



Microplastiche e Nanoplastiche: cosa sono, da dove provengono, come si formano

Francesco Paolo La Mantia ^{1,2} e Marco Morreale ³

¹ Consorzio Interuniversitario Nazionale di Scienza e Tecnologia dei Materiali (INSTM), Via Giusti, 50121 Firenze

² Dipartimento di Ingegneria, Università di Palermo, Viale delle Scienze, 90128 Palermo, Italia

³ Dipartimento di Ingegneria e Architettura, Università Kore di Enna, Cittadella Universitaria, 94100 Enna, Italia

Introduzione

Come è noto, l'impiego di materiali plastici per le più svariate applicazioni ha comportato, negli ultimi anni, evidenti miglioramenti nella vita quotidiana soprattutto in termini di praticità e igiene, ma altrettanto evidenti problemi in termini di impatto ambientale. Difatti, anche a causa di procedure e tassi di riciclo talvolta non ottimali, e della tipica assenza di caratteristiche di biodegradabilità nei polimeri tradizionali, i rifiuti da manufatti in materiale plastico tradizionale vanno incontro ad una persistenza ambientale che può progressivamente portare alla formazione di particelle di piccole dimensioni, con impatti ambientali di varia natura e certamente assai preoccupanti, poiché possono coinvolgere il suolo, l'acqua e l'aria, e a cascata gli organismi viventi che in tali ambienti si trovano.

Categorie

Al fine di comprendere l'effettiva natura di microplastiche e nanoplastiche, e quindi le problematiche da esse derivanti, è necessario anzitutto avere un chiaro quadro della nomenclatura e delle classificazioni attualmente più riconosciute in letteratura.

Queste si basano solitamente sulle dimensioni delle particelle e sui meccanismi e/o fonti da cui si originano. Si può quindi proporre la seguente classificazione:

Macroplastiche: caratterizzate da dimensioni superiori a 2,5 cm; tra queste si citano, ad esempio, oggetti in materiale plastico di siffatte dimensioni, oppure frammenti (da imballaggi e articoli vari).

Microplastiche Primarie: caratterizzate da dimensioni inferiori a 5 mm; ad esempio, si possono citare gli scrubber per cosmetici, saponi liquidi, vernici, e prodotti abrasivi in genere; prodotti farmaceutici; pellet polimerici; fibre tessili. Anche il possibile rilascio di particelle e fibre da operazioni di produzione e manutenzione di oggetti in materiale plastico andrebbe, a tal fine, messo in conto.



Microplastiche Secondarie: caratterizzate da dimensioni inferiori a 5 mm, si differenziano dalle precedenti in quanto provengono essenzialmente dalle macroplastiche attraverso processi di degradazione ambientale e/o meccanica (come l'abrasione degli pneumatici, o il lavaggio e l'asciugatura dei tessuti).

Nanoplastiche: caratterizzate da dimensioni inferiori a 1 μm . Possono provenire dalle stesse fonti delle microplastiche primarie e secondarie, in particolare dal lavaggio e dall'asciugatura dei tessuti sintetici, dal deterioramento degli pneumatici e di altri prodotti polimerici.

In definitiva, si possono osservare due discriminanti principali per distinguere correttamente le varie tipologie, e cioè:

- a) la forma nella quale esse sono disperse nell'ambiente: tal quale nel caso delle primarie, derivante da processi di degradazione nel caso delle secondarie;
- b) l'intenzionalità del rilascio: alcune sono aggiunte intenzionalmente a una varietà di prodotti (come ad esempio cosmetici, prodotti fitosanitari, detersivi, vernici, ecc.); altre invece non sono generate e/o aggiunte intenzionalmente, come ad es. quelle rilasciate da vernici, pneumatici, tessuti, pellet dispersi durante le operazioni di manipolazione e trasformazione, ecc.

Inoltre, come sopra evidenziato, anche le più minacciose nanoplastiche possono in generale provenire dalle stesse "vie" delle microplastiche primarie e secondarie.

Da dove provengono?

Riguardo la provenienza, si è già dato un quadro sintetico al paragrafo precedente. Nell'ottica di un ulteriore approfondimento, va anzitutto osservato come i vari possibili effetti delle micro e delle nanoplastiche sulla salute umana abbiano già destato grandi preoccupazioni [1-4], sebbene non vi sia un universale accordo in merito [5]. Ci sono infatti evidenze provenienti da studi sugli animali, ma la maggior parte di essi si concentra solo su tipi specifici di micro e nanoplastiche; inoltre, è stato evidenziato come manchino ancora metodi adeguatamente standardizzati per una corretta definizione e rilevazione di microplastiche e nanoplastiche [3, 6].

Esistono già strumenti normativi comunitari, come il recente Regolamento 2023/2055/UE, che hanno affrontato il problema vietando il commercio di microplastiche tal quali e di prodotti in cui sono state aggiunte intenzionalmente microplastiche. Tali limitazioni riguardano prodotti molto diffusi come cosmetici, detersivi, ecc., tuttavia, ci sono diverse eccezioni (come ad es. i prodotti che contengono microplastiche ma non le rilasciano in maniera significativa; i prodotti utilizzati nei siti industriali; i prodotti già normati da altri regolamenti specifici dell'UE; i prodotti in cui le microplastiche non sono state aggiunte intenzionalmente ma sono presenti involontariamente come ad es. fanghi e compost).

La documentazione comunitaria [7] fornisce al contempo cifre interessanti sul rilascio di microplastiche nei Paesi dell'Unione. Le principali fonti di rilascio non intenzionale di microplastiche, infatti, risultano essere le vernici (rilascio stimato tra 231000 e 863000 ton/anno nel 2019), seguite da pneumatici, pellet di plastica, tessuti, geotessili e capsule di detersivi in plastica, con vernici, pneumatici e pellet che rappresentano la maggioranza del totale (Figura 1). Può sembrare sorprendente che tra le prime sei fonti di inquinamento da microplastiche non compaiano gli

imballaggi (film e contenitori) la cui quantità presunta sembrerebbe quindi inferiore a quella delle capsule di detersivi (compresa tra 4000 e 6000 ton/anno nel 2019). Pertanto, sebbene gli imballaggi costituiscano delle fonti certamente preoccupanti per quanto riguarda gli ambienti marini [8], i dati citati sembrano dimostrare che esistono fonti più importanti da prendere in considerazione. Naturalmente, ciò non vuol dire che si tratti di fonti trascurabili, poiché microplastiche e nanoplastiche possono anche provenire da esse per frammentazione; ma il loro ruolo sembra essere, in alcuni casi (quantomeno nell'UE), relativo.

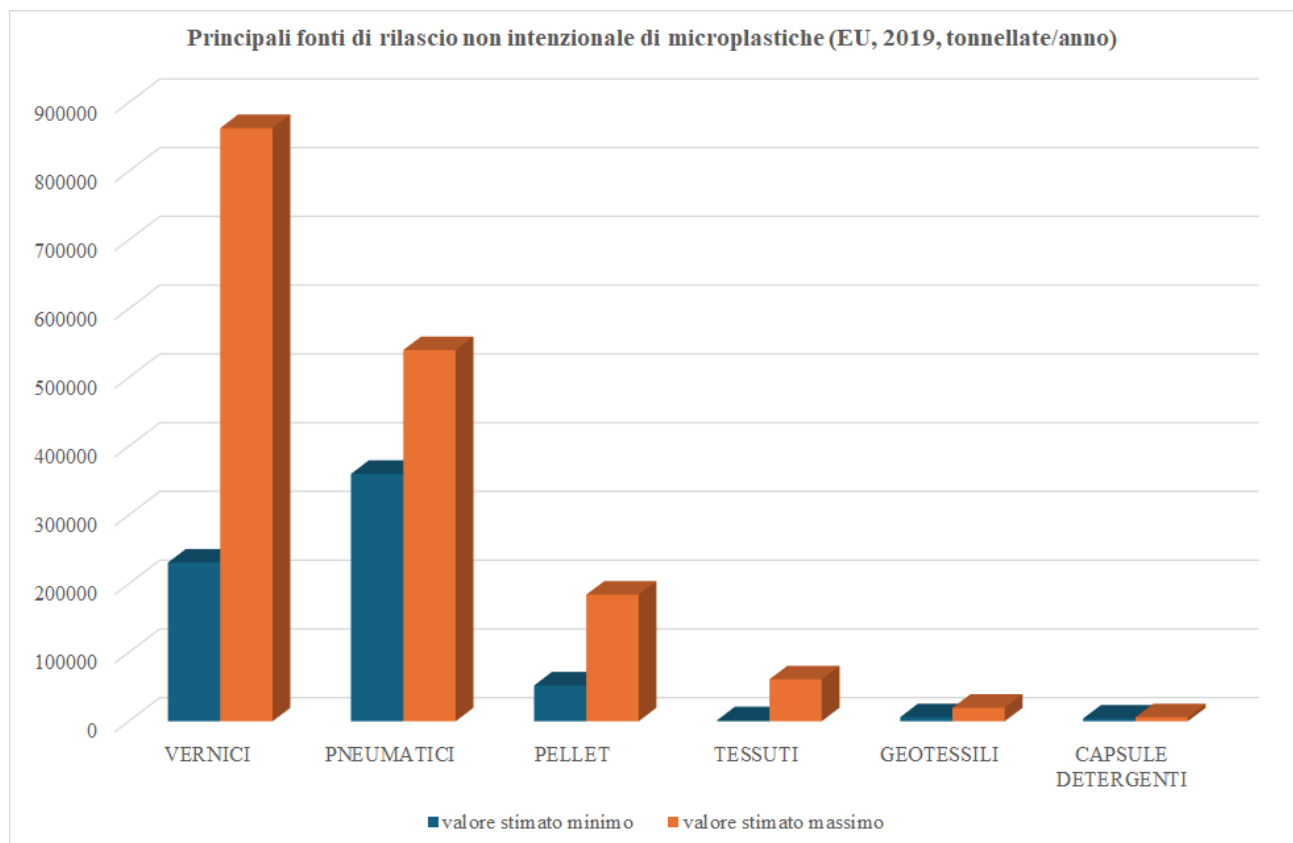


Fig. 1 – Principali fonti di rilascio non intenzionale di microplastiche nell’ambiente, Unione Europea. Dati stimati minimi/massimi, anno 2019, tonnellate /anno (tratti da [7]).

Più preoccupante, quindi, sembra essere il rilascio sotto forma di microfibre sintetiche da tessuti, o quello dovuto all'attrito degli pneumatici sul manto stradale.

Nel primo caso, questo avviene soprattutto durante il lavaggio e l'asciugatura: si ritiene che i tessuti sintetici rappresentino circa un terzo del totale delle microplastiche presenti negli oceani [9]. In generale, le principali fibre sintetiche (poliesteri, nylon, acrilici) disperdono microfibre non solo durante il lavaggio, ma anche durante le fasi di produzione, confezionamento e trasporto [10]. Le soluzioni potrebbero essere trovate nell’implementazione di norme obbligatorie riguardanti i filtri da utilizzare per lo scarico di acqua e aria in lavatrici e asciugatrici, e per la gestione e lo smaltimento degli stessi, ma anche regolamenti obbligatori come i piani di ritiro. Altre soluzioni, come il bando



dell'uso di tessuti sintetici, sembrano per ora piuttosto utopistiche, date le necessità di una popolazione mondiale in continuo aumento.

Nel secondo caso, si sta già lavorando a future norme cogenti, quali ad esempio potrebbero essere il controllo periodico obbligatorio del corretto allineamento degli pneumatici, il controllo della pressione di gonfiaggio, la riduzione dei limiti di velocità e, ove possibile, del peso degli autoveicoli.

In definitiva, vernici, tessuti e pneumatici sembrerebbero essere la fonte più problematica, sia in termini di rilascio complessivo [7] che di possibile formazione di nanoplastiche “secondarie” [1, 11-13].

Come si formano?

Come già detto, la maggior parte delle microplastiche (e delle nanoplastiche) secondarie deriva da fenomeni di frammentazione/degradazione che si verificano su oggetti in materiale polimerico.

Diversi fattori influenzano i processi degradativi dei polimeri, come le proprietà fisico-chimiche intrinseche del polimero e i fattori ambientali (temperatura, presenza di ossigeno e acqua, luce solare) [14]. L'energia necessaria per innescare la rottura delle macromolecole polimeriche può essere fornita sotto forma di calore, sforzi meccanici o radiazione solare. Non è in generale possibile proporre uno schema valido per tutti. Ad ogni buon conto, il ruolo della foto-ossidazione (quindi, presenza di luce solare e ossigeno) sembra essere particolarmente importante poiché porta, in generale, ad un infragilimento del polimero, che a sua volta porta alla frammentazione, che a sua volta facilita il progredire dei processi foto-ossidativi, da cui ulteriori frammentazioni, e così via fino alla formazione di microplastiche (e, infine, di nanoplastiche). Particolarmente preoccupante è la possibilità che gli additivi incorporati nei frammenti polimerici possano, quindi, fuoriuscire da questi ultimi e contaminare l'ambiente circostante. Ad esempio, per quanto riguarda l'ambiente marino, fonti di letteratura [14] suggeriscono che i processi di degradazione e frammentazione avvengano in misura e a velocità diverse a seconda dei diversi tipi di plastica e delle dimensioni degli oggetti coinvolti, e con velocità diverse a seconda che questi si trovino in acqua o esposti all'aria [15] complicando ulteriormente il quadro.

Conclusioni

Pur senza alcuna pretesa di trattarne in maniera esaustiva tutti gli aspetti, in questo breve articolo è stata sinteticamente discussa la problematica della formazione di microplastiche e nanoplastiche a partire da oggetti in materiale plastico, e il loro rilascio indiscriminato nell'ambiente. È evidente come l'abuso di materiali plastici (soprattutto nelle applicazioni a vita utile ridotta) sia uno dei principali fattori alla base del problema. Sarebbe quindi importante ridurre o meglio ancora eliminare l'uso di materie plastiche in talune applicazioni quali cosmetici, detersivi, prodotti farmaceutici, prodotti monouso, nonché intervenire il più possibile sui processi di produzione di fibre sintetiche e la gestione dei pellet, al fine di evitarne il rilascio nell'ambiente. D'altra parte, sono importanti anche le fonti di rilascio secondarie e non intenzionali, come ad esempio il lavaggio di capi in fibra sintetica e la normale usura di pneumatici e vernici. Queste fonti sembrerebbero essere assai più significative di quelle che fanno maggiormente parte dell'immaginario collettivo, come gli imballaggi. È comunque



vero che alcune microplastiche provengono comunque da questi ultimi prodotti e che, attraverso la loro frammentazione, si possano formare anche delle nanoplastiche. È quindi importante intervenire migliorando la resistenza all'usura dei materiali polimerici utilizzati per queste applicazioni. In ogni caso, è fondamentale anche migliorare lo sviluppo e la validazione di tecniche analitiche affidabili e ampiamente accettate per la determinazione dell'effettiva presenza e quantità di microplastiche e nanoplastiche nell'ambiente.

Bibliografia

1. Musa IO, Auta HS, Ilyasu US, Aransiola SA, Makun HA, Adabara NU, Olabisi PA, Ahmed A, Barasarathi J, Naga RM & Prasad R (2024) Micro-and Nanoplastics in Environment: Degradation, Detection, and Ecological Impact. *Int J Environ Res* 18: 1.
2. Yee MSL, Hii LW, Looi CK, Lim WM, Wong SF, Kok YY, Tan BK, Wong CY, Leong CO (2021) Impact of Microplastics and Nanoplastics on Human Health. *Nanomaterials* 11: 496.
3. Ali N, Katsouli J, Marczylo EL, Gant TW, Wright S, de la Serna JB (2024) The potential impacts of micro-and-nano plastics on various organ systems in humans. *EBioMedicine*, 99:104901.
4. Kopatz V, Wen K, Kovács T, Keimowitz AS, Pichler V, Widder J, Vethaak AD, Hollóczki O, Kenner L (2023) Micro- and Nanoplastics Breach the Blood–Brain Barrier (BBB): Biomolecular Corona's Role Revealed. *Nanomaterials* 13: 1404.
5. Forest V & Pourchez J (2023) Can the impact of micro-and nanoplastics on human health really be assessed using in vitro models? A review of methodological issues. *Environ Int* 178:108115
6. Gouin T, Cunliffe D, De France J, Fawell J, Jarvis P, Koelmans AA, Marsden P, Testai EE, Asami M, Bevan R, Carrier R, Cotruvo J, Eckhardt A, Ong CN (2021) Clarifying the absence of evidence regarding human health risks to microplastic particles in drinking-water: High quality robust data wanted. *Environ Int* 150:106141.
7. European Commission, Directorate-General for Environment, (2023). EU action against microplastics, Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2779/917472> (accessed 05 April 2024)
8. Kibria G, Nugegoda D, Yousuf Haroon AK (2022). Microplastic (MP) Pollution in the Context of Occurrence, Distribution, Composition and Concentration in Surface Waters and Sediments: A Global Overview. In: Muhammad Zaffar Hashmi Editor, *Microplastic Pollution: Environmental Occurrence and Treatment Technologies*. Springer Nature Switzerland
9. Boucher J, Friot D (2017) Primary microplastics in the oceans: A global evaluation of sources. International Union for Conservation of Nature (IUCN), Gland, Switzerland.
10. Nasrullah A, Basharat H, Hashmi MZ, Ashfaq M (2022) Chemical Technologies to Degrade Microplastic Pollution. In: Hashmi MZ, Ed., *Microplastic Pollution: Environmental Occurrence and Treatment Technologies*. Springer Nature, Switzerland. ISBN 978-3-030-89219-7
11. Rauert C, Rødland E S, Okoffo ED, Reid M.J, Meland S, Thomas, KV (2021) Challenges with quantifying tire road wear particles: recognizing the need for further refinement of the ISO technical specification. *Environ Sci Tech Lett* 8: 231-236



12. Giechaskiel B, Grigoratos T, Mathissen M, Quik J, Tromp P, Gustafsson M, Franco V, Dilara P (2024) "Contribution of Road Vehicle Tyre Wear to Microplastics and Ambient Air Pollution" Sustainability 16: 522
13. Lambert S, Wagner M (2016) Characterisation of nanoplastics during the degradation of polystyrene. Chemosphere 145: 265-268
14. Dimassi SN, Hahladakis JN, Yahia MND, Ahmad MI, Sayadi S Al-Ghouti M (2022) Degradation-fragmentation of marine plastic waste and their environmental implications: A critical review. Arab J Chem 15: 104262
15. La Mantia FP, Baiamonte M, Santangelo S, Scaffaro R, Mistretta MC (2023) Influence of Different Environments and Temperatures on the Photo-Oxidation Behaviour of the Polypropylene. Polymers 15: 74