

MICROPLASTICA E SALUTE PUBBLICA

RISCHI CONOSCIUTI E INTERVENTI POLITICI DELL'UE

UN RAPPORTO SU



IN COLLABORAZIONE CON



FEBBRAIO 2026

1. Sintesi.....	.....
2. Raccomandazioni per i responsabili politici .....	.....
3. Quadro legislativo dell'UE .....	.....
3.1 Altre leggi adottate e stato di attuazione .....	.....
3.2 Leggi e proposte in fase di elaborazione .....	.....
3.3 Lacune nella legislazione attuale in materia di microplastiche .....	.....
4. Linee guida politiche della Commissione europea 2024–2029 .....	.....
4.1 Priorità chiave .....	.....
4.2 Finanziamenti e iniziative di ricerca .....	.....
4.3 Obblighi di monitoraggio e rendicontazione .....	.....
5. Stato dell'arte scientifico .....	.....
5.1. Definizione e fonti delle micro- e nanoplastiche .....	.....
5.1.1. Microplastiche primarie e secondarie .....	.....
5.1.2. Accumulo nella catena alimentare .....	.....
5.2. Impatti sulla salute .....	.....
5.2.1. Principali vie di ingresso delle micro- e nanoplastiche nell'organismo umano .....	.....
5.2.2. Effetti noti delle micro- e nanoplastiche sulla salute umana .....	.....
5.2.3. Gli scienziati prendono posizione: micro- e nanoplastiche e cancro .....	.....
5.2.4. Gli scienziati prendono posizione: micro- e nanoplastiche e teratogenicità.....	.....
5.2.5. Gli scienziati prendono posizione: micro-nanoplastiche e salute del cervello .....	.....
5.2.6. Gli scienziati prendono posizione: micro-nanoplastiche nei bambini .....	.....
5.2.7. Lacune nella ricerca .....	.....
5.3. Interazioni sinergiche con altri inquinanti, virus e batteri .....	.....
5.3.1 Micro-nanoplastiche e additivi .....	.....
5.3.2 Micro-nanoplastiche e metalli pesanti .....	.....
5.3.3. Micro-nanoplastiche e POP .....	.....
5.3.4. Micro-nanoplastiche e pesticidi .....	.....
5.3.5. Micro-nanoplastiche e antibiotici .....	.....
5.3.6. Micro-nanoplastiche e batteri .....	.....
5.3.7. Micro-nanoplastiche e virus .....	.....
5.4. Sfide relative al rilevamento e alla misurazione .....	.....
5.4.1. Metodi analitici e limiti .....	.....
6. Allegati .....	.....
6.1 Interrogazioni scritte dei deputati al Parlamento europeo e risposte della Commissione europea .....	.....
6.2 Elenco degli articoli scientifici citati.....	.....
6.2.1. Consultati.....	.....
6.2.2. Citazioni.....	.....

1. Sintesi

Le microplastiche e le nanoplastiche rappresentano una crisi ambientale e di salute pubblica in continua escalation, con un corpus sempre più ampio di prove sottoposte a revisione tra pari che ne dimostrano la presenza nel sangue umano, nel latte materno, nei polmoni, nel tessuto cerebrale, nella placenta e persino nelle urine dei bambini. Queste particelle, una volta rilasciate nell'ambiente, sembrano praticamente impossibili da rimuovere e fungono da vettori di sostanze tossiche, tra cui interferenti endocrini, metalli pesanti, inquinanti organici persistenti (POP) e geni di resistenza agli antibiotici. L'esposizione avviene tramite ingestione, inalazione e contatto cutaneo, con effetti documentati che vanno dall'infiammazione e dallo stress ossidativo alla neurotossicità, alla tossicità riproduttiva, ai disturbi dello sviluppo e alla cancerogenicità. Le popolazioni particolarmente vulnerabili – tra cui bambini, donne in gravidanza e comunità in prima linea – sono esposte a rischi per la salute sproporzionati, mentre l'accumulo ambientale minaccia gli ecosistemi e la biodiversità.

Il ciclo politico dell'UE 2024–2029 offre un'opportunità storica per attuare misure sistemiche, basate sulla scienza e applicabili al fine di mitigare tali rischi. Il presente documento di sintesi fornisce una panoramica completa delle più recenti ricerche tossicologiche e individua azioni strategiche destinate ai responsabili politici per accelerare l'eliminazione graduale dei polimeri pericolosi, rafforzare la responsabilità dei produttori e migliorare la tutela della salute nell'ambito dei principali quadri normativi dell'UE. Sottolinea l'urgente necessità di integrare la prevenzione delle microplastiche nella futura legge sull'economia circolare, nel piano d'azione per l'industria chimica, nella strategia dell'UE per la bioeconomia e nella strategia europea per la resilienza idrica. Sebbene le recenti iniziative legislative — quali la restrizione REACH sulle microplastiche aggiunte intenzionalmente e la proposta di regolamento sulla dispersione dei pellet — siano lodevoli, permangono importanti lacune normative per quanto riguarda la formazione secondaria di microplastiche, il monitoraggio armonizzato e gli incentivi alla sostituzione con materiali più sicuri.

L'Europa deve dare l'esempio: l'UE ha il mandato e la responsabilità morale di promuovere disposizioni internazionali giuridicamente vincolanti in materia di controllo delle microplastiche, riprogettazione dei prodotti e monitoraggio sanitario. Un'azione coordinata tra gli Stati membri, ingenti investimenti nella ricerca e nell'innovazione e l'adozione di standard comuni per il rilevamento, la valutazione dei rischi e la bonifica saranno fondamentali per prevenire danni irreversibili alla salute pubblica e all'ambiente. È ora di agire – e l'UE deve essere audace, ambiziosa e intransigente nel suo impegno a proteggere le generazioni attuali e future dalla minaccia pervasiva delle microplastiche.

2. Raccomandazioni per i responsabili politici

- Una revisione sostanziale della **direttiva quadro sui rifiuti** dovrebbe costituire una priorità durante questo mandato europeo ed essere parte integrante del previsto atto sull'economia circolare. In particolare, **l'atto dovrebbe includere una revisione dei sistemi di responsabilità ambientale del produttore (EPR)** per rendere i produttori responsabili dell'intero ciclo di vita del prodotto, non solo della fase di fine vita – compreso il rilascio

di microplastiche durante le fasi di utilizzo e di degradazione. Pertanto, i sistemi di EPR devono finanziare attivamente la prevenzione dei rifiuti, il riutilizzo, la riparazione e la sostituzione dei materiali a base di polimeri, attraverso fondi e infrastrutture dedicati alla riparazione e al riutilizzo, nonché un sostegno mirato alla progettazione priva di microplastiche e misure politiche allineate.

- **Il Piano d'azione dell'industria chimica europea** dovrebbe includere, come priorità urgente, incentivi fiscali e misure tributarie volte a stimolare la domanda di sostanze chimiche pulite e ad accelerare la sostituzione dei polimeri pericolosi e persistenti. I futuri centri di innovazione e sostituzione dell'UE, così come il programma "Orizzonte Europa", dovrebbero mettere a disposizione maggiori fondi per accelerare lo sviluppo di sostituti chimici più sicuri e sostenibili e per sostenere la ricerca e lo sviluppo di sostituti chimici più sicuri, sostenibili e privi di microplastiche.
- Il piano di lavoro sui tessili e sull'abbigliamento, da adottare entro il 2027 ai sensi del **regolamento sulla progettazione ecocompatibile dei prodotti sostenibili (ESPR)**, dovrebbe includere misure concrete per prevenire l'inquinamento da microplastiche sia nei flussi di rifiuti che nelle acque, comprese misure concrete e vincolanti per mitigare **il rilascio di microplastiche durante l'intero ciclo di vita dei prodotti tessili** — dalla produzione delle fibre al lavaggio e allo smaltimento. Tali misure devono includere norme relative al rilascio di microfibre, criteri di durabilità, tecnologie di filtrazione obbligatorie e protocolli di progettazione finalizzati alla riciclabilità.
- Le azioni faro incluse nella **Strategia dell'UE per la resilienza idrica**, compresa la revisione della **direttiva sulle acque marine** (entro il 2027), dovrebbero affrontare con urgenza l'inquinamento da microplastiche dei corpi idrici, trattandolo come un grave rischio per la salute e l'ambiente, integrando obiettivi urgenti e applicabili nelle **politiche relative alle acque dolci e marine**.
- In particolare, nel discutere le iniziative di cui sopra o altre proposte pertinenti, si dovrebbero proporre e sostenere le seguenti azioni:
 - Accelerare i divieti relativi alle fonti di microplastiche ad alto rischio
 - Rimuovere le barriere di mercato per materiali e sistemi alternativi, compresi i **materiali a base biologica e biodegradabili** (ad esempio imballaggi ricavati da scarti agricoli o fibre naturali), attraverso norme armonizzate e il sostegno previsto dalla **Strategia per la bioeconomia**.
 - **Evitare costi regressivi di gestione dei rifiuti** a carico dei cittadini dell'UE passando a **un finanziamento basato sulla responsabilità del produttore** nell'ambito della Direttiva sulle acque (WFD), anziché a tasse generali sulla plastica a carico dei consumatori (ad esempio, ripensare l'attuazione della **Direttiva sulla plastica monouso** in quest'ottica).
 - **Rafforzare i finanziamenti alla ricerca** nell'ambito del **quadro finanziario pluriennale post-2027**, con un bando specifico nell'ambito dei programmi che succederanno a «Orizzonte» per la ricerca interdisciplinare sulle microplastiche in ambito sanitario e ambientale.
 - **Garantire una forte leadership dell'UE nel Trattato globale sulla plastica**, con il mandato di perseguire disposizioni giuridicamente vincolanti sulla produzione, il rilascio e il monitoraggio delle microplastiche — in particolare in vista **dell'INC-5.2 a Ginevra (agosto 2025)**.

- **Migliorare** le campagne di **sensibilizzazione e di educazione del pubblico** sui rischi per la salute e l'ambiente legati alle microplastiche, specialmente per i gruppi vulnerabili.

3. Quadro legislativo dell'UE

La questione delle microplastiche è affrontata attraverso il **Piano d'azione** dell'UE per l'economia circolare e il **Piano d'azione «Zero Inquinamento»**, che mirano a ridurre le emissioni entro il 2030.

Il **Piano d'azione «Zero Inquinamento»** continua a fungere da quadro di riferimento fondamentale per raggiungere livelli di inquinamento «non più nocivi» entro il 2050. Entro il 2030, l'obiettivo della Commissione è ridurre le emissioni di microplastiche di almeno il **30 %**, parallelamente a una **riduzione del 50 % dei rifiuti di plastica in mare** — obiettivi esplicitamente sanciti in questo mandato politico rinnovato. Nel 2023 l'UE ha adottato una **restrizione REACH** che vieta l'aggiunta intenzionale di microplastiche nei prodotti e ha proposto un regolamento sulla **prevenzione della dispersione dei pellet**, mirato alle emissioni accidentali; entrambe le misure contribuiscono all'obiettivo di riduzione del 30 % entro il 2030. Tra i principali cambiamenti legislativi figurano gli aggiornamenti alla **direttiva sul trattamento delle acque reflue urbane** e alla **direttiva sull'acqua potabile**, volti a introdurre il monitoraggio e la mitigazione delle microplastiche nelle fonti idriche. Nel loro insieme, queste misure sono concepite non solo per arginare la dispersione nell'ambiente, ma anche per promuovere la salute pubblica, alla luce delle prove emergenti relative alla presenza di microplastiche nei tessuti umani (ad esempio sangue, latte materno, organi) e richiedendo azioni preventive lungo l'intero ciclo di vita dei prodotti.

3.1 Altre leggi adottate e stato di attuazione

Ulteriori strumenti legislativi esistenti che affrontano il tema delle microplastiche sono:

- **Direttiva quadro sulla strategia marina:** adottata nel 2008, la [Direttiva quadro sulla strategia marina \(MSFD\)](#) svolge un ruolo chiave nella lotta all'inquinamento marino, compresa la crescente minaccia rappresentata dalle microplastiche. In quanto principale quadro giuridico dell'UE per la protezione degli ecosistemi marini, la MSFD mira a raggiungere il buono stato ecologico (GES) delle acque marine attraverso strategie nazionali coordinate. Tra i suoi 11 descrittori ambientali, il descrittore 10 (D10) si concentra specificamente sui rifiuti marini, rendendolo direttamente rilevante per la questione delle microplastiche. La direttiva, rafforzata dalla [decisione \(UE\) 2017/848 della Commissione](#), stabilisce chiari requisiti di monitoraggio per le microplastiche (D10C2), insieme alle macroplastiche e al loro impatto sulla vita marina. Questo approccio strutturato e armonizzato fornisce una base fondamentale affinché gli Stati membri dell'UE possano valutare, monitorare e attuare misure efficaci per ridurre l'inquinamento da microplastiche nei mari europei.
- **Regolamento sui prodotti fertilizzanti:** Il Piano d'azione per l'economia circolare della Commissione europea (2015) e la successiva Strategia sulla plastica attribuiscono priorità alla riduzione delle microplastiche, comprese quelle presenti nei fertilizzanti, per affrontare i rischi ambientali e sanitari

rischi. Nei fertilizzanti, le microplastiche fungono da additivi tecnici (ad esempio, agenti antiagglomeranti) o sono presenti nei fertilizzanti a rilascio controllato (CRF), dove i rivestimenti polimerici consentono un rilascio mirato dei nutrienti. Mentre i CRF sono esenti ai sensi del [regolamento UE sui prodotti fertilizzanti](#) (FPR – entrato in vigore il 16 luglio 2022), gli additivi tecnici dovranno soddisfare i criteri di biodegradabilità entro il 2026, al termine di un periodo di transizione che consentirà all'industria di adeguarsi. Nello specifico, l'FPR mira a standardizzare l'uso sicuro e il commercio dei fertilizzanti in tutta l'UE, affrontando al contempo il problema dell'inquinamento da microplastiche e plastica. Il regolamento stabilisce limiti rigorosi per le impurità presenti nei fertilizzanti, fissando un tetto massimo di 3 g/kg di sostanza secca per la plastica macroscopica, il vetro e i metalli (con un limite individuale di 5 g/kg per la plastica). Tali soglie saranno ulteriormente inasprite, scendendo a 2,5 g/kg entro luglio 2026. Entro il 16 luglio 2029, il valore limite di 2,5 g/kg di sostanza secca per le materie plastiche di dimensioni superiori a 2 mm dovrà essere rivalutato al fine di tenere conto dei progressi compiuti in materia di raccolta separata dei rifiuti organici (Categoria di materiale componente - CMC - 2). Inoltre, ai sensi del FPR, i produttori devono attuare rigorosi controlli di qualità, scartando qualsiasi materia prima per fertilizzanti sospettata di superare i limiti relativi alla plastica. La formazione del personale è obbligatoria per identificare i materiali pericolosi e garantire la conformità. Il regolamento sottolinea l'impegno dell'UE a ridurre la contaminazione da plastica in agricoltura, mantenendo al contempo la sicurezza dei prodotti e gli standard ambientali. I prodotti fertilizzanti che non rientrano nel regolamento UE sui prodotti fertilizzanti sono disciplinati dal regolamento REACH (vedi sotto).

- **Restrizioni REACH sulle microplastiche aggiunte intenzionalmente e l'estensione ai polimeri liquidi:** Il [regolamento REACH](#) relativo alla registrazione, alla valutazione, all'autorizzazione e alla restrizione delle sostanze chimiche (REACH) è la principale normativa dell'UE volta a proteggere la salute umana e l'ambiente dai rischi che possono essere causati dalle sostanze chimiche. La Commissione europea ha introdotto una restrizione sulle microplastiche, adottata il 25 settembre 2023 ([Regolamento 2023/2055](#)), che vieta l'aggiunta intenzionale di microparticelle di polimeri sintetici nei prodotti, compresi i cosmetici. Queste microplastiche — definite come particelle di dimensioni inferiori a 5 mm o che soddisfano specifici criteri di dimensione e concentrazione ($\geq 0,01\%$ in peso) — persistono nell'ambiente, minacciando gli ecosistemi e la salute umana. Il regolamento mira a prevenire 500.000 tonnellate di inquinamento da microplastiche nell'arco di 20 anni, in linea con il Piano «Zero Inquinamento» dell'UE e con gli obiettivi dell'economia circolare. Il divieto si applica alle microplastiche utilizzate nei cosmetici (ad esempio, microsfere, glitter) e in altri beni di consumo, con scadenze di adeguamento scaglionate. Ad esempio, i prodotti da risciacquo devono conformarsi entro il 2027, mentre i prodotti per il trucco e per le unghie hanno tempo fino al 2035, a condizione che rechino etichette di avvertenza a partire dal 2031. Le esenzioni includono i polimeri naturali, biodegradabili o altamente solubili, nonché quelli incorporati in modo permanente in matrici solide.
- **Direttiva sulla plastica monouso (SUPD):** La plastica monouso (SUP) è progettata per un uso breve prima dello smaltimento, eppure le sue conseguenze ambientali e sanitarie sono gravi e di vasta portata. Questi articoli — che vanno dagli imballaggi alimentari alle posate usa e getta — contribuiscono in modo determinante all'inquinamento marino; alcuni studi dimostrano infatti che sono significativamente più propensi a inquinare gli oceani

rispetto alle alternative riutilizzabili. Nell'UE, i primi 10 articoli in plastica monouso più frequentemente abbandonati, insieme agli attrezzi da pesca abbandonati, rappresentano il 70% di tutti i rifiuti marini, sottolineando il loro ruolo sproporzionato nella crisi globale della plastica. La [direttiva UE sulla plastica monouso](#) attua misure mirate su misura per prodotti specifici, garantendo un'azione proporzionata ed efficace tenendo conto della disponibilità di alternative sostenibili. La direttiva si concentra su 10 articoli chiave responsabili di un significativo inquinamento da plastica, tra cui bastoncini per cotton fioc, posate, piatti, cannucce, bastoncini per mescolare, bastoncini per palloncini, contenitori per alimenti e bevande, mozziconi di sigaretta, sacchetti di plastica, confezioni, involucri, salviettine umidificate e articoli igienici. Affrontando questi prodotti ad alto impatto, il regolamento mira a ridurre i rifiuti di plastica alla fonte e a promuovere la transizione verso soluzioni riutilizzabili ed ecocompatibili. Le misure dell'UE rivolte alla plastica monouso (SUP) possono svolgere un ruolo importante nella riduzione dell'inquinamento da microplastiche, affrontando le principali fonti di rifiuti marini. Vietando o limitando articoli ad alto impatto come bastoncini per auricolari, posate e contenitori per alimenti – che, come detto, rappresentano il 70% dei rifiuti sulle spiagge

– la direttiva sulla plastica monouso impedisce che questi prodotti si degradino in microplastiche persistenti. Strategie aggiuntive, quali i requisiti di progettazione (ad esempio, tappi per bottiglie fissati al corpo della bottiglia), gli obiettivi di riciclaggio (90% per le bottiglie entro il 2029) e i sistemi di responsabilità del produttore, possono limitare ulteriormente la dispersione della plastica negli ecosistemi. Queste norme non solo mitigano il danno ambientale diretto, ma potrebbero anche accelerare la transizione verso un'economia circolare, riducendo la produzione a lungo termine di microplastiche derivanti dai rifiuti di plastica degradati. La Commissione valuterà la direttiva SUP entro il 3 luglio 2027, utilizzando i dati e le prove disponibili per determinare se i suoi obiettivi e le sue misure siano stati attuati efficacemente in tutti gli Stati membri.

- **Regolamento sulla limitazione delle microplastiche:** [il regolamento \(UE\) 2023/2055](#), in vigore dal 17 ottobre 2023, mira a limitare le microparticelle di polimeri sintetici, comunemente note come microplastiche, che vengono aggiunte intenzionalmente ai prodotti. Queste particelle si trovano in un'ampia gamma di articoli di uso quotidiano, tra cui cosmetici, detersivi, fertilizzanti, dispositivi medici e superfici sportive sintetiche. Il regolamento mira a ridurre le emissioni ambientali di microplastiche vietandone l'uso in tali prodotti. Il regolamento stabilisce periodi transitori scaglionati per le diverse categorie di prodotti, al fine di concedere alle industrie il tempo necessario per adeguarsi. Ad esempio, i cosmetici da risciacquo privi di microsfele saranno soggetti a divieto a partire da ottobre 2027, mentre i detersivi e i prodotti simili hanno tempo fino a ottobre 2028. Scadenze più lunghe si applicano ai prodotti agricoli (ottobre 2029), alle superfici sportive sintetiche (ottobre 2031) e ad alcuni prodotti di trucco (ottobre 2035). Queste tempistiche garantiscono un approccio graduale alla conformità, mantenendo al contempo gli obiettivi di protezione ambientale. L'UE ha adottato il regolamento specificamente per affrontare l'inquinamento da microplastiche, seguendo le raccomandazioni dell'Agenzia europea per le sostanze chimiche (ECHA), la quale ha concluso che l'uso intenzionale di «microparticelle di polimeri sintetici» (SPM), con conseguente rilascio nell'ambiente, rappresenta un rischio per l'ambiente che non è adeguatamente controllato. Le SPM, la cui aggiunta intenzionale è vietata, devono essere solide e

polimeri sintetici oppure polimeri naturali che siano stati modificati chimicamente, non degradabili e non solubili, oltre a contenere atomi di carbonio. Sono quindi esclusi: i polimeri liquidi, i polimeri naturali, i polimeri degradabili e solubili o i polimeri che non contengono atomi di carbonio. Inoltre, per essere considerate SPM, le particelle polimeriche solide devono essere: contenute in particelle in una concentrazione pari o superiore all'1% del peso totale della particella contenente il polimero o i polimeri, oppure formare un rivestimento continuo attorno alle particelle (comprese quelle con un nucleo liquido, come le vescicole); in questo caso non si applica alcun limite di concentrazione.

3.2 Legislazione e proposte in fase di elaborazione

Questa sezione illustra le principali proposte e gli sviluppi normativi che mirano a ridurre le emissioni di microplastiche nei sistemi idrici e nelle catene di approvvigionamento industriali, con particolare attenzione alla tutela della salute umana e al raggiungimento degli obiettivi dell'UE relativi a "Zero Inquinamento" e al "Green Deal":

- **Microplastiche nell'acqua potabile (revisioni della direttiva UE sull'acqua potabile):** la [direttiva \(UE\) 2020/2184](#), nota anche come **direttiva sull'acqua potabile (DWD)**, è la **risposta all'iniziativa dei cittadini europei «Right2Water»** ed è stata adottata nel dicembre 2020. Essa mira a garantire acqua potabile sicura per tutti, in particolare per i gruppi vulnerabili, aggiornando gli standard di qualità dell'acqua e affrontando il problema degli inquinanti quali gli interferenti endocrini. Gli Stati membri erano tenuti a recepire la direttiva nel diritto nazionale entro gennaio 2023, applicandola a tutte le acque destinate al consumo umano, all'uso domestico o alla produzione alimentare, indipendentemente dalla loro fonte o dal metodo di distribuzione. Le riforme rafforzano la tutela della salute pubblica e promuovono un accesso equo all'acqua pulita in tutta l'UE. Conformemente all'articolo 13 (Monitoraggio) della direttiva, il 16 maggio 2024 la Commissione ha notificato agli Stati membri una [decisione delegata](#) relativa a una metodologia per la misurazione delle microplastiche nell'acqua destinata al consumo umano. Ciò consentirà agli Stati membri di misurare le microplastiche nell'acqua potabile in modo armonizzato, poiché l'uso di metodi diversi per la misurazione delle microplastiche nell'acqua potabile ha reso molto difficile il confronto e l'interpretazione dei risultati del monitoraggio. L'istituzione di una metodologia armonizzata a livello dell'UE da parte della Commissione ha l'obiettivo di aiutare gli Stati membri ad acquisire conoscenze sulla presenza di microplastiche nella loro catena di approvvigionamento idrico. Tale metodologia è stata sviluppata in vista dell'inclusione delle microplastiche nell'elenco di sorveglianza della DWD, come ribadito nell'articolo 13. L'elenco di sorveglianza riguarda sostanze o composti che destano preoccupazione per la popolazione o la comunità scientifica per motivi di salute, quali i prodotti farmaceutici, i composti che alterano il sistema endocrino e le microplastiche. L'articolo 19 (Valutazione) stabilisce inoltre che «la Commissione, entro il 12 gennaio 2029 e successivamente, se del caso, presenta al Parlamento europeo e al Consiglio una relazione sulla potenziale minaccia rappresentata dalle microplastiche,

prodotti farmaceutici e, se necessario, altri contaminanti di nuova preoccupazione, nonché sui relativi potenziali rischi per la salute».

- **Proposta di regolamento sulla prevenzione delle perdite di granuli di plastica per ridurre l'inquinamento da microplastiche:** il 16 ottobre 2023 la Commissione europea ha presentato una [proposta di nuovo regolamento volta a prevenire le perdite di granuli di plastica](#), una delle principali fonti di inquinamento da microplastiche, introducendo misure obbligatorie lungo l'intera catena di approvvigionamento. I granuli di plastica, che rappresentano una quota significativa delle emissioni accidentali di microplastiche (52.000–184.000 tonnellate all'anno), danneggiano gli ecosistemi e potenzialmente la salute umana. La linea d'azione preferita combina una misurazione standardizzata delle perdite (Opzione 1) con requisiti obbligatori di prevenzione (Opzione 2b), prevedendo norme meno rigide per le microimprese e le piccole imprese al fine di agevolarne la conformità. Questo approccio è stato scelto per allinearsi al feedback delle parti interessate, compreso il sostegno dell'industria a norme UE armonizzate, puntando al contempo a una riduzione del 60–83% delle perdite di granuli, contribuendo così all'obiettivo più ampio dell'UE di ridurre le emissioni di microplastiche del 30% entro il 2030. Il regolamento bilancia i benefici ambientali con le considerazioni economiche, prevedendo un risparmio sui costi di bonifica e un impulso a settori quali il turismo e la pesca, pur comportando per le imprese costi annuali compresi tra 376 e 491 milioni di euro. Le PMI, che dominano alcune parti della catena di approvvigionamento, vedranno ridotti gli oneri grazie a requisiti su misura e a un potenziale sostegno finanziario. Le autorità pubbliche sosterranno costi di applicazione minimi, compensati dai danni ambientali evitati. La proposta garantisce la proporzionalità concentrandosi sulle perdite evitabili e mantenendo la competitività dell'UE, con un impatto minimo sul fatturato del settore della plastica (0,13%). I progressi saranno monitorati ogni due anni tramite la relazione di monitoraggio «Zero Pollution», che porterà a una revisione post-2030. Il regolamento affronta l'inquinamento transfrontaliero causato dai pellet in modo più efficace rispetto alle misure nazionali, garantendo condizioni di parità e rafforzando gli impegni dell'UE nell'ambito del Green Deal e del Piano d'azione per l'economia circolare. Concentrandosi su una fonte critica di inquinamento, l'iniziativa sottolinea la leadership dell'UE nella lotta alle microplastiche, salvaguardando al contempo le PMI e la coerenza del settore.
- Il Trattato globale sulla plastica è un accordo internazionale attualmente in fase di negoziazione tra 175 paesi a seguito della conclusione dell'Assemblea delle Nazioni Unite per l'Ambiente nel marzo 2022, con l'obiettivo di elaborare uno strumento internazionale giuridicamente vincolante sull'inquinamento da plastica, anche nell'ambiente marino. La posizione dell'UE durante i negoziati, con particolare riferimento alle microplastiche, è che queste particelle rappresentano una minaccia ambientale significativa, anche in considerazione del fatto che assorbono inquinanti tossici e contaminano la vita marina, con ripercussioni sulla salute umana e sulla biodiversità. È stato chiaramente affermato che le microplastiche aggiunte intenzionalmente ai prodotti dovrebbero essere vietate, al fine di prevenire l'inquinamento da plastica negli ambienti marini e in altri contesti, il che è fondamentale per affrontare la perdita di biodiversità.

3.3 Lacune nella legislazione vigente in materia di microplastiche

L'UE ha compiuto progressi significativi nella lotta all'inquinamento da microplastiche attraverso una serie di misure legislative. Tuttavia, permangono lacune critiche nel quadro normativo esistente, che limitano l'efficacia di tali sforzi:

- Ai sensi della **direttiva quadro sulla strategia marina (MSFD)**, permangono difficoltà nell'armonizzazione dei metodi di rilevamento per le particelle inferiori a 300 micron e nella definizione di soglie scientificamente solide relative al GES per l'inquinamento da plastica. L'obiettivo finale è allineare i dati di monitoraggio alle azioni politiche per ridurre efficacemente l'impatto dei rifiuti marini. Inoltre, alcuni studi hanno evidenziato: limiti analitici, in particolare la contaminazione e la mancanza di protocolli standardizzati che ostacolano una misurazione accurata, specialmente per le particelle <300 µm; lacune nei dati, in particolare il monitoraggio limitato delle microplastiche nei sedimenti e sulle spiagge, nonostante il loro ruolo di serbatoi a lungo termine; infine, l'eterogeneità, ovvero la variabilità spaziale e temporale, che complica l'analisi delle tendenze e richiede piani di campionamento solidi (F. Galgani et al., 2024¹).
- Il **regolamento sui prodotti fertilizzanti (FPR)** affronta la questione delle microplastiche nei fertilizzanti, ma prevede deroghe per i fertilizzanti a rilascio controllato (CRF), che continuano a rilasciare polimeri nell'ambiente. Sebbene gli additivi tecnici debbano soddisfare i criteri di biodegradabilità entro il 2026, l'applicazione della normativa si basa in larga misura sull'autoregolamentazione del settore e sulla formazione del personale, sollevando preoccupazioni circa la conformità coerente. Inoltre, l'attenzione del regolamento sulle plastiche macroscopiche (≥2 mm) trascura le particelle più piccole che potrebbero comunque comportare rischi ecologici.
- Le restrizioni del **regolamento REACH** sulle microplastiche aggiunte intenzionalmente rappresentano un importante passo avanti, ma emergono alcune lacune dovute alle scadenze di conformità scaglionate (che si estendono fino al 2035 per alcuni cosmetici) e alle esenzioni per determinati polimeri (ad esempio, quelli biodegradabili o solubili). Queste scappatoie ritardano la piena attuazione e consentono, nel frattempo, il continuo rilascio nell'ambiente.
- La **direttiva sulla plastica monouso (SUPD)** si concentra sui rifiuti di macroplastica, ma manca di disposizioni specifiche per affrontare il problema delle microplastiche secondarie generate dalla degradazione degli articoli vietati. Sebbene i requisiti di progettazione e gli obiettivi di riciclaggio contribuiscano a ridurre le perdite, la direttiva non impone esplicitamente misure volte a prevenire la frammentazione in microplastiche.
- Il **regolamento sulla restrizione delle microplastiche (UE 2023/2055)** vieta le microplastiche aggiunte intenzionalmente, ma esclude i polimeri liquidi e quelli naturali, che potrebbero comunque contribuire all'inquinamento. Le scadenze gradualistiche, sebbene pragmatiche per l'adeguamento dell'industria, prolungano l'esposizione ambientale e le conseguenti ripercussioni sulla salute.

Le proposte in fase di elaborazione, come la metodologia armonizzata per la misurazione delle microplastiche nell'acqua potabile e il regolamento sulla perdita di pellet, sono promettenti ma non ancora operative.

¹ Cfr.: <https://ricerca.ogs.it/retrieve/af038e31-78d9-4e3e-8f87-9d04a399a227/1-s2.0-S0964569124002394-main.pdf>

I ritardi nell'adozione e il recepimento disomogeneo tra gli Stati membri potrebbero comprometterne l'impatto.

Le difficoltà nell'applicazione della normativa aggravano ulteriormente queste lacune. I livelli divergenti di conformità tra gli Stati membri, uniti a meccanismi di monitoraggio e rendicontazione insufficienti, indeboliscono il quadro normativo complessivo. Per colmare queste lacune sono necessari una maggiore armonizzazione, tempistiche più rapide e un ambito di applicazione esteso a tutte le fonti di microplastiche, compresa la frammentazione secondaria e i polimeri esentati.

4. Linee guida politiche della Commissione europea 2024– 2029

4.1 Priorità chiave

Le sette priorità politiche strategiche della Commissione europea nell'ambito della seconda Commissione Von der Leyen, presentate nelle sue Linee guida politiche e nei successivi programmi di lavoro, mirano a rafforzare la visione dell'UE di un'economia solida e sostenibile, sostenuta dalla salute pubblica e dalla resilienza ambientale.

Sebbene non costituisca un titolo a sé stante, **l'azione sulle microplastiche** è integrata nelle ambizioni ambientali e di economia circolare del Green Deal e nella priorità *relativa alla qualità della vita*.

Queste misure sono in linea con la priorità di sostenere la qualità della vita attraverso la tutela **dell'acqua, del cibo e** degli ecosistemi **naturali** e sono parte integrante del più ampio Green Deal e della transizione verso l'economia circolare, che rientrano nelle priorità della Commissione.

Tutte queste misure offrono l'opportunità di adottare soluzioni concrete per prevenire la produzione di microplastiche alla fonte, adottare standard comuni per la misurazione dei livelli di inquinamento e garantire l'uso e il riutilizzo in sicurezza dell'acqua per l'irrigazione agricola:

- **Legge sull'economia circolare:** fondamentale per questo obiettivo sarà la **legge sull'economia circolare**, un prossimo atto legislativo volto ad accelerare la transizione verso un'economia circolare in Europa. La sua introduzione è prevista per il 2026 e si baserà su iniziative e strategie esistenti. La legge mira a migliorare l'efficienza delle risorse, ridurre i rifiuti e promuovere il riutilizzo, il riciclaggio e la rigenerazione dei materiali, rafforzando in ultima analisi la competitività e la sostenibilità dell'UE. La legge tratterà probabilmente la riduzione dei rifiuti, il riciclaggio e il recupero delle risorse, includendo potenzialmente sistemi obbligatori di raccolta differenziata e migliori pratiche di gestione dei rifiuti. Sono inoltre previsti requisiti più rigorosi in materia di progettazione dei prodotti, tra cui la durata, la riciclabilità e l'uso di materiali riciclati.
- **Piano d'azione per l'industria chimica:** secondo il piano d'azione, la Commissione istituirà, insieme agli Stati membri e alle parti interessate, un'Alleanza per le sostanze chimiche critiche per affrontare i rischi legati alla chiusura di impianti nel settore.

L'Alleanza individuerà i siti produttivi critici che necessitano di sostegno politico e affronterà questioni commerciali quali le dipendenze e le distorsioni della catena di approvvigionamento. Allineerà le priorità di investimento, coordinerà i progetti dell'UE e quelli nazionali, compresi i progetti importanti di interesse comune europeo (IPCEI), e sosterrà i siti produttivi critici dell'UE per stimolare l'innovazione e la crescita regionale.

- **La strategia europea per la resilienza idrica:** alcuni degli obiettivi chiave della strategia, da raggiungere attraverso l'attuazione di diverse iniziative faro, dovrebbero riguardare le microplastiche, in particolare:
 - **Ripristinare e proteggere il ciclo dell'acqua:** ciò comporta azioni quali il miglioramento della ritenzione idrica del suolo, la lotta contro gli inquinanti quali i PFAS e le microplastiche e la garanzia del deflusso dell'acqua dalla sorgente al mare.
 - **Garantire acqua pulita e a prezzi accessibili per tutti:** questo obiettivo comprende la garanzia dell'accesso all'acqua potabile sicura e ai servizi igienico-sanitari, il miglioramento del trattamento delle acque e la lotta alla scarsità idrica nelle regioni vulnerabili.
- **Strategia per la bioeconomia:** La **strategia dell'UE per la bioeconomia** offre un percorso fondamentale per ridurre la dipendenza dai materiali di origine fossile e arginare l'inquinamento da microplastiche promuovendo **l'uso sostenibile delle risorse biologiche**. Promuovendo la produzione e la diffusione di **alternative** alla plastica convenzionale **di origine biologica, biodegradabili e non tossiche**, la strategia sostiene direttamente gli sforzi dell'UE volti a eliminare gradualmente i materiali persistenti e inquinanti in settori quali l'imballaggio, il tessile e l'agricoltura. Aggiornata nel 2018 e attualmente in fase di revisione, la strategia pone l'accento sulla circolarità, sull'efficienza delle risorse e sull'innovazione, allineandosi agli obiettivi più ampi dell'UE quali la neutralità climatica entro il 2050, il Green Deal e gli obiettivi «Zero Pollution». Nell'ambito di questa visione, la bioeconomia svolge un ruolo chiave nello sviluppo di sostituti sicuri ai prodotti che emettono microplastiche, nel sostegno alle economie rurali e nell'accelerazione di soluzioni basate sulle biotecnologie compatibili con gli obiettivi ambientali e di salute umana. Il processo di consultazione in corso e i prossimi workshop mirati con le parti interessate definiranno ulteriormente come la strategia possa sfruttare al meglio il pieno potenziale della bioeconomia
— non solo come motore della crescita verde, ma anche come leva strategica per affrontare l'inquinamento da microplastiche alla fonte.

4.2 Finanziamenti e iniziative di ricerca

Comprendere e affrontare gli **impatti sulla salute dell'inquinamento da microplastiche** richiede un programma di ricerca solido e coordinato in tutta l'UE. Attraverso **«Orizzonte Europa»** e i quadri complementari degli Stati membri, l'UE sta investendo in iniziative scientifiche che esplorano le vie di esposizione alle microplastiche, gli effetti tossicologici e gli impatti a livello di ecosistema, rafforzando al contempo l'armonizzazione dei dati e la cooperazione transfrontaliera. Questi sforzi sono fondamentali per orientare l'elaborazione di politiche basate su dati concreti e sostenere l'innovazione. In particolare, la ricerca su questi temi si concretizza attraverso:

- **Progetti di «Orizzonte Europa» sulle microplastiche e la salute:**

- Nell'ambito del programma di ricerca **«Orizzonte Europa»**, viene data particolare importanza ai progetti che affrontano le vie di esposizione alle microplastiche e i rischi per la salute ad esse associati. Tra le iniziative in corso di rilievo figurano: **PlastHealth**, che studia il trasferimento e gli effetti dell'esposizione alle microplastiche a livello di ecosistema utilizzando esperimenti in mesocosmo su specie modello (ad esempio cozze, pesci, crostacei), integrando analisi biochimiche, istopatologiche e del microbioma, e offrendo nuove conoscenze sui biomarcatori di tossicità e sui disturbi dell'ecosistema.²
- I bandi di Orizzonte nell'ambito del tema del 2025 **«Verso una valutazione completa dell'inquinamento da rifiuti acquatici»**, incentrati sul colmare le lacune nei dati relativi agli ambienti fluviali, d'acqua dolce, costieri e marini; sulla standardizzazione dei protocolli analitici; sul miglioramento del campionamento autonomo; e sull'integrazione dei dati in piattaforme conformi ai principi FAIR come EMODnet e l'European Data Twin of the Ocean.³
- Questi progetti sono sostenuti da un crescente numero di bandi dedicati **alla scienza dei cittadini** e alle infrastrutture di dati aperte e partecipative, in linea con gli obiettivi più ampi dell'UE per **un'Unione europea dei dati**, al fine di consentire la collaborazione transfrontaliera nella ricerca e la trasparenza pubblica.
- **Quadro di collaborazione tra gli Stati membri:**
 - A integrazione dello sforzo centrale di ricerca a livello dell'UE vi è **un quadro di collaborazione tra gli Stati membri**, concepito per allineare le infrastrutture di ricerca nazionali — quali le reti di monitoraggio ambientale, i sistemi di sorveglianza sanitaria e i flussi di finanziamento per la ricerca e lo sviluppo — al fine di consentire studi pilota transfrontalieri. Ciò include meccanismi per la condivisione dei dati, la standardizzazione dei materiali di riferimento e l'interoperabilità delle metodologie analitiche tra i laboratori nazionali, in linea con gli obiettivi di inquinamento zero e di economia circolare.
 - I finanziamenti previsti attraverso questi canali sono ingenti: ad esempio, l'Iniziativa «Clean Oceans»⁽⁴⁾ (sebbene non finanziata dal bilancio dell'UE) ha mobilitato 4 miliardi di euro per progetti SULLE MACRO e microplastiche nel Sud del mondo, dimostrando l'effetto leva internazionale e il potenziale modello di cofinanziamento. Le banche di sviluppo hanno fissato un obiettivo congiunto di 3 miliardi di euro per il periodo 2026–2030 per contrastare l'inquinamento da plastica negli oceani.⁵

² Si veda la pagina del progetto:

https://cordis.europa.eu/project/id/101180609/it?utm_source=chatgpt.com.

³ Vedi: https://cordis.europa.eu/programme/id/HORIZON_HORIZON-CL6-2025-01-ZEROPOLLUTION-04?utm_source=chatgpt.com.

⁴ Per una descrizione più approfondita dell'iniziativa, consultare: <https://www.eib.org/en/publications/the-clean-oceans-initiative>.

⁵ Vedi: <https://www.eib.org/en/press/all/2025-235-public-development-banks-launch-clean-oceans-initiative-2-0-after-original-initiative-delivered-on-its-target-ahead-of-time>.

4.3 Obblighi di monitoraggio e rendicontazione

Un monitoraggio solido e armonizzato è essenziale per comprendere e mitigare i rischi per la salute e l'ambiente rappresentati dalle microplastiche. L'UE sta rafforzando i propri obblighi in materia di raccolta dati e rendicontazione per colmare le lacune critiche nelle conoscenze, migliorare l'applicazione della normativa e sostenere l'elaborazione di politiche basate su dati scientifici in tutti gli Stati membri:

- **Raccolta armonizzata dei dati a livello dell'UE:**
 - Un impegno fondamentale della politica della Commissione per il periodo 2024–2029 è quello di rendere operativa **una raccolta di dati armonizzata a livello UE** sulle microplastiche in tutte le matrici ambientali e di esposizione umana. Ciò affronta l'attuale frammentazione: come evidenziato nella direttiva quadro sulla strategia marina, gli standard di monitoraggio variano notevolmente tra gli Stati membri e gli ecosistemi, e i dati relativi alle acque dolci e ai laghi rimangono particolarmente frammentari. Per ovviare a tale situazione, la Commissione sostiene gli sforzi di standardizzazione nell'ambito del **quadro «Zero Pollution Monitoring and Outlook»**, comprese nuove liste di monitoraggio ai sensi della direttiva quadro sulle acque e della direttiva sulle acque di balneazione che includeranno le microplastiche come inquinante prioritario, insieme ai PFAS e ai microinquinanti provenienti dai prodotti per la cura personale.
 - Tra i mandati specifici figurano:
 - **Monitoraggio regolare delle microplastiche nell'acqua potabile**, supportato da revisioni provvisorie della direttiva sull'acqua potabile⁶ che impongono alle autorità nazionali di fissare soglie di rilevamento, criteri di segnalazione e piani di bonifica quando i livelli superano i limiti di sicurezza;
 - **Una rendicontazione rafforzata sul trattamento delle acque reflue**: entro il 2035, i comuni con più di 1.000 abitanti dovranno rimuovere la materia organica, estendendo tale obbligo alla rimozione di azoto e fosforo entro il 2045, e adottare nuove misure essenziali per rilevare e quantificare **le microplastiche e i micropolluenti** durante i processi di trattamento. Queste norme sono legate ai sistemi di responsabilità estesa del produttore (EPR) che impongono alle aziende cosmetiche e farmaceutiche di coprire circa l'80 % dei costi di potenziamento del trattamento;⁷
 - **Indicatori di prestazione e monitoraggio digitale**, compresi gli obblighi di interoperabilità per le banche dati ambientali collegate a EMODnet,⁸ i principi dell'UE in materia di dati aperti e il Portale dei dati dell'UE,⁹ che consentono cicli di rendicontazione armonizzati e confronti tra gli Stati membri.

⁶ Cfr. la direttiva 2020/2184: <http://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2020/2184/oj>.

⁷ Cfr. la direttiva 2024/3019: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02024L3019-20241212>.

⁸ Cfr.: <https://emodnet.ec.europa.eu/en>.

⁹ Cfr.: <https://data.europa.eu/en/dataeuropa-academy/what-open-data>.

Questi obblighi rafforzati mirano a colmare le attuali lacune conoscitive, a facilitare l'applicazione delle normative in continua evoluzione in materia di plastica e sostanze chimiche e a sostenere in modo sostanziale la capacità di valutazione dei rischi da parte delle agenzie europee di sanità pubblica. La trasparenza dei dati ha lo scopo di consentire a ricercatori, ONG e responsabili politici di valutare i progressi compiuti verso il raggiungimento degli obiettivi di riduzione delle microplastiche.

5. Stato dell'arte scientifico

5.1. Definizione e fonti delle micro- e nanoplastiche

Le microplastiche sono particelle solide sintetiche o matrici polimeriche (di forma regolare o irregolare) di dimensioni comprese tra 1 μm e 5 mm, di origine primaria o secondaria, insolubili in acqua (Frias & Nash, 2019). Tra le fonti più comuni figurano i tessuti sintetici (microfibre), i pneumatici, i rifiuti di plastica, le microsfele presenti nei prodotti per la cura personale, le vernici e i rivestimenti plastici.

Le nanoplastiche sono particelle di dimensioni comprese tra 1 e 1000 nm derivanti dalla degradazione della plastica industriale, che presentano un comportamento colloidale. Si formano attraverso la degradazione ambientale di plastiche di dimensioni maggiori (luce UV, idrolisi, forze meccaniche) o tramite processi industriali (Ter Halle et al., 2016).

5.1.1. Microplastiche primarie e secondarie

Microplastiche primarie: prodotte intenzionalmente su scala microscopica per cosmetici esfolianti, detergenti industriali, materiali abrasivi e granuli di plastica (nurdles) come materie prime (Song et al., 2024).

Microplastiche secondarie: derivano dalla frammentazione/degradazione di detriti plastici di dimensioni maggiori a causa delle radiazioni UV, delle forze meccaniche, dell'azione delle onde e dell'usura negli ambienti marini/terrestri. Ne sono un esempio i frammenti provenienti da bottiglie, sacchetti e reti da pesca (Song et al., 2024).

5.1.2. Accumulo nella catena alimentare

Assorbimento da parte delle piante: le micro e nanoplastiche (MNP) vengono assorbite dalle piante terrestri, influenzandone la crescita e la biomassa. Sono state riscontrate elevate concentrazioni in mele e carote, con conseguente accumulo nei tessuti umani (Oliveri et al., 2020; Leslie et al., 2022).

Biomagnificazione acquatica: il trasferimento trofico avviene attraverso le reti alimentari: lo zooplankton ingerisce le MNP, trasmettendole ai pesci e ai molluschi consumati dall'uomo. Questa biomagnificazione aumenta i rischi di esposizione per i predatori apicali, compreso l'uomo (Cole et al., 2013).

5.2. Impatti sulla salute

La plastica rappresenta una minaccia crescente e sottovalutata per la salute umana e del pianeta, con ripercussioni in ogni fase del suo ciclo di vita, dall'estrazione delle materie prime allo smaltimento. Microplastiche, nanoplastiche e sostanze chimiche associate sono state rilevate in diversi tessuti umani, tra cui sangue, placenta e polmoni, e sono collegate a disturbi cardiovascolari, metabolici e riproduttivi. Queste esposizioni comportano notevoli costi sanitari ed economici a livello globale, aggravati dall'aumento della produzione di plastica, che secondo le proiezioni è destinata a triplicarsi entro il 2060 se non si interviene con urgenza (Landrigan et al., 2025).

5.2.1. Principali vie di ingresso delle micro- e nanoplastiche nell'organismo umano

- **Ingestione:**
 - Fonti alimentari: frutti di mare, condimenti (sale, zucchero), miele, pollo, verdure (Sangkham et al., 2022).
 - Bevande: acqua potabile (da milioni a decine di milioni di particelle/litro), birra, latte, bibite analcoliche, vino (United States Geological Survey).
 - Contenitori di plastica: bottiglie d'acqua, biberon, contenitori per alimenti – il calore aumenta drasticamente il rilascio di particelle (Chen et al., 2023; Hu et al., 2023; Shruti et al., 2024).
- **Inalazione:**
 - La dimensione delle particelle influenza il loro deposito: quelle >10 µm vengono intrappolate nelle vie aeree superiori, quelle <10 µm possono raggiungere i bronchioli, mentre le particelle <2,5 µm possono penetrare in profondità nella regione alveolare (Kelly & Fussell, 2012).
 - Gli ambienti urbani presentano elevate concentrazioni di MNP nell'aria a causa di fonti quali il traffico e l'industria (Falakdin et al., 2024).
 - Sorprendentemente, anche le regioni remote (ad esempio, le aree alpine e polari) contengono MNP presenti nell'aria, il che sottolinea la loro ampia dispersione ambientale (Kau et al., 2024).
- **Esposizione cutanea:**
 - Sebbene la pelle funga da barriera protettiva primaria, è spesso esposta alle MNP attraverso cosmetici, prodotti per la cura personale, farmaci topici e mascherine (Gamage & Mahagamage, 2024).
 - Le MNP possono penetrare nella pelle attraverso meccanismi non specifici, accumulandosi potenzialmente nelle cellule epidermiche e dermiche, come i cheratinociti o le cellule immunitarie (Martin et al., 2024).

5.2.2. Effetti noti delle micro- e nanoplastiche sulla salute umana

Le micro- e nanoplastiche (MNP) possono causare vari effetti sulla salute, tra cui disturbi intestinali, tossicità cardiovascolare e riproduttiva, neurotossicità e alterazioni metaboliche, come dimostrato da studi sui mammiferi (Li et al., 2021; Jin et al., 2022; Wang et al., 2023; Zhou et al., 2023). Studi in vitro su cellule umane dimostrano che le MNP inducono tossicità cellulare, apoptosi, infiammazione, disfunzione mitocondriale e danni al DNA (Schirizzi et al., 2017; Poma et al., 2019; Wu et al., 2020; Wen et al., 2022; Lin et al., 2022; Li et al., 2022). I meccanismi sembrano coinvolgere lo stress ossidativo, l'infiammazione e il danno fisico, sebbene le prove dirette nell'uomo rimangano limitate e richiedano ulteriori ricerche.

5.2.3. Gli scienziati intervengono: micro- e nanoplastiche e cancro

Le micro- e nanoplastiche (MNP) potrebbero contribuire allo sviluppo del cancro attraverso molteplici meccanismi identificati negli studi preclinici. Le MNP inducono un'infiammazione che favorisce la crescita tumorale aumentando la produzione di citochine infiammatorie nelle linee cellulari tumorali umane esposte a particelle di polistirene (Forte et al., 2016; Xu et al., 2022; Shi et al., 2024; Cheng et al., 2022), mentre studi in vivo confermano la loro capacità di provocare risposte infiammatorie a livello delle mucose (Lu et al., 2021; Choi et al., 2021; Li et al., 2020; Li et al., 2022; Deng et al., 2017). Possono innescare la carcinogenesi favorendo la crescita cellulare indipendente dall'ancoraggio (Barguilla et al., 2022), sopprimendo la sorveglianza immunitaria attraverso la riduzione delle cellule NK e la polarizzazione dei macrofagi (Hu et al., 2021) e dimostrando un potenziale genotossico nelle cellule ematiche umane (Gopinath et al., 2019; Ballesteros et al., 2020; Poma et al., 2019; Rubio et al., 2020). Durante la fase di promozione del cancro, le MNP alterano la regolazione della proliferazione cellulare (Forte et al., 2016; Barguilla et al., 2022; Xu et al., 2019) e inducono la transizione epiteliale-mesenchimale che aumenta l'invasività delle cellule tumorali (Halimu et al., 2022; Kim et al., 2022; Traversa et al., 2024; Shao et al., 2024). In particolare, le MNP si trovano in concentrazioni più elevate nei tessuti tumorali umani rispetto ai tessuti normali, compresi i tumori del polmone (Pauly et al., 1998), del colon-retto (Cetin et al., 2023) e della prostata (Deng et al., 2024), sebbene sia necessario approfondire ulteriormente se ciò rappresenti un fenomeno di bioaccumulo o una relazione causale.

5.2.4. Gli scienziati intervengono: micro-nanoplastiche e teratogenicità

Le nanoplastiche di polistirene (PS-NP) mostrano significativi effetti teratogeni quando i genitori vi sono esposti durante i periodi riproduttivi. L'esposizione di entrambi i genitori ha causato anomalie dello sviluppo nella prole, tra cui malformazioni scheletriche e viscerali, ridotta crescita fetale, compromissione dei riflessi neonatali e deficit di apprendimento negli adulti (Kaur et al., 2025). Le alterazioni dello sviluppo neurologico includevano variazioni dei livelli dei neurotrasmettitori, ridotta attività degli enzimi antiossidanti e danni strutturali al cervello con aumento della vacuolizzazione e diminuzione dei neuroni piramidali nell'ippocampo (Kaur et al., 2025).

5.2.5. Gli scienziati intervengono: micro- e nanoplastiche e salute del cervello

Le micro- e nanoplastiche (MNP) sono in grado di attraversare la barriera emato-encefalica e di accumularsi nel cervello, dove possono indurre neuroinfiammazione, apoptosi e danni neuronali, contribuendo potenzialmente allo sviluppo di malattie neurodegenerative come l'Alzheimer e il Parkinson (Kopatz et al., 2023; Yin et al., 2022). Le MNP possono interferire con la funzione mitocondriale, la trasmissione sinaptica e il metabolismo cellulare, influenzando neuroni, astrociti e microglia (Yin et al., 2022). Inoltre, l'infiammazione intestinale indotta dalle MNP può influire negativamente sulla funzione cerebrale attraverso l'asse intestino-cervello (Yang et al., 2023). Studi recenti indicano che le particelle più piccole e chimicamente modificate presentano la neurotossicità più elevata (Liu et al., 2022).

5.2.6. Gli scienziati intervengono: micro- e nanoplastiche nei bambini

I bambini sono particolarmente vulnerabili agli effetti tossici delle microplastiche (MP) e delle nanoplastiche (NP) a causa del loro sviluppo fisiologico in corso e di un'assunzione maggiore rispetto al peso corporeo (Chia et al., 2025). Le MP sono state rilevate nel sangue, nel latte materno, nella placenta e nel tessuto cerebrale (National Institute of Environmental Health Sciences, 2024) e sono state associate a parti prematuri (Chia et al., 2025), disturbi endocrini (Ullah et al., 2023), effetti neurologici e cardiovascolari (Prüst et al., 2020) e alterazioni del sistema immunitario (Morrison et al., 2022). Nei bambini e negli adolescenti, le microplastiche possono causare danni mitocondriali (Yin et al., 2023), lesioni epatiche (Zheng et al., 2021), stress ossidativo renale (d'Apolito et al., 2018) e infiammazioni respiratorie, contribuendo potenzialmente a patologie quali l'asma e la bronchite (Chia et al., 2025).

Uno studio condotto su 1.000 bambini di età compresa tra i 6 e i 9 anni (Dong et al., 2025) ha individuato un'associazione significativa tra la presenza di microplastiche nelle urine — in particolare poliammide (PA), polipropilene (PP) e cloruro di polivinile (PVC) — e i problemi comportamentali. Concentrazioni più elevate erano correlate a sintomi emotivi, problemi comportamentali, iperattività e difficoltà nelle relazioni con i coetanei, oltre che a una riduzione dei comportamenti prosociali (Dong et al., 2025). Questi risultati suggeriscono un potenziale rischio neurocomportamentale associato all'esposizione alle microplastiche nelle prime fasi di vita.

5.2.7. Lacune nella ricerca

Nella ricerca sulle microplastiche e nanoplastiche (MNP) persistono significative lacune conoscitive che limitano la valutazione del rischio tossicologico. Gli studi attuali utilizzano prevalentemente MNP di polistirene primario prodotte commercialmente con morfologie incontaminate, che non rappresentano adeguatamente le MNP secondarie rilevanti dal punto di vista ambientale, caratterizzate da forme irregolari, superfici fotoossidate e contaminazione chimica (Alimi et al., 2022). La maggior parte delle indagini ricorre a esposizioni a dosi elevate e di breve durata, anziché a scenari cronici a basso livello che rispecchino le condizioni del mondo reale. Esistono carenze critiche nella comprensione degli effetti dell'eterogeneità fisico-chimica (Rozman et al., 2021), delle dinamiche degli inquinanti ambientali (Wu et al., 2017) e dei meccanismi molecolari al di là delle vie dello stress ossidativo (Reinholz et al., 2018). In particolare, mancano

valutazioni complete di genotossicità, mutagenicità e cancerogenicità (Rubio et al., 2020). Queste lacune richiedono un'indagine sistematica che utilizzi formulazioni di MNP rilevanti dal punto di vista ambientale per stabilire quadri di valutazione del rischio basati su dati scientifici.

5.3. Interazioni sinergiche con altri inquinanti, virus e batteri

5.3.1 Micro-nanoplastiche e additivi

Le microplastiche e le nanoplastiche (MNP) fungono da vettori per numerosi additivi chimici tossici, creando complessi scenari di esposizione sinergica con significative implicazioni per la salute. I ritardanti di fiamma bromurati (BFR) sono ampiamente utilizzati nei prodotti in plastica, tra cui involucri di dispositivi elettronici e giocattoli per bambini, e alterano lo sviluppo riproduttivo e tiroideo, oltre a influire sullo sviluppo neurologico dei bambini (Weis & Alava, 2023; Wiesinger et al., 2021; Frias & Nash, 2018; Kumar & Singh, 2022). Gli stabilizzatori UV incorporati nei materiali plastici si disperdono dagli imballaggi alimentari e presentano proprietà di interferenza endocrina con effetti estrogenici (Weis & Alava, 2023; Wiesinger et al., 2021; Frias & Nash, 2018; Kumar & Singh, 2022). Le diossine, considerate tra le sostanze più tossiche al mondo, si generano durante i processi di incenerimento e riciclaggio della plastica, si accumulano nei tessuti adiposi e compromettono lo sviluppo cerebrale, aumentando al contempo il rischio di cancro (Weis & Alava, 2023; Wiesinger et al., 2021; Frias & Nash, 2018; Kumar & Singh, 2022). Gli ftalati, ampiamente utilizzati come plastificanti, sono presenti nel 90-100% dei campioni biologici, compresi il liquido amniotico e il latte materno, causando tossicità riproduttiva e disturbi metabolici (Weis & Alava, 2023; Wiesinger et al., 2021; Frias & Nash, 2018; Kumar & Singh, 2022). Gli alchilfenoli fungono da stabilizzatori UV e da mimici degli estrogeni, ed è stato dimostrato che sono collegati all'infertilità maschile e al rischio di cancro al seno (Weis & Alava, 2023; Wiesinger et al., 2021; Frias & Nash, 2018; Kumar & Singh, 2022). Il bisfenolo A (BPA) presente nelle plastiche in polycarbonato influisce sullo sviluppo cerebrale e sugli esiti riproduttivi ed è associato a diversi tipi di tumori (Weis & Alava, 2023; Wiesinger et al., 2021; Frias & Nash, 2018; Kumar & Singh, 2022). Le sostanze chimiche perfluorate (PFAS) utilizzate nella produzione di fluoropolimeri contaminano le fonti idriche e presentano proprietà di alterazione del metabolismo che influenzano le funzioni immunitaria, epatica e tiroidea (Weis & Alava, 2023; Wiesinger et al., 2021; Frias & Nash, 2018; Kumar & Singh, 2022). I meccanismi di adsorbimento e desorbimento di queste sostanze chimiche sulle MNP coinvolgono interazioni idrofobiche, variazioni di pH e invecchiamento delle particelle, creando scenari di esposizione dinamici in cui l'origine degli inquinanti può essere sia intrinseca alla plastica sia estrinseca alla contaminazione ambientale (Everaert et al., 2020; Kumar & Singh, 2022).

5.3.2 Micro- e nanoplastiche e metalli pesanti

Le microplastiche e le nanoplastiche (MNP) fungono da vettori efficienti per i metalli pesanti grazie alle interazioni elettrostatiche e all'elevata superficie specifica; le MNP invecchiate mostrano infatti una maggiore capacità di adsorbimento per metalli quali Hg, Pb, Cd e Ti (Kumar et al.,

2021; Patterson et al., 2020). I metalli pesanti sono inoltre incorporati intrinsecamente come additivi della plastica: il cadmio nel PVC è associato allo stress ossidativo, mentre il biossido di titanio mostra effetti citotossici (Hahladakis et al., 2018; Gandamalla et al., 2019). Studi di coesposizione su organismi acquatici e terrestri evidenziano effetti sinergici, in cui le MNP combinate con il cadmio aumentano significativamente lo stress ossidativo, la neurotossicità e il bioaccumulo dei metalli rispetto alle esposizioni singole (Tuncelli et al., 2024; Tourinho et al., 2023).

5.3.3. Micro-nanoplastiche e POP

Le microplastiche (MP) adsorbono inquinanti organici persistenti (POP) come il DDT e i PCB a concentrazioni fino a sei volte superiori a quelle riscontrate nelle acque circostanti (Tumwesigye et al., 2023; Liu et al., 2021). Sebbene la produzione di molti POP sia stata vietata o limitata ai sensi della Convenzione di Stoccolma, la produzione e l'accumulo globali di queste sostanze chimiche rimangono a livelli ecologicamente pericolosi, con milioni di tonnellate di DDT e PCB prodotti in tutto il mondo (White et al., 2021). Gli studi hanno dimostrato che l'interazione tra microplastiche (MP) e POP negli ambienti acquatici aumenta i rischi tossici; ad esempio, le microplastiche che trasportano PCB sono state associate a una maggiore incidenza di tumori e anomalie dello sviluppo nelle larve di zebrafish (Hu et al., 2024).

5.3.4. Micro- e nanoplastiche e pesticidi

Le microplastiche (MP) influenzano in modo significativo il comportamento dei pesticidi. Sebbene le MP possano ridurre la biodisponibilità dei pesticidi attraverso l'adsorbimento, aumentano anche la persistenza dei pesticidi e ne alterano la tossicità (Tang, 2025). L'equilibrio tra biodisponibilità, persistenza e tossicità complica la valutazione dell'impatto complessivo delle MP. L'elevato adsorbimento dei pesticidi da parte delle MP ne prolunga la persistenza; il desorbimento consente un rilascio graduale dei pesticidi che può estendere l'azione sui parassiti bersaglio, ma anche accentuare gli effetti sugli organismi non bersaglio (Tang, 2025). Non è ancora chiaro se i pesticidi desorbiti dalle MP garantiscano un controllo dei parassiti sufficiente senza ulteriori applicazioni. La maggior parte degli studi indica che le MP influenzano principalmente la biodisponibilità dei pesticidi, richiedendo potenzialmente un maggiore impiego di questi ultimi, con conseguenze negative sia ambientali che economiche (Tang, 2025).

5.3.5. Micro- e nanoplastiche e antibiotici

Le microplastiche (MP) coesistono con gli antibiotici e i geni di resistenza agli antibiotici (ARG) negli ambienti del sottosuolo, fungendo da vettori che facilitano il trasporto e la persistenza di questi contaminanti (Yashir et al., 2025). Questa co-presenza favorisce l'arricchimento di generi batterici tolleranti a questi inquinanti, quali *Acinetobacter* e *Pseudomonas*, indicando una complessa interazione tra le MP e gli antibiotici nel determinare la composizione delle comunità microbiche (Yashir et al., 2025). La presenza delle MP insieme agli antibiotici e agli ARG suggerisce un potenziale sinergico che potrebbe favorire la diffusione e la persistenza della resistenza agli antibiotici nell'ambiente, sottolineando l'urgenza di ulteriori ricerche sul loro destino combinato, sul trasporto e sugli impatti ecologici

(Yashir et al., 2025). Inoltre, le nanoplastiche possono influenzare la trasformazione e la diffusione dei geni di resistenza agli antibiotici (ARG) attraverso meccanismi che comportano il potenziamento della catena di trasporto degli elettroni e l'accumulo DI H_2O_2 (Li et al., 2025).

5.3.6. Micro-nanoplastiche e batteri

È stato dimostrato che le nanoplastiche (NPs), in particolare le particelle di polistirene, favoriscono in modo significativo la diffusione dei geni di resistenza agli antibiotici (ARG) nei batteri, aumentando le frequenze di trasformazione. Uno studio recente condotto su un ceppo di *Escherichia coli* chimicamente competente ha dimostrato che le NP — in particolare quelle con funzionalizzazione carbossilica — inducono stress ossidativo, principalmente attraverso la sovrapproduzione di perossido di idrogeno (H_2O_2), una specie reattiva dell'ossigeno (ROS) fondamentale (Li et al., 2025). L' H_2O_2 agisce come molecola di segnalazione che aumenta la permeabilità della membrana batterica, attiva la risposta SOS, altera i sistemi di secrezione e facilita l'assorbimento di DNA esogeno. Le analisi meccanicistiche hanno rivelato che le nanoparticelle danneggiano le membrane batteriche e l'integrità del DNA, sovraccaricando al contempo la catena di trasporto degli elettroni (ETC) e potenziando ulteriormente la generazione DI H_2O_2 . Questi processi contribuiscono collettivamente alla diffusione dei geni di resistenza agli antibiotici (ARG) nelle comunità microbiche, sollevando importanti preoccupazioni per la valutazione dei rischi ambientali e per la salute pubblica (Li et al., 2025).

5.3.7. Micro-nanoplastiche e virus

È stato dimostrato che le nanoplastiche di polistirene (PS-NP), sempre più presenti negli ambienti acquatici, aggravano le infezioni virali nei pesci compromettendo la funzione delle cellule ospiti e le risposte immunitarie. In un recente studio sulle cellule delle pinne di *Micropterus salmoides* (MsF) infettate dal ranavirus del persico trota (LMBV), le PS-NP sono state internalizzate in modo dipendente dal tempo e dalla dose e hanno significativamente favorito la replicazione virale (Zhi et al., 2024). Ciò è stato associato a disfunzioni lisosomiali e mitocondriali, a un elevato stress ossidativo e alla soppressione dell'espressione genica correlata agli antiossidanti. Inoltre, le PS-NP hanno intensificato le risposte infiammatorie indotte dal virus e hanno interferito con le difese antivirali dell'ospite attraverso la downregolazione della via di segnalazione cGAS-STING, con conseguente riduzione della produzione di interferone. Questi risultati suggeriscono che le nanoplastiche possano aumentare la suscettibilità dell'ospite alle infezioni virali e contribuire alla diffusione di malattie nelle popolazioni di pesci d'acqua dolce (Zhi et al., 2024).

5.4. Sfide relative al rilevamento e alla misurazione

5.4.1. Metodi analitici e limiti

La caratterizzazione delle micro e nanoplastiche (MNP) comporta flussi di lavoro analitici complessi con limitazioni significative. I processi di pretrattamento possono causare la perdita o l'alterazione dei materiali target (Nabi et al., 2022; Löder et al., 2017), mentre l'identificazione fisica tramite microscopia risente della soggettività dell'osservatore e della risoluzione limitata per le nanoplastiche (Girão, 2022; Caputo et al., 2021). Identificazione chimica

L'uso della spettroscopia vibrazionale (FTIR, Raman) è limitato dalle dimensioni delle particelle e dall'interferenza dell'acqua (Böke et al., 2022), mentre la spettrometria di massa offre un'analisi sensibile ma richiede la distruzione del campione (Käppler et al., 2018; Dehaut et al., 2020). Le nanoplastiche presentano sfide uniche a causa dell'aumento del moto browniano, delle dimensioni inferiori alla lunghezza d'onda e della maggiore reattività superficiale (Gigault et al., 2021), con tempi di accumulo teorici che vanno da giorni a secoli a concentrazioni rilevanti dal punto di vista ambientale (De Angelis et al., 2021). Mentre i metodi convenzionali raggiungono limiti di rilevamento nell'ordine di ng/L–µg/L (Zhou et al., 2021), recenti innovazioni, tra cui micro/nanorobot autopropulsi (Wang et al., 2019; Heckel & Simmchen, 2019), pinzette ottiche con rilevamento Raman (Gillibert et al., 2019) e l'imaging iperspettrale potenziato dall'apprendimento automatico (Fang et al., 2023) offrono percorsi promettenti per il rilevamento in tempo reale e in situ.

6. Allegati

6.1 Interrogazioni scritte dei deputati al Parlamento europeo e risposte della Commissione europea

- [Interrogazione con richiesta di risposta scritta E-002878/2025](#) - Inquinamento da microplastiche (15/07/2025) - Daniel Buda (PPE) - In attesa di risposta da parte della Commissione.
- [Interrogazione con richiesta di risposta scritta E-002644/2025](#) - Attuazione e applicazione del divieto relativo ai granuli di gomma nei campi sportivi (30/06/2025) - Biljana Borzan (S&D) - In attesa di risposta da parte della Commissione.
- [Interrogazione con richiesta di risposta scritta E-002262/2025](#) - Filtri di plastica per sigarette – Attuazione inadeguata della direttiva (UE) 2019/904 e mancanza di progressi in materia di prevenzione, alternative e sensibilizzazione (04/06/2025) - Manuela Ripa (PPE) - In attesa di risposta da parte della Commissione.
- [Interrogazione con richiesta di risposta scritta E-001669/2025](#) - Attuazione della direttiva quadro sulla strategia marina in Grecia e lotta all'inquinamento marino nel Golfo Termaico e nel Golfo di Corinto (24/04/2025) - Sakis Arnaoutoglou (S&D) - [Risposta della Commissione](#).
- [Interrogazione con richiesta di risposta scritta E-001389/2025](#) - Regolamentazione delle microplastiche presenti nell'aria ai sensi della legislazione dell'UE in materia di ambiente e salute (04/04/2025) - Biljana Borzan (S&D) - [Risposta della Commissione](#).
- [Interrogazione con richiesta di risposta scritta E-000744/2025](#) - I rischi delle microplastiche prodotte dagli allineatori ortodontici in plastica (18/02/2025) - Costas Mavrides (S&D) - [Risposta della Commissione](#).
- [Interrogazione con richiesta di risposta scritta E-000648/2025](#) - Miglioramento della qualità dell'acqua potabile e verifica della sicurezza degli imballaggi in plastica (12/02/2025) - Loucas Foulas (PPE) - [Risposta della Commissione](#).
- [Interrogazione con richiesta di risposta scritta E-000377/2025](#) - Norme di etichettatura per i prodotti tessili (28/01/2025) - Liesbet Sommen (PPE) - [Risposta della Commissione](#).
- [Interrogazione con richiesta di risposta scritta E-000225/2025](#) - Pesce importato contaminato da microplastiche (20/01/2025) - Emmanouil Fragkos (ECR), Galato Alexandraki (ECR) - [Risposta della Commissione](#).

6.2 Elenco degli articoli scientifici citati

6.2.1. Consultati

- Abedi, D., Hazrati Niari, M., Ramavandi, B., De-la-Torre, G. E., Renner, G., Schmidt, T. C., & Dobaradaran, S. (2025). Microplastiche ed esteri di ftalati in campioni di yogurt e latticello: caratterizzazione e valutazione dei rischi per la salute. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 23(14). <https://doi.org/10.1007/s40201-025-00939-z>
- Choi, S., Lee, S., Kim, M.-K., Yu, E.-S. e Ryu, Y.-S. (2024). Sfide e recenti progressi analitici nel rilevamento di micro/nanoplastiche. *Analytical Chemistry*, 96(15), 8846–8854. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.3c05948>
- Dong, L., Li, X., Zhang, Y., Liu, B., Zhang, X. e Yang, L. (2025). Contaminanti microplastici nelle urine dei bambini della scuola primaria: associazioni con lo sviluppo comportamentale. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 295, 118097. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2025.118097>
- Gigault, J., ter Halle, A., Baudrimont, M., Pascal, P.-Y., Gauffre, F., Phi, T.-L., El Hadri, H., Grassl, B., & Reynaud, S. (2018). Opinione attuale: Che cos'è una nanoplastica? *Environmental Pollution*, 235, 1030–1034. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.024>
- Kaur, M., Sharma, A., Sharma, K., John, P., & Bhatnagar, P. (2025). Cambiamenti teratologici, neurochimici e istomorfologici nelle aree limbiche della progenie di topi F1 dovuti all'esposizione dei genitori alla nanoplastica di polistirene. *Toxicology*, 511, 154043. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2024.154043>
- Kolkar, K. P., Malabadi, R. B., Chalannavar, R. K., Divakar, M. S., et al. (2025). Inquinamento da microplastiche – Un grave problema sanitario: un aggiornamento. *International Journal of Science and Research Archive*, 14(3), Articolo 0868. <https://doi.org/10.30574/ijrsra.2025.14.3.0868>
- Landrigan, P. J., Dunlop, S., Treskova, M., Raps, H., Symeonides, C., Muncke, J., Spring, M., Stegeman, J., Almroth, B. C., Chiles, T. C., Cropper, M., Deeney, M., Fuller, L., Geyer, R., Karasik, R., Mafira, T., Mangwiro, A., Matias, D. M., Mulders, Y., Park, Y., Velis, C. A., Vermeulen, R., Wagner, M., Wang, Z., Whitman, E. M., Woodruff, T. J., & Rocklöv, J. (2025). The Lancet Countdown su salute e plastica. *The Lancet*. Pubblicazione online in anteprima. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(25\)01447-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(25)01447-3)
- Lang, T., Jelić, F., & Wechselberger, C. (2024). Dalla culla alla tomba: le microplastiche — Un'eredità pericolosa per le generazioni future. *Environments*, 11(12), 263. <https://doi.org/10.3390/environments11120263>
- Li, C., Zhang, Q., Wang, L., Piao, Z., Zhang, Y., Chong, Y., Jiao, X., & Wang, H. (2025). Le nanoplastiche facilitano la diffusione dei geni di resistenza agli antibiotici nei batteri competenti indotti chimicamente: il perossido di idrogeno funge da principale fattore di segnalazione. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 13, 115375. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2025.115375>

- Li, M., Ma, W., Fang, J. K. H., Mo, J., Li, L., Pan, M., Li, R., Zeng, X., & Lai, K. P. (2025). Una rassegna sugli effetti tossicologici combinati delle microplastiche e degli inquinanti ad esse associati. *Emerging Contaminants*, 11, 100486. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2025.100486>
- Li, P., & Liu, J. (2024). Micro(nano)plastiche nel corpo umano: fonti, presenza, destino e rischi per la salute. *Environmental Science & Technology*, 58(5), 3065–3078. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c08902>
- Liu, Y., Ben, Y., Che, R., Peng, C., Li, J., & Wang, F. (2023). Assorbimento, trasporto e accumulo di micro e nanoplastiche nelle piante terrestri e rischi per la salute associati al loro trasferimento nella catena alimentare – Una mini-rassegna. *Science of the Total Environment*, 902, 166045. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166045>
- Pettoello-Mantovani, M., Bali, D., Giardino, I., Pop, T. L., Sevketoğlu, E., Konstantinidis, G., Pastore, M., & Vural, M. (2025). Il rischio derivante dalla diffusa contaminazione da micro- e nanoplastiche su scala globale e la minaccia per la salute dei bambini. *Journal of Pediatrics*, 280, articolo 114512. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2025.114512>
- Ruggieri, L., Amato, O., Marrazzo, C., Nebuloni, M., Dalu, D., Cona, M. S., Gambaro, A., Rulli, E., & La Verde, N. (2025). Crescente preoccupazione riguardo al ruolo cancerogeno delle micro- e nanoplastiche. *International Journal of Molecular Sciences*, 26, 215. <https://doi.org/10.3390/ijms26010215>
- Song, J., Wang, C. e Li, G. (2024). Definizione di microplastiche primarie e secondarie: un'analisi connotativa. *ACS EST Water*, 4, 2330–2332. <https://doi.org/10.1021/acsestwater.4c00316>
- Tang, K. H. D. (2025). Effetti delle microplastiche sulla biodisponibilità, la persistenza e la tossicità dei pesticidi vegetali: una prospettiva agricola. *Agriculture*, 15(4), 356. <https://doi.org/10.3390/agriculture15040356>
- Yang, Z., DeLoid, G. M., Zarbl, H., Baw, J., & Demokritou, P. (2023). Micro- e nanoplastiche (MNP) e loro potenziali effetti tossicologici: stato dell'arte, lacune conoscitive ed esigenze di ricerca. *NanoImpact*, 32, 100481. <https://doi.org/10.1016/j.impact.2023.100481>
- Yashir, N., Sun, Q., Zhang, X., Ma, M., Wang, D., Feng, Y. e Song, X. (2025). PFAS, antibiotici e geni di resistenza agli antibiotici nelle acque sotterranee e il loro impatto complessivo sulle comunità microbiche autoctone: uno studio sul campo. *Science of the Total Environment*, 961, articolo 178373. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178373>
- Zhi, L., Zhang, G., Li, Z., Chen, F., Qin, Q., Huang, Y., Huang, X., & Wang, J. (2024). Le nanoplastiche di polistirene facilitano significativamente l'infezione delle cellule ospiti da parte del ranavirus del persico trota. *Journal of Hazardous Materials*, 478, 135597. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.135597>

6.2.2. Citato

- Alimi, O. S., et al. (2022). Percorsi di degradazione e protocolli per le microplastiche e le nanoplastiche rilevanti dal punto di vista ambientale: cosa ci sfugge? *Journal of Hazardous Materials*, 423, 126955. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126955>
- Barguilla, I., Domenech, J., Ballesteros, S., Rubio, L., Marcos, R., & Hernández, A. (2022). L'esposizione a lungo termine alle nanoplastiche altera le caratteristiche molecolari e funzionali correlate al processo cancerogeno. *Journal of Hazardous Materials*, 438, 129470. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129470>
- Böke, J. S., Popp, J., & Krafft, C. (2022). Spettroscopia ottica fototermica nell'infrarosso con acquisizione simultanea della spettroscopia Raman per l'identificazione bidimensionale delle microplastiche. *Scientific Reports*, 12, Articolo 18785. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-23318-2>
- Caputo, F., Vogel, R., Savage, J., Vella, G., Law, A., Della Camera, G., Hannon, G., Peacock, B., Mehn, D., Ponti, J., et al. (2021). Misurazione della distribuzione granulometrica e della concentrazione di massa di nanoplastiche e microplastiche: affrontare alcune sfide analitiche nell'intervallo di dimensioni sub-microniche. *Journal of Colloid and Interface Science*, 588, 401–417. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2020.12.039>
- Cetin, M., Demirkaya Miloglu, F., Kilic Baygutalp, N., Ceylan, O., Yildirim, S., Eser, G., & Gul, H. İ. (2023). Maggiore numero di microplastiche nei tessuti tumorali del colon di pazienti affetti da adenocarcinoma coloretale. *Environmental Chemistry Letters*, 21, 639–646. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01560-4>
- Chen, H., Xu, L., Yu, K., Wei, F., & Zhang, M. (2023). Rilascio di microplastiche da bicchieri monouso nell'uso quotidiano. *Science of the Total Environment*, 854, 158606. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158606>
- Cheng, W., Li, X., Zhou, Y., Yu, H., Xie, Y., Guo, H., Wang, H., Li, Y., Feng, Y., & Wang, Y. (2022). Le microplastiche di polistirene inducono epatotossicità e alterano il metabolismo dei lipidi negli organoidi epatici. **Science of The Total Environment**, 806, 150328. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150328>
- Chia, R. W., Atem, N. V., Lee, J. Y., & Cha, J. (2025). Microplastiche e salute umana con particolare attenzione al benessere pediatrico: una revisione completa e un invito a ulteriori studi. *Clinical and Experimental Pediatrics*, 68, 1–15. <https://doi.org/10.3345/cep.2024.00205>
- Choi, Y. J., Kim, J. E., Lee, S. J., Gong, J. E., Jin, Y. J., Seo, S., Lee, J. H., & Hwang, D. Y. (2021). Risposta infiammatoria nel colon medio di topi ICR trattati con microplastiche di polistirene per due settimane. *Laboratory Animal Research*, 37, 31. <https://doi.org/10.1186/s42826-021-00099-9>
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2013). Ingestione di microplastiche da parte dello zooplancton. *Environmental Science & Technology*, 47(12), 6646–6655. <https://doi.org/10.1021/es400663f>
- d'Apolito, M., Colia, A. L., Manca, E., Pettoello-Mantovani, M., Sacco, M., Maffione, A. B., et al. (2018). Memoria dell'urea: l'esposizione transitoria delle cellule all'urea

provoca una produzione persistente di ROS mitocondriali e disfunzione endoteliale. *Toxins*, 10, 410. <https://doi.org/10.3390/toxins10100410>

- De Angelis, F., Gentile, F., Mecarini, F., Das, G., Moretti, M., Candeloro, P., Coluccio, M. L., Cojoc, G., Accardo, A., Liberale, C., & Di Fabrizio, E. (2011). Superamento del limite di diffusione grazie al trasporto superidrofobico di molecole verso strutture SERS a nanofocalizzazione plasmonica. *Nature Photonics*, 5(11), 682–687. <https://doi.org/10.1038/nphoton.2011.222>
- Dehaut, A., Hermabessiere, L. e Duflos, G. (2020). Rilevamento delle microplastiche mediante metodi basati sulla pirolisi-GC/MS. In **Manuale sulle microplastiche nell'ambiente** (pp. 1–35). Springer International Publishing.
- Deng, C., Zhu, J., Fang, Z., Yang, Y., Zhao, Q., Zhang, Z., Jin, Z. e Jiang, H. (2024). Identificazione e analisi delle microplastiche nel tessuto paratumorale e nel tumore della *eBioMedicine*, 108, 105360. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2024.105360>
- Deng, Y., Zhang, Y., Lemos, B., & Ren, H. (2017). L'accumulo di microplastiche nei tessuti dei topi e le risposte dei biomarcatori suggeriscono rischi per la salute diffusi derivanti dall'esposizione. *Scientific Reports*, 7, 46687. <https://doi.org/10.1038/srep46687>
- Everaert, G., De Rijcke, M., Lonneville, B., Janssen, C. R., Backhaus, T., Mees, J., van Sebillie, E., Koelmans, A. A., Catarino, A. I., & Vandegehuchte, M. B. (2020). Rischi legati alla presenza di microplastiche galleggianti negli oceani del mondo. *Environmental Pollution*, 267, 115499. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115499>
- Falakdin, P., Lopez-Rosales, A., Andrade, J., Terzaghi, E., Di Guardo, A., & Muniategui-Lorenzo, S. (2024). Confronto tra tipo, dimensioni e composizione delle microplastiche in campioni atmosferici e di fogliame in un contesto urbano. *Inquinamento ambientale Pollution*, 349, 123911. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.123911>
- Fang, C., Luo, Y., & Naidu, R. (2023). Progressi nelle tecniche analitiche per il rilevamento e la caratterizzazione delle microplastiche. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 166, 117158. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.117158>
- Forte, M., Iachetta, G., Tussellino, M., Carotenuto, R., Prisco, M., De Falco, M., Laforgia, V., & Valiante, S. (2016). Internalizzazione delle nanoparticelle di polistirene nelle cellule di adenocarcinoma gastrico umano. *Toxicology In Vitro*, 31, 126–136. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2015.11.009>
- Frias, J. P. G. L., & Nash, R. (2019). Microplastiche: alla ricerca di un consenso sulla definizione. *Marine Pollution Bulletin*, 138, 145–147. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.022>
- Gamage, S., & Mahagamage, Y. (2024). Microplastiche nei prodotti per la cura personale e nei cosmetici in Sri Lanka. *Heliyon*, 10, e29393. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29393>
- He, D., Luo, Y., Lu, S., Liu, M., Song, Y., & Lei, L. (2019). Microplastiche nel suolo: metodi analitici, caratteristiche dell'inquinamento e rischi ecologici. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 119, 115620. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.115620>

- Hernández, L. M., Yousefi, N., & Tufenkji, N. (2019). Ci sono nanoplastiche nei vostri prodotti per la cura personale? *Environmental Science & Technology Letters*, 6(9), 515–519. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.9b00302>
- Hu, M., Chen, Y., Zhang, Y., & He, D. (2021). Una revisione critica delle tecniche di rilevamento delle microplastiche. *Trends in Analytical Chemistry*, 138, 116232. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2021.116232>
- Imhof, H. K., Ivleva, N. P., Schmid, J., Niessner, R., & Laforsch, C. (2013). Contaminazione dei sedimenti della spiaggia di un lago subalpino con particelle di microplastica. *Current Biology*, 23(19), R867–R868. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.08.034>
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., & Law, K. L. (2015). Afflusso di rifiuti di plastica dalla terraferma nell'oceano. *Science*, 347(6223), 768–771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
- Jin, H., Shi, X., Wu, C., & Zhang, J. (2023). L'esposizione alle microplastiche altera la composizione e il metabolismo del microbiota intestinale nei topi. *Science of The Total Environment*, 887, 163919. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163919>
- Koelmans, A. A., Nor, N. H. M., Hermesen, E., Kooi, M., Mintenig, S. M., & De France, J. (2019). Microplastiche nelle acque dolci e nell'acqua potabile: revisione critica e valutazione della qualità dei dati. *Water Research*, 155, 410–422. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.054>
- Lenz, R., Enders, K., & Nielsen, T. G. (2016). Gli studi sull'esposizione alle microplastiche dovrebbero essere realistici dal punto di vista ambientale. *Atti dell'Accademia Nazionale delle Scienze*, 113(29), E4121–E4122. <https://doi.org/10.1073/pnas.1606615113>
- Li, J., Lusher, A. L., Rotchell, J. M., Deudero, S., Turra, A., Bråte, I. L. N., et al. (2020). L'uso delle cozze come bioindicatore globale dell'inquinamento da microplastiche nelle zone costiere. *Inquinamento ambientale Pollution*, 260, 114888. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.114888>
- Liu, H., Liu, S., Lin, D., Han, X., Xu, Y., & Xia, T. (2023). Tossicità delle microplastiche e delle nanoplastiche nei sistemi dei mammiferi. *Science of The Total Environment*, 856, 159155. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.159155>
- Lusher, A. L., Hollman, P. C. H., & Mendoza-Hill, J. J. (2017). Microplastiche nella pesca e nell'acquacoltura: stato delle conoscenze sulla loro presenza e implicazioni per gli organismi acquatici e la sicurezza alimentare. *Documento tecnico della FAO sulla pesca e l'acquacoltura n. 615*, 147 pp. <https://doi.org/10.4060/9789251121699>
- Mao, R., Fan, L., Chen, S., Gu, W., Wang, D. e Liu, C. (2023). Ingestione di microplastiche e alterazione del microbiota intestinale negli organismi acquatici. *Environmental Pollution*, 316, 120336. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.120336>
- Mattsson, K., Hansson, L. A., & Cedervall, T. (2017). Nanoplastiche nell'ambiente acquatico. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 19(10), 1368–1376. <https://doi.org/10.1039/C7EM00275A>
- Mintenig, S. M., Löder, M. G. J., & Kooi, M. (2020). Rilevazione delle microplastiche negli ambienti acquatici: sfide analitiche e prospettive. *Water Research*, 170, 115336. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115336>

- Mohanraj, G., Kumaravel, S., & Ravindran, M. (2024). Valutazione delle microplastiche nell'acqua potabile: fonti, tecniche di rilevamento e implicazioni per la salute. *Environmental Research*, 216, 114767. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.114767>
- Munno, K., De Frond, H., O'Donnell, B., & Rochman, C. M. (2020). Migliorare l'accessibilità alla caratterizzazione delle microplastiche: introduzione di nuovi strumenti open-source per l'analisi dei dati di spettroscopia FTIR. *Analytical Chemistry*, 92(17), 11354–11361. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.0c01025>
- Nel, H. A., Turner, A., & Bastiaan-Net, S. (2018). L'importanza di comprendere le proprietà tossicologiche delle microplastiche nell'ambiente. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 37(4), 975–978. <https://doi.org/10.1002/etc.4091>
- Nguyen, T. T., Yoon, H. O., Kim, S. H., & Lee, B. S. (2024). Microplastiche e rischi per la salute: conoscenze attuali e prospettive future. *Environmental Science and Pollution Research*, 31, 2984–3002. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-28709-x>
- Peng, G., Xie, W., Yang, L., & Zhang, C. (2022). Inquinamento da microplastiche nei suoli agricoli: una rassegna su fonti, destino e rischi potenziali. *Environmental Pollution*, 306, 119251. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119251>
- Qi, R., Yang, X., Liu, Q., Zhou, Y., & Wang, J. (2020). Microplastiche negli ecosistemi d'acqua dolce: fonti, presenza e potenziali impatti. *Science of The Total Environment*, 755, 142569. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142569>
- Rist, S., Baun, A., & Hartmann, N. B. (2018). Ingestione ed effetti delle micro e nanoplastiche negli organismi: una revisione critica. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 37(4), 870–883. <https://doi.org/10.1002/etc.3974>
- Rochman, C. M., Hoh, E., Kurobe, T., & Teh, S. J. (2013). La plastica ingerita trasferisce sostanze chimiche pericolose ai pesci e induce stress epatico. *Scientific Reports*, 3, 3263. <https://doi.org/10.1038/srep03263>
- Sharma, S., & Chatterjee, S. (2017). L'inquinamento da microplastiche, una minaccia per l'ecosistema marino e la salute umana: una breve rassegna. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(27), 21530–21547. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9910-8>
- Sun, X., Chen, B., & Li, Q. (2021). Effetti delle microplastiche sulla comunità microbica del suolo: una rassegna. *Science of The Total Environment*, 771, 144841. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.144841>
- Tanaka, K., & Takada, H. (2016). Frammenti di microplastica e microsfele nel tratto digestivo di pesci planctivori provenienti da acque costiere urbane. *Scientific Reports*, 6, 34351. <https://doi.org/10.1038/srep34351>
- Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W., McGonigle, D., & Russell, A. E. (2004). Persi in mare: dove è finita tutta la plastica? *Science*, 304(5672), 838. <https://doi.org/10.1126/science.1094559>

- Vethaak, A. D., & Leslie, H. A. (2016). I detriti di plastica sono un problema per la salute umana. *Environmental Science & Technology*, 50(13), 6825–6826. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b02569>
- Wang, J., Tan, Z., Peng, J., Qiu, Q. e Li, M. (2016). Il comportamento delle microplastiche nell'ambiente marino. *Marine Environmental Research*, 113, 7–17. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.10.014>
- Wright, S. L., Thompson, R. C., & Galloway, T. S. (2013). Gli impatti fisici delle microplastiche sugli organismi marini: una rassegna. *Environmental Pollution*, 178, 483–492. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.031>
- Xu, L., Wang, J., Chen, L., Zhou, Y., & Su, L. (2022). Interazione delle microplastiche con i metalli pesanti: una rassegna su adsorbimento, destino ambientale e tossicità. *Environmental Pollution*, 293, 118526. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118526>
- Yang, D., Shi, H., Li, L., Li, J., Jabeen, K., & Kolandhasamy, P. (2015). Inquinamento da microplastiche nei sali da cucina provenienti dalla Cina. *Environmental Science & Technology*, 49(22), 13622–13627. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b03163>
- Zhang, D., He, W., Wang, C., & Yang, Z. (2021). Inquinamento da microplastiche e rischi per la salute umana: una rassegna. *Science of The Total Environment*, 748, 141243. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141243>
- Zhao, S., Zhu, L., & Li, D. (2016). Detriti antropogenici microscopici nei prodotti ittici: prevalenza globale e potenziali rischi per la salute. *Environmental Science & Technology*, 50(14), 7709–7717. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b01905>