
Microplastiche: origine, diffusione ed effetti

Environmental pollution by microplastics is becoming a major issue also for human health as a consequence of their ubiquitous diffusion even through the trophic chains. Their impact is thought to increase as the world wide plastics production and consumption are still increasing at an exponential rate. Here the classification and source of microplastics, as derived by different polymeric materials, are considered with respect to their formation from large plastic debris as a consequence of environmental degradation processes, as well as to their impact as emerging pollutant.

Keywords: *Microplastics, Environmental degradation of polymers, Volatile organic compounds (VOCs)*

Andrea Corti

Dati generali su produzioni, consumi e impieghi delle materie plastiche

La produzione mondiale e l'impiego di materiali plastici, che hanno progressivamente sostituito i materiali naturali grazie alle caratteristiche di leggerezza, versatilità, durevolezza ed economicità, a partire dagli anni '50 del secolo scorso hanno assunto un andamento esponenziale strettamente connesso al modello di crescita, altrettanto esponenziale, della popolazione mondiale. Se quest'ultima ha raggiunto recentemente la cifra di 8 miliardi di persone, la produzione globale annua di materiali plastici, incluse le fibre tessili sintetiche, può essere stimata in oltre 450 milioni di tonnellate. Oltre il 90% di tale produzione deriva da risorse fossili, l'8,3% è ottenuto attraverso il riciclo e soltanto l'1,5% è di origine biologica da trasformazione di risorse naturali rinnovabili. È da rilevare, tuttavia, che soltanto il 4% dell'intera produzione mondiale di petrolio e gas naturale viene utilizzato per la produzione di materiali plastici, mentre oltre l'87% viene impiegata come combustibile nella produzione energetica, nel riscaldamento e nei trasporti.

La "plastica", che letteralmente significa malleabile o flessibile e può essere virtualmente trasformata in ogni forma, è costituita da lunghe catene – polimeri – a loro volta formate da singole molecole, i monomeri, legate covalentemente tra loro. I polimeri (vedi finestra di approfondimento), quantitativamente predominanti per la produzione di materiali plastici, sono il polietilene (PE) 26,9%, il polipropilene (PP) 19,3%, il polivinilcloruro (PVC) 12,9%, il polietilentereftalato (PET) 6,2%, e il polistirene (PS)



5,3%. L'elevata produzione di questi polimeri è strettamente connessa ai principali settori di impiego e di utilizzo delle materie plastiche: imballaggi (*packaging*), 44% (PE, PP, PET, PS), edilizia (18%) (PVC, PS), industria automobilistica (PP) (8%); agricoltura, allevamento e giardinaggio (PE) (4%). La diffusione capillare dei polimeri sintetici in tutti i settori merceologici è stata anche favorita dalla inerzia chimica (resistenza alla corrosione) unita alla notevole resistenza agli agenti biologici che conferisce durabilità alle materie plastiche. Per questi motivi, tuttavia, con il diffondersi dei campi di impiego, ma soprattutto con l'aumento impressionante delle quantità prodotte e, contestualmente, dei rifiuti plastici, si sono progressivamente evidenziate forti criticità relative all'impatto ambientale. Tali criticità sono ovviamente accentuate nel caso di rifiuti plastici dispersi in modo incontrollato.

Rifiuti plastici

In Europa, a fronte di una produzione annuale di materie plastiche di oltre 60 milioni di tonnellate annue, si stima una produzione di rifiuti plastici pari a circa 27 milioni di tonnellate. A tutt'oggi oltre il 50% dei rifiuti plastici, e soprattutto i rifiuti da imballaggi o per applicazioni monouso, sfugge a qualsiasi intervento di corretta gestione e viene disperso nell'ambiente. Nel caso dei rifiuti da imballaggi a fronte di oltre 80 milioni di tonnellate prodotte annualmente, la gestione attualmente prevede il 40% di confinamento in discarica, il 14% di incenerimento, con o senza recupero energetico, il 14% di riciclo e il 32% di dispersione incontrollata nell'ambiente. Tale scenario ha portato a stimare in circa 8 milioni le tonnellate di materie plastiche che vengono annualmente riversate in mare. Oltre l'80% di que-

sti quantitativi ha origine da ambienti terrestri, oltre la metà è prodotta da 5 paesi (Cina, Indonesia, Filippine, Thailandia e Vietnam) e raggiunge per il 90% gli ambienti marini trasportata da 10 fiumi¹, Amur, Mekong, Indus and Gange in Asia e Niger e Nilo in Africa). I rifiuti plastici, intrinsecamente non biodegradabili, rappresentano inoltre il 75% dei rifiuti marini² e il Mediterraneo è riconosciuto come una delle aree più altamente contaminate da plastiche (Cozar et al. 2015). I principali responsabili sono la Turchia, che riversa approssimativamente 144 tonnellate al giorno di rifiuti plastici, seguita dalla Spagna (126 tonnellate), dall'Italia (90 tonnellate), dall'Egitto (77 tonnellate) e dalla Francia (66 tonnellate)³.

Detriti plastici e microplastiche

Il primo segnale d'allarme sull'inquinamento da detriti plastici venne suonato già nel lontano 1972 da E. J. Carpenter e K. L. Smith⁴ che denunciarono la presenza di granuli plastici nell'oceano atlantico e, soltanto pochi mesi dopo, l'ingestione di granuli di polistirene da parte di pesci⁵. Mentre l'inquinamento da oggetti in plastica, considerati a torto pressoché indistruttibili, suscita da anni indignazione e preoccupazione anche a causa della sua facile percezione come fattore di deturpamento paesaggistico e per gli effetti ampiamente documentati derivanti dalla ingestione o dall'intrappolamento a carico della macrofauna acquatica, solo in anni più recenti la questione delle micro e nanoplastiche ha iniziato ad essere oggetto di studi scientifici e di attenzione da parte dell'opinione pubblica e degli organismi governativi.

Ad oggi non esiste una definizione unanime di "microplastiche" (MP), termine coniato nel 2004⁶, con il quale si indicavano frammenti di

1. Schmidt et al. (2017). *Export of plastic debris by river into the sea*, Environ. Sci. Technol. 51, 12246-12253.

2. Zhang K et al., *Understanding plastic degradation and microplastic formation in the*

environment: a review, Environ Pollut 274, 2021.

3. Sharma S et al., *Microplastics in the mediterranean sea: sources, pollution intensity, sea health, and regulatory policies*, FrontMarine Sci 8, 2021.

4. Carpenter EJ, Smith KL, *Plastics on the Sargasso Sea surface*, Science 175:1240-1241, 1972.

5. Carpenter EJ et al., *Polystyrenespherules in coastal waters*, Science 175:749-750, 1972.

6. Thompson RC, Olsen Y, Mitchell RP, Davis A, Rowland SJ, John AWG, McGonigle D, Russell AE, *Lost at Sea: Where Is All the Plastic?*, Science, vol. 304, 5672:838, 2004.

dimensioni inferiori a 5 mm⁷. In genere sarebbe opportuno limitare tale definizione a frammenti che possono essere identificati mediante un microscopio, e quindi indicativamente inferiori a 1 mm⁸. In ogni caso, le categorie dimensionali proposte da van Cauwenberghe et al.⁹ sono attualmente quelle più comunemente utilizzate per descrivere l'inquinamento ambientale da detriti plastici (tabella 1). La categorizzazione delle microplastiche è stata ulteriormente affinata da Cole et al.¹⁰ che, introducendo il concetto di "origine", hanno distinto le microplastiche *primarie*, ovvero quelle intenzionalmente prodotte per avere dimensioni microscopiche, da quelle *secondarie* che si originano dalla degradazione ambientale e dalla frammentazione di detriti plastici macroscopici.

Tabella 1. Classificazione dimensionale di frammenti plastici (suggerita da van Cauwenberghe et al., 2015)

Categoria	Dimensioni
Macroplastiche	>2,5 cm
Mesoplastiche	0,5-2,5 cm
Microplastiche grandi	1-5 mm
Microplastiche piccole	1-1000 µm
Nanoplastiche	1-1000 nm

Le microplastiche primarie sono rappresentate, ad esempio, dalle microsfele utilizzate nei prodotti cosmetici esfolianti o nei dentifrici, ma anche dalle microfibre rilasciate durante il lavaggio di tessuti e indumenti. A tale proposito è stato stimato che dal lavaggio di 5 Kg di tessuti sintetici possono essere rilasciati da 6 a 17 milioni di microfibre con diametro di 15-20 µm e lunghe 300-500 20 µm¹¹.

L'azione combinata di diversi fattori ambientali, e in primo luogo l'esposizione alla frazione ultravioletta della luce solare dei detriti plastici dispersi, è alla base dei processi degradativi (*weathering*) delle catene polimeriche e della conseguente formazione delle microplastiche secondarie. Gli effetti macroscopici di questi processi possono essere chiaramente visibili come linee di frattura su manufatti plastici abbandonati e esposti alla radiazione solare (fig. 1). Questi processi sono "innescati", appunto, dalla foto-ossidazione (UV + ossigeno), accentuati da stress termici e meccanici o, nel caso di alcuni tipi di polimeri, quali il PET, dall'azione chimica (idrolisi) dell'acqua. I meccanismi che sono alla base dei



Figura 1. Effetti della degradazione ambientale

processi degradativi si possono riassumere: 1) nella formazione di composti altamente reattivi (radicali liberi), 2) nella fissazione di ossigeno

7. Harrison JP, Ojeda JJ, Romero-González ME, *The applicability of reflectance micro Fourier-transform infrared spectroscopy for the detection of synthetic microplastics in marine sediments*; Science of the Total Environment 416:455-463, 2012.

8. Browne MB, Galloway TS, Thompson RC, *Spatial patterns of plastic debris along estuarine shorelines*, Environ. Sci. Technol., 44:3404-3409, 2010.

9. Cauwenberghe L et al., *Microplastics in sediments: A review of techniques, occurrence and effects*, Marine Environmental Research, vol. 111:5-17, 2015.

plastics as contaminants in the marine environment: A review, Marine Pollution Bulletin, vol. 62, 12:2588-2597, 2011.

10. Cole M, Lindeque P, Halsband C, Galloway TS, *Micro-*

11. De Falco et al., *Env.Poll.*, 236:916-925, 2018.

molecolare e di prodotti di ossidazione a loro volta molto reattivi, 3) in reazioni idrolitiche che a loro volta determinano effetti sia a livello molecolare (rottura delle catene polimeriche, processi di depolimerizzazione e rilascio di composti semplici) sia a livello macroscopico (ingiallimento, infragilimento, idrofilia, variazioni di densità, polverizzazione superficiale). Detto in parole povere, anche le plastiche invecchiano secondo gli stessi processi che rendono “grinzosa” la pelle o rancido l’olio.

Da un punto di vista più chimico l’“invecchiamento” delle plastiche oltre a determinare la formazione delle microplastiche (fig. 2) determina significativi cambiamenti delle proprietà dei materiali originali, come una sostanziale variazione di densità, per cui un film di polietilene intatto galleggia, ma dopo aver subito un forte processo

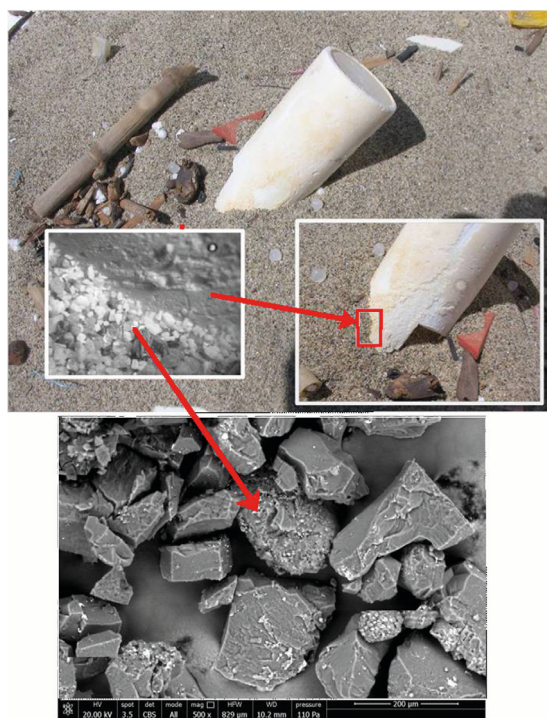


Figura 2 . Dai macrodetriti alle microplastiche

12. UNEP, *Report: Emerging issues of environmental concern*, United Nations Environment Programme, 2016.

13. Free CM, Jensen OP, Mason SA, Eriksen M., Williamson NJ, Boldgi B, *High-levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake*, Marine Pollution Bulletin, 85:156, 2014.

foto-ossidativo, si frammenta e affonda (fig. 3). La diversa natura chimica delle microplastiche secondarie si traduce anche nella alterazione chimica e nella presenza di gruppi funzionali, generalmente



Figura 3. Degradazione ossidativa e variazione di densità

ossidati, sugli strati superficiali delle particelle che possono alterare significativamente la loro “reattività” nei confronti degli organismi e dei tessuti biologici con cui vengono a contatto.

Nel 2016 lo United Nations Environment Programme¹² ha definito le microplastiche come uno degli inquinanti emergenti a causa della loro presenza ubiquitaria nell’ambiente e della scarsa conoscenza sugli effetti che potrebbero determinare sulla salute umana. Frammenti di materiale plastico sono stati rinvenuti sia in laghi remoti della Mongolia¹³ che in sedimenti marini a 5 km sotto il livello del mare¹⁴. L’esposizione degli organismi marini e di acqua dolce a questa tipologia di inquinanti avviene per ingestione diretta dall’acqua o indirettamente tramite l’alimentazione. Nel primo caso rientrano le specie animali che si nutrono filtrando il fitoplancton dall’acqua (mitili e cirripedi); nel secondo caso rientrano le specie che si procurano i nutrienti da organismi inferiori nella piramide alimentare o da carcasse in decomposizione (anfipodi, arenicola marina, pesci).

14. Van Cauwenberghe L, Vanreusel A, Mees J, Janssen CR, *Microplastic pollution in deep-sea sediments*, Environmental Pollution, 182:495, 2013.

In diversi campioni animali è stato dimostrato che a seguito dell'ingestione i frammenti polimerici più grandi scambiati per cibo o passano nel tratto digerente per poi essere espulsi con la defecazione o vi si accumulano portando alla morte il soggetto. Man mano che si riducono le dimensioni delle microplastiche ingerite, aumenta la frazione di queste che possono attraversare le membrane cellulari giungendo nel sistema circolatorio, con effetti ancora ignoti sull'organismo¹⁵. Oltre ad effetti diretti sono da considerare effetti indiretti che possono comprendere, ad esempio, l'accumulo e il trasporto di microorganismi patogeni e fenomeni di adsorbimento, assorbimento e rilascio di composti chimici inquinanti dalle soluzioni circolanti che possono così raggiungere concentrazioni potenzialmente elevate nelle microplastiche. Infatti è stato dimostrato che molti inquinanti organici, compresi gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e i policloro bifenili (PCB), si adsorbono sulla superficie dei polimeri per via della natura idrofoba di questi ultimi. Le microplastiche sono quindi dei potenziali preconcentratori di sostanze note per la loro pericolosità, e questo amplifica i rischi per la salute legati alla loro diffusione¹⁶. Un altro potenziale rischio connesso a detriti plastici degradati e alle microplastiche che si originano da essi è il rilascio di composti chimici volatili, i cosiddetti VOCs. Questo fenomeno è facilmente apprezzabile esponendo strisce di cartina al tornasole a frammenti di polietilene o polipropilene raccolti sulla spiaggia, il rilascio di composti volatili acidi è facilmente dimostrabile dal viraggio al giallo della cartina (fig. 4). In uno studio specifico è stata dimostrata una correlazione diretta tra il grado di invecchiamento di microplastiche di polietilene, polipropilene e polistirene e il rilascio di composti volatili inclusi nella lista dell'*European Union Occupational Exposure Limit* quali acroleina, pro-

panale, benzene, toluene. Le microplastiche possono quindi avere effetti diretti sulla salute umana entrando di fatto nelle catene trofiche ad esempio attraverso il consumo di pesci o di altri organismi contaminati. Studi recenti hanno infatti direttamente confermato gli effetti citotossici su cellule cerebrali umane¹⁷.

Conclusioni e prospettive

Il quadro emergente dal crescente numero di indagini scientifiche sugli effetti dell'inquinamento da microplastiche è sicuramente preoccupante, anche in considerazione della quantità abnorme di rifiuti plastici, soprattutto imballaggi, già immessi nell'ambiente e di quelli che costantemente

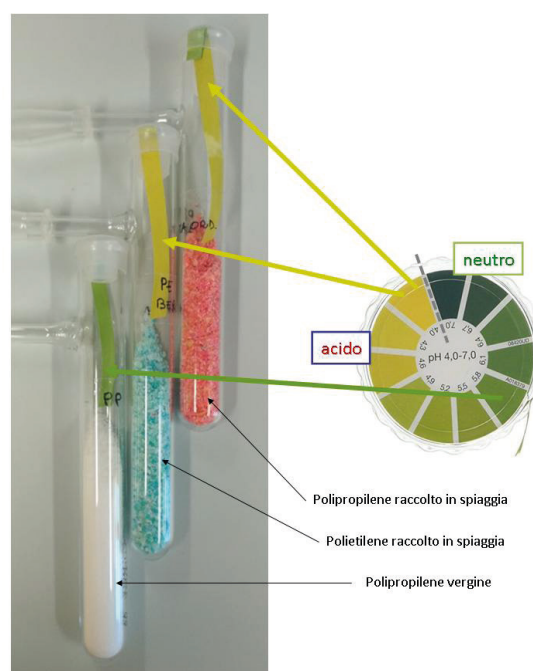


Figura 4. Rilascio di VOCs da detriti plastici spiaggiati

15. Browne MA et al., *Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel*, Environmental Science and Technology, 42:5026, 2008.

16. Frias JPGL, Sobral P, Ferreira AM, *Organica pollutants in microplastics from two beaches of the Portuguese coast*, Marine Pollution Bulletin, 60, 2010; Karapanagioti HK, Klontza I, *Testing phenanthrene distribution properties of*

virgin plastic pellets and plastic eroded pellets found on Lesbos island beaches (Greece), Marine environmental research, 65:283, 2008.

compounds (VOCs) from photo-degraded plastic debris: a neglected source of environmental pollution, J Hazard Mater 394:122596

17. Lomonaco et al., *Release of harmful volatile organic*

te sfuggono a piani di gestione corretti. D'altra parte i materiali plastici sono fondamentali per la qualità della vita e con i livelli attuali della popolazione mondiale è impensabile poterli sostituire nuovamente con i soli metalli, il vetro o il legno. Potrà sembrare contraddittorio, ma la "plastica" porta alla riduzione dei consumi energetici, delle emissioni di gas clima alteranti e degli sprechi di cibo consentendo una migliore conservazione degli alimenti. È fondamentale però saperla usare esclusivamente dove porta vantaggi ambientali, gestire il fine vita dei materiali plastici non biodegradabili, privilegiando il riciclo con recupero di materia rispetto al recupero energetico, in ogni caso evitandone assolutamente la collocazione in discarica o peggio la dispersione ambientale e, in prospettiva, attrezzandosi per produrla da materie prime rinnovabili e con caratteristiche certe di biodegradabilità e di ridotto impatto ambientale. ●

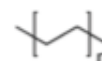


Finestra di approfondimento: I POLIMERI

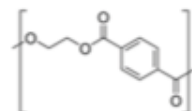
I polimeri sintetici sono costituiti da catene lineari di molecole semplici, i monomeri, legati tra loro da legami covalenti. Il mercato dei polimeri è dominato da sei tipologie di materiali termoplastici a loro volta divisibili in due macro-classi, distinte tra loro per le diverse caratteristiche strutturali e/o chimico-fisiche che ne condizionano la distribuzione ambientale ed i processi degradativi:

- Polimeri a catena principale idrocarburica o omopolimeri: sono polimeri esclusivamente idrocarburici, contenenti in catena principale soltanto C e H, quali le poliolefine (polietilene, PE, ad alta e bassa densità, polipropilene, PP, e loro copolimeri) e il polistirene (PS, compresso e espanso), ossia i polimeri prodotti in maggior quantità e maggiormente utilizzati per imballaggi e oggetti monouso, oltre ai polimeri vinilici contenenti eteroatomi (O, N, Cl) in catena laterale, quali polivinilcloruro (PVC) e polimeri acrilici, che sono soggetti a processi degradativi simili ai primi ma differiscono da essi per la densità superiore a quella dell'acqua.
- Eteropolimeri: i più diffusi sono poliesteri quali il polietilene tereftalato (PET) e poliammidi (PA); sono più densi dell'acqua e sono caratterizzati dalla presenza di eteroatomi quali O ed N in catena principale, che rendono possibili anche processi degradativi di natura idrolitica, potenzialmente attivabili da catalisi enzimatica.

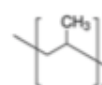
Polyethylene (PE)



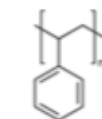
Polyethylene terephthalate (PET)



Polypropylene (PP)



Polystyrene (PS)



Polyvinyl chloride (PVC)

