

GLI IMPATTI DELLA ACQUACOLTURA SULL'AMBIENTE MARINO: DAI RISCHI LEGATI AI MATERIALI PLASTICI UTILIZZATI ALL'IMPIEGO DI MATERIALI ALTERNATIVI



Autori:

Dott.ssa Cristina Panti

Dott. Matteo Bains

Attività nell'ambito del progetto: **"SPLAS** Sostituzione Plastiche per un'Acquacoltura Sostenibile un modello per la Molluschicoltura plastic free dall'allevamento alla distribuzione".

Febbraio 2022

INDICE

1	La problematica dei rifiuti plastici in mare.....	2
1.1	Le interazioni tra plastica e ambiente marino	2
1.1.1	Intrappolamento	3
1.1.2	Distruzione degli habitat	3
1.1.3	Introduzione e dispersione di specie invasive	3
1.1.4	Ingestione.....	3
1.1.5	Trasporto e rilascio di sostanze chimiche.....	4
2	Attività di acquacoltura come fonte di rifiuti marini	5
2.1	Tipologie di acquacoltura e polimeri plastici utilizzati.....	5
2.2	Rischio e vie di immissione in ambiente di materiale plastico	8
2.2.1	Cattiva gestione degli impianti e dei rifiuti ad essi associati	8
2.2.2	Scarico volontario in mare.....	9
2.2.3	Condizioni metereologiche estreme.....	9
2.3	La problematica delle calze in mitilicoltura.....	11
3	polimeri a base biologica e biodegradabili	13
3.1	Proprietà e tipologie	13
3.2	Degradazione dei biopolimeri in ambiente marino.....	16
3.3	Effetti ecotossicologici dei biopolimeri sugli organismi marini.....	19
4	Normativa riguardante il <i>marine litter</i>	20
4.1	La normativa comunitaria	20
4.2	Le norme nazionali.....	22
4.3	Normativa per la gestione delle calze da molluschicoltura.....	23
5	Casi di studio sull'utilizzo dei materiali alternativi in acquacoltura: progetti ed attività	25
6	Considerazioni conclusive.....	31
7	Bibliografia	32

1 LA PROBLEMATICHE DEI RIFIUTI PLASTICI IN MARE

Negli ultimi decenni la comunità scientifica si è interessata sempre di più alla presenza ed agli impatti che i rifiuti marini ed, in particolare i rifiuti plastici, hanno su molteplici ecosistemi. La produzione globale di plastica sta aumentando in modo esponenziale, passando da 1,5 milioni di tonnellate prodotte nel 1952 a 370 milioni di tonnellate nel 2020; Jambeck et al., 2015). Le proprietà chimico-fisiche (resistenza, non solubilità in acqua, non corrodibilità, facilità di lavorazione), la versatilità, l'applicabilità in differenti settori industriali fanno della plastica un materiale ampiamente prodotto e utilizzato in molti ambiti. Se non gestita correttamente al momento in cui diventa un rifiuto, la plastica può raggiungere il comparto marino mediante fiumi, scarichi urbani o agenti atmosferici (Eich et al., 2015). Ulteriori fonti importanti di contaminazione si trovano direttamente in mare, come le attività marittime e legate alla pesca, come le attrezzature da pesca perse o volontariamente abbandonate in mare (Gregory, 2009). Secondo un rapporto dell'UNEP del 2014, circa 10-20 milioni di tonnellate di plastica finisce negli oceani ogni anno, risultando così essere il rifiuto più abbondante presente nei mari, con percentuali che possono raggiungere l'80% del totale dei rifiuti marini (Gourmelon, 2015). Stime hanno valutato che la densità media di particelle galleggianti negli oceani a livello globale è di circa 5,25 trilioni, per un peso complessivo di 268.940 tonnellate (Cózar et al., 2014). Uno dei mari maggiormente interessati da questa problematica è il Mar Mediterraneo, a causa delle sue caratteristiche di bacino semichiuso e per l'elevata pressione antropica esercitata lungo le sue coste (Cózar et al., 2015). Di conseguenza, l'inquinamento da rifiuti marini ed in particolare da rifiuti plastici è stato identificato come un rischio emergente globale per l'ambiente marino e una possibile minaccia per la salute umana, insieme ad altre problematiche globali, tra cui il cambiamento climatico, l'acidificazione degli oceani e la perdita di biodiversità (GESAMP, 2016; Sutherland et al., 2010; UNEP/MAP, 2015). Sono quindi in corso molte azioni, sia a livello nazionale che internazionale, per mitigare questo fenomeno attraverso la scienza, la politica, l'economia e la presa di coscienza dei cittadini.

1.1 Le interazioni tra plastica e ambiente marino

Gli impatti associati ai rifiuti di plastica possono essere divisi in tre categorie generali: impatto sociale (riduzione del valore estetico di un'area e della sicurezza pubblica); impatto economico (diminuzione della pesca, del turismo, danni alle navi, attrezzature da pesca, costi di pulizia); ed impatto ecologico. Gli impatti ecologici, a loro volta, possono essere considerati indiretti, come la

distruzione di habitat, l'introduzione e dispersione di specie invasive, il trasporto e rilascio di sostanze chimiche, o diretti sugli organismi, come l'intrappolamento e l'ingestione.

1.1.1 INTRAPPOLAMENTO

L'intrappolamento di organismi marini causato da reti e lenze da pesca, nastri, corde e sacchetti è una delle problematiche ormai più note a livello mondiale (Galgani et al., 2019). Quando si parla di questo fenomeno, ci si riferisce spesso a rifiuti con dimensioni superiori a 25mm (macroplastiche). L'intrappolamento è in grado di provocare lacerazioni del tessuto connettivo, ridurre le capacità di procacciarsi il cibo e di sfuggire a minacce di predatori, fino, nei casi peggiori a portare a soffocamento, annegamento e morte (Kühn et al., 2015).

1.1.2 DISTRUZIONE DEGLI HABITAT

I rifiuti plastici possono provocare interferenze fisiche che portano al degrado degli habitat marini con ripercussioni sugli organismi e sull'ambiente. I frammenti di dimensioni considerevoli che si trovano sulla superficie possono condizionare la filtrazione della luce, riducendone la quantità in grado di raggiungere le aree più profonde, interferendo sia dai più bassi livelli della catena trofica con possibili conseguenze sulla biodiversità (Kühn et al., 2015).

1.1.3 INTRODUZIONE E DISPERSIONE DI SPECIE INVASIVE

Le superfici della plastica possono facilitare lo spostamento di organismi colonizzatori opportunisti come cirripedi, foraminiferi, alghe coralline, idroidi, molluschi bivalvi e parassiti a causa delle lunghe distanze che gli oggetti di plastica possono compiere (Coe and Rogers, 1997; Gregory, 2009). I detriti possono, inoltre, costituire un habitat in grado di soddisfare gli stadi larvali e giovanili di vari organismi marini. Con le enormi quantità di questi materiali sintetici e non biodegradabili presenti in ambiente marino, la dispersione di specie aliene è sempre più accelerata e facilitata.

1.1.4 INGESTIONE

Il problema dell'ingestione di oggetti e frammenti plastici riguarda organismi di differenti livelli della catena trofica, dai filtratori ai grandi predatori. L'ingestione può essere di due tipi: primaria (o diretta) e secondaria (o indiretta). L'ingestione primaria avviene con l'assunzione diretta di rifiuti plastici che si trovano nella colonna d'acqua, mentre quella secondaria riguarda gli organismi che si nutrono di prede specifiche, le quali potrebbero già contenere nel loro tratto digerente frammenti plastici (Fossi et al., 2018). Ad oggi, l'ingestione è ritenuta l'interazione più probabile tra i rifiuti plastici, ed in particolare le microplastiche (frammenti inferiori a 5 mm), e gli organismi marini. Le microplastiche, grazie alle ridotte dimensioni, possono essere ingerite da un'ampia gamma di

organismi. In certi casi i meccanismi di nutrizione di varie specie, come la filtrazione, non permettono di distinguere le prede dalle microplastiche (Collard et al., 2015; Moore et al., 2001). Molti studi hanno evidenziato come le microplastiche siano scambiate per cibo da un'estesa varietà di animali compresi uccelli, pesci, tartarughe, mammiferi ed invertebrati (Kühn et al., 2015).

I danni provocati dall'ingestione di plastica possono essere molteplici e dipendono essenzialmente dalle dimensioni del frammento e dalle dimensioni degli organismi che le hanno ingerite. Questi includono: danni meccanici come ferite (interne ed esterne), lesioni della pelle, ulcere, blocco del tratto digestivo seguito da sazietà, fame e debilitazione generale che spesso portano alla morte; riduzione della qualità della vita e della capacità riproduttiva; annegamento ed evasione limitata dei predatori; compromissione della capacità di alimentazione; e danni chimici dati dalla possibilità che i frammenti di plastica possano assorbire e concentrare composti potenzialmente tossici.

1.1.5 TRASPORTO E RILASCIO DI SOSTANZE CHIMICHE

I materiali plastici presenti in ambiente marino sono associati a una complessa miscela di sostanze chimiche. Tra queste troviamo gli ingredienti stessi della plastica (monomeri e additivi), i sottoprodotti di fabbricazione (ad esempio le sostanze chimiche formatesi durante la combustione del petrolio) e contaminanti chimici già presenti nei mari, che si adsorbono alla superficie del polimero. Tra questi troviamo i metalli pesanti, gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA), e gli inquinanti organici persistenti (POP) (Rochman et al., 2013; Thompson et al., 2009). Questi prodotti chimici, una volta che i frammenti di plastica vengono ingeriti, possono essere rilasciati all'interno dell'organismo e provocare una vasta gamma di effetti potenzialmente tossici, cancerogeni e con capacità di interferenti endocrini (Galloway, 2015). Gli additivi meritano un approfondimento: sono molecole aggiunte alle plastiche durante la fase di produzione, al fine di conferire al polimero determinate caratteristiche. Il bisfenolo A, utilizzato al fine di conferire durezza e resistenza, a causa dei suoi effetti estrogenici, è stato bandito ed inserito nel 2017 dal Comitato degli Stati membri dell'Agenzia europea per i prodotti chimici di Helsinki (ECHA) nella lista delle "sostanze estremamente preoccupanti" per la sua tossicità per il sistema riproduttivo come "interferente endocrino". Gli ftalati sono, invece, una classe di sostanze chimiche utilizzate per rendere le materie plastiche rigide più morbide. Non essendo legati in modo covalente, possono migrare dalla plastica all'ambiente o agli organismi, in seguito all'ingestione del polimero, dove tendono ad accumularsi in quanto composti liposolubili (Baini et al., 2017; Fossi et al., 2016). Gli ftalati, in particolare il Di-(2-etilesil) ftalato (DEHP), sono stati proibiti in tutti i giocattoli e prodotti per l'infanzia, in quanto classificati come interferenti endocrini tossici per la riproduzione.

2 ATTIVITÀ DI ACQUACOLTURA COME FONTE DI RIFIUTI MARINI

Come qualsiasi altra industria, l'acquacoltura fa un ampio l'uso di plastica sia nelle attrezzature che per l'imballaggio dei prodotti. Infatti, la plastica è un eccellente materiale per l'uso in un ambiente acquatico ostile, dove resistenza all'abrasione, durata e resistenza alla ruggine migliora la longevità e l'affidabilità delle attrezzature, e la sua natura leggera e riduce le difficoltà di manipolazione e i costi. La capacità di modellare la plastica in forme specifiche significa che è onnipresente in un allevamento di pesci, dal polietilene ad alta densità polietilene (HDPE), dai collari per gabbie marine, alle reti per gabbie rivestite di polimeri, ai bidoni di raccolta in plastica. Lo scopo di questa sezione è quindi quello di classificare l'utilizzo della plastica è usata da diverse tipologie di acquacoltura (Lusher et al., 2017).

2.1 Tipologie di acquacoltura e polimeri plastici utilizzati

Ai fini di questa relazione abbiamo classificato la produzione di acquacoltura in una serie di sistemi diversi. Vengono riportate due tabelle (Tabella 1 e 2) riassuntive sull'utilizzo della plastica nelle diverse tipologie di acquacoltura e le relative caratteristiche.

Tabella 1. Classificazione delle tipologie di acquacoltura.

TIPOLOGIA	DESCRIZIONE
ACQUACOLTURA IPERINTENSIVA	Di solito in un'area chiusa e con riutilizzo dell'acqua. L'acqua è continuamente controllata per i parametri ambientali in base alle specie allevate e l'alimentazione è a base di mangimi industriali. Drenaggio completo o parziale delle acque reflue scarico delle acque reflue nell'ambiente aperto, a seconda del livello di ricircolo/riutilizzo.
ACQUACOLTURA INTENSIVA	Anelli o strutture galleggianti di plastica, metallo o legno con gabbie galleggianti ed ancorate al fondo. Ampiamente utilizzati in tutto il mondo per l'allevamento di molte specie tra cui salmone, spigola, orata e ricciola. Condotta sia in ambienti costieri <i>in-shore</i> che in mare aperto <i>off-shore</i> .
ACQUACOLTURA ESTENSIVA	Tipologia di allevamento praticato in specchi d'acqua caratterizzati da acqua di mare o salmastra. Principalmente utilizzato per l'allevamento di specie eurialine come spigole, orate, cefali e anguille. Negli stagni la densità del pesce è bassa e l'alimentazione è naturale, gli animali vengono catturati con le tecniche tipiche quali sistemi fissi o reti, trappole ed ami.
MULLUSCHICOLTURA	Filari, sospesi a boe, ancorate al fondo del mare. Usati per l'allevamento di molluschi come cozze, ostriche e capesante (spesso in reti a lanterna sospese) in tutto il mondo. Include l'allevamento di alghe. Condotta sia in ambienti costieri che in lagune e laghi interni.

Tabella 2. Panoramica delle diverse plastiche utilizzate in acquacoltura, loro proprietà e rischi legati alla dispersione in ambiente.

Materiale	Sigla	Utilizzo	Proprietà	Riciclabilità	Se disperso in ambiente
Materiali fibrorinforzati	FRP	Vasche per il trasporto per i pesci, boe, imbarcazioni, oggetti vari.	Include la vetroresina, hanno tutti elevate proprietà meccaniche (leggerezza, resistenza meccanica, resistenza alla corrosione e coibenza termica)	Difficile da riciclare	Si scheggia e frammenta con il tempo portando alla formazione di microparticelle
Nylon/Poliammide	PA	Corde, lenze e reti da pesca	Forte, elastico e resistente alle abrasioni.	Sempre più riciclabile	Frammentazione ed abrasione a seguito di esposizione ad agenti atmosferici che portano alla formazione di microplastiche
Polietilene	PE	Corde, reti per allevamento mitili e borse per il trasporto di pesci e materiale vario, calze per molluschi	Materiale economico per la fabbricazione delle corde	Riciclabile	Frammentazione ed abrasione a seguito di esposizione ad agenti atmosferici che portano alla formazione di microplastiche
Polietilene ad alta densità	HDPE	Boe, galleggianti per gabbie, sagole e corde, monofilamenti per fabbricazione di reti. Inoltre, serbatoi di stoccaggio liquidi e mangimi, tubi e raccordi, vasche ed altri oggetti utilizzati in acquacoltura (secchi, attrezzi, vaschette, materiale da laboratorio)	Duratura, chimicamente resistente, termoplastica rigida. Possibilità di fare rivestimenti.	Facilmente riciclabile	Frammentazione ed abrasione a seguito di esposizione ad agenti atmosferici che portano alla formazione di microplastiche

Polietilene a bassa densità	LDPE	Rivestimenti di stagni o vasche su piccola scala, teli per copertura serre, trasporto di avanotti di pesce e borse per il trasporto.	Il polimero più comune per la fabbricazione di film di plastica. È una altamente flessibile e per questo si adatta bene al rivestimento di superfici. Non è forte o denso come altri tipi di plastica.	Sempre più riciclabile	Frammentazione ed abrasione a seguito di esposizione ad agenti atmosferici che portano alla formazione di microplastiche
Polietilene tereftalato	PET	Corde	Forte, ma anelastico, resistente all'acqua per la fabbricazione corde. Più costoso di altri materiali. Usato anche per fare bottiglie di plastica e filati (poliestere)	Facilmente riciclabile.	Frammentazione ed abrasione a seguito di esposizione ad agenti atmosferici che portano alla formazione di microplastiche
Polimetilmetacrilato	PMMA	Vasche di incubazione, contenitori vari ed attrezzatura da laboratorio	Leggero, infrangibile alternativa termoplastica al vetro.	Riciclabile	Bassi livelli di abrasione e degradazione
Polipropilene	PP	Calze per allevamento mitili, corde, casse, sacchi per mangime, vasche, secchi, bacinelle, articoli da laboratorio	Galleggiante, economico, ma si abrade abbastanza facilmente.	Sempre più riciclabile	Frammentazione ed abrasione a seguito di esposizione ad agenti atmosferici che portano alla formazione di microplastiche
Polistirene espanso	EPS	Cassette per il pesce, fabbricazione di materiale isolante ed oggetti galleggianti	È molto leggero e elevato potere isolante. Facile da lavorare si possono fabbricare oggetti con forme specifiche.	Riciclabile	Molto galleggiante e quindi tende ad accumularsi sulle spiagge. Si abrade facilmente e si rompe in pezzi sempre più piccoli che possono rimanere per lungo tempo in ambiente
Polivinilcloruro	PVC	Tubi e raccordi di ogni tipo, anelli e telai per gabbie per la movimentazione dei pesci, ecc.	Robustezza e resistenza. Dovrebbe non essere bruciato perché rilascia tossine	Raramente riciclato.	Frammentazione ed abrasione a seguito di esposizione ad agenti atmosferici che portano alla formazione di microplastiche

2.2 Rischio e vie di immissione in ambiente di materiale plastico

Vi sono molteplici cause che portano alla perdita di materiali plastici utilizzati in acquacoltura nell'ambiente e dipendono principalmente dal tipo di allevamento praticato, dalla logistica dell'impianto e dalla preparazione e sensibilità del personale coinvolto. Le principali cause del rilascio in mare vengono riportate di seguito, inoltre in tabella 3 vengono valutati e riportati i rischi per ogni tipologia di allevamento.

2.2.1 Cattiva gestione degli impianti e dei rifiuti ad essi associati

a. Gestione dei rifiuti: notevoli quantitativi di rifiuti plastici possono essere generati dall'acquacoltura, compresi i sacchi per i mangimi, materiali di consumo avvolti nella plastica, attrezzature monouso (per esempio, guanti di plastica e rivestiti di plastica). Questi diversi flussi di rifiuti devono essere smaltiti responsabilmente, questo comporta una raccolta dei rifiuti sicura e controllata. Questo può essere difficoltoso, specialmente quando le operazioni si svolgono in mare (per esempio in siti di gabbie) o in siti di stagni costieri grandi e spesso esposti.

b. Posizione, installazione e manutenzione degli impianti: la plastica è usata estensivamente in molti componenti dell'infrastruttura dell'acquacoltura, compresi i telai delle gabbie, le reti e le attrezzature di ormeggio. Questi saranno tutti soggetti a usura, specialmente in un ambiente dinamico in mare aperto, e quindi l'adeguatezza dell'attrezzatura per l'ambiente in cui è inserito, e la successiva installazione, manutenzione e sostituzione avranno tutti un'influenza su quanto la plastica si abraderà (ad esempio portando alla formazione di microplastiche secondarie) e il rischio di guasto dell'attrezzatura e perdita di componenti in plastica nell'ambiente marino.

c. Riciclaggio dei materiali: molti componenti di plastica per l'acquacoltura hanno una vita finita, per esempio le reti. Attualmente opportunità di riciclaggio per la plastica da acquacoltura sono limitate e spesso complicate sia dal numero di plastiche diverse usate e da fattori complicanti come i rivestimenti antivegetativi usati su reti e attrezzi di ormeggio o la formazione di *fouling* sulla superficie delle attrezzature.

d. Smantellamento dell'allevamento: gli impianti possono essere dismessi per un'ampia varietà di motivi, come la scarsa performance finanziaria o fattori esterni. Ci sono migliaia di ettari di siti abbandonati in tutto il mondo, con diversi livelli di disattivazione e di risanamento. Gli allevamenti, una volta abbandonati, vanno incontro a naturale decadimento e sono spesso soggetti a vandalismo, che possono portare alla perdita di rifiuti plastici nell'ambiente marino.

e. Mancanza di conoscenza e formazione del personale: la comprensione e la capacità dei manager e del personale di ridurre al minimo il rischio di perdita di plastica è fondamentale. Questo

implica la necessità di quadri dirigenziali appropriati, supportati dalla sensibilizzazione e, se necessario, dalla formazione del personale coinvolto nell'allevamento.

2.2.2 Scarico volontario in mare

In alcune circostanze i rifiuti di plastica possono essere deliberatamente scaricati o abbandonati, specialmente se i costi di rimozione o raccolta sono considerati troppo alti. Le retine per la mitilicoltura rappresentano un esempio classico di questo tipo di comportamento. In molte località sono state riportate ingenti quantità di reti abbandonate volontariamente in mare dai mitilicoltori per non riportarle a terra e risparmiare così i costi di smaltimento. Questo suggerisce che se si ha una cattiva gestione dei rifiuti in generale è probabile che vi sia un rischio maggiore nelle operazioni di acquacoltura meno redditizie. Il vandalismo è anche una possibile causa di guasti alle attrezzature, per esempio il taglio delle reti di gabbie galleggianti per rilasciare i pesci in natura.

2.2.3 Condizioni metereologiche estreme

Eventi metereologici estremi come grandi tempeste o temperature estreme sono una causa importante di perdita di detriti dagli impianti di acquacoltura. Le grandi tempeste sono di solito accompagnate da venti forti, grandi onde e forti piogge, che possono causare guasti alle attrezzature. Nelle zone costiere le mareggiate possono travolgere le aree di allevamento degli stagni, portando tutto in mare. Le temperature di congelamento possono anche essere un pericolo ricoprendo le strutture di ghiaccio, facendole affondare o rompersi.

Tabella 3. Analisi del rischio di immissione in ambiente di materiale plastico nei diversi sistemi di acquacoltura (**basso**, **basso-medio**, **medio**, **medio-alto**, **alto**).

Tipologia di allevamento	Gestione dei rifiuti	Posizionamento installazione e manutenzione	Riciclaggio dei materiali	Smantellamento dell'allevamento	Mancanza di conoscenza e formazione	Scarico volontario	Meteo estremo
Acquacoltura iperintensiva	Basso Solitamente in località con facile accesso per la raccolta rifiuti	Basso Siti altamente tecnologici, solitamente con forte supporto delle infrastrutture	Basso Grandi vasche di plastica e tubazioni facilmente riciclabili	Basso Di solito riqualificato per un uso alternativo.	Basso La tecnologia utilizzata richiede personale altamente formato	Basso Solitamente in località con facile accesso per la raccolta rifiuti	Basso Per lo più al chiuso e lontano da luoghi ad alto rischio ambientale
Acquacoltura intensiva	Alto Raccolta dei rifiuti impegnativa	Alto Indipendente dal sito, è complesso l'ormeggio e difficile poiché spesso viene utilizzato da molti utenti	Da basso a medio Telai per lo più composti da un singolo materiale e riciclabili. Reti meno facili, ma sono possibili da riciclare.	Basso Relativamente facile da smantellare e riutilizzare i componenti in altri siti.	Da basso a medio Principalmente gestiti da grandi aziende con gestione e formazione delle risorse umane.	Da medio ad alto Spesso in luoghi remoti e acque profonde, che forniscono vulnerabilità ed opportunità di azioni illegali	Alto Spesso in siti esposti e vulnerabili a venti forti e onde alte
Acquacoltura estensiva	Da medio ad alto Solitamente con ampia estensione non facile raccolta rifiuti	Da basso a medio Poche strutture e di plastica, gransì e solitamente in posizioni fissi (eccetto le lenze)	Da basso a medio Le poche strutture utilizzate possono essere riciclate (eccetto le lenze)	Alto Costi elevati per ripristinare l'ambiente.	Da basso a medio Principalmente gestiti da grandi aziende con gestione e formazione delle risorse umane.	Basso Volume di plastica utilizzata limitato e smaltimento opportunità	Alto Vulnerabile alle mareggiate e alle inondazioni e tempeste provenienti dall'entroterra.
Mulluschicoltura	Alto Raccolta dei rifiuti impegnativa	Alto Indipendente dal sito, è complesso l'ormeggio e difficile poiché spesso viene utilizzato da molti utenti	Medio Filari e boe fatti con materiali riciclabili. Reti meno facili, ma possibile, da riciclare.	Basso Relativamente facile da smantellare e riutilizzare i componenti in altri siti.	Medio Di solito piccoli operatori con risorse umane limitate gestione.	Alto Spesso in luoghi remoti e per risparmiare i costi dello smaltimento. In particolare per le retine dei mitili	Alto Spesso in siti esposti e vulnerabili a venti forti e onde alte

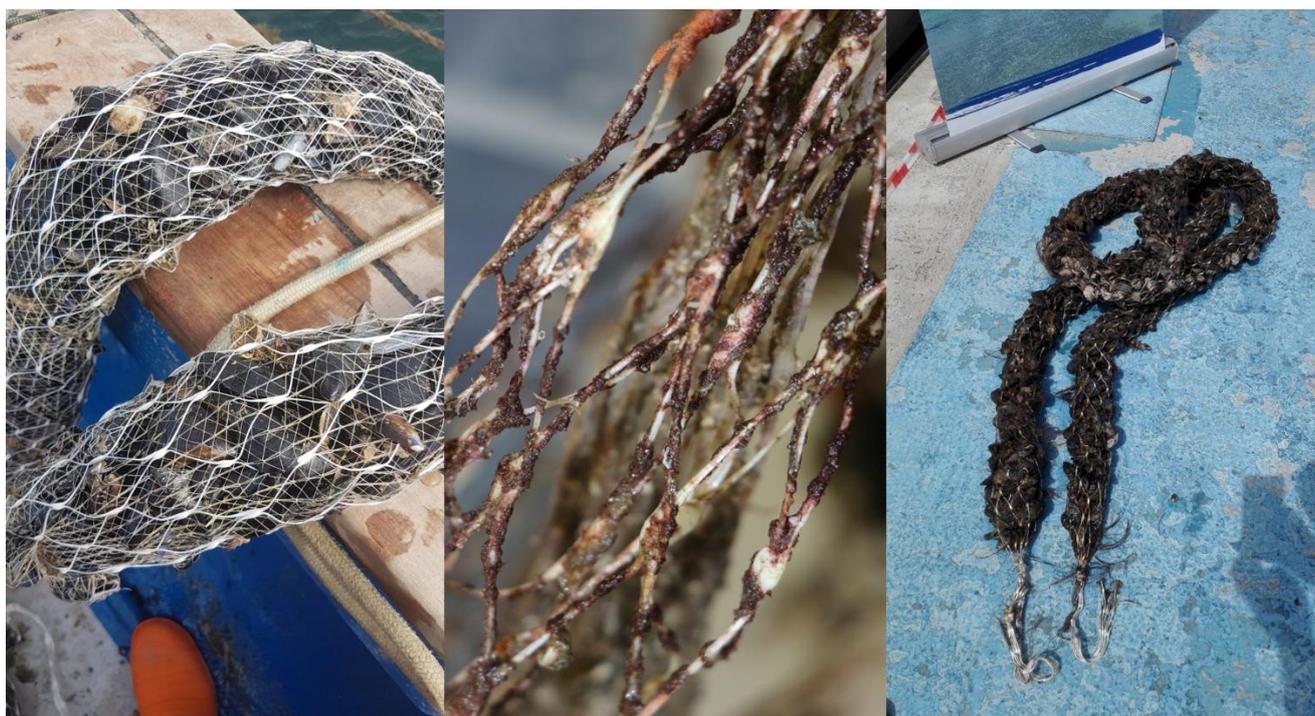
2.3 La problematica delle calze in mitilicoltura

Un problema limitato alla sola mitilicoltura, ma non meno importante, è rappresentato dalle calze utilizzate nell'allevamento dei molluschi bivalvi. Le reti in polipropilene (PP) usate per l'allevamento delle cozze sono considerate una delle prime cause di rifiuti marini di plastica nel Mar Mediterraneo e sono state ritrovate sia sui fondali che lungo le spiagge, a causa della perdita dovuta a mareggiate oppure all'abbandono in mare di quelle non più utilizzabili dopo l'operazione di rinalzo dei mitili. Nelle aree costiere ad elevata presenza di mitilicoltura, le calze spiaggiate e quelle presenti sui fondali possono creare problemi di natura biologica oltre che quelli generali rappresentati dalle plastiche a mare. In queste aree le calze da mitilicoltura possono rappresentare percentuali anche superiori ad un terzo del totale delle plastiche presenti nei rifiuti spiaggiati, con un impatto importante su tutto il litorale e sulle attività presenti. La produzione mondiale di cozze ha raggiunto 2,14 milioni di tonnellate nel 2016, un quarto delle quali in Europa (FAO), la produzione annuale in Italia è di \approx 80.000 tonnellate e 700/1000 tonnellate di calze in PP vengono consumate annualmente per l'innesto e allevamento.

Le cozze sono prodotte con un sistema "long-line" dove i molluschi sono tenuti in calze tubolari di PP nel mare, dove gli animali possono filtrare le microalghe. Questa attività di acquacoltura non richiede mangime ed è estremamente ecologica. Tuttavia, con l'intensificazione delle produzioni, l'uso di calze PP è diventato sempre più una minaccia ambientale. Durante il ciclo di vita delle cozze, le calze PP vengono sostituite almeno due volte e durante questa operazione in loco, una parte di esse viene spesso persa in mare. 4.470 calze di cozze sono state trovate in 27 delle 60 spiagge monitorate da Legambiente nel 2017. Secondo il report DeFishGear "*Marine Litter Assessment in the Adriatic and Ionian Seas*", in Italia le calze per le cozze sono state il 3° elemento più abbondante registrato sul fondo del mare (8,4%). Il lungo tempo di degradazione del PP fa in modo che le calze permangano in mare per centinaia di anni trasformandosi da macro a micro e nanoplastiche con gravi impatti sulla fauna marina. A causa del materiale organico aderito alle calze PP, queste sono classificate come rifiuti speciali "non pericolosi" con il codice CER (020104) rendendo il loro corretto smaltimento costoso per i mitilicoltori (3-5 centesimi/kg).

In considerazione del materiale (PP) di cui sono composte e delle condizioni in cui arrivano alla fase di smaltimento (incrostazioni di materiale biologico contenente sale, il cosiddetto *fouling*) questi rifiuti non sono riciclabili e quindi rappresentano un ulteriore quantitativo di materiale che deve essere gestito in maniera non specifica, con relativi costi a carico delle amministrazioni locali.

Attualmente molti Comuni hanno un accordo con i mitilicoltori per ottenere lo sbarco delle calze non più utilizzate e per cercare di coprire i costi di smaltimento. Dove il Comune non è intervenuto, i molluscoltori, in maniera singola o associata, si sono rivolti a servizi forniti da operatori commerciali per adempiere alla corretta gestione dei propri rifiuti. La situazione necessita di interventi specifici sia in termini di informazione e coinvolgimento degli operatori che come raccolta delle calze già presenti nell'ambiente. Per ovviare all'aumento dei rifiuti da smaltire, le imprese di molluschicoltura, anche tramite le associazioni di rappresentanza, stanno cercando di trovare soluzioni alternative partecipando a progetti di ricerca mirati a individuare sistemi di allevamento che non prevedano l'utilizzo di calze in polipropilene, come ad esempio la tecnica neozelandese, oltre all'individuazione di materiali biodegradabili o compostabili in sostituzione di quelli attualmente in uso.



3 POLIMERI A BASE BIOLOGICA E BIODEGRADABILI

3.1 Proprietà e tipologie

Spesso il termine bioplastica viene spesso usato dal pubblico in modo improprio e generalizzato. Il termine 'bioplastica' si riferisce sia alla origine *bio-based* o alla proprietà di essere biodegradabile di un polimero plastico. Questi due aspetti non sono sinonimi quando ci si riferisce ad un polimero, e per questo il termine 'bioplastica' crea molta confusione. Proprio come i polimeri a base fossile, quelli *bio-based* sono disponibili in molti gradi con un'ampia varietà di proprietà e possono essere biodegradabili oppure no. Tuttavia anche quando una plastica è biodegradabile, ciò non implica affatto che il materiale si degradi nell'ambiente in un breve periodo di tempo.

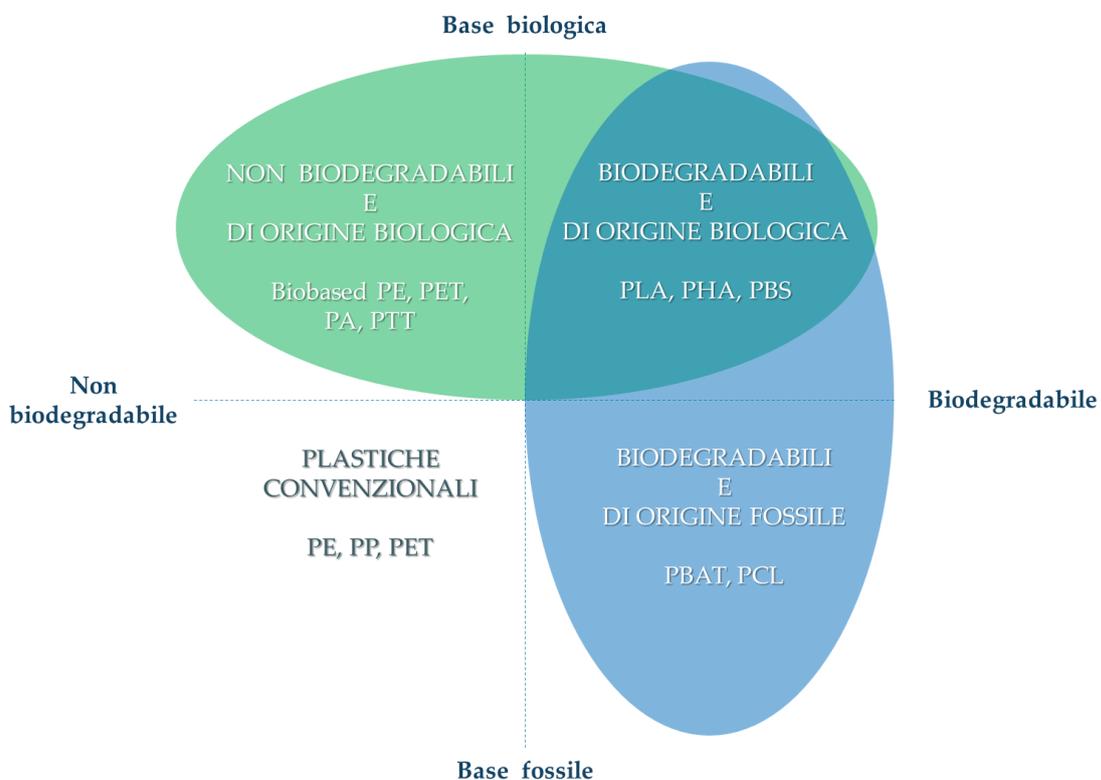


Figura 1. Schematizzazione della classificazione dei polimeri in base alla loro origine e biodegradabilità.

L'uso di polimeri a base biologica e biodegradabili è stato proposto da "Green Chemistry" come possibile soluzione al crescente problema dell'inquinamento da plastica, come possibili sostituti dei polimeri non biodegradabili (RameshKumar et al., 2020). Di conseguenza, la domanda globale e la produzione di bioplastiche sono in rapido aumento, e sono attualmente utilizzate per diverse applicazioni (Ashter, 2016) come imballaggi, borse da trasporto e casalinghi, agricoltura e nanotecnologie (ad esempio applicazioni biomediche, elettroniche ecc.), ma anche per la pesca e l'acquacoltura come reti biodegradabili, galleggianti e imballaggi per frutti di mare (Farjania and

Anoosheha, 2015; Hall, 2011; Kim et al., 2016). La capacità produttiva globale di bioplastiche è destinata a raggiungere circa 2,44 milioni di tonnellate nel 2022. La degradazione dei polimeri dipende dalla struttura dei polimeri, dalle loro proprietà fisiche e dalle condizioni ambientali. La maggior parte delle plastiche si degradano sotto la luce (UV), l'ossigeno o temperature elevate (Deconick and De Wide, 2013). La biodegradazione è una forma di degradazione che avviene a partire da microrganismi che rompono le catene polimeriche assimilabili come fonte alimentare, quindi la biodegradabilità ideale è quando la plastica si comporta come altri materiali organici nel terreno, degradando così in un lasso di tempo ragionevole, senza residui di sottoprodotti recalcitranti. La definizione di polimeri biodegradabili (BDP) data dagli standard internazionali disponibili è: "polimeri in grado di subire la decomposizione in anidride carbonica, metano, acqua, composti inorganici, o biomassa in cui il meccanismo predominante è l'azione enzimatica dei microrganismi, che può essere misurata da test standardizzati, in un determinato periodo di tempo, che riflettono le condizioni di smaltimento disponibili" (ISO-DIS17088, EN13432 e ASTM-D6400). Le plastiche biodegradabili sono definite dalla Commissione Europea come: "(...) *entirely degraded by biological activity (compostable) without leaving behind any residue. They can be manufactured from renewable materials and fossil fuels, as well as mixtures of those*" (European Commission, 2022). Pertanto, i BDP sono progettati per facilitare la loro decomposizione e per ridurre la loro persistenza nell'ambiente, il che significa che i frammenti di peso molecolare inferiore sono prodotti da cambiamenti significativi della struttura chimica (Song et al., 2009), con conseguente erosione superficiale come primo fenomeno, causando la depolimerizzazione e la successiva assimilazione dei monomeri prodotti dai microrganismi. L'efficienza di questo processo dipende sia dalle proprietà del polimero che dalla condizione a cui è esposto. Gli standard dell'American Society for Testing and Materials (ASTM) di biodegradazione specificano che un periodo di tempo pratico per la biodegradazione delle plastiche biodegradabili in un compost industriale o in un ambiente marino è di solito una stagione di crescita o 180 giorni. Tuttavia, questi standard si riferiscono principalmente a condizioni ideali di smaltimento con temperature elevate e un alto numero di microrganismi specifici degradanti, ma queste condizioni si possono trovare solo nei compost industriali controllati, e sono molto probabilmente impossibili da verificarsi in ambiente marino, dove la degradazione potrebbe essere estremamente lenta, (Andrady, 2003; Barnes et al., 2009; Tosin et al., 2012), soprattutto nei fondali marini dove la luce e la temperatura sono più basse, i sedimenti e le incrostazioni coprono i frammenti plastici, ma anche perché i microrganismi marini degradanti sono diversi da quelli terrestri. Pertanto, attualmente non esiste uno standard internazionale che

definisca adeguatamente la biodegradazione e la tossicità delle plastiche biodegradabili in ambienti marini (UNEP, 2015). Tuttavia, poiché i biopolimeri sono stati sviluppati per essere utilizzati ed applicati in ambiente terrestre, risulta indispensabile un'adeguata conoscenza sulla loro degradazione in ambiente marino e sul loro potenziale impatto sugli organismi. In tabella 4, vengono riportate le terminologie utilizzate in merito a biopolimeri e degradazione, poiché spesso i termini sono utilizzati in modo improprio e attribuiti a prodotti che non presentano le caratteristiche relative al termine utilizzato.

Tabella 4. Termini e definizioni.

TERMINE	DEFINIZIONE
Bioplastiche	Plastiche che (1) sono biodegradabili; o (2) possono o non possono essere degradabili ma sono prodotte da materiali biologici o materie prime rinnovabili.
Plastiche a base biologica (bio-based)	Plastiche derivate almeno in parte da fonti rinnovabili di carbonio come la materia vegetale. Plastiche parzialmente <i>bio-based</i> (o ibride) contengono sia carbonio rinnovabile che convenzionale basato su combustibili fossili.
Biocompatibile	Materiali che non sono dannosi per gli organismi viventi.
Biodegradabili	I materiali biodegradabili possono essere scomposti in componenti monomerici o polimerici, tra cui biomassa, acqua e anidride carbonica o metano, tramite microrganismi. In un contesto industriale i materiali biodegradabili sono veramente compostabili e possono essere quasi interamente convertiti in rifiuti benigni entro pochi mesi in una compostiera.
Compostabile	I materiali compostabili possono essere decomposti attraverso processi biologici artificialmente controllati artificialmente usando miscele standard industriali di microrganismi.
Digestori/Compostatori	Ambienti controllati per permettere la biodegradazione dei rifiuti con tempi prestabiliti nell'industria.
Plastiche degradabili in ambiente marino	Plastiche sia a base di combustibili fossili che a base biologica, che possono essere degradate in anidride carbonica e acqua in un ambiente marino per mezzo di calore, luce o microrganismi.
Materiali non tossici/tossici	Materiali con costituenti residui, componenti lisciviati o prodotti di degradazione che sono dannosi per gli organismi viventi.
Plastica	Materiali polimerici principalmente di origine sintetica o semisintetica; più comunemente derivati da combustibili fossili.
Fonte rinnovabile	Una risorsa che può essere utilizzata e reintegrata (attraverso mezzi naturali) continuamente, come la biomassa.

* modificata da Atiwesh et al 2021

3.2 Degradazione dei biopolimeri in ambiente marino

Molti fattori possono influire sulla biodegradazione marina, tra cui la temperatura dell'acqua, il pH, i livelli di ossigeno, la presenza di *biofouling*, il tipo di resina plastica, gli additivi, la forma, la porosità e lo spessore dei materiali (Tsuji and Suzuyoshi, 2003, 2002). Sono disponibili pochi dati sulla biodegradazione dei polimeri biodegradabili nell'ambiente marino, soprattutto per quanto riguarda la riproduzione delle condizioni naturali. O'Brine & Thompson, (2010) valutano la degradazione marina di 4 tipi di polimeri, tra cui i polimeri biodegradabili convenzionali sintetici e a base biologica. Tutti i polimeri sono stati impiegati appena sotto la superficie del mare per un periodo di 40 settimane. Il risultato non ha mostrato quasi nessuna riduzione superficiale per il PE convenzionale e il PE oxo-biodegradabile, anche se tutti hanno perso una certa resistenza alla trazione, mentre il biopolimero è stato completamente perso dopo 16 settimane. Uno studio di Green (1994) sulla biodegradazione dei poliidrossialcanoati (PHA) nell'ambiente marino, ha dimostrato la biodegradazione marina secondo gli standard ASTM-D7081 e ASTM-D6691. È stato riportato che la degradazione marina della plastica può essere diversa nei diversi habitat marini a causa delle diverse condizioni fisiche e chimiche. Per esempio, due studi hanno dimostrato che il tasso di biodegradazione dei film di PHA e del policaprolattone è diverso a causa delle variazioni della temperatura atmosferica, in quanto influenza anche il contenuto di ossigeno e di sale, il pH e la comunità dei microrganismi (Heimowska et al., 2017). Un altro studio di Tosin et al., (2012) valuta la disintegrazione (scomparsa visiva), la biodegradazione (consumo di ossigeno) e il decadimento delle proprietà meccaniche dei sacchetti in bioplastica (Mater-Bi®) sepolta sotto la zona di marea simulata, il dominio bentonico e pelagico. Il materiale di prova raggiunge la totale disintegrazione in meno di 9 mesi quando è sepolto nella sabbia bagnata (test di simulazione della zona di marea), perde le proprietà meccaniche ma mantiene comunque l'integrità quando è esposto all'acqua di mare in un acquario (simulazione del dominio pelagico), e sostanzialmente biodegrada (69% in 236 giorni) quando si trova all'interfaccia sedimento/acqua marina (simulazione del dominio bentonico). Questo studio conclude che l'efficienza della biodegradazione nell'ambiente marino può essere diversa nei sei habitat marini (zone sopralitorali, eulitorali, sublitorali, sublitorali, fondali marini profondi e nei sedimenti anossici). In particolare, sul fondo marino profondo il deterioramento è molto più lento, mentre la degradazione nell'habitat pelagico è più efficiente rispetto all'habitat eutrofico, in quanto l'idrolisi che avviene nell'acqua di mare avviene più lentamente che nell'acqua dolce perché l'acqua è molto più attratta dal sale nell'oceano che dai polimeri relativamente idrofobici. Accinelli et al., (2012) indagano il deterioramento dello stesso polimero (sacchetti in

Mater-Bi®) in due ecosistemi acquatici contrastanti, una palude litoranea e il mare Adriatico, riportando un deterioramento minimo rispetto alle condizioni del suolo e del compost. In un altro studio, al fine di confrontare la biodegradabilità delle bioplastiche in condizioni di laboratorio e reali, è stata studiata la biodegradazione delle bioplastiche PHB e PHBV in acqua di mare sia in condizioni statiche che dinamiche con/senza sedimenti. Per entrambe le bioplastiche, la percentuale di perdita di peso è stata la stessa sia in condizioni statiche che dinamiche, anche se la perdita di peso è stata minore in condizioni dinamiche piuttosto che statiche, e l'aggiunta di sedimenti potrebbe avere un effetto favorevole sulla biodegradazione, tuttavia, non è stato possibile determinare una correlazione definita (Thellen et al., 2008). Uno studio di Eubeler del 2010, ha testato la degradazione di diversi polimeri (PVP, PEG, Ecoflex ed Ecovio) sia con acqua di mare sintetica (incluso l'inoculo batterico) che con acqua marina nativa secondo diversi metodi (ASTM, ISO, OCSE) fino a 200-300 giorni, e ha confrontato i risultati con quelli ottenuti in acqua dolce, suolo e compost. Ha riportato che i test marini hanno mostrato a livello globale una biodegradazione più bassa rispetto all'acqua dolce, al suolo e al compost e che può alterare la domanda di ossigeno all'interno dei sedimenti e all'interfaccia tra i sedimenti e l'acqua di mare. Alvarez-Zeferino e collaboratori (2015) hanno valutato la degradazione (secondo lo standard ASTM D6691-09) delle plastiche oxodegradabili (Ecoflex®) e compostabili (Ecovio®) in ambienti marini. I test sono stati eseguiti con e senza precedenti simulazioni di invecchiamento per 48 giorni con un inoculo marino, e hanno dimostrato che entrambe le plastiche raggiungono tassi di biodegradazione molto bassi pur presentando un tasso di perdita di integrità fisica più elevato. Questa combinazione di fenomeni potrebbe portare alla loro frammentazione prima che si verifichi una biodegradazione significativa. Il California Department of Toxic Substances Control e il California Department of Resources Recycling and Recovery hanno condotto uno studio di ricerca in collaborazione con la California State University Chico Research Foundation per comprendere la biodegradazione dell'acido polilattico (PLA) e del poliidrossialcanoati (PHA) nell'ambiente marino e per studiare il rilascio di sottoprodotti chimici intermedi pericolosi durante la biodegradazione. Lo studio è stato eseguito secondo gli standard ASTM per l'ambiente marino (fino a 12 mesi a 30°C). Dopo sei e dodici mesi di test, i risultati hanno mostrato che i campioni di PHA e il campione di cellulosa (controllo positivo) si sono biodegradati in anidride carbonica più del campione di PLA e del sacchetto di plastica in polietilene (controllo negativo). Il biogas da biodegradazione di PHA era presente nel contenitore con PHA ma non nel contenitore con PLA. Inoltre, i frammenti di PLA e PHA biodegradati non sono risultati contenere alcun sottoprodotto pericoloso, ad esempio piombo, cadmio, DDT, o ftalati, ecc. Inoltre, i test hanno

dimostrato che i campioni di PLA e PHA non hanno rilasciato sostanze chimiche tossiche rilevabili nell'acqua marina (analisi ATR FTIR ma non chimiche) (CalRecycl, 2012). Come già detto, anche le proprietà fisiche del polimero, come la sua forma, possono alterare il grado di biodegradazione nell'acqua marina. I film di PHA si degradano più velocemente dei pellet di PHA a causa della loro maggiore superficie. Inoltre, un'interfaccia polimero/acqua più grande può anche facilitare la colonizzazione dei microrganismi sulla superficie del polimero. Inoltre, acque marine diverse potrebbero influenzare la biodegradazione, a seconda dei microrganismi degradanti esistenti (Mabrouk and Sabry, 2001; Suzuki et al., 2021). Concentrandosi sulla potenziale degradazione della plastica biodegradabile all'interno del tratto digerente degli animali una volta ingerite, solo uno studio di Müller et al., (Müller et al., 2012) si è concentrato sull'alterazione di tre tipi comuni di borse della spesa (plastica standard e degradabile, e plastica biodegradabile (Mater-Bi®)), nei fluidi gastrointestinali delle tartarughe marine (*Caretta caretta*-onnivora e *Chelonia mydas*-erbivora). Il tasso di degradazione è stato misurato su 49 giorni, sulla base della perdita di massa. I sacchetti di plastica standard e quelli degradabili non si sono degradati in tutti i trattamenti e controlli, mentre i sacchetti biodegradabili hanno mostrato perdite di massa tra il 3 e il 9% (un tasso molto più lento rispetto ad una situazione di compostaggio industriale dove le perdite di massa sono del 100% in 49 giorni, e un tasso molto più basso rispetto alla digestione della materia vegetativa naturale). Tuttavia, la maggiore frammentazione delle plastiche biodegradabili nell'ambiente marino può essere allo stesso tempo un fattore positivo e uno negativo, in quanto può facilitare l'interfaccia di contatto tra microrganismi e polimeri, ma può anche potenzialmente aumentare l'assorbimento degli inquinanti presenti nell'acqua di mare, così come il desorbimento degli additivi chimici, e contemporaneamente può aumentare le interazioni con gli organismi marini (GESAMP, 2016). Per garantire la degradazione dei materiali polimerici in acqua di mare, sono state adottate diverse strategie: la creazione di nuovi polimeri con un profilo selettivo di degradazione in acqua di mare devono essere progettati o i tassi di degradazione di altri polimeri degradabili devono essere accelerati mediante miscelazione o modifiche chimiche. A causa della bassa temperatura e alla mancanza di microrganismi adatti nell'acqua di mare, il processo di idrolisi come fase determinante della velocità è notevolmente rallentato e ostacola la fase successiva di assimilazione da parte dei microorganismi. Pertanto, la chiave per promuovere la biodegradazione in acqua di mare è quello di accelerare il processo di idrolisi, in cui il polimero ad alto peso molecolare viene trasformato in piccoli oligomeri o monomeri solubili (Wang et al., 2021).

3.3 Effetti ecotossicologici dei biopolimeri sugli organismi marini

I test di tossicità standard disponibili (principalmente linee guida europee dell'OCSE), per la maggior parte dei polimeri biodegradabili, si riferiscono principalmente alla fauna del compost/terreno (ad es. lombrico *Eisenia fetida*), ai microrganismi del compost/terreno (ad es. assorbimento di ossigeno microbico Polytox, bioluminescenza microbica Microtox), alle piante terrestri (e ad es. test di germinazione), crostacei d'acqua dolce (ad es. *Daphnia*). La conoscenza degli effetti dell'esposizione alla miscela di sostanze che possono essere rilasciate da prodotti plastici a composizione complessa è molto limitata (Subramani et al., 2014). Di conseguenza, la tossicità dei polimeri degradabili nell'ambiente marino, dove è principalmente legata ai possibili sottoprodotti di degradazione, residui recalcitranti e/o additivi, è ancora sconosciuta. Inoltre, nell'ambiente marino per molti prodotti plastici la lisciviazione di sostanze chimiche dai materiali plastici è più probabile che avvenga a basse concentrazioni in un periodo di tempo prolungato, e in molti casi anche sotto l'influenza della degradazione (sia in acqua di mare che all'interno degli organismi). Questo potrebbe portare ad un aumento degli effetti sub letali causati da una contaminazione lenta e cronica che potrebbe interessare anche a livello ecologico. Per quanto riguarda i materiali biodegradabili sono ancora pochi gli studi che indagano tali interazioni. Il recente lavoro di Magni et al. (Magni et al., 2020) mette a confronto gli effetti dati dall'ingestione di due polimeri, una plastica convenzionale (PVC) ed una biodegradabile (Mater-Bi), nel mollusco bivalve *D. polymorpha*. Dopo un'esposizione di 14 giorni è stata indagata la presenza di tali polimeri all'interno dei tessuti, ed un set di biomarkers di stress cellulare, danno ossidativo e genotossicità. Le osservazioni con tecniche di microscopia avanzata hanno evidenziato assenza di entrambi i polimeri nei tessuti, ma presenza di micro-detriti sia di PCV che Mater-Bi nelle pseudo-feci, facendo ipotizzare un possibile meccanismo di eliminazione da parte dei bivalvi. Di conseguenza, per entrambe le esposizioni non sono stati osservati effetti sub-letali significativi.

4 NORMATIVA RIGUARDANTE IL *MARINE LITTER*

4.1 La normativa comunitaria

L'Unione Europea ha emanato la direttiva 2019/904/UE sulla riduzione dell'incidenza di determinati prodotti di plastica sull'ambiente (EU Plastic Strategy), pubblicata sulla Gazzetta ufficiale dell'UE del 12 giugno 2019. Tale direttiva, che è stata recepita dai Paesi membri, si applica ai prodotti di plastica monouso elencati nell'allegato alla direttiva stessa, nonché ai prodotti di plastica oxo-degradabile e agli attrezzi da pesca contenenti plastica. Le nuove norme adottate dall'UE, al fine di frenare il consumo di plastica monouso e ridurre il *marine litter*, in linea con gli obiettivi enunciati nella Comunicazione "Strategia europea per la Plastica nell'economia circolare", prevedono, in particolare:

- l'adozione di misure per conseguire una riduzione duratura del consumo dei prodotti di plastica monouso e, in particolare, il divieto di immissione sul mercato dei prodotti di plastica monouso elencati nella parte B dell'allegato (bastoncini cotonati, piatti e posate, cannucce, agitatori per bevande, contenitori per alimenti e bevande e relativi tappi e coperchi, etc.) e dei prodotti di plastica oxo-degradabile;
- specifici requisiti dei prodotti e di marcatura degli stessi;
- regimi di responsabilità estesa dei produttori riguardanti i costi di rimozione dei rifiuti;
- obiettivi di raccolta differenziata per il riciclaggio delle bottiglie di plastica del 77% entro il 2025 e del 90% entro il 2029.

La direttiva UE sulla riduzione dell'impatto della plastica sull'ambiente si concentra sulla plastica monouso e sugli attrezzi da pesca. L'introduzione di uno schema obbligatorio di responsabilità estesa dei produttori (EPR) fa parte dell'attuazione proposta.

Questa legislazione europea introduce nuovi e ulteriori requisiti per la gestione dei rifiuti provenienti dal settore della pesca commerciale. Attualmente, gli Stati membri e le parti contraenti delle Convenzioni dei mari regionali (OSPAR, HELCOM, ecc.) stanno discutendo se i nuovi regolamenti sugli attrezzi da pesca includano anche il settore della pesca ricreativa e dell'acquacoltura.

Tuttavia, gli attrezzi da pesca/acquacoltura abbandonati, persi e scartati (ALDFG) non sono stati finora presi in considerazione.

La "visione per un'economia circolare della plastica" deve promuovere investimenti in soluzioni innovative e trasformare le sfide di oggi in opportunità, e in relazione al settore dell'acquacoltura,

include l'obiettivo: di ridurre significativamente i rifiuti marini provenienti da fonti marine come le navi, la pesca e l'acquacoltura.

Entro il 2030, più della metà dei rifiuti plastici generati in Europa dovrebbe essere riciclata. Grazie al miglioramento della raccolta differenziata e all'investimento nell'innovazione, nelle competenze e nell'aumento delle capacità, l'esportazione di rifiuti di plastica scarsamente selezionati verrebbe gradualmente eliminata. La plastica riciclata diventerebbe una materia prima sempre più preziosa per le industrie, sia in patria che all'estero.

Inoltre, la recente direttiva (UE) 2019/904 sulla riduzione dell'impatto di alcuni prodotti di plastica sull'ambiente considera gli attrezzi da pesca contenenti plastica e i prodotti in plastica oxo-degradabile, insieme agli oggetti plastici monouso (SUP), una questione critica nel contesto dei rifiuti marini, in quanto possono supporre un grave rischio per gli ecosistemi marini, per la biodiversità e per la salute umana, oltre a causare danni a molteplici attività come il turismo, la pesca e la navigazione.

La direttiva UE specifica che ogni Stato membro deve stabilire sistemi EPR per gli attrezzi da pesca contenenti plastica, coprendo tutti i costi relativi alla gestione dei rifiuti, alla pulizia dei rifiuti e alle misure di sensibilizzazione. Pertanto, c'è un chiaro coinvolgimento delle istituzioni europee sulla prevenzione e la riduzione dei rifiuti marini di plastica legati all'acquacoltura. In questo contesto, è necessario sottolineare che queste politiche europee sono la cornice in cui si prevede l'espansione del settore dell'acquacoltura sostenibile della regione. Di conseguenza gli Stati membri dovrebbero adottare misure volte a fermare la dispersione di rifiuti nell'ambiente marino contribuendo in tal modo al conseguimento dell'obiettivo dell'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile cioè quello di prevenire e ridurre in misura significativa, entro il 2025, l'inquinamento marino di tutti i tipi, in particolare i rifiuti provenienti da attività svolte sulla terraferma, inclusi i rifiuti marini e l'inquinamento da sostanze eutrofizzanti. Nel marzo 2020 la Commissione Europea ha pubblicato una Comunicazione (COM (2020) 98) "Un nuovo piano d'azione per l'economia circolare per un'Europa più pulita e più competitiva" finalizzato alla trasformazione industriale per il conseguimento degli obiettivi di un'economia circolare e a impatto climatico zero. Il settore delle materie plastiche insieme a quello tessile, dell'edilizia, della meccanica e dell'elettronica è annoverato tra gli ambiti ove si dovranno approntare il maggior numero di interventi. In particolare, saranno approntate misure per contrastare l'aggiunta intenzionale di microplastiche ai prodotti e le emissioni non intenzionali di materie plastiche, ad esempio dall'abrasione dei tessuti e degli pneumatici, e in generale è prevista la riduzione della presenza di sostanze pericolose nei rifiuti.

Si dovrà inoltre garantire che entro il 2030 sia dimezzata la quantità di rifiuti urbani non riciclati e tutti gli imballaggi presenti sul mercato dell'UE siano riutilizzabili o riciclabili in modo economicamente sostenibile. La direttiva prevede, inoltre, un quadro normativo per le plastiche biodegradabili ed a base biologica, oltre ad attuare misure sulla plastica monouso. Prevede quindi l'individuazione di mercati per le materie derivate dal riciclo dei rifiuti (materie prime secondarie), e la modifica della definizione di rifiuti una volta entrati nel sistema di riciclo.

4.2 Le norme nazionali

Nel programma di misure Italiane in attuazione dell'art. 13 della Direttiva Quadro 2008/56/CE, recepita nell'ordinamento nazionale con il D. Lgs. 190/2010, sono incluse misure finalizzate alla riduzione dei rifiuti marini. Queste in particolare prevedono: progettazione e realizzazione di misure volte a migliorare la gestione dei rifiuti generati dalle attività di pesca e acquacoltura, incluse le attrezzature dismesse, favorendone, laddove possibile, il riutilizzo, il riciclaggio ed il recupero (misura 10). Tale misura è volta a favorire la corretta gestione dei rifiuti generati dalle attività di pesca e acquacoltura (in particolare la molluschicoltura), al fine di prevenirne l'abbandono in mare o sui litorali. Si propone inoltre di ottimizzare le modalità di conferimento dei rifiuti generati dalle attività di pesca e acquacoltura, incluse le attrezzature dismesse, nell'ambito del sistema di smaltimento dei rifiuti nei porti di cui al D. Lgs. 182/2003, nel rispetto degli obblighi di conferimento stessi, inclusi studio, progettazione e creazione di una filiera di raccolta e smaltimento dei rifiuti raccolti accidentalmente dai pescatori (misura 11).

Alcune iniziative finalizzate alla riduzione delle plastiche e dei rifiuti marini sono state adottate a livello nazionale. Da ricordare, in particolare, la normativa sul divieto di utilizzo di shopper non biodegradabili e compostabili, introdotta in Italia e resa operativa in conformità alla disciplina europea (direttiva 2015/720/UE), dall'art. 9-bis del D.L. 91/2017. Inoltre, i commi 543-548 della legge di bilancio 2018 (L. 205/2017) anticipano, almeno in parte, i contenuti della successiva Direttiva emanata dalla Commissione europea.

I commi citati riportano disposizioni finalizzate alla promozione della produzione e della commercializzazione dei bastoncini per la pulizia delle orecchie in materiale biodegradabile e compostabile, nonché dei prodotti cosmetici ad azione esfoliante o detergente che non contengano microplastiche. Sono stati inoltre introdotti divieti di commercializzazione di questi prodotti con decorrenze differenziate (1° gennaio 2019 per i cotton-fioc, 1° gennaio 2020 per i cosmetici), nonché sanzioni da applicare ai trasgressori.

4.3 Normativa per la gestione delle calze da molluschicoltura

Dal punto di vista normativo, anche la gestione dei rifiuti costituiti dai residui delle calze da mitilicoltura è regolata dal D. Lgs 182/2003, che non ha trovato piena attuazione se non nei grandi porti dove è presente l'Autorità portuale. La nuova direttiva europea 2019/883, recepita con D. Lgs. n. 197/2021 ed in vigore dal dicembre 2021, rappresenta una buona occasione per migliorare la gestione dei rifiuti nei porti non commerciali, in quanto prevede la loro integrazione nel sistema di gestione comunale. Tuttavia, non vi sono specifiche indicazioni sul trattamento e smaltimento delle calze da molluschicoltura e la loro possibile assimilazione ai rifiuti prodotti dalle navi, vista la differente modalità di formazione del rifiuto.

Inoltre, un elemento da considerare per la corretta gestione di questo rifiuto prodotto dalla lavorazione dei mitili è che le imprese di acquacoltura, mitilicoltura compresa, sono considerate imprese agricole ai sensi dell'art. 2135 del Codice Civile. Come impresa agricola, l'impresa di molluschicoltura potrebbe beneficiare di alcune opportunità offerte dalla legislazione, quali la possibilità di definire dei depositi temporanei dei rifiuti in siti nella disponibilità giuridica della cooperativa agricola, la possibilità di movimentare i rifiuti verso il deposito temporaneo, purché entro i 10 km dal punto di sbarco, la possibilità di delegare alla tenuta e alla compilazione del formulario di identificazione la cooperativa stessa.

Recentemente, il governo ha stabilito "Il Piano strategico per l'acquacoltura italiana", che ha rappresentato lo strumento di governo per la pianificazione delle attività di acquacoltura in Italia per il periodo 2014 - 2020. Il Piano rispondeva alla necessità richiesta dalle nuove politiche europee sull'acquacoltura e per perseguire gli obiettivi di innovazione e crescita "intelligente, sostenibile e inclusiva" sostenuti dalla Strategia Europa 2020 e dalla Crescita Blu (*Blue growth*). Il Piano individuava 4 aree strategiche di intervento a livello nazionale e fissava gli obiettivi attesi di crescita economica, equità sociale e uso responsabile delle risorse ambientali. Si tratta di un documento elaborato con un intenso percorso partecipativo, che presenta la visione congiunta dell'Amministrazione centrale, delle Regioni e degli stakeholder a vario titolo coinvolti fin dall'inizio nel processo preparatorio.

Gli obiettivi specifici del piano sono:

- Sostegno al rafforzamento dello sviluppo tecnologico, dell'innovazione e del trasferimento delle conoscenze;
- Rafforzamento, competitività e redditività delle imprese di acquacoltura;
- Sviluppo di nuove competenze professionali e apprendimento permanente;

- Miglioramento dell'organizzazione del mercato dei prodotti dell'acquacoltura;
- Promozione di un'acquacoltura sostenibile ed efficiente sotto il profilo dell'uso delle risorse;
- Promozione di un'acquacoltura che garantisca un alto livello di protezione ambientale, salute, benessere animale e sicurezza pubblica;
- Rafforzare la capacità istituzionale e semplificare le procedure amministrative.

Uno degli obiettivi del piano è l'identificazione delle aree destinate allo sviluppo dell'acquacoltura, che sarà basata su indicatori ambientali, sistemi GIS, protocolli di monitoraggio ambientale e modelli di impatto, e la definizione di standard di qualità ambientale.



5 CASI DI STUDIO SULL'UTILIZZO DEI MATERIALI ALTERNATIVI IN ACQUACOLTURA: PROGETTI ED ATTIVITÀ

L'uso di plastiche biodegradabili come alternativa alle plastiche tradizionali affronta alcune sfide per l'applicazione e l'utilizzo in acquacoltura. Per cominciare, le plastiche biodegradabili sono più costose e hanno proprietà meccaniche inferiori (ad esempio la resistenza a condizioni difficili) rispetto alle materie plastiche tradizionali (Alvater et al., 2020; De Raedemaeker et al., 2020; Rujnić-Sokele and Pilipović, 2017; Vidal et al., 2020).

Dal punto di vista della sostenibilità, bisogna considerare che i biopolimeri dipendono fortemente dalla disponibilità di terreni agricoli e che il processo di biodegradazione è influenzato dalla temperatura e dalla presenza di microrganismi. In questo contesto, l'ambiente più aggressivo per potenziare il processo è il compost, seguito da suolo, acqua dolce, acqua marina e discarica: solo poche plastiche biodegradabili possono degradarsi in ambienti marini (Rujnić-Sokele e Pilipović, 2017). Tenendo conto di tutti questi fattori, le plastiche biodegradabili e le bioplastiche non sono ancora considerate un'alternativa adeguata alla plastica tradizionale per la produzione di attrezzi per l'acquacoltura.

Questi fattori suggeriscono che, in alcuni casi, gli acquacoltori sono riluttanti ad usare alternative alle reti in plastica convenzionale, e che forse passeranno dalla plastica tradizionale ai biopolimeri o plastiche biodegradabili solo se la *performance* delle reti sarà migliorata ed il loro prezzo ridotto.

Bisogna anche considerare che i livelli di biodegradabilità sono ridotti negli ambienti marini (Rujnić-Sokele e Pilipović, 2017).

Pertanto, in questo contesto il ruolo dei produttori di plastica e di attrezzi per l'acquacoltura è essenziale, per:

- Espandere gli sforzi di ricerca e sviluppo per migliorare le caratteristiche delle plastiche biodegradabili nell'ambiente marino.
- Aumentare il loro livello di produzione una volta migliorate e lanciare campagne di marketing specifiche.

Più questi materiali vengono applicati per produrre attrezzi e attrezzature per l'acquacoltura, più i loro prezzi si ridurranno. In questo scenario, sono fondamentali anche le politiche europee e i programmi di ricerca incentrati sulle plastiche biodegradabili. La Commissione Europea sostiene lo

sviluppo di innovazioni che garantiscano la biodegradabilità di questi materiali e valuterà l'analisi delle condizioni in cui le plastiche biodegradabili sarebbero vantaggiose.

Infatti, l'Unione Europea ha promosso la ricerca sulle plastiche biodegradabili negli ultimi anni, ad esempio attraverso il programma quadro Horizon 2020 (STAR-ProBio, RoadToBio, RefuCoat, BioCando). Pertanto, ci si aspetta che, parallelamente all'espansione della ricerca e sviluppo di plastiche biodegradabili, l'Unione Europea manterrà l'interesse nella ricerca focalizzata sul miglioramento delle loro caratteristiche, spingendo l'industria ad andare avanti con un focus sulla progettazione sostenibile. In base a queste motivazioni, negli ultimi 10 anni alcuni progetti ed iniziative si sono avviate e si stanno avviando allo scopo di migliorare la ricerca sull'utilizzo di materiali alternativi (es. Biopolimeri e cotone) e la loro applicazione in molluschicoltura.

In tabella 5 vengono riportati i principali progetti, nell'arco di tempo 2012-2022, conclusi ed in corso sulla tematica dell'utilizzo di materiali alternativi in acquacoltura, con particolare riferimento alla molluschicoltura. Molti dei progetti ad oggi conclusi non sono giunti alla selezione di specifici biopolimeri o plastiche biodegradabili perfettamente adatti all'utilizzo per le calze da mitilicoltura. In generale, la pratica neozelandese con calze di cotone non risulta molto idonea per tutte le tipologie di acquacoltura e allo stesso modo la selezione dei biopolimeri adeguati necessita ancora di ricerca e sviluppo per ottenere il miglior prodotto. Proprio a questo proposito, un buon numero di progetti è ancora in corso sia a livello nazionale che internazionale (Tab.5).

Inoltre, proprio come gli attrezzi e le attrezzature di plastica menzionati in precedenza, i materiali alternativi possono finire in mare a causa di perdita, rottura o abbandono. Nel quadro della potenziale espansione dell'acquacoltura europea sostenibile, gli eventi meteorologici estremi saranno le principali forze trainanti dell'aumento dei rifiuti marini ad essi collegati.

Nonostante la crescita generale dei rifiuti marini, è possibile prevedere che l'impatto ambientale sia inferiore nel caso di oggetti di materiali biodegradabili come il legno e i tessuti naturali rispetto ai materiali non biodegradabili. Infatti, altri materiali alternativi come: tessuti naturali (principalmente nelle corde), legno (ad esempio, pallet di legno o scatole per il pesce), gomma (ad esempio, guanti e stivali) e metallo (ad esempio, ditali o fusti di metallo per il galleggiamento) (Sandra et al., 2019) devono essere considerati.

Tabella 5. Principali progetti finanziati per l'applicazione di materiali alternativi in acquacoltura nel periodo 2012-2022 (in ordine alfabetico).

Nome progetto	Enti coinvolti	Ente finanziatore	Periodo	Obiettivi del progetto
AQUALIT https://aqua-lit.eu/	GEONARDO, Hungary, EurOcean (PT), IEO (ES), Flanders Marine Institute (BE), Sustainable projects (DE), Regional Fund for Science and Technology (PT), National Sea Centre in Boulognesur-Mer (FR)	EASME-EMFF	2019-2020 Concluso	Aumentare la comprensione, la consapevolezza e la disponibilità di soluzioni per affrontare il littering marino in modo che una potenziale trasformazione verso un settore meno inquinante diventi possibile attraverso attività di sensibilizzazione, learning labs, monitoraggio del litter proveniente dall'acquacoltura, creazione di "best practices". Il progetto si è svolto nel: Mar Mediterraneo, Mare del Nord e Mar Baltico
BIOGEARS https://biogears.eu/	AZTI (Technological Research Centre) (ES), GAIKER (ES), ITSASKORDA (ES), CENTEXBEL (BE), ERINN Innovation (IR)	EMFF-01-2018 Blue Labs: Innovative Solutions for Maritime Challenges by the European Commission's Executive Agency for SMEs (EASME).	2019-2022 In corso	BIOGEARS mira a fornire al settore europeo dell'acquacoltura reti biobased che, sebbene durevoli e adatte allo scopo, si biodegradano in un tempo più breve e possono essere gestite in modo sostenibile dagli impianti di compostaggio locali. Obiettivi specifici: - Sviluppare prototipi di reti biobased ed esaminare il loro potenziale utilizzo nella produzione di cozze e nell'acquacoltura multitrofica integrata (IMTA). - Valutare la sostenibilità dei prototipi di reti biobased, conducendo analisi tecniche, economiche e ambientali delle loro prestazioni nei test in mare, per selezionare i migliori con cui procedere. - Creare un Blue Lab per tracciare l'innovazione nello sviluppo di reti biobased per l'acquacoltura locale e definire azioni per la replicabilità ed applicazione
BioPIAcq	Università di Siena, Novamont, Mitilicoltori spezzini	Regione Toscana - Programma GiovaniSi Novamont	2018-2022 In corso	Valutazione delle degradabilità in mare di biopolimeri per la realizzazione di calze per mitilicoltura. Valutazione dei possibili effetti ecotossicologici dei biopolimeri utilizzati comparati ai polimeri convenzionali Sperimentazione delle retine in biopolimero negli impianti di molluschicoltura
CleanSea https://cleanseaproject.wordpress.com/	Vrije Universiteit Amsterdam (NL), University of Exeter (UK), Deltares (BE), KIMO, ILVO (BE), Denkstatt, Orebro University, University of Aegean (GR), Nilo (NO), Corpus Datamining, Callisto Productions, KC Denmark (DK), ISI, HCMR (GR)	EU H2020 FP7	2013-2016 Concluso	Disegno, produzione e uso di alternative innovative per gli attrezzi per acquacoltura basati su materiali non nocivi e biodegradabili (per esempio calze per mitili in cotone). Raccolta e rimozione di reti vecchie o abbandonate per il riciclo e il riutilizzo in nuovi prodotti. Raccolta dei rifiuti e trasferimento: programma di sanzioni per smaltimento improprio degli attrezzi. Area: Mar Mediterraneo e Mar Baltico.

Plastic Busters MPAs Demo Action https://plasticbustersmpas.interreg-med.eu/	Area Marina Protetta Miramare SCP/RAC (ES)	Interreg Mediterranean	2018-2022 In corso	<p>Identificare le migliori pratiche per la gestione delle reti da mitili (dall'uso e dalla raccolta allo smaltimento finale)</p> <p>Esplorare l'opzione di materiali alternativi per le reti da mitili (ad esempio il cotone) e implementare una soluzione ottimale.</p> <p>I produttori saranno informati di conseguenza per adottare pratiche più rispettose dell'ambiente durante le operazioni di mitilicoltura.</p>
DORY https://www.regione.veneto.it/web/agricoltura-e-foreste/progetto-dory	Regione Marche, Regione Veneto Regione Emilia-Romagna, Regione Friuli Venezia Giulia, CNR-ISMAR, sede di Ancona, Contea di Zara, RERA – Agenzia di Sviluppo, Contee Spalato-Dalmazia (HR), IZOR – Istituto di Oceanografia e Pesca di Spalato (HR)	Interreg Italia-Croazia	2018-2019 Concluso	<p>Utilizzo di calze in biopolimeri in un'area pilota per la capitalizzazione dei risultati ottenuti nel progetto EcoSea:</p> <p>Sperimentazione di una rete denominata "Bio-net" con certificazione di compostabilità secondo EN 13432</p> <p>Sperimentazione di una rete denominata "Green-net" a base di poliidrossialcanoati</p> <p>Sperimentazione della tecnologia denominata neozelandesi con reti in cotone</p>
EcoSea	Regione Veneto, Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Regione Emilia-Romagna, Regione Marche, Regione Abruzzo Regione Puglia, Contea di Promorje e Gorski Kotar (HR), Contea di Zadar (HR), ministero dell'ambiente, delle foreste e dell'acqua dell'Albania	Programma IPA Adriatico 2007-2013 CBC Program	2012-2016 Concluso	<p>Tra le azioni ci sono anche delle azioni pilota sull'uso delle reti per cozze in cotone (metodologia neozelandese) in Puglia e Croazia.</p>
LIFE MUSCLES https://webgate.ec.europa.eu/life/publicWebsite/project/details/5662	Legambiente, Università di Siena, Università di Bologna, Università di Roma "La Sapienza", AMA, Ittica Del Giudice, Società Cooperativa Mitilicoltori Associati, Rom Plastica, Novamont	LIFE ENVIRONMENT 2020	2021-2025 In corso	<p>Avviare la transizione verso un modello economico circolare all'interno del settore della mitilicoltura in due aree pilota (Nord Gargano e La Spezia). Recupero e il riciclo delle calze in PP e la loro sostituzione con nuove calze in biopolimero biodegradabile e compostabile (BP) per aumentare la sostenibilità del settore della mitilicoltura. Validare la fattibilità del riciclo meccanico e organico delle calze BP. Fornire ai mitilicoltori italiani un impianto mobile di riciclaggio. Caratterizzare i materiali PP e BP riciclati per assicurare la loro applicabilità all'interno della filiera della mitilicoltura e di altre filiere/settori produttivi. Sensibilizzare i principali stakeholder, sulla sostenibilità del settore della mitilicoltura. Definire e trasferire buone pratiche per ridurre la dispersione/abbandono di calze PP in mare.</p>

<p>MIAMI Materiali innovativi per l'allevamento mitili http://www.hydracoop.it/progetti/progettomiati</p>	<p>Hydracoop, Università del Salento MytilusTarenti</p>	<p>PO FEAMP 2014-2020 Regione Puglia</p>	<p>2020-2021 In corso</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Individuare un materiale biodegradabile o tecnopolimero alternativo al nylon; -Definire una metodologia di lavorazione del bio-materiale per l'approntamento dell'attrezzatura sperimentale; -Sperimentare l'affidabilità tecnica (deformabilità, resistenza e plasticità) dell'impiego di materie innovative/biopolimeri, per la realizzazione delle calze per la semina e l'allevamento dei mitili; -Sperimentare l'affidabilità tecnica (deformabilità, resistenza e plasticità) dell'impiego materie innovative/biopolimeri, per la realizzazione della bio-rete per l'insacchettamento e confezionamento dei mitili; -Valutazione dell'efficienza tecnica-economica e gestionale dell'adozione dei materiali innovativi nella filiera produttiva dei mitili
<p>SEABIOPLAS https://cordis.europa.eu/project/id/606032/it</p>	<p>Daithi O'murchu Marine Research Station Ltd (IR), Algaplus Producao E Comercializacao De Algas E Seus Derivados Lda (PT), Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (NL), Centro Interdisciplinar De Investigacao Marinha E Ambiental (PT), Iceta Instituto De Ciencias, Tecnologias, Agroambiente Da Universidade Do Porto (PT), Centre D'etude Et De Valorisation Des Algues Sa (FR), Verf- En Vernisfabrieken Herfst En Helder Bv (NL), Sleever Technologies (FR), Agrolabo S.P.A. (IT), Cartron Point Shellfish Ltd (IR)</p>	<p>EU FP7-SME</p>	<p>2013-2015 Concluso</p>	<p>SEABIOPLAS propone le alghe marine come fonte di biopolimeri: offrono vantaggi rispetto alle materie prime tradizionali, tra cui una maggiore produttività, nessuna competizione per l'uso della terra, consumo minimo di acqua, pur avendo un contenuto di zucchero simile e contribuendo alla riduzione delle emissioni di CO2. SEABIOPLAS offre una soluzione integrata completa agli stakeholder delle PMI della plastica, dalla produzione della materia prima in sistemi sostenibili di acquacoltura multi-trofica integrata, allo sviluppo dei biopolimeri utilizzando tecnologie innovative di ridotto impatto ambientale fino al test di validazione dei polimeri a base di alghe in prodotti plastici più verdi (film termoretraibili ed estensibili, adesivi, additivi plastici e rivestimenti).</p>

Tuttavia, anche i materiali non plastici possono causare effetti negativi sull'ambiente. Nel caso della gomma naturale, il processo di biodegradazione è molto lento. Inoltre, questo materiale può essere mescolato con altri composti, compresi gli additivi che sono necessari per la vulcanizzazione o per determinare specifiche proprietà del materiale (Rose and Steinbüchel, 2005), il che può avere un impatto negativo sull'ambiente. I metalli, d'altra parte, possono essere colpiti dalla corrosione. L'acqua di mare è un mezzo complesso in cui elementi chimici, minerali e biologici interagiscono per creare, sulle superfici metalliche, un complesso mezzo corrosivo (Memet, 2007). Per evitare questo problema, l'applicazione di prodotti chimici anti-corrosione è una pratica frequente. Tuttavia, è stato dimostrato che alcuni prodotti di protezione contro la corrosione possono produrre un impatto negativo nell'ambiente marino. Per esempio, le resine epossidiche o poliuretatiche possono essere una fonte di bisfenolo A, il cui impatto negativo sulla salute umana e il possibile tossicità ambientale è ampiamente conosciuto (Vermeirssen et al., 2017).

Infine, bisogna considerare che nessuno di questi tipi di materiali è di per sé una priorità nell'attuale quadro europeo, né a livello politico né a livello di ricerca e sviluppo. In questo scenario, la crescente preoccupazione generale legata all'aumento dei rifiuti marini e l'inclusione di criteri specifici relativi alla gestione dei rifiuti in tutte le procedure di certificazione delle buone pratiche dell'acquacoltura potrebbero portare a un aumento dell'interesse nella valutazione dei loro impatti. E, inoltre, questo potrebbe forse porre le basi per una progressiva riduzione dei rifiuti marini legati all'acquacoltura in un futuro a medio termine.



6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'acquacoltura è una attività che fa un ampio l'uso di molteplici polimeri plastici, dalle attrezzature necessarie nelle varie fasi dell'allevamento all'imballaggio dei prodotti finali. Tuttavia la cattiva gestione degli impianti e dei rifiuti ad essi associati assieme ad eventi metereologici estremi ed allo scarico volontario possono portare al rilascio di questi materiali nell'ambiente marino dove si vanno ad accumulare. Le ricerche ed i monitoraggi ambientali mostrano come l'impatto delle attrezzature per l'acquacoltura e, in particolare, le calze per la mitilicoltura rappresenti un problema ambientale sempre più urgente. A questo si aggiunge la problematica legata allo smaltimento dei rifiuti generati dall'intero ciclo produttivo dei mitili che ha un impatto economico ed ambientale sulla mitilicoltura. Per questo gli stessi mitilicoltori mostrano un notevole interesse nel promuovere procedure per il corretto smaltimento dei rifiuti e la riduzione del volume degli stessi anche attraverso la sperimentazione di materiali alternativi al fine di rendere questa attività più sostenibile. Alcune delle iniziative pilota volte a mitigare l'impatto delle retine convenzionali, consistono in alcune attività di riciclaggio e *upcycling* delle attrezzature per l'acquacoltura. Pertanto, anche se l'impatto delle iniziative di riciclaggio e *upcycling* sembrano essere una possibile strada per la riduzione del *marine litter* nel futuro a medio termine, probabilmente non coprirà tutte le esigenze di un settore in espansione come l'acquacoltura. Per questo si è cercato di individuare materiali alternativi per la fabbricazione delle retine, in particolare numerosi progetti hanno testato materiali di origine naturale e principalmente polimeri a base biologica e biodegradabili. Basandosi sui risultati delle attività progettuali in corso si può prevedere che un lieve aumento dell'uso delle plastiche biodegradabili in acquacoltura possa avvenire entro il 2025. Tuttavia, ci vorrà del tempo per aumentare la *performance* degli attrezzi in materiali alterativi in modo che possano competere con le plastiche convenzionali. Solo se la loro mancanza di resistenza e le loro caratteristiche di biodegradabilità saranno migliorate, i prezzi saranno ridotti e la conseguente riluttanza degli acquacoltori sarà superata, il loro uso potrà contribuire ad una riduzione dei rifiuti marini nei prossimi anni. Rimangono fondamentali le attività di monitoraggio e di ricerca nell'ambiente marino (spiagge, colonna d'acqua, fondo marino) per una migliore comprensione di questa problematica e per aumentare la consapevolezza a livello generale sia degli allevatori che degli altri stakeholder coinvolti contribuendo così, allo sviluppo di specifiche politiche europee e nazionali. Restano di fondamentale importanza anche le azioni di ricerca e sviluppo per sviluppare e testare materiali sempre più performanti ed i loro effetti sugli ecosistemi marini e la biodiversità.

7 BIBLIOGRAFIA

- Accinelli, C., Saccà, M.L., Mencarelli, M., Vicari, A., 2012. Deterioration of bioplastic carrier bags in the environment and assessment of a new recycling alternative. *Chemosphere* 89, 136–143. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.05.028>
- Alvarez-Zeferino, J.C., Beltrán-Villavicencio, M., Vázquez-Morillas, A., 2015. Degradation of Plastics in Seawater in Laboratory. *OJPChem* 05, 55–62. <https://doi.org/10.4236/ojpchem.2015.54007>
- Alvater, S., De Raedemaeker, F., Sandra, m., Gin, I., Vidal Rigo, M., Alomar, C., Deudero, S., Mata Lara, M., 2020. Baltic Sea Learning Lab report. Berlin, Germany., D3.2 Aqua-Lit project. Berlin, Germany.
- Andrady, A.L. (Ed.), 2003. *Plastics and the environment*. Wiley-Interscience, Hoboken, N.J.
- Ashter, S.A., 2016. *Introduction to bioplastics engineering*, *Plastics design library*. Elsevier, Amsterdam.
- Baini, M., Martellini, T., Cincinelli, A., Campani, T., Minutoli, R., Panti, C., Finoia, M.G., Fossi, M.C., 2017. First detection of seven phthalate esters (PAEs) as plastic tracers in superficial neustonic/planktonic samples and cetacean blubber. *Anal. Methods* 9, 1512–1520. <https://doi.org/10.1039/C6AY02674E>
- Barnes, D.K.A., Galgani, F., Thompson, R.C., Barlaz, M., 2009. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 364, 1985–1998. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>
- CalRecycl, 2012. *PLA and PHA Biodegradation in the Marine Environment*.
- Coe, J.M., Rogers, D.B. (Eds.), 1997. *Marine debris: sources, impacts, and solutions*, *Springer series on environmental management*. Springer, New York.
- Collard, F., Gilbert, B., Eppe, G., Parmentier, E., Das, K., 2015. Detection of Anthropogenic Particles in Fish Stomachs: An Isolation Method Adapted to Identification by Raman Spectroscopy. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 69, 331–339. <https://doi.org/10.1007/s00244-015-0221-0>
- Cózar, A., Echevarria, F., Gonzalez-Gordillo, J.I., Irigoien, X., Ubeda, B., Hernandez-Leon, S., Palma, A.T., Navarro, S., Garcia-de-Lomas, J., Ruiz, A., Fernandez-de-Puelles, M.L., Duarte, C.M., 2014. Plastic debris in the open ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111, 10239–10244. <https://doi.org/10.1073/pnas.1314705111>
- Cózar, A., Sanz-Martín, M., Martí, E., González-Gordillo, J.I., Ubeda, B., Gálvez, J.Á., Irigoien, X., Duarte, C.M., 2015. Plastic Accumulation in the Mediterranean Sea. *PLOS ONE* 10, e0121762. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0121762>
- De Raedemaeker, F., Sandra, m., Devriese, L., Gin, I., Alvater, S., Vidal Rigo, M., Alomar, C., Deudero, S., Mata Lara, M., 2020. Learning Lab report North Sea., D3.4 Aqua-Lit project. Oostende, Belgium.
- Deconick, S., De Wide, B., 2013. Benefits and challenges of bio- and oxo-degradable plastics. A comparative literature study.
- Eich, A., Mildenerberger, T., Laforsch, C., Weber, M., 2015. Biofilm and Diatom Succession on Polyethylene (PE) and Biodegradable Plastic Bags in Two Marine Habitats: Early Signs of Degradation in the Pelagic and Benthic Zone? *PLoS ONE* 10, e0137201. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0137201>
- Eubeler, J.P., 2010. *Biodegradation of Synthetic Polymers in the Aquatic Environment*. *Biologischer Abbau synthetischer Polymere in der Aquatischen Umwelt*.
- European Commission, 2022. *Bio-based, biodegradable and compostable plastics* [WWW Document]. URL https://ec.europa.eu/environment/topics/plastics/bio-based-biodegradable-and-compostable-plastics_it (accessed 2.17.22).

- Farjania, B., Anoosheha, N., 2015. An overview of some of the packaging methods of fish.
- Fossi, M.C., Marsili, L., Bainsi, M., Giannetti, M., Coppola, D., Guerranti, C., Caliani, I., Minutoli, R., Lauriano, G., Finoia, M.G., Rubegni, F., Panigada, S., Bérubé, M., Urbán Ramírez, J., Panti, C., 2016. Fin whales and microplastics: The Mediterranean Sea and the Sea of Cortez scenarios. *Environmental Pollution* 209, 68–78. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.11.022>
- Fossi, M.C., Pedà, C., Compa, M., Tsangaris, C., Alomar, C., Claro, F., Ioakeimidis, C., Galgani, F., Hema, T., Deudero, S., Romeo, T., Battaglia, P., Andaloro, F., Caliani, I., Casini, S., Panti, C., Bainsi, M., 2018. Bioindicators for monitoring marine litter ingestion and its impacts on Mediterranean biodiversity. *Environmental Pollution* 237, 1023–1040. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.019>
- Galgani, L., Beiras, R., Galgani, F., Panti, C., Borja, A., 2019. Editorial: Impacts of Marine Litter. *Front. Mar. Sci.* 6, 208. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00208>
- Galloway, S.T., 2015. Micro- and nano-plastics and human health. In M. Bergmann, L. Gutow & M. Klages (Eds.), *Marine anthropogenic litter* (pp. 347–370). Berlin: Springer.
- GESAMP, 2016. "Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: part two of a global assessment" (Kershaw, P.J., and Rochman, C.M., eds). (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/ UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 93.
- Gourmelon, G., 2015. Global Plastic Production Rises, Recycling Lags. *Vital Signs- global trends that shape our future*.
- Green, S.J., Scheller, L.F., Marletta, M.A., Seguin, M.C., Klotz, F.W., Slayter, M., Nelson, B.J., Nacy, C.A., 1994. Nitric oxide: Cytokine-regulation of nitric oxide in host resistance to intracellular pathogens. *Immunology Letters* 43, 87–94. [https://doi.org/10.1016/0165-2478\(94\)00158-8](https://doi.org/10.1016/0165-2478(94)00158-8)
- Gregory, M.R., 2009. Environmental implications of plastic debris in marine settings—entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 364, 2013–2025. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0265>
- Hall, G.M. (Ed.), 2011. *Fish processing: sustainability and new opportunities*. Wiley-Blackwell Pub, Chichester, West Sussex, U.K. ; Ames, Iowa.
- Heimowska, A., Morawska, M., Bocho-Janiszewska, A., 2017. Biodegradation of poly(ϵ -caprolactone) in natural water environments. *Polish Journal of Chemical Technology* 19, 120–126. <https://doi.org/10.1515/pjct-2017-0017>
- Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., Law, K.L., 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347, 768–771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
- Kim, S., Kim, P., Lim, J., An, H., Suuronen, P., 2016. Use of biodegradable driftnets to prevent ghost fishing: physical properties and fishing performance for yellow croaker. *Animal Conservation* 19, 309–319. <https://doi.org/10.1111/acv.12256>
- Kühn, S., Rebolledo, E.L.B., Franeker, J.A. van, 2015. Deleterious Effects of Litter on Marine Life, in: Bergmann, M., Gutow, L., Klages, M. (Eds.), *Marine Anthropogenic Litter*. Springer International Publishing, pp. 75–116.
- Lusher, A.L., Hollman, P.C.H., Mendoza-Hill, J.J., 2017. Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety., *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 615*. FAO, Rome, Italy.
- Mabrouk, M.M., Sabry, S.A., 2001. Degradation of poly (3-hydroxybutyrate) and its copolymer poly (3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) by a marine *Streptomyces* sp. SNG9. *Microbiological Research* 156, 323–335. <https://doi.org/10.1078/0944-5013-00115>

- Magni, S., Bonasoro, F., Della Torre, C., Parenti, C.C., Maggioni, D., Binelli, A., 2020. Plastics and biodegradable plastics: ecotoxicity comparison between polyvinylchloride and Mater-Bi® micro-debris in a freshwater biological model. *Science of The Total Environment* 720, 137602. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137602>
- Memet, J.B., 2007. The corrosion of metallic artefacts in seawater: descriptive analysis, in: *Corrosion of Metallic Heritage Artefacts*. Elsevier, pp. 152–169. <https://doi.org/10.1533/9781845693015.152>
- Moore, C.J., Moore, S.L., Leecaster, M.K., Weisberg, S.B., 2001. A Comparison of Plastic and Plankton in the North Pacific Central Gyre. *Marine Pollution Bulletin* 42, 1297–1300. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(01\)00114-X](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(01)00114-X)
- Müller, C., Townsend, K., Matschullat, J., 2012. Experimental degradation of polymer shopping bags (standard and degradable plastic, and biodegradable) in the gastrointestinal fluids of sea turtles. *Science of The Total Environment* 416, 464–467. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.10.069>
- O’Brine, T., Thompson, R.C., 2010. Degradation of plastic carrier bags in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* 60, 2279–2283. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.08.005>
- RameshKumar, S., Shaiju, P., O’Connor, K.E., P, R.B., 2020. Bio-based and biodegradable polymers - State-of-the-art, challenges and emerging trends. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry* 21, 75–81. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2019.12.005>
- Rochman, C.M., Hoh, E., Kurobe, T., Teh, S.J., 2013. Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. *Scientific Reports* 3, 3263. <https://doi.org/10.1038/srep03263>
- Rose, K., Steinbüchel, A., 2005. Biodegradation of Natural Rubber and Related Compounds: Recent Insights into a Hardly Understood Catabolic Capability of Microorganisms. *Appl Environ Microbiol* 71, 2803–2812. <https://doi.org/10.1128/AEM.71.6.2803-2812.2005>
- Rujnić-Sokele, M., Pilipović, A., 2017. Challenges and opportunities of biodegradable plastics: A mini review. *Waste Manag Res* 35, 132–140. <https://doi.org/10.1177/0734242X16683272>
- Sandra, M., Devriese, L., Vidal, M., De Raedemaeker, F., Lonneville, B., Lukic, I., Alvater, S., Compa Ferrer, M., Deudero, S., Torres Hansjosten, B., Alomar Mascarò, C., Gin, I., Vale, M., Zorgno, M., Mata Lara, M., 2019. Knowledge wave on marine litter from aquaculture sources., D2.2 Aqua-Lit project. Oostende, Belgium.
- Song, J.H., Murphy, R.J., Narayan, R., Davies, G.B.H., 2009. Biodegradable and compostable alternatives to conventional plastics. *Phil. Trans. R. Soc. B* 364, 2127–2139. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0289>
- Subramani, T., Rajadurai, C., Prasath, K., 2014. Bio-degradable plastics impact on environment. *Internationa Journal of Engineering Research & Applications* 4, 194–204.
- Sutherland, W.J., Clout, M., Côté, I.M., Daszak, P., Depledge, M.H., Fellman, L., Fleishman, E., Garthwaite, R., Gibbons, D.W., De Lurio, J., Impey, A.J., Lickorish, F., Lindenmayer, D., Madgwick, J., Margerison, C., Maynard, T., Peck, L.S., Pretty, J., Prior, S., Redford, K.H., Scharlemann, J.P.W., Spalding, M., Watkinson, A.R., 2010. A horizon scan of global conservation issues for 2010. *Trends Ecol. Evol. (Amst.)* 25, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.10.003>
- Suzuki, M., Tachibana, Y., Kasuya, K., 2021. Biodegradability of poly(3-hydroxyalkanoate) and poly(ϵ -caprolactone) via biological carbon cycles in marine environments. *Polym J* 53, 47–66. <https://doi.org/10.1038/s41428-020-00396-5>
- Thellen, C., Coyne, M., Froio, D., Auerbach, M., Wirsén, C., Ratto, J.A., 2008. A Processing, Characterization and Marine Biodegradation Study of Melt-Extruded Polyhydroxyalkanoate (PHA) Films. *J Polym Environ* 16, 1–11. <https://doi.org/10.1007/s10924-008-0079-6>

- Thompson, R.C., Moore, C.J., vom Saal, F.S., Swan, S.H., 2009. Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. *Philos. Trans. R. Soc. Lond., B, Biol. Sci.* 364, 2153–2166. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0053>
- Tosin, M., Weber, M., Siotto, M., Lott, C., Degli Innocenti, F., 2012. Laboratory Test Methods to Determine the Degradation of Plastics in Marine Environmental Conditions. *Front. Microbio.* 3. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00225>
- Tsuji, H., Suzuyoshi, K., 2003. Environmental degradation of biodegradable polyesters. IV. The effects of pores and surface hydrophilicity on the biodegradation of poly(ϵ -caprolactone) and poly[(R)-3-hydroxybutyrate] films in controlled seawater. *J. Appl. Polym. Sci.* 90, 587–593. <https://doi.org/10.1002/app.12781>
- Tsuji, H., Suzuyoshi, K., 2002. Environmental degradation of biodegradable polyesters 1. Poly(ϵ -caprolactone), poly[(R)-3-hydroxybutyrate], and poly(L-lactide) films in controlled static seawater. *Polymer Degradation and Stability* 75, 347–355. [https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(01\)00240-3](https://doi.org/10.1016/S0141-3910(01)00240-3)
- UNEP, 2015. Biodegradable plastics and marine litter. Misconceptions, concerns and impacts on marine environments. United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi.
- UNEP/MAP, 2015. Marine Litter Assessment in the Mediterranean. UNEP/MAP, Athens, Greece.
- Vermeirssen, E.L.M., Dietschweiler, C., Werner, I., Burkhardt, M., 2017. Corrosion protection products as a source of bisphenol A and toxicity to the aquatic environment. *Water Research* 123, 586–593. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.07.006>
- Vidal, M., Alomar, C., Deudero, S., Zorgno, M., De Raedemaeker, F., Sandra, m., Devriese, L., Gin, I., Alvater, S., Mata Lara, M., 2020. Learning Lab report Mediterranean Sea, D3.3 Aqua-Lit project. Palma, Spain.
- Wang, G., Huang, D., Ji, J., Völker, C., Wurm, F.R., 2021. Seawater-Degradable Polymers—Fighting the Marine Plastic Pollution. *Adv. Sci.* 8, 2001121. <https://doi.org/10.1002/advs.202001121>

