre anni di consultazioni tra gli Stati membri dell'IMO. Le linee guida sul biofouling rappresentano un passo decisivo per ridurre il trasferimento di specie acquatiche invasive da parte delle navi. Inoltre, nel 2017 l'IMO ha lanciato il progetto GloFouling Partnerships, che mira a creare capacità nei Paesi in via di sviluppo per implementare le linee guida sul biofouling e proteggere gli ecosistemi marini. L'attuazione è prevista a partire da settembre 2018 per un periodo di cinque anni.
- Tali pratiche di gestione del biofouling possono anche migliorare le prestazioni idrodinamiche di una nave, in quanto il fouling dello scafo porta a un aumento significativo del consumo di carburante e quindi influisce sulle emissioni di aria e di gas serra delle navi. Pertanto, la gestione del biofouling può essere uno strumento efficace per aumentare l'efficienza energetica delle navi, come si evince anche dalle **Linee guida del 2016 per lo sviluppo di un piano di gestione dell'efficienza energetica delle navi (SEEMP)** (Risoluzione MEPC.282 (70)).

L'IMO è anche coinvolta nei futuri lavori sulla Convenzione AFS, che richiede lo sviluppo di linee guida per il campionamento rapido dei sistemi antivegetativi, linee guida per le ispezioni delle navi e linee guida per le ispezioni più estese delle navi. Le linee guida sono necessarie per garantire l'applicazione generale e uniforme degli articoli della Convenzione AFS che richiedono il campionamento, l'ispezione e altre indagini. In questo contesto, sono stati sviluppati e adottati anche i seguenti elementi:

- **Linee guida per il controllo e la certificazione dei sistemi antivegetativi sulle navi** - adottate dalla Risoluzione MEPC.102 (48), sostituita dalla Risoluzione MEPC.195 (61);
- Linee guida per il campionamento rapido dei sistemi antivegetativi sulle navi - adottate con la risoluzione MEPC.104 (49); e
- **Linee guida per il controllo dei sistemi antivegetativi sulle navi** - adottate dalla Risoluzione MEPC.105 (49), sostituita dalla Risoluzione MEPC.208 (62).

Un'altra linea guida rilevante per l'attuazione della Convenzione è la Guideline on Best Management Practices for the Removal of Antifouling Coatings from Ships, including Hull Paints TBT (AFS.3/Circ.3).

- vi. La **Convenzione delle Nazioni Unite sul diritto del mare** (United Nations Convention on the Law of the Sea UNCLOS) fornisce un quadro a livello globale, richiedendo agli Stati di cooperare per prevenire, ridurre e controllare l'inquinamento dell'ambiente marino causato dalle attività umane, compresa l'introduzione intenzionale o meno di specie dannose o aliene in parti specifiche dell'ambiente marino. La convenzione è entrata in vigore in Italia, in conformità con l'articolo 308 del 16 novembre 1994, 12 mesi dopo la



data di deposito del sessantesimo strumento di ratifica o di adesione nazionale (la ratifica dell'Italia è avvenuta con legge 2 dicembre 1994, n. 689). Nella Repubblica di Slovenia, UNCLOS è entrata in vigore il 10 dicembre 1982, sulla base dell'Atto di successione alla Convenzione, GU RS - Trattati internazionali, n. 22/103/94, pag. 1471, GU RS, n. 22/103/94, pag. 1471. 79/94, che definisce i diritti e le responsabilità degli Stati nell'uso dei mari e degli oceani, regola il regime giuridico degli spazi marini (definendo aree specifiche: acque marine interne, acque territoriali, piattaforma esterna, piattaforma continentale e zona economica esclusiva e piattaforma continentale) e contiene anche, nella Parte XII, disposizioni fondamentali, anche se relativamente generali, sulla "Protezione e conservazione dell'ambiente marino". In base all'obbligo generale stabilito dall'articolo 192 dell'UNCLOS, gli Stati hanno il dovere di proteggere e preservare l'ambiente marino. Tale disposizione deve essere letta alla luce dell'articolo 194, paragrafo 3, che stabilisce che "le misure adottate in base alla presente parte della Convenzione si applicano a tutte le fonti di inquinamento dell'ambiente marino". A questo proposito, l'UNCLOS, all'articolo 237 (Obblighi derivanti da altre convenzioni relative alla protezione e alla preservazione dell'ambiente marino), stabilisce che "(1.) Le disposizioni della presente Parte (XII. Capitolo) non pregiudica gli obblighi individuali assunti dagli Stati in base a convenzioni e accordi speciali precedentemente conclusi sulla protezione e la conservazione dell'ambiente marino, né gli accordi che possono essere conclusi per elaborare i principi generali contenuti nella presente Convenzione; (2) gli obblighi individuali assunti dagli Stati in convenzioni speciali in relazione alla protezione e alla conservazione dell'ambiente marino devono essere adempiuti in conformità con i principi generali e gli obiettivi della presente Convenzione".

vii. La **Convenzione per la protezione del Mar Mediterraneo dall'inquinamento (Convenzione di Barcellona)**, con i suoi sette protocolli, è stata adottata nell'ambito del Piano d'azione per il Mediterraneo ed è il principale accordo ambientale multilaterale regionale e giuridicamente vincolante per il Mar Mediterraneo. La Convenzione è stata firmata a Barcellona il 16 febbraio 1976 da 16 governi ed è entrata in vigore nel 1978. L'Italia l'ha ratificata il 3 febbraio 1979 con legge 25.1.1979, n. 30. La Convenzione di Barcellona mira a prevenire, ridurre, combattere ed eliminare l'inquinamento in tutto il Mar Mediterraneo e a migliorare la protezione della salute umana e dell'ambiente marino nell'area, al fine di contribuire al suo sviluppo sostenibile. Oltre alla Convenzione quadro¹³, la Repubblica di Slovenia ha ratificato 5 Protocolli, che sono anche rilevanti, almeno indirettamente, dal punto di vista del progetto Green Hull:

- Protocollo per la prevenzione dell'inquinamento del Mar Mediterraneo dovuto allo scarico di rifiuti e altre sostanze da parte delle navi¹⁴;
- Protocollo per la protezione del Mar Mediterraneo dall'inquinamento terrestre¹⁵;

¹³ Zakon o ratifikaciji Sprememb Konvencije o varstvu Sredozemskega morja pred onesnaženjem (Uradni list RS - Mednarodne pogodbe, št. 26/02)

¹⁴ Ul. RS - MP, št. 26/2002



- Protocollo sulla cooperazione in materia di prevenzione dell'inquinamento causato dalle navi e in caso di incidenti di inquinamento nella lotta contro l'inquinamento del Mar Mediterraneo¹⁶;
- Protocollo relativo alle aree specialmente protette e alla diversità biologica nel Mediterraneo¹⁷;
- Protocollo sulla gestione integrata delle zone costiere nel Mediterraneo¹⁸.

Le disposizioni della Convenzione quadro e dei Protocolli ratificati sono direttamente applicabili nella Repubblica di Slovenia. L'UE è anche membro della Convenzione di Barcellona e dei suoi protocolli, ad eccezione del protocollo sui rifiuti pericolosi.¹⁹

- viii. La **Convenzione sulla diversità biologica (CBD)** è stata adottata a Nairobi nel maggio 1992. È entrato in vigore il 29 dicembre 1993. Oggi la Convenzione è il principale strumento internazionale per affrontare la biodiversità e il primo accordo globale sulla sua conservazione. La Convenzione definisce la biodiversità in termini molto ampi: dal livello molecolare e genetico agli ecosistemi. Le prove indicano un grave impoverimento della biodiversità a livello globale, dovuto principalmente alle attività umane, in particolare al crescente sviluppo economico di una parte particolarmente ridotta della popolazione mondiale. Con la legge sulla ratifica della Convenzione sulla diversità biologica (Gazzetta ufficiale della Repubblica di Slovenia, Trattati internazionali, n. 7/1996), la Repubblica di Slovenia ha assunto l'obbligo di conservare la biodiversità in Slovenia. L'Italia è membro della Convenzione dal 14.7.1994, con la firma della ratifica, nell'ambito della quale ha anche sviluppato una Strategia Nazionale per la Biodiversità nel 2010. La legge italiana del 14 febbraio 1994, n. 124, ratifica la convenzione sulla biodiversità, con annessi, fatta a Rio de Janeiro il 5 giugno 1992, ed è entrata in vigore il 24/02/1994.
- ix. La **Convenzione sulla prevenzione dell'inquinamento marino da acque reflue e altre materie** (Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter, 1972) è stata adottata mediante ratifica dalla Slovenia il 21 giugno 2005 e dall'Italia il 24 marzo 2006. Le Parti contraenti si impegnano a preservare e proteggere l'ambiente marino da tutte le fonti di inquinamento e ad adottare misure efficaci, secondo le loro capacità scientifiche, tecniche ed economiche, per prevenire, ridurre e, ove possibile, eliminare l'inquinamento causato dallo scarico di rifiuti o di altre materie in mare o dal loro incenerimento in mare.
- x. Nel 2004, l'IMO ha elaborato anche la **Convenzione internazionale per il controllo e la gestione dell'acqua di zavorra e dei sedimenti delle navi**, abbreviata BWI, è stata adottata per regolamentare sia i metodi consentiti di scarico dell'acqua di zavorra, sia

¹⁵ UL RS- MP, št. 26/2002

¹⁶ UL.RS - MP, št. 1-2004

¹⁷ UL. RS- MP, št. 26/2002

¹⁸ UL. RS-MP, št. 16/2009

¹⁹ [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/LSU/?uri=CELEX:22004A0806\(01\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/LSU/?uri=CELEX:22004A0806(01))



per prescrivere i metodi necessari o consentiti di gestione o trattamento dell'acqua di zavorra e dei sedimenti associati. L'acqua di zavorra è, insieme ai litorali e all'acquacoltura, la principale fonte o modalità di trasporto di specie invasive non indigene tra i diversi ecosistemi acquatici del mondo.

- xi. **Convenzione per la protezione del Mare Mediterraneo e della zona costiera del Mediterraneo** (Convention for the Protection of the Marine Environment and the Coastal Region of the Mediterranean). La legge sulla ratifica degli emendamenti alla Convenzione per la protezione del Mar Mediterraneo dall'inquinamento (Gazzetta ufficiale della Repubblica di Slovenia - Trattati internazionali, n. 26/02) è stata adottata in Slovenia il 25.10.2002.
- xii. La **Convenzione di Basilea** sul controllo dei movimenti transfrontalieri di rifiuti pericolosi e del loro smaltimento è rilevante dal punto di vista del progetto GreenHull, soprattutto in termini di gestione dei rifiuti generati dalla pulizia delle bioincrostazioni dallo scafo delle navi, che possono anche essere una fonte di rifiuti pericolosi. La Convenzione è l'accordo ambientale internazionale più completo sui rifiuti pericolosi e altri rifiuti. L'obiettivo è proteggere la salute umana e l'ambiente dagli effetti pericolosi della produzione, del movimento transfrontaliero (attraversamento delle frontiere) e della gestione dei rifiuti pericolosi e di altri rifiuti. La Convenzione regola i movimenti transfrontalieri di rifiuti pericolosi e di altri rifiuti e richiede alle Parti di garantire che tali rifiuti siano gestiti e smaltiti in modo coerente con la protezione dell'ambiente. La Convenzione, entrata in vigore, è stata ratificata dalla Slovenia nel 1993 (Gazzetta ufficiale della RS, MP 15/93) e dall'Italia il 5 maggio 1992.
- xiii. A livello dell'UE, fino al 2014 non esisteva una legislazione specifica sulle specie non autoctone invasive. Solo alla fine del 2014 è stato adottato il **Regolamento UE 1143/2014 sulla prevenzione e il controllo dell'introduzione e della diffusione delle specie esotiche invasive** (22.10.2014, in vigore dall'1.1.2015) che, essendo un regolamento e non una direttiva, è pienamente vincolante e direttamente applicabile in tutti gli Stati membri dell'UE.
- xiv. Il **Regolamento sui biocidi** (BPR, Regolamento (UE) 528/2012), adottato il 22 maggio 2012 ed entrato in vigore il 1° settembre 2013, disciplina l'uso e l'immissione sul mercato dei biocidi utilizzati per proteggere le persone, gli animali, i materiali o gli articoli da organismi nocivi, quali parassiti o batteri, mediante i principi attivi contenuti nel biocida. L'obiettivo del regolamento è migliorare il funzionamento del mercato dei biocidi nell'UE, garantendo al contempo un elevato livello di sicurezza per le persone e l'ambiente. Il regolamento prevede che tutti i biocidi debbano essere autorizzati prima di poter essere immessi sul mercato. Il regolamento definisce anche, sotto il tipo di prodotto 21, gli antiparassitari come prodotti per prevenire la crescita e la colonizzazione di organismi indesiderati (microbi e specie vegetali o animali) su imbarcazioni, attrezzature per l'acquacoltura e altri oggetti e strutture utilizzati in acqua.

Tabella 1. Convenzioni e regolamenti internazionali e dell'UE che riguardano il tema del GreenHull, ovvero la pulizia delle biofouling dallo scafo e la gestione dei rifiuti che ne derivano.

Abbreviazione	Nome originale	Nome in sloveno	Nome in italiano	Luogo e anno di adozione	Adozione in Slovenia	Adozione in Italia
AFS	International Convention on the Control of Harmful Anti-fouling Systems on Ships	Mednarodna konvencija o nadzoru škodljivih sistemov proti obraščanju na ladjah	Convenzione AFS internazionale sul controllo dei sistemi antivegetativi nocivi sulle navi	London, 5.10.2001 (velja od 17.9.2008)	Veljaven Uradni list RS, št. 114/20016, 9.11.2006	Legge 163/2012 del 31.8.2012
CBD	Convention on Biological Diversity	Konvencija o biološki raznovrstnosti	Convenzione sulla Biodiversità	Rio de Janeiro, 1992	Veljaven	Legge 14 febbraio 1994, n. 124
MARPOL	International Convention for the Prevention of Pollution from Ships	Mednarodna konvencija o preprečevanju onesnaženja morja z ladjij	Convenzione internazionale per la prevenzione dell'inquinamento causato da navi	London, 2.11.1973	Veljaven Uradni list SFRJ, 8.2.1985	Leggi n. 462 del 1980 e n. 438 del 1982
London Convention / London Protocol	International Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter	Konvencija o preprečevanju onesnaženja morja z odpadnimi in drugimi snovmi	Convenzione di Londra sulla prevenzione dell'inquinamento marino da acque reflue e altre materie ("Convenzione sulle discariche")	London, 1972 / 1996	Veljaven Uradni list RS, št. 66/2005, 13.7.2005	legge n. 87 del 13.2.2006



Abbreviazione	Nome originale	Nome in sloveno	Nome in italiano	Luogo e anno di adozione	Adozione in Slovenia	Adozione in Italia
BWM	International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments	Mednarodna konvencija za nadzor in ravnanje z ladijskimi balastnimi vodami in sedimenti	Convenzione internazionale per il controllo e la gestione dell'acqua di zavorra e dei sedimenti delle navi	2004 (velja od 8.9.2017)	v fazi priprav sprejetja	Decreto 25 gennaio 2022 per Approvazione dell'accordo per la delega dei compiti di certificazione statutaria per le navi registrate in Italia di cui alla convenzione Ballast Water stipulato con Bureau Veritas
WFD 2000/60/EC	EU Water Framework Directive	EU vodna direktiva	Direttiva Quadro sulle Acque	23.10.2000	22.12.2000	D.Lgs 152/2006
2008/56/ES	Marine Strategy Framework Directive	Okvirna direktiva o morskimi strategiji	Direttiva quadro sulla strategia per l'ambiente marino	17.6.2008	Junij 2008	D.lgs. 13 ottobre 2010, n. 190
UNCLOS	United Nations Convention on the Law of the Sea	Konvencija ZN o pomorskem mednarodnem pravu	Convenzione delle Nazioni Unite sul diritto del mare	Jamajka, 16.11.1994	ratificirana leta 1986, nasledstvo urejeno 1994	Legge 2 dicembre 1994, n. 689



Abbreviazione	Nome originale	Nome in sloveno	Nome in italiano	Luogo e anno di adozione	Adozione in Slovenia	Adozione in Italia
Basel Convention	Basel Convention on the control of transboundary movements of hazardous wastes and their disposal	Baselska konvencija o nadzoru prehoda nevarnih odpadkov preko meja in njihovega odstranjevanja	Convenzione di Basilea sul controllo dei movimenti transfrontalieri di rifiuti pericolosi e del loro smaltimento	8.5.1992	UL L 39, 16.2.1993, str. 3-22	GU L 39 del 16.2.1993, pag. 3
Barcelona Convention	Convention for the Protection of the Mediterranean Sea Against Pollution	Konvencija o varstvu Sredozemskega morja in obalnega območja	La Convenzione di Barcellona per la Protezione del Mar Mediterraneo dall'Inquinamento	Barcelona, 1976	Veljaven Notifikacija leta 1992 (ur. L. RS 15/92)	Il 3 febbraio 1979 con legge 25.1.1979, n. 30
EU 1143/2014	Regulation on the prevention and management of the introduction and spread of invasive alien species	Uredba o preprečevanju in obvladovanju vnosa in širjenja invazivnih tujerodnih vrst	Regolamento recante disposizioni volte a prevenire e gestire l'introduzione e la diffusione delle specie esotiche invasive	22.10.2014	1.1.2015 (UL L 317, 4.11.2014, str. 35-55)	Regolamento: Atto del Governo n. 453 articolo 3 della legge 12 agosto 2016, n. 170



Abbreviazione	Nome originale	Nome in sloveno	Nome in italiano	Luogo e anno di adozione	Adozione in Slovenia	Adozione in Italia
EU 528/2012	Regulation on the making available on the market and use of biocidal products	Uredba o dostopnosti na trgu in uporabi biocidnih proizvodov	Regolamento relativo alla messa a disposizione sul mercato e all'uso dei biocidi	22.5.2012	UL L 167, 27.6.2012, str. 1-123	GU n. L 167/1 del 27.6.2012



2.4 La normativa nazionale italiana

Anche in tal caso si osserva come non sia attualmente vigente alcuna specifica normativa nazionale dedicata alle operazioni di pulizia degli scafi delle imbarcazioni con sistemi automatizzati ROV e al successivo trattamento delle acque reflue, richiamiamo tuttavia l'attenzione sulla seguente normativa:

- i. Quali ulteriori strumenti di attuazione della normativa internazionale e comunitaria di cui al punto I del presente paragrafo rilevano anche:
- il D.lgs del 13.10.2015, n. 172 di attuazione della Dir. 2013/39/CE, che modifica la Dir. 2000/60/CE per quanto riguarda le sostanze prioritarie nel settore della politica delle acque;
 - il D.lgs del 10.12.2010, n. 219 di attuazione della Dir. 2008/105/CE relativa a SQA nel settore della politica delle acque;
 - il D.lgs del 13.10.2010, n. 190 di attuazione della Dir. 2008/56/CE e che individua le azioni strategiche in materia di ambiente marino da realizzare nella regione del Mar Mediterraneo e relative sotto-regioni (e che richiama all'art. 3 comma 1 lett. b) la normativa speciale in materia di stato ambientale e la definizione di acque costiere di cui alla parte terza del d.lgs. 3 aprile 2006, n. 152 (codice ambiente), i cui artt. 9 e 10 sono stati attuati con il Decreto Ministero dell'Ambiente del 15.2.2019 (In GU del 22.3.2019) ed il cui art. 5 è stato attuato con Decreto GAB-2001-000160 del Ministero dell'Ambiente del 21.10.2011 e ss mm con cui è stato istituito il Comitato Tecnico Istituzionale;
 - il D.lsgl 182/2003 (in G.U. del 22.7.2003) di attuazione della direttiva 2000/59/CE relativa agli impianti portuali di raccolta per i rifiuti prodotti dalle navi ed i residui del carico, che si pone l'obiettivo di ridurre gli scarichi in mare, in particolare quelli illeciti, dei rifiuti e dei residui del carico prodotti dalle navi che utilizzano porti situati nel territorio dello Stato, nonché di migliorare la disponibilità e l'utilizzo degli impianti portuali di raccolta per i suddetti rifiuti e residui, prevedendo un onere di notifica²⁰ (art.

²⁰ Con DM del 1 luglio 2009 del Min. Ambiente le acque reflue sono state inserite tra le sostanze da notificare, con la precisazione che le acque di scarico possono essere scaricate in mare conformemente alla regola 11 dell'allegato IV della Marpol 73/78 e che le corrispondenti caselle dell'allegato al d.lsgl 182/2003 non devono essere compilate nel caso in cui si effettui uno scarico in mare autorizzato ai sensi di tale Convenzione. Si riporta il tenore della regola 11 dell'allegato IV Marpol: "*Regulation 11 - Discharge of sewage Subject to the provisions of regulation 3 of this Annex, the discharge of sewage into the sea is prohibited, except when: (1) the ship is discharging comminuted and disinfected sewage using a system approved by the Administration in accordance with regulation 9.1.2 of this Annex at a distance of more than 3 nautical miles from the nearest land, or sewage which is not comminuted or disinfected at a distance of more than 12 nautical miles from the nearest land, provided that, in any case, the sewage that has been stored in holding tanks shall not be discharged instantaneously but at a moderate rate when the ship is en route and proceeding at not less than 4 knots; the rate of discharge shall be approved by the Administration based upon standards developed by the Organization; or (2) the ship has in operation an approved sewage treatment plant which has been certified by the Administration to meet the operational requirements referred to in regulation 9.1.1 of this Annex, and (2.1) the test results of*



- 6) ed un sistema sanzionatorio in caso di inadempienza artt. 13 e 14) e prevedendo al suo art. 2, lett. c), che nel suo campo di applicazione rientrano, tra i rifiuti prodotti dalla nave, “i rifiuti, comprese le acque reflue e i residui diversi dai residui del carico, ivi comprese le acque di sentina, prodotti a bordo di una nave e che rientrano nell’ambito di applicazione degli allegati I, IV e V della Marpol 73/78”.
- ii. Con riferimento alla normativa nazionale che non dipende dal recepimento di fonti internazionali e/o comunitarie si richiamano:
- **La legge n. 979/1982**, legge sulla difesa del mare, che vieta, agli artt. da 15 a 23, a tutte le imbarcazioni, senza distinzione di nazionalità, di sversare nelle acque territoriali e in quelle marittime interne, idrocarburi o miscele di idrocarburi, nonché altre sostanze nocive, con disposizioni più restrittive rispetto alla MARPOL, prevedendo conseguenze sanzionatorie a livello amministrativo e penale, con maggior rigore per le navi battenti bandiera italiana, i cui comandanti, proprietari e armatori sono imputabili penalmente anche se l’inosservanza del divieto sia avvenuta al di fuori delle acque territoriali. Va segnalato che la Legge 979/82 presenta caratteri di specialità rispetto ai contenuti del d.lgs 152/06 e che, non essendo intervenuta abrogazione della normativa sulla difesa del mare, è ipotizzabile la sussistenza di una doppia tutela, per cui qualora non si provveda ai sensi della disciplina di settore, siano competenti i soggetti previsti alla parte sesta del Codice dell’Ambiente.
 - **il D.lgs 152/06** (Codice Ambiente o Testo Unico Ambiente) nella cui Parte III - Difesa del suolo e tutela delle acque, sezione II, tutela delle acque dall’inquinamento, Titolo I, artt. 73 e ss è stata recepito il d.lgs 152/1999 (decreto acque), in particolare, però pare rilevare alla fattispecie in esame la sua Parte IV, Norme in materia di gestione dei rifiuti e bonifica dei siti inquinati, con riferimento alla definizione di rifiuto liquido costituito da acque reflue, e del titolo VI, Sistema sanzionatorio per la fattispecie punitiva di cui all’art. 192, c. 2 e degli artt. 255 e 256 c. 2, che prevede sanzioni anche penali in caso di inquinamento delle acque, e con specifico richiamo, a seconda della fattispecie che verrà individuata, ai suoi allegati alle specifiche parti del codice ambiente, che prevedono anche parametri limite per tipologia di sostanze e la classificazione delle sostanze come pericolose (tra cui il Tributile).
 - **DPR 27.10.2011, n. 209** che ha istituito le zone di protezione ecologica, rinviando per le modalità operative del regime da applicarsi nella zona di protezione ecologica individuata ai sensi del proprio art. 2 alla definizione, caso per caso, con decreto del

the plant are laid down in the ship’s International Sewage Pollution Prevention Certificate; and (2.2) additionally, the effluent shall not produce visible floating solids nor cause discoloration of the surrounding water. 2 The provisions of paragraph 1 shall not apply to ships operating in the waters under the jurisdiction of a State and visiting ships from other States while they are in these waters and are discharging sewage in accordance with such less stringent requirements as may be imposed by such State. When the sewage is mixed with wastes or waste water covered by other Annexes of MARPOL 73/78, the requirements of those Annexes shall be complied with in addition to the requirements of this Annex”.



Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare sentite le altre amministrazioni interessate.

- Ferma l'applicabilità di sanzioni penali previste da norme speciali, si richiama anche l'art. 635 del codice penale (reato di danneggiamento di acque pubbliche).

2.5 La normativa nazionale slovena

In Slovenia non esiste attualmente una legislazione nazionale specifica per il trattamento del biofouling dello scafo con sistemi ROV automatizzati e per il trattamento delle acque reflue generate da tale trattamento. Esistono leggi e strategie nazionali nel campo della protezione ambientale, della garanzia della qualità dell'acqua di mare, della conservazione della biodiversità e della gestione dei rifiuti pericolosi, che affrontano indirettamente il tema GreenHull.

Per quanto riguarda il rapporto tra diritto internazionale e legislazione nazionale nella Repubblica di Slovenia, va sottolineato che l'articolo 8 della Costituzione della Repubblica di Slovenia stabilisce che *“Le leggi e i regolamenti devono essere conformi ai principi generalmente applicabili del diritto internazionale e ai trattati internazionali vincolanti per la Slovenia”*. I trattati internazionali ratificati e pubblicati sono direttamente applicabili. Ciò significa che l'ordinamento giuridico della Repubblica di Slovenia si basa sul principio della *“supremazia del diritto internazionale”*, in base al quale i trattati internazionali ratificati e pubblicati sono direttamente applicabili, cioè senza alcuna necessità giuridica formale di recepirli nell'ordinamento giuridico nazionale. Ciò significa che in caso di conflitto tra le disposizioni di un trattato internazionale pubblicato e ratificato e un regolamento nazionale, si applica la disposizione del trattato internazionale ratificato e pubblicato. Anche le disposizioni dell'articolo 72 della Costituzione della Repubblica di Slovenia, che fanno riferimento a un *“ambiente di vita sano”*, sono molto rilevanti nel contesto del progetto Green Hull.

La legislazione nazionale sulla gestione e la protezione dell'ambiente marino è ampia e regolamenta in dettaglio vari aspetti della gestione e della protezione dell'ambiente marino. Nella Repubblica di Slovenia esistono i seguenti regolamenti di base nel campo della protezione della natura, che possono includere anche il tema della pulizia delle biofouling dallo scafo delle navi:

- i. La **legge sulla conservazione della natura, ZON** (Gazzetta ufficiale della RS, n. 96/04 del 30.8.2004)²¹, che stabilisce le misure per la conservazione della biodiversità, regola la protezione della flora e della fauna selvatiche, compreso il loro materiale genetico, gli habitat e gli ecosistemi, e garantisce l'uso sostenibile dei componenti della biodiversità e la conservazione dell'equilibrio naturale. Inoltre, la legge stabilisce anche le procedure e le modalità per la concessione dello status di valori naturali e per l'attuazione della loro

²¹ Uradni list RS, št. 96/04 - uradno prečiščeno besedilo, 61/06 - ZDru-1, 8/10 - ZSKZ-B, 46/14, 21/18 - ZNOrg, 31/18 in 82/20



protezione, fornendo così la base giuridica per l'istituzione di un sistema di protezione dei valori naturali.

- ii. La **legge sulla protezione dell'ambiente**, ZVO-1-UPB1 (Gazzetta ufficiale della RS, n. 39/06 del 13 aprile 2006)²², che regola la protezione dell'ambiente dall'inquinamento come condizione fondamentale per lo sviluppo sostenibile e, in questo contesto, stabilisce i principi fondamentali della protezione dell'ambiente, le misure di protezione dell'ambiente, il monitoraggio ambientale e l'informazione sull'ambiente, gli strumenti economici e finanziari per la protezione dell'ambiente, i servizi pubblici per la protezione dell'ambiente e altre questioni relative alla protezione dell'ambiente. La legge sulla protezione ambientale introduce, tra l'altro, il principio "chi inquina paga", in base al quale chi inquina è responsabile dell'eliminazione dell'inquinamento ambientale eccessivo e delle sue conseguenze. L'inquinatore è anche responsabile di tutti i costi delle misure prescritte per la prevenzione e la riduzione dell'inquinamento e dei rischi per l'ambiente, l'uso dell'ambiente e l'eliminazione delle conseguenze dell'inquinamento ambientale. I costi della gestione dei rifiuti devono quindi essere sostenuti dal detentore (produttore) dei rifiuti o dai precedenti detentori o produttori dei prodotti da cui provengono i rifiuti. I principi di sviluppo sostenibile, integrità, cooperazione, prevenzione e precauzione sono la base per stabilire l'obbligo di gestire i rifiuti senza impatti negativi sull'ambiente e sulla salute umana, tenendo conto della gerarchia dei rifiuti prescritta. Il quadro giuridico di base per la gestione dei rifiuti è stabilito dalla Legge sulla Protezione Ambientale-1 e dalle leggi adottate sulla base di essa. Norme di gestione più dettagliate e altre condizioni per prevenire o ridurre al minimo gli impatti negativi della produzione e della gestione dei rifiuti sono quindi stabilite nel **Regolamento sui rifiuti**²³, che si applica alla grande maggioranza dei rifiuti.
- iii. La **legge sull'acqua**, ZV-1 (Gazzetta ufficiale della Repubblica di Slovenia, n. 67/02 del 26 luglio 2002)²⁴, che regola la gestione del mare, delle acque interne e sotterranee e dei terreni acquatici e costieri. Inoltre, prevede la gestione delle acque e dei terreni acquatici e costieri, compresa la protezione delle acque, la regolamentazione delle acque e il processo decisionale sull'uso delle acque. Questa legge regola anche i beni e i servizi pubblici nel campo dell'acqua, delle strutture idriche e di altre questioni legate all'acqua.
- iv. **Codice marittimo** della Repubblica di Slovenia, PZ-UPB5 (Gazzetta ufficiale della Repubblica di Slovenia, n. 62/16 del 30 settembre 2016)²⁵ con il regolamento sul piano di

²² Uradni list RS, št. 84/06, 106/06, 110/07, 67/11, 68/11 - popr., 18/14, 57/15, 103/15, 2/16 - popr., 35/17, 60/18, 68/18 in 84/18 - ZIURKOE

²³ Uradni list RS, št. 37/15, 69/15 in 129/20

²⁴ Uradni list RS, št. 67/02, 2/04 - ZZdri-A, 41/04 - ZVO-1, 57/08, 57/12, 100/13, 40/14, 56/15 in 65/20

²⁵ Uradni list RS, št. 62/16 - uradno prečiščeno besedilo, 41/17, 21/18 - ZNOrg, 31/18 - ZPVZRZECEP, 18/21 in 21/21 - popr.



gestione delle acque per le aree acquatiche del Danubio e del Mare Adriatico (Gazzetta ufficiale della Repubblica di Slovenia, n. 61/11, 49/12 e 67/16).

v. **Regolamento sul Piano di gestione ambientale marina** (Gazzetta ufficiale della Repubblica di Slovenia n. 41/17) e Regolamento sul contenuto dettagliato del Piano di gestione ambientale marina (Gazzetta ufficiale della Repubblica di Slovenia n. 92/10, 20/13 e 60/18). Il primo regolamento è accompagnato da un allegato: il **Piano di gestione ambientale marina 2017-2021**, che fissa gli obiettivi per le acque marine per ogni periodo di sei anni, fornendo al contempo una revisione aggiornata degli impatti delle attività umane sulle acque marine ogni sei anni. Il Piano di gestione marina stabilisce anche le misure da adottare per raggiungere gli obiettivi. Le seguenti azioni sono rilevanti per il progetto GreenHull e sono illustrate nel documento:

- **Misure di controllo dell'introduzione e della presenza di specie non autoctone invasive e potenzialmente invasive (D2)**, ovvero Prevenzione e controllo dell'introduzione e della diffusione di specie non autoctone. Il Regolamento europeo n. 1143/2014 sulla prevenzione e il controllo dell'introduzione e della diffusione di specie non autoctone invasive impone agli Stati membri di attuare misure adeguate. L'azione mira a raggiungere un buono stato dell'ambiente marino specificando la tolleranza dell'introduzione di specie non indigene nei corpi idrici marini e attuando le disposizioni del presente regolamento. Una delle azioni riguarda la riduzione del rischio di introduzione di organismi nocivi e patogeni attraverso l'acqua di zavorra, che comprende la ratifica della Convenzione internazionale per il controllo e la gestione dell'acqua di zavorra e dei sedimenti delle navi. Viene inoltre evidenziata la mancanza di un sistema nazionale per il controllo dell'introduzione di organismi nocivi e patogeni nell'ambiente marino attraverso le acque di zavorra, coordinato con i Paesi dell'Adriatico.
- **Misure per ridurre l'inquinamento da inquinanti (D8)**, in particolare la misura Prevenzione dell'inquinamento da trasporto marittimo, che menziona l'uso di agenti antivegetativi sulle navi. Si ricorda inoltre che l'inquinamento dell'ambiente marino causato dall'uso di agenti antivegetativi a bordo delle navi è regolato per le grandi navi dalla Legge sulla ratifica della Convenzione internazionale per il controllo degli agenti antivegetativi sulle navi (Gazzetta ufficiale della Repubblica di Slovenia - Trattati internazionali, n. 20/06), per le navi più piccole (ad es. Per le imbarcazioni più piccole (ad esempio le imbarcazioni da diporto e i pescherecci), il divieto dei composti organostannici è stabilito dal **regolamento di attuazione del regolamento (CE) concernente la registrazione, la valutazione, l'autorizzazione e la restrizione delle sostanze chimiche (REACH)** (Gazzetta ufficiale della Repubblica di Slovenia, n. 16/2006, pag. 1). 23/08) e le disposizioni relative all'uso di biocidi contenenti composti organostannici derivanti dalla **legge sulle sostanze chimiche** (Gazzetta ufficiale della Repubblica di Slovenia, n. 110/03 - testo ufficiale consolidato, 47/04 - ZdZPZ, 61/06 - ZBioP, 16/08, 9/11 e 83/12 - ZFfS-1). Inoltre, indicano che le concentrazioni di inquinanti sono conformi ai valori limite prescritti dalla **direttiva sulle acque e dalla direttiva sugli standard di qualità ambientale**. L'obiettivo per il



futuro è identificare le fonti di inquinamento da composti di tributilstagno (TBT) e definire misure adeguate. Un'altra azione importante è la preparazione di una proposta di misure per affrontare i problemi di qualità dell'ambiente marino causati dalla presenza di TBT, con l'obiettivo di introdurre biomarcatori di stress generale e biomarcatori rilevanti (ad esempio la presenza di TBT). La terza azione in questo settore è la preparazione di una base di esperti (sviluppo di metodologie) e di una proposta di esperti per l'istituzione di un monitoraggio dell'impatto dei composti di tributilstagno sul biota (imposeks).

- **Misure per limitare e controllare l'introduzione di rifiuti marini (D10)**, ovvero Prevenzione dell'introduzione di rifiuti nell'ambiente marino da fonti marine. Per l'area del Mar Mediterraneo, le misure sono stabilite nella Convenzione internazionale per la prevenzione dell'inquinamento da parte delle navi (MARPOL 73/78). D'altra parte, a livello nazionale, le misure sono stabilite in particolare nella Legge sulla protezione dell'ambiente (Gazzetta ufficiale della Repubblica di Slovenia n. 39/06 - Testo consolidato ufficiale, 49/06 - ZMetD, 66/06 - Decreto legge n. 66/06 - Decreto legge n. 66/06). 33/07 - ZPNačrt, 57/08 - ZFO-1A, 70/08, 108/09, 108/09 - ZPNačrt-A, 48/12, 57/12, 92/13, 56/15, 102/15 e 30/16) e il Codice marittimo (Gazzetta ufficiale della Repubblica di Slovenia, no. 62/16 - Gazzetta ufficiale dell'Unione europea - Testo ufficiale consolidato), che vieta lo scarico, l'immersione o il riversamento in mare di rifiuti che potrebbero ostacolare o mettere a repentaglio la sicurezza della navigazione o inquinare l'ambiente, e rende obbligatoria la raccolta dei rifiuti delle navi nei porti e la predisposizione di impianti portuali per la ricezione dei rifiuti delle navi e dei residui del carico.
- vi. Regolamento sul contenuto dettagliato del Piano di gestione ambientale marina (Gazzetta ufficiale della Repubblica di Slovenia, nn. 92/10, 20/13 e 60/18)
- vii. **Regolamento sulle zone di protezione speciale** (siti Natura 2000) (Gazzetta ufficiale della Repubblica di Slovenia n. 49/04, 110/04, 59/07, 43/08, 8/12, 33/13, 35/13 - rettificato, 39/13 - decreto del Parlamento europeo e del Consiglio n. 39/13, 3/14 e 21/16)
- viii. Regolamento sul Piano spaziale marittimo della Slovenia (Gazzetta ufficiale della Repubblica di Slovenia, n. 116/21)
- ix. **Regolamento sui rifiuti** (Gazzetta ufficiale della RS, nn. 37/15, 69/15 e 129/20), che disciplina anche i rifiuti pericolosi e il regolamento sugli impianti portuali per la raccolta dei rifiuti delle navi e dei residui del carico (Gazzetta ufficiale della RS, nn. 78/08 e 12/17) sono rilevanti nella parte del progetto GreenHull che tratta la questione della gestione transfrontaliera dei rifiuti generati dalla pulizia subacquea dei rifiuti organici dallo scafo delle navi.
- x. La Slovenia tiene conto anche del **Regolamento UE 2017/1454** della Commissione, che stabilisce i formati tecnici di rendicontazione per gli Stati membri ai sensi del Regolamento (UE) n. 1143/2014 del Parlamento europeo e del Consiglio. Il regolamento



considera la crescita sullo scafo di una nave o di un'imbarcazione come clandestina durante il trasporto come una delle vie di introduzione di una specie non autoctona invasiva.

Nel 2000, l'Istituto sloveno per la conservazione della natura ha lanciato il progetto **Natura 2000**, che mira a stabilire linee guida per la conservazione della diversità biologica nella Repubblica di Slovenia e ad attuarle. Così, sulla base del documento Rapporto sullo stato dell'ambiente 1996, hanno pubblicato il documento Linee guida per la preparazione dei piani di gestione dei siti Natura 2000 in Slovenia, che doveva servire da guida per le organizzazioni coinvolte nel progetto.

- xi. Nella sessione del 5 marzo 2020, l'Assemblea nazionale ha adottato la **Risoluzione sul Programma nazionale di protezione ambientale per il periodo 2020-2030 (ReNPVO20-30)** per realizzare la visione ambientale: una natura preservata e un ambiente sano in Slovenia e oltre, che permetta una vita di qualità alle generazioni presenti e future. Il progetto GreenHull è rilevante per l'Obiettivo 14: Conservare e utilizzare in modo sostenibile gli oceani, i mari e le risorse marine per uno sviluppo sostenibile. La cooperazione regionale e subregionale mira a limitare la presenza di specie invasive non autoctone nelle subregioni del Mediterraneo e del Mare Adriatico, derivanti dal trasporto marittimo (intrusione di acqua di zavorra, clandestini), dalla maricoltura e dalle introduzioni non intenzionali.
- xii. In assenza di una legislazione specifica che disciplini il trattamento degli effluenti di acqua di mare contenenti rivestimenti antivegetativi a seguito della pulizia degli scafi, esistono norme che regolano gli scarichi in acqua di mare:
 - Regolamento sull'emissione di sostanze e calore dallo scarico delle acque reflue nelle acque e nelle fognature pubbliche (Gazzetta ufficiale della Repubblica di Slovenia n. 64/12 del 24 agosto 2012).
 - Regolamento che modifica e integra il Regolamento sull'emissione di sostanze e calore mediante scarico di acque reflue nelle acque e nelle fognature pubbliche (Gazzetta ufficiale della RS, n. 64/14 del 29 agosto 2014),
 - Regolamento che modifica e integra il regolamento sull'emissione di sostanze e calore mediante scarico di acque reflue nelle acque e nella rete fognaria pubblica (Gazzetta ufficiale della RS, n. 98/15 del 18.12.2015).
- xiii. Sulla base dei suddetti regolamenti, è stato redatto un **regolamento sull'emissione di sostanze e calore dagli scarichi di acque reflue nelle acque e nelle fognature pubbliche**, che incorpora tutti i regolamenti di cui sopra e affronta di conseguenza l'immissione di rifiuti/emissioni e calore nell'acqua di mare. Il regolamento stabilisce i valori limite di emissione per le sostanze e il calore, la valutazione delle emissioni di sostanze e di calore, le misure per prevenire le emissioni di sostanze e di calore dagli scarichi di acque reflue, le misure per ridurre le emissioni di sostanze e di calore dagli scarichi di acque reflue, altre misure per ridurre le emissioni di sostanze, le condizioni per gli scarichi di acque reflue e gli obblighi per gli investitori e i gestori di impianti relativi all'ottenimento di un'autorizzazione ambientale e all'esercizio dell'impianto in conformità con quanto segue:



- Direttiva del Consiglio, del 21 maggio 1991, concernente il trattamento delle acque reflue urbane (91/271/CEE) (GU L 135 del 30.5.1991, pag. 40), modificata da ultimo dalla direttiva 2013/64/UE del Consiglio, del 17 dicembre 2013, che modifica le direttive 91/271/CEE e 1999/74/CE del Consiglio e le direttive 2000/60/CE, 2006/7/CE, 2006/25/CE e 2011/24/UE del Parlamento europeo e del Consiglio a motivo di un cambiamento della posizione di Mayotte nei confronti dell'Unione europea (GU L 353 del 28.12.2013, pag. 8),
- Direttiva 2000/60/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 ottobre 2000, che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque (GU L 327 del 22.12.2000, pag. 1), modificata da ultimo dalla direttiva 2013/64/UE del Consiglio, del 17 dicembre 2013, che modifica, ai fini della modifica della posizione di Mayotte rispetto all'Unione europea, le direttive 91/271/CEE e 1999/74/CE del Consiglio e le direttive 2000/60/CE, 2006/7/CE, 2006/25/CE e 2011/24/UE del Parlamento europeo e del Consiglio (GU L 353 del 28.12.2013, pag. 8),
- Direttiva 2006/118/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 12 dicembre 2006, sulla protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento e dal deterioramento (GU L 372 del 27.12.2006, pag. 19); e
- Direttiva 2010/75/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 24 novembre 2010, relativa alle emissioni industriali (prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento) (GU L 334 del 17.12.2010, pag. 17), rettificata da ultimo dalla rettifica della direttiva 2010/75/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 24 novembre 2010, relativa alle emissioni industriali (prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento) (GU L 334 del 17.12.2010) (GU L 158 del 19.6.2012, pag. 25).

Sulla base delle suddette direttive, il Regolamento sull'emissione di sostanze e calore mediante scarico di acque reflue nelle acque e nelle fognature pubbliche, allegato alla relazione, fornisce una tabella di valori limite per i parametri di inquinamento per gli scarichi diretti e indiretti e per gli scarichi nelle fognature pubbliche.

Poiché in Slovenia non sono state condotte ricerche di rilievo sul tema del biofouling e sulla conseguente introduzione di specie esotiche invasive e di sostanze pericolose nell'ambiente marino, e poiché la legislazione ambientale e marittima slovena non disciplina tali questioni, è necessario elaborare al più presto linee guida su come effettuare il biofouling e su come trattare i rifiuti che ne derivano, sulla base della legislazione esistente e delle conoscenze scientifiche e professionali.

2.6 Ulteriori fonti normative

Sotto il profilo delle finalità perseguite dal progetto, si segnala anche, con riserva di approfondimento alla luce di ulteriori dettagli tecnici e/o se richiesto, la normativa di attuazione dei principi del **Protocollo di Kyoto** (ratificato dall'Italia con L. 1 giugno 2002, n. 120) allegato alla **Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici** (United Nations Framework Convention on Climate Change UNFCCC 1992), tra cui rientra il contenimento delle emissioni di CO₂ e del consumo di carburanti per effetto dell'efficiente mantenimento operativo delle navi che conseguirebbe alla pulizia degli scafi e dell'elica. La Repubblica di



Slovenia ha adottato la legge sulla ratifica del Protocollo di Kyoto alla Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (IPCC) il 21 giugno 2002 e la legge è stata pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale della Repubblica di Slovenia n. 60/2002 il 10 luglio 2002; l'attuazione del Protocollo è sotto la responsabilità del Ministero dell'Ambiente e della Pianificazione territoriale²⁶.

Va poi considerata, sempre con riserva di approfondimento alla luce di maggiori dettagli tecnici e/o operativi, la normativa, non oggetto di questo parere, relativa al trattamento ed alla gestione dei rifiuti, tra cui i fanghi ed eventuali materiale di risulta per effetto dei trattamenti di purificazione dell'acqua, in parte disciplinati dal Codice Ambiente, e che dovrebbero essere trattati e conferiti mediante ditte specializzate, con adozione del protocollo per la gestione dei rifiuti e tenuta dei registri.

Per quanto riguarda la limitazione dell'inquinamento da rifiuti, occorre fare riferimento alla **Convenzione di Londra** del 1972 sulla prevenzione dell'inquinamento marino da acque reflue e altre materie ("Convenzione sulle discariche"), aggiornata dal Protocollo del 1996 sulla prevenzione dell'inquinamento marino da acque reflue e altre materie. Quest'ultimo è in vigore nella Repubblica di Slovenia sulla base della Legge sulla Ratifica del Protocollo del 1996 alla Convenzione sulla Prevenzione dell'Inquinamento del Mare da Rifiuti e Altre Materie, 1972²⁷. Nel contesto di GreenHull, quest'ultima è rilevante in quanto si riferisce, tra l'altro, alla gestione dei "fanghi provenienti da operazioni di trattamento delle acque reflue". La Convenzione è direttamente applicabile nella Repubblica di Slovenia in base all'articolo 8 della Costituzione. È stata ratificata dall'Italia, che nel suo Protocollo fa riferimento alla gestione dei "*fanghi di depurazione*", Protocollo al quale l'Italia ha dato attuazione con la legge n. 87 del 13.2.2006 (Adesione della Repubblica italiana al Protocollo del 1996 alla Convenzione del 1972 sulla prevenzione dell'inquinamento dei mari causato dall'immersione di rifiuti, fatto a Londra il 7 novembre 1996, con allegati)

La **Convenzione di Montego Bay** (nota anche come UNCLOS III, United Nations Convention Law of the Sea) del 10.12.1982, in vigore dal 10.11.1984, ratificata in Italia con legge n. 689 del 2.12.1984, ha definito i diritti e le responsabilità degli Stati nell'utilizzo dei mari e degli oceani, disciplinando il regime giuridico degli spazi marini (individuando delle specifiche zone: acque interne, acque territoriali, arcipelaghi, zona contigua, zona economica esclusiva e piattaforma continentale), essa definisce altresì delle linee guida che regolano le trattative, l'ambiente e la gestione delle risorse naturali e pone un obbligo generale in capo agli stati di proteggere l'ambiente marino²⁸, facendo salvi obblighi derivanti da altre convenzioni internazionali²⁹, ma

²⁶ UL RS 59/1995

²⁷ Uradni list RS - Mednarodne pogodbe, št. 10/05, UL RS

²⁸ Articolo 192- Obbligo generale. Gli Stati hanno l'obbligo di proteggere e preservare l'ambiente marino.

²⁹ Sezione XI - Obblighi derivati da altre convenzioni in materia di protezione e preservazione dell'ambiente marino. Articolo 237 Obblighi derivati da altre convenzioni in materia di protezione e



prevalendo espressamente, per gli Stati Contraenti, sulla Convenzione di Ginevra del 1958 sul diritto del mare.

2.7 Conclusioni

In assenza, allo stato, di una specifica normativa nazionale che disciplini l'attività nel suo complesso e, data la novità tecnica caratterizzante il progetto, pertanto in assenza di precedenti, si ritiene opportuno che dal punto di vista del corretto inquadramento giuridico del progetto le singole operazioni vengano adeguatamente descritte fornendo parametri tecnici che consentano, da un lato, la preventiva verifica del rispetto di parametri di legge per le singole operazioni e, dall'altro lato, di fornire adeguate informazioni agli enti preposti al rilascio di autorizzazioni e/o di documentare in modo efficace in caso di controlli il rispetto della normativa che verrà conseguentemente individuata come pertinente alle singole fasi, oltre che, complessivamente, al risultato perseguito che di per sé, come anticipato, si pone comunque in linea di continuità con gli obiettivi anche internazionali in tema di politica del mare e di gestione delle sue risorse.

2.7.1 Le competenze in materia

A livello nazionale italiano l'assenza di una specifica disciplina normativa che regoli l'attività oggetto del progetto GreenHull si riflette anche sotto il profilo dell'individuazione degli enti preposti al rilascio di eventuali autorizzazioni in materia. Infatti, sebbene la Direzione Generale per il Mare e le Coste (DG-MAC) sia *focal point* nazionale per la Convenzione Internazionale in materia di sistemi antivegetativi (AFS Convention 2001) e per l'implementazione dei Regg. UE n. 782/2003 e n. 536/2008, allo stato non le risultano ascritte funzioni autorizzative con riguardo alle attività di pulizia subacquea - con qualsiasi sistema effettuate - delle carene o dei sistemi di propulsione delle unità navali. Non risultando quindi un ente di riferimento a livello nazionale per il rilascio di eventuali autorizzazioni ed in assenza di una normativa specifica in proposito, queste dovranno essere verificate a livello locale, potendosi ipotizzare come anticipato di scomporre utilmente i vari segmenti operativi di cui si compone il progetto, al fine di individuarne le relative competenze. Ad esempio, tenendo presente la specificità di Venezia, i soggetti referenti in materia appaiono essere l'Autorità di Sistema Portuale, reparto ambientale e/o il Provveditorato Interregionale di Venezia secondo i rispettivi ambiti di competenza.

preservazione dell'ambiente marino. Le disposizioni della presente Parte si applicano senza pregiudizio degli obblighi specifici assunti dagli Stati in virtù di speciali Convenzioni e accordi precedenti in materia di protezione e preservazione dell'ambiente marino, e di accordi che possono essere conclusi per facilitare l'applicazione dei principi generali enunciati dalla presente Convenzione. Obblighi specifici assunti dagli Stati in virtù di speciali convenzioni in materia di protezione e preservazione dell'ambiente marino dovrebbero essere assolti coerentemente con i principi generali e con gli obiettivi della presente Convenzione.



A livello nazionale Sloveno, l'Ispettorato della Repubblica di Slovenia per l'Ambiente e la Pianificazione Territoriale, che fa parte del Ministero dell'Ambiente e della Pianificazione Territoriale, svolge attività di monitoraggio nel campo della protezione ambientale e della conservazione della natura, dell'uso e della gestione delle acque, della protezione delle grotte sotterranee e degli organismi geneticamente modificati nella Repubblica di Slovenia. La Divisione per la protezione del mare costiero dell'Amministrazione marittima della Repubblica di Slovenia, Ministero delle Infrastrutture, svolge compiti operativi relativi alla protezione dall'inquinamento marino e alla risposta di emergenza in caso di inquinamento marino improvviso.

2.7.2 I rischi del progetto

Come emerso dalla disamina che precede, la finalità del progetto si pone in linea con la politica perseguita dal legislatore internazionale e nazionale in ambito di tutela del mare, poiché sviluppando una tecnologia verde e consentendo la pulizia delle carene e delle eliche mentre la nave è in acqua, mira al più agevole ed economico mantenimento in efficienza dello scafo e del motore, con conseguente riduzione dei consumi, delle emissioni e della presenza di specie alloctone sulle carene. Non va tuttavia sottaciuto che le operazioni di pulizia delle carene con moduli subacquei automatizzati, in sé considerate, possano paradossalmente rappresentare un rischio per l'ambiente, per la potenziale dispersione in acqua di sostanze pericolose. Ciò potrebbe accadere sia in conseguenza di limiti tecnici dei metodi utilizzati, sia per cause operative accidentali, legate anche alle condizioni meteo-marine in cui l'attività verrà svolta. Non è quindi possibile escludere a priori un margine di rischio della fase operativa del progetto, rappresentato dalla violazione, anche solo eventuale ed accidentale, di divieti o limiti previsti dalla normativa esaminata. Si pensi ad esempio alla violazione di limiti sotto il profilo qualitativo e quantitativo delle sostanze che potrebbero essere sversate in mare durante le operazioni di pulizia o per un grado di purificazione e sanitizzazione delle acque che residuano dopo il trattamento e prima che queste vengano restituite al mare, che si riveli concretamente insufficiente, o in relazione alla distanza dalla costa del punto in cui le operazioni vengano concretamente eseguite. Va quindi considerata l'astratta possibilità che dall'esecuzione dell'attività, di per sé lecita sotto il profilo delle finalità, possa tuttavia derivare l'applicazione del regime sanzionatorio previsto dalla normativa che risulti violata in casi specifici, dovendosi quindi prevedere una rigorosa ed aggiornata verifica dei dettagli operativi del progetto, al fine di contenere al massimo tali evenienze e di prevedere eventuali correttivi con la massima sollecitudine. Per tutti questi motivi, è prevista la redazione di un documento apposito relativo all'analisi di rischio dei prototipi GreenHull.

In Slovenia, ai sensi dell'articolo 181, paragrafo 12, dello ZV-1, è prevista un'ammenda da 4.000 a 125.000 euro per la persona giuridica che commetta un reato, cioè se scarica, deposita o getta nelle acque sostanze o oggetti che possono mettere in pericolo la vita e la salute delle persone, degli organismi acquatici e periferici, ostacolare il flusso delle acque o mettere in pericolo le strutture idriche; o se scarica, deposita o getta rifiuti, a meno che non sia previsto diversamente dalle norme che regolano la protezione ambientale. Ai sensi dell'articolo 976, paragrafo 7, del Codice Marittimo sloveno, una persona giuridica è passibile di un'ammenda da 4.000 a 250.000 euro e un'impresa individuale è passibile di un'ammenda da 4.000 a 150.000 euro se scarica da



un'imbarcazione, scarica in mare o smaltisce o scarica in mare rifiuti, sostanze o oggetti che possono interferire con la sicurezza della navigazione o inquinare l'ambiente o metterla in pericolo. L'articolo 333(1) del Codice Penale (Inquinamento del mare e delle acque da parte di navi) prevede che chiunque, in violazione delle norme, scarichi o ordini lo scarico di idrocarburi, sostanze chimiche o altre sostanze inquinanti da una nave nelle acque del mare, dei laghi o dei fiumi, inquinando così il mare, le acque o le coste, è punito con la reclusione per un periodo non superiore a cinque anni. Il secondo paragrafo dello stesso articolo prevede che la stessa sanzione si applichi a chiunque inquina con scarichi ripetuti su piccola scala che, in un singolo caso, non causano un deterioramento della qualità delle acque marine, lacustri o fluviali, ma, nel caso di scarichi ripetuti, causano tale deterioramento. Gli scarichi illeciti nell'ambiente marino possono anche, ad esempio, essere motivo di risoluzione illecita del contratto di concessione dell'operatore portuale o del porto se la pulizia con la tecnologia GreenHull avviene nel porto, nella marina o nel cantiere navale. Di conseguenza, è necessario garantire che i dettagli operativi del progetto siano controllati rigorosamente e su base continuativa, al fine di evitare il più possibile tali anomalie e di provvedere alla loro correzione nel più breve tempo possibile.

2.7.3 Conclusioni

Dall'analisi della normativa a livello internazionale e comunitario, come attuata e recepita a livello nazionale, e dall'analisi della normativa italiana e slovena che disciplina la materia emerge come negli ultimi anni sia mutata la sensibilità a riguardo delle tematiche di tutela dell'ambiente marino e si coglie la volontà del legislatore, a tutti i livelli richiamati, nella previsione di strumenti di prevenzione dalle fonti di inquinamento e di responsabilizzazione degli Stati a perseguire politiche di contenimento delle potenziali alterazioni dell'equilibrio marino, prevedendosi altresì il periodico monitoraggio del buono stato ambientale con verifiche costanti dell'effettivo raggiungimento degli obiettivi perseguiti. Vi è quindi un sistema di fonti a diversi livelli, che si intersecano e si completano, dettando per lo più principi di ordine generale che spetta poi ai singoli Stati di effettivamente perseguire, mediante operazioni di controllo ed applicazione del sistema sanzionatorio previsto.

Il progetto GreenHull, per le finalità perseguite, si pone senz'altro in linea, con il quadro normativo esaminato, se pure per la sua novità e per la riscontrata assenza di una specifica normativa non sia allo stato possibile un suo inquadramento in termini di diritto positivo. Ciò porta a considerare che non sussistano ragioni ostative espresse o indirettamente ostative per lo svolgimento dell'attività in oggetto, fatte salve eventuali specifiche restrizioni accordate dalla legge a tutela di determinate aree o ambiti ed a mente dei potenziali profili di rischio cui si è accennato. L'attività può dunque considerarsi lecita, tuttavia dovranno essere fornite delle linee guida nelle quali verranno inquadrati e definiti i limiti da rispettarsi nella fase attuativa del progetto, che dovranno procedere di pari passo con l'elaborazione dei dettagli tecnici operativi delle singole fasi di cui si compone il progetto stesso. In assenza, infatti, di una normativa che disciplini allo stato l'attività nel suo complesso, si ritiene opportuno scomporre i vari segmenti operativi di cui si compone il progetto, fornendo i parametri legali ai quali queste dovranno attenersi. I singoli segmenti di attività sono potenzialmente disciplinati da diverse normative, ad esempio a seconda della pericolosità o meno delle sostanze che possono essere potenzialmente disperse durante le operazioni di pulizia e/o delle sostanze residue dopo il trattamento delle



acque, a mente del fatto che, ad esempio, ai sensi dell'art. 184, c. 3 lett. g) del d.lsgl 152/2006 i fanghi che residuano dopo trattamenti di purificazione delle acque sono considerati rifiuto speciale, ma possono rilevare come rifiuto pericoloso ove presentino le caratteristiche di cui all'allegato I della parte IV del medesimo decreto, e che, in generale, la disciplina applicabile dipende in parte anche dall'ambito in cui le operazioni verranno eseguite, anche per la competenza al rilascio delle autorizzazioni³⁰. Se pure il concetto di scarico di acque da nave, come individuato a livello internazionale e comunitario, non coincida con quello individuato e disciplinato ai sensi dell'art. 74 della parte III del d.lgs 152/2006, le previsioni del codice ambiente ed il relativo regime sanzionatorio potrebbero comunque trovare applicazione, quantomeno con riferimento alle previsioni in ambito di gestione e prevenzione di inquinamento da rifiuti, liquidi o solidi, secondo quanto previsto dalla sua parte IV e da relativi allegati, anche concorrendo con le previsioni delle normative speciali applicabili, nazionali ed internazionali.

Anche a seguito dell'analisi del quadro legislativo sloveno, europeo e internazionale, è possibile affermare con un elevato grado di certezza che gli obiettivi del progetto GreenHull sono in linea con le ultime tendenze nel campo della politica marina e ambientale e che non esistono barriere giuridico-formali che impediscano o vietino a priori l'uso della tecnologia GreenHull nella Repubblica di Slovenia. Tenendo conto del fatto che attualmente non esiste una legislazione nazionale o europea specifica che regoli la pulizia diretta dei detriti dello scafo, l'operatore della tecnologia GreenHull dovrà rispettare pienamente le disposizioni e le procedure definite nella legislazione ambientale e marittima pertinente durante l'attuazione delle singole fasi del progetto.

Alla luce di quanto sopra, sarà di grande aiuto per i futuri utilizzatori della tecnologia GreenHull, così come per i decisori nel processo di autorizzazione, sviluppare linee guida e strategie transfrontaliere comuni, basandosi e completando la legislazione esistente, sia italiana che slovena, con particolare attenzione all'uso di tecnologie per il trattamento del biofouling degli scafi e per la gestione delle acque e dei rifiuti derivanti da tale trattamento. Quest'ultimo dovrebbe, tra l'altro, definire il processo e i limiti (previsti) da applicare in ogni fase dell'applicazione della nuova tecnologia e dovrebbe ispirarsi alle migliori pratiche internazionali (ad esempio BIMCO).

L'uso della tecnologia GreenHull nella Repubblica di Slovenia sembra particolarmente appropriato e fattibile nei porti, nelle marine e nei cantieri navali. Sia il Decreto sulla concessione per la gestione del porto municipale "Marina Koper" che il Decreto sulla concessione per la gestione del porto di "Marina Portorose" prevedono, all'articolo 8 (Servizi del porto), che:

- (1) Il concessionario assicura l'esecuzione di attività economiche e di altro tipo nell'area del porto turistico, nella misura e in modo tale da fornire una gamma completa di servizi del porto;
- (2) Se non esegue direttamente le attività e i servizi economici o di altro tipo necessari, può

³⁰ Non si hanno dati in proposito, ma il modulo ROV potrebbe utilmente conseguire certificazioni ambientali a livello europeo, ad esempio ISO 140001, con conseguenti facilitazioni nella presentazione dell'offerta e nella richiesta di autorizzazioni a livello locale.

subappaltare il diritto di eseguire tali servizi a un'altra persona, previo consenso del concessionario. La pulizia delle incrostazioni dello scafo con la tecnologia GreenHull potrebbe quindi essere classificata come “attività economiche e di altro tipo necessarie per la fornitura di una gamma completa di servizi al porto turistico”.

La condivisione delle specifiche tecniche delle varie fasi in cui si articolano le operazioni di pulizia, raccolta e trattamento dei residui, consentirà di inquadrare in maniera sinergica la fattispecie normativa entro la quale concretamente sarà destinata ad essere compresa l'attività di cui al progetto in esame, portando all'elaborazione di linee guida operative nelle quali prevedere l'indicazione di parametri limite entro i quali dovranno essere contenute le eventuali emissioni di materiale in acqua, anche al fine di eventualmente adeguare la tecnica utilizzata al fine del rispetto dei limiti di legge o, ove questo non sia operativamente possibile, ipotizzando di variare qualche elemento operativo al fine di poter inquadrare la fattispecie sotto una fattispecie che preveda un diverso e più favorevole parametro, non potendosi escludere a priori che il progetto, per l'assenza di una normativa nazionale, possa ricevere a livello locale risposte differenti in relazione ad eventuali autorizzazioni richieste per operare.



3. Indagine della letteratura scientifica e professionale in materia di sviluppo delle tecnologie verdi innovative

3.1 Premessa

Le incrostazioni biologiche sugli scafi delle navi sono una delle cause principali dell'introduzione di specie non alloctone negli ecosistemi marini, compreso quello dell'Alto Adriatico.

Il c.d. biofouling³¹ presente sugli scafi delle navi rappresenta un problema serio e lungamente trattato dalla comunità scientifica e non solo³². L'incrostazione biologica si crea dalla deposizione e dalla crescita sullo scafo delle navi di varie entità marine come erbe, melma, alghe, cirripedi e bivalvi.

Nelle operazioni di pulizia dello scafo, le incrostazioni vengono rimosse tradizionalmente o attraverso il ricorso al dragaggio a secco, oppure, in ambiente marino facendo ricorso a dispositivi, quali quelli di tipo manuale e per il tramite di operatori sommozzatori specializzati, oppure per il tramite di veicoli sottomarini pilotati³³.

L'utilizzo di droni sottomarini risulta una scelta efficace ed efficiente per la pulizia della carena delle imbarcazioni, a prescindere dalla dimensione delle stesse, soprattutto se ad essi vengono integrati dei sistemi di recupero e filtraggio dei detriti. Sempre più piede sta prendendo, da alcuni anni a questa parte, il ricorso a sistemi robotizzati a comando remoto (dall'inglese ROV, "*Remotely Operated Vehicle*"), che rappresentano uno strumento alternativo e valido alla rimozione manuale.

Lo scopo della presente analisi è quello di comprendere lo stato dell'arte di soluzioni tecnologiche³⁴ presenti sul mercato ed emergenti per la pulizia dell'incrostazione biologica che facciano ricorso all'utilizzo di ROV e piattaforme robotizzate subacquee.

³¹ Secondo l'IMO - International Maritime Organization "Il biofouling è l'accumulo di organismi acquatici quali piante, animali e microrganismi su superfici e strutture sommerse o esposte all'ambiente acquatico". Il biofouling diventa un rischio per l'ambiente quando le specie acquatiche invasive vengono trasferite in nuovi ecosistemi.

³² A mero titolo esemplificativo: Preiser e Laster, 1980; Naval Ship's Technical Manual, 1986; Kalumuck, et al., 1996; Convenzione per la Biodiversità ecologica, 1992.

³³ In realtà esistono in commercio anche sistemi antivegetativi ad ultrasuoni, a titolo di esempio ULTRACRAB (www.keelcrab.com/it/barca/ultracrab). Tuttavia, allo stato dell'arte, quelle di cui sopra sono i metodi di rimozione del biofouling più diffusi.

³⁴ Ai fini del presente studio, tecniche che rimuovono le incrostazioni dallo scafo utilizzando strumenti motorizzati (come quella sviluppata dai partner GreenHull).



Lo studio cercherà, inoltre, di comprenderne criticità ed eventuali rischi residui collegati all'utilizzo delle singole soluzioni. Le linee guida consentiranno, ai partner del progetto GreenHull e ai decisori politici dell'Area di Programma, di valutare validità in termini di gestione dei rischi ed efficacia dei vari sistemi di pulizia (in acqua) dell'incrostazione biologica degli scafi delle imbarcazioni.

3.2 Introduzione

Tutti i mezzi marini, dalle più piccole unità da diporto fino alle gigantesche petroliere, necessitano periodicamente di un ritiro in bacino per la manutenzione della carena: lo scafo infatti, col passare del tempo, viene "colonizzato" da alghe e vegetazione (c.d. biofouling) che rovinano la vernice e peggiorano le caratteristiche idrodinamiche.

Un'alternativa al ritiro in bacino, soprattutto in passato, era rappresentata dall'impiego di sommozzatori specializzati per le operazioni di pulizia e l'utilizzo di appositi dispositivi portatili/manuali (Figura 1), che venivano impiegati su imbarcazioni di piccole dimensioni oppure nella pulizia di aree difficilmente raggiungibili di navi più grandi (cosiddette "aree di nicchia")³⁵. Tali dispositivi potevano essere azionati idraulicamente o pneumaticamente, essere dotati di spazzole di vari materiali (ad es. silicone, polipropilene, nylon o acciaio), oppure utilizzare lame o, ancora, tamponi abrasivi. Alcuni di questi dispositivi venivano azionati manualmente da sopra la superficie dell'acqua, in situazione di maggiore sicurezza per l'operatore, attraverso dei pali di supporto (senza ricorrere all'impiego di sommozzatori e operatori subacquei). Per esempio, alcuni dispositivi che venivano prodotti e commercializzati dalla francese Hulltimo SA erano dotati di una spazzola monotesta collegata ad un palo e quindi azionabili dalla superficie per la pulizia di piccole imbarcazioni.

³⁵ Altri impieghi di dispositivi manuali si hanno nella lucidatura delle eliche delle navi.



Figura 1. Esempi di dispositivi manuali a spazzola o a tampone abrasivo per la pulizia dello scafo.³⁶

Una seconda alternativa alla pulizia dello scafo a secco dell'imbarcazione prevede l'utilizzo di veicoli, piccoli dispositivi, carrelli controllati da un operatore subacqueo (ma solitamente semoventi)³⁷. Numerose risultano essere le criticità ed i rischi associati all'utilizzo di tali dispositivi manuali o che fanno ricorso all'impiego del sommozzatore in termini di sicurezza.

Sempre più si fa pertanto ricorso alla rimozione dell'incrostazione biologica per il tramite di soluzioni tecnologiche innovative come quelle previste dai robot sottomarini "pulisci carena" comandati da remoto e che non prevedono alcuna presenza/attività da parte dell'operatore subacqueo. Tali robot, o ROV, sono caratterizzati solitamente da un case in materiale plastico o metallico, con assetto idrostatico neutro³⁸ e che svolge la funzione di tenuta in aderenza allo scafo. La tenuta alla carena dello scafo può derivare dalla spinta provocata delle eliche, per aspirazione (c.d. "suction holding system") oppure può derivare dal flusso d'acqua provocata dalla testa pulente, o, ancora può verificarsi per il tramite di magneti. Il movimento del ROV sullo scafo può altresì avvenire su spazzole gommate azionate da cingoli che consentono manovre in tutte le direzioni, senza comportare danneggiamenti allo scafo. Il robot quasi sempre è dotato di sensori, di sistemi di posizionamento e di telecamere subacquee ad alta risoluzione, attraverso le quali eseguire l'operazione di pulitura a distanza, con un telecomando via cavo.

³⁶ Morrissey Donald & Chris Woods (NIWA), "In-water cleaning technologies: Review of information" prepared for the New Zealand Ministry for Primary Industries (2015); pag. 16

³⁷ A mero titolo esemplificativo, vedesi il Phosmarine Brush Kart (www.brush-kart.com).

³⁸ Assetto neutro: bilanciamento della spinta, il corpo rimane in posizione.



Tradizionalmente, le tecniche di rimozione, in particolare sulle navi di più grandi dimensioni, utilizzano spazzole rotanti a contatto con la superficie dello scafo e/o lo strato di biofouling. Il materiale della spazzola può variare a seconda del tipo di incrostazioni da rimuovere: nylon o polipropilene per la rimozione di alghe e organismi a corpo morbido, spazzole in plastica più rigide o in acciaio o tamponi abrasivi per rimuovere organismi duri e calcarei. Il materiale delle spazzole varia anche a seconda dello specifico materiale dello scafo dell'imbarcazione: per esempio, spazzole in nylon o in polipropilene vengono utilizzate sullo scafo in vetroresina e legno, mentre le spazzole in acciaio a setole d'acciaio vengono generalmente limitate all'uso su scafi in alluminio o acciaio. Altri metodi di rimozione includono l'utilizzo di lame rotanti o spazzole che creano una forza di sollevamento sulla superficie dello scafo senza toccarla, getti d'acqua ad alta pressione e getti d'acqua cavitazionali, come vedremo in seguito. Questi metodi hanno lo scopo di ridurre gli effetti negativi dell'abrasione sui rivestimenti antivegetativi, sia per prolungare la vita del rivestimento che per ridurre la quantità di biocida rilasciata nella colonna d'acqua³⁹. I dettagli su tali metodi di rimozione verranno riportati a seguire.

I partner del progetto GreenHull intendono dimostrare che l'utilizzo di ROV nella pulizia degli scafi delle imbarcazioni può rappresentare un mezzo efficace per contrastare l'inquinamento marino derivante dall'introduzione di specie alloctone, ovviamente se integrato ad un sistema di recupero e filtrazione che impedisca il rilascio in mare delle stesse.

Coerentemente con l'obiettivo del progetto, la presente analisi si concentrerà su soluzioni che utilizzano i ROV come metodo di pulizia delle imbarcazioni. Verrà quindi svolta un'analisi dello stato dell'arte, che permetterà di avere un overview sulle tecnologie attualmente disponibili in commercio. L'analisi è stata condotta partendo da pubblicazioni scientifiche on-line, articoli di giornale e siti web (vedi sotto le sezioni Bibliografia e Sitografia), focalizzando l'attenzione sui metodi di pulizia meccanica, ovvero non analizzando né le tecnologie manuali (ad esempio, la raccolta di organismi a mano, la pulizia attraverso spazzole, raschietti e tamponi non motorizzati) né sulle tecniche di trattamento delle superfici (es. tecnologie di avvolgimento o incapsulamento).

Prima di affrontare una disamina delle varie tecnologie ad oggi presenti sul mercato, è opportuno svolgere un'introduzione su cosa si intenda per droni subaquei o ROV.

³⁹ Una colonna d'acqua è una colonna concettuale di acqua che parte dalla superficie del mare, di un lago o di un fiume e scende fino ai sedimenti di fondo.



3.3 ROVs - Veicoli subacquei a controllo remoto

3.3.1 Definizione di ROV e cenni storici

Quando si parla di ROV, in realtà si sta parlando di “*Unmanned Underwater Vehicles*”, definiti spesso nel linguaggio corrente anche “droni subacquei”; un gruppo estremamente eterogeneo di veicoli di varie dimensioni in grado di operare in ambiente sottomarino con un certo grado di autonomia rispetto al controllo dell’essere umano, oppure controllati a distanza.

La categoria è talmente vasta che spesso si è soliti raggruppare sotto questo termine sistemi tra loro completamente differenti, dal semplice robot di piccola dimensione (poche decine di centimetri) al sistema complesso di svariati metri di lunghezza.

Per tipologia di controllo e presenza di collegamento, si è soliti distinguere gli UUV in due grandi sottogruppi: il primo è costituito dai *Remote Operated Underwater Vehicles* (ROV, per l’appunto), o veicoli subacquei a controllo remoto, mentre il secondo fa capo ai c.d. *Autonomous Underwater Vehicles* (AUV), veicoli subacquei sostanzialmente autonomi.

Nonostante non si sappia con certezza chi abbia inventato il primo sottomarino a comando remoto (ROV), due sono i casi che meritano di essere annoverati. Il primo veicolo capace di navigare sott’acqua fu un torpedo, parte del **programma PUV** (*Programmed Underwater Vehicle*) costruito nell’allora Austria-Ungheria nel 1864 e perfezionato nel 1866 da Robert Whitehead su progetto di Giovanni Luppis della Marina Militare Austro-Ungarica⁴⁰, ma il primo veicolo che si possa definire “a comando remoto”, in quanto dotato di ombelicale, fu il POODLE⁴¹, costruito nel 1953 da Dimitri Rebikoff.

La marina degli Stati Uniti è stata sicuramente pioniera nello sviluppo e costruzione dei primi ROV senza equipaggio, inizialmente usati per la ricerca ed il recupero di ordigni subacquei⁴². Nel 1960 la US Navy finanziò il primo progetto basato sui ROV, chiamato **CURV** (*Cable-Controlled Underwater Recovery Vehicle*, ossia “veicolo subacqueo controllato con un cavo”); questo progetto diede la possibilità di portare a termine importanti missioni e salvataggi, come ad esempio il recupero della bomba nucleare B28RI persa nello schianto di un B-52 nel Mar Mediterraneo al largo della Spagna nel 1966 e il salvataggio dei piloti del sommergibile PISCES III⁴³ da parte del ROV CURV III nel 1973 che, dopo essersi infossato al largo dell’Irlanda, aveva

⁴⁰ Florida International University “Remotely Operated Underwater Vehicle” (ROV): 100% Report”; G. Martos, A. Abreu, S. Gonzalez, Prof. A. Tremante, 2013; page 3.

⁴¹ Marine Technology Society “ROVs - A BRIEF HISTORY (2012”) Link: www.rov.org/rov_history.cfm

⁴² G. Roberts, R. Sutton “Advances in unmanned marine vehicles”, IEE, London (2006).

⁴³ PISCES III. Link to wikipedia: en.wikipedia.org/wiki/Rescue_of_Roger_Mallinson_and_Roger_Chapman.

lasciato pochi minuti di aria all'equipaggio. Il ROV in quell'occasione fu usato per attaccare un cavo di acciaio al sommergibile e riportarlo in superficie.

Il passo successivo fu promuovere questa tecnologia nell'Oil&Gas. A sostenere questo cammino furono delle imprese commerciali che videro il futuro dei ROV in operazioni petrolifere offshore. Partendo da questa base di tecnologia l'industria Oil&Gas creò una classe di ROV che potesse aiutare lo sviluppo di giacimenti di petrolio in offshore.

Se si può dire con certezza che almeno dagli anni '80 i ROV sono diventati essenziali per lo sviluppo ad alta profondità dei giacimenti petroliferi, l'idea di utilizzare simili soluzioni per la pulizia dello scafo subacqueo è stata avanzata solo negli ultimi decenni. Se la pulizia di FPSO per il tramite di robot sottomarini non è certo una novità, risale solo al 2009, infatti, il primo brevetto europeo di un dispositivo robotizzato per la pulizia di scafi di imbarcazioni da diporto e di più piccole dimensioni (Keelcrab della Aeffe Srl)⁴⁴.

3.3.2 *Principali sfere di applicazione dei ROV*

I ROV forniscono un accesso privilegiato al mondo sottomarino, un luogo che, soprattutto a determinate profondità, l'essere umano non può esplorare.

In prima analisi si può dire che i ROV sono impiegati principalmente nello studio delle conformazioni costiere, dei fondali marini e della loro flora e fauna, oltre che per misurare la profondità in ambienti particolarmente difficili da raggiungere, la penetrazione delle radiazioni solari, la ricerca di relitti, la previsione dei cambiamenti climatici, nonché lo studio della sostenibilità ambientale, dell'inquinamento marino e della ricerca di fonti di idrocarburi sottomarine. A seguire, le applicazioni più comuni suddivise per macro-categorie:

- **A fini esplorativi e accademico-scientifici:** i ROV forniscono uno dei migliori strumenti per raggiungere, esplorare e studiare l'oceano dalle sue secche costiere alle sue maggiori profondità. Sono utilizzati dai principali istituti di ricerca del mondo come l'Istituto Oceanografico di Woods Hole (WHOI)⁴⁵ o lo Schmidt Ocean Institute (SOI)⁴⁶ per filmare, misurare e comprendere le creature e l'ambiente dell'oceano. I ROV vengono comunemente utilizzati nella ricerca a livello universitario per la biologia marina, l'oceanografia e lo sviluppo di sistemi autonomi. Esistono anche ROV di piccole dimensioni che vengono utilizzati da studenti, scienziati e ricercatori, che permettono di raggiungere facilmente e in sicurezza le profondità per studiare le creature del mare, utilizzare strumenti per misurare i parametri dell'acqua e raccogliere campioni da portare in laboratorio. I ROV sono anche utilizzati per l'esplorazione di relitti, di luoghi di

⁴⁴ www.keelcrab.com

⁴⁵ www.whoi.edu

⁴⁶ www.schmidtocean.org/technology/live-from-rv-falkor/



incidenti aerei, città affondate, miniere abbandonate, grotte e di qualsiasi altro luogo sott'acqua.

- **Ai fini scolastici di diffusione delle materie STEM e robotica:** i ROV sono diventati molto popolari negli ultimi anni tra gli istituti scolastici per la promozione delle materie STEM e programmi di robotica applicata. La costruzione ed il funzionamento dei ROV combina in modo unico elementi di fisica, scienza, ingegneria, programmazione, oceanografia e biologia. Per gli studenti più grandi delle scuole superiori e non solo, esistono numerosi esempi di concorsi e gare di robotica che coinvolgono gli studenti a progettare e sviluppare ROV, come NAVIGANDO⁴⁷, progetto realizzato dal Cluster Mare FVG, soggetto di aggregazione delle tecnologie marittime della Regione Friuli Venezia Giulia.
- **Ispezione e lavori subacquei,** di gran lunga l'applicazione commerciale più comune per i ROV. Droni sottomarini di grandi dimensioni vengono utilizzati per molti compiti nell'industria petrolifera, del gas offshore e nell'industria eolica offshore, mentre i ROV più piccoli sono utilizzati in una vasta gamma di settori tra cui l'ispezione di infrastrutture e l'ispezione degli scafi delle imbarcazioni.
- **Search and Rescue:** i ROV vengono inoltre utilizzati - sia a fini civili che militari - per la sicurezza portuale o per la ricerca di ordigni esplosivi sommersi⁴⁸. Utilizzando i ROV, è possibile svolgere questi compiti senza mettere in pericolo l'eventuale operatore subacqueo.

A queste tradizionali ambiti applicativi, negli ultimi anni - ed a partire dalla fine degli anni 2000 - si è visto un proliferare di messa in commercio di sottomarini per la pulizia di scafi di imbarcazioni.

3.3.3 Soluzioni e tecnologie meccaniche presenti sul mercato

Lo sviluppo di un robot per la pulizia dello scafo subacqueo richiede tecnologie e standard di sicurezza⁴⁹ specifiche. Sussistono molte criticità - da non sottovalutare - sin dalla primissima fase di progettazione di un simile dispositivo, quali, a mero titolo esemplificativo, la tecnologia pulente a cui si fa ricorso, la posizione stessa della singola unità pulente, il sistema di ancoraggio ed adesione allo scafo.

A seguire concentreremo il lavoro di analisi delle soluzioni attuali che adottano i principali metodi meccanici, ovvero ROV che utilizzano per le operazioni di pulizia per il tramite di:

⁴⁷ www.marefvg.it/en/2019/05/16/navigando-il-progetto-che-avvicina-gli-studenti-alla-cultura-del-mare/

⁴⁸ A tal riguardo, particolarmente degno di attenzione è il progetto FP7 UNCOSS, un ROV per il rilevamento di bombe e munizioni inesplose lasciate sul fondo del mare dopo le attività della prima guerra mondiale sviluppate dal team di GreenHull partner JZI. Riferimento: CORDIS Europa: www.cordis.europa.eu/project/id/218148.

⁴⁹ A mero titolo esemplificativo, per poter lavorare in sicurezza il ROV dovrebbe lavorare in prossimità dello scafo in assenza di rischio danneggiamento della vernice antivegetativa.

spazzole rotanti o tamponi abrasivi, sistemi meccanici senza contatto, getti d'acqua ad alta pressione o ancora getti d'acqua che sfruttano il fenomeno della cavitazione.

Il presente studio categorizza, per ciascun metodo di pulizia di tipo meccanico, alcuni esempi di veicoli sottomarini a controllo remoto presenti sul mercato, riportandone specifiche tecniche in termini di unità pulente adottata, sistema di ancoraggio alla carena ed eventuali criticità in termini di sicurezza per l'ambiente marino, per esempio dovute al rischio di rilascio di sedimenti in mare.

Scopo ultimo dello studio: analizzare quali delle tecnologie che fanno leva sull'utilizzo dei ROV per la pulizia del biofouling dallo scafo dell'imbarcazioni, specie se integrate ad apposito sistema di trattamento delle acque reflue e filtrazione dell'incrostazione biologica rimossa, rappresenti la soluzione migliore allo stato dell'arte.

Spazzole rotanti o tamponi abrasivi

Nonostante in commercio ad oggi la maggior parte dei sistemi preveda l'utilizzo di getti d'acqua per la pulizia dello scafo (vedesi a tal proposito, sezioni 6 e 7), i ROV che utilizzano sistemi a spazzole rotanti o altri metodi abrasivi sono ancora molto comuni.

Tali soluzioni vanno dai ROV di piccola dimensione progettati principalmente per la pulizia di imbarcazioni di ridotte dimensioni, a unità più grandi progettate per la pulizia di imbarcazioni commerciali⁵⁰.

Un esempio su tutti è rappresentato dall'antesignano **Keelcrab**⁵¹ (Fig. 2) commercializzata dall'azienda italiana **Aeffe Srl**, un piccolo cingolato subacqueo adatto soprattutto per le piccole imbarcazioni da diporto. L'opera di pulizia è attuata per l'appunto con spazzole rotanti affiancate, che eseguono successive passate permettendo la rimozione delle alghe formatisi. Azionato da remoto attraverso un comodo joystick, il Keelcrab è dotato di due luci al LED e di una telecamera che fornisce le immagini poi trasmesse al monitor in superficie. Il sistema è contenuto nelle dimensioni e consuma soli 200 watt a 220 volt e permette, in mancanza di una presa elettrica in banchina o di un generatore a bordo, di utilizzare un piccolo inverter collegato alla batteria della barca.

⁵⁰ A mero titolo di esempio, l'unità di pulizia ad alimentazione elettrica di Hulltimo Smart, ad esempio, misura 420 x 325 x 230 mm e pesa 5,7 kg, mentre il veicolo ECA Roving Bat è due volte più grande e pesa 135 kg.

⁵¹ www.keelcrab.com. Si segnala a tal proposito che l'azienda ha sviluppato un'altra soluzione antivegetativa, ULTRACRAB, che è un emettitore di ultrasuoni ad alta frequenza.



Fig. 2. ROV Keelcrab⁵².

Oltre oceano, nel 2013 l'Office of Naval Research (ONR) della Marina degli Stati Uniti, insieme all'azienda **SeaRobotics Corporation**⁵³, sviluppò un ROV simile per il metodo di pulizia adottato. Il primo modello messo in commercio, lo **SR-HullBUG** (Fig. 3), rappresentava un sistema di pulizia semi-autonomo che utilizzava un mix di spazzole morbide e dure associate ad un doppio getto per la rimozione del biofouling.



Fig. 3. ROV SR-HullBug⁵⁴.

A seguito degli ultimi sviluppi tecnologici, la SeaRobotics Corporation sta inserendo in commercio soluzioni che ricorrono a diverse modalità di pulizia, anche adottando mix di

⁵²: Fonte: www.keelcrab.com/it/chi-siamo

⁵³ www.searobotics.com

⁵⁴ Fonte: www.searobotics.com



tecnologie alternative alla tradizionale pulizia per abrasione. A seguire, le specifiche tecniche dell'ultima versione dello SR Hull-Bug, dotata anche di jet cavitazionali (vedesi sez. 7).

SR-HullBUG SYSTEM	
SR-HullBUG System Components	
Dimensions	Length: 1490 mm (59 in) Width: 1060 mm (42 in) Height: 732 mm (29 in)
Weight	Weight in Air Trimmed for Freshwater = 363kgf (800 lbf) Weight in Air Trimmed for Seawater = 372kgf (820 lbf) Weight in Water = Neutral Buoyancy
Speed	Maximum vehicle forward speed = 30 cm/sec (13 inches/sec) Theoretical coverage rate = 1000 m ² /hr (10750 ft ² /hr)
Endurance	Tethered Unlimited Battery 6-12 Hours
RF Comm Range	50 Meters
Available Payload	Additional available payload in Seawater = 9 kgf (20 lbf) Changeable grooming/cleaning tool Cavitation jet cleaning tool
Sensors	Compass, Attitude Sensors Video with LED Illumination High Frequency Sonar Fiber Optic Gyro Imaging/Profiling Hull Plate Thickness Sensing Health Encoders Additional Sensors according to client needs

Fig. 4. Specifiche tecniche dello SR-HullBUG⁵⁵.

Un'altra azienda che monta spazzole pulenti di polliamide sui propri ROV è la francese **HULLTIMO SA**, azienda fondata nel 2010 e che sviluppa soluzioni dotate di particolare tenuta in aderenza allo scafo grazie all'effetto *vacuum*⁵⁶. Tra le ultime soluzioni sviluppate, **Hulltimo PRO** (Fig. 5), un ROV progettato principalmente per barche a vela e per piccole imbarcazioni a motore. Hulltimo PRO monta 2 telecamere e di illuminazione a LED, un telecomando wireless con schermo ad alta qualità. Le videocamere di bordo (2 videocamere PAL, che forniscono un angolo di visione di 150°) e l'illuminazione da 4 faretto LED permettono all'utente di monitorare i singoli movimenti del robot e l'efficacia dell'operazione di pulizia in tempo reale ed in maniera puntale. Il sistema - controllato per il tramite di un *tether*, o cavo ombelicale - è progettato per la rimozione di incrostazioni dure e semi-dure e per la raccolta dei detriti attraverso un sacco filtrante removibile (filtro di raccolta dei detriti; dimensione delle maglie 100 µm).

⁵⁵ Fonte: www.searobotics.com/sr-hullbug-specsheet (SR-HullBUG I Full Product Specs sheet)

⁵⁶ Grazie a tale tenuta in aderenza i ROV sviluppati dall'azienda francese possono coprire gli scafi più complessi e sono in grado di pulire anche la linea dell'acqua.



Fig. 5. Hulltimo PRO⁵⁷.

Caratteristiche tecniche principali di HULLTIMO PRO:

- dimensioni contenute (lunghezza x larghezza x altezza): 47cm x 43cm x 33cm // Peso: 20kg
- n. 2 spazzole in setole di poliammide (spessore 0,3 mm)
- n. 1 spazzola a rullo con setole in poliammide (0,3 mm di spessore)

Un'altra soluzione degna di nota è rappresentata da **Hullbot** (Fig. 6), ROV progettato dalla joint venture olandese - australiana **Hullbot Pty LTD**⁵⁸ ed utilizzata principalmente per la pulizia delle carene di yacht. In questo caso il ROV utilizza per la pulizia dell'imbarcazione tamponi rotanti a forma di disco.



Fig. 6. Il ROV Hullbot⁵⁹.

⁵⁷ Fonte: www.services.crm-service.eu (Brochure Hulltimo PRO).

⁵⁸ www.hullbot.com

⁵⁹ Fonte: www.hullbot.com

Tuttavia, **numerose sono le criticità ed i rischi** in termini di biosicurezza associati all'utilizzo di sistemi abrasivi (che essi siano costituiti da spazzole rotanti o tamponi), in quanto a) gli stessi potrebbero andare a rimuovere parte dell'antivegetativo applicato alla superficie dello scafo, con conseguente rilascio di inquinanti in mare; b) laddove non opportunamente controllato da remoto, lo stesso ROV potrebbe danneggiare lo scafo dell'imbarcazione e comportare lo staccamento dell'incrostazione della vernice esfoliante e di altro materiale dello scafo.

La forza magnetica è spesso utilizzata nei sistemi di pulizia subacquea per fissare il ROV allo scafo. La pressione diretta tra il robot e la superficie della nave è possibile grazie all'attrazione reciproca tra il magnete e il materiale ferromagnetico come lo scafo e altre strutture marine. Pertanto, è necessario fornire forze magnetiche e di attrito sufficienti a bilanciare le forze esterne che agiscono sul ROV. L'uso di magneti permanenti rende il ROV più saldamente attaccato allo scafo, ma ha lo svantaggio di rendere difficile il controllo della transizione attacco-sgancio perché la forza magnetica è sempre presente. Al posto dei magneti permanenti, si possono utilizzare elettromagneti da aggiungere alle ruote o ai cingoli del robot. L'elettromagnete può essere controllato per aumentare la forza magnetica quando il ROV è a contatto con il corpo, o per indebolirla quando il ROV è separato dal corpo. Da un lato, questo processo aumenta la manovrabilità del ROV, ma dall'altro i robot che utilizzano elettromagneti consumano più energia di quelli che utilizzano magneti permanenti.

Sistemi meccanici senza contatto

Negli ultimi anni, le preoccupazioni per possibili danni causati ai rivestimenti antivegetativi (in particolare quelli a base di silicone) hanno portato l'industria a focalizzarsi sullo sviluppo di approcci alternativi alla rimozione delle incrostazioni.

In particolare, sono stati sviluppati sistemi in grado di rimuovere le incrostazioni biologiche attraverso la creazione di un flusso turbolento che viene creato sopra il rivestimento stesso dell'imbarcazione⁶⁰: trattasi di sistemi meccanici che non prevedono il contatto diretto con la superficie dello scafo.

Un esempio di sistema che sfrutta tale metodo è quello rappresentato dal carrello a spazzole **Mini-Pamper** (Fig. 7) sviluppato originariamente dalla britannica **UMC International**. Mini Pamper utilizza spazzole controrotanti per creare un flusso turbolento, un'aspirazione che ha la doppia funzionalità di trattenere il carrello aderente allo scafo e di rimozione delle alghe dallo stesso, senza danneggiare il rivestimento. L'ultimo sistema sviluppato dall'azienda, recentemente acquisita da SeaTec⁶¹, è in grado di catturare il residuo attraverso il flusso

⁶⁰ C Scianni and E. Georgiades "Vessel In-Water Cleaning or Treatment: Identification of Environmental Risks and Science Needs for Evidence-Based Decision Making" (2019).

⁶¹ www.seatec-services.com

creato dalla spazzola rotante, che viene convogliato verso un sistema in grado di filtrare 75% dei rifiuti rimossi⁶².

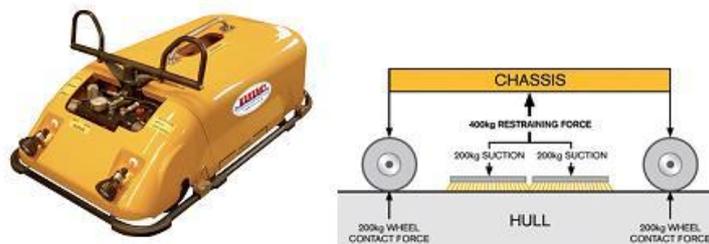


Fig. 7. Mini-Pamper (UMC International)⁶³.

Un altro esempio di sistema che utilizza il principio della pulizia senza contatto è rappresentato dal drone sottomarino **Envirocart** (Fig. 8) sviluppato dall'**Australian Franmarine Underwater Services** ⁶⁴. Il sistema pulente è dotato di dischi rotanti dotati di spazzole convenzionali per vernici dure (a base di vetro o epossidiche) o di lame per vernici a base di silicone e rame; utensili che possono essere azionati in modalità di contenimento in cui i detriti solidi di dimensioni > 50 µm vengono rimossi in prima battuta, filtrati, poi rimossi fino a 5 µm in seconda battuta e filtrati nuovamente.

Infine, l'effluente viene sterilizzato a raggi UV. Nella filtrazione di secondo stadio vengono utilizzate cartucce filtranti con un valore nominale di 25 µm ma in grado di filtrare fino a 5 µm⁶⁵.



Fig. 8. Franmarine Envirocart⁶⁶.

⁶² D. Morrisey and C.Woods (NIWA); "In-water cleaning technologies: Review of information", MPI Technical Paper No: 2015/38, prepared for Ministry for Primary Industries New Zealand (2015), pag.14.

⁶³ Fonte: Morrisey Donald & Chris Woods (NIWA), "In-water cleaning technologies: Review of information" prepared for the New Zealand Ministry for Primary Industries (2015); pag. 20

⁶⁴ www.franmarine.com.au

⁶⁵ Morrisey Donald & ChrisWoods (NIWA); "In-water cleaning technologies: Review of information", prepared for the New Zealand Ministry for Primary Industries (2015), pag. 15.

Abbiamo visto come - che sia per il tramite di spazzole rotanti (Mini-Pamper) o dischi rotanti (Envirocart) - il principio della pulizia senza contatto è lo stesso: viene creato un flusso turbolento che provoca la necessaria forza di rimozione delle incrostazioni. Non essendoci il contatto diretto con la superficie, rispetto ai sistemi che adottano metodi di abrasione, minore è il rischio che vengano rilasciati in mare particelle dell'antivegetativo applicato sullo scafo dell'imbarcazione.

Tuttavia, laddove la carena sia degradata ed abbia perso le proprietà superficiali che riducono la forza di adesione dell'organismo vegetale, un sistema senza contatto non sempre pulisce in maniera efficace. Inoltre, **anche questa tecnica può essere associata a delle criticità e dei rischi** in termini di biosicurezza. Ad esempio, nelle fasi di manovra e spostamento tra i vari punti della superficie da pulire, il ROV ed i relativi tubi di alimentazione potrebbero andare comunque a cozzare e quindi a danneggiare la vernice esfoliante e rilasciare rifiuto in mare, la pulizia a livello della linea dell'acqua ("boot-top") non risulta essere efficace, così come quella relativa ad aree di nicchia e nelle zone dove l'inclinazione dello scafo cambia drasticamente. Da non sottovalutare, poi, che ROV "contact-less", per poter garantire una pulizia senza scarico dei residui in mare e laddove siano provvisti di appositi sistemi a filtrazione, devono garantire una velocità nel flusso turbolento molto importante (per evitare di sovraccaricare i filtri stessi).

Getti d'acqua ad alta pressione

Sul mercato si trovano sempre più soluzioni che utilizzano getti d'acqua ad alta pressione, proprio per ovviare i rischi di danneggiamento al rivestimento antivegetativo e di rilascio di contaminanti nell'ambiente marino⁶⁷.

Fleet Cleaner⁶⁸ è una società con sede nei Paesi Bassi che offre servizi di pulizia e ispezione dello scafo delle navi durante le operazioni di carico e scarico sia nei porti olandesi che in quelli del vicino Belgio. L'azienda ha sviluppato un ROV compatto, delle dimensioni di 2m x 1,8m x 0,6m, il Fleet Cleaner ROV (Fig. 9) dotato getti d'acqua ad alta pressione.

Il robot è stato progettato in particolare per pulire anche le superfici più inclinate e curve dello scafo delle navi, soprattutto quelle di più grandi dimensioni (navi commerciali, FPSO, petroliere, etc...). Grazie al sistema di fissaggio magnetico il robot aderisce alla carena ed è in grado di pulire in qualsiasi circostanza ambientale (ad es. in presenza di forti correnti, onde grosse o vento forte). Inoltre, il robot Fleet Cleaner è in grado di catturare tutte le incrostazioni rimosse e di non rilasciarle quindi in ambiente marino.

⁶⁶ Fonte: Morrisey Donald & Chris Woods (NIWA), "In-water cleaning technologies: Review of information" prepared for the New Zealand Ministry for Primary Industries (2015); pag. 21

⁶⁷ Così come visto per i sistemi abrasivi, i sistemi a getto d'acqua includono dispositivi portatili, carrelli azionati da sommozzatori e carrelli ROV o robot controllati dalla superficie tramite propulsori, videocamere di bordo e sistemi di posizionamento.

⁶⁸ www.fleetcleaner.com

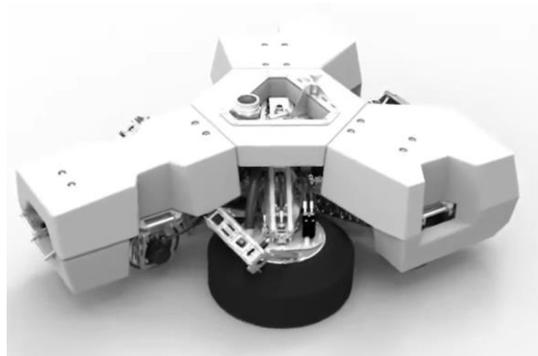


Fig. 9. Fleet Cleaner ROV⁶⁹.

Degno di nota il fatto che il sistema **FleetCleaner** sia in grado di catturare i potenziali contaminanti dell'ambiente marino, essendo dotato di un **sistema di filtrazione "on-boat"**, che trova collocazione quindi in superficie a bordo nave⁷⁰. Attraverso tale sistema, i detriti vengono raccolti, pesati e smaltiti: le acque reflue vengono filtrate ed **acqua pulita viene rilasciata** in mare in maniera totalmente conforme alle severe normative ambientali.

A seguire, una panoramica dall'alto in ambiente reale del sistema integrato FleetCleaner (Fig. 10).

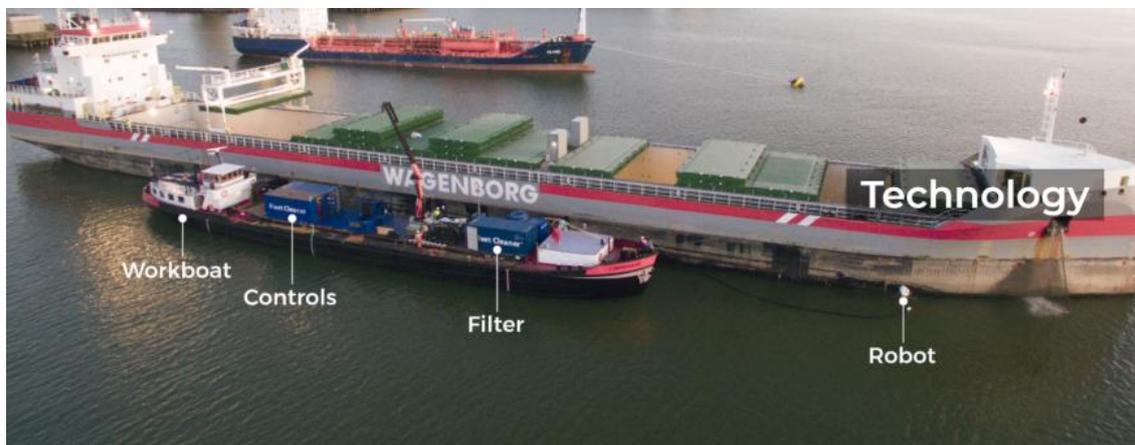


Fig. 10. Sistema integrato FleetCleaner⁷¹.

⁶⁹ Fonte: www.fleetcleaner.com/technology

⁷⁰ Parimenti, l'intenzione dei partner GreenHull è quella di sviluppare un'unità di filtraggio a bordo nave.

⁷¹ Fonte: www.fleetcleaner.com/technology



A tal proposito, si segnala che, al momento della stesura della presente relazione, FleetCleaner viene utilizzato nei porti marittimi olandesi di: Groningen (Delfzijl, Eemshaven), Amsterdam, Den Helder, IJmuiden, Rotterdam, Zeeland (Flushing, Terneuzen). Mentre i servizi di pulizia di Fleetcleaner sono disponibili nei porti belgi di Gent, Anversa e Zeebrugge.

Simili soluzioni di pulizia sono state sviluppate dall'azienda spagnola - con **Headquarters a Singapore - TechHullClean**⁷², che in tempi non sospetti riuscì a rispondere alla gara d'appalto per un sistema di pulizia dello scafo e sistema di recupero e filtraggio indetto nel 2008 dall'Autorità Portuale di Algeciras⁷³.

I modelli sviluppati dall'azienda utilizzano sia spazzole rotanti oppure, per l'appunto, il getto ad alta pressione. Tutte le soluzioni sviluppate sono dotate di speciali sistemi di sospensione idraulica che controllano la pressione dell'unità di pulente e l'adesione allo scafo.

I ROV della TechHullClean (Fig. 11), che essi montino unità pulente abrasive o sistemi ad acqua ad alta pressione, includono un sistema di retrazione degli attrezzi che permette una riduzione al minimo del contatto con la superficie quando l'unità si ferma, mentre il sistema di aspirazione chiuso creato dal flusso dell'acqua, dalla rotazione dei dischi o dall'"iniezione" dell'aria, assicura un deflusso minimo dell'acqua durante il funzionamento.



Fig. 11. Sistemi TechHullClean^{74, 75}.

⁷² www.techullclean.com

⁷³ A tal proposito, è opportuno segnalare che l'Autorità Portuale di Algeciras fu antesignana nell'utilizzo di simili soluzioni, con ben 5 anni di anticipo rispetto a IMO MEPC.1/Circ.811. 2013.

⁷⁴ Fonte: www.techullclean.com.

A tal proposito si segnala come i sistemi sviluppati da TechHullClean siano dotati di sistemi di raccolta e filtrazione dei detriti a tre stadi (Fig. 12) che impediscono alle specie invasive aliene, alle incrostazioni marine e agli inquinanti chimici di rimanere in mare a seguito dell'operazione di pulizia dello scafo e dell'elica subacquea. L'unità di filtrazione è composta da pompe, scatole di filtrazione e filtri con maglia a micron per una configurazione completa del trattamento di superficie. Mentre le scatole metalliche sono in grado di rimuovere i detriti di grosse dimensioni, i filtri a micron di cui è dotato il sistema TechHullClean permette di soddisfare le richieste delle diverse normative ambientali. Con tre livelli di filtrazione a tre stadi, il sistema è in grado di filtrare fino a 5 micron, potendo raccogliere fino a 290 kg di incrostazioni durante la singola operazione di pulizia.



Fig. 12. Sistemi di filtrazione a 3 stadi⁷⁶.

Al momento attuale, oltre al già citato Porto di Alcegiras e Cadice, anche i porti di Rio de Janeiro, Sri Lanka e Singapore si avvalgono della tecnologia TechHullClean; ma a seguito della fusione del 2019 con l'operatore Bernhard Schulte GmbH & Co. KG⁷⁷ è stata adottata una strategia che al 2023 vedrebbe "coprire" ben 29 porti nel mondo.

Un'altra soluzione presente sul mercato che fa leva su getti ad alta pressione è rappresentata da **HullWiper**⁷⁸ (Fig. 13), un ROV sviluppato dalla **Gulf Agency Company Envoronhull** di base negli Emirati Arabi Uniti. HullWiper rimuove le incrostazioni attraverso l'utilizzo di getti d'acqua salata a pressione regolabile (CD100 135 l/min; pressione a lavoro: 230 bar / 3336 Psi; pressione max. 350 bar - 5076 Psi). Il fatto di utilizzare come mezzo per la pulizia l'acqua del mare lo

⁷⁵ Si apprezzano, in primo piano i 3 modelli ROV utilizzati e che utilizzano varie tecnologie pulenti (spazzole rotanti / waterjet), in secondo piano sistema filtrazione ed in fondo sistema di movimentazione e recupero del tether / ombelicale.

⁷⁶ Fonte: www.techhullclean.com.

⁷⁷ <https://www.schultegroup.com>

⁷⁸ www.hullwiper.co

rende unico nel suo genere. Il sistema monta 3 dischi del diametro di 480mm, per una copertura di pulizia pari a 1.460mm; mentre il singolo disco è dotato di 4 ugelli (12 in totale).



Fig. 13. ROV HullWiper⁷⁹.

HullWiper, che si rivolge ad operazioni di pulizia per grandi navi commerciali (non imbarcazioni da diporto) è in grado di raccogliere le incrostazioni marine che rimuove dalle operazioni di pulizia dello scafo attraverso una **pompa di aspirazione dei rifiuti** (Fig. 14) in grado di coprire un'area pari a 38 m²/ora, rappresentando quindi una soluzione valida che permette di non inquinare l'acqua del porto locale. I residui catturati vengono pompati in apposita **unità di filtraggio** e poi depositati in silos dedicati a terra, che vengono raccolti da aziende di smaltimento dei rifiuti ambientali certificate.

⁷⁹ Morrisey Donald & Chris Woods (NIWA), "In-water cleaning technologies: Review of information" prepared for the New Zealand Ministry for Primary Industries (2015); pag. 23

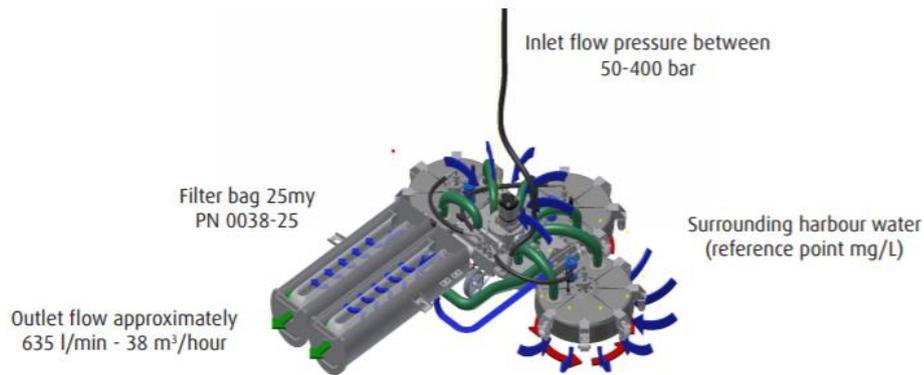
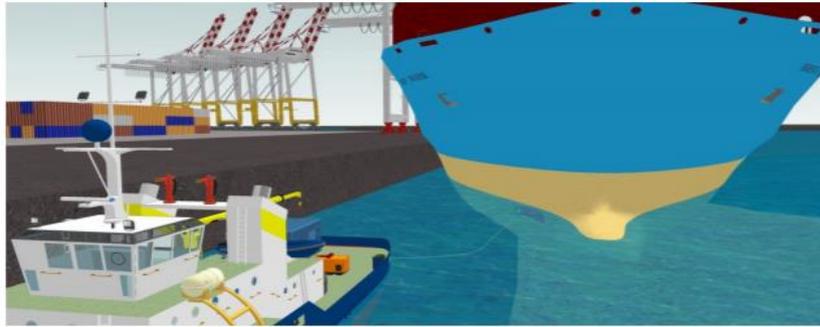


Fig. 14. Sistema di filtraggio e recupero HullWiper⁸⁰.

A seguire le specifiche tecniche del sistema, da scheda tecnica (Fig. 15)⁸¹.

⁸⁰ Fonte: www.hullwiper.com (Scheda tecnica Hullwiper)

⁸¹ Link diretto alla scheda tecnica: hullwiper.com/downloads/hullwiper-component--filter-specs.pdf.

hullwiper.com/49b3d4/siteassets/2.-why-hullwiper/



1. Dimensions	330 cm (L) x 170 cm (W) x 85 cm (H)	15. Sensors	<ul style="list-style-type: none"> • 4 bar depth sensor • 160 bar oil pressure sensor • Magnetic 5 level oil sensor with automatic shut down (with 25% oil level) • 600 bar high water pressure sensor
2. Frame	Stainless steel, tube structure	16. Camera	<ul style="list-style-type: none"> • CMOS Sensor in 1280 X 800 resolution • Removable IR-cut filter for day & night function • Built-in IR Illuminators, effective up to 15 metres • Real-time H.264, MPEG-4 and MJPEG Compression (Triple Codec) • Multiple Simultaneous Streams • Activity Adaptive Streaming for Dynamic Frame Rate Control • Tamper detection for unauthorised changes • Built-in 802.3af Compliant PoE • Built-in MicroSD/SDHC Card Slot for Onboard Storage
3. Weight	1,275 kg	17. Others	<ul style="list-style-type: none"> • Auto depth • Auto heading • Digital control of thrusters • Speed sqm/ hour
4. Max. depth	40m		
5. Buoyancy	Solid cell structure		
6. Power input	690 Vac, 3 phase, 60 Hz, 37 kW		
7. Oil reservoir	40 litres		
8. Hydraulic power	Flow 195 l/min 130 bar compensated with an overpressure of 0.5 bar		
9. Hydraulic oil	Standard is 32 hydraulic oil but the system can use all types of hydraulic oil		
10. Thrusters	8 hydraulic thrusters 3 Hp		
11. Water pump	Capacity up to 635 l/min		
12. Water pressure	50-450 bar 80 l/min		
13. Speed	<ul style="list-style-type: none"> • Horizontal: 2.0 knot • Vertical: 0.7 knot • Turn xyz: 360 deg 		
14. Light	<ul style="list-style-type: none"> • 2 x 250W LED light • 1 x 36 W LED light • 3 channel light dimmer 		

Fig. 15. Specifiche tecniche HullWiper⁸².

Allo stato attuale, numerosi sono i porti commerciali nel mondo coperti dalle operazioni di pulizia HullWiper: Australia (Brisbane, Bundaberg, Gladstone e Townsville) Egitto (Suez), Gibilterra, Mauritius (Port Louis), UAE (Jebel Ali, Dubai, Port Khalid, Sharjah, Port Rashid, Dubai, Fujairah), Qatar (Ras Laffan), Panama (Balboa e Cristobal), Singapore, Spagna (Valencia ed Alcegiras), Danimarca (Copenhagen) e Svezia (Malmo, Kalundborg, Frederica Havn e Kristiansand).

Ciò nonostante, anche l'utilizzo di sistemi pulenti che ricorrano alla tecnologia dei getti ad alta pressione può essere associata a criticità e rischi per l'ambiente marino (nonché per gli stessi operatori che dovessero trovarsi nelle vicinanze del modulo pulente in azione).

È verosimile inoltre che ci siano differenze negli effetti della pulizia sul rivestimento a seconda della distanza in cui il ROV è posizionato rispetto all'imbarcazione. I getti ad alta pressione sicuramente consentono un migliore accesso - e quindi una migliore pulizia - ad aree e nicchie della superficie non facilmente raggiungibili rispetto ai tradizionali sistemi a spazzole rotanti e sistemi "contact-less". Tuttavia la pulizia dello scafo dipenderà molto dal posizionamento degli ugelli dell'unità pulente integrata al ROV, poiché la pressione diminuisce rapidamente con la distanza.

⁸² Fonte: www.hullwiper.co

Infine, tali metodi di pulizia necessitano di una pressione molto più elevata rispetto a quelli che fanno ricorso ai cavitational jets.

Getti d'acqua cavitazionali

La **cavitazione** (dal latino *cavitas* - vuoto, cavità) è un fenomeno consistente nella formazione di zone di vapore all'interno di un fluido che poi implodono producendo un rumore caratteristico (Fig. 16).

La cavitazione appare a causa della diminuzione locale della pressione nel liquido, che può avvenire sia per l'aumento della sua velocità (la cavitazione idrodinamica), sia per il passaggio della potente onda acustica durante il periodo di sotto pressione. Muovendosi con il flusso nell'area di pressione più alta, o durante il semiperiodo di compressione, la bolla di cavitazione collassa, generando così un'onda d'urto.

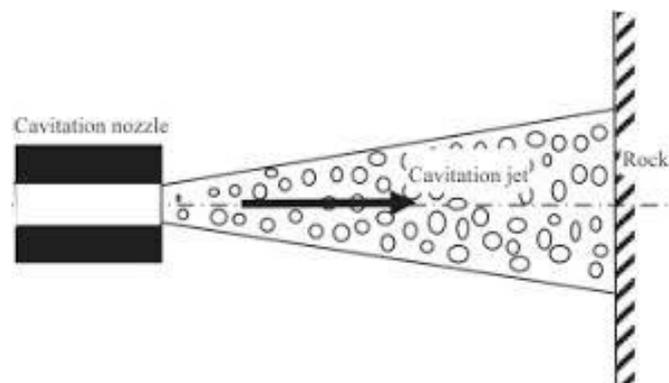


Fig. 16. Cavitazione⁸³.

Per certi versi simile al metodo che utilizza getti d'acqua ad alta pressione, si tratta di un metodo di pulizia che utilizza quindi getti d'acqua che incorporano microscopiche bolle d'aria e vapore, generate da un suono ultrasonico. Come i metodi di pulizia "contact-less", l'utilizzo dei getti cavitazionali alla pulizia sono stati introdotti per ovviare ai danni causati ai rivestimenti antivegetativi e ridurre il rischio per gli operatori di usare getti ad alta pressione.

La **pressione dei jet cavitazionali (120-150 bar)** è infatti sensibilmente minore a quella utilizzata con i getti ad acqua convenzionali⁸⁴: le bolle collassano a contatto con la superficie trattata, creando una pressione molto elevata e localizzata che "distrugge" e rimuove gli

⁸³ Fonte: www.sciencedirect.com; Zifeling Li, "Criteria for jet cavitation and cavitation jet drilling", International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences Volume 71 (2014). Pagg. 204-207

⁸⁴ A mero titolo di confronto, il ROV HullWiper utilizza pressione a 450 bar.



organismi, la ruggine e la vernice esfoliata senza danneggiare la vernice sottostante. **Un vantaggio di questa tecnologia è il suo impatto minimo sui rivestimenti antivegetativi⁸⁵.**

In realtà l'utilizzo di tale tecnologia non è nuova: dai primi anni 2000, l'azienda spagnola **Limpieza Purotecnica SA** ha sviluppato e successivamente commercializzato un sistema chiamato **Cavi-Jet⁸⁶**. Seppur il sito web aziendale apparentemente non sia aggiornato, la tecnologia, che venne brevettata e applicata su unità portatili a pistola (Fig. 17), utilizzava pressioni dell'acqua fino a 149 bar - 2175 psi per creare un getto d'acqua cavitante e microscopiche bolle di gas e vapore, che collassavano al contatto con la superficie trattata.



Fig. 17. Cavi Jet, unità portatili⁸⁷.

Allo stato dell'arte si ha evidenza di sistemi in commercio basati su ROV che utilizzano tale metodo di rimozione dell'incrostazione biologica. A titolo d'esempio una società francese attiva nel campo della robotica e di sistemi automatizzati, **ECA Group⁸⁸**, ha sviluppato un ROV ibrido, il **Roving BAT** (Fig. 18). Quest'ultimo combina un ROV tradizionale con un cingolato, fornendo una spinta molto forte grazie ai suoi propulsori (4 orizzontali, 4 verticali 4 vettoriali) e dotato di due serie di cingoli motorizzati.

Il Roving BAT è dotato di un sistema sonar incorporato che assiste il processo di immersione-attracco allo scafo in condizioni avverse o in presenza di acque torbide. Quando è vicino allo scafo, il ROV si inclina automaticamente sullo scafo grazie ad un sistema auto-docking che viene guidato da remoto; successivamente si attracca saldamente allo scafo ed i suoi propulsori assicurano un'aderenza molto più forte di quella offerta dai sistemi magnetici, controbilanciata dai suoi 4 propulsori verticali.

⁸⁵ O. Floerl, L. Peacock, K. Seaward, G. Inglis "Review of biosecurity and contaminant risks associated with in-water cleaning". Report commissioned by the Australia Department of Agriculture, Fisheries and Forestry - DAFF to the National Institute of Water and Atmospheric Research Limited (2010), pag. 52.

⁸⁶ www.uk.cavi-jet.com

⁸⁷ Fonte: www.uk.cavi-jet.com.

⁸⁸ www.ecagroup.com



Il Roving Bat è particolarmente ben equipaggiato in termini di sistema di visione, essendo dotato di telecamera a colori con possibilità di zoom e visione panoramica, ed è dotato di sensoristica con varie funzioni.



Fig. 18. ECA Group Roving Bat⁸⁹.

L'attuale versione del Roving BAT è il risultato di uno sviluppo iniziato nel 2006 dietro richiesta della compagnia petrolifera Petróleo Brasileiro S.A - Petrobras di un ROV capace di eseguire ispezioni e misurazioni lungo gli scafi delle proprie FPSO⁹⁰. A seguito di un primo modello, nel 2010   arrivata la crescente richiesta di pulizia locale dello scafo: ECA Group ha iniziato uno studio di diverse tecniche di pulizia, passando dalla spazzolatura meccanica al getto d'acqua e infine ha adottato la cavitazione, in stretta collaborazione con la societ  Cavidyne LLC⁹¹. Nel 2017, ECA Group ha rilasciato un nuovo modello di Roving Bat aggiungendo due propulsori orizzontali aggiuntivi, per migliorare le sue capacit  di pulizia in presenza di forti correnti.

Al momento, l'azienda propone **due tecnologie** sui propri modelli:

- **Sistema tradizionale a getto:** il ROV incorpora un braccio manipolatore elettrico a 5 funzioni dotato di un ugello per la pulizia in acciaio inossidabile, estremamente utile per l'accesso in aree ristrette e che pu  anche essere dotato di un puntatore laser 2D. La pistola opzionale CaviBlaster Gun pu  anche essere installata sul braccio al posto del sistema a getto per aumentare significativamente la potenza e l'efficienza della pulizia. La pistola CaviBlaster viene poi collegata alla (qui sotto descritta) connessione HPU a doppia cupola cavitazionale.
- **Sistema di cavitazione a doppia cupola:** Roving Bat   dotato di un'unit  di potenza ad acqua ad alta pressione che genera cavitazione all'estremit  degli ugelli. Il sistema

⁸⁹ Fonte: www.ecagroup.com/en/solutions/rovingbat-hybrid-rov

⁹⁰ Unit  galleggiante di produzione, stoccaggio e scarico (in inglese Floating Production Storage and Offloading Unit, abbr. in FPSO)   una nave o un'unit  flottante utilizzata per la produzione petrolifera offshore.

⁹¹ www.caviblaster.com



pulisce lo scafo utilizzando l'energia rilasciata dall'implosione delle bolle durante il processo di cavitazione, causando la rimozione delle escrescenze marine sulla superficie. Ogni cupola incorpora degli ugelli di rotazione che, oltre ad eseguire un eccellente lavoro di pulizia, creano un effetto vortice, aumentando così l'aderenza del ROV allo scafo.

Una soluzione alternativa presente sul mercato arriva dalla Cina: la Xi'an Tianhe Maritime Technologies Co., Ltd⁹², una sussidiaria dell'azienda Chinese Xi'an Tianhe Defense Technology Co., Ltd. ha sviluppato una piattaforma subacquea, denominata **TH Cleaning Robot** (Fig. 19) che utilizza i flussi di cavitazione come mezzo di pulizia.



Fig. 19. TH Cleaning Robot⁹³.

Il ROV, di dimensioni piuttosto contenute (1350mm x 1350 mm x 395mm; peso ≤ 165 kg), aderisce allo scafo utilizzando la tecnologia magnetica aumentando l'efficienza ed al contempo riducendo al minimo i danni della verniciatura antivegetativa. Oltre al sistema a getto cavitazionale, che permette di coprire un'area di pulizia di $\geq 500\text{m}^2/\text{h}$, il ROV è composto da un sottosistema cingolato a magneti permanenti, un sottosistema di telaio di connessione, un sottosistema di assistente per l'assetto di propulsione, un sottosistema di controllo elettrico intelligente. Equipaggiato con otto eliche, il che rende le operazioni di lancio, manovre e recupero molto semplici, il ROV è riesce a soddisfare operazioni in profondità $\leq 25\text{m}$ ed una velocità di circa $\sim 15\text{m}/\text{min}$ a regime.

Pulizia subacquea a ultrasuoni

Negli ultimi decenni, la tecnologia di pulizia a ultrasuoni è stata utilizzata in un'ampia gamma di applicazioni, dalle apparecchiature mediche alle strutture marine. L'uso della tecnologia di pulizia a ultrasuoni per la pulizia subacquea delle navi è stato reso possibile dal rapido sviluppo, negli ultimi due decenni, dell'elettronica digitale e della tecnologia dei trasduttori. Il metodo si

⁹² www.tianhetechnology.com

⁹³ Fonte: www.tianhetechnology.com/amphibious-robot/hull-cleaning-robot-hull-cleaning-rov-wash.html



basa sulla generazione simultanea di impulsi di energia ultrasonica in diverse gamme di frequenza, che generano uno schema di pressioni positive e negative alternate, creando così piccole bolle. L'energia dell'implosione delle bolle non solo ha un effetto pulente sullo scafo, ma può anche rimuovere, in una certa misura, gli organismi marini.

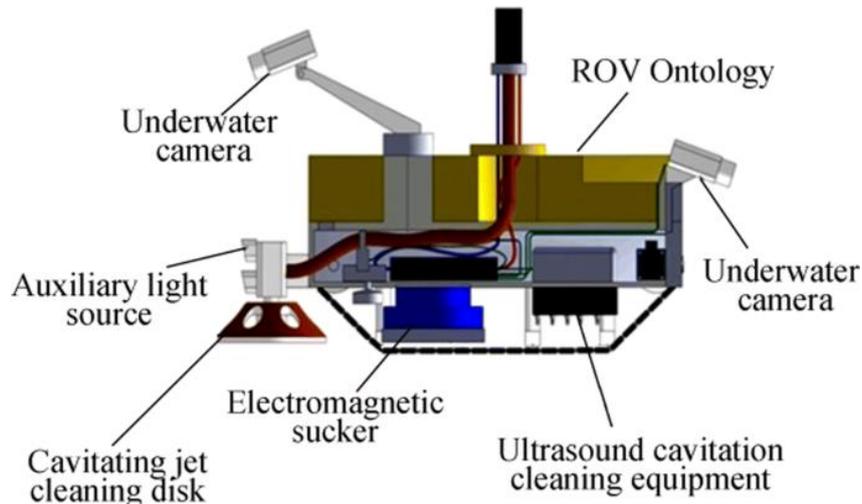


Figura 20. Dispositivo di pulizia subacquea a ultrasuoni⁹⁴.

Pulizia subacquea con laser

La tecnologia laser e il suo utilizzo hanno fatto notevoli progressi negli ultimi 30 anni. La tecnologia di pulizia laser, che utilizza la radiazione laser per scansionare lo scafo trattato, presenta i vantaggi di una pulizia superficiale più rapida, di un trattamento selettivo preciso e di un migliore controllo del processo di pulizia con feedback attraverso la spazzolatura rotante e la pulizia con acqua ad alta pressione. La sabbiatura o la pulizia laser potrebbero essere introdotte commercialmente in diversi settori industriali, compresa la pulizia delle navi sottomarine. Il primo tentativo di pulizia con questa tecnologia è stato dimostrato nel 1987 (Flower) e, nel 2019, Kostenko et al. hanno sviluppato un sistema di pulizia subacquea composto da un robot subacqueo e da un'apparecchiatura di pulizia laser che può essere utilizzata per pulire lo scafo, come mostrato nella figura 21.

⁹⁴ Fonte: Yan et al., 2019

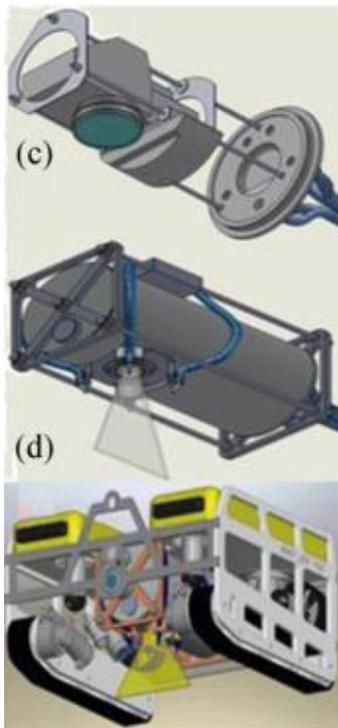


Figura 21. ROV con tecnologia di pulizia laser (Fonte: Kostenko et al, 2019).

Pulizia mediante riscaldamento, luce UV e tecnologia di incapsulamento

Il metodo del riscaldamento è ampiamente utilizzato per uccidere la maggior parte degli organismi, compresi quelli marini. Viene spesso utilizzato per rimuovere gli organismi marini nei sistemi di raffreddamento delle centrali elettriche e gli organismi marini che entrano nelle cisterne di zavorra delle navi.

La tecnologia delle radiazioni ultraviolette è sempre più utilizzata per la sterilizzazione dell'acqua e può essere impiegata per uccidere gli organismi marini in una fase iniziale di crescita, quando si attaccano allo scafo di una nave. Esiste anche la tecnologia cosiddetta "Envelope" in grado di distruggere efficacemente qualsiasi biofouling sullo scafo: avvolgendo completamente gli organismi per un certo periodo di tempo, essi vengono privati delle risorse di cui hanno bisogno per sopravvivere, come ossigeno, temperatura e cibo.

L'incapsulamento delle imbarcazioni viene effettuato utilizzando teli di plastica o sistemi di involucri appositamente progettati che possono essere un modo efficace per eliminare le biofouling su un'imbarcazione, a condizione che il sistema di incapsulamento sia installato correttamente. Questa tecnologia è ancora in fase di sviluppo e non sono disponibili valutazioni indipendenti della sua efficacia, dei rischi ambientali associati o degli effetti sui rivestimenti antivegetativi. Si tratta di una tecnica a basso costo e semplice, ma difficile da automatizzare. Tuttavia, sono state riscontrate alcune inadeguatezze e perdite nell'ambiente, in quanto parte del materiale bio-incrostante e degli acidi sono stati rilasciati nel mezzo circostante.



3.3.4 Conclusioni dell'analisi bibliografica

Con il miglioramento della tecnologia, dei processi e delle capacità operative, la pulizia robotizzata dello scafo delle imbarcazioni sostituirà con molta probabilità ed in maniera totale i tradizionali metodi manuali.

Questi ultimi, oltre ad essere impegnativi e pericolosi, in quanto necessitano della presenza di un sommozzatore specializzato, hanno delle oggettive limitazioni nelle ispezioni e pulizia di aree non facilmente raggiungibili. Uno dei principali vantaggi dell'utilizzo delle tecnologie ROV è rappresentato dal fatto che non necessita dell'impiego di operatori subacquei e, se supportate dal "giusto" metodo di pulizia, della possibilità di raggiungere qualsiasi angolo dello scafo: un ROV per la pulizia delle incrostazioni biologiche dalle carene delle navi e delle imbarcazioni rappresenta una soluzione più sicura, efficiente e, sul lungo termine, più economica.

Oggi il mercato è in fermento e vede l'introduzione di nuove soluzioni antivegetative sostenibili o altre soluzioni che fanno ricorso a trattamenti termici, che tuttavia impediscono la crescita del biofouling ma non rimuovono l'incrostazione biologica.

Risulta parallelamente necessaria la ricerca di nuove soluzioni di rimozione meccanica dello scafo che siano economiche, veloci ed ampiamente disponibili. L'impatto economico delle incrostazioni biologiche sulle performance delle navi, oltre a quello ambientale, combinato con le mutevoli condizioni normative e di mercato del settore, stanno aumentando la pressione per una maggiore innovazione e miglioramento.

Il settore è allineato sul fatto che la pulizia robotizzata subacquea svolgerà un ruolo sempre maggiore nella lotta contro le incrostazioni⁹⁵.

Se il ricorso al dragaggio a secco risulta essere un'operazione complicata e dispendiosa, far ricorso alla pulizia dello scafo in acqua, con o senza ROV, necessita attenzioni particolari affinché non venga rimossa, oltre che alle incrostazioni marine, anche lo strato della vernice stessa che rilascia particelle di ossido di rame, tossico nell'acqua del porto circostante.

Tale rilascio è dannoso per l'ambiente ed è soggetto a restrizioni normative severe. È quindi auspicabile utilizzare un metodo di rimozione delle incrostazioni marine con una rimozione minima se non addirittura nulla della vernice.

⁹⁵ A tal riguardo, è interessante notare che le grandi aziende che producono rivestimenti per l'industria marittima stanno ora investendo in R&S per sviluppare soluzioni di ispezione e pulizia proattiva. Per esempio, Jotun (www.jointherevhullution.com) ha sviluppato una nuova tecnologia chiamata Jotun HullSkater Remote Operating Vehicle (ROV) che aiuta gli operatori navali a combattere le incrostazioni iniziali. La soluzione sviluppata si basa su un dispositivo robotizzato che è stato progettato appositamente per una capacità di pulizia proattiva che rimuove le incrostazioni senza danneggiare il rivestimento antivegetativo.

L'analisi delle tecnologie ha dimostrato come il rischio associato alla dispersione di materiale da ROV che utilizzano spazzole o altri sistemi abrasivi risulti essere troppo alto.

La tecnologia a getto d'acqua fornisce una valida e sicura alternativa per l'ambiente alle spazzole meccaniche. I getti d'acqua possono consentire un migliore accesso e quindi migliore pulizia alle aree ristrette e di nicchia rispetto alle tecnologie tradizionali, anche se questo dipende da quanto vicino alla superficie che l'ugello del getto può raggiungere, poiché la pressione diminuisce rapidamente con la distanza. Oltre a ciò, i ROV che utilizzano getti d'acqua possono essere in grado di danneggiare i rivestimenti se non utilizzati in modo appropriato.

I cosiddetti sistemi meccanici senza contatto (sistemi "contact-less") che, creando un flusso turbolento, permettono di fornire al ROV la forza necessaria per rimuovere le incrostazioni biologiche dalla carena, spesso non sono efficaci, soprattutto laddove la vernice sulla superficie abbia perso le proprietà contrastanti l'adesione degli organismi.

Allo stato dell'arte, la letteratura dimostra la fattibilità dell'utilizzo della cavitazione per la rimozione delle incrostazioni marine con una rimozione nulla della vernice sottostante.

Tra gli aspetti positivi delle soluzioni che utilizzano jet cavitazionali, ad esempio, rientra la minore pressione richiesta per la rimozione, che è significativamente inferiore a quella usata nella pulizia a getto convenzionale: le bolle cavitazionali infatti collasano al contatto con la superficie trattata, creando pressioni molto elevate e localizzate che "distruggono" e rimuovono gli organismi, la ruggine e la vernice esfoliata senza danneggiare la vernice sottostante. La cavitazione dei getti d'acqua produce un elevato grado di erosività che si traduce in una rapida pulizia.

Poiché l'energia di collasso di ogni bolla è concentrata su un'area microscopica, vengono prodotte sollecitazioni estremamente elevate e molto localizzate che forniscono al getto di fluido cavitante un grande vantaggio rispetto ad un getto costante non cavitante (*high pressure water jets*) che opera alla stessa pressione e portata della pompa.

I getti cavitanti offrono un ulteriore vantaggio. La velocità del microgetto formatosi durante il collasso della bolla di cavitazione è influenzata dalle proprietà della superficie contro la quale sta collasando. Le superfici "più morbide" portano ad un collasso meno violento e ad una minore erosività: ciò fornisce un meccanismo per i getti di cavitazione che operano a basse pressioni per rimuovere le incrostazioni marine dure senza danneggiare la vernice più morbida.

In conclusione, il metodo di pulizia a getto di cavitazione in linea di principio risulta essere, tra quelli analizzati, quello più adatto per le operazioni di pulizia di ambienti sommersi. L'uso di acqua a bassa pressione non causerà danni all'operatore né alla superficie pulita. Inoltre, può essere utilizzata acqua di rubinetto o acqua di mare, il processo non è tossico, non prevede alcun reagente chimico ed è una tecnologia di pulizia totalmente rispettosa dell'ambiente. La tecnologia a getto di cavitazione raggiunge un'elevata efficienza in termini di pulizia, è conforme ai requisiti di sicurezza e protezione ambientale ed è economica.

3.4 Tecnologie di trattamento delle acque reflue per il trattamento del biofouling in acqua

3.4.1 *Trattamento iniziale delle acque reflue*

La maggior parte dei sistemi di cattura delle sostanze disciolte in acque reflue prevede il pompaggio dei rifiuti attraverso un filtro o una serie di filtri; le acque reflue filtrate vengono spesso restituite al mare.

La dimensione dei pori di filtrazione determina l'efficienza del sistema di cattura delle specie alloctone invasive marine (e delle particelle di vernice). La dimensione massima suggerita per la filtrazione degli effluenti del trattamento delle acque è di 2 μm ma un sistema di ultrafiltrazione, ad esempio, rimuoverà particelle più grandi di 0,1 μm . Per raggiungere questo livello di filtrazione sarà necessario un sistema di pre-filtri con pori più piccoli e pompe in linea. I rifiuti che rimangono sui filtri devono essere smaltiti sulla terraferma, dove non ci sia alcuna possibilità che il percolato finisca in mare (Morrisey et al., 2013).

In alternativa, il flusso di rifiuti viene fatto passare attraverso un filtro grossolano (ad es. 1 mm) e il filtrato viene scaricato in una vasca di raccolta verso:

- un sistema che distrugge tutti gli organismi di dimensioni superiori a 2 μm (ad esempio, mediante irradiazione con luce ultravioletta);
- un sistema fognario con trattamento secondario;
- un sistema di filtri a sabbia per rimuovere le particelle più grandi di 2 μm ;
- direttamente a terra, se non c'è la probabilità che possa rifluire in mare (Morrisey et al., 2013).

3.4.2 *Coagulazione, flocculazione, sedimentazione*

Il processo di coagulazione-flocculazione (Figura 22) viene utilizzato per rimuovere le sostanze in sospensione e le particelle colloidali dall'acqua. Viene utilizzato principalmente per il trattamento delle acque reflue domestiche e industriali.

La coagulazione-flocculazione si svolge in tre fasi: agitazione, coagulazione e flocculazione.



WATER COAGULATION

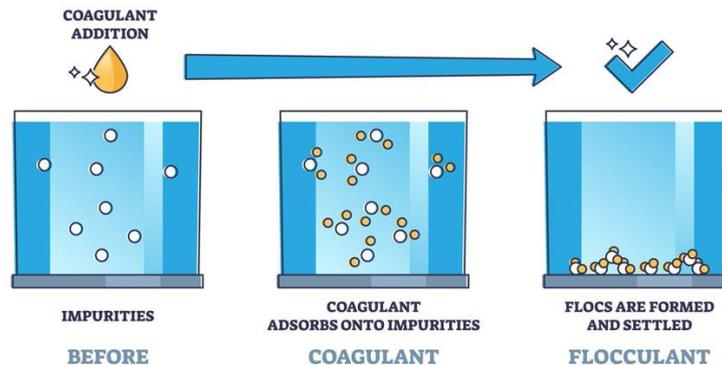


Figura 22. Rappresentazione schematica della coagulazione: alla soluzione iniziale viene aggiunto un coagulante (sinistra) che adsorbe le impurità (centro) e floccula (a destra).

Lo scopo della miscelazione rapida (o agitazione) è quello di distribuire i coagulanti nel liquido. L'agitazione richiede solitamente 1-2 minuti. Se non è sufficientemente lunga, le sostanze chimiche non si distribuiscono nel liquido; se invece è troppo lunga, i flocculi si rompono in particelle più piccole.

Dopo la miscelazione rapida si ha la coagulazione, in cui i coagulanti neutralizzano la carica elettrica delle piccole particelle presenti nell'acqua. Questo processo consente la formazione di flocculi.

La fase finale è la flocculazione, che avviene con agitazione lenta. Questo processo rompe i flocculi in grandi agglomerati, che si depositano sul fondo del contenitore al termine della miscelazione (Figura 22). Questo processo è chiamato sedimentazione.

Tutti i processi sono descritti in dettaglio di seguito.

Sistemi colloidali

I colloidali sono particelle molto piccole con una superficie molto ampia. Sono più grandi degli atomi e degli ioni, ma abbastanza piccoli da non essere visibili a occhio nudo. Le loro dimensioni variano da 0,001 a 10 μm . Le dimensioni ridotte determinano un effetto gravitazionale trascurabile e una grande area superficiale, che tende a far sì che le particelle colloidali adsorbano vari ioni dall'ambiente circostante. Le forze elettrostatiche repulsive sviluppate ostacolano l'agglomerazione dei colloidali e contribuiscono quindi alla loro dispersione e stabilità.

Le proprietà elettrocinetiche dei colloidali sono attribuite ai seguenti tre processi:

1. Ionizzazione dei gruppi sulla superficie delle particelle.
2. Assorbimento di ioni dall'acqua che circonda le particelle.
3. Carezza o sostituzione di ioni nella struttura delle particelle.



La carica risultante sulla superficie di tali particelle è funzione del valore del pH. A valori di pH elevati o a basse concentrazioni di ioni idrogeno, le reazioni spostano le cariche verso destra e il colloide è carico negativamente. A pH basso, le reazioni si spostano a sinistra e la particella è caricata positivamente. Quando il pH è al punto isoelettrico, la particella è neutra. Alcune particelle assorbono specifici ioni dall'ambiente circostante, come gli ioni calcio (Ca^{2+}) o fosfato (PO_4^{3-}). La variazione della carica di una particella colloidale dipende quindi principalmente dalle proprietà e dal pH delle soluzioni.

Le molecole d'acqua possono anche essere legate alla superficie dei colloidi. Il grado di idratazione dipende dall'attrazione delle particelle verso l'acqua: le particelle colloidali che presentano sulla loro superficie gruppi idrosolubili (idrossile, carbossile, amminico o solfonico) danno origine a un film d'acqua intorno alla particella. Le soluzioni acquose possono contenere anche particelle colloidali idrofobe.

Le particelle colloidali presentano un movimento casuale continuo dovuto all'intrusione di molecole d'acqua nel mezzo di dispersione. Questo movimento è chiamato *moto browniano*, dove l'energia cinetica delle particelle aumenta il numero di collisioni, facendo sì che le particelle si uniscano più rapidamente. A temperature elevate, il moto browniano è più intenso.

I colloidi sono abbastanza piccoli da passare attraverso i normali filtri, come carta e sabbia, ma troppo grandi per passare attraverso le membrane. Possono quindi essere rimossi mediante ultrafiltrazione.

Struttura e stabilità dei colloidi

La stabilità delle particelle colloidali dipende dalle loro proprietà elettrocinetiche. Le cariche elettriche iniziali possono essere negative o positive, ma la maggior parte dei colloidi nei sistemi acquosi sono caricati negativamente. Le loro cariche negative creano forze repulsive che impediscono loro di agglomerarsi. La carica primaria degli ioni negativi sulle particelle colloidali è bilanciata dalla carica degli ioni positivi, che si trovano vicino al confine di fase solido-liquido. Questa naturale neutralizzazione delle cariche porta alla formazione di un doppio strato elettrico intorno alle particelle colloidali, ed il sistema colloidale nel suo complesso non ha carica netta.

La Figura 23 rappresenta il potenziale elettrico attorno a una particella colloidale carica negativamente. Il potenziale totale sulla superficie della particella carica primaria è chiamato *potenziale di Nernst*. Lo strato denso di carica positiva sulla superficie della particella primaria è chiamato *strato di Stern*. Le particelle più lontane dal nucleo del colloide formano uno *strato diffuso o di Gouy*. La differenza di concentrazione tra cationi e anioni dà origine a un campo elettrostatico.

Il piano di taglio è il confine tra la parte della soluzione che si muove con la particella e la parte che si muove indipendentemente dalla particella. Il potenziale generato lungo questo piano è chiamato *potenziale zeta*, che è il principale indicatore della stabilità dei sistemi colloidali. Il potenziale zeta viene determinato con un misuratore zeta, misurando la mobilità elettroforetica di una particella in un campo elettrico. La stabilità colloidale dipende dalla forza relativa delle forze elettrostatiche di repulsione e attrazione.

Forze attrattive - Le *forze di Van der Waals* sono presenti in tutti i mezzi, indipendentemente dalla loro composizione e dall'entità della carica, perché l'elettronegatività di alcuni atomi è superiore a quella di altri nella stessa molecola, le fluttuazioni di carica in un atomo causano rapide fluttuazioni dei dipoli e l'avvicinamento delle particelle provoca vibrazioni tra le particelle. Le forze attrattive tra le particelle variano con la distanza tra di esse: più sono vicini, più sono forti. Se le particelle si avvicinano abbastanza, si fondono.

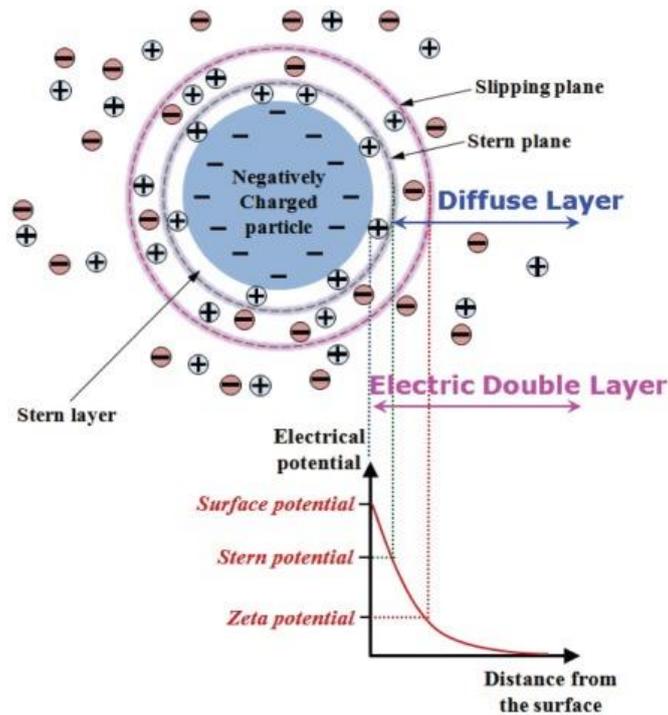


Figura 23. Il potenziale elettrico che circonda una particella colloidale carica negativamente.

L'entità delle forze di Van der Waals viene misurata o determinata dal potenziale zeta:

$$\xi = \frac{4 \Pi q d}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r}$$

- ξ = potenziale zeta [V],
- q = carica del pannello [C/m²],
- d = spessore dello strato in cui viene rilevato l'effetto della carica elettrica della particella [m],
- ϵ_0 = permittività del vuoto [F/m],
- ϵ_r = costante elettrica di un liquido (Turner, 2010).

Destabilizzazione delle particelle colloidali

La destabilizzazione delle particelle colloidali si ottiene con la coagulazione, in cui si utilizzano elettroliti per consentire l'idrolisi. Di solito si tratta di sali metallici o polimeri organici sintetici che, in acqua, si decompongono in ossidi metallici e provocano la formazione di fiocchi (Figura 22). La destabilizzazione si ottiene attraverso quattro meccanismi di coagulazione:

1. Assottigliamento dello strato ionico intorno al nucleo colloidale.
2. Adsorbimento e neutralizzazione delle cariche.
3. Formazione di precipitati.
4. Adsorbimento e aggregazione delle particelle.

Assottigliamento del doppio strato ionico

Quando si aggiungono alte concentrazioni di elettroliti a una dispersione colloidale stabilizzata, i controioni aggiunti penetrano nel doppio strato disperso intorno alle particelle, rendendolo più denso e sottile. Se si utilizzano coagulanti contenenti ioni divalenti o trivalenti, il processo è ancora più rapido.

Adsorbimento e neutralizzazione della carica

Quando i sali metallici vengono utilizzati per la coagulazione, dissociano gli ioni metallici nell'acqua, formando idrossidi metallici con carica positiva. Esempi di idrossidi polimerici di sali di alluminio sono $Al_6(OH)_{153+}$, $Al_7(OH)_{174+}$ ed esempi di idrossidi di sali di ferro sono $Fe_2(OH)_{24+}$, $Fe_3(OH)_{45+}$. Se i complessi polimerici sono molto carichi positivamente, vengono adsorbiti sulla superficie di colloidali negativi; questo porta alla neutralizzazione delle cariche e quindi alla destabilizzazione dei colloidali.

Formazione di precipitati

Tre elementi influenzano questo meccanismo di coagulazione:

1. La velocità di precipitazione dipende dalla quantità di idrossidi metallici aggiunti; per una rapida precipitazione è necessaria una grande quantità di $Al(OH)_3$ o $Fe(OH)_3$.
2. La precipitazione è più rapida se nell'acqua sono presenti diversi anioni, in particolare ioni solfato.
3. La precipitazione è ancora più rapida se è presente una grande quantità di colloidali. Questo perché i colloidali stessi possono agire come nuclei per la formazione di precipitati. In questo caso, si può concludere che è una buona idea aggiungere piccole quantità di coagulanti a soluzioni con un elevato contenuto di colloidali.

Adsorbimento e aggregazione delle particelle

I polimeri destabilizzano le particelle colloidali formando ponti che le legano tra loro, in quanto hanno gruppi reattivi che si legano a siti specifici sulla superficie delle particelle colloidali. Quando un gruppo si lega alla superficie, una lunga parte della molecola si libera in acqua,



reagisce quindi con un altro colloide ed è così che i colloidi si legano l'uno all'altro. Se si aggiunge una quantità eccessiva di polimero, questo può avvolgere i fiocchi già formati, causando la ristabilizzazione dei colloidi. La stabilizzazione può avvenire anche a seguito di una miscelazione aggressiva che rompe i legami tra le particelle già legate.

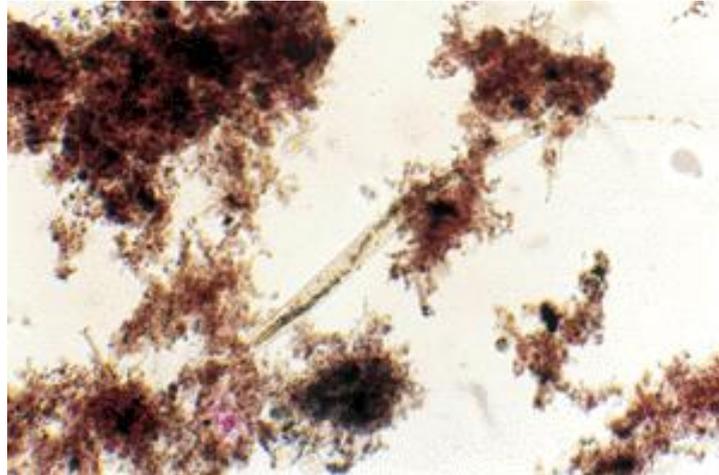


Figura 24. Flocculi.

Fattori che influenzano il processo di coagulazione e flocculazione

- Concentrazione dei colloidi: ha una grande influenza sulla dose di coagulanti e sull'efficienza della coagulazione stessa. La quantità di coagulanti necessaria per destabilizzare le dispersioni colloidali è correlata stechiometricamente alla concentrazione delle particelle colloidali in soluzione. Nei sistemi colloidali diluiti, il tasso di coagulazione è lento perché la minore concentrazione di colloidi non consente un contatto sufficiente tra le particelle. L'aggiunta di maggiori quantità di coagulanti o la circolazione dei fanghi migliorano tale tasso.
- L'effetto del volume dei coagulanti (sali di alluminio e ferro); quattro possibilità:
 1. Aggiunta di una quantità insufficiente di coagulante per destabilizzare i colloidi.
 2. Aggiunta di una quantità sufficiente di coagulante per consentire la destabilizzazione.
 3. Aggiunta di una quantità eccessiva di coagulante, che può provocare l'inversione di carica e la ristabilizzazione delle particelle.
 4. supersaturazione della soluzione con idrossidi metallici, che reticolano le particelle colloidali e consentono una coagulazione molto efficiente.

La quantità di coagulante aggiunto dipende principalmente dalla concentrazione e dal valore di pH delle particelle colloidali in soluzione.

- Potenziale Zeta: rappresenta la carica delle particelle colloidali. Più alto è il valore del potenziale zeta, più forte è la forza repulsiva tra le particelle e più stabile è il sistema colloidale.



- **Affinità dei colloidi per l'acqua:** i colloidi idrofili sono molto stabili grazie al loro guscio di idratazione. Pertanto, le sostanze chimiche (coagulanti) non possono sostituire facilmente le molecole d'acqua adsorbite e sono quindi difficili da coagulare e non vengono rimosse dalla sospensione. La stabilità delle dispersioni idrofile dipende più dall'affinità per l'acqua che dalla carica elettrostatica. Una sospensione idrofila richiede una quantità di coagulante 10-20 volte superiore a quella di una sospensione idrofoba. Un esempio di sospensione idrofoba è rappresentato dagli ossidi metallici presenti in acqua, che coagulano facilmente e quindi si destabilizzano.
- **Valore di pH:** la presenza di ioni H_+ e OH^- fa sì che le cariche delle particelle diventino più positive o meno negative a partire da valori di pH bassi, inferiori al punto isoelettrico. A valori di pH elevati, superiori al punto isoelettrico, si verifica l'effetto opposto, cioè le particelle diventano più negative o meno positive. Il punto isoelettrico è il punto in cui, a un determinato valore di pH, la carica netta è pari a zero.

Per l'idrossido di alluminio questo valore è a pH 8 e varia con la forza ionica della soluzione, ma oscilla tra 7 e 9. La solubilità delle dispersioni colloidali dipende fortemente dal valore del pH. L'idrossido di alluminio è di natura anfotera ed è solubile a pH bassi e alti. L'adsorbimento maggiore avviene nell'intervallo di pH in cui è meno solubile.

Esempi di intervalli di pH ottimali per i sali metallici (coagulanti) sono riportati nella tabella sottostante.

Tabella 2. Valori ottimali di pH per i coagulanti metallici.

Coagulante	Intervallo di pH
Solfato di alluminio	4,0 - 7,0
Solfato di ferro (III)	3,5 - 7,0 e oltre 9,0
Solfato ferroso (II)	superiore a 8,5
Cloruro ferrico	3,0 - 7,0 e oltre 8,5

La coagulazione ottimale con il solfato di alluminio avviene a valori di pH compresi tra 5 e 7. In questi intervalli, l'idrossido di alluminio, carico positivamente, neutralizza le particelle colloidali cariche negativamente che causano la torbidità. Il risultato è un potenziale zeta pari a zero.

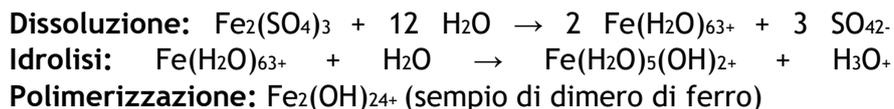
L'influenza del valore del pH è funzione del gruppo attivo del coagulante (carbossilico, amminico, ecc.) e della sua chimica.



- Presenza di anioni nella soluzione: l'aggiunta di quantità eccessive di coagulanti può portare alla stabilizzazione dei colloidi. Questo viene evitato se la soluzione contiene alte concentrazioni di anioni come solfati, silicati e fosfati. Concentrazioni di solfato superiori a 10-14 mg/L sono risultate sufficienti a impedire la stabilizzazione.
- Presenza di cationi nella soluzione: la presenza di cationi divalenti come Ca_{2+} e Mg_{2+} è molto utile per la coagulazione. Questo è supportato da tre ragioni: comprimono i colloidi in un doppio strato, riducono la loro carica negativa e il potenziale repulsivo e riducono la zona di barriera repulsiva tra i polimeri adsorbiti.
- Temperatura: la bassa temperatura ha un effetto molto importante sulla coagulazione con i sali metallici, in particolare il solfato di alluminio, mentre i sali ferrosi non sono così sensibili. Temperature più elevate aumentano l'efficienza della coagulazione a causa di: aumento della velocità delle molecole, aumento della velocità delle reazioni chimiche, riduzione del tempo di formazione del fiocco, diminuzione della viscosità della soluzione stessa e cambiamenti nella struttura del fiocco con conseguente formazione di agglomerati più grandi.

I coagulanti più comunemente utilizzati per il trattamento delle acque reflue sono: sali di alluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, AlCl_3 ,...), sali di ferro (FeCl_3 , FeSO_4 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$,...), prodotti misti di sali di ferro o alluminio (alluminato di sodio, cloruro di polialluminio,...) e polimeri organici. Per scopi industriali, i sali ferrici sono più diffusi e più adatti a valori di pH più elevati.

I sali di ferro (tricloruro ferrico, solfato ferroso, ecc.) si comportano in acqua in modo simile ai sali di alluminio. Le seguenti reazioni di dissoluzione, idrolisi e polimerizzazione sono identiche:



Nonostante le somiglianze, i sali di ferro presentano molti vantaggi rispetto ai sali di alluminio. Possono essere coagulati in un intervallo di pH più ampio, da 4 a 9, producono flocculi forti e pesanti che si depositano più rapidamente e sono più efficaci nel rimuovere colore, sapore e odore dalla soluzione.



Figura 25. FeSO_4 (sinistra), $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ (in centro), FeCl_3 (destra).

Per ottenere condizioni ottimali di coagulazione/flocculazione, ai coagulanti vengono aggiunti altri prodotti chimici come $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaOH , bentonite, gel di silice, polimeri organici. La funzione di queste sostanze chimiche è quella di formare flocculi più veloci e più forti, di ridurre la quantità di coagulanti, di rimuovere la torbidità e altre impurità delle soluzioni in modo più efficiente.

I seguenti flocculanti si distinguono in base ai loro gruppi polari:

- Polimeri non ionici contenenti gruppi non ionici (-OH).
- Polimeri anionici contenenti gruppi anionici (-COOH, $-\text{SO}_3\text{H}$, $-\text{OSO}_3\text{H}$).
- Polimeri cationici contenenti gruppi cationici ($-\text{NH}_2=\text{N}$).
- Polimeri anfoteri contenenti sia gruppi anionici che cationici.

Test JAR

Il test JAR è un esperimento per comprendere i processi di coagulazione, flocculazione e sedimentazione (AWWA, 2011).

L'apparecchiatura utilizzata per i test JAR è costituita da sei becher ed è dotata di un agitatore per ogni becher. In genere, il test prevede una miscelazione rapida, seguita da una miscelazione lenta e da un processo di sedimentazione.

L'importanza di questo test è selezionare il tipo di coagulante (allume) e stimare la dose ottimale necessaria per rimuovere le particelle colloidali comparse nelle acque reflue.

3.4.3 Filtrazione con filtri a sabbia

La filtrazione è un processo fisico meccanico che viene utilizzato per separare i solidi dai liquidi utilizzando un mezzo specifico, il filtro; solo l'acqua e le particelle più piccole dei pori del filtro possono passare attraverso il filtro. In base al loro principio di funzionamento, si possono distinguere tre tipi di filtrazione: di superficie, di profondità e a membrana (Roš et al., 2015).



La velocità e il successo della filtrazione dipendono dal tipo di sospensione, dalla viscosità del liquido in cui è sospesa la sospensione, dalla temperatura durante la filtrazione, dalla concentrazione della sospensione da filtrare, dal tipo di mezzo filtrante e dalla pressione di filtrazione. La filtrazione può avvenire con alimentazione per gravità della sospensione (a pressione idrostatica fino a 0,4 bar), con sovrappressione fornita da pompe che alimentano la sospensione al filtro in filtri chiusi (0,4-30 bar), o con sottopressione (0,9 bar di pressione = 0,1 bar di sottopressione).

La separazione delle particelle sospese dal liquido nella filtrazione può essere ottenuta in tre modi:

- tramite l'effetto setacciante del mezzo filtrante, che non permette alle particelle più grandi di passare attraverso il mezzo filtrante,
- tramite l'azione adsorbente di Van der Waals e di altre forze attrattive elettrostatiche che agiscono tra le particelle sospese e le particelle del mezzo filtrante, sulla superficie dei grani di sabbia filtrante, in modo che anche le sospensioni molto più piccole del diametro degli interstizi capillari tra i grani del mezzo filtrante siano trattenute con successo dai filtri a sabbia di profondità,
- a causa dell'agglomerazione delle particelle di sospensione più fini negli interstizi capillari del mezzo filtrante e dell'ostruzione dei pori all'interno del mezzo filtrante.

Gli spazi liberi che si creano tra i grani del mezzo filtrante determinano le prestazioni di setacciatura dei mezzi filtranti sfusi, come la sabbia. Supponendo che siano grani rotondi idealizzati a costituire il mezzo filtrante, si può calcolare il rapporto tra il diametro delle aperture libere tra i grani r_2 e il diametro dei grani filtranti r_1 (figura seguente).

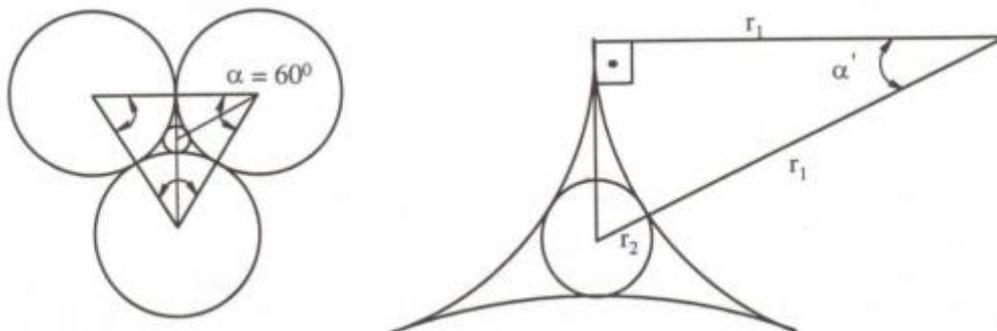


Figura 26. Aperture libere tra i grani.

La filtrazione è determinata dai seguenti parametri tecnologici: tipo di filtrazione, sistema di filtrazione, pressione di filtrazione del mezzo, velocità di filtrazione, modalità di filtrazione e temperatura di filtrazione.

I tipi di filtrazione si dividono in filtrazione di superficie, filtrazione di profondità e filtrazione attraverso un filtro a velo. Il sistema di filtrazione può essere semi-continuo, continuo e discontinuo. La filtrazione avviene in condizioni di pressione negativa o positiva. La velocità di

filtrazione attraverso la sabbia è di 2-10 m/h per il filtro di tipo rapido, che avviene in bacini aperti o in filtri a pressione chiusi. La velocità di filtrazione attraverso la sabbia è di 0,05-0,2 m/h per il tipo di filtro lento, poiché questi filtri imitano i processi naturali di filtrazione attraverso il suolo. La temperatura di filtrazione è definita dalla viscosità della sospensione, poiché a temperature più elevate la viscosità è minore e quindi la velocità di filtrazione è maggiore. I filtri a sabbia sono utilizzati in strutture chiuse o aperte. Per scopi industriali, i sistemi di filtraggio a sabbia chiusi sono più comunemente utilizzati, poiché i filtri aperti possono portare alla contaminazione microbiologica del filtro.

La costruzione di base dei filtri a sabbia nell'industria è costituita da grandi recipienti a pressione in lamiera d'acciaio inossidabile o in acciaio strutturale (Roš et al., 2005).

Filtrazione di superficie

La filtrazione superficiale rimuove le sostanze in sospensione dai liquidi mediante vagliatura meccanica, in cui il liquido passa attraverso un sottile materiale filtrante. Il materiale filtrante può essere carta, tessuto metallico, tela di varie trame o materiali sintetici. La dimensione del materiale filtrante deve essere compresa tra 10 e 30 μm o superiore. Le prestazioni della filtrazione superficiale sono aumentate dall'aggiunta di materiale filtrante sulla parte superiore del filtro, creando uno strato chiamato »panetto«. In questo tipo di filtrazione, una miscela di acqua e solidi passa attraverso il panetto e il filtro.

La filtrazione superficiale viene utilizzata nei processi di trattamento per rimuovere i solidi sospesi residui dagli effluenti degli impianti di trattamento biologico o delle »lagune di stabilizzazione«, per separare i fanghi attivi e le sospensioni d'acqua e per separare le particelle generate dai processi di trattamento fisico-chimico come la coagulazione e la flocculazione (Roš, 2015).

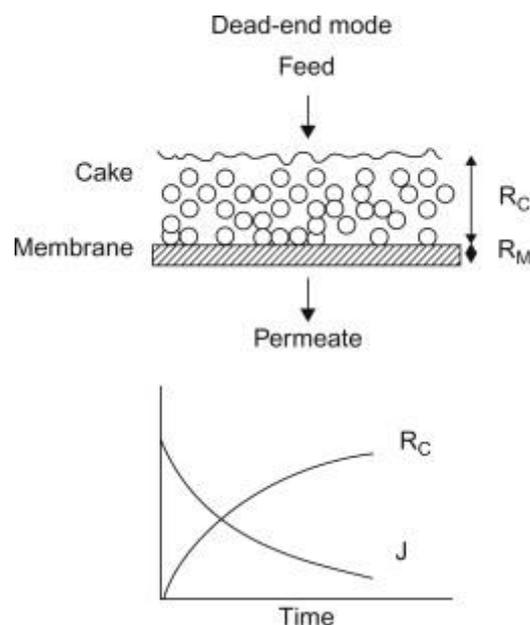


Figura 27. Schema del processo di filtrazione superficiale.

Filtrazione in profondità

La filtrazione in profondità prevede la rimozione dei solidi sospesi in un liquido, dove il liquido passa attraverso un substrato filtrante costituito da materiale granulare o comprimibile. La filtrazione in profondità è un'unità di base nel trattamento dell'acqua potabile. Tuttavia, l'uso della filtrazione degli effluenti sta diventando sempre più diffuso.

La filtrazione in profondità consente di ottenere un'ulteriore rimozione delle particelle sospese dall'effluente grazie ai processi biologici e fisico-chimici. Questo riduce lo scarico di solidi ed è considerato un precursore dell'efficace disinfezione dell'effluente del filtro.

Il primo filtro di profondità è stato sviluppato per il trattamento delle acque reflue come filtro a sabbia lento, con un tasso di filtrazione tipico di 30-60 (m³/m² giorno). Oggi, il filtro a sabbia veloce è sempre più utilizzato con un tasso di filtrazione tipico di 80-200 (m³/m² giorno). Il filtro a sabbia rapido è stato sviluppato per volumi d'acqua maggiori (Roš, 2015).

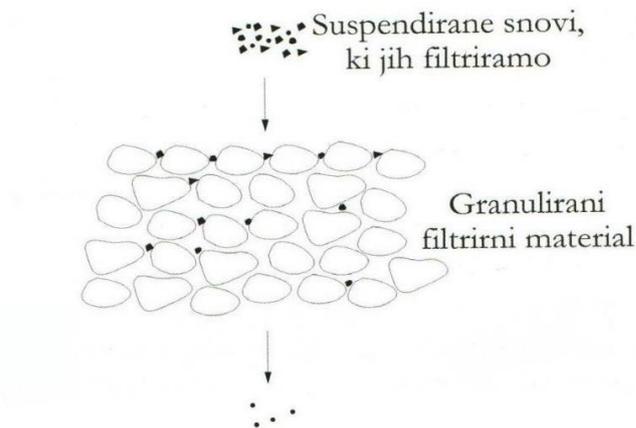


Figura 28. Diagramma del processo di filtrazione in profondità.

Costruzione del filtro a sabbia

In un filtro convenzionale l'acqua scorre dall'alto verso il basso durante la filtrazione e, durante il controlavaggio, l'acqua scorre dal fondo al filtro superiore ed esce come acqua di scarico. Quando l'acqua passa attraverso il filtro, le particelle in sospensione vengono rimosse attraverso i meccanismi di percolazione, sedimentazione, intercettazione, adesione, flocculazione, adsorbimento chimico, adsorbimento fisico e crescita biologica. La dimensione dei pori tra il materiale filtrante, che è sabbia, dipende dalle dimensioni del materiale. Spesso si utilizza sabbia con un diametro di 0,037-25,4 mm, a seconda delle esigenze di filtrazione (Roš et al., 2010).

I filtri a sabbia si dividono in tre gruppi principali: il filtro a torta, il filtro chiarificatore e il filtro a flusso incrociato (o controcorrente), che si differenziano per il principio di funzionamento.

Lo scopo principale di un filtro a goccia è quello di filtrare grandi quantità di particelle solide da sedimenti o liquidi; il controlavaggio durante il processo di pulizia è incorporato per un funzionamento più efficiente.



Il chiarificatore rimuove dal liquido le particelle più piccole che rimangono intrappolate nel mezzo filtrante o sulla superficie esterna del mezzo, dove i pori del mezzo filtrante sono più grandi del diametro delle particelle che passano attraverso di esso.

Il filtro in controcorrente si differenzia dai due filtri precedenti soprattutto per la direzione del flusso della sospensione. L'acqua di scarico o il liquido da filtrare scorre sotto pressione e ad alta velocità sul mezzo, dove si crea un sottile strato di particelle solide, ma la velocità del flusso liquido impedisce un ulteriore deposito di materiale. Il mezzo di questo tipo di filtro è solitamente la ceramica, ma può essere anche il metallo o vari polimeri, che hanno pori abbastanza piccoli da trattenere la maggior parte delle particelle in sospensione. Un esempio particolare di filtro controcorrente è l'ultrafiltro, che ha pori così piccoli da poter trattenere particelle colloidali e molecole più grandi.

I componenti di base di un filtro a sabbia sono:

- Le acque reflue vengono filtrate e sedimentate in una vasca di decantazione.
- Il letto filtrante.
- Lo scarico del filtro, che di solito si trova sotto o sopra il letto filtrante.
- Il contenitore del filtro.
- Sistema di controllo del filtro.

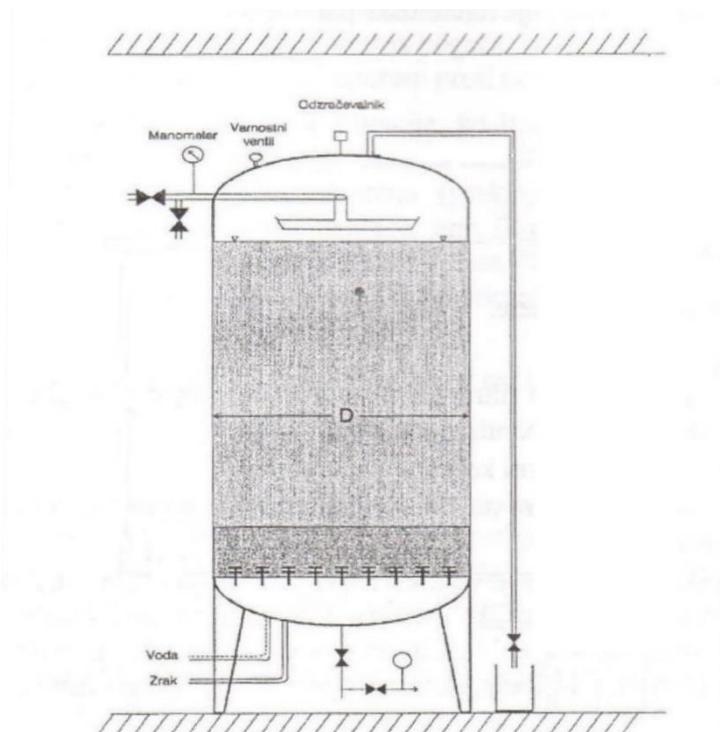


Figura 29. Filtro a sabbia con componenti.

Quando si progetta un filtro a sabbia è necessario innanzitutto calcolare o stimare le quantità di acque reflue da filtrare. Dobbiamo tenere conto degli afflussi giornalieri e orari delle acque reflue e dei possibili picchi, che possono essere controllati in una certa misura da bacini di raccolta più grandi. Il sistema deve essere progettato in modo tale da poter aggiungere filtri in caso di eventuali picchi senza interrompere o disturbare il processo di trattamento stesso. È inoltre necessario prendere in considerazione il consumo di acqua che dovrà essere consegnata ai consumatori.

Una volta raccolti i dati relativi al consumo giornaliero, al consumo orario, ai picchi e alla domanda dei consumatori, possiamo iniziare a calcolare la quantità di acqua Q che verrà trattata in un'ora. La velocità di filtrazione v è di fondamentale importanza in questo caso. Questo ci permette di calcolare l'area del filtro necessaria.

$$Q A \geq v$$

Una volta calcolata l'area, è possibile calcolare il numero di filtri necessari per ottenere l'area richiesta.

La pulizia dei filtri è necessaria per evitare un eccessivo deposito di materiale sul letto filtrante e una diminuzione del flusso attraverso il filtro, quindi è necessario tenere conto del tempo di pulizia del filtro nel calcolo e, se necessario, aggiungere un filtro di riserva che verrà utilizzato durante il processo di pulizia.

Quando si progetta un filtro singolo, è necessario prestare particolare attenzione alla superficie, poiché il punto debole del filtro è il bordo estremo del letto di sabbia, dove l'acqua grezza può scorrere intorno ai grani di sabbia. Pertanto, la tendenza è quella di costruire un impianto di trattamento multi-filtro, in modo da ridurre i tempi di trattamento (Huisman et al., 1974).

Letto filtrante

Il mezzo filtrante a sabbia è solitamente una sabbia selezionata con un adeguato grado di uniformità per garantire un'adeguata distribuzione dei pori e una porosità sufficiente.

Il coefficiente di uniformità U è il rapporto tra d_{10} e d_{60} , dove d_{10} è definito come il diametro effettivo dell'apertura del vaglio che ammette il 10% del materiale, e d_{60} come il diametro effettivo dell'apertura che ammette il 60% del materiale. La lunghezza delle particelle viene calcolata con l'equazione:

$$d = d_{10}(1 + 2\log U) = \psi d_{10}$$

Quando il grado di uniformità della sabbia è basso, il coefficiente ψ può essere dedotto dalla tabella seguente.

Tabella 3. Uniformità.

U	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
ψ	1.0	1.60	1.93	2.11	2.21



Nella scelta della sabbia per il supporto, il livello massimo di uniformità è 3, mentre il coefficiente di uniformità ottimale è di circa 2. Il supporto filtrante deve essere costituito da grani di sabbia solidi e stabili, il più possibile sferici, essere pre-pulito e privo di argilla, terriccio o sostanze organiche. Se necessario, la sabbia deve essere anche lavata, poiché questo processo rimuove i grani più piccoli e abbassa il coefficiente; di conseguenza, il diametro medio delle particelle aumenta. Per ridurre la presenza di vuoti nel letto filtrante, che sono la causa della percolazione di acqua ad alto contenuto di anidride carbonica, deve essere preparata una sabbia contenente meno del 2% di calcio e magnesio, calcolati come carbonati. Il diametro effettivo ideale del granello di sabbia d10 deve essere sufficientemente piccolo per consentire un flusso di buona qualità e per evitare l'intasamento; pertanto il diametro effettivo ideale varia da 0,15-0,35 mm per i flussi lenti e da 0,35-1,2 mm per i flussi veloci. I diametri effettivi dei grani più ottimali si ottengono per via sperimentale. Sia le sabbie più fini che quelle più grossolane sono adatte al mezzo; di solito scegliamo il materiale più accessibile e cerchiamo di ottenere il diametro effettivo più ideale combinando due o più tipi di sabbia di base. La miscelazione di diversi tipi di materiali aumenta l'uniformità, in quanto l'uniformità complessiva è considerata superiore a quella di un singolo additivo nella miscela di sabbia.

Costruzione del filtro per strati

All'inizio della filtrazione, alcune particelle solide entrano nei pori del mezzo e vi rimangono, cosicché dopo un certo periodo di tempo le particelle iniziano ad accumularsi sulla superficie del mezzo e agiscono come una sorta di setaccio.

Immediatamente sotto la superficie del letto filtrante si trova uno strato in cui vengono raccolti i batteri. L'altezza di questo strato è di 0,3-0,4 m e dipende dalla rugosità o grossolanità della sabbia. Quanto più grossolana è la sabbia, tanto più alto è lo strato d'inglobamento.

Al di sotto dello strato che raccoglie i batteri, inizia lo strato di reazione chimica; lo strato di distillazione minerale, in cui i materiali organici rilasciati dal ciclo di vita batterico nello strato di sabbia superiore vengono degradati chimicamente. Lo strato è alto tra 0,4 e 0,5 m e dipende dal contenuto organico. Più alto è il contenuto di queste sostanze, più alto è lo strato. In nessun caso l'altezza combinata del primo e del secondo strato di sabbia può essere inferiore a 0,7 m.

Per evitare l'intasamento del filtro, dopo un certo periodo di tempo, lo strato superiore di circa 2 cm deve essere rimosso, nei filtri a sabbia lenti; quindi bisogna tenere conto che dopo la pulizia del filtro, la filtrazione inizia su uno strato di 2 cm più basso rispetto al processo precedente. Pertanto, per un processo di pulizia efficace, è necessario calcolare quante volte all'anno il filtro dovrà essere pulito e regolare l'altezza del riempimento in base alle condizioni. Questo può aggiungere altri 50 cm al letto filtrante. Nel caso di filtri ad alta velocità, questo problema può essere parzialmente risolto con il controlavaggio.

Quando è richiesta un'acqua trattata di alta qualità, quale l'acqua potabile, è essenziale includere uno strato di carbone attivo nel letto filtrante. Lo strato di carbone attivo è alto circa 10 cm e si trova sul fondo del letto filtrante. Lo strato assorbe le sostanze sfuggite alla filtrazione negli strati superiori ed elimina eventuali odori e sapori sgradevoli. Quando il carbone attivo si satura di impurità, deve essere sostituito.



Analogamente all'aggiunta di carbone attivo al processo, si può aggiungere uno strato di gusci di cozze frantumati, che hanno la capacità di avvicinare il pH alla neutralità (Huisman et al., 1974).

Mezzi filtranti

Carbone attivo

Il carbone attivo è un adsorbente utilizzato in polvere o in forma granulare per il trattamento delle acque reflue. Viene prodotto sotto forma di carbone di legna da materiali naturali come mandorle, gusci di cocco o di noce, oppure da altri materiali contenenti lana, ossa e carbone. Il carbone di legna viene prodotto riscaldando il materiale di base a un'incandescenza inferiore a 700°C in una "pila" per rimuovere gli idrocarburi. La combustione è mantenuta da un basso apporto di ossigeno. L'attivazione delle particelle di carbone avviene tramite l'esposizione a gas ossidati, vapore o anidride carbonica, a temperature elevate, comprese tra 800°C e 900°C. I gas creano una struttura porosa nel carbone che può formare un'ampia superficie. I pori sono definiti dalle dimensioni di macropori (>25 nm), mesopori (>1 nm e <25 nm) e micropori (<1 nm). Dopo l'uso, il carbone viene rigenerato o incenerito come rifiuto (Roš et al., 2010).

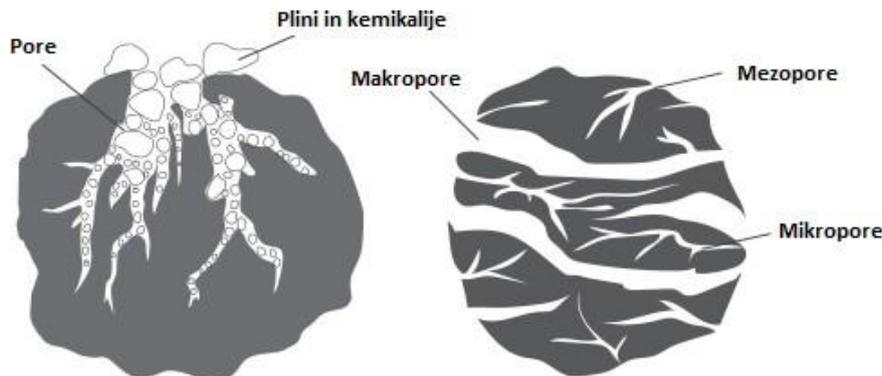


Figura 30. Pori del granulo di carbone attivo.

L'ampia superficie caratteristica del carbone attivo è il risultato della funzionalità del materiale utilizzato per la produzione del carbone attivo e del processo di preparazione. Dopo l'attivazione, il carbone attivo viene preparato in diverse frazioni, con diverse proprietà di adsorbimento. Il carbone attivo in polvere ha un diametro delle particelle inferiore a 0,074 mm. Il carbone attivo granulare ha un diametro delle particelle superiore a 0,1 mm.

Una volta raggiunta la capacità di adsorbimento, si procede alla rigenerazione e alla riattivazione. L'uso economico del carbone attivo dipende dal processo di rigenerazione e riattivazione. Il processo di riattivazione comprende l'ossidazione chimica del materiale adsorbito, un flusso per la rimozione del materiale adsorbito, solventi e processi di conversione biologica. Per la riattivazione si utilizzano gli stessi processi della formazione del carbone attivo. Nella riattivazione del carbone esausto, il carbone può essere riscaldato per rimuovere il materiale adsorbito, formare nuovi composti che rimangono sulla superficie del carbone o



incenerito come fase finale del processo di riattivazione. La rigenerazione, invece, è il processo di recupero della capacità di adsorbimento del carbone esausto. In questo processo si perde il 4-10% della capacità adsorbente, a seconda dei componenti adsorbiti e del metodo di rigenerazione.

Pulizia con carbone attivo granulare

Il trattamento con carbone attivo granulare avviene in un filtro, dove le acque reflue passano attraverso uno strato di carbone attivo. I sistemi funzionano a pressione o a gravità. Il flusso può essere verso il basso o verso l'alto.

Pulizia con carbone attivo in polvere

Il trattamento con carbone attivo in polvere è una delle alternative al trattamento avanzato, in quanto il carbone attivo in polvere può essere aggiunto direttamente ai processi di trattamento biologico o ai reattori di trattamento fisico-chimico. Poiché il carbone attivo in polvere è molto fine, è necessario utilizzare più volte i flocculanti per farlo precipitare, in modo da facilitarne la sedimentazione. L'aggiunta di carbone attivo alla purificazione fisico-chimica ha un effetto migliore nella purificazione di alcuni composti e migliori caratteristiche di sedimentazione. Se il carbone attivo reagisce a lungo con l'effluente, il carbone attivo viene separato per precipitazione e l'acqua depurata viene decantata. Se il carbone attivo viene aggiunto direttamente all'aeratore, l'effetto di pulizia viene migliorato in quanto le sostanze specifiche si adsorbono direttamente al carbone attivo (Roš et al., 2010).

Sabbia silicea

Un mezzo di sabbia silicea a grana fine viene utilizzato come agente filtrante altamente efficace per ridurre i solidi sospesi. Le forme asimmetriche dei grani offrono un'ampia superficie e i liquidi fluiscono attraverso un percorso complesso progettato per rimuovere efficacemente le particelle in sospensione. Le particelle più piccole che possono essere trattenute dal mezzo hanno un diametro di 20 µm. I grani di diametro maggiore e di forma irregolare impediscono l'accumulo di materiale sulla superficie del letto filtrante e prevengono il possibile intasamento del filtro. La densità relativamente bassa dell'argine permette al letto filtrante di sollevarsi bene durante il controlavaggio, liberando così i sedimenti intrappolati nel supporto (Clack Corporation, 2013).



Figura 31. Sabbia silicea.

Clinoptilolite

I materiali filtranti sono ricavati da un minerale naturale chiamato clinoptilolite. I grani sono angolari e piuttosto grossolani, con micropori di 3 μm , che creano una superficie totale quasi 100 volte superiore a quella della sabbia di quarzo. I grani arrotondati e i piccoli diametri dei pori consentono un'efficace rimozione di limo, fango e materia organica in sospensione nell'acqua. Grazie ai micropori, il mezzo può trattenere particelle grandi fino a 5 μm (Hydro Source, 2010).



Figura 32. Clinoptilolite.

Biossido di magnesio

Si tratta di un mezzo filtrante granulare a base di biossido di magnesio utilizzato per rimuovere ferro, manganese e idrogeno solforato dall'acqua. Il rivestimento superficiale attivo ossida e fa precipitare il ferro e il manganese solubili. L'idrogeno solforato viene ossidato a zolfo. I



precipitati si depositano nello strato granulare e vengono rimossi mediante controlavaggio (Safe Water Technologies, 2018).



Figura 33. Biossido di magnesio.

Sistema di drenaggio

Il sistema di drenaggio si trova sul fondo del filtro e svolge un ruolo importante: serve come supporto per il materiale filtrante e garantisce che l'acqua trattata venga drenata dal filtro senza ostacoli. Una volta posizionato il filtro sul sistema di drenaggio, non è più possibile apportare modifiche al sistema di drenaggio. È quindi necessario progettare e costruire il sistema di drenaggio in modo che non si intasi a causa del materiale granulare depositato sul sistema di drenaggio e che raccolga l'acqua trattata dalla superficie dell'intero letto filtrante, in modo che tutte le unità filtranti svolgano lo stesso livello di lavoro.

Le forme più semplici di drenaggio sono costituite da un sistema di drenaggi principali e laterali, dove i drenaggi laterali sono destinati a convogliare l'acqua trattata verso i drenaggi principali e sono costituiti da piastre di drenaggio perforate o da tubi in cloruro di polivinile ricoperti da strati di ghiaia, i cui grani diventano gradualmente più piccoli verso il fondo del filtro per evitare che il materiale filtrante entri nel sistema di drenaggio. Per i filtri più piccoli, l'uscita principale può essere costruita con tubi, mentre per i filtri più grandi i tubi di plastica possono essere sostituiti da cemento, in modo che il fondo del filtro possa essere costituito da lastre di cemento o mattoni. Il flusso attraverso il sistema di drenaggio è accompagnato da perdite di energia dovute all'attrito e alla turbolenza e dalla conversione della prevalenza $h = \rho/\rho g$ in velocità di flusso e conseguente riduzione della pressione di poro. Queste perdite dovrebbero rappresentare il 10% delle perdite totali del sistema.

Tra il sistema di drenaggio e il letto filtrante ci sono diversi strati di ghiaia per evitare che i materiali entrino nel sistema di drenaggio e quindi possano intasare i drenaggi. I vari strati, impilati l'uno sull'altro, si susseguono dal più grossolano al più fine. Il fattore che descrive la



diminuzione della dimensione del diametro delle particelle attraverso gli strati è $\sqrt{2}=1.41$. I grani dello strato di ghiaia più basso devono avere un diametro effettivo almeno doppio rispetto alle ampie aperture che conducono al sistema di drenaggio.

La ghiaia utilizzata deve avere caratteristiche simili a quelle della sabbia utilizzata nel mezzo filtrante. I ciottoli devono essere sufficientemente solidi e di forma adeguata e non devono contenere tracce di sabbia, argilla, limo, fango o sostanze organiche varie. Se necessario, la ghiaia deve essere lavata per ottenere la pulizia necessaria. Si può utilizzare acido cloridrico concentrato, in cui la ghiaia deve essere immersa per un giorno e non deve ridursi in peso di oltre il 5%.

Lo spessore di ogni strato dovrebbe essere almeno tre volte il diametro della particella più grande dello strato, ma in pratica si stabilisce uno spessore minimo tra i 5 e i 7 cm per il materiale più fine e tra gli 8 e i 12 cm per il materiale più grossolano (Huisman et al., 1974).

Anche le “trachee”, che si trovano in fondo al sistema di drenaggio, svolgono un ruolo importante nel sistema di drenaggio: sono le entrate d’aria che attraversano l’intero letto filtrante. Il materiale utilizzato per i tubi della trappola può essere plastica, ma quando il processo è soggetto a temperature più elevate, si possono utilizzare tubi in acciaio inossidabile. I tubi di contenimento del filtro a sabbia addolciscono il letto filtrante e l’acqua di scarico (McGraw et al., 1999).

Contenitore del filtro a sabbia

Si tratta di un recipiente di sovrappressione che può essere realizzato in acciaio inossidabile, in una miscela di poliestere o in una combinazione di acciaio e resina epossidica. La chiave della scelta del materiale per il serbatoio è che non sia corrosivo e che possa resistere a pressioni fino a 10 bar. Quando si progetta il serbatoio, occorre prestare attenzione alla sufficienza del volume del serbatoio, poiché il letto filtrante si alza e il livello si alza quando il filtro viene pulito o sottoposto a controlavaggio (McGraw et al., 1999).

Pulizia e manutenzione del filtro

Il filtro non ha bisogno di molta manutenzione. Il processo chiave che pulisce e mantiene la graniglia nel filtro fino al punto in cui è ancora utilizzabile nei futuri processi di trattamento delle acque reflue è chiamato controlavaggio. Dopo un certo periodo di tempo, il filtro si satura di particelle in sospensione e la filtrazione inizia a rallentare. Questo riduce la qualità dell’acqua trattata. È quindi necessario effettuare il controlavaggio del filtro nella direzione opposta a quella di filtrazione. Il controlavaggio rimuove le particelle in sospensione dal filtro e allenta il filtro in modo che torni a scorrere in modo ottimale (Roš et al., 2005).

3.4.4 Conclusioni sulla tecnologia per il trattamento delle acque contaminate

La scelta della tecnologia per il trattamento delle acque contaminate è stata determinata sulla base di una revisione di tutte le linee guida, di test di laboratorio e di esperienze passate. Dato che il biofouling grossolano viene rimosso con una filtrazione grossolana all’inizio del processo e le impurità rimanenti sono in forma disciolta, un processo di coagulazione/flocculazione seguito

da filtrazione con sabbia è il più appropriato. È stato necessario eseguire tutti i test in modo accurato per garantire le condizioni corrette per questo processo. È necessario garantire che l'effetto di miscelazione del coagulante e del flocculante sia adeguato, che i tempi di contatto delle fasi siano appropriati e che la fase di sedimentazione sia seguita da una fase di decantazione.

Un altro vantaggio rispetto ad altre tecnologie è che il processo produce una quantità estremamente ridotta di fanghi che, una volta saturi, possono essere rimossi dall'impianto e smaltiti in una discarica per rifiuti non pericolosi (come i fanghi di un impianto di depurazione comunale). In breve, la scelta della tecnologia ha mostrato dei risultati del trattamento ottimali (si faccia riferimento ai documenti di progetto ATT9 e ATT11).

Per le installazioni a contatto con l'acqua di mare vengono utilizzati materiali plastici che offrono una resistenza totale e una resistenza alla corrosione. La vasca di decantazione è metallica, ma è protetta da un rivestimento bituminoso che ne garantisce una lunga durata.



4. Monitoraggio della qualità ambientale prima, durante e dopo il trattamento del biofouling in acqua

4.1 Impatto dei rivestimenti antivegetativi sull'inquinamento marino

La vernice antivegetativa è un rivestimento comunemente usato per rivestire gli scafi delle imbarcazioni o altre strutture sommerse per prevenire la crescita di organismi incrostazioni. Impedendo la crescita di organismi incrostanti come le alghe e alcuni animali acquatici, si riduce la resistenza all'attrito delle imbarcazioni che si muovono nell'acqua, con conseguente aumento della velocità, riduzione del consumo di carburante e migliore manovrabilità del natante.

Durante la manutenzione delle imbarcazioni o di altri oggetti sommersi, si producono particelle di vernice antivegetativa che vengono lavate nell'acqua o si possono depositare nel sistema, dimostrando di essere un importante inquinante dell'ambiente marino. Ciò è dovuto alla struttura stessa dei rivestimenti antivegetativi, in quanto la maggior parte delle moderne vernici antivegetative marine contiene un pigmento biocida a base di Cu(I) (ad esempio ossido di rame o, meno comunemente, tiocianato di rame). Oltre al pigmento biocida a base di Cu(I), anche l'ossido di zinco può essere utilizzato come pigmento biocida nella maggior parte dei rivestimenti, ma è più comunemente usato in combinazione con Cu(I) come agente rinforzante. Oltre a questi biocidi, possono essere utilizzati anche altri pigmenti biocidi, per lo più sempre a base di Cu e Zn. Va notato che anche altri metalli come Ba, Cd, Cr, Ni, Pb e Sn, ecc. possono essere presenti nei rivestimenti antivegetativi, ma sono per lo più in tracce.

Inoltre, le particelle di vernice antivegetativa possono inquinare l'ambiente attraverso la lisciviazione di sostanze chimiche nell'acqua.

A causa dell'approccio fortemente innovativo alla pulizia dello scafo della nave ormeggiata (e non portata a secco), non sono ancora state definite le basi legali specifiche per questo tipo di lavorazione.

4.2 Monitoraggio dello stato ecologico e chimico delle acque (secondo la WFD, 2000/60/CE)

La cosiddetta "Direttiva quadro sulle acque" (WFD, 2000/60/CE) si occupa anche delle acque marine ripariali nell'ambito di una preoccupazione generale per il mantenimento di una buona qualità ecologica delle acque, che comprende acque sotterranee, bacini fluviali, laghi e zone umide. Sul sito web dell'Unione Europea (UE)⁹⁶ si legge che l'UE ha compiuto un passo decisivo nel 2000 con l'adozione della Direttiva quadro sulle acque, un quadro giuridico per la gestione e la protezione delle acque che non si basa su confini politici nazionali, ma si rivolge alle

⁹⁶ https://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/facts_figures/guidance_docs_en.htm,
obiskano 16. junija 2022.



formazioni naturali e geografiche, in particolare ai bacini fluviali, in modo olistico. Quando è stata adottata la direttiva quadro sulle acque, è stata fissata una scadenza molto ambiziosa (2015) per garantire un buono stato ecologico a tutte le acque europee, ma questa scadenza è stata prorogata fino al 2020. La letteratura è abbondante, con solo una revisione (Quevauviller et al., 2008).

La WFD ha istituito un quadro di riferimento per la gestione, la protezione e il miglioramento della qualità delle risorse idriche nell'UE, valutando lo stato ecologico e chimico dell'acqua. La direttiva prevede che gli Stati membri valutino lo stato ecologico di tutte le loro acque, comprese quelle costiere, in conformità con l'approccio ecosistemico alla gestione ambientale (Anon, 2011). Lo stato ecologico definisce la qualità della struttura e del funzionamento degli ecosistemi delle acque superficiali e mostra l'impatto delle pressioni (ad es. Lo stato ecologico viene determinato per ogni corpo idrico superficiale di fiumi, laghi, acque costiere (fino a 1 NM dalla costa) e acque salmastre sulla base di elementi di qualità biologica supportati da elementi di qualità fisico-chimica e idromorfologica. Gli elementi di qualità biologica per il monitoraggio dello stato ecologico del mare costiero sono: fitoplancton, alghe macrofite e invertebrati bentonici. Inoltre, il livello di inquinamento da inquinanti specifici viene valutato anche nel contesto dello stato ecologico. Lo stato chimico viene valutato sulla base delle sostanze pericolose prioritarie e prioritarie presenti nelle acque, nei sedimenti e negli organismi, per le quali vengono fissati standard di qualità ambientale.

Lo stato ecologico di un corpo idrico è valutato da cinque classi di qualità. Il buono stato ecologico, che rappresenta l'obiettivo per ogni corpo idrico, può essere molto buono o buono. Tuttavia, se lo stato buono non viene raggiunto, viene classificato in una delle seguenti classi: moderato, scarso e molto scarso. Lo stato chimico dell'ambiente è definito da due soli stati: raggiunto o non raggiunto. Il monitoraggio si basa su indicatori ambientali (Bertule et al., 2017), i cui cambiamenti in meglio dovrebbero consentire una transizione verso il buono stato ecologico. Il monitoraggio dello stato delle acque si divide in monitoraggio di sorveglianza, operativo e investigativo a seconda del suo scopo. Il monitoraggio di sorveglianza fornisce una panoramica della situazione complessiva di un corpo idrico e pertanto l'elenco più completo di elementi di qualità è incluso nel programma di monitoraggio di sorveglianza. I monitoraggi operativi e investigativi si concentrano sul monitoraggio e sull'individuazione dei problemi e pertanto includono solo gli elementi di qualità che meglio riflettono la particolare sollecitazione.

Il sito web dell'UE⁹⁷ contiene circa 50 documenti guida, di cui ne citeremo solo tre:

- a) Il documento sui corpi idrici naturali e artificiali fortemente modificati (Anon, 2019), che include porti/marine, sembra rilevante per il progetto di pulizia degli scafi. Nel Mare di Slovenia, ad esempio, il corpo idrico del Golfo di Capodistria è definito come corpo idrico

⁹⁷ Water Framework Directive <https://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/water-framework-directive.pdf>, visited 16 June 2022, obiskano 16. junija 2022



fortemente modificato a causa della costruzione, manutenzione e gestione del Porto di Capodistria. Il documento contiene indicazioni sulla determinazione del buono stato ecologico per determinare lo stato di tali corpi idrici; gli aggiornamenti si basano sull'esperienza e sull'applicazione della Strategia Comune di Attuazione della WFD. Il nucleo di questo documento è costituito dai cambiamenti idromorfologici, che ovviamente non devono peggiorare lo stato esistente. La Tabella 6 di (Anon, 2019) riassume gli elementi principali delle misure di mitigazione, che intendono rappresentare una determinazione graduale del potenziale ecologico in ambienti fortemente modificati. Vengono qui evidenziati solo i risultati della tabella che riguardano le acque di transizione (salmastre)/costiere. I "potenziali" di influenza diretta o indiretta sulle proprietà fisico-chimiche del corpo idrico includono:

- la trasparenza dell'acqua di mare (solitamente registrata dalla torbidità),
- condizioni termiche (il che significa, ovviamente, la temperatura del mare),
- ossigenazione (misurazioni della concentrazione di ossigeno),
- salinità, contenuto di nutrienti (composti dell'azoto e del fosforo), e
- inquinanti specifici (inquinanti).

Per questi ultimi, vale la pena di citare i composti contenenti metalli e i composti con un anello triazinico nella struttura. Si possono trovare nei rivestimenti protettivi anti-vegetativi per le imbarcazioni. La concentrazione di nutrienti non è influenzata in modo significativo dal processo di pulizia dello scafo, ma i metalli devono essere determinati mediante l'analisi di campioni di acqua di mare. In sintesi, i seguenti parametri possono essere misurati con una sonda multisensoriale installata su un ROV per la pulizia dello scafo, che non richiede analisi biologiche e chimiche di laboratorio: temperatura, salinità, torbidità, intensità della luce fotosinteticamente attiva (PAR), concentrazione di ossigeno e chl-a determinata fluorimetricamente "in situ". La profondità viene misurata attraverso un sensore di pressione.

- b) Il secondo documento, in parte applicabile anche alla pulizia degli scafi, riguarda la metodologia per il monitoraggio dello stato chimico dei sedimenti (marini) e del biota (Anon, 2019b). Nei siti che diventerebbero siti a lungo termine o "riservati" per la pulizia delle imbarcazioni in un "bacino fortemente modificato", dovremmo ovviamente monitorare, ad esempio, il possibile accumulo di metalli negli organismi (tessuti dei molluschi). Tuttavia, il presente documento si concentra principalmente sulla registrazione dell'impatto dell'inquinamento derivante dal trasporto marittimo, soprattutto dalla (combustione di) combustibili e lubrificanti, e la Tabella 1 del documento (Anon, 2019b) corrisponde a questo aspetto.
- c) Il terzo documento è il documento centrale per il monitoraggio delle acque ai sensi della WFD (Anon, 2003) e copre una gamma estremamente ampia di elementi di qualità dell'acqua. Per le acque di transizione (acque salmastre), così come per le acque costiere, il documento riassume una selezione di elementi di qualità dell'acqua (elementi



biologici, idromorfologici, fisico-chimici e specifici, con inquinanti sintetici specifici) che possono essere di interesse per la pulizia degli scafi. Gli elementi fisico-chimici comprendono la trasparenza, misurata con disco Secchi o con fotometri e torbidimetri. Parametri come l'ossigeno e i nutrienti non vengono modificati dalla pulizia degli scafi delle imbarcazioni nelle acque costiere.

Per il monitoraggio degli effetti dei rivestimenti antivegetativi, è meglio fare riferimento a studi recenti (Lagerström et al., 2020), in cui il monitoraggio dei metalli (rame e zinco) nei porti turistici di Svezia e Finlandia ha rilevato la presenza di concentrazioni elevate sia nell'ambiente acquatico sia negli organismi (metalli disciolti e biodegradabili) in primavera, quando le imbarcazioni vengono varate nell'ambiente marino. Ciò indica chiaramente che è necessario prelevare campioni di acqua di mare al momento della pulizia dello scafo per determinare, tramite analisi chimiche, se la pulizia è stata effettuata entro i limiti di sicurezza. Soprattutto, è necessario stabilire valori di "fondo" nell'ambiente marino che tengano conto dei cambiamenti stagionali (nei porti turistici, ecc.) nel determinare il buono stato ecologico/ambientale.

4.3 Monitoraggio dello stato ecologico e chimico delle acque (secondo la MSFD, 2008/56/CE)

L'altro quadro giuridico dell'UE è la "Direttiva quadro sulla strategia per l'ambiente marino", o MSFD (2008/56/CE). I documenti di supporto relativi a questa direttiva sono disponibili anche sul sito web della Direzione Generale Ambiente dell'Unione Europea⁹⁸. Il suo scopo è ben descritto sul sito web⁹⁹, dove si legge che la strategia dell'Unione Europea è quella di proteggere l'ambiente marino europeo. È stata attuata nel giugno 2008 e mira a stabilire un "buono stato ambientale" da raggiungere nel 2020. Per attuare la MSFD, ogni Stato membro dell'UE deve intraprendere una valutazione dettagliata dello stato dell'ambiente marino, definire il buono stato ambientale a livello regionale e stabilire obiettivi ambientali chiari e programmi di monitoraggio per valutare e monitorare lo stato. Tuttavia, The Marine Strategy Framework Directive afferma anche che gli Stati membri devono definire azioni per raggiungere o mantenere il buono stato ambientale e che si tratta di un processo ciclico con un periodo di sei anni, il secondo dei quali inizia nel 2018. Questa strategia non si limita alle acque di transizione e costiere, ma copre l'intero ambiente marino dell'Unione Europea e si concentra maggiormente sulla biodiversità degli organismi marini. In "Supporting the Marine Strategy Framework Directive MSFD", alla voce "Come", troviamo anche che l'essenza della MSFD è quella di raggiungere la GES attraverso la gestione basata sugli ecosistemi (EBMS), che significa anche una gestione del rischio ambientale che va oltre i soliti confini settoriali e professionali. L'EMBS guida la politica di gestione per ridurre al minimo l'impatto delle attività umane sull'ambiente naturale.

⁹⁸ Our Oceans, Seas and Coasts, The Marine Strategy Framework Directive, https://ec.europa.eu/environment/marine/eu-coast-and-marine-policy/marine-strategy-framework-directive/index_en.htm, obiskano 17. junija 2022, obiskano 16. junija 2022

⁹⁹ Supporting the Marine Strategy Framework Directive MSFD, <https://www.msfd.eu/knowseas/msfd.html>, obiskano 16. junija 2022, obiskano 16. junija 2022



In questo contesto si dovrebbe sviluppare un prototipo di dispositivo per la pulizia dello scafo. La legislazione europea che copre il problema dei rivestimenti anti-vegetativi è disponibile sul sito web dell'Agenzia europea per le sostanze chimiche (ECHA), con il titolo "Regolamento sui biocidi" (BPR, Regolamento (UE), 528/2012)¹⁰⁰. Nel contesto della riduzione del rischio ambientale, è stato condotto uno studio (Ytreberg et al., 2021), in cui sono state studiate le concentrazioni di biocidi nell'ambiente acquatico (marino) mediante calcoli (le cosiddette "concentrazioni di biocidi") utilizzando Marine Antifouling Model to Predict Environmental Concentrations, o programma MAMPEC, e analisi di laboratorio. Questi due metodi possono però dare concentrazioni esagerate di biocidi, soprattutto composti di rame e zinco. Pertanto, è stato introdotto anche un "metodo XRF" per stimare il tasso di rilascio naturale nell'ambiente dei biocidi dai rivestimenti anti-vegetativi. I risultati mostrano che nessuno degli otto rivestimenti soddisfa le condizioni d'uso se si utilizzano i tassi di rilascio in natura (metodo XRF), mentre la maggior parte dei rivestimenti soddisfa le condizioni d'uso se si applicano fattori di correzione determinati con altri metodi. Allo stesso tempo, il lavoro sottolinea che la legislazione europea non dovrebbe consentire l'uso di fattori di correzione per le imbarcazioni da diporto, un risultato che viene persino citato sul sito web dell'Unione Europea¹⁰¹.

4.4 Monitoraggio dello stato biologico delle acque

Un altro aspetto importante della pulizia degli scafi, affrontato anche dalla MSFD, è quello degli organismi non indigeni. La MSFD tratta gli organismi non indigeni sotto il descrittore D2 Specie non indigene derivanti da attività umane. Il buono stato dell'ambiente marino rispetto al descrittore di qualità Specie non indigene derivanti da attività umane è raggiunto quando la presenza di specie non indigene non è dannosa per l'ecosistema. Più precisamente: ridurre al minimo il numero di specie non indigene introdotte in natura, limitare la loro distribuzione spaziale e rendere trascurabile il loro impatto. La pulizia dei tropici delle navi dovrebbe quindi tenere conto anche di questo aspetto, poiché il fouling a bordo delle navi è uno dei principali vettori per l'introduzione di specie non indigene, insieme all'acqua di zavorra¹⁰². Nel 2011, il Comitato per la protezione dell'ambiente marino (MEPC) dell'IMO ha adottato le Linee guida per il controllo e la gestione del biofouling sulle navi per ridurre il trasferimento di specie invasive

¹⁰⁰ Understanding BPR, <https://echa.europa.eu/regulations/biocidal-products-regulation/understanding-bpr>, obiskano 16. junija 2022, obiskano 16. junija 2022

¹⁰¹ Science for Environment Policy. Biocide release from antifouling paints may be higher than reported, finds Swedish study, https://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/560na1_en-biocide-release-from-antifouling-paints-may-be-higher-than-reported-finds-swedish-study.pdf, obiskano 16. junija 2022, obiskano 16. junija 2022

¹⁰² Pathways of introduction of marine non-indigenous species to European seas, <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/trends-in-marine-alien-species-1/assessment>, obiskano 17. junija 2022



(Linee guida sul biofouling)¹⁰³. L'obiettivo della risoluzione è garantire un approccio armonizzato a livello globale alla gestione del biofouling, in modo che le linee guida rappresentino un passo decisivo verso la riduzione del trasferimento di specie non indigene dalle navi. Nel 2016, la European Boating Association ha presentato al Consiglio d'Europa il Codice di condotta europeo per la navigazione da diporto e le specie esotiche invasive¹⁰⁴. Questo Codice di condotta è una linea guida volontaria rivolta a tutti coloro che sono coinvolti nella navigazione da diporto, comprese le autorità di regolamentazione come le autorità portuali ecc.

4.5 Confronto tra i sistemi per il monitoraggio multiparametrico dell'acqua di mare

Tra i fornitori di sonde multiparametriche adatte alle finalità di GreenHull, esistono sul mercato i seguenti modelli, di vari produttori:

- Sea-Bird Scientific con il modello SBE 52 MP,
- Valeport con il modello SWiFT CTD plus turbidity,
- Idronaut con il modello Ocean Seven 308 CTD logger,
- OTT Hydromet (Hydrolab) con il modello Hydrolab HL7,
- AML Oceanographic con il modello AML-6 RT CTD,
- Sea&Sun Technologies con il modello CTD 90M e
- NKE Instrumentation con il modello WiMO Plus 7.

La tabella seguente mostra un confronto tra i modelli di sonda più adatti.

¹⁰³ Resolution MEPC.207(62): 2011 guidelines for the control and management of ships' biofouling to minimize the transfer of invasive aquatic species, [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/RESOLUTION%20MEPC.207\[62\].pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/RESOLUTION%20MEPC.207[62].pdf), obiskano 17. junija 2022

¹⁰⁴ European code of conduct on recreational boating and invasive alien species, <https://rm.coe.int/1680746815>, obiskano 17. junija 2022



Tabela 4. Confronto tra i modelli di sonda selezionati. CTD = conducibilità/salinità, temperatura, profondità; Tu = torbidità, Chl = chl-a, DO = ossigeno disciolto, PAR = luce fotosinteticamente attiva.

Produttore	Modello di sonda	Massa in aria/acqua (kg)	Comunicazione/connettività	Set di base dei parametri richiesti	Sensori ottici, eccetto CTD	Calibrazione semplice
Sea-Bird Sci. ¹⁰⁵	SBE 52-MP Moored Profiler CTD & (optional) DO Sensor	5,3/3,7	RS232	CTD, DO	No	No
Valeport	SWIFT CTD plus turb.	2,7/1,65	USB serial, Bluetooth	CTD, Tu	Si	No
Idronaut	Ocean Seven 308	1,1/0,65	RS232C/RS485; WiFi/Bluetooth	CTD	No	No
OTT Hydromet	Hydrolab HL7	4,5/	USB, SDI-12, RS232/485 Modbus	CTD, Tu, Chl, DO	Si	No
AML	AML-6 RT CTD	4,0/2,1	WiFi, USB-C/MCBH, RS232	CTD, Tu, Chl, DO	Si	No
Sea&Sun	CTD 90M	6,0/	USB; RS 232	CTD, Tu, Chl, DO, PAR	No	No
NKE	WiMO 7 Plus	3,05/	WiFi, ModBus RTU	CTD, Tu, Chl, DO	Si	Si ¹⁰⁶

Una rapida occhiata alla tabella mostra che:

- La sonda CTD 90 di Sea&Sun è la più pesante, ma contiene tutti i sensori necessari per misurare i parametri desiderati, in quanto è l'unica sonda che contiene anche il PAR.
- Quella del produttore Idronaut è il modello più leggero, ma presenta solo sensori CTD, non è possibile misurare alcun parametro ambientale nella configurazione di base.

¹⁰⁵ Aggiungiamo che la società SeaBird Sci. ha anche disponibile il modello 49 FastCat CTD, che pesa solo 1,8 kg / 0,5 kg in acqua, ma è una sonda CTD di base che viene installata su alianti e ROV.

¹⁰⁶ L'azienda NKE fornisce anche un cosiddetto "kit di calibrazione", che consente di calibrare tutti i parametri su WiMO 7 Plus o WiMO 4 Plus.



- La seconda sonda più semplice è quella del produttore Valeport, che contiene solo un misuratore di torbidità oltre ai sensori CTD.
- La terza più semplice è la sonda WiMO prodotta da NKE, che contiene quasi tutti i parametri necessari e consente di misurare un'ampia gamma di altri parametri ambientali (es. nitrati, pH, ficocianina CDOM). Il montaggio e lo smontaggio di tutti i singoli sensori è estremamente semplice e veloce.
- La comunicazione wireless con la sonda (WiFi o Bluetooth), che è allo stesso tempo cablata, è possibile per quelle prodotte da Valeport, Idronaut, AML e NKE.
- Una semplice procedura di calibrazione del sensore è possibile solo con la sonda WiMO di NKE. Con il loro "kit di calibrazione", il singolo sensore può essere collocato in un ambiente con una concentrazione nota della sostanza da osservare (ad esempio, una concentrazione nota di ossigeno o chl-a) e la calibrazione del sensore può essere completata con misure aggiuntive preparate dallo stesso laboratorio: non è necessario inviare la sonda (o i sensori) a un centro di calibrazione.

4.6 Conclusioni

Oltre ai parametri di base (temperatura, salinità, torbidità, intensità luminosa PAR, concentrazione di ossigeno, chl-a determinata fluorimetricamente "in situ", pressione), che dovrebbero essere monitorati con una sonda multiparametrica durante la pulizia dello scafo, la sonda deve soddisfare ulteriori requisiti tecnici che possiamo riassumere come segue:

1. Installazione semplice di sensori "extra" sulle sonde convenzionali (ad esempio, il sensore di ossigeno o il PAR) utilizzate nell'oceanografia costiera, che di solito misurano solo temperatura, salinità e pressione. Spesso i sensori installati in aggiunta sono prodotti da produttori diversi e la calibrazione di tutti i sensori allo stesso tempo richiede più tempo.
2. Leggerezza della sonda, in modo da renderla trasportabile sia per il subacqueo che per il ROV, per il quale il carico utile è importante.
3. Semplicità di installazione sul ROV e robustezza allo stesso tempo.
4. Comunicazione flessibile tra sonda e dispositivo ricevente, che nella maggior parte dei casi è un computer portatile, ma può anche essere un telefono cellulare per applicazioni specifiche e veloci (ad es. analisi di acque reflue, acqua di mare non inquinata, acqua distillata).
5. Sensori il più possibile ottici. I sensori ottici sono (di solito) i meno impegnativi in termini di calibrazione e sono anche (di solito) i più robusti e con la minima deriva dei valori, se utilizzati in modo appropriato (ad esempio, utilizzando tergcristalli per rimuovere i detriti dalle parti sensibili dei sensori).
6. Semplice calibrazione dei sensori sulla sonda.

L'uso della sonda sul ROV non è di lungo periodo in quanto si prevede che il lavoro di pulizia dello scafo duri un giorno lavorativo, massimo due. Inoltre, i cambiamenti nell'ambiente durante la pulizia non sono estremamente rapidi, quindi l'intervallo di campionamento può essere relativamente ampio, anche di alcuni secondi; la frequenza di campionamento dei valori dei parametri non è fondamentale. Anche l'elevata precisione non è importante, ma lo è la

robustezza, sia della struttura fisica della sonda che della stabilità dei valori dei parametri. Quest'ultima può essere garantita anche da una semplice procedura di calibrazione, se possibile.



5. Conclusioni

Dall'analisi bibliografica delle tecnologie che, allo stato dell'arte, utilizzano dei ROV per la pulizia del biofouling dallo scafo delle imbarcazioni, specie se integrate ad apposito sistema di trattamento delle acque reflue e filtrazione dell'incrostazione biologica rimossa, emerge che metodo di pulizia a getto di cavitazione risulta una scelta efficace ed efficiente per la pulizia della carena delle imbarcazioni in acqua.

L'uso di acqua a bassa pressione non causerà danni all'operatore né alla superficie pulita. Inoltre, può essere utilizzata acqua di rubinetto o acqua di mare, il processo non è tossico, non prevede alcun reagente chimico ed è una tecnologia di pulizia totalmente rispettosa dell'ambiente. La tecnologia a getto di cavitazione raggiunge un'elevata efficienza in termini di pulizia, è conforme ai requisiti di sicurezza e protezione ambientale ed è economica.

L'analisi dettagliata delle metodologie per il trattamento delle acque reflue dal trattamento del biofouling in acqua ha posto in evidenza gli aspetti positivi di ogni fase operativa, di cui si è tenuto conto nella definizione del procedimento di depurazione delle acque di scarico.

Le finalità perseguite dal progetto GreenHull si pongono in linea con gli obiettivi perseguiti dall'attuale contesto normativo internazionale, comunitario e nazionale in tema di politica delle acque. Tuttavia, sia rischi intrinseci legati alla potenziale dispersione di materiale in acqua durante le operazioni di pulizia, sia una ancora non compiutamente definita metodica per il trattamento e la gestione delle acque di risulta, di eventuali fanghi e residui, con indicazione del grado di efficienza del sistema di filtraggio, presenta dei profili di criticità per la presenza di sostanze classificate come pericolose, su cui porre l'attenzione, anche al fine di una corretta individuazione dell'iter amministrativo per il conseguimento di eventuali permessi per lo svolgimento dell'attività, che dipende anche dall'ambito in cui questa verrà concretamente svolta.

L'attività può dunque considerarsi lecita dal punto di vista giuridico; tuttavia verranno fornite delle linee guida nelle quali verranno inquadrati e definiti i limiti da rispettarsi nella fase attuativa del progetto, che procederanno di pari passo con l'elaborazione dei dettagli tecnici operativi delle singole fasi di cui si compone il progetto stesso.

L'uso della tecnologia GreenHull sembra comunque particolarmente appropriato e fattibile nei porti, nelle marine e nei cantieri navali. Per quanto riguarda la Repubblica Slovena, sia il Decreto sulla concessione per la gestione del porto municipale "Marina Koper" che il Decreto sulla concessione per la gestione del porto di "Marina Portorose" prevedono, all'articolo 8 (Servizi del porto), che: (1) Il concessionario assicura l'esecuzione di attività economiche e di altro tipo nell'area del porto turistico, nella misura e in modo tale da fornire una gamma completa di servizi del porto; (2) Se non esegue direttamente le attività e i servizi economici o di altro tipo necessari, può subappaltare il diritto di eseguire tali servizi a un'altra persona, previo consenso del concessionario. La pulizia delle incrostazioni dello scafo con la tecnologia

GreenHull potrebbe quindi essere classificata come “attività economiche e di altro tipo necessarie per la fornitura di una gamma completa di servizi al porto turistico”.

Infine, non essendo ancora state definite basi legali specifiche per l’approccio fortemente innovativo alla pulizia dello scafo della nave ormeggiata (e non portata a secco) di GreenHull, sono qui riportate le normative comunitarie e internazionali che danno indicazioni utili alla definizione dei monitoraggi da effettuare prima/durante e dopo le operazioni di rimozione del biofouling; nelle fasi di manutenzione in acqua degli scafi delle navi, infatti, piccole particelle di vernice antivegetativa, così come organismi incrostanti, possono contaminare l’ambiente marino. La sonda WiMO 7 Plus della ditta NKE è stata selezionata quale quella che, nel confronto con gli altri strumenti presenti attualmente sul mercato, meglio si allinea con le esigenze del progetto GreenHull e verrà utilizzata sul ROV durante le operazioni di pulizia.

Bibliografia

Anon. (2011) Common Understanding of (Initial) Assessment, Determination of Good Environmental Status (GES) & Establishment of Environmental Targets (Articles 8, 9 & 10 MSFD) 2011 28 October 2011. 70 pp., Report No.: Ver. 5
<https://www.msfd.eu/knowseas/library/common.pdf>.

Anon. (2019) Steps for defining and assessing ecological potential for improving comparability of Heavily Modified Water Bodies. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). European Commission; 2019 26 November 2019. 134 pp., Contract No.: 37, <https://www.ecologic.eu/17302>.

Anon. (2019b) Guidance on chemical monitoring of sediment and biota under the Water Framework Directive. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). European Commission; 2019 26 November 2019. 74 pp., Report No.: Technical Report - 2010 - 041 Contract No.: 25, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/5ff7a8ec-995b-4d90-a140-0cc9b4bf980d>.

Anon. Monitoring under the Water Framework Directive. Guidance document no. 7. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). European Commission; 2003. 153 pp., Contract No.: 7, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/95072480-dbe7-46cb-9d4f-d3e6e559ed87/language-en>.

AWWA, Water Quality and Treatment, A Handbook on Drinking Water, Edzwald J. K., 6. izd., London, McGrawHill, 2011.

Bertule M., P.K. Bjørnsen, S.D. Costanzo, J. Escurra, S. Freeman, L. Gallagher, et al. Using indicators for improved water resources management - guide for basin managers and practitioners. UN Environment; 2017. 82pp., https://www.unepdhi.org/wp-content/uploads/sites/2/2020/05/Using_Indicators_for_Improved_WRM_Sept17.pdf, visited 16 June 2022.

Clack Corporation, Filter Ag. USA, 2013.

Curran A., E. King, C.Lowe, B. O'Connor "Identified Hull Cleaning Robots", with the advice of S. McCouley and J.Hanlan, sponsored by United States Coast Guard, (2016)

Floerl O., L. Peacock, K. Seaward, G. Inglis "Review of biosecurity and contaminant risks associated with in-water cleaning". Report commissioned by the Australia Department of Agriculture, Fisheries and Forestry - DAFF to the National Institute of Water and Atmospheric Research Limited (2010)

Fowler MP (1987) Optical cleaning system for removing matter from underwater surfaces. U.S. Patent No. 4689523, Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, 2-35/237/2/022045

Huisman L., W. E. Wood, *Slow Sand Filtration*. Geneva: World Health Organization, 1974, str. 47-67

Hydro Source, LLC, Turbidex hyperfiltration media. USA, 2010

Iorra A., D. Caceres, E. Oritz, J. Franco, P. Palma, B. Alvarez; "Design of service robots"; IEEE Robotics & Automation Magazine, 16 (2009)

Kalumuck K.M., G.L. Chahine, G. S. Frederick, P. D. Aley "Development Of A Dynajet(R) Cavitating Water Jet Cleaning Tool For Underwater Marine Fouling Removal", John Hopkins University (2014)

Kostenko VV, Bykanova AY, Tolstonogov AY, "Underwater robotics complex for inspection and laser cleaning of ships from biofouling", IOP Conf Ser: Earth Environ Sci 272(2):1-7, (2019)

L. Huisman, W. E. Wood, *Slow Sand Filtration*. Geneva: World Health Organization, 1974, str. 47-67.

Lagerström M., J. Ferreira, E. Ytreberg, A.-K. Eriksson-Wiklund, *Flawed risk assessment of antifouling paints leads to exceedance of guideline values in Baltic Sea marinas*, Env Sci Poll Res Int. 27 (2020), št. 22, 27674-87.

Lee M.H., Y.D. Park, H.G. Park, W. C. P Park, S. Hong, K. S. Lee, H. H. Chu; "Hydrodynamic design of an underwater hull cleaning robot and its evaluation", International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, Volume 4 (2012)

Lewis J., "Procedures for evaluating in-water systems to remove or treat vessel biofouling" (2015)

Martos G., A. Abreu, S. Gonzalez, A. Tremante; "Remotely Operated Underwater Vehicle" (ROV): 100% Report", Florida International University (2013)

McGraw, J.H., Hill J.A., "Liquid-solid operations and equipment" v Perry's Chemical Engineers' Handbook. USA: McGraw Hill companies, 1999, page: 1620-1753.

Morrisey D. and C.Woods (NIWA); "In-water cleaning technologies: Review of information", MPI Technical Paper No: 2015/38, prepared for Ministry for Primary Industries New Zealand (2015)

Morrisey, D., Gadd, J., Page, M., et al., 2013. In-water cleaning of vessels: Biosecurity and chemical contamination risks. MPI Technical Paper No: 2013/11, 206-209

Quevauviller P.e., B. Ulrich, T. Clive, S.T.e. al, *The water framework directive : ecological and chemical status monitoring*, Wiley, Chichester, 2008.

Roberts G., R. Sutton "Advances in unmanned marine vehicles", IEE London (2006)

Roš M., G. D. Zupančič, Čiščenje odpadnih voda. Velenje: Gorenje I. P. C., d.o.o., 2010, str. 22-26.

Roš M., M. Simonič, S. Šostar Turk, Priprava in čiščenje vod. Maribor: Tiskarna tehniških fakultet, 2005, str. 15-30.

Roš M., Sodobni postopki čiščenja odpadnih vod. Celje: Fit media d.o.o., 2015.

Safe Water Technologies, Inc., MTM Filtration media. USA, 2018

Scianni C. and E. Georgiades “Vessel In-Water Cleaning or Treatment: Identification of Environmental Risks and Science Needs for Evidence-Based Decision Making” (2019)

Song, C., Cui, W.; “Review of Underwater Ship Hull Cleaning Technologies”, J. Marine. Sci. Appl. 19, 415-429, (2020)

Turner, A., 2010. Marine pollution from antifouling paint particles (Review). Marine Pollution Bulletin 60, 159-171

Yan H, Yin Q, Peng J, Bai B; “Multi-functional tugboat for monitoring and cleaning bottom fouling”, IOP Conf Ser: Earth Environ Sci 237(2):1-6, (2019) <https://doi.org/10.1088/1755-131>

Ytreberg E., M. Lagerström, S. Nöu, A.-K.E. Wiklund, *Environmental risk assessment of using antifouling paints on pleasure crafts in European Union waters*, Journal of Environmental Management. **281** (2021), št., 111846.

Yuan F.C., L.B. Guo, Q.X. Meng, F.Q. Liu; “The design of underwater hull-cleaning robot”, Journal of Marine Science and Applications, (2004)

Zifeng L.; “Criteria for jet cavitation and cavitation jet drilling” International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences - Volume 71 Pages 204-207 (2014)

Sitografia

Siti web generalisti

Cluster Mare FVG

CORDIS Europa

IMO - International Maritime Organization

Marine Technology Society

Schmidt Ocean Institute

Woods Hole Oceanographic Institution

Wikipedia

Siti web di produttori di ROV

Aeffe srl / Keelcrab

Blue Robotics

04/07/2022

105/106 Linee guida e requisiti per lo sviluppo delle tecnologie verdi / Smernice in zahteve za razvoj zelenih tehnologij
Versione n. / Verzija st. 4 (7/2022)

BRI Norhull

ECA Group

Fleet Cleaner

Franmarine Underwater Services

Hullboat

HullWiper

Jotun

Limpieza Purotecnica S.A

RovBuilder

SDM - Soil Machine Dynamics Ltd

Sea Robotics

SeaTec services

TechHullClean

Xi'an Tianhe Maritime Technologies Co., Ltd.

Documenti di progetto

ATT9-Analisi e valutazione del rischio ambientale

ATT11- Modello del sistema per la gestione di rifiuti marini pericolosi derivanti dalla pulizia subacquea dell'ISBN