

focus: plastiche e microplastiche

I was born with a plastic spoon in my mouth...*

Fabio Fantini

Derived from oil processing, plastics have seen their production grow rapidly. Plastics resist chemical and biological aggression, in other words, they have limited degradability. This characteristic, combined with the ease of processing and multi-purpose adaptability that stimulate their production and use, has led to accumulations of plastics in all environments and at all size scales, not excluding the internal environment of organisms. Due to the accumulation effect that characterises all poorly degradable substances, the presence of plastics in the tissues of living systems increases with trophic level and is also becoming a concern for our species.

Keywords: *Microplastics, Nanoplastics, Degradability, Biodegradability.*

Non posso pretendere che, leggendo le parole del titolo, a chiunque, anche se della mia età, risuonino nella mente le semplici ma efficaci note di *Substitute*, una grintosa canzone di un certo successo composta ed eseguita dal gruppo rock inglese The Who. Pubblicata nel 1965, *Substitute* è uno dei rari esempi di quella beffarda ironia che aleggiava nelle prime canzoni del gruppo e che sarebbe andata persa lungo le strade, musicalmente più impegnative, percorse in seguito. Il testo di *Substitute* descrive il disagio di un ragazzo che si sente la controfigura dell'uomo che la sua ragazza vorrebbe davvero e che descrive se stesso nel ritornello come “nato con un cucchiaino di plastica in bocca”, facendo il verso al detto inglese “born with a silver spoon in his mouth”, equivalente a “nato con la camicia” italiano. Quindi, plastica, materiale umile e disprezzabile, contrapposto al nobile argento. Dovremmo riconsiderare con qualche preoccupazione la frase parafrasata con ironia da Pete Townsend e dai suoi sodali: forse non proprio con un cucchiaino di plastica in bocca, ma la maggior parte dei bambini umani nasce oggi, a differenza del 1965, con una insospettata quantità di plastica nel sangue e nei propri organi.



* Buona parte del materiale che compone questo articolo proviene da Fantini F, *Due passi (con prudenza) dentro l'ecologia*, Pisa, ETS, 2022.

Versatili, tenaci ed economiche, le plastiche sono ricavate dal petrolio e meritano il titolo di materiale più rappresentativo della nostra civiltà. Non è difficile pensare che la presenza di plastiche sarà l'indizio che gli archeologi del futuro, a qualsiasi specie possano appartenere, sfrutteranno per assegnare un'unità stratigrafica alla nostra epoca. Giustamente orgogliosi di essere ricordati dai posteri come i produttori delle plastiche, dovremo però cominciare a riflettere su un inquietante paradosso: produciamo oggetti che durano molti secoli per usi che spesso durano qualche decina di minuti, come nel caso di buste, imballaggi, bastoncini cotonati per l'igiene e così via. Circa il 40% della produzione mondiale riguarda plastica monouso, in particolare imballaggi e contenitori progettati per facilitare il trasporto del prodotto imballato, spesso per aumentarne l'attrattiva e invariabilmente destinati a diventare in poco tempo un rifiuto difficile da riciclare.

Le plastiche hanno il vantaggio di essere leggere e resistenti all'usura ma, come spesso accade, certi vantaggi finiscono con il ritorcersi contro chi ne approfitta troppo. La resistenza delle plastiche al logorio del tempo è una conseguenza della loro refrattarietà a reagire chimicamente alle temperature ambientali normali (in effetti, se buttaste un po' di plastica sulla lava di un vulcano, reagirebbe molto rapidamente). Dal punto di vista chimico, il petrolio è una miscela di idrocarburi e le plastiche sono idrocarburi polimerici ottenuti dal petrolio.

La polimerizzazione è il processo chimico che consente di ottenere grandi molecole lineari attraverso la sintesi ripetuta di unità semplici, che possono essere tutte uguali o anche di pochi tipi diversi. Il successo delle plastiche come materiali dai molteplici impieghi, dall'imballaggio delle merci alla costruzione di parti strutturali di automobili e apparecchi elettronici, è dovuto a proprietà difficili da trovare tutte insieme nella stessa sostanza: bassa densità, buona impermeabilità, resistenza agli aggressivi chimici, facilità di lavorazione, possibilità di differenziarne le caratteristiche mediante l'aggiunta di piccole quantità di additivi specifici. Queste qualità derivano in

gran parte dal fatto che i legami chimici presenti nelle molecole polimeriche delle materie plastiche sono molto stabili nelle normali condizioni ambientali. È un po' la stessa cosa che accade con le molecole di cui noi sistemi viventi siamo composti, anche esse ricche di legami tra atomi di carbonio e di legami tra atomi di carbonio e atomi di idrogeno, esattamente come gli idrocarburi. Con una importante differenza, però: le biomolecole di cui noi siamo composti sono biodegradabili, cioè sono facilmente attaccabili da altri sistemi viventi e demolite nei loro componenti più semplici, che fanno ritorno ai cicli della materia, mentre gli idrocarburi sono molto più refrattari al riciclo.

Per lungo tempo, e in parte anche tutt'ora, le plastiche sono state abbandonate indiscriminatamente dopo l'uso, perché il loro recupero era meno economico della produzione di nuovi oggetti di plastica. Con la mancanza di lungimiranza tipica di un sistema economico basato sul profitto individuale immediato, il danno ambientale non è stato conteggiato nei costi connessi all'abbandono delle plastiche usate.

Benché formate a partire da composti organici, le plastiche sono sostanze che hanno fatto la loro comparsa solo recentemente, di fatto nell'ultimo secolo. Composti organici a tutti gli effetti, gli idrocarburi polimerici non sono però facilmente utilizzabili dai sistemi viventi, benché si tratti di molecole potenzialmente ricche di energia. La loro struttura idrocarbura li rende profondamente diversi dai composti organici che costituiscono i sistemi viventi e i loro alimenti, anche se in massima parte sono formate da carbonio e idrogeno, due dei principali elementi che entrano nella composizione dei sistemi viventi.

Le molecole capaci di avviare alle reazioni metaboliche cellulari glucidi, lipidi e proteine sono inefficaci con gli idrocarburi, totalmente insensibili alle suggestioni biochimiche del metabolismo cellulare. In altre parole, gli idrocarburi non sono biodegradabili.

L'affermazione sulla incapacità dei sistemi viventi di usare gli idrocarburi come fonte di energia metabolica ha, in realtà, alcune eccezioni, in

particolare per quanto riguarda la più semplice molecola idrocarburica, il metano (CH_4). Esistono, infatti, batteri appartenenti all'ordine Metanosarcinales capaci di ricavare energia dall'ossidazione della molecola di metano. Altri batteri, dell'ordine Flavobacteriales, riescono a metabolizzare alcune materie plastiche, come l'acido 6-amminoesanoico, usato nella produzione di nylon. Se è vero che alcune comunità batteriche sono in grado di ricavare energia dalle plastiche, è altrettanto vero che il processo di biodegradazione avviene lentamente. Inoltre, si tratta di comunità rare, perché la disponibilità di plastiche nei tempi passati era nulla e nessun organismo capace di produrre enzimi in grado di attaccare le plastiche avrebbe avuto modo di prosperare e riprodursi¹. Grazie alle tecniche dell'ingegneria genetica si tenta di accelerare i processi evolutivi inserendo nel genoma di alcuni batteri geni per la produzione di enzimi capaci di agire sulle plastiche. La strada da percorrere è però ancora lunga e nel frattempo le plastiche accumulate nell'ambiente hanno iniziato a generare gravi danni.

La produzione mondiale di plastiche ha raggiunto nel 2022 un totale di 460 Mt², con previsione di raddoppio entro il 2050. Anche se una miracolosa presa di coscienza del problema rappresentato dalle plastiche spingesse a interromperne istantaneamente la produzione, dovremmo comunque fare i conti con quelle già presenti nelle discariche e nell'ambiente, la cui massa complessiva è stimata in 5 Gt³. Le plastiche di rifiuto potrebbero essere sfruttate per recuperare energia con la combustione, c'è però il problema delle sostanze tossiche, tra le quali la diossina, che si liberano nella decomposizione alle alte temperature. Il riciclaggio delle plastiche riguarda solo una frazione di quelle prodotte e usate; ai dati del 2020, il 10% di tutta la plastica prodotta globalmente è stata correttamente riciclata⁴.

1. Alcune molecole idrocarburiche sono prodotte naturalmente dai sistemi viventi. Per esempio, lo stirene, la molecola che polimerizzata produce il polistirene (o polistirolo), è un idrocarburo aromatico prodotto da alcune piante, tra cui il

caffè, per proteggere le foglie dalla disidratazione. Si tratta, però, di quantità marginali, la cui presenza nell'ambiente è così ridotta da non rendere vantaggioso l'impegno biochimico necessario per inserirle nel metabolismo cellulare.

Alcune plastiche sono degradabili, cioè sono costituite da plastiche convenzionali cui sono aggiunte sostanze che ne accelerano la frammentazione in piccolissimi pezzi per azione del calore e dei raggi ultravioletti. Le piccole particelle si disperdono nell'ambiente e rappresentano un grave fattore di inquinamento (fig. 1).



Figura 1. Microplastiche raccolte nel fiume Magothy, in Maryland, USA (© Will Parson/ Chesapeake Bay Program).

Altre plastiche sono biodegradabili, vale a dire che i frammenti che si formano dalla loro decomposizione possono essere attaccati da opportune popolazioni batteriche e digeriti con produzione finale di acqua e diossido di carbonio. La degradazione biologica operata dai batteri richiede condizioni particolari. Per esempio, le plastiche definite compostabili sono disintegrate in frammenti almeno al 90% entro tre mesi e digerite da microorganismi almeno al 90% entro sei mesi, ma ciò avviene solo se sono correttamente immerse nel ciclo del compostaggio. Altrimenti, le plastiche compostabili si comportano come le normali plastiche degradabili, i cui frammenti potranno essere digeriti da microorganismi solo nell'arco di centinaia di anni.

La lenta degradazione delle plastiche abbandonate o non trattate correttamente produce fram-

2. <https://economiecircolare.com/inquinamento-plastica-report-ocse/>

tossicita_salute_pesci_uomo-4930912/

3. https://www.lescienze.it/news/2021/05/19/news/inquinamento_microplastiche_diffusione_rilevazione_

4. Geyer R, *Production, use, and fate of synthetic polymers*, in Letcher, TM (ed.): *Plastic waste and recycling*, Academic Press, Cambridge, MA, 2020.

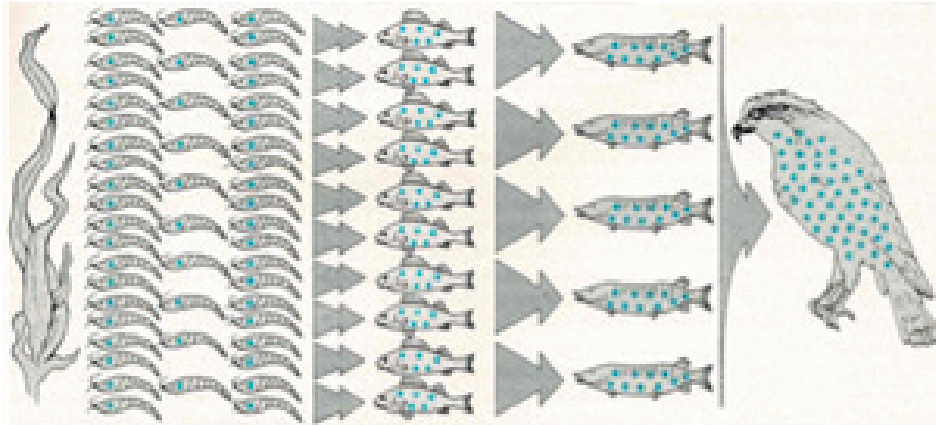


Figura 2. I piccoli crostacei che si cibano dell'alga raccolgono ciascuno una piccola quantità di sostanza non biodegradabile. Man mano che si sale nella catena alimentare, i consumatori dei successivi ordini concentrano nel loro corpo quantità crescenti della sostanza che, non degradata, è trasmessa intatta. L'apice della catena alimentare rappresentato in figura è un rapace, ma avrebbe potuto altrettanto bene essere un umano (da Fantini F, Monesi S, Piazzini S, *Le scienze della vita*, Ferrara, Italo Bovolenta Editore, 1991).

menti sempre più piccoli⁵, impossibili da raccogliere e destinati a finire nei fiumi e nei mari. Nel 2020, secondo gli oceanografi, circa $8-10^6$ pezzi di plastica di tutte le dimensioni sono arrivati fino agli oceani ogni giorno, per un totale nel corso dell'anno stimato fra 8 e 14 Mt, mentre nelle superfici marine di tutto il mondo galleggiava un numero di particelle di microplastiche stimato in $5,25 \cdot 10^{12}$.

L'accumulo di plastiche disperse nell'ambiente rappresenta un problema particolarmente grave per gli ecosistemi marini. Se può essere ipotizzato un recupero meccanico almeno parziale per i frammenti di dimensioni maggiori, i microframmenti dispersi costituiscono una porzione irrecoverabile, destinata a inserirsi nella catena alimentare e magari a concentrarsi, come accade normalmente per gli inquinanti poco o per niente biodegradabili, ai livelli trofici superiori.

Le microplastiche tendono inevitabilmente a concentrarsi nei livelli trofici più elevati in conseguenza dell'effetto "imbuto". I componenti non metabolizzabili del cibo si accumulano, infatti, negli organismi che si cibano di altri organismi, in misura sempre maggiore con l'aumento del livello trofico (fig. 2). Gli umani appartengono a un livello trofico elevato e la loro esposizione alla assunzione involontaria di microplastiche rappresenta un problema di salute pubblica. Secondo uno studio del 2021⁷, ogni giorno un adulto incorpora, attraverso l'alimentazione o la respirazione, quasi 1000 particelle di microplastiche o nanoplastiche. Una parte di queste particelle è presente nel sangue degli individui con una concentrazione di $1,6 \mu\text{g/mL}$ ⁸, un valore non trascurabile che impone di sviluppare ulteriori studi per determinare se l'esposizione alle microplastiche e alle nanoplastiche rappresenti un rischio effettivo per la salute pubblica. ●

5. Le particelle con diametro minore di 5 mm appartengono alla categoria delle microplastiche, mentre quelle con diametro inferiore a $1 \mu\text{m}$ ($1 \mu\text{m} = 10^{-3} \text{ mm}$) sono classificate come nanoplastiche.

6. <https://www.condorferries.co.uk/plastic-in-the-ocean-statistics>

7. Nor N H M, Kooi M, Diepens NJ, Koelmans AA, *Lifetime Accumulation of Microplastic in*

Children and Adults, Environmental Science & Technology, 2021 55 (8), 5084-5096.

8. Leslie H A, Van Velzen MJ M, Brandsma SH, Vethaak AD, Garcia-vallejo JJ, Lamoree MH,

Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood, Environment International, 2022 163, 1-8.