



Consiglio Nazionale
delle Ricerche

Atti del Workshop

LA SCIENZA A SUPPORTO DELL'AMMINISTRAZIONE
PER L'IMPLEMENTAZIONE DI POLITICHE E NORME
PER LA GESTIONE DELLE PLASTICHE

4 giugno 2024

a cura di

Andrea Barbanti

Daniele Bianconi

PROCEEDINGS

Atti del Workshop

**LA SCIENZA A SUPPORTO DELL'AMMINISTRAZIONE
PER L'IMPLEMENTAZIONE DI POLITICHE E NORME
PER LA GESTIONE DELLE PLASTICHE**

4 giugno 2024

a cura di

Andrea Barbanti

Daniele Bianconi



Sviluppo grafico a cura di Fulvia Ciurlia, Istituto di Fisica Applicata “Nello Carrara” (IFAC-CNR)
Impaginazione a cura di Laura Attisani, Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale (ISPC-CNR)

© Cnr Edizioni, 2024

P.le Aldo Moro 7, 00185 Roma

www.edizioni.cnr.it

ISBN (ed. Digitale) 978 88 8080 675 2



This work is licensed under [CC BY-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Indice

La filiera delle plastiche e la gestione sostenibile a terra e in mare dei suoi rifiuti: tra sviluppi scientifici, economia circolare e politiche nazionali, europee e globali	9
Sostenibilità e fine vita delle bioplastiche	19
Riuso o riciclo: casi di studio nelle plastiche monouso e nel tessile	28
Tipologie di rifiuti plastici in mare e soluzioni tecnologiche per la loro valorizzazione	36
Distribuzione e potenziali sorgenti dei rifiuti marini spiaggiati lungo le coste italiane	45
Studio sulle soluzioni e tecnologie per la gestione, il recupero e il riciclo degli attrezzi da pesca	57
Valutazione dell'impatto della sostituzione delle cassette di polistirolo per il trasporto del pesce con altre riutilizzabili	67
Supporto scientifico alle attività della Direzione EC in materia di plastiche in contesti internazionali, con riferimento particolare al Comitato Intergovernativo Negoziale (INC) per la lotta all'inquinamento da plastica: prospettive dalla comunità scientifica	75
Il progetto BlueMissionMed a supporto dell'implementazione della Mission europea RESTORE OUR OCEAN AND WATERS nel Mediterraneo	85

“Nell’ambito dell’Accordo di Collaborazione triennale (2023-2025) tra MASE-DGEC e CNR (IIA, ISMAR, IRBIM) sottoscritto in data 22 dicembre 2022 vengono sviluppate attività di supporto tecnico-scientifico all’Amministrazione per promuovere e attuare politiche che consentano una effettiva transizione verso sistemi economici sostenibili e cicli di produzione e consumo circolari. In particolare, l’Accordo prevede una serie di attività sulla filiera delle materie plastiche e sui loro effetti e le loro problematiche di gestione in ambito marino. Nel workshop sono stati presentati i risultati raggiunti nel corso del primo anno di attività e le attività in corso e di prossima realizzazione, con una focalizzazione sulla loro proiezione transnazionale, nel contesto mediterraneo ed extra-mediterraneo.”

**Accordo di Collaborazione ex art. 15 della L. 241/91,
sottoscritto in data 22 dicembre 2022 tra il MASE DG EC e il CNR IIA**

***La scienza a supporto dell'Amministrazione per l'implementazione di
politiche e norme per la gestione delle plastiche
Presentazione delle attività del primo anno (2023-2024)***

Workshop tecnico-scientifico

4 giugno 2024, Online

https://teams.microsoft.com/L/meetup-join/19%3aqtM6NGPdZJFpnt9tZc_U4aOalHoOn85ru0g6X-pZ1RE1%40thread.tacy2/1715951387721?context=%7b%22id%22%3a%2234c64e9f-d27f-4edd-a1f0-1397f0c84f94%22%2c%22oid%22%3a%2236dcf6bc-d32c-47ad-be4b-0a10c2650143%22%7d

Nell'ambito dell'Accordo di collaborazione triennale (2023-2025) tra MASE-DGEC e CNR (IIA, ISMAR, IRBIM) vengono sviluppate attività di supporto tecnico-scientifico all'Amministrazione per promuovere e attuare politiche che consentano una effettiva transizione verso sistemi economici sostenibili e cicli di produzione e consumo circolari. In particolare, l'Accordo prevede una serie di attività sulla filiera delle materie plastiche e sui loro effetti e le loro problematiche di gestione in ambito marino.

Il workshop presenterà i risultati raggiunti nel corso del primo anno di attività e le attività in corso e di prossima realizzazione, con una focalizzazione sulla loro proiezione transnazionale, nel contesto mediterraneo ed extra-mediterraneo.

Agenda

Moderatori: *A. Barbanti – CNR-ISMAR, D. Bianconi – CNR-IIA*

9.30-9.50 – Saluti e introduzione all'incontro (*S. Grandi – MASE-DGEC, F. Petracchini, CNR-DSSTTA*)

I Sessione

9.50-10.05 – Biodegradabilità e compostabilità nelle bioplastiche (*P. Tratzi - CNR-IIA*)

10.05-10.20 – Riutilizzo o riciclo: casi di studio nelle plastiche monouso e nel tessile (*V. Terenzi - CNR-IIA*)

10.20-10.35 – Plastiche in mare (Linea B) - Decretazione attuativa della Legge Salvamare: Tipologie di rifiuti e soluzioni tecnologiche per la loro valorizzazione (*F. Madricardo - CNR-ISMAR*)

10.35-10.50 – Q&A sulla I Sessione

10.50-11.00 *Pausa caffè*

II Sessione

11.00-11.15 – L'attuazione Direttiva SUP - Regolamento EPR (attrezzi da pesca) e la Strategia nazionale per la lotta contro l'inquinamento da plastica: Studio sulle soluzioni e tecnologie per la gestione, il recupero e il riciclo degli attrezzi da pesca (*E. Punzo - CNR-IRBIM*)



11.15-11.30 - L'attuazione Direttiva SUP - Regolamento EPR (attrezzi da pesca) e la Strategia nazionale per la lotta contro l'inquinamento da plastica: Valutazione dell'impatto della sostituzione delle cassette di polistirolo per il trasporto del pesce con altre riutilizzabili (*E. Notti - CNR-IRBIM*)

11.30-11.45 - L'attuazione Direttiva SUP - Regolamento EPR (attrezzi da pesca) e la Strategia nazionale per la lotta contro l'inquinamento da plastica: Studio per valutare l'incidenza sull'ambiente marino della dispersione o altro smaltimento improprio dei rifiuti di prodotti di plastica monouso e di attrezzi da pesca contenenti plastica (*V. Moschino - CNR-ISMAR*)

11.45-12.05 – Q&A sulla II Sessione

III Sessione

12.05-12.20 - Le attività della Direzione EC in materia di plastiche in contesti internazionali, con riferimento particolare al Comitato Intergovernativo Negoziato (INC) per la lotta all'inquinamento da plastica: inquadramento istituzionale (*D. Corradi - MASE-DGEC*)

12.20-12.40 - Supporto scientifico alle attività della Direzione EC in materia di plastiche in contesti internazionali, con riferimento particolare al Comitato Intergovernativo Negoziato (INC) per la lotta all'inquinamento da plastica: prospettive dalla comunità scientifica (*F. Madricardo, V. Moschino, G. Simone - CNR-ISMAR; F. Fois, P. Tratzi - CNR-IIA*)

12.40-13.00 – Sfide e prospettive mediterranee (*F. Francocci - CNR-DSSSTA - BlueMissionMED (Lighthouse Mediterraneo di Horizon Europe)*)

13.00-13.20 - Q&A sulla III Sessione

13.20-13.30 - Conclusioni e attività future (*MASE-DGEC, CNR*)

La filiera delle plastiche e la gestione sostenibile a terra e in mare dei suoi rifiuti: tra sviluppi scientifici, economia circolare e politiche nazionali, europee e globali

Silvia Grandi^a, Valerio Paolini^b, Andrea Barbanti^c, Daniele Bianconi^b

a Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica e Ministero delle Imprese e del Made in Italy

b CNR, Istituto sull’inquinamento atmosferico

c CNR, Istituto di scienze marine

1. Le policy nel contesto mondiale ed europeo

Nell’ultimo decennio le politiche pubbliche a scala internazionale ed europea hanno dedicato molta attenzione alla transizione verso modelli di produzione circolari e sostenibili (Ellen Macarthur Foundation, 2016; Ellen Macarthur Foundation *et al*, 2017; Commissione Europea, 2018 e 2020; UNEA, 2022) con un riflesso evidente anche in Italia. Soprattutto la Strategia Nazionale per l’Economia Circolare e il Piano Nazionale di Gestione dei Rifiuti hanno delineato il percorso italiano di una serie di azioni di politica pubblica che si intendono intraprendere (Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica, 2022a e 2022b) insieme al corpus normativo europeo e nazionale delineato e che si sta delineando.

In questo contesto, la “questione plastiche” si è posta come una delle più strategiche per l’efficienza dell’uso delle risorse e per l’economia circolare, soprattutto in un’ottica di prevenzione e di gestione dei rifiuti (OECD, 2022a; OECD, 2022b) al fine di dare risposte alla necessità di affrontare quella che nel recente linguaggio diplomatico viene sintetizzata come “*triple-crisis*”, ossia la perdita della biodiversità, il cambiamento climatico e l’inquinamento dell’ambiente.

Anche i media, attivisti e molte organizzazioni della società civile, a seguito di campagne di comunicazione efficaci, hanno portato ad una sensibilizzazione che è andata ben oltre l’alveo tecnico-scientifico avviando un dibattito sul “No Plastic” più o meno semplicistico che ha stimolato tutti i fronti: (a) l’attenzione dei consumatori, (b) la risposta con

un'intensa azione politica, normativa e regolatoria, (c) lo sviluppo di nuovi progetti scientifici nonché (d) a uno sviluppo e alla commercializzazione di nuovi prodotti e pratiche da parte delle imprese e dei consumatori.

In effetti, dalla metà del Novecento l'importanza della plastica è cresciuta in modo costante con una produzione che è aumentata di venti volte rispetto agli anni '60 raggiungendo 322 milioni di tonnellate nel 2015 e con un trend potenziale di significativo aumento nel mondo. D'altra parte in Europa, dove la produzione non è in significativo aumento, le preoccupazioni ambientali europee sono volte alla necessità di ridurre le microplastiche nei corpi idrici ed in mare, alla gestione e valorizzazione dei rifiuti, all'azzeramento del *littering*, al ripristino degli ambienti inquinanti da plastica e al miglioramento dei tassi di riciclo in quanto quelli della plastica a fine vita sono ancora mediamente più bassi rispetto ad altri materiali come la carta, il vetro e il metallo (Commissione Europea, 2018). L'attenzione a questi materiali, alla sostenibilità del loro ciclo di vita e del loro impatto sull'ambiente ha fatto seguito a numerosi studi usciti negli ultimi decenni che hanno evidenziato quanto una gestione inadeguata delle plastiche possa causare danni significativi agli ecosistemi marini e terrestri (e.g. UNEP, 2021a, b; Gore et al., 2024; Napper e Thompson, 2023; Sarkar et al., 2023; Landrigan et al., 2023), alla salute umana oltre che dinamiche di ingiustizia economica e sociale. In effetti, l'OCSE evidenzia che, come spesso accade nelle questioni ambientali e climatiche, l'impatto delle scelte di *policy* relative alla tutela, ripristino, rigenerazione cambiamento tecnologico e comportamentale, può avere significative differenze di costo ed impatto in base ai settori e alle aree del mondo (OECD, 2022a). Lo stesso può succedere anche a scala italiana dove i divari territoriali nella produzione, gestione dei rifiuti e riciclo sono ancora significativi, come emerge dal Piano Nazionale di Gestione dei Rifiuti del 2022 (Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, 2022b).

A scala globale, in sede di Assemblea Generale per l'Ambiente delle Nazioni Unite 5.2 (UNEA), il 2 marzo 2022 è stata adottata una risoluzione che ha accelerato le prospettive di cambiamento nelle normative globali in materia. I 175 paesi partecipanti all'UNEA si sono posti l'obiettivo di giungere ad uno strumento internazionale giuridicamente vincolante per contrastare l'inquinamento delle plastiche, che include anche l'ambiente marino, fissando una *roadmap* che dovrebbe portare l'adozione di un Trattato Globale contro l'inquinamento da plastiche entro il 2025 (UNEA, 2022). I negoziati dell'*intergovernmental*

negotiating committee (INC) mostrano la complessità del problema che contempera la necessità di trovare una sintesi tra elementi scientifici estremamente complessi. In primis, si pensi al portato necessario di conoscenza chimico-fisica ed ecologica legato sia alla varietà molecolare e polimerica in gioco (senza trascurare il ruolo degli additivi¹) sia alla varietà degli ecosistemi e delle implicazioni sulla salute umana ivi correlati. Altrettanto importanti per giungere alla finalizzazione delle posizioni sono le considerazioni geopolitiche e geoeconomiche. Ad esempio, si pensi a quelle legate alla localizzazione industriale dei sistemi produttivi dei polimeri e della fabbricazione e commercializzazione prodotti, alle tensioni relative alle materie prime necessarie per la produzione delle plastiche tradizionali basate su idrocarburi oppure a quelle innovative basate su materiali *bio-based* che portano alla biodegradabilità. Ancora altri fattori da considerare sono tutti gli elementi di economia comportamentale legati alle pratiche di consumo, di riuso, di raccolta differenziata, di riciclo ed ai riflessi sociali che comportano cambiamenti strutturali a breve, medio e lungo termine nei *pattern* di produzione e consumo di un materiale così diffuso e con proprietà di leggerezza e lavorabilità che ne hanno portato ad una larghissima diffusione nell'ultimo secolo con, tuttavia, risvolti di significativi di inquinamento e impatti ambientali a terra ed in mare non sufficientemente affrontati preventivamente.

Già prima della risoluzione UNEA, l'Unione Europea aveva adottato atti di indirizzo influenti come la Strategia europea per la plastica nell'economia circolare (Commissione Europea, 2018) e l'Action Plan per l'Economia Circolare (Commissione Europea, 2020). Tra i provvedimenti normativi europei principali che sono già in fase di implementazione la più rilevante è la direttiva UE/2019/904 sulla riduzione dell'incidenza di determinati prodotti di plastica sull'ambiente (la c.d. direttiva "SUP"). Tuttavia, vi sono altri significativi atti che intendono incidere sulla "questione plastiche": (a) la finalizzazione dei negoziati europei sul Regolamento Imballaggi e rifiuti da imballaggio e sul Regolamento contro la dispersione dei *pellet* in plastica; (b) la revisione della Direttiva Quadro Rifiuti nella componente tessile (anche in questo settore le plastiche sono materiali e quindi rifiuti con volumi rilevanti); (c) le evoluzioni del Regolamento REACH e la predisposizione di un regolamento tecnico unico a scala europea per la definizione di un *end-of-waste* europeo

¹ Le plastiche contengono oltre 10.000 sostanze chimiche di sintesi, tra cui ftalati, bisfenoli, sostanze per-e polifluoroalchiliche (PFAS), ritardanti di fiamma bromurati e organofosfati come meglio contestualizzato nel testo di Fantina *et al.* di questo volume..

sulle plastiche. Le sfide derivanti da queste politiche europee necessitano, sia in fase discendente che ascendente, conoscenza scientifica per difendere, sviluppare e attuare politiche nazionali consapevoli, intelligenti, e semplici.

Anche l'Italia nel medesimo periodo ha attivato alcune iniziative normative che affrontano il problema dei rifiuti plastici e la necessità di rafforzare l'economia circolare, ad esempio promuovendo l'uso materie prime seconde da riciclo e, quindi, del mercato dei prodotti con contenuto di plastiche riciclate. La cosiddetta "Legge SalvaMare", ossia la legge 17 maggio 2022, n. 60 "Disposizioni per il recupero dei rifiuti in mare e nelle acque interne e per la promozione dell'economia circolare" mette in luce e attiva una serie di principi e necessità di normativa secondaria da mettere a punto per arrivare, tra gli altri, alla riduzione dei rifiuti marini. Inoltre, in attuazione della Strategia nazionale per l'economia circolare (Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, 2022a) si è posta necessaria anche la riflessione sull'opportunità di ampliare i sistemi di EPR (responsabilità estesa del produttore) oltre agli imballaggi di plastica o la predisposizione di un *end-of-waste* italiano, al fine di migliorare l'economia circolare per questi materiali e rifiuti.

2. Dalla sfida alla collaborazione tra istituti scientifici e pubblica amministrazione

Per affrontare le sfide contemporanee come quella della gestione dei rifiuti plastici e dell'azzeramento dell'inquinamento, la collaborazione tra pubblica amministrazione centrale e istituzioni di ricerca è fondamentale per sviluppare soluzioni di *policy* innovative, sostenibili e basate su evidenze scientifiche. Un sapere non solo utile alla formazione normativa nazionale, ma strategico anche per rappresentare le posizioni italiane nei contesti europei ed internazionali con qualità, precisione ed autorevolezza nella gestione dei rifiuti plastici e non solo. Infatti, la sinergia tra istituzioni, imprese e ricerca, nota come il modello a "Tripla Elica" (Etzkowitz, 2003), consente di integrare conoscenze scientifiche avanzate con politiche di innovazione per le imprese, con politiche per la tutela della salute e dell'ambiente efficaci, promuovendo una transizione verso un'economia circolare sostenibile e giusta.

In questo quadro concettuale, in base ai principi di leale collaborazione interistituzionale consolidati attraverso le modalità previste dall'art. 15 della Legge 7 agosto 1990, n. 241, nasce l'Accordo triennale di collaborazione tra il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE) – Direzione Generale Economia Circolare (DGEC) e il Consiglio Nazionale

delle Ricerche (CNR). Entrato in operatività nel 2023 si pone, tra gli altri, l'obiettivo di affrontare approfondimenti scientifici “*high scientific advisory*” volti alle formazione delle politiche relative a diverse filiere e tipologie di rifiuti. Questo impegno congiunto, che coinvolge – oltre al MASE, diversi istituti del CNR tra cui l'Istituto di Inquinamento Atmosferico (CNR-IIA), l'Istituto di Scienze Marine (CNR-ISMAR) e l'Istituto per le Risorse Biologiche e le Biotecnologie Marine (CNR-IRBIM), ha tra i suoi risultati attesi quello di promuovere politiche ambientali innovative e sviluppare soluzioni tecnologiche avanzate per mitigare gli impatti ambientali associati alla gestione dei rifiuti plastici e rafforzare un'economia circolare sostenibile.

La filiera delle materie plastiche, infatti, copre un vasto spettro di attività, dalla produzione delle materie prime alla gestione dei rifiuti. La plastica è un materiale estremamente versatile e diffuso, utilizzato in una miriade di applicazioni che spaziano dall'imballaggio ai prodotti industriali, dai prodotti tessili agli attrezzi da pesca a quelli sanitari. Tuttavia, le sue proprietà come la durabilità e la resistenza della plastica tradizionale, che la rendono così utile, rappresentano anche il suo principale problema ambientale. In molte regioni del mondo, la raccolta e lo smaltimento dei rifiuti plastici sono insufficienti o inefficaci, portando alla dispersione nell'ambiente o all'incenerimento a cielo aperto e alla formazione di microplastiche in quantità preoccupanti come riportano in dettaglio alcuni *paper* di questo volume. Nonostante i progressi nelle tecnologie di riciclo, purtroppo, solo una frazione delle plastiche prodotte viene effettivamente riciclata. Inoltre, molte plastiche non sono ancora facilmente riciclabili a causa della loro composizione chimica o della contaminazione da altre sostanze. Questa problematica diventa particolarmente rilevante se si considerano i prodotti in plastica monouso che rappresentano tuttora una porzione significativa dei rifiuti plastici. Le plastiche rilasciate nell'ambiente costituiscono una gran parte dei rifiuti marini, minacciando la vita marina e gli ecosistemi costieri ed anche gli attrezzi da pesca abbandonati o persi sono particolarmente problematici, contribuendo al fenomeno delle “reti fantasma” ed all'alterazione degli ecosistemi marini. Per affrontare queste problematiche, l'Accordo MASE-CNR prevede l'approfondimento tecnico-scientifico di una serie di soluzioni tecnologiche avanzate, tra cui le bioplastiche, il riciclo chimico, e l'eco-progettazione. Ad esempio, lo sviluppo di materiali biodegradabili e compostabili rappresenta infatti una promettente alternativa alle plastiche tradizionali in cui l'Italia è pioniera ma che, nei negoziati internazionali, trovano ancora resistenze

in cui vengono esaltate le criticità. Il carattere innovativo di questi materiali necessita quindi di approfondimenti affinché le decisioni non siano prese sulla base di dinamiche di resistenza al cambiamento ma piuttosto su solidi studi di *life cycle assessment* (LCA) basati su analisi chimico-fisiche, di compostabilità, biodegradabilità e di impatto ambientale, sulla salute, sociale ed economico completi.

Altre sfide di frontiera in cui l'Italia è leader e per le quali l'approfondimento e la codifica a scala nazionale di questo fenomeno in chiave scientifica è necessario, sono le nuove tecnologie di "riciclo chimico", che possono permettere di recuperare e riutilizzare materiali plastici che finora non potevano essere recuperati efficacemente sia in termini materici (*waste-to-polymer/monomer*) o energetici (*waste-to-fuel*). Anche la promozione del riuso e la progettazione di prodotti con cicli di vita più lunghi possono contribuire a ridurre la quantità di rifiuti plastici, ad esempio, l'adozione di contenitori riutilizzabili in luogo delle cassette di polistirolo per il trasporto del pesce. Più in generale, sviluppare soluzioni per la gestione dei rifiuti marini, inclusi gli attrezzi da pesca, è fondamentale per mitigare l'inquinamento da microplastiche: la raccolta e il riciclo di questi materiali non solo riducono migliorano la sostenibilità ambientale, ma possono anche creare nuove opportunità economiche e nuovi posti di lavoro.

Come accennato, la lotta contro l'inquinamento da plastica è una sfida globale che richiede una cooperazione internazionale scientifica, diplomatica e quindi le attività dell'Accordo MASE-CNR sono integrate in un contesto più ampio di iniziative europee e internazionali dell'Italia, tra cui i lavori tecnico-scientifici nell'ambito dei negoziati del Comitato Intergovernativo Negoziale (INC) in preparazione del Trattato globale sull'inquinamento da plastiche (UNEA, 2022). Anche i programmi di ricerca europea di Horizon Europe sono una forma di collaborazione transnazionale essenziale per sviluppare standard comuni, condividere *best practices* e promuovere azioni coordinate a livello globale, così come sviluppare ed attuare strategie efficaci di raccolta, riciclo e riduzione dei rifiuti così come di *rethinking* e *redesign* per una sostenibilità a lungo termine, sul piano ambientale così come anche socio-economico.

3. Dall'Accordo ad un primo seminario congiunto

Su queste ed altre sfide si è concentrata l'attività del primo anno dell'Accordo MASE-DG EC e CNR tra il 2023 e il 2024 volto a strutturare e rafforzare le opportunità di collaborazione

e di contaminazione informativa e di conoscenza tra il Ministero e il CNR. La “questione plastiche” di fatto si è rivelata un tema trasversale a diversi gruppi di lavoro nell’Accordo funzionale a vari studi preliminari alla formazione di normativa italiana, europea ed internazionale. Pertanto il 4 giugno 2024 è stato organizzato un workshop dal titolo “La scienza a supporto dell’amministrazione per l’implementazione di politiche e norme per la gestione delle plastiche”, che ha coinvolto vari funzionari e dirigenti del Ministero insieme ai ricercatori giovani e senior degli istituti CNR-IIA, CNR-IRBIM e CNR-ISMAR.

La ricchezza e la visione interdisciplinare emersa, pur se in alcuni casi i lavori sono in itinere e contengono risultati o studi preliminari, ha suggerito di creare questo volume, alla stregua del lavoro fatto nel 2023 con gli atti del seminario dal titolo “*L’analisi del ciclo di vita come strumento di economia circolare*” del 22 giugno 2023 (Citro *et al.*, 2024), per continuare a rappresentare gli elementi emersi in questi momenti di sintesi e confronto con una pubblicazione fruibile in modo *open* per tutti. Pertanto, seguendo lo schema del seminario moderato da Andrea Barbanti (CNR-ISMAR) e Daniele Bianconi (CNR-IIA) di giugno 2024, questo volume si articola in tre parti.

La prima presenta alcuni approfondimenti scientifico-tecnologici sui temi particolarmente attenzionati che hanno caratterizzato il dibattito negoziale europeo ed italiano: la biodegradabilità e compostabilità nelle bioplastiche (contributo curato da Patrizio Tratzi – CNR-IIA); il riuso o riciclo: casi di studio nelle plastiche monouso e nel tessile, (contributo curato da Valentina Terenzi – CNR-IIA) e le decretazione attuativa della Legge SalvaMare con particolare riferimento alle tipologie di rifiuti e alle soluzioni tecnologiche per la loro valorizzazione (contributo curato da Fantina Madricardo, Giorgio Simone, Vanessa Moschino – CNR-ISMAR) e la distribuzione e potenziali sorgenti dei rifiuti marini spiaggiati lungo le coste italiane (contributo a cura di Vanessa Moschino, Michol Ghezzi, Giorgio Simone, Fantina Madricardo – CNR-ISMAR). Tra i risultati di questi ultimi contributi emerge la geografia degli impianti che si occupano del riciclo meccanico o chimico dei rifiuti marini. In particolare, la maggior parte delle iniziative riguarda il recupero delle reti da pesca e acquacoltura, o delle plastiche raccolte dai pescatori in mare, nonché delle barche in vetroresina e prevedono la loro trasformazione in nuove reti, oggetti, arredi urbani, prodotti tessili, etc.

La seconda parte si concentra sui lavori svolti in attuazione Direttiva SUP in vista della preparazione dello schema di decreto di regolamento EPR per gli attrezzi da pesca e della Strategia nazionale per la lotta contro l’inquinamento da plastica. In particolare Elisa Punzo

(CNR-IRBIM) si è concentrata sullo studio sulle soluzioni e tecnologie per la gestione, il recupero e il riciclo degli attrezzi da pesca, mentre Emilio Notti (CNR-IRBIM) sul caso della "Valutazione dell'impatto della sostituzione delle cassette di polistirolo per il trasporto del pesce con altre riutilizzabili".

La terza parte è dedicata all'attività spiccatamente internazionale, dove il lavoro di collaborazione tra Ministero e CNR assume un significato anche di supporto all'azione diplomatica italiana. In particolare, Diana Corradi insieme Fantina Madricardo, Patrizio Tratzi, Giorgio Simone, Flaminia Fois, Vanessa Moschino, Daniele Bianconi, Valerio Paolini presentano il quadro da un punto di vista tecnico-istituzionale e scientifico dei lavori del Comitato Intergovernativo Negoziato (INC) per la lotta all'inquinamento da plastica: inquadramento istituzionale e le prospettive dalla comunità scientifica dalla dichiarazione UNEA (2022) all'INC-4. Infine il contributo di Fedra Francocci (CNR-DSSTA) si concentra sulle "Sfide e prospettive mediterranee e sui contributi della BlueMissionMED Lighthouse Mediterraneo", grande progetto finanziato dal programma europeo Horizon Europe.

4. Conclusioni

I lavori in corso portati avanti dai gruppi di lavoro congiunti del MASE DG EC e CNR, di cui questo volume dà atto, evidenziano la complessità della "questione plastiche" da un punto di vista scientifico, tecnologico e normativo confermando la necessità di continuare ad approfondire il percorso di analisi e di ricerca sia sul fronte scientifico che normativo. Il futuro della gestione delle plastiche e dei rifiuti plastici dipende dalla capacità di gestire il dialogo tra gli stakeholder ed integrare approcci tecnologici avanzati con politiche ambientali efficaci, promuovendo una cultura della sostenibilità sociale, economica e ambientale per giungere a una transizione giusta e verso modelli di consumo e gestione dei rifiuti pienamente circolari.

Attraverso un impegno interdisciplinare concertato e multidisciplinare si potrà realizzare una transizione verso un'economia circolare che protegga il nostro pianeta per le generazioni attuali e future per richiamare i principi dello sviluppo sostenibile (Bruntland, 1987) e l'Agenda 2030 delle Nazioni Unite (UN, 2015).

I contributi presentati in questo volume evidenziano il ruolo della ricerca e dell'innovazione tecnologica come strumenti chiave per affrontare le sfide legate alla filiera delle materie plastiche. Inoltre, i risultati mostrati sono il frutto delle attività congiunte MASE-CNR, la

cui cooperazione può rappresentare un modello di collaborazione virtuosa tra istituzioni pubbliche e di ricerca, capace di generare soluzioni concrete e sostenibili e conoscenze strategiche fondamentali a supporto delle decisioni e della formulazione di elementi negoziali influenti in contesti europei ed internazionali.

Bibliografia

- [1] Commissione Europea (2020). *Un nuovo piano d'azione per l'economia circolare. Per un'Europa più pulita e più competitiva. Comunicazione della commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle regioni.* COM(2020) 98 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1583933814386&uri=COM:2020:98:FIN>
- [2] Commissione Europea (2018), *Strategia europea per la plastica nell'economia circolare. Comunicazione della commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle regioni.* Strasburgo, 16.1.2018, COM(2018) 28 final <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2018%3A28%3AFIN>
- [3] Ellen Macarthur Foundation (2017), *The new plastics economy: rethinking the future of plastics & catalysing action*, <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/the-new-plastics-economy-rethinking-the-future-of-plastics-and-catalysing>
- [4] Ellen MacArthur Foundation, World Economic Forum, McKinsey Center for Business and Environment (2016). *The New Plastics Economy: Rethinking the Future of Plastics.* <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/explore/plastics-and-the-circular-economy>
- [5] Etzkowitz H. (2003), *Innovation in Innovation: The Triple Helix of University-Industry-Government Relations.* *Social Science Information.* 42 (3): 293–337. doi:10.1177/05390184030423002
- [6] Hudson G., Brzezicka P., Verbeek A., Samoylov R. (2023) , *Cutting plastics pollution — Financial measures for a more circular value chain*, European Commission and European Investment Bank, https://www.eib.org/attachments/lucalli/20220248_cutting_plastics_pollution_en.pdf
- [7] Gore, A.C., La Merrill, M.A., Patisaul, H.B., and Sargis, R. *Endocrine Disrupting Chemicals: Threats to Human Health.* The Endocrine Society and IPEN. February 2024.

- [8] Landrigan et al. (2023). The Minderoo-Monaco Commission on Plastics and Human Health. *Annals of Global Health*. 89(1): 23, 1–215. DOI: <https://doi.org/10.5334/aogh.4056>
- [9] Ministero dell'ambiente e della Sicurezza Energetica (2022a), Strategia Nazionale per l'economia circolare, DM 257 del 24 giugno 2022, MITE, Roma. <https://www.mase.gov.it/pagina/riforma-1-2-programma-nazionale-la-gestione-dei-rifiuti>
- [10] Ministero dell'ambiente e della Sicurezza Energetica (2022b), Piano nazionale di gestione dei rifiuti, DM 259 del 24 giugno 2022, MITE, Roma. <https://www.mase.gov.it/pagina/riforma-1-1-strategia-nazionale-l-economia-circolare>
- [11] Napper, I. E., & Thompson, R. C. (2023). Plastics and the Environment. In *Annual Review of Environment and Resources* (Vol. 48, Fascicolo Volume 48, 2023, pp. 55–79). Annual Reviews. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-112522-072642>.
- [12] OECD (2022), *Global Plastics Outlook: Economic Drivers, Environmental Impacts and Policy Options*, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/de747aef-en>.
- [13] OECD (2022), *Global Plastics Outlook: Policy Scenarios to 2060*, OECD Publishing, Parigi, <https://doi.org/10.1787/aa1edf33-en>.
- [14] Park B. C., Brown A., Laubinger F., Börkey P. (2024), “Monitoring trade in plastic waste and scrap”, OECD Environment Working Papers, No. 233, OECD Publishing, Parigi, <https://doi.org/10.1787/013bcfdd-en>.
- [15] Sarkar, S., Diab, H., & Thompson, J. (2023). Microplastic Pollution: Chemical Characterization and Impact on Wildlife. *Int J Environ Res Public Health*, 20(3). <https://doi.org/10.3390/ijerph20031745>
- [16] UNEA(2022), Endplasticpollution: Towardsaninternationallegallybindinginstrument. Resolution adopted by the United Nations Environment Assembly on 2 March 2022, Nairobi. UNEP/EA.5/Res.14 https://www.unep.org/environmentassembly/unea5/unea-5.2/outcomes-resumed-session-unea-5-unea-5.2?%2Funea-5_2%2Fproceedings-report-ministerial-declaration-resolutions-and-decisions-unea-5_2=
- [17] UNEP, 2021a. United Nations Environment Programme (2021). From Pollution to Solution: A global assessment of marine litter and plastic pollution. Nairobi.
- [18] UNEP, 2021b. United Nations Environment Programme (2021). Drowning in Plastics – Marine Litter and Plastic Waste Vital Graphics.

Sostenibilità e fine vita delle bioplastiche

Patrizio Tratzi^a, Flaminia Fois^a, Valerio Paolini^a, Daniele Bianconi^a

a CNR, Istituto sull'inquinamento atmosferico

Gli impatti ambientali generati dalla realizzazione, dall'utilizzo e dal fine vita di prodotti plastici impongono la necessità di trovare valide alternative che ne limitino gli effetti a breve e a lungo termine. Per questo, i principali settori industriali stanno riservando una crescente attenzione alle bioplastiche, con una conseguente forte crescita della relativa domanda di mercato e dunque della diffusione di questi materiali.

All'interno del termine bioplastiche, si possono distinguere (a) plastica a base biologica (bio-based) e (b) plastica biodegradabile, ma una bioplastica può anche soddisfare entrambi questi criteri. Le plastiche a base biologica sono in genere prodotte da fonti rinnovabili grazie all'azione di organismi viventi, e possono essere polisaccaridi, proteine, lipidi o prodotti di microrganismi (ad es. PHA e PHB). Inoltre, le bioplastiche possono anche essere sintetizzate chimicamente da prodotti bioderivati (ad es. PLA e PBS). Infine, esiste un'altra frazione di plastica che è a base biologica ma non biodegradabile che è chiamata "drop-in" (per esempio, bio-PET, bio-PE, bio-PP) con caratteristiche identiche ai loro antenati petrolchimici (Bátori et al., 2018). In Figura 1 sono riportate alcune tipologie di polimeri, la loro origine e il loro grado di degradabilità.

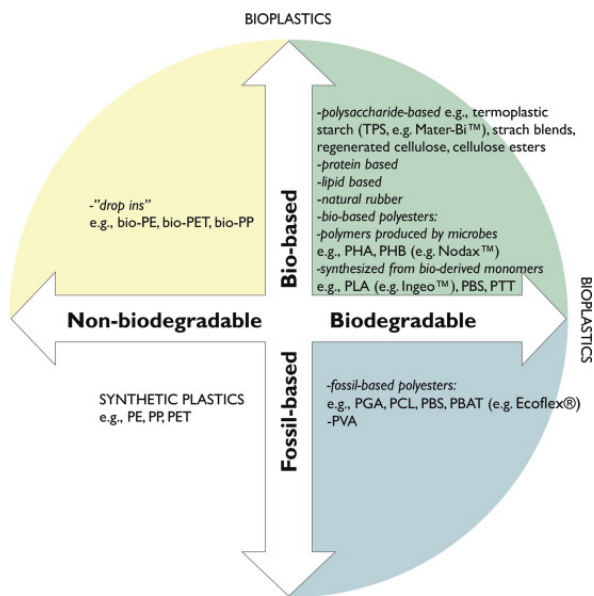


Figura 1: Classificazione delle bioplastiche, da (Bátori et al., 2018)

Plastiche drop in

Le plastiche durevoli a base completamente o parzialmente biologica (bioPE, bioPP...) possiedono proprietà identiche alle loro versioni convenzionali; tuttavia aiutano a ridurre l'impronta di carbonio di un prodotto. Inoltre, possono essere riciclati meccanicamente nei flussi di riciclaggio esistenti.

Poiché le plastiche sono di grande importanza nella società e poiché i materiali sono un determinante della sostenibilità, la sostituzione della plastica fossile con quella biobased è vista come un'alternativa promettente. Bisogna però tenere a mente che una plastica biobased non è necessariamente sostenibile; ciò dipende da una serie di fattori, tra cui il feedstock di partenza, il processo di produzione e il suo fine vita (Álvarez-Chávez et al., 2012).

Il polietilene (PE) è il polimero più utilizzato al mondo, rappresentando circa il 30% della produzione. È derivato dall'etilene, ottenuto tramite cracking di idrocarburi a basso peso molecolare. L'etilene è fondamentale nell'industria chimica, utilizzato per produrre vari materiali, tra cui glicole etilenico, plastica e solventi.

Esiste anche la possibilità di produrre etilene da fonti biologiche, tramite la disidratazione dell'etanolo, prodotto a sua volta dalla fermentazione di carboidrati. Il Brasile è leader in questo settore grazie alla sua industria della canna da zucchero, che permette una produzione economica di etilene e PE. Nel 2010, la società Braskem ha iniziato a produrre 200.000 tonnellate all'anno di PE da etanolo, con un'impronta ambientale positiva: ogni tonnellata di PE prodotta cattura 2,5 tonnellate di CO₂ dall'atmosfera.

La produzione di bioetanolo di seconda generazione (2G), derivante da biomassa lignocellulosica e non in competizione con l'alimentazione umana, è ancora limitata, rappresentando meno dell'1% della produzione totale di etanolo nel 2017. I costi di produzione su larga scala del bioetilene 2G sono ancora troppo elevati, essendo circa tre volte superiori a quelli del PE da petrolio fossile.

Nonostante ciò, la produzione di bioetilene 2G potrebbe diventare economicamente sostenibile in aree con abbondanza di materie prime, come rifiuti forestali-industriali, se i processi di produzione venissero ottimizzati. Inoltre, questa soluzione potrebbe contribuire a risolvere problemi ambientali legati allo smaltimento dei rifiuti (Koopmans, 2013; Mendieta et al., 2020; Tsiropoulos et al., 2015).



Fine vita di plastiche compostabili e biodegradabili

Oggi le bioplastiche di scarto vengono raccolte con la frazione organica dei rifiuti solidi urbani (FORSU), rappresentando circa il 3-4% del peso della FORSU in Italia nel 2019. Questa percentuale è destinata a crescere, sollevando questioni sulla biodegradazione durante la gestione dei rifiuti.

Secondo gli standard ISO 17088:2012 e EN 13432:2000, una plastica è biodegradabile se si decompone in CO₂, acqua, composti inorganici e biomassa senza residui tossici. La norma EN 13432:2000 richiede una conversione del 90% in CO₂ entro sei mesi in condizioni

di compostaggio aerobico e una conversione del 50% in biogas in due mesi in condizioni anaerobiche. Tuttavia, questi standard sono basati su condizioni ottimali di laboratorio, diverse dalle reali condizioni di trattamento dei rifiuti, come la digestione anaerobica (AD) e il compostaggio (Bátori et al., 2018; Cucina et al., 2021).

Le bioplastiche della famiglia dei PHA possono essere degradate anaerobicamente in 3-6 settimane con un'efficienza superiore all'80%. Invece, il PLA è quasi inattaccabile in condizioni anaerobiche, con una degradazione massima del 10%, anche con tempi di processo prolungati. Le bioplastiche a base di amido hanno una degradazione del 23-41% in un mese, che può salire al 73% dopo un trattamento alcalino (Bátori et al., 2018).

Uno studio ha testato la degradabilità del PLA in digestione anaerobica termofila, trovando una produzione di metano inferiore ai valori di letteratura e nessuna degradazione dei frammenti. Il PCL, simile al PLA, è difficile da degradare sia nell'ambiente sia in digestione anaerobica, con casi di degradazione superiore all'80% richiedendo condizioni specifiche e tempi lunghi, fino a 139 giorni (Bandini et al., 2020; Folino et al., 2020).

In generale, i tempi di ritenzione necessari per la digestione delle bioplastiche sono molto più lunghi rispetto a quelli degli impianti di produzione di biogas attuali, rendendo questa soluzione impraticabile con le tecnologie e le biomasse attualmente in uso.

Compostaggio

La maggior parte dei polimeri biodegradabili, come PLA e TPS, è compostabile, rendendo il compostaggio una delle opzioni più preferibili per lo smaltimento delle bioplastiche.

Il lavoro di Cucina et al. ha esaminato il compostaggio di biomassa risultante dalla codigestione anaerobica di FORSU e bioplastiche, in particolare PLA e derivati dagli amidi. Il compostaggio ha raggiunto temperature superiori ai 55 °C, eliminando batteri patogeni e inibendo la germinazione delle piante infestanti, ma solo per un breve periodo. Un problema rilevante è la presenza di materiali inerti non degradati nel compost, con il 17,8% di bioplastiche superiori ai 2 cm, ben oltre il limite legale dello 0,5% di materiale inerte superiore ai 2 mm (Cucina et al., 2021).

La degradazione dei film di pacciamatura in tessuto non tessuto PLA/PHA è stata studiata in compostaggio simulato a 63 °C, con irradiazione UV e spruzzi d'acqua, ottenendo una riduzione del peso molecolare del 90% in 180 giorni (Fredri and Dorigato, 2021).

La review di Folino et al. indica che la degradazione del PLA varia tra il 60 e il 100% in 90 giorni in condizioni di 58 °C e 60% di umidità, mentre le bioplastiche a base di amidi hanno una degradazione inferiore al 50%. Il PBS mostra una degradazione superiore al 90%, ma in tempi superiori ai 100 giorni (Folino et al., 2020).

Ruggero et al. hanno studiato il compostaggio del Mater-Bi, una bioplastica a base di amido, additivi e PBAT, in diverse condizioni. I primi 5 giorni di compostaggio sono cruciali: sia il peso che l'energia di attivazione dell'amido e degli additivi diminuiscono rapidamente. La biodegradazione del PBAT è rallentata durante la fase di maturazione, influenzata principalmente dall'umidità, che determina l'attività microbica. L'amido, essendo un polisaccaride naturale, si decompone rapidamente, mentre il PBAT, un



copoliestere aromatico-alifatico sintetico, richiede più tempo e condizioni ottimali di umidità per una completa biodegradazione (Ruggero et al., 2020).

In sintesi, mentre alcune bioplastiche come il PLA e il PBS si degradano efficacemente in condizioni di compostaggio ottimali, altre come il PBAT richiedono tempi più lunghi e condizioni specifiche per una completa degradazione.

Degradazione nell'ambiente

La degradazione e la biodegradazione sono processi diversi. La degradazione scompone i polimeri in particelle più piccole tramite calore, umidità, luce solare

ed enzimi, mentre la biodegradazione è la completa mineralizzazione dei materiali in anidride carbonica, acqua, ammonio, azoto, idrogeno e biomassa tramite microrganismi. La biodegradazione non è dannosa per l'ambiente, poiché i prodotti risultanti sono naturali.

I residui della biodegradazione delle bioplastiche non sono generalmente tossici e possono essere consumati da altri organismi viventi. Tuttavia, la presenza di resine fossili in alcune bioplastiche può causare problemi. La biodegradazione dipende da fattori come umidità, temperatura, ossigeno, pH, tempo, nutrienti, radiazione UV e microrganismi (Folino et al., 2020).

Le bioplastiche commerciali (ad es. PLA e PHA) si degradano lentamente in condizioni

ambientali, limitando i vantaggi teorici dell'uso delle bioplastiche per evitare l'inquinamento. Il tasso di biodegradazione varia in base all'ambiente e al suolo. La biodegradazione delle plastiche nell'ambiente o nelle discariche può anche portare a emissioni di metano (Folino et al., 2020; Fredi and Dorigato, 2021).

Cucina et al. hanno studiato l'incubazione nel terreno di bioplastiche, rilevando una degradazione del 5.4% in 90 giorni per i campioni misti, suggerendo una completa degradazione in 4-5 anni. Le bioplastiche a base di amidi mostrano una degradazione del 34.3% (1 anno per la completa degradazione) e il PLA puro del 5% (5 anni per la completa degradazione). Le performance di compostaggio sono peggiori a causa della degradazione precedente delle componenti più attaccabili (Cucina et al., 2021).

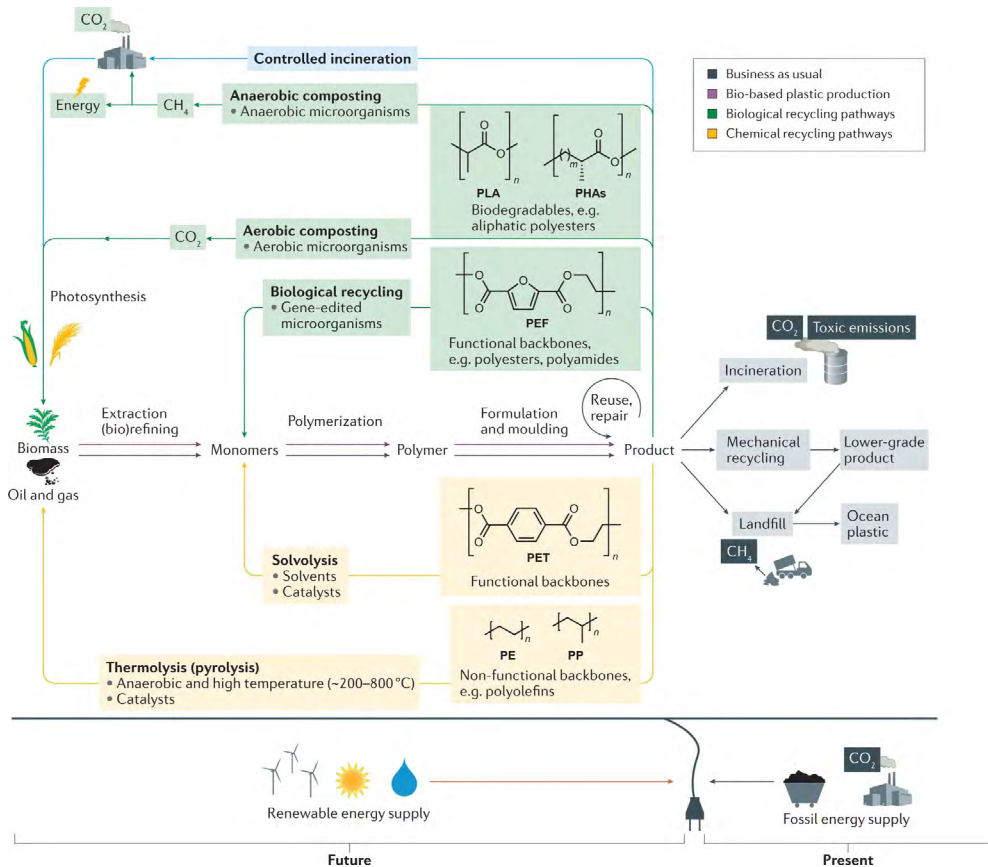
La degradazione nel suolo delle bioplastiche a base di amidi è inferiore al 37% in 3 mesi, ma può aumentare al 96% con l'aggiunta di chitosan. Il PLA può degradarsi in 6-24 mesi. I PHA sono i materiali più promettenti per la biodegradazione, con una degradazione del 100% in 90 giorni. Il Mater-Bi® raggiunge fino all'80% di biodegradazione in 90 giorni in compostaggio aerobico, ma solo il 3,4% nel suolo e l'1,5% in acqua (Accinelli et al., 2012; Ferreira-Filipe et al., 2021; Folino et al., 2020; Fredi and Dorigato, 2021; Meereboer et al., 2020) a variety of products are currently manufactured from bioplastic, including carrier bags. This series of studies investigated the deterioration of carrier bags made with Mater-Bi (MB).

Conclusioni

L'analisi degli impatti ambientali delle bioplastiche mostra che non esiste una soluzione unica per ogni tipo di polimero. Attualmente, le bioplastiche biodegradabili vengono conferite insieme alla frazione umida dei rifiuti urbani. Il riciclaggio richiederebbe una classificazione e una suddivisione preliminare, oltre a un sistema di selezione integrato. Sviluppi futuri possono portare a filiere più virtuose (Figura 2).

I tempi di degradazione delle bioplastiche nel terreno possono superare l'anno, e i tempi industriali per la digestione della FORSU non sono generalmente compatibili con una cospicua degradazione delle bioplastiche. Una soluzione integrata di digestione anaerobica e compostaggio può essere efficace, a patto di riformare la normativa sul compost per ammettere una maggiore quantità di materiale inerte.

La degradazione delle bioplastiche potrebbe essere accelerata in discarica, ma sono



necessari studi sugli effetti delle microplastiche e degli additivi. Le plastiche bio-based e drop-in sono meno problematiche poiché possono essere trattate come le plastiche fossili. Tuttavia, la loro produzione è ancora complessa e costosa.

La sostituzione delle plastiche di origine petrolchimica con quelle biologiche richiede miglioramenti sistemici e investimenti. Sebbene le plastiche convenzionali abbiano una tecnologia consolidata, le bioplastiche potrebbero offrire una maggiore sostenibilità a lungo termine. Gli aspetti socioeconomici e politici giocheranno un ruolo fondamentale nella valutazione del potenziale di sostenibilità delle bioplastiche.

Bibliografia

- [1] 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>
- [2] Álvarez-Chávez, C.R., Edwards, S., Moure-Eraso, R., Geiser, K., 2012. Sustainability of bio-based plastics: general comparative analysis and recommendations for improvement. *J. Clean. Prod.* 23, 47–56. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.10.003>
- [3] Bandini, F., Frache, A., Ferrarini, A., Taskin, E., Cocconcelli, P.S., Puglisi, E., 2020. Fate of Biodegradable Polymers Under Industrial Conditions for Anaerobic Digestion and Aerobic Composting of Food Waste. *J. Polym. Environ.* 28, 2539–2550. <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01791-y>
- [4] Bátor, V., Åkesson, D., Zamani, A., Taherzadeh, M.J., Sárvári Horváth, I., 2018. Anaerobic degradation of bioplastics: A review. *Waste Manag.* 80, 406–413. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.09.040>
- [5] Cucina, M., De Nisi, P., Trombino, L., Tambone, F., Adani, F., 2021. Degradation of bioplastics in organic waste by mesophilic anaerobic digestion, composting and soil incubation. *Waste Manag.* 134, 67–77. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.08.016>
- [6] Ferreira-Filipe, D.A., Paço, A., Duarte, A.C., Rocha-Santos, T., Patrício Silva, A.L., 2021. Are Biobased Plastics Green Alternatives?—A Critical Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 18, 7729. <https://doi.org/10.3390/ijerph18157729>
- [7] Folino, A., Karageorgiou, A., Calabrò, P.S., Komilis, D., 2020. Biodegradation of Wasted Bioplastics in Natural and Industrial Environments: A Review. *Sustainability* 12, 6030. <https://doi.org/10.3390/su12156030>
- [8] Fredi, G., Dorigato, A., 2021. Recycling of bioplastic waste: A review. *Adv. Ind. Eng. Polym. Res.* 4, 159–177. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2021.06.006>
- [9] Koopmans, R. j., 2013. Polyolefin-Based Plastics from Biomass-Derived Monomers, in: *Bio-Based Plastics*. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 295–310. <https://doi.org/10.1002/9781118676646.ch11>
- [10] Meereboer, K.W., Misra, M., Mohanty, A.K., 2020. Review of recent advances in the biodegradability of polyhydroxyalkanoate (PHA) bioplastics and their composites. *Green Chem.* 22, 5519–5558. <https://doi.org/10.1039/DoGc01647K>

- [11] Mendieta, C.M., Vallejos, M.E., Felissia, F.E., Chinga-Carrasco, G., Area, M.C., 2020. Review: Bio-polyethylene from Wood Wastes. *J. Polym. Environ.* 28, 1–16. <https://doi.org/10.1007/s10924-019-01582-0>
- [12] Rosenboom, J.-G., Langer, R., Traverso, G., 2022. Bioplastics for a circular economy. *Nat. Rev. Mater.* 7, 117–137. <https://doi.org/10.1038/s41578-021-00407-8>
- [13] Ruggero, F., Carretti, E., Gori, R., Lotti, T., Lubello, C., 2020. Monitoring of degradation of starch-based biopolymer film under different composting conditions, using TGA, FTIR and SEM analysis. *Chemosphere* 246, 125770. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125770>
- [14] Tsiropoulos, I., Faaij, A.P.C., Lundquist, L., Schenker, U., Briois, J.F., Patel, M.K., 2015. Life cycle impact assessment of bio-based plastics from sugarcane ethanol. *J. Clean. Prod.* 90, 114–127. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.071>

Riuso o riciclo: casi di studio nelle plastiche monouso e nel tessile

Valentina Terenzi^a, Patrizio Tratzi^a, Flaminia Fois^a, Valerio Paolini^a, Daniele Bianconi^a

a CNR, Istituto sull'inquinamento atmosferico

Gli sforzi per la riduzione dell'impatto ambientale dei prodotti richiede la considerazione della fase di fine vita, tramite la scelta del migliore sistema di gestione. L'adozione di opzioni riutilizzabili è spesso preferita agli articoli usa e getta, dando la priorità al riutilizzo rispetto al riciclaggio nella gerarchia delle 3R (Figura 1) (WFD, 2008). Tuttavia, se i prodotti riutilizzabili siano più rispettosi dell'ambiente è ancora dibattuto. Gli studi sul ciclo di vita mostrano che la questione dipende dalle specificità dei prodotti.

I prodotti riutilizzabili richiedono, ad esempio, materiali più durevoli e un maggiore



Figura 1. Gerarchia dei rifiuti in base alla Waste Framework Directive (2008/98/EC).

utilizzo complessivo del materiale rispetto agli usa e getta, che generano invece basse emissioni di produzione e trasporto. Inoltre, alcuni prodotti riutilizzabili, come quelli che richiedono il lavaggio, possono comportare emissioni significative durante l'uso e richiedono l'implementazione dei sistemi di distribuzione e recupero. Il riciclo, nonostante i vantaggi di produzione ed utilizzo, porta alla produzione di grandi quantità

di rifiuti e richiede comunque l'introduzione di una quota di materiale vergine all'inizio del processo (Coelho et al., 2020).

Per quanto riguarda i prodotti plastica, le alternative riutilizzabili possono avere un impatto ambientale inferiore rispetto alla plastica monouso, ma i loro vantaggi dipendono dall'utilizzo responsabile da parte dei consumatori. Se il prodotto riutilizzabile non viene riutilizzato abbastanza, l'opzione usa e getta potrebbe essere preferibile. Ad esempio, uno studio dell'Agenzia olandese per la protezione dell'ambiente ha esaminato i sacchetti della spesa riutilizzabili, determinando che devono essere utilizzati da 1 a 8 settimane per diventare più rispettosi dell'ambiente rispetto alle alternative in plastica monouso. Per un sacchetto di cotone, sono necessari 2,9 anni di utilizzo per compensare le emissioni di gas serra (Greenwood et al., 2021).

In conclusione, non è possibile evidenziare un netto vantaggio dei sistemi di riuso rispetto a quelli di riciclaggio, e la decisione rispetto al sistema da adottare richiede un'attenta valutazione delle specificità del prodotto e delle caratteristiche della filiera.

Il tessile rappresenta un caso particolare per la complessità della filiera e per la gestione del fine vita. Attualmente quello del tessile risulta essere uno dei settori produttivi più impattanti a livello globale ed europeo, per numerosi parametri ambientali (Figura 2). L'industria del tessile e del vestiario è responsabile della generazione circa del 2 - 10% (in base al parametro considerato) dell'intero impatto ambientale dei consumi europei (European Parliament, 2019).



Figura 2. Alcuni dei parametri ambientali su cui i prodotti tessili possono avere un impatto nelle diverse fasi del loro ciclo di vita

Dal momento che la produzione di prodotti tessili e vestiti presenta una catena di approvvigionamento complessa e le problematiche climatiche e ambientali si presentano a tutti gli stadi del ciclo vitale (produzione di fibre e prodotto finito; distribuzione; utilizzo; gestione del fine vita). Inoltre, le criticità e le conseguenze ambientali possono non essere direttamente visibili, perché possono agire su un'ampia varietà di fattori ambientali e con impatti delocalizzati in diverse parti del mondo (Deckers et al., 2023).

A livello europeo, la gestione dei rifiuti tessili è una necessità che richiede adattamenti negli impianti legislativi internazionali. È attualmente ad uno stadio di discussione avanzato la revisione della Direttiva Quadro Rifiuti 2008/98/CE, che introdurrà varie iniziative per la gestione dei rifiuti tessili, tra cui l'istituzione dei sistemi di Responsabilità Estesa del Produttore (EPR) obbligatori e armonizzati per tutti i Paesi UE. Tra le altre iniziative internazionali rientra la proposta di alcuni paesi membri, ad oggi soggetta a discussione informale, di migliorare il controllo delle esportazioni dei rifiuti tessili tramite modifiche agli allegati della Convenzione di Basilea.

Per quanto riguarda la situazione italiana, è in corso la stesura di una bozza di decreto per l'introduzione di un EPR per il settore tessile, in linea con gli obiettivi Europei. L'EPR ha l'obiettivo primario di migliorare la gestione dei rifiuti, ad esempio tramite l'implementazione logistica dei sistemi di raccolta, smistamento e riciclo. In Italia a partire dal primo gennaio 2022, è obbligatoria la pratica della raccolta differenziata per i rifiuti tessili urbani (l'entrata in vigore dell'obbligo europeo è previsto per gennaio 2025). In base ai dati disponibili; in Italia ogni anno vengono raccolte tramite raccolta differenziata circa 150.000 tonnellate di rifiuti tessili urbani (quota sei volte inferiore rispetto all'immesso al consumo) (ISPRA, 2023). Questa quota corrisponde a circa il 18% del totale dei rifiuti tessili prodotti e non comprende le quote destinate alla beneficenza. Circa l'82% dei rifiuti tessili è indirizzato alla raccolta indifferenziata, principalmente a causa di una mancata o non corretta raccolta. Secondo stime di settore circa il 50% del totale raccolto tramite differenziata è destinato al riuso. Di questo, circa il 5% viene poi rivenduto in Italia nel mercato del "second hand", mentre il restante 95% trova mercato in Paesi esteri (soprattutto Paesi dell'Est Europa e del Nord Africa) (L'Italia che ricicla, 2023). Il restante 50% viene destinato per circa il 25% rispettivamente al recupero energetico e allo smaltimento in discarica (ISPRA, 2023). La quota destinata al riciclo è ad oggi trascurabile e l'applicazione del riciclo dei tessili a scala industriale necessita di ulteriori implementazioni tecnologiche (L'Italia che ricicla, 2023).

Al fine di valutare le conseguenze dell'applicazione dell'EPR per i rifiuti tessili, è stato svolto uno studio che tenesse in considerazione gli impatti ambientali legati al ciclo di vita dei prodotti tessili ed eventuali vantaggi apportati dal cambiamento del modello di gestione. Il presente studio è basato su un'analisi di tipo *Life Cycle Assessment* (LCA), che valuta i potenziali impatti ambientali lungo l'intero ciclo di vita di un prodotto (fasi di produzione, distribuzione, utilizzo e fine vita) o servizio. Per l'esecuzione dello studio sono state scelte due fibre, il cotone ed il poliestere, esemplificative della tipologia di fibre presenti sul mercato. Il prodotto tessile viene considerato come costituito da un solo tipo di fibra, escludendo capi a composizione mista.

In via preliminare, sono stati selezionati scenari di raccolta e di gestione dei rifiuti tessili, in modo da modellare possibili andamenti futuri ideali e valutarne l'impatto ambientale. I seguenti obiettivi di raccolta sono concordi con quanto predisposto dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE) e ideati sulla base del D. Lgs 152/2006. Per gli obiettivi di trattamento è stato inoltre ipotizzato un aumento nei tassi di riciclo e riuso nel corso del tempo, con la contemporanea diminuzione del trattamento in discarica a favore dell'incenerimento.

Gli scenari considerati (Tabella 1) sono:

- CB – Cotone Baseline: scenario attuale (raccolta differenziata pari al 18%);
- C1 – Cotone 25%: EPR con raccolta differenziata al 25%;
- C2 – Cotone 40%: EPR con raccolta differenziata al 40%;
- PB – Poliestere Baseline: scenario attuale (raccolta differenziata pari al 18%);
- P1 – Poliestere 25%: EPR con raccolta differenziata al 25%;
- P2 – Poliestere 40%: EPR con raccolta differenziata al 40%;

Tabella 1. Dettagli degli scenari considerati. Le percentuali individuate con un asterisco si riferiscono allo scarto post-industriale della fase di produzione del poliestere.

Scenari	Cotone Baseline (CB)	Cotone 25% (C1)	Cotone 40% (C2)	Poliestere Baseline (PB)	Poliestere 25% (P1)	Poliestere 40% (P2)
Totale raccolta differenziata	18%	25%	40%	18%	25%	40%
Riuso	50%	50%	60%	50%	50%	60%
Riciclo	0%	10%	20%	0%	10% +50%*	20% +100%*
Discarica	25%	15%	5%	25%	15%	5%
Recupero energetico	25%	25%	15%	25%	25%	15%

Per la scelta delle metodiche dell'analisi stessa sono state prese in considerazione diverse pubblicazioni scientifiche su riviste peer-reviewed e report tecnici. Per lo svolgimento delle analisi è stato impiegato il software OpenLCA integrato con il database ecoinvent 3.7.1, e indicatori ReCiPe (Huijbregts et al., 2016).

Per questo studio si è deciso di procedere con una logica di mass flow, e quindi per ogni scenario è stata quantificata la quota di materia prima vergine che entra nel sistema per raggiungere, insieme alla quantità di materiale o di prodotto derivante da riciclo o da riutilizzo, la somma di 1 kg di tessuto pronto all'uso. Si è inoltre scelto di tralasciare la fase di uso del prodotto, in quanto sarebbe risultata, a questo livello di dettaglio, uguale per ogni scenario e di non considerare l'impatto del trasporto di materie prime, prodotti e rifiuti.

In Figura 3 e in Figura 4 sono visibili, a titolo esemplificativo, i flussi di massa costruiti per gli scenari PB e P2. È possibile notare che a diversi livelli ci sono perdite di materiale che vanno considerate, ad esempio, si perde un 10% a livello di produzione (ossia, per ogni kg di poliestere tessile prodotto, sono necessari 1,1 kg di poliestere vergine), un 33% a livello di riuso e un ulteriore 10% a livello di riciclo. A livello di raccolta differenziata del rifiuto tessile, si riscontra infine una perdita del 10% del materiale. Le perdite in fase di produzione del poliestere, in quanto scarti post-industriali sono da considerarsi di alta

qualità e per cui da indirizzare al riciclo: nello scenario P2 il 100% di questo materiale viene riciclato. Il materiale tessile destinato a riuso e a riciclo va a sostituirsi a quello “vergine” a livello della produzione, richiedendo, nello scenario P2, una minore immissione di materia prima vergine rispetto allo scenario precedente. Le perdite che avvengono nelle fasi successive del processo sono state trattate come rifiuti indifferenziati, e indirizzati al 50% in discarica e al 50% in termovalorizzazione.

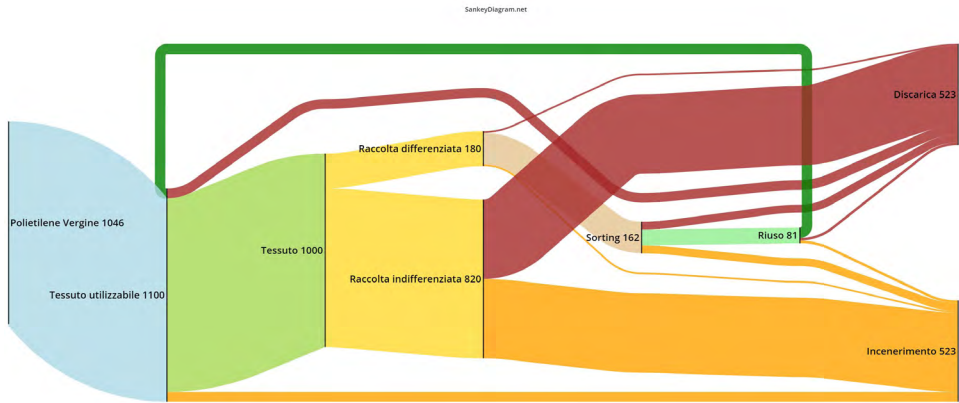


Figura 3. Flusso di massa dello scenario PB

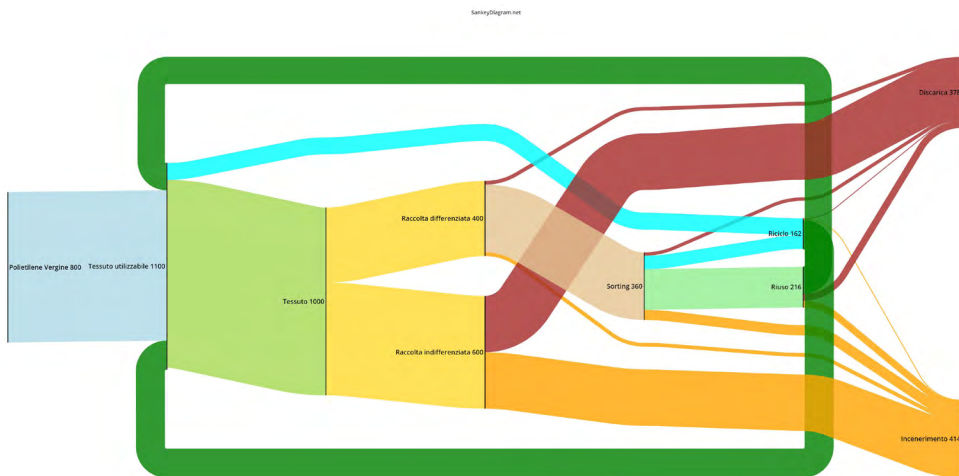


Figura 4. Flusso di massa dello scenario P2

Nei risultati dell'analisi sono state considerate diverse categorie di impatto ambientale, tra cui l'impatto sui cambiamenti climatici e l'impatto sul consumo di risorse fossili. Il primo fattore utilizza i kg di CO₂ equivalenti come indicatore e considera gli effetti delle diverse specie chimiche sul riscaldamento globale. Il secondo fattore è espresso in kg di petrolio equivalenti, e considera l'impoverimento dei giacimenti di risorse fossili e la crescente necessità di utilizzare fonti non convenzionali di combustibili fossili.

I risultati dell'analisi mostrano che si ha una riduzione più o meno ampia dell'impatto ambientale per tutte le categorie considerate, all'aumentare della percentuale di raccolta differenziata con conseguente incremento di riuso e riciclo e riduzione della fine vita in discarica. Per il poliestere è visibile una cospicua riduzione dell'uso di carburanti fossili (fino ad un 17% di riduzione) all'aumentare della quota di riuso e riciclo, dipendenti da una minore necessità di polietilene vergine. In generale, i processi di riuso sono molto meno energivori di quelli di produzione, e quindi le riduzioni nelle categorie di impatto sui carburanti fossili e sul cambiamento climatico sono trainate da questo minor consumo energetico. Per quanto riguarda il consumo di carburanti fossili, va anche considerato il recupero energetico tramite termovalorizzazione, che comporta una corrispondente riduzione della produzione energetica tramite mix nazionale.

L'attuale studio sarà soggetto ad implementazioni che avranno l'obiettivo di risolvere le limitazioni attuali e arrivare alla costruzione di scenari che siano progressivamente il più possibile assimilabili alla situazione reale. Possibili implementazioni future riguarderanno l'introduzione della fase di utilizzo, che considera ulteriori categorie di impatto ambientale, come la dispersione delle microplastiche nell'ambiente, che, se non considerate, possono portare a una sottostima dell'impatto delle fibre sintetiche. Si punterà inoltre a considerare più cicli di riuso dei capi, che porterebbero a un aumento dei benefici ambientali; e ad incentrare sempre di più il processo sul capo finito anziché sulla fibra, includendo anche i capi composti da fibre miste.

Bibliografia

- [1] Coelho, P.M., Corona, B., ten Klooster, R., Worrell, E., 2020. Sustainability of reusable packaging—Current situation and trends. *Resour. Conserv. Recycl.* X 6, 100037. <https://doi.org/10.1016/j.rcrx.2020.100037>
- [2] Deckers, J., Manshoven, S., Fogh Mortensen, L., 2023. ETC-CE Report 2023/5. The

role of bio-based textile fibres in a circular and sustainable textiles system. European Topic Centre on Circular economy and resource use, European Environment Agency. Available From: <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-ce/products/etc-ce-report-2023-5-the-role-of-bio-based-textile-fibres-in-a-circular-and-sustainable-textiles-system>

- [3] European Parliament, 2019. Environmental impact of the textile and clothing industry - What consumers need to know. EPRS, European Parliamentary Research Service; Available from: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/633143/EPRS_BRI\(2019\)633143_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/633143/EPRS_BRI(2019)633143_EN.pdf)
- [4] Greenwood, S.C., Walker, S., Baird, H.M., Parsons, R., Mehl, S., Webb, T.L., Slark, A.T., Ryan, A.J., Rothman, R.H., 2021. Many Happy Returns: Combining insights from the environmental and behavioural sciences to understand what is required to make reusable packaging mainstream. *Sustain. Prod. Consum.* 27, 1688–1702. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.03.022>
- [5] L'Italia che ricicla, 2023. Assoambiente. Available from: <https://assoambiente.org/files/rapporto-italia-che-ricicla-2023.pdf> ISPRA, 2023. Rapporto Rifiuti Urbani Edizione 2023. ISBN 978-88-448-1200-3
- [6] Huijbregts, M.A., Steinmann, Z.J., Elshout, P.M., Stam, G., Verones, F., Vieira, M.D.M., Hollander, A., Zijp, M., van Zelm, R., 2016. ReCiPe 2016: a harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level report I: characterization. Volume 22, pages 138–147.
- [7] WFD, 2008. European Parliament, 2008/98/EC Waste Framework Directive.

Tipologie di rifiuti plastici in mare e soluzioni tecnologiche per la loro valorizzazione

Fantina Madricardo^a, Giorgio Simone^a, Vanessa Moschino^a

a CNR, Istituto di scienze marine

Introduzione

Per rifiuti marini si intende “qualsiasi materiale solido persistente, fabbricato o lavorato, scartato, smaltito o abbandonato nell’ambiente marino e costiero”, comprendendo dunque un’ampia gamma di materiali, tra cui plastica, vetro, metallo, carta e legno, anche se si stima che la plastica costituisca circa il 60-80% dei rifiuti marini (Derraik, 2002).

Le varie tipologie di plastica possono variare nell’aspetto esteriore e nell’utilizzo finale, ma condividono alcune caratteristiche essenziali: sono leggere, lavabili, convenienti, facilmente plasmabili quando riscaldate, riproducibili in massa e particolarmente idonee per la conservazione degli alimenti grazie alla resistenza elevata agli agenti chimici, temperature e radiazioni solari. Inoltre, attualmente, hanno un basso costo di produzione. Se, da una parte, queste caratteristiche rendono i materiali plastici particolarmente utili per diversi utilizzi, dall’altra la loro durabilità e resistenza fa sì che essi possano persistere a lungo nell’ambiente naturale creando un problema ambientale globale con potenziali effetti non solo sugli ecosistemi, ma anche sulla salute umana (Andrady, 2015). Sebbene le plastiche siano attualmente essenziali per alcuni settori dell’economia e la vita quotidiana, diversi fattori come la complessità della loro catena del valore, le sfide logistiche nel monitorare i cicli di vita dei prodotti e la difficoltà di attribuire le responsabilità del loro smaltimento, spesso ci impediscono di sfruttare appieno i vantaggi economici di un approccio circolare, causando danni ambientali ed economici (si pensi, ad esempio, al danno economico derivato dalla riduzione del prodotto ittico e dalla riduzione del valore estetico e ricreativo di spiagge e litorali).

Si stima, infatti, che 14,5 milioni di tonnellate di rifiuti plastici siano stati dispersi

negli oceani nel 2018 (Wayman and Niemann, 2021), e che le quantità riversate negli ambienti acquatici potrebbero aumentare di 2,6 volte nel 2040 fino a circa 80 milioni di tonnellate l'anno (Lau et al., 2020). L'Unione Europea (UE) si trova di fronte a una manifestazione evidente del problema, con quasi 26 milioni di tonnellate di rifiuti di plastica generati ogni anno, con circa 1 milione di tonnellate che finisce nei mari annualmente (Commissione Europea, 2018).

Una volta in mare i rifiuti sono trasportati dalle correnti riversandosi in parte sulle spiagge, in parte continuano a galleggiare nella colonna d'acqua o si depositano sul fondale (Cozar, et al., 2014, Madricardo et al., 2020, Van Sebille et al., 2020, Canals et al., 2021, Kaandorp et al. 2023). In questo contesto, l'Unione Europea (UE) sta realizzando la transizione verso l'economia circolare attraverso lo sviluppo di un'economia sostenibile e competitiva che crei un sistema chiuso attraverso un approccio rigenerativo dei rifiuti. Il Piano d'Azione Zero Inquinamento (2021) rafforza ulteriormente questi sforzi, stabilendo obiettivi ambiziosi, tra cui una riduzione del 50% dei rifiuti di plastica in mare e una riduzione del 30% delle microplastiche rilasciate nell'ambiente entro il 2030. L'Economia Blu dell'UE per un futuro sostenibile sottolinea il ruolo cruciale di attività economiche responsabili per la prevenzione dell'inquinamento marino. Nonostante questi quadri normativi, rimangono sfide significative, con 150.000-500.000 tonnellate di rifiuti di plastica dell'UE che finiscono nei mari ogni anno. L'impatto economico negativo su settori come il turismo, la pesca e la navigazione sottolinea ulteriormente l'urgenza di misure comprensive ed efficaci (Commissione Europea, 2018). Tali misure devono senz'altro ridurre la produzione delle plastiche e dei rifiuti plastici, ma devono anche proporre soluzioni ecosostenibili per il recupero e la gestione e il riciclaggio dei rifiuti che già sono nell'ambiente marino.

Nello specifico, il processo di riciclo delle materie plastiche può avvenire per via meccanica, per riottenere la macromolecola di partenza, o per via chimica o termica, per ottenere il monomero o altre materie prime (feedstock recycling).

Il riciclaggio meccanico implica la trasformazione diretta della plastica non più utilizzata in nuovi prodotti, attraverso processi termici o meccanici di rilavorazione dei rifiuti plastici. Questo percorso è particolarmente efficace nel caso si abbia un feedstock di polimeri uniforme (come nel caso, ad esempio, del PET delle bottigliette di plastica o del riciclo del polietilene). È un processo che tuttavia non può essere sempre applicato,

soprattutto nel caso di plastiche miste, il cosiddetto plasmix, insieme dei rifiuti misti di plastica che derivano dal riciclaggio meccanico degli imballaggi, caratterizzato da estrema eterogeneità.

Il riciclaggio chimico, invece, mira a riportare la plastica usata alla sua forma di materia prima di base, tramite la conversione dei polimeri delle plastiche usate nei rispettivi monomeri di alta qualità, che possono essere riutilizzati nella produzione. Questo processo implica la decomposizione dei polimeri in monomeri tramite una sorta di “produzione inversa” e separa chimicamente le molecole dei materiali plastici con il vantaggio di non richiedere necessariamente una pre-selezione dei materiali di polimeri diversi. Esistono diverse tecnologie di riciclaggio chimico, come la pirolisi, la gassificazione, l'idrocracking e la depolimerizzazione.

Poiché il riciclaggio chimico scompone i polimeri nei loro elementi costitutivi, consente anche di produrre plastica riciclata con proprietà della plastica vergine che può essere utilizzata in applicazioni complesse, come per articoli utilizzati per gli alimenti. Questo è un settore in forte espansione con un aumento significativo degli investimenti da 2,6 miliardi di euro nel 2025 a 8 miliardi di euro nel 2030 e una stima di aumento della produzione di plastiche riciclate chimicamente da 0,9 milioni di tonnellate a 2,8 milioni di tonnellate nel 2030 (Plastic Europe, 2023).

Qualora la plastica non sia raccolta o riciclata, può essere sottoposta al recupero energetico tramite la termovalorizzazione. Dopo un opportuno trattamento di selezione e triturazione, è possibile ottenere combustibili alternativi (CDR-Combustibile Derivato da Rifiuti) utilizzati in processi industriali come nei cementifici o per generare energia termoelettrica.

In base all'analisi dei dati EMODnet raccolti per monitorare la presenza di rifiuti sulle spiagge, le prime due categorie IT più comuni in tutte le coste italiane e sono IT7, i.e. materiali in plastica correlati al consumo di cibo, e IT19, i.e. frammenti plastici. La IT18, i.e. oggetti in polistirolo risulta tra i più frequenti, insieme a IT32, i.e. mozziconi di sigarette e filtri. Sui fondali sono stati trovati invece prevalentemente imballaggi industriali, packaging, e reti o altri attrezzi correlati alle attività di pesca e acquacoltura (maggior dettaglio in Moschino et al. 2024). Il riciclo di queste tipologie di rifiuti, per di più mescolate tra loro, è particolarmente complesso. Infatti, i metodi convenzionali di riciclaggio adottati per specifici rifiuti si basano sulla riusabilità

meccanica e la ricompattazione, presupponendo l'omogeneità della famiglia dei polimeri e la loro relativa pulizia (Ragaert et al, 2017). Tuttavia, tali approcci sono per lo più tecnologicamente inefficaci ed economicamente svantaggiosi per i rifiuti plastici marini, poiché essi risultano mescolati, intrisi di materia organica e contaminati dal sale. Nonostante il notevole aumento del numero di articoli sull'argomento a partire dalle prime pubblicazioni sui rifiuti marini alla fine degli anni '60, finora sono pochi gli studi specifici sul riciclaggio dei rifiuti marini (Bergman et al. 2015, Faussonne et al., 2021). Oltre alla discarica, l'incenerimento rappresenta il metodo più ampiamente utilizzato per trattarli (Iñiguez et al., 2016) mentre solo in pochissimi paesi, come la Corea del Sud, i rifiuti marini vengono impiegati per produrre combustibile derivato dai rifiuti (RDF) (Jung et al., 2010). Gli altri approcci per affrontare la problematica correlata ai rifiuti marini si basano fondamentalmente su strumenti economici in cui disincentivi, incentivi e sanzioni sono utilizzati per promuovere un comportamento volto alla prevenzione della generazione di tali rifiuti (Oosterhuis et al., 2010).

In Faussonne et al. (2021), sono analizzati i risultati della conversione dei rifiuti marini grazie alla pirolisi a bassa temperatura in carburanti marini, le cui proprietà sono confrontate con il gasolio marino commerciale dimostrando che il gasolio prodotto dai rifiuti marini grazie all'utilizzo del prototipo sviluppato da Sintol è pienamente conforme agli standard ISO8217 per il combustibile marino distillato.

D'altra parte, la nafta vergine prodotta a partire dai rifiuti marini è particolarmente ricca di BTX (Miscele di Benzene/Toluene/Xilene), etilbenzene, stirene e olefine, che sono tutti importanti sostanze chimiche di base recuperabili per il riciclo industriale. A conferma di questa analisi, Kusenberget al. (2022) analizzando le frazioni degli oli distillati grazie alla pirolisi a bassa temperatura a partire dai rifiuti marini e dal rifiuto plastico misto urbano, hanno evidenziato la possibilità di produrre olefine grazie al processo di steam cracking, ottenendo molecole di più alto valore commerciale rispetto al gasolio marino.

Analisi delle iniziative a livello europeo mediterraneo

Nel contesto europeo si è condotta un'analisi dei progetti e delle iniziative nel campo del riciclaggio dei rifiuti marini a partire dal *Deliverable 3.1 Catalogue of projects and initiatives* del progetto finanziato dall'UE BlueMissionMed (<https://bluemissionmed>).

eu/), un documento che raccoglie e analizza informazioni su progetti e iniziative identificati come rilevanti per il raggiungimento degli obiettivi della Missione Europea *Restore Our Ocean and Waters by 2030* nell'area mediterranea.

Le informazioni su ciascun progetto e iniziativa sono state raccolte attraverso ricerche desk, dai repository dei programmi di finanziamento pertinenti e, ove disponibili, dai siti web dei progetti e/o delle iniziative, identificando più di 200 progetti e iniziative rilevanti per l'Obiettivo 2 della Mission: prevenire ed eliminare l'inquinamento dei nostri oceani, mari e acque (raggiungere zero inquinamento) con almeno due partner nell'area del Mediterraneo. Il database del progetto BlueMissionMed è stato analizzato selezionando esclusivamente le iniziative che contenevano le parole chiave *recycling* o *upcycling*. Dei progetti selezionati, si è fatta un'analisi ulteriore per raccogliere informazioni in merito alle attività di riciclo, alle ditte coinvolte, ai luoghi in cui si sono fatti i test grazie alla consultazione dei siti web ufficiali dei diversi progetti e iniziative, ove disponibili. Tutte le informazioni sono state raccolte in un geo-database in cui sono state inserite anche le coordinate dei luoghi in cui sono state condotte le iniziative di riciclaggio dei rifiuti marini e sono state individuate le ditte o le istituzioni in cui è stato condotto il processo di riciclaggio, identificando 16 progetti e 4 iniziative, di cui 2 basate sul volontariato, coordinati da partner europei in cui sono stati coinvolti 30 paesi in tutto il mondo. Per quanto concerne invece la tipologia di riciclo, è emerso che, tra i progetti e le iniziative considerati, 20 enti adottano un riciclo di tipo meccanico, mentre 10 di tipo chimico, producendo a partire dai rifiuti marini nuovi oggetti, materiali per l'arredo urbano, prodotti tessili, syngas per la produzione di energia, oli di pirolisi, gasolio marino, olefine e altre molecole di pregio. Nel Mediterraneo i paesi più attivi nell'ambito del riciclo chimico e meccanico dei rifiuti sono la Spagna e l'Italia. Dall'analisi condotta su tali progetti e iniziative emerge che sono coinvolti complessivamente 25 enti (Figura 1), sia pubblici che privati, operanti nel settore del riciclo nell'ambito di progetti sui rifiuti marini nell'area mediterranea.

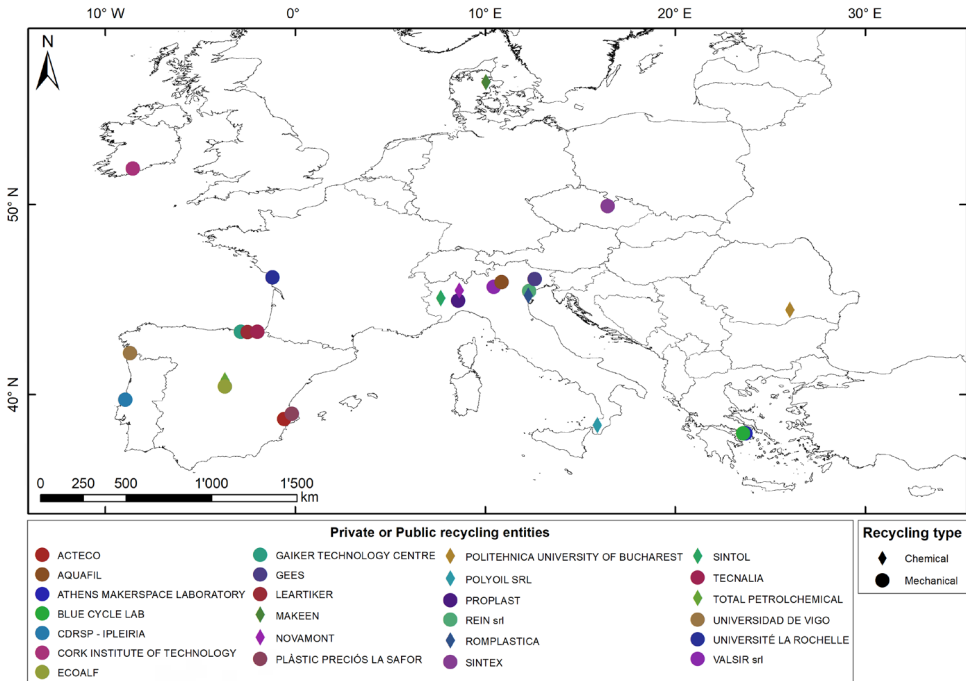


Figura 1 - Enti pubblici o privati, coinvolti nei progetti analizzati che effettuano il riciclo dei rifiuti marini. I colori distinti rappresentano i diversi enti coinvolti, mentre i simboli associati indicano la tipologia specifica di riciclo (chimico o meccanico).

Tra questi, 18 si occupano principalmente di riciclo meccanico, mentre 7 di riciclo chimico. La maggior parte delle iniziative riguarda il riciclaggio delle reti da pesca e acquacoltura, o delle plastiche raccolte dai pescatori in mare, nonché delle barche in vetroresina e prevedono la loro trasformazione in nuove reti, oggetti, arredi urbani, prodotti tessili, etc.

In particolare, si sono identificate nove ditte in Italia che hanno partecipato a iniziative progettuali che prevedevano il riciclo chimico o meccanico dei rifiuti marini. La maggior parte delle ditte è focalizzata sul riciclo meccanico delle reti da pesca, e sono solo due le ditte individuate che hanno fatto il riciclo chimico dei rifiuti marini, mentre solo una è specializzata nel riciclo delle vetroresine.

Conclusioni

Dall'analisi delle iniziative di riciclo dei rifiuti marini nell'area europea mediterranea emerge un impegno crescente da parte della comunità europea per la gestione dei rifiuti marini nell'ottica dell'economia circolare. Le iniziative illustrate dimostrano che non solo il riciclo delle plastiche raccolte in mare è possibile, ma illustra anche diverse iniziative di successo per la produzione di nuovi prodotti o anche di nuovi polimeri vergini, grazie a processi che possono contribuire ad aumentare la quantità di plastica riciclata nel prossimo futuro. In questo contesto l'Italia presenta numerose realtà a livello nazionale in grado di attuare il processo di riciclo, alcune delle quali dotate di autorizzazione specifica al riciclo, sebbene le dimostrazioni siano ad oggi per lo più a livello di ricerca.

Letteratura citata

- [1] Andrady AL, 2015. Persistence of Plastic Litter in the Oceans. M. Bergmann et al. (eds.), *Marine Anthropogenic Litter*, pp. 57-72. DOI 10.1007/978-3-319-16510-3_3
- [2] Bergmann, M.; Gutow, L.; Klages, M. (Eds.) 2015. *Marine Anthropogenic Litter*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany.
- [3] Canals, M., Pham, C. K., Bergmann, M., Gutow, L., Hanke, G., Van Sebille, E., ... & Giorgetti, A. (2021). The quest for seafloor macrolitter: a critical review of background knowledge, current methods and future prospects. *Environmental Research Letters*, 16(2), 023001.
- [4] Cozar, A., Echevarría, F., Gonzalez-Gordillo, J.I., Irigoien, X., Ubeda, B., Hernandez-Leon, S., Palma, A.T., Navarro, S., Garcia-Lomas, J., Ruiz, A., Fernandez-de-Puelles, M.L., Duarte, C.M., 2014. Plastic debris in the open ocean. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 111 (28), 10239.
- [5] Derraik, J. G.B., 2002. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review, *Marine Pollution Bulletin*, Volume 44, Issue 9, Pages 842-852. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00220-5](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00220-5).
- [6] ECCO, 2022. The Italian climate change think tank, pp. 65.
- [7] Faussone, G. C., Kržan, A., & Grilc, M. (2021). Conversion of marine litter from Venice Lagoon into marine fuels via thermochemical route: the overview of products, their yield, quality and environmental impact. *Sustainability*, 13(16), 9481.

- [8] Faussone, G. C., & Cecchi, T. (2022). Chemical recycling of plastic marine litter: first analytical characterization of the pyrolysis oil and of its fractions and comparison with a commercial marine gasoil. *Sustainability*, 14(3), 1235.
- [9] Iñiguez, M.E.; Conesa, J.A.; Fullana, A. Marine debris occurrence and treatment: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2016, 64, 394–402.
- [10] Jung, R.T.; Sung, H.G.; Chun, T.B.; Keel, S.I. Practical engineering approaches and infrastructure to address the problem of marine debris in Korea. *Mar. Pollut. Bull.* 2010, 60, 1523–1532.
- [11] Kaandorp, M.L.A., Lobelle, D., Kehl, C. et al. Global mass of buoyant marine plastics dominated by large long-lived debris. *Nat. Geosci.* 16, 689–694 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41561-023-01216-0>
- [12] Kusenberg, M., Faussone, G. C., Thi, H. D., Roosen, M., Grilc, M., Eschenbacher, A., ... & Van Geem, K. M. (2022). Maximizing olefin production via steam cracking of distilled pyrolysis oils from difficult-to-recycle municipal plastic waste and marine litter. *Science of The Total Environment*, 838, 156092.
- [13] Lau, W.W.Y., Shiran, Y., Bailey, R.M., Cook, E., Stuchtey, M.R., Koskella, J., Velis, C.A., Godfrey, L., Boucher, J., Murphy, M.B., Thompson, R.C., Jankowska, E., Castillo, A.C., Pilditch, T.D., Dixon, B., Koerselman, L., Kosior, E., Favoino, E., Gutberlet, J., Baulch, S., Atreya, M.E., Fischer, D., He, K.K., Petit, M.M., Sumaila, U.R., Neil, E., Bernhofen, M.V., Lawrence, K., Palardy, J.E., 2020. Evaluating scenarios toward zero plastic pollution. *Science* 369, 1455–1461. <https://doi.org/10.1126/science.aba9475>
- [14] Moschino, V., Ghezzi, M., Madricardo, F., 2024. Report su incidenza sull'ambiente della dispersione o altro smaltimento improprio dei rifiuti di prodotti di plastica monouso e di attrezzi da pesca contenenti plastica, LINEA B – Blue economy e marine litter, B.3- Collaborazione nella definizione della Strategia nazionale per la lotta contro l'inquinamento.
- [15] Oosterhuis, F.; Papyrakis, E.; Boteler, B. Economic instruments and marine litter control. *Ocean Coast. Manag.* 2014, 102, 47–54.
- [16] Plastics Europe, 2023. Plastics—the facts 2023—an analysis of European plastics production, demand and waste data.
- [17] Ragaert, K.; Delva, L.; Van Geem, K. Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Manag.* 2017, 69, 24–58.

- [18] Van Sebille, E., Aliani, S., Law, K. L., Maximenko, N., Alsina, J. M., Bagaev, A., ... & Wichmann, D. (2020). The physical oceanography of the transport of floating marine debris. *Environmental Research Letters*, 15(2), 023003.
- [19] Wayman C, Niemann H., 2021. The fate of plastic in the ocean environment – a minireview. *Environ. Sci.: Processes Impacts*, 2021, 23, 198-212.

Distribuzione e potenziali sorgenti dei rifiuti marini spiaggiati lungo le coste italiane

Vanessa Moschino^{a,*}, Michol Ghezzi^a, Giorgio Simone^a, Fantina Madricardo^a

a CNR, Istituto di scienze marine

Introduzione

I rifiuti di origine antropica che arrivano ai fiumi ed ai mari possono avere molteplici effetti potenzialmente avversi per gli ecosistemi e le attività umane. I rifiuti marini sono composti da un'ampia gamma di materiali, tra cui plastica, vetro, metallo, carta e legno; tuttavia, circa il 60-80% è costituito da oggetti in plastica. I materiali plastici sono costituiti da polimeri sintetici e semi-sintetici che possono persistere a lungo nell'ambiente naturale; la quantità di rifiuti plastici non gestiti correttamente che entrano negli oceani è stata stimata tra 4,8 e 12,7 milioni di tonnellate nel 2010 (Jambeck et al., 2015). Se non verranno adottate tempestivamente strategie di mitigazione, nel 2040 le stime globali di immissione di plastica negli ambienti acquatici potrebbero essere superiori di 2,6 volte rispetto al 2016 (Lau et al., 2020). La grande prevalenza di oggetti in plastica tra i rifiuti marini non è unicamente dovuta alla maggiore quantità di questo materiale che generalmente viene disperso o abbandonato in mare rispetto ad altre tipologie, ma dipende anche dalla sua eccezionale durabilità e persistenza. A causa di queste caratteristiche, le materie plastiche sono considerate contaminanti emergenti, con potenziali effetti non solo sugli ecosistemi, ma anche sulla salute umana.

Uno degli aspetti critici nell'affrontare il problema dei rifiuti marini è la definizione delle sorgenti e del loro contributo specifico a livello regionale. Una delle classificazioni più generali dell'origine dei rifiuti marini è la suddivisione tra rifiuti di origine marina e rifiuti di origine terrestre. L'origine marina si riferisce ai rifiuti rilasciati direttamente (accidentalmente o intenzionalmente) in mare da attività che vi si svolgono come la navigazione, la pesca e gli impianti offshore. L'origine terrestre si riferisce ad attività che determinano la formazione di rifiuti direttamente sulla costa, come il turismo balneare, ed a rifiuti generati in aree più distanti, come città e siti industriali, successivamente

trasportati al mare attraverso varie vie, come i sistemi fognari e / o i fiumi (Meijer et al., 2021). Di conseguenza, anche i Paesi non costieri possono contribuire all'inquinamento da rifiuti marini.

La maggior parte dei rifiuti marini si stima provenga da fonti terrestri (80%). Gli oggetti più comuni sono i rifiuti derivanti da prodotti di consumo o dai loro imballaggi, come incarti di cibo, bottiglie di bevande, tappi di bottiglie e sacchetti della spesa. Tuttavia, in alcune regioni i rifiuti di origine marina possono talvolta essere dominanti, a seconda del livello di attività umane sviluppate in mare in quell'area (Galgani et al., 2015).

Per affrontare correttamente il problema dei rifiuti presenti in ambiente acquatico, è fondamentale non solo monitorarne la loro presenza, abbondanza e il destino nei vari comparti, ma anche identificare le fonti e i percorsi che portano alla loro presenza in ambiente. Definire le origini dei rifiuti, tuttavia, può risultare difficile dal momento che lo stesso oggetto può avere origine da fonti e attività diverse e può essere trasportato lontano dalla sua origine geografica. Alcuni oggetti, infatti, sono facilmente identificabili e possono essere attribuiti a specifici settori industriali o di consumo, o a precisi punti di origine. Altri, però, non possono essere collegati direttamente a una particolare fonte: le bottiglie di plastica per bevande possono essere lasciate sulle spiagge da parte dei bagnanti, gettate in mare dalle imbarcazioni o essere smaltite in modo improprio sulla terraferma (Veiga et al. 2016). Gli input possono variare a causa di diversi fattori, legati alle principali attività economiche della regione, la densità di popolazione, la vicinanza delle aree costiere a zone altamente popolate e/o industriali, l'importanza dei settori della pesca e dell'acquacoltura, il turismo, il traffico marittimo, la vicinanza degli estuari e, più in generale, gli usi del mare (Moriarty et al., 2016). Inoltre, l'accumulo di rifiuti è influenzato da fattori ambientali, quali vento, onde, maree, correnti, idrologia terrestre e morfologia costiera (Critchell e Lambrechts, 2016).

Il seguente lavoro riporta i risultati di uno studio condotto lungo le coste italiane per definire le possibili sorgenti e cause che determinano il ritrovamento in ambiente dei rifiuti marini spiaggiati, partendo dai dati disponibili sull'abbondanza delle varie tipologie di rifiuti plastici, con particolare riferimento alle plastiche monouso. La densità di rifiuti spiaggiati è considerata uno dei principali indicatori dell'inquinamento marino da rifiuti, sia a livello globale che in Europa, poiché le spiagge sono più accessibili ed economiche da monitorare e studiare, rispetto ad altri comparti marini (Galgani et al., 2013; GESAMP,

2019). I rifiuti presenti sulle spiagge possono essere introdotti direttamente dalle attività turistiche e ricreative che si svolgono lungo la costa o possono essere trasportati in mare e/o depositati da maree, fiumi, tempeste, venti o sistemi fognari.

Materiali e Metodi

I dati sui rifiuti spiaggiati sono stati raccolti dal database EMODnet chemistry (<https://cdi-chemistry.seadatanet.org/search>) selezionando un arco temporale di due anni, 2018 e 2019 (2 campagne l'anno), per tutte le spiagge italiane presenti nel database. Tutti i dati sono stati analizzati e confrontati come numero di oggetti con MATLAB, suddividendoli nelle 3 aree geografiche del Mar Adriatico, Mar Ionio e Mar Tirreno. Considerando l'intera costa italiana sono state analizzate in totale 777 campagne: 288 in Adriatico, 159 nello Ionio e 337 in Tirreno. I dati sono stati processati utilizzando uno script appositamente sviluppato in MATLAB versione R2022a per uso accademico. Questo software è stato utilizzato sia per redigere le mappe che per riclassificare i campioni tra categorie, sorgenti e uso.

Dove il numero di campagne lo permetteva si sono calcolate le mediane riferendosi al numero di oggetti / 100 m per favorire il confronto con dati e soglie di riferimento. I grafici relativi a questi dati sono stati ottenuti con il software STATISTICA 7.0.

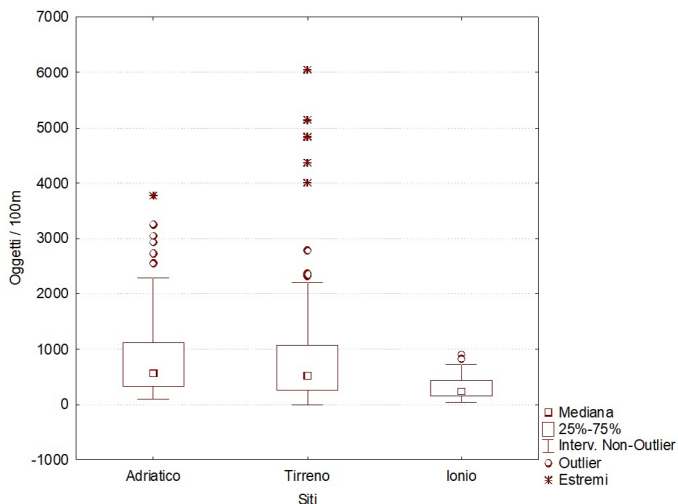
Le sorgenti ed i materiali sono stati associati a ciascuna categoria di oggetti, secondo l'elenco completo di oggetti e sorgenti riportato da Veiga et al. (2016) suddivise in: Rifiuti pubblici, Rifiuti derivanti dalle attività di pesca, Rifiuti da acque reflue, Rifiuti derivanti dalla navigazione, Smaltimento illegale, Rifiuti sanitari, Provenienza non determinabile. L'associazione di ogni categoria a una sorgente specifica ha permesso di definire le fonti principali per le tre aree di studio. Ad ogni singola categoria è stata associata anche l'informazione se trattasi di oggetti monouso.

Risultati e discussione

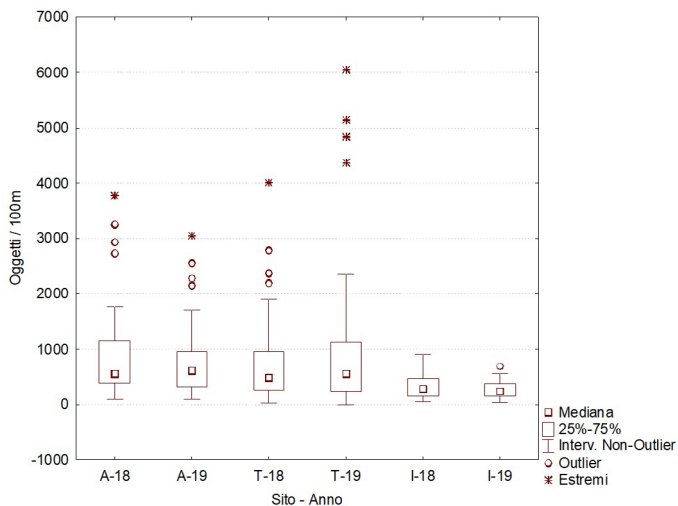
Fonti secondo l'origine geografica

Tutte le spiagge monitorate nelle coste italiane nel periodo 2018 – 2019 sono state caratterizzate dalla presenza di rifiuti marini, con la unica eccezione del Cilento Cala del Cefalo nella campagna effettuata a dicembre 2019 dove in nessuna porzione di spiaggia analizzata sono stati trovati oggetti classificabili come rifiuti marini. La quantità totale di

rifiuti registrata nel periodo considerato lungo le coste italiane è stata di 194.464 oggetti. Le figure 1A e 1B mostrano i valori mediani considerando tutti i campionamenti in Adriatico, Tirreno e Ionio, e i valori mediani suddivisi per anno, rispettivamente.



A



B

Figura 1 - Box-plot delle densità totali di rifiuti spiaggiati (oggetti / 100 m) riscontrate nelle spiagge del Adriatico, Tirreno e Ionio (A) e delle densità totali di rifiuti spiaggiati (oggetti / 100 m) riscontrate nelle medesime spiagge suddivise per anni (A: Adriatico; T: Tirreno; I: Ionio) (B).

Il Mar Tirreno, in particolare nel 2019, mostra valori medi di densità dei rifiuti molto variabili, soprattutto per quanto riguarda la frequenza di concentrazioni elevate. Per quanto riguarda i dati relativi al Mar Ionio, questi risultano molto meno variabili. Nell'analisi, però, si deve tener presente che il dataset relativo a questo bacino risulta ridotto sia per siti che per numero di campagne rispetto a quello disponibile per il Mar Adriatico e Tirreno.

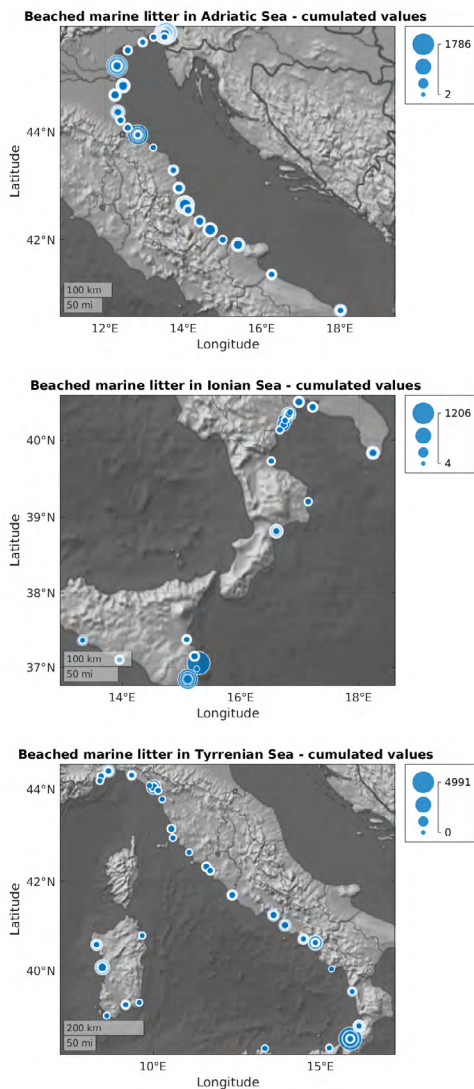


Figura 2 – Quantità totale di rifiuti spiaggiati nelle spiagge del Adriatico, ionio e Tirreno (dati su 33 m).

In linea generale, analizzando i dati di abbondanza dei rifiuti, si può osservare una relazione positiva tra valori elevati e vicinanza a città densamente popolate e / o a foci di grandi fiumi (Figura 2). Questa relazione tra abbondanza e numero di abitanti del centro urbano più vicino risulta essere più evidente per il versante tirrenico, mostrando infatti una correlazione statisticamente significativa (Spearman correlation $R < 0.05$). Numerosi studi dimostrano che, soprattutto nelle spiagge situate in prossimità di centri urbani, la quantità di rifiuti è correlata alla densità di popolazione (Williams et al., 2016; Katsanevakis et al., 2004). La correlazione osservata per il Tirreno e non per l'Adriatico può essere dovuta a diversi fattori, tra i quali una peggior gestione del rifiuto urbano o la maggior influenza di altre sorgenti / percorsi nelle coste adriatiche, quali ad esempio fiumi, o ancora le caratteristiche specifiche della costa e del idrodinamismo, tutti fattori che influenzano la presenza di litter nelle spiagge.

Indagini condotte a livello regionale suggeriscono che gli apporti terrestri di plastica sono da ricondurre a diversi livelli di pressione antropica costiera e di crescita demografica, infatti in molti paesi costieri, la cattiva gestione dei rifiuti solidi ha fatto sì che una percentuale compresa tra l'1,7% e il 4,6% del totale dei rifiuti in plastica prodotti finisse in mare (Jambeck et al., 2015).

Va considerato in questo contesto anche la diversa natura delle coste e dell'entroterra del versante Adriatico e Tirrenico. Il primo si caratterizza da coste basse e sabbiose, con profondità che digradano progressivamente e presenza almeno nella parte più settentrionale di fiumi lunghi e permanenti che percorrono tratti con una inclinazione del terreno piuttosto dolce e un territorio densamente urbanizzato. Il secondo si configura come una costa perlopiù alta che raggiunge rapidamente elevate profondità e presenza di fiumi generalmente brevi che percorrono un terreno a inclinazione relativamente ripida. Queste diverse conformazioni suggeriscono che lungo la costa adriatica fenomeni di trasporto costiero e di intercettazione lungo le aste fluviali possano essere più importanti che lungo le coste di altri mari e vadano a mascherare in parte le correlazioni con la vicinanza di foci o centri abitati.

Nella costa adriatica, il sito che mostra la maggior abbondanza di rifiuti spiaggiati è Marina Nova, località influenzata direttamente non solo dalla città di Monfalcone, ma anche dagli apporti del fiume Timavo e Isonzo. Quest'ultimo fiume è in prossimità anche il Lido di Staranzano, altro sito che mostra elevate abbondanze.

Definire l'effettiva influenza dei fiumi sull'apporto di rifiuti marini risulta attualmente problematico a causa della scarsità dei dati. I dati relativi ai monitoraggi delle rifiuti nei fiumi sono scarsi e spesso sporadici, non permettendo la definizione degli effettivi apporti a livello locale. In base ai dati disponibili derivanti prevalentemente da progetti di ricerca, si prevede che, in assenza di ulteriori misure di mitigazione e di un miglioramento della normativa sulla gestione dei rifiuti, le regioni con grandi fiumi che sfociano in mare vedranno l'immissione di grandi quantità di rifiuti provenienti da fonti terrestri nelle coste. Tuttavia, l'entità di tali apporti deve ancora essere quantificata sistematicamente attraverso monitoraggi a lungo termine (van der Wal et al., 2015). Uno dei principali strumenti legislativi per ottenere un monitoraggio a lungo termine dei rifiuti negli ambienti d'acqua dolce è la Direttiva Quadro sulle Acque, WFD (Direttiva 2000/60/CE), che attualmente non prevede come descrittore i rifiuti fluviali, a differenza della MSFD (Direttiva 2008/56/CE).

Il Gruppo Tecnico sui Rifiuti Marini (Technical Group on Marine Litter, TGML, Galgani et al., 2013) ha recentemente definito per l'Europa una soglia di 20 oggetti / 100 m per i rifiuti spiaggiati (Werner et al., 2020), un livello considerato sufficientemente precauzionale per proteggere le spiagge da danni ecologici e socio-economici (Van Loon et al., 2020). Tutte le spiagge monitorate lungo le coste del Mar Adriatico e dello Ionio sono state caratterizzate dalla presenza di rifiuti con densità costantemente superiori a tale valore soglia. In Tirreno, solo la spiaggia di Cala del Cefalo nel Cilento ha mostrato nelle 2 campagne del 2019 un valore di 5 e 0 oggetti / 100 m, inferiore alla soglia proposta dal TGML.

Attribuzione delle fonti in base al tipo di oggetto

Il numero di oggetti associato ad ogni categoria di sorgente specifica secondo Veiga et al. (2016) mostrano che le categorie più abbondanti sono quelle relative ai rifiuti pubblici (35 % Adriatico, 55 % Ionio e 37 % Tirreno) e quelli per i quali non è determinabile la sorgente (41 % Adriatico, 30 % Ionio e 50 % Tirreno), seguita dai rifiuti derivanti dalla pesca pubblici (9 % Adriatico, 7 % Ionio e 3 % Tirreno). La categoria "sorgente non determinabile" è composta principalmente da pezzi di plastica derivanti dalla frammentazione di oggetti più grandi. La frammentazione è causata dalla perdita di integrità e di proprietà meccaniche degli oggetti in plastica determinata dalla fotodegradazione, processo particolarmente evidente sui litorali, dove agisce insieme alle sollecitazioni meccaniche dovute all'abrasione

da parte dell'azione delle onde, rendendo gli oggetti in plastica più fragili (Cózar et al., 2014; Wayman e Niemann, 2021). Se si considerano i valori in percentuale rispetto al totale degli oggetti monitorati nelle tre aree, nelle spiagge del Mar Tirreno i frammenti rappresentano il 50% del totale, mentre in Adriatico e Ionio rappresentano circa il 40% e 30%, rispettivamente. Questi risultati sono in accordo con l'energia ondosa dei sistemi: il mare Adriatico presenta il valore di potenza ondosa più ridotto lungo le coste italiane, il Mar Ionio e il medio Tirreno sono un po' più energetici, mentre il Mar Tirreno meridionale ed il Mar Ligure raggiungono i valori più elevati (Vicinanza et al., 2011).

La categoria "Rifiuti pubblici" comprende tutti quegli oggetti di uso comune e quotidiano, spesso usa e getta, che, volontariamente o accidentalmente, vengono scartati o abbandonati dal cittadino sulle spiagge o nell'entroterra e sono poi trasportati al mare da venti e fiumi. Questi oggetti possono essere originati da diverse attività, quali il turismo ed altre attività ricreative che si svolgono a terra o in mare, e/o da cattive pratiche di gestione dei rifiuti nelle città, soprattutto costiere, o a bordo delle imbarcazioni. Generalmente, i rifiuti legati al consumo di cibo e al fumo sono tra gli elementi più comuni monitorati e comprendono gli imballaggi e le posate in plastica per alimenti e bevande, che rappresentano una delle principali categorie di rifiuti associati al consumo generale, prevalenti sia in termini di rifiuti plastici post-consumo (Winterstetter et al., 2023). Questo tipo di articoli rappresenta tra il 50% e l'88% del totale degli oggetti riconoscibili (Morales-Caselles et al, 2021).

Le percentuali osservate per questa categoria nelle coste italiane riferendosi al presente studio variano dal 55% nello Ionio a circa il 35% in Adriatico e Tirreno. L'origine di questi rifiuti è dovuta probabilmente ai visitatori locali della spiaggia o delle aree circostanti, che li scartano o abbandonano o a causa di comportamenti inappropriati o per l'inadeguatezza dei raccoglitori di rifiuti (ad esempio, cestini stracolmi e/o senza adeguati coperchi, raccolta insufficiente, ecc.). Altre possibili fonti potrebbero essere le imbarcazioni e le navi da diporto, anche se lo smaltimento dei rifiuti in mare è vietato dalle normative internazionali.

La terza categoria per abbondanza di rifiuti è quella relativa ai rifiuti derivanti dalle attività di pesca. E' osservabile un trend partendo dall'Adriatico dove gli oggetti riferibili a questa categoria rappresentano circa il 9% del totale, passando allo Ionio dove sono circa il 7% ed infine circa il 3% nel Tirreno. Questi dati possono essere spiegati sia

considerando l'importanza a livello locale delle attività di pesca ed acquacoltura, sia la tipologia di strumenti utilizzati e le specifiche condizioni idrologiche e geomorfologiche (Pham al 2014). La maggior parte della flotta peschereccia italiana è basata in Sicilia e, in misura minore, in Puglia. Un'altra grande percentuale della flotta si trova nelle regioni dell'Adriatico settentrionale (Martin, 2008). In particolare, l'elevata produttività e ricchezza di risorse ittiche fanno dell'Adriatico settentrionale l'area più sfruttata del Mar Mediterraneo (Mazzoldi al. 2014). I principali porti pescherecci in termini di volume sbarcato sono Mazara del Vallo (Sicilia sud-orientale), seguito da Ravenna (Adriatico settentrionale), Ancona (Adriatico centrale), Bari (Adriatico meridionale), Palermo (Tirreno sud-orientale) e Chioggia (Adriatico settentrionale). Il Nord Adriatico, inoltre, presenta delle caratteristiche geomorfologiche che possono favorire la perdita di attrezzi durante le attività di pesca. Nell'area sono presenti infatti affioramenti rocciosi su fondale sabbioso, noti con il nome di "tegnue", che contribuiscono a rendere più probabile l'impiglio di attrezzi da pesca e reti (Moschino et al., 2019).

La gestione dei rifiuti marini richiede l'identificazione di categorie di oggetti che sono particolarmente frequenti e sui quali le azioni di gestione possono essere applicate con successo. Gli articoli in plastica monouso (Single-Use Plastics, SUP), sono articoli ideati per un uso una tantum che vengono smaltiti subito dopo il loro utilizzo (Addamo et al., 2017). Questi oggetti sono stati identificati come una categoria di articoli che richiede particolare attenzione e per questo sono oggetto della specifica Direttiva (UE) 2019/904. In questo lavoro, il numero di oggetti associato all'uso è stato suddiviso nelle categorie monouso, multiuso ed non determinabile. A quest'ultima classe appartengono prevalentemente i frammenti e altri oggetti non classificabili nelle precedenti categorie. La quota di rifiuti spiaggiati derivanti da oggetti monouso è quella maggioritaria, pari a 38 % in Adriatico, 49% nello Ionio e 35% in Tirreno. C'è anche da sottolineare che nella frazione n.d. è anche compresa una proporzione di frammenti che deriva da oggetti monouso.

In conclusione, per quanto riguarda i rifiuti spiaggiati, quasi la totalità delle spiagge studiate hanno mostrato quantità di rifiuti superiori alla soglia di 20 oggetti / 100 m proposta dal TGML. La vicinanza a centri abitati densamente popolati, a foci di fiumi e l'uso del litorale a scopo turistico e ricreativo risultano essere tutti fattori correlati con l'abbondanza di rifiuti spiaggiati. Le attività di pesca ed acquacoltura risultano anche essere una sorgente di rifiuti marini non trascurabile. L'abbondanza di rifiuti derivanti da attività

pubbliche, generalmente usa e getta, e composti da materiali plastici, sottolinea come la cittadinanza sia direttamente coinvolta nella problematica. Il rinvenimento di una cospicua frazione di materiale plastico associato a attività di singolo consumo mette in evidenza come i comportamenti sociali abbiano un ruolo nella dispersione della plastica nell'ambiente. Diminuire l'utilizzo della plastica nelle aree pubbliche, quali ad esempio le spiagge risulta una misura prioritaria ed urgente per prevenire l'ulteriore inquinamento da plastica nei nostri mari.

Letteratura citata

- [1] Addamo A. M., Laroche P., Hanke G, 2017. Top Marine Beach Litter Items in Europe, EUR 29249 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2017.
- [2] Galgani, F., Hanke, G., & Maes, T. (2015). Global distribution, composition and abundance of marine litter. *Marine anthropogenic litter* (pp. 29-56). Springer.
- [3] Galgani, F., Hanke, G., Werner, S., Oosterbaan, L., Nilsson, P., Fleet, D., Kinsey, S., Thompson, R.C., van Franeker, J., Vlachogianni, T., Scoullou, M., Veiga, J. M., Palatinus, A., Matiddi, M., Maes, T., Korpinen, S., Budziak, A., Leslie, H., Gago, J., Liebezeit, G., 2013. Guidance on monitoring of marine litter in European seas. JRC Scientific and Policy Reports, Report EUR 2611.
- [4] Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., et al. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347, 768–771.
- [5] K. Critchell, J. Lambrechts. Modelling accumulation of marine plastics in the coastal zone; what are the dominant physical processes? *Estuar. Coast Shelf Sci.*, 171 (2016), pp. 111-122, 10.1016/j.ecss.2016.01.036
- [6] Katsanevakis, S.; Katsarou, A. Influences on the distribution of marine debris on the seafloor of shallow coastal areas in Greece (Eastern Mediterranean). *Water Air Soil Pollut.* 2004, 159, 325–337.
- [7] Lau, W.W.Y., Shiran, Y., Bailey, R.M., Cook, E., Stuchtey, M.R., Koskella, J., Velis, C.A., Godfrey, L., Boucher, J., Murphy, M.B., Thompson, R.C., Jankowska, E., Castillo, A.C., Pilditch, T.D., Dixon, B., Koerselman, L., Kosior, E., Favoino, E., Gutberlet, J., Baulch, S., Atreya, M.E., Fischer, D., He, K.K., Petit, M.M., Sumaila, U.R., Neil, E., Bernhofen, M.V., Lawrence, K., Palardy, J.E., 2020. Evaluating scenarios toward zero plastic pollution. *Science* 369, 1455–1461. <https://doi.org/10.1126/science.aba9475>

- [8] Mazzoldi, C., Sambo, A., Riginella, E., 2014. The Clodia database: a long time series of fishery data from the Adriatic Sea. *Sci. Data* <https://doi.org/10.1038/sdata.2014.18>.
- [9] Meijer L.J.J., et al., More than 1000 rivers account for 80% of global riverine plastic emissions into the ocean. *Sci. Adv.* 7, eaaz5803(2021). DOI:10.1126/sciadv.aaz5803
- [10] Morales-Caselles, C., Viejo, J., Martí, E., González-Fernández, D., Pragnell-Raasch, H., González-Gordillo, J.I., Montero, E., Arroyo, G.M., Hanke, G., Salvo, V.S., Basurko, O.C., Mallos, N., Lebreton, L., Echevarría, F., van Emmerik, T., Duarte, C.M., Gálvez, J.A., van Sebille, E., Galgani, F., García, C.M., Ross, P.S., Bartual, A., Ioakeimidis, C., Markalain, G., Isobe, A., Cózar, A., 2021. An inshore–offshore sorting system revealed from global classification of ocean litter. *Nat Sustain* 4, 484–493.
- [11] Moriarty M., D. Pedreschi, D. Stokes, L. Dransfeld, D.G. Reid. Spatial and temporal analysis of litter in the Celtic Sea from groundfish survey data: lessons for monitoring *Mar. Pollut. Bull.*, 103 (2016), pp. 195-205.
- [12] Moschino V, Riccato F, Fiorin R, Nesto N, Picone M, Boldrin A, Da Ros L. Is derelict fishing gear impacting the biodiversity of the Northern Adriatic Sea? An answer from unique biogenic reefs. *Sci Total Environ.* 2019 May 1;663:387-399.
- [13] Moschino V., F. Riccato, R. Fiorin, N. Nesto, M. Picone, A. Boldrin, L. Da Ros, 2019. Is derelict fishing gear impacting the biodiversity of the Northern Adriatic Sea? An answer from unique biogenic reefs. *Science of The Total Environment* 663: 387- 399.
- [14] van der Wal M., van der Meulen M., Tweehuijsen G et al., 2015. Viršek, Lucia Coscia, Andrej Kržan SFRA0025: Identification and Assessment of Riverine Input of (Marine) Litter Final Report for the European Commission DG Environment under Framework Contract No ENV.D.2/FRA/2012/0025
- [15] Van Loon, W., Hanke, G., Fleet, D., Werner, S., Barry, J., Strand, J., Eriksson, J., Galgani, F., Gräwe, D., Schulz, M., Vlachogianni, T., Press, M., Blidberg, E. and Walvoort, D., 2020. A European Threshold Value and Assessment Method for Macro Litter on Coastlines. EUR 30347 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-21444-1, doi:10.2760/54369
- [16] Veiga, J.M., Fleet, D., Nilsson, P., Vlachogianni, T., Werner, S., Galgani, F., Thompson, R.C., Dagevos, J., Gago, J., Sobral, P., Cronin, R., 2016. Identifying sources of marine litter: MSFD GES TG marine litter thematic report. Publications Office of the European Union, LU.

- [17] Vicinanza, D., L. Cappiotti, V. Ferrante, and P. Contestabile. "Estimation of the Wave Energy in the Italian Offshore." *Journal of Coastal Research*, 2011, 613–17.
- [18] Wayman C, Niemann H., 2021. The fate of plastic in the ocean environment – a minireview. *Environ. Sci.: Processes Impacts*, 2021, 23, 198-212.
- [19] Werner S., Fischer E., Fleet D., Galgani F., Hanke G., Kinsey S. and Mattidi M., Threshold Values for Marine Litter , EUR 30018 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, doi:10.2760/192427, JRC114131
- [20] Williams A.T., Randerson P., Di Giacomo C., et al., 2016. Distribution of beach litter along the coastline of Cádiz, Spain. *Marine Pollution Bulletin*, 107, 2016: 77-87.
- [21] Winterstetter, A., Veiga, J.M., Sholokhova, A., Šubelj, G., 2023. Country-specific assessment of mismanaged plastic packaging waste as a main contributor to marine litter in Europe. *Front. Sustain.* 3, 1039149.

Studio sulle soluzioni e tecnologie per la gestione, il recupero e il riciclo degli attrezzi da pesca

Elisa Punzo^a

a CNR, Istituto per le risorse biologiche e le biotecnologie marine

Introduzione

Grazie alla resistenza e alla durata che la plastica dimostra nell'ambiente marino, negli ultimi decenni le fibre sintetiche hanno soppiantato completamente le fibre vegetali nella produzione degli attrezzi da pesca (Lebreton *et al.*, 2018; Gallagher *et al.*, 2023) e ad oggi la plastica è il materiale più utilizzato per l'evidente vantaggio in termini di versatilità, resistenza e durata (Feary *et al.*, 2020; Sala e Richardson, 2023). Essendo imputrescibili, le fibre sintetiche non necessitano di asciugatura e dei trattamenti per evitare la putrefazione. Inoltre, hanno una tenacità molto più elevata di quella delle fibre vegetali e hanno una forte resistenza all'abrasione. Per questi motivi è stato possibile costruire reti più grandi, con fili più sottili, risparmiando sul peso dell'attrezzo e riducendo gli sforzi di traino e quindi i consumi di carburante (AA.VV., 2011).

Rappresentando fino al 70% in peso delle macroplastiche galleggianti nei gyres oceanici (Lebreton *et al.*, 2018), le attrezzature da pesca costituiscono la categoria più problematica di rifiuti in plastica prodotti dal settore della pesca e dell'acquacoltura (Wilcox *et al.*, 2016; Gilman *et al.*, 2021; Sala e Richardson, 2023). Tuttavia è stato suggerito che è lo stesso settore pesca ad essere vulnerabile a causa dell'impatto della plastica, con produttività, redditività e sicurezza a rischio (Beaumont *et al.*, 2019; James, 2023).

Risultati

Composizione dei principali attrezzi da pesca e tecnologie disponibili per il loro recupero e riciclo

Attualmente, i principali polimeri sintetici utilizzati per produrre la maggior parte delle attrezzature da pesca includono la poliammide (PA) o nylon, il poliestere (PES), il polietilene (PE) e il polipropilene (PP). Altre plastiche utilizzate per la produzione di

attrezzi da pesca sono: l'acrilonitrile butadiene stirene (ABS), l'alcol polivinilico (PVA), il cloruro di polivinile (PVC) e il *cloruro di polivinilidene (PVDC)*. Infine, negli ultimi anni si sono aggiunte anche l'aramide, il polietilene ad altissimo peso molecolare (UHMWPE) e i polimeri a cristalli liquidi. Tuttavia, la maggior parte degli attrezzi da pesca moderni può essere composta da centinaia di combinazioni diverse di questi polimeri e altri tipi di materiale, come legno e metallo.

In tabella 1 vengono riassunte le principali categorie di materiali che compongono i diversi attrezzi da pesca, mentre in tabella 2 vengono riportati in dettaglio tutti i materiali utilizzati per ciascuna tipologia di attrezzo da pesca.

I principali processi di riciclaggio disponibili per gli attrezzi da pesca includono il riciclaggio primario e secondario (riciclaggio meccanico), il riciclaggio terziario (riciclaggio chimico e conversione termica) e il riciclaggio quaternario (recupero energetico).

La scelta del metodo di riciclaggio degli attrezzi da pesca dipende da diversi fattori, tra cui i tipi di polimeri presenti negli attrezzi, il grado di purezza del materiale, il livello di contaminazione e la disponibilità/fattibilità delle tecnologie di riciclaggio (Singh *et al.*, 2017).

Inoltre, ci sono diversi fattori che ostacolano il riciclaggio degli attrezzi da pesca, tra cui l'impiego di materiali tossici o non riciclabili all'interno delle reti (come il piombo), il rischio di contaminazione degli attrezzi (ad esempio con sabbia, sale, pietre, legno o materiale organico), la scarsa presenza di impianti di riciclaggio in Europa e la necessità di fornire loro attrezzi puliti e selezionati, oltre alla mancanza di standard concordati per la progettazione circolare degli attrezzi da pesca (Feary *et al.*, 2020).

La tipologia di attrezzo da pesca da riciclare, quindi, influenzerà anche il metodo di riciclaggio utilizzato, compresi i requisiti di pretrattamento associati. Ad esempio, se gli attrezzi contengono una miscela di polimeri diversi o sono altamente contaminati, potrebbero essere necessarie diverse tecniche di trattamento (Sala e Richardson, 2023).

Misure tecniche e strumenti a sostegno del riciclo degli attrezzi da pesca

È sempre più evidente la necessità di adottare approcci sistemici che integrino una *governance* efficace della pesca e una gestione adeguata dei rifiuti con misure complementari. Tali misure dovrebbero facilitare il riciclaggio degli attrezzi da pesca lungo tutto il loro ciclo di vita, dalla progettazione e produzione fino alla gestione a fine vita.

In linea generale, nell'ambito della progettazione degli attrezzi da pesca in un'ottica di

economica circolare si dovrebbe tenere conto dei seguenti punti chiave (Charter, 2023):

- gli attrezzi da pesca sono spesso assemblati in Europa con polimeri e componenti acquistati da fornitori in India, Cina e Corea del Sud;
- gli attrezzi da pesca sono generalmente prodotti su ordinazione diretta, tenendo conto delle esigenze specifiche (dimensioni dell'imbarcazione, tipo di motore, ecc) e instaurando un dialogo costante tra i pescatori e i produttori/assemblatori;
- generalmente gli attrezzi da pesca vengono riparati e modificati dai pescatori stessi.

Le misure che i produttori di attrezzi da pesca possono adottare comprendono: la riduzione del numero e tipo di materiali e di polimeri misti utilizzati negli attrezzi da pesca; l'esclusione di materiali non riciclabili nella progettazione degli attrezzi, oltre a componenti e materiali che potrebbero disperdersi nell'ambiente marino durante l'utilizzo; il miglioramento della modularità dei diversi componenti per facilitare i processi di disassemblaggio; la marcatura degli attrezzi e dei componenti per la tracciabilità commerciale; l'etichettatura dei materiali e dei tipi di polimeri che compongono gli attrezzi. Le misure che devono essere prese in considerazione dalle autorità portuali e della pesca includono invece: la marcatura degli attrezzi da pesca per l'identificazione del proprietario e la posizione in mare come misure di prevenzione della perdita di attrezzi e per facilitarne il recupero, insieme alla fornitura di infrastrutture portuali di raccolta (PRF) dedicate alla raccolta e alla gestione di attrezzi da pesca, preparandoli per eventuali processi di riciclaggio (Sala e Richardson, 2023).

Ove possibile, gli attrezzi da pesca a fine vita (EOLFG) e gli attrezzi da pesca recuperati in mare (ALDFG) dovrebbero essere raccolti separatamente, dato che i livelli di contaminazione presenti negli attrezzi da pesca ALDFG sono complessivamente più elevati rispetto agli attrezzi EOLFG. La fornitura di PRF dovrebbe essere accompagnata da sistemi complementari di gestione dei rifiuti che garantiscano la preparazione e il trasporto verso gli impianti di riciclaggio. È altresì cruciale garantire un efficace strumento di comunicazione e promuovere iniziative educative, affinché i pescatori possano utilizzare i PRF in modo efficiente, seguendo procedure chiare per lo smaltimento degli attrezzi da pesca.

Dopo la raccolta degli attrezzi da pesca, diventa essenziale il pretrattamento e il trasporto degli attrezzi verso l'impianto di riciclaggio disponibile più vicino. La collocazione di queste infrastrutture di gestione dei rifiuti è una considerazione

tecnica di primaria importanza per il successo del riciclaggio degli attrezzi da pesca, poiché influisce direttamente sulla logistica, sulle risorse e sui costi necessari per il trasporto degli attrezzi all'impianto di riciclaggio (Sala e Richardson, 2023). L'ubicazione dell'infrastruttura di gestione dei rifiuti viene comunemente distinta in "centralizzata", in cui esiste un unico impianto centrale di trattamento regionale, e "decentralizzata", in cui l'infrastruttura è presente sia a livello locale che regionale, con la possibilità di diversi impianti di trattamento e riciclaggio più piccoli e più vicini ai porti. (Bertling e Nühlen, 2019). Secondo Stolte *et al.* (2019), per gli attrezzi da pesca è consigliabile adottare una combinazione di infrastrutture di gestione dei rifiuti centralizzate e decentralizzate, per garantire un trattamento ottimale ed efficiente in termini di costi.

Altre misure che possono essere impiegate dai responsabili politici, dai gestori della pesca e, in alcuni casi, dalle autorità portuali includono una serie di strumenti basati sul mercato (MBI), come ad esempio: programmi di "riacquisto" degli attrezzi da pesca, schemi di deposito-rimborso, schemi di responsabilità estesa del produttore (EPR), tasse ambientali e schemi di certificazione. Questi MBI forniscono sostegno finanziario alle iniziative di riciclaggio degli attrezzi da pesca influenzandone il costo e possono essere utilizzati per incentivare o disincentivare determinati comportamenti.

La raccolta e il riciclaggio sistematico di attrezzi da pesca e l'innovazione nella progettazione di attrezzi da pesca riciclabili e nella gestione del fine vita può essere incoraggiata anche attraverso gli schemi EPR.

L'adozione di politiche EPR, infatti, può portare a cambiamenti nella progettazione degli attrezzi da pesca, supportando la creazione di prodotti più riciclabili e funzionali. Inoltre, questi programmi offrono opportunità finanziarie per sostenere il riciclaggio, utilizzando i ricavi generati per finanziare infrastrutture e programmi di gestione dei rifiuti (Sala e Richardson, 2023).

Il documento "Advocating Extended Producer Responsibility for fishing gear" (IUCN *et al.*, 2021) fornisce una serie di raccomandazioni chiave per garantire che l'EPR per gli attrezzi da pesca sia implementato in modo efficace ed efficiente, tra le quali si evidenziano:

- Applicare un approccio graduale nell'introduzione di schemi EPR.
- Definire chiaramente i termini legali, stabilendo responsabilità e obblighi in modo preciso.

- Condurre una progettazione e un'attuazione coordinate a livello locale, nazionale e internazionale.
- Pianificare una gestione efficace ed equa dei fondi per sostenere l'implementazione dell'EPR e finanziare le attività necessarie, come la raccolta e il riciclaggio degli attrezzi da pesca.
- Progettare piani di implementazione efficaci, dando la priorità alla promozione di soluzioni che affrontino a monte i requisiti per un riciclo efficace degli attrezzi da pesca (es.: facilità di smontaggio e separazione dei componenti), oltre a prevenire la perdita di attrezzi nell'ambiente.
- Coinvolgere attivamente tutte le principali parti interessate nel processo decisionale e nell'implementazione degli schemi EPR.

Infine, per gestire gli attrezzi da pesca abbandonati e promuoverne il riciclo è stata sviluppata una vasta gamma di strumenti politici internazionali anche se originariamente erano stati concepiti per affrontare questioni di conservazione e inquinamento marino a livello globale, tra i quali si annoverano:

- Convenzione delle Nazioni Unite sul diritto del mare (UNCLOS)
- Accordo delle Nazioni Unite sugli stock ittici (UNFSA)
- Risoluzioni dell'UNGA
- Risoluzione 5/14 dell'Assemblea delle Nazioni Unite per l'Ambiente (UNEA)
- Agenda 2030 delle Nazioni Unite per lo Sviluppo Sostenibile
- Convenzione Internazionale per la prevenzione dell'inquinamento causato dalle navi (MARPOL)
- Convenzione/Protocollo di Londra
- Piano d'azione dell'IMO
- Codice di Condotta per la Pesca Responsabile (CCRF) della FAO
- Linee guida volontarie della FAO sulla marcatura degli attrezzi da pesca (VGMFG; FAO, 2019)

Prospettive, sfide e azioni future

La ricerca e lo sviluppo di nuove tecnologie di riciclaggio, insieme a politiche e strumenti che incoraggiano l'utilizzo di materiali più sostenibili e incentivano la raccolta e il recupero degli attrezzi da pesca danneggiati, fuori uso o abbandonati, potrebbero contribuire ad

una pesca più sostenibile, sostenendo una gestione responsabile degli attrezzi da pesca. Data la complessità e la diversità degli attori coinvolti nella gestione degli attrezzi da pesca e nel riciclaggio degli stessi, è fondamentale garantire un'efficace collaborazione e coordinamento sia a livello regionale che nazionale. Solo attraverso una comunicazione fluida e una cooperazione coerente sarà possibile massimizzare l'impatto delle azioni intraprese per affrontare questa importante questione ambientale.

Tabella 1 – Categorie di materiali che compongono i principali attrezzi da pesca.

Rete/attrezzo	Materiali plastici	Legno	Piombo	Ferro/acciaio/alluminio	Cemento
Tremaglio	x		x		
Rete da posta derivanti	x				
Nasse	x	x			
Reti a strascico	x	x	x		
Draghe	x	x		x	
Corpi morti			x	x	x
Cordame	x				

Tabella 2 – Materiali che compongono i principali attrezzi da pesca (da Sala e Richardson, 2023 mod). ABS: acrilonitrile-butadiene-stirene; EVA: Etilen Vinil Acetato; PA: Poliammide; PE: Polietilene; PES: Poliestere; PP: Polipropilene; PTFE: Politetrafluoroetilene; PUR: Poliuretano espanso; PVA: Alcol polivinilico; PVC: Cloruro di polivinile; UHMWPE: Polietilene ad altissimo peso molecolare.

TIPO DI ATTREZZO	MATERIALE CHE COMPONE LE DIVERSE PARTI DELL'ATTREZZO DA PESCA
Reti a strascico a divergenti	<ul style="list-style-type: none"> • Rete: fibre polimeriche intrecciate di PA/PE, occasionalmente UHMWPE • Lima da sugheri: PP/PA, occasionalmente UHMWPE • Lima da piombo: come sopra con inserti in gomma, ABS, catene metalliche, piombi • Galleggianti: PVC/ABS • Divergenti: acciaio, legno, materiali plastici (PTFE-teflon) • Calamenti: cavo misto PA-acciaio, poliestere, ferro zincato
Reti a strascico a bocca fissa o rapidi	<ul style="list-style-type: none"> • Rete: fibre polimeriche intrecciate di PA/PE • Tavola depressore: legno • Frame e slitte: ferro • Denti del rastrello: ferro • Foderone di protezione: gomma con inserti in ferro
Reti pelagiche o volanti	<ul style="list-style-type: none"> • Rete: fibre polimeriche intrecciate di PA/PE, occasionalmente Dyneema • Lime: PP/PA, occasionalmente Dyneema • Lima da piombo: come sopra con inserti in gomma, ABS, catene metalliche, piombi • Galleggianti: PVC/ABS
Sciabiche Da spiaggia Da natante	<ul style="list-style-type: none"> • Rete: PE, PA • Lima da sughero: PP/PE/PA con galleggianti in PVC/ABS • Lima da piombo: PP/PE/PA con piombi o altri pesi
Draghe idrauliche	<ul style="list-style-type: none"> • Draga (gabbia), lama e slitte: ferro e alluminio • Ugelli e altri componenti: acciaio • Tubo per convogliare acqua alla draga: gomma
Draghe tirate da natanti	<ul style="list-style-type: none"> • Rete: PE/PA • Possibile presenza di foderone: gomma • Tavola depressore (se presente): legno • Gabbia e slitte: ferro • Catena (se presente): ferro
Draghe meccanizzate (rastrelli da natante)	<ul style="list-style-type: none"> • Rete: PE/PA • Gabbia, rastrello: ferro • Asta per manovrare: legno, alluminio, ferro

Tabella 2 – Continuo

<p>Draghe manuali</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Rete: PA • Gabbia, rastrello: ferro • Asta per manovrare: legno, alluminio, ferro • Nel caso delle idrorasche lagunari l'intera draga è in acciaio ad eccezione del sacco di rete in PA
<p>Reti a circuizione Con cavo di chiusura Senza cavo di chiusura</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Rete: fibre polimeriche intrecciate (es.: PA/PE) • Lime: fibre polimeriche (es.: PP, PE, UHMWPE, PA) • Galleggianti: PVC/EVA • Cavo di chiusura: acciaio • Pesi sulla lima inferiore: piombo • Anelli entro cui scorre il cavo di chiusura: ferro, acciaio, plastica
<p>Reti da posta Reti da posta fisse o derivanti (ferrettare)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Rete: monofilamento di PA o fibre di tessuto costituite da PES, PA o PE; • Lima da sughero: PP/PE/PA • Lima da piombo: PP/PA/PES con piombi montati all'esterno o integrati nella lima • Anelli di armamento: plastica • Galleggianti: PES/PVA/PVC/EVA/ABS/PUR • Boe: vinile/PVC/PUR • Ancoraggio: ferro, cemento, pietra
<p>Trappole/nasse</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Rete: fibre polimeriche intrecciate, solitamente PA/PE, plastica, ferro • Telaio della nassa: acciaio, ferro, legno, plastica • Boe: PVC/PUR/vinile; • Ancoraggio: ferro, cemento, pietra
<p>Palangari Di fondo Di superficie</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Trave principale e braccioli: multifilamento in PP/PA, monofilamento in PA • Ami: acciaio • Esche artificiali: metallo, PVC, gomma • Galleggianti: PVC • Affondatori: piombo • Boe: PVC/PUR/vinile • Ancoraggio: ferro, cemento, pietra

Bibliografia

- [1] AA.VV. 2011. Lo stato della pesca e dell'acquacoltura nei mari italiani. A cura di Cataudella S., Spagnolo M. Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, Roma: 877 pp.
- [2] Basurko O.C., Aranda M., Caballero A., Andrés M., Murua J., Gabiña G. 2023b. Research for PECH Committee – Workshop on the European Green Deal - Challenges and opportunities for EU fisheries and aquaculture – Part I: Decarbonisation & circular economy aspects for fisheries, European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies, Brussels.
- [3] Beaumont N.J., Aanesen M., Austen M.C. 2019. Global ecological, social and economic impacts of marine plastic. *Mar Pollut Bull*, 142:189-195. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.03.022>
- [4] Bertling R., Nühlen J. 2019. Study on logistics and infrastructure required for DFG treatment. Interreg Baltic Sea Region Programme 2014-2020, MARELITT Baltic Project report, 69 pp.
- [5] Charter M. 2023. Opportunities for Circular Business Models and Circular Design Related to Fishing Gear. In: Grimstad, S.M.F., Ottosen, L.M., James, N.A. (eds) *Marine Plastics: Innovative Solutions to Tackling Waste*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-31058-4_5
- [6] Eriksen M., Lebreton LCM., Carson H.S., Thiel M., Moore C.J., Borerro J.C., Galgani F., Ryan P.G., Reisser J. 2014. Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *PLoS ONE*, 9(12). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111913>
- [7] FAO. 2019. Voluntary Guidelines on the Marking of Fishing Gear. Directives volontaires sur le marquage des engins de pêche. Directrices voluntarias sobre el marcado de las artes de pesca. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 88 pp.
- [8] Feary D., Aranda M., Russell J., Cabezas O., Rodríguez Climent S., Bremner J. 2020. Study on Circular Design of the Fishing Gear for Reduction of Environmental Impacts. Publications Office of the European Union, EASME/EMFF/2018/011 Specific Contract No. 1, Final Report. 74 pp.
- [9] Gallagher A., Randall P., Sivyer D., Binetti U., Lokuge G., Munas M. 2023. Abandoned, lost or otherwise discarded fishing gear (ALDFG) in Sri Lanka – A pilot study collecting baseline data. *Marine Policy*, 148: 1053.

- [10] Gilman E., Musyl M., Suuronen P., Chaloupka M., Gorgin S., Wilson J., Kuczynski B. 2021. Highest risk abandoned, lost and discarded fishing gear. *Sci Rep*, 11(7195): 6123. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86123-3>
- [11] Glavee-Geo R., Al Ahmed S.W.U., Tippett A.W., Grimstad S.M.F., Pasquine M. 2023. The Role of Non-profit Organisations (NGOs) in Value Creation: Lessons from the Recycling of Fishing Gear in Norway. In: Grimstad, S.M.F., Ottosen, L.M., James, N.A. (eds) *Marine Plastics: Innovative Solutions to Tackling Waste*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-31058-4_9
- [12] IUCN, Searious Business, Global Ghost Gear Initiative, UNEP & Ellen MacArthur Foundation. 2021. Position paper: Advocating Extended Producer Responsibility for fishing gear. International Union for the Conservation of Nature (IUCN), Searious Business, the Global Ghost Gear Initiative (GGGI), the United Nations Environment Programme (UNEP) in consultation with the World Trade Organization (WTO), the United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD), the European Union, and WWF Germany. 6 pp.
- [13] James N.A. 2023. Developing a Circular Economy for Fishing Gear in the Northern Periphery and Arctic Region: Challenges and Opportunities. In: Grimstad S.M.F., Ottosen L.M., James N.A. (eds) *Marine Plastics: Innovative Solutions to Tackling Waste*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-31058-4_3
- [14] Lebreton L., Slat B., Ferrari F., Sainte-Rose B., Aitken J., Marthouse R., Hajbane S., Cunsolo S., Schwarz A., Levivier A. 2018. Evidence that the Great Pacific garbage patch is rapidly accumulating plastic. *Sci Rep*, 8(1):1-15.
- [15] Sala A., Richardson K. 2023. Fishing gear recycling technologies and practices. Rome, FAO and IMO. <https://doi.org/10.4060/cc8317en>
- [16] Singh N., Hui D., Singh R., Ahuja I.P.S., Feo L., Fraternali F. 2017. Recycling of plastic solid waste: A state of art review and future applications. *Composites Part B: Engineering*, 115: 409-422. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.09.013>
- [17] Stolte A., Lamp J., Dederer G., Schneider F. 2019. A treatment scheme for derelict fishing gear. Interreg Baltic Sea Region Programme 2014-2020, MARELITT Baltic Project report. 32 pp.
- [18] Wilcox C., Mallos N.J., Leonard G.H., Rodriguez A., Hardesty B.D. 2016. Using expert elicitation to estimate the impacts of plastic pollution on marine wildlife. *Mar Policy*, 65: 107-114.

Valutazione dell'impatto della sostituzione delle cassette di polistirolo per il trasporto del pesce con altre riutilizzabili

Emilio Notti^a

a CNR, Istituto per le risorse biologiche e le biotecnologie marine

Introduzione

Uno dei componenti più comuni dei rifiuti marini sia in mare che sulle spiagge è la schiuma di polistirene (EPS), più comunemente nota come polistirolo ((Erni-Cassola et al., 2019)). Nel settore della pesca, il polistirolo è un materiale molto utilizzato per creare le cassette di trasporto e stoccaggio del pescato più comuni nelle marinerie italiane. Il polistirolo è estremamente durevole perché non è biodegradabile, mettendo in pericolo la vita marina. Il polistirolo è una delle fonti di generazione delle microplastiche nei nostri mari, come derivazione da presenza di macro-plastiche ((Sun et al., 2024)). L'alto consumo di polistirolo nel settore ittico italiano richiede una riflessione sulle alternative sostenibili. L'adozione di materiali alternativi più eco-compatibili potrebbe rappresentare una soluzione, sebbene ciò possa comportare sfide in termini di costo, prestazioni e disponibilità di materiali sostitutivi altrettanto efficaci nell'isolamento e nella conservazione del pesce fresco.

La ricerca e lo sviluppo di nuove tecnologie di imballaggio, insieme a politiche che incoraggiano l'utilizzo di materiali più sostenibili, potrebbero aiutare a ridurre la dipendenza dal polistirolo e ad affrontare i problemi legati alla sua gestione come rifiuto.

Contesto normativo

Il contesto normativo Europeo relativo agli articoli per contenimento e trasporto di alimenti è principalmente regolamentato dalla legislazione sull'uso dei materiali plastici, sulla gestione dei rifiuti e sulla gestione della salubrità alimentare. Gli ambiti normativi di maggiore rilevanza includono:

- Direttiva sull'imballaggio e i rifiuti di imballaggio (94/62/CE)
- Decreto legislativo sull'imballaggio e i rifiuti di imballaggio (D. Lgs. 116/2003)

- Regolamento REACH (1907/2006/CE)
- Direttiva Quadro sui Rifiuti (2008/98/CE)
- Strategia Europea per le materie plastiche in un'economia circolare (COM (2018) 28)
- Regolamento (UE) N. 10/2011
- Legge quadro sui rifiuti, c.d. Testo Unico Ambientale (D. Lgs. 152/2006)
- Regolamento 852/2004 (HACCP)
- Regolamento CE. 1935/2004 (MOCA)
- Direttiva (UE) 2019/904 (Direttiva SUP)

Recentemente il complesso normativo si è concentrato sull'adozione di pratiche sostenibili e sulla riduzione dei rifiuti e del loro impatto attraverso il riciclo.

Sul piano della salubrità alimentare i criteri di certificazione impongono l'identificazione a priori del tipo di materiale usato per l'imballaggio per poterne standardizzare il comportamento. Ciò ostacola l'uso di plastica riciclata per via della possibile presenza di contaminanti e giustifica il largo uso fatto finora del polistirolo, prodotto con materiale di prima scelta e dotato di altre caratteristiche ideali. Il compromesso migliore è l'identificazione di prodotti fabbricati con materiale di prima scelta e riutilizzabili.

Stato dell'arte del settore ittico nazionale

Secondo il report annuale pubblicato dal Ministero dell'agricoltura, della sovranità alimentare e delle foreste (MASAF), la flotta peschereccia italiana nel 2021 conta 11.864 unità, con un volume di sbarco pari a 136.380 tonnellate per un valore economico di oltre 736 milioni di euro.

Marche, Sicilia, Veneto ed Emilia-Romagna sono le regioni con i maggiori livelli produttivi e nell'insieme rappresentano il 56% degli sbarchi nazionali di prodotti ittici.

La composizione del pescato è costituita in prevalenza da vongole, acciughe e sardine, che rappresentano nel 2021 il 43% degli sbarchi della flotta nazionale.

Il processo di distribuzione del pescato prevede un incassettamento a bordo delle imbarcazioni e un conferimento diretto ai commercianti o ai mercati ittici che acquistano il prodotto e lo rivendono.

Si stima che a livello europeo le cassette per il pesce costituiscano il 23% dell'EPS (schiuma di polistirene) utilizzato per applicazioni non legate all'edilizia (Ocean Wise,

2021) e che l'Italia abbia il tasso di consumo di EPS nel settore ittico più alto d'Europa, con circa 14.000 tonnellate annuali (AIPE, 2017).

Mediamente una cassetta contiene dai 6 agli 8 kg di prodotto; ciò fa ipotizzare un potenziale fabbisogno di più di 22 milioni di unità in un anno, circa 189 mila per ogni giorno di pesca su territorio nazionale. Ovviamente l'effettivo numero di cassette adoperato è molto variabile.

Rispetto alle diverse tecniche di pesca ed alle specie pescate, si possono identificare due tecniche di incassettamento. La differenza è in buona parte correlata alle diverse dinamiche di vendita e distribuzione delle due tipologie di prodotto ittico.

Le tecniche di pesca che mirano alla cattura di acciughe e sardine prediligono l'utilizzo di cassette rispettivamente in polistirolo e in legno. Questo è dovuto al tipo di pesca, in cui grandi quantità di prodotto omogeneo vengono raccolte da un numero ridotto di imbarcazioni, alla logistica basata su grandi quantità spedite in vettori di grandi dimensioni e a una certa diffidenza degli operatori di questo sottosettore rispetto ad approcci innovativi.

Nelle tecniche di pesca per le specie demersali, l'utilizzo di cassette in polistirolo sta lasciando il passo alle cassette in plastica grazie a una maggiore apertura del mercato e della catena di distribuzione all'introduzione di innovazioni e opportunità di miglioramento, in quanto appaiono più compatibili con logiche di marketing rispetto a quei mercati in cui la quantità di prodotto risulta la variabile determinante, come nel caso di vongole, acciughe e sardine.

Risultati rilevanti

La cassetta in polistirolo ha diversi vantaggi dal punto di vista dell'isolamento termico, della gestione più pratica dell'incassettamento, della semplicità di utilizzo, della maneggevolezza dovuta al basso peso specifico dello stirene. Di contro ha anche degli svantaggi: il costo, l'impatto ambientale, l'occupazione di volumi maggiori e la richiesta di ampi spazi.

La cassetta in plastica finora è stata sfavorita dalla necessità di organizzare un processo di recupero e restituzione delle cassette vuote e di dotare i mercati e le grandi distribuzioni dei servizi di pulizia e sanificazione.

Al fine di valutare le differenze sotto il profilo tecnico si fa riferimento ad un'iniziativa occorsa nell'ambito del progetto "CISP – Centro di innovazione e sviluppo pesca"

finanziato con Fondi FEAMP tramite il Flag Marche Centro, per il periodo 2018-2020. Lo studio pilota, effettuato in collaborazione con alcune imprese di pesca locali, ha permesso di analizzare i principali aspetti relativi agli impatti connessi al cambio di cassette.

La ricerca di mercato ha portato all'individuazione di alcune possibili soluzioni tecniche alternative e migliorative, tra cui la più promettente è risultata una cassetta in plastica, coperta da brevetto nazionale acquisito dalla ditta Campania plastica srl (<https://www.campaniaplastica.it/>).

In Figura 1 si illustra il confronto tra una cassetta in polistirolo di dimensioni standard (45x30x11 cm, capienza 9 litri) e una in plastica (polipropilene PP05, 50x30x11 cm, capienza 13 litri). Un primo sviluppo proposto dalla ditta è stato testato da un gruppo selezionato di pescatori i quali hanno fornito considerazioni circa possibili ottimizzazioni.



Figura 1. A sinistra: cassetta in polistirolo standard; a destra: cassetta in plastica riutilizzabile.

Sotto il profilo tecnico, le cassette in plastica testate (DUWO) possiedono alcuni vantaggi rispetto a quelle in polistirolo, come la quasi doppia impilabilità che permette di risparmiare molto spazio (Figura 2), la presenza di accessori che consentono di migliorare la gestione e la qualità del prodotto una volta incassettato come i coperchi forati e i microchip inclusi nel manico sul lato corto (Figura 3), con i primi che consentono di sostenere il ghiaccio utilizzato per mantenere il prodotto ittico al fresco senza però che avvenga il contatto diretto tra ghiaccio e il pesce. E con i secondi che, supportando la tecnologia RFID, rendono possibile il conferimento alla singola cassetta di informazioni sull'attività di pesca, sul giorno, ora, zona di pesca, tipo e nome dell'imbarcazione, dati in grado di migliorare la tracciabilità del prodotto ittico e permettere di migliorare la

gestione degli ordini sulla base della disponibilità del prodotto e quindi le relative trattative economiche.

Il vantaggio più importante per la mitigazione dell'impatto ambientale è il passaggio ad una logica multiuso che determina un numero fisso di cassette da dover produrre e riutilizzare, potendo contare su un sistema di lavaggio e sanificazione, come l'impianto di cui si è dotato il mercato ittico di Ancona (Figura 4).

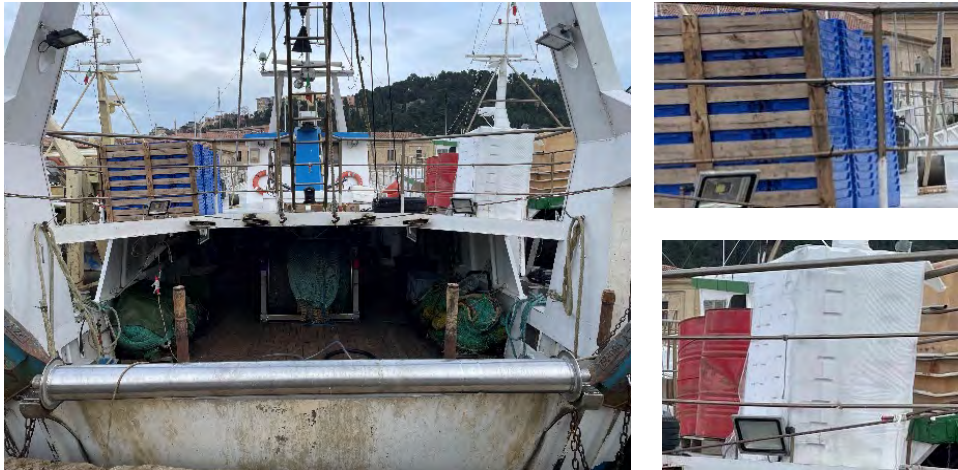


Figura 2. Cassette in plastica e in polistirolo stivate sul ponte primo di un peschereccio a strascico. A destra il particolare a confronto delle cassette impilate.



Figura 3. Cassetta in plastica con coperchio forato. Il particolare in giallo è l'accessorio contenente il microchip con tecnologia RFID.



Figura 4. Sistema di lavaggio e sanificazione delle cassette in plastica, presso il Mercato Ittico di Ancona.

Stabilito il fabbisogno di cassette in plastica, non sarà necessario un approvvigionamento giornaliero diversamente da quanto avviene per quelle in polistirolo, fermo restando che lo stock di partenza potrà essere più del doppio rispetto al fabbisogno giornaliero, così da coprire i tempi di uso e lavaggio.

Sul piano del metodo di utilizzo, se da un lato la logica SUP che caratterizza le cassette in polistirolo consente di non considerare le complessità relative al lavaggio, nel caso di quelle riutilizzabili è stato constatato che un opportuno ciclo di sanificazione consente di riportare la cassetta allo stesso stato del suo primo utilizzo.

Sul piano economico il costo di approvvigionamento delle cassette in polistirolo è solitamente a carico delle singole imprese di pesca, con un costo mensile che può variare da poche centinaia a migliaia di euro in base al numero di cassette necessarie.

Per contro, la disponibilità delle cassette in plastica assume i connotati di un servizio reso dal mercato e non di un approvvigionamento giornaliero. Questo aspetto è risultato rilevante per molte imprese di pesca, le quali hanno avuto una differente percezione del costo associato alla metodica di incassetamento poiché è stata cancellata una voce di costo.

Il vantaggio connesso al riutilizzo ha portato a quantificare il costo del servizio come una componente della percentuale di provvigione che il mercato applica, come trattenuta sul ricavo, alle singole imprese che vendono il prodotto ittico.

Dal punto di vista di un'analisi comparata di costi e benefici, sarà sempre possibile per

il sistema con cassette riutilizzate, risultare economicamente più vantaggioso. Senza contare la possibilità di incremento del prezzo del pescato valorizzando economicamente una pratica ecosostenibile, approccio molto apprezzato da consumatori consapevoli. Non esistono, al momento, studi sulla WTP (willingness to pay) per prodotti della pesca per i quali viene assicurato un trasporto più ecosostenibile. Alcuni studi hanno valutato, tuttavia, il prezzo di riserva dei consumatori per prodotti derivanti da pesca sostenibile e selettiva (Hemplel et al., 2021; Onofri & Volpe, 2020).

In generale, il consumatore medio italiano è sensibile rispetto alle problematiche legate alla sostenibilità ed i risultati hanno dimostrato l'esistenza di una WTP positiva compresa tra il 14% ed il 18% (Buying Green Report, 2023). Nonostante la preoccupazione sul rincaro dei beni, il valore degli imballaggi sostenibili rimane elevato, con l'82% dei consumatori disposti a pagare di più (WTP fino al 29%) per prodotti con queste caratteristiche.

Prospettive, sfide, azioni future

Le previsioni attese dall'uso delle cassette di plastica sono molteplici. Tramite il passaggio a un approccio MUP (multi-use product), si può ottenere la riduzione dell'inquinamento derivante da polistirolo, maggiore economicità per le imprese ittiche, minore esposizione alla variazione dei prezzi dell'energia e dei derivati del petrolio, maggiore qualità del prodotto, possibilità di migliorare la gestione della vendita e del marketing grazie agli accessori disponibili. Inoltre, il prodotto distribuito e venduto con un sistema maggiormente attento all'ambiente può aspirare a prezzi maggiori, contando sulla sempre più attenta sensibilità dei consumatori verso le questioni ambientali.

Le sfide legate alla sostituzione delle cassette restano la maggiore complessità logistica legata alle cassette in plastica (distribuzione, smistamento, gestione e lavaggio), che per le imprese a gestione diretta con i commercianti comporterebbe un aggravio di mansioni, e l'ancora scarsa visione prospettica di alcuni operatori, scettici riguardo le opportunità connesse alla sostituzione. In aggiunta, la distribuzione commerciale è esposta a logiche che prediligono l'incassettamento in polistirolo principalmente per limitare le interferenze connesse al cambio di metodo; senza contare che i rappresentanti della produzione di polistirolo possono operare strategie di mercato aggressive, come la riduzione del prezzo di acquisto, nonostante questo rischio sia in parte mitigato dal costo di produzione del polistirolo il quale sconta una forte dipendenza da variabili geo-politiche.

Per poter aspirare ad un approccio diffuso e consolidato dell'utilizzo di cassette riutilizzabili risulta necessario puntare su una maggiore uniformità nelle dinamiche di distribuzione del mercato, al fine di poter consentire anche a quelle realtà che non possono contare su soggetti accentratori di organizzare un processo di gestione della distribuzione basato su cassette riutilizzabili. Inoltre, serve la costruzione di un adeguato piano di comunicazione, basato anche su studi sulla WTP, che possa esprimere con chiarezza ed esaltare i benefici indiretti e le buone pratiche connesse a prodotti ittici trasportati con soluzioni a minore impatto ambientale.

Bibliografia

Articoli scientifici

- [1] Erni-Cassola, G., Zadjelovic, V., Gibson, M. I., & Christie-Oleza, J. A. (2019). Distribution of plastic polymer types in the marine environment; A meta-analysis. *Journal of Hazardous Materials*, 369, 691–698. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2019.02.067>
- [2] Hempel, C., Feucht, Y., & Zander, K. (2021). Consumers' contribution to a climate neutral EU: What influences the adoption of food-related mitigation options? *System Dynamics and Innovation in Food Networks* 2021.
- [3] Onofri, L., & Volpe, M. (2020). Pricing agricultural inputs from biodiversity-rich ecosystems and habitats without input markets. *African Journal of Economic and Management Studies*. <https://doi.org/10.1108/AJEMS-10-2018-0287>
- [4] Sun, Y., Zhao, X., Sui, Q., Sun, X., Zhu, L., Booth, A. M., Chen, B., Qu, K., & Xia, B. (2024). Polystyrene nanoplastics affected the nutritional quality of *Chlamys farreri* through disturbing the function of gills and physiological metabolism: Comparison with microplastics. *Science of The Total Environment*, 910, 168457. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.168457>

Report

- [1] Ocean Wise, 2021. Report attività 5.2 https://www.oceanwise-project.eu/wp-content/uploads/2022/09/WP-5.6-2a-Report_Final.pdf
- [2] AIPE, 2017. Soluzioni di imballaggio innovative e sostenibili per ridurre la dispersione di plastica in mare. <https://www.aipe.biz/mondo-eps/wp-content/uploads/sites/2/2017/03/AIPE-NEWS-70-Marzo-17.pdf>

Supporto scientifico alle attività della Direzione EC in materia di plastiche in contesti internazionali, con riferimento particolare al Comitato Intergovernativo Negoziale (INC) per la lotta all'inquinamento da plastica: prospettive dalla comunità scientifica

Fantina Madricardo^a, Patrizio Tratzi^b, Giorgio Simone^a, Flaminia Fois^b, Vanessa Moschino^a, Daniele Bianconi^b, Valerio Paolini^b, Diana Corradi^c

a CNR, Istituto di scienze marine

b CNR, Istituto sull'inquinamento atmosferico

c Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, Direzione Generale Economia Circolare

Introduzione

La produzione di plastica su larga scala si è diffusa a partire dagli anni '50, e nel 1963, per la loro invenzione, Karl Ziegler e Giulio Natta ricevettero il premio Nobel per la chimica. Tuttavia, le diverse qualità della plastica quali la stabilità a temperatura ambiente, la trasportabilità e facilità d'uso grazie al leggero peso del materiale, la resistenza all'azione del tempo e agli agenti atmosferici e chimici, etc., che l'hanno resa così vantaggiosa per il genere umano, hanno anche contribuito a creare una grave crisi mondiale legata all'inquinamento da plastiche nell'ambiente. Si stima, infatti, che tra il 1950 e il 2017, si siano prodotte circa 9.200 milioni di tonnellate di plastica primaria (Geyer, 2020) con la conseguente generazione di circa 6,9 miliardi di tonnellate di rifiuti di plastica. Più di tre quarti di questi rifiuti plastici sono finiti in discarica, o in flussi di rifiuti incontrollati o mal gestiti, o nell'ambiente naturale, compresi gli oceani (UNEP, 2021a). Nel 2019 solo il 15% dei rifiuti di plastica è stato raccolto per il riciclaggio e solo il 9% è stato effettivamente riciclato, metà dei rifiuti di plastica è stata messa in discarica e quasi un quinto è stato incenerito. Una quota significativa (22%) dei rifiuti di plastica non è stata smaltita in modo adeguato, finendo in discariche incontrollate o bruciata all'aperto, con conseguenti emissioni nell'ambiente (UNEP, 2021b).

Attualmente, si stima che ogni anno 19-23 milioni di tonnellate di plastica si riversino negli ecosistemi acquatici - dai laghi ai fiumi ai mari - solo da fonti terrestri. A queste quantità

si sommano quelle provenienti da attività in mare con un conseguente forte impatto sugli ecosistemi, sulla salute umana, sulle economie e sulla società in generale.

In assenza di azioni politiche concrete, si prevede che la plastica in ambiente raggiungerà oltre 1 miliardo di tonnellate entro il 2060, con una quantità quasi triplicata di plastica che si riverserà negli oceani entro il 2040 aggiungendo 37 milioni di tonnellate di rifiuti in più ogni anno (UNEP, 2021a).

In ambiente marino, si stima che i rifiuti di plastica siano presenti soprattutto in aree costiere altamente popolate, poco profonde e chiuse, come il Mar Mediterraneo, recentemente identificato come la sesta grande zona di accumulo di rifiuti marini, insieme alle zone di convergenza oceaniche, localizzate nel Pacifico settentrionale e meridionale, Atlantico settentrionale e meridionale e Indiano (Cózar et al. 2015). Uno studio molto recente che utilizza le immagini da satellite ad alta risoluzione ha fornito una mappa della distribuzione di plastiche nel Mediterraneo, evidenziando che una delle aree di maggiore accumulo di rifiuti superficiali è l'Adriatico settentrionale (Cozar et al. 2024).

La produzione di plastica è fortemente legata all'industria petrolchimica e alle materie prime fossili, infatti il 99% delle materie prime per la produzione di plastica è basato su combustibili fossili, rappresentando attualmente circa l'8-9% del consumo globale di petrolio e gas (Hopewell, Dvorak, & Kosior, 2009).

La risoluzione UNEP 5/14 e i lavori del Comitato di Negoziazione Intergovernativo (INC)

Per far fronte alla crisi planetaria correlata alla presenza di plastica in ambiente, nel marzo 2022, in occasione della ripresa della quinta sessione dell'Assemblea delle Nazioni Unite per l'ambiente (UNEA-5.2), è stata adottata una storica risoluzione per sviluppare uno strumento internazionale giuridicamente vincolante sull'inquinamento da plastica, anche nell'ambiente marino.

La risoluzione (5/14) richiedeva al Direttore Esecutivo del Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente (UNEP) di convocare un Comitato di Negoziazione Intergovernativo (INC) per sviluppare "lo strumento", che deve basarsi su un approccio globale che affronti l'intero ciclo di vita della plastica, compresa la produzione, la progettazione e lo smaltimento.

L'INC ha iniziato i suoi lavori nella seconda metà del 2022, con l'ambizione di completare i negoziati entro la fine del 2024. La prima sessione dell'INC (INC-1) si è svolta a Punta del

Este, in Uruguay, dal 28 novembre al 2 dicembre 2022, seguita da una seconda sessione (INC-2) dal 29 maggio al 2 giugno 2023 a Parigi, Francia. La terza sessione (INC-3) ha segnato il punto intermedio del processo dal 13 al 19 novembre 2023 a Nairobi, in Kenya, seguita dalla quarta sessione (INC-4) dal 23 al 29 aprile 2024 a Ottawa, in Canada.

Alcuni istituti del CNR (ISMAR e IIA) hanno partecipato alle fasi del negoziato a partire da INC-2 fino a INC-4, compreso il supporto alla direzione generale economia circolare del Ministero dell'Ambiente e della Sostenibilità Economica nel processo di revisione dello zero draft nelle sue singole parti per la definizione di una posizione condivisa a livello EU, sulla base di esperienza, competenze e studi scientifici (attività di science to policy). Inoltre, il CNR ha partecipato a riunioni preparatorie interdirezionali, a livello europeo, e agli incontri istituzionali di Parigi, Nairobi e Ottawa, fornendo supporto tecnico anche durante numerosi incontri bilaterali.

Lo scopo di questo documento è di riassumere brevemente gli elementi salienti emersi dagli ultimi studi scientifici pubblicati nella fase di preparazione e durante gli eventi collaterali di INC-4.

La plastica e la pericolosità per la salute umana e l'ambiente

Nel maggio 2023 l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) nella risoluzione adottata dai 194 Stati Membri ([The impact of chemicals, waste and pollution on human health](#)) ha riconosciuto la pericolosità per la salute umana e l'ambiente dell'inquinamento da agenti chimici e plastiche evidenziando i potenziali costi elevatissimi che comporterebbe l'inazione.

Le plastiche contengono oltre 10.000 sostanze chimiche di sintesi, tra cui ftalati, bisfenoli, sostanze per-e polifluoroalchiliche (PFAS), ritardanti di fiamma bromurati e organofosfati. Purtroppo, questi componenti si disperdono durante l'uso quotidiano e le prove tossicologiche ed epidemiologiche dimostrano sempre più che molti di essi hanno un impatto neurotossico, cancerogeno, immunitario e di interferenza endocrina sulla salute umana (Gore et al., 2024).

In particolare, un recente rapporto (Wagner et al., 2024), presentato nel marzo del 2024, sintetizza i risultati dei test fatti su oltre 16000 sostanze chimiche potenzialmente utilizzate o presenti nei materiali e nei prodotti di plastica. Solo il 6% di queste sostanze chimiche è attualmente soggetto a regolamentazione internazionale, benché un numero molto più

elevato sia prodotto in grandi quantità e rappresenti un potenziale rischio per la salute umana. Più di 4200 sostanze chimiche usate nelle plastiche destano preoccupazione perché sono persistenti, bioaccumulabili, mobili e potenzialmente tossiche. Oltre 1300 sostanze chimiche che destano preoccupazione sono commercializzate nelle materie plastiche e il 29-66% delle sostanze chimiche utilizzate o trovate in tipologie di plastiche studiati in dettaglio sono potenzialmente pericolose. Ciò significa che le sostanze chimiche che destano preoccupazione (chemicals of concern) possono essere presenti in tutti i tipi di plastica (Wagner et al. 2024). Il rapporto rivela anche una sorprendente carenza di dati: mancano informazioni di base sulla tipologia di oltre un quarto delle sostanze chimiche usate nelle plastiche, e per più della metà le informazioni sono ambigue o carenti. Inoltre, il report evidenzia il fatto che mancano informazioni sulla pericolosità di oltre 10 000 sostanze chimiche, sebbene tali informazioni siano essenziali per garantire una corretta valutazione e gestione dei rischi. È necessario dunque avere informazioni più trasparenti sull'identità, i pericoli, le funzionalità, i volumi di produzione e le caratteristiche delle sostanze chimiche plastiche (Wagner et al. 2024).

Inoltre, in tutto il ciclo di vita delle plastiche (dall'estrazione dei materiali fossili, alla produzione delle plastiche, all'uso dei prodotti plastici e del packaging, alla gestione dei rifiuti) si ha la dispersione nell'ambiente di nano- e microplastiche (particelle con dimensioni < 5 mm). A causa delle loro piccole dimensioni, queste particelle si diffondono facilmente nell'ambiente e contaminano tutti i comparti ambientali (aria, suolo, acqua) interessando gli organismi viventi (Sarkar et al., 2023), cibo e acqua potabile (Ziani et al., 2023). Le microplastiche entrano nel corpo umano attraverso esposizione diretta per contatto, ingestione o inalazione e possono comportare a una serie di effetti negativi sulla salute, tra cui infiammazione, genotossicità, stress ossidativo, apoptosi e necrosi, che sono collegati correlati all'insorgenza di varie malattie, tra cui cancro, malattie cardiovascolari, malattie infiammatorie intestinali, diabete, artrite reumatoide, infiammazione cronica, malattie auto immunitarie, malattie neurodegenerative e ictus (Azoulay et. al., 2019). Il rapporto sottolinea inoltre che la mancanza di conoscenza può aggravare l'esposizione e i rischi per i lavoratori, i consumatori, le comunità più esposte al contatto con le plastiche e gli agenti chimici potenzialmente pericolose, ma anche per le comunità lontane dalle fonti di rilascio della plastica. Anche se è necessario uno studio più approfondito, le prove raccolte dimostrano che è urgente adottare un

approccio precauzionale per proteggere la salute umana dalla crisi dell'inquinamento da plastica.

A questo riguardo anche la Commissione Minderoo-Monaco sulla plastica e la salute umana ha prodotto un'ampia analisi degli impatti negativi della plastica focalizzandosi sui seguenti argomenti: i) la salute e il benessere umano, con particolare attenzione alle popolazioni vulnerabili, ii) l'ambiente globale e la salute degli oceani, e iii) l'economia (Landrigan et al. 2023). In merito alla salute umana, oltre a quanto già menzionato in precedenza, il rapporto Minderoo-Monaco sottolinea il fatto che i produttori di plastica divulgano poche informazioni sull'identità, la composizione chimica o la potenziale tossicità delle sostanze chimiche della plastica al momento dell'immissione sul mercato e nella maggior parte dei Paesi non vi è alcun obbligo legale in tal senso. Sia la complessità che la mancanza di trasparenza sulla composizione chimica delle materie plastiche rendono difficile la valutazione degli impatti delle sostanze utilizzate. La ricerca epidemiologica finanziata con fondi pubblici, infatti, deve cercare di scoprire i possibili impatti sulla salute delle sostanze chimiche associate alle materie plastiche, ma può farlo solo dopo che queste sostanze sono già state immesse sul mercato e hanno comportato un'esposizione umana potenzialmente diffusa.

Il rapporto presenta, poi, una stima degli elevati costi economici dei danni causati dalla plastica alla salute umana e all'ambiente globale, stimando che nel 2015 i costi sanitari della produzione di plastica hanno superato i 250 miliardi di dollari a livello globale, e solo negli Stati Uniti i costi sanitari di malattie, disabilità e morti premature causate da tre sole sostanze chimiche associate alla plastica (PBDE, BPA e DEHP) hanno superato i 920 miliardi di dollari. A questi costi si aggiunge poi il costo delle emissioni di gas serra causate dalla plastica stimando dei danni economici pari a circa 341 miliardi di dollari all'anno (Landrigan et al. 2023).

Molteplici, inoltre, sono gli impatti che i rifiuti ed i materiali plastici possono avere sugli ecosistemi quali ad esempio alterazione fisica degli habitat, impatti sulle comunità biologiche, impatti di tipo chimico a causa del rilascio di sostanze chimiche additivanti (Napper and Thompson, 2023; S. Kühn et al., 2015). In particolare, nell'ambiente marino, dove le plastiche rappresentano non solo un problema estetico, ma hanno anche implicazioni fisiche, chimiche e biologiche. I rifiuti galleggianti soffocano uccelli, mammiferi marini e tartarughe marine (NRC, 1995). Tuttavia, vi sono anche effetti sub-

letali che comportano una riduzione dell'apporto energetico, che può avere effetti sui tassi di fecondità degli organismi. La plastica contiene e assorbe inquinanti organici persistenti (POP) (Rios et al., 2007). I POP non solo rappresentano un problema per l'ambiente marino, ma possono bioaccumularsi attraverso la catena alimentare e influire sulla salute umana (Gobas et al., 2009).

Diverse versioni del trattato: gli scenari

Durante l'INC-4 a Ottawa, una delle principali divisioni tra le delegazioni internazionali era tra coloro che volevano concentrarsi sulle misure “di fine vita” (i.e. quando la plastica diventa rifiuto) e coloro che miravano anche a ridurre la produzione primaria di plastica. Il gruppo cosiddetto “like-minded”, concentrato sulle misure di fine vita, era ampiamente, e prevedibilmente, composto da produttori di petrolio e plastica (Arabia Saudita, Kuwait, Cina, ecc.). Sono quindi stati sviluppati degli scenari che mostrino quali sarebbero i trend di produzione e gestione dei rifiuti in caso di business-as-usual, di focus solo sul fine vita, e di riduzione della produzione primaria.

Secondo gli scenari dell'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico (OCSE), il business-as-usual è insostenibile (OECD, 2022). Nello scenario di base, l'uso della plastica crescerebbe, aumentando del 50% il rilascio di macroplastiche nell'ambiente entro il 2040. L'uso crescente della plastica e i rifiuti aumenterebbero le conseguenze negative per l'ambiente, il clima e la salute umana.

Un'azione politica globale ma non coordinata potrebbe rallentare la crescita dell'uso della plastica, ma i rifiuti aumenterebbero comunque di oltre il 50% rispetto ai livelli del 2020 entro il 2040. I miglioramenti nella raccolta e nel riciclaggio dei rifiuti ridurrebbe il rilascio di plastica in ambiente, ma comunque 23 Mt di plastica si disperderebbero ancora nell'ambiente entro il 2040.

Un moderato allineamento internazionale delle politiche migliorerebbe i risultati. L'uso delle plastiche primarie si stabilizzerebbe ai livelli del 2020 entro il 2040, ma la dispersione della plastica sarebbe ancora significativa (12 Mt nel 2040).

Un'ambizione globale con un'azione politica precoce e coordinata potrebbe ridurre la generazione di rifiuti plastici nel 2040 di un quarto rispetto al Baseline, eliminando i rifiuti mal gestiti entro il 2040. Conseguentemente, anche la dispersione della plastica in ambiente sarebbe quasi eliminata.

Una tale azione politica costerebbe lo 0,5% del PIL globale nel 2040 rispetto al Baseline. Tuttavia, questi costi escludono i costi evitati dell'inazione e devono essere considerati nel contesto di risultati ambientali notevolmente migliorativi. Un approccio complessivo, che includa misure a monte e a valle, limiterebbe i costi della transizione. Un'azione ritardata potrebbe avere benefici economici a breve termine, ma ripercussioni sociali e ambientali a lungo termine.

I costi maggiori (in percentuale del PIL) dell'azione ambiziosa globale sono previsti per i paesi in rapida crescita con sistemi di gestione meno avanzati, soprattutto nell'Africa subsahariana. Le necessità di investimento per la raccolta, selezione e trattamento dei rifiuti ammontano a oltre 1 trilione di dollari USA tra il 2020 e il 2040 per i paesi non OCSE. La riduzione della produzione di rifiuti può limitare questi costi. Le grandi esigenze finanziarie e la distribuzione disomogenea dei costi implicano la necessità di una cooperazione internazionale. Barriere tecniche ed economiche devono essere superate per eliminare la dispersione delle plastiche entro il 2040, incluse innovazioni nel riciclaggio e mercati internazionali ben funzionanti per rottami e plastiche secondarie.

Per gli scenari di Systemiq (Systemiq, 2024), l'inazione contro l'inquinamento da plastica è costosa: il 'business-as-usual' potrebbe portare a un quasi raddoppio dei rifiuti di plastica mal gestiti e a un aumento del 63% delle emissioni di gas serra (GHG) entro il 2040 rispetto ai livelli del 2019. Oltre ai costi ambientali, l'inazione si rivelerà anche costosa, poiché un'azione completa potrebbe far risparmiare 220 miliardi di dollari tra il 2026 e il 2040 in spese pubbliche riducendo le esigenze di gestione dei rifiuti plastici municipali. Mentre i paesi ad alto reddito potrebbero ridurre le loro spese di gestione dei rifiuti di circa 270 miliardi di dollari, ciò sarebbe parzialmente compensato da un aumento di 50 miliardi di dollari delle spese nei paesi a basso e medio reddito.

Solo un'azione coordinata a livello globale lungo l'intero ciclo di vita può ottenere una riduzione significativa dell'inquinamento da plastica entro il 2040: Lo scenario 'Global Full Lifecycle' rivela che un approccio coordinato lungo l'intero ciclo di vita della plastica può ridurre del 90% i rifiuti di plastica mal gestiti entro il 2040 rispetto ai livelli del 2019. Ciò implica azioni a monte per minimizzare l'uso non necessario della plastica, insieme a politiche coordinate per allineare e snellire standard e regolamenti al fine di ridurre i costi di conformità e aumentare la fiducia nelle nuove soluzioni sostenibili.

Le strategie focalizzate sulla gestione dei rifiuti, meno complete e meno coordinate, non saranno sufficienti: anche secondo le ipotesi più ottimistiche, lo scenario ‘Global Waste Management’ – caratterizzato da interventi coordinati a valle – raggiungerebbe solo una riduzione del 20% dei rifiuti di plastica mal gestiti entro il 2040 rispetto ai livelli del 2019; mentre lo scenario ‘National Full Lifecycle’ – che prevede azioni interne ambiziose ma non coordinate lungo il ciclo di vita della plastica – potrebbe comportare una riduzione del 25%.

Risultano necessari meccanismi di finanziamento per affrontare il divario nella gestione dei rifiuti: i possibili interventi definiti dagli scenari non riusciranno a risolvere le problematiche relative alla mal gestione dei rifiuti di plastica senza finanziamenti significativi, che permetterebbero di potenziare una gestione efficace dei rifiuti nei paesi a basso reddito. Ciò richiederà spese pubbliche per infrastrutture di raccolta, selezione e smaltimento tra i 300 miliardi e i 900 miliardi di dollari sopra i livelli di spesa attuali dal 2026 al 2040. Mentre lo scenario Global Full Lifecycle presuppone l’adozione della responsabilità estesa del produttore (EPR) e l’imposizione di tasse nazionali/regionali sulla produzione di polimeri primari per consentire una riduzione del 90% dei rifiuti di plastica mal gestiti, i negozianti potrebbero adottare meccanismi di finanziamento alternativi per raggiungere questo obiettivo.

Si segnala infine che risultati simili si ottengono con il Global Plastic Tool uno strumento a supporto dei decisori politici nei prossimi negoziati internazionali sviluppato dal gruppo del professor Roland Geyer dell’Università della California Santa Barbara e il Benioff Ocean Science Laboratory DSE che sta co-creando un modello interattivo che consente agli utenti di visualizzare l’impatto dei diversi scenari e interventi in merito alle varie fasi del ciclo di vita delle plastiche.

Riferimenti bibliografici

- [1] Azoulay D, Villa P, Arellano Y, et al. Plastic & Health: The Hidden Costs of a Plastic Planet. Center for International Environmental Law; (2019). <https://www.ciel.org/wp-content/uploads/2019/02/Plastic-and-Health-The-Hidden-Costs-of-a-Plastic-Planet-February-2019.pdf>
- [2] Cózar, A., Arias, M., Suaria, G. et al. Proof of concept for a new sensor to monitor marine litter from space. Nat Commun 15, 4637 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41467-024-48674-7>

- [3] 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(4), e0121762. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0121762>
- [4] Geyer, R. (2020). Chapter 2—Production, use, and fate of synthetic polymers. In T. M. Letcher (A c. Di), *Plastic Waste and Recycling* (pp. 13–32). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817880-5.00002-5>
- [5] Gobas, F. A., de Wolf, W., Burkhard, L. P., Verbruggen, E., & Plotzke, K. (2009). Revisiting Bioaccumulation Criteria for POPs and PBT Assessments. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 5(4), 624–637. https://doi.org/10.1897/IEAM_2008-089.1
- [6] Gore, A.C., La Merrill, M.A., Patisaul, H.B., and Sargis, R. Endocrine Disrupting Chemicals: Threats to Human Health. The Endocrine Society and IPEN. February 2024.
- [7] Hopewell J., Dvorak R., Kosior E. 2009. Plastics recycling: challenges and opportunities. *Phil. Trans. R. Soc. B* 364 2115–2126. <http://doi.org/10.1098/rstb.2008.0311>
- [8] Kühn, S., Bravo Rebolledo, E. L., & van Franeker, J. A. (2015). Deleterious Effects of Litter on Marine Life. In M. Bergmann, L. Gutow, & M. Klages (A c. Di), *Marine Anthropogenic Litter* (pp. 75–116). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_4
- [9] Landrigan et al. (2023). The Minderoo-Monaco Commission on Plastics and Human Health. *Annals of Global Health*. 89(1): 23, 1–215. DOI: <https://doi.org/10.5334/aogh.4056>
- [10] Napper, I. E., & Thompson, R. C. (2023). Plastics and the Environment. In *Annual Review of Environment and Resources* (Vol. 48, Fascicolo Volume 48, 2023, pp. 55–79). Annual Reviews. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-112522-072642>
- [11] NRC, 1995. National Research Council. (1995). Clean Ships, Clean Ports, Clean Oceans: Controlling Garbage and Plastic Wastes at Sea. National Academy Press, Washington, dc.
- [12] OECD (2022), Global Plastics Outlook: Policy Scenarios to 2060, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/aa1edf33-en>
- [13] Rios, L.M., Moore, C., Jones, P.R. (2007). Persistent organic pollutants carried by Synthetic polymers in the ocean environment. *Mar. Pollut. Bull.* 54 (8), 1230-1237

- [14] Sarkar, S., Diab, H., & Thompson, J. (2023). Microplastic Pollution: Chemical Characterization and Impact on Wildlife. *Int J Environ Res Public Health*, 20(3). <https://doi.org/10.3390/ijerph20031745>
- [15] Systemiq (2024). *Plastic Treaty Futures*
- [16] UNEP, 2021a. United Nations Environment Programme (2021). *From Pollution to Solution: A global assessment of marine litter and plastic pollution*. Nairobi.
- [17] UNEP, 2021b. United Nations Environment Programme (2021). *Drowning in Plastics – Marine Litter and Plastic Waste Vital Graphics*.
- [18] Wagner, M., Monclús, L., Arp, H. P. H., Groh, K. J., Løseth, M. E., Muncke, J., Wang, Z., Wolf, R., & Zimmermann, L. (2024). *State of the science on plastic chemicals—Identifying and addressing chemicals and polymers of concern*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.10701706>
- [19] Ziani, K., Ioniță-Mîndrican, C. B., Mititelu, M., Neacșu, S. M., Negrei, C., Moroșan, E., Drăgănescu, D., & Preda, O. T. (2023). Microplastics: A Real Global Threat for Environment and Food Safety: A State of the Art Review. *Nutrients*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/nu15030617>

BlueMissionMed: supportare il bacino mediterraneo nella implementazione della Missione UE per il ripristino di oceani e acque (Progetto finanziato nell'ambito della Mission Ocean and Waters; 2023-2025)

Fedra Francocci^a

a CNR, Dipartimento scienze del sistema terra e tecnologie per l'ambiente

Introduzione

Il progetto BlueMissionMed coordinato dal Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), rappresenta un pilastro fondamentale nell'ambito della Missione EU "Restore our Oceans and Waters by 2030", un'iniziativa dell'Unione Europea volta a ripristinare la salute degli oceani e delle acque entro il 2030. BlueMissionMed non solo contribuisce in modo significativo alla conoscenza ambientale, ma promuove anche collaborazioni multilivello e azioni concrete per raggiungere un impatto diretto sul bacino del Mediterraneo, una delle aree più vulnerabili e strategiche d'Europa.

Obiettivi e Approccio Sistemico

BlueMissionMed si propone di supportare l'implementazione della Mission Ocean and Waters nel Mediterraneo (il Mediterranean Lighthouse) e quindi di creare, strutturare e potenziare un ecosistema dell'innovazione per supportare lo sviluppo e la diffusione di soluzioni innovative di tipo tecnologico, sociale, economico e di governance. L'obiettivo è di garantire una riduzione del 30-50% dell'inquinamento dovuto a microplastiche, pesticidi, nutrienti in eccesso e idrocarburi entro il 2030. Questo progetto si basa su iniziative e attività esistenti, collegandole e strutturandole per promuovere la cooperazione su scala mediterranea e l'implementazione di soluzioni che affrontano gli obiettivi di prevenzione e riduzione dell'inquinamento della Missione.

Le azioni sviluppate da BlueMissionMed assicurano:

- Coerenza, allineamento e monitoraggio delle politiche, iniziative e azioni a livello europeo, nazionale e locale.
- Fornitura di servizi tecnici e modelli di governance e business per supportare e garantire uno sviluppo socio-economico sostenibile del bacino.

- Ecosistema dell'innovazione su scala mediterranea attraente per investitori e imprese.
- Coinvolgimento della società attraverso un approccio di sensibilizzazione e citizen science nell'implementazione della Missione.

Per realizzare questi obiettivi, sono stati istituiti 7 HUB nazionali e regionali in Francia, Italia, Grecia, Malta, Spagna, Tunisia e Turchia. Questi HUB sono Comunità Territoriali Multistakeholder che implementano le attività e le priorità di BlueMissionMed. Il loro ruolo centrale è facilitare e supportare individui e organizzazioni che desiderano contribuire al raggiungimento degli obiettivi del progetto, creando una rete connessa di attori, esperti e istituzioni, e fornendo loro i contenuti e le competenze per sviluppare azioni concrete.

Impatti Economici e Sociali

BlueMissionMed ha giocato un ruolo fondamentale nella strutturazione della governance del Mediterranean Lighthouse e nell'identificazione delle opportunità e delle esigenze necessarie per potenziare e supportare l'ecosistema dell'innovazione mediterranea. Questo lavoro ha creato una base solida per l'implementazione e il monitoraggio efficace della Missione nel bacino del Mediterraneo.

Un traguardo chiave è stata l'organizzazione del BlueMissionMed Common Ground Camp, un evento in cui gli stakeholder hanno co-progettato la struttura di governance del bacino mediterraneo. Questo processo collaborativo ha coinvolto attori di rilievo come il Mission Secretariat, l'Unione per il Mediterraneo, il BlueMed Group of Senior Officials (GSOs), WestMed, Eusair e UNEP-MAP. A complemento di questo, numerosi workshop di Mobilizzazione e Apprendimento Reciproco (MML) sono stati ospitati dagli HUB nazionali, facilitando il networking, lo scambio di buone pratiche e la co-creazione dei Termini di Riferimento (ToR) degli HUB stessi, accelerando l'implementazione degli obiettivi del progetto a livello nazionale e regionale.

Nel contesto delle sue priorità, BlueMissionMed promuove lo sviluppo e la diffusione di soluzioni innovative e trasformative in linea con gli obiettivi della Missione. A tal fine, è stato creato un catalogo completo di 239 progetti e iniziative che offrono approcci innovativi per prevenire e ridurre l'inquinamento delle acque. Tra questi, 86 soluzioni innovative sono state identificate come particolarmente adatte per l'implementazione

e la scalabilità delle priorità del Lighthouse. Di queste, 32 sono state ulteriormente analizzate per individuare limiti, barriere e necessità, fornendo raccomandazioni concrete alla comunità mediterranea per un'implementazione efficace.

Per rafforzare ulteriormente l'ecosistema dell'innovazione mediterranea, BlueMissionMed ha implementato la Business Country Desk (BCD) platform, una piattaforma digitale progettata per facilitare l'accesso alle conoscenze, alle migliori pratiche e alle opportunità di networking.

La strategia di coinvolgimento mirato, unita agli incentivi offerti dai BlueMissionMed Awards, sta motivando il supporto per le iniziative in corso e future. Questi premi fungono da potenti strumenti per il coinvolgimento degli stakeholder, promuovendo la partecipazione attiva e la collaborazione tra i principali attori del bacino mediterraneo. Nel 2023, il primo "Mediterranean Blue Islands" Award, organizzato in collaborazione con SMILO e la Commissione Europea, è stato assegnato a tre isole del Mediterraneo partecipanti al concorso internazionale "Celebrate Islands 2023". Nel 2024, il "Blue Ports and Destinations" Award è stato assegnato a quattro porti europei durante la 9ª Conferenza Our Ocean ad Atene, in collaborazione con MedCruise e la Commissione Europea.

Gli Awards non solo riconoscono il ruolo cruciale dell'innovazione nel raggiungimento di cambiamenti trasformativi, ma incentivano anche la replicazione di buone pratiche. Questa diffusione delle soluzioni può catalizzare un'adozione più ampia delle pratiche più efficaci, stimolando l'innovazione e lo sviluppo sostenibile su larga scala. Con un numero crescente di stakeholder impegnati nell'implementazione di queste soluzioni trasformative, l'effetto cumulativo può portare a significativi benefici economici, potenziando le economie locali e creando nuove opportunità di crescita in tutto il bacino del Mediterraneo.

Sviluppo di Politiche di Indirizzo

I risultati di BlueMissionMed sono di grande rilevanza per lo sviluppo, la revisione e l'adozione delle politiche dell'UE riguardanti la prevenzione e la riduzione dell'inquinamento degli oceani e delle acque, nonché la protezione e il ripristino degli ecosistemi marini. Le soluzioni innovative identificate e i percorsi di implementazione proposti hanno il potenziale per influenzare significativamente le politiche, allineandosi

con i principali quadri strategici dell'UE, come il Piano d'Azione Zero Pollution, la Strategia dell'UE per la Biodiversità al 2030, il Piano d'Azione per l'Economia Circolare e il quadro per una Economia Blu Sostenibile.

Nell'ambito del progetto, sono state sviluppate le Operational Implementation Roadmaps (OIR), un documento strategico che fornisce una guida per i responsabili politici a vari livelli di governance. L'OIR funge da quadro operativo per settori chiave come l'agricoltura, l'acquacoltura, la pesca, il turismo, i trasporti e i porti, la gestione delle acque reflue e dei rifiuti solidi, e l'industria della plastica. Questo strumento è pensato per supportare le esigenze e le azioni future in questi settori, con l'obiettivo di progettare e implementare strategie di sviluppo settoriale volte al raggiungimento degli obiettivi della Missione.

L'OIR non si limita a considerare le esigenze specifiche di ciascun settore, ma delinea una visione strategica per la trasformazione dei principali settori nel bacino del Mediterraneo (Figura 1). Questa visione tiene conto delle sfide e delle opportunità, oltre che degli attori che possono influenzare il raggiungimento degli obiettivi più ampi della Missione.



Figura 1. Stakeholders target delle attività di BlueMissionMed

I risultati del progetto, report, deliverable, e materiali informativi sono disponibili sul sito <https://bluemissionmed.eu> e <https://www.bcdesk.eu/en>.

Contatti e informazioni: info@bluemissionmed.eu; italy.hub@bluemissionmed.eu.

