

# Alcuni approfondimenti sulla plastica in ambiente marino

di *Stefano Aliani e Giuseppe Suaria*

CNR, ISMAR, Forte S. Teresa, 19036 Pozzuolo di Lerici, La Spezia (Italy)  
Email address: s.aliani@ismar.cnr.it, fax +390187970585; ph. +390187978311

## Sommario

La presenza di macro e microplastica in mare è aumentata negli ultimi anni. L'interesse verso questo tema che colpisce molto l'immaginario collettivo ha generato ampia letteratura divulgativa e molti report di varie associazioni e organizzazioni. Questo lavoro fornisce informazioni scientifiche di base sulla quantità di plastica in ambiente marino ed indicazioni per un approccio moderno ed efficace alla mitigazione.

## Parole chiave

Microplastica, Ambiente marino, Inquinamento

## Summary

The presence of macro and microplastics in the marine environment has increased in recent years. The interest in this subject, that greatly affects the public opinion, has generated extensive dissemination work and technical reports from various associations and organizations. This work provides basic scientific information on the amount of plastic in the marine environment as well as a set of indications for the implementation of modern and effective mitigation strategies.

## Keywords

Microplastic, Marine environment, pollution

## 1. Introduzione

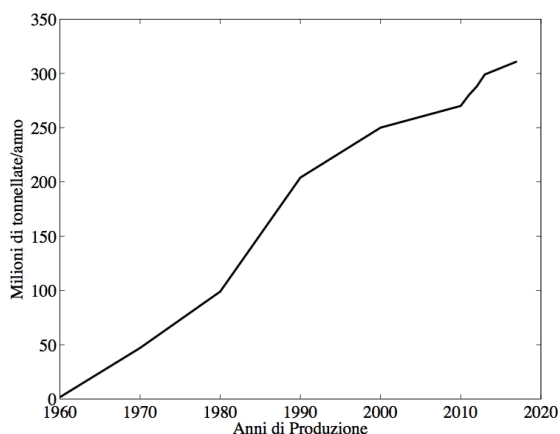
La presenza di detrito galleggiante in mare è un fatto da sempre segnalato nei mari del mondo. Sanderlin (1966) riporta che Cristoforo Colombo avrebbe utilizzato lo spiaggiamento sulle coste portoghesi di grosse canne e legno lavorato non provenienti dall'Europa per ipotizzare l'esistenza di un continente lontano ed ignoto.

*“...se queste osservazioni non convincono gli esperti, cosa ne dite del legno galleggiante piegato da qualche strumento che non può essere che di ferro e non con il metodo con cui si lavora in Europa, che il cognato di Colombo ha raccolto sulla spiaggia di Posto Santo? O canne così spesse che un singolo segmento potrebbe sostenere due quarti di vino?...” (Sanderlin G., 1966)*

Ma se ai tempi di Colombo sul mare galleggiavano detriti naturali come testimoni di paesi lontani ed esotici, negli ultimi anni al legno, alle piante e alla pietra pomice, che hanno sempre abitato la superficie degli oceani, si sono aggiunti i polimeri sintetici. Dal momento in cui la popolazione è aumentata e la società ha sostituito i materiali naturali e degradabili con quelli sintetici, il problema dei rifiuti non degradabili in mare è diventato progressivamente più grave (Gregory M. et al., 1984; Stefatos A. et al., 1999; Cozar A. et al., 2015). All'inizio, sia la comunità scientifica sia la società hanno sottostimato il problema che la plastica avrebbe generato. Per esempio, Fergusson (1974) sosteneva che la plastica era un materiale inerte che non avrebbe causato alcun problema all'ambiente, ma solo al paesaggio rendendolo esteticamente sgradevole. Questo modo di ragionare, tipico dei primi anni dell'era della plastica, non ha permesso di stimare correttamente la dimensione del problema dei rifiuti sintetici e le sue conseguenze.

Da allora, abbiamo creato una quantità impressionante di plastica, inimmaginabile ai tempi di Fergusson, con un incremento della produzione stimato in circa il 4% annuo. Così, nei primi anni del XXI secolo abbiamo prodotto più plastica di quanto abbiamo fatto in tutto il XX secolo (**Figura 1**). Questo non è necessariamente un male. Non c'è niente di sbagliato nella plastica in sé ed è possibile che nella seconda parte del XXI secolo la nostra dipendenza dalla plastica aumenti ancora, viste le eccezionali caratteristiche dei polimeri sintetici. Ma allo stato attuale non possiamo non concordare sul fatto che c'è un certo disequilibrio nella gestione di questo materiale, soprattutto alla fine del suo ciclo vitale. La maggior parte della plastica prodotta a livello globale oggi ha un utilizzo medio che va da una manciata di secondi a qualche ora, e la quasi totalità della plastica viene comunque gettata via entro un anno dalla sua produzione; basti pensare agli imballaggi monouso comunemente utilizzati nei fast-food o nei supermercati. Uno spreco enorme per una risorsa che è invece stata disegnata e progettata per durare nel tempo. Questa cultura usa e getta è profondamente diversa da quella del riuso e del riutilizzo dei nostri nonni o bisnonni, e questo nostro comportamento non è certo indice di benessere o civiltà.

Il motivo per cui consideriamo la plastica un bene usa e getta è perché allo stato attuale essa costa molto poco, non perché non sia un materiale di qualità. Ma proprio perché costa poco alla produzione, non abbiamo ancora disegnato un piano di gestione completo per questo materiale, abbiamo invece pensato ad una logica di usa e getta come la soluzione più pratica e conveniente. Ma la natura non fa sconti. E ora ci troviamo a dover pagare il prezzo di questo errore di valutazione.



**Figura 1:** Andamento della produzione mondiale di plastica per anno in milioni di tonnellate dal 1960. Prima di questa data la produzione industriale è considerata minimale.

Dati da Plastic Europe, 2015.

## 2. L'origine della plastica

Dal punto di vista chimico la plastica fa parte di quell'insieme di materiali chiamati polimeri e la distinzione tra quello che solitamente chiamiamo plastica e il resto dei materiali polimerici è alquanto sottile.

I polimeri sono costituiti da una struttura di base relativamente semplice fatta nella maggior parte dei casi di Carbonio che si ripete regolarmente a formare molecole estremamente lunghe. Legando tra loro le molecole semplici una dopo l'altra si ottiene una struttura più lunga che ha usi e caratteristiche ben diverse dai singoli pezzi che la compongono. Un buon esempio è quello della catena della bicicletta che è formata da molte maglie collegate tra di loro per formare una struttura virtualmente infinita.

L'uomo usa i polimeri comunemente presenti in natura da tempo immemore. Ad esempio, le armi degli uomini primitivi erano fatte di corna d'animale, un polimero naturale detto cheratina. Un altro esempio è il legno, un polimero della cellulosa utilizzato nei modi più disparati, sia tal quale sia come carta dopo un complesso trattamento. Quando il processo di produzione della carta è stato semplificato ed automatizzato, la conseguente disponibilità di carta in grande quantità a basso costo, unito alle nuove tecniche di stampa, ha permesso il rapido e distribuito sviluppo culturale del Rinascimento.

Analogamente, anche per altri polimeri è proprio la disponibilità in grande quantità che ha permesso passi sostanziali nello sviluppo del genere umano. Gli indigeni americani usavano la gomma ben prima della scoperta degli europei ad opera del francese Charles-Marie de La Condamine nella prima metà del 1700. Bisogna aspettare il 1840 perché Charles Goodyear e Thomas Hancock brevettino la gomma vulcanizzata, che si ottiene trattando la gomma naturale con zolfo per renderla più resistente. Questa loro scoperta ha permesso la realizzazione degli pneumatici ed ancora oggi Goodyear e Hancock sono nomi familiari nel settore automobilistico.

Nel 1862 Alexander Parkes portò all'esposizione internazionale di Londra un materiale, la nitrocellulosa, ricavato trattando la cellulosa con acido nitrico e un solvente. Al nuovo materiale venne dato il nome commerciale di Parkesine e venne utilizzato per fabbricare pettini, manici e fermagli. Alcuni esempi di applicazioni del periodo sono visibili al London's Science Museum.

Nel 1870, i fratelli americani Hyatt aggiunsero canfora al prodotto di Parkes e ottennero la celluloida, che divenne un prodotto fondamentale per lo sviluppo del cinema.

Anche l'industria elettrica beneficiò dei nuovi prodotti che la ricerca chimica stava creando. All'inizio, l'isolamento dei cavi era garantito dalla guttaperca. Si tratta di una macromolecola di origine vegetale molto simile alla gomma naturale per chimica e per origine, ma che differisce per molte proprietà. La guttaperca è un politerpene, ovvero una macromolecola di origine vegetale appartenente alla famiglia dei terpeni. In altre parole è un polimero dell'isoprene con più di 40 atomi di carbonio. A partire dalla metà dell'800, è stata il primo materiale impiegato per rivestire cavi telegrafici e telefonici sommersi. Il suo impiego nell'industria si è ridotto nel corso del XX secolo perché sostituita da resine sintetiche. Oggi viene ancora impiegata per produrre fogli, tubi, abiti impermeabilizzati e altri oggetti, in particolare si usa in odontoiatria per chiudere i

canali dopo la devitalizzazione della polpa, la parte più interna del dente. Fu introdotta in Italia per la prima volta nei primi del Novecento da Giovanni Battista Pirelli, fondatore dell'omonima ditta.

Una rivoluzione nel mondo della plastica così come la intendiamo oggi si ha nel 1907, quando l'americano Leo Baekeland inventò la Bakelite. A differenza dei polimeri usati in precedenza, la Bakelite non è ricavata da piante o animali ma da combustibili fossili. In particolare Baekeland usò il fenolo derivato dal catrame di carbone. Questo portò ad un cambiamento strutturale nella produzione dei polimeri, in quanto nei primi anni del XX secolo, i materiali fossili cominciarono ad essere maggiormente disponibili e generalmente più a buon mercato di quelli naturali, oltre ad avere caratteristiche chimiche più adatte alla polimerizzazione.

L'industria estrattiva all'inizio del 900 stava crescendo a ritmi impressionanti e parallelamente crebbe anche il numero dei polimeri derivati da fonti fossili, in buona sostanza quelli che ci sono oggi familiari. Il polistirene fu inventato nel 1929, poliestere nel 1930, il polivinilcloruro (PVC) e il polietilene nel 1933, il nylon nel 1935 e furono tutti messi in produzione pochi anni dopo la loro invenzione (**Tabella 1**).

La seconda guerra mondiale diede un grande impulso alla produzione di questi nuovi materiali plastici con conseguente crescita dell'industria correlata a questi nuovi prodotti sia in termini di nuovi campi di applicazione sia di quantità prodotta. Durante il conflitto la plastica mostrò appieno la sua versatilità e le sue straordinarie proprietà tra cui l'alta resistenza alla tensione e agli impatti, la leggerezza, la resistenza alla corrosione, le basse capacità di assorbimento di liquidi, la resistenza all'acqua di mare e alle sostanze chimiche, l'adattamento a diverse condizioni climatiche e molte altre qualità che spinsero ad un importante sforzo di ricerca nel settore dei polimeri sintetici.

L'industria della plastica uscì quindi dal conflitto mondiale con un enorme bagaglio di conoscenze acquisito nel giro di pochissimi anni, ma dovette affrontare una breve crisi legata alla riduzione delle commesse militari. La soluzione adottata fu quella di spostare la produzione da oggetti di nicchia per usi militari verso la grande distribuzione e il mercato globale dei consumatori che era in piena espansione nei primi anni del dopoguerra. Un esempio è il Tupperware, lanciato nel 1949 e commercializzato in tutto il mondo per i famosi contenitori alimentari.

Da quel momento in poi le applicazioni dei nuovi polimeri divennero sempre più diffuse e, grazie a semplici modifiche della struttura chimica dei polimeri, è stato possibile creare nuovi prodotti estremamente versatili.

### **3. La Plastica oggi**

Al giorno d'oggi nessuno si stupisce se un bicchiere di plastica cade in terra e non si rompe, ma per ottenere un contenitore con tali proprietà abbiamo dovuto aspettare lo sviluppo di polimeri sintetici con caratteristiche specifiche che hanno completamente trasformato il nostro modo di vivere, sostituendo metallo, vetro e ceramica in moltissime applicazioni della vita quotidiana.

Il numero e le applicazioni dei polimeri sintetici è immenso, basti pensare che ogni anno vengono brevettati all'incirca 22.000 nuovi polimeri sintetici. L'industria chimica è oggi in grado di manipolare con precisione i polimeri e può aggiungere, o levare, componenti della catena polimerica a piacimento plasmandone le proprietà in base alle necessità più specifiche. Ai polimeri puri, vengono aggiunti additivi, coloranti, fissativi e quant'altro possa servire per ottenere una gamma di prodotti sempre più versatili, ma anche polimeri con caratteristiche ed applicazioni molto specifiche. La plastica viene ormai utilizzata praticamente ovunque ed ha quasi completamente sostituito i materiali naturali originali.

La produzione moderna della plastica inizia con un processo di distillazione in una raffineria di petrolio. Il processo prevede la separazione del greggio denso e pesante in gruppi più leggeri chiamati frazioni. Le varie frazioni differiscono per dimensione e struttura delle molecole ed hanno applicazioni diverse a seconda delle loro caratteristiche. I polimeri vengono poi prodotti per condensazione e per addizione di piccole unità dette monomeri. Entrambi i metodi richiedono la presenza di vari catalizzatori all'interno di un reattore di polimerizzazione dove i monomeri vengono uniti a formare catene più lunghe. Le reazioni di polimerizzazione per condensazione richiedono monomeri di partenza aventi gruppi funzionali per cui un monomero reagisce chimicamente con un altro, rendendo possibile generare una serie infinita di reazioni elementari che danno luogo ad oligomeri con massa molecolare crescente, contenenti ancora le funzionalità necessarie per il proseguimento della reazione.

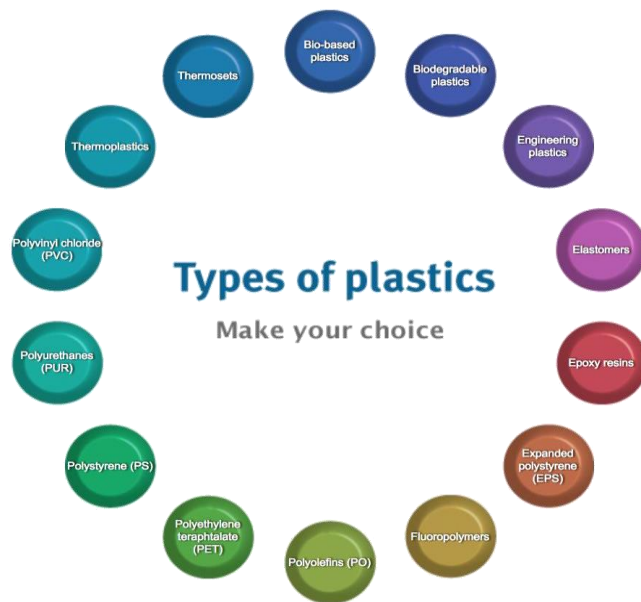
L'unione di due molecole per condensazione è spesso accompagnata dalla eliminazione di molecole semplici. La condensazione ripetuta fra molecole uguali, o diverse, (policondensazione) è ampiamente usata nella preparazione di macromolecole (materie plastiche, fibre sintetiche).

I polimeri di addizione si ottengono quando i monomeri che si uniscono contengono un doppio legame. La reazione di polimerizzazione avviene ad alta pressione ed in presenza di un catalizzatore si verifica la rottura del doppio legame che rende i due atomi di carbonio disponibili a formare nuovi legami con conseguente accrescimento della molecola. Per quanto ci siano in commercio moltissimi tipi di polimeri (**Figura 2**), si possono individuare due grandi famiglie di plastiche: le termoindurenti che non tornano mai più morbide dopo che sono state stampate e le termoplastiche che si ammorbidiscono con il calore e riacquistano durezza se raffreddate.

La maggior parte dei polimeri termoindurenti vengono prodotti da resine solitamente liquide o gelatinose prima del processo di lavorazione. Una volta stampate nella forma definitiva le plastiche termoindurenti non possono essere fuse di nuovo per dare una forma diversa. Al contrario, i polimeri termoplastici sono trasformati nella forma definitiva tramite fusione e iniezione su stampo, partendo da granuli (pellets) o microgranuli (micropellets) solidi (Plastics Europe, 2015). Quando questi microgranuli industriali vengono trovati nell'ambiente marino vengono chiamati microplastiche primarie, che sono quindi spesso polimeri termoplastici, in contrapposizione alle microplastiche secondarie che derivano dalla degradazione e frammentazione di prodotti finiti sia fatti di resine termoplastiche sia termoindurenti.

**Tabella 1:** Date di inizio produzione dei principali polimeri plastici negli Stati Uniti e loro uso nel 1972. La data di produzione può differire dalla data del brevetto relativo. Dati ed informazioni tratte da “The Story of Plastic Industry” (Masson, 1972).

Year of production	Name	Example of use
1868	Cellulose Nitrate	Eye Glasses
1909	Phenol-Formaldehyde	Telephone Handset
1909	Cold Molded	Knobs and Handles
1919	Casein	Knitting Needles
1926	Alkyd	Electrical Base
1926	Aniline-Formaldehyde	Terminal boards
1927	Cellulose Acetate	Tooth Brushes, Packaging
1937	Polyvinyl Chloride	Rain Coats
1929	Urea-Formaldehyde	Lighting Fixtures
1935	Ethyl Cellulose	Flashlight Cases
1936	Acrylic	Brush Backs, Displays
1936	Polyvinyl Acetate	Flash Bulb lining
	Cellulose Acetate	
1938	Butyrate	Irrigation Pipe
1938	PolyStyrene or Styrene	Kitchen Houseware
1938	Nylon (Polyamide)	Gears
1938	Polyvinyl Acetal	Safety Gears Interlayer
1939	Polyvinylidene Chloride	Auto Seat Gears
1939	Melamine Formaldehyde	Tableware
1942	Polyester	Boat Hulls
1942	Polyethylene	Squeezable bottles
1943	FluoroCarbon	Industrial Gaskets
1943	Silicone	Motor insulation
1945	Cellulose Propionate	Automatic pens and pencils
1947	Epoxy	Tools and Jigs
	Acrylonitrile Butadiene	
1948	Styrene	Luggage
1949	Allylic	Electric connectors
1954	Polyurethane or Urethane	Foam Cushions
1956	Acetal	Automotive parts
1957	Polypropylene	Safety Helmets
1957	Polycarbonate	Appliance parts
1959	Chlorinated polyether	Valves and Fittings
1962	Phenoxy	Bottles
1962	Polyallomer	Typewriter cages
1964	Ionomer	Skin packages
1964	Polyphenylene Oxide	Battery Cases
1964	Polymide	Bearings
1964	Ethylene Vinyl Acetate	Heavy gauge flexible sheeting
1965	Parylene	Insulating coatings
1965	Polysulfone	Electrical/Electronic parts



**Figura 2:** Principali tipologie di plastiche prodotte e commercializzate in Europa. Dati da Plastic Europe 2015.

#### 4. Le plastiche in ambiente marino

Le materie plastiche hanno la proprietà di essere apparentemente eterne, in quanto sembra non si sia evoluto sul nostro pianeta un organismo in grado di digerire molte di queste molecole complicate ed aliene all'ecosistema terrestre. I processi di degradazione fisica agiscono con incredibile lentezza sui polimeri sintetici e spesso viene detto che per degradare una bottiglia di plastica servono centinaia, se non migliaia di anni, nonostante questa informazione sembri non essere in realtà basata su solide prove sperimentali.

Studi recenti hanno individuato possibili organismi procarioti in grado di degradare polimeri progettati per questo scopo (Brandl H. et al., 1990) e forse anche dei metazoi opportunisti (Bombelli P. et al., 2017), ma allo stato attuale la maggior parte dei polimeri sintetici in uso sono ancora praticamente non degradabili. Queste meravigliose proprietà portano con sé un grande problema: lo smaltimento.

In mancanza di un adeguato piano di gestione del rifiuto, questo prodotto durevole e alieno, ha invaso il pianeta e in pochi anni un'immensa quantità di frammenti di plastica si è distribuita sulla terra raggiungendo il mare e i suoi abissi più profondi. Troviamo detriti di plastica ovunque nel mondo, in superficie e sul fondo del mare, all'equatore, ai poli e sulle isole più remote. Attualmente è impossibile trovare nel mondo una spiaggia non contaminata dalla plastica ed in pratica stiamo accumulando sempre più detrito nei nostri oceani, trasformandolo in una immensa discarica.

Questo nuovo tipo di contaminante, a differenza di molti altri, è visibile anche ad occhio nudo, e alcune immagini impressionanti presenti sul web mostrano enormi ammassi di spazzatura che si accumulano sulle coste, intrappolano uccelli e tartarughe che hanno il tratto digerente intasato da tappi di bottiglie, accendini e plastiche colorate. Anche se gli impatti ecologici di questi nuovi inquinanti sono ancora parzialmente sconosciuti,

l'impatto visivo ha grande presa sulla popolazione. Anche senza queste immagini raccapriccianti infatti, chiunque abbia visitato una spiaggia ha sicuramente avuto modo di vedere con i propri occhi cicche, giocattoli rotti, pezzi di reti e galleggianti abbandonati. Forse per effetto della risposta emotiva che queste immagini evocano, o forse per una consapevolezza generale sempre più diffusa, la plastica in mare è stata quindi oggetto negli ultimi anni di grande attenzione anche da parte delle massime autorità mondiali (UNEP, 2014; G7, 2015; FAO, 2017).

Il grande pubblico ed i politici vogliono sapere quanto è grande il problema, quanto è diffuso e pericoloso, e quali siano le migliori strategie di prevenzione o mitigazione da adottare. Fortunatamente, il mondo scientifico si è posto questi quesiti da tempo (Carpenter and Smith, 1972; Colton J.B. et al., 1974; Ryan P. e Moloney C., 1990; Derraik J.G., 2002; Aliani S. et al., 2003; Thompson R.C. et al., 2004), e negli ultimi dieci anni si è osservato un aumento sistematico degli studi delle sorgenti e dei percorsi delle plastiche in mare, delle loro trasformazioni ed impatti, fino ad ottenere una prima stima del budget degli ingressi e delle uscite nell'ambiente marino (Law K.L., 2017).

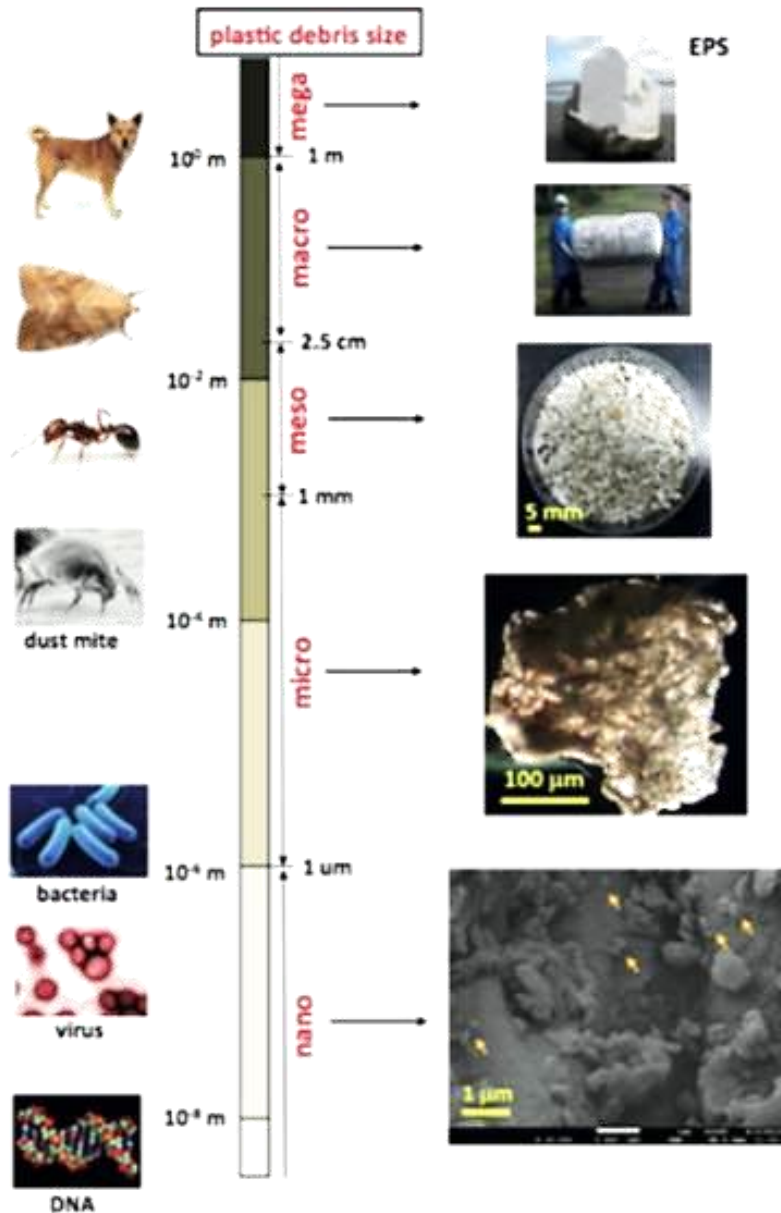
## **5. Definizione e descrizione del detrito marino (Marine Litter)**

La Direzione Generale Ambiente della Commissione Europea, in accordo con varie altre istituzioni mondiali, fornisce una definizione secondo la quale gli oggetti prodotti dall'uomo che sono stati deliberatamente o accidentalmente rilasciati in mare vengono chiamati rifiuti marini o 'marine litter'. Si tratta di oggetti di plastica, legno, metallo, vetro, gomma, tessuti e carta. La loro origine è prevalentemente terrestre e arrivano in mare trasportati dai fiumi e dal vento, o sono abbandonati o persi a seguito di cattiva gestione da parte di turisti, impianti di trattamento e stoccaggio, industria navale e della pesca, oltre alle attività illegali. Una nota a parte è costituita dalla massiccia e occasionale immissione di detrito a seguito di disastri naturali come alluvioni e tsunami. Per quanto questi rifiuti si presentino in un continuum dimensionale che va da centinaia di metri a pochi micron, per ragioni pratiche è stato necessario utilizzare delle classi dimensionali basate su criteri pragmatici, dividendo così il detrito in megaplastica, macroplastica, mesoplastica, microplastica e nanoplastica (**Figura 3**). La diffusa presenza di detrito macroscopico è ben evidente a chiunque faccia una rapida osservazione di qualsiasi spiaggia o della superficie del mare. Quando però le dimensioni del detrito scendono sotto certi valori, l'identificazione non è più così immediata e oggetti più piccoli di 2-5 mm non sono già più facilmente distinguibili.

Negli anni 90 venne quindi coniato il termine "microplastica" (Ryan P. e Moloney C., 1990) per indicare quei frammenti visibili solo al microscopio, separandoli dai frammenti visibili ad occhio nudo (macro e mesoplastica). I limiti dimensionali di queste classi sono stati discussi nel 2008 (Arthur et al., 2009) ed è stata adottata la definizione empirica di microplastica per indicare i frammenti di dimensioni inferiori ai 5 millimetri. Il limite inferiore è stato arbitrariamente posto a 1 micron, al di sotto del quale si parla di nanoplastica, per quanto attualmente non esistono ancora tecniche



analitiche in grado di identificare queste nanoparticelle in matrici ambientali. Queste classi dimensionali dipendono in una certa misura dagli strumenti più comunemente usati per campionare e, per quanto ci sia una certa discussione in ambito accademico, in questo articolo viene utilizzata la suddivisione usata dal GESAMP (2015), che considera microplastica ogni particella < 5 mm.

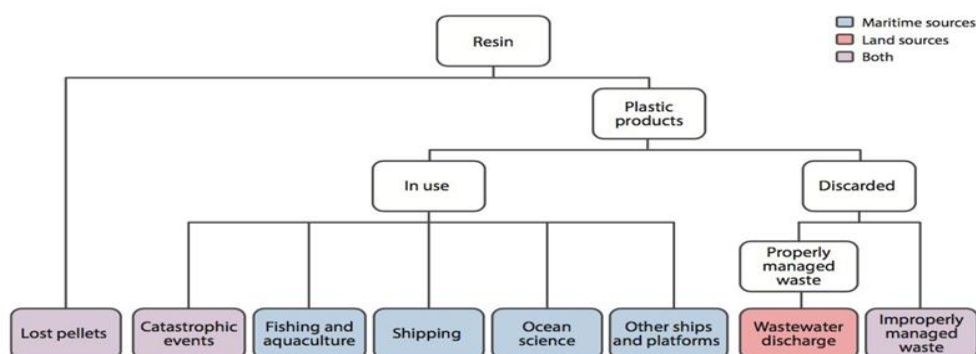


**Figura 3:** Classi dimensionali dei rifiuti plastici e corrispondenti classi dimensionali di vari elementi dell'ecosistema marino secondo GESAMP (2015).

## 6. Bilancio del ciclo della Plastica

Il bilancio tra la plastica trovata attualmente in ambiente e quella prodotta non torna. Al netto di quella incenerita o interrata in discarica, è ignoto dove sia finita molta della plastica commercializzata fino ad ora e per quanto ci siano varie ipotesi, nessuna risposta è veramente esaustiva. In altre parole, non è noto quanta plastica si trovi veramente nell'ambiente marino e dove essa sia finita, pur essendo queste informazioni fondamentali dal punto di vista della gestione (Law K.L., 2017). Le stime di detrito galleggiante macroscopico hanno infatti un grande margine di imprecisione pur parlando di oggetti relativamente grossi e visibili, ma ancora più critico è il calcolo della quantità globale di microplastica, invisibile ad occhio nudo. Sostanzialmente quindi, come si fa a valutare quanta plastica c'è in mare? La risposta sembrerebbe essere il risultato di una semplice stima di bilancio di massa che considera il rapporto tra la quantità immessa e quella eliminata, ma di fatto presenta aspetti estremamente complessi in quanto la plastica viene continuamente distribuita nei diversi comparti degli ecosistemi marini, e spesso misurarne la quantità non è affatto cosa semplice. Pertanto, la domanda posta tempo fa da Thompson et al. (2004): *“Where is all the plastic?”* non ha ancora di fatto trovato una vera risposta.

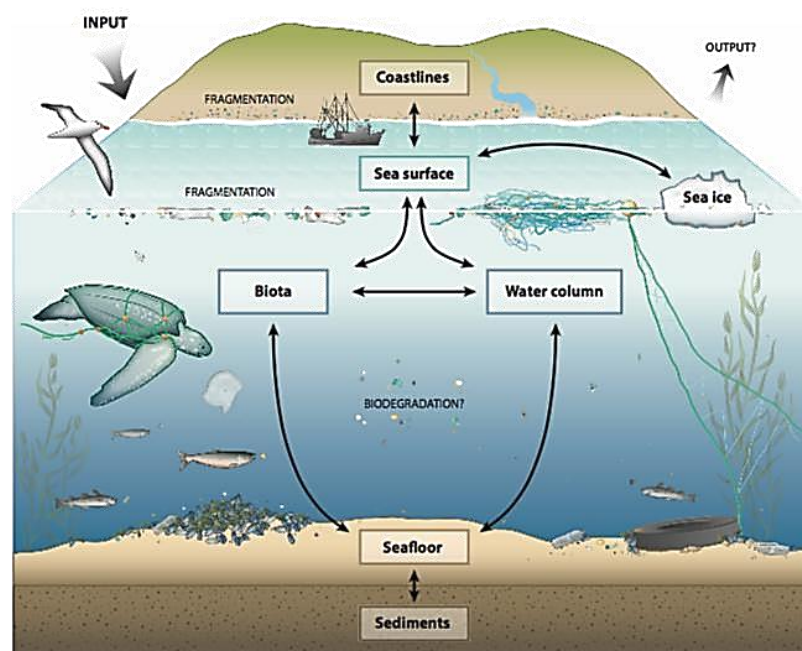
Per realizzare delle stime attendibili vengono usati due approcci diversi: in un caso si tratta di valutare indirettamente i flussi di input e output di plastica nell'ambiente marino usando degli indicatori ecologici, nel secondo caso si tratta di misurare direttamente la quantità presente in alcune aree di accumulo nell'ambiente marino applicando i risultati ottenuti ad altre aree simili. Al momento, siamo quindi in grado di fornire stime empiriche e dati di riferimento abbastanza attendibili solo per alcuni percorsi dello scenario descritto in **figura 4**. Ad esempio, sappiamo che dagli anni 50 ad oggi la produzione di polimeri plastici è continuamente cresciuta passando da 1.7 milioni di tonnellate all'anno nel 1975, ad oltre 300 milioni di tonnellate nel 2012, e l'andamento previsto nei prossimi anni è ancora di crescita, di pari passo con la crescita della popolazione mondiale (PlasticsEurope, 2015).



**Figura 4:** Schema dei possibili input nell'ambiente marino partendo dai pellets industriali e dei percorsi teorici di un'ipotetica particella di plastica, dalla sua produzione fino al suo arrivo in ambiente marino (Law, 2017). Per sapere quanta plastica si trova in mare è necessario sapere qual'è il contributo di ogni componente di questo schema, ma attualmente abbiamo informazioni attendibili solo per alcuni di questi compartimenti.

Il vero flusso totale di plastica dalla terraferma verso l'oceano invece è sostanzialmente ancora ignoto. Alcune stime basate sulla densità della popolazione che vive lungo la costa (< 50 km da costa) e sul tasso di produzione di rifiuti pro capite stimato in 192 paesi con diverso grado di industrializzazione (Hoornweg D. e Bhada-Tata P., 2012), indicano nel 2010 un flusso di plastica verso l'oceano che varia tra le 4.8 e le 12.7 milioni di tonnellate (Jambeck J.R. et al., 2015). Questa stima è destinata a salire se si inseriscono anche i rifiuti degli abitanti che vivono nell'entroterra ma che verosimilmente possono raggiungere l'oceano in vario modo, ad esempio tramite i fiumi e le inondazioni. Quello che si ottiene da questo tipo di approccio però, è una stima di flusso e non una quantificazione diretta della quantità di plastica che si trova effettivamente in mare.

Le stime dirette richiedono la raccolta di misure di densità in specifici compartimenti del ciclo della plastica in mare. Infatti, una volta raggiunto il mare, la plastica si distribuisce in vari compartimenti dell'ecosistema marino (**Figura 5**). Sommando i valori dei singoli compartimenti si ottiene quindi una stima globale di quanta plastica si trova in mare: informazione fondamentale per la descrizione dello stato dell'ambiente e una verifica dell'efficacia delle operazioni di recupero ambientale.



**Figura 5** Nel disegno sono riportati i principali compartimenti dell'ambiente marino in cui la plastica si distribuisce. Le densità di plastica sono note solo per alcuni di essi, per altri compartimenti si ipotizza la presenza di plastica ma mancano ancora evidenze quantitative. Le frecce grigie indicano i flussi verso ambiente marino e dall'ambiente marino ipotizzando un potenziale di biodegradazione. I quadrati indicano i serbatoi di accumulo di plastica nell'ecosistema e le frecce nere indicano i potenziali percorsi da e per questi serbatoi. Frammentazione e degradazione possono avvenire in ognuno di questi compartimenti, soprattutto se esposto all'azione dei raggi del sole (superficie e spiagge) o alla degradazione meccanica all'interno del biota (da Law K.L., 2017)

Nel corso di alcuni progetti in collaborazione tra CNR-ISMAR e varie Università italiane ad esempio, è stata effettuata una valutazione della quantità di detrito galleggiante sul Mediterraneo. Da stime visive è stato valutato che nel 2013 sulla superficie del Mediterraneo galleggiavano all'incirca 62 milioni di macroplastiche, con una densità media stimata di 24.9 oggetti artificiali per km<sup>2</sup> contro 6.9 oggetti per km<sup>2</sup> di origine naturale. Il 78% dei macro detriti avvistati era di origine artificiale e il 95,6% di questi era di natura sintetica con una distribuzione praticamente ubiquitaria all'interno del bacino (Suaria G. e Aliani S., 2014).

Uno studio analogo focalizzato sulle microplastiche (ovvero particelle < 5 mm) ha indicato una concentrazione media di  $1.25 \pm 1.62$  particelle/m<sup>2</sup>, equivalenti a  $703.16 \pm 1573.95$  g/km<sup>2</sup>, per un totale di 16 polimeri diversi e circa 2600 tonnellate galleggianti sull'intero bacino Mediterraneo (Suaria G. et al., 2016). Da questi studi si è capito come ogni settore dei mari italiani presenti alte concentrazioni di detriti plastici, ognuno con i suoi polimeri caratteristici. Una sorta di memoria di chi, o cosa, lo hanno inquinato in passato.

Aree dove si trovano più microplastiche sono il Basso Adriatico e l'area nei pressi della Corsica, ma i motivi che spiegano gli accumuli sono diversi: in Adriatico si raccolgono le acque del Po che corrono lungo le coste italiane verso Sud e portano con loro il detrito raccolto lungo il corso del fiume. Questo detrito è soprattutto macroscopico, ma in corrispondenza dei siti di accumulo della macroplastica si trova anche molta microplastica. La ragione di queste alte densità è dovuta al fatto che i campioni sono stati prelevati soprattutto lungo l'acqua del fiume Po. Nella zona della Corsica-Capraia invece, non avviene lo stesso fenomeno e la quantità di microplastica è maggiore del detrito macroscopico, tutto sommato rilevato in quantità modeste. Il processo che spiega questo fenomeno è diverso e dipende da alcuni aspetti chiave della circolazione marina della zona dove si incontrano masse d'acqua con origini diverse. Il sistema frontale che ne deriva molto probabilmente, intrappola la microplastica.

Questi risultati confermano le previsioni dei modelli numerici (van Sebille E. et al., 2015) e dimostrano come anche la microplastica, per quanto non visibile a occhio nudo, sia ampiamente presente anche in Mediterraneo con concentrazioni che rendono il nostro mare, tra i più inquinati al mondo. Il Mediterraneo è a tutti gli effetti il più grande bacino chiuso del pianeta, con ridotti scambi attraverso Gibilterra e coste pesantemente soggette all'impatto dell'uomo che lo rendono quindi, un bacino di concentrazione per la plastica in mare.

In sostanza, anche se ci è nota la quantità di plastica che abbiamo prodotto in passato, e nonostante ci siano ormai stime abbastanza attendibili sia sulla quantità di plastica che finisce in mare ogni anno (Jambeck J.R. et al., 2015) e sia sulla quantità che galleggia sulla superficie del Mediterraneo (Suaria G. e Aliani S., 2014; Cozar A. et al., 2015; Suaria G. et al., 2016) e degli oceani globali - cioè ben 5.25 trilioni di pezzi di plastica per circa 268.940 tonnellate di peso (Cozar A. et al., 2014; Eriksen M. et al., 2014) - la nostra conoscenza su quanta se ne trovi in colonna d'acqua, sul fondo o all'interno degli organismi marini è ancora molto limitata. È irrealistico quindi pensare di riuscire a misurare fisicamente tutta la plastica che si trova in mare. Inoltre, per complicare ulteriormente lo scenario, bisogna considerare che esistono in commercio centinaia di

polimeri diversi, ognuno con le sue particolari caratteristiche chimico-fisiche, e che non esiste un inquinamento da plastica in senso generale, ma ogni area ha le sue peculiarità ecologiche ed economiche che devono essere integrate all'interno del computo globale.

## **7. Come eliminarla dall'ambiente? - Ripensare il futuro della plastica attraverso la conoscenza**

La plastica è diventata un materiale ubiquitario nella attuale economia globale e non esiste parte del globo dove essa non sia ormai presente in qualche sua forma. È addirittura impiantata all'interno del corpo umano grazie ad alcuni apparati medicali e costituisce una presenza ormai costante da quasi un secolo in tutte le attività umane. Pensare ad una completa sostituzione è improponibile.

Le materie plastiche sono apparentemente eterne e questo prodotto durevole e alieno, ha invaso il pianeta. Un'immensa quantità di frammenti di plastica piccoli e grandi si è distribuita sulla terra e ha raggiunto il mare fino ai fondali abissali più profondi. Gli impatti di questi nuovi inquinanti sono ancora parzialmente sconosciuti. Tuttavia la ricerca scientifica può contribuire a risolvere o mitigare gli effetti del problema che la plastica genera all'ambiente.

L'identificazione del problema e la sua articolazione in domande a cui è possibile rispondere con il metodo scientifico è al centro della soluzione del problema. In alcuni casi la competenza per la soluzione è già disponibile nelle pubblicazioni scientifiche o nelle linee guida, come ad esempio quelle della Marine Strategy Framework Directive della Comunità Europea, mentre per altri casi sono necessarie nuove soluzioni che sono da trovare dopo un'appropriata ricerca scientifica.

Per l'eliminazione dei detriti plastici è necessario un classico approccio del tipo dalla conoscenza all'azione. È necessario fare azioni concrete ed efficaci per ridurre il problema nella sua globalità, ma per fare questo è necessario conoscere esattamente i termini del problema e prevedere azioni di gestione che prendano in considerazione le variabili ambientali e quelle economiche in una visione olistica. La consapevolezza e la partecipazione dell'opinione pubblica è fondamentale per la riuscita dell'operazione.

La storia del freon e del buco nell'ozono, sono un esempio di successo nel trasferimento della conoscenza scientifica in azioni concrete. Dopo che la scienza ha evidenziato la pericolosità del Freon usato nei frigoriferi, i governi hanno adottato misure e regolamenti a cui l'industria si è adeguata, trovando un nuovo equilibrio sostenibile sia dal punto di vista ecologico sia economico. Per il problema dei rifiuti di plastica è necessario adottare un approccio simile, partendo dal presupposto che è impensabile continuare a usare un prodotto altamente durevole come la plastica per applicazioni del tipo usa e getta.

Ovvero, per risolvere il problema è necessario applicare un approccio basato sulla Traduzione della Conoscenza (Knowledge Translation o KT). Le strategie KT servono per definire le domande scientifiche, selezionare i metodi, condurre la ricerca e contestualizzare i risultati verso azioni pratiche includendo un dialogo continuo tra

produttori di conoscenza ed utilizzatori a tutti i livelli come parte integrante di un approccio KT. Questo testo ha quindi lo scopo di disseminare la conoscenza del problema della plastica in mare come un primo passo verso l'applicazione di una logica KT al complesso problema delle plastiche in mare.

Il comportamento dei singoli, come le Leggi dedicate al problema, sono sicuramente fondamentali per ridurre la quantità di plastica che viene persa nell'ambiente durante il percorso nella filiera che va dalla produzione al fine vita dei prodotti. È altrettanto fondamentale potenziare i processi di recupero e riciclo, facendo della plastica usata una risorsa e non più un rifiuto.

## **Ringraziamenti**

I risultati presentati in questo lavoro sono stati finanziati dal programma del CNR RiTMare e dal progetto EU Marine Strategy Framework Directive (MSFD). Alcuni dei dati presentati sono stati raccolti nell'ambito del progetto EC FP7 COCONet. Si ringrazia il comandante e l'equipaggio della Nave Urania e tutto lo staff di ISMAR CNR per la dedizione con cui svolgono il loro lavoro.

## **Bibliografia**

- Aliani, S., Griffa, A., Molcard, A., 2003. Floating debris in the Ligurian sea, North Western Mediterranean. *Marine Pollution Bulletin* 46, 1142-1149.
- Arthur, C., Baker, J., Bamford, H. (Eds.), 2009. Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects and Fate of Microplastic Marine Debris, NOAA Technical Memorandum NOS-OR & R-30. NOAA, Silver Spring, September 9-11, 2008, 530.
- Bombelli, P., Howe, C. J., Bertocchini, F., 2017. Polyethylene bio-degradation by caterpillars of the wax moth *Galleria mellonella*. *Current Biology* 27 (8), R292-R293.
- Brandl, H., Gross, R. A., Lenz, R. W., Fuller, R. C., 1990. Plastics from bacteria and for bacteria: Poly(-hydroxyalkanoates) as natural, biocompatible, and biodegradable polyesters. Vol. 41. Springer Berlin, Heidelberg.
- Carpenter, E. J., Smith, K., 1972. Plastics on the Sargasso Sea surface. *Science* 175 (4027), 1240-1241.
- Colton, J. B., Knapp, F. D., Burns, B. R., 1974. Plastic particles in surface waters of the north-western Atlantic. *Science* 185 (4150), 491-497.
- Cozar, A., Echevarria, F., Gonzalez-Gordillo, J. I., Irigoien, X., Ubeda, B., Hernandez-Leon, S., Palma, A. T., Navarro, S., Garcia-de Lomas, J., Ruiz, A., Fernandez-de Puelles, M. L., Duarte, C. M., Jul 2014. Plastic debris in the open ocean. *Proc Natl Acad Sci U S A* 111 (28), 10239-44.

- Cozar, A., Sanz-Martín, M., Martí, E., Gonzalez-Gordillo, J. I., Ubeda, B., Galvez, J. A., Irigoien, X., Duarte, C. M., 2015. Plastic accumulation in the Mediterranean Sea. *PLoS ONE* 10 (4), e0121762.
- Derraik, J. G., 2002. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine Pollution Bulletin* 44 (9), 842-852.
- Eriksen, M., Lebreton, L. C. M., Carson, H. S., Thiel, M., Moore, C. J., Bornerro, 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), e111913.
- FAO, 2017. Microplastics in fisheries and aquaculture - Status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety. Rome. 126 pp.
- Fergusson, W., 1974. Plastic and the environment. Summary p.2. Hutchinson and Co., London.
- G7, 2015. World leaders Declaration - G7 Summit. Think Ahead. Act Together, Schloss Elmau, Germany, 7-8 June 2015 (23 pp.).
- Galgani, F. et al. 2010. Marine Strategy Framework Directive: Task Group 10 Report Marine Litter (Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 2010).
- GESAMP, 2015. Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment. In: Kershaw, P.J. (Ed.), (Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 90 (96 pp.).
- Gregory, M., Kirk, R., Mabin, M., 1984. Pelagic tar, oil, plastics and other litter in surface waters of the New Zealand sector of the Southern Ocean, and on Ross dependency shores. *New Zealand Antarctic Record* 6 (1), 12-28.
- Hornweg, D., Bhada-Tata, P., 2012. What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management. Vol. 15. Urban Development and Local Government Unit World Bank Washington, DC 20433 USA, 1818 H Street, NW Washington, DC 20433 USA.
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., Law, K. L., 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347 (6223).
- Law, K. L., 2017. Plastics in the marine environment. *Annual Review Marine Science* 9, 205-209.
- Masson, D. E., October 1972. The story of plastic industry. Printed by The John B. Watkins Company, 250 Park Avenue, New York, N.Y. 10017.
- Plastics Europe 2015. Plastics - the Facts 2015 - An analysis of European plastics production, demand and waste data. *Association of Plastic Manufacturers, Brussels*, 34.
- Ryan, P., Moloney, C., 1990. Plastic and other artefacts on South African beaches: Temporal trends in abundance and composition. *S. African Journal of Science*, S-AFR. TYDSKR. WET. 86 (7), 450-452.
- Sanderlin, G., 1966. Across the Ocean Sea: a journal of Columbus Voyage. Harper and Row, New York.
- Stefatos, A., Charalampakis, M., Papatheodorou, G., Ferentinos, G., 1999. Marine debris on the sea floor of the Mediterranean Sea: examples from two enclosed gulfs in Western Greece. *Marine Pollution Bulletin* 38 (5), 389-393.

- Suaria, G., Aliani, S., 2014. Floating debris in the Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*. 86, 494–504.
- Suaria, G., Avio, C. G., Mineo, A., Lattin, G. L., Magaldi, M. G., Belmonte, G., Moore, C. J., Regoli, F., Aliani, S., 2016. The Mediterranean plastic soup: synthetic polymers in Mediterranean surface waters. *Scientific Reports* 6 (1).
- Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W. G., McGonigle, D., Russell, A. E., May 2004. Lost at sea: Where is all the plastic? *Science* 304 (5672), 838.
- van Sebille, E., Wilcox, C., Lebreton, L., Maximenko, N., Hardesty, B. D., van Franeker, J. A., Eriksen, M., Siegel, D., Galgani, F., Law, K. L., Dec 2015. A global inventory of small floating plastic debris. *Environmental Research Letters* 10 (12), 124006.