



WWF

ITALIA

An aerial photograph of a dam and river. The water is a vibrant turquoise color, contrasting with the grey concrete of the dam and the brownish, rocky terrain of the riverbed. The sky is a deep blue, and the overall scene is captured from a high angle, looking down at the water and the dam structure.

NON C'È SALUTE IN UN AMBIENTE MALATO: INQUINAMENTI E INQUINANTI

PARTE 1: ACQUA

“Il più allarmante assalto, fra tutti quelli sferrati dall’uomo contro l’ambiente, è la contaminazione dell’aria, del suolo, dei fiumi e dei mari con sostanze nocive e talvolta mortali. Questo inquinamento è, nella maggior parte dei casi, irreparabile”

Rachel Carson, Primavera silenziosa (1962)

© Getty Images / Suphanat Khumsap / WWF-US



Indice

INTRODUZIONE	2
Disastri chimici: una storia che si ripete	3
PARTE 1: ACQUA E INQUINANTI	6
1.1 Inquinamento chimico delle acque dolci	8
1.2 Inquinamento chimico del mare	8
1.3 Principali impatti ambientali e sulla salute umana dell’inquinamento chimico nelle acque	8
1.4 Microplastiche: il contaminante emergente che minaccia la salute globale	10
1.5 Cosa possiamo fare: istituzioni, aziende e cittadini.....	15
BIBLIOGRAFIA.....	18

Testi: Eva Alessi e Erica de Rysky
Comunicazione: Sara Savelli
Grafiche: Arimaslab
Pubblicato a luglio 2024



INTRODUZIONE

La triade **inquinamento, cambiamento climatico e perdita di biodiversità** è la principale questione ambientale globale del nostro tempo.

Mentre la popolazione mondiale supera gli 8 miliardi, **l'inquinamento è sempre più esteso, pervasivo e persistente**. Influisce sulla nostra salute attraverso il cibo che mangiamo, l'acqua che beviamo e l'aria che respiriamo. Sebbene alcune forme di inquinamento siano state ridotte grazie al progresso tecnologico e alle strategie di gestione, a tutt'oggi sono **responsabili di 9 milioni di morti premature nel mondo** (corrispondenti a un decesso su sei), il che rende l'inquinamento il principale fattore di rischio ambientale per malattie e morte prematura a livello mondiale¹. 9 milioni è un numero tre volte superiore al totale complessivo dei decessi causati da AIDS, tubercolosi e malaria insieme e 15 volte superiore al numero di decessi

provocati da tutte le guerre attualmente in atto e da altre forme di violenza².

Per "inquinamento" si intende ciò che deriva dai rifiuti indesiderati di origine antropica rilasciati nell'aria, nel terreno, nell'acqua e nell'oceano senza riguardo per costi o conseguenze.

L'inquinamento è inserito tra i nove "limiti planetari" (*Planetary boundaries*)³, ovvero i nove parametri che la scienza ha identificato come essenziali per la sostenibilità della vita sulla Terra, il cui superamento rischia di destabilizzare i sistemi naturali, con conseguenze a cascata sulle società umane⁴. **Ad oggi sei limiti su nove sono stati superati, tra cui proprio l'inquinamento. Il Pianeta ha, infatti, una capacità finita di assimilazione di sostanze chimiche di origine antropica**, sia quelle persistenti sia quelle facilmente

degradabili, rilasciate su scala locale, regionale o globale. Il limite dell'inquinamento globale, considerando l'intero ciclo di vita delle sostanze chimiche, non può essere più ignorato anche perché è inestricabilmente connesso agli altri limiti su scala globale, ad esempio, il cambiamento climatico, la perdita di biodiversità, l'uso del suolo e dell'acqua.

Oggi nel nostro Pianeta l'inquinamento è causato da un **numero enorme di sostanze chimiche**, emesse da innumerevoli fonti e in quantità estremamente diverse nelle varie regioni del mondo. Sono circa **350.000 le sostanze (o miscele di sostanze) chimiche di sintesi presenti sul mercato globale** che includono, oltre alla plastica⁵, i pesticidi, le sostanze industriali e quelle presenti nei prodotti di consumo, i metalli, gli antibiotici e altri prodotti farmaceutici⁶. **La produzione di sostanze chimiche è aumentata di 50 volte dal 1950 ad oggi, ossia in poco più di 70 anni (o tre generazioni)**, e si prevede che triplicherà ulteriormente entro il 2050⁷. Il ritmo con cui la società sta producendo e rilasciando nuove sostanze chimiche, forme rinnovate di sostanze esistenti, elementi naturali (ad esempio metalli pesanti) mobilitati da attività antropiche e altre nuove entità nell'ambiente, non è coerente con la necessità di garantire uno spazio operativo sicuro per l'umanità. Sebbene la concentrazione di alcune sostanze chimiche, vietate da oltre 20 anni, stia diminuendo, la stessa tendenza non si osserva per le sostanze chimiche più recentemente regolamentate⁸. Volumi significativi di queste nuove entità entrano nell'ambiente ogni anno e presentano **caratteristiche comuni come persistenza, mobilità diffusa e accumulo negli organismi e nell'ambiente**⁹, con potenziali impatti negativi sui sistemi terrestri e acquatici, inclusi la biodiversità e i cicli biogeochimici¹⁰, nonché sulla salute umana.

Nell'ambiente non esistono confini e di conseguenza **l'inquinamento ha sempre una dimensione transfrontaliera e globale**. Secondo il principio dell'**effetto farfalla** anche un piccolo sversamento locale può avere ripercussioni dall'altra parte del mondo. I contaminanti persistenti possono viaggiare da un continente all'altro muovendosi con l'aria, l'acqua, il suolo (**effetto cavalletta**). Un oggetto di plastica gettato in mare in Italia, possiamo ritrovarlo spiaggiato in India.

Si possono distinguere diverse categorie di impatti sull'ambiente dell'inquinamento chimico¹¹:

- **effetti biologici diretti** come, ad esempio, la diminuzione dei superpredatori in seguito all'uso diffuso del DDT con conseguenti effetti ecologici a cascata;
- **effetti fisici** come la riduzione dell'albedo da parte delle particelle di black carbon con conseguenze rilevanti sul clima;
- **reazioni chimiche** che, dal momento del rilascio delle sostanze, non possono essere più controllate come la degradazione dell'ozono da parte dei clorofluorocarburi CFC nelle nubi polari delle quote più elevate¹².

DISASTRI CHIMICI: UNA STORIA CHE SI RIPETE

Nel 1956 a Minamata, in Giappone, città divenuta tristemente nota per la sindrome neurologica che porta il suo nome, causata da intossicazione acuta da metilmercurio - spesso mortale in esseri umani e animali - si verificò una dispersione di inquinanti nelle acque, da parte dell'industria chimica della Chisso Corporation attiva in quelle zone nella prima metà del Novecento.

Nel 1976 a Seveso, in Italia, per un incidente in un reattore, una nube di diossina si sprigionò dalla fabbrica di cosmetici dell'Imesa, conosciuta come "fabbrica dei profumi", contaminando l'area con una sostanza capace di causare tumori e danni gravi al sistema nervoso, cardiocircolatorio, al fegato e ai reni, malformazioni al feto e aborti spontanei.

Nel 1984 a Bhopal, nell'India centrale, nello stabilimento chimico della Union Carbide un incidente portò al rilascio di oltre 42 tonnellate di *isocianato di metile*, un composto chimico utilizzato per la produzione di pesticidi. Una nube altamente tossica si propagò immediatamente nell'area intorno alla fabbrica contaminando e uccidendo decine di migliaia di persone e lasciando molte altre con danni gravi e irreversibili.

Nel 1986 a Pripyat, in Ucraina, il reattore n. 4 della centrale nucleare di Chernobyl esplose, rilasciando più di 6 tonnellate di materiale radioattivo. Questa catastrofe causò tra i 200 mila e i 350 mila sfollati, 64 morti legati direttamente all'incidente e migliaia di casi di malati oncologici, non solo in Ucraina, nei mesi e negli anni successivi.

Negli ultimi 50 anni negli oceani si sono riversati milioni di litri di sostanze chimiche nel mare a causa vari di incidenti. Dalla marea nera nel Golfo del Messico, all'Amoco Milford Haven, affondata a Genova, fino alla Rubymar nel Mar Rosso nel 2024: petrolio, sostanze chimiche e plastica stanno continuando sempre più ad inquinare gli oceani.

Nella storia anche i casi di avvelenamento delle acque fluviali e lacustri hanno riguardato decine di corsi d'acqua in tutto il mondo: dall'India alla Siberia, nella storia i fiumi di tutto il mondo sono stati vittima di sversamenti selvaggi di sostanze chimiche inquinanti che hanno distrutto interi habitat.

Cosa unisce queste catastrofi ecologiche apparentemente sconnesse? Sono tutti esempi di una negligente, pericolosa, irresponsabile, drammatica **gestione di sostanze chimiche** che hanno segnato l'ambiente, la nostra società e la qualità della vita delle persone, in anni recenti. Quello che la storia degli incidenti e dei disastri ambientali dimostra è come le crisi debbano essere anche un'occasione **per riflettere, approfondire, rafforzare la nostra consapevolezza, migliorare le nostre conoscenze scientifiche e adottare comportamenti più sicuri per noi e per il nostro benessere**.

Con i livelli attuali di produzione e immissione di inquinanti nell'ambiente, animali, piante ed esseri umani sono tutti sottoposti ad un'**esposizione multipla e cronica, prioritariamente a basse dosi, di un cocktail di sostanze chimiche i cui effetti a lungo termine sono ancora sconosciuti**. Prove crescenti indicano, infatti, che la valutazione di singole sostanze chimiche sia insufficiente, poiché miscele complesse (ossia la combinazione di due o più sostanze chimiche) potrebbero causare effetti tossici significativi, anche se tutte le singole sostanze chimiche sono presenti a concentrazioni singolarmente non tossiche¹³.

L'inquinamento è stato riconosciuto come uno dei **cinque maggiori fattori diretti di perdita di biodiversità e il suo contributo al carico globale di malattie per l'uomo è ormai accertato**: basti pensare che negli ultimi due decenni, i decessi causati dalle moderne forme di inquinamento (l'inquinamento atmosferico e l'inquinamento chimico tossico) sono aumentati del 66%¹⁴, a causa dell'industrializzazione, dell'urbanizzazione incontrollata, della crescita della popolazione, dell'utilizzo di combustibili fossili e dell'assenza di adeguate politiche nazionali e internazionali sulle sostanze chimiche.

A oltre 20 anni dalla "Primavera silenziosa" di Rachel Carson, la scienza continua ad avvertirci con urgenza che questo è un **limite planetario che non possiamo permetterci di oltrepassare a lungo**. Negli ultimi decenni sono immensi i progressi che hanno permesso di avere dati sempre più precisi e informazioni sullo stato dell'ambiente e che in modo inequivocabile indicano la necessità di una trasformazione tecnologica, politica, economica e culturale. Invece i **problemi continuano a crescere più veloci delle soluzioni**. Secondo il concetto di One Planet Health, la nostra salute è strettamente legata alla salute del Pianeta. **Non vi sarà futuro sicuro senza**

disinquinamento. È fondamentale ridurre la produzione di sostanze chimiche tossiche e la loro immissione nell'ambiente, eliminandole dai prodotti di largo consumo, gestendo il loro fine vita in maniera più efficiente e promuovendo alternative più sicure e sostenibili^{15,16}. È ormai chiaro che l'inquinamento è una minaccia planetaria i cui impatti trascendono i confini locali e richiedono una risposta globale, urgente e decisa. **Come umanità siamo chiamati ad affrontare la più grande sfida della nostra storia: dimostrare la nostra volontà e la nostra capacità di gestire non la Natura quanto noi stessi e le nostre attività su questo Pianeta.**

I trasporti sono responsabili di circa il **45%** delle emissioni di ossidi di azoto (NO_x) in Europa e di una percentuale significativa delle emissioni totali di altri inquinanti principali.

Il **traffico stradale** costituisce la fonte di rumore ambientale più diffusa, con oltre **100 milioni** di persone in Europa colpite da livelli nocivi.

La **produzione e la distribuzione di energia** costituiscono la principale fonte di emissioni di ossidi di zolfo (SO_x) e una fonte significativa di emissioni di NO_x.



Le **pratiche agricole non sostenibili** comportano l'inquinamento del suolo, dell'acqua, dell'aria e del cibo, lo sfruttamento eccessivo delle risorse naturali, la perdita della biodiversità e il degrado degli ecosistemi.

Il **settore agricolo** è responsabile di oltre il **90%** delle emissioni di ammoniaca in Europa e di quasi il 20% delle emissioni di composti organici volatili non metanici (COVNM), quali il benzene e l'etanolo.

Il **riscaldamento domestico** è una fonte importante di inquinamento da polveri. Gli edifici commerciali, istituzionali e residenziali sono responsabili del **53%** delle emissioni di particolato fine (PM_{2,5}). Anche le utenze domestiche sono una fonte di rifiuti inquinati per le acque.

La produzione di **rifiuti** e la cattiva gestione degli stessi contribuiscono all'inquinamento atmosferico e si ripercuotono sugli ecosistemi. Le discariche, lo smaltimento illegale e la dispersione di rifiuti comportano ulteriori rischi, tra cui l'inquinamento del suolo e i rifiuti dispersi in ambiente marino.

Fonte: Agenzia Europea dell'Ambiente, 2023. Infografica "Che cos'è l'inquinamento?"

PARTE 1: ACQUA E INQUINANTI

Tutta la vita sul nostro Pianeta - compresi gli ecosistemi, le società e l'economia - dipende dall'acqua. Fiumi, laghi, zone umide, acque sotterranee, mari ospitano una biodiversità enorme che dipende dall'acqua. Per le società umane, i corpi idrici sono fonte di cibo, reddito ed energia (oltre che importanti vie di comunicazione), luoghi di svago e contribuiscono al mantenimento della nostra salute. **L'acqua è anche alla base di tutti i processi produttivi di beni e servizi, tanto da essere praticamente in ogni prodotto che utilizziamo.** Tutto ciò è stato ed è fondamentale per lo sviluppo economico e sociale, ma ha avuto conseguenze negative sulla qualità dell'acqua e sugli habitat naturali di pesci e altre forme di vita acquatica. **L'acqua, infatti, è anche la destinazione finale dei nostri rifiuti e delle sostanze chimiche:** accumula e trasporta l'inquinamento che emettiamo anche nell'aria e nel suolo in giro per il mondo. **L'inquinamento chimico delle acque è, infatti, tra le principali minacce per la salute dell'ambiente e delle persone e una delle sfide ecologiche più gravi e urgenti** che siamo chiamati ad affrontare.

Si stima che, a livello globale, oltre l'80% delle acque reflue municipali e industriali venga rilasciato nell'ambiente senza un adeguato trattamento¹⁷. Si tratta di circa **2 milioni di tonnellate di acque reflue e altri scarichi al giorno**^{18,19}, con il risultato che circa **300-400 milioni di tonnellate di sostanze chimiche provenienti da impianti industriali vengono scaricate ogni anno nelle acque del mondo**²⁰.

Un carico chimico insostenibile per i sistemi naturali: mari, fiumi laghi, zone umide e falde acquifere sono pesantemente colpiti dall'inquinamento soprattutto da pesticidi e nutrienti provenienti dall'agricoltura, metalli pesanti, agenti patogeni e residui chimici provenienti da fanghi e acque reflue non trattate sia industriali sia urbane (contenenti, ad es., sostanze fluorurate e bromurate come PFAS e PBDE, detersivi contenenti fosfati, disinfettanti/antimicrobici, tensioattivi, plastica, farmaci).

Si stima che **un terzo della perdita di biodiversità globale sia conseguenza del degrado degli ecosistemi d'acqua dolce**, dovuto principalmente all'inquinamento delle risorse idriche e degli ecosistemi acquatici²¹. L'inquinamento idrico è una grave minaccia anche per la salute umana: **è responsabile di circa 1,4 milioni di morti premature al mondo ogni anno**²².



© Shutterstock / JonShore / WWF

1.1 Inquinamento chimico delle acque dolci

La contaminazione chimica nelle acque dolci è un problema su scala continentale²³, dovuta alla deposizione atmosferica, all'inquinamento diffuso proveniente dall'agricoltura e agli scarichi degli impianti di trattamento delle acque reflue urbane²⁴.

In Europa, solo meno della metà (44%) dei corpi idrici superficiali è in buono o elevato stato ecologico, anche dal punto di vista chimico^{25,26}.

Fortunatamente le acque sotterranee europee sono meno contaminate: circa il 75% è in buono stato chimico²⁷. In totale, sono 160 gli inquinanti che causano il mancato raggiungimento di un buono stato chimico delle acque sotterranee europee²⁸.

In Italia il 13% dei fiumi e l'11% dei laghi non raggiungono il buono stato, ma il 9% e il 20% rispettivamente non sono ancora classificati²⁹. Mentre il **27% dei corpi idrici sotterranei è classificato in stato chimico scarso**³⁰.

1.2 Inquinamento chimico del mare

Gli oceani e le acque costiere ricevono l'80% dei rifiuti e degli inquinanti da una molteplicità di fonti terrestri; il restante 20% proviene dall'industria navale, dalla pesca e da altre fonti marine^{31,32}. Ogni anno, **circa 400 milioni di tonnellate di sostanze inquinanti vengono scaricate in mare**³³. Il mare, infatti, oltre ad essere il collettore finale di tutto ciò che arriva dalla terra, è anche una delle "autostrade preferenziali" per il trasporto di sostanze chimiche³⁴. Si stima che **circa 2.000 diverse sostanze chimiche utilizzate dall'uomo siano**

regolarmente trasportate via mare³⁵ e sversamenti accidentali sono la principale causa di inquinamento chimico marino su larga scala; negli anni se ne sono verificati molti, di cui in alcuni casi ne stiamo ancora pagando le conseguenze.

A livello europeo, l'inquinamento chimico sta degradando gli ecosistemi marini, con l'80% delle aree valutate designate come "problematiche"³⁶. Tra il 75 e il 96% delle aree valutate presenta un superamento dei limiti per una o più sostanze³⁷. Nel Mar Baltico, per esempio, il 96% delle aree monitorate presenta livelli di inquinamento preoccupanti, percentuale simile per il Mar Nero (91%)³⁸. **Nel Mar Mediterraneo l'87% delle aree ha problemi di inquinamento, soprattutto legato a metalli tossici, sostanze industriali e rifiuti di plastica**³⁹. Migliore, ma pur sempre problematica, la situazione del Nord Est dell'Oceano Atlantico dove "solo" il 75% delle aree monitorate presenta livelli di contaminazione problematici⁴⁰. **In Italia per molte sostanze chimiche ancora non sono presenti dati di monitoraggio sufficienti per valutare lo stato delle acque sebbene i dati disponibili indichino un diffuso e complessivo cattivo stato dei mari**^{41,42}.

1.3 Principali impatti ambientali e sulla salute umana dell'inquinamento chimico nelle acque

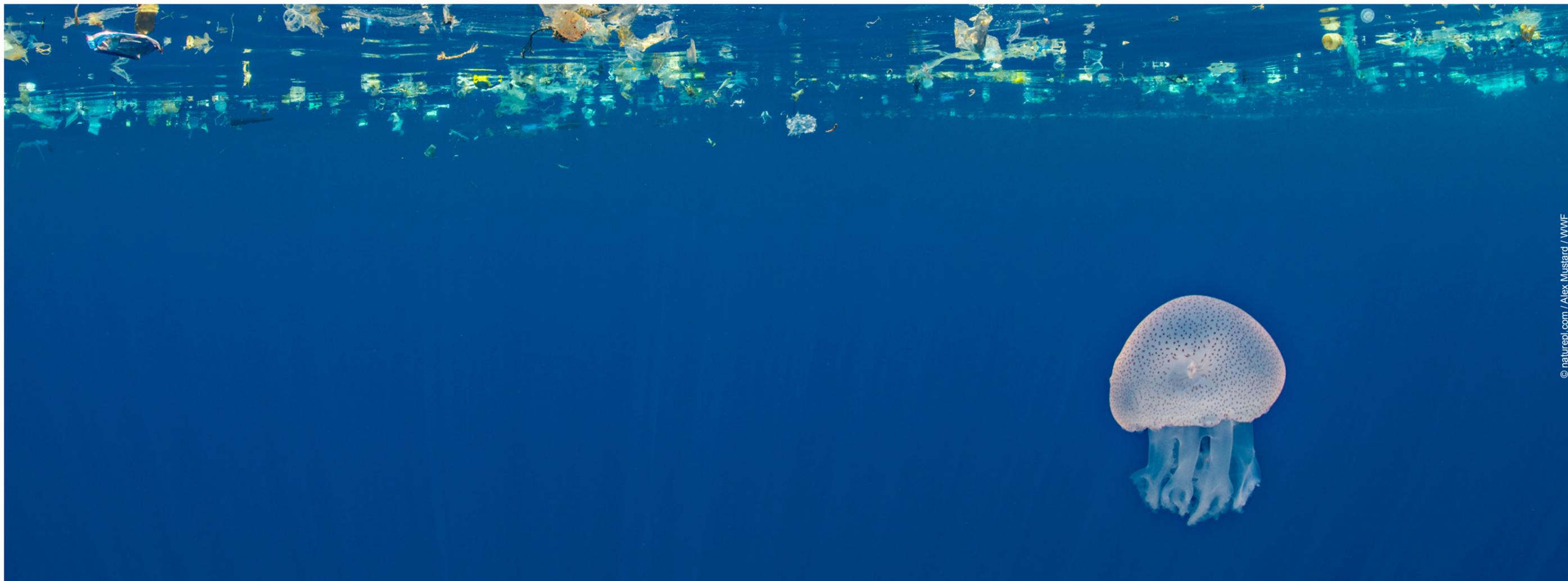
Gli effetti della contaminazione chimica nelle acque si verificano ad ogni livello: molecole, cellule, individui, popolazioni, interi habitat ed ecosistemi, fino a noi, alterando lo stato di equilibrio generale che per gli organismi e gli ecosistemi più fragili potrebbe essere irreversibile.



© Raúl GARCÍA / WWF

Tabella 1: Gli impatti di diversi inquinanti nelle acque dolci e nel mare sulla salute umana e sugli ecosistemi acquatici

CONTAMINANTE	FORTE	IMPATTI SU SALUTE UMANA	IMPATTI SU SPECIE SELVATICHE	IMPATTI SU ECOSISTEMI ACQUATICI
METALLI PESANTI	Estrazione mineraria, acque di scarico industriali e acquacoltura	Danni neurologici (es. problemi di apprendimento), malattie cardiovascolari e renali	Alterazioni comportamentali, ridotta fertilità	Alterazione della produttività dei sistemi alimentari e degli stock ittici
MEDICINALI (antibiotici, antidolorifici, psicofarmaci, anticoncezionali)	Acque reflue urbane e industriali, allevamenti animali (mammiferi e pesci)	Immunodepressione, aumento della resistenza antimicrobica/antibiotica, reazioni allergiche	Alterazione del sistema ormonale con problemi riproduttivi (es. femminilizzazione degli individui), di sviluppo e comportamentali, disturbi della tiroide, disturbi motori, genotossicità, malformazioni, cancro	Alterazione della produttività dei sistemi alimentari e degli stock ittici, mantenimento della diversità genetica
PFAS (sostanze alchiliche perfluorate) PBDE (eteri di difenile polibromurato)	Acque reflue industriali, deposizione atmosferica, prodotti quotidiani (es. tessuti e imballaggi idrorepellenti, schiume antincendio, mobili dispositivi elettronici come frigoriferi, condizionatori smartphone e TV)	Malattie cardiovascolari e alla tiroide, colesterolo, obesità, cancro (es. al seno, al rene), riduzione del peso alla nascita e della risposta ai vaccini, mortalità alla nascita, danni neurologici (es. problemi di apprendimento), alterazione sistema ormonale, riduzione della fertilità maschile	Alterazioni ormonali con effetti sullo sviluppo e sul sistema riproduttivo e immunitario, cancro, malformazioni congenite, disabilità cognitive, inibizione della crescita, alterazione del microbioma intestinale, effetto genotossico e malattie della tiroide	Alterazione della produttività dei sistemi alimentari e degli stock ittici
DETERGENTI (fosfati, disinfettanti/antimicrobici, tensioattivi)	Acque reflue urbane e industriali	Irritazioni, allergie, alterazioni del sistema ormonale, sterilità, cancro, problemi riproduttivi (danni ai feti), ai reni e al fegato, potenziali effetti genotossici e neurologici, resistenza antimicrobica/antibiotica	Anossia, alterazione dello sviluppo, ridotta sopravvivenza e capacità motoria	Alterazione delle comunità biologiche e dei parametri chimico-fisici delle acque



1.4 Microplastiche: il contaminante emergente che minaccia la salute globale

La plastica è una delle più evidenti contaminazioni chimiche pervasive e persistenti che il Pianeta abbia mai dovuto affrontare⁴³. L'inquinamento da plastica è riconosciuto come emergenza ambientale a livello globale al pari del cambiamento climatico, della perdita di biodiversità e dell'acidificazione degli oceani.

Microplastiche nell'ambiente

Ogni anno si riversano nei fiumi, laghi e oceani dai 9 ai 23 milioni di tonnellate di plastica⁴⁴. Di tutta questa plastica, particolarmente preoccupanti dal punto di vista ambientale e sanitario sono le microplastiche. Microscopici frammenti di plastica inferiori a 5 mm che possono finire negli ambienti acquatici sia dalla frammentazione di oggetti più grandi, sia tal quali dai prodotti che le contengono (es. cosmetici, detersivi, tessuti), dall'usura degli pneumatici o proprio dalle industrie che raffinano il petrolio per produrre i pellet. Questi sono palline o chips, precursori di tutti i prodotti in plastica, che vengono fabbricati e spediti in tutto il mondo, con enormi perdite durante il tragitto: **circa 230mila tonnellate di pellet entrano ogni anno nell'ambiente⁴⁵.**

Le microplastiche hanno pervaso ormai tutti gli ambienti acquatici (ma anche suolo e aria): sono state ritrovate nei mari, fiumi, laghi e persino nelle falde acquifere^{46,47,48}, dai fondali, alla superficie, dai poli ai tropici. È stato stimato che **i fiumi trasportino a mare fino a 1,5 milioni di tonnellate di microplastiche all'anno⁴⁹**, tanto che **oltre 170mila miliardi di frammenti di plastica galleggiano sulla superficie degli oceani** (per un peso complessivo di oltre 2 milioni di tonnellate)⁵⁰! Il Mar Mediterraneo è il mare con la più alta concentrazione di microplastiche mai misurata nelle profondità marine: 1,9 milioni di frammenti per metro quadro⁵¹, superando così il limite massimo tollerabile di presenza di microplastiche⁵², oltre il quale non c'è più sicurezza di mantenere le condizioni favorevoli alla vita e al benessere umano. Anche nelle acque dolci le concentrazioni sono piuttosto elevate, arrivando fino a 1 milione di frammenti per metro cubo⁵³, mentre lungo le rive dei fiumi si possono trovare **concentrazioni fino a 10 volte superiori a quelle delle spiagge costiere marine e estuarine⁵⁴.**

Contaminazione chimica delle plastiche

Le microplastiche contengono diverse sostanze chimiche tossiche per l'ambiente e la salute umana e quindi **dobbiamo considerarle veri e propri inquinanti chimici persistenti, bioaccumulabili e tossici a livello globale⁵⁵, lungo tutto il loro ciclo di vita.**

Le molecole base di cui sono fatte le microplastiche **possono essere tossiche di per sé**, come ad esempio il cloruro di vinile che compone gli oggetti in PVC, oppure lo stirene che compone gli oggetti in polistirolo, come anche l'etilene che compone gli oggetti in polietilene, usato ad esempio per le bottiglie e per il poliestere dei vestiti, sia il polipropilene utilizzato nei contenitori per alimenti e detersivi.

Le microplastiche **contengono anche additivi tossici che possono essere facilmente rilasciati** nell'ambiente e negli organismi che le ingeriscono come bisfenolo A (BPA), ftalati, sostanze bromurate (PBDE) e fluorurate (PFAS), idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e metalli. Sul mercato globale, sono state identificate **fino a 16.000 diverse sostanze chimiche utilizzate nelle plastiche** tra coloranti, ritardanti di fiamma, stabilizzanti, lubrificanti, plastificanti e altre sostanze, molte delle quali hanno funzioni, strutture e tossicità poco conosciute^{56,57,58}. Di queste su **7.000 abbiamo dati certi di pericolosità e tra le 2.400 e le 3.200 sono considerate sostanze potenzialmente preoccupanti per gli organismi perché persistenti, bioaccumulabili o tossiche^{59,60,61}** (fino al 66% delle sostanze chimiche utilizzate o trovate nei vari tipi di plastica)^{62,63}. Ciò significa che le sostanze chimiche preoccupanti possono essere presenti in tutti i tipi di

plastica. È stato calcolato che, **insieme ai rifiuti di plastica, siano entrate negli oceani 190 tonnellate di 20 diversi additivi chimici⁶⁴.** Eppure, **solo il 6% delle sostanze chimiche della plastica** - che possono rappresentare fino al 70% del peso di un prodotto - è **soggetto a normative internazionali⁶⁵.** Un recente studio ha evidenziato come **oltre 3.600 sostanze chimiche plastiche che destano preoccupazione non sono regolamentate, il 66% delle sostanze è senza informazioni sui pericoli** (oltre 10.000 sostanze chimiche non dispongono di dati di pubblico dominio per la loro valutazione) **e il 60% è senza informazioni sull'uso o sulla presenza⁶⁶.** La produzione, la distribuzione e lo smaltimento incontrollati di plastica e di altri prodotti a base petrolchimica portano a "un ciclo perpetuo" di esposizione umana a sostanze chimiche tossiche.

Non solo. **Le microplastiche possono contenere residui chimici e impurità** derivanti da processi di produzione e/o di riciclo (le così dette NIAS, sostanze non aggiunte intenzionalmente) **e possono assorbire anche ulteriori contaminanti dall'ambiente**, tra cui policlorobifenili (PCB), diossine, pesticidi (compreso il vecchio DDT ancora presente in ambiente), metalli e idrocarburi policiclici aromatici (IPA). **Le bioplastiche (compostabili) non sono da meno:** anch'esse

non si degradano in ambiente acquatico e assorbono contaminanti^{67,68}. Insomma, **le microplastiche sono dei veri e propri cocktail chimici**⁶⁹ che, se finiscono negli ambienti acquatici, possono essere ingerite dagli organismi rilasciando numerose sostanze chimiche **che si bioaccumulano e si biomagnificano lungo la rete alimentare** (aumentano esponenzialmente la concentrazione man mano che si sale di livello nella rete alimentare, quindi i superpredatori, uomo incluso, hanno le concentrazioni maggiori di contaminanti)^{70,71,72}.

Particolarmente tossici e persistenti sono gli **PFAS**, una classe di circa 9.000 composti tossici del fluoro, utilizzati per rendere resistenti all'acqua, ai grassi, alle macchie e al calore i contenitori di plastica (ma anche in carta) per il confezionamento di alimenti, detersivi per la casa, prodotti per l'igiene personale e pesticidi. Queste sostanze chimiche **in alcuni casi si presentano come microplastiche** idrosolubili (es. fluoruro di polivinile, PVF, e il politetrafluoroetilene, PTFE)⁷³, in altri casi **possono essere sia rilasciate dalle microplastiche che le contengono, sia assorbite dalle microplastiche presenti nelle acque contaminate**^{74,75,76}. Queste sostanze sono state collegate a diversi problemi di salute, come tumori alla prostata, ai reni e ai testicoli, basso peso alla nascita, immunotossicità e malattie della tiroide. Purtroppo, gli PFAS sono definiti **"contaminanti eterni"** perché **non si degradano mai e si accumulano nell'ambiente e negli organismi**^{77,78,79} in aggiunta alle microplastiche. Ciò significa che **nessuno è al sicuro da questa contaminazione**.

Effetti su specie acquatiche

L'ingestione di microplastiche è stata riportata in almeno **1.565 specie** (di cui 1.288 specie marine, 277 specie terrestri, comprese quelle d'acqua dolce) in tutto il mondo⁸⁰. **Gli impatti delle microplastiche sulla vita acquatica** dovuti alla componente chimica comprendono l'**alterazione dei sistemi riproduttivi, neuronali, respiratori, metabolici, immunitari** con conseguente compromissione dello sviluppo, della riproduzione e persino del comportamento. Tutte alterazioni che a seguito di una esposizione cronica possono **provocare persino la morte degli individui e quindi una drastica riduzione di intere popolazioni**⁸¹, portando all'alterazione anche di interi habitat ed ecosistemi, modificandone la struttura e la qualità, cosa particolarmente allarmante nel caso di ecosistemi chiave con specie rare quali ad esempio barriere coralline, mangrovieti, laghi di alta montagna ecc^{82,83,84}. Inoltre, la presenza di microplastiche negli organi degli individui che le hanno ingerite causano **infiammazioni e lesioni ai tessuti interni**. Tali effetti sono stati visti praticamente in tutti gli organismi acquatici: **dal plankton alle balene**, come anche in molti organismi bioindicatori che fungono da sentinelle per valutare i rischi per gli ecosistemi acquatici e per la salute umana secondo l'approccio One Health⁸⁵, tra cui

molluschi bivalvi come le cozze, tartarughe marine e pesci di interesse commerciale per il consumo umano^{86,87,88}. Particolarmente preoccupanti sono tutte quelle sostanze che sono interferenti endocrini (EDCs), sostanze chimiche rilasciate in ogni fase del ciclo di vita della plastica, che imitano gli ormoni e interferiscono con il sistema metabolico e riproduttivo⁸⁹ e che sono state trovate negli imballaggi di plastica per alimenti⁹⁰ e nelle acque dolci⁹¹ e marine⁹² provenienti da tutto il mondo.

Effetti sulla salute umana

Gli esseri umani possono ingerire le microplastiche provenienti dagli ambienti acquatici attraverso il consumo di organismi marini^{93,94} e attraverso l'acqua (sia potabile, sia in bottiglia)⁹⁵. Oltre 840 le microplastiche che possono essere ingerite all'anno dal consumo di 3 principali specie commerciali di pesce (spigola e due tipologie di sgombrò)⁹⁶, fino a 11mila dal consumo elevato di bivalvi (es. cozze, vongole etc.)⁹⁷, meno dai gamberi (fino a 175/anno)⁹⁸ e fino a 458mila dall'acqua di rubinetto (oltre 3 milioni invece dall'acqua in bottiglie di plastica)⁹⁹. Se contiamo anche l'esposizione da aria e alimenti non provenienti da ambienti acquatici **ogni giorno possiamo assumere oltre 100mila microplastiche**¹⁰⁰.

Nell'uomo le microplastiche sono state trovate nelle feci (anche quelle dei bambini), nella placenta, nel sangue, nel cervello e nelle aree profonde dei polmoni¹⁰¹. Sebbene non vi siano ancora numerose evidenze epidemiologiche di effetti gravi immediati dell'esposizione umana alle microplastiche, i dati provenienti soprattutto dagli studi sui mammiferi e sugli organismi bioindicatori evidenziano come **una volta che le microplastiche entrano nel nostro organismo, questo non è in grado di degradarle**. L'accumulo di questo materiale estraneo rappresenta un continuo stimolo infiammatorio¹⁰², **alterazioni cellulari**¹⁰³ e **genotossicità**¹⁰⁴ che possono portare conseguenze gravi^{105,106,107,108,109}, tra cui **cancri, problemi riproduttivi, di sviluppo, respiratori e digestivi, obesità, diabete**. Recenti studi hanno correlato la presenza di microplastiche con malattie infiammatorie intestinali, tra cui il morbo di Crohn e la colite ulcerosa¹¹⁰, stress a livello cellulare¹¹¹. Un recente studio italiano dimostra per la prima volta una correlazione tra la presenza di microplastiche nelle placche aterosclerotiche, i depositi di grasso nelle arterie, e un maggior **rischio di infarto e ictus**¹¹². Inoltre, è stato scoperto che le microplastiche contribuiscono anche alla **crescita della resistenza agli antibiotici**^{113,114}. Questo perché le microplastiche possono fungere da campo di proliferazione per i batteri che, col tempo, possono diventare resistenti agli antibiotici¹¹⁵. Ciò potrebbe avere gravi implicazioni per la salute umana, poiché la resistenza agli antibiotici è già una delle principali minacce per la salute globale.

IMPATTI SULLA SALUTE ASSOCIATI ALL'ESPOSIZIONE ALLE SOSTANZE CHIMICHE PRESENTI NELLE PLASTICHE

PROBLEMATICHE DI SALUTE ASSOCIATE ALL'ESPOSIZIONE DALLE SOSTANZE CHIMICHE NELLE PLASTICHE

-  **Plasticanti (ftalati) e Bisfenolo A**
-  **Ritardanti di fiamma**

DISTURBI DEL NEUROSVILUPPO

Disturbo da Deficit di Attenzione Iperattività (ADHD)
Disturbi dello spettro autistico
Disturbi neurocomportamentale
QI
Disturbi dell'apprendimento

ORMONALI

Malattie della tiroide
Cancro della tiroide

MALATTIE RESPIRATORIE

Asma

MALATTIE CARDIOVASCOLARI

MALATTIE METABOLICHE

Diabete di tipo 2
Obesità infantile
Aumento del grasso addominale

DISORDINI METABOLICI

Aumento livelli lipidi nel sangue, es. colesterolo totale e colesterolo LDL

RIDUZIONE DEGLI ANTICORPI

SALUTE RIPRODUTTIVA - ADULTI

Sindrome dell'ovaio policistico
Endometriosi
Subfertilità maschile
Riduzione della qualità seminale
Ritardi nel concepimento
Anomalie nel PAP-test
Ipertensione gestazionale e/o preeclampsia

PROBLEMI IN GRAVIDANZA - PROLE

Rischio parto prematuro
Basso peso alla nascita
Pubertà ritardata o precoce
Malformazioni dell'apparato genitale

Fonte: United Nations Environment Programme, 2021. From Pollution to Solution: A global assessment of marine litter and plastic pollution. Nairobi.



© WWF / Vincent Kneifel

“L'inquinamento da plastica è un problema globale urgente che va oltre i danni all'ambiente e ha un impatto sulla salute umana, in particolare sulla salute cardiovascolare. Un recente articolo pubblicato sul *New England Journal of Medicine (NEJM)*, intitolato “*Microplastics and the Progression of Atherosclerosis in Carotid Plaques*”, evidenzia il legame tra le microplastiche e l'avanzamento dell'aterosclerosi nelle arterie carotidee, una condizione caratterizzata dal restringimento e dall'indurimento delle arterie a causa della formazione di placche aterosclerotiche. Gli autori hanno condotto uno studio osservazionale su pazienti sottoposti a rimozione della placca aterosclerotica carotidea per una malattia carotidea asintomatica. Lo studio ha utilizzato diverse tecniche per analizzare i campioni di placca carotidea escissa per verificare la presenza di microplastiche e nanoplastiche (MNP). I risultati hanno mostrato che i pazienti con MNP rilevate all'interno dell'ateroma avevano un rischio maggiore di infarto miocardico, ictus o morte rispetto a quelli senza MNP. Questo studio suggerisce una potenziale associazione tra MNP ed eventi cardiovascolari nell'uomo, sebbene manchino ancora prove dirette. Le conoscenze attuali ci suggeriscono che Le MNP possono entrare nel flusso sanguigno attraverso l'ingestione o l'inalazione, innescando infiammazione e stress ossidativo. Nel tempo, l'esposizione cronica alle MNP può accelerare la progressione dell'aterosclerosi e aumentare la probabilità di eventi cardiovascolari. Affrontando il problema dell'inquinamento da plastica alla fonte, possiamo mitigare i suoi effetti dannosi sulla salute cardiovascolare e aprire la strada a un futuro più sano per tutti.

Prof. Raffaele Marfella

Primo autore dell'articolo citato, medico e professore ordinario all'Università Vanvitelli

1.5 Cosa possiamo fare: istituzioni, aziende e cittadini

L'acqua è fondamentale per la vita - e l'economia - umana, ma il futuro di questa risorsa limitata è in pericolo: nell'aprile 2022 è stato oltrepassato anche il *Planetary Boundary* legato all'uso di acqua dolce. L'obiettivo di ridurre l'inquinamento richiede **un'azione e un cambiamento collettivi** poiché l'inquinamento è il risultato di molteplici attività che si svolgono nella maggior parte dei settori sociali ed economici ed è regolamentato da autorità internazionali, nazionali, regionali e locali.

Sul lato delle **istituzioni**, è necessario **attuare velocemente e meglio il quadro normativo dell'UE in vigore in materia di protezione delle acque dolci, dei mari e degli oceani**. Per quanto concerne l'inquinamento delle acque dolci e marine, occorre un'attuazione più rigorosa della Direttiva sulle acque, della Direttiva sulla strategia per l'ambiente marino e della Direttiva sulla qualità delle acque destinate al consumo umano per contrastare le principali fonti d'inquinamento, tra cui le microplastiche e altri contaminanti chimici emergenti, e per evitare danni

all'ambiente e alla salute umana. Occorre raggiungere un elevato livello di ambizione per quanto concerne l'eliminazione dei contaminanti dalle acque reflue per rendere l'acqua trattata degli scarichi e i fanghi adatti al riutilizzo, senza sostanze persistenti e bioaccumulabili, come gli PFAS: su questi ultimi l'obiettivo deve essere la loro graduale eliminazione, avviando rapidamente, attraverso una riforma del Regolamento REACH sulle sostanze chimiche, una seria restrizione come richiesto all'Agenzia europea per le sostanze chimiche (ECHA) da Danimarca, Germania, Norvegia, Svezia e Paesi Bassi a inizio del 2023. In generale è necessaria una migliore applicazione del principio “chi inquina paga”, superando l'era dell'inquinamento gratuito.

Serve inoltre un'interazione profonda tra il mondo della politica e della ricerca. La **scienza ha un ruolo prioritario** nella comprensione dei fenomeni planetari in atto, nell'accertamento delle relative cause, nell'elaborazione di previsioni future e nello sviluppo di strategie utili alla soluzione dei problemi. Bisogna anche investire nella ricerca garantendo piani di biomonitoraggio adeguati e costanti, soprattutto per quanto riguarda i contaminanti emergenti per i quali non esiste ancora una normativa sulla contaminazione negli alimenti e nell'acqua potabile, come nel caso delle



© Shutterstock / John Dvorak / WWF



microplastiche, per monitorare i livelli di esposizione multipla cronica e a basse dosi. Sono quindi necessari livelli crescenti di investimenti pubblici e privati nel campo della scienza e della tecnologia per affrontare le sfide in modo sostenibile e inclusivo.

Oltre a essere una presenza costante tra i primi dieci rischi globali nel Global Risk Report del World Economic Forum nell'ultimo decennio, **l'inquinamento è una questione economica urgente**, che implica numerosi rischi fisici, finanziari, reputazionali e normativi. Tra le imprese, i settori alimentare, tessile, chimico, farmaceutico, energetico e minerario sono coinvolti nel 70% dell'uso e dell'inquinamento di acqua dolce. **Le aziende hanno quindi un ruolo cruciale**, oltre che un interesse diretto, nel garantire la sicurezza idrica per il futuro. Servono **strategie ambiziose di gestione responsabile delle sostanze chimiche, basate su flussi circolari di materiali e l'applicazione diffusa del principio di precauzione**, per incrementare la resilienza della propria catena del valore, contribuendo alla sicurezza idrica globale e accelerando così anche rispetto ad altri obiettivi ambientali, come il contrasto al cambiamento climatico e alla perdita di biodiversità. **L'obiettivo è creare settori industriali sempre meno dipendenti dal prelievo di risorse naturali, che riducano le emissioni inquinanti nell'aria, nell'acqua e nel suolo e generino minori quantità di rifiuti**. Come le aziende sceglieranno di affrontare queste sfide determinerà la vitalità futura dei loro *business*: occorre definire con urgenza piani strategici

per rispondere alle problematiche, adattarsi e prosperare in un mondo in rapida evoluzione. La transizione verso l'inquinamento zero richiederà normative, un'attuazione e un monitoraggio ancora più solidi per garantire che le aziende di domani siano più pulite e sostenibili.

Con l'espansione della classe media, i redditi aumentano e i modelli di consumo saranno sempre più vicini al consumismo, determinando crescenti pressioni sulle risorse e l'aumento dell'inquinamento. La transizione verso un Pianeta libero dall'inquinamento dal punto di vista dei consumi richiederà **cambiamenti nella mentalità collettiva e individuale, nei valori e comportamenti**. La scuola, le organizzazioni della società civile, gruppi comunitari e le associazioni di consumatori possono sensibilizzare i giovani e il pubblico in generale incoraggiando un consumo più responsabile e sostenibile, in modo che possano integrarlo nella loro vita quotidiana. Le organizzazioni internazionali possono facilitare le sinergie e aumentare l'impatto. Per aiutare i cittadini, servono informazioni sulla sostenibilità dei prodotti (ad esempio, attraverso l'etichettatura) per consentire e incoraggiare i consumatori a promuovere la sostenibilità attraverso i prodotti che acquistano e il modo in cui li (ri)usano, riciclano o scartano. Le iniziative di sharing economy, come i modelli di condivisione di veicoli o attrezzi da lavoro, sono altri esempi di come gli individui possano ridurre la pressione sull'inquinamento ambientale e le risorse. **Spesso, sono le piccole cose a fare una grande differenza**.



BIBLIOGRAFIA

- 1 Lancet, 2020. Global burden of 369 diseases and injuries in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. 396: 1204–22.
- 2 The Lancet Commission on pollution and health (ottobre 2017).
- 3 Rockström J. *et al.*, 2009. Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. *Ecol Soc* 14(2):32.
- 4 Steffen W. *et al.*, 2015. Planetary Boundaries: Guiding Human Development on a Changing Planet. *Science*, 347(6223): 1259855-1259855.
- 5 Arp H.P.H. *et al.*, 2021. Weathering Plastics as a Planetary Boundary Threat: Exposure, Fate, and Hazards. *Environ Sci Technol* 22 (11): 7246-7255.
- 6 Wang Z. *et al.*, 2020. Toward a Global Understanding of Chemical Pollution: A First Comprehensive Analysis of National and Regional Chemical Inventories. *Environ Sci Technol* 54(5): 2575-2584.
- 7 European Environment Agency. Chemicals for a Sustainable Future: Report of the EEA Scientific Committee Seminar: Copenhagen, 2018.
- 8 UNEP, 2017. Towards a Pollution-Free Planet. Report. Unep.org/environmentassembly
- 9 Linn Persson *et al.*, 2022. Outside the Safe Operating Space of the Planetary Boundary for Novel Entities. *Environ Sci Technol* 56(3): 1510-1521.
- 10 UN Environment. 2019. Global Chemicals Outlook II - From Legacies to Innovative Solutions: Implementing the 2030 Agenda for Sustainable Development; 978-92-807-3745-5, 2019; p 700.
- 11 Diamond M.L. *et al.*, 2015. Exploring the Planetary Boundary for Chemical Pollution. *Environ Int* 78: 8-15.
- 12 Molina M.J. & Rowland F.S., 1974. Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: Chlorine atom-catalysed destruction of ozone. *Nature* 249: 810-812.
- 13 Diamond M.L. *et al.*, 2015. Exploring the Planetary Boundary for Chemical Pollution. *Environ Int* 78: 8-15.
- 14 The Lancet Pollution and health: a progress update (June 2022)
- 15 Agenzia Europea dell'Ambiente, 2023. <https://www.eea.europa.eu/it/segnali/segnali-2023/articoli/prodotti-chimici-sicuri-e-sostenibili>
- 16 Agenzia Europea dell'Ambiente, 2023. <https://www.eea.europa.eu/it/segnali/segnali-2023/articoli/intervista-investire-in-sostanze>
- 17 UN Environment. 2019. Global Chemicals Outlook II - From Legacies to Innovative Solutions: Implementing the 2030 Agenda for Sustainable Development; 978-92-807-3745-5, 2019; p 700.
- 18 UNESCO <https://en.unesco.org/waterquality-iiwq/wq-challenge>
- 19 UN Environment. 2019. Global Chemicals Outlook II - From Legacies to Innovative Solutions: Implementing the 2030 Agenda for Sustainable Development; 978-92-807-3745-5, 2019; p 700.
- 20 UN, 2019. Report: Nature's Dangerous Decline 'Unprecedented'; Species Extinction Rates 'Accelerating'. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/blog/2019/05/nature-decline-unprecedented-report/>
- 21 UNESCO, International Initiative on Water Quality (IIWQ). <https://en.unesco.org/waterquality-iiwq/wq-challenge>
- 22 Fuller R. *et al.*, 2022. Pollution and health: a progress update. *Lancet Planet Health*, 6: e535–47.
- 23 Malaj E. *et al.*, 214. Organic chemicals jeopardize the health of freshwater ecosystems on the continental scale. *PNAS* 111 (26): 9549-9554
- 24 Agenzia Europea dell'Ambiente, 2024. Surface water chemical status. <https://water.europa.eu/freshwater/europe-freshwater/water-framework-directive/surface-water-chemical-status-pressures>
- 25 *Ibidem*
- 26 Agenzia Europea dell'Ambiente, 2023. Stato delle acque in Europa. <https://www.eea.europa.eu/it/segnali/segnali-2020/infografica/stato-delle-acque-in-europa/view>
- 27 Agenzia Europea dell'Ambiente, 2024. Groundwater chemical status. <https://water.europa.eu/freshwater/europe-freshwater/water-framework-directive/groundwater-chemical-status>
- 28 *Ibidem*
- 29 ISPRA, 2023. Stato chimico delle acque superficiali interne. <https://indicatoriambientali.isprambiente.it/it/acque-interne/stato-chimico-delle-acque-superficiali-interne>
- 30 ISPRA, 2023. Stato chimico delle acque sotterranee. <https://indicatoriambientali.isprambiente.it/it/acque-interne/stato-chimico-delle-acque-sotterranee-scas>
- 31 Back To Blue, Economist Impact, 2023. The role of Sources of marine chemical pollution in addressing marine chemical pollution - Excerpts from The Invisible Wave. <https://backtoblueinitiative.com/wp-content/uploads/2022/11/Sources-of-marine-chemical-pollution.pdf>
- 32 Landrigan P.J. *et al.*, 2020. Human Health and Ocean Pollution. *Ann Glob Health* 86(1):151.
- 33 World Ocean Review, 2021. WOR 7 The Ocean, Guarantor of Life – Sustainable Use, Effective Protection. <https://worldoceanreview.com/en/wor-7/pollution-of-the-oceans/a-problem-of-immense-scale/#:~:text=%3E%20The%20United%20Nations%20has%20estimated,in%20the%20deepest%20ocean%20trenches>
- 34 CEDRE, Transport Canada. 2012. Understanding Chemical Pollution at Sea. Learning Guide. Brest: Cedre, 93 p. ww.cedre.fr, "Publications" section.
- 35 Tornero V. & Hanke G., 2016. Chemical contaminants entering the marine environment from sea-based sources: A review with a focus on European seas. *Mar Pol Bul* 112(1–2): 17-38.
- 36 Agenzia Europea dell'Ambiente, 2022. Marine pollution and ecosystems. <https://www.eea.europa.eu/publications/zero-pollution/ecosystems/marine-pollution#:~:text=Chemical%20pollution%20is%20degrading%20European,for%20nutrient%20enrichment%20and%20eutrophication>
- 37 Agenzia Europa dell'Ambiente, 2018. Stato delle acque in Europa. <https://www.eea.europa.eu/it/segnali/segnali-2020/infografica/stato-delle-acque-in-europa/view>
- 38 Agenzia Europea dell'Ambiente, 2019. Contaminants in Europe's seas. Moving towards a clean, non-toxic marine environment. Report No 25/2018.
- 39 Landrigan P.J. *et al.*, 2020. Human Health and Ocean Pollution. *Ann Glob Health* 86(1):151. doi: 10.5334/aogh.2831.
- 40 Agenzia Europea dell'Ambiente, 2019. Contaminants in Europe's seas. Moving towards a clean, non-toxic marine environment. Report No 25/2018.
- 41 Agenzia Europea dell'Ambiente, 2018. Good Environmental Status (GES) assessments by EU Member State and Descriptor. <https://water.europa.eu/marine/data-maps-and-tools/msfd-reporting-information-products/ges-assessment-dashboards/country-thematic-dashboards>
- 42 Agenzia Europea dell'Ambiente, 2022. Marine pollution and ecosystems. <https://www.eea.europa.eu/publications/zero-pollution/ecosystems/marine-pollution#:~:text=Chemical%20pollution%20is%20degrading%20European,for%20nutrient%20enrichment%20and%20eutrophication>
- 43 Stapleton M.J. & Hai F.I., 2023. Microplastics as an emerging contaminant of concern to our environment: a brief overview of the sources and implications. *Bioengineered* 14(1): 2244754.
- 44 Borrelle S.B. *et al.*, 2020. Predicted growth in plastic waste exceeds efforts to mitigate plastic pollution. *Science* 369: 1515-1518.
- 45 Tunnell J.W. *et al.*, 2020. Measuring plastic pellet (nurdle) abundance on shorelines throughout the Gulf of Mexico using citizen scientists: Establishing a platform for policy-relevant research. *Mar Pollut Bull* 151:110794.
- 46 Wei Y. & Chen Y., 2023. The Urgent Need to Investigate Microplastic Contamination in Groundwater: Soil and Groundwater Interactions as Key Drivers. *ACS ES&T Water*, 3(12): 3740- 3736.
- 47 Lee J.Y. *et al.*, 2024. Microplastic pollution in groundwater: a systematic review. *Environ Pollut Bioavailab* 36:1.
- 48 Viaroli S. *et al.*, 2022. Microplastics contamination of groundwater: Current evidence and future perspectives. A review. *Sci Total Environ* 824: 153851.
- 49 D'Avignon G. *et al.*, 2022. Microplastics in lakes and rivers: an issue of emerging significance to limnology. *Environ Rev* 30(2): 228-244.
- 50 Eriksen M. *et al.*, 2023. A growing plastic smog, now estimated to be over 170 trillion plastic particles afloat in the world's oceans. Urgent solutions required. *PLoS ONE* 18(3): e0281596.
- 51 Kane I.A. *et al.*, 2020. Seafloor Microplastic Hotspots Controlled By Deep-Sea Circulation. *Science* 368(6495): 1140-1145.
- 52 Everaert G. *et al.*, 2020. Risks of floating microplastic in the global ocean. *Environ Pollut* 267: 115499.
- 53 Li J. *et al.*, 2018. Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water Res* 137: 362-374.
- 54 D'Avignon G. *et al.*, 2022. Microplastics in lakes and rivers: an issue of emerging significance to limnology. *Environmental Rev* 30(2): 228-244.
- 55 Weis J.S. & Alava J.J. 2022. (Micro)Plastics Are Toxic Pollutants. *Toxics* 11(11):935.
- 56 Wiesinger H. *et al.*, 2021. Deep Dive into Plastic Monomers, Additives, and Processing Aids. *Environ Sci Technol* 55(13): 9339–9351.
- 57 Wagner M. *et al.*, 2024 State of the science on plastic chemicals - Identifying and addressing chemicals and polymers of concern. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10701706>.
- 58 United Nations Environment Programme and Secretariat of the Basel, Rotterdam and Stockholm Conventions, 2023. Chemicals in plastics: a technical report. Geneva.
- 59 Wiesinger H. *et al.*, 2021. Deep Dive into Plastic Monomers, Additives, and Processing Aids. *Environ Sci Technol* 55(13): 9339–9351.
- 60 Wagner M. *et al.*, 2024 State of the science on plastic chemicals - Identifying and addressing chemicals and polymers of concern. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10701706>.
- 61 United Nations Environment Programme and Secretariat of the Basel, Rotterdam and Stockholm Conventions, 2023. Chemicals in plastics: a technical report. Geneva.
- 62 Wagner M. *et al.*, 2024. State of the science on plastic chemicals - Identifying and addressing chemicals and polymers of concern. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10701706>.
- 63 *Ibidem*
- 64 De Frond H. *et al.*, 2019. Estimating the Mass of Chemicals Associated with Ocean Plastic Pollution to Inform Mitigation Efforts. *IEAM* 15(4):596-606.
- 65 Wagner M. *et al.*, 2024. State of the science on plastic chemicals - Identifying and addressing chemicals and polymers of concern, <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10701706>.
- 66 *Ibidem*
- 67 Commissione Europea, 2023. Biobased biodegradable polymers may amplify absorption of mercury from the marine environment. Issue 598: Biobased polymers, designed to be used instead of fossil-based plastics, are growing in use worldwide. https://environment.ec.europa.eu/news/biobased-biodegradable-polymers-may-amplify-absorption-mercury-marine-environment-2023-03-29_en
- 68 Limonta G. *et al.*, 2024. Exposure to virgin and marine incubated microparticles of biodegradable and conventional polymers modulates the hepatopancreas transcriptome of *Mytilus galloprovincialis*. *J Hazard Mater* 468: 133819.
- 69 Weis J.S. & Alava J.J., 2023. (Micro)Plastics Are Toxic Pollutants. *Toxics* 11(11):935.
- 70 Miller M.E., *et al.*, 2020. Bioaccumulation and biomagnification of microplastics in marine organisms: A review and meta-analysis of current data. *PLoS One* 15(10):e0240792.
- 71 Parolini M. *et al.*, 2023. A global perspective on microplastic bioaccumulation in marine organisms. *Ecol. Indic* 149: 110179.
- 72 Saeedi M., 2024. How microplastics interact with food chain: a short overview of fate and impacts. *J Food Sci Technol* 61: 403–413.
- 73 Cook C. & Steinle-Darling E., 2021. The Microplastics And PFAS Connection. <https://www.wateronline.com/doc/the-microplastics-and-pfas-connection-0001>
- 74 Shi Y. *et al.*, 2023. Adsorption of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) and Microcystins by Virgin and Weathered Microplastics in Freshwater Matrices. *Polymers* 15(18): 3676.
- 75 Llorca M. *et al.*, 2018. Adsorption of perfluoroalkyl substances on microplastics under environmental conditions. *Environ Pollut* 235:680–691.
- 76 Dai Y. *et al.*, 2022. Interaction and combined toxicity of microplastics and per- and polyfluoroalkyl substances in aquatic environment. *Front. Environ. Sci Eng* 16.
- 77 Gerald T. *et al.*, 2021. Assessing the Ecological Risks of Per- and Polyfluoroalkyl Substances: Current State-of-the Science and a Proposed Path Forward. *Environ Toxicol Chem* 40: 564-605.
- 78 Bilela L.L. *et al.*, 2023. Impact of per- and polyfluorinated alkyl substances (PFAS) on the marine environment: Raising awareness, challenges, legislation, and mitigation approaches under the One Health concept. *Mar Pol Bul* 194(Part A): 115309.
- 79 Parashar N. *et al.*, 2023. Microplastics as carriers of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in aquatic environment: interactions and ecotoxicological effects. *Water Emerg Contam Nanoplastics* 2:15.
- 80 Santos G.R. *et al.*, 2021. Plastic ingestion as an evolutionary trap: Toward a holistic understanding. *Science* 373(6550): 56-60.

- 81 Fossi M.C. *et al.*, 2018. Bioindicators for monitoring marine litter ingestion and its impacts on Mediterranean biodiversity. *Environ Pollut* 237:1023-1040.
- 82 WWF, 2022. Inquinamento da plastica negli oceani. Impatti su specie, biodiversità ed ecosistemi marini. <https://www.wwf.it/cosa-facciamo/pubblicazioni/inquinamento-da-plastica-negli-oceani/>
- 83 John J. *et al.*, 2022. Microplastics in mangroves and coral reef ecosystems: a review. *Environ Chem Lett* 20(1):397-416.
- 84 Pastorino P. *et al.*, 2023. Microplastics in biotic and abiotic compartments of high-mountain lakes from Alps. *Ecol Indic* 150: 110215.
- 85 Multisanti C.R. *et al.*, 2022. Sentinel species selection for monitoring microplastic pollution: A review on one health approach. *Ecol Indic* 145: 109587.
- 86 Makhdoumi P. *et al.*, 2022. A review of microplastic pollution in commercial fish for human consumption. *Rev Environ Health* 38(1):97-109.
- 87 Valente T. *et al.*, 2022. One is not enough: Monitoring microplastic ingestion by fish needs a multispecies approach. *Mar Pol Bul* 184:114133.
- 88 Alberghini L. *et al.*, 2023. Microplastics in Fish and Fishery Products and Risks for Human Health: A Review. *Int J Environ Res Public Health* 20(1): 789.
- 89 Gore A.C. *et al.*, 2024. Endocrine disrupting chemicals: threats to human health. Pesticides, plastics, forever chemicals, and beyond. Endocrine Society, International Pollutants Elimination Network (IPEN). https://ipen.org/sites/default/files/documents/ede_report-2024-final-compressed.pdf
- 90 Stevens S. *et al.*, 2024. Plastic Food Packaging from Five Countries Contains Endocrine- and Metabolism-Disrupting Chemicals. *Environ Sci Technol* 58(11): 4859-4871
- 91 OECD, 2023. Endocrine disrupting chemicals in freshwater: Monitoring and Regulating Water Quality, OECD Studies on Water, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/5696d960-en>.
- 92 Ingre-Khans E. *et al.*, 2017. Endocrine disrupting chemicals in the marine environment. ACES report number Department of Environmental Science and Analytical Chemistry, Stockholm University. https://www.su.se/polopoly_fs/1.334963.1496234230!/menu/standard/file/edcs-in-the-marine-environment-report.pdf
- 93 Alberghini L. *et al.*, 2023. Microplastics in Fish and Fishery Products and Risks for Human Health: A Review. *Int J Environ Res Public Health* 20(1): 789.
- 94 Smith M. *et al.*, 2018. Microplastics in Seafood and the Implications for Human Health. *Curr Environ Health Rep* 5(3):375-386.
- 95 Gambino I. *et al.*, 2022. Occurrence of Microplastics in Tap and Bottled Water: Current Knowledge. *Int J Environ Res Public Health* 19(9):5283.
- 96 Barboza L.G.A. *et al.*, 2020. Microplastics in wild fish from North East Atlantic Ocean and its potential for causing neurotoxic effects, lipid oxidative damage, and human health risks associated with ingestion exposure. *Sci Total Environ* 717:134625.
- 97 Van Cauwenbergh L. & Janssen C.R. 2014. Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environ Pollut* 193:65-70.
- 98 Devriese L.L., *et al.*, 2015. Microplastic contamination in brown shrimp (*Crangon crangon*, Linnaeus 1758) from coastal waters of the Southern North Sea and Channel area. *Mar Pollut Bull* 98:179-187.
- 99 Danopoulos E. *et al.*, 2020. Microplastic contamination of drinking water: A systematic review. *PLoS ONE* 15(7): e0236838.
- 100 Nor N.H.M. *et al.*, 2021. Lifetime Accumulation of Microplastic in Children and Adults. *Environ Sci Technol* 55(8): 5084-5096.
- 101 WWF Italia, 2023. Plastica, dalla natura alle persone. È ora di agire. <https://www.wwf.it/cosa-facciamo/pubblicazioni/plastica-dalla-natura-alle-persone/>
- 102 Caputi S. *et al.*, 2022. Microplastics Affect the Inflammation Pathway in Human Gingival Fibroblasts: A Study in the Adriatic Sea. *Int. J Environ Res Public Health* 19: 7782.
- 103 Palaniappan S. *et al.*, Polystyrene and Polyethylene Microplastics Decrease Cell Viability and Dysregulate Inflammatory and Oxidative Stress Markers of MDCK and L929 Cells In Vitro. *Expo Health* 14(1):75-85.
- 104 Roursgaard M. *et al.*, 2022 Genotoxicity of Particles from Grinded Plastic Items in Caco-2 and HepG2 Cells. *Front Public Health* 10:906430.
- 105 Landrigan P.J. *et al.* 2020. Human Health and Ocean Pollution. *Ann Glob Health* 86: 151.
- 106 Ghosh S. *et al.*, 2023. Microplastics as an Emerging Threat to the Global Environment and Human Health. *Sustainability* 15: 10821.
- 107 Kannan K. & Vimalkumar K., 2021. A Review of Human Exposure to Microplastics and Insights Into Microplastics as Obesogens. *Front Endocrinol* 12: 724989.
- 108 Elizalde-Velázquez G.A. & Gómez-Oliván L.M., 2021. Microplastics in aquatic environments: A review on occurrence, distribution, toxic effects, and implications for human health. *Sci Total Environ* 780: 146551.
- 109 Wu P. *et al.*, 2022. Absorption, distribution, metabolism, excretion and toxicity of microplastics in the human body and health implications. *J Hazard Mater* 437: 129361.
- 110 Yan Z. *et al.*, 2022. Analysis of Microplastics in Human Feces Reveals a Correlation between Fecal Microplastics and Inflammatory Bowel Disease Status. *Environ Sci Technol* 56(1): 414-421.
- 111 Yong C.Q.Y. *et al.*, 2020. Toxicity of Microplastics and Nanoplastics in Mammalian Systems. *Int J Environ Res. Public Health* 17: 1509.
- 112 Marfella R. *et al.*, 2024. Microplastics and Nanoplastics in Atheromas and Cardiovascular Events. *N Engl J Med* 390:900-910.
- 113 Shi J. *et al.*, 2021. Selective enrichment of antibiotic resistance genes and pathogens on polystyrene microplastics in landfill leachate. *Sci Total Environ* 765:142775.
- 114 Dong H. *et al.*, 2021. Interactions of microplastics and antibiotic resistance genes and their effects on the aquaculture environments. *J Hazard Mater* 403:123961.
- 115 Ghosh S. *et al.*, 2023. Microplastics as an Emerging Threat to the Global Environment and Human Health. *Sustainability* 15:10821.



**5 milioni di sostenitori nel mondo.
Una rete globale attiva in oltre 100 Paesi.
1300 progetti di conservazione.
In Italia oltre 100 Oasi protette.
Migliaia le specie interessate dall'azione
del WWF sul campo.**

WWF Italia ETS
Via Po, 25/c
00198 Roma

Tel: 06844971
e-mail: wwf@wwf.it
sito: wwf.it